

Реферат

Выпускная квалификационная работа 150 с., 56 рисунков, 13 таблиц, 79 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: инвертор напряжения, источник бесперебойного питания, вспомогательный узел связи, источник питания, резервное питание.

Объектом исследования является источник бесперебойного питания, являющийся элементом системы гарантированного электропитания узла связи.

Цель работы – проектирование системы гарантированного электропитания узла связи с собственным источником бесперебойного питания с требованиями технического задания и исследование его работы.

В процессе работы: проведены расчёты основных блоков источника бесперебойного питания, выбрана система электропитания постоянного тока, рассчитана полная мощность электропотребления узла связи, рассчитаны компенсирующие конденсаторы для достижения необходимого значения коэффициента мощности, выполнен расчёт заземляющего устройства, смоделирована рабочая модель источника бесперебойного питания с разными типами управления и получены осциллограммы во всех ключевых рабочих точках.

В разделе «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» определена себестоимость производства, цена и рентабельность источника бесперебойного питания.

В разделе «социальная ответственность» рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010, имитационное моделирование основных узлов источника бесперебойного питания производилось в программной среде Matlab R2012b.

Список принятых сокращений

АБ – аккумуляторная батарея;

АВР – автоматический ввод резерва;

АДЭС – автономная дизельная электростанция;

БПСН – блок питания собственных нужд;

БТИЗ (IGBT) – биполярный транзистор с изолированным затвором;

ВУ – выпрямительное устройство;

ГОС – генератор образцовой синусоиды;

ГПН – генератор пилообразного напряжения;

ГРЩ – главный распределительный щит;

ЗУ – зарядное устройство;

ИБП – источник бесперебойного питания;

КОМ – компаратор сравнения пила и синусоиды;

КПД – коэффициент полезного действия;

ПНПТ – преобразователь напряжения повышающего типа;

САПР – система автоматического проектирования;

СГЭП – система гарантированного электропитания;

РУ – разрядное устройство;

ТП – трансформаторная подстанция;

ТРС – токораспределительная сеть;

ШИМ – широтно-импульсная модуляция;

ЭПУ – электропитающая установка

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	12
1. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ УЗЛА СВЯЗИ	15
1.1 Система и устройства электропитания узла связи	24
1.2 Коммутационная аппаратура.....	29
1.3 Системы бесперебойного питания переменного тока	34
1.4 Анализ современных ИБП.....	37
1.5 Требования к устройству бесперебойного питания	45
2. РАСЧЕТ ИСТОЧНИКА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ	47
2.1. Расчёт инвертора.....	55
2.1.1. Расчет силового трансформатора.....	62
2.1.2. Расчёт выходного фильтра	65
2.1.3. Расчёт параметров аккумуляторной батареи	67
2.1.4. Расчёт разрядного устройства.....	68
2.2 Расчет и выбор системы электропитания постоянного тока	73
2.3 Полная мощность, потребляемая всей системой электропитания	75
2.4 Расчёт параметров косинусных конденсаторов	79
2.5 Расчет заземляющего устройства.....	80
2.6 Выбор автоматов защиты	83
3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ..	87
3.1. Описание имитационной модели ИБП	87
3.2. Результаты моделирования ИБП.....	94
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.1 Анализ потенциальных рисков и разработка мер	Ошибка! Закладка не определена.
по управлению ими.....	Ошибка! Закладка не определена.
4.2 Оценка конкурентоспособности..	Ошибка! Закладка не определена.
4.3 Расчет себестоимости производства ИБП	Ошибка! Закладка не определена.
4.3.1 Материальные затраты	Ошибка! Закладка не определена.
4.3.2 Расходы на электроэнергию ..	Ошибка! Закладка не определена.
4.3.3 Полная заработная плата технологических рабочих	Ошибка! Закладка не определена.

4.3.4	Отчисление во внебюджетные фонды	Ошибка! Закладка не определена.
4.3.5	Накладные расходы	Ошибка! Закладка не определена.
4.4	Определение рентабельности продукции	Ошибка! Закладка не определена.
4.5	Расчет прибыли, определение критического объема производства	Ошибка! Закладка не определена.
5.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	Ошибка! Закладка не определена.
5.1	Введение	Ошибка! Закладка не определена.
5.2	Анализ опасных и вредных производственных факторов	Ошибка! Закладка не определена.
5.3	Техника безопасности.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.4	Производственная санитария	Ошибка! Закладка не определена.
5.4.1	Микроклимат.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.4.2	Освещение.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.4.3	Шум и меры по его устранению	Ошибка! Закладка не определена.
5.4.4	Защита от электромагнитных полей	Ошибка! Закладка не определена.
5.5	Охрана окружающей среды	Ошибка! Закладка не определена.
5.6	Чрезвычайные ситуации	Ошибка! Закладка не определена.
5.6.1	Пожарная безопасность	Ошибка! Закладка не определена.
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	108
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	Ошибка! Закладка не определена.

ВВЕДЕНИЕ

Современная система электроснабжения узлов связи должна удовлетворять ряду требований таких как: экономичность, надежность, безопасность, бесперебойность и т.д. Качество поставляемой электроэнергии к оборудованию связи должно соответствовать нормам таким как: уровень напряжения, стабильность частоты, время переключения на резервное электропитание и т.д.

Узлы связи находятся в жилых домах, у которых электроснабжение осуществляется от одного источника питания. При возникновении аварии с электроснабжением в жилом доме, по договорам электроснабжения потребителей 3 категории электроснабжения (к которым относятся жилые дома), на восстановление электропитания даётся 24 часа. Если в момент аварии с электропитанием в жилом доме, присутствует узел связи, с которого в свою очередь подключены услуги телефонии, телевидения, доступа в интернет целого района города, то организация провайдер и её абоненты несут большие убытки. В договорных отношениях между провайдером и абонентом присутствует пункт, по которому услуги связи предоставляются непрерывно. При обращении в сетевую организацию о присвоении провайдеру первой бесперебойной категории электроснабжения, сетевая организация отказывает в этом, советует своими средствами обеспечить себе первую бесперебойную категорию электроснабжения такими как: установка автономной системы бесперебойного питания, включающая в себя инвертор, выпрямитель, зарядное и разрядное устройства, повышающий трансформатор, блок управления, аккумуляторы, бензогенератор либо дизельгенератор.

При этом всё по возможности должны применяться решения, требующие минимальных дополнительных расходов на оборудование, кабельную продукцию, топливо для генераторов и т.д.

Цель работы – проектирование системы гарантированного электропитания узла связи с собственным источником бесперебойного питания с требованиями технического задания и исследование его работы.

Задачи выпускной квалификационной работы:

- определение необходимого оборудования для современного узла связи и описание его основных функций и параметров;
- определение электрических нагрузок типового узла связи;
- расчёт источника бесперебойного питания (ИБП) для нагрузок типового узла связи;
- расчёт электросети 0,4 кВ типового узла связи;
- расчёт оптимального времени резервирования электропитания и количества аккумуляторов для его обеспечения;
- математическое моделирование рассчитанного ИБП в программе Matlab определение главных параметров, сравнение и выбор способа управления инвертором;
- расчёт ресурсоэффективности и ресурсосбережения изготовления ИБП;
- расчёт безопасности и экологичности для узла связи.

Сначала производится анализ современного оборудования для узлов связи, на его основе производится расчёт электрических нагрузок типового узла связи. Рассматриваются исследовательские задачи и на их основании рассчитывается подходящий по параметрам ИБП. Выбирается тип и ёмкость аккумуляторных батарей. Производится расчёт полной электрической мощности, потребляемой узлом связи, на его основании выбирается коммутационная аппаратура и кабельные линии. В целях снижения потерь электроэнергии и повышения эффективности электроустановок рассчитывается установка компенсирующих конденсаторов. Выбирается и рассчитывается схема заземления. Рассчитывается необходимая мощность и выбирается дизельгенератор для резервирования электропитания узла связи.

Одним из основных параметров системы электропитания является ее способность обеспечивать непрерывную и бесперебойную работу оборудования на узле связи. Эту способность можно охарактеризовать комплексными показателями надежности. Анализ характеристик современных выпрямителей, инверторов, зарядных устройств показывает, что многие расчетные показатели надежности отдельных элементов всех этих устройств близки по своим значениям. Это затрудняет выбор наилучшего по надежности источника бесперебойного питания. Выбор осуществим по традиционным показателям надежности, таким как вероятность безотказной работы, среднее время наработки на отказ, коэффициент готовности.

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

1. Основные компоненты узла связи

Проектирование типового узла связи начинается с выбора головного коммутатора в нашем случае это маршрутизатор марки Cisco серии 7600 с параметрами [63]:

- потребляемая мощность 2200 Вт;
- уровень напряжения 220 В;
- коэффициент мощности 0,85;
- коэффициент полезного действия 0,95;
- время наработки на отказ 7 лет;
- удельная масса 122,5 кг;
- собственные размеры (ВШД/мм): 933 x 431 x 533 (21U);
- рабочая температура окружающей среды от 0 до 40 градусов по Цельсию и относительной влажности 0-95%.

Головной коммутатор способен обеспечить коммутацию потоков связи и обработку информации одного небольшого города, по этой причине обязательно резервируется по электропитанию. Имеет два взаимно резервируемых встроенных блока питания. Одним блоком питания подключается к не резервируемой электрической сети, вторым - к ИБП, это делается на случай выхода из строя ИБП. Общий вид маршрутизатора Cisco серии 7600 представлен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Маршрутизатор Cisco 7600

Далее выбирается районный коммутатор в нашем случае это два маршрутизатора марки Cisco серии 6500. Параметры районного коммутатора Cisco 6500 [63]:

- потребляемая мощность 1100 Вт;
- уровень напряжения 220 В, переменного тока;
- коэффициент мощности 0,85;
- коэффициент полезного действия 0,95;
- время наработки на отказ 7 лет;
- удельная масса 61,2 кг;
- собственные размеры (ВШД/мм): 648 x 431 x 460 (14U);
- рабочая температура окружающей среды от 0 до 40 градусов по Цельсию и относительной влажности 0-95%.

Районный коммутатор способен обеспечить коммутацию потоков связи и обработку информации одного района города, по этой причине обязательно резервируется по электропитанию. Имеет два взаимно резервируемых встроенных блока питания. Одним блоком питания подключается к не резервируемой электрической сети, вторым - к ИБП, это делается на случай выхода из строя ИБП. Общий вид маршрутизатора Cisco серии 6500 представлен на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Маршрутизатор Cisco 6500

Далее выбирается узловой коммутатор в нашем случае это двадцать маршрутизаторов марки Cisco серии 2950. Параметры узлового коммутатора Cisco 2950 [63]:

- потребляемая мощность 44 Вт;
- уровень напряжения 220 В, переменного тока;
- коэффициент мощности 0,85;
- коэффициент полезного действия 0,95;
- время наработки на отказ 7 лет;
- удельная масса 0,46 кг;
- собственные размеры (ВШД/мм): 50 x 125 x 103 (1U);

- рабочая температура окружающей среды от 0 до 40 градусов по Цельсию и относительной влажности 0-95%.

Узловой коммутатор способен обеспечить коммутацию потоков связи и обработку информации одного жилого дома, в нашем случае это 20 домов, обязательно резервируем узловые коммутаторы по электропитанию. Имеет один встроенный блок питания, резервируется по электропитанию. Общий вид маршрутизатора Cisco серии 2950 представлен рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Маршрутизатор Cisco 2950

Далее выбирается вспомогательное оборудование. Для усиления сигнала в оптических линиях связи применяются волоконно-оптические усилители. В нашем случае это четыре волоконно-оптический усилитель марки ASTRATEL серии WS. Параметры волоконно-оптического усилителя:

- потребляемая мощность 55 Вт;
- уровень напряжения 220 В, переменного тока;
- коэффициент мощности 0,85;
- коэффициент полезного действия 0,95;
- время наработки на отказ 7 лет;
- удельная масса 0,45 кг;
- собственные размеры (ВШД/мм): 50 x 125 x 103 (1U);
- рабочая температура окружающей среды от 0 до 40 градусов по Цельсию и относительной влажности 0-95%.

Волокно-оптические усилители работают совместно с резервируемыми по электропитанию коммутаторами, по этой причине обязательно резервируется по электропитанию. Усилитель имеет два взаимно резервируемых встроенных блока питания. Одним блоком питания подключается к не резервируемой электрической сети, вторым - к ИБП, это делается на случай выхода из строя ИБП. Общий вид волоконно-оптического усилителя марки ASTRATEL представлен рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Усилитель волоконно-оптический ASTRATEL

Для конвертирования оптических сигналов связи в электрические сигналы применяются медиаконвертеры. В нашем случае это десять медиаконвертеров марки PLANET серии FT. Параметры медиаконвертера [65]:

- потребляемая мощность 22 Вт;
- уровень напряжения 220 В, переменного тока;
- коэффициент мощности 0,85;
- коэффициент полезного действия 0,95;
- время наработки на отказ 7 лет;
- удельная масса 10 кг;
- собственные размеры (ВШД/мм): 70 x 94 x 26;
- рабочая температура окружающей среды от 0 до 40 градусов по Цельсию и относительной влажности 0-95%.

Медиаконвертеры работают совместно с резервируемыми по электропитанию коммутаторами, по этой причине обязательно резервируется по электропитанию. Общий вид медиаконвертера марки PLANET серии FT представлен на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Медиаконвертер PLANET

Для нужного распределения потоков связи (либо ограничения потоков связи) используется распределяющий коммутатор. В нашем случае это четыре распределяющих коммутатора марки Cisco серии 2000. Параметры распределяющего коммутатора [63]:

- потребляемая мощность 960 Вт;
- уровень напряжения 48 В, постоянного тока;
- время наработки на отказ 7 лет;
- удельная масса 0,2 кг;
- собственные размеры (ВШД/мм): 162 x 431 x 460 (3U);
- рабочая температура окружающей среды от 0 до 40 градусов по Цельсию и относительной влажности 0-95%.

Распределяющие коммутаторы ограничивают и распределяют потоки связи, по этой причине обязательно резервируется по электропитанию от

собственного источника постоянного тока. Общий вид распределяющего коммутатора представлен на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Коммутатор Cisco 2000

Для соединения нескольких узловых коммутаторов в одну общую сеть используется сетевой коммутатор. В нашем случае это десять сетевых коммутаторов марки D-Link серии DC. Параметры сетевого коммутатора [64]:

- потребляемая мощность 48 Вт;
- уровень напряжения 48 В, постоянного тока;
- время наработки на отказ 7 лет;
- удельная масса 2,5 кг;
- собственные размеры (ВШД/мм): 44 x 431 x 207 (1U);
- рабочая температура окружающей среды от 0 до 40 градусов по Цельсию и относительной влажности 0-95%.

Сетевые коммутаторы соединяют в общую сеть резервируемые по электропитанию узловые коммутаторы, по этой причине обязательно резервируется по электропитанию от собственного источника постоянного тока. Общий вид сетевого коммутатора D-Link серии DC представлен на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 – Сетевой коммутатор D-Link серии DC

Далее определяем количество серверных шкафов, в которых будет размещаться активное и пассивное оборудование связи, а так же источники питания с аккумуляторными батареями. В нашем случае это восемь напольных серверных шкафов марки ZPAS с габаритными размерами: высота 42U, ширина 600 мм, глубина 1000 мм [66]. Общий вид серверного шкафа ZPAS представлен на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8. – Шкаф напольный серверный ZPAS

Допустимая нагрузка у данного шкафа 1360 кг, которой будет достаточно для размещения тяжёлых свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. При высоких тепловых нагрузках у шкафа ZPAS предусмотрена

возможность установки теплообменника или кондиционера, рациональнее и экономичнее охлаждать внутренний объём шкафов, чем весь объём помещения. Так же есть возможность объединить в модули отдельно стоящие шкафы, что существенно укоротит длину проводов и кабелей для электрических и других соединений.

Для охлаждения оборудования на боковые панели шкафов установим четыре автономных кондиционера марки ZPAS PROTHEM, из расчёта один кондиционер на два шкафа. И одну общую вентиляционную систему мощностью 1100 Вт. Для рациональной установки кондиционеров объединим серверные шкафы между собой, в два ряда по четыре шкафа. Параметры автономного кондиционера [66]:

- потребляемая мощность 1000 Вт;
- уровень напряжения 220 В, переменного тока;
- коэффициент мощности 0,7;
- время наработки на отказ 7 лет;
- рабочая температура окружающей среды от 0 до + 50 градусов по Цельсию и относительной влажности 0-95%.

Горячий воздух из верхней части шкафа засасывается и охлаждается кондиционером, после чего нагнетается обратно в нижнюю часть шкафа. Благодаря направленности потоков обеспечивается оптимальное и равномерное охлаждение оборудования. Кондиционирование позволяет получить требуемую температуру воздуха в шкафу даже, если температура воздуха снаружи шкафа выше требуемой, и применение вентиляции для удаления тепла невозможно. Общий вид автономного кондиционера и объединённых двух серверных шкафов представлен на рисунке 1.9.

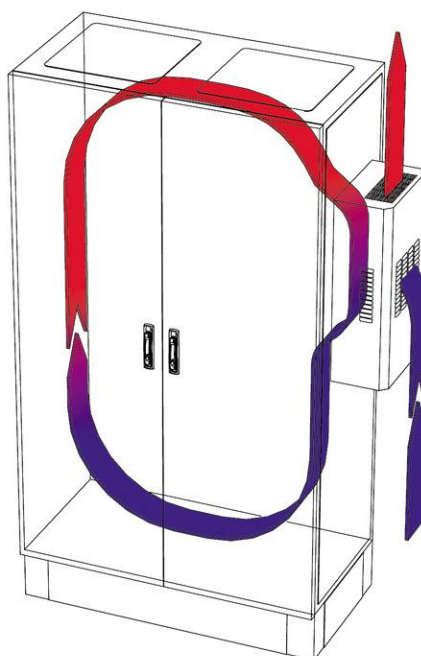


Рисунок 1.9 – Кондиционер ZPAS PROTHEM

1.1 Система и устройства электропитания узла связи

Верное определение ожидаемых электрических нагрузок – основа рационального решения комплекса технологических вопросов при проектировании электроснабжения узла связи. В зависимости от требований по надежности электроснабжения электроприемники узлов связи подразделяются на первую, вторую и третью категории. Большинство узлов связи относятся к потребителям первой категории, и их электроснабжение должно обеспечиваться от трех независимых источников электроэнергии. Два внешних ввода электроэнергии подключают к отдельным энергосистемам или электростанциям, а третий – к собственной автономной (дизельной) электростанции [1, 2]. В настоящее время допускается применение систем электроснабжения с одним вводом и автономной системой гарантированного питания [2].

Система электропитания – это комплекс сооружений на территории узла связи, включающий систему электроснабжения, устройства преобразования, распределения, регулирования и резервирования

электрической энергии, обеспечивающий функционирование узла связи, как в нормальных, так и в аварийных режимах работы. Структурная схема электропитания узла связи первой категории показана на рисунке 1.10.

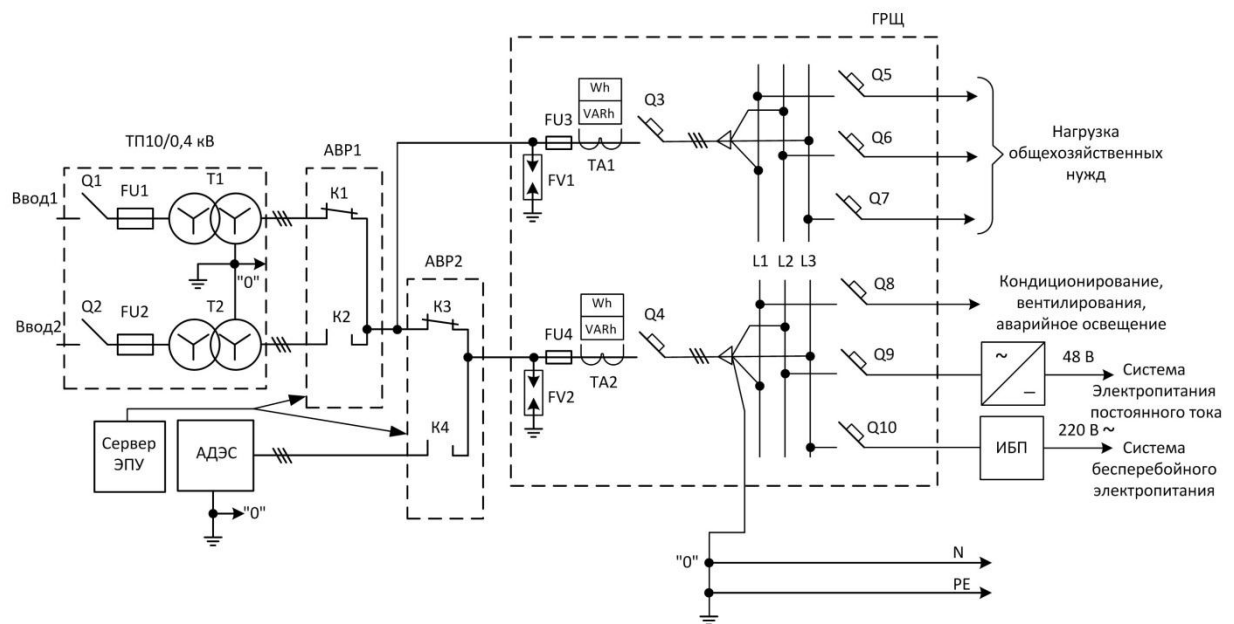


Рисунок 1.10 – Структурная схема электропитания узла связи

Схема включает следующие основные устройства:

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

- систему мониторинга и управления на основе сервера ЭПУ;
- электросети освещения, кондиционирования и хозяйственных нужд.

Трансформаторная подстанция (ТП) предназначена для понижения напряжения от 10 кВ до 0,4 кВ (380/220 В) трехфазного переменного тока промышленной частоты 50 Гц и содержит силовые трехфазные трансформаторы, высоковольтные выключатели, предохранители, разрядники, измерительные трансформаторы, а также аппараты и приборы низкого напряжения. Вторичные цепи силовых трансформаторов Т1, Т2 включаются по схеме «звезда» с нулевым выводом, который подключают к системе заземления. Плавкие вставки, изображенные на схеме рисунка 10 в виде одного трехфазного предохранителя (F1-F2), представляют собой три однофазных предохранительных устройства.

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

Автономная дизельная электростанция (АДЭС) представляет собой дизельный двигатель внутреннего сгорания, объединенный общим валом с трехфазным электрогенератором. АДЭС узлов связи должны иметь третью (высшую) степень автоматизации и специальные средства регулировки (стабилизации) выходного напряжения по величине, фазе и частоте. Запуск автономной электростанции выполняется автоматически с помощью стартера от аккумулятора. Запуск дизеля и установка выходных напряжений генератора производится в течение времени, меньшего 1÷3 мин. В случаях неудачного запуска его повторяют до трех раз (по 5 ÷ 6 с). Возможные неудачи запуска обусловлены, например низкой температурой масла в двигателе, состоянием стартерных аккумуляторов и другими причинами. Мощность автономной электростанции лежит в пределах от 8 до 1500 кВт.

Главный распределительный щит (ГРЩ) - это вводный распределительный шкаф (ШВР), с помощью которого обеспечивается ввод и распределение энергии по потребителям с помощью различных токоведущих шин, а также защиту потребителей от перегрузок по напряжению и от токов короткого замыкания. На передней панели ШВР расположены измерительные приборы для контроля коэффициента мощности ψ , активной (P , Вт) и реактивной (Q , ВАР) мощности, а также автоматы защиты. Иногда в главном распределительном щите монтируют и автомат ввода резерва.

Система вентиляции и кондиционирования воздуха, как правило, разделена на несколько частей (подсистем). С помощью технологических систем вентиляции и кондиционирования обеспечивается нормальный температурный режим и функционирование аппаратуры телекоммуникаций. В частности регулируется температурный режим отдельных устройств и производится вентиляция помещений (например, с аккумуляторной батареей).

Система мониторинга и управления предназначена для контроля состояния основных узлов системы электропитания и управление электропитающей установкой. Центральным устройством системы мониторинга является сервер ЭПУ на котором размещен программный комплекс (SCADA – система) контроля устройств ЭПУ. Сервер ЭПУ представляет собой автоматизированное рабочее место диспетчера ЭПУ и вместе с контроллерами устройств ЭПУ образуют локальную информационно – вычислительную сеть. На экране дисплея сервера размещена мнемосхема системы электропитания, на которой условно изображены устройства ЭПУ (АВР, АДЭС, токораспределительная сеть и так далее) и показатели их состояния. Устройства ЭПУ содержат в своем составе контроллеры управления (например, панель автоматики автономной электростанции).

Электропитающая установка – (ЭПУ) это комплекс устройств, предназначенных для распределения электрической энергии, регулирования, резервирования, стабилизации и контроля качества питающих напряжений. ЭПУ включает основное и резервное выпрямительные устройства (ВУ), источники бесперебойного питания переменного тока (ИБП) инверторы (И) и конверторы (К) или стабилизаторы напряжения (Ст), аккумуляторные батареи (АБ), токораспределительную сеть (ТРС) и систему заземления.

С помощью выпрямительного устройства (ВУ) напряжение переменного тока преобразуется в напряжение постоянного тока и стабилизируется. Система бесперебойного питания постоянного тока может состоять из нескольких параллельно включенных выпрямителей и аккумуляторных батарей для увеличения тока нагрузки. Выпрямительные устройства с аккумуляторной батареей, подключенной по буферной схеме могут работать в трех режимах:

- режим стабилизации напряжения питания аппаратуры связи и содержания аккумуляторной батареи (штатный режим);
- режим стабилизации напряжения и послеаварийного заряда аккумуляторной батареи после их разряда;
- разряд на нагрузку аккумуляторных батарей в условиях отсутствия напряжения переменного тока (аварийный режим).

С помощью инвертора напряжения осуществляется преобразование напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока заданной частоты (50 Гц) прямоугольной или синусоидальной формы. При этом обеспечивается стабилизация выходного напряжения.

