

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



МАТЕРИАЛЫ

IV МЕЖДУНАРОДНОГО
МОЛОДЁЖНОГО ФОРУМА

«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ»

ТОМ 2.

Томск – 2016

УДК 620.9(063)
ББК 31л0
И73

Интеллектуальные энергосистемы: труды IV Международного молодежного форума. В 3т. Томск 10 - 14 октября 2016г. Т.2.-Материалы IV Международного форума «Интеллектуальные энергосистемы», 377 с.

Настоящий сборник содержит материалы IV Международного молодежного форума «Интеллектуальные энергосистемы», проведенного 10 - 14 октября 2016г. на базе Энергетического института Томского политехнического университета, при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований.

Материал сборника представлен без редактирования авторских электронных версий.

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ СБОРНИКА ТРУДОВ ФОРУМА

1. Губин В.Е., к.т.н., доцент кафедры АТЭС ЭНИН ТПУ, председатель;
2. Легро Жан Клод Числан, PhD, профессор Бельгийского свободного университета, (Бельгия);
3. Ажаев В.С., PhD, профессор Южного университета Далласа, (США);
4. Кузнецов Г.В., д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой ТПТ ЭНИН ТПУ;
5. Кладиев С.Н., к.т.н., доцент кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ;
6. Дементьев Ю.Н., к.т.н., доцент, зав. кафедрой ЭПЭО ЭНИН ТПУ;
7. Обухов С.Г., д.т.н., доцент кафедры ЭПП ЭНИН ТПУ;
8. Заворин А.С., д.т.н., профессор, зав. кафедрой ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ;
9. Муравлев О.П., д.т.н., профессор кафедры ЭКМ ЭНИН ТПУ
10. Стрижак П.А., д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой АТП ЭНИН ТПУ;
11. Кобенко Ю.В., д.ф.н., профессор кафедры ИЯ ЭНИН ТПУ;
12. Литвак В.В., д.т.н., профессор кафедры АТЭС ЭНИН ТПУ;
13. Сулайманов А.О., к.т.н., доцент, зав. кафедрой ЭЭС ЭНИН ТПУ;
14. Хрущев Ю.В., д.т.н., профессор кафедры ЭСиЭ ЭНИН ТПУ;
15. Ардашкин И.Б., д.филос.н., профессор ФИЛ ИСГТ ТПУ;
16. Лукутин А.В., к.т.н., доцент, начальник учебно-методического отдела ЭНИН ТПУ.

Вёрстка и дизайн оригинал макета: Зими́на Н.А.

© Томский политехнический университет, 2016

СЕКЦИЯ 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД

РАЗРАБОТКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНОЙ ЛАМПЫ С ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ ЛЕНТОЧНОЙ СТРУКТУРЫ

С.А. Чертов

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ67

Светодиодное освещение – одно из перспективных направлений технологий искусственного освещения, основанное на использовании светодиодов в качестве источника света [1].

В течение последних десятилетий технический прогресс в области разработки и изготовления светодиодов развивается большими темпами [2].

Современные светодиоды отличаются миниатюрностью, прочностью, надёжностью, хорошими оптическими характеристиками и высоким квантовым выходом излучения и могут преобразовывать электрическую энергию в световую с коэффициентом полезного действия близким к единице.

Тем не менее, одним из наиболее распространенных источников света по-прежнему остается классическая лампа накаливания.

Объединить преимущества классических ламп накаливания и светодиодных излучателей позволяют источники света, выполненные по технологии *Filament LED*.

Модель филаментной светодиодной лампы (ФСЛ) представлена на рисунке 1.

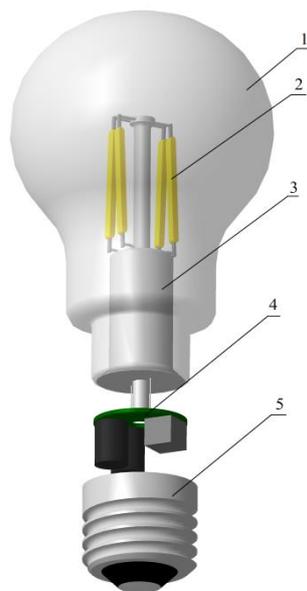


Рис. 1. Трехмерная модель источника света по технологии *Filament LED*

Основными компонентами этой лампы являются:

1. колба;
2. излучающий элемент;

3. опорная конструкция;
4. устройство питания (драйвер);
5. цоколь.

Эти источники света близки к обычным электролампам, так что их можно назвать светодиодными лампами накаливания [3]. Основным отличием устройств *LED Filament* от светодиодных ламп является диаграмма светового потока, которая практически аналогична диаграмме лампы накаливания. То есть, светодиодные излучатели светят равномерно во все стороны. При этом эффективность осветительных устройств *LED Filament* несколько выше, а рабочая температура корпуса ниже. Коэффициент пульсаций у большинства ламп этого типа приблизительно равен нулю.

В основе ФСЛ лежит технология *Chip-on-Glass (COG)*, ранее уже успешно опробованная при создании дисплеев для мобильных устройств. Она заключается в размещении сверхминиатюрных светодиодов на подложке из искусственного сапфира или, как более дешевый вариант, из специального сорта стекла. Прозрачность подложки позволяет создавать массивы светодиодов, которые светят во все стороны [4].

На рисунке 2 представлена структура светодиодного излучателя.

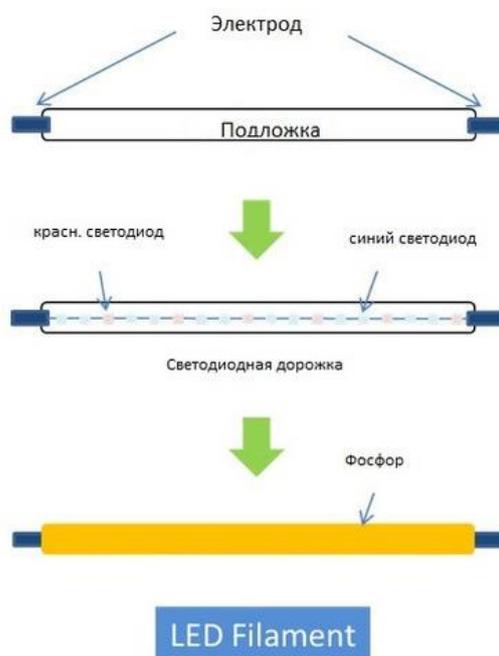


Рис. 2. Структура *LED Filament*

Типичный филамент – светодиодный аналог отрезка нити накаливания – представляет собой стержень из искусственного сапфира или стекла. На нем при помощи технологии *COG* размещены 28 светодиодов синего свечения, которые соединены последовательно. В некоторых моделях филамент может содержать несколько светодиодов красного свечения для достижения более теплого оттенка свечения. Сверху это все покрыто слоем люминофора на силиконовой основе. Потребляемая мощность одного элемента лежит в пределах 0,8...1,3Вт. Набирая нужное количество филаментов в колбе, можно получить светодиодную лампу требуемой мощности.

Важным преимуществом филамента по сравнению с традиционными светодиодными матрицами является то, что для равномерного распределения света во все стороны не нужно использовать сложную оптическую систему, имеющую большие потери. Это обеспечивает высокий КПД лампы. Мощность, подводимая к филаменту, в 1,5 раза выше, чем к традиционной светодиодной матрице, при равном значении светового потока.

Филаменты герметично запаяны в стеклянную колбу. Эта колба наполнена специальным газом, обладающим высокой теплопроводностью. Именно через газ и осуществляется отвод тепла от светодиодов. Стеклянная колба с тонкими стенками хорошо проводит тепло, поэтому она и используется в качестве теплоотвода. По утверждению производителей ФСЛ, такая система теплоотвода в ряде случаев оказывается даже более эффективной, чем у светодиодных ламп традиционной конструкции и температура $p-n$ перехода при этом не превышает 60°C . При изготовлении колб и наполнении их газом используются уже хорошо отработанные для ламп накаливания технологии.

Большой интерес к ФСЛ со стороны, как специалистов, так и обычных потребителей связан с тем, что эти лампы имеют целый ряд неоспоримых *преимуществ*:

- полная совместимость по кривой силы света со светильниками, изначально проектировавшимися под лампы накаливания;
- высокая светоотдача, обусловленная отсутствием оптической системы для равномерного распределения света в разные стороны;
- возможность снижения себестоимости производства за счет использования уже имеющихся мощностей по производству ламп накаливания.
- В то же время, ФСЛ свойственны и некоторые *недостатки*:
- малое место под драйвер, вследствие чего используются или драйвера упрощенной конструкции с высоким коэффициентом пульсации, или драйвера с высокой степенью миниатюризации без пульсации, которые стоят очень дорого;
- для ФСЛ принципиально использование стеклянной колбы, так что, в отличие от других типов светодиодных ламп, они не являются небьющимися.

Для создания источника питания для рассматриваемой осветительной структуры предпочтительным является источник постоянного тока с бестрансформаторным входом, который образован сетевым выпрямителем с фильтром [1].

Типовая схема источника питания светодиодной лампы включает в себя: фильтр электромагнитных помех; выпрямитель; ступень коррекции коэффициента мощности и стабилизатор тока.

Вариант структурной схемы источника питания для маломощных ламп приведен на рисунке 3.

Проанализировав различные схемы драйверов, и исходя из требований технического задания, выбираем схему импульсного стабилизатора тока понижающего типа. Схема данного стабилизатора приведена на рисунке 4.

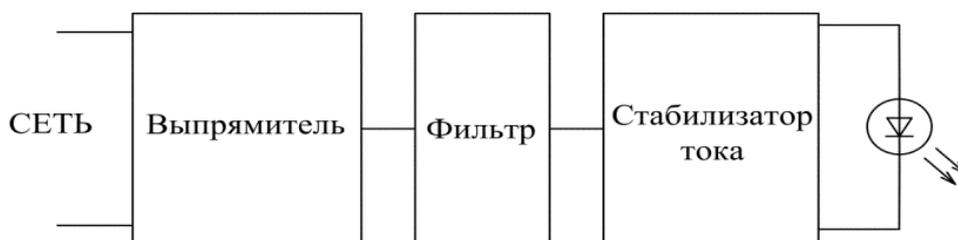


Рис. 3. Структурная схема источника питания для маломощных ламп

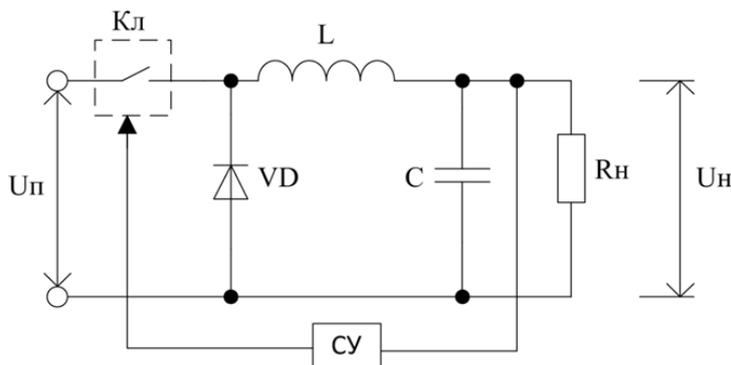


Рис. 4. Схема импульсного последовательного стабилизатора понижающего типа

Данная схема позволяет обеспечить стабильную работу в широком диапазоне напряжений на входе и нагрузке. Сигнал с выхода устройства считывается контроллером, и на основании его изменяется длительность открытого состояния силового транзистора (Кл). В проектируемом источнике питания в качестве управляющей выбрана микросхема ВР2831 со встроенным силовым транзистором.

В настоящее время опытный образец (разработанный и изготовленный совместно НИИ светодиодных технологий ТУСУР и Томским политехническим университетом) устройства проходит производственные испытания на Томском заводе светотехники (бывший Томский электроламповый завод), входящим в состав ООО «Руслед».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Браун М. Источники питания. Расчёт и конструирование / М. Браун. Пер. с англ. – К.: МК – Пресс, 2007. – 288 с.
2. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
3. Светодиодные лампы накаливания [Электронный ресурс] – режим доступа <http://www.rsci.ru/oled/news/236692.html>, свободный, дата обращения 01.06.2016.
4. Васильев А. Тайны филаментных светодиодных ламп [Электронный ресурс] – режим доступа <http://market.elec.ru/nomer/56/tajny-filamentnyh-svetodiodnyh-lamp.html>, свободный, дата обращения 01.06.2016.

Научный руководитель: С.М. Семенов, ст. преподаватель каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ, А.В. Иванов, младший научный сотрудник НИИ АЭМ.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА УЭЦН С НАБЛЮДАТЕЛЕМ СОСТОЯНИЯ И С МАГНИТОУПРУГИМ ДАТЧИКОМ МОМЕНТА И ДАТЧИКОМ СКОРОСТИ

¹И.Г. Слепнёв, ²А.С. Глазырин
^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, ¹группа 5АМ65

В настоящее время одной из стратегически важных экономических отраслей является нефтедобыча. Добыча нефти на территории нашей страны происходит в осложненных условиях, которые обусловлены следующими факторами:

- солеотложения и коррозия;
- механические примеси;
- повышенная вязкость добываемой жидкости.

Работа в указанных осложненных условиях приводит к дополнительному износу погружного оборудования. В качестве насосных агрегатов для добычи нефти наиболее распространенными являются установки электроцентробежных насосов (УЭЦН) [1]. В табл. 1 представлены процентные соотношения причин выхода из строя УЭЦН ОАО «Оренбургнефть».

Табл. 1.

Причины и доля выхода из строя УЭЦН ОАО "Оренбургнефть" [1]

Причина	Доля аварий в общем объеме неисправностей, %
Износ или излом вала	0,89
Слом рабочих колес	0,22
Износ рабочих органов	11,36
Срыв шпонки	0,45
Прочие причины	0,67
Всего	13,59

Из-за угрозы опасных заклиниваний особенно важным свойством системы управления является не только контроль скорости, но и контроль момента сопротивления на валу погружного электродвигателя (ПЭД).

Перспективным направлением развития систем телеметрии для погружного электрооборудования является применение датчиков, которые располагаются наверху погружного оборудования, поскольку расположение датчиков в самой скважине проблематично. Благодаря развитию современной полупроводниковой и микропроцессорной техники, стало возможным использование различных наблюдателей состояния автоматизированных электроприводов (АЭП)[2].

В [3] и [4] представлены варианты компоновки электропривода УЭЦН, в одном случае представляющего собой систему с магнитоупругим датчиком момента и датчиком скорости, а во втором случае использующего для расчета ме-

ханических переменных наблюдатель состояния. Анализ представленных компоновок представлен в табл. 2.

Табл. 2. Сравнительный анализ систем электропривода УЭЦН с наблюдателем состояния и с датчиками механических переменных

Компоновка системы с магнитоупругим датчиком момента и датчиком скорости		Компоновка системы с наблюдателем момента и скорости	
Достоинства	Недостатки	Достоинства	Недостатки
Позволяет оценивать момент на валу двигателя в реальном времени	Дополнительная корректировка конструкции погружных агрегатов УЭЦН	Косвенное измерение момента и скорости двигателя с минимальным количеством датчиков, которые расположены в шкафу станции управления	Необходимость в точном определении параметров двигателя
	Необходимость учета дополнительной инерционности обусловленной длиной вала ПЭД		
Не требует определения параметров двигателя и не зависит от них	Нелинейность характеристики датчика момента	Оценивание происходит в режиме реального времени	Необходимость автоматической настройки параметров наблюдателя
Система позволяет достаточно точно оценивать скорость	Наведение шума в систему, через провода от датчиков к управляющей системе	Упрощение конструкции ЭП, благодаря отсутствию дополнительных датчиков	Зависимость оценённых переменных, от изменения параметров двигателя
	Сложность конструкции датчиков, встроенных в погружное оборудование УЭЦН и их уязвимость к вибрации, солеотложению и коррозии		

На основании представленной таблицы можно сделать вывод о том, что применение наблюдателя состояния для расчета момента и скорости ПЭД в погружных установках для добычи нефти может выступать реальной альтернативой системам с применением датчиков.

Помимо этого применение наблюдателей состояния позволяет упростить конструкцию электропривода путем уменьшения количества датчиков. При этом оценивание механических переменных происходит в режиме реального времени, а все датчики расположены на станции управления без погружения их в скважину, что позволяет увеличить надежность работы системы управления.

Распространенным недостатком использования наблюдателя состояния остается необходимость уточнения параметров двигателя, изменяющихся в процессе его эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ивановский В.Н., Дарищев В.И., Сабиров А.А., Каштанов В.С., Пекин С.С. Скважинные насосные установки для добычи нефти. М: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002. 824 с.
2. Кузнецов Е.М. Электротехнологические установки для нефтедобычи: монография / А.Ю. Ковалев, Е.М. Кузнецов, В. В. Аникин; Минобрнауки России, ОмГТУ; НОУ ВПО «АИПЭ». – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – 160 с.
3. Ведерников В.А. Модели и методы управления режимами работы и электропотреблением погружных центробежных установок: дис. доктора тех. наук. – Тюмень, 2006. – 276 с.
4. Афанасьев К.С. Разработка наблюдателя состояния асинхронного электропривода с повышенной параметрической робастностью: дис. канд. тех. наук. – Томск, 2015. – 106 с.

Научный руководитель: А.С. Глазырин, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЛК ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

М.И. Иванов

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГМ51

Материал посвящен решениям по созданию лабораторных стендов с использованием современных программируемых логических контроллеров (ПЛК) и среды разработки алгоритмов для наглядного представления системы управления электроприводами.

На данный момент на рынке представлено более пятисот наименований ПЛК, цены на которые отличаются в достаточно широком диапазоне. Стоимость самых недорогих из них, например, фирмы ОВЕН начинается от пятнадцати тысяч рублей. Между тем, существует ряд разрозненных аппаратных решений, которые в совокупности представляют собой ПЛК не уступающий в функциональности дорогим контроллерам. Интерес представляет одноплатный компьютер Raspberry Pi [1], на котором возможно реализовать ПЛК и инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации CoDeSys [2]. С помощью данного комплекса можно быстро формировать мнемосхемы и визуализировать процессы автоматизации, что поможет в освоении SCADA систем.

При создании проекта CoDeSys совместимого и полнофункционального ПЛК на плате Raspberry Pi возникает ряд препятствий. Совместимость операционной системы (ОС) Raspberry Pi и комплекса CoDeSys обеспечивается пакетом управления [3]. Плата Raspberry Pi имеет разъемы интерфейсов SPI и I2C, которые можно использовать для создания аналоговых выходов. При этом аналоговые входы находятся на отдельной плате, обеспечивающей совместимость и защиту. Задача аналого-цифрового преобразования решается с помощью интегральной схемы MCP3008 [4] подключенной к плате через интерфейс SPI.

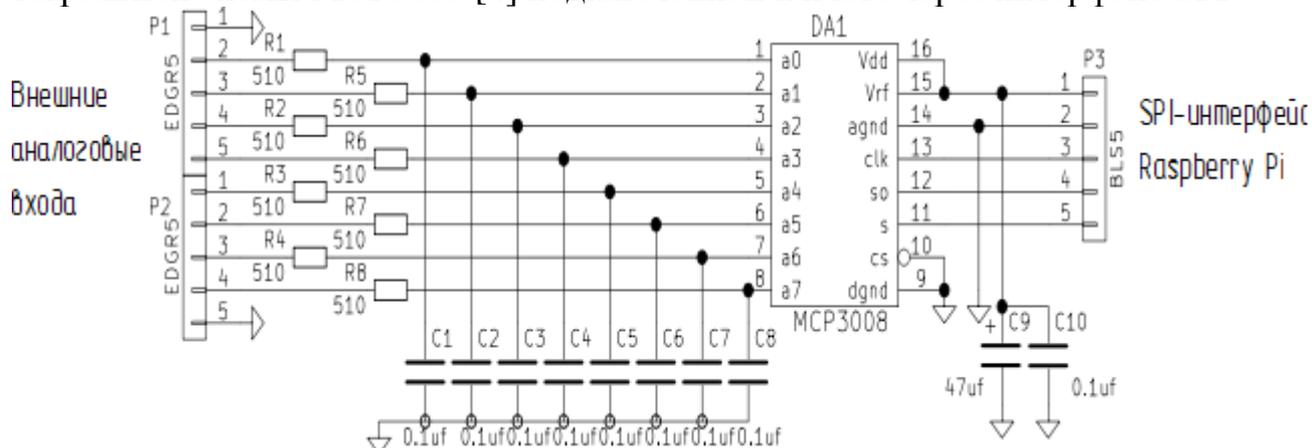


Рис. 1. Принципиальная схема платы аналоговых входов.

Также не вызывает трудность подключение интерфейса I2C платы Raspberry Pi и контроллера PCA 9685 [5] для создания аналоговых выходов. Контроллер PCA 9685 генерирует широтно-импульсную модуляцию (ШИМ), параметры которой можно изменять в среде CoDeSys. Для подключения приводов к аналоговым выходам целесообразно использовать ШИМ с последующей фильтрацией низкой частоты и усилением по постоянному току. Необходимость такого решения вызвана тем, что входное напряжение для электроприводов составляет 0...10В. При создании ПЛК существенным препятствием может стать необходимость отдельного включения использованных выше интерфейсов в ОС Raspberry Pi. Выполнив вход в ОС командой «-sudo raspi-config» открывается меню настроек, где выбирая соответствующие настройки необходимо включить указанные интерфейсы.

```

aaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaa Raspberry Pi Software Configuration Tool (raspi-config) aaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaa
à Setup Options
à
à 1 Expand Filesystem           Ensures that all of the SD card storage
à 2 Change User Password       Change password for the default user (p
à 3 Enable Boot to Desktop/Scratch  Choose whether to boot into a desktop e
à 4 Internationalisation Options  Set up language and regional settings t
à 5 Enable Camera              Enable this Pi to work with the Raspber
à 6 Add to Rastack             Add this Pi to the online Raspberry Pi
à 7 Overclock                  Configure overclocking for your Pi
à 8 Advanced Options           Configure advanced settings
à 9 About raspi-config         Information about this configuration to
à
à
à                               <Select>                               <Finish>
à
aaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaa

```

Рис. 2. Настройка конфигурации Raspberry Pi.

Организация дискретных входов и выходов так же осуществлена с созданием отдельных плат. Для дискретных выходов была выбрана и реализована схема с открытым коллектором с добавлением световой индикации (рис.3.а).

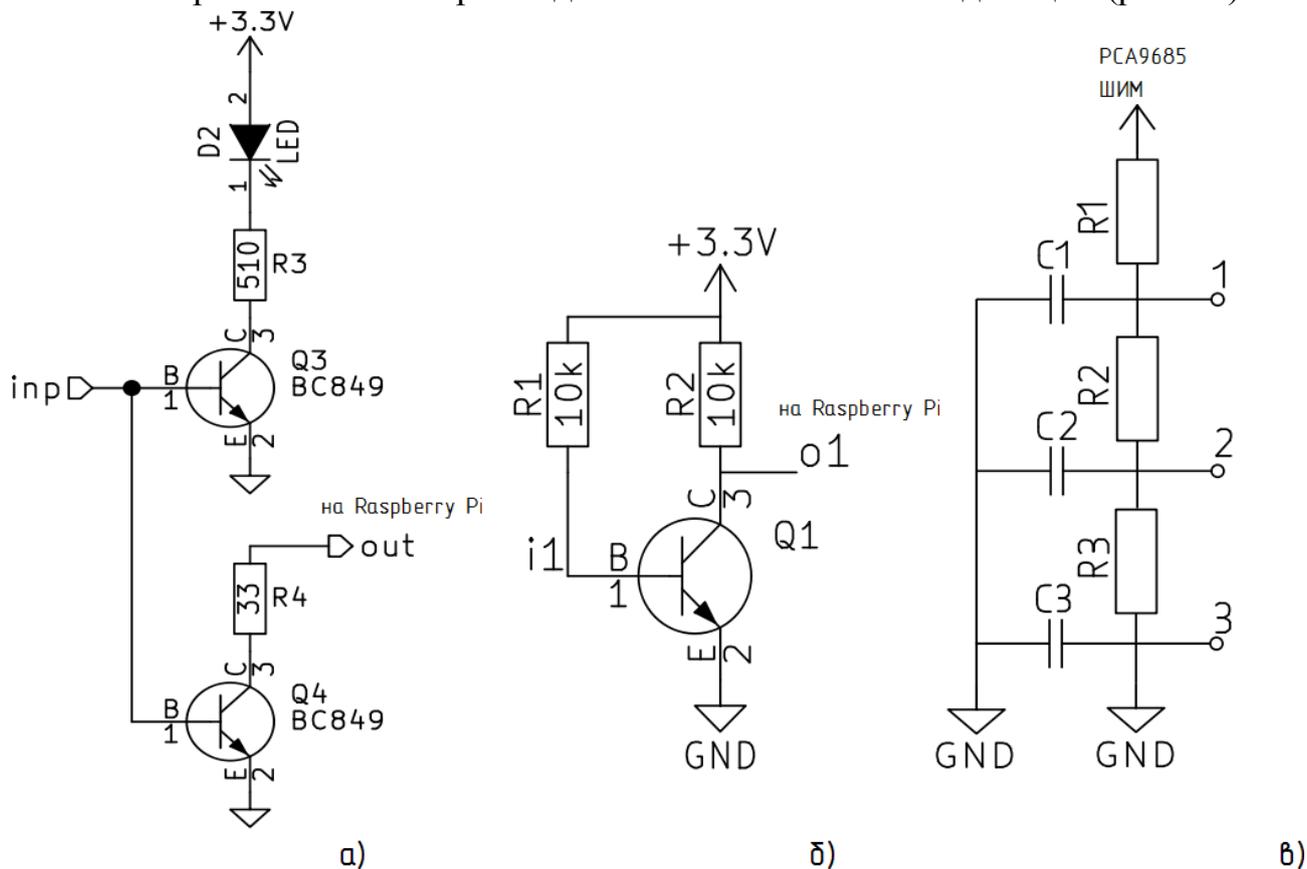


Рис. 3. Принципиальные схемы: а) открытый коллектор; б) ключ; в) RC-цепь.

Дискретные входы требуют защиты от статического напряжения и выполняются с применением ключа (рис.3.б).

Рассмотрим работу контроллера на примере управления внешней RC-цепью, представленной на рис.3в). Сигнал с ШИМ поступает на RC – цепь, с выходов которой можно получить процессы с разными постоянными времени. Таким образом, имитируются самые распространенные объекты динамического управления - инерционные элементы от первого до третьего порядка.

После RC – цепи с помощью аналого-цифрового преобразователя MCP3008 сигнал поступает на SPI интерфейс платы Raspberry PI. В среде CoDeSys создается ПИД-регулятор и мнемосхема алгоритма, позволяющая наблюдать переходный процесс и работу элементов системы. С помощью представленной FVD программы на рис.4, можно исследовать современные [6] и известные [7] методы настройки ПИД регуляторов.

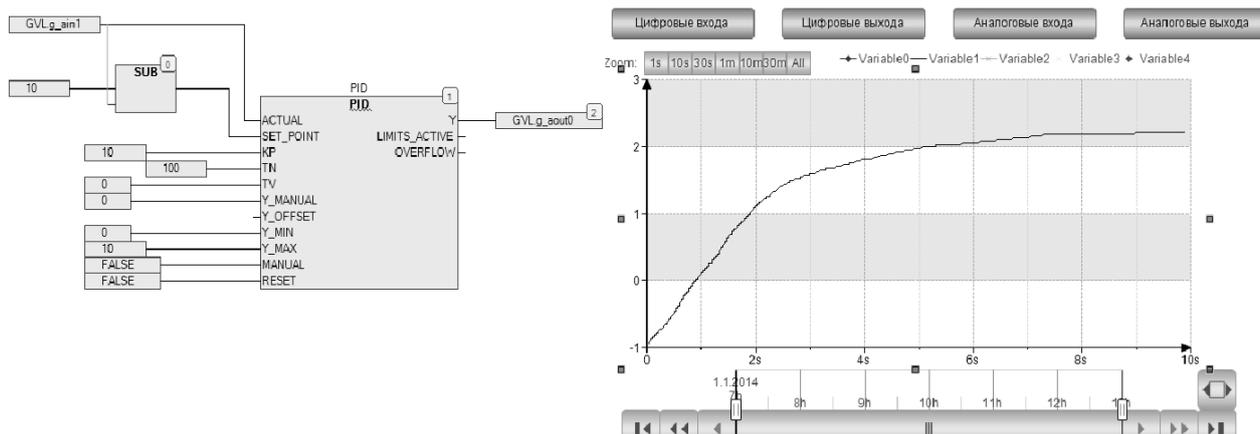


Рис. 4. ПИД-регулятор в среде CoDesys и визуализация сигналов.

Заключение. В работе представлен вариант программно-аппаратного лабораторного стенда на базе ПЛК, позволяющего имитировать режимы работы электроприводов. Определены решения для создания ПЛК из недорогих элементов и сформирована схема проекта, согласующая вместе разрозненные элементы, необходимые для создания стенда. Продемонстрирована возможность разработки, исследований и отладки системы автоматизации на основе CoDeSys.

ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Raspberry Pi Foundation [Электронный ресурс] \\
<https://www.raspberrypi.org/products/> (дата обращения 20.06.16)
2. 3S-Smart Software Solutions GmbH [Электронный ресурс] \\
<https://www.codesys.com/> (дата обращения 20.06.16)
3. Пакет управления CoDeSys для Raspberry Pi [Электронный ресурс] \\
<http://store.codesys.com/codesys-control-for-raspberry-pi-sl.html> (дата обращения 20.06.16)
4. MCP3008 Datasheet [Электронный ресурс] \\
<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MCP3008.pdf> (дата обращения 20.06.16)
5. PCA9685 Datasheet [Электронный ресурс] \\
<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/PCA9685.pdf> (дата обращения 20.06.16)
6. Shen J.-C., Chiang H.-K.. PID tuning rules for second order systems. - 5th Asian Control Conference, vol. 1, 20-23 July 2004, p.472 - 477.
7. Ziegler J. G., Nichols N. B. Optimum settings for automatic controllers. - Trans. ASME, vol. 64, p. 759–768, 1942.

Научные руководители: В.Г. Букреев, д.т.н., проф., каф. ЭПЭО;
А.А.Шилин, д.т.н., проф., каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ С ПОМОЩЬЮ СРЕДЫ CODESYS

Д.Э. Ким, А.Б. Асылханов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, гр. 5ГМ5А

С появлением современных автоматизированных систем управления технологическими процессами АСУ ТП, реализованных на программируемых логических контроллерах (ПЛК), для специалистов стали доступны удобные инструменты, позволяющие значительно упростить процесс настройки динамических параметров замкнутых систем. Возможности использования ПЛК позволяют создавать технические решения, позволяющие не только эффективно организовать процесс настройки, но и выполнять научные исследования на удаленных действующих объектах управления. Проблема реализации задач контроля и настройки удаленных объектов управления весьма актуальна и ее решения достаточно хорошо представлены в научной литературе. В работе [1] предлагается использование встроенного *web*-сервера в рамках достаточно мощных ПЛК, где используется *CGI* технология передачи данных в *XML* формате. При этом возможно реализовать доступный *web*-интерфейс отображения данных и управление удаленным объектом, однако для использования данной технологии требуются знания в области верстки *web*-страниц и *CGI* технологии программирования серверов. Подобная задача удаленного контроля рассматривается в [2], где задачи, требующие точности измерения в реальном времени, решена с помощью использования программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Такой подход требует глубоких знаний в области схемотехники. Еще одно техническое решение [3] использует непосредственное программирование микропроцессора, такая реализация подобных систем доступна системным программистам.

В данной работе предложено решение, доступное специалистам знакомым со *CoDeSys* – средой программирования ПЛК на технологических языках программирования, которые более доступны и понятны специалистам в области автоматизированных систем управления.

В качестве исследуемого объекта управления рассмотрим замкнутый контур управления температурой в системе вентиляции, где исполнительным элементом является асинхронный двигатель (АД) с преобразователем частоты (ПЧ). Обычно температуру поступающего воздуха регулируют посредством управляемого клапана, через который поступает теплоноситель, нагревающий воздух в теплообменнике. Задача управления температурой с помощью ПЧ-АД возникает в исключительных случаях при очень низких температурах на улице, когда поступающего теплоносителя через полностью открытый клапан недостаточно и, именно в этом случае, заданная температура обеспечивается понижением объема нагреваемого воздуха. В руководствах к реализации подобных систем известных авторам контур управления температурой средствами ПЧ АД, как правило, недостаточно качественно описан. Это связано с тем, что

этот режим управления возникает достаточно редко и система не может быть настроена во время выполнения работ по отладке и вводу ее в эксплуатацию. Для настройки требуется ждать появления внешних условий, приводящих к такому режиму управления, при этом часто сам объект управления эксплуатируется в труднодоступных местах.

В этой связи, задача организации экспериментальных работ на объекте и его настройка средствами дистанционного управления актуальна и ее решение может быть привлекательно для специалистов в области автоматизации управления.

Процедура настройки контура связана с выполнением эксперимента на объекте управления с целью оценки динамических свойств объекта. Обычно требуется получить переходную характеристику. Задачу организации выполнения эксперимента решается средствами программирования ПЛК, включив несколько дополнительных элементов функциональной логики как, показано на рис.1.

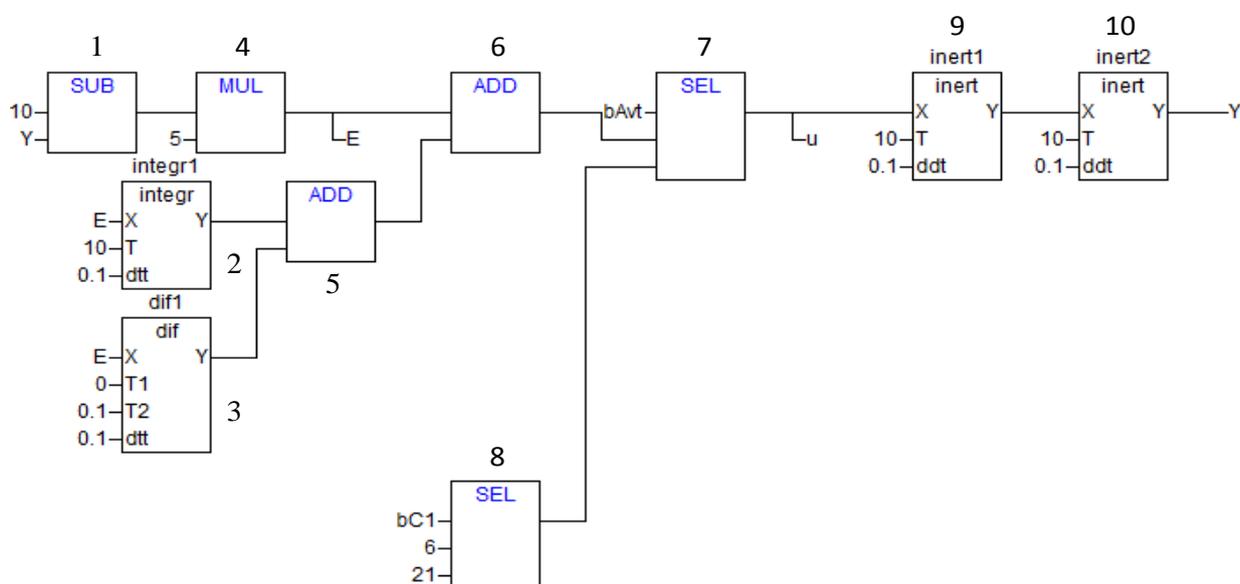


Рис. 1. Элементы FBD программы

На рисунке 1 в блоках, обозначенных цифрами 1-6, реализован классически пропорционально интегрально дифференциальный (ПИД) регулятор. Блоки 7 и 8 предназначены для коммутации сигнала управления в трех режимах:

1. режим автоматической работы при значении флага $bAvt=TRUE$;
2. режим формирования возрастающего переходного процесса при значениях флагов $bAvt=FALSE$ и $bC1=FALSE$;
3. режим формирования спадающего переходного процесса при значениях флагов $bAvt=FALSE$ и $bC1=TRUE$.

Среда программирования *CoDeSys* [4] позволяет сохранять переходный процесс в автоматическом режиме без участия человека в виде ряда измерений до 500 точек и загрузить его в персональный компьютер в удаленном режиме средствами ПЛК. Полученного ряда значений достаточно для получения качественного переходного процесса представленного на рисунке 2.

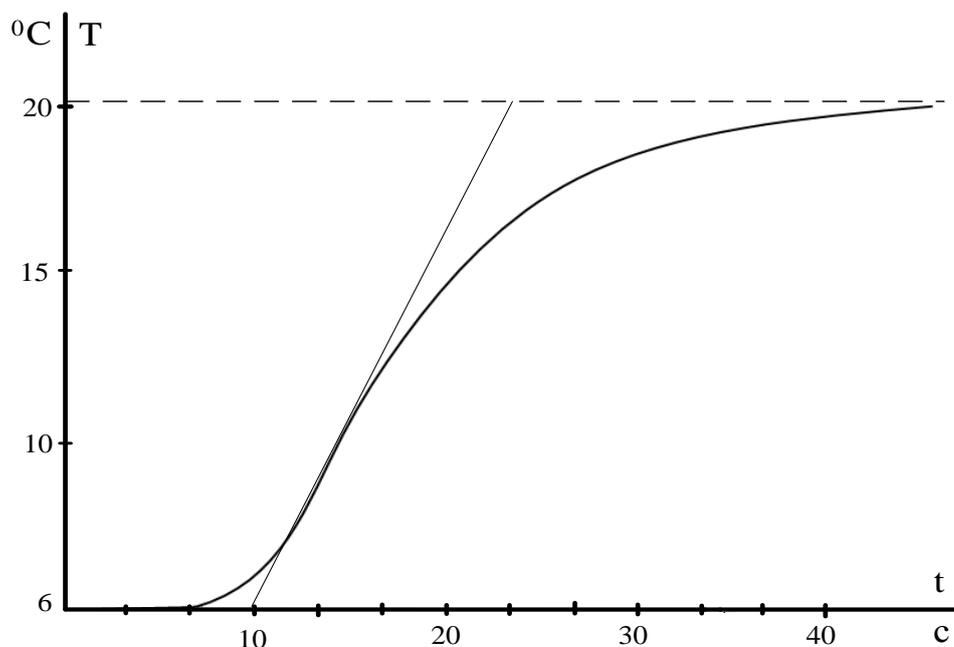


Рис. 2. Переходный процесс объекта управления

Из переходного процесса можно получить параметры линейной математической модели объекта второго порядка в виде передаточной функции

$$W_{ob}(s) = \frac{k_{ob}}{(1 + T_{ob1}s)(1 + T_{ob2}s)}, T_{ob2} \leq T_{ob1} \quad (1)$$

где постоянные времени объекта T_{ob1} и T_{ob2} вычисляются графически из рис. 1. Коэффициент передачи объекта K_{ob} управления можно вычислить как отношение изменения выходной температуры объекта к изменению входного значения сигнала управления, поступающего в ПЧ-АД.

Настройка удаленного объекта может быть выполнена известными в теории автоматического управления средствами, такими как метод Зинглера-Николса [5,6] или эмпирическими формулами, обеспечивающие симметричный оптимум ПИД регулятора по выражениям:

$$k_p = \frac{T_{02}}{2\kappa_0 T_{01}}, T_i = 4T_{01} \quad (2)$$

Результат выполнения предложенной методики настройки замкнутого контура управления с ПЧ-АД представлен на рис. 3., полученный такими же средствами, какими был получен переходный процесс объекта управления, рис. 2.

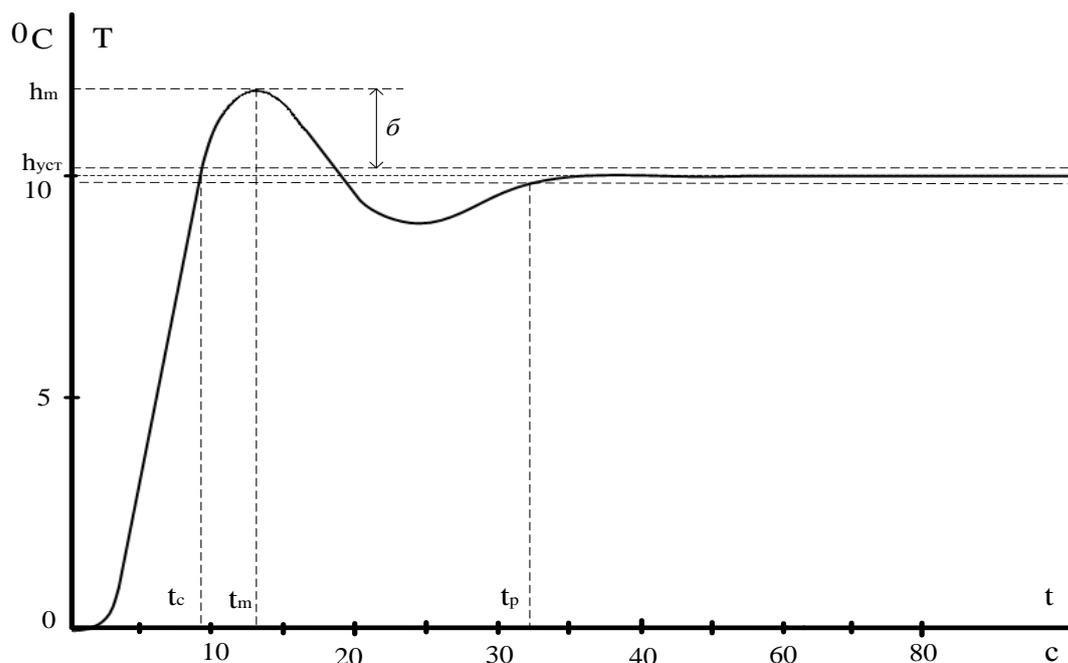


Рис. 3. Оптимальный переходный процесс системы, настроенной по предложенной методике

Заключение. Предложенный метод удаленной настройки динамических параметров замкнутых систем может быть распространен и за рамки систем вентиляции с ПЧ-АД, где актуальна задача настройки удаленного или труднодоступного объекта управления. Для реализации метода достаточно иметь небольшие навыки *FBD* программирования весьма схожие со средствами, используемыми в таких популярных программах, как *MatLab*. Метод содержит три простых этапа: изменение программы, формирования режима генерации переходного процесса объекта управления и, собственно, интеллектуальная часть работы по выбору и реализации современных методов настройки замкнутых систем.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Xu, S.-P., Li, J., Zhao, Y.-F. The remote PLC control system based on the embedded web server (2014) *Applied Mechanics and Materials*, 556-562, pp. 2321-2324.
2. Fang, Z., Zhao, J., Tang, H., Wu, G. Design and implementation of embedded remote control system in high-precision time data acquisition (2015) *Proceedings - 2015 11th International Conference on Computational Intelligence and Security, CIS 2015*, art. no. 7396268, pp. 125-128.
3. Wang, D. Embedded arm control architecture for remote PID controller (2013) *Advanced Materials Research*, 816-817, pp. 394-397.
4. SciLab enterprises. Open source software for numerical computation [электронный ресурс] // <http://www.scilab.org> (дата обращения: 20.06.15).
5. Shen J.-C., Chiang H.-K.. PID tuning rules for second order systems. - 5th Asian Control Conference, vol. 1, 20-23 July 2004, p.472 - 477.

6. Ziegler J. G., Nichols N. B. Optimum settings for automatic controllers. - Trans. ASME, vol. 64, p. 759–768, 1942.

Научный руководитель: А.А. Шилин, д.т.н., профессор кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРА НА БАЗЕ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

Д.И. Антяскин

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ65

Ещё в древности применялись попытки организовать вентиляцию закрытых помещений. Вплоть до начала XIX века вентиляция помещений как правило сводилась к естественному проветриванию, которое обеспечивало поступление свежего воздуха. М.В. Ломоносов впервые создал теорию о том, как организовать естественное движение воздуха по трубам и каналам. Следующим шагом была разработка и изложение положений, определяющих интенсивность воздухообмена через неплотности наружных ограждений в помещениях с отоплением.

Технология вентилирования помещений начала быстро развиваться после появления центробежных вентиляторов. В 1832 году впервые А. Саблуковым был предложен успешно работающий экземпляр. Через три года, в 1835 году он был использован для организации вентиляции Чагирского рудника на Алтае. Саблуков сразу же предположил, что его использование будет эффективно при вентиляции помещений, трюмов кораблей, для ускорения испарений и сушки. Как следствие, уже к концу XIX века вентиляция с механическим побуждением начала получать широкое распространение.

Вентиляторы, применяемые для перемещения воздуха, можно разделить на три основных вида по типу конструкции:

- осевые (аксиальные);
- центробежные (радиальные);
- диаметральные (тангенциальные).

Как правило, вентиляторы используются для перемещения и перемешивания воздушных масс (иными словами для вентиляции помещений), для снабжения процесса горения кислородом посредством нагнетания воздуха (воздуходувки).

1. Устройства плавного пуска и их функции

При использовании системы «асинхронный двигатель-вентилятор» рекомендуется применять устройства плавного пуска.

Наиболее простым и часто используемым способом включения асинхронного двигателя является прямой пуск непосредственным его подключением к сети. Такое включение сопровождается значительным увеличением пускового тока, который может превышать номинальный в несколько раз. Также

наблюдаются колебания момента, которые по значению существенно превышают номинальный. Такие скачки тока и момента приводят к большим нагрузкам как на сеть, так и на механизм.

Применяются они в достаточно большом количестве механизмов, однако наибольший интерес представляют именно вентиляторы. Известно, что вентиляторы обладают большой инерционностью и требуют достаточно большого времени разгона. Прямой пуск такого механизма даёт сильное увеличение нагрузки на сеть и, как следствие, уменьшение напряжения в питающей сети, появляются большие нагрузки в подшипниках и кинематике. При использовании ременных передач может наблюдаться их проскальзывание. Плавный пуск значительно снижает вероятность возникновения подобных ситуаций.

Для обеспечения плавного пуска системы с тиристорным регулятором напряжения и с преобразователем частоты могут рассматриваться как одинаково эффективные. В наше время преобразователь частоты является наиболее эффективным и перспективным, имеет достаточно небольшие массогабаритные показатели, достаточно высокое значение КПД, а также широкий диапазон регулирования. Однако их существенным недостатком является стоимость

В данном случае система с тиристорным регулятором напряжения имеет явное преимущество, так как крайне эффективно проявляет себя при использовании в установках, которые не требуют большого диапазона регулирования (насосы, вентиляторы), но нуждаются в безударном пуске. Поскольку, как говорилось выше, прямой пуск, особенно мощны АД, приводит к уменьшению напряжения и появлению ударных токов в сети, что негативно сказывается на работе других потребителей электрической энергии и может привести к аварии. ТРН может обеспечить эффективный плавный пуск двигателя, имеет небольшие массогабаритные показатели, а также значительно меньшую стоимость в сравнении с преобразователем частоты. Именно поэтому система ТРН-АД будет принята за основу в данной работе и будет использоваться как устройство плавного пуска.

2. Параметры вентилятора

В данной работе будет рассмотрен вентилятор ВР 120-28 №6,3 1-е исполнение. В таблице 1 приведены параметры данного вентилятора.

Табл. 1. Технические данные вентилятора

Типоразмер вентилятора	Параметры в рабочей зоне		Масса, не более, кг	Виброизоляторы	
	Произ-ность, тыс. м ³ /час	Полное давление, Па		Тип	Кол-во

Рассчитаем объем помещения, которое может обеспечить данный вентилятор, при условии, что кратность воздухообмена равна трем:

Зная производительность вентилятора и кратность воздухообмена, можем рассчитать, помещение какого объема может обеспечить данный вентилятор:

$$V = \frac{Q}{k} = \frac{7 \cdot 10^3 \text{ м}^3 / \text{час}}{3} = 2300 \text{ м}^3 ;$$

где $k = 3$ о.е. – кратность воздухообмена, обусловленная особенностями помещения.

В составе выбранного вентилятора поставляется асинхронный электродвигатель, представленный в таблице 2:

Табл. 2. Краткие данные электродвигателя

Электродвигатель		
Модель	Мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
АИР180М2	30	3000

3. Создание имитационной модели в среде MatLabSimulink

Следующим этапом работы является моделирование работы системы при прямом и плавном пуске в среде MatLabSimulink.

В результате моделирования были получены следующие графики переходных процессов:

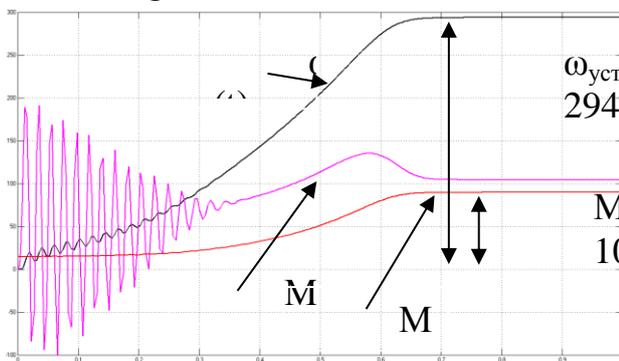


Рис. 2. Переходные процессы в АД при прямом пуске с вентиляторной нагрузкой

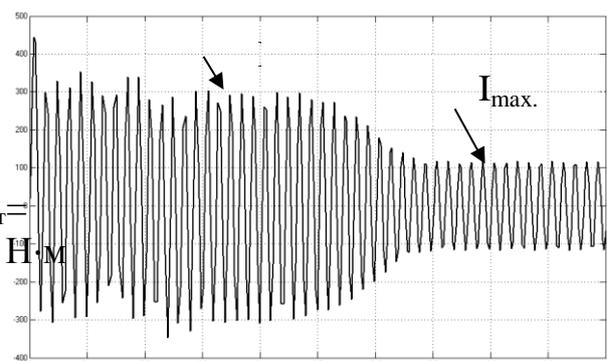


Рис. 3. Переходный процесс тока статора АД при прямом пуске с вентиляторной нагрузкой

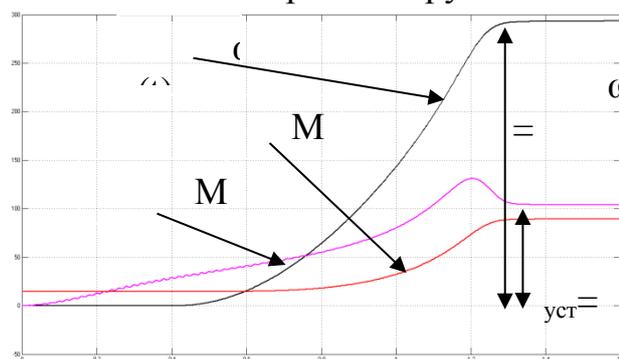


Рис. 4. Переходные процессы в АД при плавном пуске с вентиляторной нагрузкой

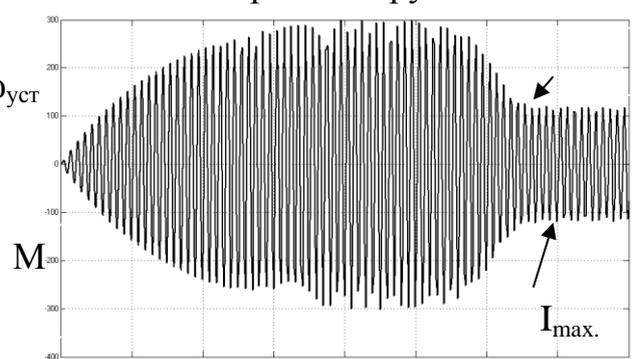


Рис. 5. Переходный процесс тока статора АД при плавном пуске с вентиляторной нагрузкой

На основании полученных графиков переходных процессов можно сделать вывод, что устройство плавного пуска, на основе тиристорного регулятора напряжения действительно помогает избежать всех неблагоприятных воздействий на электропривод, возникающих при холостом пуске. Снижается пусковой ток электродвигателя, уменьшаются колебания механического момента в кинематике, что ведет к значительному увеличению срока службы двигателя,

повышению его надежности. Также позволяет полностью избежать негативного влияния двигателя на питающую сеть, проявляющуюся в уменьшении напряжения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением / Шубенко В.А., Браславский И.Я. – М., «Энергия», 1972.
2. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.

Научный руководитель: Д.Ю. Ляпунов, к.т.н., доцент кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОПРИВОД ЛИФТА ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ

А.Г. Колесник, Н.А. Воронина
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ67

Современное общество и индустрия не стоит на месте, а постоянно совершенствуется, что приводит к созданию новых экономических систем электроэнергетики на производстве и в быту [6,7]. Системы управления техническими процессами, как правило, автоматизированы.

Под автоматизированным электроприводом понимают электромеханическую систему, которая состоит из передаточного, преобразовательного, электродвигательного устройства, которые служат для того, чтобы привести исполнительные механизмы в движение, а также управлять ими. Главным элементом электропривода, который преобразует электрическую энергию в механическую, является электродвигатель [2]. В современном электроприводе применяются различные двигатели, которые имеют свою индивидуальную конструкционную особенность. Двигателем чаще всего управляют с помощью некоторых управляющих и преобразовательных устройств. Главная задача, с помощью автоматизированного электропривода, обеспечить оптимальный режим работы машины, чтобы достичь наибольшей производительности.

В данной работе проводились исследования для электрооборудования и электропривода лифта высотного здания. Лифт – механизм вертикального транспорта, предназначенный для транспортировки пассажиров и грузов в жилых и производственных помещениях и зданиях. [1].

На рис. 1 показана кинематическая схема механизма подъема пассажирского лифта.

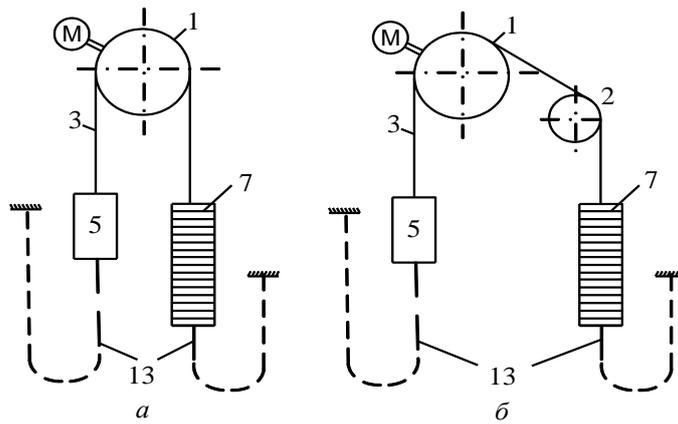


Рис. 1. Кинематическая схема лифта $H \leq 75\text{м}$

В работе были рассчитаны следующие параметры:

1. Подъем кабины с грузом:

$$M_{c1np} = (G_k + K_1 \cdot G_2 - G_{np}) \cdot 10^3 \cdot R / (\eta_{np} \cdot i) = 78 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2. Подъем кабины без груза:

$$M_{c2np} = (-G_k + G_{np}) \cdot 10^3 \cdot R / (\eta_{обр} \cdot i) = 62,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3. Спуск кабины с грузом:

$$M_{c3np} = (G_k + K_1 \cdot G_2 - G_{np}) \cdot 10^3 \cdot R / (\eta_{обр} \cdot i) = 84,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

4. Спуск кабины без груза:

$$M_{c4np} = (-G_k + G_{np}) \cdot 10^3 \cdot R / (\eta_{np} \cdot i) = 57,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Из данных расчётов [1] видно, что самый большой момент имеет M_{c3np}

Из этого следует, что самый тяжёлый режим является спуск кабины с грузом.

На рис. 2 изображена нагрузочная диаграмма.

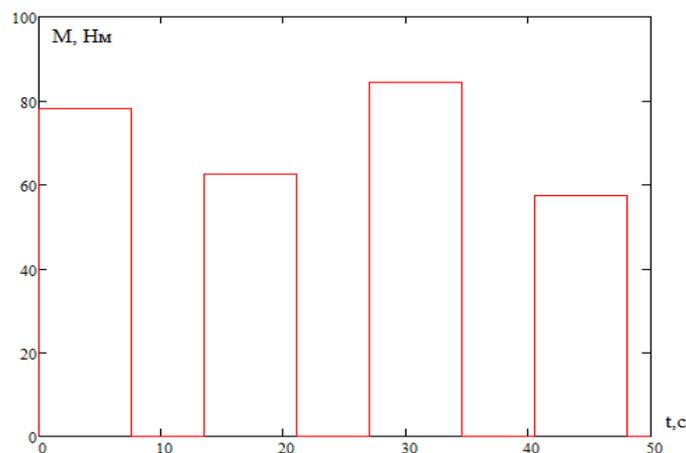


Рис. 2. Статическая нагрузочная диаграмма

Рассчитано эквивалентное значение момента за цикл:

$$M_{\text{Э}} = \sqrt{\frac{M_{c1np}^2 \cdot t_1 + M_{c2np}^2 \cdot t_2 + M_{c3np}^2 \cdot t_3 + M_{c4np}^2 \cdot t_4}{4 \cdot T_{\text{Ц}}}} = 53,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчетная мощность электродвигателя при скорости вращения

$$\omega_{\text{дв}} = 104,7 \text{ с}^{-1} \text{ учетом ПВ:}$$

$$P_{расч} = \omega_{дв} \cdot M \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{ПВ_{ст}}} = 5,4 \text{ Вт}$$

Из условия: $P_{расч} < P_{дв}$ для исследований выбран двигатель [3] типа А132М6. Выбран преобразователь ESQ 9000-0744 [4]. Принципиальная схема преобразователя приведена на рис.3.

Преобразователь частоты двухзвенный с промежуточным контуром тока. Первое звено преобразователя частоты – управляемый выпрямитель на тиристорах, промежуточный контур постоянного тока – реактор. Второе звено – автономный инвертор тока (АИТ), выполнен на запираемых тиристорах ГТО. АИТ содержит конденсаторы, которые являются источником реактивной энергии для нагрузки ПЧ [4, 5].

Основные достоинства ПЧ с АИТ:

- возможность рекуперации энергии в сеть;
- выходное напряжение изменяется по закону, близкому к синусоидальному;
- безаварийность режима короткого замыкания на выходе.

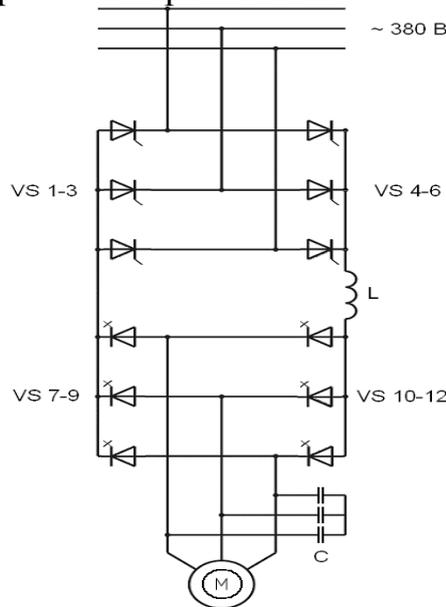


Рис. 3. Принципиальная схема силовой части преобразователя частоты

По данным расчётами на основе модели были построены графики переходных процессов, изображенные на рисунках 4, 5.

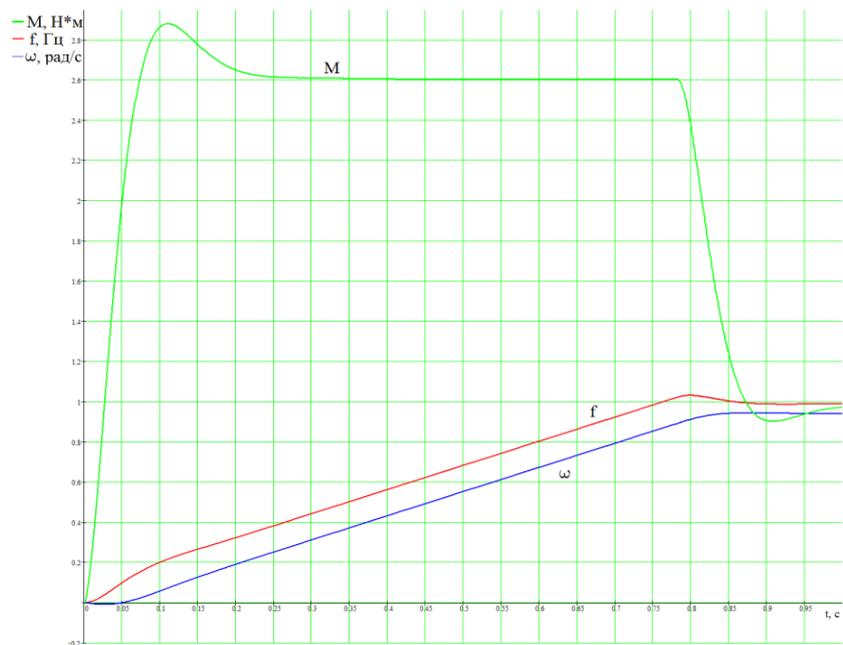


Рис. 4. Графики переходных процессов при пуске

Как видно из графиков, при пуске скорость достигает заданного значения за время равное 0,3с, при этом частота питающего напряжения достигает значения 50 Гц. При торможении (рис.5) параметры без колебания выходят в начальное состояние.

В процессе исследования был разработан электропривод пассажирского лифта для высотного здания. На этапе предварительного рассмотрения вариантов реализации электропривода произведен сравнительный анализ существующих систем электроприводов и, по результатам расчета, отдано предпочтение системе на базе электропривода постоянного тока с электродвигателем независимого возбуждения.

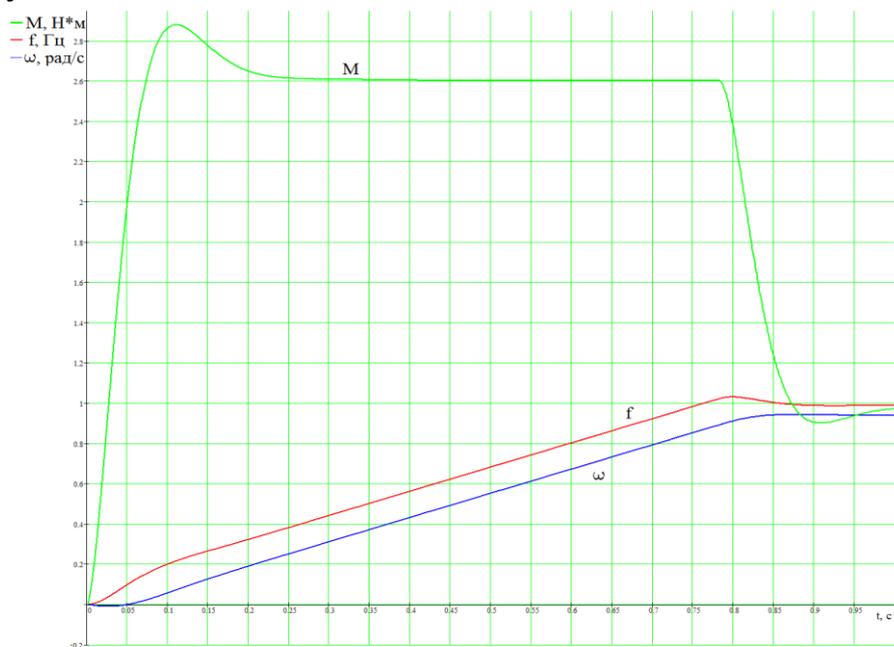


Рис. 5. Графики переходных процессов при торможении

Произведен расчет и выбор электродвигателя. Оценка динамических показателей и качества регулирования скорости перемещения производилось ме-

тодом моделирования переходных процессов на ЭВМ. Результаты, полученные при моделировании, свидетельствуют о том, что спроектированный электропривод имеет хорошие динамические показатели и отвечает всем требованиям, предъявляемым к пассажирским лифтам.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов – М.: ФОРУМ, 2010. – 352 с.: ил.
2. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов.– М.: Энергия, 1980.– 360 с. :ил.
3. Справочник по электрическим машинам: В 2 т./Под общ.ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. Т.2. – М.: Энергоатомиздат, 1988.- 456 с.
4. Петрович В.П., Воронина Н.А., Глазачев А.В. Силовые преобразователи электрической энергии. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009 г. – 240 с.
5. Колесник А.Г., Воронина Н.А.// Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи : материалы III российской молодежной научной школы-конференции, г.Томск, 2015 г. – С.164-168.
6. L.A. Payuk, N.A. Voronina, O.V. Galtseva, “Energy Characteristics of Electric Drive of Oscillatory Motion at the Shock-Free Start”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 671, 2016, 012044, <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/671/1/012044>
7. L.A. Payuk, O.A. Grechko, N.A. Voronina, “Grid Wind Power Plant with Compensation of Active and Reactive Power, Applied Mechanics and Materials”, vol. 792, 2015, pp. 379-385.

Научный руководитель: Н.А. Воронина, к.т.н., кафедра ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ ГИБРИДНОГО АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

¹Е.П. Сенькив, ²И.А. Розаев

^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, ¹гр. 5АМ65

В настоящее время наметилась устойчивая тенденция применения схемы совместного использования электродвигателя и двигателя внутреннего сгорания (ДВС), что дает возможность избежать работы ДВС в режиме небольших нагрузок, а также повысить топливную эффективность силовой установки и реализовывать рекуперацию кинетической энергии. Преимущества: экономная эксплуатация, экологическая чистота, улучшенные ходовые характеристики, увеличение дальности пробега, сохранение и повторное использование энергии,

обычная заправка топливом. Недостатки: высокая сложность, утилизация аккумуляторов, подогрев салона, опасность для пешеходов (из-за своей бесшумности).

Одним из основных элементов электромобиля является – электродвигатель, который служит для создания необходимого для движения крутящего момента. В качестве тягового электродвигателя используют трехфазные асинхронные электрические машины переменного тока мощностью от 15 до 200 и более кВт. ДВС электродвигатель имеет высокую эффективность и меньшие потери энергии. КПД электродвигателя составляет 90% против 25% у ДВС.

Требуемая мощность двигателя в зоне длительной работы с постоянным потоком можем рассчитать по следующей формуле:

$$P_{mp} = g \cdot F_{тр} \cdot m \cdot V \cdot C_x \cdot S \cdot V^2 + g \cdot m \cdot \sin \alpha = \\ = 9.8 \cdot 0.092 \cdot 1525 \cdot 45 + 2 \cdot 2.1 \cdot (45)^2 + 9.8 \cdot 1525 \cdot \sin 20 = 75,$$

где g – ускорение свободного падения; $F_{тр}$ – трение качения по асфальту; m – полная масса транспортного средства; V – скорость движения, максимальная; C_x – коэффициент обтекаемости; S – лобовая площадь кузова; α – угол наклона дорожного полотна.

Основными преимуществами электродвигателя являются: реализация максимального крутящего момента во всем диапазоне скоростей; возможность работы в двух направлениях без дополнительных устройств; простота конструкции, воздушное охлаждение; возможность работы в режиме генератора.

Функциональные возможности отказоустойчивого асинхронного электропривода для гибридного транспортного средства. Асинхронный трехфазный двигатель подключен к преобразователю частоты, выполненному по мостовой схеме на шести ключах и подключенному по цепям питания к накопителю электрической энергии. В этом случае в рабочем трехфазном режиме создается круговое вращающееся поле и в обмотках двигателя протекают трехфазные токи с фазовым сдвигом $2\pi/3$.

При обрыве обмотки статора в приводном двигателе или отказе одного из ключа в преобразователе частоты приводного двигателя круговое вращающееся поле рабочего двигателя, после аварии становится пульсирующим с нулевым вращающим моментом, так как процесс формирования трехфазных токов зависит от протекающего тока в соседней фазе двигателя. В двух работоспособных фазах, токи будут иметь весьма похожую амплитуду с фазовым сдвигом π . При подключении нулевого провода асинхронных двигателей выходным напряжением бортового источника электрической энергии в трехфазном рабочем режиме, также будут формироваться трехфазные токи, но протекание токов в каждой фазе теперь не будет зависеть от соседней фазы. И при потере работоспособности одной из фаз в двух оставшихся фазах будут формироваться двухфазные токи с фазовым сдвигом $2\pi/3$. Поле в зазоре электрической машины будет эллиптическим. Активная мощность двигателя упадет на 33% и эллиптическое поле не обеспечит равномерности вращения двигателя, но будет обеспечена ограниченная функциональность с формированием свойства живучести привода колеса. При соответствующем снижении на 33% мощности в соседнем при-

воде колеса управляемость транспортного средства будет восстановлена. Функциональная схема представлена на рис.1.

Работа отказоустойчивого гибридного транспортного средства. Водитель транспортного средства с пульта 10 (ПУ) съемным ключом зажигания подает на бортовой компьютер 9 (МК), сигнал включения бортового источника 1 (ИЭЭ) электропитания гибридного транспортного средства. Режим движения. При этом бортовой компьютер 9 (МК) подает управляющий сигнал на преобразователь 3 (ПЭЭ) для его подключения к силовым аккумуляторам накопителя 2 (НЭЭ) и преобразования постоянного напряжения указанных аккумуляторов в переменное трехфазное напряжение. Далее водитель включает направление движения транспортного средства рычагом «вперед-назад». При этом бортовой компьютер 9 (МК) выдает сигнал на электронный преобразователь 3.1 (ПЭЭ) для переключения статорных обмоток двигателей 6 (АД) в выбранное направление вращения привода колес 4.1 (ПК). Затем водитель педалью скорости движения транспортного средства задает через бортовой компьютер 10 (ПУ) на электронный преобразователь 3.1 (ПЭЭ) частоту трехфазного напряжения, пропорциональную скорости вращения привода колес 4.1 (ПК). При этом трехфазное напряжение заданной частоты электронного преобразователя 3.1 (ПЭЭ) подается одновременно на статорные обмотки двигателей 6 (АД), передних и/или задних колес 4.1 (ПК) в зависимости от выбранного водителем режима движения исходя из качества дороги и скоростных ограничений.

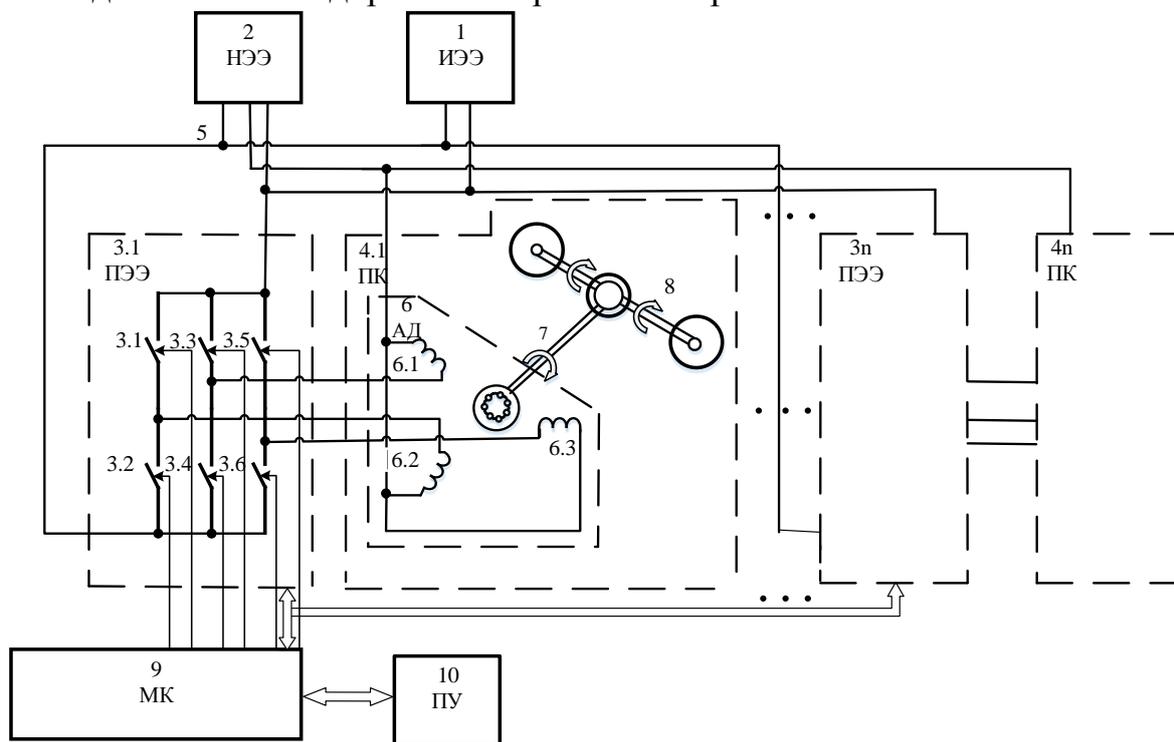


Рис. 1. Функциональная схема отказоустойчивого гибридного транспортного средства с одним приводом и дифференциальной передачей на два ведущих колеса

Работа отказоустойчивого гибридного транспортного средства. Водитель транспортного средства с пульта 10 (ПУ) съемным ключом зажигания подает на бортовой компьютер 9 (МК), сигнал включения бортового источника

1 (ИЭЭ) электропитания гибридного транспортного средства. Режим движения. При этом бортовой компьютер 9 (МК) подает управляющий сигнал на преобразователь 3 (ПЭЭ) для его подключения к силовым аккумуляторам накопителя 2 (НЭЭ) и преобразования постоянного напряжения указанных аккумуляторов в переменное трехфазное напряжение. Далее водитель включает направление движения транспортного средства рычагом «вперед-назад». При этом бортовой компьютер 9 (МК) выдает сигнал на электронный преобразователь 3.1 (ПЭЭ) для переключения статорных обмоток двигателей 6 (АД) в выбранное направление вращения привода колес 4.1 (ПК). Затем водитель педалью скорости движения транспортного средства задает через бортовой компьютер 10 (ПУ) на электронный преобразователь 3.1 (ПЭЭ) частоту трехфазного напряжения, пропорциональную скорости вращения привода колес 4.1 (ПК). При этом трехфазное напряжение заданной частоты электронного преобразователя 3.1 (ПЭЭ) подается одновременно на статорные обмотки двигателей 6 (АД), передних и/или задних колес 4.1 (ПК) в зависимости от выбранного водителем режима движения исходя из качества дороги и скоростных ограничений.

Нажатие водителем на педаль тормоза обеспечивает выдачу бортовым компьютером 9 команд на электронный преобразователь 3.1 (ПЭЭ) для переключения обмоток статора двигателей 6 (АД) на обратное движение и для изменения частоты напряжения, пропорциональной силе нажатия на педаль тормоза. При этом двигатели 6 (АД) переходят на режим генерации электроэнергии, а именно преобразования при торможении колес энергии инерции транспортного средства в электрическую энергию. При возникновении аварии: обрыве одной из фазы обмотки статора двигателя 6 (АД) происходит падение мощности, падает скорость движения. По управляющему входу в бортовой компьютер 9 (МК) поступает информация о снижении потребления тока электронным преобразователем 3.1 (ПЭЭ) и на пульте управления 10 (ПУ) появляется информация об аварии и о доступном остаточном ресурсе по мощности приводного двигателя 6 (АД). Скорость движения уменьшается. В случае пуска транспортного средства после не устраненной аварии процесс начала движения транспортного средства не отличается от нормальной эксплуатации, с учетом ограничений по сниженной мощности привода колеса, которая сохраняется в бортовом компьютере 10 (ПУ) и выводится на пульт управления 10 (ПУ). В схему заложено решение проблемы по отказоустойчивости асинхронного электропривода (рис. 1).

Выводы. Очевидно, что повышение отказоустойчивости неразрывно связано с живучестью электроприводов, обеспечивающих функциональные свойства электромобиля в заданных пределах. Обеспечить свойство живучести возможно на основе технологии построения избыточных систем, используя комбинацию следующих видов резервирования: структурного, функционального, временного, информационного и нагрузочного.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Глухов Д.М. Моделирование многофазных асинхронных двигателей в аварийных режимах: автореферат Изд-во ТПУ, 2005. – 18 с.
2. Патент РФ на изобретение № 2460190(RU), Н02Н 7/09, Н02Н 7/12, Н02Н 7/122. Способ управления и обеспечения живучести трехфазного асинхронного двигателя вращательного или поступательного движения/ Г.И. Однокопылов, И.Г. Однокопылов, Ю.Н. Дементьев, Й. Центнер – № 2011113290; Заявл. 06.04.2011; Оpubл.27.08.2012 Бюл. № 24.
3. Однокопылов Г.И., Брагин А.Д. Исследование в среде *MatLab Simulink* трехфазного асинхронного электропривода в аварийном двухфазном режиме работы // «Технические науки — от теории к практике»: материалы XVI международной заочной научно-практической конференции. — Новосибирск, 2012. — с. 125-130.

Научный руководитель: Г.И. Однокопылов, к.т.н., доцент кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСИЛИЙ В САМОТормозящихся ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ

В.Е. Королев, И.С. Шлюев
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ67

Постановка проблемы. Нормальная эксплуатация грузоподъемных машин и механизмов и станков с числовым программным управлением (ЧПУ) невозможна без электродвигателей снабженных надежно действующими тормозными устройствами. Как показывает обзор современной патентной отечественной литературы и промышленно развитых зарубежных стран (Англия, Германия, Италия, США, Франция и т.д.), что до настоящего времени не удалось создать идеальных электродвигателей с тормозными устройствами [1, 2, 3].

Кроме этого технологические процессы грузоподъемных машин и механизмов и станков с ЧПУ на разных этапах работы требуют движение рабочего органа с различной скоростью, что обеспечивается в современных электроприводах путем электрического регулирования скорости и момента электродвигателя. Для решения этой задачи, как известно, применяют два основных метода частотного управления, а именно: скалярное управление и векторное управление [4].

Поэтому проблема создания компактных двигателей с тормозом и электрических схем торможения, позволяющих обеспечить с наименьшими затратами быстрый и точный останов и фиксацию вала механизма, остается актуальной, а исследования процессов в таких электродвигателях при частотном управлении имеют практическую ценность.

В настоящее время из всех известных конструкций наиболее перспективным для решения отмеченной проблемы является самотормозящийся асинхронный двигатель (СЭД) с электромагнитной вставкой на роторе [1, 5], который получил наибольшее распространение в силу своих конструктивных преимуществ.

Постановка задачи. В настоящее время при решении задач управления процессами в электроприводах и оптимизацией конструктивного исполнения различных устройств наиболее эффективным и универсальным оказывается математическое моделирование. Более того, удачная разработка математической модели является в большинстве случаев залогом успешного решения задач.

При этом математическая модель позволяет провести более глубокие исследования всех режимов работы электрической машины, которые возникают при ее эксплуатации.

Особенностью процессов в самотормозящихся электродвигателях является их многоэтапность, которая сопровождается коммутацией статорных цепей и срабатыванием тормозного устройства. Поэтому разработанная математическая модель асинхронных самотормозящихся электродвигателей охватывает следующие режимы: включение вперед, разрыв обмотки статора перед механическим торможением тормозным устройством, а так же отражать моменты, связанные с условиями размыкания и замыкания тормоза [5,6,7].

В настоящей статье приведена методика расчета и анализ электромагнитных усилий удержания тормозного устройства СЭД со вставкой на роторе при частотно-токовом управлении.

Основные результаты исследований. Самотормозящийся электродвигатель со вставкой на роторе отличается от двигателя основного исполнения лишь наличием тормозного устройства, работа которого связана с использованием части основного магнитного потока между статором и ротором и потока рассеяния короткозамкнутого кольца обмотки ротора для создания электромагнитных усилий [5, 6] (рис.1).

С этой целью ротор выполняется специальной конструкции. Основная и тормозная части ротора объединены в единое целое. Тормозной момент создается пружиной, которая прижимает тормозной диск-вентилятор с тормозными накладками к поверхности специального подшипникового щита.

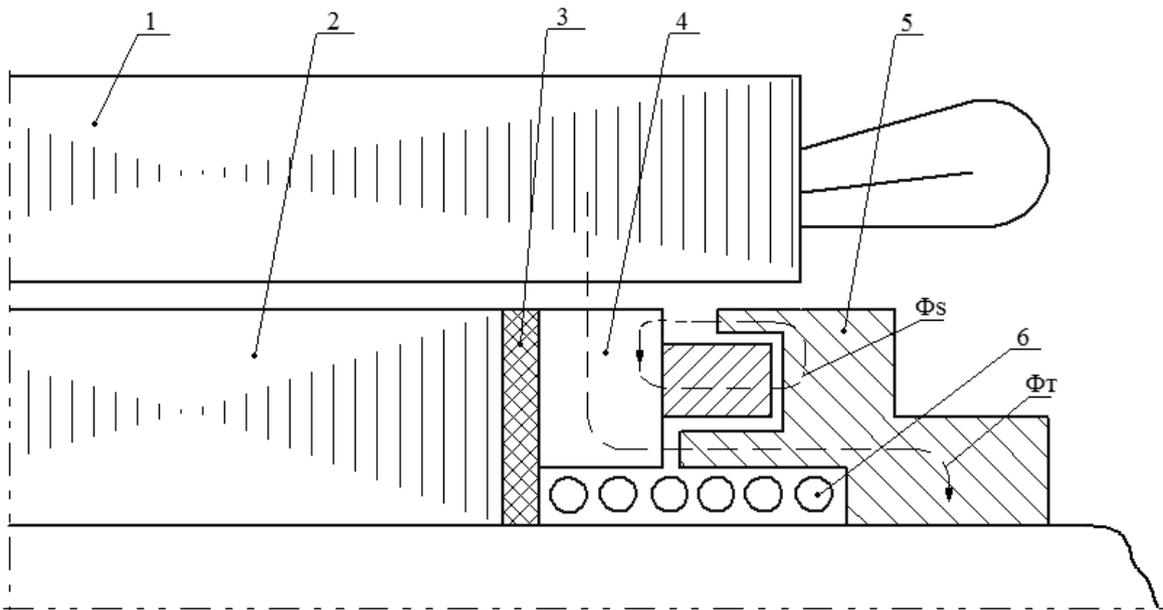


Рис. 1. Магнитная система СЭД с электромагнитной вставкой на роторе: 1 – статор СЭД, 2 – основная часть ротора СЭД, 3 – немагнитная прокладка, 4 – тормозная часть ротора, 5 – электромагнитная вставка из магнитопроводящего материала, 6 – возвратная пружина, обеспечивающая замыкание тормоза и создание тормозного момента

При математическом описании электромеханических процессов в самотормозящихся электродвигателях система уравнений содержит при общепринятых допущениях:

- уравнения равновесия напряжений, как и в двигателях основного исполнения;

$$\begin{aligned}\vec{u}_s &= R_s \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_s; \\ 0 &= R_r \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \vec{\psi}_r,\end{aligned}\quad (1)$$

- компонентное уравнение для электромагнитного момента двигателя;

$$\vec{M} = k(\vec{\psi} \times \vec{i}). \quad (2)$$

- уравнение равновесия моментов, когда тормоз разомкнут и тормозной момент $M_T = 0$;

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (3)$$

где $\vec{u}_s, \vec{i}_s, \vec{i}_r, \vec{\psi}_s, \vec{\psi}_r$ – обобщенные вектора напряжения, токов и потокосцеплений в обмотках статора и ротора соответственно.

Далее математическое описание процессов в СЭД связано непосредственно с электромагнитной частью встроенного тормозного устройства. Тормозное устройство в СЭД со вставками на роторе представляет собой своеобразного рода электромагниты переменного тока, которые характеризуются электромагнитными силами притяжения и удержания.

Характер изменения усилий притяжения и удержания и их величины оказывают существенное влияние на электромеханические переходные процессы в СЭД. Это сказывается, прежде всего, на вращении ротора двигателя.

На рис. 3, 4 представлены в относительных единицах зависимости усилий удержания $F_{уд} = f(\alpha)$ при двузонном регулировании скорости вращения двигателя и зависимости $F_{уд} = f(\alpha)$ при изменении длины тормозной части ротора.

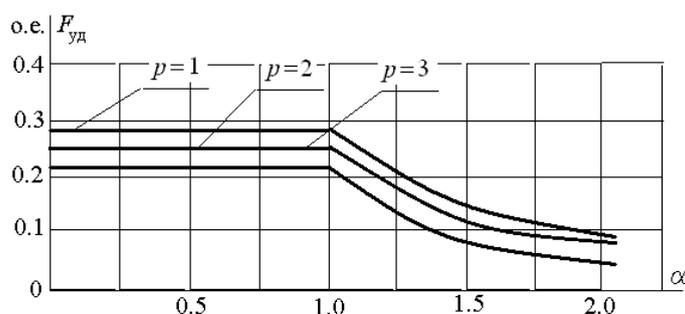


Рис. 3. Зависимость усилия удержания от частоты источника питания при двузонном регулировании

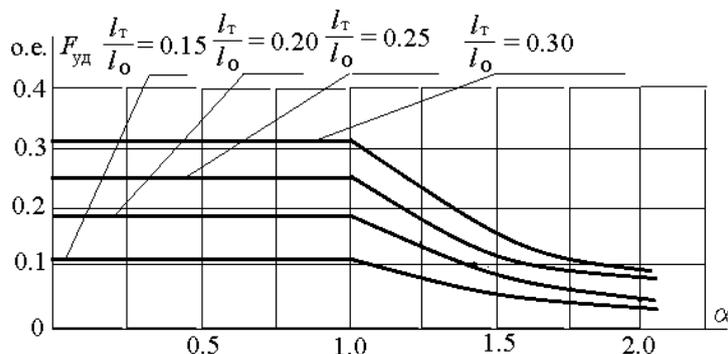


Рис. 4. Зависимости усилия удержания от частоты питающей сети при различных значениях длины тормозной части ротора при $p = 2$

Выводы. Расчет и анализ электромагнитных усилий, обеспечивающих работу тормозного устройства СЭД с электромагнитной вставкой на роторе, при частотно-токовом управлении показали:

тормозное устройство СЭД с электромагнитной вставкой на роторе обеспечивает надежную работу в диапазоне частот $f = 0 \div f_{1H}$, так как усилие удержания постоянно;

в зоне регулирования частоты вращения двигателя выше синхронной необходимо обеспечивать условие для надежного срабатывания тормозного устройства СЭД с электромагнитной вставкой на роторе, а именно:

$$F_{уд} \geq F_{пр},$$

где $F_{пр}$ – усилие противодействующей (тормозной) пружины.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бочкарев И. В. Быстродействующие электромеханические тормозные устройства для электродвигателей. Автореферат докторской диссертации. – Москва: Энергоатомиздат. 2001. – 32 с.

2. Таршхоев Р. З. Разработка и математическое моделирование самотормозящихся асинхронных электроприводов. Автореферат кандидатской диссертации. Краснодар - 2005. - 32 с.
3. Соленков В.В., Брель В.В. Асинхронные электродвигатели с электро-механическими тормозными устройствами. Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого. 2003. - 28-31 с.
4. Карлов Б., Есин Е. Современные преобразователи частоты: методы управления и аппаратная реализация. Силовая электроника №1.2004.
5. Бурулько Л.К. Исследование электромеханических переходных процессов в асинхронных самотормозящихся электродвигателях со вставками на роторе и статоре. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Томск, 1974. – 204 с.

Научный руководитель: Л.К. Бурулько, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ

И.С. Шлюев, В.Е. Королев
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ67

В настоящее время, одной из наиболее приоритетных задач теплоснабжения является повышение энергоэффективности тепловых сетей и снижение капиталовложений на их ремонт и обслуживание. В Российской Федерации более 70% процентов тепловой энергии производится системами централизованного отопления, остальные 30% приходятся на производство с помощью децентрализованных источников. Такие источники имеют ряд преимуществ по сравнению с системами централизованного теплоснабжения, а именно: повышение энергоэффективности системы теплоснабжения, за счет сокращения расстояния «источник тепла – потребитель» и как следствие отсутствия теплотрасс, имеющих потери до 25% от передаваемого тепла; независимость от графиков отопительного сезона котельных централизованного отопления; исключение перерасхода топлива и сокращение вредных выбросов в атмосферу.

При использовании децентрализованных источников тепла, возможно, достичь не только снижения капитальных вложений за счет уменьшения протяженности тепловых сетей, но и переложить расходы на стоимость жилья. Именно этот фактор в последнее время и обусловил повышенный интерес к децентрализованным системам теплоснабжения для объектов нового строительства жилья. Организация автономного теплоснабжения позволяет осуществить реконструкцию объектов в городских районах старой и плотной застройки при отсутствии свободных мощностей в централизованных системах.

Одним из способов увеличения доли децентрализованных источников тепла, является применение современных блочно-модульных котельных с широким диапазоном мощностей и функциональных возможностей. Блочно-

модульные котельные – это готовое комплексное решение по теплообеспечению зданий жилищно-коммунального и промышленного назначения. Такие котельные можно устанавливать, как в отдельном здании небольшой площади, так и внутри или на крыше уже существующего строения. Блочно-модульные котельные могут подключаться к системам централизованного отопления или специально созданным системам теплоснабжения. Доставка к месту установки может быть осуществлена с помощью практически любого вида транспорта. Так же применение таких котельных имеет ряд других преимуществ: сниженная стоимость и сроки монтажа; компактные габариты, позволяющие устанавливать котельные ближе к потребителю; высокий уровень автоматизации; возможность создания котельных с широким диапазоном мощностей и индивидуальных потребностей заказчика.

Основной задачей работы является расчет и проектирование систем электрооборудования жидкотопливной котельной базового исполнения с использованием современных средств моделирования и ПК. Поэтому расчет и проектирование является системы электрооборудования жидкотопливной котельной базового исполнения мощностью 1,8 МВт, имеет актуальное значение и практическую целесообразность.

Блочно-модульная котельная представляет собой котельную особой конструкции, выполненную в виде отдельного автономного модуля, который в сжатые сроки может быть перемещен на нужный объект. Такие котельные могут быть смонтированы в частном доме или другом помещении. В этом случае, котельная сооружается за счет установки и соединения, заранее подготовленных, отдельных модулей. Помимо этого, модульная система позволяет сооружать ее не только в уже существующих помещениях, но и на любой ровной площадке подходящей по габаритам. Отсутствие необходимости возведения специального здания обусловлено возможностью сооружения типового металлического каркаса, покрытого трехслойными сэндвич-панелями из теплоизоляционного материала. Также они обладают высоким уровнем автоматизации, практически за все время эксплуатации оборудование котельной работает автономно, без участия оператора. Режимы работы регулируются автоматически при помощи блоков управления, модемной связи и информации, получаемой с нескольких наборов датчиков. Датчики контролируют температуру в отапливаемых помещениях и другие параметры в самой котельной. Блочно-модульные котельные имеют широкий диапазон мощностей.

Среди многообразия блочно-модульных котельных стоит выделить несколько основных разновидностей:

- котельные в крышном исполнении, предназначены для установки их на крыше отапливаемых зданий и сооружений;
- блочно-модульные котельные в базовом исполнении – это котельные, размещаемые за пределами территории отапливаемых строений, расположенные в специальных блоках из легких конструкций;
- модульные котельные, которые размещаются в специально сооружаемых для них зданиях, обычно, пристраиваемых к объекту, который нужно отапливать.

На рисунке 1 представлен внешний вид блочно-модульной котельной в базовом исполнении.

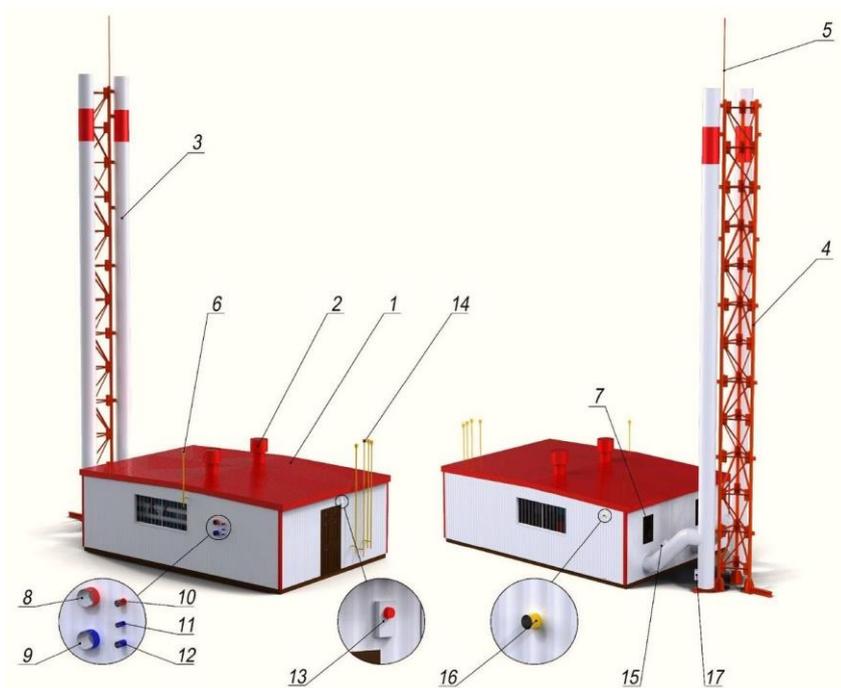


Рис. 1. внешний вид блочно-модульной котельной в базовом исполнении

Контейнер 1 является корпусом блочно-модульной котельной. Он защищает оборудование котельной от воздействия окружающей среды и состоит из легкого несущего каркаса и теплоизоляционных сэндвич панелей. Отдельные независимые дымовые трубы 3 соединены с котлами, они имеют сертификат соответствия нормам пожарной безопасности. Таким образом, модульная котельная имеет как минимум две дымовые трубы. Дымовые трубы высотой 6 метров входят в объем поставки для котельных от 200 кВт до 10 МВт. По желанию заказчик может отказаться от дымовой трубы 6 метров, и установить дымовые трубы другой высоты, а именно 9, 12, 15 метров. В котельных применяется система двустенных дымоходов выполненных из нержавеющей стали с минераловатной изоляцией толщиной 32,5 мм в базовом исполнении и 50 мм в северном исполнении. В зависимости от мощности и исполнения котельной дымовые трубы могут иметь самонесущее или опорное расположение труб с использованием несущей башни 4 и громоотвода 5. Так же имеется прочистной люк 17 для очистки труб от сажи. Прямой трубопровод отопления 8 служит для подачи теплоносителя в сеть. После того как теплоноситель пройдет через систему отопления здания он возвращается по трубопроводу 9 обратно в котел. Трубопроводы 10, 11 обеспечивают бесперебойное водоснабжение объекта горячей и холодной водой соответственно, а трубопровод 12 обеспечивает циркуляцию воды в системе. Топливоподача обеспечивается с помощью трубопровода 16, в случае повышения уровня давления срабатывает предохранительный клапан, а при отсутствии давления регуляторы высокого давления перекрывают поступление топлива. Перед запуском котельной, через продувочные свечи котлов и газорегуляторного узла 6 и 14 соответственно вытеснят воздух, для полного заполнения системы топливом, во избежание воздушных пробок в системе. Для обеспечения требований к вентиляции в котельных имеется дефлек-

тор вытяжной вентиляции 2 и окно приточной вентиляции 7. Блочномодульные котельные обеспечиваются пожароохранной сигнализацией 16 и сигнализацией по угарному газу и метану.

Блочномодульные котельные можно разделить по типу используемого топлива: котельные, работающие на жидком топливе (дизельное топливо, мазут); котельные, работающие на газовом топливе; комбинированные котельные, использующие в своей работе, как жидкое топливо, так и газообразное.

Выводы. Преимуществ современных автономных котельных по сравнению со стационарными котельными можно назвать множество. Для начала – они экономически выгодны. Старым котельным советского образца давно требуется капитальный ремонт или замена некоторых элементов, многие из которых давно не производятся. В связи с устаревшим, износившимся оборудованием, такие агрегаты потребляют немало электроэнергии и топлива, а производительность имеют маленькую. Автоматика обеспечивает бесперебойную работу всех элементов котельной, в случае опасности возникновения аварийной ситуации, все системы отключаются. В связи с этим автономные котельные не требуют постоянного присутствия работника. Все параметры задаются заранее и сохраняются автоматически.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дементьев Ю.Н, Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие.- Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 224 с.
2. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.
3. Семнов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. – Москва: Изд-во СОЛОН-Р, 2001.
4. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем. Изд-во СПб: КОРОНА Принт, 2001.
5. И.В. Черных. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink., 2007 год, 288 с.
6. Герман-Галкин С. Г. Спектральный анализ процессов силовых полупроводниковых преобразователей в пакете MATLAB (R 13) // Научно-практический журнал "Exponenta Pro. Математика в приложениях", 2003, № 2. С. 80 – 82.

Научный руководитель: С.Н. Кладиев, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ЭЛЕКТРОПРИВОД ЗАДВИЖКИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

А.И. Зубков

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ65

Актуальность

Нефтеперекачивающие станции (НПС) располагаются на нефтепроводах с интервалом 70 – 150 км. Перекачивающие (насосные) станции нефтепроводов и нефтепродуктопроводов оборудуются центробежными насосами с электроприводом.

Если длина нефтепровода превышает 800 км, его разбивают на эксплуатационные участки длиной 100 – 300 км, в пределах которых возможна независимая работа насосного оборудования

Обоснование выбора принципа регулирования давления:

- системы с изменяемой частотой вращения вала насоса;
- регулирование перепуском;
- регулирование дросселированием.

Снижение давления на выходе насосной станции в этом случае осуществляется регулирующими клапанами, вносящими дополнительное сопротивление потоку жидкости. Для этого способа необходимо наличие технологического запаса (на дросселирование) по давлению на выходе насосной станции относительно максимально допустимого давления в последующем трубопроводе. Этот способ регулирования давления получил наибольшее распространение в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов.

Исходя из изложенного, наиболее целесообразно осуществлять поддержку и регулирование давления дросселированием.

В соответствии с этим, технологически и экономически эффективным представляется управление положением заслонки на выходе нефтеперекачивающей станции.

Выбор регулирующей заслонки

Основные требования, предъявляемые к дросселирующей арматуре: высокая пропускная способность в открытом состоянии; допустимый перепад давления, равный, как минимум, половине дифференциального давления одного насоса; плавная регулировочная характеристика (линейная или равнопроцентная); Широкий диапазон регулирования; малое время хода; малый крутящий (перемещающий) момент; низкий уровень шума; высокий уровень герметичности в закрытом состоянии, что является скорее недостатком, чем достоинством для регулирования способом дросселирования; высокая износостойкость и низкие эксплуатационные расходы.

В среднем значение перепада давления на полностью открытой арматуре при максимальном расходе задано жестко – не более $0,25 \text{ кгс/см}^2$. Для значения расхода 1000 м^3 в час значение K_V (текучесть воды при 15°C в $\text{м}^3/\text{ч}$ и перепаде давления в 1 бар при неизменных условиях внутри заслонки) арматуры должно

быть в таком случае порядка 2000 м^3 в час для работы одним регулятором или 1000 м^3 в час при работе двумя параллельно. Выбранная заслонка представлена на рис. 1



Рис. 1. Заслонка Vanessa 30.000

Выбор системы управления электроприводом

В электроприводах с большим диапазоном регулирования скорости и высокими требованиями к динамическим характеристикам применяется регулирование мгновенных значений трехфазной системы питающих напряжений и токов с использованием частотно-векторного принципа регулирования

Выбор элементов силового канала. Двигатель: КЕВ ST90 МВ; преобразователь частоты: КЕВ COMBIVERT F5-Multi.

Исследование работы САУ РЭП

Изучение работы САУ РЭП проводится на имитационной модели, выполненной в MatLab Simulink, после настройки САР потокосцепления и скорости.

Учитываются следующие основные нелинейности характеристик элементов САУ РЭП:

- ограничение сигнала регулятора скорости;
- ограничение сигнала регулятора тока;
- ограничение сигнала регулятора потокосцепления.

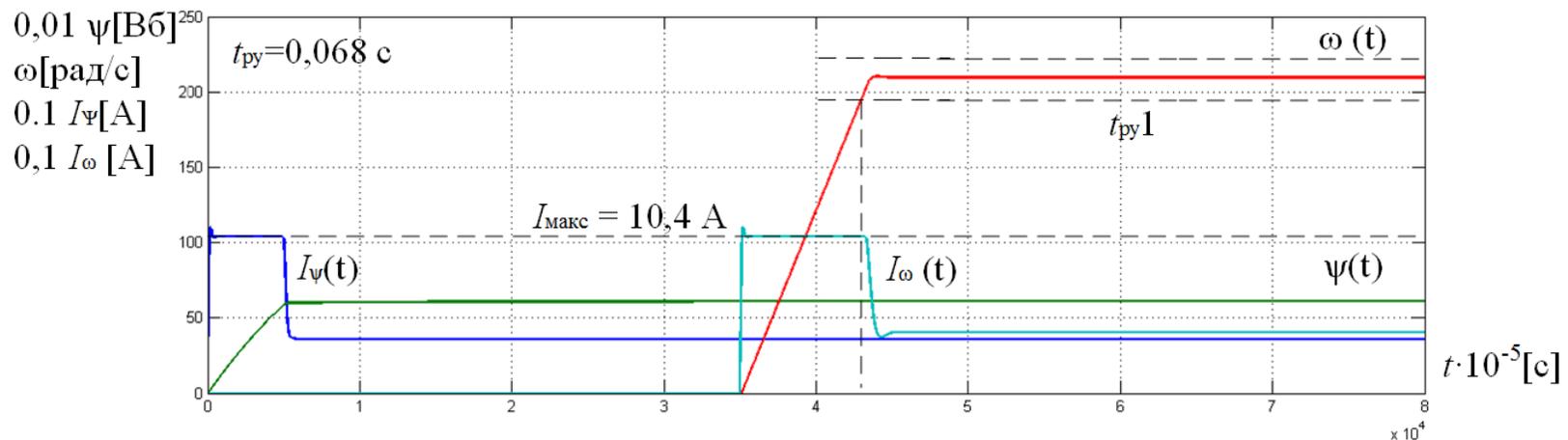


Рис. 2. Переходный процесс скорости $\omega(t)$ и тока $i(t)$ нелинейной САУ РЭП

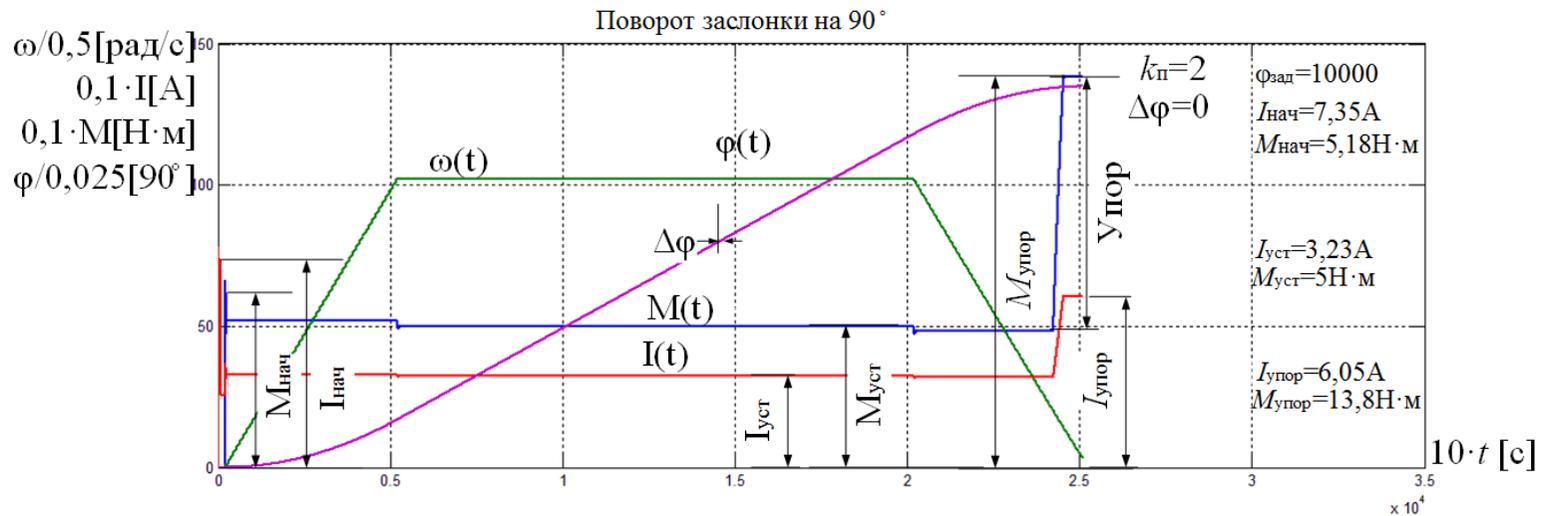


Рис.3. Переходные процессы САУ СЭП с ПИ – регулятором положения при повороте заслонки на 90° градусов

При моделировании влияние внутренних отрицательных обратных связей по ЭДС двигателя скомпенсировано. Анализируя переходные процессы рисунка 3 при влиянии насыщения регуляторов, видно, что кратковременный максимальный ток преобразователя ограничивается на величине $I_{\text{макс}} = 10,4\text{А}$, что соответствует допустимому току преобразователя, а переходный процесс по скорости более затянутый и без существенного перерегулирования, в сравнении с линейной системой.

Выводы:

В соответствии с техническим заданием в работе разработан электропривод переменного тока заслонки нефтепровода. Выбран специализированный асинхронный двигатель с малой инерцией ротора с преобразователем частоты и реализацией принципов частотно-токового векторного управления. Выполнен синтез и оптимизация контуров регулирования, разработана математическая модель системы управления и выполнены имитационные исследования, результаты которых подтвердили соответствие показателей качества ожидаемым показателям. В целом, по результатам исследований даны практические рекомендации по настройке контуров преобразователя частоты и соответствующие этому переходные процессы по регулируемым величинам. Результаты аналитических и имитационных исследований доказывают, что разобранный автоматизированный электропривод соответствует требованиям технического задания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 448 с.
2. Кояин Н. В., Удут Л. С., Мальцева О. П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5.- Применение программы DORA-FUZZY в расчетах электроприводов постоянного тока: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 156 с.
3. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 6. Механическая система электропривода постоянного тока: учебное пособие. – Издание 2-е, перераб. и дополн. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 148 с.

Научный руководитель: Н.В. Кояин, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОТОТИПОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ НА СТАНКАХ ЧПУ

С.И. Колесников, Д.М. Эрденов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭСиС, группа 5А4Б

В процессе разработки и исследования электронных устройств микропроцессорной и силовой техники один из самых дорогих этапов является создание качественной печатной платы электронного устройства. Большинство небольших научно-исследовательских лабораторий не могут позволить себе иметь оборудование для производства печатных плат, поскольку стоимость этого оборудования обычно выше 10 млн. руб. К тому же, этап производства печатной платы, сборки устройства и его тестирования, как правило, вынуждено повторяется вследствие неизбежных ошибок при разработке. Даже при незначительном изменении топологии печатной платы разработчикам необходимо нести затраты на несколько дорогостоящих фотошаблонов при контрактном изготовлении печатной платы на стороннем производстве. Однако существуют альтернативные методы изготовления единичных экземпляров печатных плат в лабораторных условиях. К таковым можно отнести методы лазерно-утюжной технологии (ЛУТ) достаточно подробно представленные в интернет изданиях [1]. Но все же, ЛУТ изготовления требует навыков, свойственных больше профессиональным, чем научным работникам. Более оправданным методом прототипирования печатных плат является их изготовление на станке с ЧПУ, так как даже промышленный образец станка можно приобрести по цене ниже 100 тыс. руб. При этом существуют открытые разработки [2] студенческих бюро ведущих мировых университетов, которые доступны на интернет ресурсах, где, следуя инструкциям можно в лабораторных условиях создать подобный станок с ЧПУ. В данной работе представлены результаты исследования методологии и эксперимента по созданию прототипа печатной платы на станке с ЧПУ.

Постановка задачи. Основным требованием при выборе методов использования станка с ЧПУ для изготовления печатных плат принято обеспечение совместимости с производственным процессом серийной контрактной сборки. Для обеспечения совместимости достаточно обеспечить идентичное изготовление приняв в качестве исходных данных, так называемые *GERBER*-файлы топологии проводников и правил сверления отверстий. Это связано с тем, что самое популярное программное обеспечение разработки печатных плат, в конечном итоге, предоставляет именно этот формат файлов для производства. Результатом решения задачи предполагается набор файлов с *G*-кодами [3] для станка с ЧПУ и пошаговая инструкция изготовления печатной платы.

Из множества программных инструментов, позволяющих сформировать *G*-коды, были выбраны два решения, распространяемых бесплатно на основании *GPL* лицензии. Первое решение построено на базе надстройки [4] к известному научным кругам векторному графическому редактору *InkScape* [5]. Этот метод позволяет на всех этапах формирования топологии проводников вносить

технологические изменения, что непременно дает гибкость и универсальность метода. Однако, его использование требует хороших навыков работы в векторных графических редакторах и преобразования графического материала их *GERBER*-формата.

Более продуктивным найден второй метод формирования *G*-кодов с помощью программы *FlatCam* [6] в которой собран весь необходимый инструментарий для формирования *G*-кодов как для фрезерования топологии проводников, так и выполнения операций сверления в автоматическом режиме. На рис. 1, показан интерфейс программы, где, после введения параметров, необходимых для однозначного определения *G*-кодов, достаточно просто можно получить все необходимые технологические файлы для работы станка с ЧПУ.

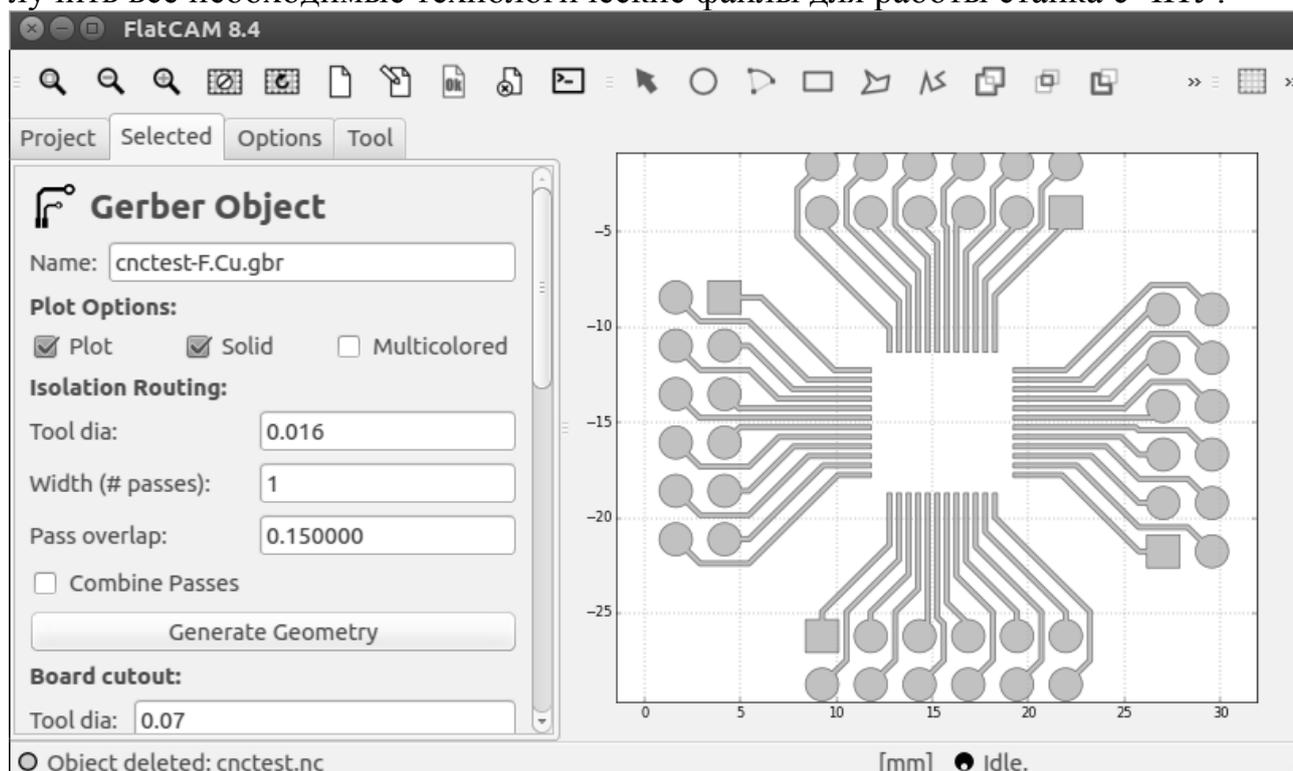


Рис. 1. Интерфейс программы *FlatCam*

Проект печатной платы был разработан среде *KiCad* [7], можно использовать другие средства разработки, где результатом стал набор *Geber* файлов. Далее эти файлы следует открыть в программе *FlatCam*, где необходимо казать диаметр фрезы и реперную точку (другими словами – точка опоры, начало локальной системы координат). Далее на следующем этапе формирования рисунков необходимо визуально проверить соответствие движения фрезы, обеспечивающее топологию. Этот этап весьма важный, поскольку при достаточно больших диаметрах фрезы и малых размерах элементов топологии печатной платы некоторые проходы фрезы могут стать невозможными. На рис. 2 представлен фрагмент, где фрезерование невозможно из-за большого диаметра фрезы.

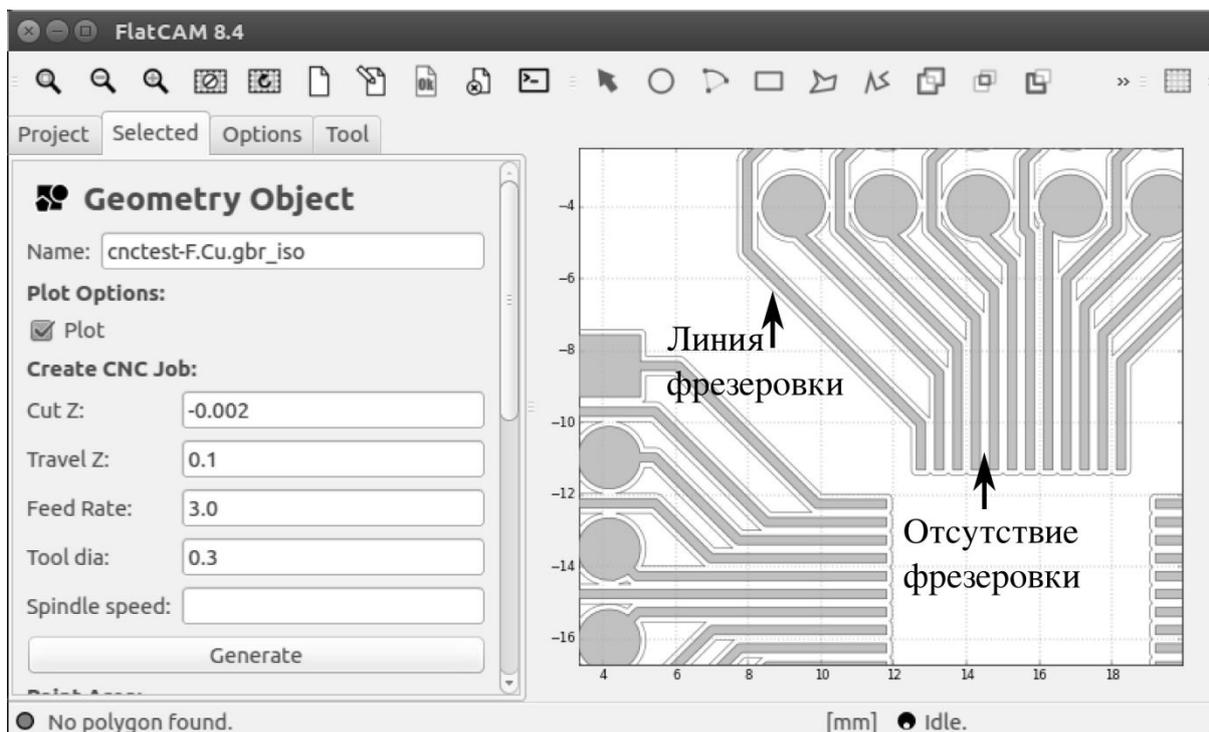


Рис. 2. Пример топологии, где фрезерование невозможно

Качество изготовления печатной платы в значительной степени зависит от точности позиционирования станка и увеличения диаметра биения шпинделя. При выполнении эксперимента использовался станок с шагом 6...7 микрон по всем осям X, Y, Z, однако конструкция и элементы станка на разных усилиях могла обеспечить точность позиционирования 30...60 мкм. При отсутствии качественного шпинделя точность фрезерования может превысить и 100 мкм, поэтому вместо фрезерования использовалась более дешевая технология скрабирования топологии печатной платы, где можно обеспечить точность изготовления порядка 60 мкм. С такой точностью уже можно использовать микросхемы формата *LQFP-64* с шагом между проводниками 500 мкм. На рис.3. представлена фотография работы станка с ЧПУ.

В результате использование станка с ЧПУ для изготовления единичных прототипов печатных плат позволяет сократить время изготовления до нескольких часов в сравнении с временем изготовления при контрактной сборке (1...2 недели). Стоимость изготовления при наличии станка включает только стоимость фольгированного текстолита и небольшой временной ресурс разработчика, необходимы на формирование G-кодов и позиционирование станка, что значительно ниже стоимости контрактной сборки. К недостатку метода можно отнести ограничение на размер элементов топологии проводников при использовании некоторых микросхем в корпусах серии *LQFP*.

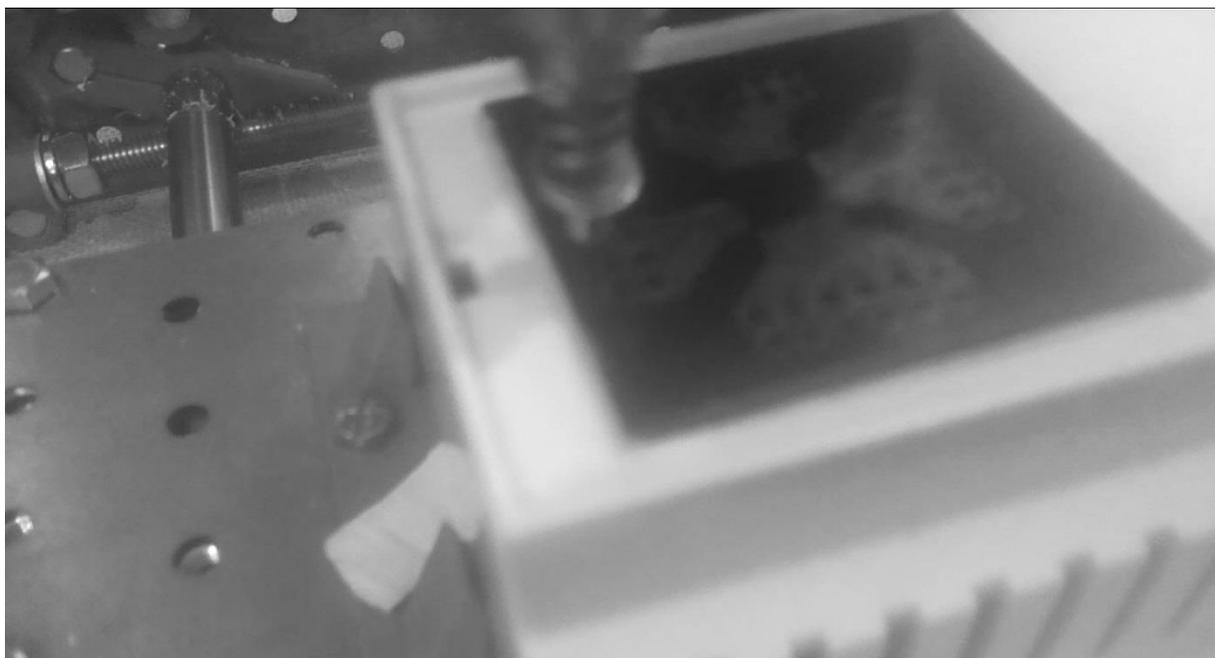


Рис. 3. Иллюстрация работы станка при изготовлении печатной платы скрабированием

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сигаев А. Технология изготовления печатных плат // Схемотехника.- октябрь 2000 .- N1.- С. 47-49.
2. Newsletter. 3D printed CNC mill [электронный ресурс] // <http://www.instructables.com/id/3D-printed-CNC-mill/> (дата обращения: 20.06.16).
3. CNCCookbook. CODE COURSE:G-CODE BASICS. CNCCookbook Inc., v11, 2015. - 114 р. [электронный ресурс] // <http://www.cnccookbook.com/img/CNCCookbook/eBooks/CNCCookbook/GCodeCourse.pdf> (дата обращения: 20.06.16)
4. Software Freedom Conservancy. Inkscape is professional quality vector graphics software [электронный ресурс] // <https://inkscape.org/en/> (дата обращения 20.06.16)
5. Команда разработчиков Gcodetools. CAM расширение для Inkscape: Gcodetools. [электронный ресурс] // <http://www.cnc-club.ru/forum/viewtopic.php?t=34> (дата обращения: 20.06.16)
6. FlatCAM: Free and Open-source PCB CAM [электронный ресурс] // <http://flatcam.org/> (дата обращения 20.06.16)
7. Canonical Ltd. KiCad EDA. A Cross Platform and Open Source Electronics Design Automation Suite. [электронный ресурс] // <https://launchpad.net/~kicad-developers/> (дата обращения: 20.06.16).

Научный руководитель: А. А. Шилин, д.т.н., профессор, кафедры ЭПЭО ЭНИИ ТПУ.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ПРИНТЕРА ПРИ РАЗРАБОТКЕ СТАНКА С ЧПУ

С.И. Колесников, А.Д. Сидоров, А.К. Шабо
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭСиС, группа 5А4Б

Популярность объемной печати различных элементов для конструирования нового оборудования весьма велика. И уже сейчас большая часть не только научных лабораторий, но и обычных учебных лабораторий, оснащены доступным по цене 3D-принтером. И не смотря на то, что существует огромное количество различных элементов и конструкций, разработка новых приложений для использования принтера еще долго будет актуальна. В данной работе рассматривается задача разработки и создания станка с числовым программным управлением (ЧПУ) в лабораторных условиях с использованием 3D принтера.

В качестве прототипа подобного устройства можно привести разработку [1], где также основные компоненты выполнены на 3D принтере. Однако крупные элементы станка предлагается сделать с помощью промышленного оборудования лазерной резки акрилового пластика. Это достаточно дорогостоящая операция не может быть выполнена в обычных лабораторных условиях. В работе представлено решение этой проблемы, где большие части конструктива выполнены из доступных строительных материалов. В частности, предлагается использовать строительную перфорированную стальную ленту толщиной 2 мм, так как отверстия перфорации в ней уже выполнены в заводских условиях с достаточной для позиционирования элементов станка точностью. Полученная конструкция достаточно прочна, однако усилия, которые могут быть при работе станка способны незначительно изгибать стальную ленту, но это недопустимо в станках с ЧПУ, где положение по всем трем осям устанавливается с точностью до 30 микрон. Для решения этой проблемы предложена конструкция несущих стенок, усиленная строительной шпилькой как это показано на рисунке 1.

Все нестандартные элементы разработаны согласно расположению отверстий у ленты и выполнены на 3D принтере. Таким образом, можно не только выровнять несущую ленту, но и придать ей жесткость, а также связать все элементы в единое основание станка. Поскольку очень важно выдержать прямые углы между стенками, при этом обеспечить жесткость применены гайки с фиксирующими шайбами положением которых на шпильке можно обеспечить и геометрические параметры, и параметры жесткости. На рисунке 2 показана конструкция четырех связанных с помощью шпилек (позиции 1) боковых стенок станка.

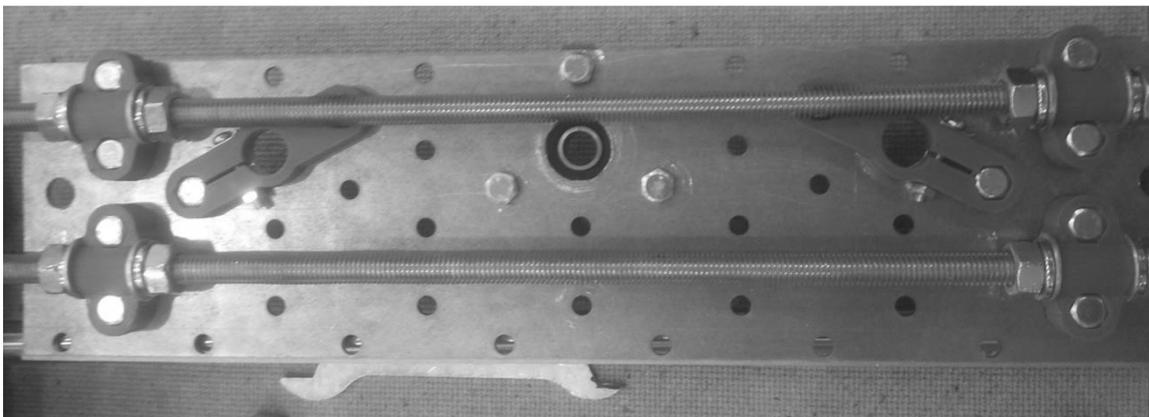


Рис. 1. Элемент конструкции на стальной пластине

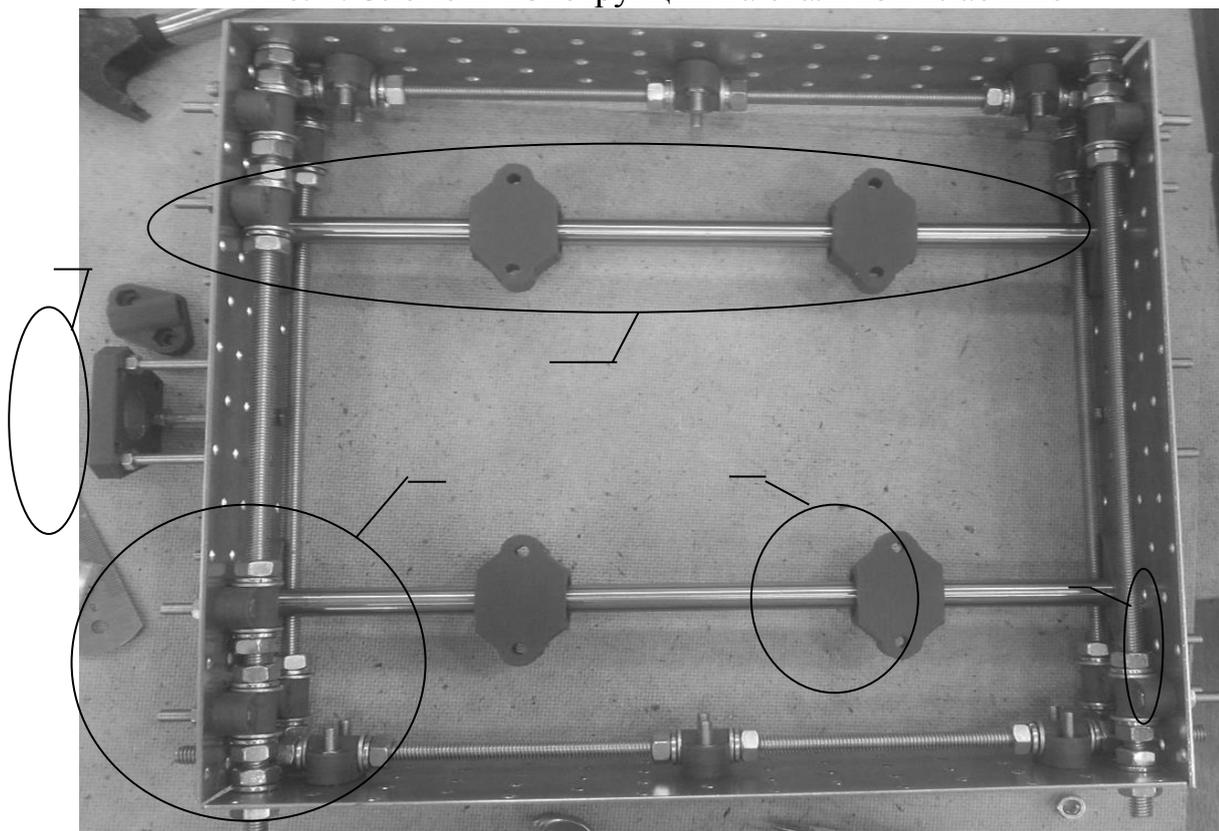


Рис. 2. Основание станка с ЧПУ

Также, с помощью разработанных авторами элементов можно обеспечить нестандартное крепление важных для станка составляющих, таких как шаговые двигатели (позиция 2), подшипники для крепления валов (позиция 3), подшипники скольжения (позиция 4) и, собственно, сами валы (позиция 5).

На рисунках 3 и 4 показаны фрагменты крепления шаговых двигателей и связующие для стола станка с валами элементы, включающие подшипники скольжения. В качестве подающего винта по всем осям также применена шпилька, для которой разработан связующий с подвижными частями элемент, исключая люфт. Этот элемент включает две бронзовые гайки, с регулируемым расстоянием между ними с помощью пружинных свойств конструкции. Этот элемент присутствует на рисунке 3 (позиция 1).

Позиционирование по оси Y обеспечивается перемещением стола с помощью шагового двигателя Z (позиция 2, рисунок 3 и 4). Позиционирование по оси X (позиция 3), обеспечивается перемещением X-конструкции (позиция 4).

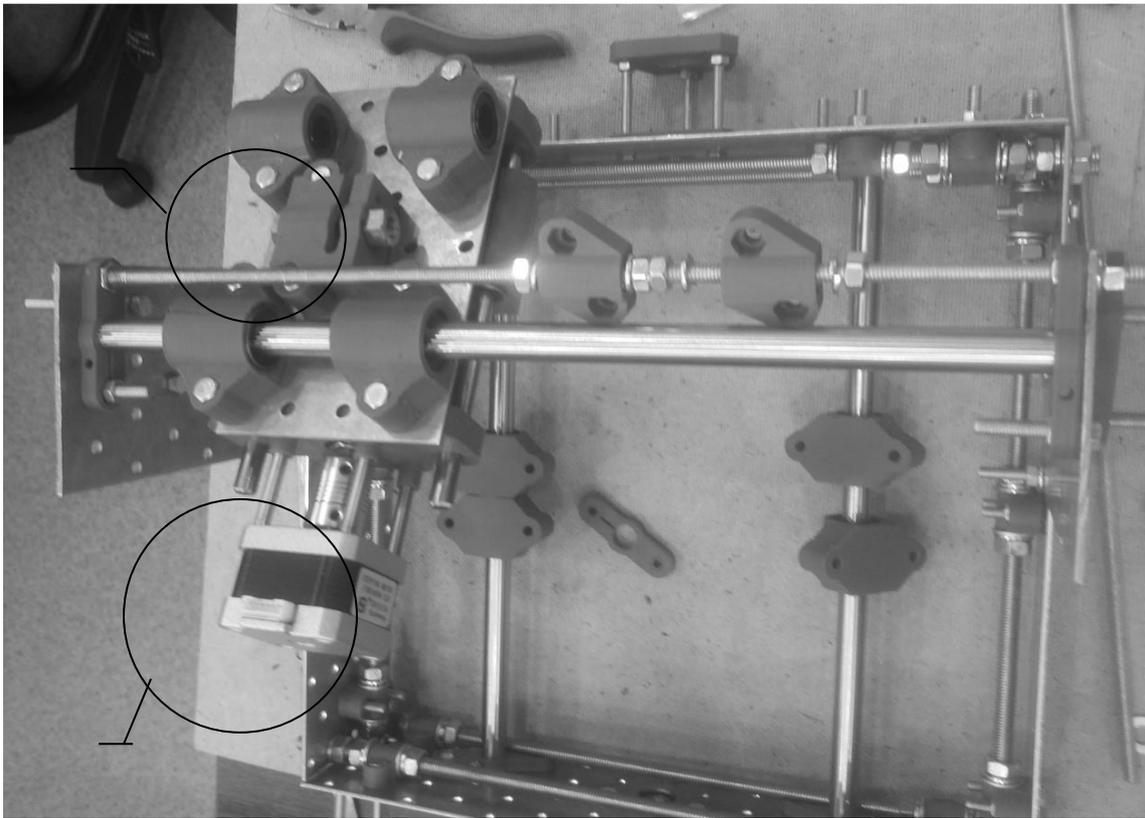


Рис. 3. Элементы крепления шагового двигателя и подшипников скольжения
Исполнительный элемент может – стандартный шпиндель мощностью до 300Вт.

Электронное управление и силовая часть для шаговых двигателей, обычно доступна в розничной продаже и выбор драйвера двигателя и вычислительных средств не составляет большой проблемы.

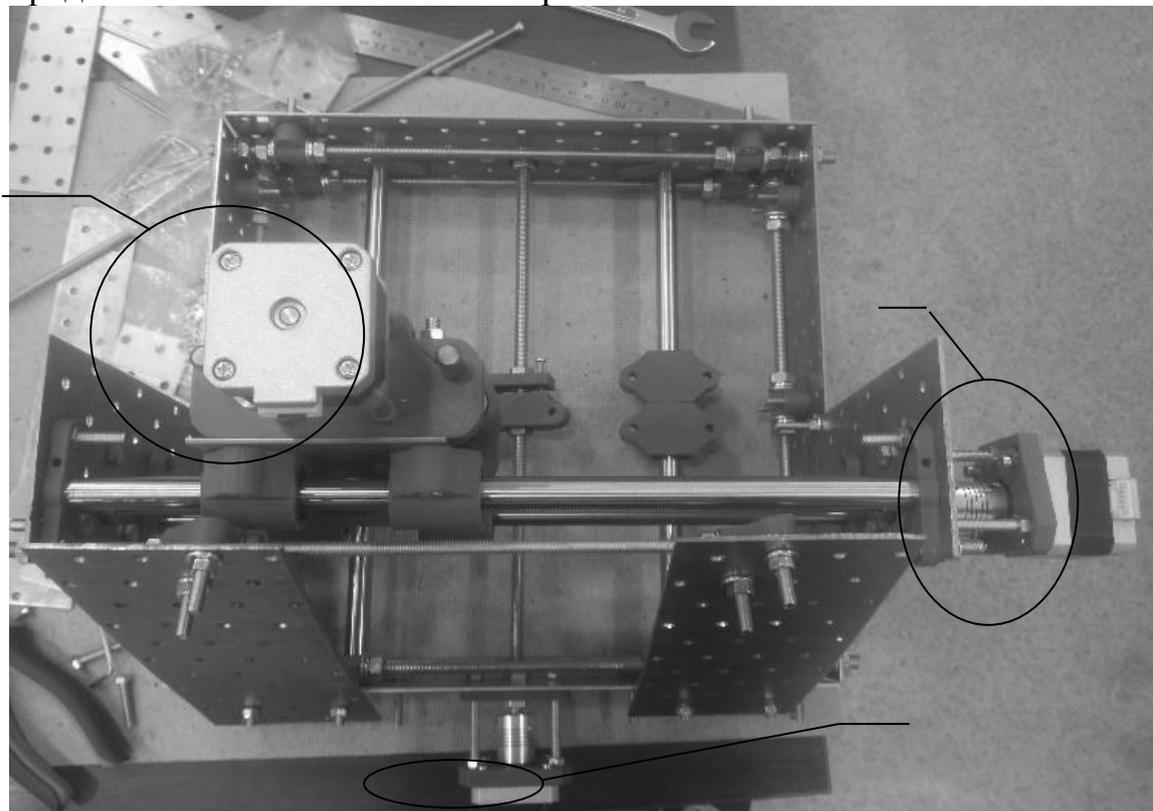


Рис. 4. Вид оси трех двигателей по осям X,Y,Z.

Построенный станок с ЧПУ можно использовать для многих задач, возникающих в научных или студенческих лабораториях. К примеру, доработка пластиковых конструкций для формирования отверстий, окон для индикации и крепления и т. д. Также существуют методы изготовления экспериментальных образцов печатных плат на станках ЧПУ за очень короткое, в течение нескольких часов, время. Себестоимость подобного станка не превышает 20 тыс. руб., что делает станок ЧПУ доступным даже для небольших лабораторий. Следует отметить, что стоимость самых дешевых станков ЧПУ начинается от 60 тыс. руб. Для разработки элементов, изготовленных на 3D принтере, использовалось свободно распространяемое программное обеспечение [2, 3].

Выводы:

В работе предложен один из вариантов использования 3D-принтера для создания ЧПУ с большой точностью и изготовление нестандартных деталей.

Идея применить стандартные недорогие строительные перфорированные ленты позволила решить проблему изготовления основной конструкции, не прибегая к дорогой лазерной обработке.

