

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

11/1/10

**Одобрено кафедрой
«Энергоснабжение электрических
железных дорог»**

**ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА
И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ
В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ**

**Руководство
по выполнению лабораторных работ
для студентов IV курса
специальности**

190401 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ЭНС)



Москва – 2008

Составитель — канд. техн. наук, доц. А. Ф. Харченко

© Российский государственный открытый технический университет
путей сообщения, 2008

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее руководство по выполнению лабораторных работ для студентов IV курса специальности «Электроснабжение железных дорог» охватывает цикл лабораторных работ, предусмотренный рабочей программой по дисциплине «Электронная техника и преобразователи в электроснабжении».

Описанию каждой из лабораторных работ предшествуют краткие теоретические сведения по теме, рассматриваемой в лабораторной работе. Приводимые здесь сведения, однако, не ставят своей целью изложить полностью теоретическую часть курса, а предназначены для усвоения студентами важнейших процессов, происходящих в изучаемых объектах.

Все лабораторные работы выполняются в компьютерном классе с программной средой **Electronics Workbench**, поэтому после изучения теоретических сведений по лабораторным работам необходимо ознакомиться с «Кратким руководством по применению программного комплекса **Electronics Workbench V.5.0 C**», которое приведено в виде прил. 1.

Исходные данные в руководстве по проведению лабораторных работ приведены как примерные и изменяются преподавателем для каждого студента, работающего на компьютере.

Отчеты по каждой лабораторной работе должны быть максимально лаконичны. В них нужно указать основные характеристики изучаемых приборов, схемы испытаний, графики и (или) таблицы, типичные осциллограммы и выводы, включающие ответы на контрольные вопросы.

На первом листе отчета должны быть указаны: название университета и кафедры; фамилия и учебный шифр студента, а также фамилия проверяющего преподавателя.

Если отчет оформляется на отдельных листах, то на остальных листах отчета должна быть фамилия студента и номер варианта предложенного преподавателем.

Графики желательно строить с использованием компьютерных программ (например, Excel) или на листах миллиметровой бумаги.

Схемы и осциллограммы можно копировать с экрана монитора, применяя программы Paint или Word Pad. Например

Print Screen- Пуск- Программы - Стандартные - Word Pad – Файл –Параметры страниц – Книжная или альбомная – ОК - Вставить - Файл - Печать.

При расчетах параметров схем выпрямления можно использовать «Основные соотношения в выпрямителях» при активной нагрузке приведенных в прил. 2. Расчет $U_{\text{дас}}$ проводится для основной гармонической составляющей выпрямленного напряжения.

При выполнении лабораторных работ № 3-8 полученные значения расчетов и измерений необходимо заносить в таблицу по предлагаемой форме.

Параметры при $U_2 = \dots$	U_d	U_2/U_d	$U_{\text{дас}}$	$U_{\text{дас}}/U_d$	U_b	U_b/U_d	I_d	I_a	I_a/I_d	n
Расчетные значения										
Измеренные значения при $R=200 \text{ Ом}; C=0; L=0$										
Измеренные значения при $R=200 \text{ Ом}; C\#0, L=0$										
Измеренные значения при $R=200 \text{ Ом}, C=0, L\#0$										

Примечание. В зависимости от условий выполнения работ число строк в предлагаемой таблице необходимо увеличивать или уменьшать.

Принятые обозначения:

U_2 – действующее значение фазного напряжения вторичной (вентильной) обмотки трансформатора (для каждого варианта задается преподавателем);

U_d – среднее значение выпрямленного напряжения;

$U_{\text{дас}}$ – действующее значение переменной составляющей выпрямленного напряжения;

U_b – максимальное значение обратного напряжения на вентиле;

I_d – среднее значение выпрямленного тока в нагрузке;

I_a – среднее значение выпрямленного тока, протекающего в плече выпрямительной схемы или через один вентиль ;

n – число пульсаций за период напряжения питающей сети;

R, C, L – соответственно: активное сопротивление, емкость и индуктивность нагрузки выпрямителя.

Необходимо отметить, что в лабораторных работах с применением программного комплекса **Electronics Workbench V.5.0 C**», рассматриваются идеализированные выпрямители, в которых переход тока с вентиля на вентиль происходит мгновенно.

В реальных схемах выпрямления мгновенный переход тока с вентиля на вентиль невозможен из-за наличия в контуре коммутации определенной индуктивности, создаваемой потоками магнитного рассеивания (реактанс сети и трансформатора). Время, в течение которого происходит переход тока с одного вентиля на другой, измеряется в угловой мере и называется углом коммутации. Изучение студентами процессов коммутации проводится при выполнении контрольных работ по данной дисциплине.

Для самостоятельного изучения вопросов рассматриваемых лабораторных работах в конце данного руководства приведена рекомендуемая литература.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Цель работы. Ознакомиться с физическими принципами работы, параметрами и вольтамперной характеристикой полупроводниковых диодов.

