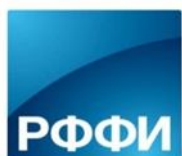


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Энергетический институт



РОССИЙСКИЙ
ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

**IV РОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ
НАУЧНАЯ ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«Энергетика, электромеханика
и энергоэффективные технологии глазами молодежи».**
(Грант РФФИ 16-38-10271).



Том I

1-3 ноября 2016 г.
Томск

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Энергетический институт



РОССИЙСКИЙ
ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

IV РОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ
НАУЧНАЯ ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ

«ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ»
(Грант РФФИ 16-38-10271)

В двух томах
Том I

Томск - 2016

УДК 620.9+621.3(063)

ББК 31+31.2л.0

Ч-522

Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы IV российской молодежной научной школы-конференции. В 2 т. Т. 1/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ООО «ЦРУ», 2016. - 253 с.

Настоящий сборник содержит материалы IV российской молодежной научной школы-конференции, проведенной 1-3 ноября 2016 г. на базе Национального исследовательского Томского политехнического университета. Основной целью проекта является развитие научного потенциала молодых исследователей в области электроэнергетики и электромеханики, активизация процесса обмена новыми идеями и разработками, стимулирование творческого мышления среди молодежи.

УДК 620.9+621.3(063)

ББК 31.1+31.2л.0

Редакционная коллегия:

Богданов Е.П., канд. техн. наук, доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ

Усачева Т.В., канд. техн. наук, доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ

Редакционная коллегия уведомляет:
доклады в сборнике представлены в авторской редакции.

Российская молодежная научная школа-конференция

«Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии

глазами молодежи»

(Грант РФФИ 16-38-10271).

© Ч-522

Состав организационного и программного комитетов
IV российской молодежной научной школы-конференции
**«Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии
глазами молодежи»**

Завьялов Валерий Михайлович	Директор ЭНИН ТПУ, докт. техн. наук, доцент, председатель программного комитета
Матвеев Александр Сергеевич	Зам. директора ЭНИН ТПУ по развитию, канд. техн. наук, доцент, сопредседатель программного комитета
Лукутин Алексей Владимирович	Начальник учебно-методического отдела ЭНИН ТПУ, канд. техн. наук, доцент
Винников Дмитрий	Доктор наук, профессор Таллиннского технического университета (г. Таллинн, Эстония)
Ярвик Яан	Доктор наук, профессор Таллиннского технического университета (г. Таллинн, Эстония)
Харитонов Сергей Александрович	Докт. техн. наук, профессор Новосибирского государственного технического университета (г. Новосибирск)
Гарганеев Александр Георгиевич	Докт. техн. наук, профессор, зав. каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ
Литвак Валерий Владимирович	Докт. техн. наук, профессор каф. АТЭС ЭНИН ТПУ
Богданов Евгений Петрович	Канд. техн. наук, доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, председатель оргкомитета
Усачева Татьяна Владимировна	Канд. техн. наук, доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, ученый секретарь конференции, председатель секции 1
Бейерлейн Евгений Викторович	Канд. техн. наук, доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, председатель секции 2
Дорохина Екатерина Сергеевна	Канд. техн. наук, ассистент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, секретарь секции 1
Тютеева Полина Васильевна	Канд. техн. наук, доцент каф. ЭКМ ЭНИН ТПУ, секретарь секции 2

СЕКЦИЯ 1. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ

К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ ПЕРВОГО ПОДЪЕМА

Дадабаев Ш.Т.

Худжандский политехнический институт Таджикского технического университета
имени М. Осими, Республика Таджикистан, г. Худжанд

В данной статье объектом исследования был принят оросительная насосная станция первого подъема АНС-1, Республика Таджикистан. На АНС-1 установлены четыре насосных агрегатов с мощностью каждой по 8 МВт [1, 2]. Электроприводом служит вертикальные синхронные двигатели с явнополюсными роторам. В данной насосной станции используется дискретный способ регулирования производительности насосных агрегатов, т.е. путем включения или отключения один из агрегатов станции. Данный метод является весьма опасным и неэффективным в виду того, что каждые отключения и включения проходят с динамичными электромагнитными переходными процессами. Кроме этого гидравлические удары свою очередь при пусках повреждают и изнашивают механические части оборудования и стыки трубопроводов. Каждый пуск высоковольтного синхронного двигателя проходит многократными скачками тока и момента двигателя, с просадкой напряжения, нагревом двигателя и потери, которые уменьшают технический ресурс всего оборудования. Регулировании при полном открытии задвижек в нерегулируемых насосных агрегатах не рационально, поскольку снижение давления на выходе насоса приводит к смещению рабочей точки насоса за пределы рабочей зоны и уменьшению КПД агрегата [4]. Насосные агрегаты, работающие с номинальной скоростью, рекомендуется не выходить за пределы рабочей зоны, потому что в этом случае обеспечивается оптимальное использование агрегата при регулировании. Напорная характеристика насоса 1200В-6,3/100-А приведена на рисунке 1.

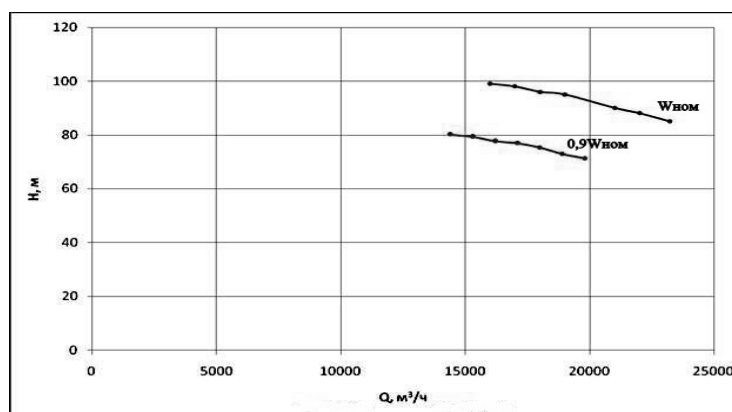


Рис. 1. Напорная характеристика насоса 1200В-6,3/100-А

Номинальная частота вращения $n=375$ об/мин и рабочая зона ограничена подачей от $Q_{мин}=16000$ м³/час до $Q_{мах}=23200$ м³/час. На рисунке 2 приведена кривая КПД насоса которая установлена на АНС-1.

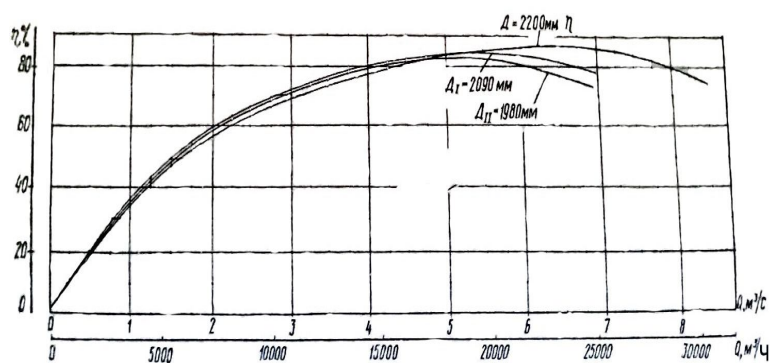


Рис. 2. Кривая КПД насоса 1200В-6,3/100-А

Мощность, потребляемая насосом, можно рассчитать по паспортной кривой насоса (рис 1, 2) в соответствии с его производительностью, кВт:

$$N_1 = \frac{\gamma H_1 Q_1 9,81}{\eta 3600} \cdot 10^{-3},$$

где N_1 – мощность на валу насоса кВт;

H_1 – напор по характеристике насоса м;

Q_1 – расход по требованиям технологического процесса м³/ч;

γ – удельный вес жидкости кг/м³;

η – коэффициент полезного действия насоса в рабочей точке.

Применение регулируемого электропривода для управления насосным агрегатом предполагает наличие семейства характеристик насоса для различных скоростей, которые могут быть рассчитаны по следующей методике [4]. На характеристике насоса, соответствующей номинальной скорости ω_n (рис.1), выбирается произвольно ряд точек 1,2,3. Задается скорость желаемого режима ω_p и рассчитываются коэффициенты пересчета:

для координат расхода Q :

$$k_Q = \frac{\omega_p}{\omega_n},$$

для координаты напора H :

$$k_H = \left(\frac{\omega_p}{\omega_n} \right)^2,$$

где ω_p – расчетная частота вращения рабочего колеса насоса.

Для каждой выбранной точки определяются значения Q'_i и H'_i по формулам

$$Q'_i = Q_n k_Q;$$

$$H'_i = H_n k_H,$$

где Q_n, H_n – параметры характеристики насоса при ω_n ;

Q'_i, H'_i – параметры характеристики насоса при рабочей скорости ω_p .

Результаты расчета приведены в таблице 1, а построенные характеристики на рисунке 3. Характеристики построены для частоты вращения: $n_1=375$ об/мин, $n_2=337,5$ об/мин, $n_3=300$ об/мин, $n_4=262,5$ об/мин, $n_5=225$ об/мин, $n_6=187,5$ об/мин.

Таблица 1. Расчетные значения Q и H для различных скоростей насоса

Скорости	Параметры	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5	Точка 6	Точка 7
ω_n	Q, м ³ /ч	23200	22000	21000	19000	18000	17000	16000
	H, м	85	88	90	95	96	98	99
$\omega=0,9 \omega_n$	Q, м ³ /ч	19800	18900	18000	17100	16200	15300	14400
	H, м	71,28	72,9	75,33	76,95	77,76	79,38	80,19
$\omega=0,8 \omega_n$	Q, м ³ /ч	17600	16800	16000	15200	14400	13600	12800
	H, м	56,32	57,6	59,52	60,8	61,44	62,72	63,36
$\omega=0,7 \omega_n$	Q, м ³ /ч	15400	14700	14000	13300	12600	11900	11200
	H, м	43,12	44,1	45,57	46,55	47,04	48,02	48,51
$\omega=0,6 \omega_n$	Q, м ³ /ч	13200	12600	12000	11400	10800	10200	9600
	H, м	31,68	32,4	33,48	34,2	34,56	35,28	35,64
$\omega=0,5 \omega_n$	Q, м ³ /ч	11000	10500	10000	9500	9000	8500	8000
	H, м	22	22,5	23,25	23,75	24	24,5	24,75
Магистраль	Q, м ³ /ч	23200	22000	21000	20000	17000	16000	0
	H, м	97	87,76	80,4	73,4	54,52	48,8	5

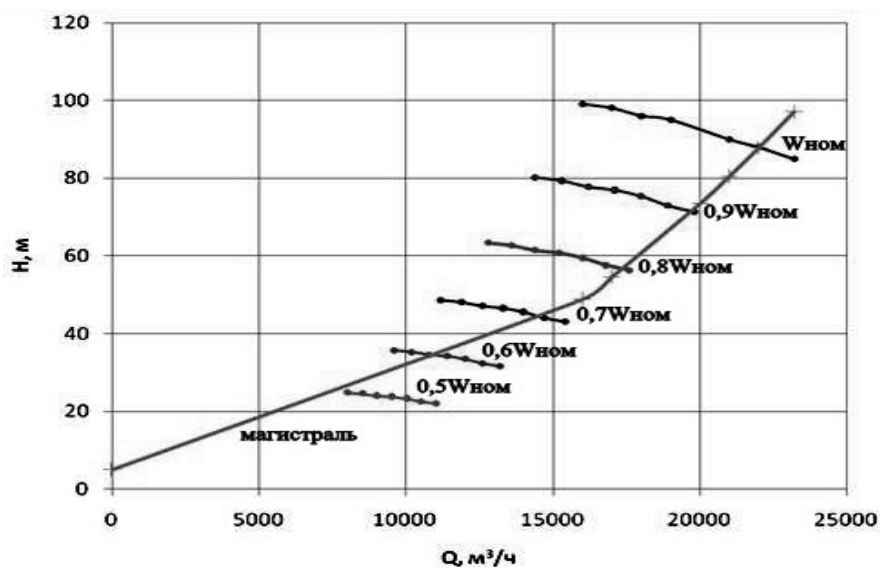


Рис. 3. Характеристики насоса для различных скоростей рабочего колеса

Для определения потерь на регулирование насосных агрегатов выберем диапазон изменения расхода: $Q_{\min}=16000$ м³/час, $Q_{\max}=23200$ м³/час.

Линейное давление на напорном коллекторе $H_{нк}=70$ м.

Для сравнительного анализа способов регулирования насосных агрегатов рассмотрим два варианта:

- регулирование напорной задвижкой;
- регулирование с применением частотного преобразователя.

Для упрощения расчета выбран один насосный агрегат.

1. Регулирование напорной задвижкой

Потери на задвижке можно определить таким образом, кВт:

$$\Delta N_{\text{зав}} = N_{\text{нас}} - N_{\text{лин}} = \frac{\eta Q^{9,81}}{\eta 3600} (H_{\text{нас}} - H_{\text{лин}}),$$

здесь $N_{\text{нас}}$ является мощностью потребляемая насосом, кВт:

$$N_{\text{нас}} - N_{\text{лин}} = \frac{H_{\text{нас}} Q^{9,81}}{\eta 3600} \cdot 10^{-3},$$

где $N_{\text{нас}}$ – мощность на валу насоса, кВт;

$H_{\text{нас}}$ – напор по характеристике насоса, м;

η – коэффициент полезного действия насоса в рабочей точке.

Мощность, необходимая для реализации технологического процесса рассчитывается из следующей формулы, кВт:

$$N_{\text{лин}} = \frac{H_{\text{лин}} Q^{9,81}}{\eta 3600} \cdot 10^{-3}$$

где $H_{\text{лин}}$ – линейное давление на напорном коллекторе, для нашего объекта 70 м

Результаты расчета мощности потерь на задвижке для различных значений расхода, мощности необходимой для реализации технологического процесса и мощности насоса приведены в таблице 2, а графики приведены на рисунке 4.

Таблица 2. Расчетные значения мощности насоса, технологического процесса и потерь на задвижке

Расход	Q м ³ /час	16000	17000	18000	19000	20000	21000	22000	23200
Мощн. насоса	$N_{\text{нас}}$ кВт	4360	4632,5	4905	5177,5	5450	5722,5	5995	6322
Мощн. технолог	$N_{\text{техн}}$ кВт	3468,2	3684,9	3901,7	4118,5	4335	4552	4768,7	5028,9
Мощн. потерь	$\Delta N_{\text{зав}}$ кВт	891,8	947,6	1003,3	1059,1	1114,8	1170,5	1226,3	1293,1

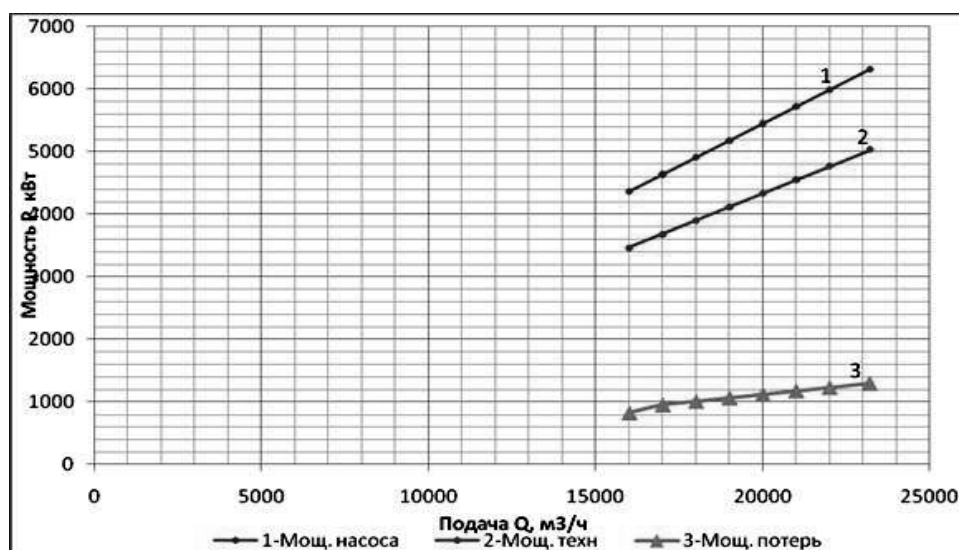


Рис. 4. Графики затрат электроэнергии при работе насосного агрегата при регулировании задвижкой

2. регулирование с применением частотного преобразователя

В втором варианте, где используется частотное регулирование насосного агрегата диапазон изменения расхода выбран так же как и при регулировании задвижкой: $Q_{\min}=16000 \text{ м}^3/\text{час}$, $Q_{\max}=23200 \text{ м}^3/\text{час}$ и $H_{\text{нк}}=70 \text{ м}$.

Из характеристик насоса (см. рис. 3) следует, что диапазон регулирования скорости электропривода лежит в пределах от $n=262 \text{ об/мин}$ до $n=375 \text{ об/мин}$.

Потери на регулирование в данном варианте регулирования появляются в преобразователе частоты, которую можно рассчитать таким образом, кВт:

$$\Delta N_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{дв}}(1 - \eta_{\text{пр}})}{\eta_{\text{пр}}} = N_2 \frac{1}{\eta_{\text{н}} \eta_{\text{дв}}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{пр}}}{\eta_{\text{пр}}}.$$

Результаты расчета потерь в ПЧ для КПД преобразователя равного $\eta_{\text{пр}} = 0,975$ приведены в таблице 3 и рисунок 5.

Таблица 3. Расчетные значения потерь в преобразователе

Расход Q, м ³ /час	23200	22000	21000	20000	19000	18000	17000	16000
Технологическая мощность в ПЧ N _{технол.} кВт	5028,9	4768,7	4552	4335	4118,5	3901,7	3684,9	3468,2
Мощность потерь в ПЧ $\Delta N_{\text{преобр.}}$ кВт	128,9	122,3	116,7	111,1	105,6	100	94,5	88,9

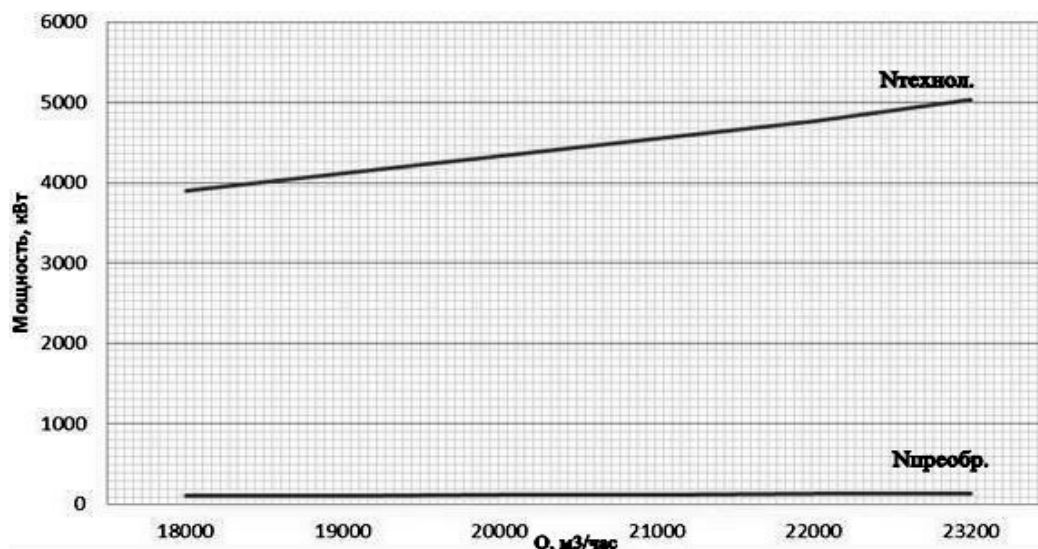


Рис. 5. График потерь в преобразователе для КПД преобразователя равного $\eta_{\text{преобр.}} = 0,975$

Эффект от внедрения частотного регулирования по сравнению с регулированием напорной задвижкой можно оценить сравнив потери на задвижке и потери в преобразователе частоты при соответствующих подачах [4]:

$$N_{\text{экон}} = \Delta N_{\text{завд}} - \Delta N_{\text{пр}}.$$

Результаты расчета приведены в таблице 4 и рисунке 6.

Таблица 4. Расчетные значения мощностей насосного агрегата при различных способах регулирования

Тип регулирования	Параметры	точка 1	точка 2	точка 3	точка 4	точка 5	точка 6
Без ПЧ	$Q, \text{м}^3/\text{ч}$	22000	20000	16800	14700	12600	10500
	$\eta_{\text{нас}}$	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
	$P, \text{кВт}$	6200	4521	2996,1	2007,4	1264,2	731,6
Задвижка	$Q, \text{м}^3/\text{ч}$	22000	21000	20000	19000	18000	17000
	$\eta_{\text{нас}}$	0,88	0,85	0,83	0,8	0,74	0,74
	$\eta_{\text{ПЧ}}$	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	$P, \text{кВт}$	6200	6100	6000	5800	5700	5600
ПЧ	$Q, \text{м}^3/\text{ч}$	22000	20000	16800	14700	12600	10500
	$\eta_{\text{ПЧ}}$	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
	$P, \text{кВт}$	6391,7	4660,8	3088,8	2069,5	1303,3	754,2

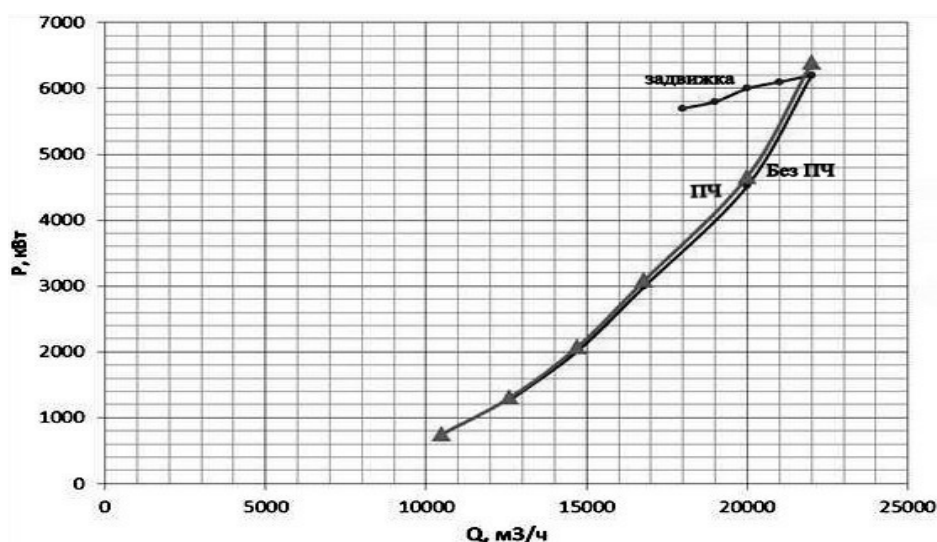


Рис. 6. Графики характеристик насоса 1200В-6,3/100-А при различных способах регулирования производительности

Регулируемый электропривод за счет регулирования частоты вращения рабочего колеса, позволяет исключить потери на регулирующей задвижке. Применение преобразователей частоты дает плавное прохождение переходных режимов насосных агрегатов и еще если глубина регулирования скорости велика, то и значимую экономию энергии. Однако как видно из графиков (см. на рис. 6) для конкретного примера, т.е. АНС-1 глубина регулирования производительности насосов мала и экономия энергии тоже будет малым. Как известно высоковольтные преобразователи частоты относятся к очень дорогим устройством, которую срок окупаемость волнует каждого предприятия, ведь эффективность применения ПЧ зависит большей мере от глубины регулирования. Регулирование задвижкой свою очередь недопустимо в АНС-1 по заводским требованиям и технологическим процессом самой станции. Поэтому для решения этой проблемы надо исследовать применения устройств плавного пуска (УПП) в оросительных насосных станциях первого подъема, где устанавливаются высоковольтные насосные агрегаты с малой глубины регулирования производительности. УПП стоят дешевле чем ПЧ почти 3 раза, и хорошо служат для поочередного плавного пуска нескольких двигателей [3, 4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Дадабаев Ш.Т. Перспективы внедрения регулируемых электроприводов в насосных агрегатах большой мощности. Энергетик №7, 2015. 31-33 с.
2. Дадабаев Ш.Т., Ларионов В.Н. Исследования применения энергоэффективных способов управления в электроприводах с вентиляторной нагрузкой. Вестник ТТУ №4, 2014. 56-59 с.
3. Лезнев Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходушных установках. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
4. Ларионов В. Н., Калинин А. Г. Энергоэффективность и энергосбережение в электроприводах с вентиляторной нагрузкой. – Чебоксары: Изд-во. Чуваш. Ун-та, 2012. – 146 с.

УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМ МЕХАНИЗМОМ-РОБОТОМ

Стаблецкий В.А., Курбацкий В.В., Сарока В. В.

Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
г.Минск

Основной целью является создание такого механизма, который был бы как можно более автономен и мог выполнять поставленные задачи без участия человека, человеку отводиться роль наблюдателя. То есть система должна уметь анализировать ситуацию и самостоятельно принимать решения.

Для разработки такого робота, способного перемещаться по линии необходимо решить такие задачи как:

1. Робот должен иметь возможность быстро передвигаться по линии
2. Робот должен обладать таким набором датчиков, который позволит ему точно знать, где он находится
3. Программа должна без участия оператора оценивать состояние и реализовывать заложенный в неё алгоритм.

За основу была взята плата Arduino Uno (рис. 1), т.к. это лучший выбор для новичка, самая простая, бюджетная и распространённая плата.

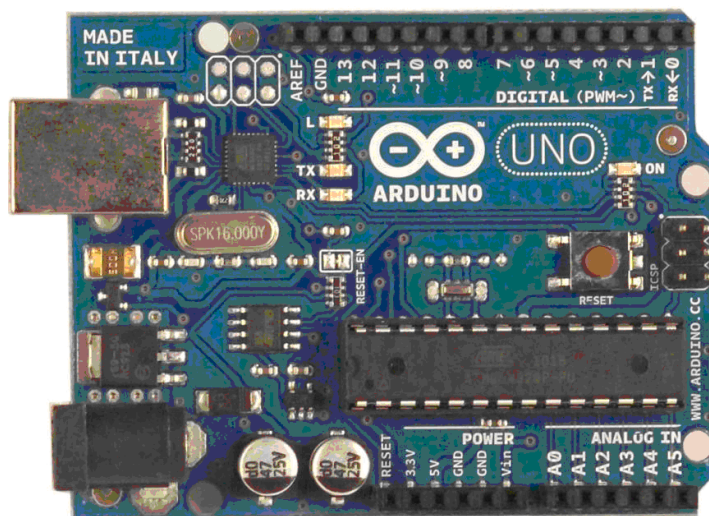


Рис. 1. Arduino Uno

На Arduino очень легко делать разные машинки с дистанционным управлением, простыми сенсорами и логикой. Поэтому линейка эта невероятно популярна. Продается множество совместимых с ней сенсоров и плат расширения. Интернет наполнен готовыми программными библиотеками.

Arduino Uno может получать питание через подключение USB или от внешнего источника питания. В нашем случае источником питания являются шесть батареек по 1.5V.

Motor Drive Shield (рис. 2) — позволяет одновременно управлять четырьмя двигателями, а также развязать (отделить) питание двигателей от питания Arduino UNO

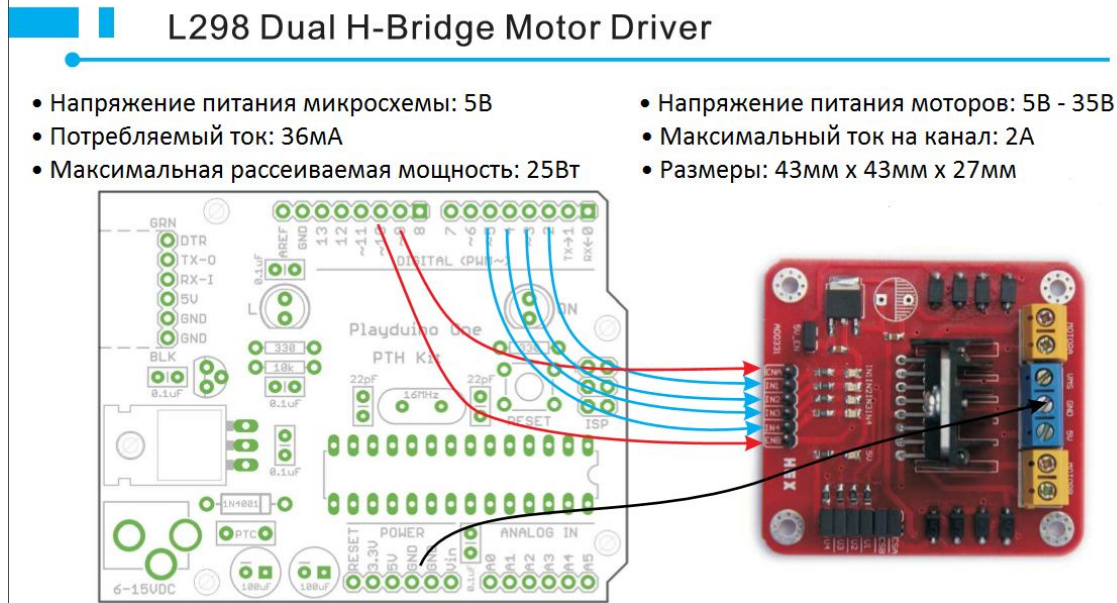


Рис. 2. Motor Drive Shield и его схема подключения

В качестве датчика линий был взят DFRobot Line Tracking Sensor for arduino (рис. 3) он может отличить чёрную линию от белой и белую от чёрной.

Параметры DFRobot Line Tracking Sensor for arduino.

Power supply: +5V; Operating current: <10mA; Operating temperature range: 0°C ~ +50°C; Output interface: 3-wire interface (1 - signal. 2 - power. 3 - power supply negative); Output Level: TTL level (black line of low effective, high efficient white line); Module Size: 10mmx35mm; Module Weight: About 1g

Нам понадобилось 3 таких датчика, но можно использовать как большее так и меньшее количество датчиков. Соответственно если мы будем использовать большое количество датчиков, то получим и большую точность.

Выходным результатом работы сенсора является аналоговый сигнал. Чем светлее поверхность под сенсором — тем меньше его выходное напряжение.

Без датчиков внешней среды робот движется вслепую. Внешние датчики принимают участие в:

- распознавании мест и объектов, которые уже встречались ранее;
- определении свободного пространства и планирования в нем движения для того, чтобы избежать столкновений с препятствиями;
- создании общего представления об окружающей робота среде.

RB-Dfr-40 DFRobot Line Tracking Sensor for Arduino



Рис. 3. DFRobot Line Tracking Sensor for Arduino

Не мало важной проблемой является и сама механика робота к примеру сцепление с трассой, бывают случаи, когда колёса проскальзывают (чаще всего встречается при поворотах), это можно исправить увеличением скорости моторчиков, однако мы теряем контроль при повороте, робот может попросту вылететь с трассы.

Рассмотрим самый распространённый пример: поле белого цвета, линия чёрного. Для решения поставленной задачи движения по чёрной линии был разработан соответствующий алгоритм. Он довольно простой (Рис. 4).

Данный алгоритм возвращает 1, если датчик находится над чёрной поверхностью и 0, если датчик находится над белой поверхностью.

Это простейшее решение, если же захотеть добиться большей точности и сглаживаний движения робота вводят дополнительные коэффициенты, которые вычисляются, учитывая текущее значение датчика при движении по линии.

Данный алгоритм был написан в integrated development environment Arduino

Программа, написанная в среде Arduino, называется скетч. Скетч пишется в текстовом редакторе, имеющем инструменты вырезки/вставки, поиска/замены текста.

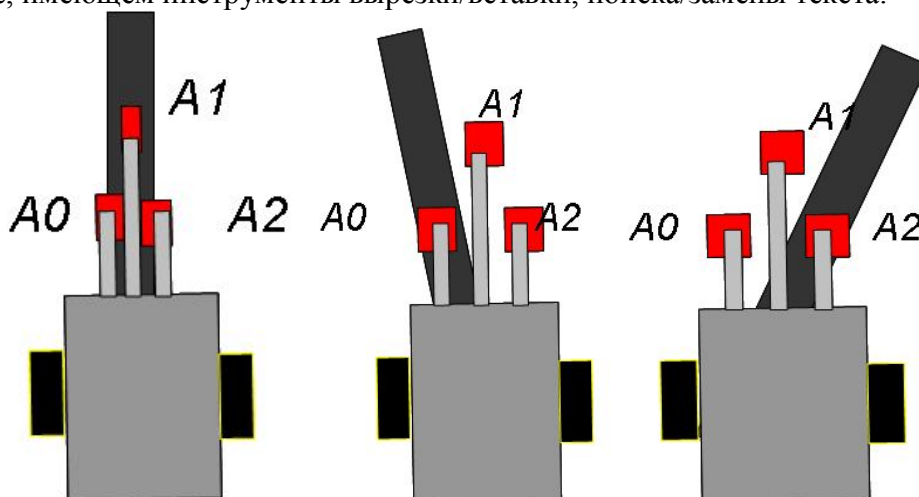


Рис. 4. Обнаружение черной линии

Во время сохранения и экспорта проекта в области сообщений появляются пояснения, также могут отображаться возникшие ошибки. Окно вывода текста(консоль) показывает сообщения Arduino, включающие полные отчеты об ошибках и другую информацию. Кнопки панели инструментов позволяют проверить и записать программу, создать, открыть и сохранить скетч, открыть мониторинг последовательной шины.

При загрузке скетча используется Загрузчик (Bootloader) Arduino, небольшая программа, загружаемая в микроконтроллер на плате. Она позволяет загружать программный код без использования дополнительных аппаратных средств. Загрузчик (Bootloader) активен в течении нескольких секунд при перезагрузке платформы и при загрузке любого из скетчей в микроконтроллер. Работа Загрузчика (Bootloader) распознается по миганию светодиода (13 pin) .

Когда программа загружена на плату, можно использовать робота для проверки выполнения алгоритма.

Представленный алгоритм оставляет множество возможностей для улучшения и оптимизации. Скорость поворота можно так же менять адаптивно. Можно добавить контроль заноса. Можно поиграть с расположением сенсоров и центром масс. Однако для этого потребуется перейти на другую платформу.

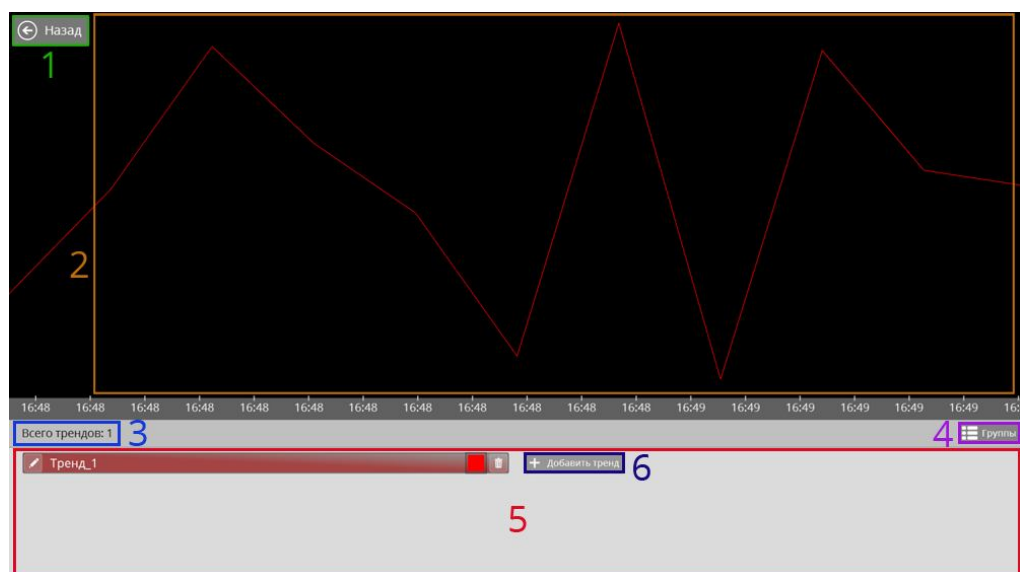


Рис. 5. Окно тренда. 1. Кнопка возврата в основное окно. 2. Область отображения трендов. 3. Здесь отображается общее количество созданных трендов. 4. Кнопка перехода к группам трендов. 5. Область редактирования трендов. 6. Кнопка создания нового тренда

Для просмотра групп трендов нажмите кнопку «Группы». Для создания новой группы нажмите кнопку «Добавить группу». Если группа не выделена, можно увидеть количество трендов, содержащихся в ней. При выделении группы, становятся доступными кнопки редактирования имени группы, изменения частоты обновления, удаления.



Рис. 6. Настройка группы трендов. 1. Кнопка редактирования имени группы; 2. Имя группы; 3. Кнопка изменения частота обновления для текущей группы от 1 до 60 секунд; 4. Кнопка удаления группы; 5. Показывает количество трендов в группе. 6. Кнопка добавления новой группы

Для создания нового тренда выберите группу, в которую его нужно добавить и нажмите кнопку «Добавить тренд».

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ МАГНИТОПРОВОДА НА ТЯГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРЕССА

Шабанов А.С., Нейман В.Ю.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Расширение областей применения электромагнитных линейных двигателей, используемых в качестве приводов различных машин и механизмов, способствует развитию и совершенствованию конструкций и методов для их расчета [1-9].

Получение высоких значений тяговых характеристик, развиваемых приводом, а также достижение высоких удельных показателей при минимуме затрат активных материалов на изготовление, требует решение вопросов, связанных с оптимизационным расчетом.

Качество проводимых расчетов может быть значительно улучшено при использовании программных пакетов, связанных с моделированием магнитного поля, одним из которых является программа FEMM [10, 11].

Данная программа позволяет создавать конечноэлементные модели для расчета плоскопараллельных или плоскомеридианных (осесимметричных) стационарных и квазистационарных магнитных полей, определять полевые и цепные параметры моделей и строить картины распределения магнитных полей [12-14].

Один из примеров решения осесимметричной задачи для конструкции двигателя электромагнитного пресса в программе FEMM, представлен на рисунке 1.

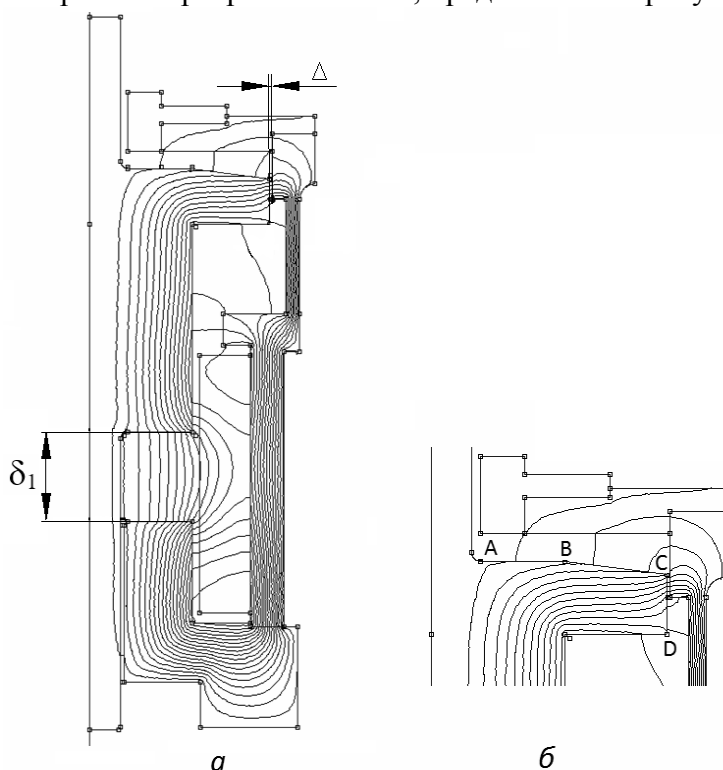


Рис. 1. Имитационная модель электромагнитного двигателя пресса в программе FEMM

Статическая тяговая характеристика электромагнитного пресса, полученная по результатам конечноэлементного моделирования, представлена на рисунке 2. На начальном этапе перемещения якоря, основной магнитный поток замыкается через рабочий воздушный зазор δ_1 и нерабочий воздушный зазор Δ (рисунок 1, а).

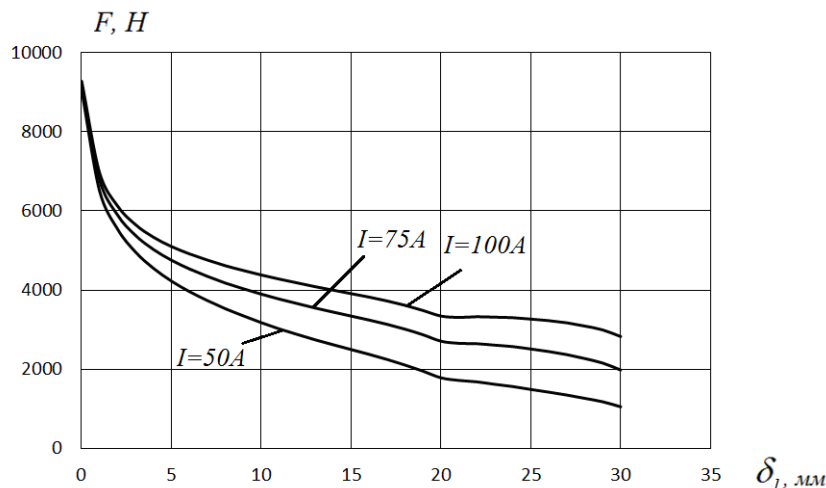


Рис. 2. Статическая тяговая характеристика двигателя электромагнитного пресса

Форма тяговой характеристики в момент прохождения якорем нерабочего воздушного зазора Δ имеет относительно пологий вид (рисунок 1, б), что обусловлено возникающим в этом зазоре усилием, противодействующим перемещению якоря. Кривые изменения суммарных значений этих усилий, возникающих вдоль поверхности ABCD (рис. 1, б), представлены на рисунке 3.

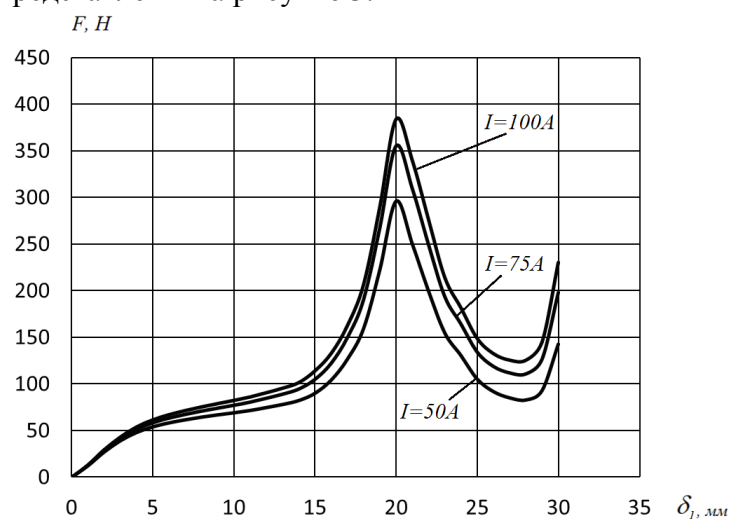


Рис. 3. Кривые изменения противодействующих усилий

Относительно высокое значение усилий, противодействующих перемещению якоря, при величине рабочего воздушного зазора $\delta_1=30$ мм и их дальнейшее снижение до значения $\delta_1=28$ мм, обусловлено замыканием значительной части магнитного потока через нерабочий воздушный зазор между якорем и верхней крышкой корпуса двигателя пресса.

Дальнейший рост этих усилий и их максимальное значение при величине рабочего воздушного зазора $\delta_1=20$ мм обусловлено концентрированием части силовых линий магнитного потока в области точки С (рис. 1, б).

Величина развиваемых электромагнитным прессом тяговых усилий варьируется от 1 до 9,5 кН, что позволяет его использовать для операций штамповки и прессования материалов давлением имеющих различные свойства, достаточно просто регулировать

тяговое усилие, путем изменения величины тока в катушке и величины рабочего хода якоря двигателя пресса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ивашин В.В., Кудинов А.К., Певчев В.П.* Электромагнитные привода для импульсных и виброимпульсных технологий // Известия вузов. Электромеханика. – 2012. – № 1. – С. 72–75.
2. *Усанов К.М., Угаров Г.Г., Мошкин В.И.* Линейный импульсный электромагнитный привод машин с автономным питанием. – Курган: Изд-во Курганского госуниверситета, 2006. – 284с.
3. *Мошкин В.И., Нейман В.Ю., Угаров Г.Г.* Импульсные линейные электромагнитные двигатели // Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. – 220 с.
4. *Нейман Л.А., Нейман В.Ю.* Низкочастотные ударные электромагнитные машины и технологии // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2014. – №1. – С. 256–259.
5. *Нейман В.Ю.* К вопросу о рационализации рабочих процессов и выбора конструктивных схем электромагнитных ударных машин // Автоматизированные электромеханические системы: Коллективная монография / Новосиб. гос. техн. ун-т; Под ред. В.Н. Аносова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – С. 155–169.
6. Прессовое оборудование с линейным электромагнитным приводом для механизации технологических процессов ударной сборки и штамповки мелких изделий / В.А. Аксютин, Л.А. Нейман, В.Ю. Нейман, А.А. Скотников // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2015. – №2. – С. 220–224.
7. *Нейман В.Ю.* Режимы форсированного аккумулирования магнитной энергии в импульсных линейных электромагнитных двигателях / В.Ю. Нейман // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2003. – № 1. – С. 105–112.
8. *Нейман В.Ю., Петрова А.А.* Сравнение способов форсировки импульсных линейных электромагнитных двигателей // Электротехника. – 2007. – № 9. – С. 47а–50.
9. *Нейман Л.А., Нейман В.Ю., Шабанов А.С.* Упрощенный расчет электромагнитного ударного привода в повторно-кратковременном режиме работы // Электротехника. – 2014. – № 12. – С. 50–53.
10. *Буль О.Б.* Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: Магнитные цепи, поля и программа FEMM. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 336 с.
11. *Петрова А.А.* Моделирование в FEMM магнитного поля для расчета тяговых характеристик электромагнитных двигателей постоянного тока / А.А. Петрова, В.Ю. Нейман // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. – 2008. – № 2. – С. 101–108.
12. *Нейман В.Ю., Нейман Л.А., Петрова А.А.* Влияние соотношений главных размеров электромагнитов на значения конструктивного фактора и показателя экономичности // Автоматизированные электромеханические системы: [сб. науч. тр.]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – С. 177–187.
13. *Нейман Л.А., Нейман В.Ю.* Применение метода проводимостей для учета силы одностороннего магнитного притяжения асимметричного электромагнита // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 2 (97). – С. 214–218.
14. *Нейман Л.А., Петрова А.А., Нейман В.Ю.* К оценке выбора типа электромагнита по значению конструктивного фактора // Известия вузов. Электромеханика. – 2012. – №6. – С. 62–64.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Ожанов М.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Актуальность настоящей работы обусловлена важнейшим значением вопроса энергосбережения и энергоэффективности для любого государства. В электротехнике наиболее эффективной мерой повышения энергоэффективности является эксплуатация регулируемых электроприводов и кабельного оборудования в составе электромеханических систем, учитывая, что около 60% вырабатываемой электроэнергии потребляется именно электродвигателями. Оптимизация систем электропитания позволяет уменьшить потребление первичных энергетических ресурсов и повысить продуктивность производства, качество продукции, что в целом повышает энергоэффективность экономики России [1].

Цель работы – оптимизация системы электропитания путем создания математической модели кабельно-проводниковой продукции на основе программного продукта *ELCUT*.

Данная цель обусловила необходимость решения следующих задач:

- системный анализ электропитающего оборудования;
- расчет нагрузки цеха;
- анализ режимов работы приводных электродвигателей;
- математическое моделирование силовых кабелей в среде *ELCUT*;
- сопоставление результатов моделирования с инженерными расчетами допустимых токовых нагрузок;
- разработка рекомендаций по оптимизации системы питания.

В данной работе использованы данные при проектировании цеха по производству кабельной продукции до 10 кВ ООО «Томсккабель». Анализ оборудования показал превалирование асинхронных двигателей с частотным приводом, причем большее количество электрического оборудования работают в продолжительном режиме S1 (71%), кратковременном режиме S2 (17%) и повторно-кратковременном режиме S3 (12%) (рис.1). Это говорит о том, что силовые кабели, запитывающие оборудование цеха, подвержены нагреву разных степеней, что может негативно влиять на эксплуатационные характеристики оборудования [2].

С целью оптимизации режимов работы электротехнического оборудования и, соответственно, кабельной продукции, проводится математическое моделирование системы электропитания с использованием программного продукта *ELCUT*. В качестве объекта модернизации выбран кабель марки ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1х50мк-1, наиболее подходящий для нагрузок, характерных для ООО «Томсккабель».

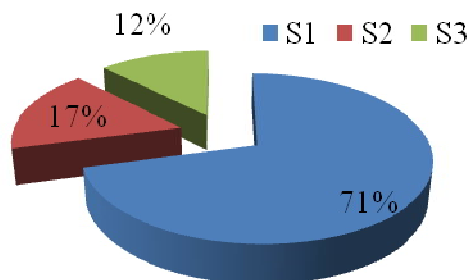


Рис. 1. Диаграмма распределения оборудования по режимам работы

ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF – кабель с медными жилами, с термическим барьером по токопроводящим жилам, с изоляцией из этиленпропиленовой резины, в оболочке из полимерных композиций не содержащих галогенов (рис. 2) [6].

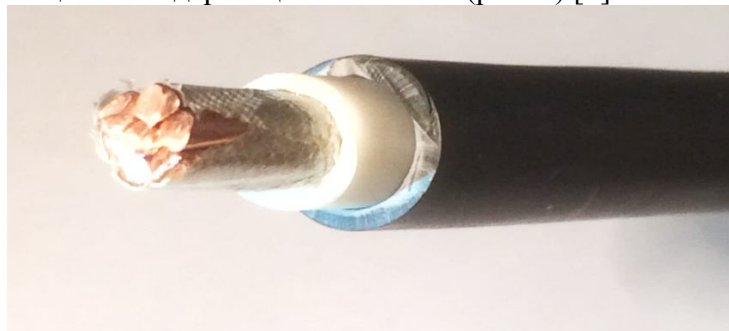


Рис. 2. ТОФЛЕКС РПнг(А) FRHF 1x50мк-1

Создание математической модели на программе ELCUT начинается с проектирования геометрических параметров, представленных на рис. 3, и ввода данных по конкретной кабельной продукции. Ниже представлено продольное сечение кабеля в месте разделки наружной оболочки. Линия синего цвета представляет собой след плоскости разделки. Она прерывает наружную оболочку кабеля и экран, нанесенный поверх изоляции токопроводящей жилы. Жила представлена красным цветом [3].

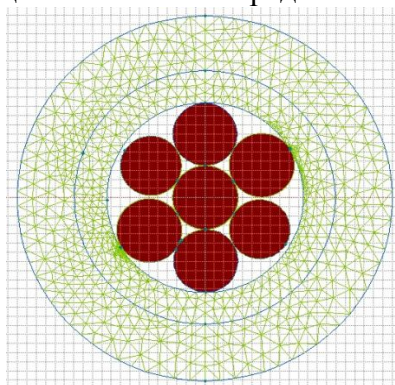


Рис. 3. Конструкция исследуемого кабеля

Картина электрического поля при потенциале внешнего проводника $U = 1$ кВ частоты 50 Гц представлена на рис. 4, причем цветной заливкой показано распределение электрического потенциала.

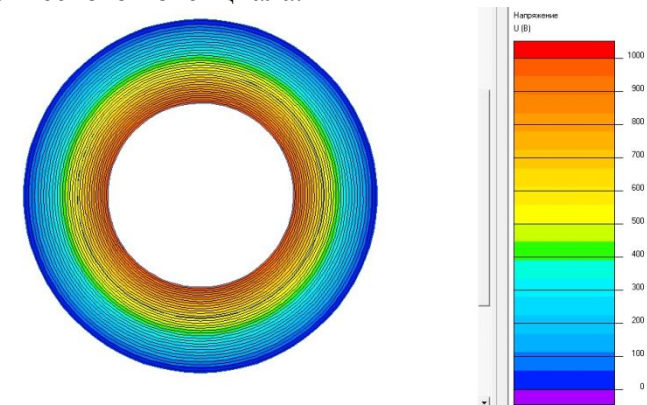


Рис. 4. Картина электрического поля

Далее рассматривалось тепловое поле, распределение температуры показано на рис.5. Были произведены аналогичные расчеты теплового поля.

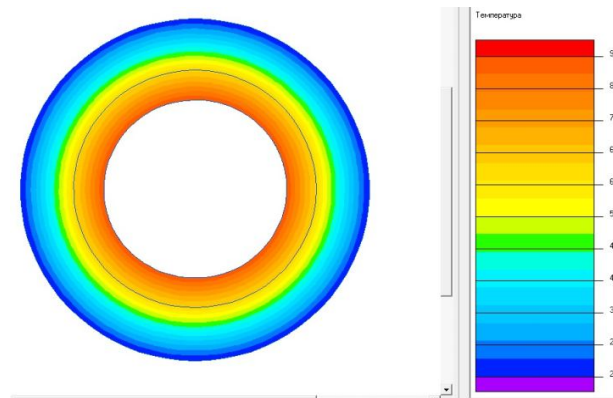


Рис. 5. Распределение температуры

На рис. 5 видно, что запас температуры изоляции составляет приблизительно 10°C для данной конструкции кабельной линии, что говорит о возможности снижения толщины изоляции, приводящей к улучшению технологичности изоляции, улучшению массо-габаритных показателей и уменьшению финансовой компоненты, что является практической ценностью данной работы. Расчеты допустимы при температуре окружающей среды, равной $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ [4,5].

Созданная математическая модель была проверена инженерным расчетом. Получена хорошая сходимость результатов исследований, проведенных различными методами. Ниже представлены расчеты по токовой нагрузке.

Сопротивление жилы переменному току определяется с учетом коэффициента поверхностного эффекта при максимальной допустимой температуре по формуле:

$$R_t = R_{ж0} \cdot (1 + \alpha(t_{max} - t_{cp})) \cdot K_y$$

Сопротивление постоянному току:

$$R_{ж0} = \rho \cdot \frac{1}{S_n} = 1,72 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1}{50 \cdot 10^{-6}} = 0,34 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

Определим средний коэффициент укрутки:

$$K_y = 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{3,14^2}{m^2} = 1 + \frac{3,14^2}{2 \cdot 20^2} = 1,012;$$

$m = 20$ – кратность скрутки;

Тогда R_t при $t_{max} = 90^{\circ}\text{C}$ будет равно:

$$R_t = 0,34 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0,0039 \cdot (90 - 20)) \cdot 1,012 = 0,44 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

R_t при $t_{max} = 80^{\circ}\text{C}$ будет равно:

$$R_t = 0,34 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 0,0039 \cdot (80 - 20)) \cdot 1,012 = 0,42 \cdot 10^{-3} \text{ Ом};$$

Тогда для кабеля переменного тока:

$$I_{max} = \sqrt{\frac{t_{max} - t_{cp} - P_{uz}(0,5 \cdot \sum S)}{R_t}};$$

Так как $P_{uz} \rightarrow 0$ мы пренебрегаем выражением $P_{uz}(0,5 \cdot \sum S)$.

Определим допустимый ток нагрузки при максимальной рабочей температуре жилы $t_{max} = 90^{\circ}\text{C}$ и температуре воздуха $t_o = 20^{\circ}\text{C}$

$$I_{lmax} = \sqrt{\frac{90 - 20}{0,44 \cdot 10^{-3}}} = 398,8 \text{ А}$$

Определим допустимый ток нагрузки при рабочей температуре жилы $t_{max} = 80^{\circ}\text{C}$ и температуре воздуха $t_o = 20^{\circ}\text{C}$

$$I_{2max} = \sqrt{\frac{80 - 20}{0,43 \cdot 10^{-3}}} = 377,9 \text{ A}$$

Разница между допустимыми токами при разных температурах составляет 20,9 А.

По результатам математического моделирования запас температуры в изоляции составил 10°C . Воспользовавшись формулой теплопроводности, была найдена разница между выделением теплоты при разных температурах кабеля. Ниже приведены расчеты.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t$$

c – удельная теплоёмкость вещества, в данном случае этиленпропиленовой резины ($1800 \text{ Дж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$).

m – масса вещества, 1 кг.

При нагреве изоляции до 90°C выделение теплоты соответствует:

$$Q_1 = 1800 \cdot 1 \cdot 90 = 162 \cdot 10^3 \text{ Дж};$$

При нагреве изоляции до 80°C выделение теплоты соответствует:

$$Q_2 = 1800 \cdot 1 \cdot 80 = 144 \cdot 10^3 \text{ Дж};$$

После нахождения выделенной теплоты, воспользуемся законом Джоуля-Ленца для определения тока при разных температурах:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Так как значения R и t постоянны, выделенное количество теплоты прямо пропорционально квадрату тока $Q \propto I^2$.

$$Q_1 = 162 \cdot 10^3 \text{ Дж} \Rightarrow I_1 = 402,5 \text{ A}$$

$$Q_2 = 144 \cdot 10^3 \text{ Дж} \Rightarrow I_2 = 379,5 \text{ A}$$

$$I_1 - I_2 = 23 \text{ A}$$

Из вышеуказанных расчетов следует вывод, что изменение в 10°C дает запас в токе примерно 23А, что позволяет увеличить энергетическую эффективность системы электропитания примерно на 10 кВт. С учетом большой протяженности кабельных линий это позволяет получить существенный эффект.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

а) запас температуры изоляции составляет 10°C , что говорит о возможности снижения толщины изоляции, позволяющей улучшить технологичность изоляции, массо-габаритные показатели и уменьшить финансовую компоненту;

б) нагрузочную способность (энергетическую эффективность) оборудования цеха возможно повысить приблизительно на 11 % за счет запаса температуры изоляции кабеля.

в) результаты математического моделирования полностью коррелируют с инженерным расчетом, что доказывает практическую применимость математической модели в реальных условиях для анализа режимов работы двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пешков И.Б. Кабельная промышленность: ситуация и перспективы развития // – М.: Электротехника. 2008. № 1. – С. 9-12.
2. Копылов И. П. Электрические машины. М.: Энергоатомиздат, 1986. 360 с.
3. <http://www.exponenta.ru/soft/others/elcut/Manual.pdf#8> ELCUT Моделирование двумерных полей методом конечных элементов.

4. Навалихина Е.Ю., Труфанова Н.М. Компьютерная модель процессов тепломассопереноса в кабельном канале при различных режимах работы кабельных линий// Фундаментальные исследования. – 2014.
5. Навалихина Е.Ю., Труфанова Н.М. Численное исследование температурного поля в кабельных линиях для анализа возможности уплотнения кабельного канала// Электротехника. – 2014.
6. Крыжановский В.К. Технические свойства полимерных материалов: Учеб.–справ. пособие – 2-е изд., испр. и доп. –СПб.: Профессия, 2005.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СОСТАВЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ПО ПОКАЗАНИЯМ ПОТРЕБЛЯЕМЫХ ТОКОВ

Сафин Н.Р., Прахт В.А., Дмитриевский В.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

Асинхронные двигатели (АД) являются приводными машинами большинства механизмов. Одним из факторов обеспечения надежной эксплуатации которых является контроль и диагностика технического состояния. АД используются во многих механизмах: вентиляторы, насосы, компрессоры, затворы и задвижки и т.д.

Вентиляторы занимают значительную долю среди эксплуатируемых турбомеханизмов. Наибольшее применение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха гражданских, общественных и промышленных зданий, в химической, добывающей, машиностроительной и других отраслях народного хозяйства получили вентиляторы центробежного типа [1]. Наличие пыли в воздухе рабочих пространств не только вредно влияет на организм обслуживающего персонала, но и усложняет работу механизмов: пыль попадает в подшипники и трущиеся части машин, вызывая их износ [2]. В случае перемещения горячих газов возможны деформация вала вентилятора и перегрев смазки, что может привести к быстрому износу и разрушению подшипников [3].

В целом, существуют несколько основных методов диагностики машин: вибрационные, электромагнитные и тепловые. Менее распространен метод диагностирования машин на основе анализа амплитудно-частотной характеристики (спектральный анализ) потребляемого тока. Преимуществом диагностики на основе анализа амплитудно-частотной характеристики потребляемого тока в отличие от вибродиагностики является возможность выполнения регистрации измеряемых параметров на кабеле без разрыва цепи питания. В ряде случаев эксплуатируемое оборудование может находиться в труднодоступном месте, поэтому применение виброакустических методов для диагностирования становится сложным. В данном случае методика диагностирования на основе спектрального анализа токов статора является альтернативным вариантом.

Гармонический состав реального спектра тока статора АД является результатом условий питания, специфики механической системы электропривода и электромагнитных явлений, происходящих в самой машине. Следует учитывать, что при диагностировании необходимо измерение спектров тока во всех фазах обмотки машины. При этом гармонические составляющие токов, характеризующие дефекты подшипников могут несколько отличаться между фазами в статоре машины. В таком

случае целесообразно использовать метод, основанный на анализе амплитудно-частотной характеристики обобщенного вектора тока статора [4]. Мгновенные значения токов фаз статора следует преобразовать обобщенным вектором тока в виде:

$$\bar{I} = \frac{2}{3}(i_a + a \cdot i_b + a^2 \cdot i_c), \quad (1)$$

i_a, i_b, i_c – мгновенные значения токов соответствующих фаз, А; $a = e^{j2\pi/3}$ и $a^2 = e^{j4\pi/3}$ – операторы.

В центробежном вентиляторе поток воздуха, под действием центробежных сил выбрасывается из него в направлении, перпендикулярном направлению потока при входе в колесо. При прохождении потока через рабочее колесо происходит увеличение энергии потока, возрастает давление и скорость его движения. Статический момент сопротивления на валу вентилятора пропорционален квадрату скорости. Основные особенности диагностики машин в составе агрегатов состоят в том, что важная диагностическая информация о состоянии агрегата может быть получена из анализа пульсаций тока приводного двигателя.

Как правило, ток статора при неисправностях подшипников двигателя содержит составляющие с частотами, равными частоте сети $f_{\omega 1}$, разности частоты сети и вращения ротора $f_{\omega 1-\omega r}$ и сумме этих частот $f_{\omega 1+\omega r}$. Частоты составляющих токов можно рассчитать по формулам:

$$f_{\omega 1-\omega r} = f_1 \left(1 - \frac{1-s}{p} \right), \quad (2)$$

$$f_{\omega 1+\omega r} = f_1 \left(1 + \frac{1-s}{p} \right), \quad (3)$$

где f_1 – частота питающей сети, Гц; s – скольжение АД; p – число пар полюсов.

Следует учитывать, что диагностика нагруженных на двигатель механизмов производится по появлению (росту) пульсирующих нагрузок на двигатель, которые приводят к появлению (росту) модуляции потребляемого тока. Признаками изменения состояния механизмов с одной линией вала в спектре тока АД могут быть [5]: периодическая амплитудная модуляция потребляемого тока частотой вращения, сопровождающихся появлением боковых составляющих у основной гармоники тока на частотах $f_1 \pm f_r$; и периодическая амплитудная модуляция потребляемого тока частотой nf_r (где n – количество лопастей рабочего колеса), сопровождающихся появлением боковых составляющих у основной гармоники тока на частотах $f_1 \pm nf_r$.

Соответственно, при неисправности рабочего колеса (дефект лопаток, дисбаланс) составляющие токов статора $f_{\omega 1 \pm n\omega r}$ для спектра обобщенного вектора тока статора можно рассчитать по формулам:

$$f_{\omega 1-n\omega r} = f_1 \left[1 - n \left(\frac{1-s}{p} \right) \right], \quad (4)$$

$$f_{\omega 1+n\omega r} = f_1 \left[1 + n \left(\frac{1-s}{p} \right) \right], \quad (5)$$

где n – количество лопаток на рабочем колесе центробежного вентилятора.

Таким образом можно допустить, что неисправность рабочего колеса способствует к увеличению гармонических составляющих токов как на частотах подшипников $f_{\omega 1 \pm \omega r}$, так и на частотах $f_{\omega 1 \pm n\omega r}$ связанных с рабочим колесом механизма.

Для проведения экспериментов была собрана экспериментальная установка (Рис. 1). Испытания проводились при работе вентилятора от электродвигателя АДМ63В2 (номинальная мощность 0,55 кВт; номинальная скорость вращения 2760 об/мин). В электродвигателе вентилятора ВЦ 4-75 используются подшипники марки 6202.



Рис. 1. Экспериментальная установка

Запись мгновенных значений токов и напряжений со временем регистрации по 10 с. выполнялась с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) (R Tech, QMS20) с частотой дискретизации 50 кГц и измерительной платы с тремя датчиками токов LEMHX 02-P и тремя датчиками напряжений LV25-PSP5.

Рассмотрим спектр (Рис. 2) гармонических составляющих тока статора с исправным и неисправным подшипником. По полученным данным можно заключить, что среди отмеченных характерных частот, определяющих дефекты подшипников выделяется частотный диапазон $f_{\omega 1 + \omega_r} = 94 \div 99.95$ Гц относительно работы АД с исправным подшипником.

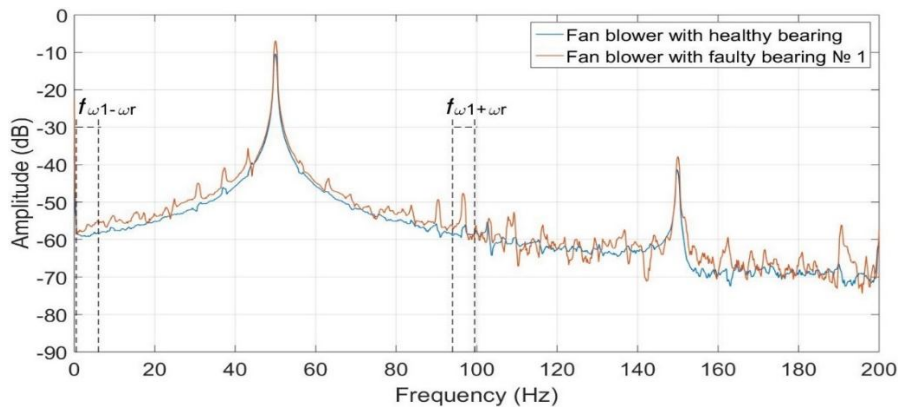


Рис. 2. Спектральная характеристика обобщенного вектора тока статора АД вентилятора ВЦ 4-75: спектральная характеристика АД с исправным подшипником; спектральная характеристика АД с неисправным подшипником

Неисправность рабочего колеса (дисбаланс) вентилятора обуславливает увеличение амплитуд гармоник токов, как на частотах $f_{\omega 1 \pm \omega_r}$, так и на частотах $f_{\omega 1 \pm n\omega_r}$ связанных с рабочим колесом механизма. Поэтому необходимо сопоставлять данные по обоим $f_{\omega 1 \pm \omega_r}$ и $f_{\omega 1 \pm n\omega_r}$ частотным диапазонам.

Рассмотрим спектр (Рис. 3) гармонических составляющих тока статора исправного двигателя и с неисправным рабочим колесом вентилятора. По полученным данным можно заключить, что среди отмеченных частотных диапазонов, наиболее явно выделяется $f_{\omega 1 + \omega_r} = 94 \div 99.95$ Гц при работе АД с неисправным рабочим колесом.

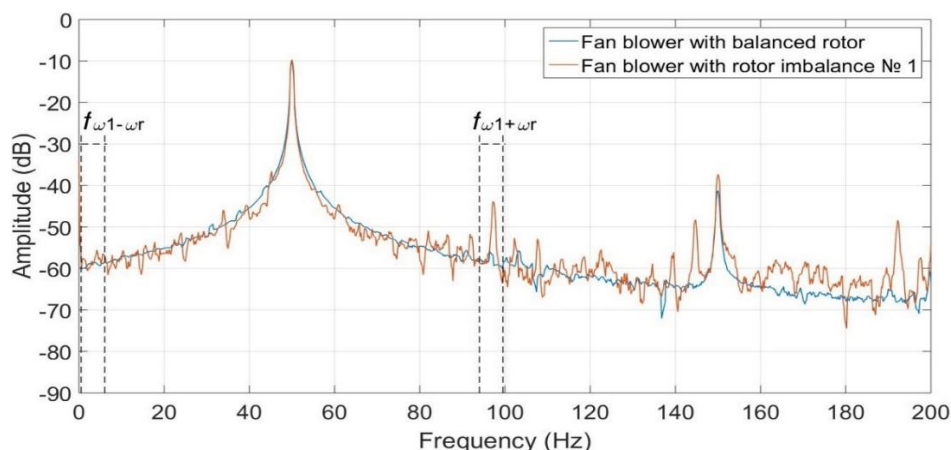


Рис. 3. Спектральная характеристика обобщенного вектора тока статора (составляющие частот $f_{\omega 1 \pm \omega r}$): спектральная характеристика АД сбалансированным ротором; спектральная характеристика АД неисправным рабочим колесом

Далее приведены (Рис. 4) спектры при работе исправного АД и с неисправным рабочим колесом, характеризующие гармоники токов в диапазонах $f_{\omega 1 - n\omega r}$ и $f_{\omega 1 + n\omega r}$. Среди спектрального состава выделяется частотный диапазон $f_{\omega 1 + n\omega r} = 578 \div 649,4$ Гц.

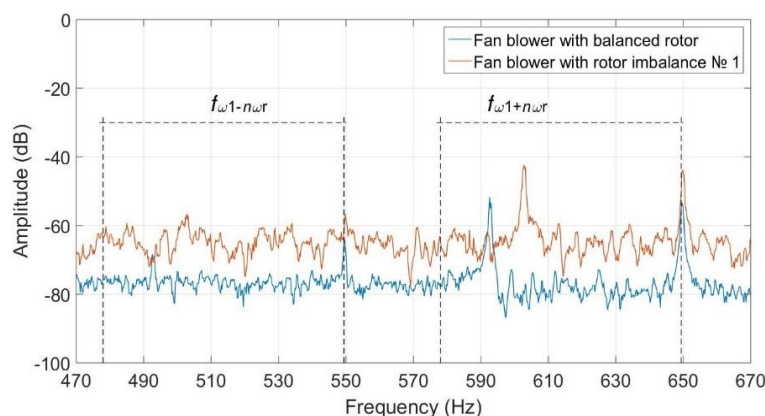


Рис. 4. Спектральная характеристика обобщенного вектора тока статора (составляющие частот $f_{\omega 1 \pm n\omega r}$): спектральная характеристика АД сбалансированным ротором; спектральная характеристика АД неисправным рабочим колесом

По результатам проведённой работы можно сделать следующие основные выводы:

- процесс диагностирования износа подшипников и неисправности рабочего колеса вентиляторов требует измерения частот амплитудной модуляции потребляемого тока и для каждой частоты модуляции необходимо измерение их величин;
- рекомендуется анализировать амплитудно-частотные характеристики для всех фаз диагностируемого механизма, в связи с этим требуется формирование обобщенного вектора тока статора;
- неисправность рабочего колеса вентилятора вызывает наибольшие изменения амплитуд гармонических составляющих, чем износ подшипников;
- спектральный анализ обобщенного вектора тока статора является полезной основой для диагностирования АД в процессе эксплуатации, при этом для обоснования точного диагноза и прогнозирования требуется также набор статистических данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головенкин А.Н. Электропривод центробежных механизмов: Учебное пособие. – Киров: Издательство ВятГУ, 2004 г. – 105 с.
2. Руденко К.Г., Калмыков А.В. Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых. – 3-е изд., перераб. И доп. – М. Недра, 1987. – 264 с.
3. Калинушкин М.П. Вентиляторные установки. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1962, - 294 с.
4. Wu L., Habetler T.G., Harley R.G. A reliable rotor eccentricity detection scheme for induction machines in the presence of a position dependent load torque oscillation // IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, SDEMPED, 2007, pp. 83-88.
5. Барков А.В., Баркова Н.А., Борисов А.А., Федорищев В.В., Грищенко Д.В. Методика диагностирования механизмов с электроприводом по потребляемому току. НОУ «Северо-Западный учебный центр», ООО «Вибротехника», Санкт-Петербург, 2012. - 67 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ НА СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ НАНОТРУБОК

Козловский А.¹, Кайканов М.², Тихонов А.³, Пономарев Д.⁴

¹Астанинский филиал института ядерной физики, Республика Казахстан, г. Астана

²Национальная лаборатория, Назарбаев университет, Республика Казахстан, г. Астана

³Школа наук и технологий, Назарбаев университет, Республика Казахстан, г. Астана

⁴Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Электронное облучение металлических наноструктур является эффективным инструментом для стимулирования контролируемой модификации структурных, оптических, электрических и магнитных свойств материалов. При облучении высокоэнергетичными электронами, которые при прохождении сквозь материал передают свою энергию атомам мишени, происходит электронное возбуждение, смещение атомов с первоначальных мест. Контроль за радиационной модификацией материалов ведется путем регулирования энергии частиц, используемых для облучения [1,2]. При взаимодействии электрона с большой энергией, сравнимой с энергией космического излучения, с наноструктурами, ей передается лишь незначительная часть энергии налетающей частицы. При этом с увеличением энергии налетающих частиц количество создаваемых носителей заряда и дефектов снижается в соответствии с уменьшением линейной передачи энергии и уменьшению сечения взаимодействия с атомами вещества наноструктур, в то время как в обычных материалах суммарное количество носителей заряда и дефектов структуры увеличивается с увеличением энергии налетающих частиц. Изменяя условия облучения, свойства материала мишени могут быть изменены в желаемом направлении. Облучение вызывает структурные изменения в материале, которые непосредственно оказывают влияние на его свойства.

Целью данной работы являлось получение Co – НТ диаметром 110 ± 5 нм и толщиной стенок ~ 20 нм методом темплатного синтеза, а также изучение влияния электронного облучения на структурные и проводящие свойства синтезированных наноструктур.

Полученные образцы были облучены на электронном ускорителе ТЭУ - 500. Поглощенная доза в образцах составляет порядка 12 кГр за импульс. Обработка

образцов производилась в атмосфере воздуха. Варьировалось количество импульсов: 5, 9, 15, 18 импульсов. Частота следования импульсов 0,3 имп./с. Максимальное количество импульсов было определено изменением прочностных свойств матриц при данной частоте следования импульсов: при более 20 импульсах образцы становились хрупкими.

Для определения влияния электронного облучения на кристаллическую структуру был проведен рентгеноструктурный анализ исследуемых образцов до и после облучения. При проведении анализа образцы находились в полимерной матрице, на дифрактограмме (рисунок 1) наблюдается широкий гало – пик $2\theta = 20 - 35^\circ$ и малый пик $2\theta = 52 - 55^\circ$, которые соответствуют аморфной структуре полимерного шаблона. Все дифрактограммы исследуемых образцов имели малоинтенсивные пики, характерные для дифракции рентгеновских лучей на наноразмерных объектах. Уширение пиков свидетельствует о поликристаллической структуре Co – НТ. Анализ рентгенограмм показал, что исходные НТ двухфазны: в спектрах НТ присутствует гранецентрированная (ГЦК) β -Co фаза и гексагональная примитивная (ГП) α -Co фаза с параметрами кристаллической решетки, отличающимися от эталонных значений.

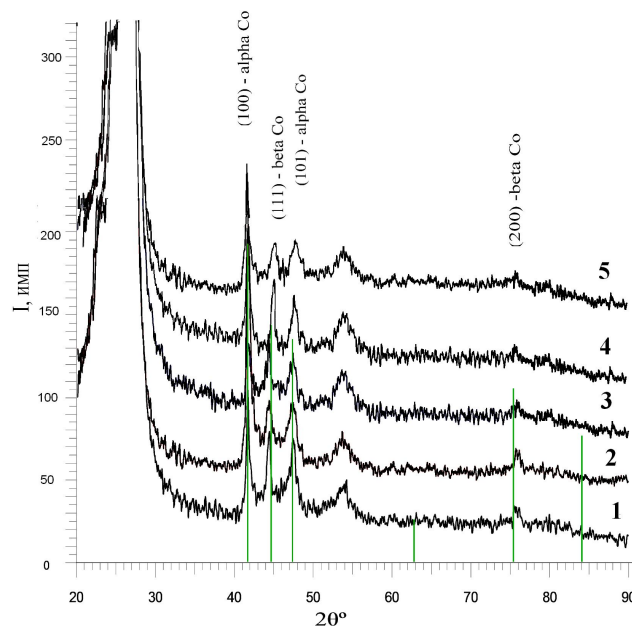


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма Co – НТ до и после облучения: 1) исходный образец; 2) доза облучения 50 кГр; 3) доза облучения 100 кГр; 4) доза облучения 150 кГр; 5) доза облучения 200 кГр

В таблице 1 представлены данные РСА, свидетельствующие об изменении параметров кристаллической решетки в процессе электронного облучения.

Как видно из данных рентгеноструктурного анализа (в соответствие с таблицей 1) с увеличением дозы облучения наблюдается увеличение параметров кристаллической решетки a и c фазы α – Co и увеличение параметра a метастабильной фазы β – Co. Уширение пиков на дифрактограммах обусловлено увеличением величины тепловых колебаний, вызванных взаимодействием налетающих электронов с кристаллической решеткой. В таблице 2 представлены результаты расчетов размеров кристаллитов по уравнению Шерера.

Таблица 1. Параметры кристаллической решетки

Доза облучения	Параметры ячейки образца	Данные по базе (№ карточки)
Исходный	β -Co ГЦК $c a = (3.5430 \pm 0.0010) \text{ \AA}$ α -Co ГП $c a = (2.5008 \pm 0.0031) \text{ \AA}$ и $c = (4.0912 \pm 0.0063) \text{ \AA}$	β -Co ГЦК № 15-0806: $a = 3,544 \text{ \AA}$ α -Co ГП № 01-1278: $a = 2,514 \text{ \AA}$ и $c = 4,105 \text{ \AA}$
50 кГр	β -Co ГЦК $c a = (3.5422 \pm 0.0015) \text{ \AA}$ α -Co ГП $c a = (2.5014 \pm 0.0025) \text{ \AA}$ и $c = (4.0915 \pm 0.0013) \text{ \AA}$	
100 кГр	β -Co ГЦК $c a = (3.5534 \pm 0.0011) \text{ \AA}$ α -Co ГП $c a = (2.5301 \pm 0.0015) \text{ \AA}$ и $c = (4.1914 \pm 0.0011) \text{ \AA}$	
150 кГр	β -Co ГЦК $c a = (3.6441 \pm 0.0009) \text{ \AA}$ α -Co ГП $c a = (2.4971 \pm 0.0011) \text{ \AA}$ и $c = (4.3899 \pm 0.0013) \text{ \AA}$	
200 кГр	β -Co ГЦК $c a = (4,5141 \pm 0,0010) \text{ \AA}$ α -Co ГП $c a = (3,2873 \pm 0,0008) \text{ \AA}$ и $c = (5,0297 \pm 0,0017) \text{ \AA}$	

Таблица 2. Расчетные размеры кристаллитов

2 Theta, degrees	Размер кристаллитов, нм				
	Исходный	50 кГр	100 кГр	150 кГр	200 кГр
41.716	25.95	23.73	22.12	21.25	43.13
44.240	23.13	16.13	17.79	17.34	38.14
47.408	21.52	22.42	19.29	19.52	29.23
75.534	25.51	24.52	22.21	23.12	27.11

С увеличением дозы облучения размер кристаллитов уменьшается для доз 50, 100 и 150 кГр, что может быть обусловлено перестройкой кристаллической структуры, а также изменению степени текстурирования нанотрубок. При 200 кГр наблюдается резкое увеличение размеров кристаллитов, что может быть обусловлено аморфизацией структуры в процессе облучения.

Таким образом, в результате облучения низкоэнергетичными электронами при больших дозах наблюдается аморфизация структуры, что может быть обусловлено локальным нагревом наноструктур в результате облучения, которое приводит к частичному разрушению нанотрубок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kalska-Szostko B., Orzechowska E., Wykowska U. Organophosphorous modifications of multifunctional magnetic nanowires. // Colloids Surfaces B Biointerfaces. – 2013. – V.111. – P.509–516.
2. Sehayek T., Lahav M., Popovitz-Biro R., Vaskevich A., Rubinstein I. Template synthesis of nanotubes by room-temperature coalescence of metal nanoparticles // Chem. Mater. – 2005. – V.17. – P. 3743.

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В ПАКЕТЕ LABVIEW

Ланкина М.Ю., Ланкина Ю.К., Клименко О.Д.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
 имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Целью исследования является разработка программы – эмулятора для реализации процессов, протекающих в электротехническом устройстве. Эмулятор написан в программном пакете Labview. Он позволяет определять гармонический состав тока протекающего в катушке электротехнического устройства, если известны амплитуда и частота напряжения подаваемого на катушку, а также вебер-амперная характеристика, заданная в виде полинома.

Электротехнические устройства (электромагниты, электромагнитные реле, двигатели) имеют подвижную и неподвижную части магнитопровода и как минимум одну рабочую катушку [1-3]. В ходе их эксплуатации в рабочей катушке протекает ток, создается рабочий магнитный поток в неподвижной части магнитопровода, приводящий в движение подвижную его часть. Величина магнитного потока определяется магнитными свойствами и конструкцией частей магнитопровода, количеством витков в рабочей катушке и величиной протекающего тока. В случае подключения электротехнического устройства к источнику синусоидального напряжения, ток протекающий по рабочей катушке, в виду нелинейности магнитной характеристики материала магнитопровода будет не синусоидальным.

Запишем уравнение цепи с нелинейной индуктивностью, обладающей активным сопротивлением R :

$$u(t) = Ri + \frac{d\Phi}{dt}.$$

где $u(t) = U_a \sin(\omega t)$ – напряжение приложенное к нелинейной индуктивности, U_a – амплитуда напряжения, $i(t) = \sum_{m=1}^n I_{(2m-1)} \sin((2m-1)\omega t)$ – ток протекающий в рабочей катушке, $I_{(2m-1)}$ – амплитуда $(2m-1)$ -ой гармоники тока, n – количество гармоник тока, $\Phi(i) = \sum_{m=1}^n k_{(2m-1)} i^{2m-1}$ – вебер - амперная характеристика нелинейной индуктивности.

Перепишем его с учетом выражений для тока, напряжения и вебер - амперной характеристики нелинейной индуктивности:

$$U_a \sin \omega t = R \sum_{m=1}^n I_{(2m-1)} \sin((2m-1)\omega t) + \frac{d \sum_{m=1}^n k_{(2m-1)} (I_{(2m-1)} \sin(2m-1)t\omega)^{2m-1}}{dt}.$$

При решении задачи определения вебер-амперной характеристики электротехнических устройств [4] возникает необходимость иметь его модель. В статье представлена реализация такой модели построенной в программном пакете Labview.

Функциональная схема программы –эмулятора приведена на рисунке 1.

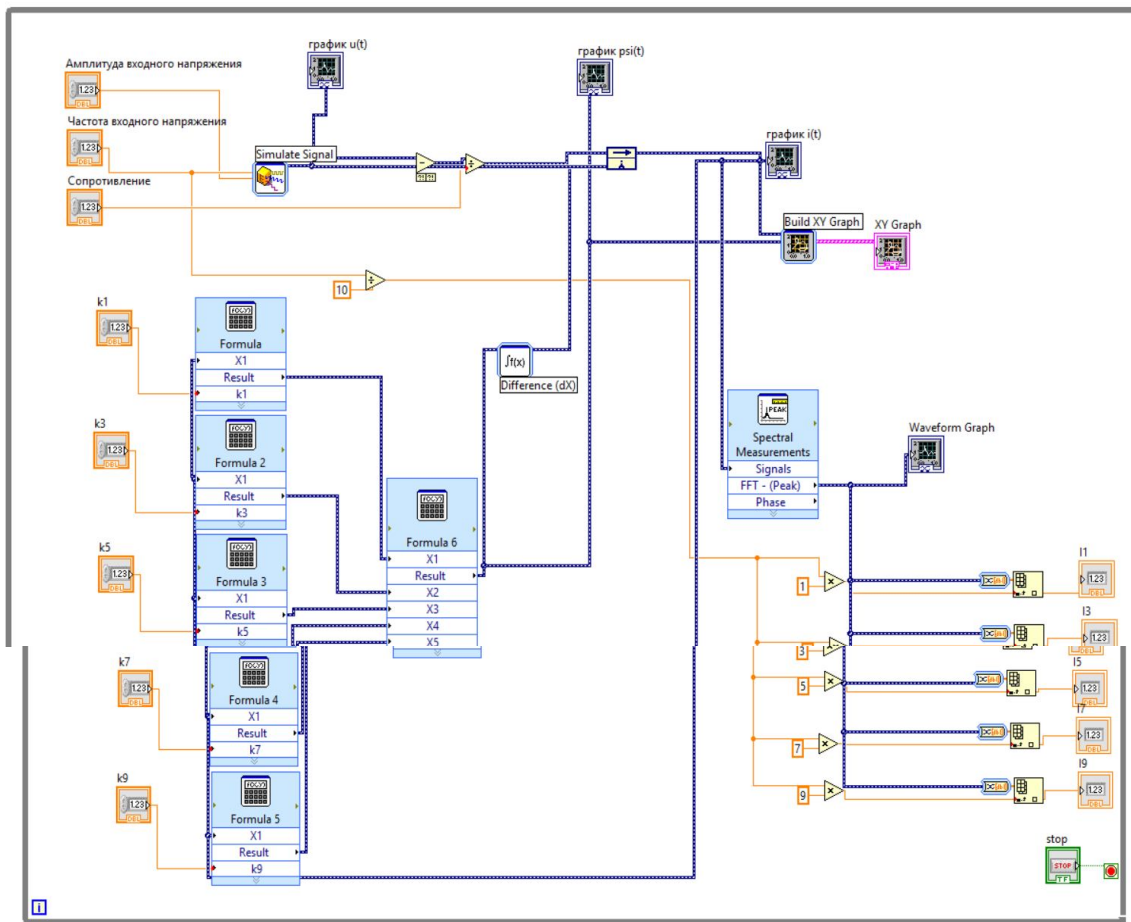


Рис. 1. Функциональная схема программы-эмулятора в пакете Labview

Функциональная схема состоит из блоков ввода исходных данных, вычислительных блоков, блоков вывода результатов и блоков графического отображения процессов протекающих в модели электротехнического устройства.

Для работы программы-эмулятора необходимо ввести исходные данные: амплитуду U_a , и частоту ω входного напряжения, а так же коэффициенты аппроксимации вебер-амперной характеристики $k_{(2m-1)}$. На выходе программы-эмулятора формируются значения гармоник тока $I_{(2m-1)}$, изображения графиков изменения напряжения $u(t)$, тока $i(t)$, потока $\psi(t)$, вебер-амперная характеристика XY Graph и спектрограмма тока Waveform Graph.

На рисунке 2 приведен внешний вид пользовательского интерфейса программы-эмулятора.

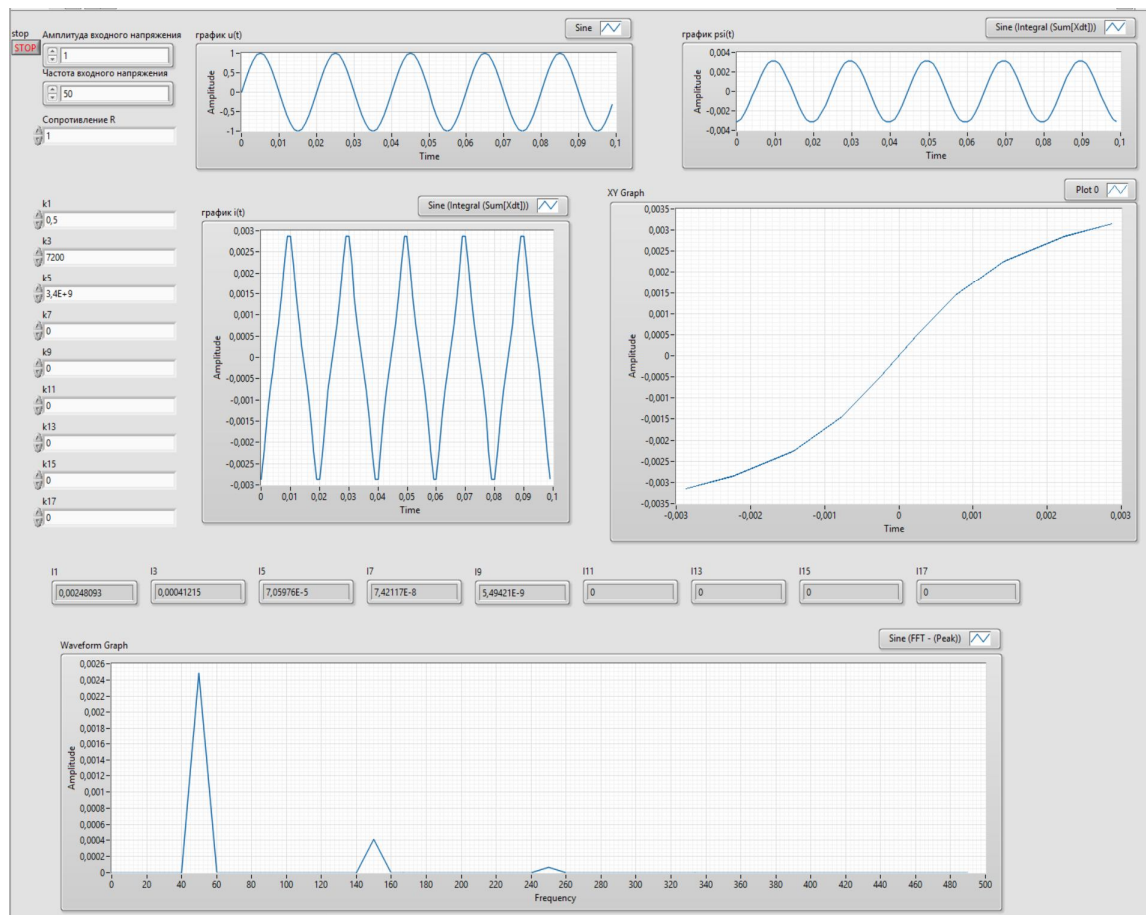


Рис. 2. Пользовательский интерфейс программы-эмулятора

При работе пользователя с интерфейсом программы необходимо ввести исходные данные в поля «Амплитуда входного напряжения», «Частота входного напряжения», k_1 , k_3 , k_5 , k_7 , k_9 , k_{11} , k_{13} , k_{15} , k_{17} и наблюдать за графическим отображением процессов протекающих в электротехническом устройстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gorbatenko N.I., Lankin A.M., Lankin M.V., Shayhutdinov D.V. Determination of weber-ampere characteristic for electrical devices based on the solution of harmonic balance inverse problem / International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т. 10. № 3. С. 6509-6519.
2. Lankin Anton Mikhailovich, Lankin Mikhail Vladimirovich, Gorbatenko Nikolay Ivanovich, Shaykhutdinov Danil Vadimovich. Determination of Weber-Ampere Characteristics of Electric Devices Using Solution of Inverse Problem of Harmonic Balance. Modern Applied Science; Vol. 9, No. 8; 2015.
3. Ланкин А.М., Ланкин М.В., Кучеров В.А., Наугольников О.А Применение алгоритма натурно-модельных испытаний для диагностики электротехнических систем // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – URL: <http://www.science-education.ru/125-19975>
4. Горбатенко Н. И., Ланкин М. В. Информационно-измерительная система для испытания постоянных магнитов// Электротехника. – 2004. – N8. – С.55-58.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО - РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Брюханов А.О. , Шилин А.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Здоровье людей, а также результативность их работы зависит от точной работы вентиляционной системы. На многих современных производствах необходимо формирование устойчивого микроклимата, и его изменение сразу же сказывается на выпуске продукции. Данная деятельность посвящена исследованию частотно-регулируемого электропривода вентиляторной установки. Целью данной работы является разработка и исследование вентиляторной установки, которая входит в состав лабораторного стенда для имитации потока газовой среды.

Исследования проводились на стенде с двумя асинхронными двигателями, двумя центробежными вентиляторами, датчик давления, датчик расхода газа, датчика температуры. Показания снимались при помощи блока контроля теплоты микропроцессорный.

Датчик расхода состоит из первичного смонтированного на нем электронного преобразователя и преобразователя расхода. Электронный преобразователь состоит из корпуса, в котором расположены плата преобразования и плата коммутации.

Датчик расхода работает следующим образом. Набегающий поток газа образует за телом обтекания, находящимся в проточной части первичного преобразователя расхода, дорожку, характеризующуюся местными завихрениями в потоке. Частота срыва вихрей с тела обтекания пропорциональна скорости потока газа. У верхнего торца тела обтекания установлены два чувствительных элемента, воспринимающие пульсации давления при срыве очередного вихря.

Плата преобразования датчика расхода осуществляет усиление, фильтрацию, масштабирование и обработку по заданному алгоритму сигналов с пьезоэлектрических датчиков давления и формирует импульсный и токовый выходные информационные сигналы.

Датчики температуры предназначены для измерения температуры газообразных, жидких, сыпучих веществ, не разрушающих материал защитной арматуры.

Применяются в системах автоматического контроля и регулирования температуры на объектах энергетики, нефтяной, газовой, горнодобывающей промышленности и других.

Преобразователи нужны для непрерывного преобразования давления газообразных и жидких некристаллизующихся сред в электрический унифицированный аналоговый выходной сигнал постоянного тока.

Блок контроля теплоты микропроцессорный предназначен для преобразования входной информации о параметрах газа и вычисления на их основе объемного расхода и объема газа, приведенного к стандартным условиям, в составе счетчика газа вихревого на промышленных объектах и предприятиях коммунально-бытового назначения.

MICROMASTER 440 предназначен для решения многочисленных задач, требующих применения приводов с большим диапазоном регулирования. Его гибкость обеспечивает широкий спектр применений. Лучше всего он подходит для использования на транспортерах, на экструдерах, в пищевой промышленности, в производстве по разливу напитков, в упаковочной и текстильной промышленности. Преобразователь отличается высокой производительностью и комфортабельному

использованию. Преобразователь выпускается для большого диапазона сетевого напряжения, что позволяет использовать его в любой части света.

Преобразователи снабжены микропроцессорной системой управления и применяют самые современные технологии с IGBT модулями - транзисторами.

Вследствие этого преобразователи надежны и разнообразны. Оригинальный способ широтно-импульсной модуляции с выбором частоты коммутации дает возможность бесшумной работы электродвигателя. Обширные функции защиты обеспечивают эффективную защиту преобразователя и электродвигателя.

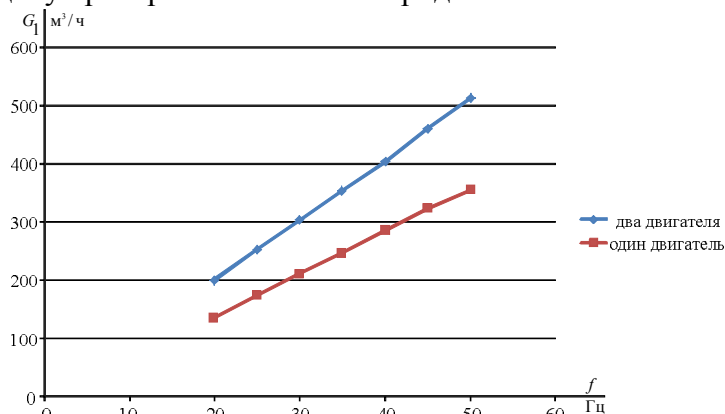


Рис. 1. Зависимость расхода от частоты тока статора

При использовании двух двигателей расход вентилятора существенно выше, чем при использовании одного двигателя. Этот способ регулирования можно отнести к качественному методу регулирования вентилятора. Качественное регулирование происходит за счет увеличения числа оборотов двигателя. Производительность возрастет пропорционально первой степени увеличения числа оборотов. Производительность вентилятора определяют исходя из необходимого расхода воздуха. Из графиков видно, что при увеличении числа оборотов двигателя расход увеличивается пропорционально. При использовании двух двигателей расход увеличивается на 32 %. Дроссельное регулирование происходит за счет постоянной частоты вращения вала двигателя.

