

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт - Энергетический
Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра - Электропривода и электрооборудования
Профиль подготовки – Электроприводы и системы управления электроприводов

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|---|
| Непосредственный преобразователь напряжения понижающего типа с широтно-импульсной модуляцией |

УДК 621.314.5:621.376.5

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|------------------------------|---------|------|
| 5ГМ5А | Тимофеева Дарья Владимировна | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор кафедры ЭПЭО | Михальченко Сергей Геннадьевич | д.т.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------|---------------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Кузьмина Наталия Геннадьевна | | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Дашковский Анатолий Григорьевич | к.т.н | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Зав. кафедрой | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------|------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры ЭПЭО | Дементьев Юрий Николаевич | к.т.н | | |

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП
13.04.02«Электроэнергетика и электротехника»**

| Код ре- зультата | Результат обучения (выпускник должен быть готов) |
|-------------------------------------|---|
| Универсальные компетенции | |
| Р1 | <i>Совершенствовать</i> и развивать свой <i>интеллектуальный и общекультурный уровень</i> , добиваться <i>нравственного и физического совершенствования</i> своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности. |
| Р2 | <i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками</i> как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности. |
| Р3 | <i>Использовать</i> на практике <i>навыки и умения</i> в организации научно-исследовательских и производственных работ, в <i>управлении</i> коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности. |
| Р4 | <i>Использовать</i> представление о методологических основах <i>научного познания и творчества</i> , роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением <i>современных информационных технологий</i> , синтезировать и критически резюмировать информацию. |
| Профессиональные компетенции | |
| Р5 | <i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники. |
| Р6 | Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности. |
| Р7 | Выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений. |
| Р8 | Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов. |
| Р9 | Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса. |
| Р10 | Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования. |
| Р11 | <i>Осваивать новое</i> электроэнергетическое и электротехническое <i>оборудование</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт. |
| Р12 | Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы. |

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт - Энергетический
 Направление подготовки – Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра – Электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) _____ (Дата) Ю.Н. Дементьев
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|--------------------------|
| Магистерской диссертации |
|--------------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-------------------------------|
| 5ГМ5А | Тимофеевой Дарье Владимировне |

Тема работы:

| | |
|---|--|
| Непосредственный преобразователь напряжения понижающего типа с широтно-импульсной модуляцией | |
| Утверждена приказом директора Энергетического института (дата, номер) | |

| | |
|---|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: (дата) | |
|---|--|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|--|
| <p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>Понижающий преобразователь напряжения; Выполнить математическое моделирование НПН; Выполнить расчет параметров схемы НПН для параметров: $U_{вх} = 220 \text{ В}$ - входное напряжение; $U_{вых} = 100 \text{ В}$ - выходное напряжение; $I_n = 10 \text{ А}$ - ток нагрузки; $\kappa_{п} = 5 \%$ - коэффициент пульсаций напряжения; $f = 10 \text{ кГц}$ - частота переключения транзистора Исследование провести с реализацией замкнутой системой управления с обратной связью по напряжению; Использовать для управления силовым ключом широтно-импульсную модуляцию.</p> |
|---|--|

| | |
|--|---|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования; содержательная, концептуальная, математическая структурная модель; разработка алгоритма решения задачи; выбор программного обеспечения; индивидуальные; дополнительные разделы, подлежащие разработке; заключение по работе).</i></p> | <p>Теоретические сведения о действующих преобразователях понижающего типа; Математическая модель НПН; Расчет и выбор элементов НПН; Моделирование разомкнутой и замкнутой моделей НПН в среде LTSpice.</p> |
|--|---|

Перечень графического материала

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

| Раздел | Консультант |
|---|--------------------------------------|
| «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» | Кузьмина Н.Г., старший преподаватель |
| «Социальная ответственность» | Дашковский А.Г., к.т.н., доцент |
| «Немецкий язык» | Костомаров П.И., к.ф.н., доцент |

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------|------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор кафедры ЭПЭО | Михальченко С.Г. | д.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------|---------|------|
| 5ГМ5А | Тимофеева Д.В. | | |

Реферат

Магистерская диссертация содержит 99 страниц текста, 30 рисунков, 13 таблиц, 33 использованного источника, 3 приложения.

Ключевые слова: преобразователь напряжения понижающего типа, математическое моделирование, имитационное моделирование, система управления преобразователя, широтно-импульсная модуляция.

Сокращения: НПН – непосредственный преобразователь напряжения; СУ – система управления; ПЛИС – программируемая логическая интегральная схема; МПСУ – микропроцессорная система управления; ГЛИН – генератор линейноизменяющегося напряжения; ИП – импульсный преобразователь.

В первой главе приведены теоретические сведения о преобразователе напряжения, обзор патентной базы.

Во второй главе описана математическая модель преобразователя и непосредственно имитационная часть рассматриваемого устройства. Выбрана система управления преобразователя напряжения понижающего типа.

Третья глава посвящена анализу работы преобразователя при изменении параметров элементов схемы.

Пояснительная записка магистерской диссертации выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2010 с использованием пакетов MathCad 15, Microsoft Visio, LTspice, QElectroTech.

Оглавление

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 9 |
| 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ..... | 10 |
| 1.1 Патентная база..... | 10 |
| 1.1.1 Обратимый понижающий преобразователь постоянного напряжения.. | 10 |
| 1.1.2 Однотактный преобразователь напряжения | 11 |
| 1.1.3 Понижающий преобразователь с входом высокого напряжения | 12 |
| 1.1.4 Преобразователь постоянного напряжения..... | 13 |
| 1.2 Обоснование выбранной структуры | 14 |
| 1.3. Теоритические сведения о НПН понижающего типа..... | 15 |
| 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ Понижающего Преобразователя Напряжения..... | 18 |
| 2.1 Математическое моделирование преобразователя в дифференциальной форме | 18 |
| 2.2 Математическое моделирование преобразователя в матричной форме ... | 22 |
| 2.2 Расчет параметров схемы | 25 |
| 2.3 Имитационное моделирование преобразователя напряжения | 29 |
| 2.4 Формирование системы управления силовыми полупроводниковыми элементами преобразователя | 33 |
| 2.4.1 ПЛИС..... | 33 |
| 2.4.2 МПСУ | 34 |
| 2.4.3 ШИМ – контроллер..... | 35 |
| 2.4.4 Аналоговая СУ | 36 |

| | |
|---|----|
| 2.5 Имитационное моделирование замкнутой модели преобразователя напряжения | 38 |
| 2.5.1 Результаты моделирования замкнутой модели..... | 39 |
| 3. АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ НПН Понижающего типа при вариации параметров | 40 |
| 3.1 Анализ выходного напряжения при изменении нагрузки и напряжения питания | 40 |
| 3.2 Анализ пульсаций напряжения при вариации нагрузки и напряжения питания | 42 |
| 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ..... | 46 |
| 4.1 Организация работ технического проекта..... | 46 |
| 4.2 Смета затрат на проектирование | 48 |
| 4.2.1 Материальные затраты | 49 |
| 4.2.2 Затраты на амортизацию | 49 |
| 4.2.3 Затраты на заработную плату | 50 |
| 4.2.4 Затраты на социальные нужды | 51 |
| 4.2.5 Прочие затраты..... | 51 |
| 4.2.6 Накладные затраты | 52 |
| 4.3 Анализ полученных результатов | 53 |
| 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ..... | 55 |
| 5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды..... | 55 |
| 5.1.1 Воздух рабочей зоны | 57 |
| 5.1.2 Освещение..... | 58 |

| | |
|---|----|
| 5.1.3 Защита от шума и вибрации..... | 61 |
| 5.1.4 Состояние воздушной среды | 62 |
| 5.1.5 Оценка уровней электромагнитных полей | 64 |
| 5.1.6 Статическое электричество | 65 |
| 5.2 Безопасность в ЧС | 66 |
| 5.3 Охрана окружающей среды | 67 |
| 5.4 Защита в чрезвычайных ситуациях | 69 |
| 5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 72 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 74 |
| Публикации..... | 75 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | 76 |
| Приложение 1 | 79 |
| Приложение 2 | 81 |
| Приложение 3 | 82 |

ВВЕДЕНИЕ

Во многих химических и биологических технологических процессах (инкубатор, различные химические реакции) необходимо поддерживать стабильную температуру. Однако качество нашей сети, определяемое ГОСТом, имеет значительные пульсации, которые влекут колебания напряжения питания нагревателей, а, следовательно, и колебания температуры. Поэтому запитывать нагревательные элементы напрямую не рекомендуется. В таких случаях применяется преобразователь, который будет стабилизировать напряжение.

Целью данной работы является разработка стабилизатора напряжения с параметрами:

$U_{\text{вх}} = 220 \text{ В}$ - входное напряжение;

$U_{\text{вых}} = 100 \text{ В}$ - выходное напряжение;

$I_{\text{н}} = 10 \text{ А}$ - ток нагрузки;

$\kappa_{\text{п}}' = 5 \%$ - коэффициент пульсаций напряжения;

$f = 10 \text{ кГц}$ - частота переключения транзистора.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать (или выбрать из существующих) структурную схему стабилизатора напряжения;
- рассчитать основные параметры схемы;
- осуществить выбор элементной базы;
- построить математическую и имитационную модель преобразователя;
- провести моделирование преобразователя при изменении параметров системы с целью подготовки данных для проектирования;

В первую очередь рассмотрим, как подобную задачу принято решать в современном техническом сообществе.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Патентная база

1.1.1 Обратимый понижающий преобразователь постоянного напряжения

Изобретение автора Гельвера Ф.А. относится к преобразователям постоянного напряжения в постоянное заданного уровня, ограниченного верхним уровнем напряжения источника питания. Так же может быть использовано для электроснабжения активной нагрузки с возможностью рекуперации энергии от активной нагрузки в источник питания для его подзарядки в долевых режимах работы.

Для достижения регулирования потока рекуперированной энергии Гельверснабдил устройство тремя дополнительными диодами и одним транзистором, эмиттер которого соединен с катодом первого и анодом второго дополнительных диодов и вторым выводом токоограничивающего дросселя. Коллектор транзистора соединен с катодом второго диода и с положительным выходным зажимом, анод первого диода подключен к общему узлу, соединяющему отрицательный входной и выходной зажим, а анод третьего диода соединен с первым выводом токоограничивающего дросселя, а его катод с положительным выводом входного зажима.

Тем самым, изменяя скважность работы транзисторов, можно осуществлять изменение или стабилизацию уровня выходного напряжения относительно входного, а также осуществлять регулирование тока заряда источника питания от энергии накопленной активной нагрузкой [1].

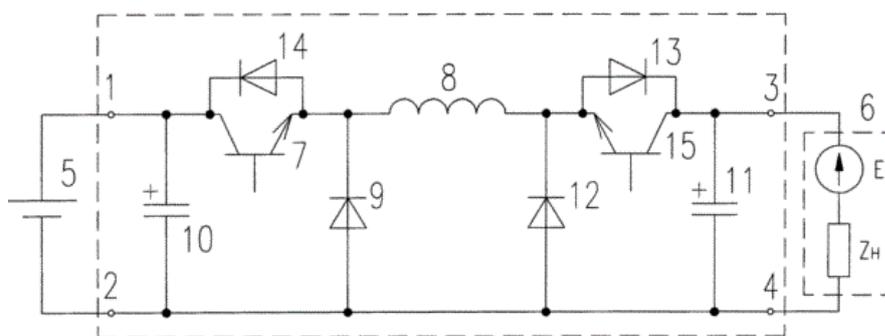


Рисунок 1 – Обратимый понижающий преобразователь постоянного напряжения

На схеме приняты следующие обозначения: 1,2 – входные зажимы; 3,4 – выходные зажимы; 5 – источник питания; 6 – нагрузка; 7, 15 – транзистор; 8 – токоограничивающий дроссель; 9 – диод; 10 – входной конденсатор; 11 – выходной конденсатор; 12-14 – диоды.

Авторы Коняхин С. Ф., Коняхин В. С., Нагорнов А. М. предлагают

1.1.2 Однотактный преобразователь напряжения

Данный преобразователь относится к области электротехники и может быть использован во вторичных источниках электропитания, системах бесперебойного электроснабжения, регулируемых электроприводах.

Рассматриваемый однотактный понижающий преобразователь напряжения содержит силовой ключ, имеющий управляющий и плюсовой силовой и минусовой силовой электроды; силовой диод, катодом подключенный к минусовому электроду силового ключа, а анодом - ко второму входному и второму выходному выводам; дроссель, соединяющий точку соединения силового ключа и силового диода с первым выходным выводом; узел управления, подключенный выходом к управляющему электроду силового ключа и имеющий первый и подключенный к минусовому электроду силового ключа второй выводы питания, между которыми подключен конденсатор; первый вывод вспомогательного

источника питания подключен через дополнительный диод к первому выводу питания узла управления, а второй - ко второму входному выводу; выход подключен к входу узла управления логического элемента исключающее ИЛИ, первый вход которого связан с управляющим выводом, а второй вход - с выходом генератора импульсов [2].

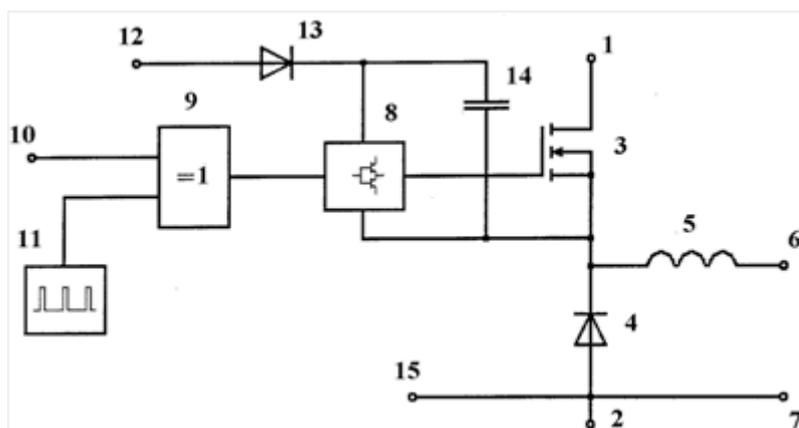


Рисунок 2 – Однотактный преобразователь напряжения

На схеме приняты следующие обозначения: 1, 2 – входные выводы; 3 – силовой ключ; 4, 13 – диод; 5 – дроссель; 6, 7 – выходные выводы; 8 – узел управления; 9 – логический элемент исключающее ИЛИ; 10 – управляющий вывод; 11 – генератор импульсов; 12, 15 – вывод; 14 – конденсатор.

Далее рассмотрим патент авторов Брумберга Е.М., Гершгорина С.А.

1.1.3 Понижающий преобразователь с входом высокого напряжения

Данный вид преобразователя содержит источник питания постоянного тока; параллельно включенные входной конденсатор и цепь из транзистора и диода. Главной особенностью патента Брумберга и Гершгорина является введение в LC-фильтр, который состоит из конденсатора и дросселя, включенных параллельно второй входной конденсатор и вторая цепь из транзистора и диода. Так же один вывод

дросселя LC-фильтра подключен к общей точке транзистора и диода. Общая точка дросселя и конденсатора, и второй вывод конденсатора, соединенный с общей точкой транзистора и диода, служат выходами преобразователя [3].

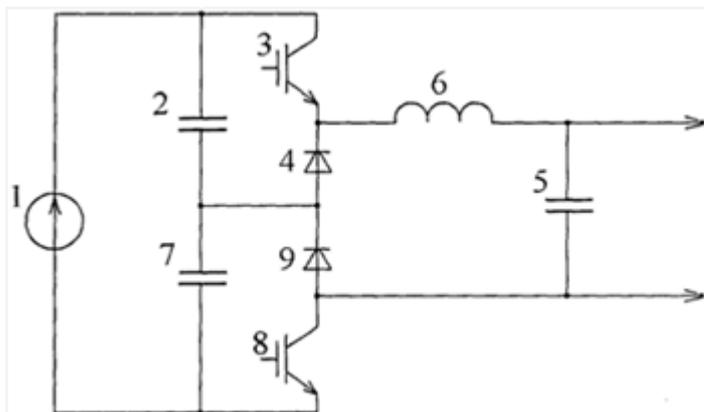


Рисунок 3 - Понижающий преобразователь с входом высокого напряжения

На схеме приняты следующие обозначения: 1 – источник питания; 2, 5, 7 – конденсаторы; 3, 8 – транзисторы; 4, 9 – диоды; 6 – индуктивность.

1.1.4 Преобразователь постоянного напряжения

Полезная модель автора Кудинова А.К. относится к устройствам для заряда емкостных накопителей энергии, используемых в импульсных электромагнитных устройствах и электротехнологиях. Также может использоваться в источниках постоянного напряжения с широкими регулировочными возможностями.

Кудинов достиг повышения точности стабилизации выходного напряжения путем мгновенного обрыва тока заряда накопителя.

Рассматриваемое устройство содержит подключенные к источнику входного напряжения силовой ключ и дроссель, которые соединены последовательно между собой; емкостную нагрузку, подключенную параллельно первому ключу через первый диод. Он отличается тем, что второй силовой ключ включен последовательно с

источником входного напряжения, а параллельно ему включен второй диод со вторым ключом.

Предлагаемое изобретение способно заряжать накопитель в широком диапазоне напряжений (от нуля и выше). Это позволяет использовать его совместно с импульсными схемами с полным разрядом накопителя. Преобразователь обладает повышенной стабильностью выходного напряжения. Применение дополнительного ключа и диода позволяет контролировать процесс заряда при малых напряжениях на емкостном накопителе и мгновенно прервать процесс заряда при достижении напряжением требуемой величины [4].

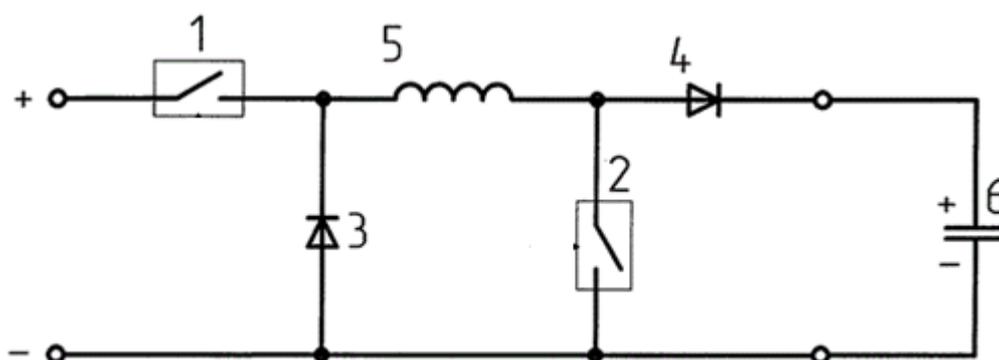


Рисунок 4 – Преобразователь постоянного напряжения

На схеме приняты следующие обозначения: 1,2 – силовые ключи; 3, 4 - диоды, 5 – дроссель, 6 – конденсатор.

1.2 Обоснование выбранной структуры

Проанализировав вышеупомянутые патенты на полезные модели, можно сделать вывод, что наиболее подходящей к требованиям нашей задачи, является работа последняя «Преобразователь постоянного напряжения» по следующим причинам:

- схема вышеупомянутого преобразователя напряжения наиболее близка к схеме исследуемого НПН в данной магистерской диссертации;

- схема наиболее проста в исполнении;
- патент предлагает повышенную точность выходного напряжения, что и необходимо для данного НПН, так как он будет применяться в технологическом процессе, требующий высокую стабилизацию напряжения;

Перечисленные показатели, безусловно, имеют преимущество перед показателями других рассмотренных изобретений. Следовательно, дальнейшая работа будет опираться на данную модель преобразователя.

1.3. Теоритические сведения о НПН понижающего типа

Понижающий преобразователь напряжения является распространенным устройством, так как прост в проектирование, имеет небольшую стоимость и габариты. Имеет широкую область применения: источники питания электронных устройств, управление двигателями. Преобразователь работает от аккумуляторных батарей и других источников постоянного тока.

Рассмотрим принцип работы преобразователя.

Будем считать, что транзистор и диоды идеальны, а частота переключения настолько велика, что напряжение на нагрузке в течение периода неизменно. Так же будем рассматривать установившийся режим работы, то есть входное и выходное напряжения, ток нагрузки не меняются со временем.

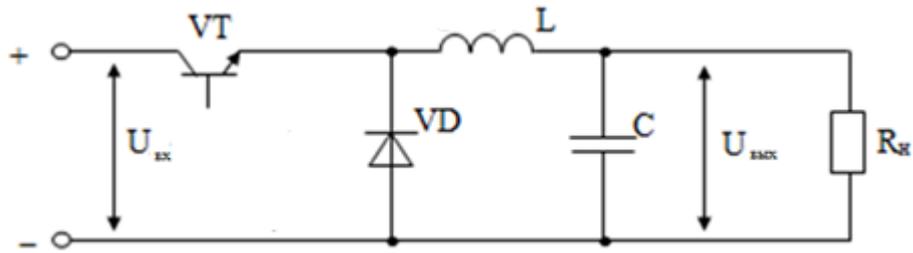


Рисунок 5 – Схема понижающего преобразователя

На рис. 5 приняты следующие обозначения: $U_{вх}$ – входное напряжение; VT – транзистор; VD – диод; L – катушка индуктивности; C – конденсатор; $U_{вых}$ – выходное напряжение; $R_{н}$ – сопротивление нагрузки.