С помощью конвертора напряжения (или стабилизатора) постоянное напряжение одного уровня преобразуется в постоянное напряжение другого уровня. Конверторы напряжения могут включать устройства гальванической развязки: инвертор с высокочастотным трансформатором напряжения и выпрямитель. Конверторы напряжения используются для получения стабилизированных напряжений необходимых величин, а также для

формирования вольтодобавки к напряжению аккумуляторной батареи при ее разряде в аварийном режиме работы.

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

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

1.2 Коммутационная аппаратура

Автоматический выключатель (автомат) предназначен для проведения тока цепи в нормальных режимах и для автоматической защиты электрических сетей и оборудования связи от аварийных режимов (токов короткого замыкания, токов перегрузки, снижения или исчезновения напряжения, изменения направления тока и др.), а также для нечастой коммутации номинальных токов.

Автоматы максимального тока служат для автоматического размыкания электрической цепи при возникновении в ней токов короткого замыкания и перегрузок сверх установленного предела. Заменяя собой рубильник и плавкий предохранитель, они обеспечивают более надежную и избирательную защиту при нештатных режимах. При перегрузках и токах короткого замыкания отключение выключателя производится независимо от того, удерживается ли рукоятка управления во включенном положении. Важной составной частью автомата является расцепитель, который контролирует заданный параметр защищаемой цепи и воздействует на

расцепляющее устройство, отключающее автомат. Наиболее широкое распространение получили расцепители следующих типов:

- электромагнитные (для защиты от токов короткого замыкания);
- тепловые (для защиты от перегрузок);
- комбинированные.

Автоматический выключатель представлен на рисунке 1.11 в общем виде и вид в разрезе.

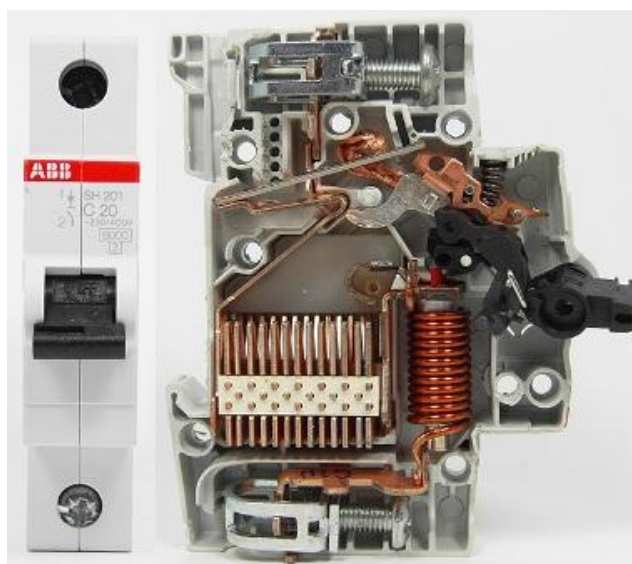


Рисунок 1.11 – Автоматический выключатель и его вид в разрезе

Автоматический выключатель состоит из следующих комплектующих:

- контактная система;
- дугогасительная система;
- расцепители;
- механизм управления;
- механизм свободного расцепления.

Контактная система состоит из неподвижных контактов, закрепленных в корпусе, и подвижных контактов, шарнирно посаженных на полуоси рычага механизма управления, и обеспечивает, обычно, одинарный разрыв цепи.

Дугогасительное устройство устанавливается в каждом полюсе выключателя и предназначается для локализации электрической дуги в ограниченном объеме. Оно представляет собой дугогасительную камеру с деионной решеткой из стальных пластин. Могут быть предусмотрены также искрогасители, представляющие собой фибровые пластины.

Механизм свободного расцепления представляет собой шарнирный 3- или 4-звенный механизм, который обеспечивает расцепление и отключение контактной системы, как при автоматическом, так и при ручном управлении.

Электромагнитный максимальный расцепитель тока, представляющий собой электромагнит с якорем, обеспечивает автоматическое отключение выключателя при токах короткого замыкания, превышающих уставку по току.

Тепловой максимальный расцепитель представляет собой термобиметаллическую пластину. При токах перегрузки деформация и усилия этой пластины обеспечивают автоматическое отключение выключателя. Выдержка времени уменьшается с ростом тока.

Перекидной рубильник предназначен для включения-выключения цепи электропитания, а также для ввода резервного питания, как под нагрузкой, так и без таковой. Важная функция, присутствующая у данного рубильника, наличие среднего положения, когда обе линии электропитания отключаются (средняя точка). Эту функцию удобно использовать при плановых переключениях на питание от резервного генератора, то есть переключение электропитания осуществляют с задержкой по времени. Общий вид перекидного рубильника представлен на рисунке 1.12.



Рисунок 1.12 – Рубильник перекидной со средней точкой

Дополнительный автоматический ввод резерва (АВР) установим на резервную линию электропитания от вводного автомата до оборудования связи в обход ИБП. На случай, если ИБП выйдет из строя, АВР переключит питание напрямую от ввода, в обход неисправного ИБП. Собирается АВР из двух контакторов и пяти автоматических выключателей. Принципиальная схема устройства АВР представлена на рисунке 1.13.

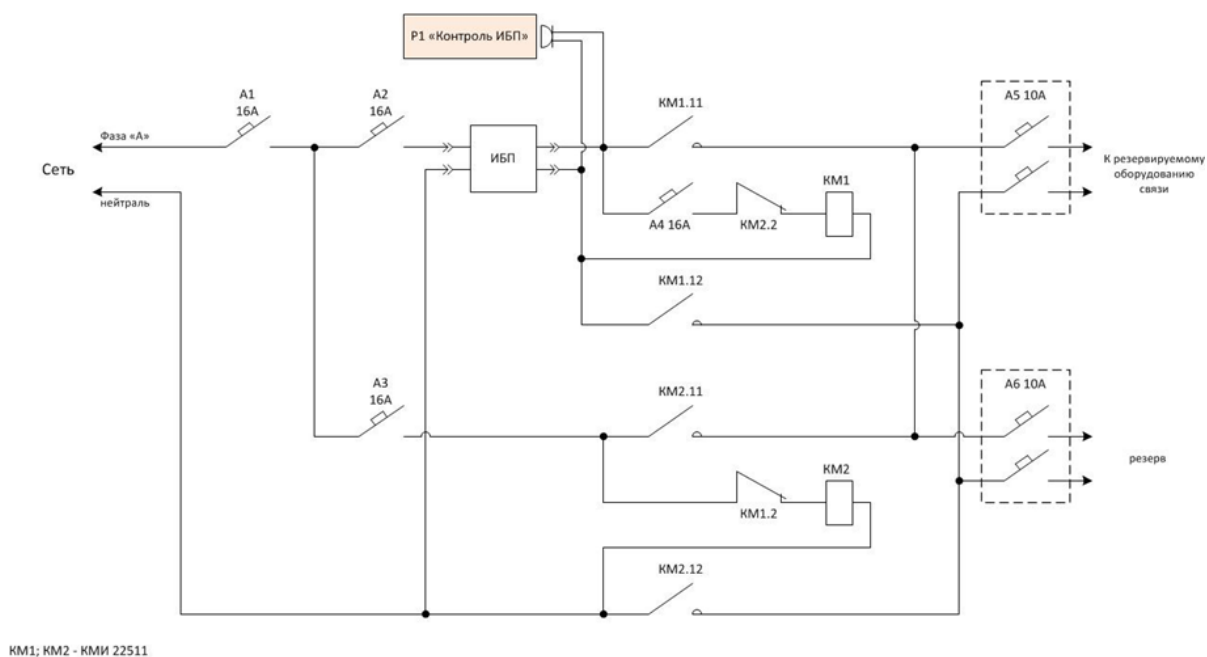


Рисунок 1.13 – Принципиальная схема устройства АВР

Общий вид собранного АВР по данной принципиальной схеме представлен на рисунке 1.14.

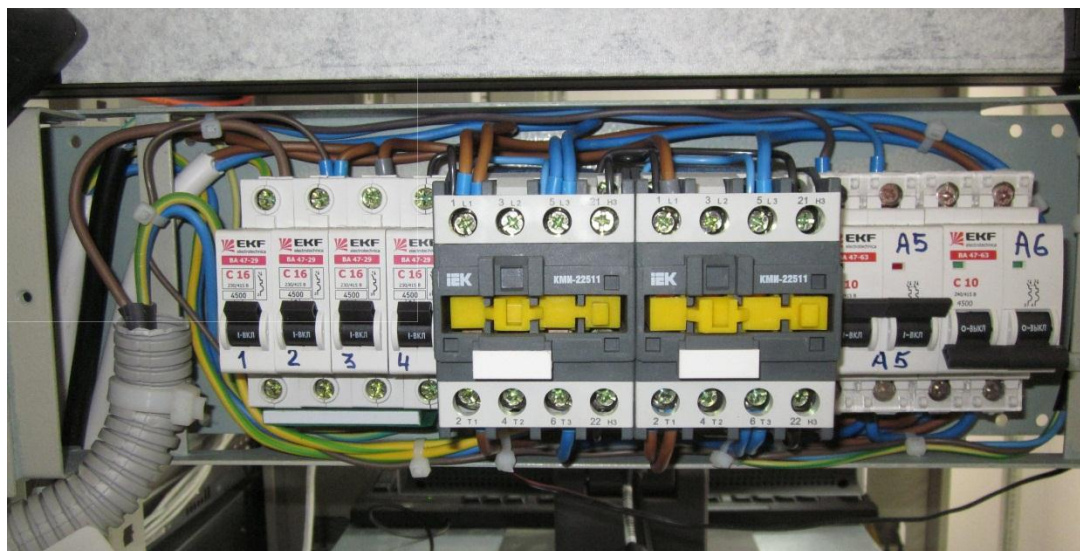


Рисунок 1.14 – Общий вид собранного АВР

Для подключения аппаратуры связи в серверных шкафах используем блоки силовых розеток Rem-16 с амперметрами. По показаниям амперметра всегда видно мгновенное значение тока потребления и в этот момент измерения соблюдается важное условие, услуги связи не прерываются. Показания тока используем для расчёта времени работы узла связи в режиме от аккумуляторных батарей, для распределения нагрузки между фазами и т.д.

Блок силовых розеток Rem-16 имеет восемь портов стандарта Schuko, выполнен в анодированном алюминиевом корпусе. Розетки расположены под углом 45% для удобного подсоединения коленчатых штекеров. На лицевой части блока установлен амперметр. Кабель питания 3 метра совместим со всеми линейками 19” монтажного оборудования, поставляется с комплектом крепежа в индивидуальной упаковке, выполнен в системе несущих конструкций 482,6 мм по ГОСТ 28601.2. Общий вид блока розеток представлен на рисунке 1.15.



Рисунок 1.15 – Блок силовых розеток Rem-16 с амперметром

1.3 Системы бесперебойного питания переменного тока

Основным назначением источника бесперебойного питания (ИБП) является обеспечение электропитания нагрузки напряжением 380/220 В переменного тока в течение времени отказа или аварии основного источника электроснабжения и до полного включения резервного источника (например, автономной дизельной электростанции). Системы бесперебойного питания строят по принципу распределенной системы с множеством ИБП или по централизованному принципу с общим мощным ИБП [22, 61, 62].

В соответствии с традиционной классификацией можно выделить четыре основных типа структурных схем построения источников бесперебойного питания:

- ИБП с переключением на аккумуляторную батарею (Off Line или Standby) – рисунок 1.16;
- ИБП с постоянным включением батареи аккумуляторов (On Line или Double Conversion UPS) – рисунок 1.18;
- другие схемы построения ИБП.

Источник бесперебойного питания с переключением на аккумуляторную батарею (Off Line) работает в двух основных режимах. В штатном режиме, когда напряжение электросети находится в заданных

допустимых границах, питание нагрузки осуществляется напрямую от сети. Одновременно производится подзаряд аккумуляторных батарей. При возникновении аварии (провал или пропадание сетевого напряжения) с помощью *SA1* происходит переключение нагрузки на питание от аккумуляторных батарей через инвертор.

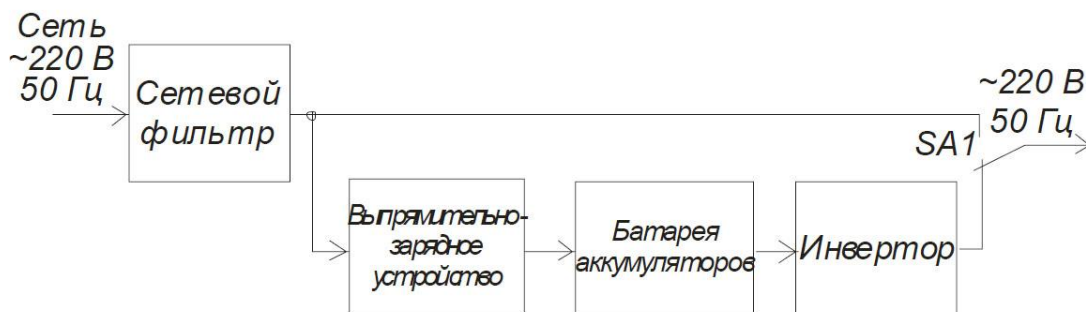


Рисунок 1.16 – Структурная схема ИБП переменного тока (Off Line)

Такие источники бесперебойного питания сравнительно просты и надёжны, но имеют невысокое качество выходного напряжения (прямоугольной формы), к недостаткам можно отнести ненулевое время переключения на питание от аккумуляторов около 4 миллисекунд (0.004 секунды). При переключениях *SA1* в выходном напряжении возникают значительные коммутационные помехи. Структурная схема источника бесперебойного питания интерактивного типа или «взаимодействующего с сетью» (Line Interactive UPS) во многом близка предшествующей схеме (см. рисунок 1.17). Отличие заключается в дополнительном ступенчатом регулировании выходного напряжения. Преимущество – защита нагрузки от повышенного или пониженного напряжения без перехода в аварийный режим. Недостатком также является ненулевое около 4 миллисекунд время переключения на аккумуляторы.

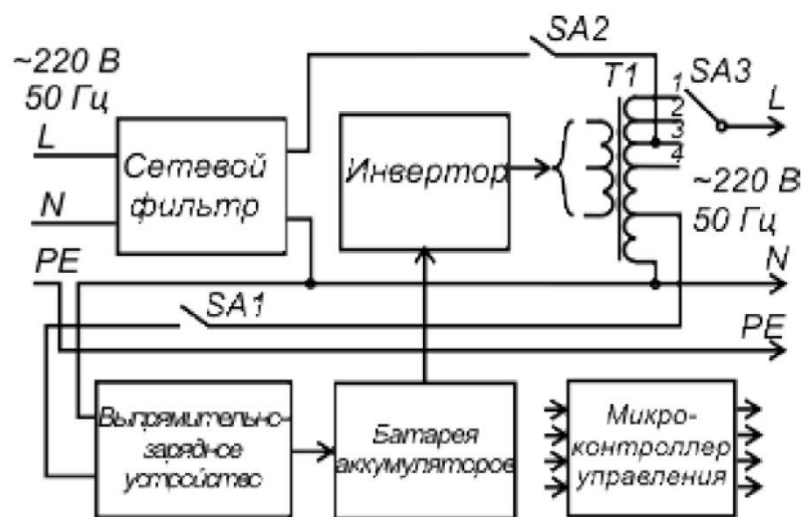


Рисунок 1.16 Структурная схема ИБП интерактивного типа

В источниках бесперебойного питания с постоянным включением батареи аккумуляторов (On Line) входное напряжение выпрямляется и понижается до величины напряжения аккумуляторной батареи, включенной по буферной схеме. Это же напряжение поступает на вход инвертора, с помощью которого путем широтно – импульсной модуляции формируется стабилизированное синусоидальное напряжение.

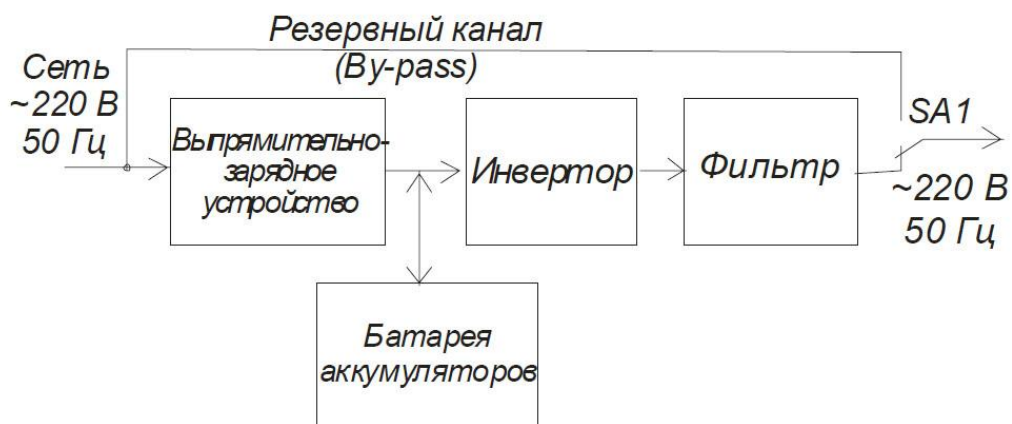


Рисунок 1.18 Структурная схема ИБП (On Line)

Выходное напряжение такого ИБП фильтруется и имеет высокие качественные характеристики, а процесс преобразования энергии непрерывен, так как батарея аккумуляторов оказывается постоянно включена в тракт преобразования. ИБП с постоянным включением аккумуляторной

батареи более сложны, поэтому в них имеется обводной (резервный) канал для передачи энергии (By-Pass), который включается с помощью переключателя *SA1* во время отказа ИБП. Преимуществом можно считать нулевое время переключения на питание от аккумуляторов, недостатком – снижение коэффициента полезного действия (КПД) за счет потерь при двукратном преобразовании напряжения, потери вносят дополнительную реактивную составляющую, снижают коэффициент мощности сети и являются причиной негармонических искажений тока в магистральной электрической сети.

Системы бесперебойного питания относительно большой мощности $P=(9-100)$ кВт строятся с применением трехфазных источников бесперебойного питания. Трехфазные ИБП в большинстве практических случаев построены по схеме с постоянным подключением аккумуляторных батарей.

1.4 Анализ современных ИБП

Проанализировав предложения производителей ИБП, выберем для сравнения три современных модели ИБП с разным типом действия, наиболее подходящие по требованиям для узла связи.

Рассмотрим подробно ИБП резервного типа. Tripp Lite APSINT 2012 инвертор-зарядное устройство, оборудованное автоматическим переключением питания от сети на батарею и встроенной системой зарядки батарей, может служить в качестве ИБП с продленным временем работы общий вид представлен на рисунке 1.19, обеспечивает длительную выходную мощность до 2000 Вт с напряжением 230В переменного тока на 2 выходные розетки, используя питание от аккумуляторных батареи 12В. Специальный режим Over Power позволяет временно обеспечивать выходную мощность до 150% от мощности постоянной нагрузки на период времени от 1 до 60 минут, а режим Double Boost обеспечивает 200% мощности на время до 10 секунд, необходимое для пуска мощных потребителей. Когда шнур питания

подключен к сети переменного тока, электроэнергия подается на подключенное оборудование и выполняется зарядка комплекта батарей 3-ступенчатой системой зарядки с выбором зарядного тока 15/60 А. В режиме ИБП альтернативный источник питания реагирует на отключения и перепады напряжения и переходит на питание от батарей посредством практически мгновенного автоматического переключения. Для простоты подключения в конструкции предусмотрены сильноточные входные клеммы постоянного тока. При питании от сети или генератора система передает синусоидальное напряжение к подключенному оборудованию и выполняет зарядку батарей. В режимах преобразователя и ИБП на выход подается импульсно-модулируемое напряжение со ступенчатой аппроксимацией синусоиды. Надежная конструкция с использованием мощного трансформатора и регулировкой частоты позволяет обеспечивать питание для резистивных и индуктивных электронных нагрузок с большим пусковым током. Опциональный модуль дистанционного управления питанием APSRM4 с полным набором светодиодных индикаторов обеспечивает дистанционное включение и выключение преобразователя и непрерывное получение информации о его состоянии. Обеспечивается практически неограниченное время работы за счет подключения любого количества батарей. Хорошо приспособливается к обширному перечню прикладных задач и условий работы за счет регулируемых настроек зарядного устройства для батарей наливного или гелевого типа и выбора значений напряжения переключения на питание от батарей.

Универсальная система преобразователя/зарядного устройства с автоматическим переключением на источник питания APSINT2012 служит в качестве автономного альтернативного источника электроэнергии при отсутствии централизованного электроснабжения, также может использоваться в качестве ИБП для оборудования, которое совместимо с 20-миллисекундным временем переключения (стандартного – совместимого со многими компьютерами, серверами и сетевым оборудованием).



Рисунок 1.19 – Общий вид ИБП Tripp Lite APSINT2012

Основные характеристики ИБП Tripp Lite APSINT2012 [68]:

- Переменное входное напряжение 144 - 242В;
- Постоянное входное напряжение 12В (диапазон 11 – 14 В);
- Мощность преобразователя 2000 Вт непрерывная;
- Мощность максимальная до 4000 Вт в течение 10 секунд, до 3000 Вт до 15 секунд;
- Номинальное выходное напряжение 230В переменное;
- Обеспечивает выходную синусоидальную волну в 230В переменного тока (+/-5%). Регулировка выходной частоты: 50 Гц (+/- 0.3 Гц);
- Оборудован защитой от перегрузок 10 А прерывателем входа, предназначенным для системы зарядки, и 15 А прерывателем выхода для выходных нагрузок переменного тока;
- Полная постоянная нагрузка 192 А при 12В постоянного тока;
- Полная постоянная нагрузка 17 А при 230В переменного тока с полной нагрузкой преобразователя и зарядного устройства;

- Увеличенное время работы при помощи любого числа аккумуляторных батарей с сухими или жидкостными элементами;
- Коэффициент мощности 95%;
- Коэффициент полезного действия (КПД) 85%;
- Удельная масса 20 кг;
- Собственные размеры (ВШД/мм): 178 x 216 x 356;
- Рабочая температура окружающей среды от 0 до 40 градусов по Цельсию и относительной влажности 0-95%;
- Автоматическое переключение в режим питания от аккумулятора после того, как линейное напряжение станет ниже 144, 163, 182, 201В (порог переключения настраивается);
- Автоматическое переключение в режим питания от аккумулятора после того, как линейное напряжение станет выше 242 В.

Рассмотрим подробно модульную инверторную систему с двойным преобразованием TSI Bravo EPC Pack, разработанную в соответствии с «золотыми» правилами систем с истинным резервированием электропитания. Общий вид представлен на рисунке 1.20. Одной из особенностей инверторов TSI является трехуровневая система отключения в нестандартных ситуациях (реле, предохранитель) на каждом порте питания, а также оптическая изоляция на двойной коммуникационной шине. Вход электросети переменного тока имеет фильтрацию от всплесков и выбросов напряжения, а также помех, которые присутствуют в электросети. Вход электропитания переменного тока инвертора имеет четыре последовательных устройства отключения, обеспечивающих более высокую надежность преобразователя.

Форма чистого синуса на выходе и идеальное значение коэффициента мощности достигаются без использования энергии источника постоянного тока. Фильтрация тока и напряжения подобна работе выпрямителя в сочетании с инвертором (режим on - line), но со значительно большим КПД. По сравнению с работой ИБП в режиме off - line, КПД находится в том же

диапазоне значений, но степень подавления сетевых помех намного выше. Кроме того, переключение между входными источниками энергии свободно от помех и может рассматриваться как работа плавной коммутации (soft - switching), которая называется режимом EPC (Enhanced Power Conversion – улучшенное преобразование энергии).

КПД преобразования AC/AC, который достигает 96%, значительно превышает общий уровень эффективности систем на основе выпрямителя - аккумуляторной батареи - инвертора, КПД которых составляет менее 85%, обычно используемых в тех случаях, когда требуется аналогичный уровень надежности. Это позволяет снизить потери энергии втрое.

При коротком замыкании на выходе переменного тока инвертор TSI способен обеспечить выходной ток, значение которого превышает в 10 раз номинальное значение в течение более чем 20 мс. При этом номинальные рабочие характеристики остаются постоянными, а любые другие нагрузки, подключенные параллельно, по-прежнему гарантированно получают электропитание.

Ток короткого замыкания также контролируется по величине, что предотвращает срабатывание прерывателя цепи на входе. При этом также обеспечивается полное разделение нагрузок, что служит дополнительной гарантией того, что получаемое ими питание не будет содержать помех даже после возникновения короткого замыкания.

При использовании инверторов TSI не требуется ручной байпас для замены статического байпаса, так как модули TSI можно подключать без отключения питания, и они обеспечивают функцию избыточного резервирования. При создании системы для конкретных целей, очень удобно использовать модули, в которых интегрированы функции обратного преобразователя и коммутатора, и упрощенную схему проводки, позволяющую легко соединять между собой пакетированные модули с помощью всего трех вертикальных шин: одной для входного переменного тока, одной для выходного переменного тока и одной для входного

постоянного тока. Использование TSI значительно облегчает прокладку исходной электрической сети, а также многократно повышает возможности по ее расширению.

Применение инверторных систем TSI позволяет обеспечивать принцип полной модульности, так как больше не требуется изменять характеристики статического байпаса в соответствии с мощностью нагрузки, подключаемой к выходной сети.



Рисунок 1.20 – Общий вид ИБП TSI Bravo EPS Pack

Основные характеристики ИБП TSI Bravo EPS Pack [67]:

- Переменное входное напряжение 150 - 265В;
- Диапазон синхронизации частоты входного напряжения 47 – 53 Гц;
- Постоянное входное напряжение 48В (диапазон 40 – 60В);
- Номинальная выходная мощность 2000 Вт;
- Полная постоянная нагрузка 56 А при 40В (максимальный 84А в течение 15 секунд) постоянного тока;
- Перегрузка по мощности 150% в течение 15 секунд, 110% длительная;
- Время переключение на режим работы от аккумуляторных батарей нулевое;
- Стабильность выходного напряжения 2%;

- Частота выходного напряжения 50 Гц (точность 0,03%);
- Коэффициент гармоник менее 1,5% (резистивная нагрузка);
- Удельная масса одного блока 5 кг;
- Собственные размеры одного блока (ВШД/см): 8,7 x 10,2 x 43,5;
- Рабочая температура окружающей среды от 20 до 50 градусов по Цельсию и относительной влажности 0-95%.

