Реферат на русском языке

Пояснительная записка 78 страниц, 6 таблиц, 23 рисунков, 9 источников.

Объектом проектирования является импульсный источник питания Б5-71/1-ПРО.

Цель работы – анализ, модернизация системы импульсный источник питания Б5-71/1-ПРО, построение структурной схемы устройства, создание принципиальной схемы ИИП максимально удовлетворяющая потребности технического задания.

В процессе работы рассматриваются технические характеристики аппаратуры, техническая эксплуатация системы, экономическое обоснование проекта.

Рассматриваются вопросы техники безопасности и охраны труда.

Реферат на иностранном языке

Explanatory note of 78 pages, 6 tables, 23 drawings, 9 sources.

Subject to design is the pulse B5-71/1-PRO power supply.

The work purpose – the analysis, modernization of system the pulse B5-71/1-PRO power supply, creation of the block diagram of the device, creation of the schematic diagram of IIP most satisfying requirements of the specification.

In the course of work technical characteristics of the equipment, technical

operation of system, economic justification of the project are considered.

Questions of safety measures and labor protection are considered.

Министерство образования и науки
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации (РЗИ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой РЗИ
доцент,
кандидат технических наук
_____ А.В. Фатеев
«___»_____ 2017 г.

Т Е Х Н И Ч Е С К О Е З А Д А Н И Е

на выпускную квалификационную работу студенту гр. З-141 -б
радиотехнического факультета
Иванову Алексею Николаевичу

1. Тема проекта: Модернизация импульсного источника питания Б5-71/1-ПРО (утверждена приказом ректора по университету от _____)
2. Срок сдачи законченного проекта: _____)_____
3. Назначение, область применения изделия:

Источник бесперебойного питания импульсный предназначен для питания низковольтных цепей приборов, устройств, систем, станций и другой аппаратуры с возможностью регулирования подающегося тока и напряжения.

4. Требования к составным частям изделия:

4.1. Общие требования: Импульсный источник питания Б5-71/1-ПРО содержит 11 блоков: устройство управления и измерения, вспомогатенльный источник питания, сетевой фильтр, стабилизированный выпрямитель напряжения сети, преобразователь напряжения, силовой выпрямитель, усилитель мощности и защита выхода, дифференциальный усилитель, усилитель тока, датчик тока, усилитель напряжения.

4.2 Подлежат разработке: блок силового выпрямителя.

5. Исходные данные для проектирования:

5.1 Жеребцов И.П. Основы электроники. Изд.5-е, — Ленинград. ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ. Ленинградское отделение, 1989. - С. 120-121.

5.2. Москатов Е.А. Электронная техника. Начало. - Таганрог, 2010. -С.76.

5.3. 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- 416с.

5.4. Статья «Основы технологии и оборудование для поверхностного монтажа» [Электронный ресурс] URL: http://www.elinform.ru/articles_4.htm

6. Стадия разработки по ЕСКД: Эскизный проект (ГОСТ 2.119-73).

7. Технические требования

7.1. Основные электрические параметры Б5-71/1-ПРО

Нестабильность 0,5%, пульсации 2 мВ/5мА

Дискретность индикации: 0,01В; 10мА

Режимы работы: стабилизация U и I, динамическая нагрузка
Защита от перегрузки и короткого замыкания
Электронное включение/выключение нагрузки
Интерфейс RS-232

7.2 Модернизация прибора, путем изменения элементной базы, а так же модернизация схемы за счет перехода основной части производства на технологию SMT-монтажа, при этом не влияя на выходные характеристики устройства.

7.3 Первичный источник питания – сеть переменного тока 220В ± 10%, 50
7.4 Требования к конструктивному устройству

7.4.1 Общие требования:

Источник питания должен быть выполнен в виде отдельно переносного блока

7.4.2 Конструкторской проработке в проекте подлежат:

Блок силового выпрямителя

7.5 Технологические требования:

7.5.1 Общие требования.

ИИП подлежит исполнению на типовых микросхемах

7.6. Условия эксплуатации

7.6.1 Изделие предназначено для эксплуатации по ГОСТ 2261-94

8. Подлежит разработке в проекте следующая документация

8.1 Чертежи

Функциональная схема источника питания Б5-71/1-ПРО	1 лист
Силовой выпрямитель, схема электрическая принципиальная	1 лист

8.2 Демонстрационные плакаты

Результаты экспериментального исследования	1 лист

8.2 Пояснительная записка

Пояснительная записка к дипломному проекту должна быть оформлена в соответствии с ОС ТУСУР 01-2013, а также должна содержать:

1) Эскизный расчет выбранных вариантов схем силового выпрямителя.
2) Программа расчета и оптимизации электрических характеристик силового выпрямителя.
3) Результаты расчета и оптимизации силового выпрямителя.

9.Задание приято к исполнению.

Студент гр. 3-141 – б _____ Иванов А.Н

«___»_____ 2017 г.

Руководитель выпускной
квалификационной работы
инженер электросвязи ПАО «Ростелеком» _____ Тараканов Н. А.

«___»_____ 2017 г.

Оглавление

Реферат на русском языке.....2
Реферат на иностранном языке.....3

ЗАДАНИЕ.....4
Введение.....9
Раздел 1. Анализ технического задания……10
1.1 Назначение и условия эксплуатации..…….10
1.2 Требования к конструкции……...11
Раздел 2. Обзор импульсного источника питания, его параметры и характеристики…….11
Раздел 3. Оценка проблемной ситуации обеспечения необходимого уровня функциональности рассматриваемого устройства……...16
Раздел 4. Конструктивная часть.....17
4.1 Разработка и выбор структурной схемы устройства Б5-71/1 ПРО.....17
42 Разработка компьютерной модели разрабатываемого устройства.....18
4.3 Разработка или выбор принципиальной схемы Б5-71/1 ПРО.....19
4.4 Расчет надежности Б5-71/1ПРО.....43
Раздел 5. Исследовательская часть.....46
5.1 Исследование Б5-71/1ПРО на компьютерной модели на предмет возможности выполнимости поставленных задач и оптимизации параметров устройства.....46
5.2 Исследование параметров Б5-71/1ПРО с помощью программного комплекса Simulink.....49
5.3 Исследование параметров Б5-71/1ПРО с помощью Electronics Workbench.....54
Раздел 6. Охрана труда.....58
Заключение.....71
Сокращения, обозначения, термины и определения.....72
Список использованных источников.....76

Введение

Импульсные источники питания(ИИП), давно используемые в компьютерных блоках питания (БП), находят всё более широкое применение и в других областях бытовой электроники – от сварочных аппаратов и телевизоров до зарядных устройств мобильных телефонов и блоков питания слаботочных устройств. В последнее время ИИП повышенной мощности стали применяться как в лабораторных БП, так и в усилителях мощности звуковой частоты и в активных акустических системах.

Рассматриваемые в настоящей работе импульсный преобразователь

предназначены для преобразования электрической энергии переменного тока одного напряжения в постоянный ток другого напряжения при стабилизации постоянного тока и представляет собой импульсную систему автоматического регулирования. Такие преобразовательные устройства включают в себя ключевой элемент, схему его управления, которая в процессе регулирования изменяет скважность импульсов на входе ключевого элемента (модулятор), и накопители энергии - дроссели и конденсаторы, которые играют роль сглаживающих фильтров (демодулятор).

Класс импульсных преобразователей, нашедших широкое применение в современных источниках питания радиоэлектронной аппаратуры, чрезвычайно многообразен и достаточно хорошо изучен. Импульсные преобразователи обладают малыми потерями в силовом регулирующем элементе и высоким к. п. д, достигающим 85 – 90%.

В данной работе ставится задача модернизировать рассматриваемый ИИП согласно технического задания.

Раздел 1. Анализ технического задания

1.1. Назначение и условия эксплуатации

1.1.1. Источник бесперебойного питания импульсный предназначен для питания низковольтных цепей приборов, устройств, систем, станций и другой аппаратуры с возможностью регулирования подающегося тока и напряжения.

1.1.2. Требованиями ТЗ установлено, что источник питания должен работать в лаборатории, рабочем цеху.

1.1.3. Источник питания должен быть выполнен в виде отдельно переносного блока

1.1.4. Первичный источник питания – сеть переменного тока 220В ± 10%, 50Гц.

1.1.5. Целью модернизации является сокращение элементной базы прибора, замена выводных элементов на SMD аналоги с сохранением выходных параметров.

1.1.6 Изделие предназначено для эксплуатации по ГОСТ 22261, стационарно

, для работы в подземных и наземных сооружениях , группа 1 по ГОСТ 16019-78.

1.1.7. Группа климатического исполнения 2 по ГОСТ 22261: Среднее значение влажности 80% при 10°С, верхнее значение влажности 90% при 30°С. Верхнее значение атмосферного давления 106,7КПа (800мм.рт.ст.). Нижнее предельное значение 70КПа (537мм.рт.ст.). Температура воздуха : нижнее значение + 10°С , верхнее значение +35°С.

1.2. Требования к конструкции

1.2.1. Требования к конструкции определяются назначением устройства , требованиями безопасности использования , ремонтопригодностью

1.2.2. В целях безопасности

, т.к. устройство питается от сети 220В, в конструкции предусмотрено заземление, также предусмотрен блок плавких предохранителей в количестве 2 шт. в цепи первичного электропитания блока, включаемых в одну фазу провода сразу после тумблера "Сеть".

1.2.3. Изделие не должно создавать радиопомех другим устройствам, иметь надёжную изоляцию и заземление.

1.2.4. Питание от сети 220В±10В; 50±1Гц .

1.2.5. Наработка на отказ не менее 2500часов.

Раздел 2. Обзор импульсного источника питания Б5-71/1ПРО, его параметры и характеристики

Импульсный источник питания (ИИП) Б5-71/1-ПРО внесен в

Государственный реестр средств измерений под № -09. Производитель источника питания Б5-71/1-ПРО - компания ПРОФИГРУПП (Россия).

Источник питания постоянного тока Б5-71-ПРО предназначен для воспроизведения напряжений постоянного тока, нормированных по стабильности и пульсациям, и измерения выходных напряжения и силы постоянного тока. Может применяться в лабораторных условиях при поверке средств измерений, ремонте и эксплуатации радиотехнических устройств.

Источник питания выполнен в виде отдельного переносного прибора.

Принцип действия заключается в следующем :Сетевое напряжение через сетевой фильтр подается на высоковольтный выпрямитель , где преобразуется в постоянное напряжение величиной порядка 300 В. Это высокое постоянное напряжение преобразуется с помощью высокочастотного регулируемого преобразователя в пониженное напряжение, величина которого зависит от режима работы и нагрузки прибора. Данное пониженное напряжение преобразуется в выходное напряжение с заданными параметрами, устанавливаемыми переменными резисторами на передней панели прибора.

Режим стабилизации автоматически устанавливается в зависимости от соотношения величины сигналов, пропорциональных выходному напряжению или току.

Формируемые источником питания электрические величины в соответствующем виде через выходной фильтр подаются на выходные клеммы прибора. Выходное напряжение и напряжение, снимаемое с датчика тока, поступают на схему индикации, где эти сигналы измеряются и значения измеренных величин в цифровом виде выводятся на светодиодные индикаторы , расположенные на передней панели .

Источники питания снабжены системой вентиляции с малым уровнем собственных шумов и терморегулированием , а также системой защиты от перегрузок и термозащитой .

Внешний вид изделия представлен на рисунках 2.1 и 2.2.



Рис. 2.1. Внешний вид источника питания постоянного тока импульсный Б5-71/1-ПРО (Сид спереди).



Рис. 2.2. Внешний вид источника питания постоянного тока импульсный Б5-71/1-ПРО (Вид сзади).

Основные технические характеристки источника питания приведены в таблице 1.

Таблица.2.1.

Параметры	Значения
Диапазон установки выходного напряжения постоянного тока, В	0,1 – 30
Дискретность, В	0,007
Пределы абсолютной погрешности установки и измерения выходного напряжения в режиме	±(0,002Uуст+0,1)

Параметры	Значения
стабилизации напряжения, В, не более	
Нестабильность выходного напряжения при изменении напряжения питания от номинального значения 220 В на ±22В в режиме стабилизации напряжения, В, не более	±(0,001Uмакс)
Нестабильность выходного напряжения при изменении тока нагрузки от 0,9 максимального значения до нуля в режиме стабилизации напряжения, В, не более	±(0,001Uмакс+0,02)
Пульсация выходного напряжения в режиме стабилизации напряжения	эффективного значения, не более 2 мВ амплитудное значение, не более 20
Диапазон установки выходного постоянного тока, А	0,01 – 10
Минимальная дискретность установки силы тока, А	0,005
Пределы абсолютной погрешности установки и измерения выходного тока в режиме стабилизации тока, А, не более	±(0,01Iмакс+0,05)
Нестабильность выходной силы тока при изменении напряжения питания на ±22В от номинального значения 220В в режиме стабилизации тока, А, не более	±(0,001Iмакс+0,05)
Нестабильность выходного тока при изменении напряжения на нагрузке от 0,9 максимального значения до нуля в режиме стабилизации тока, А, не более	±(0,001Iмакс+0,05)
Пульсация выходного тока в режиме стабилизации тока, мА эффективного значения, не более	5
Нестабильность выходного напряжения от времени (дрейф выходного напряжения) за 8 ч непрерывной работы и за любые 10 мин. из этих 8 ч, исключая время установления рабочего режима, В, не более	±(0,001Uмакс+0,07)
Нестабильность выходного тока от времени (дрейф выходного тока) за 8 ч непрерывной работы и за любые 10 мин. из этих 8 ч, исключая время установления рабочего режима, А, не более	±(0,001Iмакс+0,05)

Параметры	Значения
Нестабильность выходного напряжения при изменении температуры на 10 °С в режиме стабилизации напряжения, В, не более	±(0,002Uмакс+0,02)
Нестабильность выходного тока при изменении температуры на 10°С в режиме стабилизации тока, А	±(0,002Iмакс+0,02)
Величина превышения тока или напряжения при переходе из режима стабилизации напряжения в режим стабилизации тока и наоборот, А, В, не более	0,1
Время установления рабочего режима, мин, не более	15
Время непрерывной работы, час, не менее	8
Uуст. – установленное значение выходного напряжения, Uмакс. – максимальное выходное напряжение, Iмакс. – максимальный выходной ток	
Электропитание источника питания осуществляется от сети с номинальной частотой 50 Гц и номинальным действующим значением напряжения	220 ±10% В
Максимальная потребляемая мощность	650 В*А
Средняя наработка на отказ источника питания	2500 ч
Средний срок службы источника питания до списания	5 лет
Габаритные размеры источника питания, мм	230 х 105 х 310
Масса источника питания, кг	3,0

Импульсный источник питания Б5-71/1-ПРО выполнен в виде отдельных блоков, которые собраны в один металлический короб (рис. 2.1 и 1.2). Вход для питания расположен с тыльной стороны прибора (рис. 2.2). Выход сигнала расположен в виде малогабаритных высокочастотных разъемов (рис. 2.1) с маркировкой «+», «-» и «земля. С этой стороны панели расположен выключатель прибора и серия кнопок для регулирования выходного тока или напряжения. С тыльной стороны прибора расположены предохранители и разъем типа RS232, для возможности подключения внешних устройств отображения и контроля параметров импульсного источника питания Б5-71/1-ПРО.

Возможности источника питания постоянного тока импульсный Б5-

71/1-ПРО:

- Регулируемые импульсные источники питания с высокостабильными выходными характеристиками,
- Цифровая индикация установленного и реального значения, напряжения и тока (4 разряда, LED),
- Электронное включение/выключение нагрузки,
- Защита от перегрузки, короткого замыкания, перегрева и переполюсовки,
- Низкая пульсация выходного напряжения менее 2 мВ,
- Низкая пульсация выходного тока менее 5 мА,
- Минимальная дискретность установки выходного напряжения и тока 0,007/0,005,
- Режимы работы: стабилизация U и I, динамическая нагрузка,
- Интерфейс RS-232.

Раздел 3. Оценка проблемной ситуации обеспечения необходимого уровня функциональности рассматриваемого источника питания

Обычно требования к уровню шума, скажем охлаждающего вентилятора, а также электромагнитных помех для компьютерных блоков питании, зарядных устройствах не очень высокие. Для лабораторных устройств, таких как Б5-71/1-ПРО они намного выше. Это часто приводит к отказу от использования блоков типа Б5-71/1-ПРО и возвращению к традиционным блокам питания на основе обычных трансформаторов. Это происходит потому, что при конструировании блоков типа Б5-71/1-ПРО используются устаревшие магнитные материалы и старая элементная база. Сердечники трансформаторов из ферритов М2500НМС1 или М2000НМ которые обладают высокими потерями. Сердечники дросселей изготавливают в помехоподавляющих фильтрах (LC) из альсифера или Мо-пермаллоя, которые имеют малое значение индукции насыщения, меньше 0,5 Тл при рабочей частоте не выше 70 кГц. Также блоки типа Б5-71/1-ПРО обычно изготавливают или по схеме прямо-ходового преобразователя, основанного на полу-мостовой схеме, или по схеме обратно-ходового преобразователя. Обе топология не дают возможность получить высоко стабильное напряжение на выходе при малом уровне пульсаций. Многие эксперты считают, что при конструировании блока типа Б5-71/1-ПРО по двухступенчатой схеме с распределённым вторичным линейным стабилизатором напряжения и первичным ИИП озвученные выше проблемы можно исключить.

