

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»
(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Интеллектуальные энергетические системы
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Система заряда емкостного накопителя

Обучающийся Н.С. Дьяченко
(Инициалы Фамилия) (личная подпись)

Руководитель к.т.н., доцент, А. В. Прядилов
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант к.п.н., доцент, С.А. Гудкова
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Объем 54 с., 19 рис., 7 табл., 39 источников

Система заряда емкостного накопителя, преобразователь постоянного напряжения.

Объектом исследования является система заряда емкостного накопителя.

Цель работы: разработка системы заряда емкостного накопителя.

Задачи работы:

1. Обзор состояния вопроса
2. Выбор схемы зарядного устройства
3. Расчет схемы заряда емкостного накопителя
4. Расчет системы управления и стабилизации напряжения
5. Выбор элементов схем
6. Разводка печатной платы

Данные задачи решены в 4 главах работы.

Степень внедрения: теоретически рассчитаны параметры системы, разработаны схемы и выбраны элементы, разведена печатная плата.

Данная работа посвящена проектированию схемы зарядного устройства емкостного накопителя, позволяющего осуществлять заряд от сети переменного тока или от аккумуляторной батареи. Необходимо было спроектировать силовую часть и систему управления зарядом емкостного накопителя. Проанализированы различные виды существующих схем заряда, выбрана оптимальная для заданных параметров. Произведены расчеты для выбора элементов для неуправляемого выпрямителя и импульсного преобразователя постоянного напряжения. Спроектирована печатная плата.

Разработанная система может быть применена для зарядки емкостных накопителей импульсных электромагнитных сейсмоисточников и для других применений.

Abstract

The title of the bachelor's thesis is «Capacitive storage charging system».

The bachelor's thesis consists of an introduction, 4 parts, a conclusion, 19 picture, 7 tables, list of references including 7 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The object of research is capacitive storage charging system.

The aim of the bachelor's thesis is to develop of a capacitive storage charging system.

We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions. We then analyze the literature concerning our problem.

We give a review of possible solutions and choose the most suitable ones, develop an electrical circuit diagram, carry out theoretical calculations and select elements.

The key issue of the bachelor's thesis is the ability to operate the system from AC power and battery

In conclusion we'd like to stress that theoretically calculated system parameters, developed a scheme, selected elements. A printed circuit board is developed

This work is of interest to readers involved in electronics.

The field of application of the developed system is charging systems for capacitive storage of pulsed electromagnetic seismic sources and for other applications.

Nevertheless, more experimental data are required.

Содержание

Введение.....	5
1 Состояние вопроса	6
1.1 Обзор схем систем заряда.....	6
1.2 Основные звенья системы заряда накопительных конденсаторов	8
1.3 Системы заряда накопительного конденсатора	10
1.4. Системы колебательного заряда накопительного конденсатора..	11
1.5. Системы многоимпульсного заряда накопительного конденсатора.....	17
2 Выбор схемы зарядного устройства.....	22
3 Расчет схемы заряда накопительного конденсатора	28
3.1 Расчет основных параметров.....	28
3.2.Выбор элементов схемы	32
3.3. Расчет импульсного преобразователя постоянного напряжения	35
4. Расчет системы управления и стабилизации напряжения на нагрузке	41
4.1. Принцип работы системы управления и стабилизации напряжения на нагрузке.....	41
4.2. Расчет схемы управления и стабилизации.....	41
4.3 Разработка печатной платы системы управления и стабилизации напряжения на нагрузке	47
Заключение	49
Список используемой литературы	50

Введение

В современной науке и технике, а также в народном хозяйстве применяют различные устройства и установки, потребляющие электрическую энергию в виде кратковременных импульсов большой мощности. Их называют импульсные потребители (ИП) электрической энергии.

«Мощность импульсов электрической энергии, потребляемой ИП, достигает весьма больших значений, превышающих во много раз установленную мощность автономных источников, трансформаторных подстанций, а иногда даже превосходящих номинальную мощность целых энергосистем. В связи с этим для питания ИП кратковременными импульсами мощности электрическая энергия предварительно запасается в специальных накопительных устройствах за время, значительно превышающее длительность импульса.

Наиболее широкое распространение для питания целого ряда ИП получил способ накопления электрической энергии в электрическом поле конденсатора.»[4, 25]

Процессы разряда накопительных конденсаторов оказывают весьма большое влияние на параметры импульсной установки, которые обычно не зависят от энергетических или массовых показателей системы передачи энергии от источника в накопитель. Однако, если учитывать совокупность всех устройств, обеспечивающих работу импульсной установки, то становится очевидной необходимость разработок и исследований рациональных систем заряда накопительных конденсаторов, особенно при больших потребляемых мощностях или в условиях питания от автономных источников ограниченной мощности.

1 Состояние вопроса

1.1 Обзор схем систем заряда

Простейший класс базовых преобразователей составляют неуправляемые выпрямители и инверторы с неизменным на протяжении всего времени работы алгоритмом управления (рисунок 1) [19, 20,32,39].

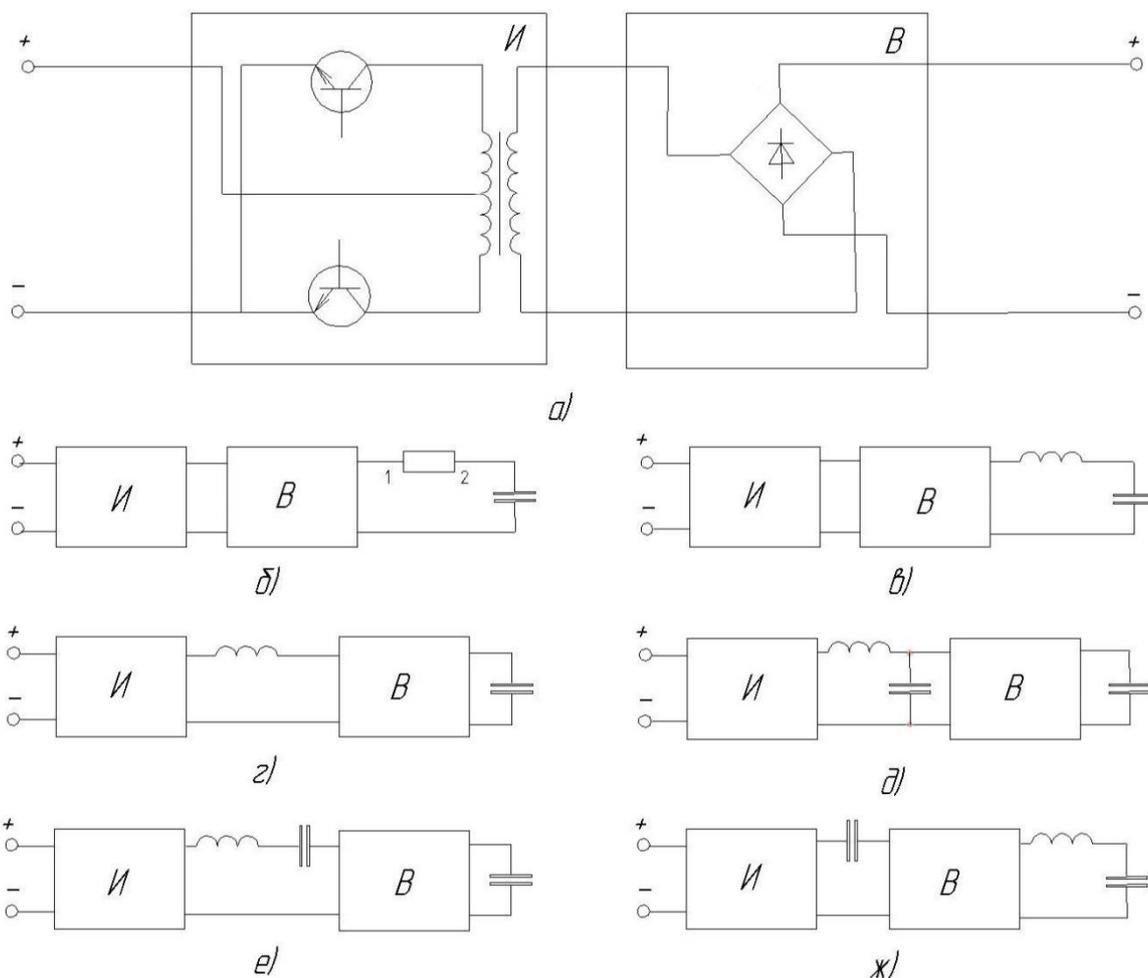


Рисунок 1 - Схемы зарядных устройств на базе преобразователей с жесткими выходными характеристиками с различными токоформирующими элементами.

Индуктивные накопители таких устройств способны непосредственно формировать токи в контурах, емкостные же накопители малой емкости существенно облегчают задачу формирования тока за счет небольших индуктивностей, имеющих в контурах (специально включаемых или паразитных). Таким дозатором является в сущности и токоформирующий конденсатор в схеме на рисунке 1 ж, которую можно отнести к любому из двух рассматриваемых классов схем.

На рисунке 2 приведены схемы ЗУ с индуктивными и емкостными дозаторами энергии.

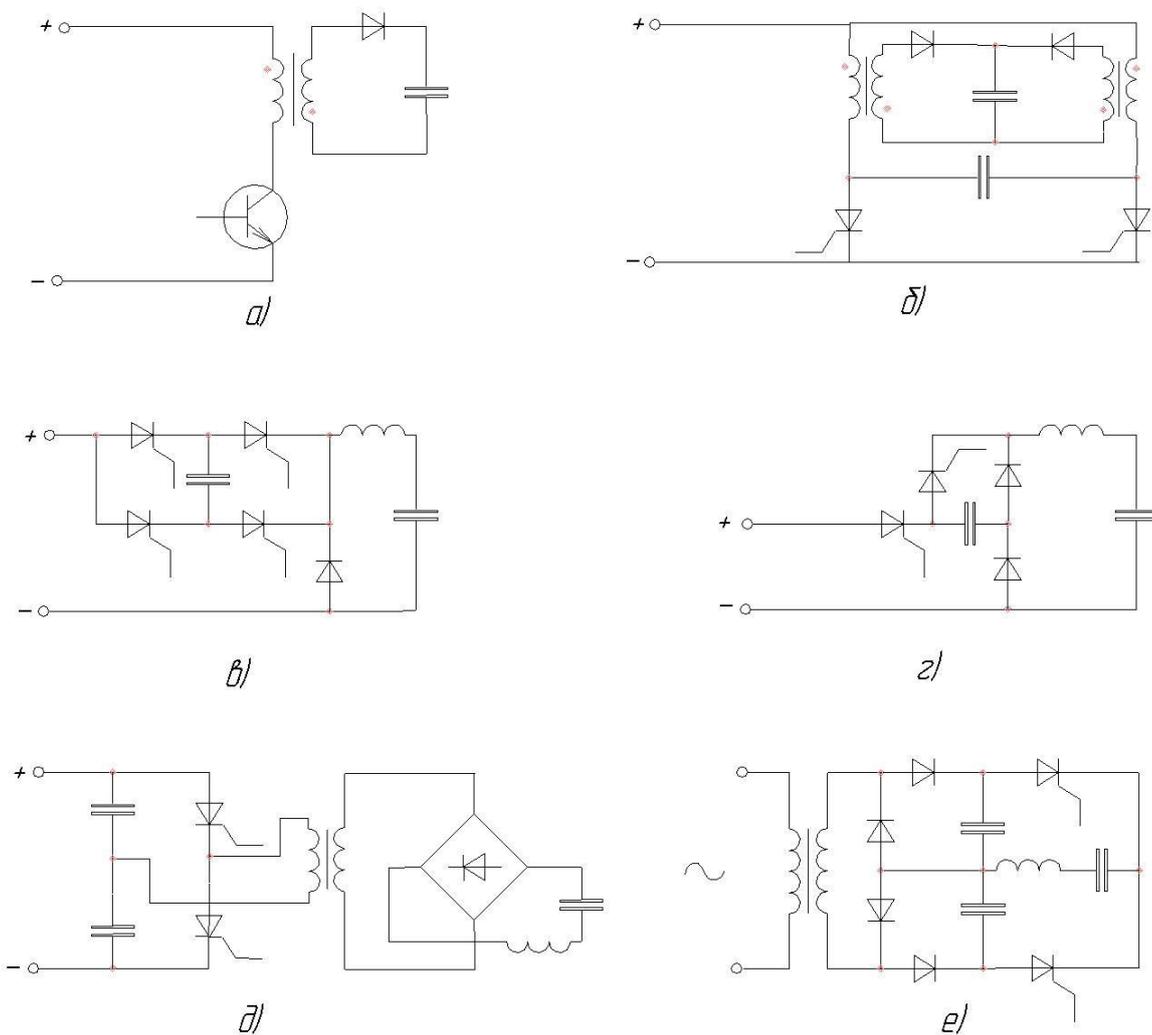


Рисунок 2 - Схемы зарядных устройств с индуктивными и емкостными дозаторами энергии

Наибольшее распространение в настоящее время получили зарядные устройства с нерегулируемым зарядным процессом, хорошо изученные теоретически и освоенные на практике. Однако они все чаще вытесняются зарядными устройствами с регулируемым процессом заряда [2].