В итоге представлена методика построения станка с ЧПУ более доступного по цене, с достаточно простой конструкцией.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Newsletter. 3D printed CNC mill [электронный ресурс] // <http://www.instructables.com/id/3D-printed-CNC-mill/> (дата обращения: 20.06.16).
2. OpenSCAD. The Programmers Solid 3D CAD Modeller [электронный ресурс] // <http://www.openscad.org/downloads.html> (дата обращения: 20.06.16).
3. Hot-World GmbH & Co. KG. Repetier-Host software for 3D printers [электронный ресурс] // <https://www.repetier.com/download-now/> (дата обращения: 20.06.16).

Научный руководитель: А. А. Шилин, д.т.н., профессор кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ «ТИРИСТОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ»

¹К.О. Боровик, ²И.Г. Однокопылов, ²С.В. Ланграф
^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, ¹группа 5ГМ5А

При проектировании электропривода запорной арматуры важно знать, как будет вести себя система в различных динамических режимах, так как из-за нарушения режима работы могут возникнуть серьезные экономические или экологические последствия.

В настоящее время в качестве электропривода запорной арматуры используются асинхронные двигатели совместно с преобразователями частоты или тиристорными регуляторами напряжения.

Электропривод на базе тиристорных регуляторов напряжения используется благодаря своим преимуществам, по сравнению с преобразователями частоты:

- обладает меньшим уровнем электромагнитных помех по сравнению с системами на базе преобразователей;
- меньшая стоимость [1];

Так как для питания асинхронного двигателя используется тиристорный регулятор напряжения, то в связи с этим токи, подводимые к статору, являются несинусоидальными. Так же данный электропривод может работать в несимметричных режимах, например, динамическом торможении. В связи с этим приводить трехфазную машину к эквивалентной двухфазной недопустимо, так как поля в зазорах двухфазной и трехфазной машины будут различными.

Цель данной работы создание имитационной модели системы «Тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель», позволяющей проводить исследования в различных несимметричных режимах работы.

Для описания асинхронного двигателя используется система дифференциальных уравнений в трехфазной неподвижной системе координат a , b , c , жесткой связанной со статором [2]. Для решения системы дифференциальных уравнений использовался S-function builder в программе MATLAB Simulink [3]. Преимущество данного способа моделирования заключается в том, что S-функция создается в виде исполняемого dll-файла, что обеспечивает повышенное быстродействие расчета модели.

В качестве объекта управления асинхронным двигателем используется тиристорный регулятор напряжения. Плавно изменяя амплитуду напряжения, подводимого к статору без изменения частоты, можно осуществить плавный пуск двигателя. Коммутация тириستоров осуществляется при помощи системы импульсно-фазового управления, реализованного с помощью микроконтроллера. В данной работе модель тиристорного регулятора также представлена в виде S-функции [4].

Расчет модели асинхронного двигателя проводился в программной среде Matlab Simulink. Адекватность данной модели была проверена путем сравнения с моделью AsynchronousMachineSIUnits. Для этого была собрана схема, представленная на рис. 1.

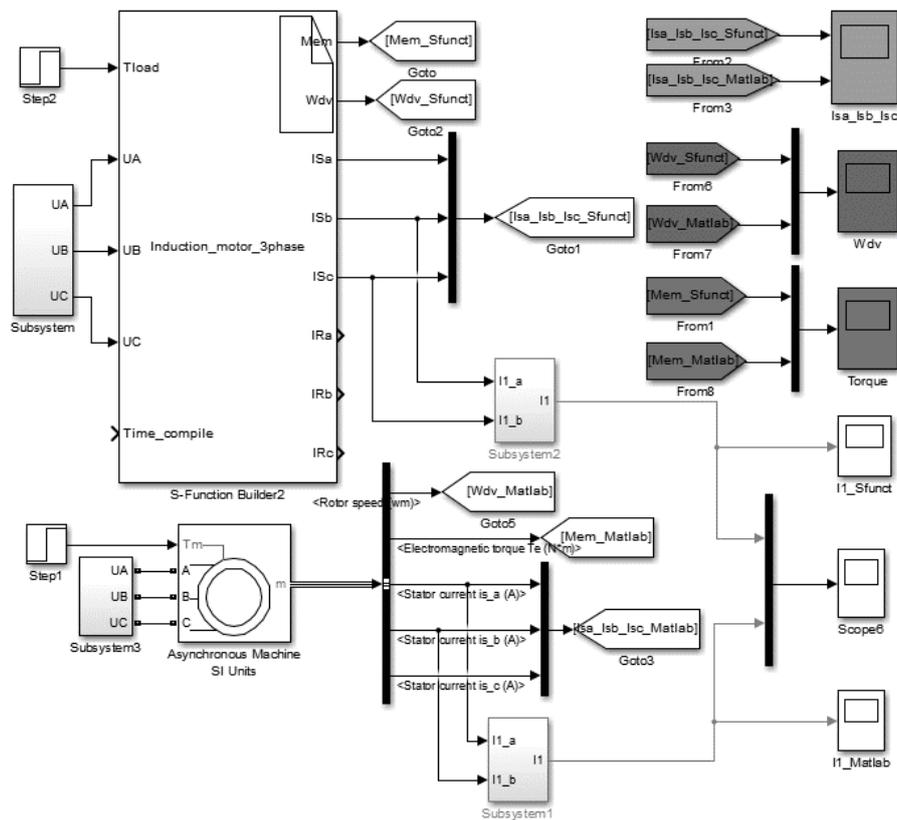


Рис. 1. Схема для сравнения имитационных моделей асинхронного двигателя

Уравнения для трехфазной неподвижной системы координат решены численным методом Эйлера 1-ого порядка. В полученной программе были получены графики переходных процессов для прямого пуска двигателя с последующим набросом номинальной нагрузки. Графики скорости и момента показаны на рис. 2а, б.

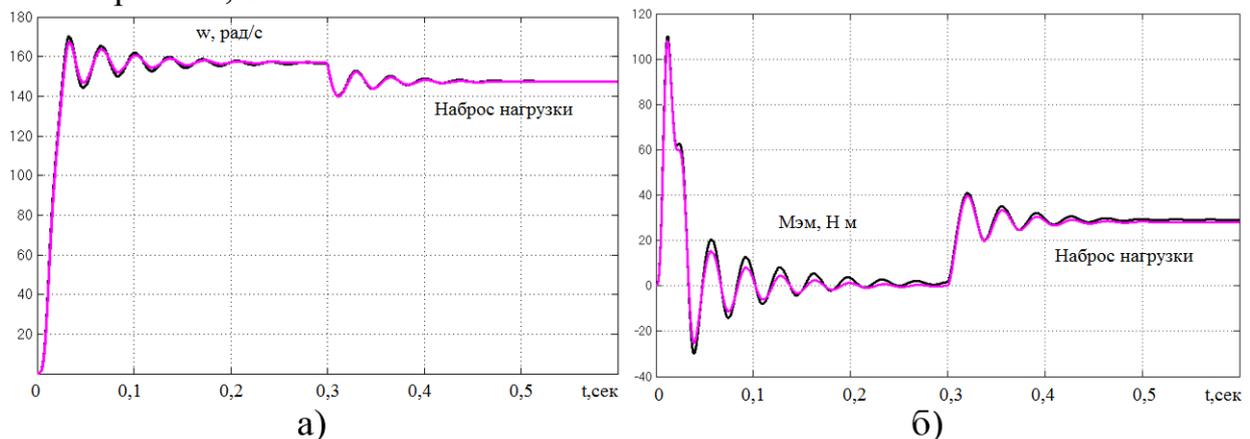


Рис. 2. Результаты компьютерного моделирования частоты вращения (а) и электромагнитного момента (б) двигателя

По полученным графикам можно сделать вывод, что разработанная модель асинхронного двигателя в трехфазной неподвижной системе координат является адекватной, и ее можно использовать для дальнейших исследований работы электропривода.

Разработанная имитационная модель системы «Тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель» представлена на рис. 3. Результаты имитационного моделирования

тационного моделирования плавного пуска двигателя представлены на рис. 4 и 5.

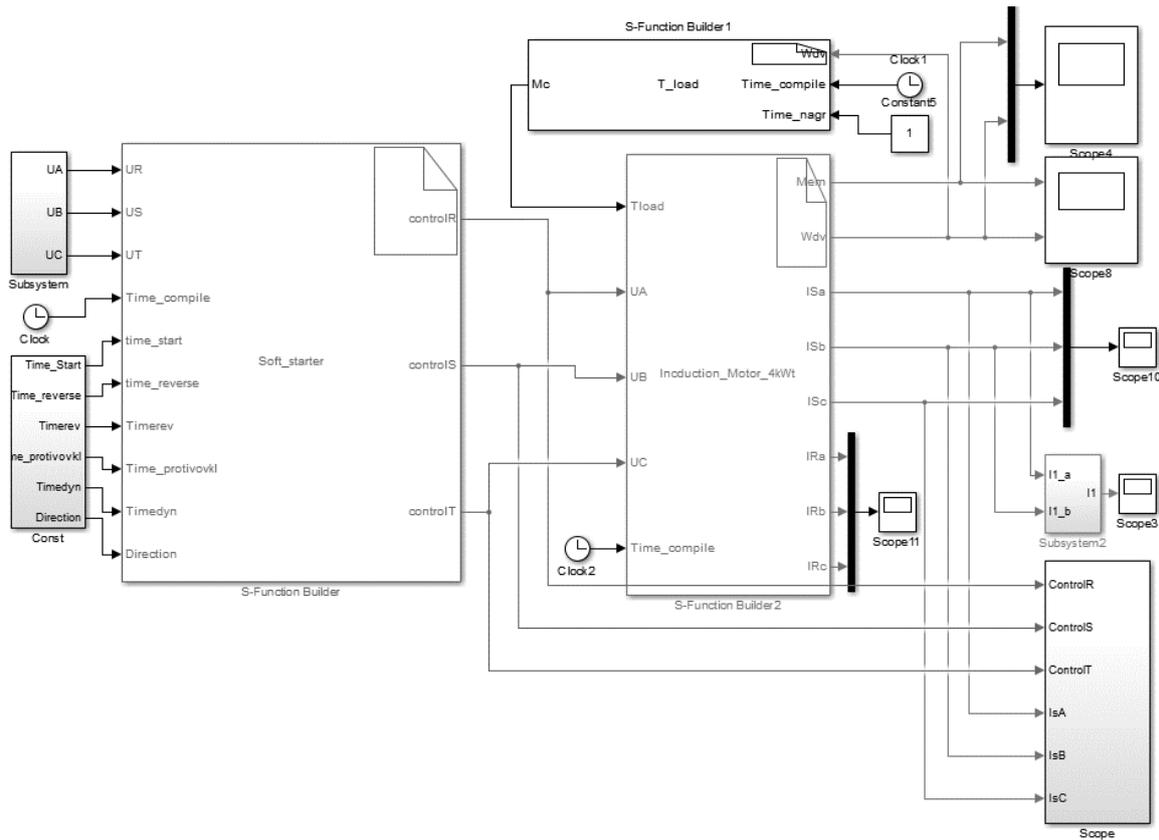


Рис. 3. Имитационная модель системы «Тристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель»

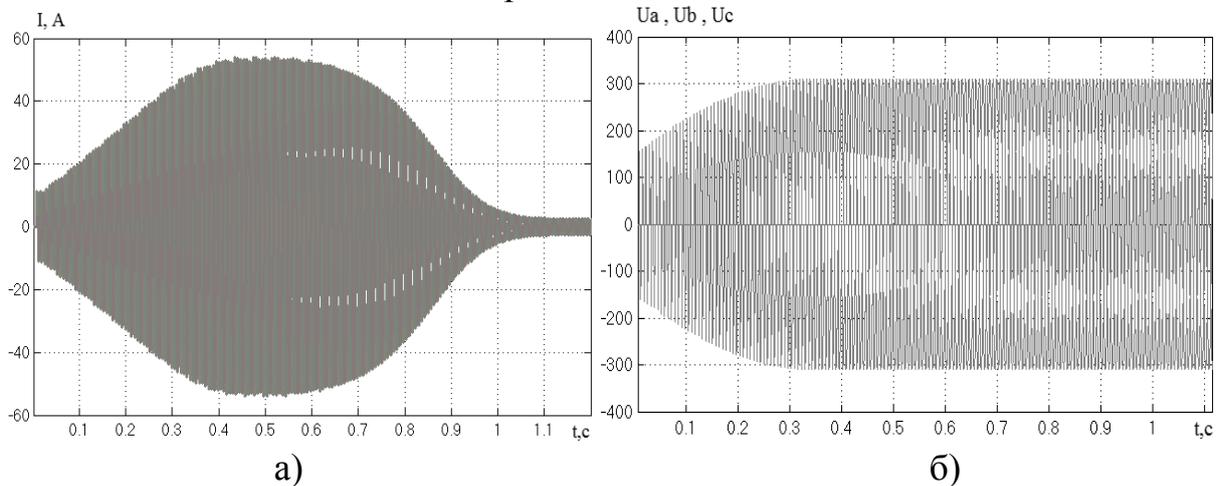


Рис. 4. Графики переходных процессов тока (а) и напряжения (б) при плавном пуске асинхронного двигателя

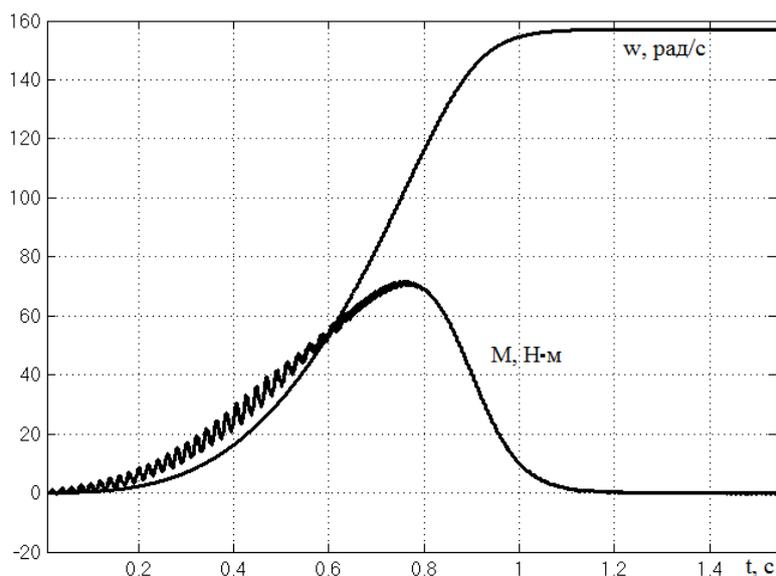


Рис. 5. Графики переходных процессов момента и скорости при плавном пуске двигателя

Выводы по работе:

1. Разработана имитационная модель асинхронного двигателя в трехфазной неподвижной системе координат, позволяет исследовать несимметричные режимы работы, а также работу двигателя при несинусоидальном напряжении питания.
2. Разработана имитационная модель тиристорного регулятора напряжения и системы импульсно-фазового управления, которая позволяет проводить научные исследования при независимом управлении тиристорами.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Прайс-лист приводов ABB URL: <http://privod.szemo.ru> (дата обращения: 10.08.2016).
2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. Учеб. для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2001. — 327 с: ил.
3. Шелпаков М.А., Однокопылов И.Г. Исследование частотно-регулируемого электропривода лифта в Matlab Simulink // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2013. — № 1. — С. 304-307.
4. Однокопылов И.Г., Дементьев Ю.Н. Обеспечение живучести асинхронных электроприводов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. — 2014. — Т. 14. — № 2. — С. 55-61.

Научный руководитель: И.Г. Однокопылов, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ТРАЕКТОРИИ ПОВОРОТА ВАЛА ЗАСЛОНКИ ГАЗОПРОВОДА

¹В.Ю. Дементьев, ²Н.В. Гусев, ²Н.В. Кояин, ³С.Ю. Ширяев

¹ООО «Газпром трансгаз Томск»

^{1,2,3}Томский политехнический университет

ЭНИН, ЭПЭО, ³ группа 5АМ6Д

Управление потоками газа производится изменением производительности газоперекачивающих агрегатов (ГПА) [1]. В качестве привода ГПА используются газотурбинные установки (ГТУ) или электрические машины (ЭГПА). Для вновь проектируемых компрессорных станции (КС) вопрос выбора типа ГПА должен решаться с обязательным учетом таких факторов как: высокий КПД, надежность и большой срок службы, простота обслуживания и даже возможность создания необслуживаемых электроприводных агрегатов; экологическая чистота, широкий диапазон регулирования. Использование регулируемого электропривода экономически особенно оправдано на объектах, имеющих неравномерный график загрузки, ГТУ принципиально не могут работать при нагрузках ниже критических, для регулируемых по частоте вращения ЭГПА границы «помпажа» сокращаются.

В связи с этим необходимо учитывать, что внедрение регулируемых электроприводов на КС является первым этапом на пути к автоматизации всей газотранспортной системы. При этом выбор в пользу применения частотно-регулируемых электроприводов (ЧРЭП) был сделан ввиду того, что ЧРЭП является наиболее экономически эффективным при эксплуатации магистральных газопроводов, работающих в переменных технологических режимах перекачки газа. Целью данной статьи является разработка и исследование формирователя траектории поворота вала заслонки газопровода. Электропривод заслонки представляет собой сложную многоконтурную структуру автоматического регулирования, замкнутую по положению. Схема включает частотно-регулируемый электропривод на базе асинхронного двигателя типа *KEB ST90 MB*, имеющий номинальную угловую скорость $\omega_H = 209.4$ рад/с датчик положения с коэффициентом передачи $k_{дп}$, установленным на механизме и регулятор положения с передаточной функцией $W_{рп}(p)$ [2, 3]. Для обеспечения плавной траектории движения заслонки, следует ограничить не только значение максимальной скорости поворота, но и ускорение. Это можно обеспечить применением формирователя желаемой траектории движения, в качестве которого целесообразно использовать задатчик интенсивности с *S* – образной характеристикой [4, 5]. Характеристика и схема набора имитационной модели такого формирователя траектории поворота приведены на рисунке 1.

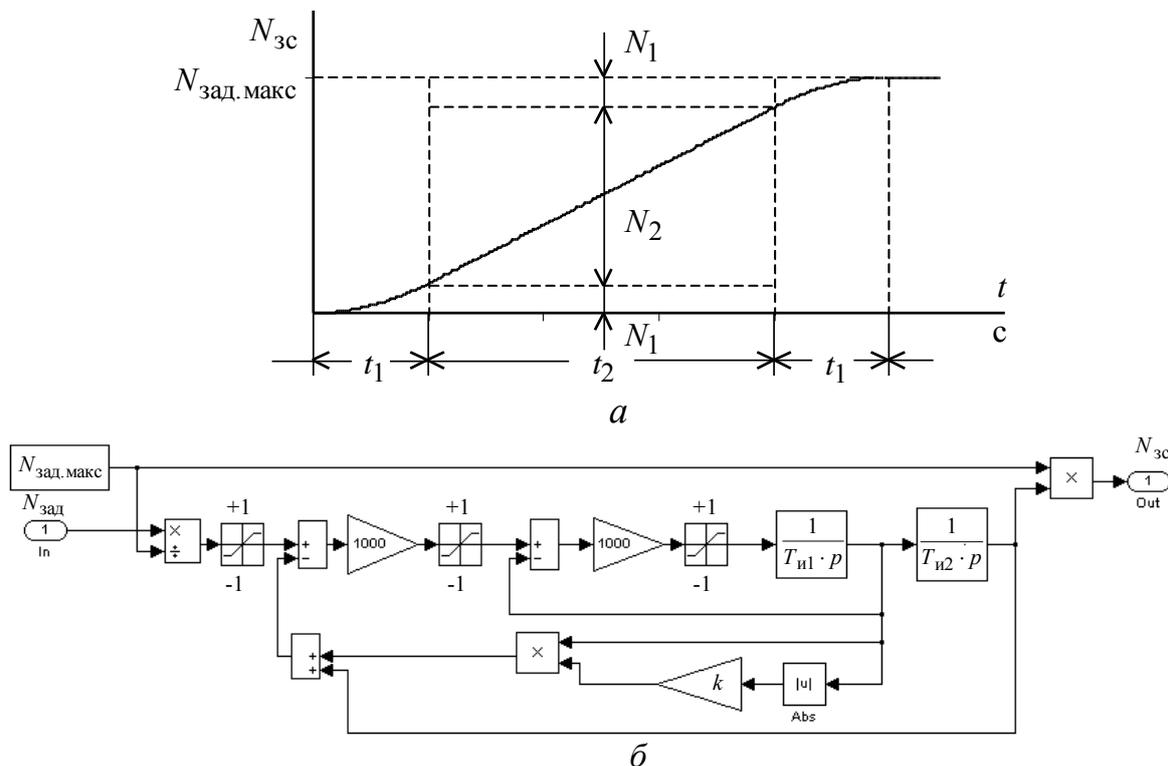


Рис. 1. Задатчик скорости с S – образной характеристикой: а – временная характеристика; б – имитационная модель

Параметры оптимальной траектории поворота заслонки определяются по выражениям:

$$t_1 = t_3 = \frac{\omega_{\text{макс}}}{\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{\text{макс}}}, \text{с},$$

где $\omega_{\text{макс}} \leq 209.4$ рад/с – принятое значение максимальной угловой скорости вращения двигателя при отработке заданного угла поворота заслонки, рад/с;

$\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{\text{макс}}$ – принятое максимальное значение углового ускорения двигателя при отработке заданного угла поворота заслонки, рад²/с;

$$t_2 = \frac{N_{\text{зад.макс}}}{k_{\text{п}} \cdot k_{\text{м}} \cdot \omega_{\text{макс}}} - t_1 = \frac{\varphi_{\text{зад.макс}}}{k_{\text{м}} \cdot \omega_{\text{макс}}} - t_1, \text{с},$$

где

$$\varphi_{\text{зад.макс}} \leq \frac{21600}{4} = 5400 \text{ угл.мин}$$

При настройке формирователя траектории приняты следующие значения параметров: $N_{\text{зад.макс}} = 10000$ дискрет; $\varphi_{\text{зад.макс}} = 5400$ угл.мин, максимальная скорость $\omega_{\text{макс}} = 52.35$ рад/с; $t_1 = t_3 = 0.2$ с, что соответствует максимальному значению углового ускорения

$$\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{\text{макс}} = \frac{\omega_{\text{макс}}}{t_2} = \frac{52.35}{0.2} = 261.75 \frac{\text{рад}^2}{\text{с}}.$$

Тогда дополнительные параметры настройки формирователя:

$$t_2 = \frac{\varphi_{\text{зад}}}{k_{\text{П}} \cdot k_{\text{М}} \cdot \omega_{\text{макс}}} - t_1 = \frac{10000}{1.3222 \cdot 1.85185 \cdot 52.35} - 0.2 = 41.9283 \text{ с};$$

$$k = 0.5 \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2} = 0.5 \cdot \frac{0.2}{41.9283 + 0.2} = 0.0023737.$$

Исследования проведены при отработке задания $N_{\text{зад}} = 200$ дискрет, что соответствует заданию

$$\varphi_{\text{зад}} = \frac{N_{\text{зад}}}{k_{\text{П}}} = \frac{200}{1.85185} = 108 \text{ угл. мин.}$$

На рисунках 2 а, б приведены переходные процессы в следящем электроприводе с П – регулятором положения при отработке задании $N_{\text{зад}} = 200$ дискрет ($\varphi_{\text{зад}} = 108$ угловых минут).

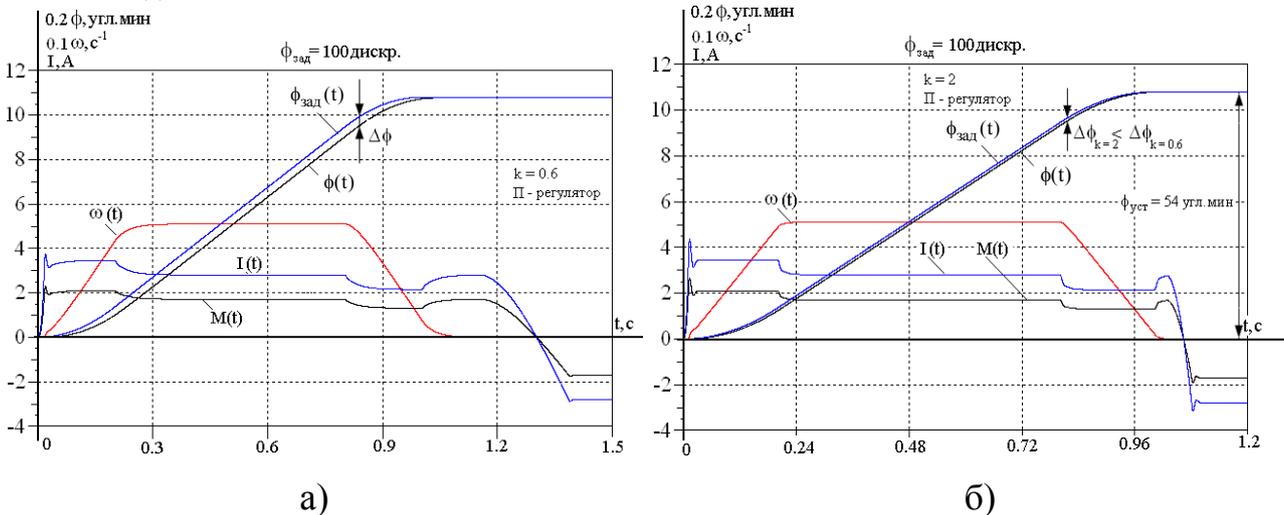


Рис. 2. Процесс отработка задания: а). $N_{\text{зад}} = 200$ дискрет с П – регулятором положения ($k_{\text{рп}} = 0.6$); б). $N_{\text{зад}} = 200$ дискрет с П – регулятором положения ($k_{\text{рп}} = 2$).

Как видно из рисунка 2, а в системе с П-регулятором при отработке заданной траектории движения вала заслонки имеет место скоростная ошибка $\Delta\varphi$. Величина скоростной ошибки зависит от выбранных значений коэффициента усиления П-регулятора положения (рисунок 2, б) и значения максимальной скорости поворота. Коэффициент усиления регулятора выбирается из условия обеспечения одностороннего подхода заслонки к конечной точке позиционирования, что особенно важно при ее полном закрытии. По этой причине коэффициент усиления регулятора положения не может быть большим и тогда скоростная ошибка при выборе большой скорости движения может быть значительной. Эта ошибка приводит к отставанию выходной координаты от задания и может являться нежелательной [6, 7]. Полное устранение скоростной ошибки достигается при применении ПИ-регулятора положения. На рис. 3 а, б пред-

ставлены кривые процесса обработки заданной траектории движения вала заслонки с ПИ – регулятором положения

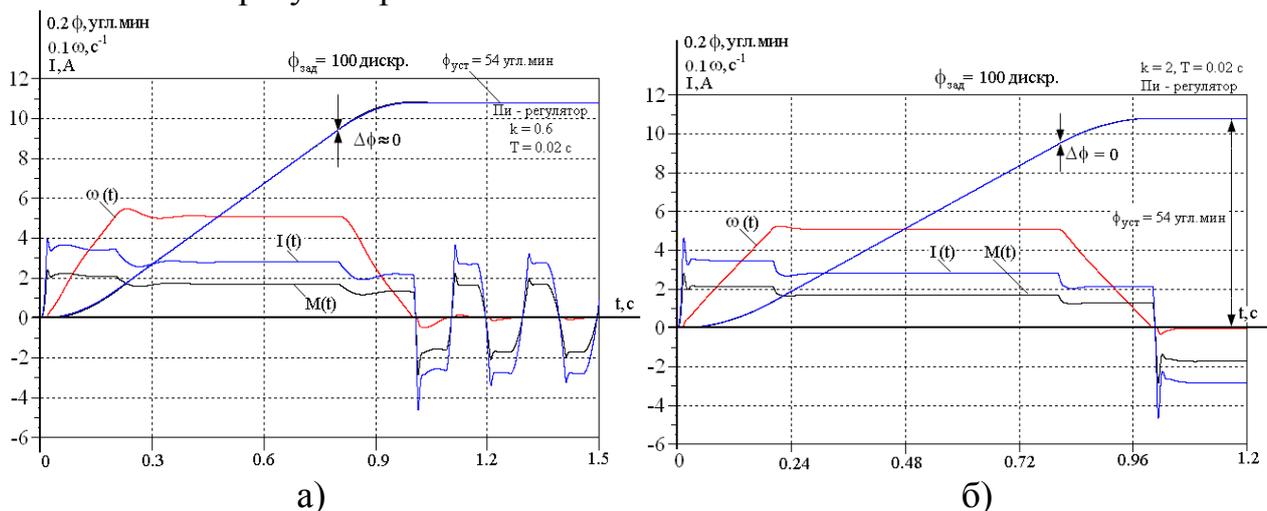


Рис. 3. Процесс обработки задания: а). $N_{зад} = 200$ дискрет с ПИ – регулятором положения ($k_{рп} = 2, T_{рп} = 0.02$ с); б). $N_{зад} = 200$ дискрет с ПИ – регулятором положения ($k_{рп} = 0.6, T_{рп} = 0.02$ с).

Таким образом, как следует из рисунков 3,а, б подбором значений двух параметров настройки ПИ-регулятора: коэффициента усиления и постоянной времени достигается требуемый характер движения электропривода заслонки и ее подход к заданной точке позиционирования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мустафин Ф.М. Трубопроводная арматура. Учебное пособие для вузов. – Уфа: ГУП РБ УПК, УГНТУ, 2007. – 326 с.;
2. Дементьев Ю.Н. Моделирование асинхронного двигателя с устройством косвенного измерения момента / А.Д. Умурзакова, Л.С. Удут // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12. – с. 931–935.
3. Demytyev Yu. N. , Bragin A. D. , Koyain N. V. , Udut L. S. Control system with sinusoidal PWM three-phase inverter with a frequency scalar control of induction motor // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) : proceedings, Omsk, May 21-23, 2015. - IEEE Russia Siberia Section, 2015 - p. 1-6.
4. Дементьев Ю.Н., Негодин К.Н., Кояин Н.В., Удут Л.С. Система управления с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией трехфазного инвертора при частотном скалярном управлении асинхронным двигателем. Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2016. № 4. С. 49-54.
5. Чернышев А.Ю., Дементьев Ю.Н., Чернышев И.А. Электропривод переменного тока. – Томский политехнический университет. – 2-е изд.– Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2015. – 210 с.

6. Odnokopylov I. G. , Dementyev Y. N. , Usachyov I. V. , Lyapunov D. Y. , Petrusyov A. S. Load balancing of two-motor asynchronous electric drive // 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON) : proceedings, Omsk, May 21-23, 2015. - IEEE Russia Siberia Section, 2015 - p. 1-4.
7. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод.– Томский политехнический университет. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 648 с.

Научный руководитель: Н.В. Гусев, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОПРИВОД ТОКАРНОГО СТАНКА

А.Б. Арьяев
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ67

В современном мире приборам и машинам предъявляются самые большие требования по надежности, технико-эксплуатационным характеристикам и точности работы [7,8]. Роль обработки резанием металлорежущих станков в машиностроении непрерывно повышается, несмотря на высокие достижения технологий производства качественных заготовок [1,2]. Токарный станок служит для обработки тел путем снятия резанием слоя материала с заготовок. Токарные станки составляют одну из подгрупп металлорежущего оборудования.

Для защиты электрических сетей напряжением до 1000 В применяют автоматические выключатели, тепловое реле магнитных пускателей, плавкие предохранители.

После расчета аппаратов защиты, выбираем силовой шкаф типа ШРС-1-20У3, принципиальная схема показана на рисунке 1 и параметры шкафа приведены в таблице 1.

Табл. 1.

Тип шкафа	Номинальный ток шкафа, А	Габаритные размеры, мм		
		Ширина	Высота	Глубина
ШРС-1-20У3	250	500	1600	350

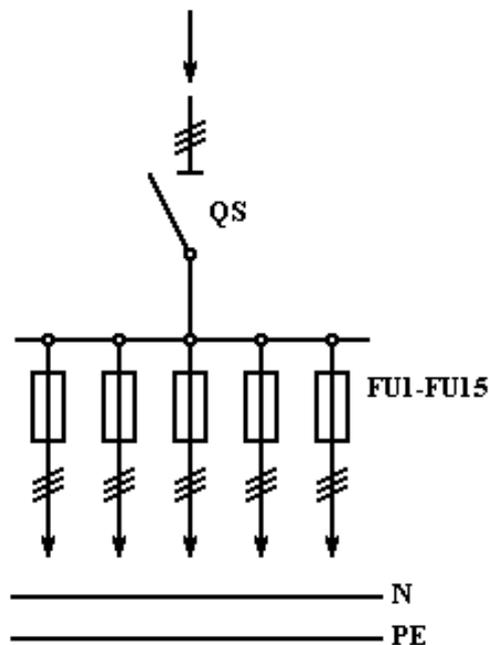


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная силового шкафа ШРС-1-20УЗ

Шкафы силовые вводно-распределительные серии ШРС предназначены для приёма и распределения электрической энергии и защиты отходящих линий от перегрузок и токов короткого замыкания в сетях с глухозаземлённой или изолированной нейтралью трёхфазного переменного тока частотой 50 Гц на номинальное напряжение до 380 В.

Степень защиты со стороны дна – IP21, с остальных сторон – IP54 по ГОСТ 14254-96.

Электропривод (ЭП) металлорежущих станков преобразует электрическую энергию в механическую. В электроприводе чаще всего применяют асинхронные двигатели переменного трехфазного тока с короткозамкнутым ротором [3,4], который соединяется через ременную передачу с коробкой передач или непосредственно, а также двигатели переменного и постоянного тока.

Расчет мощности двигателя производится, исходя из длительного режима работы по формуле [2]:

$$P_{\text{эд}} = \frac{F_z \cdot V_z}{60 \cdot 10^3 \cdot \eta} = \frac{981 \cdot 109,75}{60 \cdot 10^3 \cdot 0,75} = 14,35 \text{ кВт}$$

где V_z – скорость резания, м/мин; F_z - усилие резания, Н.

Из условия: для исследований выбран двигатель типа АИР180М6. Выбран преобразователь «Siemens» 6SE7023.

Для быстродействующих регулируемых электроприводов с широким диапазоном регулирования, высокой точностью и хорошими энергетическими показателями весьма важно, чтобы преобразователь, питающий асинхронный двигатель, обладал малой инерционностью, двусторонней проводимостью и малым внутренним сопротивлением. Этим требованиям в полной мере отвечают реверсивные транзисторные преобразователи с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения, выполненные по мостовой схеме.

В состав преобразователя входят:

- неуправляемый выпрямитель;

- фильтр (конденсаторы);
- преобразователь выходного напряжения.

Произведён расчет электромеханической (рис. 2) и механической характеристик (рис. 3) асинхронного двигателя типа АИР180М6.

В преобразователе частоты применена наиболее распространенная для управления короткозамкнутым асинхронным двигателем схема с неуправляемым выпрямителем на входе силовой части схемы, и автономный инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией напряжения на выходе. Инвертор состоит из 6 транзисторов IGBT (VT1-VT6), работающих в ключевом режиме с условием, если нижний транзистор закрыт, то верхний открыт [6].

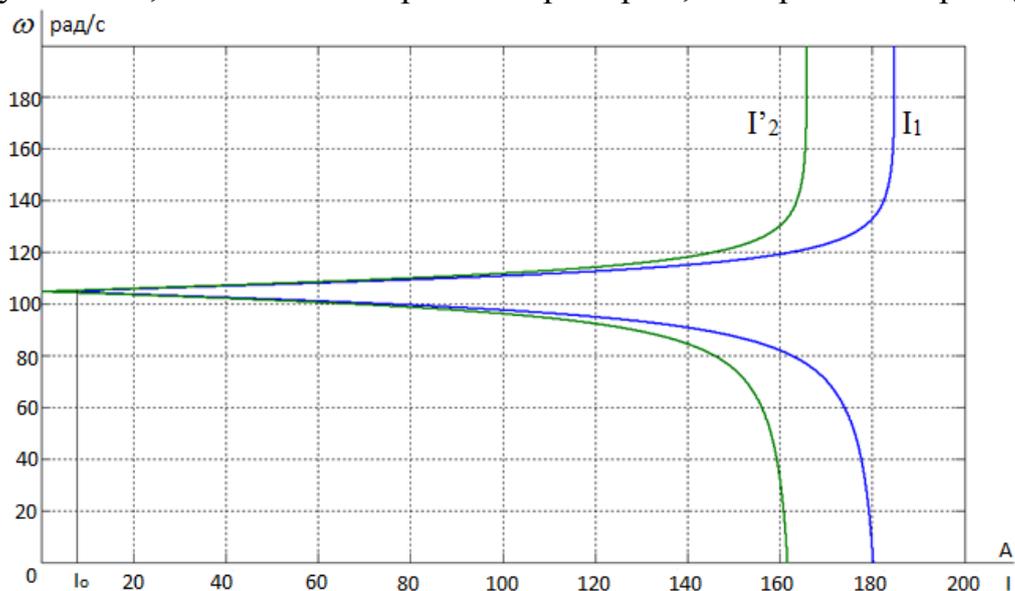


Рис. 2. Естественные электромеханические характеристики АД

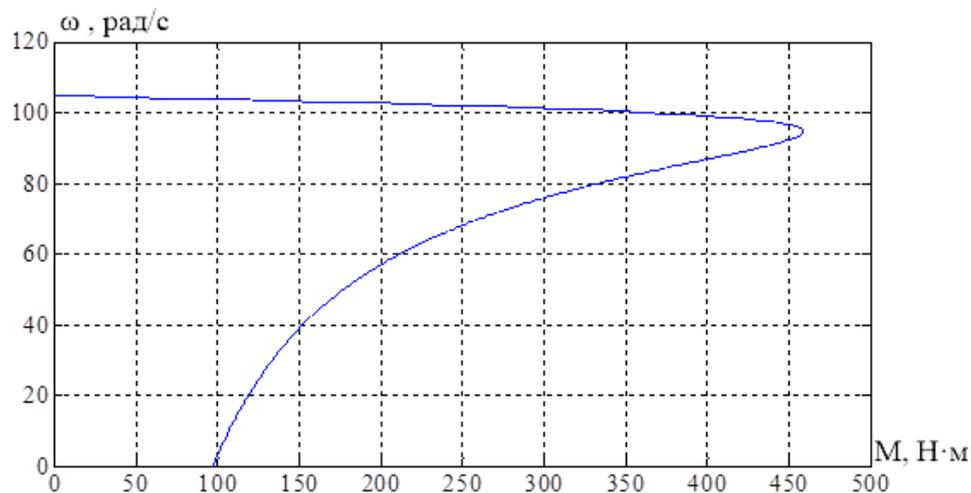


Рис. 3. Естественная механическая характеристика АД

Включение быстродействующих диодов VD параллельно к IGBT транзисторам применяют для того, чтобы исключить токи ЭДС самоиндукции и устранить обратные напряжения в моменты коммутации. Схема представлена на рис. 4.

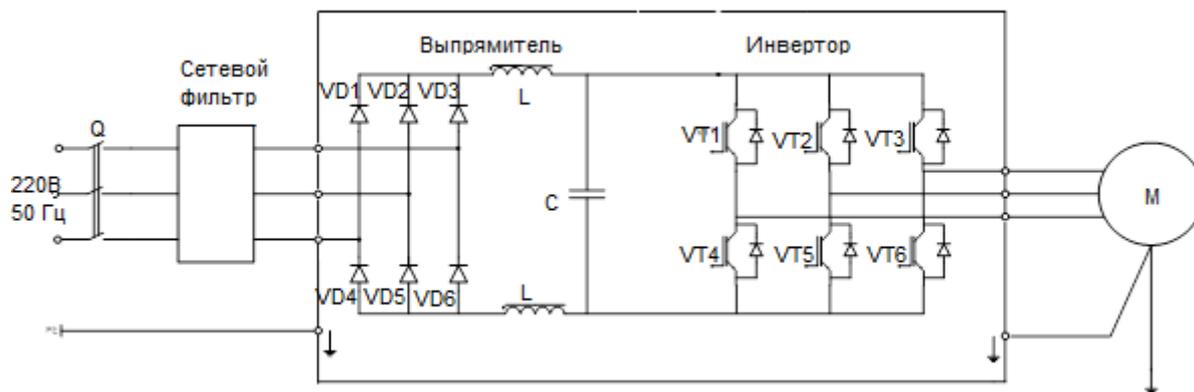


Рис. 4. Силовая схема регулируемого электропривода

Микроконтроллер управляет силовыми ключами [5], используя широтно-импульсное регулирование, когда выходное напряжение формируется в виде переменных импульсов за период длительности, моделируемых по заданному закону, что обеспечивает снижение содержания высших гармоник. При нормальной работе инвертора происходит поочередное включение или выключение транзисторов VT1-VT6.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тепинкичиев В. К. Металлорежущие станки / В. К. Тепинкичиев, Л. В. Красниченко, А. А. Тихонов, Н. С. Колев. – М.: Машиностроение, 1972. – 464 с.
2. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. – 2-е изд. –М.:ФОРУМ, 2011. – 136 с.
3. Электропривод переменного тока: учебное пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213с.
4. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. –2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.: ил.
5. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 304 с.: ил.
6. Петрович В. П. Силовые преобразователи электрической энергии: учебное пособие / В. П. Петрович, Н. А. Воронина, А. В. Глазачев; Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 240 с.
7. Воронина Н.А. Анализ точности позиционирования двухфазного асинхронного двигателя в режиме прерывистого движения/ А.В. Аристов, Н. А. Воронина // Известия ТПУ – 2013. – Т. 322, № 4: Энергетика. – С.116-120.
8. L.A. Payuk, N.A. Voronina, O.V. Galtseva, “Energy Characteristics of Electric Drive of Oscillatory Motion at the Shock-Free Start”, IOP Confer-

Научный руководитель: Н.А. Воронина, к.т.н., каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

РАЗРАБОТКА ЦОКОЛЯ E14 ПОД ЛАМПОЧКУ «ТОМИЧА»

Р.Е. Кадыров

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГЗБ

Объединив преимущества классических ламп накаливания и светодиодных излучателей источников света, можем получить лампу, выполненную по технологии *Filament LED*. Основными компонентами этой лампы являются: колба; излучающий элемент; опорная конструкция; устройство питания (драйвер); цоколь.

По внешнему виду и характеристикам излучения она близка к классическим электролампам, что ее с полным правом можно назвать светодиодной лампой накаливания. Самое главное отличие осветительных устройств *LED Filament* от классических светодиодных ламп – это диаграмма светового потока, практически полностью аналогичная диаграмме лампы накаливания. То есть светодиодные излучатели светят практически равномерно во все стороны, так же как и обычные.

Светодиоды, как и все диоды, имеют нелинейную вольт-амперную характеристику. Это означает, что при изменении напряжения на светодиоде, ток изменяется непропорционально. По мере увеличения напряжения, сначала ток растёт очень медленно, источник освещения при этом не светится. Затем, при достижении порогового напряжения, светодиод начинает светиться, и ток возрастает очень быстро. При дальнейшем увеличении напряжения, ток резко возрастает, и лампа выходит из строя.

Требования к питанию светодиодов. Для того чтобы светодиодное освещение вошло в перечень традиционных источников света помимо увеличения световой отдачи и уменьшения стоимости самих светодиодов необходимо решить еще одну проблему. Это проблема специализированного электрического питания светодиодов и светодиодных модулей.

Во-первых, блок электропитания должен сохранять работоспособность в течение незначительного временного ресурса порядка 50000 часов и более, обеспечивая при этом требуемые характеристики.

Во-вторых, питание должно быть стабилизированным по току, иметь защиту от импульсов перенапряжения и обратной полярности.

В-третьих, цена всего вышеуказанного не должна существенно превышать стоимость светодиодного модуля.

Светодиоды могут быть соединены по различным схемам. Существует несколько вариантов включения светодиодов. Они делятся на схемы с параллельным, последовательным и смешанным включением.

Наиболее эффективным является смешанное последовательно-параллельное включение. В этом случае число последовательных излучателей ограничено напряжением питания, а число параллельных ветвей выбирается в зависимости от требуемой мощности. Целью данной работы является разработка цоколя E14 для светодиодной лампы со встроенным источником питания.

Экспериментальная часть. Для сравнения источников питания произведем расчет коэффициента полезного действия.

Для источника питания с *линейным стабилизатором тока* примем минимальное напряжение на нагрузке $U_H = 75 (В)$. Номинальное напряжение сети $U_{ном} = 220 В$. Рабочая частота $f_{раб} = 50$ кГц. Ток нагрузки $I_H = 20$ мА. Сопротивление и индуктивность схемы соответственно $R_{сх} = 14$ Ом и $L = 15$ мГн.

КПД определяется по формуле:

$$\eta = \frac{U_H \cdot I_H}{U_H \cdot I_H + I_H \cdot (U_{вх} - U_H)} = \frac{75 \cdot 0.02}{75 \cdot 0.02 + 0.02 \cdot (310.2 - 75)} = 0.24$$

где U_H, I_H – соответственно напряжение и ток на нагрузке;

$U_{вх}$ – входное напряжение, $U_{вх} = \sqrt{2} \cdot U_{ном} = \sqrt{2} \cdot 220 = 310.2 (В)$.

Для источника питания с *импульсным стабилизатором тока*.

КПД вычисляется по выражению:

$$\eta = \frac{U_H \cdot I_H}{U_H \cdot I_H + k_{зап} \cdot I_{max} \cdot R_{сх}} = \frac{75 \cdot 0.02}{75 \cdot 0.02 + 0.24 \cdot 0.058 \cdot 14} = 0.88$$

где $k_{зап}$ – коэффициент заполнения, $k_{зап} = \frac{U_H}{U_{вх}} = \frac{75}{310.2} = 0.24$; I_{max} – максимальный ток,

$$I_{max} = U_{вх} \cdot \left(\frac{k_{зап}}{R_H} + \frac{k_{зап}(1-k_{зап})}{2 \cdot f_{раб} \cdot L} \right) = 310.2 \cdot \left(\frac{0.24}{3750} + \frac{0.24(1-0.24)}{2 \cdot 50000 \cdot 15 \cdot 10^{-3}} \right) = 0.058 (А)$$

$$R_H \text{ – сопротивление нагрузки, } R_H = \frac{U_H}{I_H} = \frac{75}{0.02} = 3750 \text{ Ом.}$$

Далее расчёт КПД производится при напряжениях на нагрузке равных (150, 225 и 300)В. Напряжение в сети может изменяться в пределах $220_{-15\%}^{+10\%}$. Поэтому необходим расчет КПД при минимальном напряжении питающей сети $U_{мин пит} = U_{ном} - 0.15 \cdot U_{ном} = 220 - 0.15 \cdot 220 = 187 (В)$. При этом минимальное напряжение на выходе стабилизатора будет равно $U_{мин стаб} = 187 \cdot \sqrt{2} - 2 = 262 (В)$.

Результаты расчетов показывают что, коэффициент полезного действия линейного стабилизатора тока, в отличие от импульсного, изменяется весьма значительно, а при определенных значениях напряжения на нагрузке больше, чем у импульсного.

Из этого можно сделать вывод о том, что при правильном выборе напряжения, путем изменения числа линеек светодиодов и способа их подключения,

КПД линейного и импульсного стабилизаторов тока приблизительно равны, что делает целесообразным применение линейного стабилизатора, так как его основными преимуществами являются: простота реализации, высокая надежность, низкая стоимость, отсутствие высокочастотных пульсаций выходного тока, электромагнитная совместимость.

По результатам исследования был изготовлен драйвер питания для светодиодной лампы с цоколем E14. Испытания данных источников показали, что их КПД приблизительно равны.

Источник питания должен обеспечивать стабильный ток через светодиоды. На рисунке 1 приведена осциллограмма напряжения на светодиодах.



Рис. 1. Напряжение на светодиодах

На рисунке 2 приведена осциллограмма переменной составляющей тока через светодиодную сборку.



Рис. 2. Переменная составляющая тока через светодиоды

Из рисунков 1 и 2 видно, что пульсации составляют менее 2%, а переменная составляющая практически равна 0, что означает, что пульсации тока, а следовательно и светового потока отсутствуют.

На рис. 3 приведена осциллограмма включения источника питания на осветительную нагрузку.

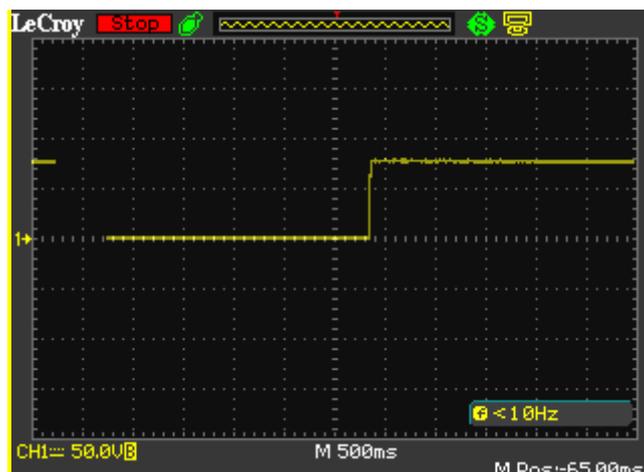


Рис. 3. Включение источника питания на нагрузку

Из осциллограммы видно, что включение происходит без перерегулирования, что увеличивает срок службы светодиодов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Махлин А. Особенности проектирования блока питания для светодиодных ламп. Полупроводниковая светотехника, 2011. – №1. – С. 30-33.
2. Семёнов Б.Ю. Экономическое освещение для всех / Б.Ю. Семёнов. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2010. – 224 с.
3. Китаев В.Е. Расчёт источников электропитания устройств связи / В.Е.Китаев. Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1993. – 232 с.
4. Обзор светодиодной лампы Эдисона. Режим доступа: http://www.superfonarik.ru/article_info.php?articles_id=29.
5. E27 35W 5630 SMD 165. Режим доступа: <http://mysku.ru/blog/china-stores/30817.html>
6. Д. Рудаковский, Е. Цевелюк, А. Тарайкович, Т. Яцко. Регуляторы тока светодиодов «Микроника» Полупроводниковая светотехника №4, 2012.
7. Б. Ю. Семенов. Силовая электроника для любителей и профессионалов. М. Солон-Р, 2001 г.

Научный руководитель: Н.В. Гусев, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ, А.В. Иванов, младший научный сотрудник НИИ АЭМ.

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКО ЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ И СИМУЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ MATLAB

М.С. Литвиненко, А.И. Каштанов
Казанский государственный энергетический университет

Человечество тесно связано с окружающей средой, и как только появилось высокоиндустриальное общество, расход невозобновляемых видов сырья

резко повысилось. Актуальность темы по снижению энергопотребления и неэффективных расходов в производстве крайне уместна в реформировании энергетики России. На теперешний день, развитие промышленных и хозяйственных субъектов сильно влияет энергетические затраты в оборудовании. В многих отраслях промышленности для работы машин используют электроприводы, на базе асинхронных двигателей (АД), с номинальным напряжением 220/380В. Такое положение определяется простотой изготовления и эксплуатации АД, их меньшими по сравнению с двигателями постоянного тока массой, габаритами, стоимостью, надёжностью в работе. Асинхронными электроприводами потребляется 55-60% вырабатываемой в РФ электрической энергии. Главными показателями энергоэффективности электроприводов на основе АД являются: потребляемый из электросети ток, электрический КПД, коэффициент мощности, энергетический КПД, расход электроэнергии на единицу выпускаемой продукции.

Цель работы – анализ потерь энергии и КПД в асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором, а также симуляцию АД в вычислительной среде Matlab для получения статистических данных. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Определение наиболее значимых видов потерь энергии;
2. Формирование схемы для исследования асинхронного двигателя посредством инструмента Simulink в вычислительной среде Matlab;
3. Моделирование классической Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя без внесения конструктивных изменений.

Конструкция и принцип действия асинхронной машины

АД представляется нам из двух основных элементов, это статор и ротор (рис.1)

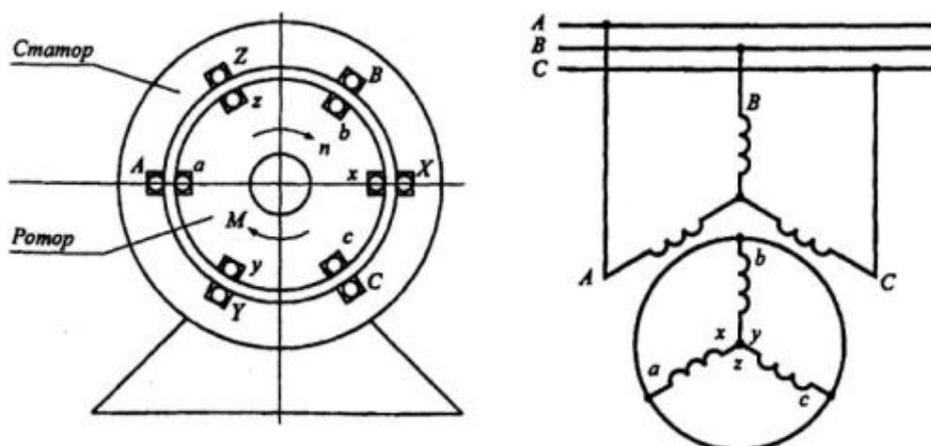


Рис. 1. Конструкция и схемы подключения АД

Анализ потерь трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и способов их уменьшения Энергия подведенная к статору асинхронного двигателя из сети (P1), не превращается целиком в полезную работу на валу двигателя (P2), но часть энергии (ΔP) теряется бесполезно в самом двигателе. Таким образом, имеем:

$$P1 = P2 + \Delta P$$

Потери ΔP , возникающие в асинхронном двигателе, можно разделить на 2 основные группы: потери, изменяющиеся по своей величине при изменении нагрузки — ΔP_w , и потери ΔP_0 , которые не изменяются с нагрузкой (или, вернее сказать, изменяются в малой степени). Потери первой группы иногда называют нагрузочными, а потери второй группы являются, главным образом, потерями холостого хода.

Потери холостого хода (постоянные) можно разделить на следующие:

1. Потери на гистерезис в железе статора (ΔP_h);
2. Потери на токи Фуко в железе статора (ΔP_f);
3. Потери на гистерезис и токи Фуко в железе ротора;
4. "Добавочные" потери железа;
5. Потери на трение (ΔP_ρ).

Нагрузочные потери (переменные) складываются из следующих потерь:

1. Потери на джоулево тепло в обмотке статора (ΔP_1);
2. Потери на джоулево тепло в обмотке ротора (ΔP_2).

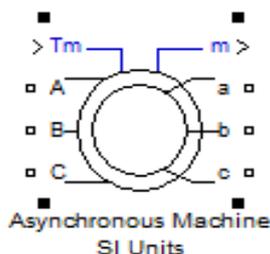
Механические потери включают в себя:

1. потери на трение в подшипниках;
2. вентиляционные потери.

Моделирование процесса снижения потерь в вычислительной среде Matlab

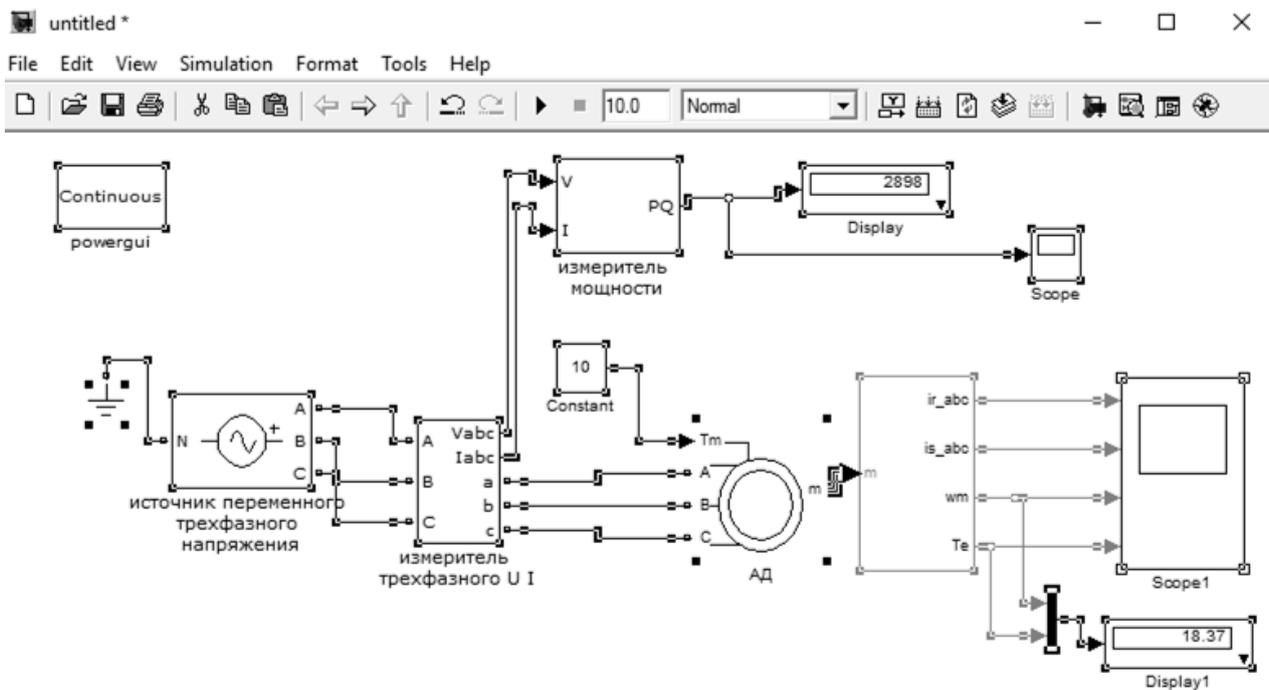
Matlab представляет собой мощную операционную среду для выполнения огромного числа математических и научно-технических расчетов. Новые версии программы позволяют создавать исполняемые файлы в структурной среде MATLAB + Simulink, давая возможность моделировать устройства, системы механики и энергетики. Среда Simulink, позволяет использовать уже готовые библиотеки блоков для моделирования электросиловых, механических и гидравлических систем, а также применять развитый модельно-ориентированный подход при разработке систем управления, средств цифровой связи и устройств реального времени. Simulink интегрирован в среду Matlab. Simulink является достаточно самостоятельным инструментом Matlab и при работе с ним совсем не требуется знать сам Matlab и остальные его приложения.

Asynchronous Machine



Моделирует асинхронную электрическую машину в двигательном режиме, взятую из библиотеки *powerlib_models.mdl* в папке *:toolbox\powersys\powersys*.

Модель виртуальной установки для исследования асинхронного двигателя показана на рисунке 2:



Работа АД показана на рис 3 взятая с *Scope 1*:



Рисунок 3, график работы АД

Она содержит:

- источник переменного трехфазного напряжения Source из библиотеки Power System Blockset/Extras/Electrical Sources;
- измеритель трехфазного напряжения и тока Three-Phase V-I Measurement (библиотека Power System Blockset/Extras/ Measurement);
- исследуемая трехфазная асинхронная машина Asynhronous Machine (библиотека Power System Blockset/Extras/Machines);
- блок Display для количественного представления измеренных мощностей P1 , Q1 и блок Scope для наблюдения токов ротора и статора, а также скорости и момента асинхронной машины (главная библиотека Simulink/Sinks);
- блок Moment для задания механического момента на валу машины (главная библиотека Simulink/Source);

Заключение:

В ходе выполнения работы проведен анализ основных видов потерь, которые имеют место в АД при работе в различных режимах. Так же посредством инструмента Simulink в вычислительной среде Matlab выполнено моделирование виртуальной установки для исследования АД.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Справочник по электрическим машинам. В 2-х т. / Под общей ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т. 2. М.: Энергоатомиздат, 1989. - 688 с.
2. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. М.: Высшая школа, 2005.-767 с.

Научный руководитель: А.Е. Сидоров, к.т.н., доцент, КГЭУ.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОПРИВОД СУДОВОГО ВЕНТИЛЯТОРА ПО СИСТЕМЕ ПЧ-АД

¹С.Ю. Корепанов, ²Н.А. Воронина
^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, ¹группа 5АМ67

Электроприводом называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением [1]. В наше время тенденции перехода к регулируемому приводу для вентиляторов стали очевидными.

Вентилятором называется механизм, предназначенный для перемещения воздуха или газов с повышением их давления. По конструкции и принципу действия вентиляторы разделяются на центробежные и осевые. Принцип их работы такой же, как у центробежных и осевых насосов. Центробежные вентиляторы выполняют обычно горизонтальными, а осевые – вертикальными [2, 3].

Вентиляторы являются механизмами с режимом длительной нагрузки с высокой длительностью работы в течение эксплуатации. Нагрузка на валу приводного двигателя нелинейно возрастающая, перегрузки могут наблюдаться. Вентиляторы имеют высокий момент инерции, который необходимо учитывать при расчете пусковых характеристик электроприводов [2]. Нужный диапазон регулирования скорости для вентиляторов, как правило, не превосходит 2:1. Более глубокое регулирование употребляется крайне редко.

Запуск вентилятора осуществляется как при разгруженной машине, т.е. при закрытом направляющем аппарате, так и при полностью открытом. В первом случае наибольший момент при пуске двигателя вентилятора, равен приблизительно 0,4 значения номинального момента, во втором – равен номинальному значению. При пуске мощных вентиляторов с большим диаметром рабочего колеса, как правило, необходимо ограничивать ускорения при пуске во избежание появления больших динамических напряжений в лопастях рабочего колеса.

Приведенным требованиям наиболее полно отвечает частотно-регулируемый асинхронный электропривод вентилятора [4, 5]. При этом обычно, можно ограничиться употреблением простых и дешевых систем частотного

регулирования. В данной работе проводились исследования электрооборудования и электропривода судового вентилятора.

На рисунке 1 показана конструкция котельного вентилятора, часто устанавливаемого на судах. Вентилятор состоит из корпуса 1, рабочего колеса 2 с лопатками (лопастями), приемного патрубка 3 и вала 4, вращающегося от электродвигателя 5. При вращении рабочего колеса воздух засасывается через приемный патрубок 3, направляется к периферии корпуса и далее в нагнетательный патрубок (выход воздуха показан стрелкой).

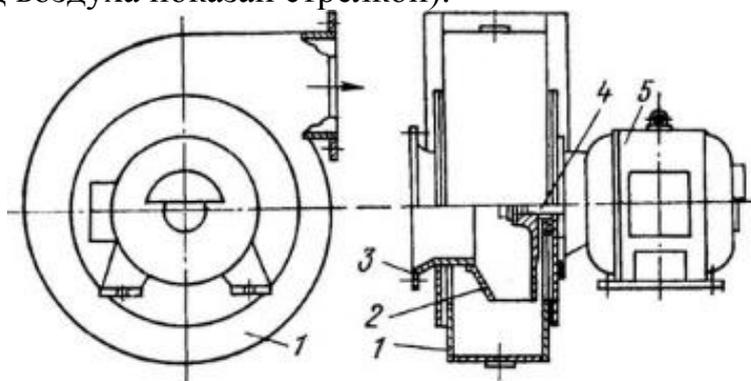


Рис. 1. Конструкция котельного вентилятора

В работе были рассчитаны следующие параметры [6]:

1. Мощность вентилятора:

$$P_B = \frac{Q \cdot H}{\eta_B} \cdot 10^{-3} = \frac{0,116 \cdot 9000}{0,75} \cdot 10^{-3} = 1,392 \text{ кВт}; \quad Q = 420 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,116 \text{ м}^3/\text{с};$$

где P_B – мощность вентилятора, кВт; Q – производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$;

H – напор (давление), создаваемое вентилятором, Па; η_B – КПД вентилятора, о.е.;

2. Коэффициент запаса: $P_B = 1,392 \text{ кВт} \Rightarrow K_3 = 1,5$.

Табл. 1. Рекомендуемые $K_3 = F(P_B)$

P_B , кВт	до 1,0	1...2	2...5	более 5
K_3 , о.е.	2	1,5	1,25...1,3	1,1...1,15

3. Расчетная мощность электропривода вентилятора:

$$P_B = K_3 \cdot \frac{Q \cdot H}{\eta_B \cdot \eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot \frac{0,116 \cdot 9000}{0,75 \cdot 0,9} \cdot 10^{-3} = 2,32 \text{ кВт},$$

где Q – производительность вентилятора, $\text{м}^3/\text{ч}$; H – напор (давление), создаваемое вентилятором, Па; η_B – КПД вентилятора, о. е.; $\eta_{\text{п}}$ – КПД передачи механической (при ее наличии), о. е.; $\eta_{\text{п}} = 0,88 \dots 0,92$

Для исследования режимов работы был выбран асинхронный двигатель с КЗ ротором типа АИР100S4 и преобразователь частоты Siemens модели Micro-master 420 (6SE6420-2AC23-0CA1).

Преобразователь частоты (ПЧ) – это устройство, которое состоит из выпрямителя (моста постоянного тока), который преобразует переменный ток промышленной частоты в постоянный, и инвертора (преобразователя) (иногда с ШИМ), который преобразует постоянный ток в переменный требуемых амплитуды и частоты [7, 8]. Использование системы ПЧ-АД позволяет получить зна-

чительный экономический эффект от экономии электроэнергии до 50%...60% за счет регулирования производительности, путем изменения частоты вращения электродвигателя в отличие от регулирования способом включения/отключения и т.п.; повышения качества вентиляции; увеличения объема и производительности оборудования; увеличения срока службы, вследствие улучшения динамики работы электропривода.

Так же были рассчитаны и выбраны основные силовые элементы регулируемого электропривода, выбрана аппаратура управления и защиты.

По данным расчётам на основе модели были построены переходные характеристики скорости и момента, а также динамическая механическая характеристика при прямом пуске АД без нагрузки и при «набросе» нагрузки, изображенные на рисунках 2, 3 соответственно.

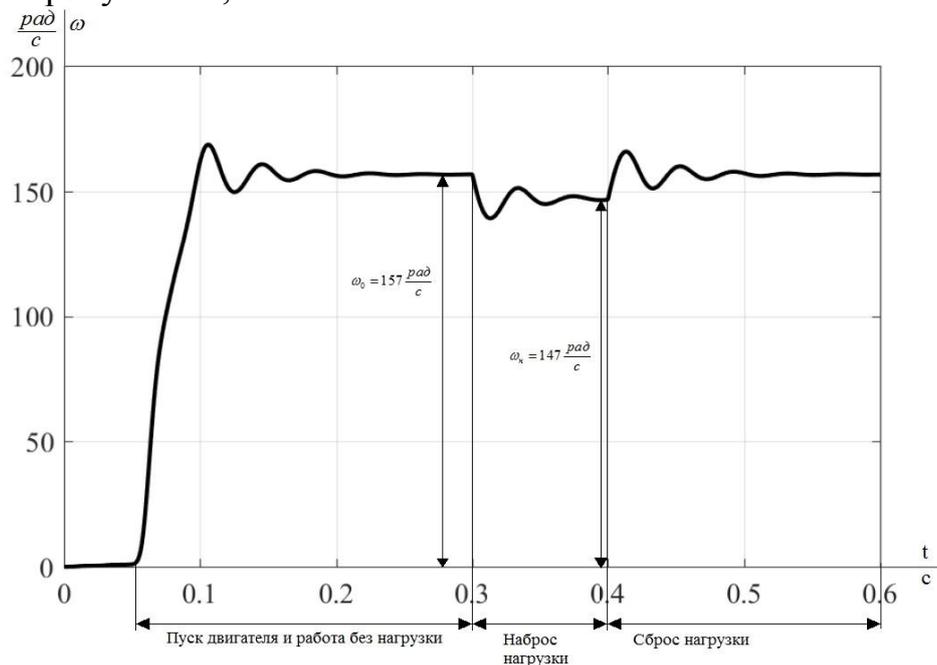


Рис. 2. Переходная характеристика $\omega=f(t)$ скорости ротора АД при пуске, «набросе», «сбросе» нагрузки

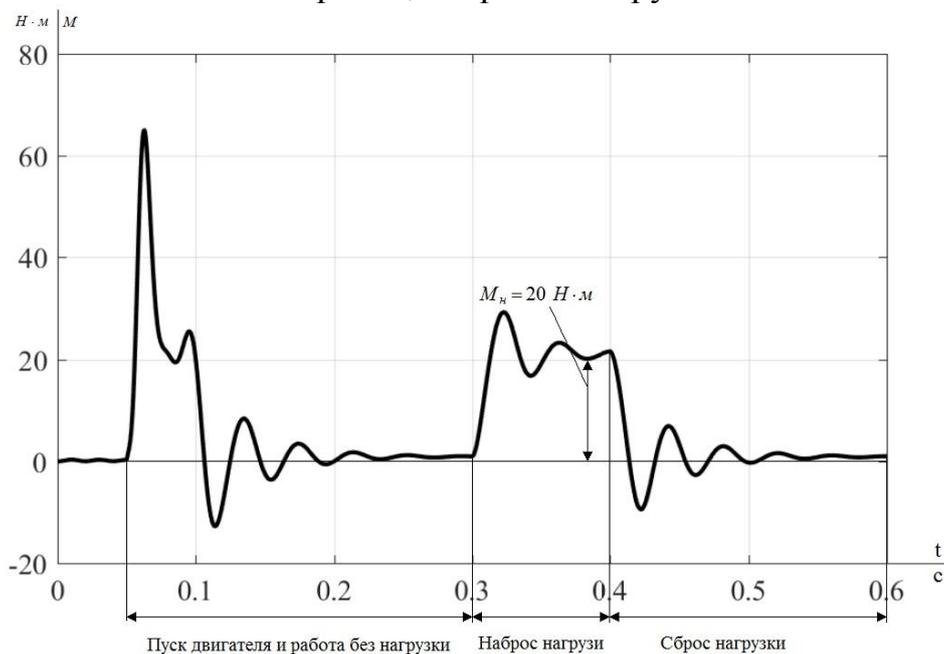


Рис. 3. Переходная характеристика $M=f(t)$ электромагнитного момента АД при пуске, «набросе», «сбросе» нагрузки

Как видно из графиков (рис. 2, 3) двигатель достигает номинальной скорости при соответствующей нагрузке и частоте питающей сети.

В процессе исследования был разработан электропривод судового вентилятора. Произведен расчет и выбор электродвигателя. Оценка динамических показателей и качества регулирования скорости перемещения производилось методом моделирования переходных процессов на ЭВМ. Результаты, полученные при моделировании, свидетельствуют о том, что спроектированный электропривод имеет хорошие динамические показатели и отвечает всем требованиям, предъявляемым судовым вентиляторам.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дементьев Ю.Н., Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 224 с.
2. Насосы. Вентиляторы. Кондиционеры: Справочник / Е.М. Росляков, Н.В. Коченков, И.В. Золотухин др., Под редакцией Е.М. Росляков – СПб.: Политехника, 2006. – 822 с.
3. Прохоров А. М. Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] // Вентилятор / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М. : Советская энциклопедия, 1969–1978.
4. Воронина Н.А. Анализ точности позиционирования двухфазного асинхронного двигателя в режиме прерывистого движения/ А.В. Аристов, Н. А. Воронина // Известия ТПУ – 2013. – Т. 322, № 4 : Энергетика. – С. 116-120.
5. L.A. Payuk, N.A. Voronina, O.V. Galtseva, “Energy Characteristics of Electric Drive of Oscillatory Motion at the Shock-Free Start”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 671, 2016, 012044, <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/671/1/012044>
6. Шеховцев В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов / В.П. Шеховцев. – М. : ФОРУМ, 2010. – 352 с.
7. Петрович В. П. Силовые преобразователи электрической энергии: учебное пособие / В. П. Петрович, Н. А. Воронина, А. В. Глазачев; Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 240 с.
8. Корепанов С.Ю.// Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи : материалы III российской молодежной научной школы-конференции / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ООО «СКАН», 2015. – 324 с.

Научный руководитель: Н.А. Воронина, к.т.н., ст. преподаватель каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ КОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ФОРМЕ ТОКА ПОТРЕБЛЕНИЯ

Д.И. Митченко

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5Г4А

В станках с числовым программным управлением (ЧПУ) при обработке материалов из пластика стабилизация частоты вращения шпинделя является одним из важных параметров влияющих на качество продукции. За частую значимую часть стоимости всего станка занимает стоимость шпинделя вместе с системой управления и силовой частью. Современные решения выполняются как на асинхронных двигателях, так и на коллекторных двигателях постоянного тока. Однако, не смотря на то, что шпиндели, построенные на базе асинхронного двигателя, набирают популярность подавляющее большинство остается за коллекторными двигателями, которые при тех-же параметрах мощности имеют меньший размер и стоимость. Стабилизация частоты современного коллекторного двигателя обеспечивается встроенными датчиками скорости [1], что значительно повышает стоимость двигателя с датчиком. По этой причине существует много станков или просто шпинделей без датчиков для автоматического управления. В работе предлагается техническое решение задачи стабилизации частоты вращения без использования датчика, при этом оценка частоты вращения получается из формы тока потребления двигателя.

Идея оценки скорости вращения коллекторного двигателя по форме тока известна уже давно, поскольку конструкция двигателя предполагает переключение контактных групп со скоростью прямо пропорциональной скорости вращения [2]. Моменты переключения и замыкания магнитных потоков имеют разные токи, следовательно, форма тока также имеет периодическую составляющую кратную частоте вращения. Кратность обуславливается конструкцией двигателя и количеством секции статора.

Рассмотренное в работе [2] решение может быть применено для мало-мощных двигателей, где допустимо управление напряжением с помощью аналогового управляемого источника питания. Для более мощных двигателей напряжение формируется с помощью управляемого импульсного источника с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). На (рис.1б) представлена схема измерения тока, и исполнительная силовая часть (рис.1а), заимствованная из схемотехнических решений импульсных источников питания.

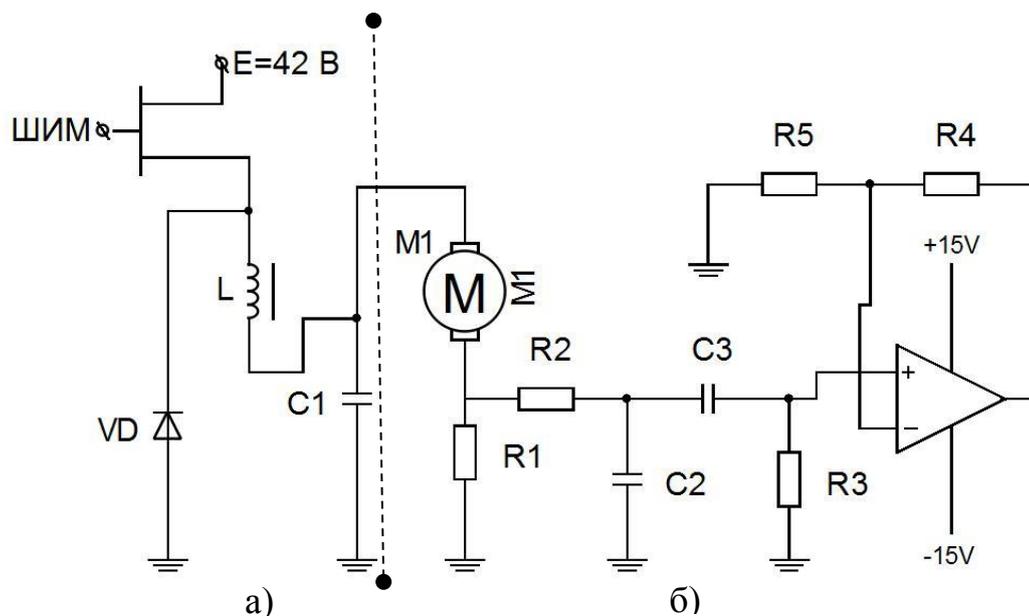


Рис.1(а) Исполнительная силовая часть. Рис.1(б) Схема измерения тока.

Импульсная составляющая значительно искажает форму тока, из которой практически не возможно простыми решениями вычислить скорость вращения двигателя, поскольку частота ШИМ и частота вращения отличаются менее чем на два порядка. На рис. 2 представлены осциллограммы формы токов в условиях ШИМ напряжения питания в двух разных режимах нагрузки на двигатель. Данные осциллограммы представлены на одном из профессиональных форумов при обсуждении упомянутой проблемы [3].

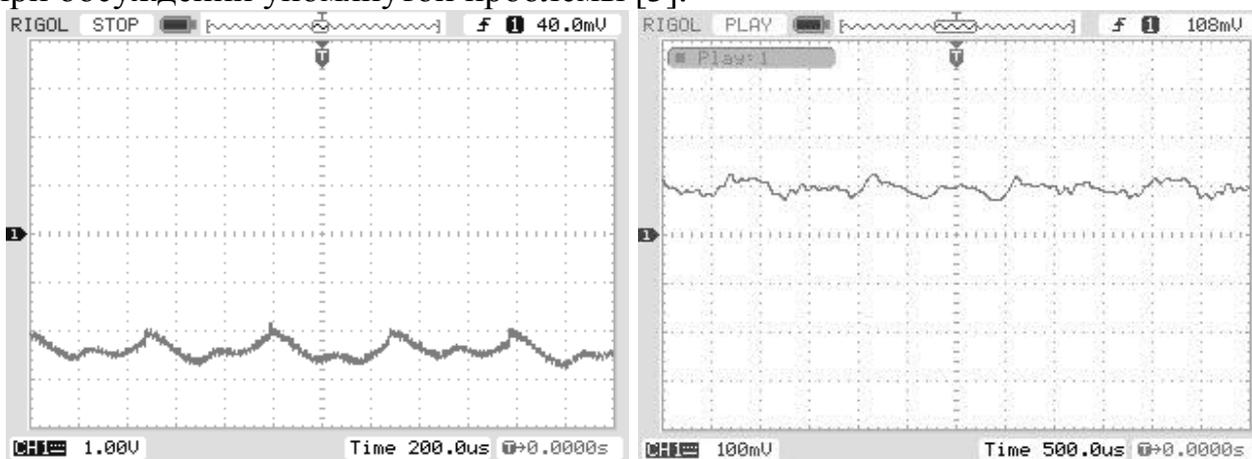


Рис. 2. Осциллограммы формы тока в коллекторном двигателе.

Как видно из формы тока потребления, существует достаточно хорошо выраженная первая гармоника частоту которой можно визуально оценить. Однако создать устройство качественно и точно вычисляющее эту частоту с помощью операционных усилителей и фильтров практически невозможно.

Оценить частоту первой гармоники с достаточной точностью можно после ее выделения с помощью узкополосного фильтра (УПФ). Однако при этом необходимо использовать управляемый УПФ, что не сложно сделать с помощью цифрового фильтра на разностных уравнениях, реализованных на микропроцессоре. Проблема может возникнуть при резком изменении частоты вращения в процессе погружения фрезы шпинделя в вязкую среду. Если изменение частоты выйдет за рамки полосы пропускания УПФ, то измерение частоты ста-

нет невозможным. В более широком диапазоне оценить частоту первой гармоники возможно с помощью быстрого преобразования Фурье [4], результаты которого могут быть применены в качестве настройки управляемого УПФ.

На рис.3 представлена структурная схема взаимодействия встроенных и программно-реализованных элементов микропроцессора STM32F103 обеспечивающих полную функциональность замкнутой системы стабилизации частоты вращения шпинделя.

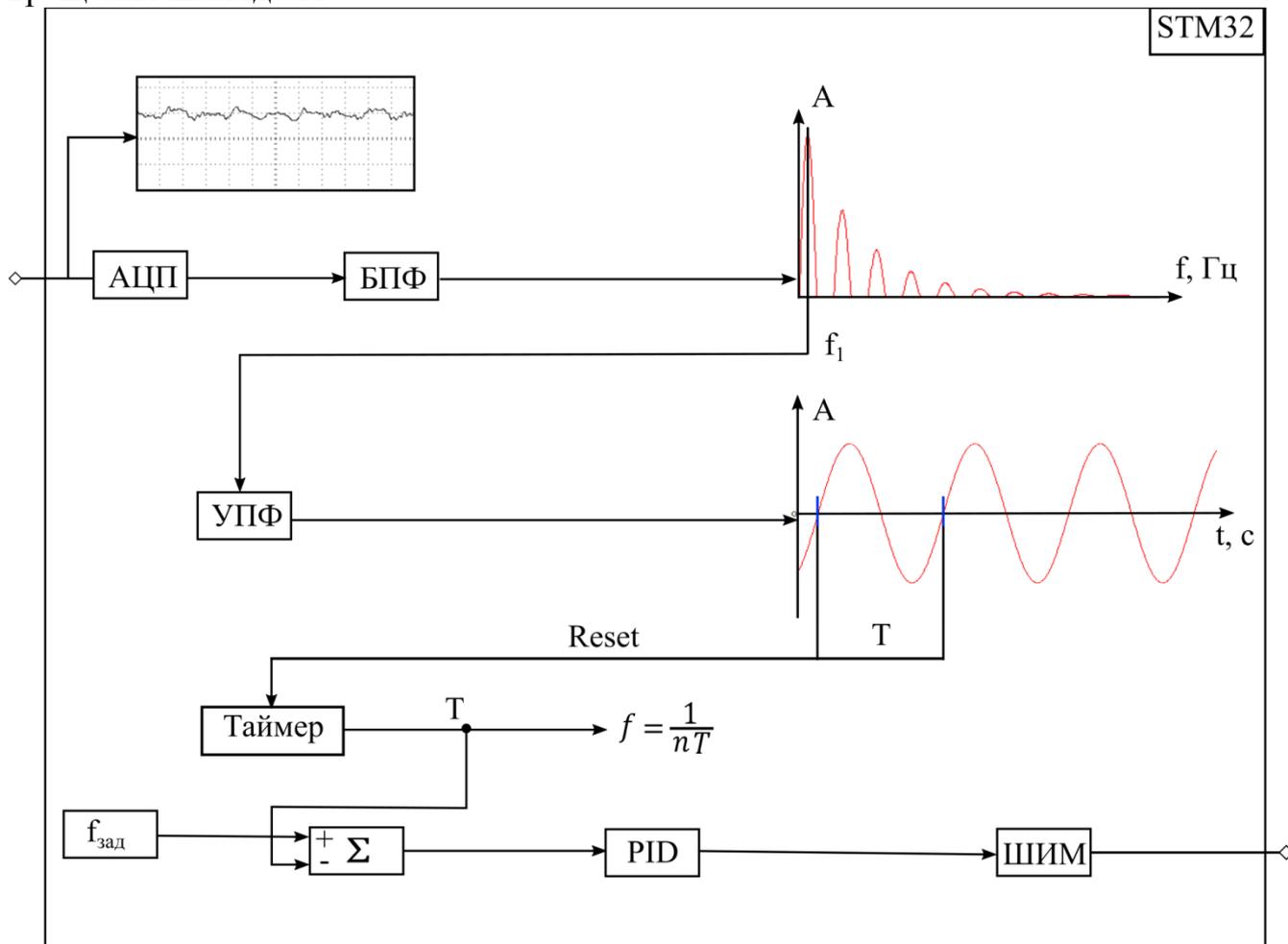


Рис. 3. Структурная схема взаимодействия элементов микропроцессора STM32.

Микропроцессор содержит в себе все необходимые встроенные блоки:

1. аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) обеспечивающий частоту дискретизации до 1 МГц;
2. управляемый широтно-импульсный модулятор для силового ключа питания двигателя;
3. таймер для вычисления периода первой гармоники.

К программно реализуемым блокам относятся:

1. блок быстрого преобразования Фурье для вычисления промежутка частоты первой гармоники;
2. цифровой управляемый УПФ для получения качественной синусоиды;
3. пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД);
4. блок схема, реализующая замкнутую цепь вычисления скважности ШИМ, для обеспечения заданной частоты вращения.

В результате в работе предложен метод стабилизации частоты вращения коллекторного двигателя на микропроцессоре STM32, где в качестве датчика частоты рассматривается первая гармоника спектр потребляемого тока. Для реализации упомянутых программных элементов можно воспользоваться дополнительными источниками. Методы реализации программных блоков широко освещены в научной и учебной литературе [5, 6]. Рисунков 1 и 3 достаточно для формирования схематического решения, которое можно дополнить средствами связи с ПК для выполнения научно исследовательских работ по созданию подобных систем. В частности, средства связи можно использовать для передачи временных рядов измерения тока в современные системы математического анализа такие как MatLab, где можно качественно выполнить анализ и синтез алгоритмов устойчивого определения частоты вращения шпинделя.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ридико Л. Усилитель мощности с микроконтроллерной системой управления // Схемотехника-2001.- N 4.- С. 3
2. Воронин С. Электромеханические свойства двигателей постоянного тока. [электронный ресурс] // http://model.exponenta.ru/epivod/glv_020.htm (дата обращения: 14.09.2016)
3. Форум разработчиков электроники. [электронный ресурс] // <http://electronix.ru/forum/lofiversion/index.php/t113215.html> (дата обращения: 14.09.2016)
4. Филимонов П. Реализация целочисленного БПФ на процессорах с архитектурой ARM. // Схемотехника-2001.- N 3.- С. 2-8
5. Денисенко В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации. // Современный технологии автоматизации-2007.- N 4.- С. 86-97
6. Programming manual STM32F10xxx/20xxx/21xxx/L1xxxx. [электронный ресурс] // http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/programming_manual/5b/ca/8d/83/56/7f/40/08/CD00228163.pdf/files/CD00228163.pdf (дата обращения: 14.09.2016)

Научный руководитель: А. А. Шилин, д.т.н., проф., каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

СИСТЕМА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ УЗЛОВ СВЯЗИ

И.Г. Слепнев, В.В. Тимошкин
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ65

С развитием современных технологий к узлам связи, обеспечивающих доступ к интернету, стали предъявляться ряд требований, таких как: экономич-

ность, бесперебойность, надежность. Для обеспечения доступа абонента к интернету используется сложное коммутационное оборудование работа которого зависит от качества электроснабжения.

Большая часть коммутационного оборудования находится в жилых домах и электроснабжение осуществляется от одной питающей сети. При возникновении аварийных ситуаций аварийная служба электромонтёров для потребителей 3 категории должна устранить неисправность в течение 24 часов. Следовательно, если узел связи находится в жилом доме или запитан от одной и той же питающей сети, то провайдер не может обеспечить абоненту услуги телевидения, телефонии и доступа к интернету. У многих провайдеров в договорах присутствует пункт, где говорится, что поставщик услуг связи обязан обеспечить круглосуточный доступ к интернету, телефонии и телевидению, при наличии на лицевом счете абонента денежных средств [1]. Согласно текущим нормативным документам, энергосети отказываются в обеспечении провайдерам резервного питания и поэтому возникает необходимость в источниках бесперебойного питания (ИБП) [2, 3].

Устанавливаемые на узлах связи ИБП должны отвечать требованиям ГОСТ 27699-88 и ГОСТ 50745-95, а их производство должно быть сертифицировано по стандарту ISO9001.

К ИБП предъявляются следующие требования [4, 5, 6, 7]:

- обеспечение питания оборудования связи на время не менее 10 часов при нарушениях в работе электрической сети, время резервирования выбирается с учётом неблагоприятных условий (долгое устранение аварии, ночное время возникновения аварии);
- защита от низкого входного напряжения (менее 198 В);
- защита от повышенных пиков напряжения во входной сети (более 242 В);
- создание гальванической развязки электрическая сеть – оборудование связи для решения вопросов электрической безопасности;

Большинство узлов связи относятся к потребителям первой категории и их электроснабжение должно обеспечиваться от трех независимых источников электроэнергии. Два внешних ввода электроэнергии подключают к отдельным энергосистемам или электростанциям, а третий – к собственной автономной (дизельной) электростанции [2, 3]. В настоящее время допускается применение систем электроснабжения с одним вводом и автономной системой гарантированного питания [2].

Структурная схема электропитания узла связи первой категории показана на рис. 1.

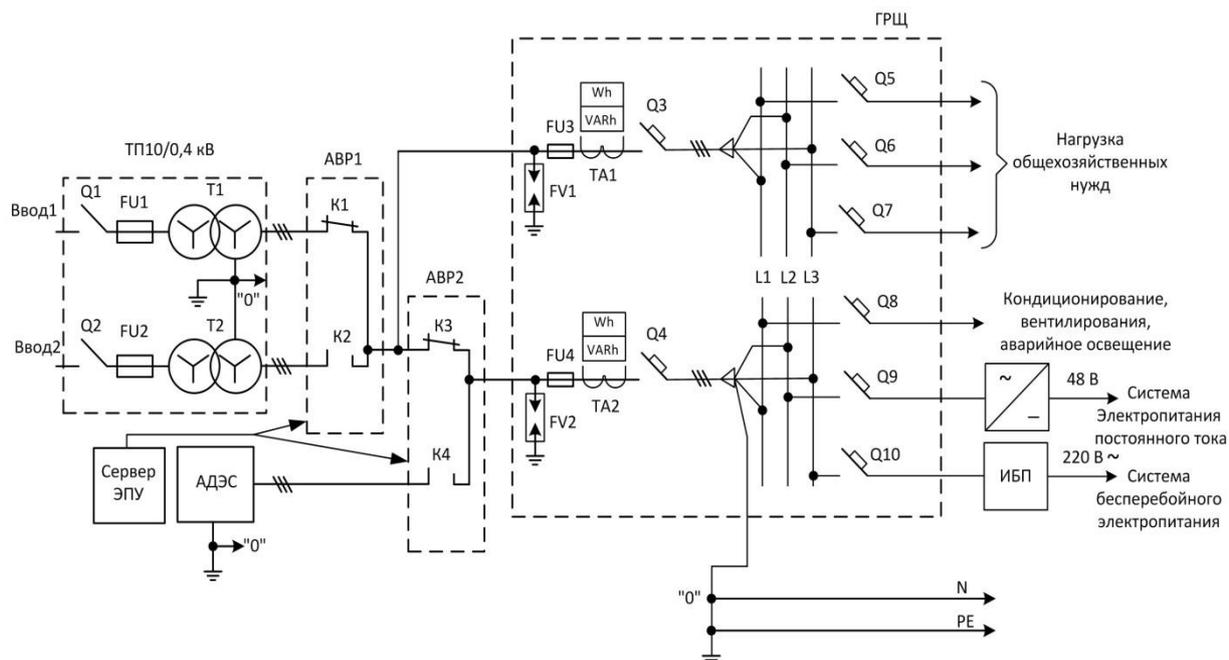


Рис. 1. Структурная схема электропитания узла связи

Схема включает следующие основные устройства:

- трансформаторную подстанцию (ТП) с трехфазными трансформаторами T1 и T2, трехфазные разъединители Q1, Q2 и плавкие вставки F1 и F2 (первой и второй кабельной линии);
- автономную дизель-генераторную электростанцию АДЭС (и отходящую от неё третью кабельную линию);
- два устройства автоматического включения резерва (АВР);
- главный распределительный щит переменного тока (ГРЩ);
- счетчик активной мощности Wh и реактивной мощности VARh;
- плавкие вставки F3 – F4 и измерительные трансформаторы фазного тока TA1 – TA2;
- автоматические выключатели Q3 – Q4 и Q5 – Q10;
- систему электропитания постоянного тока (выпрямительное устройство);
- устройство бесперебойного питания переменного тока (ИБП);
- систему мониторинга и управления на основе сервера ЭПУ;
- электросети освещения, кондиционирования и хозяйственных нужд.

Трансформаторная подстанция (ТП) предназначена для понижения напряжения от 10кВ до 0,4кВ (380/220 В) трехфазного переменного тока промышленной частоты 50 Гц.

С помощью автоматического ввода резерва (АВР) осуществляется переключение на резервный ввод 2 (фидер) в случае пропадания напряжения на основном вводе 1 (фидере). При пропадании напряжения на обоих фидерах осуществляется подключение автономной дизель-генераторной электростанции.

Автономная дизельная электростанция (АДЭС) состоит из дизельного двигателя внутреннего сгорания, соединенного с общим валом с трехфазным электрогенератором. АДЭС узлов связи должны иметь третью степень автома-

тизации и специальные средства регулировки выходного напряжения по величине, фазе и частоте.

Сервер ЭПУ состоит из рабочего места диспетчера ЭПУ и вместе с контроллерами устройств ЭПУ образуют локальную информационно – вычислительную сеть.

Источник бесперебойного питания переменного тока – устройство электропитания нагрузки напряжением 380/220 В переменного тока от электросети или аккумуляторных батарей в течение времени отказа или аварии основного источника электроснабжения переменного тока до его восстановления или включения резервного источника.

Аккумуляторная батарея – это электрохимический источник постоянного тока, который используется в качестве резервного источника электроэнергии в аварийном режиме до момента запуска автономной дизельной электростанции. После аварии происходит восстановление заряда элементов аккумуляторной батареи. Заряд производится в режиме стабилизации тока источника.

Система электроснабжения в целом должна быть построена таким образом, чтобы в условиях аварийного режима она была способна обеспечить бесперебойное питание оборудования связи в течении 24 часов (10 часов от аккумуляторов и 14 часов от резервного генератора).

Заключение. Для повышения качества услуг связи необходимо использовать системы автономного питания, позволяющие при возникновении аварийных ситуаций предоставлять абонентам услуги телефонии, интернета и телевидения.

Источники бесперебойного питания обеспечивают не только гарантированное питание коммутационного оборудования, но и защитные функции, такие как защита от низкого входного напряжения, защита от повышенных пиков напряжения во входной сети.

Электроснабжение узлов связи допускается с одним вводом и автономной системой гарантированного питания, которое позволяет обеспечить работу оборудования в течение 24 часов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Нормы пользования сетью – URL: <http://2090000.ru/business/help/faq/> (дата обращения: 25.06.2016)
2. Электропитание устройств связи / под ред. В.Е. Китаева. — М.: Радио и связь, 1988. – 280 с.
3. А.М. Сажнев, Л.Г. Рогулина. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций: Учебное пособие – Новосибирск: ФГОБУ ВПО СибГУТИ, 2012 г. – 266 с.
4. Гейтенко Е.Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет. – М., Солон-Пресс, 2007. – 498 с.
5. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. В.И. Круповича и др. – М.: Энергоиздат, 1981.

6. ГОСТ Р 50571.2-94 Электроустановки зданий. Ч. 3. Основные характеристики.
7. ГОСТ 29280-92 Совместимость технических средств электромагнитная. Испытания на помехоустойчивость. Общие положения.

Научный руководитель: В.В. Тимошкин, к.т.н., ассистент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ СИСТЕМЫ ТРН - АД

М.С. Карпов
Томский политехнический университет,
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ67

Самым дешевым и экологически безопасным способом транспортировки нефти являются нефтепроводы. Нефть в них движется со скоростью до 3 м/сек под воздействием разницы в давлении, создаваемой насосными станциями. Их устанавливают с интервалом в 70-150 километров в зависимости от рельефа трассы. На расстоянии в 10-30 километров в трубопроводах размещают задвижки, позволяющие перекрыть отдельные участки при аварии [1].

Для получения возможности удаленно пользоваться задвижками, целесообразно использовать электрический привод в конструкции запорной арматуры. Такое техническое решение позволяет значительно снизить трудозатраты по обслуживанию магистральных трубопроводов. При помощи электропривода можно использовать задвижку, находясь на значительном расстоянии от нее.

Целью данной работы является исследование динамических режимов системы тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель (ТРН-АД).

Регулирование напряжения на статоре не приводит к изменению скорости холостого хода $\omega_0 = 2\pi f_1/p$ и не влияет на критическое значение скольжения s_k , но существенно изменяет критический момент M_k .

Как следует из формулы:

$$M_k = \frac{3U_\phi^2}{2\omega_0(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_k^2})}$$

уменьшение M_k происходит пропорционально квадрату снижения напряжения. В результате при $U_{1пер} = var$ искусственные характеристики, построенные соответственно при напряжениях (1; 0,8; 0,6; 0,4) · $U_{1ном}$, оказываются мало пригодными для регулирования скорости, так как по мере уменьшения напряжения резко снижаются критический момент и тем самым перегрузочная способность АД, а диапазон регулирования скорости очень мал [2].

С целью управления клиновой задвижкой, установленной на магистральном нефтепроводе, выбран электропривод ЭПЦ-15000. Были рассчитаны параметры схемы замещения АД и построены механические характеристики по выражению:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}, s = 1 - \frac{\omega}{\omega_0}.$$

На рисунке 1 показаны механические характеристики электродвигателя. Видно, что критический момент АД уменьшается при уменьшении напряжения питания. При этом критическое скольжение и скорость идеального холостого хода остаются неизменными.

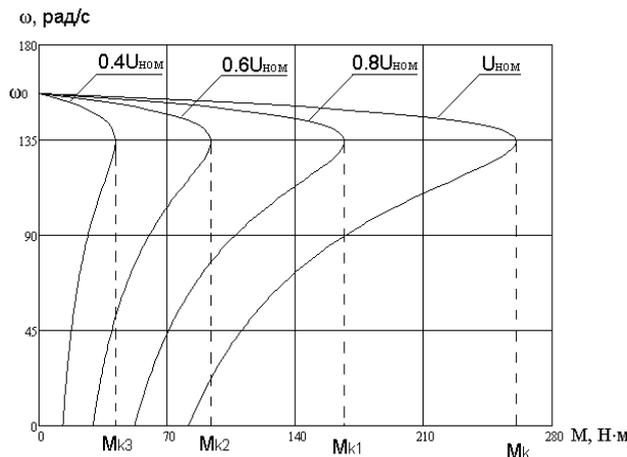


Рис. 1. Механические характеристики электродвигателя

В данной работе была построена модель АД в трехфазной системе координат. Математическое описание такой модели сложнее, чем мат. описание двухфазной машины. Но при исследовании динамических режимов наиболее подходящей моделью считается трехфазная [3].

На рисунке 2 приведена трехфазная модель системы ТРН-АД, построенная в среде MATLAB Simulink.

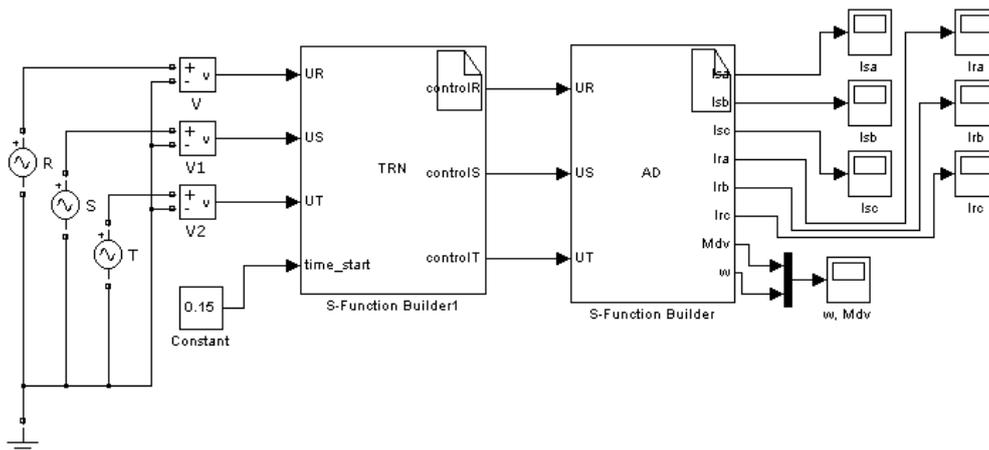


Рис. 2. Имитационная модель системы ТРН -АД

Необходимо найти закон изменения токов в каждой фазе статора и ротора, учитывая то, что токи в каждой фазе имеют влияние друг на друга. В конечном счете, необходимо будет выразить эти токи из результирующего дифференциального уравнения с матричными переменными:

$$[L_1] \cdot \frac{d[i]}{dt} = [U] - \left([R] + [L_2] \cdot \frac{\omega}{\sqrt{3}} \right) \cdot [i]$$

Это уравнение необходимо привести к нормальной форме Коши и решить методом Эйлера.

На рисунке 3 показаны графики переходных процессов скорости, момента и тока двигателя при пуске под нагрузкой.

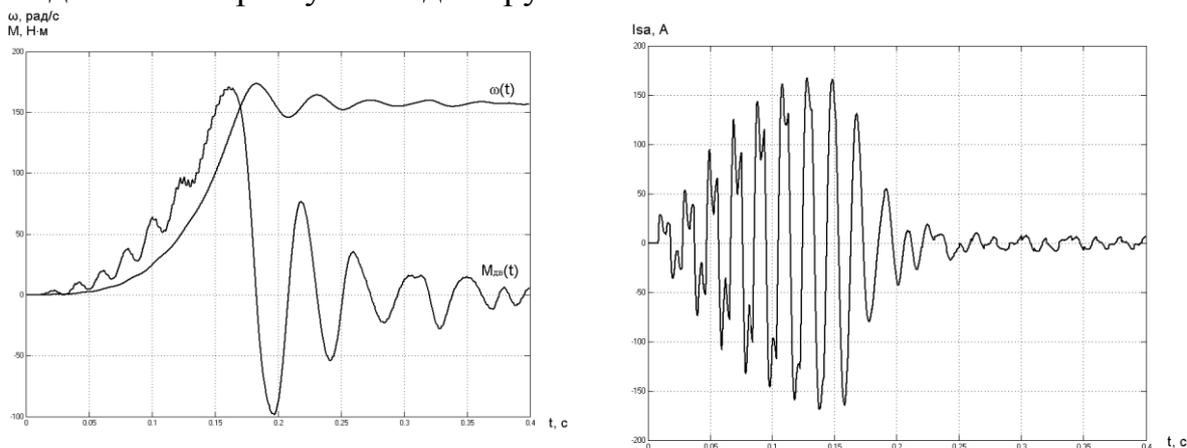


Рис. 3. Графики переходных процессов скорости, момента и тока АД

Динамическое торможение АД осуществляется путем подключения к двум любым обмоткам статора источника постоянного тока. При этом асинхронный двигатель сначала отключают от питания трехфазным переменным током, и только после этого подают постоянный ток.

На рисунке 5 показаны графики переходных процессов скорости вращения ротора и момента двигателя. При чем в момент времени $t=0.5$ с происходит наброс нагрузки до значения $0,46 \cdot M_H$, а в момент времени $t=0.8$ с начинается процесс динамического торможения. Угол управления, с которым происходит торможения двигателя, равен 170° .

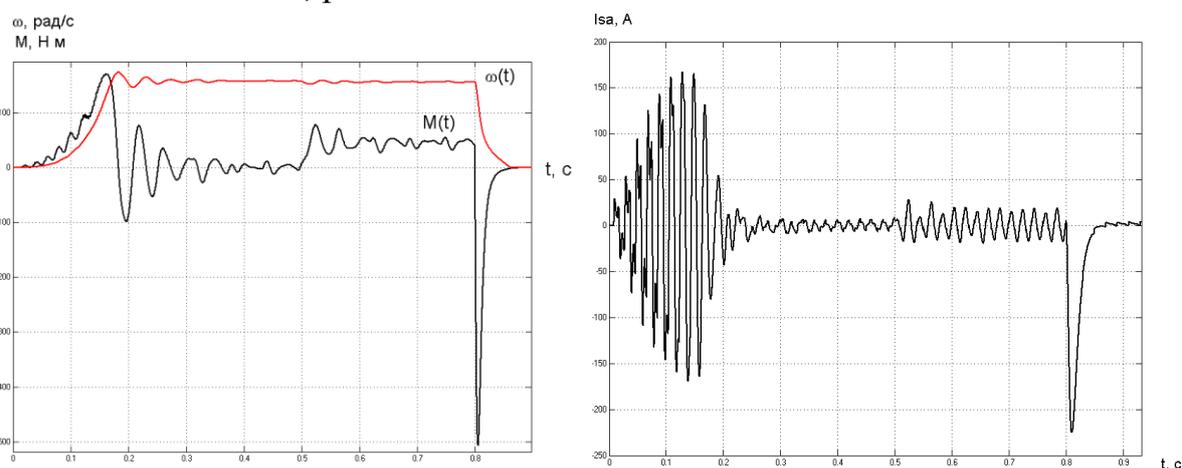


Рис. 4. Графики переходных процессов скорости, момента и тока при динамическом торможении

Как видно из полученных результатов, во время динамического торможения в фазах статора возникают большие токи ($I_{s\alpha} = -255$ A). Следствием этого является большой тормозной момент, который позволяет затормозить ротор АД наиболее эффективно. В дальнейшей работе необходимо будет разработать алгоритм динамического торможения, который позволит ограничить ток при торможении и избежать ударов в механической части электропривода.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Строительные нормы и правила: СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы. – введен 01.07.2013. - М.: Госстрой, ФАУ "ФЦС", 2013.
2. Москаленко В.В.. Электрический привод: Учеб. пособие для сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
3. Однокопылов И.Г. Асинхронный электропривод механизма подъема крана мостового типа с повышенной безопасностью и живучестью: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.09.03 / Томский политехнический университет. – Томск, 2008.
4. Однокопылов И.Г., Дементьев Ю.Н. Обеспечение живучести асинхронных электроприводов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2014. – Т. 14. – № 2. – С. 55-61.

Научный руководитель: И.Г. Однокопылов, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ УДАРОВ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

А.Н. Федоров, А.О. Смирнов, И.Г. Однокопылов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО

Современный автоматизированный электропривод любого производственного механизма является сложной системой, электрическая и механическая части которой находятся в постоянном взаимодействии. В общем случае электрическая часть привода содержит ряд накопителей и преобразователей энергии, объединенных электрическими и магнитными связями, а механическая часть имеет более или менее развитую инерционную многомассовую структуру с упругими механическими связями. Управляющие и возмущающие воздействия в такой системе вызывают переходные процессы, связанные с накоплением, отдачей энергии, а также с обменом энергией между ее элементами. Переходные процессы, возникающие в динамических режимах, определяют появление динамических нагрузок электропривода. Данная работа посвящена исследованию динамических режимов асинхронного электропривода запорной арматуры.

Современный электропривод арматуры представляет собой сложную электромеханическую систему, составными частями которой являются асинхронный двигатель, редуктор, система управления. Исследования в области электроприводов запорной арматуры является актуальной задачей на сего-

дняшний день, о чем говорит значительное количество научно-исследовательских работ, выполненных в этом направлении. Основной целью является повысить надежность и отказоустойчивость электропривода запорной арматуры.

В динамическом режиме при неравномерном набросе нагрузки возможно разрушение основных элементов запорной арматуры. Для этого необходимо вводить ограничения динамических нагрузок электропривода. Определение допустимых значений нагрузок является одной из наиболее общих и сложных задач, решаемых при проектировании автоматизированного электропривода запорной арматуры. Надежность, долговечность и производительность механизмов непосредственно зависят от надежности и динамических качеств системы электропривода. Поэтому изучение динамических свойств электропривода, анализ влияния его параметров на эти свойства имеют важное практическое значение [1].

Этот комплекс вопросов особенно важен для электроприводов реверсивных механизмов. Ограничения, накладываемые на электрические и механические параметры, всегда в той или иной степени снижают производительность таких механизмов. Максимальная производительность достижима только при условии эффективного использования допустимых токов, моментов, усилий и ускорений во всех переходных процессах. Так возникает необходимость формирования оптимальных переходных процессов электропривода, обеспечивающих при наложенных ограничениях максимум производительности механизма [2].

Важным условием в процессе функционирования электропривода является соответствие заданным критериям и показателям качества. При анализе работы запорной арматуры, процессов, протекающих в динамических режимах (пуск, реверс, наброс нагрузки, торможение) необходимо управление выходными координатами, такими, как скорость и момент, развиваемый приводом [3]. С этой целью необходимо выбрать подходящую структуру системы управления. Одной из таких является структура систем подчиненного регулирования параметров электропривода, в частности система векторного управления, ориентированная по вектору потокосцепления ротора [4].

Так как по трубопроводам могут транспортироваться различного рода жидкости, в том числе и взрывоопасные, то необходимо, чтобы электропривод выполнялся во взрывобезопасном исполнении. В данной работе исследования проводились на электроприводе «Гусар», который удовлетворяет перечню технических требований. Электропривод с электронной системой управления предназначен для многофункционального управления трубопроводной арматурой и используется в нефтяной, газовой, нефтехимической и других отраслях промышленности.

На рис. 1 представлена структурная схема электропривода «Гусар», на которой представлены основные функциональные элементы.

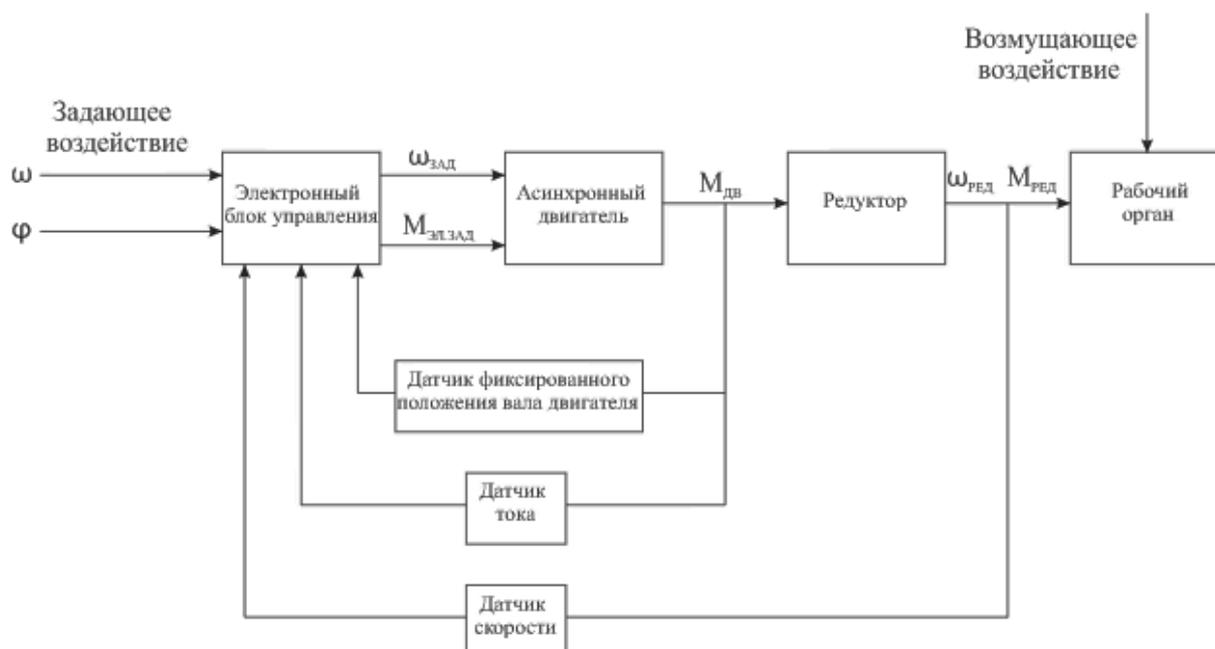


Рис. 1. Структурная схема электропривода

На вход системы в электронный блок управления подается управляющее воздействие в виде задания на скорость (кривая разгона), задания на угол поворота (задается в каждом отдельном случае при настройке электропривода). В зависимости от управляющих и возмущающих воздействий электронный блок управления формирует сигнал задания на скорость и электромагнитный момент. Система является замкнутой по возмущению с использованием датчиков тока и скорости.

Для исследования динамических режимов разработана имитационная модель частотно-регулируемого электропривода запорной арматуры в среде Matlab. Асинхронный двигатель представлен имитационной моделью в двухфазной системе координат. Имитационная модель волнового редуктора представлена звеном с передаточным коэффициентом, а также учтена кривая потерь (зависимость момента редуктора от момента двигателя) [5]. Проведен синтез векторной системы управления асинхронным двигателем.

Для проведения экспериментальных исследований использовался экспериментальный стенд, который содержит электропривод ГУСАР и нагрузочный стенд с тормозными колодками и датчиком усилия для измерения момента на выходе редуктора.

В данной работе предлагается использовать датчик интенсивности для задания момента электропривода. Результаты отображены на рис. 2, на котором представлены графики переходных процессов частотно-регулируемого электропривода запорной арматуры при пуске, набросе нагрузки и торможении.

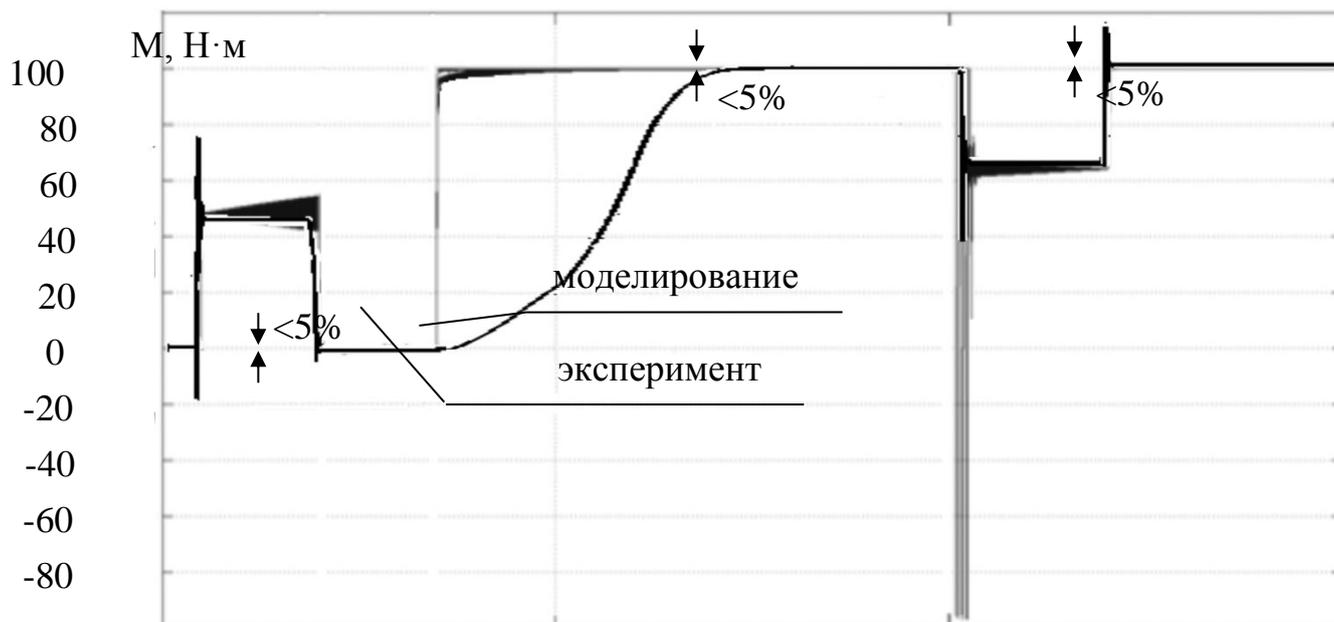


Рис. 2. Переходные процессы частотно-регулируемого электропривода запорной арматуры

Применение задачника интенсивности момента позволит при пуске плавно сорвать выходной клапан с места, что соответственно продлит срок эксплуатации механической части, особенно при низких температурах. Основные выводы по работе.

1. Расхождение экспериментальных данных и данных, полученных с помощью имитационной модели, не превышает 5 %, значит, результаты являются адекватными и пригодны для работы в дальнейших исследованиях.

2. Кривые задания на скорость и момент позволяют избежать таких явлений как гидродинамический удар в процессе открытия/закрытия арматуры, снижают колебания момента электропривода при торможении более чем в 2 раза, дают возможность предотвратить повреждение конструкции запорной арматуры при резком срыве после длительных простаиваний.

3. Корректировка участка торможения кривой задания скорости позволила снизить колебания момента электропривода в процессе торможения, что также положительно сказывается на динамике всего электропривода в целом.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ключев В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода, М., «Энергия», 1971. – 320 с.
2. Гошко А.И. Арматура промышленная общего и специального назначения. Справочник – М.: Мелго, 2007 г.
3. Баляев Н.Г., Однокопылов И.Г. Исследования работы асинхронного электропривода механизма подъема мостового крана // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 1. С. 300-304.

4. Однокопылов И.Г., Однокопылов Г.И., Центнер Й., Дементьев Ю.Н., Образцов К.В. Живучесть асинхронных электроприводов вращательного и поступательного движения // Электричество. – 2012. – № 6. – С. 46а-51.
5. Букреев В.Г., Хохряков Б.Г., Смирнов А.О. Повышение работоспособности асинхронного электропривода с волновым редуктором при низких температурах окружающей среды // Известия вузов. Электромеханика / Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) (ЮРГТУ (НПИ)). – 2013. – № 4. – С. 27-31.

Научный руководитель: И.Г. Однокопылов, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХЗОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

А.В. Брусов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ67

Двухзонное регулирование скорости электропривода применяется в производственных механизмах, у которых работа на скорости выше номинальной происходит с малым моментом сопротивления на валу и наоборот, на низкой скорости необходимо наиболее высокое (номинальное) значение момента [1]. Электропривод с двухзонным регулированием обеспечивает регулирование скорости ниже номинальной скорости (первая зона) посредством изменения напряжения на якоре при номинальном потоке возбуждения, а регулирование выше номинальной – путем изменения магнитного потока (вторая зона) при неизменном напряжении на якоре [2]. Область применения двухзонного электропривода постоянного тока: машиностроение, металлургия, стройиндустрия, целлюлозно-бумажная, горная, нефтяная и другие отрасли промышленности. Структурная схема системы подчиненного регулирования двухзонного электропривода представлена на рисунке 1 [3].

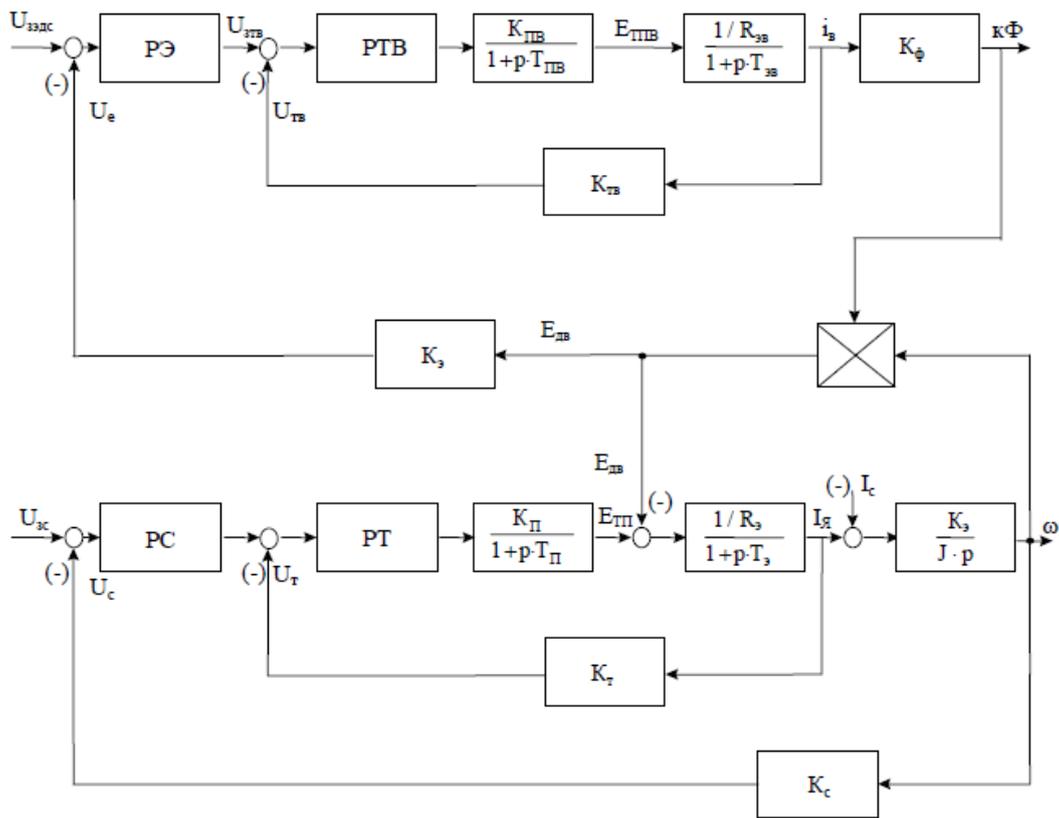


Рис. 1. Структурная схема двухзонного электропривода

В ходе выполнения работы был выполнен синтез структуры двухзонного электропривода постоянного тока и получены различные структуры регуляторов [4].

Синтез контура тока:

$$W_{РТ}(p) = \frac{(1+T_T \cdot p)(T_{Э} \cdot p + 1)}{T_T \cdot p} \cdot \frac{T_T}{2 \cdot T_{П} \cdot K_{П} \cdot K_{Э} \cdot K_T} \quad \text{– ПИД-регулятор;}$$

$$W_{РТ}(p) = \frac{p \cdot (T_{Э} + T_T) + 1}{T_{Э} + T_T \cdot p} \cdot \frac{T_{Э} + T_T}{2 \cdot T_{П} \cdot K_{П} \cdot K_{Э} \cdot K_T} \quad \text{– ПИ-регулятор.}$$

Синтез контура скорости:

$$W_{РС}(p) = \frac{J \cdot K_T}{2 \cdot T_{\mu C} \cdot K_C \cdot K_{ЭМ}} \cdot \frac{(1+T_C \cdot p)}{(1+T_T \cdot p)} \quad \text{– П-регулятор с фильтром;}$$

$$W_{РС}(p) = \frac{K_{П} \cdot (1+T_{РС} \cdot p)}{T_{РС} \cdot p} \cdot \frac{1+T_C \cdot p}{1+T_T \cdot p} \quad \text{– ПИ-регулятор с фильтром.}$$

Синтез контура тока возбуждения:

$$W_{РТВ}(p) = \frac{(1+T_{ПВ} \cdot p)(T_{ЭВ} \cdot p + 1)}{T_{ПВ} \cdot p} \cdot \frac{R_B}{T_{ПВ} \cdot K_{ПВ} \cdot K_{ТВ}} \quad \text{– ПИД-регулятор;}$$

$$W_{РТ}(p) = \frac{p \cdot (T_{ЭВ} + T_{ПВ}) + 1}{(T_{ЭВ} + T_{ПВ}) \cdot p} \cdot \frac{(T_{ЭВ} + T_{ПВ}) \cdot R_B}{2 \cdot T_{ПВ} \cdot K_{ПВ} \cdot K_{ТВ}} \quad \text{– ПИ-регулятор.}$$

Синтез контура ЭДС:

$$W_{РЭ}(p) = \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{4 \cdot T_{\mu ТВ} \cdot K_{\Phi} \cdot K_{ОЭ} \cdot \omega_{\max}} \quad \text{– И-регулятор;}$$

$$W_{P\Omega}(p) = \frac{8 \cdot T_{\mu TB} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\mu TB} \cdot p} \cdot \frac{1}{T_{\mu TB} \cdot 4 \cdot K_{\Phi} \cdot K_{O\Omega} \cdot \omega_{\max}} - \text{ПИ-регулятор.}$$

Исследование динамических характеристик $\omega = f(t)$, $E_{\text{дв}} = f(t)$ и $\Phi = f(t)$ пуска проведено на имитационной модели в *MatLab (Simulink)* при линеаризации кривой намагничивания, которая представлена на рисунке 2.

В ходе моделирования было выявлено что, наилучшие параметры переходного процесса двухзонный электропривод постоянного тока имеет при ПИ-регуляторе тока якоря, ПИ-регуляторе скорости с фильтром, ПИ-регуляторе ЭДС и ПИ-регуляторе тока возбуждения, на рисунке 3 представлены его динамические характеристики при его разгоне до максимальной скорости.

В первой зоне обеспечивается диапазон скоростей от 0 до ω_n и регулирование в этой зоне производится за счёт изменения напряжения на якоре двигателя, значение тока возбуждения остается постоянным, равным номинальному значению, поэтому поток, создаваемый обмоткой возбуждения, также остается постоянным и равным номинальному. Во второй зоне обеспечивается диапазон скоростей до ω_{\max} , что происходит за счёт ослабления потока возбуждения до значения, соответствующего установившемуся значению скорости, равно как и поток (пропорциональность определяется значением K_{Φ}).

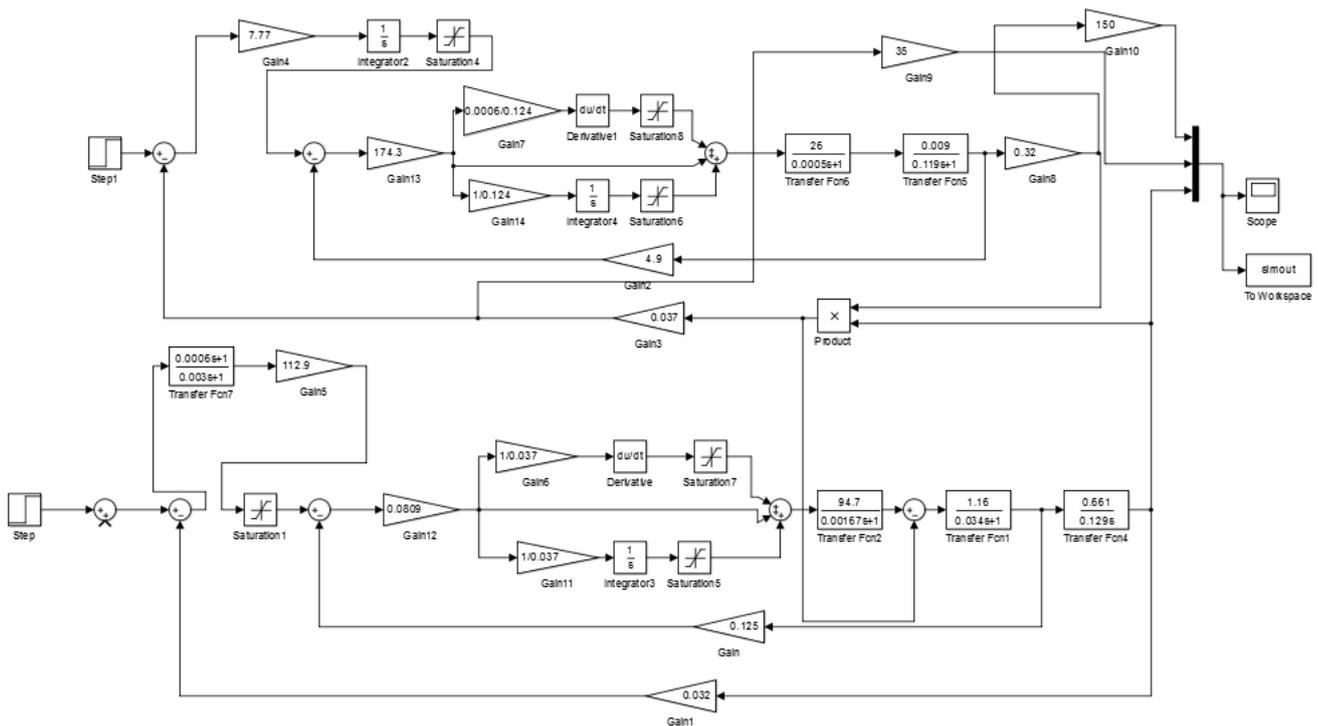


Рис. 2. Имитационная модель двухзонного электропривода постоянного тока при линеаризации кривой намагничивания

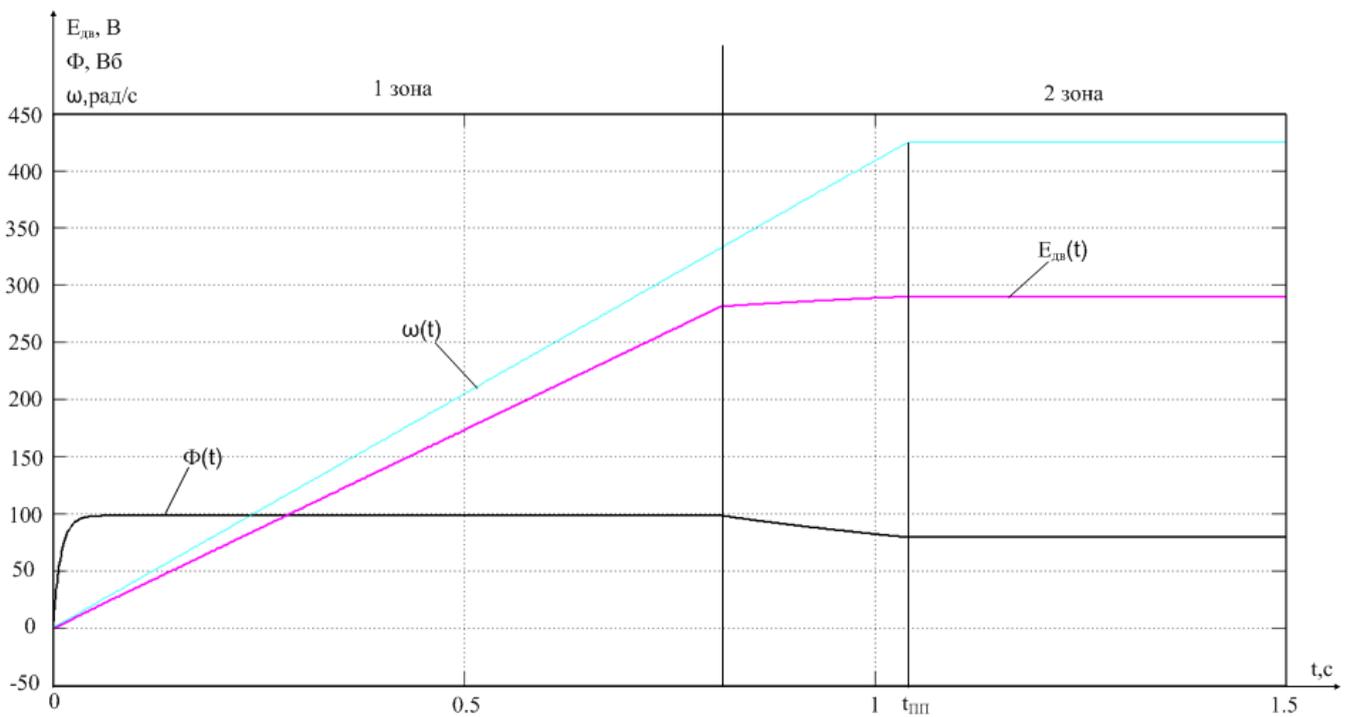


Рис. 3 Динамические характеристики электропривода при разгоне до максимальной скорости с использованием комбинации регуляторов ПИ-регуляторе тока якоря, ПИ-регуляторе скорости с фильтром, ПИ-регуляторе ЭДС и ПИ-регуляторе тока возбуждения.

Исследование динамических характеристик нелинейной системы двухзонного электропривода постоянного тока при различных структурах регуляторов с учетом кривой намагничивания двигателя проведено на имитационной модели двухзонного электропривода постоянного тока, которая выглядит аналогично модели (рис. 2). Отличием является замена блока линеаризации кривой намагничивания, на блок “*Lookup Table*” в котором реализована кривая намагничивания.

Анализ переходных характеристик показал, что с учетом кривой намагничивания, предпочтительней также является комбинация ПИ-регулятор тока якоря, ПИ-регулятор скорости с фильтром, ПИ-регулятор тока возбуждения и ПИ-регулятор ЭДС, при данной комбинации регуляторов электропривод имеет наилучшие параметры переходных процессов.

График переходного процесса скорости при учете кривой намагничивания не имеют отличий от графика переходного процесса скорости при учете линеаризации кривой намагничивания, из этого можно сделать вывод, что при моделировании двухзонного электропривода постоянного тока можно использовать линеаризацию кривой намагничивания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. <http://refland.ru/15634-sistema-s-dvuhzonnyim-regulirovaniem-skorosti.html>
2. <http://www.dissercat.com/content/dvukhzonnyi-reversiruemyi-po-polyu-elektroprivod-glavnogo-dvizheniya-metallorzhushchikh-sta>

3. Алехин А. Е., Ляпушкин С. В. Лабораторный практикум по курсу «Системы управления электроприводами». ТПУ. — Томск: Изд-во ТПУ, 2004. — с. 98.
4. Л. С. Удут, О. П. Мальцева, Н. В. Кояин. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока: учебное пособие по курсовому проектированию. ТПУ. — Томск: Изд-во ТПИ, 1991. — с. 104.

Научный руководитель: С.В. Ляпушкин, ст. преподаватель каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННОГО И ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Г.И. Однокопылов, И.А. Розаев, А.Д. Брагин, Е.П. Сенькив
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО

Из теории построения технических систем следует, что свойством живучести присуще только для избыточных систем, а избыточность в технических системах реализуется через резервирование [1]. Для современного электропривода построенного на основе микропроцессорных и микроконтроллерных средств отдельные виды резервирования уже заложены в структуру электропривода и могут быть применены при активизации алгоритма восстановления работоспособности электропривода при выявленных в результате программного мониторинга отказов в реальном времени. Для трехфазного асинхронного электропривода выполненного по схеме со связанными фазами (с зависимым протеканием фазных токов) при отказе в одной из фаз реализация отказоустойчивого управления предполагает выполнение условия по восстановлению кругового вращающегося поля и переключению структуры электропривода по схеме токового питания с независимым протеканием фазных токов в двух оставшихся фазах двигателя. Круговое вращающееся магнитное поле для двухфазного режима трехфазного асинхронного электропривода с произвольно сдвинутыми в пространстве двумя обмотками возможно при условии:

$$\begin{aligned} \delta + \beta &= \pi; \\ F_{AM} &= F_{CM}, \quad (1) \end{aligned}$$

где: F_{AM} , F_{CM} — амплитуды магнитодвижущих сил; δ — пространственный угол сдвига обмоток, $\delta = 2\pi/3$; β — временной угол сдвига токов в обмотках, $\beta = \pi/3$. Наличие регуляторов тока в системе управления электропривода обеспечивает: $F_{AM} = F_{CM}$. [2,4]

Выполнение условия (1) предполагает активизацию алгоритма восстановления с изменением фазового сдвига векторов токов в двух оставшихся фазах на угол $\pi/3$ с сохранением равенства амплитудных значений токов. В этом случае поле после аварии из пульсирующего становится круговым и при увеличе-

нии амплитуды токов на 50% происходит восстановление работоспособности электропривода. Следует отметить, что выполнение условия (1) кроме самого факта формирования кругового вращающегося поля позволяет реализовать функциональный резерв, то есть сформировать необходимую избыточность для реализации отказоустойчивого управления. На рис. 1 (а, б) приведены временные диаграммы результатов моделирования аварийного отключения фазы АД при векторном и скалярном управлении, показан процесс формирования интервала времени переключения структуры электропривода – T_{II} по равенству фазовых сдвигов векторов тока на угол $\pi/3$.

Из сравнения диаграмм можно видеть, что после аварийного отключения фазы двигателя в интервале времени T_{II} – времени переключения структуры ЭП определяемого от t_1 – момента времени выявленного отказа до t_2 – момента времени восстановления кругового вращающегося поля для случаев векторного и скалярного управления различается и составляет не более 4,6 мс для случая векторного управления и 8,2 мс для скалярного управления.

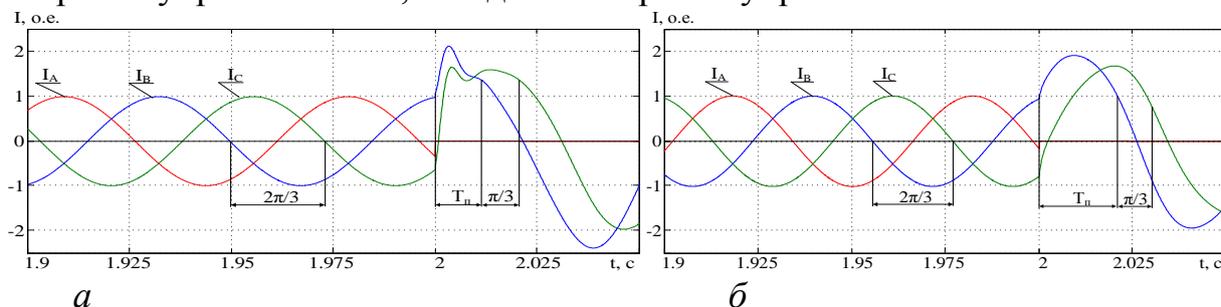


Рис. 1. Временные диаграммы переходных процессов АД при аварийном отключении фазы для векторного - а и скалярного - б управления.