Раздел 4. Конструктивная часть

4.1 Разработка и выбор структурной схемы устройства Б5-71/1 ПРО

В предлагаемом блоке типа Б5-71/1-ПРО (рис. 2.1) многие проблемы должны быть решены. Это дает возможность изготовить высокоэффективный и мощный ИИП со высоко стабилизированным выходным напряжением при низком уровне пульсации. Структурная схема предлагаемого блока представлена на рисунке 2.1.

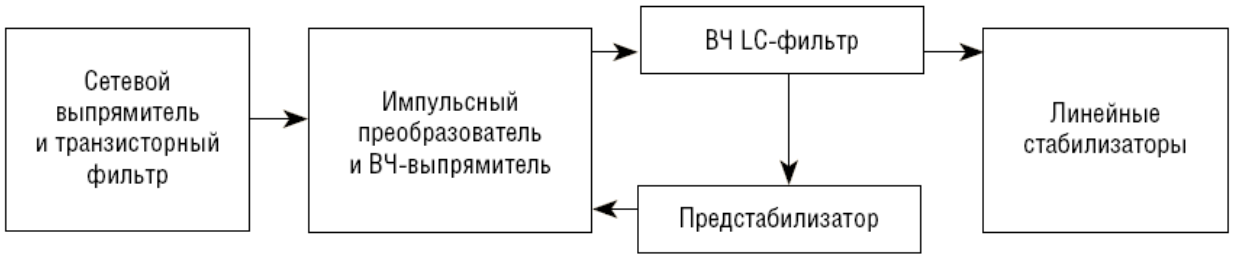


Рис. 4.1. Структурная схема

4.2 Разработка компьютерной модели разрабатываемого устройства

Современные вторичные источники электропитания строятся по принципу преобразования энергии. Их совершенствование идёт по пути увеличения частоты преобразования [1]. Ведущие зарубежные фирмы выпускают импульсные источники питания (ИИП) с рабочей частотой до 1 МГц, промышленность России освоила ИИП только до частоты 150 кГц, поэтому развитие этого направления является актуальной задачей.

На кафедре «Электроснабжение» Ульяновского Государственного Технического университета разработан пакет программ, который позволяет проектировать ИИП с частотой преобразования от 10 кГц до 1 МГц двух типов: на основе прямо ходового инвертора и на основе обратно ходового инвертора, и отображать их электрические характеристики. В пакет входят программы, проектирующие силовые трансформаторы трёх типов: кольцевые, броневые и планарные. Следует отметить, что планарная конструкция трансформаторов предназначена для работы на повышенных частотах, так как она характеризуется малыми потерями энергии, поскольку её обмотка имеет «конденсаторную» структуру – представляет собой совокупность тонкоплёночных печатных плат. В России серийное производствосиловых планарных трансформаторов и дросселей отсутствует, хотя в начале 90-х годов такие исследования велись и финансировались государством, и которые прервались в связи с известной

социальнополитической обстановкой.

В настоящий пакет программ заложены: база данных для четырёх типов магнитопроводов (кольцевые, Ш-образные, броневые типа КВ и планарные типа ЕП); база данных четырёх видов обмоточных проводов (ПЭВ-1, ПЭВ-2, ПЭВТ-1, ПЭВТ-2); параметры математической модели нескольких материалов ферромагнетиков (ферриты: 1000 НМ, 1500 НМ-3, 2000 НМ-1, 3000 НМС и магнитодиэлектрик МП-140).

Алгоритмы компьютерной модели определяют электрические, магнитные и тепловые режимы ИИП. Сердцем алгоритмов является ряд эффективных математических моделей, полученных автором в [2]. К ним относится модель, отображающая статические и динамические семейства характеристик ферромагнетиков, как на симметричных гистерезисных циклах, так и на частных циклах. Такая модель характеризуется пятью настроечными коэффициентами, которые определяются из задачи идентификации для каждого материала ферромагнетика по определённым экспериментальным характеристикам. Из этого ряда также важно отметить тепловую математическую модель трансформатора и математическую модель высокочастотных потерь энергии в многослойных структурах, адекватность и точность которых можно гарантировать прошедшей апробацией на опытах. Этот успех предварялся системными теоретическими положениями и оригинальными методологическими подходами, сведения о которых можно найти в [2]. Например, математическая модель ферромагнетика строилась на базе линейных дифференциальных уравнений, а тепловые модели на основе принципов электромоделирования посредством узловых уравнений с внезаимными матрицами тепловых проводимостей.

Адекватность компьютерной модели установлена сопоставлением с параметрами и характеристиками опытного образца ИИП, работающего на частоте преобразования 200 кГц. Этот источник питания обладает высокими для своего класса характеристиками. Например, его кпд при уменьшении выходной мощности в три раза не менее 75%.

4.3 Разработка и выбор принципиальной схемы Б5-71/1 ПРО

4.3.1 Сетевой выпрямитель и транзисторный фильтр

Назначение рассматриваемого блока питания – это подать высокое постоянное напряжение с малым уровнем пульсаций. Предлагаемый блок состоит из плат: сетевой выпрямитель, транзисторный фильтр, отдельные компоненты, которые установлены в корпусе блока типа Б5-71/1 (рис. 4.2). Для выпрямления напряжения используем диодный мост М1 (GBU25M), который рассчитан на обратное максимальное напряжение 1000 В при токе в 10 А. На одной из линий сетевого напряжения установлен предохранитель

(Пр.1), который рассчитан на 3,15 А. Для него характерны небольшие размеры (3 на 7 миллиметров).

Для хорошей изоляции предохранителя на выводы надеты специальные фторопластовые трубки, на корпус – трубка ПВХ (рис. 4.4).

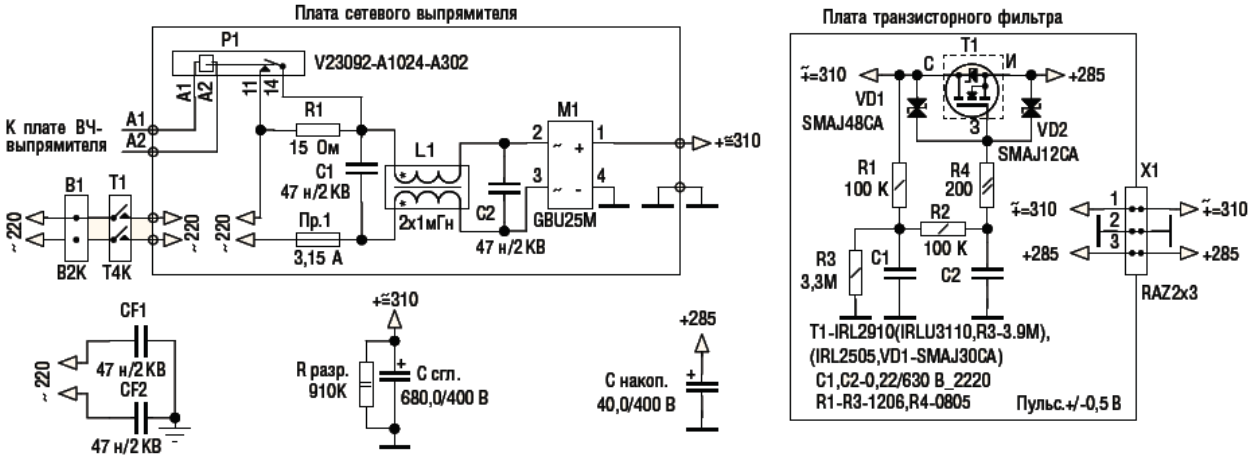


Рис. 4.2. Принципиальная электрическая схема выпрямителя

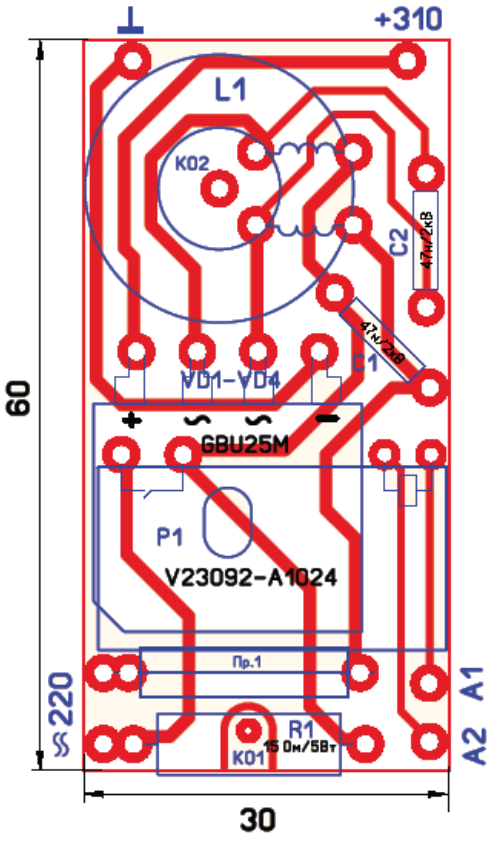


Рис. 4.3. Внешний вид платы выпрямителя



Рис. 2.4. Фотография платы выпрямителя

Дорожки всех плат выпрямителя формировались при помощи программы Sprint Lay Out 6. Печатные платы будут изготавливаться по технологии, которая описана в других работах [3, 4].

Последовательно ко второму сетевому проводу включено сопротивление R_1 марки С5 – 42 В. Назначение этого сопротивления – это ограничение тока заряда конденсатора $C_{сгл}$ при подключении устройства. Особенности резистора – это жёсткий вывод, хорошая изоляция для корпуса. На выводы сопротивления надеваются фторопластовые трубки. Параллельно к сопротивлению R_1 подключается реле P_1 марки V23092-A1024-A302. Это реле своими контактами замыкает резистор R_1 (контакты 11, 14). При этом подается питание на ИИП. Это происходит после включения трансформатора и появляется напряжение на ВЧ выпрямителе после секунду после включения тумблера T_1. Управляющая часть реле (это контакты А1 – А2) работает при постоянном напряжении 24 В, максимальный ток при этом по контактам 11 – 14 протекает в 6 А. Такой тип реле дает возможность установить его на плате за выпрямителем M_1 (рис. 4.4).

На плате установим фильтр состоящий из L_1, C_1, C_2, который препятствует прохождению в сеть высокочастотных помех от ИИП. Дроссель двухобмоточный (L_1), который намотан на ферритовое кольцо, а также конденсаторы (C_1, C_2) взяты из аналогичного блока питания

компьютера. Параллельно к конденсатору ($C_{сгл}$) включен резистор ($R_{разр}$), который предназначен для разряда конденсатора ($C_{сгл}$) при выключенном блоке питания. Конденсаторы C_{F1} и C_{F2} снижают уровень пульсации выходного напряжения блока ИИП.

В качестве выключателя используется четырехконтактный тумблер типа ПТ69 – 2В Его корпус изготовлен из карболита. Тумблер T_1 подключен к ИИП двумя провода для сетевого напряжения.

Активный фильтр сглаженного и выпрямленного напряжения реализован на мощных полевых транзисторах IRL2910, IRLU3110 или IRL2505, у которых низкий порог напряжения.

Фильтр предназначен для подавления пульсации сглаженного и выпрямленного напряжения от конденсатора $C_{сгл.}$. Если максимальное входное напряжение фильтра имеет значение 290 В, то минимальное значение равно 270 В. Найдем среднее значение напряжения $U_{вх.ср}$ = 280 В, значение амплитуда пульсации напряжение будет равно 10 В и размах пульсации составит $U_{вх.Р}$ = 20 В. (это реальные измерения в схеме, показанной на рисунке 4.2 при входном токе 1,5 А), то значение среднего выходного напряжения фильтра приблизительно составляет $U_{вых.ср} \approx +270$ В, амплитуда пульсаций выходного напряжения $U_{вых.А}$ = 0,25 В, а размах пульсаций Uвых.Р = 0,5 В ≈ Uвх.Р/40. Таким образом, фильтр снижает входное напряжение до уровня чуть ниже его минимального значения $U_{вх.мин}$, а размах пульсаций – в 40 раз или на 32 дБ. В схеме, приведённой на рисунке 2.2, входное напряжение фильтра обозначено как 310 В, а выходное как 285 В, что соответствует работе фильтра при отсутствии нагрузки.

Принцип действия фильтра заключается в следующем. Прежде чем попасть на затвор транзистора, входное напряжение проходит через цепочки R1C1, R2C2 и резистор R4, ограничивающий динамический ток затвора транзистора (рис. 4.2). Для эффективной фильтрации постоянная времени τ, эквивалентная суммарной постоянной времени двух RC-цепочек, должна быть существенно больше периода пульсаций выпрямленного диодным мостом сетевого напряжения t = 1/50 Гц = 0,02 с. Постоянная времени каждой из RC-цепочек составляет 100 кОм Ч 0,22 мкФ = 0,022 с, а частота среза – 7,2 Гц. При этом расчётное подавление пульсаций с частотой 50 и 100 Гц составит примерно 17 и 23 дБ, соответственно. Если же цепочки установлены последовательно [5], то эквивалентная постоянная времени увеличивается, и подавление пульсаций возрастает вдвое.

Применение транзисторного фильтра на мощном n-p-n-транзисторе (КТ812) для фильтрации выпрямленного и сглаженного сетевого напряжения для ИИП описано в работе «Блок питания УМЗЧ» [6]. Так, в чём же особенности транзисторных фильтров и почему они редко используются в ИИП? Для ответа на этот вопрос необходимо рассмотреть особенности

использования транзисторных фильтров для выпрямленного и сглаженного высокого (+300 В) сетевого напряжения.

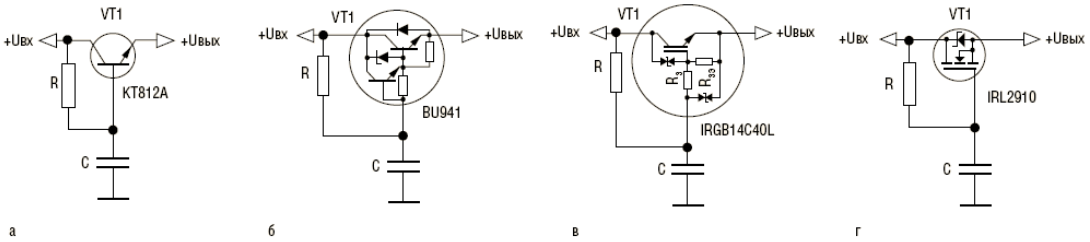


Рис. 4.5. Схемы сглаживающих фильтров: а – на биполярном транзисторе (n-p-n), б – по схеме Дарлингтона, в – на IGBT-транзисторе, г – на полевом транзисторе.

Рассмотрим простейший фильтр на биполярном транзисторе n-p-n, использованный в работе «Сглаживающие фильтры на транзисторах» [4] (рис. 4.5а). Поскольку коэффициент усиления β у такого транзистора не более 10 – 30, то базовый ток должен быть достаточным для того, чтобы транзистор пропускал большой ток, вследствие чего сопротивление R должно быть небольшим. С другой стороны, для обеспечения требуемой постоянной времени τ = RC, ёмкость конденсатора С должна быть значительной. Например, в статье «Блок питания УМЗЧ» [2] R = 2,7 кОм, С = 50 мкФ / 350 В.

Чтобы резистор не нагревался, его мощность принята равной 2 Вт. Естественно, габариты такой RC-цепочки достаточно большие, а стоимость – высокая.

Если использовать дорогой составной n-p-n-транзистор BU941, как, например, в блоке электронного зажигания автомобилей (рис. 4.5б), то номинал резистора можно увеличить, а мощность – уменьшить.

На рисунке 4.5в приведена схема фильтра на современных IGBt-транзисторах, также применяемых в электронном зажигании (IRGB14C40L, StGB10NB37LZ, StGD18N40LZ). Здесь габариты и стоимость RC-цепочки меньше, однако, из-за соединения затвора IGBt с эмиттером внутренним сопротивлением R3Э, схема может быть применена в ограниченном количестве случаев.

Схема фильтра на мощном полевом транзисторе (рис. 4.5г) может иметь, теоретически, любое значение R, поскольку статический ток затвора отсутствует. Однако на практике сопротивление R не должно превышать 100…200 кОм, так как имеет место и динамический ток, и ток утечки в конденсаторе С. Кроме того, стоимость современных мощных полевых транзисторов небольшая (например IRL2910 стоит всего 36 – 50 руб.). Таким образом, схема фильтра, изображённая на рисунке 4.5г, обеспечивает наилучшие массогабаритные показатели при минимальных затратах.