Регулирование заключается в искусственном введении в сеть дополнительного гидравлического сопротивления. При этом изменяется характеристика сети, но не изменяется характеристика двигателя. Регулирующими устройствами, дросселирующими сеть, могут быть клапаны, задвижки, диафрагмы и другие устройства.

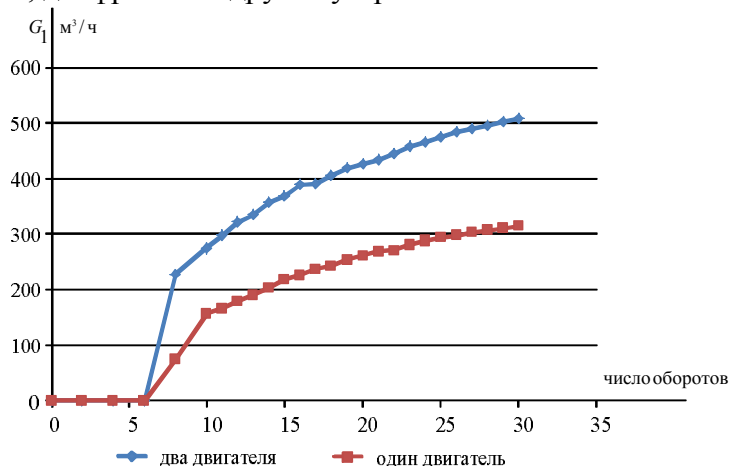


Рис. 2. Зависимость расхода вентилятора от затвора

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

Результат работы вентиляционной системы зависит от работы вентилятора, перемещающего воздух либо другую газовую среду. Наблюдения за вентиляционными системами показали, что во многих случаях система работает плохо не из-за низкого качества изготовления вентилятора, а из-за недостаточно правильного его выбора, сделанного без учета особенностей работы вентилятора в сети. В свою очередь, неверно выбранный вентилятор зачастую эксплуатируется при более низком коэффициенте полезного действия, что приводит к лишнему расходу электричества. Если учесть, что вентиляторы общего назначения, которые применяются в системах вентиляции, кондиционирования и аспирации, потребляют не менее 4% всей вырабатываемой в стране электроэнергии, то необходимость правильного выбора вентилятора и обеспечения его работы при надлежащем коэффициенте полезного действия становится совершенно тривиальной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калинушкин М. П. Вентиляторные установки, М.: «Высшая школа», 1962. - 294 с.
2. <http://poldnic.ru/interesnoe/2249-istoriya-sozdaniya-ventilyatora.html>
3. Вахвахов Г. Г. Работа вентиляторов в сети. М., Стройиздат, 1975. - 101 с

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Олиферович Н.М., Кашкан М.А., Гречная Т.А.

Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
г.Минск

Большинство технологических объектов управления, особенно связанных с процессами тепло- и массообмена, изменяют свои свойства в процессе эксплуатации. Это обусловлено как распределенностью параметров температуры и концентрации, так и нелинейными свойствами этих процессов. Особенно это касается объектов с широким диапазоном регулирования. Такими объектами, к примеру, являются системы поддержания климата в жилых и административных зданиях, весьма популярные на сегодняшний день. Коэффициенты эквивалентных передаточных функций по каналам стабилизации могут изменять значения на порядок. Найти в таких условиях робастные настройки регулятора, которые обеспечат приемлемое качество переходного процесса, практически не возможно. Для поддержания стабильности технологических режимов требуется одновременно с регулированием проводить идентификацию параметров объекта управления. Организация периодических активных экспериментов сопряжена с большими экономическими затратами. В то же время, пассивные эксперименты на основании корреляционного анализа не всегда позволяют обеспечить определение передаточных функция объекта с приемлемой точностью, ввиду влияния метрологических свойств каналов информации. Кроме этого, они не пригодны для относительно быстрых изменений объектов управления.

На практике широкую популярность нашли системы идентификации реального времени на основе постоянной генерации по каналу управления (или задания) ступенчатого сигнала, который имитирует проведение активного эксперимента. Однако следует учитывать, что данный подход сопряжен с рядом проблем. Реальная разрядность

промышленных контроллеров находится в районе 12-bit, а часто и 10-bit, с другой стороны технологический регламент не допускает существенных колебаний технологических параметров. Поэтому такая идентификация может приводить к большим погрешностям.

С целью определения динамических характеристик технологических процессов предлагается воздействовать на объект смесью гармонических сигналов, выбранных таким образом, чтобы они находились в области значительных изменений амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), и, в то же время, вторичные гармоники, которые образуются при прохождении сигнала через выходной цифро-аналоговый и входной аналогово-цифровой преобразователи, по минимуму попадали в спектр других гармонических сигналов. Выделение сигнала предполагается производить путем квадратурной демодуляции.

С целью сравнения возможностей определения в реальном времени динамики технологических объектов в условиях ограничения на количество разрядов на выходе, проведено математическое моделирование в Matlab гармонической (ГИ) и меандровой (МИ) идентификации. В качестве объекта был выбран апериодический объект третьего порядка с постоянными временами 150 с; 50 с; 16,7 с.

Для данного объекта были найдены настройки регулятора с использованием минимизации критерия с расчетом на отсутствие колебательности переходного процесса (рис. 1).

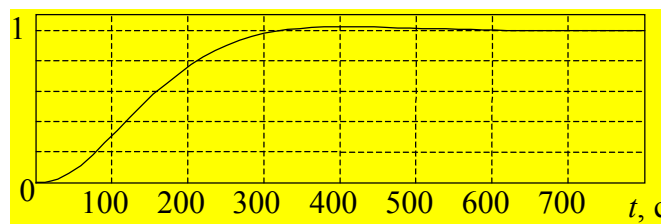


Рис. 1. Переходной процесс объекта управления

При выборе контрольных гармоник (КГ) руководствовались диапазоном частотной характеристики, при котором происходят максимальные изменения коэффициента передачи частотной характеристики объекта.

Первоначально выбиралась самая высокочастотная КГ1, затем более низкочастотная, такая, чтобы высокочастотная КГ находилась между вторичными гармониками низкочастотной. Далее выбиралась еще более низкочастотная, опять же с условием отдаления ее спектра от уже выбранных, в частности, в эксперименте использовались КГ с частотами 0,274; 1,23; 2,03; 3,52 МГц.

Частота меандрового сигнала была выбрана из условия выхода объекта на стационарное состояние с погрешностью не выше 0,5 % и составила 0,2604 МГц. В ходе эксперимента определяемые гармоники меандрового сигнала (МС) выбирали исходя из близости к КГ гармонической идентификации, в частности 1, 5, 8 и 14. Амплитуда МС ± 1 .

Амплитуды КГ подбирались таким образом, чтобы на выходе путем перерасчета получались одинаковые значения, исходя из коэффициентов передачи по АЧХ объекта.

Производился отдельный анализ возможности идентификации объекта при отсутствии обратной связи и с обратной связью, при добавлении тестового сигнала (ТС) после регулятора либо по каналу задания (SP) (рис. 2).

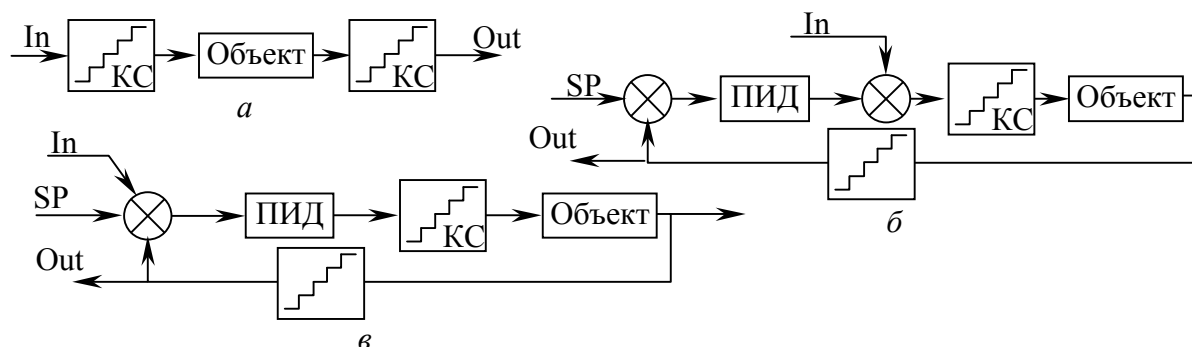


Рис. 2. Структуры моделирования а – при отсутствии обратной связи (S1); б – с обратной связью, при подаче ТС после регулятора (S2); в – с обратной связью, при подаче ТС по каналу задания (S3); In – точка приложения ТС; Out – выходной сигнал для анализа

Уровень квантователя (разница между соседними значениями) менялся синхронно на входе и на выходе с выбором точек по логорифмической зависимости от минимальных значений до 0,514, т.е. немного больше уровня половины МС. Моделирование ГИ и МИ производилось при одном уровне квантователя в рамках одной модели Simulink для обеспечения одинаковой точности. Моделирование проводилось на промежутке достаточном для выхода сигналов квадратурных демодуляторов на стационарное значение. Амплитуда и фаза сигналов определялась как среднее значение последних 1000 точек. Также производилась оценка дисперсии значений.

Результаты (табл. 1 – табл. 3) оценивались по отношению к амплитуде (фазе) гармоники, полученной из линейной структуры.

Таблица 1. Максимальный уровень квантования для обеспечения точности 0,5% по амплитуде

	КГ1	КГ2	КГ3	КГ4
ГИ – S1	0,514	0,514	0,514	0,514
ГИ – S2	0,514	0,514	0,514	0,514
ГИ – S3	0,514	0,514	0,514	0,256
МИ – S1	0,008	0,008	0,256	0
МИ – S2	0,032	0,096	0,096	0,064
МИ – S3	0,514	0,192	0,384	0,064

В таблицах значение 0,514 говорит о том, что точность в 0,5% обеспечивалась на всем диапазоне исследований. Таблица для дисперсии амплитуды не приводится, поскольку во всех случаях и для всех гармоник отличия от линейно системы не превышали 0,5%.

Таблица 2. Максимальный уровень квантования для обеспечения точности 0,5% по фазе

Тип	КГ1	КГ2	КГ3	КГ4
ГИ – S1	0,514	0,256	0,514	0,256
ГИ – S2	0,514	0,384	0,384	0,384
ГИ – S3	0,514	0,192	0,514	0,514
МИ – S1	0,064	0,008	0	0
МИ – S2	0,008	0,514	0	0
МИ – S3	0,032	0,004	0	0

Таблица 3. Максимальный уровень квантования при котором дисперсия фазы меньше 0,5%

Тип	КГ1	КГ2	КГ3	КГ4
ГИ – S1	0,514	0,514	0,514	0,384
ГИ – S2	0,384	0,514	0,514	0,514
ГИ – S3	0,514	0,514	0,514	0,514
МИ – S1	0,514	0,514	0	0
МИ – S2	0,514	0,514	0,096	0
МИ – S3	0,514	0,514	0	0

Анализ результатов показывает, что предложенный способ ГИ имеет большую точность в определении динамики в режиме реального времени. Из всех структур наилучшую точность показывает вариант идентификации без обратной связи S1. Наихудшие показатели – в случае воздействия на объект по каналу задания. Наличие обратной связи существенно влияет на форму сигналов, которые поступает на вход контроллера для анализа. Если для структуры S1 выход мало отличается от фрагмента показанного на рис. 6 (только высокочастотные составляющие теряют амплитуду больше чем низкочастотные), то S2 вносит значительные изменения в форму сигнала (рис. 8) и затрудняет анализ. Наибольшее уменьшение мощности отклонения выходного сигнала происходит в S2, вследствие его подавления обратной связью с регулятором.

СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР С БЛОКОМ НАГРЕВА ЖИДКОСТИ

Литовец А.В., Сериков А.В.

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,
г. Комсомольск-на-Амуре

В современном мире электрическая энергия используется практически во всех сферах человеческой деятельности и имеет разнообразное применение. Этот уникальный вид энергии достаточно просто и эффективно можно передавать на большие расстояния и преобразовывать в другие виды энергии (механическую, тепловую и т.п.). Для передачи электрической энергии от места ее производства до точки потребления в электроэнергетических системах требуется многократная трансформация с помощью понижающих и повышающих силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Причем количество трансформаторов и их суммарная мощность может в несколько раз превышать число и установленную мощность генераторов электрической энергии. Только на подстанциях 35...750 кВ в энергосистемах России работает около двух с половиной тысяч силовых трансформаторов и автотрансформаторов общей мощностью более 580 тыс. МВ·А, что почти втрое больше установленной мощности электростанций [1].

Несмотря на высокий коэффициент полезного действия силового трансформатора, общие потери электрической энергии с учетом необходимости многократной трансформации напряжения на пути от генератора до потребителя являются значительными. Основными потерями энергии в трансформаторе являются потери холостого хода и короткого замыкания. Причем относительный уровень этих потерь растет с уменьшением мощности силового трансформатора. Менее мощные трансформаторы в большом количестве обычно устанавливаются на значительном удалении от электростанций. Причем потери, отнесенные к единице мощности, а также

стоимость этих потерь возрастают. Так силовой трансформатор типа ТМ мощностью 400 кВ·А имеет потери холостого хода 900 Вт и потери короткого замыкания 5500 Вт, а у трансформатора мощностью 6300 кВ·А потери холостого хода могут составлять 7,4 кВт и потери короткого замыкания 46,5 кВт[2]. Все эти потери в виде тепла от активных частей трансформатора с помощью системы охлаждения рассеиваются в окружающую среду.

Силовые трансформаторы устанавливаются на трансформаторных подстанциях и могут размещаться рядом с отдельно стоящими производственными или служебными зданиями, а также внутри помещений. Например, комплектная трансформаторная подстанция обычно устанавливается на полу цеха. Зачастую трансформаторные подстанции удалены от централизованных систем теплообеспечения и для получения тепловой энергии, например, для создания комфортных условий персоналу диспетчерского пункта или производственного цеха, используется дорогостоящая электрическая энергия.

В работе предложено повысить энергоэффективность эксплуатации силового трансформатора за счет полезного использования части потерь для целей отопления и горячего водоснабжения объектов, удаленных от централизованных систем теплоснабжения. Для этих целей в конструкции трансформатора (рис. 1) предусмотрен нагревательный блок 1, состоящий из нагревательного контура 2, корпуса 3, входного 4 и выходного 5 патрубков для циркуляции теплоносителя и силовых полупроводниковых вентилях 6, осуществляющих включение и отключение обмотки нагревательного блока[3].

Нагревательный контур может располагаться концентрически по отношению к обмоткам силового трансформатора и представляет собой цилиндр из электропроводного немагнитного материала, разрезанный вдоль по образующей. Для создания замкнутого электрического контура прилегающие стороны электропроводного цилиндра замыкаются при помощи включенных встречно-параллельно пары вентилях, которые образуют вентильную группу. Число вентильных групп по высоте цилиндра может быть несколько, что способствует более равномерному распределению потерь в цилиндрах при протекании электрического тока и снижению величины этого тока через отдельный вентиль. В качестве вентильных приборов можно использовать тиристоры, симисторы, IGBT транзисторы или модули и т.п. Протекающий по нагревательному блоку теплоноситель часть тепловой энергии отбирает от нагретого трансформаторного масла. Для получения на выходе необходимой температуры теплоносителя может включаться нагревательный контур с помощью управляемых вентильных групп. Входной и выходной патрубки нагревательного блока подключаются к системе теплоснабжения и горячего водоснабжения объекта.

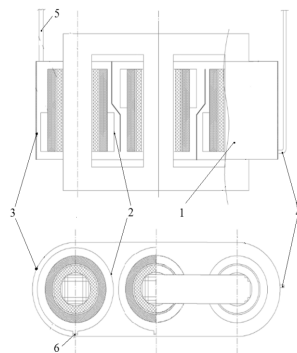


Рис. 1. Активная часть силового трансформатора с блоком нагрева жидкости

Таким образом, предложенное техническое решение позволяет полезно использовать потери силового трансформатора для нагрева теплоносителя. При этом улучшается тепловой режим эксплуатации силового трансформатора. Кроме этого, при низкой температуре окружающей среды и малой загрузки трансформатора значительно увеличивается вязкость трансформаторного масла, что сказывается на эффективности охлаждения. Этот факт может привести при резком подключении к трансформатору большой нагрузки к локальным перегревам изоляции и к значительному сокращению ее ресурса. В предложенной конструкции работа нагревательного блока позволяет стабилизировать вязкость трансформаторного масла и обеспечить расчетные условия охлаждения силового трансформатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы современной энергетика. Т. 2 Современная электроэнергетика / под ред. проф. А.П. Бурмана, В.А. Строева. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 632 с.
2. Каталог продукции ООО «Электротехническая компания «Биробиджанский завод силовых трансформаторов». – URL: <http://www.birzst.ru/index.php/catalog/transformatory/item/8-tm-klassa-napryazheniya-6-10-kv> (дата обращения 17.10.2016).
3. Устройство для преобразования энергии с регулируемым нагревом жидкости: пат.на полезную модель № 160354 Рос. Федерация. / А.В.. Сериков, А.В. Литовец. № 2015114276/02; заявл. 16.04.15; опубл. 20.03.16, Бюл. № 8. – 3 с.

ТУРБОГЕНЕРАТОР ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Хоанг Чонг Хуи

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Автономные электростанции широко применяются в строительстве, сельском и коммунальном хозяйствах, в промышленности, то есть там, где основная сеть общего назначения удалена, работает с перебоями или имеется нехватка выделяемой мощности сети. Генератор, вырабатывающий энергию и обеспечивающий потребителей, является самой важной частью в автономных системах электроснабжения. В практике наибольшее применение нашли системы паротурбогенераторного типа.

Преимуществами паротурбогенератора являются следующие:

- относительная простота конструкции;
- надёжность в эксплуатации;
- сравнительно малые габариты;
- большой ресурс до капитального ремонта;
- надёжность работы без обслуживания в отдаленных районах;
- малые капитальные затраты на монтаж и ввод в эксплуатацию;
- отсутствие редуктора между турбиной и приводимым механизмом, что повышает надёжность работы и снижает уровень шума;
- незначительная длина установки;
- возможность плавного регулирования вращения вала
- малая удельная масса и универсальность;
- большой срок службы и малый срок окупаемости.

Недостатками паротурбогенератора являются следующие:

- крайне низкий КПД;
- высокая пожароопасность;
- высокая трудоёмкость ремонта.

Схема электростанция представлена на рисунке 1.

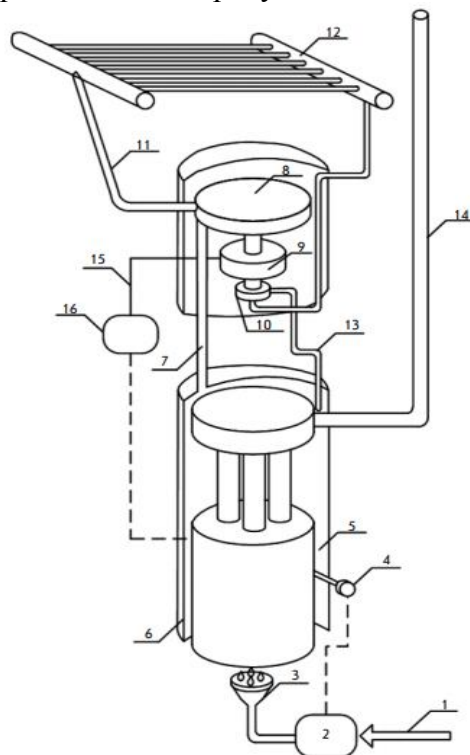


Рис. 1. Комплексная система автономной электростанции с паротурбогенератором: 1 – подвод топлива; 2 – панель управления подачей горючего; 3 – горелка; 4 – термостат; 5 – органическая жидкость; 6 – паровая машина; 7 – пар; 8 – турбина; 9 – генератор переменного тока; 10 – насос; 11 – подача пара в конденсатор; 12 – конденсатор; 13 – вывод конденсата; 14 – дымовая труба; 15 – кабели входа переменного тока к выпрямителю; 16 – электрический щит

Дальнейшее улучшение показателей автономной электростанции связано совершенствованием генератора. В настоящее время, наибольшее применение нашли индукторные генераторы различных типов (рис.2), так как они обладают конструктивной простотой, высокой надежностью, достаточно высокой частотой вращения *ротора*. Кроме того, в индукторных генераторах легко регулировать напряжение.

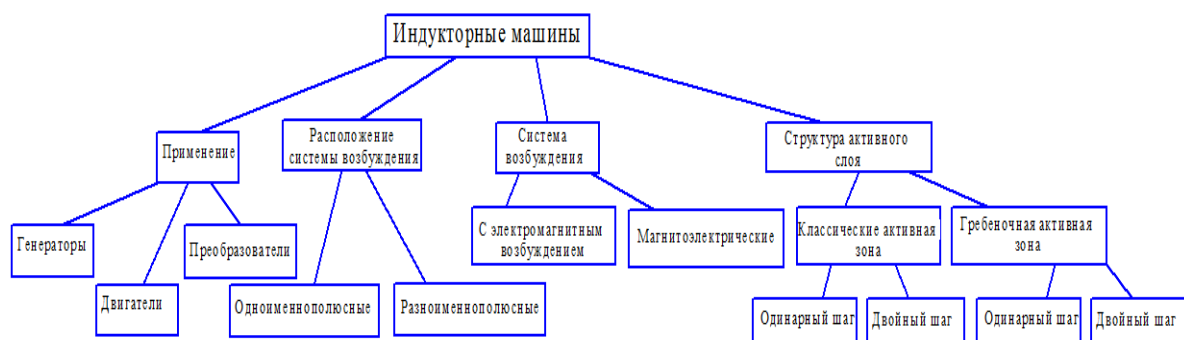


Рис. 2. Классификация индукторных машин

В ОАО «Томский Электромеханический Завод» предложена двухпакетная одноименнополюсная конструкция генератора (рис. 3).

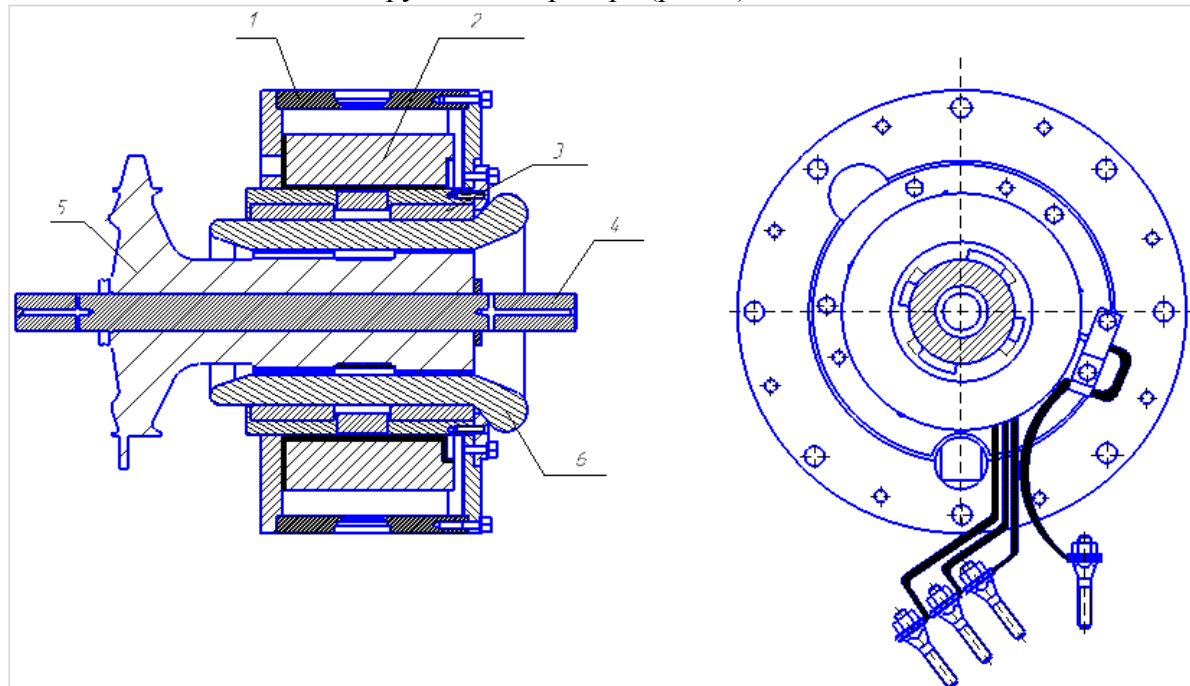


Рис. 3. Конструкция генератора ОАО «ТЭМЗ»: 1 – корпус; 2 – обмотка возбуждения; 3 – пакет статора; 4 – вал; 5 – турбина (ротор); 6 – катушка статора

Преимуществами этой конструкции генератора по сравнению с другим индукторными генераторами являются следующие:

- обмотка возбуждения не размещается на сердечнике статора генератора, поэтому упрощена конструкция статора генератора.
- турбиной является массивный ротор генератора, которая непосредственно напрессована на вал для уменьшения шума и вибрации.

В результатах проектирования нами получены характеристики индукторного генератора предложенной конструкции (рис.4, рис. 5).

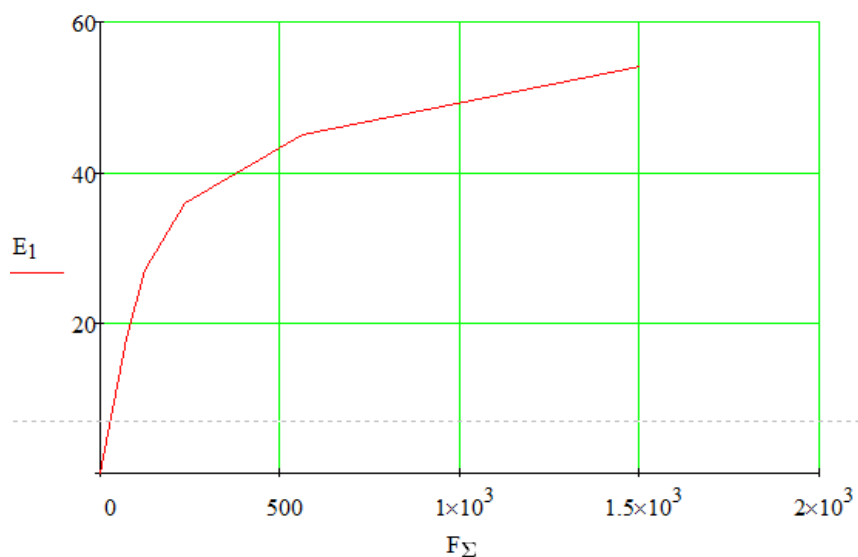


Рис. 4. Характеристика холостого хода генератора

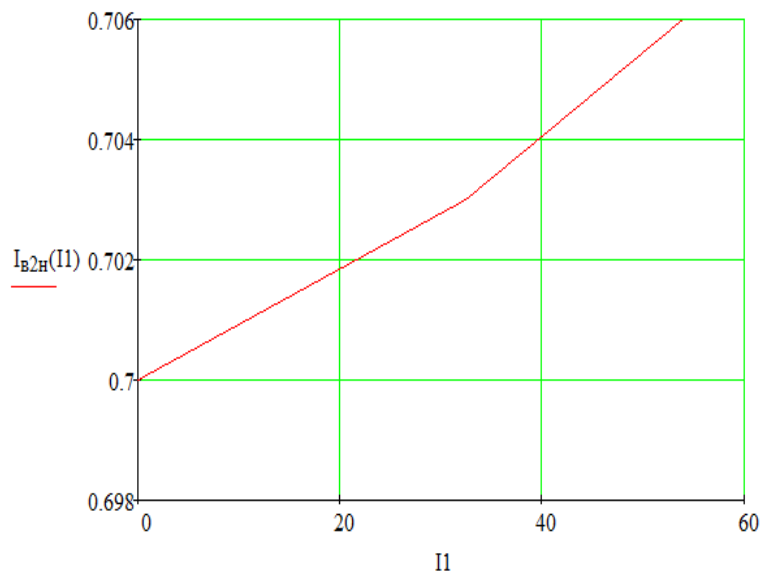


Рис. 5. Регулировочная характеристика генератора

С помощью численных методов расчета, основанных на методе конечных элементов, проведен анализ температурного поля рассматриваемого генератора при номинальном режиме. Полученная на основе программы ELCUT картина температурного поля генератора представлена на рисунке 6.

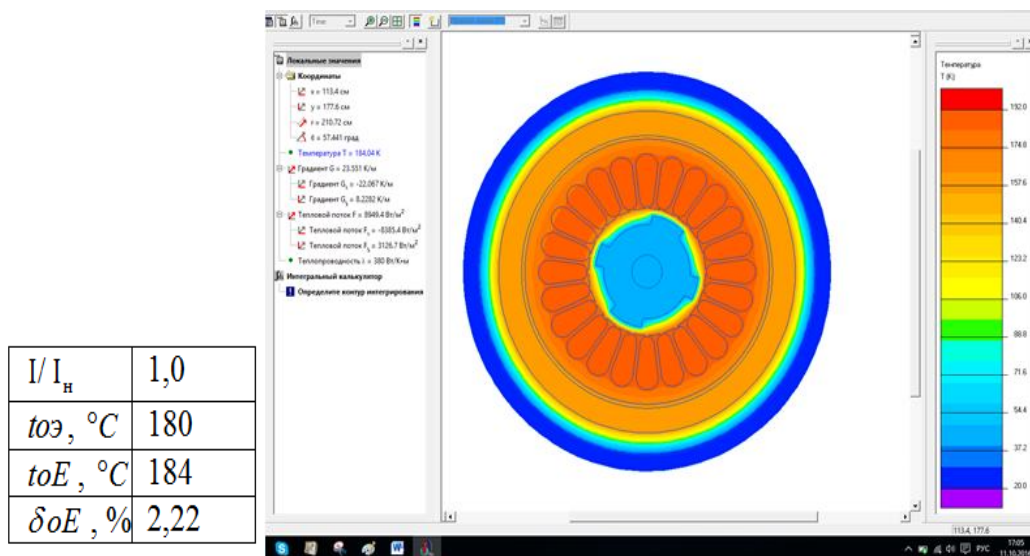


Рис. 6. Распределение температуры генератора: toE – значение максимальной температуры обмотки статора на границе с магнитопроводом, полученные в ELCUT; $toэ$ – экспериментальное значение максимальной температуры обмотки статора на границе с магнитопроводом; δoE – Относительная погрешность значений максимальной температуры обмотки статора на границе с магнитопроводом, полученные в ELCUT

Относительная погрешность определяется по формуле:

$$\delta oE = \frac{toE - toэ}{toэ};$$

В результате исследования генератора можно сделать следующие выводы:

- при увеличении тока обмотки статора ЭДС на выходе генератора уменьшается. В связи с этим необходимо регулирование выходного напряжения генератора за счет изменения тока возбуждения в соответствии с полученной регулировочной характеристикой;
- численные методы расчета и современные программные продукты позволяют рассмотреть достоверную картину температурного поля генератора;
- при номинальном режиме максимальная температура наблюдается в обмотке статора генератора (184°C). Этот результат хорошо согласуется с результатом испытания генератора (относительная погрешность не превышает 3 %). Максимальная температура не превышает допустимой, так как класс изоляции обмоток статора и ротора не ниже "H". Низкие температуры наблюдаются в вале (70°C) и в корпусе (30°C) генератора.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://mash-xl.info/page/0221090991220741912491291461810181442460432/>.
2. http://www.metiz-krepej.ru/material/magnitnye_svojstva_chuguna.html.
3. <http://lektsii.com/1-174505.html>.
4. <http://www.webkursoviki.ru/kartgotrab.asp?id=-52912>.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОЩЕТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Хуснутдинов А.Н., Рыбаков Р.Б., Фаттахов И.И.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

В современной технике электрические скользящие контакты конструктивно выполняются в виде узлов «электрощетка – коллектор», «электрощетка – контактное кольцо» и других подобных устройств. В процессе работы этих устройств между составляющими их конструктивными элементами кроме передачи тока происходит еще ряд других взаимодействий. Среди них главнейшими являются трение, взаимное изнашивание, нагревание и химические реакции.

Анализ различных этапов развития скользящего контакта типа «электрощетка – коллектор» показывает, что за всю свою более чем 180-летнюю историю он подвергался постоянным изменениям. Изменения касались как конструктивного оформления элементов контакта, так и материалов, из которых эти элементы изготавливались [1].

В настоящее время электрощетки изготавливаются из четырех классов электрощеточных материалов: металлографитный, угольно-графитный, графитный и электрографитированный [2,3,4].

Рекомендуемая электрощетка принципиально отличается по конструктивным признакам и по сроку эксплуатации от существующих. Данная электрощетка является составной, в то время как существующие конструкции электрощеток цельные. Конструктивные параметры электрической машины и щеткодержателя также остаются неизменными. Это подтверждает отсутствие малейшего технологического риска при эксплуатации новых электрощеток.

Основной идеей проекта является увеличение срока эксплуатации (ресурса) электрощеток электрических машин (дополнительно от 30% до 44%), в зависимости от их конструкции.

При эксплуатации электродвигателя происходит постоянный непрерывный износ электрощеток. Изношенные щетки не восстанавливаются и подлежат замене вместе с дорогостоящими элементами конструкции:

- 1) провод гибкий неизолированный плетеный. Материал – рафинированная медь.
- 2) наконечники луженые. Материал – медь.
- 3) неизношенная часть электрощетки (электрощетка изнашивается на 2/3 своей высоты). Материал – графит, сажа, медь.
- 4) материалы для соединения токоведущего провода с угольно-графитовой частью щетки (конопатка, электропроводящий клей);

Ориентировочная стоимость недоиспользованной верхней части электрощетки составляет 40% от общей ее стоимости.

Предлагаемая технология позволяет использовать верхнюю (недоиспользованную) часть электрощетки многократно в результате использования сменной вставки, что в свою очередь позволяет существенно снизить эксплуатационные затраты. Весь процесс замены сменной вставки значительно облегчает работу обслуживающего персонала, и сокращает время профилактических работ до 70%. Это достигается тем, что отпадает необходимость отворачивания и закрепления болта наконечника токопроводящего шунта электрощетки.

На рис. 1. приведено схематическое изображение серийной электрощетки с указанием основных ее составляющих.

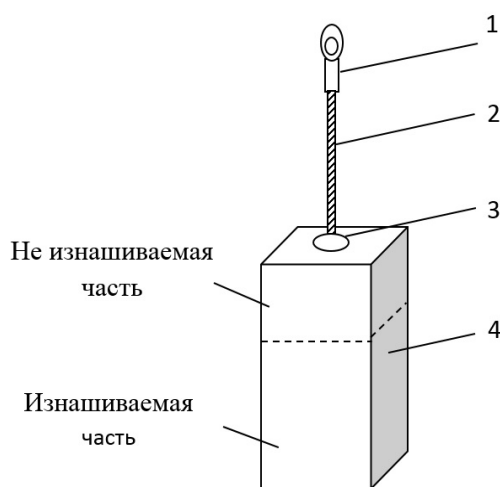


Рис. 1. Конструкция серийной электрощетки.

- 1 - наконечник луженый; 2 - медный провод гибкий неизолированный плетеный; 3 - материалы для соединения токоведущего провода с угольно-графитовой частью щетки (конопатка, электропроводящий клей);
4 - угольно-графитовая часть

Составная электрощетка функционально не отличается от серийной. Основное отличие заключается в ее конструкции. Она состоит из двух частей: основной, посредством которой осуществляется подвод электроэнергии от щеткодержательного аппарата, и сменной графитовой вставки [5]. По мере эксплуатации электрической машины сменная графитовая вставка изнашивается практически полностью и во время профилактического осмотра, ремонта заменяется на новую.

В состав основной части новой электрощетки входят дорогостоящие элементы конструкции, описанные выше. За счет того, что изнашиваемой частью электрощетки при правильной ее эксплуатации является сменная графитовая вставка, то верхняя ее часть не изнашивается и не требует замены. Это показывает очевидную возможность экономии на дорогостоящих элементах конструкции электрических машин.

Возможность широкого применения предлагаемой конструкции электрощетки определяется стандартной конструкцией щеткодержательного аппарата. Техническое состояние щеткодержательного узла должно удовлетворять ТУ на их эксплуатацию.

На рис. 2. показан фрагмент серийного щеткодержательного аппарата. Для осмотра технического состояния электрощеток и замены предельно изношенной нижней сменной части используется специальный съемник 8. Острие съемника 8 вводится в отверстие 7 нижней сменной части 3. Затем съемником 8 нижняя сменная часть 3 вынимается из гильзы щеткодержателя 1.

Рекомендуемая электрощетка с увеличенным ресурсом прошла успешные испытания в реальных условиях эксплуатации на опытном парке троллейбусов и трамваев в МУП «Метроэлектротранс» г. Казани, а также на базе ОАО «Нижекамскнефтехим» г. Нижнекамск, и ООО «Электротранспорт» г. Набережные Челны. Данные испытания подтвердили повышение ресурса и надежность ее эксплуатации, как на подвижном составе, так и на синхронных машинах. Ежедневные осмотры электродвигателей, оборудованных составными электрощетками показали отсутствие каких-либо следов нежелательных процессов в электродвигателях (искрение, местное выгорание коллекторных пластин, «круговой огонь», возникновение пульсаций тока, приводящих к динамическим биениям якоря тягового электродвигателя и др.).

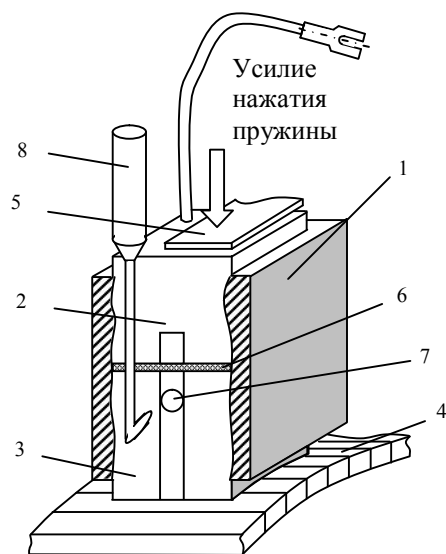


Рис. 2. Схематическое изображение гильзы щеткодержательного аппарата с составной электрощеткой: 1 – гильза щеткодержательного аппарата; 2 – верхняя часть составной электрощетки; 3 – нижняя сменная вставка; 4 – коллектор; 5 – пружина щеткодержателя; 6 – контактная поверхность; 7 – отверстие для съемника сменной графитовой вставки; 8 – съемник

По мере износа сменных вставок электрощеток с повышенным ресурсом требуется их замена. Для улучшения условий коммутации новых вставок рекомендуется их предварительная притирка под радиус коллектора [5,6]. Динамические характеристики исследуемых разрезных электрощеток приведены на рис. 3.

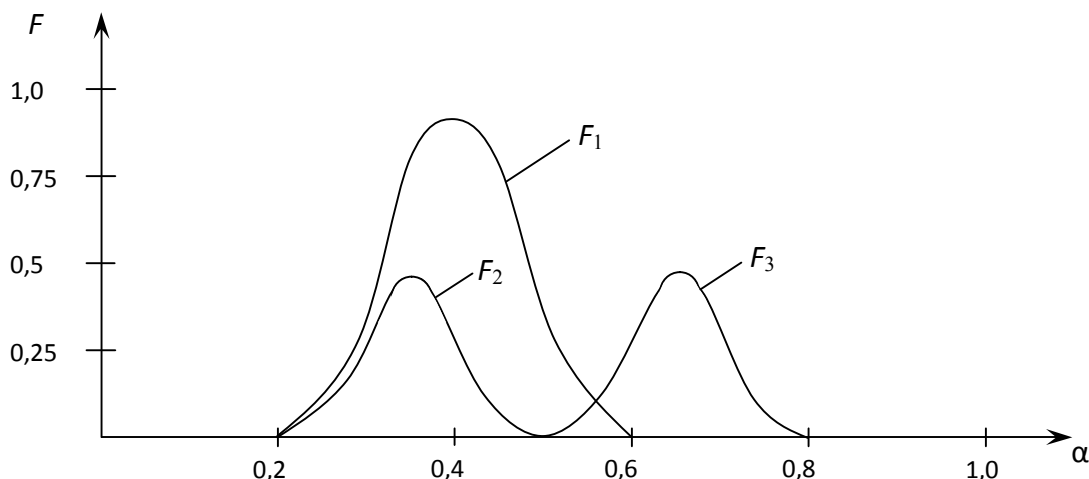


Рис 3. Динамические характеристики разрезных электрощеток

F1 – импульс от удара монолитной электрощетки; F2 – импульс от удара верхней части электрощетки; F3 – импульс от удара нижней вставки

Использование разрезных электрощеток позволяет снизить силу удара коллектора, раздвинуть во времени импульсы ударов F2 и F3. В результате снижается уровень отрыва электрощетки от поверхности коллектора. Все это позволяет улучшить коммутацию и снизить переходное сопротивление в переходном контакте (коллектор – щетка). За счет снижения уровня воздействия механических и электрических (коммутационных) факторов снижается износ элементов трущейся пары – коллектора и электрощеток.

Существующая технологическая схема эксплуатации электрощеток является неэффективной. Она приводит:

- к недоиспользованию ресурса электрощеток и в отдельных случаях может достигать 44%;
- перерасходу меди;
- значительным трудозатратам при их обслуживании.

В связи с этим рекомендуется новая технология эксплуатации электрощеток электрических машин, позволяющая устранить указанные недостатки. При этом конструкция щеткодержателей электрических машин и марка электрощеток не изменяется. Проведенные лабораторные и эксплуатационные исследования подтвердили обоснованность использования новой технологии эксплуатации электрощеток. Их работа на тяговых двигателях городского электрического транспорта (трамваи и троллейбусы), электровозах и тепловозах дали обнадеживающие результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Идиятуллин Р.Г., Хуснутдинов А.Н., Фаттахов И.И., Аллямова Н.М. Повышение надежности работы электрических машин с учетом использования электрощеток с повышенным ресурсом // Материалы МНТК «ИМТОМ-2015» – 2015. – Ч1. – С 106-110.
2. Идиятуллин Р.Г. Проблемы энергосбережения в промышленности. Теория и практика. – Казань: КГЭУ – 2002. – 303 с.
3. Хуснутдинов А.Н., Идиятуллин Р.Г., Вдовин А.М., Попов А.В. Исследование влияния эксплуатационных факторов на температурное поле обмотки якоря

- генератора ГП-311Б // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – С. 437–438.
4. Хуснутдинов А.Н., Идиятуллин Р.Г., Вдовин А.М., Попов А.В., Киснеева Л.Н. Оценка эксплуатационной надежности тяговых генераторов // Проблемы энергетики. – 2012. – С. 11–12.
 5. Филина О.А. Повышение эффективности щеткодержателей // В мире научных открытий. – 2010. – №6-1. С. 227–230.
 6. Рылов Ю.А., Степанов Е.Л., Филина О.А. Исследование ресурса электрощёток тяговых электрических машин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – С. 437–438.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ВАННА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕМОНТАЖА ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РЕМОНТАХ

Аксенов Д.О., Кашин А.И., Немировский А.Е., Сергиевская И.Ю.
Вологодский государственный университет, г.Вологда

Электродвигатели (ЭД) эксплуатируются в жестких условиях. Повышенная влажность, запыленность, низкое качество питающего напряжения приводят к выходу ЭД из строя [1]. Большая часть ЭД подвергается ремонту и перемотке. Главное, чтобы отремонтированный ЭД соответствовал требованиям надежности и эффективности в дальнейшей работе. Это зависит от качества ремонта и применяемых материалов.

Известные методы демонтажа обмоток ЭД при ремонтах [2] приводят к механическим повреждениям пластин пакета статора, ухудшению магнитных свойств стали, росту тока холостого хода, повышенному потреблению электроэнергии, снижению КПД, локальным перегревам стали, уменьшению ресурса эксплуатации ЭД. Эти методы не экологичны и связаны с большими энергозатратами.

Разработанный нами метод демонтажа обмоток ЭД при ремонтах основан на воздействии ультразвукового излучения (УЗИ) на сгоревшие обмотки в 2% водном растворе едкого натра. В основе метода лежит кавитационное воздействие ультразвука. Кавитационное воздействие способствует не только разрушению старой обмотки, но и усиливает капиллярный эффект, при котором рабочий раствор быстрее и эффективнее проникает в толщу обмотки. В результате ускоряется процесс растворения пропиточного состава и высвобождение сгоревшей обмотки.

В отличие от известных способов извлечения обмотки ЭД при ремонтах, предлагаемый метод более эффективен, поскольку не вызывает разрушающего воздействия на полезные элементы конструкции ЭД, он также менее энергозатратен и экологичен.

Для проведения исследований нами разработана конструкция ультразвуковой ванны (УЗ) ванны (рис.1,2), которая изготовлена фирмой ООО «Александра-Плюс» (г.Вологда) и показана на рис.4. При разработке УЗ ванны учитывались результаты поисковых экспериментов на статоретах (макетах обмотки ЭД), при которых определили мощность излучателей, температуру и продолжительность воздействия УЗИ на обмотки ЭД.

Блок-схема УЗ ванны представлена на рис.1. Основными элементами ванны являются блок управления, контроллер, ультразвуковой генератор (УЗГ), нагреватель и сама ванна. В ванне встроены два пьезокерамических излучателя суммарной мощностью 200 Вт, датчик температуры и нагреватель мощностью 300 Вт. Блок

управления воздействует на УЗГ (рис.3), диммер, назначение которого изменять величину мощности УЗИ, и дроссель, который необходим для согласования УЗГ и излучателей.

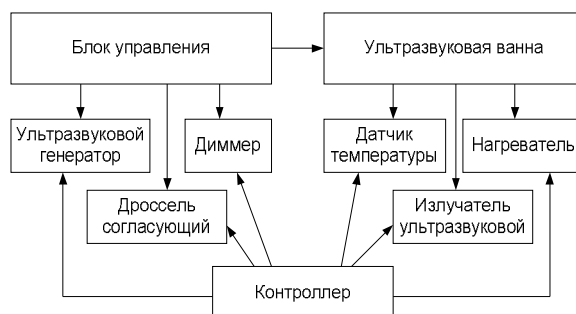


Рис. 1. Блок-схема ультразвуковой ванны

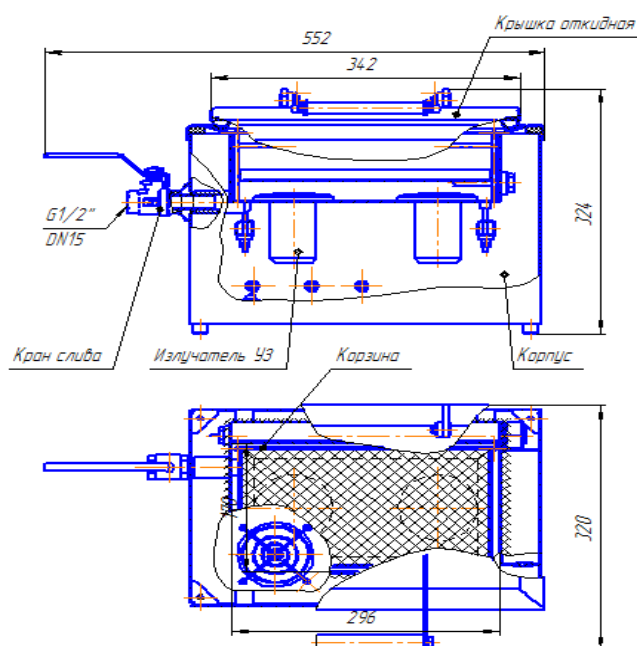


Рис. 2. Конструкция ультразвуковой ванны

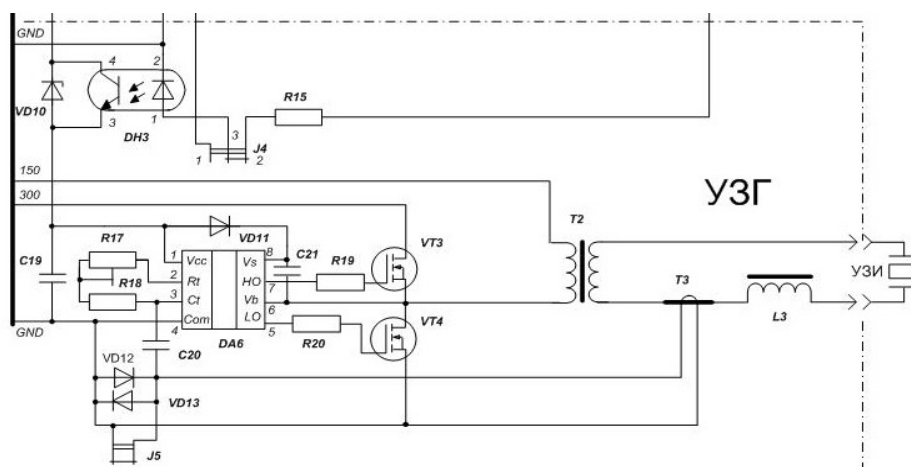


Рис. 3. Электрическая схема ультразвукового генератора

УЗГ собран на микросхеме IR2155 и полумосте транзисторов MOSFET. Трансформатор тока T3 и два встречно - параллельных диода VD12 – VD13 образуют

обратную связь в системе фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Эта система может отключаться замыканием джампера J5. Резистором R17 можно изменять собственную частоту задающего генератора от 20 до 26 кГц. УЗГ имеет систему запуска с переключением джампером J4.

Перед первым включением необходимо замкнуть J5 и подключить нагрузку (ванна с излучателем и рабочим раствором). Джампер J4 поставить в положение «1».

После включения УЗГ изменением резистора R17 найти резонансную частоту. Ток при этом должен быть максимальным, а по форме приближаться к синусоидальному. Если этого проделать не удастся – следует искать неисправные элементы или ошибки монтажа. Далее резистором R17 установить частоту на 2 кГц ниже резонанса и отключить джампер J5. Если при этом генератор «скачком» возвращается в резонанс – настройка закончена. Если нет, то нужно выключить питание и сменой полярности любой обмотки трансформатора T2 изменить фазу обратной связи на противоположную. После включения повторить настройку.

Желательно провести предварительный контроль исправности собранного УЗГ. Для этого трансформатор T2 не подключают, нагрузку, естественно, тоже; транзистор VT3 впаивают временно без стока. Сток временно соединяют с линией «+12 В». Подключают осциллограф между GND и истоком VT3 (или стоком VT4). Теплоотвод при этом не нужен. При исправном монтаже после включения можно увидеть симметричные прямоугольные импульсы амплитудой 12 Вольт.

Модуль контроллера (рис.1) управляет всеми элементами ультразвуковой ванны. Модуль построен на основе микроконтроллера ATmega 16 с тактовой частотой 16 МГц. Напряжение питания 5В поступает от контроллера через основной разъем. Через этот же разъем на контроллер поступают команды:

- включения УЗГ;
- включения ТЭН (нагревателя).

Командные линии работают по одной логике : 0 вольт – выключен, +5 вольт – включен. Ток в линиях – не более 20 мА. Модуль контроллера имеет встроенный звуковой индикатор.

В УЗ ванне предусмотрен кран для слива раствора или воды и откидная крышка, выполняющая функцию шумоизоляции (рис.4).



Рис. 4. Внешний вид ультразвуковой ванны и блока управления

УЗ ванна имеет три режима работы. Режим заблаговременно выбирается соответствующей кнопкой. В режиме «1» отсутствует возможность подогрева ванны

ТЭНом. Индикатор температурной уставки не высвечивается. Как и режим «1», режим «2» также ручной. Автоматическим остается только управление ТЭНом. ТЭН включается, когда уставка температуры оказывается на 3 и более градусов выше температуры ванны (в результате естественного остывания или после добавления холодной воды), а выключается при уравнивании уставки и температуры ванны.

Режим «3» – автоматический и позволяет без вмешательства оператора провести эксперимент не только с заданной длительностью, но и при заданной температуре. Режим «3» имеет следующие особенности:

- при автоматическом включении ТЭНа приостанавливается таймер, выключается УЗГ;
- после автоматического выключения ТЭНа эксперимент можно продолжить.

Разработанная УЗ ванна является главным инструментом для исследований и освоения инновационного способа демонтажа обмоток статоров электродвигателей при ремонтах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Немировский, А.Е, Повышение эффективности обмоток электродвигателей/ Немировский А.Е, Петифоров В.О, Сергиевская И.Ю.// Вузовская наука – региону: материалы XIII Всероссийской научной конференции, - Вологда: ВоГУ, 2015. –С.35-36.
2. Кашин А.И., Немировский А.Е. Эффективность методов ремонта обмоток электродвигателей// Молодые исследователи – регионам : материалы Международной научной конференции (Вологда, 20–21 апреля 2016 г.): в 3 т. / М-во образ.и науки РФ, Вологод. гос. ун-т.– Вологда : ВоГУ, 2016. – Т. 1. – С.98-99.

ПЛАВНЫЙ ПУСК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Элмурод Хамдамов Тожиали угли

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Аннотация. Актуальность работы. Широкое распространение устройств, называемых Soft Starter, устройств плавного пуска (УПП), а также устройств безударного тока, созданных для ограничения негативной динамики пусковых токов и электромагнитных моментов асинхронного двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором, стало результатом эффективного соотношения «цена/качество» для УПП. Однако, проблема реальной, количественной оценки преимуществ и недостатков использования УПП для АД остается актуальной.

Ключевые слова: 3-фазный асинхронный электродвигатель, режим пуска, устройство плавного пуска.

Введение. Асинхронный электродвигатель (АД) с короткозамкнутым ротором – самый распространенный тип электродвигателей, применяемых в промышленности. Достоинствами асинхронного двигателя являются высокая надежность, низкая стоимость и низкие затраты на обслуживание, но, тем не менее, имеется недостаток – высокий пусковой ток и ударный характер пускового момента. Эти недостатки присущи устройствам с использованием прямого пуска асинхронного двигателя.

Таким образом, прямой пуск АД приводит к:

- снижению срока службы коммутационных аппаратов;
- снижению срока службы самого двигателя;

- перегрузке питающей сети, особенно, если есть вероятность одновременного запуска двигателей, питающихся от одного трансформатора;
- падению напряжения в сети, что негативно влияет как на сам процесс запуска двигателя, так и на остальных потребителей электрической энергии;
- дополнительному износу привода, динамическим ударам в технологическом оборудовании из-за резкого изменения момента двигателя.

Устройство плавного пуска. Принципиальная схема системы «Тиристорный регулятор напряжения асинхронного двигателя» (ТРН-АД) представлена на рис.1. К преобразователю подводится трехфазное переменное напряжение 380 В частотой 50 Гц. Тиристорный преобразователь (VS1-VS6) предназначен для плавного пуска асинхронного двигателя, что осуществляется путем плавного изменения напряжения питания. Управление тиристорами происходит с помощью микроконтроллера (МК).

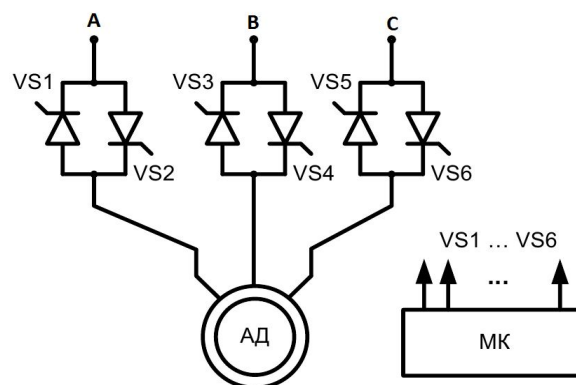


Рис. 1. Устройство ТРН-АД

С целью имитационного исследования работы устройства плавного пуска проведено моделирование различных режимов работы с использованием программного продукта Matlab Simulink.

На рис. 2 изображена имитационная модель прямого пуска.

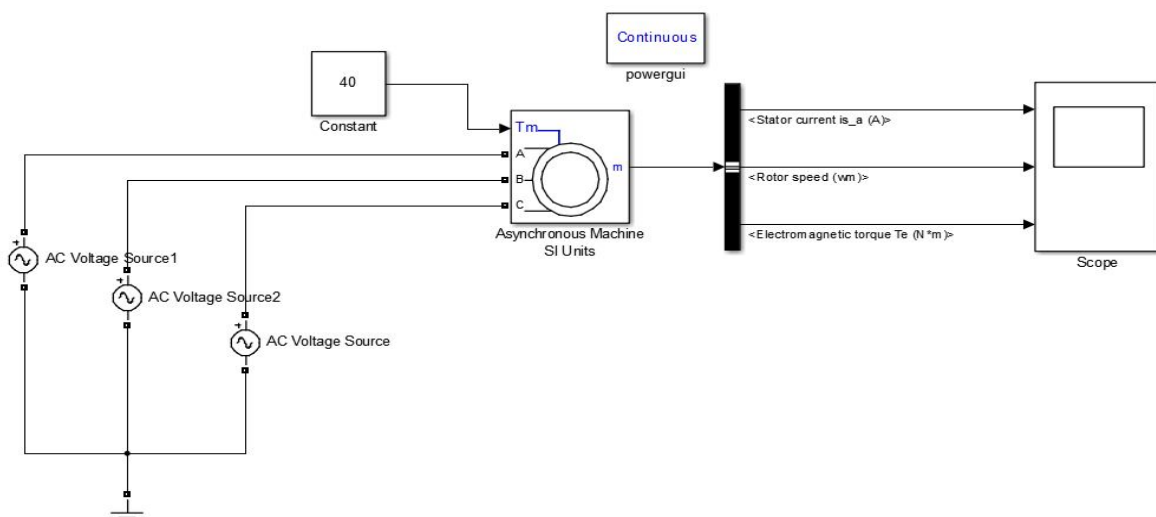


Рис. 2. Модель устройства плавного пуска трехфазного асинхронного двигателя

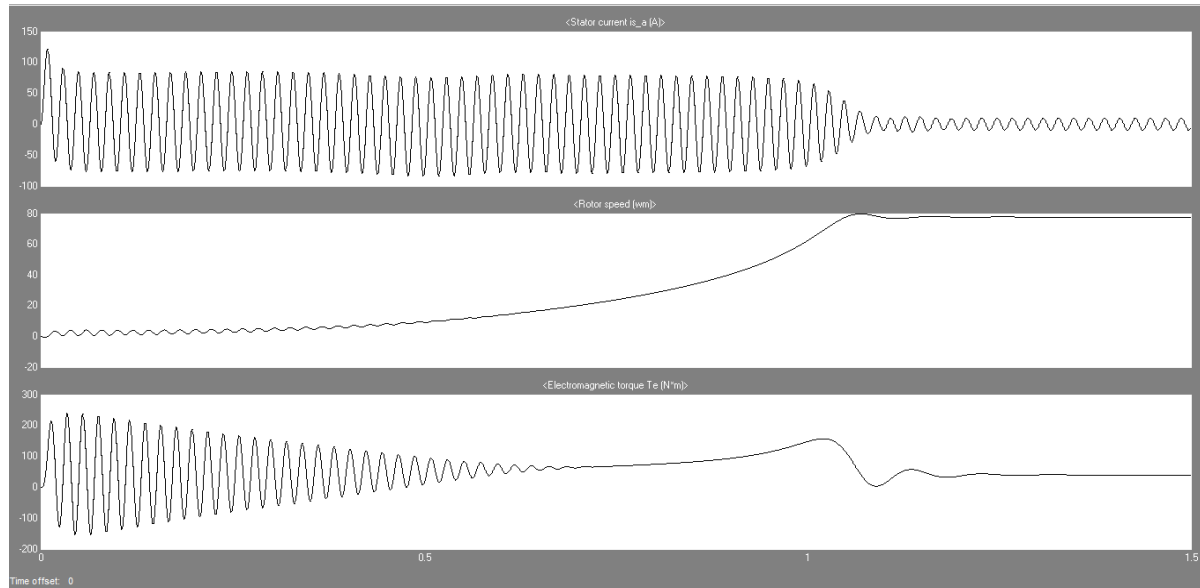


Рис. 3. Диаграммы переходных процессов для тока статора, частоты вращения ротора и электромагнитного момента асинхронного двигателя при прямом пуске

Плавный пуск двигателя в ТРН осуществляется за счет изменения угла управления тиристорами системы управления. В результате можно добиться плавного нарастания напряжения на обмотках двигателя.

На рис. 4 приведена схема трехфазного тиристорного регулятора напряжения, смоделированного в Matlab Simulink.

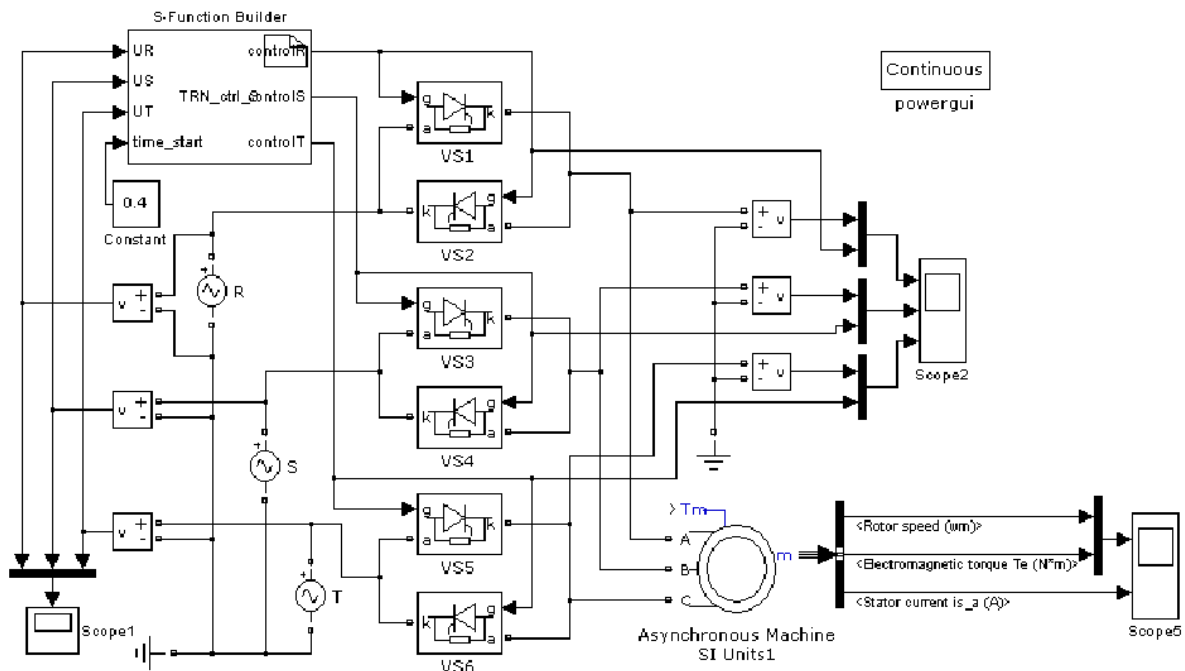


Рис. 4. Схема системы ТРН-АД в программе Matlab Simulink

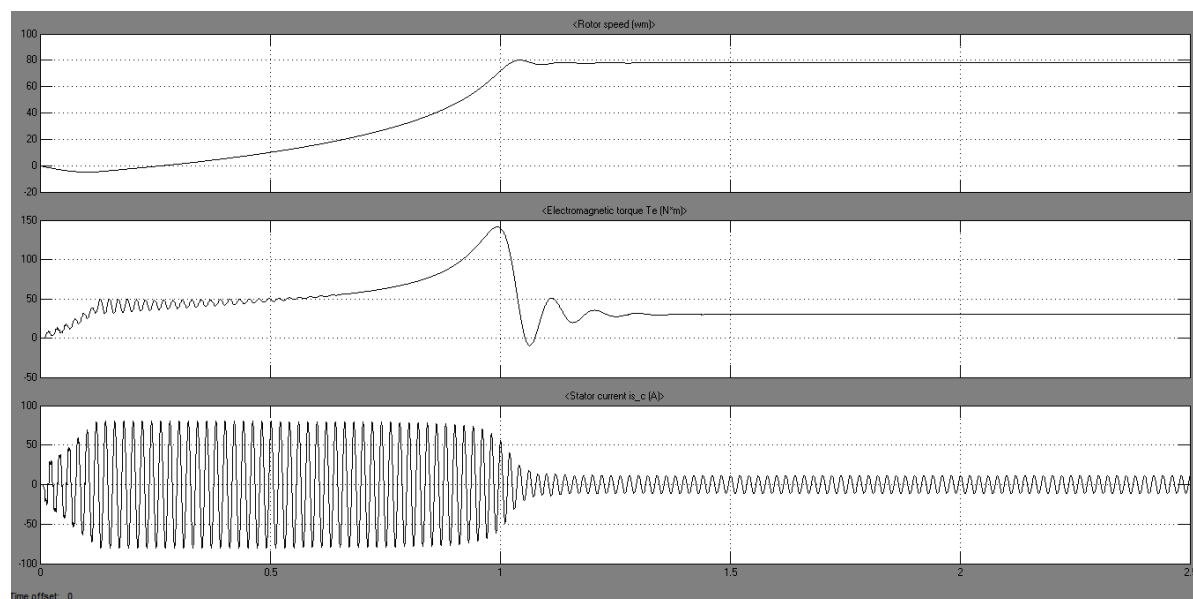


Рис. 5. Диаграммы переходных процессов для тока статора, частоты вращения ротора и электромагнитного момента асинхронного двигателя при плавном пуске

Из графика, изображенного на рис. 5 видно, что при плавном пуске время разгона чуть увеличилось по сравнению с режимом прямого пуска (рис. 3), но основные показатели – ток статора, частота вращения ротора и величина электромагнитного момента асинхронного двигателя нарастают плавно. При этом удалось значительно снизить кратность пускового тока и момента до величин, соответствующих требованиям, предъявляемым к устройствам подобного рода со стороны заказчика работ – предприятия химической отрасли Республики Узбекистан – акционерного общества «АО «FARG'ONAAZOT».

Вывод. Преимущества использования УПП заключаются в существенно более низкой стоимости по сравнению с преобразователями частоты. УПП более компактны за счет простоты устройства и относительно более надежны. Их коэффициент полезного действия (КПД) выше, чем у преобразователей частоты, следовательно, меньшие требования к охлаждению, поскольку для обеспечения прямого пуска тяжелых вентиляторов часто применяются двигатели повышенной мощности. При проектировании новых установок можно использовать с преобразователем двигатель меньшей мощности, а при модернизации существующих установок дополнительная экономия получается за счет снижения потерь холостого хода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кляйн Р.Я. Электрические и электронные аппараты. Ч III. Силовые электронные аппараты. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. - 233с.
2. Хусаинов Р. «Устройства плавного пуска: правильный выбор». Журнал «Конструктор. Машиностроитель». 09.07.2012.
3. Однокопылов И.Г. Методические указания по дисциплине «Микропроцессорные средства и системы».
4. <http://konstruktor.net/podrobnee-elekt/ustrojstva-plavnogo-puska-pravilnyj-vybor.html>

МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА ПРИСУТСТВИЯ С ДИСТАНЦИОННЫМ СИГНАЛИЗАТОРОМ

Комиссарова А.К.

Национальный исследовательский университет «МЭИ», филиал, г. Смоленск

В настоящее время разработчики получили в свои руки набор мощных и эффективных инструментальных программных средств, предназначенных для разработки ПО АСУ ТП, однако для отображения уровней поступающих на коммутатор сигналов и получения выходных величин с блоков коммутатора, пользователю приходится прибегать к использованию дополнительного измерительного и осциллографического оборудования, поставляющегося отдельно от коммутирующих комплексов. Как правило, такое оборудование подразумевает использовать его в широком спектре разработки электронных устройств, что усложняет его конструкцию, повышает стоимость и ограничивает наличие в нем простого интерфейса подключения к коммутатору с возможной постоянной фиксацией. Предложенное устройство позволяет избежать этих недостатков при использовании коммутирующего оборудования для разработки средств АСУ ТП, что в свою очередь является средством упрощения работы с программируемыми логическими контроллерами.

Аналоговый сигнал в системах передачи называется непрерывный электрический или оптический сигналы параметры которого (амплитуда, частота или фаза) изменяются по закону непрерывной функции времени источника информации.

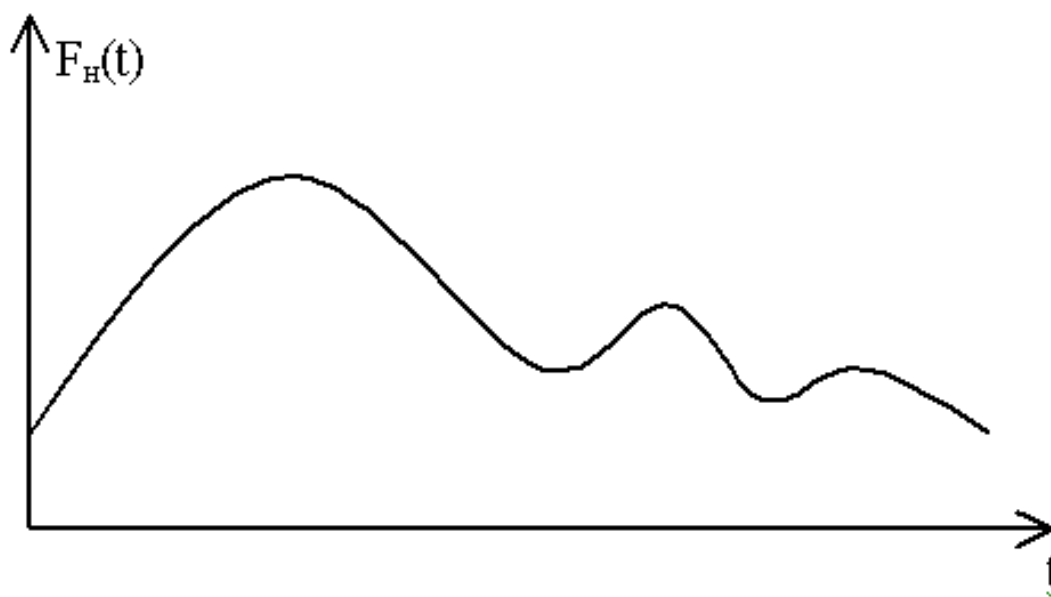


Рис. 1. Аналоговый непрерывный сигнал

Дискретный сигнал — сигнал, имеющий конечное число значений (уровней).

Дискретные сигналы - состоят из отдельных элементов, принимающих конечное число различных значений. Аналоговые дискретные сигналы можно получить, используя дискретизацию по времени квантование по амплитуде или их одновременно.

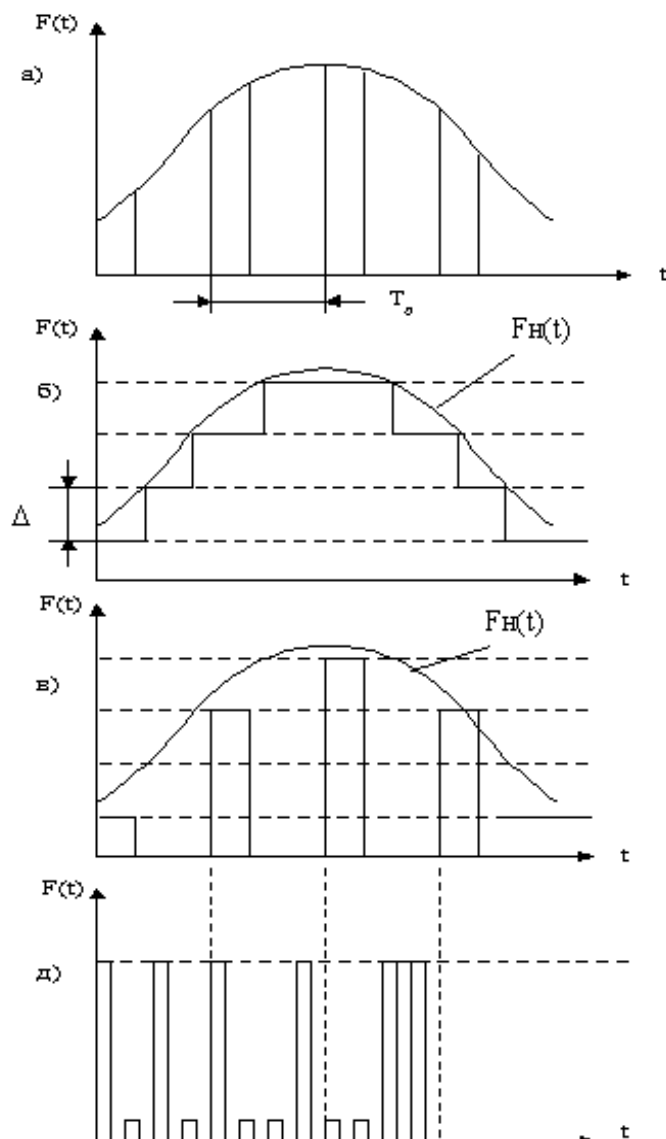


Рис. 2. Дискретные сигналы:

- а) - дискретный по времени; б) - дискретный по уровню;
 в) - дискретный по времени и по уровню; г) - цифровой двоичный сигнал

Коммутация таких сигналов служит для объединения нескольких сигналов, поступающих от нескольких источников в определенном порядке одной линии. Затем эти сигналы обрабатываются, и, при помощи другого коммутатора, могут быть направлены в различные исполнительные устройства. Упорядоченный ввод и вывод сигналов осуществляется при помощи адресации источников и приемников сигналов, а также связанных с передачей сигналов коммутаторов.

Коммутатор состоит из двух блоков: аналогового и дискретного ввода, аналогового и дискретного вывода.

Каждый блок состоит из двух уровней. На нижнем уровне блока ввода расположен модуль аналогового ввода, на верхнем – дискретного. Аналогично модули расположены и в модуле вывода. Также, на блоке вывода (справа) расположен тумблер, которым осуществляется отключение от имитатора одного ПЛК и подключение другого.

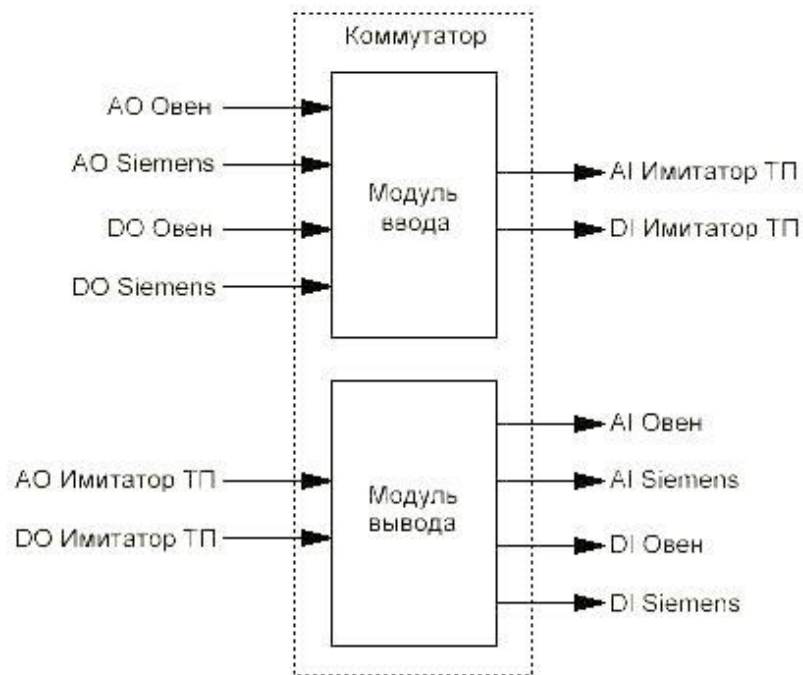


Рис. 3. Функциональная схема коммутатора

Однако данное оборудование поставляется без средств индикации величин входных и выходных сигналов, что заставляет пользователя программно, либо при помощи стороннего оборудования сверять уровень сигнала с необходимым для работы, что замедляет и усложняет процесс изучения программируемых логических контроллеров и разработки проектов АСУ ТП.

Концепция предложенного устройства:

Основными блоками коммутирующего устройства являются аналоговый мультиплексор и микроконтроллер с соответствующим «обвесом».

В качестве аналогового мультиплексора был выбран монолитный аналоговый мультиплексор ADG406.

В качестве микроконтроллера – ATmega328 на базе Arduino Nano.

Чтобы входной сигнал был пригоден для восприятия МК, его необходимо преобразовать. Для начала необходимо привести дифференциальный сигнал к потенциальному. Для этого используется дифференциальный усилитель. В качестве операционного усилителя используется микросхема NE5532P.

Входы МК необходимо защитить от перенапряжения, в цепь дифференциального усилителя была включена пара стабилитронов, ограничивающая напряжение. Для подавления высокочастотных помех необходимо ввести ёмкость параллельную сопротивлению.

После масштабирования сигнала к диапазону от минус 5 В до плюс 5 В необходимо выделить модуль сигнала и его знак. Для этого используется схема выделения модуля, основанная на двух инвертирующих усилителях. Чтобы получить информацию о знаке входного сигнала применяется схема содержащая триггер Шмитта и транзисторный ключ.

В качестве средства отображения информации был выбран LCD – дисплей WH1602B-YYK-СТК. Данный монохромный дисплей имеет опциональную подсветку и может отображать 2 строки по 16 символов. Разрешение символов — 5x8 точек.

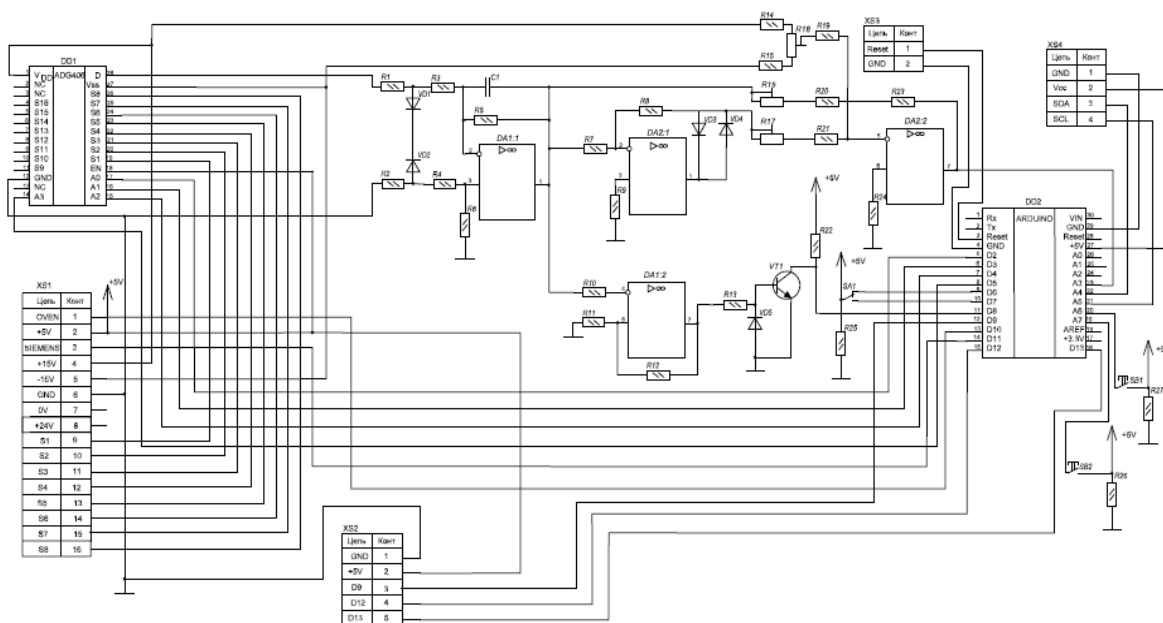


Рис. 4. Принципиальная схема разработки средств отображения коммутатора аналоговых и дискретных сигналов комплекса для разработки и отладки АСУ ТП

Конструктивно система выполнена в виде нескольких отдельных узлов (блок, который состоит из АСУ на базе ОВЕН ПЛК-154, АСУ на базе ПЛК Siemens Simatic S7-300; платы аналогового и дискретного ввода/вывода PCI 1711 и PCI 1723; коммутатор аналоговых и дискретных сигналов и персональный компьютер, который необходим для связи с ПЛК). Соединены они между собой посредством линий связи.

Система может эксплуатироваться в помещениях категории пожароопасности Д (используются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии). Класс П-III (горючих материалов не содержит).

Пожаробезопасность устройства определяется уровнем электрической изоляции между токоведущими частями и корпусом. Амплитуда рабочего напряжения значительно меньше 34В, значение воздушного зазора превышает 2мм.

В процессе работы исправное устройство не нагревается выше температуры 60°C, это соответствует допустимым требованиям по ГОСТ 12.2.006-87 (Безопасность аппаратуры электронной сетевой и сходных с ней устройств, предназначенных для бытового и аналогичного общего применения. Общие требования и методы испытаний).

В процессе эксплуатации устройства вредные электромагнитные излучения и выделение вредных веществ в атмосферу отсутствуют.

В настоящий момент ведется работа над корпусом устройства, а также над созданием пакета документации для подачи заявки на полезную модель.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗАГАЗОВАННОСТИ *EXFIRE 360*

Ваземиллер Э.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Для контроля загазованности на ООО «Томскнефтехим» используется система управления *EXFIRE 360*. Производственная среда является источником повышенной опасности в связи с потенциально возможными происшествиями.

Для контроля загазованности на ООО «Томскнефтехим» используется система управления *EXFIRE360*.

Пульт управления с цифровым сенсорным экраном *EXFIRE360* – это новейшее программируемое устройство модульного типа системы F&G (Fire & Gas, обнаружение огня и пожароопасной атмосферы), многоцелевого назначения, предназначенное для управления обнаружением пожара, программной логикой, подачей тревожного сигнала и подавлением пожара.

Логическое устройство является центральным блоком всей системы обнаружения и управления. Контроллеры получают тревожные сигналы и сигналы состояния или же аналоговые сигналы от установленных по месту датчиков обнаружения огня и пожароопасной атмосферы.

Контроллеры выполняют необходимые операции для запуска тревожных сигналов и для пожаротушения. Устройство можно настроить согласно требованиям безопасности конкретной площадки, посредством программного обеспечения «*Protection 6.5*» (имеется версия на английском и итальянском языках). Система управления *EXFIRE360* представляет собой программируемый универсальный пульт управления с двумя центральными процессорами (ЦП), разработанный для выполнения интегрированных функций по управлению пожарной сигнализацией и включению систем пожаротушения. *EXFIRE360* может производиться в соответствии с требованиями безопасности и легко настраивается с помощью программного обеспечения «*Protection*»

(«Защита»). Пульты *EXFIRE 360* могут объединяться в сети с помощью TCP/IP, RS-485, RS-232 и другой волоконной оптики, позволяя проектировать сетевые системы с удаленными шасси. Вся передача данных дублируется, а программное обеспечение *Enterprise* (при необходимости) обеспечивает исполнение функций центральной или контрольной станции. Это модульный пульт, состоящий из 19-дюймовых стоек с платами ввода-вывода для обнаружения пожара и/или пожаротушения, и/или работы в автоматическом режиме. Платы находятся внутри пульта, в то время как дисплеи (с дублирующими линиями связи интерфейса RS-485) устанавливаются на его передней панели.

Управление пожаротушением производится специальными модулями, осуществляющими мониторинг состояния электрооборудования (датчиков давления, электромагнитных клапанов и т. д.) в соответствии с требованиями стандарта *EN 12094*.

Мониторинг линий связи является стандартной функцией пульта, за исключением выводов реле.

Конфигурация пульта загружается на пульт через интерфейс USB, а оператор имеет доступ к функциям пульта как на месте (через дисплей пульта), так и дистанционно (через персональный компьютер).

Минимально, для выполнения обязательных требований стандарта *EN 54*, пульт может включать конфигурацию с двумя ЦП (с «горячим» резервированием), сенсорный дисплей, плату *BUSCPU* и модуль *EX6SO*.

Индикация аварий и неисправностей производится как на дисплее, так и специальными световыми индикаторами. Несмотря на то что пульт *EXFIRE3 60* в первую очередь является пультом управления пожарной сигнализацией, он может также управлять контрольными сигналами от клапанов или систем третьих сторон без нарушения параметров стандарта *EN 54-2* [4, с.10].



Рис. 1. Пульт управления системой EXFIRE 360

Основные технические характеристики:

- Питание 24В постоянного тока – блок питания.
- Основной источник питания: 230В ~ тока, 50/60Гц.
- Диапазон рабочих температур: от - 5 до +40°C.
- Максимальный ток зарядки (для резервных аккумуляторных батарей) – 40А.
- Минимальное напряжение при отсутствии основного питания – 20В = тока.
- Максимальное сопротивление аккумуляторных батарей – 60 мОм.
- Максимальная емкость аккумулятора: 2 x 12В, 150А·час.
- Максимальный выходной ток – 40А (избыточно), подается на пульт и нагрузку

Карта главного ЖК-дисплея (masterlcd):

MasterLcd – это главный дисплей пульта с возможностью сенсорного управления [рис.5, стр.22]. Помимо ЖК-интерфейса, на модуле установлены 22 световых индикатора, 24 клавиши и USB-порт для настройки дисплея. Главный ЖК-дисплей отображает состояние всей системы пожарной сигнализации, включая информацию о самой системе.



Рис. 2. Карта главного ЖК-дисплея (masterlcd)

Выводы:

Система контроля загазованности *EXFIRE 360* – новейшее устройство для обнаружения пожара и пожароопасной атмосферы. Своевременное обнаружение таких угроз позволяет устранять их, сохраняя безопасность работы персонала и оборудования. Так же это позволяет исключить возможность не предвиденных расходов, что сохранит доходы и сбережения предприятия. Поэтому использование на предприятиях данной системой контроля загазованности *EXFIRE 360* на сегодняшний день оправдано с технической и экономической точки зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пояснительная записка к проекту «Система контроля загазованности» на ООО «Томскнефтехим», 2015. – 141 с.
2. Fire & Gas Общее описание [Электронный ресурс] // URL: <http://www.eusebi-impianti.it/ru/sistemi-antincendio-ei/fire-and-gas.html> [дата обращения 30.07.16].
3. Панель управления EXFIRE360 [Электронный ресурс] // URL: <http://www.svsistemidiscurezza.com/products/control-panel-exfire360.html> [дата обращения 30.07.16].

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ С КОМПЕНСАЦИЕЙ МОМЕНТА ОТ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ДЕБАЛАНСА АДВД

Шакуров А.Р., Тягусев А.В., Еремина М.Г., Доманов В.И.

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

Современное массовое и крупносерийное производство разнообразных отраслей промышленности выполняются поточным методом с широким использованием автоматических транспортирующих линий. Поточный метод производства и работа автоматической линии основаны на конвейерной передаче изделий от одной технологической операции к другой, при этом необходимые операции последовательно выполняются на движущем конвейере. Следовательно, конвейеры являются составной и неотъемлемой частью современного технологического процесса. Одними из видов поточных линий являются вибрационные транспортирующие машины. Преимуществами данных машин является возможность полной герметизации при транспортировании пылящих, ядовитых и горячих грузов, возможность выполнения других технологических операций совместно с транспортированием, малый износ грузонесущего органа.

Исследования пусковых режимов представлены в виде осциллограмм скорости и электромагнитного момента АДВД, амплитуд колебаний вибрационного транспортера при номинальных параметрах питающей сети.

Исследование вибрационной системы проводилось при параметрах, характерных для промышленной вибрационной транспортирующей установки.

Известно, что производительность вибрационных транспортирующих машин, при прямолинейных колебаниях грузонесущего органа зависит от таких параметров режима работы, как амплитуда и частота колебаний, а также угла вибрации и угла наклона[5]. В зависимости от заданных параметров технологического процесса, как правило, требуются различные амплитуды колебаний грузонесущего органа, что достигается изменением статического момента дебалансов АДВД.

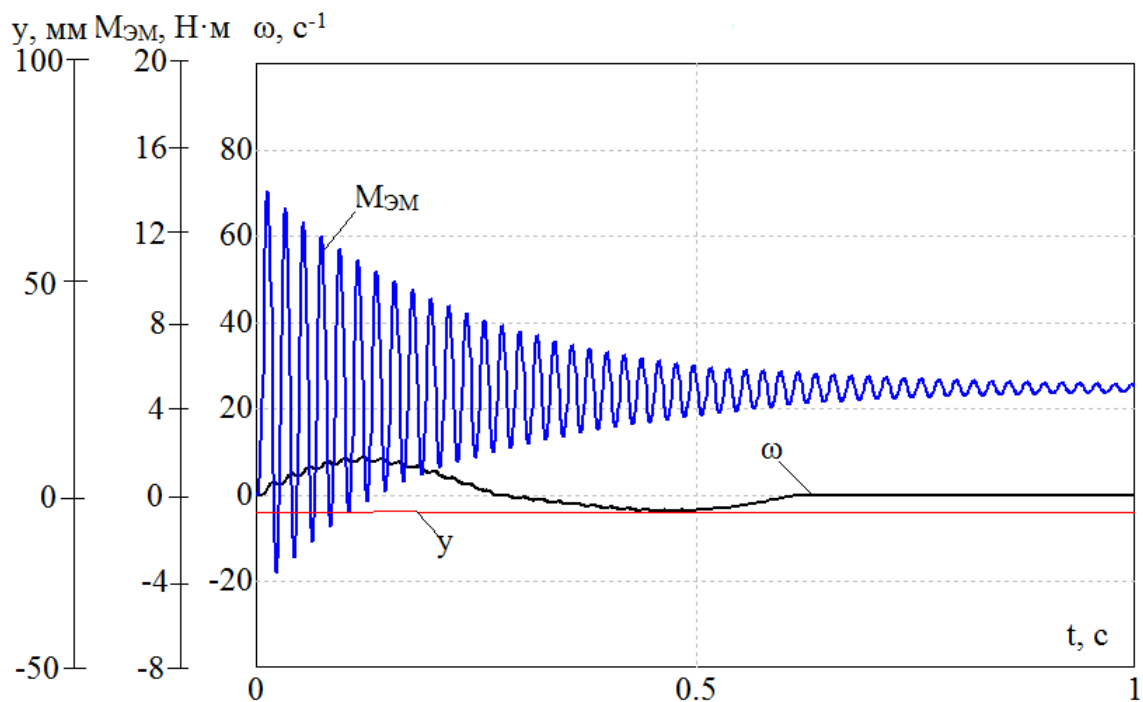


Рис. 1. График изменения частоты вращения и электромагнитного момента АДВД, амплитуда колебаний системы по оси Y при $M_{CT}=M_D$ без вибровозбудителя

Перспективным направлением улучшения и уменьшения резонансных амплитуд колебаний является применение регулируемых вибровозбудителей. Конструкция вибровозбудителя позволяет компенсировать момент от силы тяжести дебаланса при пуске и в рабочем режиме и, как следствие, улучшить формы кривой возмущающей силы в рабочем режиме.

На рис. 2 показан продольный разрез вибровозбудителя, на рис. 3 – поперечный разрез, а на рис. 4 – направления сил действующих на дебаланс.

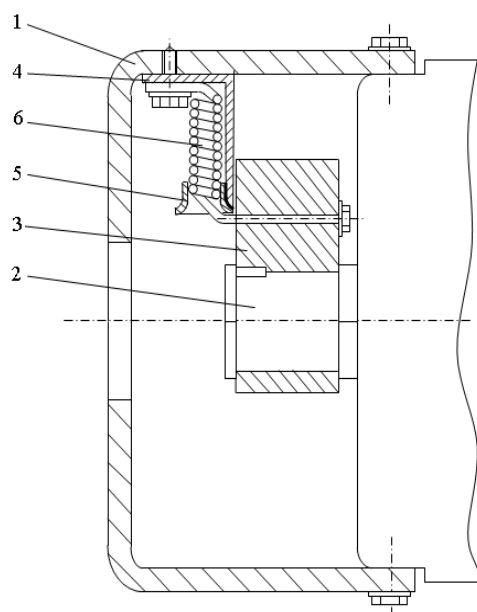


Рис. 2. Продольный разрез вибровозбудителя

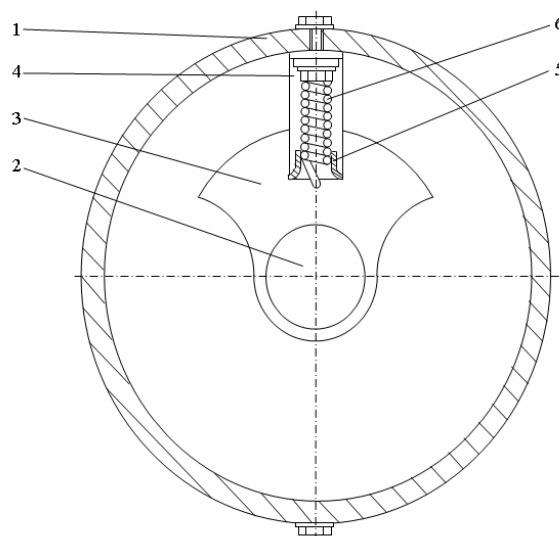


Рис. 3. Поперечный разрез вибровозбудителя

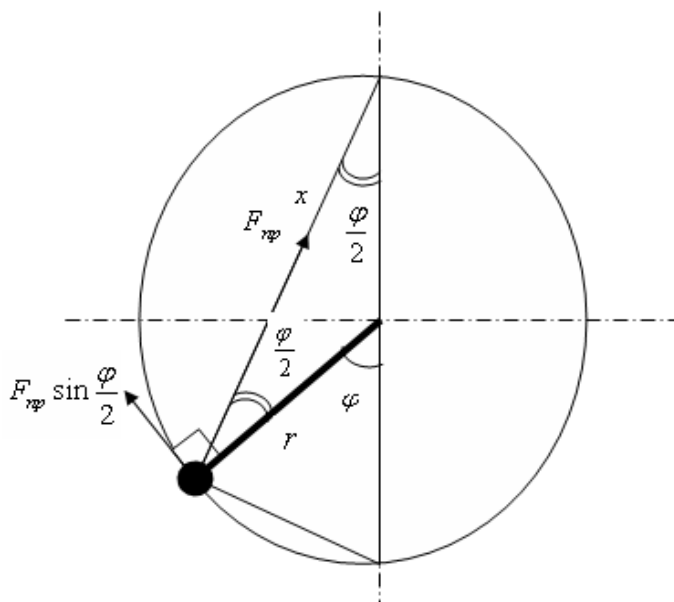


Рис. 4. Направления сил действующих на дебаланс

Вибровозбудитель содержит цилиндрический корпус 1, приводной вал 2 с консольно закрепленным дебалансом 3 и пружину сжатия 4, первый конец которой закреплен на дебалансе 3 с возможностью вращения, а второй на корпусе выше оси дебаланса 4. Вибровозбудитель снабжен Г-образным кронштейном 5 одна сторона, которого вместе со вторым концом пружины сжатия 4 закреплен на корпусе 1 посредством, например, резьбового соединения. На другой стороне кронштейна 5 выше оси вращения на расстоянии равным расстоянию от оси вращения до центра тяжести дебаланса закреплена направляющая, выполненная в форме кольца, закрепленная на кронштейне посредством, например, сварки. Первый конец пружины сжатия 4 установлен внутри направляющей и закреплен в точке дебаланса 3, являющимся центром тяжести. Коэффициент жесткости пружины сжатия выбирается исходя из условия, при котором

статический момент дебаланса и момент, с которым пружина действует на дебаланс, равны. В связи с полной компенсацией статического момента дебаланса в исходном состоянии его положение может быть произвольным, например как показано на рис. 2 и рис. 3 в верхнем положении, причем пружина в этом положении не находится под механическим напряжением.

Вибровозбудитель работает следующим образом. При вращении вала 2 с жестко закрепленным на нем дебалансом 3 создаваемая его массой инерционная сила воспринимается корпусом 1, и передается виброобъекту.

