

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
Институт права, социального управления и безопасности
Кафедра информационной безопасности в управлении

Т.Н. Стерхова, А.С. Бас

**ВЫПРЯМИТЕЛИ: МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СХЕМОТЕХНИКА»**



Ижевск,
2023

УДК 621.314(075.8)

ББК 31.264.5р30

С797

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим Советом УдГУ

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, профессор каф. тепловые двигатели и установки ФГБОУ ВО «ИжГТУ» Е.В. Ветчанин,
канд. пед. наук, доцент, начальник сектора охран интеллектуальной собственности ФГБОУ ВО «УдГУ» А.И. Карманчиков

Стерхова Т.Н., Бас А.С.

С797 Выпрямители: методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Схемотехника» : [Электрон. ресурс]. – Ижевск : Удмуртский университет, 2023. – 36 с.

В методических рекомендациях излагаются краткие сведения из теории, необходимые для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Схемотехника», порядок выполнения работы, указания по оформлению отчёта, контрольные вопросы для проверки усвоенного материала.

Методические рекомендации предназначены для обучающихся специальности 10.05.05 «Безопасность информационных технологий в правоохранительной сфере» и направления подготовки 10.03.01 «Информационная безопасность».

УДК 621.314(075.8)

ББК 31.264.5р30

© Т.Н. Стерхова, А.С. Бас, 2023

© ФГБОУ ВО «Удмуртский

государственный университет», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Правила внутреннего распорядка и техники безопасности при выполнении работ в лаборатории «Специальная техника»	5
Оформление отчёта по лабораторным работам	7
Лабораторная работа № 1 «Изучение принципа работы и определение параметров однофазной однополупериодной схемы выпрямления»	8
Лабораторная работа № 2 «Изучение принципа работы и определение параметров однофазной двухполупериодной мостовой схемы выпрямления»	17
Лабораторная работа № 3 «Изучение принципа работы и определение параметров параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне»	26
Список литературы.....	36

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания являются составной частью комплексов учебно-методического обеспечения курсов «Схемотехника» и «Электроника и схемотехника» кафедры информационной безопасности в управлении Института права, социального управления и безопасности ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет».

В описании приведены:

- теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторных работ;
- порядок выполнения работ;
- указания по оформлению отчета;
- контрольные вопросы для проверки усвоенного материала.

При выполнении лабораторных работ обучающиеся должны достичь следующих целей:

- получить практический опыт работы с электрооборудованием, а также чтения и сборки электрических схем;
- научиться снимать показания электроизмерительных приборов, обрабатывать полученные данные и на их основе делать выводы о характере исследуемых процессов;
- получить необходимые навыки оформления электротехнической документации на основе нормативной документации для составления отчетов по лабораторным работам;
- получить практический опыт по управлению электрическим оборудованием и технике безопасности при работе с ним.

Настоящее учебное издание составлено применительно к лаборатории «Специальная техника», рассчитанной на одну учебную группу.

Коллоквиум по проверке готовности обучающихся к выполнению лабораторной работы проводится в начале каждого занятия. Хорошая подготовка к лабораторной работе – неременное условие ее эффективности, так как проведение любого эксперимента имеет смысл только в том случае, если экспериментатор отчетливо представляет себе цель эксперимента и характер ожидаемых результатов.

ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ В ЛАБОРАТОРИИ «СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА»

При работе в лаборатории «Специальная техника» во избежание несчастных случаев, а также преждевременного выхода из строя приборов и электрооборудования обучающийся при выполнении лабораторных работ должен строго соблюдать следующие правила внутреннего распорядка и техники безопасности:

1. Чтобы приступить к работе в лаборатории, обучающийся должен ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и техники безопасности.

2. Обязанность обучающегося не только строго выполнять правила техники безопасности, но и требовать неуклонного их выполнения от своих товарищей.

3. Обучающийся обязан расписаться в соответствующем журнале после ознакомления с правилами внутреннего распорядка и инструктажа по технике безопасности.

4. Категорически запрещается приносить с собой вещи и предметы, загромождающие рабочие места, способствующие созданию условий, которые могут привести к нарушению правил техники безопасности при работе в лаборатории.

5. В лаборатории запрещено покидать рабочие места и переходить от одного стенда к другому, громко разговаривать.

6. Приступая к работе в лаборатории, происходит разделение студенческой группы на бригады, которые затем распределяются по лабораторным стендам.

7. Все работы по сборке электрической цепи, в том числе переключения и исправления, производятся в строгом соответствии со схемой, представленной в методических рекомендациях, при помощи соединительных проводов при выключенном напряжении питания, обеспечивая при этом надежность электрических контактов всех разъёмных соединений.

8. Соединительные провода при сборке электрической цепи не должны перегибаться и скручиваться петлями. Приборы и электрооборудование расставляются так, чтобы было удобно ими пользоваться.

9. Собранная электрическая цепь предъявляется для проверки преподавателю или учебному мастеру.

10. Только после разрешения и в присутствии преподавателя или учебного мастера (после проверки) в электрическую цепь подается напряжение.

11. При обнаружении неисправностей в электрической цепи, в электрическом оборудовании, в приборах стенда, а также появления дыма, специфического запаха или искрения необходимо выключить напряжение питания стенда и известить об этом преподавателя или учебного мастера.

12. Запрещается прикасаться пальцами, карандашами и другими предметами к оголенным токоведущим частям электрической цепи, находящимся под напряжением.

13. После выполнения лабораторной работы необходимо выключить напряжение питания стенда, разобрать исследуемую электрическую цепь и привести в порядок рабочее место.

14. В случае поражения человека электрическим током необходимо немедленно обесточить стенд, выключив напряжение питания. При потере сознания и остановке дыхания необходимо немедленно освободить пострадавшего от стесняющей его одежды и делать искусственное дыхание до прибытия врача.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Составление отчета о проведенных исследованиях является важнейшим этапом выполнения лабораторной работы. По каждой выполненной работе обучающимися в рабочей тетради составляется отчет, руководствуясь следующими положениями:

1. Указать название и порядковый номер лабораторной работы, а также кратко сформулировать цель работы.

2. Схемы и графики вычертить с помощью трафарета радиоинженера или циркуля и линейки с соблюдением принятых стандартных условных обозначений.

3. Графические зависимости дать в прямоугольной системе координат в масштабе, с равномерными шкалами; произвольный перенос начала координат не допускается; на графиках необходимо наносить экспериментальные точки.

4. Отчет по каждой лабораторной работе должен содержать основные выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

«ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОДНОФАЗНОЙ ОДНОПОЛУПЕРИОДНОЙ СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ»

1.1. Цель работы

Изучить принцип работы однофазных однополупериодных неуправляемых выпрямителей.

1.2. Вопросы для самопроверки:

- 1) По каким признакам и как классифицируют схемы выпрямителей?
- 2) Каковы особенности работы однофазных однополупериодных неуправляемых выпрямителей на индуктивную нагрузку?
- 3) Каковы особенности работы однофазных однополупериодных неуправляемых выпрямителей на активно-емкостную нагрузку?
- 4) Каковы особенности работы однофазных однополупериодных неуправляемых выпрямителей с индуктивно-емкостным фильтром?
- 5) Как влияет тип фильтра на внешнюю характеристику однофазных однополупериодных неуправляемых выпрямителей?
- 6) Каковы особенности работы однофазного двухтактного выпрямителя на индуктивную нагрузку?
- 7) Как влияет тип фильтра на длительность импульсов тока в диодах однофазных однополупериодных неуправляемых выпрямителей?
- 8) В каких случаях эффективно применение индуктивного фильтра в однофазных однополупериодных неуправляемых выпрямителях?
- 9) Чем объясняется различие значений отношения U_{VDmax}/U_0 в схемах однофазных однополупериодных неуправляемых выпрямителей?
- 10) Какое время составляет период при частоте 50 Гц?

1.3. Краткие сведения из теории

Выпрямитель – это устройство, предназначенное для преобразования входного переменного напряжения в постоянное. Основным блоком выпрямителя является вентильный комплект, который непосредственно выполняет преобразования переменного напряжения в постоянное.

Типовая структурная схема устройства преобразования переменного тока в постоянный (выпрямителя) представлена на рисунке 1.1.

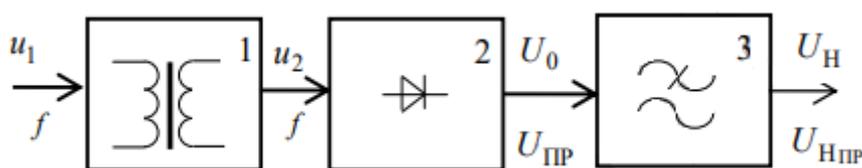


Рис. 1.1. Структурная схема выпрямителя

Трансформатор 1 обеспечивает получение требуемого напряжения U_n на выходе выпрямителя при заданном действующем значении u_1 напряжения сети, а также устраняет гальваническую связь цепей выпрямленного тока с питающей сетью, что обязательно при заземленной нагрузке.

Вентильное звено 2 (далее – ВЗ), состоящее из одного или нескольких определенным способом соединенных вентилей, осуществляет выпрямление переменного тока, т.е. пропускание его только в одном направлении. Пульсирующему току одного направления на выходе ВЗ соответствуют среднее значение напряжения U_0 и некоторые флуктуации напряжения относительно его среднего значения. Интенсивность этих флуктуаций, называемых в технике электропитания пульсациями, может быть охарактеризована по-разному, в частности напряжением полуразмаха пульсаций $U_{пр}$ и т.п.