Проблема заключается в том, что ниодна из схем, приведённых на рисунке 4.5 (кроме схемы на рисунке 4.5в), в чистом виде использоваться не может из-за высокой вероятности выхода транзистора из строя. Дело в том, что при включении высокого входного напряжения, при наличии нагрузки в цепи эмиттера или истока, напряжение на базе или затворе транзистора в первый момент времени может возрасти почти до входного напряжения, то есть до +300 В. В результате транзисторы в схемах на рисунках 4.5а, 4.5б и 4.5г моментально сгорят из-за небольшого допустимого напряжения база–эмиттер или затвор–исток (как правило, не более 20…30 В). Однако транзистор фильтра на рисунке 5в не сгорит, так как между затвором и эмиттером и между затвором и коллектором установлены внутренние стабилитроны, ограничивающие напряжение.

Что мешает использовать стабилитроны, например, в схеме, приведённой на рисунке 4.5г? Тем более что вместо них можно применить дешёвые tVS-диоды (transient Voltage Supressor), называемые в отечественной литературе супрессорами или ограничительными диодами. Основное отличие супрессоров от стабилитронов заключается в том, что за очень короткое время они могут рассеять огромную мощность (например, SMAJ12CA и SMAJ48CA могут рассеять 400 Вт). Кроме того, супрессоры имеют практически мгновенную реакцию на повышение напряжения сверх рабочего порога (для SMAJ12CA и SMAJ48CA время срабатывания составляет от долей до единиц микросекунд).

В схеме фильтра, показанного на рисунке 4.2, для транзисторов IRL2910 и IRL3110 необходимо использовать супрессоры SMAJ12CA и SMAJ48CA, а для транзистора IRL2505 – супрессоры SMAJ12CA и SMAJ30CA. Выбор напряжения срабатывания супрессоров зависит от максимального напряжения затвористок и сток-исток полевых транзисторов. Например, максимальное напряжение затвор-исток у транзисторов IRL2910, IRL3110 и IRL2505 составляет ±16 В, поэтому между затвором и истоком установлен супрессор на напряжение 12 В (SMAJ12CA). Максимальное напряжение между стоком и истоком у транзисторов IRL2910 и IRL3110 составляет 100 В. Поэтому между стоком и затвором установлен супрессор на напряжение 48 В (SMAJ48CA). В свою очередь, для транзистора IRL2505 с максимальным напряжением стокисток 55 В подойдёт супрессор на 30 В (SMAJ30CA).

Вернёмся к схеме фильтра, показанной на рисунке 4.2. Резистор R3 необходим для сдвига уровня выходного напряжения фильтра до минимального значения входного напряжения с учётом пульсаций ($U_{вх.мин}$). При отсутствии резистора R3 конденсатор C1 будет заряжаться через резистор R1 до среднего значения входного напряжения (Uвх.ср), которое выше минимального значения напряжения (Uвх.мин) приблизительно на 10

В.

Конденсатор же С2 будет заряжаться через резистор R2 до среднего значения напряжения на конденсаторе С1. Обозначим это напряжение как Ucp.C2. Это напряжение будет незначиктельно отличаться от $U_{вх.ср}$ = +280 В, хотя размах пульсации напряжения на С2 будет намного меньше и составит приблизительно 0,5 В. При установке R3 напряжение на С1 снизится, поскольку оно будет определяться делителем R1 / R3. Если выбрать R3 таким образом, чтобы Ucp.C2 было чуть ниже минимального входного напряжения ($U_{вх.мин}$) с учётом пульсаций, то среднее выходное напряжение фильтра всегда будет ниже минимального уровня пульсаций входного напряжения, а его размах будет определяться размахом пульсаций на конденсаторе С2.

Чтобы выбрать сопротивление R3, к выходу фильтра необходимо подключить осциллограф, вход которого переключён в положение переменного тока. Вместо R3 следует установить переменный резистор, например 5 МОм и, вращая его движок, наблюдать форму выходного напряжения.

При максимальном значении переменного резистора размах пульсаций будет очень большим, однако по мере уменьшения сопротивления пульсации будут снижаться и примут форму, показанную на рисунке 4.6, которая похожа на синусоиду с небольшим пиком, отмеченным зелёным кружком.

Такая форма напряжения соответствует применению транзисторов IRL2910 и IRL2505 при сопротивлении R3, равном 3,3 МОм (для IRLU3110 – 3,9 МОм).

При дальнейшем уменьшении сопротивления выходное напряжение фильтра снижается, пик постепенно исчезает, и форма напряжения сглаживается до синусоиды.

Чем ниже выходное напряжение фильтра, по сравнению с входным, тем больше энергии должен рассеять транзистор. Например, при токе в 1 А и размахе синусоидальной пульсации входного напряжения 15 В мощность составит (15/2) 2 В Ч 1 А = 10,6 Вт.

По этому следует стремиться к тому, чтобы выходное напряжение фильтра было максимальным. Это случится в том случае, если это напряжение как можно ближе «подойдёт» к минимальному входному напряжению $U_{вх.мин}$ и даже «коснётся» его, индикатором чего служит небольшой пик, выделенный на рисунке 4.6 кружком. Но амплитуда пика не должна превысить размах пульсаций. Чем меньшее напряжение затвора по отношению к истоку требуется для открытия транзистора, тем выше будет выходное напряжение фильтра. Поэтому в фильтрах использованы транзисторы с «логическим» пороговым напряжением не более 1 В (в стандартных полевых транзисторах оно составляет 4…6 В).

При токе нагрузки 1,5 А размах пульсаций выходного напряжения составляет 0,5 В (при номиналах C_1 и C_2, указанных на рисунке 4.2).

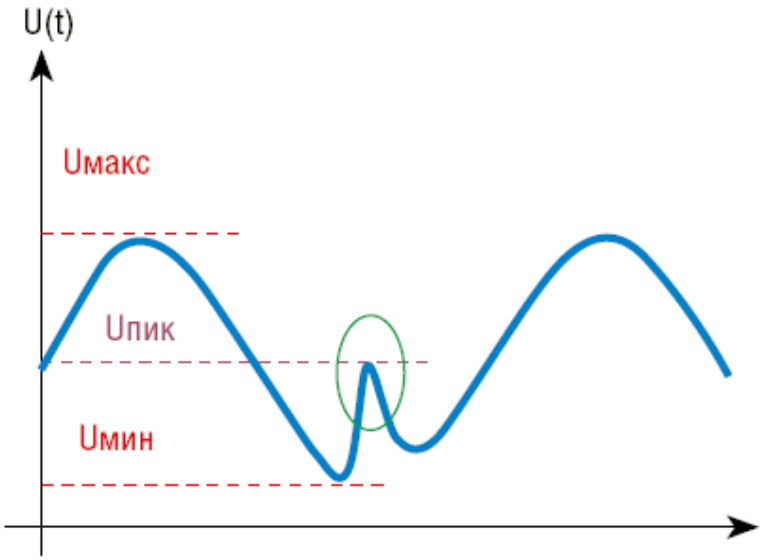


Рис. 4.6. График пульсационной составляющей выходного напряжения фильтра

Как показано в статье «Сглаживающие фильтры на транзисторах» [7], размах пульсаций в наибольшей степени определяется номиналом C_2. Увеличив номинал C_2, например, в два раза, можно добиться уменьшения размаха пульсаций до 0,25 В. Однако это становится бессмысленным из-за естественных изменений сетевого напряжения. Увеличение номиналов C1 и C2 приведёт к увеличению постоянной времени |, то есть к уменьшению скорости отслеживания входного напряжения. В результате может сложиться такая ситуация, что входное напряжение быстро снизилось, а конденсаторы не успели разрядиться до нужного уровня (и не закрыли транзистор). В этом случае амплитуда пульсаций резко возрастёт, так как при открытом транзисторе они легко пройдут на выход фильтра.

Аналогичная ситуация может возникнуть, например, при скачкообразном увеличении тока нагрузки. В этом случае напряжение на истоке снизится по отношению к затвору, и пока конденсаторы будут медленно разряжаться, пульсации возрастут. Резистор R4 ограничивает динамический ток затвора транзистора, препятствуя скачкообразному изменению напряжения на затворе, из-за которого он может выйти из строя, несмотря на защитные tVS-диоды.

В работе «Сглаживающие фильтры на транзисторах» [7] показано, что размах пульсаций выходного напряжения фильтра не зависит от ёмкости конденсатора Снакоп, подключённого к выходу фильтра (в данном случае, 40 мкФ /400 В), и определяется исключительно параметрами RC-цепочек. Зачем тогда нужен Снакоп? Дело в том, что в отличие от LC-фильтра, который запасает энергию E в ёмкости C (EC = = CU2/2) и индуктивности L

(EL = LI2/2), где U и I – напряжение на ёмкости и ток в индуктивности соответственно, транзисторный фильтр такую энергию не запасает. Импульсный преобразователь (см. далее) отбирает энергию в каждом такте своей работы, воздействуя на фильтр. Хотя в самом импульсном преобразователе предусмотрен конденсатор 0,68 мкФ, его ёмкости недостаточно. Эта проблема снимается введением накопительного конденсатора $C_{накоп}$.

Испытания фильтра проводились по схеме, приведённой на рисунке 4.7. На входной контакт разъёма X1(1) фильтра подавалось сетевое напряжение, выпрямленное M1 и сглаженное конденсатором Ссгл. Для защиты в одном проводе был установлен предохранитель Пр.1, рассчитанный на ток 3,15 А. Чтобы он не сработал от большого тока заряда конденсатора Ссгл при включении питания, в другом проводе был установлен ограничительный резистор R1. Включение устройства производилось тумблером T1, подключающим (и отключающим) оба провода. Примерно через секунду после этого включался тумблер T2, закорачивающий резистор R1, в результате чего устройство получало полное сетевое питание.

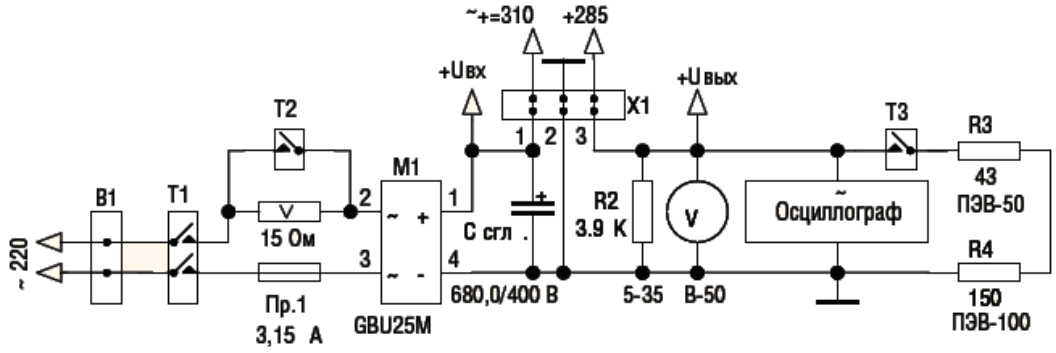


Рис. 4.7. Схема испытаний транзисторного фильтра

К выходному контакту разъёма X1(3) был постоянно подключён резистор R2, который определял минимальный ток работы фильтра (около 73 мА); туда же подключались вольтметр и осциллограф, на котором наблюдались пульсации выходного напряжения. Нагрузкой фильтра служили резисторы R3 и R4, определяющие максимальный ток работы фильтра, соответствующий мощности в нагрузке около 400 Вт. Резисторы включались и выключались тумблером t3.

При выключенном тумблере t3 общей нагрузкой фильтра служило только сопротивление R2, то есть $R_{общ}$ = 3,9 кОм. При этом выходное напряжение было $U_{вых}$ = 285 В, выходной ток $I_{вых}$ = 285 В / 3900 Ом = 0,073 А, а мощность, выделявшаяся в нагрузке, $W_{вых} = U_{вых} \cdot I_{вых}$ = 285 В · 0,073 А = 5,93 Вт.

При включении тумблера $R_{общ}$ = R2||(R3 + + R5) = 183,9 Ом, при этом

выходное напряжение снижалось до Uвых = 270 В, выходной ток увеличивался до $I_{вых}$ = 270 В / 183,9 Ом = 1,47 А, а выходная мощность составляла Р = 270 В · 1,47 А ≈ ≈ 400 Вт.

Разводка платы фильтра не отличается сложностью (рис. 4.8), а использование компонентов для поверхностного монтажа позволило расположить все детали в габаритах 20 · 22 мм. С одной стороны плата держится на трёх выводах транзистора, закреплённого на радиаторе через изолирующую керамическую (корпус tO220) либо гибкую (корпус I-Pak) прокладку; с другой – на жёстких медных проводниках, впаянных в разъём из карболита на корпусе теплоотвода (рис. 4.9). Работа платы проверялась с тремя теплоотводами, способными долговременно рассеивать, соответственно, 10 Вт (охладитель О111-60, см. рис. 9а), 6 Вт (рис. 4.9б) и 4 Вт (рис. 4.9в), нагреваясь не более чем до 50 ^{0}С. В источнике был использован самый большой теплоотвод (рис. 4.9а).

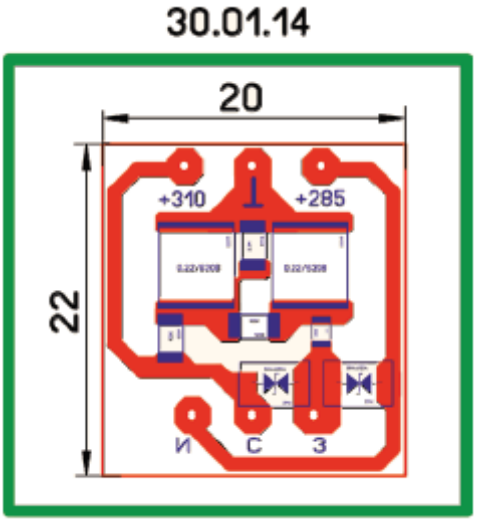
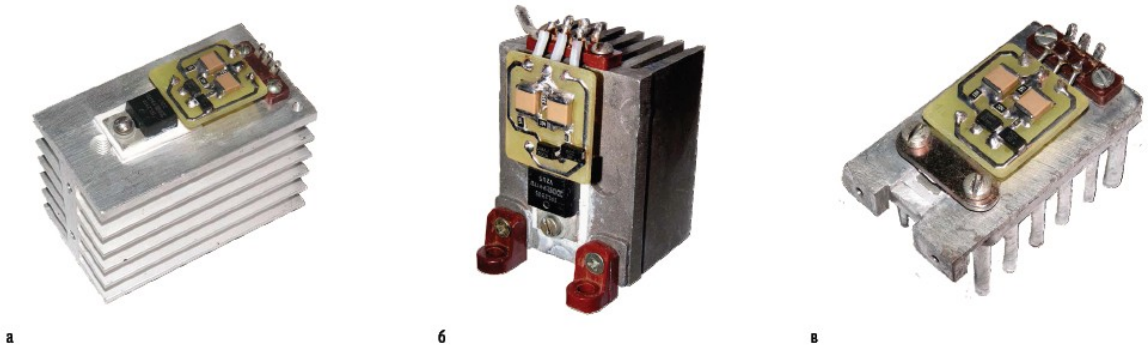


Рис. 4.8. Разводка платы активного фильтра



. 4.9. Фотографии активных фильтров на транзисторах: а – IRL2910; б – IRL2505; в – IRLU3110 в корпусе I-Pak

Какие же преимущества даёт транзисторный фильтр, снижающий уровень пульсаций выпрямленного сетевого напряжения? Во-первых, он

обеспечивает точность измерения тока в трансформаторе, устраняя дрожание фронта импульса на измерительном входе CS (Current Sense) контроллера. При максимальных нагрузках ИИП, когда амплитуда импульса приближается к пороговому значению, пульсация пикового напряжения может привести к ложному срабатыванию защиты.

Во-вторых, в отсутствие транзисторного фильтра выходное напряжение высокочастотного преобразователя подвержено амплитудной модуляции.

Если промодулированное удвоенной сетевой частотой напряжение попадает на вход линейного стабилизатора, это приводит к росту мощности на регулирующем транзисторе и дополнительному выделению тепла.

Следует отметить, что эффективность описанного транзисторного фильтра эквивалентна применению пассивного LC-фильтра с индуктивностью в единицы генри и ёмкостью в несколько тысяч микрофарад.

4.3.2 Импульсный преобразователь и ВЧ-выпрямитель

Импульсный преобразователь (рис. 4.10) предназначен для преобразования постоянного высокого напряжения +285 В в последовательность импульсов частотой около 60 кГц и амплитудой, равной входному высокому напряжению (285 В). Эти импульсы подаются на первичную обмотку силового ВЧ-трансформатора, коэффициент трансформации которого составляет около 12. Снятые с вторичной обмотки трансформатора импульсы поступают на ВЧ-выпрямитель. Преобразователь выполнен по двухтактной схеме, преимущество которой состоит в относительно небольших входных токах и симметрии подачи входных напряжений на две первичные полуобмотки, результатом чего является полное перемагничивание сердечника трансформатора в каждом такте, что препятствует его насыщению.