Для подтверждения эффективности дебалансного вибровозбудителя получены осциллограммы частоты вращения и электромагнитного момента АДВД, амплитуды колебаний системы при $M_{пр}=0$ и $M_{ст}=M_{п}$ и $M_{пр}=M_{ст}=M_{п}$ (рис. 1 и рис.5).

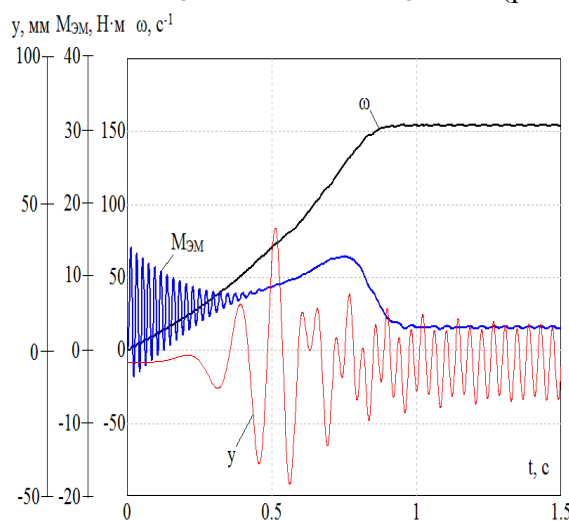


Рис. 5. График изменения частоты вращения и электромагнитного момента АДВД, амплитуда колебаний системы по оси Y при $M_{ст}=M_{п}$ с вибровозбудителем

Анализируя представленные на рис. 1 и рис. 5 графиков можно заключить, что момент вызванный действием пружины, позволят частично или полностью компенсировать момент силы тяжести действующей на дебаланс вибровозбудителя, что благоприятно сказывается на разгоне АДВД.

Данная конструкция дебалансного вибровозбудителя расширяет функциональные возможности вибромашин с массивными дебалансами, повышают их надежность, позволяют уменьшить установленную мощность АДВД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базаров, Н. Х., Шинянский А. З. Проблемы развития вибрационных электроприводов транспортных механизмов / Н. Х. Базаров, А. З. Шинянский // Автоматизированный электропривод в промышленности. – М.: Энергия, 1975. – С. 270–274.
2. Живков, В. С. Влияние электромагнитной энергии на устойчивость колебаний механической системы с центробежным возбудителем / В. С. Живков // Машиноведение. – 1971. – № 4. – С. 16–21.
3. Нагаев, Р. Ф. Периодические режимы вибрационного перемещения / Р. Ф. Нагаев. – М.: Наука, 1978. – 160 с.
4. Радин, В. И. Электрические машины: Асинхронные машины: Учеб. для электромех. спец. вузов / В. И. Радин и др. // Под ред. И. П. Копылова. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.: ил.

5. Спиваковский, А. О. Транспортирующие машины: Учеб. пособие для машиностроительных вузов/ А. О Спиваковский, В. К. Дьяков. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.: ил.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИСТЕРЕЗИСНЫХ МУФТ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

Савельева М.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Запорные арматуры (ЗА) используются для перекрытия участков трубопровода. В частности, запорные арматуры устанавливаются в магистральных нефтепроводах через каждые 15–20 км. Очень часто, ЗА оснащается электроприводом (ЭП), важнейшими компонентами которого являются асинхронный двигатель и редуктор (червячный либо волновой) [1].

Электропривод ЗА должен обеспечивать срыв затвора из состояния покоя и его герметизацию в конце хода, иметь возможность дистанционного управления, соответствовать нормам взрывобезопасности и климатического исполнения. Т.к. чаще всего в качестве ЗА используется клиновое задвижка [2], то герметичность системы в первую очередь зависит от износа клина. Для увеличения его срока службы необходимо, чтобы усилие в конце хода обеспечивало надёжный контакт, но не пережимало клин.

Решить данную проблему можно несколькими способами:

- с помощью преобразователя частоты в составе ЭП, который позволит точно контролировать усилие развиваемое двигателем на всех этапах работы задвижки. Однако такой вариант является достаточно дорогостоящим для повсеместного внедрения;
- заменой асинхронного двигателя синхронно-гистерезисным двигателем, управление которым будет производиться с помощью ШИМ [3], что также является дорогостоящим вариантом;
- внедрением в состав ЭП гистерезисной муфты.

Гистерезисная муфта относится к классу синхронных магнитных муфт и служит для бесконтактной передачи механического момента с ведущего вала на ведомый. К достоинствам гистерезисной муфты, важным для работы в составе ЭП ЗА можно отнести:

- наличие собственного пускового момента, который позволит обеспечить срыв затвора из состояния покоя;
- установка максимального передаваемого момента, позволяющего исключить пережимание клина в конце хода;
- возможность внедрения муфты в состав ЭП, незначительно усложняя его конструкцию;
- соответствие условиям взрывобезопасности и низкая притязательность к перепаду температур [4].

К недостаткам, которые можно выделить у гистерезисных муфт, можно отнести использование сложных в изготовлении магнитотвёрдых материалов, а также собственные особенности функционирования различных конструкций, описанные ниже.

Основные конструкции гистерезисных муфт представлены на рис. 1.

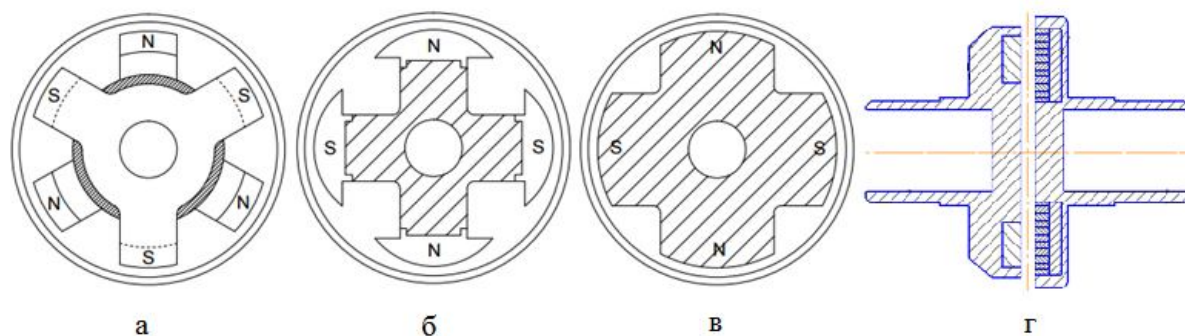


Рис. 1. Гистерезисная муфта а) с когтеобразным индуктором; б) с радиально расположенными магнитами и полюсным наконечником; в) с индуктором типа «звёздочка» ; г) с торцевым намагничиванием

Когтеобразный индуктор (рисунок 1, а) состоит из цилиндрического постоянного магнита, к торцам которого примыкают шайбы из магнитомягкой стали, имеющие когтеобразные выступы. Главным достоинством индуктора является то, что постоянный магнит защищён магнитомягкими элементами от внешних полей, а его первоначальное намагничивание осуществляется в собранном виде внешним однородным полем. Поэтому степень использования магнита высока и рабочая индукция составляет 0,6–0,7 Тл. Кроме того, магнит имеет простую форму и расположен вблизи центра индуктора, что позволяет реализовать окружные скорости индуктора до 80–100 м/с, поскольку наружные магнитомягкие элементы обладают достаточной механической прочностью. Поэтому мощность машин с когтеобразным индуктором может достигать **10 – 20 кВт·А** [5].

Индуктор гистерезисной муфты с радиально-расположенными магнитами и полюсными наконечниками (рисунок 1, б) обладает средним значением рабочей индукции среди представленных конструкций, но имеет худший коэффициент заполнения магнитом и более сложную конструкцию по сравнению с индуктором типа «звёздочка».

Типичная конструкция звездообразного индуктора (рисунок 1, в) содержит литой постоянный магнит в форме звёздочки, который крепится на валу с помощью заливки немагнитным сплавом (на основе цинка или алюминия). Достоинства индуктора – простота и высокая степень заполнения его объёма магнитом. К серьёзным недостаткам можно отнести низкую механическую прочность из-за хрупкости магнитотвёрдых сплавов и остаточных механических напряжений при отливке. Максимально допустимые окружные скорости индуктора составляют 40–50 м/с, а рабочие индукции не превышают 0,2–0,4 Тл, вследствие чего индуктор-звёздочка применяют обычно при относительно малых мощностях машины (до).

Гистерезисная муфта с аксиальным (осевым) воздушным зазором (рисунок 1, г) и торцевым намагничиванием представляет собой переменнопольный индуктор когтеобразного типа на ведущем валу. Ведомая часть муфты содержит гистерезисный слой, который выполняется литым или шихтованным и заключен в арматуру из магнитомягкого или немагнитного материала и может выполняться также вообще без арматуры.

Потери энергии в магнитно-гистерезисных муфтах в режиме синхронной передачи невелики, поскольку они определяются потерями трения в подшипниках, трения о воздух и потерями от вихревых токов в немагнитной электропроводящей перегородке.

При этом КПД магнитно-гистерезисной муфты весьма высок и приближается к единице.

Оценка оптимальности конструкции магнитно-гистерезисных муфт с точки зрения энергетических характеристик имеет второстепенное значение, так как потери энергии в ней невелики.

В муфтах с радиальным воздушным зазором нарушение соосности за счёт технологических погрешностей изготовления приводит к неравномерному воздушному зазору, что неблагоприятно сказывается на характеристиках муфты и создает радиальные усилия на подшипники за счёт нарушения магнитной симметрии. В муфтах с аксиальным воздушным зазором нарушение соосности в меньшей степени сказывается на неравномерности зазора и характеристиках муфты, поэтому технология изготовления муфт с радиальным воздушным зазором требует большей точности, чем для муфт с аксиальным воздушным зазором.

В муфтах с радиальным воздушным зазором представляется возможным разработать серию муфт с различной величиной гистерезисного момента на базе одного внешнего диаметра с одной и той же геометрией активных частей. В муфтах с аксиальным воздушным зазором эти возможности ограничены, так как их оптимальная аксиальная длина функционально связана с наружным диаметром.

При больших значениях необходимого гистерезисного момента муфта с радиальным воздушным зазором становится более рациональной, чем муфта с аксиальным воздушным зазором, так как первая позволяет получить необходимую величину гистерезисного момента за счёт увеличения осевой длины, без увеличения наружного диаметра. При равномерном воздушном зазоре в муфтах с радиальным зазором отсутствуют радиальные силы одностороннего магнитного притяжения и осевые силы. В муфтах с аксиальным воздушным зазором возникают силы осевого магнитного притяжения, действующие на подшипники, обратно пропорциональные величине воздушного зазора [6].

Исходя из номенклатуры двигателей, применяемых в составе ЭП и на основе материалов ЮНДК35Т5АА и Fe-Cr-Co были рассчитаны размеры гистерезисных муфт, необходимые для передачи заданной величины момента. По полученным данным были построены таблицы 1 и 2.

Таблица 1. Габаритные размеры гистерезисных муфт

Характеристики двигателя			Характеристики муфт							
					С радиальным зазором			С аксиальным зазором		
P	M	D _{вн.д.}	D _{н.г.}	V _г	D _{вн.г.}	l _г	λ	D _{вн.г.}	Δ _г	Δ _г *
мощность	момент	внутр. диаметр двиг-ля	наружный диаметр гист.слоя	объём гист. слоя	внутр. диаметр гист. слоя	длина индуктора	констр. коэфф		толщина гист. слоя	отн.толщина гист. слоя
кВт	Нм	см	см	см ³	см	см		см	см	
0,55	0,4	20	18	23,26	17,5	5,46	0,27	6,30	0,109	0,01
1,5	1	20	18	58,15	17,5	13,65	0,68	6,30	0,271	0,02
2,5	1,7	25	22,5	98,85	22	18,51	0,74	7,88	0,295	0,01
4	2,7	25	22,5	157,00	22	29,40	1,18	7,88	0,469	0,02
7,5	5	35	31,5	290,74	31	38,77	1,11	11,03	0,443	0,01
11	7,3	35	31,5	424,48	31	56,60	1,62	11,03	0,647	0,02
18,5	12,3	35	31,5	715,22	31	95,36	2,72	11,03	1,09	0,03
30	20	40	36	1162,96	35,5	135,54	3,39	12,60	1,357	0,04
45	30	45	40,5	1744,44	40	180,58	4,01	14,18	1,608	0,04

Таблица 2. Значения моментов для различных гистерезисных муфт

Муфта с аксиальным зазором				Индуктор типа "звёздочка"				Индуктор с полюсными наконечниками			Когтеобразный индуктор		
D, см	λ	$\sigma_{\text{мг.м.}}^{-3}_{10}$	M _г , Нм	D, см	λ	$\sigma_{\text{мг.м.}}^{-3}_{10}$	M _г , Нм	λ	$\sigma_{\text{мг.м.}}^{-3}_{10}$	M _г , Нм	λ	$\sigma_{\text{мг.м.}}^{-3}_{10}$	M _г , Нм
внешний диаметр муфты	констр. коэф	коэф. исп. активных материалов	гистерезисный момент										
18	0,5	1,34	3,91	17,5	–	1,5		–	1		–	0,63	
18	0,5	1,34	3,91	17,5	0,76	1,5	6,1	0,76	1	4,1	0,76	0,63	2,56
22,5	0,5	1,34	7,63	22,0	0,82	1,5	13,1	0,82	1	8,7	0,82	0,63	5,51
22,5	0,5	1,34	7,63	22,0	1,31	1,5	20,8	1,31	1	13,9	–		
31,5	0,5	1,34	20,9	31,0	1,23	1,5	54,9	1,23	1	36,6	–		
31,5	0,5	1,34	20,9	31,0	1,80	1,5	80,2	1,80	1	53,5	–		
31,5	0,5	1,34	20,9	31,0	–	1,5		–	1		–		
36	0,5	1,34	31,3	35,5	–	1,5		–	1		–		
40,5	0,5	1,34	44,5	40,0	–	1,5		–	1		–		

По приведённым данным можно сделать вывод что по предварительной оценке гистерезисные муфты с аксиальным воздушным зазором являются более перспективными для использования в ЭП ЗА, так как они отвечают всем заданным требованиям к муфте в целом, способны работать во всём диапазоне моментов, а также незначительно повлияют на габариты ЭП в отличие от муфт с радиальным намагничиванием. В целом, благодаря своей простоте и относительно невысокой стоимости применяемых материалов можно говорить о возможном применении гистерезисных муфт и в других отраслях, где на данный момент применяются асинхронные двигатели с прямым пуском.

ЛИТЕРАТУРА

1. Севастьянихин Г. И., Задвижки: конструкции, новые разработки. Выбор в зависимости от условий и параметров эксплуатации // Наука и конструирование, 2006, №5, с. 40–45
2. Гарганеев А.Г., Каракулов А.С., Ландграф С.В.. Электропривод запорной арматуры: монография / Томский Политехнический Университет. – Изд-во Томского Политехнического Университета, 2012. – 157 с.
3. Гарганеев А.Г., Падалко Д.А., Черватюк А.В. Перспективы развития мехатронных систем // Доклады ТУСУРа, 2014, №2 (32), с. 308–314.
4. Руководство по эксплуатации Электропривод взрывозащищённый с двусторонней муфтой ограничения крутящего момента для запорной арматуры Ду 500-12006 Ру 8,0-15,0:// ТОМЗЭЛ. – Томск, 2013.-34 с.
5. Бут В.А. Бесконтактные электрические машины: Учеб. Пособие для электромех. и электроэнерг. спец. ВУЗов. – М.: Высшая школа., 1990. 416 с.: ил.
6. Мизюрин С.Р., Ермилов М.А.. Проектирование магнитно-гистерезисных муфт. – М.: Ротапринт МАИ, 1966. – 123 с.

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗАДВИЖКИ ПАРОПРОВОДА

Янчук В.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Ни один вид трубопроводной системы не обходится без использования задвижек. К сферам использования задвижек относятся и жилищно-коммунальное хозяйство, и водоснабжение, и различные нефтепроводные системы. Подробный перечень может быть очень большим. В качестве рассматриваемой системы была выбрана задвижка с электроприводом подачи пара.

В данном случае используется клиновая задвижка фланцевого типа с выдвижным штоком (шпинделем) 30С941НЖ и электроприводом типа ГЗ, предназначенная для автоматического управления подачей пара и газа в магистралях с рабочим давлением 16 кгс/см² (16 Мпа). Эксплуатация задвижек данного типа предусмотрена на трубопроводах с диаметром 50—700 мм.



Рис. 1. Задвижка клиновая фланцевого типа под электропривод

Одним из несомненных преимуществ этого клинового запорного устройства является то, что оно производится из литейных и нержавеющей марок стали, о чем свидетельствуют буквы НЖ в названии. Литейные стали обладают способностью сопротивляться высокому давлению, а нержавеющие — коррозии. Поэтому такой тип задвижек, как 30С941НЖ с электроприводом, успешно применяется для транспортировки воды. Кроме того, эта модель эксплуатируется на трубопроводах и перерабатывающих предприятиях газовой и нефтяной промышленности. Запорная арматура 30С941НЖ рекомендуется на производствах, использующих горючие и пожароопасные газы (пропан, бутан, метан и другие), жидкости и пар под давлением не выше 16 бар. Следует, однако помнить, что важным условием безотказной работы задвижки является использование ее при температурах рабочих сред, не выходящих за пределы диапазона -25 до +425 °С, а для сред, являющихся горючими, взрывоопасными и токсичными, нижний предел составляет – 15°С.

Также, к другим достоинствам относятся: выдвижной шпиндель; управление; электроприводом; установка в любом положении. За счет того, что шпиндель не соприкасается с рабочей средой, срок его службы существенно выше, чем у арматуры с невыдвижным, то есть вращающимся шпинделем. Более того, в ремонте такая запорная арматура 30С941НЖ удобнее, поскольку доступ к ходовой части не затруднен.

Электрические приводы, которые используются в данном типе арматуры, производятся в условиях современного производства. Жесткие ГОСТы подразумевают:

- определенные климатические параметры,
- высокий уровень защиты от взрыва,
- муфту, которая имеет ограничение крутящего момента и бывает разных типов.

Во многом выбор привода обусловлен тем, где будет работать задвижка — в помещении, под навесом или же под открытым небом.

постоянного тока и активное сопротивление постоянному току. ИРТ 1730D/M используются в составе систем управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности. Прибор отображает цифровые значения измеряемого параметра и установок, а также имеет трехцветную шкальную индикацию. Данный прибор при поставленных уставках подает сигнал на электродвигатель на «ОТКРЫТИЕ» или «ЗАКРЫТИЕ».



Рис. 3. Микропроцессорный измеритель ИРТ 1730D/M

Таблица 1. Основные характеристики ИРТ

Количество универсальных аналоговых входных каналов	1
Количество уставок/реле	2/2
Унифицированный токовый выходной сигнал	0...5, 0...20 или 4...20 мА
Встроенный источник питания	=24 (36) В, 24 мА
Настройка прибора	при помощи клавиатуры на лицевой панели или с ПК
Интерфейсы	RS-232 или RS-485
Устойчивость к электромагнитным помехам (ЭМС)	III-A
Варианты исполнения	общепромышленное, атомное (повышенной надежности)
Габаритные размеры	96 × 48 × 210 мм, вырез в щите — 88 × 45 мм

Выводы. Тип рассматриваемой задвижки удобен тем, что управление может осуществляться как от электропривода, так и вручную. Это имеет большое значение при перебоях электроснабжения. Так же при автоматизированном управлении с использованием микропроцессорного измерителя позволяет уменьшить штат операторов по управлению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электроприводы ГЗ. [Электронный ресурс] // БК Арматура: [сайт]. – 2008 – 2013. – Режим доступа: <http://www.bkarm.ru/elektroprivody-gz.html>, свободный, дата обращения: 18.07.2016.
2. Задвижка. [Электронный ресурс] // РосСервис: [сайт]. – 2016. – Режим доступа: http://rs-kzn.ru/zd_30c41ng, свободный, дата обращения: 12.08.2016.
3. Измерители-регуляторы. [Электронный ресурс] // Элемер-Уфа: [сайт]. – 2015 – 2016. – Режим доступа: <http://elemerufa.ru/production/vtorichnyie-priboryi/izmeriteli-regulatoryi/irt-1730d.html>, свободный, дата обращения: 19.07.2016.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФТОРПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ И ОБОЛОЧКИ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Денежко А.Н., Матери Т.М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск

В настоящее время особое внимание уделяется кабельным изделиям, работающим в сложнейших экстремальных природно-климатических условиях, поскольку ведутся многочисленные работы по добыче полезных ископаемых в Арктических условиях. Исходя из того, что средние минусовые температуры Арктики колеблются: от -4°C до -25°C , а минимальные температуры иногда снижаются до $-55, -60^{\circ}\text{C}$, возникает необходимость испытаний наиболее распространенных изоляционных материалов на температуры, позволяющие работать в данных условиях. В связи с этим, исследуемые кабели с изоляцией из фторопласта и ПВХ-пластиката с заявленной минимальной температурой эксплуатации -40°C , подвергаются более низкой температуре для определения их возможного применения. Данный фактор и определяет выбор диапазона, при котором производится старение: 20, -30, -40, -50, -60°C .

В качестве объекта исследования был выбран кабель марки OLFLEX HEAT 205 SC 1X2,5 ВК, который изображен на рисунке 1. Выбор данного кабеля был связан с тем, что одним из элементов его конструкции является оболочка, которая изготовлена из фторполимера.



Рис. 1. Кабель OLFLEX HEAT 205 SC 1X2,5 ВК

Рассмотрим технические характеристики данного кабельного изделия.

- Удельное сопротивление изоляции - $> 2 \text{ ТОМ}\cdot\text{см}$;
- Конструкция жилы – жилы по VDE класс гибкости 5/ по IEC 60228 класс 5 от $0,5 \text{ мм}^2$;
- Минимальный радиус изгиба – неподвижная прокладка: $4xD$;
- Номинальное напряжение – $U_0/U \text{ 300/ 500 В}$;
- Испытательное напряжение – 2500 В ;
- Температурный диапазон – неподвижное применение: от -100°C до $+205^{\circ}\text{C}$.

Данное кабельное изделие имеет отличную стойкость к солям, синтетическим жидкостям, бензину, лакам, щелочам и другим химическим жидкостям. Трудновоспламеняем, имеет высокую пробивную прочность и износостойкость. Так же имеет способность сохранять все свои физические свойства в большом диапазоне температур и обладает высокими диэлектрическими свойствами.

Выбранный кабель относится к классу низковольтных кабельных изделий, так как рассчитан на напряжение до 1000 В . Для таких кабелей используется токопроводящие жилы в виде медной луженой проволоки, но в зависимости от диапазона рабочих температур могут и использоваться посеребренные и никелированные проволоки.

Так же для сравнения был использован кабель марки ПГВА 1Х6, который представлен на рисунке 2.



Рис.2. Провод марки ПГВА - 6Б

Выбор данного кабельного изделия был связан с тем, что его изоляция изготовлена из ПВХ-пластиката, с заявленной отрицательной температурой -40°C .

ПГВА – это автотракторный провод, который предназначен для гибкого соединения автотракторного электрооборудования и приборов с номинальным напряжением до 48В, что относит его к классу низковольтных кабелей. Изготавливается для автотехники, эксплуатируемой в условиях умеренного и тропического климата при температуре окружающей среды от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха до 90% при температуре $+27^{\circ}\text{C}$, а также для автомобилей, эксплуатируемых в условиях холодного климата. Токпроводящая жила данного кабельного изделия медная, имеет круглую форму, многопроволочная, в результате чего имеет повышенную гибкость.

В ходе проведения исследований были получены следующие зависимости.

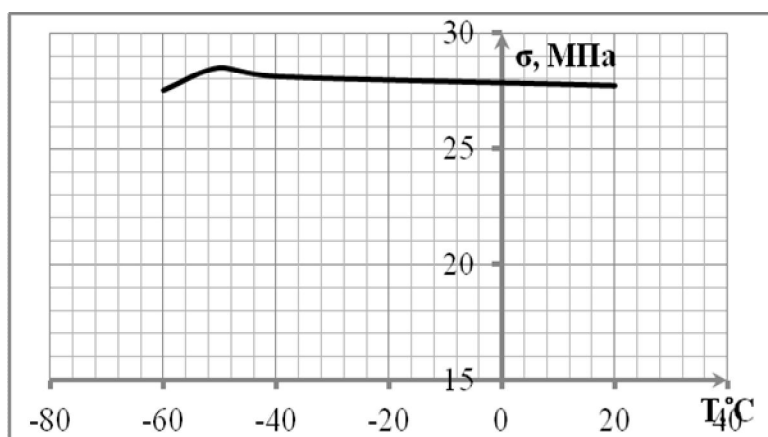


Рис. 3. Зависимость предела прочности σ от температуры T для фторопласта

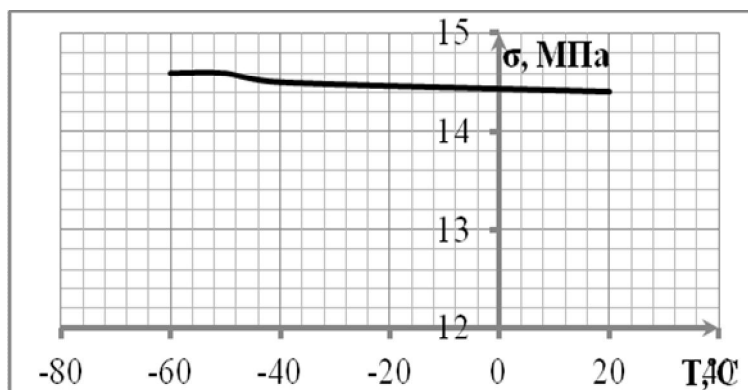


Рис. 4. Зависимость предела прочности σ от температуры T для ПВХ-пластиката

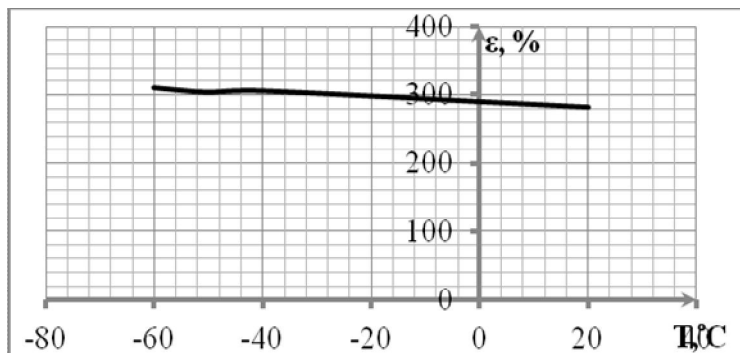


Рис. 5. Зависимость относительного удлинения ϵ от температуры T для фторопласта

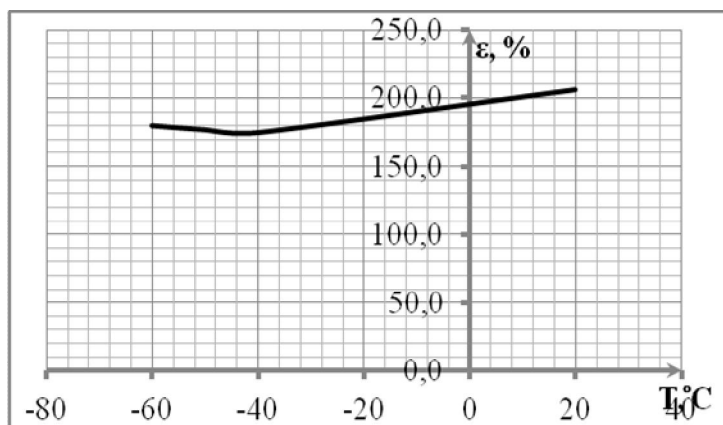


Рис. 6. Зависимость относительного удлинения ϵ от температуры T для ПВХ-пластиката

Холодостойкостью называется предел отрицательной температуры, при которой полимер в условиях данного вида деформации не разрушается. Характерные эластические свойства полимеров объясняются гибкостью их молекулярных цепей при приложениях растягивающих сил. Упругие свойства полимеров создаются стремлением молекул под воздействием теплового движения возвращаться к их первоначальному состоянию. Поэтому степень эластичности находится в прямой зависимости от интенсивности теплового движения, то есть от температуры окружающей среды. Полимеры по мере снижения температуры постепенно переходят из эластического состояния в твердое и начинают разрушаться в механически наиболее напряженных местах с образованием характерных трещин [1-3].

На рисунках 3 и 4 представлены зависимости изменения прочности при разрыве от температуры. Как для кабеля с изоляцией из фторопласта, так и для провода с поливинилхлоридной изоляцией зависимость имеет убывающий характер. Изменение предела прочности для кабеля с изоляцией из фторопласта составила 0,7%. Абсолютное изменение составило 0,2 МПа. Для провода с изоляцией из ПВХ-пластиката изменение предела прочности составило 2,1%. Абсолютное изменение предела прочности – 0,3 Мпа.

На рисунках 5 и 6 представлены зависимости относительного удлинения от температуры. Для кабеля с изоляцией из фторопласта график зависимости изменения относительного удлинения от температуры имеет убывающий характер. Изменение относительного удлинения составило 10,5%. А для провода с изоляцией из ПВХ-пластиката график зависимости имеет возрастающий характер, причем изменение относительного удлинения составило 12,5%.

В ходе проведения эксперимента на монтажный изгиб при различных температурах (-30°C ; -40°C ; -50°C ; -60°C), образец с изоляцией из ПВХ-пластиката не выдержал испытаний при температуре -50°C . А образец с изоляцией из фторопласта показал устойчивость к воздействию пониженных температур, вплоть до -60°C .

Устойчивость фторопластовой изоляции главным образом связана с химическим строением, а именно с наличием многоуровневых связей. А поливинилхлорид имеет линейное строение.

Результатом проделанной работы являются зависимости изменения предела прочности и относительного удлинения от температуры старения изоляции. На основании полученных данных были сделаны выводы по устойчивости полимерных материалов к воздействию холода.

Было установлено:

1. Изменение физико-механических свойств практически не зависит от температуры.
2. Изоляция, выполненная из фторопласта, показала устойчивость к воздействию пониженных температур до -60°C .

В связи с этим, можно полагать, что кабельные изделия, имеющие фторполимерную изоляцию, пригодны для использования в условиях экстремально низких температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулезнёв В. Н., Шершнёв В. А. Химия и физика полимеров // М.: КолосС, 2007, 2-ое издание, перераб. и доп. - 367 с.
2. Бартенев Г. М., Френкель С. Я. Физика полимеров / Под ред. д-ра физ.-мат. наук Ельяшевича А. М. // Л.: Химия, 1990. - 432 с.
3. Бухина М. Ф., Курлянд С. К. Морозостойкость эластомеров // М.: Химия, 1989. - 176 с.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Цыбиков Б.Б.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Энергоэффективный двигатель представляет собой двигатель общепромышленного исполнения, который проектируется с применением специальных подходов, например, с увеличенным значением массы активных материалов, их качества, более надежной изоляцией, замены составных частей двигателя на новые модификации с улучшенными характеристиками энергосбережения. В результате можно получить снижение до 20 % суммарных потерь мощности двигателя. В итоге, можно получить увеличение КПД двигателя на 2...5 %, меньший перегрев обмоток статора, меньший шум и вибрацию, увеличенный срок службы и повышенную надежность. Разумеется, стоимость энергоэффективного двигателя соответственно выше, но эти затраты окупятся за счет меньшего электропотребления в будущем [1,2].

При проведении исследования было отдано предпочтение асинхронному двигателю с короткозамкнутым ротором. Поскольку, такой двигатель, является наиболее распространенным – около 60 % потребляемой энергии приходится именно на него, кроме того электроприводы на их базе охватывают практически все технологические процессы.

На сегодняшний момент в мировом сообществе приняты четыре класса энергоэффективности двигателей – IE1, IE2, IE3 и IE4, что согласно международной классификации расшифровывается как IE1 -стандартный класс, IE2 - высокий класс, IE3 - сверхвысокий класс, IE4 - максимально высокий класс энергоэффективности.

На данный момент наиболее распространенным классом является IE2. Однако, начиная с 1 января 2017 года все европейские производители двигателей будут вынуждены перенастроить свое производство на выпуск электродвигателей класса энергоэффективности не ниже IE3. Исходя из изложенного, поиск путей повышения КПД асинхронных двигателей является актуальной задачей.

Существуют различные способы увеличения КПД двигателя, в общем случае они могут быть сформулированы следующим образом:

1. Изменение обмоточных данных двигателя, (при сохранении поперечной геометрии машины).
2. Изменение длины воздушного зазора (статора и ротора); при сохранении поперечной геометрии машины).
3. Комплексное изменение длины сердечника и обмоточных данных машины (при сохранении поперечной геометрии машины).
4. Изменение пазовой зоны (количество, форма и глубина пазов статора и ротора).
5. Изменение материалов с меньшими удельными потерями для изготовления обмоток и магнитопроводов машины.
6. Использование двигателей с большим габаритом.

Способ с изменением пазовой зоны является наиболее сложным и дорогостоящим, поскольку в данном случае требуется подкорректировать технологию изготовления и непосредственно оборудование. К основному оборудованию относится прессовый комплекс вырубавший статорные листы из электротехнической стали методом штамповки, приобретение данного оборудования является дорогостоящей задачей для предприятия [3].

При изменении материала изготовления обмотки ротора с литой алюминиевой на литую медную, возможно уменьшить суммарные потери в двигателе, а также позволяют сделать его более компактным - уменьшение длины сердечника статора и ротора за счет увеличения КПД. Сокращение длины двигателя при этом позволит уменьшить потребление меди, электротехнической стали, изоляционных материалов. Но, так как медь имеет меньшее удельное сопротивление, нужно найти решение для обеспечения необходимых пусковых характеристик. Для этого достаточно углубить паз ротора примерно на 15% которое приведет к усилению влияния эффекта вытеснения тока. При использовании данного способа возможно увеличение КПД на 3...5% [4].

В данной статье основное внимание будет уделено наиболее экономически целесообразному способу повышения энергоэффективности, то есть повышение КПД машины происходит за счет увеличения длины магнитопровода статора и уменьшении числа витков обмотки статора [5, 6, 7]. Данный комплексный подход является наиболее простыми и доступными, так как не требуют больших дополнительных затрат связанных с переоснащением основного производства.

В данной статье была поставлена задача рассмотрения возможности повышения КПД машины до уровня энергоэффективности IE2. Наряду с повышением КПД двигателя, переход на использование электродвигателей класса IE2 позволяет:

- экономить большое количество энергии;
- увеличить срок жизни двигателя и смежного с ним оборудования;
- повысить коэффициент мощности;
- улучшить перегрузочную способность;

- уменьшить затраты на техобслуживание и снизить простои;
- повысить устойчивость двигателя к тепловым нагрузкам и к нарушениям условий эксплуатации;
- снизить нагрузку на обслуживающий персонал из-за практически бесшумной работы.

В представленной работе были произведены расчеты трех вариантов изменения обмоточных данных и длины магнитопроводов: 1 вариант. Без изменения числа витков обмотки фазы статора $w_1=100\%$, с увеличением длины сердечников статора и ротора до 40% по сравнению с базовой машиной; 2 вариант. При $w_1=90\%$, с увеличением длины сердечников статора и ротора до 40% по сравнению с базовой машиной; 3 вариант. При $w_1=80\%$, с увеличением длины сердечников статора и ротора до 40% по сравнению с базовой машиной.

Результаты моделирования приведены в таблице 1, в таблице используются следующие условные обозначения: L_1 – относительное значение длины магнитопроводов статора и ротора, l_δ – длина магнитопроводов статора и ротора, $P_{\Sigma 1}$ – электрические потери в обмотке статора, $P_{\Sigma 2}$ – электрические потери в обмотке ротора, P_{cm} – магнитные потери, $\cos\varphi$ – коэффициент мощности, η – КПД спроектированного двигателя.

На основании данных были построены диаграммы рис. 1-4. На рис. 1 приведена гистограмма изменения КПД с ростом длины сердечников статора и ротора, при этом представлены все три варианта расчета, изменение КПД происходит за счет изменения суммарных потерь на рис. 2, 3, 4 приведены данные изменения электрических потерь в обмотке статора, электрических потерь в обмотке ротора, магнитных потерь при изменении длины сердечников и обмоточных данных машины.

Таблица 1. Данные расчета

$L_1, \%$	100	105	110	115	120	125	130	140
$l_\delta, \text{м}$	0,1086	0,114	0,119	0,125	0,13	0,136	0,141	0,152
Вариант 1, $w_1=100\%$								
$P_{\Sigma 1}, \text{Вт}$	656,83	651,55	653,81	665,25	680,28	703,72	728,64	799,14
$P_{\Sigma 2}, \text{Вт}$	235,38	246,62	256,90	269,15	282,04	298,08	314,56	356,66
$P_{cm}, \text{Вт}$	141,22	134,85	129,19	123,47	117,95	113,30	108,73	101,24
$\cos\varphi$	0,818	0,831	0,837	0,839	0,838	0,835	0,831	0,817
η	0,867	0,867	0,866	0,865	0,862	0,859	0,855	0,845
Вариант 2, $w_1=90\%$								
$P_{\Sigma 1}, \text{Вт}$	656,83	394,79	359,97	344,62	332,45	329,46	331,02	339,53
$P_{\Sigma 2}, \text{Вт}$	235,38	99,17	102,68	105,60	107,26	110,88	115,44	125,30
$P_{cm}, \text{Вт}$	141,22	194,05	185,10	176,97	169,46	162,66	157,35	146,08
$\cos\varphi$	0,818	0,738	0,779	0,801	0,816	0,827	0,836	0,845
η	0,867	0,88	0,886	0,889	0,891	0,892	0,893	0,892
Вариант 3, $w_1=80\%$								
$P_{\Sigma 1}, \text{Вт}$	656,83	792,98	643,41	564,21	527,43	507,19	502,14	504,50
$P_{\Sigma 2}, \text{Вт}$	235,38	164,97	164,34	166,66	170,64	173,91	179,54	191,41
$P_{cm}, \text{Вт}$	141,22	160,15	152,73	146,95	140,93	134,93	129,66	120,823
$\cos\varphi$	0,818	0,662	0,726	0,774	0,803	0,821	0,832	0,843
η	0,867	0,852	0,869	0,879	0,884	0,886	0,887	0,887

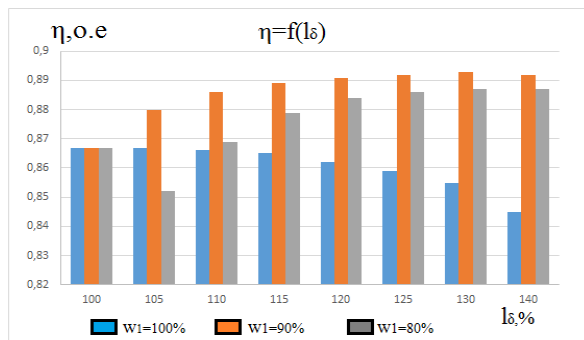


Рис. 1. Зависимость $\eta=f(l_\delta)$

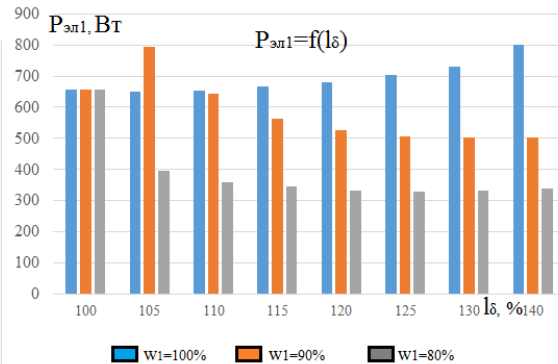


Рис. 2. Зависимость $P_{эл1}=f(l_\delta)$

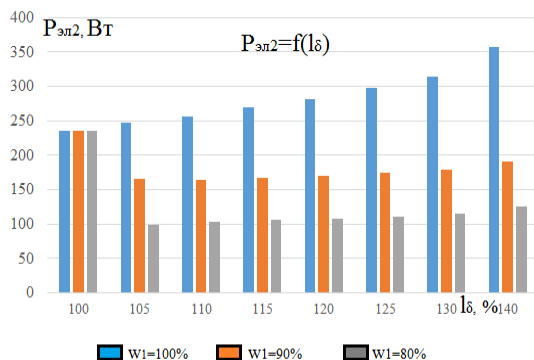


Рис. 3. Зависимость $P_{эл2}=f(l_\delta)$

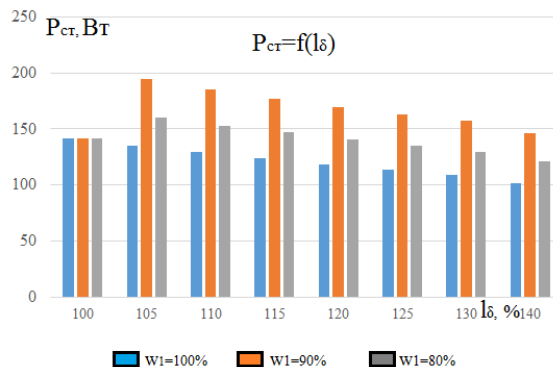


Рис. 4. Зависимость $P_{см}=f(l_\delta)$

Увеличение КПД происходит за счет увеличения длины воздушного зазора, так как потери в стали уменьшаются, однако при неизменном количестве витков резко увеличиваются электрические потери, следовательно, для большего повышения КПД следует уменьшать количество витков в обмотке фазы статора. При этом для сохранения коэффициента заполнения паза статора постоянным, принимаем большее сечение витка, следовательно, получаем уменьшение электрических потерь (и в роторе и в статоре). Как показывают результаты расчетов комплексное изменение длины сердечника и обмоточных данных позволяет получить более высокое значение КПД.

Варианта №2 удалось получить повышение КПД на 2,6 % при $w_1=90\%$ и увеличении длины сердечника на 30 % от базового, при этом происходит уменьшение электрических потерь в статоре на 49,6 %, на 50,95 % электрических потерь в роторе, на 8,18 % стальных потерь.

Варианта №3 удалось получить повышение КПД на 2 % при $w_1=80\%$ и увеличении длины сердечника на 40 % от базового, при этом происходит уменьшение электрических потерь в статоре на 23,19 %, на 18,68 % электрических потерь в роторе, увеличение на 3,32 % стальных потерь.

Полученные данные КПД соответствует классу энергоэффективности IE2. Таким образом рассмотренный подход к проектированию энергоэффективных двигателей позволяет повысить класс энергоэффективности машины. Данный подход предусматривает несколько больший расход активных материалов на изготовление машины, однако, основным преимуществом является отсутствие необходимости переоборудования основного производства. Небольшое же увеличение себестоимости машины компенсируется меньшими затратами в процессе его дальнейшей эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование электрических машин: Учеб. Пособие для вузов/ И.П. Копылов, Б.К. Клоков и др.; Под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия, 2015. – 767 с.
2. Асинхронные двигатели серии» 4А: Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. М.: Энергоиздат, 1982. - 504 с
3. Сравнение характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при замене материала обмотки ротора и предложения по их улучшению. Шевченко В.В, Горюшкин Н.И, Лизан И.Я // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2014. - № 12. - С. 27-34.
4. Энергоэффективные асинхронные двигатели для регулируемого электропривода / О. О. Муравлева //Известия Томского политехнического университета \\\ Томский политехнический университет (ТПУ). — 2005.— 135-139 с.
5. Энергоэффективные асинхронные двигатели для насосных агрегатов : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : / П.В. Тютеева; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: 2010. — 215 с.
6. Тютеева П. В. Работа модернизированных асинхронных двигателей в составе регулируемого электропривода турбомеханизмов / П. В. Тютеева, Е. В. Бейерлейн // Известия вузов. Проблемы энергетики : научно-технический и производственный журнал / Казанский государственный энергетический университет. — 2015. — № 1-2. — [С. 76-84].
7. Бейерлейн Е.В., Тютеева П.В., Муравлева О.О. Комплексная оценка затрат при проектировании энергоэффективных асинхронных двигателей // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2011. – № 6. – С. 25–28.

ПРИМЕНЕНИЕ Fe-Cr-Co В КАЧЕСТВЕ АКТИВНОГО СЛОЯ РОТОРА СИНХРОННО-ГИСТЕРЕЗИСНОГО ГИРОДВИГАТЕЛЯ

Брянцев А.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Гиродвигатель является как по положению, так и по своему назначению центральным элементом гироскопического прибора. Маховик вместе с двигателем, приводящим его во вращение, называется гиродвигателем (ГД). Особенность гироскопа заключается в том, что он стремится сохранить постоянство направления оси вращения маховика в абсолютном (инерционном) пространстве.

Принципиальной особенностью гистерезисных двигателей, связанной непосредственно с физикой их работы, является единый по своей природе электромагнитный момент в асинхронном и в синхронном режиме. То, что СГД имеет избыточный момент при любой скорости вращения, в том числе и при скорости, близкой к синхронной, позволяет ему входить в синхронизм при любом моменте инерции, что трудно получить от других типов синхронных двигателей [1].

Именно с этим связано в первую очередь применение гистерезисных двигателей в гироскопии. Кроме того, на стороне СГД простота, надежность и принципиальная симметричность конструкции ротора, а также относительно неплохие энергетические показатели, сопоставимые при малых габаритах с характеристиками двигателей иного типа. Для получения наилучших энергетических показателей используется только конструкция СГД с немагнитным материалом маховика.

До недавнего времени в качестве гистерезисного материала использовали сплав Fe – Co–V (викаллой). В настоящее время создан сплав Fe–Cr–Co обладающий лучшими магнитными свойствами, как показано на рис. 1. Применение Fe–Cr–Co позволит ротору СГД находиться на петлях гистерезиса с большими значениями индукции и напряженности поля, это даст возможность использовать двигатель при больших значениях нагрузки. Сплав данной системы деформируется как в горячем, так и в холодном состоянии, а также обладает пластичностью и коррозионной стойкостью [2].

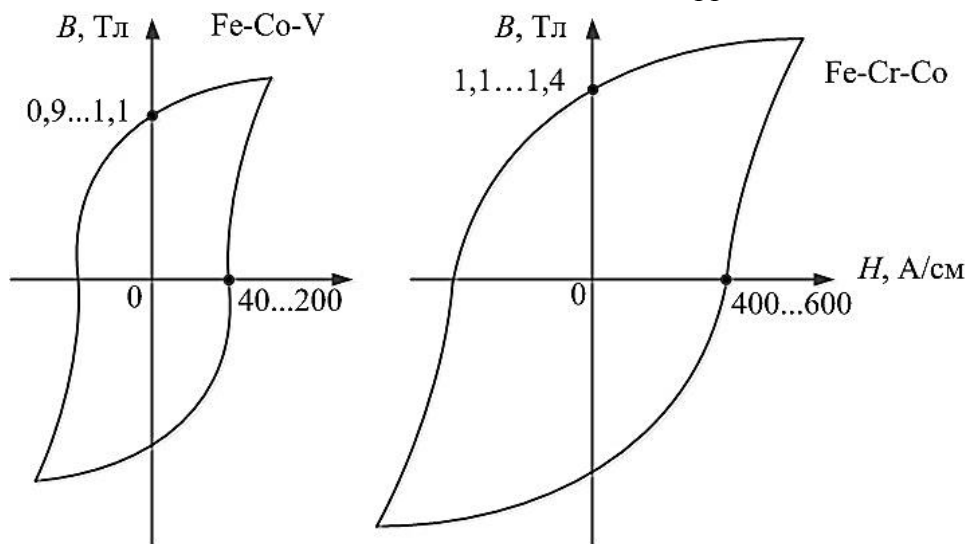


Рис. 1. Петли гистерезиса материалов Fe-Co-V и Fe-Cr-Co

Поэтому его можно устанавливать во внутреннюю поверхность маховика при помощи горячей посадки.

В данной работе был спроектирован СГД для бортовой системы летательного аппарата. Спроектированный двигатель удовлетворяет основным требованиям технического задания, а именно: синхронная скорость вращения $n_c = 24000$ об/мин, число полюсов $2p = 2$, напряжение питания $U_{\text{л}} = 36$ В, полезная мощность $P_{\text{н}} = 2$ Вт. Исходя из исходных данных, рассчитан необходимый номинальный момент $M_{\text{н}} = 0,079$ Н·см, развиваемый маховой частью гиродвигателя, и соответственно подобраны требуемые размеры вращающейся и неподвижной частей.

На основании характеристики материала Fe–Cr–Co [2], были приняты следующие значения рабочей индукции $B_{m\gamma} = 1,25$ Тл, напряженности поля $H_{m\gamma} = 500$ А/см, коэрцитивной силы $H_c = 420$ А/см, а также $B_m = 1,4$ Тл и $H_m = 600$ А/см. Максимальный коэффициент выпуклости $k_{gm} = 0,62$.

Величина индукции в воздушном зазоре $B_{\delta} = 0,09$ Тл, требуемая для обеспечения нужной мощности при условии максимального к.п.д. в номинальном режиме, найдена по формуле [1, 10.28]. Чтобы обеспечить при данной индукции $B_{\delta} = 0,09$ Тл требуемую рабочую индукцию в роторе $B_{m\gamma} = 1,25$ Тл, по [1, 10.27] необходимо иметь относительную толщину ротора $\beta = 1,071$ ($\beta \approx k_d$). При выбранном коэффициенте $k_d = 1,075$ относительная толщина $\beta = 1,068$. При данной $\beta = 1,068$ из выражения [1, 10.26] индукция в роторе составляет $B_p = 1,29$ Тл, и отличается от 1,25 Тл менее чем на 5%. Толщина активной части ротора равняется $h_p = 0,105$ см.

Для того, чтобы в данных размерах при индукции в воздушном зазоре B_δ была бы обеспечена требуемая мощность, в материале активной части ротора должна быть создана определенная величина напряженности поля, амплитуду которой определяется из выражения [1, 10.29] и составляет $H_{p.m} = 551$ А/см. По формуле [1, 10.32] развиваемая двигателем электромагнитная мощность при пуске $P_3 = 10,9$ Вт, а пусковой момент $M_{II} = 0,39$ Н·см. Так как петлевая обмотка имеет число пазов на полюс и фазу $q_1 = 2$, и выполнена с укороченным шагом $y = 0,833$, то влияние пространственных гармоник на характер механической характеристики не значительный, что наблюдаем из рис. 2.

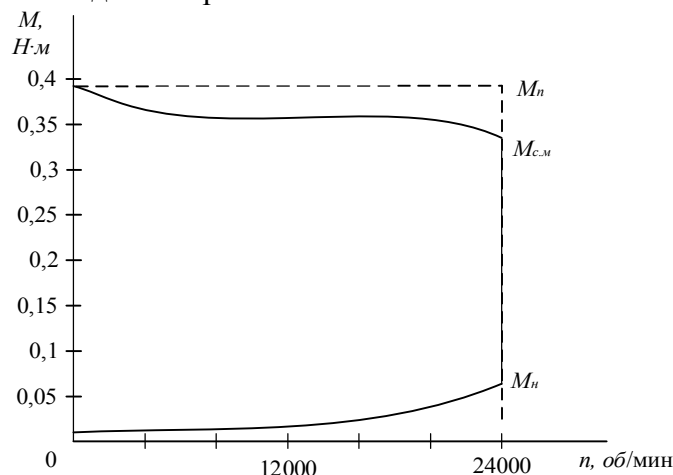


Рис. 2. Механическая характеристика СГД

В силу того, что ротор СГД намагничивается обмоткой статора. То СГД является недовозбужденным синхронным двигателем, что и определяет особенности его характеристик. Прежде всего из-за большого намагничивающего тока, потребляемого из сети, коэффициент мощности очень низкий $\cos \varphi = 0,2 \div 0,5$ (см. рис. 3). Вследствие низкого $\cos \varphi$, двигатель потребляет большой ток, имеет большие потери в меди и следовательно невысокий к.п.д. Ток статора в синхронном режиме слабо зависит от нагрузки, так как преобладающей в токе является намагничивающая составляющая, которая почти постоянна. Кратность пускового тока невелика и составляет $k_I = 1,105$. Малая кратность тока является отличительной особенностью СГД, позволяющая с меньшим запасом выбирать мощность источника питания.

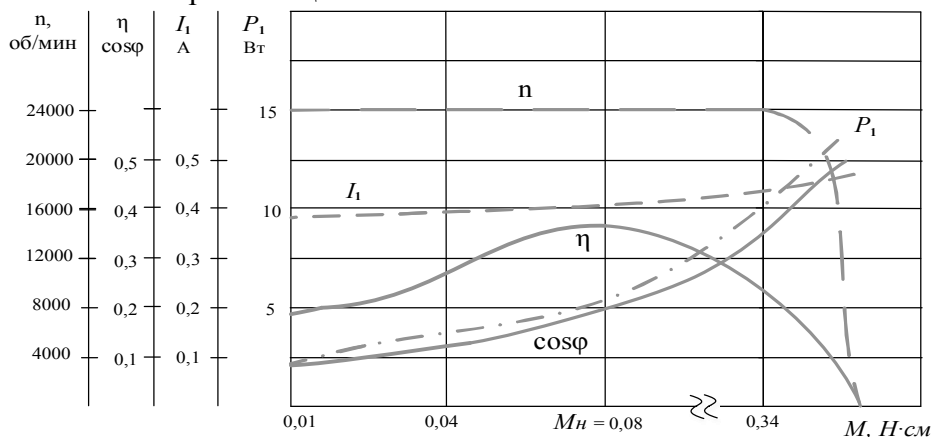


Рис. 3. Рабочие характеристики СГД

Таким образом, использование Fe-Cr-Co по сравнению с викаллоем приводит к увеличению в несколько раз удельных потерь на гистерезис $P_{Г0}$, электромагнитной мощности при пуске P_3 и пускового момента $M_{П}$. При этом время разбега t_p снижается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Делекторский Б.А. Проектирование гироскопических электродвигателей / Б.А. Делекторский, Н.З. Мастяев, И.Н. Орлов; под ред. И.Н. Орлова. — Москва: Машиностроение, 1968. — 252 с.
2. Устюхин А.С., Вомпе Т.А., Мильев И.М., Зелевский В.А. Исследование магнитных гистерезисных свойств Fe-26Cr-16Co порошковых сплавов в зависимости от условий спекания и термообработки // Ученые записки ЗабГУ. Серия: Физика, математика, техника, технология. – 2015. – Ч. 135. – № 3. – С. 112–119.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИЙ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ОБМОТКАМИ ИЗ АЛЮМИНИЯ

Елшибек Ануар Алтынбекулы

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Обеспечение жизнедеятельности трансформаторов при аварийных воздействиях, в частности, коротких замыканий, остается важной научно-технической проблемой из-за повышения требований к надежности, экономичности, конкурентоспособности, а также из-за роста и перераспределения мощностей сетей, увеличения числа коротких замыканий. Также имеют место моральное и физическое старение парка трансформаторов, технические и экономические трудности обеспечения резерва и замены оборудования.

Актуальность темы: В объем капитального ремонта трансформаторов кроме работ, выполняемых при среднем ремонте, входят работы, связанные с разборкой активной части. Необходимость ее разборки может быть вызвана повреждением обмоток или магнитной системы, износом их изоляции. В первом случае обмотки полностью или частично заменяют новыми или восстанавливают старые.

Вместе с тем встает вопрос о необходимости замены медного провода алюминиевым, что обусловлено:

- дефицитом меди в связи с более быстрыми темпами развития электротехнической промышленности по сравнению с ростом добычи меди;
- снижением себестоимости алюминия, вызванным значительным увеличением объема производства и постоянно повышающейся стоимостью электроэнергии;
- снижением материалоемкости выпускаемых трансформаторов и электрических аппаратов, как указывалось выше, важная проблема электротехнической промышленности, никогда не теряющая своей актуальности [3].

Исследование возможностей модернизации силового трансформатора ТМ-100/6 при проектировании и поиск вариантов перехода на обмотки из алюминия в тех же габаритах магнитной системы.

Обеспечение дальнейшей эксплуатации трансформаторов после капитального ремонта возможно за счет полной замены медного провода обмоток трансформатора алюминиевым, когда заменяется только металл провода, но сохраняются: число витков

обмоток, материал и размеры изоляционных промежутков, а также все данные и размеры магнитной системы и системы охлаждения трансформатора.

Трансформатор *ТМ-100/6* является двухобмоточным трехфазным понижающим силовым масляным трансформатором промышленного назначения и предназначен для преобразования электроэнергии в сетях энергосистем и потребителей электроэнергии. Трансформатор был спроектирован с максимальным приближением к ГОСТ, по электротехническим параметрам не уступает аналогам.

Таблица 1. Спроектированный трансформатор с аналогичными трансформаторами выпускаемыми заводами изготовителями ТМ-100/6

Заводы Парамет.	Спроектированны й трансформатор	ООО «УралЭнерго»	ПЭО г. Королев	ООО «ЗУТ» г. Полевской
S_n , кВА	100	100	100	100
VH , кВ	6	6	6	6
HN , кВ	0,4	0,4	0,4	0,4
U_{k3} , %	4,34	4,5	4,5	4,5
P_{k3} , Вт	1651	1300	1970	1970
I_{xx} , %	1,771	2,5	2,2	2,6
Схема соединения	У/У _Н -0	У/У _Н -0	У/У _Н -0	У/У _Н -0
Габариты, мм	800×500×1000	1050×560×119 5	1050×1285× 695	1090×770×1560
Масса, кг	795	770	750	730

В результате расчета трансформатора с обмотками из меди, получены следующие соотношения основных геометрических параметров магнитной системы, представленные в табл. 2 которые будут определяющими при поиске вариантов перехода на обмотки из алюминия.

Таблица 2. Соотношения основных геометрических параметров силового трансформатора ТМ-100/6

Диаметр стержня сердечника	$D = 0,14$ м
Осевой размер обмотки	$L_1=L_2= 0,342$ м
Число витков в обмотке	$\omega = 49$
Масса стали магнитной системы	$G_{ст,М} = G_{ст,А}$
Внешний диаметр обмотки	$D_2 = 0,27$ м
Длина стержней магнитной системы	$l_c=0,381$
Расстояние между осями стержней	$C=0,28$

В процессе исследования и расчетов было выявлено, что в нашем случае рациональная замена в силовом трансформаторе обмоток из меди на обмотки из алюминия в тех же габаритах магнитной системы с одинаковыми электротехническими параметрами, с одинаковой конструкцией, материалами и размерами изоляции рассчитанными при одном значении индукции возможна лишь при снижении номинальной мощности.

В результате проведенных исследований и расчетов силового трансформатора

ТМ-100/6 на обмотки из алюминия в тех же габаритах магнитной системы было найдено два возможных варианта. Первый вариант, когда обмотку НН выполняют из алюминиевой ленты снижение мощности, которой составила 15% и второй вариант, когда обмотка НН цилиндрическая двухслойная из прямоугольного провода мощность снизилась на 5%.

Для проведения сравнительного анализа при поиске оптимального варианта была построена сводная таблица.

Таблица 3. Сводная таблица сравнительного анализа

Номинальная мощность трансформатора ТМ-100/6	$S_n=100$ кВА	$S_n=85$ кВА	$S_n=95$ кВА
Материал обмоток	Медь	Алюминий	Алюминий
Тип обмоток НН	Цилиндрическая двухслойная из прямоугольного провода	Алюминиевая лента	Цилиндрическая двухслойная из прямоугольного провода
d_{cm} (м)	14	14	14
β	1,53	1,53	1,53
C_{ac}	402,63	328	340,611
$l_{об1,2}$ (м)	0,342	0,342	0,342
l_c (м)	0,381	0,381	0,381
C (м)	0,280	0,280	0,280
q_{nn} (Вм/м ²)	321	578	359
$q_{вн}$ (Вм/м ²)	509	427	595
$P_{осн1}$ (Вт)	635	870	709
$P_{осн2}$ (Вт)	1200	1114	1203
$P_{кз}$ (Вт)	1651	2018	1961
$U_{кз}$ (%)	4,344	4,654	4,538
P_{xx} (Вт)	357	357	357
i_{xx} (%)	1,771	1,771	1,771
η (%)	98,03	97,64	97,70
G_{cm} (кг)	270,2	270,2	270,2
$G_{обм,ал}$	93,26	51,85	37,85
M/S_n	3,63	3,78	3,24

Для наглядного сравнительного анализа при поиске оптимального варианта были построены графики (рис 1, 2, 3, 4).

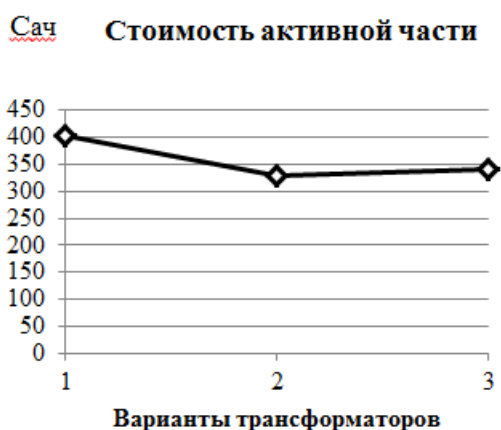


Рис. 1. Стоимость активной части

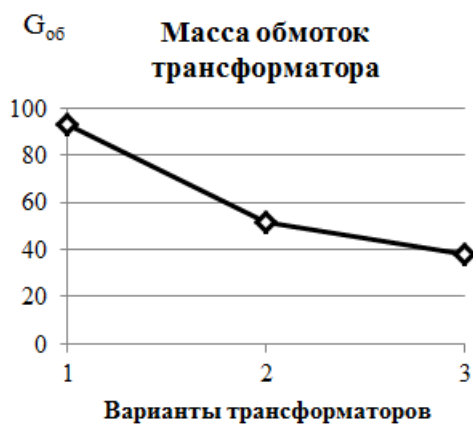


Рис. 2. Масса обмоток трансформатора



Рис. 3. Удельная материалоемкость



Рис. 4. Коэффициент полезного действия

Анализ таблицы и графических зависимостей показал, что вариант трансформатора ТМ-95/6 с обмоткой НН цилиндрической двухслойной из прямоугольного провода показал существенное уменьшение массы обмоток, стоимости активной части трансформатора и удельной материалоемкости. При этом коэффициент полезного действия практически остался без изменений.

Таким образом, можно сделать следующие выводы, что в процессе проведения расчетов была получена возможность выбора оптимального варианта типа обмоток НН трансформатора и оценки ряда его параметров – масс активных материалов, стоимости активной части, параметров холостого хода и короткого замыкания при сохранении геометрии магнитной системы.

Несмотря на снижение номинальной мощности на 5 % для масляных силовых трансформаторов допускается длительная перегрузка по току любой обмотки на 5% от номинального тока ответвления, если напряжение на ответвлении не превышает номинального. Отсюда следует, что трансформатор ТМ 95/6 может работать при номинальной мощности на 100 кВА. Тем самым модернизация данного трансформатора проведена без снижения качества при эксплуатации.

В плане экономического анализа при сравнении медных обмоток с алюминиевой видно, что при одинаковой конструкции магнитной системы трансформатора стоимость ремонта будет намного дешевле и легче трансформатора с обмотками из

меди почти 2,5 раза с теми же показателями. И все же выбор, замены обмоток на медь или на алюминии нужно строго исходя из потребностей и возможностей заказчика.

Таким образом, модернизированный трансформатор ТМ-95/6 будет гораздо эффективнее аналога и следовательно, его эксплуатация возможна без снижения качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихомиров П. М. Расчет трансформатора – М.: Альянс, 2009.–528 с.
2. Фарбман С.А., Бун А.Ю., Райхлин И.М. – Ремонт и модернизация трансформаторов.
3. Котелец Н.Ф. Акимова Н.А., Антонов М.В. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин – Издательский центр: "Академия", 2003.
4. Сапожников А.В. Конструирование трансформаторов. – изд. 2 М., Л.: Государственное энергетическое издательство, 2006

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УПАКОВОЧНОЙ МАШИНЫ

Древаль М.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Решение проблемы импортозамещения ставит необходимостью разработки современного оборудования для пищевых отечественного производства.

Описание принятых технических решений

С конвейера, где отливаются шоколадные конфеты посредством зигзагообразного транспортирующего укладчика, производится их перемещение на следующий конвейер, где они укладываются в одну линию и поступают на движущую ленту, равномерно выравниваясь.

Далее, каждая из конфет с помощью сервопривода переключается в ячейку ленты с разделительными лопатками. Над этой лентой синхронно перемещается упаковочная пленка с метками для датчика. В узле упаковки производится продольная сварка пленки, т.е. формируется непрерывный пакет. Одновременно, батончики перемещаются вперед, внутрь пакета, и проходят через позицию поперечной горизонтальной сварки, резки пакета (Рисунок 1).

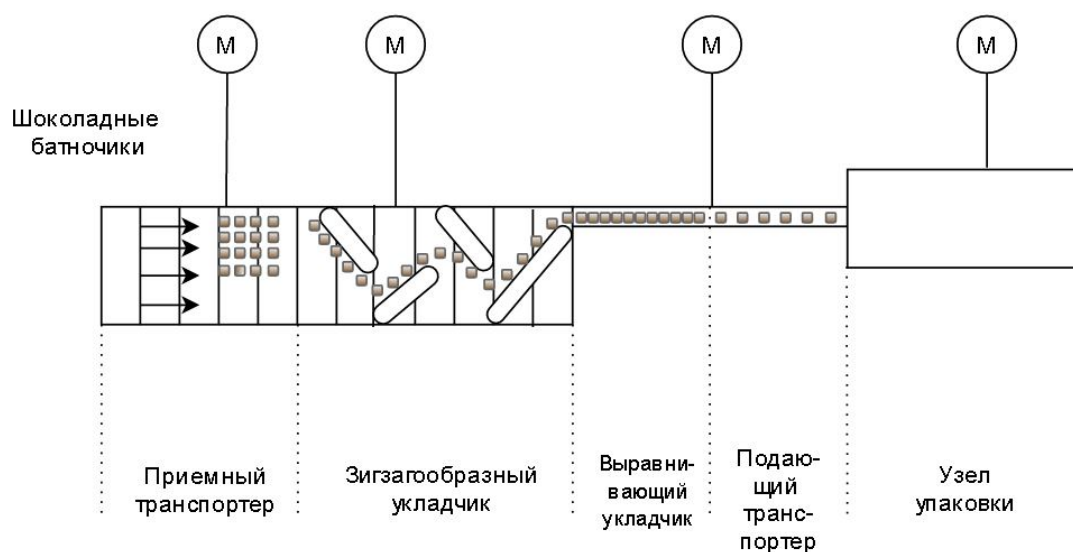


Рис. 1. Схема конвейера по упаковке шоколадных батончиков

Описание технологического процесса

-Принимающий узел.

Движение ленты транспортёра-формирователя конфет определяется цикличностью их изготовления (отливки) и управляется прерывателем. Лента приёмного транспортёра обеспечивает равномерность подачи конфет на упаковку вне зависимости от пауз в работе предыдущего транспортёра.

-Зигзагообразный укладчик.

Обеспечивает укладку конфет в линию, с промежутками между ними. Является буфером, обеспечивающим непрерывную подачу конфет на упаковку, вне зависимости от изменения количества конфет, поступающих с приёмного транспортёра. Предотвращает упаковку пустого или переполненного пакета.

-Состав подающего узла:

1. Приёмный транспортер.

Выполняет функцию накопителя, конфеты укладываются впритык, одна за другой (Рисунок 5).

2. Регулируемый транспортер (несколько конфет).

Благодаря разности скоростей, делит каждую порцию конфет на ленте 1 на одинаковые отрезки (по одной конфете на каждом), причём шаг расположения равен шагу лопаток на лопаточном транспортёре (Рисунок 5).

3. Регулируемый транспортер (одна конфета).

Его назначение такое же, как у транспортера 2. Но длина ленты 3 равна шагу между лопатками, и на него не должно попадать более одной конфеты с транспортера 2 при разгоне или торможении (Рисунок 5).

Узел упаковки

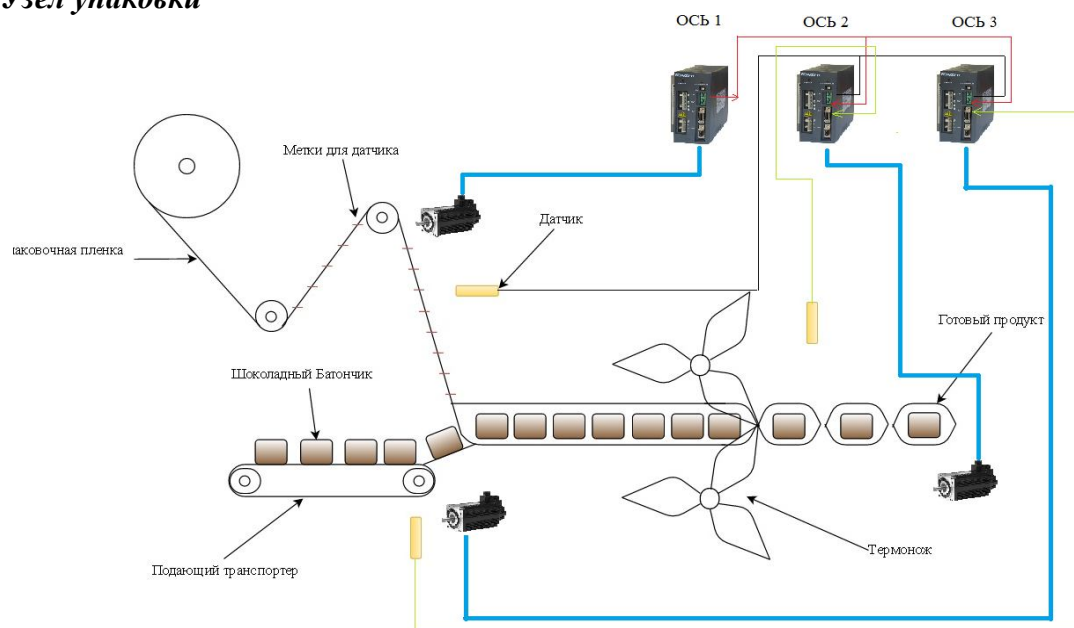


Рис. 2. Схема узла упаковки

1. Подача упаковочной пленки (ось 1).

Эта координата с управляемой скоростью является главной осью системы (Рисунок 2).

2. Привод ножа (ось 2).

Ось синхронизируется от 1 оси с помощью сервопривода. При поступлении на сервопривод сигнала датчика цветной метки активизируется этот режим и начинается

его выполнение. Сервопривод производит захват сигнала метки и управляет скоростью для обеспечения точного управления позиционированием ножа (Рисунок 2).

3. Привод подачи конфет (ось 3).

Эта ось синхронизируется от 1 оси с помощью сервопривода. Для автоподстройки расположения конфеты на транспортёре используется синхронизация с цветными метками на плёнке (Рисунок 2).

Расчет работы подающего транспортера

Сервопривод лопаточного транспортера и сервопривод подачи упаковочной плёнки синхронизированы. Считаем, что они движутся со скоростью V , шаг между лопатками S и время упаковки одной конфеты T . (Рисунок 7). Если мы хотим разместить конфету посередине между лопатками, то необходимо настроить расстояние между краем конфеты и лопаткой. Когда устанавливается расстояние $(S-D)/2$ - это означает, что конфета находится как раз посередине. Считаем её базовой точкой, относительно которой рассчитываются управляющие воздействия для сервоприводов.

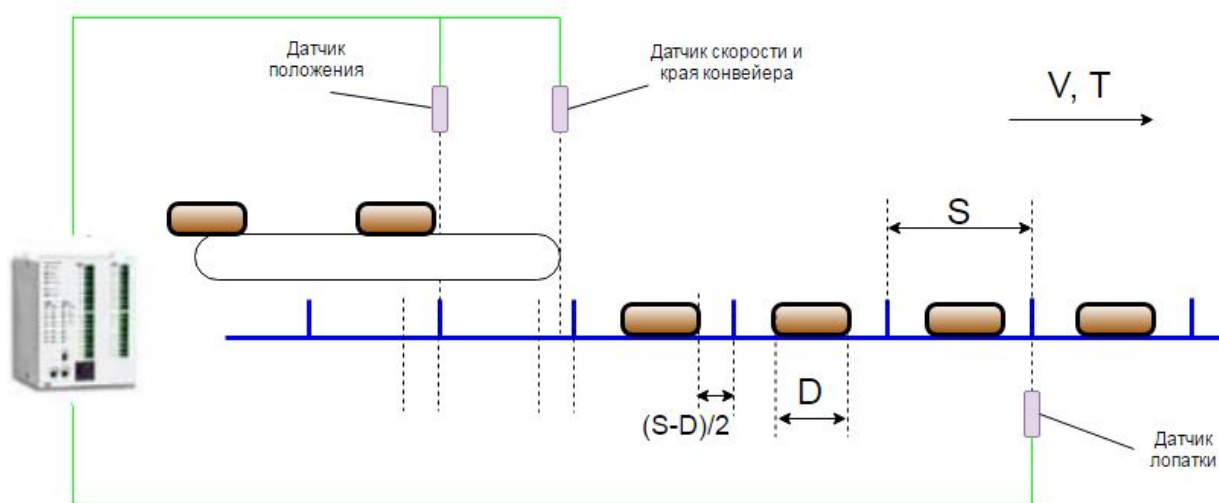


Рис. 3. Работа подающего транспортера

Смета установки

Таблица 1. Стоимость оборудования

№ п/п	Наименование	Тип	Количество, шт	Стоимость, руб.
1	Конвейер ленточный	ЛК-Л	1	45000
2	Барабан приводной	БП-4020Ф-80	1	25000
3	Термонож-запайщик полуавтоматический Magipack	PE 80P	1	43000
4	Сервопривод Servo	E-1	6	150000
5	Транспортер вертикальный	HT77001	1	50000
6	Индуктивный датчик перемещения	XS618B4PAL5	5	По запросу
7	Импульсный датчик скорости	ПД 8093-1	3	По запросу
8	Диффузионный оптический датчик метки	ODG I49A5	1	По запросу
			Итого	313000

Таблица 2. Стоимость работ

Наименование	Стоимость, руб.
Разработка технического проекта	60000
Шеф-монтаж	40000
Пуско-наладочные работы	40000
Итого	140000

Общие проблемы и их решения

Проблема 1.

При подаче конфеты вылетают.

- Необходимо убедиться, что правильно установлен датчик.
- Необходимо убедиться, что правильно выставлено рабочее расстояние датчика, особенно в точке сопряжения двух конвейеров.

- Убедиться в отсутствии проскальзывания ленты конвейера.
- Убедиться в правильной работе системы прижима конфет воздухом к ленте.
- Убедиться в чистоте транспортёрной ленты.
- Убедиться, что нижняя поверхность конфеты ровная и чистая, или что прижим конфет воздухом не работает.

- Скорость подачи больше скорости упаковки.

Проблема 2.

Много упаковывается пустых пакетов.

- Скорость упаковки больше скорости подачи.
- Производительность машины, производящей конфеты, существенно меньше нормы.

Проблема 3.

Длина резки отличается от заданного значения.

- Убедиться, что таблица механических параметров ножниц задана правильно.

Проблема 4.

На приёмном конвейере конфеты уложены не в линию.

- Необходимо проверить правильно ли установлен датчик и не нарушено ли рабочее расстояние.

Проблема 5.

Конфеты падают в конце зигзагообразного транспортёра.

- Скорость упаковки очень мала, необходимо убедиться в правильной установке ленты транспортёра и правильной установке направляющих роликов.

Проблема 6.

При подаче, две конфеты попадают в один момент в одну и ту же ячейку лопаточного транспортёра.

- Неправильное количество конфет.
- При маленькой скорости упаковки происходит скопление, набегание конфет на лопаточном конвейере.
- При высокой температуре происходит слипание конфет друг с другом.

Проблема 7.

Хотя длина резки установлена правильно, размер пакетов отличается от заданной.

- Убедиться в наличии чёткого сигнала цветной метки, отсутствии проскальзывания вала в приводе подачи упаковочной плёнки.

Выводы:

На реализацию проекта требуется 453 тыс.рублей. Производительность упаковочного узла 200 батончиков/мин, это около 78 тыс. батончиков за смену. Цена

одного батончика равняется 30 рублей. С учетом рентабельности товара в 60%, потребуется около года, чтобы оборудование окупилось.

В результате проделанной работы, можно сделать вывод, что проект является экономически целесообразным и его следует реализовать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инжиниринг для предприятий: [Электронный ресурс] // URL: <http://www.enginrussia.ru/informatsiya/> (Дата обращения: 20.08.2016).
2. Энциклопедия Кругосвет: [Электронный ресурс] // URL: http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/tehnologiya_i_promyshlennost/KONVEERI.html
3. Металлоинвест: [Электронный ресурс] // URL: <http://www.metalloinvest.com/sustainability/environmental-protection/>
4. Siemens SIMATIC S7. Первые шаги в PLC S7-200, 2007. — 50 с.

НЕЛИНЕЙНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ В КОНТУРЕ СТАБИЛИЗАЦИИ

Астапенко А.С., Павловец А.Н., Морозова М.П.

Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
г. Минск

Одним из наиболее распространенных регуляторов на практике является ПИД-регулятор (пропорционально-интегральный регулятор). Его широкое применение связано с универсальностью и большим количеством инструментов для анализа линейных систем. Но у алгоритма присутствуют и недостатки, в первую очередь, интегральное насыщение и регулирование объектов с существенным запаздыванием.

Интегральное насыщение – это наиболее типовое проявление режима ограничения управляющего воздействия, которое возникает в процессе выхода системы на режим в регуляторах с ненулевой постоянной интегрирования. Интегральное насыщение приводит к затягиванию переходного процесса. Аналогичный эффект возникает вследствие ограничения пропорционального и интегрального члена ПИД-регулятора. Однако часто под интегральным насыщением понимают совокупность эффектов, связанных с нелинейностью типа «ограничение». Эта нелинейность связана с естественными ограничениями на мощность, скорость, частоту вращения, угол поворота, площадь поперечного сечения клапана, динамический диапазон и т. п. Контур регулирования в системе, находящейся в насыщении (когда переменная достигла ограничения), оказывается разомкнутым, поскольку при изменении переменной на входе звена с ограничением его выходная переменная остается без изменений.

При большом запаздывании рекомендуется использовать упредитель Смита. Однако такое решение приемлемо только при постоянстве величины запаздывания. В случае его изменения контур регулирования становится неустойчивым.

Существуют различные пути повышения регуляторов и уменьшения интегрального насыщения. В частности в регуляторах очень часто используется функция отключения интегрирующей составляющей при большом значении величины рассогласования. Современные вычислительные возможности микропроцессорной техники позволяют реализовать различные алгоритмы.

Известны работы [1-3], которые позволяют исключить интегральное насыщение за счет нелинейных преобразований ошибки. Путем выдвижения одинаковых требований к

качеству настройки, предлагается сравнить потенциальные возможности нескольких нелинейных решений с учетом классической структуры ПИД-регулятора. Структурная схема управления, для которой проводились исследования, представлена на рис. 1.

В качестве нелинейной функции выбирались:

$$F(e) = \text{sign}(e) \ln(|e| + 1); \quad (1)$$

$$F(e) = \text{sign}(e) \sqrt{|e|}; \quad (2)$$

$$F(e) = \text{sign}(e) \cdot (\sqrt{|e| + 0,0025} - 0,05); \quad (3)$$

$$F(e) = e^3, \quad (4)$$

$$F(e) = e^7, \quad (5)$$

$$F(e) = \text{tg}(e), \quad (6)$$

$$F(e) = \text{arctg}(e), \quad (7)$$

$$F(e) = \sinh(e), \quad (8)$$

$$F(e) = \text{tgh}(e), \quad (9)$$

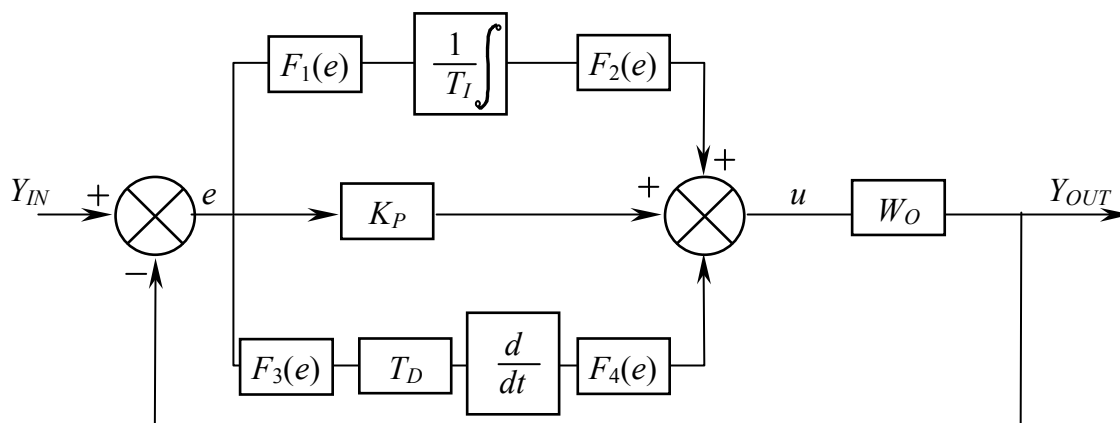


Рис. 1. Структурная схема управления Y_{IN} – управляющее воздействие, Y_{OUT} – выходной параметр, e – ошибка управления; u – управляющее воздействие; $F(e)$ – нелинейная функция; K_P – коэффициент усиления регулятора; T_I – время интегрирования ПИ-регулятора; p – оператор Лапласа

Для выше указанных нелинейностей, а также классического ПИД-регулятора, ищались настройки исходя из минимизации следующего интегрального критерия

$$J = \int_0^{\infty} t^2 |e| dt \rightarrow \min. \quad (10)$$

В качестве общего объекта была выбрана передаточная функция со следующими параметрами:

$$W_O = \frac{1}{(100p + 1)(30p + 1)(10p + 1)} \exp(-\tau p), \quad (11)$$

τ – время запаздывание.

Величина коэффициент колебательности и время запаздывание принимала фиксированные значения и $\tau = [0,5 \ 1 \ 5 \ 10 \ 50]$.

Поиск настроек осуществлялся в программном пакете MatLAB путем численного моделирования, анализом переходного процесса на фиксированном диапазоне и с последующей корректировкой K_P , T_I и T_D .

Результаты оптимизации в таблице 1, где e/e – отношение интегрального отклонения для замкнутой и разомкнутой системы; K_f – частота при которой возникают автоколебания

Наилучшие результаты дает использование логарифмической преобразования ошибки. В отличие от линейной системы получается меньше значение интегрального критерия, а также перерегулирование.

Запас по устойчивости проверялся путем изменения коэффициента усиления объекта. Значение коэффициента усиления при котором возникали автоколебания, для линейной системы на 10-30 % на диапазоне меньше, чем для логарифмической. Кроме это обнаружено, что в отличие от линейной системы, дальнейшее увеличение коэффициента не приводит к неустойчивости. Система продолжает находится в режиме автоколебаний.

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

Таблица 1. Результаты оптимизации для линейной и нелинейной системы с нелинейностью (1)

Время запаздывания, сек		0,1	1	5	10	50
линейная	T_I	40,06	40,461	48,132	57,87	135,87
логор, (1)		8,067	36,76	38,62	46,325	103,74
линейная	T_D	94,66	99,399	95,32	83,11	35,2
логор, (1)		86,29	100,5	121,7	114,7	53,91
линейная	K_P	5,75	5,811	4,723	3,674	1,199
логор, (1)		4,84	5,344	5,458	4,441	1,615
линейная	e/e	0,0171	0,00753	0,01576	0,0377	0,2461
логор, (1)		0,0606	0,02349	0,0381	0,0434	0,312
линейная	K_f	77,7	7,74	3,43	4,085	2,63
логор, (1)		112,8	25,8	5,5	4,15	2,66

1) линейный регулятор имеет преимущества по интегральному критерию только для объектов с малыми значениями z и величины запаздывания. Свои преимущества реализуются за счет большой величины коэффициента усиления. При этом время дифференцирования приобретало T_D значения превышающее время интегрирования T_I , что является недопустимым в условиях наличия шумов в измерительном тракте при регулировании технологических процессов. При введении ограничений на управляющее воздействие преимущества линейного регулятора исчезают. Лучшие результаты показывают алгоритмы с нелинейными преобразованиями, в частности с использованием функции логарифм, тангенс, гиперболических функций;

2) в случае, когда запаздывание сравнимо с постоянной времени или даже несколько больше нелинейные преобразования обеспечивают преимущества не только по интегральному критерию, но другим качествам переходного процесса. И здесь снова преимущества за нелинейными функциями логарифм, тангенс, арктангенс.

3) алгоритм с переключением показал хорошие результаты практически при любых вариациях с запаздыванием и коэффициентом колебательности. Некоторые показатели качества переходного процесса у них были лучше чем у конкурентов. Практическое

использование такого алгоритма затруднено наличием ограничений на скорость нарастания управляющего сигнала во многих технологических процессах.

4) использование функций с введением в степень и извлечением корня не продемонстрировали хороших результатов. Скорее всего это обусловлено нулевой величиной производной (или бесконечностью) при значении ошибки равной 0. Введение смещений функций усложнит процесс настройки при практическом использовании.

Окончательные выводы для прикладного использования можно будет сделать только при тестировании работы алгоритмов еще по каналу возмущения и работе при наличии помех.

ЛИТЕРАТУРА

1. Олссон Г., Пиани Дж. Цифровые системы автоматизации и управления. — СПб.: Невский проспект, 2001. — 557 с.
2. Пат. 5,570,282 США МКИ G05B 013/02. Multivariable nonlinear process controller P.D. Hansen, P.C. Badavas; The Foxboro Company. — № 333161; Заявл. 29.10.1996; Оpubл. 01.11.1994; НКИ 700/41. — 15 с.
3. Пат. 2120655 РФ МКИ G05B011/36. Пропорционально-интегральный регулятор с ограничениями выходных сигналов/ Говоров А.А., Баженов А.В., Говоров С.А. — № 98102222; Заявл. 19.08.1997; Оpubл. 11.01.1995. — 5 с.

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НАСОСА

Жакупов Е.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Жилищно-коммунальное хозяйство является крупнейшим потребителем энергии в стране, и самой затратной отраслью российской экономики, в которой энергоресурсы используются крайне нерационально. Насосные агрегаты, используемые в ЖКХ, на основе асинхронных двигателей (АД) являются одними из самых массовых потребителей электроэнергии. Один из путей повышения экономичности электропривода (ЭП) насосных агрегатов связан с использованием энергоэффективных АД. Поэтому решение вопросов с разработкой новых подходов к проектированию энергоэффективных АД, предназначенных для регулируемого электропривода (РЭП), является актуальным, имеет научную новизну и практическую значимость [1].

Для оценки энергосбережения приведем пример расчета экономии электроэнергии для регулируемого электропривода насосной станции, в состав которого входит: насос К80-50-315, асинхронный двигатель АИР112М4 и преобразователь частоты. Современные преобразователи частоты легко интегрируются в существующие системы управления и, поэтому практически все могут применяться для частотного регулирования АД насосных агрегатов.

Исходные данные. $N_n=4,19$ кВт — мощность насоса, $P_{2n}=5,5$ кВт — мощность двигателя, $H_n=32$ м — напор насоса, $Q_n=25$ м³/ч — расход насоса, $\eta_{насн}=0,52$ — КПД насоса, $\eta_{двн}=0,855$ — КПД двигателя, $\eta_{нч}=0,98=const$ — КПД преобразователя частоты.

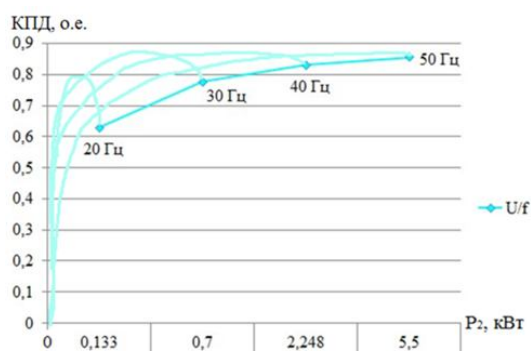
Для насосных агрегатов возможно применение двух законов управления I — $U/f=const$ и II — $U/f^2=const$ [3, 4]. Оценка энергетических характеристик по этим законам, рассмотрена при проектировании регулируемого АД на базе общепромышленного АИР112М4 при частотах 50; 40; 30; 20 Гц без изменения

геометрии поперечного сечения. Результаты электромагнитного расчета АД для обоих законов управления представлены в табличном и графическом вариантах.

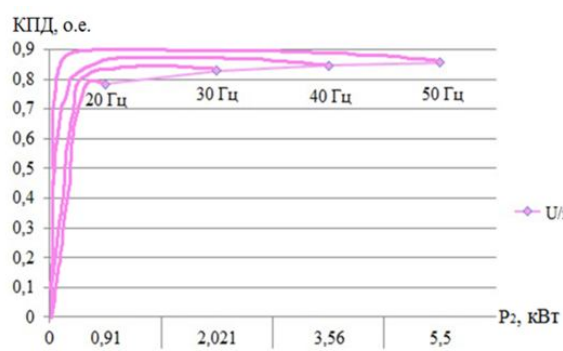
Анализ таблицы 1 показывает, что с уменьшением частоты тока и частоты вращения АД существенно уменьшаются потери в стали и механические потери, значительно уменьшаются потери в меди и коэффициента мощности. Величина номинального скольжения возрастает. Анализ рисунков 1,2 показывает, что при законе регулирования $U/f^2=const$ величина КПД выше, чем при законе $U/f=const$.

Таблица 1. Результаты электромагнитного расчета АД

Характеристики АД	Закон регулирования							
	I	II	I	II	I	II	I	II
f , Гц	50		40		30		20	
U , В	220	220	176	140,8	132	79,2	88	35,2
n , об/мин	1500	1500	1200	1200	900	900	600	600
η , о.е.	0.855	0.855	0.846	0.83	0.828	0.776	0.784	0.629
$\cos \varphi$, о.е.	0.85	0.85	0.82	0.808	0.767	0.724	0.67	0.585
$S_{ном}$, о.е.	0.042	0.042	0.07	0.108	0.123	0.276	0.341	0.392
P_2 , кВт	5.5	5.5	3.56	2.248	2.021	0.7	0.91	0.133
$P_{ст.очн}$, Вт	130.1	130.1	93.1	81.7	60.5	43.3	32.9	17
$P_{эл}$, кВт	0.532	0.532	0.38	0.254	0.26	0.111	0.173	0.047
$P_{мех}$, кВт	31	31	20	20	11	11	5	5



а)



б)

Рис. 1. Зависимости $\eta_{дв}=f(P_2)$ АД при а) $U/f=const$, б) $U/f^2=const$

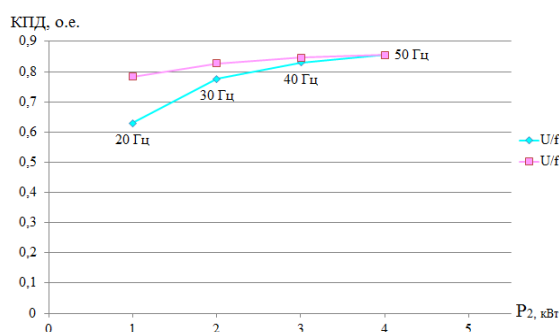


Рис. 2. Зависимости $\eta_{дв}=f(P_2)$ АД при законах $U/f=const$ и $U/f^2=const$

В рамках данной статьи предложена математическая модель асинхронного двигателя АИР112М4, приводящего в действие насосный агрегат. Смоделирован двигатель при помощи программы MatLAB R2014b, которая включает в себя пакет Simulink, с изменениями частоты тока, напряжения сети и числа оборотов для расчетов законов управления.

Данная модель (рисунок 3) состоит из источников напряжения переменного тока, сама модель асинхронного двигателя и осциллографа с такими выходными данными как скорость ротора, ток статора.

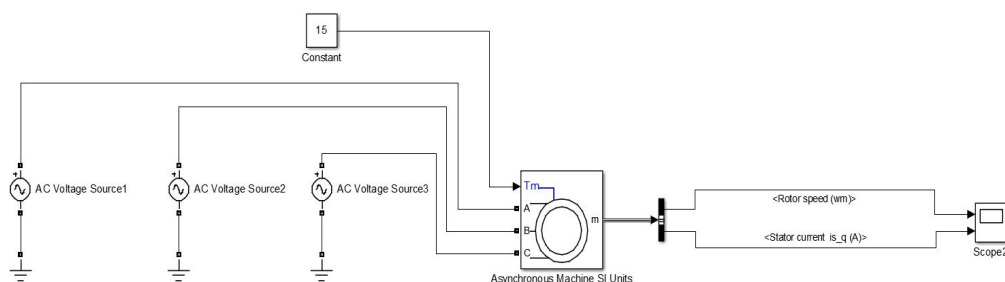


Рис. 3. Математическая модель проектируемого асинхронного короткозамкнутого двигателя в Simulink MatLAB с изменениями частоты регулирования

Результаты математического расчета АД для обоих законов управления представлены в таблице 2. Анализируя результаты электромагнитного расчета АД для законов регулирования и разработанной математической модели АД в MatLAB Simulink с изменениями частоты и напряжения сети, можно сделать вывод что, разница в выходных параметрах в среднем составила до 5 %.

Таблица 2. Сравнительная таблица результатов математического моделирования и электромагнитного расчета для законов регулирования

Характеристики АД	Закон регулирования															
	I		II		I		II		I		II		I		II	
	Электромаг. расчет		Мат. модель		Электромаг. расчет		Мат. модель		Электромаг. расчет		Мат. модель		Электромаг. расчет		Мат. модель	
f , Гц	50		50		40		40		30		30		20		20	
U , В	220	220	220	220	176	140,8	176	140,8	132	79,2	132	79,2	88	35,2	88	35,2
n , об/мин	1500	1500	1500	1500	1200	1200	1200	1200	900	900	900	900	600	600	600	600
η , о.е.	0.855	0.855	0.855	0.855	0.846	0.83	0.85	0.84	0.828	0.776	0.83	0.78	0.784	0.629	0.785	0.632
$\cos \varphi$, о.е.	0.85	0.85	0.85	0.85	0.82	0.808	0.83	0.81	0.767	0.724	0.77	0.73	0.67	0.585	0.7	0.6
P_2 , кВт	5.5	5.5	5.5	5.5	3.56	2.248	3.6	2.25	2.021	0.7	2	0.7	0.91	0.143	0.9	0.15
Погрешность	0 %				1.11 %		0.09 %		1.04 %		0 %		1.1 %		4.67 %	

Полученные энергетические характеристики АД при регулировании частоты вращения используем для расчета электрической энергии, потребляемым насосным агрегатом. По значениям H_i , Q_i , $\eta_{наси.}$, $\eta_{дв.}$ находим потребляемые насосным агрегатом: мощность ($P_{нас.агр.}$), энергию (ΣW) [2].

Для нерегулируемого электропривода, мощность, потребляемая насосным агрегатом, без учета КПД преобразователя частоты составляет 4,9 кВт. Энергия, потребляемая за сутки рассчитанная без регулирования частоты вращения насоса составила 118 кВт·ч.

Результаты расчетов для регулируемого электропривода при законе $U/f^2 = const$ сведены в таблицу 3. При заданной мощности насосного агрегата и характеристиках трубопровода экономия электроэнергии составляет при законе $U/f^2 = const$ – 63 кВт·ч – за сутки.