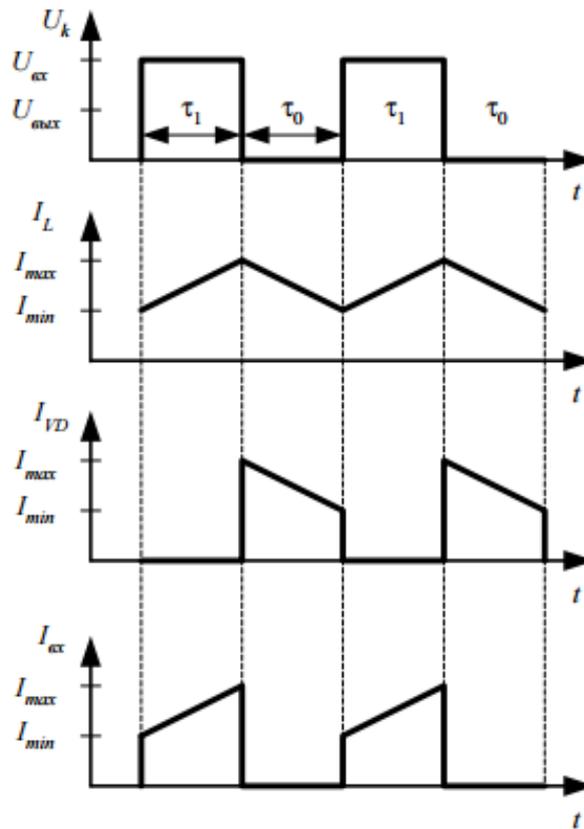


Рисунок 6 – Временные диаграммы работы преобразователя

напряжения

Под действием управляющих импульсов транзистор VT работает между состояниями насыщения (полностью открыт) и отсечки (полностью

закрыт). В период насыщения длительностью τ_1 входной ток преобразователя поступает в нагрузку через накопительный дроссель L . В это время он находится под постоянным напряжением $U_{L1} = U_{\text{ex}} - U_{\text{вых}}$. Ток в дросселе изменяется по линейному закону и за время τ_1 увеличивается на величину $\Delta I_{L1} = \frac{U_{\text{ex}} - U_{\text{вых}}}{L} \tau_1$, где U_{ex} , $U_{\text{вых}}$ - напряжение на входе и выходе схемы соответственно.

После размыкания ключа VT диод VD , открывшийся под действием ЭДС самоиндукции, обеспечивает протекание тока дросселя в нагрузку. При этом напряжение на дросселе меняет знак, его модуль становится равным напряжению на нагрузке $U_{L0} = U_{\text{вых}}$, а ток в нём начинает линейно убывать, уменьшаясь за время паузы τ_0 на $\Delta I_{L0} = \frac{U_{\text{вых}}}{L} \tau_0$.

Если, как сказано выше, схема работает в установившемся режиме, то по окончании периода τ_0 , ток в дросселе должен уменьшиться до того же значения, которое было в начале периода τ_1 . То есть $\Delta I_{L0} = \Delta I_{L1}$.

$$\text{Следовательно, } \frac{U_{\text{ex}} - U_{\text{вых}}}{L} \tau_1 = \frac{U_{\text{вых}}}{L} \tau_0 \text{ и } U_{\text{вых}} = U_{\text{ex}} \frac{\tau_1}{\tau_0 + \tau_1} = U_{\text{ex}} \gamma.$$

Выходное напряжение можно регулировать, изменяя относительное время замкнутого состояния ключа $\gamma = \frac{\tau_1}{\tau_0 + \tau_1} = \frac{\tau_1}{T}$, где $T = \tau_0 + \tau_1$ - период переключения; γ - коэффициент заполнения [5].

В первой главе осуществлен поиск патентов на полезные модели НПН понижающего типа. Исходя из них, выбрана структура преобразователя для дальнейшей работы. Также рассмотрен принцип работы преобразователя.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОНИЖАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

2.1 Математическое моделирование преобразователя в дифференциальной форме

Для описания математической модели введем обозначения:

τ – период коммутации транзистора;

$f_{VT} = 1/\tau$ - частота коммутации транзистора;

$D1$ - относительная длительность проводящего состояния транзистора;

$D2$ - относительная длительность от момента размыкания транзистора VT до момента прекращения протекания тока в дросселе L и запираания диода $VD1$ в режиме прерывистых токов дросселя (DCM);

В режиме непрерывных токов дросселя (CCM) длительность равна $(1 - D1)$;

i_L - среднее значение тока индуктивности L (постоянная составляющая);

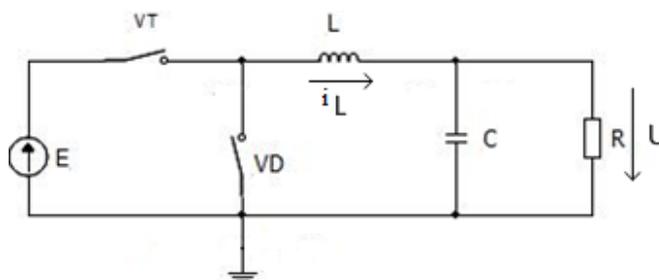
u - среднее значение напряжения на нагрузке R и C или его постоянная составляющая.

При моделировании пренебрегаем сопротивлениями управляемого ключа VT и неуправляемого ключа VD в открытом состоянии, так же падением напряжения на диоде VD . Далее строим непрерывную модель преобразователя для постоянной частоты коммутации и изменяемой скважности $D1$ для режима непрерывного (CCM) и прерывистого (DCM)

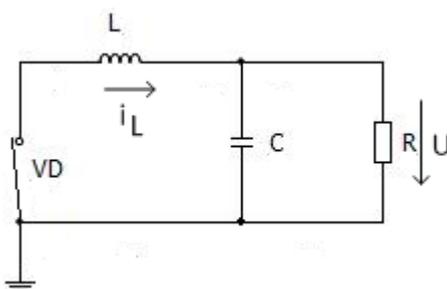
токов индуктивности. Рассматриваем ШИМ-регулирование проводящего состояния транзистора.

Конфигурации схемы НПН в течение периода коммутации с указанием длительности представлены на рис.6

Конфигурация 1.



Конфигурация 2.



Конфигурация 3.

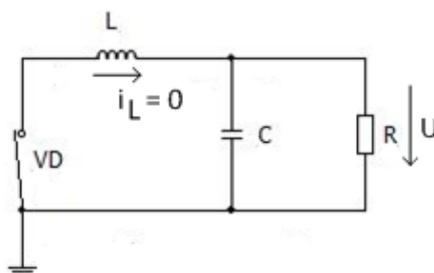


Рисунок 7 – Конфигурации схемы понижающего преобразователя в течение периода коммутации

Конфигурация 1. Существует время $D1 \cdot \tau$ независимости от режима (DCM или CCM) в течение периода коммутации транзистора VT . В течение этого времени ток i_L равен току R и C .

Конфигурация II. В режиме непрерывных токов дросселя (CCM) время можно записать как $D2 \cdot \tau$ $D2 = 1 - D1$. В режиме прерывистых токов (DCM) $D2$ будет зависеть от параметров схемы и от текущих значений переменных состояния (i_L, u). В течение этого времени ток i_L равен току R и C .

Относительная длительность интервала $D2$ определяется следующим образом:

Форма тока в дросселе $i_L(t)$ в режиме (DCM) имеет вид, представленный на рис.7.

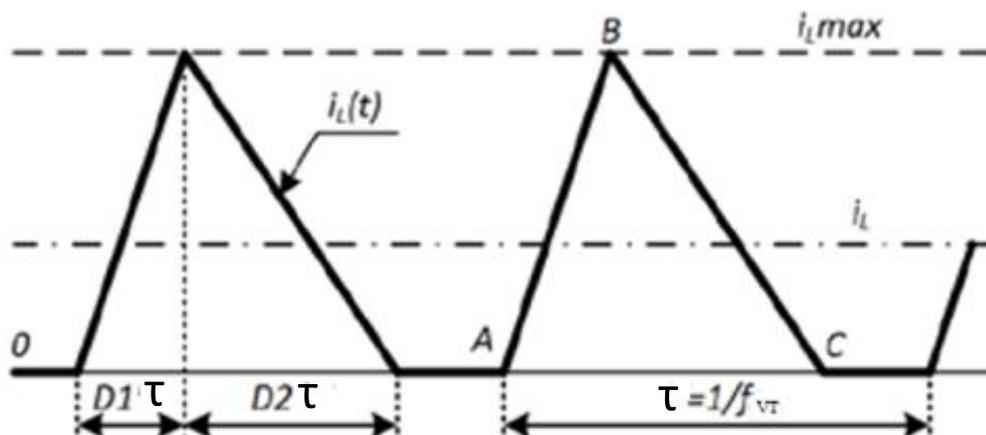


Рисунок 8 – Ток дросселя в режиме DCM

Среднее значение тока дросселя i_L определяется графическим способом:

$$i_L = \frac{S_{ABC}}{\tau} = \frac{0,5(D1 + D2) \cdot \tau \cdot i_{Lmax}}{\tau} = 0,5i_{Lmax} (D1 + D2) \quad (2.1.1)$$

Во время интервала $D1 \cdot \tau$ ток в дросселе нарастает от нуля до $i_{L_{\max}}$ по линейному закону:

$$L \frac{di_L}{dt} = E - u \Rightarrow i_{L_{\max}} = \frac{E - u}{L} D1 \cdot \tau, \quad (2.1.2)$$

где $i_{L_{\max}}$ максимальное значение тока дросселя в прерывистом режиме.

Подставляя уравнение (2.1.1) в (2.1.2), получим

$$D2 = \frac{2i_L \cdot L}{D1 \cdot \tau(E - u)} - D1 \Leftrightarrow D2 = \frac{2i_L \cdot L \cdot f_{VT}}{D1(E - u)} - D1. \quad (2.1.3)$$

Конфигурация III начинается после прекращения протекания тока в индуктивности и запираия диода $VD1$. Конфигурация сохраняется оставшуюся часть периода $(1 - D1 - D2) \cdot \tau$. Когда токи дросселя непрерывны, время работы конфигурации III равно нулю.

Исходя из первого и второго законов Кирхгофа, можно составить систему дифференциальных уравнений в форме Коши для конфигурации 1:

$$\begin{cases} L \frac{di_L}{dt} = E - u \\ C \frac{du}{dt} = i_L - \frac{u}{R} \end{cases} \quad (2.1.4)$$

Для конфигурации II составлена система дифференциальных уравнений в форме Коши:

$$\begin{cases} L \frac{di_L}{dt} = -u \\ C \frac{du}{dt} = i_L - \frac{u}{R} \end{cases} \quad (2.1.5)$$

Система дифференциальных уравнений в форме Коши для конфигурации 3:

$$\begin{cases} L \frac{di_L}{dt} = 0 \\ i_L = 0 \\ C \frac{du}{dt} = -\frac{u}{R} \end{cases} \quad (2.1.6)$$

В данном случае напряжение на выходе поддерживается конденсатором C , ток индуктивности равен нулю [6].

2.2 Математическое моделирование преобразователя в матричной форме

В матричной форме математическая модель преобразователя напряжения может быть записана следующим образом:

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{B} \cdot K_F(\xi), \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & \frac{1}{C \cdot R_H} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{E_0}{L} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (2.1.7)$$

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} i_L \\ U_C \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X}(t_0) = \mathbf{X}_0, \quad \mathbf{X}(t) = \mathbf{X}(t + T).$$

Коммутационная функция $K_F(\xi)$, разностная функция обратной связи $\xi(\mathbf{X}, t)$ и функция развертывающего напряжения $U_P(t)$ для данного вида модуляции:

$$K_F(\xi) = \frac{1}{2}(1 + \text{Sign}(\xi)), \quad \xi(\mathbf{X}, t) = \alpha(U_Y - \beta \cdot U_C(t)) - U_P(t), \quad (2.1.8)$$

$$U_P(t) = U_{оп} \cdot \left(\frac{t}{\tau} - E_1 \left(\frac{t}{\tau} \right) \right). \quad (2.1.9)$$

Здесь $U_{оп}$ - опорное напряжение.

Алгоритм поиска первого момента коммутации формируется на основании следующих соображений:

1) импульс может возникнуть только в начале тактового интервала $(k-1)\tau < t \leq k \cdot \tau, k=1,2,\dots$

2) если $\xi(\mathbf{X}, (k-1)\tau + 0) \leq 0$, то $t_{k1} = (k-1)\tau, D_1 = 0$;

3) если $\xi(\mathbf{X}, (k-1)\tau + 0) > 0$, и $\xi(k \cdot \tau - 0) < 0$, то t_{k1} – наименьший корень уравнения $\xi(\mathbf{X}|_{t=t_{k1}}, t_{k1}) = 0$, а $D_1 = (t_{k1} - (k-1)\tau)/\tau$;

4) если $\xi(t) > 0$ в пределах всего тактового интервала, то $t_{k1} = k \cdot \tau$, а D_1 принимает максимально возможное значение.

Алгоритм поиска второго момента коммутации.

Ток может снизиться до нуля только в момент выключенного транзистора ($K_F = 0$). Для нахождения момента времени t_{k2} необходимо рассмотреть поведение тока на втором участке постоянства системы.

1) ток дросселя (\mathbf{X}_1) может снизиться до нуля в начале интервала $t_{k1} < t \leq t_{k2}$;

2) если $\mathbf{X}_1(t_{k1} + 0) \leq 0$, то $t_{k2} = t_{k1}$, а $D_2 = D_1$;

3) если, $\mathbf{X}_1(t_{k1} + 0) > 0$ а $\mathbf{X}_1(k \cdot \tau - 0) < 0$, то t_{k2} – наименьший корень уравнения $\mathbf{X}_1(t) = 0$, а $D_2 = (t_{k2} - (k-1)\tau)/\tau$;

4) если $\mathbf{X}_1(t) > 0$ в пределах всего интервала закрытого ключа, то $t_{k2} = k \cdot \tau$, а $D_2 = 1$, т.е. преобразователь работает в режиме непрерывного тока дросселя (участок $t_{k2} < t \leq k \cdot \tau$ отсутствует).

Далее описывается поиск стационарных периодических режимов.

Запишем общее решение исходной задачи (2.1.7-2.1.9):

$$\mathbf{X}(t) = e^{A(t-t_0)} \cdot (\mathbf{X}_0 + \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}(K_F)) - \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}(K_F), \quad (2.1.10)$$

это решение зависит от начальных условий интегрирования на левой границе интервала $\mathbf{X}((k-1)\tau) = \mathbf{X}_0$.

I. В интервале времени $(k-1)\tau \leq t \leq t_k$ коммутационная функция принимает значение единицы, а правая часть матричного уравнения (2.1.7) имеет вид $\mathbf{B}(K_F) = \left(\frac{E_0}{L}, 0 \right)^T$. Решение на этом участке можно представить

следующим образом:

$$\mathbf{X}(t) = e^{A(t-(k-1)\tau)} \cdot (\mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}) - \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}. \quad (2.1.11)$$

Вектор переменных состояния в момент времени t_k будет равен

$$\mathbf{X}_{t_k} = \mathbf{X}(t_k) = e^{A(t_k-(k-1)\tau)} \cdot (\mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}) - \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}. \quad (2.1.12)$$

II. На интервале $t_k < t \leq k \cdot \tau$ значение вектора переменных состояния является начальными условиями при интегрировании. Коммутационная функция принимает значение нуля и $\mathbf{B}(K_F) = \mathbf{0}$. Решение на этом участке имеет вид:

$$\mathbf{X}(t) = e^{A(t-(k-1)\tau)} \cdot (\mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}) - e^{A(t-t_k)} \cdot \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}. \quad (2.1.13)$$

В момент времени $k\tau$ вектор неизвестных принимает значения,

$$\mathbf{X}_k = \mathbf{X}(k \cdot \tau) = e^{A\tau} \cdot (\mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}) - e^{A(k\tau-t_k)\tau} \cdot \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B}, \quad (2.1.14)$$

являющиеся начальными условиями для следующего тактового интервала.

III. $t_{k2} \leq t \leq k \cdot \tau$ Третий интервал постоянства структуры, на котором вектор $\mathbf{B}(K_F)$ принимает постоянное значение \mathbf{B}_{III} а в качестве начальных условий интегрирования выступают значения вектора $\mathbf{X}(t_{k2})$. Здесь выражение (2.1.10) записывается следующим образом:

$$\mathbf{X}(t) = e^{A(t-t_{k2})} \cdot (\mathbf{X}(t_{k2}) + \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B}_{III}) - \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B}_{III}. \quad (2.1.15)$$

Значение вектора неизвестных на правой границе коммутационного интервала равно:

$$\mathbf{X}(k\tau) = e^{A(k\tau-t_{k2})} \cdot (\mathbf{X}(t_{k2}) + \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_{III}) - \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_{III}, \quad (2.1.16)$$

Подставив в это выражение формулу (2.1.13), получим:

$$\begin{aligned} \mathbf{X}(ka) = e^{A(k\tau-t_{k2})} \cdot \left(e^{A(t_{k2}-t_{k1})} \left(e^{A(t_{k1}-(k-1)\tau)} \cdot (\mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_I) - \right. \right. \\ \left. \left. - \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_I + \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_{II} \right) - \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_{II} + \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_{III} \right) - \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_{III}. \end{aligned} \quad (2.1.17)$$

Раскрыв в этом выражении скобки, можно получить выражение для вектора неизвестных на правом конце тактового интервала, и записать[7].

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_k = e\tau\mathbf{X}_{k-1} + e^{A\tau}\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_I - e^{A(k\tau-t_{k1})}\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_I + e^{A(k\tau-t_{k1})}\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_{II} - \\ e^{A(k\tau-t_{k2})}\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_{II} + e^{A(k\tau-t_{k2})}\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_{III} - \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}_{III}. \end{aligned} \quad (2.1.18)$$

2.2 Расчет параметров схемы

Для расчетов параметров схемы НПН понижающего типа применим описанный выше математический аппарат, привязанный к конкретной технической задаче.

Данный НПН будет выполнять роль источника питания для нагревателя высокой точности, предназначенного для химического технологического процесса, поэтому требуется наличие постоянного стабилизированного напряжения, питающее нагреватель.

Дано:

$E = 198$ В – напряжение источника питания, выпрямленное напряжение 220 В, 50Гц с помощью однофазного мостового выпрямителя;

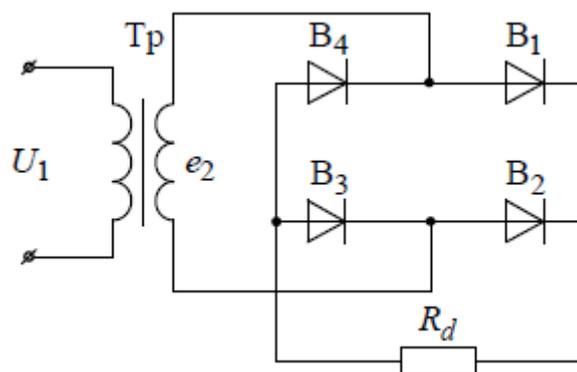


Рисунок 9 – Однофазный мостовой выпрямитель

Для данной схемы выпрямителя используются следующие допущения:

- активным и индуктивным сопротивлением обмоток трансформатора пренебрегаем;
- нагрузка имеет чисто активный характер;
- вентиль В идеальный;
- током намагничивания трансформатора пренебрегаем;
- ЭДС обмотки трансформатора синусоидальна: $e_2 = \sqrt{2}E_2 \sin \theta$.

Тогда справедлива запись
$$E = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}E_2 \sin \theta d\theta = \frac{2\sqrt{2}E_2}{\pi} = 0,9E_2 [8].$$

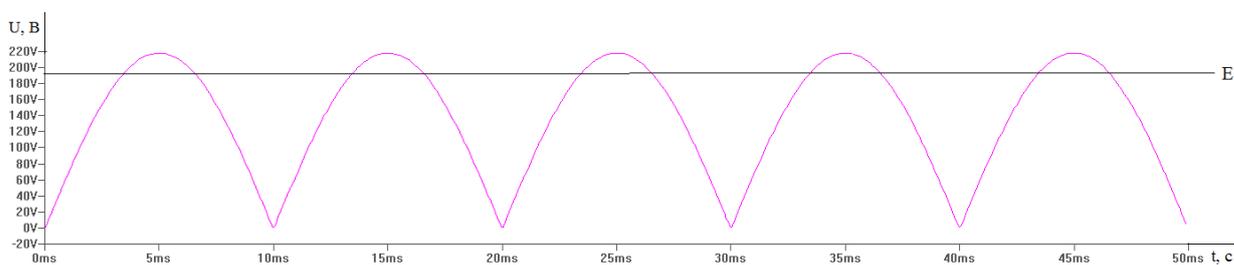


Рисунок 10 – Выпрямленное переменное напряжение 220 В, 50Гц

Согласно ГОСТ 32144-2013 [9] на нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической

энергии не должны превышать 10% номинального, следовательно
 $U = 220 \text{ В} \pm 10\%$.

$$E = 0,9E_2 = 0,9 \cdot 220 = 198 \text{ В};$$

$U_{\text{н}} = 100 \text{ В}$ – напряжение на нагрузке;

$I_{\text{н}} = 10 \text{ А}$ – ток нагрузки;

$\kappa_{\text{п}}' = 5\%$ – коэффициент пульсаций напряжения;

$f = 10 \text{ кГц}$ – частота переключения транзистора.

Основные допущения.