Краткие теоретические сведения

Основой силового полупроводникового диода является p - n -переход, образующийся в пластине монокристаллического кремния между двумя слоями различной электропроводности (один - электронной, другой – дырочной).

Если к p - n -переходу приложить напряжение от внешнего источника положительным полюсом к p -области, а отрицательным к n -области, сопротивление p - n -перехода уменьшится. Через p - n -переход будет протекать большой по величине прямой ток, т.е. диод будет находиться в открытом состоянии.

Если приложить обратное напряжение (плюс источника к n -области, а минус – к p -области), то его сопротивление увеличивается. Обратный ток через диод мал. В данном случае считается, что диод закрыт.

Таким образом, полупроводниковый диод, состоящий из двух областей с разным типом проводимости, обладает выпрямительными свойствами.

Отметим, что после прохождения прямого тока, восстановление непереводящего состояния p - n -перехода длится некоторое время, называемое *временем обратного восстановления*. Для силовых низкочастотных диодов оно составляет 5-8 мкс.

Основной характеристикой полупроводникового диода является вольтамперная характеристика, снимаемая при расположении прямого и обратного напряжения. Упрощенно она состоит из трех областей: областей пробоя 1 и 3 и области насыщения 2 (рис. 1.1).

При включении диода в прямом направлении пробой (область 3) происходит, когда приложенное напряжение превышает *напряжение отсечки* или *пороговое напряжение* U_0 .

Если к $p-n$ -переходу приложить обратное напряжение превышающее определенное значение, то начинается резкое возрастание обратного тока (область 1 на рис. 1.1). Этот процесс называется электрическим пробоем $p-n$ -перехода и в силовых приборах обусловлен ударной ионизацией атомов решетки свободными носителями зарядов.

Вследствие дефектов при изготовлении $p-n$ -переходов образуются участки, в которых область объемного заряда значительно сужена. На этих участках напряженность поля значительно выше, чем в остальной части перехода, а напряжение пробоя ниже. Поэтому плотность тока здесь очень велика даже при небольших значениях обратного тока. Температура в месте пробоя резко повышается, и электрический пробой приводит к разрушению структуры (необратимый пробой).

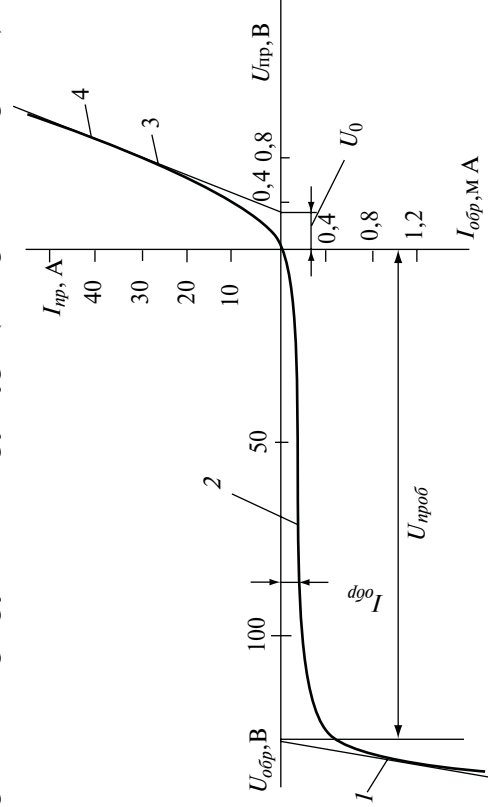


Рис. 1.1. Типичная вольтамперная характеристика полупроводникового диода

С помощью специальных технологических мероприятий можно добиться того, что напряжение пробоя отдельных микродиагн будет несущественно отличаться друг от друга и от

среднего напряжения пробоя *p-n*- перехода. В таких переходах при пробое обратный ток проходит через большое количество микроплазм в объеме и суммарная допустимая мощность при протекании обратного тока будет на порядки больше.

Диоды на основе таких переходов получили название диодов с лавинными характеристиками, или *лавинных диодов*. Лавинные диоды могут работать в условиях кратковременных перенапряжений, допуская протекание при этом обратного тока до нескольких десятков ампер. Энергия импульса перенапряжения рассеивается в диоде, а напряжение на нем остается приблизительно равным напряжению лавинообразования.

Разновидностью лавинного диода является стабилизитрон, работающий в режиме электрического пробоя *p-n*-перехода. При напряжении пробоя ток стабилизитрона резко возрастает, а напряжение остается равным напряжению стабилизации.

Отметим, что кремний, применяемый в лавинных диодах и стабилизитронах, должен быть однородным по удельному сопротивлению.

