

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

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

(институт)

Промышленная электроника

(кафедра)

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника

(профиль)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Лабораторный стенд для изучения ИМС

Студент(ка)

А.А. Кошкалда

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

М.В. Позднов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2018

АННОТАЦИЯ

В данной выпускной квалификационной работе (ВКР) разработан макет лабораторного стенда для изучения схемотехники импульсных стабилизаторов напряжения на ИМС. Рассчитан для заданной частоты макет уже существующего лабораторного стенда для изучения сглаживающих П-образных и Г-образных фильтров.

Приведены расчеты принципиальных электрических схем понижающего, повышающего и инвертирующего напряжение стабилизаторов, сетевых П-образных и Г-образных фильтров. Есть расчет схем защиты активных элементов изучаемых схем.

Произведено макетирование исследуемых схем. Разработана лицевая панель лабораторного стенда и печатная плата.

Выполнен расчет освещения помещения лаборатории, в которой предполагается использование стенда.

Разработаны методические указания для лабораторных работ по изучению понижающего, повышающего, инвертирующего стабилизаторов напряжения и сглаживающих П-образных и Г-образных фильтров.

Бакалаврская работа содержит:

-страниц- 88;

-приложений-1.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	5
1.1 Обзор предлагаемых стендов.....	5
2 ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ И ЭЛЕМЕНТОВ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА.....	8
2.1 Конструкции стенда для проведения лабораторных работ по схемам импульсных стабилизаторов и сетевых фильтров на ИМС.....	8
2.2 Выбор типов и параметров измерительной аппаратуры и источников питания.....	8
2.3 Выбор активных элементов, разработка и проектирование схем защиты элементов	9
2.3.1 Выбор полупроводниковых элементов	9
2.3.2 Разработка и проектирование схем защиты активных элементов	13
2.4 Выбор типов коммутаторов модулей и наборного поля стенда	17
3 РАСЧЕТЫ ЭЛЕМЕНТОВ	18
3.1 Расчет схем импульсных стабилизаторов.....	18
Расчет понижающего импульсного стабилизатора	18
3.1.2 Расчет повышающего импульсного стабилизатора.....	21
3.1.3 Расчет стабилизатора, инвертирующего напряжение	24
3.2 Расчет элементов модуля ФМ-3Ф2	28
3.2.1 Расчет схем П-образных сглаживающих фильтров.....	28
3.2.2 Расчет схем Г-образных сглаживающих фильтров	32
3.3 Расчет элементов схемы генератора.....	35
3.4 Расчет схем защиты	36
3.5 Разработка минимального перечня изучаемых устройств	39
3.6 Расчет мощностей лабораторного стенда.....	39
3.6.1 Расчет мощности модуля ФМ - СТ1	39
3.6.2 Расчет потребляемой мощности стенда ФМ-3Ф2	40
3.7.2 Тепловой расчет лабораторного стенда.....	43
3.7.1 Тепловой расчет модуля ФМ-3Ф2	43
3.7.2 Тепловой расчет модуля ФМ-3Ф2	43
4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	45
4.1 Результаты макетирования и исследования схем и устройств защиты активных элементов от аварийных режимов.....	45
4.2 Разработка методических указаний для выполнения лабораторных работ	55
4.3 Разработка печатной платы стенда	72
5 БЕЗОПАСНОСТЬ и ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА	75
5.2 Идентификация опасных и вредных свойств объекта	77
5.4 Мероприятия по созданию безопасных условий труда	79
5.5 Обеспечение электробезопасности на рабочем месте	79
Экологическая экспертиза объекта	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
Список используемой литературы	84
ПРИЛОЖЕНИЯ	88

ВВЕДЕНИЕ

Достижения в области электроники в значительной мере способствует успешному решению сложнейших научно-технических проблем, созданию нового оборудования, разработке эффективных технологий, совершенствованию процессов сбора и обработки информации.

Выполнение учащимися лабораторных работ является важным средством усвоения учебного материала, а также приобретения практических навыков по экспериментальному изучению современной электронной техники.

Совершенствование обучения обеспечивается развитием материально-технической базы учебного заведения, внедрением технических средств обучения, снабжение лабораторий новейшим оборудованием, осовременивание лабораторных стендов и макетов на современной компонентной базе.

В работе предлагается макет лабораторного стенда для изучения темы «Силовая электроника. Сетевые источники питания электронных устройств», дающий возможность бакалаврам получить практические навыки в построении схем источников питания. Таким образом, темой данной выпускной квалификационной работы является: Лабораторный стенд на ИМС.

В состав стенда входит наборное поле с изображенными на нем элементами изучаемых устройств. Студент должен из набора элементов выбрать нужные и собрать из них изучаемое устройство. Данный стенд позволяет выполнить три блока лабораторных работ.

Первый блок позволяет изучить выпрямители, второй блок – сглаживающие фильтры, работающие совместно с выпрямителями и третий блок – источники питания, в состав которых входит импульсный стабилизатор и уже изученные выпрямитель и фильтр.

Целью проекта является совершенствование обучения путем внедрения лабораторного стенда для проведения лабораторных работ по изучению выпрямителей, сглаживающих фильтров и стабилизаторов.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Обзор предлагаемых стендов

Существуют различные конструкции стендов для изучения силовой электроники. Они различаются как по конструкциям, так и по универсальности.

Наиболее простая конструкция стенда содержит сменные панели с изображенными на них схемами изучаемых устройств. Недостатками этой конструкции стенда является возможность исследования только конкретной собранной на стенде схемы и невозможность замены любого ее элемента и иногда громоздкость конструкции.

Типовой комплект модульного лабораторного автоматизированного оборудования "Силовая электроника" РОСУЧПРИБОР позволяет проводить лабораторные работы по некоторым темам силовой электроники при компьютерном управлении. Недостаток – громоздкость конструкции.

Лабораторные работы в ТГУ по различным областям электроники выполняются на универсальном лабораторном стенде 87Л-01 «Луч». Вид лабораторного стенда изображен на рисунке 1.1.

К достоинствам конструкции стенда 87Л–01 «Луч» относятся:

1. сборка исследуемой схемы допускает возможность простой замены любого ее элемента, а также задания режима,
2. легко проводятся измерения напряжений и токов в любой точке схемы.

Стенду присущи следующие недостатки:

1. конструкции в стандартах середины прошлого века,
2. ошибки при сборке схемы могут привести к выходу элементов из строя.
3. ненадежность разъемных соединений на панели при установке проводников и съемных элементов в гнезда.

К достоинствам конструкции разрабатываемого стенда можно отнести:

1. сборка исследуемой схемы допускает замену любого элемента, имитации выхода элементов из строя, предусмотрена возможность измерения напряжений и токов в любой точке схемы.

2. небольшие размеры корпуса по сравнению с конструкцией стенда 87Л-01 «Луч».

3. на панели стенда (наборном поле) изображаются элементы исследуемых схем, что дает возможность собирать с использованием одной панели различные схемы исследуемых устройств с различающимися в них элементами.

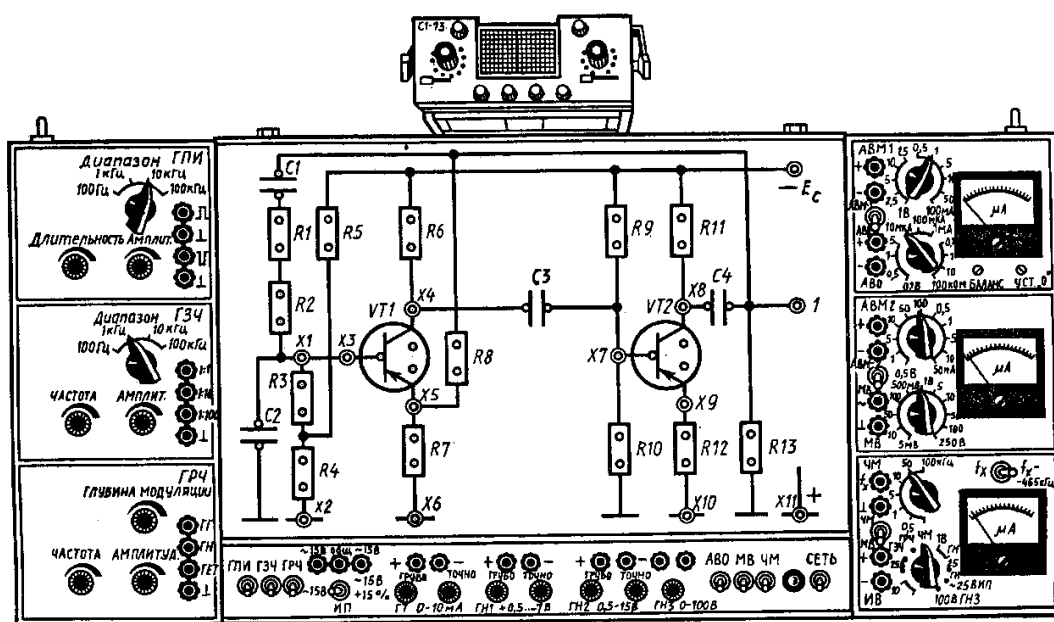


Рисунок 1.1 - Внешний вид лабораторного стенда 87Л-01 «Луч»

Для формирования задач бакалаврской работы воспользовались следующей формулировкой: задача - это действие, которое надо совершить. Следовательно, для достижения цели – разработки макета лабораторного стенда нужно решить следующие задачи:

- 1) Выбрать конструкцию лабораторного стенда.
- 2) Выбрать тип измерительной аппаратуры и источник питания.
- 3) Разработать схемы защиты элементов исследуемых устройств.
- 4) Выбрать тип коммутации.
- 5) Разработать наборное поле.

- 6) Рассчитать и выбрать активные и пассивные элементы схем изучаемых с помощью данного стенда устройств.
- 7) Провести макетирование схем и устройств защиты элементов.
- 8) Рассчитать мощность потребления стенда.
- 9) Провести тепловой расчет.
- 10) Разработать методические указания для выполнения лабораторных работ по изучению фильтров и стабилизаторов.
- 11) Разработать раздел «Безопасность и экологичность проекта».

2 ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ И ЭЛЕМЕНТОВ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

2.1 Конструкции стенда для проведения лабораторных работ по схемам импульсных стабилизаторов и сетевых фильтров на ИМС.

Конструкция стенда позволяет с использованием двух мини блоков выполнить лабораторные работы по изучению следующих устройств на ИМС: однофазного и трехфазного выпрямителей, LC и RC фильтров, импульсных стабилизаторов напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) понижающих U , с повышающих U , инвертирующих U , линейных стабилизаторов всех типов.

Проектируемый стенд состоит из двух блоков: ФМЗ-3Ф2 – модуль питания (позволяет собирать схемы выпрямителей, сетевых фильтров, также обеспечивает питание стенда) и ФМСТ-1 – модуль стабилизаторов (позволяет собирать схемы импульсных и линейных стабилизаторов напряжения).

Каждый блок имеет следующие размеры: длина 251мм, высота 71мм, ширина 151мм.

Каждая проектируемая панель (наборное поле) будет иметь те же габаритные размеры, а именно: длина 251мм, ширина 151мм.

Структурная схема лабораторного стенда приведена в приложении Б.

2.2 Выбор типов и параметров измерительной аппаратуры и источников питания

Для проведения лабораторных работ по изучению схем сглаживающих фильтров необходимо следующие блоки:

- блок питания ФМЗ-3Ф2 для построения исследуемой схемы фильтра,
- блок цифровых и стрелочных вольтметров и амперметров АВ1 и АВ2 для снятия значений тока и напряжения,
- стандартный осциллограф для снятия осциллограмм, подтверждающих сглаживание пульсаций тока и напряжения.

Для проведения лабораторных работ по исследованию схем импульсных стабилизаторов, необходимо следующие блоки:

- блок питания ФМЗ-3Ф2 для питания схем,
- блок стабилизаторов ФМСТ-1 для построения исследуемых схем импульсных стабилизаторов,
- блок для снятия значений тока и напряжения,
- осциллограф для снятия осциллограмм, подтверждающих стабилизацию напряжения,

Модуль питания ФМ-3Ф2 подключается к блоку питания.

2.3 Выбор активных элементов, разработка и проектирование схем защиты элементов

2.3.1 Выбор полупроводниковых элементов

Схемы стабилизаторов изображены на рисунках 2.1, 2.2 и 2.3.

Для схем, изображенных на этих рисунках элементов необходимо выбрать только интегральную микросхему К1156ЕУ1, которая является универсальной подсистемой для построения импульсных стабилизаторов с широтно-импульсной стабилизацией.

Она имеет диапазон входного напряжения от 2,5 до 40 В. При включении как понижающего или повышающего стабилизаторов без внешних элементов эта схема может выдавать выходное напряжение от 1 до 41 В.

Максимальный внутренний ток схемы составляет 2,55 мА.

Стабилизатор выполнен в корпусе DIP с 16 выводами, может рассеять до 1,5 Вт и 1,6 Вт в герметически закрытом корпусе.

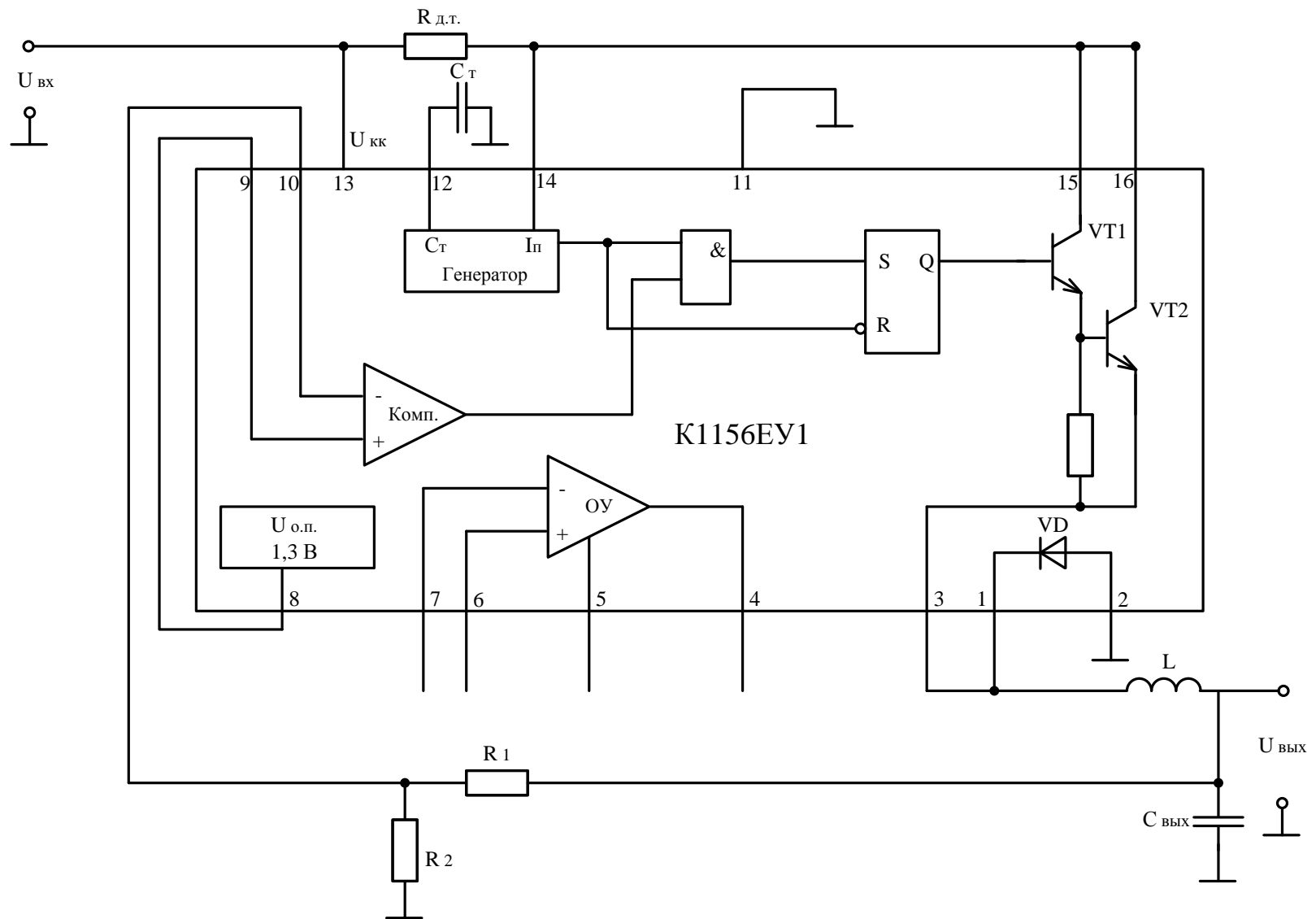


Рисунок 2.1 - Схема стабилизатора с понижением напряжения

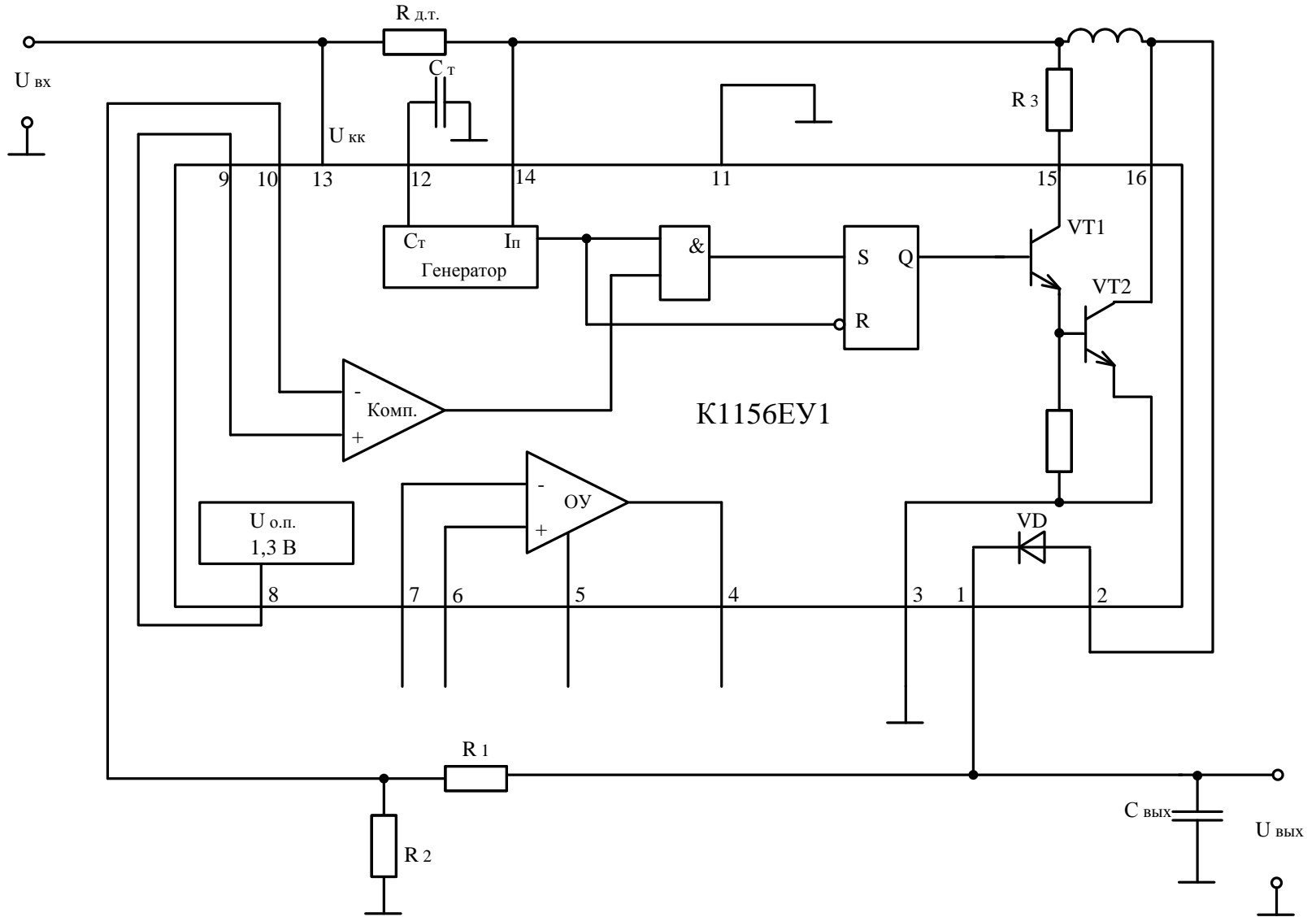


Рисунок 2.2 - Схема стабилизатора с повышением напряжения

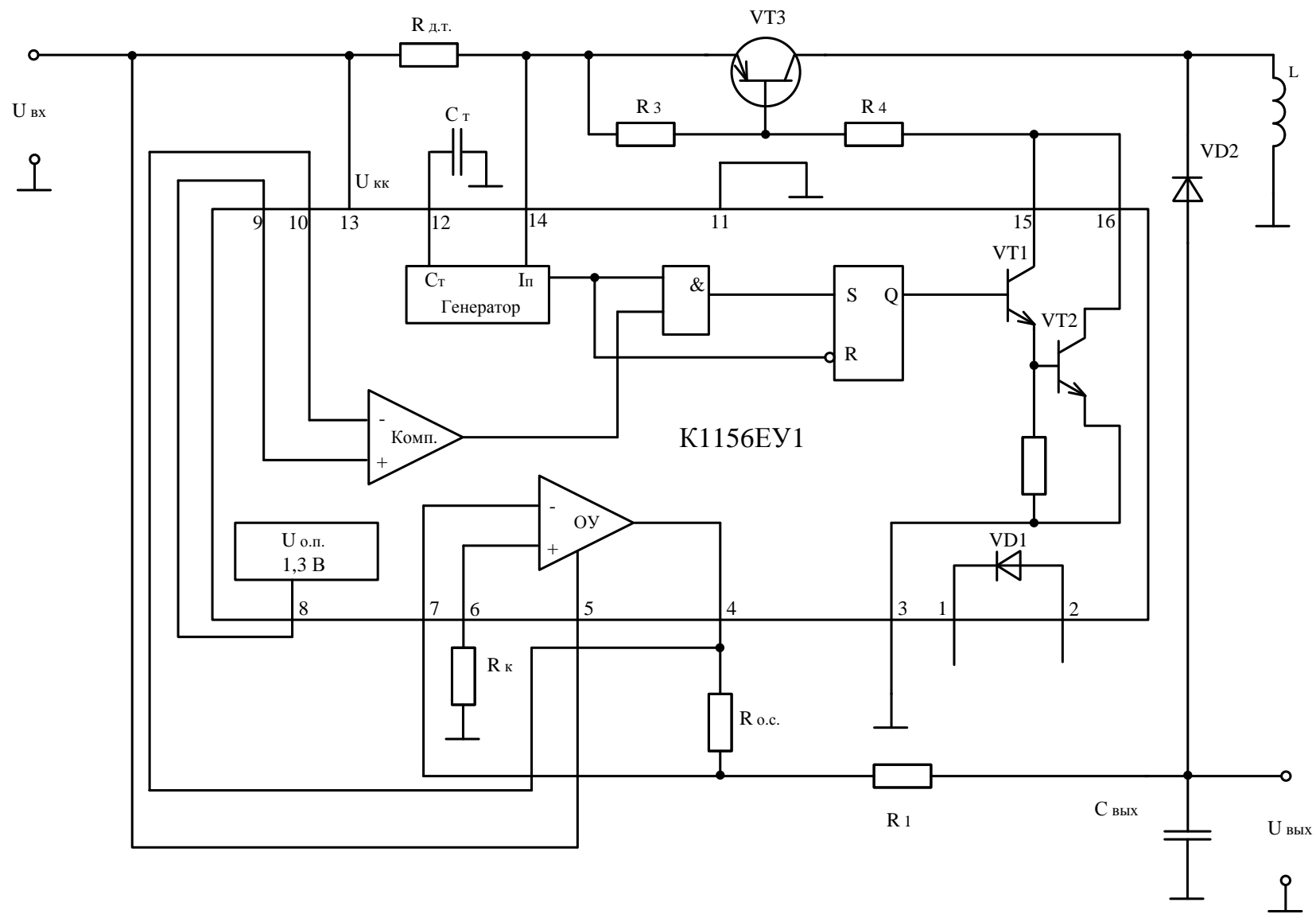


Рисунок 2.3 - Схема стабилизатора, инвертирующего поданное напряжение

Микросхема K1156EY1 состоит из: генератора, двух транзисторов - выходных ключей (Т1 и Т2), логического вентиля «И» и иногда логического RS-триггера для управления мощными выходными транзисторами, источника опорного напряжения, диода и двух ООУ.