Будем считать все элементы идеальными:

- транзистор и диод безынерционны, т.е. переключаются мгновенно;
- падения напряжения на открытом транзисторе и диоде в прямом направлении равны нулю;
- сопротивление закрытого транзистора и диода в обратном направлении равны бесконечности;
- активное сопротивление дросселя равно нулю;
- ток утечки конденсатора равен нулю (саморазряд конденсатора отсутствует) [10].

Относительная длительность γ открытого состояния транзистора

$$\gamma = \frac{U_{\text{н}}}{E} = \frac{100}{198} = 0,505. \quad (2.2.2)$$

Граничное значение индуктивности дросселя, обеспечивающее непрерывность тока в нем, определяется по выражению:

$$L_{\text{тр.}} = \frac{(1-\gamma)R_{\text{нмакс}}}{2f} = \frac{(1-0,505)100,5}{2 \times 10^4} = 2,598 \times 10^{-4} = 259,8 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}, \quad (2.2.3)$$

$$\text{где } R_{\text{нмакс}} = \frac{U_{\text{н макс}}}{I_{\text{н}}} = \frac{105}{10} = 10,5 \text{ Ом}. \quad (2.2.4)$$

В нашем случае $U_{\text{н}}$ и $I_{\text{н}}$ постоянны.

Выбираем $L_1 = 330 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} > L_{\text{тр.}}$ [11].

Определим пульсации тока в дросселе

$$\Delta I_L = \frac{U_{\text{н}}(1-\gamma)}{L_1 \cdot f} = \frac{100(1-0,505)}{330 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 14,998 \text{ А}. \quad (2.2.5)$$

Находим действующее значение тока дросселя

$$I_L = \sqrt{I_{\text{н}}^2 + \left(\frac{\Delta I_L}{12}\right)^2} = \sqrt{10^2 + \left(\frac{14,998}{12}\right)^2} = 10,897 \text{ А}. \quad (2.2.6)$$

Определим величину емкости сглаживающего конденсатора

$$C = \frac{1-\gamma}{16Lf^2\kappa_{\text{п}}} = \frac{1-0,505}{16 \cdot 330 \cdot 10^{-6} \cdot 10^8 \cdot 5 \cdot 10^{-2}} = 1,875 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}. \quad (2.2.7)$$

Напряжение на конденсаторе равно напряжению нагрузки

$$U_{\text{С1}} = U_{\text{н}} = 100 \text{ В}. \quad (2.2.8)$$

Максимальное напряжение, прикладываемое к транзистору в закрытом состоянии

$$U_{\text{VT макс}} = E = 198 \text{ В}. \quad (2.2.9)$$

Максимальное значение тока, протекающего через транзистор

$$I_{VT \text{ макс}} = I_H + \frac{\Delta I_L}{2} = 10 + \frac{14,998}{2} = 17,499 \text{ A.} \quad (2.2.10)$$

Выбираем транзистор BSC600N25NS3U = 250 В, 25А [12].

Среднее значение тока диода определяется по выражению

$$I_{VD \text{ ср}} = I_H (1 - \gamma) = 10(1 - 0,505) = 4,949 \text{ A.} \quad (2.2.11)$$

Обратное напряжение, прикладываемое к диоду, равно напряжению источника питания

$$U_{VDобр \text{ макс}} = E = 198 \text{ В.} \quad (2.2.12)$$

Выбираем диод RFN10BM3SU = 350 В, 10 А [13].

2.3 Имитационное моделирование преобразователя напряжения

В среде LTSpice была создана имитационная модель понижающего преобразователя с параметрами, рассчитанными в п.2.2.

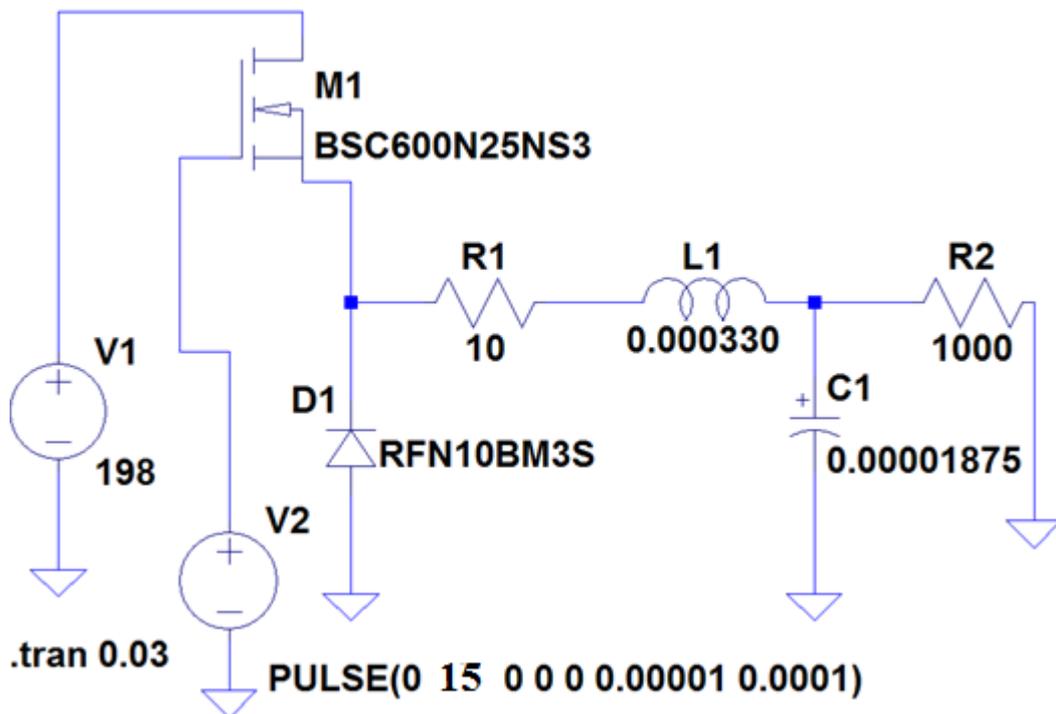


Рисунок 11 – Разомкнутая модель НПП

В представленной модели приняты обозначения: $V1$ – источник питания; $V2$ – коммутирующая функция управления транзистором; $M1$ – MOSFET транзистор; $R1$ – сопротивление катушки индуктивности; $L1$ – катушка индуктивности; $D1$ – диод; $C1$ – конденсатор; $R2$ – сопротивление нагрузки.

На рис.12 -14 представлены зависимости выходного напряжения, тока индуктивности, коммутационной функции от времени при различных значениях скважности $\gamma = 0,1; 0,5; 0,9$ при $U_{ex} = 198 \text{ В}$.

Зависимости при скважности $\gamma = 0,2 - 0,4; 0,6 - 0,8$ представлены в Приложение 1.

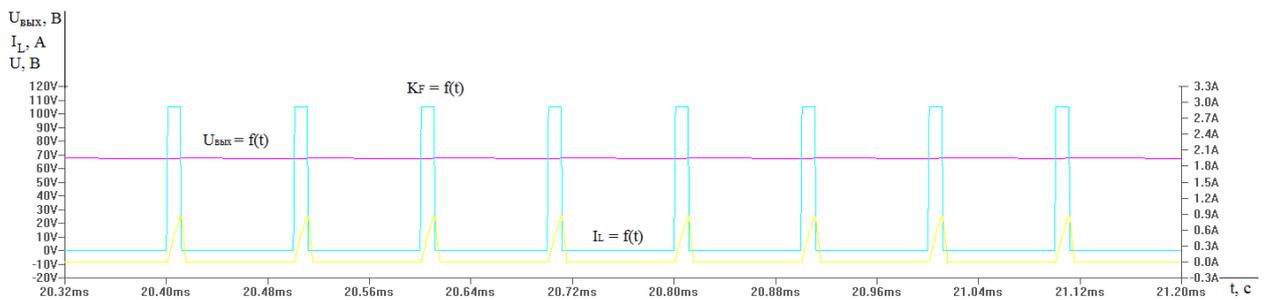


Рисунок 12 – Зависимость выходного напряжения, тока индуктивности, коммутационной функции от времени при $\gamma = 0,1$

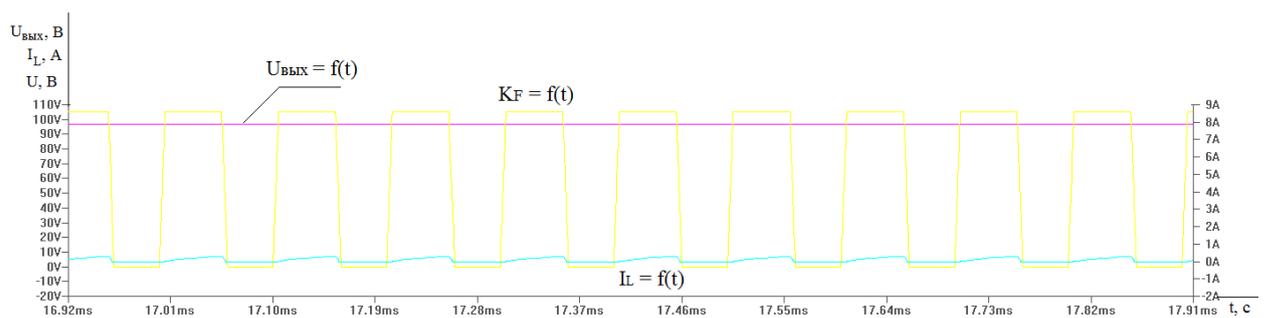


Рисунок 13 – Зависимость выходного напряжения, тока индуктивности, коммутационной функции от времени при $\gamma = 0,5$

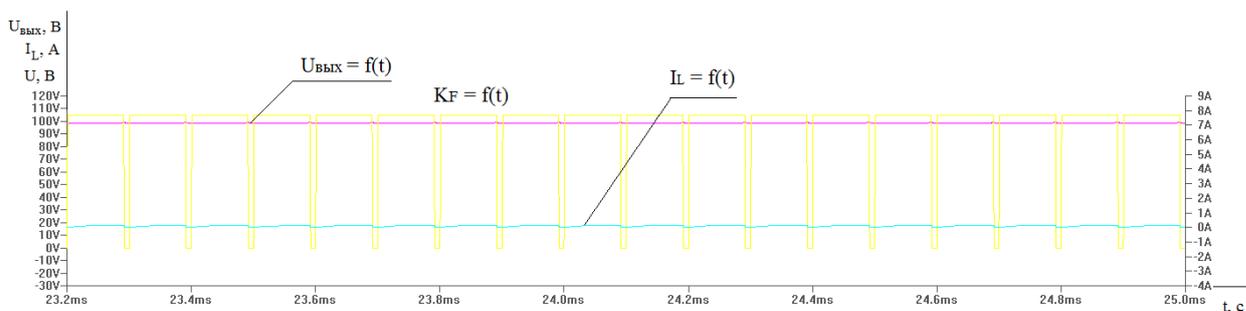


Рисунок 14 – Зависимость выходного напряжения, тока индуктивности, коммутационной функции от времени при $\gamma = 0,9$

Занесем полученные данные при моделировании в таблицу и вычислим коэффициент пульсаций по напряжению.

Таблица 1 – Экспериментальные данные

| γ | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| $U_{\text{вых}}, B$ | 72,2 | 91,89 | 96,77 | 97,7 | 98,62 | 99,08 | 99,09 | 101,07 | 101,39 |
| $K_{\text{пу}}$ | 0,0049 | 0,0041 | 0,0033 | 0,0028 | 0,0025 | 0,002 | 0,0019 | 0,0018 | 0,0016 |

Где $K_{\text{пу}}$ – коэффициент пульсаций по напряжению.

$$K_{\text{пу}} = \frac{U_{\text{max}} - U_{\text{min}}}{U_{\text{cp}}} = \frac{72,15 - 71,8}{71,98} = 0,0049. \quad (2.3.1)$$

На основе табл. 1 были построены графики (рис.15,16) зависимости коэффициента пульсаций по напряжению и выходного напряжения от скважности.

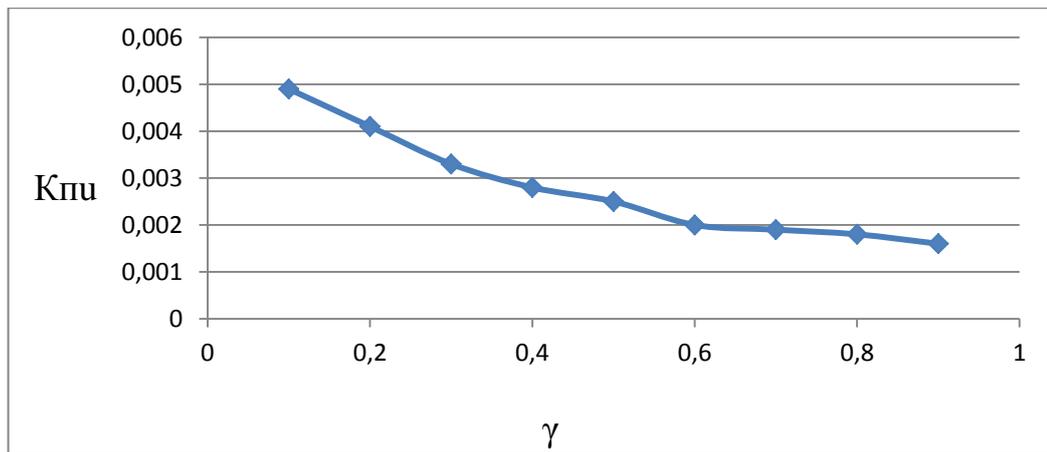


Рисунок 15 – График зависимости коэффициента пульсаций по напряжению от скважности

Анализируя построенную характеристику, можно установить, что значение коэффициента пульсаций не превышает 5%, что требуется по заданию.

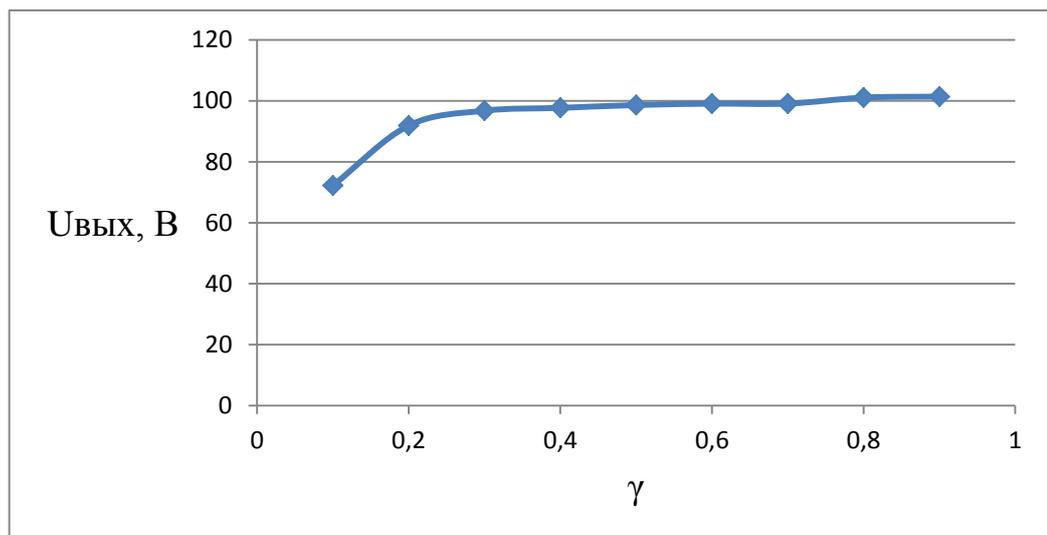


Рисунок 16 – График зависимости выходного напряжения от скважности

Из полученной характеристики видно, что необходимое значение выходного напряжения $U_{вых} = 100 В$ достигается при скважности, близкой к 0,75.

Исходя из полученных аналитических и практических результатов, можно сделать вывод, что для обеспечения необходимого выходного напряжения $U_{вых} = 100 В$, требуется, чтобы скважность находилась в районе

0,505 (аналитический расчет). Так как в схеме при моделировании используются неидеальные элементы (диод и транзистор), значение скважности увеличилось до 0,75, что вполне ожидаемо.

2.4 Формирование системы управления силовыми полупроводниковыми элементами преобразователя

Для управления каким-либо объектом наиболее часто применяются следующие виды систем управления (СУ).

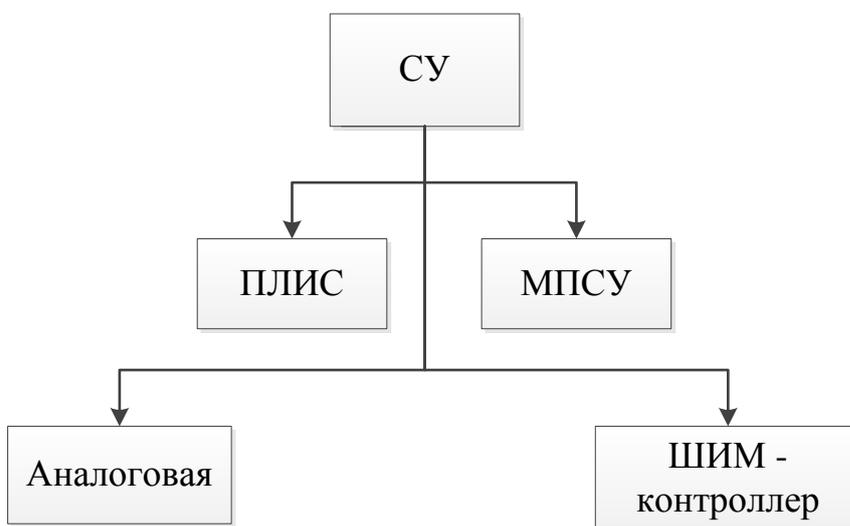


Рисунок 17 – Виды СУ преобразователя напряжения

Рассмотрим более подробно каждый вид СУ и выберем наиболее подходящий для рассматриваемого НПН понижающего типа.

2.4.1 ПЛИС

Программируемая логическая интегральная схема – электронный компонент, который используется в создании цифровых интегральных схем. Работа ПЛИС задается программированием, что является главным отличием от обычных цифровых микросхем. Для программирования используются

программатор и IDE (отладочная среда). Эти средства позволяют задать желаемую структуру цифрового устройства в виде принципиальной электрической схемы или программы.

Большим достоинством ПЛИС является тот факт, что некоторые производители для своих ПЛИС предлагают программные процессоры, которые можно модифицировать под конкретную задачу, а затем встроить в ПЛИС.

Тем самым:

- обеспечивается увеличение свободного места на печатной плате, следовательно, ее размеры уменьшаются;
- упрощается проектирование самой ПЛИС;
- увеличивается быстродействие ПЛИС [14].

На сегодняшний день мировые лидеры по производству ПЛИС выпускают модели, способные работать не только для реализации простых контроллеров и интерфейсных узлов, но и для цифровой обработки сигналов, сложных интеллектуальных контроллеров и нейрочипов. Так же ПЛИС, обладающая сверхнизким уровнем энергопотребления, может применяться в мобильной связи и портативных проигрывателях [15].

2.4.2 МПСУ

Микропроцессорная система управления состоит из одного или нескольких микропроцессоров и/или микроконтроллеров.

Микроконтроллеры интегрируют на одном кристалле высокопроизводительный процессор, память и набор периферийных устройств. Микроконтроллеры способны реализовать широкую номенклатуру систем управления различными объектами и процессами с

минимальными затратами. Они обладают высокими показателями эффективности при низкой стоимости, что, несомненно, является огромным плюсом для потребителя. МПСУ уступает ПЛИС в том случае, когда требуется параллельная обработка большого потока входных данных [16].

2.4.3 ШИМ – контроллер

ШИМ-контроллеры наиболее востребованы при изготовлении модулей питания импульсного типа. Постоянное входное напряжение преобразуется в импульсы прямоугольной формы, формируемые с определенной частотой и скважностью. На выходе осуществляется регулирование работы транзисторного модуля большой мощности с помощью управляющих сигналов.

ШИМ-контроллеры обладают высокими показателями КПД, тем самым обеспечивая большую область их применения. Особенно это касается аппаратуры для воспроизведения звука. Так же при использовании ШИМ-контроллеров в источниках питания, значительно увеличивается диапазон доступных мощностей прибора.

Основными достоинствами ШИМ-контроллеров является универсальность, скромные габариты, высокая надежность, быстрое действие, что способствует их использованию во многих приборах [17].