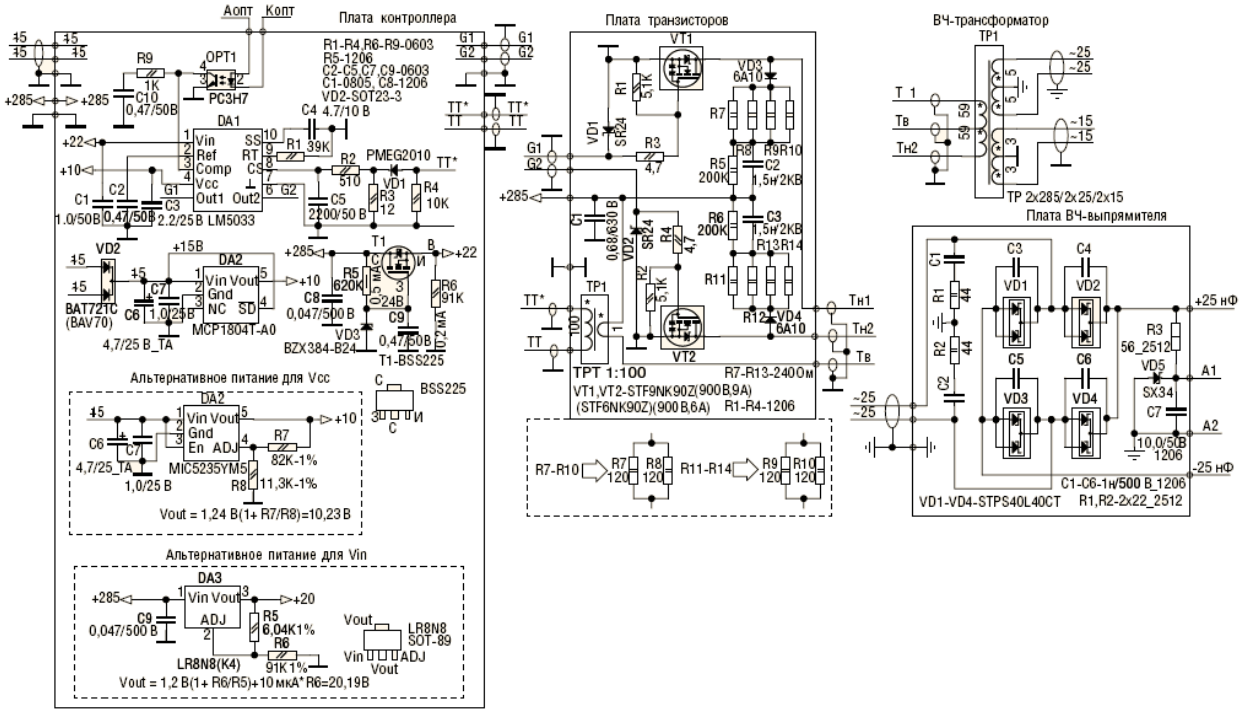


Рис. 4.10. Принципиальная электрическая схема импульсного преобразователя и ВЧ-выпрямителя

Импульсный преобразователь включает в себя плату контроллера, плату транзисторов, плату ВЧ-выпрямителя и, собственно, ВЧ-трансформатор (рис. 4.10). На плате контроллера установлена микросхема LM5033. Традиционно использующиеся до сих пор 16-выводные контроллеры UC3825 (К1156ЕУ2Р) и tL494 (К1114ЕУ4) морально устарели. В настоящее время выпускаются недорогие и простые 8–10-выводные контроллеры, требующие минимум внешних элементов.

В качестве примера можно привести контроллер UCC2808 компании texas Instruments, его аналог от компании Micrel (MIC3808) и более новые контроллеры UCC28083 и MIC3838/3839.

Но наибольшего внимания, на взгляд автора, заслуживают современные 10-выводные контроллеры компании texas Instruments LM5030, и особенно LM5033, который и был выбран для ИИП.

Для питания в контроллере LM5033 предусмотрено два вывода: Vin(1) и Vcc(4). Вывод Vin предназначен для начального питания контроллера, когда включено сетевое питание, но ВЧ-трансформатор ещё не заработал. Диапазон напряжения питания составляет 15…90 В. Потребление тока по выводу Vin(1) не превышает 7 мА. Вывод Vcc предназначен для питания контроллера в штатном режиме, когда уже работает трансформатор с дополнительной обмоткой для питания контроллера. Диапазон напряжения питания по этому выводу составляет +10…15 В при токе потребления 7 мА.

При появлении питания на выводе V_{cc}, питание от вывода V_{in} автоматически отключается (ток через вывод снижается до 150 мкА и менее). Такое раздельное питание LM5033 – большое преимущество перед

упомянутыми выше контроллерами, которые имеют только один вывод для питания, что усложняет схему. На вывод питания Vin подаётся напряжение +22 В, которое формирует простейший стабилизатор на высоковольтном полевом транзисторе BSS225 (t1).

На вход этого стабилизатора подаётся входное напряжение +285 В. Для стабилизации напряжения затвора T1 используется стабилитрон BZX384-B24 (VD3) с рабочим напряжением 24 В и токозадающий резистор R5. Конденсаторы C8 и C9 снижают уровень пульсации выходного напряжения стабилизатора, а резистор R6 определяет его минимальный начальный ток.

Второй вариант получения напряжения питания для вывода Vin – использование специализированной микросхемы высоковольтного стабилизатора с регулируемым выходным напряжением LR8N8 (DA3). Схема включения LR8N8 (показанная на рисунке 4.10 в прямоугольнике, очерченном пунк тиром) состоит из делителя напряжения R5-R6, подключённого к соответствующим выводам стабилизатора. Выходное напряжение этого стабилизатора V_{out} определяется соотношением резисторов делителя и опорным напряжением (1,2 В). При номиналах R5 и R6, указанных на рисунке 10, Vout = 1,2 (1 + R6 / R5) + R6 · 10 мкА ≈ 20 В.

По сравнению с упомянутым стабилизатором на полевом транзисторе BSS225, схема на интегральном стабилизаторе LR8N8 имеет интегрированную защиту по максимальному току, не превышающему 10… 30 мА. Стоимость транзистора BSS225 составляет 25–30 руб., LR8N8 приблизительно в 2,5 раза дороже. В любом случае, стабилизированное напряжение +22 В (или +20 В) подключается к выводу Vin контроллера. К этому же выводу подключен конденсатор C1, снижающий уровень пульсации входного на пряжения.

Для питания контроллера в штатном режиме на ВЧ-трансформаторе предусмотрены две полуобмотки со средней точкой. Переменное напряжение относительно средней точки составляет 12…16 В в зависимости от тока нагрузки силовой части трансформатора. Эти два напряжения, условно обозначенные как «~15», вместе со средней точкой подключаются к плате контроллера. Средняя точка соединяется с «землёй» контроллера, а напряжения подаются на выпрямитель из двух диодов Шоттки (VD2), с объединённых катодов которых снимается выпрямленное напряжение. Сглаженное конденсаторами C6 и C7 оно подаётся на вход стабилизатора DA2.

В качестве стабилизатора можно использовать либо микросхему MCP1804t-A0 с фиксированным выходным напряжением +10 В, либо MIC5235YM5 – с регулируемым выходным напряжением (этот вариант питания показан в прямоугольнике на рисунке 4.10). Выходное напряжение

(V_{out}) этого стабилизатора зависит от соотношения сопротивлений делителя R7/R8 и внутреннего опорного напряжения (1,24 В). При номиналах R7 и R8, указанных на рисунке 4.10, оно рассчитывается по формуле V_{out} = 1,24 В (1+R7 / R8) = 10,23 В.

В контроллере LM5033 имеется вывод R_{ef}(2), с которого может быть снято опорное напряжение (+2,5 В). Этот вывод используется самим контроллером для внутренних нужд, поэтому к нему подключен конденсатор C2 для снижения уровня пульсаций от наводок. Такой вывод опорного напряжения имеется у некоторых из вышеперечисленных контроллеров (например, MIC3838/3839).

Длительностью импульсов ШИМ управляет вывод контроллера C_{omp}(3), соединённый внутри контроллера с входом компаратора. Внутри контроллера к этому выводу подключён подтягивающий резистор номиналом 5 кОм, соединённый с внутренним напряжением +5 В, что позволяет подключать напрямую к этому выводу коллектор фототранзистора оптрона.

В плате контроллера в качестве оптрона используется PC3H7 (OPt1), с которым связан предварительный стабилизатор (см. далее). Цепь R9C10 снижает уровень пульсаций напряжения на коллекторе фототранзистора оптрона, возникающих от ВЧ-наводок.

Следует отметить, что аналогичный вывод Comp имеется во всех вышеперечисленных контроллерах, однако без подтягивающего к питанию резистора. Поэтому при подключении оптрона к этому выводу требуются до полнительные элементы, что усложняет схему.

Для управления затворами двух силовых транзисторов предназначены выводы OUt1(5) и OUt2(6). Максимальный (пиковый) выходной ток этих выводов может достигать 1,5 А (как втекающий, так и вытекающий), что даёт возможность подключать их напрямую к затворам силовых транзисторов без каких-либо драйверов.

В схеме на рисунке 4.10 сигналы G1 и G2 с выводов OUt1 и OUt2 соответственно подключаются к затворам силовых транзисторов через ограничительные резисторы с рекомендованным номиналом 4,7 Ом.

Все упомянутые ранее контроллеры имеют аналогичные выводы (OUt1 и OUt2), однако у них втекающий ток не превышает 1 А, а вытекающий – 0,5 А, чего в некоторых случаях недостаточно. Поэтому для повышения надёжности включения и выключения силовых транзисторов приходится использовать дополнительные микросхемы драйверов.

Для защиты от превышения тока и короткого замыкания в контроллере предусмотрен специальный токоизмерительный вход CS(8). Если напряжение на этом входе превысит 0,5 В, работа контроллера останавливается, оба вывода OUt1 и OUt2 переводятся в Z-состояние, и

контроллер переводится в режим «мягкого» запуска (Soft Start). Следует отметить, что никаких других функций, кроме защиты от превышения тока, вход CS не выполняет и не влияет на длительность импульсов ШИМ. В остальных упомянутых в статье контроллерах наличие на входе CS двух компараторов и разряжающего транзистора, связанных с контуром ШИМ, не позволяет сделать полноценное устройство защиты от превышения тока и короткого замыкания. Это явилось причиной, по которой автор статьи отказался от их использования.

Токоизмерительный трансформатор с коэффициентом трансформации 1:100 установлен на плате транзисторов. Сигналы с выходной обмотки этого трансформатора (TT и tt*) подключены к плате контроллера. Номиналы резисторов R2–R4, конденсатора C5 и диод VD1 подобраны таким образом, что при превышении выходного тока ИИП, равного 15 А, срабатывает защита, и контроллер переходит в режим «мягкого» запуска.

Контроллер LM5033 имеет вход SS(10) (Soft Start). Этот вывод LM5033 полезен тем, что позволяет регулировать время «мягкого» запуска, то есть время от включения питания ИИП при подаче высокого входного напряжения до входа в штатный режим работы. Вывод SS контроллера имеет внутреннее подключение к источнику тока 10 мкА и схему логики, которая переводит контроллер в режим «мягкого» запуска, если напряжение на выводе SS превысит 0,5 В. На плате контроллера к этому входу подключён конденсатор C_4 (4,7 мкФ), который заряжается током 10 мкА в течение 0,3… 0,5 с. При срабатывании защиты по току контроллер периодически (каждые 0,3…0,5 с) входит в режим «мягкого» запуска. Поскольку к выходным шинам ИИП подключены светодиоды (красный – для индикации положительного напряжения, зелёный – для отрицательного), при срабатывании защиты по току они будут мигать с частотой 2–3 Гц. Вывод SS в остальных контроллерах отсутствует, а время перехода в режим «мягкого» запуска (и обратно) составляет сотые доли секунды.

Вывод R_t(9) является входом генератора, задающего частоту работы контроллера. Он оснащён встроенным конденсатором. Если к этому выводу подключить резистор, образуется RC-цепочка, постоянная времени которой определяет период генерации. В справочном листке контроллера LM5033 приведена номограмма, по которой можно определить номинал резистора R в зависимости от требуемой частоты. Например, при R = 39 кОм (R9, рис. 2.2) частота генерации будет около 60 кГц. Аналогичный вывод Rt со встроенным конденсатором есть только у контроллера UCC38083. У остальных микросхем встроенного конденсатора нет, и этот вывод обозначен как RC; к нему необходимо подключать и конденсатор, и резистор.

Микросхема LM5033 выпускается в двух разных корпусах с десятью выводами: VSSOP-10 (LM5033MM) и WSON-10 (LM5033SD). В последнем

корпусе выводы, как таковые, отсутствуют. Вместо них установлены контактные площадки.

Корпус WSON-10, на мой взгляд, предпочтительнее, так как он немного больше, а выводы разнесены шире (0,8 мм), чем у корпуса VSSOP-10 (0,5 мм). В связи с этим сделаны два варианта разводки плат контроллера: для корпуса VSSOP-10 (см. рис. 4.11а) и для корпуса WSON-10 (рис. 4.11б).

Применение компонентов для поверхностного монтажа позволило разместить элементы контроллера на плате размером 30 · 35 мм. Это сделано не столько для экономии места, сколько для того, чтобы минимизировать длину проводников, подключённых к контроллеру, и тем самым снизить ВЧ-наводки, препятствующие правильной работе. На плате с контроллером LM5033MM для питания Vin используется транзистор BSS225, а для питания V_{cc} – стабилизатор MIC5235. На плате с контроллером LM5033SD для питания V_{in} используется высоковольтный стабилизатор LR8N8, а для питания V_{cc} – стабилизатор MCP1804-A0. Оба варианта платы показали идеальную работу в составе ИИП.

Оптроны установлены на стороне, противоположной стороне расположения дорожек, и припаяны к двум штырькам, впаянным в плату с обратной стороны. Такой штырёк представляет собой медный провод диаметром 0,5 мм с некоторым утолщением. Он запрессовывается в отверстие платы такого же диаметра, а затем припаивается к плате, в результате чего получается жёсткое крепление для оптронов (рис. 4.12в и 4.12г). На разводке (рис. 4.11) голубым цветом показано, как следует подключать оптроны к каждой плате, так как они подключаются противоположно.

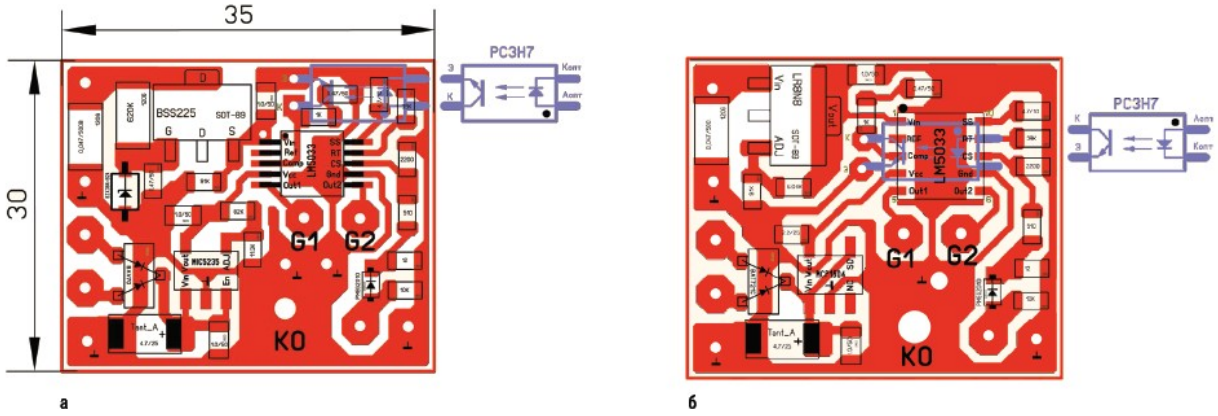


Рис. 4.11. Разводка платы контроллера на базе: а – LM5033MM, BSS225 и MIC5235; б – LM5033SD, LR8N8 и MCP1804-A0

У транзистора BSS225 и микросхемы LR8N8 центральные выводы удаляются (они дублируются выводами с противоположной стороны корпуса), а заусенцы зачищаются надфилем. После этого на место выводов

приклеиваются кусочки фторопластовой ленты, после чего транзистор и микросхема припаиваются к плате. Такая технология предотвращает пробой центрального вывода (+300 В) на соседние. Плата контроллера прикручивается к карболитовому уголку пластмассовым винтом М2 через единственное крепёжное отверстие КО (рис. 4.11) диаметром 2 мм (см. рис. 4.12). Этот уголок крепится ко дну корпуса винтом М3.