Таблица 3. Расчет потребляемой электроэнергии при регулировании частоты вращения насосного агрегата в течение суток

Q_i / Q_n	$Q_i, \text{м}^3/\text{ч}$	$H_i, \text{м}$	$n_i, \text{об/мин}$	$n_{\text{нас-}i}, \text{о.е.}$	$P_{\text{дв}i}, \text{кВт}$	$\eta_{\text{дв}i}, \text{о.е.}$	$P_{\text{нас.агр}i}, \text{кВт}$	$t_i, \text{ч}$	$W_i, \text{кВт} \cdot \text{ч}$
0,1	7	2,51	792,636	0,134	0,43	0,808	0,451	5	2,255
0,15	8,8	3,96	848,12	0,16	0,61	0,811	0,747	1	0,747
0,2	9,7	4,82	907,5	0,2	0,78	0,815	0,798	1	0,798
0,3	11,5	6,77	989,165	0,26	1,13	0,818	1,018	2,5	2,545
0,5	15,1	11,67	1049,5	0,373	1,45	0,822	1,598	1	1,598
0,6	16,9	14,62	1117,72	0,41	1,72	0,835	1,99	1	1,99
0,65	18,7	17,9	1184,78	0,447	2,18	0,842	2,473	1	2,473
0,7	19,6	19,67	1255,872	0,454	2,88	0,844	2,798	4,5	12,591
0,8	21,4	23,45	1332,48	0,498	3,74	0,848	3,767	3	11,301
0,9	23,2	27,56	1412,1	0,505	4,56	0,852	4,132	1,5	6,198
1,00	25	32	1500	0,52	5,5	0,855	5,003	2,5	12,5075
Итого:									55,0035

Предложена методика расчета энергосбережения насосного агрегата при частотном регулировании, в которой учтены характеристики насоса, трубопровода и энергетические характеристики асинхронного двигателя.

Применение регулируемого электропривода при обоих рассмотренных законах управления обеспечивает экономию электроэнергии свыше 50 %. Однако, наиболее приемлемым для вентиляторной нагрузки является закон $U/f^2 = \text{const}$. Он обеспечивает меньшую потребляемую мощность при той же величине частоты в диапазоне регулирования вниз от номинального значения и имеет КПД выше, чем при использовании закона с линейной зависимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ливчак В. И. Энергосбережение в системе централизованного теплоснабжения на новом этапе развития. – «Энергосбережение», № 2, 2000.
2. Муравлева О. О., Вехтер Е. В., Жарикова Т. В. Оценка влияния энергетических характеристик асинхронного двигателя на энергосбережение насосного агрегата // Известия ТПУ. 2005. №1 С.174-178.
3. Центробежные консольные насосы общего назначения для воды. Каталог. – М., 1989.
4. Загорский А.Е. Регулируемые электрические машины переменного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 288 с.

ИНФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА

Яцкая Т.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Объект, вызывающий интерес в исследовании мехатронных систем, является автономный инвертор напряжения. Автономный инвертор, который используют для питания электрической машины, несет в себе как электрические, так и информативные свойства. Основные аспекты информативных свойств приведены в статье [1].

Реализация информативных свойств инвертора связана с данными, которые получены из тока электрической машины на ее интервале коммутации.

Фазный ток имеет форму, представленную на рисунке 1. Была доказана прямая зависимость угла нагрузки электрической машины и так называемой точки перегиба (Inflexion point) фазного тока на коммутационном интервале.

На рисунке 1 представлен перегиб кривой фазного тока.

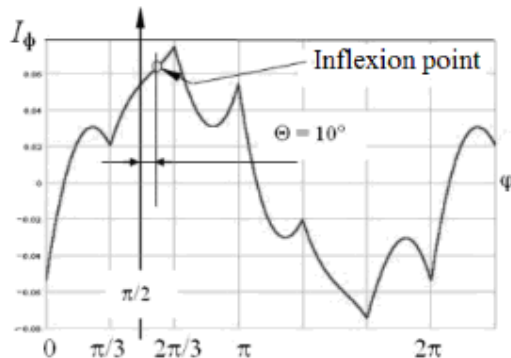


Рис. 1. Фазный ток электрической машины на коммутационных интервалах инвертора и информативная точка перегиба

Данные о фазном токе представляются в виде набора точек измерения. Необходим математический аппарат, позволяющий представить информацию в виде, удобном для ее обработки согласно предложенных в [2] способов. В данной работе обработка фазного тока происходит за счет встроенных функций Matlab.

На рисунке 2 представлен алгоритм обработки информативных свойств инвертора на межкоммутационном интервале.

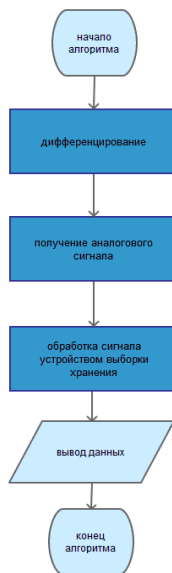


Рис. 2. Алгоритм анализа фазного тока

Кривая тока состоит из шести коммутационных интервалов. Продифференцировав ток на коммутационном интервале от $\pi/3$ до $2\pi/3$, можно точно определить координаты точки перегиба кривой тока. При изменении нагрузки точка перегиба меняет своё положение относительно $\pi/2$.

На рисунке 3 представлена модель обработки фазного тока в программе Matlab Simulink. Основная ее часть - это выделение информативных свойств фазного тока, поступающего с инвертора.

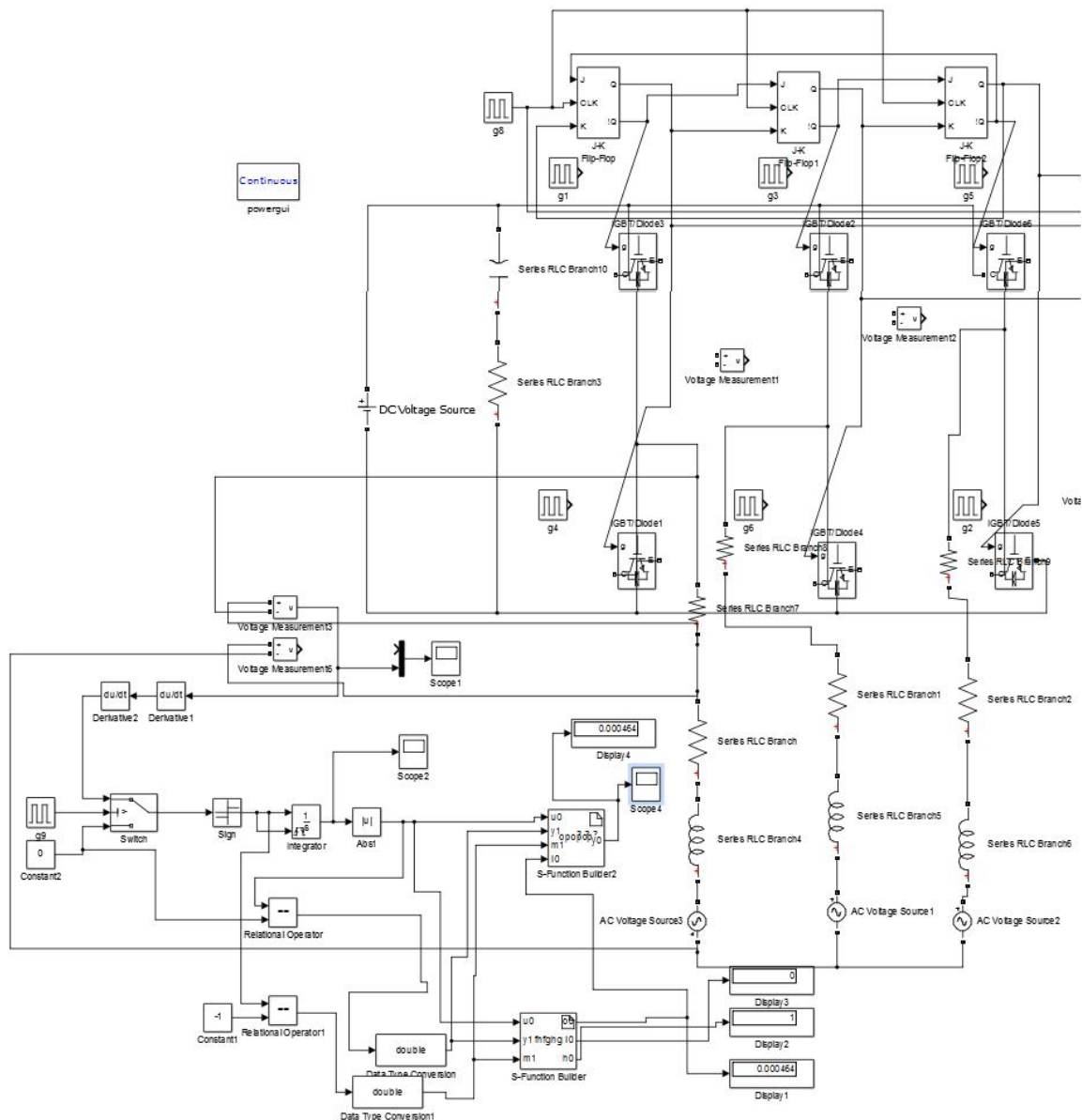


Рис.3. Моделирование в программе Matlab Simulink

Модель состоит из блока дифференцирования, компаратора, интегратора и устройства выборки хранения. Поскольку, вторая производная определяет точку перегиба, то компаратор (блок sign), анализируя входные данные, позволяет получить аналоговый сигнал. Следующим шаг – это вывод координат точки перегиба. Для этого задействованы интегратор (блок Integrator), выпрямитель (блок abs) и UBX (блок S Builder Function). Листинг реализации блока устройства выборки хранения выполнен на языке программирования C++. Листинг1 программы приведен ниже.

```
double V01=0;
double C01=0;
static int b;
static int c;
static int mode=1;
static int counter;
```

```
B01=u0[0];  
1b=y1[0];  
c=m1[0];  
V01=i0[0];  
if (b==1 && c==0) mode=2 ;  
if (mode==2) C01=V01;  
if (b!=1 || c!=0) C01=V01;  
y0[0]=C01;
```

Листнинг 1 – Программа устройства выборки хранения

На рисунке 4 представлен полезный сигнал, получаемый на выходе системы.

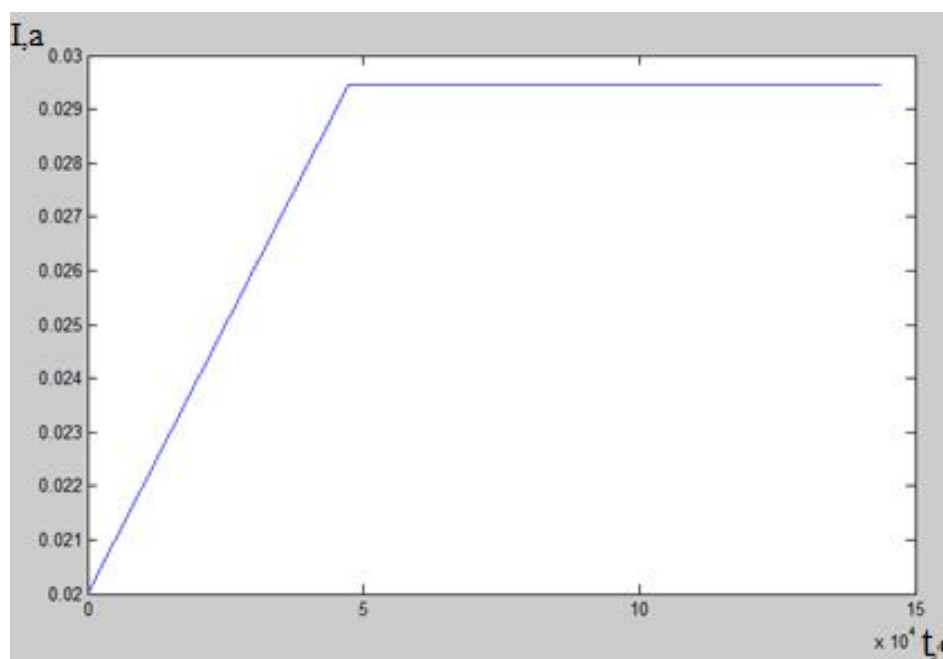


Рис. 4. Выходной сигнал УВХ для одной фазы

Принимая во внимание полученные результаты при нахождении точки перегиба можно сделать вывод о возможности применения данного алгоритма обработки данных для нахождения параметров и переменных двигателя. Алгоритм позволяет реализовать систему управления без использования датчиков в мехатронной системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гарганеев А.Г., Информативные свойства мехатронных систем.: Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2012.
2. Кашеутов А.В., Боклаг Т.А. Информативные свойства автономных инверторов. Выбор метода аппроксимации кривой фазного тока автономного инвертора. Электромеханические преобразователи энергии: материалы VII Международной научно-технической конференции, Томск, 14-16 Октября 2015. - Томск: Изд-во ТПУ, 2015.

АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОБАЛАНСИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ АКТИВНОГО ТИПА

Алтынбаев А.Ж.

Карагандинский государственный технический университет, Республика Казахстан,
г. Караганда

Нефть занимает ведущее место в мировом топливно-энергетическом балансе. Самым дешевым и экологически безопасным способом транспортировки нефти являются нефтепроводы. Для перекачки нефти используют магистральные насосные агрегаты. Магистральные насосные агрегаты имеют ряд недостатков, одним из которых является несбалансированность ротора. Это влечет за собой повышенную вибрацию, вследствие которой увеличивается интенсивность износа деталей, уменьшается срок службы насоса.

Предлагается использовать автобалансирующее устройство (АБУ) активного типа, которое, уменьшая влияние дисбаланса рабочего колеса, увеличивает срок службы насоса.

Анализ существующих видов активных АБУ, проведенный Горбуновым Б.И.[1], показал, что в различных странах имеются неодинаковые подходы к разработке конструкций балансиров, отсутствует единая методология построения устройств. Для охвата всей совокупности конструктивных решений была разработана матрица возможных вариантов АБУ, различающихся по типу привода, элементам системы управления и траектории движения центра масс исполнительного органа перемещения балансировочных грузов. Выделено семь видов приводов балансирующих устройств, тринадцать видов систем автоматического управления, использующих различные комбинации механических, пневматических, магнитных и других элементов и семь видов сочетаний траекторий перемещения центра масс корректирующих грузов (по радиусу, хорде, дуге окружности или кривой).

Выделено активное АБУ с направленным перемещением балансиров. Данный тип конструкции АБУ обладает необходимым быстродействием, способен работать с измерительной системой, показывающей только наличие вибраций опор и изменение их амплитуды и не требующей измерения фаз дисбалансов. При этом измерительная система является простой и надежной за счет меньшего количества элементов и выполняемых функций. В качестве чувствительного элемента (датчика) измерительной системы используются механические или жидкостные элементы со свободным перемещением малых масс, что позволяет упростить конструкцию АБУ.

Рассмотрена конструкция автобалансирующего устройства активного типа, использующее механические балансиры. [2]

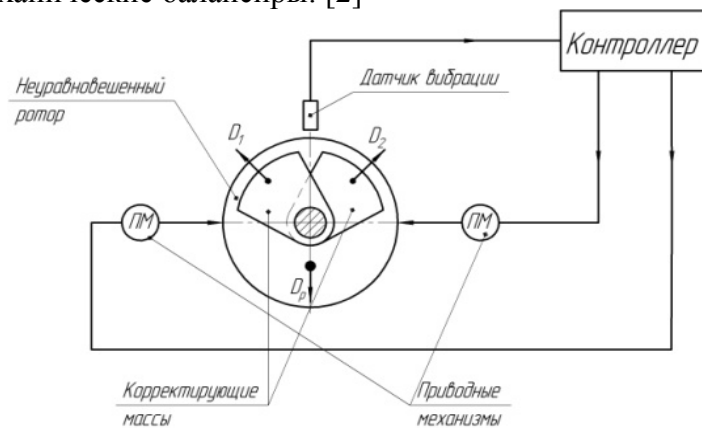


Рис. 1. Принципиальная схема автобалансирующего устройства активного типа

Главным конструктивным элементом данной балансирующей системы является балансирующее колесо (балансир), которое имеет втулки с пазами установки балансирующих масс, подшипника, обоймы для вилок.

Система управления таким устройством состоит из датчика вибрации, контроллера и двух приводных механизмов для каждого балансира индивидуально.

Алгоритм работы системы управления автобалансирующим устройством активного типа конструкции Зиякаева Г.Р. [2] можно представить в виде пяти функциональных блоков (**Рис. 2**. Алгоритм управления автобалансирующим устройством):

1. Измерение дисбаланса ротора, установка балансиров на начальный уровень;
2. Измерение остаточного дисбаланса;
3. Дисбаланс в допуске да(4)/нет(5);
4. Окончание процесса балансировки;
5. Вычисление необходимого угла поворота балансиров, его запоминание, поворот балансиров.

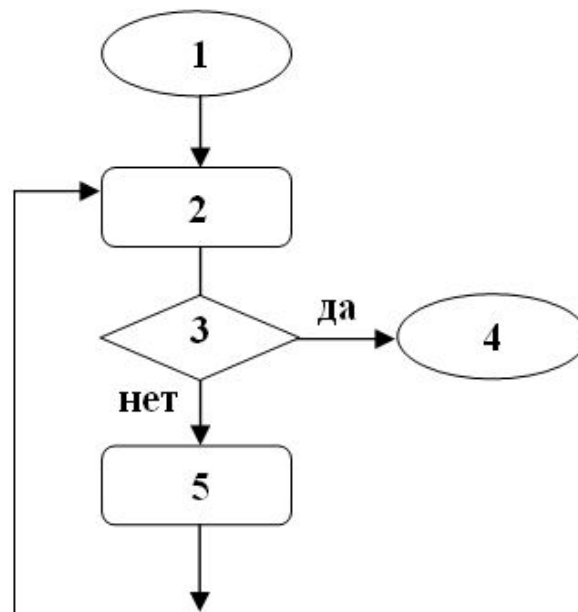


Рис. 2. Алгоритм управления автобалансирующим устройством

Для реализации первого пункта необходимо использовать датчики вибрации, измеряющие вибрацию в трех плоскостях для измерения вертикальной, поперечной и осевой вибраций.

После установки балансиров на начальный уровень, устройство переходит ко второму этапу – измерение остаточного дисбаланса. Измеряются вибрации с учетом балансиров, установленный на «нулевой уровень», т.е. угол между ними составляет 180° .

Далее контроллер сравнивает значение вибрации с допустимым нормативным значением на рабочем месте машиниста насосной. Если значение вибрации находится в пределах допустимого, то устройство, оставляет балансиры повернутыми на начальный угол.

Если значение вибрации больше нормы, то устройство реагирует переходом к этапу 5. Контроллер производит расчет необходимых углов поворота балансиров относительно дисбаланса рабочего колеса и относительно друг друга. Выбирается оптимальный угол поворота и приводные механизмы поворачивают на необходимый угол. Далее система переходит к этапу 2, где измеряется новый уровень вибрации, полученный в результате поворота балансиров. На этапе 3 устройство сравнивает

полученные значения вибрации с допустимыми и, в зависимости от результата сравнения, переходит к этапу 4 или к этапу 5.

Мониторинг значений вибрации происходит в течение всей работы насосного агрегата, и если в ходе работы изменится дисбаланс колеса, то система автоматически выполнит балансировку по этапам 2, 3, 4, 5.

Таким образом, используя активные автобалансирующие устройства можно достичь увеличения срока эксплуатации подшипников, опорных узлов насосного агрегата, рабочего колеса, снижается вредное влияние вибрации на человека. Автобалансирующее устройство имеет преимущества по сравнению с зарубежными аналогами, т.к. обладает простой и надежной системой управления и конструкцией, что позволяет выполнить импортозамещение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кладиев С.Н. Автобалансирующие устройства ручных шлифовальных машин: Дис. канд. технич. наук. Томск, 1996. — 170 с.
2. Автоматическое балансирующее устройство: Свидетельство на полезную модель. 22689 Российская Федерация, МПК F 16F 15/14. Г.Р. Зиякаев, В.П. Нестеренко, Е.Н. Пашков, М.В. Слесарев. № 2001121270/20; заявл. 30.07.01; опубл. 20.04.02, Бюл. № 18. 5 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С АСИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ

Серебряков Н. А.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Статья посвящена рассмотрению вопроса эффективности применения частотного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя. Описана оценка экономической эффективности на примере использования частотного регулирования скорости насосного оборудования.

Цель: определение технико - экономической целесообразности применения частотного управления асинхронным двигателем.

Задачи:

- выполнить краткий аналитический обзор частотного управления асинхронным - двигателем;
- произвести анализ зарубежного и отечественного опыта применения частотных преобразователей в системах управления асинхронным двигателем;
- выработать методику технико-экономического обоснования применения системы частотного управления асинхронным электроприводом.

Асинхронный двигатель (АД) является самым распространенным видом привода в промышленности и народном хозяйстве. АД прост в изготовлении и эксплуатации, обладает высокой надёжностью в работе, имеет меньшие, по сравнению с двигателем постоянного тока размеры, массу и стоимость при той же мощности.

Основной недостаток АД – сложность регулирования скорости вращения традиционными методами. Однако, управлять АД можно с помощью изменения частоты входного напряжения.

Принцип частотного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя заключается в том, что, изменяя частоту питающего напряжения, можно в соответствии с выражением:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}, \quad (1)$$

где ω_0 – угловая скорость идеального холостого хода;

f_1 – частота входного напряжения;

p – число пар полюсов асинхронного двигателя.

При неизменном числе пар полюсов p изменять угловую скорость вращения магнитного поля статора ω_0 . Данный способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне. Частотный способ регулирования имеет еще одно достоинство: регулирование скорости при этом не сопровождается увеличением скольжения [1].

Особый экономический эффект от использования преобразователей частоты даёт применение частотного управления на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей. До недавнего времени на таких объектах применялись дросселирующий метод или метод регулировки вентиляционной задвижкой давления жидкости в магистрали. Данные методы имеют ряд недостатков. Например, при дросселировании поток вещества, сдерживаемый задвижкой или клапаном, не совершает полезной работы. Применение регулируемого электропривода насоса позволяет задать необходимое давление или расход, что обеспечит не только экономию электроэнергии, но и снизит потери транспортируемого вещества. Применение частотно – регулируемого привода позволяет избежать этих недостатков, а также получить ряд преимуществ, таких как:

- экономия электроэнергии до 80%;
- исключение гидроударов, что позволяет резко увеличить срок службы трубопроводов и запорной арматуры;
- отсутствие больших пусковых токов, полная защита электродвигателей насосных агрегатов, работа электродвигателей и пусковой аппаратуры с пониженной нагрузкой, – позволяет увеличить срок службы оборудования;
- значительная экономия воды за счёт оптимизации давления в сетях и уменьшения разрывов трубопроводов;
- возможность полностью автоматизировать насосные станции;
- вода к потребителю может подаваться напрямую через закрытые трубы без накопления;
- не требуется строительство, обслуживание водонапорных баков или накопительных резервуаров.

При неравномерном суточном, недельном, месячном графике потребления потребителем воды поддержание оптимального давления в сетях возможно с помощью перекрытия задвижек на выходе насосной станции (метод дросселирования) или за счёт изменения скорости вращения насосного агрегата (изменение его производительности). Мощность, потребляемая насосом находится в кубической зависимости от скорости вращения рабочего колеса $P=f(Q^3)$, т. е. уменьшение скорости вращения рабочего колеса насоса, вентилятора в 2 раза приводит к уменьшению мощности, потребляемой насосом, в 8 раз. Производительность насоса Q прямо пропорциональна скорости вращения рабочего колеса насоса.

Зависимость потребляемой активной мощности насосом от производительности представлена на рисунке 1.

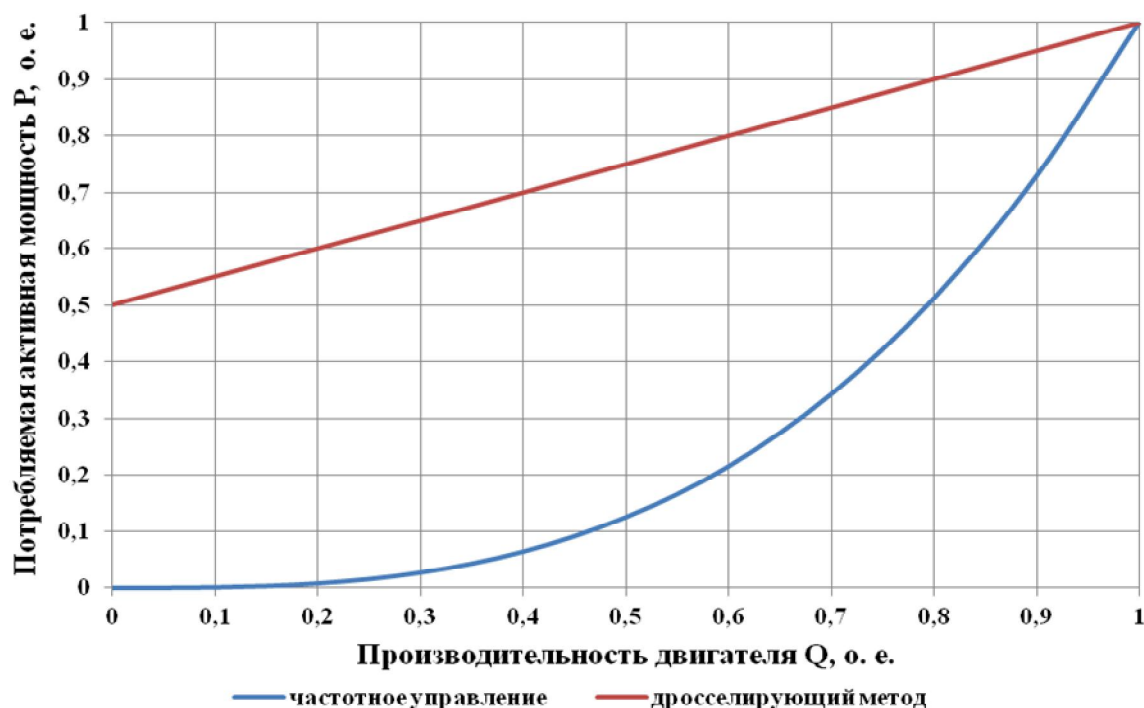


Рис. 1. Зависимость потребляемой активной мощности насосом от производительности

Зная график потребления воды и зависимость мощности, потребляемой насосом от производительности, можно определить примерную экономию электроэнергии от применения частотно-регулируемых насосных агрегатов. Как мы видим из рисунка 17, чем больше и чаще изменяется производительность насосного агрегата в течение суток, тем больше экономия электроэнергии. Знание типового суточного графика потребления воды для заданной насосной станции, является основой для технико-экономического обоснования установки частотных преобразователей на насосное оборудование.

В развитых странах, на данный момент, трудно найти асинхронный электропривод без частотного преобразователя. Однако установка частотного преобразователя не всегда является обоснованной. Не редко частотные преобразователи устанавливаются на оборудование, у которого маленький диапазон регулирования. На данном оборудовании не обеспечивается эффективность частотного управления. Также преобразователи частоты (ПЧ) не всегда электромагнитно совместимы с другим оборудованием на предприятии. Высшие гармоники, создаваемые преобразователями частоты, и повышенное потребление реактивной мощности негативно влияют на всё электрооборудование. Особенно чувствительны к появлению высших гармоник установки конденсаторных батарей. Поэтому технико-экономическое обоснование установки частотных преобразователей является многоцелевой задачей.

После проверки электромагнитной совместимости системы частотного управления АД с другими электроприёмниками, можно переходить к технико-экономическому обоснованию установки частотных преобразователей. На основании типового графика потребления воды насосной станции определяется экономия потребляемой электроэнергии за каждый час суток. Затем полученные значения суммируются и делятся на число часов в сутках, то есть:

$$\Delta W = \frac{1}{24} \cdot \sum_{h=1}^{24} \Delta W_h, \quad (2)$$

где ΔW – средняя за сутки экономия электроэнергии;

ΔW_h – экономия электроэнергии в конкретный час суток;

h – номер часа суток.

Затем определяется годовое электропотребление насоса:

$$W_{год} = 24 \cdot P_H \cdot n, \quad (3)$$

где $W_{год}$ – годовое электропотребление насоса;

P_H – номинальная мощность насоса;

n – число дней в году, когда насос находился в работе.

После этого определяется экономия электроэнергии за год:

$$\Delta W_{год} = \Delta W \cdot W_{год}, \quad (4)$$

где $\Delta W_{год}$ – экономия электроэнергии за год.

Далее определяется экономия денежных средств за один год:

$$E = \Delta W_{год} \cdot C_{кВт\cdot ч}, \quad (5)$$

где E – экономия денежных средств за год;

$C_{кВт\cdot ч}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Определяется срок окупаемости установки системы частотного управления асинхронным электродвигателем:

$$T_0 = \frac{C_{счУ}}{E}, \quad (6)$$

где T_0 – срок окупаемости системы частотного управления АД;

$C_{счУ}$ – стоимость установки системы частотного управления АД.

Оценим величину экономического эффекта от применения системы частотного управления Hyundai на насосном агрегате мощностью 22 кВт. Величина экономии электроэнергии при внедрении преобразователей частоты составляет от 30 до 80%. Мы в своих расчётах примем среднесуточную экономию электроэнергии равной [2]:

$$\Delta W = 45\%, \quad (7)$$

Годовое электропотребление для насосного агрегата мощностью 22 кВт и работающего, к примеру, 270 дней в году, составляет:

$$W_{год} = 24 \cdot P_H \cdot n = 24 \cdot 22 \cdot 270 = 142560 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (8)$$

Годовая экономия электроэнергии составит:

$$\Delta W_{год} = \Delta W \cdot W_{год} = 0,45 \cdot 142560 = 64152 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (9)$$

Экономия денежных средств за год, при стоимости 1 кВт·ч электроэнергии равной 4,8 рубля (тариф на электроэнергию для бюджетных и прочих потребителей с присоединенной мощностью от 670 кВт до 10 МВт на август 2016), составит:

$$E = \Delta W_{год} \cdot C_{кВт\cdot ч} = 64152 \cdot 4,8 = 307929,6 \text{ рублей}, \quad (10)$$

Стоимость системы частотного управления на насосном агрегате складывается из стоимости векторного частотного преобразователя и входного дросселя:

$$C_{счУ} = C_{ПЧ} + C_{ВХ.ДР} = 114600 + 15900 = 130500 \text{ рублей}, \quad (11)$$

Если на предприятии нет персонала, способного установить систему частотного управления, то в стоимость системы необходимо включить затраты на монтаж и наладку оборудования.

Срок окупаемости, без учёта стоимости монтажных и наладочных работ, составит:

$$T_0 = \frac{C_{счУ}}{E} = \frac{130500}{307292,6} = 0,424 \text{ года} = 155 \text{ дней}, \quad (12)$$

Рентабельность вложений составит:

$$r = \frac{1}{0,45} = 2,22. \quad (13)$$

Как мы видим из выражения (13) установка системы частотного управления на насосном агрегате окупится за 165 дней, а далее ежемесячно экономия денежных средств составит:

$$E_{\text{мес}} = \Delta W_{\text{мес}} \cdot C_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} = 0,45 \cdot 24 \cdot 22 \cdot 30 \cdot 4,494 = 32033,23 \text{ рублей}, \quad (14)$$

где $E_{\text{мес}}$ – ежемесячная экономия денежных средств;

$\Delta W_{\text{мес}}$ – ежемесячная экономия электроэнергии.

Таким образом, применение частотно-регулируемых приводов для насосов и вентиляторов в технологических процессах позволяет снизить энергопотребление технологическим оборудованием. Целесообразно использование преобразователей частоты не в качестве элементов системы управления конкретного агрегата, а как составляющих комплексных системных решений с подключением широкого набора средств автоматизации технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебряков, Н. А. Эффективность применения частотного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя [Текст] / Н. А. Серебряков // Сборник трудов 11-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь – 2014». – Барнаул : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. – С. 35-38.
2. Серебряков, Н. А. Эффективность применения частотного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя [Текст] / Н. А. Серебряков, А. А. Грибанов // Сборник статей II международной конференции «Современные проблемы электроэнергетики. Алтай — 2014». – Барнаул : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2014. – С. 251-259.

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Крамарёв Д.С., Туганов А.С.

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

Одной из задач современного промышленного оборудования является согласованность движения группы электрических двигателей в составе технологического комплекса, режим работы которого требует наличия двух или нескольких двигателей, работающих на общую нагрузку.

Существует два возможных варианта решения этой задачи: системы на основе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и преобразователем частоты и системы на основе асинхронных двигателей с фазным ротором, так называемые системы «электрического вала».

Системы на основе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором имеют малый пусковой и большой спусковой ток, чувствительны к изменениям параметров в сети, для плавного регулирования скорости понадобится преобразователь частоты.

Помимо этого асинхронные двигатели из сети потребляют реактивную мощность. Предел их применения определяется мощностью системы электроснабжения определенного предприятия. Большинство пусковых токов при малой мощности системы могут создавать значительные понижения напряжения.

При использовании двигателей с фазным ротором можно снизить пусковой ток, тем самым увеличить пусковой момент, благодаря введению пусковых реостатов в цепь ротора. Правда, из-за усложненной конструкции и увеличения стоимости применение данных электродвигателей ограничено.

Предлагаемым вариантом решения поставленной задачи является в качестве исполнительных машин использовать ДСАД.

Наличие на статоре этих двигателей двух обмоток позволяет модернизировать конструкцию данных двигателей с целью создания системы согласованных по скорости вращения двигателей. Предлагаемая система имеет высокую надежность, низкую стоимость, проста в наладке и обслуживании. Отличительной особенностью работы рассматриваемой системы является независимость согласующего момента от скорости, так как он зависит только от абсолютной разности скоростей вращения. Исследования показывают эффективность применения ДСАД для создания многофункциональных электромеханических схем на их основе. Пример такой схемы представлен на рис.1.

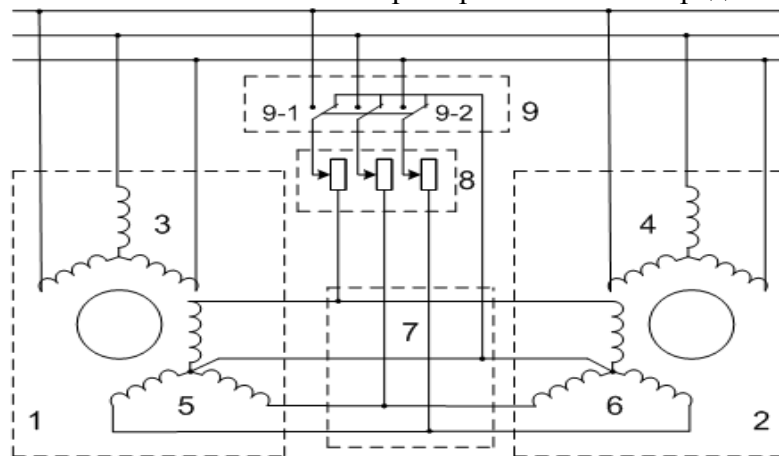


Рис. 1. Устройство согласованного вращения асинхронных двигателей

Таким образом, создание согласованных электромеханических систем на основе двухскоростных асинхронных двигателей с короткозамкнутыми роторами позволяет существенно повысить энергоэффективность таких систем и сделать рентабельным их применение в энергетике. Развитие метода и соответствующая теория повышения эффективности согласованных электромеханических систем за счет использования двухскоростных асинхронных двигателей с короткозамкнутыми роторами предложены сотрудниками и студентами кафедры «Электропривод и АПУ» УлГТУ под руководством доц. В.И. Доманова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Москаленко В.В. Электрический привод. – М.: «Академия», 2007. С.111-114.
2. Доманов В.И., Доманов А.В., Гаврилова С.В. Параметрические системы управления многодвигательного электропривода грузоподъемных механизмов/ Электроника и электрооборудование транспорта, 2015. №4. С. 35-38.

ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЕ ФИЛЬТРЫ

Алешкевич Р.Ч., Литвиненко М.А., Сухорукова И.Г.

Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
г. Минск

В настоящее время в цифровых запоминающих осциллографах (ЦЗО) применяют два вида алгоритмов интерполяции: линейный и $\sin x/x$. Линейная интерполяция осуществляется в предположении, что отсчеты аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) ЦЗО соединяет прямая линия. Это очень простое и маловероятное предположение, которое дает ограниченные результаты. Поэтому все чаще в ЦЗО применяют интерполяцию $\sin x/x$. Здесь следует подчеркнуть два важных момента:

1) любая интерполяция основана на наборе данных из АЦП осциллографа, поэтому даже если в приборе нет соответствующего алгоритма, пользователь может создать его сам в любом пакете;

2) применение интерполяции $\sin x/x$ имеет свои ограничения, при их нарушении могут серьезно

Интерполяция кусочно-кубическими функциями, или сплайн-интерполяция, как её часто называют, хорошо работает в случаях имеющегося запаса по частоте дискретизации, т.е. в случаях, когда количество точек измерений на период достаточно велико (десятки и более). Но при работе осциллографа в предельных ситуациях, когда частота измеряемого сигнала приближается к частоте Котельникова, т.е. к половине частоты дискретизации, сплайны дают совершенно не удовлетворительный результат.

Для восстановления непрерывного сигнала по его выборкам достаточно располагать функцией $\text{sinc}(t) = \sin(t)/t$ с учетом ее особого значения $\text{sinc}(t) = 1$ при $x = 0$. Подадим на его вход синусоидальный сигнал с частотой 1 МГц при частоте дискретизации прибора 5 МГц. Таким образом, на один период сигнала приходится 5 отсчетов, что не формирует на экране осциллограмму в виде синуса (рис. 1).

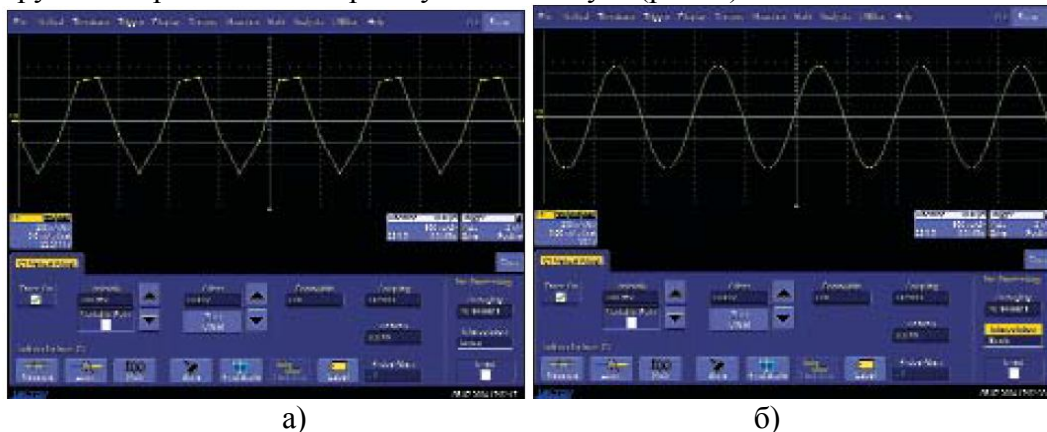


Рис. 1. а) – интерполяция линейная, частота дискретизации – 5 МГц, входной сигнал — синус с частотой 1 МГц; б) – интерполяция $\sin x/x$, частота дискретизации – 5 МГц, входной сигнал — синус с частотой 1 МГц

Цифровые осциллографы осуществляют дискретные выборки сигнала, который впоследствии отображается на дисплее. Однако, довольно затруднительно сформировать развертку сигнала, составленную из одних точек, особенно когда их всего несколько и они должны характеризовать высокочастотные составляющие исследуемого импульса. Для облегчения визуализации таких сигналов цифровые осциллографы используют режимы интерполяции.

Интерполяция $\sin x/x$ – математический процесс, при котором значения точек рассчитываются для плавного заполнения ими временных интервалов между дискретными выборками. Такая форма интерполяции способна отображать искривлённые и нестандартные формы сигналов, что значительно ближе к реальности, чем прямоугольные сигналы или импульсы. Следовательно, интерполяция $\sin x/x$ является предпочтительным методом при изучении сигналов в приложениях, где частота выборки в 3–5 раз меньше полосы пропускания осциллографа (рис. 2).



Рис. 2. а) – интерполяция линейная, частота дискретизации – 5 МГц, входной сигнал – меандр с частотой 1 МГц; б) – интерполяция $\sin x/x$, частота дискретизации – 5 МГц, входной сигнал – меандр с частотой 1 МГц

При ближайшем рассмотрении оказывается, ничего загадочного в данном алгоритме нет. На самом деле это реализация положений всем известной теоремы Котельникова—Найквиста о том, что любая непрерывная функция, спектр которой ограничен частотой $F_{\max}$, полностью определяется своими отсчетами через интервал времени не более $\Delta t = 1/2F_{\max}$. Сигнал восстанавливается по формуле:

$$x(t) = \sum_{n=0}^{2F_{\max}T} s(n\Delta t) \frac{\sin(2\pi F_{\max}(x - n\Delta t))}{2\pi F_{\max}(x - n\Delta t)},$$

где s – дискретные отсчеты функции $x(t)$, T – интервал времени, для которого проводится реконструкция. Так что при желании можно провести интерполяцию полученных данных в пакете MathCad (рис. 3) или любом другом.

Теперь остановимся на ограничениях в применении теоремы Котельникова и ее реализации в ЦЗО. Ограничение только одно — спектр сигнала, поступающего на оцифровку, не должен иметь в своем составе частот со сколько-нибудь значимой амплитудой, превышающих $F_{\max}$. Реальные осциллографы имеют другие виды АЧХ.

Наиболее распространенными для аналоговых осциллографов являются АЧХ, описываемые фильтром Гаусса. К сожалению, АЧХ таких фильтров имеют плавный спад, поэтому в ЦЗО реализуют АЧХ, описываемые фильтрами высших порядков и имеющие достаточно резкий спад (рис. 4). Если спектр сигнала ограничен частотой меньшей, чем частота Найквиста, то недостатков практически нет. К таковым можно отнести потери времени, затрачиваемые на интерполяцию. Но при наличии в осциллографах мощных процессоров эти потери пренебрежимо малы, тем более по сравнению со временем простоя ЦЗО (цифровой запоминающий осциллограф).

Если же в спектре импульсного сигнала есть высокочастотные компоненты, то при применении алгоритма $\sin x/x$ возможно появление программно наведенных выбросов на вершине импульса и в паузах (рис. 6а, феномен Гиббса). Однако программные ошибки будут намного меньше, чем аппаратные ошибки, связанные с тем, что высокочастотные компоненты лежат вне аналоговой полосы пропускания ЦЗО.

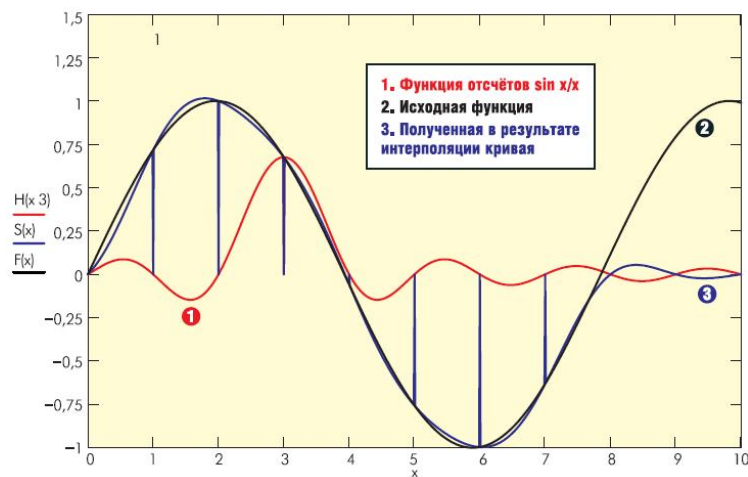


Рис. 3. Интерполяция $\sin x/x$ в пакете MathCad

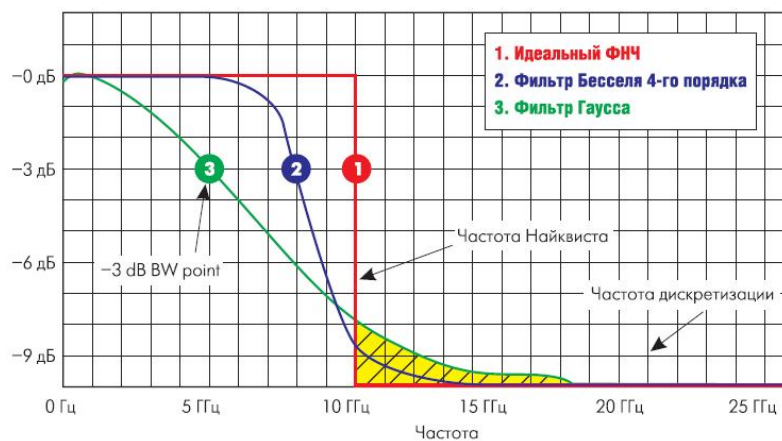


Рис. 4. Фильтры нижних частот, описывающие АЧХ осциллографа

К достоинствам интерполяции $\sin x/x$ следует отнести значительное улучшение точности и разрешения при измерениях временных интервалов в реальном времени. Если максимальная частота дискретизации для ЦЗО на сегодня составляет 20 ГГц дискретность по времени между отсчетами составляет 50 пс, рис. 3), то при интерполяции $\sin x/x$ вычисляется дополнительно от 8 до 16 точек.

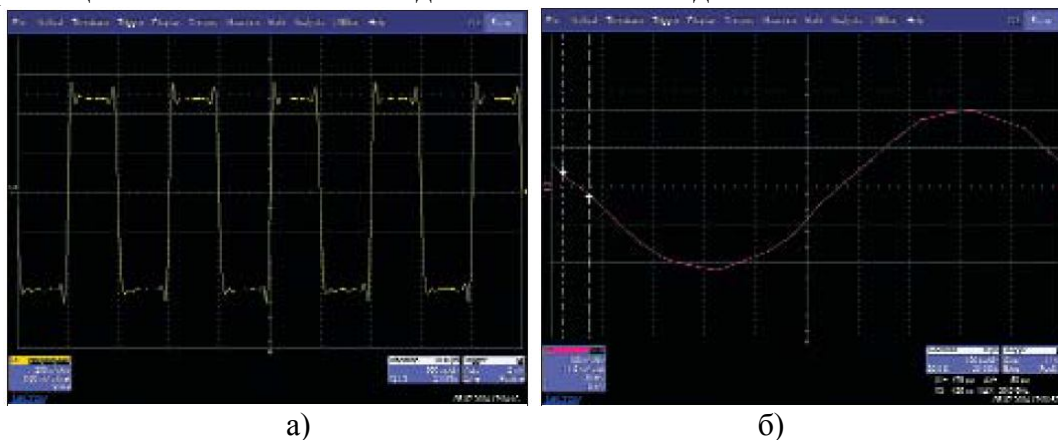


Рис. 6. а) – Интерполяция $\sin x/x$, частоте дискретизации – 25 МГц, входной сигнал меандр с частотой 1; б) – интерполяция линейная, частота дискретизации – 20 ГГц, входной сигнал синус с частотой 1 ГГц

К сожалению, и этот метод не лишён недостатков. Во-первых, как видно из его базовой формулы, он требует для вычисления каждой промежуточной точки суммирования бесконечного ряда слагаемых, учитывающих все возможные дискретные измерения сигнала в прошлом и будущем, что, конечно, физически нереализуемо. И, во-вторых, даже если мы волевым решением ограничимся только имеющимися в осциллограмме точками, вычислительная сложность метода значительно выше, чем при интерполяции сплайнами.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИСТЕРЕЗИСНОЙ МУФТЫ

Колтунова Е.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Существующие проблемы в электроприводе запорной арматуры решаются различными способами, такими как – совершенствование системы управления, замена асинхронных электродвигателей на вентильные и др. Ввиду развития технологии производства и появления новых материалов с высокими энергетическими характеристиками появляется возможность проектирования магнитно-гистерезисных муфт с большими мощностями, которые позволят улучшить электропривод.

Запорную арматуру классифицируют в зависимости от конструкции привода затвора. Основное разделение по конструкциям происходит на вентили, задвижки, клапаны и краны. Распространенным типом являются задвижки вследствие ряда достоинств, таких как простота конструкции, малые габариты и малое гидравлическое сопротивление. Недостатком является сильное трение, сказывающееся на быстром износе деталей. Задвижки различаются в конструкции запорного органа на два основных класса: клиновые и параллельные. Параллельные задвижки используются тогда, когда не требуется полного герметичного перекрытия и среда может содержать примеси. Клиновая задвижка состоит из клинового затвора и уплотнительных поверхностей, расположенных к друг другу под углом. При этом требования к параметрам эксплуатации клиновых задвижек перекрывают требования к задвижкам всех остальных типов [1]. В связи с этим в работе будет рассматриваться задвижка клинового типа. Показателем качества всей системы является герметичность, которая препятствует прохождению среды в закрытом состоянии и обеспечивается соединением поверхностей клина и уплотнительными кольцами корпуса.

К процессу закрытия и открытия арматуры предъявляются определенные требования, нарушение которых может привести к некорректному функционированию объекта, и, в конечном итоге, к отказу всей системы в целом. Для надежной и длительной работы арматуры необходимо соблюдать требования, предъявляемые к приводам:

1. Величина момента, создаваемая приводом, не должна превышать пределов, заданных производителем задвижки, чтобы не происходила деформация внутренних поверхностей с дальнейшей потерей герметичности. Но при этом требуется соблюдать узкий предписываемый диапазон значений, не допуская образования щелей между задвижкой и трубопроводом.

2. Открывание и закрывание затвора должно производиться быстро, с постоянной скоростью, но без возникновения гидроударов.

3. Привод должен быть экономичным, а значит энергетически эффективным. Для оценки используется параметр КПД.

Производством запорной арматуры занимаются многие российские и зарубежные предприятия, в том числе предприятия Томской области, такие как «Элиси», «ТЭК», «СибМаш», «Томзэл». Основной диапазон мощностей электродвигателей – 0,37–45 кВт.

Для перемещения затвора задвижки запорной арматуры из открытого положения в закрытое (рисунок 1 — точки L1–L4) необходимо создать усилие трогания, которое способно сдвинуть шток из начального положения. Значение усилия может меняться из-за различных факторов эксплуатации (сухое трение, ржавчина и другие). При нормальных условиях отрыв происходит сразу, точки L1–L2 совпадают. После срыва начинается перемещение штока (L2–L3), при подходе к крайнему положению (L4) «Закрыто» усилие увеличивается, что обусловлено посадкой клина в седло, подразумевающей уплотнение с целью достижения заданного уровня герметичности.

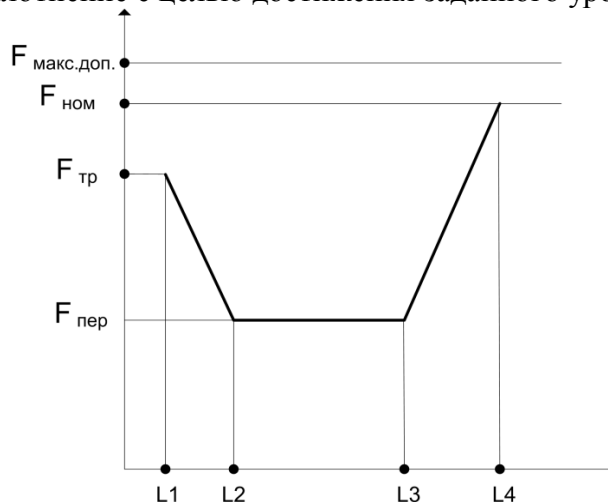


Рис. 1. Изменение усилия при работе задвижки

Характерные точки, обозначенные на рисунке 1:

$F_{\text{макс.доп.}}$ — максимально допустимое усилие, при котором не происходит деформация поверхностей;

$F_{\text{ном}}$ — номинальное усилие уплотнения;

$F_{\text{тр}}$ — усилие трогания;

$F_{\text{пер}}$ — усилие перемещения.

Для создания необходимых механических характеристик применение магнитно-гистерезисной муфты между двигателем и редуктором позволит исключить часть сложных систем управления приводом. Магнитно-гистерезисная муфта способна осуществлять передачу постоянного момента независимо от скорости вращения ведущего вала, в случае достижения максимального момента муфта остановится и не деформирует внутренние поверхности задвижки.

Магнитно-гистерезисные муфты выполняются в двух основных конструктивных формах: с радиальным воздушным зазором и аксиальным воздушным зазором. Каждая из этих двух основных конструктивных форм имеет несколько схем конструктивного исполнения. Однако наибольшее практическое применение для магнитно-гистерезисных муфт пока представляет собой индуктор типа «звездочка» в силу простоты конструкции и технологии изготовления. Стоит отметить, что диаметр индуктора данного типа ограничивается окружной скоростью $V \leq 60$ м/сек для большинства сплавов. При скорости вращения 3000 об/мин максимальный радиус составляет 44,6 см, 1500 об/мин — 89,1 см.

Применение новых сплавов позволит изменить основные технические параметры гистерезисной муфты, такие как гистерезисный момент и момент под нагрузкой, которые зависят от величины петли гистерезиса. Таким образом, открывается возможность получения ряда новых магнитно-гистерезисных муфт [2].

Для упрощения анализа технических характеристик нами используется автоматический расчет параметров магнитно-гистерезисной муфты, который в общем случае представляет собой расчет на основе исходных данных геометрии муфты, уточнение коэффициентов использования материалов и расчет проводимостей, а также поверочный расчет [3].

Одними из характеристик магнитно-гистерезисной муфты в системе электропривода являются габаритные размеры, которые не должны превышать размеры двигателя для удобства эксплуатации. Для электроприводов запорной арматуры типа «ЭПЦ(М)», выпускаемых компанией «Томзэл», существует линейка электродвигателей от компании «ТЭК» – ДАТЭК-250, ДАТЭК-350, ДАТЭК-450. Также, есть серия электродвигателей малой мощности ДАТЭК-158М для электропривода «ЭРА-10». Для каждой серии была составлена ориентировочная линейка магнитно-гистерезисных муфт. Кривая зависимости диаметра от гистерезисного момента представлена на рисунке 2.

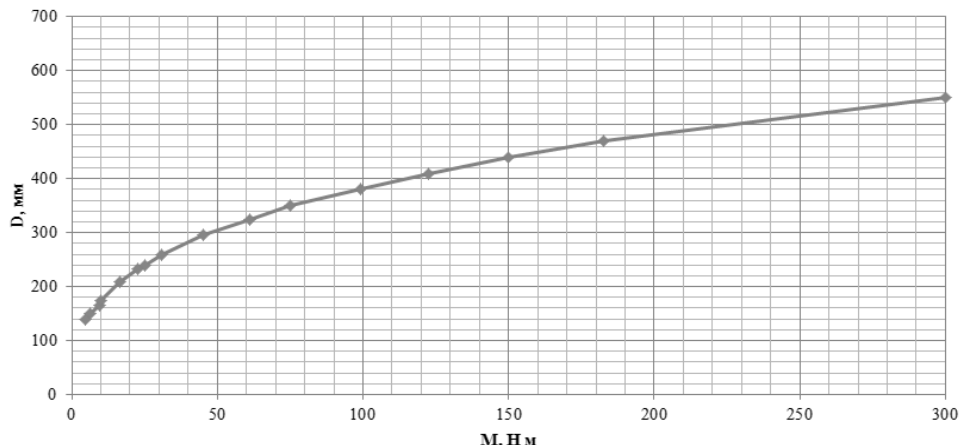


Рис. 2. Изменение диаметра от гистерезисного момента

Магнитно-гистерезисные муфты не подходят для применения с серией двигателей ДАТЭК-250-09Х. Для серий 350-01(02), 450-01(02) есть возможность коррекции диаметра под необходимые типоразмеры, при которых диаметр муфты не будет превышать диаметр двигателя, но при этом есть риск потери перегрузочной способности муфты, так как при увеличении длины и сокращения диаметра потоки рассеяния увеличиваются. Из всех серий лучше всего муфты сочетаются с двигателями серии 158 и 250 малых мощностей.

В результате исследований, можно сделать вывод, что по энергетическим показателям и конструктивным параметрам магнитно-гистерезисную муфту целесообразно применять в качестве ограничителя момента в электроприводе запорной арматуры, при этом изменение типа материала и конструкции может улучшить полученные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электропривод запорной арматуры: монография / А.Г. Гарганеев, А.С. Каракулов, С.В. Ланграф; Томский политехнический университет. – Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 157 с.

2. Савельева М. В. , Колтунова Е. А. Перспективы развития гистерезисных муфт // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы III Российской молодежной научной школы-конференции, Томск, 21–23 Октября 2015. – Томск: Скан, 2015. – С. 28-31.
3. Мизюрин С.Р., Ермилов М.А. Проектирование магнитно-гистерезисных муфт. – Ротапринт МАИ, 1966. –123 с.

МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА ПРИСУТСТВИЯ С ДИСТАНЦИОННЫМ СИГНАЛИЗАТОРОМ

Зубарев С.С., Комиссарова А.К.

Национальный исследовательский университет «МЭИ», филиал. г. Смоленск

В настоящее время среднестатистический представитель социума может быть уверен в той или иной мере в своей безопасности, благодаря работе специальных служб, наличию индивидуальных средств защиты. Если же этого покажется ему мало, гражданин может обезопасить свое жилище, установив системы видеонаблюдения и мониторинга присутствия. Однако эти системы становятся малоэффективны без соответствующего уведомления пользователя, что удорожает их, заставляя прибегать к дополнительным средствам уведомления (мониторы наблюдения, звуковые сигнализации, личный охранник). Помимо прочего, данные системы практически всегда стационарны и не имеют возможности сопровождать пользователя в поездках и походах. Предложенная концепция устройства позволит уведомлять пользователя о присутствии посторонних лиц в пределах 10-20 метрах от устройства при нахождении его за пределами постоянного места пребывания.

Устройство представляет собой совокупность инфракрасных датчиков движения типа HC-SR501, заключенных во влагозащищенный корпус с круговым обзором. Корпус имеет гибкие крепления для возможности позиционирования его на различных поверхностях, внутри корпуса располагается плата управления, Bluetooth модуль, 4 сервопривода и аккумулятор с величиной 1000мАч. Корпус оснащен 4 светодиодами, для индикации состояния датчика.

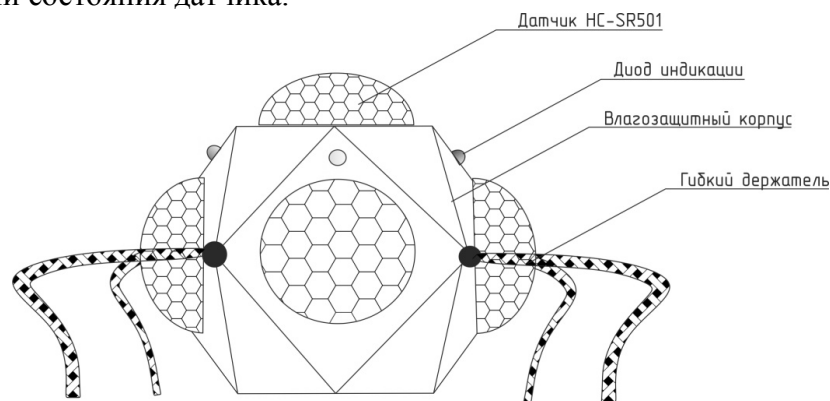


Рис. 1. Эскиз устройства

Принцип работы устройства:

После установки устройства, пользователь при помощи приложения на смартфоне на базе Android/iOS/Windows Phone, либо на «копии» данного приложения, установленного на смарт часы, указывает степень чувствительности и питания каждого датчика устройства, иными словами если пользователю не нужен круговой обзор и он

не хочет, чтобы устройство реагировало на ту сторону, где возможно будет находиться он сам, он может отключить соответствующий датчик дистанционно.

После установки настроек, пользователь нажимает клавишу применить и сигнал по сети Bluetooth передается на плату управления устройством, которая в свою очередь подает команду на включение датчиков и установку их чувствительности при помощи серводвигателей(происходит подстройка переменного резистора), зажигаются светодиоды, сигнализирующие о наличии питания включенных датчиков.

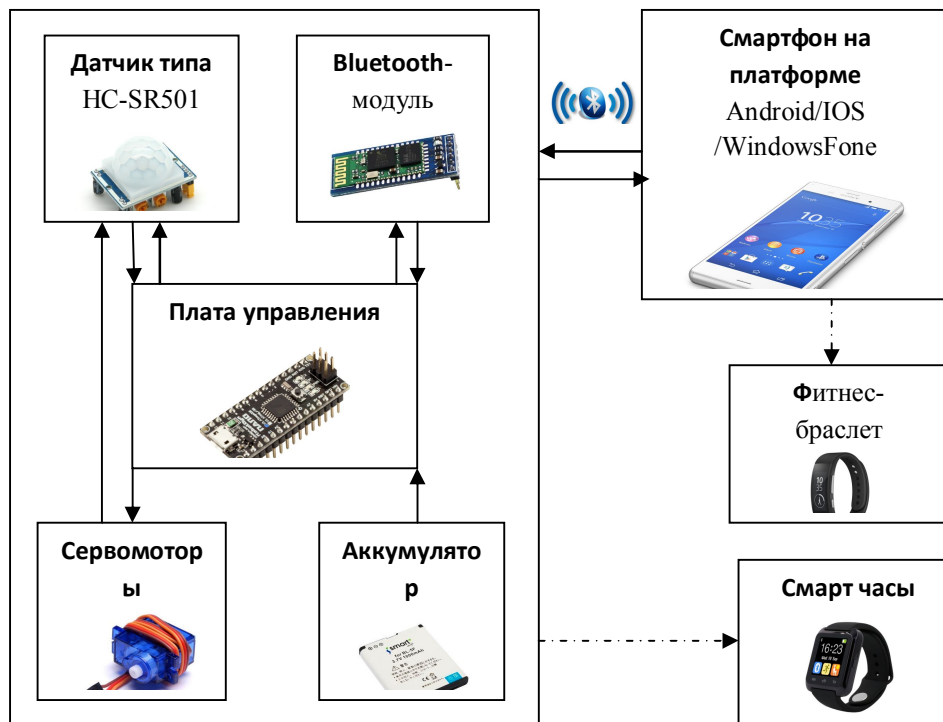


Рис. 2. Структурная схема

При срабатывании датчика, сигнал поступает на плату, откуда передается по каналу связи на смартфон/смарт часы, который в свою очередь сигнализирует о срабатывании устройства вибрационным, либо звуковым сигналом. Помимо прямого использования смартфона в качестве сигнализирующего устройства, предусмотрена возможность использования в качестве сигнализатора фитнес браслета, базирующегося на смартфоне.

Программное обеспечение для устройства написано на языке C# с применением фреймворка Xamarin, позволяющего вести кроссплатформенную разработку мобильных приложений для систем типа iOS, Android, Windows Phone. Использование данного фреймворка позволяет расширить спектр возможных устройств управления, захватив практически все мобильные платформы на современном рынке.

В области применения устройства входят:

- Туристические поездки и походы
- Дальние путешествия на автомобиле
- Охота(в данном случае устройство применяется для сигнализации о присутствии дичи, крепится на ствол дерева)
- Пейнтбол /страйкбол(устройство позволяет заранее узнать о приближении условного противника, не выдав при этом пользователя за счет вибрационного, а не звукового сигнала)
- Охрана объектов в дороге(например, прицепы большегрузных машин)



Рис. 3. Интерфейс первичной версии приложения(демонстрация с устройства Android)

Таблица 1. Аналоги устройства

	Предложенное устройство	Doberman Security и ее аналоги	Стационарные системы мониторинга движения
Питание	Аккумулятор с зарядкой по USB	Аккумулятор без возможности заряда	Сеть 220В
Обзор	Круговой	Узконаправленный	В зависимости от вида устройства и способа установки
Наличие дополнительного сигнализатора	В качестве сигнализатора используется устройство на платформе Android/IOS/Windows Phone	Отдельный блок звуковой/световой сигнализации	Отдельный блок звуковой/световой сигнализации
Управление устройством	Дистанционное, через приложение	Необходимо прямое вмешательство	В зависимости от ПО
Стоимость	2000р	1600-5000р	От 1500р

В настоящий момент ведется работа над созданием корпуса устройства посредством моделирования в среде SolidWorks, а также проведение первичных испытаний корректности работы устройства.

ЭЛЕКТРОПРИВОД ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА СТАНЦИИ ВОДОПОДЪЕМА

Яковлев А.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Насос.

Тип. Центробежные консольные одноступенчатые с горизонтальным осевым подводом жидкости к рабочему колесу.

Назначение. Центробежные насосы предназначены для перекачивания воды, суспензий и эмульсий с температурой от 0 до 105°C. Возможна перекачка и других жидкостей, сходных с водой по плотности, вязкости и химической активности, содержащих твердые включения по объему не более 0,1% и размером до 0,2 мм.

Область применения. Насосы используются в системах водоснабжения, отопления, канализации, для орошения и осушения.

Конструктивное исполнение.

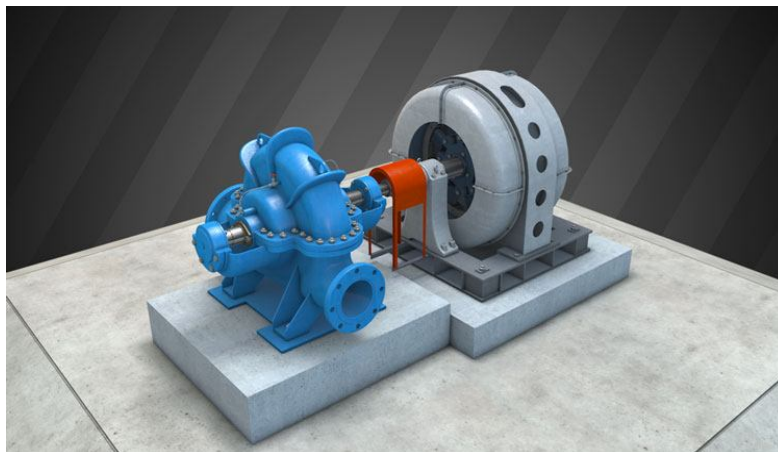
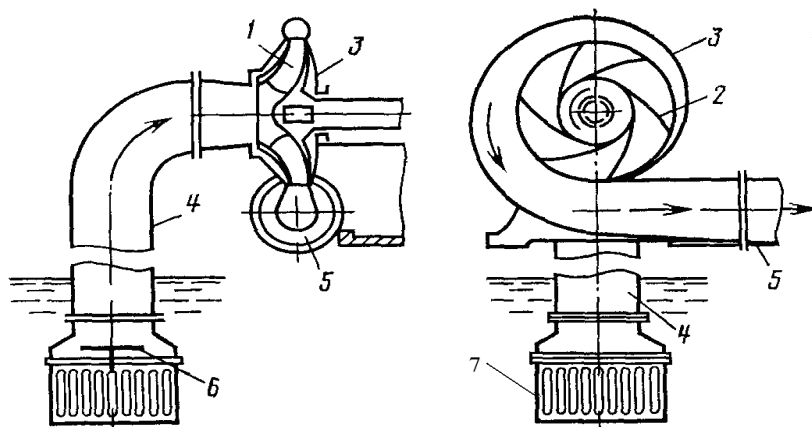


Рис. 1. Общий вид насосного агрегата

Особенностями конструкции является то, что насос и электродвигатель закреплены на общей фундаментной плите. Подвод крутящего момента от вала электродвигателя на вал насоса происходит через упругую муфту с монтажной приставкой, что позволяет отсоединить насос без демонтажа электродвигателя.



1 – рабочее колесо; 2 – лопасти; 3 – спиральный корпус; 4 – всасывающий трубопровод; 5 – напорный трубопровод; 6 – обратный клапан; 7-сетка.

Рис. 2. Принципиальная схема центробежного насоса

Основным элементом центробежного насоса является рабочее колесо 1, с лопастями 2, помещенное на валу внутри спирального корпуса 3. Насос снабжен всасывающим 4 и нагнетательным 5 трубопроводами. На конце всасывающего трубопровода монтируются обратный клапан 6 и сетка 7. На нагнетательном трубопроводе устанавливается задвижка, служащая для регулирования расхода и перекрытия нагнетательной линии насоса.

Принцип действия. Изогнутые лопатки рабочего колеса в процессе вращения оказывают давление на жидкость. Жидкость, под действием возникающей центробежной силы, отбрасывается в направлении от центра рабочего колеса к периферии и, попадая в спиральный корпус, выводится из насоса через напорный трубопровод, в результате чего в центре колеса создается разрежение, а в периферийной его части - повышенное давление.

Движение жидкости по всасывающему трубопроводу происходит вследствие наличия разности между атмосферным давлением и вакуумом во всасывающем патрубке насоса.

Для стабильной работы центробежного насоса необходимо обеспечить непрерывный подвод жидкости к рабочему колесу и отвод от него.

Особенности эксплуатации:

- Центробежные насосы обычно располагают выше уровня жидкости в водоисточнике, поэтому запустить насос в работу возможно только после заполнения жидкостью всасывающего трубопровода и корпуса насоса при наличии обратного клапана.
- При пуске насоса задвижка на напорном трубопроводе должна быть закрыта.
- Запрещается осуществлять пуск насоса при закрытой или не полностью открытой всасывающей задвижке.
- Запрещается работа насоса более 2-3 минут при закрытой напорной задвижке.
- Для остановки насоса производится полное закрытие напорной задвижки, и только после это-го насосный агрегат выключается.
- При отсутствии давления в напорном трубопроводе, определяемом по манометру, насос должен быть сразу отключен во избежание поломок.
- Вал насоса и вал двигателя должны быть тщательно отцентрированы.
- Не допускается установка и эксплуатация насосов во взрыво - и пожароопасных производствах.
- Не допускается перекачка горючих и легковоспламеняющихся жидкостей.

Преимущества:

- Высокое число оборотов рабочего колеса обеспечивают сравнительно небольшие размеры, вес и стоимость насоса.
- Упругая муфта с монтажной приставкой обеспечивает простоту соединения и демонтажа насоса с электродвигателем.
- Обеспечивается равномерная, плавная подача жидкости. Насос имеет длительный срок службы и надежен в эксплуатации.

Недостатки:

- Конструкция насоса не позволяет использовать его для подачи малых объемов жидкости.
- При работе насосов возникают значительные осевые усилия на рабочее колесо, направленные в сторону всасывающего патрубка.

- Сложность отливки рабочего колеса.
- Необходимость заполнения жидкостью корпуса насоса и всасывающего трубопровода при нахождении оси насоса выше уровня воды.

Система электропривода.



Рис. 3. Общий вид электропривода насоса

Для привода механизмов насосных станций, как правило, применяются электродвигатели переменного тока, обычно поставляемые комплектно с оборудованием. В отличие от асинхронного двигателя частота вращения синхронного двигателя постоянна при различных нагрузках. Синхронные двигатели находят применение для привода машин постоянной скорости (насосы, компрессоры, вентиляторы).

Устройства подобного типа предполагают ранний разгон ротора, который осуществляется благодаря установке небольшой короткозамкнутой обмотки. С помощью данного элемента нивелируются колебания вращения ротора и, соответственно, пусковые токи статора. Показатели мощности синхронных агрегатов обеспечивают стабильную работу комплекса. Кроме того, подобное оборудование в меньшей мере зависит от колебаний напряжения в электросети. Станции мощностью 300 киловатт и более оснащаются синхронными агрегатами.

Основным требованием для синхронного двигателя в ЦПВ является непрерывная подача воды.

В регионе наблюдается низкий коэффициент мощности и для компенсации реактивной мощности было принято решение установить синхронные двигатели, помимо этого синхронные двигатели имеют более высокое КПД. Основным достоинством синхронного электродвигателя является возможность получения оптимального режима по реактивной энергии, который осуществляется путем автоматического регулирования тока возбуждения двигателя. Синхронный двигатель может работать, не потребляя и не отдавая реактивной энергии в сеть, при коэффициенте мощности ($\cos \phi$) равным единице. В этих условиях работающий синхронный двигатель нагружает сеть только активным током.

Выводы. Исходя из представленного материала можно сделать вывод о том что для электропривода центробежного насоса лучше использовать синхронный электродвигатель, так как:

- Синхронные электродвигатели менее чувствительны к колебаниям напряжения сети, чем асинхронные электродвигатели.
- Их максимальный момент пропорционален напряжению сети, в то время как критический момент асинхронного электродвигателя пропорционален квадрату напряжения.
- Синхронные электродвигатели имеют высокую перегрузочную способность.
- Перегрузочная способность синхронного двигателя может быть автоматически увеличена за счет повышения тока возбуждения, например, при резком кратковременном повышении нагрузки на валу двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рабочая документация ФГУП «ПО «Маяк».
2. Хабаров В.Е. Техничко-эксплуатационные параметры и устройство центробежных насосов: учебно-метод. пособие.- / В.Е. Хабаров; ФГОУ ВПО Ставроп. гос. аграр. ун-т.- Ставрополь: Изд-во СтГАУ "Агрус", 2006.- 40с.
3. Лысов, К.И. Насосы и насосные станции: учебники и учеб. пособия для подгот. кадров массовых профессий / К.И. Лысов, К.Т. Григорьев.- М.: «Колос», 1977.-224с.

ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ КРАСНОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 660НМ НА ПОСЕВНОЙ САЛАТ «МОСКОВСКИЙ ПАРНИКОВЫЙ»

Гасанова Т.Т., Трофимова А.С.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
г. Томск

Салат посевной (*Lactuca sativa*) относится к роду Салат (*Lactuca*), семейству Астровые (*Asteraceae*). Салат – однолетнее травянистое скороспелое растение. Все салаты достаточно холодостойки. Всходы салата переносят заморозки до -5°C . Оптимальная температура для развития растений составляет $15-20^{\circ}\text{C}$. Салат светолюбивое растение. Лучше всего растет и формирует товарную продукцию при длинном световом дне [1].

В настоящее время салат выращивают летом в открытом грунте, зимой в защищенном грунте, что позволяет круглый год получать урожай салата.

Основными характеристиками света являются его спектральный состав, интенсивность, суточная и сезонная динамика. По спектральному составу солнечный свет неоднороден. В него входят лучи, имеющие различную длину волны. Изучение влияния участков спектра показало, что красный спектр вызывает положительное влияние с длиной волны около 660 нм. [2].

Салат посевной имеет широкое распространение и использование в пищевой сфере. Поэтому изучение красного спектра света с длиной волны 660 Нм имеет высокое значение при выращивании посевного салата в тепличных и комнатных условиях.

При исследовании влияния красного спектра света на посевной салат применялась следующая методика посадки и выращивания: посадка произведена в цветочные ящики площадь каждого ящика $0,56\text{м}^2$, в каждом ящике по 8 лунок, в каждой лунке по 3 семя (салат «Московский парниковый»), далее обильная поливка. Каждый ящик находился под пленкой для создания парникового эффекта в течении суток с момента заделки семян. Каждому из трех ящиков был присвоен порядковый номер №1, №2, №3.

Особенности освещения при исследовании красного спектра света на посевной салат «Московский парниковый»: все ящики освещаются естественным освещением, кроме двух из трех ящиков. Первый ящик (под № 1) находился под естественным освещением до прорастания семян, после прорастания, ростки круглосуточно освещались дополнительным красным светодиодным освещением. Второй ящик (под № 2) находился под естественным освещением, кроме того освещался дополнительным красным светодиодным освещением (660 нм) с момента заделки семян и до прорастания ростков. Третий ящик являлся контрольным и находился только под естественным освещением.

Особенности этого исследования является методика освещения, при которой изучалось влияние красного светодиодного освещения с длиной спектра 660нм. на разные этапы развития и прорастания посевного салата «Московский парниковый».

Влияние красного спектра света с длиной волны 660нм показал результат на двадцать первый день исследования с момента заделки семян. По итогу исследования установлены следующие результаты: процент всхожести, средняя разница по высоте стебля ростков и размаха листьев. .

По исследованию всхожести было выявлено процентное соотношение количества посаженных семян и количество взшедших ростков. Данные этого исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Всхожесть семян посевного салата "Московский парниковый"

Ящик №1 (освещался дополнительным красным светодиодным освещением с момента прорастания семян)	Ящики № 2 (находился под естественным освещением и дополнительным красным светодиодным освещением с момента заделки семян и до прорастания ростков)	Ящик №3 (является контрольным и находится только под естественным освещением)
50%	65.62%	53%

По исследовании такого критерия как высота стебля ростков была выявлена средняя разница по каждому ящику семян посевного салата «Московский парниковый». В ящике находящемся под дополнительным освещением красной светодиодной лампы с длиной волны 660нм с момента заделки семян до их прорастания (ящик №2) и в ящике находящемся только под естественным освещением (контрольный ящик № 3) средняя разница высоты стебля ростков посевного салата составила 0,35 см. Кроме того, была рассчитана средняя разница высоты стебля ростков семян посевного салата «Московский парниковый» и составила 0,24 см., которая рассчитана в ящике находящимся под естественным освещением и дополнительным красным светодиодным освещением с длиной волны 660нм с момента прорастания семян (ящик №1) и в ящике находящимся только под естественным освещением.

По исследовании такого критерия как размах листьев была выявлена средняя разница по каждому ящику семян посевного салата «Московский парниковый». В ящике находящемся под дополнительным освещением красной светодиодной лампы с длиной волны 660нм с момента заделки семян до их прорастания (ящик №2) и в ящике находящемся только под естественным освещением (контрольный ящик № 3) средняя разница размаха листьев ростков посевного салата составила 0,2 см. Кроме того, была рассчитана средняя разница размаха листьев стебля ростков семян посевного салата

«Московский парниковый» и составила 0,8 см., которая рассчитана в ящике находящимся под естественным освещением и дополнительным красным светодиодным освещением с длиной волны 660нм с момента прорастания семян (ящик №1) и в ящике находящимся только под естественным освещением (контрольный ящик №3).

Проведенное исследование показало положительный эффект воздействия красного света с длиной волны 660нм на разных стадиях развития салата «Московский парниковый»

ЛИТЕРАТУРА

1. Агространа, национальный аграрный портал [Электронный ресурс] <http://agrostrana.ru/wiki/278-salat> (дата обращения: 10.03.2015).
2. Влияние света на растения - FloralWorld.ru [Электронный ресурс] <http://www.floralworld.ru/care/light.html> (дата обращения: 18.10.2015).

ОБЗОР МЕТОДОВ БЕЗДАТЧИКОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПЕРМЕННОГО ТОКА

Власов К.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Производители систем управления стараются достичь высокой производительности и энергоэффективности от управления электродвигателем. Для управления электродвигателем, как правило, используется векторное управления, а для оценки положения ротора или скорости его вращения используются различные датчики и энкодеры. Использование таких датчиков приводит к увеличению стоимости электропривода в целом, увеличению габаритных размеров и массы системы. С одной стороны, такой электропривод достаточно точный, посмотрев на это с другой стороны, можно сказать, что дополнительные элементы системы приводят к уменьшению общей надежности системы.

В последнее время, стараются разработать системы управления, которые будут иметь минимальное число элементов, но при этом смогут выполнять все необходимые функции. Такими системами являются бездатчиковые системы управления, в них отсутствует элемент, которые отслеживает положение ротора или скорость его вращения, а вместо этого используется алгоритм, который имея технические данные о двигателе, показатели тока и напряжения в каждый момент времени способен вычислить данные о роторе.

На данный момент методов бездатчикового определения скорости и вращения ротора достаточно много, потому в данной работе приведены основные и самые используемые, а также основные принципы этих методов.

Методы для оценки положения ротора и его скорости можно разделить на три основные группы:

1. Методы, основанные на модели электродвигателя;
2. Методы введения сигнала воздействия;
3. Гибкие методы вычисления.

Методы, основанные на модели электродвигателя.

Эти методы используют модель электродвигателя и измеренные электрические величины. Полученные данные подставляются в модель электродвигателя, чтобы

впоследствии получить данные о скорости вращения ротора и его положении. Обычно получаемыми электрическими величинами является ток статора. В свою очередь это группа делится на три подгруппы:

а) Наблюдатель состояния.

На данный момент наиболее распространен наблюдатель полного порядка, предложенный японским исследователем Hisao Kubota. По ряду показателей этот алгоритм считается самым лучшим, а также он использует полную модель электромагнитных процессов электродвигателя в декартовой неподвижной системе координат (α , β). Система использует эталонную модель, которой является сам электродвигатель. Выходными координатами модели наблюдателя являются оценки вектора тока статора и потокоцеплений ротора. После этого выполняется вычисление вектора токовой ошибки [1].

Идея данного метода заключается в сведении к нулю произведения вектора токовой ошибки на оценку вектора потокоцепления ротора с помощью интегрального или пропорционально-интегрального регулятора. На рис. 1 представлена структурная схема данного алгоритма.

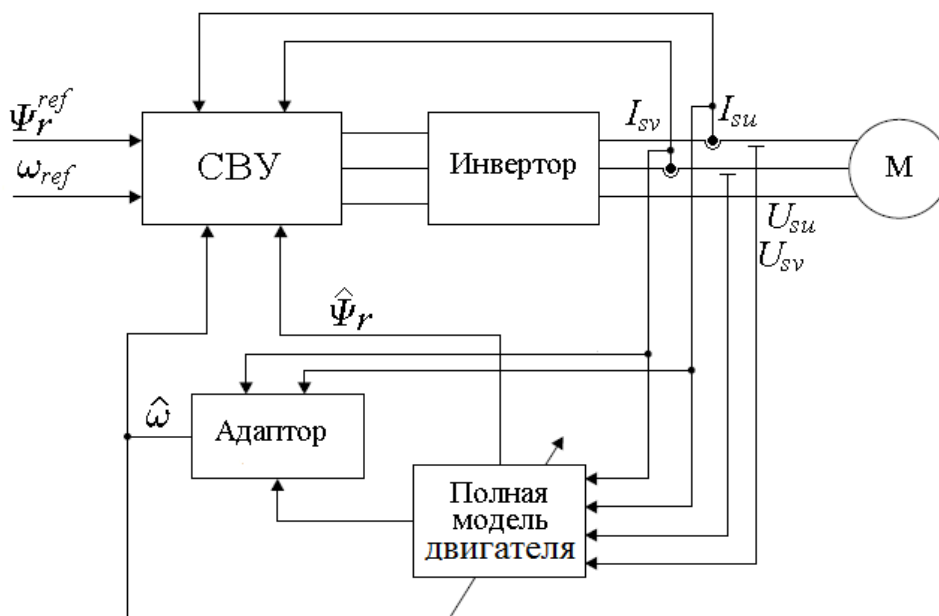


Рис. 1. Структурная схема алгоритма наблюдателя состояния полного порядка

б) Методы на основе обратной ЭДС.

Метод обратной ЭДС является одним из самых простых в системах поиска скорости и положения ротора, данный метод основан на определении параметров ротора в тот момент, когда график обратной ЭДС проходит через ноль. Этот проход через ноль запускает так называемый таймер, который работает некоторое время, а после завершения работы произойдет следующая коммутация [4].

Для обычной работы электродвигателя необходимо, чтобы фаза двигателя и его противо-ЭДС были согласованы, это необходимо для генерации постоянного крутящего момента. Текущую точку коммутации, которая показана на рис.2, можно определить с помощью точки пересечения нуля (ZCP) обратной ЭДС и 30° фазового сдвига [2,3]. Электродвигатель приводится в движение с помощью трехфазного инвертора, использующего шести ступенчатую коммутацию. Во время работы только две фазы проводят ток одновременно, а третья остается свободной. Для того чтобы

получить максимальный крутящий момент преобразователь должен выполнять коммутацию через каждые 60° путем определения пересечения нуля обратной ЭДС [5].

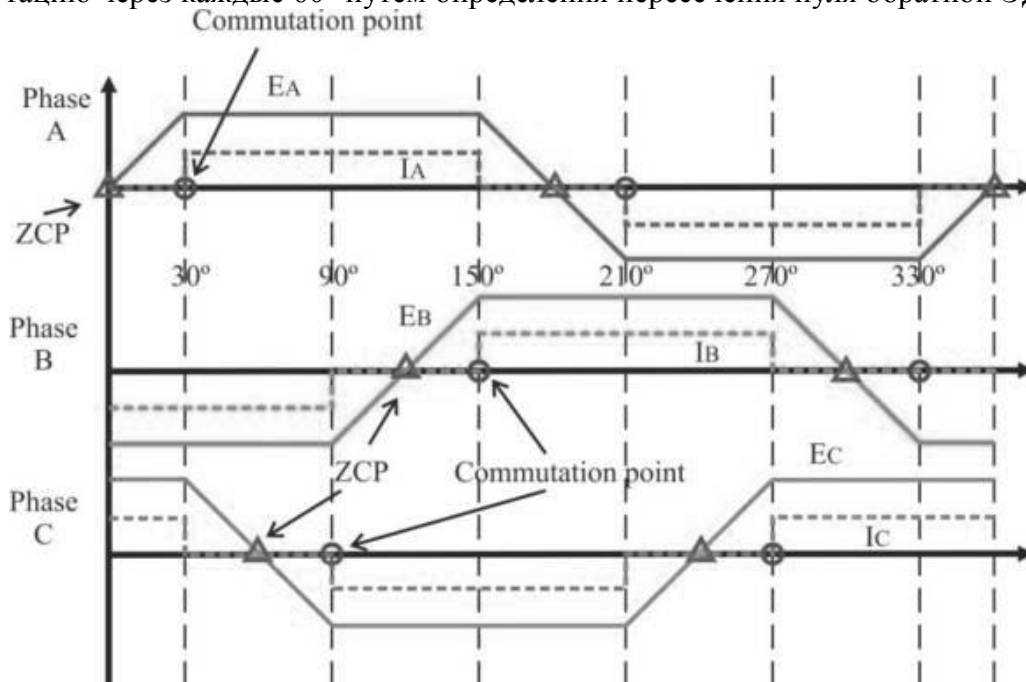


Рис. 2. Точки пересечения нуля обратной ЭДС и точки коммутации тока фазы

Метод введения сигнала воздействия.

Основной принцип этого метода состоит во введении высокочастотного пульсирующего сигнала напряжения в одну из составляющих управляющего сигнала двигателя, а затем повернуть на некоторый электрический угол этот пульсирующий сигнал для того, чтобы получить заметную разницу между сигналом до инъекции и после инъекции с некоторым периодом работы. Так как вводится сигнал напряжения, а измеряется сигнал тока, то результат может быть представлен отклонением, соответствующего высокочастотного сигнала. Данный метод делится на две подгруппы по виду сигнала:

- а) Методы высокой частоты. В этом методе выполняется, как правило, введение сигнала напряжения, частота сигнала которого составляет от нескольких сотен Гц до нескольких кГц.
- б) Методы низкой частоты. Этот метод основан на механической вибрации ротора. В этом методе вводимый сигнал использует частоту от нескольких Гц до нескольких сотен кГц.

На рис.3 векторная диаграмма представляет принцип этого метода. Вся обработка выполняется в dq -координатах, данная система координат вращается с основной частотой. Вводимый сигнал напряжения высокой частоты отмечен как V_{hf} . Этот сигнал является пульсирующим (это отмечено стрелкой), а также он может быть представлен двумя векторами, вращающимися в противоположных направлениях. Угол этого пульсирующего вектора, который также вращается с частотой 50 Гц по отношению к dq -координатам помечен как ε , где $\varepsilon = 2\pi 50t$. Следствием введения высокочастотного сигнала напряжения является высокочастотный ток I_{hf} , который пульсирует в направлении вектора напряжения V_{hf} . Существует также меньший пульсирующий компонент тока I_{hf} , который представлен в перпендикулярном направлении [6].

Метод высокочастотной инъекции имеет неоспоримый плюс, так как его можно применять во всем диапазоне скоростей, в том числе для скоростей близких к нулю.

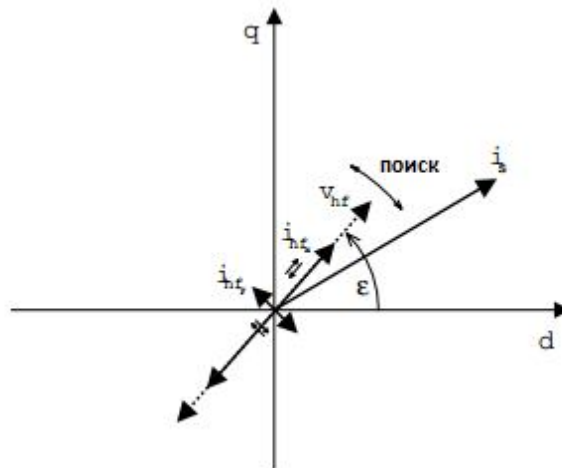


Рис. 3. Векторная диаграмма введения высокочастотного напряжения

Гибкие методы вычисления.

Гибкие методы вычисления используют нейронные сети, нечеткую логику или генетические алгоритмы для определения позиции и скорости вращения ротора. Нейронные сети изучают свойства электродвигателя с помощью заранее определенных данных, то есть они обучаются. После обучения нейронная сеть точно оценивает положение и скорость вращения ротора. В качестве входов в такой системе используются токи и напряжения. Также параметры электродвигателя могут быть определены и во время обычной работы двигателя. Нечеткая логика имеет немного другой принцип работы, она опирается на лингвистические правила, которые заранее определяются экспертом.

Вывод: Исходя из всего выше сказанного, можно сказать, что методов бездатчикового управления очень много, каждый хорош по своему в той или иной ситуации. На данный момент нет идеального метода, так как одни методы лучше работают на низких скоростях, другие не могут управлять электродвигателем на малых скоростях и скоростях близких к нулю. В связи с этим, существует необходимость в создании системы управления, которая сможет максимально точно управлять электродвигателем во всем диапазоне его скорости. Помимо этого такая система способна отслеживать малейшие неточности во время работы электродвигателя и предупредить о возможной неисправности, что позволит избежать дорогостоящего ремонта или даже полной замены вышедшего из строя агрегата.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Ohyama. Comparative. Analysis of Experimental Performance and Stability of Sensorless Induction Motor // IEEE Trans. Indus. Electr. – February 2006. – vol. 53 – no.1. – pp. 178 – 186.
2. Iizuka K, Uzuhashi H, Kano M, Endo T, Mohri K. Microcomputer Control for Sensorless Brushless Motor // IEEE Trans And Appl. – 1985. – IA-21 – pp.595–601.
3. Bonfe M, Bergo M. A Brushless Motor Drive with Sensorless Control for Commercial Vehicle Hydraulic Pumps // Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2008). – Cambridge, England. – July 2008. – pp.612–617.
4. Becerra RC, Jahns TM, Ehsani M. Four-Quadrant Sensorless Brushless ECM Drive // Proceedings of the Sixth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 1991). – Palm Springs, CA, USA. – March 1991. – pp. 202–209.

5. Shao J, Nolan D, Hopkins T. A Novel Direct Back EMF Detection for Sensorless Brushless DC (BLDC) Motor Drives // Proceedings of the Seventeenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2002). – Dallas, TX, USA. – March 2002. – pp. 33–37.
6. Drevensek, D., D. Zarko, T.A. Lipo, A Study of Sensorless Control of Induction Motor at Zero Speed Utilizing High Frequency Voltage Injection // EPE Power Electronics and Motion Control Conference. – Dubrovnik Croatia. – Sept. 2002. – pp.31 – 42.

ПРИМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ТОКА В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Серьёзов Ю. В.

Вологодский государственный университет, г. Вологда

Актуальность работы

В настоящее время во многих отраслях производства при работе электродвигателей необходимо учитывать величину и характер изменения механической нагрузки, а также момента инерции на валу электродвигателя. Примером может служить прокатный стан или шлифовальный станок.

Основные проблемы и решения

Исходя из того, что такие параметры как момент нагрузки или момент инерции трудно измерять напрямую, информацию о них получают косвенно. Одним из наиболее распространённых способов является определение статического тока.

Задача получения достоверной информации о статическом токе, а значит - о величине нагрузки на привод, является очень важной. Система управления обязана уметь четко определять текущий режим. Кроме того, величина статического тока используется для подсчета энергетических затрат (расхода электроэнергии) на полезную работу [1].

Принцип работы датчика статического тока основывается на выделении динамической составляющей тока при помощи модели двигателя, либо при помощи наблюдателя состояния (модели с коррекцией). Динамическая составляющая вычитается из полного тока, оставшаяся часть и является статическим током. Данную задачу возможно решить с помощью цифрового наблюдателя состояния (НС). Выполнение НС в аналоговом виде усложняет поставленную задачу, т.к. возникают проблемы помехозащищенности, неустойчивости параметров операционных усилителей, а также необходимость масштабирования переменных [3]. Подобных недостатков лишены цифровые НС (ЦНС), поэтому даже в САУ с аналоговыми регуляторами их применение целесообразно и оправдано. Применение наблюдателей состояния (НС) для восстановления не измеряемых координат объекта регулирования позволяет строить эффективные системы автоматического управления (САУ).

Наблюдатель состояния основывается на модели двигателя. Настройка НС состоит из трех этапов [2].

Первый – необходимо для модели двигателя (т.е. для наблюдателя с отключенными корректирующими связями) при работе привода вхолостую, подобрать значения параметров двигателя так, чтобы восстановленная моделью динамическая составляющая тока как можно лучше совпадала с полным током двигателя.

Второй – необходимо подключить корректирующие коэффициенты наблюдателя состояния и подбирать коэффициенты корректирующих связей, варьируя собственную

частоту наблюдателя, добиваясь еще лучшей сходимости динамической составляющей с полным током.

Третий – проверить работу наблюдателя состояния в процессе прокатки, провести окончательную настройку.

В программе Syap была создана модель электропривода с НС и исследовано его влияние на работу системы, а именно переходные процессы при разгоне и при подаче нагрузки. Графики переходных процессов представлены на рисунках 1 и 2.

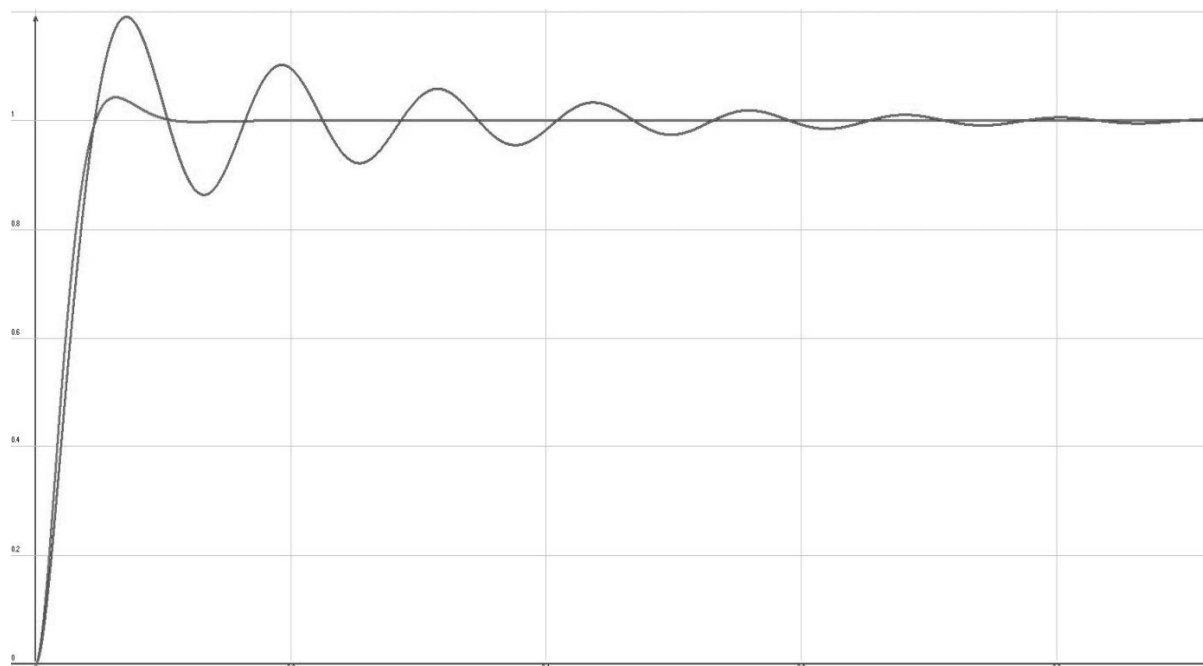


Рис. 1. Переходные процессы при пуске

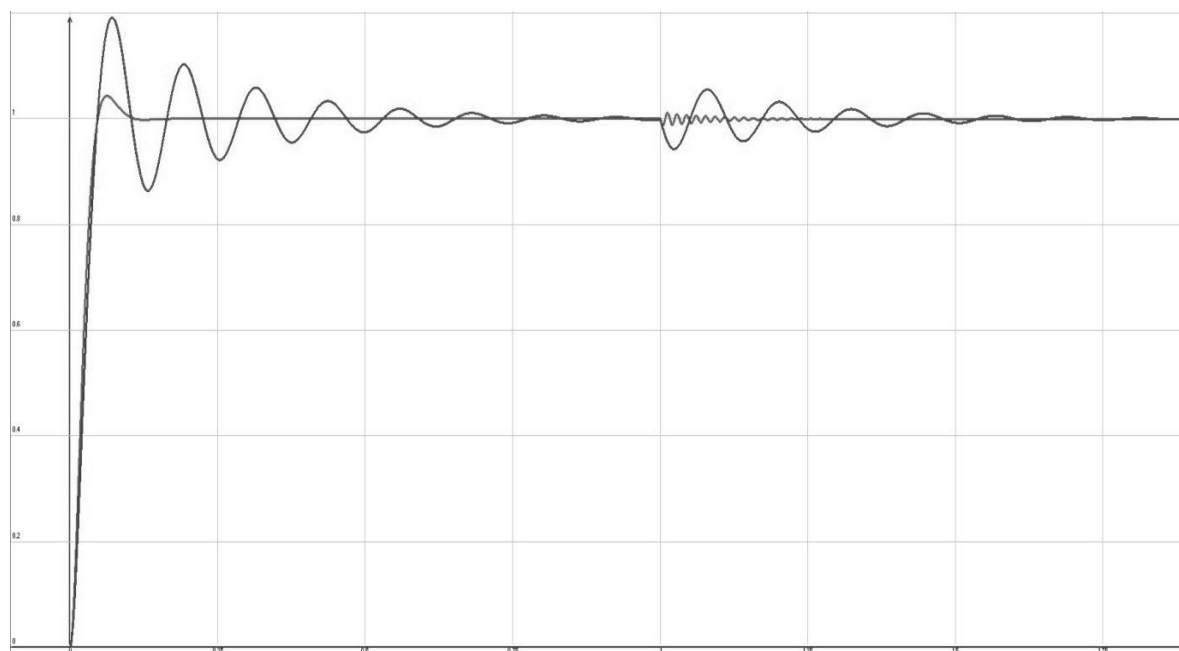


Рис. 2. Переходные процессы при пуске и подаче нагрузки

На рисунках 1 и 2: красный график – система с НС, синий график – система без НС. Из сравнения графиков видно что в системе с НС скорость переходного процесса быстрее и перерегулирование меньше.