К основным параметрам диода относятся:

- *предельный ток* (максимально допустимое за период средней значение прямого тока, длительно протекающего через прибор);
- *прямое падение напряжения* (мгновенное значение напряжения на приборе при прохождении через него прямого тока);
- *повторяющееся напряжение* (максимально допустимое мгновенное значение напряжения, прикладываемое к прибору в обратном направлении);
- *неповторяющееся напряжение* (максимально допустимое мгновенное значение неповторяющегося переходного напряжения);
- *ударный ток* (максимально допустимая амплитуда импульса аварийного тока длительностью 10 мс);
- *напряжение отсечки*.

В действующих в настоящее время стандартах и технических условиях России за основной параметр по напряжению, определяющий класс диодов и тиристоров, принято повто-

ряющееся напряжение. Класс прибора означает число сотен вольт повторяющегося напряжения.

Порядок выполнения лабораторной работы

1.1. Ознакомиться с типом и параметрами исследуемого диода.

1.2. Собрать схему испытаний, представленную на рис. 1.2 и снять обратную ветвь вольтамперной характеристики, последовательно устанавливая значение ЭДС источника постоянного напряжения от 10 В до значения превышающего напряжение пробоя выбранного диода на 50 В. Данные занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

U , В	10						$U_{\text{проб}}$	$U_{\text{проб}} + 50$
$I_{\text{об}}$, мА								
$U_{\text{об}}$, В								

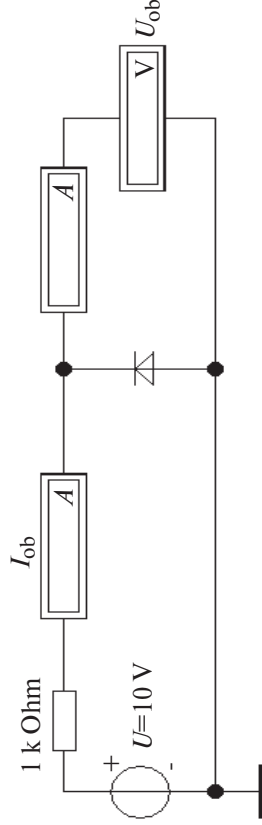


Рис. 1.2. Схема для снятия обратного участка вольтамперной характеристики полупроводникового диода

1.3. Собрать схему испытаний с источником переменного синусоидального тока при частоте 0,1 Гц, представленную на рис. 1.3, и снять часть прямой ветви вольтамперной характеристики для определения порогового напряжения U_0 . Осциллограф настроить в режим развертки В/А; масштаб: по каналу А – 200 мВ/div, по каналу В – 2 В/div. Зафиксировать осциллограмму и маркерами определить U_0 (см. рис. 1.1).

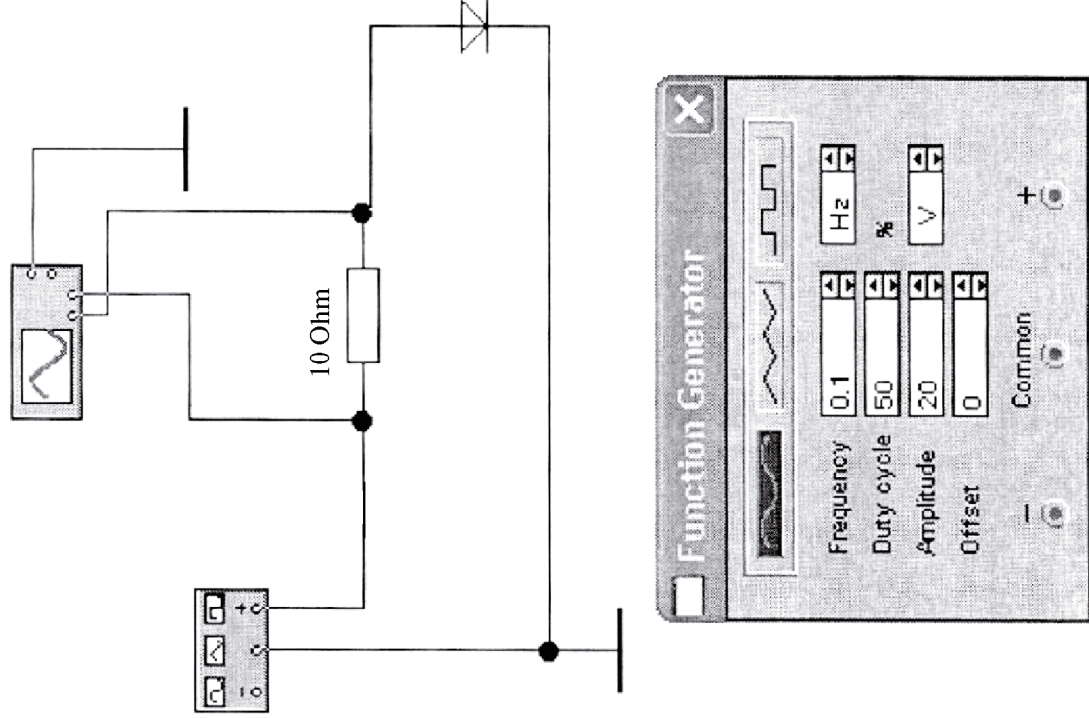


Рис. 1.3. Схема для снятия прямого участка вольтамперной характеристики полупроводникового диода и увеличенное изображение функционального генератора с исходными данными

1.4. По данным п. 1.2 на осциллограмме, полученной при выполнении п.1.3, построить график $I_{об} = f(U_{об})$ (масштаб брать самостоятельно).

