

14/24/10

**Одобрено кафедрой
«Вагоны и вагонное хозяйство»**

**Утверждено
деканом факультета
«Транспортные средства»**

ЭЛЕКТРОННАЯ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

**Методические указания
по выполнению лабораторных работ
для студентов V курса**

**специальности
150800 ВАГОНЫ (В)**



Москва – 2003

Составители: канд. техн. наук, доц. В.Е. НОВИКОВ,
канд. техн. наук, доц. Н.И. КЛИМЕНТОВ

Рецензент — канд. техн. наук, доц. Я.С. ЗИЛЬБЕРМАН-МЯГКОВ

© Российский государственный открытый технический
университет путей сообщения Министерства путей сообщения
Российской Федерации, 2003

ВВЕДЕНИЕ

Учебным планом студентам V курса, изучающим дисциплину «Электронная и преобразовательная техника», предлагается выполнение лабораторных работ в объеме 12 ч. Работы проводятся в период установочной сессии и являются одним из этапов практической проверки теоретических знаний, приобретаемых студентами в процессе изучения материала дисциплины на лекциях и при самостоятельных занятиях. Кроме того, практическое знакомство с испытуемыми схемами и установками создает определенную базу для последующего выполнения контрольной работы.

Лабораторные работы позволяют студентам получить практические навыки работы с полупроводниковыми элементами и конкретно знакомят их:

- с отдельными элементами полупроводниковой техники, их назначением, характеристиками и областями применения;
- со схемами и конструкцией преобразователей (выпрямителей, инверторов) и устройств защиты, выполненных на базе полупроводников;
- с порядком чтения и анализа принципиальных схем устройств преобразовательной техники.

В тексте указаний содержится минимум теоретических сведений, необходимых для выполнения каждой работы.

Необходимо помнить, что неправильное обращение с используемыми источниками питания, испытываемым оборудованием и схемами может привести к поражению электрическим током. Поэтому перед началом работ студенты должны, в первую очередь, ознакомиться с правилами поведения в лаборатории и мерами безопасности, соблюдение которых является обязательным.

После этого можно приступить к лабораторным работам, программа выполнения каждой из которых предусматривает:

- 1) ознакомление с теоретическими основами и методикой проведения работы, а также конструкцией и схемами лабораторных установок;

- 2) монтаж испытательной схемы и производство экспериментов;
- 3) обработку полученных результатов;
- 4) оформление отчета по каждой работе;
- 5) сдачу зачета.

Помните! Приступать к монтажу испытательной схемы, подавать к ней напряжение и проводить испытания можно только с разрешения преподавателя.

Отчет по каждой работе должен содержать: электрическую схему объекта испытаний; таблицы с результатами замеров и расчетов, сами расчеты; графическое изображение зависимостей, снятых при испытаниях; выводы по работе. На первом листе работы необходимо указать: дисциплину, по которой она выполнена, номер работы и название, фамилию и инициалы студента, номер учебной группы.

Допускается выполнение всех работ в отдельной тетради, на обложке которой следует указать: фамилию и инициалы студента, номер учебной группы и дисциплину, по которой выполнены работы.

П р и м е ч а н и е . При проведении лабораторных работ следует пользоваться в качестве дополнительного материала учебным пособием: «Новиков В.Е. Энергетическое оборудование вагонов и вагоноремонтных предприятий и его ремонт. Полупроводники в системах электроснабжения пассажирских вагонов: Уч. пос. — М.: РГОТУПС, 2001. — 72 с.».

Лабораторная работа № 1

АНАЛИЗ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

1. Цель работы. Экспериментально снять вольтамперные характеристики для отдельных полупроводниковых элементов (диода, стабилитрона или тиристора — по указанию преподавателя).

2. Объект исследования — один из полупроводниковых элементов (диод, тиристор, стабилитрон или другой элемент по указанию преподавателя).

3. Краткие теоретические сведения и описание экспериментальной установки. Вольтамперная характеристика (ВАХ) полупроводникового элемента отражает зависимость между напряжением, приложенным к полупроводнику и током, протекающим по его $p-n$ -переходу. На рис. 1.1, для примера приведены условное графическое изображение полупроводникового диода и его вольтамперная характеристика.

На характеристике диода можно выделить два участка: прямой (A) и обратный (B). Прямой участок характеризует изменение пря-

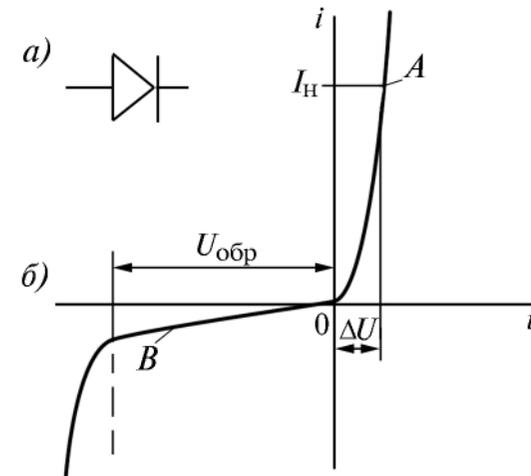


Рис. 1.1. Полупроводниковый диод:

a — условное графическое изображение; b — вольтамперная характеристика

мого напряжения ΔU на p - n -переходе диода при протекании прямого тока i . Обратный участок характеризуется малыми токами, протекающими по p - n -переходу при приложении к диоду обратного напряжения $U_{обр}$. К основным параметрам диода относятся: предельный ток I_n , максимальное обратное напряжение $U_{обр}$ и прямое падение напряжения ΔU .

Под предельным током понимается максимально допустимое среднее за период значение прямого тока, длительно протекающее по диоду. Значение этого тока определяют при работе диода в однополупериодной схеме с активной нагрузкой при частоте питающего напряжения 50 Гц.

Максимальное обратное напряжение соответствует наступлению процесса, когда малые приращения обратного напряжения вызывают резкое увеличение обратного тока.

Прямое падение напряжения соответствует мгновенному значению напряжения на приборе при прохождении по нему прямого тока.

Согласно ГОСТ 10662-73, в обозначении диода должны быть следующие элементы: буква В (обозначающая вентиль, для лавинных диодов ВЛ, для вентилях с водяным охлаждением добавляется еще одна буква В); за буквой (или буквами) следует цифра, обозначающая конструктивное исполнение прибора; затем следует число, характеризующее предельный ток в амперах; последняя цифра указывает класс по напряжению. Иногда в обозначении указывается группа, характеризующая прямое падение напряжения на диоде.

Например, обозначение ВВ2-1000-6 указывает на нелавинный диод с водяным охлаждением, второго конструктивного исполнения, рассчитанный на предельный прямой ток 1000 А, с повторяющимся обратным напряжением 600 В.

Условное графическое изображение тиристора (управляемого вентиля) и его вольтамперная характеристика при различных токах управления (от $i_{y0} = 0$ до i_{y3}) помещены на рис. 1.2, а, б.

При приложении к аноду и катоду тиристора обратного напряжения его вольтамперная характеристика имеет такой же вид, как и у диода. Ветви характеристики, соответствующие области прямого напряжения, определяются током управления i_y , подаваемым в цепь управляющий электрод (У) — катод (К). При отсутствии

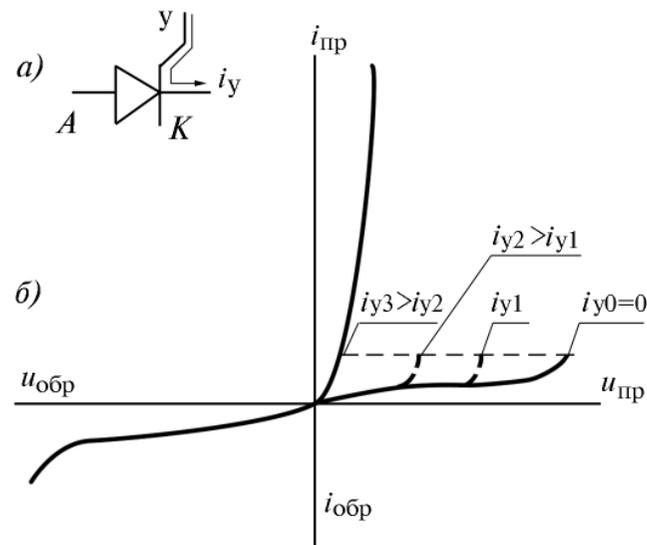


Рис. 1.2. Тиристор:

а — условное графическое изображение; б — вольтамперная характеристика

тока управления тиристор будет находиться в отключенном состоянии (не будет проводить прямой ток) до тех пор, пока прямое напряжение $u_{пр}$ не превысит определенного для данного класса тиристора значения, после чего он перейдет в открытое состояние. Увеличивая ток управления, можно обеспечить практическое совпадение прямой ветви ВАХ тиристора с прямой ветвью диода (см. прямую ветвь ВАХ на рис. 1.2 при токе управления i_{y3}).