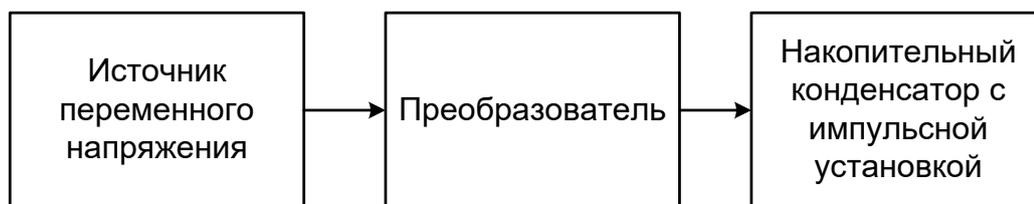
Необходимость в таких устройствах определяется тем, что в настоящее время все больше появляется перестраиваемых импульсных источников питания с регулируемой частотой, энергией и длительностью зарядных импульсов. Для того, чтобы такие источники эффективно работали в большинстве режимов, процесс заряда накопителя тоже должен быть перестраиваемым, что возможно только в зарядных устройствах с регулируемым процессом заряда. Кроме того, такие устройства могут обладать определенной адаптивностью, поддерживая необходимый режим работы при изменяющихся внешних условиях, таких как характеристики системы электроснабжения или нагрузки.[7].

1.2 Основные звенья системы заряда накопительных конденсаторов

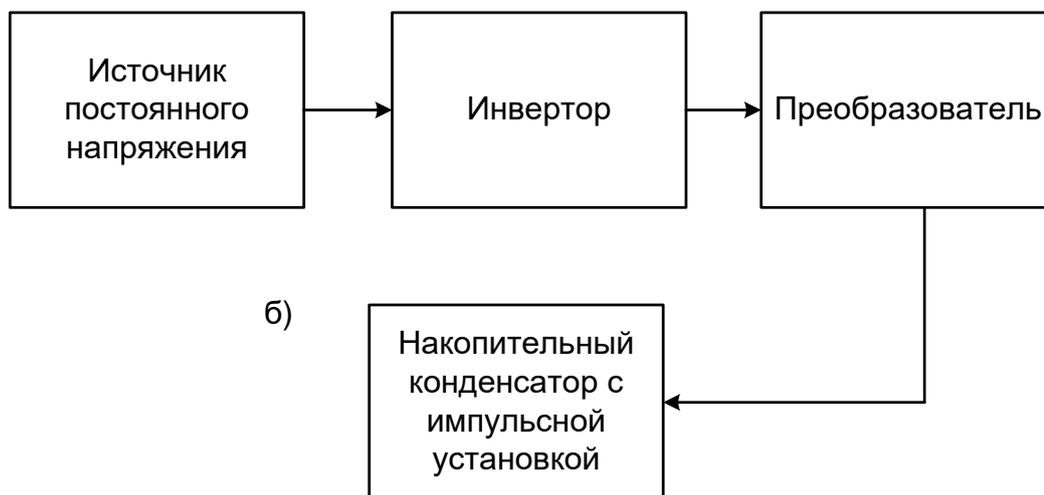
Типичные структурные схемы заряда накопительных конденсаторов приведены на рисунке 3.

По принципу действия и характеру электромагнитных процессов эти преобразователи существенно отличаются от статических преобразователей переменного тока в постоянный, выполненных по классическим схемам выпрямления для питания обычных нагрузок постоянного тока.[8]

Целесообразность применения полупроводниковых диодов в преобразователях рассматриваемого типа определяется соотношением между частотой источника переменного тока или инвертора и частотой следования разрядных импульсов.



а)



б)

а) с источником переменного напряжения;

б) с источником постоянного напряжения.

Рисунок 3 - Структурные схемы заряда накопительных конденсаторов

В случае передачи энергии в накопительный конденсатор за половину периода переменного напряжения необходимость в применении диодов при условии периодического разряда накопительного конденсатора, как правило, отпадает. При заряде накопительного конденсатора за время, превышающее половину периода этого напряжения, высокие энергетические показатели системы могут быть достигнуты лишь при использовании диодов.

Рациональные режимы работы системы заряда накопительных конденсаторов в большинстве случаев обеспечиваются при условии, если частота переменного напряжения источника или инвертора на порядок и более превышает частоту следования разрядных импульсов, что предопределяет применение в этих системах полупроводниковых диодов.

1.3 Системы заряда накопительного конденсатора

Источником питания, как правило, служит трехфазный электрошинный генератор. Требования подвижности и маневренности транспортного средства, на котором смонтирован сейсмоисточник, накладывают ограничение на мощность генератора. При работе виброимпульсного сейсмоисточника частота силовых воздействий на грунт изменяется по определенному закону (например линейно увеличивается), мощность, потребляемая от питающей бортовой сети, также изменяется по закону частоты сейсмических сигналов.[10]. Напряжение бортовой сети оказывается крайне нестабильным: уменьшается с ростом частоты силовых воздействий. Уменьшение напряжения связано, прежде всего, с уменьшением числа оборотов двигателя транспортного средства при увеличении нагрузки на валу, а также с размагничивающим влиянием нарастающего тока заряда, протекающего по статорной обмотке генератора. Разрешающая способность сейсморазведки, в значительной мере, определяется повторяемостью силовых воздействий сейсмоисточника. Поэтому одним из основных требований, предъявляемых к системе заряда, является обеспечение неизменного напряжения заряда накопительного конденсатора вне зависимости от напряжения питающей сети. Немаловажным требованием являются также требования высокого к.п.д. процесса заряда и предельной простоты зарядной цепи [11].

«Наиболее обширным является класс зарядных устройств с питанием от источников переменного напряжения с полупроводниковыми выпрямителями, заряжающих накопительный конденсатор в течение большого числа полупериодов переменного тока. Такие режимы желательны для заряда больших батарей конденсаторов, так как они сглаживают пиковый характер потребления энергии из сети, способствуют равномерной загрузке питающей сети, уменьшению амплитуды зарядного тока. Сюда относятся схемы с токоограничивающими элементами на стороне переменного тока» [5].

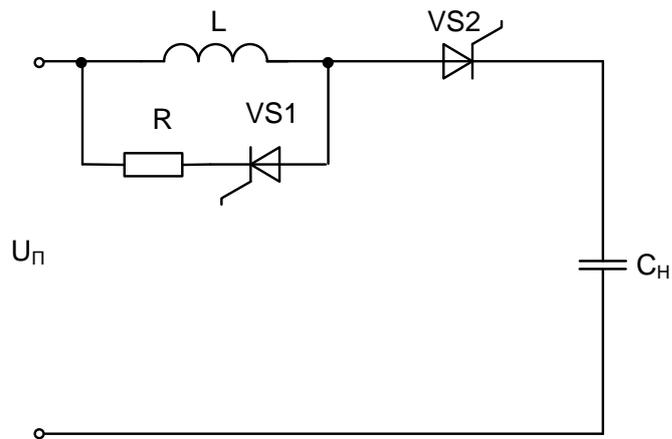
В случае применения реактивных токоограничивающих элементов зарядный процесс протекает с малыми потерями, высоким к.п.д. В связи с необходимостью повышения технико-экономических показателей, реализации выгодных режимов заряда, созданы схемы с задаваемым режимом заряда. К ним относятся схемы с выпрямителями на управляемых вентилях, схемы с подмагничиваемыми реакторами, индуктивно-емкостные преобразователи и схемы с затухающим резонансом. Использование этого класса схем в системах импульсного питания невозможно из-за того, что максимальная частота срабатывания кодоимпульсных сейсмоисточников (частота циклов заряд-разряд накопителя) соизмерима с частотой питающей сети и заряд происходит в течение одного, двух периодов напряжения.

Другим, быстро развивающимся, классом зарядных устройств являются схемы с инверторами. В этих схемах источник постоянного (или выпрямленного) напряжения преобразуется в источник переменного напряжения повышенной частоты. Полученное переменное напряжение преобразуется с помощью трансформатора до нужной величины и затем обычно выпрямляется. Остальные элементы зарядных цепей с инверторами не отличаются от элементов вентильных зарядных цепей, питающихся от источника переменного напряжения. Схемы с инверторами находят все более широкое применение при питании зарядных цепей от источников ограниченной мощности, когда вопросы повышения качества потребляемой энергии приобретают первостепенное значение.

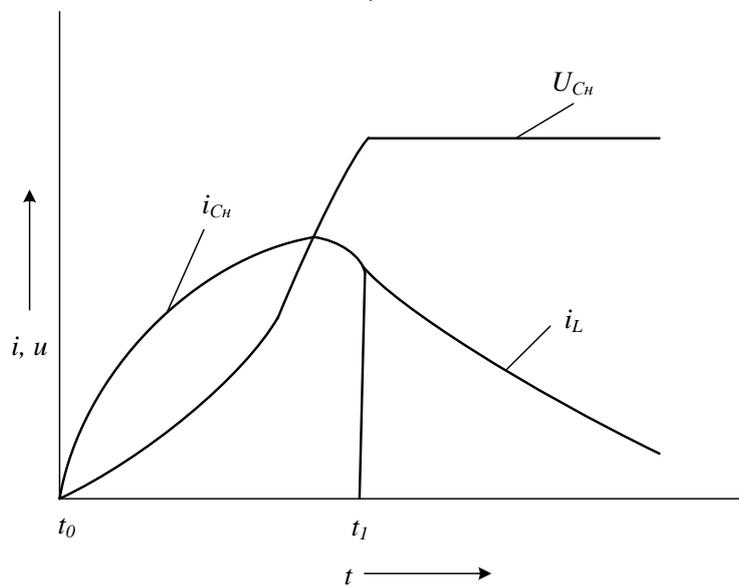
1.4. Системы колебательного заряда накопительного конденсатора.

На рисунке 4 показана схема колебательного заряда накопительного конденсатора с регулированием напряжения на нем. Схема содержит зарядный тиристор VS2, включенный последовательно с зарядной цепью: накопительным конденсатором C и зарядным дросселем L, рассеивающую цепь, содержащую

тиристор VS1, сопротивление R и включенную параллельно зарядному дросселю L, источник питания $U_{П}$.



а)



б)

а) Схема колебательного заряда накопительного конденсатора с рассеиванием избыточной энергии зарядного дросселя

б) Диаграммы токов и напряжений элементов схемы заряда накопительного конденсатора

Рисунок 4 - Схема колебательного заряда накопительного конденсатора с рассеиванием избыточной энергии зарядного дросселя

В момент t_0 включаем тиристор $VS2$ и накопительный конденсатор C заряжается от источника питания U_{Π} через дроссель L током синусоидальной формы. В момент t_1 напряжение накопителя достигает заданного уровня. Включаем тиристор $VS1$. Тиристор $VS2$ запирается разностью напряжений накопительного конденсатора и источника питания. Ток зарядного дросселя перехватывается в цепь тиристора $VS2$ и сопротивления R . Энергия зарядного дросселя рассеивается в виде тепла на сопротивлении R . Следует отметить, что в отличие от предыдущей схемы здесь нижняя граница диапазона регулирования не равна нулю. Нижняя граница определится как:

$$U_H = E + i_k R, \quad (1)$$

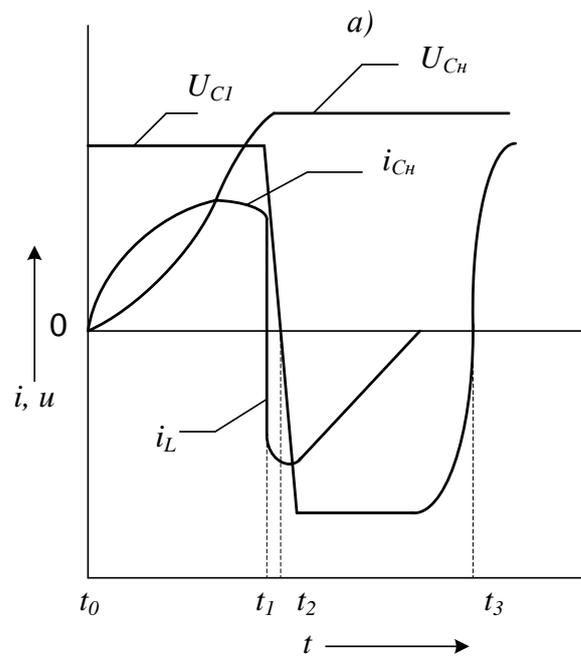
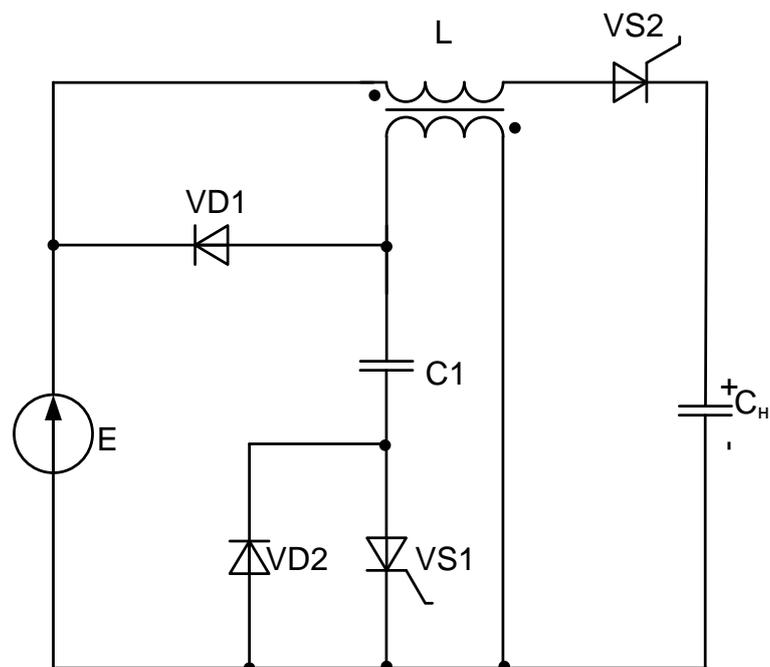
где E - напряжение источника питания;

i_k - ток дросселя L в момент прекращения заряда;

R - величина сопротивления R .

Недостатком является низкий к.п.д. заряда.