Из этого можно сделать вывод, что система с НС является более пригодной в производстве, так как сможет быстрее и качественнее обрабатывать различные изменения момента нагрузки или момента инерции, т. е. применение НС позволяет с достаточно высокой точностью выделить не измеряемый непосредственно параметр, в данном случае – статический ток двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский М.И. Управление электроприводами. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 278 с.
2. Федоряк Р.В., Розкаряка П.И. Опыт применения наблюдателей состояния для выделения статического тока в электроприводе обжимного стана //Вісник Східноукраїнського національного університету №3 (37) 2001. Науковий журнал. - Луганськ, СНУ, 2001. - С.160-166.
3. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: Вестник ХГПУ. Спеціальний випуск. Харьков: ХГПУ.- 2002.-С.54-59.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Зар Ни Ньейн, Сериков В.А., Сериков А.В.

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,
г. Комсомольск-на-Амуре

Проблема повышения энергоэффективности процессов отопления и горячего водоснабжения жилых и нежилых помещений является актуальной. Затраты потребителей на нужды теплоснабжения постоянно растут.

В России широко используются централизованные системы теплоснабжения на базе теплоцентралей, крупных районных и промышленных котельных. Основными причинами создания такой системы являются: 1) высокая плотность и концентрация тепловых нагрузок, связанная с тем, что большая часть населения проживает в городах с многоэтажной застройкой; 2) создание крупных промышленных комплексов с социальной инфраструктурой на относительно небольших территориях; 3) относительно суровый климат и длительный отопительный период на большей части территории страны.

В условиях централизованного энергообеспечения можно выделить основные источники потерь: 1) потери, возникающие в процессе преобразования энергии топлива в электрическую и тепловую, которые обусловлены относительно низким КПД теплоэлектроцентралей, котельных и т.п.; 2) потери при транспортировке теплоносителя от источника энергии до потребителя, которые зависят от качества теплоизоляции транспортирующей системы (обычно трубопроводы с наземной или подземной установкой), разницы температур теплоносителя и наружного воздуха, а при наземном расположении трубопроводов на теплотери оказывает значительное влияние ветровая нагрузка; 3) теплотери самого объекта теплоснабжения (жилого, производственного, административного помещения или здания).

Тем не менее, централизованные системы теплоснабжения не охватывают значительную часть потребителей. Эффективность централизованной системы значительно снижается для следующих категорий потребителей: 1) населенные пункты с преобладанием одно-двухэтажной застройкой; 2) сельские поселения с преобладающей одноэтажной застройкой и наличием приусадебных земельных наделов; 3) пригородные поселения с малой концентрацией застроек и растянутыми коммуникациями; 4) труднодоступные северные районы и горные местности; 5) временные поселения для выполнения сезонных работ.

Для обеспечения комфортных условий для таких потребителей целесообразно использовать децентрализованные системы электронагрева.

В настоящее время в мировой практике известно три основных вида электроотопления: полное, дополнительное и комбинированное. Сущность любой системы отопления состоит в компенсации тепловых потерь здания, в поддержке внутри него комфортной температуры. При полном электроотоплении все тепловые потери здания компенсируются электроотопительными приборами. Дополнительное отопление в основном применяется в межсезонье, когда центральное отопление не работает, или при понижении температуры наружного воздуха ниже расчётного значения в дополнение к централизованному. При этом мощности источников тепловой энергии относительно невелики. Наиболее перспективна комбинированная система отопления, при которой основная часть тепловых потерь покрывается за счёт централизованных систем отопления, обеспечивая температуру воздуха в помещениях до $+15^{\circ}\text{C}$. Доведение температуры до комфортных значений осуществляется электроотопительными приборами с автоматическим управлением терморегулятором.

Использование комбинированного электроотопления позволяет не использовать централизованное отопление в переходный период (осень-весна), когда теплоноситель в систему поступает с относительно низкой температурой, а потребитель осуществляет полную оплату за тепловую энергию. Кроме этого, в переходный период регулирование температуры в помещениях обычно осуществляют за счёт увеличения теплопотерь здания (открывают окна, двери, форточки и т.п.), а при комбинированном электроотоплении достаточно просто обеспечить автоматическое регулирование температуры за счёт регулирования мощности электронагревательного устройства. Во время максимума нагрузок нет опасности недогрева здания, как при централизованном отоплении, так как электрический источник автоматически обеспечит необходимую температуру. Кроме этого, при длительном или периодическом отсутствии человека нет необходимости поддерживать комфортную температуру в отдельных помещениях или здании, что приведет к экономии электрической составляющей расходов комбинированной системы.

В условиях многоставочных тарифов на электрическую энергию становится целесообразным применение систем с возможностью аккумуляции тепла. В таких системах аккумулировать тепло можно за счёт использования большого объема теплоносителя в накопительной теплоизолированной емкости. В этом случае значительно повысить энергоэффективность можно за счёт использования электромеханических и электромагнитных исполнительных устройств, которые позволяют обеспечить наиболее целесообразный режим циркуляции и расхода теплоносителя.

Так как генерация тепловой энергии является энергоемким производством, то решение задачи безопасности и энергоэффективности системы теплоснабжения невозможно без создания энергоэффективных интеллектуальных систем управления теплогенерирующими комплексами, которые могут обеспечить значимый режим

энергосбережения. В этом случае важным является использование рациональных алгоритмов управления такими электромеханическими преобразователями и совершенствование их эксплуатационных характеристик.

Для обеспечения децентрализованного или комбинированного отопления целесообразно использовать электротехнический комплекс (рис. 1), который включает в себя: коммутатор, теплогенератор (ТГ), систему аккумуляции тепла (САТ), систему теплообмена (СТО), систему управления нагревом и микроклиматом помещений (СУН), датчики сбора необходимой информации для системы управления, исполнительные устройства для обеспечения циркуляции и распределения теплоносителя (ИУЦРТ). Питание электротехнический комплекс может получать из централизованной сети электроснабжения предприятий и бытовых потребителей, либо от децентрализованных источников энергии (ветрогенератор, микроГЭС, солнечные батареи и т.п.).

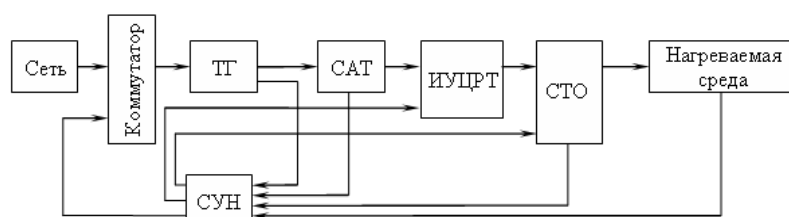


Рис. 1. Электротехнический комплекс теплоснабжения

Для преобразования электрической энергии в тепловую широко используются трубчатые нагревательные элементы, которые обладают рядом недостатков, выражающихся в их недолговечности (особенно при нагреве воды, что связано с образованием накипи) и недостаточной электробезопасностью (появление микротрещин на поверхности и токов утечки в процессе эксплуатации). Качественно улучшить условия подготовки горячей воды позволяют нагревательные элементы трансформаторного типа (НЭТТ) с вторичной обмоткой, непосредственно контактирующей с теплоносителем и выполненной в виде замкнутого витка, в котором выделяется основная доля теплоты. Такое техническое решение позволяет получить более безопасный и надежный в эксплуатации нагревательный элемент [1].

Изготовление НЭТТ целесообразно организовывать на предприятиях, производящих силовые трансформаторы. Следовательно, можно использовать существующее технологическое оборудование и материалы, которые применяются в процессе производства трансформаторов. Из большого многообразия конструктивных схем НЭТТ рекомендуется использовать конструкции на основе плоских и пространственных магнитных систем, которые широко используются в конструкциях силовых трансформаторов [2].

При расчете пространственных магнитопроводов и первичных обмоток можно использовать известные методики и рекомендации. Особенностью является расчет вторичной короткозамкнутой обмотки, которая является одновременно нагрузкой и в которой выделяется большая часть тепловых потерь идущих на нагрев жидкости. Геометрические размеры вторичной обмотки должны обеспечить необходимое активное сопротивление, следовательно, обеспечить расчетную мощность НЭТТ. Так как вторичная обмотка имеет форму сложного проводника, то для правильной оценки растекания тока необходим анализ электрического поля в этом проводнике. Кроме того, если НЭТТ предназначен для нагрева воды, то для снижения скорости образования накипи необходимо ограничить плотность теплового потока с поверхности

вторичной обмотки величиной 10 Вт/см^2 . Так как первичная обмотка находится при других условия охлаждения, чем в силовых трансформаторах, то важно правильно определить максимальную температуру нагрева изоляции для обеспечения большого срока службы НЭТТ. Следовательно, необходимо разработать методику теплового расчета с учетом сложных путей теплоотвода от магнитопровода, первичной и вторичной обмоток.

Таким образом, можно сформулировать основные задачи исследования электротехнического комплекса теплоснабжения.

1) Разработка конструкции НЭТТ и создание 3D моделей для исследования физических процессов в НЭТТ с использованием современных программных средств.

2) Совершенствование проектирования НЭТТ, с целью уменьшения стоимости устройства и повышения его ресурса.

3) Выявление энергоэффективных режимов работы НЭТТ и всей системы в целом с учетом внешних факторов и требуемых температурных условий.

4) Создание энергоэффективных алгоритмов управления электротехническим комплексом теплоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сериков, А.В. Электронагревательные элементы и устройства трансформаторного типа для систем теплоснабжения: моногр. / А.В. Сериков, В.М. Кузьмин. – Владивосток: Дальнаука, 2012. – 247 с.
2. Тихомиров, П.М. Расчет трансформаторов: Учеб. пособие для вузов / П.М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗОЛЯЦИЮ НЕФТЕПОГРУЖНЫХ КАБЕЛЕЙ

Щербакова Ю.М., Ефанова Д.Д.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Для нефтегазовой промышленности огромное значение имеет обеспечение надежности нефтепогружных кабелей (НПК) для питания нефтепогружных насосов. В настоящее время глубина основной части скважин составляет 2000-3000 м и более. При этом на изоляцию нефтепогружных кабелей воздействуют повышенные температуры (до 200°C), давление (более 100 МПа) механические нагрузки, пластовая жидкость, перепад давления и температуры по длине кабельной линии во время эксплуатации, в связи с этим проблема надежности нефтепогружных кабелей стала наиболее важной [1].

Способность НПК выдерживать воздействие нагрузки главным образом определяется стойкостью его изоляции. Необходимо чтобы данный кабель выдерживал все воздействующие нагрузки, как при подъеме и опускании системы в скважину, так и во время эксплуатации [1]. В общем случае надежность кабельной линии при эксплуатации УЭНЦ зависит от применяемых материалов кабельного производства, конструктивного исполнения кабеля и характеристик добываемого продукта. Стойкость изоляции оценивается согласно ГОСТ Р 51777-2001, который, не в полном объеме учитывает реальные нагрузки на изоляцию НПК [2]. Таким образом исследование влияния эксплуатационных факторов на свойства изоляции является актуальной задачей.

В настоящее время в технической литературе недостаточно информации о влиянии пластовой жидкости (нефти) на электрические и механические свойства изоляции. В работе проведена оценка изменения геометрических размеров и сопротивления изоляции образцов НПК.

Испытания проводились на образцах с изоляцией из блоксополимера пропилена с этиленом. В настоящее время около 60% всего кабеля для УЭНЦ выпускается с изоляцией из этого материала, обладающего хорошими электроизоляционными свойствами, хладостойкостью, прочностью и стойкостью к растрескиванию в агрессивных средах.

Выводы по работе:

- 1) Электрическое сопротивление при увеличении времени выдержки образцов в агрессивной среде начинает уменьшаться в связи с тем, что происходит процесс сорбции и увеличение концентрации числа свободных носителей зарядов. Это обуславливает рост проводимости и снижение сопротивления изоляции
- 2) Изменение диаметров образцов находится в пределах от 5-7 %. С увеличением времени старения происходит изменение диаметра образца. При соприкосновении полимера с низкомолекулярной жидкостью ее молекулы начинают быстро проникать в фазу полимера, в то же время макромолекулы не успевают перейти в фазу растворителя, прежде чем растворится. Высокомолекулярный полимер набухает, в связи с этим наблюдается увеличение диаметра. При дальнейшей выдержки образцов диаметр начинает уменьшаться, что связано с процессом адсорбции и вымыванием пластификатора из объема полимера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макиенко Г.П. Кабели и провода, применяемые в нефтегазовой индустрии. Пермь: Агенство “Стиль-МГ” 2004, 560с., ил.
2. Новиков Д.В., Харченко Д.А. Кабели для электропитания установок электроцентробежных насосов добычи нефти. Журнал “Кабели и провода” 2014 №1 [Электронный ресурс] http://www.kp-info.ru/kp_archive.html

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Атакишиев Р.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В большинстве случаев питание электронной аппаратуры (ЭА) осуществляется от промышленной сети переменного тока с частотой 50 Гц напряжение такой сети регламентируется на уровне 220/380 В с допустимыми отклонениями плюс 10% минус 15%.

В реальных сетях случаются провалы напряжения до нуля, т.е. отключения сети как на короткие промежутки времени (сравнимые с периодом переменного напряжения), так и на сравнительно длительные (секунды, минуты).

Большой диапазон изменения входного напряжения при значительном разбросе требуемых установок выходного напряжения может сказаться на выборе структуры проектируемого устройства, наличие провалов питания требует использования промежуточных накопителей энергии. В связи с этим встаёт вопрос необходимости использования систем непрерывного электроснабжения (СНЭС).

Существенные отклонения параметров напряжения питающей сети от допустимых по влиянию на работу потребителей подразделяются на две группы: влекущие потерю информации и приводящие к выходу из строя оборудования.

Основными задачами системы бесперебойного электропитания является обеспечение непрерывной подачи электропитания потребителю и защита его от воздействий, ведущих к потере информации и повреждению аппаратуры.

На данный момент, система бесперебойного электропитания является актуальным устройством. Велика необходимость внедрения проектируемого аппарата в промышленную и гражданскую сферы. Чаще всего система бесперебойного электропитания используется в загородных коттеджах, больницах и деревнях.

Экономическая эффективность работы является достаточно высокой, с учётом соотношения вкладываемых средств и достигаемых результатов. Основную значимость работы несёт социальная сторона проекта.

Для разработки системы бесперебойного электропитания были заданы основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:

- напряжение питания $\sim U_c = 220 \text{ В}$;
- $\Delta U_c = (+10), (-15) \%$;
- частота напряжения питания $f = 50 \text{ Гц}$;
- номинальное значение напряжения АБ (аккумуляторной батареи) $U_{AB \text{ вх}} = 24 \text{ В}$;
- $U_{AB \text{ вых}} = 48 \text{ В}$;
- точность выходного параметра 2% ;
- $K_n = 2 \%$;
- $I_{нагр.min} = 0,1 \text{ А}$;
- $I_{нагр.max} = 2 \text{ А}$;
- $\sim U_{вых} = 220 \text{ В}$
- $f_{вых} = 50 \text{ Гц}$.

Различают три основных класса СНЭС:

1) Система с постоянно работающим инвертором в нормальном режиме от выпрямленной сети переменного тока, а в аварийном – от аккумуляторной батареи. Такие СНЭС называют «on-line».

2) Источники резервированного питания «of-line», работающие в нормальном режиме от сети, при выключенном инверторе, включающемся в работу при отклонениях напряжения сети за допустимые предел или полном его отсутствии.

3) Гибридные, в которых обычные системы «on-line» дополняются устройствами, ограничивающими импульсные перенапряжения и просадку сети переменного тока.

Основным требованиям технического задания удовлетворяла любая из приведённых выше систем. Поэтому при проектировании СНЭС необходимо было воспользоваться дополнительными требованиями. К ним могли относиться массогабаритные показатели, время переключения с основного источника на резервный, наличие сервисных устройств – диагностика состояния, световая и звуковая индикация, гальваническая развязка нагрузки от сети, высокая надёжность и низкая цена, электробезопасность обслуживающего персонала.

С учётом анализа дополнительных требований, была выбрана система «on-line» (рис. 1.).

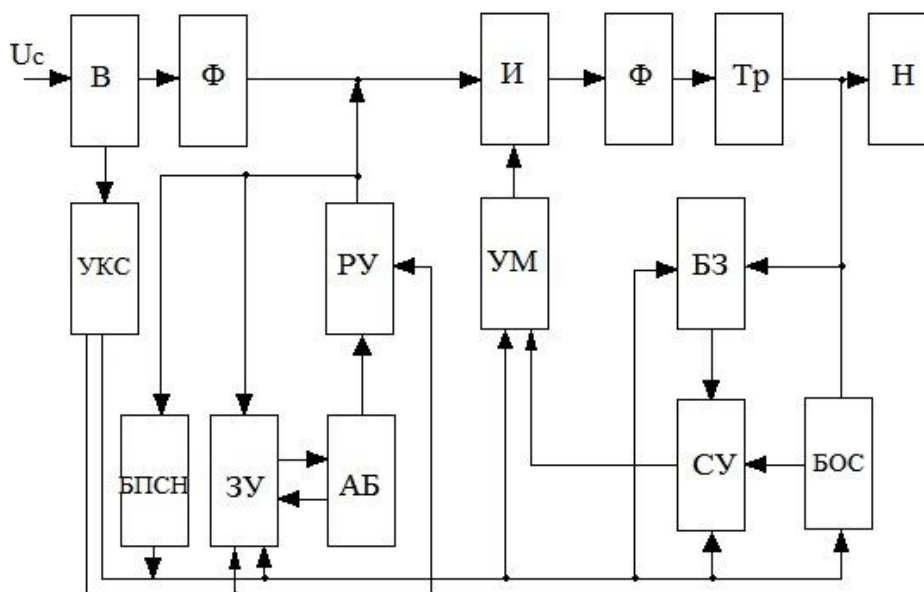


Рис. 1. Функциональная схема системы бесперебойного электропитания

Далее были рассчитаны параметры блоков системы бесперебойного электропитания.

Таким образом было разработано устройство с постоянно работающим инвертором в нормальном режиме от выпрямленного тока, а в аварийном – от аккумуляторной батареи. Были выбраны элементы системы непрерывного электроснабжения и рассчитаны их параметры. Элементы выбирались из условия их отношения к классу электрических аппаратов. К рассчитанным элементам относятся входной выпрямитель и фильтр, силовой инвертор, выходной фильтр, усилитель мощности, блок защиты и устройство контроля напряжения питающей сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутырин П.А. Электротехника: учебник / П. А. Бутырин, О. В. Толчеев, Ф. Н. Шакирзянов; под ред. П. А. Бутырина. – М.: Академия, 2006. – 268 с.
2. Богданов Е.П. Электрические аппараты преобразователей энергии: методические указания и пример выполнения курсового проекта по дисциплине «Бесконтактные электрические аппараты». – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 90 с.

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ИНВЕРТОРОВ В ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ

Якимов Д.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Сегодня на рынке представлены различные виды автомобильных инверторов. В первую очередь, все инверторы делятся по форме генерируемого ими напряжения. В большинстве случаев автомобильный инвертор просто не может дать чистую синусоиду напряжения. На выходе получается прямоугольная, трапециевидная или ступенчатая форма напряжения переменного тока, так как генерация осуществляется с помощью транзисторных ключей. Но отсутствие чистой синусоиды напряжения никак не сказывается на работе значительной части бытовых электроприборов. Поэтому такие

инверторы, называемые несинусоидальными, вполне подойдут для питания обычных бытовых приборов.

Рассмотрим некоторые примеры на современном рынке автомобильных инверторов. Для примера одним из простых устройств и низким по стоимости (2000 руб.) является «CAR-200» (рис. 1):



Рис. 1. Автомобильный инвертор «CAR-200»

Устройство автомобильного инвертора

Функционирование автомобильного инвертора базируется на полупроводниках. При этом сам корпус устройства обычно изготавливается из алюминиевого сплава повышенной теплопроводности, чтобы обеспечивать отвод тепла посредством конвекции. Кроме того, в конструкции более мощных приборов (от 300 Вт), как правило, присутствует еще и вентилятор для принудительного охлаждения инвертора.

Это устройство, предназначенное для преобразования входного постоянного напряжения 12 В в переменное напряжение 220 В с частотой 50 Гц на выходе. То есть автомобильный инвертор вырабатывает переменный ток, благодаря чему к нему можно подключать самые разнообразные электроприборы, инструменты, портативные устройства и компьютеры, работающие от бытовой сети переменного тока. Нужно, правда, отметить, что частота 50 Гц, которая выдается инвертором, отличается меньшей стабильностью по сравнению с обычной городской электросетью.

Принцип действия

Устройство состоит из двух частей, силовой и системы защиты и управления. Первая часть состоит из инвертора который преобразует постоянный ток в переменный и трансформатора для того, чтобы создать нужное напряжение на выходе. (рис. 2), а вторая из ШИМ контроллера, для управления тиристорами.



Рис. 2. Функциональная схема устройства

Режимы работы автомобильного инвертора

В автомобильных инверторах может быть предусмотрено три режима работы. Первый, основной, предполагает длительную работу инвертора на номинальной мощности. Второй режим обеспечивает так называемый режим перегрузки, когда устройство в течение определенного времени может давать мощность в полтора раза большую, чем номинальная мощность. И, наконец, в некоторых моделях автомобильных инверторов также присутствует пусковой режим, который дает повышенную моментальную мощность для емкостных нагрузок или запуска электродвигателя.

Особенности автомобильного инвертора "CAR-200"

Автомобильный инвертор CAR-200 - устройство мощностью 200 Ватт - 200w и пиковая мощность до 400, имеет ряд особенностей:

- Защита от перегрева. При достижении определённого температурного порога, устройство оповестит и автоматически отключится.
- Защита от короткого замыкания и перегрузки сети. При проблемах с сетью прибор сообщит определённым сигналом и автоматически отключается.
- Встроенный вентилятор для принудительного охлаждения. Он увеличивает время активного использования устройства и общий срок его работы.

Если взять прибор из той же серии, но дороже (3800 руб.), автомобильный инвертор CAR-1000, то отличие будет лишь в мощности, и выдержит двукратную пиковую нагрузку в течение небольшого промежутка времени, что дает возможность подключать, например, электродвигатели.

Для справки можно привести мощность некоторых бытовых приборов и устройств:

- бритва – 7 – 10 Вт;
- плеер и радиоприемник – 5 - 7 Вт;
- игровая приставка – 8 Вт;
- зарядное устройство мобильного телефона – 10 Вт;
- зарядное устройство видеокамеры – 25 Вт;
- струйный принтер – 30 – 50 Вт;
- нетбук – 40-50 Вт;
- ноутбук – 80 - 100 Вт;
- телевизор – 30 – 200 Вт;
- дрель – 400 - 1000 Вт;

Выводы:

Пока мы не располагаем в автомобилях классическими розетками 220 В, которые бы упростили жизнь автовладельцам. И потому автомобильный инвертор остается очень полезной и нужной вещью, которая дает возможность пользоваться в дороге или длительной поездке обычными домашними электроприборами. Можно сказать, что инверторы серьезно облегчают нам жизнь, обеспечивая необходимый комфорт в тех местах, где просто нет регулярной подачи электрической энергии и в целом, можно сказать, что выбор автомобильного инвертора зависит только от применения. Главное правило – всегда нужно приобретать автомобильный инвертор с мощностью, превышающей мощность применяемого устройства в автомобиле.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://invertor.455.ru/inventor.htm>
2. http://electrozon.ru/reviews/dlya_chego_nuzhen_avtomobilnyy_invertor/

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ МАЛОМОЩНЫХ КОМПРЕССОРОВ

Рогова О.В., Тюляхова А.А., Шамсутдинова А.С.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Компрессоры объемного принципа действия находят широкое промышленное применение в различных отраслях народного хозяйства: топливная, горнодобывающая, химическая, легкая и пищевая промышленности, машиностроение, сельскохозяйственное производство и т.д. Ежегодно в России осуществляется продажа компрессоров объемного принципа действия на сумму порядка 2 млрд. руб. в год. В настоящее время рынок компрессорного оборудования представлен огромным количеством моделей как промышленного, так и бытового назначения. Маломощные компрессоры с давлением до 10 атм. находят широкое применение на станциях техобслуживания автотранспортных средств, в бытовом холодильном и медицинском оборудовании, системах кондиционирования воздуха, аэрографии, строительном пневмоинструменте и т.д.

В настоящее время на рынке существует большое разнообразие маломощных компрессоров, которые по ряду параметров условно можно разделить на 5 групп (таблица 1).

Для качественной и количественной оценки рассматриваемых параметров с точки зрения потребительского спроса, был проведен опрос [1, 2], результаты которого сведены в таблицу 2. В ходе опроса были так же определены основные области применения маломощного компрессорного оборудования (рисунок 1).

Таблица 1. Основные параметры маломощного компрессорного оборудования

Наименование параметра	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа	5 группа
Потребляемая мощность, кВт	1-0,5	0,36	0,2	0,1-0,2	0,1-0,17
Производительность, л./мин.	90	35	20	5-10	5-20
Давление, Атм.	7,89	9,74	7,89	6,91-7,89	3,95/6,91
Напряжение, В	220	220	12	12	12
Объем ресивера, л.	-	3(6)	3(6)	-	-
Тип рабочего органа	поршень	поршень	поршень	поршень	мембрана
Стоимость, тыс. руб.	8-9	11-18	5-6	1,5-3,5	0,6-2,5

Таблица 2. Результаты опроса потребителей по основным параметрам компрессоров

Мощность, кВт	Доля, %	Давление Атм.	Доля, %	Производительность м3/мин	Доля, %	Масса, кг	Доля, %
< 0,3	18	1	12	10-30	34	0,3-1	35
0,3-0,6	18	1-3	9	30-50	20	1-2	20
0,6-1	16	3-5	15	50-80	18	2-3	13
1-1,5	20	5-6	15	80-120	12	4-5	10
1,5-3	18	7	12	120-150	10	5-7	19
3-5	4	8	17	150-180	2	8-12	2
5-8	3	9	12	180-200	2	12-18	1
8-12	3	10	8	200-230	2	18-20	0

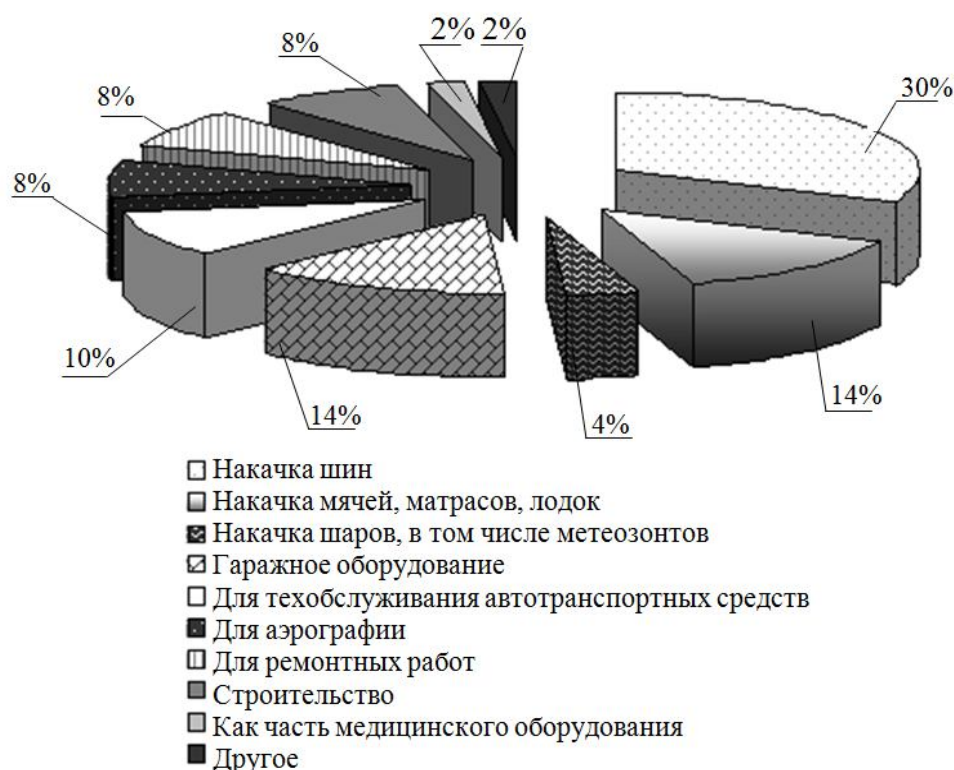


Рис. 1. Области применения компрессорного оборудования

Установлено, что покупатели при выборе компрессорного оборудования в первую очередь обращают внимание на стоимость, технические и массогабаритные параметры устройства [1, 2]. Следует отметить, что время непрерывной работы компрессора и качество выполнения им основной функции (сжатие газа до установленного давления за определенный промежуток времени) в значительной степени определяется техническими параметрами устройства и безотказной работой двигателя.

В большинстве современных серийно выпускаемых маломощных компрессорах бытового назначения рабочий орган приводится в движение электродвигателями вращательного принципа действия. Например, асинхронные двигатели используются в бытовом холодильном оборудовании, аэрографах и компрессорах для систем кондиционирования воздуха. А коллекторные двигатели – в дентальных, гаражных, автомобильных компрессорах для накачки шин и компрессорах для автомастерских.

Основными требованиями, предъявляемыми к электродвигателям малой мощности, являются высокие энергетические показатели и хорошие пусковые свойства. В некоторых случаях к двигателям малой мощности предъявляются повышенные требования в отношении массогабаритных параметров, надежности, уровня шума и вибраций [3-5].

Компрессоры с вращательным типом двигателя исследованы достаточно хорошо, однако их существенным недостатком является наличие между двигателем и рабочим органом кинематических пар, преобразующих движение из вращательного в возвратно-поступательное. Движение рабочего органа компрессора наиболее оптимально осуществлять без дополнительных передаточных механизмов, за счет его непосредственного сопряжения с двигателем возвратно-поступательного принципа действия.

Из значительного количества типов электрических двигателей возвратно-поступательного движения наибольшее распространение в электроприводе

маломощных компрессоров получили линейные электромагнитные двигатели [6], отличающиеся простотой и компактностью конструкции, высокой надежностью и низкой стоимостью. Интерес к подобным конструкциям периодически проявляется, о чем, например, свидетельствует промышленный выпуск холодильных компрессоров с линейным электромагнитным двигателем (ЛЭМД) компанией LG, которая в 2001 году первой вывела на рынок линейные электромагнитные компрессоры [7, 8].

В связи с возросшим в настоящее время интересом к энергосберегающим технологиям [9-11], в разнообразном бытовом оборудовании так же отмечается тенденция применения линейных электромагнитных двигателей. Например, в аэраторах семян, аквариумных компрессорах, небулайзерах и других маломощных устройствах [7, 8, 12, 13].

Использование ЛЭМД в электроприводе компрессоров вместо двигателей вращательного принципа действия позволит добиться уменьшения числа пар трения, снижения массогабаритных параметров, повышения энергоэффективности, ремонтпригодности и надежности конструкции в целом [12-14].

ЛИТЕРАТУРА

1. Нейман В.Ю., Рогова О.В. Бытовое компрессорное оборудование с линейным электромагнитным двигателем // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 2. – С. 257-261.
2. Пыркова В.В., Жернакова Д.С., Рогова О.В. Анализ конкурентоспособности линейного маломощного компрессорного оборудования // Студент и научно-технический прогресс: инновационные технологии и сервис: материалы Всероссийской межвузовской научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – С. 192-196.
3. Копылов И.П. Электрические машины: учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2002. – 607 с.
4. ГОСТ 23264-78. Машины электрические малой мощности. Условные обозначения. – М: Издательство стандартов, 1988. – 15 с.
5. Мошкин В.И., Нейман В.Ю., Угаров Г.Г. Импульсные линейные электромагнитные двигатели. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. – 220 с.
6. Ряшенцев Н.П., Угаров Г.Г., Федонин В.Н., Малов А.Т. Электропривод с линейными электромагнитными двигателями. – Новосибирск: Наука, 1981. – 150 с.
7. Рогова О.В., Нейман В.Ю. Маломощное компрессорное оборудование с альтернативным электроприводом // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: 17 междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – Томск: Изд. ТПУ, 2011. – Т. 1. – С. 106-109.
8. Нейман В.Ю., Рогова О.В. О повышении энергоэффективности маломощного компрессорного оборудования // Актуальные проблемы энергетики. АПК: материалы 2 междунар. науч.-практ. конф. – Саратов: СГАУ, 2011. – С. 278-282.
9. Транковский С. Экономьте электроэнергию // Наука и жизнь – М.: Изд-во Правда, 1996. – № 3. – С. 66-67.
10. ГОСТ Р 51541-99 Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения. – М.: МНТКС, 1999. – 34 с.
11. ГОСТ Р 51388-99 Энергосбережение. Информирование потребителей об энергоэффективности изделий бытового и коммунального назначения. Общие требования. – М.: МНТКС, 1999. – 12 с.
12. Рогова О.В., Бурш Е.Н. Анализ целесообразности применения линейных электромагнитных компрессоров в холодильном оборудовании в целях снижения

- энергозатрат // Энергоэффективность: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – С. 124-128.
13. Рогова О.В. Тенденции развития и перспективы использования линейных электромагнитных компрессоров // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: 17 междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – М.: Изд. дом МЭИ, 2011. – Т. 2. – С. 82-83.
14. Рогова О.В. Состояние и перспективы современного производства электрических приводов для бытового компрессорного оборудования // Научный потенциал XXI века. Естественные и технические науки: материалы VI междунар. науч. конф. – Ставрополь: Изд-во СевКавГТУ, 2011. – Т.1. – С. 169-173.

ТИРИСТОРНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

Саубанов Р.И.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

Проблема регулирования напряжения весьма актуальна и является одной из ключевых в современной электроэнергетике. В условиях возрастающих требований к повышению качества электроэнергии и снижению потерь в сетях необходимо развитие системы регулирования напряжения. Ведь качество электроэнергии влияет на срок службу электрооборудования. И не возможным представляется не упомянуть тот факт, что величина потерь мощности и электроэнергии напрямую зависит от значения напряжения. Имеется оборудование, которое требует к отклонению напряжения, а из-за его понижения возможна авария и прерывание технологического процесса. Превышение напряжения до недопустимых значений, также негативно влияет на срок службы электрооборудования и плохо сказывается для сети в целом. Поэтому проблема непрерывного регулирования напряжения в этих условиях актуальна. Данное развитие должно основываться на широком применении современных средств регулирования напряжения.

Появление в сети распределенных средств регулирования напряжения, принадлежащих разным субъектам, имеющих собственные цели регулирования, определяет необходимость качественно нового решения задачи регулирования напряжения в электрических сетях. Требуется разработка новых методов для управления режимов работы систем электроснабжения. Для регулирования напряжения в производственных условиях существует много способов и средств, часть из которых доступна и наиболее эффективна в энергосистемах.

Одним из способов оперативного регулирования напряжения является изменение коэффициента трансформации трансформатора. Изменяется число витков в первичной или вторичной обмотке. Современные силовые трансформаторы оборудованы специальными устройствами, позволяющими добавлять или отключать необходимое количество витков. Уровень сложности такого регулирования при использовании переключателя витков зависит частоты применения, а также от функциональных особенностей трансформатора и его габаритов.

Изменение коэффициента трансформации осуществляется 2 способами с помощью ПБВ (переключение без возбуждения) на холостом ходу и с помощью РПН (регулирование под нагрузкой). У силового трансформатора должны быть предусмотрены соответствующие ответвления от витков, позволяющие менять их

задействованное в процессе электромагнитной индукции количество. Тем самым, соответственно, меняя и коэффициент трансформации.

Необходимо учитывать, что РПН силовых трансформаторов – сложный и недостаточно надежный узел силового трансформатора. Согласно статистике, 35-60% общих отказов трансформаторов связано с повреждением РПН.

В последние десятилетия интенсивно разрабатываются тиристорные системы регулирования, обеспечивающие изменение коэффициента трансформации с высоким быстродействием.

Актуальность разработки тиристорных переключающих устройств (ТПУ) объясняется возросшими требованиями к быстродействию систем регулирования напряжения, которые не могут быть удовлетворены контактно-механическими регулирующими устройствами [1].

Необходимо учитывать, что РПН силовых трансформаторов – сложный и недостаточно надежный узел силового трансформатора. Согласно статистике, 35-60% общих отказов трансформаторов связано с повреждением РПН.

В последние десятилетия интенсивно разрабатываются тиристорные системы регулирования, обеспечивающие изменение коэффициента трансформации с высоким быстродействием.

В предложенной разработке ТПУ с вольтодобавочными трансформаторами (ВДТ) изменения напряжения происходит путем сложения и вычитания векторов напряжения на стороне ВН силового трансформатора с помощью вспомогательного трансформатора. Вторичная обмотка ВДТ соединена по схеме “треугольник”, включена в разрыв нейтральной точки обмотки ВН силового трансформатора. С помощью коммутаторов ТК1-ТК10 первичная обмотка ВДТ может быть соединена по схеме прямой или обратный треугольник, звезда с большим или малым коэффициентом трансформации (**Рис. 1.** ТПУ с ВДТ).

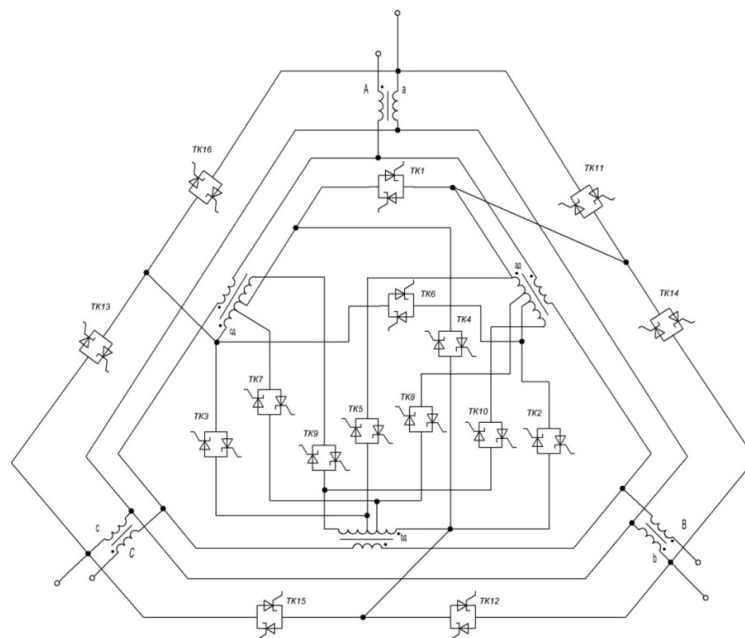


Рис. 1. ТПУ с ВДТ

Достоинство использования такого вида регулирования: регулятор обладает высокими энергетическими показателями и обеспечивает регулирование без искажений формы кривой выходного напряжения.

Смена режима строится таким образом, чтобы обеспечилась надежная естественная коммутация тиристорных ключей.

Данная система регулирования отражает характерные тенденции развития тиристорных схем коммутации, приходящих на смену контактно-механическим системам переключения регулировочных обмоток трансформаторов.

Отметим основные технические принципы построения ТПУ с ВДТ для централизованного РПН трансформаторов ЦТП с напряжением 6, 10, 35 кВ.

1. ТПУ с ВДТ 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 ТПУ с ВДТ (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 ТПУ с ВДТ должны отключаться защитой с последующим повторным включением в работу.

4. ТПУ с ВДТ 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 (ВДТ), 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 ТПУ с ВДТ, предназначенных для трансформаторов напряжением питающей сети (6-35) кВ, позволяющих наиболее качественно производить регулирование напряжения.

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. И за всем этим последует соответствующий технико-экономический эффект.

На данный момент, осуществляется технико-экономическое сравнение тиристорных систем регулирования с ВДТ с механическими системами РПН [2, 3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Туманов И. М., Алтуни 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.
2. Тихомиров П.М. Расчет Трансформаторов М. “Энергоатомиздам”, 1986.– 528с.
3. <http://www.nntu.ru>

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРУЕМОГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Лукин М.Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В недалеком будущем вопрос об энергосбережении станет одним из основных рассматриваемых проблем, т.к. при быстром развитии экономики, будет дефицит электрической энергии, путями решения данной проблемы являются – введение новых систем генерации электрической энергии и энергосбережение. Первый путь является длительным во времени и достаточно дорогим, а второй сравнительно быстрее и выгоднее с финансовой точки зрения, т.к. при энергосбережении 1 кВт электрической мощности стоит в 4-5 раза дешевле, чем в первом случае. Значительные затраты электроэнергии на единицу всеобщего валового продукта создают огромную возможность энергосбережения в народном хозяйстве. Следовательно, энергосбережение является важнейшим фактором повышения эффективности и экономического роста народного хозяйства.[1]

Основной целью данной работы, является рассмотрение возможностей проектирования асинхронных двигателей с повышенными энергетическими показателями (КПД и коэффициент мощности), со следующими параметрами: с высотой оси вращения 132 мм, мощностью 11 кВт, четырьмя полюсами - для обеспечения максимального энергосбережения всего электропривода.

В качестве прототипа был подобран двигатель АИР 132М4У3. Выбор двигателя серии АИ является не случайностью. Двигатели данной серии являются наилучшим выбором в отношении энергетических показателей и качества в целом. Они находятся на одном уровне с подобными двигателями зарубежных предприятий, даже превосходят их по массогабаритным размерам.

Выбрать наиболее приемлемый вариант расчета при проектировании электрической машины можно, сопоставив несколько других вариантов расчета, поэтому без использования вычислительной техники невозможно проделать быстрый и надежный расчет двигателя. Для начала был проведен электромагнитный расчет асинхронного двигателя по стандартной методике [2]. Проведенный расчет принимается базовым, и в дальнейшем опираясь на результаты, полученные в базовом варианте, будет производиться оптимизация проектируемой электрической машины.

Для улучшения энергетических показателей, увеличиваем следующий параметр машины – длину магнитопровода l_δ . На данном этапе изменению будет подвержен лишь этот параметр, т.к. при изменении нескольких параметров электродвигателя, невозможно будет правильно проследить, из-за какого параметра меняются энергетические показатели в ту или иную сторону. Для увеличения длины магнитопровода можно изменять значения электромагнитных нагрузок: линейная нагрузка и магнитная индукция в воздушном зазоре. Но можно увеличить длину магнитопровода и без регулирования этих параметров. Значение длины магнитопровода будет присваиваться, т.к. электромагнитные нагрузки определяют свойства стали сердечника, а вставка дополнительной пластины в пакет магнитопровода никак не влияет на свойства материала стали.

Некоторые параметры, которые оставались неизменными: Число витков: $w_l=102$. Диаметр элементарного проводника обмотки статора: $d_{из}=1,585$ мм. Воздушный зазор: $\delta=0,4$ мм.

Таблица 1. Результаты расчетов при изменении длины сердечника

Длина сердечника статора l_1								
ПК	%	100	101	103	105	107	109	110
	м	0,14	0,1425	0,145	0,1475	0,15	0,1525	0,155
η , %		88,93	88,97	88,983	88,987	88,99	88,97	88,96
$\cos\varphi$, о.е.		0,881	0,886	0,89	0,893	0,896	0,898	0,9
M_n^* , о.е.		2,332	2,298	2,253	2,212	2,213	2,127	2,102
I_n^* , о.е.		7,661	7,592	7,556	7,516	7,496	7,421	7,378
s, %		2,32	2,35	2,4	2,44	2,48	2,52	2,55
$P_{эл}$, Вт		98,49	90,26	84,36	79,18	74,97	71,44	68,48
$P_{магн}$, Вт		288,02	282,3	276,96	271,69	266,77	262,62	258,25
θ , °C		75,47	73,87	72,4	71,61	70,6	70,2	69,42
$M_{ст}$, кг		32,15	32,67	33,2	33,75	34,28	34,79	35,32
$M_{медь}$, кг		6,372	6,417	6,462	6,508	6,553	6,599	6,646
$M_{ал}$, кг		1,76	1,783	1,806	1,83	1,852	1,875	1,898

На таблице 1 можно наблюдать, как с увеличением длины магнитопровода КПД и коэффициент мощности также увеличиваются, но нужно заметить, что в отличие от коэффициента мощности, при дальнейшем увеличении длины магнитопровода больше 0,15 м, КПД начинает уменьшаться.

Для увеличения объема активной части стали можно было регулировать не только длину магнитопровода, но и диаметр пакета сердечника. Однако изменение геометрии поперечного сечения двигателя повлечет за собой изменение штампов для изготовления, что потребует колоссальных затрат капитала. Все это неоправданно и очень дорого. Хотя и наличие в производстве нескольких длин магнитопровода для одной высоты оси вращения, также принесет некоторые усложнения (сложность оснастки, отступление от оптимальных параметров машин), именно это позволит получить преимущества в других моментах, поэтому изменение длины является более приемлемым способом улучшения энергетических показателей.

Определение потенциальных возможностей изменения материалоемкости конструкции двигателей, производится путем расчета удельной материалоемкости модернизированного асинхронного двигателя. В таблице 2 приведены значения изменения удельной материалоемкости (G , %).

Таблица 2. Изменение удельной материалоемкости

Длина сердечника, м	$G_{ст} \cdot 10^{-3}$, кг/Вт	$G_{медь} \cdot 10^{-3}$, кг/Вт	$G_{ал} \cdot 10^{-3}$, кг/Вт
0,1425	29,7	0,583	0,162
0,145	30,2	0,587	0,164
0,1475	30,6	0,591	0,166
0,15	31,2	0,595	0,168
0,1525	31,6	0,599	0,17
0,155	32,1	0,604	0,172

Для наглядного представления данных приведенных в таблице 1 и 2 были построены зависимости энергетических показателей (КПД и $\cos\varphi$), удельной материалоемкости (G) от значений длины магнитопровода при его увеличении (рисунки 1 – 4).

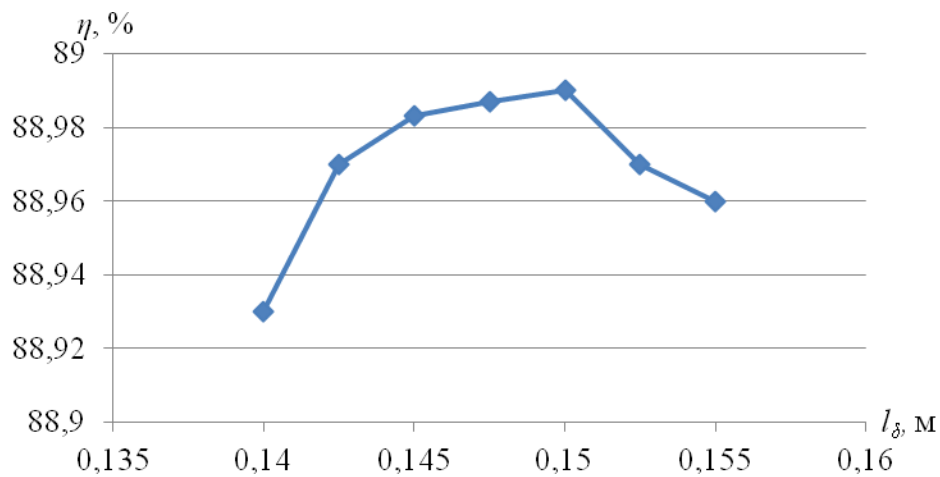


Рис. 1. Зависимость КПД от длины магнитопровода

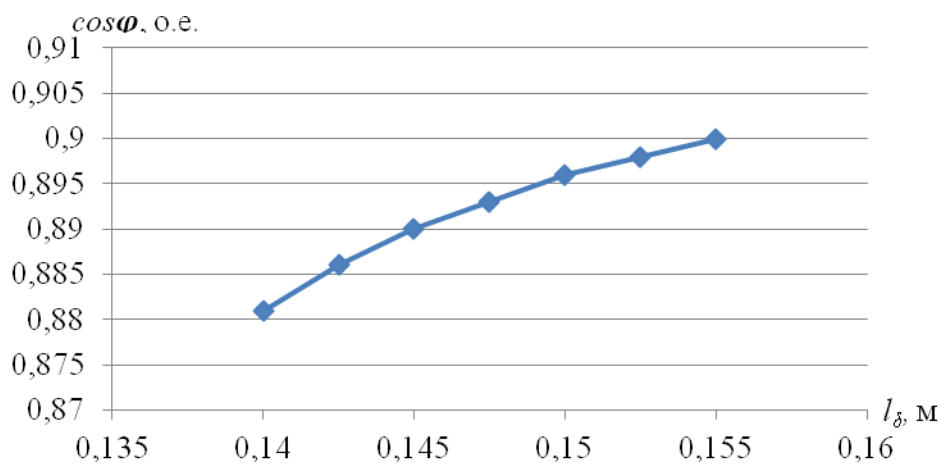


Рис. 2. Зависимость $\cos\varphi$ от длины магнитопровода

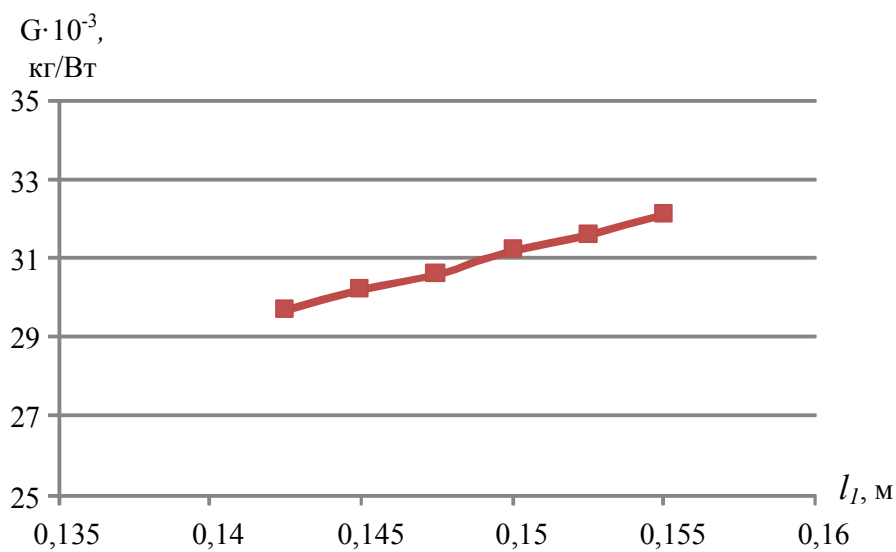


Рис. 3. Зависимость удельной материалоемкости (G_{cm}) стали от длины магнитопровода

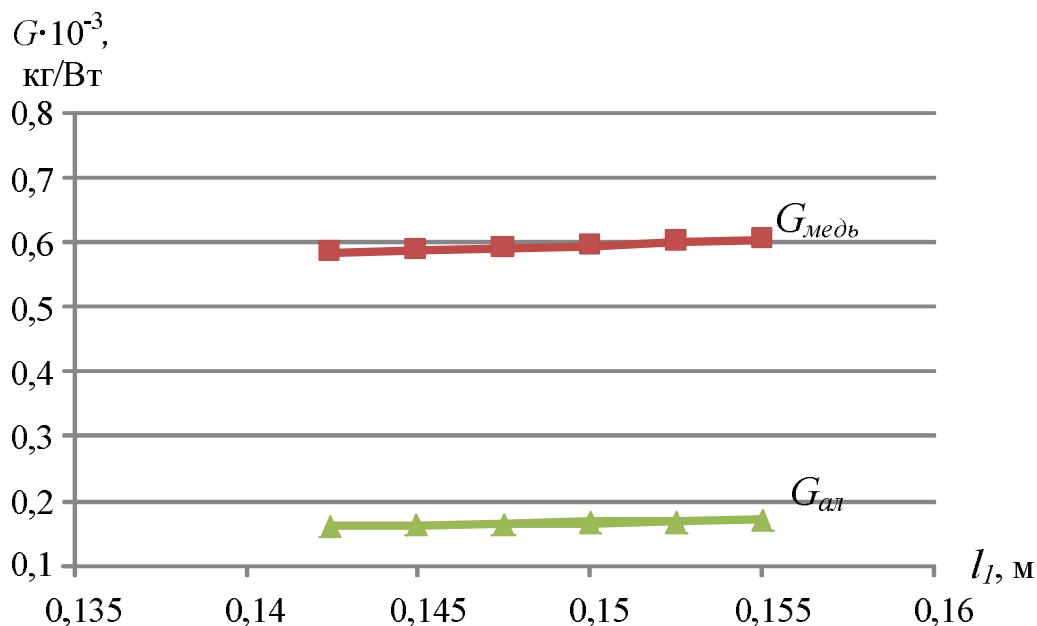


Рис. 4. Зависимость удельной материалоемкости ($G_{\text{медь}}$, $G_{\text{ал}}$) меди и алюминия от длины магнитопровода

Подводя итоги этапа моделирования, отметим, что двигатель, спроектированный на базовом этапе, уже отвечал нормам СЕМЕР повышенного уровня КПД - EFF2, что уже является хорошим результатом. При увеличении длины сердечника электродвигателя на 7% от базового значения, удалось увеличить КПД на 0,067 % от базового значения.

Как видно в таблице 1, материалоемкость при наивысших энергетических показателях увеличилась на 6,6% для стали, на 2,8% для меди и на 5,2% для алюминия. Следовательно, увеличивается и удельная материалоемкость (рисунки 3 и 4), то есть количество материалов на единицу мощности. Для стали, при наилучших показателях энергоэффективности, удельная материалоемкость увеличилась на $1,5 \cdot 10^{-3}$ кг/Вт от базового, у меди на $0,012 \cdot 10^{-3}$ кг/Вт, у алюминия на $0,006 \cdot 10^{-3}$ кг/Вт. Засчет более высокой энергоэффективности модернизированного двигателя, дополнительные затраты на большее количество используемых активных материалов быстро окупятся.

По полученным результатам исследования, расчет можно будет не только применять для данного двигателя, но и для двигателей других мощностей данной серии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усачева Т.В. Исследование материалоемкости асинхронных двигателей // XV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» - Томск: издательство ТПУ, 2009 г. – с. 491-493
2. Копылов И.П. Проектирование электрических машин: учебник для бакалавров. – М.: Издательство Юрайт, 2014. -767 с.

СТРУКТУРА ТЕХНИЧЕСКОГО ОТЧЕТА ПО ТЕПЛОВИЗИОННОМУ ОБСЛЕДОВАНИЮ ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ

Букирев Е.Ю., Ермалюк М.П., Тихов А.Е., Карпов Ф.Д.¹

Вологодский государственный университет, г. Вологда,

¹Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

Технический отчет-протокол является неотъемлемой частью любого тепловизионного обследования. Целью отчета является предоставление Заказчику на бумажном и/или электронном носителях информации о тепловом состоянии объекта контроля. От того, как грамотно составлен отчет, какие структурные элементы в него входят, будет зависеть итоговое понимание энергетического состояния объекта. Несомненно, что на уровне государственных стандартов существуют требования по составлению таких отчетов, например [1]. Однако, как это часто бывает, они носят общий характер, без детального анализа всей энергетической ситуации. В статье представлены комментарии авторов к этому регламенту, которые при их разработке опирались на свой многолетний опыт проведения тепловизионных обследований зданий и сооружений различного назначения и составления технических отчетов-протоколов о результатах тепловизионной съемки. Некоторые материалы по данной теме представлены в учебном пособии авторского коллектива [2].

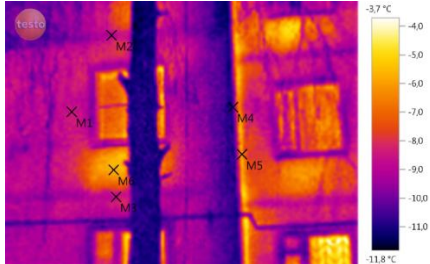
Вводная часть. «Титульный лист», на котором обычно приводятся: наименование организации и ее юридический адрес; реквизиты Исполнителя; печать и подпись ответственного лица о выполненной (утвержденной) работе; город; календарный год. На этом листе также формулируется рабочее название отчета, в котором, как правило, указывается вид тепловизионной съемки и фактический адрес объекта. Например, «Наружное тепловизионное обследование квартиры №5 в 5 этажном панельном жилом доме по адресу: г. Вологда, ул. Ярославская, д. 22». «Содержание» («Оглавление»), т. е. перечень пронумерованных разделов технического отчета. Далее идет раздел «Условные обозначения». Многие специалисты, к огромному сожалению, данным разделом пренебрегают, хотя прекрасно осознают, что Заказчиком может быть лицо, не совсем компетентное в общепринятой символической системе. Здесь приводятся все физические величины и их размерности, индексации и константы, которые использованы в отчете. «Термины и определения» также является важным пунктом рассматриваемой части отчета. Например, в стандартах [1, 3] приведены основные термины и определения, касающиеся тепловизионной диагностики строительных объектов. «Парк измерительных приборов», куда входят основные и вспомогательные аналоговые и цифровые измерительные приборы или системы. Обычно здесь дается информации о функциональном назначении приборов, приводятся их основные технические характеристики. В существующих реалиях обычно одного тепловизора недостаточно, и многие специалисты активно прибегают к дополнительному оборудованию: контактному термометру; инфракрасному термометру (пирометру); термогигрометру; дальномеру; измерителю плотности тепловых потоков и др. К вводной части также можно отнести «Правила проведения тепловизионной съемки». Сюда входит перечень ключевых правил проведения термографирования объекта контроля в соответствии со стандартом [1]: погодные условия; минимальная / максимальная дистанция проводимых измерений; элементы детального термографирования и др. Здесь даются ссылки на законы, нормативные источники, методические рекомендации, брошюры, напрямую или косвенно связанные с тепловизионным обследованием.

Описательная часть. «Информация об объекте»: тип объекта (например, жилое здание) с указанием его фактического адреса; панорамные фотографии фасадов здания

и его торцевых частей; планы этажей и конструкция наружных ограждений (при наличии сведений). В этом блоке приводится план-схема выполнения тепловизионного обследования, на которой размечаются участки поэтапной инфракрасной диагностики, фиксируются элементы детального термографирования и др. «Условия проведения тепловизионной съемки» включают в себя перечень климатических параметров: температура и относительная влажность воздуха; скорость ветра. Здесь приводятся также среднее расстояния (или диапазон расстояний) тепловизионной съемки; значения коэффициента излучения (степени черноты) базовых и реперных участков объекта контроля; температура отраженного излучения; погодные условия и т. п. Многие из перечисленных параметров термографирования важны, так как являются параметрами настройки тепловизора и последующей обработки термограмм.

Качественный анализ. Является основной частью технического отчета, так как на данном этапе определяют области температурных аномалий объекта контроля. Стоит отметить, что качественный анализ тепловых изображений направлен именно на поиск теплопроводных включений, а не на разъяснение причин, повлекших за собой их появление. Допускается приводить предположения, чем может быть вызвана та или иная тепловая неоднородность (например, «локальные избыточные тепловые потери в области стены могут быть вызваны просадкой утеплителя»). Для аргументации причин требуется последующая за тепловизионным обследованием техническая экспертиза. Данную часть отчета рекомендуется представлять в табличной форме, куда могут входить (таблица 1): видимое изображение (сделанное тепловизором или фотоаппаратом); термограмма с размещенными на ней температурными маркерами; температурная гистограмма; температурный профиль и др.

Таблица 1. Результаты тепловизионного обследования (пример)

Видимое изображение	Термограмма	Описание	Примечание
		M1: -8,4 °C; M2: -8,9 °C; M3: -8,7 °C; M4: -10,9 °C; M5: -6,2 °C; M6: -5,7 °C	M1, M2, M3, M4: без дефектов; M5: тепловой мост в зоне вертикального стыка панельных плит; M6: избыточные тепловые потери в зоне расположения ниши отопительного прибора

Количественный анализ. Количественную оценку тепловых аномалий производят с целью анализа степени их опасности для нормального функционирования объекта. Результаты тепловизионного мониторинга объекта контроля (таблица 1) могут стать исходными данными для проведения теплотехнических расчетов и натурных исследований, к которым в первую очередь можно отнести [4]:

- определение (оценка) сопротивления теплопередаче (термического сопротивления) ограждающих конструкций объекта контроля;
- определение частичных и общих тепловых потерь;
- обнаружение скрытых дефектов строительства (производства).

Остановимся подробнее на первом пункте. Суть данного вопроса (первое требование по тепловой защите) заключается в сопоставлении фактического сопротивления теплопередаче ограждения $R_o^{\text{факт}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, с его нормативным показателем $R_o^{\text{норм}}$. Условие по тепловой защите выполняется только в том случае, если $R_o^{\text{факт}} \geq R_o^{\text{норм}}$.

Требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены здания следует определять по таблице 3 [5] или по формуле:

$$R_o^{\text{тр}} = a \text{ГСОП} + b, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}, \quad (1)$$

где a , b - коэффициенты, которые принимаются по данным таблицы 3 [5]; ГСОП - градусо-сутки отопительного периода, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$.

Фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции здания рекомендуется находить по уравнению:

$$R_o^{\text{факт}} = \frac{1}{\alpha_n} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{н}}^{\text{пов}} - t_{\text{н}}}, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}, \quad (2)$$

где $t_{\text{в}}$, $t_{\text{н}}$ - соответственно фактическая температура внутреннего и наружного воздуха, $^\circ\text{C}$; α_n - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, при отсутствии данных принимается по таблице 6 [5]; $t_{\text{н}}^{\text{пов}}$ - температура наружной поверхности ограждающей конструкции, полученная по результатам термографирования объекта (таблица 1), $^\circ\text{C}$.

В основе уравнения (2) лежит равенство тепловых потоков, определяемых через уравнение теплопередачи и закон Ньютона-Рихмана. При наличии измерителя теплового потока термическое сопротивление находится следующим образом:

$$R_o^{\text{факт}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{q}, \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}, \quad (3)$$

где q - фактическая плотность теплового потока через ограждение, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Также значение сопротивления теплопередаче можно рассчитать по отношению к базовому участку ограждения по формуле [1]:

- для внутренних обследований:

$$\bar{R}(x, y) = 1 + \frac{\theta(x, y)}{t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}^{\text{б}} - \theta(x, y)}; \quad (4)$$

- для наружных обследований:

$$\bar{R}(x, y) = 1 + \frac{\theta(x, y)}{t_{\text{н}} - \tau_{\text{н}}^{\text{б}} - \theta(x, y)}, \quad (5)$$

где $t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$ - соответственно температура внутреннего и наружного воздуха в зоне исследуемого фрагмента, $^\circ\text{C}$; $\tau_{\text{в}}^{\text{б}}$ и $\tau_{\text{н}}^{\text{б}}$ - соответственно температура поверхности базового участка при внутренних и наружных обследованиях, $^\circ\text{C}$; $\theta(x, y)$ - разность между температурой $\tau(x, y)$ изотермы, проходящей через точку с координатами x и y на соответствующей поверхности, и температурой поверхности базового участка, $^\circ\text{C}$.

Приведем пример расчета. Исходные данные (таблица 1): $t_n = -11,3\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\tau_n^6 = -8,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; для «горячей» точки М6 $\theta(\text{М6}) = \tau_n^{\text{М6}} - \tau_n^6 = -5,7 - (-8,4) = 2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, по выражению (5) имеем:

$$\bar{R}(\text{М6}) = 1 + \frac{2,7}{-11,3 - (-8,4) - 2,7} = 0,518.$$

Таким образом, термическое сопротивление теплопередаче аномальной зоны ограждающей конструкции почти в два раза меньше термического сопротивления базового участка наружной стены.

Выводы и рекомендации. Здесь на основе качественного и/или количественного анализа приводятся выводы по тепловому состоянию объекта контроля. Основная задача данной части отчета – дать ответ на вопрос «Соответствует ли объект контроля действующим требованиям по уровню тепловой защиты или нет?». Если «Нет», то составляется список возможных энергосберегающих мероприятий, направленных на полное или частичное решение данной проблемы. К примеру, в случае обнаружения локальных (фрагментарных) тепловых потерь через наружные стены здания это может быть: «наружная тепловая изоляция стен с помощью напыления пенополиуретана с защитным покрытием и/или жидкого утеплителя».

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 54852-2011. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 16 с.
2. Сеницын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Основы тепловизионной диагностики теплопотребляющих объектов строительства. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – 156 с.
3. ГОСТ Р 53698-2009. Контроль неразрушающий. Методы тепловые. Термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 8 с.
4. Методические указания по проведению тепловизионного контроля строительных сооружений / сост.: ООО «Энергосервисная компания ЗЭ-С». – Смоленск, 2006. – 22 с.
5. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. – Москва: ФАУ «ФЦС», 2012. – 96 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ

Ланкина М.Ю., Ланкина Ю.К., Клименко О.Д.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Электрические процессы электромагнитного привода переменного тока в наиболее общем виде описывает уравнение цепи [1-3], отражающее зависимости между напряжением, током и магнитным потокоцеплением:

$$\frac{d\psi}{dt} + Ri = u,$$

где u – напряжение питания рабочей катушки; R – сопротивление рабочей катушки; I – ток в рабочей катушке; ψ – потокоцепление рабочей катушки.

Учитывая несинусоидальную форму тока, представленную в виде ряда Фурье:

$$i(t) = \sum_{m=1}^n I_{(2m-1)} \sin((2m-1)\omega t), \quad (1)$$

где $I_{(2m-1)}$ – амплитуда $(2m-1)$ -ой гармоники тока, ω – круговая частота, t – время; и синусоидальную форму приложенного к катушке электромагнитного привода переменного тока напряжения с амплитудой U_a :

$$u(t) = U_a \sin(\omega t), \quad (2)$$

перепишем уравнение цепи с учетом известных законов изменения тока (1) и напряжения (2):

$$U_a \sin \omega t = R \left(\sum_{m=1}^n I_{(2m-1)} \sin((2m-1)\omega t) \right) + \frac{d\psi}{dt}$$

Электротехнической стали магнитопровода электромагнитного привода свойственна нелинейность, с выраженным насыщением. Этот процесс описывается основной кривой намагничивания, то есть зависимостью индукции (потока) магнитного поля от его напряженности (тока), которая может быть описана степенным полиномом [4-6]. Перемещение подвижной части магнитопровода определяет наклон основной кривой намагничивания.

$$\psi = k_1 x + \sum_2^n k_{2m-1} i^{2m-1},$$

где k_1, k_{2m-1} – коэффициенты аппроксимации вебер-амперной характеристики; x – перемещение подвижной части.

Данная модель отражает магнитные процессы, протекающие в элементах электромагнитных приводов. Для отражения механических процессов в электромагнитных приводах необходимо учесть силы воздействующие на подвижную часть магнитопровода привода:

$$F_p = F_{эм}(G, \psi) - F_{тр}(k_{тр}, V) - F_{пр.мех}(k_{упр}, x),$$

где F_p – сила подвижной части магнитопровода, $F_{эм}$ – электромагнитная сила; $F_{тр}$ – сила трения; $F_{пр.мех}$ – противодействующая сила механизма, $k_{тр}$ – коэффициент трения, $k_{упр}$ – коэффициент упругости противодействующего механизма.

Суммарная сила приложенная к подвижной части магнитопровода в свою очередь зависит может быть выражена как произведение массы подвижной части магнитопровода на ускорение от массы подвижной части магнитопровода и ускорения ее движения (второй производной от перемещения по времени):

$$F_p = \frac{md^2x}{dt^2},$$

где m – масса подвижной части магнитопровода.

Величина электромагнитной силы зависит от габаритов и магнитной конфигурации магнитопровода электромагнитного привода:

$$F_{эм} = f(\psi, G),$$

где G – показатель магнитной конфигурации.

В общем виде выражение для вектора электромагнитных сил, полученное на основании уравнений Максвелла, имеет вид:

$$\vec{F}_{эм} = \varepsilon_0 \oint_S \left(\vec{E}(\vec{n}\vec{E}) - \frac{1}{2} E^2 \vec{n} \right) dS + \frac{1}{\mu_0} \oint_S \left(\vec{B}(\vec{n}\vec{B}) - \frac{1}{2} B^2 \vec{n} \right) dS$$

где $\vec{E}$ – вектор напряженности электрического поля; ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума; $\vec{B}$ – вектор индукции магнитного поля; $\vec{n}$ – вектор нормали к поверхности S .

Интегрирование производится по поверхности S , охватывающей рассматриваемое тело. Первый интеграл в выражении характеризует силу, создаваемую электрическим полем, а второй – магнитным.

Сила трения подвижной части магнитопровода зависит от коэффициента трения и силы нормального давления:

$$F_{\text{тр}} = -F_n[x, B_{\text{пм}}(H), B_{\text{нм}}(H), G]k_{\text{тр}}\text{sign}\left(\frac{dx}{dt}\right),$$

где $B_{\text{пм}}$ - индукция подвижной части магнитопровода, $B_{\text{нм}}$ - индукция неподвижной части магнитопровода,

Сила трения имеет разрывный характер, она изменяется и по величине и по знаку при изменении значения и знака скорости движения испытываемого образца.

Противодействующая сила механизма подвижной части магнитопровода (частным случаем является противодействующая пружина) зависит от коэффициента упругости противодействующего механизма и перемещения подвижной части магнитопровода:

$$F_{\text{пр.мех}} = k_{\text{упр}}x.$$

Резльтирующее уравнение движения (второй закон Ньютона) имеет вид:

$$\frac{mdx^2}{dt^2} = \varepsilon_0 \oint_S \left(E(nE) - \frac{1}{2} E^2 n \right) dS + \frac{1}{\mu_0} \oint_S \left(B(nB) - \frac{1}{2} B^2 n \right) dS - \\ - F_n[y, B_{\text{нм}}(H), B_{\text{пм}}(H), G]k_{\text{тр}}\text{sign}\left(\frac{dy}{dt}\right) - k_{\text{упр}}x$$

Полученная модель, представляющая собой систему уравнений, отражает процессы, протекающие в электромагнитном приводе:

$$\left[\begin{array}{ll} \frac{mdx^2}{dt^2} = \varepsilon_0 \oint_S \left(E(nE) - \frac{1}{2} E^2 n \right) dS + \frac{1}{\mu_0} \oint_S \left(B(nB) - \frac{1}{2} B^2 n \right) dS - \\ - F_n[x, B_{\text{пм}}(H), B_{\text{нм}}(H), G]k_{\text{тр}}\text{sign}\left(\frac{dx}{dt}\right) - k_{\text{упр}}x & \text{механические процессы} \\ U_a \sin \omega t = R \left(\sum_{m=1}^n I_{(2m-1)} \sin((2m-1)\omega t) \right) + \frac{d\psi}{dt} & \text{электрические процессы} \\ \psi = k_1 x i + \sum_{m=2}^n k_{2m-1} i^{2m-1} & \text{магнитные процессы} \end{array} \right.$$

Полученная мультипроцессная модель позволяет описать магнитные, электрические и механические процессы возникающие в ходе работы электромагнитного привода переменного тока. Данная модель может быть применена для последующего использования совместно с методом натурно-модельных испытаний [7, 8], с целью определения вебер-амперной характеристики и зазора магнитопровода электромагнитного привода переменного тока.

Результаты работы получены при поддержке проекта № 1.2690.2014/К «Методы решения обратных задач диагностики сложных систем (в технике и медицине) на основе натурно-модельного эксперимента», выполняемого в рамках проектной части государственного задания с использованием оборудования ЦКП "Диагностика и энергоэффективное электрооборудование" ЮРГПУ (НПИ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Gorbatenko N. I., Lankin A. M., Lankin M. V., Shayhutdinov D. V. Determination Of Weber-Ampere Characteristic For Electrical Devices Based On The Solution Of Harmonic Balance Inverse Problem // International Journal of Applied Engineering Research. Volume 10, Number 3 (2015) pp. 6509-6519; Research India Publications.
2. Lankin Anton Michailovich, Lankin Mikhail Vladimirovich, Gorbatenko Nikolay Ivanovich, Shaykhutdinov Danil Vadimovich. Determination of Weber-Ampere Characteristics of Electric Devices Using Solution of Inverse Problem of Harmonic Balance. // Modern Applied Science; Vol. 9, No. 8; 2015.

3. Ланкин А.М., Бакланов А.Н. Діагностика порушень електромагнітних приводів Із застосуванням методу головних компонент // Майбутній науковець – 2015 матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції 4 грудня 2015 року м. Северодонецьк / Східноукраїнський національний університет Імені Володимира Даля, 2015 С. 116-119.
4. Ланкин А.М., Бакланов А.Н., Казарян А.А., Клевев К.В., Казакова А. Е., Тарасова Л. Г. Разработка устройства определения вебер-амперных характеристик электротехнических изделий переменного тока // Моделирование. Теория, методы и средства: материалы 15-ой Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 10 марта 2015 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2015. С. 70-73
5. Ланкин А.М., Казарян А.А., Клевев К.В., Бакланов А.Н. Диагностика электротехнических систем на основе натурно-модельных испытаний // Моделирование. Теория, методы и средства: материалы 15-ой Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 10 марта 2015 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2015. С.16-19
6. Ланкин А.М., Ланкин М.В. Метод натурально-модельного эксперимента в диагностике электромагнитов // Студенческая научная весна - 2014 : материалы регион. науч.-техн. конф. (конкурса науч.-техн. работ) студентов, аспирантов и молодых ученых вузов Рост. обл., 24-25 мая 2014 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) ; Отв.ред. О. А. Кравченко. - Новочеркасск : ЮРГТУ, 2014. - С. 40-41
7. Ланкин А.М., Ланкин М.В. Метод диагностики электротехнических систем // Национальная ассоциация ученых : ежемесячный науч. журн.. - 2015. - № 4 (9), ч. 2. - С. 132-136
8. Ланкин А.М., Ланкин М.В. Метод измерения вебер-амперной характеристики электротехнических устройств // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 1. - Режим доступа : <http://www.science-education.ru/115-12186>

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Баклан С.Д.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

При эксплуатации промышленных установок необходимо иметь данные о величинах, характеризующих процессы, происходящие в различных машинах, агрегатах, установках, данные о линейных и угловых перемещениях, давлениях, деформациях и напряжениях в различных частях машин и сооружений.

В процессе эксплуатации эти данные используются для контроля работы машин и агрегатов, состояния сооружений, для автоматического регулирования параметров машин и для выполнения других функций, связанных с автоматизацией процессов.

Указанные функции – контроль, регулирование и другие, весьма часто выполняют с использованием электрических величин, пропорциональных требуемым параметрам, так как электрические величины наиболее удобны для построения визуальных и регистрирующих приборов, измерительных элементов регуляторов, для передачи на расстояние. В данном случае измерение неэлектрических величин осуществляется посредством электрических преобразователей.

Электрические аппараты, преобразующие изменение входной (контролируемой) неэлектрической величины в изменение выходной электрической величины называются датчиками.

Существуют различные виды датчиков: электромагнитные, магнитострикционные, ёмкостные, пьезоэлектрические, фотоэлектрические, омические и др.

Наибольшее распространение получили электромагнитные датчики, так как они обладают рядом преимуществ по сравнению с другими видами датчиков: простотой устройства, высокой надёжностью, возможностью подключения к источникам промышленной частоты, относительно большой выходной мощностью. В этих датчиках выходная электрическая величина определяется изменением положения подвижных частей устройства.

Выпускаемые промышленностью электромагнитные датчики линейных и угловых перемещений, обладая хорошей чувствительностью, надёжностью и стабильностью параметров в условиях больших механических и климатических нагрузок, находят широкое применение в различных приборах, автоматических устройствах, гидравлических и пневматических приводах.

Актуальность данной работы заключается в том, что автоматизация производственного процесса помогает увеличить объёмы производства, оптимизировать затраты ресурсов и, соответственно, позволяет максимизировать отдачу и получать больше прибыли.

Современный уровень развития техники и расширение спектра задач, решаемых средствами автоматического регулирования и управления, выявляют необходимость проектирования электромагнитных датчиков.

Для разработки датчика линейных перемещений были заданы основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики:

В ходе анализа и выбора конструкции прототипа был выбран датчик типа ЛДТ с разомкнутой магнитной цепью и трехкатушечной схемой (рис.1). Первичная обмотка N1 расположена в средней части каркаса, а две вторичные N2 и N2' в крайних секциях. Первичная и вторичные обмотки находятся в неодинаковых магнитных условиях.

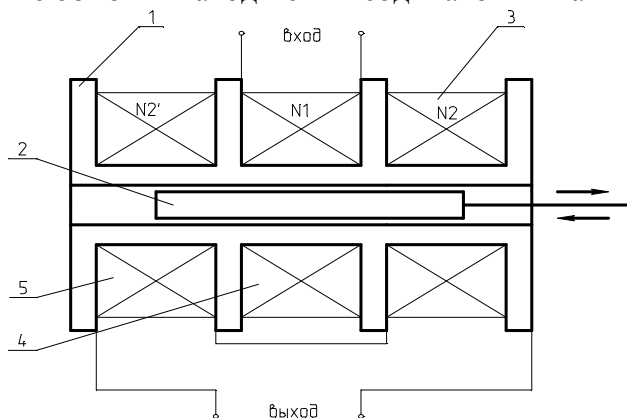


Рис. 1. Трехкатушечный дифференциально-трансформаторный датчик:

1 – каркас; 2 – якорь; 3,5 – секции вторичной обмотки;
4 – первичная обмотка

Далее был спроектирован датчик линейных перемещений полностью удовлетворяющий требованиям представленным в ТЗ. В ходе проделанной работы были рассмотрены возможные типы датчиков линейного перемещения, произведен анализ выбора конструктивной схемы датчика, рассмотрены его характеристики и принцип действия, произведены электромагнитный и механический расчеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов Е.П. Датчики линейных перемещений. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Бесконтактные электрические аппараты». – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 20 с.
2. Богданов Е.П. Лабораторный практикум по курсу «Бесконтактные электрические аппараты». – Томск, Изд-во ТПУ, 2002. – 63 с.
3. Федотов А.В. Теория и расчет индуктивных датчиков перемещений для систем автоматического контроля. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. – 176 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Иванов С.Н., Шестоपालко Д.К.

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,
г. Комсомольск-на-Амуре

Актуальность. В настоящее время основные тенденции организации надежного энергообеспечения требуют учета естественного старения наиболее ответственного и дорогостоящего оборудования систем электроснабжения – силовых трансформаторов и возможности перехода от планово-предупредительного ремонта оборудования к системе технического обслуживания на основе оценки его фактического состояния. В электросетях используются несколько миллионов распределительных трансформаторов, преобразующих среднее напряжение в низкое. Только в странах Евросоюза установлено 4,5 миллиона трансформаторов, ежегодные потери в которых составляют порядка 40 тераватт-часов. При этом возникает вопрос обеспечения технико-экономической эффективности и целесообразности восстановления и поддержания показателей надежности используемого оборудования, поскольку в мировой энергетике на смену маслонаполненным электромагнитным преобразователям приходят сухие трансформаторы. Отличительными особенностями последних является использование перспективных композиционных материалов, обладающих высокой прочностью и обеспечивающих минимальное воздействие на окружающую среду. Сухие трансформаторы с литой изоляцией в вакууме и изоляцией, армированной стекловолокном не только надежно работают в жестких условиях окружающей среды, но позволяют снизить потери и выбросы CO₂ более чем на 50 %.

Следует отметить, что разработка комплексной программы обеспечения и повышения надежности силового энергетического оборудования затрагивает все этапы их жизненного цикла: проектирование, конструирование, изготовление, испытания, эксплуатацию и ремонт. Решение вопросов надежности и качества с учетом режимов работы и изменяющихся внутренних и внешних факторов, находящее отражение в количественных значениях показателей безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости как отдельных элементов, так и систем изоляции силовых трансформаторов в целом, является основой создания новых видов перспективных электротехнических систем и продления ресурса уже существующего энергооборудования.

Постановка задачи исследования. При разработке, проектировании и эксплуатации силового электрооборудования вопросы обеспечения качества,

надежности и долговечности требуют системного подхода с учетом того, что каждый из элементов электротехнической системы имеет свои «слабые звенья» и в большинстве случаев конструкции далеки от соблюдения принципа равнопрочности. Хотя приемлемые значения количественных показателей надежности могут быть получены только для определенных условий эксплуатации, при проектировании возможно прогнозирование безотказности на основе количественного анализа изменения свойств используемых конструкционных, изоляционных, активных, контактных и других материалов. На этом этапе возникает необходимость обеспечения зачастую противоречивых требований. Например, для конструкционных материалов такими требованиями являются механические свойства и весогабаритные показатели, изоляционных - электрическое сопротивление и теплопроводность, контактных - переходное сопротивление и скорость износа. Постановка задачи исследования может быть реализована применительно к капсулированному композиционным материалом электромагнитному преобразователю (ЭМП), используемому, например, в качестве трансформатора распределительной подстанции.

Капсулирование обмотки позволяет решить целый ряд технических задач, связанных с повышением эффективности и надежности использования ЭМП, в частности повысить класс электробезопасности за счет усиления изоляции первичной обмотки, увеличить ресурс устройства, снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт, расширить диапазон эксплуатационных режимов. Технологической основой изготовления капсулированной обмотки является применение композиционных и комбинированных (ламинатов) материалов, физико-химические свойства которых наиболее существенно зависят от качественного и количественного состава входящих в них элементов, параметров технологического процесса и целого ряда других факторов.

Научные основы создания и оптимизация состава композиционных материалов, обоснование и выбор наполнителей, изучение характеристик полимерных материалов выполнены в трудах А.К. Погосьяна, Н.Л. Шембель, А.Д. Курициной, Н.П. Истоминой, В.К. Крыжановского, А.В. Иванова, Х. Ри, С.П. Захарычева, Д.В. Отмахова, Л.И. Сентюрихиной и представляют определенные в процентном соотношении комбинации составляющих материал компонент [1].

Объект исследования. Рассматривая капсулированную обмотку ЭМП применительно к условиям его эксплуатации в системе электроснабжения, можно сформулировать требования и определить структуру объекта исследования. Специфика работы ЭМП заключается в одновременном воздействии электромагнитных, тепловых и механических факторов, которые могут быть приняты в качестве разрушающих воздействий, поэтому композиционный материал должен включать компоненты, обеспечивающие высокое электрическое сопротивление, термическую устойчивость и механическую прочность. Анализ литературных источников показывает, что в качестве такой композиции может быть использован композитный гетерофазный материал, отдельные фазы которого выполняют различные функции, обеспечивая при этом такие системные свойства, которых не имеет ни один из компонентов композита в отдельности. Примером такой композиции является неэлектропроводящий материал, состоящий из полимера на основе эпоксидно-диановой смолы с наполнителем из порошка фторопласта, дисульфида молибдена, стеклянного или базальтового волокна и алюмосиликатов. Введение во фторопласт-4 порошкообразных наполнителей различной природы дает возможность получать материал, у которого

антифрикционные свойства близки к свойствам фторопласта, а физико-механические свойства и износостойкость значительно лучше, так как повышается энергетический барьер образования усталостной трещины в результате сложнапряженного состояния, обусловленного эксплуатацией ЭМП. При этом эпоксидно-диановая смола и стеклянное или базальтовое волокно обеспечивают механическую прочность, малую усадку, хорошую адгезию, низкую водопоглощаемость, фторопласт и дисульфид молибдена – высокую износостойкость, высокое электрическое сопротивление, алюмосиликаты – теплопроводность. При работе электромагнитного преобразователя обмотка является наиболее напряженным в тепловом отношении элементом, поскольку находится внутри теплоизолирующего элемента из композиционного материала. Количество тепловой мощности, отводимое от первичной обмотки, определяется тепловым сопротивлением теплоизолирующего элемента, зависящего от коэффициентов теплопроводности отвержденной эпоксидно-диановой смолы (0,064...0,216 Вт/(м·К)), фторопласта (0,25 Вт/(м·К)), дисульфида молибдена (138 Вт/(м·К)), рубленого стекловолокна (0,030...0,050 Вт/(м·К)). Использование оксида алюминия, имеющего коэффициент теплопроводности 237 Вт/(м·К), приводит к снижению теплового сопротивления и соответственно к увеличению количества отводимого от первичной обмотки тепла и снижению ее температуры, что ведет к увеличению ее срока службы и соответственно к повышению надежности ЭМП.

Физическая модель объекта исследования сводится к высокодисперсной структуре, в которой отдельные элементы находятся в агрегатном состоянии, причем коллоидные частицы имеют термодинамические свойства соответствующей фазы состояния. Капсулирующий материал в процессе полимеризации является гетерогенным, характеризуется относительной нерастворимостью компонент и образует физические границы раздела в пределах исследуемого объекта. Предварительное расположение отдельных элементов определяется факторами нехимического межмолекулярного воздействия, учитываемыми уравнением Ван-дер-Ваальса.

Моделирование композиционного материала. Интегральные характеристики композиционного материала определяются его структурой и свойствами отдельных составляющих. В основе существующих разработок, как правило, лежат результаты только экспериментальных исследований, связанные с вариацией относительного количества отдельных компонентов и их формы и размеров. Это существенно ограничивает возможность получения композиции с заданными эксплуатационными характеристиками и связано с высокой длительностью, трудоемкостью и стоимостью исследований. Поэтому в качестве эффективного метода решения поставленной задачи может быть использовано имитационное моделирование, не требующее точной математической модели исследуемого объекта [2,3]. Этот метод позволяет в принципе смоделировать любую реальную систему путем установления качественных зависимостей и в итоге получить математическую модель за счет ограниченного числа экспериментальных исследований. Основная цель имитационного моделирования - определение влияния характеристик отдельных элементов на свойства системы. Имитационная модель строится на основе физического представления об объекте исследования. При подготовке модели для случайного характера размеров и месторасположения отдельных компонентов в структуре (например, нормальный закон распределения) и не полностью определенной задаче, особое значение имеет выбор программных средств моделирования.

Решение задачи имитационного моделирования композиционного материала проводится в пакете ELCUT и сводится к нескольким последовательным шагам: выбор типа решаемой задачи (стационарная и нестационарная теплопередача, анализ упругих деформаций); выбор класса задачи (плоская или осесимметричная); создание геометрической модели (чертежа объекта); задание свойств материалов (электропроводность, магнитная проницаемость, теплопроводность и т. д.); задание нагрузок (величины токов, мощности тепловыделения и т. д.); задание граничных условий (значения температур на границах расчетной области и т. д.); построение сетки конечных элементов; решение задачи; обработка результатов решения (построение цветовых карт, графиков изменения переменной по какому-либо контуру, расчет интегральных значений и т. д.).

Выбор типа решаемой задачи производится на первом этапе. При моделировании композиционного материала базовыми задачами являются расчеты электромагнитного поля переменных токов, теплопередачи и механических напряжений в синтезируемом материале. Решение этих задач позволяет определить картину распределения мощностей тепловыделения и механических усилий в исследуемых элементах, которые средствами пакета передаются затем в подчиненную задачу нестационарной теплопередачи и анализа упругих деформаций. На этом же этапе выбирается класс модели (геометрические свойства модели). Особенностью создания геометрической модели является учет случайного характера размеров отдельных компонент и их взаимного расположения в структуре композиционного материала. Это требует в свою очередь решения двух отдельных подзадач: программной генерации возможных форм и размеров отдельных компонентов и определения топологии их в исследуемой области на основе уравнения Ван-дер-Ваальса. Решение первой подзадачи реализуется с помощью операций рандомизации для нормального закона распределения, причем математическое ожидание (среднее) зависит от фракции отдельных компонент, а величина среднеквадратического отклонения задается на основе экспериментальных результатов. Границы расположения отдельных компонентов строятся средствами графического редактора, например Microsoft Visual Studio 2010 RC [Eng]. В процессе решения второй подзадачи происходит «привязка» отдельных элементов к плоскости геометрической модели. Входные данные для анализа свойств синтезированной структуры представляют собой базу данных, полученную в результате послойного сканирования модели с заданной частотой дискретизации. На этом этапе используются возможности блока Active Field пакета ELCUT, позволяющем через графический пользовательский интерфейс сначала передать, а затем и варьировать геометрические параметры системы в модуле Label Mover.

Решение задачи в программе ELCUT представляет собой картину поля какой-либо из рассчитанных переменных. Для заданных геометрии и свойств отдельных элементов, соответствующих типу решаемой задачи (магнитная, электрическая, тепловая, механическая), результаты должны быть представлены в виде таблицы или графика зависимости электрического сопротивления, теплопроводности, механических напряжений от формы (размеров, расположения) отдельных компонент. В модуле Label Mover вызов команды «Получить результаты» запускает процессы последовательного решения поставленных задач путем их генерации, строит соответствующую геометрическую модель, задает физические свойства блоков, строит сетку конечных элементов. Рассматриваемая утилита

является не только инструментом статистического анализа, являющегося решением ряда случайным образом сгенерированных комбинаций моделируемого материала, но и позволяет производить оптимизационные расчеты, обеспечивающие, например, требуемое или допустимое содержание отдельных элементов и получить, таким образом, композиционный материал с заданными интегральными характеристиками, обеспечивающими показатели безотказности, долговечности и сохраняемости силового трансформатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2525234 РФ. Теплогенерирующий электромеханический преобразователь / В.А. Ким и [др.]. Опубликовано: 10.08.2014. Бюл. № 22.-2 с.
2. Труб, И. И. Объектно-ориентированное моделирование на C++: Учебный курс / И.И. Труб. – СПб.: Питер, 2005.- 416 с.
3. Бусленко, В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем / В.Н. Бусленко. – М.: Наука, 1977. – 240 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОММУТАЦИИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО КОНТАКТОРА БК-78Т В СХЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Бракк И.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В работе представлены промежуточные результаты исследования возможности замены быстродействующего контактора БК-78Т на аналог полупроводникового типа, смоделирована электрическая схема тяговых электродвигателей электровоза с БК-78Т в программном продукте Matlab Simulink для исследования переходных процессов, бросков токов и напряжений при размыкании контактора в рекуперативном режиме торможения [1].

В современном мире широкое применение находят полупроводниковые приборы. Не так давно полупроводники имели малые пропускные токи и напряжения, но уже сейчас они способны коммутировать тысячи ампер и тысячи вольт.

Современные электровозы имеют на своём борту достаточное количество различных полупроводниковых приборов, однако существует огромный класс электровозов постоянного тока, имеющего контактное оборудование.

Одним из важнейших электрических аппаратов является быстродействующий контактор, представляющий собой электрический аппарат, состоящий из электромагнитной катушки, дугогасительного устройства, подвижных контактов. При достижении определённого заранее тока электромагнитная катушка разрывает подвижные контакты, в результате возникает электрическая дуга. В результате горения дуги, обгорают контакты, нагревается атмосфера и т.д. Всё это говорит о серьёзных недостатках данного аппарата. Приходится часто обслуживать контактор: чистить контакты, проверять изоляцию, проверять провал и раствор контактов. Становится актуальной задача замены БК-78Т на аппарат полупроводникового типа.

Контактор БК-78Т входит в силовую цепь тяговых двигателей ТЛ-2К и разрывает цепь в режиме рекуперативного торможения при коротких замыканиях или круговых огнях, когда электровоз движется с горки или при торможении. На рисунке 1 представлена электрическая схема.

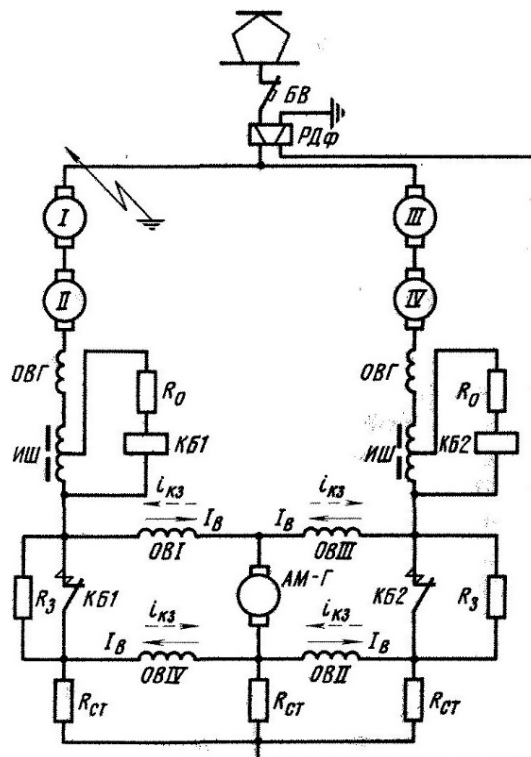


Рис. 1. Электрическая схема

Римскими цифрами I, II, III и IV обозначены тяговые электродвигатели, ОВГ – обмотка возбуждения преобразователя, ИШ – индуктивный шунт, КБ1 – БК-78Т, ОВІ-IV – обмотки возбуждения двигателей, АМ-Г – преобразователь, $R_{ст}$ – стабилизирующее сопротивление, цепь R_0 и катушка КБ1 – электромагнитная катушка БК-78Т, БВ – выключатель [2].

В таблице 1 представлены основные параметры быстродействующего контактора БК-78Т [3].

Таблица 1. Основные параметры БК-78Т

Предельный отключаемый ток при индуктивности цепи 10 мГн и шунтировании главных контактов сопротивлением 2 Ом	2500 А
Номинальное напряжение	3300 В
Наибольшее напряжение	4000 В
Номинальный ток силовых контактов	1000 А
Ток отключения (уставки)	35-50 А
Номинальное напряжение цепи управления	50 В
Масса	43 кг

Для того, чтобы понять, как работает схема на рисунке 1, она была смоделирована в программном продукте Matlab. Смоделированная схема представлена на рисунке 2.