1.5. Составить отчет, включающий цель работы, основные характеристики исследуемого диода, схемы испытаний, осциллограмму с вольтамперной характеристикой диода, таблицу экспериментальных данных и краткие выводы.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Каковы свойства $p-n$ -перехода?
2. Каковы характерные значения напряжения на прямом и обратном участках вольтамперной характеристики диода?
3. Чем определяется и как обозначается класс напряжения диода?
4. В чем состоят особенности лавинных диодов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ТИРИСТОРЫ

Цель работы. Ознакомление с физическими принципами работы, параметрами и вольтамперной характеристикой тиристоров.

Краткие теоретические сведения

В преобразовательной технике больших и средних мощностей наиболее распространенные получили приборы, выполненные на базе четырехслойных структур, которые называются тиристорами. Существует множество разновидностей тиристоров.

Тиристор – это полупроводниковый прибор, с двумя устойчивыми состояниями, имеющий три $p-n$ -перехода. В зависимости от способа управления прибором различают диодные (динисторы) и триодные тиристоры. Первый имеет два электрода (анод и катод), вторые – еще и управляемый электрод. Анодом тиристора, соединенным с положительным полюсом

источника электрической энергии, служит крайний слой p_1 , а катодом — крайний слой n_2 (рис. 2.1). Принципиальная схема структуры диодистора и его эквивалентная схема представлена на рис. 2.1, а вольтамперная характеристика — на рис. 2.2, а.

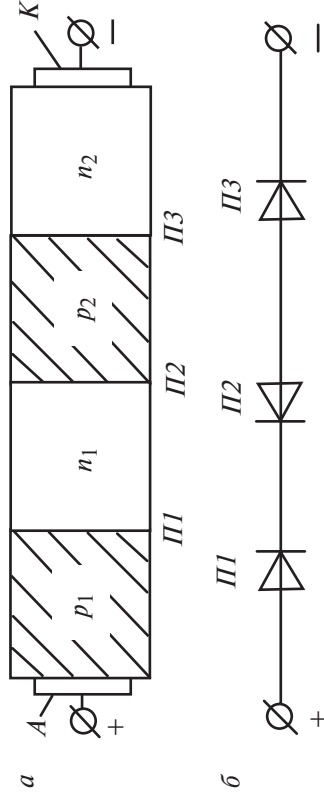


Рис. 2.1. Принципиальная схема четырехслойной структуры диодистора (а) и его эквивалентная электрическая схема (б)

Когда к диодистору приложено напряжение в прямом направлении переходы П1 и П3 (рис. 2.1) открыты, но диодистор заперт переходом П2, который включен в непроводящем направлении. С увеличением напряжения в непроводящем направлении возрастает незначительно. Этот режим называется режимом прямого запертого состояния диодистора, ему соответствует участок ОА прямой ветви вольтамперной характеристики (рис. 2.2, а).

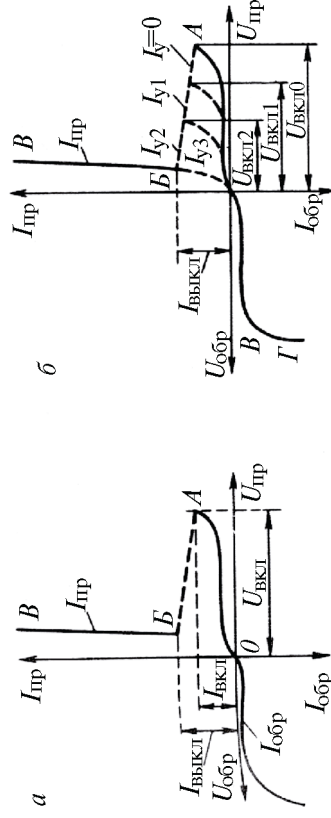


Рис. 2.2. Вольтамперная характеристика диодного (а) и триодного (б) тиристоров

При дальнейшем увеличении приложенного напряжения до величины $U_{\text{вкл}}$, который называется *напряжением включения*, происходит как бы лавинный пробой перехода $P2$ и ток вентиля возрастает до значения $I_{\text{вкл}}$, называемого *током включения*. Процессу открытия динистора соответствует участок AB (рис. 2.2, а) вольтамперной характеристики. Участок BV имеет такой же характер, как и в вольтамперной характеристике полупроводникового диода. Динистор будет находиться во включенном состоянии до тех пор, пока проходящий через него прямой ток достаточен для инжекции электронов и дырок в слоях n_1 и p_2 .