Окончание процесса переключения структуры электропривода может быть определено по условию смещения векторов магнитодвижущих сил, формируемых фазными токами, с величины $2\pi/3$ в трехфазном режиме до величины $\pi/3$ в двухфазном режиме [2,3,5].

Вентильно-индукторный электропривод отличается от асинхронного тем, что токовое питание фаз происходит независимо и характера тока, протекающего в обмотках является униполярным в отличие от биполярного питания асинхронного электропривода. Поэтому при аварийном пропадании питания в одной из фаз двигателя происходит падение активной мощности на 1/3, но за счет организации однополярного питания фаз работа других фаз не связана. Это определяет исходную отказоустойчивость односекционного 3-фазного вентильно-индукторного двигателя в аварийном в 2-фазном режиме и позволяет обеспечить живучесть электропривода с ограничением момента на уровне 2/3 от номинального при отказах ПЧ или обрыве обмотки статора. Наличие исходной отказоустойчивости определяет односекционный вентильно-индукторный электропривод как избыточную техническую систему [6].

В асинхронном электроприводе для формирования избыточности необходимы дополнительные аппаратные затраты такие как подключение средней точки источника питания к нулевому проводу асинхронного двигателя. Кроме того, для блокирования отказа типа "невывключение ключа" преобразователя частоты необходимы защитные элементы отключающие соответствующий по-

лустность преобразователя частоты от источника питания. В вентильно-индукторном электроприводе защитные элементы не нужны, так как полумостовой элемент преобразователя частоты уже содержит два последовательно включенных ключа, и операция блокирования отказа может быть обеспечена снятием управляющих напряжений с отказавшей стойки полумоста [5,8].

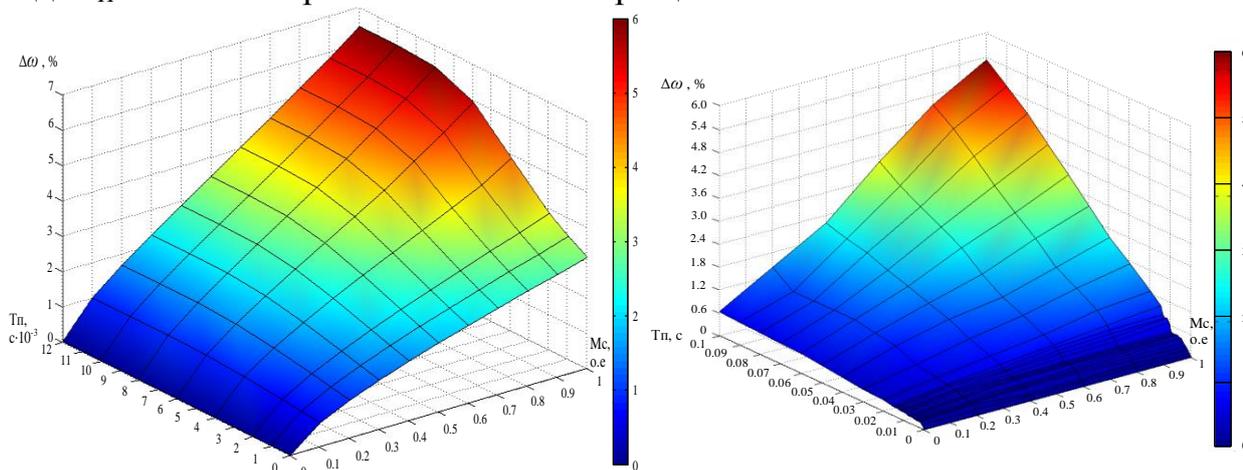
В результате различаются процессы переключения структуры вентильно-индукторного и асинхронного электроприводов за время T_{II} . Для асинхронного электропривода это время неуправляемого интервала времени протекания процессов структурной адаптации силовых цепей преобразователя частоты к последствиям отказов, который может быть частично уменьшен за счет эффективной работы алгоритма восстановления работоспособности, но не устранен полностью, так как процессы обмена энергией в системе статор-ротор не могут быть сокращены. Для вентильно-индукторного электропривода T_{II} – это интервал времени, определяемый временем реакции системы управления по перераспределению электромагнитной мощности за счет изменения угла перекрытия фаз или увеличения тока в соседней фазе - время переходного процесса практически определяемого только длительностью электромагнитной постоянной фазной обмотки двигателя [7].

Величина провала частоты вращения электропривода $\Delta\omega$ в течение времени переключения структуры T_{II} может быть определена:

$$\Delta\omega = \frac{(\omega_{ТП} - \omega_{отк})}{\omega_{отк}}, \quad (2)$$

где: $\omega_{отк}$ – установившиеся значения частоты вращения в момент за, $\omega_{ТП}$ – мгновенные максимальные (минимальные) значения частоты вращения в течение времени T_n от момента отказа,

На рис. 2а (слева) приведены зависимости провала частоты вращения $\Delta\omega(M_c, T_{II})$ от величины нагрузки M_c и времени переключения структуры электропривода T_{II} для асинхронного электропривода позволяющие оценить величину $\Delta\omega$ при аварийном отключении одной из фаз двигателя в процессе алгоритмического восстановления работоспособности. Из рис. 2 видно, что провал по частоте вращения, при номинальной нагрузке, для асинхронного электропривода при значении $\Delta\omega = 6,5\%$ достигается за время $T_{II} = 0,012$ с. При снижении нагрузки или сокращении времени переключения структуры электропривода T_{II} величина провала по частоте вращения $\Delta\omega \rightarrow 0$.



а

б

Рис. 2. Зависимости $\Delta\omega$ от величины нагрузки M_c , времени переключения структуры асинхронного электропривода (слева), и вентильно-индукторного электропривода (справа)

На рис. 2б (справа) приведена зависимость $\Delta\omega$ (в %) от величины нагрузки M_c в относительных единицах относительно величины номинальной нагрузки (о.е.), времени переключения структуры электропривода T_{II} (с) для двухсекционного вентильно-индукторного электропривода. Приведенные на рис. 2 (б) зависимости провала частоты вращения $\Delta\omega(M_c, T_{II})$ от величины нагрузки M_c и времени переключения структуры электропривода T_{II} для вентильно-индукторного электропривода, позволяют оценить величину $\Delta\omega$ при аварийном отключении одной из фаз двигателя в процессе алгоритмического восстановления работоспособности. Как следует из рис. 3 максимальное значение провала частоты вращения $\Delta\omega = 5.72\%$ возникнет при номинальной нагрузке с временем переключения структуры электропривода $T_{II} = 0.1$ с, что во много раз превышает период дискретизации ШИМ. Следовательно, при обеспечении мониторинга работы для вентильно-индукторного электропривода с частотой коммутации преобразовательной ячейки провал в частоте вращения $\Delta\omega$ составляет менее 1%

Из сравнения зависимости $\Delta\omega(M_c, T_{II})$ от величины нагрузки M_c и времени переключения структуры электропривода T_{II} для асинхронного электропривода рис. 2 и зависимости $\Delta\omega(M_c, T_{II})$ для вентильно-индукторного электропривода видно, что провал по частоте вращения, при номинальной нагрузке, для вентильно-индукторного электропривода при значении $\Delta\omega = 5...6\%$ достигается за время $T_{II} = 0,1$ с. т.е за время на порядок большее чем для асинхронного электропривода ($T_{II} = 0,01$ с), или практически на порядок меньший провал $\Delta\omega$ за одинаковое время переключения структуры ЭП T_{II} при номинальной нагрузке.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Стекольников Ю.И. Живучесть систем. -СПб.:Политехника, 2002. - 155с.
2. Г.И. Однокопылов, К.В/ Образцов, И.Г. Однокопылов Принципы обеспечения «живучести» электроприводов переменного тока. /Электричество. – 2009, №12, с. 51-57.
3. И.Г. Однокопылов, Г.И. Однокопылов, Ю.Н. Дементьев, К.В. Образцов, Й. Центнер. Живучесть асинхронных электроприводов вращательного и поступательного движения// Электричество, 2012, №6, с. 46-51.
4. Г.И. Однокопылов, В.Г. Букреев. Восстановление работоспособности трехфазных электроприводов переменного тока при аварии в одной из фаз.// Ползуновский Вестник, 2012, № 3/2, с.121-130.
5. Г.И. Однокопылов, А.Д. Брагин. Алгоритмы отказоустойчивого управления асинхронным электроприводом в неполнофазных режимах работы// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, 2014, №4, С.188-191.

6. Г.И. Однокопылов, И.А. Розаев. Восстановление работоспособности
7. вентильно-индукторного электропривода в аварийных режимах// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, 2014, №4, С.181-184.
8. Odnokopylov G.I., Rozaev I.A. Formation of failure matrix and failure-free control algorithm for multi-sectioned Switched-reluctance drive (Article number 012035) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - Vol. 66 - №. 1. - p. 1-7
9. Odnokopylov G.I., Bragin A.D. Fault tolerant vector control of induction motor drive (Article number 012015) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2014 - Vol. 66 - №. 1. - p. 1-6

Научный руководитель: Г.И. Однокопылов, к.т.н., доцент, каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ПРИМЕНЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНО-ВРАЩАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ В ВИБРОПРИВОДЕ

И.А. Розаев, Л.А. Паюк, Н.А. Воронина
Томский политехнический университет
ЭНИН ЭПЭО

В современной промышленности многие процессы изготовления, как готовой продукции, так и отдельных узлов электротехнического оборудования сопровождается промежуточным контролем качества изделий.

Самым распространенным методом контроля различного оборудования является вибродиагностика [6]. При использовании различных методов контроля можно выявить и оценить наличие дефектов контролируемых изделий [2]. Области применения вибрационного метода: контроль и мониторинг вращающегося оборудования; тестовая диагностика и центровка машин; балансировка машин на месте эксплуатации; диагностика подшипников качения, механических передач.

К вибрационной технике предъявляется ряд требований, которые необходимо выполнять неукоснительно, а именно: амплитуда колебаний, их частота, точность и т.д. [3,4]. При формировании колебаний вибродиагностической платформы можно воспользоваться генератором колебаний на базе МДП, который работает в колебательно-вращательном режиме. Особенностью реализации данного режима является то, что обмотки статора запитываются токами одной частоты, а обмотки ротора – токами разных частот [3].

В данной работе предложен способ формирования колебательно-вращательного режима работы на примере МДП (рис. 1) при различных включениях магнитных полей и проведен анализ влияния параметров нагрузки на динамические показатели исполнительного двигателя. Как известно, МДП универсальна и имеет высокие энергетические характеристики [1, 5].

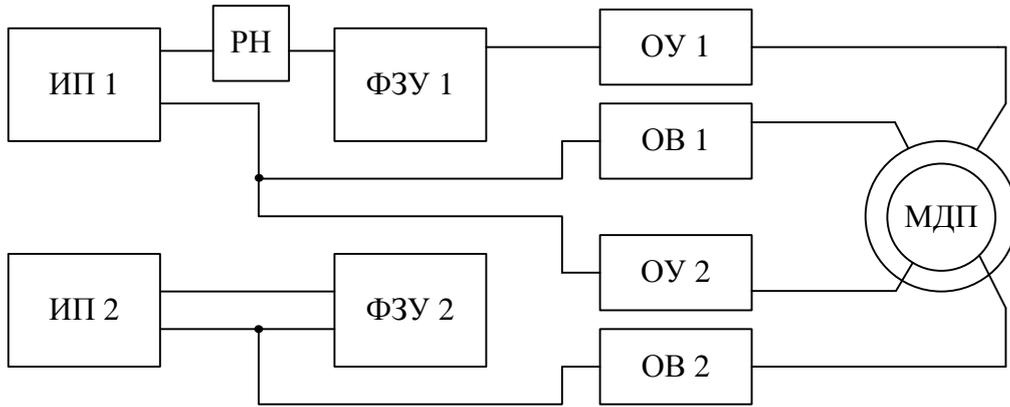


Рис. 1. Схема включения МДП при колебательно-вращательном режиме работы

От источников питания (ИП1, ИП2) сигнал поступает на фазосдвигающие устройства (ФЗУ1, ФЗУ2), которые задают разницу частот, либо в обмотках статора, либо – ротора. Далее сигнал разделяется на обмотки управления (ОУ1, ОУ2) и возбуждения (ОВ1, ОВ2) статора и ротора. При этом возникает вращающееся электромагнитное поле со стороны статора и качающееся электромагнитное поле со стороны ротора.

При колебательно-вращательном режиме работы МДП справедливы следующие утверждения: $\omega_1=\omega_2=\omega_3=\omega$, а $\omega_4=\omega'$, при следующем соотношении начальных фазовых сдвигов питающих токов (напряжений) $\alpha=\gamma=\varphi=0$, $\beta=\frac{\pi}{2}$.

Выражения для потокосцеплений статорных и роторных обмоток в преобразованной системе координат с учетом принятых допущений при колебательно-вращательном режиме работы МДП имеют вид:

$$\begin{aligned} \Psi_{\alpha s} &= \Psi_{ms} \sin(\omega t); & \Psi_{\alpha r} &= \Psi_{mr} \sin(\omega t) \cos \chi + \Psi_{mr} \sin(\omega' t) \sin \chi; \\ \Psi_{\beta s} &= \Psi_{ms} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right); & \Psi_{\beta r} &= -\Psi_{mr} \sin(\omega t) \sin \chi + \Psi_{mr} \sin(\omega' t) \cos \chi, \end{aligned} \quad (1)$$

где Ψ_{ms} , Ψ_{mr} – амплитудные значения фазных потокосцеплений обмоток статора и ротора; t – время; ω , ω' – угловые частоты вращения магнитных полей статора и ротора по осям α и β , причём $\omega \neq \omega'$; χ – закон движения подвижного элемента исполнительного двигателя.

Выражения для квадратов вещественной и мнимой части обобщенного вектора потокосцепления имеют вид:

$$\begin{aligned} \Psi_{\alpha}^2 &= \left(\Psi_{ms} \sin(\omega t) + \left(\Psi_{mr} \sin(\omega t) \cos \chi + \Psi_{mr} \sin(\omega' t) \sin \chi \right) \right)^2 = \\ &= \left(\Psi_{ms} \left(\sin(\omega t) + \mu (\sin(\omega t) \cos \chi + \sin(\omega' t) \sin \chi) \right) \right)^2, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Psi_{\beta}^2 &= \left(\Psi_{ms} \cos(\omega t) - \left(\Psi_{mr} \sin(\omega t) \sin \chi + \Psi_{mr} \sin(\omega' t) \cos \chi \right) \right)^2 = \\ &= \left(\Psi_{ms} \left(\cos(\omega t) - \mu (\sin(\omega t) \sin \chi + \sin(\omega' t) \cos \chi) \right) \right)^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\mu = \Psi_{ar} / \Psi_{as}$ – соотношение между потокосцеплениями статора и ротора по оси α .

Выражение для значения модуля результирующего вектора потокосцепления, запишем в следующей форме:

$$\psi = \psi_{ms} \sqrt{(\sin(\omega t) + \mu(\sin(\omega t)\cos\chi + \sin(\omega t)\sin\chi))^2 + (\cos(\omega t) - \mu(\sin(\omega t)\sin\chi + \sin(\omega t)\cos\chi))^2}. \quad (4)$$

Выражение для закона перемещения пространственного вектора потокосцепления в воздушном зазоре имеет вид:

$$\chi_0 = \arctg\left(\frac{\cos(\omega t) - \mu(\sin(\omega t)\sin\chi + \sin(\omega t)\cos\chi)}{\sin(\omega t) + \mu(\sin(\omega t)\cos\chi + \sin(\omega t)\sin\chi)}\right). \quad (5)$$

Ниже представлены годографы результирующего вектора потокосцепления (рис.2) при питании обмоток статора и ротора от источника тока (рис.2,а) и источника напряжения (рис.2,б), при $\omega_1=\omega_2=\omega_3=1$; $\omega_4=1,1$. Годографы обобщенного результирующего вектора потокосцепления ψ_0 представляют собой колебания вращающегося магнитного поля около точки 0. Данный режим был реализован при создании вращающегося электромагнитного поля со стороны статора, а колебательного – со стороны ротора.

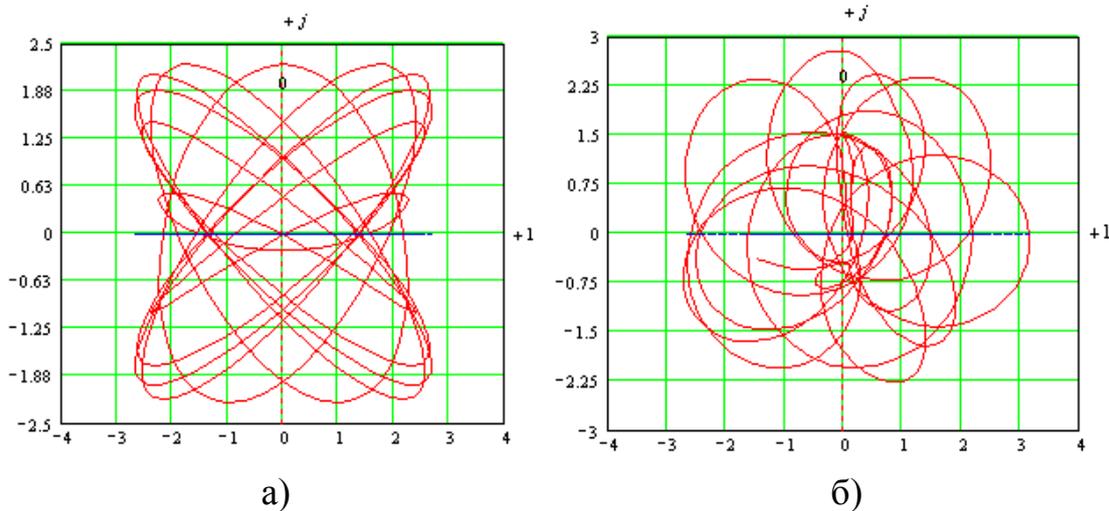


Рис. 2. Годографы векторов ψ_0 при питании обмоток статора и ротора

Колебательно-вращательный режим работы в МДП можно сформировать в двух случаях создания колебательного поля: 1 – со стороны ротора и 2 – статора, реализация и условия, получения которых описаны ниже.

1. Создание колебательного режима со стороны ротора: $\gamma_1=\gamma_2=1$; $\gamma_3=\gamma_4=1,225$; $\omega_1=\omega_2=\omega_3=1$; $\omega_4=1,1$; $\alpha=\gamma=\varphi=0$, $\beta=\frac{\pi}{2}$. Напряжения на клеммах обмоток статора и ротора в преобразованных осях $\alpha, \beta, 0$ имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} U_{\alpha s} &= U_{ms} \sin(\omega t); & U_{\alpha r} &= U_{mr} \sin(\omega t)\cos\chi + U_{mr} \sin(\omega t)\sin\chi; \\ U_{\beta s} &= U_{ms} \sin(\omega t + \beta); & U_{\beta r} &= -U_{mr} \sin(\omega t)\sin\chi + U_{mr} \sin(\omega t)\cos\chi. \end{aligned} \quad (6)$$

2. Создание колебательного режима со стороны статора – $\gamma_1=\gamma_2=1$; $\gamma_3=\gamma_4=1,225$; $\omega_1=\omega_3=\omega_4=1$; $\omega_2=1,1$; $\alpha=\beta=\gamma=0$, $\varphi=\frac{\pi}{2}$. Напряжения на клеммах об-

моток статора и ротора в преобразованных осях $\alpha, \beta, 0$ имеют аналогичный вид (6).

В основу математической модели МДП положены уравнения Габриэля Крона [1], описывающие преобразования энергии в электрической машине, представленные системой дифференциальных уравнений, состоящей из уравнений напряжений и уравнения движения подвижного элемента двигателя, при общепринятых допущениях для электроприводов колебательного движения [1].

На рис. 3 приведены зависимости времени переходного процесса ($\tau_{\text{пп}}$) от параметров нагрузки, характеристики 1 и 2 – создание колебательного поля со стороны ротора и стороны статора, соответственно. Для колебательно-вращательного режима работы в качестве изменяемых параметров нагрузки были определены: момент инерции нагрузки J_n (рис.3,а) и коэффициент демпфирующего момента нагрузки R_g (рис.3,б). В колебательно-вращательном режиме работы время переходного процесса $\tau_{\text{пп}}$ увеличивается на порядок. При изменении же коэффициента демпфирующего момента нагрузки время переходного процесса, как видно из рис. 3,б имеет резонансный пик в точках $R_{g1}=3,5$ и $R_{g2}=2,5$ при создании колебательного поля со стороны ротора и со стороны статора, соответственно.

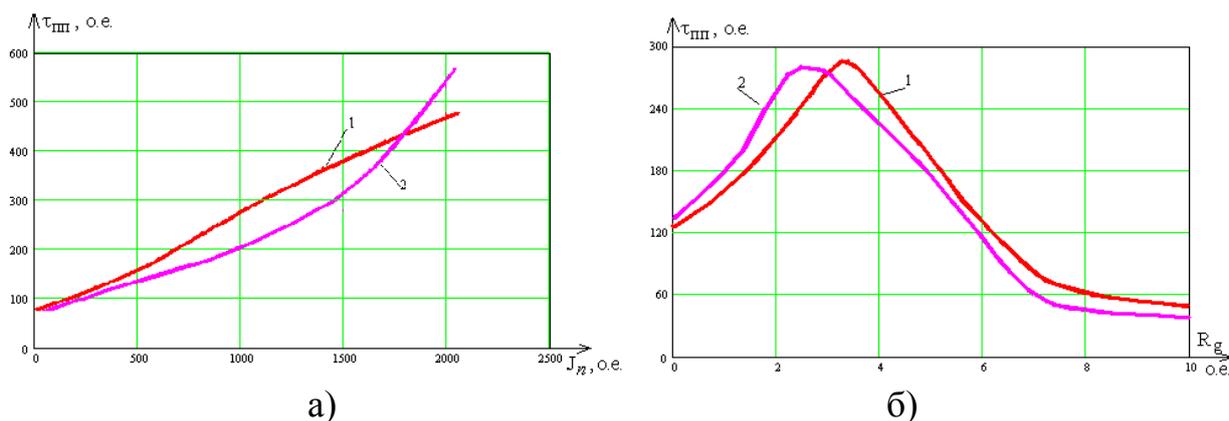


Рис. 3. Зависимости времени переходного процесса от параметров нагрузки

Изменение момента инерции нагрузки J_n ведет к увеличению времени переходного процесса $\tau_{\text{пп}}$ на порядок, что говорит о значительном влиянии данного параметра нагрузки на один из ключевых динамических показателей в виброприводах для диагностирования различных узлов и оборудования в целом.

Изменение коэффициента демпфирующего момента нагрузки R_g ведет к уменьшению $\tau_{\text{пп}}$ и наличию резонансного пика, при согласном включении электромагнитных полей в независимости от того с какой стороны идет формирование колебательного поля.

Практическое применение МДП в вибрационных электроприводах, при условии, что частота колебаний не превышает 10 Гц, а амплитуды питающих токов (напряжений) не должны отличаться более чем на 25%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. А.В. Аристов Электропривод колебательного движения с машиной двойного питания. Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – 176 с.

2. Анализ точности позиционирования двухфазного асинхронного двигателя в режиме прерывистого движения / А. В. Аристов, Н. А. Воронина // Известия ТПУ. – 2013. – Т. 322, № 4 : Энергетика. – [С. 116-120].
3. Патент на полезную модель №88874, МПК H02P 7/00. Устройство для управления двухфазным асинхронным двигателем в режиме прерывистого движения / Аристов А.В., Воронина Н.А., ТПУ – № 2009125766/22, заявл. 06.07.2009. опубл. 20.11.2009, Бюл. №32
4. Патент 90277 (RU), Б.И. 2009. № 36.Электропривод колебательного движения / А. В. Аристов, Л. А. Паюк; ТПУ – № 2009 125765/22; заявл. 06.07.09; опубл. 27.12.09.
5. L.A. Payuk, N.A. Voronina, O.V. Galtseva, Energy Characteristics of Electric Drive of Oscillatory Motion at the Shock-Free Start Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 671 (1), 012044 DOI: 10.1088/1742-6596/671/1/012044.
6. ГОСТ Р ИСО 7919-1-99. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на вращающихся валах. Общие требования.

БЕЗДАТЧИКОВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Ю.В. Крохта, Ю.Н. Дементьев
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО

Электропривода с векторным управлением на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) все чаще используется в промышленности ввиду своих неоспоримых преимуществ. Актуальной является задача бездатчикового управления СДПМ, так как это позволяет удешевить конструкцию и уменьшить габариты привода [1].

В настоящее время существует множество алгоритмов управления СДПМ с датчиками положения ротора и без них на высоких и средних скоростях вращения вала двигателя. Но открытым остается вопрос об определении начального положения ротора двигателя при первом включении привода. Основная проблема в данном вопросе – это поиск алгоритма, который был бы достаточно быстрым и точным, но вместе с тем и простым для реализации в преобразователе частоты.

С точки зрения практической значимости, такой алгоритм может быть применен как в заново проектируемых электроприводах, так и при модификации уже существующих, имеющих в своей структуре преобразователь частоты [2].

Метод определения начального положения ротора основан на подаче серии импульсов напряжения специальной формы на обмотку статора двигателя [3]. При этом ротор должен быть механически зафиксирован. Например, для

СДПМ лифтового привода включают электромагнитный тормоз, который удерживает ротор неподвижным. Если предположить, что импульс напряжения подается на одну из фаз двигателя, уравнение равновесия электрической фазы обмотки А можно рассматривать согласно второму закону Кирхгофа:

$$u_A = i_A \cdot R + L(\theta) \frac{di_A}{dt} - M \frac{di_B}{dt} - M \frac{di_C}{dt} + e_A, \quad (1)$$

где u_A – напряжение фазы А, i_A – ток фазы; M – взаимная индуктивность между обмотками статора; $R, L(\theta)$ – сопротивление и индуктивность обмотки фазы соответственно. Индуктивность обмотки одной фазы определяется выражением:

$$L(\theta) = L^* + K \cdot \cos(\theta). \quad (2)$$

Здесь L^* – собственная индуктивность фазы обмотки; K – коэффициент влияния магнитного потока ротора; θ – электрический угол ротора; e_A – электродвижущая сила (ЭДС) вращения, индуцированного магнитным полем вращения ротора.

e_A определяется следующим выражением:

$$e_A = C \cdot \omega \cdot \sin \theta, \quad (3)$$

где C – постоянная двигателя; ω – частота вращения ротора.

В том случае, когда вал электродвигателя зафиксирован и напряжение подается только на фазу А, то (1) можно упростить к следующему выражению:

$$u_A = i_A \cdot R + L(\theta) \frac{di_A}{dt}. \quad (4)$$

Во время прикладывания импульса напряжения к фазе, ток будет повышаться по экспоненциальной зависимости. Скорость нарастания тока будет зависеть от индуктивности $L(\theta)$, которая меняется при изменении направления потока постоянных магнитов. Форма тока при различных углах между обмотками статора и направлением потока ротора представлена на рисунке 1.

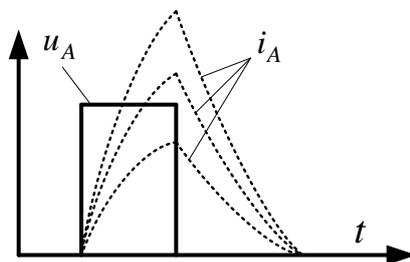


Рис. 1. Напряжение на фазе и импульсы тока при различных углах положения ротора

Максимальное мгновенное значение тока необходимо зафиксировать. В этом случае получим максимальное значение магнитного потока ротора, магнитный поток ротора будет располагаться точно по линии обмотки статора [4].

Для доказательства возможности реализации предложенного метода была разработана имитационная модель СДПМ в Matlab Simulink v.2012b, учитывающую явнополюсность ротора и насыщение сердечника статора. Разработан-

ный метод проверен на реальном электроприводе лифтовой лебедки на базе СДПМ [5].

По результатам моделирования и эксперимента была составлена таблица соответствия реального угла и полученного разработанным алгоритмом:

Табл. 1. Угол положения ротора

№	Реальный угол, град	Модель, град	Эксперимент, град	Относительная погрешность, % Модель / эксперимент
1.	85	89,1	88,5	4,824 / 4,118
2.	133	135,6	134,2	1,955 / 0,902
3.	157	162,7	159,4	3,631 / 1,529
4.	246	241,8	248,1	1,707 / 2,398
5.	314	311,2	315,8	0,892 / 0,573

Представленный метод бездатчикового определения начального положения ротора СДПМ путем применения серии импульсов напряжения с фиксацией амплитуды тока не требует какой-либо информации о параметрах двигателя и успешно зарекомендовали себя на имитационной модели. Погрешность оценки углового положения ротора не превышает 5%.

Точность предложенного метода ограничена возможностями каналов АЦП и разрешением ШИМ инвертора напряжения. В экспериментальной установке погрешность результатов также укладывается в 5%, что является приемлемым.

Общая продолжительность разработанной методики для определения начального положения ротора не более 10 секунд, что дает возможность запускать алгоритм после каждого включения питания привода лифта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Краснов И.Ю., Ланграф С.В., Черемисин В.Н. Разработка бездатчиковой системы управления электропривода лифта // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2014. – № 1. – С. 48-51.
2. Гарганеев А.Г. и др. Электропривод запорной арматуры : монография / А. Г. Гарганеев, А. С. Каракулов, С. В. Ланграф.– Томск: Изд-во ТПУ, 2013.– 157 с.
3. Koltun V. A. , Krasnov I. Y. , Langraf S. V. , Odnokopylov I. G. A sensorless initial rotor position's estimation for permanent magnet synchronous machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.– Bristol: IOP Publishing Ltd.– 2015.– Vol. 71, Article number 012061.– p. 1-7
4. Однокопылов И.Г., Дементьев Ю.Н. Обеспечение живучести асинхронных электроприводов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2014. – Т. 14. – № 2. – С. 55-61.
5. Шелпаков М.А., Однокопылов И.Г. Исследование частотно-регулируемого электропривода лифта в Matlab Simulink //

Научный руководитель: Ю.Н. Дементьев, к.т.н., зав. каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНОЙ ЛАМПЫ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ЯРКОСТИ

В.В. Бубнов

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГЗБ

Проблема энергопотребления становится все более актуальной. Только на освещение уходит порядка 30...35% все вырабатываемой электроэнергии, а в масштабах крупных городов эта величина в полтора-два раза больше. [1] Поэтому не удивительно, что государственная поддержка энергосбережения и эффективности входит в пять стратегических направлений приоритетного технологического развития России. Использование светодиодного освещения позволяет значительно снизить энергозатраты, по сравнению с традиционными методами освещения. Необходимо отметить, что под названием светодиодного светильника в действительности скрывается довольно сложная система, состоящая из нескольких элементов. Так, для нормального функционирования светодиодного прибора, его необходимо обеспечить качественным источником питания (драйвером), который должен соответствовать необходимым параметрам. Именно он определяет функциональные, светотехнические показатели и надежность устройства в целом.

Источники питания с регулированием яркости (диммеры)

Диммер – устройство, позволяющее изменять яркость свечения ламп путем ограничения тока, а следовательно, и мощности. Поначалу диммеры представляли собой переменное сопротивление, но в этом случае значительная часть мощности рассеивается в виде тепла, затем стали применять автотрансформаторы, но они имеют большие габариты. [1] Диммер позволяет не только регулировать яркость ламп, но и включать и выключать свет по таймеру, производить плавный пуск ламп, управлять освещением дистанционно.

Светодиодные лампы и их совместимость с диммерами

Светодиодная лампа должна иметь:

- Во-первых, светодиодная лампа имеет стандартный цоколь: типа E – резьбовой (E27, E14), типа G, типа MR.
- Во-вторых, светодиодная лампа должна быть приспособлена для работы в стандартной электрической сети 220В, 50Гц без дополнительных устройств. (Если светодиодная лампа предназначена на напряжение 12В, подобно галогенным лампам, должно быть оговорено использование с ними дополнительных устройств).

- В-третьих, световой поток светодиодных ламп также должен иметь сходные значения со стандартными лампами.

Совместимость диммеров со светодиодными лампами

Очевидно, что не все виды диммеров смогут работать со светодиодными лампами. Целесообразно использовать либо стандартный диммер с регулируемые светодиодными лампами, либо использовать специальный ШИМ-диммер в сочетании с обычными лампами. Но и здесь есть свои подводные камни. Дело в том, что из-за особенностей схем диммеры и драйвера ламп различных производителей и моделей могут в связке работать некорректно. Поэтому ведущие производители ламп, компании *Philips* и *Osram*, задающие моду в производстве светодиодных ламп, работают в тесной связке с производителями диммеров: *ABB*, *Legrand*, *SchneiderElectric*.

Целесообразность применения диммеров. Современные диммеры – это сложные электронные устройства и, безусловно, те, кто решил сделать систему освещения в квартире или доме регулируемой, будет нести дополнительные расходы. А нужны ли вообще диммеры? Целесообразность их применения заключается:

- Во-первых, при помощи диммеров можно реализовать очень гибкую систему освещения, которой легко управлять.
- В-вторых, современные диммеры имеют высокий КПД – более 90%. Принцип ШИМ-регулирования яркости не приводит к высокому выделению тепла, шуму и созданию сетевых и радиопомех.
- В-третьих, применение диммеров с дистанционным управлением повышает уровень комфорта.

И, наконец, управление яркостью освещения светодиодных светильников, изменение их цвета и реализация различных сценариев легко интегрируются в современные системы «Умный дом».

Схема питания светодиодной лампочки

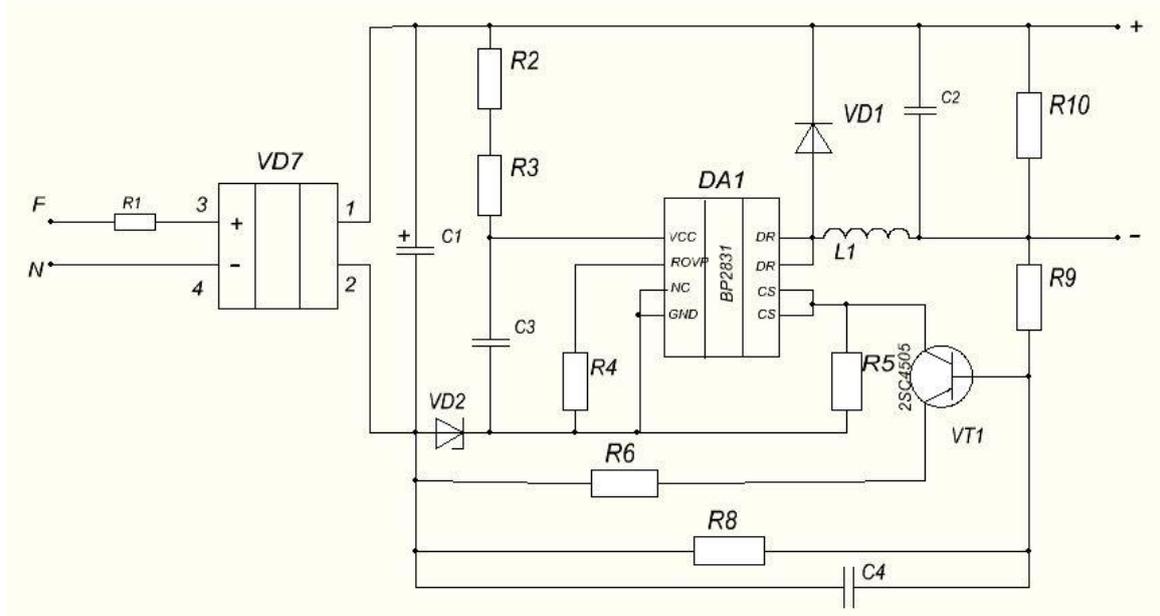


Рис. 1. Схема питания светодиодной лампы с регулированием яркости

Интегральная микросхема BP2831 на выходе формирует управляющие импульсы, которые подаются на затвор полевого транзистора. При открытом состоянии транзистора ток протекает от положительной клеммы конденсатора C1 к его отрицательному выводу через СИД, дроссель L1, транзистор, две параллельных ветви: R5, соединенный последовательно с R4, и транзистор VT1, соединенный последовательно с R6. При закрытом состоянии транзистора ток через светодиоды протекает, за счет энергии, запасенной в магнитном поле дросселя L1 по контуру: дроссель, диод VD1, СИД.

Экспериментальная часть. В ходе эксперимента были проверены 4 лампы: лампа накаливания, лампочка «томича» с возможностью диммирования, лампочка «томича» без возможностью диммирования и светодиодная лампочка Pulsar ALM-C-7E14-4000-D (диммируемая). Были сняты 3 величины: $U_{\text{действ}}$ (подаваемое к лампочке), Φ_u (световой поток) и пульсации, так же построены графики зависимостей светового потока от напряжения подаваемого к лампочке.

Лампа накаливания

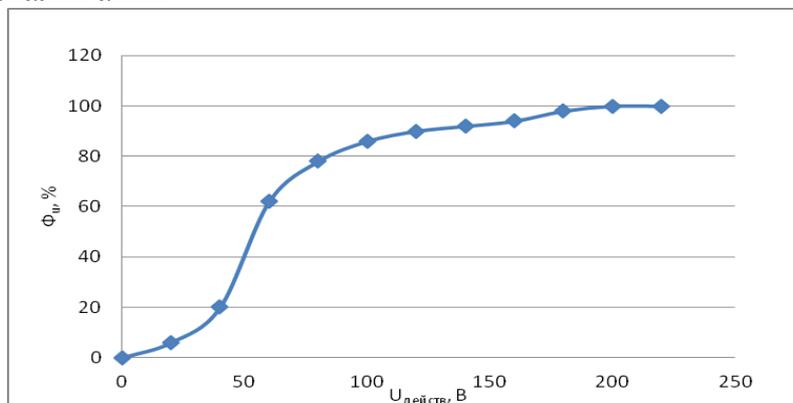


Рис. 2. Зависимость светового потока от напряжения, подаваемого к лампочке

Лампа накаливания: зависимость светового потока от напряжения, подаваемого к лампочке близка к линейной, при снижении напряжения, пульсации

увеличиваются (рис.2). Это объясняется тем, что у лампы накаливания при снижении напряжения спектр излучения смещается в сторону теплового и уменьшается видимое излучение.

Лампочка «томича» с возможностью диммирования

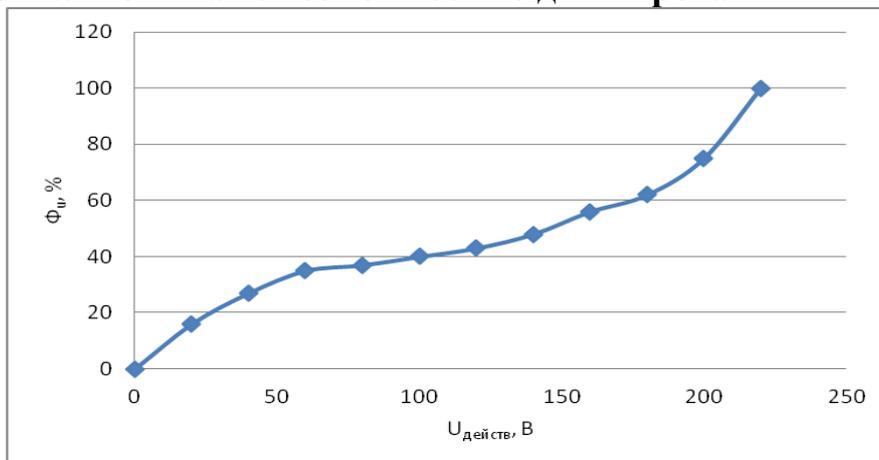


Рис. 3. Зависимость светового потока от напряжения, подаваемого к лампочке

Лампочка «томича» с возможностью диммирования: зависимость светового потока от напряжения, подаваемого к лампочке близка к линейной, при снижении напряжения, пульсации начинают резко увеличиваются (рис.3).

Лампочка «томича» без возможности диммирования

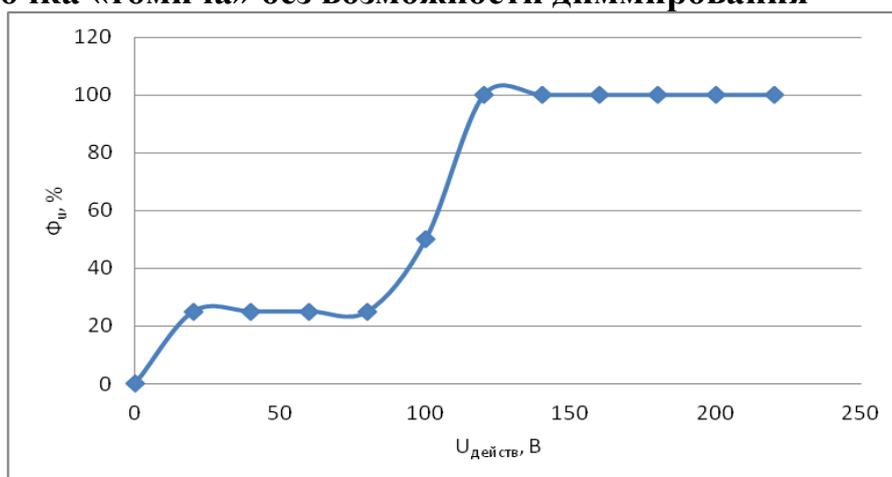


Рис. 4. Зависимость светового потока от напряжения, подаваемого к лампочке

Лампочка «томича» без возможности диммирования: при снижении напряжения, световой поток увеличивается мгновенно, пульсации увеличиваются мгновенно (рис.4). Это объясняется тем, что лампочка это не рабочий режим.

Лампочка Pulsar ALM-C-7E14-4000-D

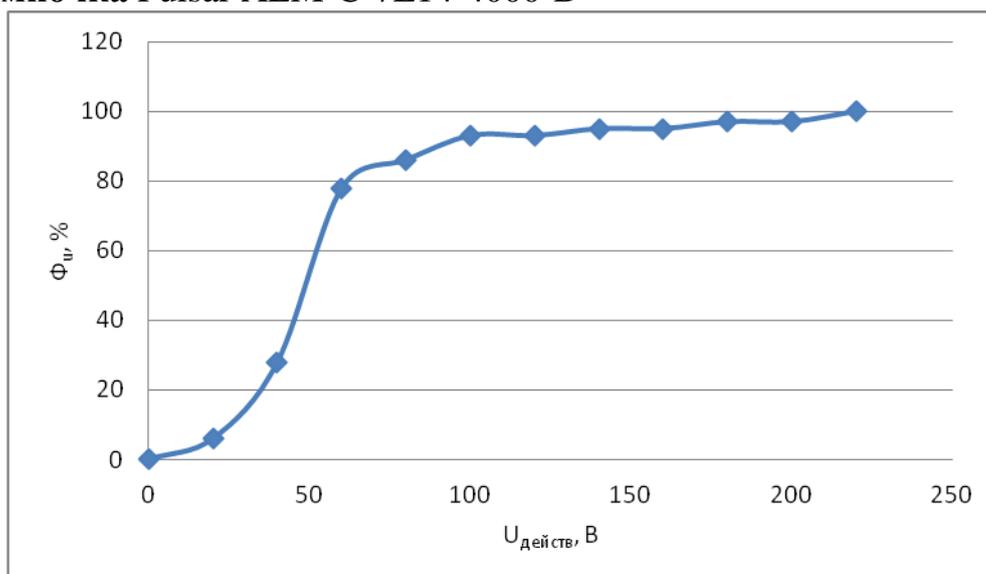


Рис. 5. Зависимость светового потока от напряжения, подаваемого к лампочке

Лампочка Pulsar ALM-C-7E14-4000-D: зависимость светового потока от напряжения, подаваемого к лампочке близка к линейной, при снижении напряжения, пульсации медленно увеличиваются. Это показывает, что лампочка предназначена для работы с диммером, зависимость имеет такой вид, как и лампочка накаливания.

Заключение. Результаты эксперимента показывают, что лампочка «томича» не предназначенная для работы с диммером не поддается диммированию. Обычная светодиодная лампочка, предназначенная для работы с диммером, имеет характеристику лампы накаливания. Лампочка «томича» с источником, описанным выше, имеет почти линейную характеристику и может быть установлена вместо лампочки накаливания совместно с диммером.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Браун, М. Источники питания. Расчёт и конструирование / М. Браун. Пер. с англ. – К.: МК – Пресс, 2007. – 288 с.
2. Научно-исследовательский институт автоматики и электромеханики ТУСУР [Электронный ресурс]: ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНОЙ ЛАМПЫ, А.В. Иванов, А.В. Федоров, В.И. Туев, А.А. Вилисов, С.П. Шкарупю, А.Ю. Олисовец, А.Ю. Хомяков, В.С. Солдаткин, Ю.В. Ряполова

Научный руководитель: Н.В. Гусев, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ, А.В. Иванов, младший научный сотрудник НИИ АЭМ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО - РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В.В. Тепляков

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГМ5А

Современная трубопроводная арматура оснащается электрическим приводом с целью увеличения надежности, функциональности и быстродействия технологического процесса. Существует ряд базовых требований, которым должны соответствовать электропривода запорной арматуры:

- точность в установке положения выходного звена арматуры;
- способность выдерживать большое количество пусков в час;
- развитые возможности по стыковке с системой управления по аналоговым, дискретным и цифровым линиям обмена.

Потенциал технических возможностей современных электроприводов определяется не только параметрами электродвигателя, но и возможностями системы управления. Система управления электроприводом отвечает за надежную и бесперебойную работу привода, регулируя все происходящие в нем процессы [1]. В их числе: максимально эффективное преобразование электрической энергии в механическую, определение текущих значений скорости вала и крутящего момента, формирование защиты всех составляющих электропривода, поддержание коммуникаций с внешними системами, обеспечение точности позиционирования движущихся частей затвора арматуры [2].

В связи с этим существует проблема испытаний новых современных алгоритмов управления электроприводом запорной арматуры не только на имитационной модели, но экспериментальным путем. В данной работе решается задача создание экспериментальной установки для исследования регулировки газообразных сред. Соответственно целью данной работы является разработка экспериментального стенда имитации газообразного потока.

Данная задача решалась с помощью вентилятора, предназначенного для формирования потока воздуха или другого газа различной степени мощности [3]. Для создания стенда использовались два промышленных центробежных вентилятора типа В-Ц14-46-2,5, оснащенные асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором: АИМ71А4 и АИМ6А4У2.5. Двигатели получают питания от преобразователя частоты фирмы Siemens.

Для измерения характеристики рабочей газообразной среды используются датчики давления МТМ701.6, датчик расхода газа ДРГ.М, датчика температуры ТСПУ 9418. Показания снимались с помощью блока БКТ.М (блок контроля теплоты микропроцессорный). Изображение стенда представлено на рисунке 1.



Рис. 1. Экспериментальный стенд

Чувствительными элементами датчика расхода ДРГ.М являются два пьезоэлектрических датчика пульсаций давления типа, встроенные в корпус преобразователя датчика расхода с внутренней поверхностью проточной части корпуса преобразователя. Выходом датчика расхода является импульсный электрический сигнал, частота которого зависит от величины объема газа, пройденного через датчик. В ходе экспериментальных исследований были сняты осциллограммы датчика газа ДРГ.М, представленные на рисунке 2 и 3.

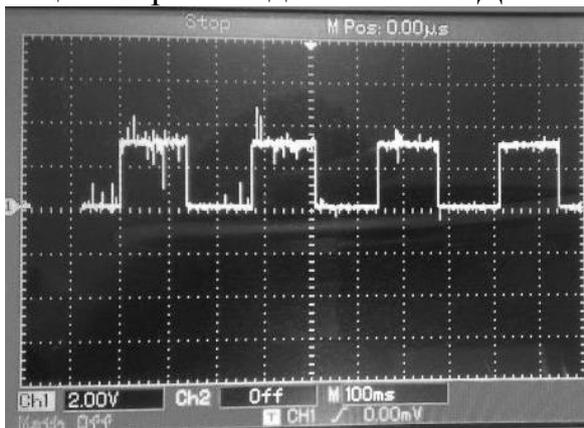


Рис. 2. Выходной сигнал датчика расхода при 4 Гц

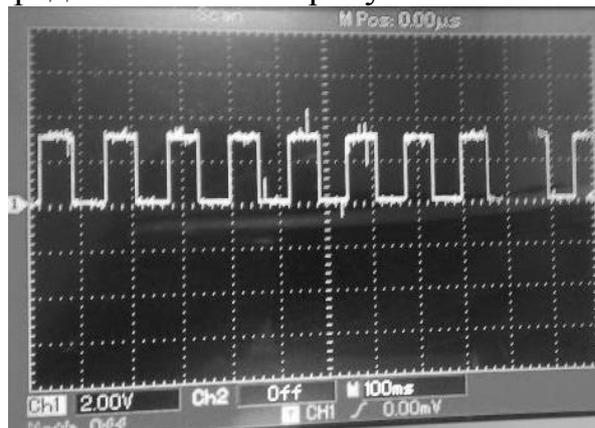


Рис. 3. Выходной сигнал датчика расхода при 7 Гц

В результате экспериментальных исследований были сняты характеристики зависимости расхода воздуха от частоты вращения вала двигателя вентилятора и зависимость расхода вентилятора от затвора. Данные характеристики представлены на рисунках 4 и 5.

При использовании двух двигателей расход вентиляторной установки значительно выше, чем при одном двигателе. Производительность возрастает пропорционально первой степени увеличения числа оборотов. Производительность вентилятора определяют исходя из необходимого расхода воздуха. Из графиков видно, что при увеличении числа оборотов нагнетателя (двигателя) расход увеличивается пропорционально. Использование второго двигателя расход увеличивается на 32 %.

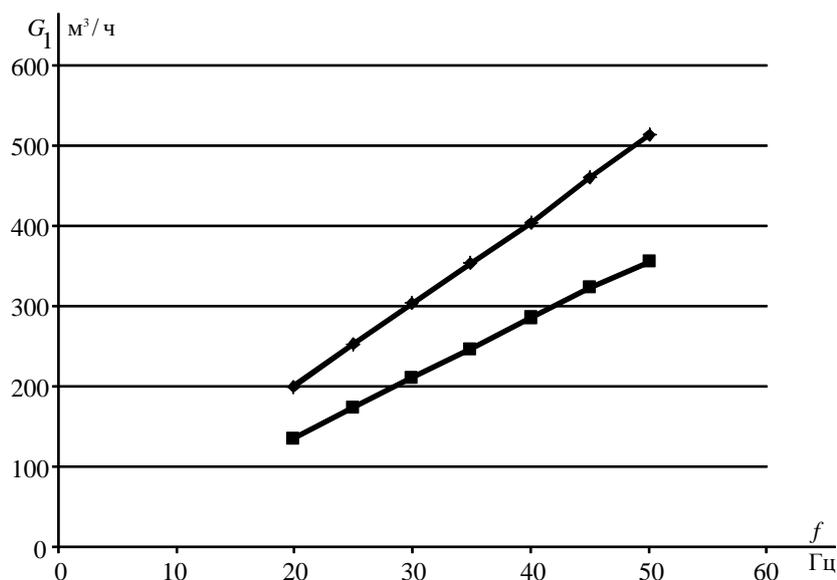


Рис. 4. Зависимость расхода вентилятора от частоты питающей сети.

Снятие характеристики расхода вентилятора от затвора (дресселирование) производилось при постоянстве частоты вращения вала двигателя [3]. Регулирование заключается в искусственном введении в сеть дополнительного гидравлического сопротивления. При этом изменяется характеристика сети, но не изменяется характеристика нагнетателя. Регулирующими устройствами, дресселирующими сеть, могут быть клапаны, задвижки, диафрагмы и т.п. устройства.

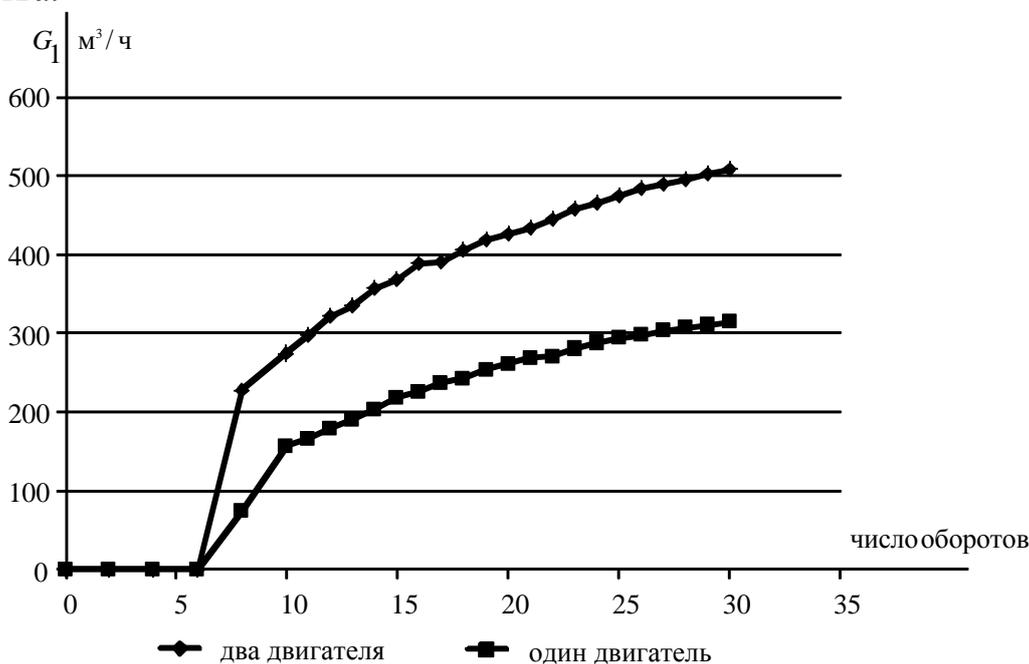


Рис. 5. Зависимость расхода вентилятора от затвора (дресселирование)

При полностью открытом вентиле характеристика сети является самой полой. При постепенном перекрытии вентиля сопротивление сети увеличивается, и характеристика сети становится более крутой.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Однокопылов И.Г., Гнеушев В.В., Сизиков Д.А., Шишляев В.В. Автоматизация процесса нагнетания при гидродинамических исследованиях фильтрационных характеристик угольных пластов // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 5. – С. 50-54.
2. Однокопылов И.Г., Гнеушев В.В., Филиппов А.С. Исследование динамических нагрузок электропривода подъема каротажной лебедки // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-7. – С. 1392-1396.
3. Черкасский В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.

Научный руководитель: И.Г. Однокопылов, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

СВЕТОДИОДНЫЕ НИТИ И ЛАМПЫ НА СВЕТОДИОДНЫХ НИТЯХ

И.Ю. Седокова
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГЗБ

Светодиодные нити представляют собой стеклянную или сапфировую подложку, на которой размещено множество светодиодов, покрытых общим люминофором. Мощность каждой нити – 1Вт. В 6-ваттной лампочке используются шесть нитей, в 4-ваттной – четыре. В цоколе лампы располагается миниатюрная плата с электронной схемой драйвера (преобразователя напряжения, делающего из переменного напряжения сети постоянное напряжение без пульсаций для питания светодиодов). Лампы на светодиодных нитях имеют почти полное сходство с классическими лампами накаливания, как по внешнему виду, так и по диаграмме направленности. Нитевидные излучатели очень похожи на нить лампы накаливания.

В лампах на светодиодных нитях нет радиаторов, они очень лёгкие – 6-ваттная лампа весит 35 граммов, 4-ваттная – 20 граммов. Эффективность ламп на светодиодных нитях выше, чем у обычных светодиодных ламп (более 105 Лм/Вт), а нагрев корпуса заметно ниже. Скорее всего, будущее домашнего освещения именно за лампами на светодиодных нитях. Коэффициент пульсации света таких ламп минимален – менее 2% (коэффициент пульсации обычной лампы накаливания около 20%). По яркости 6-ваттная лампа соответствует 65-ваттной лампе накаливания, 4-ваттная – 45-ваттной (60-Ваттная прозрачная лампа накаливания даёт 550Лм, 40-ваттная прозрачная свечка – 340Лм).

Устройства для проверки светодиодных нитей

Fluke 18b – цифровой мультиметр с возможностью выполнения измерений сопротивления, емкости, проверки диодов и целостности электрических цепей. С его помощью, возможно, не только производить диагностику электрооборудования и компонентов электронных устройств, но и выполнять проверку исправности светодиодов любого типа.

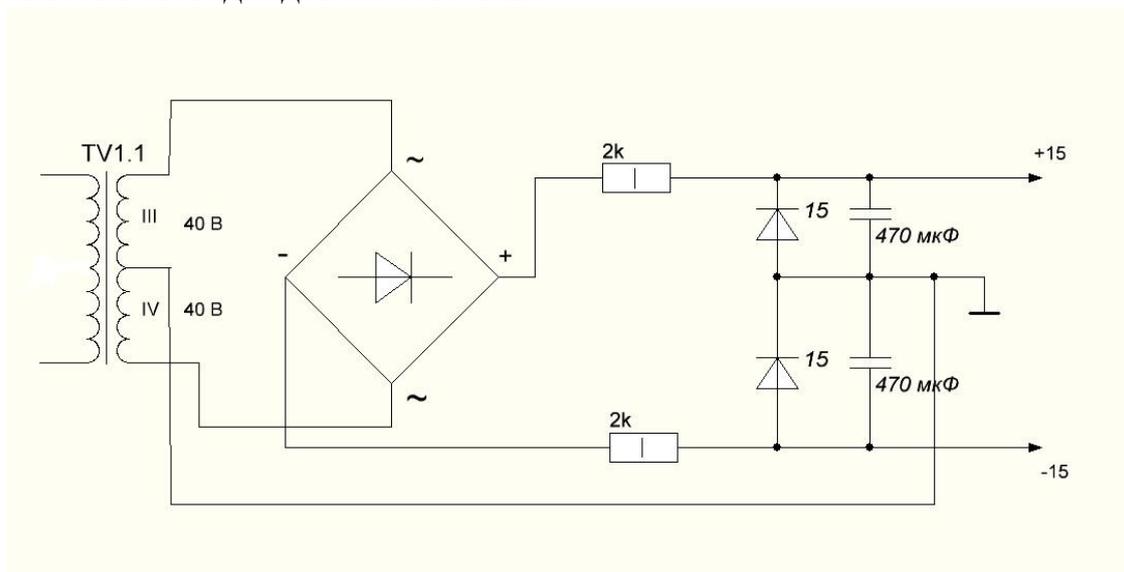


Рис. 1. Источник собственных нужд

Измеритель Fluke 18b способен фиксировать как перегорание, так и пробой LED устройств. В качестве устройства с аналогичными возможностями были разработаны схемы устройства для проверки светодиодных нитей. Схема источника собственных нужд представлена на рис. 1. Схема обратной связи по току представлена на рис. 2.

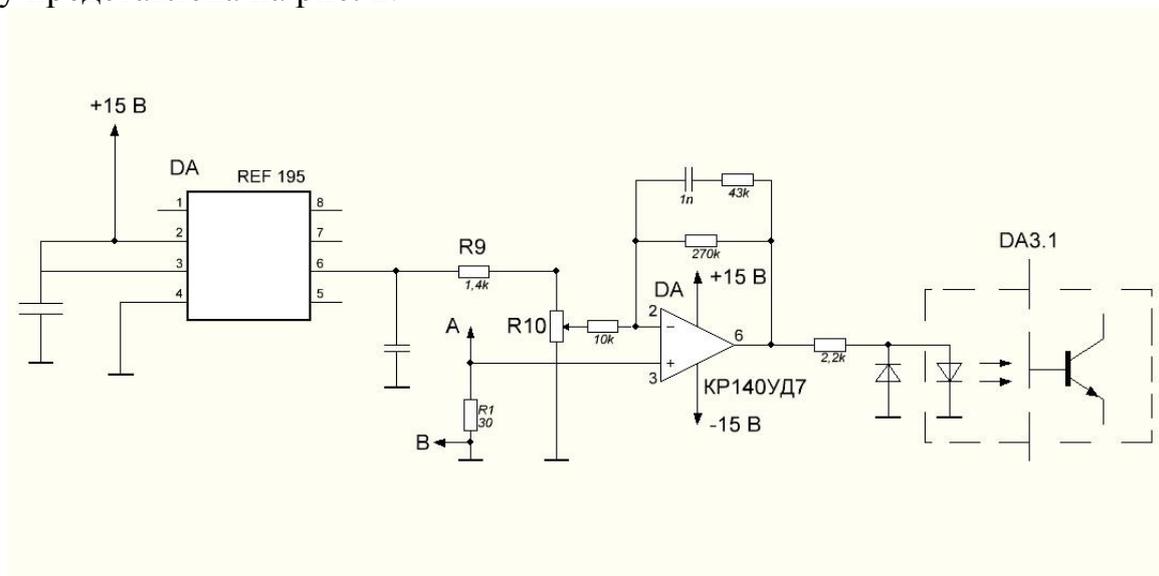


Рис. 2. Обратная связь по току.

На рис.3 представлена схема обратной связи по напряжению.

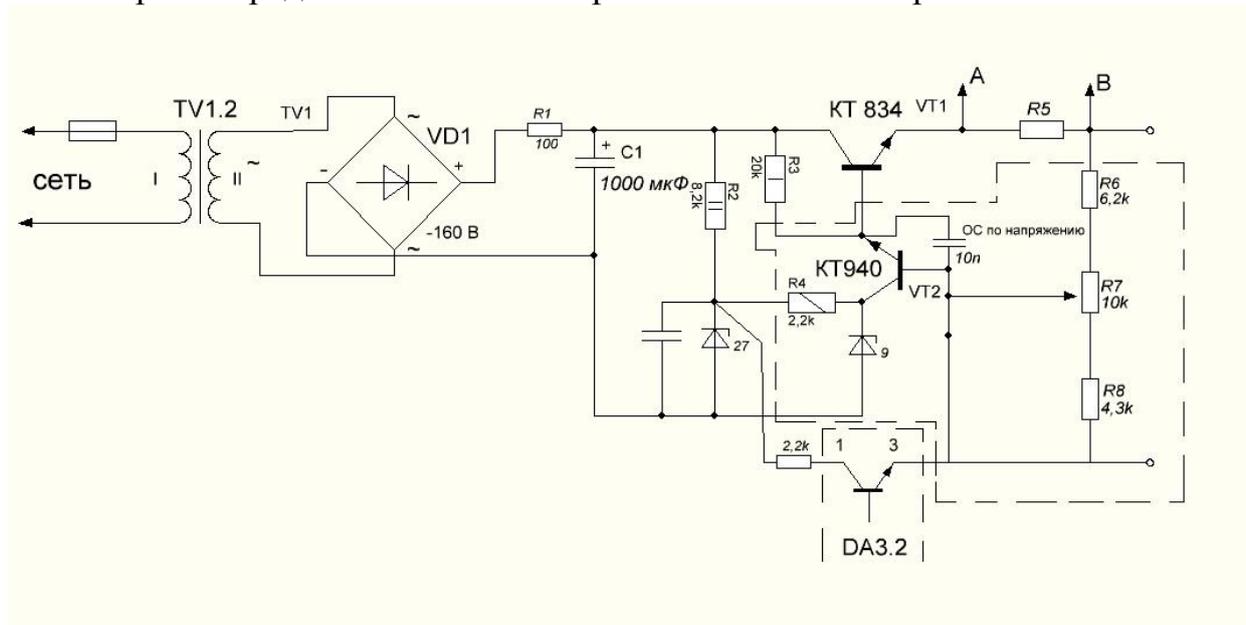


Рис. 3. Обратная связь по напряжению.

Характеристики устройства: $I_{\text{ВЫХ}} = 1 \dots 20 \text{ мА}$; $U_{\text{ВЫХ}} = 50 \dots 160 \text{ В}$; точность стабилизации тока 2%. Источник собственных нужд формирует напряжение от -15 до +15В, необходимое для питания операционного усилителя.

Устройство предназначено для неразрушающего контроля светодиодных нитей. Обеспечивает на выходе напряжение 50...160В и ток 1...20мА. Состоит из трансформатора, мостового выпрямителя, фильтра, линейного стабилизатора и источника собственных нужд. В линейном стабилизаторе заведены две обратные связи по току и напряжению.

Сетевое напряжение 220В понижается трансформатором *TV1*, выпрямляется *VD1* и сглаживается фильтром *R1C1*. На транзисторе *VT1* выполнен линейный стабилизатор, который преобразует нестабилизированное напряжение на конденсаторе *C1*.

При увеличении напряжения на входе через балластный резистор и базу транзистора *VT1* начинает протекать ток базы, через коллектор-эмиттер и сопротивление нагрузки начинает протекать ток нагрузки. Вспомнив принцип работы биполярного транзистора, увидим, что на эмиттере он всегда будет стараться поддерживать тоже напряжение, которое будет подаваться на базу. Как только напряжение на базе транзистора достигнет значения напряжения стабилизации стабилитрона, оно прекратит увеличиваться независимо от увеличения входного напряжения. Так транзистор будет автоматически изменять сопротивление коллектор-эмиттерного перехода, стабилизируя напряжение на уровне опорного базового, которое будет обеспечивать стабилитрон.

По сути, эта схема является делителем напряжения, верхнее плечо которого образовано переходом транзистора, а нижнее – нагрузкой. Этот принцип регулирования напряжения накладывает некоторые ограничения. Чем больше разница между входным и выходным напряжением, тем большую мощность должен рассеивать транзистор. Это значительно снижает КПД стабилизатора и требует использовать более мощный транзистор, устанавливая его на радиатор.

Тем не менее, такой стабилизатор оказывается весьма эффективен, когда выходное напряжение незначительно отличается от входного. Он прекрасно справляется с кратковременными перенапряжениями сети, а также с импульсными помехами, приходящими по сети во время грозовой активности, или при работе в той же сети мощных импульсных преобразовательных устройств. Для этого параллельно стабилитрону нужно добавить конденсатор небольшой ёмкости, который будет шунтировать импульс помехи, приходящий на базу. Сигнал обратной связи по току снимается с шунта R5 и подается на базу транзистора VT2 через оптрон DA3. Величина тока на выходе измеряется резистором R10, который меняет напряжение опоры на отрицательном входе операционного усилителя.

Экспериментальная часть. При помощи описанного устройства была снята вольт-амперная характеристика со светодиодной нити. По экспериментальным данным была построена ВАХ образца на рис.4. Из графика видно, что полученная характеристика имеет вид характерный для ВАХ светодиодов.



Рис. 4. ВАХ образца *GoVin* 1Вт, стекло

Также были сняты осциллограммы для включения устройства на рис.5 и в работу на осветительную нагрузку на рис.6.

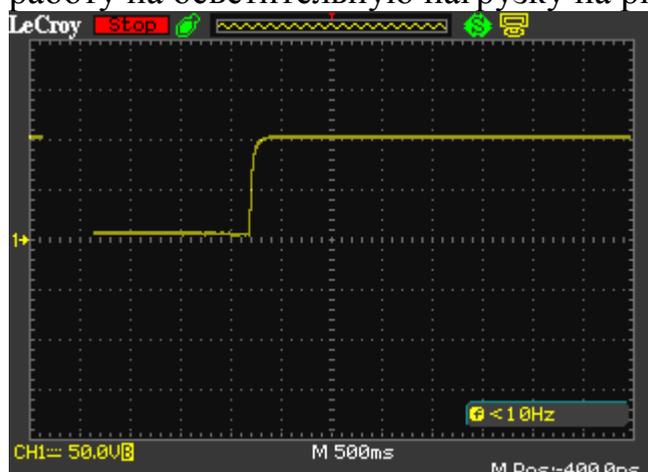


Рис. 5. Включение устройства, уставка напряжения 100В, тока – 20 мА

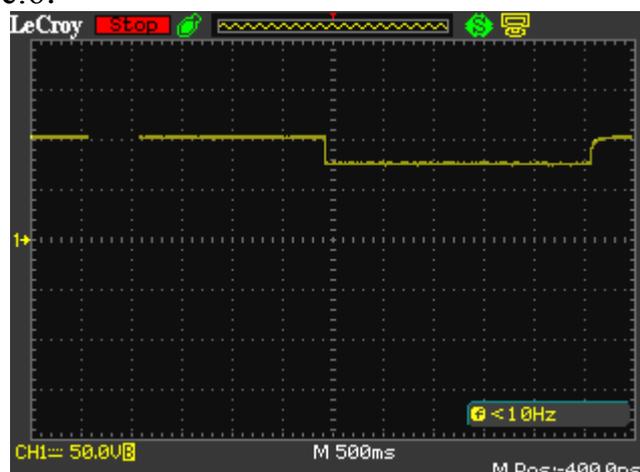


Рис. 6. Включение в работу на осветительную нагрузку, уставка напряжения 100В, тока – 20 мА

Выводы: Если светодиод подключить к источнику питания и с нуля постепенно повышать на нем напряжение, то ток светодиода будет меняться согласно графику на рис.4. По нему видно, что после прохождения точки «загиба», ток через светодиод будет резко возрастать при небольших изменениях напряжения, по этой причине светодиод нельзя подключать к любому источнику питания без резистора, в отличие от лампочки накаливания. Чем выше ток, тем ярче светится светодиод. Однако повышать ток светодиода до бесконечности, естественно, нельзя.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Силовая электроника – территория энергосбережения. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.cleandex.ru/articles/2009/12/30/power-electronics-energy-saving>
2. Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-е, 1992.
3. [Электронный ресурс] // Журнал «Компьютерра» 2009 № 25-26 07.07.2009 URL: <http://old.computerra.ru/terralab/peripheral/443300/> (дата обращения: 13.08.2016).
4. Юнович А.Э. Светодиоды как основа освещения будущего. Светотехника. 2003. № 3. С. 2-7.
5. [Электронный ресурс] // URL: <http://elektrik.info/main/praktika/299-kak-ustroeny-svetodiodnye-lampy.html> (дата обращения: 14.08.2016).

Научный руководитель: А.С. Каракулов, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ, А.В. Иванов, младший научный сотрудник НИИ АЭМ.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

К.А. Змиева

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГЗБ

Светодиодные лампы и светильники находят все более широкое применение в осветительных установках в быту и на производстве. Поэтому разработка и использование устройств для испытания светодиодных источников света достаточно актуальна. Внешний вид устройства представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Внешний вид устройства

Испытание на долговечность встроенного устройства управления

Поскольку лампа не может быть разобрана без неизбежного повреждения, то встроенное устройство управления испытывают как часть укомплектованной лампы. В настоящей работе указан процент испытанных ламп, которые могут не удовлетворять требованиям испытания.

Лампа должна быть подвергнута испытаниям на циклическое изменение температуры и на переключения питающего напряжения:

1. Испытание на циклическое изменение температуры.

Лампу без подачи напряжения выдерживают при температуре минус 10°C в течение 1 часа. Затем сразу лампу перемещают в камеру с температурой 40°C и выдерживают в течение 1 часа. Должно быть выполнено пять таких циклов.

2. Испытание на переключения питающего напряжения.

При испытательном напряжении лампа должна быть включенной на 30 секунд и выключенной на 30 секунд. Число циклов должно быть равно половине нормируемого срока службы лампы в часах (на пример: 10000 циклов при нормируемом сроке службы 20000 ч). После испытаний лампа должна работать и оставаться светящейся в течение 15 мин.

Затем лампа должна работать при испытательном напряжении и температуре окружающей среды 45°C до 25% нормируемого срока службы лампы (с максимумом 6000 часов). По истечении этого времени и после охлаждения до комнатной температуры лампа должна оставаться светящейся в течение 15 минут.

Назначение устройства для испытания светодиодных источников света

Устройство предназначено для испытания светодиодных источников света с питанием от сети 220В переменного тока по ГОСТ Р 54815-2011 (п. 1. б.). Схема устройства представлена на рисунке 2.

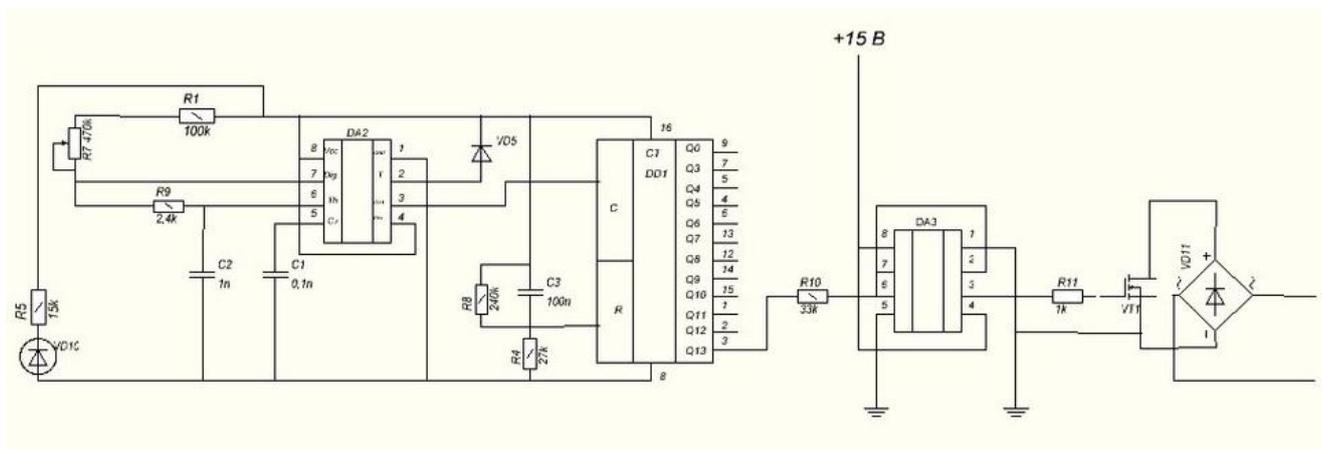


Рис. 2. Схема устройства

Принцип работы устройства для испытания светодиодных источников света

Микросхема DA2 формирует прямоугольный импульс с периодом $7,3 \cdot 10^3$. Далее импульсы поступают на вход микросхемы с DD1, которая служит делителем частоты, коэффициент деления 8192.

С выхода 3 микросхемы DD1 импульсы поступают на вход 6 микросхемы DA3, которая служит драйвером ключа переменного тока. Ключ переменного тока состоит из мостового выпрямителя, в диагональ которого включен полевой транзистор. Ключ переменного тока коммутирует нагрузку (испытываемый источник света). Питание схемы осуществляется от источника собственных нужд.

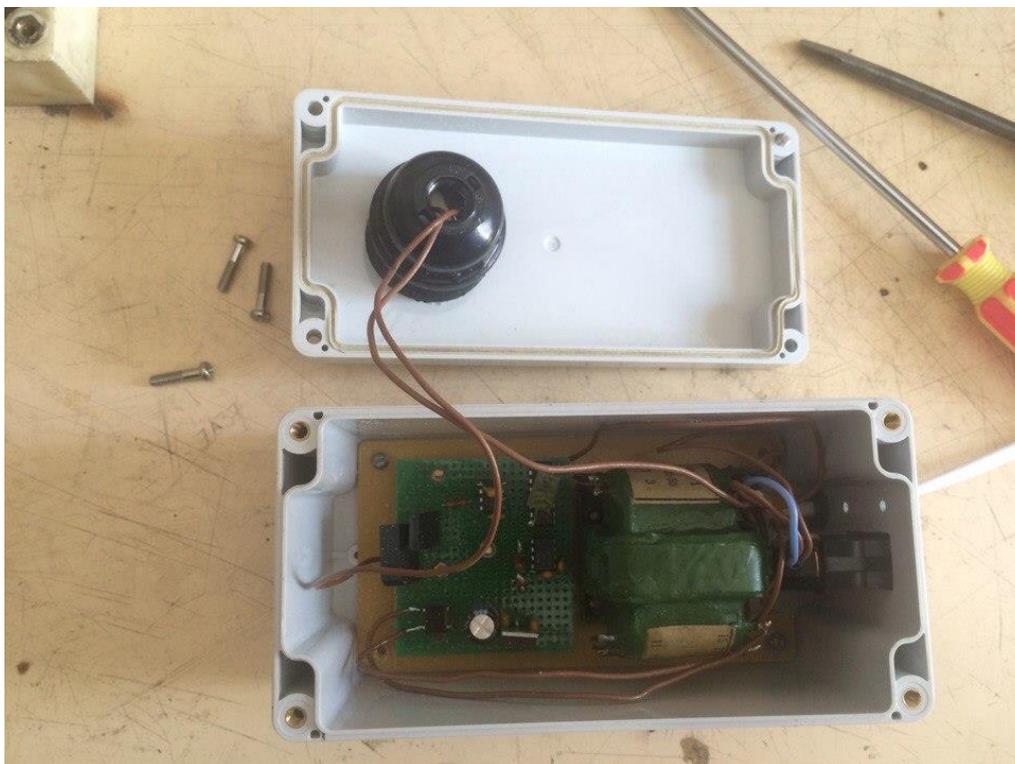


Рис.3. Внутреннее устройство испытательного блока

Экспериментальная часть

1. Сначала ознакомимся с работой самого устройства для испытания светодиодных источников света. Осциллограммы работы устройства представлены на рисунках 4,5,6.

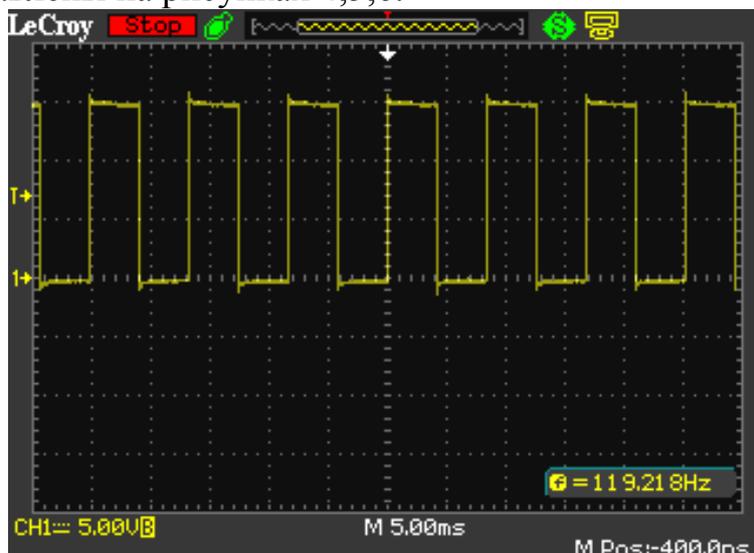


Рис. 4. Импульсные характеристики с 9 выхода микросхемы DD1

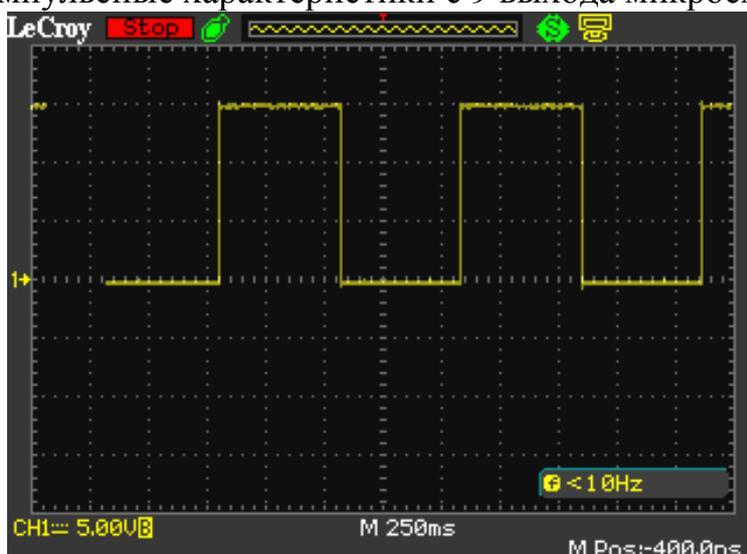


Рис. 5. Импульсные характеристики с 13 выхода микросхемы DD1

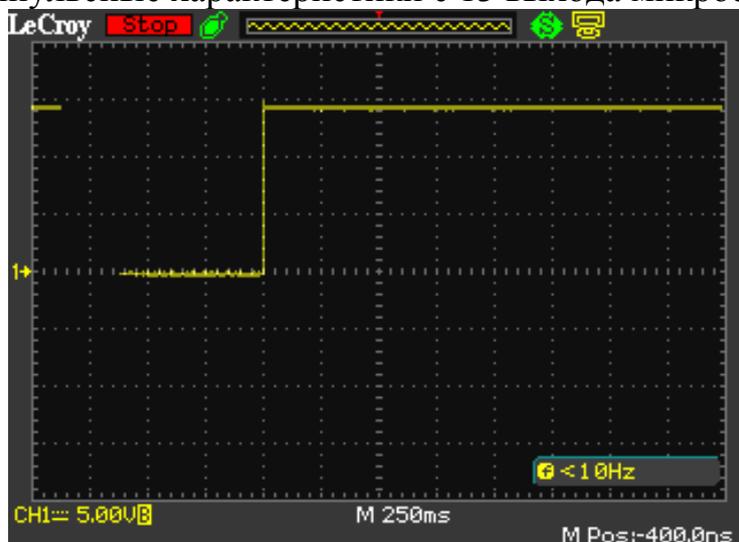


Рис. 6. Импульсные характеристики с 3 выхода микросхемы DD1

Испытание устройств питания для светодиодных ламп мощностью 10Ватт. Опытным путем было выяснено, что в устройстве питания для ламп мощностью 10 Ватт элементом, определяющим зависимость срока службы от количества включений, является пусковой токоограничивающий резистор. Поэтому были проведены испытания на количество включений с различными видами резисторов. По расчетным данным все резисторы работают в номинальном режиме. Зависимость количества включений от типа резистора приведена в таблице.

Таблица

Тип резистора	Количество включений
MF-25-12 (0,25Вт 12Ом±5%)	240
MF-25-33 (0,25Вт 33Ом±5%)	960
CF-25-12 (0,25Вт 12Ом±5%)	4800
CF-50-33 (0,5Вт 33Ом±5%)	более 10000

Заключение: только резистор типа CF-50-33 обеспечивает требуемый срок службы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Браун, М. Источники питания. Расчёт и конструирование / М. Браун. Пер. с англ. – К.: МК – Пресс, 2007. – 288 с.
2. Семёнов, Б.Ю. Экономическое освещение для всех / Ю.Б. Семёнов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2010. – 224 с.
3. Давиденко, Ю.Н. 500 схем для радиолюбителей. Современная схемотехника в освещении. Эффективное электропитание люминесцентных, галогенных ламп, светодиодов, элементов «Умного дома». / Ю.Н. Давиденко. – СПб.: Наука и Техника, 2008. – 320 с.
4. Горский А. Н, Ю. С. Русин, Н. Р. Иванов, Л. А. Сергеева. Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания – М.: Радио и связь, 1988. – 176 с.
5. Анатомия света [Электронный ресурс]: светодиодное освещение. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://an-light.ru/articles/advantages-and-disadvantages-of-led-lamps>, свободный. – Загл. с экрана.
6. Расчет освещения [Электронный ресурс]: Электрон. дан. – Режим доступа: http://slavapril.narod.ru/raschet_light.html, свободный. – Загл. с экрана.
7. Силовая электроника – территория энергосбережения. [Электронный ресурс]: Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.cleandex.ru/articles/2009/12/30/power-electronics-energy-saving>, свободный.

Научный руководитель: А.С. Каракулов, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ, А.В. Иванов, младший научный сотрудник НИИ АЭМ.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЦЕХА ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПО «МАЯК»

Н.А. Малханова
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГЗБ

Производственное объединение «Маяк» – федеральное государственное унитарное предприятие по производству компонентов ядерного оружия, изотопов, хранению и регенерации отработавшего ядерного топлива, расположено в городе Озёрске Челябинской области.

Производственное объединение «Маяк» является одним из крупнейших российских центров по переработке радиоактивных материалов. Объединение обслуживает Кольскую, Нововоронежскую и Белоярскую атомные станции, а также перерабатывает ядерное топливо с атомных подводных лодок и атомного ледокольного флота.[1]

Совместно с Росатомом осуществляется строительство двух новых печей, которые могли бы ежегодно остекловывать и приводить в безопасное состояние порядка 60 млн. Кюри радиоактивных высокоактивных отходов.

На предприятии, также, осуществляется хранение, переработка, утилизация радиоактивных отходов, в том числе путём цементирования и остекловывания (перевод некоторых жидких радиоактивных отходов в твёрдые). Проектная мощность – переработка до 400 тонн отработанного ядерного топлива в год.

В структуре ПО «Маяк» 8 заводов и 14 вспомогательных подразделений. Основными из которых являются: Завод регенерации топлива РТ-1; Реакторный завод 23; Химико-металлургический завод; Приборный завод.[2]

Подготовительные подразделения и участки цеха

Технологический процесс цеха

Цех промводоснабжения (ЦПВ) подготавливает и снабжает водой ядерные реакторы, радиохимическое и химическое производство, и обеспечивает эти производства электроэнергией в условиях прекращения внешнего электро-снабжения. Цех состоит из отдельных участков, расположенных в разных зданиях, и решающих различные задачи связанных с подготовкой воды для нужд производства.

Структура ЦПВ:

1. *Участок эксплуатации оборудования.* Состоит в предупреждении отказов и поддержании технического состояния оборудования на заданном уровне путем проведения комплекса организационно-технических мероприятий, включающих: задание режимов работы оборудования; контроль технического состояния; устранение обнаруженных неисправностей; определение сроков вывода в ремонт и объема ремонтов.
2. *Участок ремонта механического оборудования.* Представляет собой станочный парк, в котором проводится ремонт различного вида механического оборудования (задвижки, рабочих колес насосов, и других составных деталей оборудования насосных станций).

3. *Участок ремонта электрооборудования.* Здесь производится ремонт электродвигателей, трансформаторов, генераторов.

Технологическая цепь цеха состоит из: промышленного водоема озера «Кызылташ», который расположен вблизи насосной станции и используется исключительно для водоснабжения предприятия и охлаждения атомных реакторов; насосной станции, представляющей собой сложные инженерно-технические комплексы, по которым осуществляется забор воды из промышленного водоема и дальнейшей передачи ее в распределительную сеть трубопроводов; фильтровальной станции включающей сооружения, предназначенные для улучшения качества воды до степени удовлетворяющих производству. Далее вода подается на нужды предприятия и для охлаждения атомного реактора.

Основное технологическое оборудование цеха (Насосная станция):

1. Комплектное распределительное устройство (КРУ)

КРУ – это распределительное устройство, состоящее из закрытых шкафов с встроенными в них аппаратами, измерительными и защитными приборами и вспомогательными устройствами.

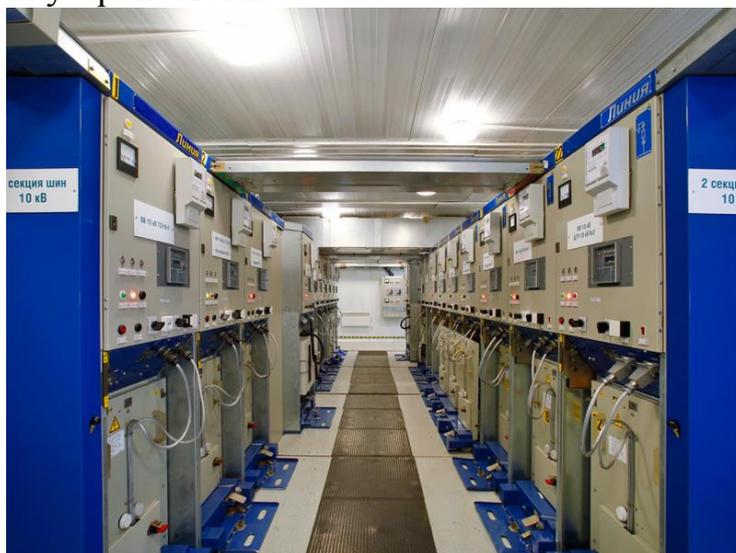


Рис. 1. Комплектное распределительное устройство

Шкаф КРУ имеет жесткий металлический корпус, внутри него размещена вся аппаратура. Для безопасного обслуживания и локализации аварий корпус разделен на отсеки металлическими перегородками и автоматически закрывающимися металлическими шторками. Ячейка КРУ состоит из корпуса; выдвижной тележки, релейного отсека с приборами защиты, автоматики, управления, измерения и сигнализации; отсека сборных шин с опорными изоляторами.

2. Трансформаторная подстанция (ТП)

Комплектной трансформаторной подстанцией (КТП) называется подстанция, которая состоит из трансформаторов и блоков (КРУ или КРУН и других элементов), поставляемых в собранном или полностью подготовленном для сборки виде. В эксплуатации КТП надежны и безопасны, так как их конструкция исключает возможность случайного прикосновения к токоведущим частям. Ревизия и замена поврежденной коммутационной аппаратуры осуществляются

быстро, без сложных демонтажных или монтажных работ и отключения прочих электроприемников, питаемых подстанцией. Их применяют в основном как понижающие трансформаторные подстанции для электроснабжения промышленных и коммунальных потребителей. Для электроснабжения промышленных предприятий используют КТП внутренней и наружной установки напряжением до 10кВ включительно и мощностью (от 160 до 2500) кВА.

Комплектные подстанции внутренней (КТП) и наружной (КТПН) установки состоят из блока ввода высокого напряжения (6-10кВ), силового трансформатора (одного или двух) и комплектного распределительного устройства низкого напряжения (0,4кВ) с предусмотренной проектом защитно-коммутационной аппаратурой, приборами измерения, сигнализации и учета электроэнергии.[4]

3. Насосы.

В системах водоснабжения и в узлах водоподготовительных установок широко применяются лопастные насосы и имеют большое значение. Бесперебойная работа всей системы обусловлена их ритмичной и надёжной работой. Достаточно сказать, что даже кратковременный перерыв в работе отдельного насоса в насосной станции недопустим и создаёт аварийную ситуацию. В узлах водоподготовительных установок завода применяются центробежные и струйные насосы и имеют самое разнообразное назначение: слив реагентов из железнодорожных цистерн, гидромеханизация работ по транспортировке фильтрующих материалов, откачка дренажных вод и вод аварийных стоков из колодцев, подача воды на промывку материалов и оборудования.

4. Вакуумные выключатели.

Вакуумные выключатели предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока (частота 50Гц), номинальным напряжением до 10кВ включительно с изолированной, компенсированной, заземленной через резистор или дугогасительный реактор нейтралью. В основу работы выключателей серии ВВ/TEL заложен принцип гашения дуги переменного тока в вакуумной дугогасительной камере (ВДК) при разведении контактов в глубоком вакууме. Носителями заряда при горении дуги является пары металла. Из-за практического отсутствия среды в межконтактном промежутке, конденсация паров металла в момент перехода тока через естественный ноль осуществляется за чрезвычайно малое время (10^{-5} с), после чего происходит быстрое восстановление электрической прочности. Электрическая прочность вакуума составляет более 30кВ/мм, что гарантирует отключение тока при расхождении контактов более 1 мм.

5. Устройство защиты и автоматики.

В КРУ 6кВ используются микропроцессорные терминалы защиты, автоматики, управления и сигнализации типа БЭ2502А (в соответствии с рисунком 9). Терминалы установлены на дверках ячеек и запитаны от автоматов SF2 – «Питание терминала», установленных в клеммных отсеках ячеек. Автоматы SF2 получают питание =220 В со щита постоянного тока (ЩПТ). Щит постоянного тока (ЩПТ) получает питание от аккумуляторной батареи (АКБ).



Рис. 2. Микропроцессорные терминалы защиты, автоматики, управления и сигнализации типа БЭ2502А

Терминал БЭ2502А обеспечивает функции защиты и автоматики, соответствующие установленному в терминале программному обеспечению, прием входных аналоговых сигналов тока и напряжения и дискретных сигналов управления, управления контактами выходных реле, местную сигнализацию, регистрацию событий и осциллографирование аварийных процессов, самодиагностику.[3]

Управление ВВ КРУ 6кВ осуществляется через блок управления ВВ БУ/TEL-100/220-12-03А (установлен на ячейке) кнопками управления (установлены на дверце ячейки) или кнопками управления на микропроцессорном терминале (одновременное нажатие кнопок «УПР» и «ВКЛ» («ОТКЛ»)).

Управление ВВ СД-1, СД-2 так же может осуществляться с поста управления, установленного в машинном зале у оператора. Для этого на ячейке ф.88-03 и ф.88-06 установлен ключ выбора управления (местное или дистанционное) 1SA, 2SA соответственно.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Википедия [<http://wikimania.org>]. Режим доступа – свободный. Дата обращения: 18.07.16
2. Официальный сайт Росатом [<http://www.rosatom.ru>]. Режим доступа – свободный. Дата обращения: 18.07.16
3. Инструкция по эксплуатации устройств защиты и автоматики подстанций ЦПВ.
4. Инструкция по эксплуатации электрооборудования ЦПВ

Научный руководитель: И.А. Чернышев к.т.н., доцент кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

РЕЗОНАНСНО-КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД УСТАНОВКИ ОБЕССОЛИВАНИЯ НЕФТИ

А.Р. Фермебаев

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГМ5Б

Добываемая из промысловых скважин нефть содержит попутный газ, песок, ил, кристаллы солей, а также воду, в которой растворены соли, преимущественно хлориды натрия, кальция и магния, реже - карбонаты и сульфаты. Содержание солесодержащей воды в нефти может достигать более 80%. Очевидно, что такую "грязную" и сырую нефть, содержащую к тому же легколетучие органические (от метана до бутана) и неорганические газовые компоненты, перерабатывать на нефтеперерабатывающих заводах без ее тщательной подготовки не представляется возможным.

При добыче и переработке нефть дважды смешивается с водой, образуя эмульсии: при выходе с большой скоростью из скважины вместе с сопутствующей ей пластовой водой. Поэтому в процессе нефтепереработки существует такой процесс, как обессоливание нефти, т.е. удаление нежелательных примесей, солей. Данный процесс является одним из основополагающих, поскольку присутствие солей является губительным не только для техники, используемой на нефтеперерабатывающем заводе, но и для самого получаемого продукта [3].

Наряду с развитием и совершенствованием традиционных методов обессоливания нефти, таких как: электродегидраторы, сепараторы нефти, всё большее применение находят методы, реализуемые на основе процессов различной физической природы: лазерной, магнитной, ультразвуковой, радиационной и т. д. Одним из таких методов является виброструйная магнитная обработка нефти, которая открывает новые возможности в нефтяной промышленности [1]. Такой способ обработки нефти и других жидких растворов получил название способ виброструйной магнитной активации ВСМА.

Технология ВСМА - это способ многокомпонентного воздействия на сложные жидкие системы, применяемый для изменения их реологических свойств и получения требуемых параметров. Совокупность воздействий включает в себя следующие факторы: магнитное и электрическое поля, сдвиговая деформация, де-копрессия. Такое комплексное воздействие с высокой энергией вследствие разрушения кристаллических и надмолекулярных структур приводит к сильному изменению структурно-вязкостных свойств нефти и даже может изменить её групповой и фракционный состав [2].

Лабораторные исследования применения технологии ВСМА для процесса обессоливания нефти продемонстрировали её высокую эффективность. Установлено, что при этом в несколько раз снижается время предварительной обработки нефти, сопровождаемой переходом солей из связанного состояния в нефти в слабоминерализованную воду, вводимую в солесодержащую нефть под

воздействием факторов ВСМА. Кроме этого при воздействии факторов ВСМА на перемешивание нефти и вводимой воды нет необходимости нагревать водо-нефтяную смесь до температур $(70-80)^{\circ}\text{C}$, как это происходит при существующих технологиях. Нагревание достаточно осуществлять до температур $(50-55)^{\circ}\text{C}$. Как видно из представленного рисунка 1. требуемый эффект достигается при времени обработки не более 2 минут. За это время содержание солей в нефти снижается с 250 мг/л до $(60-70)$ мг/л. Указанные результаты свидетельствуют о высокой ресурсоэффективности предлагаемого способа обессоливания нефти.

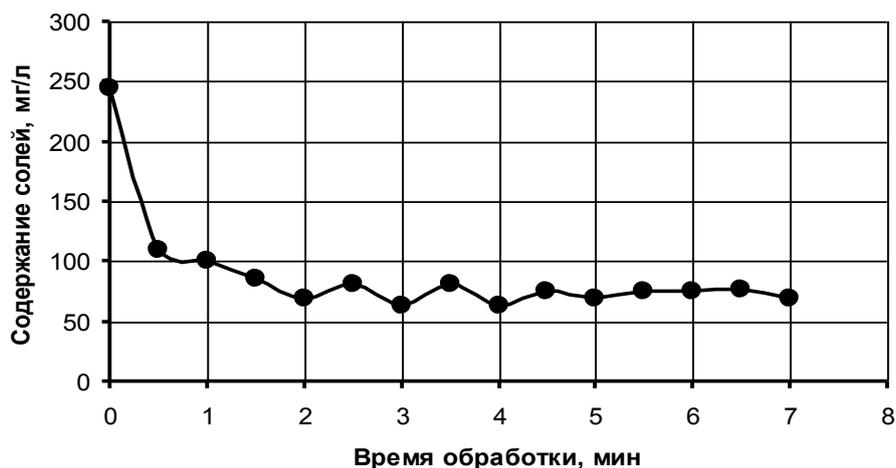


Рис. 1. Содержание солей в нефти при обработке оборудованием ВСМА

С учётом полученных результатов была спроектирована установка виброструйного обессоливания нефти АВОН-1. Аппарат виброструйного обессоливания нефти АВОН-1, приведённый на рисунке 2, предназначен для применения в технологическом процессе обессоливания нефти в качестве высокоэффективного диспергатора и активатора смеси нефти и слабоминерализованной воды. Производительность обработки установки составляет $50 \text{ м}^3/\text{час}$.

Корпус установки АВОН-1 выполнен из трубы нефтяного сортамента диаметром 630 мм с двумя конусными переходами на диаметр трубы 219 мм. По длине корпуса установки имеются шесть блоков виброобработки, смещённых по окружности. Для подачи слабоминерализованной воды предусмотрено три ввода, расположенных в зоне блоков виброобработки. Установка АВОН-1 имеет взрывозащищённое исполнение. После обработки на установке АВОН-1 смесь воды и нефти направляется на разделение[2].

Схема подключения установки АВОН-1 приведена на рисунке 3. Учитывая, что максимальный эффект достигается при работе блоков виброобработки в зоне, близкой к резонансу, в схеме питания предусмотрен частотный преобразователь, позволяющий регулировать частоту питающего напряжения, обеспечивающую максимальные амплитуды колебаний рабочих органов блоков виброобработки.



Рис. 2. Общий вид установки АВОН-1

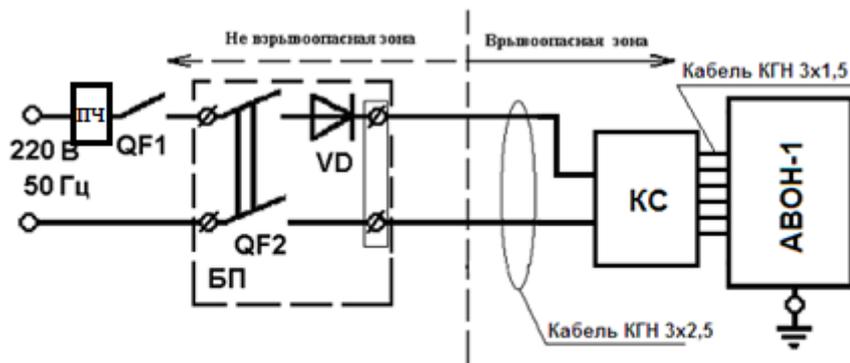


Рис. 3. Схема подключения АВОН-1

Важной задачей при проектировании установки АВОН-1 являлось проведение оценки режимов работы и определение оптимальных параметров. Данная задача решалась методом математического моделирования режимов работы блока виброобработки на основе уравнений электрического и механических контуров.

Электрические режимы работы блока виброобработки можно описать следующим выражением:

$$U_m \sin \omega t = 2i_k \cdot R_k + \frac{d\psi}{dt} \quad (1)$$

где, U_m - мгновенное значение напряжения;
 R_k - активное сопротивление основного контура;
 ψ - потокосцепление.

Уравнение движения подвижных элементов блока виброобработки:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + R \frac{dx}{dt} + cx = F(t) \quad (2)$$

где, m - подвижных элементов блока виброобработки;
 R - сопротивление вязкого трения;

x - амплитуда колебаний рабочего органа блока виброобработки;
 $F(t)$ – возмущающая сила.

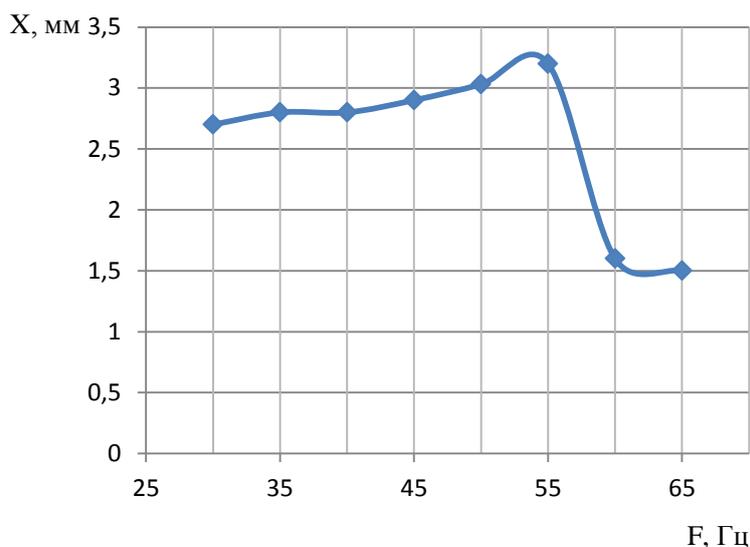


Рис. 4. Частотная характеристика работы блока виброобработки

Частотная характеристика работы блока виброобработки, полученная математическим моделированием, приведена на рисунке 4. Как видно из представленных данных максимальная амплитуда колебаний наблюдается при частоте 53 Гц, что обеспечивает максимальную производительность и эффективность процесса обессоливания. Потребляемый ток одного блока виброобработки при этом составляет 2,0 А, суммарный ток установки, соответственно, 12,0 А. Полученные данные послужили исходными данными для расчёта обмоточных данных установки обессоливания нефти АВОН-1.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Г.Н. Позднышев, Р.И. Мансуров, Ю.В. Сидурин Особенности подготовки тяжелых нефтей. М.: ВНИИОЭНГ, 1983. - Вып. 7. - С. 1. - (Обзорная информация. Сер. нефтепромысловое дело)
2. В.А. Данекер, С.В. Рикконен, А.К. Хорьков, Резонансно-колебательные электромеханические преобразователи для обработки жидких систем. Химия нефти и газа. Материалы IV международной конференции. В 2-х томах.- Томск: «SST», 2000.-Т1-608с.
3. Д.Н. Левченко, Н.В. Бергштейн, А.Д.Худякова, Н.М. Николаева.
4. Эмульсии нефти с водой и методы их разрушения. М., Издательство
5. «Химия», 1967 г. – 200с.

Научный Руководитель: В.А. Данекер, к.т.н., доцент кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

РЕГУЛЯТОР СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО КОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

О.И. Левин

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГМ5Б

В настоящее время в быту и на производстве широко используются коллекторные двигатели переменного тока. Их преимущество обусловлено, в первую очередь, простотой схемы управления, так как здесь нет необходимости использовать дорогостоящие частотные преобразователи.

Для стабилизации частоты вращения таких двигателей можно обойтись без громоздких и сложных в обслуживании систем на основе датчиков положения ротора и тахогенераторов. Кроме того, данные двигатели обеспечивают значительный крутящий момент, при возможности регулирования частоты вращения ротора в широких пределах (от максимальной рабочей частоты, превышающей у некоторых двигателей 5000 об/мин, почти до нуля). [1]

Принцип действия схемы управления коллекторными двигателями

- схемы с широтно-импульсным регулированием частоты вращения ротора двигателя;
- схемы с фазовым регулированием частоты вращения ротора двигателя.

Принцип действия, заложенный в первую из них, обеспечивает приемлемые параметры. Схема работает на частотах 1...20 кГц, в качестве ключевых элементов здесь используются мощные транзисторы. Однако на практике данная схема не обеспечивает должной надежности из-за неустойчивой работы транзисторов при больших импульсных токах. При перегрузках часто выходят из строя дорогостоящие силовые транзисторы.

Более надежной зарекомендовала себя методика с фазовым управлением частотой вращения, где в качестве регулирующих элементов используются тиристоры. Однако промышленные схемы, в которых используется указанный принцип, достаточно громоздки. В результате анализа некоторых из указанных схем выяснилось, что можно добиться значительного их упрощения без всякого ухудшения технических характеристик устройства. Стабильность частоты вращения двигателя в схеме, показанной на рисунке 1, не уступает большинству дорогостоящих импортных ШИМ регуляторов, а по надежности значительно превосходит их. [2]

На рисунке 1 изображена электрическая схема стабилизатора частоты вращения коллекторного двигателя, разработанная в электронной среде P-CAD Schematic 2006.

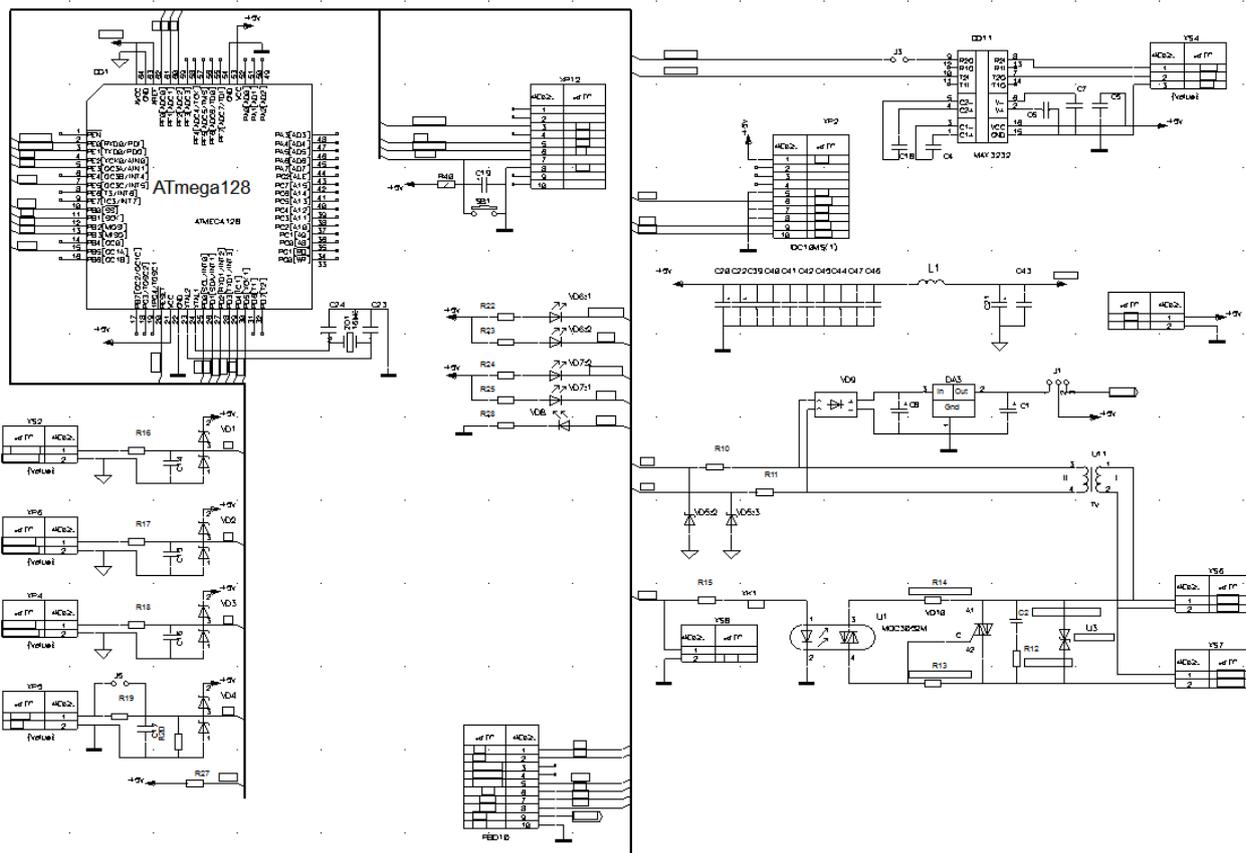


Рис. 1. Электрическая схема стабилизатора частоты вращения коллекторного двигателя

Как уже отмечалось выше, в основу работы схемы, показанной на рисунке 1, положен принцип фазовой регулировки частоты вращения коллекторного двигателя с использованием обратных связей по току и напряжению. Таким образом, указанная схема позволяет обеспечить стабильные обороты двигателя при значительных колебаниях нагрузки на валу, а также питающего напряжения. Можно реализовать режим, когда при увеличении нагрузки обороты двигателя увеличиваются.

В описываемой конструкции реализовано микропроцессорное управление на базе микроконтроллера фирмы Atmel ATmega 128. [3]

ЛИТЕРАТУРА:

1. Слащев И.В. Конструирование печатных плат. Разработка конструкторской документации: учебное пособие / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2006 – 172 с
2. А.В.Евстифеев. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы Atmel. Изд-во "Додека-XXI", М, 2005г, 105 с
3. Китаев Ю.В. Основы программирования микроконтроллеров ATmega128 и 68hc908. Учебное пособие: СПб: СПбГУ ИТМО, 2007, 107 с.

Научный руководитель: О.С. Качин, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВАКУУМНОГО РЕКЛОУЗЕРА

Ю.С. Алексеева

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГЗБ

Слово «реклоузер» еще недавно было абсолютно неизвестным и ставило в тупик многих энергетиков. Само понятие «реклоузер» возникло в США – это автономное устройство, используемое для автоматического отключения и повторного включения цепи переменного тока по предварительно заданной последовательности циклов отключения и повторного включения с последующим возвратом в исходное состояние, сохранением включенного положения или блокировкой в отключенном положении. Реклоузер включает в себя комплекс элементов управления, необходимых для обнаружения токов короткого замыкания и управления.

Из-за низкой надежности воздушных линий вероятность короткого замыкания на одном из участков была достаточно велика и грозила выходом из строя всей линии. Решением стало так называемое «секционирование» – разделение воздушной линии на секции с возможностью вывода из эксплуатации только аварийного участка на время ликвидации аварии.

Во-первых, реклоузер – это автономное устройство, во-вторых, он предназначен для отключения и повторного включения цепи. Дело в том, что около 80% повреждений в сетях неустойчивы и самоустраняются в течение нескольких секунд. Причинами подобных повреждений являются схлестывание проводов, касание проводов ветвями деревьев, перекрытие изоляторов в результате грозовых воздействий, птицы и животные и др. Было определено, что отключение и последующее автоматическое включение линии при неустойчивом повреждении приводят к устранению причины и, следовательно, исключают длительные перебои электроснабжения.

В последние годы, связи с децентрализацией электроснабжения, сетевые компании стали требовать от потребителей электрической энергии установки реклоузеров на отпайках (на границах балансовой принадлежности сетей). Это вызвало к жизни появление компактных недорогих реклоузеров, устанавливаемых на одной или двух опорах ЛЭП.

Назначение и область применения

Реклоузер РВА/TEL предназначен для применения в воздушных распределительных сетях трехфазного переменного тока с изолированной, компенсированной или заземленной нейтралью частотой 50 Гц, 60 Гц, номинальным напряжением 10(6) кВ в качестве: автоматического пункта секционирования в сети с односторонним питанием и с несколькими источниками питания; ячейки на ответвлении сети; ячейки отходящего фидера на подстанции и распределительном пункте; пункта местного резервирования.

Вакуумные реклоузеры применяют в вдольтрассовых линиях предприятий транспорта нефти и газа.

Традиционная схема электроснабжения линейных объектов трубопровода выполнена по магистральному принципу, зачастую с однократным сетевым резервированием по магистрали. Отличительными особенностями этих схем является значительная протяженность по магистрали – до 100 км, равномерно распределенный характер нагрузок, до сетевого резерва и длины ответвлений порядка 100 м. В классической схеме основная защита линии от повреждений установлена на питающих подстанциях. Для этих целей используются мало-масляные, реже вакуумные выключатели, а также электромеханические или электронные терминалы релейной защиты и автоматики.

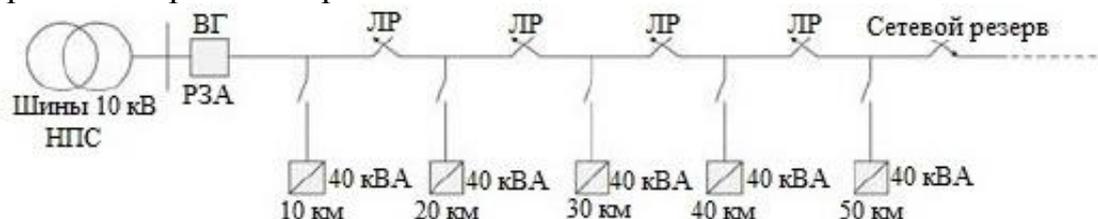


Рис. 1. Схема электроснабжения магистральных трубопроводов предприятий транспорта нефти и газа; ВГ – защитный аппарат на отходящей линии; РЗА – релейная защита и автоматика; ЛР – линейный разъединитель.

Функции: автоматическое выделение поврежденных участков, восстановление электроснабжения на неповрежденных участках распределительной сети; оперативные переключения в распределительной сети в нормальном и послеаварийных режимах работы; автоматическое повторное включение линии (АПВ); автоматическое включение резерва (АВР); сбор информации о режимах работы сети; ведение журналов аварии, включений и отключений, изменения настроек оборудования и т.д.

Применение реклоузеров РВА/TEL позволит: повысить надежность электроснабжения потребителей; снизить недоотпуск электроэнергии; уменьшить число аварийных отключений линий электропередачи; сократить затраты на обслуживание электрической сети; повысить технический уровень эксплуатации сетей; реализовать современные принципы автоматизации и управления распределительными сетями.

Конструкция и технические характеристики

Конструктивно вакуумный реклоузер РВА/TEL состоит из трех основных элементов: коммутационного модуля, который управляется посредством шкафа управления с микропроцессорной релейной защитой и автоматикой, связанные между собой соединительным кабелем.

Реальный рывок в распространении реклоузеров произошел после появления компактных и быстродействующих вакуумных выключателей. Это позволило также в значительной мере автоматизировать работу пунктов секционирования, которые стали именоваться автоматическими пунктами секционирования - АПС. При этом АПС приобрели главную черту, которая сделала их реклоузерами - необслуживаемость.

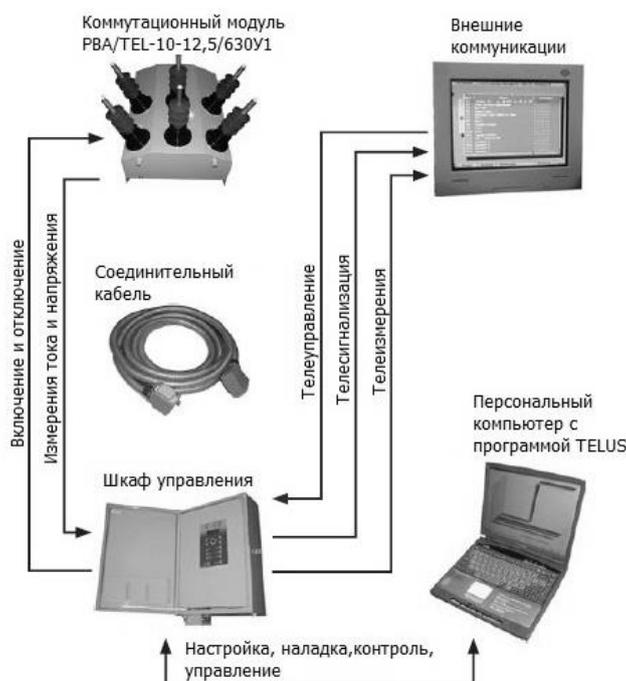


Рис. 2. Принципиальная схема вакуумного реклоузера РВА/TEL

В вакуумном реклоузере РВА/TEL реализованы следующие **виды защит и автоматики**: токовая защита от междуфазных коротких замыканий; защита от однофазных замыканий на землю; защита минимального напряжения; автоматическое повторное включение; автоматический ввод резервного питания; автоматическая частотная разгрузка; режим «работы на линии».

Также в реклоузере есть возможность ведения журналов и счетчиков оперативных и аварийных событий: журнал включений и отключений; журнал данных об аварии; журнал событий; журнал изменения данных; журнал изменения нагрузки; счетчик операций «ВО»; счетчик аварийных отключений; счетчик SCADA-системы.

Внешние коммуникации

Реклоузер может работать в двух режимах управления: местном и дистанционном. В местном режиме управление и обмен данными осуществляется посредством: панели управления на внутренней дверце шкафа управления; персонального компьютера с программным обеспечением TELUS.

Дистанционные коммуникации осуществляются посредством: релейно-контактных систем управления с использованием модулей дискретных входов/выходов; систем телемеханики с использованием различных каналов связи; персонального компьютера с программным обеспечением TELUS, подключенного к внутренним коммуникационным интерфейсам шкафа управления.

Программное обеспечение TELUS

Для управления реклоузером РВА/TEL посредством персонального компьютера было разработано специальное программное обеспечение TELUS (Tavrida Electric User Software), которое позволяет: управлять реклоузером; изменять основные настройки аппарата; изменять уставки релейной защиты и автоматики; выбирать активную группу уставок; вводить/выводить защиты; считывать показания журналов оперативных и аварийных событий.

Организация SCADA-систем

Наиболее совершенным способом дистанционного управления реклоузером является его применение в различных SCADA-системах. SCADA-система (Supervisory Control And Data Acquisition), или система телемеханики, позволяет визуализировать удаленные объекты на едином диспетчерском центре, с которого осуществляется управление этим объектом, а также получение ответной информации в виде различных сигналов телесигнализации или телеиндикации. Примеры используемых SCADA-систем: FactoryLink; Genesis; RealFlex и т.д.

Преимущества

Реклоузеры обладают рядом преимуществ по сравнению со своими предшественниками – аппаратами типа ВЛБ (РВНО, ЯКНО). Наиболее важные из них: наличие микропроцессорного блока релейной защиты и автоматики, с функциями автоматического повторного выключения (АПВ) и автоматического ввода резерва (АВР); применение вакуумного выключателя 6-10кВ в качестве коммутационного аппарата; наличие встроенной системы измерения токов и напряжений с обеих сторон коммутационного модуля; возможность телеуправления реклоузером с диспетчерского пункта электроэнергетического цеха.

Стоимость реклоузера вакуумного серии РВА/TEL-10-12,5/630У1 варьируется от 350000 тысяч рублей (базовый комплект) до 750000 тысяч рублей (при необходимости дополнительных деталей).

Выводы:

Реклоузеры вакуумные имеют такие отличительные особенности: высокий механический и коммутационный ресурс; малые времена включения и отключения; возможность интеграции в SCADA системы; встроенная система измерения; гибкая отстройка от предохранителей; самодиагностика; ведение журналов оперативных и аварийных событий; устойчивость к электромагнитным воздействиям; простота монтажа и эксплуатации; отсутствие необходимости в проведении текущих, средних и капитальных ремонтов на протяжении всего срока службы; малые массогабаритные показатели.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Реклоузер вакуумный РВА/TEL: техническая информация / Российская группа компаний Таврида Электрик, 2014.- 82 с.
2. Тяжмаштрейд. [Электронный ресурс] // URL: <http://tmtrade.ru/index.php/chto-takoe-reklouzer> (дата обращения: 28.08.2016).
3. Нефтегазодобывающие управления. [Электронный ресурс] // URL: <http://ngdu.tatneft.ru/prikamneft/deyatelnost/proizvodstvennaya/deyatelnost/energetika/?lang=ru> (дата обращения: 13.09.2016).

Научный руководитель: А.Ю. Чернышев, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

УТИЛИЗАЦИЯ ПРИРОДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

¹И.В. Никитин, Ю.П. ²Привалова
^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группы ¹5Г44, ²5Г51

В настоящее время существует множество способов получения энергии из возобновляемых источников. Энергию собирают разными путями – от солнца, ветра, воды, земли.

В данной работе рассматривается получение энергии от земляной батареи и от электромагнитного излучения.

Получение энергии от земляной батареи (ЗБ).

Для извлечения энергии в почву на небольшую глубину устанавливаются электроды (металлические стержни) так, как показано на рис. 1.

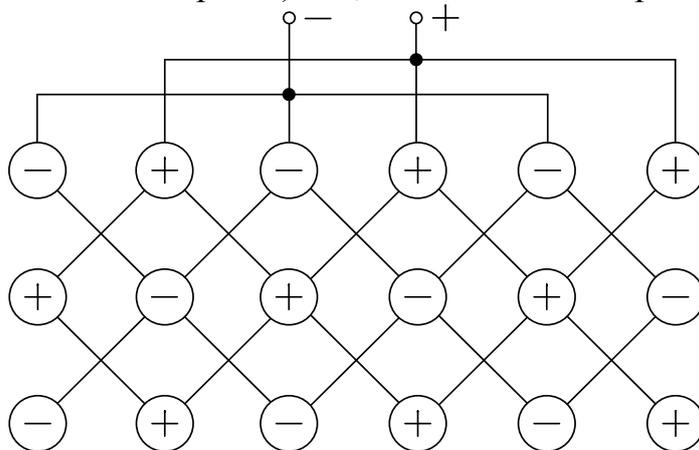


Рис. 1. Эскиз земляной батареи

Электроды положительных и отрицательных потенциалов соединяются параллельно. Экспериментальные данные батареи: $U = 0,35 \div 0,5\text{В}$, $I_{кз} = 60 \div 90\text{мА}$. Один из способов увеличения мощности ЗБ, является использование патента Стаблфилда. Для повышения напряжения и его накопления используется электрическая схема, приведенная на рис. 2.

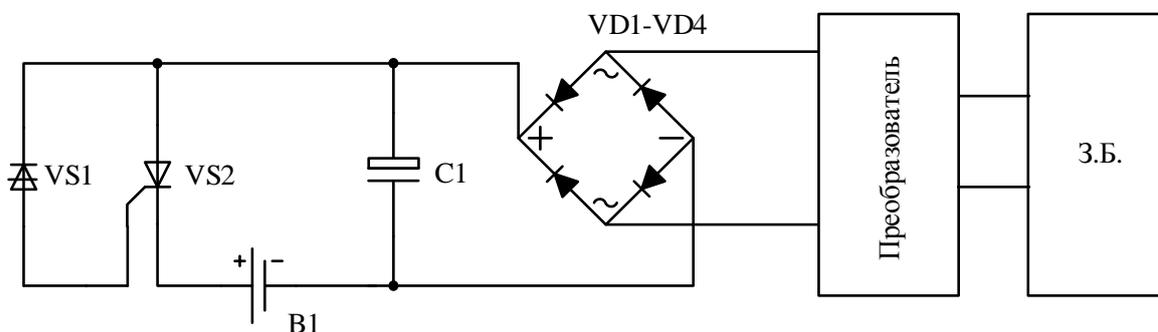


Рис. 2. Схема зарядки аккумуляторной батареи

На данной схеме преобразователь представляет собой блокинг-генератор выполненный по схеме Доброжанского, рис. 3.

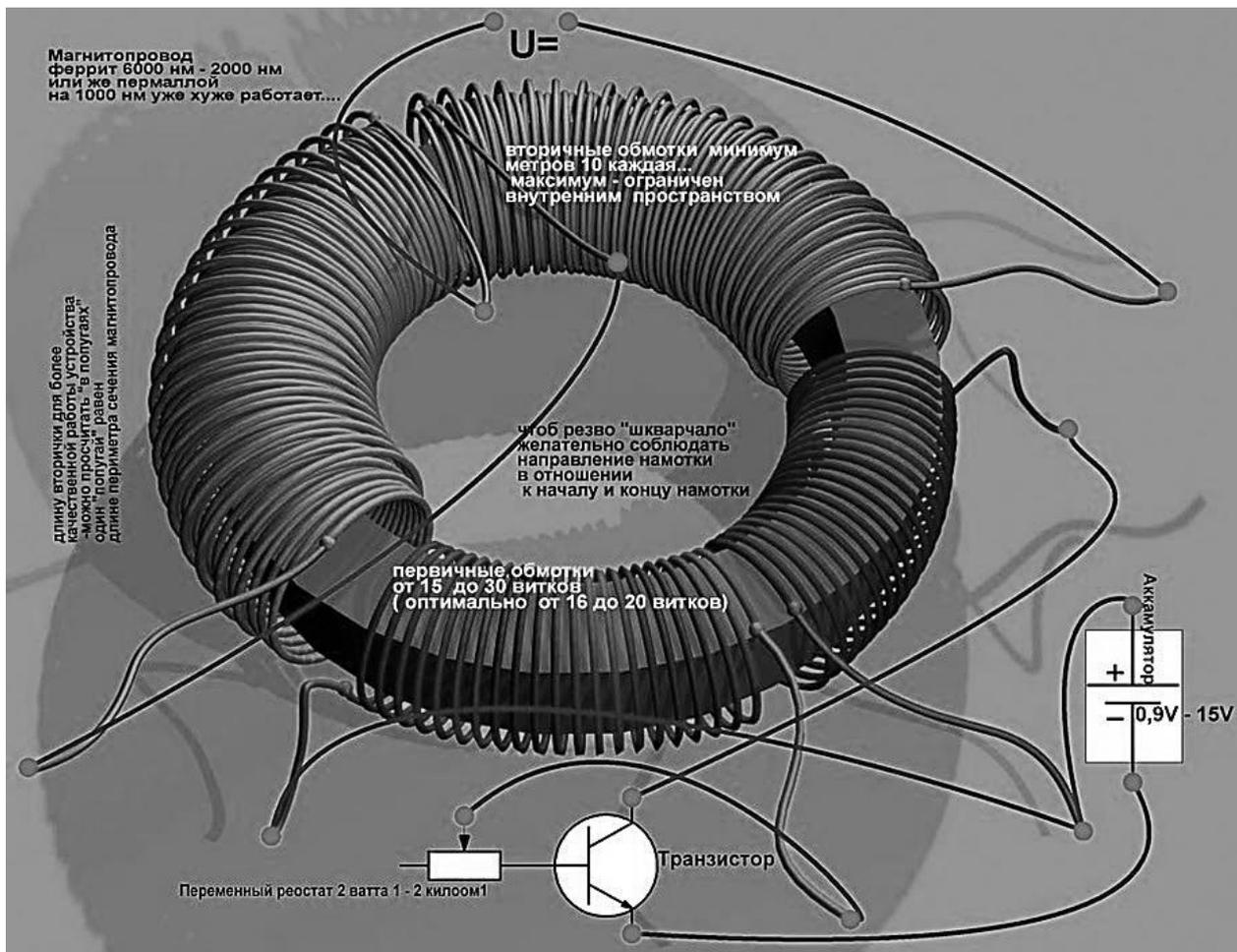


Рис. 3. Высоочастотный трансформатор

Получение энергии от электромагнитного излучения.

Устройство представляет собой незамкнутую (однопроводную) электрическую цепь (рис. 4), на одном конце её включена антенна 1 (в терминах электротехники – уединённый конденсатор), которая изолирована от земли, но расположена на столь же малой высоте, что и приёмник электроэнергии. Антенна-уединённый конденсатор представляет собой либо металлическую (можно металлизированную) пластину (в описываемом устройстве – площадью около одного квадратного метра), либо металлическую решётку той же площади. На уединённый конденсатор с помощью повышающего трансформатора 3 приёмника электроэнергии подаётся переменное напряжение амплитудой 800–1000 Вольт и частотой в несколько десятков кГц. На низковольтную обмотку этого трансформатора работает генератор периодического напряжения, питающийся от аккумулятора 2. К другому контакту повышающей обмотки трансформатора подсоединена нагрузка 4, второй контакт которого заземляется 5.

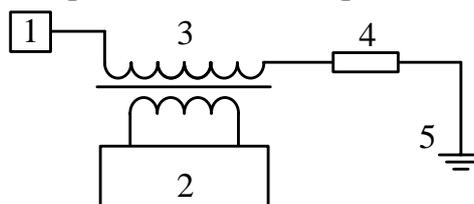


Рис. 4. Модель устройства

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тесла Н. Патенты – Самара: Издательский дом «Агни», 2009. – 496 с.
2. Касьянов Г.Т. Получение электроэнергии из атмосферы с помощью антенны и приемника // Успехи современного естествознания. – 2013. – №1. – с. 125-128.

Научный руководитель: Н.М. Балахонов, инженер каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОТЛОАГРЕГАТА ГУСИНООЗЕРСКОЙ ГРЭС

К.С. Лукина

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГЗБ

Гусиноозерская ГРЭС предназначена для покрытия электрических нагрузок Бурятской энергосистемы, входящей в состав объединенной энергетической системы Забайкалья. В связи с недостаточной добычей Гусиноозерских бурых углей строительство Гусиноозерской ГРЭС было разбито на две очереди. Первая очередь станции рассчитана на 840 Мвт и работает на бурых углях Холбольджинского разреза, а вторая очередь рассчитана на 1260 Мвт и работает на углях Тугнуйского разреза.

Основное оборудование Гусиноозерской ГРЭС

Табл.1

подстанция №№		1	2	3	4	5	6
Тип котла		ЕП-520	ЕП-544	ЕП-520	ЕП-544	ЕП-650	ЕП-650
Параметры острого пара	Давление, кгс/см ²	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0	140.0
	Температура, °С	545	545	545	545	545	545
Производительность, т/час		520.0	544.0	520.0	544.0	650.0	650.0
Год ввода		22.12.76	07.09.77	27.12.78	31.12.79	30.12.88	31.12.93
Завод изготовитель		БКЗ	БКЗ	БКЗ	БКЗ	ТКЗ	ТКЗ
Год реконструкции модернизации		-	31.12.96	-	-	-	-
Тип турбины		К-170- 130	К-180- 130	К-170- 130	К-180- 130	К-200- 130	К-200- 130
Установленная мощность турбины, МВт		170	180	170	180	200	200

В состав тепловой электростанции входят: топливное хозяйство и система подготовки топлива к сжиганию; котельная установка; турбинная установка; установки водоподготовки и конденсатоочистки; система технического водоснабжения; система золошлакоудаления; электротехническое хозяйство; система управления электрооборудованием.

Подготовка твёрдого топлива к сжиганию состоит в размоле и сушке его в пылеприготовительной установке. Необходимый для горения воздух подаётся в котёл дутьевыми вентиляторами. Продукты сгорания топлива отсасываются дымососами и отводятся через дымовые трубы в атмосферу. Совокупность каналов и различных элементов оборудования, по которым проходят воздух и дымовые газы, образуют газавоздушный тракт тепловой электростанции. В зоне горения топлива входящие в его состав негорючие примеси претерпевают физико-химические превращения и удаляются из котла частично в виде шлака, а значительная их часть уносится дымовыми газами в виде мелких частиц золы. Для защиты атмосферного воздуха от выбросов золы перед дымососами устанавливаются золоуловители. Шлак и уловленная зола удаляются на золоотвал.

При сжигании топлива химически связанная энергия превращается в тепловую, образуя продукты сгорания, теплоноситель, которые в поверхностях нагрева котла отдают теплоту воде и образующемуся из неё пару. Совокупность оборудования, отдельных его элементов, трубопроводов, по которым движутся вода и пар, образует водопаровой тракт электростанции. В котле вода нагревается до температуры насыщения, испаряется, а образовавшийся из кипящей воды насыщенный пар перегревается. Из котла перегретый пар направляется по трубопроводам в турбину. Отработавший в турбине пар поступает в конденсатор, отдаёт теплоту охлаждающей воде и конденсируется.

Применяется и промежуточный перегрев пара. Промежуточный перегрев пара повышает коэффициент полезного действия турбинной установки и повышает надёжность её работы.

Конденсат откачивается насосом и пройдя через подогреватели низкого давления, поступает в деаэрактор. Здесь он нагревается паром до температуры насыщения, при этом из него выделяются и удаляются в атмосферу кислород и углекислота для предотвращения коррозии оборудования. Из деаэратора деаэрированная вода, называемая питательной водой, насосом прокачивается через подогреватели высокого давления и подаётся в котёл.

Конденсат в подогревателе низкого давления и деаэраторе, а также питательная вода в подогревателе высокого давления подогреваются паром, отбираемом из турбины, что называется регенеративным подогревом. Благодаря ему уменьшается поступление пара в конденсатор и количество теплоты, передаваемой охлаждающей воде, что приводит к повышению коэффициента полезного действия паротурбинной установки.

Электротехническое хозяйство состоит из электрического генератора, трансформатора связи, главного распределительного устройства, системы

электроснабжения собственных механизмов электростанции через трансформатор собственных нужд.

Система управления энергооборудованием осуществляет сбор и обработку информации о ходе технологического процесса и состояния оборудования, автоматическое и дистанционное управление механизмами и регулирование основных процессов, автоматическую защиту оборудования.

Паровая турбина К-210-130-3 представляет собой одновальный трехцилиндровый агрегат, предназначенная для непосредственного привода генератора переменного тока. Номинальная мощность турбины составляет 210 МВт. Максимальная мощность турбины 215 МВт обеспечивается при номинальных параметрах пара, полностью включенной регенерации, чистой проточной части и температуре охлаждающей воды +10°C.

Турбина снабжена валоповоротным устройством, вращающим турбину со скоростью 3,4 об/мин для обеспечения равномерного остывания при останове. Для сокращения времени прогрева и улучшения условий пуска турбины предусмотрен паровой обогрев фланцев и шпилек, а также подвод острого пара на переднее уплотнение цилиндров высокого и среднего давления. В предпоследние камеры концевых уплотнений роторов подается пар при абсолютном давлении 1,03...1,05 кгс/см² и температуре 130...150°C из коллектора, давление в котором автоматически поддерживается постоянным при помощи электронного регулятора.

Энергетический котельный агрегат паропроизводительностью 640 т/час типа БКЗ-640-140 ПТ-1 предназначен для работы в блоке с турбиной 210 МВт на Переяславском, Тугнуйском и Орхонском бурых углях, сжигаемых в пылевидном состоянии с жидким шлакоудалением.

Котельный агрегат однобарабанный, вертикально-водотрубный, с естественной циркуляцией, с промежуточным перегревом пара, рассчитан на работу с давлением в барабане котла 159 кг/см² паропроизводительностью 560 т/час и температурой 545°C. Компоновка котла выполнена по П-образной схеме. Водяной объем котла – 173,4 м³; паровой объем котла – 93,6 м³. Барабан котла служит для отделения пара от воды пароводяной эмульсии.

Для получения качественного пара в котле применена схема двухступенчатого испарения и соответствующие сепарационные устройства с барботажной промывкой пара питательной водой. Применение двухступенчатого испарения уменьшает количество продувочной воды и соответственно потери тепла с продувкой и повышается надежность работы экранной системы котла.

Котел имеет пароперегреватели. Регулирование перегрева острого пара осуществляется путем впрыска собственного конденсата и питательной воды в пароохладителях I, II, III ступени.

Котел оборудован двумя установками непрерывного механизированного шлакоудаления, каждая из которых состоит из следующих узлов: шлаковая шахта с garniturой и деталями крепления, крепится к нижней части топочной камеры и при тепловом расширении экранов свободно опускается вниз. Нижняя часть шахты погружена под уровень воды, которой залит корпус транспортера; шнековый транспортер состоит из корпуса, опорной рамы и шнекового вала,

вращающегося в текстолитовых подшипниках скольжения; привод шнекового транспортера состоит из электродвигателя, редуктора и опорной рамы.

На котле применена одноточечная схема питания. На основном трубопроводе питания установлены последовательно две запорных задвижки и регулирующий клапан D_y 250. Для осуществления химического контроля качество питательной воды, котловой воды и пара на котле имеются устройства для отбора проб.

Для автоматического регулирования процессами горения пылеприготовления, питания и перегрева пара котел снабжается электронной аппаратурой, а также оборудованием электродистанционного управления вспомогательными процессами.

Выводы: электрооборудование котлоагрегата требует применения современных систем частотно-регулируемого электропривода с микропроцессорным управлением в составе АСУ ТП.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Официальный сайт филиала «Гусиноозерская ГРЭС» [<http://iraogeneration.com/stations/gusozerg/>]. Режим доступа – свободный. Дата обращения: 20.07.2016
2. Трухний А.Д. Паровые турбины. – М.: Энергоатомиздат, 1990. - 640 с.
3. Самойлович Г.С. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. –М.: Энергоатомиздат, 1982. - 496 с.