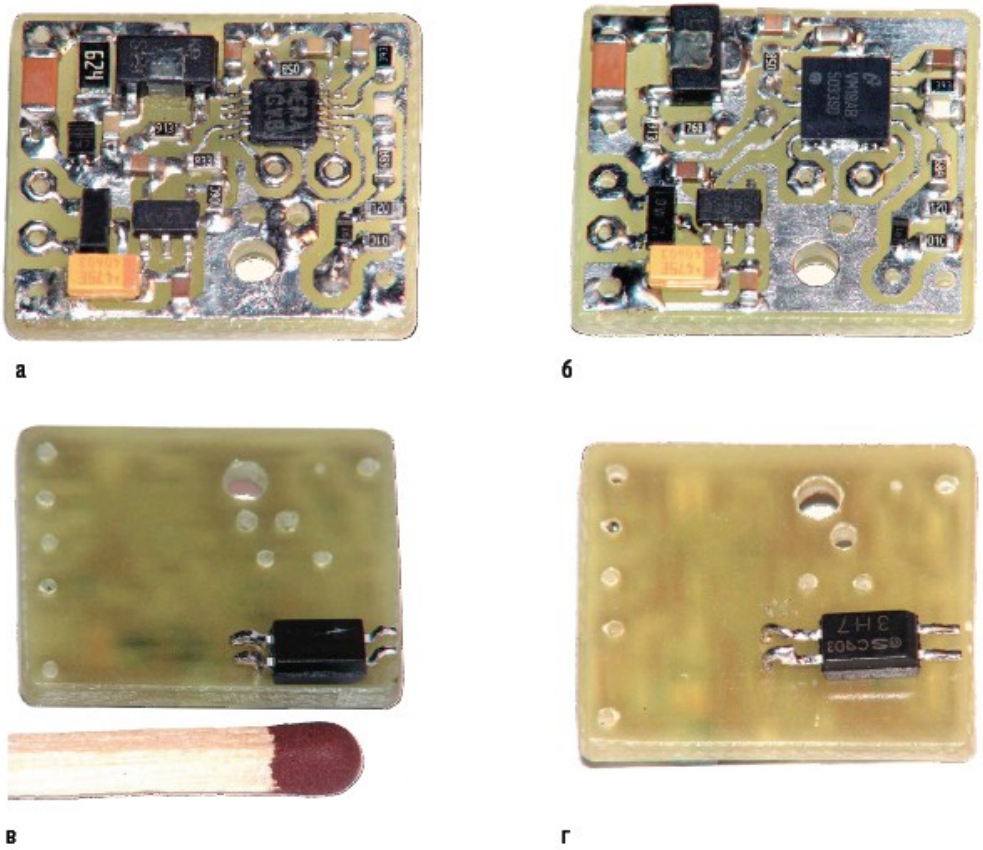


Рис. 4.12. Фотографии плат контроллера на базе: а – LM5033MM, BSS225 и MIC5235, б – вид с обратной стороны; в– LM5033SD, LR8N8 и MCP1804-A0; г – вид с обратной стороны

Расположение платы контроллера должно быть, по возможности, дальше от трансформатора и платы транзисторов.

Провода высоковольтного питания (+285 В, см.) представляют собой два скрученных провода МГТФ 0,05 и МС16-13 0,05 (чёрного цвета, чтобы не перепутать полярность).

Все остальные кабели должны быть экранированными, а на экран должна быть надета трубка из ПВХ. Экраны кабелей следует соединить с «землёй» платы.

Плата транзисторов является основным элементом ИИП. Её критически важными элементами являются коммутирующие транзисторы и снабберы (англ. snubber – демпфер, амортизатор), которые представляют собой цепочки, состоящие из резисторов, конденсаторов и диодов.

4.3.3 Выбор транзисторов

В двухтактной схеме на центральную точку соединения входных полуобмоток трансформатора подаётся высокое входное напряжение около 300 В, а крайние точки полуобмоток попеременно коммутируются транзисторами на «землю». Когда один из транзисторов открыт, второй закрыт и испытывает двойное обратное напряжение, равное 600 В. При выключении одного из транзисторов за счёт большой индуктивности трансформатора возникает выброс напряжения, амплитуда которого может достичь не только значения напряжения питания (то есть 300 В), но и значительно его превысить. Отсюда следует, что транзистор должен быть рассчитан на тройное напряжение питания, то есть 900 В. Другим важным параметром транзистора является максимальный ток. Если максимальный коммутируемый ток составляет, например, 1,5 А (при этом мощность составляет P = 1,5 А · 300 В = 450 Вт), то транзистор должен иметь 3 – 6-кратный запас по току, то есть быть способным пропускать ток 6…9 А.

При обеспечении параметров напряжения и тока транзистор должен быстро включаться и выключаться. Время включения и время выключения транзистора должно быть меньше так называемого мёртвого времени (Dead time), которое установлено в конт роллере LM5033 в пределах 85…185 нс (среднее значение 135 нс).

Поэтому время включения и время выключения транзистора не должны превышать 85 нс при некотором запасе в 20…30 нс. В противном случае возможно появление сквозного тока через транзисторы, что мгновенно выводит из строя и транзисторы, и контроллер.

Транзисторы должны иметь как можно меньшее значение входной ёмкости и, по возможности, небольшое сопротивление в открытом состоянии. [8]. В них между истоком и стоком должен быть установлен защитный диод, а также защитные стабилитроны – между истоком и затвором. Желательно, чтобы транзисторы имели полностью изолированный корпус, чтобы не применять различные изолирующие прокладки.

Подобные транзисторы существуют, а некоторые из них имеют гораздо лучшие характеристики. В таблице 4.1 приведены основные параметры высоковольтных быстродействующих полевых транзисторов, с которыми экспериментировал автор. Все транзисторы имеют защитные стабилитроны между истоком и затвором, диод между истоком и стоком и выпускаются в полностью изолированном корпусе tO-220FP.

Наиболее жёсткий режим работы транзисторов по максимальному обратному напряжению имеет место при минимальном токе нагрузки и максимальной длительности импульсов ШИМ. Такой режим работы, в общем, является искусственным, поскольку максимальная длительность импульсов соответствует максимальному току нагрузки, а при минимальном

токе нагрузки длительность импульсов минимальна. Амплитуда выброса $A_{имп}$ напряжения при выключении транзистора здесь максимальна и пропорциональна входному напряжению $A_{имп} \sim U_{вх.макс}$.

В менее жёстком режиме транзисторы работают при максимальном токе нагрузки, так как они коммутируют максимальный ток. Поскольку амплитуда выброса $A_{имп}$ также максимальна (она пропорциональна скорости максимального изменения тока $A_{имп} \sim \Delta i/ \Delta t$), транзисторы, помимо высокого обратного напряжения, испытывают ещё и дополнительную нагрузку по току. Амплитуда выброса обратно пропорциональна времени выключения Δt транзисторов, которое зависит от марки транзистора. Из таблицы 1 видно, что время выключения транзистора, например StF7N95K3 составляет 36 нс.

При работе в указанных режимах транзисторы испытывают не только максимальное обратное напряжение, но и максимальный нагрев, и если они выдерживают такие режимы работы, то при работе в штатном режиме надёжность может быть гарантирована. Эксперименты с транзисторами показали, что наименьший нагрев испытывает транзистор StF9NK90Z.

Транзистор StP6NK90ZFP стоит на втором месте (его нагрев чуть больше, но всё-таки приемлемый), а транзистор StF7N95K3 нагревается сильно. Причина такого поведения была выяснена по осциллограммам напряжений на стоке транзисторов: у транзистора StF7N95K3 амплитуда выброса Аимп при прочих равных условиях приблизительно в 1,5 раза выше. Столь большой выброс объясняется, вероятно, наименьшим временем выключения этого транзистора (36 нс), поэтому использовать его не рекомендуется.

Из двух других наилучшим вариантом является StF9NK90Z. Однако, по опыту автора, более дешёвые транзисторы StP6NK90ZFP в ИИП работают не намного хуже.

Таблица 4.1 – Основные параметры некоторых высоковольтных транзисторов

Тип транзистора	$U_{си, макс}$, В	$I_{с, макс}$, А	$T_{вкл}$, нс	$T_{выкл}$, нс	$C_{вх}$, пФ	$R_{си}$, Ом	Средняя розничная цена, руб.
STP6NK90ZFP	900	5,8	17	45	1350	1,56	40
STF9NK90Z	900	8	22	55	2115	1,1	60
STF7N95K3	950	7,2	14	36	1031	1,1	60

4.4 Расчет надежности Б5-71/1ПРО

Произведем расчет надежности рассматриваемого устройства.

Таблица 4.2 - Интенсивность отказов отдельных элементов схемы

№	Наименование элемента	Интенсивность отказов, $*10^{-5}$, 1/ч
1	Резисторы	0,0001…1,5
2	Конденсаторы	0,001…16,4
3	Трансформаторы	0,002…6,4
4	Катушки индуктивности	0,002…4,4
5	Реле	0,05…101
6	Диоды	0,012…50
7	Триоды	0,01…90
8	Коммутационные устройства	0,0003…2,8
9	Разъемы	0,001…9,1
10	Соединения пайкой	0,01…1
11	Провода, кабели	0,01…1

Таблица 4.3 – Коэффициент надежности отдельных элементов схемы

№	Наименование элемента	Коэффициент надежности
1	Резисторы	1,0
2	Конденсаторы	0,25…0,83
3	Трансформаторы	1,3…3,0
4	Катушки индуктивности	1…2
5	Реле	1…10
6	Диоды	1,3…30,0
7	Триоды	1,3…75,0

Таблица 4.4 – Расчёт надёжности функционального узла

Наименование	Тип	Количество n	α	λ_0, 1/ч	$\lambda_i=\alpha*\lambda_0$	$\lambda_c=\lambda i*n$
Конденсаторы	К50	6	0,8	0,000164	0,000131	0,000787
Конденсаторы	КМ	2	0,8	0,000164	0,000131	0,000262
Диоды	КД272А, 2С218Ж	4	0,7	0,00005	0,000035	0,00014
Микросхема	GBU25M	1	0,62	0,000075	4,65 Е-05	4,65 Е-05
Предохранитель	112163 / Z-C10/SE	2	0,83	0,000028	2,32 Е-05	4,65 Е-05
Дроссель	B82726S2163N0	1	0,55	0,000044	2,42 Е-05	2,42 Е-05
Транзистор	Полевой	1	0,66	0,000026	1,72 Е-05	1,72 Е-05
Резистор	МЛТ-0,125	6	1,0	0,000015	0,000015	0,00009
Провод	Многожильный ПВХ	20	1	0,00001	0,00001	0,0002

Далее рассчитаем Λ для всей схемы, для этого сложим все цифры из последнего столбца и в итоге получим: Λ = 0,002874 1/ч.

Рассчитаем среднюю наработку до отказа по формуле:

$$T_{ср} = 1/\Lambda \qquad (2.2)$$

В нашем случае получим:

$T_{ср} = 1/\Lambda = 1/ 0{,}002874 = 347{,}95437622218 \approx 347{,}95$ час.,

Заполним таблицу 4.5.

Таблица 4.5

t	0	100	200	300	400	500	600
$P(t)=e^{-\Lambda*t}$	1,00	0,7502	0,562	0,422	0,316	0,23	0,178

	00		8	2	8	76	3

По полученным значениям (табл. 4.5) построим график функции P = f(t).

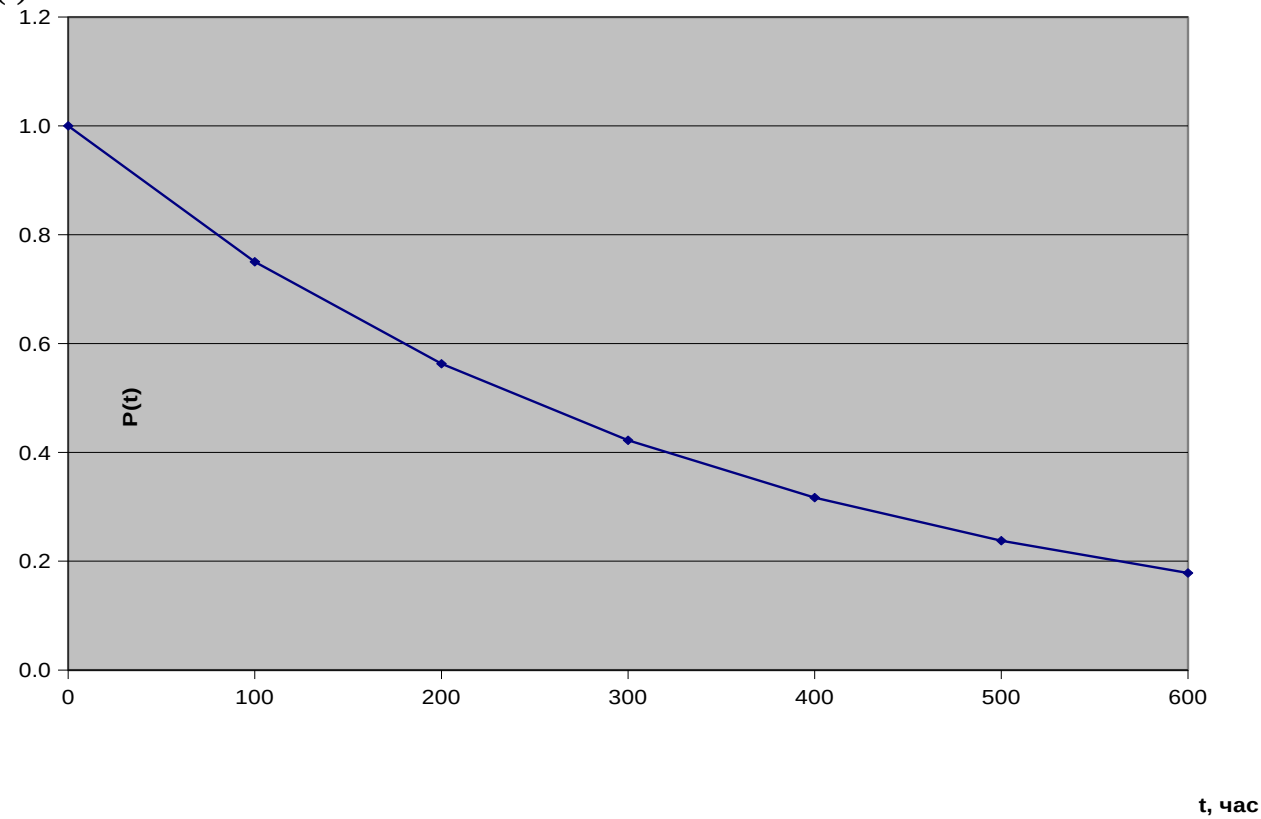


Рис. 4.13. – График функции P = f(t)

Как видим реальное время безотказной работы намного меньше заявленного значения в техническом задании (10000 час.). Очевидно, что поднять значение выше расчетного будет очень трудно и в большей степени невозможно.

Раздел 5. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

5.1 Исследование Б5-71/1ПРО на компьютерной модели на предмет возможности выполнимости поставленных задач и оптимизации параметров устройства

Рабочий цикл преобразователя состоит из двух фаз: фазы накачки энергии и фазы разряда на нагрузку.

Рабочая частота стабилизатора задается схемой управления и определяется так

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{tu + tn} \qquad (5.1)$$

где T — период коммутации схемы управления стабилизатора.

Введем понятие – относительная длительность импульса (или коэффициент заполнение). Это отношение длительности открытого состояния ключа, при котором происходит накачка энергии, к периоду коммутации.

$$\gamma = \frac{tu}{T} = \frac{tu}{tu + tn} = \gamma \cdot f \tag{5.2}$$

где f - рабочая частота коммутации ключа.

Для сглаживания импульсов напряжения на нагрузке в схему включается сглаживающий фильтр. В нашем случае мы используем классическую Г-образную схему LC-фильтра.

Операция выделения постоянной составляющей эквивалентна определению среднего значения сигнала. Математически операция сглаживания выглядит следующим образом

$$U_H = \frac{1}{T}\int_0^T i(t) R_H \cdot dt \tag{5.3}$$

где i(t) - мгновенное значение тока в нагрузке.

Когда ключ открыт, то $U_н = U_п$. Когда ключ закрыт, $U_н = 0$.

Отсюда следует, что

$$U_H = \frac{1}{T}\int_0^T i(t) R_H \cdot dt = \gamma \cdot Un \tag{5.4}$$

Как мы видим, напряжение на нагрузке прямо пропорционально относительной ширине импульса γ.

Таким образом, при наличии хорошего сглаживающего фильтра, управляя только коэффициентом заполнения, увеличивая или уменьшая длительность открытого состояния ключа, мы можем регулировать напряжение на нагрузке. Из выражения (5.4) следует, что в данной схеме принципиально невозможно получить напряжение на нагрузке больше, чем напряжение питания преобразователя.

Для получения качественного выходного напряжения данного преобразователя следует принимать меры к увеличению q - коэффициента сглаживания пульсаций напряжения. Как известно, q - это отношение амплитуды первой гармоники пульсаций на входе фильтра к амплитуде первой гармоники на его выходе.

Коэффициент сглаживания однозвенного Г-образного фильтра, можно оценивать по следующей простой формуле:

$$q = 4\pi^2 f^2 LC \tag{3.5}$$

Для большинства реальных схем, построенных на основе Г-образного

фильтра, этим расчетом можно ограничиться. Во избежание резонансных явлений в фильтре рекомендуется задаваться коэффициентом сглаживания не менее 3.

Рекомендуемое значение коэффициента сглаживания для однозвенного фильтра - не более 10000. Однако уже при q > 30 однозвенный фильтр становится неоптимальным по затратам индуктивности и емкости. Соответственно, неоптимальными становятся и массогабаритные показатели. Вопрос оптимизации может остро встать перед разработчиками автономной малогабаритной аппаратуры, перед проектировщиками очень мощных источников и перед создателями автоматических регуляторов тока с высокими динамическими показателями. Именно здесь, моделирование работы таких устройств может оказать существенную помощь разработчикам.