Большинство тиристорov включаются токами порядка сотен миллиампер при напряжении на управляющем электроде порядка 8 В. Длительность управляющего импульса, который должен иметь крутой передний фронт, должна быть достаточной для увеличения тока, протекающего через тиристор, до величины тока удержания. После этого управляющий импульс может быть снят, а тиристор останется в проводящем состоянии.

Для перевода тиристора в отключенное (запертое) состояние необходимо обеспечить уменьшение протекающего по нему прямого тока до нуля.

Согласно ГОСТ 14069-72, в обозначении тиристора должны быть следующие элементы: буква Т, обозначающая тиристор; для тиристоров с лавинной характеристикой добавляется буква Л. Также как и у диодов, элементы, рассчитанные на водяное охлаждение, имеют в своем обозначении букву В. За буквой (или буквами) следует цифра, обозначающая конструктивное исполнение прибора; затем следует число, характеризующее предельный ток в амперах, и последняя цифра указывает класс по напряжению. Иногда в обозначении дополнительно указывается группа, характеризующая прямое падение напряжения на диоде и т.д.

Например, обозначение ТВ2-1000-6 указывает на то, что это тиристор с водяным охлаждением, второго конструктивного исполнения, с предельным током 1000 А и повторяющимся напряжением 600 В (тиристор 6-го класса).

Условное графическое изображение стабилитрона и его вольт-амперная характеристика помещены на рис. 1.3.

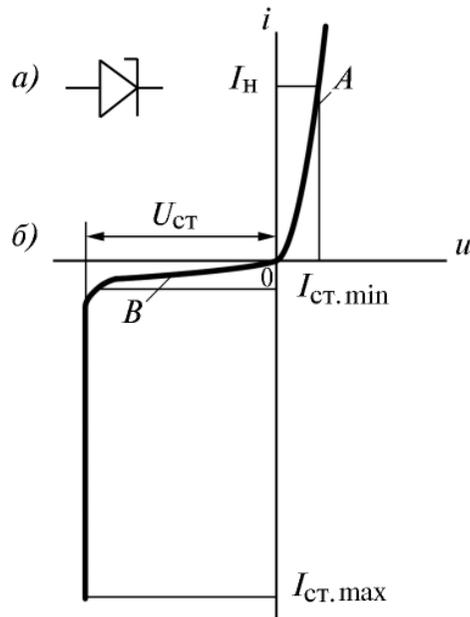


Рис. 1.3. Стабилитрон:

а — условное графическое изображение; б — вольт-амперная характеристика

При приложении к аноду и катоду стабилитрона прямого напряжения его вольт-амперная характеристика имеет такой же вид, как и у диода. Однако эта часть ВАХ стабилитрона не используется. Если же к стабилитрону приложить обратное напряжение, то происходит его пробой, и ток будет расти при почти неизменном напряжении $U_{ст}$. Уровень этого напряжения стабилизации будет сохраняться если ток, протекающий по $p-n$ -переходу, находится в пределах от $I_{ст.min}$ до наибольшего допустимого значения $I_{ст.max}$. Нижний предел тока определяет собой наименьший ток, при котором начинается устойчивый пробой, а верхний — соответствует наибольшему току, определяемому допустимой для прибора мощностью рассеивания. Превышение этой мощности вызывает тепловой пробой и выход прибора из строя.

Схемы экспериментальных установок, на которых проводятся работы, помещены на рис. 1.4 и 1.5. Каждая установка содержит

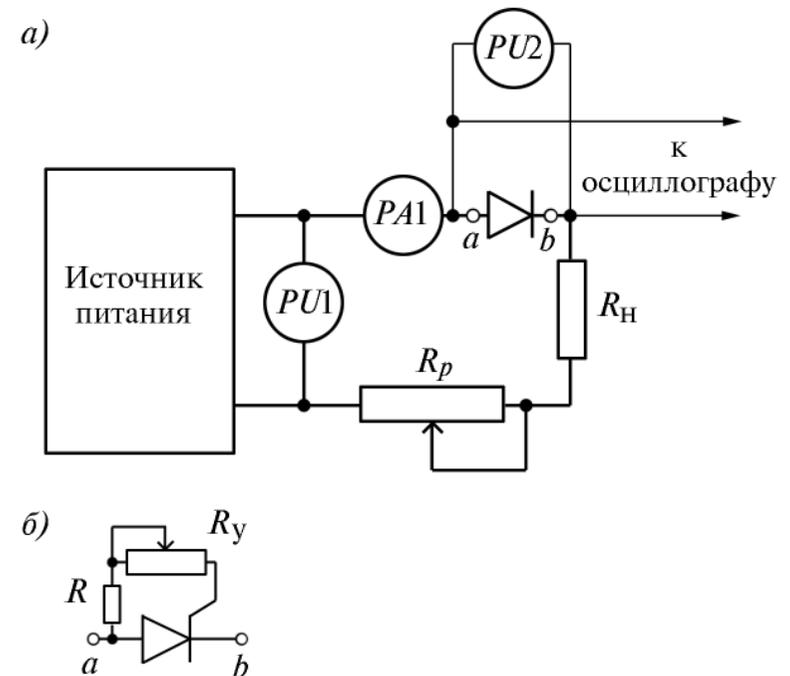


Рис. 1.4. Схема установки для снятия ВАХ диода и тиристора

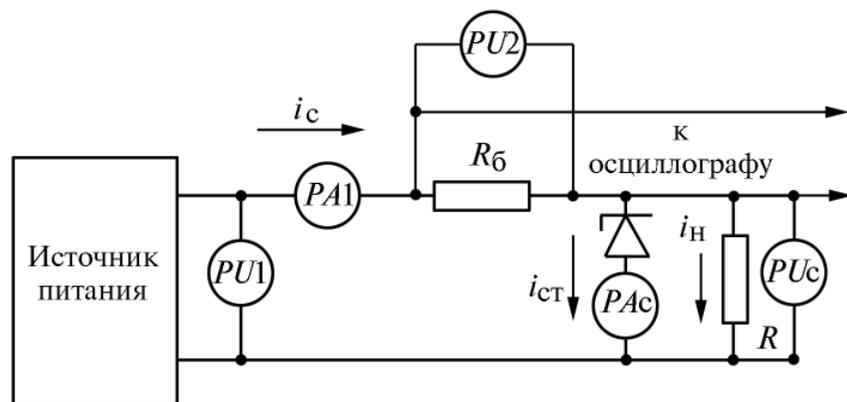


Рис. 1.5. Схема установки для снятия ВАХ стабилитрона

источник питания постоянного тока с регулируемым выходным напряжением, контролируемым вольтметром $PU1$.

Ток, протекающий по полупроводниковому переходу исследуемого элемента в схеме рис. 1.4, б измеряется амперметром $PA1$, пределы измерения которого могут меняться в зависимости от величины измеряемого тока (прямого или обратного). В схеме, изображенной на рис. 1.5, амперметр с тем же обозначением контролирует суммарный ток схемы $i_c = i_{ст} + i_n$, равный сумме токов стабилитрона и нагрузки.

При измерении характеристик тиристора он со схемой управления, показанной на рис. 1.4, б, подсоединяется к точкам a и b вместо диода.

4. План выполнения работы.

- 4.1. Ознакомиться со схемой испытательного стенда.
- 4.2. Собрать требуемую схему испытаний (см. рис. 1.4 или 1.5)
- 4.3. Снять ВАХ испытуемого полупроводникового элемента.
- 4.4. Сравнить полученную ВАХ с теоретической.