При необходимости согласования параметров сети с параметрами нагрузки, выпрямительный комплект подключается к сети через согласующий трансформатор. По числу фаз питающей сети выпрямители бывают однофазные и трехфазные. Однофазная однополупериодная схема выпрямления (рис. 1.2) является простейшей. Полупроводниковый диод VD1, обладающий односторонней проводимостью, включается последовательно с нагрузкой R_d .

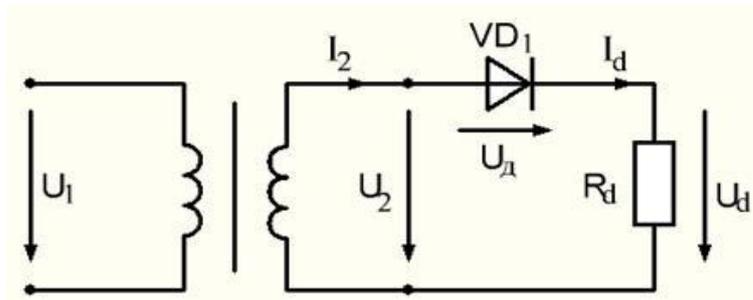


Рис. 1.2. Однополупериодная схема выпрямления

Временные диаграммы (рис. 1.3) напряжений и токов выпрямителя показывают, что в такой схеме ток i_d через нагрузку протекает только в течение положительного полупериода напряжения u_2 , поступающего со вторичной обмотки трансформатора (рис. 1.3 а, б). В результате на нагрузке R_d появляется пульсирующее напряжение u_d положительной полярности (рис. 1.3 в). В отрицательный полупериод напряжения u_2 диод VD1 закрывается, ток $i_d=0$ и диод оказывается под воздействием обратного напряжения u_2 , максимальное значение которого равно амплитуде U_{2m} , т.е. напряжение на диоде (рис. 1.3 г).

$$U_d = U_{обрmax} = U_{2m}$$

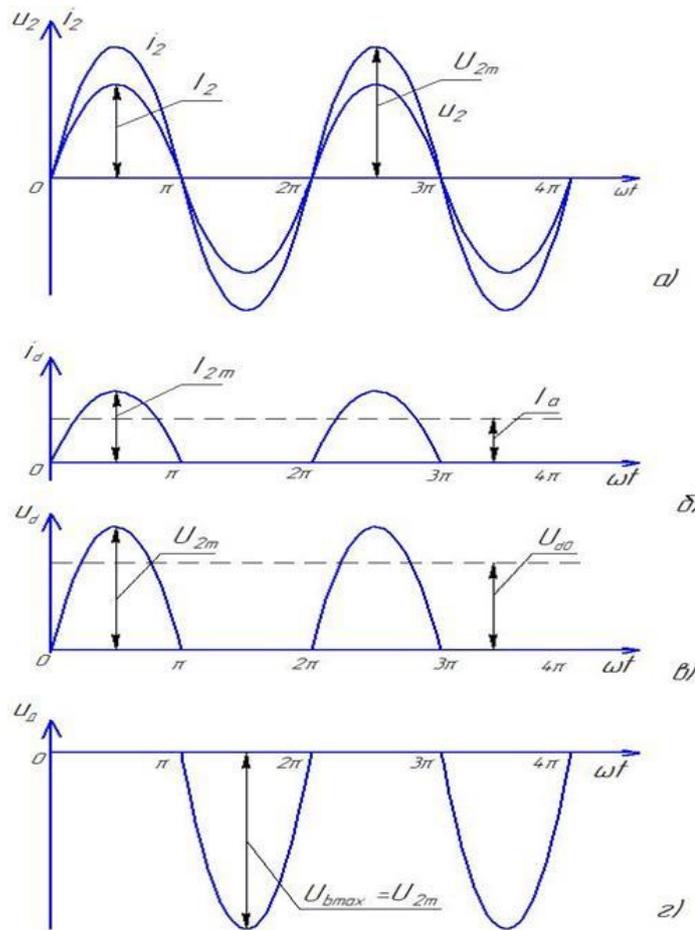


Рис. 1.3. Временные диаграммы однополупериодной схемы

Выпрямленное *пульсирующее напряжение* на нагрузке u_d описывается выражением

$$u_d = U_{2m} \sin \omega t$$

в диапазоне

$$\omega t = 0 \div \pi, 2\pi \div 3\pi$$

и т.д. и может быть представлено суммой постоянной и переменной составляющих

$$u_d = U_{d0} + U_{\text{пер}}$$

Несинусоидальная переменная составляющая $U_{\text{пер}}$ может быть представлена рядом гармоник, т.е. рядом синусоидальных составляющих с увеличивающейся с порядковым номером частотой и убывающей амплитудой. Тогда пульсирующее напряжение может быть представлено в виде гармонического ряда Фурье:

$$u_d = U_{d0} + \sum_{k=1}^{\infty} U_k \sin k\omega t,$$

который для однополупериодной схемы выпрямления запишется в виде выражения:

$$u_d = U_{d0} + 1,57U_{d0} \sin \omega t + \frac{2}{3}U_{d0} \sin 2\omega t - \frac{2}{15}U_{d0} \sin 4\omega t + \dots$$

С помощью ряда Фурье определяются основные параметры схемы выпрямления.

Постоянная составляющая U_{d0} рассчитывается как среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке при работе выпрямителя в режиме холостого хода за период напряжения сети:

$$U_{d0} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_{2m} \sin \omega t dt = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0,45U_2.$$

Среднее значение пульсирующего тока в нагрузке определяется выражением:

$$I_d = \frac{U_{d0}}{R_d}.$$

Переменная составляющая выпрямленного напряжения характеризуется своим максимальным значением (основной гармоникой):

$$u_{ог} = 1,57U_{d0} \sin \omega t,$$

где $U_m = 1,57U_{d0}$ – амплитуда основной гармоники.

Эффективность работы выпрямителя определяется величиной *коэффициента пульсаций* q_n , который определяется отношением амплитуды основной гармоники U_m к среднему значению выпрямленного напряжения U_{d0} :

$$q_n = \frac{U_m}{U_{d0}} = \frac{1,57U_{d0}}{U_{d0}} = 1,57.$$

При этом частота пульсаций основной гармоники совпадает с частотой пульсаций *выпрямленного напряжения* U_d и равна *частоте* напряжения сети:

$$f_n = f_c = 50 \text{ Гц}.$$

Достоинство однополупериодной схемы – простота. *Недостатки* – большие габариты трансформатора, большой коэффициент пульсаций, низкая частота основной гармоники. Поэтому такая схема выпрямления находит ограниченное применение, в основном для питания цепей малой мощности и высокого напряжения, например электронно-лучевых трубок.

Основные соотношения для схем выпрямителей:

$u_d(t)$ – мгновенное значение синусоидального напряжения;

$u_d(t) = U_m \sin \omega t = \sqrt{2} U \sin \omega t$;

U_m – амплитудное значение синусоидального напряжения;

U – действующее значение синусоидального напряжения;

U_2 – действующее значение напряжения выходной обмотки трансформатора;

U_d – постоянная составляющая выпрямленного напряжения (среднее значение выпрямленного напряжения);

U_{d0} – постоянная составляющая выпрямленного напряжения в режиме холостого хода,

$$U_d = \frac{1}{T_{II}} \int_{t_0}^{T_n} u_d(t) dt$$

Для нерегулируемых выпрямителей

$$U_d = U \sqrt{2} \frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p}$$

p – коэффициент пульсности;

$p = mn$;

m – число фаз выпрямляемого напряжения;

n – число полупериодов выпрямления;

K_o – коэффициент преобразования переменного напряжения в постоянное

$$K_o = U_d / U_2,$$

$$K_o = \sqrt{2} \frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p}$$

Таблица 1.1

Расчетные показатели

p	2	3	6	12
K_o				
k_{II}				

$U_{\sim m}$ – амплитуда переменной составляющей выпрямленного напряжения.

С достаточной степенью точности можно считать, что

$$U_{\sim m} = U_{\sim m1},$$

где $U_{\sim m1}$ – амплитуда первой гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения;

k_{II} – коэффициент пульсации выпрямленного напряжения.

Оценивается как относительная величина амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения,

$$k_{II} = U_{\sim m} / U_d \approx U_{\sim m1} / U_d;$$

I_2 – действующее значение тока выходной обмотки трансформатора;

$I_{2\text{ ср}}$ – среднее значение тока выходной обмотки трансформатора;

I_d – среднее значение выпрямленного тока;

$I_{B\text{ ср}}$ – среднее значение тока диода;

$I_{B\text{ макс}}$ – максимальное значение тока диода;

$U_{\text{ОБР МАКС}}$ – максимальное обратное напряжение на диоде.

1.4. Экспериментальная часть

1. Установить Сменный блок № 1 «Выпрямители».

2. Произвести соединение проводами перемычками элементов стенда.

Рекомендуемая схема соединений изображена на рисунке 1.4. Нагрузку R_Н установить «грубо» в положение «10». Практическая схема подключения соединений представлена на рисунке 1.5 (см. стр. 14).