Частота генератора может быть установлена в пределах между 99 Гц и 99 кГц. С помощью внешнего конденсатора C_T устанавливается продолжительность отключенного состояния (t_0) выходных транзисторов.

Время включенного состояния определяется компонентами микросхемы и в 8 раз больше времени отключенного состояния. Генератор имеет температурно-компенсированный датчик тока с порогами 0,34 В ($U_{д.т.}=0,34$ В), отключающий выходной транзистор когда ток достигает пикового значения.

Ток $I_{п}$ используется для изменения относительной продолжительности включенного состояния выходного стабилизатора и поэтому времени t_c . Выходные транзисторы могут выдерживать напряжение 42 В и пропускать ток до 1,4 А. Транзистор Т2 это усилитель тока для Т1

Выход вентиля «И» соединяется со входом триггера для выключения Т1 при $U_{вых} \gg U_{оп}$. Диод выдерживает напряжение 42 В, на нем падает 1,41 В при пропускании тока в 1,01 А в прямом направлении.

Опорное напряжение имеет температурную компенсацию и равно от 1,32 В до 1,17 В (минимум).

Схема на рисунке 2.3 кроме микросхемы K1156EY1 требует вспомогательный р-п-р транзистор и диод. Применение транзистора и диода позволяет выводам микросхемы K1156EY1 не становиться отрицательными. Все выводы полупроводниковой ИМС должны быть положительными по отношению к подложке, соединенной в данном случае с землей схемы, иначе откроются изолирующие р-п переходы.

Выбрали вспомогательный р-п-р транзистор и диод [15], [9] с параметрами, необходимыми для нормальной работы схемы стабилизатора.

2.3.2 Разработка и проектирование схем защиты активных элементов

Функциональный модуль ФМ 3Ф2 разработан на базе модуля ФМ 3Ф1, с использованием обычных схем защиты модуля (см. рисунок 2.4).

При нормальной работе загорается светодиод VD1 на наборном поле положение «питание». При аварии в цепи, сгорают предохранители и реле отключает всю цепь модуля. При этом отключается светодиод, показывая на наборном поле, что схема обесточена. Микросхемы, входящие в состав генератора защищены от короткого замыкания изготовителем.

Для модуля ФМ-СТ1 необходима защита активных элементов. В схемах импульсных стабилизаторов активными элементами являются: микросхема К1156ЕУ1, биполярный р-п-р транзистор КТ502Д и диод.

Для защиты активных элементов в состав модуля входит схема см. рисунок 2.5. Схема также обеспечивает индикацию аварийного режима и защиту собранных схем модулей ФМ-3Ф2 и ФМ-СТ1 от короткого замыкания.

При замыкании ключа SA1 загорается светодиод индикации HL1.

При превышении током уровня 100 мА ток через резистор R6 переводит транзистор VT3 в активный режим, загорается светодиод индикации аварийного режима HL2.

При достижении током уровня 150 мА ток через резистор R4 переводит транзистор VT2 в активный режим, загорается светодиод оптопары VD1.2, оптически связанный с фотоприемником VD1.1, который переходит в проводящий режим, транзистор VT1 открывается, предохранитель FU1 оказывается замкнутым между полюсами питания и сгорает, обеспечивая размыкание цепи.

$$I_{\text{кмакс}} \text{КТ502Д} = 0,35 \text{ А.}$$

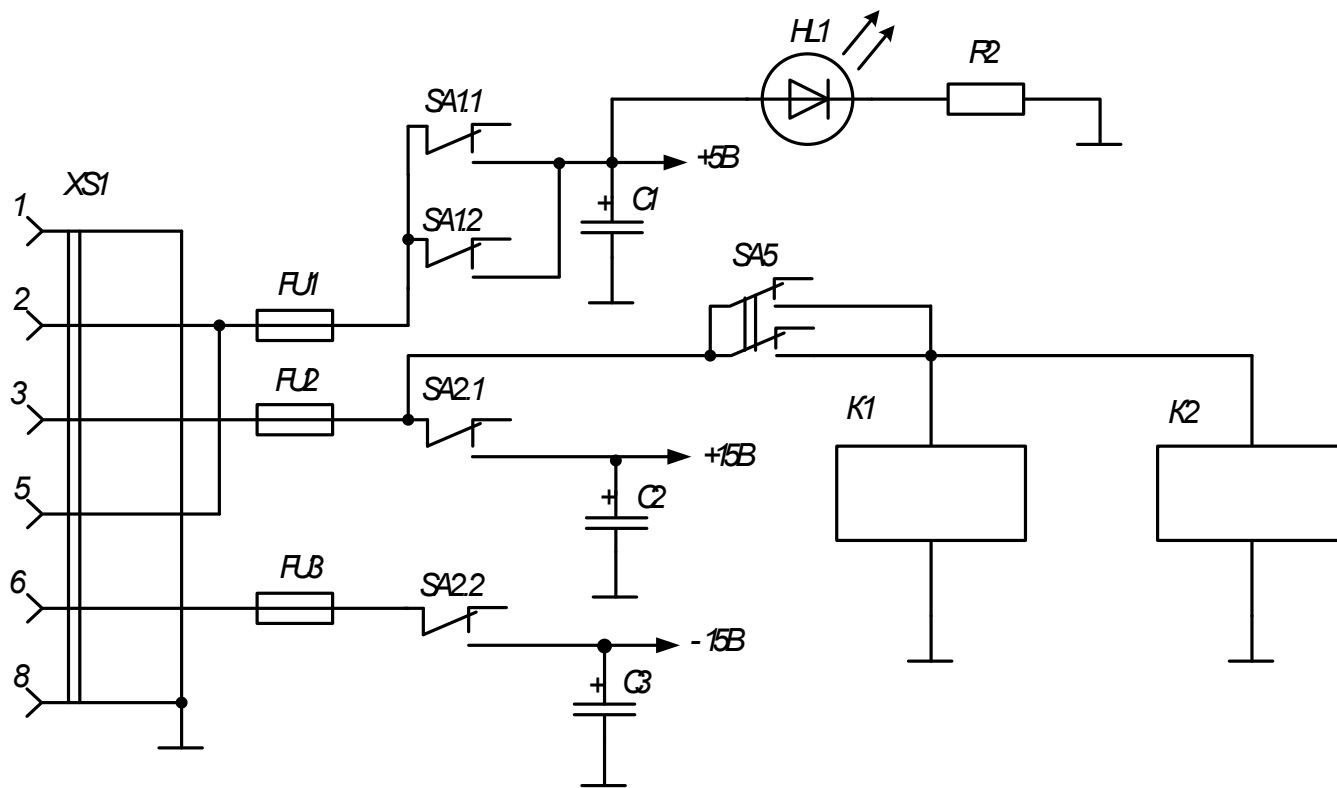


Рисунок 2.4 - Схема защиты модуля ФМ-3Ф2

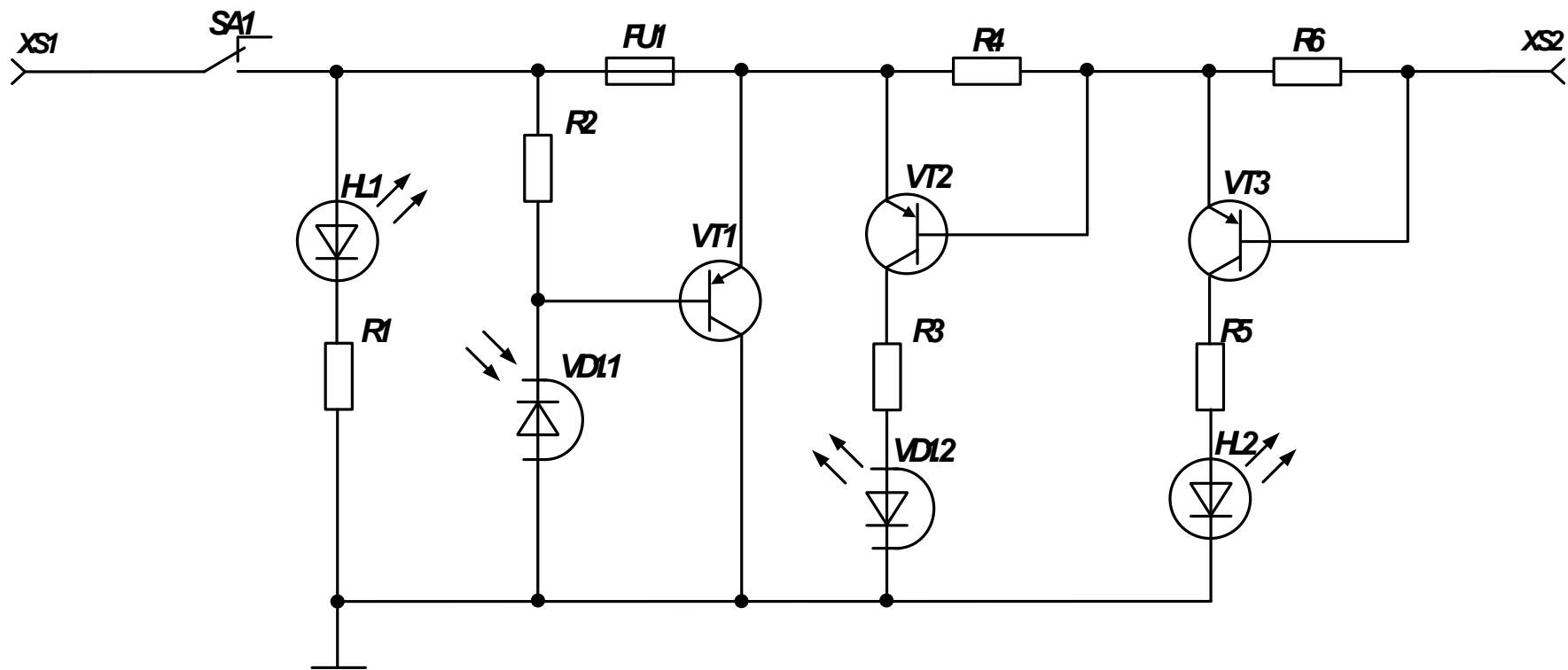


Рисунок 2.5 - Схема защиты активных элементов модуля ФМ-СТ1

2.4 Выбор типов коммутаторов модулей и наборного поля стенда

Схемы изучаемых устройств на наборном поле собираются с помощью проводников. Подключение измерительных устройств к стенду производится ими же.

Наборное поле соответствует технологии ЭЛИК. Размер шага равен 10 мм, число шагов по вертикали 8, по горизонтали 18.

Так как лабораторный стенд будет состоять из двух модулей: модуля питания ФМ-3Ф2 и модуля стабилизаторов ФМ-СТ1, то необходимо спроектировать два наборных поля.

Первое наборное поле будет спроектировано в результате пересчета схем модуля ФМ-3Ф1. С помощью модуля стенда ФМ-3Ф2 возможно исследование сглаживающих Г- и П- образных LC и RC фильтров. Наборное поле модуля ФМ-СТ1 предназначено для исследования импульсных стабилизаторов напряжения.

3 РАСЧЕТЫ ЭЛЕМЕНТОВ

3.1 Расчет схем импульсных стабилизаторов

Расчет понижающего импульсного стабилизатора

Понижающий импульсный источник питания на 10 В, $I_{\text{ВЫХ}} = 20$ мА, $U_{\text{ВХ}} = 15$ В строится с использованием микросхемы К1156ЕУ1. Пульсации выходного напряжения не более 0,015 В от пика до пика, частота генератора 65 кГц [1].

Используя типичные значения величин [1]:

Для диода $U_{\text{д}} = 1,25$ В

$U_{\text{КЭнас}} = 1,1$ В

$U_{\text{оп}} = 1,245$ В

Так как $I_{\text{ВЫХ.МАКС}} = I_{\text{п}} / 2$, то $I_{\text{п}} = 2 \cdot I_{\text{ВЫХ.МАКС}} = 0,04$ А.

Период коммутации нашли по формуле (3.1) [1]

$$\tau = t_{\text{с}} + t_0 = \frac{1}{f_{\text{ген}}} = \frac{1}{65000} = 15,3 \text{ мкс} , \quad (3.1)$$

где $t_{\text{с}}$ – время включенного состояния транзистора,

t_0 - время отключенного состояния транзистора.

Отношение $t_{\text{с}}$ к t_0 нашли по формуле (3.2)

$$\frac{t_{\text{с}}}{t_0} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} + U_{\text{д}}}{U_{\text{ВХ}} - U_{\text{КЭнас}} - U_{\text{ВЫХ}}} = \frac{10 \text{ В} + 1,25 \text{ В}}{15 \text{ В} - 1,1 \text{ В} - 10 \text{ В}} = 2,88 \quad (3.2)$$

где $U_{\text{ВЫХ}}$ – выходное напряжение источника,

$U_{\text{ВХ}}$ - входное напряжение,

$U_{\text{д}}$ – напряжение на диоде при прямом токе 1 А,

$U_{\text{КЭнас}}$ – напряжение насыщения транзистора VT1 микросхемы К1156ЕУ1.

Следовательно $t_{\text{с}} = 2,88 \cdot t_0$. Так как $2,88 \cdot t_0 + t_0 = \tau$, то

$$t_0 = \frac{\tau}{1 + 2,88} = \frac{15,3 \cdot 10^{-6} \text{ с}}{1 + 2,88} = 4 \text{ мкс} . \quad (3.3)$$

$$t_{\text{с}} = \tau - t_0 = 15,3 \cdot 10^{-6} - 4 \cdot 10^{-6} = 11,3 \cdot 10^{-6} \text{ мкс} .$$

Индуктивность L схемы вычислили по формуле (3.4)

$$L = \left(\frac{U_{\text{ВЫХ}} + U_{\text{д}}}{I_{\text{п}}} \right) \cdot t_0 = \left(\frac{10 \text{ В} + 1,25 \text{ В}}{0,04 \text{ А}} \right) \cdot 4 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 11 \text{ мГн} . \quad (3.4)$$

Емкость конденсатора $C_{\text{вых}}$ нашли по формуле (3.5)

$$C_{\text{вых}} = \frac{I_{\text{п}} \cdot (t_{\text{с}} + t_0)}{4 \cdot U_{\text{пульс}}} = \frac{0,04 \text{ А} \cdot 15,3 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 0,015 \text{ В}} = 10,2 \text{ мкФ}, \quad (3.5)$$

где $U_{\text{пульс}}$ - пульсации выходного напряжения.

$R_{\text{д.т.}}$ нашли по формуле (3.6)

$$R_{\text{д.т.}} = \frac{U_{\text{д.т.}}}{I_{\text{п}}} = \frac{0,33 \text{ В}}{0,04 \text{ А}} = 8,25 \text{ Ом}, \quad (3.6)$$

где $U_{\text{д.т.}}$ - напряжение температурно-компенсированного датчика тока генератора.

Емкость задающего конденсатора рассчитали по формуле (3.7) [1]

$$C_{\text{T}} = 45 \cdot 10^{-5} \cdot t_0 = 45 \cdot 10^{-5} \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 0,0017 \text{ мкФ}. \quad (3.7)$$

Сопротивление R_1 делителя рассчитали по формуле (3.8)

$$R_1 = \frac{U_{\text{вых}} - U_{\text{оп}}}{I_{\text{дел}}} = \frac{10 \text{ В} - 1,245 \text{ В}}{0,0001 \text{ А}} = 87550 \text{ Ом} \quad (3.8)$$

где $U_{\text{оп}}$ – опорное напряжение,

$I_{\text{дел}}$ – ток делителя напряжения.

Сопротивление R_2 делителя рассчитали по формуле (3.9)

$$R_2 = \frac{U_{\text{оп}}}{I_{\text{дел}}} = \frac{1,245 \text{ В}}{0,0001 \text{ А}} = 12450 \text{ Ом}. \quad (3.9)$$

Рассеиваемую мощность нашли по формуле (3.10)

$$\begin{aligned} P_{\text{расс}} &\approx \frac{I_{\text{дел}} \cdot U_{\text{кнас}} \cdot t_{\text{с}}}{\tau} + \frac{I_{\text{вых}} \cdot U_{\text{д}} \cdot t_0}{\tau} + U_{\text{вх}} \cdot I_{\text{х.х.}} = \\ &= \frac{0,1 \text{ мА} \cdot 1,1 \text{ В} \cdot 11,3 \text{ мкс}}{15,3 \text{ мкс}} + \frac{0,02 \text{ А} \cdot 1,25 \text{ В} \cdot 4 \text{ мкс}}{15,3 \text{ мкс}} + 15 \text{ В} \cdot 0,0025 \text{ А} = 0,166 \text{ Вт} \end{aligned} \quad (3.10)$$

где $I_{\text{х.х.}}$ – максимальный потребляемый ток.

При различных значениях пульсаций напряжения $U_{\text{пульс}}$ и частоты задающего генератора $f_{\text{ген}}$ рассчитали параметры схемы (Таблица 3.1)

Таблица 3.1 – Параметры схемы понижающего стабилизатора

Наименование элемента схемы	Частота задающего генератора, $f_{ген}$, кГц				
	2	4	6	11	60
	Пульсации напряжения, $U_{пульс}$, В				
	0,015	0,015	0,015	0,015	0,025
L , мГн	30	15	10	5	1
$C_{вых}$, мкФ	333	166	111	60	66
C_T , нФ	86	43	28	27	5

Исходя из расчета стабилизатора по справочнику [12] выбрали следующие резисторы:

МЛТ-0,5Вт-12 Ом ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт-15000 Ом ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт-100 кОм ± 10 .

Используя, таблицу 3.1 по [13] и [14] выбрали конденсаторы, указанные в таблице 3.2 и дроссели – таблице 3.3:

Таблица 3.2 – Выбранные конденсаторы

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкФ	Допуск, %	Количество
Оксидно-полупроводниковые				
К53-1	30	0,033	± 5 ; ± 10 ; ± 20	1
К53-1	30	0,330	± 10 ; ± 20	1
К53-1	30	33	± 10 ; ± 20	2
Алюминиевые оксидно-электролитические				
К50-6	50	330	-10; +80	1

Таблица 3.3 - Выбранные дроссели

Наименование	Номинальный ток, А	Индуктивность, Гн	Количество
ДМ	0,1	0,030	1
ДМ	0,1	0,010	1
ДМ	0,1	0,005	1
ДМ	0,1	0,001	1

Также для построения импульсного понижающего стабилизатора необходима микросхема К1156ЕУ1.

3.1.2 Расчет повышающего импульсного стабилизатора

Повышающий импульсный источник питания на 15 В, $I_{\text{вых}} = 20$ мА, $U_{\text{вх}} = 10$ В строится с использованием микросхемы К1156ЕУ1. Пульсации выходного напряжения не должны быть более 0,025 В от пика до пика; $f_{\text{ген}} = 99$ кГц.

Используя типичные значения величин:

Для диода $U_{\text{д}} = 1,25$ В

$U_{\text{КЭнас}} = 1,1$ В

$U_{\text{оп}} = 1,245$ В

Период коммутации нашли по формуле (3.1) [1]

$$\tau = t_{\text{с}} + t_0 = \frac{1}{f_{\text{ген}}} = \frac{1}{90000} = 11 \text{ мкс},$$

где $t_{\text{с}}$ – время включенного состояния транзистора,

t_0 - время отключенного состояния транзистора.

Отношение $t_{\text{с}}$ к t_0 нашли по формуле (3.2)

$$\frac{t_{\text{с}}}{t_0} = \frac{U_{\text{вых}} + U_{\text{д}}}{U_{\text{вх}} - U_{\text{КЭнас}} - U_{\text{ввых}}} = \frac{15\text{В} + 1,25\text{В}}{10\text{В} - 1,1\text{В} - 15\text{В}} = 0,702,$$

где $U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение источника,

$U_{\text{вх}}$ - входное напряжение источника,

$U_{\text{д}}$ – напряжение на диоде при прохождении через него прямого тока в 1 А,

$U_{\text{КЭнас}}$ –напряжен насыщения транзистора VT1.

Следовательно $t_c = 0,702 \cdot t_0$.

Так как $0,702 \cdot t_0 + t_0 = \tau$, то

$$t_0 = \frac{\tau}{1 + 0,702} = \frac{11 \cdot 10^{-6} \text{ с}}{1 + 0,702} = 6,5 \text{ мкс}.$$

$$t_c = \tau - t_0 = 11 \cdot 10^{-6} - 6,5 \cdot 10^{-6} = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ мкс}.$$

I_{II} для повышающего преобразователя рассчитали по формуле (3.11)

$$I_{II} = 2 \cdot I_{\text{вых.макс}} \cdot \left(\frac{\tau}{t_0} \right) = 2 \cdot 0,02 \text{ А} \cdot \left(\frac{11 \cdot 10^{-6}}{6,5 \cdot 10^{-6}} \right) = 0,068 \text{ А} \quad (3.11)$$

где $I_{\text{вых.макс}}$ – выходной ток источника питания.