5. Порядок проведения и оформления работы.

5.1. Зарисовать и собрать по заданию преподавателя одну из испытательных схем (см. рис. 1.4 или 1.5). Приборы, включенные в схемы, контролируют следующие параметры:

$PU1$ — напряжение источника питания постоянного тока, В;

$PA1$ — ток источника питания или ток, протекающий по элементу, мА;

$PU2$ — падение напряжения на элементе схемы, В;

PAc — ток стабилитрона, мА;

PUc — стабилизированное напряжение, В.

5.2. При испытании диода (схема рис. 1.4, а) установить входное напряжение (в допустимых для исследуемого полупроводника пределах).

Изменяя с помощью резистора R_p ток, протекающий по диоду, фиксируют падение напряжения на его $p-n$ -переходе. Величина тока не должна превышать допустимое значение для исследуемого элемента.

При испытании тиристора (схема рис. 1.4, б) эксперимент проводится при разомкнутой цепи управления ($i_y = 0$) и при нескольких (не контролируемых) значениях тока управления, величины которых устанавливают перемещением движка резистора R_y . Последняя зависимость снимается при полностью выведенном сопротивлении резистора.

При испытании стабилитрона (схема рис. 1.5) напряжение источника питания поднимается отдельными ступенями. При этом фиксируются показания всех приборов. Увеличение напряжения прекращается, как только ток стабилитрона достигает допустимого значения.

5.3. По полученным данным построить ВАХ для исследованных полупроводниковых приборов.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

1. Цель работы. Ознакомиться с особенностями работы однополупериодного неуправляемого выпрямителя, работающего на различные виды нагрузки. Экспериментально проверить основные теоретические соотношения, характеризующие работу выпрямителя.

2. Объект исследования — схема выпрямления, построенная на полупроводниковом диоде и обеспечивающая однополупериодное выпрямление переменного тока.

3. Краткие теоретические сведения и описание экспериментальной установки. *Выпрямительной установкой* называется статическое устройство, преобразующее с помощью диодов переменный ток в постоянный. На рис. 2.1 показана ее структурная схема.

Основными элементами выпрямительной установки являются следующие:

- силовой трансформатор I , предназначенный для преобразования напряжения сети U_1 в напряжение U_2 , необходимое для получения заданного выпрямленного напряжения U_d . Кроме того, трансформатор осуществляет электрическую развязку цепи нагрузки (постоянного тока) и питающей сети (переменного тока);
- блок диодов (или отдельный диод) 2 , преобразующий переменный ток в пульсирующий ток одного направления;
- сглаживающий фильтр 3 служит для уменьшения пульсации выпрямленного тока, а стабилизатор напряжения 4 поддерживает

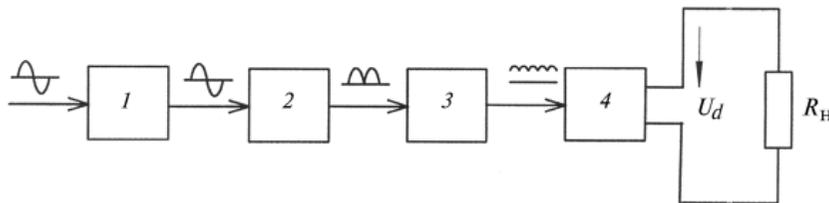


Рис. 2.1. Структурная схема выпрямительной установки

неизменным выпрямленное напряжение U_d при изменении сопротивления нагрузки R_H .

В зависимости от конкретных условий, те или иные элементы выпрямительной установки могут отсутствовать. Если напряжение сети согласуется с требуемым выпрямленным напряжением нагрузки и нет необходимости в электрической развязке цепей нагрузки и питания, то может отсутствовать силовой трансформатор. В зависимости от требований к качеству выпрямленного напряжения могут отсутствовать сглаживающий фильтр и стабилизатор напряжения.

В зависимости от мощности цепи нагрузки различают выпрямители малой мощности (до 5 кВт) и большой мощности (свыше 5 кВт).

В зависимости от числа фаз питающей сети выпрямители подразделяются на однофазные и трехфазные, а в зависимости от формы выпрямленного напряжения — на однополупериодные и двухполупериодные в однофазных сетях и на трех и шестипульсовые в трехфазных сетях.

Работа выпрямителя существенным образом зависит от характера нагрузки. Основными видами нагрузки являются: *активная (резистивная), активно-индуктивная, активно-емкостная, на противо-ЭДС* (двигатели постоянного тока, аккумуляторные батареи в режиме заряда).

При расчете выпрямительной установки обычно бывают известны требуемые параметры выпрямленного тока (средние значения напряжения U_d и тока I_d) и действующее значение напряжения питающей сети U_1 . Для выбора элементов выпрямительной установки необходимо знать соотношения между параметрами выпрямленного тока и следующими величинами:

- действующим значением тока вторичной обмотки трансформатора I_2 ;
- действующим значением напряжения на зажимах вторичной обмотки трансформатора U_2 ;
- расчетной мощностью вторичной обмотки трансформатора $S_2 = U_2 \cdot I_2$;
- действующим значением тока первичной обмотки трансформатора I_1 ;

- расчетной мощностью первичной обмотки трансформатора $S_1 = U_1 \cdot I_1$;
- типовой (расчетной) мощностью трансформатора

$$S_T = \frac{S_1 + S_2}{2};$$

- средним значением прямого тока через диод I_a ;
- максимальным значением обратного напряжения на диоде $U_{обр.макс}$.

В настоящей лабораторной работе исследуются однофазные выпрямители, работающие на чисто активную (резистивную) нагрузку. Работа сглаживающего фильтра оценивается только качественно, путем сравнения изображений на экране электронно-лучевого осциллографа кривых выпрямленного тока (напряжения) при включенном и выключенном фильтре.

В однополупериодной схеме выпрямления, показанной на рис. 2.2, регулируемое напряжение U_1 источника переменного тока подается через диод V к нагрузочному сопротивлению R_H и конденсатору C , которые могут быть подключены к выводам (b и c) выпрямителя поочередно или одновременно с помощью выключателей $S1$ и $S2$. Конденсатор C выполняет функции сглаживающего фильтра. Выходное напряжение источника питания замеряется вольтметром $PU1$ электромагнитной системы, а выпрямленное напряжение — вольтметром $PU2$ магнитоэлектрической системы.

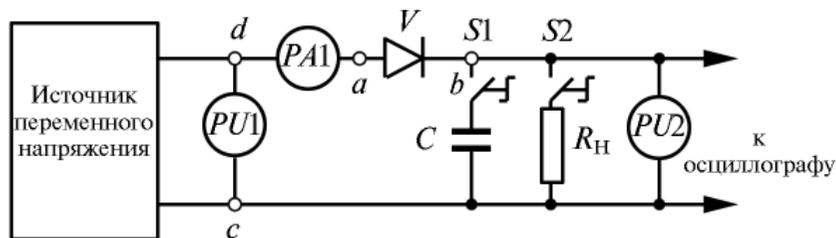


Рис. 2.2. Схема установки для исследования работы однофазного однополупериодного выпрямителя

Первый вольтметр позволяет измерить действующее значение U_1 переменного (входного) напряжения; второй — среднее значение U_d выпрямленного (выходного) напряжения.

Напомним, что для рассматриваемого выпрямителя соотношение между входным (действующим) и выходным (средним) напряжениями может быть отражено следующей зависимостью:

$$U_d = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_1 = 0,45U_1,$$

а среднее значение выпрямленного тока

$$I_d = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{U_1}{R_H}.$$

Для сравнения различных схем выпрямления служит коэффициент схемы K_{cx} , который в неуправляемых выпрямителях отражает соотношение между действующим и средним выпрямленным значениями напряжений.

$$K_{cx} = \frac{U_d}{U_1}.$$

4. План выполнения работы.

4.1. Ознакомиться со схемой испытательного стенда и параметрами диода V , используемого для выпрямления, и методикой проведения замеров и наблюдений.

4.2. Собрать требуемую схему испытаний (см. рис. 2.2.).

4.3. Оценить соотношение между входным U_1 и выходным U_d напряжениями схемы при различном характере нагрузки (R , C , $R+C$) и сделать выводы по полученным результатам.