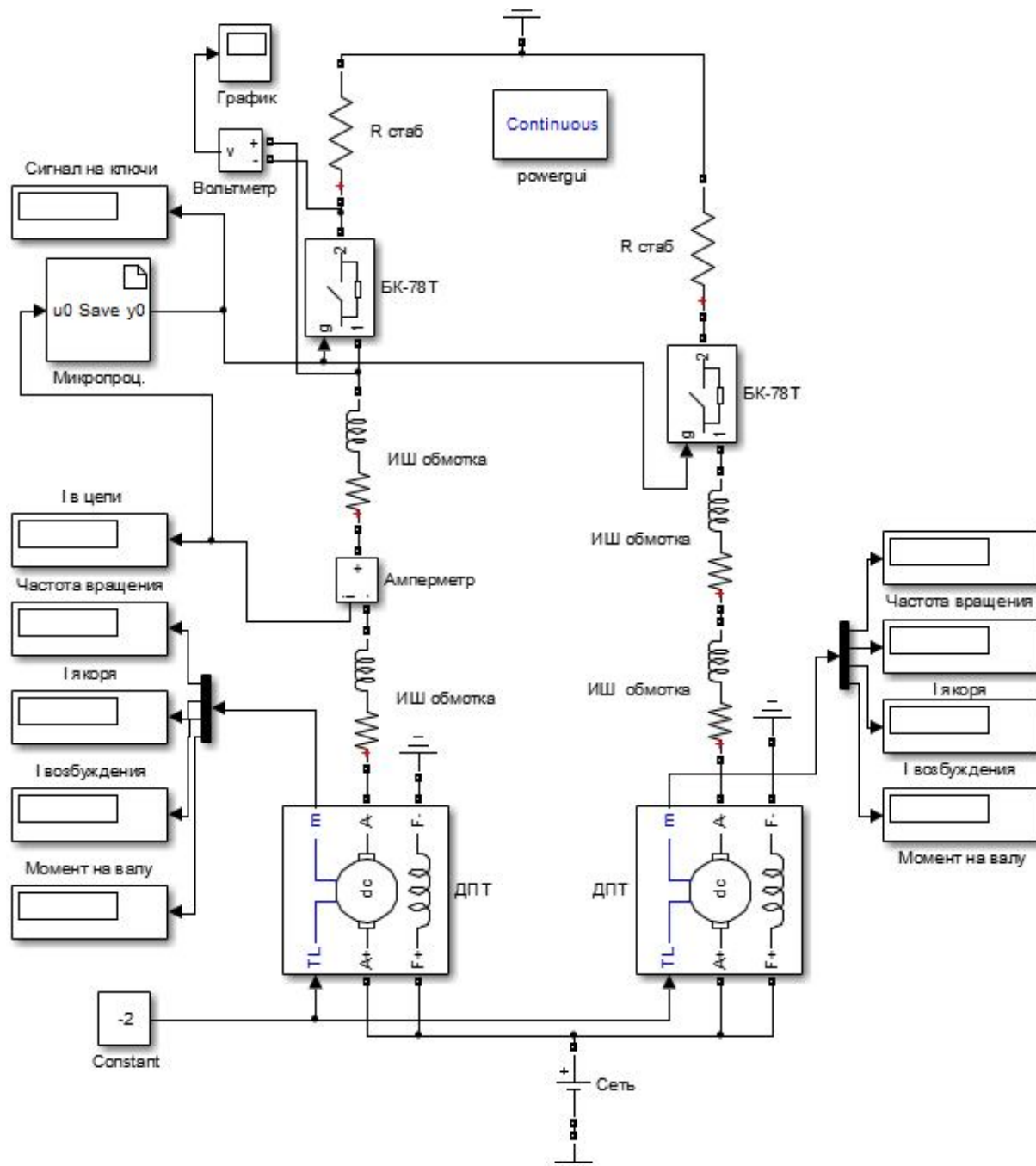


Рис. 2. Схема, смоделированная в Matlab

Из рисунка 2 видно, что схема идентична схеме на рисунке 1, это даёт возможность исследовать процессы коммутации в режиме рекуперации быстродействующего контактора, роль в схеме которого выполняет блок Ideal Switch [4].

Все блоки собранной модели выполняют роль элементов схемы, изображённой на рисунке 1. Блок сеть имитирует питание тяговых двигателей, блок ДПТ имитирует двигатель постоянного тока ТЛ-2К, блок Constant имитирует нагрузку двигателя, в данной случае она отрицательна, так как электровоз находится в режиме рекуперации, слева и справа от двигателей изображены блоки, имитирующие датчики скорости вращения вала, тока якоря, тока возбуждения, момента на валу. Амперметр в данном случае выполняет функцию датчика для контактора БК-78Т, а исполняющим

механизмом, для коммутации БК-78Т, является микропроцессор, функцию которого исполняет блок S-function.

Для исследования бросков напряжения на блоке Ideal Switch, который исполняет роль быстродействующего контактора, клеммы блока Voltage Measurement присоединены с двух сторон к блоку Ideal Switch. Полученный график переходного процесса представлен на рисунке 3 [5].

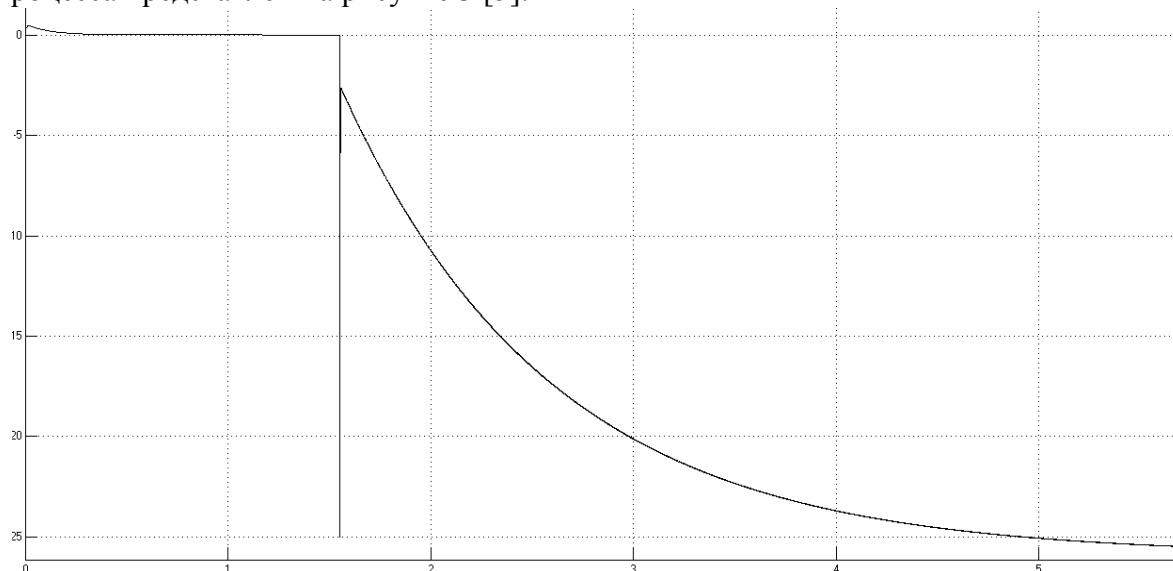


Рис. 3. Напряжение на Ideal Switch (БК-78Т)

Из рисунка 3 видно, что при коммутации цепи, происходит резкий скачок напряжения, что может негативно отразиться на изоляции цепи.

Вывод. В результате проделанной работы смоделирована электрическая цепь тягового электровоза для изучения процессов коммутации, пуска и остановки двигателей, что составляет основу для проектирования аналога контактора на основе полупроводниковых приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоров Н.И., Сидоров Н.Н. Как устроен и работает электровоз. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – 223 с., ил., прилож. ISBN 5-277-00191-3.
2. Устройство и работы электровозов постоянного тока. С.Н. Чернявский, И. М. Ривин. М., изд-во «Транспорт», 1971 г., 1-360.
3. Устройство и ремонт электровозов постоянного тока. Учебник для техн. школ ж.-д. трансп. М., «Транспорт», 1977. 464 с. Авт.: С.А. Алябьев, Е.В. Горчаков, С.И. Осипов, Э.Э. Ридель, В.Н. Хлебников.
4. Кабалык Ю.С. Имитационное моделирование устройств электроподвижного состава: метод. пособие по выполнению лабораторных работ / Ю.С. Кабалык. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2012. – 64 с. : ил.
5. Терёхин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терёхин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.

ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕМОНТАЖА ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РЕМОНТАХ

Аксёнов Д.О., Кашин А.И., Немировский А.Е., Петифоров В. О., Сергиевская И.Ю.
Вологодский государственный университет, г.Вологда

Частым нарушением работы электрических двигателей (ЭД) является повреждение изоляции обмоток статора ЭД. Вышедшую из строя обмотку извлекают из пазов и перематывают заново. Качество ремонта и длительность эксплуатации ЭД в послеремонтный период зависят от способа извлечения вышедшей из строя обмотки. В настоящее время существует шесть методов демонтажа обмоток: механический метод, демонтаж за счет высокочастотного нагревания сердечника, обжиг на костре, обжиг в печи, химический демонтаж, выщелачивание. В исследованиях [1, 2] подробно разобраны методы демонтажа обмоток, их достоинства и недостатки. Наряду с существующими методами нами предложен новый метод демонтажа обмоток статора ЭД с помощью ультразвукового излучения.

Для нахождения оптимальных параметров факторов, воздействующих на обмотку ЭД с целью её демонтажа, следует провести многофакторный активный эксперимент. В качестве воздействующих факторов выбраны температура щелочного раствора NaOH, концентрация раствора, длительность воздействия и мощность ультразвукового излучения. Для подтверждения правильности выбора и численных значений факторов проведён ряд поисковых экспериментов.

Эксперименты проводились в ультразвуковой ванне с суммарной мощностью излучателей 300 Вт. В качестве опытных образцов использовались макеты статоров (статареты) (рис.1.). Макет представляет собой отрезок профильной трубы квадратного сечения, внутри которой расположена однослойная обмотка из медного провода ПЭТВ-2 диаметром 1 мм с количеством витков равным 120. Пазовая изоляция выполнена из синтокартона. На лобовые части обмотки наложен бандаж из ХБ-ленты, для придания прочности обмотки. Макет статора пропитан лаком МЛ-92.

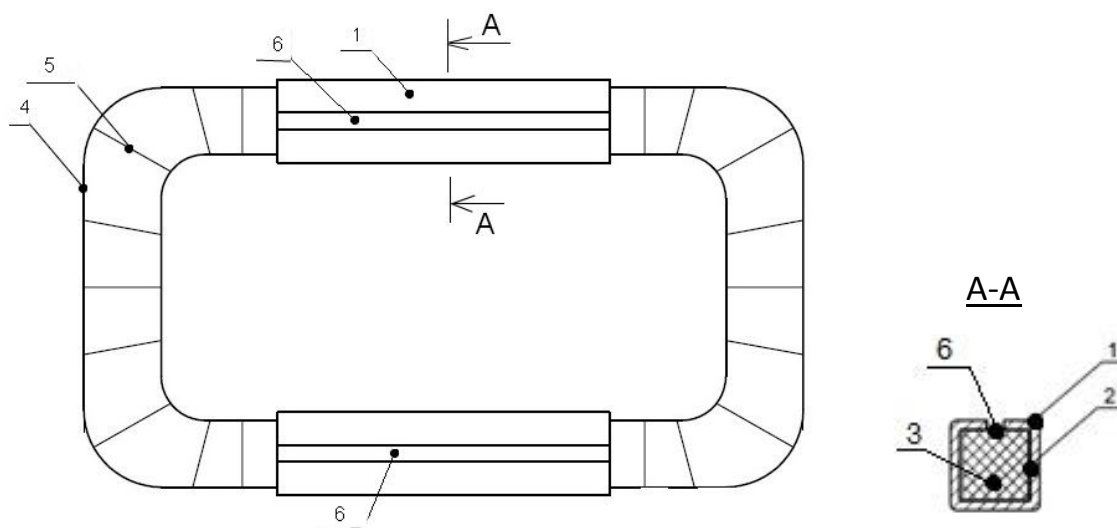


Рис.1. Макет статора: 1 - профилированная труба; 2 - пазовая изоляция; 3 - всыпная обмотка; 4 - лобовая часть обмотки; 5 - бандаж; 6 - пазовый клин

Первый поисковый эксперимент, который длился двое суток, направлен на подтверждение возможности растворения лаковой пропитки обмотки раствором щелочи NaOH. В результате лаковая пропитка полностью растворена во всей толще обмотки, которая стала поддаваться механическим деформациям без приложения особых усилий.

В следующих экспериментах дополнительно добавили температуру раствора NaOH, меняли его концентрацию и длительность воздействия на статоры, а так же применили ультразвуковое излучение. Значения воздействующих факторов и полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты поисковых экспериментов

№ опыта	Исходные данные	Результат
1	f=22кГц; P=300 Вт; t°=72°C; 10% р-р NaOH; t=2 часа 38 минут	Лак весь удалился с обмотки макета. Обмотка "рассыпалась" и без особых усилий подвергается механической деформации.
2	f=22кГц; P=300 Вт; t°=35°C; 2% раствор NaOH; t=3 часа 17 минут.	Из обмотки удалились только верхние слои лака. Бандаж снялся легко. Внутри обмотки лаковая пропитка осталась. Механической деформации обмотка поддается слабо.
3	f=22кГц; P=300 Вт; t°=35°C; 2% раствор NaOH; t=8 часов.	Лаковая пропитка внутри обмотки не растворилась. Бандаж снялся легко. Обмотка сохранила форму, но механической деформации подвергается без приложения особых усилий.
4	f=22кГц; P=300 Вт; t°=75°C; 2% раствор NaOH; t=7 часов 7 минут.	Лак полностью удалился из обмотки макета. Обмотка "рассыпается" и легко подвергается механической деформации.

Результаты табл. 1 показывают правильность выбора факторов, реализующих эффективное разрушение обмотки ЭД при её демонтаже. Результаты табл. 1 дают возможность определиться с уровнями варьирования факторов. Так за минимальную температуру раствора выбрали температуру окружающей среды на момент проведения экспериментов 35°C с учетом нагрева раствора при ультразвуковом воздействии. Максимальная температура раствора 80°C, т.к. при дальнейшем нагреве происходит естественная кавитация. За максимальную концентрацию взят 10% раствор NaOH, применяемый в существующем методе демонтажа обмоток - выщелачивание. Минимальная концентрация 2% выбрана исходя из минимизации вредного влияния раствора NaOH на экологию.

Полученные результаты использованы при многофакторном эксперименте по разрушению обмоток сгоревших ЭД с целью их эффективного, энергоэкономичного и быстрого демонтажа при ремонтах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Немировский, А.Е. Повышение эффективности обмоток электродвигателей / А.Е. Немировский, В.О. Петифоров, И.Ю. Сергиевская // Вузовская наука – региону: материалы XIII Всероссийской научной конференции. – Вологда: ВоГУ, 2015. – С. 35–36.
2. Немировский, А.Е. Анализ методов демонтажа обмоток электродвигателей/ А.Е. Немировский, Д.О. Аксёнов, А.И. Кашин, Г.А. Кичигина, И.Ю. Сергиевская// Вузовская наука – региону: материалы XIV Всероссийской научной конференции. – Вологда: ВоГУ, 2016. – С. 7 - 9.

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ И МЕСТА УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В СХЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИИ

Широков А.В., Бирюкова Н.Н., Лихавицкий В.В.

Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь,
г.Минск

Системы стабилизации технологических параметров состоят обязательно из измерительного преобразователя, регулятора и исполнительного механизма. Свойства реальных контуров регулирования проявляют нелинейные свойства, особенно в случае стабилизации температуры, концентрации и т.д. Однако ввиду небольших колебаний технологических параметров их можно линеаризовать.

Для настройки таких систем используют различные методы: формирование запаса по устойчивости с помощью частотных методов; минимизация интегральных критериев; использование поисковых алгоритмов для обеспечения параметров переходного процесса. И сейчас встает вопрос: что использовать в качестве выходного параметра? Очень редко бывает, что динамические характеристики первичного измерительного параметра можно не учитывать. В некоторых случаях динамические характеристики датчика и исполнительного механизма могут оказывать основное влияние на настройки алгоритма стабилизации. Примером такого случая может случить стабилизация расхода.

Классическая методика настройки регулятора с помощью частотных методов предполагает перенос передаточной характеристики из обратной связи в прямую после передаточной функции объекта. В большинстве своем настройка считается качественной для технологических параметров, если перерегулирование примерно в районе 20%. Однако данный подход при некотором соотношении между динамикой объекта и измерительного преобразователя может привести к тому, что непосредственно технологический параметр может отклоняться существенно больше, чем непосредственно выходной сигнал на клеммах регулятора.

Для подтверждения наших выводов произведено численное моделирование. Несмотря на возможность наличия сложных динамических характеристик у реальных объектов, в большинстве своем с прикладной точки зрения ограничиваются передаточной характеристикой второго порядка с запаздыванием

$$W_o = \frac{1}{(100p + 1)(30p + 1)} \exp(-5p),$$

где p – оператор Лапласа.

Поскольку классические частотный методы настройки с помощью расширенных частотных характеристик и показателя колебательности сопряжены с некоторым

субъективизмом, а также плохо алгоритмируются для автономной настройки мы использовали метод минимизации интегральных критериев градиентным способом.

$$\int e^2 dt \rightarrow \min \quad (1)$$

и

$$\int |e| t^n dt \rightarrow \min \quad (2)$$

где e – ошибка на выходе; t – от начала воздействия; $n \in [0 \div 2]$.

Постоянную времени датчика меняли в диапазоне $[0,1 \div 100]$ сек.

Показатель n в критерии потенциально влияет на перерегулирование. При 0 оно максимально, при 2 минимально.

Результаты исследований можно увидеть на рис. 1-3. Поиск настроек осуществлялся по параметру y (рис. 4), а технологический параметр y_1 , только анализировался.

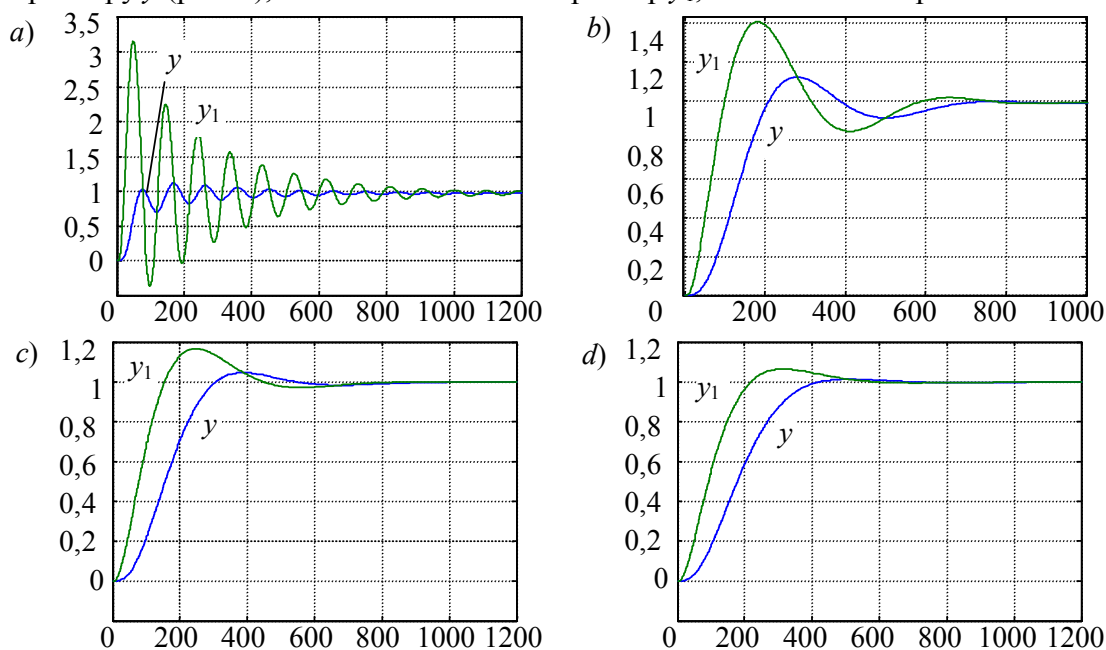


Рис. 1. Переходной процесс при запаздывании в 100 сек при настройке *a* – по (1), *b* – по (2) при $n = 0$; *c* – по (2) при $n = 1$; *d* – по (2) при $n = 2$

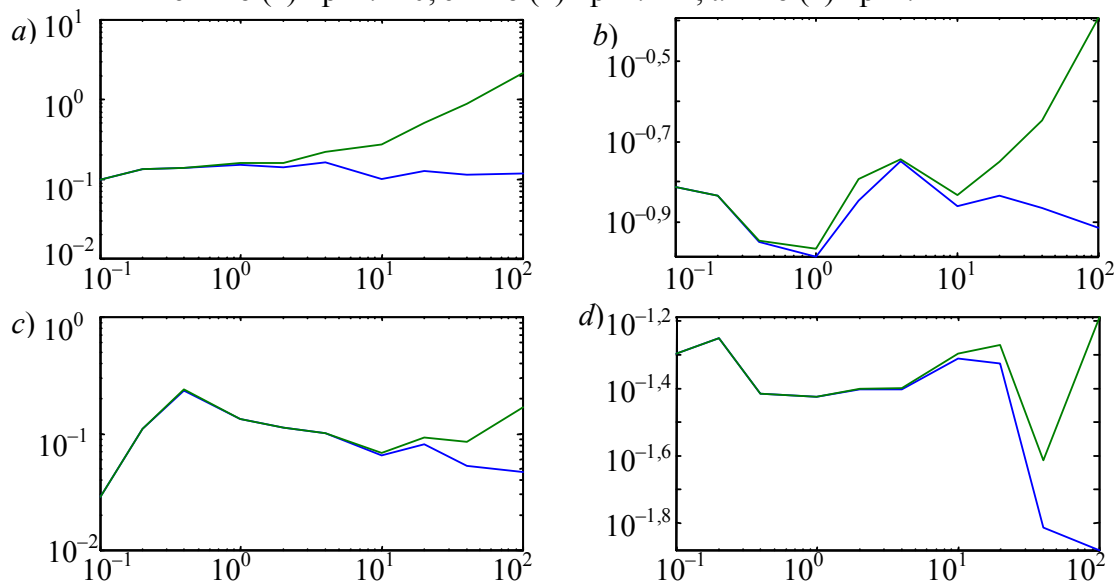


Рис. 2. Зависимость перерегулирования от постоянной времени датчика *a* – по (1), *b* – по (2) при $n = 0$; *c* – по (2) при $n = 1$; *d* – по (2) при $n = 2$

Алгоритм исследования состоял из нескольких этапов. В скриптовом файле задавалось значение постоянной времени датчика. Затем производился поиск настроек ПИД-регулятора. Время дифференцирования устанавливалось в постоянным к времени интегрирования как 1:6. Коэффициент пропорциональности и время интегрирования находилась с помощью собственного поискового алгоритма поочередно для каждого критерия.

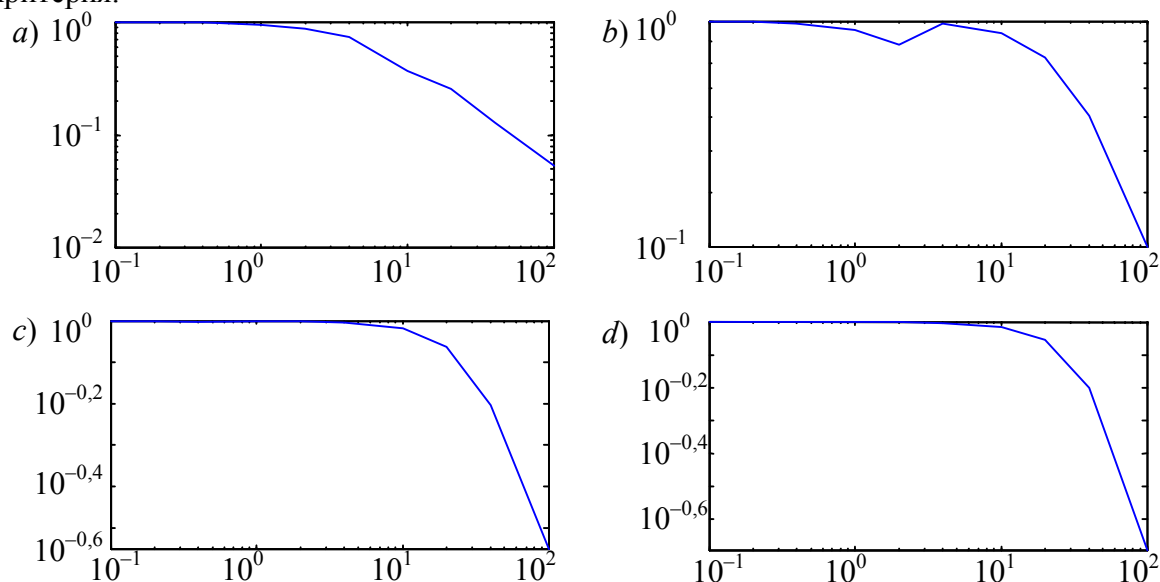


Рис. 3. Отношение перерегулирования для y/y_1 от постоянной времени датчика при настройке a – по (1), b – по (2) при $n = 0$; c – по (2) при $n = 1$; d – по (2) при $n = 2$

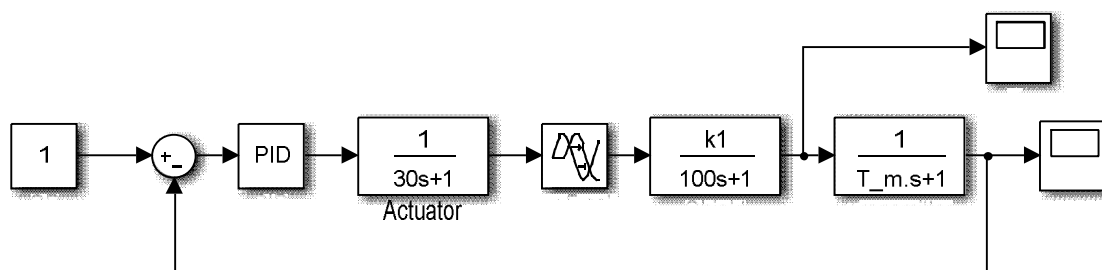


Рис. 4. Структурная схема моделирования

При настройке по (1) существенные расхождения в динамике y и y_1 , начинают проявляться 1-2%. Для критерия (2) существенные рассогласования перерегулирования до датчика и после датчика характерны только при соотношении постоянных времени измерительного преобразователя и объекта где-то в 10-20%.

Существует еще один аспект выбора структурного решения и критерии для настройки регулятора. В некоторых технологических процессах непосредственно контролировать параметр не представляется возможным. Особенно это характерно для температуры, который практически всегда является распределенным параметром. В некоторых случаях, например при варке стекла, при сушке и т.д., нет возможности в зону, которая интересует технолога. Знание теплотехнических свойств материалов и конструкции позволяет прогнозировать значение в статике. Однако учет динамических характеристик может быть сопряжен с вероятностью больших ошибок. В этом случае ориентация на переходной процесс без перерегулирования тоже желательна.

Выводы. При настройке системы регулирования надежнее использовать как выходной параметр непосредственно технологический параметр, а не выходное значение измерительного преобразователя. Немаловажным является и аспект выбора критерия настройки. Если динамику датчика трудно оценить (к примеру динамика определяется по экспериментальным данным), то лучше настраивать систему переходной процесс без перерегулирования.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ С ПРИВОДОМ ГУСАР П

Нгуен Дык Тхо

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Взрывозащищенный электропривод «ГУСАР»П, обеспечивает управление неполноповоротной трубопроводной арматурой (дисковые поворотные затворы, шаровые краны), и предназначено для изучения их устройства, принципа действия, основных технических характеристик, а также служит руководством по эксплуатации[1].

Электроприводы имеют взрывобезопасный уровень взрывозащиты и могут применяться во взрывоопасных зонах классов 1, 2 по ГОСТ 30852.9-2002 помещений и наружных установок, в которых возможно образование паро-воздушных и газозавоздушных взрывоопасных смесей категорий ПА, ПВ, по классификации ГОСТ 30852.11-2002, групп Т1, Т2, Т3, Т4, по классификации ГОСТ 30852.5-2002.

Структура условного обозначения взрывозащищенных электроприводов «ГУСАР»:

«ГУСАР» П. И5. 900. 1,8. Э32. УХЛ1. ТУ 3791-004-53106276-2003

1 2 3 4 5 6 7 8

где:

- 1 – Наименование электропривода;
- 2 – Исполнение механического модуля (П - поворотный);
- 3 – Исполнение присоединительного элемента электропривода к запорно-регулирующей арматуре;
- 4 – Максимальный крутящий момент на выходном звене электропривода, Нм;
- 5 – Максимальная скорость перемещения выходного звена электропривода, об/мин;
- 6 – Исполнение блок управления:
Э32 – блок управления СОКРАТ-РЗ ТУ 3791-001-14401518-2013;
- 7 – Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150;
- 8 – Обозначение технических условий на электропривод «ГУСАР».

Основные технические характеристики электроприводов:

- Назначенный ресурс работы электроприводов – 30000 циклов;
- Назначенный срок службы электроприводов – 15 лет;
- Режим работы электроприводов для запорной арматуры – повторно-кратковременный S3, с продолжительностью включения (ПВ) 25 %, при этом продолжительность непрерывной работы составляет:
 - при температуре окружающей среды до + 25 °С – не более 10 мин;
 - при температуре окружающей среды свыше + 25 °С – не более 8 мин.

- Режим работы электроприводов для регулирующей арматуры – повторно-кратковременный с частыми пусками S4, с продолжительностью включения (ПВ) 25 %, и числом включений в час не более 400;
- Электроприводы сохраняют свою работоспособность в климатических условиях, соответствующих климатическому исполнению УХЛ1 по ГОСТ 15150, при:
 - верхнем значении относительной влажности 100% при плюс 25 °С и более низких температурах без конденсации влаги;
 - диапазоне температуры окружающего воздуха, °С - от минус 60 до плюс 50
 - скорости изменения температуры до 5 °С /ч;
 - атмосферном давлении от 630 до 795 мм рт. ст.
- Рабочее положение электроприводов в пространстве – любое выше горизонтальной плоскости, проходящей через ось арматуры.

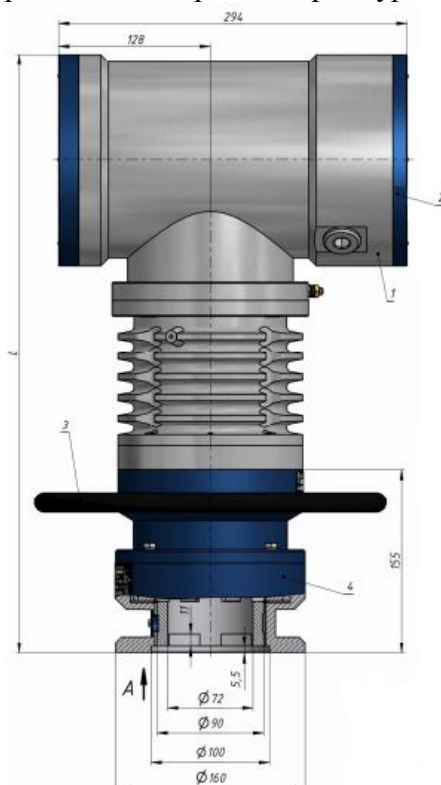


Рис. 1. Электроприводы ГУСАР II, развивающие крутящий момент до 1300 Нм

В том числе состоят: 1. Блок управления СОКРАТ; 2. Встроенный пост управления (команды подаются магнитным ключом); 3. Привод механизма ручного дублера; 4. Волновой редуктор с промежуточными телами качения.

Блок управления СОКРАТ-Р3 предназначен для систем управления технологическими объектами транспорта жидкостей и газов во взрывоопасных зонах классов 1, 2 по ГОСТ 30852.9-2002, помещений и наружных установок, в которых возможно образование паро-воздушных и газо-воздушных взрывоопасных смесей категорий ПА, ПВ, ПС по классификации ГОСТ 30852.11-2002 групп Т1, Т2, Т3, Т4 по классификации ГОСТ 30852.5-2002 [2].

Условное наименование блока формируется следующим образом:

СОКРАТ - Р 3 - X,XX - X X - УХЛ1

1 2 3 4 5 6 7

где:

- 1 – Наименование серии блоков управления;
 - 2 – тип электропривода для установки блока:
Р – электропривод типа «ГУСАР»;
 - 3 – Модификация блока:
3 – электронный реверсивный тиристорный блок;
 - 4 – Номинальная мощность электродвигателя, кВт;
 - 5 – Тип протокола и последовательного интерфейса:
1 – интерфейс RS-485 с протоколом ModBus RTU;
 - 6 – Тип входных и выходных сигналов:
4 – вход/выход 4...20 mA;
 - 7 – Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150.
- Параметры условий эксплуатации блока приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры условий эксплуатации

Название параметра	Ед. изм.	Значение
Тип климатического исполнения по ГОСТ 15150-69	-	УХЛ1
Температура окружающего воздуха	°С	от минус 60 до плюс 50
Скорость изменения температуры, не более	°С /мин	±5
Относительная влажность воздуха, среднегодовое значение	%	80
Атмосферное давление	кПа (мм рт. ст.)	от 84,0 до 106,7 кПа (от 630 до 800)
Высота над уровнем моря	м	до 1000
Вибрация: - диапазон; - амплитуда смещения; - амплитуда ускорения.	Гц Мм м/с ²	от 5 до 80 0,1 (для частоты до 60Гц) 9,8 (для частоты выше 60Гц)

В системе автоматического управления состоят из кнопок управления, индикаторов и программируемого контроллера.

Easy Control – быстродействующий центральный процессор с большой памятью программирования и гибкими функциями связи [3]:

- Шинный интерфейс CANopen / easyNet для подключения к децентрализованным периферийным устройствам;
- Переменные конфигурации входов/выходов с цифровыми и аналоговыми входами;
- Дополнительный аналоговый выход;
- Интерфейс программирования RS232 / Ethernet;
- Удобное программирование в соответствии со стандартом IEC1131-3 (релейно-контактная схема, диаграмма функциональных блоков, список инструкций, структурированный текст, схема последовательных функций, непрерывная функциональная диаграмма);
- Мощные библиотеки для проектирования и связи с верхним уровнем автоматизации через OPC;
- Программирование совместимо со стандартом IEC 61131-3 и осуществляется через XSoft CoDeSys.

Easy Control имеет следующие особенности [4]:

- 12 дискретных входов;
- 6 релейных выходов или альтернативно;
- 8 транзисторных выходов и 1 аналоговый выход (10 бит);
- 4 аналоговых и 4 высоко-скоростных входа (10 бит);
- возможность добавления модулей расширения или модулей передачи данных;
- возможность объединения в сеть easy-NET до 8 устройств, CANopen;
- 1 Ethernet порт;
- 256 К программной памяти;
- возможность выбора языков программирования IL/FBD/LD/ST/CFC/SFC с помощью CoDeSys.

Результат эксперимента приведен на рисунке 2. Все значения давлений на входе и выходе плавно изменяются, но сумма их будет не изменяться и равна значением установленного давления источника ресурсов.

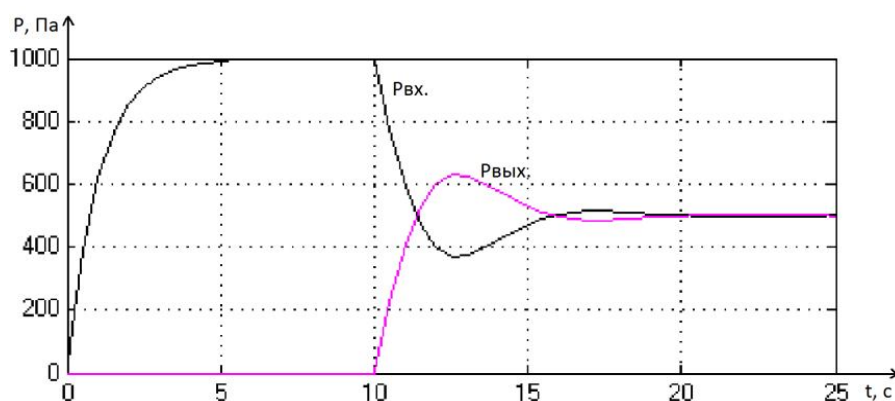


Рис. 2. Результат эксперимента

ЛИТЕРАТУРА

1. НПО «Сибирский Машиностроитель». ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫЕ «ГУСАР»П. РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. СМ.122.00.00.000 РЭ. 2013. – 41с.
2. НПО «Сибирский Машиностроитель». Блок управления взрывозащищенный СОКРАТ-РЗ. Руководство по эксплуатации. СМ.090.00.00.000 РЭ. 2013. – 82с.
3. ДП „Итон Электрик“.Электротехнический сектор Eaton. Интеллектуальная серия easyFamily. 2011.–24с.
4. ДП „Итон Электрик“.Электротехнический сектор Eaton. easy - серия программируемых реле для широкого круга задач автоматизации в промышленности и быту. 36с.
5. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / Под ред. проф. В. П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 256с.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СД ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И БЫТОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Малаева Е.А.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
г. Томск

Полупроводниковые источники света типа КИПД154А92 в пластмассовом корпусе 50×50 и плоском керамическом корпусе LO50050-06 размером 5×5×1,2 мм. В результате проделанной работы были проведены измерения параметров источников света. Сравнение двух типов кристаллов разных производителей. Сравнение применяемых адгезивов при посадки кристалла подеградационным характеристикам. Определен коэффициент ускорения при T=85 °С. Проведена оценка влияния температуры корпуса на спектральные колориметрические характеристики светодиода.

Ключевые слова: свет, источник света, температура кристалла, цветовая температура, световой поток, деградация СД (светодиод).

Полупроводниковые источники света являются перспективными для использования освещения производственных и бытовых помещений. Важнейшими параметрами являются: цветовая температура, световой поток, срок службы, энергия потребления. Основной задачей производства является обеспечение стабильности этих параметров в процессе эксплуатации. Самым главным критерием является правильно выбранный тепловой режим работы. Для определения срока службы необходимо использовать ускоренные испытания [1].

Светодиоды типа КИПД154А92, КИПД154Б92 предназначены для создания светотехнических изделий офисного, уличного и декоративного освещения. Светодиоды изготавливают в металлополимерном корпусе, пригодном как для ручного поверхностного монтажа, так и для автоматизированного поверхностного монтажа. [2].

В табл. 1. показана цветовая температура для белого теплого, белого нейтрального, белого холодного цветов свечения.

Таблица 1. Цветовая температура

Условное обозначение	Категория цвета	Цветовая температура, К
КИПД154А92-Б3, КИПД154Б92-Б3	Теплый белый	2600-2875 2875-3200
КИПД154А92-Б2, КИПД154Б92-Б2	Нейтральный белый	3700-4300 4300-4750
КИПД154А92-Б1, КИПД154Б92-Б1	Холодный белый	4750-5350 5350-6000

Эксперименты будут проводиться на светодиодах белого нейтрального цвета свечения. В качестве исследуемых образцов были взяты полупроводниковые источники света типа КИПД154А92 в пластмассовом корпусе 50×50 [3].

Проведение эксперимента и анализ полученных результатов.

При выполнении работы была проведена оценка влияния температуры корпуса на спектральные колориметрические характеристики светодиода.

Измерения проводились с помощью высокочувствительного оптоволоконного спектрометра AvaSpec-2048. Были измерены интенсивность, цветовая температура,

полуширина спектра излучения полупроводниковых СД КИПД154А92 белого свечения. На рисунке 1 изображена зависимость цветовой температуры от температуры СД.

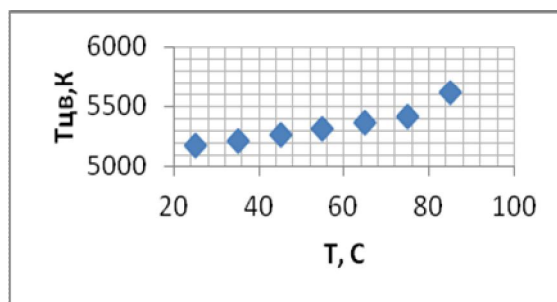


Рис. 1. Зависимость цветовой температуры от температуры корпуса СД

Из зависимости следует, что увеличение температуры приводит к увеличению цветовой температуры и ее значения переходят в область более холодного белого света.

На рис. 2. изображена зависимость полуширины спектра излучения кристалла от температуры корпуса СД.

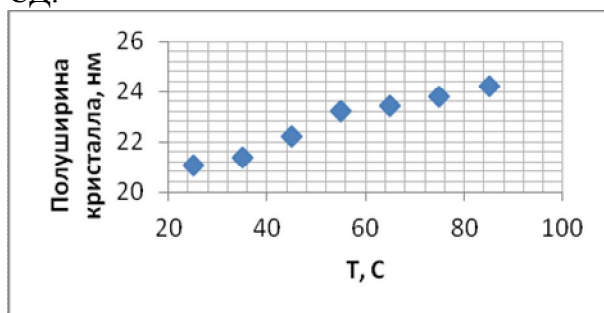


Рис. 2. Зависимость полуширины спектра излучения кристалла от температуры корпуса СД

На рис. 3. изображена зависимость полуширины излучения спектра люминофора от температуры корпуса СД с применением серебросо-державшего клея ЕРО-tek 20Н на базе кристаллов Epistar.

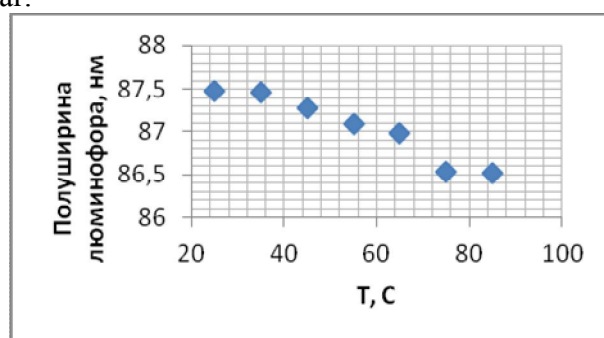


Рис. 3. Зависимость полуширины излучения спектра люминофора от температуры корпуса

На рис. 4. можно видеть зависимость спектров светодиода белого свечения при температуре 25 °С и 85°С.

Особенностью спектра белого светодиода является наличие двух пиков, первый обусловлен свечением кристалла и является узким. Второй обусловлен влиянием люминофора, размыт, так как поглощает синий свет.

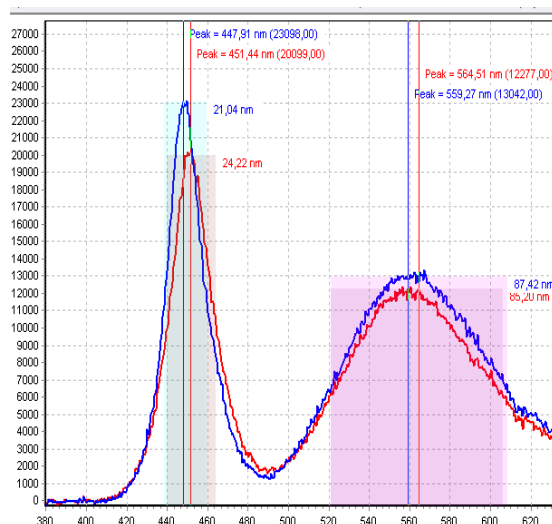


Рис. 4. Спектры светодиодов белого свечения при температуре 25 оС и 85оС

Длина волны максимума на кристалле смещается с 447,91 нм до 451, 44 нм. Интенсивность излучения кристалла уменьшается на 12% при нагреве от 25-85 °С.

Длина волны максимума люминофора смещается с 564,51 нм до 559, 51 нм. Интенсивность излучения люминофора уменьшается на 7% при нагреве от 25-85 °С.

При 85 мы видим, что снижается интенсивность излучения происходит уширение спектра с 21, 04 нм до 24, 22 нм. Таким образом температурный коэффициент полуширины линии излучения составляет 0,053 нм/°С. С увеличением температуры полуширина спектра увеличивается, а так же наблюдается смещение пиков в сторону увеличения длины волны.

Измерения проводились в ручном режиме на установке SLS230T фирма ASM. Измерили световой поток относительно контрольных образцов с помощью, которых калибруется данная установка. После измерений параметров светодиодов производилось их испытание на долговечность и срок службы.

Для определения срока службы необходимо использовать ускоренные испытания. Провели сравнение двух типов кристаллов разных производителей по деградационным характеристикам. СД до и после испытаний с применением серебросодержащего клея ЕРО-tek 20Н высокой теплопроводности на базе кристаллов Epistar (производство Япония) и на базе кристаллов THET (производство Китай). Нормированное значение тока 350 мА.

Изготовление СД проводилось в одном технологическом цикле (кристаллы имеют одинаковый типоразмер и размер излучающей области) для более точного сравнения получаемых характеристик. Испытания СД проводились в одном изолированном стенде (с водяным охлаждением) с точностью поддержания температуры внутри камеры ± 3 С. Измерения до и после испытаний проводились на одном и том же оборудовании. Повторяемость измерений данного оборудования по световому потоку 2–2,5%.

Испытания проводились при $T_{\text{возд}} = 85$ °С, $T_{\text{корп}} = 93\text{--}95$ °С, $I = 420$ мА, $t = 1020$ ч.

Средняя деградация СД изготовленных на базе кристаллов Epistar по световому потоку $\Phi = 2,36\%$.

Средняя деградация изготовленных на базе кристаллов THET по световому потоку $\Phi = 10,79\%$.

На рис. 5. представлена зависимость светового потока от времени испытаний. Данные на рисунке усреднены.

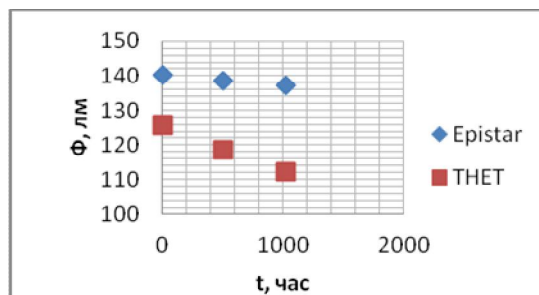


Рис. 5. Зависимость светового потока от времени испытаний

Одновременно с изменением светового потока изменяется световая температура.

Среднее изменение цветовой температуры (Epistar) составило $T_{ц}=232,1\text{K}$.

Среднее изменение цветовой температуры (THET) составило $T_{ц} = 468,9\text{ K}$.

На рисунке 6 показано изменение цветовой температуры светодиодов собранных на кристаллах Epistar и THET.

Цветовая температура имеет тенденцию роста с увеличением времени испытаний, что связано деградационными процессами в кристалле и в люминофоре. Следует заметить, что испытания проводились в ускоренных режимах (форсированных).

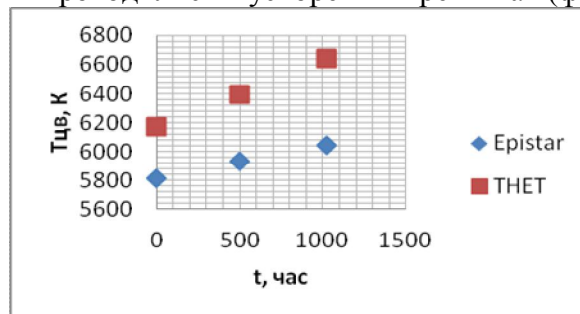


Рис. 6. Зависимость величины цветовой температуры от времени испытаний

Такое поведение СД, изготовленных на базе кристаллов THET, вероятнее всего связано с деградацией самой структуры. В результате возбуждение люминофора проходит уже измененным излучением, что в свою очередь приводит к смещению координат на диаграмме цветности, а следовательно и цветовой температуры.

Для сравнение деградационных характеристик в зависимости от применяемых адгезивов при посадки кристалла проводились испытания при $T_{возд}=85\text{ }^{\circ}\text{C}$, $I=420\text{ mA}$, $t=680\text{ ч}$ на базе кристаллов Epistar (производство Япония) с применением серебросодержащего клея EPO-tec 20H высокой теплопроводности и с применением силиконового клея Dow corning низкой теплопроводности.

На рис. 7. представлена зависимость светового потока от времени с применением клея EPO-tec 20H и с применением клея Dow corning.

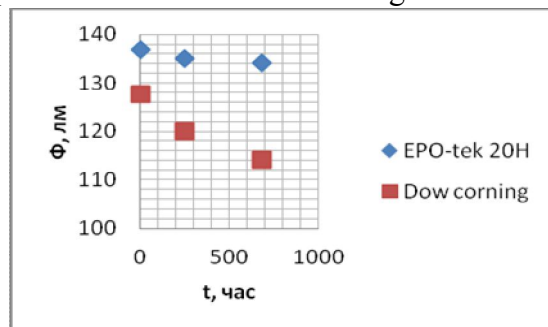


Рис. 7. Зависимость светового потока от времени

Средняя деградация СД с применением серебросодержащего клея EPO-tek 20H по световому потоку $\Phi=2,01\%$. Средняя деградация СД с применением силиконового клея Dow corning по световому потоку $\Phi = 9,86\%$. Более сильное уменьшение светового потока для СД с использованием силиконового клея Dow corning обусловлено его низкой теплопроводностью и соответственно более высокой температуре кристалла.

На рис. 8. представлена зависимость цветовой температуры от времени с применением клея EPO-tek 20H и с применением клея Dow corning.

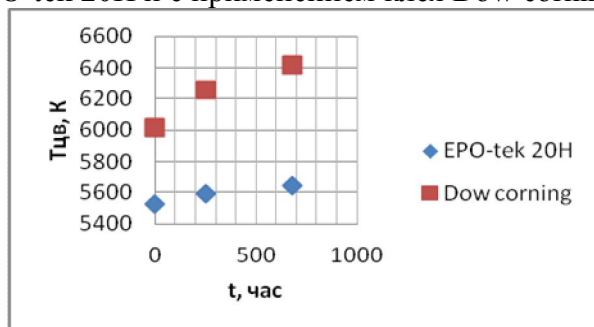


Рис. 8. Зависимость цветовой температуры от времени

Среднее изменение цветовой температуры деградация СД с применением серебросодержащего клея EPO-tek 20H составило $T_{цв}=115,1\text{К}$.

Среднее изменение цветовой температуры СД с применением силиконового клея Dow corning составило $T_{цв} = 405,2\text{ К}$.

Проводим сравнение деградационных характеристик в зависимости от применяемых адгезивов при посадки кристалла на базе кристаллов Epistar с применением серебросодержащего клея EPO-tek 20H и с применением серебросодержащего клея EPO-tek 20H.

Испытания проводились при:

$T=85\text{ }^{\circ}\text{C}$; $I=350\text{ мА}$, $t=24\text{ ч}$;

$T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$; $I=350\text{ мА}$, $t=24\text{ ч}$;

$T=125\text{ }^{\circ}\text{C}$; $I=350\text{ мА}$, $t=24\text{ ч}$;

$T=150\text{ }^{\circ}\text{C}$; $I=350\text{ мА}$, $t=24\text{ ч}$;

На рис. 9. представлена зависимость изменения светового потока и цветовой температуры при ступенчатых температурных испытаниях.

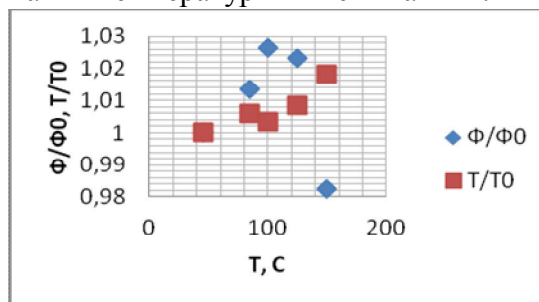


Рис. 9. Зависимость изменения светового потока и цветовой температуры при ступенчатых температурных испытаниях (клей EPO-tek 20H)

Световой поток уменьшается при воздействии температуры за счет гашения фотолюминесценции люминофорного покрытия. Цветовая температура увеличивается так же за счет уменьшения эффективности люминофора.

На рис. 10. представлена зависимость испытаний с применением силиконового клея Dow corning низкой теплопроводности.

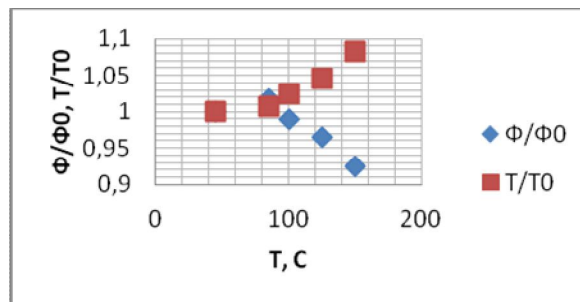


Рис. 10. Зависимость изменения светового потока и цветовой температуры при ступенчатых температурных испытаниях (клей Dow corning)

Теплопроводность клея с силиконового Dow corning ниже, чем с серебросодержащим клеем EPO-tec 20H.

На рис. 11. представлена зависимость изменения светового потока в полулогарифмическом масштабе с применением серебросодержащего клея EPO-tec 20H и с применением силиконовым клеем Dow corning.

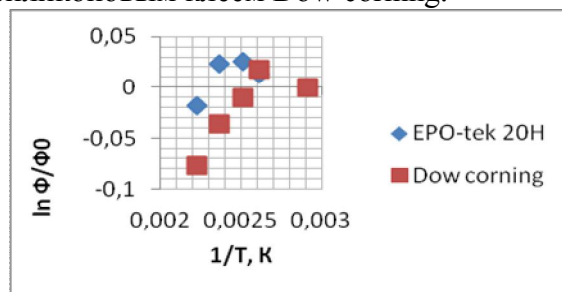


Рис. 11. Зависимость изменения светового потока в полулогарифмическом масштабе

На рис. 12. представлена зависимость изменения цветовой температуры в полулогарифмическом масштабе с применением клея EPO-tec 20H и Dow corning.

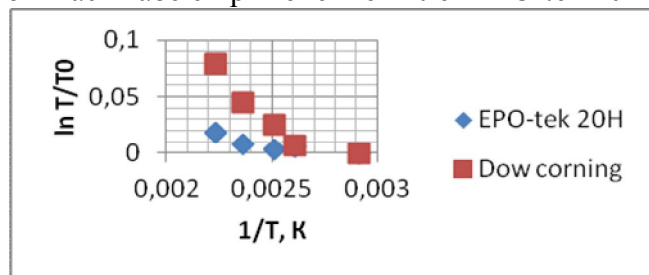


Рис.12. Зависимость изменения цветовой температуры в полулогарифмическом масштабе

Изменение светового потока при испытаниях при повышенной температуре может быть определено из формулы Мотта:

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{1}{1 + A \exp\left(-\frac{\Delta E}{K_B \cdot T}\right)}$$

где Φ - световой поток, лм;

A – предэкспоненциальный множитель ($3,6 \cdot 10^{-5}$);

K_B - постоянная Больцмана ($3,62 \cdot 10^{-5}$ эВ);

ΔE - энергия активации, эВ

T – температура, К.

Тогда при $T=398\text{ К}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,98 = \frac{1}{1 + A \exp\left(-\frac{\Delta E}{3,42 \cdot 10^{-2}}\right)} \\ 0,92 = \frac{1}{1 + A \exp\left(-\frac{\Delta E}{3,85 \cdot 10^{-2}}\right)} \end{array} \right. ,$$
$$\Delta E = 0,6 \text{ эВ} ,$$

Коэффициент ускорения при $\Delta E = 0,6 \text{ эВ}$ и $T=85^\circ\text{C}$ равен 12.

Испытаниям проводимым при $T_{\text{возд}}= 85^\circ\text{C}$, $T_{\text{корп}}= 93-95^\circ\text{C}$, $I=420\text{ мА}$, $t=1020\text{ ч}$ эквивалентно время работы 12240 часов.

Коэффициент ускорения при $\Delta E = 0,65 \text{ эВ}$ и $T=85^\circ\text{C}$ равен 15.

Испытаниям проводимым при $T_{\text{возд}}= 85^\circ\text{C}$, $T_{\text{корп}}= 93-95^\circ\text{C}$, $I=420\text{ мА}$, $t=1020\text{ ч}$ эквивалентно время работы 15300 часов.

В результате проделанной работы были проведены измерения параметров источников света. Сравнение двух типов кристаллов разных производителей.

СД изготовленные на базе кристаллов Epistar обеспечивает более длительный срок эксплуатации.

Сравнение применяемых адгезивов при посадки кристалла подеградационным характеристикам. СД на базе кристаллов с применением серебросодержащего клея ЕРО-tek 20Н обеспечивает меньшее уменьшение светового потока обусловленное его высокой теплопроводностью и соответственно менее высокой температурой кристалла.

Проведена оценка влияния температуры корпуса на спектральные колориметрические характеристики светодиода. Увеличение температуры приводит к увеличению цветовой температуры и ее значения переходят в область более холодного белого света.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панкрашкин, А.С. Высокоэффективные светодиодные модули Zenigata от Sharp / Велеславов, Р.Н. // Полупроводниковая светотехника, 2009. - №1. – С. 14-19.
2. Шуберт, Ф. Светодиоды /Пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
3. Малаева, Е.А. «Цветовая передача полупроводниковых источников света» / Панова, С.П. // Материалы всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР – 2014» - Томск: Из-во ТУСУР - 2014 - с.155-157

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Насибова Л.Я.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В настоящее время асинхронные машины являются наиболее распространенным видом машин в структурах промышленного потребления. В кризисной экономической ситуации возникает необходимость в поисках путей увеличения энергоэффективности

машин, снижения массогабаритных показателей, а так же совершенствование известных и создание новых методов решения этих задач[1].

Основной целью данной работы является обзор существующих способов совершенствования и модернизации асинхронных двигателей с повышенными энергетическими показателями и использования математического моделирования для оценки влияния от изменения параметров на их материалоемкость и энергоэффективность.

На сегодняшний день можно выделить несколько основных направления развития технологий повышения энергетических показателей в асинхронном двигатели при проектировании, производстве и эксплуатации [1]. Во-первых, метод эффективных систем управления питанием электроустановок (применяемый для минимизации потерь асинхронных двигателей). Данный метод основан на снижении энергопотребления электродвигателями производственного оборудования посредством недопущения снижения коэффициента мощности и минимизации возникновения реактивных составляющих мощности путем регулирования параметров питающего напряжения рассматриваемых устройств. Во-вторых, это снижение потерь электрической энергии при ее преобразовании в механическую и передачу в зону обработки. Механические потери состоят из потерь на подшипниках и вентиляционных потерь. Потери на трение в общем объеме механических потерь достигают 80 %. Данный метод снижения потерь энергии состоит в рациональном подборе: типа подшипников, видов смазки подшипников, конструкции машины и рода двигателя. В-третьих, это метод подбора оборудования с минимальным запасом по мощности, т.е. с номинальной мощностью, соответствующей эквивалентной мощности реализуемых на нем технологических процессов. Выбор двигателя с большим запасом мощности, приведет к снижению его коэффициента полезного действия и коэффициента мощности. Коэффициент запаса мощности учитывает: специфику регулирования скорости электропривода, ухудшение условий охлаждения при снижении скорости, динамические нагрузки при переходе от одной ступени скорости к другой.

Для применения предложенных технологий нужно регулировать не только длину магнитопровода, но и диаметр пакета сердечника. Однако изменение геометрии поперечного сечения двигателя повлечет за собой изменение штампов для изготовления, что потребует колоссальных затрат капитала. Все это неоправданно и очень дорого. Хоть и наличие в производстве нескольких длин магнитопровода для одной высоты оси вращения, также принесет некоторые усложнения (сложность оснастки, отступление от оптимальных параметров машин), именно это позволит получить преимущества в других моментах, поэтому изменение длины является более приемлемым способом улучшения энергетических показателей [2].

Поэтому отдадим предпочтение симбиозу от всех предложенных способов – увеличению энергоэффективности асинхронного двигателя без изменения поперечной геометрии при изменении длины сердечников статора и ротора, а также варьируя обмоточными данными машины и электромагнитными нагрузками выбранных материалов.

В настоящее время возможности вычислительной техники совместно с методами математического моделирования позволяют осуществлять исследования, разработку, проектирование, модернизацию и определять качество и надежность любой технической системы. Поэтому представляются актуальными задачи по разработке и созданию программных комплексов с использованием математического моделирования асинхронных двигателей.

Проектирование асинхронных двигателей сложная - многовариантная задача, решенная нами с использованием имитационного математического моделирования, где запись имитационной модели осуществляется в математической форме на обычном алгебраическом языке. Так как основной проблемой моделирования асинхронного двигателя является сложность его математического описания, в основе данной, разработанной математической модели лежит стандартная методика электромагнитного расчета асинхронных двигателей, которая используется при проектировании электрических машин. Адекватность определяет соответствие модели поставленной задаче и оценивается через показатели качества асинхронных двигателей. Номинальные значения и допуски на показатели качества рассчитаны соответственно ГОСТу [3].

Исходными данными модели являются факторы - контролируемые величины, определяющие показатели качества электрических машин (основные и локальные размеры, характеристики применяемых активных, изоляционных и конструктивных материалов и т.п.). Поэтому в качестве величин, оказывающих наибольшее влияние на показатели качества асинхронных двигателей выбраны электромагнитные нагрузки, обмоточные данные и длины сердечников статора и ротора. От этих параметров зависят главные размеры двигателя, и именно электромагнитные нагрузки определяют эффективность использования объема активной части машины - чем больше электромагнитные нагрузки, тем больше коэффициент использования объема активной части (материалоемкость). Следовательно, электромагнитные нагрузки определяют не только расчетную длину сердечника, но и в значительной степени характеристики машины.

Выбор оптимальных параметров затрудняется сложностью алгоритма расчета по формулам проектирования. При проектировании необходимо учитывать стоимость двигателей, надежность и технологичность конструкции. Эти показатели косвенно входят в формулы проектирования, что затрудняет оптимизацию. Оптимальные варианты электрической двигателей выбираются на основании широкого применения вычислительных двигателей, опыта и интуиции проектировщика [4].

Таким образом всем перечисленным условиям отвечает математическая модель оценки энергоэффективности без изменения геометрии поперечного сечения асинхронных двигателей, представленная на рис.1.

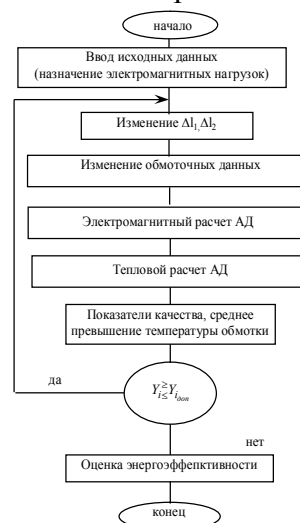


Рис.1. Структурная схема математического моделирования оценки энергоэффективности без изменения геометрии поперечного сечения асинхронных двигателей

Развитие компьютерной техники и вычислительных методов обуславливает широкое применение методов математического моделирования в различных областях, в том числе и электромеханике и дает эффективные средства для изучения электрических машин. Использование данной математической модели позволяет получить асинхронный двигатель без изменения геометрии поперечного сечения с измененной длиной сердечника статора за счет увеличения линейной нагрузки без снижения заданного уровня качества (соблюдаются ограничения по всем показателям качества). Сохранить заданный уровень качества возможно при изменении длины сердечника статора до 15–20%. Также данная математическая модель позволит произвести анализ показателей энергоэффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усачева Т.В. Исследование материалоемкости асинхронных двигателей // XV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии». – 2009. – С. 491–493.
2. Змиева К.А. Применение автоматических компенсаторов реактивной мощности для повышения энергоэффективности управления электроприводом металлообрабатывающих станков // Электротехника. – 2009. – С. 26–31.
3. ГОСТ Р 51689-2000
4. Копылов И.П. Проектирование электрических машин: учебник для бакалавров. – М.: Издательство Юрайт, 2014. -767 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ФТОРПОЛИМЕРНОЙ ОБОЛОЧКИ К ДЕЙСТВИЮ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Хить А.Э., Матери Т.М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Низковольтные кабельные изделия эксплуатируются в условиях, когда оболочка подвергается воздействию агрессивных сред. На производстве и транспорте воздействие жидких углеводородов (дизельное топливо, трансформаторное масло) является для низковольтных кабельных изделий одним из наиболее важных факторов старения. В большой степени срок службы кабельного изделия зависит от способности материала оболочки противостоять действию этих жидкостей.

Наиболее важными физико-химическими процессами при взаимодействии полимеров с агрессивными средами являются:

1. адсорбция компонентов агрессивной среды на поверхности полимера;
2. диффузия агрессивной среды в объем полимера;
3. химические реакции агрессивной среды с химически нестойкими связями полимера;
4. диффузия продуктов реакции к поверхности полимера;
5. десорбция продуктов реакции с поверхности полимера.

Вышеназванные процессы могут вызывать набухание (изменение массы и геометрических размеров), структурные изменения, а также физико-химические свойства (относительное удлинение и прочность при разрыве) полимерных материалов, которые определяют химостойкость кабельных изделий в целом. Набухание представляет собой процесс поглощения, или сорбции низкомолекулярных жидкостей (или их паров) полимером. При набухании молекулы низкомолекулярной жидкости

(или ее пара) проникают между элементами структуры полимера, вызывая межструктурное набухание, или внутрь структур, раздвигая макромолекулы (внутриструктурное набухание), при этом увеличивая его массу, объем и изменяя структуры. Такие изменения структуры и свойств могут как сопровождаться разрушением полимера, так и происходить без нарушения целостности полимерного материала. Результатом этих изменений является старение материала.

Под старением полимеров понимается комплекс химических и физических изменений, приводящих к ухудшению механических свойств и снижению работоспособности изделий из полимеров. В более широком смысле старением может быть названо всякое изменение молекулярной, надмолекулярной или фазовой структуры полимеров и полимерных материалов, приводящее к ухудшению физико-механических свойств в процессе хранения или эксплуатации изделий из полимеров [1].

Стойкость материалов, являющихся сырьем для производства кабельного изделия, к старению определяет срок службы готового изделия. Процесс старения таких вязкоупругих материалов, как полимеров, носит необратимый характер. Скорость старения зависит от чувствительности материала к воздействию агрессивных факторов. Результатом физико-химических процессов является ухудшение механических свойств материала. Поэтому для оценки надежности готового кабельного изделия проводится анализ изменения характеристик материала, подверженного воздействию агрессивной среды.

Среди материалов, имеющих повышенную химическую стойкость, имеют место фторопласты.

Фторопласты являются фторсодержащими полимерами, на основе которых разработана широкая гамма пластмасс, обладающих рядом весьма полезных свойств. Этот вид полимерных материалов имеет чрезвычайно высокую устойчивость к воздействию химических сред, обладают неплохими прочностными, отличными антифрикционными, диэлектрическими и антиадгезионными параметрами и имеют способность не терять эти свойства в большом температурном диапазоне. Некоторые плавкие фторопласты обладают избирательной растворимостью в органических апротонных растворителях, что дает возможность, расширить методы переработки полимеров, получая пленки, покрытия, лакокраски, волокна из раствора. Покрытия из фторопластов большой толщины применяют для изоляции коаксиальных кабелей, используемых в радиолокационных и телевизионных установках, и для изоляции проводов в условиях высоких напряжений и температур. Также фторопласты широко используют в медицине и технике для изготовления пьезо- и пьезоэлектриков, электропроводящих материалов, материалов с высокой диэлектрической проницаемостью, резисторов для сверхбольших интегральных схем, оптических волокон.

В качестве объекта исследования был выбран кабель марки OLFLEX HEAT 260 MC 3Gx0,75. В качестве материала, как для изоляции, так и для наружной оболочки, для производства исследуемого кабельного изделия используют политетрафторэтилен (фторопласт-4). В виде сырья ПТФЭ представляет собой рыхлый волокнистый порошок, легко комкующийся и при прессовании при пониженных температурах дающий плотные и прочные таблетки. ПТФЭ обладает уникальной химической стойкостью к большинству агрессивных сред. Это связано с высокой прочностью связи «углерод-фтор», которая является наибольшей из всех известных в органической химии связей углерода с элементами. ПТФЭ можно эксплуатировать в агрессивных средах при температурах от -269 до +260°C, причем верхний предел определяется не потерей

стойкости к агрессивным средам, а снижением физико-механических свойств. При температуре выше 300°C фторопласт-4 набухает в некоторых веществах, что объясняется заполнением пор, всегда имеющихся в образцах полимера. Однако, ПТФЭ не выдерживает лишь воздействие расплавленных и растворенных щелочных металлов, трехфтористого хлора, газообразного фтора при 150°C и выше или при повышенном давлении. [2]

Для исследования оболочки, выполненной из фторопласта-4, согласно [3], образцы выполнены в форме трубочек, поскольку размеры оболочки не позволяют использовать общепринятую форму двусторонней лопатки. Образцы с внешними механическими повреждениями в проведении испытания не участвуют. Все внутренние конструктивные элементы при этом удаляются. Число испытываемых образцов равно пяти, если иное количество не нормируется в условиях, указанных в нормативной документации на конкретное кабельное изделие.

Методика проведения старения, согласно [4], заключается в погружении образцов в эксикаторы с углеводородными жидкостями при температуре окружающей среды. Далее образцы выдерживаются в течение установленного времени. Значение времени устанавливается в стандарте или технических условиях на конкретное кабельное изделие, в противном случае, выбираются промежутки времени, в течение которых происходит изменение физико-механических характеристик, а также наблюдается сорбция. В качестве временных точек выбраны следующие значения: 0, 24, 50, 75, 100, 300, 500, 800 и 1000 часов. После выдержки образцы извлекаются из агрессивной среды, удаляются излишки жидкостей. Затем образцы выдерживаются на воздухе при температуре окружающей среды не менее чем на 16 ч и не более чем на 24 ч, если иное время не установлено в стандарте или технических условиях на конкретное кабельное изделие, для максимального удаления остатков жидкости.

Результаты испытаний физико-механических характеристик для фторопласта, старение которого проводилось в дизельном топливе и трансформаторном масле, говорят о химической стойкости полимерного материала при воздействии агрессивной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анкудинова И.А. Химия: Учебное пособие [Электронный ресурс] http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/538/38538/16316?p_page=6
2. Паншин Ю. А., Малкевич С. Г., Дунаевская Ц. С. Фторопласты. - Л.: Химия, 1978. - 229 с.
3. ГОСТ ИЕС 60811-1-1-2011. Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических и оптических кабелей. Измерение толщины и наружных размеров. Методы определения механических свойств.
4. ГОСТ ИЕС 60811-2-1-2011. Общие методы испытаний материалов изоляции и оболочек электрических и оптических кабелей. Часть 2-1. Специальные методы испытаний эластомерных композиций. Испытания на озоностойкость, тепловую деформацию и маслостойкость.

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Санников И. В., Размыслов В.А.

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,
г. Комсомольск-на-Амуре

Энергосбережение является важнейшим фактором развития человечества на современном этапе. Средняя по данным международного энергетического агентства энергоемкость производимой в России продукции в 11 раз выше, чем в Германии, в 6 раз выше, чем в Канаде. Это свидетельствует об особой актуальности проблемы энергосбережения в России. Около 40% всей производимой электроэнергии потребляется асинхронными двигателями, поэтому разработка энергоэффективных асинхронных двигателей (АД) и асинхронного электропривода в целом важнейшая из проблем энергосбережения.

Технические требования к АД, в том числе и показатели энергоэффективности должны формироваться на балансе интересов трех сторон: производителя, потребителя и общества в целом. Предприятия-производители в состоянии выпускать двигатели с повышенными техническими показателями, но это связано с увеличением материальных и трудовых затрат и, в конечном счете, цены двигателя. Потребители заинтересованы в приемлемом уровне потребительских свойств при минимальной цене двигателя и минимальных затратах на его эксплуатацию.

Общие интересы человечества связаны с безопасностью эксплуатации двигателей, охраной окружающей среды и сбережением энергетических ресурсов. Противоречия между производителем и потребителем разрешаются на основе рыночных отношений. Напрямую в этом компромиссе глобальные интересы человечества не учитываются. Общественные интересы должны учитываться через государственные и международные стандарты. От установленных в стандартах показателей энергоэффективности непосредственно зависят ресурсосбережение и воздействие на окружающую среду.

В России показатели энергоэффективности трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором общего назначения установлены отечественным стандартом ГОСТ Р51677-2000 [1]. В этом стандарте абсолютно правильно к показателям энергоэффективности отнесены коэффициент полезного действия (КПД) и коэффициент мощности. Согласно указанному стандарту АД подразделяются на две группы. Первая - двигатели с нормальным КПД, КПД которых соответствуют уровню АД серии АИ. Вторая - двигатели с повышенным КПД (энергосберегающие двигатели), у которых потери мощности не менее чем на 20% меньше чем у двигателей с нормальным КПД той же мощности и частоты вращения. Коэффициент мощности тех и других АД ограничивается снизу одинаковыми значениями. Минимальный допустимый КПД энергосберегающего двигателя рекомендуется определять по формуле:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{\eta}{100 - e(100 - \eta)} \cdot 100 ,$$

где η – КПД двигателей с нормальным КПД, %; $e = 0.2$ – относительное снижение суммарных потерь в двигателе.

Однако принятая в этом стандарте оценка энергоэффективности только по КПД является односторонней, недооценивает влияние коэффициента мощности ($\cos \varphi$) на энергосбережение. Известно, что чем выше коэффициент мощности, тем меньшую реактивную мощность потребляет АД. В тоже время, генерация и передача реактивной

мощности сопровождается потерями активной мощности в системе электроснабжения. Для этого требуются и капитальные, и эксплуатационные затраты.

Известно, что все элементы системы электроснабжения (трансформаторы, коммутационные и защитные аппараты, линии электропередач) выбираются по полной расчетной мощности, которая обратно пропорциональна энергетическому произведению электроприемников $\eta \cdot \cos \varphi$. Таким образом, на стоимость передачи и распределения электроэнергии КПД и коэффициент мощности влияют одинаково. Конечно, оценивать энергоэффективность по произведению $\eta \cdot \cos \varphi$ не совсем правильно, так как расход первичной энергии (топлива) на генерацию реактивной энергии мал, и вызван, в основном, потерями активной мощности, связанными с генерацией и передачей реактивной мощности.

Поэтому наиболее обоснованно энергоэффективность может быть оценена по стоимостному показателю энергоэффективности, который можно назвать стоимостным коэффициентом полезного использования энергии:

$$\eta_c = \frac{\eta}{1 + k_c \cdot \operatorname{tg} \varphi},$$

где η – КПД двигателя в номинальном режиме; k_c – относительная стоимость реактивной энергии:

$$k_c = \frac{C_p}{C_a};$$

C_a – цена активной электроэнергии, руб/кВт·ч; C_p – цена реактивной электроэнергии, руб/квар·ч; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}.$$

На практике расчеты η_c затруднены тем, что энергоснабжающие организации обычно не устанавливают цену реактивной электроэнергии, а устанавливают специальные режимы потребления реактивной мощности. Более простым для практических целей следует признать оценку по приведенному КПД, учитывающему потери активной электроэнергии как в двигателе, так и дополнительные ее потери в электрических сетях, вызванные потреблением реактивной мощности. При работе в номинальном режиме приведенный КПД рассчитывается по формуле:

$$\eta_n = \frac{\eta}{1 + k_z \cdot \operatorname{tg} \varphi},$$

где k_z – коэффициент увеличения потерь активной мощности, учитывающий потери на генерирование и передачу реактивной мощности.

Согласно [2] значения k_z следует применять от 0,1 кВт/квар в часы минимума нагрузки до 0,15 кВт/квар в часы максимума нагрузки энергосистемы. По статистике электродвигатели часто работают с недогрузкой. Коэффициент загрузки АД общепромышленного назначения колеблется в пределах от 0,3 до 0,7. По данным [3] усредненные значения коэффициента загрузки АД равны 0,4; 0,42 и 0,45 – для двигателей мощностью до 3; 3 – 45 и 45 – 100 кВт, соответственно. С учетом фактической загрузки в [3] предлагается оценивать энергоэффективность АД по приведенному КПД, определяемому по формуле:

$$\eta_n = \frac{\eta_z}{1 + k_z \cdot (\operatorname{tg} \varphi_z - \operatorname{tg} \varphi_0)},$$

где $\operatorname{tg} \varphi_z = \operatorname{tg}(\arccos \varphi_z)$; η_z и $\cos \varphi_z$ – КПД и коэффициент мощности при среднем значении коэффициента загрузки; $\operatorname{tg} \varphi_0 = \operatorname{tg}(\arccos \varphi_0)$; $\cos \varphi_0$ – нейтральный

коэффициент мощности, при котором потребитель не платит штрафа и не получает премии.

В [3] принимается $k_{\Sigma} = 0,11$ кВт/квар, $\cos\varphi_0 = 0,9$.

В Российском стандарте ГОСТ Р 51677-2000 нижний предел КПД выше, а нижний предел коэффициента мощности ниже уровня достигнутого АД серии 4А [3]. Благодаря более высоким значениям коэффициента мощности АД серии 4А по приведенному КПД в номинальном режиме находятся на одинаковом уровне с энергосберегающими двигателями по ГОСТ Р 51677- 2000 даже при значении $k_{\Sigma} = 0,115$, меньшем среднего значения $k_{\Sigma} = 0,125$.

Приведенные выше обстоятельства убеждают в необходимости оценивать энергоэффективность асинхронных двигателей, а также и других электроприемников переменного тока, не только по КПД самого двигателя, но и с учетом затрат на выработку и передачу реактивной мощности. Таким комплексным показателем энергоэффективности может быть приведенный КПД η_{Σ} в номинальном режиме, например, при $k_{\Sigma} = 0,12$. Этот показатель будет стимулировать производителей асинхронных двигателей к повышению как КПД, так и коэффициента мощности двигателя. Кроме того, учитывая, что в среднем двигатели работают при неполной нагрузке, следует указывать в паспортных данных КПД и коэффициент мощности и при 100% - ной, и при 75%-ной нагрузке. В конечном счете, это будет способствовать к снижению потерь электроэнергии не только в АД, но и во всей системе электроснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51677-2000. Машины электрические асинхронные мощностью от 1 до 400 кВт включительно. Двигатели. Показатели энергоэффективности. – Введ. 2001-07-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2001. – 4 с.
2. Копытов, К. В. Экономия электроэнергии в промышленности / К. В. Копытов, В. Д. Чуланов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 112 с.
3. Асинхронные двигатели общего назначения / Е. П. Бойко, Ю. В. Гаинцев, Ю. М. Ковалев и др. – М.: Энергия, 1980. – 488 с.
4. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ АППАРАТ УПРАВЛЕНИЯ АСИНОХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ ПУСКАТЕЛЯ ПТ

Кулаков И.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

На сегодняшний день асинхронные двигатели используются практически во всех производственных сферах. Они применяются в виде насосов, дробилок, станков, шаровых мельниц и т.д. Их широкое применение объясняется рядом преимуществ по сравнению с другими электрическими машинами. Например, простой обслуживания, высокой надежностью, работой от переменного напряжения сети. Для пуска двигателя используют тиристорный пускатель. Они обладают высокой надежностью при повышенной частоте коммутации, долговечностью. Дают значительное снижение эксплуатационных расходов по сравнению с контактной аппаратурой. Реверсивные

пускатели обеспечивают реверс (изменение направления вращения) двигателя путем бесконтактного переключения фаз с заданным токоограничением. Целесообразно использовать тиристорный пускатель в следующих целях:

- При длительном пуске.
- При пуске, создающим значительную нагрузку на сеть.
- При плавном пуске.
- При большом количестве включений привода в час.

Актуальность данной работы заключается в том, что свыше 60% вырабатываемой электроэнергии потребляется электродвигателями, большее количество которых управляется с помощью тиристорного пускателя

Широкое применение двигателей, а, следовательно, и аппаратов для их пуска, ставит определенные задачи при проектировании тиристорного пускателя. Основными задачами являются уменьшение габаритов, веса, повышение надежности и долговечности устройств.

Целью данной работы является проектирование быстродействующего аппарата управления асинхронным двигателем на основе пускателя ПТ на заданные номинальные параметры. При проектировании данного аппарата необходимо рассмотреть наиболее подходящие варианты схем тиристорных пускателей и выбрать такую, которая будет наиболее полно удовлетворять техническому заданию. Под изменением пускателя подразумевается разработка нового электрического аппарата, рассчитанного на технические параметры в соответствии с техническим заданием выпускной квалификационной работы.

В результате проделанной работы был спроектирован быстродействующий реверсивный тиристорный пускатель с защитой от перегрузок. В данном пускателе невелики тепловые потери, что подтверждает целесообразность использования выбранных компонентов. Расчёты надёжности показали, что тиристорный пускатель серии ПТ имеет высокую работоспособность.

Для пускателей, работающих на промышленной сети, обычно используются низкочастотные тиристоры. Параметры тиристоров выбираются по максимальному амплитудному значению напряжения на закрытом тиристоре.

В ходе проведенных расчетов были выбраны тиристор Т 142-63 и охладитель ОР 241-80 [4] (рис.1).

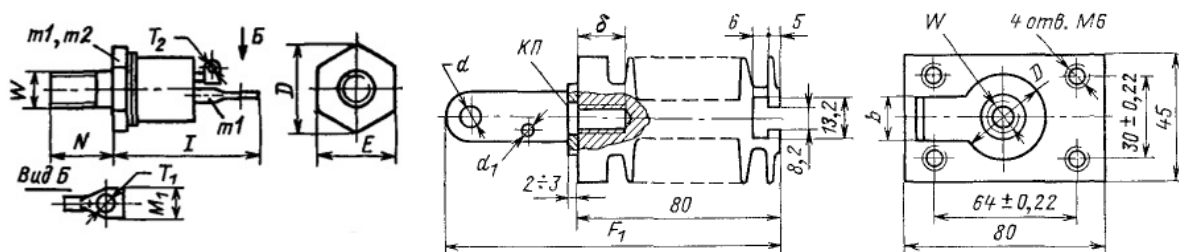


Рис. 1. Тиристор Т 142-63 и охладитель ОР 241-80

В дальнейшем были выбраны диод [5] (рис. 2) и резистор [6] (рис.3) для цепи управления.

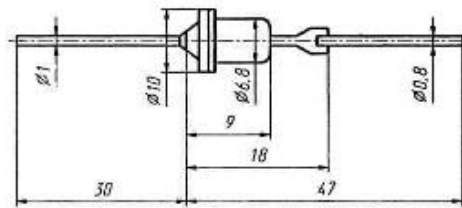


Рис. 2. Диод 2Д207А

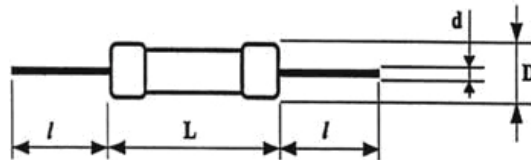


Рис. 3. Резистор С2-23

Далее производится выбор реле [7] (рис. 4).

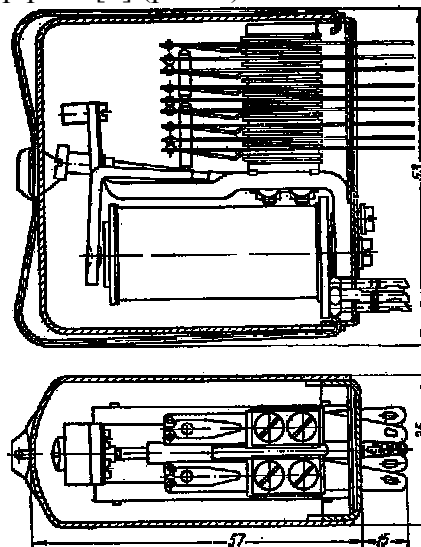


Рис. 4. Реле РС452

По мощности реле и току срабатывания ($I_{cp} = 0,87$ мА) выбран трансформатор ТПП [8, с.230] на броневом сердечнике ШЛ 10х12.5, с параметрами (рис. 5):

$a = 6$ мм; $H = 47$ мм;
 $c = 12$ мм; $c' = 36$ мм;
 $h = 30$ мм; $B = 12,5$ мм.

Допустимый ток вторичных обмоток $I = 0,14$ А, что обеспечивает работу реле.

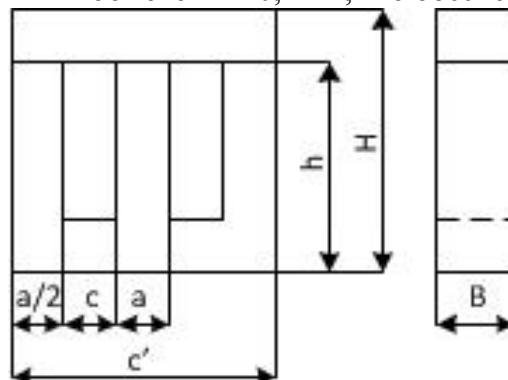


Рис. 5. Конструкция трансформатора

Так как выходные параметры трансформатора (U и I) берутся, как и у реле, то по ним подбираем диод и конденсатор.

Выбираем диод Д9Е [5] с параметрами (рис. 6):

$U_{обр.мах} = 50$ В – максимальное обратное напряжение;

$I_{выпр.мах} = 20$ мА – средний прямой ток;

$U_{пад} = 0,5$ В – среднее прямое напряжение;

$I_{обр} = 0,1$ мА – средний обратный ток;

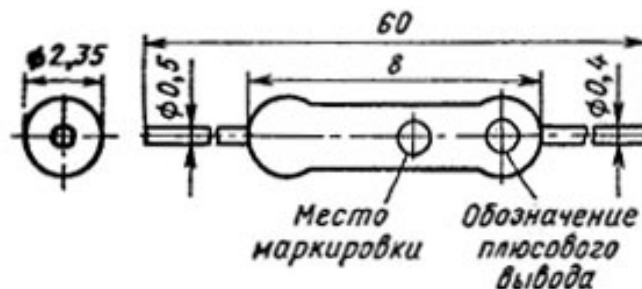


Рис. 6. Диод Д9Е

В результате спроектирован быстродействующий реверсивный тиристорный пускатель с защитой от перегрузок. В данном пускателе невелики тепловые потери, что подтверждает целесообразность использования выбранных компонентов. Расчёты надёжности показали, что тиристорный пускатель серии ПТ имеет высокую работоспособность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дшхунян В. Л., Шаньгин В.Ф. Бесконтактные электронные идентификаторы. – М.: АСТ, 2014. – 695 с.
2. Лукинов А.П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учебное пособие / А.П. Лукинов – СПб: Лань, 2012. – 606 с.
3. Овчинников И.Е. Электромеханические и мехатронные системы. – М.: Корона-Век, 2013. – 397 с.
4. Чебовский О.Г. и др. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник/ О.Г. Чебовский, Л.Г. Моисеев, Р.П. Недошивин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 400 с: ил.
5. Полупроводниковые приборы: Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник/А.В. Баюков, А. Б. Гитцевич, Зайцев и др.; под общ. Ред. Н.Н. Горюнова. 3-е изд., перераб – М.: Энергоатомиздат, 1987. - 744 с: ил.
6. Резисторы: (справочник) О.Н. Андреев, А.И. Антонян, Д.М. Иванов и др.; Под ред. И.И. Четверткова. - М.: Энергоиздат, 1981. - 352 с: ил.
7. Игловский И.Г., Владимиров Г.В. Слаботочные электрические реле: Справочник. - М.: КубК-а, 1996. - 560 с: ил.
8. Сидоров И.Н. и др. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник/И.Н. Сидоров, В.В. Мукосеев, А.А. Христинин. - М.: Радио и связь, 1985. - 416 с: ил.
9. Полупроводниковые приборы: Транзисторы. Справочник/В.Л. Аронов, А.В. Баюков, А.А. Зайцев и др. Под общ.Ред.Н.И.Горюнова - 2-е изд., перераб. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 904 с: ил.

MODELING AND ANALYSIS OF GRID CONNECTED PMSG WIND TURBINE FOR STEADY STATE AND TRANSIENT BEHAVIOR OF IN DIFFERENT FAULT TIME

Aref M., Oboskalov V.P.¹

Ural Federal University

¹Ural Branch of the Russian Academy of Science

Abstract. This paper is aimed at investigating the steady state analysis of the grid connected PMSG wind turbine in fixed and variable speed using MATLAB/SIMULINK. The case studied is Zafarana, Egypt. The transient analysis was investigated of the grid connected PMSG wind turbine during three-phase-to-ground fault at terminal of grid in different time of fault and islanding mode. PMSG wind turbine is based on low-voltage ride-through (LVRT). The time required for recovering pre-fault values of voltage and current less than 0.1 sec. LVRT is used to protect PMSG wind turbine from high fault current as well as compensated PMSG voltage using loaded PMSG by converter and capacitor as STATCOM. The current protection device must be used at the connection point of grid bus to switch off the fault current.

Keywords: steady state, fixed and variable speed, transient analysis, PMSG and LVRT

1. Introduction:

Clean and renewable electricity generation is main target of the world using different sources while wind energy conversion has been rapidly deployed worldwide. Although the availability of well-designed wind turbines are operated in variable speed which could reach as high as 98% with the cost of maintenance is high [1]. The permanent magnet synchronous generator (PMSG) is used in wind energy applications because of its simple winding structure, ease of control, and the ease of realization of multi-pole machines for low-speed applications [2]. The low-voltage ride-through (LVRT) standards emphasize the need to keep a wind power generator connected to the grid and to improve the voltage profile during low-voltage transients [3]. Zafarana is the one place in Egypt which has high speed wind. Zafarana hosting capacity is 425 MW of grid connected wind power. Zafarana site has features such as a high wind potential of average 10 m/s at 40 m/s [4].

This paper was investigating the steady state analysis of the grid connected PMSG wind turbine in fixed and variable speed using MATLAB/SIMULINK, the case studied is Zafarana, Egypt. The transient analysis was investigated of the grid connected PMSG wind turbine during three-phase-to-ground fault at terminal of grid in different fault time and islanding mode as well as estimate current protection for the system. PMSG wind turbine is based on low-voltage ride-through (LVRT).

2. Modeling of PMSG Wind Power System

Wind turbine model: The mechanical power that a wind turbine extracts from the wind is:

$$P_s = \frac{1}{2} \rho A_r v^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (1)$$

where ρ is the air density; A_r is the area swept by the blades; v is the wind speed; R radius of rotor and C_p is the power coefficient, which is determined by $\lambda = \omega_t R / v$ and the blade pitch angle β which is always constant during maximum power point tracking (MPPT) control, where ω_t is the turbine rotating speed [5].

PMSG modeling. The PMSG is modeled by below equations using Park transformation. These equations are based on stator current and voltages as well as the electrical active and reactive power delivered by the stator as follows [6]-[8]:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\omega_b} \frac{d\psi_{ds}}{dt} &= v_{d1} + R_s i_{ds} + \omega_e \psi_{qs} & \psi_{ds} &= -L_{ds} i_{ds} - \psi_m & P_s &= v_{d1} i_{ds} + v_{q1} i_{qs} & 2H \frac{d\omega_e(t)}{dt} &= T_{mech} - T_{elec} \\ \frac{1}{\omega_b} \frac{d\psi_{qs}}{dt} &= v_{q1} + R_s i_{qs} - \omega_e \psi_{ds} & \psi_{qs} &= -L_{qs} i_{qs} & Q_s &= v_{d1} i_{qs} - v_{q1} i_{ds} \end{aligned} \quad (2)$$

where R is the resistance, ω_e is the stator electrical angular speed, ω_b is the base angular speed in rad/s, L_s is the stator leakage inductance, ψ_m is the exciter flux of the PMSG, and ψ is the flux linkage. The subscripts d and q indicate the direct and quadrature axis components, respectively. The subscripts s indicates stator quantities. H = the inertia constant, T_{mech} = the mechanical torque of generator and T_{elec} = the electrical torque of generator.

3. System description:

Figure 1 shows PMSG wind turbine connected to grid. The wind turbine of 1.6 MVA, 575 V is connected to the electric grid. The wind turbine includes a power station transformer, rated to 0.575/25 kV. The short circuit power of connection point of the grid is 25kV, 2500 MVA.

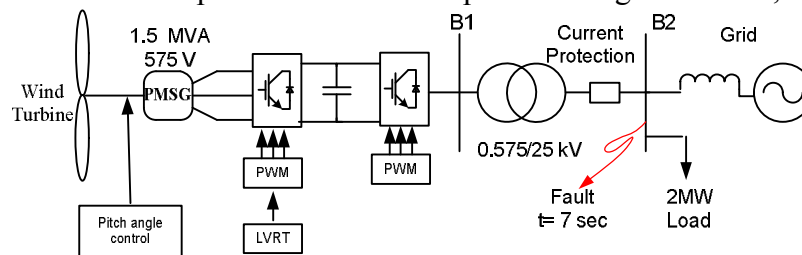


Fig. 1. PMSG wind turbine connected to grid

4. Simulation studies:

In the simulation studies, the steady state analysis was investigated in fixed and variable wind speed as well as the transient analysis in different time fault 140 msec, 1 sec and islanding mode was investigated.

A. The steady state behavior:

Fixed speed: The circuit shown in Fig. 1 was simulated in fixed wind speed, 12 m/sec which is the maximum value wind speed in Zafarana. The generator speed, voltage, grid power, turbine power and load power values as given in Table 1.

Table 1. The generator speed, voltage, grid power, turbine power and load power

The speed (p.u)	The voltage (p.u)	The grid power (kW)	The wind turbine power (kW)	The load power (kW)
1.06	0.85	-85	-1330	1415

Variable speed: The circuit shown in Fig. 1 was simulated in variable wind speed which is the wind speed during the day in Zafarana. Fig. 2 shows the temporal variation of the generator speed, grid power and turbine power. As shown in Fig. 2, the wind turbine power was changed between -1200 kW and -180 kW (minus means generated power) while the grid power was changed between 30 kW and 1400 kW during the day. Generator speed was changed between 0.7 p.u and 1.0 p.u.

B. Three- phase- to- ground fault:

A three-phase-to-ground fault is applied to the connection point at bus B2 between the wind turbine and the grid at $t = 7$ sec for duration of 140 msec, 1 sec and islanding mode, in Fig. 1. Fig. 3 shows the temporal variation of the generator speed, grid power and turbine power of time fault 140 msec. Fig. 4 shows the temporal variation of the generator speed, grid power and turbine power of time fault of 1sec.