$R_{д.т.}$ нашли по формуле (3.6)

$$R_{д.т.} = \frac{U_{д.т.}}{I_{II}} = \frac{0,33 \text{ В}}{0,068 \text{ А}} = 4,84 \text{ Ом}.$$

Вычислили индуктивность L схемы по формуле (3.12)

$$L = \left(\frac{U_{\text{вых}} + U_{\text{д}} - U_{\text{вх}}}{I_{II}} \right) \cdot t_0 = \left(\frac{15 \text{ В} + 1,25 \text{ В} - 10 \text{ В}}{0,068 \text{ А}} \right) \cdot 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 600 \text{ мкГн}. \quad (3.12)$$

Сопротивление R_3 нашли по формуле (3.13)

$$R_3 = \frac{U_{\text{вх}} - U_{\text{БЭТ1}} + U_{\text{КЭТ2}}}{I_n / h_{21ЭТ2}} = \frac{10 \text{ В} - 1,4 \text{ В}}{0,068 \text{ А} / 20} = 2526 \text{ Ом}, \quad (3.13)$$

где $U_{\text{БЭТ1}}$ – $U_{\text{БЭТ1}}$ транзистора VT1,

$U_{\text{КЭТ2}}$ – $U_{\text{КЭТ2}}$ транзистора VT2,

$h_{21ЭТ2}$ – статический коэффициент передачи тока транзистора с ОЭ.

Емкость конденсатора $C_{\text{вых}}$ нашли по формуле (3.14)

$$C_{\text{вых}} = \frac{I_{\text{вых}} \cdot t_c}{U_{\text{нульс}}} = \frac{0,02 \text{ А} \cdot 4,5 \cdot 10^{-6}}{0,025 \text{ В}} = 3,66 \text{ мкФ}. \quad (3.14)$$

Емкость задающего генератора рассчитали по формуле (3.7)

$$C_T = 45 \cdot 10^{-5} \cdot t_0 = 45 \cdot 10^{-5} \cdot 6,5 \cdot 10^{-6} = 0,0029 \text{ мкФ}.$$

Сопротивление R_1 делителя рассчитали по формуле (3.15)

$$R_1 = \frac{U_{\text{вых}} - U_{\text{оп}}}{I_{\text{дел}}} = \frac{15 \text{ В} - 1,245 \text{ В}}{0,0001 \text{ А}} = 137550 \text{ Ом} \quad (3.15)$$

где $U_{\text{оп}}$ – опорное напряжение,

$I_{\text{дел}}$ – ток делителя напряжения.

Сопротивление R2 делителя рассчитали по формуле (3.16)

$$R2 = \frac{U_{оп}}{I_{дел}} = \frac{1,245В}{0,0001А} = 12450 \text{ Ом.} \quad (3.16)$$

Величину рассеиваемой мощности рассчитали по формуле (3.17)

$$P_{расс} = \frac{I_{II}}{2} \cdot U_{КЭНАС} \cdot \frac{t_c}{\tau} + \frac{I_{II}}{2} \cdot U_{д} \cdot \frac{t_0}{\tau} + U_{ex} \cdot I_{номр} =$$

$$= \frac{0,068А}{2} \cdot 1,1В \cdot \frac{4,5 \cdot 10^{-6}}{11 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,068А}{2} \cdot 1,25В \cdot \frac{6,5 \cdot 10^{-6}}{11 \cdot 10^{-6}} + 10В \cdot 0,0025А = 0,065 \text{ Вт} \quad (3.17)$$

При различных значениях пульсаций напряжения $U_{пульс}$ и частоты задающего генератора $f_{ген}$ рассчитали параметры схемы (Таблица 3.4)

Таблица 3.4 – Параметры схемы повышающего стабилизатора

Наименование элемента схемы	Частота задающего генератора, $f_{ген}$, кГц				
	1,8	3,6	5,3	10,6	53
	Пульсации напряжения, $U_{пульс}$, В				
	0,035	0,020	0,020	0,020	0,020
L, мГн	30	15	10	5	1
$C_{вых}$, мкФ	130	114	78	39	8
C_T , нФ	146	73	50	25	5

Исходя из расчета стабилизатора по справочнику [12] выбрали следующие резисторы:

МЛТ-0,5Вт-5,7 Ом ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт-2700 Ом ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт-15 кОм ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт-150 кОм ± 10 .

Используя, таблицу 3.4 по [13] и [14] выбрали конденсаторы, которые указаны в таблице 3.5 и дроссели – таблице 3.6:

Таблица 3.5 – Выбранные конденсаторы

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкФ	Допуск, %	Количество
Оксидно-полупроводниковые				
K53-1	30	0,033	±5; ±10; ±20	1
K53-1	30	0,330	±10; ±20	1
K53-1	30	33	±10; ±20	2
Алюминиевые оксидно-электролитические				
K50-6	50	330	-10; +80	2

Таблица 3.6 - Выбранные дроссели

Наименование	Номинальный ток, А	Индуктивность, Гн	Количество
ДМ	0,1	0,030	1
ДМ	0,1	0,010	1
ДМ	0,1	0,005	1
ДМ	0,1	0,001	1

Также для построения импульсного повышающего стабилизатора необходима микросхема K1156EУ1.

3.1.3 Расчет стабилизатора, инвертирующего напряжение

$$U_{\text{вх}} = 15 \text{ В}, U_{\text{вых}} = -10 \text{ В}, I_{\text{вых}} = 20 \text{ мА}, f_{\text{ген}} = 50 \text{ кГц}, U_{\text{пульс}} = 0,035 \text{ В},$$

Используя типичные значения величин:

$$\text{Для диода } U_{\text{д}} = 1 \text{ В}$$

$$U_{\text{КЭнас}} = 1,1 \text{ В}$$

$$U_{\text{оп}} = 1,245 \text{ В}$$

Резистор $R = R_1 \parallel R_{\text{о.с.}}$ предотвращает появление напряжения сдвига от тока смещения.

Период коммутации нашли по формуле (3.1) [1]

$$\tau = t_c + t_0 = \frac{1}{f_{\text{ген}}} = \frac{1}{50000} = 20 \text{ мкс},$$

где t_c – длительность включенного состояния транзистора,

t_0 - время отключенного состояния транзистора.

Отношение t_c к t_0 нашли по формуле (3.2)

$$\frac{t_c}{t_0} = \frac{|U_{\text{вых}}| + U_d}{U_{\text{вх}} - U_{\text{кэнас}}} = \frac{10B + 1B}{15B - 1,1B} = 0,79$$

где $U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение,

$U_{\text{вх}}$ - входное напряжение.

U_d – прямое напряжение диода при прохождении через него прямого тока в 1 А,

$U_{\text{кэнас}}$ – насыщение транзистора VT1 микросхемы.

Следовательно $t_c = 0,79 \cdot t_0$.

Так как $1,79 \cdot t_0 + t_0 = \tau$, то $t_0 = \frac{\tau}{1+0,79} = \frac{20 \cdot 10^{-6} \text{ с}}{1+0,79} = 11 \text{ мкс}$.

$$t_c = \tau - t_0 = 20 \cdot 10^{-6} - 11 \cdot 10^{-6} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ мкс}.$$

I_{II} для инвертирующего преобразователя рассчитали по формуле (3.11)

$$I_{II} = 2 \cdot I_{\text{вых.макс}} \cdot \left(\frac{\tau}{t_0} \right) = 2 \cdot 0,02 \text{ А} \cdot \left(\frac{20 \cdot 10^{-6}}{11 \cdot 10^{-6}} \right) = 0,071 \text{ А},$$

где $I_{\text{вых.макс}}$ – выходной ток источника питания.

Выбрали дополнительный транзистор КТ502Д со следующими параметрами:

$$U_{\text{БЭнас}} = 5 \text{ В}, U_{\text{КЭО}} = 80 \text{ В}, U_{\text{КЭнас}} = 0,6 \text{ В},$$

$$I_{\text{Кмакс}} = 0,35 \text{ А}, h_{21\text{Эмин}} = 40.$$

Выбрали диод 2Д213Б []

$$U_{\text{обр}} = 100 \text{ В},$$

$$U_{\text{пр}} = 1 \text{ В},$$

$$I_{\text{пр}} = 0,3 \text{ А}.$$

Рассчитали L индуктивность схемы по формуле (3.4)

$$L = \left(\frac{|U_{\text{вых}}| + U_{\text{д}}}{I_{\text{п}}} \right) \cdot t_0 = \left(\frac{10B + 1B}{0,071A} \right) \cdot 11 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 1,7 \text{ мГн}.$$

Емкость конденсатора $C_{\text{вых}}$ нашли по формуле (3.14)

$$C_{\text{вых}} = \frac{I_{\text{вых}} \cdot t_C}{U_{\text{пульс}}} = \frac{0,02A \cdot 9 \cdot 10^{-6}}{0,035B} = 5 \text{ мкФ}.$$

Емкость задающего генератора рассчитали по формуле (3.17)

$$C_{\text{T}} = 45 \cdot 10^{-5} \cdot t_0 = 45 \cdot 10^{-5} \cdot 11 \cdot 10^{-6} = 0,005 \text{ мкФ}.$$

Сопротивление $R_{\text{д.т.}}$ нашли по формуле (3.6)

$$R_{\text{д.т.}} = \frac{U_{\text{д.т.}}}{I_{\text{п}}} = \frac{0,33B}{0,071A} = 4,6 \text{ Ом}.$$

Для нахождения R_3 и R_4 нашли $I_{\text{БТЗ}}$ по формуле (3.8)

$$I_{\text{БТЗ}} = \frac{I_{\text{п}}}{h_{21Э\text{мин}}} = \frac{0,071}{40} = 0,0017 \text{ А}.$$
 (3.18)

Если допустить, что Т1 может отдать 51 мА, то получим

$$R_4 = \frac{(U_{\text{вх}} - U_{\text{КЭТ1нас}} - U_{\text{БЭТЗ}})}{I_{\text{КТ1}}} = \frac{(15B - 1,1B - 5B)}{0,051A} = 178 \text{ Ом}.$$
 (3.19)

$$R_3 = \frac{U_{\text{БЭТЗ}}}{(0,05A - I_{\text{БТЗ}})} = \frac{5B}{(0,05 - 0,0017)A} = 373,13 \text{ Ом}.$$
 (3.20)

Выбрали по [1] резистор $R_{\text{о.с.}} = 10 \text{ кОм}$.

Тогда

$$R_1 = R_{\text{о.с.}} \cdot \left(\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{он}}} \right) = 10000 \text{ Ом} \cdot \left(\frac{10B}{1,245B} \right) = 80321 \text{ Ом}.$$
 (3.21)

$$R = \frac{R_1 \cdot R_{\text{о.с.}}}{R_1 + R_{\text{о.с.}}} = \frac{80321 \text{ Ом} \cdot 10000 \text{ Ом}}{80321 \text{ Ом} + 10000 \text{ Ом}} = 8892 \text{ Ом}.$$
 (3.22)

Так как $I_{\text{ПТ1}} = 50 \text{ мА}$, то мощность, рассеиваемая ИМС значительно ниже $P_{\text{расс макс}}$. Ключевой транзистор VT3 должен быть способен рассеять

$$P_{\text{макс}} = 0,5U_{\text{вх}} \cdot 0,5I_{\text{п}} = 0,5 \cdot 10B \cdot 0,5 \cdot 0,071A = 0,268 \text{ Вт}.$$
 (3.23)

Выбранный транзистор p-n-p КТ502Д может рассеивать до 10 Вт мощности.

При различных значениях пульсаций напряжения $U_{\text{пульс}}$ и частоты задающего генератора $f_{\text{ген}}$ рассчитали параметры схемы (Таблица 3.7)

Таблица 3.7 – Параметры схемы инвертирующего напряжения, стабилизатора

Наименование элемента схемы	Частота задающего генератора, $f_{ген}$, кГц				
	2,8	5,6	8	16	80
	Пульсации напряжения, $U_{пульс}$, В				
	0,030	0,030	0,025	0,025	0,035
L, мГн	30	15	10	5	1
$C_{вых}$, мкФ	105	52	44	22	3
C_T , нФ	89,7	44	31	16	3,14

Исходя из расчета стабилизатора по справочнику [12] выбрали следующие резисторы:

- МЛТ-0,5Вт-5,7 Ом- ± 2 ; ± 5 ; ± 10 ;
- МЛТ-0,5Вт-180 Ом- ± 2 ; ± 5 ; ± 10 ;
- МЛТ-0,5Вт-392 Ом- ± 2 ; ± 5 ;
- МЛТ-0,5Вт-100000 Ом- ± 2 ; ± 5 ; ± 10 ;
- МЛТ-0,5Вт-9100 Ом- ± 2 ; ± 5 ; ± 10 ;
- МЛТ-0,5Вт-15 кОм- ± 2 ; ± 5 ; ± 10 .

Используя, таблицу 3.7 по [13] и [14] выбрали конденсаторы, которые указаны в таблице 3.8 и дроссели – таблице 3.9:

Также для построения импульсного понижающего стабилизатора необходима микросхема К1156ЕУ1, биполярный р-п-р транзистор КТ502Д и диод 2Д213Б.

Принципиальная электрическая схема модуля ФМ-СТ1 приведена в приложении Г. Перечень элементов принципиальной электрической схемы модуля представлен в приложении А.

Таблица 3.8 – Выбранные конденсаторы

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкФ	Допуск, %	Количество
Оксидно-полупроводниковые				
K53-1	30	0,033	±5; ±10; ±20	1
K53-1	30	0,330	±10; ±20	1
K53-1	30	0,003	±5; ±10; ±20	1
K53-1	30	33	±10; ±20	2
Алюминиевые оксидно-электролитические				
K50-6	50	330	-10; +80	1
K50-6	50	3,3	-10; +80	1

Таблица 3.9 - Выбор дроссели

Наименование	Номинальный ток, А	Индуктивность, Гн	Количество
ДМ	0,1	0,030	1
ДМ	0,1	0,010	1
ДМ	0,1	0,005	1
ДМ	0,1	0,001	1

3.2 Расчет элементов модуля ФМ-3Ф2

В данном разделе бакалаврской работы приводится перерасчет на частоту 50 Гц пассивных элементов, необходимых для построения схем сглаживающих фильтров и генератора импульсов.

3.2.1 Расчет схем П-образных сглаживающих фильтров

П-образные сглаживающие фильтры бывают LC и RC типов.

П-образный CLC-фильтр (рисунок 3.1) можно представить в виде двухзвенного, из емкостного фильтра с емкостью C_0 и Г-образного с $C1$ и $L1$.

При расчете П-образного фильтра емкость C_0 известна из расчета выпрямителя, работающего на нагрузку [7].

Расчет П-образного LC – фильтра производится следующим образом [6].

Задан допустимый коэффициент пульсаций на нагрузке $K_{П1}$, % = 5, 10 и 15. Выбраны схемы выпрямителей однофазного однополупериодного, однофазная мостовая; двухфазная двух полупериодная и трехфазная мостовая (схема Ларионова). То есть известно значение $m_{П}$ – отношение частоты пульсаций выпрямленного напряжения к частоте сети, m_2 – число фаз вторичной обмотки трансформатора. В однофазных и многофазных схемах выпрямителей $m_2 = m_{П}$ [3].

3.2.1.1 Расчет CLC фильтра для двухфазной и однофазной мостовой схем выпрямителей

Рассчитали коэффициент фильтрации всего фильтра по формуле (3.24)

$$K_{\phi} = \frac{2}{[(m_2^2 - 1) \cdot K_{П1}]} = \frac{2}{[(2^2 - 1) \cdot 0,10]} = 6,66, \quad (3.24)$$

где m_2 – число фаз вторичной обмотки трансформатора,

$K_{П1}$ – 0,10 допустимый коэффициент пульсаций на нагрузке.

Затем задались коэффициентом пульсаций на выходе первого звена. Причем $K_{П11}$ на выходе первого звена берется не меньше 0,02 и более 0,1. Для упрощения расчетов $C_0 = C_1$.

Далее рассчитали коэффициент фильтрации на выходе первого звена по формуле (3.25)

$$K_{\phi1} = \frac{2}{[(m_2^2 - 1) \cdot K_{П11}]} = \frac{2}{[(2^2 - 1) \cdot 0,03]} = 22,22. \quad (3.25)$$

Затем по формуле (3.26) рассчитали коэффициент фильтрации на выходе второго звена

$$K_{\phi2} = \frac{K_{\phi}}{K_{\phi1}} = \frac{6,66}{22,22} = 0,3. \quad (3.26)$$

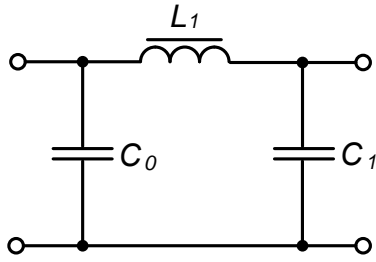


Рисунок 3.1 - П-образный CLC-фильтр

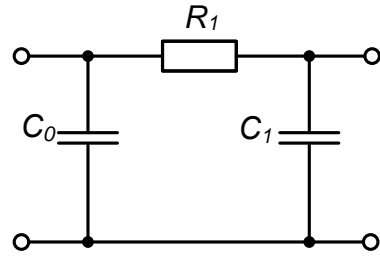


Рисунок 3.2 - П-образный CRC-фильтр

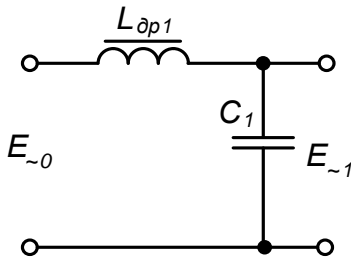


Рисунок 3.3 - Г-образный LC-фильтр

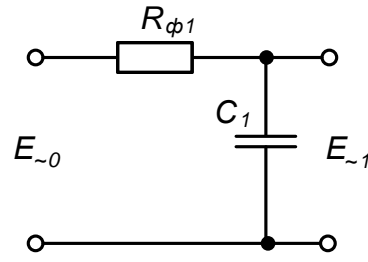


Рисунок 3.4 - Г-образный RC-фильтр

Рассчитали индуктивность L_1 по формуле (3.27)

$$L \approx \frac{1 - K_{\phi 2}}{m_{\Pi}^2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot C_1} = \frac{1 - 0,3}{2^2 \cdot (2 \cdot 3,1415 \cdot 50 \text{ Гц})^2 \cdot 60 \text{ мкФ}} = 30 \text{ мГн}, \quad (3.27)$$

где m_{Π} – отношение частоты пульсаций выпрямленного напряжения к частоте сети,

f – частота питающей сети, 50 Гц,

$C_1 = C_0 = 60 \text{ мкФ}$ значение емкости второго звена фильтра, мкФ.

3.2.1.2 Расчет CRC фильтра для двухфазной и однофазной мостовой схем выпрямителей

П-образный CRC-фильтр изображен на рисунке 3.2.

Значения K_{ϕ} , $K_{\phi 1}$, $K_{\phi 2}$, $K_{\Pi 1}$, $K_{\Pi 11}$, C_1 для расчета те же, что и для расчета CLC фильтра.

Рассчитали сопротивление R_1 по формуле (3.28)

$$R = \frac{K_{\phi 2} - 1}{m_{\Pi} \cdot \omega \cdot C_1} = \frac{|0,3 - 1|}{2 \cdot 314 \cdot 60 \text{ мкФ}} = 18,56 \text{ Ом}, \quad (3.28)$$

где $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ Гц}$ - угловая частота.

Расчет CLC и CRC фильтров для трехфазной мостовой схемы выпрямителя проводится по вышеуказанной методике. Только $m_2 = m_{II} = 6$, $K_{II} = 5\%$.

Результаты расчетов при различных значениях C_0 приведены в таблице 3.13

Таблица 3.13 – Параметры схем П-образных CLC и CRC фильтров

Элемент схемы	Схемы однофазного, однополупериодного, двухфазного, двухполупериодного и однофазного, мостового выпрямителей	
	Емкость C_0, C_1 , мкФ	
	175	350
Индуктивность L_1 , мГн	10	5
Резистор $R_{\phi 1}$, Ом	6,36	3,18
Элемент схемы	Схема трехфазного мостового выпрямителя	
	Емкость C_0, C_1 , мкФ	
	22	200
Индуктивность L_1 , мГн	5	0,5
Резистор $R_{\phi 1}$, Ом	9,64	1

Исходя из расчета П-образных фильтров по справочнику [12] выбрали следующие резисторы:

МЛТ-0,5Вт-4,6 Ом ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт-12 Ом ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт-2,2 Ом ± 10 .

Используя, таблицу 3.13 по [13] и [14] выбрали конденсаторы, которые указаны в таблице 3.14 и дроссели – таблице 3.15:

Таблица 3.14 – Выбранные конденсаторы

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкФ	Допуск, %	Количество
К53-1	30	33	±10; ±20	2
Алюминиевые оксидно-электролитические				
К50-6	50	330	-10; +80	2
К50-12	25	1000	-20 +80	2

Таблица 3.15 - Выбранные дроссели

Наименование	Номинальный ток, А	Индуктивность, Гн	Количество
ДМ	0,1	0,030	1
ДМ	0,1	0,010	1
ДМ	0,1	0,005	1
ДМ	0,1	0,001	1

3.2.2 Расчет схем Г-образных сглаживающих фильтров

Г-образные сглаживающие фильтры бывают LC и RC типов (см. рисунки 3.3 и 3.4).

3.2.2.1 Расчет LC фильтра для двухфазного дву полупериодного выпрямителя

Расчет Г-образного LC фильтра для двухфазного двухполупериодного выпрямителя начинается с задания коэффициента сглаживания q [5], рассчитываемого:

$$q \approx \frac{k_{по}}{k_{пн}} \approx \frac{0,667}{0,1} \approx 6,67, \quad (3.29)$$

где $k_{по}$ - коэффициент пульсаций на входе фильтра, %,

$k_{пн}$ - коэффициент пульсаций на выходе фильтра, %.

Величина произведения индуктивности $L_{др1}$ и емкости C_1 при частоте $f = 50$

Гц

$$L_{др1} \cdot C_1 \approx 10 \cdot \frac{q+1}{m^2} \approx 10 \cdot \frac{10,46+1}{2^2} \approx 19,175 \text{ Гн} \cdot \text{мкФ}, \quad (3.30)$$

где m – число фаз выпрямителя.

Задаваясь значением емкости $C_1 = 20 \text{ мкФ}$, рассчитали величину индуктивности

$$L_{др1} = \frac{19,175}{680} = 30 \text{ мГн} \quad (3.31)$$

3.2.2.2 Расчет RC фильтра для двухфазного дву полупериодного выпрямителя

Для расчета Г-образного RC фильтра для двухфазного дву полупериодного выпрямителя подсчитаем коэффициент сглаживания q

$$q = \frac{k_{до}}{k_{п1}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta E_{\phi1}}{E_{01}} \right) = \frac{0,667}{0,10} \cdot \left(1 + \frac{3}{15} \right) = 8 \quad (3.32)$$

где $\Delta E_{\phi1} = E_0 - E_{01}$ – напряжение на фильтре $R_{\phi1}, \text{В}$,

$E_0 = 18$ – напряжение на входе фильтра, В,

$E_{01} = 15$ - напряжение на выходе фильтра, В.