4.4. Проанализировать формы выходного напряжения в ключевых точках схемы при разном характере нагрузки.

5. Порядок проведения и оформления работы.

5.1. Зарисовать и собрать по заданию преподавателя испытательную схему (см. рис. 2.2.). Приборы, включенные в схему, контролируют:

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОДНОПОЛУПЕРИОДНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

P_{U1} — действующее значение U_1 переменного напряжения источника питания, В;

P_{A1} — ток источника питания, мА;

P_{U2} — среднее значение U_d выпрямленного напряжения, В.

5.2. Подать на вход схемы напряжение $U_1 = 10$ В, после чего замерить напряжение U_d на сопротивлении R_n нагрузки и величину тока, зафиксировав полученные результаты. Одновременно необходимо, воспользовавшись осциллографом, зарисовать формы напряжений:

- входного (точки c и d);
- выходного (точки b и c);
- на выводах диода (точки a и b).

5.3. Увеличивая напряжение ступенями (3–4 ступени) и следя за тем, чтобы протекающий по диоду V ток не превысил допустимого для него значения, выполнить операции, оговоренные пунктом 5.2.

5.4. Определить для каждой ступени величину $K_{сх}$.

5.5. Отключить сопротивление нагрузки R_n и включить цепь конденсатора C . Выполнить операции, оговоренные пунктами 5.2 и 5.3.

5.6. Подключить одновременно сопротивление нагрузки R_n и цепь конденсатора C . Выполнить операции, оговоренные пунктами 5.2 и 5.3.

5.7. Сравнить полученные результаты и сделать вывод о влиянии конденсатора C на форму выходного напряжения.

1. Цель работы. Ознакомиться с особенностями работы однополупериодного управляемого выпрямителя, работающего на различные виды нагрузки. Экспериментально проверить основные теоретические соотношения, характеризующие работу выпрямителя.

2. Объект исследования — выпрямительная схема, выполненная на базе одного тиристора (тринистора) и позволяющая получить регулируемое по величине постоянное напряжение при неизменном уровне входного напряжения переменного тока.

3. Краткие теоретические сведения и описание экспериментальной установки. Управление величиной выпрямленного напряжения с помощью регулирования переменного (входного) напряжения, как это имело место в предыдущей работе, не всегда приемлемо, так как требует наличия автотрансформатора или введения в первичную цепь дополнительных резисторов. Это увеличивает размеры источника питания, снижает его КПД и повышает стоимость регулятора.

Интерес представляет управление величиной выпрямленного напряжения (при неизменном напряжении источника питания) с помощью управляемого выпрямителя.

На рис. 3.1 изображена схема простейшего однофазного однополупериодного управляемого выпрямителя, выполненного на базе тиристора V . Управление величиной выпрямленного напряжения в этой схеме сводится к задержке во времени момента включения тиристора по отношению к началу рабочей (проводящей) полуволны питающего напряжения. Это достигается за счет того, что управляющее устройство (УУ) может сдвигать момент подачи управляющего импульса в цепь управляющего электрода тиристора по отношению к началу проводящей полуволны на некоторый угол α . Такой способ регулирования назван *фазовым регулированием*, а угол α называют *углом регулирования*. Среднее значение выпрямленного напряжения с учетом угла регулирования может быть определено по уравнению:

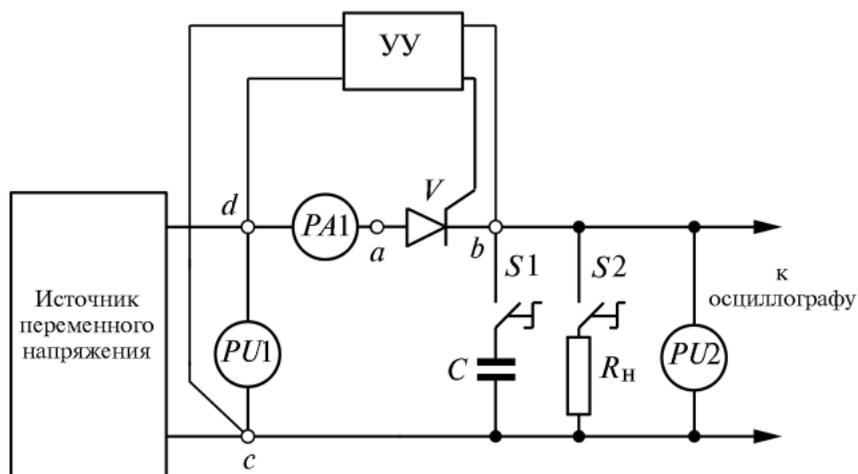


Рис. 3.1. Схема установки для исследования работы однофазного управляемого однополупериодного выпрямителя

$$U_d = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_1 \frac{(1 + \cos\alpha)}{2}.$$

При $\alpha = 0$ мы получим упоминавшееся в предыдущей работе выражение, характеризующее связь между входным и выходным напряжениями в неуправляемом выпрямителе.

Неизменное напряжение U_1 источника переменного тока в этой схеме подается через тиристор V к нагрузочному сопротивлению R_H и конденсатору C . Как и ранее, они могут быть подключены к выводам (b и c) выпрямителя поочередно или одновременно с помощью выключателей $S1$ и $S2$. Конденсатор C здесь также выполняет функции сглаживающего фильтра. Действующее значение выходного напряжения источника питания, как и в предыдущей работе, измеряется вольтметром $PU1$, а среднее значение выпрямленного напряжения — вольтметром $PU2$.

4. План выполнения работы

4.1. Ознакомиться со схемой испытательного стенда, параметрами тиристора V , используемого для выпрямления, и методикой проведения замеров и наблюдений.

4.2. Собрать требуемую схему испытаний (см. рис. 3.1.).

4.3. Оценить соотношение между входным U_1 и выходным U_d напряжениями схемы при различных углах регулирования α и различном характере нагрузки.

4.4. Проанализировать формы выходного напряжения при различных углах регулирования и характере нагрузки.

5. Порядок проведения и оформления работы

5.1. Зарисовать и собрать по заданию преподавателя испытательную схему (см. рис. 3.1.). Приборы, включенные в схему, как и раньше, контролируют:

$PU1$ — действующее значение U_1 переменного напряжения источника питания, В;

$PA1$ — ток источника питания, мА;

$PU2$ — среднее значение U_d выпрямленного напряжения, В.

5.2. Подать на вход схемы фиксированное по величине напряжение U_1 . Контролируя с помощью осциллографа форму выходного напряжения и используя управляющее устройство (УУ), добиться положения, при котором угол $\alpha = 0$. Замерить напряжение U_d на сопротивлении R_H нагрузки и величину тока, записав полученные результаты.

5.3. Меняя с помощью УУ степенями значение угла α , оценить его влияние на величину выпрямленного напряжения. Одновременно необходимо, воспользовавшись осциллографом, зарисовать формы напряжений:

- входного (точки c и d);
- выходного (точки b и c);
- на выводах тиристора (точки a и b).

5.4. Отключить сопротивление нагрузки R_H и включить цепь конденсатора C . Выполнить операцию, оговоренную пунктом 5.3.

5.4. Подключить одновременно сопротивление нагрузки R_H и цепь конденсатора C . Выполнить операции, оговоренные пунктом 5.3.

5.5. Сравнить полученные результаты и сделать вывод о влиянии угла регулирования на выходные параметры схемы.

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ОДНОФАЗНОГО УПРАВЛЯЕМОГО МОСТОВОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

1. Цель работы. Ознакомиться с особенностями работы однофазной мостовой схемы управляемого выпрямителя, работающего на различные виды нагрузки. Экспериментально проверить основные теоретические соотношения, характеризующие работу выпрямителя.

2. Объект исследования — выпрямительная схема, выполненная на базе двух тиристоров и двух диодов и позволяющая получить регулируемое по величине постоянное напряжение при неизменном уровне входного напряжения переменного тока.

3. Краткие теоретические сведения и описание экспериментальной установки. На рис. 4.1 изображена схема однофазного мостового управляемого выпрямителя, выполненного на базе тиристоров $V1$, $V3$ и двух диодов $V2$, $V4$, обеспечивающего на выходе (точки a и b) двухполупериодный режим выпрямления, когда к нагрузке R_H подаются обе полуволны питающего напряжения. Последовательно с сопротивлением R_H нагрузки с помощью выключателя $S1$ может быть подключена катушка индуктивности L .