Известен ряд схем свободных от указанного недостатка, использующих возврат оставшейся в зарядном дросселе, по достижении напряжением накопительного конденсатора заданного уровня, энергии в источник зарядного напряжения. На рисунке 5. показана одна из таких схем. Схема содержит источник питания U_{Π} , к которому параллельно подключены последовательно соединенные первичная обмотка зарядного двухобмоточного дросселя L , тиристор $VS2$ и накопительный конденсатор C_H , и последовательно соединенные диод $VD1$ и вторичная обмотка зарядного дросселя, коммутирующую цепь, включающую коммутирующий конденсатор $C1$ и тиристор $VC1$, шунтированный диодом $VD2$.



а) Схема колебательного заряда накопительного конденсатора с рекуперацией избыточной энергии зарядного дросселя

б) Диаграммы токов и напряжений элементов схемы заряда накопительного конденсатора

Рисунок 5 - Схема колебательного заряда накопительного конденсатора с рекуперацией избыточной энергии зарядного дросселя

В исходном состоянии конденсатор C_1 заряжен полярностью, показанной на рисунке 5, до напряжения равного напряжению источника питания $U_{п}$. При включении тиристора VS_2 начинается заряд накопителя C_H через первичную обмотку зарядного дросселя L . по достижении напряжением накопительного конденсатора требуемой величины включаем тиристор VS_1 . К тиристор VS_2 прикладывается обратное напряжение и он закрывается. Ток вторичной обмотки дросселя L перезаряжает конденсатор C_1 до напряжения источника питания, и затем замыкается через него и диод VD_1 . Когда энергия зарядного дросселя возвращается в источник питания, диод VD_1 запирается, а коммутирующий конденсатор C_1 перезаряжается через вторичную обмотку зарядного дросселя и диод VD_2 , принимая исходное состояние.

Схемы регулируемого заряда накопительного конденсатора с возвратом энергии зарядного дросселя в источник питания отличается простотой, широкими регулировочными возможностями и высоким к.п.д. Разнополярный токовый режим источника питания чаще всего нежелательно сказывается на его технических характеристиках. Если же питание осуществляется от генератора переменного напряжения с неуправляемым выпрямителем, то использование схем с возвратом энергии вообще невозможно. Применение управляемых выпрямителей или дополнительных буферных конденсаторов для гашения энергии дросселя необоснованно усложнит систему питания, сделает ее более громоздкой.

Рассмотрев несколько схем колебательного заряда накопительного конденсатора с возможностью регулирования напряжения на нем, а рассмотренные устройства достаточно полно характеризуют основные тенденции в развитии такого класса схем, определим актуальные задачи их совершенствования. Прежде всего, представляется, что первоочередной задачей является синтез схемных решений, позволяющих регулировать напряжение накопительного конденсатора (или стабилизировать его на заданном уровне) не прибегая к реверсу тока во входной цепи.

Основной причиной недостатков, присущих рассмотренным схемам заряда является то, что из источника питания берется энергия большая, чем необходимо запасти в накопительном конденсаторе. В связи с этим решение поставленной задачи заключается в такой организации зарядных целей и систем контроля заряда, при которой источник питания отключался бы по достижении величиной переданной из него энергии величины равной энергии заряженного конденсатора.

Просматривается два пути реализации такого принципа построения систем колебательного заряда:

1. Необходимо контролировать не напряжение накопительного конденсатора, а величину пропорциональную энергии, запасаемой в реактивных элементах зарядного контура. Процесс энергопотребления из источника питания должен прекращаться по достижении контролируемой величиной уровня пропорционального энергии накопительного конденсатора, заряженного до заданного уровня. С окончанием энергопотребления должны быть созданы условия передачи энергии дросселя в накопитель.

2. Включение последовательно с зарядным дросселем и накопительным конденсатором источника ЭДС, направленной встречно ЭДС источника питания. Накопительный конденсатор будет заряжаться до напряжения пропорционального разности привнесенной и входной ЭДС. Изменяя величину привнесенной ЭДС можно регулировать напряжение накопителя. Для реализации предложенного способа регулирования можно использовать схему, показанную на рисунке 1.7. В качестве привнесенной ЭДС используется напряжение накопительного конденсатора, передаваемого в последовательную цепь с помощью трансформатора. Регулирование осуществляется изменением коэффициента передачи трансформатора.

1.5. Системы многоимпульсного заряда накопительного конденсатора.

Особый интерес представляют системы, использующие заряд накопительного конденсатора большим числом импульсов зарядного тока (рисунок 5). Точность стабилизации напряжения определяется энергией единичного зарядного импульса тока. Схемы многоимпульсного заряда накопительного конденсатора находят все более широкое применение при питании зарядных цепей от источника ограниченной мощности, когда вопросы повышения качества потребляемой энергии приобретают первостепенное значение.

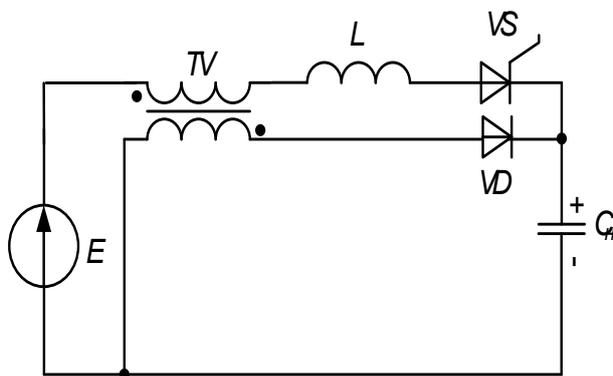
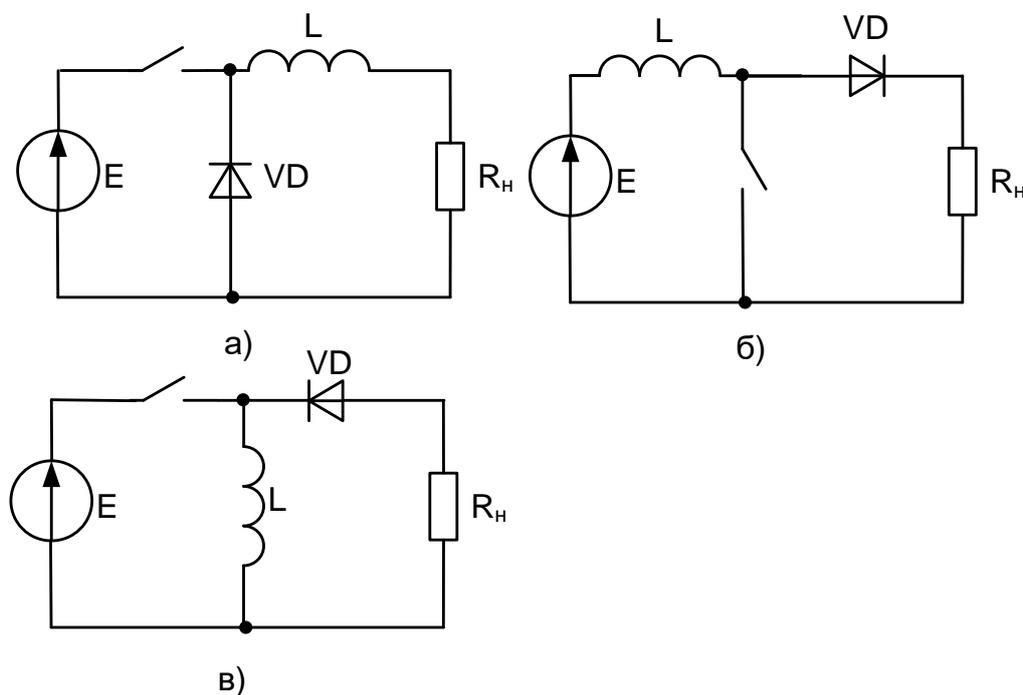


Рисунок 5 - Схема колебательного заряда накопительного конденсатора с привнесенной ЭДС

Для улучшения качества потребляемой энергии используются системы, обеспечивающие постоянство потребляемого тока при периодически повторяющихся зарядно-разрядных циклах. Часто в этих системах применяются промежуточные накопители энергии, когда между источником постоянного напряжения и накопителем энергии включается промежуточный дозирующий элемент, способный запасать ограниченную энергию и затем отдавать накопитель малыми и постоянными порциями.

Общепринято различать три типа регуляторов: I типа (рисунок 6а), II типа (рисунок 6б), III типа (рисунок 6в). В качестве примера использования регулятора I-го типа в устройствах заряда накопительного конденсатора можно упомянуть устройства, изображенное на рис. 7. Источник питания E подключается к зарядной цепи, состоящей из накопителя C_H и зарядного дросселя L , через полупроводниковый коммутатор в виде тиристорного моста $VS1-VS4$ с конденсатором $C1$ в диагонали. На управляющие электроды тиристоров с постоянной частотой попарно ($VS1, VS4$ и $VS2, VS3$) подаются импульсы управления. Включение пары тиристоров приводит к появлению в цепи $U_{II}-VS1-C1-VS4-L-C_H-U_{II}$ тока, заряжающего накопительный конденсатор. Ток накопителя перезаряжает конденсатор $C1$ от E до $-E$ (E - напряжение источника питания). В момент достижения напряжением конденсатора $C1$ уровня $-E$ открывается диод VD и ток дросселя течет через него, заряжая накопительный конденсатор.



а) первого типа б) второго типа в) третьего типа

Рисунок 6 - Импульсные регуляторы постоянного напряжения

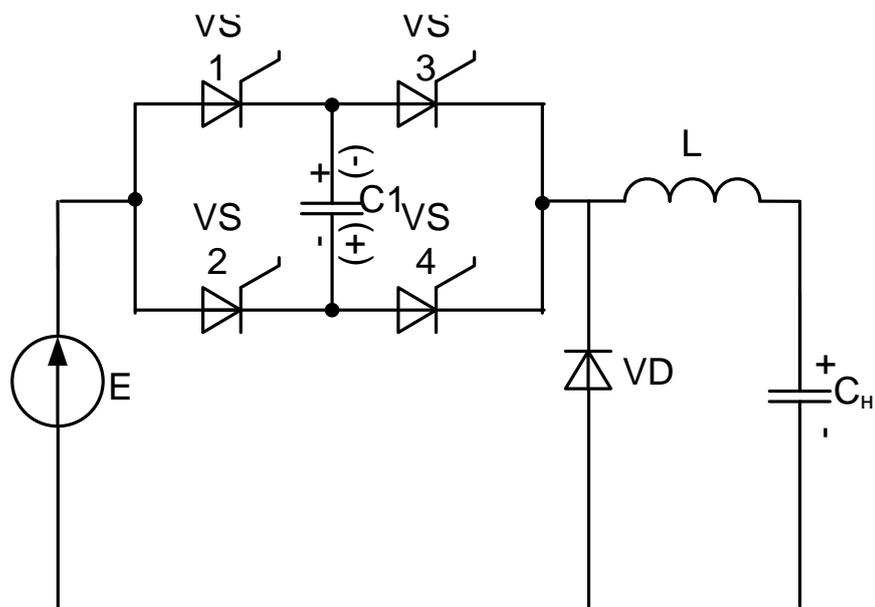


Рисунок 7 - Схема многоимпульсного заряда накопительного конденсатора на базе импульсного регулятора постоянного напряжения первого типа

Включение следующей пары тиристоров сформирует новый импульс тока, заряжающий конденсатор. Энергия, передаваемая за один импульс зарядного тока определится как:

$$W = C_k E^2, \quad (1.2)$$

где \$C_k\$ - емкость коммутирующего конденсатора \$C_1\$, и не зависит от других параметров схемы.

Это означает, что если частота импульсов управления тиристорами \$VS_1\$-\$VS_4\$ постоянна, то заряд конденсатора происходит при неизменной потребляемой из источника питания мощности.

Примером зарядного устройства на основе регулятора II -го типа может служить схема, изображенная на рисунке 8. В этой схеме при включении одной из пар тиристоров \$VS_1, VS_4\$ или \$VS_2, VS_3\$ осуществляется перезаряд конденсатора \$C_1\$ с накоплением энергии в магнитном поле зарядного дросселя \$L\$. По достижении напряжением конденсатора \$C_1\$ величины напряжения накопительного конденсатора открывается диод \$VD\$.

Энергия зарядного дросселя передается в накопитель C_H . Изменением частоты переключения тиристоров моста регулируется средний ток заряда накопителя.

Примером зарядного устройства на основе регулятора III-го типа может служить схема, изображенная на рис. 8 и описанная ранее. Здесь совмещены два импульсных регулятора, работающих попеременно.

Зарядным устройством присущи все особенности работы соответствующего регулятора. Так например, для зарядных устройств, построенных на основе регулятора I-го типа характерно импульсное потребление энергии от источника входного напряжения и непрерывная передача энергии в накопитель (за счет инерционных свойств дросселя, включенного в цепь накопителя), напряжение заряда может регулироваться от 0 до E . Для устройств на основе регуляторов II-го типа - непрерывное потребление энергии (дроссель включен во входной цепи) от источника входного напряжения и импульсная передача энергии в накопитель, напряжение заряда накопителя регулируется от E и выше.

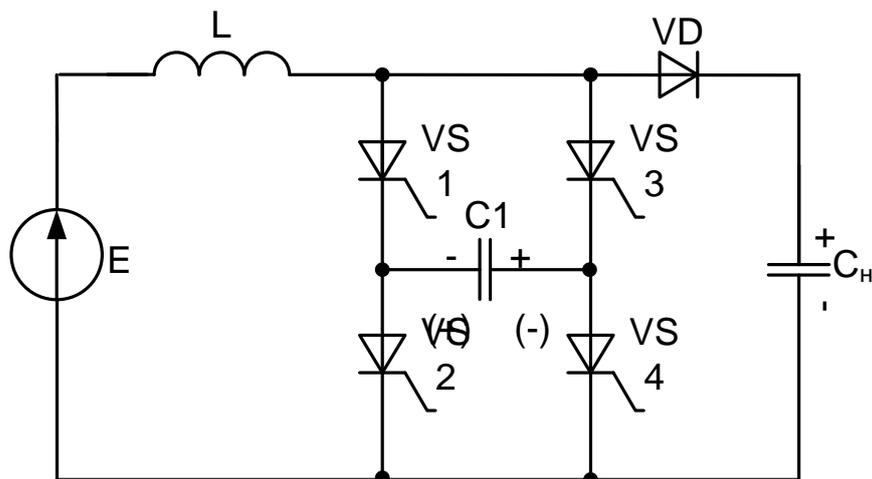


Рисунок 8 - Схема многоимпульсного заряда накопительного конденсатора на базе импульсного регулятора постоянного напряжения второго типа

Устройства на основе регуляторов III-го типа - импульсная передача энергии в накопитель и импульсное энергопотребление (дроссель используется в качестве промежуточного накопителя). Напряжение заряженного накопительного конденсатора может быть как выше, так и ниже E.