Произведение $R_{\phi1}$ на емкость C_1 при частоте $f = 50 \text{ Гц}$

$$R_{\phi1} \cdot C_1 \approx 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{q}{m} \approx 3 \cdot 10^3 \cdot \frac{8}{2} \approx 12000 \text{ Ом} \cdot \text{мкФ}. \quad (3.33)$$

Ближайшее значение емкости $C_1 = 1000 \text{ мкФ}$, рассчитали сопротивлении $R_{\phi1}$ из выражения (3.34)

$$R_{\phi1} = \frac{12000}{1000} = 12 \text{ Ом} \quad (3.34)$$

Для однофазной однополупериодной схемы выпрямителя Г-образный LC фильтр не применяют. Для этих схем обычно используют Г-образный RC фильтр.

Расчет для остальных типов выпрямителей проводится аналогичным способом. Значения емкости C_1 , индуктивности $L_{др1}$ и сопротивления $R_{\phi1}$ для проектирования наборного поля показаны в таблице 3.16

Таблица 3.16 – Параметры схем Г-образных LC и RC фильтров

Элемент схемы	Схема однофазного однополупериодного выпрямителя		
Емкость C_1 , мкФ	300		33
Резистор $R_{\phi 1}$, Ом	125,6		1141,81
Элемент схемы	Схемы двухфазного, двухполупериодного и однофазного мостового выпрямителей		
Емкость C_1 , мкФ	680		
Индуктивность L_1 , мГн	30		
Емкость C_1 , мкФ	1000		33
Резистор $R_{\phi 1}$, Ом	12		363
	Схема трехфазного мостового выпрямителя		
Емкость C_1 , мкФ	20	120	1000
Индуктивность L_1 , мГн	30	5	0,5
Емкость C_1 , мкФ	1000	300	3
Резистор $R_{\phi 1}$, Ом	0,684	2,28	228

Исходя из расчета П-образных фильтров по справочнику [12] выбрали следующие резисторы:

МЛТ-0,5Вт - 150 Ом ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт - 1500 Ом ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт - 150 Ом ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт - 12 Ом ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт - 470 Ом ± 10 ;

С5 – 43 - 10Вт – 0,68 Ом ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт-2,2 Ом ± 10 ;

МЛТ-0,5Вт-300 Ом ± 10 .

Используя, таблицу 3.16 по [13] и [14] выбрали указанные в таблице 3.17 и дроссели – таблице 3.18:

Таблица 3.17 – Выбранные конденсаторы

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальная емкость, мкФ	Допуск, %	Количество
К53-1	30	33	±10; ±20	1
Алюминиевые оксидно-электролитические				
К50-6	50	330	-10; +80	1
К50-12	25	1000	-20 +80	1

Таблица 3.18 - Выбранные дроссели

Наименование	Номинальный ток, А	Индуктивность, Гн	Количество
ДМ	0,1	0,030	1
ДМ	0,1	0,010	1
ДМ	0,1	0,005	1
ДМ	0,1	0,001	1

3.3 Расчет элементов схемы генератора

В состав генератора импульсов входят следующие компоненты: мультивибратор и интегрирующие цепочки, необходимые для преобразования импульса прямоугольной формы в импульс, имеющий схожую синусоидальную форму [4]. Вся схема показана на рисунке.

Интегрирующая цепочка представлена на рисунке 3.5.

Расчет интегрирующей цепочки проводится следующим образом [4]:

Постоянная времени τ должна в 5-10 раз больше длительности импульса $t_{и}$ [4].

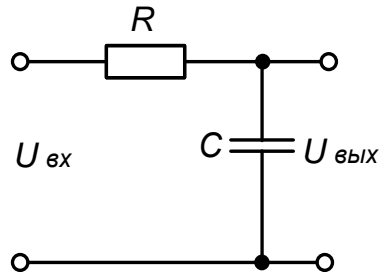


Рисунок 3.5 - Интегрирующая цепочка

В свою очередь длительность импульса рассчитали по формуле (3.35)

$$t_u = \frac{1}{2 \cdot f} = \frac{1}{2 \cdot 50} = 0,01 \text{ с}, \quad (3.35)$$

где f – частота равная 50 Гц.

Постоянную времени рассчитали по формуле (3.36)

$$\tau' = \tau \cdot 8 = 8 \cdot 0,01 = 0,08. \quad (3.36)$$

Так как $\tau = R \cdot C$

где R – сопротивление схемы;

C – емкость схемы.

Задаваясь емкостью $C = 33 \text{ мкФ}$, получим $R = \frac{0,08}{0,000033} = 2424 \text{ Ом}$.

Приводя к номиналу ряда E12, получаем $R = 2,7 \text{ кОм}$.

Выбрали 12 резисторов МЛТ номиналом 2,7 кОм.

Также для построения импульсного понижающего стабилизатора необходима микросхема К1156ЕУ1, биполярный р-п-р транзистор КТ502Д и диод 2Д213Б.

Принципиальная электрическая схема модуля ФМ-3Ф2 приведена в приложении.

3.4 Расчет схем защиты

В данном разделе проводится перерасчет модуля питания ФМ-3Ф2. Но схема индикации питания, изображенная на рисунке 2.5 не требует перерасчета.

$$I_{HL} = \frac{U_{ВХ.маx} - U_{HL}}{R1} = \frac{20 - 1,5}{820} = 21 \text{ мА}. \quad (3.38)$$

Величина сопротивления резистора R4 нашли по формуле (3.39)

$$R4 = \frac{U_{БЭ2}}{I_{ВХ\max}} = \frac{0,5}{150 \cdot 10^{-3}} = 3,33 \text{ Ом}, \quad (3.39)$$

где $U_{БЭ1} = 0,5 \text{ В}$ – напряжение база-эмиттер, при котором транзистор VT3 переходит в активный режим;

$I_{ВХ\max} = 150\text{мА}$, установленное значение предела аварийного тока.

Номинальное значение резистора R4 равно 4,7 Ом.

Величина сопротивления резистора R6 рассчитали по формуле (3.40)

$$R6 = \frac{U_{БЭ2}}{I_{ВХ\авар}} = \frac{0,5}{100 \cdot 10^{-3}} = 5 \text{ Ом}, \quad (3.40)$$

где $U_{БЭ2} = 0,5 \text{ В}$ – напряжение база-эмиттер, при котором транзистор VT2 переходит в активный режим;

$I_{ВХ\авар} = 100\text{мА}$, установленное значение аварийного уровня тока.

Номинальное значение резистора R6 составляет 5,6 Ом.

Величина сопротивления резисторов R2, R4, R6 для минимального значения входного напряжения (10В) нашли по формуле (3.41)

$$R2 = R3 = R5 = \frac{U_{ВХ\min} - U_{VT} - U_{VD}}{I_{VD}} = \frac{10 - 1 - 1,5}{10 \cdot 10^{-3}} = 750 \text{ Ом}, \quad (3.41)$$

где $U_{VT} = 1 \text{ В}$ – падение напряжения на открытом транзисторе;

$U_{VD} = 1,5 \text{ В}$ – падение напряжения на диоде;

$I_{VD} = 10\text{мА}$ – минимальный рабочий ток через диод [9].

Максимальный ток через светодиод при максимальном значении входного напряжения (20В), из формулы (3.38)

$$I_{VD} = \frac{U_{ВХ\max} - U_{VT} - U_{VD}}{R2} = \frac{20 - 1 - 1,5}{750} = 23,3 \text{ мА}. \quad (3.42)$$

Выбраны резисторы постоянные изолированные с металлодиэлектрическим проводящим слоем С2-24-025, $\pm 5\%$, из номинального ряда E12 [12].

Транзисторы VT2 и VT3 выбраны по величине рассеиваемой мощности

$$P_{VT2,3} = U_{БЭ} \cdot I_{ВХ\max} = 0,5 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 75 \text{ мВт}, \quad (3.43)$$

выбран кремниевый транзистор р-п-р структуры КТ345А [15], справочные данные приведены в таблице 3.19.

$$P_{VT1} = U_{BXmax} \cdot I_{BXmax} = 20 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 3 \text{ Вт}, \quad (3.44)$$

выбран кремниевый транзистор р-п-р структуры КТ626А [8], справочные данные приведены в таблице 3.19.

Для индикации выбраны эпитаксиальные светоизлучающие диоды в металлостеклянном корпусе ИП04А-1К, цвет красный, сила света при токе 10мА не менее 15 мкд., постоянное прямое напряжение 2В, постоянный прямой ток 30 мА, импульсный прямой ток 100 мА [13].

Параметры выбранной диодной оптопары АОД101Б: излучатель – арсенидогаллиевый; металлостеклянный корпус, приемник – кремниевый фотодиод, входное напряжение не более 1,5 В; коэффициент передачи по току не менее 1,5%; время нарастания и спада выходного импульса не более 500нс; сопротивление изоляции не менее 10^9 Ом; входной постоянный ток 30мА, импульсный – 100 мА; выходное обратное напряжение 100В.

Рассчитанное по формулам (3.38) и (3.42) максимальное значение тока через диоды не превышает паспортного значения.

Выбрали из [13] плавкий предохранитель ВП1-1. Номинальный ток 0,25 А.

Таблица 3.19 Параметры транзисторов схемы защиты

Тип	$I_{к.}, \text{ мА}$	$U_{кэ}, \text{ В}$	$P_{к.}, \text{ мВт}$
КТ315В	200	40	100
КТ345А	1500	45	6500

Приведенные в данном разделе схемы защиты также изображены в приложении Г на соответствующих принципиальных электрических схемах модулей. В приложении А –перечни элементов также представлены элементы схем защиты.

3.5 Разработка минимального перечня изучаемых устройств

В результате расчета схем импульсных стабилизаторов и сглаживающих фильтров составили минимальный перечень изучаемых устройств.

Модуль ФМ-3Ф2 позволяет собирать:

Π-образный:

CLC фильтр для однофазных и двухфазных схем выпрямителей – 3 схемы;

CRC фильтр для однофазных и двухфазных схем выпрямителей – 3 схемы;

CLC фильтр для трехфазной мостовой схемы выпрямителя – 6 схем;

CRC фильтр для трехфазной мостовой схемы выпрямителя – 6 схем;

Г-образный:

LC фильтр для однофазных схем выпрямителей - 1 схема;

RC фильтр для однофазных схем выпрямителей - 4 схемы;

LC фильтр для двухфазной схемы выпрямителя - 1 схема;

RC фильтр для двухфазной схемы выпрямителя - 2 схемы;

LC фильтр для трехфазной мостовой схемы выпрямителя - 3 схемы;

RC фильтр для трехфазной мостовой схемы выпрямителя - 3 схемы;

Модуль ФМ-СТ1 позволяет собирать:

Импульсный понижающий стабилизатор напряжения – 5 схем;

Импульсный повышающий стабилизатор напряжения – 5 схем;

Импульсный инвертирующий напряжение стабилизатор – 5 схем;

3.6 Расчет мощностей лабораторного стенда

3.6.1 Расчет мощности модуля ФМ - СТ1

Мощность схемы понижающего стабилизатора нашли по формуле (3.10)

$$P_{\text{расс}} \approx \frac{I_{\text{дел}} \cdot U_{\text{кэнас}} \cdot t_{\text{с}}}{\tau} + \frac{I_{\text{вых}} \cdot U_{\text{д}} \cdot t_0}{\tau} + U_{\text{вх}} \cdot I_{\text{х.х.}} = \quad (3.10)$$
$$= \frac{0,1\text{мА} \cdot 1,1\text{В} \cdot 11,3\text{мкс}}{15,3\text{мкс}} + \frac{0,02\text{А} \cdot 1,25\text{В} \cdot 4\text{мкс}}{15,3\text{мкс}} + 15\text{В} \cdot 0,0025\text{А} = 0,166\text{Вт}$$

где $I_{\text{х.х.}}$ – максимальный потребляемый ток.

Величину рассеиваемой мощности повышающего стабилизатора рассчитали по формуле (3.17)

$$P_{\text{расс}} = \frac{I_{\Pi}}{2} \cdot U_{\text{КЭНАС}} \cdot \frac{t_c}{\tau} + \frac{I_{\Pi}}{2} \cdot U_{\text{д}} \cdot \frac{t_0}{\tau} + U_{\text{вх}} \cdot I_{\text{потр}} =$$

$$= \frac{0,034 \text{ А}}{2} \cdot 1,1 \text{ В} \cdot \frac{4,5 \cdot 10^{-6}}{11 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,034 \text{ А}}{2} \cdot 1,25 \text{ В} \cdot \frac{6,5 \cdot 10^{-6}}{11 \cdot 10^{-6}} + 10 \text{ В} \cdot 0,0025 \text{ А} = 0,045 \text{ Вт}$$
(3.17)

Так как $I_{\text{ПТ1}} = 50 \text{ мА}$, то мощность, рассеиваемая интегральной микросхемой в инвертирующем напряжении стабилизаторе, значительно ниже $P_{\text{расс макс}}$. Ключевой транзистор VT3 должен быть способен рассеять

$$P_{\text{макс}} = 0,5 U_{\text{вх}} \cdot 0,5 I_{\Pi} = 0,5 \cdot 10 \text{ В} \cdot 0,5 \cdot 0,112 \text{ А} = 0,279 \text{ Вт}.$$
(3.23)

3.6.2 Расчет потребляемой мощности стенда ФМ-3Ф2

Для расчета потребляемых мощностей лабораторный стенд разделим на:

- Генератор импульсов.
- Обмотки трансформатора и диоды, необходимые для построения схем выпрямителей.
- Набор индуктивностей, емкостей и резисторов, необходимых для построения сглаживающих фильтров.

Расчет потребляемых мощностей микросхем и пассивных элементов схемы свели в таблицы 3.20, 3.21 и 3.22.

Таблица 3.20 – Расчет потребляемых мощностей микросхем

Наименование микросхемы	$P_{\text{пот}}$ – потребляемая мощность	Количество микросхем	Итоговая $P_{\text{пот}}$, Вт
К155ЛН1	$P_{\text{ном}} = 0,173 \text{ Вт}$	3	0,519
К155ИЕ4	$P_{\text{ном}} = U_{\text{вых}} \cdot I_{\text{ном}} = 5 \text{ В} \cdot 0,051 \text{ А} = 0,255 \text{ Вт}$	1	0,255
К155ЛП5	$P_{\text{ном}} = 0,262 \text{ Вт}$	1	0,262
К555ЛН2	$P_{\text{ном}} = U_{\text{вых}} \cdot I_{\text{ном}} = 5 \text{ В} \cdot 0,006 \text{ А} = 0,03 \text{ Вт}$	1	0,03
А2030Н	$P_{\text{ном}} = U_{\text{вых}} \cdot I_{\text{ном}} = 5 \text{ В} \cdot 0,060 \text{ А} = 0,3 \text{ Вт}$	3	0,9
Суммарная $P_{\text{потсх}}$			1,966

Таблица 3.21 – Расчет потребляемых мощностей пассивных элементов

Значения потребляемой мощности	Значения емкостного сопротивления, X_c					
	67,72	14469,06	318319,3			
	Количество					
	1	3	6			
$P_{пот}, Вт$	0,369126	0,001728	7,85E-05			
$P1_{пот}, Вт$	0,369126	0,005183	0,000471			
	Значения активного сопротивления, $кОм$					
	1,5	2,7	100	3,3	100	1000
	Количество, n					
	3	12	3	3	3	3
$P_{пот}, Вт$	0,016667	0,009259	0,00025	0,007576	0,00025	0,000025
$P1_{пот}, Вт$	0,05	0,111111	0,00075	0,022727	0,00075	0,000075

Таблица 3.22 – Расчет потребляемых мощностей пассивных элементов схемы

Значения потребляемой мощности	Значения емкостного сопротивления, X_c			
	3,18	96,4	4,68	
	Количество			
	3	9	3	
$P_{пот}, Вт$	0,005093	0,154337	0,00749	
$P2_{пот}, Вт$	0,015279	1,38903	0,02247	

В таблице 3.21 $P_{пот}$ рассчитывалось по формулам (3.45) и (3.47)

$$P_{пот} = \frac{U_{вых}^2}{X_c} = \frac{25B}{67,72 Ом} = 0,369 Вт, \quad (3.45)$$

где $U_{вых}$ – значение выходного напряжения схемы генератора, В;

X_c – значение емкостного сопротивления, Ом.

X_c рассчитали по формуле (3.46)

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 Гц \cdot 4,7 мкФ} = 67,72 Ом, \quad (3.46)$$

где $f = 50$ Гц, частота, питающей сети;

C – емкость, Φ (см. таблицу 3.14 и 3.17).

$$P_{nom} = \frac{U_{вbx}^2}{R} = \frac{25B}{1500Om} = 0,016 Bm \quad (3.47)$$

где R – сопротивление, Ом, указанное в расчете фильтров.

В таблице 3.19 $P1_{пот}$, рассчитали по формуле (3.48)

$$P_{nom} \cdot 1 = P_{nom} \cdot n = 0,369 Bm \cdot 1 = 0,369 Bm, \quad (3.48)$$

где $P_{пот}$, Вт (см. таблицу 3.21);

n – количество элементов (см. таблицу 3.21).

В таблице 3.20 $P_{пот}$ рассчитывалось по формулам (3.49)

$$P_{nom} = I_{nom}^2 \cdot X_c = 0,0016 \cdot 3,18 = 0,005 Bm, \quad (3.49)$$

где $I_{пот}$ – значение $I_{пот}$ схемы генератора, А;

X_c – значение емкостного сопротивления, Ом рассчитали по формуле 3.46.

где C – емкость, Φ (см. таблицу 3.14 и 3.17).

В таблице 3.22 $P2_{пот}$, рассчитали по формуле (3.48)

$$P_{nom} \cdot 1 = P_{nom} \cdot n = 0,369 Bm \cdot 1 = 0,369 Bm,$$

где $P_{пот}$, Вт (см. таблицу 3.22);

n – количество элементов (см. таблицу 3.22).

Максимальное значение потребляемой мощности среди схем сглаживающих фильтров $P_{потф} = 2,5$ Вт.

Значение потребляемой мощности диодов, (схемы выпрямителей) $P_{потв} = 1,5$ Вт.

Потребляемая мощность всей схемы модуля стенда ФМ-3Ф2 рассчитали по формуле (3.50)

$$P_{потит} = P_{потсх} + \sum P1_{nom} + \sum P2_{nom} + P_R + P_{потф} + P_{потв} = , \quad (3.50)$$

$$= 1,966 + 0,560 + 1,42 + 0,032 + 2,5 + 1,5 = 7,978 Bm$$

где $P_{потсх}$ - $P_{пот}$ (см. таблицу 3.20), Вт;

$\sum P1_{nom}$ - $P_{пот}$ (см. таблицу 3.21), Вт;

$\sum P2_{nom}$ - $P_{пот}$ (см. таблицу 3.22), Вт;

$P_R = I_{nom}^2 \cdot R = 0,0016 \cdot 20 = 0,032$ Вт, где $R=20$ Ом, полученное при расчете

генератора;

$P_{номф} = 2,5$ Вт - максимальное значение потребляемой мощности среди схем сглаживающих фильтров;

$P_{номд} = 1,5$ Вт - значение потребляемой мощности диодов, (схемы выпрямителей).

3.7.2 Тепловой расчет лабораторного стенда

3.7.1 Тепловой расчет модуля ФМ-3Ф2

Потребляемая мощность всей схемы модуля стенда ФМ-3Ф2 рассчитали по формуле (3.51)

$$P_{номит} = P_{номсх} + \sum P1_{ном} + \sum P2_{ном} + P_R + P_{номф} + P_{номд} = , \quad (3.51)$$
$$= 1,966 + 0,560 + 1,42 + 0,032 + 2,5 + 1,5 = 7,978 \text{ Вт}$$

где $P_{потсх} - P_{пот}$ (см. таблицу 3.20), Вт;

$\sum P1_{ном} - P_{пот}$ (см. таблицу 3.21), Вт;

$\sum P2_{ном} - P_{пот}$ (см. таблицу 3.22), Вт;

$P_R = I_{ном}^2 \cdot R = 0,0016 \cdot 20 = 0,032$ Вт, где $R=20$ Ом, входящие в состав

генератора;

$P_{номф} = 2,5$ Вт - максимальное значение потребляемой мощности среди схем сглаживающих фильтров;

$P_{номд} = 1,5$ Вт - значение потребляемой мощности диодов, (схемы выпрямителей).

Площадь лабораторного стенда 376 см^2

где L – длина лабораторного стенда, см;

H – ширина лабораторного стенда, см.

Удельная мощность P модуля ФМ-3Ф2

$$P_{уд} = \frac{P_{номит}}{S} = \frac{7,978 \text{ Вт}}{376 \text{ см}^2} = 0,021 \text{ Вт/см}^2, \quad (3.53)$$

Вычисленная мощность меньше $0,05 \text{ Вт/см}^2$

3.7.2 Тепловой расчет модуля ФМ-3Ф2

Максимальная потребляемая мощность второго модуля лабораторного стенда ФМ-СТ1 равна $0,279$ Вт.

Удельную мощность P модуля ФМ-СТ1

$$P_{уд} = \frac{P_{ном}}{S} = \frac{0,279 \text{ Вт}}{375 \text{ см}^2} = 0,000744 \text{ Вт/см}^2$$

Вычисленная мощность меньше $0,05 \text{ Вт/см}^2$.

4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 Результаты макетирования и исследования схем и устройств защиты активных элементов от аварийных режимов

Макетирование понижающего стабилизатора проводилось в соответствии со схемой приведенной на рисунке 2.1, рассчитанной на понижение с 10 до 2 В. Осциллограммы напряжение на конденсаторе задающего генератора и на дросселе представлены в приложении Д на рисунках Д1 и Д2. Собрали схему, подключили к нагрузке - переменный резистор от 100 Ом до 2,2 кОм. Сняли нагрузочную характеристику. Результаты занесли в таблицу 4.1

Таблица 4.1 – Экспериментальные данные

Наименование параметра	Выходной ток $I_{\text{ВЫХ}}$, мА										
	0,88	1,15	2	3,46	8	10,8	15	20	25,8	32,6	39,5
Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, В	2,08	2,08	2,08	2,08	2,09	2,1	2,11	2,11	1,96	1,12	0,66

По таблице 4.1 построили нагрузочную характеристику понижающего стабилизатора (рисунок 4.1). На рисунке видно, что до выходного тока $I_{\text{ВЫХ}} = 22$ мА выходное напряжение практически не изменяется, что подтверждает стабилизацию.