При необходимости получения очень высоких коэффициентов сглаживания необходимо переходить к проектированию многозвенных фильтров.

Следует также учитывать возможность возникновения резонанса на высших гармониках выходного напряжения. В маломощных стабилизаторах подобное резонансное явление практически незаметно и им вполне можно пренебречь. Однако в мощных схемах, в которых, строго нормированы пульсации в нагрузке, необходимо рассчитывать фильтр так, чтобы свести его передаточную функцию к апериодическому виду.

5.2 Исследование параметров Б5-71/1ПРО с помощью программного комплекса Simulink

Исследуем модель Б5-71/1ПРО с повышением преобразованого постоянного напряжения.

Повышающие преобразователи постоянного напряжения широко используются для получения высоких напряжений от низковольтных источников напряжения, например аккумуляторов.

Пусть в схему входят: источник питания - аккумуляторная батарея напряжением 12 В и внутренним сопротивлением 0,2 Ом; дроссель индуктивностью L = 1 мГн, ключевой IGBT транзистор, накопительный конденсатор C и диод VD.

Нагрузка активного характера может изменяться в пределах 30 – 300 Ом.

Модель данного преобразователя легко составить из хорошо известных блоков (рис. 5.1).

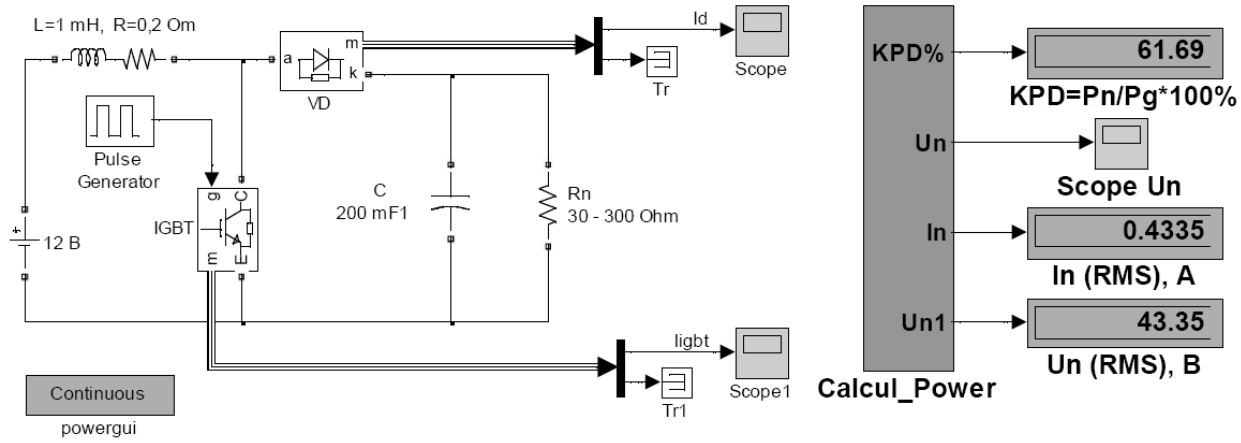


Рис. 5.1. Модель бустерного преобразователя постоянного напряжения

Подсистема Calcul_Power, схема которой дана на рисунке 5.2, предназначена для вычисления нескольких параметров преобразователя.

Во-первых, она позволяет вычислить мощность источника питания $P_и$, т.е. мощность, потребляемую преобразователем от аккумуляторной батареи.

Во-вторых, она вычисляет мощность, выделяемую в нагрузке Рн. При вычислении мощности используются блоки RMS.

По значениям полученных мощностей определяется коэффициент полезного действия преобразователя, как КПД = $100\% \cdot P_н/P_и$.

Модель позволяет наблюдать осциллограммы: выходного напряжения преобразователя, тока через ключевой транзистор и ток через диод.

При желании можно исследовать и другие параметры преобразователя.

Для управления ключевым IGBT транзистором в модели используется генератор импульсов Pulse Generator, окно параметров которого приведено на рисунке 5.4. Частота выходных импульсов генератора равна 1000 Гц (период 0,001 с). Относительная длительность импульсов 50%.

На том же рисунке показаны части окон параметров блоков Multimeter, которые используются в подсистеме Calcul_Power и там носят названия Generator и Nagryzka.

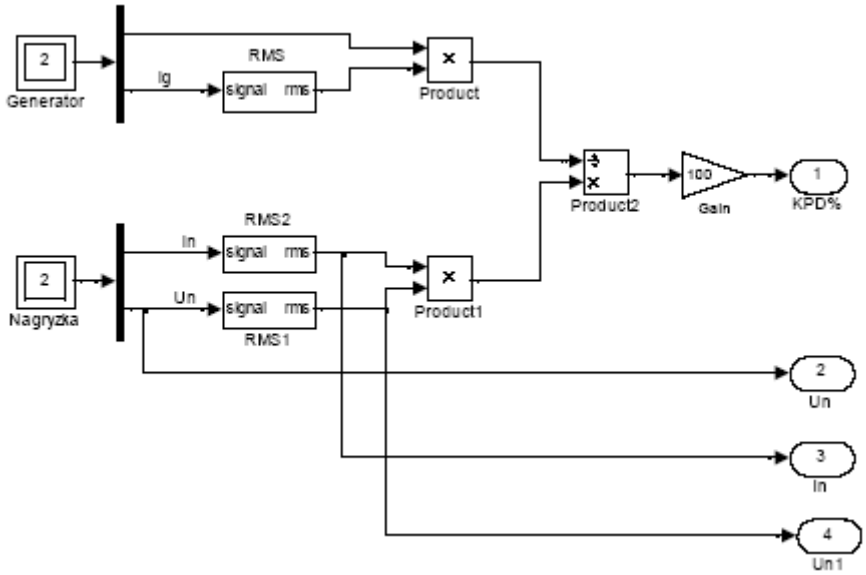


Рис. 5.2. Структура подсистемы Calcul_Power

При периодическом замыкании ключа, через индуктивность протекает ток, пилообразной формы, как показано на рисунке 5.3.

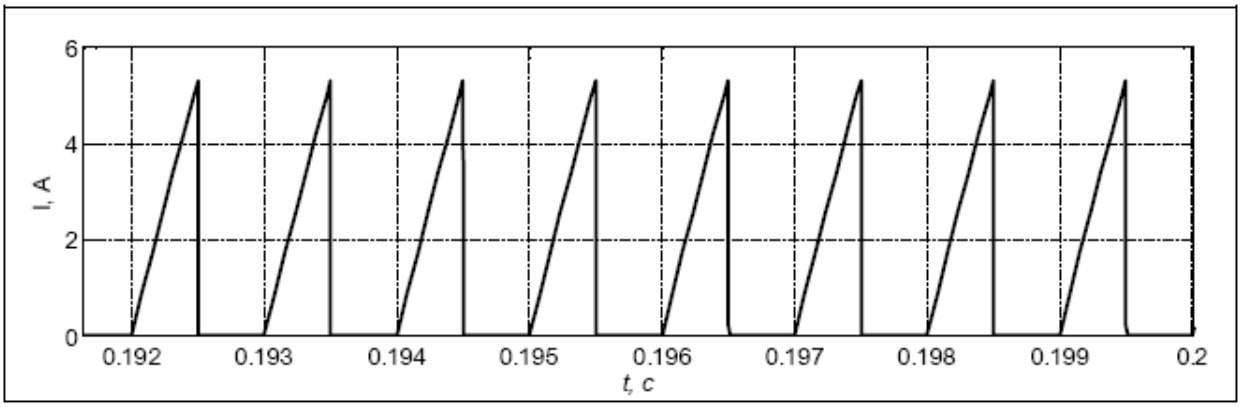
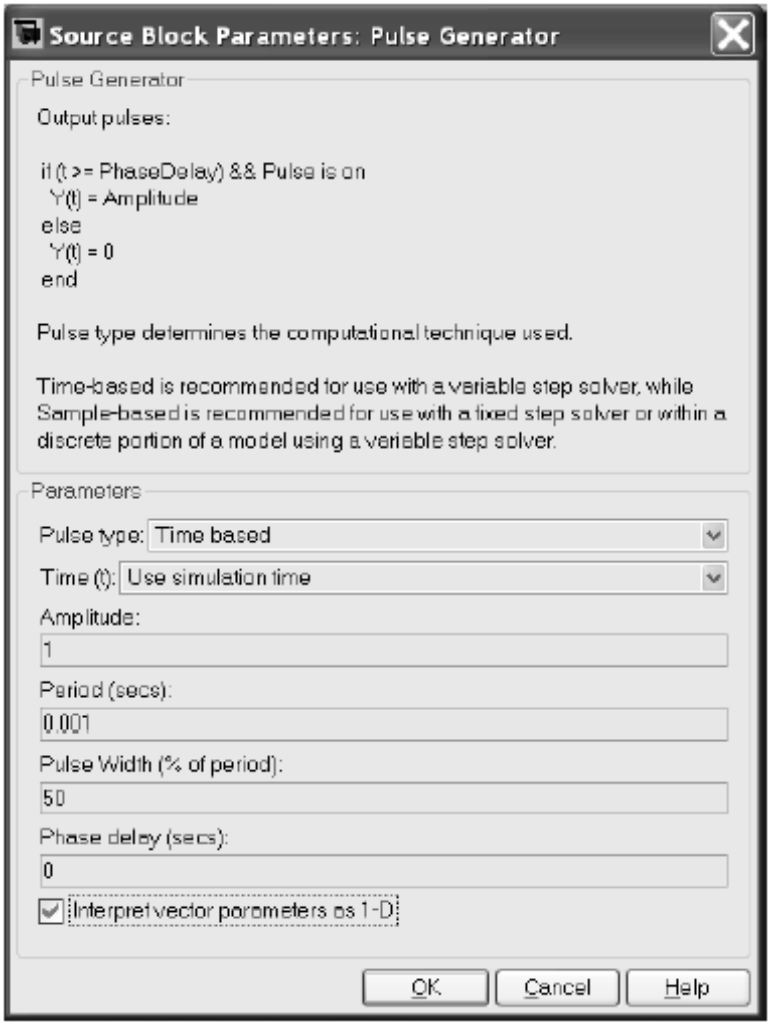


Рис. 5.3. Ток ключевого транзистора

После размыкания ключа, ток через дроссель продолжает протекать, плавно снижаясь и заряжая через диод накопительный конденсатор. Диод нужен для того, чтобы при очередном замыкании транзистора конденсатор не разряжался через него. В результате, на выходе преобразователя, то есть на сопротивлении нагрузки формируется напряжение, осциллограмма которого показана на рисунке 5.4.

Проведя ряд опытов на модели, изменяя сопротивление нагрузки, можно получить любые, интересующие исследователя, характеристики преобразователя. Например, на рисунке 5.5, 5.6, 5.7 показаны зависимости выходного напряжения и КПД преобразователя от величины сопротивления нагрузки, выходная характеристика преобразователя.



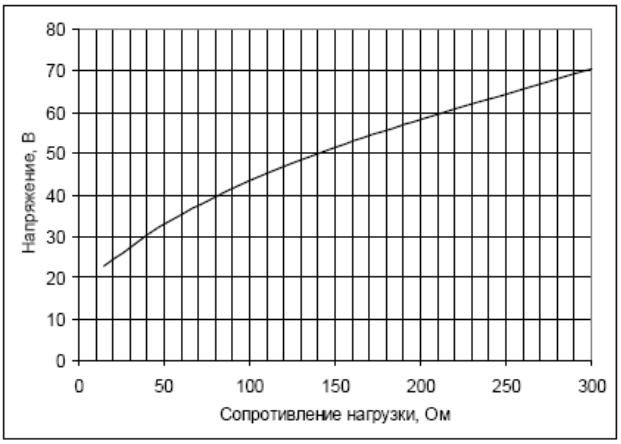


б



в

Рис. 5.4. Окно параметров: а – блока Pulse Generator; б – блока Generator**,** в – Nagryzka



а)



б)

Рис. 5.5. Зависимости: а – выходное напряжение от сопротивления нагрузки; б – КПД от сопротивления нагрузки

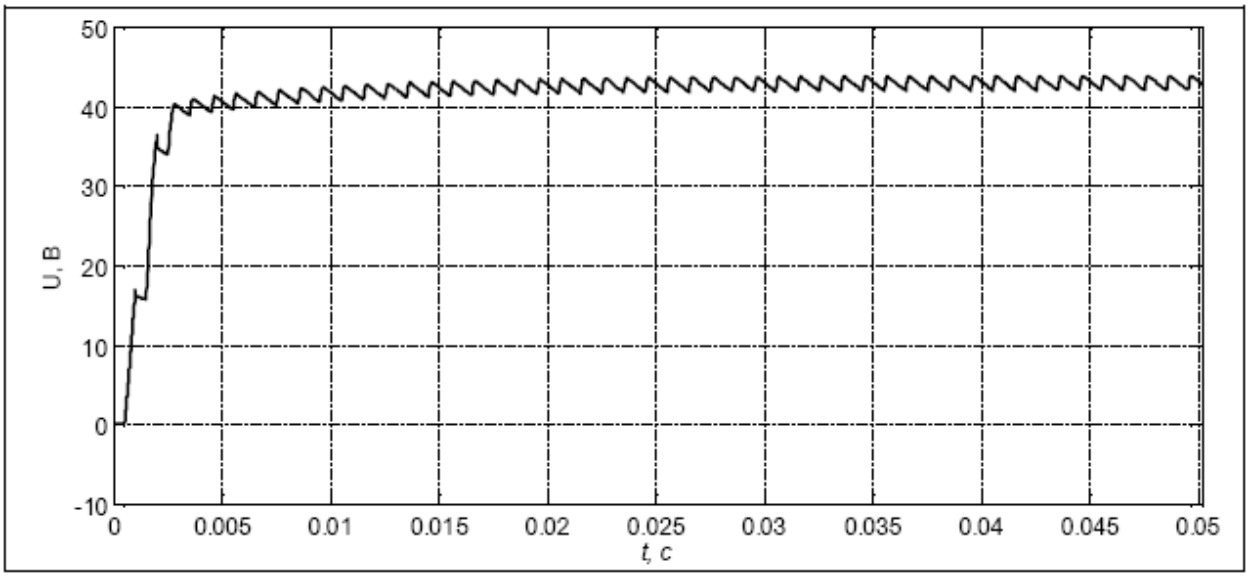


Рис. 5.6. Выходное напряжение преобразователя

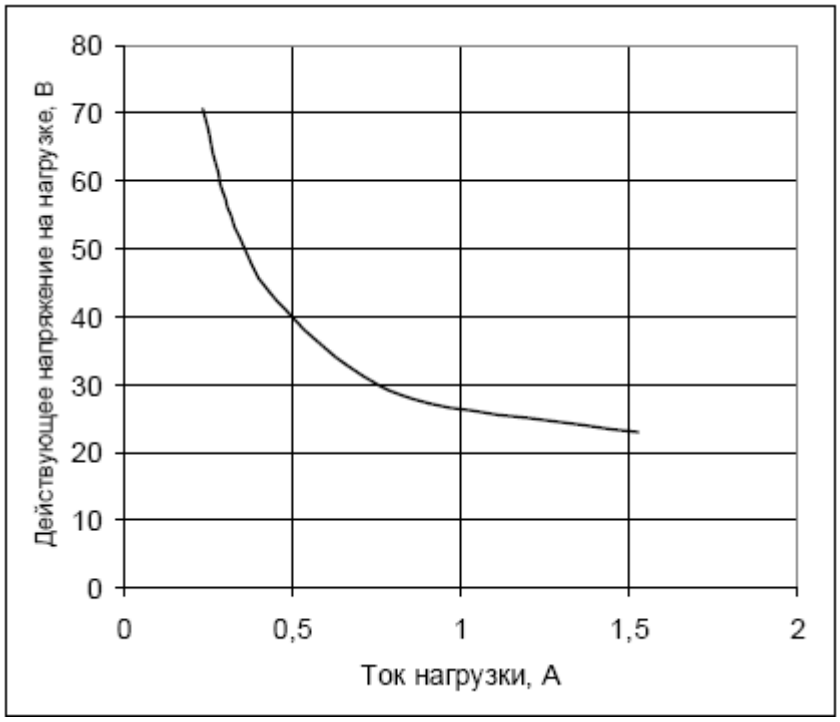


Рис. 5.7. Выходная характеристика преобразователя

5.3 Исследование параметров Б5-71/1ПРО с помощью Electronics Workbench

Система схемотехнического моделирования Electronics Workbench предназначена для моделирования и анализа электрических схем.

Electronics Workbench может проводить анализ схем на постоянном и переменном токах. При анализе на постоянном токе определяется рабочая точка схемы в установившемся режиме работы. Результаты этого анализа не отражаются на приборах, они используются для дальнейшего анализа схемы. Анализ на переменном токе использует результаты анализа на постоянном токе для получения линеаризованных моделей нелинейных компонентов. Анализ схем в режиме AC может проводиться как во временной, так и в частотной областях.