2.4.4 Аналоговая СУ

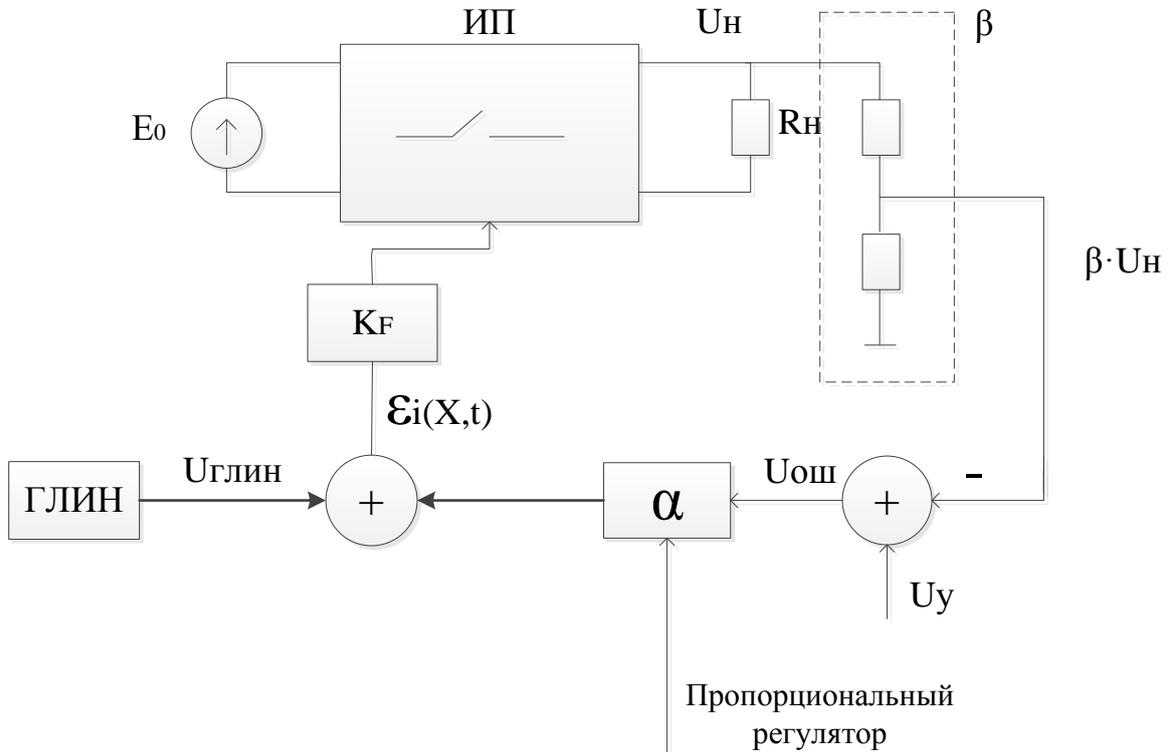


Рисунок 18 – Аналоговая СУ

Здесь приняты следующие обозначения: ИП – импульсный преобразователь; E_0 – напряжение источника питания; R_n – сопротивление нагрузки; U_n – напряжение на нагрузке; β – масштабный коэффициент цепи обратной связи; $U_{ош}$ – сигнал ошибки; U_y – напряжение управления; α – коэффициент усиления корректирующего устройства; ГЛИН – генератор линейноизменяющегося напряжения, формирующий сигнал (2.1.9); K_F – коммутационная функция; $\varepsilon(X, t)$ – разностная функция.

$$\varepsilon(X, t) = K[U_y(t) - F(X) - U_p(t)], \quad (2.4.1)$$

где $U_y(t)$, $U_p(t)$ – функции управляющего и развертывающего напряжения соответственно; $F(X)$ – функция сигнала обратной связи; K – коэффициент постоянной времени форсирующего звена [7].

$$K_F = \frac{1}{2}(1 + \text{sign}(\varepsilon)) \quad (2.4.2)$$

Аналоговая система управления является прототипом всех существующих в настоящее время СУ. Поэтому она наиболее проста в производстве, имеет низкую стоимость в сравнение с более современными СУ, но, не смотря на это, достаточно универсальна.

Таблица 2 – Показатели качества различных видов СУ

| Показатели | ПЛИС | МПСУ | ШИМ-контроллер | Аналоговая СУ |
|-----------------------|------|------|----------------|---------------|
| Быстродействие | + | + | + | |
| Низкая стоимость | | | + | + |
| Небольшие габариты | + | + | + | |
| Надежность | | | + | |
| Универсальность | | + | + | + |
| Наличие ОС | + | + | | |
| Простота производства | | | | + |

Рассмотрев вышеперечисленные виды систем управления, сопоставив все достоинства и недостатки, выберем готовый ШИМ-контроллер LM3485MM/NOPB[18]. На данный момент это наиболее подходящий вариант, так как он имеет небольшие габариты, высокое быстродействие и надежность.

2.5 Имитационное моделирование замкнутой модели преобразователя напряжения

Математическое описание, представленное в п.2.2, является общим для всех видов СУ и моделируется следующим образом:

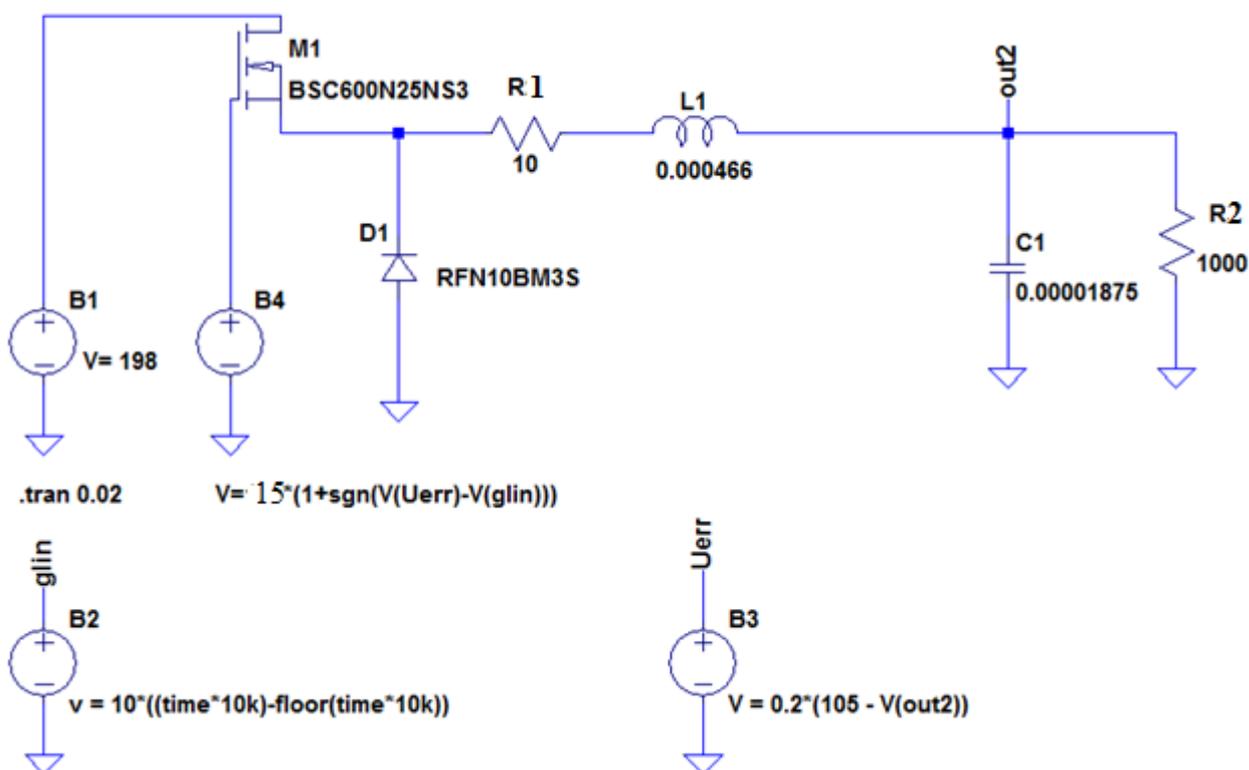


Рисунок 19 – Замкнутая модель НПН

В представленной модели приняты обозначения: $B1$ – источник питания; $B2$ – ГЛИН – генератор линейно изменяющегося напряжения, формирующий сигнал (2.1.9); $B3$ – сигнал ошибки, который описывается уравнением $U_{out}(X,t) = \alpha(U_y - \beta U_{обл}(t))$; $B4$ – коммутирующая функция управления транзистором с учетом усиления сигнала в драйвере; $M1$ – MOSFET транзистор; $R1$ – сопротивление катушки индуктивности; $L1$ – катушка индуктивности; $D1$ – диод; $C1$ – конденсатор; $R2$ – сопротивление нагрузки.

2.5.1 Результаты моделирования замкнутой модели

На рис. 20-22 представлены характеристики, полученные при имитационном моделировании НПП в среде LTspice.

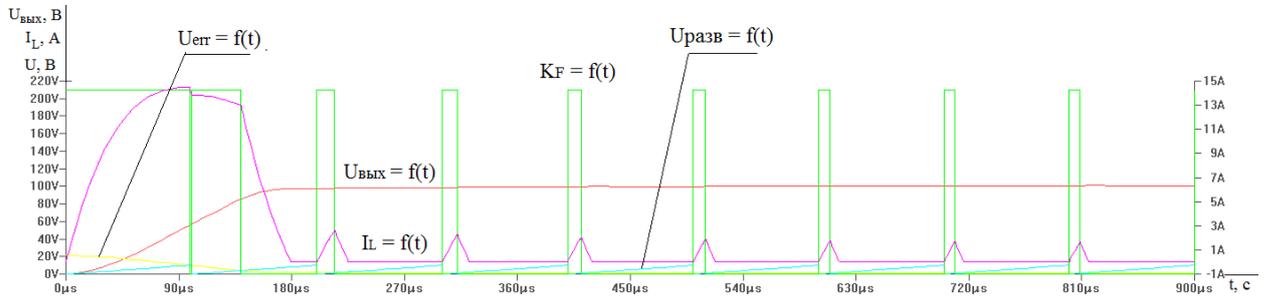


Рисунок 20 – Зависимости выходного напряжения, тока индуктивности, коммутационной функции, сигнала ошибки от времени в переходном режиме

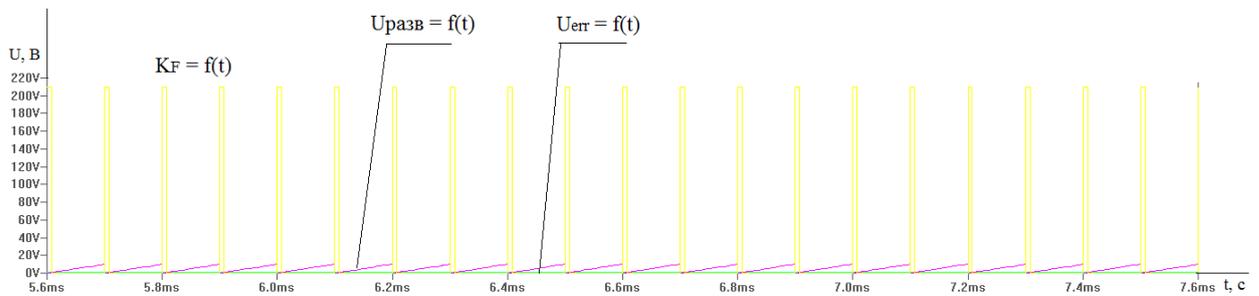


Рисунок 21 – Зависимости сигнала ошибки, коммутационной функции от времени в установившемся режиме

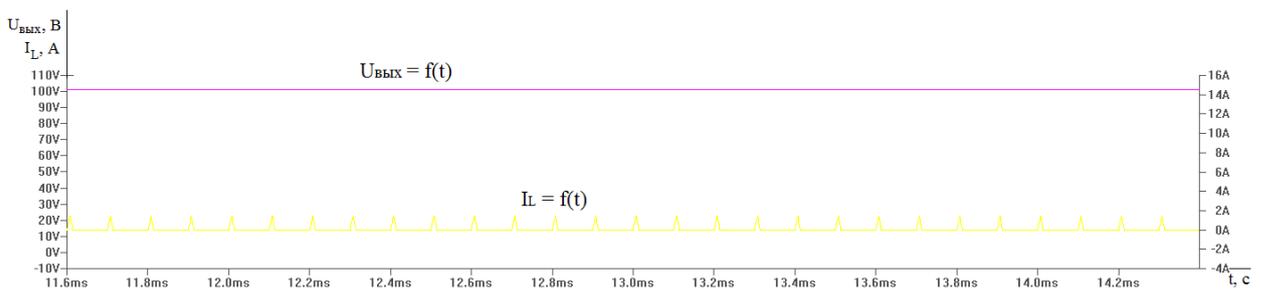


Рисунок 22 – Зависимости выходного напряжения и тока индуктивности от времени в установившемся режиме

Здесь $K_F = f(t)$ - коммутационная функция;

$U_{err} = f(t)$ - сигнал ошибки;

$U_{раз} = f(t)$ - генератор линейно изменяющегося напряжения;

$I_L = f(t)$ - зависимость тока индуктивности от времени;

$U_{вых} = f(t)$ - зависимость выходного напряжения от времени

По полученным характеристикам видно, как СУ преобразователя подстраивает параметры схемы таким образом, что необходимое напряжение $U_{вых} = 100$ В достигается при скважности в $\gamma = 0,2$. Это объясняется недостатками имитационной модели, описывающей систему управления ШИМ-контроллера, построенную по математическим уравнениям без учета нелинейностей операционных усилителей, компараторов, счетчиков, входящих в контроллер ШИМ.

Во второй главе магистерской диссертации проведено математическое моделирование. Имитационное моделирование выполнено в двух вариантах: с разомкнутой схемой преобразователя и замкнутой системой управления преобразователя напряжения. Выбрана СУ в виде ШИМ-контроллера.

3. АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ НПН ПОНИЖАЮЩЕГО ТИПА ПРИ ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ

3.1 Анализ выходного напряжения при изменении нагрузки и напряжения питания

Поскольку при работе стабилизатора напряжения при воздействии внешних факторов, таких как температура окружающей среды, изменение напряжения сети, сопротивление нагрузки и питающее напряжение могут изменяться, необходимо провести исследование работы стабилизатора при изменении их значений.

Проанализируем выходное напряжение преобразователя при изменении сопротивления нагрузки от 10 до 2000 Ом.

Таблица 3 – Результаты моделирования при изменении сопротивления нагрузки

| $R_n, \text{Ом}$ | 10 | 50 | 100 | 300 | 500 | 700 | 1000 | 1200 | 1500 | 1700 | 2000 |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $U_{\text{вых}}, \text{В}$ | 70,6 | 89,27 | 93,55 | 98,47 | 99,03 | 100,39 | 101,34 | 101,74 | 102,06 | 102,28 | 102,69 |

По полученным данным построена характеристика выходного напряжения от сопротивления нагрузки рис.21.

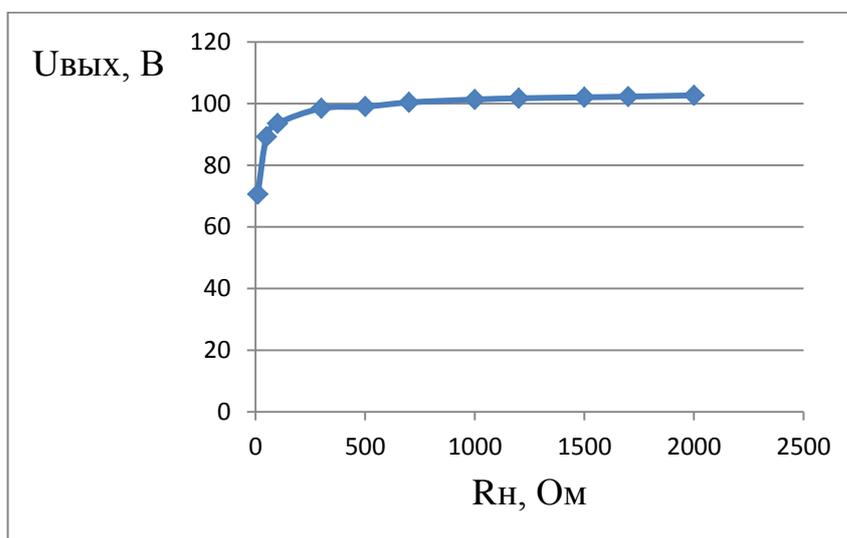


Рисунок 23 – Зависимость выходного напряжения от сопротивления нагрузки

Из графика видно, что стабилизатор напряжения, начиная с нагрузки в 700 Ом, держит необходимое выходное напряжение 100 В.

Напряжение питания стабилизатора может изменяться по ГОСТ 32144-2013[9] в пределах $\pm 10\%$, но могут быть аварийные случаи, когда напряжение выходит за эти пределы. Поэтому проведем исследование при изменении входного напряжения в пределах $\pm 25\%$.

Таблица 4 - Результаты моделирования при изменении напряжения питания

| | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| $U_{пит}, В$ | 165 | 175 | 185 | 195 | 210 | 220 | 230 | 245 | 255 | 265 | 275 |
| $U_{вых}, В$ | 100,47 | 100,7 | 100,91 | 101,27 | 101,46 | 101,52 | 101,67 | 101,7 | 101,73 | 101,77 | 101,8 |

По данным из таблицы 4 построим характеристики выходного напряжения.

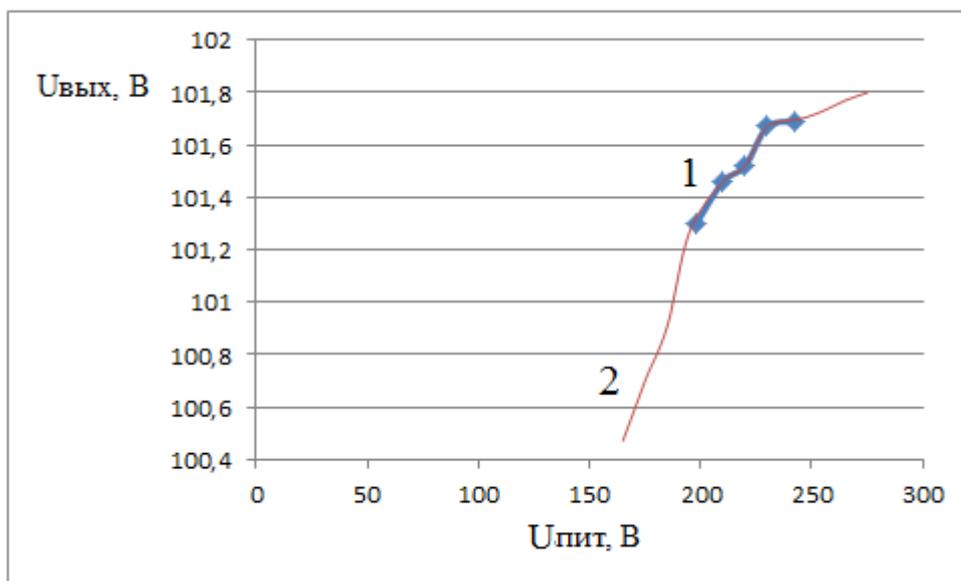


Рисунок 24 – Зависимость выходного напряжения от напряжения питания 1- при нормальных условиях; 2 – в аварийном режиме

По характеристике видно, что стабилизатор напряжения поддерживает необходимое значение напряжения 100 В даже в аварийной ситуации, когда напряжение может изменяться в пределах $\pm 25\%$.

3.2 Анализ пульсаций напряжения при вариации нагрузки и напряжения питания

Как и для разомкнутой модели преобразователя, вычислим пульсации выходного напряжения по формуле (2.3.1).

Таблица 5 – Пульсации выходного напряжения при изменении
сопротивления нагрузки

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $R_n, \text{Ом}$ | 10 | 50 | 100 | 300 | 500 | 700 | 1000 | 1200 | 1500 | 1700 | 2000 |
| $U_{\text{вых}}, \text{В}$ | 70,6 | 89,27 | 93,55 | 98,47 | 99,03 | 100,39 | 101,34 | 101,74 | 102,06 | 102,28 | 102,69 |
| $K_{\text{ПУ}}$ | 0,085 | 0,051 | 0,033 | 0,013 | 0,009 | 0,007 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,003 | 0,0028 |

Таблица 6 – Пульсации выходного напряжения при изменении напряжения
питания

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| $U_{\text{пит}}, \text{В}$ | 165 | 175 | 185 | 195 | 210 | 220 | 230 | 245 | 255 | 265 | 275 |
| $U_{\text{вых}}, \text{В}$ | 100,47 | 100,7 | 100,91 | 101,27 | 101,46 | 101,52 | 101,67 | 101,7 | 101,73 | 101,77 | 101,8 |
| $K_{\text{ПУ}}$ | 0,0054 | 0,0053 | 0,005 | 0,0059 | 0,0053 | 0,0054 | 0,0057 | 0,005 | 0,0059 | 0,0051 | 0,0047 |

Построим зависимости коэффициента пульсаций по напряжению от изменения сопротивления нагрузки преобразователя и его напряжения питания.