На подробном описании работы этой схемы мы не останавливаемся, так как она рассмотрена в учебном пособии, ссылка на которое дана во введении. Напомним лишь, что величина выпрямленного напряжения в этой схеме при активной нагрузке

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_1 \frac{1 + \cos\alpha}{2},$$

а при активно-индуктивной (при большом значении индуктивности, когда $\omega L = \infty$ или имеет такое значение, что выпрямленный ток непрерывен)

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_1 \cos\alpha.$$

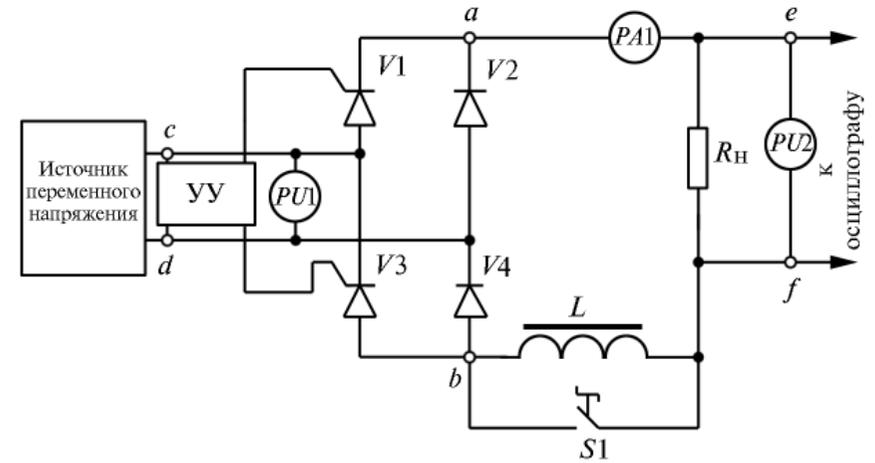


Рис. 4.1. Схема управляемого мостового выпрямителя

4. План выполнения работы.

4.1. Ознакомиться со схемой испытательного стенда, параметрами тиристоров и диодов, входящих в ее состав, правилами регулирования напряжения и методикой проведения замеров и наблюдений.

4.2. Собрать требуемую схему испытаний (см. рис. 4.1.).

4.3. Оценить соотношение между входным U_1 и выходным U_d напряжениями схемы при различных углах регулирования α и различном характере нагрузки (R_H или $R_H + L$).

4.4. Проанализировать формы выходного напряжения при различных углах регулирования и характере нагрузки.

5. Порядок проведения и оформления работы.

5.1. Зарисовать и собрать по заданию преподавателя испытательную схему (см. рис. 4.1.). Приборы, включенные в схему, контролируют:

$PU1$ — действующее значение U_1 переменного напряжения источника питания, В;

$PA1$ — величину тока, протекающего по нагрузке, мА;

$PU2$ — среднее значение U_d выпрямленного напряжения, В.

5.2. Подать на вход схемы фиксированное по величине напряжение U_1 . Контролируя с помощью осциллографа форму выходно-

го напряжения и используя управляющее устройство (УУ), добиться положения, при котором угол $\alpha = 0$. Замерить напряжение U_d на сопротивлении R_n нагрузки и величину тока, записав полученные результаты.

5.3. Меняя с помощью УУ степенями значение угла α , оценить его влияние на величину выпрямленного напряжения. Одновременно необходимо, воспользовавшись осциллографом, зарисовать формы напряжений:

- входного (точки c и d);
- выходного (точки a и b);
- на выводах тиристора (точки b и c).

5.4. Включить, разомкнув цепь $S1$, последовательно с сопротивлением нагрузки R_n индуктивное сопротивление L . Выполнить операции, оговоренные пунктом 5.3.

5.5. Сравнить полученные результаты и сделать вывод о влиянии угла регулирования на выходные параметры схемы и форму выходного напряжения при активной (R) и активно-индуктивной ($R + L$) нагрузках.

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДНОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ

1. Цель работы — ознакомиться с конструктивными особенностями, монтажной и принципиальной схемами включения диодного ограничителя; освоить методику снятия характеристик и замера параметров, характеризующих его техническое состояние; изучить основные приемы осмотра, поиска отказов, наладки и регулировки.

2. Объект исследования — диодный ограничитель напряжения типа 2460.126, используемый в пассажирских вагонах зарубежного производства для питания цепей ламп накаливания. В работе может быть использован образец, установленный на отдельном стенде или смонтированный непосредственно в пульте управления вагона-лаборатории.

3. Краткие теоретические сведения и описания экспериментальной установки. Диодный ограничитель (ДО) обеспечивает поддержание напряжения в цепях ламп накаливания на заданном уровне. Выполняя те же задачи, что и угольный стабилизатор напряжения, ДО отличается от него схемой, конструктивным исполнением, а также способом регулирования (стабилизации) выходного напряжения.

Схема ДО показана на рисунке 5.1, a вместе с приборами, контролирующими его режим работы. Вместо угольных столбов в ДО использованы включенные последовательно полупроводниковые диоды $V1 - V_n$. Каждая пара диодов смонтирована на отдельном охлаждающем элементе. Для возможности такого монтажа один из диодов пары имеет прямую полярность (тип ВА 20П2), а другой — обратную (тип ВА 2002). Каждый диод рассчитан на ток 20 А и обратное напряжение 150 В. Вся последовательная цепочка диодов включена между выводами 1 и 4 ДО (см. рис. 5.1, a).

Разделенные на три отдельные группы $n_1 - n_3$ диоды с помощью контактов 1К1, 1К2, 1К3 могут быть поочередно введены в цепь питания ламп накаливания Л. При протекании тока $I_{до}$ на каждом диоде падает определенное напряжение ΔU_d (0,7 – 0,8 В). В результате выходное напряжение U_d на лампах будет ниже входного U_1 на

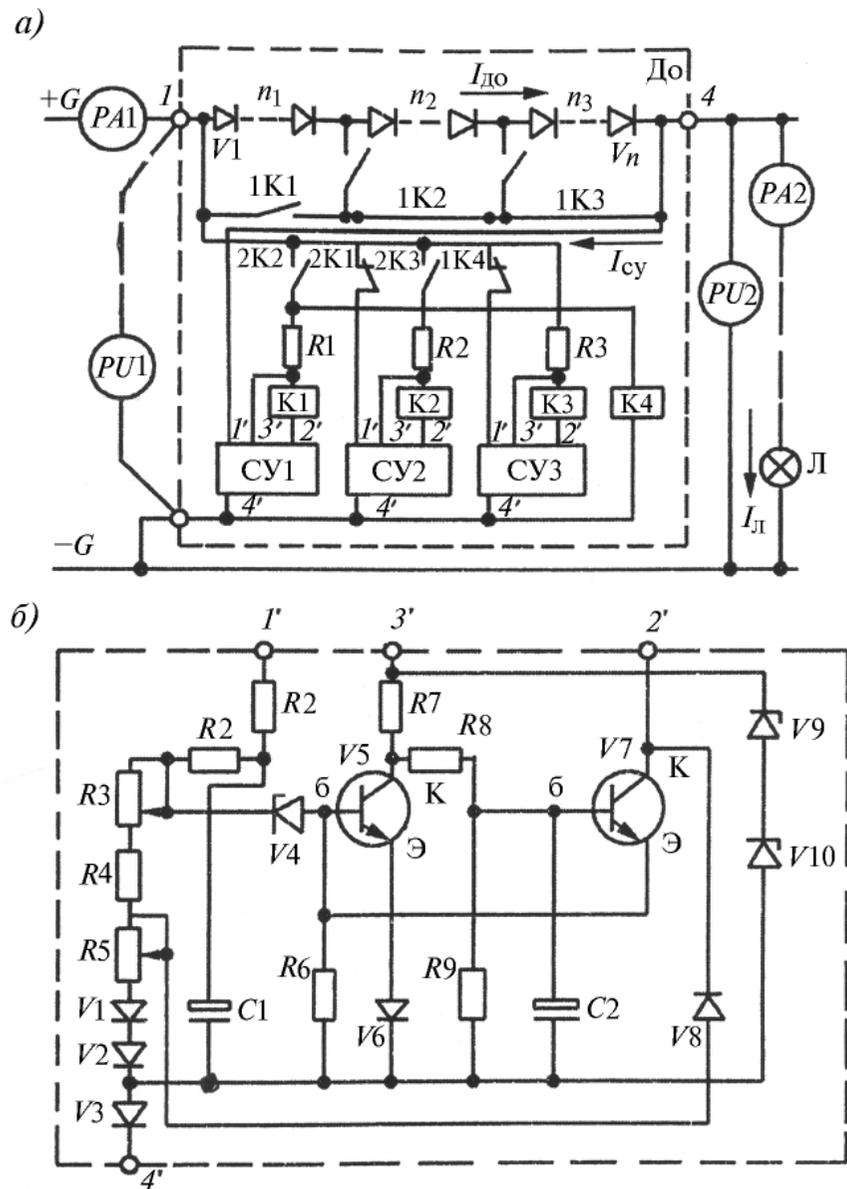


Рис. 5.1. Схема диодного ограничителя (а) и одного из его блоков управления (б)