Для подтверждения работы схемы сняли зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$. Результаты занесли в таблицу 4.2. В таблице представлены данные для построения зависимости $U_{\text{ВЫХ}}$ при изменении $U_{\text{ВХ}}$ при $I_{\text{ВХ}} = 50$ мА.

Таблица 4.2 – Экспериментальные данные для построения

Наименование параметра	Входное напряжение $U_{\text{ВХ}}$, В										
	1	3	4	5	7	9	12	15	17	20	29
Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, В	0,01	1,55	2,11	2,11	2,10	2,10	2,09	2,08	2,08	2,17	2,17

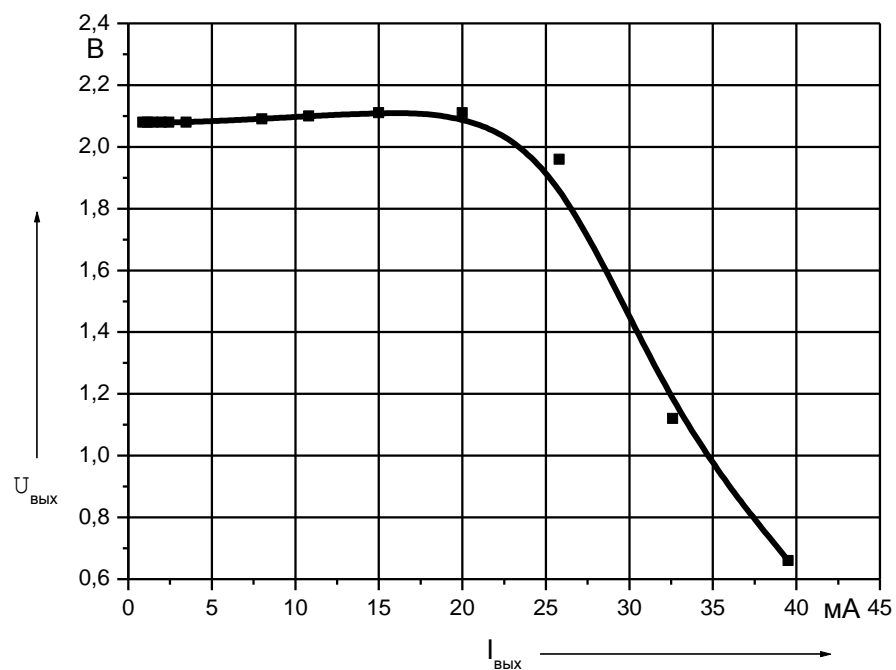


Рисунок 4.1 - Нагрузочная характеристика понижающего стабилизатора

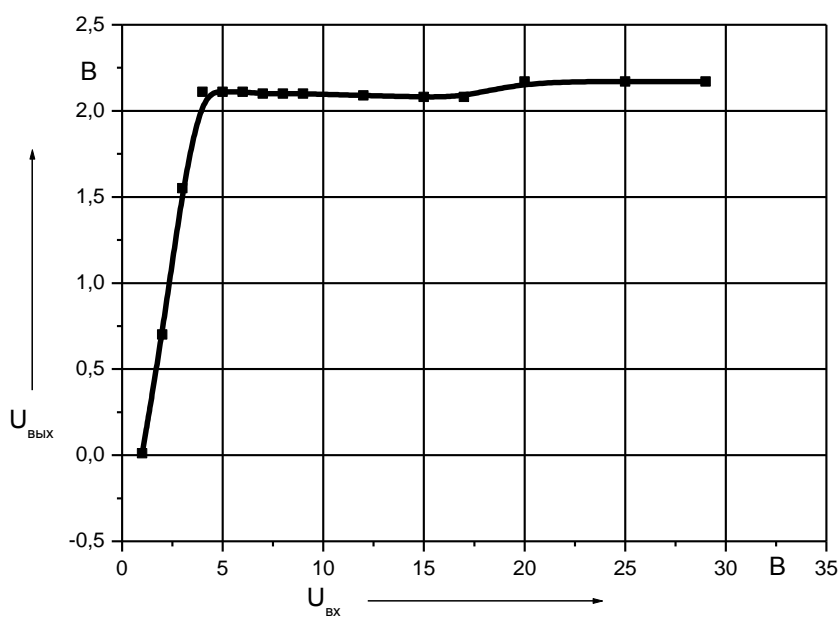


Рисунок 4.2 - Зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$ понижающего стабилизатора

По таблице 4.2 построили зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$, изображенную на рисунке 4.2. На графике видно, что при увеличении входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ до максимально возможного значения на данном стенде выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$

остаётся практически неизменным. При заданном $I_{\text{вх}} = 90$ мА выходное напряжение также остаётся неизменным.

Чтобы проверить полностью источник напряжения с понижающим стабилизатором собрали схему однофазного мостового выпрямителя на диодном мосту КЦ407а и схему LC фильтра, рассчитанного в данной выпускной квалификационной работе. Собрали и подключили схему защиты активных элементов (рисунок 2.5). Макет однофазного мостового выпрямителя и LC фильтра представлен в приложении Е на рисунке Е1.

Для построения нагрузочной характеристики сняли значения выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ и выходного тока $I_{\text{вых}}$ и занесли в таблицу 4.3

Таблица 4.3 – Экспериментальные данные для построения нагрузочной характеристики источника питания

Наименование параметра	Выходной ток $I_{\text{вых}}$, мА										
	57	50	45	30	23	12	9,5	4,5	3,5	2	1
Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, В	0,76	1,17	1,57	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17	2,17

По таблице 4.3 построили нагрузочную характеристику, изображенную на рисунке 4.3.

Нагрузочная характеристика показывает, что стабилизатор по-прежнему стабилизирует напряжение, а фильтр - сглаживает пульсации.

Макетирование повышающего стабилизатора проводилось в соответствии со схемой приведенной на рисунке 2.2, рассчитанной на повышение напряжения с 10 до 15 В. Собрали схему, подключили к нагрузке - переменный резистор от 100 Ом до 2,2 кОм. Макет схемы импульсного повышающего стабилизатора представлен в приложении Е на рисунке Е3. Сняли нагрузочную характеристику. Результаты занесли в таблицу 4.4

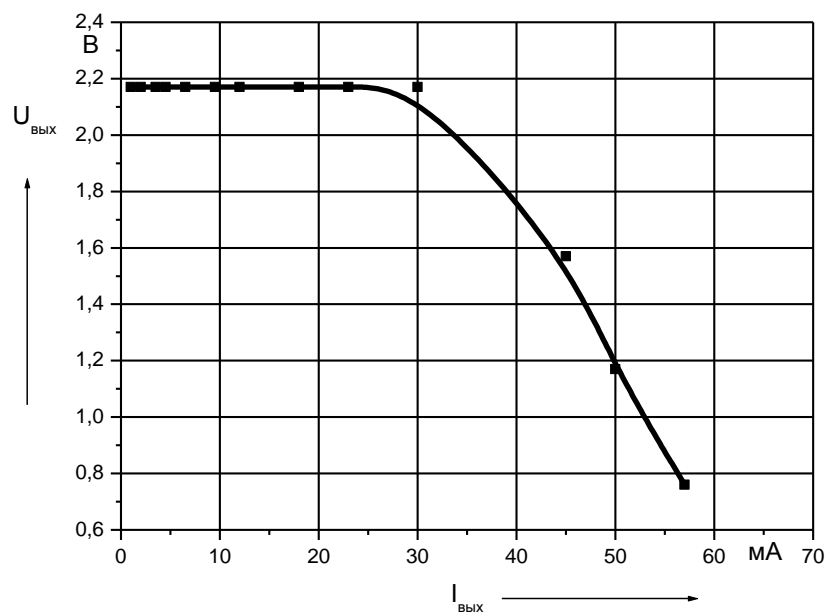


Рисунок 4.3 - Нагрузочная характеристика источника питания с понижающим стабилизатором

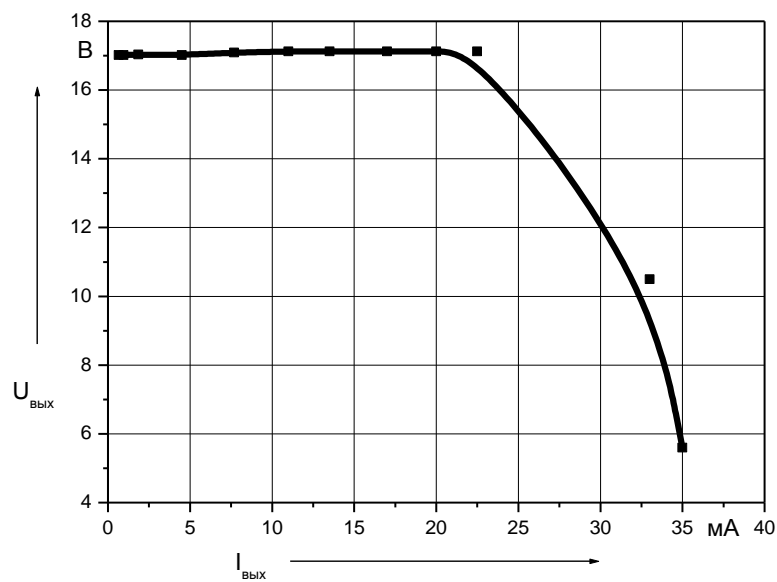


Рисунок 4.4 - Нагрузочная характеристика повышающего стабилизатора

Таблица 4.4 – Экспериментальные данные для построения нагрузочной характеристики

Наименование параметра	Выходной ток $I_{\text{ВЫХ}}$, мА											
	0,95	1,86	4,5	7,69	11	13,5	17	20	22,5	33	35	
Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, В	17,02	17,03	17,02	17,09	17,12	17,12	17,12	17,12	17,12	17,12	10,5	5,6

В результате проведения эксперимента стабилизатор повышает напряжение с 10 до 17 В. По таблице 4.4 построили нагрузочную характеристику, изображенную на рисунке 4.4.

По нагрузочной характеристике видно, что стабилизатор действительно повышает и стабилизирует напряжение.

Для подтверждения работы схемы сняли зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$. Результаты занесли в таблицу 4.5. В таблице представлены данные для построения зависимости $U_{\text{ВЫХ}}$ при изменении $U_{\text{ВХ}}$ при $I_{\text{ВХ}} = 50$ мА.

Таблица 4.5 – Экспериментальные данные для построения зависимости $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$

Наименование параметра	Выходной ток $I_{\text{ВЫХ}}$, мА										
	1	2	4	6	8	10	12	18	22	26	29
Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, В	2,89	6,75	15,8	17,1	17,1	17,05	17,05	17,08	17,12	17,12	17,12

По таблице 4.5 построили зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$, изображенную на рисунке 4.5.

Осциллограммы напряжения на задающем конденсаторе и на дросселе представлены в приложении Д на рисунках Д3 и Д4.

На графике видно, что при увеличении входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ до максимально возможного значения на данном стенде выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$

остается практически неизменным. При заданном $I_{\text{вх}} = 80$ мА выходное напряжение также остается неизменным.

Чтобы проверить полностью источник напряжение с повышающим стабилизатором собрали схему однофазного мостового выпрямителя на диодном мосту КЦ407а и схему LC фильтра, рассчитанного в данной работе. Собрали и подключили схему защиты активных элементов (рисунок 2.5).

Для построения нагрузочной характеристики сняли значения выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ и выходного тока $I_{\text{вых}}$ и занесли в таблицу 4.6

Таблица 4.6 – Экспериментальные данные для построения нагрузочной характеристики источника питания

Наименование параметра	Выходной ток $I_{\text{вых}}$, мА											
	50	42	35	30	25	20	14	9	7	3,5	1	
Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, В	3,5	8,96	13,6	15,8	17,12	17,12	17,12	17,12	17,12	17,12	17,12	17,12

По таблице 4.6 построили нагрузочную характеристику, изображенную на рисунке 4.6.

Нагрузочная характеристика показывает, что стабилизатор по-прежнему стабилизирует напряжение, а фильтр - сглаживает пульсации.

Макетирование инвертирующего напряжение стабилизатора проводилось в соответствии со схемой приведенной на рисунке 2.3, рассчитанной на инвертирование напряжения с 15 до -5 В. Собрали схему, подключили к нагрузке - переменный резистор от 100 Ом до 2,2 кОм. Макет схемы импульсного инвертирующего стабилизатора приведен в приложении Е на рисунке Е4. Сняли нагрузочную характеристику. Результаты занесли в таблицу 4.7

В результате проведения эксперимента стабилизатор инвертирует напряжение с 15 до -5 В. По таблице 4.7 построили нагрузочную характеристику, изображенную на рисунке 4.7.

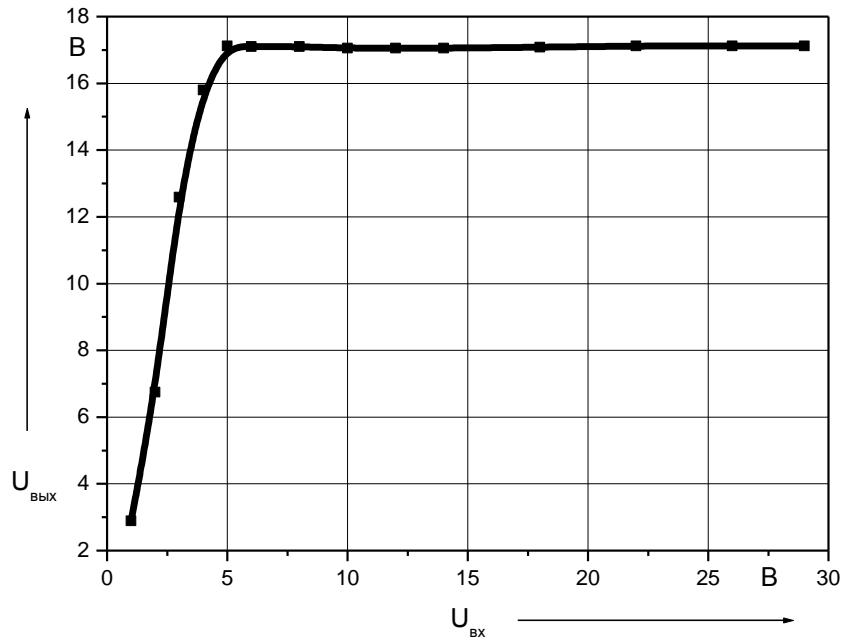


Рисунок 4.5 - Зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$ повышающего стабилизатора

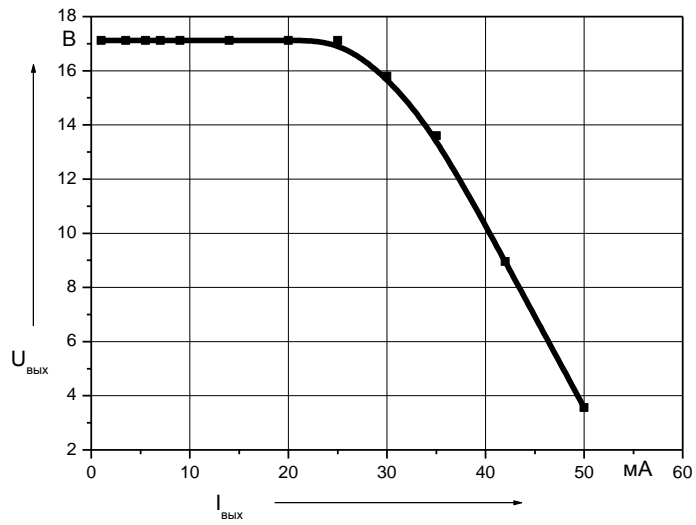


Рисунок 4.6 - Нагрузочная характеристика источника питания с повышающим стабилизатором

По нагрузочной характеристике видно, что стабилизатор действительно инвертирует и оставляет неизменным напряжение.

Таблица 4.7 – Экспериментальные данные для построения нагрузочной характеристики

Наименование параметра	Выходной ток $I_{\text{ВЫХ}}$, мА										
	0,4	1	2,02	4,6	8,63	10,2	14,5	18	24	30	37
Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, В	-4,98	-4,98	-5	-5,01	-5,03	-5,02	-5,05	-5,05	-5,05	-2,6	1,05

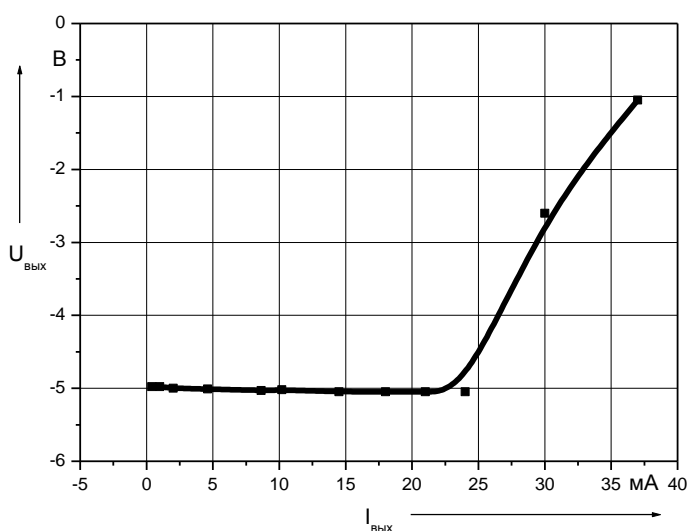


Рисунок 4.7 - Нагрузочная характеристика инвертирующего напряжения стабилизатора

Для подтверждения работы схемы сняли зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$. Результаты занесли в таблицу 4.8. В таблице представлены данные для построения зависимости $U_{\text{ВЫХ}}$ при изменении $U_{\text{ВХ}}$ при $I_{\text{ВХ}} = 50$ мА.

Таблица 4.8 – Экспериментальные данные для построения зависимости $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$

Наименование параметра	Выходной ток $I_{\text{ВЫХ}}$, мА									
	1	3	4	6	8	11	15	17	23	29
Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, В	-0,86	-3,56	-4	-4,9	-5,02	-5,02	-5,03	-5,05	-5,05	-5,05

По таблице 4.8 построили зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$, изображенную на рисунке 4.8.

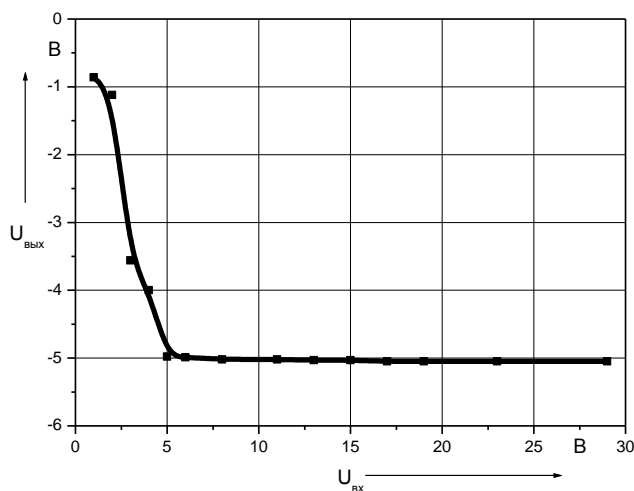


Рисунок 4.8 - Зависимость $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$ инвертирующего напряжения, стабилизатора

На графике видно, что при увеличении входного напряжения $U_{\text{ВХ}}$ до максимально возможного значения на данном стенде выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ остается практически неизменным. При заданном $I_{\text{ВХ}} = 80$ мА выходное напряжение также остается неизменным.

Осциллограммы напряжения на задающем конденсаторе и на дросселе представлены в приложении Д на рисунках Д5 и Д6.

Чтобы проверить полностью источник напряжения с инвертирующим стабилизатором собрали схему однофазного мостового выпрямителя на диодном мосту КЦ407а и схему LC фильтра, рассчитанного в данной работе. Собрали и подключили схему защиты активных элементов (рисунок 2.5).

Для построения нагрузочной характеристики сняли значения выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ и выходного тока $I_{\text{ВЫХ}}$ и занесли в таблицу 4.9

Таблица 4.9 – Экспериментальные данные для построения нагрузочной характеристики источника питания

Наименование параметра	Выходной ток $I_{\text{ВЫХ}}$, мА										
	50	45	40	35	30	25	14	8	6,5	4,5	2
Выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, В	-1,2	-2,6	-3,7	4,89	-5,05	-5,05	-5,05	-5,05	-5,05	-5,05	-5,05

По таблице 4.9 построили нагрузочную характеристику, изображенную на рисунке 4.9.

Нагрузочная характеристика показывает, что стабилизатор по-прежнему стабилизирует напряжение, а фильтр - сглаживает пульсации.

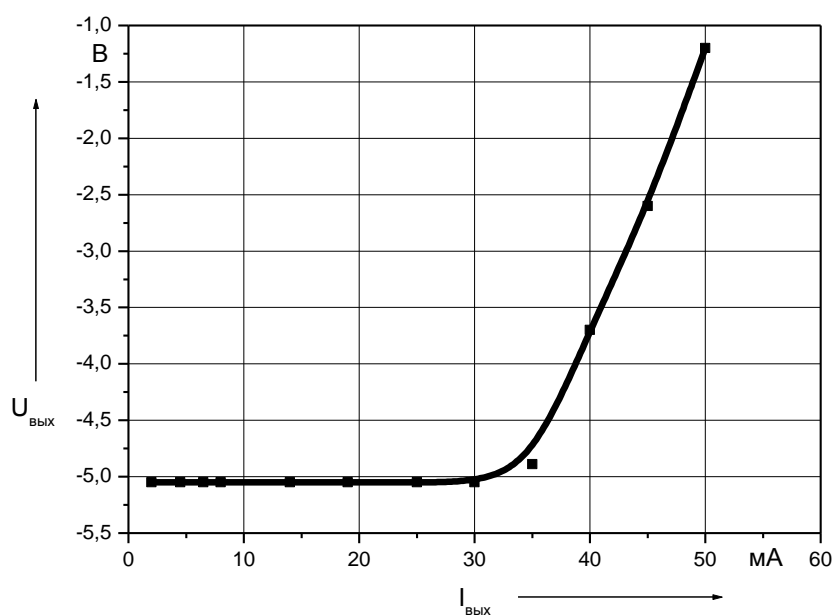


Рисунок 4.9 - Нагрузочная характеристика источника питания с инвертирующим стабилизатором

4.2 Разработка методических указаний для выполнения лабораторных работ

В данном разделе разрабатываются методические указания для выполнения работ по источникам питания с использованием импульсных стабилизаторов напряжения и сетевых фильтров с применением двух модулей лабораторного стенда.

Лабораторная работа №1

Изучение сглаживающих П-образных фильтров

1 Цель работы

Целью работы является изучение принципов работы сглаживающих П-образных LC и RC фильтров.