Рассмотрим подробно ИБП линейно интерактивного типа. APC 2200VA RM – новое поколение ИБП APC с увеличенным временем автономной работы и возможностью подключения дополнительных внешних батарей, предоставляет возможность их легкой интеграции в уже существующую инфраструктуру энергоснабжения, в том числе снабженную резервными генераторами общий вид представлен на рисунке 1.21. Данный ИБП имеет максимальную выходную мощность 1980Вт и управляемые розетки с сетевой картой - для защиты подключаемой нагрузки.

Группы управляемых розеток могут выполнять следующие функции:

- Немедленное отключение питания и перезапуск, после введения команды вручную;
- Включение питания;
- Автоматический перевод нагрузки на электропитание от аккумуляторных батарей, при пропадании электропитания в сети, и последующий перевод электропитания нагрузки от сети, при её восстановлении;
- Завершение работы и перезапуск.

Функциональные особенности APC 2200VA RM:

- Передовая защита по питанию для серверов и сетевого оборудования;
- Индикация срока замены батарей и сбоя в их работе;
- Чисто синусоидальный выходной сигнал в режиме работы от батареи;

- Подключения дополнительных внешних аккумуляторных батарей.



Рис. 21 Общий вид ИБП APC 2200VA RM.

Основные характеристики ИБП APC 2200VA RM [69]:

- Переменное входное напряжение 160 - 286В;
- Диапазон синхронизации частоты входного напряжения 47 – 53 Гц;
- Постоянное входное напряжение 48В (диапазон 40 – 60 В);
- Номинальная выходная мощность 1980 Вт;
- Время переключения на режим работы от аккумуляторов 2 мс;
- Включает восемь типовых разъемов (IEC320 C13) и один (IEC320 C19) совместимых с большинством штекеров на узле связи;
- Возможность подключения до 5 дополнительных внешних блоков с аккумуляторными батареями;
- Удельная масса 42,3 кг;
- Собственные размеры (ВШД/см): 8,9 x 48 x 68,3;
- Рабочая температура окружающей среды от 0 до 40 градусов по Цельсию и относительной влажности 0-95%.

1.5 Требования к устройству бесперебойного питания

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

Основными задачами ИБП в системе бесперебойного питания на узле связи являются [21, 26, 49, 60]:

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

ИБП в составе систем бесперебойного питания узла связи должны:

- работать в широком диапазоне изменения входного напряжения (не менее $\pm 10\%$);
- иметь близкое к единице значение коэффициента входной мощности, что позволяет снизить нагрузку на сеть и наиболее корректно работать совместно с бензогенератором;
- иметь перегрузочную способность (не менее 200 % в течение 1 минуты и 125 % в течение 10 минут);
- работать внутри помещения при температуре от 0 до 40⁰С и относительной влажности до 95% без конденсации;
- иметь коэффициент гармонических искажений на входе не более 8 %;

- иметь КПД не ниже 85 – 94 %;
- переключаться без разрыва синусоиды (система on-line);
- иметь удобную и гибкую систему управления;
- использовать герметичные необслуживаемые свинцово-кислотные аккумуляторные батареи;
- обладать развитым программным обеспечением (мониторинг, автоматическое управление локальной вычислительной сетью, удаленное оповещение);
- быть удобными в обслуживании и ремонте.

В настоящее время, в период кризиса в стране, важным фактором при выборе ИБП для узлов связи является доступная их стоимость с возможностью приобрести запасные ИБП. Важным параметром является унификация применяемых ИБП на узлах связи, для возможности при выходе из строя ИБП ремонтировать их и менять. Необходимо учитывать подходящий для серверных шкафов габаритный размер, вес ИБП и аккумуляторных батарей.

2. Расчет источника бесперебойного питания переменного тока

Системы гарантированного электропитания (СГЭП) сегодня обязательная часть электропитания любой сложной системы. Одним из элементов данных систем являются источники бесперебойного питания (ИБП), которые позволяют некоторое время работать системе автономно, без подключения к системе дополнительных резервных источников переменного тока. На рисунке 2.1 изображена структурная схема автономной системы с инвертором [5, 12, 14].

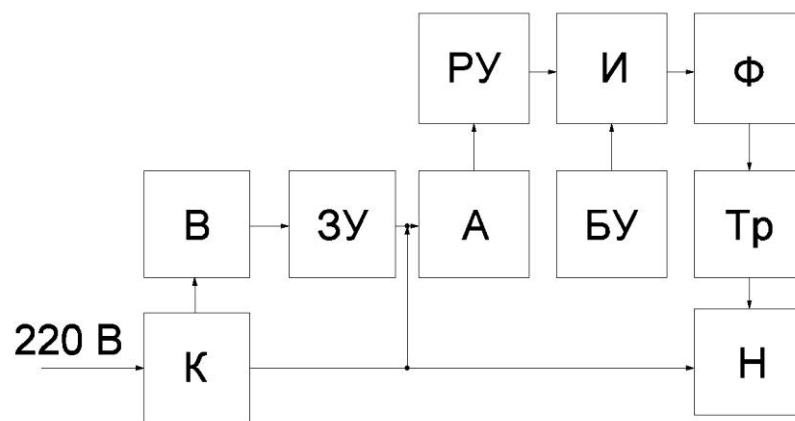


Рисунок 2.1 – Структурная схема ИБП

Базовыми элементами автономной системы являются:

- К – коммутирующее устройство, которое при отключении питающей системы автоматически подключает инвертор к нагрузке;
- В – выпрямитель, преобразующий переменный ток в постоянный для зарядки аккумуляторов при наличии питающего переменного напряжения;
- ЗУ – зарядное устройство;
- А – аккумуляторы;
- РУ – разрядное устройство, представляющее собой преобразователь напряжения повышающего типа;
- И – инвертор;

- БУ – блок управления, который включает в себя: ГПН – генератор пилообразного напряжения, ГОС – генератор образцовой синусоиды, КОМ – компаратор сравнения пилы и синусоиды, ФИ – формирователь импульсов управления ключами инвертора, ФЗ – формирователь задержки между импульсами управления, БОС – блок обратной связи, УМ – усилитель мощности сигналов управления, БЗ- блок защиты, БПСН – блок питания собственных нужд;
- Ф – низкочастотный фильтр для выделения синусоидального напряжения;
- Тр – согласующий(повышающий) трансформатор;
- Н – нагрузка.

Рассмотрим основные блоки расчет которых проведем позже.

Разрядное устройство (РУ). Назначение – повысить до минимального необходимого уровня напряжение на входе инвертора. Представляет собой преобразователь напряжения повышающего типа (ПНПТ) на рисунке 2.2 представлена его функциональная схема [14].

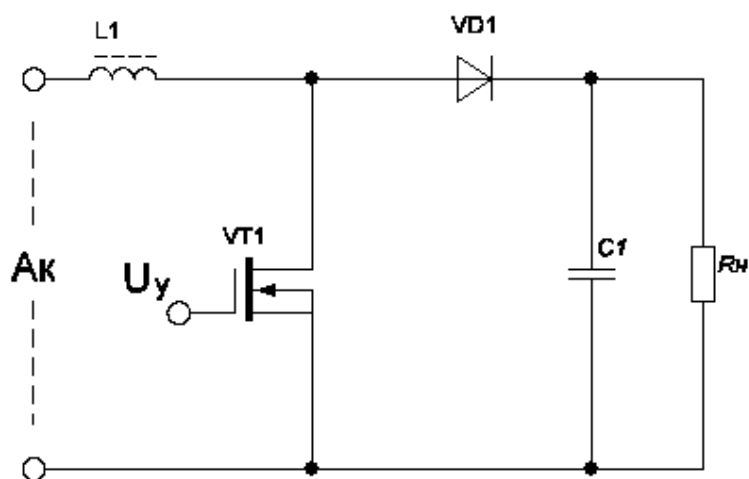


Рисунок 2.2 – Схема функциональная ПНПТ

В рассматриваемой схеме транзистор не может постоянно находиться в любом из двух крайних состояний – все время включен или все время

выключен. Длительный режим открытого состояния транзистора соответствует режиму короткого замыкания источника питания [50, 51, 52].

В установившемся режиме работы на интервале открытого состояния транзистора γT , который задается управляющим напряжением U_y , дроссель $L1$ подключен к источнику питания, диод $VD1$ закрыт под действием напряжения конденсатора $C1$, напряжение которого приложено и к нагрузке. Напряжение на дросселе равно напряжению AB , а ток в нем изменяется по линейному закону от $I_{L\min}$ до $I_{L\max}$ на величину $2\Delta I_L$, определяемую выражением [14]:

$$2\Delta I_L = I_{L\max} - I_{L\min} = \frac{U_{AB}}{L} \cdot \gamma \cdot T. \quad (2.1.1)$$

На интервале $(1 - \gamma)T$ транзистор закрыт, и энергия, накопленная в дросселе, передается в конденсатор и нагрузку через открывшийся диод. Ток в дросселе спадает по линейному закону, и к нему приложена разность входного и выходного напряжений.

Если постоянной составляющей падения напряжения на дросселе пренебречь, то можно составить соотношение [12]:

$$U_{\text{ex}} \cdot \gamma \cdot T = (U_{\text{вых}} - U_{\text{ex}}) \cdot (1 - \gamma) \cdot T. \quad (2.1.2)$$

Откуда получим $U_{\text{вых}} = \frac{U_{AB}}{(1 - \gamma)}$, где γ – коэффициент заполнения, может быть изменяемый для регулировки напряжения или фиксированный.

Временные диаграммы работы преобразователя изображены на рисунке 2.3.

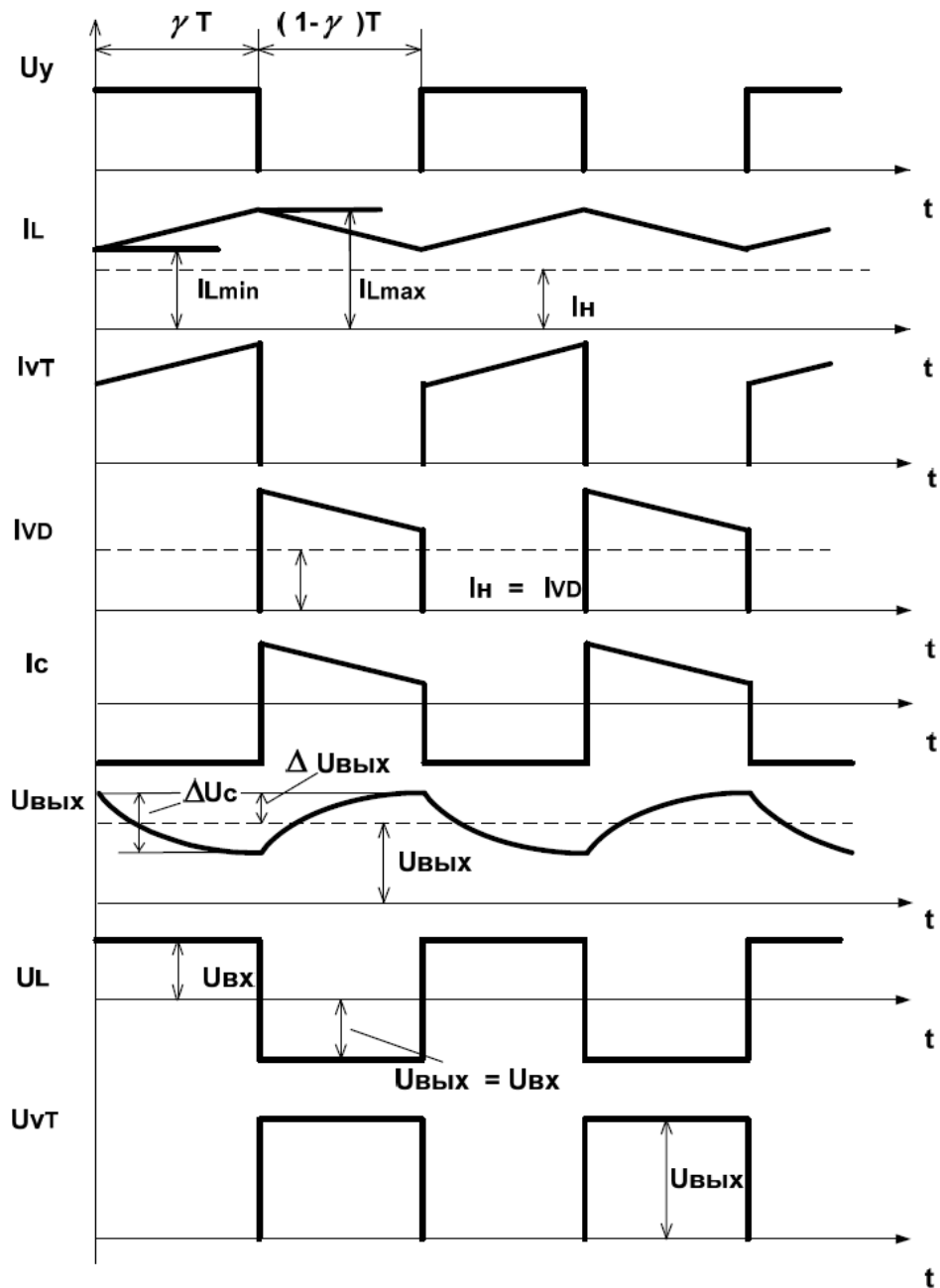


Рисунок 2.3 – Временные диаграммы работы преобразователя

Применим схему автономного мостового инвертора, реализующую унipoлярную широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) по синусоидальному закону, которая имеет лучший спектральный состав, чем биполярная ШИМ, с многократной модуляцией на полупериоде частоты выходного напряжения [13, 16]. Схема автономного мостового инвертора изображена на рисунке 2.4 [14].

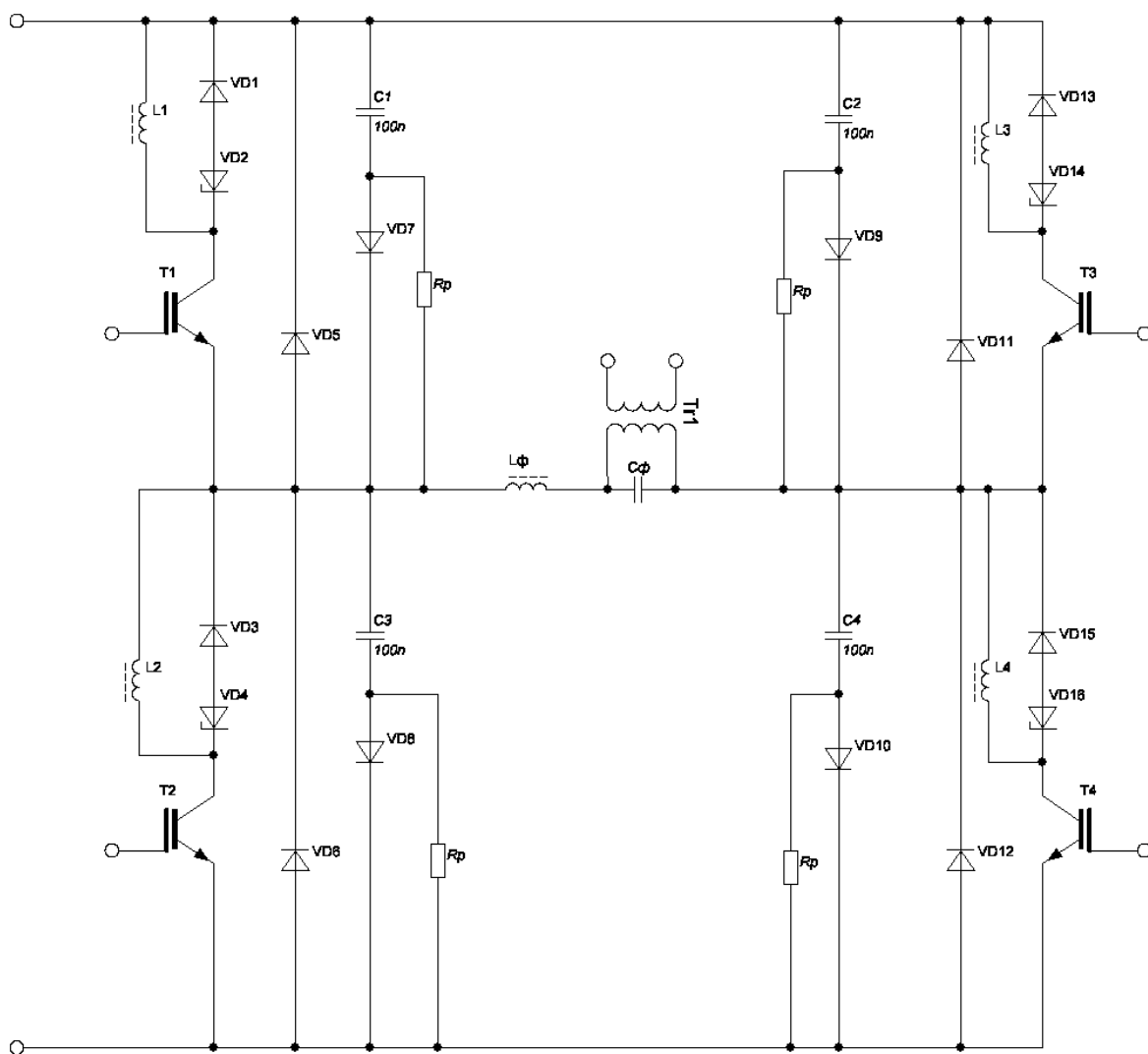


Рисунок 2.4 – Функциональная схема мостового инвертора

В системе управления ключами инвертора используется эталонное синусоидальное или аппроксимирующее синусоиду ступенчатое напряжение. Это напряжение сравнивается с пилообразным развертывающим напряжением, при этом формируется импульсная последовательность сигналов для переключения ключей. Благодаря этому длительность импульса выходного напряжения пропорциональна амплитуде эталонного напряжения на этом интервале. Иллюстрирующие такой способ регулирования диаграммы приведены на рисунке 2.5.

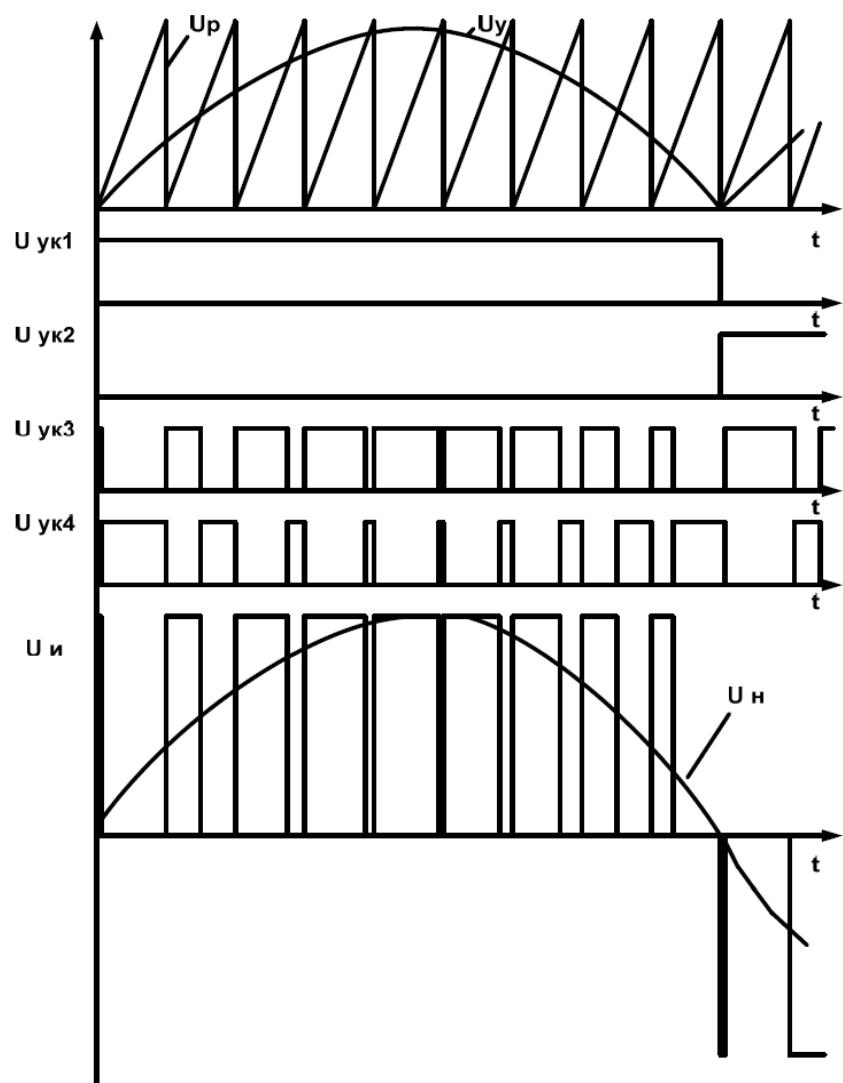


Рисунок 2.5 – Временные диаграммы работы инвертора

К наиболее важным моментам расчета следует отнести определение параметров и выбор типа силового транзистора. Необходимыми параметрами для выбора транзистора являются ток транзистора в открытом состоянии и напряжение, прикладываемое к транзистору в закрытом состоянии.

Для повышения КПД инвертора в схеме будем применять IGBT (БТИЗ) транзисторы (биполярные транзисторы с изолированным затвором – гибрид MOSFET и биполярного транзистора).

Электрические нагрузки сетевого оборудования узла связи резервируемого по электропитанию от ИБП сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Электрические нагрузки, резервируемые от ИБП переменного тока

№	Наименование оборудования	Кол-во, (шт)	Общая мощность, (кВт)	Уровень напряжения, (В)	Суммарная сила тока, (А)	Коэффициент мощности, (cosφ)
1	Коммутатор головной	1	2,2	220	10	0,85
2	Коммутатор районный	2	2,2	220	10	0,85
3	Коммутатор узловой	10	0,88	220	4	0,85
4	Усилитель	4	0,22	220	1	0,85
5	Конвертер	10	0,22	220	1	0,85
Всего:		27	5,72	220	26	0,85

Электрические нагрузки сетевого оборудования узла связи резервируемого от системы электропитания постоянного тока сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Электрические нагрузки, резервируемые от системы электропитания постоянного тока

№	Наименование оборудования	Кол-во, (шт)	Общая мощность, (кВт)	Уровень напряжения, (В)	Суммарная сила тока, (А)
1	Коммутатор распределяющий	4	3840	48	80
2	Коммутатор сетевой	10	480	48	10
Всего:		14	4320	48	90

Дополнительные электрические нагрузки узла связи сведены в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Дополнительные электрические нагрузки узла связи

№	Наименование потребителя	Полная потребляемая мощность, (кВА)	Уровень напряжения, (В)	Коэффициент мощности, (cosφ)
1	Система кондиционирования и вентилирования	5,1	220	0,7
2	Общие хозяйственные нужды	11	220	0,8
3	Аварийное освещение	1,1	220	1
Всего:		17,2	220	

Мощность потребления, нагрузки системы бесперебойного питания переменного тока находим по формуле:

$$P_H = U_H \cdot I_H = 220 \cdot 26 = 5720 \text{ Вт.} \quad (2.1.3)$$

Выходную мощность ИБП находим с помощью выражения (3.3) [31]:

$$S_{\text{ВыхИБП}} = \frac{k_\alpha \cdot k_H \cdot P_H}{\psi_H} = \frac{1,2 \cdot 1 \cdot 5720}{0,85} = 8075 \text{ ВА,} \quad (2.1.4)$$

где P_H – максимальная мощность потребления нагрузки (активная), Вт;

ψ_H – коэффициент мощности нагрузки;

k_α – коэффициент увеличения пускового тока нагрузки;

k_H – коэффициент загрузки среднестатистический.

Оценим входную мощность ИБП с помощью соотношения (3.4) [31]:

$$S_{ВхИБП} = \frac{P_{ИБП} + P_{ЗАР}}{\psi_{ИБП} \cdot \eta_{ИБП}} = \frac{5720 + 660}{0,85 \cdot 0,9} = 83339 \approx 83350 \text{ ВА}, \quad (2.1.5)$$

где $\psi_{ИБП} = 0,85$ – коэффициент мощности ИБП;

$\eta_{ИБП} = 0,9$ – коэффициент полезного действия ИБП;

$P_{ЗАР} \approx 0,1 \cdot P_{ИБПmax} = 0,1 \cdot 6600 = 660$ Вт – максимальная мощность заряда аккумуляторных батарей;

$P_{ИБПmax}$ – максимальная мощность ИБП.

Активная $P_{ВхИБП}$ и реактивная $Q_{ВхИБП}$ составляющие мощности потребления ИБП составляют величины:

$$P_{ВхИБП} = \frac{P_{ИБП} + P_{ЗАР}}{\eta_{ИБП}} = \frac{5720 + 660}{0,9} = 7090 \text{ Вт}, \quad (2.1.6)$$

$$Q_{ВхИБП} = \sqrt{(S_{ВхИБП})^2 - (P_{ВхИБП})^2} = \sqrt{83350^2 - 7090^2} = 4410 \text{ ВАР}. \quad (2.1.7)$$

2.1. Расчёт инвертора

В схеме инвертора на рис. 2.4 напряжение, прикладываемое к закрытому транзистору, определяется напряжением источника питания. В нашем случае, это разрядное устройство (РУ), на базе непосредственного преобразователя напряжения повышающего типа с питанием от аккумуляторной батареи с максимальным напряжением $U_{AB} = 130$ В.

Максимальное напряжение на выходе РУ равно 300 В т. о. максимальное напряжение, прикладываемое к закрытому транзистору равно $U_{dmax} = 300$ В. С учетом возможности подключения от сети через выпрямитель окончательно принимаем $U_{dmax} = 341$ В.