сумму падения напряжения во всех n_i последовательно включенных диодах, т.е. $U_{л} = U_{г} - \Delta U_{д} n_i = U_{г} - \Delta U$.

При переключении контактов 1K1, 1K2 и 1K3 диоды вводятся в цепь отдельными группами по 18 штук, поэтому при плавном изменении входного напряжения выходное меняется скачками. Характер этих изменений между значениями $U_{л,max}$ и $U_{л,min}$ показан на рис. 5.2. Эти предельные значения не должны отличаться от номинального значения $U_{л,n}$ более чем на 10%. Для получения равномерных ступеней регулирования количество диодов в каждой группе выбирают одинаковым.

Необходимая последовательность включения реле K1, K2, K3 задается схемой управления, смонтированной в виде отдельных блоков СУ1, СУ2, СУ3, каждый из которых управляет своей группой диодов. Все блоки выполнены по одинаковой схеме, показанной на рисунке 5.1, б.

Знакомство с принципом работы ДО следует начать с анализа работы одного из блоков управления. Блок начинает работать с подачи питания к его выводам. Если контролируемое напряжение на лампах (см. точки 1' и 4' на рис. 5.1, а, б) не превышает наибольшего установленного значения $U_{л,max}$, то стабилитрон V4 закрыт. Транзистор V5 заперт, так как на его базу (б) не поступает сигнал управления. Транзистор V7 в этом случае открыт, так как через резисторы R7, R8 и R6 по его переходу база (б) — эмиттер (Э) протекает ток управления. Исполнительное реле (см. рис. 5.1, а), соединенное с выводом 2', получает питание, а его контакты, замыкаясь, выводят из работы одну из групп диодов. Кроме того, при открытом транзисторе V7 резистор R6 через диод V8 оказывается включенным параллельно цепи резистора R5 с диодами V1, V2.

Если напряжение между точками 1' и 4' превысит значение $U_{л,max}$, то пробьется стабилитрон V4. Транзистор V5 откроется, так как по его цепи база — эмиттер потечет ток управления. В этом случае база транзистора V7 окажется соединенной с выводом 4' (минусом) через резистор R8, открытый коллекторно (К)-эмиттерный (Э) переход транзистора V5 и диоды V6 и V3. Благодаря падению напряжения на резисторе R6 (при открытом стабилитроне V4), эмиттер (Э) транзистора V7 окажется под более высоким потенциалом, чем

его база. Транзистор $V7$ закрывается. Цепь питания катушки исполнительного реле, подключенного к выводу $2'$, оборвется. Отключившись, это реле замкнет свой контакт, после чего в цепь питания ламп будет введена группа диодов. Одновременно при закрытом транзисторе $V7$ резистора $R6$ окажется отключенным от цепи резистора $R5$ с диодами $V1$ и $V2$. Общее сопротивление измерительной цепи возрастет, и увеличится напряжение, подводимое к стабилитрону $V4$. Теперь уже стабилитрон $V4$ сможет закрыться, обеспечив возвращение схемы в состояние, с которого было начато описание ее работы, при более низком напряжении $U_{л.мин}$ между выводами $1'$ и $4'$. Для предотвращения звонковой работы схемы это напряжение должно быть меньше значения $U_{л.с}$ (см. рис. 5.2), до которого снижается выходное напряжение при введении одной группы диодов.

Напряжение срабатывания блока СУ регулируется с помощью резисторов $R3$ и $R5$ (см. рис. 5.1, б).

Схема ДО (см. рис. 5.1, а) работает следующим образом. При наличии входного напряжения $+G$ его положительный потенциал с вывода 1 через резистор $R3$ поступает к катушке реле $K3$, через диоды $V_1 - V_n$ — к выводу 4 и к входным цепям $1'$ всех трех блоков управления (СУ1, СУ2, СУ3). Это возможно, так как в первый момент контакты $2K1$ и $1K4$ замкнуты. Минус питающего напряжения с вывода $-G$ подается непосредственно на выводы $4'$ всех блоков.

Если входное напряжение ниже верхнего уровня стабилизации ($U_r < U_{л.маx}$), то получит питание катушка $K3$ (см. описание работы блока СУ). Реле сработает, и его контакт $1K3$, замкнувшись, замкнет треть диодов (группа n_3). Вторым замкнувшимся контактом $2K3$ этого же реле подаст питание к выводам $2'$ и $3'$ блока СУ2.

При этом включится реле $K2$. Его замкнувшийся контакт $1K2$ замкнет две группы диодов (n_2 и n_3), а контакт $2K2$ подаст питание к катушкам реле $K1$ и $K4$, обеспечив их включение. Контакт $1K4$ разомкнется, отключив измерительную цепь блока СУ3. Реле $K3$ при этом останется включенным. Разомкнувшийся контакт $2K1$ реле отключит измерительную цепь блока СУ2. Замкнувшийся же контакт $1K1$ замкнет все группы диодов, соединив выводы 1 и 4 . Выходное напряжение будет подано непосредственно к выходным цепям, а кон-

троль за уровнем их напряжения будет обеспечиваться лишь блоком СУ1, у которого включены все цепи питания и измерения.

При росте входного напряжения наступит момент, когда равное ему выходное напряжение достигнет значения $U_{л.маx}$. Сработает блок СУ1, прекратив подачу питания к катушке $K1$. Контакт $1K1$ замкнется, в цепь нагрузки введется группа диодов n_1 , а напряжение на выходе скачком снизится до значения $U_{л.с}$ (см. рис. 5.2). Одновременно замкнется контакт $2K1$ в измерительной цепи блока СУ2, который с этого момента будет контролировать выходное напряжение вместе с блоком СУ1. В случае последующего снижения напряжения до значения $U_{л.мин}$ (см. рис. 5.2), блок СУ1 обеспечит возвращение схемы в исходное состояние. В случае же повышения напряжения до уровня $U_{л.маx}$ блок СУ2 отключит реле $K2$. В цепь питания нагрузок будет введена еще одна группа диодов n_1 , и выходное напряжение снизится до уровня $U_{л.с}$. Цепь питания блока СУ1 (см. точки $2'$ и $3'$), и реле $K4$ отключится (разомкнется $2K2$), а блок СУ3 будет подготовлен к работе (замкнется $1K4$). Изучить дальнейшее поведение схемы при изменении входного напряжения студентам предлагается самостоятельно. Отметим лишь, что для рассматриваемого образца ДО отмеченные на диаграмме (см. рис. 5.2)

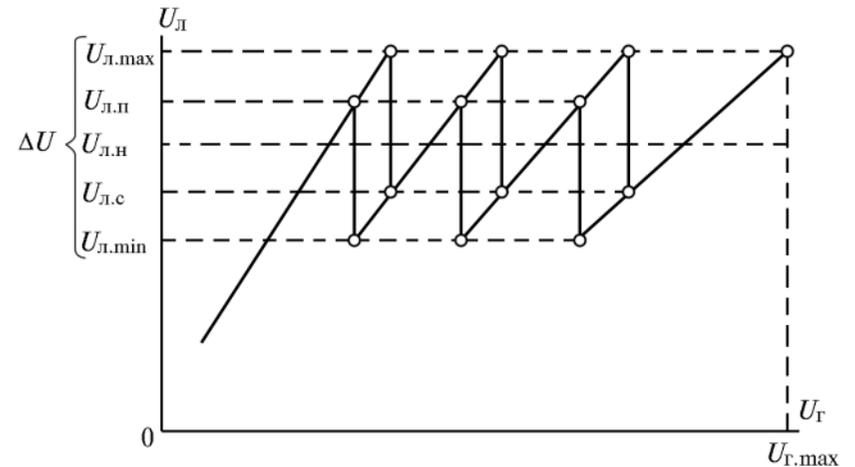


Рис. 5.2. Диаграмма изменения выходного напряжения диодного ограничителя

граничные значения напряжений должны составлять $U_{л.маx} = 115 \pm 0,5$ В, $U_{л.мин} = 95 \pm 0,5$ В, $\Delta U = 13,5 \pm 0,9$ В при нагрузке диодов 1 А.