При снижении тока вентиля до значения, меньшего тока удержания или *тока выключения* $I_{\text{выкл}}$, вентиль переходит в выключенное состояние, так как число инжектируемых носителей электричества оказывается недостаточным для поддержания перехода $P2$ в открытом состоянии. При приложении к динистору обратного напряжения (минус к аноду A , а плюс к катоду K) он остается в закрытом состоянии.

Существенным недостатком динисторов является невозможность перехода их в открытое состояние при анодном напряжении, меньшем напряжения переключения.

Характерной особенностью триодного тиристора (далее тиристора) является то, что при положительном напряжении на аноде напряжение включения можно значительно *снизить и регулировать*.

Для этого на управляющий электрод, соединенный с областью p_2 и катодом K , подается положительный потенциал от вспомогательного источника тока. При этом через переход P_3 кроме токов утечки будет проходить ток управления.

Создающие этот ток электроны будут инжектироваться из слоя n_2 в слой p_2 , и далее часть из них будет перебрасываться электрическим полем перехода $P2$ в слой n_1 . Одновременно увеличивается и встречная инжекция дырок из слоя n_1 в слой p_2 , т.е. происходит увеличение тока через переход $P2$. Когда ток, проходящий через переход $P2$, превысит ток включения $I_{\text{вкл}}$, происходит открытие тиристора, после чего носители

электричества будут свободно переходить через все четыре области. После того как тиристор открылся, он будет удерживаться в открытом состоянии прямым током, проходящим через переход I_{T2} , и управляющий электрод перестает влиять на прохождение тока. Выключается тиристор при спадании прямого тока до $I_{\text{выкл}}$.

На рис. 2.2, б представлена вольтамперная характеристика тиристора, при различных токах управления. Ветви характеристики зависят от тока управления и при достаточном его значении практически совпадают с аналогичными ветвями вольтамперной характеристики диода. Для большинства силовых тиристоров такой отпирающий постоянный ток управления составляет сотни миллиампер, а отпирающее постоянное напряжение не превышает 10 В при широком изменении величины положительного потенциала на аноде относительно катода.

Неотпирающее тиристор постоянное напряжение управления должно быть не менее 0,3÷0,5 В, чтобы он не включался от случайных помех.

Так как после отпирания вентиля ток управления больше не влияет на его работу, то для управления тиристором могут применяться кратковременные импульсы тока. Однако надо иметь в виду, что амплитуда и длительность сигнала управления ограничивается сверху и снизу рядом требований. Для силовых тиристоров максимально допустимый *импульсный* ток составляет единицы ампер при длительности до нескольких сотен микросекунд.

Если к аноду прибора приложить отрицательный потенциал относительно катода, то тиристор оказывается в закрытом состоянии, которое не может быть изменено подачей напряжения на управляющий электрод любой полярности. Обратная ветвь вольтамперной характеристики такая же, как и у диода (см. рис. 1.1, и рис. 2.2, б).

При групповом соединении приборов (для обеспечения одновременного включения всех тиристорov групп) большое значение имеет скорость нарастания тока управления, кото-

рая может достигать нескольких ампер в микросекунду. Надежность работы тиристоров в значительной степени зависит от правильности выбора режима цепи управления.

При подаче импульса управления тиристор из запертого состояния в открытое переходит не мгновенно, так как для инжекции носителей электричества в слой p_2 и n_1 требуется определенное время (скорость распространения проводимости около 0,1мм/мкс). Для разных приборов оно составляет от долей до нескольких десятков микросекунд.

Выключатся тиристор так же не мгновенно. Промежуток времени от момента прохождения прямого тока через нулевое значение до момента, когда можно повторно приложить к вентилю прямое напряжение без опасения его отпирания, называется *временем выключения тиристора* или *временем восстановления запирающих свойств в прямом направлении*. Для разных приборов оно составляет от 10 до 500 мкс.

Основными параметрами для тиристорov являются все основные параметры, указанные для диодов. Кроме этого устанавливаются группы: *критической скорости нарастания тока в открытом состоянии*; *критической скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии*; *времени включения и выключения, а также параметры импульса управления*.

Порядок выполнения лабораторной работы

2.1. Ознакомиться с типом и параметрами выбранного тиристора.

Из диалогового окна параметров тиристора записать:

- напряжение, при котором тиристор переключается в открытое состояние при нулевом напряжении на управляющем электроде $U_{\text{проб}}$;
- отпирающее напряжение на управляющем электроде U_y .

2.2. Собрать схему, представленную на рис. 2.3.