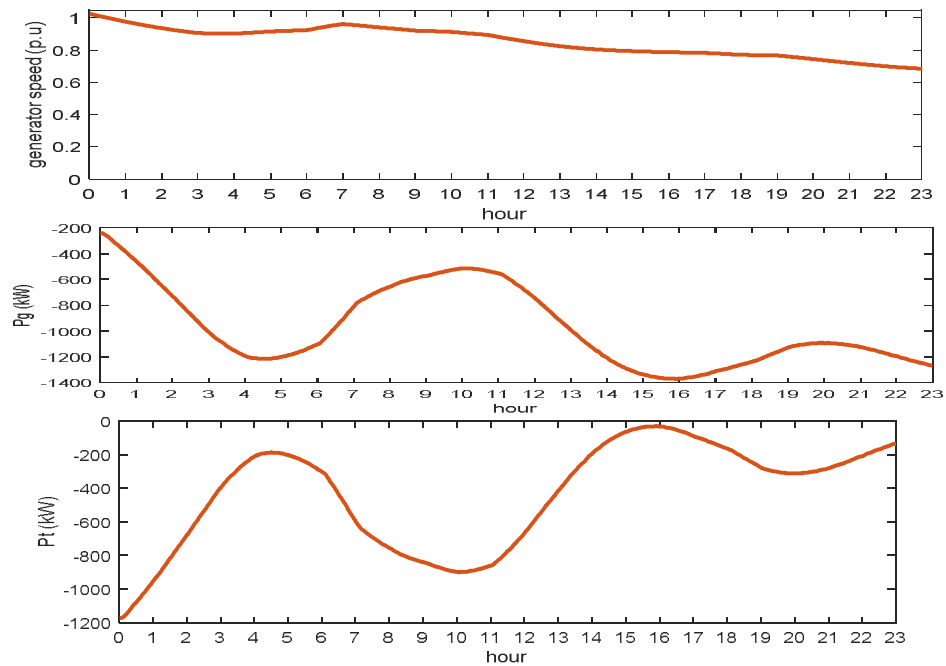


Fig. 2. Temporal variation of the generator speed, grid power and turbine power

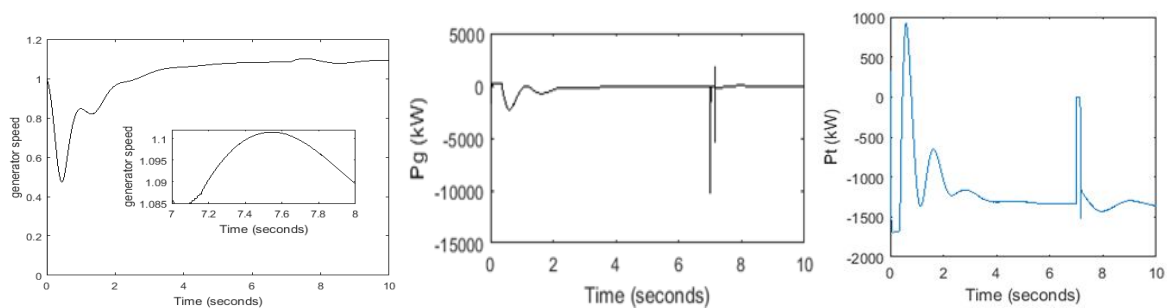


Fig. 3. Temporal variation of the generator speed, grid power and turbine power of time fault 140 msec

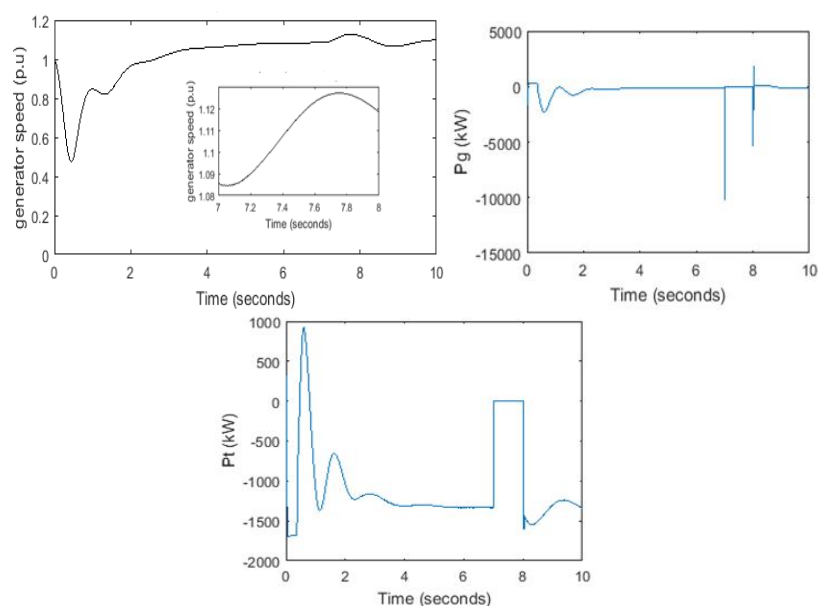


Fig. 4. Temporal variation of the generator speed, grid power and turbine power of time fault 1 sec

As shown in Figs. 3 and 4, the generator speed is oscillated to 1.1 p.u during small time then it recovered pre-fault value due to LVRT work to compensate the PMSG voltage. The grid power is oscillated to -10000 kW where grid feeds the fault current to 2000 A. The wind turbine power reached to zero and recovered pre-fault value when fault cleaned. Table 2 shows voltage and current during the fault and time required recovering pre-fault values. From Table 2, the voltages and currents recovered the pre-fault values within small time less than 0.1 sec except wind turbine within 1 sec.

Table 2. Voltage and grid current (I_g), load current (I_l) and turbine current (I_t) during the fault and time required to recover pre-fault values

The time of fault	pre-fault value				During the fault				Pre-fault recovery after fault			
	Voltage (V)	Current (A)			Voltage (V)	Current (A)			Time to recovery voltage value (sec)	Time to recovery current value (sec)		
		I_g	I_l	I_t		I_g	I_l	I_t		I_g	I_l	I_t
140 msec	20	8.5	48	46	0	2000	0	58	0.08	0.1	0.1	1
1 sec	20	8.5	48	46	0	2000	0	58	0.02	0.12	0.09	1
Islanding mode	20	8.5	48	46	0	2000	0	58				

5. Conclusion:

- 1) The steady state analysis of the grid connected PMSG wind turbine in fixed and variable speed using MATLAB/SIMULINK, the case studied is Zafarana, Egypt.
- 2) The transient analysis was investigated of the grid connected PMSG wind turbine during three-phase-to-ground fault at terminal of grid in different time of fault and islanding mode. PMSG wind turbine is based on low-voltage ride-through (LVRT).
- 3) The time required for recovering pre-fault values of voltage and current less than 0.1 sec. LVRT is used to protect PMSG wind turbine from high fault current as well as compensated PMSG voltage using loaded PMSG by converter and capacitor as STATCOM. The current protection device must be used at the connection point of grid bus to switch off the fault current.

REFERENCES

1. Xiaohang Jin, Wei Qiao, Yayu Peng, Fangzhou Cheng and Liyan Qu (2016), "Quantitative Evaluation of Wind Turbine Faults Under Variable Operational Conditions", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 52 (3), pp. 2061 – 2069, 2016.
2. J. Yang, J.E. Fletcher and J. O'Reilly (2011), "Permanent Magnet Synchronous Generator Based Wind Power Generation System Fault Protection Schemes", Renewable Power Generation (RPG 2011), IET Conference, pp. 1 – 5, 2011.
3. Yu Zou and Jiangbiao He (2016), "Comprehensive modeling, simulation and experimental validation of Permanent Magnet Synchronous generator wind power system", 2016 IEEE/IAS 52nd Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS), pp. 1 – 9, 2016.
4. M. M. A. Mahfouz, A. M. Amin and Erhab B. Youssef (2011), "Improvement The Integration Of Zafarana Wind Farm Connected To Egyptian Unified Power Grid", Universities' Power Engineering Conf. (UPEC), Proceedings of 2011 46th International, pp.1-6, 2011.
5. Chun Wei, Zhe Zhang, Wei Qiao and Liyan Qu (2016), "An Adaptive Network-Based Reinforcement Learning Method For MPPT Control Of PMSG Wind Energy Conversion Systems", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 31(11), pp. 7837 – 7848, 2016.

6. Hamid Shariatpanah, Roohollah Fadaeinedjad and Masood Rashidinejad (2013), "A New Model For PMSG-Based Wind Turbine With Yaw Control", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 28 (4) , pp. 929 – 937, 2013.
7. Hong-Woo Kima, Sung-Soo Kimb and Hee-Sang Koa (2010), "Modeling and control of PMSG-based variable-speed wind turbine", Electric Power Systems Research, Vol. 80, pp. 46–52, 2010.
8. Whei-Min Lin, Chih-Ming Hong , Ting-Chia Ou and Tai-Ming Chiu (2011), " Hybrid intelligent control of PMSG wind generation system using pitch angle control with RBFN", Energy Conversion and Management, Vol. 52, pp.1244–1251, 2011.

MODELLING AND SIMULATION MPPT OF PV SYSTEM WITH THREE-PHASE THREE-LEVEL CONVERTER

Ahmed I., Aref M., Oboskalov V.P.¹

Ural Federal University

¹Ural Branch of the Russian Academy of Science

Abstract. This paper is aimed at investigating MPPT of PV system controlled by PWM which is generated by comparing sinusoidal wave with variable frequency saw tooth wave. Perturb and Observe (P&O) method is used in PV system for the MPPT control. Also, (NPC) three-level converter with filter is designed to produce output voltage with minimum Total Harmonic Distortion (THD) and high efficiency, then we make look up table by record the voltage values that obtain MPP in the different irradiance conditions.

1. Introduction

The penetration level of photovoltaic (PV) generated energy into the grid system was increased in worldwide. This increased penetration level offers unique challenges to systems operators. Improving reliability so as to reduce replacement cost during the life of the system is one of significant challenges [1]. Usually PV plant consists of 3 main parts: large number of PV modules which are combined together to feed inverters. The inverters then are connected to low frequency transformer (medium voltage electric grid) [2].

Converters are main part in any PV system in order to integrate with AC loads or electric grid [3]. Nowadays multilevel converters are widely used and recommended for medium and high voltage applications due to reduced switching losses, low harmonic distortion, high voltage capability and good dynamic response [4]. In general there are six main common multilevel converter topologies. Neutral point Clamped converter (NPC), cascaded H-bridge , Y-connected Hybrid Cascaded, Capacitor Clamped, Z-source and quasi Z-source.

With the variation of radiation incident on the PV array surface over the time due to climatic conditions, the output power also varies producing several power-voltage curves for several irradiation levels. The problem with MPPT is to automatically adjust voltage or current at which a PV array should operate in order to generate the maximum power output for given irradiation and temperature [5].

This paper is aimed at investigating MPPT of PV system controlled by PWM which is generated by comparing sinusoidal function with variable frequency saw tooth function. Perturb and Observe (P&O) method is used in PV system for the MPPT control. Also, (NPC) three-level converter with filter is designed to produce output voltage with minimum Total Harmonic Distortion (THD) and high efficiency.

2- Modelling of PV system:

Photovoltaic Cell (PV): Photovoltaic Cell is mainly a p-n junction with P-type silicon at the bottom and diffused thin layer of n-type on the top. PV cells produce current when photons incident on its surface. Ideal solar cell is represented by current source and diode connected in parallel (Fig.1), in case of non-ideal diode representation a shunt resistance and series resistance are added to the ideal model (Fig.2) [6].

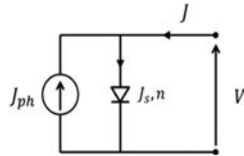


Fig. 1. Ideal solar cell

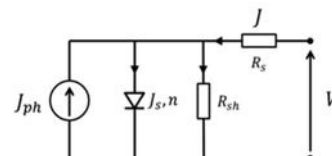


Fig. 2. Non-ideal solar cell

Three-level Neutral point Clamped converter (NPC): The number of levels of a converter is the number of steps in the voltage of the output terminals with respect to any arbitrary internal reference point. Three level NPC characterized by obtaining the lowest THD (36.22%) and very high efficiency (98.93) in comparing with other multilevel converters topologies mentioned before [7]. Fig.3 shows the structure of three-level NPC single phase converter and the connection states, here we have for each phase two commutation cells (S1-S1c) and (S2-S2c) and two clamped diodes (D_u and D_d), the clamping point is between those two diodes, point which is connected to the ground. The clamping diodes equalize the voltage stress across transistor. On positive load voltage and positive current in conduction will be S1, S2 and if the current is negative the anti-parallel diodes of S1 and S2 will be in conduction. On zero voltage and positive current D_u, S2 will drive the flow and if the current is negative D_d, S1c. on negative voltage, for a positive current anti-parallel diodes of S2c and S1c will be in conduction, respectively for a negative current S1c and S2c transistors will be on [8].

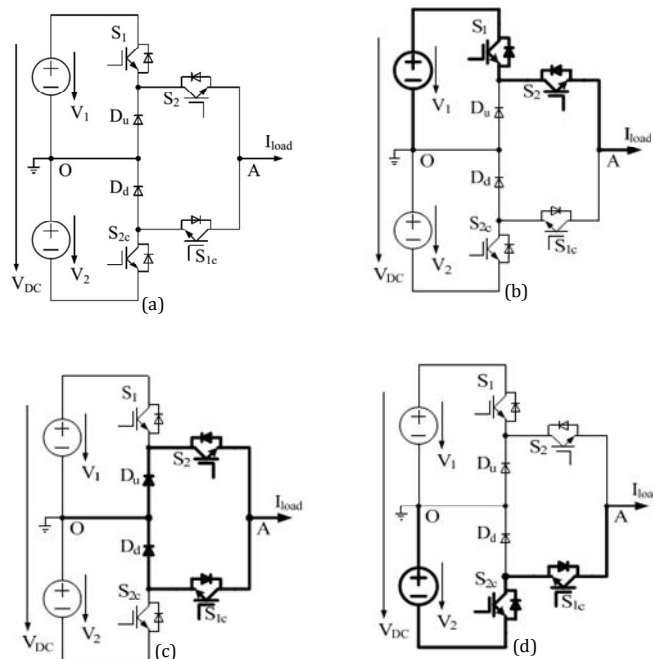


Fig. 3. (a) Neutral point clamped topology NPC condition states; (b) Positive load voltage; (c) Zero load voltage and (d) Negative load voltage

Maximum Power Point Tracking (MPPT):

In this model we use Perturb-and-Observe (P&O), this method works by calculating the current output power for step ($P(k)$) for the current values of voltage ($V_{ph}(k)$) and current ($I_{ph}(k)$), then compare it with the previous output power values ($P(k-1)$). In case of power increases, change the voltage in the same direction as the previous change. Otherwise, change the voltage in the opposite direction of the previous one [6].

3- System Description:

Fig.4 shows Block diagram of PV system. As shown in Fig.4 PV array, each module peak power is rated 250 W at 35 V and 5 A connected to three-phase three-level converter controlled using PWM of MPPT control. Three-phase load is connected to three-level converter throwing filter.

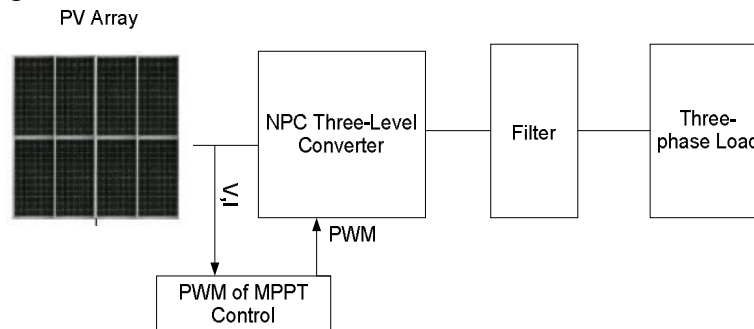


Fig. 4. Block diagram of PV system

Simulation Results: System shown in Fig.8 been simulated by Matlab Simulink to simulate controlled three-level converter NPC gate switching using variable modulation indices with carrier signal sampling frequency 100 KHz and reference signal frequency 50Hz. with irradiation of 1000 w/m2 and temperature of 25 degree c. Fig.5 Showing the output dc voltage with increasing the modulation index of the SPWM for the three-level NPC. Fig.6 shows the output waveforms of the converter before and after the filter.

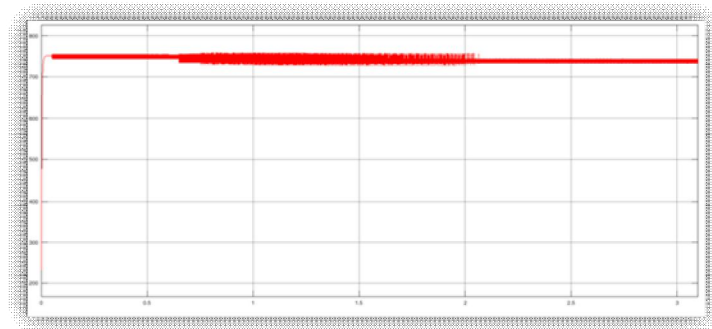


Fig. 5. Output voltage(dc)

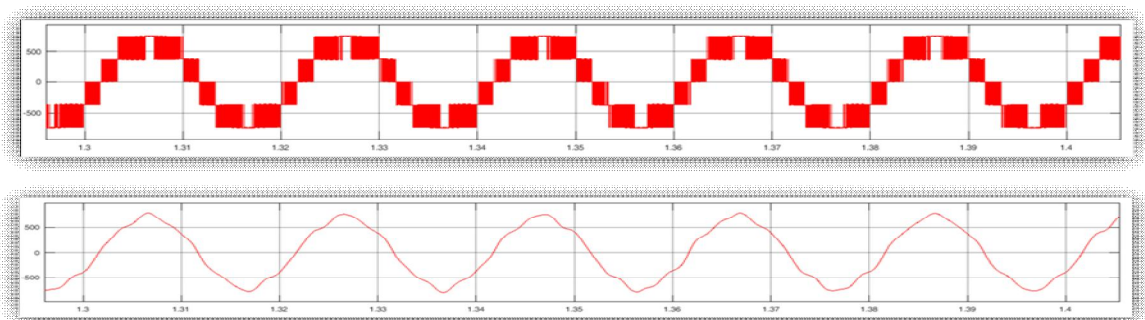


Fig. 6. Voltage waveforms after and before the filter

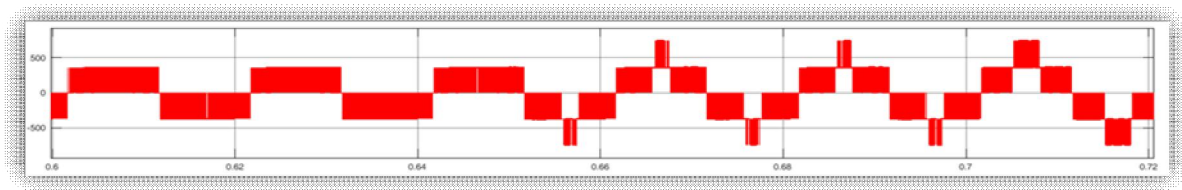


Fig. 7. Voltage output for low and high modulation indices

Results show that for low amplitude modulation indices, a multilevel inverter will not make use of all of its levels; Fig.7 shows that for very low modulation indices three-level converter operates as if it is traditional two-level converter.

Fig.8 shows the proportional relation between output voltage (rms) value after the filter and the output power of the solar panel while increasing the modulation index of the SPWM controlled by MPPT.

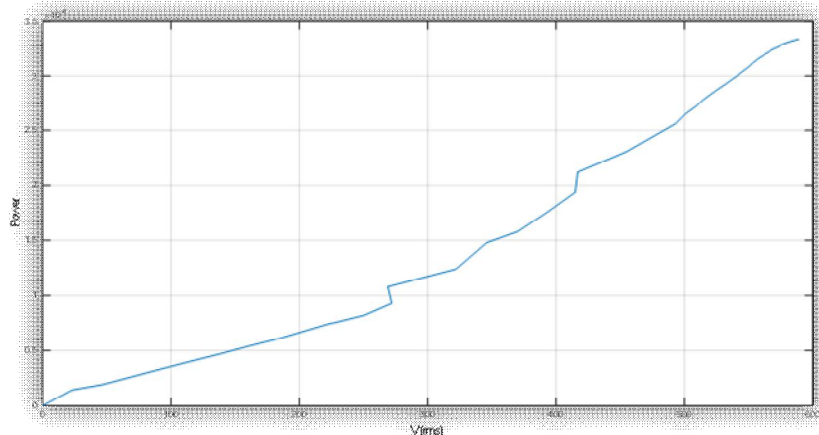


Fig. 8. Output voltage(rms) and Power

4- Conclusion:

Configuration of MPPT control with multilevel converter gate signals is one of the most effective ways to optimise PV systems with high performance. Avoiding low amplitude modulation indices to make the best use of three-level converter utilities. Finally we record look up table for the values of optimum voltage that achieve the maximum power for each irradiance value.

REFERENCE

1. Muoka, Md. Enamul Haque, Ameen Gargoom, and Michael Negnevitsky (2015), "DSP-Based Hands-On Laboratory Experiments for Photovoltaic Power Systems", IEEE Transactions On Education, Vol. 58, No. 1, pp. 39-47, February 2015.
2. A. Zabihinejad, P. Viarouge (2014), "Design of Direct Power Controller for a High Power Neutral Point Clamped Converter using Real time Simulator" World Academy of Science, Engineering and Technology, Energy and Power Engineering, Vol. 1(1), pp. 187, 2014.
3. Rodriguez, J., Bernet, S., Steimer and P.K., Lizama, I.E., 'A Survey on Neutral-Point-Clamped Inverters', IEEE Trans. on Ind. Elec., Vol.57, No.7, pp. 2219–2230 (2010).
4. Abbes M, Behadi J, Ben Abdelghani Bennai A. (2014), "Design and Control of a direct drive wind turbine equipped with multilevel converters". Renewable energy, Vol. 35(5), pp.936-45, 2014.

5. C. Protogeropoulos, B. J. Brinkworth, R. H. Marshall, B. M. Cross "Evaluation Of Two Theoretical Models In Simulating The Performance Of Amorphous – Silicon Solar Cells," 10th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 8-12 April 1991 Lisbon, Portugal
6. Mazen Abdel-Salam, Adel Ahmed, Mahmoud Amery, Mohamed Swify, Ahmed El-kousy, Khairy Sayed (2011), " Design and Implementation of Stand-alone Residential PV System ", 2011 IEEE Jordan Conference on Applied Electrical Engineering and Computing Technologies (AEECT), pp. 1-5, 2011.
7. A. Delavari, I. Kamwa, A. Zabihinejad, "A Comparative Study of Different Multilevel Converter Topologies for High Power Photovoltaic Applications". 7thPower Electronics, Drive Systems &Technologies Conference (PEDSTC 2016), Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, Feb. 2016.
8. Muhammad H. Rashid, "Power Electronics Handbook", Academic Press, 2001.

STEADY-STATE AND DYNAMIC PERFORMANCE OF LARGE SCALE FIXED-SPEED WIND FARMS CONNECTED TO AN ELECTRIC GRID AS INFLUENCED BY GRID STRENGTH

Aref M., Oboskalov V.P.¹
Ural Federal University

¹Ural Branch of the Russian Academy of Science

Abstract - The analysis of the reactive power management of a wind farm consisting of fixed speed wind turbines is carried out. The rating calculation of the compensator for a fixed speed wind farm is evaluated, and the effect of the grid strength on the compensator rating is studied. Since induction generators have a problem as they draw very large reactive power currents during fault condition, reactive power compensation can be provided to mitigate this problem. The dynamic behavior of the example distribution system, during an external three-phase fault in different locations is investigated. The study is carried out by three-phase, nonlinear, dynamic simulation of distribution system component models. The simulation analysis of distributed system with wind farm is performed using MATLAB/SIMULINK.

Keywords: Wind energy; Fixed speed wind turbine; Induction generator; Short circuit ratio (SCR); STATCOM.

1. Introduction

Wind turbine technology has undergone a dramatic transformation during the last 15 years, developing from a fringe science in the 1970s to the wind turbines of the 2000s utilizing the latest technology in power electronics, aerodynamics and mechanical drive train designs. Induction generators are more attractive than synchronous generators for wind turbines due to their robust construction, low cost, low maintenance, long life (more than 50 years) and low power to weight ratio [1]. However, the reactive power management is a major concern, not only to compensate for the reactive power requirements of the wind generator itself but also to support the system voltage in particular for wind farms based on fixed speed induction generators.

In the past, there was no requirement by the grid code for a wind farm to remain connected to the grid during a fault or a voltage disturbance. The protection of the wind farms has mainly been focused on turbine protection without considering the impact it might have on the power system. This implies that the wind turbine is disconnected from the grid as soon as a violation of voltage or frequency operating limits is exceeded. However, increasing wind power penetration means that wind power plants have to behave

more like conventional power plants and hence have to take over many of the control tasks that hold the power system stable. The requirements for the connection of wind farms to electrical network are defined by the new connection code [2]. The suitability of a 60 MW wind farm based on fixed speed induction generator with a STATCOM [3, 5] compensator was evaluated [3]. The steady state and dynamic behaviour of the system was studied at different values of SCR with and without a switched capacitor feeding the reactive power requirement of system transmission lines and transformers. The system performance is investigated when subjected to a three-phase to ground fault applied at the point of connection to the grid using the software package MATLAB/SIMULINK.

This paper is aimed at investigating the effect of the short circuit ratio (SCR) on the steady- state and dynamic performance of the same system of reference [3] but the three-phase to ground fault is applied at the wind farm bus. As a check, the three-phase to ground fault applied at the point of connection to the grid is analyzed for comparison against previous calculations [3].

2. Network

There are a number of possible interconnection structures for wind farms and thus it is not possible to cover every type of network configuration, load, and interconnection point of the wind farm. Frequently wind parks are connected to weak systems, as they are typically located far from major load centers and central generation. This reflects itself in the short circuit ratio (SCR) of the interconnection, given by: $SCR = \frac{SCC}{S_{base}}$

where SCC or short circuit capacity is the short circuit power delivered from the grid for a three-phase fault at the wind park: $SCC = \frac{V_{base}^2}{|Z_{line}|}$

where Z_{line} is the impedance of the line connecting the grid with wind farm. For weak systems the SCR will usually be less than 6 [4]. The wind generator system have matched capacities in terms of real and reactive power, whereby reactive power is supplied from the generator itself and from the STATCOM for the fixed speed generators [4].

3. System Under Study

The one line diagram of the test system employed in this study is shown in Fig. 1.

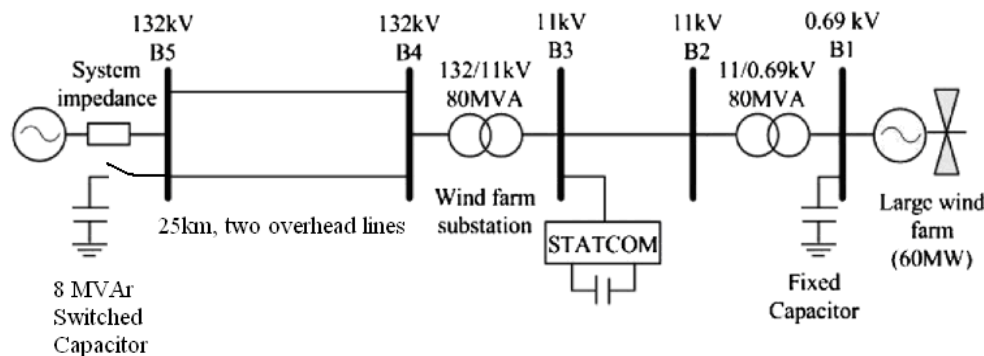


Fig. 1. System model

A 60-MW wind farm consists of 26 fixed speed wind turbines; each wind turbine drives a 2.3 MW, 0.69 kV induction generators. The generator is connected to the 11-kV B2 bus through its own 0.69/11 kV transformer. Bus B2 is connected to the 11 kV B3 bus through a short line (about 0.5 km [5]). In Fig.2, the wind turbine, the induction generator, the 11/0.69

kV transformer and the line between buses B2 and B3 are equivalent elements for the 60 MW wind farm as a whole. A 132/11kV transformer and two 25 km overhead transmission lines connect the wind farm with the grid at bus B5.

Very large reactive currents are drawn by induction generator during fault conditions and hence reactive power compensation is provided. The reactive power required for the wind farm is 30 MVar which is fed by both the fixed capacitor (15 MVar) installed at the terminal of the equivalent generator and the 15 MVA STATCOM located wind turbine induction generator (WTIG) at bus B3. The reactive power required for the transmission lines and transformers is 7.7 MVar which is fed by the grid. This reactive power could be fed also by a switched 8 MVar capacitor with weak grid [3]. Both wind turbine induction generator (WTIG) and STATCOM models used in the present study are phasor ones [3].

Wind turbines use squirrel-cage induction generators. The stator winding is connected directly to the 60 Hz grid and the rotor is driven by a variable-pitch wind turbine. In order to limit the generator output power at its nominal value, the pitch angle is controlled for winds exceeding the nominal speed of 15 m/s. To inject active power to the distribution network, the induction generator (IG) speed must be slightly above the synchronous speed. Speed varies approximately between 1 p.u at no load and 1.007 p.u at full load. Each wind turbine has a protection system monitoring voltage, current and generator speed.

4. Simulation studies

In the simulation studies, the reactive power requirements of the 60 MW wind farm under both steady state and transient conditions were investigated. The strength of the electric grid, to which the wind farm is connected, influences the reactive power requirements. Therefore, different values of the SCR of the wind farm to grid connection are attempted and the steady state and the dynamic behavior of the wind farm are studied. The strength of the electric grid reflects itself on injecting the reactive power required by the 132-kV transmission lines and transformers will no need for the switched capacitor at bus B5.

A. Steady state performance

The circuit shown in Fig. 1 was simulated without considering the 8 MVar switched capacitor bank for different SCR values in the range 2 to 5 at the point of connection to grid (bus B5). This corresponds to SCC values in the range 120 MVA to 300 MVA. The speed, the voltage, the active power and the reactive power of the induction generator at $SCR \geq 4$ assume constant values as given in Table 1.

Table 1. SPEED, VOLTAGE, ACTIVE POWER AND REACTIVE POWER OF THE INDUCTION GENRATOR AT $SCR \geq 4$

The speed (p.u)	The voltage (p.u)	The active power (p.u)	The reactive power (p.u)
1.007	1.05	-0.58	0.3

B. Dynamic performance

A three phase to ground fault is applied at the connection point to grid (bus B5) at $t = 20$ s for a duration of 140ms [3] with different values SCR in the range 2-5. Fig.2 shows the present and previous calculations [3] of the temporal variation of the generator speed as influenced by the value of SCR.

As shown in Fig. 2, the grid cannot feed the reactive power required to the transmission lines and transformers for SCR less than 5 and overspeed of the generator is expected. At $SCR=3$, the present and previous calculated values advice reasonably within $\pm 0.4\%$. The previous calculated speed values exceed the present values at $t \geq 27$ sec. For times less than 27 sec, the present calculated speed values exceed those calculated

previously [3]. At SCR=4, the generator speed is almost constant before fault. Following the fault occurrence, overspeed takes place and the system loses its stability. At SCR= 5, the speed is almost constant before fault. During the fault, the speed increases. However, the speed decreases after fault clearing to recover the pre-fault value.

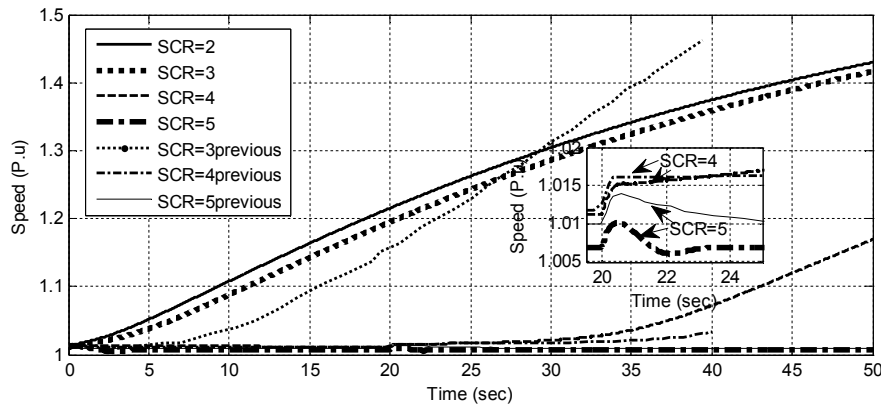


Fig.2. Present and previous [3] calculated temporal variations of generator speed at different SCR values with a 3-phase fault at bus B5

5. Conclusions

(1) The performance of fixed speed wind turbines for large wind farms is investigated. The investigated system is stable for SCR values larger than 5 because the grid can feed the required reactive power during the fault.

(2) The induction machines draw the large reactive power during fault conditions and the generator shows an overspeed for SCR values less than 5. This requires reactive power compensation to recover stability of the network.

(3) For the three-phase fault at the connection point of grid, the time taken for the speed to recover to its pre-fault value is approximately 5 sec against 4 sec for the voltage, the active power and the reactive power to recover to their pre-fault values. These times are compared against 4 sec and 2 sec for the three-phase fault at wind farm bus. The time required for clearing faults at the grid is shorter than that at wind farm bus.

REFERENCES

1. Bhadra SN, Kastha D, Banerjee S. Wind electrical systems. Oxford: Oxford University; 2005.
2. Jauch C, Sorensen P, Bak-Jensen B. International review of grid connection requirements for wind turbines. In: Proceedings of the Nordic wind power conference, Sweden, 2004.
3. H.M.EL-Helw and Sarath B. Tennakoon, "Evaluation of the suitability of a fixed speed wind turbine for large scale wind farms considering the new UK grid code", Renewable Energy 33 (2008) 1-12.
4. C. Abbey, B. Khodabakhchian, F. Zhou, S. Denetiere, Member J. Mahseredjian, and G. Joos, "Transient Modeling and Comparison of Wind Generator Topologies", Presented at the International Conference on Power Systems Transients (IPST'05) in Montreal, Canada on June 19-23, 2005. Paper No. IPST05 – 131.
5. Sidhartha Panda and N.P.Padhy, "Power Electronics Based FACTS Controller for Stability Improvement of a Wind Energy Embedded Distribution System", The International Journal of Electronics, Circuits and Systems, vol. 1, no. 1, pp. 30-37.
6. Krause PC, Wasynczuk O, Sudhoff SD. Analysis of electric machinery and drive systems. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2002.

КРУГЛЫЙ СТОЛ 3. СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ENERGYNET КАК СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ ДО 2035 ГОДА

Саубанов Р.И.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

Согласно докладу заместителя Председателя Правления ПАО «ФСК ЕЭС» Бердникова Р.Н. в федеральной сетевой компании до 66% электрооборудования является устаревшим, работает «на износ» и требует скорейшей замены на современное и более энергоэффективное электрооборудование [1].

Нарастающий износ основных средств требует привлечения новых инвестиций на замещение выбывающих мощностей и строительство новых. При сохранении существующей структуры мощностей и практики их использования новый инвестиционный цикл приведет к росту цены на энергию для потребителей.

Созрели технологии, позволяющие потребителям стать активными субъектами энергетики. Микрогенерация, ВИЭ, накопители энергии, средства регулирования нагрузки, оперативное информирование об изменении цены предоставляют новые возможности, формируют новые модели поведения потребителей. Для учета этих факторов необходимо трансформировать правила и механизмы работы энергетических рынков.

Интеллектуальная энергетика, организованная по модели Интернета (Internet of Energy), — адекватный ответ на вызовы времени, открывающий принципиально новые возможности как для самой сети, так и для конечных потребителей. Именно поэтому сегодня направление создания энергетики будущего на принципах Internet of Energy (ЭнергоNet) стоит на повестке Национальной технологической инициативы, реализуемой как приоритетное направление, обозначенное Президентом России.

Показателями такой энергетики будет считаться:

1. Доступность. ТОП 5 Doing Business.
2. Надежность. На порядок меньшая аварийность.
3. Экономичность. На 30 % меньшая стоимость владения.
4. Эффективность. Сокращение потерь на 30 %.
5. Адаптивность. К любым источникам энергии.
6. Открытость. «Облачные» данные для участников рынка.

Основная идея ЭнергоNet (EnergyNet) — создание нового образа энергосети и энергорынка будущего, отвечающего текущим и перспективным вызовам.

Метафора — Internet of Energy — экосистема производителей и потребителей энергии, которые беспрепятственно интегрируются в общую инфраструктуру и обмениваются энергией. Архитектура EnergyNet рассматривает три ключевых рынка:

Надежные и гибкие сети. Как основа EnergyNet. Создание новых рынков невозможно без создания сетей, отвечающих принципиально иным показателям эффективности с точки зрения надежности, доступности, стоимости владения, открытости и адаптивности к новым участникам рынка.

Распределенная энергетика. Как потенциал развития новых рынков EnergyNet. На принципах интеграции в сеть распределенной генерации, накопителей, микросетей, создания виртуальных электрических станций для снижения пика резерва мощности в системе.

Потребительские сервисы. Как перспектива развития EnergyNet. Новые виды энергетических сервисов, способных заменить функции привычных субъектов энергетического рынка на сетевые программные приложения для конечных потребителей.

В разработку НТИ вовлечены проектные, творческие команды; динамично развивающиеся технологические компании, которые готовы впитывать новые разработки; ведущие университеты; исследовательские центры; крупные деловые объединения страны; институты развития, экспертные и профессиональные сообщества; заинтересованные министерства.

EnergyNet — это базис международного сотрудничества на уровне БРИКС в части формирования единых подходов и стандартов в области создания интеллектуальной энергетики. Основные системные эффекты EnergyNet: модернизация электросетевого комплекса на принципиально новом технологическом уровне, создание открытой платформы для развития распределенной энергетики и клиентских сервисов, а также создание новой архитектуры энергетических рынков в формате БРИКС и развитие пула национальных компаний-лидеров технологических направлений.

Невозможно достоверно предсказать, какие именно технологии победят к 2035 году. Однако с уверенностью можно сказать, что на сегодняшний день по основным направлениям EnergyNet российские инженеры, разработчики, технологические компании обладают достаточным потенциалом, чтобы включиться в глобальную конкуренцию.

В России накоплены компетенции по критическим компонентам EnergyNet с опытом реализации проектов на глобальных рынках.

Необходимо использовать потенциал российских IT-специалистов в области разработки программно-аппаратных комплексов для различных рынков, потенциал российской микроэлектроники, а также электротехнического аппаратостроения, при создании принципиально новых видов оборудования для энергетики нового поколения.

Цель EnergoNet — создание совместного открытого сетевого пространства научно-технологического и рыночного взаимодействия лучших проектных команд России в сфере разработки интеллектуальных решений для энергетики будущего.

В связи со сказанным актуальным представляется необходимость рассмотреть возможные варианты развития создания энергетики будущего на принципах EnergyNet, и произвести экономическую оценку, учитывающую максимальное количество реальных показателей и влияющих факторов.

Для этих целей был произведен SWOT-анализ решения реализации системы EnergyNet. На основе проанализированной информации были выявлены существенные риски проекта и рассмотрены мероприятия по управлению рисками [2].

При любых сценариях будет обеспечено максимально продуктивное использование имеющихся обновлённых технологии, микрогенерации, ВИЭ, накопителей энергии, средств регулирования нагрузки, систем оперативного информирования об изменении цены для формирования условий глобального технологического лидерства компаний РФ. А так же создания совместного открытого сетевого пространства научно-технологического и рыночного взаимодействия лучших проектных команд России в сфере разработки интеллектуальных решений для энергетики будущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.fsk-ees.ru/media/File/press_centre/speeches/Presentation_berdnikov.pdf
2. Ансофф И. Стратегический менеджмент. Классическое издание. — СПб.: Питер, 2009. — 344 с.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Сиушкина А.А.

Екатеринбургский энергетический техникум, г. Екатеринбург

Энергосбережение и энергоэффективность - являются важнейшими приоритетами эффективного развития экономики страны.

Энергосбережение - реализация правовых, организационных, научных мер, направленных на уменьшение потерь энергетических ресурсов, и вовлечение в хозяйственный оборот нетрадиционных источников энергии.

Энергетическое обследование - деятельность по определению класса энергетической эффективности здания, предприятия, продукции, технологического процесса или организации.

Основными целями энергетического обследования являются:

1. получение объективных данных об объеме используемых энергетических ресурсов;
2. определение показателей энергетической эффективности;
3. определение потенциала энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
4. разработка перечня типовых, общедоступных мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и проведение их стоимостной оценки.

Тепловые сети являются одной из важных отраслей хозяйственной деятельности, по ним осуществляется подача жидких или газообразных веществ, для бытовых или производственных нужд. Потери тепловой энергии при этом могут составлять до 60 %.

Для сокращения энергетических потерь в тепловых сетях используются различные конструкции теплоизолированных труб. Можно выделить трубы, при изоляции которых используется минеральная вата, пенополиуретановые или каучуковые скорлупы. Эти способы теплоизоляции обладают свойственными для каждого из них недостатками и преимуществами.

Учет - это первый шаг на пути энергосбережения. Без него бессмысленны все дальнейшие действия. Основные требования к узлам учета сегодня - это невысокая начальная стоимость, низкие эксплуатационные расходы, достоверность измерений. Например, популярные модели вычислителей СПТ, СПГ, СПЕ для тепла, газа и электроэнергии соответственно имеют невысокую стоимость, а также низкие эксплуатационные затраты благодаря длительным межповерочному интервалу (4 года) и гарантийному периоду (5 лет)

После установки приборов учета, особенно если их установлено большое количество, огромное значение имеет создание системы диспетчеризации, которая необходима для решения целого ряда задач: оперативного контроля параметров потребляемых энергоресурсов, формирования отчетности для энергоснабжающих организаций, оперативного контроля работоспособности приборов учета. Современный уровень развития беспроводной связи позволяет сегодня легко строить такие системы с использованием GSM-связи.

После того, как организован учет потребления коммунальных ресурсов, а также мониторинг их потребления, самое время заняться разработкой энергосберегающих мероприятий. Здесь необходим энергоаудит, в рамках которого определяются баланс потребления энергоресурсов, места их сверхнормативных потерь и разрабатываются мероприятия по снижению энергопотерь. Сегодня можно различить следующие основные виды энергоаудита: Муниципального образования, предприятия

(промышленного, жилищно-коммунального), теплоисточника, тепловых и электрических сетей, объектов социальной и жилищной сферы. Разрабатываемые в рамках программы энергосбережения мероприятия подкрепляются расчетами их стоимости, сроков окупаемости и степени инвестиционной привлекательности. Интересным является оценка потенциала энергосбережения и экономической целесообразности установки систем автоматического регулирования теплоснабжения.

После разработки и обоснования эффективной программы энергосбережения, выполняемой в рамках энергоаудита, необходимо ее внедрение. Наиболее распространены мероприятия: повышение КПД генерации тепловой энергии, снижение потерь при транспортировке тепловой энергии, установка систем автоматизации теплоснабжения, утепление фасадов (цоколей, чердаков), устранение избыточной инфильтрации через оконные и дверные конструкции и др.

Установка систем автоматического регулирования теплоснабжения (САРТ) в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) объектов является сегодня одним из наиболее эффективных мероприятий по оптимизации потребления тепловой энергии. На практике экономия тепла, а значит и средств на его оплату, может достигать 60%, а в среднем составляет 30%. В основном экономия достигается за счет точного управления режимами теплоснабжения в зависимости от температуры наружного воздуха с учетом теплотехнических характеристик объекта. Таким образом исключаются перетопы. Кроме того, если объект эксплуатируется в режиме непостоянного использования, то целесообразно снижать уровень теплоснабжения в ночные часы, а также в выходные и праздничные дни.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.elecom-ural.ru/articles/kompleksnoe-reshenie-dlya-energoberezeniya-v-zhilishno-kommunalnom-hozyaystve/>

ПРОБЛЕМА ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ В ТЕПЛОВИЗИОННОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Беляев К.Ю.¹, Строкин Р.А., Герасимовская А.Н., Березина В.П., Карпов Ф.Д.²

Вологодский государственный университет, г. Вологда,

¹ООО «Северный край», г. Вельск, Архангельская область,

²Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

Проблема формирования цен на оказание услуг по проведению тепловизионного обследования зданий и сооружений до сих пор остается до конца нерешенной. На данный момент не существует государственной нормативной методики, по которой можно выполнить расчет стоимости тепловизионной съемки и учесть все влияющие на это факторы. Как правило, цена является результатом обоюдной договоренности между Исполнителем и Заказчиком. Организация с целью определения стоимости работ обычно предлагает Заказчику заполнить заявку, куда входят следующие пункты [1]:

- общая информация о Заказчике (фамилия, имя, отчество физического лица / наименование организации и реквизиты уполномоченного лица, физический / юридический адрес, контактный телефон, факс, электронная почта и т. п.);
- фактический адрес месторасположения объекта тепловизионного обследования;
- тип объекта контроля (строительный элемент, квартира, индивидуальный или многоквартирный жилой дом, общественное или производственное здание, энергетическое оборудование, склад и т. п.);

- количество этажей и общая площадь здания / мощность энергооборудования;
- способ обогрева здания (постоянное или прерывистое отопление) / режим работы энергооборудования;
- дополнительные сведения (при их наличии).

По мнению авторов, стоимость выполнения тепловизионного обследования является многофакторным показателем, и он должен включать в себя не только характеристики самого объекта обследования, но и учитывать стоимость измерительного оборудования (иначе коммерческое предложение не сможет быть рентабельным), качество и количество термограмм, уровень квалификации персонала, сроки проведения работ, транспортные расходы, составление и печать итогового отчета и т. д.

Рассмотрим перечень основных критериев ценообразования в области тепловизионного обследования (по мнению авторов):

- вид услуг по тепловизионной съемке. Работа по тепловизионному обследованию может включать в себя как исследование теплового состояния отдельного элемента здания (фрагмента стены, светопрозрачной конструкции), так и здания в целом. Кроме того, важно знать, от кого идет заявка и с кем будет заключен договор на оказание услуг по тепловизионной съемке: с физическим (жильцом отдельной квартиры, владельцем индивидуального дома) или юридическим (предприятием) лицом. Цена на услуги проведения тепловизионной съемки может зависеть от вида объекта обследования: жилая квартира, индивидуальный жилой дом, многоквартирное жилое здание, сооружение коммунально-бытового назначения, общественно-административный или промышленный объект, склад и т. п.;

- тип и геометрические параметры объекта обследования (этажность, площадь этажа, строительный объем здания) являются важными показателями стоимости услуг. Чем крупнее по габаритам здание, тем больше требуется времени на выполнение тепловизионного мониторинга его отдельных элементов. Время работы аккумулятора тепловизора составляет в среднем 3–4 ч, куда следует включить не только сам процесс тепловизионной съемки, но и время, затрачиваемое на смену или перемещение объектива с одного элемента тепловизионного контроля на другой (например, с оконного ограждения на межпанельный стык, с фасада на торцевую часть здания). Это может вызвать потребность в дополнительных выездах на объект, а, значит, и затратах на транспортные услуги. Обычно Исполнитель формирует базовую стоимость тепловизионного обследования в зависимости от этажности и отапливаемой площади каждого этажа строительного объекта. Итоговая цена является произведением базовой цены на корректирующий многофакторный коэффициент.

Результаты тепловизионного обследования могут быть переданы Заказчику на бумажном и (или) электронном носителях. В первом случае это могут быть термограммы, конвертированные в формат изображений: .jpg, .gif, .tif, .bmp и т. п. Второй вариант предусматривает составление и печать отчета по тепловизионной съемке объекта контроля. В среднем размер отчета составляет 15-25 страниц, а печать – цветная (в ином случае термограммы, приведенные в отчете, теряют свою смысловую нагрузку). Стоимость отчета может широко варьироваться в зависимости от технической сложности его составления (количество термограмм, их анализ, заключение, рекомендации по устранению выявленных тепловых дефектов и т. д.) и может составлять 25–75 % от базовой стоимости тепловизионной съемки. К дополнительным денежным затратам, которые также должны быть включены в итоговую стоимость тепловизионного обследования, следует отнести транспортные расходы, пропорциональные дистанции между офисом Исполнителя (условно) и объектом обследования (кроме того, возможны многократные поездки). Например,

прейскурант цен может выглядеть следующим образом: дистанция до объекта обследования 20 км – 750 руб.; 20–40 км – 1250 руб.; 40–100 км – 3500 руб.

Рассмотрим некоторые действующие нормативы и рекомендации по формированию цен на услуги в области термографирования зданий и сооружений. К примеру, в сборнике расценок на основные виды работ [2] приводятся следующие ценовые показатели: «Термографирование ограждающих конструкций» – 3 руб. за 1 м³ (но не менее 30000 руб.). Ввиду действующей рыночной экономики и, как следствие, колоссальной конкуренции среди коммерческих организаций в области энергетических обследований добиться соблюдения таких показателей крайне сложно. В качестве подтверждения в таблице 1 приводятся актуальные на текущий момент цены на оказание услуг по тепловизионному обследованию одной из организаций.

Таблица 1. Прайс-лист на услуги по тепловизионной съемке (пример)

Наименование услуг	Цена, руб.
Полное (детальное) обследование квартиры, комнаты: - до 50 м ² - от 50 до 100 м ² - свыше 100 м ²	от 3 000 от 5 000 договорная
Полное (детальное) обследование дома, коттеджа: - до 100 м ² - от 100 до 300 м ² - свыше 300 м ²	от 4 000 от 7 000 договорная

В соответствии со сборником цен [3], стоимость работ по обследованию и мониторингу технического состояния зданий, сооружений, конструктивных элементов и инженерного оборудования может быть определена по формуле:

$$C_{\text{то}} = C_{\text{бо(2000)}} k_{\text{ср}} \prod_{i=1}^n k_i k_{\text{пер}}, \text{ руб.}, \quad (1)$$

где $C_{\text{бо(2000)}}$ – базовая цена работ в ценах на 2000 г., руб.; $k_{\text{ср}}$ – коэффициент, учитывающий полноту выполнения работы или комплекса работ (определяется расчетным способом по данным долевого значения отдельных операций в общем объеме работ); $\prod_{i=1}^n k_i$ – произведение корректирующих коэффициентов, учитывающих усложняющие (упрощающие) факторы, влияющие на трудоемкость выполнения работ; $k_{\text{пер}}$ – коэффициент пересчета базовой стоимости в текущий уровень цен (разрабатывается Департаментом экономической политики и развития Москвы).

Рассмотрим методику расчета стоимости проведения тепловизионного обследования на текущий период по формуле (1) на примере многоэтажного жилого здания строительным объемом $V = 6350 \text{ м}^3$, расположенного на территории города Вологды.

Цель работы: техническое заключение по результатам обследования теплозащитных качеств ограждающих конструкций жилого здания с помощью тепловизора.

Наименование и состав работы (операции):

- получение задания. Ознакомление с проектной документацией. Подготовка к проведению работ. Выезд на объект («1»);
- термографирование наружных поверхностей ограждающих конструкций («2»);

- обработка и анализ результатов обследования («3»);
- составление технического заключения (отчета-протокола) («4»).

Согласно таблице 5.8 [3], имеем:

$$\Pi_{\text{бо}(2000)} = \sum_{j=1}^3 \Pi_{\text{бо}(2000),j} \frac{V}{10^3} + \Pi_{\text{бо}(2000),4} = (1,750 + 2,230 + 3,810) \cdot \frac{6350}{1000} + 1,750 \approx 51,2 \text{ тыс. руб.}$$

Будем считать, что комплексная работа ведется по запланированному графику, без отклонений и увеличения объема работ. Тогда имеем значение коэффициента $k_{\text{ср}} = 1,0$.

По таблице 5.9 [3] получаем следующие корректирующие коэффициенты: $k_1 = 1,1$ (выполнение работы в зимнее время года).

На IV квартал 2016 г. к базисному уровню цен 2000 г. в сфере строительства коэффициент пересчета базовой стоимости составляет $k_{\text{пер}} = 3,533$ [4].

Таким образом, итоговая стоимость проведения тепловизионной съемки жилого здания по выражению (1) будет равна:

$$C_{\text{то}} = 51,2 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 3,533 \approx 200 \text{ тыс. руб.}$$

Основная проблема ценообразования заключается в том, что расчетные цены на услуги в области тепловизионного обследования значительно расходятся с реальной (фактической) стоимостью проведения термографирования зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синицын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Основы тепловизионной диагностики теплопотребляющих объектов строительства. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – 156 с.
2. РД-15.01.07. Сборник расценок на основные виды работ, осуществляемых при научно-техническом сопровождении строительства. – Москва: ОАО «КТБ ЖБ», 2007. – 22 с.
3. МРР-3.2.05.04-07. Сборник базовых цен на работы по обследованию и мониторингу технического состояния строительных конструкций и инженерного оборудования зданий и сооружений. – Москва: ГУП «НИАЦ», 2008. – 58 с.
4. Приложение к Приказу от 21 января 2016 г. №МКЭ-ОД/16-1.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

Залялова Г.Р., Зарипова Р.С.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

Применение мембранных датчиков на основе ионоселективных электродов в области производственного контроля позволяет автоматически непрерывно контролировать ионный состав растворов. В настоящее время разработаны K^+ , Na^+ , Li^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} – селективные электроды, базирующиеся на различных ионофорах. Мембранный датчик можно поместить прямо в технологический раствор, где он будет приобретать тот или иной электрический потенциал в зависимости от состава раствора. Так как данные поступают быстро, то их можно использовать для управления регулятором или вводить в вычислительную машину.

Разработана автоматизированная система измерения концентраций ионов щелочных и щелочноземельных металлов. В технологический раствор помещаются шесть мембранных датчиков, селективных к ионам K^+ , Na^+ , Li^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} . В каждом

датчике возникает напряжение, соответствующее данной концентрации, которое подаётся на усилитель. После усиления сигнал поступает на соответствующий канал восьмиканального АЦП, где преобразуется из аналоговой формы в цифровой код. Затем информация об ионном составе раствора в цифровом виде попадает на шину данных ПЭВМ. Блок питания необходим для запитывания всех усилителей и АЦП.

К аппаратуре сопряжения мембранного датчика с ПЭВМ предъявляются следующие требования:

- сопряжение датчика по входным сопротивлениям;
- обеспечение необходимой точности измерения;
- автоматизация и повышение скорости измерения.

Для сопряжения мембранного датчика с ПЭВМ необходимо усилить напряжение, получаемое с датчика. Известно, что он представляет собой высокоомный датчик и его выходное сопротивление составляет порядка 1 МОм. Следовательно, на его выходе необходимо поставить повторитель напряжения, который используется как согласующий каскад. Он обеспечивает получение минимального выходного и максимального входного сопротивления. После повторителя в цепи необходимо поставить усилитель напряжения. Так как возможен дрейф выходного сигнала, то для усиления напряжения используется усилитель типа МДМ. Недостатки усилителя типа МДМ заключаются в малом коэффициенте усиления по напряжению и малом выходном напряжении. Они могут быть устранены при использовании дополнительного усилителя напряжения. Напряжение после усилителя поступает на АЦП. АЦП служит для преобразования аналогового напряжения в цифровой код. Так как для измерения концентрации ионов металлов используются шесть мембранных датчиков, то необходимо выбрать восьмиканальный АЦП, для включения которого требуется двухполярный источник питания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляева Л.Р., Зарипова Р.С., Петрушенко Ю.Я., Попов Е.А. Мониторинг переменной ионной концентрации в водной среде с помощью информационно-измерительной системы на основе мембранного датчика // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2011. – №1-2. – С. 119-126.
2. Зарипова Р.С. Быстродействующий метод контроля концентрации ионов металлов в водной среде на базе мембранного датчика // Автореферат дис. канд.техн.наук. – Казань, 2007 г. – 16 с.
3. Никитенко А.В. О повышении эффективности водоподготовки и энергосбережении на ТЭС // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. – №5(61). – С. 12-15.
4. Семёнова И.В., Воронова А.М. Современное направление в реконструкции цехов хим- и водоподготовки на атомных электростанциях на примере Курской АЭС // Энергосбережение и водоподготовка. – 2006. – №1(39). – С. 23-24.

МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ПОСРЕДСТВОМ ВЫБОРА ПРАВИЛЬНОГО ТАРИФА

Чеботарёв А.Д.

Казанский государственный энергетический университет, г.Казань

Одной из наиболее весомых составляющих себестоимости любой продукции, на сегодняшний день является оплата электроэнергии (таблица 1). Ввиду этого каждое предприятие стремится минимизировать затраты на эту составляющую. Этого можно добиться, правильно выбрав необходимый тариф, при существующих объемах выпуска продукции. Для различных групп потребителей существует множество способов оплаты электроэнергии. Наиболее крупным предприятиям целесообразно рассмотреть выход на оптовый рынок электроэнергии и мощности (ОРЭМ). Менее крупным потребителям следует рассматривать выбор одной из 6 ценовых категорий на розничном рынке электроэнергии и мощности (РРЭМ). Поскольку процесс ценообразования является сложной процедурой, следует разобраться со всеми его составляющими (тарифы на электроэнергию и мощность на оптовом рынке; плата за услуги по передаче электроэнергии и мощности; содержанию электросетей и оборудования; сбытовая надбавка гарантирующего поставщика).

Таблица 1. Доля затрат на электроэнергию в себестоимости готовой продукции

	Год 2011/2013
Промышленность (без электроэнергетики)	7,5% / 7,5%
Черная металлургия	7,0% / 6,1%
Цветная металлургия	11,4% / 9,0%
Химия и нефтехимия	6,8% / 12,1%
Машиностроение и металлообработка	4,3% / 3,7%
Стройматериалы	8,3% / 7,4%
Легкая	4,5% / 5,7%
Пищевая	1,5%

Однако, для различных потребителей свойственны разнообразные графики потребления электроэнергии и мощности, а, следовательно, каждой группе потребителей стоит заранее определиться по какой ценовой категории выгоднее рассчитываться с энергосбытовой компанией. К каждой ценовой категории предъявляются особые требования (таблица 2). Для наиболее мелких потребителей доступны для выбора все ценовые категории (ЦК). Для потребителей мощностью от 670 кВт выбор ограничен лишь 3-6 ЦК. Конкретный выбор той или иной ценовой категории необходимо делать исходя из аналитических данных потребления электроэнергии каждого предприятия, индивидуально, с учетом его особенностей и режима работы. Так же следует учитывать те требования, которые предъявляются к потребителю электроэнергии при выборе той или иной ценовой категории, например, требования к средствам учета электроэнергии, к максимальной мощности

энергопринимающих устройств. Существуют так же так называемые 1 и 2 ценовые зоны и неценовые зоны, для которых тарифы на электроэнергию являются регулируемые государством.

Таблица 2. Ценовые категории и требования к потребителям

Ценовая категория	Требования и ограничения		
	Обязанность потребителя планировать потребление	Требования к системе учёта электроэнергии	Ограничения
I	нет	Интегральный (в целом за расчетный период)	Только для потребителей с максимальной мощностью ЭП устройств менее 670 кВт, кроме ГН* и ФСК*
II		Зонный и почасовой	
III		Почасовой	кроме ГН* и ФСК*
IV			Всем, без исключения
V	кроме ГН* и ФСК*		
VI	Всем, без исключения		
	Потребитель обязан планировать потребление на сутки вперед		

*ГН – потребители, подключенные непосредственно к шинам генераторного напряжения.

*ФСК – потребители, получающие питание непосредственно от сетей ФСК ЕЭС.

Порядок расчёта стоимости электроэнергии по каждой ценовой категории индивидуален. Так, например, для 1 и 2 ценовой категории тарифы являются одноставочными, то есть он устанавливается для каждого кВт*ч передаваемой энергии и включает в себя все затраты на транспорт электроэнергии. Для 3 и 5 ценовых категорий плата за электроэнергию взимается каждый час по разной цене, именно поэтому необходим почасовой учет электроэнергии. Тариф на передачу в них учитывается как одноставочный. Отличие 5 категории от 3 заключается в том, что потребителю необходимо заранее планировать свое энергопотребление на сутки вперед и оплачивать отклонения от заданного плана. Для 4 и 6 категорий электроэнергия так же оплачивается по часам и отдельно взимается плата за мощность, однако оплата передачи осуществляется по двухставочному тарифу, то есть производится оплата за содержание сетей и ставка за потери в сетях. В 6 ценовой категории потребитель обязан аналогично пятой планировать своё потребление заранее. В 4 и 6 ценовых категориях стоимость мощности включает часть, оплачиваемую на оптовый рынок и передаваемую. В этих ценовых категориях стоимость транспорта электроэнергии включается как в стоимость электроэнергии, так и в стоимость мощности, путем добавления в расчеты передаваемой мощности. Отсюда следует заметить, что цена на

электроэнергию для 4 и 6 ценовых категорий значительно ниже, чем для 3 и 5 соответственно.

Таким образом для достижения наиболее низких затрат на электроэнергию желательно отдавать предпочтение на заключение договоров по 5 и 6 ценовым категориям. Но в данном случае необходимо наиболее точно планировать своё потребление электроэнергии. Несмотря даже на идеальное планирование, возможны непредвиденные обстоятельства, при которых будет иметь место отклонения от плана. Поэтому следует предпринять меры, способствующие компенсации как недопотребления, так и перепотребления. Имеет место рассмотрение установки аккумуляторных батарей в ситуации с недопотреблением, однако в связи с дороговизной и затратами на обслуживание данный вариант не видится целесообразным. Поэтому предлагается использование газопоршневых установок (далее ГПУ) на предприятии, при их наличии. При относительно небольших отклонениях можно изменять соотношение внутреннего плана для предприятия и плана для энергосбытовой компании (внутренний план у предприятия заведомо выше плана для энергосбытовой компании). В таком случае мы можем снизить риски недопотребления по причине выхода из строя производственного оборудования. При приближении к порогу включается в работу ГПУ. Если, наоборот, будет перепотребление, мы можем перейти на питание с газопоршневых установок. Проанализировав расход топлива в данных установках, можно сделать вывод, что при относительно небольших отклонениях, возможно добиться экономии, относительного того если бы осуществлялась оплата по 3/4 ценовой категории или плата за отклонение от плана.

Так для крупных потребителей следует рассмотреть выход на ОРЭМ для получения еще большей выгоды. Но прежде следует оценить выгоду от перехода на оптовый рынок, с соблюдением всех необходимых требований.

Для снижения издержек себестоимости продукции предприятию следует составить план мероприятий по энергосбережению и строго придерживаться его. Поскольку выбор тарифа производится 1 раз в год и переход между ними ограничен, к его выбору следует подходить ответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.energo-consultant.ru/>
2. <http://en-mart.com/>
3. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 "О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии" (вместе с "Основными положениями функционирования розничных рынков электрической энергии", "Правилами полного и (или) частичного ограничения режима потребления электрической энергии"). М.: Консультант Плюс, 2013. 268 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАСЯЩИХ КАТУШЕК ПРОИЗВОДСТВА RITZ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСА

Федченко Т.П.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

В электроэнергетике феррорезонансные явления характеризуются длительными перенапряжениями и токовыми перегрузками обмоток трансформаторов напряжения (ТН), что обусловлено насыщением магнитопроводов. Такие явления характеризуются длительными перенапряжениями и токовыми перегрузками обмоток ТН, что обусловлено насыщением магнитопроводов. Так как ТН не рассчитаны на длительную работу в режиме сильного насыщения, то происходит их повреждение. Возникающие при этом перенапряжения также опасны для измерительного оборудования и средств защиты силового оборудования.

При определённых условиях в заземляемых ТН, установленных в сетях с изолированной нейтралью, может возникнуть феррорезонанс.

Выделяют следующие причины возникновения феррорезонанса в сетях 6-35 кВ:

1. однофазные дуговые замыкания (ОДЗ);
2. отключение металлических замыканий на землю (ОЗЗ);
3. повреждения ТН, при возникновении неполнофазных режимов;
4. явление «ложной земли».

Традиционно для предотвращения феррорезонанса в сетях 6-35 кВ применяется подключение дополнительного сопротивления величиной 25 Ом во вторичную обмотку ТН, соединённую в разомкнутый треугольник. Эта мера не является достаточно эффективной [1].

Существенно повысить эффективность дополнительного «балластного» сопротивления, подключаемого во вторичную обмотку ТН позволяет применение насыщающихся катушек индуктивности. Такие устройства, в частности, производятся компанией Ritz (Германия). Для предотвращения возникновения феррорезонанса в сетях 10-36 кВ предлагается использовать «гасящее устройство» DE 6 [2]. Металлический корпус устройства содержит гасящую индуктивность и группу резисторов.

Целью данной работы является исследование эффективности применения катушек Ritz для защиты ТН от повреждений из-за феррорезонанса. Был поставлен ряд задач:

- Создание математической модели сети с изолированной нейтралью и ТН, оснащённых катушкой Ritz;
- Создание математической модели сети с изолированной нейтралью и ТН, дополнительным сопротивлением 25 Ом;
- Создание математической модели сети с изолированной нейтралью и ТН, без дополнительных технических мер.

Принцип действия катушек Ritz основан на физике феррорезонансных процессов в сетях 6-35 кВ. В этих сетях феррорезонанс возникает исключительно на субгармониках (на частотах 10-25 Гц). На частоте 50 Гц катушка Ritz потребляет порядка 5 А, но на субгармониках, в частности на частоте 25 Гц, магнитный поток в катушке увеличивается в два раза и происходит её насыщение. Ток, потребляемый катушкой возрастает до 80-100 А и активные потери в ней достигают 1-2 кВт. Это существенно выше, чем активные потери на демпфирующем сопротивлении 25 Ом (не более 400 Вт) и приводит к более эффективному подавлению феррорезонансных колебаний.

Для исследования антирезонансных свойств ТН, оснащённых катушками Ritz была составлена математическая модель сети с изолированной нейтралью и ТН (рис.1 а и б).

Параметры катушки Ritz были оценены путём математического моделирования, на основании данных с сайта производителя [2]: активное сечение стали магнитопровода – 4 кв.см; средняя длина силовой линии – 0,5 м; число витков обмотки – 600; активное сопротивление обмотки постоянному току – 1 Ом. При таких параметрах на частоте 50 Гц катушка рассеивает мощность 40 Вт, на частоте 25 Гц величина рассеиваемой мощности возрастает до 2,9 кВт.

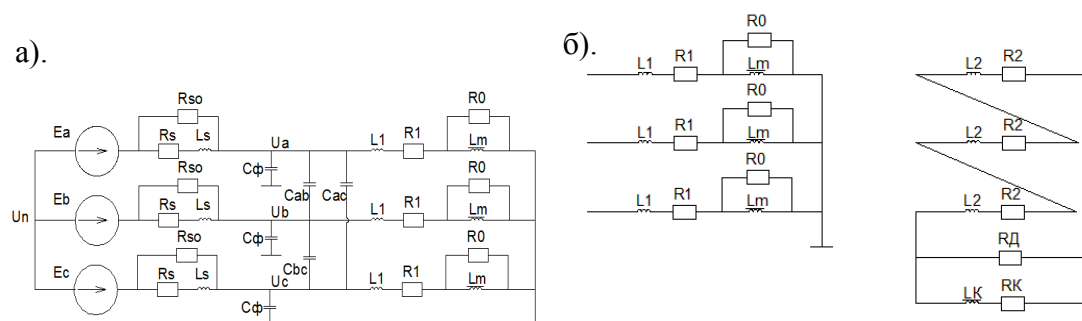


Рис. 1. а). Схема сети без вторичной обмотки, б). Схема замещения со вторичной обмоткой

Далее представлены осциллограммы затухающего резонанса в ТН типа ЗНОЛ.

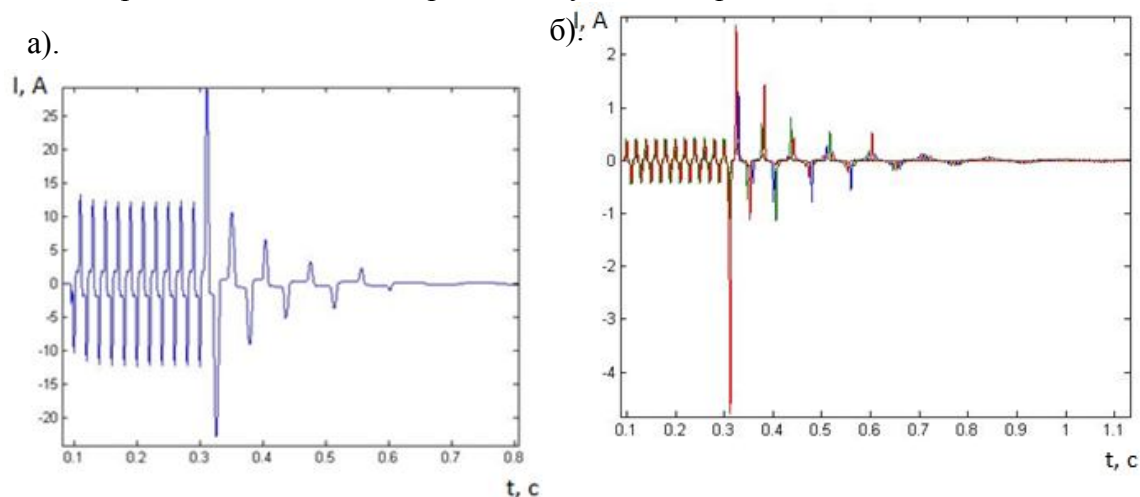


Рис. 2. а). Осциллограмма тока во вторичной цепи, б). Осциллограмма тока в трансформаторе напряжения

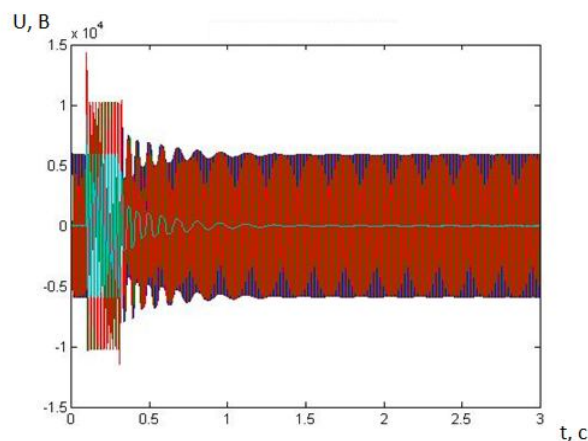


Рис. 3. Осциллограмма напряжения на трансформаторе напряжения

Далее представлены осциллограммы устойчивого резонанса в ТН типа ЗНОЛ, показывающие, когда катушка Ritz не справляется со своей работой.

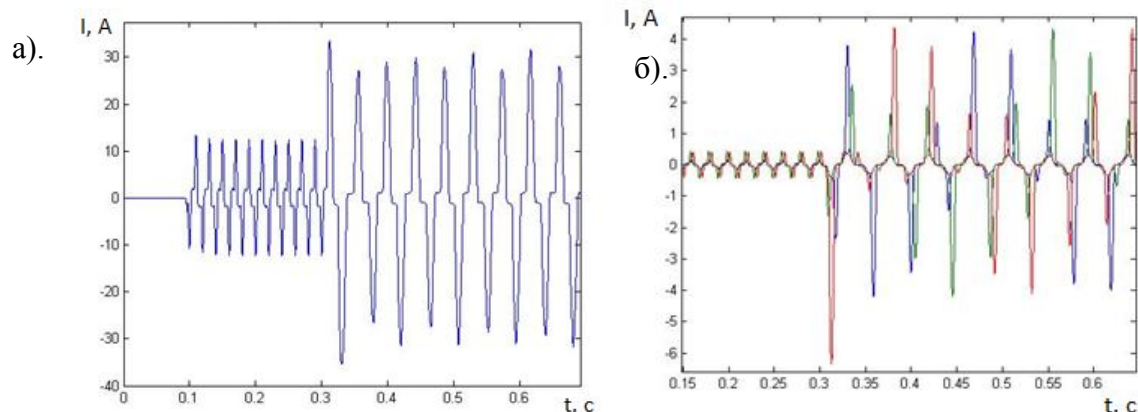


Рис. 4. а). Осциллограмма тока во вторичной цепи, б). Осциллограмма тока в трансформаторе напряжения

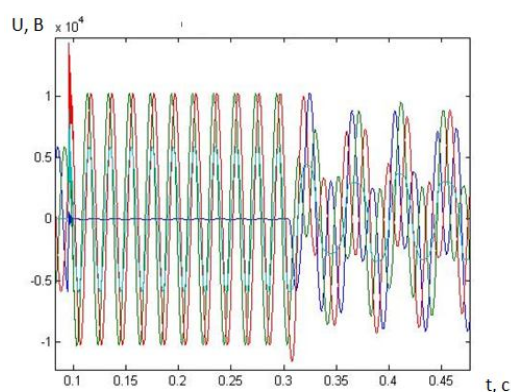


Рис. 5. Осциллограмма напряжения на трансформаторе напряжения

Для сравнения эффективности гасящего устройства DE-6 с другими техническими мерами предотвращения феррорезонанса, выполнялось компьютерное моделирование ТН типа ЗНОЛ-6, оснащенных дополнительным сопротивлением 25 Ом и без дополнительных технических мер для выявления областей устойчивого феррорезонанса (рис. 6).

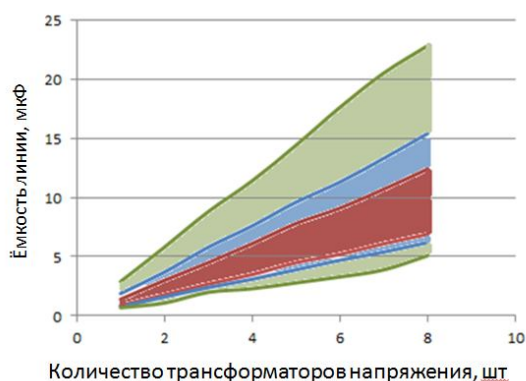


Рис. 6. Область феррорезонанса

- - без каких-либо технических мер
- -с $R_d = 25 \text{ Ом}$
- -с DE-6

Были получены области существования феррорезонанса при ОДЗ(однофазного дугового замыкания) и отключении ОЗЗ для ТН типа ЗНОЛ-6, оснащённых катушкой Ritz, дополнительным сопротивлением 25 Ом, и без дополнительных технических мер. Без мер диапазон ёмкостей фазы сети, при которых возможен устойчивый феррорезонанс в сети с восемью ТН, составляет 5...23 мкФ. Применение резистора 25 Ом в треугольнике, сокращает эту область до 6...15 мкФ. При оснащении ТН катушкой Ritz область устойчивого феррорезонанса ещё сократится, до диапазона ёмкостей фазы сети - 6...12 мкФ.

Таким образом, можно сделать вывод, что несмотря на то, что катушка Ritz с точки зрения антирезонансных свойств эффективнее резистора, она не обеспечивает полной защиты ТН от повреждений из-за феррорезонанса. Это объясняется тем, что в определённом диапазоне параметров сети напряжение на вторичной обмотке ТН, соединённой в треугольник, не достигает номинальной величины 100 В, что приводит к снижению магнитного потока в катушке Ritz (даже с учётом его кратного увеличения на субгармонической частоте) и недостаточному насыщению катушки. Производитель сообщает, что для предотвращения феррорезонанса в этом режиме параллельно катушке подключается резистор величиной 90 Ом. Однако, в результате расчётов было установлено, что добавочные потери на этом резисторе во всех режимах, не выше 100-120 Вт, и существенного влияния на процессы при недостаточном насыщении катушки не оказывают.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зихерман М.Х. Трансформаторы напряжения для сетей 6-10 кВ. Причины повреждаемости // Новости электротехники. - № 1(25). – 2003. – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2004/25/10.php>
2. Ritz instrument transformers. Гасящее устройство типа DE-6 для избежания эффектов феррорезонанса в системах от 10 до 36 кВ. – URL: <http://www.ritz-rus.ru/doc/txt/ar01.pdf>

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Файзуллин А.А., Чиликова (Филонова) И.И.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

Человечество располагает безграничными запасами тепловой энергии, имея природные нагретые водные источники до разных температур. Однако, чаще всего это «бросовое» тепло не используется, так как оно «холодное». Решает эту задачу применение для нагрева помещений и промышленных процессов изобретение теплонасосных установок (ТНУ).

Источником для работы ТНУ служить любая проточная вода с температурой 5 - 40°C. Чаще всего в качестве источника используются промышленные сбросы, вода градирных установок и прудов-охладителей, незамерзающие водоемы, скважины, энергия земли.

Принципиальная схема ТНУ представлена на Рис. 1.

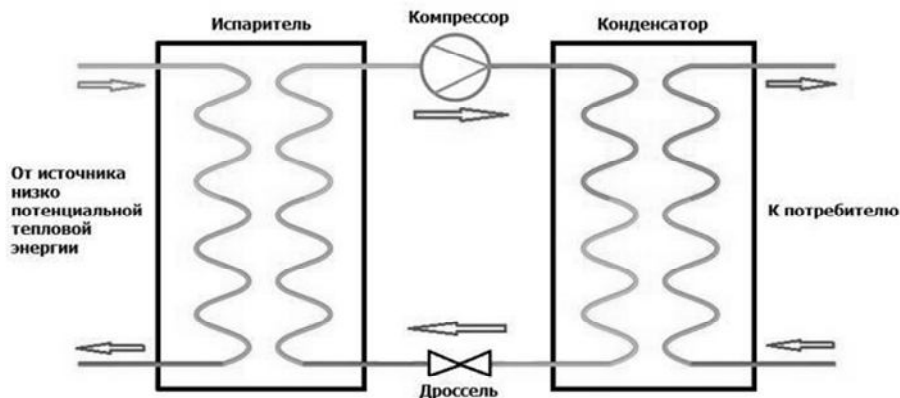


Рис. 1. Принципиальная схема теплонасосной установки

В ТНУ имеется четыре основных элемента (испаритель, конденсатор, компрессор, дроссель) и три основных контура (фреоновый, водяной от источника и потребителя тепла). ТНУ тратит энергию не на выработку тепла, как электрообогреватель, а только на перемещение фреона по системе. Основная часть тепла передается потребителю от источника. Этим объясняется низкая себестоимость тепла от ТНУ.

К настоящему времени масштабы внедрения тепловых насосов в мире следующие: в Швеции 50% всего отопления обеспечивают тепловые насосы; в Германии предусмотрена дотация государства на установку тепловых насосов в размере 400 марок за каждый кВт установленной мощности; в Японии ежегодно производится около 3 млн тепловых насосов; в США ежегодно производится около 1 млн тепловых насосов; в Стокгольме 12% всего отопления города обеспечивается тепловыми насосами общей мощностью 320 МВт, использующими как источник тепла Балтийское море с температурой +8 °С.

Массовое мировое внедрение тепловых насосов обусловлено следующим:

- экономичность. Чтобы передать в систему отопления 5 кВт тепловой энергии, тепловому насосу нужно лишь 1 – 1,75 кВт электроэнергии;
- экологическая чистота. Тепловой насос не сжигает топливо и не производит вредных выбросов в атмосферу;
- минимальное обслуживание. Для работы теплонасосной станции мощностью до 10 МВт хватает одного оператора в смену;
- легкая адаптация к имеющейся системе отопления,
- короткий срок окупаемости. В связи с низкой себестоимостью произведенного тепла тепловой насос окупается в среднем за 1,5-2 года.

Однако в Российской Федерации использование тепловых насосов на основе природных нетрадиционных источников энергии рентабельно и возможно только в южных регионах страны в связи с особенностью климата. Поэтому на большей территории РФ ТНУ возможно устанавливать в основном только в технологическую линию промышленных предприятий. Такие ТНУ работают на сбросной энергии и предназначены либо для теплоснабжения помещений, либо для возврата тепловой энергии в технологическую линию.

Предлагаемые варианты схем включения теплового насоса в промышленные процессы с возвратом сбросной теплоты в технологическую линию следующие. Рассмотрим производства целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности.

На объектах целлюлозно-бумажной отрасли промышленности в качестве источника энергии для работы теплового насоса можно использовать значительные потоки теплоты с горячим воздухом сушильных установок. Так, в процессе сушки бумаги для

утилизации теплоты отработанного влажного воздуха сушильной части бумагоделательной машины с целью доведения параметров влажного воздуха до требуемых параметров греющего сухого воздуха схема включения теплового насоса следующая (Рис. 2). Холодный воздух поступает в конденсатор 2 теплового насоса, где он нагревается до необходимой температуры и направляется в сушильную камеру 5. В сушильной камере за счет тепломассообмена температура воздуха понижается, а влагосодержание увеличивается. Происходит удаление влаги из продукта. Далее влажный воздух направляется в испаритель 4 теплового насоса, где охлаждается. Одновременно с процессом охлаждения происходит удаление выпавшей влаги. В результате использования тепловых насосов в процессах сушки достигается экономия энергоресурсов до 80 % [3].

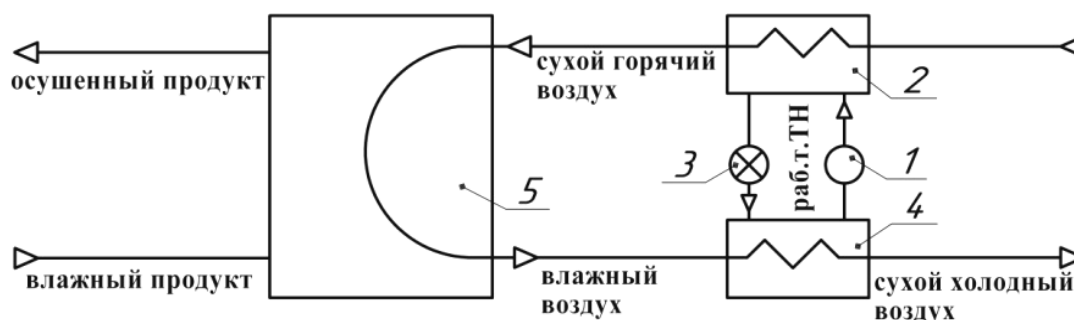


Рис. 2. Принципиальная схема сушильной установки с утилизатором теплоты уходящего воздуха:

1 – компрессор, 2 – конденсатор, 3 – дроссельный клапан, 4 – испаритель, 5 – сушильная камера, раб.т.ТН – рабочее тело теплонасосной установки

На объектах пищевой отрасли промышленности часто используются разделительные установки, на которых возможно сбросную энергию одних полупродуктов использовать для подогрева других полупродуктов. Так, производство спирта сопровождается выходом большого количества теплой воды после конденсации водно-спиртовых паров в дефлегматорах. В процессах разделения при производстве спирта вариантом включения теплового насоса является использование энергии верхнего продукта колонн для подогрева нижней части (Рис. 3).

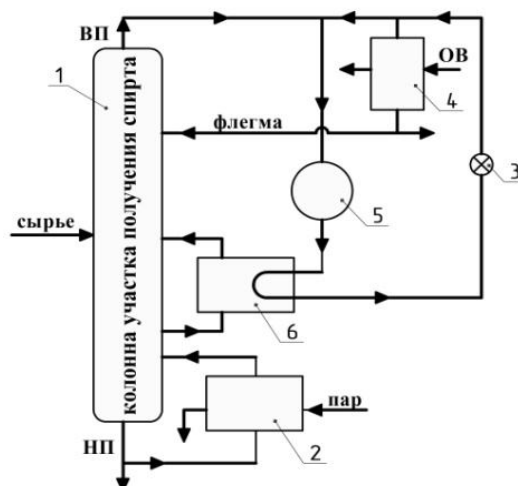


Рис. 3. Принципиальная схема колонны разделения с тепловым насосом:

1 – колонна, 2 – кипятильник, 3 – дроссельный клапан, 4 – конденсатор, 5 – компрессор, 6 – дополнительный кипятильник, ВП – верхний продукт, НП – нижний продукт, ОВ – охлаждающая вода

В результате включения теплового насоса в схему производства спирта возможно снижение затрат энергии на разделение до 75 % [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов В.П., Щербаков С.Н., Фролов М.В., Шелгинский А.Я. Эффективность использования тепловых насосов в централизованных системах теплоснабжения // Новости теплоснабжения. - 2004. - N 7.
2. Филенков В. М., Козина Л. Н. Бухонов Д. О. О перспективах использования тепловых насосов в регионах России. Вестник НГИЭИ. 2014. № 12 (43).
3. Филонова (Чиликова) И.И., Плотникова Л.В., Ефремов Г.И. Организация системы утилизации вторичных энергетических ресурсов крупнотоннажного промышленного предприятия на основе трансформаторов теплоты // Вестник Московского государственного открытого университета. Серия: Техника и технология, 2011, № 4. – С.24-28.
4. Красавина Е.О., Фаздалова А.И., Плотникова Л.В. Использование термодинамического анализа при построении оптимальной структуры установки «Ректификационная колонна - тепловой насос» // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Технологии XXI века: проблемы и перспективы развития». - Уфа: «Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2016. - С.97-99.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИНТЕТИЧЕСКИХ СХЕМАХ

Ганиев А.А.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Важной задачей в энергетике является обеспечение бесперебойного питания потребителей. Одной из причин, которая может помешать электроснабжению является феррорезонанс.

Феррорезонанс – колебательный процесс в контуре содержащем нелинейную индуктивность и ёмкость. В случае когда феррорезонанс возникает в трансформаторе напряжения (ТН), в качестве нелинейной индуктивности выступает ТН, а ёмкость обусловлена наличием емкостных делителей в многоразрывных выключателях и ёмкостью ошиновок. Электромагнитные ТН часто повреждаются из-за возникновения опасных феррорезонансных процессов, при которых возникают токи и напряжения превышающие номинальные в несколько раз, что и приводит к повреждению трансформатора. В сетях с глухозаземлённой нейтралью (110-500 кВ) основные причины возникновения феррорезонанса:

- отключение холостых ошиновок многоразрывными выключателями, оснащёнными ёмкостными делителями напряжения.
- неполнофазные режимы, не сопровождающиеся короткими замыканиями, например обрыв шлейфа на опоре ВЛ или на подстанции, отказ полюса выключателя при коммутации.

Основным способом борьбы с феррорезонансом является использование «антирезонансных» ТН, т.е. таких трансформаторов конструкция которых ограничивает или исключает возникновение этого явления. Большинство российских производителей в настоящее время выпускают именно «антирезонансные» ТН. Новая

политика ПАО «Россети» предусматривает применение исключительно «антирезонансных» ТН. ПАО «Россети» требует подтверждать свойства аттестуемого оборудования испытаниями. В связи с этим возникают проблемы такие как:

- Отсутствие четкого определения «Антирезонансный ТН» в ГОСТ 1983-2001.
- Отсутствие в ГОСТ методических указаний по испытанию ТН на стойкость к феррорезонансу.

Из-за отсутствия данной нормативной базы, заводы изготовители могут недобросовестно проводить испытания своей продукции, например заведомо при испытаниях использовать такие емкости при которых трансформатор не будет входить в устойчивый феррорезонанс, в связи с этим могут возникать проблемы при эксплуатации оборудования.

Целью исследования является разработка методических указаний испытания ТН на стойкость к феррорезонансу.

Задачи:

- Разработка программы испытания ТН
- Разработка испытательной схемы
- Разработка защиты ТН при испытаниях
- Разработка измерительных цепей

Испытания ТН на стойкость к феррорезонансу в реальных сетях связаны с риском повреждения оборудования и поэтому наиболее целесообразно проведение испытаний в синтетических (воспроизводящих реальную сеть в лаборатории) схемах. При этом испытания ТН 110 кВ и выше в целом являются достаточно сложными с т.з. технической реализации и весьма дорогостоящими. Поэтому для разработки методики испытаний и её опробования на реальных трансформаторах была выбрана модель сети, основанная на трансформаторе напряжением 0,4 кВ.

Первым этапом является математическое моделирование, включающее в себя составление математической модели ТН и испытательной схемы. Подбор емкостей при которых возникает устойчивый феррорезонанс в испытуемом трансформаторе. В качестве испытуемого трансформатора был выбран трансформатор ТПП – 270-127/220-50. Данный трансформатор был выбран т.к. проведение исследований на низком классе напряжений более экономически выгодные и также создание и изменение конфигурации испытательной схемы можно производить затрачивая меньше времени. Зная геометрические параметры трансформатора, характеристики, конструкцию, марку стали из которой изготовлен сердечник, для него была построена кривая намагничивания и произведена ее аппроксимация для удобства дальнейших расчетов. После составления расчетной схемы (рис.1а) построена область феррорезонанса (рис.1б) для испытуемого трансформатора, показывающая при каких емкостях моделирующих емкости ошинок и выключателей, трансформатор будет входить в устойчивый феррорезонанс.

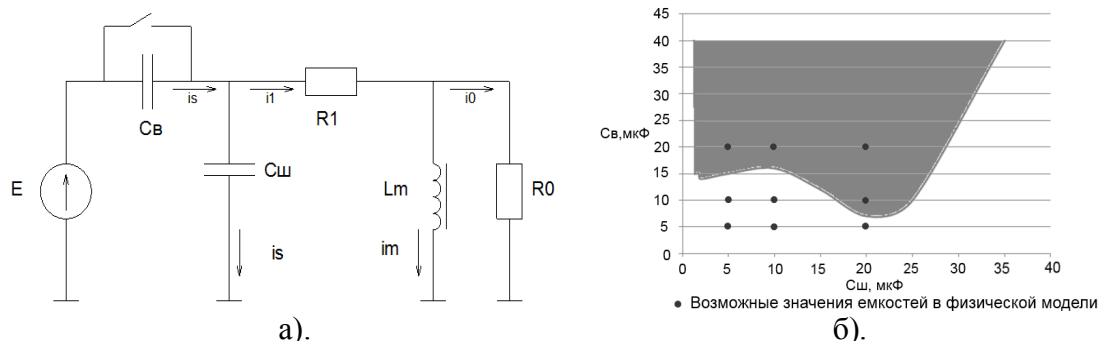


Рис. 1. а). Расчетная схема, б). Область феррорезонанса ТПП – 270-127/220-50

Вторым этапом является создание испытательной установки и проведение испытаний необходимых для подтверждения математической модели, предварительно необходимо спроектировать схему данной установки, установка включает в себя следующие элементы:

- Трансформатор ТПП – 270-127/220-50
- Конденсаторы имитирующие емкости ошиновок и делителей выключателей в диапазоне от 5мкФ до 20мкФ.
- Измерительную цепь состоящую из измерительных шунтов, стабилитронов для ограничения напряжения на плате сбора данных и платы сбора данных.
- Схему защиты испытуемого трансформатора при проведении испытаний, т.к. при феррорезонансе возникают токи и напряжения в несколько раз выше номинальных.
- Питающий ЛАТР.

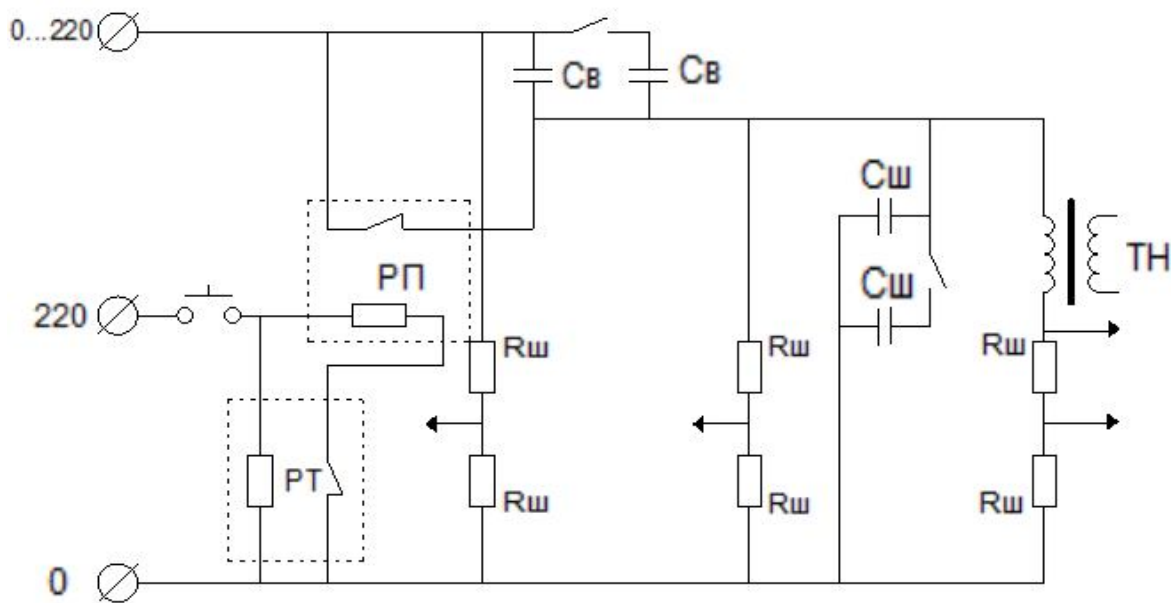


Рис. 2. Схема испытательной установки

Третьим этапом является уточнение математической модели, параметров трансформатора, таких как:

- Индуктивность рассеивания.
- Потери в магнитопроводе.
- Кривая намагничивания.

После уточнения математической модели, производится дальнейшее компьютерное исследование испытуемого трансформатора на стойкость к феррорезонансу. Использование математической модели позволяет сократить время и средства при проведении дальнейших исследований ТН.

Была реализована физическая модель испытательной схемы (рис.3) с указанным трансформатором и выполнено физическое моделирование феррорезонансных процессов. Для предотвращения повреждения испытуемого ТН было реализовано автоматическое отключение испытательной схемы через 2с после начала феррорезонансного процесса.

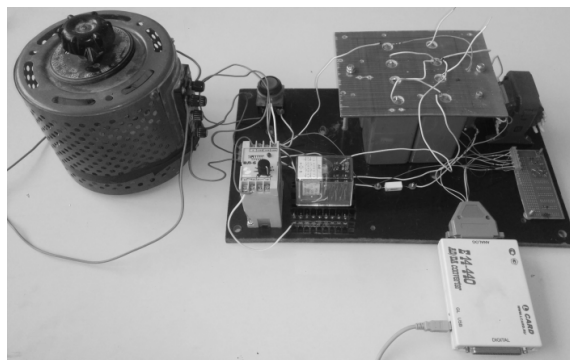


Рис. 3. Испытательная установка

В результате возбуждения феррорезонанса в опытной схеме при величине емкостей 10 мкФ и напряжении источника 127 В, были получены опытные осциллограммы и сопоставлены с осциллограммами полученными при компьютерном моделировании, они согласуются. Из них видно что при феррорезонансе ток достигает 0,6 А, при номинальном токе трансформатора 0,5 А, напряжение 250 В. Данные осциллограммы представлены на рисунках 4-5.