2 Краткие теоретические сведения

СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

На выходе выпрямителя напряжения помимо постоянной составляющей содержится переменная, называемая *пульсацией напряжения*. При питании аппаратуры связи и радиоэлектронной аппаратуры пульсация напряжения резко ухудшает, а чаще вообще нарушает работу питаемых устройств, внося дополнительные искажения в преобразуемые сигналы.

Для уменьшения переменной составляющей в кривой выпрямленного напряжения между выпрямителем и нагрузкой устанавливаются *сглаживающие фильтры*.

Переменная составляющая выпрямленного напряжения, первая гармоника имеет максимальную величину и значительно превосходит амплитуды более высоких гармоник.

Для большинства РЭА качество питающего напряжения характеризуется максимально допустимой амплитудой переменной составляющей, в основном **основной** гармоникой, имея в виду, что гармоники более высоких частот **будут** сглаживаться фильтрами значительно более эффективно.

Основные параметры сглаживающих фильтров:

коэффициент сглаживания q , это отношение коэффициента пульсации на входе фильтра ($k_{П\text{ вх}}$) к коэффициенту пульсации на выходе фильтра ($k_{П\text{ вых}}$) (на нагрузке): $q = k_{П\text{ вх}} / k_{П\text{ вых}}$.

Коэффициент пульсации на входе фильтра определяется схемой выпрямления:

$$k_{П\text{ вх}} = \frac{U_{0m1}}{U_0} = k_{П1} \quad (4.1)$$

где U_{0m1} и U_0 — амплитуда 1 гармоники и постоянная составляющая выпрямленного напряжения.

Коэффициент пульсации на выходе фильтра

$$k_{П\text{ вых}} = \frac{U_{01m1}}{U_{01}} = k_{П1} \quad (4.2)$$

где U_{01m1} и U_{01} — амплитуда 1 гармоники и постоянная составляющая напряжения на нагрузке.

Кроме обеспечения необходимого коэффициента сглаживания от фильтров еще требуется минимально возможное падение постоянной составляющей напряжения на элементах фильтра.

Наряду с ослаблением переменной составляющей напряжения сглаживающий фильтр несколько уменьшает постоянную составляющую. В выпрямительных устройствах малой мощности ослабление постоянной составляющей сглаживающим фильтром может достигать 5... 15%.

В практических расчетах коэффициент сглаживания определяется отношением амплитуд первых гармоник переменных составляющих напряжения на входе и выходе фильтра, т. е.

$$q = \frac{k_{П\text{ вх}}}{k_{П\text{ вых}}} = \frac{U_{0m1}}{U_{01m1}}. \quad (4.3)$$

Расчет П-образных фильтров

П-образные сглаживающие фильтры бывают LC и RC типов.

П-образный CLC-фильтр можно представить в виде двухзвенного, состоящего из емкостного фильтра с емкостью C_0 и Г-образного с C_1 и L_1 . C_0 задается.

В П-образном фильтре наилучший результат достигается при равенстве емкостей C_0 и C_1 .

Преподавателем задается схема выпрямителя, то есть задается значение m_{Π} – отношение частоты пульсаций выпрямленного напряжения и частоты сети, m_2 – число фаз вторичной обмотки трансформатора. В однофазных и многофазных схемах выпрямителей $m_2 = m_{\Pi}$ (однофазная, однополупериодная; однофазная, мостовая; двухфазная, двухполупериодная и трехфазная мостовая (схема Ларионова)).

Задается допустимый коэффициент пульсаций на нагрузке $K_{\Pi 1}$, % = 5 для $m_2 = 6, 10$ и 15 - $m_2 = 2$.

Рассчитывают коэффициент фильтрации всего фильтра по формуле (4.4)

$$K_{\phi} = \frac{2}{[(m_2^2 - 1) \cdot K_{\Pi 1}]}, \quad (4.4)$$

где m_2 – число фаз вторичной обмотки трансформатора,

$K_{\Pi 1}$ – допустимый коэффициент пульсаций на нагрузке.

Затем задаются коэффициентом пульсаций на выходе первого звена $K_{\Pi 11}$. Причем $K_{\Pi 11}$ на выходе первого звена берут не меньше 0,02 так как иначе получается слишком большая емкость C_0 , и не больше 0,1, иначе емкость C_0 будет значительно искажать форму выпрямленного тока. Рассчитывают коэффициент фильтрации на выходе первого звена по формуле:

$$K_{\phi 1} = \frac{2}{[(m_2^2 - 1) \cdot K_{\Pi 11}]}. \quad (4.5)$$

Затем по формуле (4.6) рассчитывают коэффициент фильтрации на выходе второго звена

$$K_{\phi 2} = \frac{K_{\phi}}{K_{\phi 1}}. \quad (4.6)$$

Рассчитывают индуктивность L_1 по формуле (4.7)

$$L \approx \frac{1 - K_{\phi 2}}{m_{\Pi}^2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot C_1}, \quad (4.7)$$

где m_{Π} – отношение частоты пульсаций выпрямленного напряжения к частоте сети,

f – частота питающей сети, 50 Гц,

$C_1 = C_0$ - емкость второго и первого звена, берется из таблицы 4.10, мкФ.

Значения K_ϕ , $K_{\phi 1}$, $K_{\phi 2}$, $K_{\Pi 1}$, $K_{\Pi 11}$, C_1 для расчета те же, что и для расчета CLC фильтра.

Сопротивление R_1 рассчитывают по формуле (4.8)

$$R = \frac{K_{\phi 2} - 1}{m_{\Pi} \cdot \omega \cdot C_1}, \quad (4.8)$$

где $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 50$ Гц - угловая частота.

Расчет CLC и CRC фильтров для трехфазной мостовой схемы выпрямителя проводится по вышеуказанной методике.

Таблица 4.10 – Емкость для построения П-образных CLC и CRC фильтров

Элемент схемы	Схемы двухфазного, двухполупериодного и однофазного, мостового выпрямителей				
	Емкость C_0 , C_1 , мкФ				
	60	175	350		
Элемент схемы	Схема трехфазного мостового выпрямителя				
	Емкость C_0 , C_1 , мкФ				
	3,7	11	22	110	200

3 Программа работы

3.1 Ознакомиться с теоретическими сведениями

3.2 Для заданной преподавателем схемы выпрямителя рассчитать П-образный LC и RC фильтры.

3.3 Собрать заданную преподавателем схему выпрямителя.

3.4 Собрать рассчитанную схему П-образного LC фильтра.

3.5 вычислить коэффициент пульсаций на выходе фильтра.

3.6 Собрать схему П-образного RC фильтра.

3.7 Подсчитать q на выходе фильтра.

4 Описание установки

Схемы изучаются на стенде ФМ 3Ф2 (рисунок 4.10).

Собираемые принципиальные электрические схемы П-образных фильтров

представлены на рисунках 4.11 и 4.12

5 Указания по выполнению работы

К пункту 3.5 1 Подключить к исследуемой схеме и П-образного LC-фильтра осциллограф. Определить значения амплитуды первой гармоники и постоянной напряжения на нагрузке. Определить q на выходе фильтра по формуле (4.2)

$$k_{\text{Пвых}} = \frac{U_{01m1}}{U_{01}} = k_{\text{П1}}$$

где U_{01m1} и U_{01} — амплитуда первой гармоники и постоянная составляющая напряжения на нагрузке.

Определить коэффициент пульсации на выходе фильтра, сравнить с заданным при изначальном расчете.

К пункту 3.7 Прodelать те же действия, что и «к пункту 3.5», но для П-образного RC-фильтра.

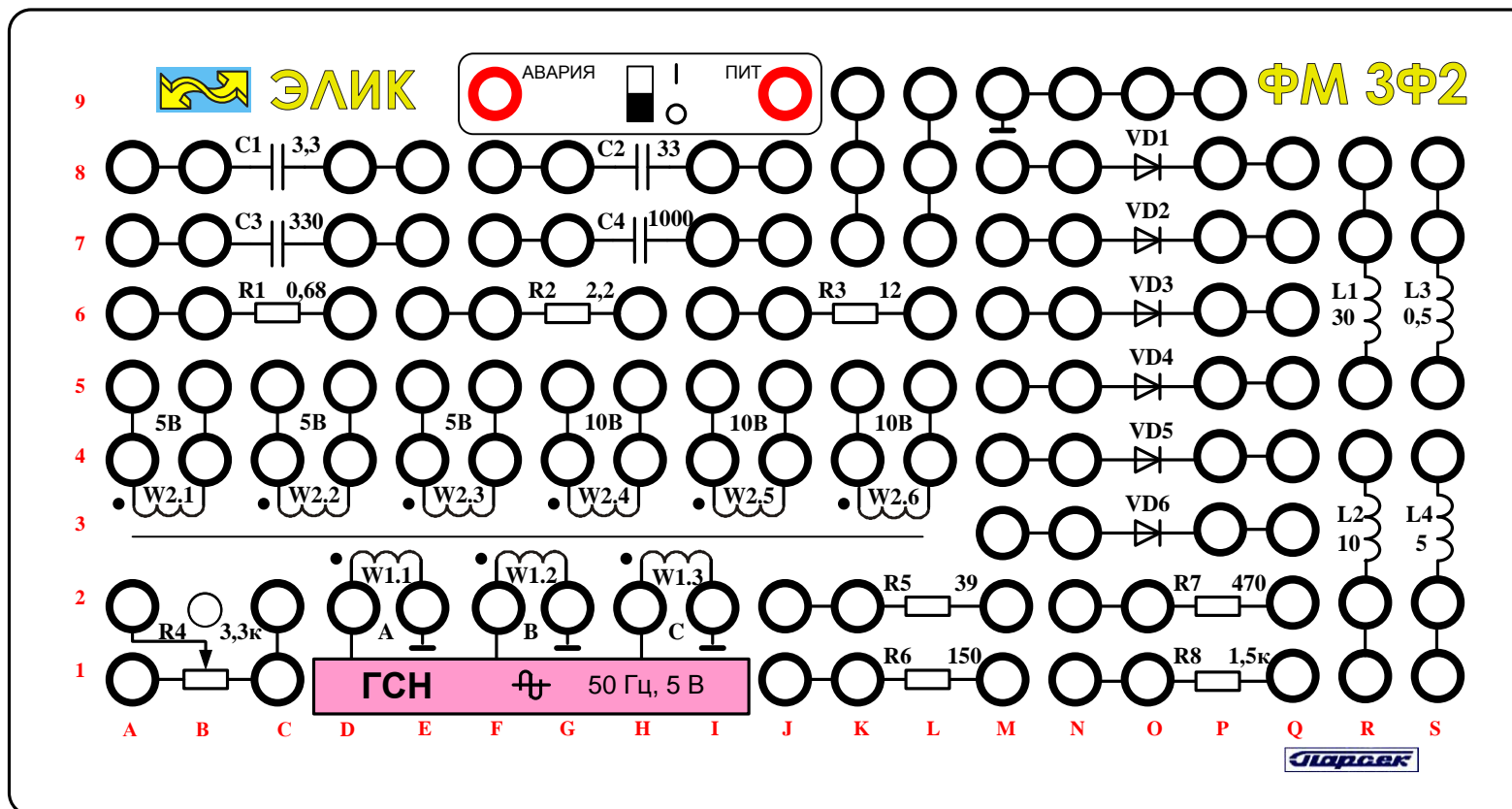


Рисунок 4.10 – Внешний вид лабораторного стенда

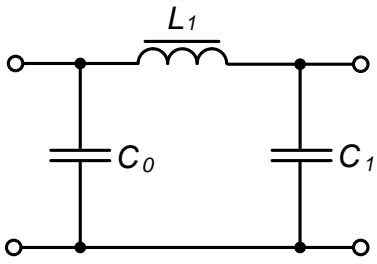


Рисунок 4.11 - П-образный CLC-
фильтр

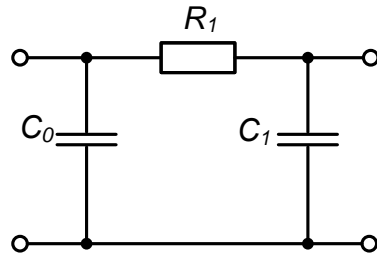


Рисунок 4.12 - П-образный CRC-
фильтр

6 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- и программу работы;
- схему лабораторной установки;
- результаты измерений и вычислений;
- анализ результатов, оформленный в виде кратких выводов.

7 Вопросы для самоконтроля

- 1 Цель работы?
- 2 Программа исследований?
- 3 Воспроизвести принципиальные исследуемые схемы.
- 4 Для чего применяются сглаживающие фильтры?
- 5 Как определяется коэффициенты пульсаций на входе и выходе фильтра?
- 6 Определение коэффициента сглаживания?
- 7 Чем определяется индуктивность схемы?
- 8 В каких цепях используются фильтры LC типа.

Лабораторная работа №2

Изучение источника питания напряжения с использованием импульсного понижающего стабилизатора

1 Цель работы

Целью работы является изучение принципов работы источника питания напряжения, с использованием импульсного понижающего стабилизатора, снятие характеристик.

2 Краткие теоретические сведения

На рисунке 4.15 представлена структурная схема источника питания [2].

В качестве диодного выпрямителя в данном лабораторном стенде используются следующие схемы выпрямителей: однофазная однополупериодная, однофазная мостовая, двухфазная двухполупериодная, трехфазная мостовая.

В качестве сглаживающих фильтров используются следующие схемы:

П образный LC и RC фильтр

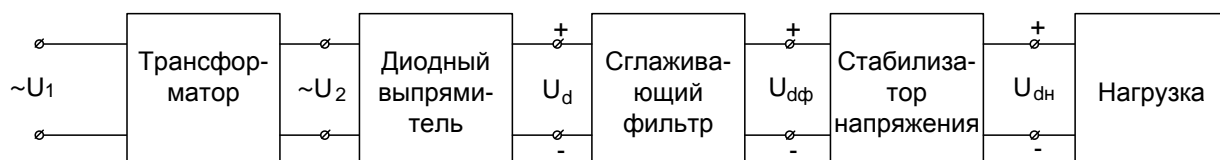


Рисунок 4.15 – Структурная схема источника питания

В импульсных стабилизаторах используется полупроводниковый прибор в качестве ключа. Так как падение напряжения на транзисторном ключе мало, то и потери мощности в ключе малы, а, следовательно, коэффициент полезного действия источника питания получается высоким. Так как коэффициент полезного действия импульсного стабилизатора мало меняется при изменении входного напряжения, то импульсные стабилизаторы допускают больше пульсаций во входном напряжении, чем линейные источники питания.

Метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ) оказывается предпочтительнее, так как гармоники, вызванные коммутацией, могут быть сглажены легче. При использовании ШИМ переключающий элемент находится во включенном состоянии дольше при больших нагрузках, чем при малых. Основные конфигурации схем импульсных стабилизаторов с широтно-импульсной модуляцией строятся на микросхеме К1156ЕУ1. Микросхема К1156ЕУ1 может работать во многих режимах для обеспечения стабильного питания систем: с повышением или понижением входного напряжения, как инвертор напряжения и в других применениях.

Импульсный источник питания с понижением напряжения (рисунок 4.16):

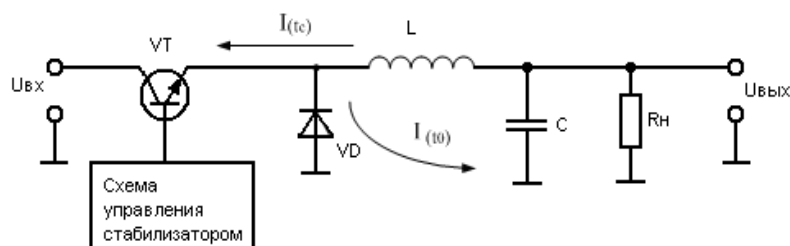


Рисунок 4.16 – Импульсный понижающий источник питания

Обеспечивает выходное напряжение любой величины, меньшей, чем входной. Выходное напряжение зависит от $U_{вх}$ и отношения времени нахождения транзистора во включенном состоянии t_c к периоду коммутации τ : $U_{вых} = U_{вх} \cdot \left(\frac{t_c}{\tau}\right)$

где t_c – время включенного состояния транзистора;

$\tau = t_c + t_0$ – период коммутации;

t_0 – время отключенного состояния транзистора.

Методика расчета понижающего стабилизатора

Задаются следующие параметры: $U_{вых} = 2$ В, $I_{вых} = 20$ мА, $U_{вх} = 10$ В.

Значения напряжения пульсаций и частоты генераторы берутся из таблицы

4.13

Таблица 4.13 - Значения напряжения пульсаций и частоты генераторы

Наименование изменяющегося параметра	Значения параметра				
$U_{пульс}$, В	0,015	0,015	0,015	0,015	0,025
$f_{ген}$, кГц	2	4	6	11	60

Используются следующие типичные значения величин [1]:

Для диода $U_d = 1,25$ В

$U_{КЭнас} = 1,1$ В

$U_{оп} = 1,245$ В

Ток $I_{п}$, А рассчитывается по формуле (4.13)

$$I_{п} = 2 \cdot I_{вых.макс} \quad (4.13)$$

Период коммутации рассчитывается по формуле (4.14) [1]

$$\tau = t_c + t_0 = \frac{1}{f_{ген}}, \quad (4.14)$$

где t_c – время включенного состояния транзистора,

t_0 - время отключенного состояния транзистора.

Отношение t_c к t_0 находится по формуле (4.15)

$$\frac{t_C}{t_0} = \frac{U_{\text{вых}} + U_d}{U_{\text{вх}} - U_{\text{кэнас}} - U_{\text{вых}}} \quad (4.15)$$

где $U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение,

$U_{\text{вх}}$ - входное напряжение,

U_d – напряжение диода при токе в 1 А,

$U_{\text{кэнас}}$ – насыщение VT1 микросхемы К1156ЕУ1.

Выражая t_C из выражения (4.15) и подставляя его в выражение $t_C + t_0 = \tau$, рассчитывается t_0 .

t_C рассчитывается по формуле (4.16)

$$t_C = \tau - t_0. \quad (4.16)$$

Индуктивность L схемы вычисляется по формуле (4.17)

$$L = \left(\frac{U_{\text{вых}} + U_d}{I_{\Pi}} \right) \cdot t_0. \quad (4.17)$$

Емкость конденсатора $C_{\text{вых}}$ находится по формуле (4.18)

$$C_{\text{вых}} = \frac{I_{\Pi} \cdot (t_C + t_0)}{4 \cdot U_{\text{пульс}}}, \quad (4.18)$$

где $U_{\text{пульс}}$ - пульсации выходного напряжения.

$R_{\text{д.т.}}$ вычисляется по формуле (4.19)

$$R_{\text{д.т.}} = \frac{U_{\text{д.т.}}}{I_{\Pi}}, \quad (4.19)$$

где $U_{\text{д.т.}}$ - напряжение температурно-компенсированного датчика тока генератора.

Емкость задающего конденсатора рассчитывается по формуле (4.20) [1]

$$C_T = 45 \cdot 10^{-5} \cdot t_0. \quad (4.20)$$

Сопротивление R1 делителя вычисляется по формуле по формуле (4.21)

$$R_1 = \frac{U_{\text{вых}} - U_{\text{оп}}}{I_{\text{дел}}} \quad (4.21)$$

где $U_{\text{оп}}$ – опорное напряжение,

$I_{\text{дел}}$ – ток делителя напряжения.

Сопротивление R2 делителя находится по формуле (4.22)

$$R_2 = \frac{U_{\text{оп}}}{I_{\text{дел}}}. \quad (4.22)$$

Импульсные источники питания не работают без, так как в этих случаях ток не будет протекать через катушку индуктивности.

Стабилизация в источниках осуществляется так: если $U_{\text{вых}}$ понижается, то средний ток через катушку индуктивности увеличивается. При этом возрастает t_c , так как больше времени уходит на нарастание тока в катушке индуктивности до максимума. Это вызывает подъем $U_{\text{вых}}$ к его исходному значению. Чем дольше регулирующий элемент находится во включенном состоянии, тем выше выходное напряжение. Это называется широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

Если $U_{\text{вых}}$ увеличивается, поле катушки индуктивности за время t_0 уменьшается меньше. При включении VT1 ток быстрее достигает максимального значения тока в катушке индуктивности. Это уменьшает время t_c , а с ним и выходное напряжение.

3 Программа работы

3.1 Ознакомиться с принципом работы и методикой расчета понижающего стабилизатора.

3.2 Рассчитать схему понижающего стабилизатора для ее экспериментального исследования как источника питания (схемы выпрямителя и фильтра задаются преподавателем: однофазная однополупериодная, однофазная мостовая, двухфазная двухполупериодная, трехфазная мостовая – схемы выпрямителей; П-образные и Г-образные LC и RC типа - фильтры).

3.3 Собрать схему источника питания на лабораторных стендах ФМ-3Ф2 и ФМ-СТ1. Схема выпрямителя и фильтра задается преподавателем.

3.4 Исследование характеристик импульсного понижающего стабилизатора

3.4.1 Снять нагрузочную характеристику $U_{\text{вых}} = f(I_{\text{вых}})$ при нагрузке от 100 Ом до 2,2 кОм.

4 Описание установки

Внешний вид лабораторного стенда ФМ - СТ1 приведен на рисунке 4.17
Внешний вид лабораторного стенда ФМ-3Ф2 приведен на рисунке 4.10.

Микросхема К1156ЕУ1, является универсальной подсистемой для построения импульсных источников питания.

Принципиальная электрическая схема, входящая в состав источника питания приведена на рисунке 4.18.

Так как некоторые выводы микросхемы во всех трех схемах импульсных стабилизаторов подключены одинаково, то на стенде на лицевую панель выведены только меняющиеся выводы.

Обозначение выводов представлено на рисунке 4.19.