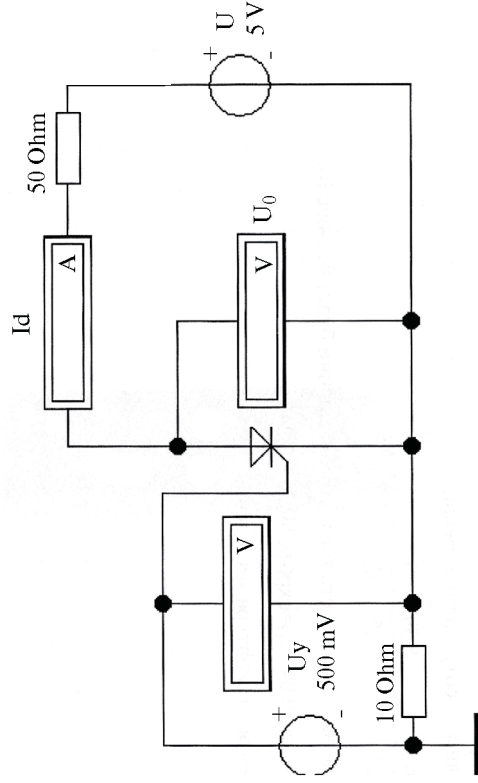


Рис. 2.3. Схема для снятия вольтамперной характеристики тиристора

2.3. Установить полярность напряжения в цепи анод — катод соответствующую режиму прямого тока. Установить напряжение в цепи управления равное напряжению помехи (≤ 500 мВ). Изменяя напряжение в цепи анод- катод от 5 В до $U_{\text{проб}} + 50$ В, измерить 10 значений прямого тока и напряжение U_0 на тиристоре. Данные занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

U , В	5										$U_{\text{проб}}$	$U_{\text{проб}} + 50$
I_d , мА при U_0 , $U_y = 500$ мВ												
U_0 , В												
I_d , мА при $U_y = U_{\text{умин}}$												
U_0 , В												

2.4. Установить полярность напряжения в цепи анод-катод, соответствующую режиму прямого тока. Плавно увеличить

вать напряжение в цепи управления от 500 мВ до напряжения $U_{\text{умин}}$, при котором происходит включение тиристора. Определить $U_{\text{умин}}$ произвести для двух значений напряжения на аноде тиристора (5 В и 150 В).

2.5. Установить полярность напряжения в цепи анод-катод соответствующую режиму прямого тока. Установить напряжение в цепи управления равное напряжению $U_{\text{умин}}$. Изменить напряжение в цепи анод-катод от 5 В до $U_{\text{проб}} - 50 \text{ В}$, измерить 10 значений прямого тока и напряжения на тиристоре U_0 . Данные занести в табл. 2.1.

2.6. По результатам, полученным в пунктах 2.3, 2.5 построить вольтамперную характеристику тиристора.

2.7. Составить отчет, включающий цель работы, схему испытаний, график, таблицу и выводы.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Каково условие переключения динистора?
2. Каковы условия переключения тиристорov?
3. Каково время включения и время выключения тиристорov?
4. Для каких целей используют тиристоры в силовой электронике?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

НЕУПРАВЛЯЕМЫЕ ОДНОПУЛЬСОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Цель работы. Ознакомиться со структурой выпрямительной установки и особенностями работы неуправляемого однопульсового выпрямителя. Экспериментально проверить основные соотношения, характеризующие работу однопульсового выпрямителя.

Краткие теоретические сведения

Выпрямительной установкой называется статическое устройство, преобразующее переменный ток в постоянный. На рис. 3.1. показана структурная схема выпрямительной установки.

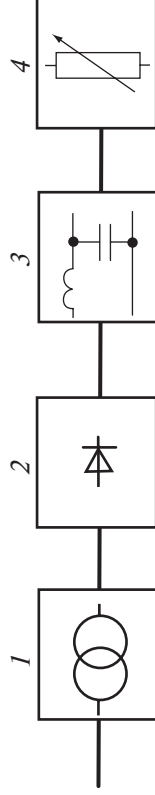


Рис. 3.1. Структурная схема выпрямительной установки

Основными элементами выпрямительной установки являются:

- силовой трансформатор *1*, предназначенный для согласования входного и выходного напряжений выпрямителя и электрической развязки питающей сети и сети нагрузки;
- выпрямительная схема *2* на основе отдельных диодов или блоков из них, преобразующих переменный ток в пульсирующий ток одного направления;
- сглаживающий фильтр *3*, уменьшающий пульсации выпрямленного напряжения в цепи нагрузки *4*.

В зависимости от конкретных условий, те или иные элементы выпрямительной установки могут отсутствовать или могут быть дополнены, например, элементами управления и защиты или элементами автоматического регулирования нагрузки.

Если напряжение сети согласуется с требуемым выпрямленным напряжением нагрузки, и нет необходимости электрической развязки цепей нагрузки и питания, то может отсутствовать силовой трансформатор.