Особенности зарядных устройств на базе регуляторов определяют область применения этих устройств. Схемы на базе регуляторов I -го типа хорошо реализуют режим заряда накопительного конденсатора неизменным током. Поэтому их целесообразно использовать при больших активных сопротивлениях цепи накопителя. В сетях ограниченной мощности (таковой чаще всего является питающая сеть сейсмоисточника) выгоднее использовать устройство на базе регулятора II-го типа, поскольку здесь легче реализовать режим неизменного потребляемого тока. Режим обладает минимальным влиянием на питающую сеть и достаточно высоким к.п.д..

Выводы

В первой главе проведен обзор схемотехнических решений систем заряда, рассмотрены основные звенья систем заряда, системы заряда накопительных конденсаторов, системы колебательного заряда и системы многоимпульсного заряда.

2 Выбор схемы зарядного устройства

Сформулируем основные требования, которым должно удовлетворять проектируемое зарядное устройство.

- Питание от источника автономного источника ограниченной мощности.

- Минимальные габариты, надежность и простота.

В соответствии с данными параметрами остановили свой выбор на зарядном устройстве, обеспечивающего передачу энергии в конденсатор при неизменной мощности.

Структурная схема заряда накопительного конденсатора при питании от источника переменного и постоянного напряжения представлена на рисунке 9.

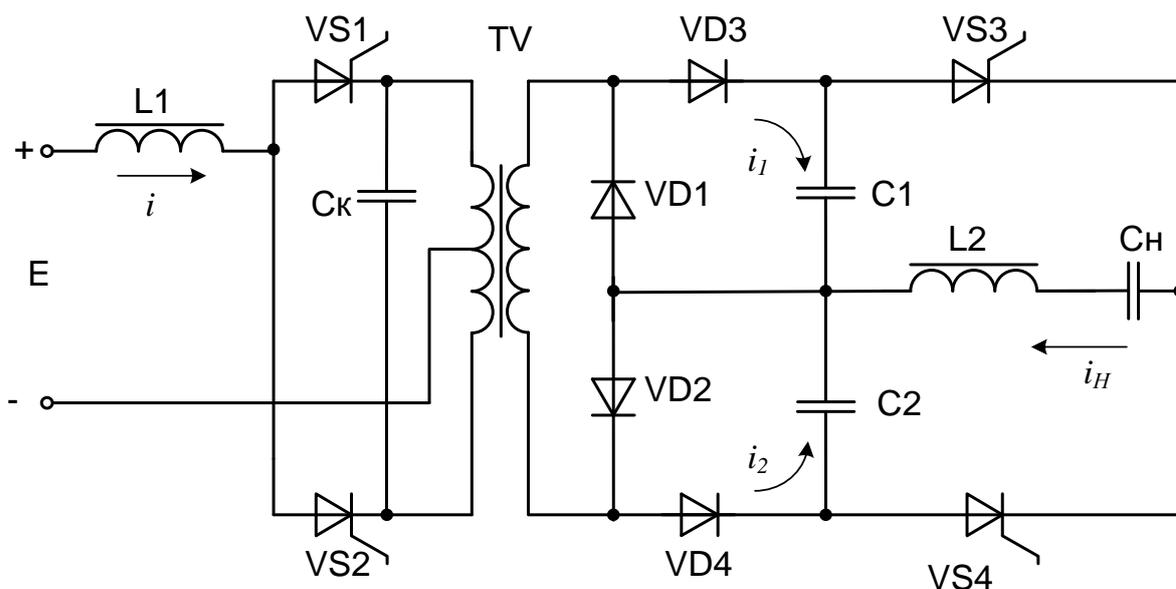
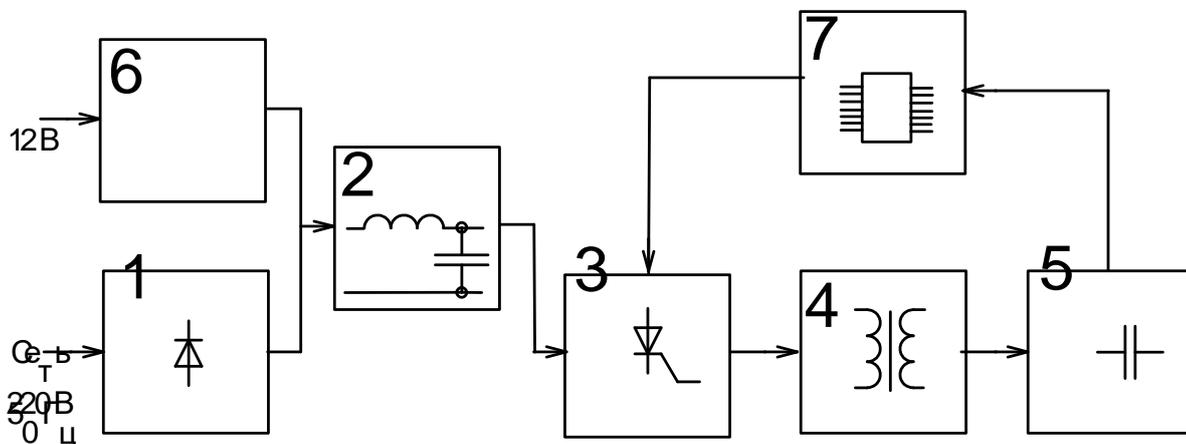


Рисунок 9 - Схема заряда накопительного конденсатора

Принцип действия преобразователя состоит в следующем (рисунок 10). Инвертор с трансформаторным выходом, выполненный на тиристорах VS1 и VS2 и управляемый биполярными импульсами тока от задающего генератора

ЗГ, поочередно, через половину периода заряжает конденсаторы С1 и С2. Конденсаторы С1 и С2 также поочередно передают энергию в накопительный конденсатор С_н.



- 1 - неуправляемый выпрямитель
- 2 - фильтр
- 3 - инвертор
- 4 - согласующий трансформатор
- 5 - схема заряда накопительного конденсатора
- 6 - импульсный преобразователь постоянного напряжения
- 7 - схема управления инвертором

Рисунок 10 - Структурная схема заряда накопительного конденсатора при питании от источника переменного и постоянного напряжения.

Тиристоры VS3 и VS4 в цепи разряда конденсаторов С1 и С2 управляются импульсами тока от такого же задающего генератора ЗГ, что и тиристоры VS1, VS2 инвертора. Цепи управления тиристорами включены таким способом, чтобы конденсатор С2 передавал энергию, запасенную в течение нечетного полупериода, в накопительный конденсатор С_н, разряжаясь

в четном полупериоде по цепи: тиристор VS4, конденсатор C_n , линейный дроссель L2. Конденсатор же C1, наоборот, заряжаясь в каждом четном полупериоде, будет отдавать энергию в накопительный конденсатор в каждом нечетном полупериоде. Таким образом, в схеме обеспечивается строго поочередный заряд и разряд конденсаторов C1, C2 со сдвигом во времени на половину периода работы инвертора.

Очевидно, что с целью обеспечения минимальных потерь при заряде конденсаторов C1 и C2 следует, кроме высокой добротности элементов, обеспечить также заряд этих конденсаторов до максимального напряжения. Это условие выполняется в случае, когда частота собственных колебаний контуров L1-C1, и L1-C2 равна или выше частоты колебаний инвертора. С целью исключения пауз между импульсами потребляемого тока целесообразно обеспечить равенство собственной частоты контуров и инвертора.

$$\omega = \frac{1}{K_t} \sqrt{\frac{1}{L_1 \cdot C}} \quad (1)$$

где $C = C1 = C2$ — емкость конденсаторов в симметричной схеме; ω — угловая частота колебаний инвертора; K_t — коэффициент трансформации трансформатора, L1 – индуктивность линейного дросселя.

Линейный дроссель L2 ограничивает импульсы тока при передаче энергии от конденсаторов C1, C2 в накопительный конденсатор C_n . Диоды VD1 — VD4 служат для развязки цепей заряда и разряда конденсаторов C1, C2.

Токи i_1 и i_2 заряда конденсаторов C1, C2 и напряжения u_{c1} , u_{c2} этих конденсаторов в соответствующие полупериоды определяются выражениями (2)–(5)

При $i_2=0$

$$i_1 = E \sqrt{\frac{C_1}{L_1}} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (2)$$

$$u_{c1} = K_t \cdot E \cdot (1 - \cos(\omega \cdot t)) \quad (3)$$

При $i_1=0$

$$i_2 = E \sqrt{\frac{C_2}{L_1}} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (4)$$

$$u_{c2} = K_t \cdot E \cdot (1 - \cos(\omega \cdot t)) \quad (5)$$

Мгновенные значения потребляемого от источника тока в течение всего цикла заряда:

$$i = K_t \cdot E \sqrt{\frac{C}{L_1}} \cdot \sin|\omega \cdot t| \quad (6)$$

Таким образом, среднее за полупериод значение потребляемого тока в процессе заряда накопительного конденсатора остается постоянным. Следовательно, при условии $E = \text{const}$ среднее за период значение мощности, потребляемой от источника, также постоянно.

Изменения токов i_1 , i_2 , напряжений u_{c1} u_{c2} и потребляемого тока i представлены на рисунке 11. Коммутирующий конденсатор C_k (рисунок 9) предназначен только для коммутации тиристоров при незначительном токе намагничивания трансформатора. Характер изменения тока i_H заряда накопительного конденсатора показан на рисунке 11. По мере заряда конденсатора среднее за полупериод значение тока i_H , увеличиваясь, достигает максимума и затем уменьшается.

Необходимо обеспечить питание схемы заряда накопительного конденсатора от сети переменного и постоянного тока (рисунок 10) . Для питания от сети переменного тока воспользовались трехфазным неуправляемым выпрямителем - мостовой схемой (Ларионова) (рисунок 12). Схема выпрямителя содержит выпрямительный мост, состоящий из шести диодов VD1...VD6.

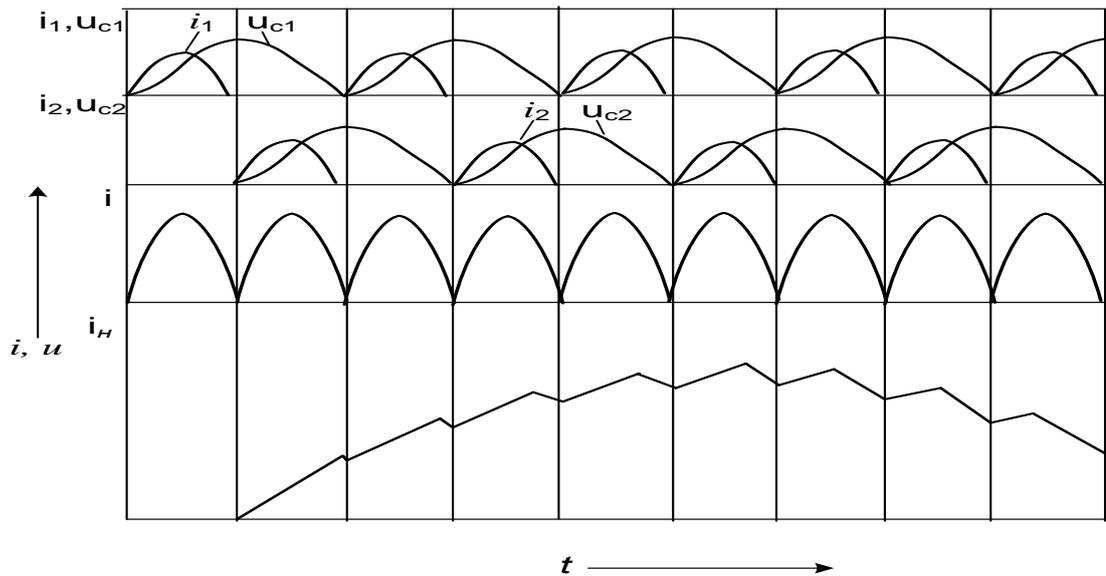


Рисунок 11 - Мгновенные значения токов и напряжений в отдельных ветвях схемы заряда накопительного конденсатора

Для питания от сети постоянного тока величиной 12В необходимо увеличить напряжение до величины питающего напряжения схемы заряда накопительного конденсатора. Для этой цели выбрали повышающий преобразователь с управляемым обменом энергии между реактивными элементами схемы (рисунок 13). Для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения на выходе выпрямителя и импульсного преобразователя постоянного напряжения (ИППН) поставили Г-образный LC-фильтр второго порядка (рисунок 14).