Максимальный ток, протекающий через транзистор, определяем выражением [14]:

$$I_{VT\max} = \frac{P_H}{\eta_{mp} \cdot \eta_{\phi} \cdot U_{\text{вх.л}}} =$$

$$= \frac{I_H \cdot U_H}{\eta_{mp} \cdot \eta_{\phi} (U_{d\min} - 2\Delta U_{VT})} = \frac{30 \cdot 220}{0,98 \cdot 0,96 (170 - 2,1)} = 41,8 \text{ A}, \quad (2.2.1)$$

где $2\Delta U_{VT} = 2,1 \text{ В}$ – падение напряжения на транзисторах инвертора;

η_{mp} – кпд трансформатора; η_{ϕ} – кпд фильтра;

$U_{d\min}$ – минимальное напряжение прикладываемое к закрытым транзисторам;

$\eta_{mp} = 0,98$; $\eta_{\phi} = 0,96$;

$U_{d\min} = 170 \text{ В}$; $U_H = 220 \text{ В}$;

$$I_H = \frac{P_{\text{вхИБП}}}{U_H} = \frac{7090}{220} = 30 \text{ A}.$$

Током намагничивания трансформатора можно пренебречь (единицы процентов от тока нагрузки).

С учётом коэффициента загрузки не превышающего 70% по всем параметрам выбираем IGBT транзистор IXGE200N60B с параметрами [20]:

$$U_{KЭ} = 600 \text{ В}; I_K = 160 \text{ А}; U_{3Э} = 20 \text{ В}; I_{K0} = 200 \text{ мкА};$$

$$t_{\text{вкл}} = 60 \cdot 10^{-9} \text{ с}; t_{\text{выкл}} = 200 \cdot 10^{-9} \text{ с}; Q_3 = 350 \text{ нКл};$$

$$C_{iss} = 680 \text{ пФ} = 680 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}.$$

В инверторе, работающем на активно-индуктивную нагрузку, возникает необходимость возврата реактивной энергии нагрузки. Обратные диоды обеспечивают её возврат в конденсатор входного фильтра и формирование нулевых пауз в выходном напряжении инвертора. Максимальное напряжение прикладываемое к диодам $U_{VD\max} = 341 \text{ В}$, а максимальное значение тока $I_{VD\max} \leq I_{VT\max}$.

Выбираем диод T85HFL60 фирмы VISHAY с параметрами:

$$U_{обр} = 600 \text{ В}; I_{np} = 85 \text{ А}; f_{\max} = 100 \text{ кГц}; t_{восст} = 200 \cdot 10^{-9} \text{ с}.$$

Инвертор без RCD – цепей на активно-индуктивную нагрузку имеет большие динамические потери, как при включении, так и при выключении, так как по ключам протекает максимальный ток при напряжении на них равном напряжению источника питания.

Для обеспечения нормального теплового режима работы ключей необходимо определить мощность потерь в ключах (транзисторах и обратных диодах).

Суммарные потери в транзисторах при синусоидальной модуляции выходного напряжения складываются из статических и динамических в коллекторной цепи транзистора и потерь в цепи его управления.

Статические потери складываются из мощности потерь при открытом и закрытом состояниях [18].

$$\begin{aligned}
 P_{VTstat} &= I_{VTmax}^2 \cdot \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{\mu \cos \varphi}{8} \right)^2 \cdot r_{VTdiff} + \Delta U_{VT} \cdot I_{VTmax} \cdot v = \\
 &= 41,8^2 \cdot \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{1 \cdot \cos(30)}{8} \right)^2 \cdot 0,13 + 0,3 \cdot 41,8 \cdot 0,46 = 7,4 \text{ Вт},
 \end{aligned}
 \tag{2.2.2}$$

где $\Delta U_{VT} = 0,3 \text{ В}$ – прямое падение напряжения на транзисторе IXGE200N60B;

$v = 0,46$ – коэффициент, зависящий от глубины модуляции и угла сдвига между напряжением и током;

$\mu = 1$ – глубина модуляции;

$\varphi = 30^\circ$ – угол сдвига между напряжением и током;

$r_{VTdiff} = 0,013 \text{ Ом}$ – дифференциальное сопротивление.

В закрытом состоянии, потери много меньше и ими можно пренебречь.

Мощность динамических потерь без учёта формирования пауз на переключение, достигает значительных величин и при линейной аппроксимации траектория переключения определяется по формуле [18]:

$$P_{VTдин} = \frac{U_{dp\max} \cdot I_{кдоп} \cdot t_{вкл}}{2 \cdot T_M} + \frac{U_{dp\max} \cdot I_{кдоп} \cdot t_{выкл}}{2 \cdot T_M} =$$

$$= \frac{220 \cdot 160 \cdot 0,06 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-4}} + \frac{220 \cdot 160 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-4}} = 45,8 \text{ Вт}, \quad (2.2.3)$$

где $T_M = 10^{-4}$ с – период частоты преобразования;

$U_{dp\max} = 220$ В – наибольшее рабочее напряжение на входе инвертора.

Найдём статические потери в диодах обратных цепей [18].

$$P_{VDстат} = I_{VD\max}^2 \cdot \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{\mu \cos \varphi}{8} \right)^2 \cdot r_{VDдиф} + \Delta U_{VD} \cdot I_{VD\max} \cdot a =$$

$$= 41,8^2 \cdot \left(\frac{1}{2\pi} + \frac{1 \cdot \cos(30)}{8} \right)^2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} + 0,9 \cdot 41,8 \cdot 0,19 = 7,5 \text{ Вт}, \quad (2.2.4)$$

где $\Delta U_{VD} = 0,9$ В – прямое падение напряжения на диоде;

$a = 0,19$ – коэффициент зависящий от глубины модуляции и угла сдвига между напряжением и током;

$\mu = 1$ – глубина модуляции;

$\varphi = 30^\circ$ – угол сдвига между напряжением и током;

$r_{VDдиф} = 2,7 \cdot 10^{-3}$ Ом – дифференциальное сопротивление.

Динамические потери

$$P_{VDдин} = \frac{1}{4} \cdot U_{dp\max} \cdot Q_{VD} \cdot f_M = \frac{1}{4} \cdot 220 \cdot 0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 0,165 \text{ Вт}, \quad (2.2.5)$$

где Q_{VD} – заряд восстановления диода равный $0,3 \cdot 10^{-6}$ Кл.

Суммарные потери в ключе

$$P_{\Pi} = P_{VTстат} + P_{VTдин} + P_{VDстат} + P_{VDдин} = 7,4 + 45,8 + 7,5 + 0,165 = 60,87 \text{ Вт}. \quad (2.2.6)$$

Уменьшение динамических потерь достигают включением в коллекторную цепь индуктивности шунтированной обратным диодом с последовательно включенным стабилитроном, ускоряющим процесс вывода энергии из индуктивности.

Минимум потерь выполняется при условии [15]:

$$L = \frac{U_{d \max}}{I_{\kappa \max}} \cdot t_{\text{вкл}} \cdot \frac{2}{9} = \frac{341}{41,8} \cdot 0,06 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{2}{9} = 0,109 \text{ мкГн.} \quad (2.2.7)$$

Выбираем два дросселя Д17-1 включенных параллельно, обмотки дросселей так же включены параллельно. При этом параметры дросселя изменяются: индуктивность уменьшается в 4 раза, ток увеличивается в 2 раза.

Параметры дросселя Д17-1 для одной обмотки:

$$L = 0,012 \text{ мГн}; I = 25 \text{ А}; U = 15 \text{ В}; R = 0,015 \text{ Ом.}$$

При параллельном соединении двух обмоток $L = 0,003 \text{ мГн}; I = 50 \text{ А}$, при параллельном соединении двух таких дросселей $L = 0,0008 \text{ мГн}; I = 100 \text{ А}$.

Для двух параллельных дросселей:

$$L \approx 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}; I = 100 \text{ А}, f_{\max} = 100 \text{ кГц}; R = 0,015 \text{ Ом.}$$

Диод в цепи шунтирования выбираем 2Д2990А в количестве 3 штук в параллельном включении. Параметры диода следующие:

$$U_{обр} = 600 \text{ В}; I_{np} = 20 \text{ А}; f_{\max} = 200 \text{ кГц}; t_{восст} = 0,15 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

Для трёх параллельных диодов:

$$U_{обр} = 600 \text{ В}; I_{np} = 60 \text{ А.}$$

Определим мощность стабилитрона в шунтирующей цепи. Она определяется энергией накопленной в индуктивности [14, 16, 17].

$$P_{\text{стаб}} = \frac{L \cdot I^2}{2} \cdot f_M = \frac{0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 41,8^2}{2} \cdot 10^4 \approx 1 \text{ Вт.} \quad (2.2.8)$$

Выбираем стабилитрон Д815А с параметрами:

$$U_{см} = 5,6 \text{ В}; I_{см.\max} = 1,4 \text{ А}; P = 5 \text{ Вт.}$$

Для уменьшения динамических потерь при его выключении и защиты от перенапряжения используют RCD – цепь (снабберная цепь). Суммарные потери в транзисторе и RCD – цепи зависят от величины ёмкости конденсатора. При отношении времени заряда конденсатора до напряжения источника питания ко времени выключения транзистора, равному $2/3$, наблюдается минимум динамических потерь. Величина ёмкости конденсатора определяется как [14, 6, 17]:

$$C = \frac{2 \cdot I_K \cdot t_{\text{выкл}}}{9 \cdot U_{d \max}} = \frac{2 \cdot 41,8 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 341} = 5,45 \cdot 10^{-9} \text{ Ф.} \quad (2.2.9)$$

Выбираем конденсатор типа К78-2 с ёмкостью $C = 5,6 \text{ нФ}$ и напряжением $U_{\text{ном}} = 1000 \text{ В}$.

Диод, включенный последовательно с конденсатором, выбираем из условия максимального импульсного зарядного тока конденсатора, который равен коллекторному току транзистора и обратного напряжения прикладываемого к диоду, равному напряжению питания.

Выбираем диод 2Д230Б со следующими параметрами:

$$U_{\text{обр. max}} = 600 \text{ В}; I_{\text{имп}} = 60 \text{ А}; t_{\text{восст}} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

Сопротивление зарядного резистора определяем из условия ограничения тока заряда конденсаторов RCD – цепей на уровне максимально допустимого импульсного коллекторного тока транзистора при коммутации ключей стойки инвертора, работающей на повышенной частоте в режиме холостого хода при максимальном $U_{\text{П}}$. В данной схеме ток ограничивается индуктивностью на уровне тока нагрузки, поэтому зарядный резистор не нужен.

Разряд конденсатора происходит при открытом транзисторе длительность включенного состояния можно определить, как [14]:

$$\gamma = \frac{t_{\text{имп}}}{T_M}. \quad (2.2.10)$$

При многократной модуляции с широтно-импульсным регулированием по синусоидальному закону γ изменяется от 0 до 1.

Величину перенапряжения определяем как [14]:

$$\Delta U_{VT} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot I_K \cdot t_{\text{выкл}}}{9 \cdot C} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 41,8 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 5,6 \cdot 10^{-9}} \approx 165 \text{ В.} \quad (2.2.11)$$

Конденсатор RCD – цепи в этом случае дозаряжается до напряжения источника питания.

Найдём сопротивление разрядного резистора [14]:

$$R_p = \frac{t_{\text{разр}}}{(3 \div 5)C} = \frac{0,5 \cdot 10^{-4}}{5,6 \cdot 10^{-9}} = 1,8 \text{ кОм.} \quad (2.2.12)$$

Мощность резистора

$$P_{Rp} = \frac{C \left(\frac{1,1 \cdot U_{dp \max}}{0,85} \right)^2}{2 \cdot T_M} = \frac{5,6 \cdot 10^{-9} \cdot \left(\frac{1,1 \cdot 220}{0,85} \right)^2}{2 \cdot 10^{-4}} = 2,3 \text{ Вт.} \quad (2.2.13)$$

Выбираем два резистора типа ОМЛТ-2 3,6 кОм включенные параллельно.

Рассчитаем мощность динамических потерь с учётом цепей формирования траектории рабочей точки [15].

$$\begin{aligned} P_{VT \text{дин}} &= \frac{U_{dp \max} \cdot I_{VT \max} (t_{\text{вкл}} + t_{\text{выкл}})}{T_M} \cdot \left(1 - \frac{4\kappa}{3} + \frac{\kappa^2}{2} \right) = \\ &= \frac{220 \cdot 41,8 \cdot (0,06 \cdot 10^{-6} + 0,2 \cdot 10^{-6})}{100 \cdot 10^{-6}} \cdot \left(1 - \frac{4 \cdot 2}{3 \cdot 3} + \frac{4}{9 \cdot 2} \right) \approx 8 \text{ Вт,} \end{aligned} \quad (2.2.14)$$

где $\kappa = 2/3$ – отношение времени заряда конденсатора к времени включения транзистора.

Мощность потерь уменьшилась в 5,5 раза.

Суммарные потери в ключе с формированием траектории переключения.

$$P_{\Pi} = P_{VTстат} + P_{VTдин} + P_{VDстат} + P_{VDдин} + P_p + P_{стаб} = 7,4 + 8 + 7,5 + 0,165 + 2,3 + 1 = 26,4 \text{ Вт.} \quad (2.2.15)$$

Для IGBT транзисторов определим максимальный ток затвора, который должен обеспечивать драйвер при включении транзистора [8, 20, 21].

$$I_{3Э} = \frac{C_{iss} \cdot \Delta U_{3Э}}{t_{вкл(выкл)}} \pm \frac{680 \cdot 10^{-12} \cdot 20}{130 \cdot 10^{-9}} = 0,105 \text{ А,} \quad (2.2.16)$$

где $\Delta U_{3Э} = U_{3Э} = 20 \text{ В}$;

C_{iss} – ёмкость затвора по отношению к эмиттеру.

В качестве драйвера IGBT модуля применим микросхему IR2113 с отдельными входами управления верхними и нижними ключами.

Для ограничения напряжения на затворе транзистора применим супрессоры 1,5KE20C на 20 Вольт.

В инверторе применены для всех ключей следующие элементы:

- IGBT транзистор – IXGE200N60B – 4 шт.;
- Диод обратный – T85HFL60S02 – 4 шт.;
- Дроссели – Д17-1 – 8 шт.;
- Конденсатор – К78-2-5,6 нФ-1000В – 4 шт.;
- Диод шунтирующий 2Д2990А – 12 шт.;
- Стабилитрон ограничивающий Д815А – 4 шт.;
- Диод снабберный 2Д230Б – 4 шт.;
- Резистор разрядный - ОМЛТ-2-3,6кОм – 8 шт.;
- Микросхема IR2113 – 2 шт.;
- Суппресор 1,5KE20C – 4 шт.

2.1.1. Расчет силового трансформатора

Для расчета трансформатора [9, 11, 18, 19] должны быть определены напряжения и токи обмоток, причем коэффициент трансформации

определяется из условия минимального напряжения на первичной обмотке, чтобы обеспечить на нагрузке необходимое (заданное) напряжение.

Минимальное значение эффективного напряжения на первичной обмотке трансформатора [11]:

$$U_{1\min} = \frac{0,99 \cdot U_{d\min}}{\sqrt{2}} = \frac{0,99 \cdot 170}{1,41} = 120 \text{ В}, \quad (2.2.17)$$

где 0,99 – коэффициент учитывающий падение напряжения на активном сопротивлении обмотки.

Коэффициент трансформации:

$$K_{TP} = \frac{U_{1\min}}{U_2} = \frac{120}{220} = 0,54, \quad (2.2.18)$$

где $U_2 = U_H = 220 \text{ В}$.

Наибольшее значение тока в первичной обмотке:

$$I_1 = \frac{P_H}{\eta_{TP} \cdot U_{1\min}} = \frac{5800}{0,98 \cdot 120} = 49,3 \text{ А}, \quad (2.2.19)$$

где η_{TP} – КПД трансформатора равно 0,98.

Выбираем сердечник [9, 11]:

$$S_o S_c = \frac{10^2 \cdot P_\Gamma}{2 \cdot f_{\text{вых}} \cdot K_c \cdot K_\phi \cdot \sigma \cdot B_M \cdot \delta} = \frac{10^2 \cdot 5820}{2 \cdot 50 \cdot 0,9 \cdot 1,11 \cdot 0,3 \cdot 1,7 \cdot 5} = 2285 \text{ см}^3, \quad (2.2.20)$$

где SO – площадь окна;

SC – поперечное сечение сердечника магнитопровода;

K_ϕ – коэффициент формы для синусоиды равный 1,11;

K_C – коэффициент заполнения сердечника сталью равный 0,9;

δ – плотность тока в обмотках для низкочастотных трансформаторов примем равную 5 А/мм^2 ;

$\sigma = 0,3$ – коэффициент заполнения окна сердечника медью;

B_M – магнитная индукция в магнитопроводе равная 1,7 Тл;

Габаритная мощность:

$$P_{\Gamma} = \frac{(U_{1\min} \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2)}{2} = \frac{(120 \cdot 49,3 + 220 \cdot 26)}{2} = 5820 \text{ ВА.}$$

Выбираем магнитопровод ПЛ40 × 80 × 120 с параметрами:

$$SO \ SC = 2457,6 \text{ см}^3; \ SO = 76,8 \text{ см}^2; \ SC = 32 \text{ см}^2; \ \ell_{cp} = 49,4 \text{ см.}$$

Число витков на один ЭДС-вольт:

$$\begin{aligned} W_0 &= \frac{10^4}{4 \cdot \kappa_{\phi} \cdot B_M \cdot f_{\text{вых}} \cdot S_c \cdot \kappa_c} = \\ &= \frac{10^4}{4 \cdot 1,11 \cdot 1,7 \cdot 50 \cdot 32 \cdot 0,9} = 0,92 \approx 1 \text{ ВИТОК/ВОЛЬТ.} \end{aligned} \quad (2.2.21)$$

Число витков в первичной обмотке:

$$W_1 = W_0 \cdot U_{1\max} = \frac{341}{\sqrt{2}} \cdot 1 = 241 \text{ ВИТОК.} \quad (2.2.22)$$

Число витков во вторичной обмотке:

$$W_2 = W_0 \cdot U_2 = 1 \cdot 220 = 220 \text{ ВИТОК.} \quad (2.2.23)$$

Диаметры проводов обмоток [11, 18, 19]:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot I_1}{\pi \cdot \delta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 49,3}{3,14 \cdot 5}} = 3,54 \text{ мм,} \quad (2.2.24)$$

Выбираем 2 провода ПЭВ-2 с диаметром провода в изоляции 1,92 мм, суммарный диаметр 3,84 мм.

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot I_2}{\pi \cdot \delta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 26}{3,14 \cdot 5}} = 2,57 \text{ мм.} \quad (2.2.25)$$

Выбираем 2 провода ПЭВ-2 с диаметром провода в изоляции 1,41 мм, суммарный диаметр 2,82 мм.

2.1.2. Расчёт выходного фильтра

В данной работе выбран вид модуляции, реализуемой силовым инвертором как однополярная, многократная по синусоидальному закону широтно-импульсного регулирования [12], рассчитаем параметры выходного фильтра.

Частота ближайшей искажающей гармоники [7,12]:

$$f_{\min} = (2 \cdot q - 3) \cdot f_{\text{вых}} = (2 \cdot 200 - 3) \cdot 50 = 19850 \text{ Гц}, \quad (2.2.26)$$

где $q = \frac{f_m}{f_{\text{вых}}} = \frac{10 \cdot 10^3}{50} = 200$ – кратность квантования при частоте модуляции

$$f_m = 10 \text{ кГц}.$$

Коэффициент гармоник выходного напряжения [12]:

$$K_r [\%] = \frac{20}{\omega_*^2 (2 \cdot q - 3) - 1}, \quad (2.2.27)$$

где $\omega_* = \omega_{\text{вых}} / \omega_0$ – относительная частота;

$$\omega_{\text{вых}} = 2\pi f_{\text{вых}};$$

ω_0 – резонансная (собственная) частота фильтра;

$K_r [\%]$ – принимаем равным 5.

Тогда

$$\omega_*^2 = \frac{\frac{20}{K_r} + 1}{(2 \cdot q - 3)^2} = \frac{\frac{20}{5} + 1}{(2 \cdot 200 - 3)^2} = 5,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.2.28)$$

Откуда определим собственную частоту фильтра:

$$\omega_0 = \frac{\omega_{\text{вых}}}{\omega_*} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{вых}}}{\omega_*} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{5,6 \cdot 10^{-3}} = 5,6 \cdot 10^3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (2.2.29)$$

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2 \cdot \pi} = \frac{5,6 \cdot 10^3}{6,28} = 8,9 \cdot 10^3 \text{ Гц}, \quad (2.2.30)$$

$$\omega_* = \omega_{\text{блх}} \cdot \sqrt{LC}, \quad (2.2.31)$$

$$LC = \left(\frac{\omega_*}{\omega_{\text{блх}}} \right)^2 = \left(\frac{5,6 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \right)^2 = 3,18 \cdot 10^{-10} \text{ ГнФ}. \quad (2.2.32)$$

Ёмкостное сопротивление конденсатора фильтра на частоте первой гармоники пульсации $f_{\min} = 19850 \text{ Гц}$ должно быть меньше чем $R_{\text{экв}} = U_1/I_1 = 120/49,3 = 2,43 \text{ Ом}$ – сопротивление нагрузки приведённое к напряжению первичной обмотки трансформатора [6,7,12].

$$\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_{\min} \cdot C} \leq \frac{R_{\text{экв}}}{5}, \quad (2.2.33)$$

$$C_\phi = \frac{5}{2 \cdot \pi \cdot f_{\min} \cdot R_{\text{экв}}} = \frac{5}{2 \cdot 3,14 \cdot 19850 \cdot 2,43} = 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}. \quad (2.2.34)$$

Выбираем 2 конденсатора К73-16 включенные параллельно по 8,2 мкФ, 250В.

Найдём индуктивность фильтра:

$$L_\phi = \frac{LC}{C_\phi} = \frac{3,18 \cdot 10^{-10}}{16,2 \cdot 10^{-6}} = 0,02 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}. \quad (2.2.35)$$

Выбираем дроссель [29] Д17-1 с параметрами:

$$L = 0,02 \text{ мГн}; I_n = 25 \text{ А}; R_{\text{обм}} = 0,015 \text{ Ом}; f = 100 \text{ кГц}.$$

Рассчитываем резонансную частоту фильтра при выбранных L_ϕ и C_ϕ

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L_\phi \cdot C_\phi}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{0,02 \cdot 10^{-3} \cdot 16,2 \cdot 10^{-6}}} = 8842 \text{ Гц}. \quad (2.2.36)$$

2.1.3. Расчёт параметров аккумуляторной батареи

Определим минимально необходимое напряжение аккумуляторной батареи (АБ):

$$U_{AB \min} = \frac{U_{\min}}{2,4} = \frac{170}{2,4} \approx 72 \text{ В.} \quad (2.2.37)$$

Найдём максимальное значение тока разряда АБ:

$$I_{AB \max} = \frac{P_u}{\eta_{PY} \cdot U_{AB \min}} = \frac{U_{d \min} \cdot I_1}{\eta_{PY} \cdot U_{AB \min}} = \frac{130 \cdot 49,3}{0,85 \cdot 72} = 104,7 \text{ А,} \quad (2.2.38)$$

где η_{PY} – КПД разрядного устройства равный 0,85.

Из-за внутреннего сопротивления батареи напряжение на ее выходе падает тем быстрее, чем больше величина тока разряда.

Емкость батарей системы бесперебойного питания переменного тока можно оценить с помощью выражения (3.7) [31], зная $I_p = 105 \text{ А}$ и время разряда $t_p = 10$ часов.

$$C_t^I = \frac{I_p \cdot t_p}{\left[\eta_Q (1 + 0,008(t_{cp} - 20^0)) \right]} = \frac{105 \cdot 10}{\left[0,94 (1 + 0,008(22 - 20^0)) \right]} = 1100 \text{ А} \cdot \text{ч.} \quad (2.2.39)$$

Принимаем напряжение минимального уровня на отдельной секции $U_{AB}^* = 1,5 \text{ В}$, тогда количество секций:

$$n = \frac{U_{AB \min}}{U_{AB}^*} = \frac{72}{1,5} = 48 \text{ секций.} \quad (2.2.40)$$

Выбираем аккумуляторы Coslight тип GFM-1300Z. Система данных аккумуляторов в количестве 48 шт. обеспечит напряжение 220 В при токе нагрузки 26 А с 2 В до 1,5 В (просадки напряжения отдельной секции) в течении 10 часов непосредственной работы.

2.1.4. Расчёт разрядного устройства

Схема разрядного устройства (РУ) на базе непосредственного преобразователя постоянного напряжения повышающего типа [5,12,13,20] приведена на рисунке 2.6.

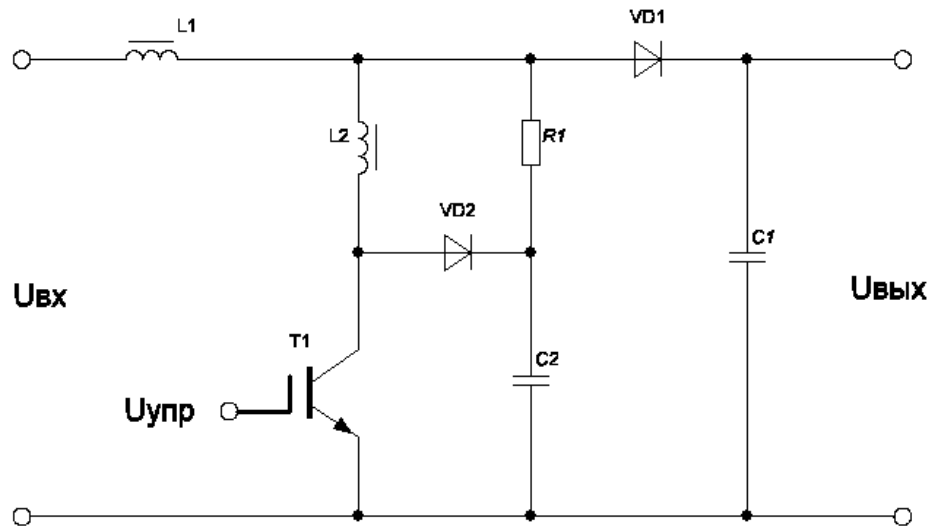


Рисунок 2.6 – Схема разрядного устройства

В установившемся режиме на интервале открытого состояния γT , который задаётся управляющим напряжением U_y , дроссель $L1$ подключен к источнику питания. Диод $VD1$ закрыт под действием напряжения конденсатора $C1$, напряжение которого приложено и к нагрузке.