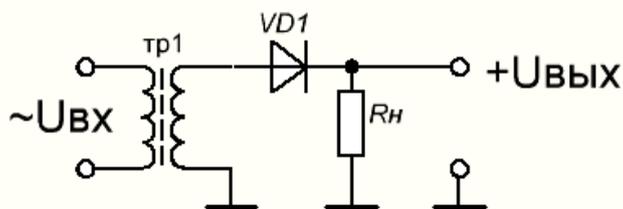


Рис. 1.4. Рекомендуемая схема соединений

Для снятия внешней характеристики $U_d = f(I_d)$ необходимо изменять ток, протекающий через диод, для этого необходимо изменять нагрузку с помощью переключателей «Грубо», «Точно». Результаты измерений занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Полученные результаты при различных положениях переключателя

Измерительный прибор	Измеряемая величина	Положение переключателя «R _Н грубо»									
A2	I _d , мА										
V2 в реж. «=>»	U _d , В										
V2 в реж. «~>»	U _{~d} , В										
V1	U ₂ , В										

3. С помощью осциллографа зарисовать форму выпрямленного сигнала на нагрузке и на обмотках трансформатора (зарисовать форму сигнала).

Провести осциллографирование:

- напряжения на вторичной обмотке трансформатора;
- напряжения между анодом и катодом диода;
- напряжения на R_н. Зафиксировать значение амплитуды переменной составляющей выпрямленного напряжения U_{~м}.

4. Построить внешнюю характеристику выпрямителя $U_d = f(I_d)$.

5. Определить параметры выпрямителя:

5.1. Рассчитать коэффициент преобразования переменного напряжения в постоянное в режиме холостого хода:

$$K_0 = U_{d0} / U_2.$$

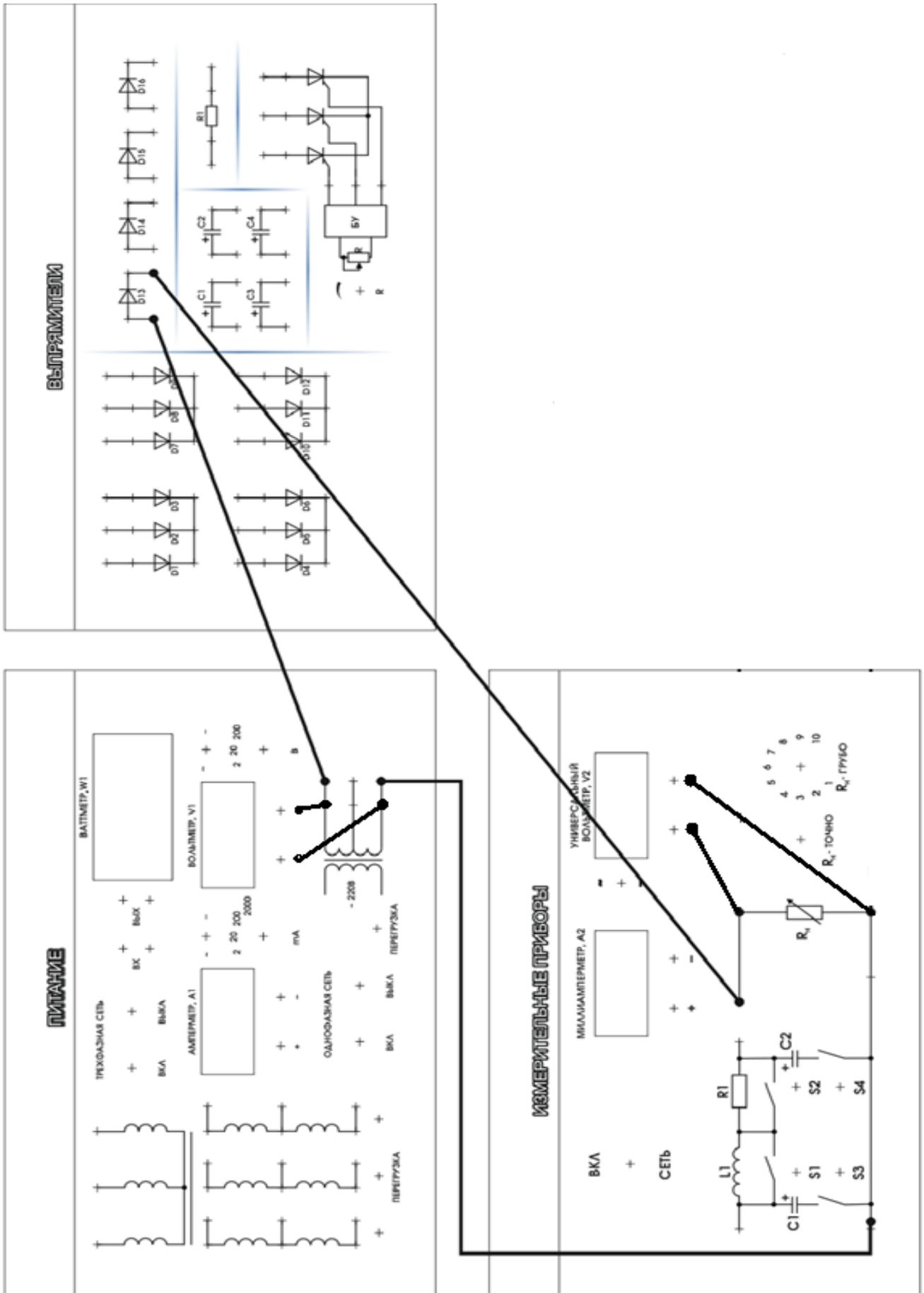


Рис. 1.5. Практическая схема подключения соединений

5.2. Рассчитать коэффициент пульсации выпрямленного напряжения в режиме малых токов:

$$k_{\Pi} = U_{\sim m} / U_d.$$

Произвести расчет k_{Π} , используя величину $U_{\sim m}$, измеренную с помощью осциллографа. Сравнить полученные результаты расчетов.

5.3. Рассчитать отношение $U_{\text{ОБР МАКС}} / U_d$.

5.4. Рассчитать отношение $I_{\text{В МАКС}} / I_d$.

Принципиальная схема и осциллограммы напряжения в различных точках однополупериодного выпрямителя приведены на рисунке 1.6.

Результаты расчетов занести в табл. 1.3.

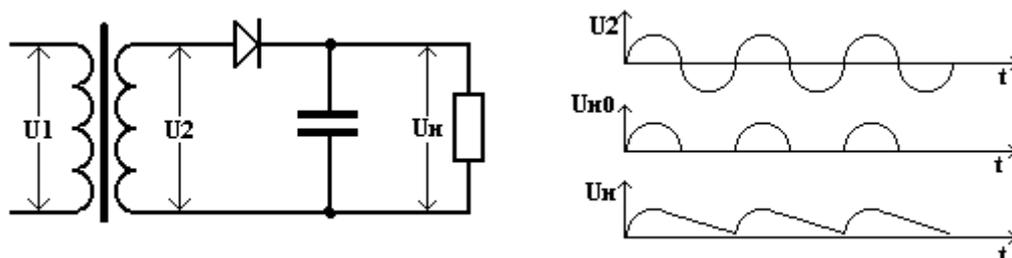


Рис. 1.6. Принципиальная схема и осциллограммы напряжения в различных точках однополупериодного выпрямителя

U_2 – Напряжение на вторичной обмотке трансформатора.

U_n – Напряжение на нагрузке.

$U_{н0}$ – Напряжение на нагрузке при отсутствии конденсатора.

Таблица 1.3

Расчетные показатели

Величина	Тип схемы выпрямления			
	Однофазная однополупериодная	Однофазная двухполупериодная с выводом от средней точки трансформатора	Однофазная мостовая	Трёхфазная мостовая с соединением обмоток звездой
p	1	2	2	6
$K_o = U_{do} / U_2$				
$I_{\text{В МАКС}} / I_d$				
$I_{\text{В ср}} / I_d$				
$U_{\text{ОБР МАКС}} / U_{do}$				
k_{Π}				

1.5. Контрольные вопросы:

1) Как работает однофазная однополупериодная схема выпрямления?

Основные параметры этой схемы.

2) Как описывается выпрямленное пульсирующее напряжение?

3) Что описывает выражение $I_d = \frac{U_{d0}}{R_d}$?

4) Приведите возможные области применения рассмотренной схемы выпрямителя.

5) Как изменение нагрузки выпрямителя сказывается на величине коэффициента пульсаций?

6) Приведите определение коэффициентов амплитуды и формы переменной составляющей выпрямленного однополупериодного напряжения.

7) Что называют неуправляемым выпрямителем?

8) Что такое пульсации выпрямленного тока?

9) Как определяется коэффициент пульсаций?

10) Меры борьбы с пульсациями.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

«ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОДНОФАЗНОЙ ДВУХПОЛУПЕРИОДНОЙ МОСТОВОЙ СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ»

2.1. Цель работы

Изучить принцип работы и определение параметров однофазной двухполупериодной мостовой схемы выпрямления.

2.2. Вопросы для самопроверки:

- 1) Пояснить работу однофазной двухполупериодной мостовой схемы выпрямления по электрической схеме и осциллограммам.
- 2) Каковы особенности работы однофазной двухполупериодной мостовой схемы выпрямления на индуктивную нагрузку?
- 3) Каковы особенности работы однофазной двухполупериодной мостовой схемы выпрямления на активно-емкостную нагрузку?
- 4) Каковы особенности работы однофазной двухполупериодной мостовой схемы выпрямления с индуктивно-емкостным фильтром?
- 5) Как влияет тип фильтра на внешнюю характеристику выпрямителя?
- 6) Поясните нагрузочную характеристику.
- 7) Как влияет тип фильтра на длительность импульсов тока в диодах однофазной двухполупериодной мостовой схемы выпрямления?
- 8) В каких случаях эффективно применение индуктивного фильтра в однофазной двухполупериодной мостовой схеме выпрямления?
- 9) Чем объясняется различие значений отношения U_{VDmax}/U_0 в однофазной двухполупериодной мостовой схеме выпрямления?
- 10) Как определяется КПД выпрямителя?