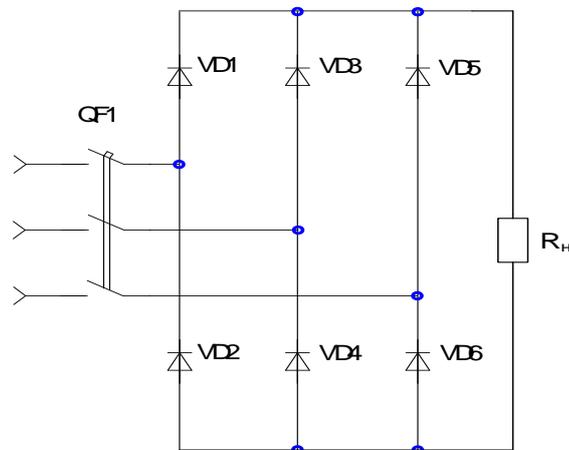


Рисунок 12 - Неуправляемый полупроводниковый выпрямитель

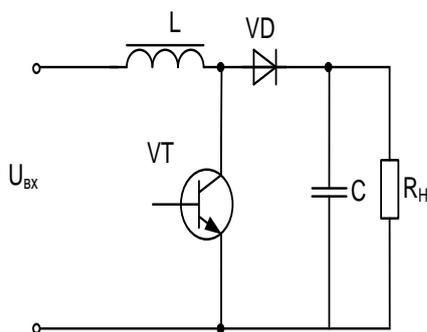


Рисунок 13 - Импульсный преобразователь постоянного напряжения

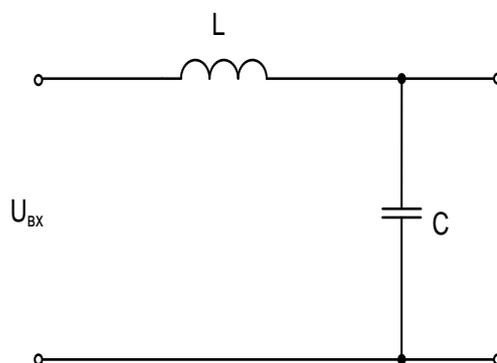


Рисунок 14 - Сглаживающий LC –фильтр

Выводы.

Во второй главе произведен обзор и выбор схемы зарядного устройства. Проанализирована его структурная схема, составные элементы. Проанализирована работа и приведены временные диаграммы.

3 Расчет схемы заряда накопительного конденсатора

3.1 Расчет основных параметров

Исходные данные для расчета:

- напряжение питания E - 220В;
- емкость накопительного конденсатора C_H - 200мкФ;
- максимальное напряжение накопительного конденсатора U_H – 960В (900-1000В);
- частота работы инвертора f - 1000Гц;
- частота заряда накопительного конденсатора ν – 0,5 Гц;
- время заряда $t_{зар}$ – 3 с (1,5 с -2,5 с).

Расчет производили по методике, предложенной в [12].

Безразмерный коэффициент γ :

$$\gamma = \frac{\nu}{8 \cdot f} = \frac{0,5}{8 \cdot 1000} = 6,25 \cdot 10^{-5} \quad (7)$$

где ν - частота заряда накопительного конденсатора ν ;

f - частота работы инвертора f .

Емкость конденсаторов C_1 и C_2 приняли одинаковыми, поэтому в расчетах использовали обозначение C .

Емкость конденсаторов C_1, C_2, C :

$$C = C_1 = C_2 = C_H \cdot \gamma = 200 \cdot 10^{-6} \cdot 6,25 \cdot 10^{-5} = 12 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} \quad (8)$$

где C_H - емкость накопительного конденсатора, Ф.

Коэффициент трансформации трансформатора K_T :

$$K_T = \frac{U_H}{E} = \frac{960}{220} = 4 \quad (9)$$

где U_H - максимальное напряжение накопительного конденсатора, В;

E - напряжение питания, В.

Значит необходимо применять повышающий трансформатор.

Индуктивность дросселя в цепи заряда конденсаторов C_1, C_2 :

$$L_1 = \frac{1}{\omega^2 C \cdot K_T} = \frac{1}{6,25 \cdot 10^3 \cdot 12 \cdot 10^{-9} \cdot 4} = 0,16 \text{ Гн} \quad (10)$$

где ω - частота собственных колебаний инвертора, определенная по формуле (11), Гц.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 1000 = 6,25 \cdot 10^3 \text{ Гц} \quad (11)$$

С целью исключения пауз между импульсами потребляемого тока обеспечили равенство собственной частоты колебательных контуров L_1-C_1 , L_1-C_2 и инвертора.

$$\omega_0 = \frac{1}{K_T} \cdot \sqrt{\frac{1}{L_1 \cdot C}} = \frac{1}{4} \cdot \sqrt{\frac{1}{0,16 \cdot 12 \cdot 10^{-9}}} = 6,25 \cdot 10^3 \text{ Гц} \quad (12)$$

Индуктивность трансформатора, приведенная ко вторичной обмотке трансформатора:

$$L_1' = L_1 \cdot K_T^2 = 0,16 \cdot 4^2 = 2,56 \text{ Гн} \quad (13)$$

Средняя мощность заряда накопительного конденсатора:

$$P = \frac{C_n \cdot U_n^2}{2} = \frac{200 \cdot 10^{-6} \cdot 960^2}{2} = 92,16 \text{ Вт} \quad (14)$$

Определили относительную индуктивность L_2^* в цепи заряда конденсаторов C_1, C_2 по минимуму суммарной массы дросселя и конденсаторов [12]. Относительную индуктивность L_2^* приняли равной 0,1.

Значение индуктивности дросселя L_2 :

$$L_2 = L_2^* \cdot L_1' = 0,1 \cdot 2,56 = 0,256 \text{ Гн} \quad (15)$$

Относительные значения действующих токов дросселя L_2 и конденсаторов C_1, C_2 , а также Θ – безразмерный параметр, зависящий от относительной индуктивности L_2^* и коэффициента γ [12]:

- Относительное значение действующего тока I^* дросселя L_2 , равное 2,1;

- Относительное значение действующего тока I_K^* конденсаторов C_1, C_2 , равное 1,18;

- Безразмерный параметр Θ , равный 1,25.

Действующее значение тока дросселя L_2 :

$$I_{L2} = I^* \cdot \frac{E'}{\omega \cdot L_1} = 2,1 \cdot \frac{960}{6,25 \cdot 10^3 \cdot 2,56} = 0,125 \text{ A} \quad (16)$$

где E' - напряжение источника, приведенное ко вторичной обмотке дросселя, В;

Действующее значение тока конденсаторов C_1, C_2 :

$$I_K = I_K^* \cdot \frac{E'}{\omega \cdot L_1} = 1,18 \cdot \frac{960}{6,25 \cdot 10^3 \cdot 2,56} = 0,07 \text{ A} \quad (17)$$

Максимальное значение тока Im_{L2} дросселя L_2 :

$$Im_{L2} = I_m^* \cdot \frac{E'}{\omega \cdot L_1} = 6,412 \cdot \frac{960}{6,25 \cdot 10^3 \cdot 2,56} = 0,383 \quad (18)$$

где I_m^* - относительное значение максимального значения тока I^* дросселя L_2 , рассчитываемое по формуле (3.13);

$$I_m^* = \frac{\Theta \cdot \sqrt[3]{\Theta}}{I^* \cdot L_2^*} = \frac{1,25 \cdot \sqrt[3]{1,25}}{2,1 \cdot 0,1} = 6,412 \quad (19)$$

Проверили напряжение U_C конденсаторов C_1, C_2 в конце их заряда по формуле (3.14). Напряжение U_C в конце их заряда должно достигать удвоенного напряжения E' .

$$U_C = E' \cdot \left(1 + e^{-\frac{\pi}{2Q}} \right) = 960 \cdot E' \cdot \left(1 + e^{-\frac{\pi}{100}} \right) = 1920 \text{ B} \quad (20)$$

где Q - добротность входного контура преобразователя.

Определили минимальный угол запираания тиристоров :

$$\delta_1 = 2 \cdot \pi \cdot \frac{(1,2 \dots 1,5) \cdot t_{в.п.}}{T_{И}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1,2 \cdot 30 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-3}} = 0,226 \text{ рад} \quad (21)$$

где $T_{И} = 1/f = 1/1000 = 1 \cdot 10^{-3}$ с – период выходной частоты инвертора;
 $t_{в.п.} = (30 \dots 50) \cdot 10^{-6}$ с – время восстановления запирающих свойств тиристоров.

собственная частота коммутирующего контура:

$$\omega_0 = \frac{\omega \cdot \pi}{\pi - \delta_1} = \frac{6,25 \cdot 10^3 \cdot \pi}{\pi - 0,226} = 6734 \text{ Гц}, \quad (22)$$

Определяем длительность протекания анодного тока:

$$\lambda = \pi \cdot \frac{\omega}{\omega_0} = \pi \cdot \frac{6250}{6734} = 2,916 \text{ рад} \quad (23)$$

Нашли угол включения тиристоров:

$$\psi = \lambda + \delta - \pi = 2,961 + 0,678 - 3,141 = 0,294 \text{ рад} \quad (24)$$

где $\delta = K_y \cdot \delta_1 = 3 \cdot 0,226 = 0,678$ рад – угол запираания тиристоров;

$K_y = 2 \dots 3$ – коэффициент увеличения.

Мгновенное значение потребляемого от источника тока $i_{И}$:

$$i_{И} = K_T \cdot E \cdot \sqrt{\frac{C}{L_1}} \cdot |\sin \omega \cdot t| \quad (25)$$

Амплитудное значение потребляемого от источника тока $Im_{И}$:

$$Im_{И} = K_T \cdot E \cdot \sqrt{\frac{C}{L_1}} = 4 \cdot 240 \cdot \sqrt{\frac{1,2 \cdot 10^{-8}}{0,16}} = 0,24 \text{ А} \quad (26)$$

Получили действующее и среднее значение потребляемого от источника тока:

$$I_{И} = 0,707 \cdot Im_{И} = 0,707 \cdot 0,24 = 0,17 \text{ А} \quad (27)$$

$$I_{срИ} = \frac{2}{\pi} \cdot Im_{И} = \frac{2}{3,14} \cdot 0,24 = 0,153 \text{ А} \quad (28)$$

Мгновенное значение токов i_C конденсаторов C_1, C_2 :

$$i_{и} = E \cdot \sqrt{\frac{C}{L_1}} \cdot \sin \omega \cdot t \quad (29)$$

Определили амплитудное, действующее и среднее значение токов заряда конденсаторов C_1, C_2 :

Амплитудное значение токов заряда конденсаторов C_1, C_2

$$I_{m_1} = I_{m_2} = E \cdot \sqrt{\frac{C}{L_1}} = 220 \cdot \sqrt{\frac{1,2 \cdot 10^{-8}}{0,16}} = 0,06 \text{ A}$$

Действующее значение токов конденсаторов C_1, C_2

$$I_1 = I_2 = 0,707 \cdot I_{m_1} = 0,707 \cdot 0,06 = 0,042 \text{ A}$$

Среднее значение токов конденсаторов C_1, C_2

$$I_{cp_1} = I_{cp_2} = \frac{2}{\pi} \cdot I_{m_1} = \frac{2}{3,14} \cdot 0,06 = 0,038 \text{ A}$$

3.2.Выбор элементов схемы

Выбрали тиристор ТБ151–63–12 [18,29], исходя из рассчитанных параметров:

- максимального рассчитанного тока через тиристоры в схеме, 0,24А
- максимального напряжения, приложенного к тиристорам, 960В;

Тиристоры ТБ151 – 63 – 12 предназначены для применения в качестве ключевых элементов в цепях постоянного и переменного токов частотой до 10 кГц.

При выборе этих и других элементов использовали информацию из литературы [9, 21, 36, 37, 38].

«Параметры тиристора ТБ151 – 63 – 12 сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Параметры тиристора ТБ151 – 63 – 12

Параметры	Значения
Повторяющиеся импульсные напряжения U_{drm} и U_{rrm} , В	1200
Максимально допустимый средний ток в открытом состоянии I_{tavm} , А	63
Действующий ток в открытом состоянии I_{trms} , А	99
Критическая скорость нарастания тока di/dt , А/мкс	400
Заряд обратного восстановления Q_{rr} , мкКл	60
Время выключения $t_{пв}$, мкс	20 - 32
Критическая скорость нарастания напряжения du/dt , В/мкс	200 - 1000

Скорость нарастания напряжения и тока через тиристор

$$\frac{dU}{dt} = \frac{U_d}{t_{вкл}} = \frac{960}{2,5 \cdot 10^{-6}} = 384 \text{ В / мкс} \quad (30)$$

$$\frac{di}{dt} = I_{a \max} \cdot \omega_0 = 0,24 \cdot 6,734 \cdot 10^3 = 0,0014 \text{ А / мкс} \quad (31)$$

где $I_{a \max} = I_{a \Gamma} = 36,784 \text{ А}$ – максимальный рассчитанный ток через тиристоры в схеме;

$U_d = 422,347 \text{ В}$ – величина выпрямленного напряжения;

$\omega_0 = 46540 \text{ рад/с}$ – собственная частота коммутирующего контура;

$t_{вкл} = 2 \text{ мкс}$ – время включения тиристора.

Для данного тиристора выбираем стандартный охладитель [29] О151-У2 ТУ 16-729.377-83. Тиристор имеет естественное охлаждение, при этом обеспечивается максимально допустимый средний ток в открытом состоянии $I_{max} = 30 \text{ А}$.»[29]

Выбрали конденсаторы с учетом максимально допустимого напряжения, равного 960 В. Из [30] взяли два конденсатора К75-45-2,5кВ-0,0012мкФ±5%.

Выбраны диоды VD1-VD4 по среднему выпрямленному току равному 0,24А и по повторяющемуся импульсному обратному напряжению 960В. Этим параметрам соответствует диода 2Д220И [29]. Для данного диода выбирали [29] стандартный охладитель О181-110.

Выбрали дроссель L_1 из [10] по рассчитанному току намагничивания 0,17А (3.20) и рассчитанной индуктивности 0,16Гн (3.4). Заданным параметрам отвечает дроссель Д17-0,16-0,56 с типоразмером магнитопровода ШЛ8×16.

Аналогично выбрали в качестве L_2 дроссель Д27-0,3-0,56 с типоразмером магнитопровода ШЛ12×25.

Выбрали из [30] в качестве коммутирующего конденсатора C_K К50-12-450В-100мкФ±5%.