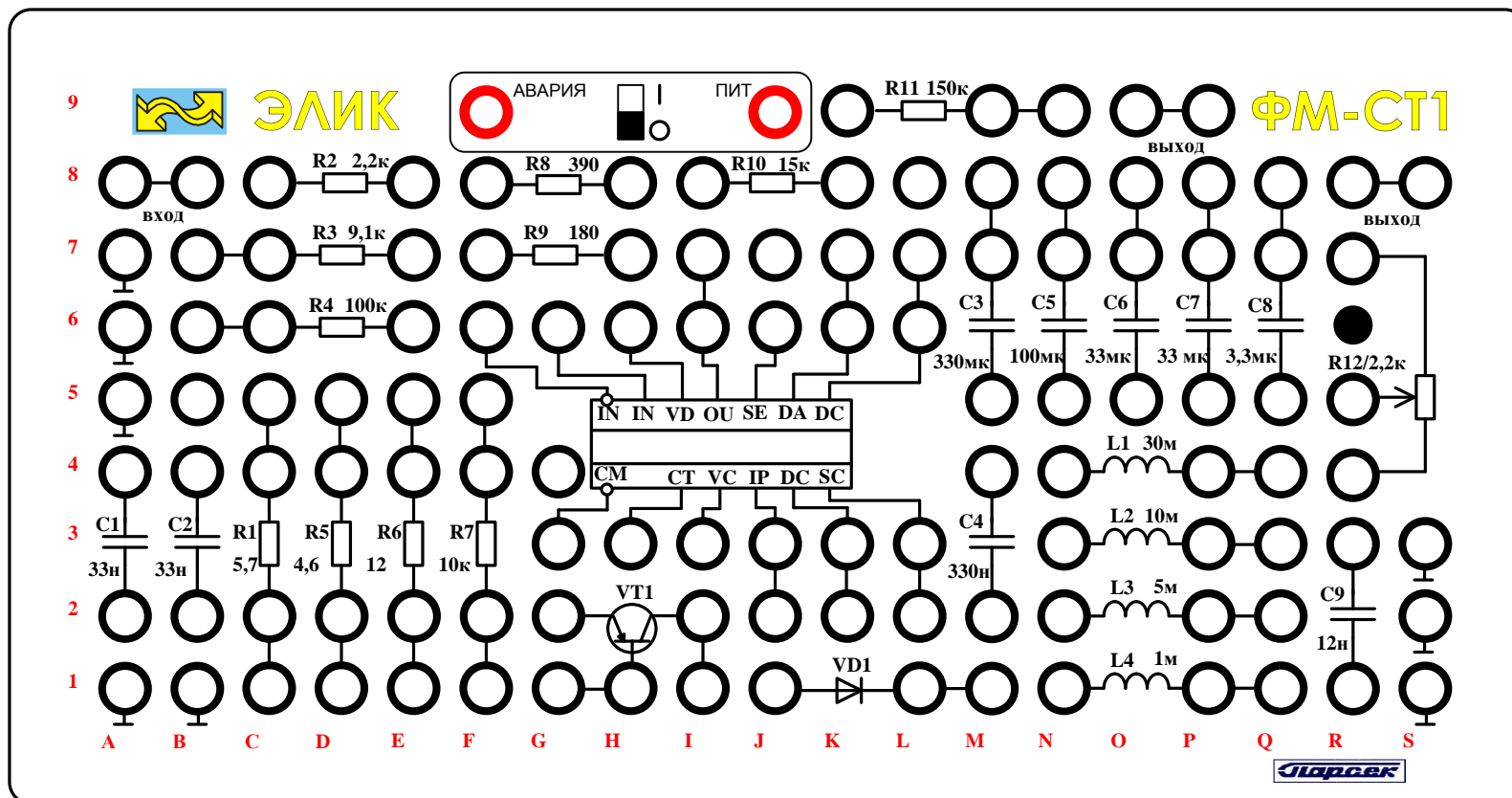


Рисунок 4.17 – Внешний вид лабораторного стенда ФМ-СТ1

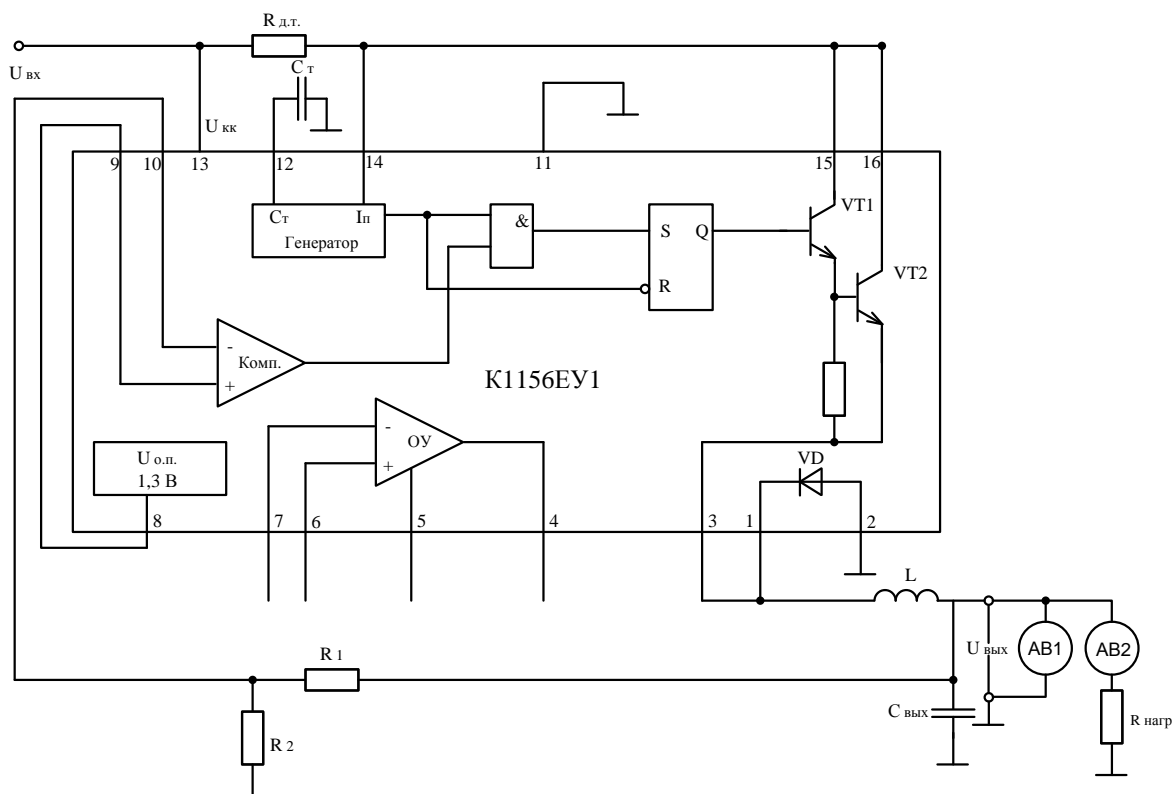


Рисунок 4.18 - Схема понижающего стабилизатора

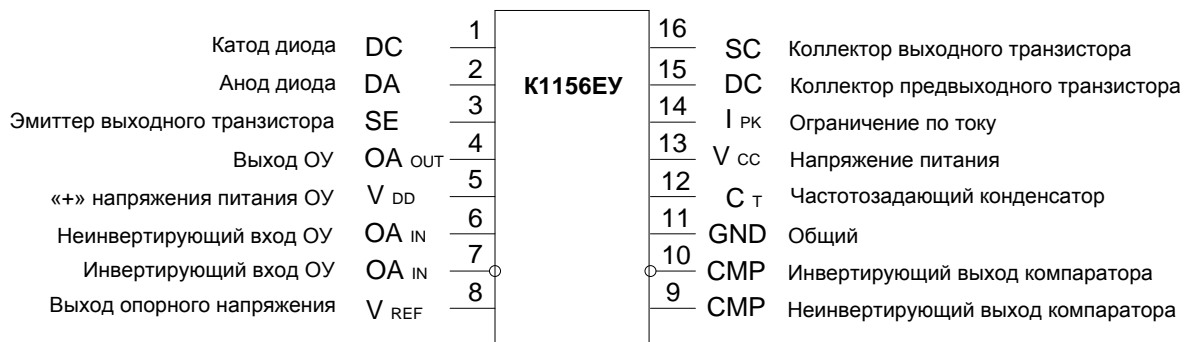


Рисунок 4.19 - Обозначение выводов K1156EY

5 Указания по выполнению работы

К пункту 3.4.1 Снять нагрузочную характеристику $U_{\text{ВЫХ}} = f(I_{\text{ВЫХ}})$ при нагрузке от 100 Ом до 2,2 кОм.

Собрать схему стабилизатора, изображенную на рисунке 4.18 на стенде ФМ-СТ1.

Собрать заданные преподавателем схемы выпрямителя и фильтра на стенде ФМ-3Ф2.

Соединить выход фильтра находящийся на ФМ-3Ф2 с входом стабилизатора на стенде ФМ-СТ1.

Для снятия нагрузочной характеристики необходимо подключить вольтметр, амперметр на нагрузку.

Вращая переключатель резистора, снять показания вольтметра и амперметра. Результаты занести в таблицу 4.14.

Таблица 4.14 – Результаты эксперимента

	Выходной ток, $I_{\text{вых}}$, мА									
	57	50	40	30	20	10	5	2	1	0,5
Напряжение на выходе, $U_{\text{вых}}$, В										

По таблице 4.14 построить нагрузочную характеристику.

6 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе содержит:

- программу работы;
- схему лабораторной установки (образец схемы лабораторной установки представлен на рисунке 4.24);
- результаты измерений и вычислений;
- анализ результатов, оформленный в виде кратких выводов.

7 Вопросы для самопроверки

- 1 В чем заключается суть работы?
- 2 Какие характеристики необходимо снять?
- 3 Нарисовать принципиальную схему ЭЗ понижающего стабилизатора.

- 4 Нарисовать структурную схему источника питания.
- 5 Как определяется выходное напряжение стабилизатора?
- 6 Как работает схема стабилизатора?
- 7 В чем заключается метод широтно-импульсной модуляции.
- 8 Как определяется время включенного состояния транзистора?

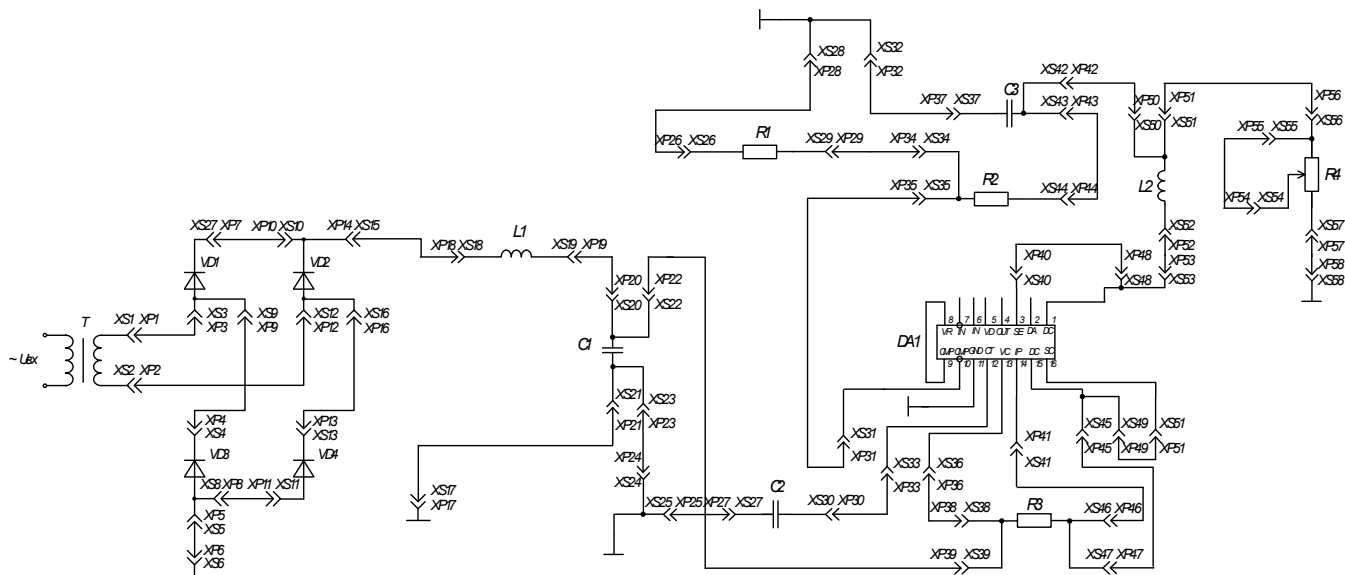


Рисунок 4.24 - Принципиальная электрическая схема лабораторной установки

4.3 Разработка печатной платы стенда

Из [22] в качестве основания для монтажа элементов схемы фольгированный прессматериал К-114-35. Параметры выбранного основания приведены в таблице 4.18.

Таблица 4.18 - Параметры выбранного основания для монтажа элементов

Марка	Электрические параметры основания для монтажа			
	Толщина изоляции d, мм	Толщина фольги Н, мкм	Максимальная плотность тока J, А/мм ²	Удельное сопротивление изолятора ρ, Ом/м
К-114-35	0.5	35	4	$1,2 \cdot 10^9$

Ширину дорожки проводящего рисунка рассчитали:

$$L > I / (V \cdot J) = 112 \cdot 10^{-3} / (35 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^6) = 0,0008 \text{ м} \quad (4.35)$$

где $I = 112 \cdot 10^{-3}$ - максимальный ток, проходящий через сечение медной фольги, А из расчета потребляемой мощности (формула 3.23)

$V = 35 \cdot 10^{-6}$ - толщина фольги, м;

$J = 4$ – максимальная плотность тока, А/мм².

Приняли ширину дорожки, равную 0,8 мм.

Согласно габаритным размерам элементов [8, 9, 12, 13, 15] и микросхем [10, 11], а так же данным, рассчитанным в расчетной части составили рисунок печатной платы функционального модуля стабилизаторов ФМ-СТ1 изображен на рисунках 4.25 и 4.26. Плата устройства состоит из двух слоев. При пайке изделия необходимо использовать мягкие припои ПОС-61М, ПОС-61-0.5 и ПОСК-50-18.

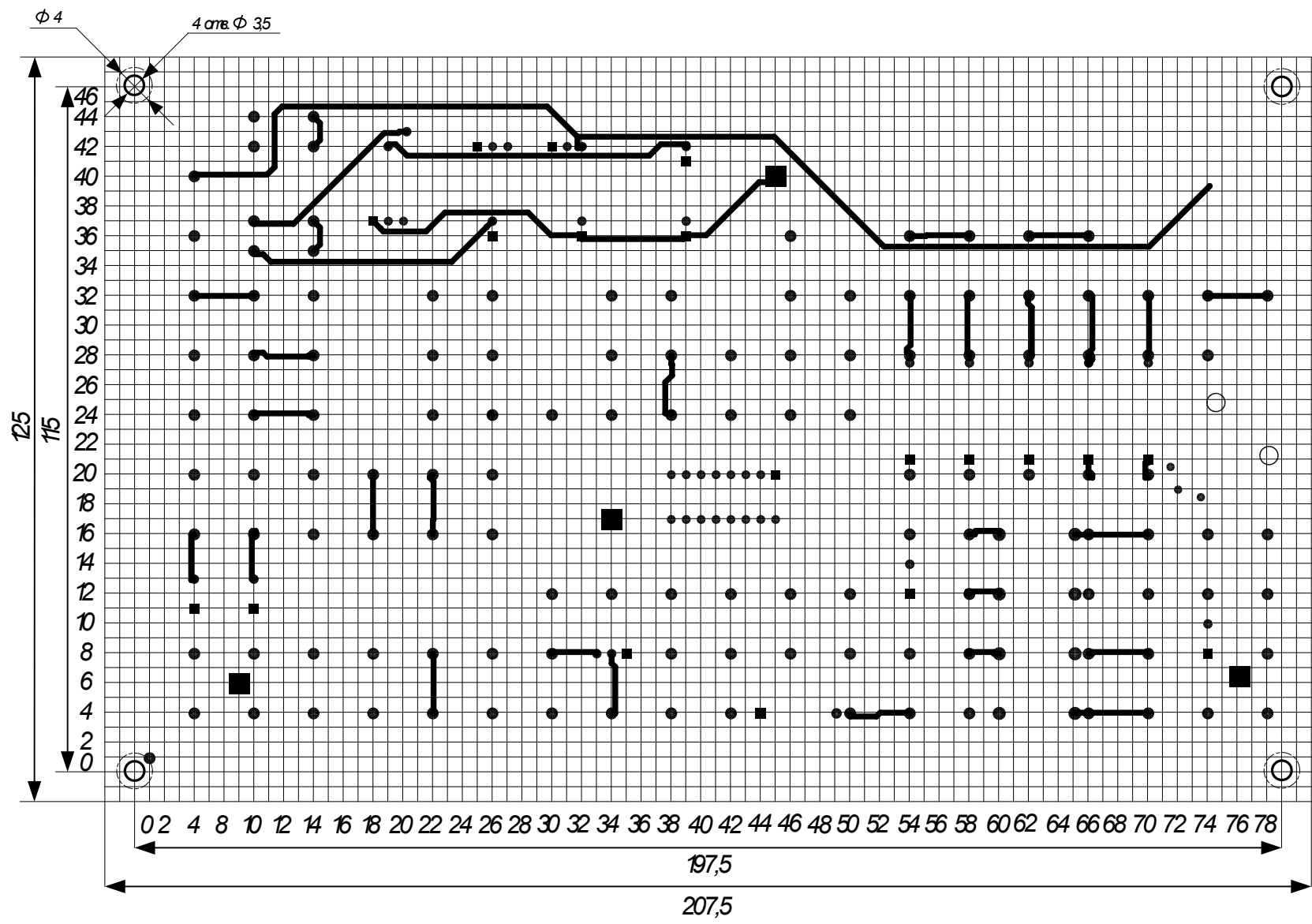


Рисунок 4.25 –Первый слой печатной платы

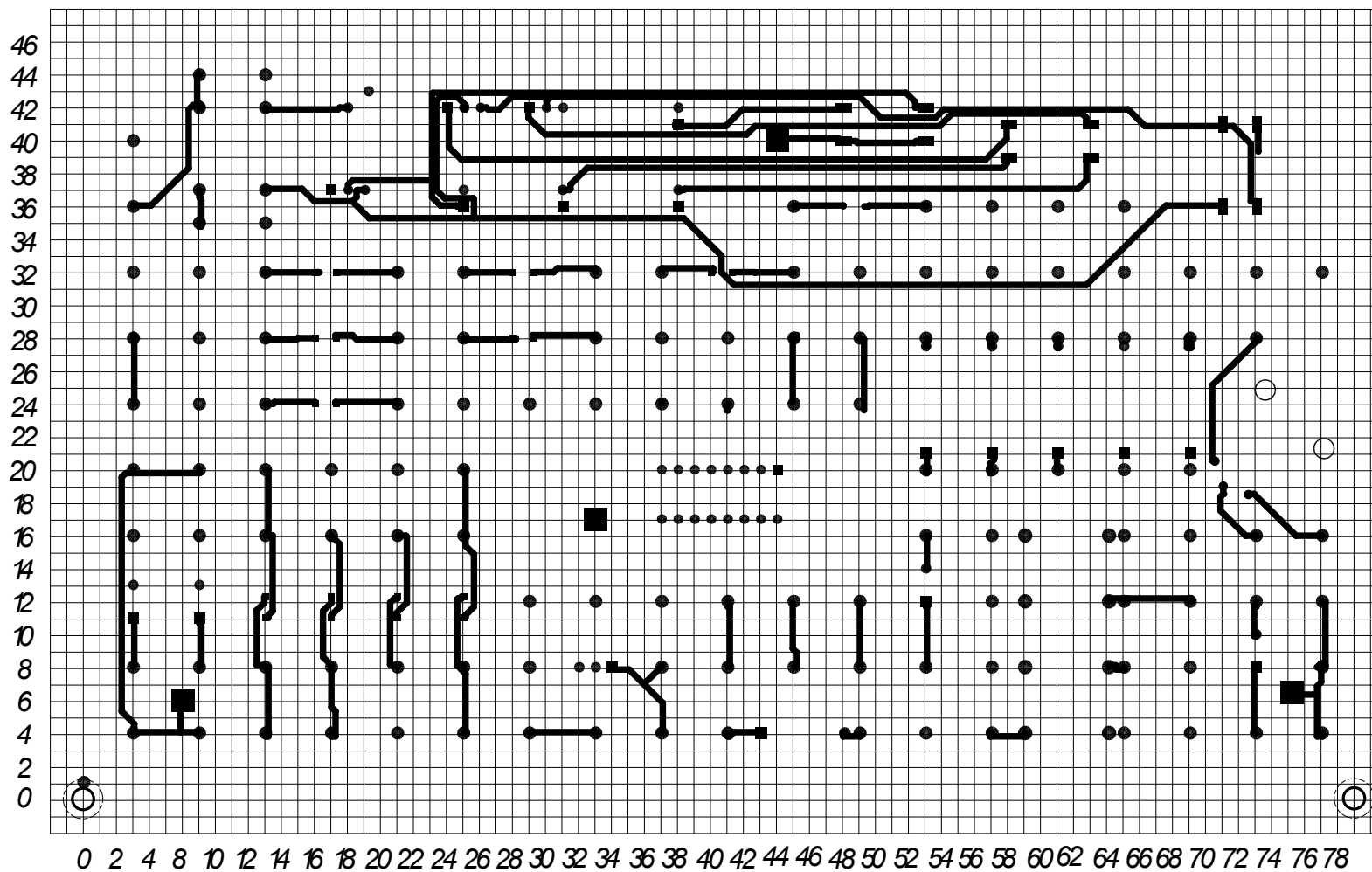


Рисунок 4.26 –Второй слой печатной платы

5 БЕЗОПАСНОСТЬ и ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА

5.1 Описание рабочего места, оборудования, выполняемых операций

Рабочее место для выполнения лабораторных работ «Силовая электроника. Сетевые источники питания электронных устройств» находятся в помещении учебной лаборатории корпуса Тольяттинского государственного университета.

Схема лаборатории приведена на рисунке 5.1.

Выполнение лабораторных работ производится группой не более 24 студентов на 12 стендах. К выполнению одной лабораторной работы допускается бригада из не более 2-х студентов.

Лаборатория для проведения работ по силовой электронике - помещение без повышенной опасности и соответствует требованиям СН 245-71 и СНиП 11-90-81.