4. План выполнения работы.

4.1. Ознакомиться с конструкцией ДО, методикой замера его основных параметров и регулировкой.

4.2. Замерить основные параметры ДО, снять его характеристики. Сделать заключение о его техническом состоянии, при необходимости провести регулировку.

4.3. Проанализировать неисправности схемы и схем управления, указав формы их проявления и предложив методику поиска.

4.4. Ответить на контрольные вопросы.

5. Порядок проведения и оформления работы.

5.1. Зарисовать и собрать схему испытаний (см. рис. 5.1, а).

Приборы, включенные в схему, контролируют:

$PU1$ — входное напряжение U_r ,

$PA1$ — ток $I_{до}$ диодного ограничителя,

$PU2$ — стабилизированное (выходное) напряжение $U_{л}$,

$PA2$ — ток нагрузки $I_{л}$.

5.2. Отключить нагрузку. Плавно увеличивая входное напряжение, убедиться в том, что до включения первой ступени регулирования напряжения на входе и выходе ДО равны. Зафиксировать показания приборов при двух, трех значениях $U_r < U_{л.маx}$. Данные свести в таблицу (формы таблиц для записи результатов студенты выбирают самостоятельно).

Продолжая повышать входное напряжение, зафиксировать верхнее $U_{л.маx}$ и нижнее $U_{л.с}$ значения напряжения каждой ступени включения. Напряжение повышать до тех пор, пока его значение на выходе ДО не начнет превышать $U_{л.маx}$ (после срабатывания третьей ступени).

Плавно уменьшая входное напряжение, зафиксировать верхние $U_{л.п}$ и нижние $U_{л.мин}$ границы ступеней. Результаты измерений свести в таблицу.

5.3. Включить нагрузку, установив $I_{л} = 1$ А. Провести объем работ, предусмотренный п. 5.2. Сравнить полученные значения $U_{л.мин}$, ΔU , $U_{л.маx}$ с требуемыми. В случае их несоответствия провести регулировку блоков СУ с помощью резисторов $R3$ и $R5$.

5.4. Построить зависимости $U_{л} = f(U_r)$ и $P_{л} = f(U_r)$, объяснив характер полученных зависимостей.

5.5. Оформить отчет, сделав заключение о работоспособности ограничителя.

5.6. Подготовить ответы на следующие вопросы: 1) Какие последствия вызовет обрыв цепи стабилитрона $V4$ в блоке СУ?

2) Какие причины могут вызвать переход ДО с трехступенчатого режима работы на двухступенчатый?

3) Изменится ли работа ДО при обрыве цепи питания катушки реле $K4$?

4) Что может явиться причиной звонковой работы исполнительного реле ($K1$, $K2$, $K3$) блока СУ?

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ МОСТОВОЙ СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ

1. Цель работы. Ознакомиться с работой трехфазной неуправляемой мостовой схемы выпрямления.

2. Объект исследования — шестипульсовый выпрямитель, выполненный на базе шести диодов и позволяющий получить без применения специальных фильтров нерегулируемое выпрямленное напряжение с малой величиной пульсаций.

3. Краткие теоретические сведения и описания экспериментальной установки. Испытуемая схема, приведенная на рис. 6.1, а, содержит трехфазный трансформатор Тр, шесть диодов $V1 - V6$ и нагрузочный резистор сопротивлением R_H . Обмотки трансформатора могут быть соединены как «звездой», так и «треугольником». Диоды образуют две группы с четными (катодная группа) и нечетными (анодная группа) номерами.

В каждый момент времени работает пара диодов — по одному из катодной и анодной групп. В катодной группе открыт диод, у которого анод имеет наиболее высокий потенциал; в анодной группе — диод, катод которого имеет самый низкий потенциал. Каждый диод работает в течение трети периода питающего напряжения.

Состав пары меняется через каждую шестую часть периода. Например, в течение времени от t_1 до t_3 (треть периода, см. рис. 6.1, б) наибольший потенциал имеет зажим «а» схемы. Следовательно, в это время в катодной группе открыт диод V_2 (см. рис. 6.1, б). Поскольку сопротивление диода в проводящем направлении равно нулю, то потенциал общей точки катодов равен потенциалу зажима «а». Диоды $V4$ и $V6$ заперты, так как потенциалы их анодов ниже потенциала катодов.

В промежутке времени от t_1 до t_2 (шестая часть периода) наименьший потенциал имеет зажим «в». Следовательно, в анодной группе в это время открыт диод $V3$. Потенциал общей точки анодов равен потенциалу зажима «в». Диоды $V1$ и $V5$ заперты, так как потенциалы их катодов выше потенциала анодов. В промежутке вре-

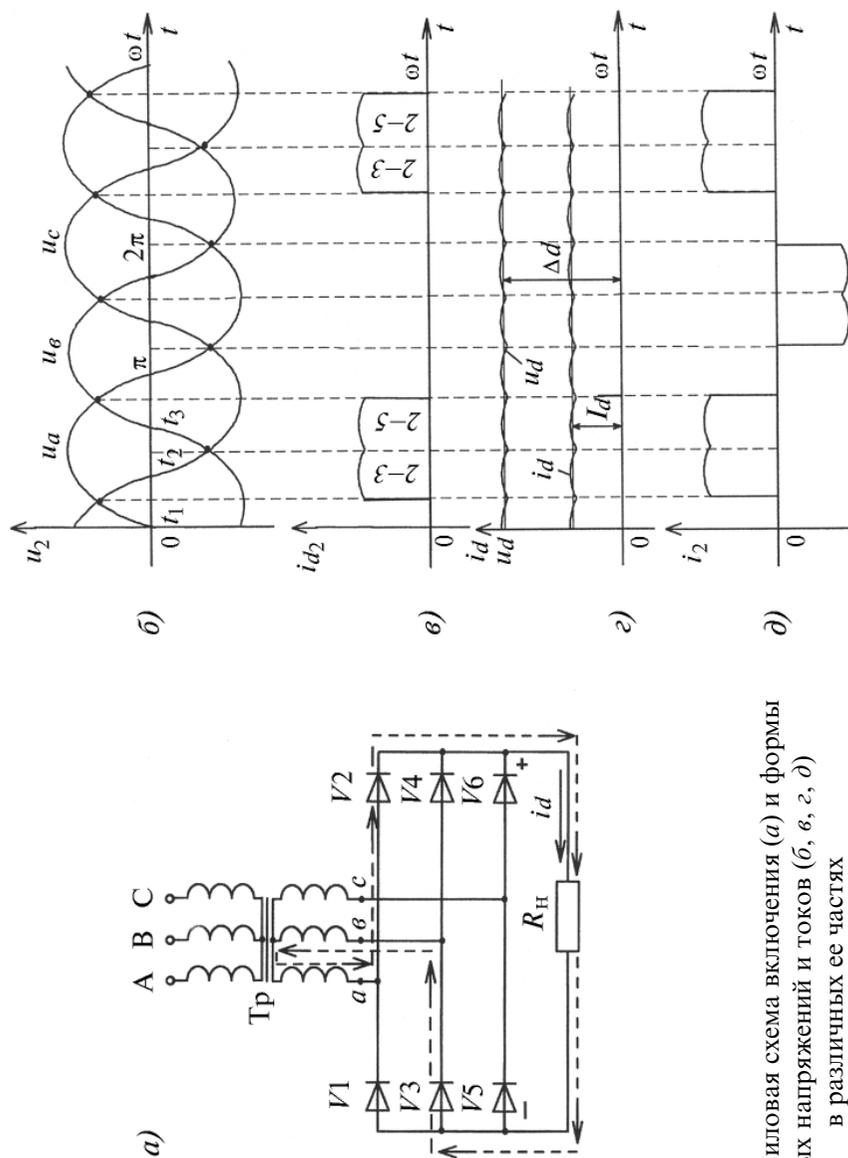


Рис. 6.1. Силовая схема включения (а) и формы кривых напряжений и токов (б, в, г, д) в различных ее частях