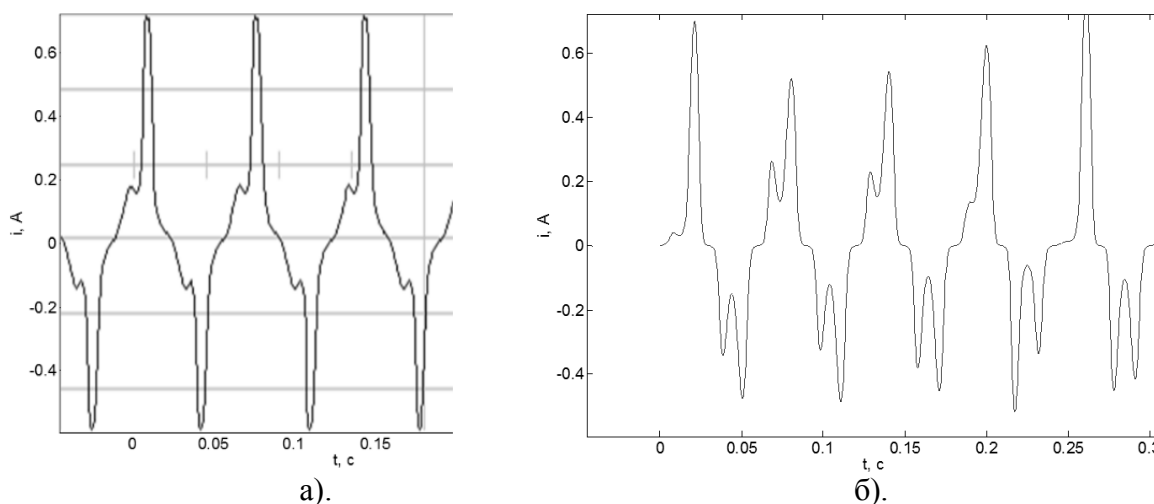


Рис. 4. а). Опытная осциллограмма тока в трансформаторе, б). Компьютерная осциллограмма тока в трансформаторе

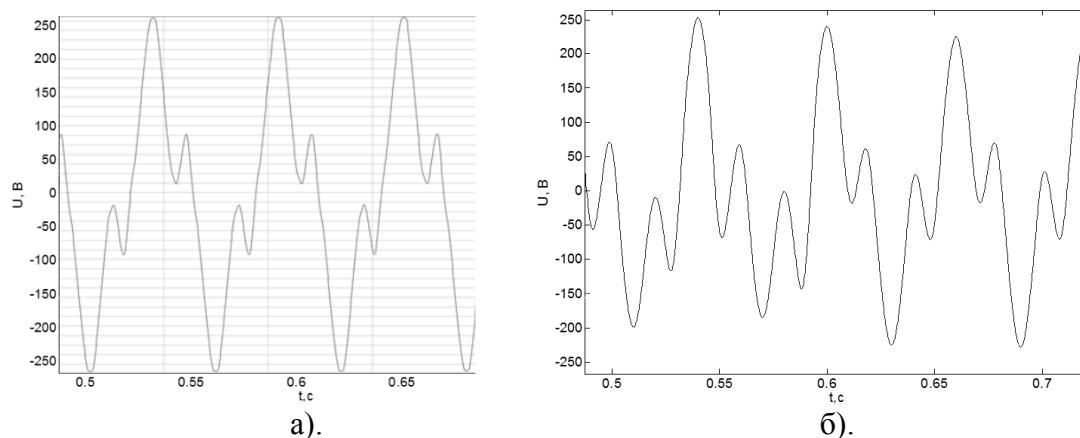


Рис. 5. а). Опытная осциллограмма напряжения в трансформаторе, б). Компьютерная осциллограмма напряжения в трансформаторе

По предложенной методике могут быть испытаны ТН более высоких классов напряжений, отличаться будут лишь параметры (ном. напряжение, мощность) элементов, входящих в испытательную схему. Результаты исследований в дальнейшем могут быть использованы для внесения изменений в ГОСТ 1983-2001 в части уточнения требований к антирезонансным ТН и в части испытаний, подтверждающих антирезонансные свойства ТН.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 1983-2001. Трансформаторы напряжения. Общие технические условия = Voltage transformers. General specifications. – Введ. 2003 – 01 – 01. – М.:Стандартинформ, 2006. – 31с.
2. Зихерман М.Х. Технические требования и методы испытаний // Новости электротехники. – 2011. - №2(68). – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2011/68/12.php>

КРУГЛЫЙ СТОЛ 4. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

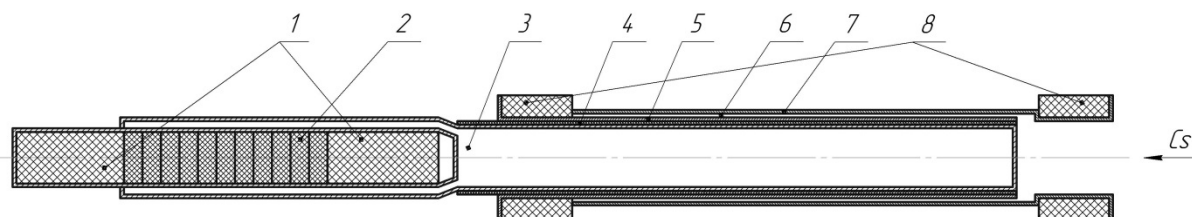
РАСЧЕТНОЕ СРАВНЕНИЕ ТЕРМОЭМИССИОННЫХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИХ СБОРОК ВЫНЕСЕННОГО ТИПА С ВНУТРЕННИМ И ВНЕШНИМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ТОПЛИВА

Баучкин Ф.А.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Введение

Конструкция термоэмиссионной электрогенерирующей сборки (ЭГС) вынесенного типа с тугоплавкой высокотемпературной тепловой трубой (ТВТТ), предложенная в [1], отличается применением тепловой трубы с переменным сечением и внутренним расположением ядерного топлива в испарительной зоне. Схема данной конструкции представлена на рис. 1. Торцевые отражатели 1 и ядерное топливо 2 располагаются во внутренней полости ТВТТ с переменным сечением 3. В транспортной зоне поперечное сечение парового канала из кольцевого переходит в круглое при постоянном значении площади поперечного сечения. В зоне конденсации на поверхности ТВТТ 3 нанесена электроизоляция 4 и расположен одноэлементный термоэмиссионный преобразователь (ТЭП) с цилиндрической геометрией и коаксиальным расположением электродов.



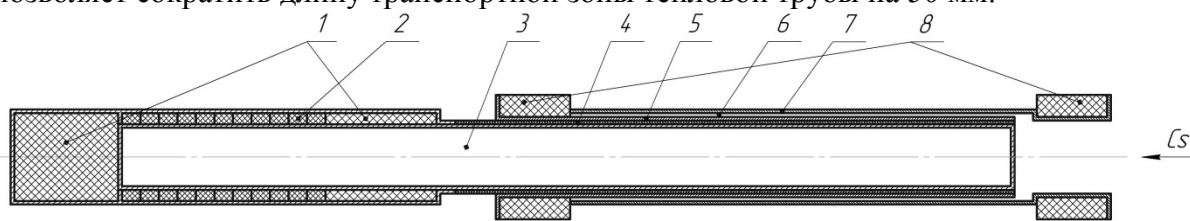
1 – торцевые отражатели, 2 – ядерное топливо, 3 – ТВТТ,
4 – электроизоляция, 5 – эмиттер, 6 – межэлектродный зазор,
7 – коллекторный пакет, 8 – металлокерамические узлы
Рис. 1. Схема ЭГС с внутренним расположением ядерного топлива

Такая схема обладает рядом недостатков. Помимо того, что ТВТТ с переменным сечением конструктивно и технологически оказывается весьма сложна, капиллярная структура в испарительной зоне с кольцевым сечением должна быть расположена на внешней стенке корпуса, таким образом, рабочее тело (РТ), в жидкой фазе поступающее в зону испарения по фитилю, и поверхность, к которой осуществлен теплоподвод от ядерного топлива (внутренняя стенка корпуса), разделены паровым каналом. Ввиду высокой рабочей температуры трубы (порядка 2000 К) использование каких-либо фитилей кроме продольных или винтовых канавок серьезно снижает надежность и ресурс, поэтому нет возможности подвести к внутренней стенке корпуса капиллярные мостики. В такой ситуации испарение и циркуляция рабочего тела в ТВТТ на некоторых режимах работы могут быть нарушены.

В связи с вышесказанным предлагается рассмотреть конструкцию с внешним расположением ядерного топлива, схема которой представлена на рис. 2.

В отличие от конструкции с внутренним расположением топлива, в данном случае используется ТВТТ с постоянным круглым сечением, что существенно упрощает

конструкцию. Проработка данной схемы показала, что применение такого решения позволяет сократить длину транспортной зоны тепловой трубы на 50 мм.



1 – торцевые отражатели, 2 – ядерное топливо, 3 – ТВТТ,
4 – электроизоляция, 5 – эмиттер, 6 – межэлектродный зазор,
7 – коллекторный пакет, 8 – металлокерамические узлы

Рис. 2. Схема ЭГС с внешним расположением ядерного топлива

Для сравнительного анализа теплового состояния конструкций с внутренним и внешним расположением ядерного топлива была решена трехмерная стационарная задача моделирования теплопереноса для обеих конструкций. Данная задача решалась методом конечных элементов с помощью программного комплекса CD-Adapco Star-CCM+ 9, предназначенного для решения задач механики сплошных сред методом конечных элементов.

Моделирование

При разработке математической модели были сделаны следующие допущения:

- процессы термического расширения конструкции не учитываются;
- при моделировании теплового излучения использовалась модель серого тела;
- так как тепловые трубы с жидкометаллическими теплоносителями обладают эффективной теплопроводностью на 3-4 порядка больше, чем лучшие с точки зрения теплопроводности металлы (серебро, медь) [2], для экономии вычислительных ресурсов процессами испарения и конденсации решено пренебречь, а РТ в паровом канале и капиллярной структуре моделировать как твердое тело с эффективной теплопроводностью $4 \cdot 10^5$ Вт/(м·К);
- контактные термические сопротивления не учитываются.

Для экономии вычислительных ресурсов рассмотрена часть ЭГС, включающая в себя торцевые отражатели, ядерное топливо и сегмент ТВТТ длиной 506 мм для схемы с внутренним расположением топлива и 456 мм для схемы с внешним расположением топлива (длина зоны испарения в обеих схемах составляет 355 мм). Объемная расчетная конечно-элементная сетка строилась методом многогранных ячеек с базовым размером ячейки 3 мм, на тонкостенных элементах сетка строилась методом призматических ячеек. Для построения сетки использовался встроенный генератор программного комплекса Star-CCM+. Примерный вид многогранной ячейки представлен на рис. 3. Полученные расчетные сетки для моделей ЭГС с внутренним и внешним расположением топлива представлены на рис. 4.

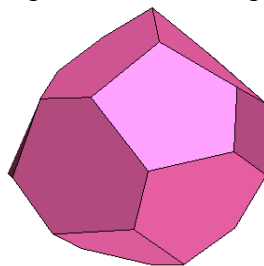


Рис. 3. Образец объемной многогранной ячейки

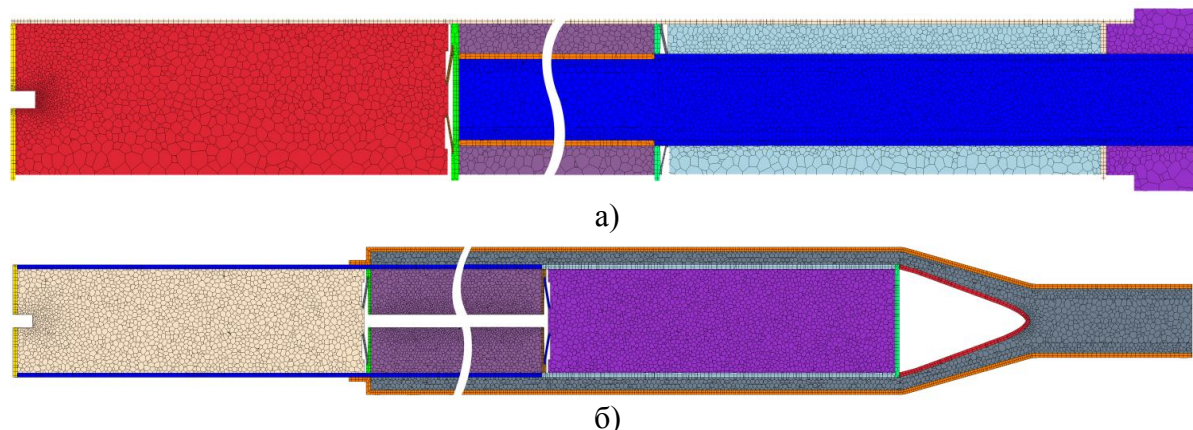


Рис. 4. Объемная расчетная сетка модели ЭГС (продольное сечение): а) с внутренним расположением топлива; б) с внешним расположением топлива

Объемная сетка на рисунке 4 (а) содержит 1 235 364 ячеек, 7 304 029 внутренних граней и 6 462 822 вершины, на рисунке 4 (б) – 475 180 ячеек, 2 624 871 внутреннюю грань и 2 405 372 вершины.

Элементы математической модели в соответствии с материалами, из которых они изготовлены, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Элементы математической модели в соответствии с материалами

Материал	Элемент расчетной модели	
	Схема с внутренним расположением топлива	Схема с внешним расположением топлива
UC (монокристалл урана)	Ядерное топливо	
W (вольфрам)	Корпусные элементы ТВТТ	
BeO (оксид бериллия)	Торцевые отражатели	Торцевые отражатели
		Изоляционная надставка верхней коммутации
Nb (ниобий)	Тарельчатые пружины	
	Проставки между торцевыми отражателями и топливом	

Теплофизические свойства материалов взяты из [3] и [4]. Плотность, удельная теплоемкость и степень черноты в расчете взяты при температуре 2000 К и являются постоянными величинами.

В модели присутствует три граничных условия:

- величина объемного тепловыделения в ядерном топливе равна 6448 Вт [1];
- температура рабочего тела ТВТТ составляет 2010 К [1];
- так как в реальных условиях между соседними ЭГС в активной зоне (АЗ) реактора будет происходить переизлучение, считается, что имеет место лучистый теплообмен между моделью и ее окружением с равновесной температурой 2015 К для схемы с внутренним расположением топлива и 2050 К для схемы с внешним расположением топлива и степенью черноты $\varepsilon = 1$.

На границах расчетных областей (места контактов различных элементов сборки) были заданы граничные условия четвертого рода в виде:

$$\begin{aligned} T|_{\text{обл.1}} &= T|_{\text{обл.2}} \\ q_F|_{\text{обл.1}} &= q_F|_{\text{обл.2}} \end{aligned}$$

где $T|_{\text{обл.1}}$ и $T|_{\text{обл.2}}$ – температуры 1-ой и 2-ой областей соответственно на сопряженной границе, $q_F|_{\text{обл.1}}$ и $q_F|_{\text{обл.2}}$ – радиальные тепловые потоки в 1-ой и 2-ой областях соответственно на сопряженной границе.

Для случая распространения тепла в твердом теле эти условия автоматически переписываются в виде:

$$\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial x_i} \Big|_{\text{обл.1}} = \lambda_2 \frac{\partial T}{\partial x_i} \Big|_{\text{обл.2}}$$

где λ_1 и λ_2 – коэффициенты теплопроводности для 1-ой и 2-ой областей соответственно, x_i – координата, индексы «обл.1» и «обл.2» соответствуют частной производной по координате, взятой на сопряженной границе в 1-ой и 2-ой областях соответственно.

Результаты расчетов приведены ниже (абсолютная ошибка не превышает 10^{-4}). Средние по объему температуры расчетных областей модели представлены в таблицах 2 и 3, температурные эпюры моделей в продольном сечении представлены на рис. 5 и 6. Распределения температуры по радиусу в центре АЗ для схем с внутренним и внешним расположением топлива представлены на рис. 7 и 8, распределение температуры по длине на оси симметрии для схемы с внешним расположением топлива представлено на рис. 9.

Таблица 2. Средние по объему температуры в расчетных областях модели ЭГС
схемы с внутренним расположением топлива

Область	Средняя по объему температура, К
Ядерное топливо	2041,7
Корпус ТВТТ	2009,5
Верхний торцевой отражатель	2002,9
Нижний торцевой отражатель	2009,3
Верхняя тарельчатая пружина	2024,5
Нижняя тарельчатая пружина	2023,8

Таблица 3. Средние по объему температуры в расчетных областях модели ЭГС
схемы с внешним расположением топлива

Область	Средняя по объему температура, К
Ядерное топливо	2038,7
Корпус ТВТТ	2012,1
Верхний торцевой отражатель	2002,1
Нижний торцевой отражатель	2008,6
Верхняя тарельчатая пружина	2017,2
Нижняя тарельчатая пружина	2020,1

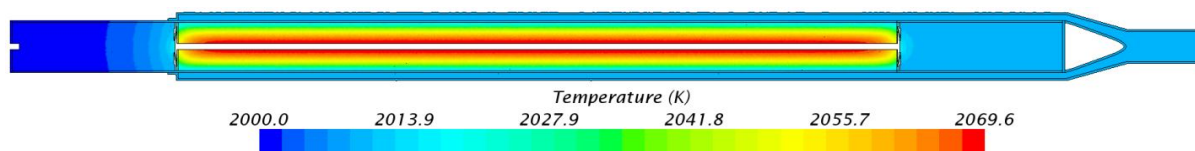


Рис. 5. Распределение температур в модели ЭГС схемы с внутренним расположением топлива в продольном сечении

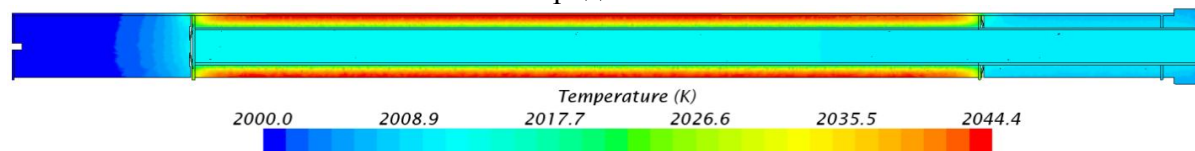


Рис. 6. Распределение температур в модели ЭГС схемы с внешним расположением топлива в продольном сечении

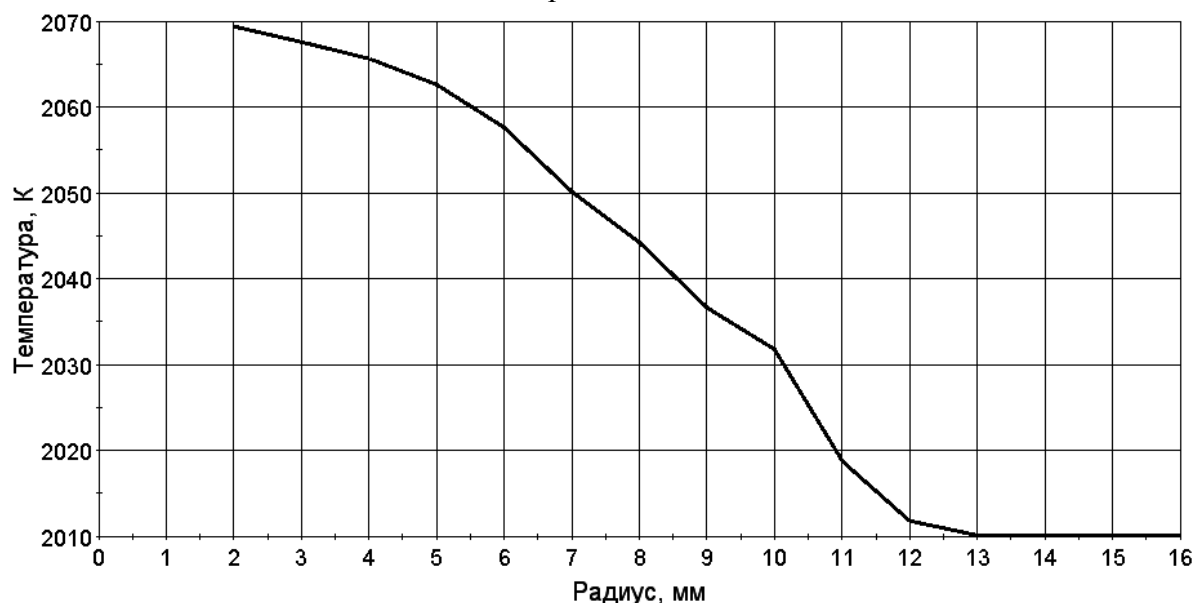


Рис. 7. Радиальное распределение температуры в центре АЗ для схемы с внутренним расположением топлива

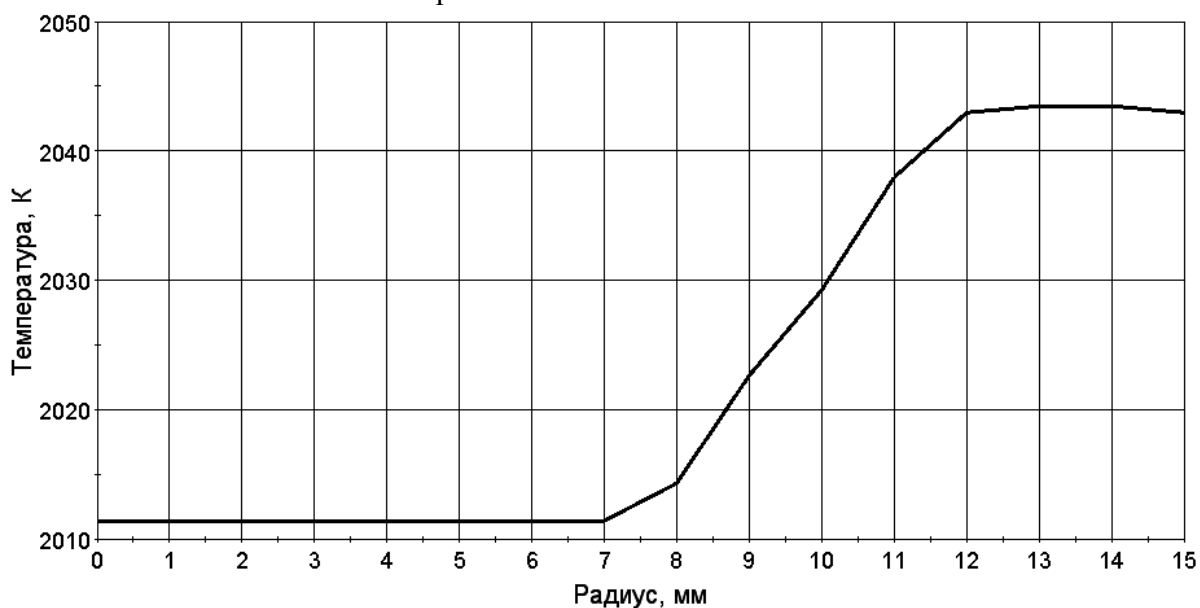


Рис. 8. Радиальное распределение температуры в центре АЗ для схемы с внешним расположением топлива

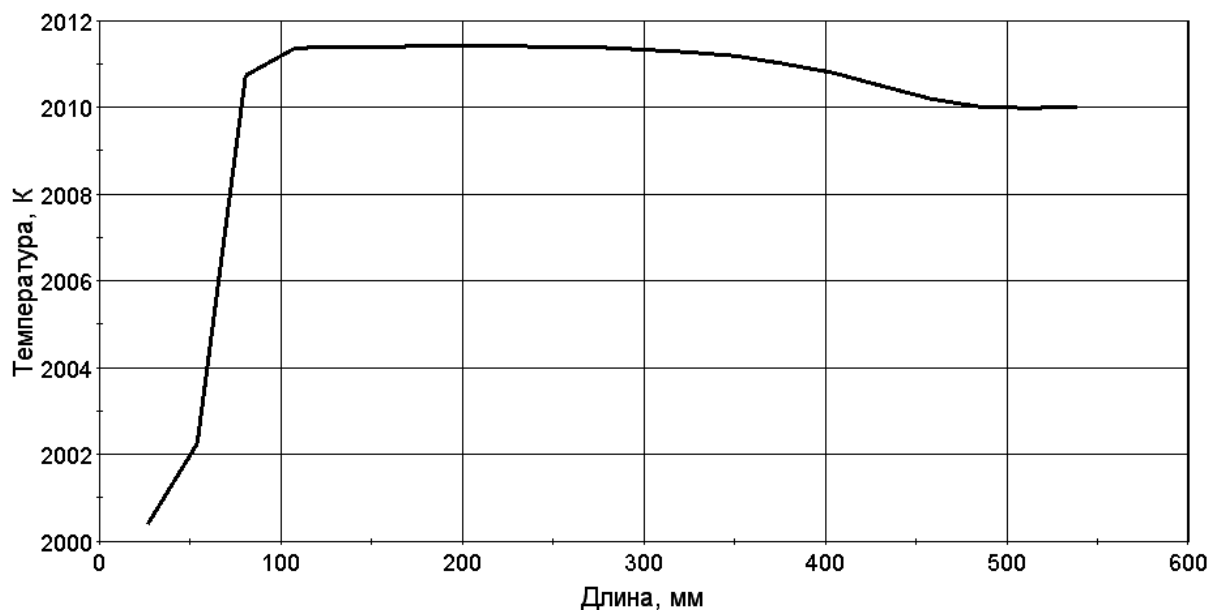


Рис. 9. Продольное распределение температуры на оси симметрии для схемы с внешним расположением топлива

Заключение

Предложена схема термоэмиссионной электрогенерирующей сборки вынесенного типа с внешним расположением ядерного топлива, обеспечивающая простоту конструкции и принцип модульного построения активной зоны термоэмиссионного реактора-преобразователя. Построены математические модели электрогенерирующих сборок вынесенного типа с тугоплавкой высокотемпературной тепловой трубой с внутренним и внешним расположением ядерного топлива, проведены тепловые расчеты в трехмерном стационарном приближении с помощью программного комплекса CD-Adapco Star-CCM+ 9. Результаты расчетов показали, что все элементы ЭГС с внешним расположением топлива находятся в более благоприятном тепловом состоянии, радиальный перепад температур на топливе составляет менее 40° против почти 60° перепада в ЭГС с внутренним расположением топлива. С применением внешней схемы расположения ядерного топлива длину транспортной зоны ТВТТ возможно сократить на 50 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баучкин Ф.А. Проектный облик термоэмиссионной электрогенерирующей сборки вынесенного типа с тугоплавкой высокотемпературной тепловой трубой / Ф.А. Баучкин // Материалы трудов девятнадцатой всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность» (Томский политехнический университет, 4-6 декабря 2013 г. – Томск: Изд-во ООО «Скан», 2013. С. 137-141.
2. Ивановский М.Н., Сорокин В.П., Ягодкин И.В. Физические основы тепловых труб. – М.: Атомиздат, 1978.
3. Технология термоэмиссионных преобразователей. Справочник. Под ред. канд. техн. наук С.В. Рябикова. М.: Атомиздат, 1974.
4. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Справочник. В.С. Чиркин. М.: Атомиздат, 1968.

СИЛОВЫЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ДИОДЫ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Ерофеев Е.В., Федин И.В.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
г. Томск

Широкозонные полупроводники, такие как нитрид галлия (GaN), привлекают все большее внимание разработчиков как перспективные материалы силовой электроники. Диоды с барьером Шоттки (ДБШ) на основе эпитаксиальных гетероструктур нитрида галлия могут оказаться элементной базой силовых приборов следующего поколения. Это обусловлено большой шириной запрещенной зоны, высокой электрической прочностью и низким сопротивлением канала AlGaN/GaN гетероструктуры [1, 2]. С точки зрения скорости переключения они превосходят кремниевые и карбид кремниевые аналоги.

В данной работе представлены результаты разработки силовых диодов с барьером Шоттки на основе эпитаксиальных гетероструктур нитрида галлия.

Для создания диодов использовались эпитаксиальные гетероструктуры нитрида галлия, выращенные на подложках кремния методом металл-органической газовой эпитаксии. Исследовались GaN диоды с барьером Шоттки на основе Ni с длиной анода 5 мкм и шириной от 10 до 200 мм, формируемого методами лазерной литографии. Расстояние анод-катод варьировалось в диапазоне от 3 до 7 мкм. Длина анодного полевого электрода (Field plate) составляла $L_{fp} = 2$ мкм (рис. 1). Электрические параметры по постоянному току полученных диодов измерялись HP4156A Semiconductor Parameter Analyzers. Ёмкость диодов измерялась на Agilent E4980 Precision LCR Meter на частоте 1 МГц.

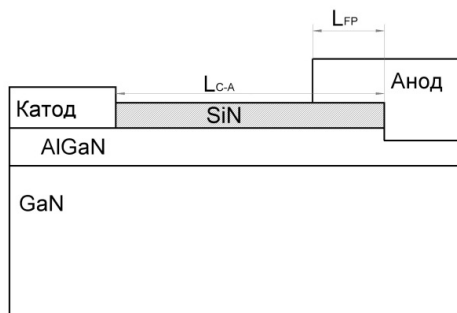


Рис. 1. Схематическое изображение силового диода с барьером Шоттки

На рис. 2 приведено схематическое изображение полученного GaN ДБШ с шириной анода 60 мм и расстоянием катод-анод $L_{ac} = 4$ мкм.

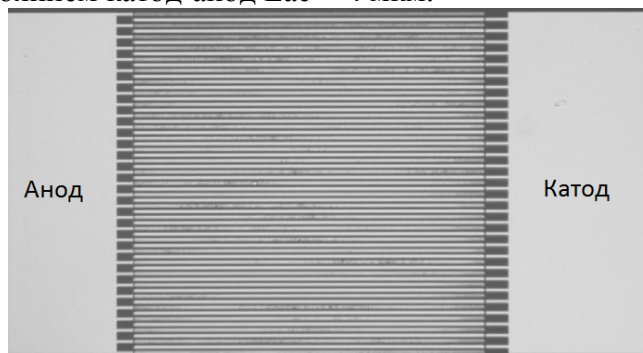


Рис. 2. Микрофотография GaN диода с барьером Шоттки с шириной анода 60 мм

На рис. 3 представлена прямая ветвь вольт-амперной характеристики (ВАХ) изготовленного диода с шириной анода $W_A = 200$ мкм и расстоянием анод-катод $L_{C-A} = 7$ мкм.

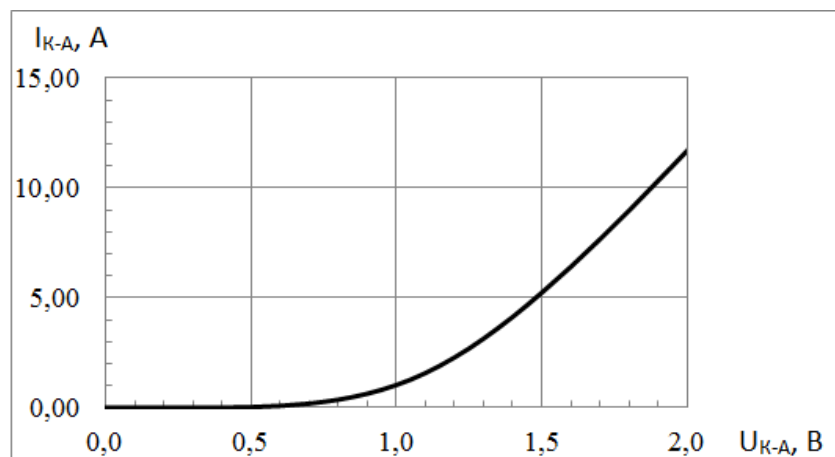


Рис. 3. Прямая ветвь вольт-амперной характеристики изготовленных GaN диодов с барьером Шоттки при расстоянии анод-катод 7 мкм

Напряжение включения полученных GaN диодов составило 0.65 В, что совпадает с результатами, представленными в работе [1]. Величина анодного тока при прямом смещении $U_F = 1.2$ В составила $I_F = 0.01$ А/мм. При этом данная величина может быть увеличена путём увеличения толщины барьерного слоя AlGaIn или концентрации алюминия в нём [3].

На рис. 4 представлена обратная ветвь ВАХ изготовленного GaN диода с барьером Шоттки 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 мкА/мм) вплоть до напряжения пробоя. При расстоянии анод-катод $L_{C-A} = 7$ мкм напряжение пробоя анод-катод диодов составило $U_{BV} = 220$ В.

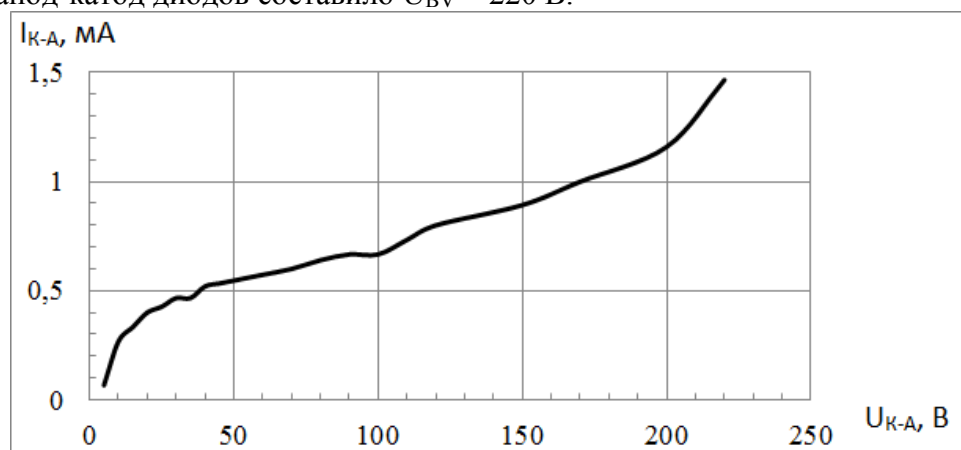


Рис. 4. Обратная ветвь вольт-амперной характеристики изготовленных GaN диодов с барьером Шоттки при расстоянии анод-катод 7 мкм

Напряжение пробоя GaN диодов может быть увеличено заменой буферного слоя на основе AlGaIn 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.

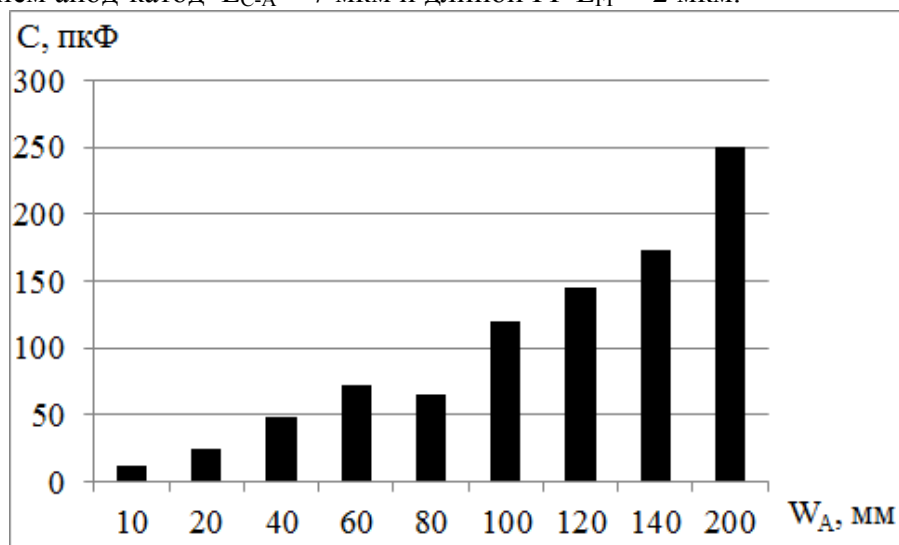


Рис. 5. Зависимость ёмкости (C) от ширины анода (W_A) для диодов с расстоянием анод-катод $L_{C-A} = 7$ мкм, длиной FP $L_{FP} = 2$ мкм и шириной анода 200 мм

Как видно из рис. 5, ёмкость GaN диода монотонно возрастает с увеличением ширины периферии электродов. Данный результат может быть объяснён увеличением площади обкладок паразитного конденсатора в результате роста периферии. Данное предположение подтверждается рис. 6, 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.

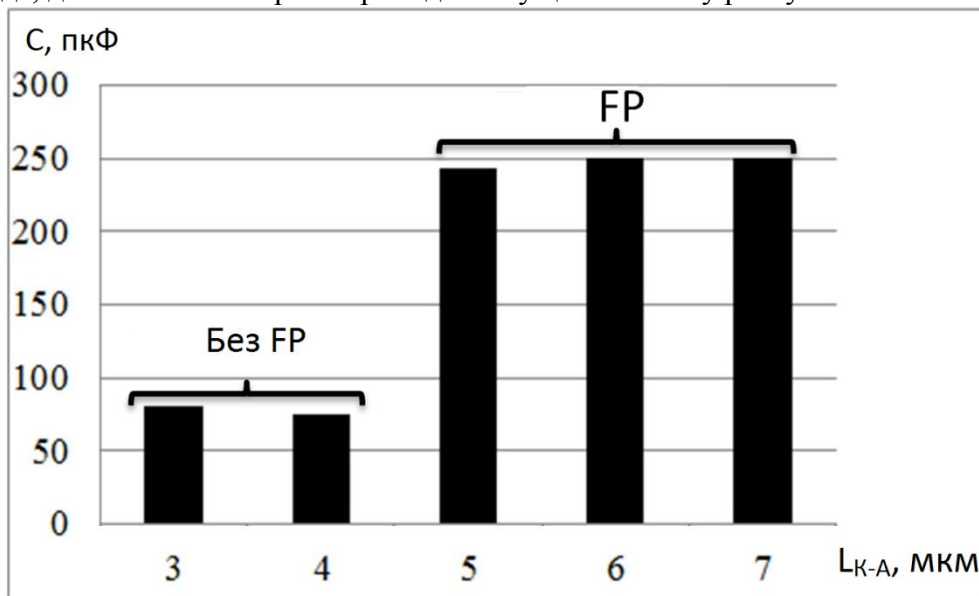


Рис. 6. Зависимость ёмкости диодов от расстояния анод-катод (L_{C-A}) для диодов без анодного полевого электрода (FP) и с FP длиной 2 мкм.
 Ширина анода составляет 200 мм

На рис. 7 представлены достижения различных компаний в создании униполярных силовых GaN диодов в сравнении с результатами, полученными в данной работе.

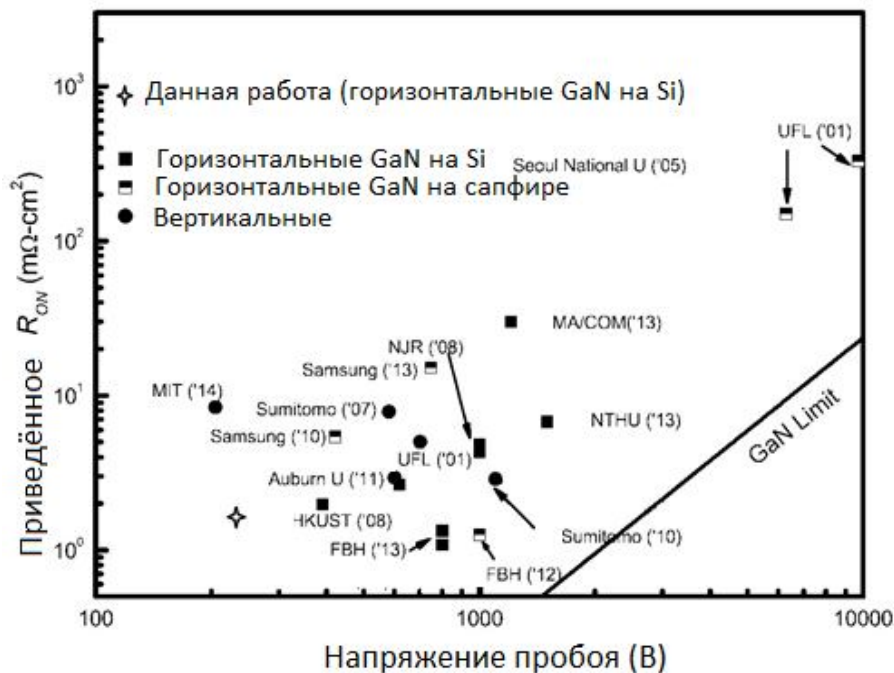


Рис. 7. График сравнения достижений различных компаний в области силовых GaN диодов

Как показано на рис. 7, изготовленные GaN диоды с расстоянием анод-катод 7 мкм обладают низким приведённым сопротивлением ($R_{ON, SP}$) ($1.79 \text{ мОм} \cdot \text{см}^2$) и высоким напряжением пробоя (U_{BV}) (220 В). Таким образом, разработанные GaN диоды с барьером Шоттки обладают комплексным показателем качества $(U_{BV})^2 / R_{ON, SP} = 27 \text{ МВт} \cdot \text{см}^{-2}$, что в сочетании с низкой ёмкостью и отсутствием времени обратного восстановления позволяет их успешно использовать в устройствах преобразовательной техники, требующих высокой скорости переключения.

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. J.-H. Lee et al. AlGaIn/GaN-based lateral-type Schottky barrier diode with very low reverse recovery charge at high temperature // IEEE Trans. Electron Devices. – 2013. – Vol. 60. – N. 10. – PP. 3032–3039.
2. Zhu M., Song B., Qi V., Hu Z., Nomoto K., Yan X., Cao Y., Johnson W., Kohn E., Jena D. 1.9-kV AlGaIn/GaN Lateral Schottky Barrier Diodes on Silicon // IEEE Electron Device Letters. – 2015. – Vol. 36. – N. 4. – PP. 375–377.
3. Bahat-Treidel E. Fast-switching GaN-based lateral power Schottky barrier diodes with low onset voltage and strong reverse blocking // IEEE Electron Device Letters. – 2010. – Vol. 33. – N. 3. – PP. 357–359.
4. Saitoh Y. 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. – 2010. – Vol. 3. – N. 8. – PP. 081001-1–081001-3.
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. – 2013. – Vol. 34. – N. 5. – PP. 054007-1–054007-8.

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ С ЭЛЕКТРОПЛИТАМИ

Ештокина П.Е., Пасечная Д.С., Надтока И.И.

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
 имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

Существующие методики расчета электрических нагрузок многоквартирных жилых домов, созданные в конце 90-х годов прошлого века и первом десятилетии нынешнего века [1, 2], не отражают фактические показатели электропотребления квартир, так как в последние десятилетия существенно изменились количество и качество (технические характеристики) бытовой техники, потребляющей электроэнергию [3].

В 2011-2012 гг, кафедра ЭППиГ ЮРГПУ (НПИ) и ООО НПП «ВНИКО» выполнили экспериментальные обследования графиков электрических нагрузок многоквартирных жилых домов с электрическими плитами одного из микрорайонов города Москвы с целью уточнения и корректировки методик определения расчетных электрических нагрузок [4].

Экспериментальные графики электрической нагрузки вводов 0,4 кВ в жилые дома, суммарные графики нагрузки домов и трансформаторных подстанций $P(t_i)$ получены по значениям трехминутных показаний счетчиков электроэнергии, т.е. значения $P(t_1)$, $P(t_2) \dots P(t_i)$ - это средние значения фактического графика $P(t)$ осредненные на одинаковых по длительности интервалах времени $\Delta t = 3 \text{ мин}$:

$$P(t_i) = \frac{\sum W_i}{\sum t},$$

где $\sum W_i$ - потребление электроэнергии за время Δt (показание счетчика электроэнергии за i -й трехминутный интервал).

Как видно из рис.1, суточный график электрической нагрузки $P(t_i)$ ввода в жилой дом (тонкая линия) и аналогичные суммарные графики всего дома являются нестационарными случайными процессами, которые, вследствие их недельной повторяемости (цикличности), можно представить как аддитивную модель следующего вида:

$$P(t) = P_D(t) + P_R(t) \quad (1)$$

где $P_D(t)$ и $P_R(t)$ - трендовая и случайная составляющие суточного графика, соответственно.

В качестве трендов можно использовать различные модели, например, среднее или эффективное значения на скользящем интервале длительностью T ; т.е. графики $P_{CT}(t)$ или $P_{ЭТ}(t)$, определяемые по формулам:

$$P_{CT}(t) = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} P(t) dt ; P_{ЭТ}(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} P^2(t) dt} \quad (2)$$

где $T = 3T_0$ получасовой интервал равный трем усредненным для проводников постоянным времени нагрева $T_0 = 10 \text{ мин}$.

В качестве расчетной электрической нагрузки, в соответствии с [5], следует считать максимум эффективного значения графика электрической нагрузки на получасовом интервале T : $P_{M2} = \max[P_{ЭТ}(t)]$. С целью упрощения расчетов и экспериментов в соответствии с рекомендациями [5] можно применять в качестве расчетной электрической нагрузки максимальное среднее значение на получасовом интервале

$P_{M1} = \max[P_{CT}(t)]$. График $P_{CT}(t)$, полученный по первой формуле (2), показана рис. 1 жирной линией.

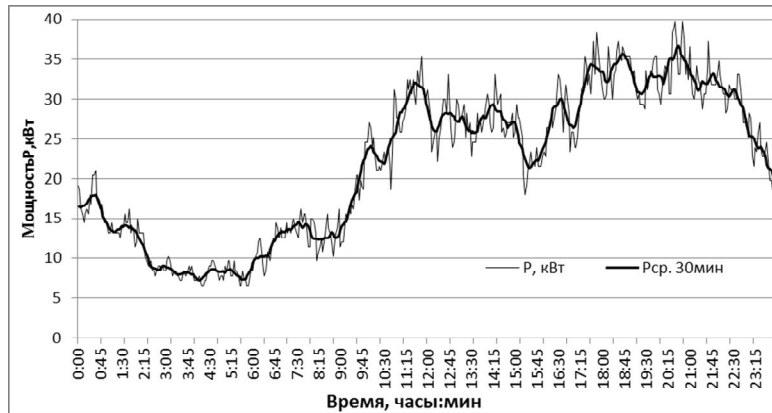


Рис. 1. Экспериментальный график электрической нагрузки ввода в жилой дом $P(t_i)$ и его расчетная трендовая составляющая $P_{CT}(t)$

С теоретической и практической точек зрения представляют также интерес свойства процесса $P_R(t)$ – случайной составляющей графика электрической нагрузки в формуле (1), график которой представлен на рис.2 (жирная кривая). Из рисунка 2 видно, что дисперсия случайной составляющей изменяется в течение суток (нестационарность по дисперсии): минимальные значения в ночные часы, наибольшие значения – в часы утреннего и вечернего максимумов. Для исследования характеристик случайной составляющей графика в различные интервалы времени суток выполним их анализ на каждом из выбранных фиксированных интервалов: 0:00-08:00; 8:00-16:00; 16:00-24:00; 0:00-24:00 часов.

На рис. 3 представлена гистограмма распределений ординат случайной составляющей суточного графика $P_R(t)$ на интервале 0:00-08:00 часов. Целью построения гистограммы является последующая оценка закона распределения ординат графика $P_R(t)$.

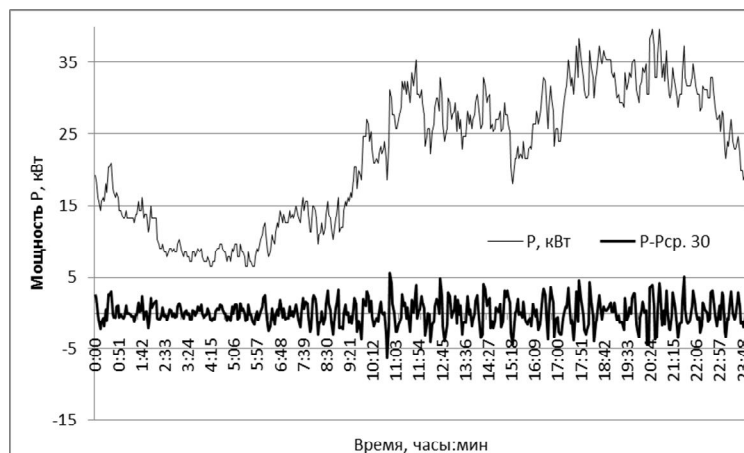


Рис. 2. Экспериментальный суточный график $P(t_i)$ и его случайная составляющая $P_R(t_i)$

Для получения надежных решений вероятностных задач необходима проверка соответствия опытных данных используемому закону распределения. Наиболее

простым, но весьма приближенным методом оценки согласия результатов эксперимента с тем или иным законом распределения является графический метод, который в значительной степени является субъективным и используется на практике лишь в качестве первого приближения. В данном случае по форме гистограммы на рис. 3 можно выдвинуть гипотезу о нормальном законе распределения значений составляющей $P_R(t)$.

По внешнему виду гистограмма на рис. 3 одномодальная, куполообразная и в первом приближении можно считать, что она соответствует нормальному закону распределения.



Рис. 3. Гистограмма распределения значений случайной составляющей $P_R(t_i)$ суточного графика нагрузки на интервале 0:00-8:00 час

Для проверки нулевой гипотезы существует ряд аналитических критериев согласия [6]. Выберем критерий согласия Пирсона (χ^2) для проверки гипотезы о нормальном законе распределения случайной составляющей суточного графика нагрузки $P_R(t_i)$.

Статистикой значений критерия Пирсона служит величина

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i} \quad (3)$$

где p_i - вероятность попадания случайной величины в i -й интервал; n - расчетное общее количество значений графика $P_R(t_i)$ на 8-часовом интервале; k – число разрядов гистограммы.

Гипотеза о соответствии выборочного распределения теоретическому закону $F(x)$ проверялась путем сравнения вычисленной по формуле величины с критическим значением χ_a^2 , найденным по табличным данным для уровня значимости α и числа степеней свободы $r = k_1 - m - 1$, где k_1 - число разрядов гистограммы после их объединения; m - число параметров закона распределения, оцениваемых по рассматриваемой выборке (для нормального закона $m = 2$). Если выполняется неравенство $\chi^2 \leq \chi_a^2$, то нулевую гипотезу не отвергают. При несоблюдении указанного неравенства принимают альтернативную гипотезу о принадлежности выборки неизвестному распределению.

Для рассматриваемого примера среднее квадратичное отклонение случайных графиков $P_R(t_i)$ вводов в дом на интервалах и за сутки и результаты проверки гипотезы о нормальном распределении сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты проверки гипотезы о нормальном распределении случайной составляющей графиков нагрузки на четырех суточных интервалах

Наименование График	0-8 часов		8-16 часов		16-24 час		0-24 час	
	σ , кВт	$X_p^2 < X_{пр}^2$ да, нет	σ , кВт	$X_p^2 < X_{пр}^2$ да, нет	σ , кВт	$X_p^2 < X_{пр}^2$ да, нет	σ , кВт	$X_p^2 < X_{пр}^2$ да, нет
Ввод 1, $P_{R1}(t_i)$	1.0 4	12,2<16,9 да	1.99	9,32<16,9 да	2.02	6.005<16,9 да	1.74	7,07<12,6 да
Ввод 2, $P_{R2}(t_i)$	1.0 2	7,312<16, 9 да	2.06 5	4,025<16, 9 да	2.37 2	7,326<16,9 да	1.90 5	27,27>12, 6 нет
Суммарный график $P_{\Sigma}(t_i)$	1.4 7	11,75<15, 5 да	2.88 3	15,2<16,9 да	3,47 1	17,306<18, 3 да	2.73	17.98<18, 3 да

Следовательно, гипотезу о том, что случайная составляющая суточного графика нагрузки $P_R(t)$ имеет нормальный закон распределения на рассмотренных интервалах времени суток отвергать нет основания.

Для рассмотренных графиков $P(t_i)$ вводов 0,4 кВ в жилой дом подтверждается известное в теории электрических нагрузок [5] допущение о том, что на интервале $T = 30$ мин имеет место соотношение $P_{M1} \approx P_{M2}$. Погрешность данного допущения для рассмотренных экспериментальных графиков вводов 0,4 кВ в жилой дом составляет не более 1,5%.

Таким образом, показано, что случайную составляющую $P_R(t_i)$ экспериментальных графиков $P(t_i)$ вводов 0,4 кВ в жилой дом можно моделировать нормальным законом распределения с одинаковым нулевым математическим ожиданием, но с различными дисперсиями σ_i^2 на четырех интервалах суточного графика.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 31-110-2003 Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. 138 с.
2. РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей – М: Министерство топлива и энергетики Российской Федерации, 1994 – 29 с.
3. Надтока И.И., Павлов А.В. Новиков С.И. Проблемы расчёта электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей микрорайонов мегаполисов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2013, № 1. – С. 136-138.
4. Демура В.В., Павлов А.В., Алынин Н.А. Экспериментальные обследования электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей // Современные энергетические системы и комплексы и управление ими. Материалы XII Международной научно-практической конференции, г. Новочеркасск, 24 июня 2013 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2013. – С. 23-28.
5. Волобринский С.Д., Каялов Г.М., Клейн П.Н. Электрические нагрузки промышленных предприятий. - Л.: Энергия, 1971 - 264с.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.-М.:Наука,1999.-576с

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ НА КАЧЕСТВО ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПОСТОЯННОГО ТОКА В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Марков А.В.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Безаварийное функционирование тяговой подстанции и работы подвижного состава обеспечивается рядом систем, в том числе системами электроснабжения, управления и связи. Для этих систем особую значимость имеет проблема электромагнитной совместимости как способность одних электротехнических средств нормально функционировать в условиях внутренних и внешних электромагнитных воздействий, не создавая при этом недопустимых помех другим электротехническим средствам. Одновременно с этим система электроснабжения должна обеспечивать потребителей электроэнергией, качество которой соответствует требованиям действующих нормативов [1].

Согласно ГОСТ на электромагнитную совместимость, электромагнитная совместимость технических средств – способность технических средств функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам [1]. Согласно тому же ГОСТу электромагнитная обстановка – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, в частотном и временном диапазонах. Из определений вытекает, что электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике – широкое понятие, в рамках которого можно рассматривать большое разнообразие процессов, сопровождающих эксплуатацию тех или иных объектов и устройств.

Проблема обеспечения синусоидальности тока и напряжения в питающих сетях энергосистем и сетях электроснабжения возникла в связи с применением мощных электромагнитных устройств с нелинейной вольтамперной характеристикой, таких как трансформаторы, неуправляемые и особенно управляемые вентильные преобразователи. В настоящее время проблема возникновения высших гармоник является одной из важных частей общей проблемы электромагнитной совместимости приемников электроэнергии с питающей электрической сетью. Искажения кривой напряжения в электрических сетях приводят к следующим отрицательным последствиям: появляются добавочные потери мощности в питающих линиях, трансформаторах, батареях конденсаторов и, происходит ускорение старения изоляции электрических машин, аппаратов и кабелей, что приводит к уменьшению надежности и срока службы электрооборудования, ухудшается точность электрических измерений, появляются нарушения в работе автоматики, телемеханики и релейной защиты, затрудняется, а в ряде случаев становится невозможным использование силовых цепей в качестве каналов для передачи информации.

Кроме того, в ряде случаев ухудшается, а иногда и нарушается работа приемников электроэнергии, в том числе и тех, которые создают несинусоидальность в электрических сетях.

В настоящее время сложился типовой круг задач, решаемых в рамках электромагнитной совместимости, применительно к области, которые являются актуальными и требующими решения применительно проектируемой или эксплуатирующейся станции и подстанции.

Целью исследования является задача определения условий работы и параметров системы тягового электроснабжения, при которых возникают наибольшие электромагнитные помехи, проникающие через питающие и сигнальные цепи, разработать методику оценки электромагнитной совместимости.

Одним из условий обеспечения электромагнитной совместимости является соответствие питающего напряжения подвижного состава ГОСТу [1]. Одним из основных критериев электромагнитной совместимости является определение показателей качества электроэнергии на электроподвижном составе и устройствах тягового электроснабжения, нормирование которых позволит обеспечить электромагнитную совместимость электроподвижного состава и системы внешнего электроснабжения, а также проводных цепей связи. Качество электроэнергии напрямую связано с понятием электромагнитной совместимости, так как та энергия, которая подается на тяговую подстанцию, в дальнейшем неоднократно преобразуется и питает подвижной состав электрического транспорта.

Технологический процесс электроснабжения состоит из производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. На каждом этапе процесса возникают определенные изменения, вызванные отклонениями от заданного режима, принципом действия оборудования, его состоянием и прочими факторами. Так, например, причиной искажения синусоидальности напряжения являются выпрямительные агрегаты, что обусловлено принципом их работы [2]. Любая система электроснабжения является той электромагнитной средой, в которой искажения качества создаются, распространяются и воздействуют на потребителей, но и сами потребители являются источниками искажений.

Одинокные быстрые изменения напряжения вызываются, в основном, резкими изменениями нагрузки в электроустановках потребителей, переключениями в системе либо неисправностями и характеризуются быстрым переходом среднеквадратического значения напряжения от одного установившегося значения к другому. Обычно одинокные быстрые изменения напряжения не превышают 5 % в электрических сетях низкого напряжения и 4 % — в электрических сетях среднего напряжения, но иногда изменения напряжения с малой продолжительностью до 10 % U_{nom} и до 6 % U_c соответственно могут происходить несколько раз в день.

Так, отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать $\pm 0,2$ Гц в течение 95% времени и $\pm 0,4$ Гц — в течение 100 % времени [2].

Важнейшими показателями качества электроэнергии являются симметрия и синусоидальность токов и напряжений в сетях трехфазного переменного тока. Эти показатели регламентируются соответствующими нормативными документами, в частности, действующему стандарту [1]. Превышение этими показателями допустимых значений снижает срок службы оборудования, увеличивает потери электроэнергии, способствует возникновению аварийных ситуаций на электростанциях.

Как показывает практика, функционирование электроподвижного состава во многом зависит от качества питающего напряжения, в частности при сильном искажении напряжения (более $\pm 10\%$) в тяговой сети и непосредственно на токоприемнике снижаются эксплуатационные показатели электроподвижного состава. При снижении показателей электромагнитной совместимости, в пределах регламентируемых ГОСТом, с системой тягового электроснабжения работа электроподвижного состава, его электронного и электрического оборудования, особенно в режиме рекуперативного торможения, может сопровождаться функциональными нарушениями [5].

Современные подвижные составы оборудованы электронными устройствами для работы, которых необходимо обеспечить оптимальную систему управления, удовлетворяющую показателям электромагнитной совместимости. Используемые в системе управления подвижного состава электронные устройства обладают высокой чувствительностью к все возможным помехам, в том числе к изменению питающего напряжения.

Информационный поиск показывает, что сбои в работе систем управления тиристорными преобразователями чаще всего вызваны искажением кривой питающего напряжения. Этот процесс сопровождается многократными переходами кривой напряжения нулевой линии в течение каждого полупериода основной частоты [3]. Также, на некорректную работу элементов управления может влиять сильное искажение питающего напряжения, путем невыполнения необходимых потенциальных условий для надежного открывания и закрывания электронных аппаратов, что скажется на безопасности и эффективности пассажирских перевозок.

Учитывая востребованность пассажирских перевозок, возникает необходимость эксплуатации сразу многих подвижных единиц получающих питание одновременно от сети, что значительно усложняет электромагнитные процессы, протекающие в системе тягового электроснабжения. Работа соседних тяговых нагрузок или неблагоприятная реакция системы тягового электроснабжения вызывают искажение переднего и заднего фронтов кривой полупериода питающего напряжения. Это вынуждает принимать специальные меры по обеспечению функционирования электроподвижного состава - увеличивать начальный угол полного открытия тиристорov в режиме тяги и увеличивать угол запаса в режиме рекуперативного торможения [4].

Согласно проведенному информационному поиску, в статьях посвященных проблемам электромагнитной совместимости, особое внимание уделяется качеству выпрямленного напряжения. Пульсации выпрямленного напряжения, генерируемые выпрямителем в тяговую сеть, создают помехи в проводных линиях связи (мешающее электромагнитное влияние) и влияют на гармонический состав тягового тока. Для снижения пульсации выпрямленного напряжения на тяговых подстанциях применяются сглаживающие фильтр-устройства (электрические фильтры). На подстанциях с 6-ти пульсовыми выпрямителями обычно применяются фильтры, параллельные ветви которых настроены в резонанс для пропуска тока частоты пульсации (300, 600, 900... Гц) [6]. Улучшенные показатели 12-ти пульсовых выпрямителей позволяют использовать однозвенные апериодические, резонансно-апериодические фильтры, фильтры с запирающим контуром или вообще обходиться без фильтров.

Для исследования анализа влияния параметров питающей сети на качество выходного напряжения для подвижного состава постоянного тока с помощью методов и средств структурного моделирования в Matlab Simulink создана модель, позволяющая учитывать влияние параметров сети тяговой подстанции на качество напряжения каждой фазы. Разработанная модель позволяет варьировать параметры питающей сети, подающей напряжение на шины тяговой подстанции в рамках действующего ГОСТ, с целью обеспечения электромагнитной совместимости тяговой подстанции постоянного тока и питающей сети. На основании полученных результатов исследований при отклонении в соответствии со стандартом установлено, что влияние изменения частоты на выпрямленное напряжение в виде искажения формы выпрямленного напряжения и тока, несомненно, сказывается на форме кривой выпрямленного напряжения и ее гармоническом составе.

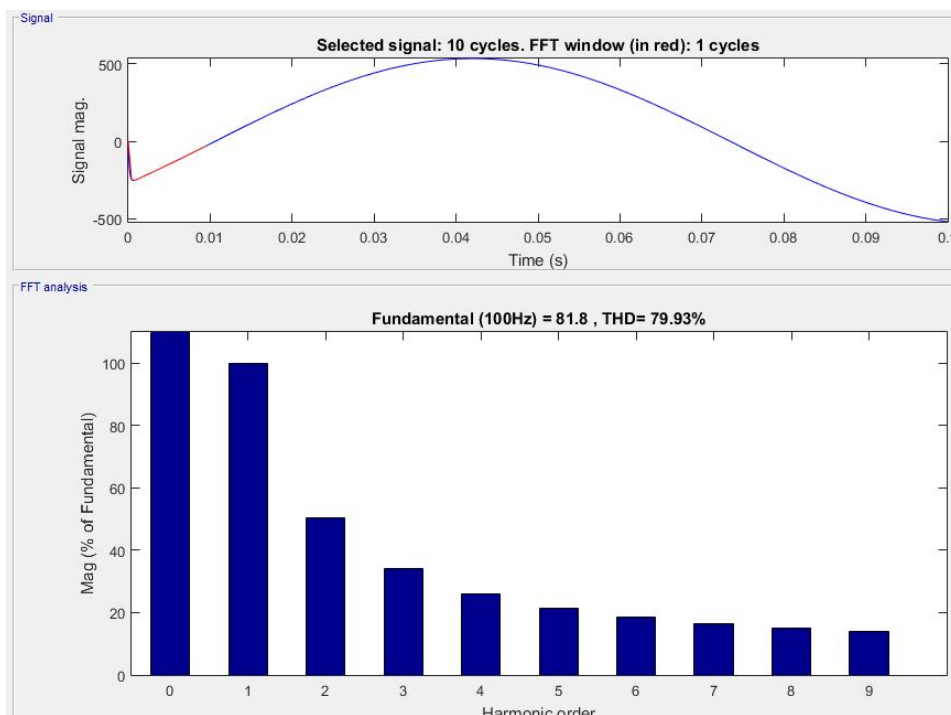


Рис. 1. Влияние нелинейности цепи на гармонический состав напряжения

Согласно полученным данным в гармонических составляющих напряжения и тока преобладают нечетные гармоники. Особенно искажается кривая напряжения. Величина третьей гармоники достигает 47 % от основной частоты напряжения.

Гармоники напряжения питающей сети вызывают в трансформаторах увеличение потерь на гистерезис и потерь, связанных с вихревыми токами в стали, а так же потерь в обмотках. Сокращается также срок службы изоляции.

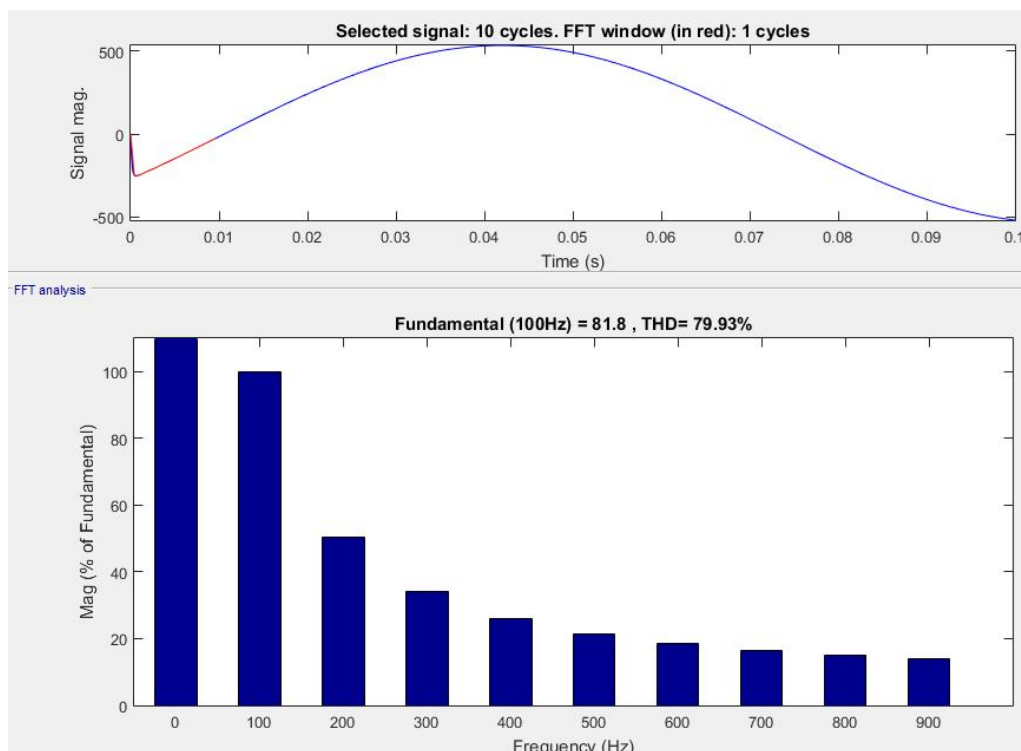


Рис. 2. Гармонический анализ кривой напряжения одной из фаз

Увеличение потерь в обмотках наиболее важно в преобразовательном трансформаторе, так как наличие фильтра, присоединяемого обычно к стороне переменного тока, не снижает гармоники тока в трансформаторе. Поэтому требуется устанавливать большую мощность трансформатора. Наблюдаются также локальные перегревы бака трансформатора.

Как следует из представленного графика, основное влияние на форму выпрямленного напряжения оказывают гармоники с частотой от 1 до 300 Герц.

Они приводят к перегрузкам, снижают срок службы и, при определенных условиях могут вызывать преждевременный выход из строя электрических и электронных потребителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва: Изд-во стандартов, 2013. – 15 с.
2. Ермоленко Д. В. Показатели электромагнитной совместимости и методы ее обеспечения в системе электрической тяги переменного тока 1999. – 45 с.
3. Апполонский С.М., Вилесов Д.В., Ворошевский А.А. Электромагнитная совместимость в системах электроснабжения // Электричество. 1991. №4. С. 1-6.
4. Бадер М.П. Электромагнитная совместимость. - М.: УМК МПС, 2002. 638 с.
5. Косарев Б.И. Заземление электроустановок транспортных тоннелей. — М.: МИИТ, 2005-271 с.
6. Бей Ю.М., Мамошин Р.Р., Пупынин В.Н. Шалимов М.Г. Тяговые подстанции. - М.: Транспорт, 1986. - 319 с. 16 Дарчиев С.Х., Косарев Б.И., Мориц Э.Я. Устройства электроснабжения Байкало-амурской магистрали. — М.: Транспорт, 1989. - 176 с.
7. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи.— М.: Транспорт, 2001-464 с. 19 Евдокимов С.А. Анализ и синтез схемных решений трехфазных многопульсных выпрямителей с естественной коммутацией: Диссертация кандидата технических наук. — Новосибирск, 2006. — 231 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ЧЕТНЫМ ЧИСЛОМ ФАЗ ПРИ ПОМОЩИ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Морозов П.В., Обухов К.А.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Система электроснабжения железной дороги переменного тока на вторичной стороне трансформаторного преобразователя тяговой подстанции представляет собой нелинейную резко переменную нагрузку. Это обусловлено тем, что двигатели электровозов переменного тока работают под управлением электронных силовых преобразователей энергии [1]. Эти преобразователи порождают внешние токовые гармоники, которые в виде кондуктивных помех, которые проявляются в трехфазной сети на первичной стороне трансформаторного преобразователя.

Эти гармоники снижают эффективность эксплуатации системы электроснабжения, приводят к перегреву и сокращению срока службы оборудования, помехам в системах связи и т.д. Традиционно для подавления высших гармоник, порождаемых упомянутыми нагрузками, применяют пассивные фильтры. Каждый отдельный фильтр

шунтирует соответствующую гармоническую составляющую тока нагрузки. Разработка и настройка таких фильтров несмотря на их простую структуру, крайне затруднена в связи с тем, что, как правило, зависимость импеданса нагрузки от частоты имеет некоторую неопределенность. Кроме того, увеличение количества подавляемых гармоник приводит непосредственно к значительному увеличению массы и габаритных размеров набора LC-фильтров.

Чтобы повысить эффективность подавления высших гармоник, применяют активные фильтры. Первоначально активные фильтры использовались в трехфазных системах [2]. За счет управления переключением коммутационных элементов данный фильтр потребляет от трехфазного источника напряжения такой ток, который компенсирует высшие гармонические составляющие тока нагрузки.

Активные трехфазные фильтры получили распространение за счет увеличения количества быстродействующих и мощных электронных приборов (IGBT, GTO и т.д.). Кроме того, новые функциональные возможности фильтров открывают микроконтроллеры и цифровые сигнальные процессоры (DSP). Основой активных фильтров является обратимое управление преобразованием постоянного тока в переменный (DC/AC). Как правило, они шунтируют нагрузку и являются источником компенсирующих гармонических составляющих и препятствуют таким образом распространению кондуктивной помехи в виде высших токовых гармоник в трехфазную сеть. Наличие управляющего компьютера на основе DSP позволяет сформировать такой алгоритм управления, который помимо подавления высших гармоник, например, компенсирует реактивную мощность.

Активные фильтрокомпенсирующие устройства различают по следующим признакам:

- структура преобразователя энергии: схема и тип коммутационных элементов;
- алгоритм управления: порядок вычисления опорных управляющих сигналов;
- алгоритм управления: порядок формирования управляющих воздействий на коммутационные элементы, например, ШИМ.

Идеальный активный фильтр полностью поглощает высшие гармонические составляющие тока нагрузки за счет как можно более высокой частоты переключения коммутационных элементов и как можно большего количества формируемых уровней напряжений. Наиболее предпочтительными коммутационными элементами являются IGBT-транзисторы, которые обеспечивают частоту переключений до 25 кГц при малых потерях энергии.

Алгоритм функционирования известных фильтров предназначен для систем с числом фаз кратных трем. Кроме того, они обеспечивают компенсацию только реактивной мощности. Это позволяет уменьшать почти до нуля фазовые сдвиги между фазными токами и напряжениями, а также подавлять высшие гармоники.

Трехфазные активные фильтры, как правило, устанавливаются в трехфазной сети возле подстанций более высокого уровня напряжения, чем тяговые подстанции. Поскольку тяговые подстанции находятся на удалении от подстанций более высокого уровня, применение таких фильтров повышает качество электроэнергии на первичной подстанции более высокого уровня не влияя на ее качество на первичной стороне тяговой подстанции. Следовательно, включение фильтрокомпенсирующих устройств на первичной стороне подстанции обладает теми же недостатками, что и комбинирование однофазного и трехфазного трансформатора.

В то же время известные фильтрокомпенсирующие устройства не позволяют уменьшать токи обратной последовательности для снижения несимметрии. Предложено сформировать из нескольких фильтрокомпенсирующих устройств

устройство уравнивания мощности, которое подавляет токи нулевой последовательности за счет управления распределением мощности между вторичными обмотками трансформаторного преобразователя. Путем компьютерного моделирования в среде Matlab Simulink SinPower были исследованы способы усовершенствования структуры трансформаторного преобразователя на тяговых подстанциях переменного тока с числом фаз на вторичной стороне, не кратным трем [3].

Улучшение структуры позволяет снизить несимметрию токов и напряжений только при неизменной равной нагрузке вторичных обмоток трансформаторного преобразователя. На практике тяговая нагрузка очень быстро изменяется. В связи с этим было предложено включить параллельно каждой из вторичных обмоток трансформаторного преобразователя свое фильтрокомпенсирующее устройство, которые объединены между собой через емкостной накопитель. Равная нагрузка обмоток при любых соотношениях нагрузок поддерживается за счет поддержания равномерного распределения активной мощности между обмотками путем управления фильтрокомпенсирующими устройствами с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Распределение мощностей между обмотками с использованием ШИМ-управления позволяет равномерно распределять активную мощность между произвольным четным количеством обмоток, например 4 или 8. Четыре вторичных обмотки могут потребоваться на крупной станции, состоящей из четырех путей.

Равномерное распределение активных мощностей с помощью фильтрокомпенсирующих устройств позволяет обеспечить близкие к нулю несимметрию и несинусоидальность токов и напряжений в первичной трехфазной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Rashid. Power Electronics Handbook. – Elsevier Academic Press, 2007.– p. 1153.
2. H. Akagi, E. Watanabe, M. Arades. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditions. – Willey and sons, 2007. – P. 389.
3. Морозов П. В. Моделирование промышленных и тяговых трансформаторных преобразователей с числом фаз некратным трем // Актуальные проблемы современного машиностроения : сб. тр. междунар. науч.-практ. конф., Юрга, 17–18 дек. 2015 г. – Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2015. – С. 86-88.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КВАЛИМЕТРИИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Халезин Ф.Ю.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

При выборе оптимального устройства микропроцессорной релейной защиты и автоматики (МП РЗА), обслуживающего объект энергосистемы, часто приходится принимать решение с учетом степени достижения различных целей, каждая из которых характеризуется величиной соответствующего критерия оптимальности. Так, например, стараются обеспечить максимум технического совершенства, надежности, функциональности, минимум воздействия окружающей среды, максимум уровня эксплуатации и т. д. [1,2].

Назовем критерии достижения этих частных целей частными или локальными критериями и обозначим f_i , $i = \overline{1, n}$; где i – индекс локального критерия, а n – число этих

критериев. Такого рода задачи называют задачами векторной оптимизации или многокритериальными, поскольку совокупность частных критериев эффективности по разным целям образует вектор критериев.

Приоритет локальных критериев может задаваться различными способами. Наибольшее распространение получил способ, который состоит в задании весовых коэффициентов для каждого локального критерия v_i , где $i = \overline{1, n}$.

Основной составляющей общей эффективности устройств МП РЗА является достигнутый технический уровень, включающий в себя ряд частных критериев (Таблица 1):

Таблица 1. Критерии, определяющие общую эффективность устройств МП РЗА

Комплексный критерий эффективности устройств МП РЗА энергообъекта E^*	1. Минимум ущерба в энергосистеме при отказах и повреждениях электрооборудования, оснащенного устройством МП РЗА	
	2. Максимум технического совершенства МП РЗА	2.1. Максимум быстродействия
		2.2. Максимум селективности
		2.3. Максимум чувствительности
		2.4. Максимум уровня технологии
	3. Максимум надежности МП РЗА	3.1. Минимум отказов в срабатывании
		3.2. Минимум ложных срабатываний
		3.3. Минимум излишних срабатываний
	4. Максимум интеллектуальной функциональности МП РЗА	
	5. Максимум возможности интеграции МП РЗА в систему АСУ ТП	
	6. Максимум качества эксплуатации МП РЗА	6.1. Минимум воздействий окружающей среды на МП РЗА (электромагнитная совместимость и т. д.)
		6.2. Максимум совершенства системы диагностики и ремонта устройств МП РЗА
		6.3. Максимум уровня нормативно-технической документации
		6.4. Максимум уровня информационного обеспечения

При решении такой многокритериальной задачи предлагается использовать эвристический метод, использующий обобщенный критерий эффективности E^* , с помощью которого нормируют значения достигнутые по частным критериям. Обычно в качестве обобщенного (комплексного) критерия эффективности используется одна из средневзвешенных

$$E_1^* = \sum_i v_i f_i(x) \quad (1); \quad E_2^* = \sqrt{\sum_i [v_i f_i(x)]^2} \quad (2);$$

$$E_3^* = \prod_i [f_i(x)]^{v_i} \quad (3); \quad E_4^* = \left(\sum_i \frac{v_i}{f_i(x)} \right)^{-1} \quad (4),$$

где $f_i(x)$ – значение переменной x по шкале i -го критерия; v_i – весовой коэффициент.

Наибольшее распространение в практике расчетов при многокритериальной оптимизации получила среднеарифметическая (аддитивная) форма многоцелевого критерия оптимальности (1).

Процедура многокритериальной оценки эффективности вариантов устройств МП РЗА включает в себя несколько действий алгоритма: определение необходимого и достаточного числа учитываемых критериальных характеристик и приведение их к безразмерному виду и единому диапазону измерения, упорядочивание критериальных характеристик по их относительной весомости; выбор способа количественной оценки вклада каждой характеристики в общую оценку эффективности; обоснование структуры общего критерия эффективности; определение общего критерия эффективности для рассматриваемых вариантов МП РЗА.

Для формирования оценок весомости частных критериев v_i могут быть использованы различные методы экспертных оценок [3].

Диапазон возможных значений E^* удобно выбирать единичным отрезком. Тогда любому неудовлетворительному варианту соответствует $E^* = 0$, а идеальному – $E^* = 1$. Требуемое нормирование диапазона E^* должно обеспечиваться структурой целевой функции и соответствующим масштабированием весовых коэффициентов, в частности для E_1^* , E_3^* и E_4^* условием $\sum_{i=1}^n v_i = 1$, $v_i \geq 1$.

Для оценки качества проектируемой и выпускаемой промышленной продукции используются численные показатели, определяемые на основе квалиметрии [4]. Методы квалиметрии также применяются и для оценки технических решений объектов энергетики [5].

В квалиметрии свойства объекта отображаются точкой n -мерного пространства, где n – число критериев, представляющих интерес при сравнении объектов между собой и с некоторым эталоном или идеальным объектом. Целевая функция или комплексный показатель качества устройства МП РЗА является мерой эффективности или мерой приближения к эталону.

В настоящее время в квалиметрии для оценки комплексных критериев качества наибольшее распространение получила средняя арифметическая линейная форма:

$$E_a^* = \sum_{i=1}^n v_i e_{ik} \quad , \quad (5)$$

где e_{ik} – степень приближения к идеальному значению i -го критерия в k -ом варианте устройства МП РЗА.

Эта форма может применяться при любых способах оценок v_i и e_{ik} , лишь бы они были в диапазоне $[0;1]$, а весомости критериев v_i не зависели от оценок достижения частных целей e_{ik} (оценок частной эффективности) для любых сравниваемых вариантов. Чтобы выполнялось требование обращения в нуль целевой функции у варианта с нижним (верхним) уровнем одного из частных критериев, линейную форму дополняют коэффициентом вето. Более удобными для свойства вето являются мультипликативная и средняя гармоническая формы:

$$E_m^* = \prod_{i=1}^n (e_{ik})^{v_i} \quad (6); \quad E_r^* = \left(\sum_{i=1}^n v_i / e_{ik} \right)^{-1} \quad (7).$$

Как правило, определение весовых коэффициентов v_i строится на основе экспертных методов. Для каждого варианта технического решения устройства МП РЗА необходимо оценить эффективность e_{ik} по отношению к каждому критерию. Оценка дается в интервале от нуля до единицы. При назначении оценок e_{ik} можно использовать возможные экономические и технические расчеты, а также индивидуальный или коллективный опыт экспертов в тех случаях, когда по какому-либо критерию не удастся подобрать численный показатель для назначения e_{ik} .

В качестве оптимального варианта устройства МП РЗА выбирается тот, у которого достигается наибольшая оценка эффективности по выражениям (5)–(7). Проведенные исследования показали, что средняя гармоническая форма целевой функции (7) обладает большей разрешающей способностью при сравнении близких по своим критериям устройств МП РЗА с невысокой точностью оценок v_i и e_{ik} , а форму (5) можно рекомендовать в качестве показателя эффективности этих устройств за простоту вычислений и наглядность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шалин А.И. Надежность и диагностика релейной защиты энергосистем. Учеб. пособие. Новосибирск: Изд. НГТУ, 2003. 384 с.
2. Нудельман Г.С., Шалин А.И. Микропроцессорные системы РЗА. Оценка эффективности и надежности. Новости электротехники. – 2008 – №3(51) – С. 1–6.
3. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1974. 160 с.
4. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии. М.: Изд-во стандартов, 1973. - 282 с.
5. Гук Ю.Б., Долгов П.П., Окорочков В.Р. и др. Комплексный анализ эффективности технических решений в энергетике. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. - 176 с.

ПОЛУЧЕНИЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ ЖИДКОФАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Шубенкова Е.Г., Веприкова Я.Р., Шубенков А.А.

Омский государственный технический университет, г. Омск

Отдельным направлением среди различных конструкций солнечных батарей последнего поколения является использование наноструктур в качестве компонентов солнечных элементов [1]. Использование полупроводниковых нанокристаллов или квантовых точек (КТ), полученных методами коллоидного синтеза является перспективным направлением современной фотовольтаики. Квантовые точки проявляют уникальные оптические и электронные свойства и легко встраиваются в жидкофазные технологии производства солнечных батарей, в том числе печатную и высокопроизводительную рулонную.

В связи с расширением области применения квантовых точек (КТ) в различных приборах микро- и оптоэлектроники, дальнейший прогресс в этой области связан с получением все более однородных КТ, что позволит качественно улучшить рабочие характеристики большинства современных приборов. Низкая эффективность солнечных элементов на основе КТ связана с несовершенством методик получения наночастиц с контролируемыми параметрами. Эффективность устройств на основе КТ зависит от размеров, морфологии и стабилизации наночастиц, что и определяет актуальность и перспективность разработки способов получения, обеспечивающих контроль данных параметров [2].

Факт существования КТ в виде растворов обеспечивает не только разнообразие способов получения, но и множество возможностей манипулирования такими объектами. Одним из современных направлений синтеза КТ является синтез в мицеллярных системах [3], преимуществом которого считается ограничение роста

агрегатов в объеме водного пула мицелл и получение стабильных частиц малых размеров.

В работе получены и исследованы физико-химические свойства синтезированных в обращенных эмульсиях системы АОТ/н-гексан/вода наночастиц сульфида кадмия.

Обращённые мицеллы с заданной степенью гидратации ($\omega = 0.5; 1; 5; 10; 15; 20$) получали солюбилизацией воды и водных растворов соответствующих солей в 0,1 М растворе АОТ в н-гексане. Исходными растворами являлись Na_2S (0.1 М) и CdCl_2 ($3.75 \cdot 10^{-3}$ М) приготовленные с использованием деионизованной воды, полученной на приборе «Водолей». Размер частиц обращённых эмульсий определяли с помощью лазерного анализатора SALD-2101 «Shimadzu», межфазное натяжение – стагмометрическим методом при температуре 293 К. Зависимость межфазного натяжения микроэмульсий от степени гидратации использовали для расчета значений свободной энергии Гиббса мицеллообразования.

Морфологию синтезированных частиц сульфида кадмия исследовали методом просвечивающей электронной микроскопии на приборе JCM-2100. Оптические свойства синтезированных дисперсий изучали методом УФ-спектроскопии на приборе Specol 1500 в кварцевой кювете с длиной оптического слоя 1 см. Из спектров пропускания в области 235 – 660 нм определяли ширину запрещённой зоны и размеры синтезированных частиц по методике подробно описанной в [4].

По результатам дисперсионного анализа средние размеры частиц микроэмульсий с увеличением W изменяются от 22 мкм до 63 мкм. Зависимости межфазного натяжения (σ) и рассчитанной свободной энергии Гиббса мицеллообразования ($-\Delta G$) от степени гидратации показывают, что при достижении степени гидратации $W \leq 5$ термодинамический фактор способствует самопроизвольному мицеллообразованию ($-\Delta G = \min$), что сопровождается резким увеличением межфазного натяжения, препятствует взаимному растворению фаз и обеспечивает получение устойчивых микроэмульсий [5]. Это характерно для систем, полученных при фиксированной концентрации ПАВ, и объясняется уменьшением концентрации ПАВ на поверхности частиц микроэмульсии при уменьшении их размеров. Анализ полученных значений и закономерностей их изменения позволил выбрать для синтеза наночастиц сульфида кадмия системы с $W = 5$ и $W = 10$ как наиболее оптимальные с точки зрения устойчивости и размеров частиц микроэмульсий.

Значение ширины запрещённой зоны КТ CdS определяли как величину отрезка, отсекаемого на оси $h\nu$ касательной к линейной части экспериментальной кривой поглощения, построенной в координатах $(\alpha \cdot E)^2 = f(E)$ (E – энергия фотона, эВ) (рис. 1). При $W = 5$ и $W = 10$ для синтезированных частиц сульфида кадмия ширина запрещенной зоны составила 3.65 эВ и 3.54 эВ соответственно.

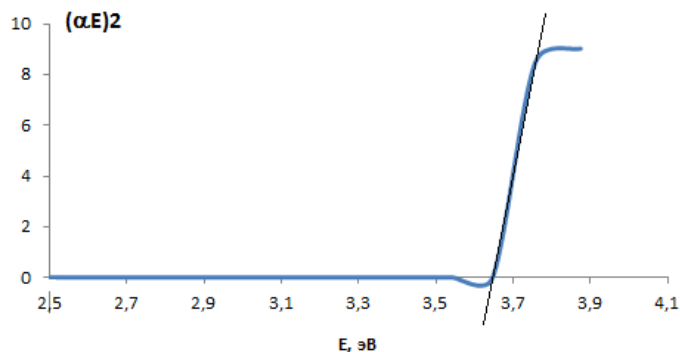


Рис. 1. Спектр поглощения наночастиц сульфида кадмия при $W = 5$, построенный в энергетической шкале

Анализ спектров пропускания обратномицеллярных систем с синтезированными наночастицами сульфида кадмия показал, что с уменьшением степени гидратации и, как следствие размеров частиц микроэмульсий, край полосы поглощения смещается в коротковолновую область, что указывает на уменьшение размера синтезированных наночастиц сульфида кадмия, при этом ширина запрещенной зоны частиц увеличивается. Оценка среднего размера частиц показала, что в зависимости от степени гидратации средний размер частиц CdS лежит в интервале от 2 до 5 нм при $W=5$ и $W=10$ соответственно и не превышает диаметр частиц микроэмульсий.

Микроскопические исследования показали, что при высыхании обращенной эмульсии с частицами CdS при степени гидратации $W \leq 5$ на поверхности подложки формируются гантелеобразные структуры, а при $W = 10$ структуры по форме близкие к сферическим. Полученные результаты согласуются с выводами авторов [5], утверждающими, что в практически обезвоженном углеводороде не происходит диссоциации молекул ПАВ и их агрегация заканчивается при формировании небольших олигомеров неправильной формы. Повышение же содержания воды не только увеличивает интенсивность агрегации, но также способствует образованию сферических обратных мицелл.

Таким образом, в области формирования устойчивых микроэмульсий системы АОТ/н-гексан/вода синтезированы наночастицы сульфида кадмия и исследованы их физико-химические свойства. Методом УФ-спектроскопии установлено, что с уменьшением степени гидратации, размер синтезированных в обратно мицеллярных системах наночастиц уменьшается, при этом их ширина запрещенной зоны увеличивается, что вызвано проявлением эффекта размерного квантования. Таким образом, регулированием степени гидратации исходной микроэмульсии реализуется возможность контроля размера, морфологии и электронных свойств, синтезированных наночастиц сульфида кадмия. Полученные в работе растворы КТ являются основой разработок составов для струйных технологий нанесения на поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Talapin D.V., Lee J.-S., Kovalenko M.V., Shevchenko E.V. // Chem. Rev., 110, 389 (2010).
2. Nikolaenko L.M., Razumov V.F. // Russ. Chem. Rev. 2013. 82 (5) 429-448.
3. A. A. Rempel, N. S. Kozhevnikova, S. V. Rempel, Structure of cadmium sulfide nanoparticle micelle in aqueous solutions, Russian Chemical Bulletin 2(2013)62.
4. Shubenkova, E.G., Fedjaeva, O.A., Lutaeva, I.A., Murashova, A.O., Jekkert R.V., Study of Optical Properties of Metallic Sulphide Dispersions, Procedia Engineering, Vol. 113, 2015, P. 32–36.
5. Brodskaya E.N., Role of water in the formation of the electric double layer of micelles // J. Phys. Chem. B. 2012. Vol. 116. №19. P. 5795-5800.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ

К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ ПЕРВОГО ПОДЪЕМА Дадабаев Ш.Т.	4
УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМ МЕХАНИЗМОМ-РОБОТОМ Стаблецкий В.А., Курбацкий В.В., Сарока В. В.	10
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ МАГНИТОПРОВОДА НА ТЯГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРЕССА Шабанов А.С., Нейман В.Ю.	14
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ Ожанов М.А.	17
ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СОСТАВЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ПО ПОКАЗАНИЯМ ПОТРЕБЛЯЕМЫХ ТОКОВ Сафин Н.Р., Прахт В.А., Дмитриевский В.А.	21
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ НА СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ НАНОТРУБОК Козловский А., Кайканов М., Тихонов А., Пономарев Д.	25
МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В ПАКЕТЕ LABVIEW Ланкина М.Ю., Ланкина Ю.К., Клименко О.Д.	28
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО - РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ Брюханов А.О. , Шилин А.А.	31
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ Олиферович Н.М., Кашкан М.А., Гречная Т.А.	33
СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР С БЛОКОМ НАГРЕВА ЖИДКОСТИ Литовец А.В., Сериков А.В.	36
ТУРБОГЕНЕРАТОР ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ Хоанг Чонг Хуи	38
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОЩЕТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН Хуснутдинов А.Н., Рыбаков Р.Б., Фаттахов И.И.	42

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ВАННА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕМОНТАЖА ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РЕМОНТАХ Аксенов Д.О., Кашин А.И., Немировский А.Е., Сергиевская И.Ю.	46
ПЛАВНЫЙ ПУСК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ Элмурод Хамдамов Тожиали угли	49
МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА ПРИСУТСТВИЯ С ДИСТАНЦИОННЫМ СИГНАЛИЗАТОРОМ Комиссарова А.К.	53
СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗАГАЗОВАННОСТИ EXFIRE 360 Ваземиллер Э.В.	57
ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ С КОМПЕНСАЦИЕЙ МОМЕНТА ОТ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ДЕБАЛАНСА АДВД Шакуров А.Р., Тягусев А.В., Еремина М.Г., Доманов В.И.	59
АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИСТЕРЕЗИСНЫХ МУФТ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ Савельева М.В.	63
СИСТЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗАДВИЖКИ ПАРОПРОВОДА Янчук В.С.	67
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФТОРПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ И ОБОЛОЧКИ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ Денежко А.Н., Матери Т.М.	70
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ Цыбиков Б.Б.	73
ПРИМЕНЕНИЕ Fe-Cr-Co В КАЧЕСТВЕ АКТИВНОГО СЛОЯ РОТОРА СИНХРОННО-ГИСТЕРЕЗИСНОГО ГИРОДВИГАТЕЛЯ Брянцев А.А.	77
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИЙ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ОБМОТКАМИ ИЗ АЛЮМИНИЯ Елшибек Ануар Алтынбекулы	80
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УПАКОВОЧНОЙ МАШИНЫ Древаль М.А.	84
НЕЛИНЕЙНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ В КОНТУРЕ СТАБИЛИЗАЦИИ Астапенко А.С., Павловец А.Н., Морозова М.П.	88
АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НАСОСА Жакупов Е.С.	91
ИНФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА Яцкая Т.А.	94

АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОБАЛАНСИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ АКТИВНОГО ТИПА Алтынбаев А.Ж.	98
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С АСИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ Серебряков Н. А.	100
ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА Крамарёв Д.С., Туганов А.С.	104
ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЕ ФИЛЬТРЫ Алешкевич Р.Ч., Литвиненко М.А., Сухорукова И.Г.	106
АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИСТЕРЕЗИСНОЙ МУФТЫ Колтунова Е.А.	109
МОБИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА ПРИСУТСТВИЯ С ДИСТАНЦИОННЫМ СИГНАЛИЗАТОРОМ Зубарев С.С., Комиссарова А.К.	112
ЭЛЕКТРОПРИВОД ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА СТАНЦИИ ВОДОПОДЪЕМА Яковлев А.С.	115
ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ КРАСНОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 660НМ НА ПОСЕВНОЙ САЛАТ «МОСКОВСКИЙ ПАРНИКОВЫЙ» Гасанова Т.Т., Трофимова А.С.	118
ОБЗОР МЕТОДОВ БЕЗДАТЧИКОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПЕРМЕННОГО ТОКА Власов К.С.	120
ПРИМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ТОКА В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ Серьёзов Ю. В.	124
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА Зар Ни Ньейн, Сериков В.А., Сериков А.В.	126
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗОЛЯЦИЮ НЕФТЕПОГРУЖНЫХ КАБЕЛЕЙ Щербакова Ю.М., Ефанова Д.Д.	129
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ Атакишиев Р.С.	130
ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ИНВЕРТОРОВ В ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ Якимов Д.А.	132

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ МАЛОМОЩНЫХ КОМПРЕССОРОВ Рогова О.В., Тюляхова А.А., Шамсутдинова А.С.	135
ТИРИСТОРНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ Саубанов Р.И.	138
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРУЕМОГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ Лукин М.Г.	141
СТРУКТУРА ТЕХНИЧЕСКОГО ОТЧЕТА ПО ТЕПЛОВИЗИОННОМУ ОБСЛЕДОВАНИЮ ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ Букирев Е.Ю., Ермалюк М.П., Тихов А.Е., Карпов Ф.Д.	145
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ Ланкина М.Ю., Ланкина Ю.К., Клименко О.Д.	148
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ Баклан С.Д.	151
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ Иванов С.Н., Шестоपालко Д.К.	153
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОММУТАЦИИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО КОНТАКТОРА БК-78Т В СХЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОВОЗА Бракк И.С.	157
ПОИСКОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДЕМОНТАЖА ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РЕМОНТАХ Аксёнов Д.О., Кашин А.И., Немировский А.Е., Петифоров В. О., Сергиевская И.Ю. ...	161
ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ И МЕСТА УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В СХЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИИ Широков А.В., Бирюкова Н.Н., Лихавицкий В.В.	163
АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ С ПРИВОДОМ ГУСАР II Нгуен Дык Тхо	166
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СД ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И БЫТОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ Малаева Е.А.	170
ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ Насибова Л.Я.	176

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ФТОРПОЛИМЕРНОЙ ОБОЛОЧКИ К ДЕЙСТВИЮ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ	
Хить А.Э., Матери Т.М.	179
ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	
Санников И. В., Размыслов В.А.	182
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ АППАРАТ УПРАВЛЕНИЯ АСИНОХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ ПУСКАТЕЛЯ ПТ	
Кулаков И.В.	184
MODELING AND ANALYSIS OF GRID CONNECTED PMSG WIND TURBINE FOR STEADY STATE AND TRANSIENT BEHAVIOR OF IN DIFFERENT FAULT TIME	
Aref M., Oboskalov V.P.	188
MODELLING AND SIMULATION MPPT OF PV SYSTEM WITH THREE-PHASE THREE-LEVEL CONVERTER	
Ahmed I., Aref M., Oboskalov V.P.	192
STEADY-STATE AND DYNAMIC PERFORMANCE OF LARGE SCALE FIXED- SPEED WIND FARMS CONNECTED TO AN ELECTRIC GRID AS INFLUENCED BY GRID STRENGTH	
Aref M., Oboskalov V.P.	196

КРУГЛЫЙ СТОЛ 3. СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ENERGYNET КАК СТРАТЕГИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ ДО 2035 ГОДА	
Саубанов Р.И.	200
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	
Сиушкина А.А.	202
ПРОБЛЕМА ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ В ТЕПЛОВИЗИОННОМ ОБСЛЕДОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	
Беляев К.Ю., Строкин Р.А., Герасимовская А.Н., Березина В.П., Карпов Ф.Д.	203
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ	
Залялова Г.Р., Зарипова Р.С.	206
МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ПОСРЕДСТВОМ ВЫБОРА ПРАВИЛЬНОГО ТАРИФА	
Чеботарёв А.Д.	208
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАСЯЩИХ КАТУШЕК ПРОИЗВОДСТВА RITZ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСА	
Федченко Т.П.	211

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ	
Файзуллин А.А., Чиликова (Филонова) И.И.	214

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИНТЕТИЧЕСКИХ СХЕМАХ	
Ганиев А.А.	217

**КРУГЛЫЙ СТОЛ 4.
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

РАСЧЕТНОЕ СРАВНЕНИЕ ТЕРМОЭМИССИОННЫХ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩИХ СБОРОК ВЫНЕСЕННОГО ТИПА С ВНУТРЕННИМ И ВНЕШНИМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ТОПЛИВА	
Баучкин Ф.А.	222

СИЛОВЫЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ДИОДЫ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ГАЛЛИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	
Ерофеев Е.В., Федин И.В.	228

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ С ЭЛЕКТРОПЛИТАМИ	
Ештокина П.Е., Пасечная Д.С., Надтока И.И.	232

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ НА КАЧЕСТВО ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПОСТОЯННОГО ТОКА В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK	
Марков А.В.	236

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ЧЕТНЫМ ЧИСЛОМ ФАЗ ПРИ ПОМОЩИ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ	
Морозов П.В., Обухов К.А.	240

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КВАЛИМЕТРИИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ	
Халезин Ф.Ю.	242

ПОЛУЧЕНИЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ ЖИДКОФАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ	
Шубенкова Е.Г., Веприкова Я.Р., Шубенков А.А.	245

Научное издание

**ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ**

**СБОРНИК ТРУДОВ
IV РОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ
ШКОЛЫ-КОНФЕРЕНЦИИ**

Подписано в печать 15.11.2016.

Формат 60х84/8.

Бумага «Svetocopy», «ColorCopy». Печать XEROX.

Усл.печ.л. 29,52. Уч. –изд.л. 13,45.

Заказ 2/15.11.16 – 35. Тираж 70 экз.



ООО «ЦРУ», Центр рекламных услуг. 634050,
Томская область, г. Томск, ул. Новгородская, 48,
тел.: (3822) 52-32-52, 52-30-52, 21-44-30,
e-mail: cru@cru.tomsk.ru, сайт: cru-tomsk.ru.