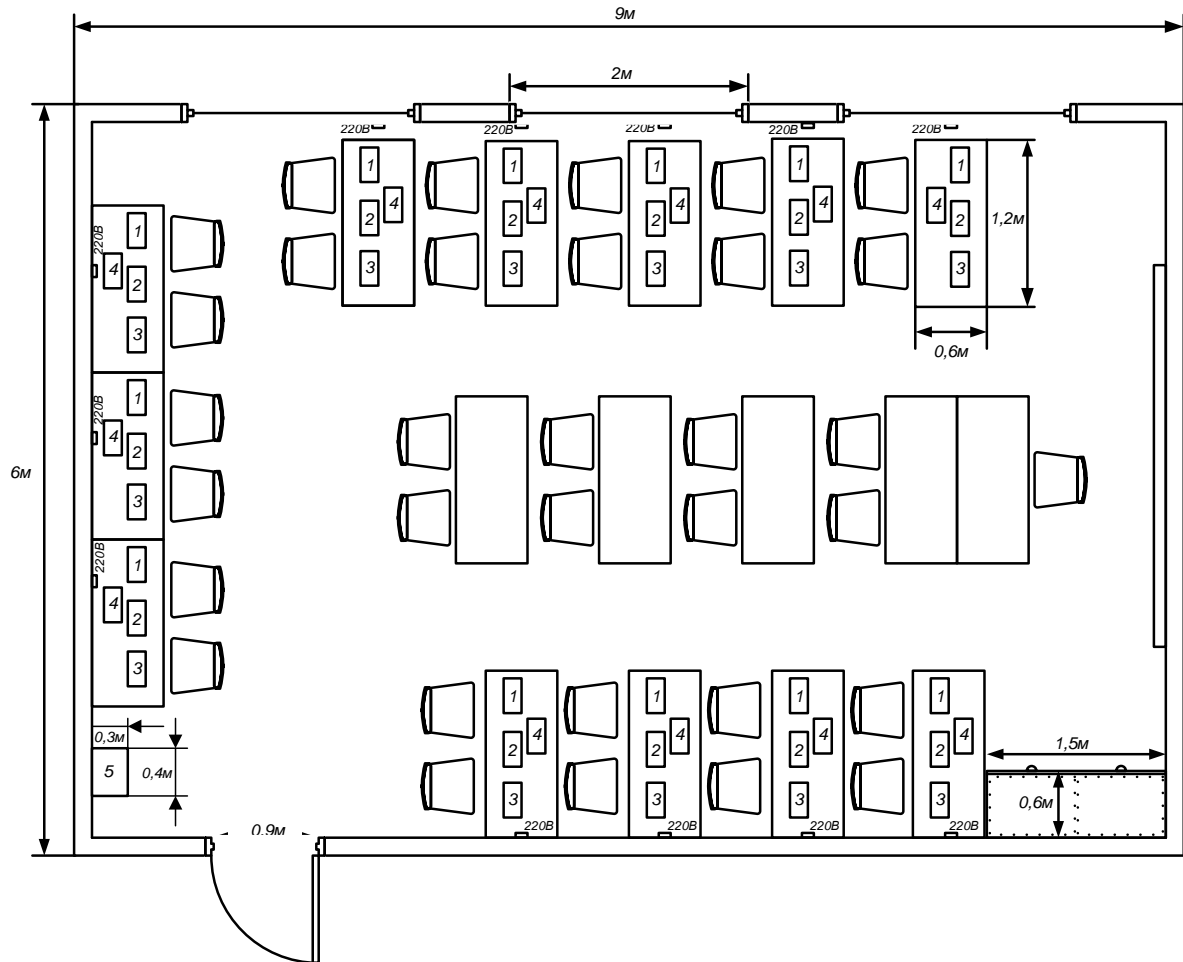


Рисунок 5.1 – Схема лаборатории

5.2 Идентификация опасных и вредных свойств объекта

При выполнении работ возможно воздействие электрического тока и недостаточного освещения.

Причины поражения электрическим током могут быть: [17]:

1. Прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением в результате:

- ошибочных действий при проведении работ;
- неисправности защитных средств, которыми пострадавший касался токоведущих частей.

2. Появление напряжения на металлических частях электрооборудования в результате:

- повреждения токоведущих частей;

3. Появление напряжения на токоведущих частях при:

- ошибочном включении отключенной установки;
- замыкание между токоведущими частями;

Причиной недостаточной освещенности является перегорание или поломка ламп в аудитории. Недостаточную освещенность возможно устраняют заменой неисправной лампы.

5.3 Воздействие вредных факторов на человека

Электрический удар грозит серьезным поражением организма человека, вызывает возбуждение тканей тела электрическим током, что сопровождается судорожным сокращением мышц.

При электрических ударах результат тока на организм может быть различным – от неощутимого сокращения мышц пальцев руки до остановки работы сердца или легких.

Для сравнения результатов воздействия электрического тока на человека установлены три критерия:

- пороговый осязаемый ток – минимальная величина электрического тока, вызывающего при прохождении через организм человека заметное раздражение;

- пороговый неотпускающий – величина электрического тока (10-15 мА при 50 Гц и 50-80 мА при постоянном токе), при котором человек не может противодействовать реакции мышц и не может разжать руку с проводником,

- минимальный фибрилляционный ток – вызывающий фибрилляцию сердца и смерть.

Опасно для человека напряжение переменного тока частотой 50 Гц.

Постоянный ток менее опасен при напряжениях до 300 В. При превышении напряжения опасность постоянного тока растет и при 400 – 600 В равна опасности переменного тока с частотой 50 Гц. При напряжении выше 600 В постоянный ток значительно опаснее переменного.

Опасность зависит не только от напряжения, но и от сопротивления кожи человека.

Сопротивление может быть различным и определяется, главным образом, величиной сопротивления поверхностного слоя кожи (сухая неповрежденная кожа имеет сопротивление примерно 100 кОм). Сопротивление внутренних органов и сосудов мало, порядка сотен Ом. У женщин обычно сопротивление тела меньше.

Поражение электрическим током зависит и от длительности прохождения тока через тело. При малом времени воздействие может и не вызвать остановку сердца. Опасность для организма человека представляет прохождение в течение времени, равного или превышающего длительность кардиоцикла (1 - 2 сек.)

При выполнении лабораторных работ на стендах поражение электрическим током возможно величиной, не превышающей 10-20 мА при частоте 50 Гц в силу конструкции стенда.

Яркость, спектральный состав и равномерность освещения определяют способность человека к выполнению заданий.

Основные требования, основанные на психофизических особенностях восприятия:

- близость света по спектральному составу к солнечному;
- хорошая освещенность;
- равномерность освещения;

- отсутствие бликов от поверхностей.

Освещенность рабочего места определяется от характером работы (СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»).

5.4 Мероприятия по созданию безопасных условий труда

1) Студенты выполняют работы только после информирования о правилах безопасной работы в конкретной лаборатории.

2) Выполнение лабораторной работы на одном стенде производится минимум двумя студентами.

3) Необходимо убедиться, что все выключатели стенда находятся в положении «Выключено».

4) Включение стенда производится в присутствии преподавателя или заведующего лабораторией.

5) На рабочем месте имеются приборы, разъемы, клеммы и другие элементы под напряжением. Соблюдать осторожность!

6) Лабораторная работа выполняется только на исправном стенде. Об обнаруженных неисправностях необходимо сообщить персоналу лаборатории.

7) Сборка и коррекция схемы производится только в обесточенной схеме.

8) Все операции с приборами и элементами, производятся одним человеком и одной рукой. Вторая рука должна быть свободна.

Вентиляция помещения – естественная неорганизованная, осуществляется путем проветривания и инфильтрации.

5.5 Обеспечение электробезопасности на рабочем месте

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током применяют: защитное заземление; защитное зануление; защитное отключение; применение неопасного напряжения;

Наиболее распространенными техническими средствами защиты являются защитное заземление и зануление.

Для данного лабораторного стенда применяется способ защиты применением малых напряжений. Максимальные значения не превышают 20 В.

Измерительные приборы должны соответствовать требованиям безопасности.

Блоки лабораторного стенда сконструированы с обеспечением удобства в работе, безопасность в эксплуатации.

Аппаратура не подключается к сети промышленной частоты.

При обнаружении каких-либо повреждений или неисправностей, а также при появлении дыма, искрения или запаха перегретой изоляции студенты обязаны обесточить лабораторный стенд и сообщить об этом преподавателю или заведующему лабораторией.

5.6 Обеспечение пожаробезопасности на рабочем месте

Требования для обеспечения пожарной безопасности на рабочем месте соответствуют ГОСТ 12.1.004-76.

Для каждой учебной лаборатории назначается ответственный за пожарную безопасность, который отвечает за исправность первичных средств пожаротушения. Все средства пожаротушения должны находиться в легкодоступных местах.

Лаборатория должна иметь план эвакуации и легкодоступные инструкции о мерах пожарной безопасности. В помещениях лаборатории запрещается курить.

Перед включением лабораторного стенда необходимо визуально проверить все контакты и зажимы в электрических цепях.

Все корпуса оборудования должны иметь надежное и исправное заземление.

Лестничные клетки, пролеты и тамбуры не должны загромождаться посторонними предметами.

Для тушения загоревшегося оборудования и электропроводки применяются углекислотные огнетушители и песок.

Экологическая экспертиза объекта

Объектом для проведения экологической экспертизы является лабораторный стенд.

1 Ситуационный план размещения объекта расположен на рисунке 5.1

2 Общие сведения об объекте

Лабораторный стенд будет располагаться в лаборатории Тольяттинского государственного университета в количестве 12 штук.

Стенд для выполнения лабораторных работ по изучению схем линейных, импульсных стабилизаторов, выпрямителей и сглаживающих фильтров состоит из 4 функциональных модулей.

Первый модуль ФМ-3Ф2 обеспечивает проведение лабораторных работ по исследованию схем сглаживающих фильтров, а также обеспечивает питание для второго модуля ФМ-СТ1.

Второй модуль ФМ-СТ1 обеспечивает выполнение лабораторных работ по исследованию схем импульсных стабилизаторов.

Третий модуль содержит электронный осциллограф.

Четвертый модуль содержит блок измерительных приборов.

3 Охрана атмосферного воздуха

Источники вредных веществ.

При эксплуатации данного стенда отсутствуют. Первый и второй модули состоят из печатной платы, которая находится в корпусе стенда. Следовательно, не может быть источником вредных веществ. При эксплуатации осциллографа, имеющего маленький экран, возможна незначительная ионизация воздуха.

Вредные вещества, выбрасываемые в окружающую среду и их ПДК, мг/м³, указанные в таблице [22] при эксплуатации стенда отсутствуют.

Расстояние до жилых домов, школ, д/с (СНиП 2.07.01 – 89 «Градостроительство. Планировка и застройка»). Данный раздел для экспертизы лабораторного стенда не указывается.

Санитарно-защитная зона соответствует стандарту СН 245-71.

4 Охрана водного бассейна.

Подключение объекта к сетям водоснабжения и канализации не требуется.

Наличие санитарно-бытовых помещений. В корпусе, где находится лаборатория присутствуют санитарно-бытовые помещения.

Отвода поверхностных сточных вод, и их очистка не требуется.

5 Охрана почв

Твердые отходы, мусор, остающиеся при эксплуатации объекта. При эксплуатации лабораторного стенда не остаются ни твердых отходов ни мусора. Следовательно, отсутствуют способы утилизации твердых отходов и мусора.

6 Перспективные мероприятия по снижению давления на окружающую среду отсутствуют.

7 Результаты оценки экономического ущерба загрязнения среды от антропогенного источника отсутствуют. Так как при эксплуатации стенда от человека не возникают неблагоприятные воздействия на другие организмы.

8 Заключение о возможности функционирования объекта.

Данный лабораторный стенд экологически безопасен и может нормально функционировать, не загрязняя окружающую среду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спроектирован лабораторный стенд на ИМС для изучения темы «Силовая электроника. Сетевые источники питания электронных устройств», состоящий из двух функциональных модулей. Каждый модуль имеет размеры: 251x151x71 мм. Напряжение питания стенда мало, питание производится от сетевого адаптера. Входное напряжение для стабилизаторов - 10, 15, 20 В; Выходное напряжение импульсных стабилизаторов – произвольно задаваемое из диапазона -15...+15 В, ток нагрузки 5...30 мА.

Импульсные стабилизаторы, входящие в состав модуля ФМ-СТ1 кроме стабилизации обеспечивают понижение от 10 до 2 В, повышение от 10 до 17 В и инвертирование из 15 В в – 5В. Также лабораторный стенд позволяет собирать схемы источников питания в зависимости от частоты задающего генератора f .

Схема стенда обеспечена защитой от превышения тока в цепи и индикацией питания и аварии. В результате теплового расчета очевидно, что разработанный лабораторный стенд не требует дополнительных устройств охлаждения. Со всеми изучаемыми схемами на данном лабораторном стенде произведено макетирование. Результатом макетирования являются получение реальных нагрузочных характеристик источников питания.

Внедрение лабораторного стенда в учебный процесс обеспечивает социальный эффект, заключающийся в повышении качества профессиональной подготовки будущих специалистов.

Разработанный лабораторный стенд предназначен для практического применения в высших и средних профессиональных учебных заведениях. Модуль лабораторного стенда позволяет получить практические навыки по работе с измерительными приборами и электрическими цепями источников питания.

Список используемой литературы

1. Афанасьев А. М. Методы расчета электрических цепей постоянного тока. Учебно-методическое пособие / А. М. Афанасьев; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. авт. образовательное учреждение высш. проф. образования "Волгоградский гос. ун-т", Ин-т приоритетных технологий, Каф. информ. безопасности. - Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2016. – 60
2. Электротехника и основы электроники. Иванов И.И., Соловьев Г.И., Фролов В.Я. Издательство "Лань" , 2016.-736 .
3. Электрические и магнитные цепи : учебное пособие к лабораторным работам / А. А. Бакин [и др.]; под ред. В. А. Яковлева; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. электротехники и возобновляемых источников энергии. - Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2015. – 65.
4. Никифоров Игорь Кронидович. Основы электроники и электронные компоненты: учебное пособие / И. К. Никифоров; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Ульяновский гос. пед. ун-т им. И. Н. Ульянова". - Чебоксары: Изд-во Чувашского ун-та, 2015. - 293 .
5. Электротехника и основы электроники. Иванов И.И., Соловьев Г.И., Фролов В.Я. Издательство "Лань" , 2016.-736 .
6. Попков Анатолий Федорович. Физические основы магнетизма и спинового транспорта в устройствах магнитной электроники: учебное пособие / А. Ф. Попков, М. Н. Журавлев; М-во образования и науки Российской Федерации, Нац. исслед. ун-т "МИЭТ". - Москва: МИЭТ, 2014. - 260 с.
7. Николаева, Светлана Ивановна. Электрические и магнитные цепи: учебное пособие / С. И. Николаева; М-во образования и науки Российской Федерации, Волгоградский гос. технический ун-т. - Волгоград: ВолГТУ, 2014. - 80с.

8. Здыренкова Татьяна Владимировна. Электротехника и электроника. - Тюмень: Изд. Тюменского гос. университета, 2013. - 412 с.
9. Гнучев Николай Михайлович. Электроника и схемотехника. Электронные приборы. Физические основы электроники: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Техническая физика" / Н. М. Гнучев; М-во образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский гос. политехнический ун-т. - Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. - 95 с.
10. Банная, Вера Федоровна. Основы электроники: методическое пособие для студентов факультета точных наук и инновационных технологий МГГУ им. М. А. Шолохова, кафедра математики и физики / В. Ф. Банная, Ф. А. Курова; М-во образования и науки Российской Федерации, Московский гос. гуманитарный ун-т им. М. А. Шолохова. - Москва: Московский гос. гуманитарный ун-т им. М. А. Шолохова, 2013. - 252 с. : ил., табл.; 22
11. Захаренко В. А. Физические основы электроники: лабораторный практикум / В. А. Захаренко, А. Г. Шкаев ; Омский гос. технический ун-т. - Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. - 67 с.
12. Электроника. Основы промышленной электроники: учебное пособие / [В. Я. Фролов и др.]; М-во образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский гос. политехн. ун-т. - Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та, 2013. - 47 с.
13. Нараева Рузалия Раисовна. Нелинейные электрические и магнитные цепи при постоянном токе: учебное пособие / Р. Р. Нараева; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. "Электротехника и возобновляемые источники энергии". - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. - 44.
14. Герасименко Олег Николаевич. Общая электротехника и электроника: учебное пособие: в 3 ч. / О. Н. Герасименко; Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Гос. мор. ун-т им. адмирала Ф. Ф. Ушакова". - Изд. 2-е, доп. и перераб. - Новороссийск: ГМУ им.

адмирала Ф. Ф. Ушакова, 2012-. - 21 см. ч. 2: Магнитные цепи. Трансформаторы и электрические машины. - 2012. - 99 с.

15. Бараночников Михаил Львович. Микромагнитоэлектроника / М. Л. Бараночников; под общ. ред. Мордковича В. Н. - 2-е изд., испр. - Москва: ДМК Пресс, 2011-.Т. 2: Справочные сведения о наиболее известных и распространенных изделиях магнитоэлектроники: учебное пособие для студентов технических вузов. - 2012. - 691 с.

16. Магнитные материалы микро- и наноэлектроники: учебное пособие / [Семенов А. Л. и др.]; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Иркутский гос. ун-т", Физ. фак. - Иркутск: Изд-во ИГУ, 2012. - 147 с.

17. Электротехника и основы электроники. Белов Н. В., Волков Ю. С. Издательство "Лань", 2012 -432 с.

18. Бараночников Михаил Львович. Микромагнитоэлектроника / М. Л. Бараночников; под общ. ред. Мордковича В. Н. - 2-е изд., испр. - Москва : ДМК Пресс, 2011-.Т. 1. - 2011. - 541 с.

19. Канева Ирина Ивановна. Технология микро- и наноэлектроники. Технология материалов магнитоэлектроники: лабораторный практикум / И. И. Канева, С. В. Подгорная, В. Г. Андреев; М-во образования и науки РФ, Федеральное гос. автономное образовательное учреждение высш. проф. образования "Национальный исследовательский технологический ун-т "МИСиС", Каф. технологии материалов электроники. - Москва: Изд. дом МИСиС, 2011. - 160 с.

20. Литвиненко Владимир Петрович. Основы электротехники : учебное пособие / В. П. Литвиненко; ГОУВПО "Воронежский гос. технический ун-т". - Воронеж: ГОУВПО "Воронежский гос. технический ун-т", 2007-. - 21 см. Ч. 4: Магнитные цепи, электрические машины, основы цифровой электроники. - 2011. - 174 с.

21. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ.-Изд.6-е.-М.: Мир,2003.-704с.,ил.

22. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи: Учебник для вузов/В.И.Нефедов-2-е изд., перераб. и доп.-М.:Высш.шк.2002.-510с.:ил.
23. Прянишников В.А. Электроника: Полный курс лекций.- 3-е изд., испр. и доп.-СПб.: Учитель и ученик: КОРОНА принт, 2003.-416с., ил.
24. Дульнев Г.Н., Парфенов В.Г., Сигалов А.В.. Методы расчета теплового режима приборов. – М.: Радио и связь, 1990. – 312 с
25. Найдеров В.З., Голованов З.Ф., Юсупов З.Ф., Гетман В.П., Гальперин Е.А. Функциональные устройства на микросхемах.-М.:Радио и связь,1985.-200с.,ил.
26. Scherz, P., Monk, S. Practical Electronics for Inventors, 4th edition [Text] / P. Scherz, S. Monk // New York: McGraw-Hill Education, 2016. — 1334 p. — ISBN-10 1259587541.
27. Hughes, J.M. Practical Electronics: Components and Techniques [Text] / J.M. Hughes // O'Reilly Media, 2015. — 560 p. — ISBN 978-1-449-37307-8.
28. Chan, C. All-in-One Electronics Guide [Text] / C. Chan // C & C Group of Companies LLC, 2015. — 469 p. — ISBN 978-1479117376.
29. Collis, B. An Introduction to Practical Electronics, Microcontrollers and Software Design [Text] / B. Collis // Wellington: Bill Collis, 2015. — 1030 p.
30. Platt, C. Make: More Electronics [Text] / C. Platt // Maker Media, 2014. — 392 p. — ISBN 978-1449344047.

Приложение А

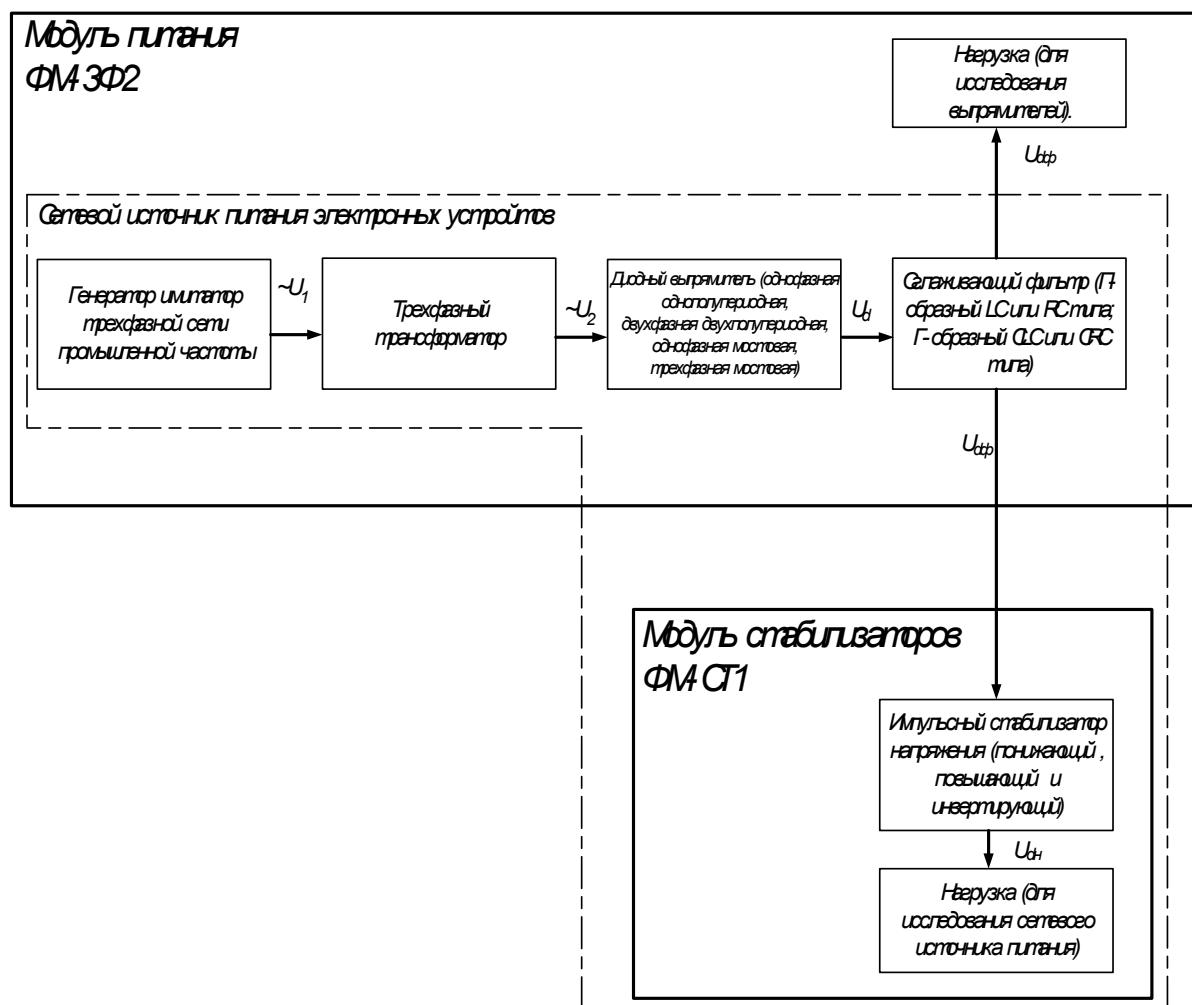


Рисунок 1А - Структурная схема лабораторного стенда для изучения темы «Силовая электроника. Силовые источники питания электронных устройств»