мени от t_2 до t_3 наименьшим потенциалом обладает зажим «с». В это время в паре с диодом $V2$ работает диод $V5$. На рис. 6.1, а пунктирной линией показан путь тока в промежутке времени от t_1 до t_2 . На рис. 6.1, в показан график тока диода $V2$, а на рис. 6.1, г — графики тока i_d и напряжения u_d на нагрузке. Таким образом, частота пульсаций тока нагрузки также, как и частота основной гармоники разложения тока в ряд Фурье, в шесть раз выше частоты напряжения сети.

Напряжение на нагрузке равно вторичному линейному напряжению трансформатора. В течение времени от t_1 до t_2 $u_d = u_{ac}$. В следующую шестую долю периода (от t_2 до t_3) $u_d = u_{ac}$ и т.д. Максимальное значение напряжения на нагрузке

$$U_{\max} = U_{2m} = \sqrt{3} \cdot U_{2m\phi} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{2\phi}.$$

Максимальное значение тока нагрузки

$$I_{\max} = \frac{U_{\max}}{R_{\text{н}}}.$$

Постоянная составляющая выпрямленного тока

$$I_d = \frac{3I_{\max}}{\pi}.$$

В течение периода ток i_2 фазы вторичной обмотки протекает дважды: треть периода, когда напряжение данной фазы положительно и выше напряжения других фаз (работает соединенный с данной фазой диод катодной группы), и треть периода, когда напряжение фазы отрицательно и ниже напряжения других фаз (работает диод анодной группы). Диаграмма тока фазы «а» вторичной обмотки показана на рис. 6.1, д.

Действующее значение тока вторичной обмотки

$$I_2 = 0,78 \cdot I_{\max}.$$

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_d = R_{\text{н}} \cdot \frac{3}{\pi} \cdot I_{\max}.$$

Среднее значение тока через диод равно трети среднего значения тока нагрузки

$$I_a = \frac{1}{3} \cdot I_d.$$

Преимуществами трехфазной мостовой схемы являются: малый коэффициент пульсаций и высокая их частота, что облегчает устройство сглаживающих фильтров; высокий коэффициент использования трансформатора; малое значение максимального обратного напряжения (всего на 5% выше среднего значения выпрямленного напряжения).

На рис. 6.2 приведена схема испытательного стенда, на котором ведутся исследования процессов, протекающих в шестипульсовом выпрямителе.

4. План выполнения работы.

4.1. Ознакомиться со схемой испытательного стенда, параметрами диодов, входящих в ее состав, правилами регулирования напряжения и методикой проведения замеров и наблюдений.

4.2. Собрать требуемую схему испытаний (см. рис. 6.2).

4.3. Оценить соотношение между входным U_1 и выходным U_d напряжениями схемы при различном характере нагрузки ($R_{\text{н}}$ или $R_{\text{н}} + C$).

4.4. Проанализировать формы выходного напряжения на различных участках схемы при разном характере нагрузки.

5. Порядок проведения и оформления работы.

5.1. Зарисовать и собрать схему испытаний (см. рис. 6.2). Приборы, включенные в схему, контролируют:

$PV1$ — выходное напряжение U_d выпрямителя, В,

$PA1$ — ток нагрузки I_d , мА,

$PV2$ — фазное напряжение источника питания, В,

$PA2$ — ток фазы I_2 , мА,

$PA3$ — ток диода I_a , мА.

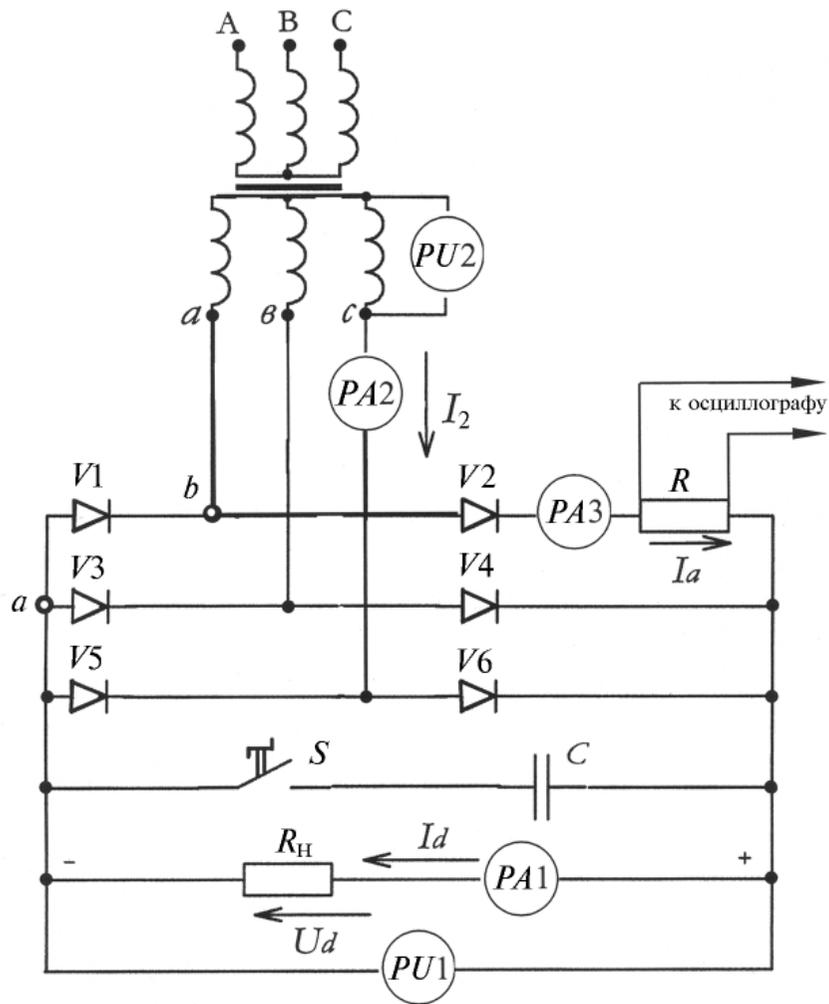


Рис. 6.2. Схема испытательного стенда для исследования работы шестипульсовой схемы выпрямления

5.2. Отключить конденсатор и подать входное напряжение на схему. Зафиксировать показания приборов и форму напряжений на различных участках схемы. Отдельно зафиксировать форму тока, протекающего по диоду $V2$ и форму напряжения на диоде $V1$. Данные замеров свести в таблицу (форму таблицы студенты выбирают по своему усмотрению).

5.3. По результатам наблюдений на экране электронно-лучевого осциллографа построить зависимости:

- напряжения на вторичной обмотке трансформатора;
- выпрямленного тока и напряжения;
- тока диода;
- обратного напряжения на диоде (точки a, b).

5.4. Включить емкостной фильтр и по изображению на экране осциллографа оценить (качественно) его влияние на форму выпрямленного напряжения.

ЭЛЕКТРОННАЯ
И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Редактор *Д.Н. Тихоньчев*
Компьютерная верстка *Е.Ю. Русалева*

| | | |
|-----------------------------|------------------|---|
| Тип. зак. | Изд. зак. 326 | Тираж 1500 экз. |
| Подписано в печать 14.10.03 | Гарнитура Times. | Офсет |
| Усл. печ. л. 2,25 | | Формат 60×90 ¹ / ₁₆ |

Издательский центр РГОТУПСа,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

ООО НТЦ «Кван»
109391, Москва, Рязанский проспект, 2