Научный руководитель: А.В. Аристов, д.т.н., профессор кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

РАЗРАБОТКА СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

И.О. Калюк

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГМ5Б

Стабилизатор напряжения - это устройство, предназначенное для защиты оборудования от нестабильной подачи электроэнергии и сбоев в сети, а также для поддержания стабильного напряжения питающей сети в допустимых по ГОСТ (ГОСТ 29322-92, ГОСТ 13109-97) пределах при изменениях входного напряжения в широком диапазоне. Входное напряжение находится под постоянным контролем и проверяется регулярно. Автоматический стабилизатор напряжения регулирует напряжение автоматически всякий раз, когда есть скачок напряжения или есть импульс энергии, который может достигнуть подключенного оборудования.

Далее приведены основные типы существующих стабилизаторов, с кратким описанием.

Релейные стабилизаторы получили наиболее широкое распространение из-за оптимального соотношения необходимых параметров и цены. Главная положительная сторона у них-это быстроедействие. За доли секунды такие стабилизаторы возвращают напряжение в допустимые рамки, тем самым защищая технику. К минусам можно отнести то, что при переключении реле происходит скачок напряжения (5-15 Вольт в зависимости от производителя). Поэтому при переключении стабилизатора может наблюдаться небольшое мигание ламп накаливания.

Электромеханические стабилизаторы напряжения или сервоприводные стабилизаторы. Они обеспечивают плавную регулировку выходного напряжения по принципу работы реостата. В конструкцию включен электропривод, передвигающий подвижные контакты в виде ролика или щетки электродвигателя по обмотке автотрансформатора. При изменении входного напряжения электродвигатель по команде управляющей электроники перемещает контакт в необходимое положение на обмотке, что позволяет изменять напряжение на выходе плавно.

Тиристорные (симисторные) стабилизаторы напряжения так же получили широкое распространение из-за простоты, быстроты сборки и настройки. Принцип работы основывается на автоматическом переключении секций (обмоток) автотрансформатора (или трансформатора) с помощью силовых ключей – тириستоров. В отличие от релейных стабилизаторов, имеют намного больше ступеней стабилизации и большую точность

Феррорезонансные стабилизаторы одни из ранних типов стабилизаторов напряжения, достаточно редко применяемых в настоящее время. Работа стабилизатора основана на изменении индуктивности катушек с железным сердечником при изменении силы протекающего по ним тока. В первичную обмотку трансформатора последовательно включают конденсатор, который вместе с индуктивностью первичной обмотки составляет резонансный контур, настроенный на частоту питающей сети. Величина емкости конденсатора определяется мощностью трансформатора.

На рисунке 1 изображена электрическая схема разрабатываемого стабилизатора напряжения с контроллером на цифровых микросхемах для активно-индуктивной нагрузки. Стабилизатор работает по принципу ступенчатой коррекции напряжения, осуществляемой переключением отводов обмотки автотрансформатора с помощью симисторных ключей под управлением контроллера, следящего за уровнем напряжения в сети.

В силовом узле применен метод непосредственного управления симисторами постоянным током. Такой метод не создает помех и искажений в форме сетевой синусоиды, которые могут иметь место, при использовании оптосимисторной развязки.

Силовой автотрансформатор подключен по схеме коммутации "по входу", что позволяет использовать низковольтные симисторы и экономить на меди и габаритах сердечника. Трансформатор самодельный, рассчитанный на габаритную мощность 10 Вт, имеющий площадь сечения магнитопровода 5,5 кв. см. Его сетевая обмотка I, рассчитана на максимальное аварийное напряжение

сети 380 В, содержит 8669 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,1 мм. Обмотки II содержит 650 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,25 мм, обмотка III содержит 200 витков провода диаметром 0,1 мм. При номинальном напряжении сети 220 В напряжение выходной обмотки II должно составлять 15 Вольт при токе в нагрузке 400 мА, а обмотки III - 5 Вольт при токе 50 мА.

Стабилизатор состоит из следующих узлов:

1. Блок питания, трансформатор, диодный мост, конденсаторы, микросхема стабилизации питания +5 вольт.
2. Блок компараторов, сравнивающий опорное напряжение, созданное делителем напряжения, с выпрямленным и пропорционально уменьшенным сетевым напряжением на трансформаторе.
3. Блок контроля и синхронизации, блок шифрации, блок записи информации, блок логического сравнения, блок дешифрации и управления.
4. Силовой блок и узел индикации.

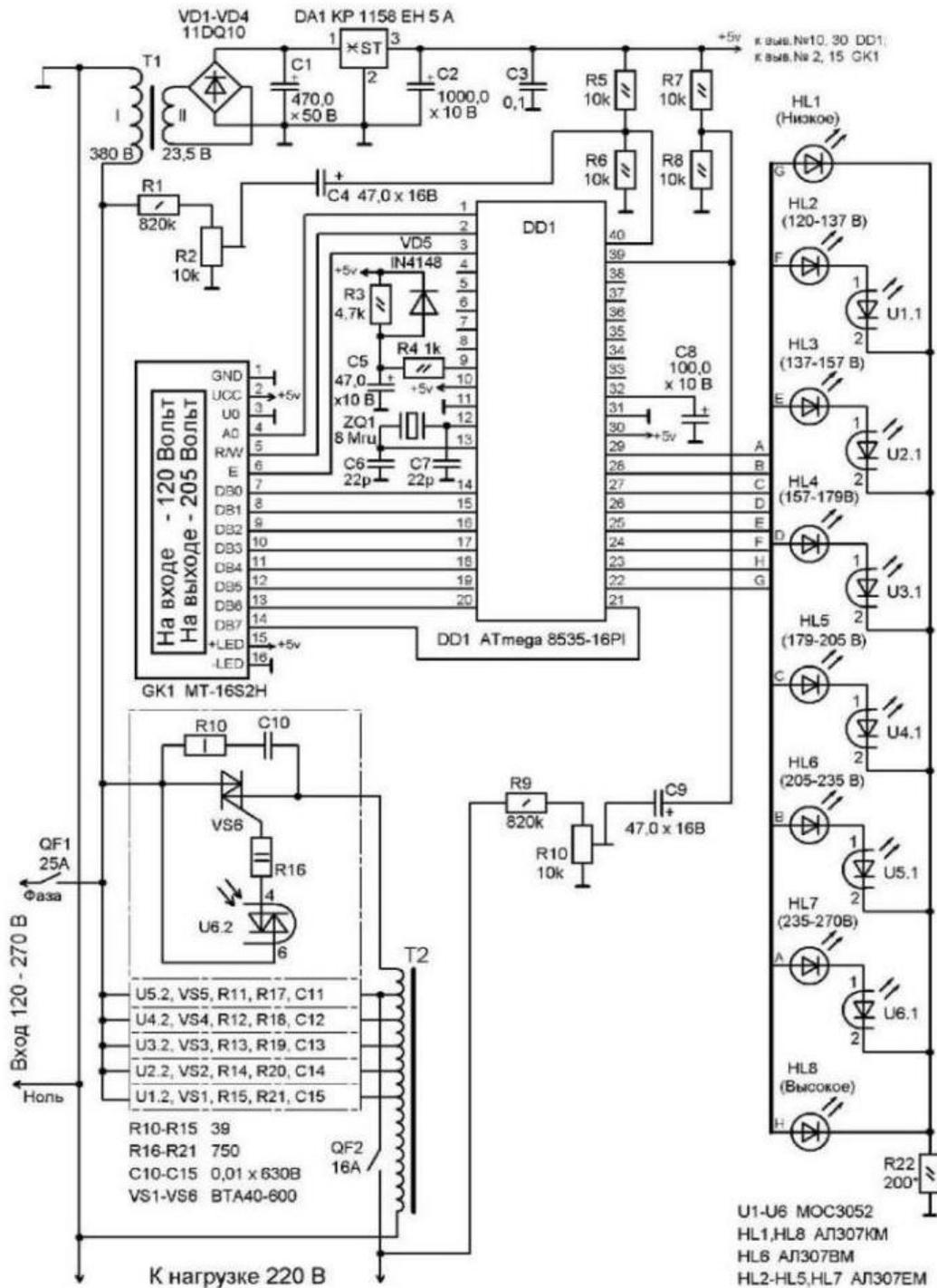


Рис. 1. Электрическая схема стабилизатора напряжения с контроллером на цифровых микросхемах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Слащев И.В. Конструирование печатных плат. Разработка конструкторской документации: учебное пособие / Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2006. – 172 с.
2. Галецкий Ф.П. Особенности производства печатных плат в России / Электронные компоненты. 2001 №5.С.18-26 с.

3. Куско А, Томпсон М. Качество энергии в электрических сетях / Москва: Додэка-XXI, 2008. – 333 с.
4. Белов А. Конструирование устройств на микроконтроллерах. Москва : Наука и техника, 2005. – 256 с.

Научный руководитель: О.С. Качин, к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

СИСТЕМА ЗАЩИТЫ АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА ДЛЯ СВАРОЧНОГО АППАРАТА

С.А. Коваль
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ67

Сварочные аппараты охватывают все сферы отрасли от машиностроения до газовой промышленности. Сварочные трансформаторы применяют на предприятиях, в цехах, где не требуется мобильность и сварка цветных металлов [1].

Сварочные инверторы применяются во всех видах ручной и полуавтоматической электродуговой сварки, плазменной резки. Инверторы очень популярны при ручной дуговой сварке штучными электродами. Это связано с малыми габаритами и весом, а также с низким электропотреблением по сравнению с трансформаторами и выпрямителями. При аргонно-дуговой сварке инверторы имеют преимущество со стороны точной регулировки параметров режима, что является необходимым при таком типе сварки, которую применяют в случаях, когда необходимо высокое качество сварного соединения. При плазменно-дуговой резке основным преимуществом инвертора является стабильная дуга.

Согласно литературному обзору [2], была построена круговая диаграмма, описывающая соотношения различных типов сварочных аппаратов, приведена на рисунке 1.2.



Рис. 1.2. Диаграмма соотношений типов аппаратов

Основными требованиями, предъявляемыми к таким аппаратам, являются:

- стабильность сварочной дуги – режим, при котором сварочная дуга горит длительное время при установленных параметрах, без прерываний и переходов в другие виды разрядов [3];
- легкий поджѳг дуги – возбуждение с помощью кратковременного контакта электрода с металлом, а также последующее их разъединение;
- низкое энергопотребление – обуславливается отсутствием внутренних индуктивных потерь, в отличие от сварочных выпрямителей и трансформаторов [4];
- обеспечение высокого КПД – КПД сварочного инвертора, с учетом потерь в выходном дросселе, доходит до 90 %;
- стабильный, высокий коэффициент мощности – характеризует эффективность использования потребленной энергии из сети, в случае с инвертором имеет значение близкое к 1;
- небольшой расход электродов – экономия электродов при ручной сварке, в виду того, что у сварочного инвертора разбрызгивание электродов практически отсутствует;
- обеспечение необходимого диапазона регулирования сварочного тока.

В качестве системы защиты в нашей схеме предусмотрены:

- Защита от перенапряжения, с помощью стабилитронов. При превышении напряжения стабилизации стабилитрона происходит его пробой. В момент пробоя стабилитрон прекращает наращивать напряжение, но зато в этот период начинает возрастать сила тока в нем.
- Тепловая защита, с помощью теплового реле. В зависимости от тока уставки, установленного на реле, и превышения допустимой температуры выше 90 °С, происходит его срабатывание, после чего цепь, которая идет к электроду обесточивается, с помощью теплового реле и термовыключателей.

Схема АИН резонансного типа представлена на рисунке 2.

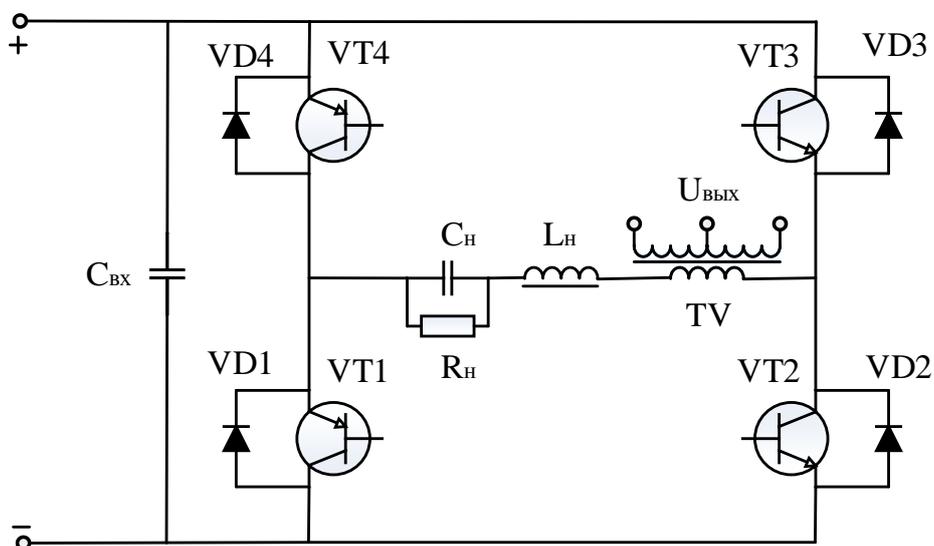


Рис. 2. Схема АИН резонансного типа

В качестве элементов защиты в нашей схеме присутствует демпфирующая RC цепочка, осуществляющая защиту элементов от бросков напряжения.

Согласно методикам расчета [3, 9], производим выбор емкостных элементов, резисторов, диодов, стабилитрона и дросселя.

Выбираем конденсатор для демпфирующей цепочки с емкостью 0,01 ф., рассчитанный на напряжение 630 В., с учетом перегрузок. Резистор для этой цепочки имеет сопротивление 28 Ом., а мощность 5 Вт. Таких цепочек у нас две, поэтому выбор для обеих будет одинаковый.

В качестве силовых диодов Д1-Д2 выбираем 150EВU04 [7] с техническими параметрами, представленными в таблице 1.

Таб. 1. Технические параметры силового диода 150EВU04

Максимальное питающее напряжение, В	Прямой постоянный ток при 104 °С, А	Максимальный кратковременный ток при 25 °С, А	Максимальный длительный прямой ток, А	Рабочая температура, °С
400	150	1500	300	от -55°С до +175°С

В качестве силовых диодов Д3-Д6 выбираем VS-10ЕТF06PВF [8] с техническими параметрами, представленными в таблице 2.

Таб. 2. Технические параметры силового диода VS-10ЕТF06PВF

Максимальное постоянное обратное напряжение, В	Максимальное импульсное обратное напряжение, В	Максимальный прямой ток, А	Максимальное прямое напряжение, В	Рабочая температура, °С
600	700	10	1,2	от -40°С до +150°С

В качестве силовых диодов Д7-Д8 выбираем HER208 [8] с техническими параметрами, представленными в таблице 3.

Таб. 3. Технические параметры силового диода HER208

Максимальное постоянное обратное напряжение, В	Максимальное импульсное обратное напряжение, В	Максимальный прямой ток, А	Максимальное прямое напряжение, В	Рабочая температура, °С
1000	1200	2	1,7	от -65°С до +150°С

В качестве дросселя используем дроссель с ферритным сердечником марки 2000НМ К28х16х9, с намотанным проводом в ПВХ с сечением 1 мм².

В заключении отметим, что разработанная система защиты для сварочного инвертора резонансного типа отвечает всем требованиям, предъявляемым к ним, а также имеет неоспоримое преимущество, а именно невысокая стоимость.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лихачев В. Л. Электросварка: справочник. – Москва: СОЛОН-Пресс, 2004. – 672 с.
2. Рейтинг сварочных аппаратов. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.e-katalog.ru/z227.htm> – 9.04.2016 г.
3. Васильев В.И., Ильященко Д. П., Павлов Н. В. Введение в основы сварки: учебное пособие. – Томск: Изд-во: Томского политехнического университета, 2011. – 317 с.
4. Коваль С. А. Применение современных инверторных сварочных аппаратов в производстве / С. А. Коваль; науч. рук. С. Н. Кладиев //Интеллектуальные энергосистемы: труды III Международного молодежного форума, 28 сентября - 2 октября 2015 г., г. Томск: в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 2015. – Т. 2. – [С. 158-162].
5. Описание MOSFET IRF530. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.vishay.com/docs/91019/91019.pdf> – 19.04.2016 г.
6. Технические характеристики задающего генератора IR53HD420. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/88223/IR53HD420.html> – 19.04.2016 г.
7. Параметры диода 150EВU04. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/83119/150EВU04.htm>– 19.04.2016 г.
8. Параметры диода [Электронный ресурс]: Режим доступа: VS-10ETF06PBF. <http://www.chipdip.ru/product/10etf06/> – 19.04.2016 г.
9. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование ОУ и электроустановок промышленных механизмов: учебно-методическое пособие. – Москва: Изд-во ФОРУМ, 2010. – 352 с.

Научный руководитель: Л.А. Паюк, к.т.н., ст. преподаватель каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО СТАНКА С ИЗМЕНЯЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ НАГРУЗКИ

М.Ю. Сидорков

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5АМ67

Деревообрабатывающие станки охватывают все сферы отраслей промышленных предприятий. Они применяются для выполнения самых разнообразных задач в цехах предприятий, которым важна точность и качество обработки пиломатериала. Немаловажным критерием также является возможность

сохранять стабильную работу под действием перегрузок, связанных с различными дефектами в структуре древесины.

Современный электропривод — это совокупность электрических машин, аппаратов и различных систем управления. Являясь основным источником потребления электрической энергии (Электропривод потребляет до 60% электрической энергии), электропривод также является главным источником механической энергии в промышленности.

Для проверки стабильности работы деревообрабатывающего станка в момент перегрузки, опишем работу электрического привода с помощью системы уравнений, затем построим модель с помощью Matlab.

Уравнения, описывающие переходные процессы в асинхронном двигателе (АД), в системе координат, вращающейся с произвольной скоростью ω_k , имеют вид [1]:

$$\begin{aligned}\vec{U}_s &= R_s \vec{i}_s + \frac{d}{dt} \vec{\Psi}_s + j\omega_k \vec{\Psi}_s; \\ 0 &= R_r \vec{i}_r + \frac{d}{dt} \vec{\Psi}_r + j(\omega_k - \omega) \vec{\Psi}_r; \\ M &= \frac{3}{2} p J_m (\vec{\Psi}_s \times \vec{i}_s); \\ J_\Sigma \frac{d}{dt} \omega &= M - (M_c + M_{\text{дон}}),\end{aligned}\tag{1}$$

где $\vec{i}_s, \vec{i}_r, \vec{\Psi}_s, \vec{\Psi}_r, \vec{U}_s$ — мгновенные значения обобщенных пространственных векторов токов, потокосцеплений и напряжений обмоток статора и ротора;

При моделировании прямого пуска АД систему уравнений (1) запишем относительно проекций векторов потокосцеплений и приведем к уравнениям Коши (2), записанным для неподвижной системы координат α, β .

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt} \Psi_{s\alpha} &= U_{s\alpha} - \alpha'_s \Psi_{s\alpha} + \alpha'_s K_r \Psi_{r\alpha}; \\ \frac{d}{dt} \Psi_{s\beta} &= -\alpha'_s \Psi_{s\beta} + \alpha'_s K_r \Psi_{r\beta}; \\ \frac{d}{dt} \Psi_{r\alpha} &= -\alpha'_r \Psi_{r\alpha} + \alpha'_r K_s \Psi_{s\alpha} + \omega_r \Psi_{r\beta}; \\ \frac{d}{dt} \Psi_{r\beta} &= -\alpha'_r \Psi_{r\beta} + \alpha'_r K_s \Psi_{s\beta} - \omega_r \Psi_{r\alpha}; \\ M &= \frac{3}{2} p_n \omega_c \frac{K_s}{x_c \sigma} (\Psi_{r\alpha} \Psi_{s\beta} - \Psi_{s\alpha} \Psi_{r\beta}); \\ \frac{d}{dt} \omega &= \frac{p_n}{J_\Sigma} (M - M_c - M_{\text{дон}}),\end{aligned}\tag{2}$$

где $U_{s\alpha} = U_m \cos(2\pi f \cdot t)$ — проекция вектора напряжения на ось α ; α'_s — коэффициент затухания электромагнитных процессов в обмотке статора при замкнутой обмотке ротора; α'_r — коэффициент затухания электромагнитных про-

цессов в обмотке ротора при замкнутой обмотке статора; K_s и K_r – коэффициенты связи обмотки статора с обмоткой ротора и обмотки ротора с обмоткой статора соответственно.

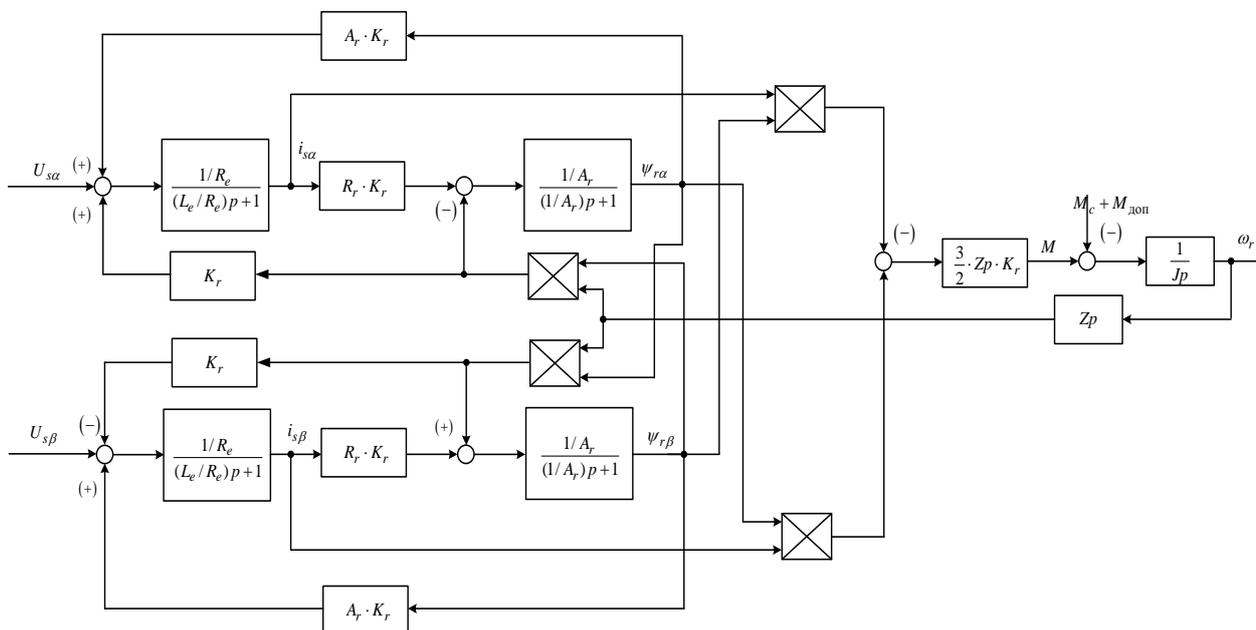


Рис. 1. Структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат

Согласно рисунку 1, строим имитационную модель в программной среде MATLAB Simulink. Модель представлена на рисунке 2.

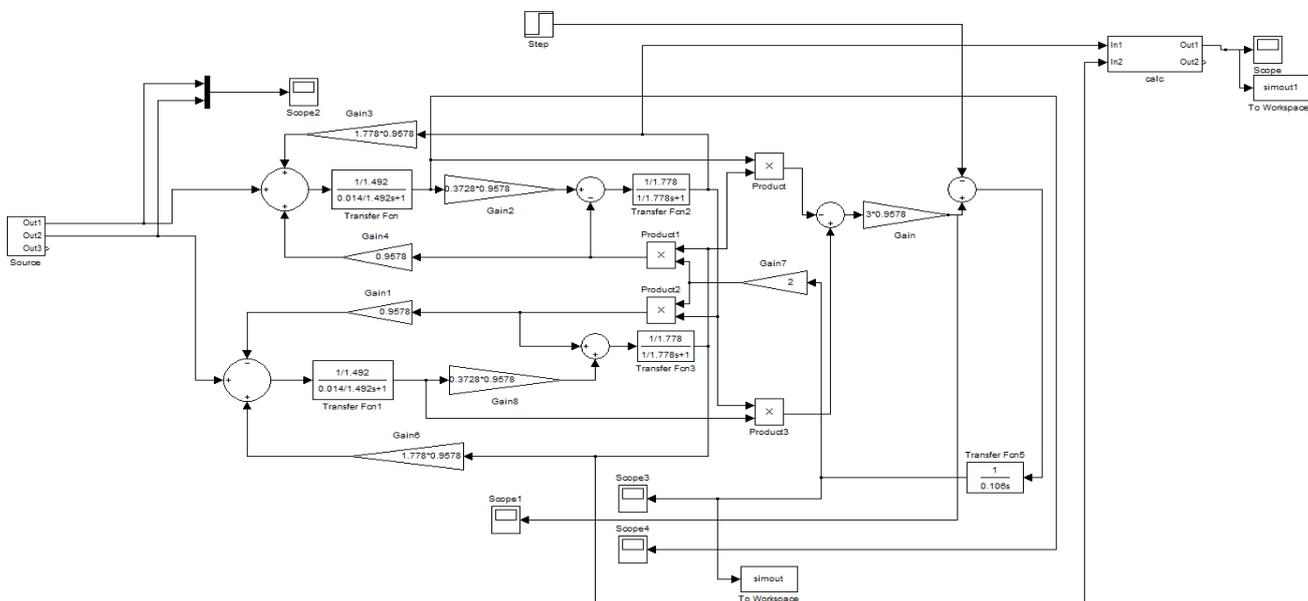


Рис. 2. Имитационная модель асинхронного электродвигателя АИР160М2 в неподвижной системе координат в программной среде MATLAB Simulink.

Результаты моделирования при различных значениях $M_{доп}$ представлены на рисунках 3 и 4:

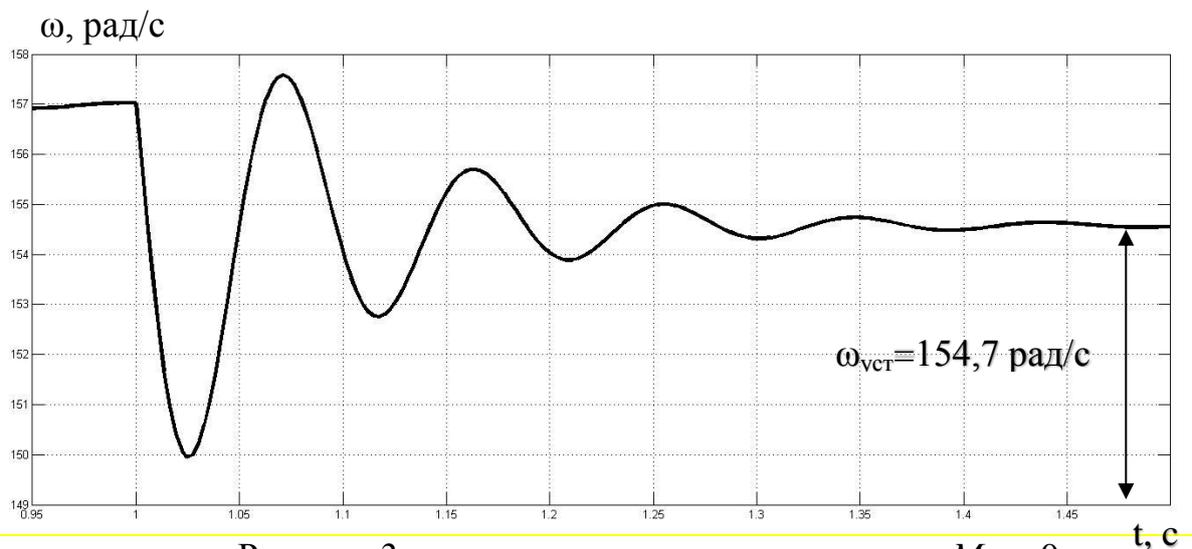


Рисунок 3 – результаты моделирования при $M_{доп}=0$.

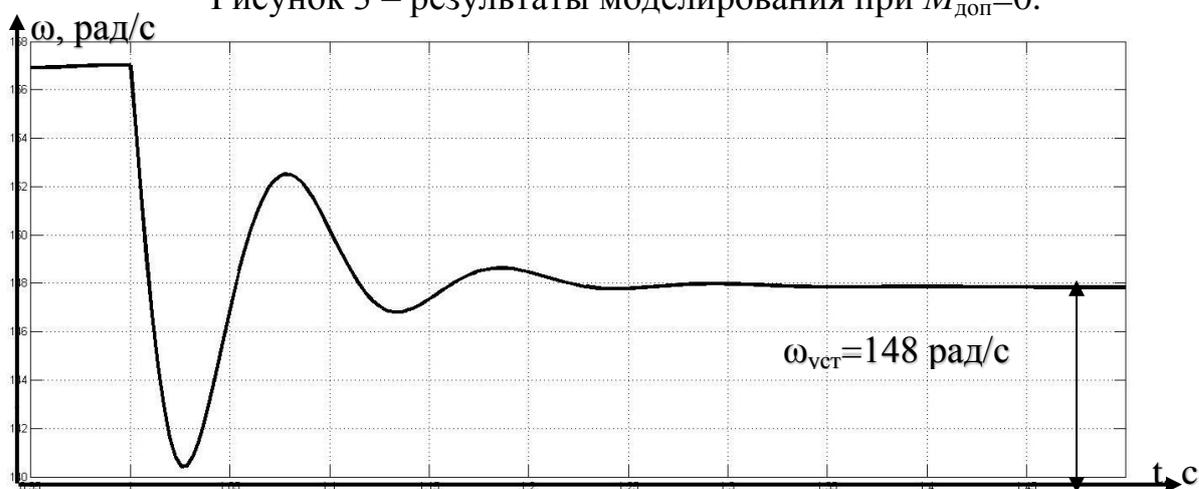


Рис. 4. результаты моделирования при $M_{доп}=M_c$.

Из результатов моделирования видно, что электродвигатель может обеспечить работу на скоростях, близких к номинальной даже при увеличении нагрузки в два раза, что удовлетворяет требованиям для работы деревообрабатывающего станка в условии перегрузки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дементьев Ю.Н, Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электрический привод: учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2008. -224 с.
2. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 120 с.
3. Чернышев А.Ю., Чернышев И.А. Электропривод переменного тока: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 219 с.
4. Мальцева О.П., Кояин Н.В., Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2009. – 354 с.

Научный руководитель: Л. А. Паюк, к.т.н., ст. преподаватель каф. ЭПЭО ЭНИИ ТПУ.

ВЕНТИЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С РЕГУЛИРУЕМОЙ СОБСТВЕННОЙ ЧАСТОТОЙ

А.В. Бабичев

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГМ5А

В настоящее время все более широкое распространение приобретают безредукторные электропривода, работающие в режиме колебательного движения. Такой выбор объясняется рядом таких достоинств, как: устранение потерь энергии в добавочных механических звеньях преобразователя движения, уменьшения мощности управления и повышения безотказной работы всей системы [1].

В основном, для создания колебательного режима работы электропривода применяются такие же принципы управления, что и в следящих электроприводах, которые работают в режиме колебательного движения: питание переменным напряжением обмотки возбуждения для двигателя постоянного тока, использование разнообразных модуляций напряжения питания для двигателя переменного тока [2].

Самым перспективным способом возбуждения колебательного режима работы вентильного двигателя является применение линейной фазовой модуляции питающих напряжений обмоток статора. Как показали результаты практического внедрения таких электроприводов, фазовая модуляция даёт возможность получить плавный диапазон регулирования частоты, фазы, амплитуды и положение нейтрали возбуждаемых колебаний [1].

Для повышения эффективности использования вентильного электропривода колебательного движения рекомендуется в качестве оптимального режима работы использовать резонансный режим работы, когда собственная частота электропривода совпадает с частотой возбуждаемых колебаний. Последнее достигается за счёт введения в систему колебательного движения позиционной нагрузки в виде гидравлических, механических, а также пневматических упругих связей или электрической обратной связи по положению, выполняющей роль «фиктивной жесткости» пружины [2].

При исследовании режимов работы вентильного электропривода колебательного движения с регулируемой собственной частотой, целесообразно использовать координатную систему, жёстко связанную с обмотками ротора [3]. Тогда, математическая модель будет иметь вид

$$\begin{aligned}u_d &= R_s \cdot i_d + L_s \cdot \frac{di_d}{dt} - \omega \cdot L_s \cdot i_q; \\u_q &= R_s \cdot i_q + L_s \cdot \frac{di_q}{dt} + \omega \cdot L_s \cdot i_d + \omega \cdot \Phi_0; \\M &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Phi_0 \cdot i_q = M_n,\end{aligned}\tag{1}$$

где момент нагрузки двигателя M_H включает инерционную $L_{\text{мех}}$, демпфирующую $R_{\text{мех}}$ и позиционную $C_{\text{мех}}$ составляющие и определяется как

$$M_H = L_{\text{мех}} \frac{d\chi^2}{dt^2} + R_{\text{мех}} \frac{d\chi}{dt} + C_{\text{мех}} \chi;$$

R_s, L_s – активное сопротивление и полная индуктивность фазы статора; $\Phi_0 = \Phi_d + j\Phi_q$ – результирующий вектор потока машины; χ – закон движения подвижного элемента двигателя.

При создании колебательного режима работы функции регулирования U_d, U_q , с учетом введения «фиктивной» жесткости, имеют вид

$$u_d = u;$$

$$u_q = u_{1m} \sin(\Omega t + \alpha) - u_{2m} \text{sign}\chi;$$

где U_{1m}, U_{2m} – амплитудные значения напряжений соответственно обмотки возбуждения и обратной связи; α – начальная фаза питающего напряжения; Ω – частота задающего генератора, численно равная частоте колебаний подвижного элемента двигателя.

В относительных величинах система уравнений (1) запишется в виде:

$$\bar{u}_d = \bar{i}_d + \bar{T}_s \cdot \frac{d\bar{i}_d}{dt} - \bar{\omega} \cdot \bar{T}_s \cdot \bar{i}_q;$$

$$\bar{u}_q = \bar{i}_q + \bar{T}_s \cdot \frac{d\bar{i}_q}{dt} + \bar{\omega} \cdot \bar{T}_s \cdot \bar{i}_d + \bar{\omega};$$

$$\bar{T}_m \cdot \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} = \bar{m} - \bar{m}_i, \quad \bar{m} = \bar{i}_q.$$

(2)

Здесь относительные величины коэффициентов, определяются через свои базовые значения как:

$$\bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_b}; \quad \bar{m} = \frac{M}{M_b}; \quad \bar{T}_s = \frac{\omega_b \cdot L_s}{R_s}; \quad \bar{T}_m = \frac{J \cdot \omega_b^2}{M_b}; \quad \bar{t} = \omega_b \cdot t.$$

В соответствии с системой уравнений (2), на рис. 1 представлена имитационная модель вентильного электропривода колебательного движения.

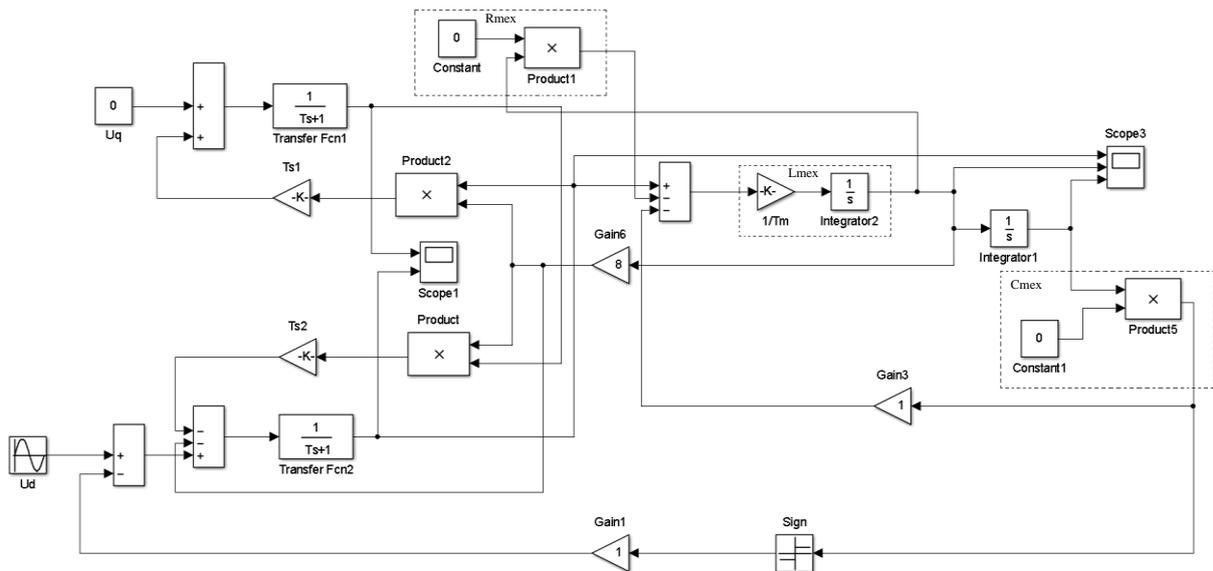


Рис. 1. Иммитационная модель вентильной машины во вращающейся системе координат

Исследования влияния параметров нагрузки на выходные характеристики вентильного электропривода были проведены для двух бесконтактных моментных двигателей серии ДБМ (ДБМ 185-6-0,2-2 и ДБМ 150-4-1,5-3). Так как все параметры модели задавались в относительных единицах, то и полученные результаты позволят оценить на их примере большинство вентильных двигателей, работающих в режиме вынужденных колебаний. Для исследуемых двигателей они составили соответственно $\bar{T}_{S1} = 0,23$ о.е., $\bar{T}_{S2} = 1,758$ о.е., $\bar{T}_{m1} = 0,68$ о.е и $\bar{T}_{m2} = 0,059$ о.е.

На рис. 2 представлены зависимости изменения амплитуды колебаний и электромагнитного момента от частоты ($M = f(\Omega)$) при наличии механической позиционной нагрузки и отсутствии обратной связи по положению.

Как видно, при наличии позиционной нагрузке в электроприводе характеристики имеют максимум на резонансных частотах, в качестве которых выбраны значения $\Omega_1 = 1,462$ о.е. и $\Omega_2 = 1,9$ о.е.

Аналогичные результаты имеют место при введении электрической обратной связи по положению, выполняющей роль «фиктивной» пружины. Как видно, здесь также можно обеспечить регулирование собственной частоты и амплитуды колебаний в достаточно большом диапазоне за счет изменения глубины обратной связи, поддерживая тем самым энергетически выгодный резонансный режим работы исполнительного двигателя.

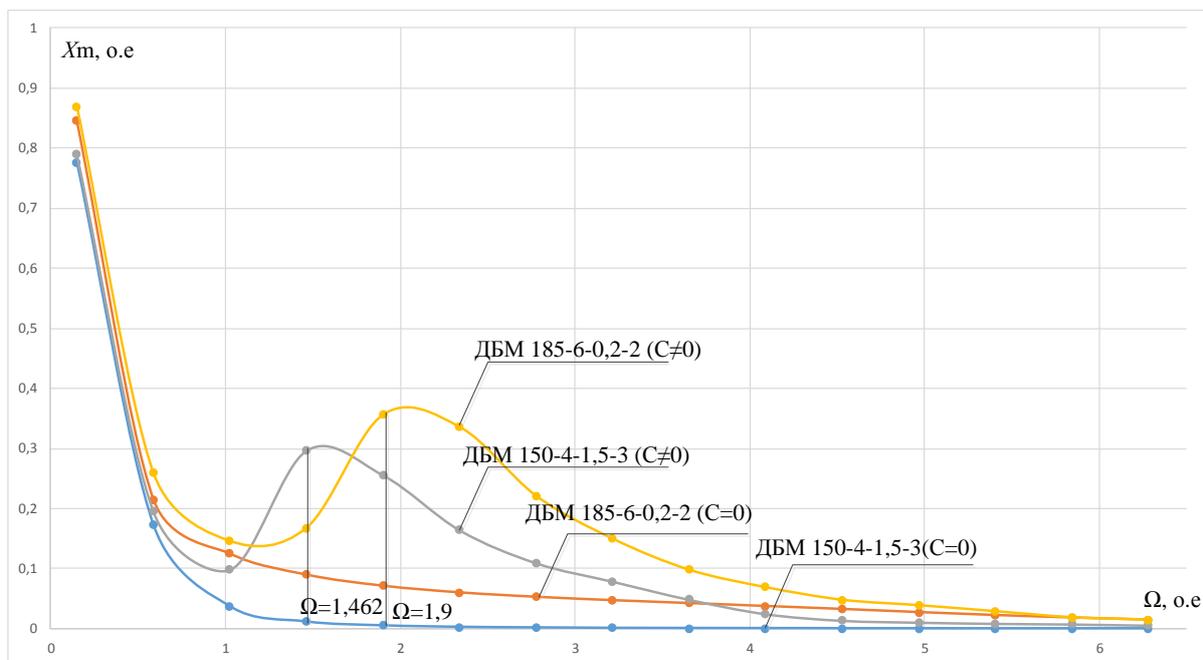


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики исследуемых двигателей при отсутствии ОС по положению $\chi_m = f(\Omega)$

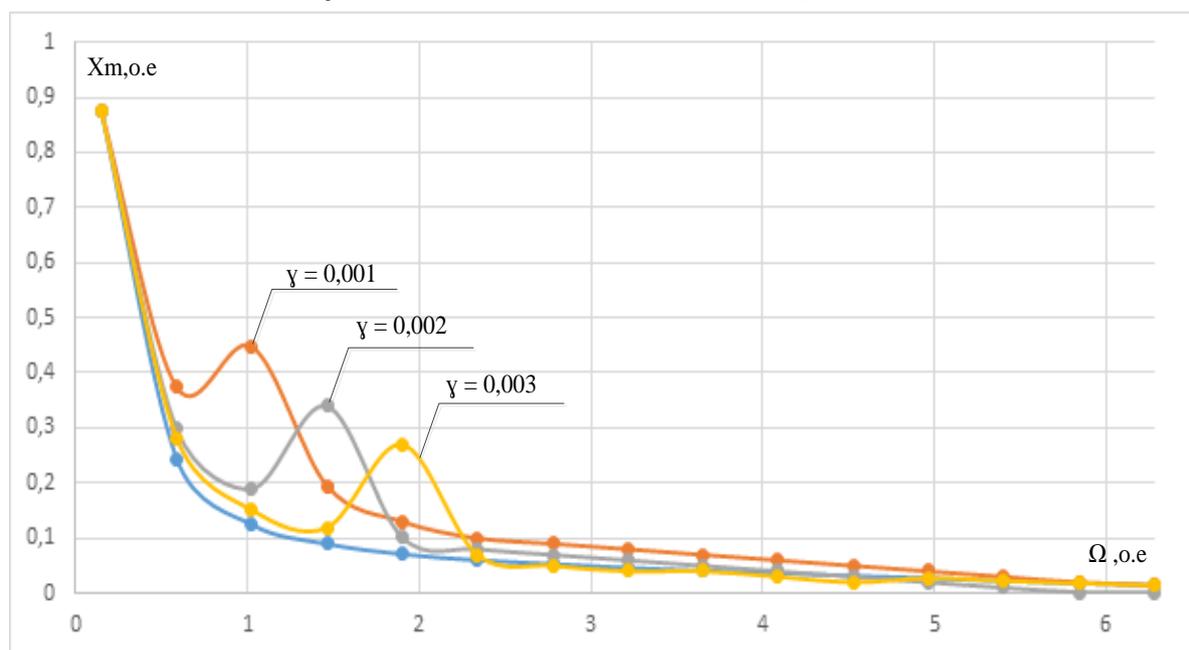


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики ДБМ 185-6-0,2-2 при наличии ОС по положению $\chi_m = f(\Omega)$

Проведенные исследования позволяют сделать выводы о возможности разработки вентильного электропривода колебательного движения с регулируемой собственной частотой, обладающего высокими энергетическими характеристиками, в качестве которого можно рассматривать энергетический фактор комплексной оценки эффективности работы электромеханического преобразователя энергии [4].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Луковников В.И. Электропривод колебательного движения. М.: Энергоатомиздат. 1984. – 152с.
2. Федотов В.М. Асинхронный колебательный электропривод с регулируемой собственной частотой: М. Федотов; Томский политехнический институт; науч. рук. Г. А. Сипайлов. - Томск: Б.и., 1982. — 201 л.: ил. — Библиогр. с. 160-175.
3. Preston M.A. and Lyons J. P., "A Switched Reluctance Motor Model with Mutual Coupling and Multi-Phase Excitation" IEEE Transaction on Magnetics, Vol 27, № 6, November 1991.
4. Аристов А.В. Электропривод колебательного движения с машиной двойного питания. Томск: Издательско-полиграфическая фирма ТПУ–2000–176 с.

Научный руководитель А.В. Аристов, к.т.н., профессор каф. ЭПЭО ЭНИИ ТПУ.

СЕКЦИЯ 6. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ИНДУКТОРНОГО ГЕНЕРАТОРА

Хоанг Чонг Хуи
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭКМ, группа 5ГМ5Г

В автономных системах электроснабжения паротурбогенераторного типа наибольшее применение получил индукторный генератор, так как такой генератор удовлетворяет требованиям высокой частоты вращения ротора, простоты конструкции и регулирования напряжения, обеспечивает высокую надежность. Совершенствование индукторного генератора ставит задачу уточнения расчетов с целью поиска оптимальных параметров и нагрузок, удовлетворяющих условиям работы в конкретном случае.

В настоящей работе представлен анализ температурного поля индукторного генератора – исследуется распределение температуры генератора при номинальном режиме (по обмоткам статора протекает номинальный установившийся ток).

При анализе и расчете тепловых режимов генераторов применяются поверочный, аналитический и численный методы.

В поверочных методах используются экспериментальные зависимости коэффициента теплоотдачи от мощности элементов для определения превышения температуры генератора при номинальном токе. Аналитический метод, основанный на принципе суперпозиции температурных полей, позволяет получить приближенное аналитическое описание процессов теплоотдачи в генераторе. В результате расчета находятся температуры отдельных частей генератора. Недостатком этих методов является низкая точность расчетов.

С появлением ЭВМ получили распространение численные методы расчета – методы конечных разностей и конечных элементов. С помощью этих методов можно учитывать реальные свойства материалов, зависящие от температуры, рассматривать достаточно сложные области и выполнять расчеты без существенных допущений. Недостаток методов – высокие затраты машинного времени – преодолеваются применением высокоэффективной вычислительной техники.

В данной работе для моделирования температурного поля индукторного генератора нами используется метод конечных элементов, реализованный на основе программы ELCUT. Основными этапами решения задачи расчета температурного поля в ELCUT являются следующие.

1. Выбор типа и класса решаемой задачи.
2. Создание геометрической модели объекта исследования (в нашем случае чертеж генератора выполнен в программе T-FLEX).

3. Задание свойств материалов и нагрузок. Свойства материалов представлены в таблице 1. Плотность тока в обмотке статора при номинальном режиме составляет 1755000 A/ м^2 .

Табл. 1.

Элементы	Теплопроводность, (Вт/К·м)	Удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К)	Плотность, кг/м ³
Воздух	0,04	1022	0,779
Сердечник статора– сталь 2013	45	461	7900
Сердечник ротора– сталь 3	39	450	7800
Вал – чугун	50	540	1040
Обмотка –медь	380	550	7800

4. Задание граничных условий. Свойства границ представлены в таблице 2.

Табл. 2.

Метки ребер	Температура T_0 , К	Коэффициент теплоотдачи, Вт/(К м ²)	Тепловой поток
Левая граница	40	150	0
Правая граница	40	150	0
Наружный слой	20	70	0

5. Построение сетки конечных элементов (рисунок 1).

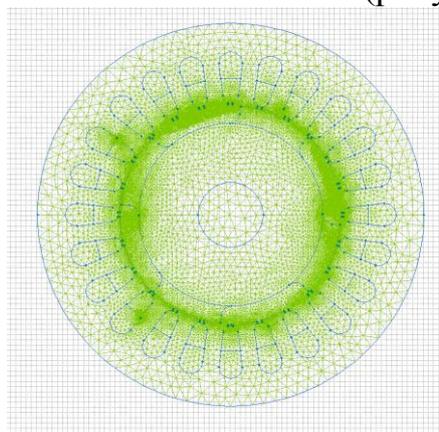


Рис. 1. Окно программы на этапе построения сетки

6. Решение задачи и получение результатов (рисунок 2).

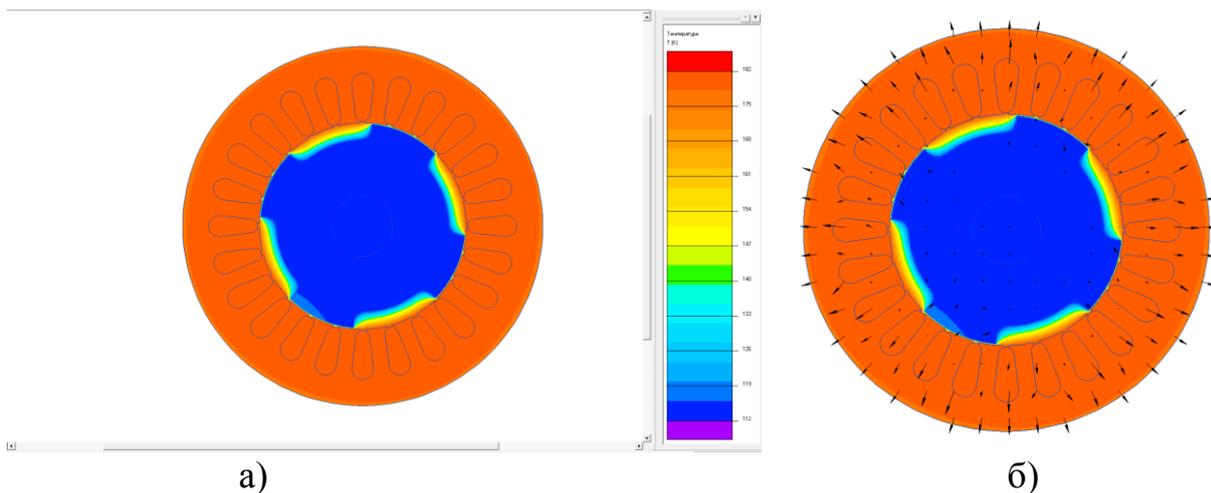


Рис. 2: а) температура генератора; б) тепловой поток генератора при номинальном режиме

В таблице 3 приведены результаты расчета в программе ELCUT и экспериментальные значения максимальной температуры генератора. Здесь использованы следующие обозначения: t_{0E} и $t_{0Э}$ – расчетное и экспериментальное значения максимальной температуры генератора, $\delta_{0E} = \frac{t_{0E} - t_{0Э}}{t_{0Э}}$ – относительная погрешность.

Таблица 3.

I/I_n	$t_{0Э}, ^\circ C$	$t_{0E}, ^\circ C$	$\delta_{0E}, \%$
1,0	180	181,78	0,99

По результатам исследования температурного поля генератора можно сделать следующие выводы.

1. Численные методы расчета и современные программные продукты позволяют рассмотреть достоверную картину температурного поля и определить наиболее нагретые области и точки генератора.
2. При протекании номинального тока через обмотки статора максимальная температура генератора равна $181,8 ^\circ C$. Это результат согласует с результатом испытания генератора. Относительная погрешность не превышает 1 %.
3. В номинальном режиме максимальное значение температуры ($181,8 ^\circ C$) наблюдается в сердечнике статора, а минимальное значение температуры ($112 ^\circ C$) имеет вал.

ЛИТЕРАТУРА:

1. http://elcut.ru/advanced/magn4_r.htm
2. http://www.metiz-krepej.ru/material/magnitnye_svojstva_chuguna.html
3. Балагуров В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока: Учеб. пособие для студентов вузов. – 1982. – 272с., ил.
4. <http://elcut.ru/publications/golubov.pdf>

Научный руководитель: Н.Ю. Сипайлова, к.т.н., доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ.

OPTIMIZATION OF SOLAR POWER SUPPLY SYSTEMS

A. Bulgakov

National Research Tomsk Polytechnic University
Institute of Power Engineering, group 5AM4Ч.

Abstract

My work focuses on the development of approaches to designing solar power systems for the needs of decentralized power supply. It develops an algorithm for determining an optimal structure of power supply system taking into account technical, economic, environmental and social aspects. The case study for the algorithm is the solar power supply system located in decentralized area of the settlement Stepanovka.

Introduction

Solar power system play a crucial role in regions without central power supply (Decentralized energy supply). Decentralized energy supply is one of the most important problems of modern power engineering. More than 65% [1] of the territory of Russia fall into the category of decentralized energy supply – that is a consumer supply of electricity from a source unconnected to a power system. Power supplementation of such regions would help in at least two ways: formation of quality of life of the population and also creation of suitable conditions for business, as the question of ensuring access and quality is very important. One of the solutions to this problem is the supply by a solar power system. [1]

This work is devoted to research in the area of optimal design of a solar power system. The goal of the thesis is the assessment of efficiency of the use of solar panels by domestic household consumer.

For achieving this goal it was required to solve the following problems:

- The problem of decentralized electricity supplies and possible ways to solve it;
- Governmental or regional support for renewable sector of energy;
- To develop methods for assessment of effectiveness of the use of solar panels and choosing equipment for solar power systems;
- Implementation of proposed methods for given location.

The problem of energy supply in decentralized zones

The problem of electrification will always exist due to the constant growth of world's population and development of society in general. Nearly one fifth of the world's population – over 1.3 billion people – still has no access to electricity nowadays. Energy poverty mainly affects developing countries of Sub-Saharan Africa and Asia. Across developing countries, the average electrification rate is 76%, increasing to around 92% in urban areas but only around 64% in rural areas. However, there are gaps in the public electricity grid, not only in developing countries and emerging markets but also in industrialized countries, such as remote mountain regions, large forests or expanses of water. [2]

Only one third of Russian territory is covered by central power network. The electrification of the rest of Russian territory – about 20 millions of people – is performed by local power stations with transported fuel or by local fuels (coal, peat,

etc.). As usually, non-electrified regions of Russia face serious social problems: a high poverty rate and poor living conditions, unemployment, a potential demographic crisis, unfavorable migration patterns, etc. [2]

The construction of efficient central or off-grid power systems would solve these problems and cause the development of rural not electrified areas.

Techno-economic evaluation method

This method allows to determine the efficiency of solar panels. As a result of my own work, the following scheme for evaluating the effectiveness was proposed. The main factors of evaluation of the efficiency of power systems can be combined into four main steps as the most influential in the design of these kinds of systems.

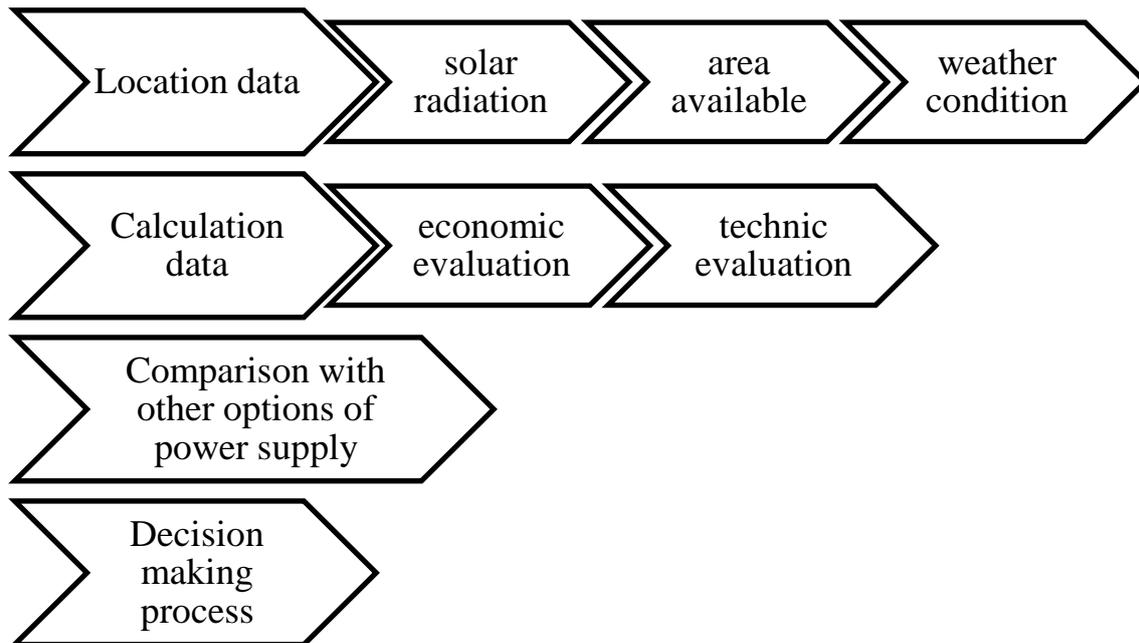


Fig. 1. Method for evaluation the efficiency of power system.

Case study

The aim of this work is the exploration of the influence of available options for the development of the energy system, managing possible scenarios, measures of achievement of agreed objectives and developing economic models for each scenario. To achieve the present goals there can be formed a number of alternative scenarios with different characteristics and indicators. This work uses one scenario to assess the impact of PV panels. This is scenario are based on use diesel generators and PV panels.

For the purpose of power supply by means of combination of solar and diesel power sources it was decided to install the 1600 PV panels with nominal power 0,3 kW each, and total nominal power 480 kW, and three types of diesel generator with nominal power 1000 kW and two types diesel generator with nominal power 800kW. The total nominal power of diesel generators is 2600 kW.

In this scenario, maximized number of solar panels that could be installed and the total energy generated of the solar panels didn't exceed the daily load in the season when solar panels produce the maximum amount of energy.

The greatest advantage of this system is large power output. A 480kW system is capable of producing more than one-fourth the settlement electricity, and, at vari-

ous times, almost one third the total power consumption. Based on current costs, the maximum system size also has a lifetime of 20 years. The greatest disadvantage to this system is the cost of implementation. Constructing a system of this size takes a large initial (134 611 024 rubles) capital investment, operational and maintenance costs (44 831 818 rubles) for each year. The capital investment consists of 1600 (HSE300-72M Helios SolarWorks, 24B) solar panels (36 864 000 rubles), sixteen (SolarLake 30000-TL-PM) inverters (7 427 840 rubles) and installation costs. To fit 1600 panels it is needed to deliver solar panels to the settlement. The price of installation and transportation is taken as equal amounts (12 199 184 rubles) which is 10% of the total price all equipment. Also installation of a fuel tank for the storage of fuel of volume of 40 000 liter (420 000 rubles) should be taken into account. The Operational and maintenance costs consist of maintenance of PV panels (80 000 rubles) and maintenance of diesel generator (176 000 rubles). A yearly maintenance the solar panels and diesel generator includes the prophylactic and emergency examinations. Fuel for diesel generator (42 907 578 rubles) and transportation of diesel fuel (870 000 rubles) by a rental truck would also cost. The wages for this branch of industry for the personnel of 2 people (798 240 rubles) are also included. This system does not require a storage. [3]

This scenario has high power efficiency value and quite low value of the minimum electricity price due to the significant saving of fuel by PV panels.

Tab. 1. Total minimum price of electricity for first scenario.

	Without subsidy	Diesel subsidy	PV subsidy	PV+Diesel subsidy
Business	16,66 rub.	16,62 rub.	15,76 rub.	15,72 rub.
+ Value added tax	19,66 rub.	19,62 rub.	18,60 rub.	18,55 rub.
	With tax	Without tax	With +subsidy	Without + subsidy
Municipality	15,53 rub.	14,87 rub.	14,72 rub.	14,17 rub.
+ Value added tax	18,32 rub.	17,54 rub.	17,37 rub.	16,72 rub.
Current price	16,6 rub.			

Conclusion

In this paper, methods for the economic evaluation of PV plants are presented. This method takes into account all the installation phases of every PV plant type. The economic evaluation is based on the individual technical parameters of every PV plant. In the evaluation process, the initial costs of the PV plant and the annual cash flows resulted by the operation of the PV plant, play a significant role. The economic evaluation is implemented with the use of financial criteria.

The proposed method is applied for the economic evaluation of an off-grid photovoltaic station located in decentralized area of the settlement Stepanovka at the prefecture of Russia and the main conclusions from this application are the following:

- The results of the investment evaluation prove the general profitability of the project with the specified parameters. The project could be profitable for business investor but not much. The project could be even more profitable for municipality investors, if it is possible to find a good possibility to take a

low interest loan. This is a possible scenario, as the project is interesting not only for the business investors, but also to municipality. The project has also the nonmonetary value, as it creates 2 new working places;

- The project allows decreasing of the governmental subsidies by 18%. This proves that the project would be particularly interesting for government that may support it by different means: cheaper loans, tax remissions and other;
- PV plant can help reduce the use of diesel generators, leading to less maintenance and decreasing of the emissions and noise of the diesel generator, it will help with preservation of nature and increase quality of life in the area.

REFERENCES:

1. Lukutin Boris, Olga Surzhikova. Renewable energy in decentralized power supply system. Printing house Energoatomizdat, 2008.
2. Bremen overseas research development association. Decentralized energy supply. Available on: <http://www.borda-net.org/basic-needs-services/decentralized-energy-supply.html> [accessed 17.09.2016].
3. Shop solar home. Available on: <http://shop.solarhome.ru/katalog/> [accessed 17.09.2016].

Scientific advisor: Ludmila Sumarokova, PhD, Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

К.Д. Савкин

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП, группа 5АМ5Е

В данной работе рассматривается проблема электроснабжения маломощных (до 100кВт) отдаленных изолированных потребителей. Чаще всего для этого применяются дизель-генераторы, но такой способ достаточно затратный.

Задача состоит в эффективном использовании возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в совокупности с дизель-генератором. Так как у ВИЭ непостоянные характеристики, невозможно использовать их обособленно. Для сопряжения ВИЭ и дизель-генератора необходимо ввести общую шину. Последняя может работать либо на постоянном токе, либо на переменном, либо на переменном с высокой частотой. У каждого способа свои достоинства и недостатки, как наиболее выгодная рассматривается шина постоянного тока (ШПТ).

Предлагается концепция маломощной гибридной электростанции с использованием возобновляемых ресурсов (рис.1). Установка включает в себя ветрогенератор, солнечную панель, буферный накопитель энергии (аккумуля-

торные батареи) и дизель-генератор. Все это оборудование объединяется на ШПТ при помощи преобразователей.

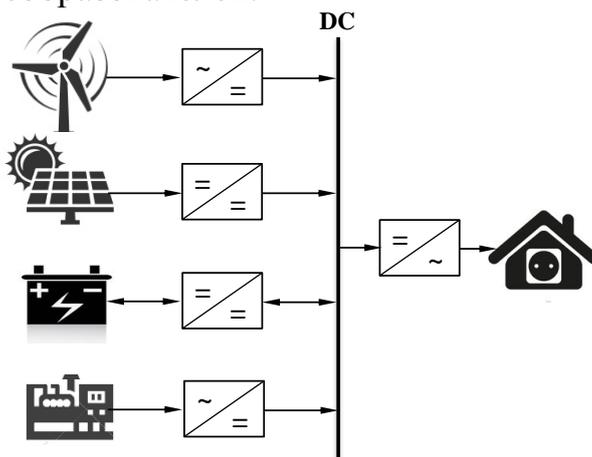


Рис. 1. Функциональная схема гибридной электростанции

Полезный потребитель должен быть обеспечен бесперебойной подачей электроэнергии, при этом необходимо максимально полно использовать ресурсы возобновляемой энергии, а в случае их нехватки получать питание от дизель-генератора. Но работа генератора требует затрат на топливо даже на холостом ходу, и он должен быть отключен то время, в которое не востребован. В случае кратковременного дефицита электроэнергии следует избежать его использования, в связи с относительно продолжительным временем запуска, поэтому на ШПТ устанавливается буферный накопитель энергии – два блока аккумуляторных батарей, переключаемых между собой (один включен на разряд, второй – на заряд).

Однако возможен и другой случай: полезная нагрузка невелика, буферный накопитель полностью заряжен, дизель-генератор выключен, а возобновляемые ресурсы в избытке. Здесь используем балластную нагрузку для потребления «излишков» электроэнергии. В остальных режимах она должна быть отключена.

Для решения проблемы требуется исследование режимов энергосистемы. Моделирование проводим в программе Matlab Simulink, расчетное время составляет 86400 секунд, что равно одним суткам. На (рис.2) представлен главный вид модели.

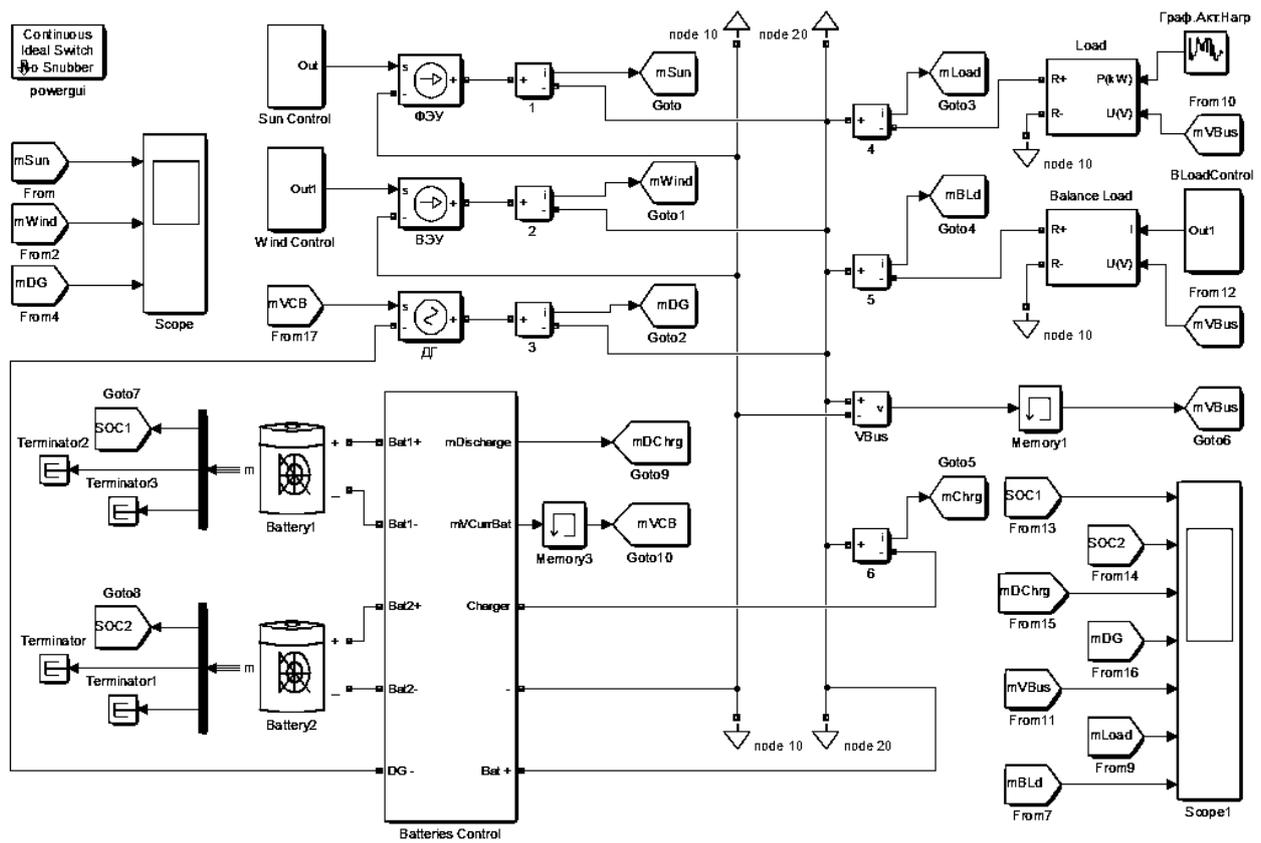


Рис. 2. Главный вид модели

Результатами расчета схемы программой являются осциллограммы, представленные на (рис.3).

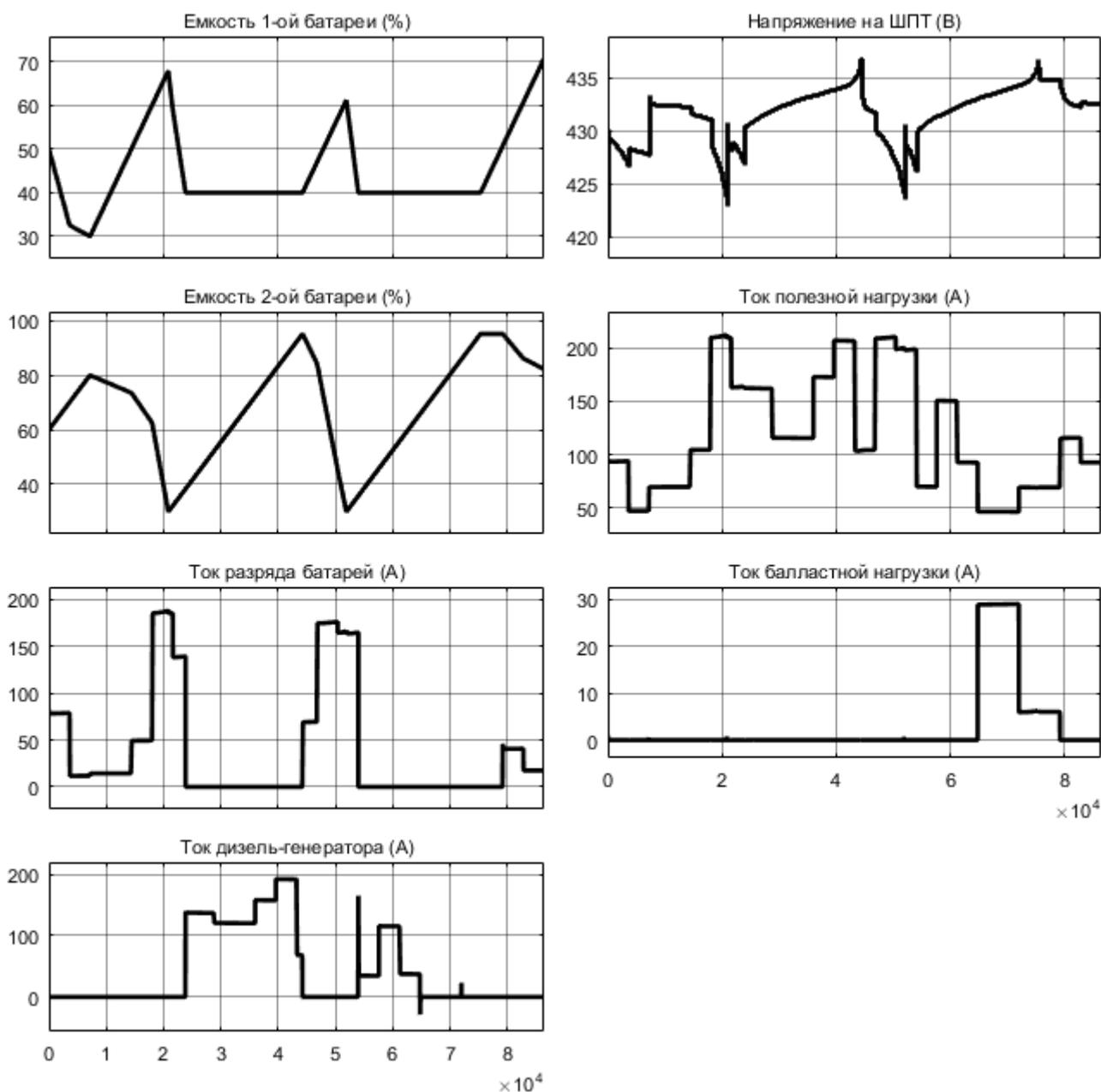


Рис. 3. Осциллограммы значений.

Из осциллограмм (рис.3) можно сделать выводы, что схема работает корректно: нагрузка полностью обеспечена запрашиваемой энергией, напряжение на ШПТ держится на уровне 430В с небольшими отклонениями. Также происходят переключения батарей, в момент их разряда включается дизель-генератор и работает до тех пор, пока одна из них не зарядится.

В дальнейшем данную, но доработанную модель планируется использовать для поиска оптимальных решений подбора компонентов, необходимых для эффективной работы установки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Обухов, Сергей Геннадьевич. Повышение эффективности комбинированных автономных систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии [Электронный ресурс] : автореферат диссертации

на соискание ученой степени доктора технических наук : спец. 05.14.02 / С. Г. Обухов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИН), Кафедра электроснабжения промышленных предприятий (ЭПП) ; науч. конс. Б. В. Лукутин. — Электронные текстовые данные (1 файл : 10.7 Mb). — Томск: 2013. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Свободный доступ из сети Интернет. — Системные требования: Adobe Reader.

Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/a/2013/78.pdf>

2. Обухов, Сергей Геннадьевич. Моделирование и исследование режимов работы солнечной фотоэлектрической станции с контроллером максимальной мощности [Электронный ресурс] = Modeling and study of modes of solar photovoltaic power plant with a maximum power point tracing / С. Г. Обухов, И. А. Плотников // Альтернативная энергетика и экология: международный научный журнал. — 2015. — № 13-14. — [С. 38-50]. — Заглавие с экрана. — Доступ по договору с организацией-держателем ресурса.

Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=24040727>

3. Обухов, Сергей Геннадьевич. Буферная система накопления электроэнергии для возобновляемой энергетики [Электронный ресурс] = The buffer system of electric energy storage for renewable energy / С. Г. Обухов, И. А. Плотников, Е. Ж. Сарсикеев // Альтернативная энергетика и экология : международный научный журнал. — 2012. — № 9. — [С. 137-141]. — Заглавие с экрана. — Доступ по договору с организацией-держателем ресурса.

Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17962210>

Научный руководитель: С.Г. Обухов, д.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ТОЧКИ ИНТЕРКОННЕКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ И ЕЕ ИНТЕГРАЦИЯ В РАБОТУ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Р.А. Нунумете
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП

Аннотация

В статье представлен алгоритм выбора точки интерконнекции распределенной генерации с учетом поставленных критериев. Рассмотрены основные факторы, влияющие на режимы работы энергосистемы в зависимости от точки интерконнекции источников распределенной генерации.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем мировой энергетики, особенно в развивающихся странах, является рост потребления электроэнергии, вызывающий необходимость повышения выработки. Однако, путь повышения мощности электростанций центральной энергосистемы в большинстве случаев всегда сталкивается с проблемой больших капиталовложений на расширение/создание новых станции и доступности свободных территорий, необходимых для их расширения/строительства. Для территорий, обладающих потенциалом возобновляемых источников энергии, можно решать эту проблему путем ввода в эксплуатацию новых мощностей распределенной генерации (РГ). С одной стороны, размеры необходимых территорий для внедрения мощностей распределенной генерации зависят от типа генерирующих источников и их мощности (например, фотоэлектрическая станция (ФЭС) или ветроэлектрическая установка (ВЭУ)), но, как правило, их доступность гораздо выше в сравнении с традиционными энергоустановками [1]. С другой стороны, удельная стоимость присоединенной мощности РГ с возобновляемыми источниками энергии снижется с возрастанием ее мощности [2].

Установленная мощность источников РГ, подключенных к распределенной сети, может варьироваться от нескольких киловатт до десятков мегаватт. С точки зрения масштаба использования РГ ее можно классифицировать по следующим признакам [3]. Микро-распределенная генерация – ± 1 Вт до 5 кВт; малая распределенная генерация – 5 кВт до 5 МВт; средняя распределенная генерация – 5 МВт до 50 МВт; большая распределенная генерация – 50 МВт до 300 МВт.

РГ дает дополнительные возможности повышения надежности энергосистемы путем снижения потерь активной мощности, потерь напряжения и т.п., как на шинах локальных потребителей, так и в энергосистеме в целом. Данные преимущества можно получить путем правильного выбора точки интерконнекции РГ к энергосистеме. Поэтому задачей данной работы является алгоритмом выбора рациональной точки интерконнекции РГ к распределенной сети.

СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ

Возможны два основных варианта подключения источников в сеть с РГ, в соответствии с которыми различают типы точек интерконнекции: на среднем (ТИ СН) и низком (ТИ НН) напряжении сети. Примеры типов местоположения точек интерконнекции (ТИ) показаны на рисунке 1, где ТИ может быть расположена на линии или шинах подстанций в секции СН или НН.

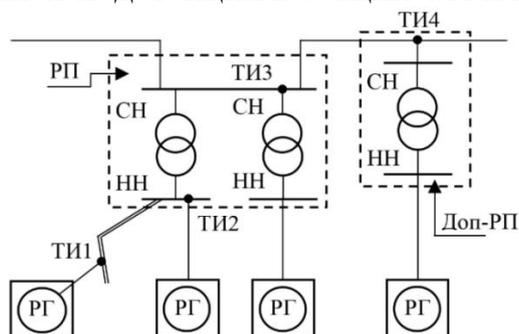


Рис. 1. Возможные точки интерконнекции в сети с распределенной генерацией

ВЛИЯНИЯ РГ НА РАБОТУ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Подключение источников РГ к электрической сети изменяет баланс мощностей в энергосистеме: уже не вся потребленная энергия покрывается за счет энергии электростанций, некоторая ее часть замещается источниками РГ. При грамотном выборе величины установленной мощности и точек подключения источников РГ можно оптимизировать баланс мощностей в энергосистеме, тем самым значительно повысить ее надежность и экономичность. РГ оказывает непосредственное влияние на уровень напряжения в электрической сети, особенно в точке интерконнекции. Следует отметить, что для источников РГ, использующих возобновляемую энергию Солнца, выработка электрической энергии будет варьироваться в широких пределах – от максимальной величины в дневное время суток до нулевых значений ночью. Соответственно, уровень напряжения в сети также будет изменяться, и его необходимо поддерживать в требуемом диапазоне. Кроме того необходимо обеспечить токовую нагрузку линий ниже максимально допустимой во всех рабочих режимах энергосистемы.

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ТОЧКИ ИНТЕРКОННЕКЦИИ

1. Алгоритм выбора точки интерконнекции начинается с анализа текущих режимов работы энергосистемы.
2. Приведенный выше анализ энергетических систем с РГ показал, что эффективность и целесообразность применения источников РГ зависит от множества факторов. В настоящей работе для анализа систем с РГ предлагается использовать три основных критерия:

$$U_{\min} \leq \delta U_y \leq U_{\max} \quad (1)$$

$$\Delta P_i = \Delta P_{Лi} + \Delta P_{Ti} < \Delta P_0 = \Delta P_{Л0} + \Delta P_{T0} \quad (2)$$

$$I_i < I_{\max} \quad (3)$$

где δU_y – отклонение установленного напряжения, кВ;

ΔP_0 , ΔP_i – сумма потерь активной мощности при отсутствии РГ и после добавления РГ в энергосистему, кВт;

$\Delta P_{Л0}$, $\Delta P_{Лi}$ – потери ЛЭП при отсутствии РГ и после добавления РГ, кВт;

ΔP_{T0} , ΔP_{Ti} – потери в трансформаторах при отсутствии РГ и после добавления РГ, кВт;

I_i – протекающий ток вдоль линии фидера, А;

I_{\max} – максимальный допустимый ток проводника, А.

3. Для определения поставленных критериев необходимо выполнить расчет потоков мощности в электрической сети. С учетом установленных критериев, выполним анализ потоков мощности для ТИ на среднем и низком напряжении сети. Индивидуальный фидер интегрирован с одним источником РГ с разными мощностями в разных точках по трассе фидера для того, чтобы проанализировать, какое влияние ТИ и величина мощности РГ оказывают на параметры электрической сети.
4. Удовлетворение поставленным критериям.

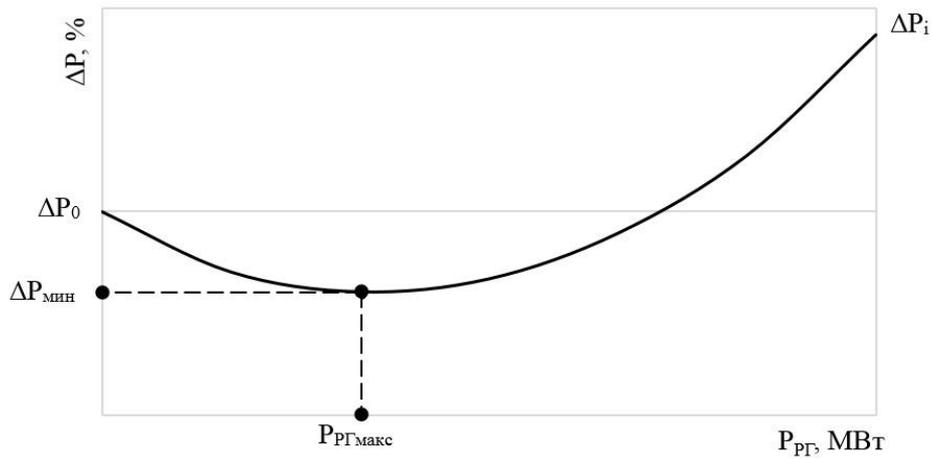


Рис. 2. Максимальный результат первого критерия

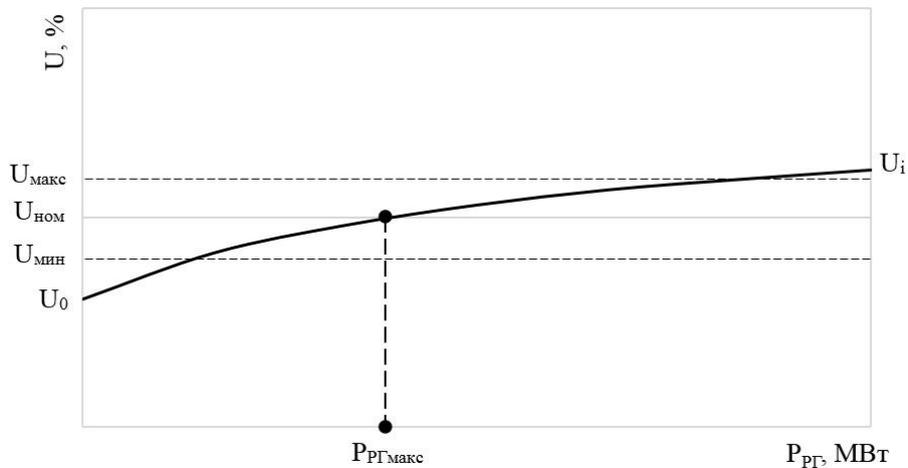


Рис. 3. Максимальный результат второго критерия

Для удовлетворения первого критерия необходимо увеличить мощность РГ до того момента когда ΔP_i достигает минимального значения ΔP_{\min} (рис. 2). Для удовлетворения второго критерия необходимо увеличить мощность РГ до того момента, когда U_i достигает номинального значения $U_{\text{ном}}$ (рис. 3). Для удовлетворения третьего критерия необходимо поддерживать значения протекающего тока I_i ниже максимального допустимого значения I_{\max} (рис. 4).

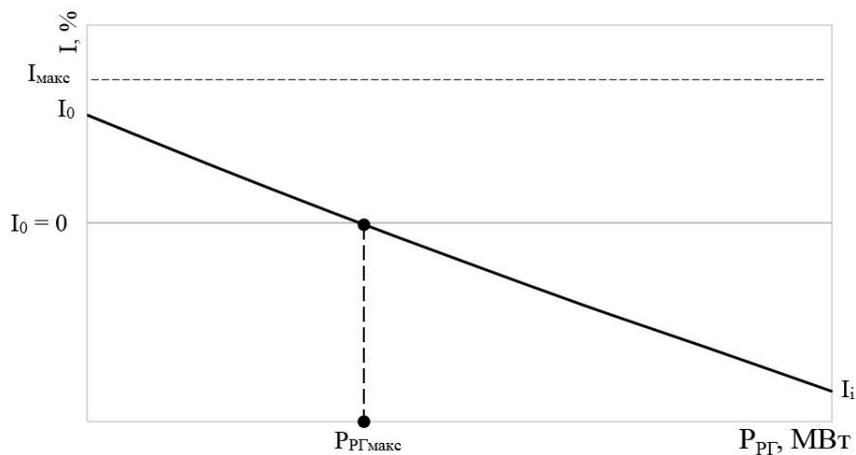


Рис. 4. Максимальный результат третьего критерия

5. Выбор наилучшей точки интерконнекции мощности РГ. На основе полученных результатов, выбор точки интерконнекции РГ обуславлива-

ется удовлетворением всех вышеперечисленных выше критериев. Однако, на практике идеальные результаты, как показано на рисунках 2-4, одновременно получаются крайне редко при одной мощности. Поэтому нужно выбирать такую ТИ, где результаты всех критериев будут ближе к желательным значениям.

ВЫВОД

Применение предлагаемого алгоритма выбора точки интерконнекции максимизирует эффективность внедрение мощностей РГ в распределенной сети для оптимизации работы системы электроснабжения. Более того, данный алгоритм можно использовать при проектировании источников генерации с распределительной системой.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Nuclear Energy Institute. Land requirement for Carbon-Free Technologies, June 2015 – С. 1.
2. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Cost and performance data for power generation technologies. February 2012 – С. 38.
3. G.N. Koutroumpetis, A.S. Safigianni, G. S. Demetzos and J. G. Kendristakis. Investigation of the distributed generation penetration in a medium voltage power distribution network // International Journal of Energy Research. – 2009.- N 34.-С. 585-593.

Научный руководитель: С.Г. Обухов, д.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ РАЙОНОВ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

А.С. Петрусёв

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭЭС, группа 5А3А

Тема работы актуальна в рамках реализации программ по Критическим технологиям федерального уровня приоритетных направлений России. Солнечные станции имеют невысокую эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую в течение дня, которая зависит не только от собственного КПД солнечных элементов (который для стандартных панелей лежит в пределах 14-18%), но и от положения солнца относительно солнечных панелей. Наиболее же важным фактором, ограничивающим распространение солнечных станций, является их высокая стоимость – порядка 1-1,5\$ за удельный Ватт мощности.

Мы предлагаем оснащать фотоэлектрические установки солнечными трекерами и акриловыми концентраторами, которые имеют ряд преимуществ перед своими аналогами.

Концентратор даёт 7ми кратную концентрацию с КПД 75%. В результате можно использовать в 5 раз меньше солнечных элементов для работы. Для работы, как и любой концентратор, требует ориентации за солнцем. Но не с высокой точностью порядка 0,1 градус, как обычные концентраторы, а лишь по одной горизонтальной оси с точностью в 5-7 градусов.

Трекер - устройство, поворачивающее концентратор или солнечную панель периодически на солнце. В отличие от аналогов наш трекер работает с помощью платы без использования микроконтроллеров. Это позволяет снизить стоимость электронно-логической части трекера и использовать коллекторные двигатели постоянного тока, что выгодней аналогов на переменном или трёх-фазном токе.

Трекер имеет значительный угол поворота (200 градусов по оси) за счёт специально разработанных концевых выключателей, позволяет с помощью пульта регулировать время между включениями и настраивать трекер на поворот в нужное место. Активный тип слежения позволяет использовать наш трекер даже на движущихся объектах. Его эффективно использовать не только с концентраторами, но и на обычных солнечных панелях, что повышает эффективность в среднем на 30%.

Работа посвящена научным наработкам и описанию будущего предприятия Solar Technic. Фирма представляет собой малое инновационное предприятие, которое имеет ряд плюсов в сравнении с обычными ООО.

Из положительных качеств ООО можно выделить:

- большие возможности в регулировании в уставном капитале долей на разных стадиях развития предприятия (в начале доля фондов может быть большой, а по ходу развития способна уменьшаться);
- Ответственность всех участников ограничена сделками, которые совершаются хозяйственными партнёрами;
- Нет привязанности к доле в уставном капитале при принятии управленческих решений по организации.

Основными преимуществами МИП в сравнении с ООО будут являться:

1. Льготное налогообложение. Согласно 212 Федеральному закону о страховых взносах, пункт, для инновационных компаний, долю в которых имеет вуз, применяется льготное налогообложение.
2. Возможность аренды помещений и оборудования вуза
3. Дополнительное финансирование

Рассмотрен процесс исследования повышения эффективности систем на основе солнечных установок с возможностью их совмещения с другими видами систем электроснабжения. Исследования реализованы как теоретическим, так и практическим способом.

Научный руководитель: Н.В. Потехина, ст. преподаватель каф. менеджмента ТПУ.

БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ

Ю.Ю. Альчин

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭКМ, группа 5АМ66

В последнее время набирают популярность системы, которые позволяют отслеживать температуру и влажность, в разных частях помещения, находясь при этом в других комнатах или за пределами зданий, с помощью смартфонов. Это обусловлено необходимостью сохранения продукции на предприятиях пищевой отрасли или фармацевтической, в помещениях, в которых находятся маленькие дети, в музеях и многое другое. Особое внимание следует уделить тому, что существует необходимость использования беспроводных технологий, в связи с тем, что не всегда есть возможность прокладывать провода, информацию необходимо получать в труднодоступных точках. Подобные системы на текущий день имеют немалую стоимость, например Testo Saveris 2 T1 – 9,9 тыс. рублей [1]. В данной статье представлен проект реализации подобной беспроводной системы мониторинга температуры и влажности с учетом низкой стоимости элементов.

Система будет иметь три типа устройств:

1. *Устройство сбора данных.* Его функциями будет непосредственно сбор информации о температуре и влажности, вывод этих данных на жидкокристаллический дисплей, прием запросов на передачу данных, отправка данных. Обязательным для данного устройства будет несколько видов питания. Структурная схема представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема устройства сбора данных.

2. *Ретранслятор* (рис. 2.) – оборудование, которое позволит двум удаленным друг от друга устройствам, на расстояние большее чем радиус их передачи данных, «общаться». Для каждого устройства будет приниматься решение о необходимости использовании отдельно, на основании дальности расположения устройств, наличия стен с экранированием и прочих источников помех.

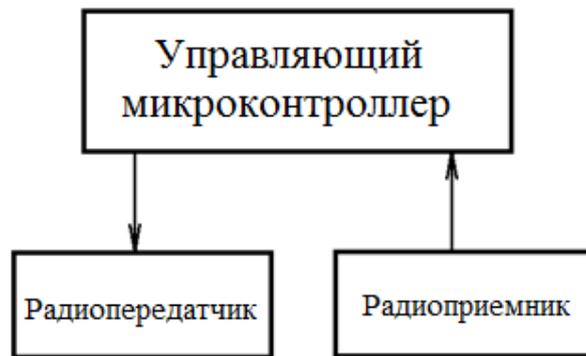


Рис. 2. Структурная схема ретранслятора.

3. Последнее устройство – *устройство передачи данных на ЭВМ* (рис. 3). В его обязанности будет входить запрос информации от других устройств по радиоканалу, прием информации и передача ее на ЭВМ.

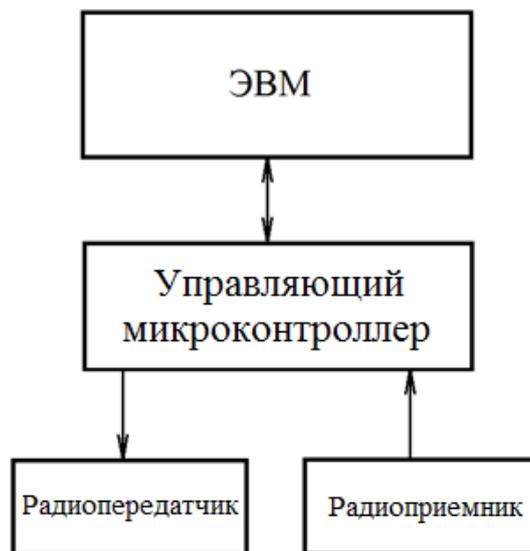


Рис. 3. Структурная устройства передачи данных на ЭВМ.

На рис. 4. приведена структурная схема для трех устройств сбора данных, первое и второе удалены от устройства передачи данных на ЭВМ, для связи между ними стоит ретранслятор, третье устройство находится в зоне видимости, для него не требуется вспомогательных средств.

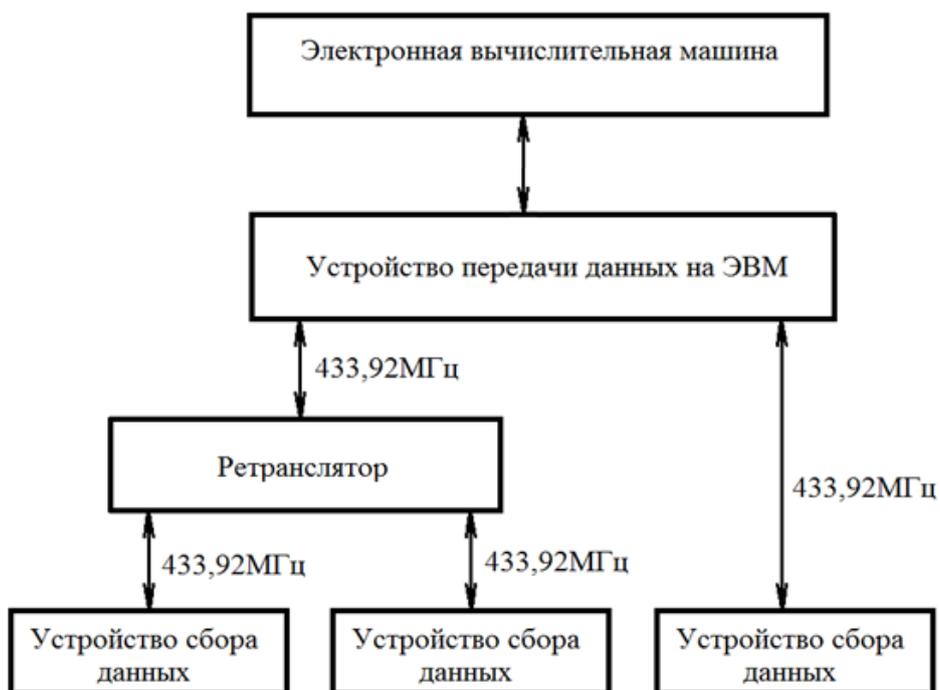


Рис. 4. Структурная схема функционирования системы.

Теперь необходимо выбрать компоненты, которые будут входить в состав устройств, перечисленных выше (программы для функционирования компонентов написаны в среде CodeComposer Studio v.6.0 на языке программирования C):

1. Так как система будет являться беспроводной, т.е. необходимо реализовать «общение» устройств системы. Были выбраны следующие компоненты для приема и передачи: приемник – XY-MK-5V с чувствительностью >80dBm, потреблением тока 13 мА, напряжением питания 3,3-5В и передатчик FS1000A, мощность которого 7 dBm, потребление тока 20-28 мА, питание 3,3-5В. Цена данного комплекта составил 320 рублей [2]. Передача данных осуществляется на частоте 433,92 МГц. Главная проблема при использовании этих компонентов это их слабая помехоустойчивость. Решением проблемы стала реализация избыточного кодирования 4 в 5 [3] вместе с контрольной суммой CRC8 [4]. Пример сообщения о температуре 27°C и влажности 33% (Контрольная сумма CRC8 = 232) представлен на рис. 5.



Рис. 5. Пример сообщения.

2. Отображение информации по месту очень полезная функция. Для ее реализации был выбран LCD дисплей от Nokia 5110, цена которого составила 150 рублей. Питание 3,3В, потребление тока 6-7мА.
3. Измерение значений температуры и влажности производится с помощью датчика DHT11. Диапазон измерения температуры 0-50°C с погрешностью 2°C. Относительная влажность измеряется в пределах от 20 до 80% с погрешностью 5%. Напряжение питания датчика - 5В, ток 0,3мА. Стоимость 74 рубля.
4. Управление для каждого устройства системы реализовано с помощью микроконтроллера MSP430F5529. Характеристики: 16-битное RISC ядро, 128КБ Flash и 8 КБ RAM памяти, максимальная частота работы ядра 25 МГц, SPI, UART, ADC, питание 5В, 1,8-3,6 мА - ток. Цена контроллера вместе с отладочной платой 12,99\$ [4].

Для проверки работоспособности прототипов была написана программа на языке Visual Basic (рисунк 5).

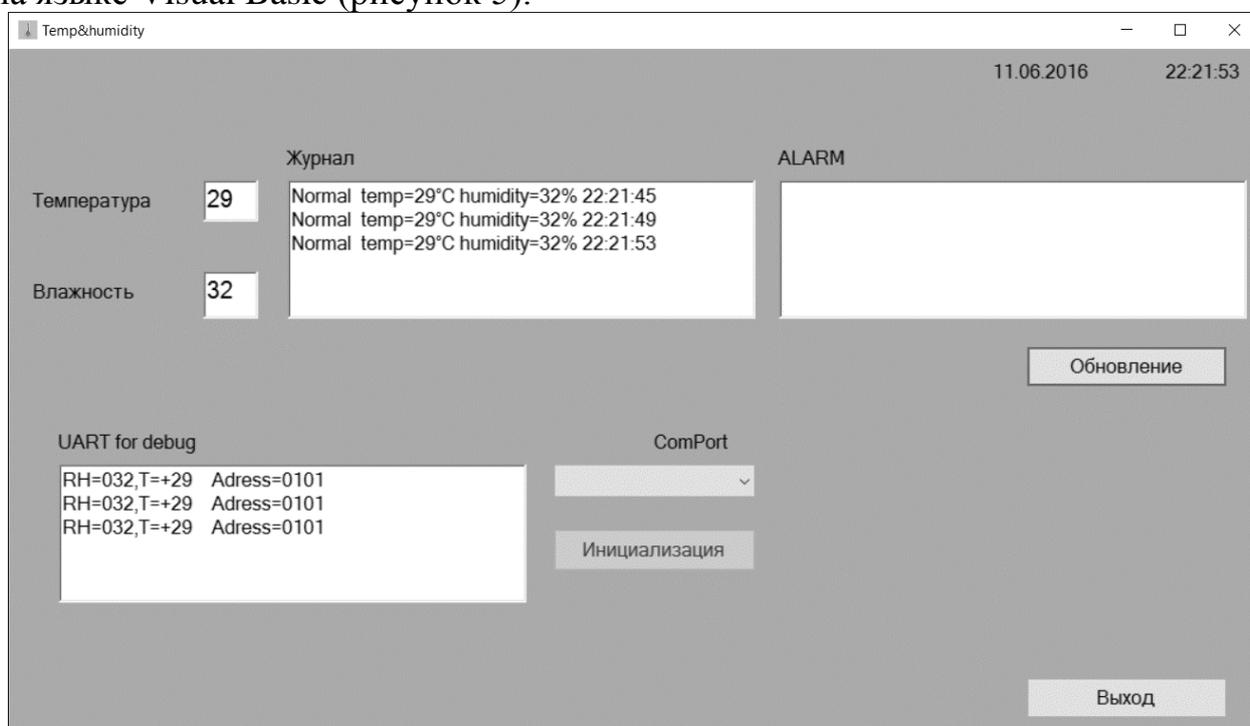


Рис. 6. «Окно пользователя».

На текущий момент проект находится в разработке. Необходимо рассчитать питание устройств системы, спроектировать печатные платы, переработать алгоритмы работ программ для работы с несколькими устройствами сбора данных, создать корпус для устройств. Реализовано в системе БСМТиВ: сбор информации, вывод данных на дисплей, передача данных на частоте 433МГц, создан пользовательский интерфейс для считывания данных, создан рабочий прототип устройств (рис. 7.).

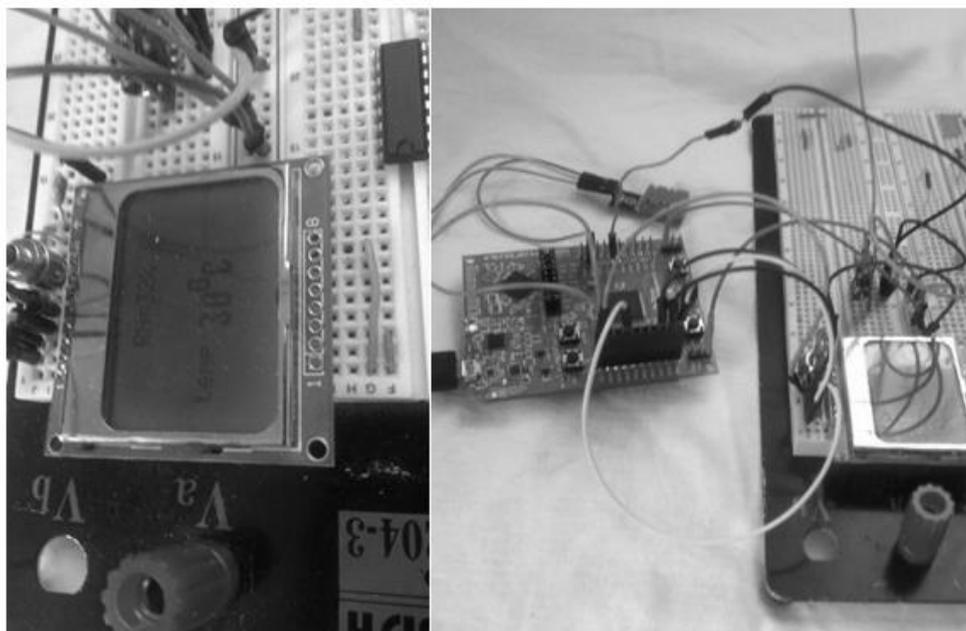


Рис. 7. Рабочий прототип.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Обзор системы WI-FI логгеров testo Saveris 2 [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.testo.ru/ru/home/products/registratory_i_sistema_monitoringa_dannyh/wifi_loggery/o_sisteme/registratory_saveris2.jsp. – Загл. с экрана.
2. Магазин «Elcopro» RF02 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elcopro.ru/>. – Загл. с экрана.
3. Информационный портал lifeprog Логическое кодирование 5110 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.life-prog.ru/1_13608_izbitochnie-kodi.html. – Загл. с экрана.
4. Информационный ресурс Wikipedia: Циклический избыточный код [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Циклический_избыточный_код. – Загл. с экрана.
5. Магазин «Aliexpress», LCD Nokia 5110 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ru.aliexpress.com/af/lcd-nokia-5110.html>. – Загл. с экрана.
6. Магазин Texas Instruments микроконтроллер MSP430f5529 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ti.com/product/MSP430F5529>. – Загл. с экрана.

Руководитель: М.М. Попов, ассистент кафедры ЭПП ЭНИН ТПУ.

ADVANCED MARINE ENERGY SOURCES

A.V. Mochalov, R.S. Fediuk, A.M. Timokhin
Far Eastern Federal University

The task of increasing the efficiency of use of fuel resources is one of the most important in modern energy. Existing energy and electric power plants operate with low efficiency values. For example, if the efficiency of ship synchronous generator (SG) reaches 86-94%, the efficiency of the drive motors - turbines (with steam boilers) and diesel - are respectively 20 and 35% [1].

The presence of rotating parts complicates the design and reduces the reliability of generating units (GU).

Currently developed promising power sources with direct fuel energy conversion and other variations in the electrical energy. These include thermoelectric, thermionic, magnetogas- and magnetohydrodynamic generators (MHD generators), fuel cells, etc. [1].

A thermoelectric generator (TEG) - a device for the direct conversion of thermal energy into electricity.

The principle of operation is based on the TEG thermoelectric power occurs when heated seats junction of two dissimilar materials. The value depends on the thermoelectric heating temperature, physical properties of materials and others.

Created using TEG heat exhaust steam or exhaust gas power plants or thermal power radioisotope sources and nuclear reactors. They have a capacity of no more than tens of kilowatts and an efficiency of 10%. In the future, you can create powerful TEG as part of a nuclear power plant having a high efficiency.

Joseph Heremans and his colleagues at Ohio State University and Osaka, and so California Institute of Technology have created a new material which able to dramatically improve the efficiency of thermoelectric generators directly convert waste heat into electricity, and thus make more realistic compact and relatively powerful thermoelectric plants -

lead telluride doped with thallium, which showed the value of zT 1.5. This is more than twice better than that of the most effective materials for thermoelectric generators, available on the market and used commercially (lead telluride doped with sodium, 0.71).

Summary thermionic energy transfer is to the maximum number of hot electrons from a cold cathode to the anode with minimal heat loss. And this did not escape, because the heating of the cathode with subsequent separation of electrons from their nuclei accompanied by the emission of photons (and this is heat transfer by radiation). Trying to move the anode from the cathode, we reduce the thermal impact on the anode, pulling him to the cathode, increasing emissions - current, but the anode starts to overheat. And if the electron as a carrier of negative elementary charge is stable and has a lot of rest, the photon can exist only in movement, it is impossible to stop, or use the field turn, with "collision" with the material he can only experience the "elastic or inelastic collisions." Themselves to the same atom and photons in the core of the shelf not, they are born at the moment of adjustment of atomic structure,

in this case, when it is heated. The farther the photon flow from the anode, the easier it is to return to the cathode via an "elastic collision" due to "mechanical" photon reflection mirrors [3].

Examples of simple thermionic generator is a 2-electrode vacuum or gas-filled device. Thermionic generator principle of operation is based on the thermionic emission phenomenon. When the heat supply to the cathode Q_j electrons leave the surface and are directed to the colder anode by heating. When the cathode is positively charged and the anode - the negative. When the electric power between the electrodes of the receiver R_H through current flows. To improve the efficiency the gap between the electrodes constituting tenths of a millimeter, ionized gas injected sparse pair or ionized alkali metals. For heating the cathode is possible to use the heat energy released by nuclear reactors. The heat emitted by the heated anode, can be used to heat the hot junctions of the TEG. Such combined installation Thermionic generator - TEG possible to obtain efficiency, commensurate with the efficiency of existing power installations.

The principle of operation magnetogas- and MHD generator is the same as that of conventional dynamo-electric generators. It is based on the phenomenon of electromagnetic induction.

The most promising magnetogasdynamic generators. Formed during the combustion of the combustion gas is ionized through one nozzle chamber enters the inner cavity of the electromagnet, which is moving across the magnetic field lines. In accordance with the phenomenon of electromagnetic induction in the gas induced emf, which by means of two electrodes is fed to the receiver D_n electricity. In MHD generators instead of using ionized gas stream of molten metal temperature of around 2000K.

Of interest is the patented invention by E.K. Dolgikh - MHD generator with a solar drive. [4] The technical result that can be obtained by carrying out the invention is as follows. Proposed MHD generator design allows to increase the conversion efficiency of solar energy into electrical energy by reducing the heat loss in the radiation receiver due to its separation from the chamber walls at a certain distance, the coating of internal surfaces of the chamber walls composition reflecting the thermal radiation, which is caused by the high temperature of the heating element and most of the heat insulating wall material.

Developed a combined power generation plant in which the exhaust gas heat magnetogasdynamic generators used for steam turbine generator unit.

The power of such installations in the hundreds of megawatts of power plants with a total efficiency of 40-50%.

Electrochemical generators (ECG) or fuel cells convert chemical energy into electrical energy. Unlike batteries, in which power is determined by the amount of active mass and plates prior charge ECG produce electrical energy for as long as it is supplied to the fuel and oxidant.

The hydrogen-oxygen ECG used two platinum gas diffusion electrodes are immersed in an electrolyte with ionic conductivity (e.g., KOH). Passed through the fuel electrode (hydrogen) through the electrode oxidant (oxygen). As a result of electrochemical reactions negatively charged electrodes - positive. When connecting the

load NAM circuit current will flow. ECG are expensive because they employ costly fuels (hydrogen, hydrazine, etc.), As well as reaction catalysts based on platinum, silver and nickel.

In practice, the use of energy sources in the SEEA direct conversion of heat or chemical energy into electrical energy depends on the decision of a number of tasks associated with the creation of high-temperature heat sources, heat-resistant conductive, insulation, construction and other materials.

LITERATURE:

1. Muravyov A.S., Fediuk R.S. Implementation of renewable energy sources for power supply. В сборнике: Энергетика: эффективность, надежность, безопасность Материалы трудов XXI Всероссийской научно-технической конференции. В 2 томах. 2015. С. 32-35.
2. Fediuk R.S., Mochalov A.V., Timokhin A.M., Mutalibov Z.A., Ilinskiy Yu.Yu. Simulation of single-phase fault in the network without the apparatus for compensating capacitive current. В сборнике: Энергетика: эффективность, надежность, безопасность Материалы трудов XXI Всероссийской научно-технической конференции. В 2 томах. 2015. С. 50-52..
3. Fediuk R.S., Yushin A.M. The use of fly ash the thermal power plants in the construction. Materials Science and Engineering. 2015. № 93. С. 012070.
4. Fediuk R. Limitation of the single-phase grounding current. В сборнике: Proceedings of 2014 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2014 2014. С. 6986928.

Sciintific advisor: G.E. Kuvshinov, Dr. tech., professor, FEFU

ОПТИМИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В Г.КАЗАНИ С УЧЕТОМ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ MATLAB SIMULINK

А.И. Зиганшина

Казанский государственный энергетический университет

На сегодняшний день проблема энергоэффективности и энергосбережения весьма актуальна, одной из решений данной проблемы является разработка электромобилей и инфраструктуры зарядных станций. Исследования по данной проблеме описаны в [1,2]. Однако, одной из первых проблем для исследования является подключение зарядных установок к действующей электрической сети.

Объектом исследования в в данной работе является изучение параметров размещения электроразрядных станций в г.Казани на основе моделирования

Matlab Simulink. Целью исследований является изучение влияния количества и параметров зарядных установок на режимы работы электрических сетей.

При моделировании такие критерии по размещению установок как, удаленность трансформаторных подстанций от городской распределительной сети, их загруженность и график работы, количество одновременно заряжаемых автомобилей и режимов их зарядки. Для определения данных критериев использован программный продукт Matlab Simulink [4], который позволяет и регулировать режимы электрической сети виртуальной модели. Моделируется размещение электрочарядных станций в г.Казани с учетом режимов электрических сетей и характеристик зарядных станций. Характеристики кабельных линий, зарядных станций, источника питания определены по справочным таблицам. Рассчитывается максимальное количество зарядных станций, которые возможно подключить к трансформаторной подстанции, с учетом мощности потребителей. По результатам модельного опыта делается вывод о количественных и качественных параметрах размещения электрочарядных станций

Моделируется размещение электрочарядных станций в г.Казани с учетом режимов электрических сетей (рис.2). Модель состоит из нескольких блоков: источник трехфазного напряжения (Three-Phase Source), трехфазный измеритель (Three-Phase V-I Measurement), линия с распределенными параметрами (Distributed Parameters Line), трехфазный трансформатор (рис.3) (Three-Phase Transformer), нагрузка (Three-Phase Parallel RLC Load).

Для моделирования выбраны трансформаторы марки ТМ-400/10/0,4, ТМ-630/10/0,4, ТМ-1000/10/0,4, ТМ-1600/10/0,4, ТМ-2500/10/0,4 . Расчёты параметров трансформатора проводятся в программной среде Microsoft Office Excel, параметры трансформатора рассчитываются по его схеме замещения, с помощью характеристик холостого хода и короткого замыкания, тем самым были определены сопротивления, и индуктивности намагничивающей ветви и потери в стали.

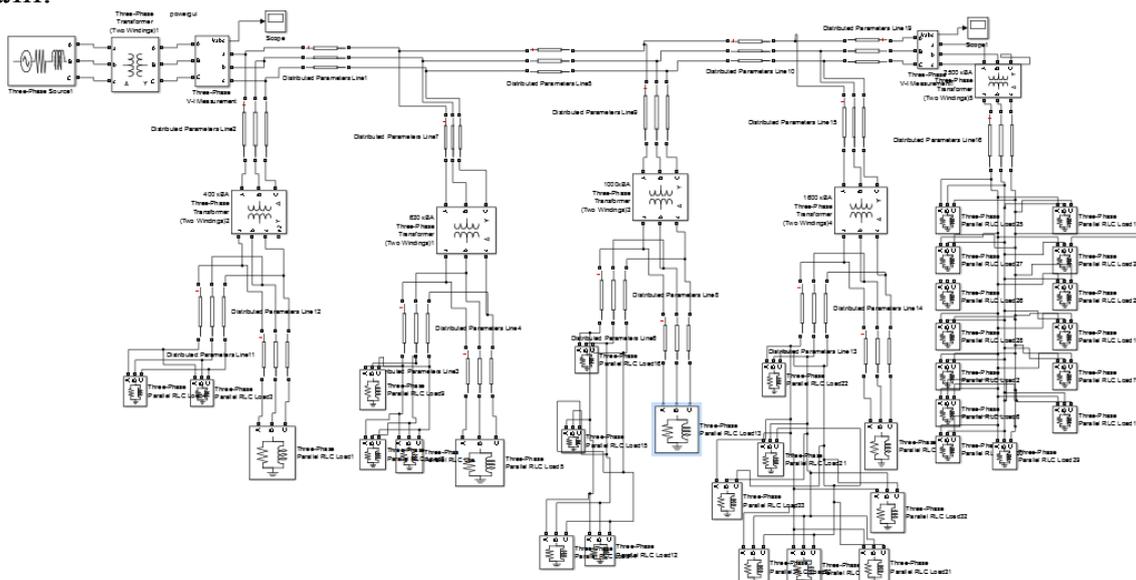


Рис. 1. Диалоговое окно с моделью размещения электрочарядных станций

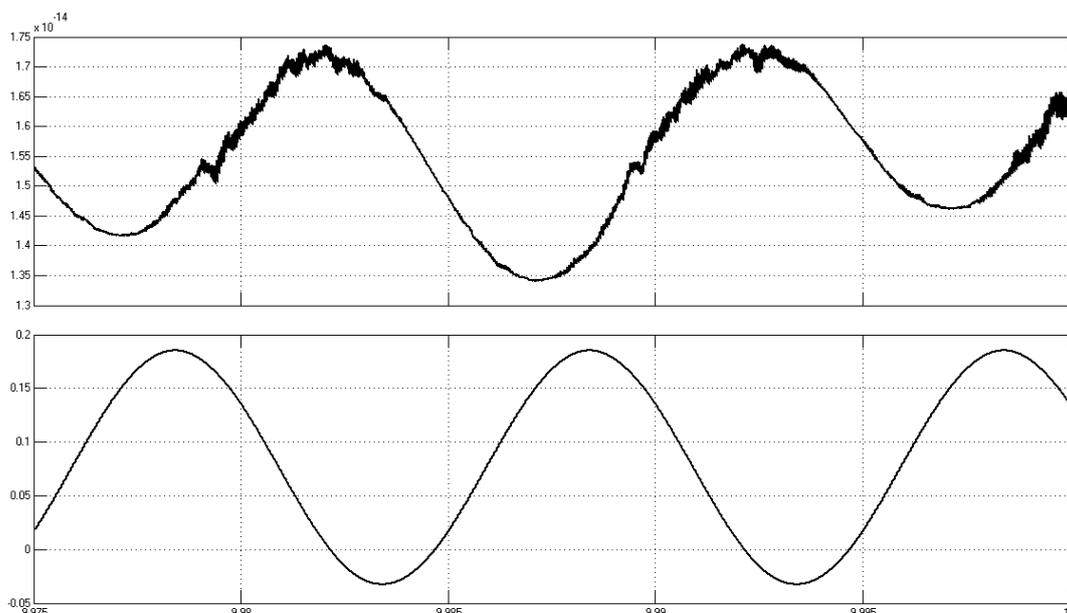


Рис. 2. График изменения активной и реактивной мощности одной фазы.

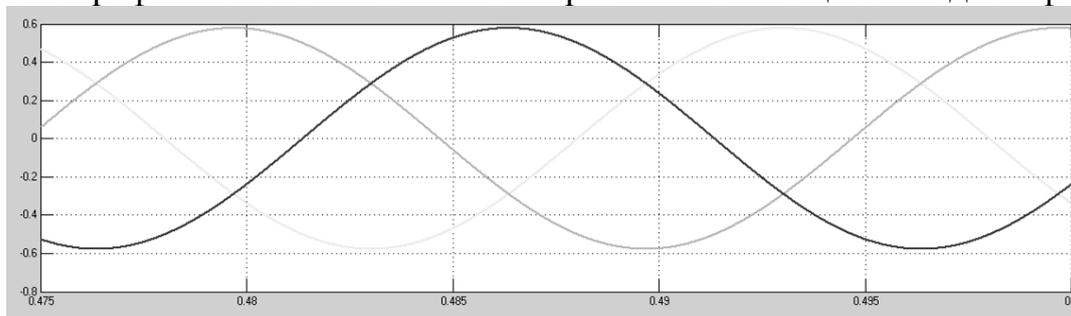


Рис. 3. Осциллограмма напряжений

Далее, с учетом мощности потребителей рассчитывается, максимальное количество зарядных станций, которые возможно подключить к трансформаторной подстанции. Проводятся измерения напряжения и мощности нагрузки подстанции ТМ-630/10/0,4 (рис.1) С помощью блока измерения мощности Power (3ph, Instantaneous) измеряются активная и реактивная мощности (рис. 2).

Анализ математической модели показывает, что подключение заправочных станций в электрическую сеть не вызывает аварийных ситуаций и значительных помех у других потребителей (рис. 2,3).

Теоретические результаты данной работы могут быть использованы при планировании развития городской электрической сети, в планировании городской застройки с учетом энергосберегающих технологий. Предлагаемые результаты математического моделирования имеют возможность к интеграции в планирование инновационных городов, при детализации жилищно-коммунального планирования и развития инфраструктуры.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Тягунов, М. Г. Эффективность использования установок на основе возобновляемых источников энергии для зарядки электромобилей на территории России / М. Г. Тягунов, П. С. Шуркалов // Альтернативная энергетика и экология. - 2015. - № 10/11 (174/175). - С. 107-117

2. А.С. Мартынов, В.В. Семикашев. Консолидированный обзор «Эффективность использования ВИЭ, местных видов топлива и вторичных энергоресурсов в регионах России», Тематическое сообщество «Энергоэффективность и Энергосбережение», 2011;
3. Зарядные станции: [Электронный ресурс] // greenevolution.ru, 2013. URL: <http://greenevolution.ru/enc/wiki/zaryadnye-stancii/>
4. Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс, СПб.: Питер, 2008. – 288 с5. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины: учеб. пособие для высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 320 с.

Научный руководитель: Г.В Вагапов, к.т.н., доцент кафедры ЭХП КГЭУ.

ОЦЕНКА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ П. БАТАКАН ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Н.Д. Карпов; П.В. Крапивко; Я.Л. Муравицкий
Национальный исследовательский университет "МЭИ"

Энергоснабжение в децентрализованных районах в настоящий момент осуществляются за счет дизель-генераторных установок (ДЭУ). Основными проблемами энергоснабжения таких потребителей являются рост цен на дизельное топливо, экологический ущерб от выбросов и шумов, высокие издержки на транспортировку топлива для дизельных электростанций (ДЭС), износ ДЭУ. В работе приводится методика обоснования внедрения объектов ветровой и солнечной генерации в существующую локальную энергосистему (ЛЭС) п. Батакан с целью повышения ее энергоэффективности в соответствии с действующими российскими и международными стандартами.

1. Критерии выбора и отбора ветроэлектрических установок (ВЭУ)

На первом этапе выбора ВЭУ в качестве основных технических требований следует учитывать: единичную номинальную мощность ВЭУ с учетом возможности транспортировки и монтажа, класс ВЭУ в соответствии с ГОСТ Р 54435- 2011, климатическое исполнение в соответствии с ГОСТ Р 51991-2002.

Единичная номинальная мощность ВЭУ в локальных энергосистемах выбирается на основании предварительного анализа данных по минимальным, средним и пиковым нагрузкам потребителя, также оценивается транспортная доступность и возможность монтажа.

При проектировании ВЭС, добавляемой в локальную энергосистему п. Батакан, были выбраны 4 модели ВЭУ с единичной мощностью от 100 кВт до 250 кВт УХЛ исполнения, основные параметры которых представлены в таблице 1.

Табл. 1. Модели ВЭУ

Производитель	Модель	Мощность, кВт	Диаметр ротора, м	Класс ВЭУ
AeronauticaWindPower	AW29-225	225	29	I-II
Fuhrländer	FL 250	250	29,5	I-II
Nordex	N29/250	250	29	II
Vestas	V29	225	29	IIA

Окончательный выбор модели ВЭУ на предполагаемой площадке ВЭС производится после проведения технико-экономического обоснования. При рассмотрении большого количества вариантов ВЭУ можно провести их сокращение по критерию энергоэффективности - максимальному значению коэффициента использования установленной мощности ВЭУ $k_{\text{вэу}}^{\text{исп}}$, равный отношению выработанной энергии ВЭУ за год к энергии, которую выработала бы ВЭУ при работе в течение года с установленной мощностью, о.е.:

$$k_{\text{вэу}}^{\text{исп}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{вэу}}^{\text{год}}}{N_{\text{вэу}}^{\text{уст}} \cdot 8760}, \quad (1)$$

Также в качестве критерия энергоэффективности может быть рассмотрен показатель удельной энергии с единицы ометаемой площади согласно ГОСТ Р 51991-2002:

$$\mathcal{E}_{\text{вэу}}^{\text{уд}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{вэу}}^{\text{год}}}{F_{\text{вк}}}, \quad (2)$$

где $F_{\text{вк}}$ - ометаемая площадь ветроколеса для крыльчатых ВЭУ определяется по формуле [1]:

$$F_{\text{вк}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{вк}}^2}{4} \quad (3)$$

Результаты расчетов критериев энергоэффективности по отобранным моделям изолированно работающих ВЭУ представлены в таблице 2.

Табл. 2. Коэффициент использования установленной мощности ВЭУ

Производитель	Модель	$k_{\text{исп}}$, о.е.	$\mathcal{E}_{\text{вэу}}^{\text{уд}}$, кВт·ч/м ²
AeronauticaWindPower	AW29-225	0,11	114
Fuhrländer	FL 250	0,11	119
Nordex	N29/250	0,13	129
Vestas	V29	0,13	136

С учетом графика нагрузки аэродинамических потерь на затенение соседними ВЭУ, а также потери на льдообразование и других, коэффициент использования установленной мощности будет еще ниже на 10%. На основании постановления от 23 января 2015 г. №47 [2] в отношении генерирующих объектов ветровой генерации независимо от величины установленной мощности коэффициент использования установленной мощности ВЭС должен быть не менее 0,27, поэтому было принято решение о нецелесообразности использования энергии ветра в п. Батакан.

2. Обоснование целесообразности использования солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ)

Проектирование фотоэлектрических электрических станций (ФЭС) начинается с выбора площадки, далее производится выбор моделей солнечных модулей и их количества. За этим следует монтаж, экономический анализ работы системы за время ее эксплуатации и технического обслуживания и этап утилизации.

Площадка ФЭС должна соответствовать международному стандарту IEC 62257-7-1 и выбираться вблизи объекта по следующим критериям:

1. Высокий уровень прихода солнечной радиации (СР);
2. Простота рельефа местности, т.е. минимум затенения солнечных фотоэлектрических модулей (СФЭМ), возможность их самоочищения, простота монтажа;
3. Непогодность почвы и глубоко расположенные подземные воды;
4. Расположение вблизи электрической подстанции, обладающей достаточной пропускной способностью для присоединения ФЭС;
5. Наличие инфраструктуры (транспорт, дороги для снижения затрат строительства).

Площадка для размещения ФЭС была выбрана вблизи ДЭС, где достаточно места для размещения парка солнечных модулей с выбранной мощностью 400 кВт.

Исходная информация по солнечной радиации может быть получена по данным ближайшей актинометрической станции (АМС), выбор которой должен учитывать удаленность от предполагаемого места установки объекта солнечной энергетики, схожесть географических условий по высоте над уровнем моря. Для п. Батакан наиболее подходящей оказалась актинометрическая станция в поселке Борзя, Читинской области [3], расположенная в 250 км от п. Батакан, разница высотных отметок площадки АМС и п. Батакан – 70 метров.

При проектировании ФЭС, добавляемой в ЛЭС на территории п. Батакан, были изучены и рассмотрены различные кремниевые микроморфные, монокристаллические и поликристаллические панели, а также гетероструктурные, как самые широко распространенные и доступные для закупки в России, из которых были выбраны 4 варианта фотоэлектрических модулей: Jinyang SE Co (Китай), BPS TECH (Китай), Hevel Solar HJT и MSI (Россия).

Выбор инверторов следует производить по мощности и номинальному напряжению, также необходим выбор аккумуляторных батарей и контроллеров заряда-разряда для схемы с аккумулярованием электрической энергии. В данной работе этот выбор не производился, а только учитывались потери электроэнергии в этих устройствах.

Окончательный выбор модели СФЭУ, для расположения на предполагаемой площадке осуществляется (аналогично выбору ВЭУ) по критерию энергоэффективности $k_{\text{сфэу}}^{\text{исп}}$, определяемому по формуле:, о.е.:

$$k_{\text{сфэу}}^{\text{исп}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{сфэу}}^{\text{год}}}{N_{\text{уст}}^{\text{сфэу}} \cdot 8760}, \quad (4)$$

где, $N_{\text{сфэу}}^{\text{уст}}$ - установленная мощность ФЭС;

$\mathcal{E}_{\text{сфэу}}^{\text{год}}$ - годовая выработка энергии СФЭУ:

$$\mathcal{E}_{\text{сфэу}}^{\text{год}} = \mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{гп}} \cdot \eta \cdot F_{\text{сфэу}}, \quad (5)$$

где $\mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{гп}}$ – годовой приход солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности на 1 м^2 ;

η – коэффициент полезного действия комплекса СФЭУ с учетом КПД инверторов и АКБ;

$F_{\text{сфэу}}$ - суммарная площадь всех солнечных ФЭМ [4].

Результаты расчетов коэффициента использования по отобранным моделям СФЭУ представлены в таблице 3.

Табл. 3. Коэффициент использования установленной мощности СФЭУ

Производитель	Модель	$k_{\text{сфэу}}^{\text{исп}}$, о.е.	$\eta_{\text{сфэу}}$, о.е.
Jingyang SE Co, Китай	SFM23054	0,21	0,15
BPS TECH, Китай	BRS150M	0,16	0,15
Hevel Solar, РФ	Hevel HJT	0,19	0,18
Hevel Solar, РФ	Hevel MSI	0,34	0,18

На основании Постановления от 23 января 2015 г. №47 [2], в отношении генерирующих объектов солнечной генерации, независимо от величины установленной мощности коэффициент использования установленной мощности должен быть не менее 0,14. Таким образом, для п. Батакан использование энергии солнца целесообразно.

В качестве окончательного варианта были выбраны ФЭМ российского производства компании Hevel – Hevel MSI. Была проведена оценка вытеснения ДЭС из графика энергопотребления за счет ФЭС, которая составила 45% в годовом выражении, а экономия дизельного топлива составила 35% в год.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дерюгина Г.В., Малинин Н.К., Пугачев Р.В., Шестопалова Т.А. Основные характеристики ветра. Ресурсы ветра и методы их расчета: учебное пособие / – М.: Издательство МЭИ, 2012 г.
2. Постановление от 23 января 2015г. №47 "О внесении изменений в некоторые акты правительства Российской Федерации по вопросам стимулирования использования возобновляемых источников энергии на розничных рынках электрической энергии".
3. База данных, «Научно-прикладной справочник по климату СССР», кафедра НВИЭ, ИЭЭ, МЭИ (ТУ), 2004 год.
4. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин; под ред. В.И. Виссарионова. - М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 276 с.

Научный руководитель: Г.В. Дерюгина, ст. преп. "НИУ "МЭИ".

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ KSWINTSR ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В AS ЯЗЫКЕ ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА KAWASAKI FS 03N

М.В. Клютко

Белорусский государственный технологический университет

Промышленный манипулятор Kawasaki FS 03N может использоваться для перемещения, для дуговой сварки, чистки, полировки, а также для работы в экстремальных условиях с пылью и низкими температурами. Модульная концепция F – серии позволяет достигнуть высокой степени изменения досягаемости и загрузки робота для различного применения. Интегрированный пневматический и электрический контроль клапанов соленоидов дает возможность для быстрой наладки и запуска.



Рис. 1. Промышленный манипулятор Kawasaki FS 03N

В AS (Automation Solution) системе можно задавать команды или выполнять программы, используя AS язык программирования. AS система записана в энергонезависимой памяти контроллера (ОЗУ). Когда управляющее питание включается, AS система стартует и ожидает ввода команд для выполнения.

В AS системе роботы управляются и функционируют, основываясь на программе, которая создается до выполнения действий и описывает последовательность действий, необходимых для решения поставленной задачи.

AS язык программирования разделяется на два вида: мониторные команды и программные инструкции.

Мониторные команды используются для написания, редактирования, выполнения программ и единичных команд. Они вводятся после знака (>), появляющегося в начале строки и выполняются после нажатия клавиши (Enter) немедленно. Некоторые мониторные команды используются внутри программы, как программные инструкции.

Программные инструкции используются для создания последовательности движения робота, для контроля и управления внешними сигналами и т.д. в программах [1].

В AS системе возможны два типа задания координатной точки в трехмерном пространстве: последовательностью угловых смещений каждой из осей су-

ставов, относительно какого-то начального положения (угловая координата), последовательностью линейных и угловых смещений начала базовой системы координат (декартова координата).

1. Угловая координата

Используя значения кодера (кодирующего устройства), по количеству вращений вала каждого из суставов рассчитываются угловые смещения каждой из осей суставов относительно какого-то начального положения. Последовательность величин смещений каждой оси задается в градусах. При запоминании точки в угловых координатах необходимо перед буквой поставить знак #.

```

JT1   JT2   JT3   JT4   JT5   JT6
#pose = 0.00, 33.00, -15.00, 0, -40, 30
    
```

2. Декартова координата

Описывает положение координат по отношению с рекомендуемыми координатами. Если не определено иначе, это относится к значениям преобразования координат инструмента относительно основных координат робота. Позиция дается значениями XYZ для основных координат, и положением O, A, T углов Эйлера.

Положение и ориентация центра фланца в пространстве задается последовательностью смещений начала инструментальной системы координат относительно начала базовой системы координат координатами X, Y, Z, и углами Эйлера O, A, T.

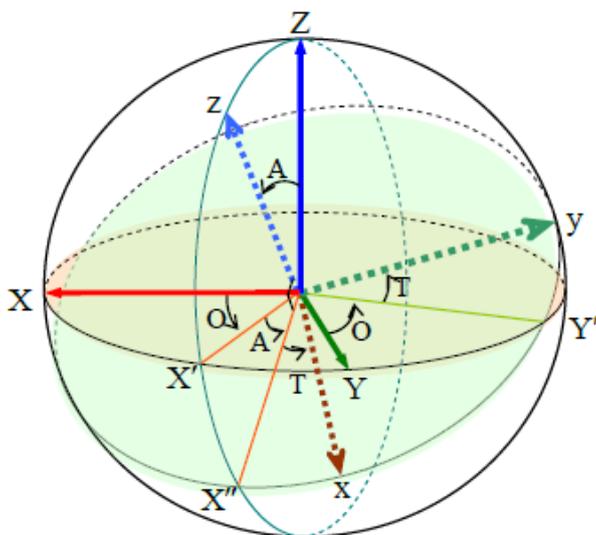


Рис. 2. Углы Эйлера

O – угол между плоскостью Zz и плоскостью XZ

A – угол между осью z и осью Z

T – угол между осью x и осью X''

Ось X'' лежит в плоскости Zz и образует с осью z угол 90 градусов.

```

X     Y     Z     O     A     T
pose = 0, 1434, 300, 0, 0, 0
    
```

Использование относительных позиций

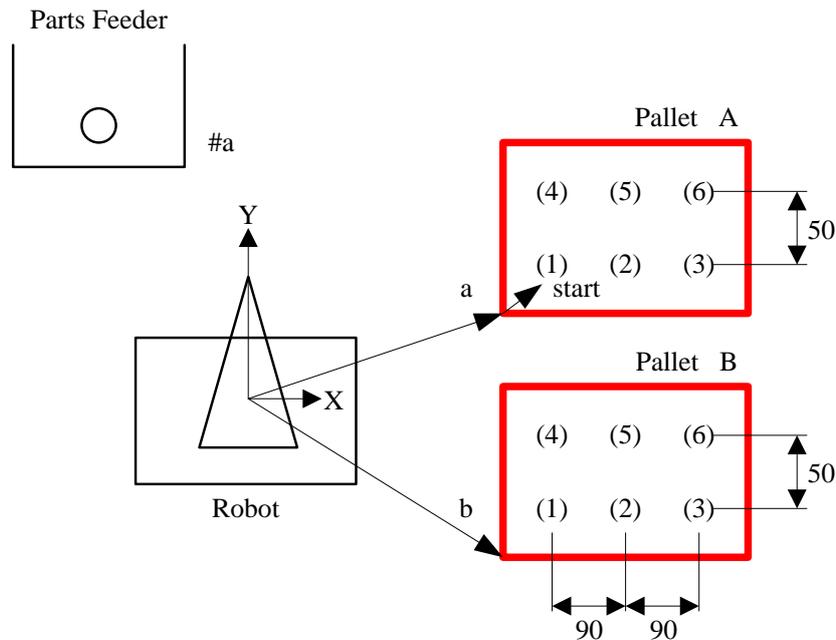


Рис. 3. Размещение робота, поддонов и подающего лотка

Детали берутся с подающего лотка и раскладываются на поддоны в порядке от (1) до (6) в два ряда (на расстоянии 50 мм) и три столбца (на расстоянии 90 мм). Для упрощения и поддоны и детали, помещаемые на поддон, установлены параллельно базовой системе координат робота. Поддоны помещены отдельно, но зависимость между контрольной точкой и местами, где детали должны быть размещены, одинаковы на любом из поддонов. Эта программа выполняет установку детали на поддон А. После того, как шесть деталей установлены, робот продолжает делать то же самое, устанавливая на поддон В.

Позиции для обучения: #a: позиция, где робот берет детали с подающего лотка; a: контрольная точка на поддоне А; b: контрольная точка на поддоне В; start: позиция первой детали на поддоне.

Программа:

```
.PROGRAM relative.test
; начальные установки (2 ряда, 3 столбца, ΔX=90, ΔY=50, etc.)
row.max=2
col.max=3
xs=90
ys=50
OPENI
flg=0; flg=0: Pallet A, flg=1: Pallet B
POINT pallet=a
; начало пакетирования деталей
10 POINT put=start
FOR row=1 TO row.max
FOR col=1 TO col.max
JAPPRO #a, 100
LMOVE #a; берет деталь с подающего лотка
CLOSEI
```

```

LDEPART 100;
POINT put_pt=pallet+put
JAPPRO put pt, 200
LMOVE ; кладет деталь на поддон
OPENI
LDEPART 200;
POINT put=SHIFT(put BY xs,0,0) ; определяет место для детали в следующем
столбце
END;
POINT put=SHIFT(put BY 0,ys*row,0) ; определяет место для детали в следу-
ющей строке
END;
IF flg<>0 GOTO 30 ; переходит к финишной процедуре (flg=1)
flg=1
POINT pallet=b ; определяет контрольную точку на поддоне В
GOTO 10
30 TYPE “***end***”
STOP
END

```

Были выявлены достоинства AS системы: робот может двигаться непрерывно вдоль заданной траектории; при обучении позициям или при повторении действий робот может идти по линейной траектории, сохраняя положение инструмента неизменным.

На основании AS – языка программирования была получена программа перемещения с подающего лотка на два поддона с использованием относительных позиций.

ЛИТЕРАТУРА:

1. AS language reference manual: Kawasaki Heavy Industries - Tokyo: Manual, 2002. - 417 p.

Научный руководитель: Д.С. Карпович, к.т.н., зав. кафедрой Автоматизации производственных процессов и электротехники, Белорусский государственный технологический университет.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМОЙ МГЭС-ДЭС

Д.А. Шелковская
Новосибирский государственный технический университет

Системы электроснабжения с использованием автономных источников становятся все более актуальными среди владельцев загородных домов, особенно для тех, которые расположены в труднодоступных децентрализованных

районах. Основными проблемами энергоснабжения таких потребителей являются дальний транспорт, высокая стоимость и дефицитность дизельного топлива для ДЭС. Поэтому наиболее перспективным вариантом построения изолированных энергетических систем являются гибридные автономные системы электроснабжения, которые включают в себя энергетические установки возобновляемой энергетики и ДЭС. В частности, может быть реализована комбинированная система ДЭС-МГЭС. В данной статье будет рассмотрено автономное электроснабжение дома, который расположен в Хабаровском районе Алтайского края вблизи реки Бурла.