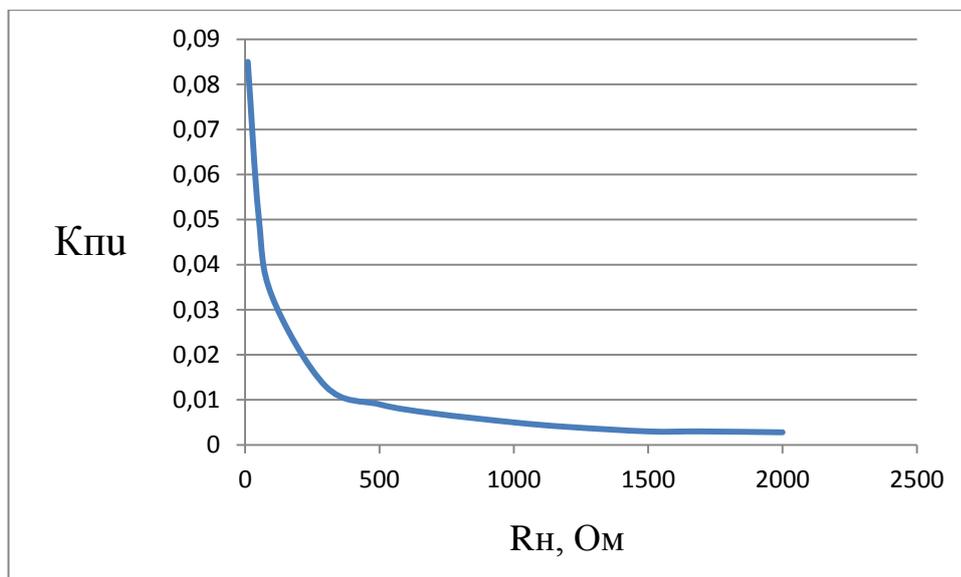


Рисунок 25 – График зависимости коэффициента пульсаций выходного
напряжения от сопротивления нагрузки

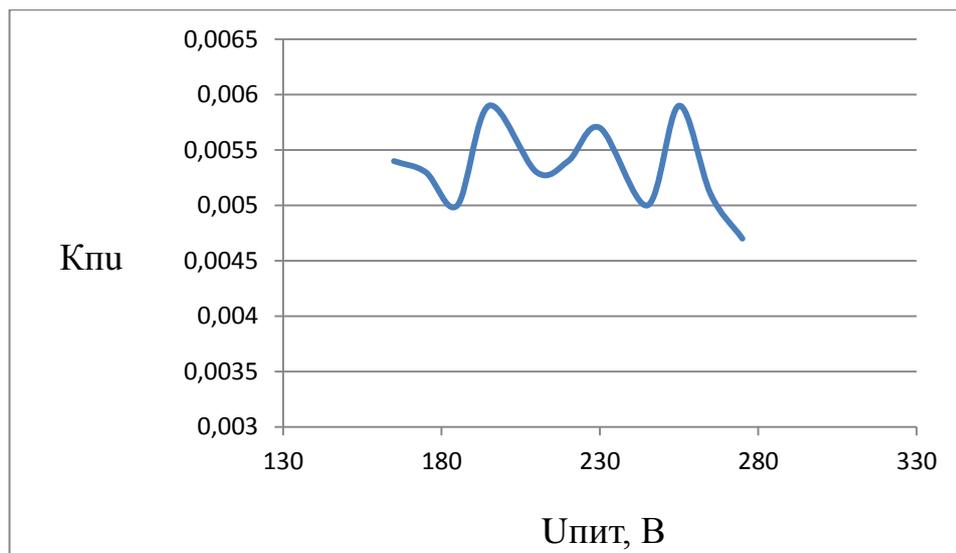


Рисунок 26 – График зависимости коэффициента пульсаций напряжения от напряжения питания

Анализируя полученные данные, можно утверждать, что стабилизатор при изменении параметров элементов схемы работает корректно, то есть, коэффициент пульсаций не превышает заданное значение 5%.

В третьей главе проведен анализ работы стабилизатора напряжения при изменении напряжения питания и сопротивления нагрузки. Рассчитан коэффициент пульсаций по напряжению, построены характеристики по полученным данным.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

| | |
|-----------------|--------------------------------------|
| Группа 5ГМ5А | ФИО Тимофеевой Дарье Владимировне |
|-----------------|--------------------------------------|

| | | | |
|---------------------|----------------|---------------------------|--|
| Институт | Энергетический | Кафедра | ЭПЭО |
| Уровень образования | Магистр | Направление/специальность | Электроэнергетика и электротехника/Электроприводы и системы управления электроприводов |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|--|--|
| <i>1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): на специальное оборудование, зарплат, страховые отчисления, прочие и накладные расходы</i> | <i>Затраты на специальное оборудование определяются согласно стоимости оборудования по прейскурантам или по договорной цене. Заработная плата определяется исходя из тарифной ставки и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион. Страховые отчисления определяются согласно Федеральному закону от 24.07.2009 №212-ФЗ Прочие и накладные расходы определяются исходя из суммы остальных статей расходов.</i> |
|--|--|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|---------------------------------------|
| <i>1. Планирование и формирование графика работ по реализации ТП</i> | <i>Организация работ ТП</i> |
| <i>2. Формирование сметы</i> | <i>Смета затрат на проектирование</i> |
| <i>3. Оценка потенциала и перспективности реализации ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | <i>Анализ полученных результатов</i> |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Диаграмма Ганта

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|-----------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Старший преподаватель | Кузьмина Н.Г. | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|--------|----------------|---------|------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 5ГМ5А | Тимофеева Д.В. | | |

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках магистерской диссертации, при этом рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

4.1 Организация работ технического проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического задания;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения работ.

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер. На каждый вид запланированных работ установлена соответствующая должность исполнителя.

Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 7.

Таблица 7 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб. | Содержание работ | Должность исполнителя | Длительность работ в рабочих днях |
|--|--------|---|---------------------------------|-----------------------------------|
| Разработка и выдача технического задания | 1 | Составление и утверждение технического задания | Научный руководитель Инженер | 2 |
| Выбор направления дальнейшей работы по диссертации | 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Инженер | 10 |
| Расчеты и моделирование преобразователя напряжения | 3 | Изучение патентной базы | Инженер | 14 |
| | 4 | Информационный и литературный обзор преобразователя | Инженер | 15 |
| | 5 | Математическая модель преобразователя | Инженер | 10 |
| | 6 | Расчет параметров схемы НПП | Инженер | 6 |
| | 7 | Имитационное моделирование НПП | Инженер | 12 |
| Написание статьи в научный журнал | 8 | Формирование текущих результатов в статью | Инженер | 3 |
| Обобщение и оценка результатов | 9 | Оценка эффективности полученных результатов | Научный руководитель Инженер | 6 |
| Оформление отчета | 10 | Составление пояснительной записки | Инженер | 14 |
| | 11 | Проверка магистерской диссертации | Научный руководитель Инженер | 2 |
| | 12 | Исправление ошибок | Инженер | 2 |
| Защита магистерской диссертации | 13 | Подготовка к защите магистерской диссертации | Инженер | 5 |

Продолжительность выполнения проекта составит 101 рабочий день.

Из них:

10 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;

101 день – продолжительность выполнения работ инженером.

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения технических работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [19].

График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки магистерской диссертации. На основе таблицы 7 строим план – график проведения работ (Приложение 2).

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная с первой декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Далее по диаграмме Ганта можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

4.2 Смета затрат на проектирование

Смета затрат на проект (K_{III}) включает в себя материальные затраты, амортизацию, затраты на заработную плату, на социальные нужды, прочие и накладные затраты.

$$K_{III} = K_{mat} + K_{ам} + K_{з / пл} + K_{с.о} + K_{пр} + K_{накл}, \quad (4.2.1)$$

где K_{mat} – материальные затраты;

$K_{ам}$ – амортизация компьютерной техники;

$K_{з/пл}$ – затраты на заработную плату;

$K_{с.о.}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$ – прочие затраты;

$K_{накл}$ – накладные затраты.

4.2.1 Материальные затраты

В данной работе материальные затраты принимаем в размере 1000 рублей на канцелярские товары.

4.2.2 Затраты на амортизацию

Так как для работы над магистерской диссертацией используется компьютерная техника, посчитаем ее амортизацию.

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}}, \text{ где} \quad (4.2.2.1)$$

$T_{исп.кт}$ – время использования компьютерной техники (90 дней);

$T_{кал}$ – календарное время (365 дней);

$Ц_{кт}$ – цена компьютерной техники (25000 руб);

$T_{сл}$ – срок службы компьютерной техники (5 лет).

$$K_{ам} = \frac{90}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1233 \text{ руб.} \quad (4.2.2.2)$$

4.2.3 Затраты на заработную плату

Вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также компенсационные и стимулирующие выплаты, затраты на заработную плату (для инженера и НР).

$$Kз / пл = ЗП_{инж} + ЗП_{нр} \quad (4.2.3.1)$$

$$ЗП_{мес} = ЗП_о \cdot K1 \cdot K2, \text{ где} \quad (4.2.3.2)$$

$K1$ – коэффициент, учитывающий отпуск ($1,1 = 10\%$);

$K2$ – районный коэффициент ($1,3 = 30\%$);

$ЗП_о$ – месячный отклад (для профессора 30000 р., для инженера 17000р.).

Для научного руководителя:

$$ЗП_{мес} = 30000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб.} \quad (4.2.3.3)$$

Для инженера:

$$ЗП_{мес} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.} \quad (4.2.3.4)$$

$$ЗП_{ор} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n, \text{ где} \quad (4.2.3.5)$$

21 – число рабочих дней в месяц;

n – фактическое число дней в проекте.

Для научного руководителя:

$$ЗПор = \frac{42900}{21} \cdot 10 = 20429 \text{ руб.} \quad (4.2.3.6)$$

Для инженера:

$$ЗПор = \frac{24310}{21} \cdot 101 = 116920 \text{ руб.} \quad (4.2.3.7)$$

$$Кз / нл = 20429 + 116920 = 137349 \text{ руб.} \quad (4.2.3.8)$$

4.2.4 Затраты на социальные нужды

Затраты организации по обязательным и добровольным взносам в органы государственного страхования, пенсионного фонда, фонда медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, занятых в производстве продукции, работ, услуг в непроизводственной сфере в соответствии с порядком, установленным законодательством.

Затраты на социальные нужды берем в размере 30% от $Кз/нл$.

$$Кс.о. = \frac{Кз / нл \cdot 30\%}{100\%} = \frac{137349 \cdot 0,3}{1} = 41205 \text{ руб.} \quad (4.2.4.1)$$

4.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются в размере 10% от ($Кмат + Кам + Кз/нл + Кс.о$)

$$\begin{aligned} Кпр &= \frac{(Кмат + Кам + Кз / нл + Кс.о.) \cdot 10\%}{100\%} = \\ &= \frac{(1000 + 1233 + 137349 + 41205) \cdot 0,1}{1} = 18079 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (4.2.5.1)$$

4.2.6 Накладные затраты

Затраты, не связанные прямо с производством отдельного изделия или вида работы и относимые на весь выпуск продукции. К ним относятся: расходы на содержание, эксплуатацию и текущий ремонт зданий, сооружений и оборудования; отчисления на социальное страхование и другие обязательные платежи; содержание и заработную плату административно-управленческого персонала; расходы, связанные с потерями от брака и простоев и др.

Накладные расходы принимаются в размере 200% от $Kз/пл$.

$$K_{накл} = \frac{Kз / пл \cdot 200\%}{100\%} = \frac{137349 \cdot 2}{1} = 274698 \text{ руб.} \quad (4.2.6.1)$$

Сведем полученные результаты в таблицу.

Таблица 8 – Смета затрат на проект

| № | Элементы затрат | Стоимость, руб. |
|---|----------------------------------|-----------------|
| 1 | Материальные затраты | 1000 |
| 2 | Амортизация компьютерной техники | 1233 |
| 3 | Затраты на заработную плату | 137349 |
| 4 | Затраты на социальные нужды | 41205 |
| 5 | Прочие затраты | 18079 |
| 6 | Накладные расходы | 274698 |
| | Итого: | 473564 |

Смета затрат на проект:

$$\begin{aligned} K_{III} &= K_{мат} + K_{ам} + Kз / пл + K_{с.о} + K_{пр} + K_{накл} = \\ &= 1000 + 1233 + 137349 + 41205 + 18079 + 274698 = 473564 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (4.2.1)$$

4.3 Анализ полученных результатов

Данный технический проект направлен на расчет параметров схемы НПН понижающего типа и его математическое и имитационное моделирование с определенными параметрами, требуемыми заказчиком:

$U_{\text{вх}} = 220 \text{ В}$ - входное напряжение;

$U_{\text{вых}} = 100 \text{ В}$ - выходное напряжение;

$I_n = 10 \text{ А}$ - ток нагрузки;

$\kappa_{\text{П}}' = 5 \%$ - коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке;

$f = 10 \text{ кГц}$ - частота переключения транзистора.

В результате проделанной работы, на выходе проекта достигаем необходимый результат, тем самым можно сделать вывод, что проект реализован, выполнен верно:

- Для разомкнутой модели преобразователя напряжения полученные аналитические и практические результаты показывают, что для обеспечения необходимого выходного напряжения $U_{\text{вых}} = 100 \text{ В}$, требуется, чтобы скважность находилась в районе 0,505 (аналитический расчет). Так как в схеме при моделировании используются неидеальные элементы (диод и транзистор), значение скважности увеличилось до 0,75, что вполне ожидаемо.

- Замкнутая система управления преобразователя подстраивает параметры схемы таким образом, что необходимое напряжение $U_{\text{вых}} = 100 \text{ В}$ достигается при скважности в $\gamma = 0,2$.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|-----------------|--------------------------------------|
| Группа 5ГМ5А | ФИО Тимофеевой Дарье Владимировне |
|-----------------|--------------------------------------|

| | | | |
|---------------------|---------|---------------------------|---|
| Институт | ЭНИН | Кафедра | ЭПЭО |
| Уровень образования | Магистр | Направление/специальность | Электроэнергетика и электротехника/ Электроприводы и системы управления электроприводов |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|---|---|
| <i>1. Характеристика объекта исследования</i> | <i>Помещение закрытого типа с естественной вентиляцией воздуха. Помещение имеет как искусственный, так и естественный источник освещения. Основное рабочее оборудование – ПЭВМ.</i> |
| <i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i> | <i>СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; ГОСТ 12.1.005-88; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03; ГОСТ 12.1.003-83; ГОСТ 12.1.012-90; ГОСТ 12.1.009-76; ГОСТ 12.1.033-81; ГОСТ 12.1.010 – 76.</i> |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|--|
| <i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды</i> | <i>Вредные факторы, возникающие из-за ПЭВМ. - Негативные влияния: электромагнитное и ионизирующее излучения, шум, вибрация</i> |
| <i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды</i> | <i>Установлены удлинители в розетках (эл. сеть перегружена) Физические опасные факторы: электрический ток.</i> |
| <i>3. Охрана окружающей среды</i> | <i>Бытовые отходы. Отходы, образующиеся при поломке ПЭВМ</i> |
| <i>4. Безопасность в ЧС</i> | <i>Наиболее вероятная ЧС в здании - пожар</i> |
| <i>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</i> | <i>Использовать оборудования и мебель согласно антрометрическим данным</i> |

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал консультант:

| | | | |
|-----------------------|-----------------|---------|------|
| Должность | ФИО | Подпись | Дата |
| Доцент кафедры ЭБЖ | Дашковский А.Г. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|--------|----------------|---------|------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 5ГМ5А | Тимофеева Д.В. | | |

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, воздействующих на работника, разработка мер защиты от них, также рассмотрение вопросов техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды.

5.1 Анализ выявленных вредных факторов проецируемой производственной среды

К числу вредных производственных факторов относятся: неблагоприятные метеорологические условия, высокие уровни шума и вибрации, электромагнитные и ионизирующие излучения, производственная пыль, механические факторы, которые могут привести к травмированию персонала. К опасным в данном помещении относятся следующие факторы[20]:

- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- нервно-психические перегрузки.

Помещение, его размеры (площадь, объем) должны в первую очередь соответствовать количеству рабочих и размещенному в нем оборудованию.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [21] площадь на одно рабочее место пользователей должна составлять не менее 6 м². Также для обеспечения нормальных условий труда санитарные нормы устанавливают, что на одного рабочего должно приходиться 20 м³ объема воздуха.

Помещение имеет следующие параметры:

- длина помещения 5 м;
- ширина 4 м;
- высота 2,5 м.

Исходя из этих параметров, площадь данного помещения составляет:

$$S = 5 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} = 20 \text{ м}^2;$$

Объем:

$$V = 5 \text{ м} \cdot 4 \text{ м} \cdot 2,5 \text{ м} = 50 \text{ м}^3.$$

Учитывая, что в офисном помещении работает 2 человека, то на каждого из них приходится по 10 м² площади помещения и по 25 м³ объема воздуха, что соответствует нормам.

В соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 в помещениях, оборудованных ПК, проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после на ПК.

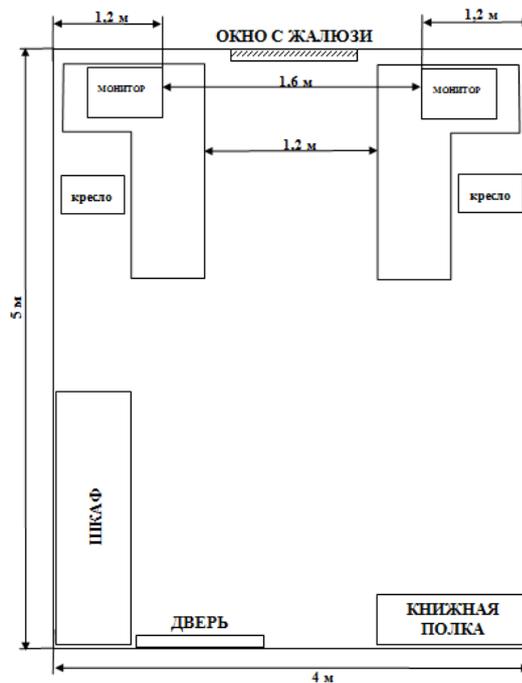


Рисунок 27 – Схема учебной аудитории

Высота рабочего стола с клавиатурой составлять 0,7 м над полом, а высота экрана над полом – 1 м. Монитор находится от оператора на расстоянии 60 – 70 см на 20° ниже уровня глаз. Пространство для ног 0,7 м высотой и шириной 1,3 м, глубиной не менее 0,5 м. В офисных столах предусмотрена подставка для ног сотрудника шириной 0,3 м с регулировкой угла наклона. Ноги при этом должны быть согнуты под прямым углом.

5.1.1 Воздух рабочей зоны

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях.

По ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [22] нормируются следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздушного потока, ПДК вредных веществ.

Эти данные приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Нормируемое качество воздуха

| Сезон года | Категория работы | Температура, С° | Относительная влажность, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|------------|------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|
| Холодный | I | 20-30 | 60-40 | 0,2 |
| | II а | 18-20 | | 0,2 |
| | II б | 17-19 | | 0,3 |
| | III | 16-18 | | 0,3 |
| Теплый | I | 22-25 | 60-40 | 0,2 |
| | II а | 21-23 | | 0,3 |
| | II б | 20-22 | | 0,4 |
| | III | 18-21 | | 0,5 |

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, выполняемая сотрудниками офиса, относится к категории легких работ I.

Параметры микроклимата в зимнее время поддерживаются системой отопления, летом – общеобменной вентиляцией.

5.1.2 Освещение

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [23].

Правильно спроектированное и выполненное освещение, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Наилучшим видом освещения является дневное, солнечное. Поэтому в соответствии с СанПиН помещение имеет естественное освещение. Но дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течении всего рабочего дня, а так же зависит от погодных условий.

В данном помещении используют искусственное и естественное освещение, поскольку работа в основном зрительная.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное

психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

Помещение имеет размеры: длина $A = 5$ м, ширина $B = 4$ м, высота $H = 2,5$ м. Площадь помещения:

$$S = A \times B = 5 \times 4 = 20 \text{ м}^2$$

Рекомендуемая освещенность помещения, при работе с монитором, составляет $E_0 = 400$ Лк, учитывая коэффициент запаса (загрязнение светильника) $K = 1,3$ получаем освещенность в помещении:

$$E = E_0 \cdot K = 400 \cdot 1,3 = 520 \text{ Лк.}$$

Коэффициент отражения светового потока от потолка, стен и пола соответственно равны: $q_{\text{п}} = 70\%$, $q_{\text{с}} = 50\%$, $q_{\text{з}} = 30\%$. Уровень от рабочей поверхности до потолка составляет:

$$h = H - h_p = 2,5 - 0,8 = 1,7 \text{ м,}$$

где h_p – высота рабочей поверхности.

Для освещения используются светильники типа ЛБ - 40, для которых оптимальное отношение световых потоков составляет $g = 1,3$. Расчетная длина между двумя рядами светильников:

$$L = g \cdot h = 1,3 \cdot 1,7 = 2,21 \text{ м.}$$

Число рядов светильников:

$$n = \frac{B}{L} = \frac{4}{2,21} = 1,8$$

где B – ширина помещения.

Выбираем $n = 2$ ряда светильников. Тогда индекс освещенности:

$$i = \frac{S}{(A + B) \cdot n} = \frac{20}{(4 + 5) \cdot 2} = 1,11.$$

Зная коэффициенты отражения световых потоков от потолка, стен, пола в лаборатории, можно определить коэффициент использования светового потока:

$$\eta = \frac{q_i + q_c + q_3}{3} = \frac{70\% + 50\% + 30\%}{3} = 50\%$$

Световой поток лампы ЛБ - 40 составляет $F_0 = 2480$ Лм. Тогда световой поток светильника, состоящего из двух ламп:

$$F = 2 \cdot F_0 = 2 \cdot 2480 = 4960 \text{ Лм.}$$

Определим необходимое число светильников в ряду:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot Z}{n \cdot F \cdot \eta \cdot \gamma} = \frac{520 \cdot 20 \cdot 1,15}{2 \cdot 4960 \cdot 0,5 \cdot 1} = 2,4,$$

где $Z = 1,15$ – коэффициент непрерывности;

$\gamma = 1$ – коэффициент затемнения.

Таким образом, примем, что необходимо всего 5 светильников, со схемой их размещения на рисунке 10. При длине светильника $l_{св} = 1,27$ м [24].