2.3. Краткие сведения из теории

Мостовая двухполупериодная схема характеризуется хорошим использованием мощности трансформатора, применяется при мощностях в нагрузке до 1 кВт и более (рис. 2.1).

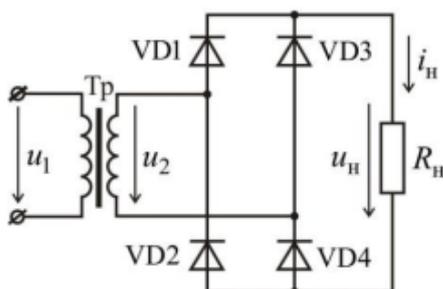


Рис. 2.1. Мостовая двухполупериодная схема выпрямителя

Достоинства выпрямителей, выполненных по этой схеме, – повышенная частота пульсаций, меньшее обратное напряжение на выпрямляющих диодах. Недостатки – повышенное падение напряжения на выпрямительном блоке, невозможность установки однотипных диодов на общем радиаторе без электроизоляционных прокладок.

Временные диаграммы однофазного двухполупериодного (мостового) выпрямителя (рис. 2.2).

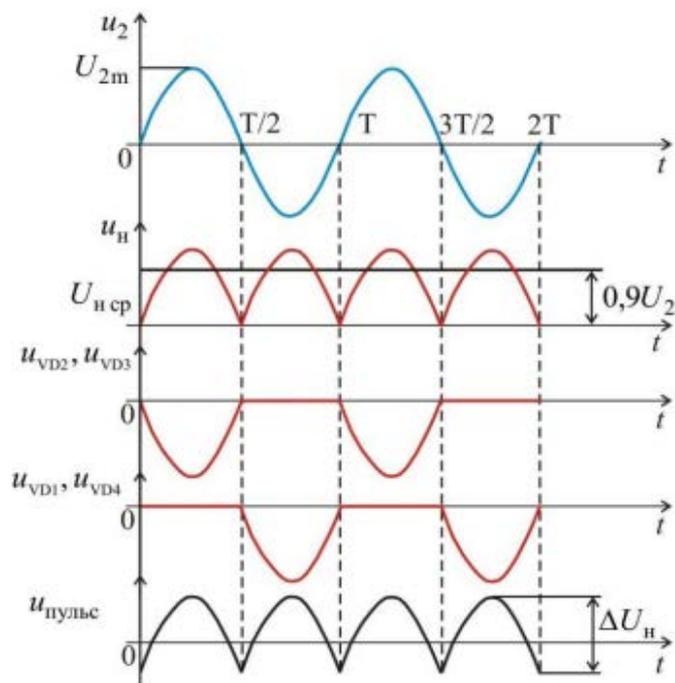


Рис. 2.2. Временные диаграммы однофазного двухполупериодного (мостового) выпрямителя

В интервале времени $0 - T/2$ напряжение на вторичной обмотке трансформатора $u_2 > 0$, следовательно, диоды VD1 и VD4 открыты и напряжение на нагрузке u_n повторяет положительную волну $u_2(t)$.

На интервале $T/2 - T$ напряжение $u_2(t) < 0$, следовательно, диоды VD2 и VD3 открыты, а VD1 и VD4 закрыты. Ток через нагрузку сохраняет то же направление, что и на интервале $0 - T/2$, а значит, напряжение $u_n(t)$ не изменяет свою полярность. Далее процессы повторяются.

Таким образом, напряжение на нагрузке однополярно и имеет пульсирующий характер с постоянной составляющей

$$U_{n\text{ ср}} = \frac{2}{T} \int_0^T u_2(t) dt = 0,9 * U_2$$

$$U_2 = 1,11 * U_{n\text{ ср}}$$

Диоды по прямому току и обратному напряжению выбираются по соотношениям

$$I_n = I_{н\text{ ср}} / 2$$

$$U_{\text{обр макс}} = \frac{\pi}{2} * U_{n\text{ ср}}$$

Выражения обусловлены тем, что каждый диод открыт в течение половины периода выпрямленного напряжения.

Для данной схемы выпрямления, как видно из временных диаграмм (рис. 2.2), частота пульсаций вдвое превышает сетевую частоту, а $\Delta U_H = U_{2m}$.

Преимуществами мостовой схемы по сравнению с предыдущей является более легкий режим работы диодов (при одинаковых $U_{H\text{ ср}}$ и $I_{H\text{ ср}}$). Также в мостовой схеме лучше используется трансформатор, так как ток вторичной обмотки $i_2(t)$ не имеет постоянной составляющей, подмагничивающей сердечник трансформатора.

Качество выпрямленного напряжения $u_H(t)$ количественно оценивается величиной коэффициента пульсаций, которую можно вычислить при разложении периодической функции $u_H(t)$ в ряд Фурье. Для однополупериодного выпрямления это разложение имеет вид:

$$U_H(t) = \frac{U_{2m}}{\pi} \left(1 + \frac{\pi}{2} \oplus \cos\omega t + \frac{2}{3} \cdot \cos 2\omega t + \dots \right),$$

для двухполупериодного выпрямления –

$$u_H(t) = \frac{2 U_{2m}}{\pi} \left(1 + \frac{2}{3} \oplus \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cdot \cos 4\omega t - \dots \right)$$

Каждое разложение имеет постоянную составляющую, не зависящую от времени, и гармоники (основную и высшие), которые называют пульсациями. Количественно наличие пульсаций оценивается коэффициентом пульсаций K_{π} , равным отношению амплитуды основной гармоники в разложении к постоянной составляющей, которая и есть $U_{H\text{ ср}}$. Для однополупериодного выпрямления $K_{\pi} = \frac{\pi}{2} \approx 1,57$, а для двухполупериодного $K_{\pi} = \frac{2}{3} \approx 0,67$. Чем меньше K_{π} , тем выше качество выпрямленного напряжения. У идеального источника питания $K_{\pi} = 0$.

При экспериментальных исследованиях коэффициент пульсаций можно приближенно вычислять как отношение амплитуды переменной составляющей выпрямленного напряжения $U_{H\sim} = \frac{\Delta U_H}{2}$ к среднему выпрямленному напряжению $U_{H\text{ ср}}$

$$K_{\pi} = \frac{\Delta U_{H\sim}}{U_{H\text{ ср}}} = \frac{\Delta U_H}{2U_{H\text{ ср}}}$$

Проведённый анализ работы схем выпрямителей не учитывал влияние на выходное напряжение выпрямителя внутреннего сопротивления трансформатора и сопротивления диодов, а также потерь из-за прямого падения напряжения на открытых диодах.

На *холостом ходу* выпрямителя выходное напряжение будет меньше расчётного на величину прямого падения напряжения на открытых диодах. Для однополупериодной и двухполупериодной схем последовательно с нагрузкой включён только один диод, а в мостовой схеме – два. Поэтому мостовая схема для малых выходных напряжений не применяется, так как падение напряжения на двух диодах существенно снижает коэффициент полезного действия схемы. Предположим, выходное напряжение выпрямителя равно 3 В. На каждом из диодов мостовой схемы прямое падение напряжения составит около 1 В, итого 2 В. То есть трансформатор должен иметь на вторичной обмотке запас по напряжению в 40 % из-за потерь в диодах.

Под нагрузкой выходное напряжение выпрямителя начнёт уменьшаться из-за потерь напряжения на внутреннем сопротивлении трансформатора и диодов. Зависимость выходного напряжения выпрямителя от тока нагрузки называется *внешней характеристикой*.

Аппроксимация второго порядка

В действительности мы не получаем идеальное напряжение на нагрузочном резисторе. Из-за потенциального барьера диоды не включаются, пока источник напряжения не достигнет около 0,7 В.

И поскольку в мостовом выпрямителе работают по два диода за раз, то падение напряжения составит $0,7 \times 2 = 1,4$ В. Таким образом, пиковое выходное напряжение определяется следующим образом:

$$U_{p(out)} = U_{p(in)} - 1.4U$$

Выходная частота

Полноволновой выпрямитель инвертирует каждый отрицательный полупериод, удваивая количество положительных полупериодов. Из-за этого у такого выпрямителя на выходе в два раза больше циклов, чем на входе. Поэтому частота полноволнового сигнала в два раза превышает входную частоту:

$$f_{out} = 2f_{in}$$

Например, если частота на входе составляет 50 Гц, выходная частота будет 100 Гц.

Фильтрация постоянного напряжения

Сигнал на выходе, который мы получаем от двухполупериодного мостового выпрямителя, является по сути пульсирующим постоянным напряжением, которое вырастает до максимума, а затем снижается до нуля.

Для того чтобы избавиться от пульсаций, нам необходимо отфильтровать двухволновой сигнал. Один из способов сделать это – подключить сглаживающий конденсатор (рис. 2.3).