По номинальному действующему току 0,383А выбрали два предохранителя типа ВПЗТ-1Ш.

Выбор элементов для неуправляемого выпрямителя

Выбрали диоды VD1- VD6 по среднему выпрямленному току равному 0,051А, и по повторяющемуся импульсному обратному напряжению 297В. Этим параметрам соответствует диод КД204А [29]

«Для защиты преобразователя от КЗ и перенапряжений на входе выпрямителя ставим быстродействующий автоматический выключатель, который выбирается на входной ток $I_{вх} = 0,102$ А – это выключатель УА-0702» [6].

Выбор элементов для сглаживающего фильтра

Выбрали конденсатор, исходя из необходимой емкости 22мкФ (4.11) и падения напряжения 240В (4.5). По данным параметрам из справочника [30] выбрали К50-12-450В-20мкФ±5%.

Дроссель выбрали из [27] – Д233Т с типоразмером магнитопровода ШЛМ $10 \times 12,5$ по номинальному току подмагничивания $0,17\text{А}$ и значению индуктивности $L = 0,08\text{ Гн}$.

3.3. Расчет импульсного преобразователя постоянного напряжения

Диаграммы токов и напряжений элементов импульсного преобразователя постоянного напряжения (ИППН) изображены на рисунке 15. На вход ИППН подается постоянное напряжение $+12\text{В}$. На выходе необходимо получить постоянное напряжение 220В . [34, 35].

«ИППН работает следующим образом. Транзистор VT подключен параллельно нагрузке и работает в импульсном режиме, то есть попеременно замыкается и размыкается с частотой преобразования. Диод VD блокирует нагрузку и конденсатор фильтра С от ключевого элемента (VT) в нужные моменты времени. Когда транзистор открыт, ток от источника питания протекает через дроссель Д, запасая в нем энергию. Диод VD при этом отсекает нагрузку и не позволяет конденсатору С разряжаться через замкнутый ключ. Ток нагрузку в этот промежуток времени (время разряда t_3) поступает только от конденсатора С. Когда транзистор закрывается, ЭДС самоиндукции дросселя суммируется в выходным напряжением и энергия дросселя отдается в нагрузку.» [12, 15].

Расчет ИППН произведем по методике, изложенной в [13, с.167].

Рассчитали время разряда дросселя:

$$t_p = \frac{U_{\text{вх}} \cdot T}{U_{\text{вых}}} = \frac{12 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{220} = 0,15 \quad (30)$$

где T – период заряда и разряда дросселя, 3мкс ;

$U_{\text{вых}}$ - выходное напряжение ИППН, 220В ;

$U_{\text{вх}}$ - входное напряжение ИППН, 12В .

Тогда время заряда дросселя:

$$t_3 = T - t_p = 3 - 0,15 = 2,85 \text{ мкс} \quad (31)$$

Рассчитали мощность передаваемую ИППН в нагрузку:

$$P_H = I_{\text{ВЫХ}} \cdot U_{\text{ВЫХ}} = 0,17 \cdot U_{\text{ВЫХ}} = 0,17 \cdot 240 = 41,8 \text{ Вт} \quad (32)$$

Величину индуктивности нашли:

$$L = \frac{U_{\text{ВЫХ}} \cdot U_{\text{ВХ}} \cdot t_3}{2 \cdot P_H} = \frac{12 \cdot 240 \cdot 2,85 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 41,8} = 150 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \quad (33)$$

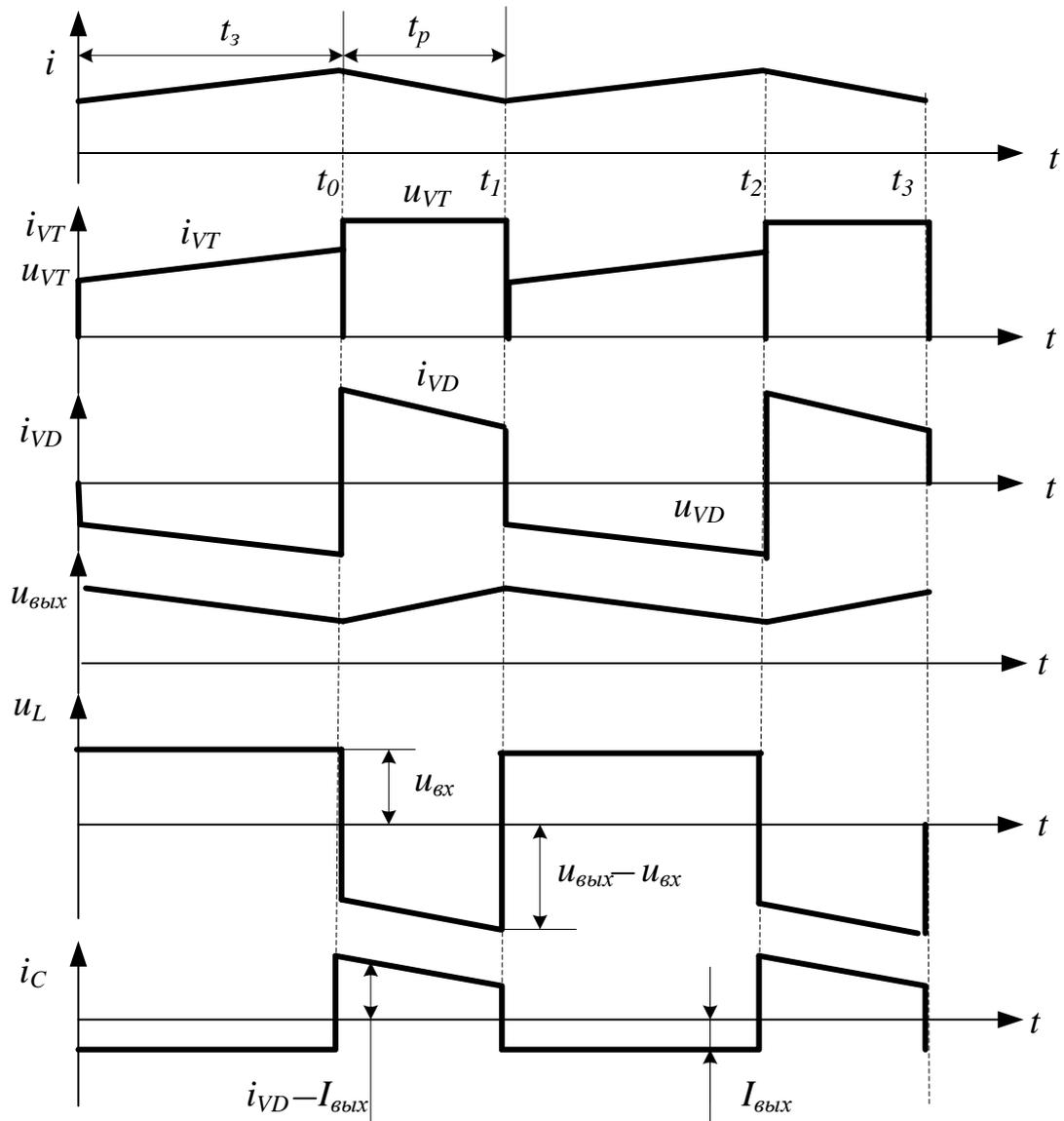


Рисунок 15 - Диаграммы токов и напряжений элементов схемы ИППН

Тогда максимальный ток протекающий в дросселе равен:

$$I_L = \frac{2 \cdot P_H}{U_{\text{ВЫХ}}} = \frac{2 \cdot 41,8}{240} = 0,348 \text{ А} \quad (34)$$

Ток, протекающий через транзистор, определили по формуле:

$$I_{\text{VT}} = \sqrt{\frac{\gamma}{2}} \cdot 7 \cdot I_L = 0,67 \cdot 0,348 = 0,233 \text{ А} \quad (35)$$

где γ - максимальный коэффициент заполнения, 0,9.

Определили емкость конденсатора С:

$$C = \frac{U_{\text{ВХ}} \cdot t_3 \cdot t_P}{U_{\text{ВЫХ}} \cdot L \cdot K_{\Pi}} = \frac{12 \cdot 0,15 \cdot 2,85 \cdot 10^{-12}}{240 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 0,1} = 0,22 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \quad (36)$$

где K_{Π} - коэффициент пульсации напряжения в нагрузке, 0,1.

Нашли необходимый коэффициент преобразования по напряжению:

$$K_{\Pi\Pi} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{220}{12} = 19 \quad (37)$$

Выбрали конденсатор из [30] - С: К – 75 – 24– 400В – 0,22 мкФ ± 5%.

Дроссель выбрали из [27] – Д149-0,00015-25с типоразмером магнитопровода ШЛ12×25 по номинальному току подмагничивания и значению индуктивности.

Выбрали диод VD по среднему выпрямленному току 0,348А и по повторяющемуся импульсному обратному напряжению 240В. Этим параметрам соответствует диод 2Д206А [29] .

Транзистор VT [23,28] выбрали КТ812Б по току коллектора и максимально допустимому падению напряжения коллектор – эмиттер, параметры, которого сведены в таблице 2.

Таблица 2 - Основные параметры транзистора КТ812Б

Наименование параметра	Значение
Напряжение коллектор – эмиттер $U_{кэ}$, В	400
Максимальный импульсный ток коллектора $I_{к\max и}$, А	3
Максимальная мощность рассеивания, P_{\max} , Вт	40
Статический коэффициент передачи тока	60
Постоянное напряжение база-эмиттер, В	4

Ток базы транзистора VT1 рассчитали по формуле:

$$I_{БVT} = \frac{I_{VT}}{h_{21Э}} = \frac{0,233}{60} = 3,88 \text{ мА} \quad (38)$$

В качестве схемы управления транзистором выбрали генератор импульсов, изображенный на рисунке 5.2, в качестве DD1 выбрали микросхему КР1006ВИ1 из [31]. При таком включении конденсатор C1 заряжается через резисторы R1 и R2 до напряжения равного $0,666 \cdot U_{П}$, а разряжается через R1 до напряжения $0,333 \cdot U_{П}$.

Задались частотой генерируемых импульсов:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{3 \cdot 10^{-6}} = 333 \cdot 10^3 \text{ Гц} \quad (39)$$

Длительность зарядки конденсатора можно определить по формуле:

$$t_{И} = 0,693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C_1 \quad (40)$$

Длительность паузы можно определить по формуле:

$$t_{П} = 0,693 \cdot R_2 \cdot C_1 \quad (41)$$

Из формул (40) и (41) Для дальнейших расчетов, приняли C1 равным 0,001 мкФ. Используя формулу (41) рассчитали сопротивление R2:

$$R_2 = \frac{t_{П}}{0,693 \cdot C_1} = \frac{0,15 \cdot 10^{-6}}{0,693 \cdot 1 \cdot 10^{-9}} = 215 \text{ Ом}$$

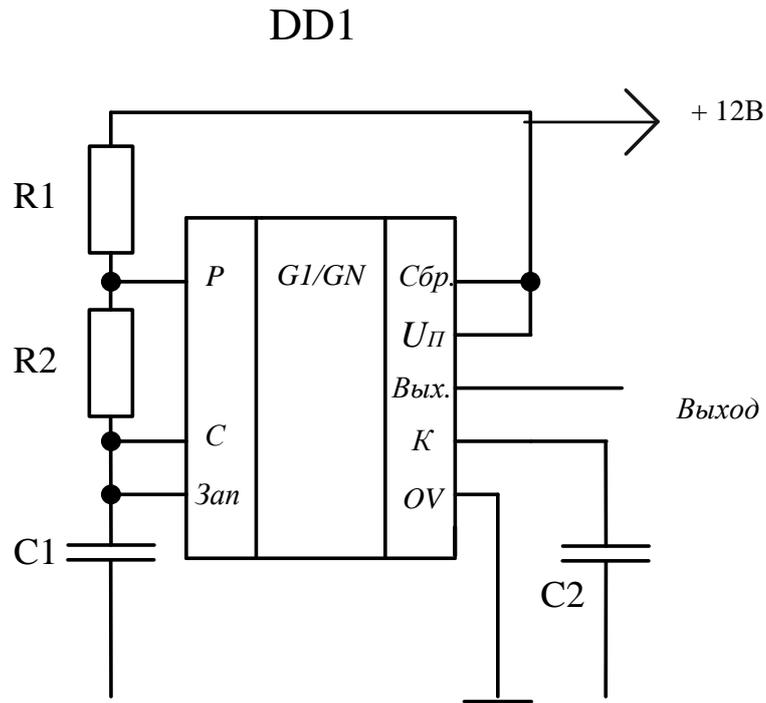


Рисунок 16 - Генератор импульсов на микросхеме КР1006ВИ1

Используя формулу (40) рассчитали сопротивление R1:

$$R_1 = \frac{t_{и}}{0,693 \cdot C_1} - R_2 = \frac{2,85 \cdot 10^{-6}}{0,693 \cdot 1 \cdot 10^{-9}} - 215 = 3920 \text{ Ом}$$

Выбрали сопротивления R1 и R2 на выделяемую максимальную мощность 0,125 Вт. По рекомендациям [31] C2 берем равным 0,01 мкФ. Технические параметры микросхемы КР1006ВИ1 приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Справочные данные микросхемы КР1006ВИ1

Наименование параметра	Название микросхемы
	КР1006ВИ1
Номинальное напряжение питания, В	12
Выходное напряжение низкого уровня, В	0,35
Выходное напряжение высокого уровня, В	2,75
Ток нагрузки, мА	100
Рассеиваемая мощность, мВт	500

Выбрали из [1, 26] резисторы:

R1, R2: МЛТ - 0,125 – 1,37 кОм \pm 0,01 %;

Из [14] выбрали конденсаторы:

C1: К73 – 9 – 100 – 0,001 мкФ \pm 5%;

C2: К73 – 24 – 100 – 0,01 мкФ \pm 5 %.