Их общая длина составляет:

$$l_{общ} = N \cdot l_{св} = 5 \cdot 1,27 = 6,35 \text{ м.}$$

Расстояние между светильниками:

$$l = \frac{A - l_{общ}}{N + 1} = \frac{5 - 6,35}{5 + 1} = -0,22 \text{ м.}$$

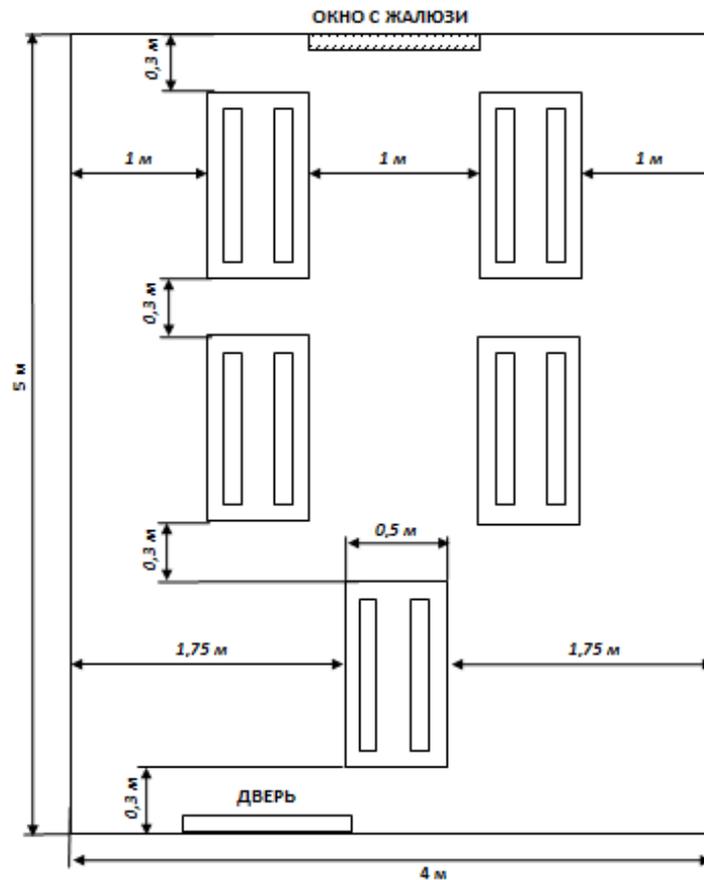


Рисунок 28 – Схема размещения светильников в помещении

5.1.3 Защита от шума и вибрации

Так же к вредным факторам относится шум. Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха. Для измерения громкости (в децибелах Дб) может быть использован двухшкальный шумомер. Громкость выше 140 Дб может вызвать болевой эффект.

Допустимые уровни шума ГОСТ 12.1.003-83 [25] для некоторых рабочих мест приведены в таблице 10, а допустимые уровни виброскорости ГОСТ 12.1.012-90 [26] – в таблице 11.

Таблица 10 - Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука

| Рабочие места | Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА |
|---|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--|
| | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| Конструкторские бюро, программисты, лаборатории | 86 | 71 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 | 40 | 38 | 50 |

Таблица 11 - Гигиенические нормы уровней виброскорости

| Вид вибрации | Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | | | | | | | | | | | |
|--|---|----|----|----|----|------|----|-----|-----|-----|------|--|
| | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | |
| В служебных помещениях, конструкторских бюро, лабораториях | – | 91 | 82 | 76 | 75 | 75 | 75 | – | – | – | – | |

5.1.4 Состояние воздушной среды

Определяется запыленностью или загазованностью воздуха рабочей зоны. В офисном помещении делается ежедневная влажная уборка, а также отсутствуют источники загрязнения воздушной среды. Концентрации вредных веществ, выделяемых ПК в воздух помещений, не должны превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), установленных для атмосферного воздуха.

Содержание вредных химических веществ в воздухе помещений, предназначенных для использования ПК во всех типах образовательных учреждений, не должно превышать предельно допустимых среднесуточных концентраций для атмосферного воздуха в соответствии с действующими санитарно - эпидемиологическими нормативами. Нормирование содержания

вредных веществ в воздухе рабочей зоны ГОСТ 12.1.005-88 [22] представлено в таблице 23.

Таблица 12 - Предельно допустимые концентрации вредных веществ

| Наименование вещества | ПДК, мг/м ³ | Агрегатное состояние | Класс опасности | Особенности действия на организм |
|--|---------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| Азота диоксид | 2 | п | 3 | 0 |
| Акролеин | 0,2 | п | II | |
| Алюминий и его сплавы | 2 | а | III | Ф |
| Аминопласты (пресс-порошки) | 6 | а | 3 | Ф, А |
| Аммиак | 20 | п | IV | |
| Ангидрид серный + | 1 | а | 2 | |
| Ангидрид сернистый + | 10 | п | 3 | |
| Ацетон | 200 | п | IV | |
| Бензол + | 15/5 | п | 2 | К |
| Бенз(а)пирен | 0,00015 | а | 1 | К |
| Бензин(растворитель топливный) | 100 | п | IV | |
| Водород фтористый (фтор- оводород) (в пересчете на F) | 0,5/0,1 | п | 1 | О |
| Кислота азотная+ | 2 | а | III | |
| Кислота серная+ | 1 | а | II | |
| Ксилол | 50 | п | III | |
| Марганец в сварочных аэрозолях при его содержании: | | | | |
| до 20% | 0,2 | а | II | |
| от 20 до 30% | 0,1 | а | II | |
| Углерода оксид | 20 | п | 4 | 0 |

Если в графе «ПДК» приведены две величины, то это означает, что в числителе дана максимальная, а в знаменателе – среднесменная ПДК.

Условные обозначения: п – пары и (или) газы; а – аэрозоль; п + а – смесь паров и аэрозоля; О – вещество с остронаправленным механизмом действия, требующее автоматического контроля за его содержанием в воздухе; + – требуется специальная защита кожи и глаз; А – вещества,

способные вызывать аллергические заболевания; К – канцерогены; Ф – аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК): максимально разовых рабочей зоны (ПДКМР.РЗ) и среднесменных рабочей зоны (ПДКСС.РЗ).

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ разнонаправленного действия ПДК остаются такими же, как и при изолированном воздействии.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия (по заключению органов государственного санитарного надзора) сумма отношений фактических концентраций каждого из них ($K_1, K_2 \dots K_n$) в воздухе к их ПДК (ПДК₁, ПДК₂ ... ПДК_n) не должна превышать единицы:

$$\frac{K_1}{ПДК_1} + \frac{K_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{K_n}{ПДК_n} \leq 1.$$

5.1.5 Оценка уровней электромагнитных полей

Проводится при выполнении ряда работ с компьютерами и прочим электрическим оборудованием.

При работе с компьютером допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) указаны в таблице 24. Они нормируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [21].

Таблица 13 - Допустимые уровни ЭМП

| Наименование параметров | | ВДУ ЭМП |
|---|------------------------------------|---------|
| Напряженность электрического поля | в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц | 25 В/м |
| | в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц | 2,5 В/м |
| Плотность магнитного потока | в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц | 250 нТл |
| | в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц | 25 нТл |
| Напряженность электростатического поля | | 15 кВ/м |
| Электростатический потенциал экрана видеомонитора | | 500 В |

5.1.6 Статическое электричество

Суть электризации заключается в том, что нейтральные тела, не проявляющие в нормальном состоянии электрических свойств, в условиях отрицательного контакта или взаимодействия становятся электростатически заряженными. Опасность возникновения статического электричества проявляется в возможности образования электрической искры и вредном воздействии его на организм человека, причем не только при непосредственном контакте с зарядом, но и за счет действия электрического поля, возникающем при заряженном поле.

Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д.

Виды воздействий электрического тока на организм человека:

- термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагрев кровеносных сосудов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока до критической температуры;
- электролитическое действие тока выражается в разложении крови, что нарушает ее состав и функции;
- механическое действие тока проявляется в значительном давлении в кровеносных сосудах и мышечных тканях;
- биологическое действие тока проявляется в раздражении живых тканей, что вызывает реакцию организма – возбуждение, что и обуславливает непроизвольное сокращение мышц.

При наиболее неблагоприятном исходе воздействие электрического тока может привести к смерти человека.

Основным документом, регламентирующим воздействие электрического тока в производственных условиях, является ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ [27].

Для защиты от статического электричества компьютерная и орг. техника в помещении заземлена, а также ежедневно в помещении проводится влажная уборка.

5.2 Безопасность в ЧС

Наиболее вероятная ЧС в здании – пожар. Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033-81ССБТ [28] понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Офисное помещение по степени пожароопасности относится к классу П-2а [29], так как в нем отсутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

- халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);
- самовоспламенение и самовозгорание веществ.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения пожаров в офисном помещении проводятся следующие мероприятия:

- сотрудники проходят противопожарный инструктаж;

- сотрудники знают расположение средств пожаротушения и умеют ими пользоваться;
- обеспечивается правильный тепловой и электрический режим работы компьютерной и орг. техники;
- пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения содержатся в исправном состоянии и находятся на видном и легко доступном месте.

5.3 Охрана окружающей среды

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке [30].

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокоится заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.
- Узнать насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

В-третьих, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом, утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

1. Мониторы с электронно-лучевыми трубками необходимо сдать для переработки в ближайший специализированный центр переработки или передать его изготовителю для дальнейшего рециклинга.

2. Использовать услуги профессиональной компании по рециклингу, которая может приехать и забрать все приборы, которые планируется сдать в переработку.

3. Можно обратиться в местный муниципалитет по вопросу переработки электроники [31].

5.4 Защита в чрезвычайных ситуациях

В помещении, где производилась выпускная квалификационная работа, имеется электропроводка напряжением 220 вольт, предназначенная для питания вычислительной техники и освещения. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования.

Данное помещение относится к категории Д (наличие твердых сгораемых вещей)[32].

Необходимо проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия [32]:

- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

1. Противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
2. Обучение персонала правилам техники безопасности;
3. Издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

1. Соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
2. Обеспечение свободного подхода к оборудованию;
3. Содержание в исправном состоянии изоляции токоведущих проводников.

К техническим мероприятиям относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В коридоре имеется порошковый огнетушитель типа ОП-5, рубильник, на двери приведен план эвакуации в случае пожара, и, на досягаемом расстоянии, находится пожарный щит.

Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах, расположенных в коридоре. В пунктах первичных средств огнетушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно, своевременно, организовать эвакуацию людей.



Рисунок 29 - План эвакуации второго этажа



Рисунок 30 - План эвакуации первого этажа

5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно [21] при размещении рабочих мест с ЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом.

Рабочие места с ЭВМ при выполнении работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 - 2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 - 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Снижению психофизических и нервно-эмоциональных нагрузок способствует правильная организация рабочего места [33].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения магистерской диссертации были решены все поставленные задачи.

В первой главе осуществлен поиск патентов на полезные модели НПН понижающего типа. На основе рассмотренных вариантов, выбрана структура преобразователя для дальнейшей работы. Также рассмотрен принцип работы преобразователя напряжения понижающего типа.

Во второй главе магистерской диссертации проведено математическое моделирование работы преобразователя. Имитационное моделирование выполнено в двух вариантах: с разомкнутой схемой преобразователя и замкнутой системой управления преобразователя напряжения. Выбрана СУ в виде ШИМ-контроллера.

Рассматривая полученные аналитические и практические результаты для разомкнутой модели преобразователя, можно сделать вывод, что для обеспечения необходимого выходного напряжения $U_{вых} = 100 \text{ В}$, требуется, чтобы скважность находилась в районе 0,505 (аналитический расчет). Так как в схеме при моделировании используются неидеальные элементы (диод и транзистор), значение скважности увеличилось до 0,75, что вполне ожидаемо.

Результаты для замкнутой СУ преобразователя показывают, что СУ подстраивает параметры схемы таким образом, что достигается необходимое напряжение $U_{вых} = 100 \text{ В}$.

В третьей главе проведен анализ работы стабилизатора напряжения при изменении напряжения питания и сопротивления нагрузки. Рассчитан коэффициент пульсаций по напряжению, построены характеристики по полученным данным.

Результаты показывают, что стабилизатор напряжения при изменении параметров элементов схемы работает корректно, то есть, коэффициент пульсаций составляет $\sim 0,6\%$, что не превышает заданное значение 5% и выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ держится в пределах 100 В .

Публикации

Статья «Модель стабилизатора напряжения для химических и биологических технологических процессов» опубликована в научно-практическом журнале «Аллея Науки».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обратимый понижающий преобразователь постоянного напряжения – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/254/2549194.html>
2. Однотактный преобразователь напряжения – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.freepm.ru/Models/103428>
3. Понижающий преобразователь с входом высокого напряжения – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://bankpatentov.ru/node/562993>
4. Преобразователь постоянного напряжения – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/225/2254662.html>
5. Е.В. Кондаков. Импульсные преобразователи и стабилизаторы напряжения: учебное пособие. – Ростов-на-Дону: изд-во ЮФУ, 2014. – 41с.
6. О.Г. Межаков. Математическая модель понижающего преобразователя напряжения // Молодой ученый. – 2015. - №5. – С.171 - 176.
7. А.В. Кобзев, Г.Я. Михальченко, А.И. Андриянов, С.Г. Михальченко. Нелинейная динамика полупроводниковых преобразователей: моногр. – Томск: из-во ТУСУР, 2007. – 224 с.
8. В.П. Петрович, Н.А. Воронина, А.В. Глазачев. Силовые преобразователи электрической энергии: учебное пособие. – Томск: из-во ТПУ, 2009. – 240 с.
9. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введен 01. 07. 2014.
10. В.С. Мишуров, В.Д. Семенов. Энергетическая электроника: учебно-методическое пособие. – Томск: изд-во ТУСУР, 2016. – 221 с.
11. SMD катушки индуктивности типоразмера 1210 серии SQ3225 – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.smd.ru/katalog/katushki/induktivnosti/SQ4532/>

12. BSC600N25NS3 Datasheet– [Электронный ресурс] – режим доступа: http://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BSC600N25NS3G_-DS-v02_04-en.pdf?fileId=db3a3043243b5f17012496ab13871948
13. RFN10BM3S Datasheet– [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.mouser.com/ds/2/348/fn10bm3s-1077161.pdf>
14. ПЛИС – [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%9B%D0%98%D0%A1>
15. Технология ПЛИС и ее применение для создания нейрочипов – [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.osp.ru/os/2000/10/178242/>
16. Е. А. Вейсов, Г. А. Скотников, М. В. Савицкая. Микропроцессорные системы : электрон.учеб. пособие. – Красноярск : ИПК СФУ, 2009. – [Электронный ресурс] – режим доступа: http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1626/u_manual.pdf
17. ШИМ – контроллер – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://viktorkorolev.ru/chto-takoe-shim-kontroller-i-kak-on-rabotaet/>
18. LM3485MM/NOPBDatasheet– [Электронный ресурс] – режим доступа:<https://lib.chipdip.ru/293/DOC000293988.pdf>
19. Видянев И.Г., Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учеб. – метод. пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 36 с.
20. Крепша Н.В., Свиридов Ю.В. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. – метод. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 145 с.
21. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
22. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

23. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

24. Федосова В.Д. расчет искусственного освещения: Методич. указания. – Томск: Изд – во ТПУ, 1991. – 23 с.

25. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

26. ГОСТ 12.1.012-90. Вибрационная безопасность.

27. ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.

28. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.

29. Правила электроустановок ПУЭ.

30. Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. / М.: Высшая школа, 1991. – 128с.

31. Как утилизировать бытовую технику и электронику – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.ecorb.ru/70>

32. ГОСТ 12.1.010 – 76. Основы противопожарной защиты предприятий.

33. Эргономика рабочего места пользователя ПЭВМ – [Электронный ресурс]-режим доступа: http://bgd.alpud.ru/private/glava4/V_4_A_gigienan.htm

Приложение 1

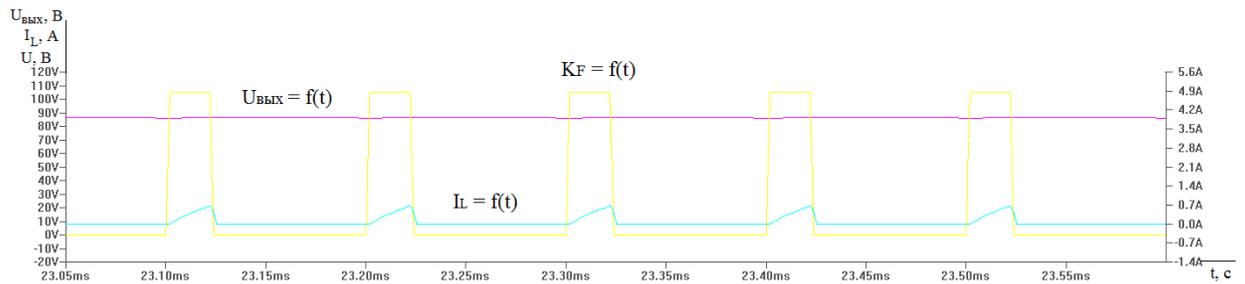


Рисунок 1 – Зависимость выходного напряжения, тока индуктивности, коммутационной функции от времени при $\gamma = 0,2$

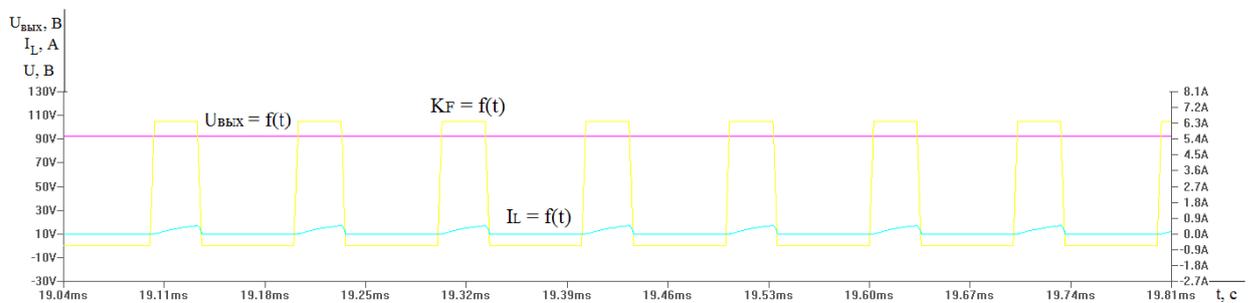


Рисунок 2 – Зависимость выходного напряжения, тока индуктивности, коммутационной функции от времени при $\gamma = 0,3$

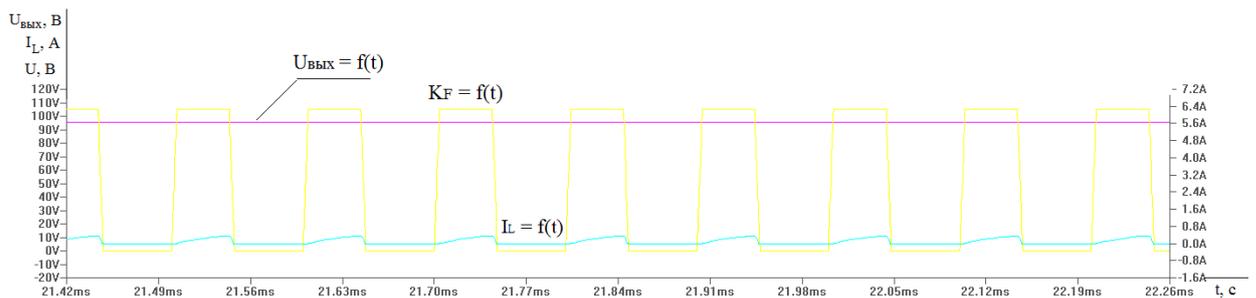


Рисунок 3 – Зависимость выходного напряжения, тока индуктивности, коммутационной функции от времени при $\gamma = 0,4$

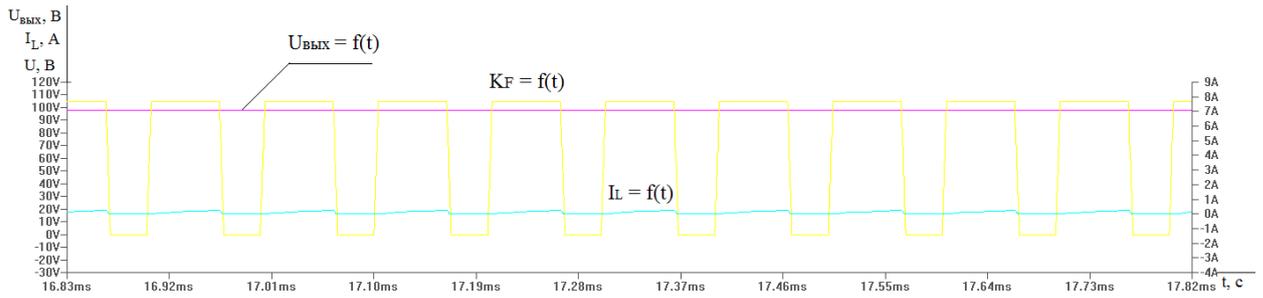


Рисунок 4 – Зависимость выходного напряжения, тока индуктивности, коммутационной функции от времени при $\gamma = 0,6$

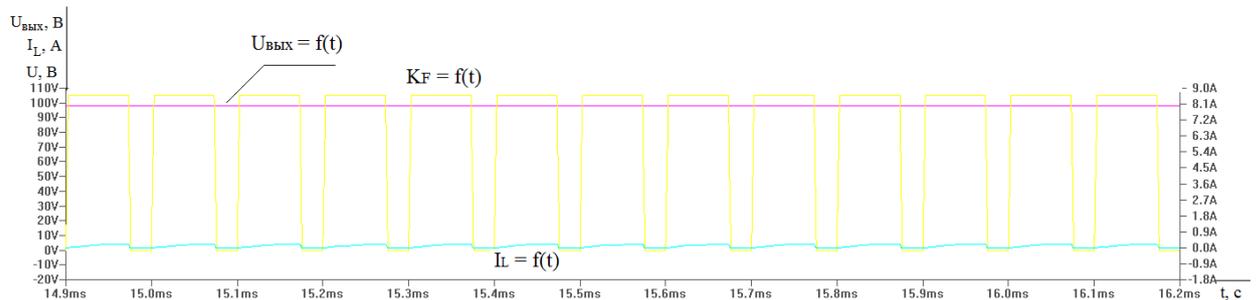


Рисунок 5 – Зависимость выходного напряжения, тока индуктивности, коммутационной функции от времени при $\gamma = 0,7$