Комбинированная система автономного электроснабжения представлена на рисунке 1.

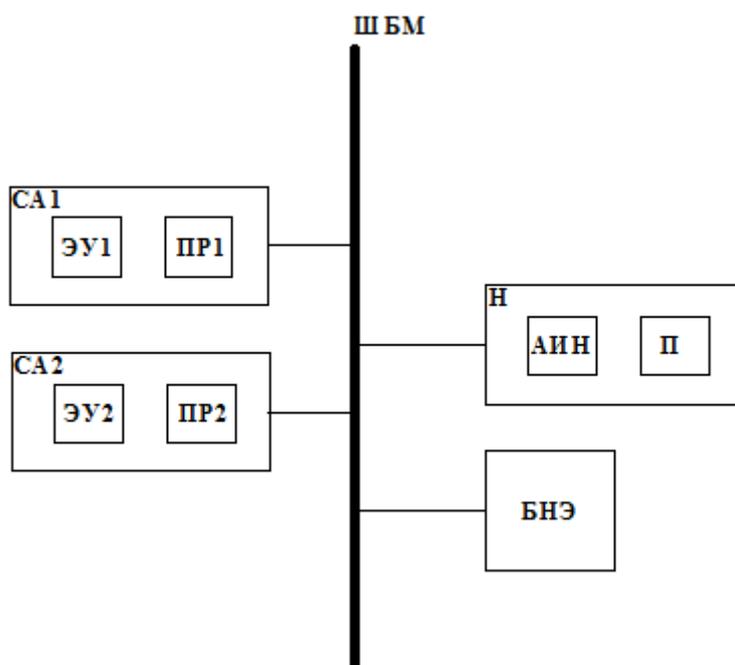


Рис. 1. Структурная схема комбинированной системы автономного электроснабжения со вставкой постоянного тока

Данная система включает в себя промежуточную шину постоянного тока (ШПТ), к которой через преобразователи (Пр) подключаются энергетические установки (ЭУ) и буферная система накопления энергии (БНЭ), которая выполняет все основные функции по распределению и управлению потоками энергии в изолированной энергетической системе.

Автономная система электроснабжения состоит из двух силовых агрегатов (СА), которые представлены ДЭС и микроГЭС. Они построены на различных физических принципах преобразования энергии. Нагрузка (Н) в данной системе представлена в виде потребителя (П), получающего электроэнергию с требуемыми параметрами через трехфазный управляемый автономный инвертор напряжения (АИН).

Актуальным вопросом для данных систем является выбор оптимального алгоритма управления. Он формируется на основе критериев управления, а также технологических и режимных ограничений.

Исходя из целей потребителя, управление может осуществляться на основе различных критериев. В частности, в качестве критериев управления для данной системы могут выступать:

- критерий максимизации электрической энергии, вырабатываемой на ДЭС:

$$Э_{ДЭС} \rightarrow \max \quad (1)$$

- критерий минимизации электрической энергии, вырабатываемой на ДЭС:

$$Э_{ДЭС} \rightarrow \min \quad (2)$$

- критерий минимизации удельного расхода топлива на ДЭС:

$$q_{ДЭС} \rightarrow \min \quad (3)$$

Из них, для рассматриваемой гибридной системы, был выбран критерий минимизации электрической энергии, вырабатываемой на ДЭС.

Можно выделить следующие группы технологических ограничений режимов работы МГЭС, ДЭС, АКБ и режимных ограничений автономной СЭС:

1. Технологические ограничения МГЭС:

- Ограничение по расходу:

$$Q_{\min ГА} \leq Q_{ГА} \leq Q_{\max ГА} \quad (4)$$

- Ограничение по минимальной высоте напора:

$$H_{\min} \leq H_i \quad (5)$$

- Ограничение по минимальной отметке верхнего бьефа:

$$Z_{вб} \leq Z_{вб \min}, \quad (6)$$

где $Z_{вб \min}$ – высота, на которой располагается водоприемник;

H_{\min} – минимальный напор, при котором работает турбина.

- Ограничение по допустимому диапазону мощностей МГЭС:

$$0 \leq P_{iМГЭС} \leq P_{устМГЭС} \quad (7)$$

2. Технологические ограничения ДЭС:

- Ограничение по допустимому диапазону мощностей ДЭС:

$$0 \leq P_{iДЭС} \leq P_{устДЭС} \quad (8)$$

- Ограничение по допустимой температуре дизельного генератора:

$$T_{iДЭГ} \leq T_{\max ДЭГ}, \quad (9)$$

где $T_{iДЭГ}$ – температура ДЭГ.

3. Технологические ограничения АКБ:

- Ограничение по номинальной мощности инвертора:

$$0 \leq P_{iАКБ} \leq P_{номИНВ} \quad (10)$$

- Ограничение по допустимому объему:

$$W_{\min АКБ} \leq W_{АКБ} \leq W_{\max АКБ} \quad (11)$$

где $W_{\min АКБ}$ – максимальная глубина разряда аккумуляторных батарей.

4. Режимные ограничения автономной СЭС:

- Баланс активной и реактивной мощности в системе:

$$P_{\text{баланс}} = 0, \quad (12)$$

где $P_{\text{баланс}} = P_{МГЭС} + P_{ДЭС} + P_{\text{нагр}} + P_{АКБ}$.

$$Q_{\text{баланс}} = 0, \quad (13)$$

где $Q_{\text{баланс}} = Q_{\text{МГЭС}} + Q_{\text{ДЭС}} + Q_{\text{нагр}} \pm Q_{\text{КРМ}}$.

• Требования к качеству электрической энергии:

Допустимое отклонение напряжения и частоты:

$$0.9 \cdot U_{\text{н}} \leq U_i \leq 1.1 \cdot U_{\text{н}}, \quad (14)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение системы.

$$49 \leq f_i \leq 51, \quad (15)$$

Допустимая несимметрия напряжения:

$$0.96 \cdot k_{2U_{\text{ном}}} \leq k_{2U_i} \leq 1.04 \cdot k_{2U_{\text{ном}}}, \quad (16)$$

$$0.96 \cdot k_{0U_{\text{ном}}} \leq k_{0U_i} \leq 1.04 \cdot k_{0U_{\text{ном}}}, \quad (17)$$

где k_{2U_i} , k_{0U_i} – значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности.

Рассмотренные математические модели являются универсальными и могут быть применены для разработки алгоритмов управления гибридной автономной системой электроснабжения на базе МГЭС-ДЭС.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Обухов С.Г. Микрогидроэлектростанции: Курс лекции по магистерской программе «Возобновляемые источники энергии» // Томский политехнический университет. – Томск, 2009 – 63 с.
2. Меновщиков Ю.А., Куликова Л.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие/ Ю.А. Меновщиков, Л.В. Куликова; Алт. гос. техн. ун-т. им. И.И. Ползунова. Новосибир. гос. аграр. Ун-т. – Новосибирск, 2007. 356 с.: ил.
3. Шелковская Д.А. АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ МИКРОГЭС-ДЭС / Д.А. Шелковская // Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты: сборник материалов Международной научно-практической конференции (25-26 мая 2016 года), Том III – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2016 – с. 169-172.

Научный руководитель: С.В. Митрофанов, к.т.н., доцент, НГТУ.

ПРИМЕНЕНИЕ МРРТ КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МИКРО ГЭС

В.С. Кривоногов

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП

В течении последних десяти - двадцати лет перед человеком остро стоят вопросы, связанные с энергетическим кризисом, экологическими проблемами (глобальное потепление), значительным ростом потребляемой электрической энергии. Решение данных проблем кроется в поиске новых и модернизации уже

используемых источников электрической энергии, которые смогут стать хорошей альтернативой существующих. Одной из подобных технических альтернатив может стать уменьшение расстояния между генерированием и потреблением электрической энергии. В статье рассматривается возможность использования чистой, безотходной технологии производства электрической энергии, которая основана на возобновляемом источнике электроэнергии, воде.

Одним из актуальных и перспективных направлений развития современной малой энергетики является использование микро ГЭС в горной местности с выгодным расположением к потребителям электрической энергии. Для эффективного и экономически выгодного использования электрической энергии, производимой микро ГЭС, необходимо подробно изучить процесс преобразования свободного потока воды в электроэнергию со стабильными выходными параметрами, при оптимальных технико-экономических показателях.

Данная статья носит обзорно аналитический характер, рассматриваются результаты исследований проведенные в данной области, учеными из различных стран.

Основные цели и задачи, которые должен поставить перед собой исследователь для подробного изучения данного вопроса следующие:

1. Оптимизировать работу и выбрать оборудование для микро ГЭС;
2. Разработать эффективные алгоритмы управления станцией;
3. Рассмотреть необходимость использования накопителей энергии;
4. Максимально снизить затраты на гидротехнические сооружения;
5. Оптимизировать установленные мощности микро ГЭС;
6. Адаптировать станцию к различным водотокам.

В рамках данной статьи рассмотрим возможность применения МРРТ контроллеров для получения максимально возможной мощности от гидротехнических устройств. Подобные контроллеры широко используются в инверторах солнечных элементов, заменяя менее эффективные ШИМ контроллеры.

В микро ГЭС обычно используются генераторы электрической энергии, регулирование выходной мощности которых осуществляется за счет изменения напора воды, проходящего через турбину. Однако для того чтобы снизить габаритные размеры и повысить технико-экономические показатели станции, стоит рассмотреть вариант интеграции системы регулирования выходных параметров в электронную часть микро ГЭС. Более того, замена механического регулирования выходной мощности на электронную позволяет повысить надежность станции и качество получаемой электрической энергии.

В качестве примера была использована осевая микро ГЭС с турбиной пропеллерного типа (турбина Каплана), которая хорошо подходит для местности с небольшим перепадом высот и слабым напором. На рисунке 1 показан внешний вид используемой микро ГЭС.[6]

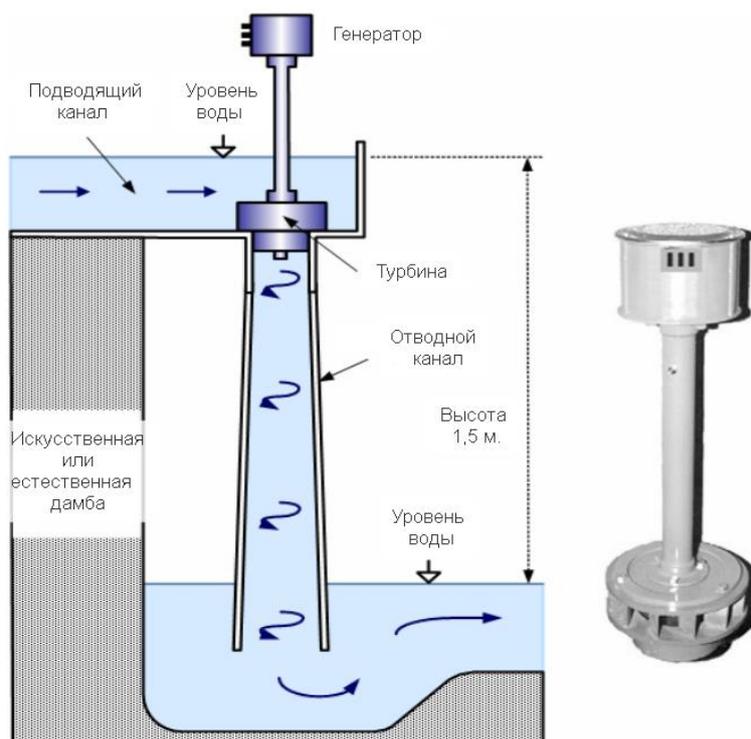


Рис. 1. Осевая микро ГЭС.

Выходная электрическая мощность производимая турбиной, может быть описана следующей формулой.

$$P_{турб} = \rho g H q, \text{ Вт} \quad (1)$$

Где: ρ -плотность воды ($\text{кг}/\text{м}^3$), g -ускорение свободного падения ($\text{м}/\text{с}^2$), H -высота напора (м), q -расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$).

Связь между механической и гидравлической мощностью может быть описана используя безразмерный коэффициент мощности C_p , который нелинейно зависит от угловой скорости ω ротора турбины.

$$P_{мех} = P_{турб} \cdot C_p, \text{ Вт} \quad (2)$$

Лабораторные статические испытания были использованы для описания актуальной механической мощности вырабатываемой гидравлической турбиной. На рисунке 2 изображены полученные характеры зависимости $P_{мех}$ от ω , при различных постоянных значениях расхода воды q с неизменным значением высоты напора $H = 1,5$ м. C_p есть нелинейная функция от ω , соответственно кривая эффективной механической мощности не является параболой, как описывается во многих упрощенных моделях [4-5]. Однако эффективность так же зависит от этой величины.

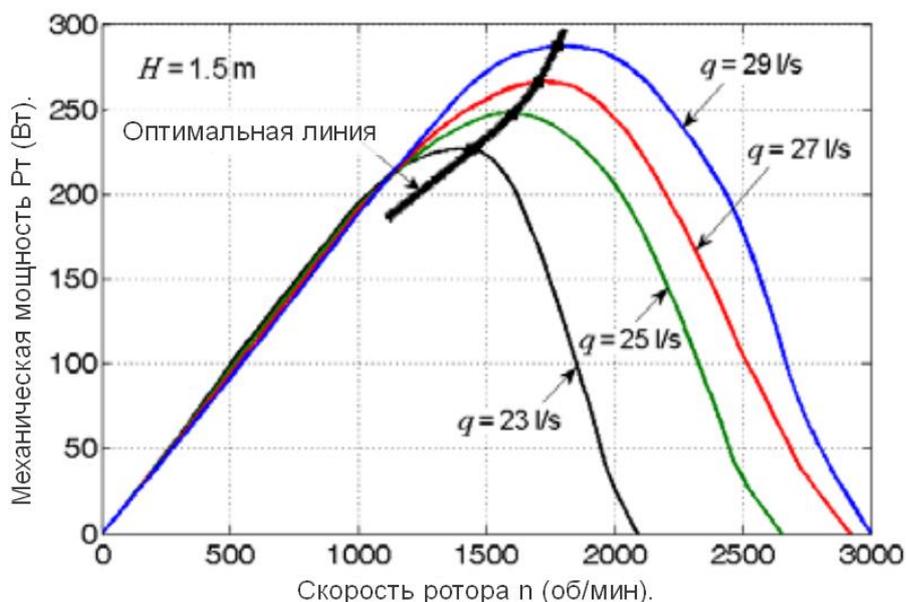


Рис. 2. Зависимость полезной механической мощности от угловой скорости ротора при различных величинах расхода воды.

Точка максимального КПД находится в пределах 85%, при различных значениях высоты напора и расхода воды. Из рисунка 2 видно, что для каждого значения расхода воды существует точка максимальной мощности (ТММ), в которой выходная мощность имеет максимальное значение.

Использование контроллера слежения за точкой максимальной мощности МРРТ для микро ГЭС, позволяет значительно повысить эффективность использования, уменьшить габариты станции и сэкономить на гидротехнических сооружениях (регулирование потока воды).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Willis H.L. and Skott N.B., "Distributed Power Generation – Planning and Evaluation", Benedick Drecker, N. Y., 2001.
2. Borkowski D., Wegiel T., Small hydropower plant with integrated turbine-generators working at variable speed// IEEE Transactions on Energy Conversion. 2013. Vol. 28. №2. P. 452-459.
3. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шандарова Е.Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций. – Томск: СТТ, 2001. – 120 с.
4. Hang G., Chan L., Dyakovu N. and Shan, Z. "Basic modeling and simulation tool for analysis of hydraulic transients in micro hydro power plants," IEEE Trans. on Energy Conv., 23, 3, 2008, 834-841.
5. Ansel A., Robyns B. Modelling and simulation of an autonomous variable speed micro hydropower station. Mathematics and Computers in Simul., 71, 2006, 320-332.
6. Marquez J.L., Molina M.G., Pacas J.M. 'Modeling and simulation of micro-hydro power plants for applications in distributed generation' HYFUSEN 2009., 13-64.

7. Acha E., Agelidis V., Anaya-Lara O., and Miller T. "Power Electronic Control in Electrical Systems", Newnes, U.K., 2002.
8. T. A. Maynard, H. Foch, P. Thomas, J. Courault, R. Jakod, and M. Nahrstaedt, "Multilevel converter: Basic concepts and industry applications," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 49, no. 5, pp. 955-964, Oct. 2002.

Научный руководитель: Б. В. Лукутин, д.т.н., профессор каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ УДЕЛЬНЫХ МОЩНОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ УСТАНОВКИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В ЦЕХЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

С.А. Михайлов
Пензенский государственный университет

На сегодняшний день сформулированы основные методики определения мест расположения цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП). Этому вопросу были посвящены работы А.А. Федорова, В.В. Каменевой. В их работах определено, что за оптимальное место расположения ЦТП по условию минимального расхода проводникового материала может приниматься центр электрических нагрузок (ЦЭН), определенный следующим образом:

$$\xi_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad \eta_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (1)$$

где ξ_0 , η_0 - это координаты ЦЭН;

x_i , y_i - координаты i -той нагрузки;

P_i - мощность i -той нагрузки [1].

Для удобства назовём этот метод «классическим».

В [5] для отыскания координат ЦЭН предложен метод распределенных удельных мощностей. Достоинства и недостатки данного метода, по сравнению с классическим, рассмотрены на примере цеха машиностроительного предприятия.

Из оборудования в цехе имеются фрезерные, сверлильные, шлифовальные, токарные станки, кран-балки, вытяжные системы, электропечи и бариевые ванны для обработки металла. В качестве исходных данных в обоих методах используются координаты и мощности ЭП.

Для расчета используются значения мощностей нагрузки, приведенные к длительному режиму P_{np} .

$$P_{np} = P_n \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (2)$$

где P_n - номинальная активная мощность потребителя;

ПВ – продолжительность включения.

Метод распределенных удельных мощностей основан на рассеянии мощности отдельных ЭП в соответствии с (3):

$$p_{y\partial}(x, y) = P_{npi} \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x-a)^2 + (y-b)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

где $p_{y\partial}(x, y)$ – это удельная мощность в точки x, y , кВт/м²,

P_{npi} – мощность ЭП, приведенная к длительному режиму,

(a, b) – координаты ЭП,

σ – величина, определяющая степень рассеяния и названная «радиус рассеяния» удельной мощности, м.

В соответствии с (3) удельная мощность каждого ЭП рассеивается по колоколообразной поверхности. Объем, заключенный под этой поверхностью, пропорционален мощности ЭП.

На рисунке 1 изображено распределение удельных мощностей всех ЭП рассмотренного для примера цеха при значении $\sigma = 0,2$ м. Поскольку, в соответствии с условиями метода радиус рассеяния задается одинаковым для каждого ЭП, мощности их будут характеризоваться высотой поверхностей.

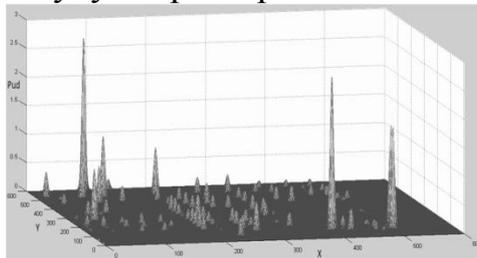


Рис.1. Поверхность распределенных удельных мощностей потребителей цеха при малом радиусе рассеяния.

Для определения координат (ЦЭН) необходимо увеличить значение радиуса рассеяния σ до 15 метров. Распределение удельных мощностей при этом значении σ изображено на рисунке 2.

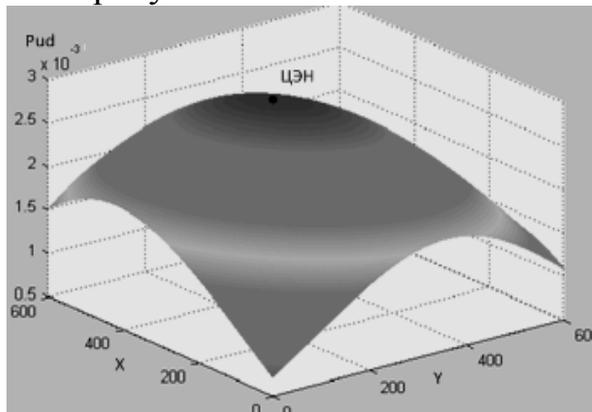


Рис.2. Распределение удельных мощностей при $\sigma = 15$ м.

Вершина результирующей поверхности проецируется в ЦЭН в соответствии с описанием метода [5]. Объем под результирующей поверхностью, равен сумме объемов, заключенных под поверхностями, изображенными на рисунке 1. Определенный таким образом ЦЭН, имеет координаты $x = 32$ м, $y = 25$ м. Следует отметить, что координаты ЦЭН, полученные классическим методом совпадают с координатами, приведенными выше. Это дает основание говорить о справедливости метода распределенных удельных мощностей для определения места расположения одной ЦТП.

Распределение удельных мощностей в соответствии с рисунком 1 и рисунком 2 являются крайними случаями распределения. Распределения при значениях σ между 0,2 и 15 м определяют координаты узлов ненаправленного графа схемы цеховой электрической сети.

Анализ систем электроснабжения предприятий указывает на то, что использование «центра масс» для определения мест расположения подстанций не всегда эффективен, так как позволяет определить место расположения одной подстанции для предварительно сгруппированных потребителей. Предварительное разделение на группы проводится произвольно без учета критериев оптимальности. Использование описанного метода позволяет избежать группировки потребителей и при определении мест установки распределительных пунктов в цехе. В результате метод распределенных удельных мощностей позволяет спроектировать систему электроснабжения, обладающую лучшими характеристиками по признаку минимальных потерь на передачу электрической энергии с минимальной металлоемкостью. Разработанный метод универсален и может быть использован при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фёдоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий – М.: Энергоатомиздат, 1984 – 466 с.
2. Каменева В.В. Область рассеяния центра электрических нагрузок. – М.:МЭИ, 1971
3. Каменева В.В., Киреева Э.А.К вопросу определения местоположения главных понизительных или распределительных подстанций промышленных предприятий – Электричество, 1972 – 73с.
4. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. –М.: Энергоатомиздат, 1989 – 592с.
5. Михайлов С.А., Горячев В.Я. Математические методы определения центра распределенных по поверхности нагрузок.– Фундаментальные исследования №4, 2013г.с.276.

Научный руководитель: В.Я. Горячев, д.т.н., профессор ПГУ

ПОНЯТИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ В ГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЧАСТНОГО СЕКТОРА

И.В. Ильясов

Казанский государственный энергетический университет

На сегодняшний день развитие энергетики направлено на нетрадиционные источники: ветер, солнце, биотопливо, свободная энергия и др. Данные источники позволяют создавать электротехнические комплексы для объектов различного масштаба, начиная от частного сектора и заканчивая такими потребителями, как город или завод. Если же мы говорим о крупном потребителе, то в пределах России трудно говорить об автономии таких объектов. Питание, которое они получают, является в большей степени централизованным. И в качестве ресурсов выступают традиционные источники: природный газ, нефть, каменный уголь и др. Использование возобновляемых источников дает возможность сокращения использования традиционного топлива, а также сохранения экологии на требуемом уровне. Однако пока полный переход на нетрадиционные источники энергии практически невозможен и это дело будущего. Так, что расширяющееся использование нетрадиционных источников энергии еще долгое время будет развиваться с традиционными источниками.

В магистерской диссертации рассматривается автономный объект, в качестве которого выступает частный дом. Предполагается отсутствие газификации и полная электрификация дома. Электротехнический комплекс для электроснабжения, который мы предлагаем, связан с таким понятием как «свободная энергия». Еще в 1897 году Никола Тесла ввел данное понятие, как рациональное использование энергии окружающей среды или эфира, в качестве которого могут выступать торсионные и гравитационные поля.[1] Мы же отходим от традиционного понимания свободной энергии, т.к. на сегодняшний день эта концепция в стадии разработки и математически слабая. В нашей работе мы воспринимаем ее как энергию, которая является разницей между энергией необходимой для поддержания работы электротехнического комплекса и энергией, производимой им.

Электротехнический комплекс состоит из синхронного генератора с системой возбуждения на основе полупроводниковых элементов. Выбор синхронного генератора обосновывается ее устойчивостью к нагрузочным токам и зависимостью тока возбуждения от тока нагрузки $I_{\text{нагр}} = I_{\text{возб}}$.

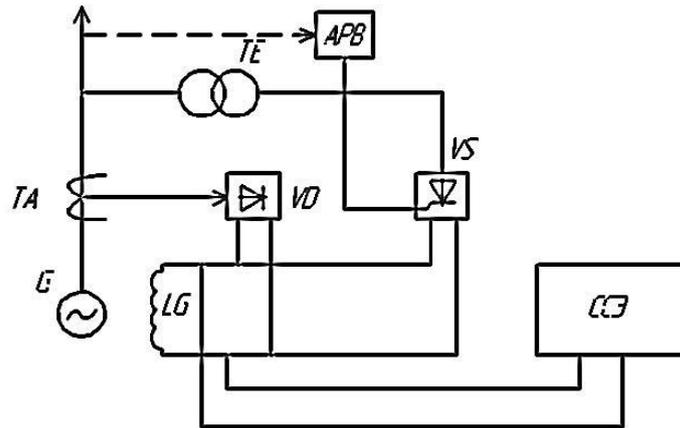


Рис. 1. Электротехнический комплекс

В системе самовозбуждения с полупроводниковыми преобразователями, приведенной на рисунке 1, имеются две группы преобразователей – неуправляемые вентили VD и управляемые VS, трансформатор силового компаундирования TA и выпрямительный трансформатор TE. Вентили VS осуществляют регулирование тока возбуждения в обмотке LG (угол отпирания и запираия тиристоров регулируется через систему APB в функции напряжения генератора), а также обеспечивает возбуждение в режиме холостого хода. Вентили VD, обеспечивают возбуждение машины при нагрузке (70-80% тока возбуждения) и форсировку возбуждения при КЗ. Управляемые вентили VS получают питание от выпрямительного трансформатора TE, вторичное напряжение которого пропорционально напряжению генератора. ССЭ – система свободной энергии. Служит для питания обмотки возбуждения GE синхронного генератора постоянным током. В качестве источника питания рассматривается бестопливный генератор свободной энергии Хендершота, американского ученого и изобретателя.[2]

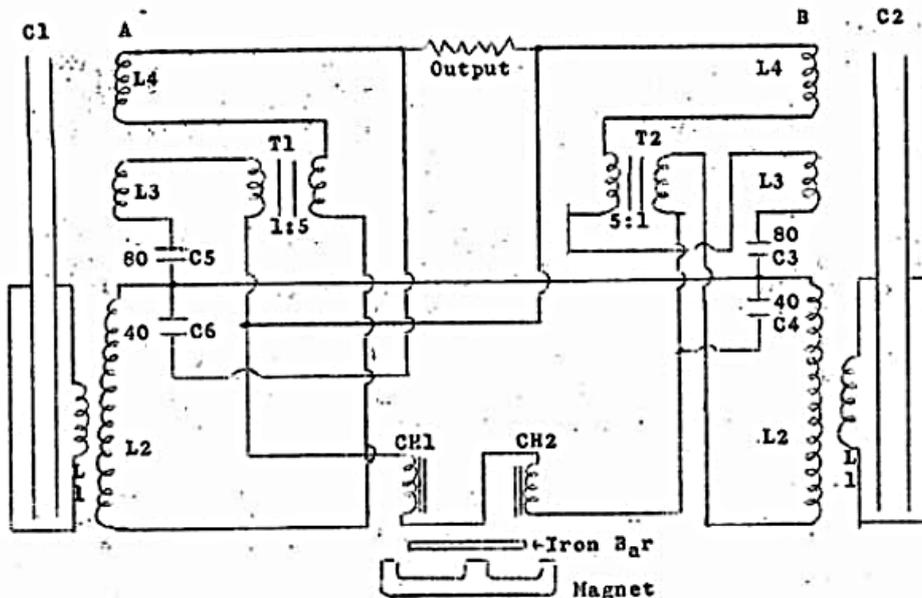


Рис. 2. Генератор Хендершота

В качестве достоинства можно выделить неограниченную поставку энергии и наличие электричества в любом месте. Отрицательным является то, что

необходим магнит для работы системы. Конструирование бестопливного генератора предполагает трудности сборки и расчета параметров элементов. Однако, это следующий шаг в диссертационной работе.

Идея использования генератора Хендершота в качестве основного источника питания автономного объекта было отброшено на стадии анализа. В данном случае возникают трудности с регулированием энергии. Существующие же генерирующие системы в виде синхронных генераторов вполне изучены, и поэтому это служит прочным фундаментом для построения электротехнического комплекса. А бестопливный генератор служит вспомогательным элементом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Второй закон термодинамики и бестопливный генератор Тесла: Пер. с англ., наст. сборн, 1993.
2. Николаев Н.Г. Современная электродинамика и причины ее парадоксальности: монография, Томск, 1986.

Научный руководитель: А.И. Рудаков, д.т.н., профессор КГЭУ.

СЕКЦИЯ 7. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

З.И. Мамаев

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭСиЭ, группа 5АМ5В

Энергосбережение – деятельность (практическая, научная, организационная, информационная), направленная на рациональное и экономное использование преобразованной и первичной энергии и природных энергоресурсов [1].

Учреждения образования являются одним из ключевых инструментов воспитания экономного отношения к запасам у молодого поколения, а решение вопроса энергоэффективности в них имеет большое значение [2].

Ключевой целью энергосбережения в образовательных учреждениях является увеличение значений экономических показателей учреждений, улучшение условий технического функционирования посредством повышения эффективности расходования энергии на один рубль оказываемых услуг, сокращение финансовой нагрузки на бюджет через сокращение платежей за электроэнергию и тепло [2].

Энергосбережение в образовательных учреждениях – это совокупность трех видов мероприятий:

1. мониторинг потребления энергетических ресурсов;
2. регулирование расхода носителя тепла;
3. повышение мотивации участников.

Чтобы работа в данном направлении проводилась эффективно, главное – научить учащихся беречь и сохранять энергию дома, в детском саду, в школе, только тогда ребята осознают это в полной мере и в будущем смогут совершить прорыв в энергосбережении на своих рабочих местах, а значит – в стране [3].

Немаловажным фактором в достижении повышения энергосбережения в учреждениях образования является внедрение энергоэффективных технологий в системах освещения, отопления, горячего и холодного водоснабжения, вентиляции и кондиционирования [4].

Рассмотрим часть из них:

1. Освещение:

а) Замена традиционных источников освещения (ламп накаливания и светильников с ЭМПРА) на современные энергосберегающие источники освещения дает от 35 до 45 % экономии электроэнергии при сроке окупаемости 1–1,5 года.

б) Внедрение интеллектуальных систем освещения дает от 35 до 45 % экономии электроэнергии при сроке окупаемости 1,5–2 года.

в) Мероприятия, в том числе организационные (введение системы энергоменеджмента и проведение энергетического мониторинга, замена устаревших

энергопотребителей на современные, с высокой энергетической эффективностью) дает от 5 до 10 % экономии электроэнергии.

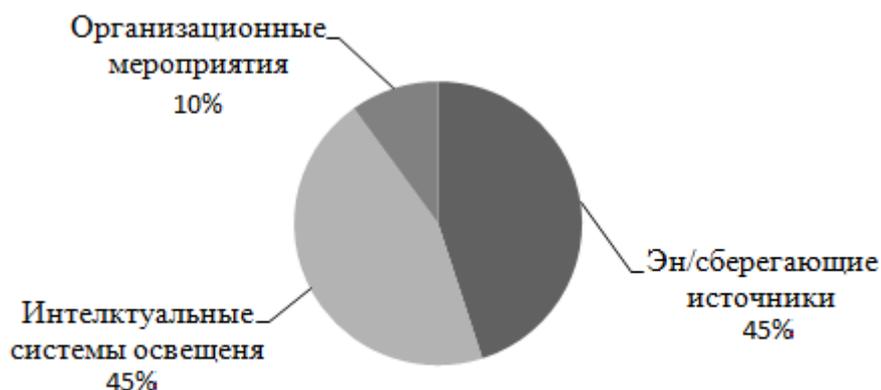


Рис. 1. Освещение

2. Горячее водоснабжение (ГВС) и холодное водоснабжение (ХВС):

а) Внедрение автоматической системы управления тепловым пунктом, а так же применение частотного регулирования насосов систем водоснабжения дает от 25 до 40 % экономии тепловой энергии при сроке окупаемости 1–2 года.

б) Промывка системы отопления со сливом продуктов очистки (для зданий, находящихся в эксплуатации более 5 лет) дает от 5 до 10 % экономии тепловой энергии при сроке окупаемости в течении одного отопительного сезона.

в) Сезонные утепления стен, входных групп и оконных проемов дает от до 15–25 % экономии тепловой энергии.

г) Установка счетчиков расхода воды, а также применение экономичной водоразборной арматуры дает от 10 до 15 % экономии.

д) Иные мероприятия, в том числе организационные (оптимизация расходов и регулирования температуры ГВС, а также применение экономичной водоразборной арматуры, снижение потерь путем установки третьего стекла либо светопрозрачной пленки в окнах, установка теплоотражателей за радиаторами, улучшение тепловой изоляции стен, полов и чердаков здания) дает от 5 до 10 % экономии тепловой энергии.

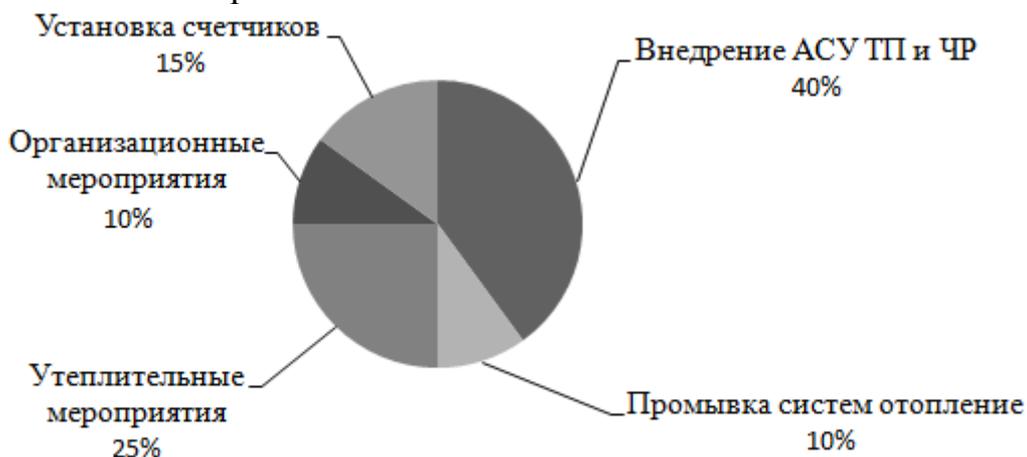


Рис. 2. Горячее водоснабжение (ГВС) и холодное водоснабжение (ХВС)

Вентиляция и кондиционирование:

а) Замена устаревших вентиляторов на современные с более высоким КПД с автоматическим регулированием и управлением в зависимости от температуры наружного воздуха дает от 35 до 50 % экономии при сроке окупаемости 3-5 года.

б) Автоматизация систем кондиционирования с введением необходимых режимов экономичности дает от 20 до 40 % экономии при сроке окупаемости 3-5 года.

в) Иные организационные мероприятия в том числе введение энергографика работы систем с контролем потребления, поддержание в рабочем состоянии регуляторов, поверхностей теплообменников и оборудования дает от 5 до 10 % экономии.



Рис. 3. Вентиляция и кондиционирование

Так же отметим, что необходимо предусмотреть следующие мероприятия по энергосбережению:

1. Система отслеживания расходов энергетических ресурсов и совершенствование энергобаланса;
2. Организация контроля и учета по рациональному использованию, лимитированию и нормированию энергоресурсов;
3. Организация энергетических обследований для определения нерационального расходования энергоресурсов;
4. Разработка и осуществление акций по энергосбережению.

И нужно помнить: гораздо лучше сэкономить одну единицу энергии, чем создать новую. Сберегая энергию дома или в учреждении, мы сокращаем потери энергии при ее транспортировке и производстве.

Таким образом, каждое образовательное учреждение может существенно сокращать расходы энергии, а обучающиеся могут лично участвовать в программе энергосбережения, что даст возможность сформировать в их сознании представление о важности процесса энергосбережения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ушаков В.Я. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности: социально-экономические, организационные и правовые аспекты. Изд-во ТПУ, 2011 – С. 165-167.
2. Энергосбережение в системе образования: сборник научно-практических и методических материалов под общей ред. Балыхина Г.А. – М.: Амипресс, 2000г. – 142с.
3. Правила поведения, способствующие сохранению энергии в образовательных учреждениях. Методическое пособие по энергоэффективности для образовательных учреждений. Москва 2012.
4. Ушаков В.Я., Шрайбер Н.Ю., Поправко Н.В. О мотивах и стимулах энергосберегающего поведения вузовского персонала. Зависимость отношения к энергосбережению от положения в должностной иерархии. Материал Всероссийской научно-практической конференции. «Проблемы энергосбережения и энергобезопасности в Сибири». Барнаул, 2003.

Научный руководитель: В.Я. Ушаков, д.т.н., профессор каф. ЭСиЭ ЭНИН ТПУ.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НА ПРИМЕРЕ КАЗАНСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

М.М. Лукин

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП, группа 5АМ5Е

Аннотация – Обеспечение мест нефтедобычи надежной системой электроснабжения крайне трудоемкий процесс. Не редки случаи нарушения устойчивости системы в результате аварийной ситуации. Поэтому встает необходимость провести дополнительные меры по повышению динамической устойчивости. В данной статье рассматриваются возможные методы повышения динамической устойчивости (ДУ) для дальнейших исследований.

Ключевые слова – *устойчивость; синхронный двигатель; электроснабжение; нефтегазовая промышленность.*

На настоящее время нефтегазовая промышленность занимает ведущее место в топливно-энергетическом комплексе страны. В зависимости от условий и места на тонну добываемой нефти тратится от 1 до 400 кВт·ч. Использование мощных технологических установок в бурении, добыче и транспорте нефти определяет повышенные требования к надежности электроснабжения. Поэтому уделяется большое внимание вопросу устойчивости системы электроснабжения.

Под устойчивостью понимается способность энергосистемы возвращаться в исходное состояние при различных возмущениях, статическая устойчивость – это способность возвращаться при малых возмущениях, динамическая – при значительных возмущениях. При этом, чаще всего, имеется ввиду возмущение в виде коротких замыканий.

Для обеспечения бесперебойной подачи электроэнергии на объекты добычи нефти необходимо создавать мощные энергетические базы. Трудность реализации таких баз, чаще всего, состоит в том, что нефтяные промыслы находятся в значительном удалении от энергетических центров. Поэтому при проектировании электроснабжения нефтяного месторождения необходимо разрабатывать такую систему, которая меньше подвергалась аварийным ситуациям.

Казанское нефтегазоконденсатное месторождение – расположено в Парбельском районе Томской области. Месторождение было открыто в 1967 году и введено в эксплуатацию в мае 2009.

В виду жестких технических условий со стороны центральных сетей месторождение является полностью автономным. Источником электрической энергии служат «Энергокомплекс №1» в составе которого 5 газотурбинных установок мощность 2.5 МВт каждая и «Энергокомплекс №2» с четырьмя газотурбинными агрегата мощностью 6 МВт. Также в состав Казанского НГКМ входят, ПС 6/35 кВ «Казанская», ПС 35/6 кВ «Болотное», Газокомпрессорная станция №1, Газокомпрессорная станция №2, Блочная кустовая насосная станция №1, Блочная кустовая насосная станция № 2, ПС 35/6 кВ «БКНС-2», 10 кустовых площадок по добыче нефти и газа.

Так как здесь используются мощные синхронные двигатели СТДМ-1600-2РУХЛ4, то в результате резкопеременных нагрузок может произойти асинхронизация режима, что повлечет за собой потерю устойчивости и остановку двигателя. Поэтому требуется принимать меры для сохранения ДУ.

Рассмотрим возможные варианты обеспечения динамической устойчивости энергосистемы:

- форсировка возбуждения;
- использование автоматического повторного включения с самосинхронизацией (АПВС);
- уменьшение индуктивного сопротивления линий;
- компенсация реактивной мощности.

Для повышения динамической устойчивости при коротком замыкании применяется вариант с форсировкой возбуждения. Форсировка возбуждения осуществляется путем повышения напряжения возбуждителя синхронной машины, при которой контакты специального реле шунтируют реостаты возбуждения, таким образом подавая на обмотку возбуждителя наибольший возможный ток.

Автоматическое повторное включение реализуется для обеспечения самозапуска электродвигателя. В случае когда нормальная работа двигателя была нарушена, после исчезновения питания или короткого замыкания, необходимо восстановить его работу, чтобы не допустить массового отключения электродвигателей. Поэтому время действия АПВ должно быть минимальным.

Уменьшение индуктивного сопротивления линий, достигаемое расщеплением проводов мощных линий на два или три, или применением продольной емкостной компенсации с последовательным включением в линию батареи конденсаторов;

Переход в асинхронный режим сопровождается тем, что из системы двигатель начинает поглощаться реактивная мощность, что может привести к снижению напряжения в системе, тем самым создается опасность нарушения устойчивости остального оборудования. Поэтому необходимо использование в сети компенсирующих устройств для нормализации режима.

Исходя из всего вышеперечисленного целесообразнее всего выбрать вариант с компенсацией реактивной мощности. Так как передача в энергосистеме значительных величин реактивной мощности приводит к последующим причинам:

- дополнительные потери активной мощности в объектах энергосистемы, так как идет их загрузка реактивной мощностью;
- дополнительные потери реактивной мощности;
- дополнительные потери напряжения;
- уменьшение пропускной способности сетей электроснабжения;
- снижение КПД трансформаторов;

Установка на предприятии компенсирующих устройств путем искусственной компенсации реактивной мощности поможет предотвратить опрокидывание двигателей и сохранить устойчивость энергосистемы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1985.— 536 с.
2. Хрущев Ю.В. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: учебное пособие / Ю.В. Хрущев, К.И. Заподовников, А.Ю. Юшков; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. - 160 с.

Научный руководитель: Л.П. Сумарокова, к.т.н., доцент, каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

ELECTRIC ENERGY DEMAND BY THE POPULATION OF THE SIBERIAN FEDERAL DISTRICT: TWO APPROACHES TO FORECASTING

G.N. Klimova¹, V.K. Leonova^{1,2}

Tomsk Polytechnic University, Institute of Power Engineering,

¹Department of Industrial Electric Power Supply,

²group 5AM5E

According to the forecast of Russian Federation long-term socio-economic development up to 2030, the share in the growth of gross regional product (GRP) Siberian Federal District (SFD) will increase from 10.9% to 11.2% [1]. During all forecast period, the growth of final consumption in the SFD will be higher nationwide indicator (for 2012 - 2030 will make to 235%). It will increase the district share in final consumption (from 10.6% in 2010 to 11,3% in 2030 year), and increase the electrical energy (EE) consumption share of by economic activity and the population [1].The population is the second largest (after industrial) consumers in the SFD. It accounted for the period 2000 - 2014 from 9.3% to 11.7% EE consumption [2].

In this context, it seems appropriate to study in detail the SFD population electricity consumption in the short and long term. Regions planning and strategic development are relevant in the economic crisis. Population electricity consumption forecasting of the (SFD) becomes especially important, considering specificity of the electricity market functioning. In the article has been produced handling and time series analysis using two models for assessing demand for the part SFD population EE (ARIMA, Automated Neural Network [2]) in the statistics program to estimate the demand for EE on the part of the SFD population. [1].

Following problems have been solved to achieve the goal:

- Graphical analysis of energy consumption indicators have been performed;
- Seasonal and regular components have been detected;
- Time series forecast have been executed;
- Forecast quality assessment have been produced.

Baseline data are the EE consumption of population by months in 2000 - 2015. Time series visualization and descriptive analysis are shown below.

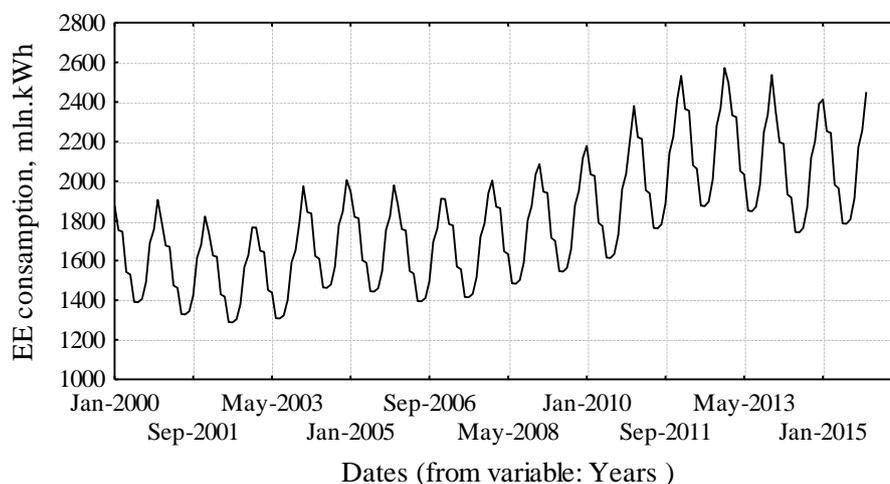


Fig. 1. Plot of population electrical energy consumption, mln.kWh

Study indicators levels must be comparable and uniform to build the quality forecast, data should be stable and full to identify trends, that is the number of observations must be large enough [3].

There are clear peaks in the periodogram in June 2001 for the single series Fourier spectral analysis. EE consumption is changing according to seasonality certain laws within each seasonal cycle. Seasonality can be traced by the smoothed moving average chart of the classical seasonal decomposition (fig.2).

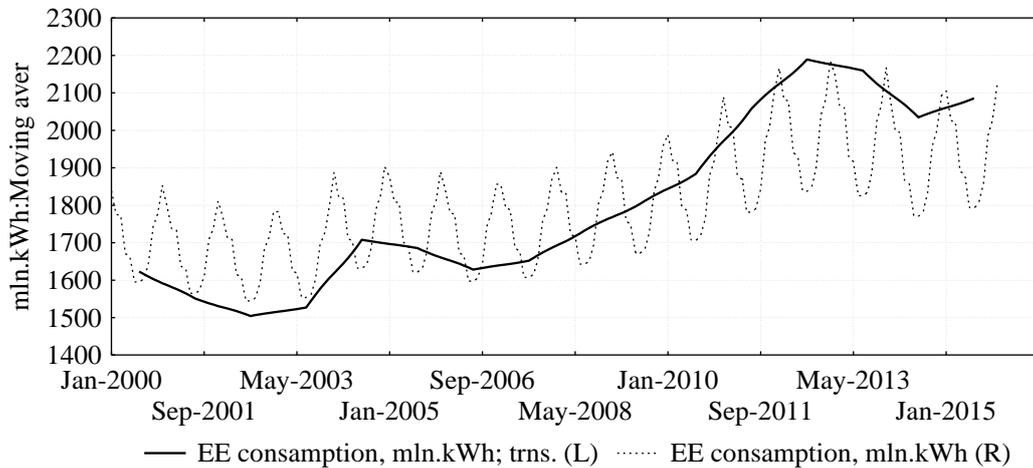


Fig.2. Plot of selected variables (series)

Classic additive model Graph of the moving average has not stationary and shows that are expected the forecast fall of the total consumption.

The next, we have built a short-term forecast (3 years) of the time series by autoregressive model of the integrated moving average (ARIMA), by means of which the data will be given to a stationary form. Necessary to build two functions for rebounds parameters of ARIMA model: autocorrelation and partial autocorrelation functions for the converted data with seasonality order 1, 12, 24. According to the theory model identification converted data corresponds to the converted MA (1) criterion [4]. The relative error of the cross-validation is 4.8%. In this case, the histogram does not fully satisfy the distribution normality.

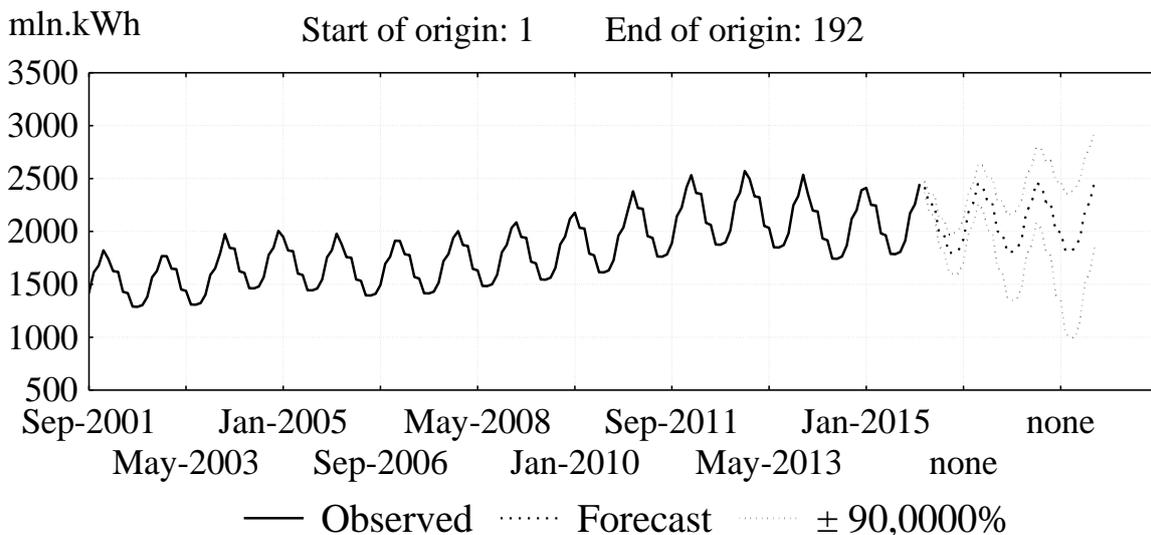


Fig.3. Forecasts from 2015 to 2018, mln.kWh; Model:(0,1,0)(0,1,1) Seasonal lag: 12

On the figure 3, we can see a result of forecast model with the seasonality parameters values $Q = 1$ and $P = 0$.

Then, we choose a learning strategy of the data fetch for the following neural networks (NN) method: Training=60%, Testing=20%, Validation=20%.

Have been used the identity (1), logistics (2), and tangential (3) for the input and only the first two for the output.

$$F(x) = A \cdot x \tag{1}$$

where $F(S)$ – identity activation functions, A – function parameter defining the slope, x – function argument.

$$F(x) = \frac{1}{1 + e^{(-Ax)}} \tag{2}$$

$$F(x) = \frac{e^{Ax} - e^{-Ax}}{e^{Ax} + e^{-Ax}} \tag{3}$$

The number of hidden neurons in a hidden layer is used from 2 to 7, error function – sum of squares, we have chosen the best option from 12 iterations – 11 (table 1).

Tab. 1. Summary of active networks

№N	Net. name	Train.perf.	Test perf.	Valid. perf.	Train. error	Test error	Valid. error	Training algorithm	Hidden activation	Outp
11	MLP 2-6-1	0,96	0,97	0,969	0,0017	0,0008	0,002	BFGS147	Logistic	

The coefficients on all three levels of education are close in value in the table of results, training errors within an acceptable range.

Residuals normal distribution and scattering density of an objective function depending on output forecast indicators (fig. 4, b). is an good quality indicator of the constructed models.

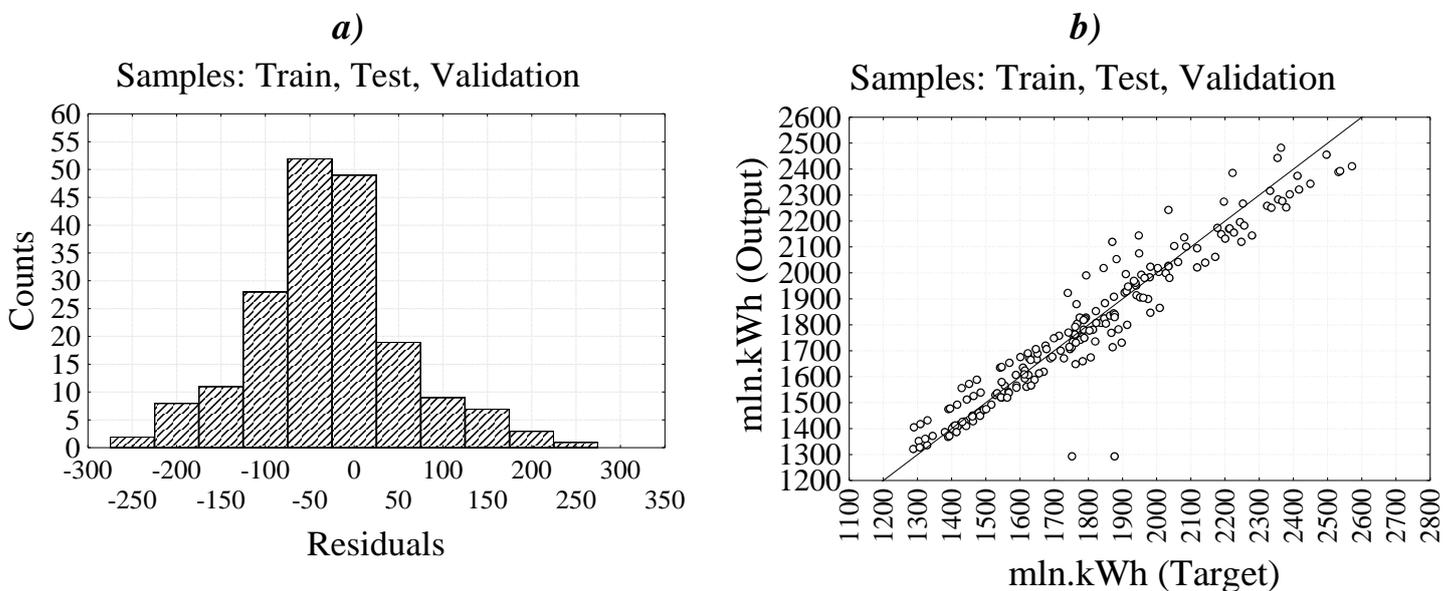


Fig. 4. Histogram of residuals normal distribution (a), graph of the objective function scattering (b)

For 11 iterations residuals are normally distributed and better compared to the previous version (fig. 4, a), points lie more closely to the line on the scatterplot (fig. 4, b).

Also cross-validation results (3,3%) shows us, that forecasting method based on neural networks is the most appropriate, this confirms the forecast on the figure 5.

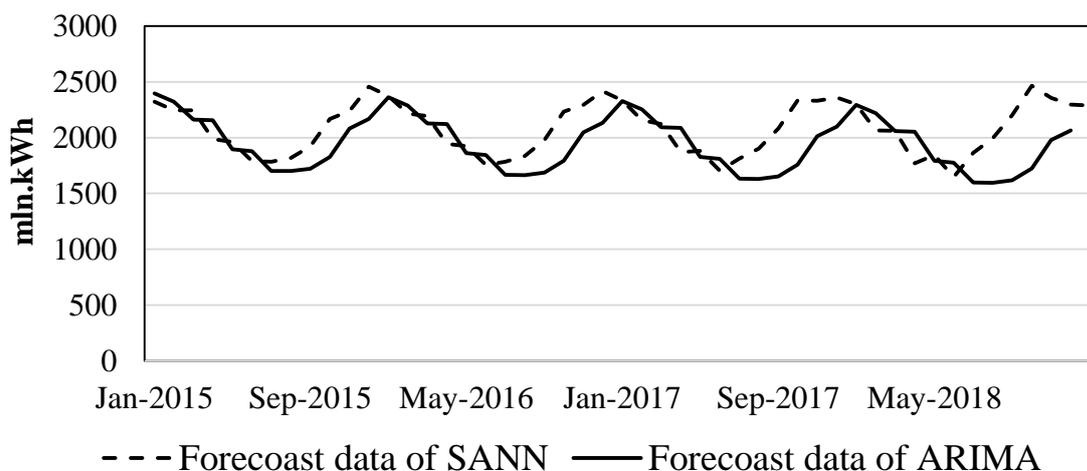


Fig. 5. Comparison of two methods of forecasting variants

Neural networks provide the most reliable results for the data prediction thanks to the complexity and nonlinearity of the data series structure. Classical methods are designed for using the series data with more visible and obvious structural regularities, in contrast to the considered neural networks [7].

REFERENCES:

1. The Federal State Statistics Service.: access mode: [<http://gks.ru>].
2. Klimova G.N., Litvak V.V. Seven problems and seven keys of energy saving / Scientific Publication. Tomsk Polytechnic University. –Tomsk: Publishing house «Red banner», 2013. – 148 p.
3. Khalafyan A.A. Statistical analysis of the data. STATISTICA 6. Moscow: «BINOM», 2007. – 508p.
4. Spitsin V.G., Choi U.R. Application of artificial neural networks for information processing. Tomsk Polytechnic University. –Tomsk: Publishing house «Red banner», 2007. – 30 p.
5. D.A. Vershinin, “Strategic issues of energy consumption and energy supply in the macro-region,” ISSN 1818-7862, *Vestnik NSU*, Series: Social and economic science, pp. 4-18, 2010.
6. V.P. Borovikov, Ivchenko G.I., “Forecasting system STATISTICA for Windows. Basic theory and intensive practice on the computer.” Textbook. – M, pp. 25-37, 2002.
7. Medvedev V.S., Potemkin V.G., Neural networks. Matlab 6. Moscow: ZAO «DIALOG-MiFi», 2002. – 490p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ДЛЯ СЕТЕЙ *SMART GRID*

В.К. Сибирцев

Томский политехнический университет

ЭНИН, ЭПП, группа 5АМ5Е

При проектировании электрических сетей невозможно учесть все факторы, такие как перегиб кабеля при прокладке, отличную реальную нагрузку от заданной в проекте, внешние факторы (погодные условия), поэтому при пусконаладочных работах производятся замены защитных аппаратов с другими номинальными величинами. Позже, при эксплуатации производится еще одна регулировка или замена устройств.

Неотъемлемой частью систем электроснабжения являются автоматические выключатели (АВ), которые работают как в номинальных режимах, оперативных коммутаций, так и в аварийных режимах, при коротких замыканиях [1]. С усложнением схем и увеличением чувствительности защищаемого электрооборудования к токовым перегрузкам, к аппаратам защиты повышаются предъявленные требования высокого быстродействия с целью ограничения этих токов.

Так существует несколько способов моделирования защиты электрической сети предприятия: классический способ, который основывается на построении схемы электроснабжения на основе коэффициента спроса (метод характеризуется большим числом допущений и эмпирических коэффициентов) и автоматизированный способ, учитывающий, как векторное распределение электрических величин, так и реальное представление о топологии и геометрии элементов сети.

Автоматизированный способ учитывает следующие факторы: характеристики кабельных линий при изменении температуры, возможность перегиба кабеля при монтаже, изменение погодных условий, которые влекут за собой изменение параметров работы электрооборудования, характеристики защитного оборудования, учитывающие инерцию отключающего механизма. Именно такое представление электрической сети допустимо при построении *Smart Grid* [2]. Часто эти расчетные модули являются интегрированными в *SCADA* системы, на которых строится контроль и управление *Smart Grid*.

В качестве исходных данных для выполнения работы представлена реальная схема электроснабжения жилых домов и нежилых помещений от подстанции ТП 459 Томских городских сетей (рисунок 1), реальная информация по потребителям и нагрузкам, параметры и характеристики электроустановок.

Участок для расчета рабочих токов и токов КЗ принят линия до потребителя ЭП-4.

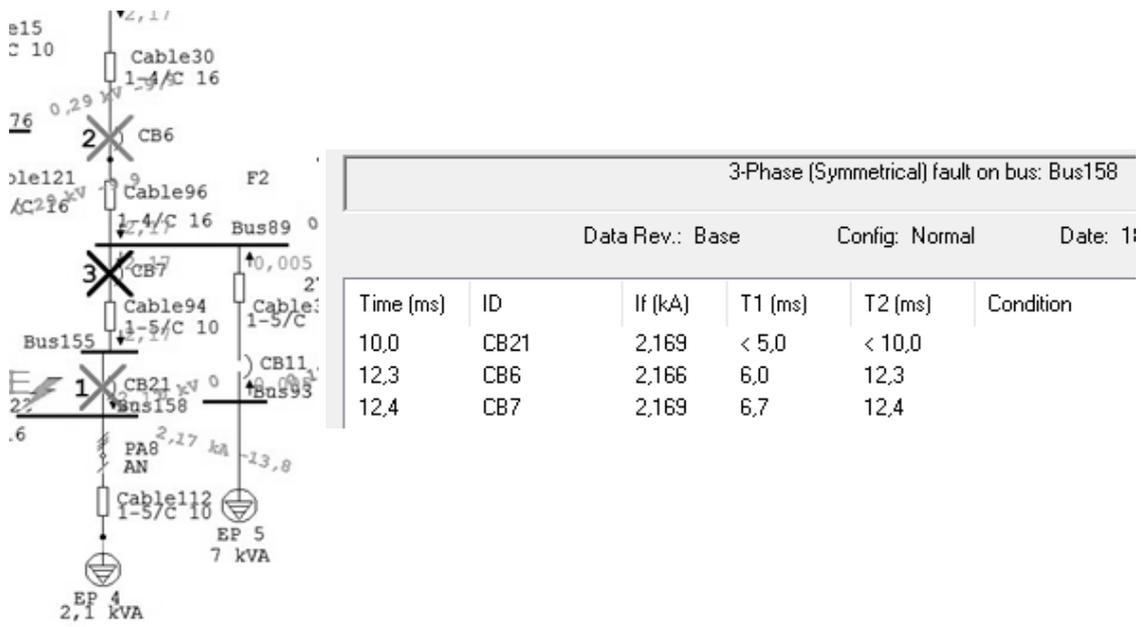


Рисунок 2 – Очередность и время срабатывания автоматических выключателей при КЗ

По полученным данным можно сделать вывод о неселективной работе защитной аппаратуры, а значит не обеспечивается надежность электрической сети в полной мере.

Автоматизированный способ исключает искаженное представление о работе коммутационного оборудования и дает детальное отображение информации о состоянии электрической сети и аппаратов, всех действующих значениях тока и напряжения. На первом этапе расчета обеспечивается полнота данных схемы электроснабжения – вносятся все параметры линий, трансформаторов и коммутационных аппаратов, что является исходными данными для построения карты селективности. Именно возможность учесть те характеристики, которые не учитываются в классическом методе, создает полную картину состояния электрической сети. Соответственно, чем больше факторов учтено, тем точнее будет отстроена защита и тем надежнее будет электрическая сеть.

Для наглядного представления защитных характеристик строится карта селективности (рисунок 3). Характеристики аппаратов защиты представляются более детально, в отличие от классического способа, но является трудозатратным в плане сбора исходных данных по параметрам схемы. Поэтому можно говорить о повышенной точности при построении сетей *Smart Grid* и их защиты, а значит и об уменьшении погрешности при выборе коммутационной аппаратуры, что ведет к уменьшению затрат при монтаже и пуско-наладки.

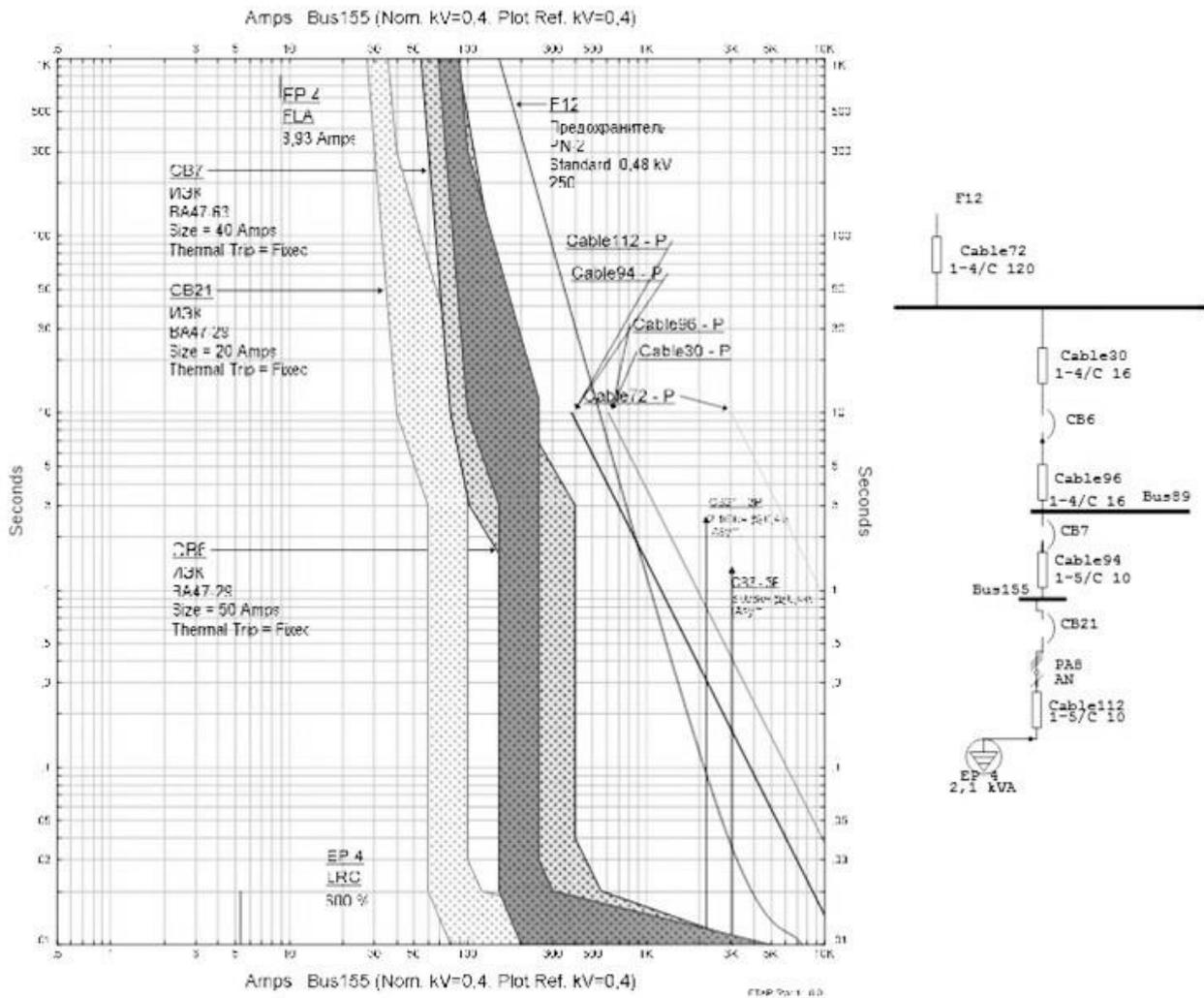


Рисунок 3 – Карта селективности защищаемого участка

ЛИТЕРАТУРА:

1. Аветян А. Г. Особенности применения нерегулируемых автоматических выключателей в осветительных и аналогичных сетях. Дисс. канд. техн. наук. 2006.
2. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208с.
3. Аппараты распредустройств низкого напряжения: справочник / Ч.1. Вып. 1 и 2. Автоматические выключатели до и свыше 630 А. – М.: Патент, 1992. – 308 с.

Научный руководитель: Е.А. Шутов, к.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ УЧРЕЖДЕНИЕМ

А.А. Мегежекская
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП, группа 5АМ63

Одна из статей Федерального закона №261 направлена на вовлечение в процесс повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в целом и электрической энергии в частности – бюджетных учреждений. Цель – стабилизация во времени лимитов бюджетных средств, выделяемых на оплату потребленных энергоресурсов в условиях постоянно растущих тарифов. В связи с этим, важным становится вопрос точности прогнозирования потребления электрической энергии (ЭЭ) на сутки и на год вперед.

Прогнозирование потребления электроэнергии представляет собой сложную многопараметрическую задачу. Потребление ЭЭ зависит от многих факторов: типа дня (рабочий, выходной, праздничный), времени года, погодных условий (температура воздуха, облачность, осадки, туман и т.п.), времени суток и т.д. Зависимость потребления электроэнергии от каждого из этих параметров довольно сложна и не имеет однозначного формального описания. Это подтверждают изыскания других авторов, проводящих научные исследования в этом направлении [1, 2].

Для выявления значимости факторов, рассмотрим влияние среднесуточной температуры [3] и продолжительности светового дня [4] на потребление ЭЭ.

Для выявления зависимости между среднесуточной температурой, продолжительностью светового дня и потреблением построим графики, продифференцированные в зависимости от температуры и от получасовых интервалов времени. Исходные данные за декабрь 2014г. приведены на рисунках 1, 2.

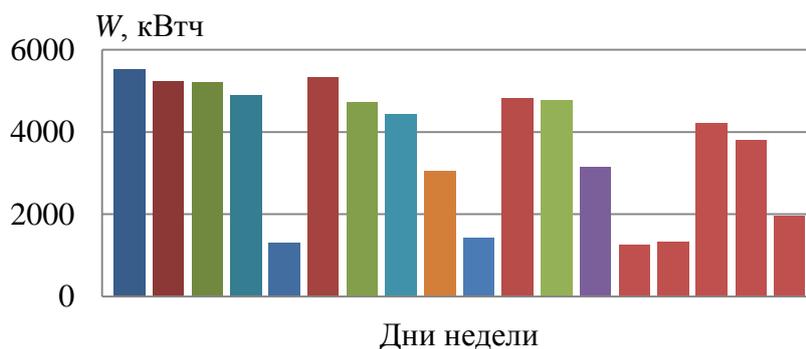


Рис. 1. Диапазон изменения температуры от -21°C до -10°C

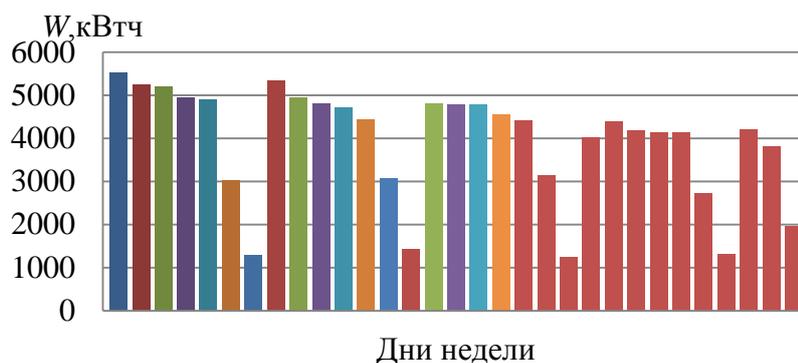


Рис. 2. Диапазон изменения продолжительности светового дня 7ч. 28 мин. до 6 ч. 54 мин.

Из графиков видно, что явной зависимости между среднесуточной температурой и потреблением ЭЭ нет, а между продолжительностью светового дня и потреблением ЭЭ видна незначительная зависимость. Ввиду незначительного изменения продолжительности светового дня в декабре 2014г. потребление ЭЭ не разбито по диапазонам времени, и мы видим, что для одинаковых дней недели потребления ЭЭ практически совпадают.

На втором этапе осуществим обработку данных по потреблению ЭЭ в зависимости от типа дня недели, так как присутствует явная зависимость от линейного учебного графика, что видно из рисунка 3.

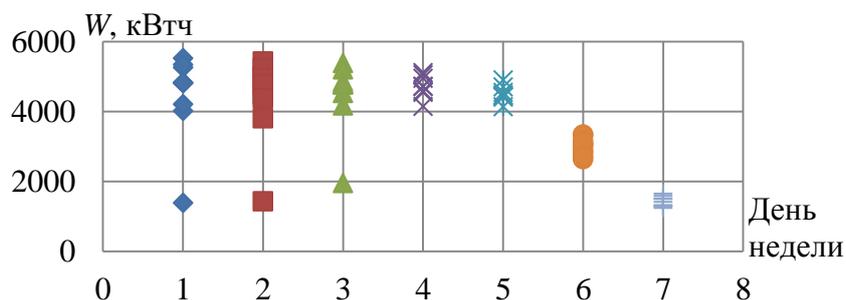


Рис. 3. Потребление ЭЭ по дням недели за ноябрь, декабрь 2014г.

Из графика можно заметить, что имеются отклонения по потреблению ЭЭ в понедельник, вторник и в среду, так как эти дни пришлись на праздники (03.11.2014г., 04.11.2014г., 31.11.2014г.). Потребление ЭЭ в эти дни практически совпадает с потреблением в воскресенье. Для того чтобы зависимость не искажалась, проведем обработку данных по критерию Шовене и отбросим промахи (отклонения) [5].

Пример обработки данных для понедельника. Посчитаем среднее потребление за все ПН:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{1380,33 + 4822,64 + \dots + 5336,37 + 4816,71 + 4200,01}{9} = 4460,8 \text{ кВтч,}$$

где x_i - потребление ЭЭ за i -ый понедельник, кВтч; n - количество понедельников за ноябрь, декабрь 2014г.

По рисунку видно, что аномальным потреблением за все ПН является потребление за 03.11.2014г. Тогда $x_k = 1380,33$ кВтч.

Определим среднее квадратичное отклонение:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(1380,33 - 4460,8)^2 + \dots + (4200,11 - 4460,8)^2}{n-1}} = 1257,75 \text{ кВтч.}$$

Вычислим относительное отклонение случайной величины:

$$Z = \frac{|x_k - \bar{x}|}{S_x} = \frac{|1380,33 - 4460,8|}{1257,75} = 2,45.$$

При $Z=2,45$ $M=34-36$, так как $M=34 > N=9$ потребление за 03.11.2014г. считается промахом и его можно исключить из данных. По остальным дням недели проведем аналогичную обработку данных. Далее определим долю потребления всех дней недели по отдельности от общего потребления. Пример приведен для ПН.

$$\sum W_{ПН} = 4822,64 + \dots + 4200,01 = 38766,91 \text{ кВтч,}$$

$$\sum W_{ПН\%} = \frac{\sum W_{ПН}}{W_{\Sigma 1}} \cdot 100\% = \frac{38766,91}{224356,42} \cdot 100\% = 17,28\%.$$

Табл. 1. Долевые и средние значения потребления ЭЭ по дням недели за ноябрь, декабрь 2014г.

	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	ВС
$\sum W_{ПН}, \text{ кВтч}$	38766,91	38053,25	38459,26	37777,80	31584,99	26939,75	12774,46
$\sum W_{ПН\%}, \%$	17,28	16,96	17,14	16,84	14,08	12,01	5,69
	4845,86	4228,14	4807,41	4722,22	4512,14	2993,14	1419,38

Для повышения точности прогноза из дальнейших расчетов исключим «выпадающие» данные, приходящиеся на праздничные дни. А потребление ЭЭ в эти дни примем равным среднему потреблению в воскресный день 2014г – $\bar{W}_{ВС} = 1419,38, \text{ кВтч.}$

$$W_{\Sigma 2} = W_{\Sigma 2} - 2 \cdot \bar{W}_{ВС} = 230756,55 - 2 \cdot 1419,38 = 227953,45 \text{ кВтч.}$$

Теперь определим суммарное потребление дней недели $\sum W$, предполагая, что они составляют от общего потребления за ноябрь, декабрь 2015г. столько же, сколько и дни недели за 2014 г.

$$\sum W_{ПН} = \frac{\sum W_{ПН\%} \cdot W_{\Sigma 2}}{100} = \frac{17,28 \cdot 227953,45}{100} = 39382,28 \text{ кВтч.}$$

Табл. 2. Спрогнозированные данные для ноября, декабря 2015г.

	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	ВС
$\sum W_i, \text{ кВтч}$	39382,28	38657,3	39069,75	38377,47	32086,36	27367,38	12977,24
$\sum W_i\%, \%$	17,28	16,96	17,14	16,84	14,08	12,01	5,69
$\bar{W}, \text{ кВтч}$	4375,81	4832,16	4883,72	4797,18	4583,77	3420,92	1441,92

Теперь необходимо сопоставить прогнозные значения с действительными, определить погрешность отклонения действительных данных от прогноза. Для этого также обрабатываем данные за ноябрь, декабрь 2015г. по критерию Шовене.

Далее определим среднее потребление за дни недели с удалением промахов и погрешности отклонений действительных данных от прогноза.

Относительная погрешность потребления ЭЭ:

$$\delta = \frac{|\bar{W}_{\text{прог}} - \bar{W}_{\text{действ}}|}{\bar{W}_{\text{действ}}} \cdot 100\% = \frac{|4375,81 - 4671,55|}{4671,55} \cdot 100\% = 6,63\%.$$

Табл. 3. Погрешность отклонений данных

	ПН	ВТ	СР	ЧТ	ПТ	СБ	ВС
$\bar{W}_{\text{действ}}$, кВтч	4671,55	4674,27	4650,47	4535,13	4463,04	2859,94	1350,51
\bar{W} , кВтч	4375,81	4832,16	4883,72	4797,18	4583,77	3420,92	1441,92
δ , %	6,63	3,38	5,02	5,78	2,71	19,62	6,77

Заключение

Значительная погрешность в субботний день обусловлена нестабильным рабочим процессом корпуса: количеством пар в течение дня, занятость аудиторий и работой научно-исследовательских лабораторий. Для уменьшения ошибки прогноза в субботний день необходимо увеличить количество влияющих факторов.

Задача стабилизации во времени лимитов бюджетных средств, или, хотя бы уменьшение темпов роста объемов платежей за электрическую энергию напрямую связана с подходами, используемыми при прогнозировании объемов потребления ЭЭ на краткосрочную перспективу.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Е. А. Шутов, Д. Е. Бабинович, Т. Н. Кирилова, Т. Е. Турукина. Роль прогнозирования в энергоэффективности предприятий // Энергобезопасность и энергосбережение. - 2012. - №. 6. - С. 27-33
2. Розен В.П., Ткаченко В.Ф. Энергетический мониторинг высших учебных зданий // Проблемы региональной энергетики.- 2013. - №22.- С. 22
3. Gismeteo [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.gismeteo.ru/diary/4652/2014/12/>, - свободный.- Загл. с экрана.
4. Dateandtime.info [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.dateandtime.info/ru/citysunrisesunset.php?id=1489425&month=12&year=2014>, - свободный.- Загл. с экрана.
5. Савчук В.П. Обработка результатов измерений. Физическая лаборатория. Ч1: Учеб. пособие для студентов вузов. - Одесса: ОНПУ, 2002. – 54 с.

Научный руководитель: Г. Н. Климова, к.т.н., доцент, каф. ЭПЭ ЭНИН ТПУ.

СВЕТОДИОДНАЯ ЛАМПА ДЛЯ МЕСТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ С БЕЗОПАСНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ 36 ВОЛЬТ

К.Н. Афонин, В.С. Каменкова

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

На сегодня, в связи с интенсивным развитием светодиодных технологий [1-3] на рынке представлен широкий ассортимент светодиодной продукции. Светодиодные технологии позволяют создавать безопасное, эффективное и надёжное освещение. В такой области применения как местное освещение представлен ряд светодиодных ламп отечественного и зарубежного производства. Как правило, такие лампы имеют направленную кривую силы света прожекторного типа, что не всегда подходит к существующему оборудованию (светильникам для освещения станков, изготовленным для применения ламп накаливания). Существующее поколение светодиодных ламп основано на типовой конструкции лампы накаливания, где вместо нити накала применяются светодиодные излучающие элементы нитевидного типа (СИЭ), а в цоколе расположен миниатюрный источник питания. Такие лампы имеют не направленную кривую силы света и в целом подходят для замены ламп накаливания в существующих конструкциях светильников.

Перспективным направлением разработки светодиодных ламп на основе СИЭ является низковольтное питание. Применение таких ламп возможно для освещения помещений с высокой влажностью, промышленных и иных объектов, где предъявляются высокие требования к электробезопасности.

Разработка такой лампы и организация её производства в России являются важными направлениями в импортозамещении, так как в дальнейшем, после ряда испытаний такие лампы могут применяться на особо опасных объектах стратегического назначения.

Именно по этим причинам разработка светодиодной лампы для местного освещения с безопасным напряжением 36 В является актуальной.

Целью работы является создание светодиодной лампы для местного освещения с напряжением питания 36 В переменного тока промышленной частоты.

Для достижения цели следует решить следующие задачи:

- анализ функциональных аналогов, анализ и выбор материалов и комплектующих, патентный поиск;
- анализ современных технологий в части получения высокой надёжности и электробезопасности;
- разработка эскизной конструкторской документации.

В части применения современных технологий автоматизированного проектирования в процессе разработки конструкции лампы для обеспечения равномерности светового потока необходимо провести моделирование светотехнических характеристик по размещению СИЭ в колбе лампы. Для обеспечения тепловых режимов работы лампы, что определяет её надёжность, необходимо

провести моделирование тепловых характеристик с целью эффективного расположения кристаллов СИЭ.

У коллектива авторов есть задел в области создания светодиодных ламп на основе СИЭ.

В процессе работы проведён анализ функциональных аналогов, анализ и выбор материалов и комплектующих, патентный поиск, анализ современных технологий в части получения высокой эффективности, высокой надёжности и электробезопасности, разработана эскизная конструкторская документация.

Конструкция лампы (рис. 1) представляет собой колбу лампы, в которой расположены четыре СИЭ, смонтированные на опорной конструкции, опорная конструкция впаяна в цоколь и колбу, в цоколе расположено устройство питания.



Рис. 1. Фотография макета светодиодной лампы

На рисунке 2 представлена конструкция СИЭ, которая состоит из основания (1), торцевых выводов (2), последовательно соединённых светодиодных кристаллов (кристаллы планарного типа на основе твёрдых растворов GaN, выращенные на сапфировой подложке) (3), приклеенных теплопроводящим клеем (4). Светодиодные кристаллы соединены последовательно металлическими проволоками (5). Основание с кристаллами окружено люминофорной композицией (на рис. 2 не показано) [4].

Технологический процесс сборки СИЭ выглядит следующим образом:

1. На металлическое основание приклеивают нитридные кристаллы планарного типа (рис. 3). Габаритные размеры кристаллов составляют $650 \times 225 \times 110$ мкм³, номинальное напряжение составляет 3,2 В.
2. Контакты кристаллов соединяют между собой последовательно при помощи ультразвуковой микросварки [5,6].
3. Для получения белого света свечения полученную конструкцию заливают компаундом, смешанным с люминофором. Компаунд представляет собой оптически прозрачный двухкомпонентный силиконовый каучук. Люминофор имеет максимум излучения на длине волны $\lambda = 555$ нм при возбуждении монохроматическим источником излучения с длиной волны $\lambda_{ex} = 460$ нм.

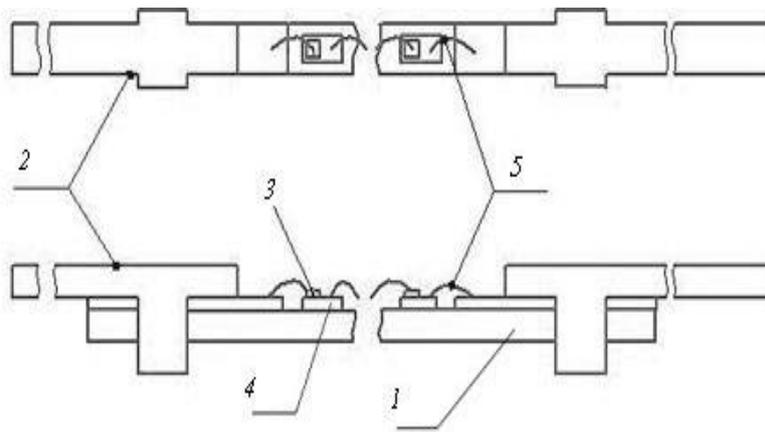


Рис. 2.

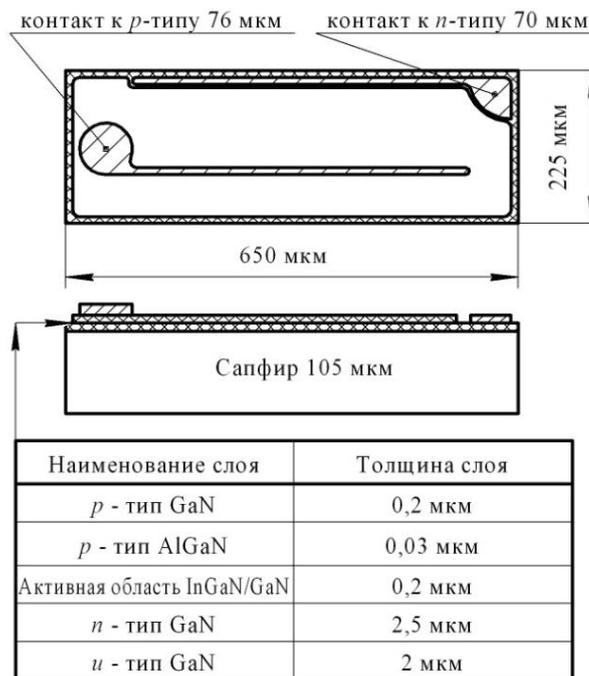


Рис. 3. Структура кристалла

Табл. 1. Технические характеристики лампы

Электрическая мощность	4Вт
Световой поток	480Лм
Световая отдача	120 Лм/Вт
Цветовая температура	4000 – 4500 К
Коэффициент пульсаций	<10%

Измерение значения потребляемой мощности проводилось с помощью ваттметра (погрешность измерения не более $\pm 1\%$). Для измерения светового потока был использован фотометрический шар (погрешность измерения не более $\pm 10\%$). Значение цветовой температуры определялось с помощью спектроколориметра «ТКА – ВД» (погрешность измерения не более $\pm 5\%$).

Разработана конструкция, изготовлены и испытаны макетные образцы светодиодных ламп общего назначения с напряжением питания 220 В. По сравнению с зарубежными аналогами разработанная лампа имеет более высокое значение световой отдачи (120 Лм/Вт) и имеет большую равномерность распределения силы света в пространстве.

Таким образом, на данном этапе работы был проведён анализ функциональных аналогов, анализ и выбор материалов и комплектующих, разработана эскизная конструкторская документация низковольтной лампы. Далее планируется изготовление макетных образцов, проведение исследовательских испытаний макетных образцов и анализ полученных результатов. По результатам анализа будет проведена оптимизация конструкции и технологического процесса изготовления лампы.

Работа выполнена в рамках проекта ГПО РЭТЭМ-1501, поддержана Минобрнауки России в рамках проекта RFMEFI57714X0061.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шуберт, Ф. Светодиоды / Ф. Шуберт; пер. с англ. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
2. Берг, А. Светодиоды / А. Берг, П. Дин; пер. с англ. А.Э. Юновича. – Москва: Мир, 1979. – 205 с.
3. Туркин, А. Новое поколение мощных светодиодов Cree: особенности, преимущества, перспективы / А. Туркин, Ю. Дорожкин // Полупроводниковая светотехника, 2012. - №5. – С. 36-41.
4. Солдаткин В.С. Анализ срока службы светодиодных излучающих элементов / В.С. Солдаткин, Ю.В. Ряполова, К.Н. Афонин, А.Ю. Олисовец, В.И. Туев // Доклады ТУСУРа. – 2015. – №3. – С. 55 - 61.
5. Ланин, В. Мониторинг процесса ультразвуковой микросварки методом частотно-временного анализа вибраций инструмента / В. Ланин, И. Петухов // Технологии в электронной промышленности, 2011. - №5. – С. 52-56.
6. Кудряшов, И. Технология микросварки проволочных выводов / И. Кудряшев // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы, 2007. - №5. – С. 1-6.

Научный руководитель: В.С. Солдаткин, к.т.н., доцент ТУСУР.

РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИБКОГО ОСИД – СВЕТИЛЬНИКА

Д.А. Решетов, Д.В. Коваленко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

В настоящее время приоритетным направлением исследований в области изготовления электронных устройств является струйная печать. Использование функциональных возможностей струйной печати чрезвычайно широко и предполагает применение материалов разной структуры, свойств и возможностей воспроизведения топологии.

Можно нанести, например, токопроводящие дорожки печатной платы на гибкое диэлектрическое основание. Полученный продукт, гибкая печатная пла-

та, будет иметь преимущества, в сравнении с печатными платами на стеклотекстолите, гетинаксе или на другом диэлектрическом основании. Также существует много причин использования гибких печатных плат в качестве средства межсоединений в электронных устройствах. В некоторых случаях, когда необходима устойчивость гибких печатных плат к динамическим нагрузкам, использование таких печатных плат очевидно, в этом они не имеют альтернативы. Мало того, что малая толщина гибких печатных плат привлекательна сама по себе, возможность ее складывать за счет гибкости также позволяет сокращать объемы и габариты электронных устройств. [1]

Методом струйной печати можно наносить многослойные органические структуры. Такими являются тонкоплёночные транзисторы, органические светоизлучающие диоды (ОСИД) и т.д.

На данном этапе развития технологий средств отображения информации ОСИД – устройства конкурируют с завоевавшими мировой рынок и вытеснившими громоздкие кинескопы жидкокристаллическими дисплеями (LCD). В этой области приборы на основе органических светодиодов имеют неоспоримые преимущества:

- меньшие габариты и вес;
 - отсутствие подсветки и обогрева при пониженных температурах;
 - более качественная цветопередача, обеспечиваемая высокими значениями контрастности (более 100000:1);
 - более низкое энергопотребление при той же яркости;
 - малая рассеиваемая мощность светящейся поверхности (менее 0.01 Вт/см²);
 - наличие такого свойства, как гибкость панели;
 - возможность получения изображения на прозрачном экране;
 - широкий диапазон рабочих температур (от –40 до +100°С);
 - возможность создания светящихся поверхностей большой площади.
- [2]

Целью данной работы является исследование и разработка технологии нанесения катода методом принтерной печати.

Структура ОСИД представляет собой многоуровневую структуру, состоящую из нескольких слоёв, а именно:

1. Анод.
2. Транспортный дырочный слой.
3. Светоизлучающий слой.
4. Транспортный электронный слой.
5. Катод.

Структура ОСИД в гибком светильнике будет состоять из четырёх слоёв – светоизлучающий слой будет совмещён с транспортным электронным слоем.

[3]

На данный момент на кафедре РЭТЭМ имеется оборудование (рисунок 1), при помощи которого были нанесены следующие слои:

1. Анод.

2. Транспортный дырочный слой.
3. Светоизлучающий транспортно–электронный слой.

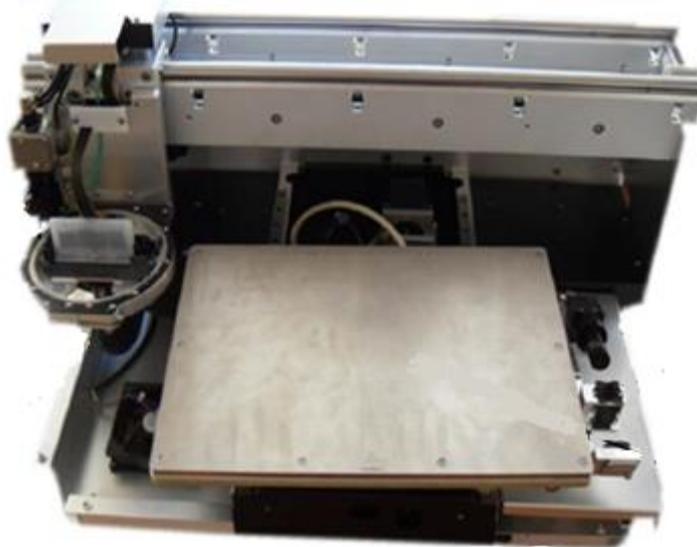


Рис. 5. Аппаратно–программный комплекс

Некоторые результаты, представлены ниже.

Напечатан анод тремя разными способами одним и тем же раствором на подготовленной стеклянной подложке. Оценено сопротивление напечатанных дорожек.

Способ №1 (рисунок 2, рисунок 3). Однослойная дорожка $2 \times 30 \text{ мм}^2$. Капли не перекрывают друг друга. Запекание 10 минут при 100°C . Сопротивление 270 кОм .

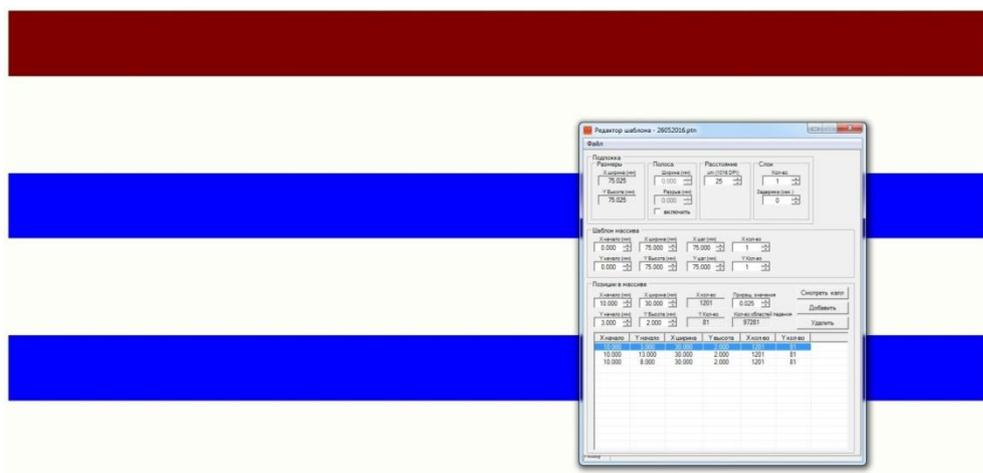


Рис. 2. Схематичное расположение дорожек

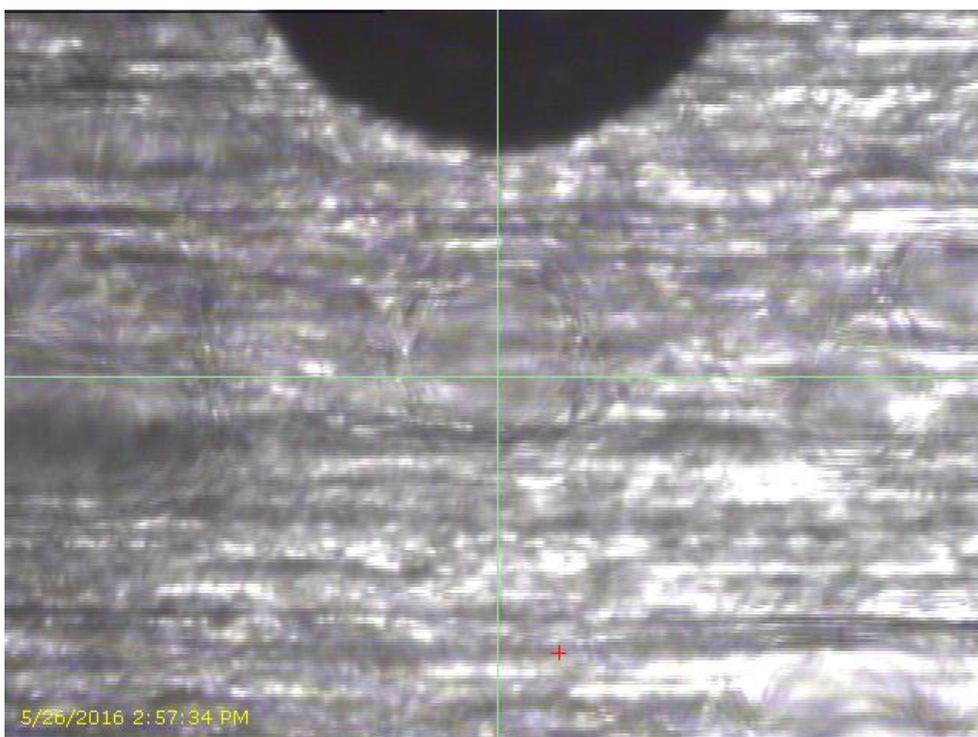


Рис. 3. Фотография напечатанного слоя

Способ №2 (рисунок 4). Двухслойная дорожка $2 \times 30 \text{ мм}^2$. Первый слой – капли не перекрывают друг друга; второй слой – печать капель в промежутках между каплями первого слоя (сдвиг вправо). Запекание 10 минут при 100°C . Сопротивление 170 кОм.

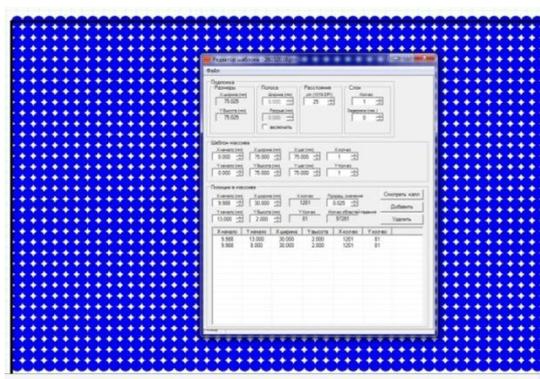


Рис. 4. Схематичное расположение капель в дорожке

Способ №3. Трехслойная дорожка $2 \times 30 \text{ мм}^2$. Первый слой – капли не перекрывают друг друга; второй слой – печать капель в промежутках между каплями первого слоя (сдвиг вправо). Третий слой – сдвига нет. Запекание 10 минут при 100°C . Сопротивление 5,8 кОм.

Таким образом, для создания ОСИД по технологии сквозной струйной печати необходимо дополнительно:

1. Провести анализ материалов для катода.
2. Приобрести оборудование для принтерного нанесения катода.

Выполнение этих действий приведёт к завершению разработки технологии по созданию ОСИД методом сквозной струйной печати, что позволит создать прототип гибкого ОСИД-светильника и приступить к коммерциализации разработки.

Работа выполнена в рамках группового проектного обучения, группа РЭТЭМ–1602.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Медведев А. М. Печатные платы. Конструкции и материалы. М.: Москва: Техносфера, 2005.
2. Бочкарев М.Н., Витухновский А.Г., Каткова М.А. Органические светоизлучающие диоды (ОСИД) / Н. Новгород: ДЕКОМ, 2011. – 351 с.
3. Ванников А.В., Гришина А.Д., Новиков С.В. Электронный транспорт и электролюминесценция в полимерных слоях // Успехи химии. – 1994. – № 63. – С. 107.

Научный руководитель: В.И. Туев д.т.н. ТУСУР.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КУБИЧЕСКОГО КАРБИДА ВОЛЬФРАМА WC_{1-x} , ПОЛУЧЕННОГО ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

¹К.Н. Шатрова, ²И.И. Шаненков
^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН ЭПП, ¹группа 5АМ5Е

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается увеличение использования децентрализованных источников электроэнергии. Топливные элементы рассматриваются в качестве автономных источников электроснабжения жилых, общественных и промышленных зданий, источников бесперебойного питания, резервных и аварийных источников электроснабжения. Главными достоинствами топливных элементов являются высокий КПД электрохимического преобразования энергии и отсутствие вредных выбросов. Однако их широкому применению препятствует ряд факторов, основным из которых является дороговизна произведенной электроэнергии. Высокая стоимость электроэнергии, вырабатываемой водородными топливными элементами, обусловлена использованием электродов с нанесенным на них платиновым катализатором. Таким образом, в настоящее время разработка недорогого электрокатализатора с высокой активностью для окисления водорода в топливных элементах является важной задачей [1–4].

С тех пор как R.V. Levy and M. Boudart [5] теоретически доказали, что карбид вольфрама обладает каталитическими свойствами, аналогичными металлам платиновой группы для некоторых химических реакций, ученые стали активно предпринимать попытки его применения в качестве катализатора для окисления водорода. Это также обусловлено тем, что карбид вольфрама является более дешевым и доступным материалом по сравнению с платиной.

На настоящий момент предлагаются различные методы получения карбидов вольфрама для создания катализатора на его основе. V.M. Nikolic, D.L.

Zugic et al. получили наночастицы карбида вольфрама из оксида вольфрама WO_3 путем добавления к нему формальдегида, резорцинола, воды и карбоната натрия с последующим перемешиванием, высушиванием и обработкой в потоке аргона [6]. Полученный таким образом карбид вольфрама модифицировали 10 % платинового электрокатализатора путем щелочного восстановления $NaBH_4$ из H_2PtCl_6 . Синтезированный катализатор имеет почти такую же эффективность и поведение, что и коммерческий платиновый [7]. Каталитические свойства композитов Pt/WC/C, состоящих из карбида вольфрама WC и углерода C, полученных методом пропитки, с последующей модификацией платиной Pt, исследовались в отношении реакции окисления водорода для использования в топливных элементах. Полученный композитный материал Pt/WC/C проявляет высокую стабильность особенно при высоких температурах [8].

В данной работе предлагается метод получения кубической фазы карбида вольфрама WC_{1-x} в процессе прямого плазмодинамического синтеза для дальнейшего его использования в качестве электрокатализатора для окисления водорода.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Предлагаемый способ получения WC_{1-x} основан на использовании коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) [9]. Более подробно методика проведения эксперимента представлена в нашей работе [10].

В качестве исходного реагента использовался порошок вольфрама, который закладывался в зону формирования плазменной структуры сильноточного дугового разряда.

Импульсное электропитание КМПУ осуществлялось от емкостного накопителя энергии емкостью 6,0 мФ и зарядным напряжением 3,0 кВ. При подключении источника питания разрядный ток протекал по порошкообразной вольфрамовой перемычке. В результате этого, исходный материал переходил в плазменное состояние и ускорялся в графитовой коаксиальной системе, откуда поступал углерод, образуя вольфрам-углеродную плазму.

Плазменный выстрел производился в камеру-реактор, заполненную аргоном при нормальных условиях.

Рентгеновская дифрактометрия (XRD) проведена с помощью рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD7000. Просвечивающая электронная микроскопия (ТЕМ) продукта синтеза выполнена с помощью микроскопа JEOL JEM 2200 F. Электрокаталитические свойства синтезированного карбида вольфрама исследовались с помощью электрохимического анализатора Potentiostat CHI760e (CH Instruments).

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно рентгеновской дифрактограмме, представленной на рисунке 1, в порошке, полученном методом плазмодинамического синтеза, основной фазой является кубический карбид вольфрама WC_{1-x} . А также обнаружено небольшое содержание гексагонального карбида вольфрама W_2C . Количественный анализ показал, что содержание кубического карбида вольфрама составляет 95%.

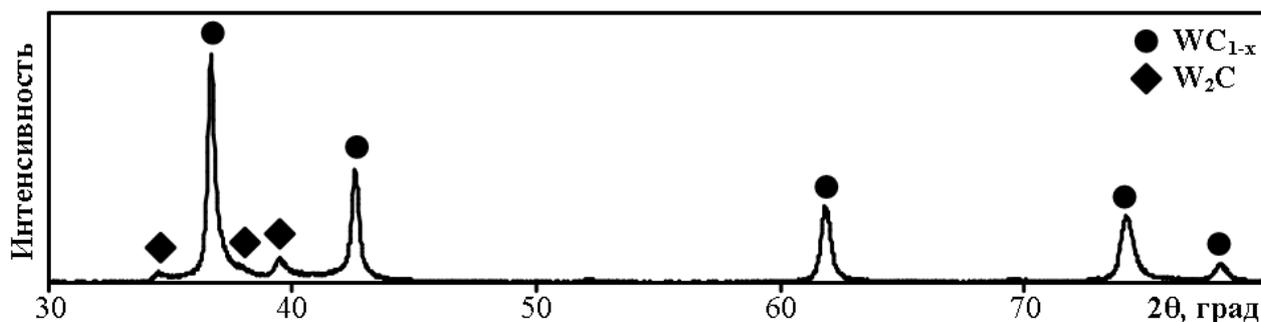


Рис. 1. Результаты рентгеновской дифрактометрии продукта плазмодинамического синтеза

Результаты просвечивающей электронной микроскопии продукта синтеза показали, что материал состоит из двух типов объектов: первый – округлые темные частицы размером менее 100 нм, соответствующие фазе кубического карбида вольфрама; второй – менее плотные объекты, представляющие собой графитовую матрицу (рисунок 2). На дифрактограмме отсутствуют углеродные максимумы, так как он находится в аморфном состоянии.

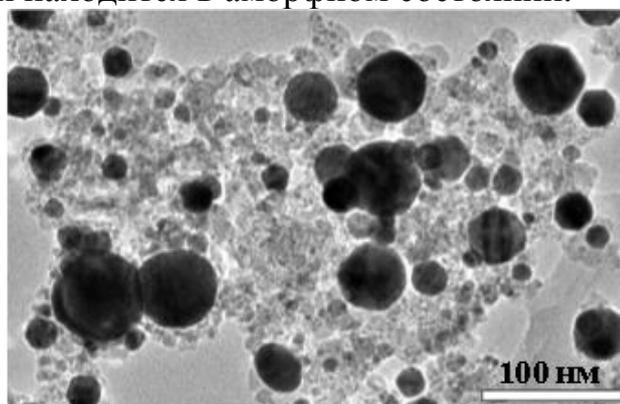


Рис. 2. Результаты просвечивающей электронной микроскопии продукта плазмодинамического синтеза

На рисунке 3 приведены циклические вольтограммы стеклоуглеродного рабочего электрода электрохимического анализатора при отсутствии на нем катализатора, при нанесении на него синтезированного карбида вольфрама и при использовании промышленного каталитического материала HISPEC 3000. Согласно результатам исследований (рисунок 3), кривая цикловольтограммы, полученная при использовании кубического карбида вольфрама, имеет площадь, в несколько раз большую, чем при использовании традиционного платинового катализатора. Это свидетельствует о том, что WC_{1-x} является более активным электрокатализатором для реакции окисления водорода, что обуславливает перспективность его использования в топливных элементах.

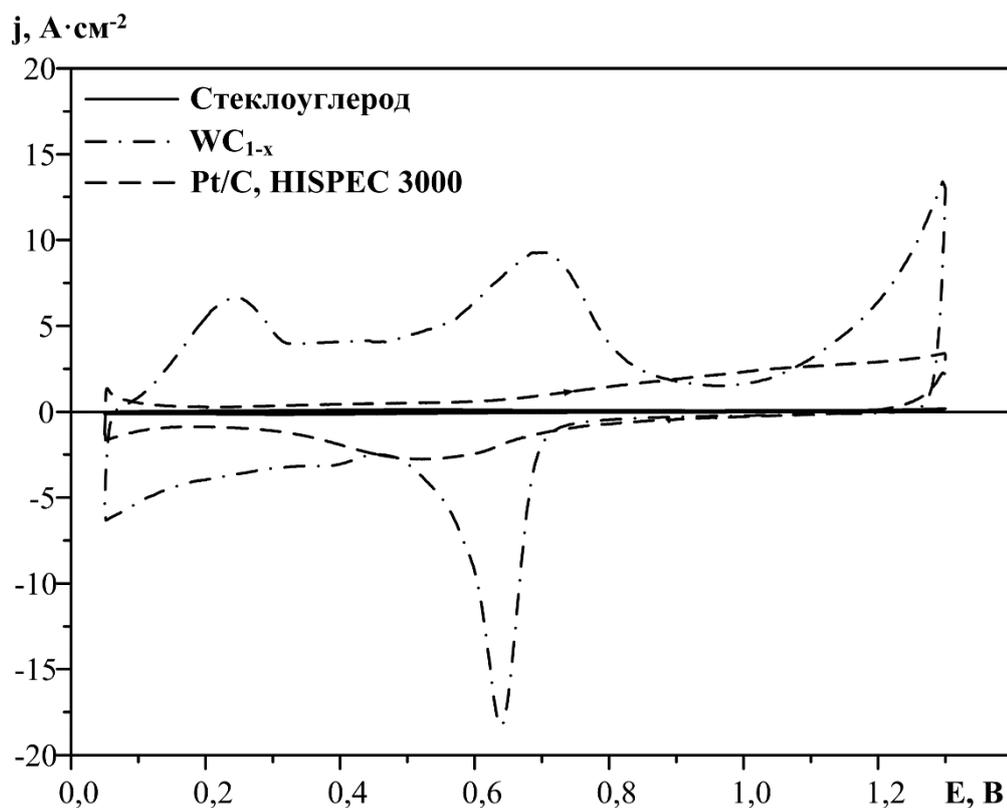


Рис. 3. Результаты циклической вольтамперометрии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе показана возможность синтеза плазмодинамическим методом порошка кубического карбида вольфрама WC_{1-x} . Полученный материал представляет собой округлые частицы размером до 100 нм, расположенные в углеродной матрице. Обнаружено, что каталитическая активность карбида вольфрама WC_{1-x} выше, чем у промышленного платинового катализатора. Это позволяет рассматривать синтезированный материал в качестве альтернативного катализатора в водородных топливных элементах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Hara Y., Minami N., Itagaki H. Synthesis and characterization of high-surface area tungsten carbides and application to electrocatalytic hydrogen oxidation // *Applied Catalysis A: General*.- 2007.- N 323.- P. 86-93.
2. Kim J., Jang J.-H., Lee Y.-H., Kwon Y.-U. Enhancement of electrocatalytic activity of platinum for hydrogen oxidation reaction by sonochemically synthesized WC_{1-x} nanoparticles // *Journal of Power Sources*.- 2009.- N 193(2).- P. 441-446.
3. Jang J.-H., Kim J., Lee Y.-H., Pak Ch., Kwon Y.-U. Sonochemical synthesis of tungsten carbide-palladium nanocomposites and their electrocatalytic activity for hydrogen oxidation reaction // *Electrochimica Acta*.- 2009.- N 55(2).- P. 485-490.

4. Kuznetsov G.V., Feoktistov D.V., Orlova E.G., Batishcheva K.A. Regimes of water droplet evaporation on copper substrates // Colloid Journal.- 2016.- N 78.- P. 335-339.
5. Levy R.B., Boudart M. Platinum-like behavior of tungsten carbide in surface catalysis // Science.- 1973.- N 181.- P. 547-549.
6. Elezovic N.R., Babic B.M., Ercius P., Radmilovic V.R., Vracar Lj.M., Krstajic N.V. Synthesis and characterization Pt nanocatalysts on tungsten based supports for oxygen reduction reaction // Applied Catalysis B: Environmental.- 2012.- N 125.- P. 390-397.
7. Nikolic V.M., Zugic D.L., Perovic I.M., Saponjic A.B., Babic B.M., Pasti I.A., Marceta Kaninski M.P. Investigation of tungsten carbide supported Pd or Pt as anode catalysts for PEM fuel cells // International Journal of Hydrogen Energy.- 2013.- N 38(26).- P. 11340-11345.
8. Hassan A., Paganin V.A., Ticianelli E.A. Pt modified tungsten carbide as anode electrocatalyst for hydrogen oxidation in proton exchange membrane fuel cell: CO tolerance and stability // Applied Catalysis B: Environmental.- 2015.- N 165.- P. 611-619.
9. Сивков А.А., Пак А.Я. // Патент РФ № 2431947. H05H 11/00, F41B 6/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель. Оpubл. 20.10.2011. Бюл. N 29.
10. Pak A., Sivkov A., Shanenkov I., Rahmatullin I., Shatrova K. Synthesis of ultrafine cubic tungsten carbide in a discharge plasma jet // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials.- 2015.- N 48.- P. 51-55.

Научный руководитель: А.А. Сивков, д.т.н., профессор каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

ОРГАНИЧЕСКИЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

И.С. Банщикова, О.С. Дмитриенко

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Современная энергетика является топливной и более чем на 90% базируется на использовании природных ископаемых, запасы которых на планете ограничены. Это определяет, с одной стороны, необходимость энергосбережения и разработку высокоэффективных методов добычи и переработки всех доступных ископаемых топлив, а с другой – поиск новых источников энергии. В связи с этим на Солнце можно взглянуть как на неиссякаемый источник энергии, который будет светить еще миллиарды лет. В связи с этим на Солнце можно взглянуть как на неиссякаемый источник энергии, который будет светить еще миллиарды лет. Самым распространенным и эффективным методом преобразования солнечной энергии являются солнечные батареи. Существуют неорганические и органические фотоэлементы. Последние, органические, дешевле в производстве, у них меньшие габариты, легкий вес, компактность, по сравнению с неорганическими фотоэлементами [1].

Целью данной работы является экспериментальная отработка технологии нанесения слоев органического фотоэлектрического преобразователя с помощью метода нанесения тепло и токопроводящих материалов принтерной печатью на гибкую подложку.

Задачи проекта: аналитический обзор литературы, патентов, аналогичных проектов. Разработать конструкцию макета. Выбрать материалы для использования. Изготовить макет и провести эксперимент.

В процессе работы проведён анализ функциональных аналогов, анализ и выбор материалов и комплектующих, проведен патентный поиск, отработан метод нанесения материала транспортного слоя.

В результате выбрана последовательность нанесения слоев, представленная на рисунке 1.



Рис. 1. Последовательность нанесения слоев

Подложка (стекло). ITO (оксид индия олова) служит анодом, пропускающим свет. Слой PEDOT:PSS наносят для лучшего электрического контакта между активным слоем и ITO. Активный слой состоит из поли (3-гексил) тиофен (P3HT) (полимер) и [6,6] фенил метил - С61 бутановой кислоты сложного эфира (PCBM) (производное фуллерена). При поглощении света в активном слое образуются носители заряда. Благодаря электрическому полю, возникающему из-за различных работ выхода электродов (анода и катода), эти заряды транспортируются и уходят во внешний контур. Таким образом, органический солнечный фотоэлемент преобразует свет в электричество. Активный слой служит для преобразования энергии фотонов в электрический свет. AI (Алюминий) – катод, который служит как электрод для снятия электрического тока.

Отработана технология нанесения PEDOT:PSS методом плоттерной печати. На рисунке 2 иллюстрируется нанесение чернил капиллярным дозатором топологического элемента в виде линий на поверхность подложки.

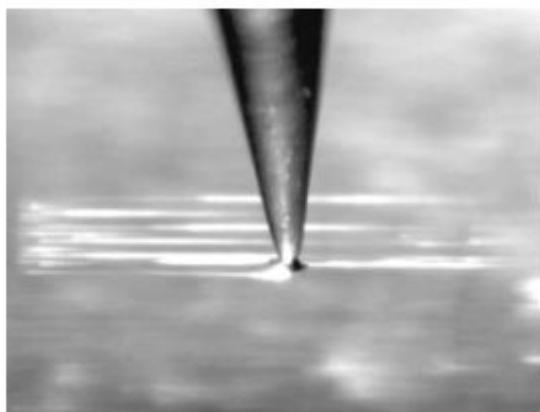


Рис. 2. Нанесение чернил в виде линий на поверхность подложки капиллярным дозатором плоттера

Для оценки технических характеристик метода плоттерной печати исследовалась зависимость параметров пленки от скорости перемещения печатающей головки. В векторном редакторе SonoDraw, ориентированном на работу с GIX Microplotter II, были подготовлены топологические примитивы: одиночные линии длиной 3 мм; полигоны в виде прямоугольников длиной 3 мм и шириной 0,5 мм, выполненные путем печати перекрывающихся линий с шагом 20 мкм; субпиксели (отрезки линий длиной 0,2 мм).

Большое значение для реализации печати имеют свойства растворов материалов, которые часто называют чернилами по аналогии с хорошо освоенными методами струйной печати текстов и изображений. Задача приготовления и исследования свойств растворов решается с применением хорошо отработанной технологии изготовления органических светодиодов методом центрифугирования. Это позволило определить основные параметры растворов и органических светоизлучающих диодов на их основе. Экспериментальные результаты, полученные таким образом, позволили в дальнейшем перейти к применению растворов при обработке технологии печати с помощью плоттеров. Печать транспортного (дырочного) слоя. В качестве чернил использовался PEDOT:PSS марки M121 (Ossila), водный раствор органического полупроводника с дырочным типом проводимости. Подложка – кварцевое стекло марки S113 50×50×1,0 мм³ со слоем ITO 100 нм (Ossila). После нанесения слоя чернил подложка подвергалась отжигу в инфракрасной конвекционной печи «Аверон Тропик» при температуре 150 °С в течение пяти минут. На рис. 3 представлена микрофотография первых полученных пленок. На микрофотографии видно, что пленка непрерывна, обеспечивает заданную топологию, но недостаточно однородна и значительно по данному параметру уступает пленкам, получаемым методом напыления.

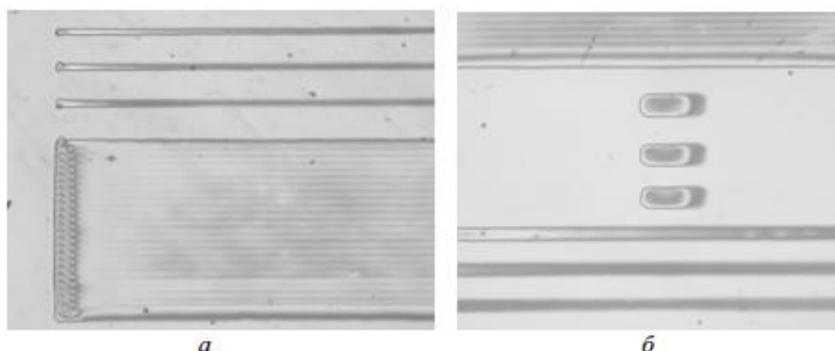


Рис. 3. Микрофотография напечатанного слоя: а – линии и полигоны; б – полигоны, субпиксели, линии

Тем не менее, как видно из рисунка 3, плоттер обеспечивает достаточную для практических целей повторяемость печати. Толщина пленки для одиночных линий и субпикселей находится на уровне 80–90 нм, средняя толщина пленки полигона – на уровне 120 нм, что превышает необходимое значение в два раза. Поэтому была проведена отработка технологических режимов нанесения пленок PEDOT:PSS путем изменения параметров работы плоттера. Вариация скорости перемещения дозатора и изменение расстояния между наносимыми линиями при значении действующего напряжения на пьезоэлементе, равном 1 В, позволили получить среднюю толщину пленки PEDOT:PSS около 60 нм. Параметрами образования пленки для печати полигона оказались печать перекрывающихся линий с шагом 20 мкм при скорости перемещения дозатора 100 мм/с. Этот результат обеспечивает хорошее приближение к требованиям по толщине транспортного слоя, предъявляемым при изготовлении органических светодиодов.

Таким образом, был проведён анализ функциональных аналогов, анализ и выбор материалов и конструкции, проведены предварительные технологические испытания отработки нанесения PEDOT:PSS. Далее планируется отработать технологию нанесения фотоактивного слоя (PCBM/РЗНТ (Циклопарное производное фуллерена/ поли(3-гексилтиофен))) и осуществить закупку фотоактивных чернил, получить рабочий гибкий фотоэлектрический преобразователь, начать его производство и коммерческую реализацию.

Работа выполнена в рамках группового проектного обучения РЭТЭМ-1603.

ЛИТЕРАТУРА:

1. К.П.Балашев. Фотокаталитическое преобразование солнечной энергии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9808_058.pdf (дата обращения 17.09.2016).
2. В.И. Туев, Н.Д. Малютин, А.Г. Лоцилов, С.А. Артищев, А.Е. Здрок, А.М. Аллануров, А.А. Бомбизов, С.П. Караульных, И.М. Макаров, А.В. Убайчин. Исследование возможностей применения аддитивной принтерной технологии формирования пленок органических и неорга-

нических материалов электроники. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://old.tusur.ru/filearchive/reports-magazine/2015-38-4/9.pdf> (дата обращения: 17.09.2016).

Научный руководитель: В.И. Туев, д.т.н., зав. кафедрой радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга ТУСУР.

ПОЛУЧЕНИЕ ГЕКСАГОНАЛЬНОГО УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ОКСИДА ЦИНКА В ГИПЕРСКОРОСТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕ

¹А.И. Циммерман, ²Ю.Л. Шаненкова, ¹М.И. Гуков
^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП, ¹группа 5А4Д

Перспективы использования различных функциональных материалов связаны с их уникальными особенностями в ультрадисперсном состоянии. К таким материалам можно отнести, например, оксид цинка, одной из важнейших характеристик которого должно являться монокристаллическое строение частиц и наноразмеры [1-5]. Высокодисперсное монокристаллическое состояние может быть получено при кристаллизации из жидкой фазы с высокой скоростью закалки материала в условиях сверхзвукового распыления в газообразной атмосфере [6, 7]. Такие условия можно получить при реализации плазмодинамического метода на основе импульсного коаксиального магнитоплазменного ускорителя эрозионного типа (КМПУ) [8]. Плазмодинамический метод, в отличие от сложных химических методов, обеспечивает в одном кратковременном цикле работы КМПУ (до 10^{-3} с) наработку основного прекурсора – цинка, прямой синтез оксида цинка при взаимодействии с ионизированным кислородом, сверхзвуковое распыление жидкой фазы ZnO и его сверхбыструю кристаллизацию в газообразной кислородной среде. В результате плазмохимической реакции синтезируется нанопорошок, сбор которого осуществляется через некоторое время после окончания рабочего цикла. Цель данной работы – показать принципиальную возможность реализации процесса плазмодинамического синтеза ультрадисперсного оксида цинка. Для этого была проведена серия экспериментов, в ходе которой были получены образцы продукта. Анализ синтезированного таким образом порошка осуществлялся с помощью современных аналитических методик, включающих рентгеновскую дифрактометрию, сканирующую и просвечивающую электронную микроскопию.

На рисунке 1 (а) представлена типичная рентгеновская дифрактограмма порошка, синтезированного при истечении плазменной струи в камеру-реактор, заполненную на 100% кислородом. Представленные данные были получены с использованием рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD 7000S с Cu- α излучением. XRD-картина практически идентична, как по интенсивности рефлексов, так и по угловому положению максимумов на оси 2θ , эталонной дифракционной картине, взятой из базы данных PDF-2. Это позволяет утверждать, что полученный дисперсный продукт наиболее близок к структурной

модели оксида цинка ZnO с номером карточки 36-1451 (б), гексагональной сингонии, пространственной группы SG P63mc.

Результаты сканирующей электронной микроскопии были получены с использованием сканирующего микроскопа Hitachi TM-3000. По снимкам сканирующей электронной микроскопии (SEM-снимки), приведенным на рисунке 2, видно, что исходный продукт плазмодинамического синтеза сильно агломерирован, что характерно для высокодисперсных порошков.

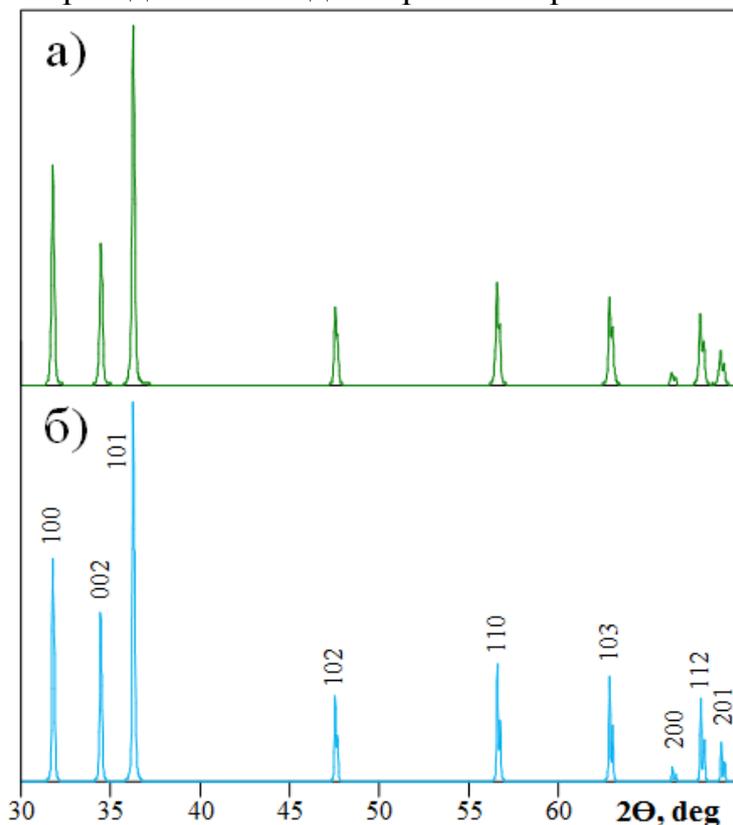


Рис. 1. Типичные рентгеновские дифрактограммы продуктов плазмодинамического синтеза при объемной концентрации кислорода в камере-реакторе 100 % (а) и структурной модели гексагонального оксида цинка (б)

Основную массу агломератов составляют наноразмерные и субмикронные частицы. Морфология наноразмерных частиц на SEM-снимках неразличима, а отдельные частицы субмикронных размеров имеют естественную огранку, вполне соответствующую форме роста монокристаллов SG P63mc.

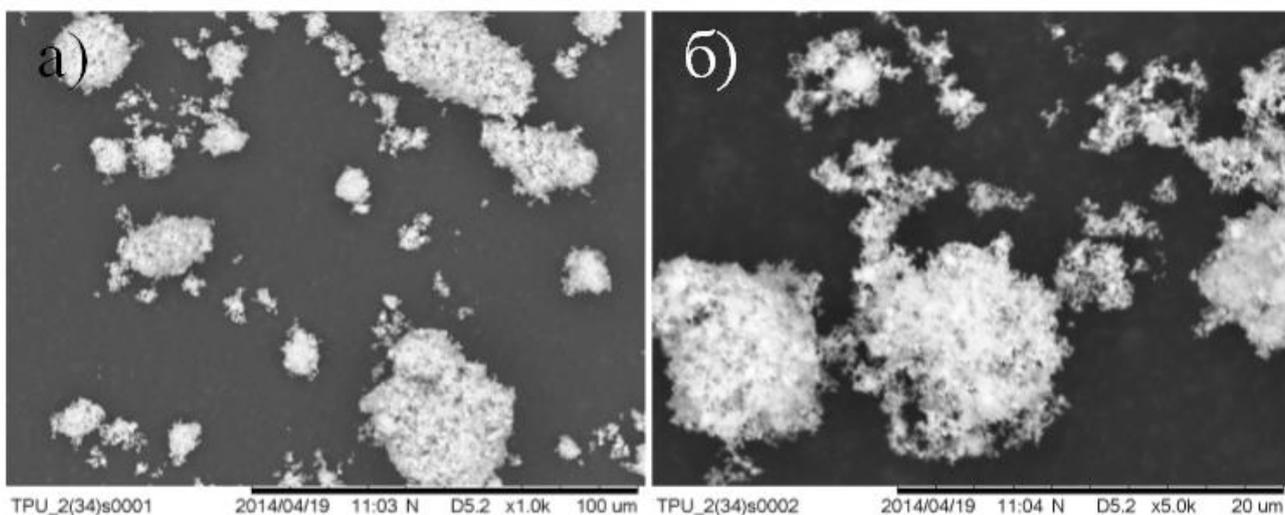


Рис. 2. SEM-снимки исходного продукта плазмодинамического синтеза

При расшифровке данных просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ), приведенных на рисунке 3, монокристаллическое строение частиц становится очевидным. Высокая плотность частиц ZnO ($\rho=5,61 \text{ г/см}^3$) позволила получить светлопольные и темнопольные ТЕМ-снимки хорошего качества на микроскопе Philips CM-12 с ускоряющим напряжением до 100 кВ. На рисунках видно, что размер частиц варьируется в пределах от 10 нм до 500 нм. Одной из причин этого является импульсный характер плазмодинамического процесса, в течение которого некоторые параметры системы изменяются в очень широких пределах, например, ток электропитания ускорителя, параметры электроразрядной плазмы и ее истечения из ускорительного канала. Идеальная естественная огранка практически всех частиц является характерной особенностью. Электронные изображения большей части из них представляют собой правильные прямоугольники и шестигранники. Электронная дифракция с выделенной области (SAED) имеет точно-кольцевой характер. Идентифицированные межплоскостные расстояния совпадают по своим значениям с эталонными величинами, взятыми из карточки. Темнопольные изображения получены в свете дифрагированных пучков путем смещения апертурной диафрагмы в области соответствующих рефлексов. Анализ темнопольных изображений позволяет с уверенностью говорить о монокристаллическом строении получаемых частиц оксида цинка.

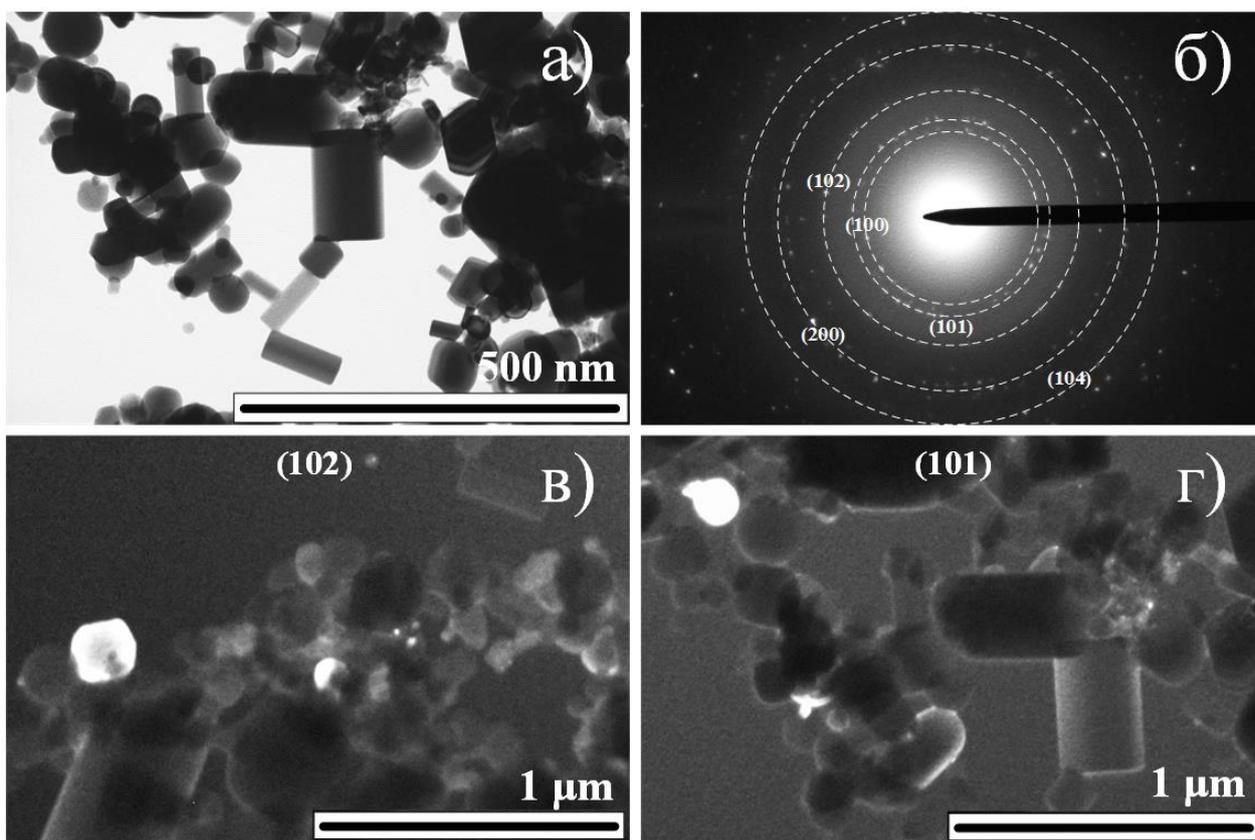


Рис. 3. Данные просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ) исходного продукта плазгодинамического синтеза, состоящего в основном из монокристаллитов оксида цинка ZnO: а) светлопольный снимок, б) электронная дифракция, в-г) темнопольные снимки

В результате проведенных исследований было установлено, что оксид цинка с монокристаллической структурой частиц может быть синтезирован с помощью плазмохимического метода с использованием системы на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя. Эта система позволяет получать ультрадисперсный порошок ZnO в течение одного короткого цикла с длительностью до 1 мс. С использованием данных рентгенофазового анализа, было установлено, что продукт имеет структуру гексагонального оксида цинка. Это подтверждается также данным просвечивающей электронной микроскопии, на которой четко видны кристаллы в форме прямоугольников и шестигранников. Размер частиц достигает 350 нм, но большинство из них (85%) имеют размер менее 150 нм. Таким образом, предложенный метод может быть использован в качестве альтернативного для получения чистого гексагонального оксида цинка, причем преимуществами в данном случае будут являться: простота (один рабочий цикл), быстродействие (менее 1 мс) и высокая чистота получаемого продукта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Wiesenthal A., Hunter L., Wang S., Wickliffe J., Wilkerson M. Nanoparticles: small and mighty // *International Journal of Dermatology*. – 2011. – Vol. 50. – pp. 247-254.
2. Arya S.K., Saha S., Ramirez-Vick J.E., Gupta V., Bhansali S., Singh S.P. Recent advances in ZnO nanostructures and thin films for biosensor applications: Review // *Analytica Chimica Acta*. – 2012. – Vol. 737. – pp. 1-21.
3. Kim J., Kwon S., Park J.K., Park I. Quantum dot-based immunoassay enhanced by high-density vertical ZnO nanowire array // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2014. – Vol. 55. – pp. 209-215.
4. Cao Y., Galoppini E., Ivanoff Reyes P., Duan Z., Lu Y. Morphology effects on the biofunctionalization of nanostructured ZnO // *Langmuir*. – 2012. – Vol. 28. – pp. 7947-7951.
5. Zhang Y., Chan H.F., Leong K.W. Advanced materials and processing for drug delivery: The past and the future // *Advanced Drug Delivery Reviews*. – 2013. – Vol. 65. – pp. 104–120.
6. Shanenkov I.I., Sivkov A.A., Pak A., Kolganova Y.L. effect of gaseous medium pressure on plasmadynamic synthesis product in the c-n system with melamine // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 1040. pp. 813-818.
7. Shanenkov I.I., Pak A.Ya., Sivkov A.A., Shanenkova Yu.L. Energy efficiency of electric pulse installation based on a high-current plasma accelerator // *MATEC Web of Conferences*. – 2014. – Vol. 19. – art. no. 01030
8. Пат. 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Заявлено 24.09.2013; Опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 6 с.

Научный руководитель: А.А. Сивков, д.т.н., профессор каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

НАНЕСЕНИЕ МЕДНОГО ПОКРЫТИЯ НА АЛЮМИНИЕВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ С ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТЬЮ СЦЕПЛЕНИЯ

¹Ю.Н. Половинкина, ²Ю.Л. Шаненкова
^{1,2}Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП, ¹5АМ64

Известный факт, что медь и алюминий являются главными материалами в электроэнергетике ввиду низкой величины удельного сопротивления – отсюда их повсеместное использование. Величина удельного контактного сопротивления существенно увеличивается при непосредственном соединении данных материалов, таким образом, происходит ухудшение качества контакта и увеличение потерь электрической энергии [1]. В работе предлагается уникальный метод совмещения контактной пары медь-алюминий посредством нанесения мед-

ного покрытия на алюминиевые контактные поверхности при помощи сильно-точного коаксиального магнитоплазменного ускорителя с медными электродами [2]. В сравнении с другими существующими методиками можно выделить достоинства данного способа, а именно: простота (не требует предварительной подачи и обработки наносимого материала), достаточно высокая быстрота нанесения покрытий (порядка 1 мс), низкая энергоемкость процесса.

Была проведена серия опытов по нанесению медных покрытий на алюминиевые контактные поверхности с помощью высокоскоростной импульсной сильноточной плазменной медной струи. Типичные фотографии полученных Cu покрытий на Al подложки (а) и на Al наконечники (б) представлены на рис. 1. Из фотографии видно, что покрытие нанеслось по всей площади подложки. Стоит отметить, что качество полученных покрытий достаточно велико – высокая плотность меди на алюминии (отсутствуют области без покрытия), Al подложка не подверглась сильным изменениям (отсутствуют места прогаров) и значение площади покрытия достигает до 220 см².