Выводы

В третьей главе произведен расчет схемы заряда накопительного конденсатора. Выбраны основные параметры. Выбраны элементы схемы и приведены их характеристики. Произведен расчет импульсного преобразователя постоянного напряжения.

4. Расчет системы управления и стабилизации напряжения на нагрузке

4.1. Принцип работы системы управления и стабилизации напряжения на нагрузке

В проектируемом зарядном устройстве необходимо поддерживать стабильным напряжение на емкостном накопителе. Стабилизация осуществляется с помощью датчика напряжения, реализованного на трехвыводном опорнорегулируемом стабилизаторе.

Получение сигнала обратной связи с помощью стабилитрона VD12 осуществляется следующим образом:

Изменение напряжения на нагрузке приведет к возрастанию тока через светодиод оптопары VU1, в результате откроется транзистор оптопары VU1 и схема управления получит сигнал об изменении напряжения нагрузки. Схема управления задает импульс управления на управляющие электроды тиристоров, но не сразу. Предварительно управляющие импульсы управления проходят предварительное усиление на выходном формирователе, и лишь потом попадают на соответствующие тиристоры многоимпульсной схемы заряда емкостного накопителя.

Питание системы управления схемы заряда емкостного накопителя осуществляется от стабилизированного блока питания напряжением 12В.

4.2. Расчет схемы управления и стабилизации

Схема системы управления и стабилизации напряжения на нагрузке изображена на рисунке 17.

Для реализации системы управления выбрали микросхему CA1524. Параметры микросхемы CA1524 сведем в таблицу 5.

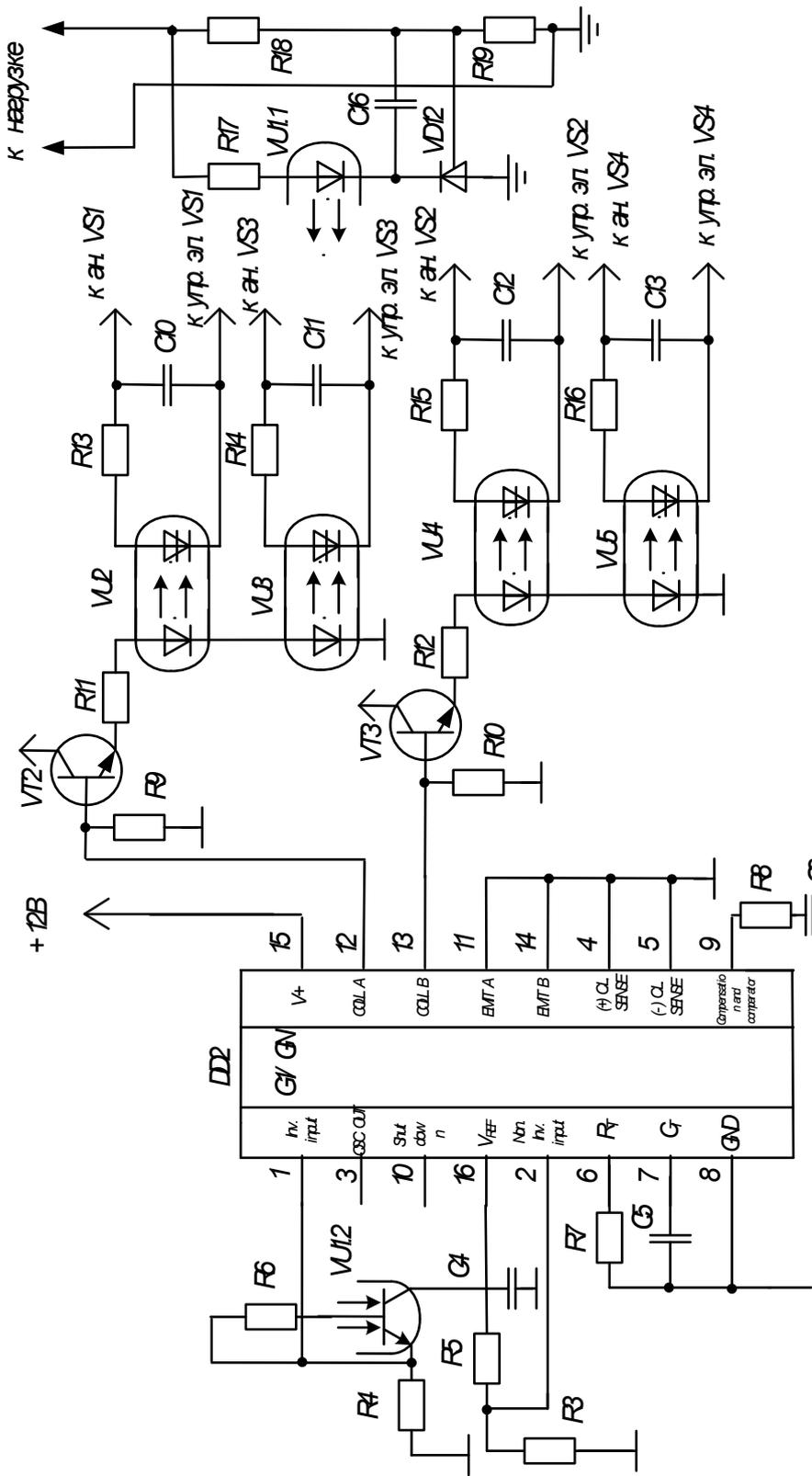


Рисунок 17 - Схема системы управления и стабилизации напряжения

Таблица 5 - Параметры микросхемы СА1524

Параметры	Значения
Напряжение питания $U_{п,В}$	от 8 до 40
Максимальная частота задающего генератора f , кГц	300
Нестабильность выходного напряжения (не более), %	1
Диапазон изменения задающей емкости C_5 , мкФ	от 0,001 до 0,1
Диапазон изменения задающего резистора R_7 , кОм	от 1,8 до 120
Температурная нестабильность (не более), %	2

Задали необходимую частоту управляющих импульсов. Для этого подобрали задающую емкость C_5 и резистора R_7 с помощью графика, предложенного в [13, стр.263] для частоты задающего генератора 1000Гц.

Сопротивление резистора R_7 равно 11кОм, а емкость C_5 – 0,1мкФ. Номиналы остальных резисторов и конденсаторов выбрали из [5, стр.286].

Выбрали резисторы [26]:

R_3, R_4, R_5 : МЛТ - 0,25 – 5,1 кОм \pm 5 %;

R_6 : МЛТ - 0,25 - 100 кОм \pm 5 %;

R_7 : МЛТ - 0,5 - 11 кОм \pm 5 %;

R_8 : МЛТ - 0,25 - 20 кОм \pm 5%;

Из [1] выбрали конденсаторы:

C_4, C_5, C_8 : К10-17-25В-0,1мкФ \pm 10%..

«В качестве выходного формирователя удобно использовать оптронную пару диод-тиристор типа АОУ103А. Параметры данной оптопары следующие:

- выходной ток фототиристора – 100 мкА;
- выходной удерживающий ток – 10 мА;
- время включения – 15 мкс;
- время выключения – 100 мкс;
- выходной постоянный прямой ток – 20 мА.» [30].

«Для отпирания силового тиристора необходимо подать импульс на светодиод оптрона. После отпирания силового тиристора падение напряжения на нем по ВАХ составляет 2,5 В. При этом анодный ток фототиристора VS5, протекающий так же через резистор R₁₈ при открытии силового тиристора, должен быть меньше тока удержания фототиристора, только после этого он начнет закрываться» [3]. Кроме того, для надежного запираания к нему не должно прикладываться положительного напряжения на протяжении времени восстановления запирающих свойств, то есть 100 мкс. Это условие обеспечивается в течение проводимости силового тиристора и параллельного обратного диода, то есть на протяжении половины периода подачи импульсов управления на тиристоры: $1/(2 \cdot 1000) = 500$ мкс.

Выбираем резисторы R₁₃, R₁₄, R₁₅, R₁₆ номиналом в 680 Ом.

, проверяем условия нормальной работы схемы:

- ток через фототиристор при открытии силового тиристора

$$i = \frac{U_{VS1}}{R_{13}} = \frac{2,5}{680} = 3,7 \text{ мА} \leq i_{уд}, \quad (42)$$

где U_{VS1} – прямое падение напряжения на силовом тиристоре.

- ток включения силового тиристора

$$i_{вкл} = \frac{U_{\min VS1}}{R_{13}} = \frac{220}{680} = 0,35 \text{ А} \geq i_{вкл VS1}, \quad (43)$$

где $U_{\min VS1}$ – минимально возможное напряжение на силовом тиристоре);

$i_{вкл VS1} = 0,21$ А для силового тиристора ТБ151-80.

Мощность резистора:

$$P = (i_{вкл})^2 \cdot R_{13} \cdot \frac{t_{вкл VS1}}{T} = (0,21)^2 \cdot 680 \cdot \frac{20 \cdot 10^{-6}}{0,001} = 0,599 \text{ Вт}, \quad (44)$$

где $t_{вкл VS1} = 20$ мкс – время включения силового тиристора ТБ151-80;

$T = 1/f = 1/1000 = 0,001$ – период включения тиристоров.

Данным условиям соответствует резистор R₁₃ МЛТ-1-680Ом±5%.

«Для предупреждения самопроизвольного открывания фототиристора VU2 в результате большой скорости нарастания прямого напряжения, параллельно ему устанавливаем конденсатор C_{10} ($C_{10}=C_{11}=C_{12}=C_{13}$), емкость которого равна:

$$C_{10} = \frac{U_{\max}}{R_{13} \cdot \left(\frac{dU}{dt}\right)_{\text{crit}}} = \frac{220}{680 \cdot 200 \cdot 10^6} = 0,001 \text{ мкФ}, \quad (45)$$

где $U_{\max} = 513 \text{ В}$ – максимально возможное напряжение на входе инвертора;

$(dU/dt)_{\text{crit}} = 200 \text{ В/мкс}$ – критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии силового тиристора.

Выбираем конденсатор C_{10} : К10-17-25В-0,001мкФ±10%.

Для отпирания фототиристора нужен ток порядка 80 мА, а выходной каскад логического элемента допускает протекание тока 20 мА, поэтому для обеспечения тока открытия оптопар ставим транзисторы VT2, VT3 марки КТ503А. Параметры транзистора следующие [3]:

- статический коэффициент передачи тока в схеме с ОЭ – 40-120;
- постоянное напряжение коллектор-база – 40 В;
- постоянный ток коллектора – 150 мА;

Сопротивления резисторов R_{11} , R_{12} находим по формуле:

$$R_{11}, R_{12} = \frac{U_{\text{пит}} - U_{\text{кэнас}} - 2U_{\text{VD}}}{I_y} = \frac{15 - 1,5 - 2 \cdot 2,5}{100 \cdot 10^{-3}} = 85 \text{ Ом}, \quad (46)$$

где $U_{\text{кэнас}}$ – напряжение насыщения коллектор-эмиттер транзистора в открытом состоянии;

U_{VD} – прямое падение напряжения на светодиоде;

I_y – ток управления оптотиристорами.

Выбираем резисторы R_{11} , R_{12} типа МЛТ-0,25-91Ом±5%. Для предотвращения открытия транзисторов в случае перегорания микросхем в цепь их базы включаются резисторы R_9 , R_{10} типа МЛТ-0,25-47кОм±5%.»[3]

Выбрали в качестве программируемого стабилизатора TL-431, а в качестве оптопары VU1- 4N25. Основные электрические параметры программируемого стабилизатора [13] сведем в таблицу 6., а оптопары 4N25 [3] сведем в таблицу 7

Таблица 6 - Параметры стабилизатора TL-431

Параметры	Значения
Максимальное напряжение катод – анод $U_{KA}, В$	37
Максимальный ток катода $I_{KA}, мА$	5
Минимальное напряжение стабилизации $U_{REF}, В$	2,5

Таблица 7 - Основные параметры оптопары 4N25

Параметры	Значения
Максимальное обратное напряжение светоизлучающего диода $U_R, В$	5
Максимальный импульсный ток светодиода $I_{fsm}, А$	3
Минимальное напряжение стабилизации $U_{REF}, В$	2,5
Максимальная температура кристалла $T_j, С$	125
Максимальный импульсный ток коллектора $I_{cm}, мА$	100
Максимальный импульсный ток коллектора $I_c, мА$	50

Значения резисторов и конденсаторов выбрали из [13, с.287].

Выбрали резисторы [1]:

R17, R18, R19: МЛТ - 2 – 47 кОм \pm 5 %;

Из [25] выбрали конденсаторы:

C16: K75-45-2,5кВ-0,0012мкФ \pm 10%.

4.3 Разработка печатной платы системы управления и стабилизации напряжения на нагрузке

С помощью автоматизированного проектирования (САПР) – программного пакета P-CAD разработали печатную плату, изображенную на рисунках 18, 19.