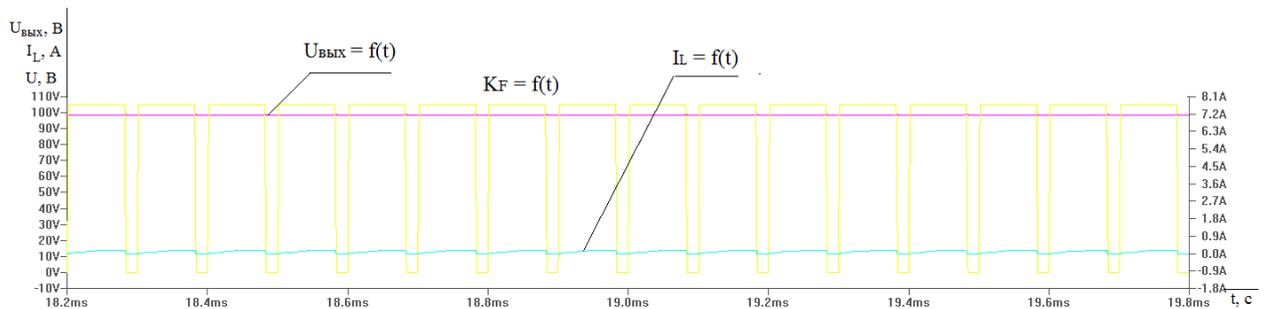


Рисунок 6 – Зависимость выходного напряжения, тока индуктивности, коммутационной функции от времени при $\gamma = 0,8$

Приложение 2

Таблица 1 - Диаграмма Ганта

| № | Вид работ | Исполнитель работ | Раб.дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | |
|----|---|----------------------|---------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|
| | | | | Февраль | | Март | | | Апрель | | | Май | | | Июнь | |
| | | | | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| 1 | Составление и утверждение технического задания | Научный руководитель | 2 | — | | | | | | | | | | | | |
| | | Инженер | 2 | — | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Инженер | 10 | | — | | | | | | | | | | | |
| 3 | Изучение патентной базы | Инженер | 14 | | | — | | | | | | | | | | |
| 4 | Информационный и литературный обзор преобразователя | Инженер | 15 | | | | — | | | | | | | | | |
| 5 | Математическая модель преобразователя | Инженер | 10 | | | | | | | — | | | | | | |
| 6 | Расчет параметров схемы НПП | Инженер | 6 | | | | | | | | — | | | | | |
| 7 | Имитационное моделирование НПП | Инженер | 12 | | | | | | | | | — | | | | |
| 8 | Формирование текущих результатов в статью | Инженер | 3 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Оценка эффективности полученных результатов | Инженер | 6 | | | | | | | | | | | | | |
| | | Научный руководитель | 6 | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Составление пояснительной записки | Инженер | 14 | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Проверка магистерской диссертации руководителем | Научный руководитель | 4 | | | | | | | | | | | | | |
| | | Инженер | 4 | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Исправление ошибок | Инженер | 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | Подготовка к защите магистерской диссертации | Инженер | 5 | | | | | | | | | | | | | |

Приложение 3

Teil 1

ANALYTISCHE MODELLIERUNG DER DC/DC – WANDLER

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|------------------------------|---------|------|
| 5ГМ5А | Тимофеева Дарья Владимировна | | |

Консультант кафедры ЭПЭО

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент | Образцов Константин Валентинович | | | |

Консультант - лингвист кафедры ИЯЭИ

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Костомаров Петр Иванович | к.ф.н. | | |

EINLEITUNG

In vielen chemischen und biologischen Prozessen (Inkubator, verschiedene chemische Reaktionen) ist es notwendig, eine stabile Temperatur zu halten. Jedoch hat die Netzqualität durch die GOST bestimmt signifikante Welligkeit, die Oszillationsspannung Leistungsheizungen verursachen. Folglich sind die Temperaturschwankungen. Daher Versorgung der Heizelemente ist es nicht direkt empfohlen. In solchen Fällen ist der Wechselrichter verwendetes, der die Spannung stabilisieren kann.

Ein Modell ist Wissenschaftsmaterielles oder ideelles Objekt, das stellvertretend für ein ihm ähnliches Original zum Gegenstand von Untersuchungen gemacht wird, die direkt am Original nicht möglich oder nicht zweckmäßig sind, deren Ergebnisse aber Rückschlüsse auf analoge Eigenschaften des Originals ermöglichen (DWDS-Wörterbuch).

Ein Gleichspannungswandler, auch DC-DC-Wandler genannt, englisch DC-DC Converter, bezeichnet eine elektrische Schaltung, die eine am Eingang zugeführte Gleichspannung in eine Gleichspannung mit höherem, niedrigerem oder invertiertem Spannungsniveau umwandelt. Die Umsetzung erfolgt mithilfe eines periodisch arbeitenden elektronischen Schalters und eines oder mehrerer Energiespeicher.

Eine Methode ist ein mehr oder weniger planmäßiges Verfahren zur Erreichung eines Zieles. Methoden finden sich in der Alltagspraxis genauso wie in Wissenschaft, Philosophie und Kunst. Im engeren Sinne wird unter einer Methode ein Erkenntnisweg verstanden.

Aufbau und Funktion

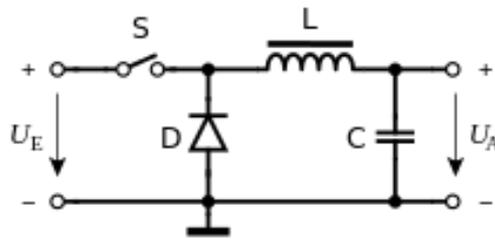


Abb.1: Schaltungsschema eines Abwärtswandlers

Der Schalter S (meist ein Transistor) wird von einer im Bild nicht dargestellten Steuerung regelmäßig ein- und ausgeschaltet; üblicherweise werden einige hundert bis mehrere Millionen Schaltzyklen je Sekunde durchgeführt. Dadurch wird elektrische Energie von der links angeschlossenen Spannungsquelle zur rechts angeschlossenen Last transferiert. Die beiden Energiespeicher Spule und Kondensator ermöglichen die Versorgung der Last in den Phasen, in denen der Schalter geöffnet ist. Die Induktivität der Spule L hält die höhere Eingangsspannung von der Last fern. Die Ausgangsgröße kann durch Steuerung der Ein- und Ausschaltzeiten des Schalters S eingestellt werden. Diese Steuerung erfolgt üblicherweise durch einen Regler, um Ausgangsspannung oder -strom auf einem gewünschten Wert zu halten.

Während der Einschaltzeit T_e fließt der Laststrom durch die Spule L und durch den Verbraucher; die Diode D sperrt. Während der Ausschaltphase T_a wird die in der Spule gespeicherte Energie abgebaut: Der Strom durch den Verbraucher fließt weiter, nun jedoch durch die Diode D und aus dem Kondensator C .

1. Modellierungsmethoden

1.1. Erstellung von Modellen für die Komponentenebene

1.2. Erstellung von Modellen für die Systemebene

2. Verluste
 - 2.1. Verluste der MOSFETs
 - 2.2. Verluste der Dioden
 - 2.3. Verluste im Kernmaterial
 - 2.4. Beziehung zwischen Baugröße und Verlusten
 - 2.5. Verlustleistungsmodellierung in der Schaltungsebene
 - 2.6. Verhaltensmodell der Verlustleistung in Abhängigkeit der Totzeit
3. Entwurfsprozess
 - 3.1. Entwicklung in der Schaltungsebene
 - 3.2. Entwicklung in der Komponentenebene
 - 3.3. Entwicklung in der Systemebene

Modellierungsmethoden

In der Reglerauslegung wurde der DC/DC-Wandler als zeitinvariantes DGL-System betrachtet. Durch den taktenden Betrieb liegt jedoch ein zeitvariantes DGL-System zu Grunde. Die Modellierung erfolgt hier über gemittelte Modelle, d.h. ohne explizite Analyse der Schaltvorgänge. Die Gültigkeit der Modelle wird anhand experimenteller Untersuchungen bestätigt.

Das prinzipielle Vorgehen zur Modellierung für unterschiedliche Abstraktionsebenen nach Abbildung wird nun auch zur Erstellung des Simulationsmodells für die Systemebene angewendet. Die Wandlerdynamik wird dabei nicht modelliert und somit ein quasi-stationäres Modell generiert, das sich zur Simulation der Betriebsstrategie eignet. Die Genauigkeit des stationären Übertragungsverhaltens wird durch Integration eines Wirkungsgradmodells erzielt, das aus den Verlusten der Schaltungsebene bzw. aus Messungen abgeleitet wird.

Verluste

Verluste der MOSFETs

Bei weich schaltenden Wandlern fallen die Schaltverluste im Vergleich gering aus und die Leitverluste stellen einen wesentlichen Beitrag der Gesamtverluste dar, auf deren analytische Modellierung besonderes Augenmerk gelegt werden sollte. Dennoch müssen daher auch die von der Schaltfrequenz abhängigen Verluste $P_{S,sw}$ mit ausreichender Genauigkeit modelliert werden, um eine gute Vorhersage der Effizienz des Wandlers treffen zu können. Wesentliche Beiträge zu den frequenzabhängigen Verlusten stellen die Ansteuerungsverluste der MOSFETs dar und kapazitive Verluste durch die parasitäre Ausgangskapazität C_{oss} .

Verluste der Dioden

Die Leitverluste der inversen Dioden der Schalter vermieden durch Synchrongleichrichtung. Allerdings wird der Resonanzstrom der Entlastungsnetzwerke der ARCP-, SAZZ-, SRDCL- und ZCT-QZVT-Konverter über zusätzlichen Dioden geführt. Die in diesen Dioden entstehenden Verluste lassen sich vereinfacht bestimmen, indem die Diodenkennlinie (Vorwärtsspannungsabfall u_F als Funktion des Diodenstroms i_D) durch eine Knickkennlinie approximiert wird

$$u_F(t) = U_{F,D} + r_D i_D(t) = U_{F,D} + \frac{r_D^*}{A_{Si}} i_D(t)$$

wobei r_D^* den auf die Chipfläche bezogenen spezifischen Kleinsignalwiderstand bezeichnet. In diesem Fall berechnen sich die Leitverluste der Diode zu.

$$P_{D,cond} = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} u_F(t) i_D(t) dt = U_{F,D} I_{D,avg} + \frac{r_D^*}{A_{Si}} I_{D,rms}^2$$

Verluste im Kernmaterial

Auf atomarer Ebene führt der Bahndrehimpuls und der Spin der Elektronen zu einem magnetischen Dipolmoment. Im Falle eines Festkörpers kann das Dipolmoment in unterschiedlicher Weise in Wechselwirkung mit der Umwelt treten. Die Art der Wechselwirkung ist dabei unter anderem abhängig von der Elektronenkonfiguration der Atome. Bei nicht abgeschlossenen Schalen ist die Summe der Bahndrehimpulse und der Spinquantenzahlen ungleich Null und die einzelnen Atome verhalten sich als magnetische Dipole. Zwar ist wegen der zufälligen Orientierung dieser Dipole im Material nach außen hin keine Gesamtwirkung feststellbar, jedoch können sich die Dipole in einem äußeren Magnetfeld ausrichten, wodurch sich das Magnetfeld im Material verstärkt. Derartige Materialien werden als paramagnetisch bezeichnet und weisen wegen der Feldverstärkung eine Permeabilitätszahl $\mu_r > 1$ auf.

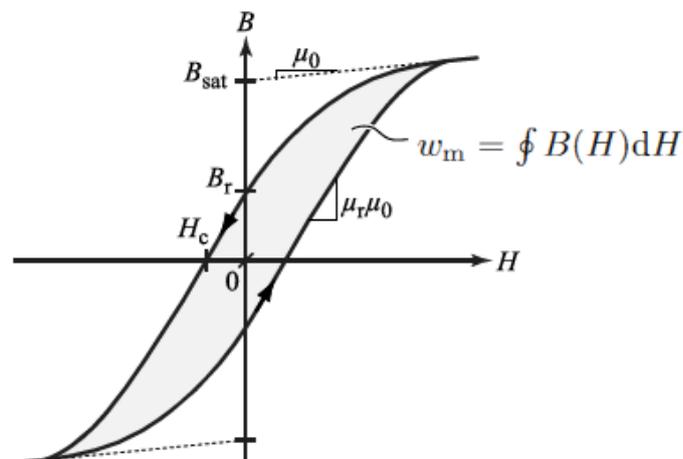


Abb. 2: Magnetisierungskurve eines ferromagnetischen Materials

Im Gegensatz zu paramagnetischen Materialien kompensieren sich die Bahn- und Spinnmomente von diamagnetischen Stoffen. Nach außen hin ist ohne externes Magnetfeld wie beim Paramagnetismus zunächst keine Gesamtwirkung feststellbar. Ein äußeres (statisches oder dynamisches) Feld jedoch bewirkt eine

Präzessionsbewegung der einzelnen atomaren Bahnmomente um das angelegte Feld. Die durch die Präzessionsbewegung induzierten Kreisströme führen ihrerseits zu einem magnetischem Moment, das dem äußeren Feld entgegengesetzt ist (Lenz'sche Regel) und dieses im Material schwächt; es gilt $\mu_r < 1$.

Wie eingangs erwähnt, sind beim Aufbau magnetischer Komponenten Materialien mit hoher Permeabilitätszahl $\mu_r \gg 1$ von besonderer Bedeutung. Eine dritte Klasse an Materialien, die ferromagnetischen und ferrimagnetischen Stoffe, weisen diese Eigenschaft auf. Bei ferromagnetischen Stoffen bilden sich beim Abkühlen unter die Curie-Temperatur Bereiche mit gleicher Orientierung der magnetischen Momente (Weiß'sche Bezirke). Mit steigender Feldstärke eines äußeren Feldes richten sich die Dipole eines Bezirks nach und nach aus, bis schließlich ein spontanes Umklappen stattfindet und die Dipole des Bezirks eine neue Vorzugsrichtung der Magnetisierung annehmen. Dieser irreversible Vorgang führt zu einer Magnetisierungskurve in Form einer Hystereseschleife, wie in Abb. 2 dargestellt.

Die bei einem vollständigen Durchlaufen der Hystereseschleife aufgespannte Fläche entspricht der Energieverlustdichte w_m , die ursächlich ist für die spezifischen (volumenbezogenen) Verluste P_c^* im Kernmaterial. Ferromagnetische Materialien, die sich unter geringen Verlusten ummagnetisieren lassen, werden als weichmagnetische Werkstoffe bezeichnet und sind von besonderer technischer Bedeutung. Neben den Verlusten, die durch Neuausrichtung der Weiß'schen Bezirke entstehen, stellen die Wirbelstromverluste einen weiteren wichtigen Beitrag dar. Einer durch das äußere Magnetfeld verursachten Flussänderung im Kern wird gemäß der Lenz'schen Regel durch Kreisströme entgegengewirkt, die auf Grund der elektrischen Leitfähigkeit des Kernmaterials zu ohmschen Verlusten führen. Da die Kreisströme ihrerseits eine Feldschwächung im Kern bewirken, ist ihr Einfluss ebenfalls in der Hystereseschleife feststellbar. Den Wirbelstromverlusten kann durch Kernmaterialien geringer elektrischer Leitfähigkeit, z.B. Ferrite, oder

durch Laminierungendünnen Folien entgegengewirkt werden, die bei amorphen oder nanokristallinen Materialien Anwendung finden.

Mit steigendem Spitzenwert $B_{c,pk} < B_{sat}$ sat der magnetischen Flussdichte im Kern nimmt die von der Hystereseschleife aufgespannte Fläche zu und damit die Kernverluste. Weiterhin sind die Kernverluste proportional zur Frequenz - also der Anzahl der Hystereseschleifen durchläufe pro Sekunde. Zudem machen sich die Wirbelstromverluste bei höheren Betriebsfrequenzen wegen des Skin-Effekts stärker bemerkbar und führen zu einer zusätzlichen Aufweitung der Hystereseschleife. Die Wirbelstromverluste sind in 1. Linie proportional zu f^2 . Diese Zusammenhänge lassen sich für einen rein sinusförmigen Verlauf der Flussdichte B mit Hilfe der Steinmetz-Gleichung

$$P_c^* = kf^\alpha B_{c,pk}^\beta = P_{ref}^* \left(\frac{f}{f_{ref}}\right)^\alpha \left(\frac{B_{c,pk}}{B_{c,ref}}\right)^\beta$$

analytisch beschreiben, wobei die Steinmetz-Parameter k, α und β Materialkonstanten darstellen. Im allgemeinen Fall weisen die Steinmetz-Parameter eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Abhängigkeit von f und/oder B_c auf, so dass eine Bestimmung dieser Parameter in der Nähe eines Referenz-Betriebspunkts f_{ref} , $B_{c,ref}$ sinnvoll ist.

Beziehung zwischen Baugröße und Verlusten

In den voranstehenden Abschnitten wurden die Verluste einer Induktivität als Funktion der Geometrie hergeleitet. Die für die Berechnung der Verluste wichtigsten geometrischen Größen sind die Fläche des Wicklungsfensters A_w , die mittlere Windungslänge l_{wdg} und das Kernvolumen V_c . Diese lassen sich für einen Kern mit bekannten Abmessungen a bis f einfach bestimmen bzw. abschätzen. Für eine Anordnung mit N_c an einander gereihten EE-Kernen erhält man

$$\begin{aligned}
A_c &= fcN_c \\
A_w &= e(d - f) \\
V_c &= 2cN_c(ab - e(d - f)) \\
V_w &\approx 2ecN_c(d - f) + 2ed(d - f) \\
V_L &\approx 2abcN_c + 2ed(d - f) \\
l_{wdg} &\approx 2(f + \frac{1}{2}(d - f)) + 2(cN_c + \frac{1}{2}(d - f))
\end{aligned} \tag{1}$$

und für eine Anordnung mit N c EILP-Kernen

$$\begin{aligned}
A_c &= fcN_c \\
A_w &= \frac{1}{2}e(d - f) \\
V_c &= cN_c(ab - e(d - f) + a(b - e)) \\
V_w &\approx ecN_c(d - f) + ed(d - f) \\
V_L &\approx acN_c(b + (b - e)) + ed(d - f) \\
l_{wdg} &\approx 2(f + \frac{1}{2}(d - f)) + 2(cN_c + \frac{1}{2}(d - f))
\end{aligned} \tag{2}$$

In (1) und (2) wurde zur Vereinfachung ein vollständig gefülltes Wicklungsfenster und ein quaderförmiger Wicklungskopf angenommen und eine Vergrößerung des Wicklungsfensters durch einen im Mittel- und Außenschenkel befindlichen Luftspalt vernachlässigt. Die Abmessungen von zwei im Folgenden als Referenz genutzten Kernen finden sich in Tab 1.

Für die Berechnung des Gesamtvolumens und der Gesamtverluste eines Wandlers ist die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen den Verlusten P_L und der Baugröße V_L der Spule von entscheidender Bedeutung. Aus der Berechnung der Verluste wird offensichtlich, dass sich die Verluste durch ein höheres Bauvolumen V_L reduzieren lassen. Beim Design der Spule muss daher ein Kompromiss zwischen deren Volumen (bzw. deren Gewicht) und den Verlusten getroffen werden. Andererseits bietet dieser Freiheitsgrad Potential für eine Optimierung des Gesamtsystems.

Zur Herleitung des prinzipiellen Zusammenhangs $P_L(V_L)$ bietet es sich an, ein Referenz-Design in seiner Baugröße zu skalieren und die Verluste für die skalierte Geometrie zu bestimmen. Wie in Abschnitt 2.3 dargestellt wurde, stellt eine Aneinanderreihung von $N_c = 2$ EE-Kernen (z.B. E65/32/27) wegen der niedrigen Verluste eine gute Wahl dar und dient deswegen als Referenz. Bei gleichmäßiger Skalierung in allen drei Dimensionen bleiben die günstigen Geometrieverhältnisse erhalten. In diesem Fall lassen sich die charakteristischen Abmessungen der Spule einfach als Funktion des Gesamtvolumens V_L angeben. Bei Variation von V_L skalieren Längenmaße mit $V_L^{1/3}$ und Flächenmaße mit $V_L^{2/3}$, z.B. besteht der Zusammenhang $a = s_a V_L^{1/3}$. Die Konstante s_a lässt sich mit dem gemäß (4.120) bestimmten Volumen V_L des Referenz-Designs berechnen zu $s_a = a / V_L^{1/3} = 0.992$. Die vollständigen Zusammenhänge zwischen dem Volumen und den Abmessungen und Kenngrößen des skalierten Referenz-Designs finden sich in Tab. 2. Als alternative Referenz mit geringerer Bauhöhe dient ein Design mit $N_c = 3$ EILP43-Kernen und den in Tab. 3 aufgeführten Kenngrößen.