В Electronics Workbench можно исследовать переходные процессы при воздействии на схемы входных сигналов различной формы. Программа также позволяет производить анализ цифро-аналоговых и цифровых схем большой степени сложности. Имеющиеся в программе библиотеки включают

в себя большой набор широко распространенных электронных компонентов. Есть возможность подключения и создания новых библиотек компонентов.

Широкий набор приборов позволяет производить измерения различных величин, задавать входные воздействия, строить графики. Все приборы изображаются в виде, максимально приближенном к реальному, поэтому работать с ними просто и удобно.

Результаты моделирования можно вывести на принтер или импортировать в текстовый или графический редактор для их дальнейшей обработки.

Программа Electronics Workbench совместима с программой P-SPICE, т.е. предоставляет возможность экспорта и импорта схем и результатов измерений в различные ее версии.

Electronics Workbench позволяет разместить схему таким образом, чтобы были четко видны все соединения элементов и одновременно вся схема целиком.

Программа использует стандартный интерфейс Windows, что значительно облегчает ее использование.

Для установки программы необходимы:

- IBM-совместимый компьютер с модификацией процессора не ниже 486;
- не менее 4 MB свободного пространства на жестком диске;
- операционная система Microsoft Windows 3.1 или более поздние версии;
- манипулятор типа мышь.

В библиотеки компонентов программы входят пассивные элементы, транзисторы, управляемые источники, управляемые ключи, гибридные элементы, индикаторы, логические элементы, триггерные устройства, цифровые и аналоговые элементы, специальные комбинационные и последовательные схемы. Активные элементы могут быть представлены

моделями как идеальных, так и реальных элементов. Возможно также создание своих моделей элементов и добавление их в библиотеки элементов.

В программе используется большой набор приборов для проведения измерений: амперметр, вольтметр, осциллограф, мультиметр, Боде-плоттер (графопостроитель частотных характеристик схем), функциональный генератор, генератор слов, логический анализатор и логический преобразователь.

Electronics Workbench позволяет строить схемы различной степени сложности при помощи следующих операций:

- выбор элементов и приборов из библиотек;
- перемещение элементов и схем в любое место рабочего поля;
- поворот элементов и групп элементов на углы, кратные 90°;
- копирование, вставка или удаление элементов, групп элементов, фрагментов схем и целых схем;
- изменение цвета проводников;
- выделение цветом контуров схем для более удобного восприятия;
- одновременное подключение нескольких измерительных приборов и наблюдение их показаний на экране монитора;
- присваивание элементу условного обозначения;
- изменение параметров элементов в широком диапазоне.

Все операции производятся при помощи мыши и клавиатуры. Управление только с клавиатуры невозможно.

Путем настройки приборов можно:

- изменять школы приборов в зависимости от диапазона измерений;
- задавать режим работы прибора;
- задавать вид входных воздействий на схему (постоянные и гармонические токи и напряжения, треугольные и прямоугольные импульсы).

Графические возможности программы позволяют:

- одновременно наблюдать несколько кривых на графике;

- отображать кривые на графиках различными цветами;
- измерять координаты точек на графике;
- импортировать данные в графический редактор, что позволяет произвести необходимые преобразования рисунка и вывод его на принтер.

Electronics Workbench позволяет использовать результаты, полученные в программах P-SPICE, PCB, а также передавать результаты на Electronics Workbench в эти программы. Можно вставить схему или ее фрагмент в текстовый редактор и напечатать в нем пояснения или замечания по работе схемы.

Приведем результаты проверки работоспособности отдельных блоков рассматриваемой схемы.

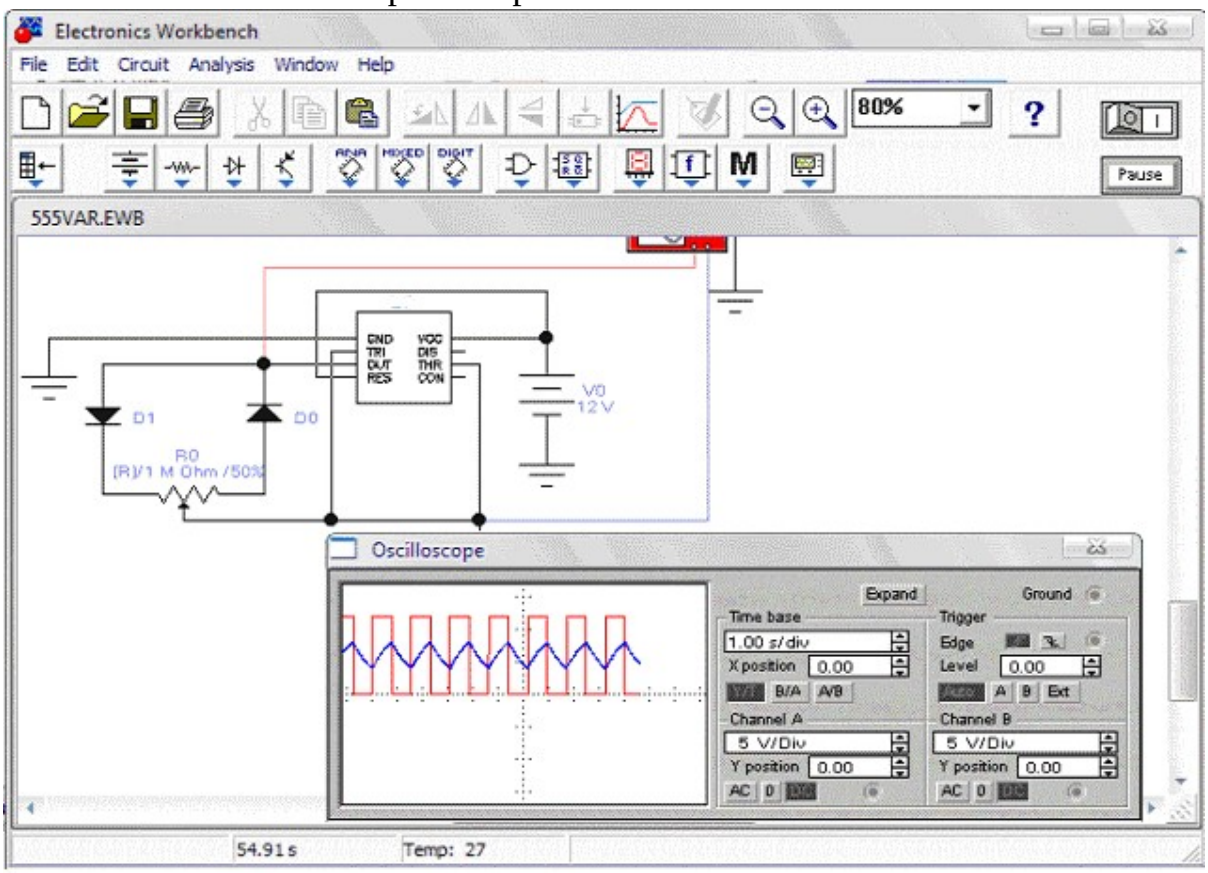


Рис. 5.8. Проверка работы микросхемы

Вносить изменения в схему и конструкцию рассматриваемой схемы не целесообразно.

Раздел 6 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА.

6.1. Защита от источников инфракрасных излучений

Инфракрасное излучение (ИК) – часть электромагнитного спектра с длинной волны λ=760 нм…100мкм, энергия которого при поглощении в веществе вызывает тепловой эффект. В производственной обстановке рабочие, находясь вблизи расплавленного или нагретого металла, пламени, горячих поверхностей и т. п., подвергаются действию теплоты, излучаемой этими источниками. В результате поглощения падающей энергии повышается температура кожи и лежащих глубже тканей.

Интенсивность облучения рабочих в ряде случаев составляет значительную величину (до 3000—6000Вт/м^2 и более), и в этих случаях лучистый поток теплоты становится основным вредным производственным актором. Действие ИК-излучения не ограничивается изменениями, происходящими на облучаемом участке тела,— на облучение реагирует весь организм. Под влиянием облучения в организме происходят

биохимические сдвиги, наступают нарушения деятельности сердечно-сосудистой и нервной систем. Длительное воздействие инфракрасных лучей с длиной волны 0,72— 1,5 мкм вызывает катаракту глаз (помутнение хрусталика).

ИК-излучение, кроме непосредственного воздействия на рабочих, нагревает пол, стены, перекрытие, оборудование, в результате чего температура воздуха внутри помещения повышается, что также ухудшает условия работы. У большинства производственных источников максимум излучаемой энергии приходится на длинноволновую часть спектра (инфракрасные лучи длиной волны X>0,78 мкм).

6.1.1. Нормирование ИК-излучения

Нормирование ИК-излучения осуществляется по интенсивности допустимых интегральных потоков излучения с учетом спектрального состава, размера облучаемой

площади, защитных свойств спецодежды в соответствии с СанПин 2.2.4.548-96 [9].

6.2. Оптимальные условия микроклимата

6.2.1. Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

6.2.2. Оптимальные показателей величины микроклимата необходимо соблюдать

на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно - эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.). Перечень других рабочих мест и видов работ, при которых должны обеспечиваться оптимальные величины микроклимата, определяется Санитарными правилами по отдельным отраслям промышленности и другими документами, согласованными с органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора в установленном порядке.

6.2.3. Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 5.1, применительно

к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

6.2.4. Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2° С и выходить за пределы величин, указанных в таблице 5.1 для отдельных категорий работ.

6.2.5. К категории IIб относятся работы с интенсивностью энергозатрат 201 - 250 ккал/ч (233 - 290 Вт), связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнечных, термических, сварочных,

цехах машиностроительных и металлургических предприятий и т.п.).

6.3. Допустимые условия микроклимата

6.3.1. Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

6.3.2. Допустимые величины показателей

микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

6.3.3. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

6.3.4. При обеспечении допустимых величин микроклимата на рабочих местах:

- перепад температуры воздуха по высоте должен быть не более 3° С;

- перепад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать: при категориях работ IIб - 5° С;

6.3.5. При температуре воздуха на рабочих местах 25° С и выше максимально допустимые величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы:

70% - при температуре воздуха 25° С;

65% - при температуре воздуха 26° С;

60% - при температуре воздуха 27° С;

55% - при температуре воздуха 28° С.

6.3.6. При температуре воздуха 26 - 28° С скорость движения воздуха, указанная в таблице 1 для теплого периода года, должна соответствовать диапазону:

0,2 - 0,5 м/с - при категории работ IIб .

При температурах воздуха 25° С и выше максимальные величины относительной влажности воздуха должны приниматься в соответствии с требованиями.

6.4 Способы защиты от ИК-излучения

Способы защиты от ИК-излучения следующие: теплоизоляция нагретых поверхностей, экранирование тепловых излучений, применение воздушного душирования, защитной одежды, организация рационального отдыха в период работы.

Теплоизоляция является эффективным мероприятием не только по уменьшению интенсивности теплового получении от нагретых поверхностей, но также для предотвращения ожогов при прикосновении к этим поверхностям. По действующим санитарным нормам температура нагретых поверхностей оборудования (например, печей) и ограждений на рабочих местах не должна превышать 45° С.

Наиболее распространенным и эффективным способом защиты от ИК-излучения является экранирование. Экраны применяют

как для экранирования источников излучения, так и для защиты рабочих мест от воздействия ИК-излучения.

По принципу действия экраны подразделяются на теплоотражающие, теплопоглощающие, теплоотводящие. Это деление в известной степени условно, так как любой экран обладает способностью отражать, поглощать или отводить теплоту. Отнесение экрана к той или иной группе зависит от того, какое свойство выражено в нем в наибольшей степени.

В зависимости от возможности наблюдения за рабочим процессом экраны можно разделить на три типа: прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные.

Материалом для теплоотражающих экранов служат листовой алюминий, белая жесть, алюминиевая техническая фольга, укрепляемые на несущем материале (картоне, сетке и т. п.). И теплопоглощающих экранах применяют

материалы с большим сопротивлением теплопередаче (асбестовые шины на металлической сетке "или листе, огнеупорный кирпич и т. д.), вследствие чего температура наружной поверхности резко уменьшается. Теплоотводящие экраны представляют собой сварные или литые конструкции, охлаждаемые водой. Они могут применяться при любых интенсивностях ИК-излучения.

К полупрозрачным теплопоглощающим экранам относятся металлические сетки (размер ячейки 3—3,5 мм), цепные звенья, специальное стекло. Такие экраны уступают по эффективности сплошным экранам, поэтому их применяют при интенсивности излучения менее 1000 Вт/м^2. Различные металлические сетки, орошаемые водой, являются теплоотводящими экранами, применяют их также при небольших интенсивностях излучения. Для прозрачных экранов используют силикатное

, кварцевое или органическое стекло, тонкие (до 2 нм) металлические пленки на стекле.

При выполнении трудоемких работ правильная организация отдыха имеет большое значение для восстановления работоспособности. Для рабочих устраивают специальные места отдыха, расположенные недалеко от места работы, но в то же время достаточно удаленные от источников излучения, снабженные вентиляцией, Питьевой водой и т. п.

6.5. Противопожарная безопасность (ППБ) в лабораториях научных учреждений

6.5.1. Работы на опытных установках, связанных с применением взрывопожароопасных и пожароопасных веществ и материалов, разрешаются только после принятия их в эксплуатацию комиссией, назначенной

организационно
-распорядительным
документом
организации
.

6.5.2. Руководитель
(ответственный
исполнитель
) экспериментальных
исследований
должен принять необходимые
меры по обеспечению
пожарной безопасности
при их проведении
.

6.5.3. Не разрешается
проводить
работы в вытяжном шкафу, если в нем находятся
вещества, материалы
и оборудование
, не относящиеся
к выполняемым
операциям
, а также при его неисправности
и отключенной
системе вентиляции

6.5.4. Не разрешается
проводить
работы в лабораториях
и мастерских
, если в нем есть отверстия
, воздуховоды
в другие помещения

.

6.5.5. При определении видов и количества первичных средств пожаротушения следует учитывать физико-химические и пожароопасные свойства горючих веществ, их отношение к огнетушащим веществам, а также площадь производственных помещений, открытых площадок и установок.

6.5.6 Работы на опытных установках, связанных с применением взрывопожароопасных и пожароопасных веществ и материалов, разрешаются проводить в помещениях где полы должны быть из негорючих огнестойких материалов, например, бетонным полом.

6.5.7. В помещениях для работы на опытных установках, связанных с применением взрывопожароопасных

и пожароопасных веществ и материалов не должно быть лишних пожароопасных предметов
.

6.5.8. Расстояние от возможного очага пожара до места размещения огнетушителя не должно превышать 20 м для общественных зданий и сооружений ; 30 м для помещений категорий А, Б и В; 40 м для помещений категории Г; 70 м для помещений категории Д.

6.5.9. На объекте должно быть определено лицо, ответственное за приобретение , ремонт, сохранность и готовность к действию первичных средств пожаротушения . Учет проверки наличия и состояния первичных средств пожаротушения следует вести в специальном журнале произвольной формы.

6.510. Каждый огнетушитель

, установленный на объекте, должен иметь порядковый номер, нанесенный на корпус белой краской. На него заводят паспорт по установленной форме.

6.5.11. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться.

6.6.12. В помещениях для работы на опытных установках, связанных с применением взрывопожароопасных и пожароопасных веществ и материалов должны использоваться углекислотные огнетушители марки УО -5,8.

6.5.3. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, проходах не должно препятствовать безопасной эвакуации

людей. Их следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,5 м.

6.6. Организация трудовой деятельности в лаборатории

Характер и организация трудовой деятельности оказывают существенное влияние на изменение функционального состояния организма человека.

Умственный труд объединяет работы, связанные с приёмом и переработкой информации, требующей преимущественного напряжения сенсорного аппарата, внимания, памяти, а также активизации процессов мышления, эмоциональной сферы. Для данного вида труда характерна гипокинезия, т.е. значительное снижение двигательной активности человека, приводящее к ухудшению реактивности организма

и повышениё эмоционального напряжения. Гипокинезия является одним из условий формирования сердечно-сосудистой патологии у лиц умственного труда. Длительная умственная нагрузка оказывает угнетающее влияние на психическую деятельность: ухудшаются функции внимания (объём, концентрация, переключение), восприятия (появляется большое число ошибок).

Формы интеллектуального труда подразделяется на операторский, управленческий, творческий, труд медицинских работников, труд преподавателей, учащихся, студентов. Эти виды различаются организацией трудового процесса, равномерностью нагрузки, степенью эмоционального напряжения.

Наиболее сложная форма трудовой деятельности, требующая значительного

объема памяти, напряжения, внимания – это творческий труд. Труд научных работников, инженеров, конструкторов приводит к значительному повышению нервно-эмоционального напряжения. При таком напряжении, связанном с умственной деятельностью, можно наблюдать тахикардию, повышение кровяного давления, изменение ЭКГ, увеличение лёгочной вентиляции и потребления кислорода, повышение температуры тела человека и другие изменения со стороны вегетативный функций.

Энергетические затраты человека зависят от интенсивности мышечной работы, информационной насыщенности труда, степени эмоционального напряжения и других условий (температуры, влажности, скорости движения воздуха и др.). Суточные затраты энергии для лиц умственного труда (инженеров

и др.) составляют 10,5 … 11,7 МДж.