Полезный механический эффект тягового двигателя локомотива (тяговые усилия, скорость) определяются только постоянными составляющими напряжения и тока. Переменные же составляющие (гармонические составляющие переменного напряжения) приводят к бесполезной затрате мощности,

поэтому их стремятся ограничить с помощью фильтров. В зависимости от требований к качеству выпрямленного напряжения и схемы выпрямителя сглаживающий фильтр может отсутствовать.

Выпрямители подразделяются:

- на однофазные и трехфазные в зависимости от числа фаз питающей сети;
- в зависимости от формы выпрямленного напряжения на однопульсовые и двухпульсовые в однофазных сетях и на трех-, шести и двенадцатипульсовые в трехфазных сетях.

Работа выпрямителя существенным образом зависит от характера нагрузки. Основными видами нагрузки являются: активная (резистивная), активно-индуктивная, активно-емкостная, на противно – ЭДС (двигатели постоянного тока, аккумуляторы в режиме зарядки).

Для выпрямления переменного тока достаточно включить вентиль в цепь, на которую подается переменная ЭДС e (рис. 3.2, *a*).

При этом вентиль будет пропускать ток только тогда, когда на его анод подан положительный потенциал по отношению к его катоду, т.е. в течение положительных полупериодов ЭДС источника переменного тока (рис. 3.2, *б*). Выпрямленный ток i (рис. 3.2, *в*) будет изменяться пропорционально ЭДС и проходить от анода к катоду вентиля, а через нагрузку R_n (см. рис. 3.2, *a*) – от точки *H* к точке *K*.

При противоположной полярности, когда анод отрицателен по отношению к катоду, вентиль тока не пропускает, т.е. в течение отрицательных полупериодов вентиль заперт, и ток по нагрузке не проходит.

Выпрямленный ток i (рис. 3.2, *в*) и выпрямленное напряжение u (рис. 3.2, *г*) на нагрузке получаются сильно пульсирующими, состоящими из отдельных полусинусоидальных импульсов. За значение выпрямленного напряжения U_d принимается среднее значение напряжения U_{cp} за период $T=2\pi (U_{cp} = S_u/T)$.

Напряжение, приложенное к вентилю, изменяется при изменении ЭДС источника переменного тока (рис. 3.2, а). В течение положительных полупериодов напряжение между анодом и катодом равно прямому падению напряжения на вентиле ΔU_v (доли или единицы вольт). При отрицательных полупериодах к вентилю приложена ЭДС с амплитудой равной ($U_{обр.\max} = U_b$), так как запёртый вентиль образует в идеальном случае разрыв в цепи тока. На рис. 3.2, б для наглядности соотношение напряжений искажено.

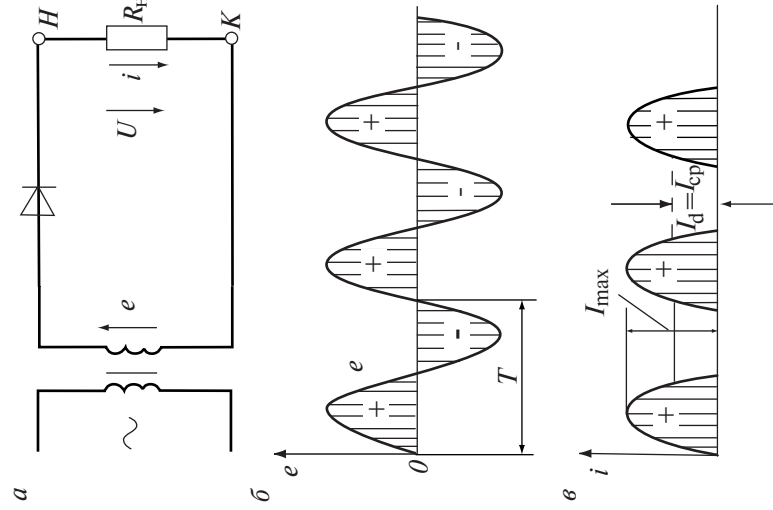


Рис. 3.2. Однопульсовый выпрямитель однофазного тока (а) и графики изменения ЭДС (б), тока (в)

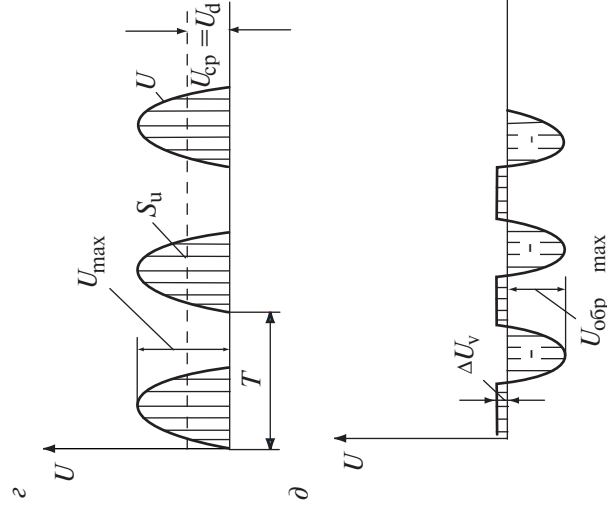


Рис. 3.2. Однопульсовый выпрямитель напряжения (а), (б)

Выпрямители, работающие на чисто активную нагрузку, встречаются редко, но в этом режиме можно имитировать режим холостого хода.