Напряжение на дросселе равно напряжению АБ, а ток в нём изменяется по линейному закону от I_{Lmin} до I_{Lmax} на величину $2\Delta I$.

$$2\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin} = \frac{U_{AB}}{L} \cdot \gamma \cdot T. \quad (2.2.41)$$

На интервале $(1 - \gamma)T$ транзистор закрыт и энергия, накопленная в дросселе, передаётся в конденсатор и нагрузку через открывшийся диод. Ток в дросселе спадает по линейному закону, и к нему приложена разность входного и выходного напряжений.

Если постоянной составляющей падения напряжения на дросселе пренебречь, то можно составить выражение [12]:

$$U_{ex} \cdot \gamma \cdot T = (U_{вх} - U_{ex})(1 - \gamma) \cdot T. \quad (2.2.42)$$

Откуда

$$U_{вх} = \frac{U_{ex}}{1 - \gamma} = \frac{U_{AB}}{1 - \gamma}. \quad (2.2.43)$$

Так как стабилизацию выходного напряжения обеспечивает инвертор, то преобразователь выполняем нерегулируемым с жестко заданным γ из условия:

$$\gamma = \frac{U_{d \min} - U_{AB \min}}{U_{d \min}} = \frac{170 - 72}{170} = 0,58. \quad (2.2.44)$$

Ёмкость конденсатора должна обеспечить необходимый уровень пульсаций в напряжении питания инвертора [14]:

$$C = \frac{P_u \cdot \gamma}{2 \cdot U_{d \min}^2 \cdot \kappa_{II}' \cdot f_m} = \frac{8380 \cdot 0,58}{2 \cdot 170^2 \cdot 0,05 \cdot 10^4} = 168 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}, \quad (2.2.45)$$

где $\kappa_{II} = 0,05$ – коэффициент пульсаций;

$$P_u = U_{d \min} \cdot I_1 = 170 \cdot 49,3 = 8380 \text{ Вт}.$$

Этому условию с избытком удовлетворяет конденсатор входного фильтра ёмкостью $C = 450 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$.

Величина пульсаций выходного напряжения преобразователя не зависит от индуктивности дросселя при выполнении условия, что $I_{L \min} > I_H$.

Выбираем значение индуктивности [14]:

$$L > \frac{(U_{d \min} - U_{AB \min})(1 - \gamma)^2 \cdot U_{d \min}}{P_u \cdot \gamma \cdot f_m}, \quad (2.2.46)$$

$$L > \frac{(170 - 72)(1 - 0,58)^2 \cdot 170}{8380 \cdot 0,58 \cdot 10^4} = 0,06 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

$$I_L = \frac{I_n}{1 - \gamma} = \frac{41,8}{1 - 0,58} \approx 100 \text{ А.} \quad (2.2.47)$$

Зная $L = 0,06 \cdot 10^{-3}$ Гн и $I_L = 100$ А можно рассчитать дроссель, расчет которого в данной работе расчёт не приводится.

Ток, протекающий через диод равен току потреблённому инвертором $I_{VD} = 41,8$ А. Обратное напряжение, прикладываемое к диоду, определяется максимальным значением напряжения питания $U_{VDo6p} = 341$ В.

Выбираем три диода 2Д2990А включенные параллельно с параметрами: $U_{o6p} = 600$ В; $I_{II} = 20$ А; $t_{восм} = 0,05$ мкс.

Максимальное напряжение, прикладываемое к транзистору $U_{VT} = 341$ В.

Амплитуда коллекторного тока транзистора равна максимальному значению тока дросселя [12]:

$$I_{VT \max} = I_n + \frac{U_{AB \max} \cdot \gamma \cdot T_m}{2 \cdot L} = 41,8 + \frac{100 \cdot 0,58 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0,06 \cdot 10^{-3}} = 90 \text{ А.} \quad (2.2.48)$$

Выбираем IGBT транзистор IXGE200N60B с параметрами:

$$U_{кэ} = 600 \text{ В; } I_k = 160 \text{ А; } U_{зэ} = 20 \text{ В; } I_{к0} = 200 \text{ мкА; } t_{вкл} = 60 \cdot 10^{-9};$$

$$t_{выкл} = 200 \cdot 10^{-9}; Q_3 = 350 \text{ нКл; } C_{iss} = 680 \text{ пФ} = 680 \cdot 10^{-12} \text{ Ф;}$$

$$R_{кэ} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Статические потери [14]:

$$P_{cm} = I_{к \max}^2 \cdot R_{кэ} \cdot \gamma = 90^2 \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,58 = 12,7 \text{ Вт.} \quad (2.2.49)$$

Для уменьшения динамических потерь используем LCD цепь $L_2 - VD2 - C_2$.

Индуктивность L_2 рассчитаем из условий ограничения сквозного тока на уровне импульсного тока транзистора при его включении на время восстановления запирающих свойств диода VD1.

$$L_2 = \frac{U_{d\max} \cdot t_{\text{восст}}}{I_K} = \frac{341 \cdot 0,05 \cdot 10^{-6}}{90} = 0,18 \cdot 10^{-6} \text{ Гн.} \quad (2.2.50)$$

Такую индуктивность обеспечивают соединительные провода, поэтому установка дросселя L_2 не требуется.

Так как повышающий преобразователь должен вступать в работу при отключении сети переменного тока или снижении её ниже напряжения минимально допустимого уровня, то запуск должен происходить по сигналу $U_{\text{синх}}$ с блока контроля за состоянием сети. Для управления транзистором IGBT используем драйвер IX2127 – высоковольтный драйвер верхнего ключа IGBT транзисторов с параметрами: $V_{\text{offset}} = 600 \text{ В}$; $I_{\text{on}}/I_{\text{off}} = 250 \text{ мА}/450 \text{ мА}$; $t_{\text{on}} = 100 \cdot 10^{-9} \text{ с}$; $t_{\text{off}} = 73 \cdot 10^{-9} \text{ с}$. [8, 10, 20]. Схема повышающего преобразователя представлена на рисунке 2.7.

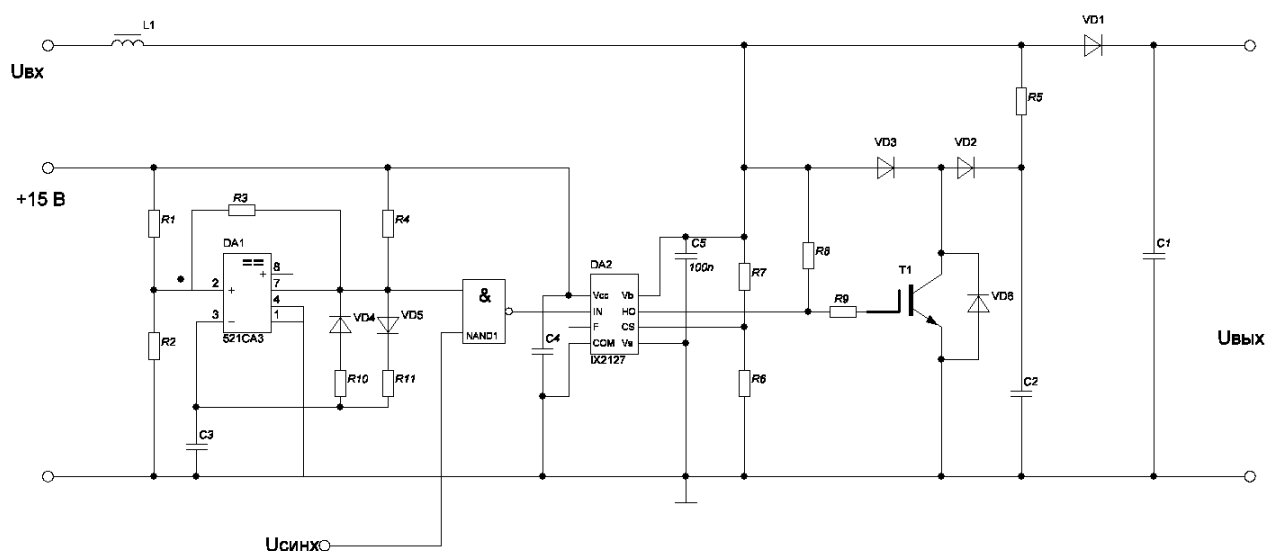


Рисунок 2.7 – Схема повышающего преобразователя

Высокочастотный генератор выполнен на компараторе DA1 521CA3 и вырабатывает импульсы с частотой 10 кГц.[10]:

$$f = \frac{1}{0,67(R_{10} + R_{11})C_2} = 10 \text{ кГц.} \quad (2.2.50)$$

Соотношение сопротивлений R_{10} и R_{11} определяет относительную длительность импульса γ :

$$\gamma = 0,58 = \frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}}. \quad (2.2.51)$$

Делитель $R1 - R2$ в соотношении 2:1; $R3 = 10 \text{ кОм}$; $R4 = 10 \text{ кОм}$; VD4 и VD5 – КД 5225; R_{10} принимаем 1кОм.

Тогда:

$$0,58 \cdot R_{10} = R_{11}(1 - 0,58), \quad (2.2.52)$$

$$R_{10} = \frac{R_{11}(1 - 0,58)}{0,58}, \quad (2.2.53)$$

$$R_{11} = \frac{0,58 \cdot R_{10}}{1 - 0,58} = \frac{0,58 \cdot 1 \cdot 10^3}{0,42} = 1,4 \text{ кОм}, \quad (2.2.54)$$

$$C_2 = \frac{1}{0,67 \cdot (R_{10} + R_{11}) \cdot f} = \frac{1}{0,67 \cdot (1 + 1,4) \cdot 10^3 \cdot 10^4} = 62 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} = 62 \text{ нФ}. \quad (2.2.55)$$

Принимаем конденсатор $C2$ типа K10-17 (KM5) -62 нФ-50В-F; конденсаторы $C3, C4, C5$ K10-17 (KM5) -0,1 мкФ-50В-F; $R1 = 4,7 \text{ кОм}$; $R2 = 2,2 \text{ кОм}$.

Все резисторы ОМЛТ – 0,25. Сопротивления $R6, R7, R8, R9$ принимаем согласно типовой схемы включения драйвера IX2127:

$$R7 = 1 \text{ кОм}; \quad R8 = 10 \text{ кОм}; \quad R6 = 10 \text{ кОм}; \quad R9 = 10 \text{ Ом}.$$

Схема управления, блок контроля, зарядное устройство, блок выпрямителя не рассчитываются в связи с существующими готовыми решениями.

2.2 Расчет и выбор системы электропитания постоянного тока

Определяем число элементов в аккумуляторной батарее:

$$N_{\text{ЭлНом}} = \frac{48}{2} = 24 \text{ аккумуляторных элемента.} \quad (2.3.1)$$

$$N_{\text{Эл}} = \frac{U_0 + \Delta U_{\text{TPC}}}{U_{\text{ЭлНом}}} = \frac{48 + 0,04 \cdot 48}{2} = 24,96 \approx 25, \quad (2.3.2)$$

где $U_{\text{ЭлНом}} = 2 \text{ В}$ – номинальное напряжение на элементе;

$\Delta U_{\text{TPC}} \approx 0,04 U_0$ – потери в токораспределительных сетях (TPC);

$U_0 = 48 \text{ В}$ – номинальное выходное напряжение бесперебойного питания постоянного тока;

$N_{\text{Эл}}$ – округляется до целого числа в большую сторону.

Проверим минимально допустимый уровень напряжения при разряде аккумуляторной батареи с учетом минимального уровня напряжения на одном элементе, определённого по паспортным характеристикам:

$$U_{0\min} = U_{\text{ЭлКр}} \cdot N_{\text{Эл}} \geq U_0 - \Delta U_0, \quad (2.3.3)$$

$$U_{0\min} = U_{\text{ЭлКр}} \cdot N_{\text{Эл}} = 1,75 \cdot 25 = 43,75 \text{ В}, \geq U_0 - \Delta U_0 = 48 - 7,5 = 40,5 \text{ В},$$

где $U_{\text{ЭлКр}} = 1,75 \text{ В}$ – минимальный уровень напряжения на одном элементе свинцово – кислотного аккумулятора;

$\Delta U_0 = - 7,5 \text{ В}$ – установившееся отклонение напряжения на выходных выводах ЭПУ постоянного тока для подключения цепей питания аппаратуры связи согласно [2, 47]. В противном случае необходимо добавить один элемент в ряду.

Находим необходимую емкость аккумуляторов ЭПУ постоянного тока:

$$C_{I10} = \frac{I_P \cdot t_P}{\left[\eta_Q (1 + 0,008 \{t_{Cp} - 200\}) \right]} =$$

$$= \frac{90 \cdot 8}{\left[0,94 (1 + 0,008 \{22 - 20\}) \right]} = 753 \text{ А} \cdot \text{ч.} \quad (2.3.4)$$

по которому номинальная емкость аккумулятора, приведенная к условному 10 – часовому режиму разряда при температуре среды 20°C, зависит от ряда факторов:

$I_P = 90 \text{ А}$ – тока разряда;

t_P – времени разряда;

$\eta_Q = 0,94$ – коэффициента отдачи по емкости, соответствующему времени разряда согласно рекомендаций из таблицы 2.1 [31] для 8 часового режима разряда;

t_{Cp} – температуры окружающей среды.

Согласно таблицы П1.4 [31] выбираем герметизированные аккумуляторы GFM800Z с рекомбинацией газа и предохранительным клапаном компании COSLIGHT GFM (Z). Емкость каждого аккумуляторного элемента 800 А · ч, напряжение – 2В. Двухгруппная аккумуляторная батарея состоит из двух линеек аккумуляторов по 25 штук каждая.

Находим суммарный максимальный ток системы электропитания постоянного тока с помощью соотношения:

$$I_{\Sigma} = I_0 + I_{зар} = 90 + 80 \cdot 0,25 = 110 \text{ А}, \quad (2.3.5)$$

где $I_{зар} = 0,25 \cdot C_{10}$ – ток заряда АБ в послеаварийном режиме, А;

I_0 - максимальный выходной ток (ток часа наибольшей нагрузки ЛЧНН), А.

Из таблицы П1.5 [31] по току I_{Σ} и номинальному выходному напряжению выбираем систему электропитания постоянного тока СУЭП2-48-8×30. Для повышения надежности путем резервирования необходимо ввести один дополнительный резервный модуль ВУ (избыточный) [2, 47]. Максимальный ток одного модуля составляет 30 А, с учетом резервирования по схеме N+1 количество модулей равно $N = I_{\Sigma}/I_{Mod} + 1 = 110/30 + 1 = 5$.

Максимальное значение активной мощности потребляемой системой электропитания постоянного тока в условиях нормального электроснабжения

$$P_B = \frac{(I_0 + I_{ПЗ}) \cdot N_{Эл} \cdot U_{ПЗ}}{\eta_B} = \frac{(90 + 0,0007 \cdot 800) \cdot 25 \cdot 2,28}{0,85} = 6100 \text{ Вт}, \quad (2.3.6)$$

где $U_{ПЗ} \approx (2,14 + 0,14) \text{ В}$ – напряжение «плавающего заряда»;

$\eta_B = 0,85$ – КПД системы электропитания постоянного тока;

$I_{ПЗ} = 0,0007 \{C_{110}\} = 0,56 \text{ А}$ – ток окончания заряда АБ [3, 20].

Полная мощность S_B , потребляемая системой электропитания постоянного тока от сети переменного тока равна:

$$S_B = \frac{P_B}{\psi} \approx \frac{P_B}{\cos \varphi_B} = \frac{6100}{0,95} = 6500 \text{ ВА}, \quad (2.3.7)$$

а реактивная мощность:

$$Q_B \approx P_B \cdot \operatorname{tg} \varphi_B = 6100 \cdot 0,329 = 2000 \text{ ВАР}, \quad (2.3.8)$$

где φ_B – угол сдвига между током и напряжением выпрямительного устройства (при их синусоидальной форме);

$$\sin \varphi = (1 - \cos^2 \varphi)^{0,5} = (1 - 0,95^2)^{0,5} = 0,312;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \sin \varphi / \cos \varphi = 0,312 / 0,95 = 0,329.$$

2.3 Полная мощность, потребляемая всей системой электропитания

Находим полную мощность $S_{Пот}$, потребляемую системой электропитания узла связи от сети переменного тока.

Мощность аварийного освещения в нашем случае:

$$P_{AO} = U_{\text{ЭС}} \cdot I_{AO} = 220 \cdot 5 = 1100 \text{ Вт}, \quad (2.4.1)$$

$$Q_{AO} = 0, \quad \cos \varphi_{AO} = 1,$$

где $I_{AO} = 5 \text{ А}$ – ток аварийного освещения.

Полная мощность потребления на хозяйственные нужды в нашем случае по условию $S_{XH} = 11 \text{ кВА}$, (коэффициент загрузки $\beta \approx 1$), а коэффициент мощности нагрузки на хозяйственные нужды $\psi_{XH} \approx \cos \varphi_{XH} = 0,8$.

Тогда

$$\sin \varphi_{XH} = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{XH}} = \sqrt{1 - 0,8^2} = 0,6, \quad (2.4.2)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{XH} = \frac{\sin \varphi_{XH}}{\cos \varphi_{XH}} = \frac{0,6}{0,8} = 0,75. \quad (2.4.3)$$

Активную мощность на хозяйственные нужды находим с помощью выражения:

$$P_{XH} = S_{XH} \cdot \cos \varphi_{XH} \cdot \beta = 11000 \cdot 0,8 \cdot 1 = 8800 \text{ Вт}. \quad (2.4.4)$$

Реактивную мощность на хозяйственные нужды находим с помощью выражения:

$$Q_{XH} \approx P_{XH} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{XH} = 8800 \cdot 0,75 = 6600 \text{ ВАР}. \quad (2.4.5)$$

Полная мощность потребления системы вентиляции и кондиционирования в нашем случае по условию $S_K = 5,1 \text{ кВА}$, а коэффициент мощности $\psi_K \approx \cos \varphi_K = 0,7$.

Тогда

$$\sin \varphi_K = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_K} = \sqrt{1 - 0,7^2} = 0,55, \quad (2.4.6)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_K = \frac{\sin \varphi_K}{\cos \varphi_K} = \frac{0,55}{0,7} = 0,79. \quad (2.4.7)$$

Активную мощность системы вентиляции и кондиционирования находим с помощью выражения:

$$P_K = S_K \cdot \cos \varphi_K = 5100 \cdot 0,7 = 3570 \text{ Вт}. \quad (2.4.8)$$

Реактивную мощность системы вентиляции и кондиционирования находим с помощью выражения:

$$Q_K \approx P_K \cdot \operatorname{tg} \varphi_K = 3570 \cdot 0,79 = 2820 \text{ ВАР}. \quad (2.4.9)$$

Суммарная активная мощность всех потребителей на узле связи составит:

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{Пом}} &= P_{\text{ИБП}} + P_B + P_{\text{АО}} + P_{\text{ХН}} + P_K = \\ &= 7090 + 6100 + 1100 + 8800 + 3570 = 26660 \text{ Вт}. \end{aligned} \quad (2.4.10)$$

Суммарная реактивная мощность всех потребителей на узле связи составит:

$$\begin{aligned} \sum Q_{\text{Пом}} &= Q_{\text{ИБП}} + Q_B + Q_{\text{АО}} + Q_{\text{ХН}} + Q_K = \\ &= 4410 + 2000 + 0 + 6600 + 2820 = 15830 \text{ ВАР}. \end{aligned} \quad (2.4.11)$$

Тогда полная мощность всех потребителей на узле связи составит:

$$S_{\text{Пом}} = \sqrt{\sum P^2 + \sum Q^2} = \sqrt{26660^2 + 15830^2} = 31006 \text{ ВА}. \quad (2.4.12)$$

Суммарная активная и реактивная мощности потребителей первой категории электроснабжения составит:

$$\begin{aligned} \sum P &= P_{\text{ИБП}} + P_B + P_{\text{АО}} + P_K = \\ &= 7090 + 6100 + 1100 + 3570 = 17860 \text{ Вт}, \end{aligned} \quad (2.4.13)$$

$$\begin{aligned}\sum Q &= Q_{ИБП} + Q_B + Q_{АО} + Q_K = \\ &= 4410 + 2000 + 0 + 2820 = 9230 \text{ ВАР.}\end{aligned}\quad (2.4.14)$$

Тогда полная мощность потребителей первой категории электроснабжения на узле связи составит:

$$S_{1кат} = \sqrt{\sum P_{1кат}^2 + \sum Q_{1кат}^2} = \sqrt{17860^2 + 9230^2} = 20104 \text{ ВА.} \quad (2.4.15)$$

В соответствии со схемой электроснабжения (приложение № 1) и планами развития предприятия выбираем трансформатор $T1$ и $T2$ мощностью 50 кВт. (50 кВт. > 31 кВА.). А в качестве автономной дизельной электростанции (АДЭС) – дизельный электроагрегат Р40 компании F.G. WILSON общей мощностью 40 кВА. (рекомендуется $0,75 \cdot P_{АДЭС} > S_{1кат}$; 30 кВА. > 20,1 кВА.). АДЭС выполнена на основе дизельного двигателя Perkins и удовлетворяет требованиям высшей, третьей степени автоматизации и предназначена для постоянной работы (24 часа в сутки), допускается перегрузка 10% в течение 1 часа каждые 12 часов.

Находим максимальное значение тока, потребляемого системой электроснабжения для схемы соединения обмоток трансформатора «звезда»:

$$I_\phi = \frac{S_{Пом}/3}{U_\phi} = \frac{31006/3}{220} = 47 \text{ А.} \quad (2.4.16)$$

По расчетному значению тока I_ϕ из таблицы П1.9 [31] выбираем силовой медный кабель ВБбШв-4×16 с допустимым фазным током 80 А (для прокладки в грунте). Рассчитываем сопротивление фазного провода [46, 48]:

$$R_\phi = \ell_\phi \cdot R_{каб} = 0,1 \cdot 1,16 = 0,116 \text{ Ом.} \quad (2.4.17)$$

где $\ell_\phi = 100$ метров – протяжённость кабельной линии;

$R_{каб} = 1,16$ Ом/км – сопротивление медной жилы кабеля с площадью поперечного сечения 16 мм².

Находим потери мощности в кабельной линии:

$$\Delta P_{\text{каб}} = I_{\phi}^2 \cdot R_{\phi} \cdot 3 = 47^2 \cdot 0,116 \cdot 3 = 769 \text{ Вт.} \quad (2.4.18)$$

Выбираем в качестве главного распределительного щита (ГРЩ) шкаф ШВРА-УАР-380/80-21П с двумя вводами от внешних электросетей и вводом для подключения дизельной электростанции с автоматическим переключением вводов. Схема шкафа представлена на рисунке 2.8.

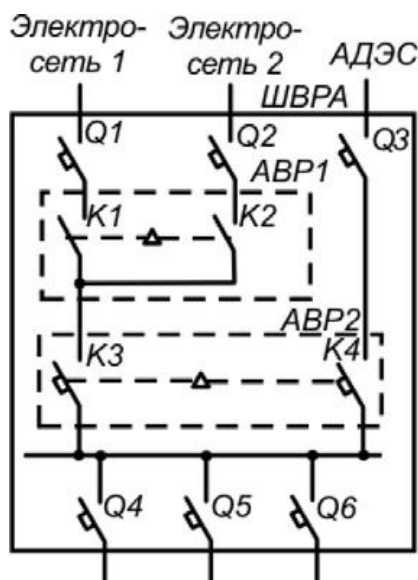


Рисунок 2.8 – Схема ШВРА с автоматическим подключением АДЭС

2.4 Расчёт параметров косинусных конденсаторов

Для достижения необходимого значения коэффициента мощности $\cos \varphi_H = 0,95$ находим $\operatorname{tg} \varphi_H$ с помощью выражения [1, 57, 58]:

$$\operatorname{tg} \varphi_H = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H}}{\cos \varphi_H} = \frac{\sqrt{1 - 0,95}}{0,95} = 0,329. \quad (2.5.1)$$

Реактивная мощность Q_K компенсирующих конденсаторов равна [31]:

$$Q_K = P_{\text{Пом}} \cdot \left(\frac{Q_{\text{Пом}}}{P_{\text{Пом}}} - \operatorname{tg} \varphi_H \right) = 26660 \cdot \left(\frac{15830}{26660} - 0,329 \right) = 7059 \text{ ВАР.} \quad (2.5.2)$$

Ёмкость компенсирующих конденсаторов, соединенных по схеме «треугольник» равна [31]:

$$C_K = \frac{Q_K \cdot 10^9}{2\pi \cdot f_C \cdot U_L^2} = \frac{7,059 \cdot 10^9}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 380^2} = 156 \text{ мкФ}, \quad (2.5.3)$$

где $f_C = 50$ Гц – частота питающей сети;

$U_L = 380$ В – линейное напряжение сети.

По таблице П1.13 [31] выбираем тип конденсатора УКМ63-0,4-175-15 УЗ с регулировкой емкости (25+3×50).

Применение данных регулируемых конденсаторных установок позволяет снизить потери электроэнергии и повысить эффективность электроустановок, одновременно повышая качество электроэнергии непосредственно в сетях предприятия.

2.5 Расчет заземляющего устройства

Выбираем схему заземления на стороне переменного тока TNC-S, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике на участке сети от ТП до ввода в здание [44].

Расчетный ток короткого замыкания равен [53, 54 55, 56]:

$$I_{K3} = 1,25 \cdot I_\Sigma = 1,25 \cdot 141 = 176 \text{ А}, \quad (2.6.1)$$

где $I_\Sigma = \frac{S_{\text{ном}}}{U_\phi} = \frac{31006}{220} = 141 \text{ А}$ – суммарный ток потребления.