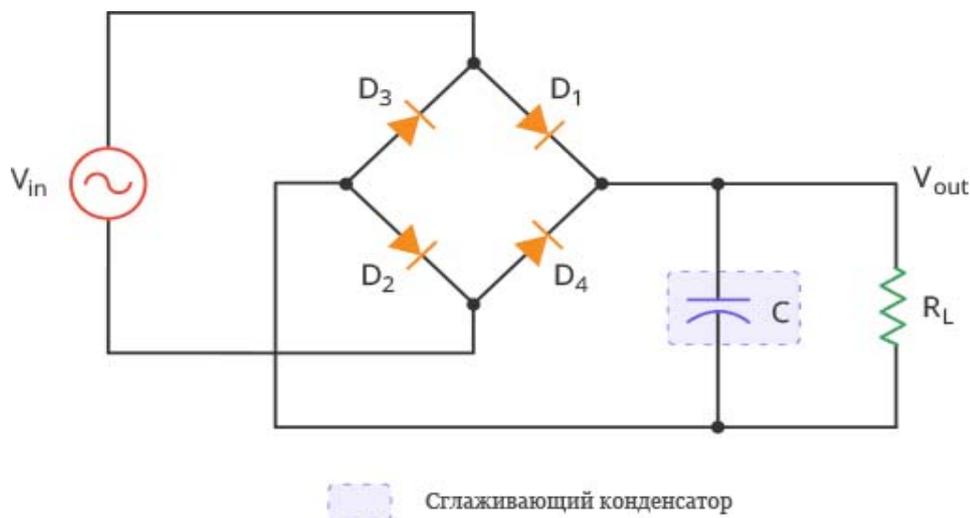


Рис. 2.3. Схема выпрямителя с подключенным сглаживающим конденсатором

Первоначально конденсатор разряжен. На протяжении первой четверти цикла диоды D1 и D2 смещены в прямом направлении, и из-за этого сглаживающий конденсатор начинает заряжаться. Процесс заряда длится до тех пор, пока напряжение с мостового выпрямителя не достигнет своего пикового значения. В этот момент напряжение на конденсаторе будет равно V_p .

После того как напряжение с выпрямителя достигает своего пика, оно начинает уменьшаться. Как только напряжение снизится ниже V_p , соответствующая пара диодов (D1 и D2) не будет проводить.

Когда диоды выключены, конденсатор разряжается через нагрузку, пока не будет достигнут следующий пик. Когда наступает следующий пик, конденсатор заряжается уже через диоды D3 и D4 до пикового значения (рис. 2.4).

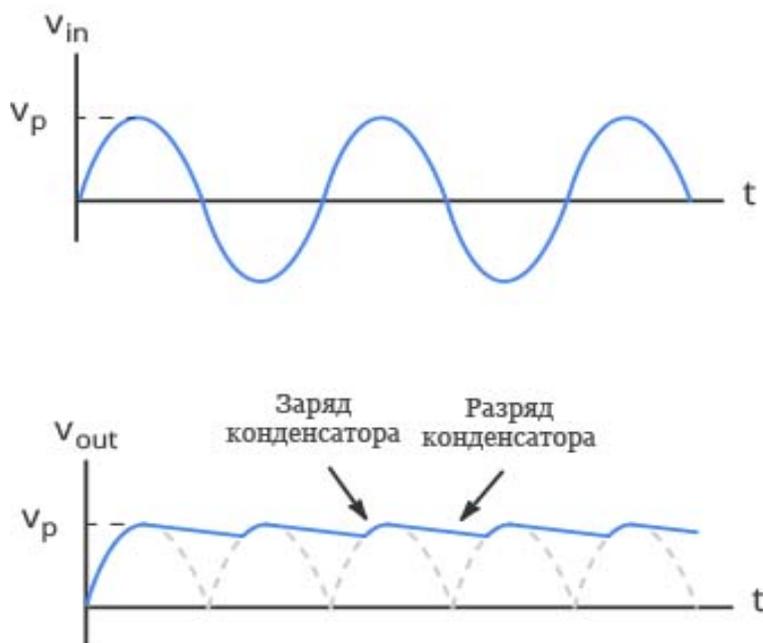


Рис. 2.4. Диаграммы выпрямителя с подключенным сглаживающим конденсатором

Недостатки мостового выпрямителя

Единственным недостатком мостового выпрямителя является то, что выходное напряжение меньше, чем входное напряжение на 1,4 В в результате падения на двух диодах.

Этот недостаток ощутим только в источниках питания с очень низким напряжением. Например, если пиковое напряжение источника составляет всего 5 В, то напряжение нагрузки будет иметь только 3,6 В.

Но если пиковое напряжение источника составляет 100 В, напряжение нагрузки будет близко к идеальному двухполупериодному напряжению, и влияние падения на диодах будет незначительным.

2.4. Экспериментальная часть

Порядок проведения работы:

1. Установить и закрепить на стойке два стационарных блока «Питание», «Измерительные приборы» и сменный блок № 1 «Выпрямители».

2. Произвести соединение проводами перемычками элементов стенда. Рекомендуемая схема соединений, изображена на рисунках 2.5 и 2.6 (см. стр. 23). Нагрузку R₂ установить «грубо» в положение «10». Для полноты исследований требуемую нагрузку подобрать с помощью переключателей «Грубо», «Точно». Результаты измерений занести в табл. 2.1.

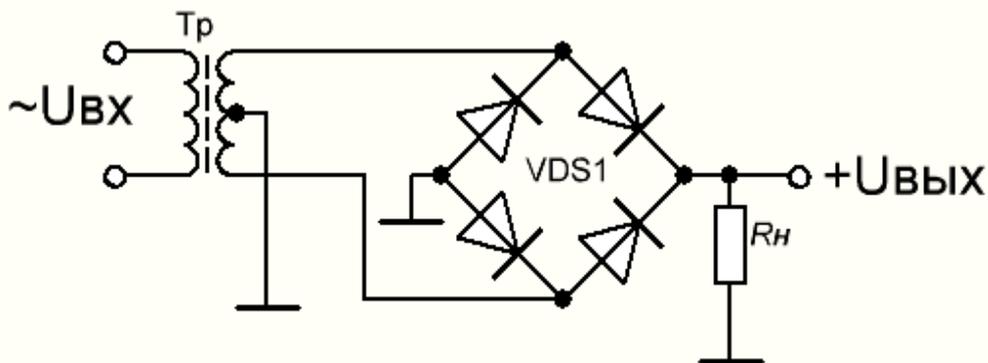


Рис. 2.5. Принципиальная схема выпрямителя

Таблица 2.1

Полученные результаты при различных положениях переключателя

Измерительный прибор	Измеряемая величина	Положение переключателя «R _н грубо»							
A ₂	I _d , мА								
V ₂ в реж. «=»	U _d , В								
V ₂ в реж. «~»	U _{~d} , В								
V ₁	U ₂ , В								

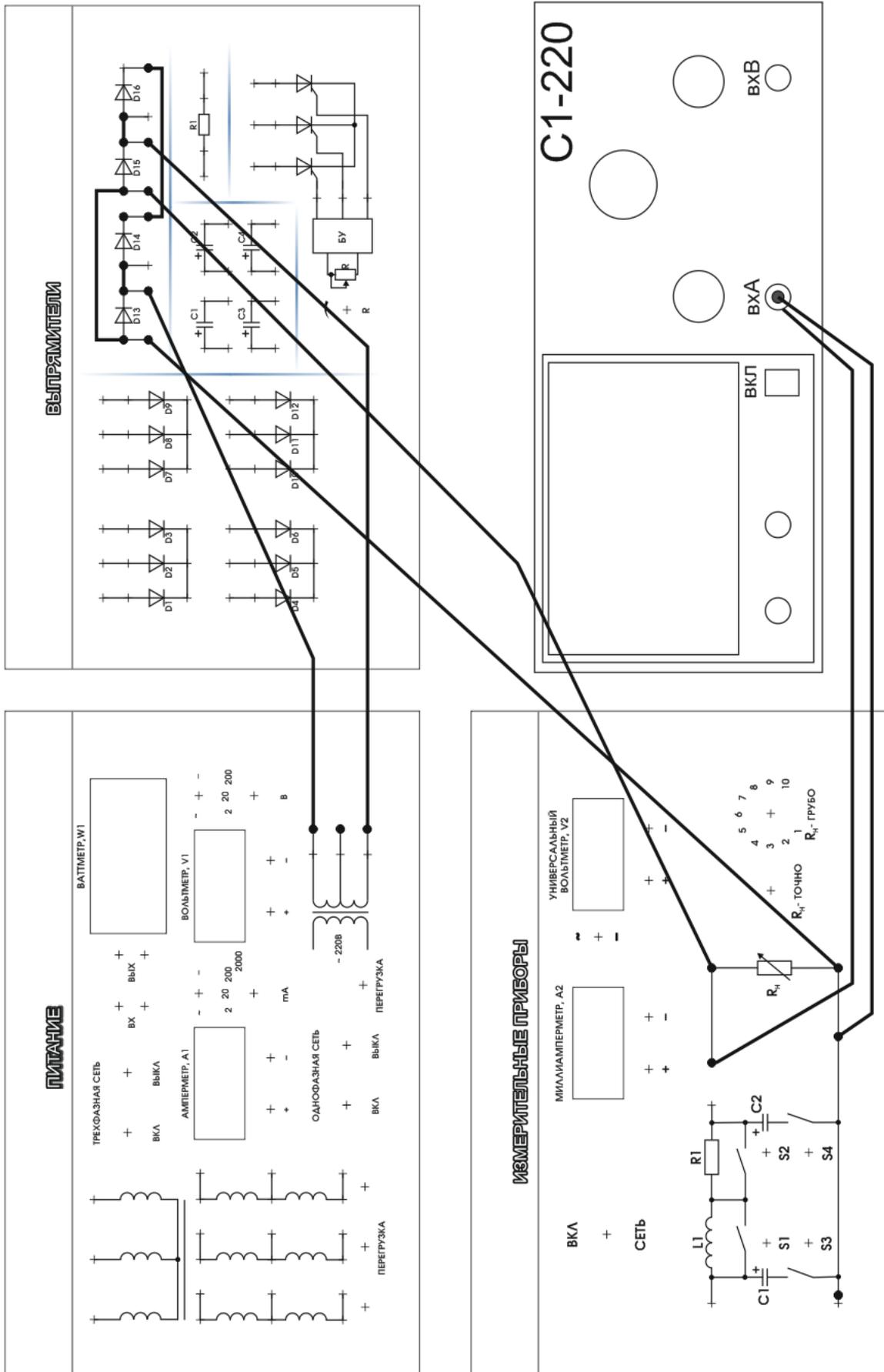


Рис. 2.6. Практическая схема подключения соединений

3. Снять внешнюю характеристику выпрямителя $U_d = f(I_d)$.