Tab. 1: Abmessungen der Referenzkerne

| Kern | a | b | c | d | e | f |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| E65/32/27 | 65.0 | 32.8 | 27.4 | 44.2 | 22.2 | 20.0 |
| ELP43/10/28 | 43.2 | 9.5 | 27.9 | 35.4 | 5.4 | 8.1 |

Tab. 2: Abmessungen und Kenngrößen als Funktion des Volumens, Referenz: EE65-Kern mit $N_c = 2$.

| Abmessung | Kenngröße |
|-----------------------|------------------------------------|
| $a = 0.992 V_L^{1/3}$ | $l_{\text{wdg}} = 3.022 V_L^{1/3}$ |
| $b = 0.501 V_L^{1/3}$ | $A_c = 0.255 V_L^{2/3}$ |
| $c = 0.418 V_L^{1/3}$ | $A_w = 0.125 V_L^{2/3}$ |
| $d = 0.675 V_L^{1/3}$ | $V_c = 0.559 V_L$ |
| $e = 0.339 V_L^{1/3}$ | $V_{\text{wdg}} = 0.378 V_L$ |
| $f = 0.305 V_L^{1/3}$ | |

Tab. 3: Abmessungen und Kenngrößen als Funktion des Volumens, Referenz: EILP43-Kern mit $N_c = 3$.

| Abmessung | Kenngröße |
|-----------------------|------------------------------------|
| $a = 1.140 V_L^{1/3}$ | $l_{\text{wdg}} = 6.287 V_L^{1/3}$ |
| $b = 0.251 V_L^{1/3}$ | $A_c = 0.472 V_L^{2/3}$ |
| $c = 0.736 V_L^{1/3}$ | $A_w = 0.051 V_L^{2/3}$ |
| $d = 0.934 V_L^{1/3}$ | $V_c = 0.634 V_L$ |
| $e = 0.143 V_L^{1/3}$ | $V_{\text{wdg}} = 0.323 V_L$ |
| $f = 0.214 V_L^{1/3}$ | |

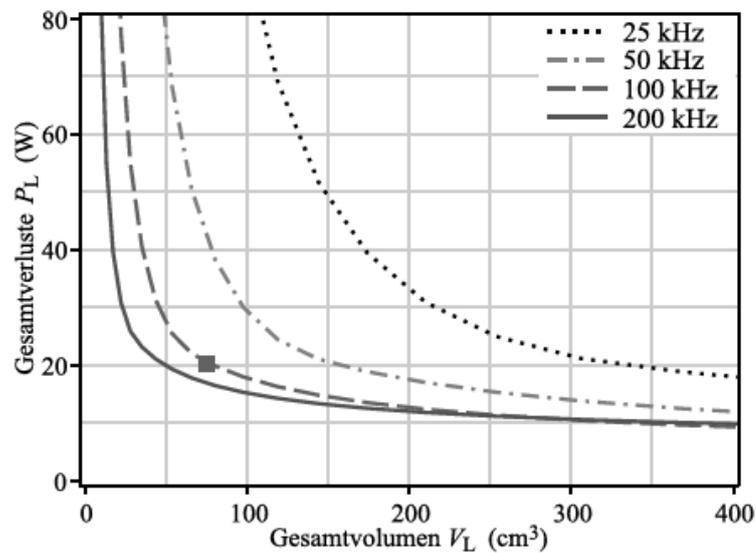


Abb. 3: Verluste einer für einen 12kW CF-ZVS-M-Konvertergeeigneten Spule im ungünstigsten Arbeitspunkt ($U_1 = 450 \text{ V}$, $U_2 = 225 \text{ V}$, $I_2 = I_{2,\text{max}}$) als Funktion der Baugröße, dargestellt für unterschiedliche Schaltfrequenzen f_{sw} , Referenz-Design EILP-Kern.

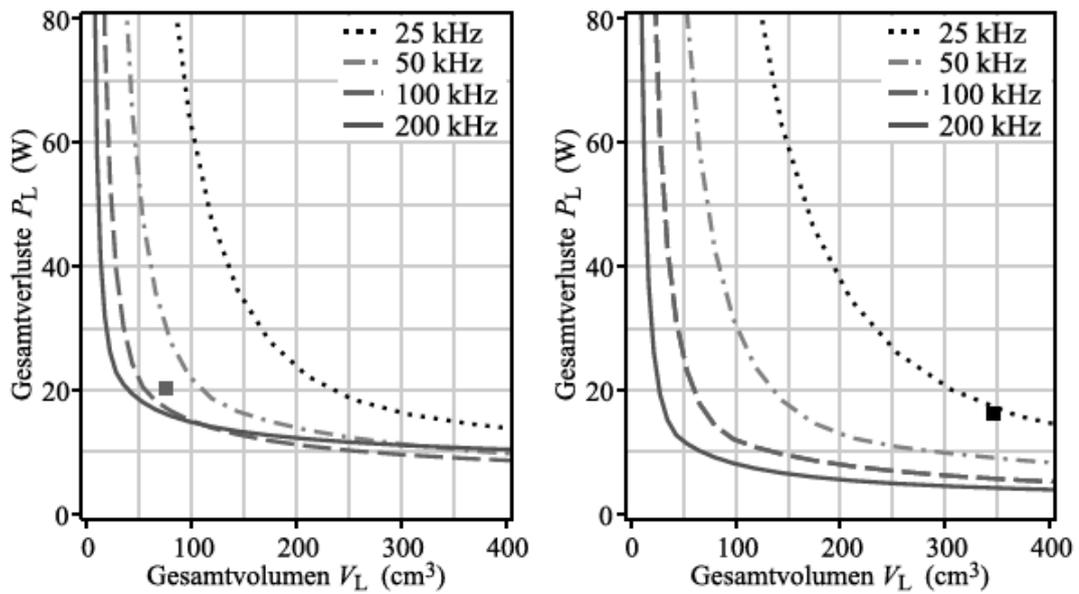


Abb. 4: Verluste der Spule L eines 12kW CF-ZVS-M-Konverters (links) und des kaskadierten Tiefsetz-Hochsetzstellers mit $r_L = 50\%$ (rechts) im ungünstigsten Arbeitspunkt ($U_1 = 450 \text{ V}$, $U_2 = 225 \text{ V}$, $I_2 = I_{2,\max}$), Referenz-Design EE-Kern.

Verlustleistungsmodellierung in der Schaltungsebene

Verlustleistungen in einem schaltenden Wandler werden durch unterschiedliche Effekte verursacht. Diese können im Wesentlichen in:

- Leitverluste (P_{VR}),
- Schaltverluste (P_{VS}) und
- Verluste durch parasitäre reaktive Elemente (P_{VP})

eingeteilt und separat betrachtet werden. Die Gesamtverlustleistung ergibt sich dann aus der Summe dieser Verluste:

$$P_V = \sum P_{VR} + \sum P_{VS} + \sum P_{VP}$$

Entwicklung in der Schaltungsebene

Für die Wahl der Topologie und Auslegung des Leistungsteils wird ein Vorgehen analog zu angewendet. In Abbildung 5 kann man das sehen.

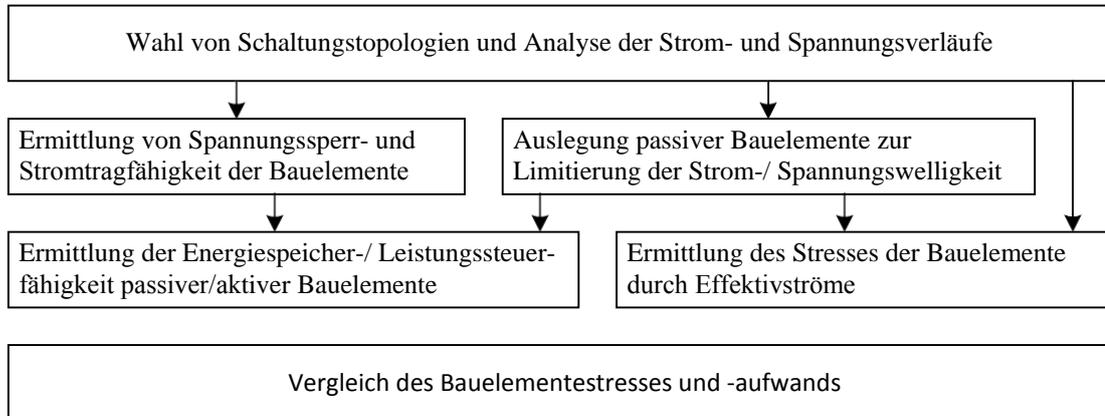


Abb. 5: Vorgehen zur Auslegung und Vergleich von Schaltungstopologien.

Nach dem Entwurfsprozess wird das dynamische Verhalten des Wandlers (d.h. der Regelstrecke) durch Dimensionierung passiver und aktiver Bauelemente festgelegt. Das Vorgehen zur Auslegung und Vergleich von Topologien wird deshalb im Folgenden im Hinblick auf regelungstechnische Aspekte diskutiert.

Entwicklung in der Komponentenebene

In typische Spannungsregleranwendungen ist die Auslegung des Leistungsteils abhängig von der Qualität der Regelung. Je schneller die Regelung transiente Störungen (Spannungsschwankungen) ausgleichen kann, desto geringer ist die Energiemenge, die der Bus-Kondensator abgeben bzw. aufnehmen muss. Deshalb zielen konventionelle DC/DC-Wandlerregelungen auf ein maximal schnelles Einschwingen mit entsprechend hohen Schaltfrequenzen (im MHz Bereich) ab. Die notwendige Energiespeicherfähigkeit des Bus-Kondensators am Ausgang wird dadurch minimiert, wodurch kleinere und günstigere Kondensatoren eingesetzt werden können.

In der betrachteten Anwendung im Mehrspannungsbordnetz wird der transiente Leistungsbedarf der Verbraucher in beiden Teilbordnetzen durch die Energiespeicher gedeckt. Die Regelung muss hier die Anforderungen an die Entkopplung transienter Leistungsbedarfe sowie der Steuerbarkeit mit limitierten Stromgradienten erfüllen (siehe Tabelle 2.2). Eine schnellere Regelung, wie sie für diese Anforderungen notwendig wäre, bietet keine Vorteile bei der Schaltungsauslegung des Leistungsteils und führt zu unnötigen Aufwänden für die Auslegung und Implementierung der Wandlerregelung.

Die Reglerauslegung hat deshalb folgendes Ziel:

Die gestellten Anforderungen an das Einschwingverhalten und Stabilität sollen unter Anwendung minimaler Reglerbandbreite (Aufwand) erfüllt werden.

Das Vorgehen zur Entwicklung der Regelung ist in Abbildung 6 gezeigt. Zuerst wird durch Festlegung der Regelgrößen die Regelstrecke definiert. Das Verhalten der unregelmäßigen Strecke kann dann analysiert und ein Regelungskonzept, bestehend aus Linearisierungen, Sensorik und Regler, abgeleitet werden. Das Verhalten der Regelstrecke wird stark durch nichtideale Eigenschaften, wie z.B. Schaltverluste beeinflusst. Bei numerischen Analysen von Simulationsmodellen sind damit in den Ergebnissen sowohl die Einflüsse der Schaltungsauslegung (L,C,R) als auch der parasitären Eigenschaften enthalten, wobei k aus allen Zusammenhängen aufgrund der meist hohen Modellkomplexität nicht eindeutig hervorgehen. Um die Auswirkung der Schaltungsauslegung auf das Regelstreckenverhalten analysieren zu können wird deshalb zusätzlich ein starkvereinfachtes Modell verwendet, das bei geringer Komplexität analytisch untersucht werden kann. Die Regelschleife wird anschließend in mehreren Iterationsschritten ausgelegt.

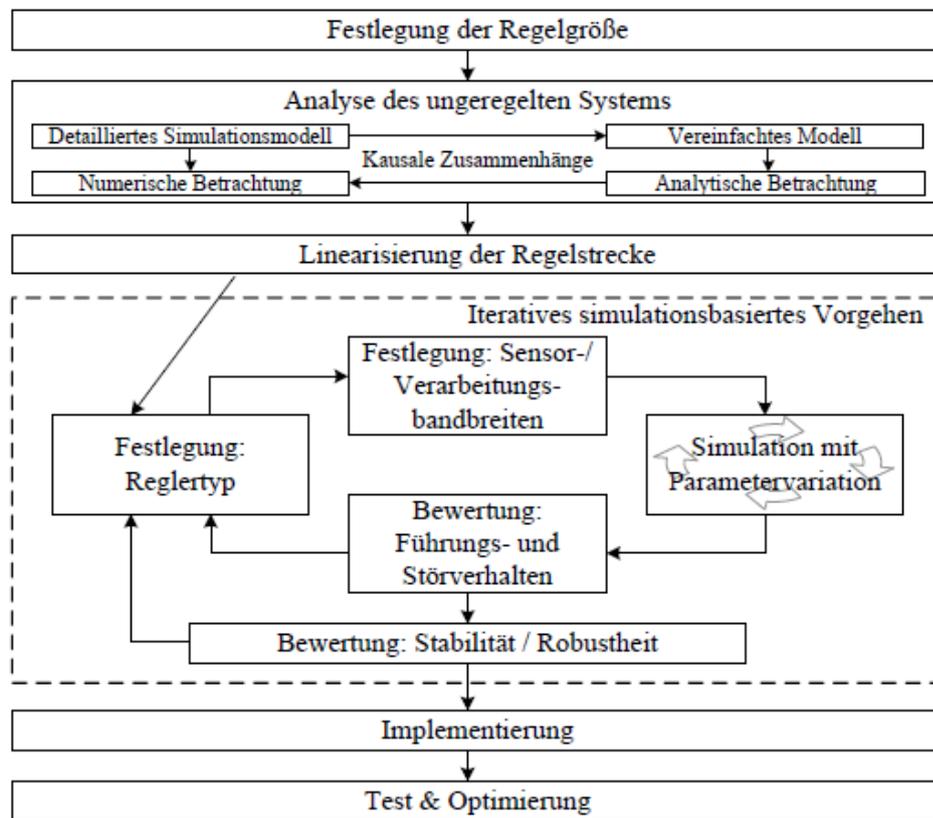


Abb. 6: Vorgehen zur Entwicklung der Wandlerregelung

Abbildung 7a zeigt das Ersatzschaltbild des Wandlers und der Bordnetze. Der in der Schaltungsebene ausgelegte Zweiphasenwandler ist verhaltensmäßig als Einphasenwandler unter Annahme idealer Stromaufteilung und Vernachlässigung der phasenversetzten Ansteuerung dargestellt. Der Induktivitäts- und Widerstandswert der Drossel ist aufgrund der Parallelschaltung halbiert. Bei den Bus-Kondensatoren wurden die Dimensionierungswerte des Einphasenwandlers verwendet, weil EMV-Filter zusätzliche Kapazitäten einbringen und auch häufig höhere Kapazitätswerte implementiert werden müssen um die zulässige Strombelastbarkeit realer Kondensatoren nicht zu überschreiten. Die Bordnetzanbindungen über den Kabelbaum und Stecker ist als ohmscher Widerstand berücksichtigt. Die Batterie ist als Spannungsquelle mit Serienwiderstand und der Doppelschichtkondensator als Kondensator mit Ersatzreihenwiderstand modelliert.

In dem vereinfachten Modell nach Abbildung 6b sind die Eigenschaften

der Bus- Kondensatoren (EMV-Filter), des Kabelbaums und der Energiespeicher für jedes Teilbordnetz mit einer Impedanz vereinfacht.

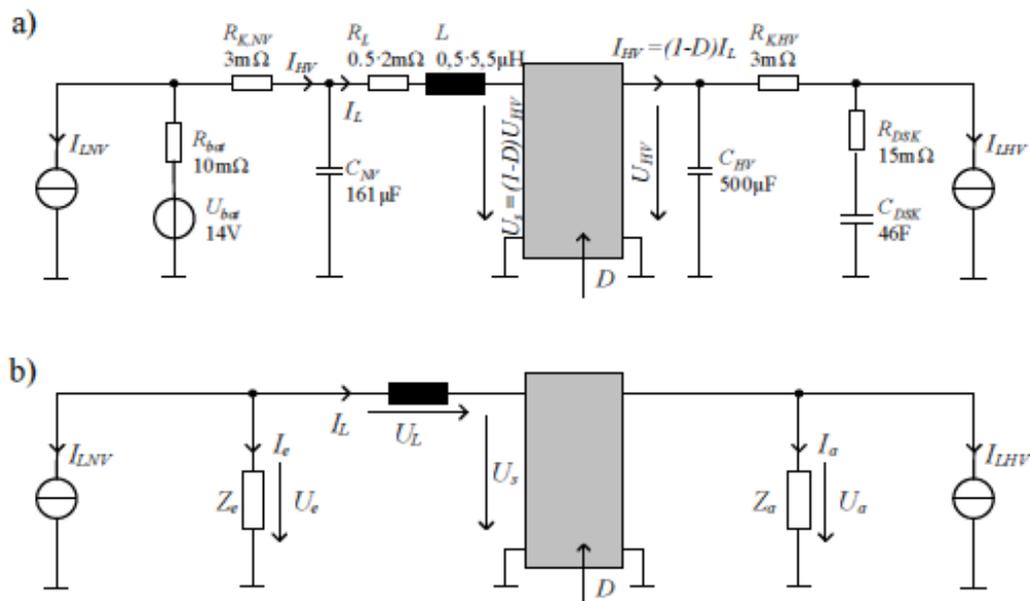


Abb. 7: Ersatzschaltbild zur numerischen Analyse des Regelstreckenverhaltens (a) und das vereinfachte Modell zur analytischen Betrachtung der Zusammenhänge der Schaltungsauslegung und des Regelstreckenverhaltens (b). Der Zustandsgrößen und somit die Modellordnung signifikant reduziert und lässt sich dadurch bei geringer Komplexität analytisch untersuchen.

Entwicklung in der Systemebene

Die Regelung in der Systemebene ist eine der Komponentenebene überlagerte Regelung und wird im Folgenden als Betriebsstrategie bezeichnet. Als Stellgröße für die Betriebsstrategie dient der Sollwert der Eingangsstromregelung (Regelgröße der Komponentenebene). Als Regelgröße kann der Energiespeicherzustand des Doppelschichtkondensators oder eine dazu korrelierte Größe, z.B. die DSK-Spannung, festgelegt werden. Dieser Zustand darf sich innerhalb gewisser Grenzen verändern, was einen Freiheitsgrad für die

Betriebsstrategie zur Verfügung stellt.

Im Folgenden wird die Steuerübertragungsfunktion der Systemebene analysiert, um daraus Aufgaben für die Betriebsstrategie ableiten zu können.

SCHLUSS

Im Ergebnis der Ausführung der Dissertation wurden alle gestellten Aufgaben gelöst.

Im ersten Kapitel wurden Patente auf Gebrauchsmuster Spannungswandler herabsetzenden Art analysiert. Auf der Grundlage der betrachteten Varianten, wird die Struktur des Messumformers für die weitere Arbeit. Auch wurde das Arbeitsprinzip des Wandlers der Spannung der herabsetzenden Art erforscht.

Im zweiten Kapitel der Dissertation wurde eine mathematische Simulation des Wandlers berechnet. Simulation wurde in zwei Varianten durchgeführt: mit Open-Loop-Regelung des Frequenzumrichters und geschlossene Steuerung des Spannungswandlers. Ausgewählt wurde Steuerungssystem in Form von PWM-Controller. Gewonnene analytische und praktische Ergebnisse für Open-Loop-Modell des Umrichters können gefolgert werden, weil für sie die notwendige Ausgangsspannung erforderlich ist, um das Tastverhältnis im Gebiet 0,505 (analytische Berechnung) zu halten. Bei der Modellierung werden die unvollständigen Elemente (Diode und Transistor), Tastverhältnis zu erwarten. Ergebnisse für closed-Circuit-Steuerung des Umrichters zeigen, dass Steuerung -System für die Einstellungen des Schemas gebraucht werden kann, so dass die erforderliche Spannung erreicht wird, wenn das Tastverhältnis von 0,2 ist.

Im Dritten Kapitel analysiert man die Arbeit des Spannungsreglers bei Änderung von Versorgungsspannung und Lastwiderstand. Die Koeffizienten von

Ripple wurden berechnet und Eigenschaften für die erhaltenen Daten analysiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Stabilisator bei der Einstellungen für Elemente im Schema korrekt arbeitet, d. h. der Koeffizient der Welligkeit ist nicht größer als der eingestellte Wert von 5% und Ausgangsspannung hält sich im Umkreis von 100 V.

QUELLENVERZEICHNISS

1. Reiter, Th. M.Reglerentwicklung und Optimierungsmethoden fürDC/DC-Wandler im Kraftfahrzeug. 2012, S. 148.
2. Seinsch, H. O.Hochkompakterbidirektionaler DC-DC-WandlerfürHybridfahrzeuge. 2013, S. 379.
3. Gleichspannungswandler – [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gleichspannungswandler> (дата обращения 02.05.2017).
4. Abwärtswandler – [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://de.wikipedia.org/wiki/Abw%C3%A4rtswandler> (дата обращения 12.05.2017).
5. Das Wortauskunftssystem zur deutschen Sprache in Geschichte und Gegenwart – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.dwds.de/?view=1&qu=Modell> (дата обращения 25.04.2017).
6. Das Wortauskunftssystem zur deutschen Sprache in Geschichte und Gegenwart – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.dwds.de/?view=1&qu=Methode> (дата обращения 27.04.2017).
7. Methode (Mess- und Prüftechnik) – Erstellen– [Электронный ресурс] – режим доступа: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Methode_\(Mess_und_Pr%C3%BCftechnik\)&action=edit&redlink=1](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Methode_(Mess_und_Pr%C3%BCftechnik)&action=edit&redlink=1) (дата обращения 20.05.2017).