Сопротивление короткого замыкания:

$$R_{K3} \leq \frac{125}{I_{K3}} = \frac{125}{176} = 0,71 \text{ Ом}. \quad (2.6.2)$$

Принимаем штыревую конструкцию искусственного заземлителя. Коэффициент сезонности для вертикальных электродов задаем равным $\eta_{CB} = 1,4$, для горизонтальных $\eta_{CH} = 3$.

Находим удельные сопротивления грунта для вертикальных и горизонтальных электродов:

$$\rho_B = \eta_{CB} \cdot \rho_0 = 1,4 \cdot 100 = 140 \text{ Ом/м}, \quad (2.6.3)$$

$$\rho_G = \eta_{CT} \cdot \rho_0 = 3 \cdot 100 = 300 \text{ Ом/м}, \quad (2.6.4)$$

где $\rho_0 = 100 \text{ Ом/м}$ – удельное сопротивление для суглинка полутвёрдого таблица П1.15 [31].

Рассчитываем сопротивление R_B одного вертикального электрода заземления. Для этого с учетом рекомендаций [3] выбираем длину $l = 4 \text{ м}$, высоту $h = 0,5 \text{ м}$, диаметр $d = 75 \text{ мм}$, электрода. Тогда расстояние от поверхности земли до середины электрода $t = h + l/2 = 0,5 + 4/2 = 2,5 \text{ м}$, следовательно:

$$\begin{aligned} R_B &= \frac{0,366 \cdot \frac{\rho_B}{l}}{l} \cdot \left(\lg \frac{2l}{d} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) = \\ &= \frac{0,366 \cdot \frac{140}{4}}{4} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 4}{0,075} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 2,5 + 4}{4 \cdot 2,5 - 4} \right) = 12,8 \cdot (2,02 + 0,18) = 28 \text{ Ом}. \end{aligned} \quad (2.6.5)$$

Конструкция вертикального заземлителя, из забиваемых в землю отрезков стальных труб или стержней, представлена на рисунке 2.9 обозначения: l – длина электрода, d – диаметр электрода, h – глубина на которую забит электрод, t – расстояние от поверхности земли до середины электрода.

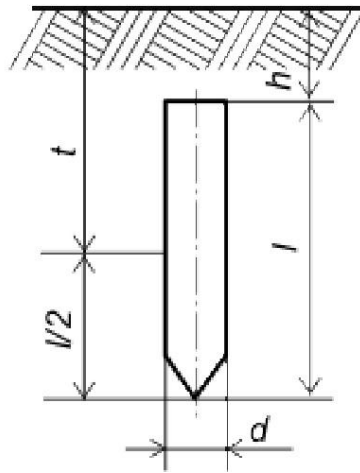


Рисунок 2.9 – Конструкция вертикального заземлителя

Рассчитываем количество вертикальных электродов:

$$n_B = \frac{R_B}{R_{K3} \cdot \eta_B} = \frac{28}{0,71 \cdot 0,75} = 53 \quad (2.6.6)$$

где η_B – коэффициент использования вертикальных электродов, зависящий от числа электродов и соотношения расстояния между ними к длине a/l . Принимаем $a/l = 2$, из таблицы 2.2 [31] определяем $\eta_B = 0,75$, соответствующий $R_{K3} = 4$ Ом.

Рассчитываем общую длину горизонтальных соединителей заземляющего устройства:

$$l_{\Gamma} = (n_B - 1) \cdot a = (53 - 1) \cdot 8 = 416 \text{ м}, \quad (2.6.7)$$

где $a = 2 \cdot l = 2 \cdot 4 = 8$ м – расстояние между электродами.

Сопротивление горизонтальных электродов заземления:

$$R_{II} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\Gamma}}{l} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_B^2}{b \cdot h} = \frac{0,366 \cdot 300}{432} \cdot \lg \frac{2 \cdot 220^2}{0,05 \cdot 0,5} = 0,25 \cdot 6,59 = 1,65 \text{ Ом}, \quad (2.6.8)$$

на основании выбранных $b = 5$ см, $h = 50$ см с учетом рекомендаций [27]. Коэффициент использования полосы $\eta_{\Gamma} = 0,75$ определяем по таблице 2.2 [31], откуда сопротивление горизонтальных соединителей:

$$R_r = \frac{R_{II}}{\eta_r} = \frac{1,65}{0,75} = 2,2 \text{ Ом.} \quad (2.6.9)$$

Общее сопротивление заземляющего устройства, состоящего из вертикальных электродов и соединительных горизонтальных полос будет равно:

$$R_p \approx \frac{R_{II} \cdot R_B}{R_B \cdot \eta_r + n_B \cdot R_{II} \cdot \eta_B} = \frac{1,65 \cdot 28}{28 \cdot 0,75 + 53 \cdot 1,65 \cdot 0,75} = 0,53 \text{ Ом.} \quad (2.6.10)$$

Соединение нулевого рабочего проводника трансформатора с заземлителем осуществляется медным проводником ПВЗ 1 x 25 мм² [1].

2.6 Выбор автоматов защиты

Автоматические выключатели QF 3 – 4 на схеме электроснабжения типового узла связи (приложение № 1) выбираем по номинальным значениям напряжения, линейного тока сети I_L и условиям перегрузки $1,5 \cdot I_L$ по данным таблицы П1.8 [31].

Полная мощность всех потребителей на узле связи составляет $S_{Пом} = 31006$ ВА, следовательно для схемы соединения вторичных обмоток трансформатора «звезда с нулевым выводом» ток потребления равен:

$$I_L = \frac{S_{Пом}}{3 \cdot U_\phi} = \frac{31006}{3 \cdot 220} = 47 \text{ А.} \quad (2.7.1)$$

Номинальный ток автоматического выключателя подбирается по выражению с учётом следующего условия [23, 31, 59]:

$$I_{Ном.Авт.} \approx 1,5 \cdot I_L = 1,5 \cdot 47 = 71 \text{ А.} \quad (2.7.2)$$

Выбираем по таблице П1.8 [31] вводной автоматический выключатель ВА 47-100 (С) трёхполюсный с током отключения 80 А фирмы ЕКФ.

Проверяем параметры автоматического выключателя по кратности тока замыкания. Полное сопротивление фазного провода в соответствии с пунктом 3.9 [31] равно:

$$Z_{\Pi} \approx R_{\phi} = l_{\phi} \cdot R_{\text{каб}} = 0,1 \cdot 1,16 = 0,116 \text{ Ом.} \quad (2.7.3)$$

Полное сопротивление трансформатора мощностью 50 кВт выбираем по таблице 3.1 [31]:

$$Z_T = 0,52 \text{ Ом.}$$

Полагаем (приблизительно), что ток короткого замыкания между фазным проводником и нейтральным равен:

$$I_{K\phi} \approx \frac{U_{\phi}}{Z_{\Pi} + Z_T} = \frac{220}{0,116 + 0,52} = 346 \text{ А.} \quad (2.7.4)$$

Значение $I_{K\phi}$ превышает более, чем в четыре раза номинальный ток автоматического выключателя (80 А). Это подтверждает надежное срабатывание автомата защиты в случае короткого замыкания и удовлетворяет условию по кратности тока короткого замыкания в сетях с занулением (не менее чем в три раза) из таблицы 3.2 [31].

Автоматические выключатели QF 5 – 10 на схеме электроснабжения типового узла связи (приложение № 1) выбираем по номинальным значениям напряжения, тока нагрузки $I_{\text{наг}}$, условиям перегрузки $1,5 \cdot I_{\text{наг}}$ и с учётом селективности по данным таблицы П1.8 [31].

Полная мощность общехозяйственных нужд на узле связи составляет $S_{\text{XH}} = 11000 \text{ ВА}$, следовательно для трёхфазной схемы электроснабжения ток потребления равен:

$$I_{\text{XH}} = \frac{S_{\text{XH}}}{3 \cdot U_{\phi}} = \frac{11000}{3 \cdot 220} = 17 \text{ А.} \quad (2.7.5)$$

Номинальный ток автоматического выключателя Q 5 – 7 подбирается по выражению с учётом следующего условия [31]:

$$I_{\text{Авт.ХН}} \approx 1,5 \cdot I_{\text{ХН}} = 1,5 \cdot 17 = 26 \text{ А.} \quad (2.7.6)$$

Выбираем по таблице П1.8 [31] автоматический выключатель под общехозяйственные нужды ВА 47-100 (С) трёхполюсный с током отключения 32 А фирмы ЕКФ.

Полная мощность системы кондиционирования и вентилирования и аварийного освещения на узле связи составляет $S_{\text{КАО}} = S_{\text{К}} + S_{\text{АО}} = 5100 + 1100 = 6200 \text{ ВА}$, следовательно, для однофазной схемы электроснабжения ток потребления равен:

$$I_{\text{КАО}} = \frac{S_{\text{КАО}}}{U_{\phi}} = \frac{6200}{220} = 28 \text{ А.} \quad (2.7.7)$$

Номинальный ток автоматического выключателя Q 8 подбирается по выражению с учётом следующего условия [31]:

$$I_{\text{Авт.КАО}} \approx 1,5 \cdot I_{\text{КАО}} = 1,5 \cdot 28 = 42 \text{ А.} \quad (2.7.8)$$

Полная мощность системы электропитания постоянного тока на узле связи составляет $S_{\text{В}} = 6500 \text{ ВА}$, следовательно, для однофазной схемы электроснабжения ток потребления равен:

$$I_{\text{В}} = \frac{S_{\text{В}}}{U_{\phi}} = \frac{6500}{220} = 30 \text{ А.} \quad (2.7.9)$$

Номинальный ток автоматического выключателя Q 9 подбирается по выражению с учётом следующего условия [31]:

$$I_{\text{Авт.В}} \approx 1,5 \cdot I_{\text{В}} = 1,5 \cdot 30 = 45 \text{ А.} \quad (2.7.10)$$

Полная мощность системы бесперебойного питания переменного тока на узле связи составляет $S_{\text{ИБП}} = 8350 \text{ ВА}$, следовательно, для однофазной схемы электроснабжения ток потребления равен:

$$I_{ИБП} = \frac{S_{ИБП}}{U_{\phi}} = \frac{8350}{220} = 38 \text{ А.} \quad (2.7.11)$$

Номинальный ток автоматического выключателя Q 10 подбирается по выражению с учётом следующего условия [31]:

$$I_{\text{Авт.ИБП}} \approx 1,5 \cdot I_{ИБП} = 1,5 \cdot 38 = 57 \text{ А.} \quad (2.7.12)$$

Выбираем по таблице П1.8 [31] автоматический выключатель Q 8 – 10 ВА 47-100 (С) трёхполюсный с током отключения 63 А фирмы ЕКФ.

3. Моделирование источника бесперебойного питания

3.1. Описание имитационной модели ИБП

Для оценки и проверки работоспособности рассчитанного ИБП составим схему виртуального источника бесперебойного питания согласно схемы и параметров указанных в расчетной части, и смоделируем ее в системе MatLab [70, 71, 72]. Основная схема представлена на рисунке 1 и включает в себя измерительные приборы и субблоки.

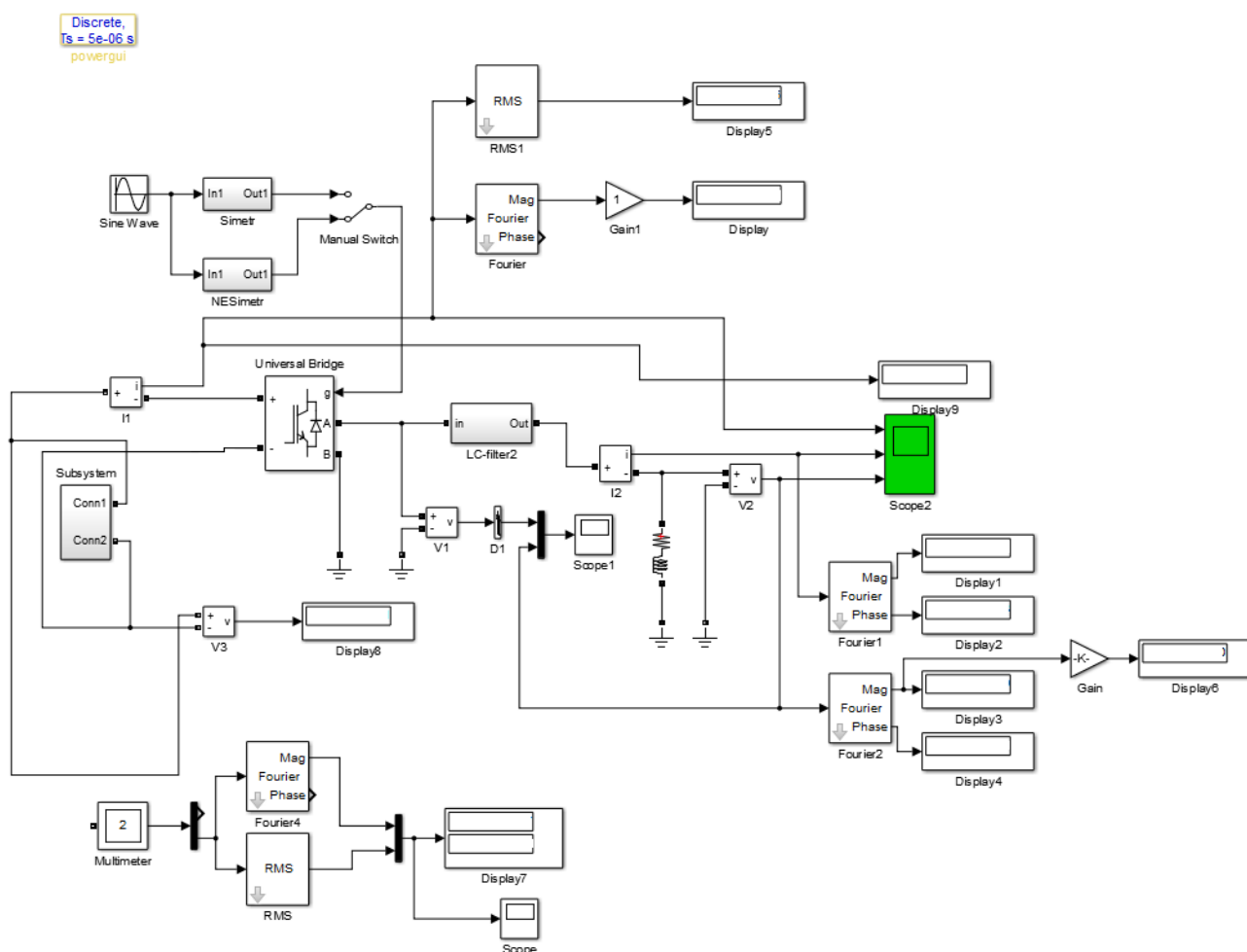
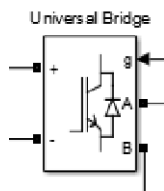
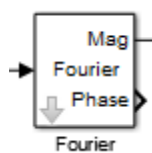


Рисунок 3.1 – Основная схема моделирования

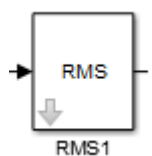
Далее рассмотрим подробно элементы основной схемы:



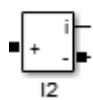
–Блок универсальный мост (Universal Bridge). Позволяет создавать мостовые схемы как однофазные, так и трехфазные на различных полупроводниковых силовых элементах: тиристорах, биполярных транзисторах, полевых транзисторах с изолированным затвором с обратным диодом и без него (MOSFET, NFET), биполярных транзисторах с изолированным затвором с обратным диодом и без него (IGBT), силовых диодах. Основными настройками блока являются сопротивление открытого канала элемента, время включения, емкость и сопротивление снабберной цепочки.



– Блок разложения несинусоидального периодического сигнала на гармонические составляющие с разделением амплитуды и фазы. Применяется для измерения амплитуды и фазы переменных токов и напряжений.



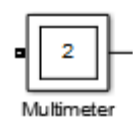
– Блок измерения эффективного (действующего) значения несинусоидального периодического тока или напряжения.



– Блок амперметра для измерения токов.



– Блок вольтметра для измерения напряжения.



– Блок мультиметр – позволяет измерять различные электрические величины. В нашей модели применяется для измерения

амплитуды тока и действующего значения тока в транзисторах инвертора. Позволяет отображать результаты измерения в графическом виде.



– Блок дисплей – позволяет визуально наблюдать за измеряемыми величинами в цифровой форме.



– Блок – осциллограф, позволяет наблюдать форму и изменение сигнала в записи и реальном времени. Имеет несколько входов.



– Данный блок представляет собой аналоговый усилитель с изменяемым коэффициентом усиления (ослабления).

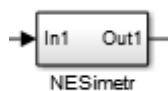


– Генератор синусоидально напряжения

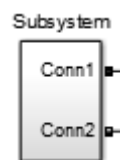
Рассмотренные блоки являются типовыми. Рассмотрим субблоки составленные из типовых элементов:



– Контроллер инвертора с алгоритмом симметричного управления.



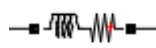
– Контроллер инвертора с алгоритмом несимметричного управления.



– Данный блок представляет собой непосредственный преобразователь повышающего типа (НППТ).



– Выходной LC фильтр (активно-индуктивно-емкостный RLC фильтр).



– RL-нагрузка (активно-индуктивная).

Рассмотрим внутреннюю схему каждого субблока.

Блок НППТ состоит из следующей подсистемы представленной на рисунке 3.2.

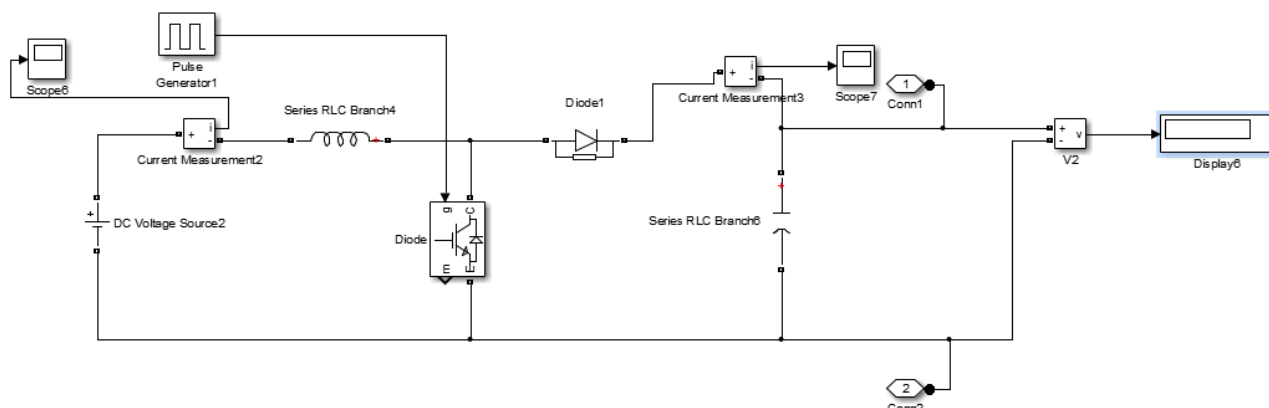
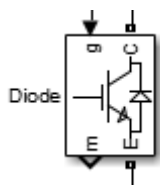
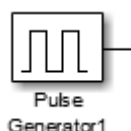


Рисунок 3.2 – Субсистема НППТ

В её состав входят:



– IGBT – транзистор с обратным диодом, осциллографы для отображения изменения силы тока на входе и выходе, амперметры и вольтметр, входная индуктивность, выходная емкость, диод.



– Генератор меандра с регулируемой скважностью.



– Источник постоянного напряжения.

Блок НППТ предназначен для повышения напряжения с 72 В аккумуляторных батарей до 310-349 вольт на входе инвертора. В блоке используется фиксированная скважность, то есть жестко заданная относительная длительность включения и выключения транзистора. Поэтому данный блок не является регулируемым.

Блок контроллера инвертора с алгоритмом симметричного управления состоит из следующей подсистемы представленной на рисунке 3.3.

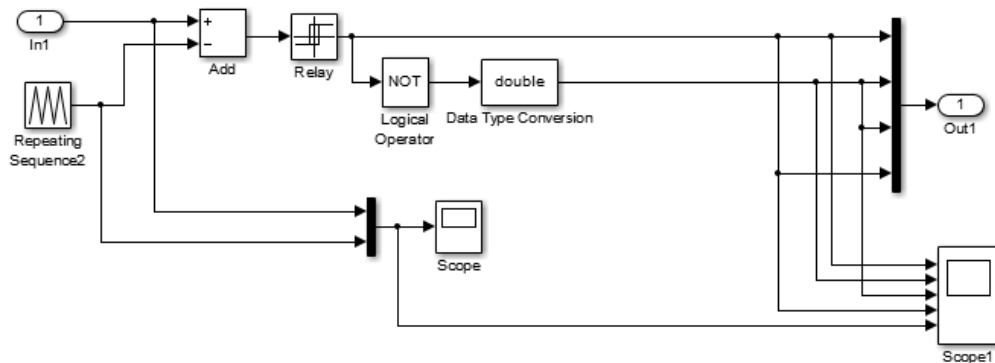
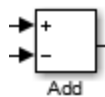


Рисунок 3.3 – Подсистема симметричного управления

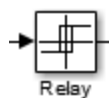
Данный блок представляет собой контроллер инвертора с управлением по симметричному закону. В симметричном управлении все транзисторы моста находятся в состоянии переключения. То есть импульсы формируются так, чтобы открывались парно-диагональные транзисторы. Причем напряжение на выходе инвертора управляемого по симметричному закону представляет биполярный сигнал. В блок входят осциллографы, для наблюдения сигналов управления транзисторами.



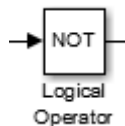
Repeating Sequence2 – Генератор пилообразного напряжения с возможностью задания амплитуды выходного сигнала, частоты, ширины и задержки импульсов.



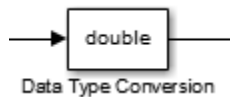
Add – Сумматор с реализацией функции компаратора для формирования базовых временных интервалов импульсов управления из пилообразного и синусоидального сигналов.



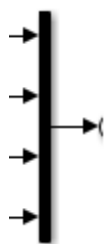
Relay – Реле с регулируемой зоной нечувствительности и устанавливаемой величиной положительного и отрицательного выходного сигнала.



Logical Operator – Логический элемент НЕ (инверсия).



Data Type Conversion – Конвертер типов данных в тип double.



– Мультиплексорная шина передачи и распределения сигналов управления.

Блок контроллера инвертора с алгоритмом несимметричного управления состоит из следующей подсистемы представленной на рисунке 3.4.

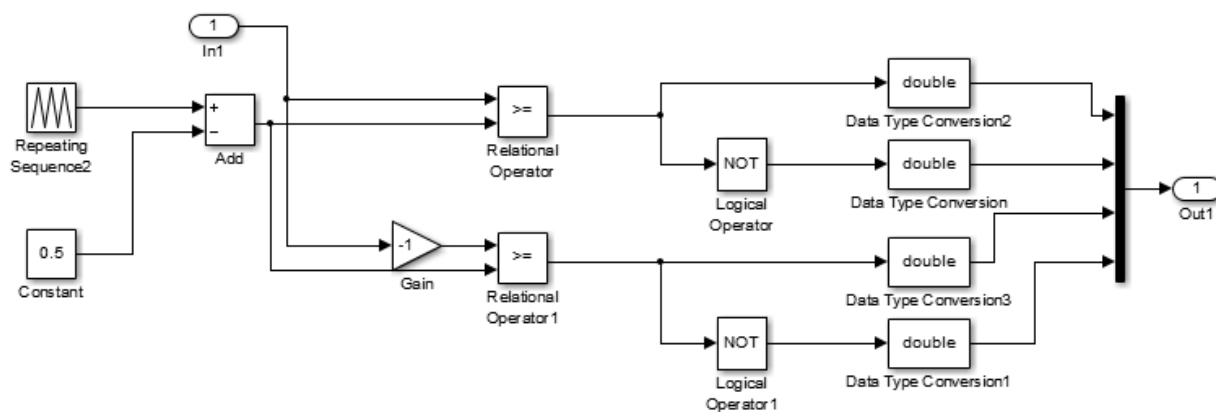
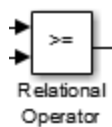


Рисунок 3.4 – Подсистема несимметричного управления

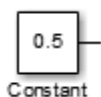
Данный блок представляет собой контроллер инвертора с управлением по несимметричному закону. При несимметричном управлении на выходе инвертора присутствует однополярное напряжение. Управление происходит следующим образом: пара транзисторов одного плеча моста

находится в переключении, во втором плече один из транзисторов постоянно открыт, другой постоянно закрыт. При смене полярности входного сигнала пары меняются.

В блоке используются вышеперечисленные элементы блока с симметричным управлением и дополнительно.



– Компаратор.



– Блок постоянного напряжения смещения.

Блок LC – фильтр состоит из следующей подсистемы представленной на рисунке 3.5.

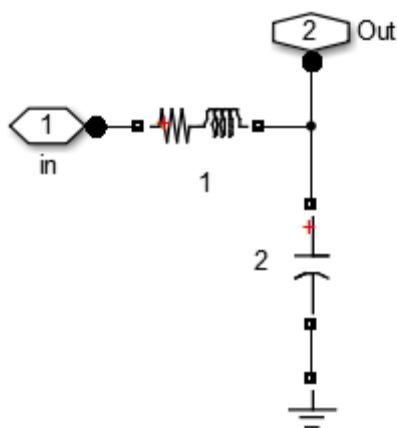


Рисунок 3.5 – Подсистема LC – фильтра

Данный блок представляет собой выходной фильтр в состав, которого входят индуктивность с активным сопротивлением и емкость. Параметры фильтра рассчитаны в расчетной части.

Блок нагрузка (Load) представляет собой эквивалент активно-индуктивной нагрузки на выходе после фильтра, представлен на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Блок активно-индуктивной нагрузки

3.2. Результаты моделирования ИБП

Снимем осциллограммы с моделированной схемы ИБП с симметричным управлением во всех ключевых точках. Полученные осциллограммы представлены на рисунках 3.7 – 3.15.