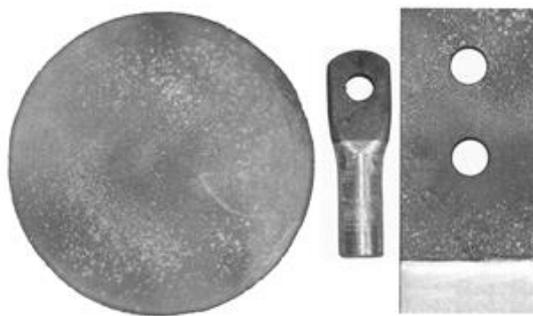


Рис. 6. Фотографии полученных медных покрытий на плоских алюминиевых подложках и электротехнических изделиях

Толщина покрытий исследовалась на оптическом электронном микроскопе Olympus GX-71. Было установлено, что толщина покрытий варьируется от 50 до 100 мкм. Как видно из рис. 2, медные покрытия, наносимые предложенным способом, получаются равномерными, полностью повторяют все неровности и изгибы алюминиевой подложки. Это приводит к тому, что видимая граница раздела отсутствует полностью и таким образом обеспечивается плотное прилегание медного покрытия к алюминиевой подложке. Стоит отметить, что в области соединения покрытия с подложкой, обнаруживается присутствие как частиц меди в подложке, так и частиц алюминия в покрытии. Это подтверждает предположение об их взаимном перемешивании материалов в жидкой фазе.

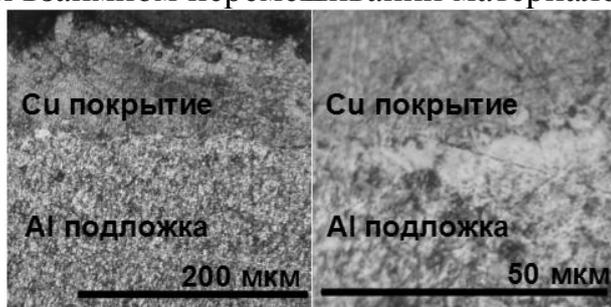


Рис. 7. Микрофотографии шлифов поперечного среза образца, полученного при расстоянии до мишени 225 мм

Одним из главных факторов, определяющих качество нанесенного покрытия, влияющее на продолжительность работы, является адгезия. Для образцов, которые используются в условиях с изменяющимися нагрузками, в данном случае зависящими от величины протекающего тока, этот параметр становится главным. Поэтому полученные образцы должны иметь достаточно высокую прочность сцепления, чтобы предотвратить возможные внештатные ситуации, которые могут произойти за счет отслаивания покрытия от подложки.

На рис. 3 представлены кривые, полученные при проведении скретч-теста для определения прочности сцепления для образца, а также SEM-снимок царапины, по которому определялось место, где покрытие отслоилось от подложки [3].

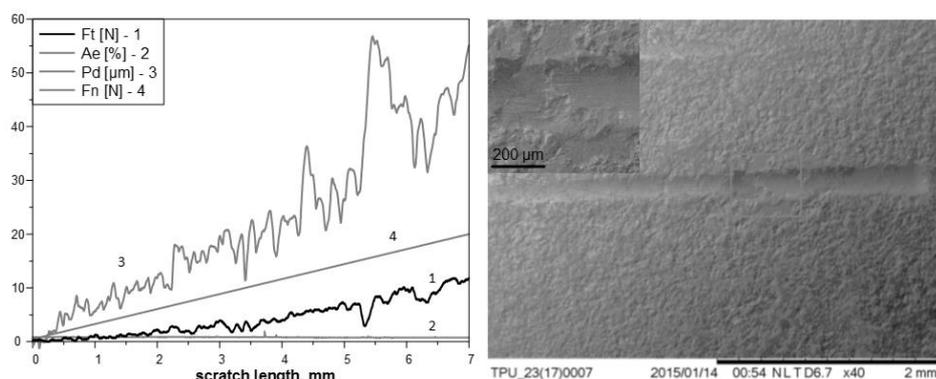


Рис. 8. Результаты скретч-теста: а) полученные кривые; б) SEM снимок царапины

В результате эксперимента была найдена величина плотности сцепления, которая равняется 2430 МПа. Стоит отметить, что получающаяся величина прочности сцепления значительно превышает прочность сцепления, достигаемую другими методами напыления меди на алюминий, так для способа холодного газодинамического напыления эта величина составляет 700 МПа [4].

Для качества полученных покрытий был подготовлен стенд для измерения величин переходного контактного сопротивления пар Cu-Cu, Cu-Al, Cu-Al_{Cu}, полученных нашим методом.

В соответствии с полученными результатами, представленными на рис. 4, видно, что с увеличением усилия сжатия контактных элементов удельное переходное контактное сопротивление ожидаемо уменьшается. Это происходит вследствие увеличения площади касания контактов за счет смятия выступов, присутствующих на поверхности контактной пары медь-алюминий.

Сравнительный анализ эталонных характеристик контактных пар медь-медь и медь-алюминий без покрытия показал, что при непосредственном соединении меди с алюминием переходное контактное сопротивление приблизительно в 7 раз превышает величину сопротивления, получаемого при соединении меди с медью. Такое соотношение наблюдается при всех исследованных усилиях сжатия.

Исследование полученных контактных пар медь-алюминий с медным покрытием показало возможность уменьшения переходного сопротивления вплоть до ~ 2.8 раз относительно непосредственного соединения меди с алюминием при максимальной усилие сжатия. Этот результат может оказаться

весьма важным в практическом отношении, т.к. в реальных сетях систем электроснабжения очень много болтовых контактных соединений алюминиевых шин.

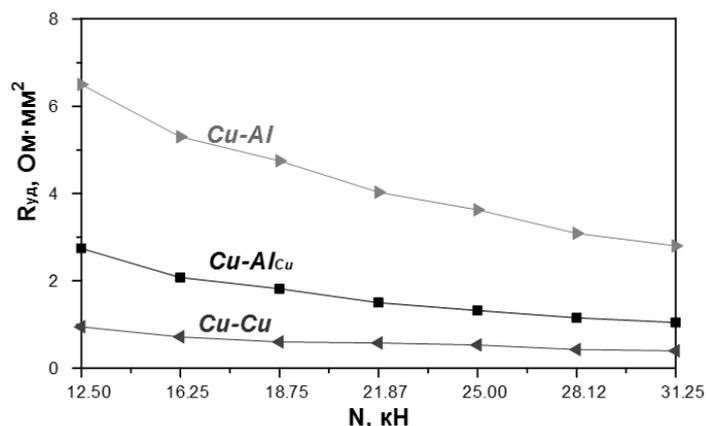


Рис. 9. Зависимость удельного переходного контактного сопротивления $R_{уд}$ от усилия

На конкретном примере было рассмотрено влияние контактного сопротивления на величину отклонения напряжения. В качестве реального электроэнергетического объекта был принят магистральный шинопровод ШМА-5 сборочного цеха ОАО «Томский электроламповый завод», выполненный из алюминия, с большим количеством болтовых соединений, что является основным объектом электрических сетей, для которых возможно использование нанесения медных покрытий.

Были построены эпюры отклонения напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее мощного электроприемника для режима максимальных нагрузок, с учетом нанесения медного покрытия и без [5]. Результаты показали, что при использовании предложенной методики размах отклонения уменьшается, что способствует увеличению диапазона напряжения, на котором может работать данная часть энергосистемы. Также в ходе расчетов получено, что при использовании такой технологии возможно достигнуть экономии электроэнергии до 50% на контактных элементах.

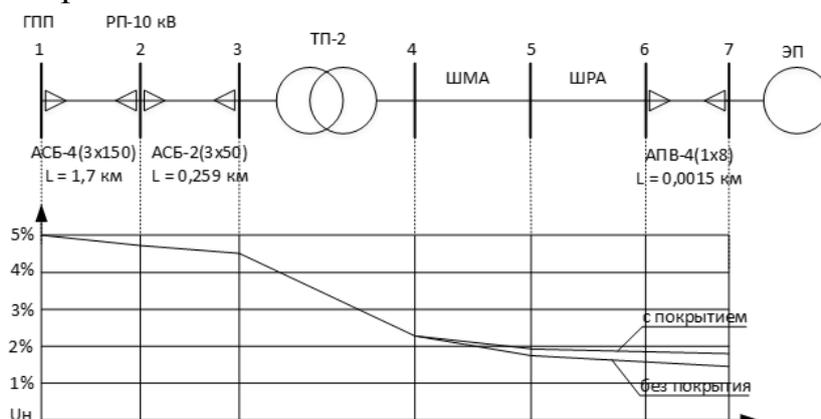


Рис. 10. Эпюры отклонения напряжения с использованием контактных $Cu-Al$ и $Cu-Al_{Cu}$

Таким образом, в работе представлены результаты, свидетельствующие о возможности совмещения меди и алюминия посредством нанесения медного

покрытия на алюминиевые подложки за счет использования высокоскоростной импульсной струи электроразрядной плазмы. Метод, представленный в работе, позволяет совместить не только медь и алюминий, но и снизить потери электроэнергии, а также получить покрытия с толщиной до 100 мкм и площадью до 220 см². Полученные покрытия отличаются высокой адгезией и относительно низкой величиной переходного контактного сопротивления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Antler M. Survey of contact fretting in electrical connectors // IEEE Transactions on components, hybrids, and manufacturing technology. – 1985. – CHMT-8(1). – P. 87-104.
2. Пат. 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Заявлено 24.09.2013; Опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 6с.
3. Swanson H.E. and Tatge E. Standard X-Ray Diffraction Powder Patterns // NBS Circular Natl. Bur. Stand. Circ. (US). – 1953. – № 1, 21. – p. 539.
4. Barradas S., Molins R., Jeandin M., Arrigoni M., Boustie M., Bolis C., Berthe L., Ducos M. Application of laser shock adhesion testing to the study of the interlamellar strength and coating–substrate adhesion in cold-sprayed copper coating of aluminum // Surface & Coatings Technology. – 2005. – 197(1). – P. 18– 27
5. Основы расчета систем внутризаводского электроснабжения: Учебное пособие / Л.П. Сумарокова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 119 с.

Научный руководитель: А.А. Сивков, д.т.н., профессор кафедры ЭПП ЭНИН ТПУ.

ЭЛЕКТРОННАЯ БАЗА ДАННЫХ - СРЕДСТВО МОНИТОРИНГА И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫРАБАТЫВАЕМОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

¹Д.В. Волкова, ²Н.Э. Вайсблат

¹Томский политехнический университет
ИПР, ОГЗ, группа 2У31

²Санкт-Петербургский филиал «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», группа МГУ 151

В настоящее время большинство энергетических компаний сталкивается с такой проблемой, как перебои в поставке электроэнергии в лесном массиве из-за обрыва проводов воздушных линий электропередач (ВЛЭП) [1, 10].

Цель исследования: выявление решения проблемы повышения эффективности контроля над состоянием близко растущих к просеке высоких деревьев посредством ГИС для устранения перебоев электроэнергии.

Геоинформационные системы представляют собой синтез традиционных операций работы с базами данных с возможностью визуализации и географического (пространственного) анализа по карте местности. ГИС не зря выбрана в качестве решения, ведь изменения в состоянии объектов энергетической компании легко моделируются в ней (однако весьма трудно в обычных базах данных, на картографических материалах сделать это не представляется возможным). Помимо этого ГИС позволяет получить детальную, точную и актуальную картину окружения объектов хозяйства [2, 4, 6].

В качестве объекта исследования выступает ВЛ-35кВ «Турунтаево-Заря-Вознесенка» (3540-35-АТ), расположенная в Томском районе Томской области (общая площадь – 1366 кв.м.).

Для достижения поставленной цели использовалась база программного обеспечения QuantumGIS, а также решались задачи по созданию карты информационными слоями, которые отображают информацию о ВЛЭП и о техногенных и экономических характеристиках рассматриваемого объекта.

Для разработки послойной карты была собрана необходимая информация. Выбрана геоподложка из доступных встроенных модулей QGIS (спутниковые снимки Bing и OpenStreetMap места расположения линии электропередач). Созданы слои: «линия электропередач», «охранная зона ВЛЭП», «лесной массив», «зоны вырубki», «дорожная сеть»; к каждому из них добавлены соответствующие атрибуты [7-8].

Для выявления нарушения охранных зон, необходимо включить все слои и определить, где накладываются слои растительности и охранных зон (рисунок 1). Благодаря разработанной ГИС для исследуемого объекта, в ходе анализа определено 37 зон повышенного риска, которые указывают на неизбежность обрыва ЛЭП при падении дерева. Следовательно, в данных местах необходимо расширить просеку, приведя ее ширину к установленному нормативу [3, 5].

Выявление участков нарушения охранных зон, нуждающихся в расчистке

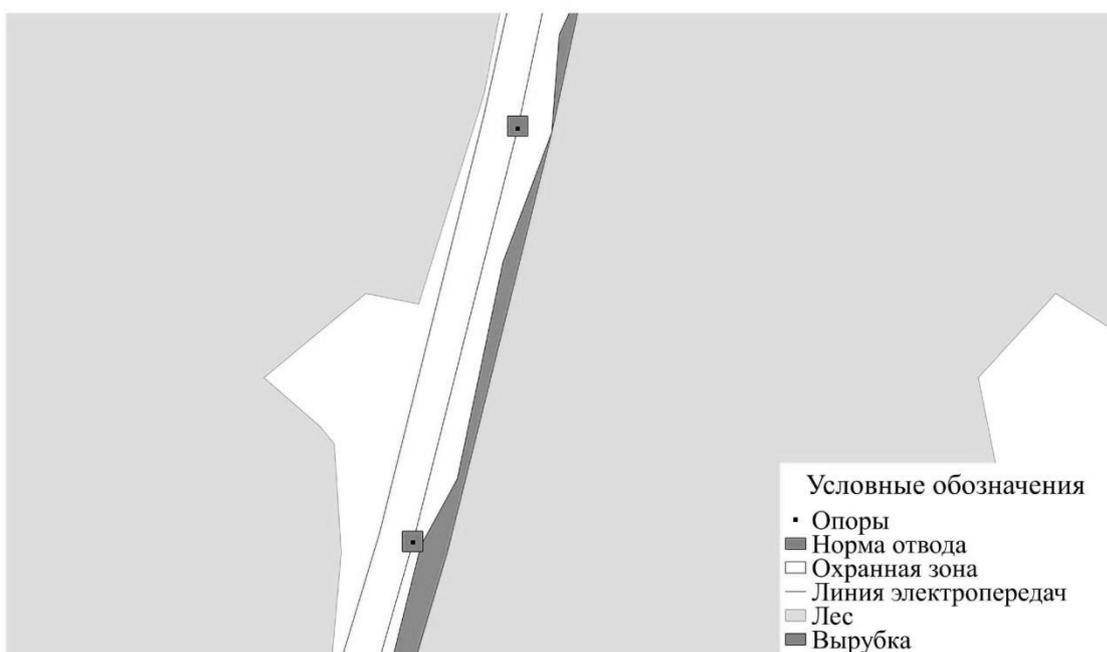


Рис. 11. Зоны просек ЛЭП «Турунтаево-Заря», нуждающиеся в расчистке

Полученная ГИС является основой не только для разработки последовательности необходимых действий для выявления нарушений охранных зон, но и для оценки их стоимости [10]. Она позволяет оптимизировать расходы на превентивные меры и минимизировать расходы на устранение аварий. Помимо этого ГИС не требует больших человеческих и денежных ресурсов.

Таким образом, для выбора оптимального варианта реконструкции ВЛЭП с целью повышения надежности и эффективности электроснабжения потребителей, необходимо проведение имитационного моделирования по многокритериальной модели с использованием ГИС.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Андрианов В. Ю. Российский ежемесячный бизнес-журнал «Рациональное Управление Предприятием», 2010, № 1 [Электронный ресурс]: Автоматизация электроэнергетики. – Режим доступа: <http://www.remmag.ru/admin/upload>.
2. Вайсблат Н.Э. и др. ГИС в качестве инструмента для мониторинга энергетических объектов / Н.Э. Вайсблат, И.С. Перемитин, К.В. Иконникова // Проблемы геологии и освоения недр: сборник работ. – Томск, 2014 – С. 597–600.
3. Вайсблат Н.Э. и др. Электронная база данных - средство мониторинга и повышения качества поставляемой электроэнергии [Электронный ресурс] / Н.Э. Вайсблат, И.С. Перемитин / Интеллектуальные энергосистемы: труды II Международного молодежного форума, 6-10 октября 2014 г., г. Томск в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). - Т. 2 . - С. 165-170.
4. Вайсблат Н.Э. и др. ГИС как инструмент мониторинга объектов энергетики [Электронный ресурс] / Н.Э. Вайсблат, И.С. Перемитин, К.В. Иконникова // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVIII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 7-11 апреля 2014 г. в 2 т. / ТПУ, ИПР. – Т. 1. – С. 597–600. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C11/V1/288.pdf>.
5. Вайсблат Н.Э. и др. Мониторинг и диагностика просек воздушных линий электропередач посредством геоинформационных систем и технологий [Электронный ресурс] / Н.Э. Вайсблат, К.В. Иконникова, И.С. Перемитин // Электроэнергетика глазами молодежи : сборник докладов V международной молодежной научно-технической конференции, г. Томск, 10-14 ноября 2014 г. в 2 т. / ТПУ. – Т. 2. – С. 144-148. Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C86/V2/040.pdf>.
6. Лебедева Ю.В. и др. Оптимизационная модель реконструкции ВЛЭП в экстремальных метеорологических условиях / Ю.В. Лебедева, Н.Ю. Шевченко, А.Г. Сошинов // Современные проблемы науки и образования. – 2010. – № 6 – С. 68–71. – Режим доступа: www.scienceeducation.ru/94-4556.

7. ГОСТ 12.1.051-90. ССБТ. Электробезопасность. Расстояния безопасности в охранной зоне линий электропередачи напряжением свыше 1000 В.
8. РД 34.20.501-95 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации.
9. Ikonnikova K. V. Electronic Database - Monitoring Tool and Quality Improvement of Supplied Electricity [Electronic resource] / K. V. Ikonnikova, N. E. Vaisblat, I. S. Peremitin, R. N. Abramova // MATEC Web of Conferences: proceedings. — 2014. — Vol. 19: The 2nd International Youth Forum "Smart Grids". — 5 p. Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20141901039>.
10. Волкова Д. В. , Вайсблат Н. Э. Повышение экономической эффективности расчистки просек ЛЭП с использованием ГИС [Электронный ресурс] // Энергостарт: сборник материалов Всероссийской молодежной научно-практической школы, Кемерово, 11-25 Июля 2016. - Кемерово: КузГТУ , 2016 - С. 1-4. Режим доступа: http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2016/es/energstart/pages/Articles/2/Volkova_Vaisblat.pdf

Научный руководитель: К.В. Иконникова, к.х.н., доцент, доцент кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

ТЕНДЕНЦИИ В ИЗМЕНЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ БУДУЩЕГО

А.С. Писарев

Томский политехнический университет

ЭНИН, ЭСиС, группа 5АМ5Г

Статья написана по материалам [1,2,3].

Закономерности изменения условий развития электроэнергетических систем приводят к существенным трансформациям в структуре систем и режимах их работы. Эти изменения обусловлены рядом объективных факторов, которые определяют облик электроэнергетических систем будущего.

Происходит децентрализации электроснабжения со стороны генерации электроэнергии в связи с расширением использования источников распределенной генерации, подключаемых к узлам распределительной электрической сети. Эта тенденция обусловлена появлением новых высокоэффективных технологий производства электроэнергии, гибко адаптирующих ЭЭС к неопределенности спроса на электроэнергию. Свой вклад в распределенную генерацию вносят источники электроэнергии, использующие возобновляемые энергетические ресурсы.

В соответствии с прогнозами Международного энергетического агентства в период до 2030 года объем использования возобновляемых источников энергии в мире существенно возрастет. Так, использование биомассы возрастет с

1149 млн. т.н.э. (тонн нефтяного эквивалента) в 2005 году до 1615 т.н.э. к 2030 году; использование гидроэнергетических ресурсов в аналогичный период возрастет с 251 до 416 млн. т.н.э., а прочих возобновляемых источников энергии - с 62 до 308 млн. т.н.э.

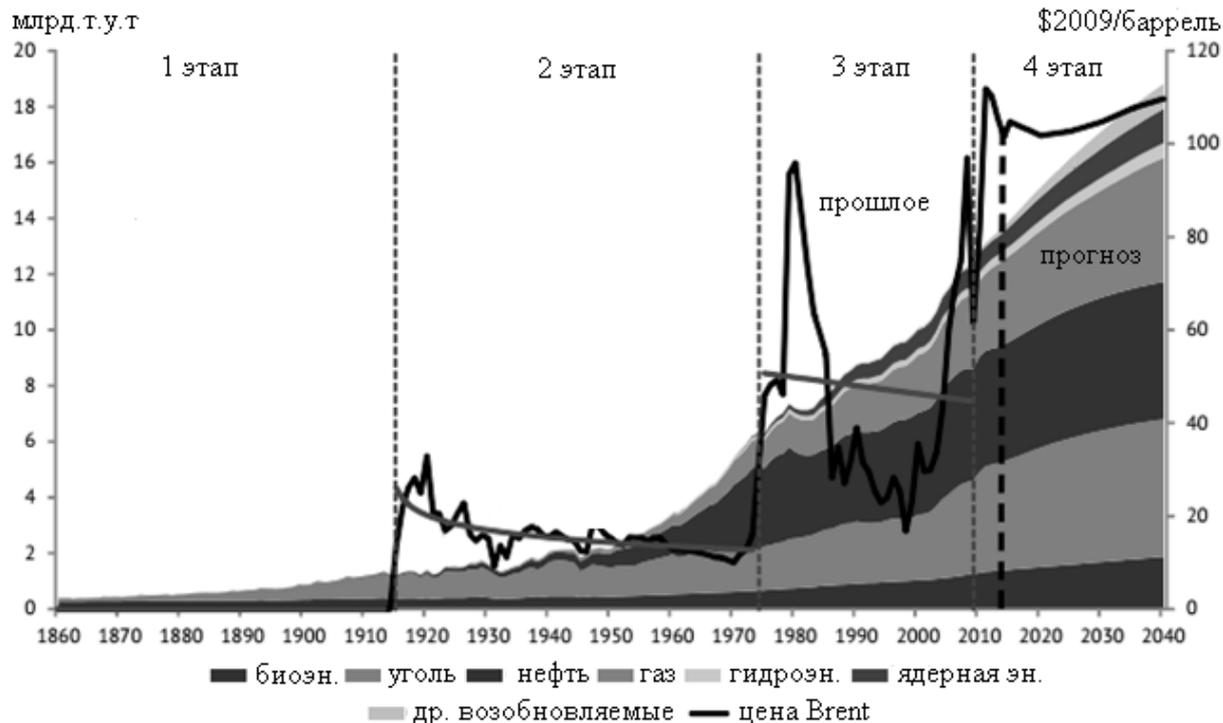


Рис. 1. Этапы развития мировой энергетики до 2040 г.

В перспективе до 2040 года в мире не ожидается значительного снижения общей доли нефти и газа, используемой для производства энергии - она останется практически без изменений (53,2 % в 2010 году и 49,8 % к 2040 году). Однако, нефть окончательно потеряет свое доминирующее положение, ожидается, что её доля к 2040 году снизится с 32 % до 26 %. Газ, в отличие от этого, будет иметь самый большой абсолютный объем роста потребления. Ожидается, что за рассматриваемой период, как в развитых, так и в развивающихся странах доля угля сократится с 28 % до 26 %, в основном, по экологическим причинам.

Самые высокие темпы роста в прогнозируемом периоде будут показывать возобновляемые источники энергии как за счет более дешевых технологий, так и увеличения конкурентоспособности и активной поддержки государства. К 2040 году на возобновляемые источники энергии (без учета гидроэнергетики) будет приходиться 14,7 % глобального потребления энергии и 12,5 % генерации электроэнергии (по сравнению с 11 % и 3,7 % в 2010 году).

Изменение энергетического баланса России в силу значительных запасов не возобновляемых энергоресурсов (нефти, газа, угля) в рассматриваемом интервале времени весьма незначительно. Ожидается, что использование всех видов нетрадиционных возобновляемых источников энергии к 2040 году возрастет в 1,9-2,6 раза, что составит порядка 4,2 %. Однако их доля в общем объеме потребления энергии не значительна и не будет играть существенной роли в энергетическом секторе России.

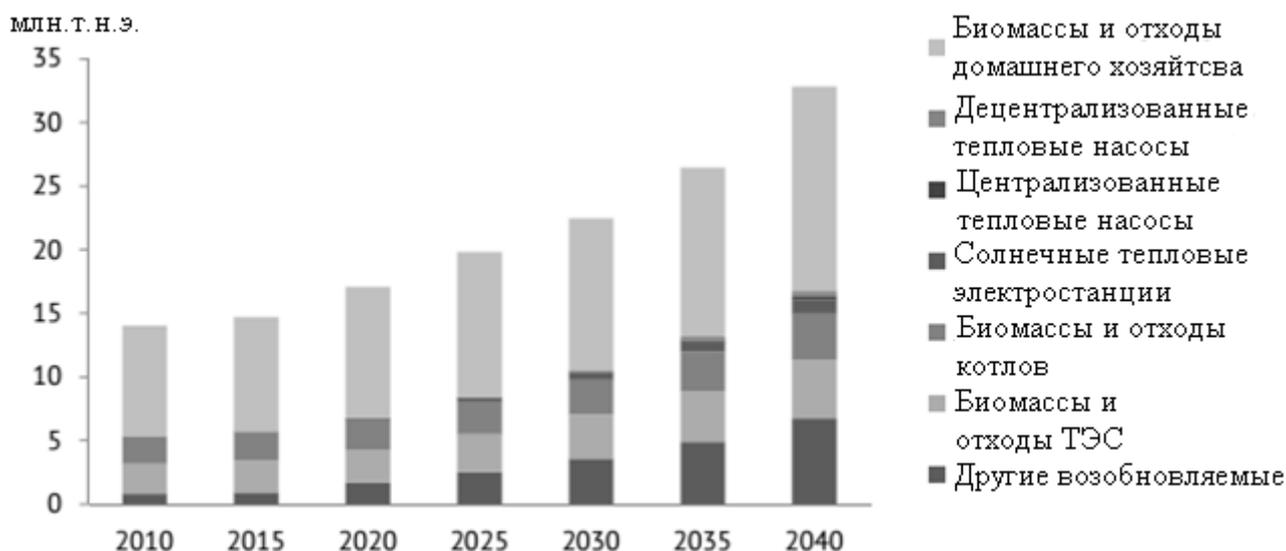


Рис. 2. Использование возобновляемых источников энергии в России

Новые высокоэффективные технологии получают все большее использование и для крупных источников электроэнергии. Реально структура генерации будущих ЭЭС должна включать относительно крупные генерирующие источники для снабжения электроэнергией крупных электроемких потребителей и достаточно высокую долю распределенной генерации электроэнергии.

Широкое распространение в ЭЭС установок распределенной генерации порождает несколько особенностей. Многие малые генерирующие установки, использующие газотурбинные технологии, работают на более высокой, по сравнению с промышленной, частоте и подключаются к электроэнергетической системе через выпрямительно-инверторные блоки. В результате существенно изменяются частотные характеристики генерации в ЭЭС, снижается регулирующий эффект генерации по частоте. Установки распределенной генерации имеют малые, по сравнению с традиционными генераторами большой мощности, постоянные инерции ротора и упрощенные системы регулирования, что создает проблемы с обеспечением устойчивости ЭЭС. Подключение установок распределенной генерации к распределительной электрической сети радикально изменяет ее свойства, создавая проблемы устойчивости, формируя необходимость существенного развития и принципиальной реконструкции систем релейной защиты и автоматики.

Практически во всех странах мира в качестве государственной политики технологического развития электроэнергетики и ЭЭС будущего объявлена концепция интеллектуальной энергосистемы (Smart Grid). Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» в качестве приоритетных направлений научно-технического прогресса в электроэнергетике выделяются следующие:

1. создание высокоинтегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей нового поколения в Единой энергетической системе России (интеллектуальные сети – Smart Grid);
2. широкое развитие распределенной генерации;

3. развитие силовой электроники и устройств на их основе, прежде всего различного рода сетевых управляемых устройств (гибкие системы передачи переменного тока – FACTS);
4. создание высокоинтегрированного информационно-управляющего комплекса оперативно-диспетчерского управления в режиме реального времени с экспертно-расчётными системами принятия решений;
5. создание и широкое внедрение централизованных систем противоаварийного управления, охватывающих все уровни Единой энергетической системы России;
6. создание автоматизированных систем управления спросом на электроэнергию;

Развитие будущих ЭЭС на технологической базе интеллектуальной энергосистемы позволит во многом нивелировать перечисленные выше потенциально негативные тенденции в изменении свойств ЭЭС.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Воропай Н.И., Осак А.Б. Электроэнергетические системы будущего // Энергетическая политика.- 2014.- N 63.- С. 88.
2. Global and Russian energy outlook to 2040. ERI RAS, ACRF, 2014. -175 p.
3. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Министерство энергетики Российской Федерации. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.

Научный руководитель: В.И. Готман, к.т.н., доцент каф. ЭСиЭ ЭНИН ТПУ.

OBTAINING NANODISPERSED POWDER OF $ZnO+ Bi_2O_3$ BY PLASMA DYNAMIC SYNTHESIS

K. Firsov, Y.L. Shanenkova, I.I. Shanenkov
Tomsk Polytechnic University

Institute of Power Engineering, Department of industrial electric power supply, 5А3Д

Zinc Oxide is an advanced material. Its application fields are very wide: diode manufacture for solar cells, LED manufacturing and other. Also ZnO powder is a part of powder lasers and constitutes interest for making materials and spintronic devices. In addition, Zinc Oxide is all-purpose in medicine and cosmetology. However, the most interesting field for researching is Zn-O based varistor ceramics. The main components of such ceramics are ZnO powder with Bismuth Oxide Bi_2O_3 additive.

There are many methods for obtaining nanodispersed powder of $ZnO+ Bi_2O_3$, which are written in [1-3]. In this work, the powder of $ZnO+ Bi_2O_3$ was obtained by

direct plasma dynamic synthesis, using a pulsed high-current coaxial magnetoplasma accelerator of erosion type (CMPA) [4].

In contradiction to difficult chemical methods [1-3], the plasma dynamic synthesis, which is offered at this article, provides obtaining nano-dispersed powder of $ZnO+Bi_2O_3$ in one short-time cycle of work (until 10^{-3} sec) [5]. For one cycle, it can be obtained up to 20 g of powder.

A sketch-map of the experimental setup is shown in fig. 1. The main part is a pulsed (until 10^{-3} sec) high-current (around 10^5 A) coaxial magnetoplasma accelerator of erosion type [4]. The central electrode 1 is made of latten. Accelerating channel (electrode-barrel) 2 is made of titanium Ti and contains inside closely packed Zinc disks. At initial condition parts 1 and 2 are electrically connected by Zinc tablet, placed in insulator-tip. In upper part of this tip the milled powdered Bismuth oxide Bi_2O_3 is put. Tip is placed inside a cylindrical channel and forms by itself the plasma formation zone 4. Cylindrical AC has the following geometry: diameter $d_{AC} = 11$ mm and length $l_{AC} = 150$ mm. CMPA is entered into the working chamber, having a diameter of 300 mm, length of 700 mm, and space volume of $0,05$ m³, which is filled with oxygen to atmospheric at room temperature.

The CMPA is electrically supplied from a capacitive energy storage, having a capacitance of $C = 4,8$ mF and the value of a charge voltage of $U_{chg} = 3,4$ kV. It allows accumulating energy up to 27,7 kJ. Figure 2 shows oscillograms of current $I(t)$, voltage on accelerator electrodes $U(t)$, curves of discharge power $P(t)$ and released energy $W(t)$. The power supply begins, after closing the power keys (K) at the moment $t=0$, which is corresponded to the beginning of flowing the discharged current $I(t)$. During the time less ~ 20 μ s, due to the electrical conductivity of Zinc tablet, the discharge is initiated with the further formation of plasma structure and arc stage is developed up to the moment, when the current is equal to $I_m = 150$ μ A. The high-current arc discharge provides electroerosive accumulation of Zinc from AC surface and an acceleration of electroerosive plasma to supersonic speeds under the influence of electrodynamic forces in coaxial system.

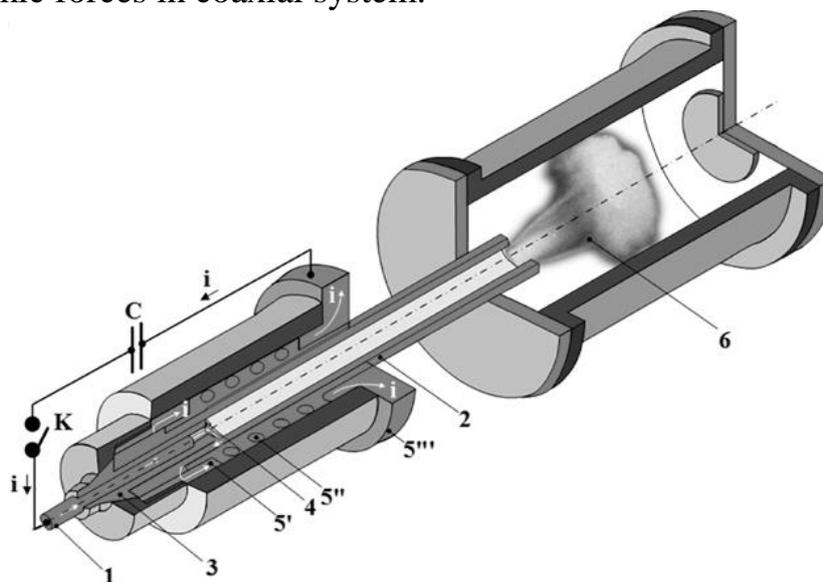


Fig. 1. System of plasma dynamic synthesis based on high-current coaxial magnetoplasma accelerator (CMPA) of erosion type. 1 – tip of central electrode; 2 – accelera-

tor channel (AC); 3 – fiberglass insulator; 4 – plasma formation zone; 5' - contact cylinder; 5'' - powerful solenoid; 5''' – contact flange; 6 – plasma stream.

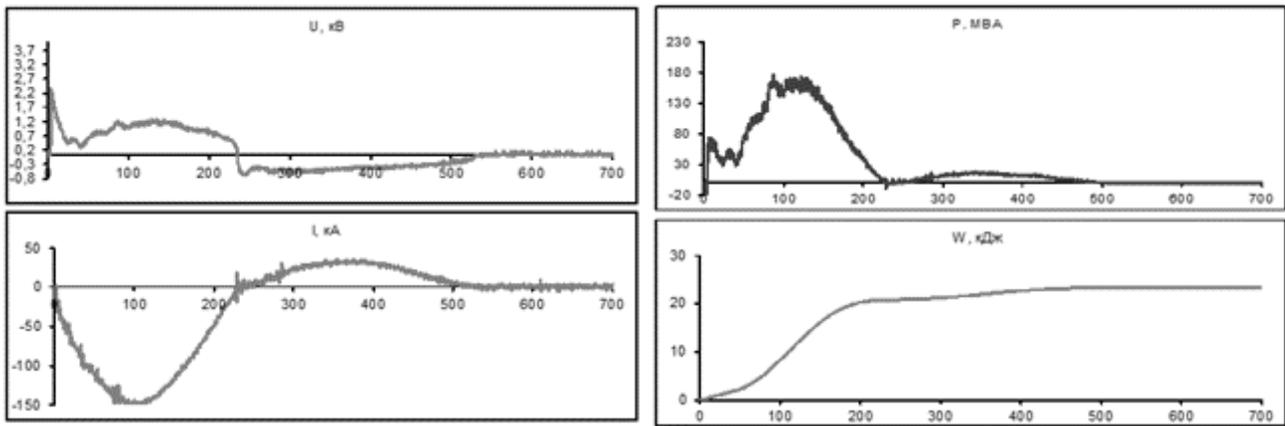


Fig .2. Oscillograms of current $I(t)$, voltage on accelerator electrodes of $U(t)$, curves of discharge power $P(t)$ and released energy $W(t)$.

As a result of experiment, the nanodispersed powder of $ZnO+Bi_2O_3$ was obtained. It had a yellow color and a its mass was equal to $m_{\text{powder}} = 9,265$ g. The obtained product was investigated by X-Ray diffractometry method, using a Shimadzu XRD 7000S diffractometer with $Cu\text{-}k\alpha$ radiation. According to XRD pattern, it was found that the obtained powder did not have additional impurities and its cleanliness was about 99 percent. The XRD pattern of the product is shown in fig. 3.

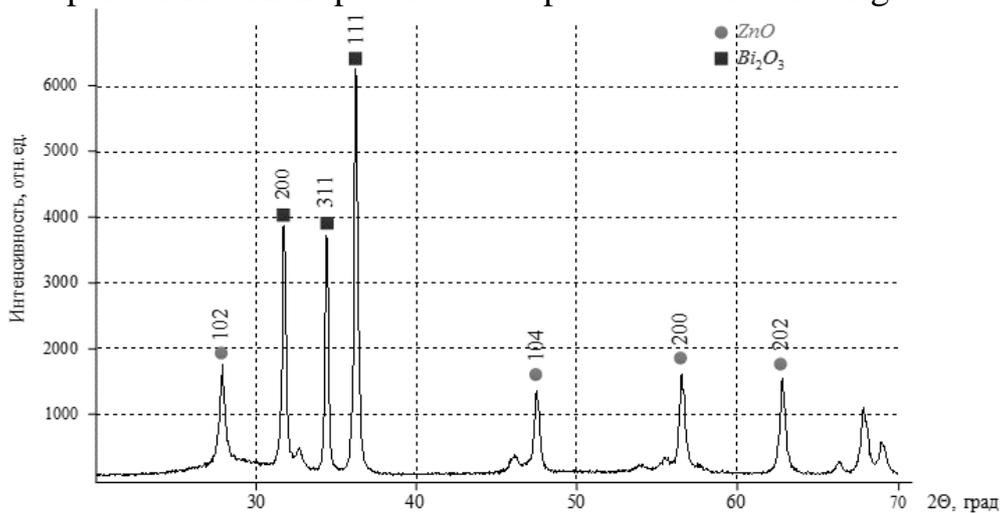


Fig. 3. XRD pattern of obtained powder $ZnO+Bi_2O_3$

The obtained powder was also investigated by a transmission electron microscopy method using a Philips CM12 microscope. A series of TEM-images was made (fig. 4). Analysis of images allows confirming the phase content. According to selected area electron diffraction (SAED), the obtained powder consists of only ZnO and Bi_2O_3 . Yellow and green rings are for ZnO and Bi_2O_3 , respectively. This analysis also gives an opportunity to investigate the form and sizes of particles. As it is seen from dark-field images ZnO particles have typical hexagonal form with sizes not more than 300 nm. These particles are covered by Bi_2O_3 that is clearly seen from insets 1a and 1b.

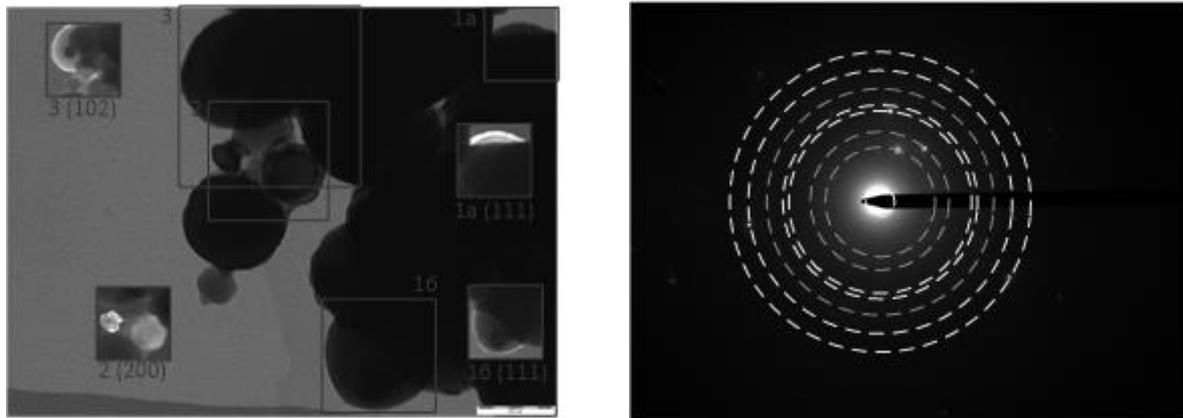


Fig. 4. Bright-field, dark-field and SAED images of the plasma dynamic synthesis product

After investigating the powder structure, it was sintered by SPS-method (spark plasma sintering) using a special setup “SPS 10-4” at following parameters: the pressure on punches was 200 MPa, a speed of sintering – 500 °C/min, maximal temperature – 550 °C. The sample cooling was natural to the room temperature.

In order to investigate the sample structure, the cross-section was made. After polishing this cross-section, it was investigated by scanning electron microscopy (SEM), using a Hitachi TM3000 microscope (Fig.5).

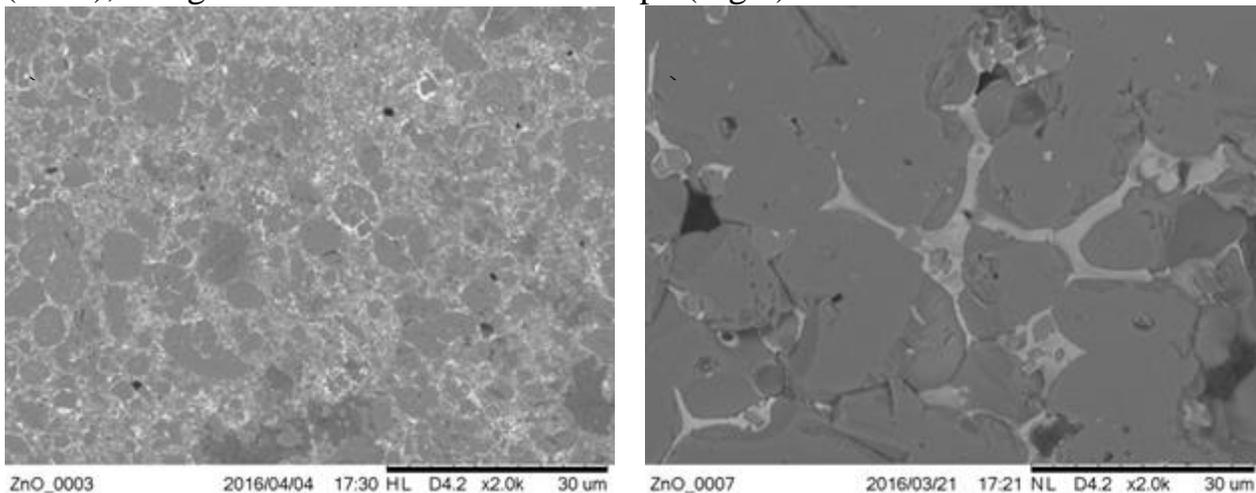


Fig. 5. a) SEM-image of sample from synthesized powder; б) SEM-image of industrial varistor

According to SEM data, it may be concluded that the structure of obtained ceramic presents by itself the close-grain phase of ZnO, which is surrounded by the matrix of Bi₂O₃. In comparison with industrial varistor sample, grain sizes in our product are much less that can give a positive effect, when electrical properties of the synthesized sample will be studied. However, there can be seen the polished big agglomerate of ZnO, as well as pore spaces. These problems can be solved by selecting the optimal mode of sintering and by changing the mass of Bi₂O₃, which is placed in plasma formation zone before experiment.

To sum up, this discussed method of plasma dynamic synthesis powder allows obtaining a mixture of ZnO + Bi₂O₃. The synthesized product has nanoscale structure and do not contain other impurities. This product can be used for sintering dense ZnO-based ceramics, which is widely-used in electrical engineering as varistors. Particle

sizes and product purities are the main advantages of the proposed method that can positively impact the final electrical properties of the obtained ceramics.

REFERENCES:

1. Sazonov R., Kholodnaya G., Ponomarev D., Remnev G., Razumeko O.. Plasma-chemical Synthesis of Composite Nanodispersed Oxides // Journal of the Korean Physical Society. – 2011. – Vol. 59. No. 6, pp. 3508-3512.
2. Nolan N. T. Sol-Gel Synthesis and Characterisation of Novel Metal Oxide Nanomaterials for Photocatalytic Applications // Unpublished doctoral dissertation, Dublin Institute of Technology, Dublin, Ireland. – 2010.
3. Aruna S.T., Mukasyan A.S. Combustion synthesis and nanomaterials // Current Opinion in Solid State and Materials Science. – 2008. – Vol. 12. – №. 3. – pp. 44-50.
4. Патент № 2150652 РФ. Коаксиальный ускоритель Сивкова. Сивков А.А. 7F41В 6/00. Оpubл. 10.06.2000. Бюл. № 16.
5. Патент № 2183311 РФ. Коаксиальный ускоритель. Сивков А.А. 7F41В 6/00. Оpubл. 10.06.2002. Бюл. № 16.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ СЭС НА ОСНОВЕ ЛИТИЙ-ЖЕЛЕЗО-ФОСФАТНЫХ (LiFePO₄) АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

О.С. Манив

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП, группа 5А4Д

Электрический аккумулятор – химический источник тока многократного действия (вторичный химический источник тока), основная специфика которого заключается в обратимости внутренних химических процессов, что обеспечивает его многократное циклическое использование (через заряд-разряд) для накопления энергии и автономного электропитания различных электротехнических устройств и оборудования [1]. Химическими источниками тока называются устройства, в которых химическая энергия при разряде, за счет окислительно-восстановительных процессов превращается в электрическую энергию [2]. В настоящее время, возобновляемая энергетика не может обойтись без аккумуляторных батарей. Разные типы аккумуляторов имеют не только различную стоимость, но и отличаются по основным параметрам: количеству циклов перезарядки, максимальному сроку хранения, отдаваемой емкости, внутреннему сопротивлению, размерам, объему электролита, температурному диапазону работы, возможностям ускоренной зарядки. На сегодняшний день, литий-железо-фосфатные (LiFePO₄) аккумуляторные батареи являются наиболее совершенными эти аккумуляторы – малообслуживаемые, следовательно эксплуатационные затраты, связанные с их использованием, будут значительно ниже. Цикл заряда – разряда, в сравнении с другими типами аккумуляторов, может превышать несколько раз. В связи с этим, возникает необходимость проведения исследова-

ний связанных с оптимизацией зарядно-разрядных характеристик. В качестве основного инструмента исследования мы будем использовать методы математического моделирования[3], в результате чего, возникает необходимость создания математической модели зарядно-разрядных характеристик литий-железо-фосфатные (LiFePO₄) аккумуляторных батарей. При моделировании системы автономного электроснабжения на основе литий-железо-фосфатных батарей, была разработана модель заряда-разряда. Основу заряжающей установки выполняет солнечный модуль на основе солнечного элемента - полупроводникового прибора. Электронно-дырочный (p-n) переход создаётся путём легирования пластинки монокристаллического полупроводникового материала с определённым типом проводимости (т.е. или p- или n- типа) примесью, обеспечивающей создание поверхностного слоя с проводимостью противоположного типа. У границы n- и p- слоёв в результате перетечки зарядов образуются обеднённые зоны с нескомпенсированным объёмным положительным зарядом в n-слое и объёмным отрицательным зарядом в p-слое.[4] Эти зоны в совокупности и образуют p-n переход. На рисунке 1 представлена разработанная модель.

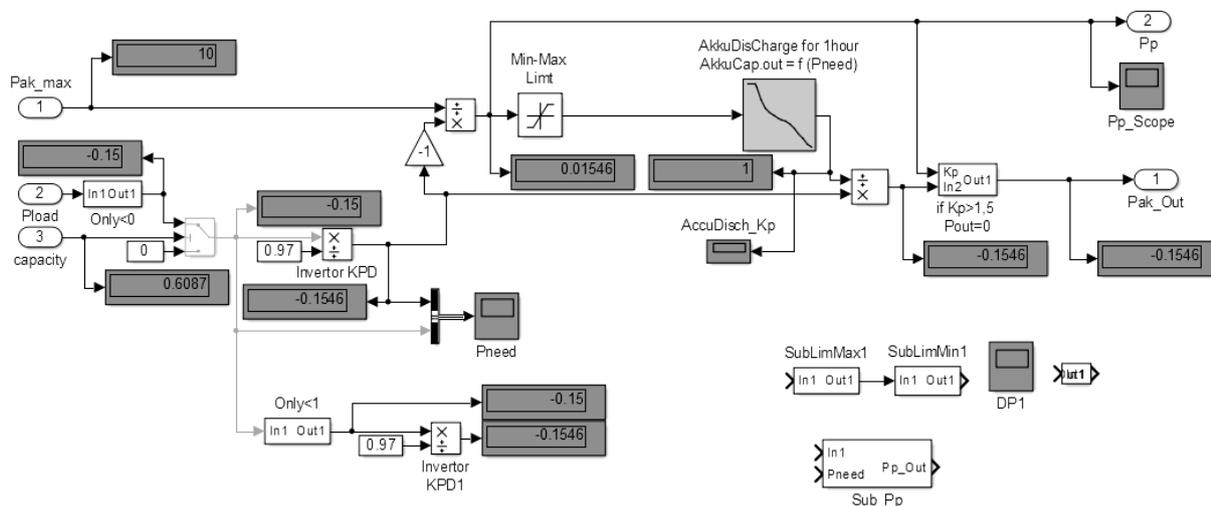


Рис. 1. Модель заряда-разряда литий-железо-фосфатных батарей

Солнечная энергия поступает от панелей на АКБ и накапливает там заряд. Подзарядившись полностью, батарея начинает функционировать в качестве бесперебойного источника питания в ночные часы и часы дефицита солнечной инсоляции. В часы избытка инсоляции, АКБ работают как накопители энергии, система же работает напрямую от солнечных батарей, расходуя мощность на работу энергопринимающих устройств. На рисунке 2, представлен график заряда/разряда АКБ и количество выработанной электроэнергии солнечными панелями при заданном уровне инсоляции.

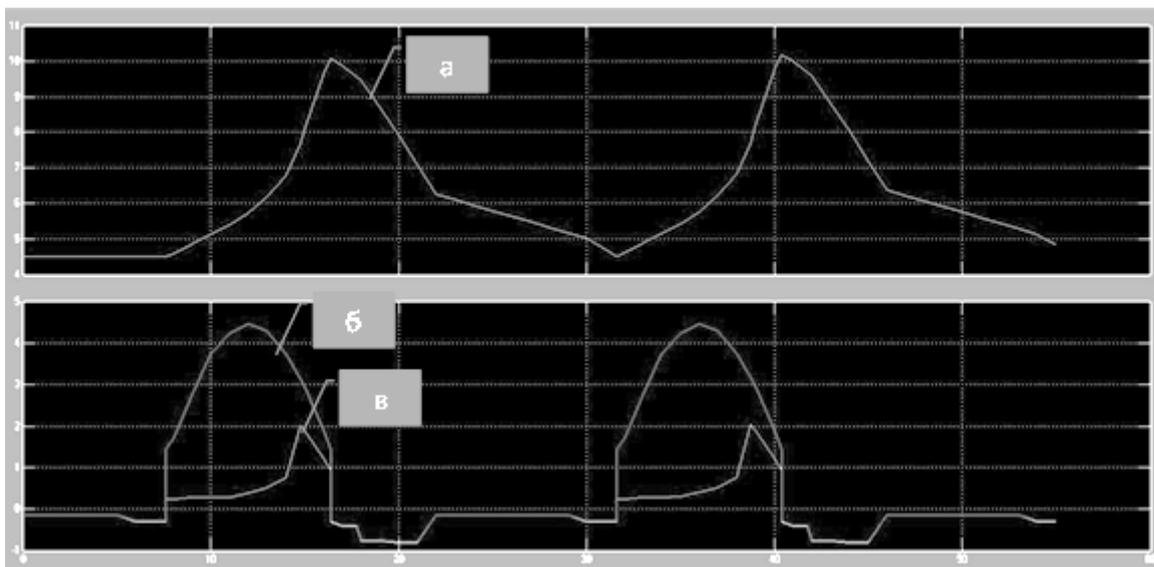


Рис. 2. а) График заряда/разряда АКБ; б) выработка ЭЭ солнечными панелями; в) нагрузка

Как видно из графика, потребитель (нагрузка) полностью удовлетворяет потребности в электроэнергии.

Табл. 1. Объёмы энергии, производимые одним солнечным модулем

Месяц	Количество энергии, производимый одним солнечным модулем, кВт·ч	Месяц	Количество энергии, производимый одним солнечным модулем, кВт·ч/месяц
Январь	20,36	Июль	37,57
Февраль	25,31	Август	36,26
Март	29,16	Сентябрь	32,88
Апрель	30,82	Октябрь	27,74
Май	34,36	Ноябрь	20,56
Июнь	34,84	Декабрь	15,30

ЛИТЕРАТУРА:

1. Романов В. В., Хашев Ю. М. Химические источники тока, 2 изд., М.: Советское радио, 1978. – 264 с.
2. Виссарионов В. И. Дерюгина Г. В. Кузнецова В. А., Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов/Под. Ред. В. И Виссарионова – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 320 с.
3. Lukutin, V.V., Sarsikeyev, Y.Zh., Surkov, M.A., Lyapunov, D.Yu. Tuning the regulators of wind-diesel power plant operating on the DC-bus // IEEEIC 2014 - Conference Proceedings.
4. Амброзяк А. Конструкция и технология полупроводниковых фотоэлектрических приборов / А. Амброзяк – М.: Книга по Требованию, 2012. – 392 с.

Научный руководитель: М.М. Попов, ассистент кафедры ЭПП ЭНИН ТПУ.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБКОЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

И.А. Игнатенко

Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Все элементы электроэнергетической системы (ЭЭС) взаимосвязаны непрерывным процессом генерирования, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Момент производства электроэнергии практически совпадает с моментом ее потребления, поэтому должен соблюдаться баланс генерируемых и потребляемых мощностей в системе. Невыполнение этого условия приводит к отклонению параметров режима системы [1].

Основными техническими проблемами развития современных ЭЭС являются проблемы повышения пропускной способности электропередач, управления режимами энергосистем, обеспечения статической и динамической устойчивости, снижения потерь мощности и энергии, уменьшения экологического влияния.

К основным экономическим проблемам следует отнести проблему снижения капитальных вложений на строительство линий электропередач (ЛЭП), сетей и подстанций и другие энергетические объекты, уменьшение потерь электроэнергии и эксплуатационных затрат. Острота и сложность указанных проблем возрастают с дальнейшим развитием энергосистем, увеличением дальности передачи электроэнергии, увеличением объемов производства и потребления электроэнергии, созданием и интеграцией параллельно работающих энергообъединений и необходимостью обеспечения требуемой энергетической безопасности [2,3].

Современные способы передачи электрической энергии в значительной степени могут повысить надежность, эффективность и безопасность энергетической инфраструктуры. Сегодня в условиях сложной политической обстановки обозначенный вопрос является очень важным. Примером этому могут служить события в Крыму. В образовавшейся изолированной энергосистеме региона имеется недостаточное количество собственной генерации. Необходимы дополнительные мощности, которые могут быть переданы из единой энергосистемы РФ. Но в таком случае необходимо выполнять условия сохранения устойчивости энергосистем, связанные с повышением передаваемой мощности.

Решить данные проблемы позволяет установка в ЭЭС комплекса компенсирующих устройств (КУ). КУ предназначены для увеличения пропускной способности ЛЭП и улучшения технико-экономических показателей ее работы (снижения потерь активной мощности, обеспечения требуемых значений напряжения при различных нагрузках и др.) [4].

Одним из современных способов передачи электрической энергии является технология гибкой передачи (ГЭП), которая улучшает управление потоками мощности в сети как в установившихся, так и в переходных режимах ЭЭС. Данная технология поддерживается производителями электрооборудования, научно-исследовательскими организациями во всем мире [5].

Для анализа эффективности применения ГЭП была рассмотрена электроэнергетическая система, состоящая из 10 узлов и 13 ветвей (Рисунок 1). В качестве балансирующего узла были выбраны шины принимающей системы с поддерживаемым постоянным напряжением $U_c = 220$ кВ.

Была создана математическая модель электрической системы в программном комплексе Mathcad. Расчет режима электрической сети проводился методом Ньютона, поскольку данный метод по сравнению с другими имеет быструю и устойчивую сходимость.

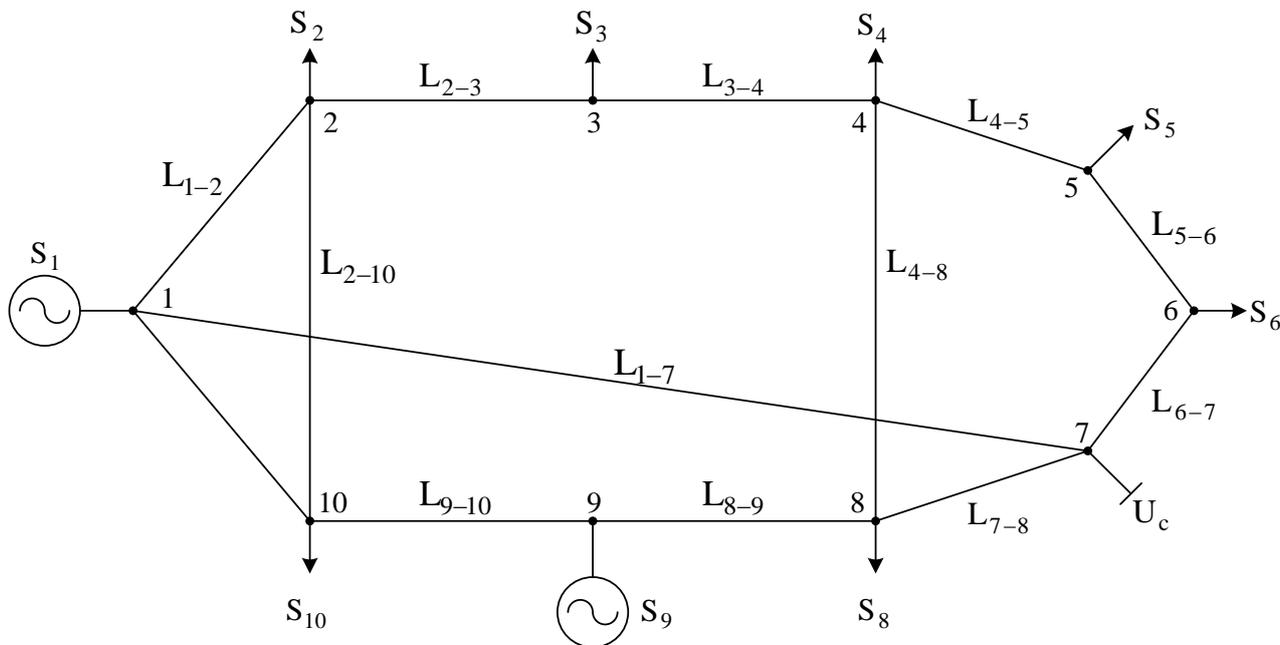


Рисунок 1 – Электроэнергетическая система

Для имитации аварии одна из ЛЭП была отключена и в системе нарушились требуемые уровни напряжения, и уменьшилась передаваемая мощность в принимающую систему. Произведены расчеты исходного, аварийного и послеаварийного режимов. По полученным результатам сделаны выводы о необходимости использования элементов ГЭП. Для нормализации требуемых уровней напряжения и повышения пропускной способности сети были предложены различные варианты мест установки КУ.

Анализ результатов расчетов с применением средств ГЭП показывает что:

- потери напряжения уменьшаются (уменьшаются напряжения в узлах генерации);
- отклонение напряжения в узлах генерации и потребителя не превышают 5 % от номинального напряжения в установившемся режиме;
- значения напряжения на шинах потребителей соответствуют требованиям по качеству электроэнергии.

Результаты расчета потерь активной мощности по вариантам сведены в Таблицу 1 и представлены на Рисунке 2.

Табл. 1. Значения потерь активной мощности для различных режимов

Виды режима	ΔP , МВт
Исходный режим	2,713
Аварийный режим	7,192
Новый установившийся режим	9,204
Режим с устройствами поперечной компенсации ГЭП	0,180
Режим с устройствами продольной компенсации ГЭП	5,329
Режим с устройствами поперечной и продольной компенсации ГЭП	0,011



Рисунок 2 – Потери активной мощности и передаваемая в систему активная мощность для различных расчетных режимов

Результаты расчета передаваемой активной мощности в систему в узле 7 по вариантам сведены в Таблицу 2 и представлены на Рисунке 2.

Табл. 2. Значения передаваемой мощности для различных режимов

Виды режима	P, МВт
Исходный режим	42,394
Аварийный режим	35,008
Новый установившийся режим	42,995
Режим с устройствами поперечной компенсации ГЭП	52,020
Режим с устройствами продольной компенсации ГЭП	46,871
Режим с устройствами продольной и поперечной компенсации ГЭП	52,511

Проведенный анализ эффективности от применения продольной, поперечной компенсации и от их совместной работы показал, что к наилучшим показателям привела совместная установка устройств управляемой продольной и

поперечной компенсации. В данном режиме уровни напряжения поддерживались на требуемом уровне, достигли минимальных значений потери активной мощности, и передаваемая активная мощность в принимающую систему оказалась наибольшей.

С помощью системы ГЭП можно ограничить или нейтрализовать возмущения в сети, такие как просадки и колебания напряжения, пульсации, гармоники и асимметрия фаз в трехфазных сетях. Системы ГЭП позволяют в энергосистеме увеличить пропускную способность, сохраняя или повышая в то же время резервы по эксплуатационным параметрам, определяющим надежность сети. При сопоставлении такого решения с альтернативными – строительством новой линии электропередачи или вырабатывающих мощностей – видно, что при очень малом влиянии на окружающую среду потребителям может быть отдано большее количество энергии, сроки реализации проекта короче, а объем капиталовложений меньше. Обеспечивается необходимая гибкость, поскольку система ГЭП может одновременно и с высоким быстродействием влиять на несколько параметров сети, такие как потоки активной и реактивной мощности [6].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Игнатенко И.В. и др. Оценка пропускной способности линии 500 кВ с устройствами гибких электропередач / И.В. Игнатенко, А.М. Константинов, Л.С. Демина // Электротехника.- 2016.- N 2.- С. 49-51.
2. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. - Ростов: Феникс, 2008.- 715 с.
3. Электрические сети и энергосистемы: Учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта // Р.И. Караев, С.Д. Волобринский, И.Н. Ковалев и др.- М.: Транспорт, 1988.- 326 с.
4. Постолатий В.М. Повышение пропускной способности и управляемости электропередач переменного тока // Проблемы региональной энергетики.- 2008. - N 3.- С. 86-103.
5. Меркурьев Г.В., Шаргин Ю.М. Устойчивость энергосистем.- СПб.: НОУ Центр подготовки кадров энергетики, 2008.- 376 с.
6. Грюнбаум Р., Уллерюд Ю. Гибкость сети. FACTS: новейшее средство увеличения пропускной способности // АББ Ревю.- 2005.- N 4.- С. 21-24.

Научный руководитель: И.В. Игнатенко, к.т.н., доцент кафедры Системы электроснабжения, Дальневосточный государственный университет путей сообщения.

ПРИМЕНИМОСТЬ КОНЦЕПЦИИ “SMART GRID” К УГОЛЬНЫМ РАЗРЕЗАМ КУЗБАССА

А.Э. Евстратов, И.Ю. Семькина
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПЭО

Электроснабжение отдельных категорий потребителей в единой электроэнергетической системе России имеет свои особенности. Среди них, например, потребители открытых горных работ, которые рассмотрим на примере разреза «Кедровский».

Схема электроснабжения разреза – комбинированная с продольным расположением передвижных воздушных линий (ВЛ) 6 кВ на уступах и с поперечными участками для переходов через уступы. Основные электроприемники – это экскаваторы. Они присоединяются к передвижным ВЛ 6 кВ через переключательные пункты, оборудованный вакуумными выключателями, а сети применяются с изолированной нейтралью. Количество механизмов, присоединяемых к одной ВЛ 6 кВ, не превышает нормативов [1] и [2].

Электроснабжение вспомогательных электроприемников выполняется от передвижных комплектных трансформаторных подстанций (ПСКТП) на напряжение 0,38 кВ или 380/220 В с глухозаземленной нейтралью. В соответствии с требованиями [3] ПСКТП оснащены максимальной токовой защитой и защитой от замыканий на землю.

С использованием журналов аварийных простоев и отказов электрооборудования разреза за 2014 г. были проведены парный регрессионный и корреляционный анализы надежности, при этом влияние различных параметров рассматривалось отдельно. На основании полученных данных была построена множественная регрессия:

$$N = 23.2 + 7.39L_n + 24.55N_s + 1.99N_{nom},$$

где N – количество отказов, L_n – длина передвижной части, N_{nom} – количество потребителей, N_s – количество экскаваторов.

Полученное уравнение было проверено на значимость с помощью F -теста, т.е. сравнивались расчетные значения R^2 с R^2 из таблицы критических значений [4] для соответствующего уровня значимости (в данной работе принят 5%). Если расчетное R^2 меньше, чем критическое R^2 , значит соответствующая модель не является значимой и наоборот.

Для полученной модели значения $R^2=0.882$, а критическое значение $R^2=0.764$, т.е. полученная модель является значимой и может быть использована для последующего анализа.

Полученная регрессия подтверждает, что число отказов угольного разреза «Кедровский» в наибольшей степени зависит от количества экскаватора питаемых от одного фидера. Рассмотрим часть распределительной сети разреза с двумя экскаваторами и обеззараживающей станцией, представленной на рис.1.

Расчет электрических нагрузок для данной схемы электроснабжения при вскрышных работах выполнен по методу удельного расхода электроэнергии в соответствии с руководящим техническим материалом [2] и инструкцией [5]. параметры нагрузки для выделенного участка представлены в таблице 1.

Кедровский фидерный пункт КПФ

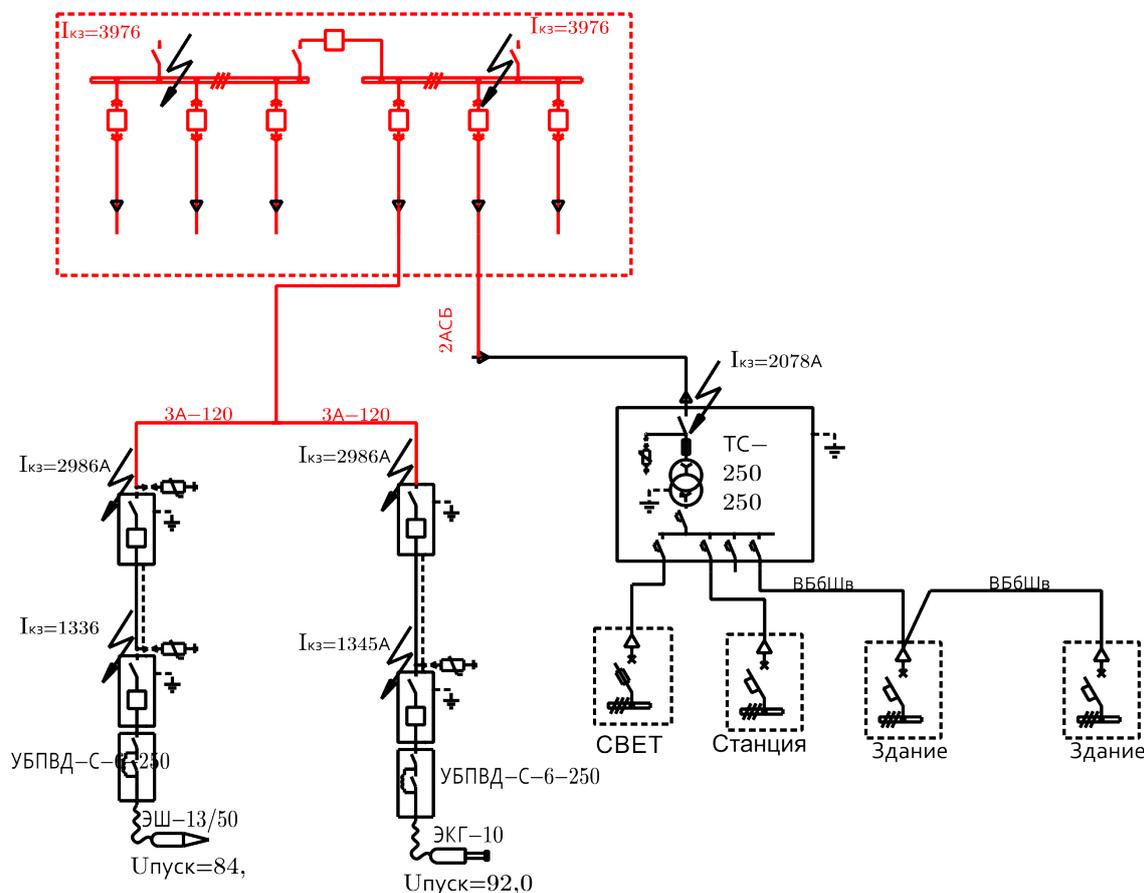


Рис. 1. Структурная схема участка угольного разреза “Кедровский”

Табл. 1.

Параметр		Значение	
Напряжение, кВ		6	
Одновременно работающая мощность, кВт		17 854	
Коэффициент сменности работы оборудования		0.85	
Коэффициент спроса		0.53	
Коэффициент мощности	cos φ	0.99	
	tg φ	0.14	
Расчетный максимум нагрузки	активной, кВт	9 535	
	реактивной, кВАр	отстающий	1 356
		опережающий	—
полной, кВА		9 631	

С помощью компьютерного моделирования был проведен анализ работы распределительной сети разреза при максимальной нагрузке (одновременном запуске обоих экскаваторов). В модель вложены приводные двигатели экскаваторов, коммутационное оборудования и кабели с распределёнными параметрами. Результаты моделирования представлены на рис. 2, где видно, что величина

напряжения на зажимах приводного двигателя в 2.36 раз меньше, чем на фидере. При такой форме напряжения экскаватор не сможет запуститься, т.к. срабатывает защита от затыжного пуска.

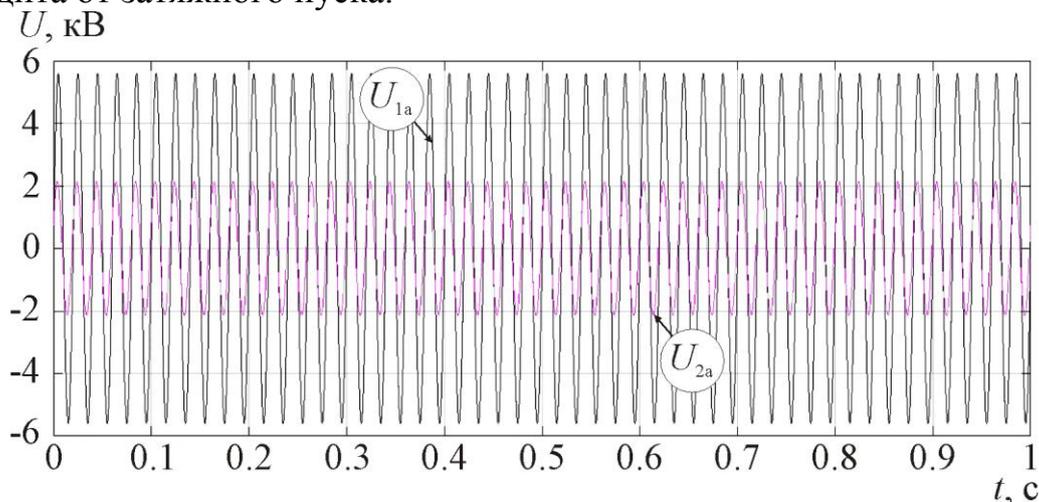


Рис. 2. Диаграммы изменения фазного напряжения при максимальной нагрузке: U_{1a} – напряжение на фидерном пункте; U_{2a} – напряжение на зажимах приводного двигателя ЭКГ-10

Таким образом, существующая система электроснабжения разреза не обеспечивает работу в максимальной нагрузке, а вкупе с неорганизованным включением вспомогательного оборудования в часы максимума все это представляет собой серьезную проблему, для решения которой можно эффективно применить концепцию Smart Grid.

В предлагаемой Smart Grid для компенсации амплитуды напряжения в момент запуска экскаватора предлагается использовать аккумуляторы с инверторами, ведомыми сетью, мощность которых для выделенного участка составляет 40 % от пусковой мощности приводных двигателей экскаваторов. Результаты моделирования предложенной Smart Grid представлены на рис. 3.

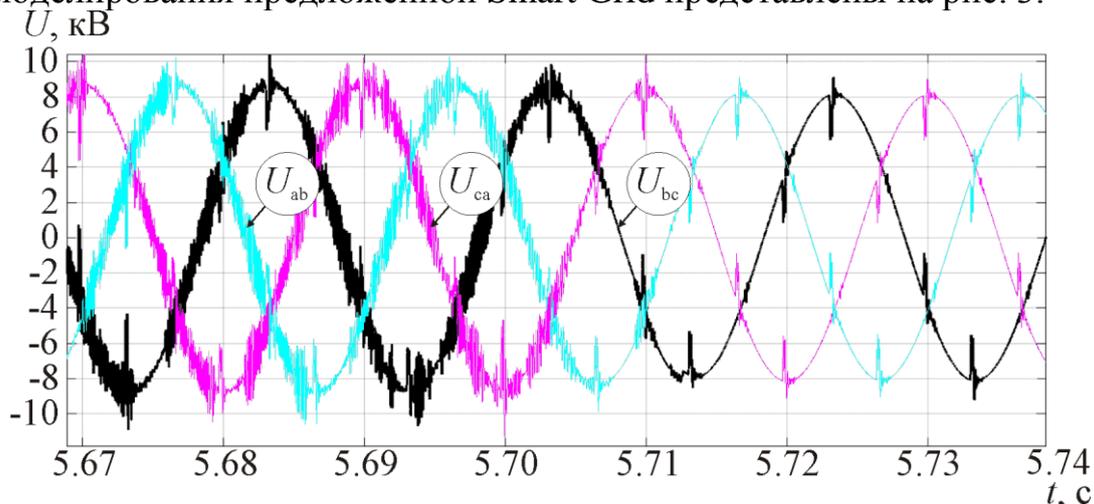


Рис. 3. Напряжение на зажимах приводного двигателя ЭКГ-10 с разработанной Smart Grid при максимальной нагрузке

Полученные данные подтверждают, что разработанная система обеспечивает высокое качество электроснабжения разреза и возможность работы при максимальной нагрузке. Также она позволяет управлять вспомогательным оборудованием в моменты минимальной загрузки сети, что уменьшает простой

электрооборудования, увеличивает надежность системы в целом, создавая частично автономный объект.

Несмотря на то, что внедрение Smart Grid требует значительных капитальных затрат и реорганизацию всей системы электроснабжения разреза, что экономически нецелесообразно на разрезе «Кедровский», можно считать обоснованной эффективностью применения предложенной Smart Grid на вновь создаваемых разрезах Кузбасса.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Правила технической эксплуатации при разработке угольных и сланцевых месторождений открытым способом. – М.: Министерство угольной промышленности СССР, 1970. – 249 с.
2. РТМ 12.25.006-90 "Расчет и построение систем электроснабжения угольных разрезов".
3. ПБ 05-619-03 "Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом".
4. Сигел Э.Ф. Практическая бизнес-статистика. – М.: Издательский дом «Вильямс». – 2004. – 1056 с.
5. Инструкция по проектированию электроустановок угольных шахт, разрезов, обогатительных и брикетных фабрик. – М: Министерство топлива и энергетики РФ; Комитет угольной промышленности, 1993. – 114 с.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОЛОЛЕДНО-ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПРОВОДА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Р.Ш. Мисбахов, О.Г. Савельев, А.А. Галяутдинов
Казанский государственный энергетический университет

Отложение гололёда представляет большую опасность для стабильного энергоснабжения и нормальной эксплуатации воздушных линий электропередачи. За последние двадцать лет произошли значительные изменения в динамике и географии образования гололёда на высоковольтных линиях передачи электроэнергии. В условиях относительно мягкой зимы при резком перепаде значений температуры окружающего воздуха от положительной к отрицательной на проводах оседают капли воды и начинается лавинообразный процесс образования толстой ледяной корки, достигающей толщины в несколько десятков миллиметров и многократно утяжеляющей провода. При этом толщина плотного гололёда на проводах может достигать 40–50 мм, а рыхлого – 90–100 мм. Расчёты показывают, что при толщине наледи в 50 мм масса провода марки АС-500 сечением в 500 мм² длиной в 1 км возрастает с 1,85 т до 12,5 т, то есть увеличивается почти в 7 раз, а при толщине наледи в 70 мм – до 20,7 т, то есть в 11 раз.

Гололедные отложения создают внешние механические нагрузки на провода и опоры ВЛ электропередачи. Для каждой территории в зависимости от климатических условий уровень нагрузок различный. При проектировании ВЛ необходим обязательный учет этих нагрузок, которые регламентируются «Правилами устройства электроустановок» [1]

От температуры воздуха зависит не только образование того или иного вида обледенения, но и продолжительность процессов, что имеет большое значение. Понижение температуры воздуха в процессе обледенения способствует длительному сохранению льда на проводах, в результате чего при ветре возникает вибрация и пляска проводов, отмечаются случаи их обрыва.

Ветер играет немаловажную роль в формировании структуры отложения. При определенных условиях он может способствовать слиянию мелких капель в крупные, содействуя растеканию капель по поверхности предмета, и напротив, дроблению крупных капель на более мелкие.

Кривая провисания провода может моделироваться уравнением цепной линии. Для этого определяется напряжение в материале провода при текущих климатических условиях и удельная нагрузка.

Стрела провеса для каждого расчётного климатического условия определяется следующим образом [2]:

$$f = \frac{\gamma \cdot l^2}{8 \cdot \sigma}, \quad (1)$$

где l - длина пролёта, м;

σ - напряжение в материале провода в соответствующем расчётном режиме, даН/мм²;

γ - удельная нагрузка в расчётном режиме, для которого производится определение стрелы провеса.

Напряжение в материале провода для текущих климатических условий определяется по основному уравнению состояния провода в пролёте [2]:

$$\sigma - \frac{\gamma^2 \cdot l^2}{24 \cdot \sigma^2 \cdot \beta} = \sigma_m - \frac{\gamma_m^2 \cdot L^2}{24 \cdot \sigma_m^2 \cdot \beta} - \frac{\alpha}{\beta} \cdot (t - t_m) \quad (2)$$

где l - длина пролёта, соответствующая данной расчётной точке, м;

σ - напряжение в материале провода в соответствующем расчётном режиме при измеренных климатических условиях, даН/мм²;

γ - удельная нагрузка в расчётном режиме при измеренных климатических условиях.

σ_m - начальное напряжение в материале провода для соответствующего расчётного режима, даН/мм²;

γ_m - удельная механическая нагрузка на провод соответствующего расчётного режима, даН/м·мм²;

t_m - температура воздуха окружающей среды в различных климатических условиях, °С;

$$\beta = \frac{1}{E} \text{ - коэффициент упругого удлинения провода, } \frac{\text{мм}^2}{\text{даН}};$$

E - модуль упругости сталеалюминиевого провода, $\frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}$;

α - коэффициент температурного расширения провода, 1/град.

Коэффициент неравномерности скоростного напора ветра определяется по следующему выражению:

$$\alpha = -1.121E-06q + 3.108E-04q^2 - 2.854E-02q + 1.566 \quad (3)$$

где q - скоростной напор ветра

Удельная ветровая нагрузка, действующая на провод, покрытый гололёдом:

$$\gamma_5 = \frac{\alpha \cdot 0,25 \cdot q_{\max} \cdot (d + 2 \cdot b) \cdot C'_x \cdot K_l}{(F_a + F_c) \cdot 10^3} \cdot \sin^2 \varphi, \quad (4)$$

По измеренным значениям температуры окружающей среды и ветрового напора определяется текущая нагрузка и напряжение в материале провода путем решения нелинейного уравнения состояния провода. Рассчитанные значения позволяют определить кривую провеса провода.

Степень изменения стрелы провеса так же зависит от начальной величины провеса в нормальных условиях. Проведя касательную в точке установки датчика можно определить угол наклона провода по отношению к горизонту. График зависимости изменения угла наклона от толщины стенки гололеда представлен на рисунке 1.

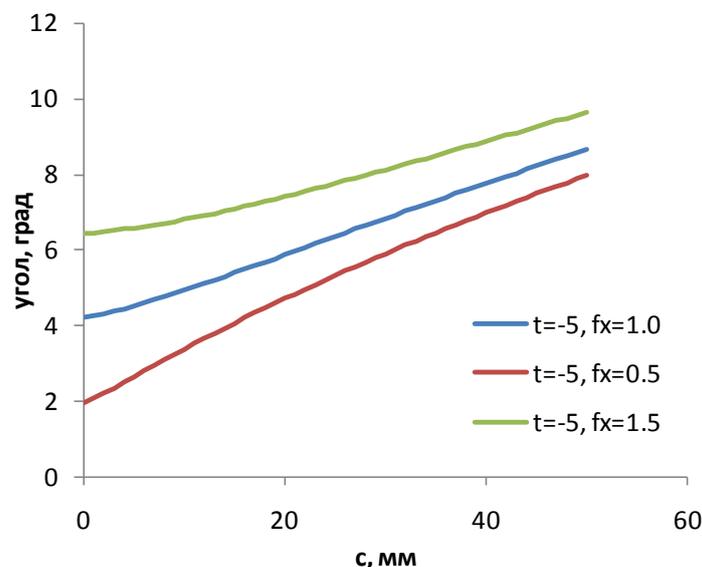


Рис. 1. Угол наклона касательной в зависимости от толщины стенки гололеда при различных начальных условиях, рассчитанный для провода марки АС-70.

Определение гололеда проводится в два этапа. На первом определяется структура и порядок уравнения, описывающего стрелу провеса с требуемой точностью. С математической точки зрения подобная задача является задачей аппроксимации экспериментальной кривой некоторым уравнением. В задачи определения гололедообразования, такими уравнениями являются уравнение расчета стрелы провеса и телеграфные уравнения. Проведя серию измерений контролируемых параметров, составляется система нелинейных уравнений, в которых неизвестной является величина пропорциональная толщине стенки гололеда.

Толщина стенки гололеда определяется путем решения уравнения

$$\varphi = \frac{(l-2x)\sqrt{(P_1+0,9\pi c(d+c)\cdot 10^{-3})^2+(\alpha C_x q(d+2c)\cdot 10^{-3})^2}}{F\cdot 2\sigma(c)} + \frac{\Delta h}{l} \quad (5)$$

где φ – угол касательной к горизонту в точке установки датчика;

c – толщина стенки гололеда.

α - коэффициент, учитывающий неравномерность скоростного напора ветра по длине пролёта;

C_x - аэродинамический коэффициент лобового сопротивления провода.

Рассмотренные особенности методики определения гололеда основаны на вычислении оценок, с помощью которых осуществляется сравнения контролируемого объекта с эталонным по различным наборам признаков и использование весовых процедур. Оптимальные параметры модели и весовые процедуры находятся из решения задачи оптимизации модели - определяются такие значения параметров, при которых точность (сумма квадратов отклонений) является максимальной.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2015 г. (+CD). - М.: КНОРУС, 2015. - 488 с.
2. Короткевич М.А. Проектирование линий электропередачи: Учебное пособие / М.А. Короткевич. - Минск: Вышэйшая школа, 2010. - 574 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ» ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Л.А. Фельдман, О.В. Филимонова
Самарский государственный технический университет

Сегодня энергоэффективность и энергосбережение входят в пятерку стратегических направлений приоритетного технологического развития. В рамках программы энергосбережения, стартовавшей в России, также актуальным становится налаженный выпуск серии энергосберегающих трансформаторов. В настоящее время потенциальный покупатель оценивает приобретаемый транс-

форматор по критериям – энергоэффективность – качество – цена - последующие эксплуатационные расходы.

Конструкция силовых трансформаторов, как масляных, так и сухих, уже более столетия является практически неизменной: магнитопровод, обмотки, бак (для масляных трансформаторов), хотя постоянно совершенствуется технология их изготовления.

Наиболее перспективный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов - это применение магнитопроводов из аморфных (нанокристаллических) сплавов, при этом обеспечивается более чем пятикратное снижение потерь холостого хода трансформаторов по сравнению с магнитопроводами из холоднокатаной электротехнической стали. В данном направлении более всех продвинулись США, Китай и Индия. Однако широкое применение «аморфных» трансформаторов сдерживается рядом факторов. Аморфная сталь хрупкая, как стекло, и это накладывает особые требования к процессу производства трансформаторов, а также требует тщательного испытания произведенной продукции, ее мониторинга в полевых условиях. Из-за низкой механической прочности аморфной стали к конструкции сердечника и условиям его производства предъявляются особые требования. Аморфный сердечник не допускает действия чрезмерной весовой нагрузки. Он крепится к обмоткам, расположенным на несущей базе, и требует дополнительных мероприятий по увеличению жесткости конструкции.

Наибольших успехов в данном направлении добились США и Япония. Японская фирма "Hitachi" в сотрудничестве с американской "Allied Signal" выпустила на рынок гамму силовых трансформаторов (мощностью от 500 до 1 тыс. кВА), сердечник которых изготовлен из аморфного сплава. Как показали испытания, он позволяет сократить потери энергии в сердечнике трансформатора на 80% по сравнению со стальным аналогом. Недостатком сердечников из аморфных материалов является их более высокая стоимость по сравнению с традиционными материалами - у японской фирмы эта разница достигает 15 - 20%.

Второе направление в повышении энергоэффективности – разработка технологии уменьшения мощности потерь короткого замыкания. Для данной технологии разработан новый тип «интеллектуального» трансформатора DryFormer, обмотки которого выполняются из специального кабеля. Этот кабель имеет многопроволочную медную или алюминиевую токопроводящую жилу, поверх которой наложен тонкий слой полупроводящего материала, что позволяет устранить неравномерность электрического поля, вызванного многопроволочностью жилы. Изоляция такой жилы изготавливается из полиэтилена, ее толщина выбирается из соображений электрической прочности (практически достижим уровень напряжения 220 кВ). Поверх изоляции наложен экран, выполненный также из полупроводящего материала, который заземляется, что обеспечивает рациональное распределение электрического поля. Отсутствие масла, снижение более чем вдвое доли горючих материалов по сравнению с обычным трансформатором устраняют риск пожара, взрыва, загрязнения воды и почвы при повреждении трансформатора. Это позволяет применять такие ап-

параты в зонах с большой плотностью населения, в подземных установках, в экологически охраняемых регионах. Для такого трансформатора не нужны вводы высокого напряжения; просто кабель, которым выполнена обмотка, протягивается к распределительному устройству на любую длину.

В нашем случае, мы моделировали применение трансформаторов, разработанных с применением энергоэффективных технологий, в распределительных сетях сельских районов Самарской области.

Проведенные нами исследования и компьютерное моделирование показало, что наиболее оптимальным для такого случая, является выбор трансформатора типа DryFormer, который относительно прост по конструкции, надежен и не требует дополнительного усиления конструкции. Высокая стоимость трансформатора достаточно быстро окупается снижением затрат на эксплуатационные расходы.

При оценке экономической эффективности и срока окупаемости «интеллектуального» энергоэффективного трансформатора в условиях Самарской области были сделаны следующие выводы:

1. При использовании трансформатора типа DryFormer в системах электроснабжения, средний срок его окупаемости составляет 5 лет;
2. В условиях сельских районов Самарской области применение подобных трансформаторов позволяет осуществлять оптимизацию и более эффективное распределение нагрузки в сетях, что снижает потребность в масштабных капитальных затратах на новые подстанции и линии электропередач.

Таким образом, перспективы использования в Самарской области «интеллектуальных» энергоэффективных технологий при изготовлении силовых трансформаторов имеют большой потенциал для проектирования новых и модернизации существующих распределительных сетей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Канарейкин А.Н. «Умные» трансформаторы для «умной» энергетики// Энергетика и промышленность России. - 2012. - № 08.
2. Савинцев Ю.М. Анализ состояния производства в РФ силовых масляных трансформаторов I-III габаритов// Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. - 2012. - №1. - С. 43-53.

Научный руководитель: В.Н. Козловский, д.т.н., профессор, Самарский государственный технический университет.

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Н.А. Новгородов

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Электрораспределительные сети (ЭРС) низкого напряжения включают в себя следующие основные элементы: кабельные (КЛ) или воздушные (ВЛ) линии электропередач, понижающие трансформаторные подстанции (ПТП) с одним или несколькими понижающими трансформаторами (ПТ) и для автономных ЭРС – дизельные электростанции (ДЭС) с двумя или более дизель-генераторами (ДГ) в своем составе.

Существующие способы определения параметров элементов ЭРС ориентированы на использование в качестве определяющего параметра максимальной мощности нагрузки и не позволяют рассчитывать на значительное уменьшение потерь. Известные методы и способы снижения потерь в элементах ЭРС не позволяют существенно снизить потери энергии, во многом экономически, технически и технологически неэффективны, снижают надежность работы элементов, не учитывают текущего состояния коммутирующих устройств и его изменений вследствие воздействия окружающей среды.

К основным факторам увеличения потерь по сравнению с минимально возможными относятся случайные колебания и несимметрия нагрузок элементов ЭРС. Изменение нагрузок существенно повышает потери в элементах городских и автономных ЭРС. Увеличение среднегодовых потерь энергии в трансформаторах вследствие изменения нагрузок составляет до 10 % по сравнению с минимально возможными, в кабельных линиях – 0,15% от передаваемой энергии и в дизель-генераторах до 16,5 % по сравнению с минимально возможными [1].

Учитывая перечисленные недостатки, целесообразным является создание систем управления, подстраивающих характеристики элементов ЭРС под их реальные режимы работы с учетом данных, полученных за счет постоянного мониторинга нагрузок элементов и условий окружающей среды.

В работе [1] рассмотрены принцип действия и алгоритм работы системы управления двухтрансформаторной ПТП, предназначенной для управления ее мощностью путем переключения трансформаторов и уменьшения несимметрии токов в ПТ путем переключения нагрузок ПТ с одной фазы на другую. Схема ПТП (рисунок 1) включает в себя трехфазную сеть 6(10)кВ; понижающие трансформаторы 6(10)/0,4кВ Т1 и Т2; коммутирующие аппараты для защиты и коммутации элементов схемы: выключатели – линейные ЛВ1, ЛВ2, шинные ШВ1, ШВ2, секционный СВ, транзисторные модули ТМ; однофазные отходящие нагрузки Н; датчики измеряемых величин: тока, напряжения, температуры; микроконтроллер для обработки, хранения данных и управления выключателями.

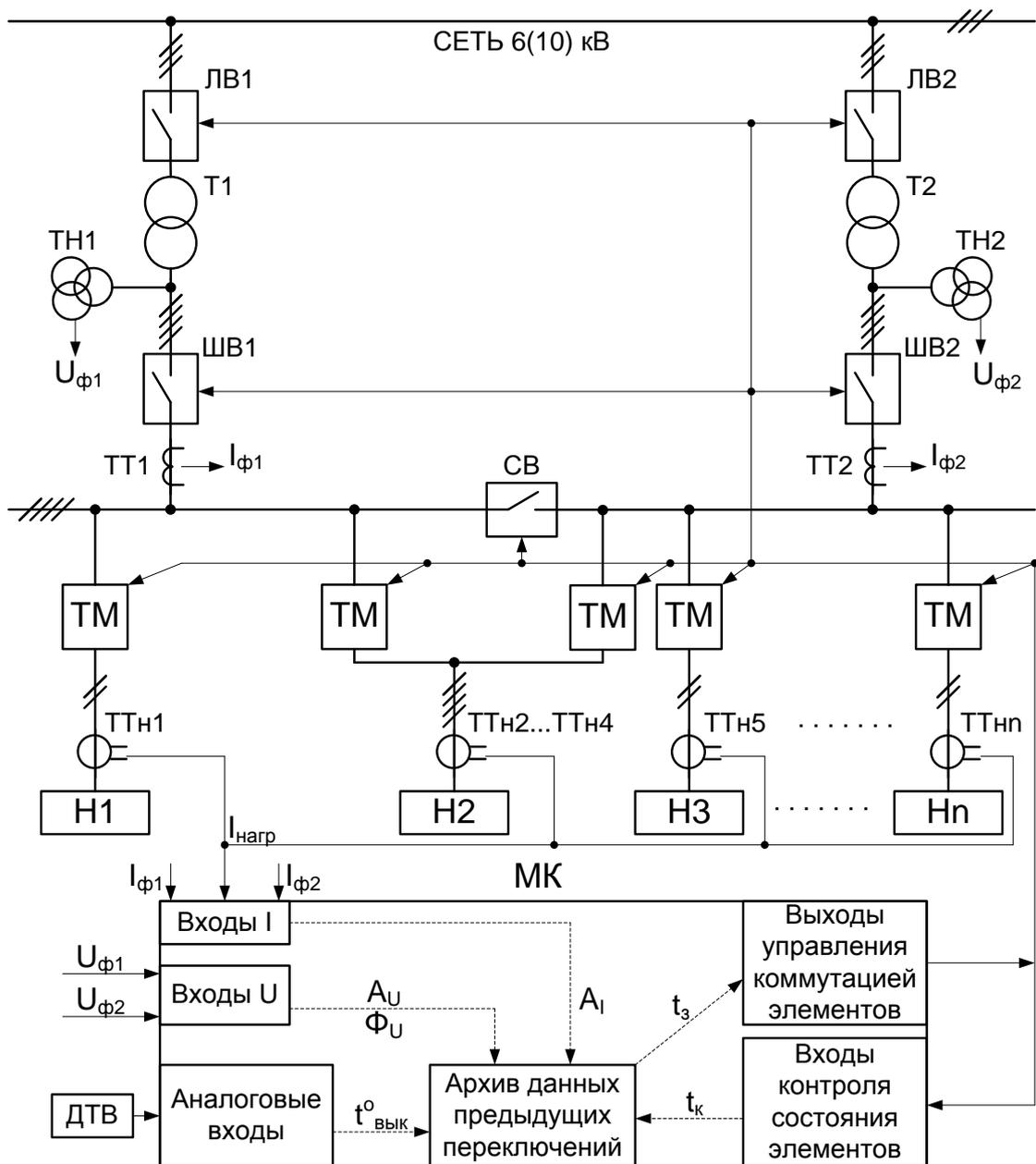


Рис. 1. Функциональная схема ПТП с двумя трансформаторами

Система управления устанавливается на ПТП с целью снижения потерь электроэнергии и повышения надежности работы электрооборудования за счет:

- переключения ПТ в зависимости от изменения мощности нагрузки;
- снижения несимметрии нагрузки выравниванием нагрузок по фазам ПТ;
- снижения токов при переключениях нагрузок за счет прогнозирования момента времени переключения с использованием данных предыдущих коммутаций.

Величина мощности нагрузки $P_{нагр}$ рассчитывается микроконтроллером по каждой секции ПТП по формуле:

$$P_{нагр} = I_{нагр} \cdot U_{\phi} \quad (1)$$

Данные по каждому включению/отключению ПТ, а также переключению с одной фазы на другую любой из нагрузок (параметр t_k) поступают на входы

контроля состояния элементов и аналоговые входы схемы. К таким данным относятся: время включения/отключения выключателей ЛВ1, ЛВ2, ШВ1, ШВ2, СВ и любого из полупроводниковых модулей ТМ; уровни температуры выключателей. Одновременно с этим непрерывно фиксируются значения токов и напряжений на секциях ($I_{\phi 1}, U_{\phi 1}, I_{\phi 2}, U_{\phi 2}$) и тока нагрузки $I_{нагр}$. Все данные, характеризующие текущее состояние схемы и ее элементов передаются в архив данных микроконтроллера. С каждым последующим изменением состояния схемы (включение/отключение выключателей) происходит накопление данных в архиве, их обработка и расчет времени задержки t_3 срабатывания выключателей ШВ1, ШВ2 и подачи импульсов открывания/закрывания транзисторных модулей ТМ. Управление коммутацией перечисленных элементов осуществляется путем подачи сигналов с выходов управления микроконтроллера.

Микроконтроллер выполняет следующие основные функции:

- определяет какой трансформатор(ы) в данный момент времени должен работать;
- определяет нагрузки и фазы ПТ, на которые их необходимо переключить;
- рассчитывает моменты подачи сигналов со своего выхода на модули коммутации нагрузки ТМ с учетом времени задержки сигналов исходя из данных по предыдущим переключениям.

Для подключения каждой однофазной отходящей нагрузки к любой из фаз ПТ используются три ТМ (по одному на каждую фазу), для подключения трехфазной нагрузки используются трехполюсный ТМ. Таким образом, становится возможным подключить определенную отходящую однофазную нагрузку к определенной фазе ПТ, тем самым выравнивая нагрузки по фазам ПТ и снижая несимметрию токов на стороне низкого напряжения ПТ.

Общий алгоритм системы управления работой ПТП с двумя трансформаторами объединяет в себе четыре подпрограммы и начинает функционировать с ввода паспортных данных ПТ в память МК. К таким данным относятся:

- номинальные полные мощности трансформаторов Т1 и Т2, кВА;
- потери холостого хода и короткого замыкания трансформаторов при номинальном напряжении, кВт;

На следующем этапе алгоритма происходит считывание данных с датчиков температуры силовых выключателей схемы ЛВ1, ЛВ2, ШВ1, ШВ2, СВ посредством дискретных входов МК. Далее по порядку выполняются следующие подпрограммы:

- переключения ПТ в зависимости от величины их нагрузки, определяет какой силовой выключатель и при каких условиях должен быть включен, а какой отключен с целью увеличения надежности работы ПТ;
- управления коммутацией силовых выключателей, в которой МК рассчитывает временную задержку с целью снижения бросков токов переходного процесса включения выключателя;

- снижения несимметрии нагрузок, где МК определяет какую нагрузку и к какой фазе ПТ необходимо подключить, а от какой фазы отключить;
- коммутации нагрузок с использованием ТМ.

Алгоритм работы системы управления однострансформаторной ПТП отличается от приведенного отсутствием подпрограмм переключения ПТ и управления силовыми выключателями, осуществляющими это переключение.

Алгоритм системы управления работой ДЭС с двумя ДГ должен включать следующие начальные параметры ДГ:

- номинальные мощности ДГ1 и ДГ2, кВт;
- номинальные удельные расходы топлива ДГ1 и ДГ2, г/кВт;
- фактические температуры ДГ1 и ДГ2.

Далее происходит считывание данных с датчиков температуры ДГ и силовых выключателей схемы, осуществляющих переключения в ДЭС для работы с одним или двумя ДГ на всю нагрузку. На следующем этапе выполняются следующие подпрограммы:

- переключения ДГ в зависимости от величины суммарной нагрузки ДЭС; определяет какой из силовых выключателей должен быть включен и какой отключен, а также условия переключения, с целью снижения расхода топлива и повышения надежности работы ДГ;
- управления коммутацией силовых выключателей.

Алгоритм системы управления удаленными нагрузками линий электропередач включает в себя две подпрограммы:

- снижения потерь от несимметрии нагрузок за счет их выравнивания по фазам линии электропередач;
 - коммутации нагрузок, которая производится за счет срабатывания ТМ.
- Внедрение перечисленных алгоритмов и схем их реализующих позволит:
1. создать интеллектуальную, адаптивную систему управления для каждого элемента ЭРС;
 2. эффективно снижать потери электроэнергии от колебаний и несимметрии нагрузок;
 3. повысить надежность и срок службы как самих элементов ЭРС, так и вспомогательных/коммутирующих устройств, т.е. электrorаспределительной сети в целом.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гринкруг М.С. и др. Управление работой элементов электрических сетей низкого напряжения / М.С. Гринкруг, Н.А. Новгородов, Ю.И. Ткачева. – LAMBERT, 2016. – 117 с.

Научный руководитель: М.С. Гринкруг, к.т.н., профессор каф. ФЭХТ КНАГТУ.

АЛГОРИТМ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ НЕСИММЕТРИИ ДЛЯ УЧАСТКА ГОРОДСКОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ГОРОДА ТОМСКА

Т.Е. Турукина
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП

На сегодняшний день к наиболее актуальным проблемам в сфере электроэнергетики могут быть отнесены энергосбережение и улучшение показателей качества электроэнергии (ЭЭ) [1]. Среди последних немаловажную роль играют коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям, характеризующие такое понятие как несимметрия напряжения в трехфазных системах. Для городских электрических сетей (ЭС) напряжением 0,38 кВ одним из наиболее частых явлений является как раз несимметрия напряжений, вызванная постоянно растущим числом подключений большого количества однофазных бытовых и осветительных электроприемников (ЭП) малой мощности. Протекание несимметричных токов нагрузки по элементам системы электроснабжения приводит к несимметричной системе напряжений на выводах ЭП и ухудшению условий работы всех элементов сети, снижению надежности работы электрооборудования и системы электроснабжения в целом [2, 3]. Кроме этого работа систем электроснабжения в условиях несимметрии токов и напряжений приводит также к экономическому ущербу, где увеличение потерь активной мощности и ЭЭ является составной частью. В данной работе оценивается необходимость снижения несимметрии токов и напряжений в городской распределительной сети (РС) на примере участка ЭС города Томска.

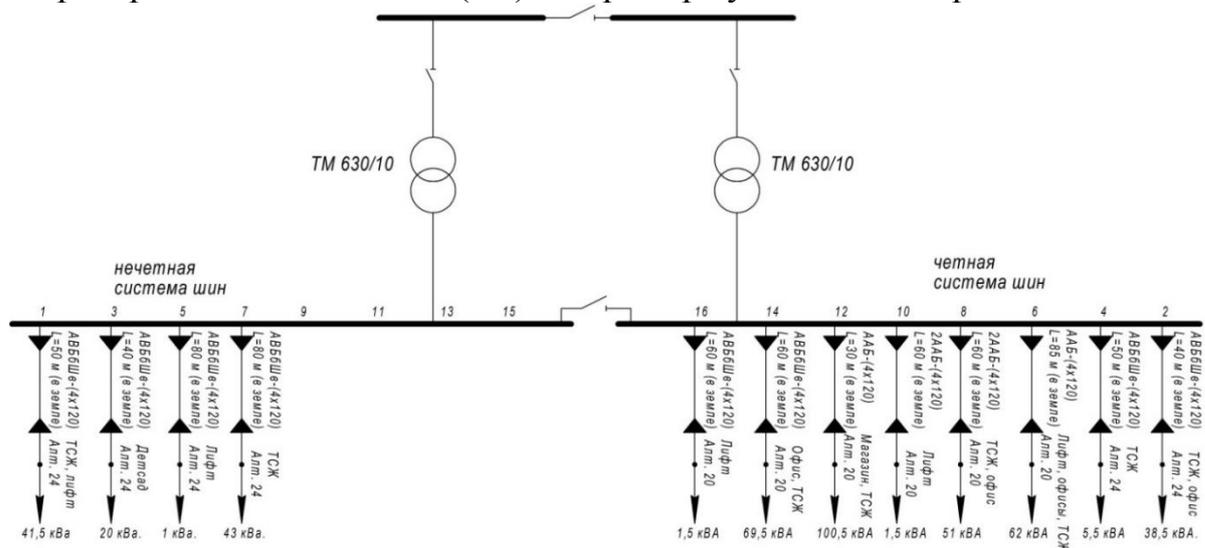


Рисунок 1 – фрагмент трансформаторной подстанции (ТП), смоделированный в программном комплексе

Предметом исследования является ТП городской системы электроснабжения (рисунок 1). Нагрузка задается как одно- и трехфазная смешанная нагрузка. Нагрузка соответствует действительным условиям эксплуатации. Для

ее моделирования взят типовой суточный график нагрузки по фазам для жилого дома с электрическими плитами. Двигательная нагрузка включает в себя оборудование, выходная мощность которого остается постоянной при изменении напряжения. На рисунке 2 представлена нагрузка подстанции по фазам в виде гистограммы с накоплением.

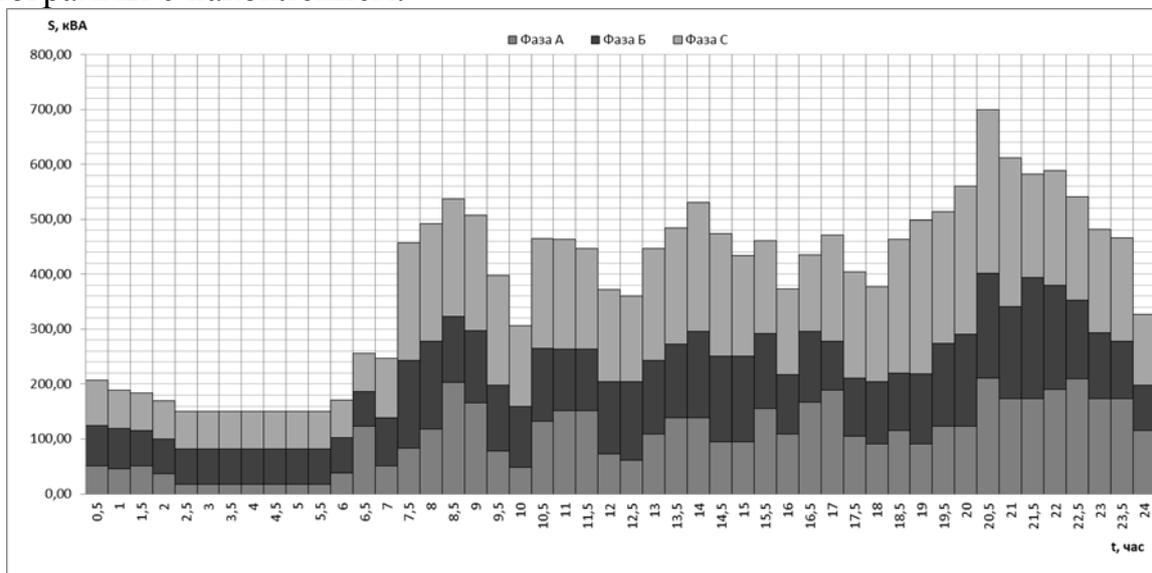


Рисунок 2 – Нагрузка исследуемой подстанции по фазам

Одним из способов снижения несимметрии напряжений является разработка автоматизированной системы контроля и управления несимметрией в РС, с помощью которой предполагается в автоматическом режиме устранять несимметрию трехфазной системы при прогнозных данных об ее появлении путем равномерного перераспределения однофазных нагрузок по фазам на питающем фидере 0,4 кВ.

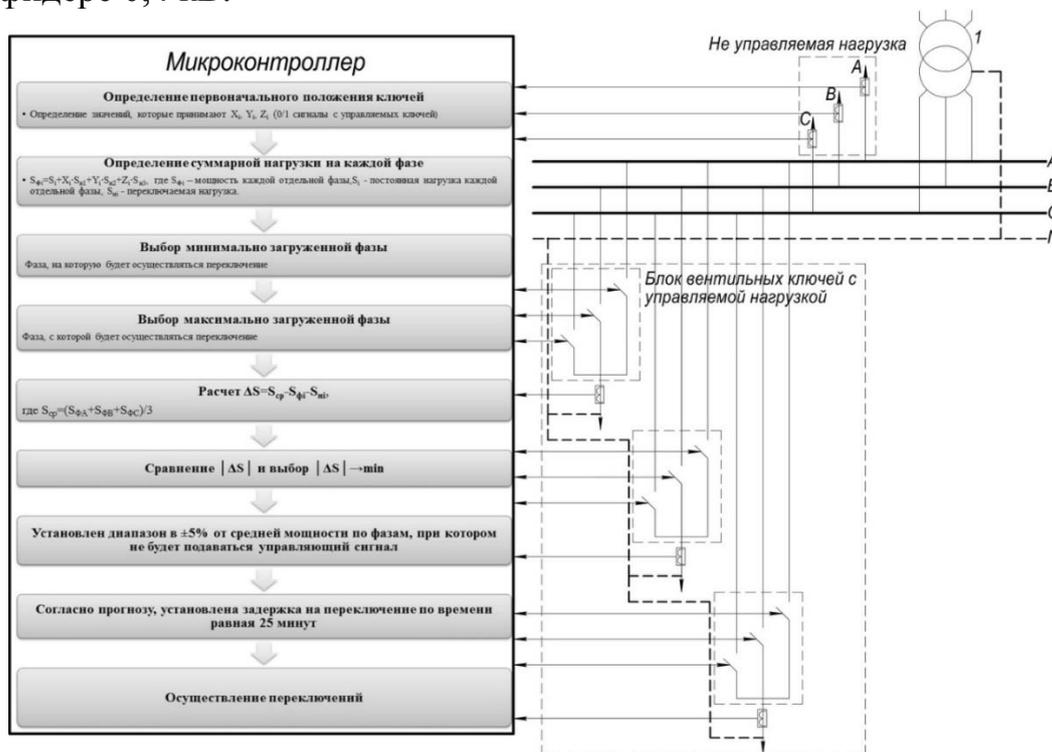


Рис. 3. Алгоритм работы и структурная схема устройства автоматического переключения однофазных нагрузок

Для рассматриваемой ТП был разработан алгоритм программы переключения однофазной нагрузки. Однофазная переключаемая нагрузка задается случайной величиной в диапазоне от 1 до 20% нагрузки каждой фазы, что является своего рода обязательным условием – с фазы на фазу можно переключить не больше 20% однофазной нагрузки. Алгоритм работы и структурная схема устройства представлена на рисунке 3 [4]. С помощью микроконтроллера осуществляется анализ данных, по результатам которых на вентиляльные ключи подается управляющий сигнал и нагрузка переключается на наименее загруженную фазу. Пример частей алгоритма, построенного на *FBD* блоках представлен на рисунке 4.

Внедрение в алгоритм прогнозного аппарата позволяет определить длительность и значимость уровня несимметрии. В качестве прогнозного аппарата используется метод *autoregressive moving-average model (ARMA(p, q)) / Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity (GARCH(p, q))*. Данная модель базируется на предположениях, что любой ряд зависит от прошлых значений, ошибок и значений ошибок в прошлые моменты времени [5].

Для построения модели прогноза использованы возможности программного обеспечения *MATLAB*, которые позволяют оценить общую модель *GARCH*. Результаты прогнозирования представлены на рисунке 5.

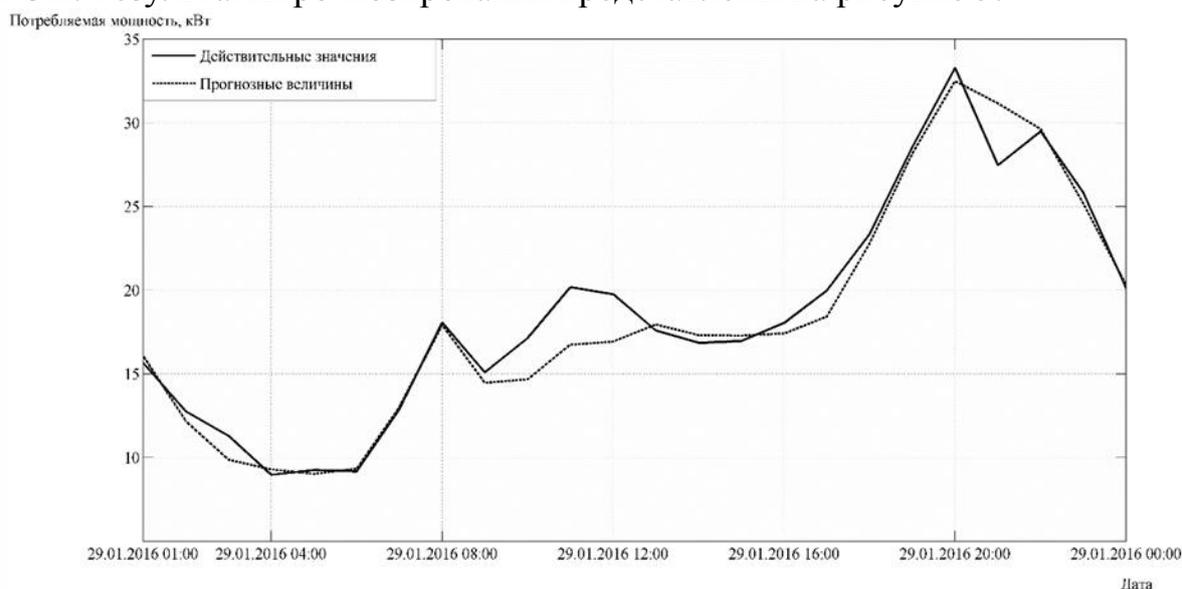


Рисунок 5 – Прогнозирование потребления электроэнергии

В ходе расчетов были получены результаты, представленные в таблице 1.

Табл. 1. Потери ЭЭ за сутки при установке СУ

	Без СУ		СУ	
	ΔW_A , кВт·ч	ΔW_P , кВАр·ч	ΔW_A , кВт·ч	ΔW_P , кВАр·ч
Потери ЭЭ в трансформаторах	92,764	386,967	82,561	353,464
Потери ЭЭ в кабельных линиях 0,4 кВ	111,313	21,694	105,931	20,998
Суммарные потери ЭЭ	204,076	408,661	188,492	374,461

Из таблицы 1 видно, что потери активной и реактивной энергии в трансформаторе и кабельных линиях при установке симметрирующего устройства (СУ) уменьшились. В среднем за сутки использование СУ позволяет экономить порядка 8-10% ЭЭ от суммарного потребления. В денежном эквиваленте экономия составляет 30-40 руб/сутки. Учитывая стоимость комплектующих, необходимых для реализации данного устройства, срок окупаемости составляет 6,6 лет. Основными элементами данного устройства являются микроконтроллер и твердотельные реле. Срок службы микроконтроллера при нормальных условиях равен 10 лет [6], а твердотельное реле рассчитано более чем на миллиард коммутаций [7], что в данных условиях работы во много раз превысит срок службы контроллера. Таким образом, применение устройства переключения однофазных нагрузок является экономически эффективным способом снижения несимметрии токов и напряжений в городских РС. Использование устройства автоматического переключения однофазных нагрузок для исследуемой подстанции позволяет снизить потери ЭЭ (активной на 7,63%; реактивной на 8,37%). Также позволяет повысить качество электроснабжения потребителей (средний коэффициент несимметрии по нулевой последовательности снизился с 3,59% до 2,13%, а коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности – с 0,61% до 0,36%).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 23.11.2009 г. №261-ФЗ // Собрание законодательства. – 2009. - № 48. – Ст. 5711.
2. Мельников Н.А., Солдаткина Т.А. Несимметрия напряжений в промышленных электрических сетях // Электроснабжение и автоматизация промышленных предприятий.- М., 1975- N 2.- С. 30-34
3. Маркушевич Н.С., Солдаткина Т.А. Качество напряжения в городских электрических сетях.- М.: Энергия, 1975. – 256 с.
4. Пат.2432658 Российская Федерация, С1 РФ, МПК Н 02J3/00.
5. Minakhi Rout, Babita Majhi, Ritanjali Majhi, Ganapati Pando. Forecasting of currency exchange rates using an adaptive ARMA model with differential evolution based training. // Journal of King Sound University – Computer And Information Sciences, 2014.- N 26.- P. 7-18.
6. Твердотельные реле. [Электронный ресурс]: URL <http://www.proton-impuls.ru/apindex.php?mod=main&task=view&taskid=80>
7. Тиристорный преобразователь как средство модернизации однофазных печей. [Электронный ресурс]: URL <http://www.elec.ru/articles/tiristornyj-preobrazovatel-kak-sredstvo-modernizac/>

Научный руководитель: А.В. Кабышев, д.ф.м.н., профессор каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

А.А. Шилин, С.С. Дементьев

Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ)

В настоящее время во всех развитых странах мира одним из основных направлений развития энергетики является внедрение интеллектуальных электрических сетей (smart grid). Отличительным признаком интеллектуальной сети является непрерывный контроль состояния воздушных линий электропередачи (ВЛЭП), что объясняется их частой повреждаемостью по причине внешнего механического воздействия, а именно гололёдно-ветровых нагрузок.

Современные системы диагностики ВЛЭП реализуют контактные и бесконтактные способы измерений на основе соответственно тензодатчиков, датчиков электрического и/или магнитного полей, а также рефлектометров [2]. Тем не менее применение тензодатчиков требует дорогостоящего монтажа, а использование иных методов диагностики не обеспечивает должную точность количественной оценки обледенения ВЛЭП ввиду влияния атмосферных условий. В этой связи выглядит перспективным создание информационно-измерительной системы (ИИС) мониторинга состояния конструктивных элементов линий – токоведущих частей и опор – на основе технологии компьютерного зрения, подразумевающей использование программно-технических средств, обеспечивающих обработку данных, снимаемых на выходе опико-электронных устройств, и выдачу полученных результатов в форме, пригодной для практического применения [1].

Измерительный компонент предлагаемой ИИС (см. рис. 1) включает в себя оптические мишени 1, устанавливаемые на каждом фазном проводе смежных пролётов ВЛЭП и представляющие собой «маячки» со светодиодной подсветкой, соответственным образом ориентированные монохромные камеры видеонаблюдения 2 с ПЗС-матрицами и снабжённые длиннофокусными объективами, а также метеостанцию 3. Высокоточное измерение клиренса проводов посредством видеорегистрации координат мишеней позволяет определять величину гололёдной муфты на каждом отдельном проводе в двух пролётах, что немаловажно по причине неравномерного распределения гололёдной нагрузки по проводам [3]. Информация о величине обледенения линии и текущем ветровом давлении, измеряемом метеостанцией, является отправной для распознавания аварийных режимов, а именно возможности обрыва проводов, падения опоры или начале процесса трещинообразования в материале стоек. При отсутствии гололёдных отложений система определяет механические нагрузки на провода и опоры от воздействия ветра, а также диагностирует перегрев линии при передаче мощности, превышающей её пропускную способность.

Графическое представление зависимостей габарита ВЛЭП G , м, и изгибающего момента $M_{изг}$, кН·м, в основании стойки опоры от внешних условий (толщины гололёдной муфты b , мм, скорости ветра v , м/с, температуры t , °С)

представлено на рис. 2, 3 на примере промежуточного пролёта ВЛЭП 35 кВ, характеристики которого приведены в таблице 1.

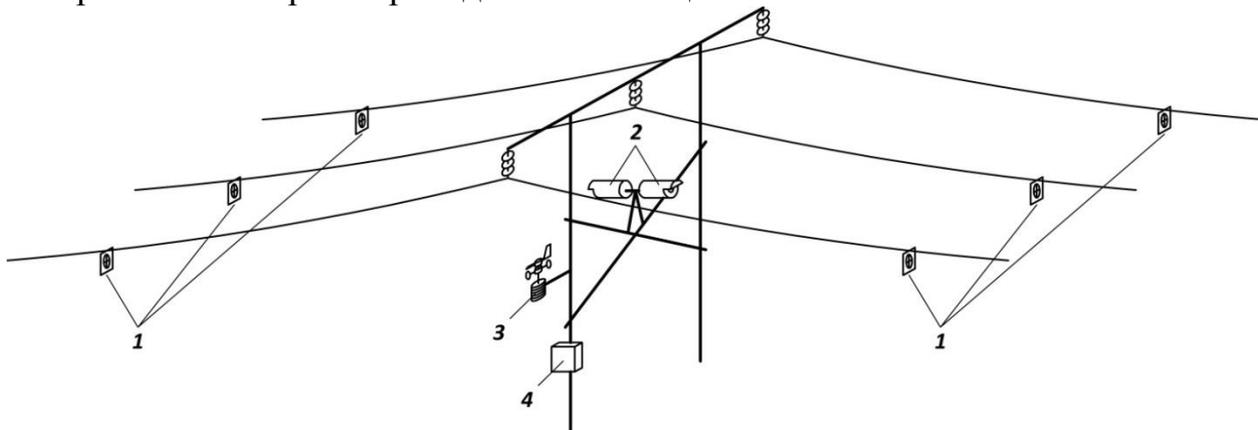


Рис. 1. Функциональная схема ИИС контроля состояния ВЛЭП: 1 – мшень, 2 – видеокамера, 3 – метеостанция, 4 – блок обработки информации

Табл. 1. Характеристики расчётного пролёта

Тип опоры	ПД35-1
Тип провода	АС-120/19
Длина пролёта	165 м
Нормативное ветровое давление	650 Па (III район)
Нормативная толщина стенки гололёда	25 мм (IV район)

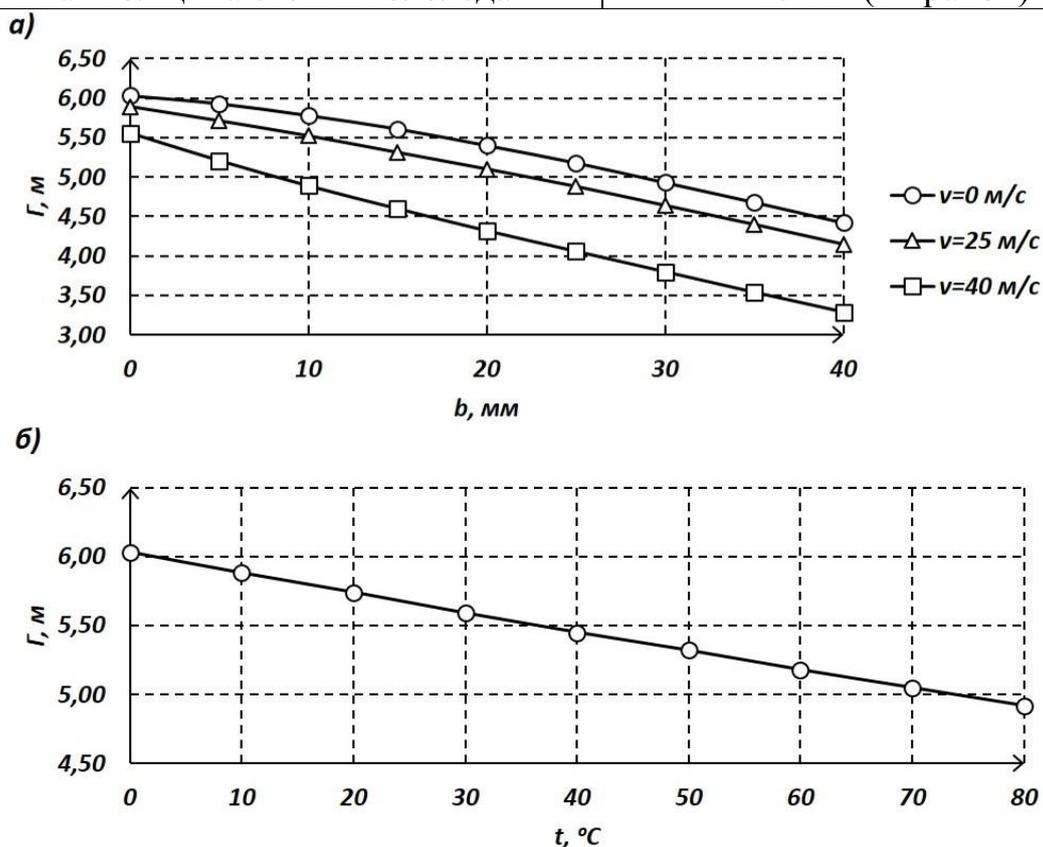


Рис. 2. Зависимости габарита линии от гололёдно-ветрового воздействия (а) и температуры нагрева (б)

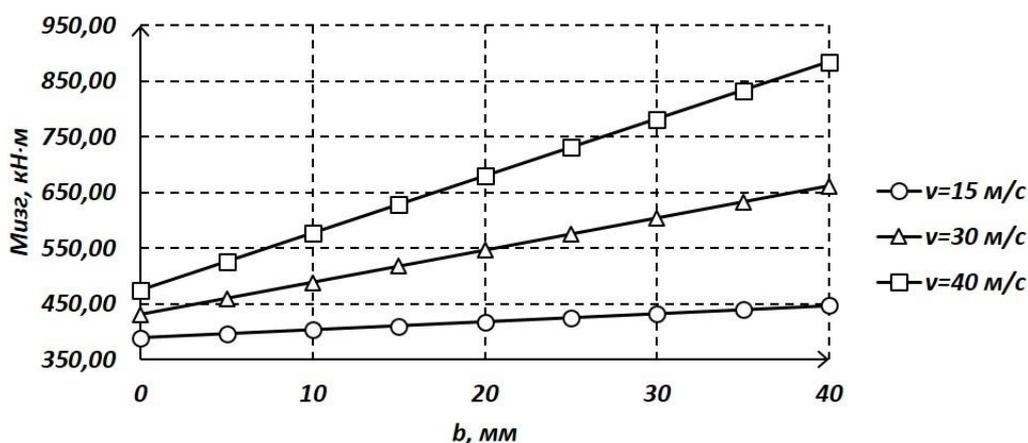


Рис. 3. Зависимость изгибающего момента в основании стойки опоры от толщины гололёдной муфты при различном ветровом давлении

Вычислительный компонент (блок обработки информации 4 на рис. 1) рассматриваемой ИИС решает задачу оптического распознавания «маячка» на изображениях с видеокамер и определения его координат в пространстве.

Известен способ поиска заданного объекта на изображении путём попиксельного сканирования кадра [5]. Недостатком этого метода является низкая скорость обработки поступающей информации, в связи с чем предлагается разделить данную процедуру на два этапа: поиск зоны нахождения объекта и его точное обнаружение на снимке.

Для предварительного нахождения изображения оптической мишени на видеокадре целесообразно использовать искусственные нейронные сети (ИНС), позволяющие выполнять обработку видеoinформации, содержащей помехи, вызванные различными неформализованными воздействиями, например, наличием в пространстве между камерой и оптической мишенью аэрозолей (пыли, дыма, капель воды), перегоранием части светодиодов на мишени и т.д., а также в условиях изменения освещённости.

Искусственная нейронная сеть представляет собой систему взаимосвязанных простых процессоров – нейронов [4]. Каждый нейрон получает входные сигналы x_i ($i=0, 1, \dots, N$) и порождает выходной сигнал $y=f(u)$, где $f(u)$ – нелинейная функция активации, $u = \sum_{i=0}^N w_i x_i$ – активация нейрона, w_i – весовые ко-

эффициенты (синаптические веса) нейрона.

Обучение нейрона заключается в подборе синаптических весов w_i до тех пор, пока выходной сигнал y не совпадёт с требуемой величиной d . Для обучения с учителем используется набор обучающих примеров («задачник»), т.е. множество пар вида (x, d) , где x – вектор входных сигналов [4]. В нейронной сети со скрытым слоем входной слой нейронов содержит поступающие сигналы, а скрытый слой преобразует их для передачи выходному слою нейронов.

Для заданной ИНС в качестве «задачника» предлагается использовать полученные заранее изображения с известными координатами оптической мишени для случаев гололёдных отложений толщиной $b=0, 5, \dots, 40$ мм и скорости ветра $v=0, 5, \dots, 40$ м/с. Вектор входных сигналов x будет содержать данные о

градации яркости каждого пикселя монохромного изображения в формате RGB. Количество нейронов входного слоя составит $M \cdot N$, где $M \times N$ – размеры изображения в пикселях, а выходного слоя – два, каждый из которых даст на выходе одну из координат оптической мишени. Количество нейронов скрытого слоя определяется экспериментально.

Полученные посредством ИНС координаты «маячка» на изображении с видеокамеры могут использоваться для определения зоны нахождения оптической цели, в пределах которой будет осуществляться точный поиск координат центра мишени путём попиксельного сканирования для последующего пересчёта в координаты провода и вычисления его провисания.

Таким образом, реализация предлагаемой информационно-измерительной системы на основе технологии компьютерного зрения делает возможным получение достаточно точной количественной оценки состояния воздушных линий электропередачи.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Воройский Ф.С. Информатика. Новый систематизированный толковый словарь-справочник (Введение в современные информационные и телекоммуникационные технологии в терминах и фактах). – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 760 с.
2. Минуллин Р.Г., Губаев Д.Ф. Обнаружение гололёдных образований на линиях электропередачи локационным зондированием. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. – 208 с.
3. Тарасов Е.В. Монтаж, наладка, эксплуатация электрооборудования. Часть 1. Воздушные и кабельные линии электропередачи: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 146 с.
4. Тарков М.С., Дубынин С.В. Нейросетевой параллельный алгоритм слежения за объектом в реальном времени // Известия Томского политехнического университета. Т. 324. – 2014. – N 5. – С. 78-84.
5. Пат. 2506536 Российская Федерация, МПК G01B11/03. Способ субпиксельного контроля и слежения за перемещением удалённого объекта / Брюховецкий А.П., Бугаев Ю.Н., Суетенко А.В., Третьяков В.И., Усс М.О.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ». – N 2012113408/28; заявл. 09.04.2012; опубл. 10.02.2014, Бюл. N 4. – 15 с.

Научный руководитель: А.Н. Шилин, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электротехника» ВолгГТУ.

РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ

Д.Ю. Карандеев

Хакасский государственный университет имени Н.Ф. Катанова

Введение. Одной из актуальных и перспективных задач электроэнергетики является разработка и внедрение новых технологий в технологический процесс, повышая тем самым его эффективность. Среди таких технологий можно выделить информационные технологии, использование которых в последние годы начало обретать все большую популярность в различных сферах. При этом в последние годы в России вопросам энергосбережения стали уделять значительно большее внимание по причине того, что удельные затраты энергии на единицу стоимости и энергетическая составляющая себестоимости продукции в России несколько выше, чем в других развитых странах. Также можно отметить, что на сегодняшний день многие отечественные научные и проектные организации, а также производственные предприятия достигли определенных успехов в энергосбережении и число таких организаций и предприятий, которые пытаются решать проблемы энергосбережения, постоянно растет. Стоит подчеркнуть, что на данный момент стала весьма актуальна такая концепция «умных» сетей как Smart Grid, включающая в себя достаточно много компонентов, безусловно, реализовать сразу все из которых проблематично. Тем не менее реализация отдельных компонентов может в будущем способствовать развитию данной концепции в целом.

Реализация концепции Smart Grid в энергетической стратегии. Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» [1] в качестве одного из приоритетных направлений научно-технического прогресса в электроэнергетике выделяют создание высокоинтегрированных интеллектуальных системообразующих и распределительных электрических сетей нового поколения – Smart Grid, актуальность развития которых набирает все большую популярность в мире [2]. Помимо этого создаются: высоконадежные магистральные каналы связи между уровнями диспетчерского управления и дублированных цифровых каналов обмена информацией между объектами и центрами управления; высокоинтегрированные информационно-управляющие комплексы оперативно-диспетчерского управления в режиме реального времени с экспертно-расчетными системами принятия решений; интеллектуальное оборудование и программные комплексы для управления топологией сети с целью обеспечения надежности её функционирования.

Smart Grid ориентирован на создание интеллектуальной электросети нового поколения, включающей быстрорастущий комплекс технологических процессов, технологий устройств и приложений, предназначенных для создания электронных коммуникаций нового поколения. Суть данной концепции заключается в инновационном преобразовании электроэнергетики посредством использования современных технологий, а также направлена на повышение об-

щей энергоэффективности и осуществления баланса всей нагрузки на инфраструктуру. Во многих развитых странах мира уже давно идет активная реализация данной концепции [3]. Среди этих стран можно выделить такие как Китай, США, Канада, Финляндия, Швеция и так далее.

Для реализации концепции Smart Grid необходимо развивать некоторые аспекты интеллектуально-технологического потенциала всей российской энергетики. В перспективе реализация данной концепции может поспособствовать в свою очередь созданию вектора развития, сочетающего научные исследования, перспективные и многообещающие проекты и Start Up. Можно выделить такие основные практикуемые в других странах способы её развития: внедрение цифровых технологий нового поколения в объекты энергосистемы, позволяющие их контролировать и при этом обеспечивать надежность, безопасность и эффективность; использование интеллектуальных технологий для мониторинга состояния сети и управления сетью; интеграция «умных» приборов учета и устройств потребителя. Кроме этих способов не исключена альтернатива, направленная на повышение энергоэффективности прочих областей электроэнергетики за счет применения новых информационных технологий.

Альтернативные способы развития концепции. Ученые и специалисты по-разному видят наиболее эффективные направления реализации концепции Smart Grid, а также и Smart Energy. Как видно из общемировых затрат на данный момент основным направлением стала повсеместная установка интеллектуальных счетчиков, к примеру, общемировые затраты на реализацию концепции за 2013 год составили почти 15 млрд. долларов, из которых около 50% пошло на Smart Metering, остальные затраты пошли на реализацию прочих демонстрационных и перспективных проектов. Однако не стоит ограничиваться лишь данным направлением пути развития концепции, ведь существует достаточно много других путей повышения общей энергоэффективности инфраструктуры нашей страны. Существует достаточно много альтернативных способов реализации концепции Smart Grid, среди которых можно выделить такие как оптимизация базовых объектов потребления электроэнергии посредством искусственных нейронных сетей [4] и повышение качества проектирования структур сложных технических систем с оптимальной структурой, в частности, электрических сетей. Стоит подчеркнуть, что разработка автоматизированных методов с применением теории информации, позволяющих строить оптимальные структуры сложных технических систем, могла бы поспособствовать снижению издержек, вызванных простым и незапланированными ремонтами оборудования.

Задача построения оптимальных структур сложных технических систем. Современные темпы технического прогресса в значительной мере определяются темпами развития новых эффективных конструкторских решений для проектирования сложных технических систем, таких как электрические, транспортные сети, системы городского теплоснабжения и прочих систем. Задача проектирования наиболее оптимальных структур технических систем является на сегодняшний день весьма актуальной. Вызвано это тем, что в ходе эксплуатации построенных по спроектированным планам недостаточно оптимальных

структур технических систем, выявляются лишние затраты, вызванные простоями системы в случае выхода из строя каких-либо элементов данных систем. При этом одной из важных задач, решаемых на ранних стадиях проектирования можно выделить задачу выбора оптимального варианта структуры сложной технической системы из всевозможных вариантов, при этом он должен удовлетворять всем предъявляемым к нему требованиям.

Стоит отметить, что на сегодняшний день при проектировании технических систем в основном делают упор на выбор наиболее экономически выгодных структур, то есть учитывают в большей степени лишь критерий экономичности. Однако учет лишь данного критерия может привести к достаточно плохим последствиям в дальнейшем, так как сэкономленные на построении системы средства в итоге будут потрачены на то, чтобы устранить неполадки в вышедших из строя элементах построенной системы. Во избежание этого следует помимо критерия экономичности учитывать также критерий надежности системы. Предположим, необходимо от определенного источника электроэнергии запитать некоторое количество потребителей, причем каждый из них характеризуется величиной вероятности участка сети, по которому элемент снабжается электроэнергией от источника питания. Все элементы системы, источник питания и потребители электроэнергии нанесены на топографическую карту, чтобы определить маршруты прокладки электролиний. В итоге решение данной задачи сводится к проектированию структуры системы, удовлетворяющей требуемым критериям экономичности, надежности, а также неопределенности информации о состоянии структуры системы. Исходя из этого в ходе использования метода «ветвей и границ» был разработан метод поиска оптимальных структур сложных технических систем [5].

Инструменты теории информации в задачах повышения качества проектирования структур технических систем. Что касается вопросов учета надежности, стоит отметить, что каждый элемент системы обладает двумя основными показателями надежности – это работоспособное и неработоспособное состояния. Сложность заключается в разграничении данных показателей. Для решения этой проблемы можно прибегнуть к такой области информатики как теоретическая информатика, предметом изучения которой являются информация и информационные процессы. В частности, можно воспользоваться таким её разделом как теория информации [6], основоположниками которого являются такие известные ученые как К. Шеннон и А. Колмогоров. При этом критерий надежности можно выразить и через меру неопределенности информации, тем самым повысив качество отбора структур технических систем при проектировании. Для реализации задачи поиска оптимальной структуры системы с наличием граничных уравнений применим метод минимальных путей [7]. В результате появляется возможность в ходе проектирования структуры сложной технической системы осуществлять выбор наиболее оптимальной структуры с точки зрения её надежности, выраженной через количество информации в данной системе, а также впоследствии определять оптимальное число резервирующих элементов на выделенных участках сети [8].