Затраты энергии меняются в зависимости от рабочей позы. При рабочей позе сидя затраты энергии превышают на 5 – 10 % уровень основного обмена; при рабочей позе стоя – на 10 … 25 %, при вынужденной неудобной позе – на 40 … 50 %. При интенсивной интеллектуальной работе потребляемость мозга в энергии составляет 15 … 20 % общего обмена в организме (масса мозга составляет 2 % массы тела).

Напряженность труда характеризуется эмоциональной нагрузкой на организм при труде, требующем преимущественно интенсивной работы мозга по получению и переработки информации. Кроме того, при оценки степени напряженности учитывают эргономические показатели: сменность труда, позу, число движений и т.п. Так, если плотность воспринимаемых сигналов не превышает 75 в час, то работа характеризуется как лёгкая; 75 … 175 – средней тяжести; свыше 176 – тяжелая работа.

6.7. Пути повышения эффективности трудовой деятельности

Эффективность трудовой деятельности человека в значительной степени зависит от предмета и орудий труда, работоспособности организма, организации рабочего места, гигиенических факторов рабочей среды.

Работоспособность – величина функциональных возможностей организма человека, характеризующаяся количеством и качеством работы, выполняемой за определённое время. Во время трудовой деятельности работоспособность организма изменяется во времени. Различают три основные фазы сменяющих друг друга состояний человека в процессе трудовой деятельности:

- фаза врабатывания, или нарастающей работоспособности; в этот период уровень работоспособности постепенно повышается по сравнению с исходным; в зависимости от характера труда и индивидуальных особенностей человека этот период длится от нескольких

минут до 1,5 ч, а при умственном творческом труде – до 2 … 2,5 ч;

- фаза высокой устойчивости работоспособности; для неё характерно сочетание высоких трудовых показателей с относительной стабильностью или даже некоторым снижением напряженности физиологических функций; продолжительность этой фазы может составлять 2 … 2,5 ч. и более в зависимости от тяжести и напряженности труда;
- фаза снижения работоспособности, характеризующаяся уменьшением функциональных возможностей основных работающих органов человека и сопровождающаяся чувством усталости.

Одним из наиболее важных элементов повышения эффективности трудовой деятельности человека является совершенствование умений и навыков в результате трудового обучения.С точки зрения психофизиологической производственное обучение представляет

собой процесс приспособления и соответствующего изменения физиологических функций организма человека для наиболее эффективного выполнения конкретной работы. В результате тренировки (обучения) возрастает мышечная сила и выносливость, повышается точность и скорость рабочих движений, быстрее восстанавливаются физиологические функции после окончания работы.

Правильное расположение и компоновка рабочего места, обеспечение удобной позы и свободы трудовых движений, использование оборудования, отвечающего требованиям эргономики и инженерной психологии, обеспечивают наиболее эффективный трудовой процесс, уменьшают утомляемость и предотвращают опасность возникновения профессиональных заболеваний.

Оптимальная поза человека в процессе трудовой деятельности обеспечивает высокую работоспособность и производительность труда. Неправильное положение тела на рабочем месте приводит к быстрому возникновению статической усталости, снижению качества и скорости выполняемой работы, а также снижению реакции на опасности. Нормальной рабочей позой следует считать такую, при которой работнику не требуется наклоняться вперёд больше чем на 10 … 15^0 ; наклоны назад и в стороны нежелательны; основное требование к рабочей позе – прямая осанка.

Работа в позе сидя более рациональна и менее утомительна, так как уменьшается высота центра тяжести над площадью опоры, повышается устойчивость тела, снижается напряжение мышц, уменьшается нагрузка на сердечно-сосудистую систему. В положении сидя обеспечивается возможность выполнять работу, требующую точность движения. Однако и в этом случае могут возникать застойные явления в органах таза, затруднение работы органов кровообращения и дыхания.

Смена позы приводит к перераспределению нагрузки на группы мышц, улучшение условий кровообращения, ограничивает монотонность. Поэтому, где это совместимо с условиями производства, необходимо предусматривать выполнение работы как стоя, так и сидя с тем, чтобы рабочие по своему усмотрению могли изменять положение тела.

На формирование рабочей позы в положении сидя влияет высота рабочей поверхности, определяемая расстояние от пола до горизонтальной поверхности, на которой совершаются трудовые движения. Высоту рабочей поверхности устанавливают в зависимости от характера, тяжести и точности работ. Оптимальная рабочая поза при работе сидя обеспечивается также конструкцией стула: размерами, формой, площадью и наклоном сиденья, регулировкой по высоте.

Существенное влияние на работоспособность оператора оказывает правильный выбор типа и размещение

органов и пультов управления. При компоновке пультов управления необходимо знать, что в горизонтальной плоскости зона обзора без поворота головы составляет 120^0, с поворотом – 225^0; оптимальный угол обзора по горизонтали без поворота головы – $30\text{-}40^0$ (допустимый 60^0), с поворотом – 130^0. Допустимый угол обзора по горизонтали оси зрения составляет 130^0, оптимальный – 30^0 вверх и 40^0 вниз.

Приборные панели следует располагать так, чтобы плоскости лицевых частей индикаторов были перпендикулярны линиям взора оператора, а необходимые органы управления находились в пределах досягаемости. Наиболее важные органы управления следует располагать спереди и справа от оператора. Максимальные размеры зоны досягаемости правой руки – 70 … 110 см. Глубина рабочей панели не должна превышать 80 см. Высота пульта, предназначенного для работы сидя и стоя, должна быть 75 … 85 см. Панель пульта может быть наклонена к горизонтальной плоскости

на 10 … 20^0, наклон спинки кресла при положении сидя 0 … 10^0.

Для лучшего различия органов управления они должны быть разными по форме и размеру, окрашиваться в разные цвета либо иметь маркировку или соответствующие надписи. При группировке нескольких рычагов в одном месте необходимо, чтобы их рукоятки имели различную форму. Это позволяет оператору различать их на ощупь и переключать рычаги, не отрывая глаз от работы. Периодическое чередование работы и отдыха способствует сохранению высокой устойчивости работоспособности. Различают две формы чередования периодов труда и отдыха на производстве: введение обеденного перерыва в середине рабочего дня и кратковременных регламентированных перерывов. Оптимальную длительность обеденного перерыва устанавливают с учётом удалённости от рабочих мест санитарно-бытовых помещений, столовых. Продолжительность и число кратковременных перерывов определяют на основе наблюдений

за динамикой работоспособности, учёта тяжести и напряжённости труда.

При работах, требующих большого нервного напряжения и внимания, быстрых и точных движений рук, целесообразны более частые, но короткие 5 … 10 минутные перерывы.

Кроме регламентируемых перерывов существуют микропаузы -перерывы в работе, возникающие самопроизвольно между операциями и действиями. Микропаузы обеспечивают поддержание оптимального темпа работы и высокого уровня работоспособности. В зависимости от характера и тяжести работы микропаузы составляют 9 … 10 % рабочего времени.

Высокая работоспособность и жизнедеятельность организма поддерживается рациональным чередованием периодов работы, отдыха и сна человека. В течение суток организм по-разному на физическую и нервно-психическую нагрузку. В соответствии с суточным циклом организма наивысшая работоспособность

отмечается в утренние (с 8 до 12 ч) и дневные (с 14 до 17) часы. В дневное время наименьшая работоспособность, как правило, отмечается в период между 12 и 14 ч, а в ночное время – с 3 до 4 ч, достигая своего минимума. С учётом этих закономерностей определяют сменность работы предприятий, начало и окончание работы в сменах, перерывы на отдых и сон.Чередование периодов труда и отдыха в течение недели должно регулироваться с учётом динамики работоспособности. Наивысшая работоспособность приходится на 2, 3 и 4 день работы, в последующие дни недели она понижается, падая до минимума в последний день работы. В понедельник работоспособность относительно понижена в связи с врабатываемостью.

Элементами рационального режима труда и отдыха являются производственная гимнастика и комплекс мер по психофизической нагрузке.

В основе производственной гимнастики лежит феномен активного отдыха (И.М. Сеченов) – утомлённые мышцы быстрее восстанавливают свою работоспособность не при полном покое, а при работе других мышечных групп. В результате производственной

гимнастики увеличивается жизненная емкость деятельность сердечно системы, функциональная возможность анализаторных систем.	лёгких, –	улучшается сосудистой повышается

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе ставилась цель провести анализ устройства Б5-71/1ПРО на возможность модерниации. Для этого проведена оценка проблемной ситуации обеспечения необходимого уровня функциональности рассматриваемого источника питания. Разработана и выбрана структурная схема устройства Б5-71/1 ПРО. Разработана компьютерная модель рассматриваемого устройства. Выбрана принципиальная схема Б5-71/1 ПРО.

В исследовательском разделе работы проведено исследование Б5-71/1ПРО на компьютерной модели на предмет возможности выполнимости

поставленных задач и оптимизации параметров устройства. Проведено также исследование параметров Б5-71/1ПРО с помощью программного комплекса Simulink.

В заключении работы проводится анализ условий работы с точки зрения техники безопасности.

Данная работа будет интересна при рассматривании подобных задач с другими аналогичными устройствами.

Сокращения, обозначения, термины и определения

Активная мощность - Термин, используемый для мощности, когда необходимо отличать кажущуюся мощность, полную мощность и ее компоненты — активную и реактивную мощность. См. Ампер-час

Ампер (А) -Единица силы электрического тока. Ток величиной один ампер создается разностью напряжения один В на сопротивлении в один Ом. Сила тока при протекании заряда в один кулон за одну секунду.

Ампер-час (А-ч) - Протекание тока силой 1 А в течение одного часа.

Активная мощность - Произведение мгновенных значений напряжения и тока в цепи переменного тока, усредненное по определенному периоду времени.

Вольт - Единица измерения электродвижущей силы. Электрический потенциал, приводящий к протеканию тока в один ампер через сопротивление один Ом.

Ватт - При измерениях параметров переменного тока эффективная мощность (в ваттах) равна произведению напряжения, тока и коэффициента мощности (равному косинусу фазового сдвига между током и напряжением). Мощность (Вт) = E x I x COS(f). Ватт представляет единицу мощности с учетом действия напряжения и тока, равную мощности в цепи, в которой при разности потенциалов в один вольт протекает ток величиной один ампер.

Гармоника - Синусоидальная составляющая напряжения с частотой,

кратной основной частоте сигнала. Основной причиной возникновения гармоник является характер работы современного электронного оборудования. Современная электроника потребляет ток в «импульсном» режиме, а не в режиме непрерывной синусоидальной волны наподобие старого неэлектронного оборудования. Импульсное потребление тока приводит к искажениям формы его волны, которые в свою очередь отражаются в виде искажений формы волны напряжения. Гармонические искажения тока и напряжения могут привести к возникновению таких проблем, как перегрев проводки, соединителей, электродвигателей и трансформаторов, а также случайных срабатываний автоматических выключателей.

Герц (Гц) - 1) Единица частоты, равная одному циклу в секунду.

2) В системах переменного тока — количество изменения местами положительного и отрицательного полюсов в течение одной секунды.

Диод - Двухполюсное полупроводниковое (выпрямляющее) устройство с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Диод предназначен для пропускания тока в одном направлении и его блокирования в противоположном направлении. Полюса диода называются анодом и катодом.

Емкость - 1) Соотношение изменения заряда на проводнике и соответствующего изменения его потенциала.

2) Отношение величины заряда на одной из обкладок конденсатора к разности потенциалов между обкладками.

3) Величина, характеризующая способность накапливать электрический заряд.

Индуктивность - 1) Свойство цепи создавать электродвижущую силу при изменении протекающего через нее тока.

-2) Магнитная составляющая полного сопротивления (импеданса)

Конденсатор - Электрическое устройство, характеризующееся определенной емкостью.

Коэффициент амплитуды - Соотношение между максимальными и эффективными значениями величин. Представляет диапазон линейности тестера, выраженный в виде множителя к предельному значению используемой шкалы. Коэффициент амплитуды = максимальное значение/истинное среднеквадратичное значение для синусоидального сигнала. Коэффициент амплитуды = 141/100 = 1,41

Остаточный ток - Алгебраическая сумма токов во всех линиях в многофазной системе.

Падение напряжения - Потеря напряжения в токопроводящей цепи.

Погрешность - Погрешность цифрового тестера определяется как

разность между показанием прибора и истинным значением величины, измеряемой в рекомендуемых условиях. Погрешность указывается в следующем формате: (±xx% показ. ±xx разр.) Первое слагаемое соответствует процентной доле погрешности относительно показания прибора, которая пропорциональна величине входного сигнала. Второе слагаемое в разрядах, постоянно и не зависит от величины входного сигнала. Сокращение «показ.» означает «показание», а «разр.» — разряды счета. Разряд соответствует разрядам счета последнего значащего разряда цифрового дисплея и обычно используется в качестве характеристики погрешности цифрового тестера.

Полоса пропускания - Пропускная способность канала передачи данных, измеряемая в битах или байтах в секунду.

Проводимость - Способность проводника пропускать электрический ток; обычно выражается в процентах от проводимости проводника из мягкой меди такого же сечения

Пусковой бросок тока - Первоначальный выброс тока, пока полное сопротивление нагрузки не достигнет своего нормального рабочего значения.

Полярность - 1) Электрический термин для обозначения напряжения относительно опорного уровня потенциала (+).

-2) В теории трансформаторов термин «полярность» используется для указания направления тока, протекающего через высоковольтные зажимы по отношению к направлению тока через низковольтные зажимы.

Размах - Двойная амплитуда волны переменного тока с максимального положительного значения до максимального отрицательного значения.

Расстояние утечки - Наименьшее расстояние между двумя проводниками, измеренное по поверхности, разделяющей их материалы. Расстояние утечки обычно используется в качестве конструкторской характеристики изоляторов и кабельных вводов.

Сдвиг фаз - Угловое смещение между формами сигналов тока и напряжения, измеряемая в градусах или радианах.

Сопротивление - 1) Непроводящий материал, используемый для разделения проводников в электрической цепи.

-2) Непроводящие материалы, используемые в производстве изолированных кабелей.

Среднеквадратичное значение (RMS) - Эффективное значение переменного тока или напряжения. Среднеквадратичное значение позволяет сравнивать переменный ток или переменное напряжение с постоянным током или напряжением, передающим одинаковую мощность.

Частота - В системах переменного тока — частота изменения направления тока, выраженная в Герцах (циклах в секунду). Количество

полных циклов формы сигнала, укладывающихся в единицу времени.

Чередование фаз - Чередование фаз определяет вращение фаз в многофазной системе и, как правило, представляется в виде вращения с последовательностью «1–2– 3» против часовой стрелки. В Соединенных Штатах Америки принят термин «A–B–C» для обозначения соответствующих фаз. При этом иногда встречаются обозначения чередования A–B–C, A–C–B или C–B–A против часовой стрелки, где «A» заменяет 1, 2 или 3. В Европе для обозначения фаз используются буквы R–S–T.

CEE - Международная электротехническая комиссия. Европейское агентство по разработке правил техники безопасности. США участвуют в его работе в качестве наблюдателя.

IEC (МЭК) - Международная электротехническая комиссия

THD(%THD, суммарное гармоническое искажение) — вклад всех гармоник напряжения и тока, выраженный в процентах от напряжения и тока основной частоты.

Список использованных источников

1. Меньшов Е.Н. Тенденция развития импульсных ИВЭП: Тез. докл. 32-й науч.-техн. конф. УлГТУ, янв. 1998 г. Ульяновск, 1998. Ч.1. С. 34-35.
2. Математическое и электронное моделирование элементов и систем. Математическое моделирование трансформаторов и дросселей для высокочастотных источников вторичного электропитания. Отчёт о НИР – (закл.)/ ВНТИЦентр; руководитель Е.Н. Меньшов. – N ГР 01.91002536, инв. N 02.96.0001166. Ульяновск, 1995. 85 с.
3. Кузьминов А. Метод фоторепродуцирования для изготовления фотошаблона печатных плат в домашних условиях. Технологии в электронной промышленности. № 5–7. 2010.
4. Кузьминов А. Изготовление устройств на печатных платах с высоким разрешением в домашних условиях. Технологии в электронной промышленности. № 8–10. 2010.
5. Анищенко, В. С. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем: Фундаментальные основы и избранные проблемы / В. С. Анищенко, Т. Е. Вадивасова, В. В. Астахов. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1999. — 368 с.
6. Жучков В., Зубков О., Радутный И. Блок питания УМЗЧ. Радио. № 1. 1987
7. Мачинский В., Штильман В. Сглаживающие фильтры на транзисторах. Радио. № 4. 1965.Кобзев, А. В. Модуляционные источники питания РЭА / А. В. Кобзев, Г. Я. Михальченко, Н. М. Музыченко. — Томск: Радио и связь, 1990. — 336 с.
8. Кузьминов А. Использование мощных полевых транзисторов и операционных усилителей в прецизионных регуляторах и стабилизаторах напряжения. Современная электроника. № 7. 2012.

9.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.