3.1. Постепенно увеличивать ток через R_n , уменьшая его сопротивление. Установить амперметр А1 блока питания (последовательно нагрузке); вольтметром измерять напряжение на нагрузке.

4. Построить внешнюю характеристику выпрямителя $U_d = f(I_d)$.

5. Определить параметры выпрямителя:

5.1. Рассчитать коэффициент преобразования переменного напряжения в постоянное в режиме холостого хода:

$$K_o = U_{d0} / U_2$$

5.2. Рассчитать коэффициент пульсации выпрямленного напряжения в режиме малых токов:

$$k_{\Pi} = U_{\sim m} / U_d$$

Для определения величины $U_{\sim m}$ воспользоваться формулой:

$$U_{\sim m} = U_{\sim d} * k_A * k_{\Phi} / k_{\Phi C},$$

где $U_{\sim d}$ – показания вольтметра PV2;

$k_{\Phi C} 1,11$ – коэффициент формы синусоидального напряжения;

k_{Φ} – коэффициент формы переменной составляющей выпрямленного напряжения;

k_A – коэффициент амплитуды переменной составляющей выпрямленного напряжения. Произвести расчет k_{Π} , используя величину $U_{\sim m}$, измеренную с помощью осциллографа.

5.3. Рассчитать отношение $U_{\text{ОБР МАКС}} / U_d$.

5.4. Рассчитать отношение $I_{\text{В МАКС}} / I_d$.

5.5. Рассчитать отношение $I_{\text{В СР}} / I_d$.

5.6. Рассчитать отношение I_2 / I_d для различных значений I_d . Сделать необходимые выводы.

Сравнить полученные результаты расчетов с теоретическими данными.

Провести осциллографирование:

- напряжения на вторичной обмотке трансформатора;
- напряжения между анодом и катодом диода;
- напряжения на R_n .

Зафиксировать значение амплитуды переменной составляющей выпрямленного напряжения $U_{\sim m}$.

Примечание: приведенные в данном руководстве принципиальные схемы и схема внешних соединений показаны в качестве примера и носят рекомендательный характер.

2.5. Контрольные вопросы

- 1) Как работает однофазная двухполупериодная мостовая схема выпрямления?
- 2) Как влияет изменение характера нагрузки на работу исследуемого выпрямителя, вид внешней характеристики?
- 3) Чем и почему отличаются осциллограммы напряжений на выходе трансформатора и схемы выпрямления?
- 4) Приведите возможные области применения рассмотренной схемы выпрямителя.
- 5) Как изменение нагрузки выпрямителя сказывается на величине коэффициента пульсаций?
- 6) Приведите определение коэффициентов амплитуды и формы переменной составляющей выпрямленного двухполупериодного напряжения.
- 7) Поясните, почему наклон внешней характеристики в схеме двухполупериодного выпрямителя с фильтром меньше, чем в схеме однополупериодного выпрямления?
- 8) В каком случае диоды VD1 и VD4 открыты, и напряжение на нагрузке u_H повторяет положительную волну $u_2(t)$?
- 9) Чему равен коэффициент пульсаций?
- 10) Каково назначение элементов выпрямителей?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

«ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ НА СТАБИЛИТРОНЕ»

3.1. Цель работы

Исследование принципа действия параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне.

3.2. Вопросы для самопроверки:

- 1) Что такое стабилитрон?
- 2) Что такое стабилитрон тлеющего разряда?
- 3) Какие механизмы лежат в основе работы стабилитрона?
- 4) Каких видов бывают стабилитроны?
- 5) Что является параметрами стабилитрона?
- 6) В каких цепях работают стабилитроны?
- 7) У каких стабилитронов возникает туннельный пробой?
- 8) Полупроводниковый стабилитрон – это полупроводниковый диод, напряжение на котором в области электрического пробоя слабо зависит от тока и который служит для...
- 9) Если увеличить амплитуду синусоидального напряжения U_m на катушке со стальным сердечником (сердечник не насыщен), то амплитуда магнитного потока...

3.3. Краткие сведения из теории

Схемы полупроводниковых стабилизаторов чаще всего выполняются на основе использования стабилитрона. Стабилитрон – это кремниевый диод с определенной технологией изготовления р-п -перехода. Его вольт-амперная характеристика (далее – ВАХ) имеет участок стабильного напряжения в области отрицательных значений (рис. 3.1 на стр. 27). Параметрами стабилитрона являются: стабилизация (от единиц вольт до 180 В), минимальный и максимальный ток стабилизации; допустимая мощность, выделяемая на стабилитроне в режиме на ветви стабилизации. Непараллельность ветви стабилизации ВАХ по отношению к оси тока определяется дифференциальным сопротивлением весьма малого значения. Для прямого тока и напряжения стабилитрон обладает ВАХ обычного маломощного кремниевого диода.

Одним из типов стабилизаторов является *параметрический стабилизатор* напряжения (рис. 3.2 на стр. 27). Рабочий режим стабилитрона выбран на ветви стабилизации его ВАХ.

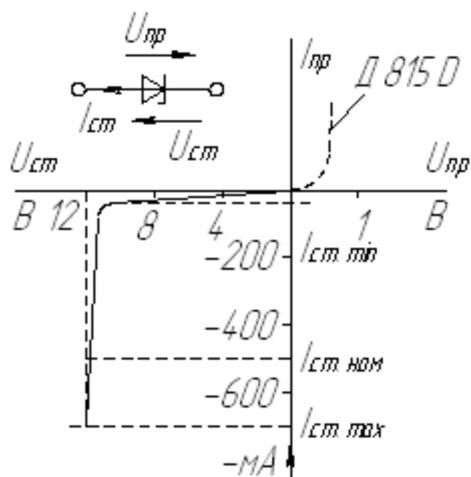


Рис. 3.1. ВАХ стабилитрона

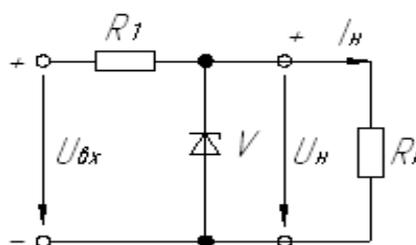


Рис. 3.2. Параметрический стабилизатор напряжения

Данная схема представляет собой делитель напряжения, состоящий из балластного резистора R_1 и стабилитрона V , параллельно которому включено сопротивление нагрузки $R_н$. Такой стабилизатор напряжения обеспечивает стабилизацию выходного напряжения при изменении напряжения питания $U_п$ и тока нагрузки $I_н$.

Рассмотрим *принцип работы* данной схемы. Увеличение напряжения на входе стабилизатора приводит к увеличению тока, который проходит через резистор R_1 и стабилитрон V . За счёт своей вольт-амперной характеристики напряжение на стабилитроне V практически не изменится, а соответственно, напряжение на сопротивлении нагрузки $R_н$ – тоже. Поэтому, практически всё изменение напряжения будет приложено к резистору R_1 . Таким образом, достаточно легко подсчитать необходимые параметры схемы.

Коэффициент стабилизации определяется как отношение приращения входного напряжения к вызываемому им приращению выходного напряжения стабилизатора:

$$K_{ст} = \Delta U_{вх} / \Delta U_{вых}$$

Особенности вольт-амперной характеристики стабилитрона делают его пригодным для стабилизации постоянного напряжения на нагрузке. Для этого нагрузку включают параллельно стабилитрону и подсоединяют к источнику через балластный резистор.

Сменный блок «Исследование схем стабилизаторов постоянного напряжения» включает четыре схемы.

Для проведения исследований на вход изучаемой схемы стабилизатора подается напряжение от встроенного в блок источника постоянного напряжения. Выходное напряжение источника не стабилизировано и регулируется в пределах от 5 вольт до 20 вольт. Источник защищен от кратковременной перегрузки. При перегрузке источника мигает светодиод «Перегрузка».

$$R1 = \frac{U_0 - U_1}{I_{ST} + I_H} = \frac{12 - 5}{0,01 + 0,01} = 350 \text{ Ом}$$

Определяем коэффициент стабилизации:

$$k_{ST} = \left(1 - \frac{R1(I_{ST} + I_H)}{U_0} \right) * \frac{R1 + r_{ST}}{r_{ST}} =$$

$$= \left(1 - \frac{350(0,01 + 0,01)}{12} \right) * \frac{350 + 10}{10} \approx 15$$

Определяем коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{I_{ST} U_{ST}}{U_0 (I_{ST} + I_H)} = \frac{5,1 * 0,01}{12 * (0,01 + 0,01)} \approx 0,213$$

Увеличение мощности параметрического стабилизатора

Максимальная выходная мощность простейшего параметрического стабилизатора напряжения зависит от значений $I_{CT,max}$ и P_{max} стабилитрона. Мощность параметрического стабилизатора может быть увеличена, если в качестве регулирующего компонента использовать транзистор, который будет выступать в качестве усилителя постоянного тока.