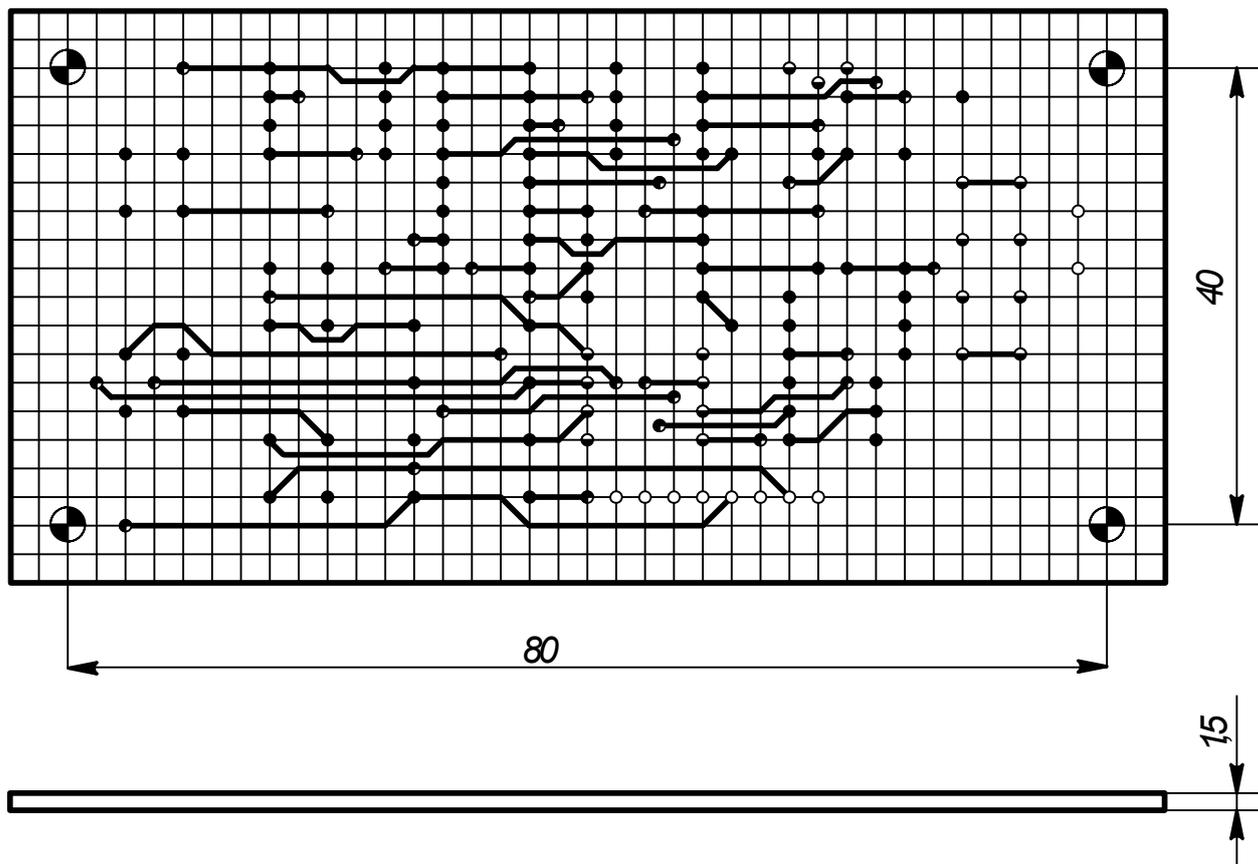


Рисунок 18 - Эскиз печатной платы схемы управления и стабилизации напряжения на нагрузке (верхняя сторона).

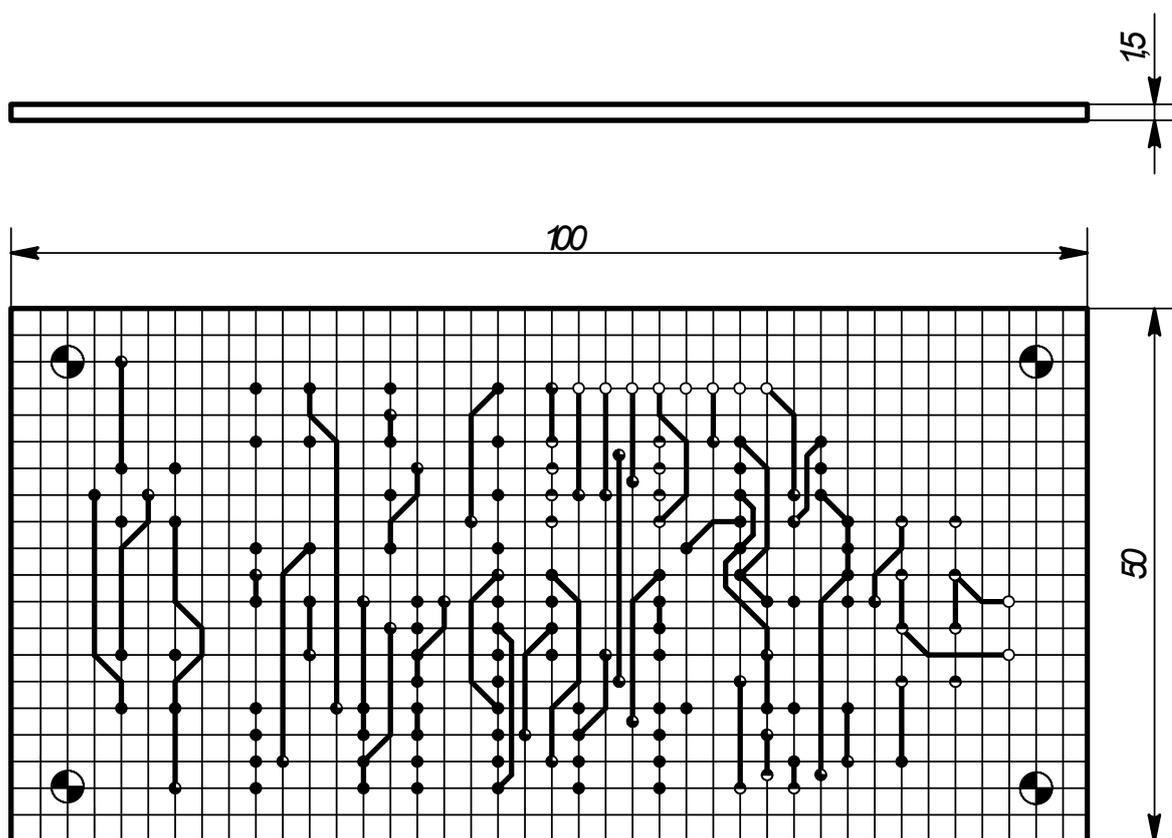


Рисунок 19 - Эскиз печатной платы схемы управления и стабилизации напряжения на нагрузке (нижняя сторона).

Выводы

В четвертой главе произведен расчет системы управления и стабилизации напряжения на нагрузке. Описан принцип ее работы. Так же произведена разводка печатной платы с помощью автоматизированного проектирования (САПР) – программного пакета P-CAD.

Заключение

В ходе ВКР была произведена разработка системы заряда емкостного накопителя выбор структурной схемы зарядного устройства емкостного накопителя, в ходе которого решены ряд задач:

- Обзор состояния вопроса
- Выбор схемы зарядного устройства
- Расчет схемы заряда емкостного накопителя
- Расчет системы управления и стабилизации напряжения
- Выбор элементов схем
- Разводка печатной платы

Для заряда емкостного накопителя от сети переменного напряжения выбрали неуправляемый выпрямитель, выполненный в мостовом трехфазном варианте. Выбрали шесть диодов типа КД204А. Для защиты преобразователя от КЗ и перенапряжений на входе выпрямителя поставили быстродействующий автоматический выключатель УА-0702.

Для заряда емкостного накопителя от сети постоянного напряжения был рассчитан импульсный преобразователь постоянного напряжения. Произвели выбор элементов.

Рассчитали схему многоимпульсного заряда емкостного накопителя. Для защиты на входе схемы многоимпульсного заряда поставили предохранители для защиты от внутренних коротких замыканий. Был произведен расчет согласующего трансформатора. Для уменьшения пульсации напряжений на входе схемы многоимпульсного заряда выбрали и рассчитали Г-образный LC фильтр.

Разработали схему управления зарядным устройством емкостного накопителя, произвели расчет и выбор элементов.

При оформлении работы использовали [16, 22, 24, 32].

Список используемой литературы

1. Аксенов А.И., Нефедов А.В. Резисторы. Конденсаторы. Справочное пособие. - М.: СОЛОН-Р, 2000. - 240 с.
2. Александров И. Автоматическое зарядное устройство. - Радио, 1990, №5, стр.39.
3. Аналоговые интегральные схемы: Справочник/А. Л. Булычев, В. И. Галкин, В. А. Прохоренко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Мн.: Беларусь, 1994.
4. Булатов О.Г., Иванов В.С., Панфилов Д.И. Полупроводниковые зарядные устройства емкостных накопителей энергии. – М.: Радио и связь, 1986. – 160с., ил.
5. Гершунский Б.С. Справочник по расчету электронных схем. - К.: Вища школа, 1983. - 240 с.
6. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника: Учеб. Пособие для приборостроительных специальностей вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1991.
7. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. Пособие для приборостроит. Спец. Вузов. –М.: Высш. шк.1991.- 622 с.
8. Дорошенко Б.И., Огороков А.А. Расчет зарядных процессов при питании емкостного накопителя через управляемый однофазный выпрямитель. – Проблемы технической электродинамики, 1978, вып. 65, с. 25-28.
9. Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию. М.: Высшая школа. 1991. – 160с.: ил.
10. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: Учебник для вузов. – М: Высш. школа, 1982. -496 с.: ил.
11. Катасонов Н.М. Исследование системы зарядки емкостных накопителей ступенчатым током. – В кн.: Системы электропитания потребителей импульсной мощности. – М.: Энергия, 1976, с 30-35.

12. Кокшаров В.С. Преобразовательная техника. Проектирование малогабаритных источников вторичного электропитания: Учеб. пособие. - Уфа: Уфимск. авиац. ин-т, 1991. - 84 с.
13. Кокшаров В.С., Шуляк А.А. Преобразовательная техника. Выбор и расчет элементов сглаживающих фильтров: Учеб. пособие. - Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2002. - 129 с.
14. Конденсаторы: Справочник / Четверков И.И., Дьяконов М.Н, Присняков В.И. и др.: Под ред. Четверкова И.И., Дьяконова М.Н.-М.: Радио и связь. -1993. -392с.: ил.
15. Масленников М.Ю. Справочник разработчика и конструктора РЭА. –М.: Радио и связь, 1988.-300с.: ил.
16. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/ВКР_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/ВКР_(Diplom)) / Оформление ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)
17. Микросхемы для бытовой радиоаппаратуры: Справочник/ И. В. Новаченко, В. М. Петухов, И. П. Блудов, А. В. Юровский. - М.: КУБК-а, 1996.
18. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: Справочник/ В. Я. Замятин, Б. В. Кондратьев, В. М. Петухов. - М.: Радио и связь, 1987. 16.
19. Нечаев И. Автоматическое зарядное устройстве. - Радио, 1985, №12, стр.45.
20. Панфилов Д.И., Ляхов Ю.Б. Анализ работы последовательного инвертора при заряде емкостного накопителя в режиме постоянной мощности, потребляемой от источника питания. – Известия вузов. Сер. Приборостроение, 1976, №9, с 88-95.
21. Перебаскин А.В. Интегральные микросхемы. Микросхемы для линейных источников питания и их применение. - М.: ДОДЕКА, 2000. - 608 с.

22. Положение о выпускной квалификационной работе: утв. решен. учен. совет. от 21.11.2019 решение №254 : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о ВКР (Дата обращения: 18.02.2021)

23. Полупроводниковые приборы: Справочник / Гитцевич А.Б.-М.: Радио и связь, 1988.-528с.:ил.

24. Порядок обеспечения самостоятельности выполнения письменных работ в ТГУ : [Электронный ресурс]. URL: [https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_\(Diplom\)](https://yadi.sk/d/Fs-9ts_VInrE3Q/BKP_(Diplom)) / Положение о Антиплагиате (Дата обращения: 18.02.2021)

25. Резисторы, конденсаторы, коммутационные устройства РЭА: Справочник/Н. Н. Акимов, Е. П. Ващуков, В. А. Прохоренко, Ю. П. Ходоренок - Мн.: Беларусь, 1994.

26. Резисторы: Справочник / В.В. Дубровский, Д.М. Иванов, Н.Я. Пратусевич и др. Под ред. И.И. Четверткова и В.М. Терехова. -2-е изд., перераб. И доп. – М.: Радио и связь, 1991.-528 с.:ил.

27. Сидоров И.Н. и др. Малогабаритные трансформаторы и дроссели: Справочник / И.Н. Сидоров, В.В. Мукосеев.-М.: Радио и связь, 1985. – 416с., ил.

28. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник/ О. Г. Чебовский, Л. Г. Моисеев, Р. П. Недешовин. - 2 изд. перераб. и доп. - М.: Энергия, 1985.

29. Справочник: Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные. Стабилитроны. Тиристры /А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев, В.В. Мокряков и др.: Под ред. А.В. Голомедова.. - М.: Радио и связь, 1989. - 528 с.

30. Справочник: Полупроводниковые приборы. Диоды высокочастотные. Диоды импульсные. Оптоэлектронные приборы. /А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев, В.В. Мокряков и др.: Под ред. А.В. Голомедова.. - М.: КУБК-а, 1994. - 592 с.

31. Цифровые интегральные микросхемы: Справочник/М. И. Богданович, И. Н. Грель, С. А. Дубина и др. - 2-е изд., перераб. и доп. - Мн.: Беларусь, Полымя. 1996.
32. Электроника и нанoeлектроника, управление в технических системах, электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы / сост. Позднов М.В., Прядилов А.В. - Тольятти: ТГУ, 2019. - 41 с.
33. Buck converter [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Buck_converter (дата обращения: 07.03.2023)
34. DC-DC Converter Technologies for Electric/Hybrid Electric Vehicles [Электронный ресурс]. URL: <http://www.powerguru.org/dc-dc-converter-technologies-for-electrichybrid-electric-vehicles/> (дата обращения: 07.05.2023)
35. DC-to-DC converter - Wikipedia [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/DC-to-DC_converter (дата обращения: 07.05.2023)
36. Diodes Incorporated [Электронный ресурс]. URL: <https://www.diodes.com> (дата обращения: 27.05.2023)
37. Electrical resistance and conductance [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_resistance_and_conductance (дата обращения: 17.05.2023)
38. Electronic Components Datasheets [Электронный ресурс] URL: <http://www.datasheets.ru> (дата обращения: 17.02.2023)
39. LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf> (дата обращения: 07.03.2023)