Заключение. Был проведен анализ концепции Smart Grid, в результате которого можно сделать вывод, что помимо основных имеющихся способов реализации данной концепции существуют и альтернативные, основу для реализации которых может составить такая область информатики как теоретическая информатика. Применение такого инструмента информатики как мера неопределенности информации можно считать приемлемым для осуществления альтернативных способов развития концепции Smart Grid. В результате можно констатировать, что инструменты, созданные на базе теоретической информатики, могут быть применены не только в сфере кодирования и передачи информации, но и в более узконаправленных задачах в области проектирования оптимальных структур сложных технических систем.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-08-01473а.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Концепция энергетической стратегии России на период до 2030 года (проект). Прил. к журналу “Энергетическая политика”. – М.: ГУ ИЭС, 2007.
2. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. — М.: ИАЦ Энергия, 2010. — 208 с.
3. European SmartGrids Technology Platform. Vision and Strategy for Europe’s Electricity Networks of the Future. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006.
4. Engel E., Karandeev D., Kovalev I. Energy-saving technology of vector controlled induction motor based on the adaptive neuro-controller // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 94, 2015.
5. Дулесов А.С., Карандеев Д.Ю. Построение оптимальной структуры технической системы методом «ветвей и границ» с учетом критериев экономичности и надежности // Надежность и безопасность энергетики. 2016. № 2 (33). С. 56-59.
6. Дулесов А.С., Дулесова Н.В., Карандеев Д.Ю. Показатель разграничения уровня надежности технической системы по качественному признаку: энтропийный подход // Журнал «Фундаментальные исследования». – 2016. – № 2, (часть 3). – С. 477-481.
7. Дулесов А.С., Карандеев Д.Ю., Кондрат Н.Н. Определение количества информационной энтропии в структуре технической системы методом минимальных путей // Журнал «Современные наукоемкие технологии». - №2, (часть 3). – 2016. – С. 425-429.
8. Павлов В.И., Аксенова Т.В., Аксенов В.В. Повышение надежности функционирования объектов энергетики, управляемых оператором // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 4. – С. 91-94.

Научный руководитель: А.С. Дулесов, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой ИТиС ХГУ им. Н.Ф. Катанова.

СВЕРХПРОВОДНИК ВЕДЕТ РОССИЮ ВПЕРЕД

А.Д. Хасанова

Казанский государственный энергетический университет

Программа модернизации и технического переоснащения производственной базы электроэнергетики направлена не только на качественные преобразования, но и на внедрение новых, прогрессивных технологий, одной из которых я решила посвятить данную статью. По моему мнению, необходимость в России направить силы на более масштабное применение высокотемпературных сверхпроводников и производство ВТСП 2-го поколения, тем самым достигнув невероятных высот – очевидно, так как открытие класса высокотемпературных сверхпроводящих материалов расширило возможности практического использования сверхпроводимости для создания новой техники и окажет революционизирующее воздействие на эффективность отраслей народного хозяйства.

Не смотря на то, что явление, заключающееся в полном исчезновении электрического сопротивления проводника при его охлаждении ниже критической температуры, было открыто в 1911 году, практическое использование этого явления началось в середине шестидесятых годов, после того как были разработаны сверхпроводящие материалы, пригодные для технических применений. На сегодняшний день нельзя представить жизнь, без участия в ней ВТСП, так как наиболее крупномасштабными применениями сверхпроводников явились электромагниты ускорителей заряженных частиц, термоядерных установок, МГД-генераторов. Были созданы опытные образцы сверхпроводниковых электрогенераторов, линий электропередачи, накопителей энергии, магнитных сепараторов и др. В последние годы в различных капиталистических странах началось массовое производство диагностических медицинских ЯМР-томографов со сверхпроводниковыми магнитами, потенциальный рынок которых оценивается в несколько млрд. долларов.

Основной задачей этого направления являются фундаментальные исследования по выяснению механизма высокотемпературной сверхпроводимости, разработка теории ВТСП, прогнозирование поиска новых соединений с высокими критическими параметрами и определение их физико-химических свойств. Применение ВТСП в сильноточной технике будет иметь наиболее радикальные экономические последствия для народного хозяйства.

С высокотемпературной сверхпроводимостью связаны надежды на преодоление глобальной энергетической дилеммы, связанной, с одной стороны, с постоянным ростом энергопотребления в настоящем и будущем, а с другой стороны, с необходимостью радикально сокращать выбросы углекислого газа, чтобы предотвратить изменения климата. Ведь по сути дела ВТСП выводит привычное оборудование для генерации и передачи электроэнергии на принципиально новый уровень с точки зрения эффективности.

Одно из самых очевидных применений сверхпроводников связано с передачей электроэнергии. ВТСП кабели могут передавать значительную мощность при минимальном сечении, то есть обладают пропускной способностью друго-

го порядка, нежели традиционные кабели. При прохождении тока через сверхпроводник не выделяется тепло, и практически отсутствуют потери, то есть решается главная проблема распределительных сетей. Так, при передаче по кабельным линиям электропередач мощностей свыше 20 млн. кВт на расстояние свыше 2000 км ожидается снижение электрических потерь на 10%, что соответствует сбережению от 7 до 10 млн. т.у.т. в год. При этом приведенные затраты на сверхпроводящую кабельную ЛЭП могут быть не больше, чем на высоковольтную ЛЭП традиционного исполнения. Генераторы благодаря обмоткам из сверхпроводящих материалов, обеспечивающим огромные магнитные поля, становятся значительно мощнее. Синхронные сверхпроводящие генераторы для ТЭС, АЭС и ГЭС будут иметь на 0,5-0,8% более высокий КПД и на 30% меньшие весогабаритные показатели. При создании сверхпроводниковых индуктивных накопителей энергии, которые по сравнению с гидроаккумулирующими станциями, единственным типом накопителей энергии, нашедшим промышленное применение в энергетике, будут обладать существенно более высоким КПД (до 97-98% вместо 70%). В рамках программы предполагается создание широкой гаммы электротехнических и электроэнергетических устройств, при этом масштабы суммарной экономии электроэнергии за счет массового применения ВТСП будут столь велики, что позволят радикальным образом пересмотреть сложившуюся экстенсивную стратегию развития топливно-энергетического комплекса.

России необходима разработка и освоение серийного производства в электронных сверхпроводниковых приборах. Сверхпроводники могут использоваться и используются в самых разных сферах. Открытие высокотемпературных сверхпроводников, критическая температура которых с запасом превышает температуру кипения жидкого азота, принципиально меняет экономические показатели сверхпроводниковых устройств, поскольку стоимость хладагента и затраты на поддержание необходимой температуры снижаются в 50-100 раз.

Более углубленная разработка требуется в сфере производства СКВИДов. Это детекторы слабых магнитных полей для применения в медицине (магнитоэнцефалография), геологии и геофизике (поиск полезных ископаемых, изучение геологического строения земной коры, прогноз землетрясений), материаловедении (неразрушающий контроль материалов, конструкций), военной технике (обнаружение магнитных аномалий, в частности, глубинных подводных лодок), научных исследованиях, связи и навигации. Широкое освоение и внедрение СКВИД магнитометрического метода измерений позволит в короткий срок качественно изменить многие виды измерительной техники, повысить в сотни и более раз чувствительность приборов и точность измерений, подвести измерительные возможности датчиков к теоретическому пределу, вывести измерительную технику на высший качественно новый уровень.

Следующим классом, требующим не меньшего внимания является аналого-цифровые приборы (АЦП), использующие сверхбыстрые (доли пикосекунды) переключения от джозефсоновского к "гиверовскому" режиму работы, для применений в новейших системах связи, цифровых вычислительных устройствах для обработки и анализа аналоговых сигналов и др. Одной из перспектив-

ных областей применения ВТСП будет космическая техника - бортовые и "забортовые" измерительная аппаратура и вычислительные системы. При этом при переходе на ВТСП удельная масса охлаждающей системы снизится в 50 раз, объем уменьшится в 1000 раз, надежность возрастет в 10 раз.

Широкое применение ВТСП найдет и в вычислительной технике. Уже в настоящее время разработаны, изготовлены и испытаны макеты ячейки памяти, сверхскоростные линии связи, которые позволят увеличить производительность систем в 10 - 100 раз.

Сверхпроводящая лента второго поколения представляет собой подложку из специальной нержавеющей стали, устойчивой к высоким температурам, которая впоследствии при нанесении тонких пленок не теряет своих механических свойств. Специальными методами на эту подложку наносятся буферные оксидные слои, а в качестве функционального слоя — пленка купрата гадолиния-бария. Затем эта структура покрывается тонкими слоями серебра или меди, и в таком виде используется в сверхпроводниковых устройствах.

У такого материала при толщине пленки всего в один-два микрона токопроводящая способность около 500 А на 1 мм² сечения, то есть в сотни раз больше, чем у обычного медного кабеля. Соответственно, такая лента идеальна для применений, где требуется высокий ток. Кабели на большие токи, магниты на большие поля — основная область применения».

Для крупномасштабного внедрения инновации необходимо продвижение новых проектов с поддержкой государственных организаций. Это станет доказательством надежности и эффективности сверхпроводящих устройств. Появление новых проектов вызовет спрос на производство ВТСП лент, увеличение их выпуска и снижение цены, что опять же поможет развитию рынка. Так же с учетом повышенной инвестиционной привлекательности ВТСП-техники высокая доля уверенности в притоке частных инвестиций. Основными путями решения масштабного производства и более глобального перехода к одному из самого уникального и перспективного открытий является количественно-измеримые возможности с улучшенным использованием ресурсов предприятия. Необходимо увеличить продукцию в результате создания рабочих дополнительных мест. Требуется ввести в производство новое оборудование. В этом случае уменьшится время, затрачиваемое на производство одной единицы продукции, а сам объем производства увеличить. Также, приращение продукции возможно от внедрения мероприятий, которые будут направлены на совершенствование технологии.

На сегодняшний день на рынке представлены высокотемпературные сверхпроводники первого и второго поколения (ВТСП-1 и ВТСП-2). По объему выпущенной на сегодняшний день продукции пока выигрывают ВТСП-1, но для экспертов очевидно, что будущее за сверхпроводниками второго поколения. Лента второго поколения заслуживает не меньшего внимания, и конечно же более высоких вложений, интенсивных идеи, и бесперебойных усовершенствований разработки. Сверхпроводящие кабели на основе ВТСП — уже сейчас чисто коммерческий продукт, правда, пока еще достаточно дорогой. Он станет

дешевле, когда начнется его широкое внедрение и потребуется значительное количество ВТСП лент, что и удешевит их производство.

Инновационные электротехнические материалы — сверхпроводящие ленты второго поколения на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП-провода 2-го поколения) — способны в будущем коренным образом изменить облик электроэнергетики. Нужно создать конкурентоспособные технологии производства высокотемпературных сверхпроводников второго поколения, опытное производство длиномерных (до 1000 м) ленточных проводов ВТСП-2, а также разработать прототипы оборудования на основе ВТСП-2 проводов для электроэнергетики. Это и генераторы большой мощности, и ограничители тока (СОТ), и кинетические накопители энергии (КНЭ), а также мощные токовводы для магнитных систем, индуктивные накопители энергии (СПИН), трансформаторы, электродвигатели большой мощности.

Запустить серийное производство ВТСП-2 проводов и ряда устройств на их основе. Привлечь организации, включая ВУЗы, академические и отраслевые научно-исследовательские центры. Дальнейшее развитие высокотемпературной сверхпроводимости будет иметь выраженный мультипликативный эффект не только в электроэнергетике, но и в иных отраслях, таких как космический, авиационный, морской, автомобильный и железнодорожный транспорт, машиностроение, металлургия, электроника, медицина, ускорительная техника, тем самым подняв Россию уже на совсем иной мировой уровень. Одним словом, дальнейшее развитие технологий на основе сверхпроводимости открывает перед человечеством огромные перспективы, причем уже в обозримом времени.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Максимов Е.Г. Проблема высокотемпературной сверхпроводимости. Современное состояние. - М.: УФН, 2000г.- 1033-1061
2. Гинзбург В.Л., Андриюшин Е. А., Альфа-М: 2006г.- 112 с.

Научный руководитель: И.Ф. Галиев, к.т.н., доцент, Казанский государственный энергетический институт.

THE EUROPEAN EXPERIENCE AND CURRENT SITUATION OF THE ELECTRICITY MARKET IN RUSSIA AS A PREREQUISITE FOR THE DEVELOPMENT OF SMART GRID SYSTEMS

Viktoriiia Sihua

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Introduction. The liberalization of electricity markets in the EU contributes to efficient exchange of the end products from processing of primary energy resources. It also dictates changes to the regulatory, legal and intellectual nature. Searching of the modern methods of registration, control, efficient internal distribution and mutual beneficial compromise in transnational electricity supply leads to the really need for

adaptation of smart power distribution networks as Smart Grid. According to the Development Strategy of Electric Grid Complex in Russia till 2030 [4], it is planned that by 2017, all grid organizations will collect data about the reliability and quality of electricity supply and carry out the calculation of indicators with international methods.

A review of recent investigations and papers. Research of energy efficiency problems, capitalization and integration of energy markets, reforming, transparency, intelligence and economic feasibility of tariffs in the electricity sector is represented by the works of Tukenov A., Fernando de-Llano Paz, Susana Iglesias Antelo, Anxo Calvo Silvosa, Isabel Soares, Kosse I., Mkchovich S.A., Kostitsina K.V., Sibikina Y.D., Shevtsov A.I., Barannik V.O. and others. It also covers legislative initiatives of Russian Government and Directives of European Parliament. But the analysis of historical preconditions of forming the dynamic efficiency of the electricity market and adapting innovative forms of activities of the Smart Grid is paid, according to the authors, lack of attention that determines the relevance of this research.

Research object is the study of legislative trends and innovation aspects of European Electricity Market and its influence on the electric sector in Russia

Main results of the research. The formation of the internal European Electricity Market began with the signing of The Single European Act in 1987 and the abandonment of state monopoly in all spheres of Single Market. It should be replaced by inter-company competition with a range of products or services in which companies compete and a geographical area on which the competition among them takes place [5]. All subsequent legislative decisions in electricity sector are regulated in the form of programmatic and policy documents around main activities in the electricity market.

The activities of the electricity industry are generally divided into four types of operations: generation, transmission, distribution and supply. Жодна директива Європейського None of the European Union Directive does not oblige the country to implement a specific model of the market, however, provides for the separation of production, transmission and supply of electric energy [7].

According to the first Directive 96/92/EU on the liberalization of the electricity markets for the development of interconnections, improvement of the conditions for mutual supply of electricity and investment, European countries were offered the choice of either model access to third parties on regulated or contractual basis and the model of «single buyer». As a result of adaptation of the provisions of the Directive in the national legislation of the EU-countries all European Electricity Markets have been fully liberalized in 2003. According to European Commission and Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity there was activity liberalization and harmonization processes of the legislation of Netherlands, Denmark and Poland in 1998-2003. There was rapidly a liberalization process in Norway, Finland, Sweden, Austria and the UK. In France, Belgium, Luxembourg, Portugal, Italy, Greece, Hungary and Slovakia there was implementation time of the Directive that went beyond the necessarily established and slowed the liberalization process of electricity markets in EU [1]. It needs to add, that Spain was one of the first countries to adopt the criteria under this Directive in such a way that the 1 January 1998 and entered into force the

Law 54/1997 of the Electricity Sector [6], which introduced the regulatory changes most important in the history of the sector in Spain. This law is already repealed by the new Law of the Electricity Sector as the Law 24/2013.

According to Spanish economics practice the costs of electricity production within the European technology [3] are transformed into variable costs by weighting these by the annual number of operating hours (1):

$$C_{F,t}(\text{€} / MWh) \times 1 / ANOH_t = C_v(\text{€} / MWh) \quad (1)$$

where $C_{F,t}(\text{€} / MWh)$ is the fixed cost (investment or O&M) of the technology t , and $ANOH_t$ is the annual number of operating hours over the medium-term for the technology t . These can be obtained from the load factor of each technology (2):

$$ANOH_t = 8760h \times CF_t \quad (2)$$

with $t \in T = \{\text{Coal, Coal with CCS, Natural Gas Combined Cycle, Natural Gas Combined Cycle with CCS, Oil, Nuclear Energy, Large Hydro, Small Hydro, On-shore Wind, Off-shore Wind, Solar Photovoltaic and Biomass Energy}\}$ and CF_t the technology t load factor.

Total Generation Cost per technology (TGC_t) is obtained by adding together the two large concepts of Production Costs (PC_t) and Externalities Costs (EC_t) (3):

$$TGC_t(\text{€} / MWh) = PC_t + EC_t \quad (3)$$

In this case, the Production Cost (PC_t) per technology (t) would be obtained by adding together the Investment, O&M, Fuel and Complementary costs (4):

$$PC_t(\text{€} / MWh) = Inv_t + O \& M_t + Fuel_t + Compl_t \quad (4)$$

The next step due to the adaptation of Directive 2003/54/EC under the second legislative package took place the establishment of requirements in terms of open markets, separation of accounts, definition of boundaries of competence in regulatory bodies, consumer protection, construction of new facilities, the definitions of network operators, scheduling and reporting.

The Directive has as its objective the establishment of common rules for the generation, storage, transportation, distribution and supply of electricity and natural gas respectively, defining also the universal service obligations, consumer rights and obligations in the field of competition. The rules pursue the achievement of electricity market, competitive, safe and environmentally sustainable [6]. In contrast to the first package aspects of the second Directive have direct effect to complete and do not require transformation into national law. However, the main difference was the restriction of freedom of action for the liberalization to accelerate the creating a single European Electricity Market. The results of the implementation of the second Directive have shown that the creation of a competitive retail electricity market did not happen. There was the situation of functioning of separate sub-markets between which almost never happened the supply of electricity. It has remained the problem of difficult entry into the structure of vertically integrated energy companies.

The third legislative package on the liberalization of electricity markets includes the Directive 2009/72/EC that concerning common rules for internal electricity market, Regulation No.713/2009 on the establishment of the Agency for the Cooperation of

Energy Regulators and Regulation No.714/2009 on conditions of access to electric networks for cross-border supplies of electricity. The adoption of the 3rd energy package is aimed the effective separation of network activities from vertically integrated energy companies, further integration of the European energy markets, attracting investment, clean energy, security of supply and consumer protection [1].

In the electric power industry of Russia there are radical changes: a new regulatory framework and regulatory system, going changes of the industry structure, forming a competitive electricity market. Liberalization of the Russian market proceeds in the direction of change of the vertically integrated business model to build innovative retail model with separate organizational structures, independent differentiated by types of activity from production to electricity sales. The incentives for such change is the development of gas turbine technology, stricter environmental and energy efficiency requirements, development of information technology that contribute to the increase of energy flow and simplifying the accounting and control [2]. Management of the energy dialogue between Russia and the EU began with the signing of the agreement on partnership and cooperation in 1997 on the consolidation of General provisions concerning energy cooperation.

Today cooperation between Russia and the EU in the energy sector occurs in the following areas: harmonization of legislation and energy supplies from Russia to the EU, cooperation of business, formation of the special structure of relationship of the energy companies active on the energy market of Russia and the EU-countries. A joint Declaration on energy dialogue signed in 2006 during the 6th Summit EU-Russia in Paris strengthened the provisions for rationalization of production and transport infrastructures, European investment possibilities and relations between producer countries and consumer countries of energy resources. In 2012 following Russia's accession to WTO the priority issues in the energy market in the dialogue EU-Russia is changed in the direction of energy trade [8]. As a result, in Russia should work the free electricity market, where prices are set based on the ratio of supply and demand with the participation of independent power producers.

Conclusion. The liberalization of electricity markets within the European space gradually expanded the boundaries of energy cooperation based on the involvement of third parties for organization of cross-border flows, adaptation of experience of the use of alternative energy sources, balancing power markets and harmonization of regulatory framework of countries-participants of the process of forming a new model of energy market by the principles of competition and free choice of electricity supplier.

REFERENCES:

1. Туменов А. Об опыте интеграции рынков электроэнергии Европы // Энергетика. – №2(45). – 2013. – С.10-17.
2. Костицына К.В. Зарубежный опыт реформирования энергетики. Европейский Союз // Вестник Удмуртского университета. – №3. – 2012. – С.46-53.

3. Fernando de-Llano Paz, Susana Iglesias Antelo, Anxo Calvo Silvosa, Isabel Soares The technological and environmental efficiency of the EU-27 power mix: An evaluation based on MPT // Energy. – №69. – 2014. – P. 67-81.
4. Министерство энергетики Российской Федерации. – Электронный ресурс: http://www.minenergo.gov.ru/activity/vie/policy_and_legal_framework/
5. The Concept of Relevant Market and Market Power in the Electricity Sector. – Website: http://www.encharter.org/fileadmin/user_upload/Working_Papers/OP_204_1.pdf
6. Energia y Sociedad, Manual de la Energia: Electricidad. – Website: <http://www.energiaysociedad.es>
7. Коссе I. Реформа ринку електроенергії в Україні. – Электронный ресурс: http://www.ier.com.ua/files/publications/Policy_papers/IER/2012/Policy_Paper_4_final.pdf
8. Joint Declaration of October 30, 2000 of the President of the European Council, J. Chirac, the President of the Commission of the European Communities, R. Prodi, and of the President of the Russian Federation, V. Putin. – Website: http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/2011_eurussia_energy_relations.pdf.

Scientific Adviser: Ilya Starodumov, Laboratory of Multi-Scale Mathematical Modelling, Department of Mathematical Physics, Ural Federal University, Office 602, Turgeneva str. 4, Ekaterinburg, Russia, 620075.

СИНТЕЗ ПРОДУКТА СИСТЕМЫ SI-C ПРИ ПЛАЗМЕННОМ ВЫСТРЕЛЕ В СВОБОДНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Д.С. Никитин
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП

Карбид кремния SiC отличает наличие у керамики на его основе сверхтвердости, стойкости к воздействиям высоких температур и химически агрессивной среды и износостойкости [1]. Сегодня карбид кремния является одним из наиболее используемых сверхтвердых конструкционных материалов для нужд абразивной и огнеупорной промышленности, потому интерес к карбиду кремния является стабильно высоким с момента первого его получения в 1893 году [2]. Особое значение в последнее время приобрела проблема синтеза нанодисперсного карбида кремния. Это связано с тем, что вещество в диспергированном состоянии способно, как известно, проявлять уникальные сочетания механических, тепловых, электрических, оптических и других свойств, отличных от вещества в моно- или поликристаллическом состоянии [3].

Для синтеза нанодисперсного карбида кремния успешно применяется технология получения нанопорошков с помощью коаксиального магнетоплазменного ускорителя. Основы применяемой технологии синтеза подробно изложены в работах [4], [5]. Настоящая работа включает в себя эксперименты с истечением плазменного потока в свободное пространство камеры-реактора, в то

время как в прошлых работах для синтеза порошкообразного продукта используется истечение плазмы на медную мишень. Основные энергетические параметры серий экспериментов приведены в таблице 1.

Табл. 1. Энергетические параметры

Энергетические параметры	Номер эксперимента			
	1	2	3	4
$U_{\text{зар}}$, кВ	3,5	3,0	2,5	2,0
I_m , кА	129,0	103,0	86,0	74,0
U_m , кВ	1,54	1,4	1,26	0,9
P_m , МВт	186,0	146,0	110,0	62,0
W , кДж	27,8	21,0	18,8	12,0

В процессе проведения экспериментов при плазменном выстреле в свободное пространство были получены порошкообразные продукты синтеза, которые анализировались несколькими методиками.

Продукты анализировались методами рентгеновской дифрактометрии, полученные дифрактограммы приведены на рисунке 1. Полнопрофильный структурно-фазовый анализ рентгеновского дифракционного спектра продукта синтеза приведен в таблице 2. Продукт состоит из четырех кристаллических фаз, соответствующих следующим структурным моделям: кубический карбид кремния β -SiC, SPGR – F-43m {216}; кубический кремния cSi, SPGR – F-43/d-32/m {227}; графит gC, SPGR – P6-3mc {186}; углеродные луковичные структуры C-Onions, SPGR – P6-3mc {186}.

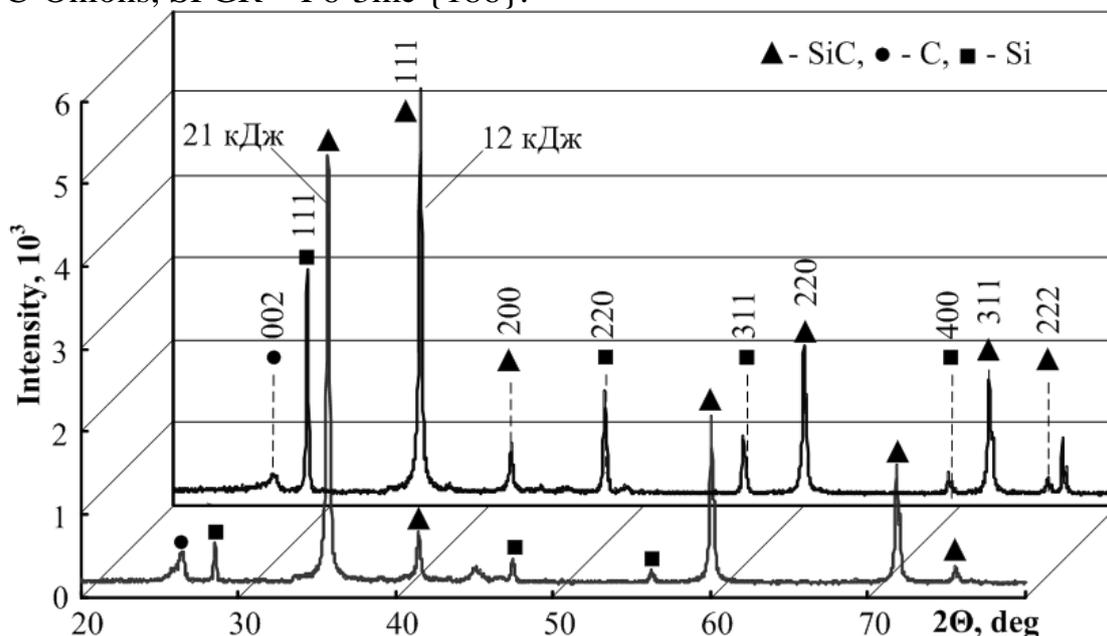


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы продуктов синтеза

Табл. 2. Данные рентгеновской дифрактомерии

Фаза W, кДж		SiC	Si	C
1. 12,0 кДж	Содержание, %	65	19,0	16,6
	ОКР, нм	60	40	20
2. 18,8 кДж	Содержание, %	80	6,6	15,7
	ОКР, нм	60	35	10
3. 21,0 кДж	Содержание, %	95	0,6	6,3
	ОКР, нм	50	40	10
4. 27,8 кДж	Содержание, %	70	4,0	24,5
	ОКР, нм	70	80	10

В целом фазовый состав продуктов, синтезированных при проведении эксперимента с истечением плазменной струи в свободное пространство, аналогичен составу порошков, полученных при плазменных выстрелах на медную преграду [4]. При одинаковых уровнях приложенной к системе энергии имеет место приближенное равенство содержания фазы карбида кремния в продукте синтеза. Однако проявляется другая тенденция в отношении зависимости фазового состава от энергетике процесса синтеза. Содержание фазы карбида кремния достигает своего максимального значения (95 %) в случае энергии 21 кДж, затем происходит снижение содержания карбида кремния до 70 % при уровне энергии 27,8 кДж. Эту закономерность возможно объяснить ростом рТ-параметров с ростом подведенной энергии и увеличенным электроэрозионным износом поверхности углеродного ускорительного канала при наибольшей энергии. Факт загрязнения конечного продукта эродированным углеродом подтверждается расчетными данными таблицы: основной примесью в продукте при энергетике процесса синтеза 27,8 кДж являются чисто углеродные фазы – графит и луковичные структуры, а соотношение между примесными кремнием и углеродом при росте энергии плазменного выстрела явно изменяется в сторону увеличения количества углерода.

Следует отметить незначительное изменение ОКР основной фазы в пределах 20 нм. Это явление связано с формой истечения плазменной струи из ускорительного канала. В случае с проведением плазменного выстрела на медную мишень имело место увеличение Р,t-параметров в индуцированном у медной преграды скачке уплотнения с ростом энергетике процесса и, как следствие, увеличение размеров кристаллитов карбида кремния. При проведении экспериментов с истечением плазменного потока в свободное пространство отсутствует квазистационарный промежуток времени, в который происходит рост кристаллитов, как в случае плазменного выстрела на медную преграду, поэтому примерно одинаковый средний размер кристаллитов, характеризуемый значением ОКР в случае рентгенофазового анализа, при росте энергетике процесса вполне закономерен.

Результаты исследования продуктов синтеза методами рентгеновской дифрактометрии подтверждаются и дополняются результатами анализа методами просвечивающей электронной микроскопии. На рисунке 2 изображен ти-

пичный светлопольный ТЕМ-снимок скопления частиц, характерный для экспериментов, проводимых при плазменном выстреле в свободное пространство.

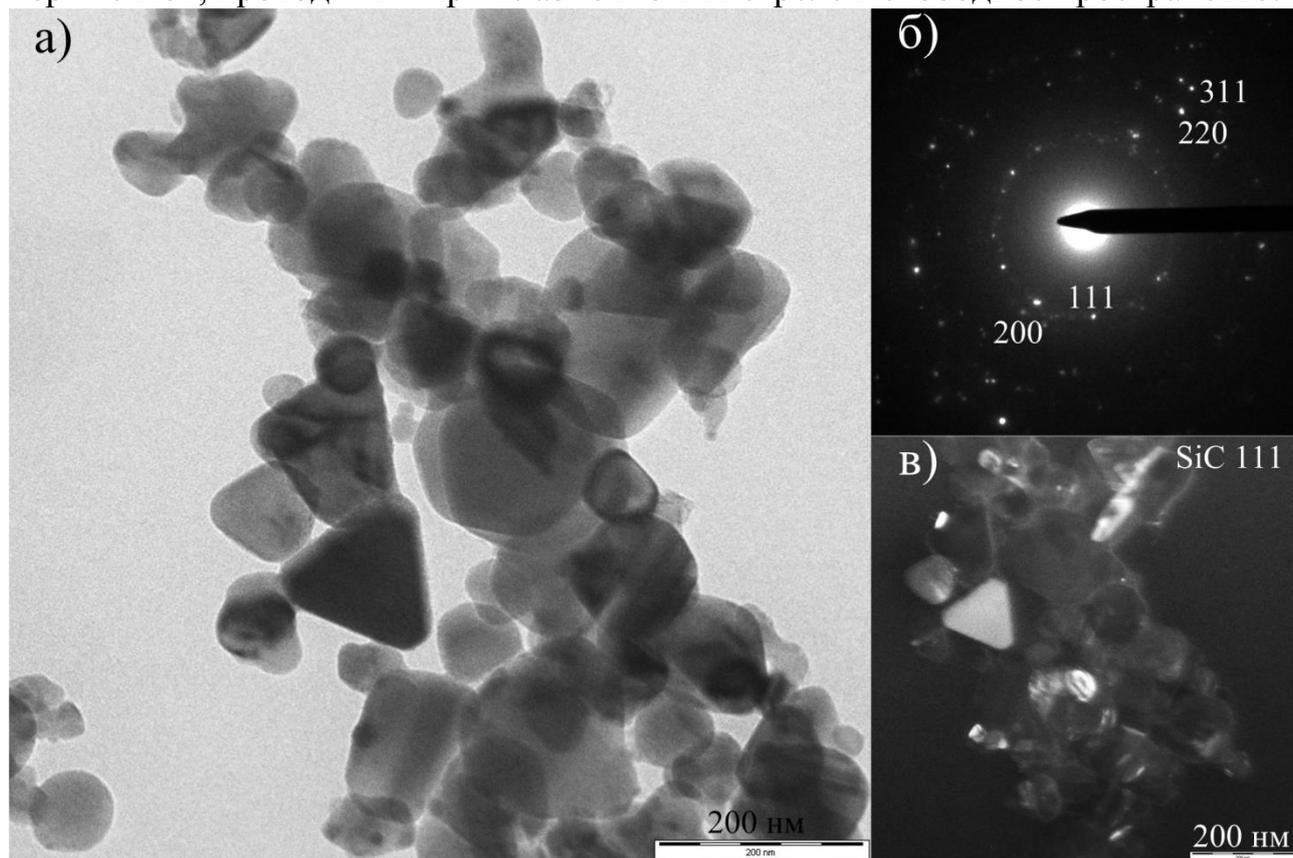


Рис. 2. Данные просвечивающей микроскопии продукта

Общий морфологический состав продукта синтеза остался прежним: в продукте доминируют кристаллографически оформленные частицы размерами до нескольких сотен нанометров, принадлежащие фазе карбида кремния. Характерные частицы треугольной формы присутствуют на рисунке 2,а в значительном количестве. На картине электронной дифракции (рисунок 2,б) наиболее явными являются Дебаевские кольца, соответствующие фазе карбида кремния кубической сингонии, что доказывает преимущественное содержание в продукте этой фазы. При сдвиге апертурной диафрагмы в сторону рефлексов, соответствующих кубической фазе карбида кремния, на темнопольном ТЕМ-снимке (рисунок 2,в) засвечиваются отражающие плоскости частиц преимущественного типа. Следует также заметить, что в продукте практически отсутствуют частицы, которые возможно было бы отнести к фазам примесей, на картине электронной дифракции также отсутствуют соответствующие рефлексы.

Таким образом, при проведении экспериментов с истечением плазменного потока в свободное пространство были синтезированы образцы порошкообразных продуктов с высоким содержанием в продукте фазы карбида кремния кубической сингонии. С изменением энергетике процесса синтеза были замечены изменения фазового состава, зависимости дисперсности синтезированных продуктов от значения подведенной к системе энергии выявить не удалось, что позволяет использовать такую геометрию истечения плазменного потока для управления фазовым составом продукта без регулирования его дисперсности.

ЛИТУРАТУРА:

1. Weimer, A. W. Carbide, nitride, and boride materials synthesis and processing. – London: Chapman & Hall, 1997. – 115 p.
2. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.
3. A. A. Sivkov, D. S. Nikitin, A. Ya. Pak, and I. A. Rakhmatullin. Direct Plasmadynamic Synthesis of Ultradisperse Silicon Carbide // Technical Physics Letters. – 2013. – Vol. 39, No. 1. – P. 105-107.
4. A. A. Sivkov, D. S. Nikitin, A. Ya. Pak, and I. A. Rakhmatullin. Influence of Plasmodynamic Synthesis Energy in Si–C System on the Product Phase Composition and Dispersion // Nanotechnologies in Russia. – 2015. – Vol. 10, No. 1-2. – P. 34-41.

Научный руководитель: А.А. Сивков, д.т.н., с.н.с., профессор, каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ АЗИМУТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

Е.Ж. Сарсикеев, А.Ж. Сембиев

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина

Внедрение автономных солнечных электростанций в сельской местности Казахстана осуществляется сравнительно очень медленными темпами. Специализированные компании и предприятия, предоставляющие услуги в сфере монтажа автономных систем электроснабжения, в настоящее время недостаточно активно осуществляют внедрение солнечных электростанций в сельской местности. Услуги проектных организаций имеют большую цену и в большинстве случаев недоступны сельским жителям [1]. Важным сдерживающим фактором является недостаточная эффективность солнечных электростанций, вызванная отсутствием автоматической ориентации солнечных панелей по солнцу [2].

Восприятие солнечной энергии панелями различной ориентации на широте местности 50° достаточно подробно рассмотрено в работе [3]. Эти данные важны для обоснования выбора варианта управления ориентацией панелей (рисунок 1).



Рис. 1. Сезонная зависимость инсоляции от применяемых технологий ориентации панелей

Панель с автоматической ориентацией по азимуту наиболее эффективна. В наиболее энергодефицитный период года с октября по февраль преимущество поворотной панели над неподвижными минимально и практически не проявляется. В это время достаточно эффективна вертикальная панель. В течение зимних месяцев, в феврале, ноябре и декабре вертикальная панель по своей эффективности превосходит наклонную и почти не отличается от ориентируемой по азимуту. В марте и октябре поворотная панель демонстрирует превосходство над неподвижными вариантами, а эффективность наклонной и вертикальной панелей практически не отличается. В период с апреля по август горизонтальная панель превосходит вертикальную и приближается по эффективности к наклонной, а в июне уже превосходит её. В связи с этим, можно сделать следующие выводы.

Солнечные панели с управляемой ориентацией наиболее эффективны в летний период, а также осенью и весной. В зимний период использование систем автоматической ориентации не позволяет получить эффект и не является целесообразным по причинам неоправданных затрат энергии. Горизонтальное размещение солнечных панелей на территории Северного Казахстана неэффективно и не оправданно.

Эффективность применения солнечной панели зависит от ориентации плоскости панели относительно места нахождения солнца. Если представить прямую линию, направленную от солнца до плоскости панели, то максимальная производительность солнечной панели будет продемонстрирована при перпендикулярной ориентации плоскости панели по отношению к этой линии. Для сохранения такой ориентации панели при перемещении солнца, необходимо использовать специальные устройства слежения за солнцем и поворота панели. Применение устройств слежения за солнцем и автоматического управления ориентацией панелей позволяет повысить производительность управляемых солнечных панелей на 40-50% по сравнению с неподвижными панелями.

Стоимость системы управления ориентацией панелей может быть разной в зависимости от вида применяемой конструкции и сложности оборудования. Критериями экономической эффективности или экономической целесообразности проекта внедрения системы автоматического управления ориентацией панелей могут быть разумные сроки окупаемости понесенных затрат за счет ис-

точника, формируемого на основе рыночной стоимости электроэнергии, дополнительно произведенной в результате применения управляемой ориентации панелей.

Важным фактором является определение оптимального числа солнечных панелей, объединяемых в регулируемый модуль. Это объясняется тем, что применение отдельной системы ориентации для каждой панели не является экономически целесообразным. А создание больших поворотных платформ, на которых установлено большое число панелей, является сложной и дорогостоящей задачей.

Для солнечных станций мощностью от 1 до 2 кВт, на которых применяются солнечные панели общим числом от 10 до 25 единиц, можно создать систему ориентации, которая включает 2-4 рамных конструкции, с размещением на каждой конструкции до пяти панелей, оснащенных узлами вращения, и с общими для всех панелей механическим приводом и системой управления.

В качестве основных критериев для обоснования выбора технических решений, используются следующие основные положения:

1. Для условий применения в сельской местности, необходимы простые, надежные и проверенные технические решения. Степень новизны должна быть минимальной.
2. Основные технические решения данного проекта должны обеспечивать экономическую целесообразность их применения.

При анализе материала [4,5,6] с учетом экономических и технологических аспектов, или по соотношению цены и получаемого эффекта, установлено, что системы ориентации на базе линейных приводов по азимуту для солнечной электростанции 2 кВт имеют удельную приведенную стоимость в следующих размерах, приведенных в таблице 1 [3]:

Табл. 1. Удельная приведенная монтажная стоимость,

№	Наименование вида конструкций	Удельная приведенная монтажная стоимость, у.е./кВт	Прирост относительного размера производства энергии, %
1	Устройства ориентации по азимуту в диапазоне 170 градусов	450	43%
2	Устройства ориентации по азимуту в диапазоне 150 градусов	330	41%
3	Устройства ориентации по азимуту в диапазоне 100 градусов	270	38%

Прирост относительного размера производства энергии определялся в процентах к размеру базового производства энергии, который получен без применения автоматических систем ориентации панелей по солнцу. При увеличении диапазона регулирования ориентации панелей по азимуту от 100 градусов до 170 градусов, увеличение прироста суточного размера производимой электроэнергии составляет $43 - 38 = 5$ %. Прирост удельной стоимости составляет

$(450-270):450 \cdot 100\% = 40\%$. На основании данных таблицы 2 на рисунке 2 представлена графическая зависимость прироста энергии от угла ориентации.

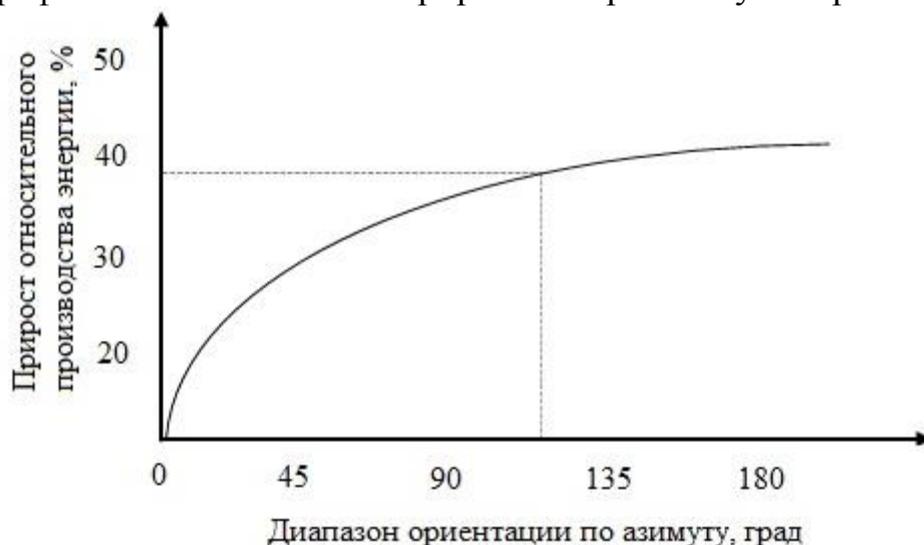


Рис. 2. Зависимость получаемого эффекта от угла ориентации

Диапазон ориентации панелей по азимуту до 100 градусов позволяет получить прирост производства энергии до 38%, а дальнейшее увеличение диапазона до 170 градусов увеличивает этот прирост всего на 5% при росте удельных затрат на 40%. Имеет место очевидная низкая эффективность, получаемая в результате увеличения диапазона ориентации по азимуту от 100 градусов до 170 градусов [6]. Такая неравномерность вызвана не только значительным усложнением и стоимости конструкции при увеличении угла поворота более чем на 100 градусов. При большом угле поворота, передние солнечные панели будут создавать тень для задних солнечных панелей и их энергетическая эффективность будет снижаться.

В связи с этим, в целях реального снижения удельной стоимости системы ориентации и упрощения ее конструкции, для обеспечения конечной экономической целесообразности применения системы ориентации панелей в условиях сельской местности, необходимо ограничить диапазон ориентации до 100 градусов [7].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Расчет ресурсов солнечной энергетики / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, С. В. Кривенкова, В.А. Кузнецова, Н. К. Малинин; под. ред. В. И. Виссарионова. – М. : Изд-во МЭИ, 1998. – 61с.
2. Петрусёв А.С., Сарсикеев Е.Ж., Ляпунов Д.Ю. Разработка технических средств повышения эффективности солнечных установок [Электронный ресурс] // Вестник науки Сибири. - 2015 - №. Спецвыпуск (15). - С. 77-82. - Режим доступа: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/1201>.
3. Ахметшин А.Т. Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук под названием “Повышение эффективности автономных солнечных фотоэлектрических установок для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей”, Уфа, 2016 г.

4. Сайт компании GreenChip. URL: www.greenchip.com.ua. (дата обращения: 05.09.2016).
5. Сайт компании ООО "ТП "Энергорезерв". URL: www.solarrezerv.ru (дата обращения: 05.09.2016).
6. Минимизация энергопотребления электроприводами в фотоэлектрической энергетической установке / В.В. Аржанов, Ю.А. Шурыгин, Ю.А. Шиняков, К.В. Аржанов // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Том 322. – №4. – С. 146 – 150.
7. Автоматизированная фотоэлектрическая установка с повышенной энергетической эффективностью / Ю.А. Шиняков, Ю.А. Шурыгин, В.В. Аржанов и др. // Доклады Томского государственного университета систем управления радиоэлектроники. – 2011. – № 2 – 1. – С. 282 – 287.

СЕКЦИЯ 9. УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НЕЛИНЕЙНОЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

М.В. Кугач, Р.А. Эйвазов
Новосибирский государственный технический университет

Постоянный рост количества нелинейных потребителей в электрических сетях приводит к ухудшению качества электроэнергии. В частности, новые светильники на основе светодиодных ламп, а также светильники, оснащенные пускорегулирующей аппаратурой (ПРА), искажают потребляемый ток и генерируют высшие гармоники в питающую сеть. В связи с этим ухудшается качество электроэнергии в точках общего присоединения (ТОП), повышаются потери электроэнергии, и возникают нежелательные процессы в оборудовании потребителей. К нежелательным явлениям относятся: нестабильная работа некоторых типов светильников, увеличение уровня частичных разрядов в изоляции конденсаторов и трансформаторов, ускоренное старение изоляции проводов и кабелей и т.д. Широкомасштабное внедрение светильников с нелинейными характеристиками приводит к проблемам их негативного влияния на традиционные электроприемники и, в некоторых случаях, нестабильной работе светильников.

Причиной выполнения настоящей работы явилось появление ряда проблем при работе системы досветки тепличных растений в ТК «Новосибирский». Проблема заключалась в нестабильной совместной работе большого числа светильников с лампами ДНаТ (при включении поочередно светильников и набора общей мощности включенных светильников перестают включаться новые светильники, и в дальнейшем гаснут все ранее включенные светильники), а также проблема пробоя питающего кабеля 6 кВ.

Для количественной оценки нелинейных искажений используется коэффициент THD (total harmonic distortion) – суммарный коэффициент гармонических составляющих, ГОСТ 30804.4.7. Данный коэффициент определяется для напряжения и для тока. В настоящей работе выполнены исследования спектров высших гармоник токов двух типов светильников:

- трехфазный светильник ЖСП 64-600-003/380V с дуговой натриевой лампой высокого давления (ДНаТ) мощностью 600 Вт;
- светодиодные лампы LED мощностью 11 Вт (9 штук). Аналог по освещению – лампа накаливания мощностью 90 Вт.

Также в некоторых опытах в качестве дополнительной нагрузки использовались лампы накаливания мощностью 100 Вт.

Измерения проводились анализатором качества электроэнергии Fluke 435 – II. Питание от трехфазной четырехпроводной сети 380 В. На рис. 1 показана схема включения анализатора качества электроэнергии в опыте с параллельной работой трехфазной натриевой лампы с лампами накаливания.

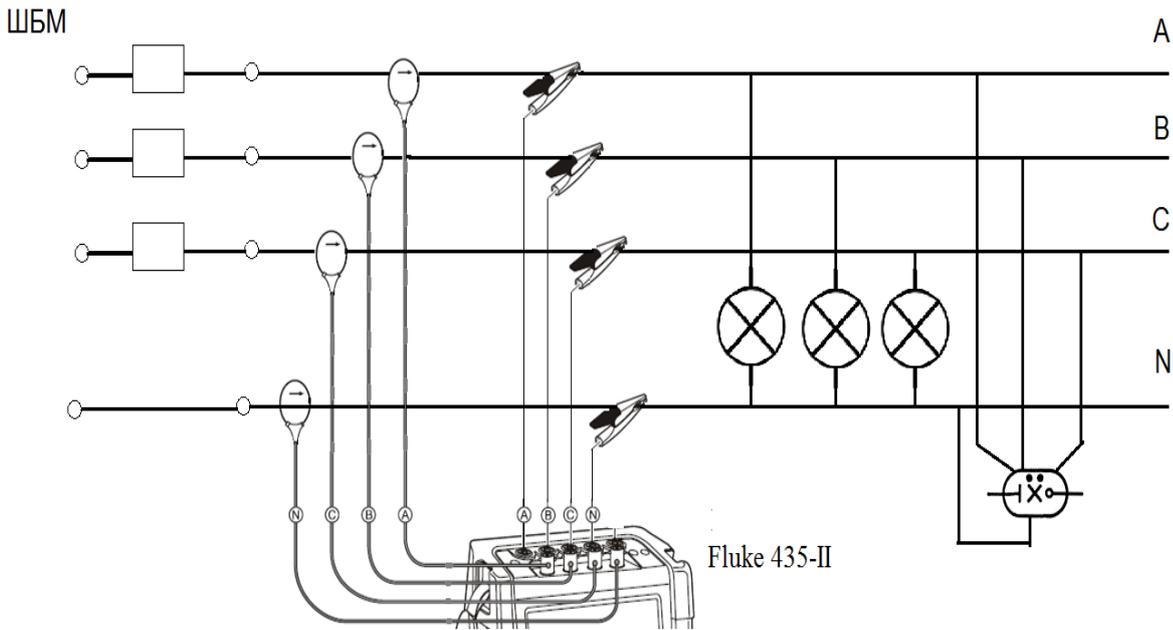


Рис. 1. Схема подключения прибора для проведения измерений

Всего было проведено 8 опытов, мощность нагрузки в которых варьировалась от 100 Вт до 2 кВт. Время регистрации измеряемых параметров – от 5 до 15 минут.

На рис. 2 представлен частотный спектр гармоник напряжения натриевой лампы. Стоит отметить, что во всех опытах THD напряжения примерно одинаковый и составляет 2-6 %. Значит, он обусловлен состоянием сети, а не нагрузкой.

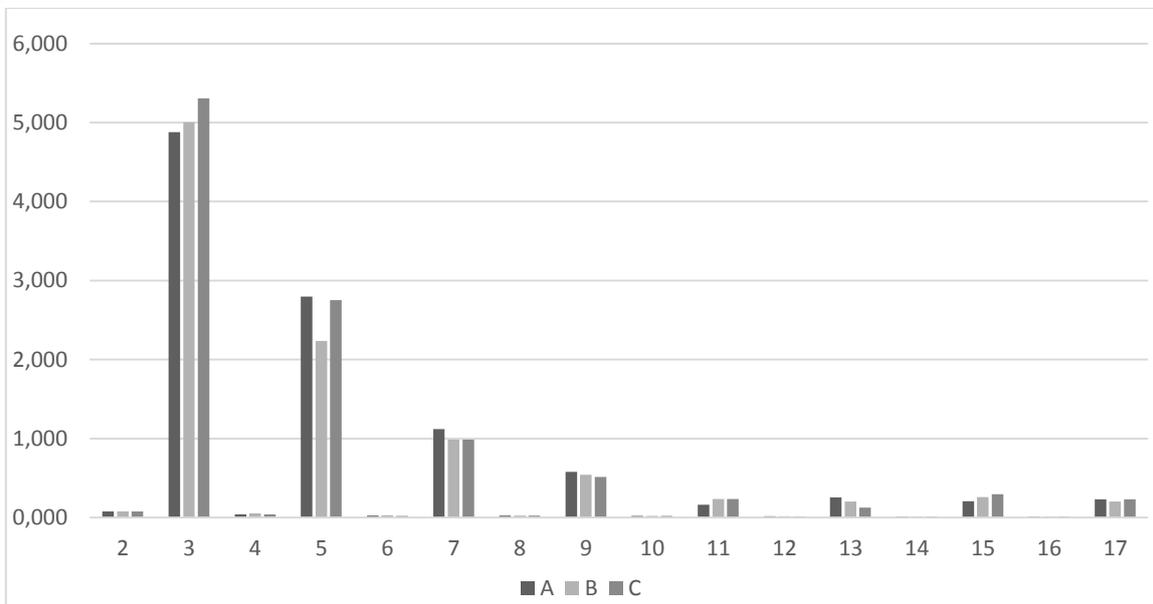


Рис. 2. Частотный спектр гармоник напряжения лампы ДНаТ

На рис. 3 представлен частотный спектр гармоник тока для натриевой лампы высокого давления (в процентах от основной гармоники).

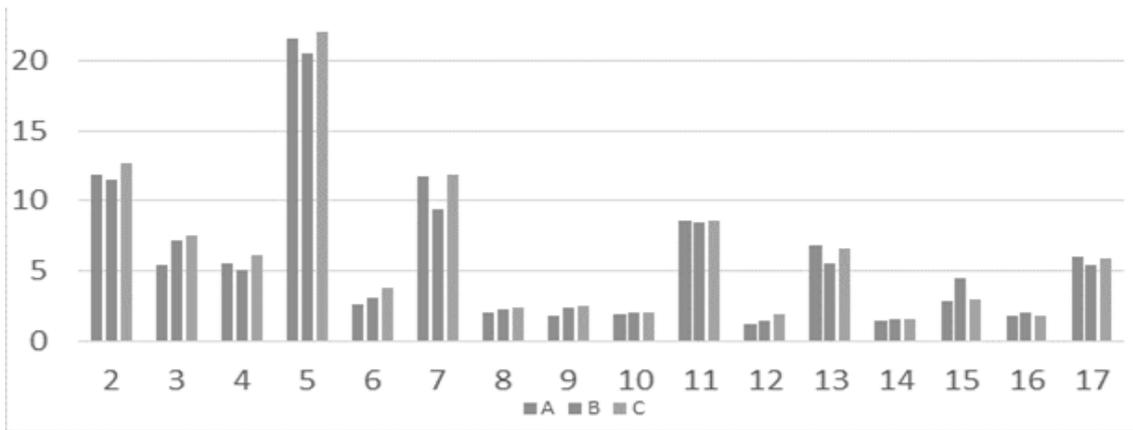


Рис. 3. Частотный спектр гармоник тока лампы ДНаТ

На рис.4 приведены осциллограммы тока лампы ДНаТ, снятые электронным осциллографом и анализатором качества электроэнергии Fluke 435-II. Видно, что у обеих осциллограмм схожая топология. Осциллограмма, снятая анализатором качества, имеет ступенчатый вид из-за низкой точности измерений (десятые доли ампера).

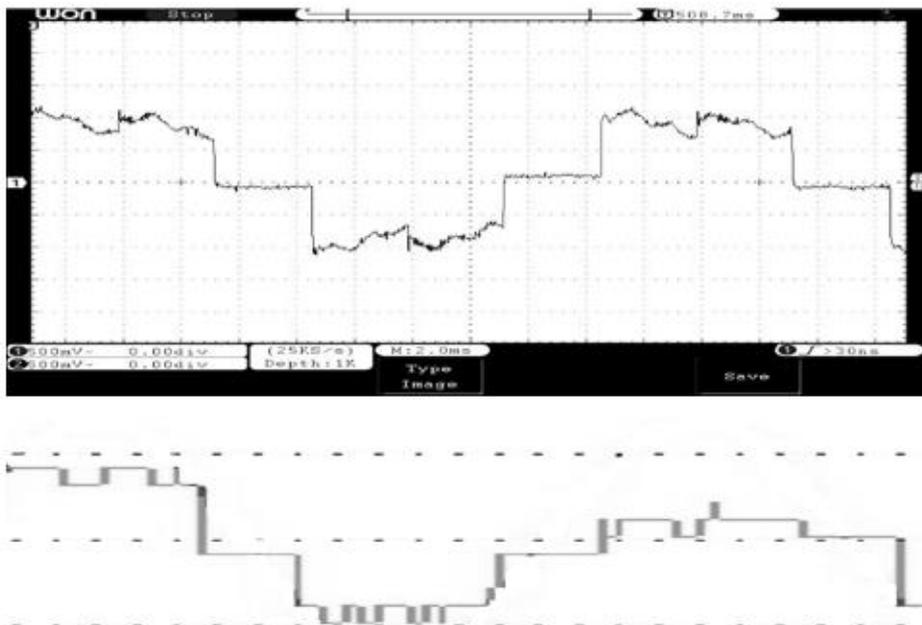


Рис. 4. Осциллограммы тока лампы ДНаТ

В таблице 1 представлены значения THD тока для трех опытов: включение натриевой лампы, включение светодиодных ламп, совместное включение натриевой лампы и ламп LED. THD тока лампы ДНаТ составляет около 30 % для каждой фазы, для светодиодных ламп - порядка 70 % по фазам. При совместном их включении значение коэффициента нелинейных искажений практически соответствует значению THD для натриевой лампы. Это объясняется тем, что при совместной работе токи ламп складываются. В свою очередь, значение тока определяется мощностью. Очевидно, что токи натриевой лампы значительно превышают токи светодиодных ламп из-за большого различия в мощности (600 Вт для ДНаТ, 100 Вт для девяти ламп LED).

Табл. 1. Значения коэффициента нелинейных искажений для различной нагрузки

Нагрузка	Фаза А	Фаза В	Фаза С
ДНаТ	32,9	33,48	34,26
Лампы LED	75,94	74,87	72,12
ДНаТ + LED	32,42	31,14	30,63

Выводы:

- При преобладающей искажающей осветительной нагрузке следует оценивать влияние высших гармоник на напряжение в ТОП и выполнять мероприятия по подавлению высших гармоник, которые для исследуемых ламп освещения вносят следующие гармонические составляющие по току:
-для трехфазного светильника, оснащенного лампой ДНаТ, с номерами гармоник: 2, 5, 7, 11 и 13.
-для светодиодных ламп LED – 3 (50% от основной гармоники), 5, 7 и 11.
- Во всех опытах, проведенных в аудитории университета в один день, ТНД напряжения примерно одинаковый и составляет 2-6 %. Значит, он обусловлен состоянием сети, а не нагрузкой.
- Светодиодные лампы имеют очень высокий суммарный коэффициент гармонических составляющих по току, и осветительная нагрузка с большой суммарной мощностью ламп типа LED может привести к большим искажениям напряжения в ТОП и эмиссии токов высших гармоник в сеть высокого напряжения.
- Опыт с совместным включением ламп LED и натриевой лампы показывает, что можно улучшать качество электроэнергии (в частности, ТНД), подключая искажающих потребителей совместно с мощной нагрузкой, обладающей высокими показателями качества электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Энергоатомиздат, 1984. - 160 с., ил.

Научный руководитель: А.В. Лыкин, к.т.н., доцент НГТУ.

СОЗДАНИЕ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Е.В. Ерофеев, И.В. Федин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Силовая электроника – это показатель уровня экономики любого современного государства. Ее решающая роль в экономике развитых стран вытекает из того, что более 80 % вырабатываемой электроэнергии потребляется в преобразованном виде. Снижение потерь при преобразовании электроэнергии является приоритетным направлением работ во всех развитых индустриальных странах. В настоящее время в США, Японии и Европе эффективность преобразования вырабатываемой электроэнергии достигает более 60-80%, в то время как в РФ эта цифра составляет 30-40%. Простые оценки показывают, что повышение этой цифры до мирового уровня позволит сэкономить около 20% энергии, что сопоставимо с вкладом атомной или гидроэнергетики.

Базовым элементом современной силовой полупроводниковой электроники вот уже на протяжении последних пятидесяти лет является мощный кремниевый (Si) транзистор. Однако согласно последней редакции Международной дорожной карты развития полупроводниковой технологии ITRS (<http://www.itrs.net/>) кремниевая технология практически достигла предельных возможностей и здесь наиболее перспективен широкозонный полупроводник - нитрид галлия (GaN) [1].

Основная причина того, что нитриду галлия отдается предпочтение перед другими перспективными для изготовления мощных приборов полупроводниковыми материалами (GaAs, SiC, алмаз) - высокие характеристики приборов на его основе при относительно низких затратах на их изготовление. Возможность работы GaN приборов на более высоких частотах позволит повысить энергоэффективность преобразователя и упростить его миниатюризацию. При этом за счет отказа от ряда пассивных элементов (фильтров) схемы можно добиться снижения массогабаритных показателей конечного устройства и уменьшить себестоимость его производства. Кроме того, GaN приборы характеризуются более высокой радиационной стойкостью и способностью работать при высоких рабочих температурах (до 300 °C), что является ключевым аспектом при создании электронной компонентной базы военной и аэрокосмической техники будущего [2].

В настоящей работе представлены результаты разработки силовых транзисторов и диодов на основе эпитаксиальных гетероструктур нитрида галлия для создания преобразователей напряжения высокой эффективности.

На рис. 1, а представлена передаточная характеристика мощного GaN транзистора по постоянному току. Из рисунка видно, что разработанный GaN транзистор работает в режиме обогащения с величиной порогового напряжения отпиарания $V_{nop} = + 1.2$ В и максимальным током сток-исток $I_{cu} = 0.15$ А/мм при

напряжении затвор-исток $V_{zu} = +8$ В. При этом минимальное сопротивление GaN транзистора в открытом состоянии составило $R_{on} = 5.5$ Ом \times мм при напряжении затвор-исток $V_{zu} = +8$ В. Величина начального тока утечки сток-исток GaN транзистора в закрытом состоянии составила порядка $I_{cu} = 20 - 40$ нА/мм при напряжении затвор-исток $V_{zu} = -3 \dots -1$ В.

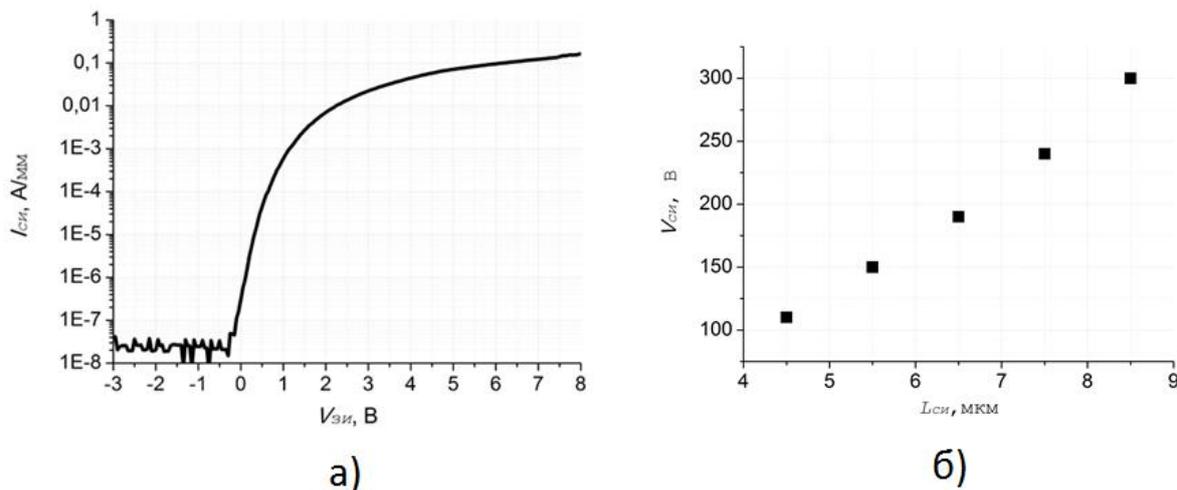


Рис. 1. Зависимости максимального тока сток-исток от напряжения затвор-исток (а) и напряжения пробоя сток-исток мощного GaN транзистора в закрытом состоянии от расстояния сток-исток (б)

На рис. 1б представлена экспериментальная зависимость напряжения пробоя сток-исток GaN транзистора в закрытом состоянии при напряжении затвор-исток $V_{zu} = 0$ В. Из рисунка видно, что при расстоянии сток-исток $L_{cu} = 4.5$ мкм напряжение пробоя сток-исток транзистора в закрытом состоянии составляет $V_{cu} = 120$ В. С увеличением расстояния сток-исток до $L_{cu} = 8.5$ мкм наблюдается линейное возрастание этой величины до $V_{cu} = 300$ В.

На рис. 2, а представлена прямая ветвь вольт-амперной характеристики (ВАХ) изготовленного диода с шириной анода $W_A = 200$ мм и расстоянием анод-катод $L_{C-A} = 7$ мкм.

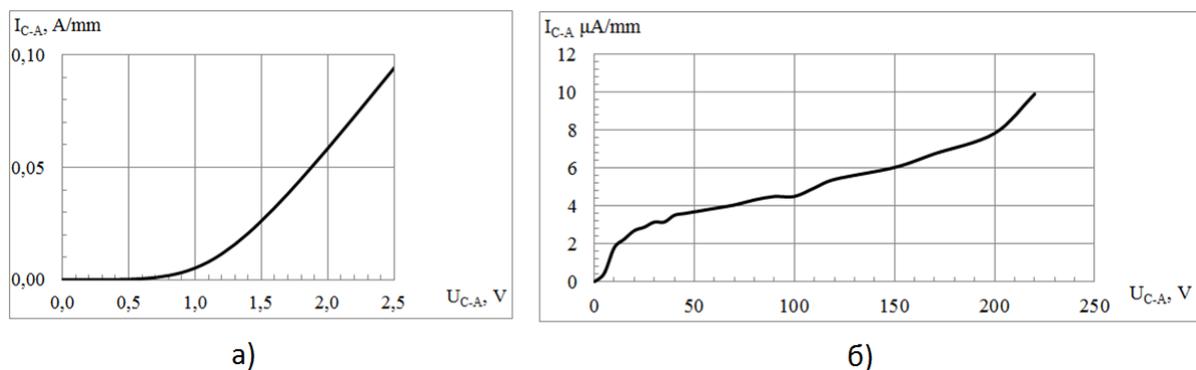


Рис. 2. Прямая (а) и обратная (б) ветви вольт-амперной характеристики изготовленных GaN диодов с барьером Шоттки при расстоянии анод-катод 7 мкм

Напряжение включения полученных GaN диодов с рецессом анода составило 0.65 В, что совпадает с результатами, представленными в работе [3]. Очевидно, что уменьшение расстояния между металлом Шоттки и каналом с двумерным электронным газом приводит к снижению напряжения включения.

Анодный ток, при прямом смещении $U_F = 1.2$ В составил $I_F = 0.01$ А/мм. Ток прямого смещения может быть увеличен путём увеличения толщины барьерного слоя AlGaN или концентрации алюминия в нём.

На рис. 2, б представлена обратная ветвь ВАХ изготовленного диода с расстоянием анод-катод $L_{C-A} = 7$ мкм и длиной анодного полевого электрода $L_{FP} = 2$ мкм. Изготовленные диоды обладают низким током утечки (<10 μ А/мм) вплоть до напряжения пробоя. При расстоянии анод-катод $L_{C-A} = 7$ мкм напряжение пробоя диодов составило $U_{BV} = 220$ В.

Напряжение пробоя диодов может быть увеличено заменой AlGaN буферного слоя на буферный слой, легированный углеродом или железом. В работе [4] показано, что высоколегированный углеродом GaN буфер позволяет уменьшить удельное сопротивление диодов и, как следствие, увеличить ток прямого смещения. Другим способом увеличения пробивных напряжений диодов является оптимизация структуры анодного полевого электрода (FP) [5].

На рис. 5 представлена зависимость ёмкости (C) от ширины анода (W_A) для диодов с расстоянием анод-катод $L_{C-A} = 7$ мкм и длиной FP $L_{FP} = 2$ мкм.

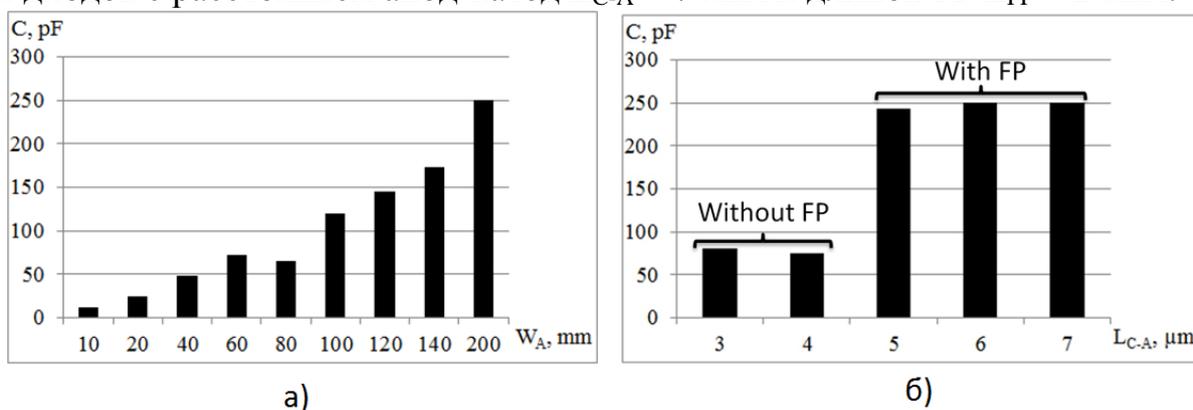


Рис. 5. Зависимость ёмкости (C) от ширины анода (W_A) для диодов с расстоянием анод-катод $L_{C-A} = 7$ мкм и длиной FP $L_{FP} = 2$ мкм (а), а также зависимость ёмкости диодов от расстояния анод-катод (L_{C-A}) для диодов без анодного полевого электрода (FP) и с FP длиной 2 мкм (б). Ширина электродом составляет 200 мм.

Как видно из рис. 5, а ёмкость диодов возрастает с увеличением ширины периферии электродов. Данный результат может быть объяснён увеличением площади обкладок паразитного конденсатора в результате роста периферии электродов. Данное предположение подтверждается рис. 5, б где показано, что расстояние анод-катод не оказывает существенного влияния на ёмкость диодов, в отличие от анодного полевого электрода, добавление которого приводит к существенному росту ёмкости.

На рис. 6 представлены достижения ведущих мировых компаний в области создания униполярных силовых GaN транзисторов и диодов в сравнении с результатами, полученными в настоящей работе.

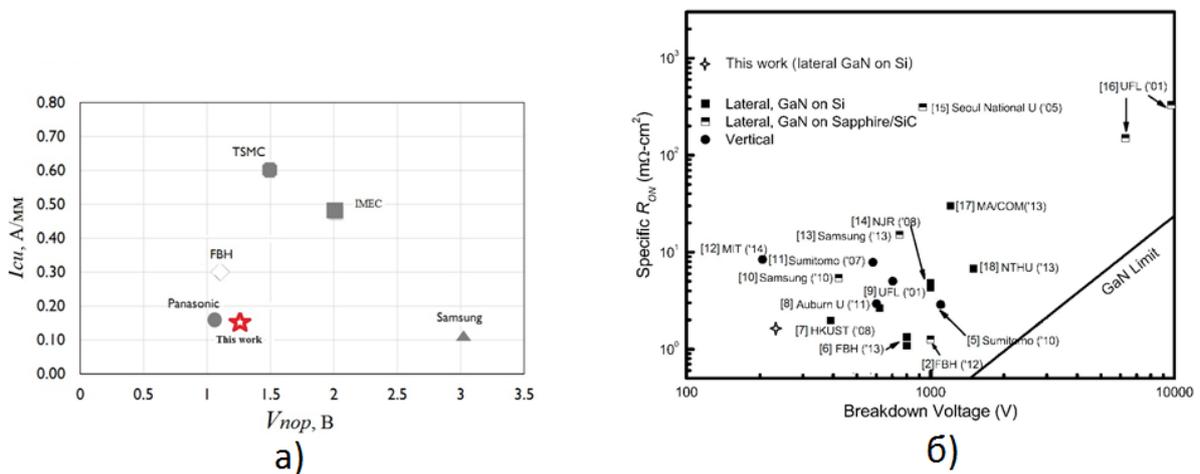


Рис. 6. График сравнения достижений различных компаний в области силовых GaN транзисторов (а) и диодов (б).

Как показано на рис. 6, изготовленные GaN транзисторы и диоды по своим электрическим параметрам близки к достижениям ведущих мировых компаний и могут быть использованы при создании энергоэффективной преобразовательной техники нового поколения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках соглашения №14.577.21.0204 от 27.10.15, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57715X0204.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Briere M. GaN-based Power Device Platform. The arrival of a new paradigm in conversion technology. – URL: <http://www.powersystemdesign.com>.
2. GaN-on-Silicon wafers: the enabler of GaN power electronics. – Power Devices. 2012. N. 4. PP. 6-9.
3. Bahat-Treidel E. *et al.*, “Fast-switching GaN-based lateral power Schottky barrier diodes with low onset voltage and strong reverse blocking,” *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 33, no. 3, pp. 357–359.
4. Saitoh Y. *et al.*, “Extremely low on-resistance and high breakdown voltage observed in vertical GaN Schottky barrier diodes with high-mobility drift layers on low-dislocation-density GaN substrates,” *Appl. Phys. Exp.*, vol. 3, no. 8, pp. 081001-1–081001-3, Jul. 2010.
5. Young L., Hongbiao S., Hai L., Dunjun C., Rong Z., Youdou Z. “Field plate engineering for GaN-based Schottky barrier diodes” *Journal of semiconductors*, vol. 34, no. 5, pp. 054007-1–054007-8, May 2013.

Научный руководитель: Е.В. Ерофеев, к.т.н., м.н.с., Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АМПЛИТУДЫ НЕРЕГУЛЯРНЫХ КОЛЕБАНИЙ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СЕЧЕНИЯХ

С.С. Борщев
Филиал АО «СО ЕЭС» Омское РДУ

Актуальность

Для расчета величины максимально допустимых перетоков (МДП) и задания некоторых уставок противоаварийной автоматики (ПА) необходимо знать амплитуду нерегулярных колебаний активной мощности в сечении. Исследование специализированных источников информации выявило отсутствие программных средств, позволяющих на основании данных оперативно-измерительного комплекса рассчитывать и прогнозировать амплитуду нерегулярных колебаний мощности в сечении. Процесс расчета сопровождается повышением трудоемкости работников службы электрических режимов АО «СО ЕЭС» Омское РДУ. В связи с этим возникает необходимость создания специализированной программы, что послужило основой для данной работы.

Краткая история изучения нерегулярных колебаний мощности

Основа для изучения нерегулярных колебаний мощности была заложена в конце 60-х - начале 70-х годов прошлого столетия, когда появилась необходимость объединения изолировано работающих энергосистем в единую сеть. Результаты проведенных исследований представлены в работах М.Д. Кучкина, С.А. Совалова, М.Г. Портного и др., Представленные ими данные позволяют оценить значения и частоты нерегулярных колебаний мощности и выявить качественные зависимости, необходимые для ведения режимов [1–4]. Итогом целой серии исследований по изучению нерегулярных колебаний мощности стала книга, написанная в середине 80-х годов Тимченко В.Ф, содержащая методы анализа и прогноза графиков нагрузки, колебаний небаланса и обменной мощности энергосистем [5].

Позднее В.А. Андреюк предложил универсальную формулу для определения амплитуды нерегулярных колебаний активной мощности в сечении, которая нашла практическое применение в методических указаниях по устойчивости энергосистем [6, 7]:

$$\Delta P_{нк} = k \cdot \sqrt{\frac{P_{H1} \cdot P_{H2}}{P_{H1} + P_{H2}}}, \quad (1)$$

где P_{H1} и P_{H2} МВт, - суммарные мощности нагрузки с каждой из сторон рассматриваемого сечения. Коэффициент k зависит от способа регулирования перетока в сечении. Применение данной формулы допустимо только при отсутствии измерений [7]. При наличии телеизмерений по элементам сечения возникает необходимость анализа большого объема телеметрической информации для определений амплитуды нерегулярных колебаний. В последние годы значение амплитуды нерегулярных колебаний определяется на фиксированном

временном срезе, а результаты анализа закладываются в уставки срабатывания ПА и величины МДП [8].

Прогнозирование амплитуды нерегулярных колебаний

Использование специально разработанных программных комплексов для определения и прогнозирования амплитуды нерегулярных колебаний позволит в режиме реального времени отслеживать величину нерегулярных колебаний и закладывать во вновь рассчитываемые уставки ПА и величины МДП актуальную прогнозную информацию.

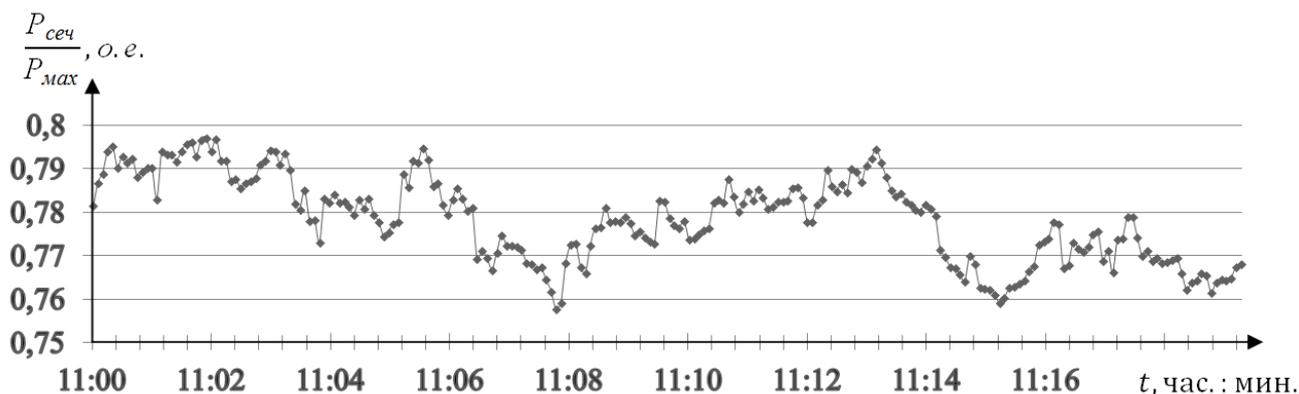


Рис. 1. Зависимость перетока активной мощности в сечении от времени.

Если представить величину перетока мощности в виде временного ряда (рис. 1), то, согласно исследованию Э.Е. Тихонова, на 2006 год существовало более 100 моделей прогнозирования [9]. Наиболее перспективным методом прогнозирования амплитуды нерегулярных колебаний является использование модели нейронных сетей искусственного интеллекта (ANN - artificial neural network).

Нейронные сети искусственного интеллекта

Нейронные сети искусственного интеллекта являются наиболее популярными и одними из самых развивающихся во многих отраслях, в том числе электроэнергетике [10, 11].

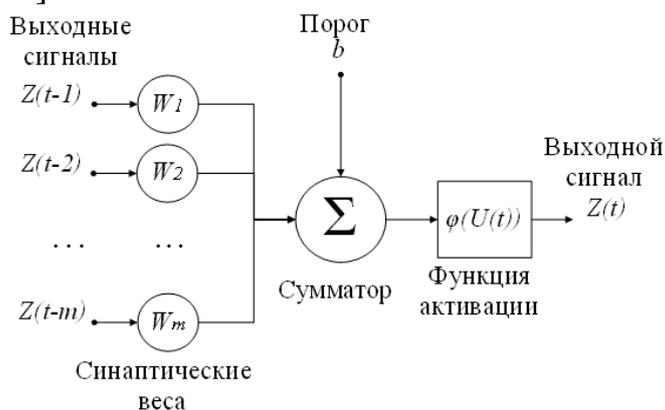


Рис. 2. Нелинейная модель нейрона.

Сеть состоит из нейронов (рис. 2), модель которого описывается двумя уравнениями:

$$U(t) = \sum_{i=1}^m \omega_i \cdot Z(t-i) + b, \quad (2)$$

$$Z(t) = \varphi(U(t)), \quad (3)$$

где $Z(t-i), \dots, Z(t-m)$ – входные сигналы; $\omega_1, \dots, \omega_m$ – синаптические веса нейрона; b – порог; $\varphi(U(t))$ – функция активации.

Функция активации бывает: функцией единичного скачка, кусочно-линейной и сигмоидной.

Способ связи нейронов определяет архитектуру нейронной сети. Согласно работе С. Хайкина [12], в зависимости от способа связи нейронов сети делится на однослойные прямого распространения, многослойные прямого распространения и рекуррентные. Все они позволяют устанавливать нелинейные зависимости между текущим и прогнозируемым значением и адаптироваться к изменяющимся величинам временного ряда. Параллельная структура ускоряет процесс вычисления. Немаловажным фактором в пользу выбора нейронных сетей является то, что существует множество примеров применения и программной реализации данной модели [13, 14].

Недостатком нейронных моделей является отсутствие прозрачности моделирования (доступность для анализа промежуточных вычислений), сложность выбора структуры, высокие требования к непротиворечивости обучающей выборки и ресурсоёмкость процесса обучения. Невозможность добавления нейронов в процессе обучения.

Комбинированные методы прогнозирования временного ряда

Для устранения недостатков ANN и повышения качества оценки предлагается использовать комбинированные модели прогнозирования. В работах Н.К. Alfares и М. Nazeeruddin рассматриваются различные типы комбинаций методов [15]:

- ANN + нечетная логика;
- ANN + авторегрессия проинтегрированного скользящего среднего с учетом внешнего фактора (ARIMAX);
- ANN + регрессионные модели;
- ANN + авторегрессионная модель с условной гетероскедастичностью (GARCH) + нечетная логика;

Комбинированный подход при правильной настройке позволяет компенсировать недостатки одних моделей за счет достоинств других. Главным недостатком комбинированных моделей является сложность и ресурсоёмкость создания.

Заключение

В виду вышеизложенного, представляется перспективным использование нейронных моделей, особенно в комбинации с другими моделями прогнозирования временных рядов, для разработки специализированной программы, позволяющей рассчитывать и прогнозирования амплитуду нерегулярных колебаний мощности в сечении. Разработка данной программы позволит сократить трудоемкость работников службы электрических режимов АО «СО ЕЭС» Омское РДУ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кучкин М.Д., Совалов С.А. Основные режимные требования к регулированию межсистемных перетоков и принципы регулирования. — В кн.: Автоматическое регулирование перетоков мощности по межсистемным связям. М., «Энергия», 1965, с. 46—96.
2. Совалов С.А., Кучкин М.Д., Лезнов С.И. Режимные характеристики объединенных энергосистем Центра, Урала и Юга. М.—Л., ГЭИ, 1962. 44 с.
3. Портной М.Г. Ресинхронизация энергосистем, соединенных слабыми связями. — «Труды ВНИИЭ», 1963, вып. 45, с. 4—21.
4. Портной М.Г., Руденко Ю. Н., Ясников В. Н. Объединение энергосистем Сибири слабыми межсистемными связями. — «Электрические станции», 1963, № 5, с. 37—43.
5. Тимченко В.Ф. Колебания нагрузки и обменной мощности энергосистем. Анализ и синтез для решения задач управления режимами. М., «Энергия», 1975.
6. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 390 с.: ли.
7. Методические указания по устойчивости энергосистем, утвержденные Приказом Минэнерго России от 30.06.2003 №277.
8. Стандарт ОАО «СО ЕЭС» СТО 59012820.27.010.001-2013 «Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях диспетчерского центра ОАО «СО ЕЭС», утвержденный и введенный в действие приказом ОАО «СО ЕЭС» от 18.01.2013 №10.
9. Э.Е. Тихонов. Методы прогнозирования в условиях рынка: учебное пособие. — Невинномысск, 2006. — 221 с.
10. Прогнозирование на оптовом рынке электроэнергии и мощности / И.А. Чучуева [и др.] // Сервис прогнозов [электронный ресурс]., URL: <http://www.mbureau.ru/about> (дата обращения 18.09.2016).
11. Mazengia D.H. Forecasting Spot Electricity Market Prices Using Time Series Models: Thesis for the degree of Master of Science in Electric Power Engineering. Gothenburg, Chalmers University of Technology, 2008. 89 p.
12. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2006. 1104 с.
13. Kumar M. Short-term load forecasting using artificial neural network techniques: Thesis for Master of Science degree in Electrical Engineering. India, Rourkela, National Institute of Technology, 2009. 48 p.
14. Прогнозирование на оптовом рынке электроэнергии и мощности / И.А. Чучуева [и др.] // Создаем нейронную сеть для прогнозирования временного ряда [электронный ресурс]., URL: <http://www.mbureau.ru/blog/sozdaem-neyronnuyu-set-dlya-prognozirovaniya-vremennogo-ryada> (дата обращения 18.09.2016).

15. Alfares H.K., Nazeeruddin M. Electric load forecasting: literature survey and classification of methods // International Journal of Systems Science. 2002, Vol 33. P. 23 – 34.

ПРОТИВОАВАРИЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СИСТЕМАХ MICROGRID

К.А. Скурихина

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Статья посвящена вопросам применения средств противоаварийного управления (ПАУ) в системах MicroGrid на основе исследования её динамических характеристик.

Мировая тенденция такова, что доля распределенной генерации (РГ) растет быстрыми темпами. Для России ввод объектов РГ, в основном на базе газопоршневых и газотурбинных установок, обусловлен рядом факторов: значительная удаленность объектов электроснабжения; постоянный рост тарифов на электроэнергию; повышение энергоэффективности за счет совместного производства электроэнергии и тепла при использовании единого источника первичной энергии (когенерация) и т.д. [1].

Принципы функционирования между централизованными и распределенными генерирующими мощностями, интегрированными в ЭЭС, нашли отражение в концепции MicroGrid. Стоит заметить, что MicroGrid присущи некоторые особенности: малая инерционность генерирующих установок, настройки регуляторов возбуждения и скорости, установленные заводом-изготовителем, не подлежат изменению для сохранения гарантийных обязательств, чувствительность некоторых установок к сбросу и набросу нагрузки; возможность автоматически переходить в изолированный режим работы в случае аварий в сети и восстанавливать синхронную работу после устранения аварии с поддержанием требуемого качества электрической энергии и т.д.[2]. В этой связи исследование динамических свойств MicroGrid и формирование систем противоаварийного управления представляют актуальную научную проблему.

Ключевые слова:

MicroGrid, распределенная генерация, противоаварийное управление, динамическая устойчивость, моделирование энергосистем.

В качестве объекта исследования выступает локальный источник теплоэлектроэнергетики – ТЭС жм. Березовое, расположенный в Первомайском районе г. Новосибирска. Станция включает в себя пять ГПУ фирмы Caterpillar G3520С мощностью 1,98 МВт каждая. Потребители электроэнергии – преимущественно жилые дома, величина нагрузки которых составляет 2,9 МВт, а также завод железобетонных изделий и строительные механизмы – 2,4 МВт.

За несколько лет эксплуатации станции возник ряд трудностей, связанных с особенностью работы ГПУ [3]. Необходимость выполнения требований и обязательств по обеспечению надежного электроснабжения потребителей, а также повышения экономичности работы ТЭС жм Березовое за счет улучшения

режимов работы электростанций, привела к рассмотрению варианта её технологического присоединения к Новосибирской энергосистеме.

В ПК EUROSTAG была разработана цифровые модели для расчета и анализа электрических режимов и переходных процессов при моделировании аварийных возмущений (рисунок 1). Полученная модель включает ТЭС жм Березовое (MicroGrid) и эквивалент Новосибирской энергосистемы.

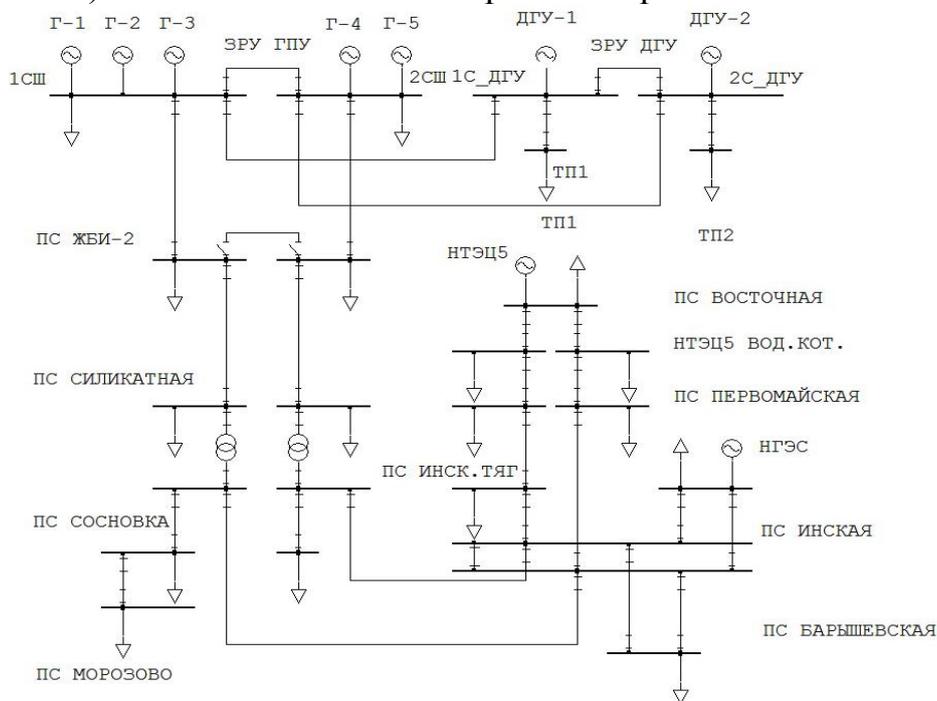


Рис. 1. Расчетная схема ТЭС жм Березовое при параллельной работе с энергосистемой

Для более корректного воспроизведения переходных процессов при моделировании возмущений в сети, на основе спецификации ГПУ [4] была создана модель АРВ (Caterpillar Digital Voltage Regulator – CDVR) с помощью модуля графического программирования ПК EUROSTAG. Полученная модель представлена на рисунке 2, а значения коэффициентов усиления и постоянных времени регулятора сведены в таблицу 1.

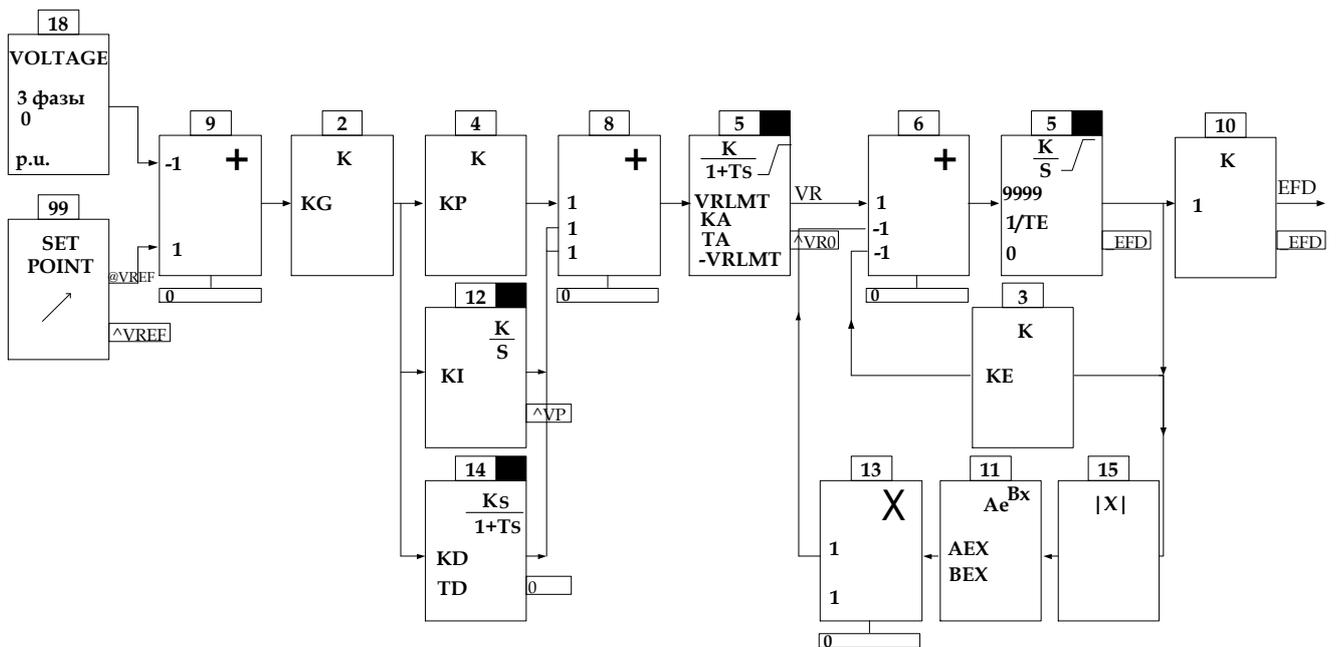


Рис. 2. Модель регулятора возбуждения CDVR

Табл. 1. Параметры регулятора возбуждения CDVR

параметр	значение	параметр	значение
A_{EX}	0.0007	K_I	2.326
B_{EX}	0.921	K_P	24.35
K_A	1	T_A	0.001
K_D	6.7	T_D	0.29
K_E	1	T_E	0.59
K_G	1	V_{RLMT}	3.5

В работе были проведены расчеты режима зимнего максимума 2016 г. и динамической устойчивости, позволяющие выявить аварийные возмущения, при возникновении которых необходимо применение средств ПАУ.

В качестве примера рассмотрим возмущения II и III группы согласно [5]: отключение ВЛ 110 кВ Первомайская – Инская действием УРОВ при однофазном и трехфазном КЗ с отказом одного выключателя (рисунок 3 и 4, соответственно). В расчетах были учтены уставки собственных защит ГПУ. Так отключение ГПУ происходит: если напряжение на выводах генератора в течение 0,2 с, снижено более чем 90% от номинального значения; при снижении частоты ниже 49 Гц или при повышении – больше 51,5 Гц в течение 0,2 с. При расчетах были приняты время отключения КЗ основными защитами – 0,14 с; время действия УРОВ – 0,3 с.

При моделировании однофазного КЗ и действия УРОВ на шинах 10 кВ ЗРУ ГПУ происходит недопустимое снижение напряжения (рисунок 3, А), в результате которого защита отключит генератор через 0,2 с. Поэтому в данном случае было предусмотрено срабатывание делительной автоматики (ДА), которая действует на выделение MicroGrid на изолированную работу со сбалансированной нагрузкой при нарушении нормальной работы сети.

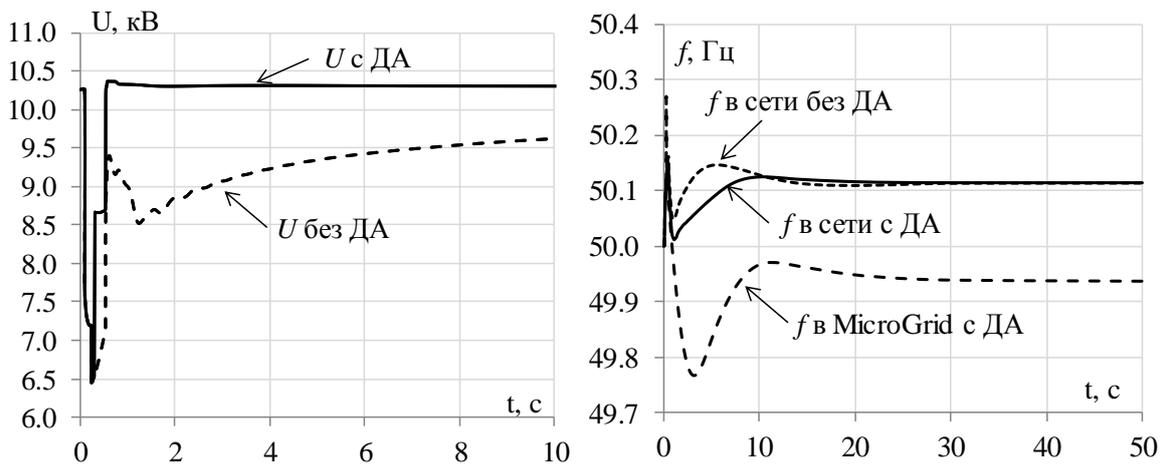


Рис. 3. Графики переходного процесса при нормативном возмущении II группы: (А) напряжение на шинах ЗРУ ГПУ системы MicroGrid, кВ; (Б) частота, Гц

В результате трехфазного КЗ и действия УРОВ происходит нарушение динамической устойчивости: углы роторов генераторов НГЭС и MicroGrid относительно эквивалентного генератора ТЭЦ 5 увеличиваются на 375 град. после ликвидации КЗ (рисунок 4, А). Характер изменения напряжения аналогичен предыдущему варианту, что также приводит к действию ДА. На рисунке 4 Б показано, что в установившемся режиме после действия ДА частота в энергосистеме равна 50,1 Гц, в изолированно работающей системе MicroGrid – 49,9 Гц.

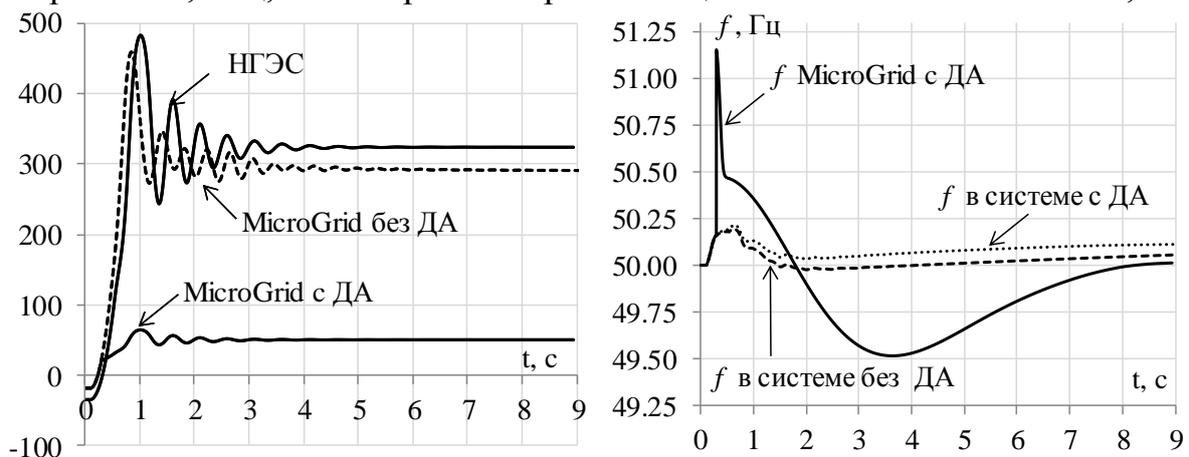


Рис. 4. Графики переходного процесса при нормативном возмущении III группы: (А) углы роторов генераторов НГЭС и MicroGrid относительно ТЭЦ 5, град; (Б) частота, Гц

Заключение

В работе были определены необходимые средства ПАУ, которые могут быть скорректированы во время эксплуатации и при возникновении новых схемно-режимных ситуаций. Для повышения эффективности ПАУ необходимо полностью автоматизировать запуск ГПУ на станции и обеспечить расчетную настройку уставок регуляторов. Кроме того, необходимо обеспечить средствами ПАУ автоматический переход станции в изолированный режим работы при возникновении аварий в сети, с выделением сбалансированной нагрузки, а также автоматическую ресинхронизацию с энергосистемой.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Илюшин П.В. «Внедрение распределенной генерации. Анализ существующего опыта, возникающие проблемы, комплексное решение технических вопросов интеграции в распределительные сети» / Материалы семинара «Распределенная генерация: технические аспекты» – 13 февраля 2013г. – Москва.
2. Илюшин, П.В. Проблемные технические вопросы работы объектов распределенной генерации в составе энергосистемы и подходы к их решению / П.В. Илюшин // Энергоэксперт. – 2015. – №1(48). – с. 59-63.
3. Скурихина К.А. Противоаварийное управление в системах MicroGrid: дис. ... магистра электроэнергетики и электротехники. Новосиб. гос. тех. университет, Новосибирск, 2016. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elibrary.nstu.ru/catalog>
4. Specifications Systems Operation Testing and Adjusting Caterpillar Digital Voltage Regulator (CDVR) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cat.cm>.
5. СО 153-34.20.576-2003 Методические указания по устойчивости энергосистем: [утверждены приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 277]. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСИСТЕМ С БОЛЬШОЙ ДОЛЕЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ

О.А. Болотникова

Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭПП, группа 5А4Д

Что является решающим фактором для перехода к возобновляемым источникам энергии как альтернативе традиционной энергетике с топливными установками? С развитием технического прогресса для нормального функционирования всех сфер жизнедеятельности необходимо все большее и большее количество энергии, при этом первичных энергоносителей становится все меньше и меньше. Это приводит к увеличению затрат на выработку, передачу и распределение электроэнергии. Вместе с тем стоимость возобновляемых источников энергии постепенно снижается. Более того, мы наносим необратимый вред нашей планете, нарушая экологическую стабильность [1].

Был выделен ряд проблем, порождаемых применением возобновляемых источников энергии:

- увеличение потребности в управляемых источниках реактивной мощности в электрических сетях, для управления напряжением и реактивной мощностью (связано со снижением резервов реактивной мощности на электростанциях и с изменением потоков мощности по линиям электропередачи переменного тока);
- необходимость значительного усиления системообразующей сети;

- сильная зависимость генерации от скорости ветра и облачности вплоть до возникновения чрезвычайных ситуаций при ураганах и солнечных затмениях;
- сложная предсказуемость генерации и усложнение ведения режима;
- снижение доли управляемых по активной мощности электростанций (снижение вторичных резервов мощности для покрытия нерегулярных колебаний мощности);
- осложнение регулирования потоков мощности;
- снижение резервов быстродействующего первичного регулирования;
- уменьшение механической постоянной времени генерирующего оборудования энергосистем, приводящее к изменению их динамических свойств;
- усложнение регулирования рыночных отношений при большой установленной мощности возобновляемых источников энергии (стоимость на электроэнергию может становиться отрицательной) при наличии распределенной генерации;
- затруднение контроля за соответствием требованиям, предъявляемым к генераторам (большое количество генераторов);
- потенциальное снижение надежности электроснабжения за счет отключения генерирующего оборудования при авариях в энергосистеме (в противовес, увеличение надежности электроснабжения за счет питания части потребителей при отделении от сети за счет близко расположенной генерации);
- увеличение зон отчуждения при расположении электростанций на суше;
- высокая стоимость ремонта генерирующего оборудования (для оффшорных электростанций выше, чем строительство новых) [2].

Помимо преодоления технологических трудностей, связанных с функционированием энергосистем требуются изменения на законодательном уровне. Необходимо оценивать всю совокупность стратегий развития, неотъемлемой частью которых на данном этапе являются поощрительные схемы. В целом эффективность и действенность стратегий, стимулирующих развитие ВИЭ, зависят от выполнения описанных ниже ключевых принципов формирования политики, а также систематического характера принимаемых мер.

Опыт внедрения ВИЭ в других странах показывает, что в основе политики и стратегий, в случае необходимости стимулирующих использование ВИЭ, должны лежать пять основных принципов:

- приведение к минимальному количеству препятствий неэкономического характера, таких как административные преграды, отсутствие доступа к энергосистемам, несовершенная структура рынка электроэнергии, недостаточная информированность и обучение, а также решение проблем с внедрением технологий ВИЭ обществом помогает улучшить функционирование рынка и организацию мероприятий;

- необходимость создания легко прогнозируемой и прозрачной системы поддержки для привлечения инвестиций;
- внедрение переходных поощрительных мер, в которых запланировано уменьшение степени поддержки со временем, позволит стимулировать инновации в технологиях, следить за ними и будет способствовать скорейшему достижению конкурентоспособности на рынке;
- разработка и внедрение соответствующих стимулирующих программ, которые гарантируют определенный уровень поддержки, оказываемой различным технологиям в зависимости от степени их разработки, помогает со временем реализовать значительный потенциал большого количества ТВИЭ;
- оценка влияния широкомасштабного внедрения технологий использования ВИЭ на энергосистему в целом, особенно на либеральных рынках электроэнергии, которая бы учитывала общую экономическую эффективность и надежность системы.

Вероятные способности ВИЭ фактически неограничены по сравнению с текущим уровнем потребления электроэнергии, однако несовершенство техники и технологии, неимение нужных конструкционных и остальных материалов пока никак не позволяет обширно вовлекать ВИЭ в энергетический баланс. Но за последние годы в мире особенно заметен научно-технический прогресс в постройке установок по применению ВИЭ и в первую очередь: фотоэлектрических преобразований солнечной энергии, ветроэнергетических аппаратов и биомассы [3].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Deploying Renewables: Principles for Effective Policies/ International Energy Agency, France
2. Grid 2030: A National Version for Electricity's Second 100 Years. Office of Electric Transmission and Distribution, United State Department of Energy, July 2003.
3. Н.И. Воропай. Интеллектуальные электроэнергетические системы: концепция, состояние, перспективы. - www.transform.ru.

Научный руководитель: А.С. Васильев, ст. преподаватель каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЕХУРОВНЕВОГО СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Р.А. Уфа, И.А. Разживин, В.Е. Рудник
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭЭС

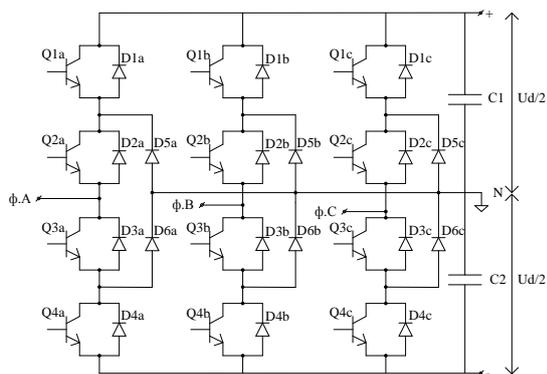
Одним из основных направлений развития и совершенствования современных электроэнергетических систем (ЭЭС) является внедрение устройств и технологий на базе силовых полупроводниковых ключей (устройств FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems) и HVDC (High Voltage Direct Current) технологий), предназначенных для повышения управляемости и пропускной способности сетей, обеспечения надёжности передачи электроэнергии. Основным элементом большинства обозначенных устройств является статический преобразователь, который реализуется в двух схемах – преобразователь тока (СПТ) и преобразователь напряжения (СПН). Схемы на базе СПН имеют ряд потенциальных преимуществ по сравнению со схемами на базе СПТ [1]:

1. Высокое быстродействие регулирования активной и реактивной мощности (полное круговое перемещение в четырех квадрантах).
2. Возможность работы в несимметричной сети, например, во время неисправности сети переменного тока или при наличии существенно несимметричных нагрузок с возможностью ее симметрирования.
3. СПН обеспечивает лучшую электромагнитную совместимость, что снижает требования к пассивным фильтрам, и возможность активной фильтрации высших гармоник.

Стоит отметить, что на сегодняшний день схемы СПН имеют меньшую пропускную способность единичной установки по сравнению со схемами СПТ, однако применение модульных многоуровневых технологий и кабелей постоянного тока, классов напряжения 320, 520 кВ, позволило увеличить пропускную способность объектов HVDC с СПН до 1 ГВт (1,4 ГВт – для вновь строящихся объектов). Благодаря указанным преимуществам схемы на базе СПН нашли более широкое применение в электроэнергетике. В настоящее время в мировых энергосистемах функционируют и строятся более 35 объектов HVDC с СПН классами напряжения от 50 до 520 кВ, в том числе первый в мире проект пятиконцевой HVDC с СПН [2].

Одной из распространённых и принятой в российской энергетике является трехуровневая схема СПН, которая реализуется согласно следующим топологиям [3]:

4. Преобразователь с фиксированной нейтралью (neutral-point-clamped, NPC), в котором каждое плечо состоит из четырех последовательно соединенных IGBT транзисторов (Insulated-Gate Bipolar Transistor) (Q1a-Q4a) с антипараллельными диодами (D1a-D4a) и двух дополнительных диодов (D5a, D6a), соединяющими промежуточные узлы схемы с нейтральной точкой (N) шины постоянного тока (рис.1).



а)

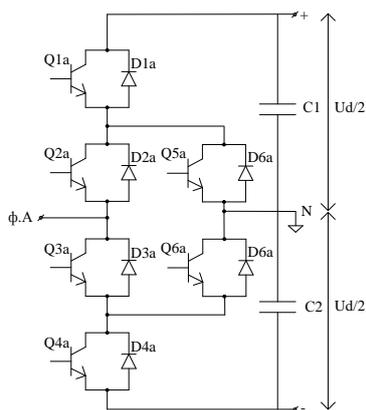
IGBT	$U_{BbIX} =$		
	$+U_d/2$	0	$-U_d/2$
Q1x	On	Off	Off
Q2x	On	On	Off
Q3x	Off	On	On
Q4x	Off	Off	On

б)

Рис. 1. Схема трехуровневая схема СПН с NPC (а) и возможные состояния IGBT ключей (б).

Несмотря на преимущества NPC [3], данная топология предполагает неравномерное распределение потерь между силовыми ключами, что снижает эффективность их использования. В качестве решения был разработан преобразователь с активной фиксированной нейтралью (Active Neutral Point Clamped, ANPC).

5. Преобразователь с активной фиксированной нейтралью (рис.2).



а)

$U_{BbIX} =$	IGBT					
	Q1x	Q2x	Q3x	Q4x	Q5x	Q6x
$+U_d/2$	On	On	Off	Off	Off	On
0	Off	On	Off	Off	On	Off
0	Off	On	Off	On	On	Off
0	On	Off	On	Off	Off	On
0	Off	Off	On	Off	Off	On
$-U_d/2$	Off	Off	On	On	On	Off

б)

Рис. 2. Трехуровневая схема СПН с ANPC (а) и возможные состояния IGBT ключей (б).

Применяя соответствующий алгоритм переключения дополнительных ключей Q5 и Q6, можно фиксировать выходное напряжение нейтральной точки цепи постоянного тока «активным» образом. Гибкость применения дополнительных ключей Q5 и Q6 позволяет более равномерно распределить потери на электропроводность и коммутационные потери ключей.

В формате данного доклада представлены фрагменты разработки физической модели трехуровневого СПН (ФМ) с ANPC гибридной модели HVDC, более детально представленной в [4].

Физическая модель трехуровневого статического преобразователя напряжения

В соответствии с [4] модели силовых ключей воспроизведены на модельном физическом уровне посредством интегральных микроэлектронных цифрово-управляемых аналоговых ключей (ЦУАК), для которых разработаны универсальные алгоритмы управления, реализованные на цифровом уровне.

Внешний вид макета разработанной ФМ СПН с ANPC представлен на рисунке 3:

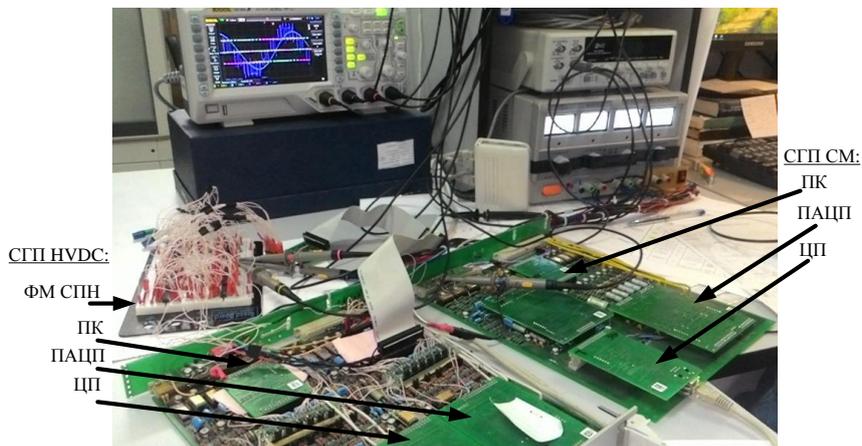


Рис. 3. Внешний вид макета разработанной ФМ СПН с ANPC, где СГП HVDC – специализированный гибридный процессор модели HVDC, СГП СМ – специализированный гибридный процессор модели синхронной машины, ПК – процессор коммутации, ПАЦП – процессор аналого-цифрового преобразования, ЦП – центральный процессор [4].

На рисунке 4 представлены осциллограммы фазного (а) и линейного (б) напряжений на выходе ФМ СПН с ANPC, функционирующего в режиме инвертора.

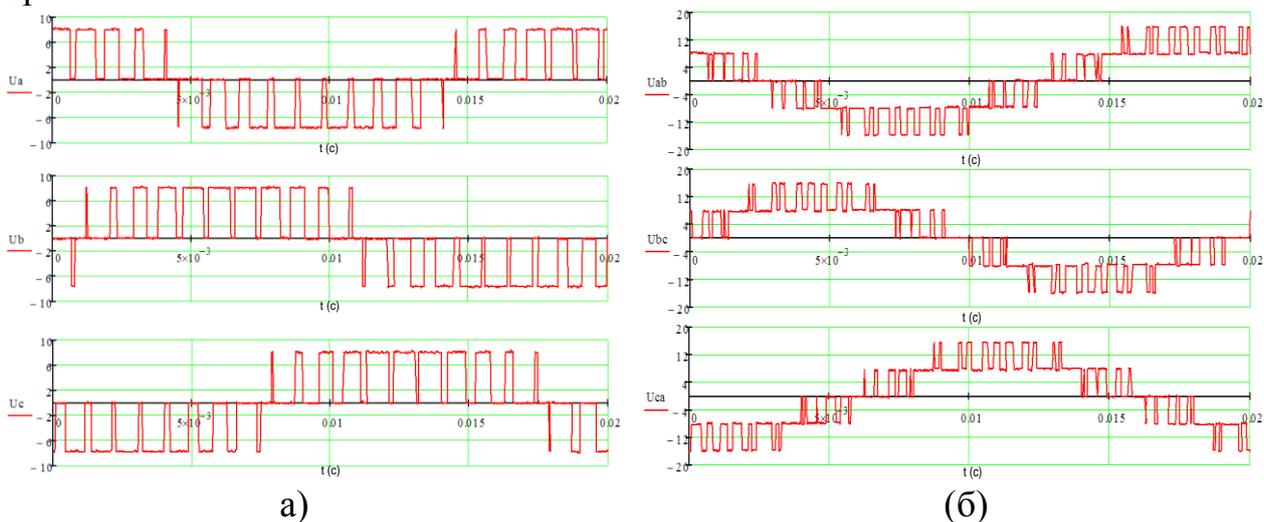


Рис. 4. Осциллограммы фазного (а) и линейного (б) напряжений на выходе ФМ СПН, функционирующего в режиме инвертора.

Для подтверждения адекватности воспроизведения коммутационного процесса на рисунке 5 представлен результат спектрального анализа фазных напряжений на выходе ФМ СПН с ANPC и типовой модели СПН с ANPC программного комплекса MatLAB Simulink.

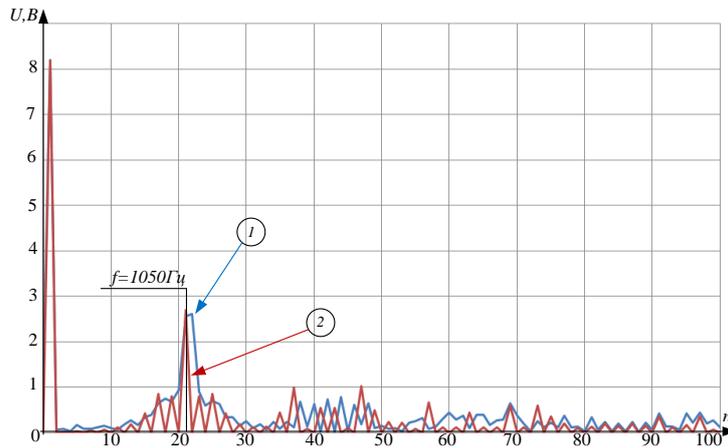


Рис. 5. Результаты спектрального анализа фазного напряжения на выходе ФМ СПН с ANPC, функционирующего в режиме инвертора: 1 – физическое моделирование СПН с ANPC, 2 – математическое моделирование СПН с ANPC в MatLAB Simulink, где $f = 1050 \text{Гц}$ – частота широтно-импульсной модуляции, n – номер гармоники.

Представленные результаты экспериментального исследования и компьютерного тестирования подтверждают адекватность разработанной ФМ СПН с ANPC и возможность ее применения для достоверного воспроизведения различных коммутационных процессов в устройствах FACTS и HVDC, реализованных в рамках концепции и средств гибридного моделирования реальных ЭЭС.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание «Наука», проект №3901: «Разработка и исследование гибридной модели вставки несинхронной связи электроэнергетических систем».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Sellick R.L., Åkerberg M. Comparison of HVDC Light (VSC) and HVDC Classic (LCC) Site Aspects, for a 500MW 400kV HVDC Transmission Scheme // 10th IET International Conference on AC and DC Power Transmission. Birmingham, 2012. – pp. 1–6.
2. Chuanyue L., Xiaobo H, Jingli G., Jun L. The DC Grid Reliability and cost evaluation with Zhoushan Five-Terminal HVCD case study // 50th International Universities Power Engineering Conference, 2015. – pp. 1–6.
3. Rocha V.A., Silva S.M., Pires I.A., Machado A.A., Amaral F.V., Ferreira V.N., Paula H., Cardoso Filho B.J. A New Fault-Tolerant Realization of the Active Three-Level NPC Converter // IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, 2014. – pp. 3483–3490.

4. Borovikov Yu.S., Gusev A.S., Sulaymanov A.O., Ufa R.A., Vasilev A.S., Andreev M.V., Ruban N.Yu., Suvorov A.A. A Hybrid Simulation Model for VSC HVDC // IEEE Transactions on Smart Grid. – 1997. – V. 7.-P. 2242-2249.

Научный руководитель: Р.А. Уфа, ассистент каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ ПЕРСПЕКТИВНЫМИ МНОГОТЕРМИНАЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧАМИ И СЕТЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

¹О.В. Сулова, ²Р.А. Уфа, ²В.Е. Рудник

¹ОАО «Научно-технический центр единой энергетической системы»

²Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭЭС

В настоящее время перед отечественной электроэнергетической отраслью стоят задачи модернизации и развития единой энергетической системы (ЕЭС) с последовательным присоединением к ней объединенной энергосистемы Востока и ряда изолированных энергосистем при обеспечении эффективного и надежного электроснабжения в сочетании с интеллектуализацией систем, интеграции электроэнергетики в едином экономическом пространстве Евразийского экономического союза и увеличение экспорта электрической энергии и мощности, прежде всего на востоке страны. При реализации протяженных электрических присоединений на переменном токе могут возникать проблемы с обеспечением их устойчивости, повышенными потерями мощности, увеличением токов короткого замыкания, необходимостью установки дополнительных средств компенсации реактивной мощности. Перспективным альтернативным решением является использование для этих целей воздушно-кабельных и кабельных электропередач постоянным током с использованием преобразователей напряжения (ПН). Среди преимуществ электропередачи с использованием ПН по сравнению с аналогичными устройствами, выполненными на основе преобразователей тока, можно отметить: возможность поддержания напряжения при авариях в примыкающих сетях; работа в условиях малых отношений короткого замыкания и даже на автономную нагрузку; отсутствие фильтров высших гармоник на стороне переменного тока; возможность балансирования и симметрирования напряжения примыкающей сети переменного тока. Использование ПН, объединенных в многотерминальную электропередачу (МТЭ) кабельными или воздушно-кабельными линиями, позволит реализовать осуществить присоединение изолированных энергосистем к ЕЭС, осуществить надежное энергоснабжение изолированных потребителей и энергорайонов, обеспечив присоединение промежуточных подстанций. Использование сложноразветвленной сети постоянного тока (СПТ) обеспечивает передачу балансового потока мощности при отключенном состоянии одного из элементов сети (принцип «n-1»), повышая надежность энергоснабжения [1].

Надежное и эффективное функционирование МТЭ и СПТ определяется алгоритмами работы их систем управления и качеством их реализации. Актуальными являются задачи выработки оптимальных стратегий управления преобразователями МТЭ и СПТ, распределение перетоков активной мощности, алгоритмов взаимодействия преобразователей с СПТ.

Для МТЭ и СПТ можно выделить два уровня управления: уровень управления модулями ПН (внутренняя подсистема), уровень управления преобразователем (внешняя подсистема).

Под модулем ПН подразумевается полумостовая или полномостовая ячейка с конденсатором. Для управления модульным ПН предлагается большое количество разнообразных методов [2]. Разнообразие предлагаемых методов вызвано попытками оптимизировать число переключений модулей, уменьшить потери в преобразователе, а также искажение высшими гармониками выходного напряжения. Основные алгоритмы управления модулями представлены на рис. 1.

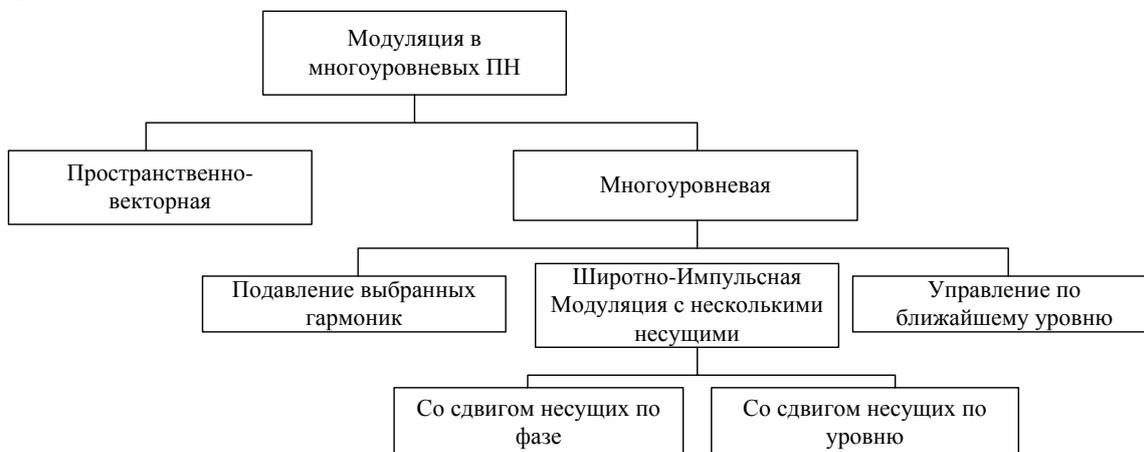


Рис. 1. Алгоритмы модуляции, используемые в модульных многоуровневых преобразователях.

В задачи внутренней подсистемы также входит балансирование напряжений на конденсаторах модулей. Наиболее распространённый подход, используемый для поддержания установленного уровня напряжения на конденсаторах – сортировка модулей, которые должны быть подключены в цепь преобразователя в процессе цикла заряда или разряда [3]. Напряжение на конденсаторах изменяется несколько раз за период основной частоты. Модули сортируются в порядке, соответствующему напряжению на их конденсаторах. Если ток в плече положительный, то к плечу подключаются модули с наименьшим напряжением, и их конденсаторы заряжаются. Соответственно, если ток в плече отрицательный, то к плечу подключаются модули с наибольшим напряжением, и их конденсаторы заряжаются. В результате, даже если на определенном интервале времени число подключенных модулей не должно изменяться, операции переключения должны производиться. Это увеличивает частоту переключений, а также потери преобразователя на переключения. Другой задачей внутренней системы регулирования является подавление так называемых циркулирующих токов, имеющих в своем составе значительную вторую гармонику и возникающие из-за разницы фазных напряжений преобразователя. Наиболее распростра-

нен метод прямого подавления циркулирующих токов, основанный на использовании векторной системы [4].

Внешняя подсистема (рис.2) [5, 6] состоит из следующих основных блоков: блока фазовой автоподстройки частоты (phase-locked loop, PLL), регуляторов ток, активной мощности, напряжения на шинах переменного тока, реактивной мощности, напряжения на шинах постоянного тока.

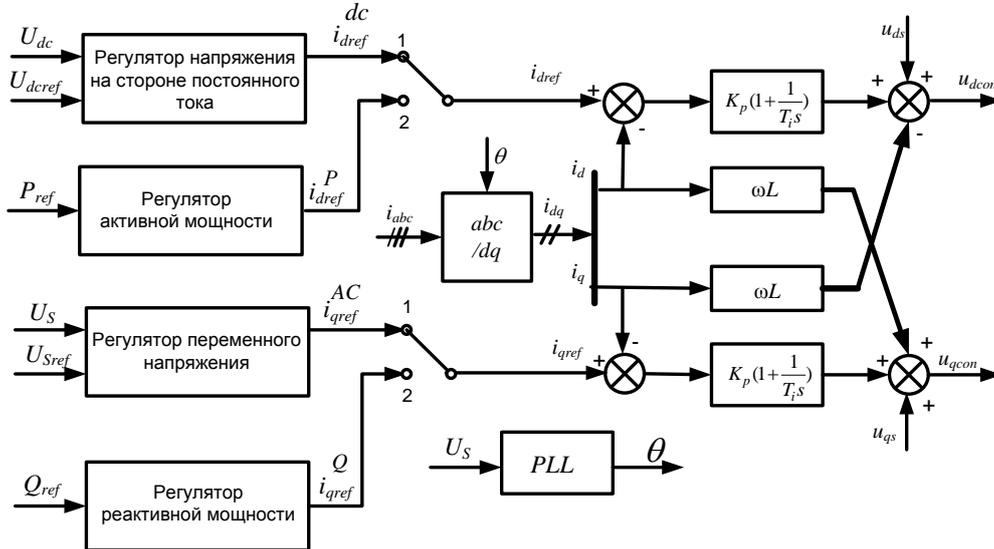


Рис. 2. Общая структура системы регулирования ПН.

Одна из важнейших задач управления МТЭ и СПТ – обеспечение поддержания напряжения на стороне постоянного тока на заданном уровне. При использовании стратегии «балансирующий преобразователь» задача регулирования напряжения возлагается на один ПН, который будет потреблять или выдавать активную мощность, необходимую для поддержания напряжения на заданном уровне. Этот ПН должен быть присоединен к сильной сети переменного тока и иметь повышенную установленную мощность для обеспечения нормального функционирования системы в переходных процессах. Основным недостатком такой системы – при аварийном отключении этого ПН будет выведена из строй вся МТЭ или СПТ. На другие ПН возлагается задача поддержания активной мощности.

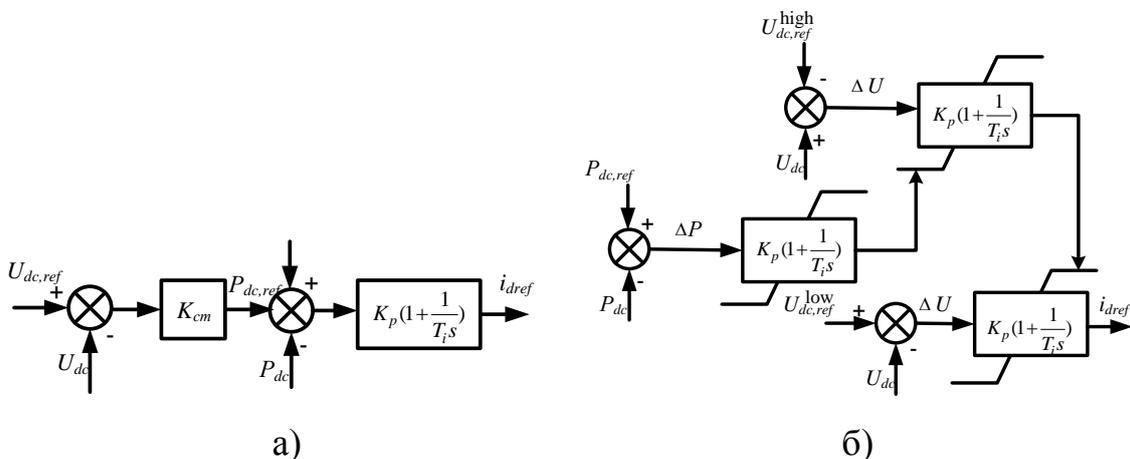


Рис. 3. Структурные схемы контуров регулирования напряжения: а) регулирование по «статизму напряжения», б) регулирование по «запасу по напряжению».

Стратегия регулирования по «статизму напряжения» [7] (рис.3,а) подразумевает участие в регулировании напряжения нескольких преобразователей, коэффициент наклона характеристики $U_{dc} - P_{dc} K_{cm}$ определяет степень участия в регулировании для данного ПН. Стратегия управления «запаса по напряжению» [8] (рис. 3, б) подразумевает участие в регулировании напряжения в данный момент времени одного ПН, но только до тех пор, пока требуемое значение потребляемой или выдаваемой активной мощности находится в заданных пределах, тогда другой ПН берет на себя эту функцию. Вопрос выбора оптимальной стратегии управления напряжением зависит от целого ряда факторов, связанных с размерами и протяженностью МТЭ и СПТ, свойствами замыкающих сетей переменного тока.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание «Наука», проект №3901: «Разработка и исследование гибридной модели вставки несинхронной связи электроэнергетических систем».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ahmed N.; Haider A., Van Hertem D. Lidong Zhang, Nee H.-P. Prospects and challenges of future HVDC SuperGrids with modular multilevel converters. Power Electronics and Applications, Proceedings of the 2011-14th European Conference on , vol., no., pp.1,10, 2011.
2. Rodriguez J., Lai J.S., Peng F.Z.. Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 49, pp. 724–738., 2002
3. Lesnicar A.; Marquardt R. An innovative modular multilevel converter topology suitable for a wide power range. Power Tech Conference Proceedings, IEEE Bologna , vol.3, no., pp.6 pp. Vol.3.,2003
4. Qingrui Tu; Zheng Xu; Jing Zhang. Circulating current suppressing controller in modular multilevel converter. 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 2010.
5. R. Teodorescu, M. Liserre, and P. Rodríguez, “Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems”. John Wiley & Sons, Ltd., 2011.
6. Сулова О.В. Моделирование вставки постоянного тока на преобразователях напряжения в режиме реального времени на RTDS. Известия НТЦ единой энергетической системы, №: 2 (71), 2014 с.: 18-28.
7. J. Beerten, D. Van Hertem, and R. Belmans, “VSC MTDC systems with a distributed DC voltage control – A power flow approach”. Proc. IEEE PowerTech '11, Trondheim, Norway, June 19–23, 2011.
8. T. Nakajima and S. Irokawa, “A control system for HVDC transmission by voltage sourced converters,” in IEEE PES Summer Meeting, 1999, vol. 2, 1999, pp. 1113–1119.

ПРИМЕНЕНИЕ ФАЗОПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА В АЛТАЙСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

С.А. Ставицкий, В.В. Шестакова
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭЭС

Использование значений перетоков активной мощности в контролируемом сечении позволяет производить планирование и управление электроэнергетическим режимом энергосистемы, соблюдение контроля над нормативными требованиями к её устойчивости. Поэтому перетокам мощности уделяется особое внимание. Но стоит отметить, что довольно часто возникает проблема неравномерного распределения мощности в параллельных линиях, где одна из которых перегружается, в то время как вторая остается незагруженной.

В связи с этим на сегодняшний день разработаны различные устройства, принадлежащие к серии FACTS, которые способны оказывать влияние на проходящий в электрической сети переток. Одним из таких устройств является фазоповоротное устройство (ФПУ), работа которого основана на компенсации сдвига фазового угла вектора напряжения в линии электропередачи. К основным преимуществам ФПУ относятся быстродействие и плавное регулирование этого угла. В нашей стране фазоповоротное устройство еще не получило практической ценности, хотя его применение могло бы дать решение проблемы, о которой говорилось выше.

В исследовании была рассмотрена возможность применения ФПУ на примере контролируемого сечения Барнаульско-Бийского узла 2 (ББУ-2) Алтайской энергосистемы, рисунок 1. Моделирование применения фазоповоротного устройства проводилось для расчетной модели энергосистемы Алтайского края в программном комплексе RastrWin3.

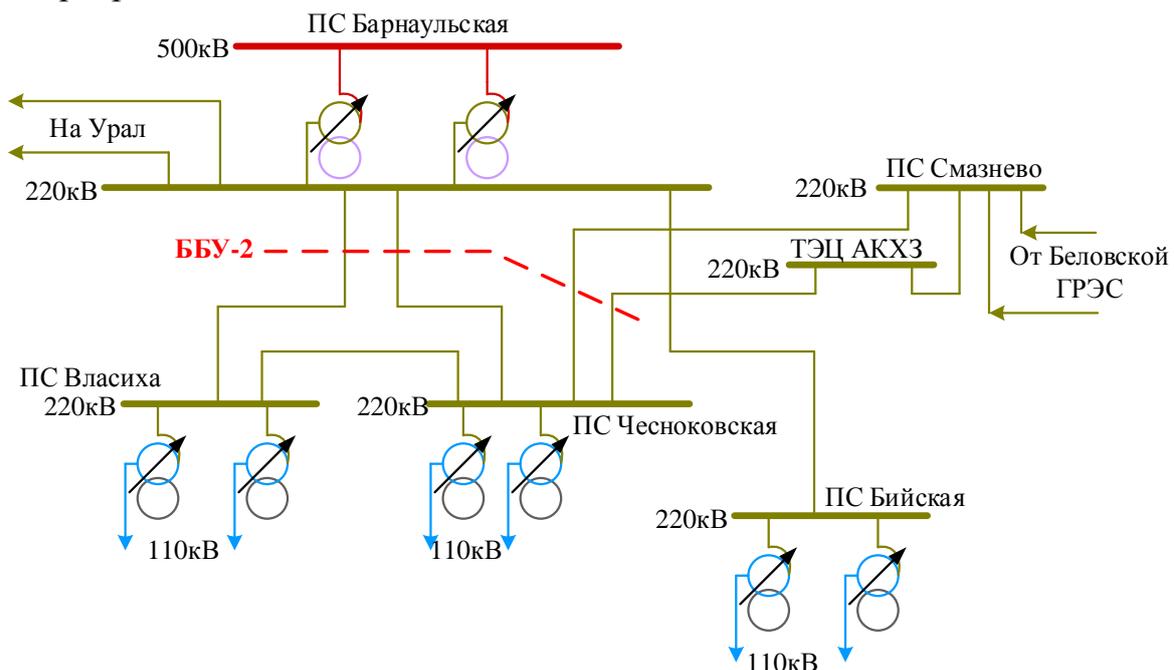


Рис. 1. Часть схемы расчетной модели Алтайской энергосистемы

Для данного сечения свойственна проблема неравномерного распределения по линиям перетоков активной мощности, связанная с токовой перегрузкой воздушной линии 220 кВ Барнаульская-Чесноковская. Остальные линии, входящие в сечение, при полной перегрузке линии Барнаульская-Чесноковская нагружаются лишь на 60-70%. Ток в перегруженной линии носит в основном активный характер, поэтому компенсация реактивной мощности нецелесообразна. Поэтому с помощью установки ФПУ в линию 220 кВ Барнаульская-Чесноковская, посредством уменьшения фазового угла, можно добиться разгрузки по активной мощности в данной линии.

В модели рассматривали применение ФПУ с продольно-поперечным типом регулирования, в состав которого входят: серийный трансформатор, шунтовой трансформатор и высоковольтный тиристорный коммутатор. Такое фазоповоротное устройство имеет 15 ступеней регулирования в сторону увеличения и уменьшения угла. Однако следует учесть тот факт, что, в силу своей конструкции, с увеличением ступени регулирования увеличивается и полное сопротивление самого устройства, что отрицательно сказывается на пределе передаваемой активной мощности.

В схеме замещения ФПУ можно представить продольным индуктивным сопротивлением [1], поэтому установив его в линию 220 кВ Барнаульская-Чесноковская, ток в этой линии будет снижен. В связи с этим было принято решение, исследовать влияние ФПУ с использованием и без использования ступеней регулирования. При расчетах учет действия ступеней был принят как приращение мощности от воздействия противоаварийной автоматики ($\Delta P_{ПА}$). Допустимый переток рассчитывали по формуле [2]:

$$P_{дон} = P_{д/ав} (I_{н/ав}^{дон}) - \Delta P_{но} + \Delta P_{ПА} \quad (1)$$

Результаты значений МДП при разных температурах с использованием и без использования ФПУ приведены на рисунке 2.

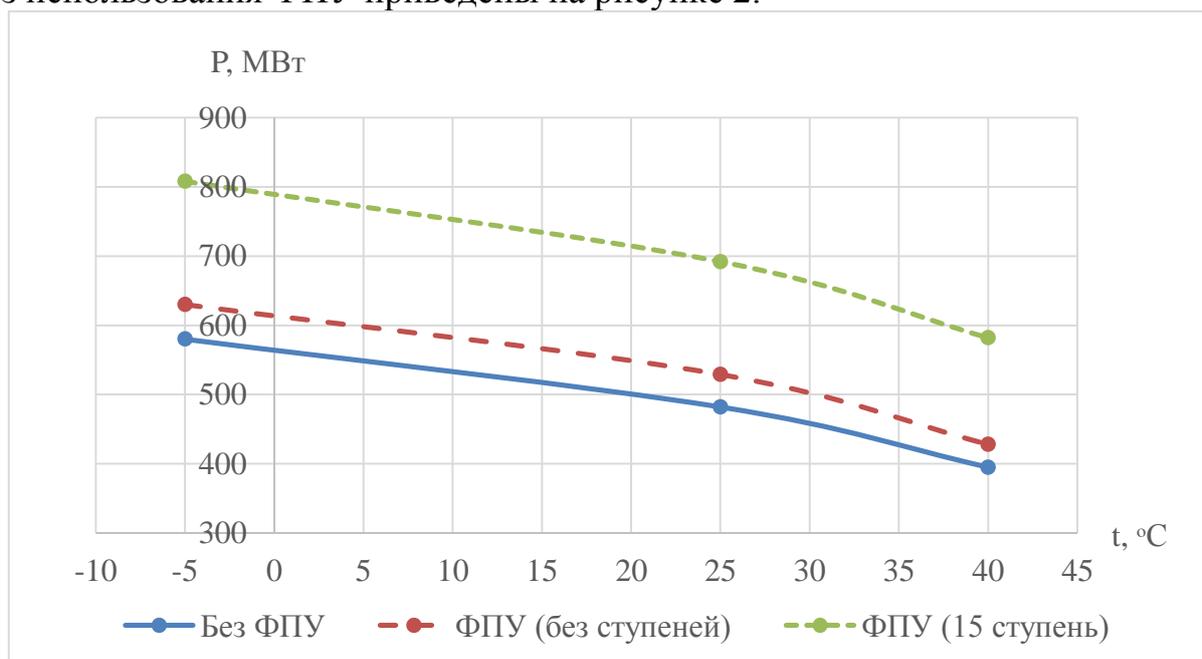


Рис. 2. Значения МДП при разных температурах

Из рисунка 2 видно, что использование 15-ой ступени регулирования дает максимальное значение МДП, но её действие не благоприятно для режима в целом. Дело в том, что при работе максимальной ступени регулирования в послеаварийном режиме наступает предел по токовой нагрузке ответственных линий, либо нарушение устойчивости по углу.