Параллельный стабилизатор (рис. 3.3):

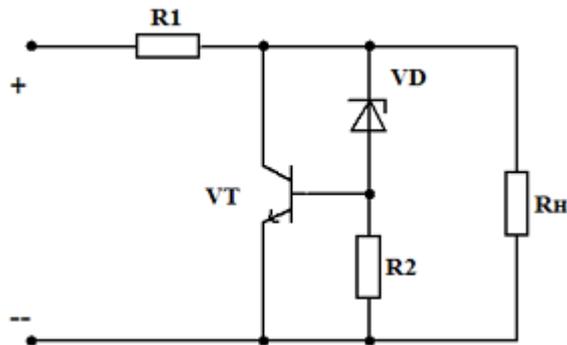


Рис. 3.3. Схема параметрического стабилизатора напряжения с параллельным включением транзистора

Схема представляет собой эмиттерный повторитель. Параллельно транзистору VT включено сопротивление нагрузки R_H . Балластный резистор R1 может быть включён как в коллекторную, так и в эмиттерную цепи транзистора. Напряжение на нагрузке равно

$$U_0 = U_{CT} + U_{EB}$$

Схема работает следующим образом. При увеличении тока через резистор R_H , а соответственно, и напряжения ($U1 = U_{CT}$) на выходе стабилизатора, происходит увеличение напряжения база-эмиттер (U_{EB}) и коллекторного тока I_K , так как транзистор работает в области усиления. Возрастание коллекторного тока приводит к увеличению падения напряжения на балластном резисторе R1,

что компенсирует рост напряжения на выходе стабилизатора ($U_1 = U_{CT}$). Поскольку ток I_{CT} стабилитрона является одновременно базовым током транзистора, очевидно, что ток нагрузки в этой схеме может быть в h_{21e} раз больше, чем в простейшей схеме параметрического стабилизатора. Резистор R_2 увеличивает ток через стабилитрон, обеспечивая его устойчивую работу при максимальном значении коэффициента h_{21e} , минимальном напряжении питания U_0 и максимальном токе нагрузки I_H .

Коэффициент стабилизации будет равен

$$k_{CT} \approx \left(\frac{R_1}{\frac{r_{ST}}{1+h_{21e}} + R_{VT}} \right) + \frac{U_1}{U_0},$$

где R_{VT} – входное сопротивление эмиттерного повторителя

$$R_{VT} = R_E + \frac{r_{ST} + R_B}{1+h_{21e}},$$

где R_e и R_b – сопротивления эмиттера и базы транзистора.

Сопротивление R_e существенно зависит от эмиттерного тока. С уменьшением тока эмиттера сопротивление R_e быстро возрастает, и это приводит к увеличению R_{VT} , что ухудшает стабилизирующие свойства. Уменьшить значение R_e можно за счёт применения мощных транзисторов или составных транзисторов.

Последовательный стабилизатор

Параметрический стабилизатор напряжения (см. схему ниже на рис. 3.4) представляет собой эмиттерный повторитель на транзисторе VT с последовательно включённым сопротивлением нагрузки R_H . Источником опорного напряжения в данной схеме является стабилитрон VD .

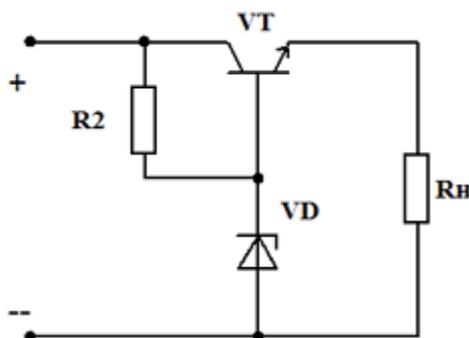


Рис. 3.4. Схема ПСН с последовательным включением транзистора

Выходное напряжение стабилизатора:

$$U_H = U_{CT} - U_{EB}$$

Схема работает следующим образом. При увеличении тока через резистор R_H , а соответственно, и напряжения ($U_1 = U_{ST}$) на выходе стабилизатора проис-

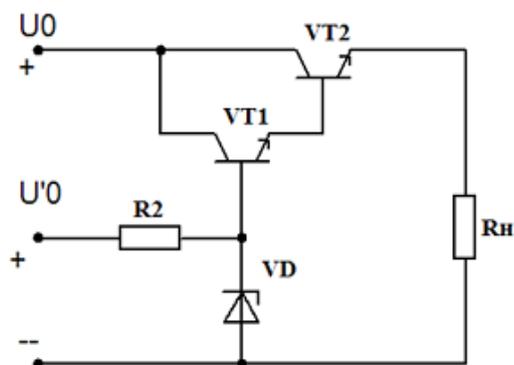
ходит уменьшение отпирающего напряжения U_{EB} транзистора, и его базовый ток уменьшается. Это приводит к росту напряжения на переходе коллектор-эмиттер, в результате чего выходное напряжение практически не изменяется. Оптимальное значение тока опорного стабилитрона VD определяется сопротивлением резистора R_2 , включённого в цепь источника питания U_0 . При постоянном значении входного напряжения U_0 базовый ток транзистора I_B и ток стабилизации связаны между собой соотношением $I_B + I_{ST} = \text{const}$.

Коэффициент стабилизации схемы:

$$k_{CT} \approx \frac{R_K}{r_{CT} + R_B + R_E(1 + h_{21e})} \frac{U_1}{U_0}$$

где R_K – сопротивление коллектора биполярного транзистора.

Обычно $k_{ST} \approx 15 \dots 20$.



Коэффициент стабилизации параметрического стабилизатора напряжения может быть существенно увеличен при введении в его схему отдельного вспомогательного источника с $U'0 > U_1$ и применении составного транзистора (см. рис. 3.5).

Рис. 3.5. Схема ПСН с составным транзистором и питанием стабилитрона от отдельного источника напряжения

3.4. Экспериментальная часть

1. Установить и закрепить на стойке два стационарных блока «Питание» и «Измерительные приборы» и сменный блок «Исследование схем стабилизаторов постоянного напряжения».

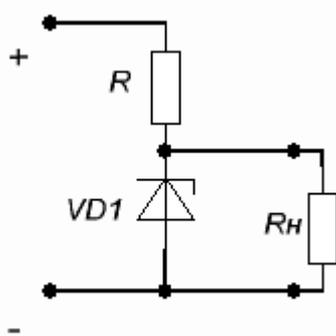


Рис. 3.6. Стабилизатор постоянного напряжения

2. Произвести соединение проводами перемычками элементов стенда. Рекомендуемая схема соединений изображена на рисунках 3.6 и 3.7 (см. стр. 31).
3. Снять вольт-амперную характеристику стабилитрона.
- 3.1. Включить питание установки. Увеличивать напряжение на выходе источника постоянного напряжения от минимального до максимального.

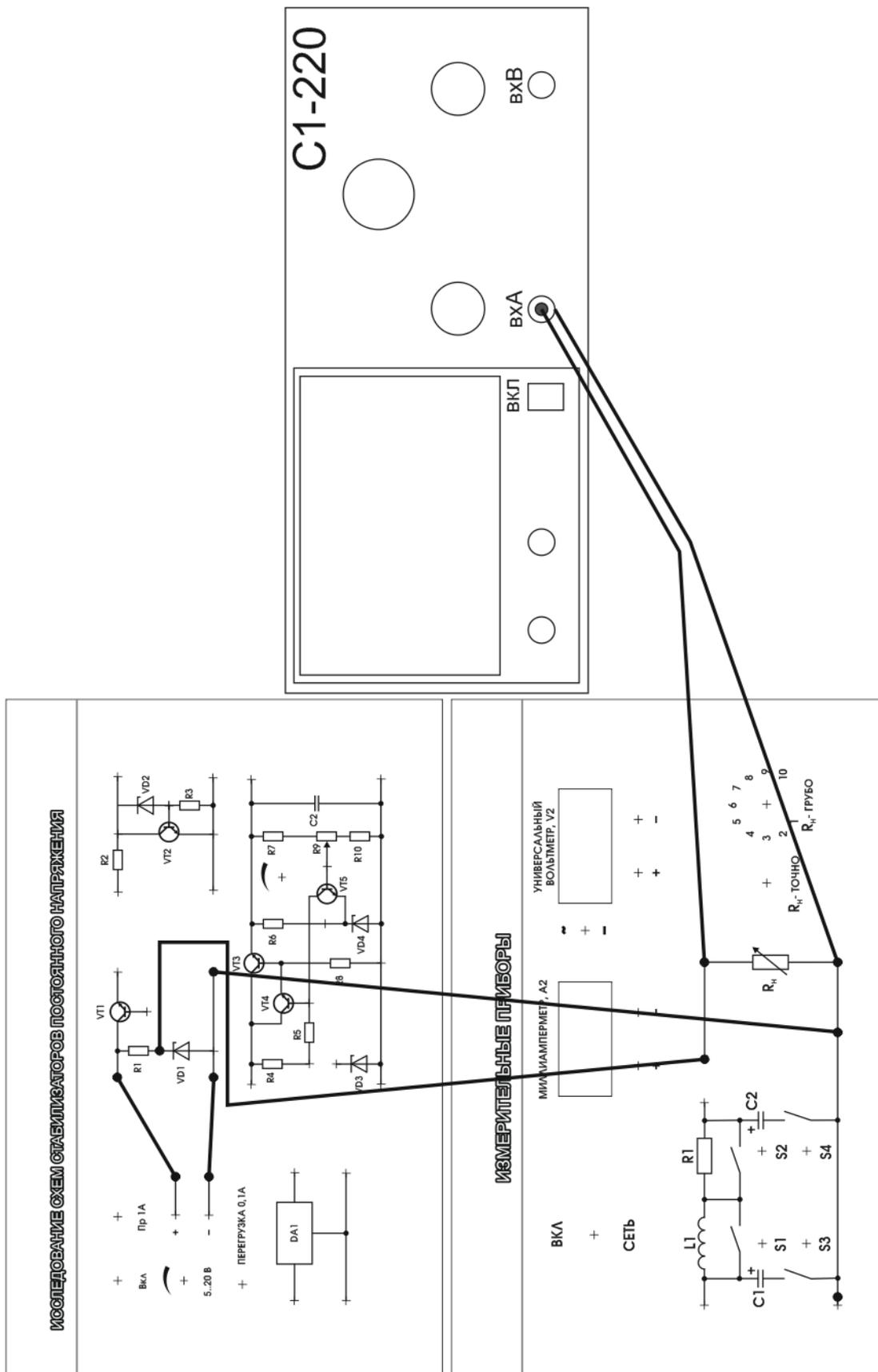


Рис. 3.7. Рекомендуемая схема соединений

3.2. Фиксировать величины $U_{ВХ}$, $I_{СТ}$, $U_{СТ}$ по показаниям измерительных приборов V1, A1.