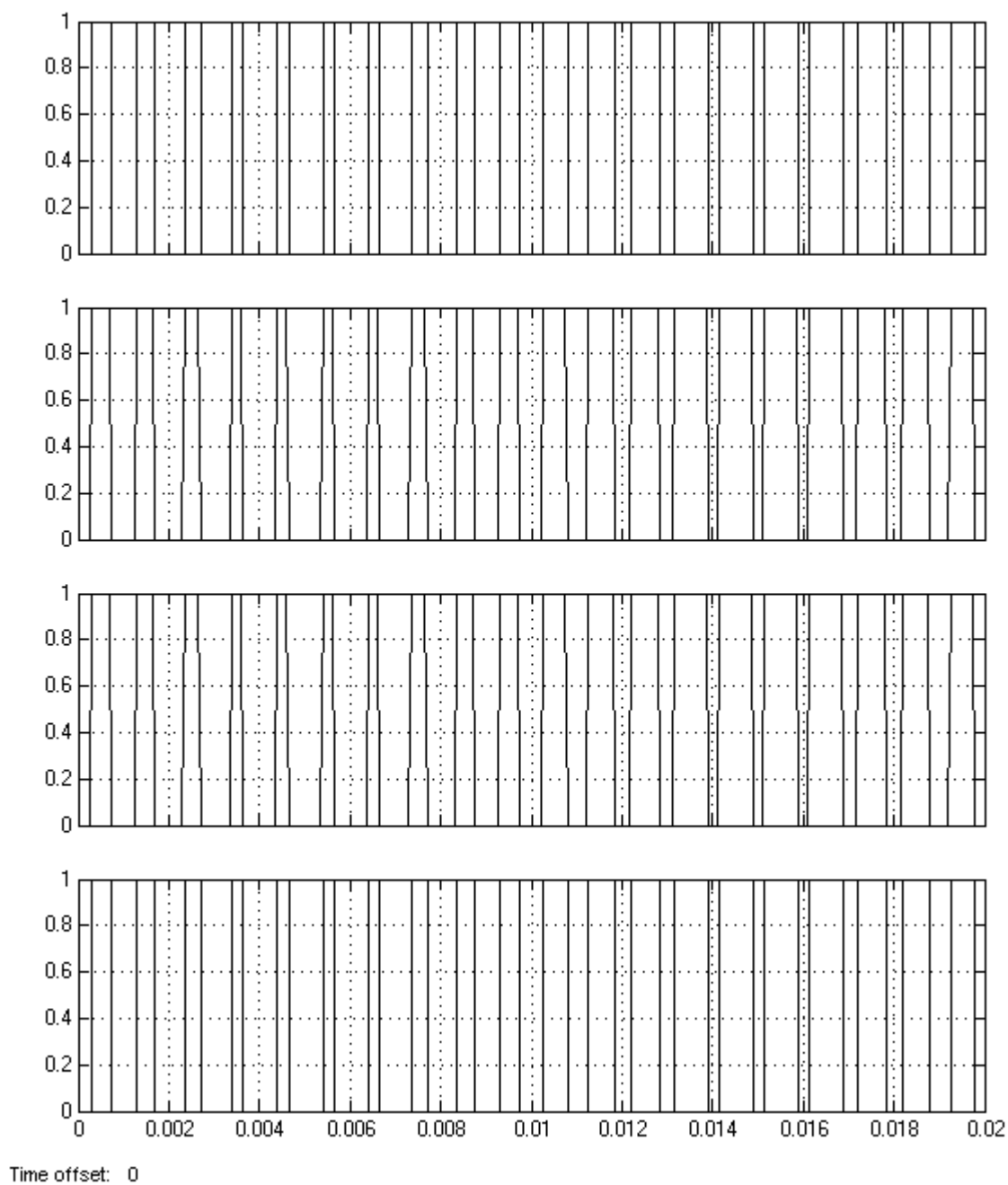


Рисунок 3.7 – Осциллограммы импульсов управления для однофазного инвертора при симметричном управлении

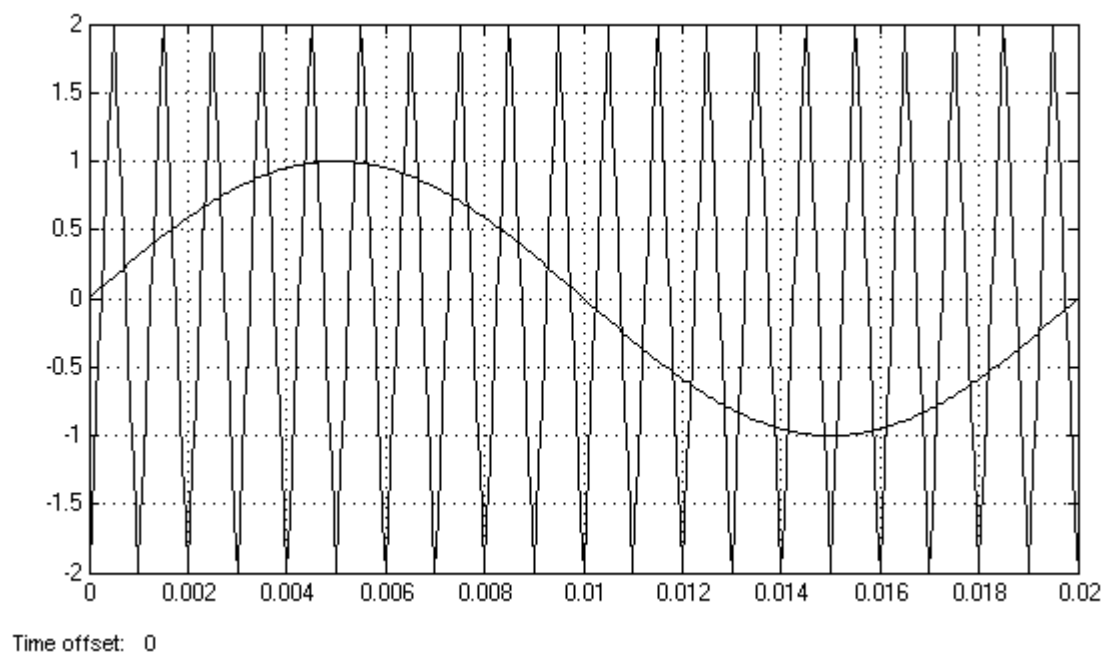


Рисунок 3.8 – Осциллограмма опорного напряжения и задающего сигнала
(симметричное управление)

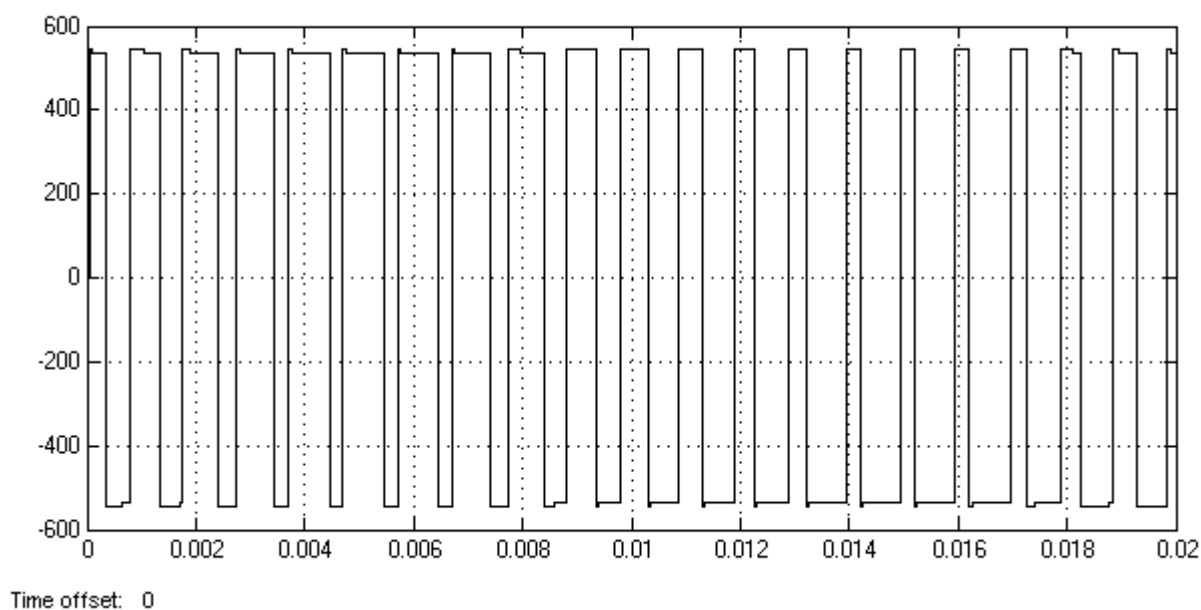


Рисунок 3.9 – Осциллограмма напряжения на выходе инвертора
(симметричное управление)

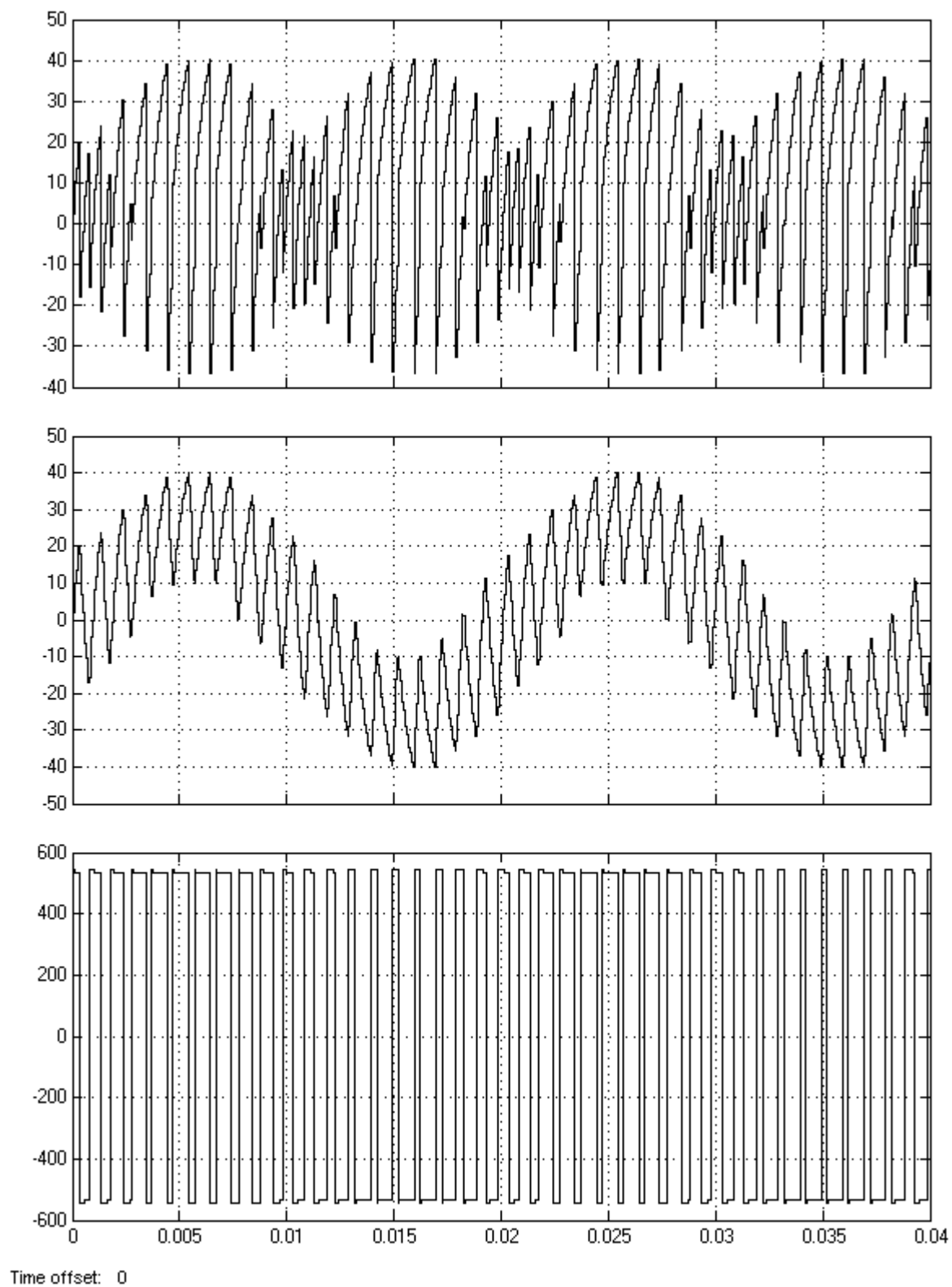


Рисунок 3.10 – Ток питания, ток нагрузки и напряжение на нагрузке однофазного инвертора (симметричное управление)

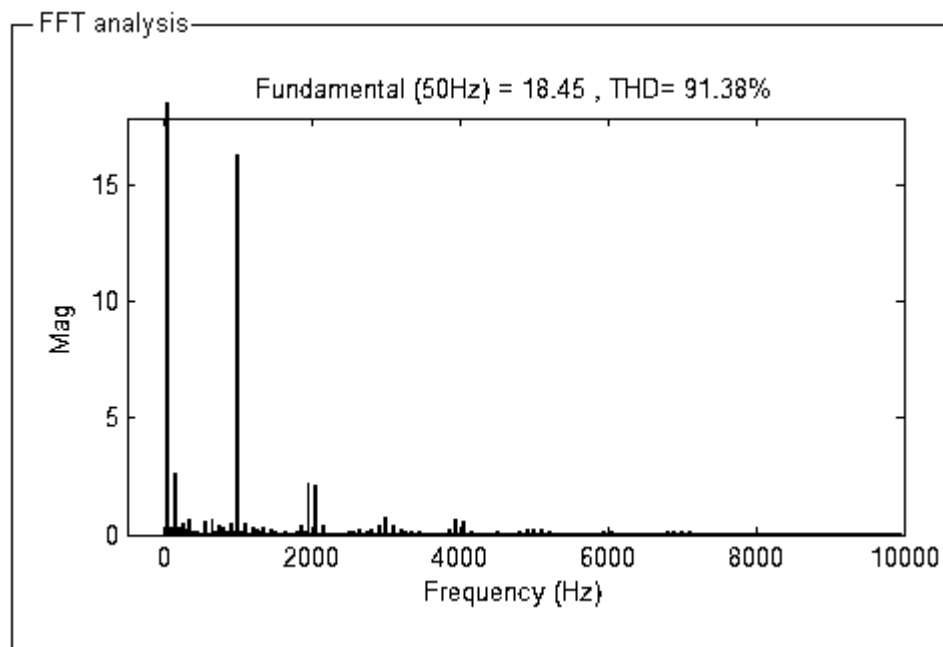


Рисунок 3.11 – Спектральный анализ тока нагрузки
(симметричное управление)

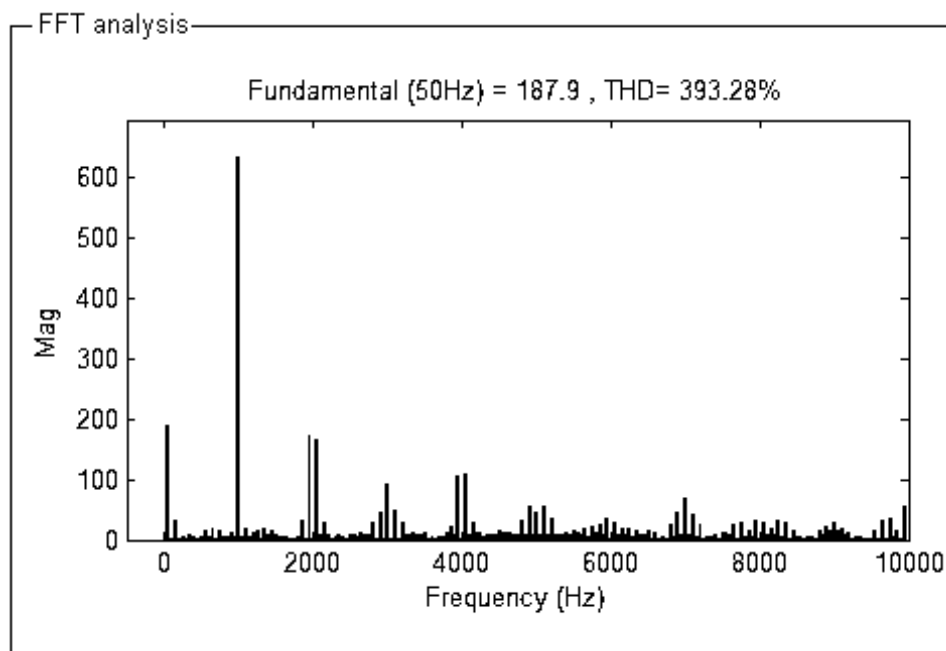


Рисунок 3.12 – Спектральный анализ напряжения на нагрузке
(симметричное управление)

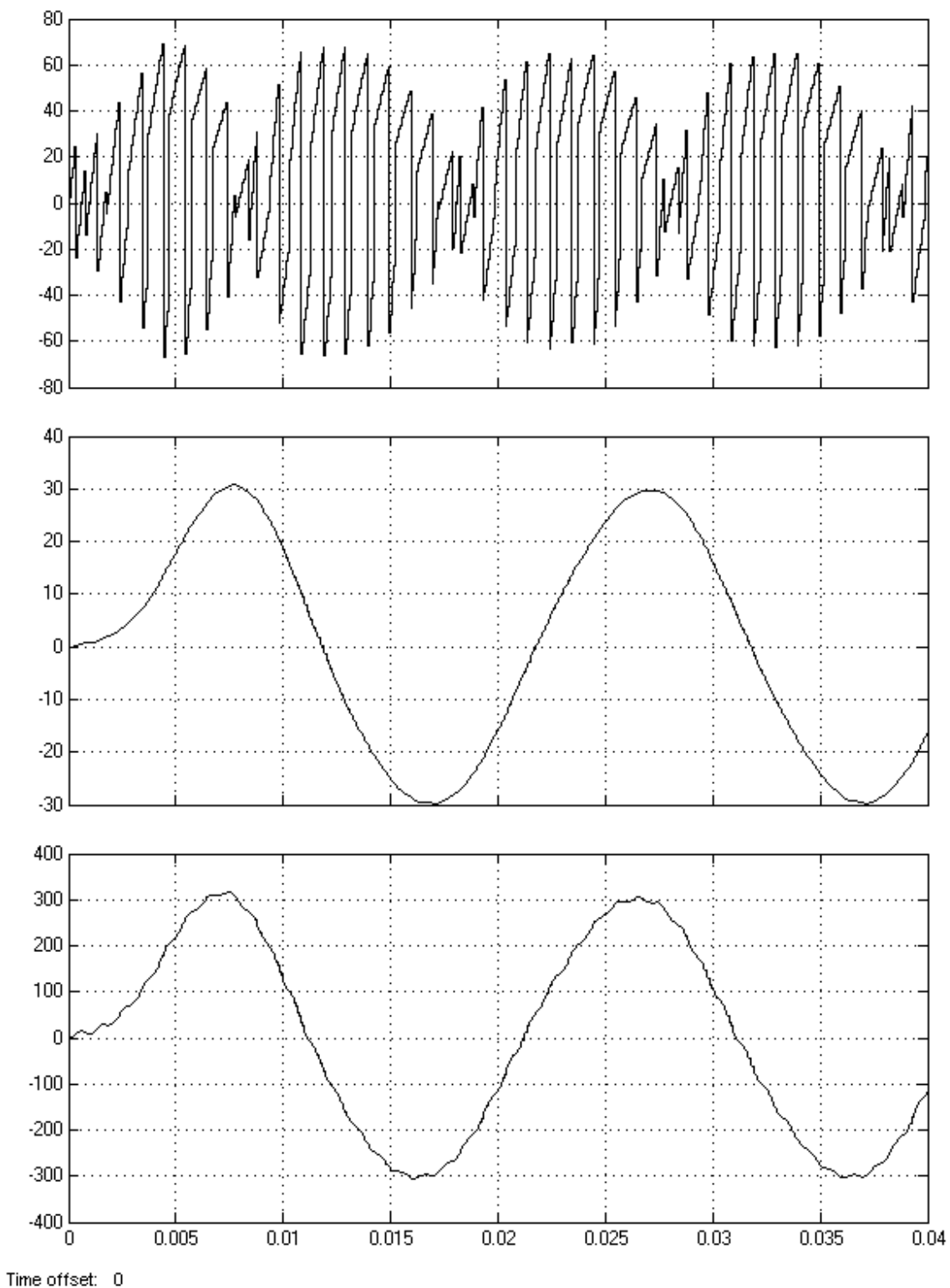


Рисунок 3.13 – Ток питания, ток нагрузки и напряжение на нагрузке однофазного инвертора с использованием фильтра (при симметричном управлении)

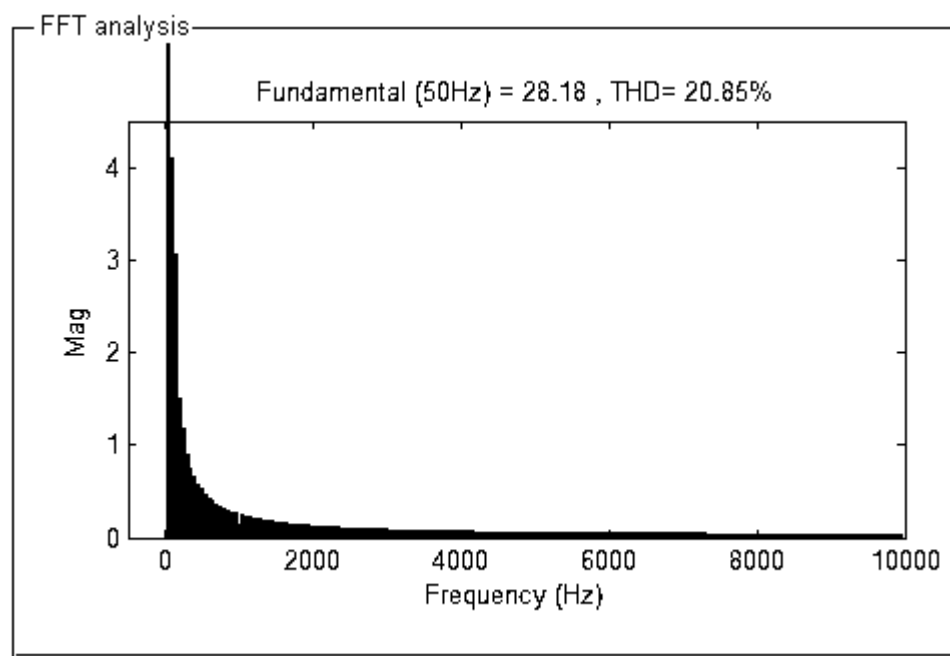


Рисунок 3.14 – Спектральный анализ тока нагрузки при использовании фильтра (симметричное управление)

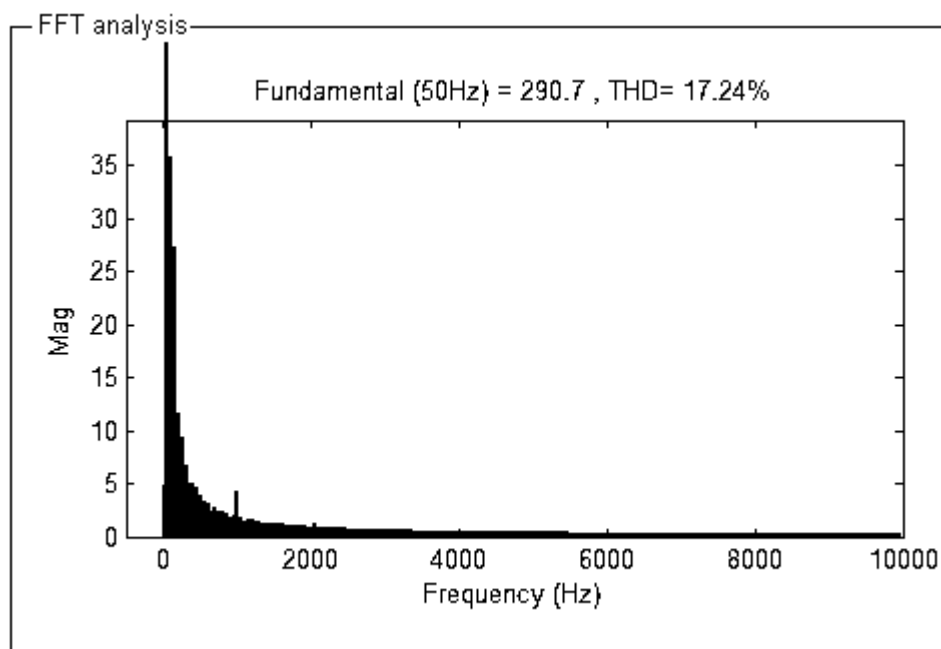


Рисунок 3.15 – Спектральный анализ напряжения на нагрузке при использовании фильтра (симметричное управление)

Снимем осциллограммы с моделированной схемы ИБП с несимметричным управлением во всех ключевых точках. Полученные осциллограммы представлены на рисунках 3.16 – 3.24.