Также было рассмотрено влияние фазоповоротного устройства на значения аварийно-допустимого перетока (АДП), результаты расчетов показаны на рисунке 3.

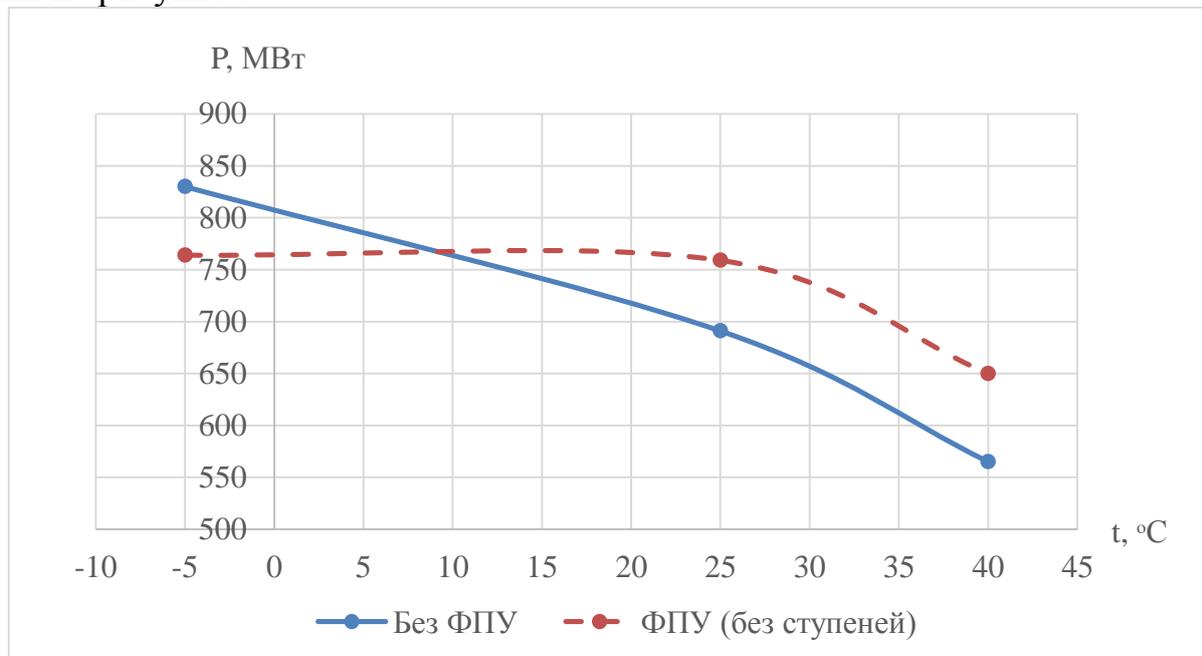


Рис. 3. Значения АДП при разных температурах

Из рисунка 3 видно, что в случае аварийно-допустимого перетока использование ФПУ оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на режим работы энергосистемы. Это объясняется тем, что при температуре ниже 10 °C определяющим критерием АДП является 8% запас по активной мощности. Использование ФПУ влечет за собой увеличение сопротивления связи и тем самым уменьшает значение АДП. При высших температурах ограничителем становится токовая нагрузка ответственных линий.

Значения АДП при действии любых ступеней ФПУ ниже значений АДП при нулевой ступени ФПУ.

В итоге, применение фазоповоротного устройства позволило увеличить значение МДП на 8-9% без использования ступеней регулирования и на 39-47% с их использованием.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание «Наука», проект №3901: «Разработка и исследование гибридной модели вставки несинхронной связи электроэнергетических систем».

ЛИТЕРАТУРА:

1. И. М. Ахметов, Разработка релейной защиты фазоповоротного устройства с тиристорным коммутатором для ЛЭП 220 кВ; ОАО «Энергетический институт им. Г. М. Кржижановского». – Москва: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2014. – 222 с.
2. Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях диспетчерского центра ОАО «СО ЕЭС». СТО 59012820.27.010.001-2013. Утвержден и введен в действие 18.01.2013.

Научный руководитель: А.О. Сулайманов, к.т.н., доцент, заведующий каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДИСПЕТЧЕРСКИМ ПЕРСОНАЛОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.А. Сулайманова, А.С. Гусев, А.В. Хлебов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭЭС

Согласно статистике аварийности в электроэнергетических системах (ЭС) 25% тяжелых аварий и их развития происходит из-за неправильных или запоздалых действий диспетчерского персонала. В связи с этим создание информационно-телекоммуникационной системы поддержки принятия решений диспетчерским персоналом (ИТС ППР ДП) ЭС, обеспечивающей формирование эффективных и оптимальных решений ДПЭС по управлению схемно-режимными состояниями оборудования и ЭС в целом, способствующих повышению «живучести» ЭС, является важной задачей.

Предназначение ИТС ППР ДПЭС определяет необходимость обеспечения трех основополагающих условий, а именно:

1. Наличие текущей схемно-режимной информации о состоянии объектов и ЭС в целом.
2. Возможность оперативной, в том числе в реальном времени, интерактивной и автоматической гарантированно достоверной проверки ПР ДПЭС при всевозможных нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы ЭС.
3. Возможность оперативного интерактивного и автоматического формирования ППР ДПЭС, исключающих создание или развитие аварийных режимов и обеспечивающих надежное и эффективное функционирование ЭС.

Первое условие позволяет реализовать использование базы данных синхронизированных телеизмерений и телесигналов оперативно-информационных

комплексов (ОИК) ЭС, SCADA или массивов данных создаваемой системы мониторинга переходных режимов (СМПР), аналогичной в зарубежных ЭС системе синхронизированной векторной регистрации параметров – Wide Area Measurement Systems (WAMS). Второе и третье условие подразумевает использование средств моделирования ЭС для его реализации, преимущественно математического, ввиду невозможности полноценного физического моделирования.

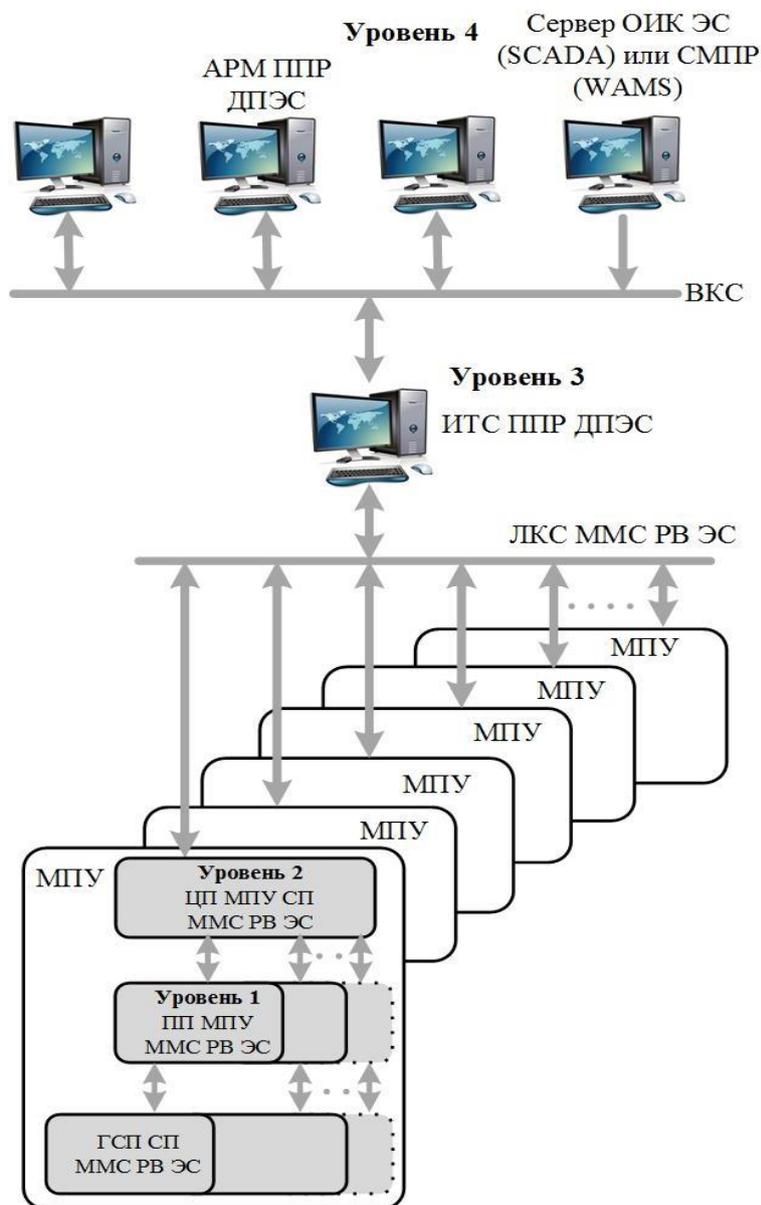


Рисунок 1 – Структура многоуровневой информационно-управляющей программно-аппаратной платформы ИТС ППР ДПЭС

Согласно концепции создания ИТС ППР ДПЭС и структуре средств её осуществления создаваемая ИТС ППР ДПЭС (рисунок 1) представляет собой информационно-управляющую совокупность разрабатываемых для этой цели автоматизированного рабочего места поддержки принятия решений диспетчерским персоналом электроэнергетических систем (АРМ ППР ДПЭС) и мультипроцессорной моделирующей системы реального времени (ММС РВ) ЭС [1], Сервер ИТС ППР ДПЭС которой связан по корпоративной компьютерной сети

с Сервером ОИК ЭС для автоматизированного и автоматического установления и отслеживания в ММС РВ ЭС текущего или любого ретроспективного схемно-режимного состояния ЭС. При этом, поскольку для аппаратной реализации локальной компьютерной сети (ЛКС) с сетевыми коммутаторами ММС РВ ЭС и соответственно ИТС ППР ДПЭС применимы типовые стандартные решения, новое научно-техническое содержание в создании ИТС ППР ДПЭС составляют принципы построения специализированных процессоров (СП) ММС РВ ЭС для ИТС ППР ДПЭС и их реализация, а также специализированного программного обеспечения (СПО) Сервера ИТС ППР ДПЭС и АРМ ППР ДПЭС. Основу ММС РВ ЭС образуют унифицированные СП, универсальные для моделирования различных типов каждого вида основного и сопутствующего ему вспомогательного оборудования ЭС, достаточно полно и достоверно воспроизводящие процессы, протекающие в оборудовании, в реальном времени при всевозможных нормальных, аварийных и послеаварийных режимах их функционирования [2]. Кроме этого, назначением СП является также реализация в рамках моделируемого оборудования информационно-управляющих функций, необходимых для решения различных задач ППР ДПЭС. Информационно-управляющие уровни (рисунок 2) ИТС ППР ДПЭС отражают информационно-управляющую иерархию и ее структуру, каждый уровень которой характеризуется соответствующей функциональностью и приемлемым временем выполнения этих функций [3].

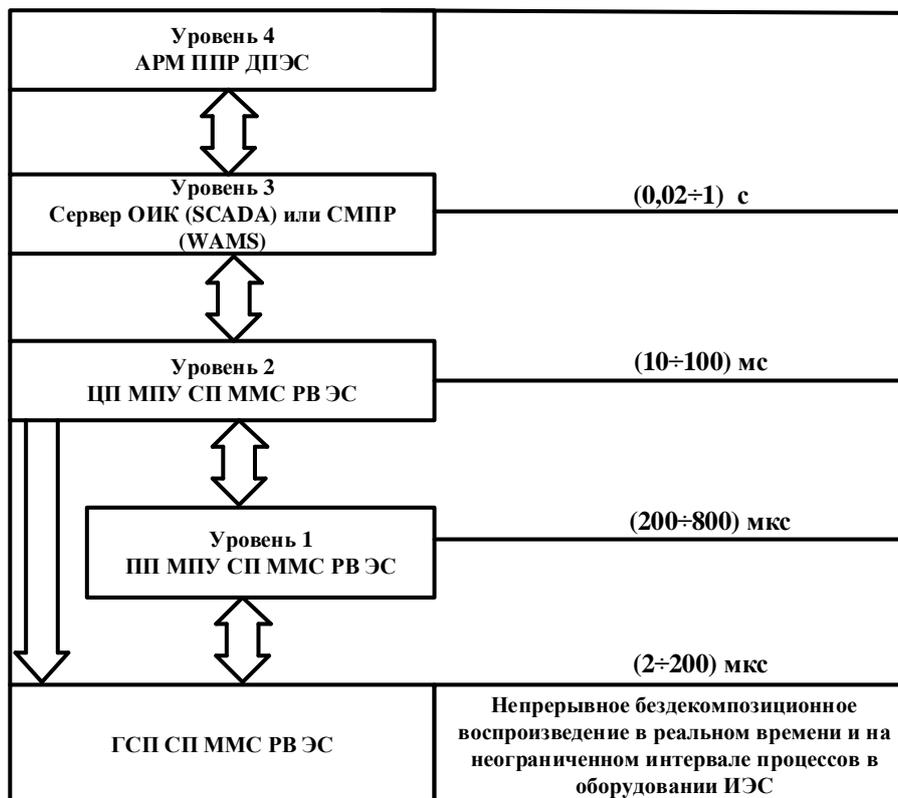


Рисунок 2 – Информационно-управляющие уровни ИТС ППР ДПЭС

Первый уровень информационно-управляющих функций, связанных с оцифровыванием, преобразованием, представлением информации и осуществлением различных коммутаций, автоматического технологического управления,

реализуется с помощью периферийных процессоров (ПП) микропроцессорных узлов (МПУ) СП. Все ПП в МПУ каждого СП взаимосвязаны с образующими второй уровень центральными процессорами (ЦП) МПУ, посредством которых и ЛКС осуществляется их информационно-управляющее взаимодействие и Сервера ИТС ППР ДПЭС, включая трансляцию значений параметров базы данных моделируемого оборудования и ЭС в целом с Сервера в СП, а также результатов моделирования из СП на Сервер и затем в АРМ ППР ДПЭС. Кроме этого, с помощью ЦП моделируются локальные средства релейной защиты, технологической и противоаварийной автоматики, и системы автоматического управления, динамика функционирования которых обеспечивается временем их выполнения в ЦП МПУ СП. Поскольку на Сервере ИТС ППР ДПЭС сосредотачивается вся информация о моделируемой ЭС, третий уровень предназначен для моделирования системных средств автоматики, различных информационно-управляющих комплексов ЭС, других системных функций и алгоритмов сценариев ППР ДПЭС.

Взаимодействующий только с Сервером, пользовательский четвертый уровень составляют АРМ ППР ДПЭС – профессионально-ориентированное высокого уровня ПО, устанавливаемое на компьютере Сервера и на работающих во ВКС компьютерах пользователей без ограничений. Основное содержание АРМ ППР ДПЭС составляет многочисленный и разнообразный современный программный инструментарий автоматизированного интерактивного и автоматического моделирования и управления моделированием, а также представления, преобразования, отображения и коммуникаций результатов моделирования, необходимых для решения задач ППР ДПЭС.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание «Наука» № 3901, тема: «Разработка и исследование гибридной модели вставки несинхронной связи электроэнергетических систем».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Боровиков Ю.С. Мультипроцессорная моделирующая система реального времени электроэнергетических систем с активно-адаптивными сетями: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: спец. 05.14.02 / Ю. С. Боровиков; Новосибирская государственная академия водного транспорта; науч. рук. А. С. Гусев. - Томск: 2014. - 273 с.
2. Андреев М. В., Боровиков Ю. С., Гусев А. С., Сулайманов А. О. Система поддержки принятия решения диспетчерским персоналом электроэнергетических систем на базе концепции гибридного моделирования // Автоматизация и ИТ в энергетике. - 2015 - №. 12. - С. 36-41.

3. Боровиков Ю. С., Сулайманов А. О. Информационно-управляющая система мультипроцессорного комплекса моделирования в реальном времени энергосистем // Электротехника. - 2013 - №. 5. - С. 56-63.

Научный руководитель: А.С. Гусев, д.т.н., профессор каф. ЭЭС, ЭНИН ТПУ.

РЕАКЦИЯ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ПОЛУЧЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПО ДАННЫМ ПАССИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

У.А. Темиркул
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭСиЭ, группа 5АМ5Г

При решении задач оперативно-диспетчерского управления электроэнергетических систем необходимо иметь адекватные модели нагрузки крупных потребителей электроэнергии. В установившихся режимах наиболее полно свойства нагрузки описываются их статическими характеристиками (СХН), то есть зависимостями активной и реактивной мощности от напряжения и частоты [1]. Получение достоверных статических характеристик нагрузки является трудной инженерной задачей, так как предполагает проведение специальных испытаний с искусственным изменением напряжения в электрических сетях, так называемых активных экспериментов. Количество потребителей, для которых требуется получение статических характеристик нагрузки, крайне велико, а сами характеристики могут быть непостоянны, изменяясь в зависимости от времени года, времени суток, производственного цикла промышленных предприятий.

Перспективным решением описанной проблемы представляется создание методов получения статических характеристик нагрузки по данным так называемых пассивных экспериментов, которые не предполагают вмешательства в режим работы электрических сетей, а основываются на накоплении и обработке результатов измерений (телеизмерений). Однако, точность результатов, полученных по данным пассивных экспериментов, оказывается значительно ниже, чем по данным активных экспериментов [2].

Одной из основных причин высокой погрешности статических характеристик, получаемых по результатам обработки пассивных экспериментов, является влияние реакции сети. Реакцией сети называют зависимость напряжения в узле нагрузки от мощности самой нагрузки, вызванную падением напряжения в прилегающей электрической сети.

Покажем какое влияние реакция сети оказывает на результаты измерений, получаемые в пассивном эксперименте. Для этого смоделируем простейшую сеть, схема замещения которой приведена на рисунке 1.

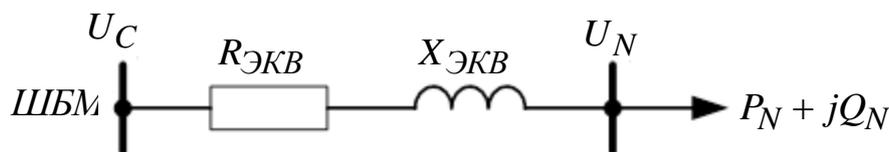


Рис. 1. Схема замещения исследуемой электрической сети

На рисунке 1 нагрузка $P_H + jQ_H$ с напряжением U_H запитана от шин бесконечной мощности (ШБМ) с напряжением U_C через эквивалентное сопротивление сети $R_{ЭКВ} + jX_{ЭКВ}$. При этом напряжение на шинах бесконечной мощности U_C не зависит от величины мощности нагрузки $P_H + jQ_H$, в то время как напряжение в узле нагрузки, очевидно, зависит от мощности нагрузки вследствие падения напряжения на сопротивлении $R_{ЭКВ} + jX_{ЭКВ}$.

Нагрузку зададим с помощью статических характеристик:

$$P_H(U_H) = P_{БазН} \left(a_0 + a_1 \cdot \frac{U_H}{U_{БазН}} + a_2 \cdot \left(\frac{U_H}{U_{БазН}} \right)^2 \right), \quad (1)$$

$$Q_H(U_H) = Q_{БазН} \left(b_0 + b_1 \cdot \frac{U_H}{U_{БазН}} + b_2 \cdot \left(\frac{U_H}{U_{БазН}} \right)^2 \right), \quad (2)$$

где $U_{БазН}$, $P_{БазН}$, $Q_{БазН}$ – базисные значения напряжения, активной и реактивной мощности в узле нагрузки; $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – коэффициенты СХН в относительных единицах. Нерегулярные колебания мощности нагрузки можно представить с помощью случайных изменений значений базисных мощностей $P_{БазН}$ и $Q_{БазН}$, распределенных по нормальному закону, причем указанные случайные величины взаимосвязаны друг с другом с коэффициентом корреляции близким к 1. Случайные колебания напряжения системы U_C также будем считать распределенными по нормальному закону.

Рассмотрим первый случай, при котором отсутствует реакция сети, то есть $R_{ЭКВ} = X_{ЭКВ} = 0$, а $U_H = U_C$. Полученные в результате моделирования пассивного эксперимента данные приведены на рисунке 2.

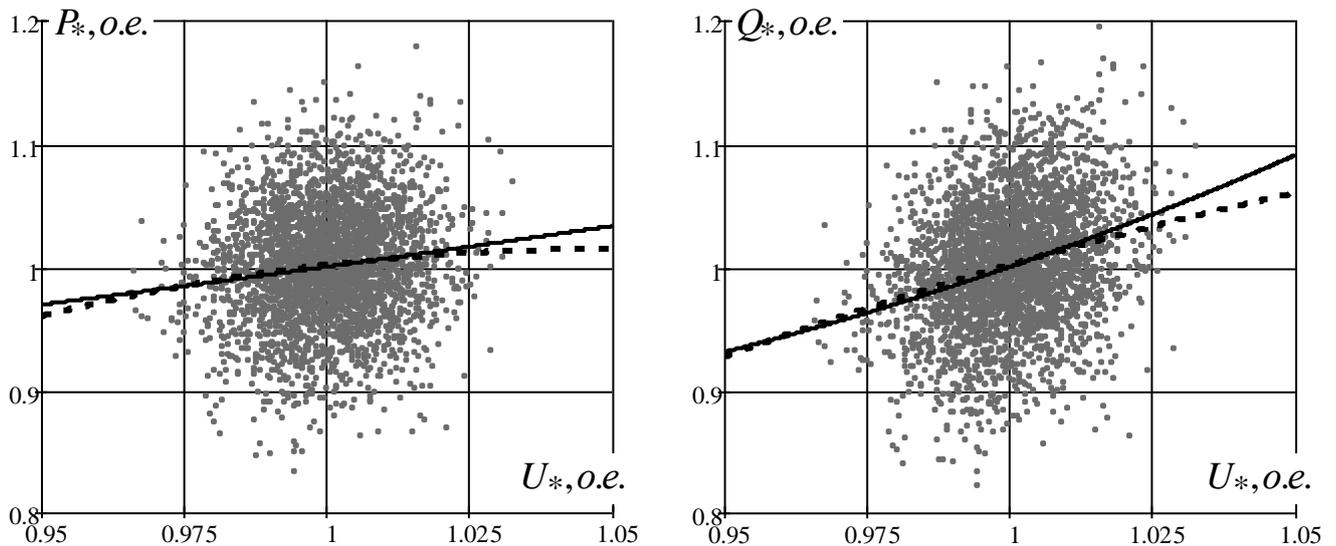


Рис. 2. Обработка результатов пассивного эксперимента при отсутствии реакции сети

На рисунке 2 точками обозначены данные измерений, сплошной линией показаны статические характеристики нагрузки, заданные по выражениям (1) и (2). Данные пассивного эксперимента были аппроксимированы полиномом второй степени [3], полученная кривая показана пунктиром.

Рассмотрим второй случай, при котором учтем реакцию сети. Пренебрегая поперечной составляющей падения напряжения на сопротивлении $R_{ЭКВ} + jX_{ЭКВ}$, напряжение системы U_C может быть определено, как

$$U_C = U_H + \frac{P_H \cdot R_{ЭКВ} + Q_H \cdot X_{ЭКВ}}{U_H}. \quad (3)$$

Решая выражение (3) относительно U_H и подставляя вместо P_H и Q_H выражения (1) и (2) получим:

$$U_H = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (4)$$

$$\text{где } a = 1 + B_2 \cdot X_{ЭКВ} + A_2 \cdot R_{ЭКВ}, \quad b = A_1 \cdot R_{ЭКВ} + B_1 \cdot X_{ЭКВ} - U_C,$$

$c = A_0 \cdot R_{ЭКВ} + B_0 \cdot X_{ЭКВ}$ – коэффициенты квадратного уравнения;

$$A_0 = a_0 \cdot P_{БазН}, \quad A_1 = a_1 \cdot \frac{P_{БазН}}{U_{БазН}}, \quad A_2 = a_2 \cdot \frac{P_{БазН}}{(U_{БазН})^2},$$

$$B_0 = b_0 \cdot Q_{БазН}, \quad B_1 = b_1 \cdot \frac{Q_{БазН}}{U_{БазН}}, \quad B_2 = b_2 \cdot \frac{Q_{БазН}}{(U_{БазН})^2} \text{ – коэффициенты}$$

СХН в именованных единицах.

В пассивном эксперименте, как и в первом случае, были заданы случайные значения $P_{БазН}$, $Q_{БазН}$ и U_C , а значения напряжения в узле нагрузки U_H и мощности нагрузки P_H и Q_H рассчитаны по выражениям (4), (1) и (2). Полученные результаты представлены на рисунке 3.

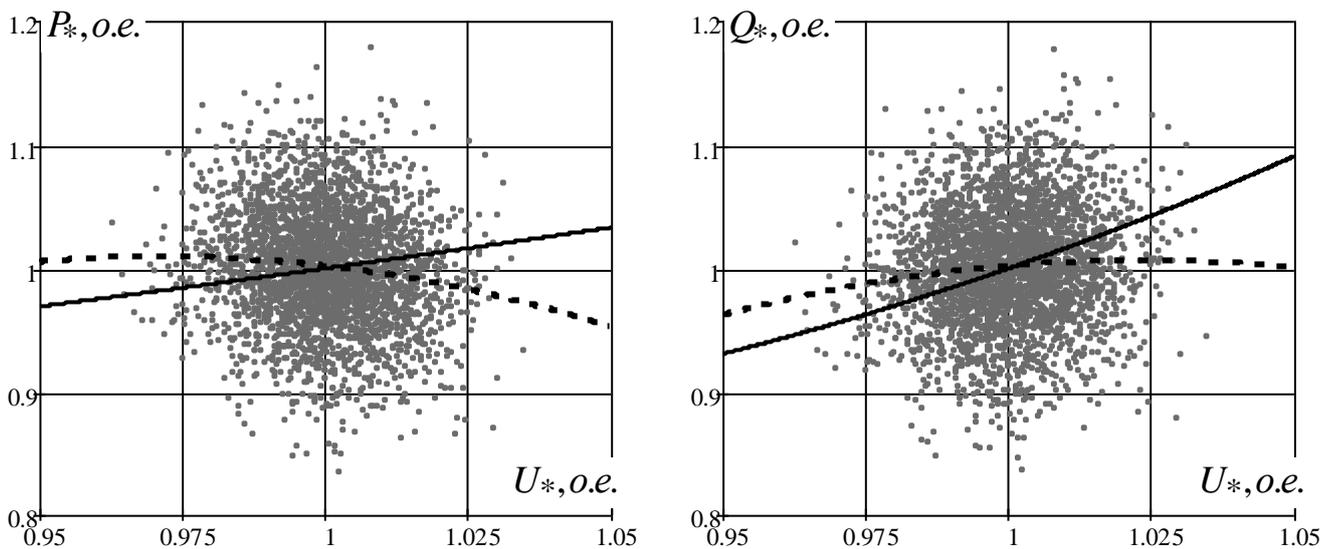


Рис. 3. Обработка результатов пассивного эксперимента при влиянии реакции сети

Как видно из графиков рисунка 3 влияние реакции сети приводит к тому, что эллипс рассеяния поворачивается относительно точки (1,1) против часовой стрелки. Очевидно, что угол этого поворота тем больше, чем больше эквивалентное сопротивление $R_{ЭКВ} + jX_{ЭКВ}$. Линия регрессии, полученная при аппроксимации данных пассивного эксперимента при влиянии реакции сети, показанная пунктиром на рисунке 3, существенно отклоняется от заданной статической характеристики нагрузки, показанной сплошной линией. В случае отсутствия реакции сети (рисунок 2) эти линии практически совпадают в заданном диапазоне изменения напряжения.

Регулирующий эффект нагрузки, рассчитанный по данным пассивного эксперимента при влиянии реакции сети также значительно отличается от заданного: -0,53 против 0,64 для активной мощности и 0,38 против 1,331 для реактивной мощности, что соответствует повороту СХН в относительных единицах на угол 60° и 37° соответственно.

Таким образом, при разработке методов получения статических характеристик нагрузки по данным пассивных экспериментов необходимо предусмотреть учет влияния реакции сети.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Идельчик В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.: ил.
2. Гуревич, Ю.Е. Применение математических моделей электрической нагрузки в расчетах энергосистем и надежности электроснабжения промышленных потребителей / Ю.Е. Гуревич, Л.Е. Либова. - М.: ЭЛЕКС-КМ, 2008. - 248 с.

3. Панкратов А. В., Полищук В. И., Бацева Н. Л. Экспериментальное определение статических характеристик нагрузки электроэнергетических систем //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2015. – Т. 15. – №. 1.

Научный руководитель: А.В. Панкратов, к.т.н., доцент каф. ЭСиЭ ЭНИН ТПУ.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

М.С. Баус

Томский государственный университет

Электроэнергетическая система (ЭЭС) – это одна из наиболее сложных разработанных человеком технических систем. Не будет преувеличением сказать, что вся жизнь современного общества строится на фундаменте под названием «энергетика». Электроэнергия является основным продуктом и товаром человечества.

В последнее десятилетие в энергосистемах промышленно развитых стран мира (США и страны Европейского Союза) происходили крупные системные аварии, вследствие нарушения устойчивости и по причине токовых перегрузок связей. Большинство из них протекало практически по одному сценарию [1]: после первого серьезного возмущения, спустя некоторое время следовали множественные возмущения, которые приводили к погашению большей части электроэнергетической системы (ЭЭС).

Факторами, влияющими на возникновение и развитие крупных системных аварий являются:

1. рост электропотребления, опережающий развитие сетевой инфраструктуры,
2. рыночные условия, стимулирующие увеличение потоков электроэнергии с переброской существенных объемов электроэнергии из региона в регион.

В процессе работы ЭЭС (ОЭС, энергосистема) может находиться в различных режимах: нормальном, утяжеленном, аварийном и послеаварийном. В каждом из них решаются различные задачи управления; различны также степень автоматизации управления и характер распределения обязанностей между оперативным персоналом территориальных ступеней управления:

В нормальном режиме происходит выполнение установленных требований по надежности и качеству электроэнергии.

В утяжеленном (вынужденном) режиме длительность режима ограничена. Снижение части требований надежности и качества энергии. Повышение вероятности возникновения аварии.

В аварийном режиме подлежит быстрой ликвидации средствами защиты и автоматики. Требуется в ряде случаев выполнения немедленных действий дежурным персоналом.

Послеаварийный режим, устанавливающийся в энергосистеме после ликвидации аварии. Часто является утяжеленным, вызывает необходимость вмешательства персонала для ограничения длительности.

Совершенствуя технологии, люди стремятся, во-первых, повысить КПД отдельных узлов и всей энергосистемы в целом, во-вторых, минимизировать вредное воздействие на окружающую среду, в-третьих, обеспечить надежность и безопасность системы в целом.

Увеличение размеров самой энергосистемы, повышение ее эффективности определяют постоянное усложнение управления и требуют все большей его автоматизации. Процесс управления электрическими режимами представляет собой, по сути, управление гигантскими производительными силами в масштабах всей страны – мощностью энергоблоков электростанций, энергетической нагрузкой промышленных предприятий и систем жизнеобеспечения. Существующая система управления режимом в единой электроэнергетической системе (ЕЭС) / объединенной электроэнергетической системе (ОЭС) создавалась исходя из концепции общей жестко централизованной системы управления режимами. Необходимость ее обуславливалась тяжестью электрического режима, протяженностью и сложностью Единой энергосистемы Советского Союза, неравномерностью распределения генерации и нагрузки, низкой маневренностью станций [1].

Разработанные и разрабатываемые правила рынка электроэнергии и мощности призваны создать стимулы для максимально эффективной выработки электроэнергии, ввода новых генерирующих и передающих мощностей, энергосбережения.

Функционирование различных секторов рынка сопряжено с передачей и обработкой огромного количества информации, которое уже не может обрабатываться человеком, тем более в режиме, приближающемся к реальному времени. Стоит отметить, что рынки электроэнергии очень технологичны, и появление их стало возможно только с достижением информационными технологиями определенного уровня, а их развитие также во многом определяется уровнем развития средств автоматизации.

Обсуждение направления развития системы управления электрическим режимом ЕЭС и определение первоочередных задач на этом пути являются целью настоящего раздела.

Автоматическое управление режимом энергосистемы ввиду сложности объекта управления может осуществляться только с использованием модели энергосистемы. Адекватность данной модели определяет качество управления, т.е. потребность в регулировании параметров (частоты, напряжения) после того, как система реализовала движение по траектории, заданной системой управления.

Из сказанного видно, что модель энергосистемы должна быть достаточно подробной для учета большого числа влияющих на ее поведение факторов. Однако это приводит к большой нагрузке на систему измерения, оценки состояния и идентификации. В связи с этим представляется необходимым развитие мно-

гоуровневых иерархических моделей энергосистем, сбалансированных по степени детализации [2].

На каждом уровне диспетчерского управления необходимо привлечение специалистов, обладающих опытом оперативного управления, к созданию моделей энергосистем, их настройке и тестированию [3].

Представляется трудно осуществимым, если вообще возможным, создание модели энергосистемы, собранной в едином месте, при условии ее постоянной актуализации, насыщении оперативными данными и обеспечении их обработки в необходимые для автоматического управления сроки. Кроме того, параллельная работа с зарубежными энергосистемами еще больше увеличивает размерность задачи и еще больше затрудняет сбор данных в едином центре управления.

Единство расчетной модели может быть обеспечено использованием распределенных вычислительных систем. Развитие методов распределенного управления является одной из приоритетных задач современной электроэнергетической науки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Makarov Y.V., Reshetov V.I., StroeV V.A., Voropai N.I. Blackout prevention in the United States, Europe and Russia // Proc. of the IEEE. 2005. Vol. 93, No. 11.
2. Галанов В.И., Кощев Л.А. Автоматическое противоаварийное управление в электрических системах. СПб.: СПбГПУ, 2003.
3. Negnevitsky M., Tomin N., Panasetsky D., Kurbatsky V. Intelligent Approach for Preventing Large-Scale Emergencies in Electric Power Systems // IEEE International Conference on Electric Power Engineering PowerTech '2013. Grenoble, France, 16-20 June 2013.

ПЕРЕВОД ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ С УСТРОЙСТВАМИ ПБВ В РЕЖИМ РПН НА БАЗЕ ТИРИСТОРНЫХ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Р.И. Саубанов

Казанский государственный энергетический университет

Проблема регулирования напряжения касается как магистральных, так и распределительных сетей. Огромную протяжённость имеют линии 10 кВ. Как отмечалось выше, регулирование может быть из центра питания (ЦП), централизованное и местное. Рассмотрим регулирование напряжения в ЦП 110/10 кВ: в опорной подстанции 110 кВ имеется трансформатор с РПН, потребители на напряжении 10 кВ разного характера и разной удаленности. Это всё может привести к тому, что регулируя уровень напряжения рассматриваемой сети, у разных потребителей электроэнергии при одном и том же ответвлении РПН, будет совершенно различное значение отклонения напряжения. У каких-то потреби-

телей пониженное, у кого-то повышенное. Это особенно прослеживается в сельской местности.

В большинстве сельских районов принята трехступенчатая система электроснабжения 110/ 35/ 0,4 кВ при напряжении распределительных сетей 10 кВ. Анализ гистограмм распределения напряжения на шинах 10 кВ районных ТП показывает, что без регулирования напряжения на них практически невозможно обеспечить приемлемый режим напряжения у потребителя.

В то же время необходимо учитывать, что приспособление для регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой (РПН) – сложный и недостаточно надежный узел силового трансформатора. Неисправность в этом устройстве может привести к серьёзному повреждению трансформатора в целом.

Согласно статистике, до 40% общих отказов трансформаторов связано с повреждением РПН. До 20% – по причине неудовлетворительного состояния обмоток.

Наличие движущихся частей в трансформаторах с устройством РПН обуславливает значительно большие затраты труда на их ремонт и обслуживание по сравнению с нерегулируемым под нагрузкой трансформатором.

Перспективным являются трансформаторно-тиристорные переключающие устройства (ТТПУ) регулирования напряжения, где гашение дуги осуществляется параллельным или последовательным включением полупроводниковых тиристоров с отводами трансформатора.

Тиристорно-контактные переключающие устройства представляют собой рациональное сочетание отработанного в производстве и эксплуатации избирателя с приводным механизмом и тиристорного контактора, обеспечивающего бездуговое переключение регулировочных ответвлений трансформатора.

По схеме силовой части ТКПУ классифицируют по следующему виду:

- Тиристорные ключи в регулировочных отводах трансформатора;
- Тиристорные ключи и вольтодобавочный трансформатор (ВДТ) в регулировочных отводах трансформатора;
- Тиристорные ключи и ВДТ в нейтрали трансформатора.

Немаловажным достоинством этой схемы является возможность ее применения для серийных трансформаторов с устройствами РПН без серьезных конструктивных изменений последних.

Исключение режима работы ТК с высоким потенциалом достигается за счет применения вольтодобавочных трансформаторов, включаемых в ответвления регулировочной обмотки или в нейтраль трансформатора.

ТКПУ данного типа имеют из-за применения двух ВТ большие весогабаритные характеристики, значительно превосходящие характеристики устройств РПН контакторного типа, и их применение невозможно без серьезных переделок конструкции трансформатора. Кроме того, недостатками их являются также вдвое большее количество ТК, сложные алгоритмы управления, отсутствие токоограничивающих элементов, наличие дополнительного переключателя в силовой цепи.

Следующая разновидность регуляторов напряжения: бесконтактные тиристорные переключающие устройства (БТПУ) РПН –полупроводниковое устройств РПН, где бездуговая коммутация контактов осуществляется с помощью мощных полупроводниковых диодов или тиристоров, так как их запираание при естественной коммутации происходит практически при нулевом значении анодного тока и характеризуется малым временем восстановления запирающих свойств.

БТПУ по схематическим разработкам классифицируется по следующему признаку:

- Трансформатор с регулировочными отводами и тиристорные ключи;
- Вольтодобавочный трансформатор с отводами и тиристорные ключи;
- Вольтодобавочный и регулировочный трансформатор и тиристорные ключи.

Отметим основные технические принципы построения БТПУ для централизованного РПН трансформаторов ЦТП с напряжением 6, 10, 35 кВ.

1. БТПУ должны выполнять автоматический контроль за напряжением и быстродействующую стабилизацию его на зажимах потребителя в заданных пределах. В течении номинального срока эксплуатации трансформаторов (до 25 лет) обеспечивать не менее 1 млн. циклов дискретного регулирования напряжения.
2. Нарушение нормального функционирования БТПУ (отказы силовой цепи или полупроводниковой системы управления) не должны приводить к аварийным воздействиям на трансформатор, а также к нарушению бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией.
3. Установки должны быть защищены от воздействия внутренних и внешних коротких замыканий, а также от коммутационных и импульсных (грозовых) перенапряжений. При всех перечисленных аварийных воздействиях БТПУ должны отключаться защитой с последующим повторным включением в работу.
4. БТПУ должны иметь минимальное количество ТК при заданном количестве дискретных уровней напряжения на нагрузке. С этой целью использован принцип как арифметического сложения (вычитания) векторов напряжения трехфазной сети и трехфазной обмотки вольтодобавочного трансформатора (ВТ), так и их векторного сложения (вычитания) путем изменения фазы напряжений ВТ.
5. Установки не должны генерировать высшие гармонические составляющие напряжения или тока в питающую сеть. Регулирование напряжения выполняется с использованием дискретного управления ТК; благодаря этому выходное напряжение имеет синусоидальную форму.

Успехи в промышленном освоении силовых полупроводниковых приборов и в развитии теории трансформаторно-тиристорных регуляторов напряжения позволили приступить к разработке тиристорных переключающих устройств (ТПУ), предназначенных для трансформаторов напряжением питающей сети (6-35) кВ, позволяющих наиболее качественно производить регулирование напряжения. А именно модернизация в сельских сетях потребитель-

ских трансформаторов с устройствами ПБВ для их перевода в режим РПН. Причём, предлагаемая ниже схема силовой части ТПУ, в которой ТК включены в ответвления регулировочной обмотки трансформатора, даёт возможность ее применения без серьезных конструктивных изменений трансформаторов ПБВ.

Предлагается подключить каждый отвод трансформатора через тиристорный ключ (ТК) и параллельно к ТК включить усиленный блок ТК с токоограничивающим сопротивлением. Конструктивно ТК располагаются вне бака трансформатора во внешнем модуле, которым будут заменять устройство ПБВ с подключением обмоток трансформатора.

Данный, предлагаемый модуль позволит модернизировать парк промышленных трансформаторов с ПБВ сельских районов и улучшит качество напряжения, позволив регулировать напряжение не с ЦП, а у потребителя. Это даст большой экономический эффект.

Вывод

Дальнейшее исследование в данном направлении безусловно является значимой деятельностью, улучшающей конструкцию трансформаторов, устройств РПН и подотрасль электроаппаратостроения в целом. Это даст возможность выйти на новый этап развития энергоресурсосбережений в народном хозяйстве Республики Татарстан. И за всем этим последует соответствующий технико-экономический эффект.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Трансформаторно-тиристорные регуляторы переменного тока. Конспект лекций для направления 11.04.04. Нижний Новгород: ФБОУВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева», 2041. - 67 с.:илл.
2. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.
3. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 448 с.
4. Туманов И. М., Алтунин Б. Ю. Тиристорные и тиристорно-контактные установки для стабилизации и регулирования параметров электроэнергии: Учебн. Пособие / Нижегород. гос. техн. ун-т. Н. Новгород, 1993 .- 223 с.
5. Алтунин Б. Ю. Тиристорные переключающие устройства регулирования под нагрузкой трансформаторного оборудования электротехнологических установок: Автореф. дис...доктора техн. наук. - Нижегород. гос. техн. ун-т. Н. Новгород, 1997 -4с.
6. Макаров Е. Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4 – 35 кВ и 100 – 1150 кВ / Под редакцией И. Т. Горюнова, А. А. Любимова – М.: Папирус Про, 2005. – 640 с.

7. Симанов С. В., Тиристорные переключающие устройства для регулирования напряжения силовых трансформаторов: Автореф. дис...канд. техн. наук. Горький: ГПИ 1986. - 19с.

Научный руководитель: М.Ш. Гарифуллин, д.т.н., профессор КГЭУ.

ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Н.А. Пятаев

Оренбургский государственный университет

В настоящее время наблюдается непрерывный рост потребления электроэнергии, что требует увеличение пропускной способности линий электропередач. Возможности проведения новых линий ограничены экономическим и социальным аспектами – увеличение стоимости земли, необходимостью электрообеспечения городов и крупных предприятий с плотной застройкой.

Под пропускной способностью линий электропередачи понимается максимальная передаваемая по линии мощность, которая может быть передана без ограничения длительности режима передачи электроэнергии и при соблюдении всех требований эксплуатации: ограничение плотности тока в проводах, ограничение колебаний напряжения, обеспечение устойчивости режима.

Одним из важнейших требований к энергосистеме является сохранение ею устойчивости. Устойчивость энергосистемы – способность сохранить синхронизм между электростанциями, или другими словами - возвращаться к установившемуся режиму после различного рода возмущений.

Расчеты устойчивости энергосистемы и разработка мероприятий по ее обеспечению при эксплуатации энергосистемы осуществляются при проектировании энергосистем.

Расчеты устойчивости выполняются для:

- выбора основной схемы энергосистемы;
- определения допустимых режимов энергосистемы;
- выбора мероприятий по повышению устойчивости энергосистемы;
- определения параметров настройки систем регулирования и управления, релейной защиты, АПВ и т.д.

Расчеты устойчивости также проводятся при разработке и уточнении требований к основному оборудованию энергосистемы, релейной защите, автоматике и системам регулирования по условиям устойчивости энергосистем.

Устойчивость энергосистем нормируется минимальными коэффициентами запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности в сечениях и по напряжению в узлах нагрузки.

Коэффициент запаса статической (aperiodической) устойчивости по активной мощности в сечении (K_p) вычисляется по формуле:

$$K_p = \frac{P_{np} - (P + \Delta P_{нк})}{P_{np}}, \quad (1)$$

где P_{np} – предельный по аperiodической статической устойчивости переток активной мощности в рассматриваемом сечении;

P – переток в сечении в рассматриваемом режиме, $P > 0$;

$\Delta P_{нк}$ – амплитуда нерегулярных колебаний активной мощности в этом сечении (принимается, что под действием нерегулярных колебаний переток изменяется в диапазоне $P \pm \Delta P_{нк}$). [1]

Сечение - совокупность таких сетевых элементов одной или нескольких связей, отключение которых приводит к полному разделению энергосистемы на две изолированные части.

Вычисление предельного по статической устойчивости перетока в сечении осуществляется утяжелением режима (увеличением перетока) по определенной траектории. При этом рассматриваются следующие траектории утяжеления режима: отключение элемента из состава сечения, увеличение энергопотребления района приемной стороны сечения и уменьшение генерации в нем.

Следует рассматривать увеличение перетока в сечении для ряда траекторий утяжеления, которые различаются перераспределением мощности между узлами, находящимися по разные стороны рассматриваемого сечения. Значение $P_{пр}$ определяется по траектории, которой соответствует наименьшая предельная мощность.

Рассматриваются такие способы утяжеления режима, при которых частота остается практически неизменной.

Перетоки, предельные по статической устойчивости, и перетоки, допустимые в послеаварийных режимах, определяются с учетом перегрузки оборудования, допустимой в течение 20 мин.

Значения коэффициента запаса по напряжению (K_U) относятся к узлам нагрузки и вычисляются по формуле:

$$K_U = \frac{U - U_{кр}}{U}, \quad (2)$$

где U – напряжение в узле в рассматриваемом режиме;

$U_{кр}$ – критическое напряжение в том же узле, соответствующее границе статической устойчивости электродвигателей.

Критическое напряжение в узлах нагрузки 110 кВ и выше при отсутствии более точных данных следует принимать равным большей из двух величин: $0,7 \cdot U_{ном}$ и $0,75 \cdot U_{норм}$, где $U_{норм}$ – напряжение в рассматриваемом узле нагрузки при нормальном режиме энергосистемы.

Как правило, требования к устойчивости проявляются в определении максимально допустимого (МДП) и аварийно допустимого (АДП) перетоков в сечении и поддержании текущего перетока не выше максимального и аварийного (не более 20 минут) значений.

МДП должен соответствовать следующим критериям:

1. Коэффициент запаса статической апериодической устойчивости по активной мощности в контролируемом сечении в нормальной (ремонтной) схеме – не менее 0,20. [2]
2. Коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки в нормальной (ремонтной) схеме – не менее 0,15.
3. Коэффициент запаса статической апериодической устойчивости по активной мощности в контролируемом сечении в послеаварийных режи-

мах при нормативных возмущениях – не менее 0,08.

4. Коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки в послеаварийных режимах при нормативных возмущениях – не менее 0,10.
5. Отсутствие нарушения динамической устойчивости при нормативных возмущениях.
6. Токовые нагрузки электросетевого и генерирующего оборудования не превышают длительно допустимых значений в нормальной (ремонтной) схеме и аварийно допустимых (на время 20 минут) значений в послеаварийных режимах при нормативных возмущениях.

АДП должен соответствовать следующим критериям:

7. Коэффициент запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности в контролируемом сечении в нормальной (ремонтной) схеме – не менее 0,08.
8. Коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки в нормальной (ремонтной) схеме – не менее 0,10.
9. Токовые нагрузки электросетевого и генерирующего оборудования не превышают длительно допустимых значений в нормальной (ремонтной) схеме.

Основным способом повышения устойчивости является увеличение предела передаваемой мощности. Это достигается увеличением э.д.с. генераторов, напряжения на шинах нагрузки или уменьшением индуктивного сопротивления линии. Основными способами повышения устойчивости являются следующие:

- использование быстродействующих автоматических регуляторов напряжения, увеличивающих э.д.с. генераторов при возрастании нагрузки;
- повышение напряжений действующих линий;
- уменьшение индуктивного сопротивления линий, достигаемое расщеплением проводов мощных линий на два или три, или применением продольной емкостной компенсации с последовательным включением в линию батареи конденсаторов;
- применение быстродействующих выключателей, защит и автоматического повторного включения линий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Методические указания по устойчивости энергосистем. Утверждены Приказом Минэнерго России №277 от 30.06.2003 г.
2. Стандарт ОАО «СО ЕЭС» СТО 59012820.27.010.001-2013 «Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях диспетчерского центра ОАО «СО ЕЭС», утвержденный и введенный в действие приказом ОАО «СО ЕЭС» № 10 от 18.01.2013

Научный руководитель: С.В. Митрофанов, к.т.н., зав. кафедрой электро- и теплоэнергетики, Оренбургский государственный университет.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭКРАНОВ ОДНОФАЗНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

М.В. Зотова, Е.В. Смирнов, А.Г. Смирнова

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

В последнее время силовые кабели высокого напряжения всё более широко используются для передачи и распределения электроэнергии [1]. Наибольшее распространение получили однофазные экранированные силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). Основным назначением экрана является обеспечение равномерности электрического поля, воздействующего на главную изоляцию кабеля, что достигается только в случае его заземления. Способ заземления экрана кабеля влияет на величину напряжения на экране в разных режимах, на погонные электрические параметры кабеля и на величину тока в экране.

Для расчета установившихся режимов и токов короткого замыкания в программном комплексе Matlab разработана математическая модель высоковольтной КЛ (рис. 1), состоящая из трех одножильных экранированных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Модель собрана из нескольких блоков. Блок "Mutual Inductance" учитывает собственные и взаимные активные сопротивления и индуктивности. Емкостный блок учитывает взаимные емкости между жилой и экраном и взаимные емкости между экраном и землей [3].

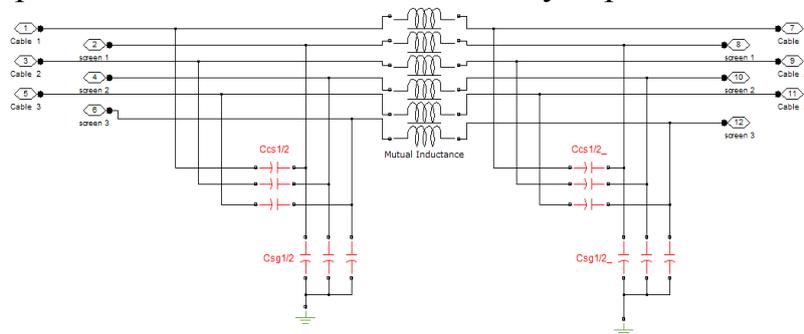


Рис. 1. Математическая модель участка высоковольтной КЛ

Данная модель удобна тем, что, задавая геометрические размеры КЛ, удельные сопротивления жил и экранов, диэлектрическую проницаемость изоляции, удельное сопротивление грунта, глубину заложения, рассчитываются параметры КЛ. Следует отметить, что модель упрощает расчет любого режима при различных схемах прокладки кабелей и способах заземления экранов.

В данной работе рассматривается вопрос выбора схемы соединения и заземления экранов с целью снижения токов в них в нормальном и аварийных режимах кабеля, а также анализ допустимости схемы с точки зрения уровня напряжения в узлах транспозиции или на разомкнутом конце экрана.

Была рассмотрена система из трех однофазных кабелей 220 кВ с изоляцией из СПЭ марки 2XS(FL)2Y 1x630RM/50 220 kV длиной 12 км. Из результатов расчета видно, что если экран не заземлять, то на нем относительно земли будет 11% фазного напряжения сети, что не допустимо. Для уменьшения на-

пряжения на экране применяют его заземление. Если экран заземлен на обоих его концах, то ток в экране меньше тока в жиле, и данная схема пригодна для эксплуатации, однако, из-за значительных токов, протекающих в экранах, возникают большие потери электроэнергии.

Самый эффективный способ борьбы с токами в экранах – это разрыв контуров, в которых эти токи протекают, но такая схема трудно реализуема и менее выгодна, в отличие от схемы с применением одного цикла транспозиции

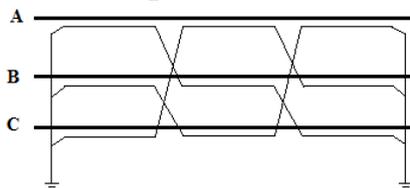


Рис. 2. Схема соединения экранов с одним циклом транспозиции

При транспозиции экранов (рис. 2) ток в экране составляет 15 А. Напряжение на экране относительно земли в узле транспозиции составляет 147 В, которое допустимо для изоляции экрана, но недопустимо для персонала [2]. Однако, по трассе кабеля негативное влияние напряжения экрана на людей и животных возможно только при повреждении оболочки кабеля. Если оболочка целая, то напряжение на экране представляет опасность только на концах кабеля, где экран выведен из муфты.

Для проверки работы КЛ в аварийных режимах рассматриваются следующие виды КЗ: КЗ «фаза-экран» в конце КЛ, КЗ «фаза-экран» в середине КЛ, внешнее трехфазное КЗ. На рисунках 3, 4, 5 представлены зависимости максимальных значений напряжения на экране и тока в экране в различных точках кабеля при рассмотренных видах КЗ.

При транспозиции экранов максимальное значение напряжения на экранах относительно земли достигается в узлах транспозиции и должно быть меньше испытательного для оболочки кабеля. Как видно из рис. 3, напряжение на экране меньше предельно допустимого [6].

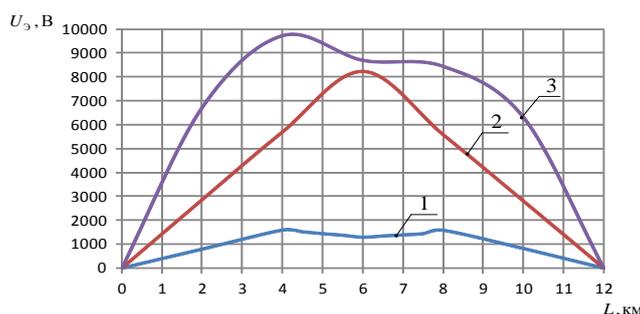


Рис. 3. Зависимость напряжения на экране от длины кабельной линии при различных видах КЗ: 1 – КЗ «фаза-экран» в конце КЛ, 2 – КЗ «фаза-экран» в середине КЛ, 3 – внешнее трехфазное КЗ

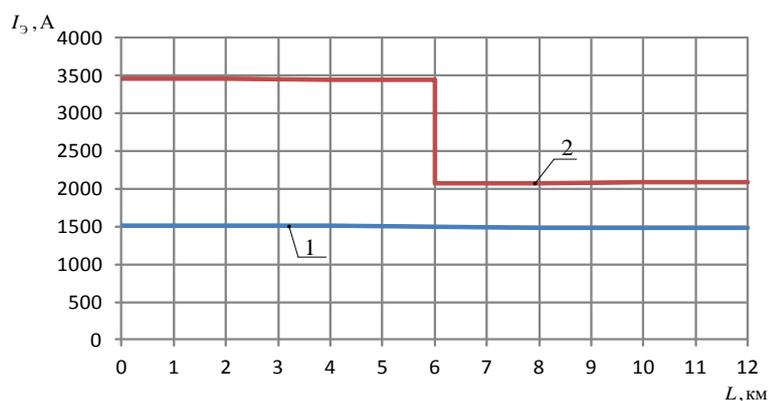


Рис. 4. Зависимость тока в экране от длины кабельной линии при различных видах КЗ: 1 – КЗ «фаза-экран» в конце КЛ, 2 – КЗ «фаза-экран» в середине КЛ

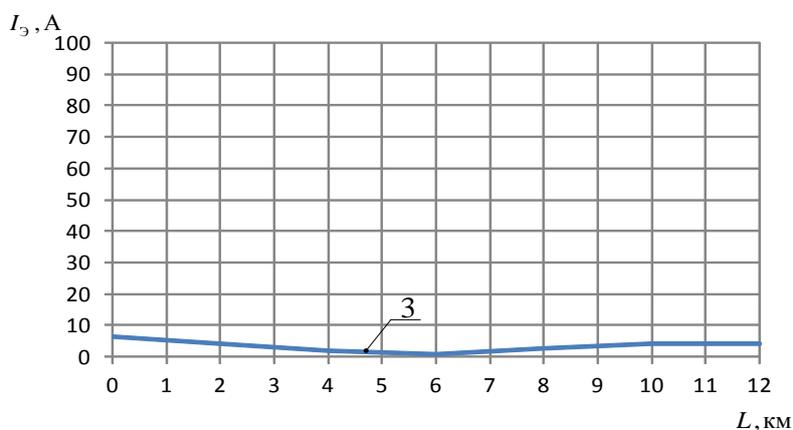


Рис. 5. Зависимость тока в экране от длины кабельной линии при 3 – внешнее трехфазное КЗ

Как видно из характеристик (рисунки 4, 5), ток в экране не превышает допустимых значений.

На рисунках 6, 7 представлены зависимости максимальных значений тока в жиле и напряжения жилы относительно земли при рассмотренных видах КЗ.

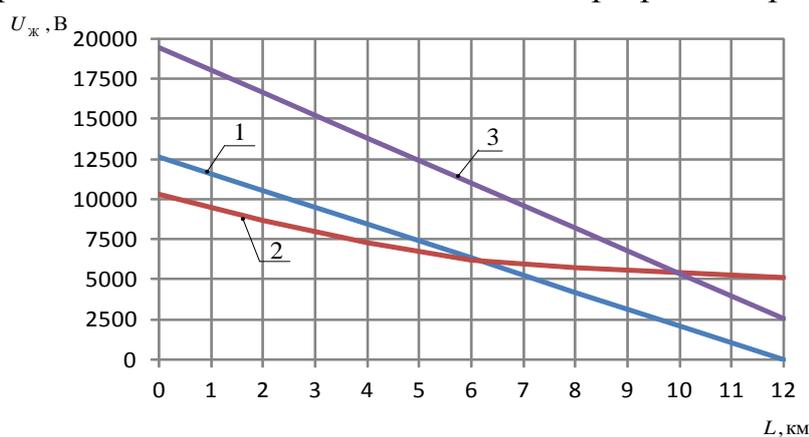


Рис. 6. Зависимость напряжения жилы относительно земли от длины кабельной линии при различных видах КЗ: 1 – КЗ «фаза-экран» в конце КЛ, 2 – КЗ «фаза-экран» в середине КЛ, 3 – внешнее трехфазное КЗ

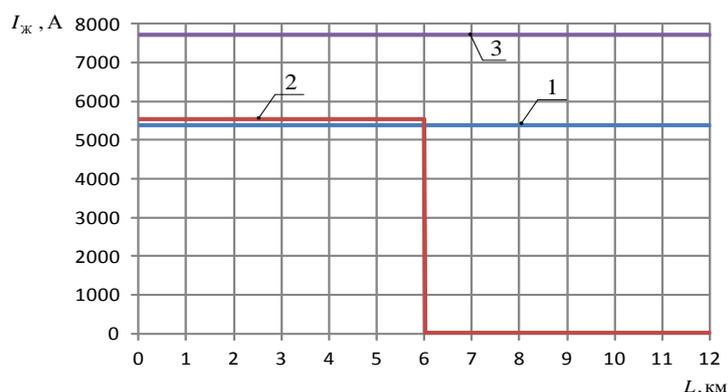


Рис. 7. Зависимость тока в жиле от длины кабельной линии при различных видах КЗ: 1 – КЗ «фаза-экран» в конце КЛ, 2 – КЗ «фаза-экран» в середине КЛ, 3 – внешнее трехфазное КЗ

Как видно из характеристик (рисунок 7), ток в жиле не превышает допустимых значений.

Таким образом, в однофазных кабелях высокого напряжения с изоляцией их сшитого полиэтилена необходимо предъявлять повышенное внимание к выбору способа заземления экранов и проводить обосновывающие расчеты в нормальном симметричном и аварийных режимах работы [4].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных кабелей 6-500 кВ. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. - 156 с.
2. Дмитриев М.В., Евдокунин Г.А. Заземление экранов однофазных силовых кабелей высокого напряжения // Новости электротехники. - 2007. - №2(44). - с. 115 - 126.
3. T. Aloui and other. Modeling of a three-phase underground power cable using the distributed parameters approach // 8th International Multi-Conference on Systems. - Signals & Devices, 2011. - с. 6.
4. ОАО «ФСК ЭЭС». Стандарт организации ОАО «ФСК ЭЭС». Силовые кабельные линии напряжением 110-500 кВ. Условия создания. Нормы и требования. - М.: ОАО «ФСК ЭЭС», 2011. - 125 с.
5. Дмитриев М.В., Евдокунин Г.А. Термическая стойкость экранов однофазных кабелей при коротких замыканиях // Новости электротехники. - 2008. - №2(50). - с. 57 - 110.
6. АББ. Технологии для электроэнергетики. Высоковольтные кабели. - М.: АББ, 2008. - 24 с.

Научный руководителю: А.А. Мартиросян, к.т.н., доцент кафедры электрических систем, ИГЭУ им. В.И. Ленина.

БОРЬБА С ПРОВАЛАМИ НАПРЯЖЕНИЯ В БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СПОМОЩЬЮ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ УСТАНОВЛЕННЫХ В ЧАСТНЫХ ДОМОХОЗЯЙСТВАХ

А.О. Коротков, А.В. Семиков
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»

На сегодняшний день, на территории Украины наблюдается такое явление как организация мини фотоэлектрических станций (ФЭС) с инверторным присоединением мощностью до 30 кВт установленных на крышах частных домовладений [1]. Данное явление связано с необходимостью уменьшения энергетической зависимости от традиционных источников энергии, а также с ростом тарифов на электроэнергию.

Поэтому, НКРЭКП с учетом зарубежного опыта, начало стимулировать население в вопросе установки ФЭС, установив «Зелёный тариф» на покупку выработанной электроэнергии ФЭС с инверторным присоединением частных домохозяйств [2].

Данное решение НКРЭКП помимо стимулирования развития «Зелёной энергетики», может позволить за счёт ФЭС с инверторным присоединением регулировать такой показатель качества электроэнергии как кратковременные провалы напряжения в районных электрических сетях (РЭС).

Для реализации вышеперечисленных решений НКРЭКП и проверки целесообразности данного решения необходимо смоделировать работу ФЭС с инверторным присоединением в одном из энергоузлов РЭС Украины, а также необходимо спроектировать алгоритм работы инвертора, позволяющий регулировать напряжение в электрической сети, за счёт генерации требуемого объёма реактивной мощности.

В работе рассматривается ФЭС мощностью 30 кВт, с автономным инвертором напряжения (АИН) мощностью 35 кВА.

Для дальнейшей работы рассчитаны основные параметры АИН подключенного к одному из узлов РЭС напряжением 0,4 кВ, также была синтезирована компьютерная модель ФЭС с АИН, в программном комплексе Matlab [3–4].

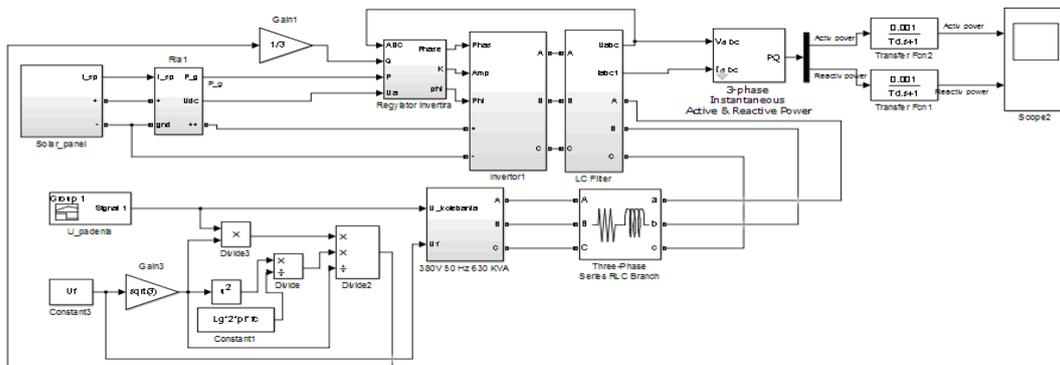


Рис. 1. Модель ФЭС с инверторным присоединением.

Модель, показанная на рис 1 эмитирует солнечную панель, подключённую через ПИ регулятор к АИН, и учитывающий полное сопротивление узла РЭС, полная мощность которого составляла 120 КВА, широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) в АИН и LC-фильтр, сглаживающий высший гармоники вызванные ШИМ, а также контур регулирующий величину напряжения в сети РЭС [5].

С целью проверки работоспособности синтезированной системы управления моделью ФЭС с инверторным присоединением на разработанной компьютерной модели, было проведено два эксперимента:

- Определение пределов генерации активной мощности.
- Регулирование напряжения при кратковременных провалах напряжения.

В ходе эксперимента были получены следующие данные. При максимальной солнечной активности, передаваемая в сеть активная мощность составила 30 кВт что можно видеть на рис 2.

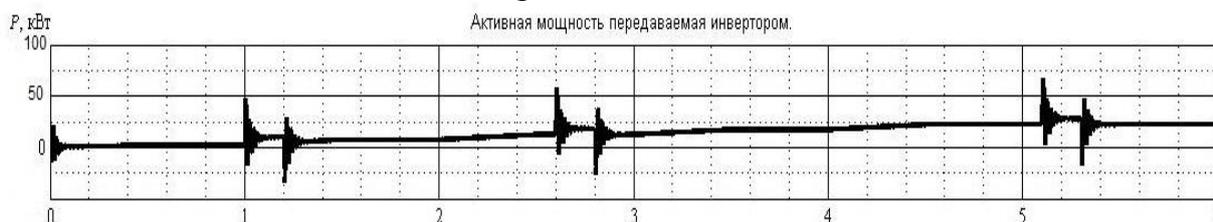


Рис. 2. Активная мощность вырабатываемая ФЭС.

Также в процессе моделирования происходили запланированные провалы напряжения равные 5% от номинального значения напряжения. Как видно на рис 3 регулятор инвертора в моменты провала напряжения генерировал реактивную мощность равную 12 квар, что требовалось для поднятия напряжения в сети электропитания.

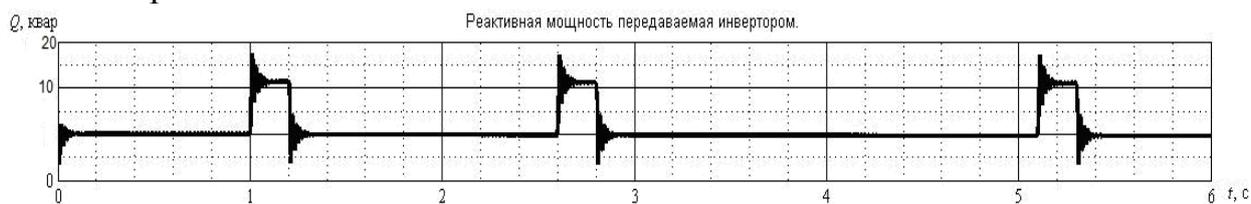


Рис. 3. Реактивная мощность, вырабатываемая АИН при провалах напряжения в сети электропитания.

На рис 4 показано как инвертор подымает напряжение для компенсации провалов напряжения в питающей сети.

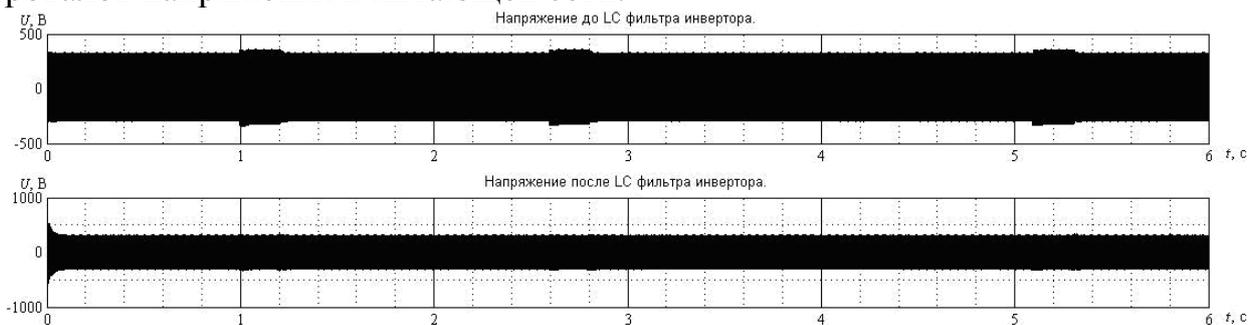


Рис. 4. Величина напряжения, генерируемая инвертором до LC-фильтра и в питающей сети РЭС

Вывод:

Создана математическая модель, которая представляет ФЭС, и позволяет исследовать процессы этой электрической станции, связанные с генерацией активной мощности.

Проведенные исследования на модели позволили определить диапазон вырабатываемой активной мощности ФЭС.

Из графиков видно, что модель отрабатывает заданную временную зависимость по генерации активной мощности в узле РЭС без перерегулирования с достаточно высоким быстродействием, при этом полученные значения мощности соответствуют ожидаемым результатам.

Также из графиков видно, что АИН во время падения напряжения в сети, автоматически генерирует реактивную мощность, в объеме, требуемом для поднятия напряжения до требуемого уровня, регламентируемого ГОСТом.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Постановление НКРЭКП № 1188 от 30.06.2016
2. Masoud Farivar Inverter VAR Control for Distribution Systems with Renewables / Masoud Farivar // Smart Grid Communications: IEEE International Conference. – 17-20 Oct., 2011. – P. 457 – 462.
3. Sansawatt T. Integrating distributed generation using decentralised voltage regulation / T. Sansawatt, L. F. Ochoa, G. P. Harrison // IEEE Power and Energy Society General Meeting. – 2010 – P. 1 – 6.
4. Turitsyn K. Local Control of Reactive Power by Distributed Photo-voltaic Generators / K. Turitsyn, P. Sulc, S. Backhaus, M. Chertkov // Smart Grid Communications: First IEEE International Conference. – 2010. – P. 79 – 84.
5. Герман-Галкин С.Г., Компьютерное моделирование полупроводниковых систем Matlab 6.0 С.Г. Герман-Галкин Санкт-Петербург «Люмена» 2006 г С 100-150

Научный руководитель: Г.И. Мельников, к.т.н., доцент, Харьковский политехнический институт.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ЛИНИЙ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

¹В.А. Агапов, ²Д.А. Копылов, ¹С.В. Митрофанов

¹Оренбургский государственный университет

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)

В последнее время все чаще представляется необходимостью передать на дальние расстояния большие мощности, получив при этом минимальные потери и минимальные затраты. Кроме этого, встает проблема объединения энерго-

систем, несинхронизированных по частоте или удержания в них одинаковой частоты. Следующим аспектом выступает развивающаяся полным ходом альтернативная энергетика. Встает вопрос, какой же ток применять для передачи – переменный или постоянный?

Целью данной работы является показать области применения линий постоянного тока.

Задачи исследования:

- выявить перспективы и трудности применения линий постоянного тока;
- исследовать потери в линиях и провести их сравнение;
- провести экономическое сравнение вариантов и выявить области их применимости.

Перспективы применения линий постоянного тока (ЛПТ) связаны с ее достоинствами, которые описаны в источниках [1,2,3,4,5].

В связи с этим перспективным является строительство ЛПТ:

- на дальние расстояния,
- на сверх- и ультра- высокие напряжения,
- при согласовании по частоте,
- сооружение кабельных линий при подводных и дальних передачах
- при применении альтернативной энергетики.

Трудности применения включают в себя проблемы надежности и стоимости.

Проблема надежности заключается в аварийном отключении одного и одновременного двух полюсов. На рис.1 изображен график зависимости отключений полюса от протяженности линии. Исходя из графика, можно заметить, что с увеличением длины вероятность отключений неуклонно растет.

Аварийные отключения двух полюсов одновременно происходят намного реже, как правило, 1 раз в несколько лет, но являются более серьезной проблемой. В таком случае используют противоаварийную автоматику (ПА). В данном случае задаются вопросами о допустимости использования ПА в необходимых объемах и о достаточности располагаемых объемов на отключение потребителей действием ПА [2,6].

Следующая проблема – стоимости. На сегодняшний момент ведется политика импортозамещения, а значит, не все зарубежные аналоги могут быть сделаны также качественно и с такими же характеристиками. Поскольку оборудование, применяющееся на ЛЭП постоянного тока, является весьма дорогостоящим, то производится технико-экономическое сравнение вариантов, после чего принимается конкретное решение об использовании конкретного вида передачи. На рис.2 показано оборудование и вид работ, и какую долю составляют в процентах от суммарных капитальных вложений. Самыми емкими, как заметно, являются затраты на само электрооборудование. Затраты на линию же не столь значительны, как на подстанцию.

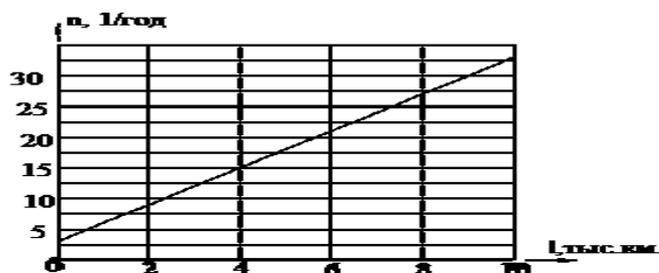


Рис. 1. График зависимости отключений полюса от протяженности ЛЭП

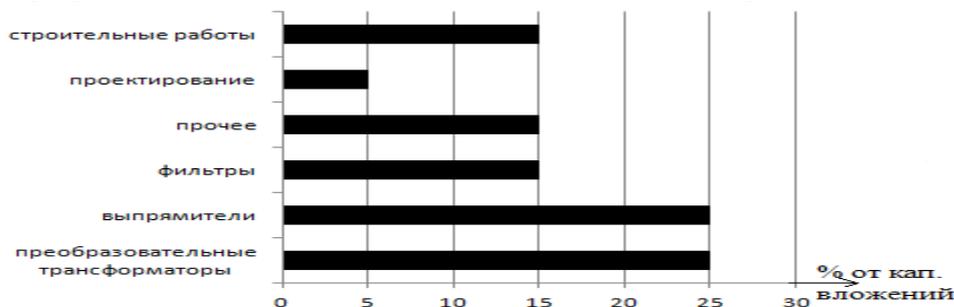


Рис. 2. Диаграмма зависимости объема работ от капитальных вложений

В линии постоянного тока наблюдаются значительно меньшие потери, нежели при передаче переменным током. Это связано с отсутствием реактивной мощности, скин-эффекта, токов Фуко, меньшими потерями на корону, на радиопомехи. Произведем сравнение потерь на переменном и постоянном токе. В расчет примем кабельную линию «Восток-Запад». Она имеет протяженность 262 км, мощность 500 МВт, напряжение ± 400 кВ [7]. Для линии переменного и постоянного тока расчет производится по тем же формулам, различие будет лишь в том, что в сети переменного тока учитывается еще и реактивная мощность, а также следует учитывать эквивалентность переменного напряжения постоянному напряжению. $U_{\text{перем}}=330$ кВ $\sim U_{\text{пост}}=400$ кВ. Формулы, по которым рассчитываются потери:

$$\Delta P = \frac{S^2}{U^2} R, \quad (2)$$

$$\Delta Q = \frac{S^2}{U^2} X, \quad (3)$$

Далее производится расчет для линии переменного тока:

$$\Delta P = \frac{625^2}{330^2} \cdot 0.02 \cdot 262 = 21.9 \text{ кВт}; \quad \Delta Q = \frac{625^2}{330^2} \cdot 0.15 \cdot 262 = 164.5 \text{ квар};$$

$$\Delta S = \sqrt{21.9^2 + 164.5^2} = 165.8 \text{ кВА}$$

В линии постоянного тока потери равны: $\Delta P = \frac{500^2}{400^2} \cdot 0.02 \cdot 262 = 8.2 \text{ кВт}$

Из расчетных данных можно сделать вывод, что потери в ЛПТ составляют менее 3% на каждые 100 км, а так же данная линия выгоднее линии переменного тока по потерям с показателем равным 20%, что примерно подтверждает данные, описанные в источнике [3]. Кроме того, если бы линия работала

на переменном токе, то возникала бы зарядная мощность, которая появляется в протяженных кабельных линиях переменного тока, вызывающая дополнительные потери.

Далее производится экономический расчет. Для расчета возьмем воздушную линию. В отличие от линии переменного тока, затраты не будут так сильно возрастать от расстояния, что можно графически увидеть на рис.3. Для расчета была взята линия мощностью 5000 Мвт, напряжением ± 800 кВ. После 720 км применение постоянного тока становится выгоднее и с каждым километром эта выгода неуклонно увеличивается [3]. Это подтверждает примерно ранее рассчитанные данные по источнику [1].

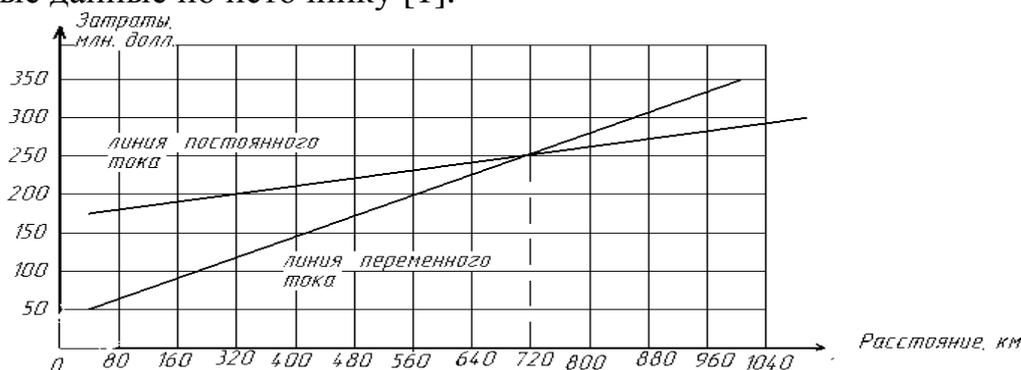


Рис. 3. Графики зависимостей затрат от расстояния

Капитальные затраты на выпрямительные и инверторные подстанции значительно больше затрат подстанций на переменном токе. Однако ЛПТ обойдется значительно дешевле, нежели чем линия переменного тока. Это связано с тем, что в линии постоянного тока меньшее количество проводов (применяют два провода, вместо трех, а также отсутствует скин-эффект, соответственно, необходимость в расщеплении фаз), изоляторов, линейной арматуры, опоры облегчены и отсутствуют устройства компенсации реактивной мощности.

Таким образом, суммарная стоимость ЛПТ при передачах расстоянием 500-1200 км примерно равна стоимости линии на переменном токе. Такой разброс расстояний объясняется классом напряжения. Чем выше напряжение будет применяться, тем быстрее получим выгоду от постоянного тока. Если взять в расчет линию протяженностью 2000 км, напряжением ± 800 кВ и передаваемой мощностью 5000 МВт, то можно заметить что данная линия будет выгоднее, чем на переменном токе примерно в 1,6 раза (при подсчете в денежный эквивалент выгода составит около \$230 млн). [8]

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что линии постоянного тока применяются только в некоторых случаях, определяемых в ходе технико-экономического расчета, поскольку имеют, кроме достоинств, ряд проблем при сооружении и проектировании. Например, при передаче на дальние расстояния, сверх- и ультравысокие напряжения, при использовании вставок постоянного тока, при применении альтернативной энергетики и сооружении длинных кабельных линий. В ходе технико-экономического исследования выяснилось, что передача постоянным током значительно выигрывает в данных случаях. Потери на постоянном токе составляют менее 3% на каждые 100 км,

что дает выгоду с линией переменного тока в 20%. В ходе экономического расчета установилось, что граница расстояний зависит от класса напряжения и лежит в пределах 500-1200 км. При расстоянии 2000 км можно получить выгоду в \$230 млн.

Предложенные исследования являются актуальными при проектировании ЛЭП с большими мощностями и показывают области применения линий постоянного тока.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Агапов В.А., Митрофанов С.В., Алешина С.К. Назад в будущее: электроснабжение постоянным током // Электрика. - 2014. - №9. – С. 8-11.
2. Liu Z. Ultra-high Voltage AC/DC Grids. – Amsterdam: Elsevier, 2015. – 758 с.
3. Высоковольтные линии постоянного и переменного тока. Генерация напряжения в электротехнике. Часть 1 // Стабилизаторы напряжения OBERON [Электронный ресурс] URL: <http://www.стабилизатор.рф/refere nce/tech-articles/327-direct-current-lines-01> (дата обращения: 10.09. 16)
4. Линии электропередач постоянного тока // Электротехнический форум [Электронный ресурс] URL: <http://forum220.ru/lep-dc.php> (дата обращения: 12.09.16)
5. Линии электропередачи постоянного тока // Локус [Электронный ресурс] URL: <http://locus.ru/library/line/590/page/1/> (дата обращения: 12.09.16)
6. Кощеев Л.А., Мазуров М.И., Шлайфштейн В.А. Перспективы использования передачи постоянного тока в России // ЭЛЕКТРО. – 2008. – №6. – С. 18-22.
7. Advantages of HVDC over HVAC transmission // Electrical Engineering Portal [Электронный ресурс] URL: <http://electrical-engineering-portal.com/advantages-of-hvdc-over-hvac-transmission> (дата обращения: 13.09.16)
8. Зотин О.А. В преддверии возрождения постоянного тока. Часть 1 // Силовая электроника. - 2013. - №4. – С. 15-20.
9. Современная электроэнергетика // Энергоконсультант [Электронный ресурс] URL: <http://www.energocon.com/pages/id1318.html> (дата обращения: 15.09.16)

Научный руководитель: С.В. Митрофанов, к.т.н., зав. кафедрой ЭТЭ, Оренбургский государственный университет.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЦ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБОБЩЕННЫХ УРАВНЕНИЙ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ

Е.О. Тихомиров, Н.В. Сенько
Самарский государственный технический университе

В условиях внедрения технологий SmartGrid в электроэнергетических системах (ЭЭС) особую актуальность приобретают вопросы исследования границ области устойчивости в координатах активных узловых мощностей и углов δ . Задачи расчета параметров режимов ЭЭС и построения границ области устойчивости ЭЭС требуют применения новых математических моделей и алгоритмов [1].

Цель данной работы состоит в исследовании численных методов решения обобщенных уравнений предельных режимов (УПР), которые позволяют проводить комплексное исследование устойчивости ЭЭС.

Уравнения установившихся режимов ЭЭС записывается следующим образом:

$$F(X, Y) = 0 \tag{1}$$

где F - нелинейная вектор-функция; $X = [x_1 x_2 \dots x_n]^T$ - вектор нерегулируемых параметров режима (зависимых переменных); $Y = [y_1 y_2 \dots y_m]^T$ - вектор регулируемых параметров режима (независимых переменных).

Система уравнений предельных режимов для расчета допустимого режима может быть представлена в виде:

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial F}{\partial X} \right)^T R &= 0 \\ y - y(x) + T \Delta y - M^{-2} R &= 0 \\ R^T M^{-2} - 3^2 &= 0 \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

где $R = [r_1 r_2 \dots r_n]^T$ - собственный вектор матрицы $\left(\frac{\partial F}{\partial X} \right)^T$.

Запись (2) можно представить как систему обобщенных УПР [2]:

$$\left. \begin{aligned} F[x, y_0 + T \Delta y - M^{-2} R] &= 0 \\ V(X, R) = \left(\frac{\partial F}{\partial X} \right)^T R &= 0 \\ H(R, T) = R^T M^{-2} R - 3^2 &= 0 \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

где $M = \text{diag } \mu_i$

Автором на основе решения обобщенных УПР разработана модель расчета для оценки границ области устойчивости ЭЭС в среде Mathcad.

С помощью этой модели был проведен ряд вычислительных экспериментов для анализа границ области статической устойчивости на примере консервативной тестовой трехузловой схемы ЭЭС [3]. Результаты расчетов сведены в таблице 1.

Табл. 1. Результаты расчетов для построения границ области устойчивости

К-во ит.	N уз.	P _{пр} МВт	dP МВт	D _{пр} град	L о.е.	R ₀ о.е.	T _{пр} о.е.
7	1	399.9	3.8	88.5	0.00	1.0	52.3
	2	682.8	9.2	91.0	-1011.31	DETMJ=	-0.02
5	1	537.6	7.1	98.0	0.00	1.1	47.8
	2	537.9	7.1	84.3	-991.00	DETMJ=	-0.03
6	1	879.5	9.2	107.6	-0.00	4.2	73.5
	2	-80.7	-3.8	36.9	-736.64	DETMJ=	0.00
7	1	927.6	7.1	89.1	0.00	-95.2	102.8
	2	-525.8	-7.1	-1.7	-654.15	DETMJ=	-0.01
7	1	741.7	3.8	37.3	-0.00	-0.7	141.1
	2	-1102.6	-9.2	-68.8	-295.56	DETMJ=	0.02
7	1	202.1	0.0	-37.1	0.00	0.4	130.4
	2	-1104.3	-10.0	-101.6	-640.54	DETMJ=	-0.03
4	1	-536.4	-7.1	-97.9	-0.00	1.1	104.3
	2	539.3	-7.1	-84.4	-991.47	DETMJ=	0.03
5	1	-903.0	-10.0	-103.3	-0.00	6.1	110.3
	2	197.4	-0.0	-26.5	-726.50	DETMJ=	0.03
7	1	-721.2	-7.1	-33.5	-0.00	-0.6	129.9
	2	1116.0	7.1	71.6	-298.61	DETMJ=	0.00
5	1	197.9	-0.0	74.0	0.00	0.8	66.2
	2	861.9	10.0	98.2	-946.77	DETMJ=	-0.03

Проведено дальнейшее усовершенствование алгоритмов, позволяющих строить границы области устойчивости сложных энергосистем.

Разработанные автором алгоритмы и компьютерная модель используются в учебном процессе СамГТУ при проведении занятий по дисциплинам «Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах», «Устойчивость электроэнергетических систем».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Калентионюк Е.В. и др. Оперативное управление в энергосистемах: учеб.пособие / Е.В. Калентионюк, В.Г. Прокопенко, В.Т. Федин. – Минск: Выш. шк., 2007. – 351 с.
2. Крюков А.В. Предельные режимы электроэнергетических систем /А.В. Крюков Иркутск: ИрГУПС. – 2012. – 236 с.

3. Крюков А.В., Сенько В.В. Расчеты предельных режимов электроэнергетических систем для целей оперативного управления. // Изв. ВУЗов. Электромеханика. – 2014. – №3. С. 21-23.
4. Васин В.П. Расчеты режимов электрических систем. Проблема существования решения. М.: МЭИ, 1981. С. 72
5. Мельников А.В., Рудницкий М.П. Аналитическое описание областей устойчивости и вопросы управления режимами электроэнергетических систем // Управление режимами и развитием электроэнергетических систем в условиях АСУ. Новосибирск: Новосиб. Электротех. ин-т, 1980. С. 91-106

Научный руководитель: В.В. Сенько, к.т.н., доцент СамГТУ.

СНИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛОЭНЕРГОЕМКОСТИ СИСТЕМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Н.С. Бессонова, О.Н. Медведева

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

В современной газовой практике при газоснабжении населенных пунктов широкое распространение получили двухступенчатые системы газоснабжения на базе пунктов редуцирования шкафного типа. Указанные системы включают газораспределительные сети высокого (до 0,6 МПа изб) или среднего (до 0,3 МПа изб) давления, а также газораспределительные сети низкого давления (до 3000 Па изб).

Распределительные сети низкого давления обычно рассчитываются на пропуск необходимых объемов газа при заданной величине потери давления, обусловленной требованиями к устойчивой работе газоиспользующих установок.

Согласно рекомендациям [1], расчетный перепад давлений от пунктов редуцирования до газоиспользующего прибора в условиях максимального часового газопотребления составляет:

- для приборов с номинальным давлением $P_{НОМ}^{приб} = 2000 \text{ Па}$; $\Delta P_p = 150 \text{ Па}$;
- для приборов с номинальным давлением $P_{НОМ}^{приб} = 1300 \text{ Па}$; $\Delta P_p = 596 \text{ Па}$.

Существующая практика эксплуатации распределительных газопроводов низкого давления обуславливает низкую величину расчетного перепада давлений и, как следствие, повышенную материалоемкость газовых сетей.

Согласно [2], максимальное давление газа по требованиям безопасной эксплуатации распределительных газопроводов составляет 5000 Па. Повышение эксплуатационного давления в газораспределительных системах является важным резервом снижения материалоемкости газовых сетей. Следует отметить, однако, что повышение эксплуатационного давления в газовых сетях негативно отражается на работе газоиспользующих установок, поскольку при этом возникает

опасность отрыва и погасания пламени, что создает предпосылки к аварийной ситуации.

Указанный недостаток устраняют стабилизаторы давления газа [3]. Последние устанавливаются непосредственно перед газоиспользующими приборами. Они снижают сетевое давление до номинальной величины (1300 или 2000 Па) и поддерживает его постоянным.

Широкое внедрение двухступенчатых систем газоснабжения дымовыми стабилизаторами давления газа требует наработки научно обоснованных методов их расчета и проектирования.

К числу важнейших предпосылок к расчету газораспределительных систем следует отнести обоснование расчетного перепада давлений в распределительных газопроводах при наличии домовых стабилизаторов давления газа.

Пункты редуцирования обычно оборудуются регуляторами давления газа прямого действия, которые обеспечивают максимальную неравномерность регулирования выходного давления в размере $\pm 10\%$.

Минимальное давление газа на выходе из пункта редуцирования определяется по формуле [1]:

$$P_{\min}^{\text{рег}} = 0,82P_{\max}^{\text{рег}}, \quad (1)$$

где $P_{\max}^{\text{рег}}$ – максимальное давление газа на выходе из пункта редуцирования.

Согласно техническим требованиям к стабилизаторам давления газа [4], последние обеспечивают максимальную неравномерность регулирования выходного давления в размере $\pm 10\%$ при колебаниях выходного давления в размере $\pm 25\%$.

Полагая, что

$$\frac{P_{\max}^{\text{ст}} - P_{\text{ср}}^{\text{ст}}}{P_{\text{ср}}^{\text{ст}}} = 0,25, \quad (2)$$

получим

$$P_{\min}^{\text{ст}} = 0,6P_{\max}^{\text{ст}}, \quad (3)$$

где $P_{\max}^{\text{ст}}$, $P_{\min}^{\text{ст}}$, $P_{\text{ср}}^{\text{ст}}$ – максимальное, минимальное и среднее давление газа на входе в стабилизатор, Па.

Расчетный перепад давления от пунктов редуцирования до стабилизатора с учетом потери давления в газовом счетчике потребителя составляет

$$\Delta P_p = P_{\min}^{\text{рег}} - P_{\min}^{\text{ст}} - \Delta P_{\text{сч}}. \quad (4)$$

Таким образом, применение двухступенчатых систем газоснабжения с домовыми стабилизаторами давления газа повышает расчетный перепад давлений в газораспределительных сетях со 150 (596) Па до 1000 Па, т.е. в $1,68 \div 6,66$ раза. Поскольку диаметр распределительных газопроводов низкого давления пропорционален расчетному перепаду давлений в степени 0,21 [4], указанное увеличение расчетного перепада снижает диаметры газораспределительных си-

стем на 12÷49% при адекватном снижении материалоемкости систем газоснабжения.

Установка домовых стабилизаторов давления газа обеспечивает также экономию газового топлива. При наличии стабилизаторов газоиспользующие установки работают при давлении газа P_g , близком к номинальному $P_{НОМ}^{приб}$, то есть при максимальном КПД. В то же время при отсутствии стабилизаторов установки работают при пониженном давлении газа вплоть до минимально допустимого давления перед прибором $P_{min}^{приб}$, то есть при минимальном КПД.

Как показывают результаты исследований [5], повышение давления газа перед приборами с $P_{min}^{приб}$ до $P_{НОМ}^{приб}$ повышает КПД газоиспользующих установок на 2÷3% и обеспечивает адекватную экономию газового топлива.

Таким образом, применение двухступенчатых систем газоснабжения с домовыми стабилизаторами давления газа представляет актуальную альтернативу существующим системам газоснабжения и вскрывает существенные резервы снижения материалоемкости и энергоемкости газораспределительных систем.

Для многих абонентских ответвлений, расположенных ближе к пункту редуцирования, возможный перепад давления не используется и, соответственно, газовая сеть отказывается дороже. Дополнительным резервом материалоемкости является уточнение распределения расчетного перепада давления между участками газовой сети в зависимости от характера планировки и застройки населенного пункта.

Целевая функция поставленной задачи имеет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^m k_i = \alpha^{0,21} \left(\sum_{j=1}^t \frac{b_j \cdot G_j^{0,368} \cdot l_j^{1,21}}{\Delta P_j^{0,21}} + \sum_{k=1}^s \frac{b_k \cdot G_k^{0,368} \cdot l_k^{1,21}}{\Delta P_k^{0,21}} \right) = \min, \quad (5)$$

где b – стоимостной коэффициент, руб./(м.см); l – длина участка газопровода, м; α – коэффициент пропорциональности, зависящий от состава газа; G – расход газа на соответствующем участке газопровода, м³/ч; ΔP – перепады давления на соответствующем участке газопровода, Па.

В качестве ограничения к целевой функции задачи принимается условие: сумма перепадов давлений на участках от точки питания сети до конечных точек с заданными давлениями равна расчетному перепаду давления в газораспределительной сети. Для нахождения минимума целевой функции можно использовать метод Лагранжа.

В качестве начального распределения перепадов давлений принимаются результаты гидравлического расчета газовой сети при постоянной величине удельной потери давления. Затем проверяются экономические балансы в узлах сети и выявляется величина невязки. При этом для сведения невязки к нулю, необходимо увеличить или уменьшить давления в узлах сети введением поправочных значений узловых давлений. И уже по полученным оптимальным перепадам давления определяются оптимальные диаметры участков распределительной сети пересчетом по формуле (5). Результаты проверочных расчетов по-

казывают, что применение оптимизационных методов распределения расчетных перепадов давления по участкам позволяет дополнительно сократить капитальные вложения в сооружение газовых распределительных сетей до 10 и более процентов [6].

По разработанному алгоритму оптимального распределения перепадов давления в распределительной газовой сети планируется создание программного продукта, отличающегося полным учетом всех параметров и факторов, влияющих на порядок проведения гидравлического расчета системы газораспределения, и позволяющий получить оптимальные характеристики системы (диаметр, перепады давления по участкам сети, расход газа), обеспечивая экономию материальных и денежных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. СТО 03321549-005. Выбор параметров систем газоснабжения сельских населенных пунктов на базе природного и сжиженного углеводородного газов. – Саратов: Гипрониигаз, СГТУ, 2010. – 17 с.
2. СП 62.13330.2011. «Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002». – М.: Госстрой России, 2011. – 65 с.
3. Энергосбережение в коммунально-бытовой сфере. Новые разработки ЭПО «Сигнал» // Газ России. – 2012. – № 1. – С. 64-65.
4. Газоснабжение / А.А. Ионин, В.А. Жила, В.В. Артихович, М.Г. Пшоник. – М.: Изд-во АВОК, 2012. – 471 с.
5. Медведева О.Н. Влияние давления газа на эффективность его использования / О.Н. Медведева, Б.Н. Курицын, А.А. Иванов // Приволжский научный журнал. – 2009. – Вып. №3 (11). – С. 65-69.
6. Медведева О.Н. Повышение эффективности использования газового топлива/ О.Н. Медведева, Б.Н. Курицын// «Известия Самарского научного центра Российской академии наук». – Самара: Самарский научный центр Российской академии наук, 2009. – Том11 (27). – №5 (2). – С. 284-286.

Научный руководитель: О.Н. Медведева, д.т.н., профессор каф. ТГВ Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Р.А. Конакбаев

Новосибирский государственный технический университет

Из-за наличия случайной составляющей в процессе колебаний нагрузки железной дороги всегда присутствует некоторая неопределенность. График нагрузки железнодорожного транспорта имеет вероятностный характер. Необходимо оценить диапазон изменения нагрузок, что можно сделать, используя методы теории вероятности и математической статистики. Поставленной целью была разработка моделей и методов прогнозирования электропотребления железнодорожного транспорта [1].

Составлена следующая диаграмма факторов, формирующих электропотребление железной дороги. (см. рисунок 1).

На нетяговое потребление влияют следующие факторы:

- погода (температура, облачность и др.);
- календарь рабочих и выходных дней;
- используемый тяговый состав, в частности, его изношенность;
- организация работы персонала;
- нагрузка на персонал при режимах нагрузки, близких к предельным, и другие факторы.

Общая методика исследования статистического поведения отдельного фактора состоит из следующих шагов:

1. Сбор сведений от экспертов-технологов о поведении фактора, выработка априорных гипотез.
2. Анализ гармонического спектра временного ряда для выявления доминирующих гармоник.
3. Объяснение и удаление неслучайного остатка как суммы выявленных трендов.
4. Анализ случайного остатка как авторегрессионного процесса по последним дням и последним неделям.
5. Удаление неслучайных составляющих по регрессии.
6. Оценка случайного остатка и его вклада в общий случайный остаток.

Но данный алгоритм имеет существенные недостатки. Предложенная методика основана на применении статистических моделей, которые требуют знания всех факторов, влияющих на электропотребление железной дороги, а также мониторинга за ними, что является весьма проблематичным. Выбор конкретных методик, как статистических, так и технологических, а также выбор типичных статистических моделей производится для каждого фактора индивидуально [2].

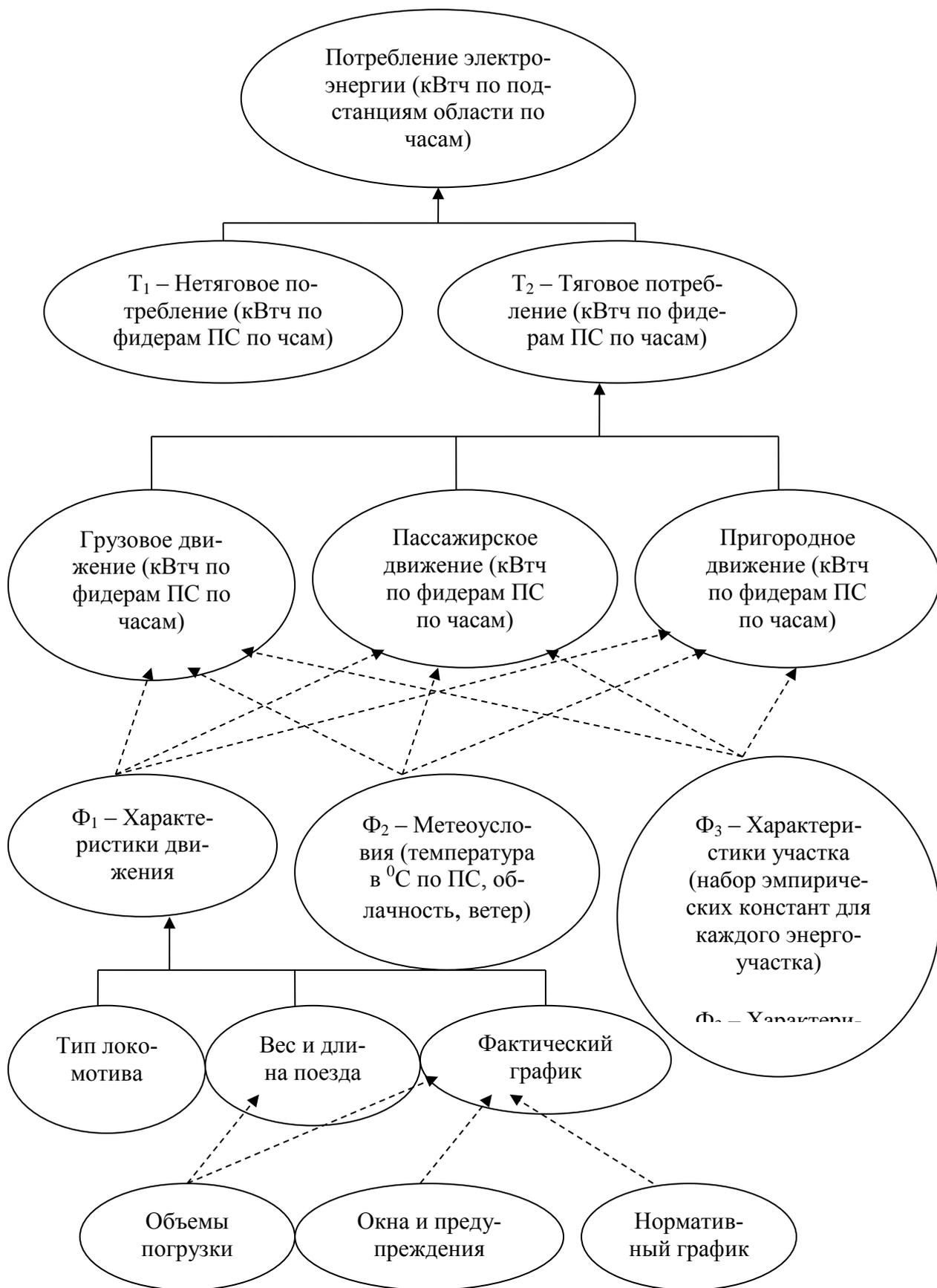


Рис. 1. Диаграмма факторов, формирующих потребление электроэнергии ЖД

В результате расчетов были получены следующие данные:

Табл. 1. Выборочные характеристики распределения за март

Выборочная характеристика	Значение характеристики
1. Число наблюдений в выборке	744
2. Среднее значение, МВт	175
3. Медиана, МВт	175
4. Минимальное значение, МВт	123
5. Максимальное значение, МВт	241
6. Размах, МВт	118
7. Дисперсия, МВт ²	293
8. Среднеквадратическое отклонение, МВт	17
9. Коэффициент асимметрии	0,192
10. Коэффициент эксцесса	0,315
11. Коэффициент вариации, %	10,3

Также была построена гистограмма погрешностей, на которой самой “популярной” является погрешность $\pm 10\%$. Эта величина погрешности может быть взята за некий норматив погрешности для определения мощности нагрузки железной дороги.

Прогноз осуществлялся на примере электропотребления ЗСЖД на интервале дискретности 1 месяц. Для этого была подобрана модель, описывающая статистические данные с наименьшей погрешностью.

За отклонение фактического электропотребления от заявленного в договоре с энергоснабжающей организацией железнодорожный транспорт платит штрафы. Если предположить, что полученные мной по модели прогнозные значения мощности Западно-Сибирская дорога заявляла в договоре с энергоснабжающей организацией (в Новосибирской области это ЗАО «Новосибирскэнергосбыт»), то можно рассчитать оплату ЖД за отклонения.

В соответствии с предельным уровнем нерегулируемых цен на электрическую энергию (мощность) для потребителей Новосибирской области оплата за отклонение электропотребления Западно-Сибирской железной дороги изменялась от 280 тыс. руб. в декабре до 16 млн. руб. в октябре, что еще раз подтверждает необходимость разработки методов и моделей прогнозирования ее электропотребления [3].

Заключение: Проведённый анализ электропотребления электрифицированного железнодорожного транспорта показал:

1. Процесс электропотребления электрифицированного железнодорожного транспорта – случайный, с большой амплитудой неравномерности во времени.
2. В силу огромного количества потребителей железных дорог (электропоездов, предприятия самой железной дороги, сторонние предприятия, запитанные от электросетей железных дорог, бытовое потребление электроэнергии от сетей железных дорог) и в связи с наличием старых приборов коммерческого учета энергии возникают сложности со сбором данных по электропотреблению ЭЖДТ, с их контролем и обобщением.

3. Поскольку на электропотребление ЭЖДТ влияет большое число факторов, составить факторную модель P (Φ_1, \dots, Φ_n) по существу невозможно. Единственным путем является интервальная оценка совокупного влияния факторов.
4. Полученные результаты электропотребления железной дороги могут быть использованы для построения адекватной модели крупной нагрузки, рассредоточенной территориально, при создании комплексной модели электроэнергетической системы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Евсеев О.Е., Мишустин М.Б., Поляк Г.М. Планирование потребления электроэнергии для ОАО «Российские железные дороги». – Сайт ОАО «РЖД»
2. Модели и методы прогнозирования электроэнергии и мощности при управлении режимами электроэнергетических систем: монография / Т. А. Филиппова, А. Г. Русина, Ю. В. Дронова. : Новосибирск, издательство НГТУ, 2009. - 368 с.
3. Предельные уровни нерегулируемых цен на электрическую энергию (мощность), поставляемую потребителям (покупателям) ОАО "Новосибирскэнергосбыт" в марте 2016 г.

Научный руководитель: А.Г. Русина, д.т.н., профессор кафедры АЭЭС, НГТУ.

АПРОБАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГИЛЬБЕРТА-ХУАНГА НА МОДЕЛЬНЫХ СИГНАЛАХ

А.Р. Загретдинов, Р.Р. Хайритдинов
Казанский государственный энергетический университет

В настоящее время в современных системах диагностики и неразрушающего контроля проблема частотно-временного преобразования виброакустических сигналов решается применением вейвлет-анализа. Однако достоверность такой обработки сигналов во многом зависит от правильности выбора базисной функции преобразования.

Сравнительно недавно разработан метод Гильберта-Хуанга не требующий априорного функционального базиса преобразования [1-3]. Здесь функции базиса получаются адаптивно непосредственно из самих сигналов процедурами отсеивания «эмпирических мод» или «внутренних колебаний» (IMF).

В работе проведена оценка эффективности применения вейвлет-анализа и преобразования Гильберта-Хуанга на модельных сигналах. Для этих целей было разработано прикладное программное обеспечение в среде программирования LabView.

Рассмотрим результат применения преобразования Гильберта-Хуанга и вейвлет-преобразования к модельному сигналу, состоящего из суммы 4 гармонических сигналов:

$$y = A \cdot \sin(2\pi f_0 t + \varphi),$$

где A – амплитуда сигнала, f_0 – циклическая частота в герцах, φ – начальный фазовый угол.

Сигнал (рис. 1) смоделирован на временном интервале в 1 секунду с частотой дискретизации 4096. Характеристика сигнала приведена в таблице 1.

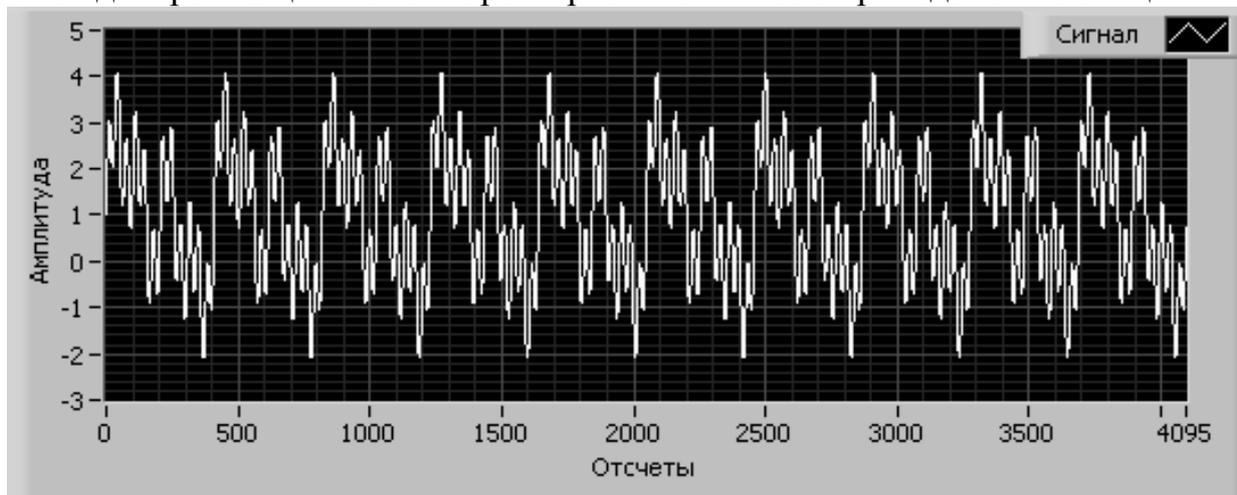


Рис. 1. Смоделированный сигнал

Табл. 1. Характеристика сигнала

№ компоненты	Частота	Амплитуда	Начальный фазовый угол
1	10	1	0
2	20	1	0
3	40	1	0
4	120	1	0

Спектр Гильберта данного сигнала представлен на рис. 2. Следует отметить, что теоретически на спектре Гильберта должны были присутствовать четыре прямых линии. Однако представленные здесь зависимости имеют искажения, которые во многом связаны с проблемой выбора интерполяционных сплайнов. Эти искажения особенно заметны на краях временного интервала. Для реализации процедуры модовой декомпозиции в разработанной программе выбрана Эрмитова интерполяция, показавшая наилучшую эффективность при обработке тестовых сигналов.

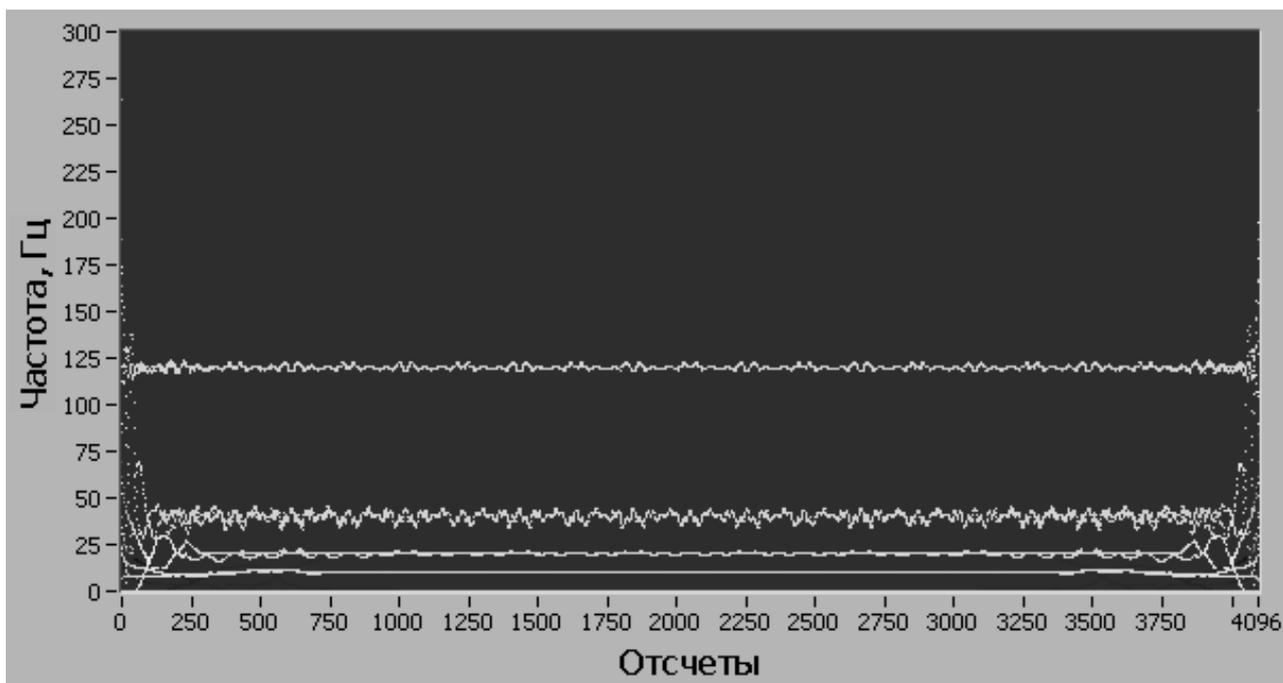


Рис. 2. Спектр Гильберта

Вейлет-скейлограмма широкополосного сигнала приведена на рис. 3. В качестве базисной функции выбрана Mexican Hat («Мексиканская шляпа»). Из представленной скейлограммы видно, что 4 частотных составляющих сигнала не могут быть однозначно определены.

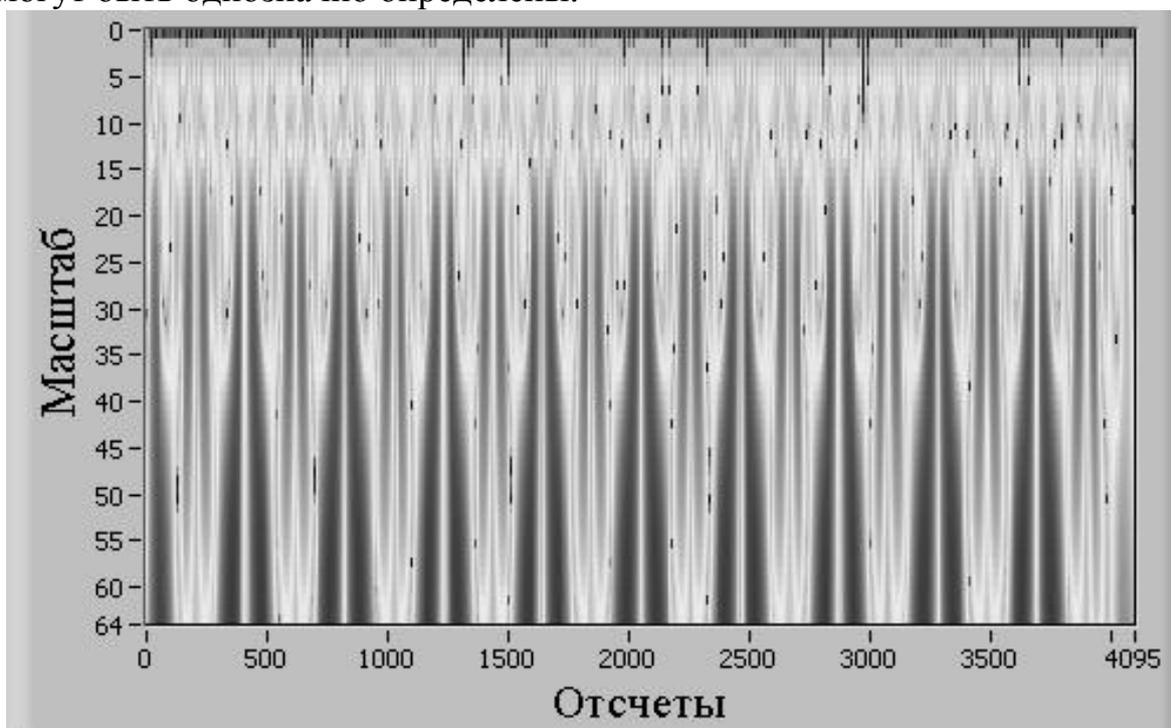


Рис. 3. Вейлет-скейлограмма

Результаты апробации метода Гильберта-Хуанга на модельных сигналах показали высокую достоверность частотно-временного преобразования. Метод не лишен недостатков, которые требуют дальнейших исследований. Однако уже в исходном варианте он позволяет извлечь из анализируемых сигналов полезную для целей виброакустического контроля информацию.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Загретдинов А.Р., Гапоненко С.О., Серов В.В. Концепция оценки технического состояния оборудования на основе ННТ- преобразования виброакустических сигналов // Инженерный вестник Дона, 2015, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3243.
2. Сафиуллин Н.Т. Разработка методики анализа временных рядов с помощью преобразования Хуанга-Гильберта: Кандидатская диссертация / Новосибирск, 2015. – 193 с.
3. Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. The Hilbert-Huang transform and its applications // World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2005. -325 p.

Научный руководитель: А.Р. Загретдинов, к.т.н., доцент, Казанский государственный энергетический университет.

МЕТОДИКА ГАРАНТИРОВАННОЙ ВЕРИФИКАЦИИ РАСЧЕТОВ РЕЖИМОВ И ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А.А. Суворов, А.С. Гусев, А.О. Сулайманов
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭЭС

Поскольку основу решения большинства важнейших задач проектирования, исследования и эксплуатации электроэнергетических систем (ЭЭС) составляет использование информации о процессах в оборудовании и ЭЭС в целом при всевозможных нормальных и аномальных режимах их работы, неизбежен вывод, что главной причиной недостаточно надежного и эффективного решения этих задач является использование неполной и недостоверной информации. Согласно обобщенной статистике 50% таких аварий в мировой электроэнергетике происходит из-за неправильных действий релейной защиты, автоматики и ошибочных или запоздалых действий диспетчерского персонала.

Известная специфика и сложность современных ЭЭС исключают возможность получения всей необходимой информации натурным путем, а также посредством физического моделирования, поэтому основным способом ее получения служит математическое моделирование. Однако совокупная математическая модель любой реальной ЭЭС, даже с учетом допустимого частичного эквивалентирования, всегда содержит жесткую, нелинейную систему дифференциальных уравнений чрезвычайно большой размерности, которая согласно теории методов дискретизации для обыкновенных дифференциальных уравнений плохо обусловлена на ограничительных условиях применимости методов их численного интегрирования: условие Липшица, теорема Далквиста и др., и соответственно не может быть решена удовлетворительно. Единственным путем повышения обусловленности является снижение жесткости, дифференциального порядка и ограничение интервала решения, что реализуемо только за

счет применения существенных упрощений и ограничений: декомпозиция объективно единого и непрерывного спектра квазиустановившихся и переходных процессов в ЭЭС; упрощения математических моделей оборудования и ЭЭС в целом; ограничения интервала воспроизведения процессов. При этом независимо от упрощений и ограничений, всегда неизвестной остается методическая ошибка численного решения, определение которой в теории методов дискретизации для обыкновенных дифференциальных уравнений отнесено к категории фундаментальных проблем. Совокупность обозначенных упрощений, ограничений и неизвестной методической ошибки порождает принципиально неразрешимый в рамках данного методологически одностороннего сугубо численного подхода вопрос полноты и достоверности получаемой таким путем информации о процессах в ЭЭС. Поэтому обязательной является верификация каждого решения, воспроизводящего какой-либо процесс.

Попыткам такой верификации посвящен ряд отечественных и зарубежных проектов:

1. Анализ тяжелой системной аварии в Западной энергосистеме США, Bonneville Power Administration, U.S. Department of Energy.
2. PEGASE (Pan European Grid Advanced Simulation and State Estimation) «Разработка усовершенствованных методов оценивания состояния и моделирования Единой Европейской электроэнергетической сети».
3. «Методические указания по принципам и критериям верификации динамических моделей» ОАО «СО ЭЭС».

Однако опубликованные результаты проводимой верификации [1-3] свидетельствуют о том, что получаемая путем моделирования информация о процессах в ЭЭС значительно не соответствует реальным данным, полученным с помощью устройств регистрации, а адаптация результатов расчета к натурным данным осуществляется путем различного произвольного варьирования параметров, как правило моделей статических характеристик нагрузок и настроек регуляторов. В результате удается получить весьма приближенное воспроизведение конкретного процесса, отражающее по существу тренд изменения параметров. Возможности такой верификации ограничены лишь процессами, для которых имеются натурные данные, а воспроизведение остального многообразия процессов остается принципиально неverifiedируемым и поэтому существующее в настоящее время в мировой электроэнергетике направление верификации не позволяет решить данную проблему в принципе.

Для радикального решения данной проблемы предлагается использовать в качестве источника данных для верификации расчетов режимов и процессов в ЭЭС реализованный в соответствии с комплексным подходом всережимный моделирующий комплекс реального времени ЭЭС (ВМК РВ ЭЭС) [4-6] согласно предлагаемой методике:

1. Создается тестовая математическая модель реальной ЭЭС, которая воспроизводится в ВМК РВ ЭЭС и в verifiedируемом средстве моделирования ЭЭС.
2. Надежная верификация ВМК РВ ЭЭС выполняется по достоверизованным данным ТС и ТИ ОИК квазиустановившегося режима воспро-

изводимой ЭЭС. Такая верификация осуществима, поскольку в комплексе для всего единого спектра процессов используется одно и та же полная математическая модель ЭЭС и методически точный метод её решения, то любой воспроизводимый процесс, в том числе квазиустановившийся, является результатом решения этой математической модели и его верификация возможна сопоставлением с соответствующими достоверизованными данными ОИК тестовой ЭЭС. В качестве примера верификации ВМК РВ ЭЭС представлено сравнение результатов воспроизведения энергосистемы Томской области с контрольно-диспетчерскими замерами, сформированными на основе данных ОИК Томской ЭЭС. Как видно из рисунков 1 и 2 отличия составляют не более 5%.

Наименование подстанции	Uном, кВ	U, кВ	Uоик, кВ	$\Delta U_{о-т}$, %
Парабель-220	220	224.99	231	2.47
Чаженто - 220	220	227.98	237	3.61
Володино - 220	220	229.41	230	0.22

Рис. 1. Табличная форму динамической панели наблюдений напряжений в сети 220 кВ по данным ВМК РВ ЭЭС, ОИК Томской ЭЭС и их разность

Наим. ЛЭП	P1, МВт	P1оик, МВт	$\Delta P1$, %	P2, МВт	P2оик, МВт	$\Delta P2$, %	I, кА	Iоик, кА	ΔI , %
ВЛ-526	63.98	62	3.19	-63.35	-61	3.86	0.077	0.078	1.15
ВЛ-527	270.35	265	2.02	-268.42	-265	1.29	0.336	0.331	1.44
Т-201	51.31	52	1.32	-51.19	-50	2.38	0.149	0.147	1.56
Т-202	62.73	62	1.17	-62.58	-63	0.66	0.187	0.181	3.19

Рис. 2. Табличная форму динамической панели наблюдений режимных параметров линий электропередач по данным ВМК РВ ЭЭС, ОИК Томской ЭЭС и их разность

Так как комплекс реализует тестовую математическую модель реальной ЭЭС с гарантированной приемлемой точностью на непрерывном интервале протекания процессов, то точность воспроизведения квазиустановившегося режима можно распространять на весь значимый спектр режимов и процессов, включая коммутационные перенапряжения.

1. Формируется требуемый для верификации обоснованный спектр нормальных и аномальных режимов и процессов.
2. Разрабатываются программные процедуры ВМК РВ ЭЭС реализации сравнения результатов воспроизведения, и также осуществляющие обработку результатов сравнения и их всестороннее отображение в виде таблиц и графиков.
3. В случае неудовлетворительных результатов верификации, что обычно имеет место, производится попытка адаптации, осуществляемая путем формирования сценариев адаптации в верифицируемом средстве в рамках его возможностей.
4. Интерактивно или автоматизировано в верифицируемом средстве реализуются сценарии адаптации, после этого повторяется сравнение ре-

зультатов моделирования, до тех пор пока не будет достигнута необходимая приемлемая точность воспроизведения требуемых процессов в верифицируемом средстве, а в случае недостижимости, выявление других приемлемых, определяемых возможным диапазоном изменения параметров и настроек вариантов адаптации.

Таким образом, разработанная методика и средства её осуществления позволяют осуществить достоверную всережимную верификацию с гарантированной приемлемой точностью на основе информации, эквивалентной натурным данным, получаемой от высокоадекватных средств моделирования ЭЭС.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Госзадание «Наука», проект №3901: «Разработка и исследование гибридной модели вставки несинхронной связи электроэнергетических систем».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Kosterev D., Taylor C., Mittelstadt W. Model Validation for the August 10, 1996 WSCC System Outage // IEEE Transactions on Power Systems. – 1999. - Vol. 14, No. 3. – P. 967–979.
2. Аюев Б.И. Верификация цифровых моделей ЕЭС/ОЭС / Б.И. Аюев, А.С. Герасимов, А.Х. Есипович, Ю.А. Куликов // Электричество. – 2008. – №5. - С. 2–7.
3. Kopsch D., Rudez U., Mihalic R. Applying a wide-area measurement system to validate the dynamic model of a part of European power system // Electric Power Systems Research. – 2015. – Vol. 119. - P. 1-10.
4. Боровиков Ю.С., Гусев А.С., Сулайманов А.О. Принципы построения средств всережимного моделирования в реальном времени энергосистем // Электричество. – 2012. – № 6 – С. 10–13.
5. Гусев А.С. Концепция и средства всережимного моделирования в реальном времени электроэнергетических систем // Известия Вузов. Проблемы энергетики. - 2008. - № 9.10/1. - С. 164–170.
6. Гусев А.С., Суворов А.А., Сулайманов А.О. Программно-технические средства всережимного моделирования в реальном времени управляемых шунтирующих реакторов в электроэнергетических системах // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/125-19879> (дата обращения: 18.08.2016).

Научный руководитель: А.С. Гусев, д.т.н., профессор, каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 5. Электрический привод

Чертов С.А. Разработка источника питания для светодиодной лампы с излучателями ленточной структуры.....	3
Слепнёв И.Г., Глазырин А.С. Сравнительный анализ применения электропривода уэцн с наблюдателем состояния и с магнитоупругим датчиком момента и датчиком скорости.....	7
Иванов М.И. Особенности организации ПЛК для имитационного моделирования процессов в электроприводах	9
Ким Д.Э., Асылханов А.Б. Исследование переходных процессов в системах вентиляции с помощью среды CODESYS	13
Антяскин Д.И. Электропривод вентилятора на базе тиристорного регулятора напряжения.....	17
Колесник А.Г., Воронина Н.А. Электрооборудование и электропривод лифта высотного здания	20
Сенькив Е.П., Розаев И.А. Отказоустойчивый асинхронный электропривод для гибридного автотранспортного средства.....	24
Королев В.Е., Шлюев И.С. Расчет и анализ электромагнитных усилий в самотормозящихся электродвигателях	28
Шлюев И.С., Королев В.Е. Блочно-модульные котельные.....	32
Зубков А.И. Электропривод задвижки магистрального нефтепровода ...	36
Колесников С.И., Эрденов Д.М. Метод изготовления прототипов печатных плат на станках ЧПУ.....	40
Колесников С.И., Сидоров А.Д., Шабо А.К. Использование 3D принтера при разработке станка с ЧПУ.....	44
Боровик К.О., Однокопылов И.Г., Ланграф С.В. Разработка имитационной модели «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель»	47
Дементьев В.Ю., Гусев Н.В., Кояин Н.В., Ширяев С.Ю. Формирователь траектории поворота вала заслонки газопровода	52
Арьяев А.Б. Электрооборудование и электропривод токарного станка..	56
Кадыров Р.Е. Разработка цоколя E14 под лампочку «Томича»	60
Литвиненко М.С., Каштанов А.И. Анализ потерь асинхронного двигателя с коротко замкнутым ротором и моделирование в среде Matlab	63
Корепанов С.Ю., Воронина Н.А. Электрооборудование и электропривод судового вентилятора по системе ПЧ-АД	67
Митченко Д.И. Стабилизация частоты коллекторного двигателя по форме тока потребления	71

Слепнев И.Г., Тимошкин В.В. Система бесперебойного питания для узлов связи	74
Карпов М.С. Исследование динамических режимов работы электропривода на базе системы ТРН - АД.....	78
Федоров А.Н., Смирнов А.О., Однокопылов И.Г. Разработка системы управления частотно-регулируемым электроприводом для уменьшения динамических ударов запорной арматуры	81
Брусов А.В. Исследование двухзонного электропривода постоянного тока.....	85
Однокопылов Г.И., Розаев И.А., Брагин А.Д., Сенькив Е.П. Сравнительный анализ отказоустойчивого управления асинхронного и вентильно-индукторного электропривода.....	89
Розаев И.А., Паюк Л.А., Воронина Н.А. Применение колебательно-вращательного режима работы в виброприводе	93
Крохта Ю.В., Дементьев Ю.Н. Бездатчиковое определение начального положения ротора синхронного двигателя с постоянными магнитами	97
Бубнов В.В. Источник питания для светодиодной лампы с регулированием яркости.....	100
Тепляков В.В. Исследование частотно - регулируемого электропривода вентиляторной установки	105
Седокова И.Ю. Светодиодные нити и лампы на светодиодных нитях .	108
Змиева К.А. Устройство для испытания светодиодных источников света	112
Малханова Н.А. Электрооборудование цеха промышленного водоснабжения ПО «МАЯК»	117
Фермебаев А.Р. Резонансно-колебательный электропривод установки обессоливания нефти	121
Левин О.И. Регулятор скорости вращения универсального коллекторного двигателя	125
Алексеева Ю.С. Оптимизация режимов работы электропитания оборудования с применением вакуумного рекуператора	127
Никитин И.В., Привалова Ю.П. Утилизация природного электричества.....	131
Лукина К.С. Особенности технологических процессов котлоагрегата Гусиноозерской ГРЭС.....	133
Калюк И.О. Разработка стабилизатора напряжения питающей сети...	136
Коваль С.А. Система защиты автономного инвертора для сварочного аппарата	140

Сидорков М.Ю. Модель электропривода деревообрабатывающего станка с изменяемыми параметрами нагрузки 143

Бабичев А.В. Вентильный электропривод колебательного движения с регулируемой собственной частотой 147

Секция 6. Электротехнические комплексы автономных объектов

Хоанг Чонг Хуи. Моделирование температурного поля индукторного генератора..... 152

Bulgakov A. Optimization of solar power supply systems 155

Савкин К.Д. Концепция построения комбинированных систем автономного электроснабжения 158

Нунумете Р.А. Алгоритм выбора точки интерконнекции распределенной генерации и ее интеграция в работу энергосистемы 162

Петрусёв А.С. Электроснабжение изолированных районов на основе солнечной энергетики 166

Альчин Ю.Ю. Беспроводная система мониторинга температуры и влажности 168

Mochalov A.V., Fediuk R.S., Timokhin A.M. Advanced marine energy sources 173

Зиганшина А.И. Оптимизация количественных и качественных параметров размещения электростанций для электромобилей в г.Казани с учетом режимов электрических сетей на основе Matlab Simulink .. 175

Карпов Н.Д., Крапивко П.В., Муравицкий Я.Л. Оценка повышения эффективности локальной энергосистемы п.Батакан за счет внедрения возобновляемых источников энергии 178

Клютко М.В. Использование программного обеспечения Kcwintrp для программирования в as языке промышленного манипулятора Kawasaki FS 03N..... 182

Шелковская Д.А. Математические модели управления гибридной системой МГЭС-ДЭС..... 185

Кривоногов В.С. Применение МРРТ контроллеров для повышения эффективности работы микро ГЭС 188

Михайлов С.А. Использование метода распределенных удельных мощностей для определения мест установки источников питания в цехе машиностроительного предприятия..... 192

Ильясов И.В. Понятие и использование свободной энергии в генерирующих системах для электроснабжения частного сектора..... 195

Секция 7. Перспективы развития интеллектуальных систем в электроснабжении

Мамаев З.И. Энергосбережение в образовательных учреждениях 198

Лукин М.М. Методы повышения динамической устойчивости на примере казанского нефтегазоконденсатного месторождения	201
Klimova G.N., Leonova V.K. Electric energy demand by the population of the siberian federal district: two approaches to forecasting	204
Сибирцев В.К. Моделирование защиты для сетей Smart Grid.....	208
Мегежекская А.А. Анализ и прогнозирование потребления электроэнергии образовательным учреждением.....	212
Афонин К.Н., Каменкова В.С. Светодиодная лампа для местного освещения с безопасным напряжением 36 вольт	216
Решетов Д.А., Коваленко Д.В. Разработка печатной технологии изготовления гибкого осид – светильника.....	219
Шатрова К.Н., Шаненков И.И. Исследование каталитических свойств кубического карбида вольфрама WC1-x, полученного плазмодинамическим методом.....	223
Банщикова И.С., Дмитриенко О.С. Органический фотоэлектрический преобразователь.....	227
Циммерман А.И., Шаненкова Ю.Л., Гуков М.И. Получение гексагонального ультрадисперсного оксида цинка в гиперскоростной плазменной струе.....	231
Половинкина Ю.Н., Шаненкова Ю.Л. Нанесение медного покрытия на алюминиевые поверхности с высокой прочностью сцепления.....	235
Волкова Д.В., Вайсблат Н.Э. Электронная база данных - средство мониторинга и повышения качества вырабатываемой электроэнергии	239
Писарев А.С. Тенденции в изменении энергетического баланса в электроэнергетических системах будущего	242
Firsov K., Shanenkova Y.L., Shanenkov I.I. Obtaining nanodispersed powder of ZnO+ Bi ₂ O ₃ by plasma dynamic synthesis.....	245
Манив О.С. Моделирование автономной СЭС на основе литий-железо-фосфатных (LiFePo ₄) аккумуляторных батарей.....	249
Игнатенко И.А. Оценка эффективности гибкой электропередачи в электроэнергетической системе.....	252
Евстратов А.Э., Семькина И.Ю. Применимость концепции “Smart Grid” к угольным разрезам Кузбасса.....	256
Мисбахов Р.Ш., Савельев О.Г., Галяутдинов А.А. Особенности расчета количественных показателей гололедно-ветровой нагрузки на провода линии электропередач	259
Фельдман Л.А., Филимонова О.В. Перспективы применения «интеллектуальных» энергоэффективных технологий при изготовлении силовых трансформаторов	262

Новгородов Н.А. Адаптивная система управления работой элементов электрических сетей низкого напряжения.....	265
Турукина Т.Е. Алгоритм регулирования уровня несимметрии для участка городской распределительной сети города Томска.....	269
Шилин А.А., Дементьев С.С. Применение технологии компьютерного зрения для контроля состояния воздушных линий электропередачи.....	273
Карандеев Д.Ю. Развитие концепции Smart Grid в области проектирования систем электроснабжения при поддержке теории информации.....	277
Хасанова А.Д. Сверхпроводник ведет Россию вперед	281
Viktoriia Sihua. The european experience and current situation of the electricity market in russia as a prerequisite for the development of smart grid systems	284
Никитин Д.С. Синтез продукта системы Si-C при плазменном выстреле в свободное пространство	288
Сарсикеев Е.Ж., Сембиев А.Ж. К вопросу о выборе азимутальной системы слежения за солнцем для фотоэлектрических панелей	292
Секция 9. Управление режимами энергосистем	
Кугач М.В., Эйвазов Р.А. Исследование показателей качества электроэнергии нелинейной осветительной нагрузки.....	297
Ерофеев Е.В., Федин И.В. Создание компонентной базы силовой электроники на основе нитрида галлия для производства энергоэффективной преобразовательной техники нового поколения.....	301
Борщев С.С. Перспективы использования современных математических моделей для определения и прогнозирования амплитуды нерегулярных колебаний активной мощности в сечениях	305
Скурихина К.А. Противоаварийное управление в системах Microgrid. 309	
Болотникова О.А. Проблемы энергосистем с большой долей возобновляемой генерации	313
Уфа Р.А., Разживин И.А., Рудник В.Е. Физическая модель трехуровневого статического преобразователя напряжени	316
Сулова О.В., Уфа Р.А., Рудник В.Е. Анализ современных подходов к управлению перспективными многотерминальными электропередачами и сетями постоянного тока	320
Ставицкий С.А., Шестакова В.В. Применение фазоповоротного устройства в Алтайской энергосистеме.....	324
Сулайманова В.А., Гусев А.С., Хлебов А.В. Информационно-телекоммуникационная система поддержки принятия решений диспетчерским персоналом электроэнергетических систем	327

Темиркул У.А. Реакция сети в задаче получения статических характеристик электрической нагрузки по данным пассивного эксперимента	331
Баус М.С. Автоматизация управления режимами энергосистем	335
Саубанов Р.И. Перевод потребительских трансформаторов напряжением 6-10 кВ с устройствами пбв в режим РПН на базе тиристорных переключающих устройств	337
Пятаев Н.А. Проблема устойчивости энергосистем	341
Зотова М.В., Смирнов Е.В., Смирнова А.Г. Особенности работы экранов однофазных высоковольтных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена	344
Коротков А.О., Семиков А.В. Борьба с провалами напряжения в бытовых электрических сетях спомощью солнечных электростанций установленных в частных домохозяйствах	348
Агапов В.А., Копылов Д.А., Митрофанов С.В. Техничко-экономическое сравнение линий постоянного и переменного тока	350
Тихомиров Е.О., Сенько Н.В. Исследование границ области устойчивости электроэнергетических систем на основе решения обобщенных уравнений предельных режимов	355
Бессонова Н.С., Медведева О.Н. Снижение материалоэнергоемкости систем газораспределения	357
Конакбаев Р.А. Вероятностный анализ электропотребления на примере железнодорожного транспорта	361
Загретдинов А.Р., Хайритдинов Р.Р. Апробация преобразования Гильберта-Хуанга на модельных сигналах	364
Суворов А.А., Гусев А.С., Сулайманов А.О. Методика гарантированной верификации расчетов режимов и процессов в электроэнергетических системах	367