3.3. Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Вольт-амперная характеристика стабилизатора

Измерительный прибор	Измеряемая величина	Результаты измерения									
V1	$U_{ВХ}$, В										
A1	$I_{СТ}$, мА										
V1	$U_{СТ}$, В										

3.4. Построить вольт-амперную характеристику стабилизатора $I_{СТ} = f(U_{СТ})$. Отметить на графике диапазон напряжений стабилизации.

4. Получить характеристики и определить параметры параметрического стабилизатора напряжения.

4.1. Подключить параллельно стабилизатору нагрузку (резистор). Для этого установить переключатель « R_H грубо» в положение 2, а переменный резистор « R_H точно» – в среднее положение.

4.1.1. Снять зависимость выходного напряжения стабилизатора (напряжения на нагрузке) от напряжения на его входе $U_H = f(U_{ВХ})$. Для этого увеличивать напряжение на выходе источника постоянного напряжения от минимального до максимального. Фиксировать величины входного тока $I_{ВХ}$ и тока I_H , протекающего через резистор нагрузки.

4.1.2. Результаты измерений занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

Параметры параметрического стабилизатора напряжения

Измерительный прибор	Измеряемая величина	Результаты измерения									
V1	$U_{ВХ}$, В										
A1	$I_{ВХ}$, мА										
V1	U_H , В										
A1	I_H , мА										

4.1.3. Построить зависимость напряжения на нагрузке от напряжения на входе стабилизатора $U_H = f(U_{ВХ})$ при неизменном сопротивлении нагрузки. Определить диапазон входных напряжений, при которых схема выполняет функции стабилизатора напряжения.

4.2. Снять зависимость напряжения на нагрузке U_H от тока нагрузки I_H при неизменном входном напряжении $U_{ВХ} = 15$ В.

4.2.1. Для этого увеличивать ток через сопротивление нагрузки переключателем «R_Н грубо». Фиксировать величины напряжения на нагрузке U_Н и тока нагрузки I_Н. При этом напряжение на входе стабилизатора поддерживать неизменным.

4.2.2. Результаты измерений занести в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

Зависимость напряжения на нагрузке U_Н от тока нагрузки I_Н при неизменном входном напряжении U_{ВХ} = 15 В

Измерительный прибор	Измеряемая величина	Результаты измерения									
V1	U _{ВХ} , В	15 В									
A1	I _{ВХ} , мА										
V1	U _Н , В										
A1	I _Н , мА										

4.2.3. Построить зависимость U_Н = f(I_Н) при неизменном входном напряжении U_{ВХ} = 15 В.

4.3. Определить коэффициент стабилизации по входному напряжению:

$$K_{CT} = \frac{\Delta U_{ВХ}}{\Delta U_{ВЫХ}} \cdot \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}}$$

при I_Н = const, где ΔU_{ВХ}, ΔU_{ВЫХ} – соответственно приращения входного и выходного напряжений стабилизатора при неизменном токе нагрузки; U_{ВХ} и U_{ВЫХ} – номинальные значения входного и выходного напряжений стабилизатора.

4.3.1. Установить переключатель «R_Н грубо» в положение 2, а переменный резистор «R_Н точно» – в среднее положение.

4.3.2. Установить значения входного напряжения согласно таблице 3.4. В процессе измерений переменным резистором «R_Н точно» поддерживать неизменной величину тока нагрузки I_Н.

4.3.3. Результаты занести в таблицу 3.4.

Таблица 3.4

Коэффициент стабилизации по входному напряжению

Измерительный прибор	Измеряемая величина	Результаты измерения		
V1	U _{ВХ} , В	15,0	16,0	17,0
V1	U _Н , В			
A1	I _Н , мА			

В качестве U_{ВХ} и U_{ВЫХ} взять средние значения величин данной таблицы.

4.4. Определить выходное сопротивление стабилизатора:

$$R_i = |\Delta U_H / \Delta I_H| \text{ при } U_{BX} = \text{const},$$

где ΔU_H – приращение выходного напряжения стабилизатора,

ΔI_H – приращение тока нагрузки.

4.4.1. Установить $U_{BX} = 16,0 \text{ В}$.

4.4.2. Произвести измерения U_H и I_H при различных значениях сопротивления нагрузки (например в крайних положениях переменного резистора « R_H точно»). При этом поддерживать $U_{BX} = \text{const} = 16,0 \text{ В}$.

4.4.3. Результаты измерений занести в таблицу 3.5.

Таблица 3.5

Выходное сопротивление стабилизатора

$U_{H1} =$	$I_{H1} =$
$U_{H2} =$	$I_{H2} =$
$\Delta U_H =$	ΔI_H
$R_i =$	

4.5. Определить коэффициент полезного действия стабилизатора:

$$\eta = \frac{U_H I_H}{U_{BX} I_{BX}}$$

Вычисления произвести для $U_{BX} = 16,0 \text{ В}$.

4.6. Определить параметры стабилизатора аналогично пп. 4.3–4.5 при $U_{BX} = 17,0 \text{ В}$. Сравнить полученные величины с ранее вычисленными параметрами. Сделать необходимые выводы.

4.7. Уменьшить величину сопротивления нагрузки. Для этого установить переключатель « R_H грубо» в положение 3, а переменный резистор « R_H точно» – в среднее положение.

4.7.1. Определить параметры стабилизатора аналогично пп. 4.3–4.5 при $U_{BX} = 16,0$.

4.7.2. Сравнить полученные величины с ранее вычисленными параметрами. Сделать необходимые выводы.

4.7.3. Выключить источник постоянного напряжения.

4.7.4. Выключить электропитание установки.

Примечание: приведенные в данном руководстве принципиальная схема и схема внешних соединений показаны в качестве примера и носят рекомендательный характер.

3.5. Контрольные вопросы

- 1) Если управление регулирующим элементом (органом) выполняется самим дестабилизирующим воздействием, то стабилизатор называется...
- 2) Если управление регулирующим элементом (органом) выполняется отклонением выходной величины от наперёд заданного значения, то стабилизатор называется...
- 3) Стабилизатор как система автоматического регулирования имеет цепь обратной связи, и для него важным является вопрос...
- 4) Что относится к характеристикам стабилитронов?
- 5) Что используется в простейших параметрических?
- 6) Какое обозначение имеет стабистор?
- 7) Что является достоинством параллельных стабилизаторов по сравнению с последовательными?
- 8) Какие элементы обязательно содержит компенсационный стабилизатор?
- 9) Какие качества присущи стабилизаторам с непрерывным регулированием?
- 10) Для компенсационных непрерывных стабилизаторов коэффициент сглаживания пульсаций (S) может отличаться от коэффициента стабилизации по напряжению (K_u). Следствием чего это является?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беркович Е.И., Ковалев В.Н., Ковалев Ф.И. и др. Полупроводниковые выпрямители : учеб. – Челябинск, 2022. – 447 с.
2. Беглецов Н.Н. Основы аналоговой электроники. Руководство по выполнению базовых экспериментов. – Челябинск : ООО ИПЦ «Учебная техника», 2018. – 175 с.
3. Мишулин Ю.Е., Немонтов В.А. Цифровая схемотехника : учеб. пособие / М71 ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. И. Н. Г. Столетовых. – Изд. 2-е, стер. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2019. – 144 с.
4. Новожилов О.П. Электроника и схемотехника : учеб. / Науч. шк. «Московский политехнический университет». Часть 1. – Москва, 2023. – 423 с.
5. Новожилов О.П. Электроника и схемотехника : учеб. / Науч. шк. «Московский политехнический университет». Часть 2. – Москва, 2023. – 373 с.
6. Миленина С.А, Миленин Н.К. Электротехника, электроника и схемотехника : учеб. и практикум для вузов / Науч. шк. «МИРЭА – Российский технологический университет». – Изд. 2-е, пер. и доп. – Москва, 2023. – 407 с.

Учебное издание

Стерхова Татьяна Николаевна,
Бас Анатолий Степанович

**ВЫПРЯМИТЕЛИ: МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СХЕМОТЕХНИКА»**

Редактор И.А. Бусоргина

Издательский центр «Удмуртский университет»
426034, г. Ижевск, ул. Ломоносова, 4Б, каб. 021
Тел.: + 7 (3412) 916-364, E-mail: editorial@udsu.ru