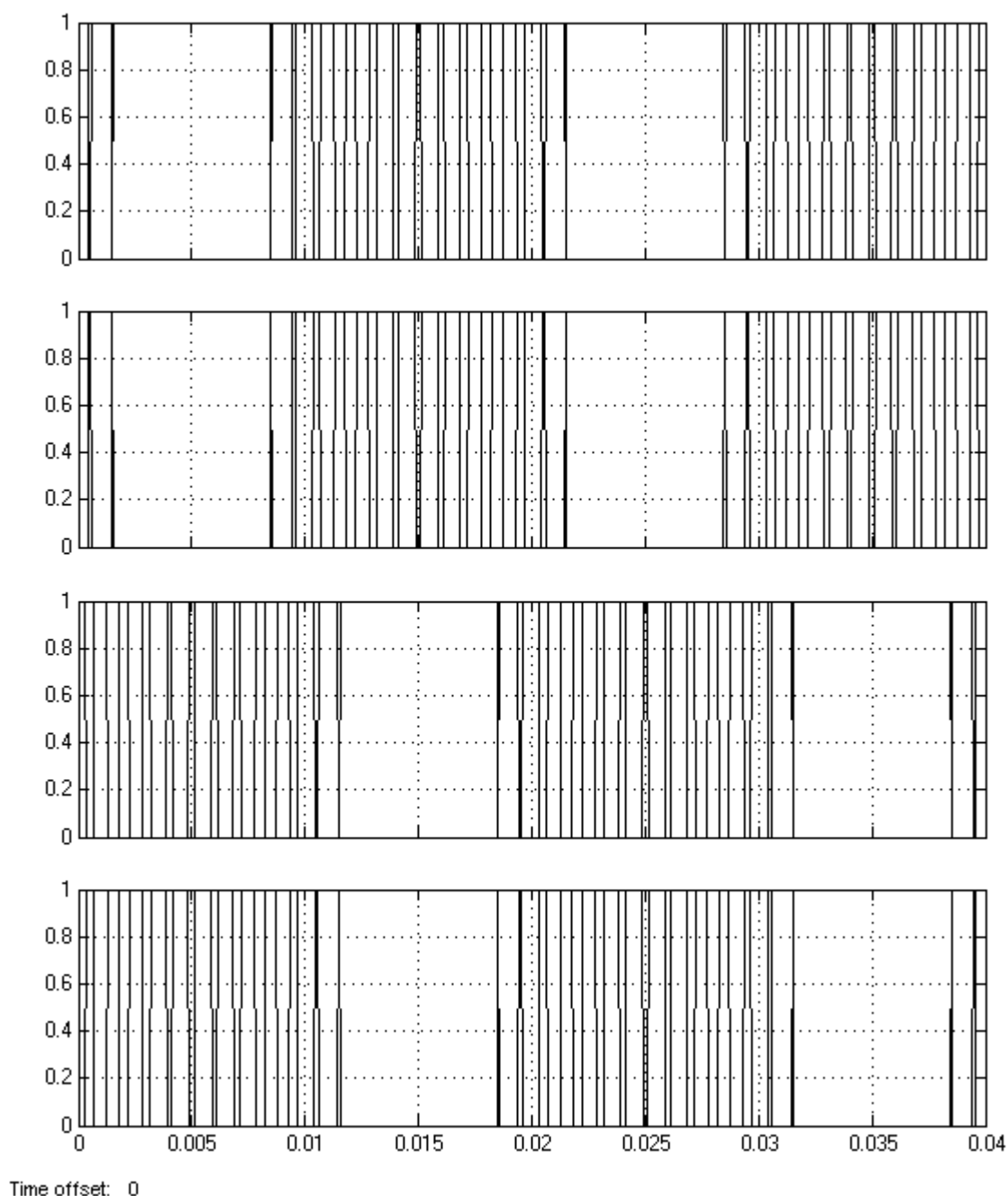


Рисунок 3.16 – Осциллограммы импульсов управления для однофазного инвертора при несимметричном управлении

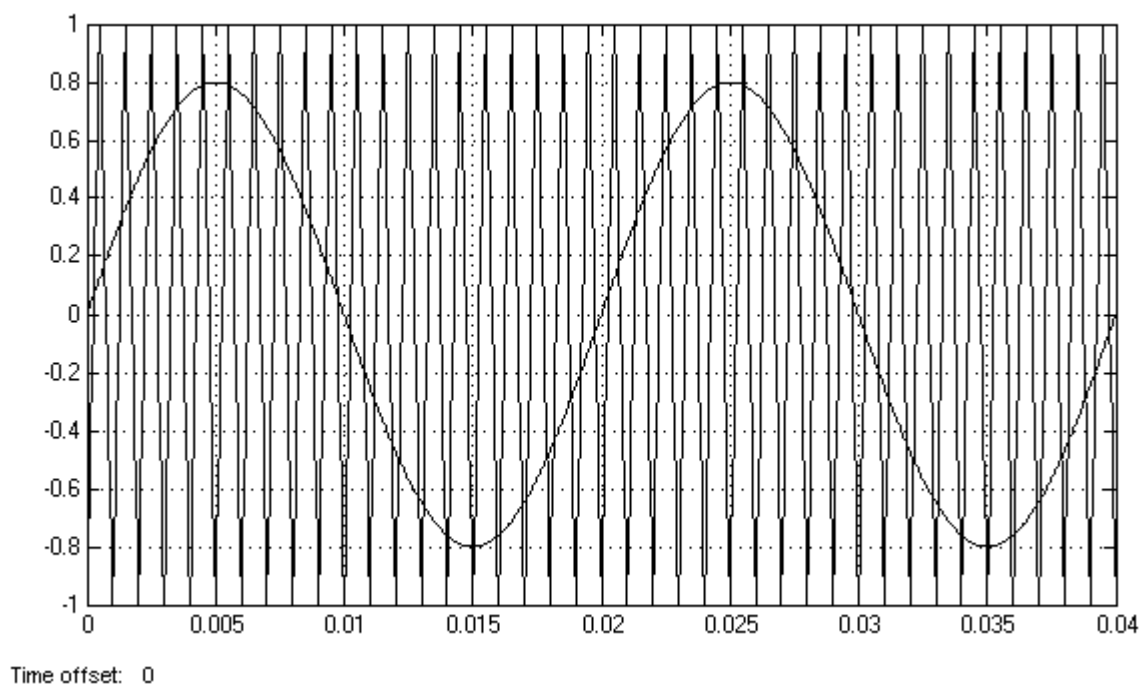


Рисунок 3.17 – Осциллограмма опорного напряжения и задающего сигнала
(несимметричное управление)

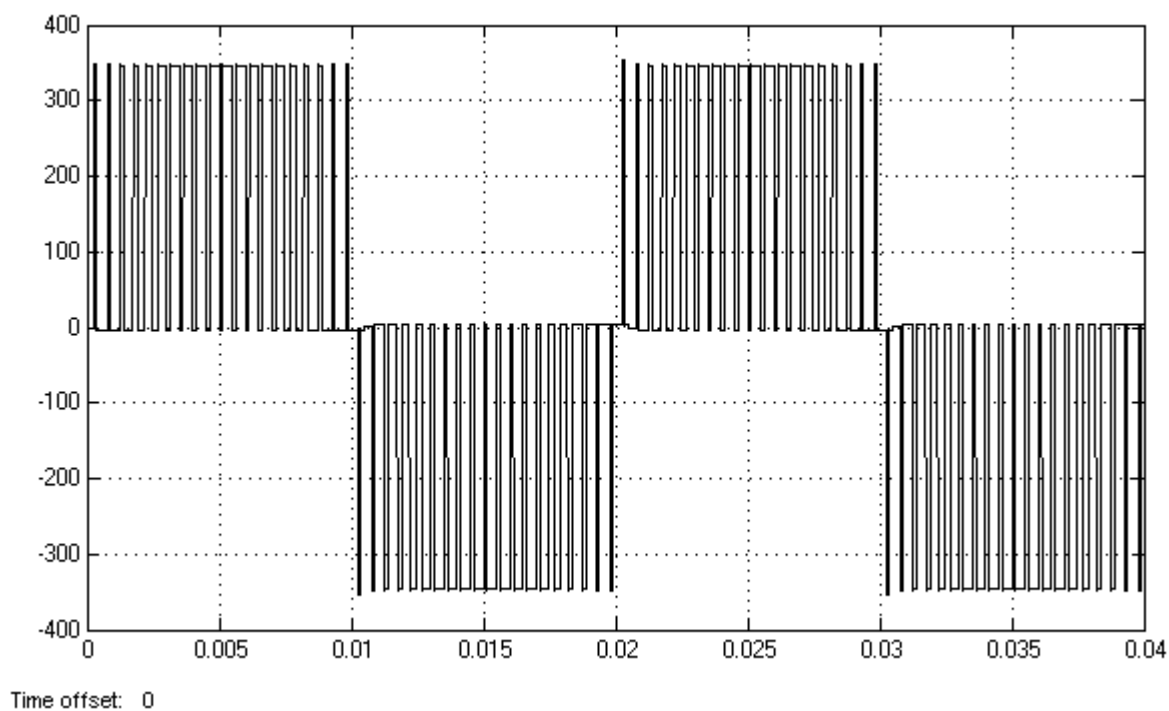


Рисунок 3.18 – Осциллограмма напряжения на выходе инвертора
(несимметричное управление)

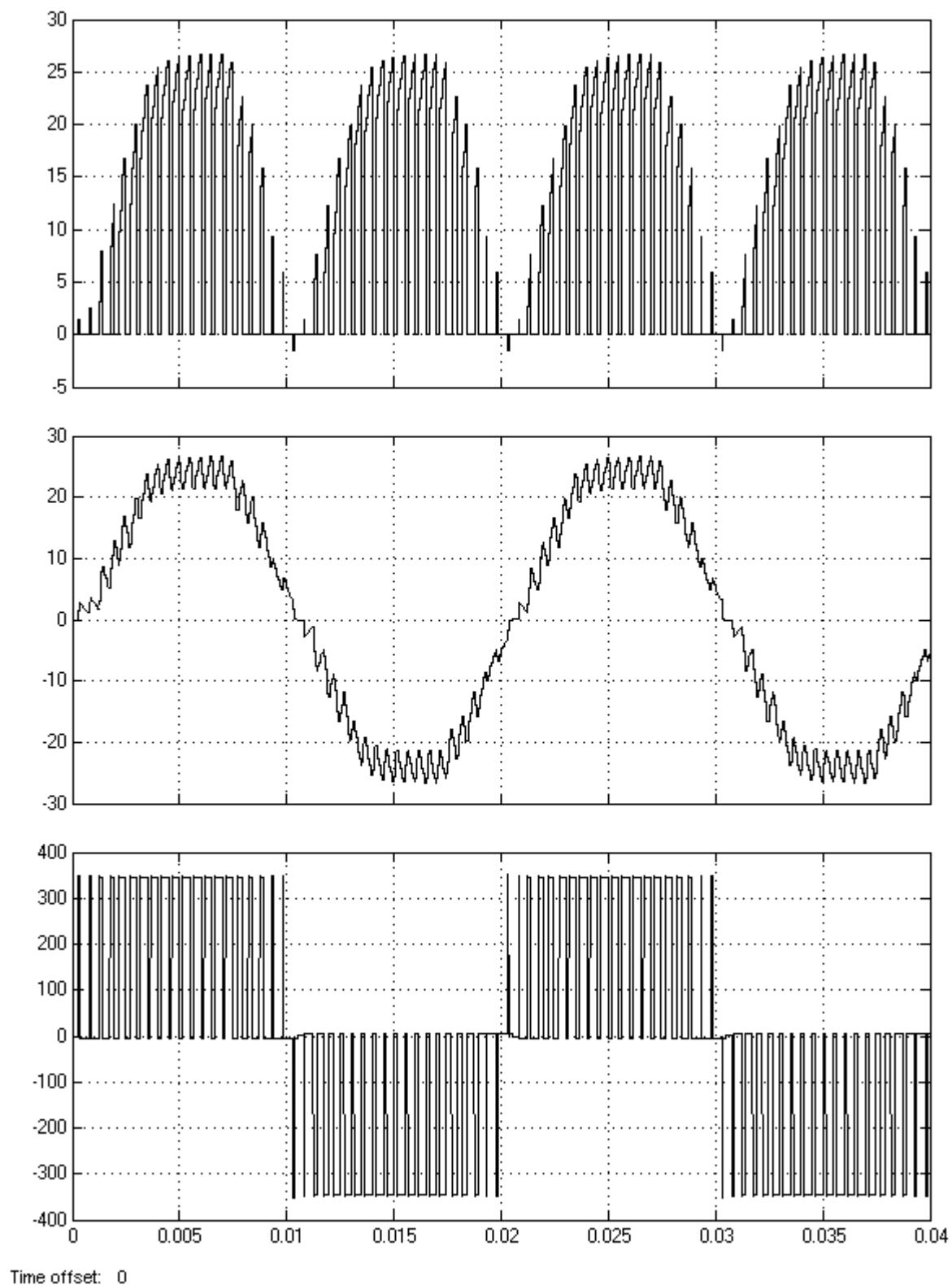


Рисунок 3.19 – Ток питания, ток нагрузки и напряжение на нагрузке однофазного инвертора (несимметричное управление)

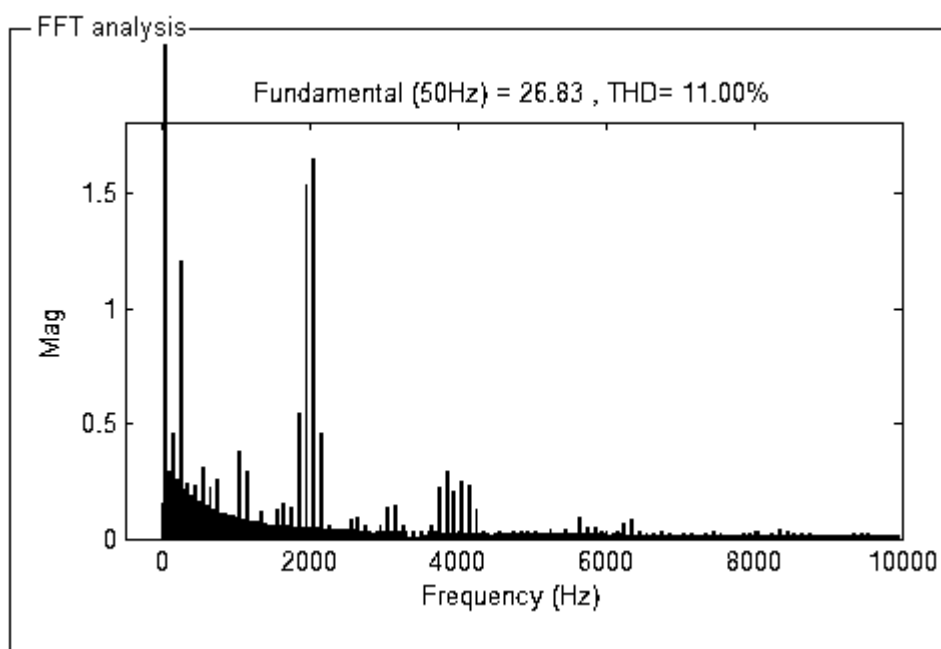


Рисунок 3.20 – Спектральный анализ тока нагрузки
(несимметричное управление)

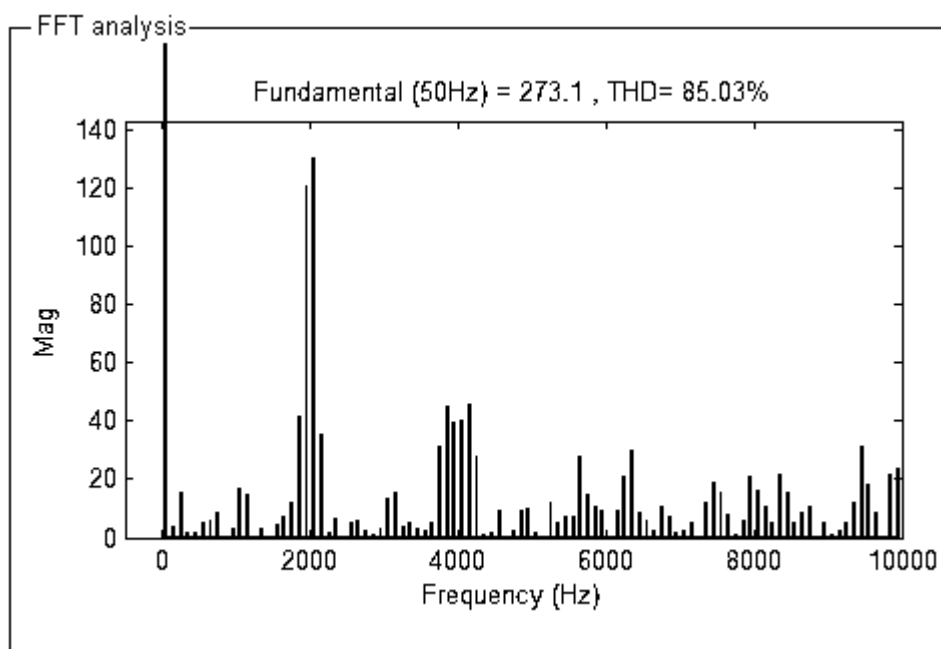


Рисунок 3.21 – Спектральный анализ напряжения на нагрузке
(несимметричное управление)

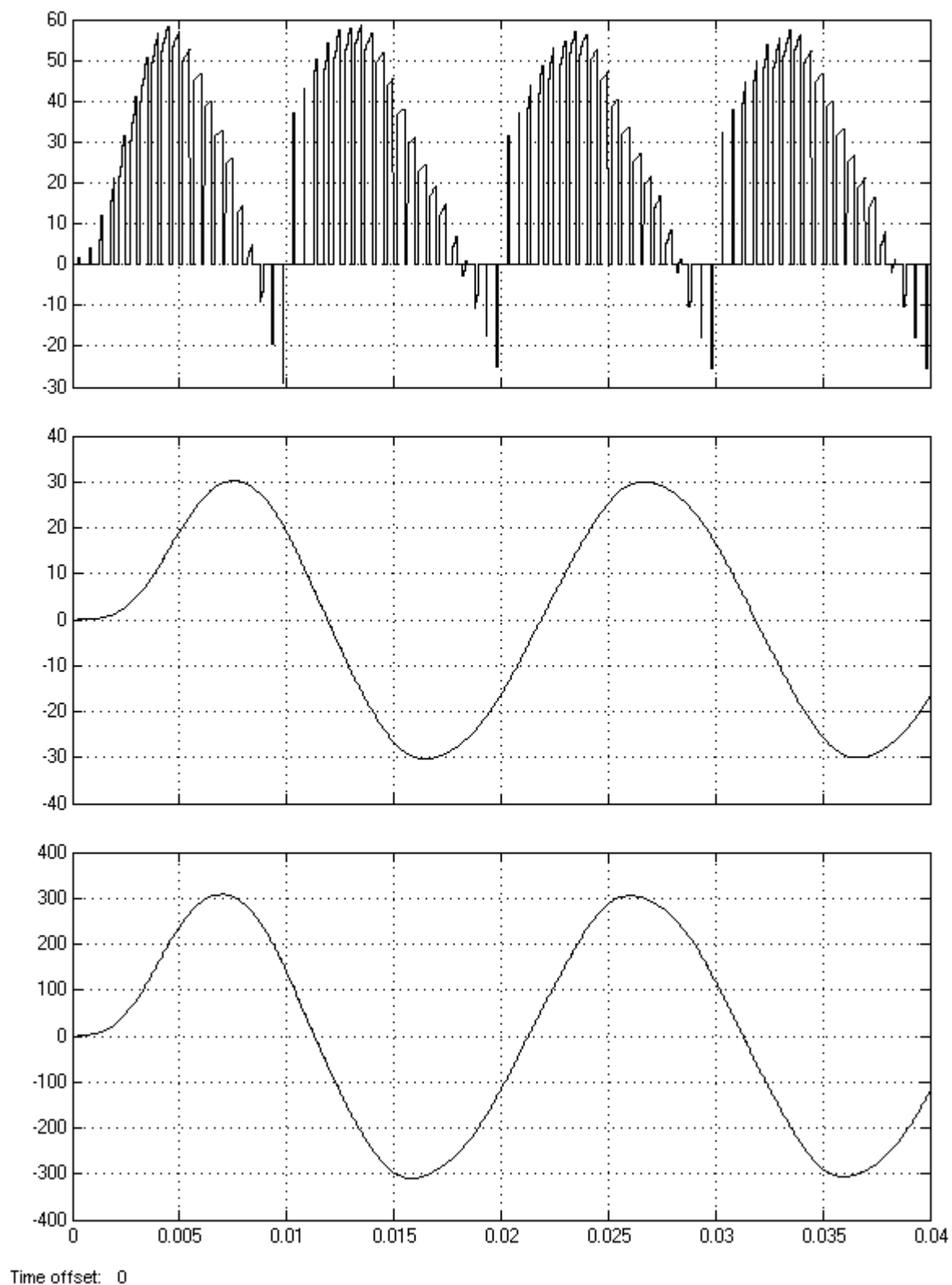


Рисунок 3.22 – Ток питания, ток нагрузки и напряжение на нагрузке однофазного инвертора с использованием фильтра (несимметричное управление)

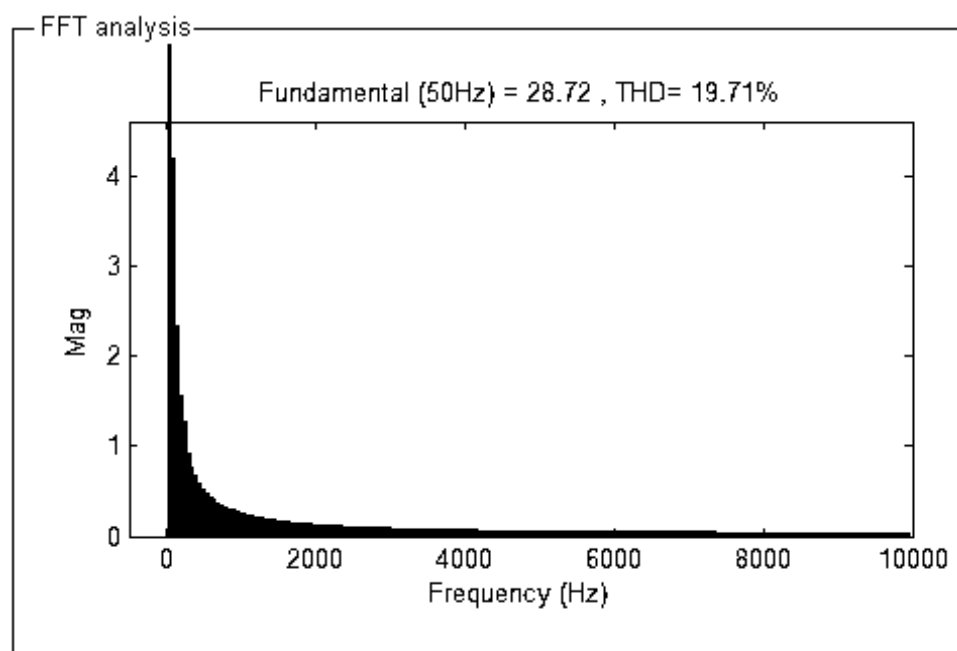


Рисунок 3.23 – Спектральный анализ тока нагрузки при использовании фильтра (несимметричное управление)

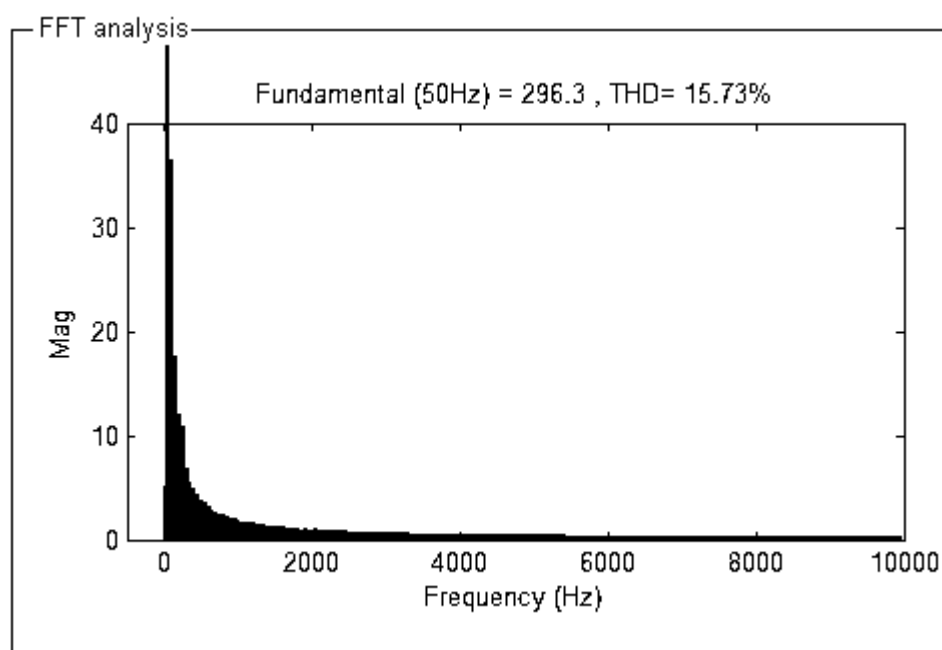


Рисунок 3.24 – Спектральный анализ напряжения на нагрузке при использовании фильтра (несимметричное управление)

После анализа результатов сделаем вывод: в данной работе рассчитанные параметры удовлетворяют условиям работы системы при аварии. Оба способа, как симметричное управление, так и несимметричное позволяют реализовать ИБП. Но предпочтение следует отдать несимметричному закону управления, который имеет ряд преимуществ перед симметричной системой управления.

Во-первых, простота реализации с униполярным сигналом;

В-вторых, форма напряжения на нагрузке и спектральный состав тока на входе и напряжения на выходе, у несимметричной системы лучше, чем у симметричной системы.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы спроектирован и исследован источник бесперебойного питания для узлов связи, который имеет цифровое управление и предназначен для защиты электронной аппаратуры связи от проблем, которые могут возникнуть в сети электропитания.

Проведя анализ современных схем построения подобных источников бесперебойного питания, была определена и обоснована структурная схема построения с постоянно включенной аккумуляторной батареи (On-Line), что позволяет полностью выполнить технические требования, выдвигаемые к электропитанию оборудования на узлах связи.

Электрический расчет определил требования к силовым элементам функциональной схемы мостового инвертора, в частности, к силовым транзисторам, диодам, дросселям и др. В процессе выполнения выпускной квалификационной работы, достигнуты технические показатели, необходимые для электропитания оборудования связи во время аварийных режимов работы внешних электросетей. А также обеспечен надлежащий уровень качества изделия, отвечающий принятым стандартам.

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение экономической выпускной квалификационной работы проведен анализ потенциальных рисков и разработаны меры по управлению ими. Определена себестоимость, цена и рентабельность продукции. Проведена оценка уровня качества, прогнозируемый уровень сбыта и объем критического производства.

Данная выпускная квалификационная работа содержит информацию об условиях, которые должны быть обеспечены на узлах связи для безопасного труда рабочих и обеспечения должного состояния их здоровья.