Активно-емкостная нагрузка выпрямителя создается при использовании емкости для сглаживания кривой выпрямленного напряжения.

Напомним, что для рассматриваемого выпрямителя при чисто **активной нагрузке** соотношение между действующим значением ЭДС (U_2) и средним напряжением на нагрузке (U_d) может быть отражено следующей зависимостью:

$$U_d = \sqrt{2} \cdot U_2 / \pi = 0,45 U_2,$$

а среднее значение выпрямленного тока: $I_d = \sqrt{2} \cdot U_2 / \pi R_{н.}$

На закрытом диоде максимальное обратное напряжение: $U_b = \pi U_d$.

Кривая выпрямленного напряжения содержит постоянную составляющую U_d и переменную составляющую $U_{дас}$, пред-

ставляющую собой сумму высших гармонических составляющих. Соотношение между этими параметрами и другие основные соотношения параметров выпрямителя приведены в прил. 2.

Порядок выполнения лабораторной работы

3.1. Ознакомиться с параметрами выбранного диода, используемого в схеме выпрямления; методикой сборки схемы, проведения замеров и наблюдений (см. прил. 1).

3.2. Собрать схему испытаний, представленную на рис. 3.3.

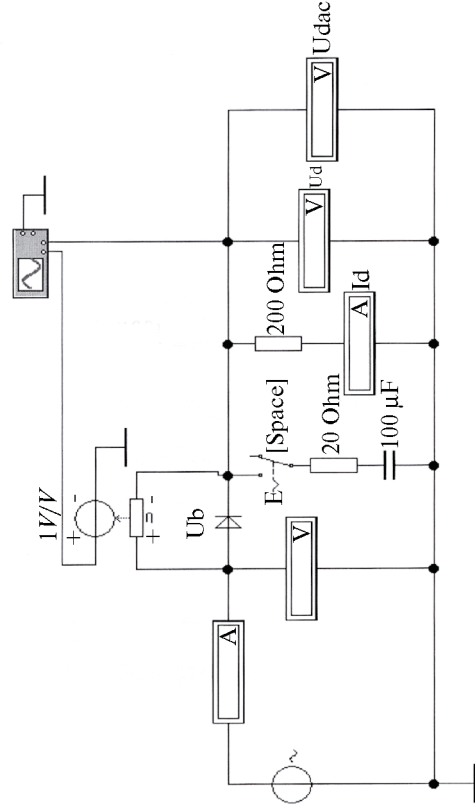


Рис. 3.3. Схема для снятия основных параметров однофазного выпрямителя однофазного тока

3.3. Используя значения U_2 , заданные преподавателем для каждого варианта, и соотношения, приведенные в (прил.2) вычислить: среднее значение выходного напряжения U_d ; действующее значение переменной составляющей напряжения на нагрузке U_{dac} ; максимальное обратное напряжение на диоде U_b и значения U_2/U_d ; U_{dac}/U_d ; U_b/U_d . Вычисленные данные занести в таблицу (форма таблицы приведена во Введении).

3.4. Включить схему на активную нагрузку равную 200 Ом (емкость отключена). По осциллографу зафиксировать форму напряжения на диоде и выпрямленного напряжения на нагруз-

ке. Измерить максимальное обратное напряжение на диоде U_b . Измерить переменную составляющую напряжения на нагрузке $U_{\text{дас}}$, постоянную составляющие напряжения U_d и тока I_d на нагрузке выпрямителя. Определить число пульсаций напряжения на нагрузке за период приложенного напряжения (20 мс). Данные занести в таблицу.

3.5. Параллельно активной нагрузке через защитное сопротивление 20 Ом поочередно ключом [sрасе] подключить конденсаторы с емкостью 100 и 1000 мкФ. По осциллографу зафиксировать форму напряжения на диоде и выпрямленного напряжения на нагрузке. Повторить измерения выполненные в п. 3.4.

3.6. Составить отчет, включающий цель работы, схему испытаний, осциллограммы, таблицу с полученными расчетными и измеренными значениями и выводы.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Каково назначение элементов в выпрямительной установке?
2. Каковы недостатки данной схемы выпрямления?
3. Как изменяется пульсация напряжения при изменении емкости в нагрузке?
4. Почему изменяется обратное напряжение на диоде и напряжение на нагрузке при подключении емкости параллельно резистивной нагрузке?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

НЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ДВУХПУЛЬСОВЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ С НУЛЕВЫМ ВЫВОДОМ

Цель работы. Ознакомиться с особенностями работы неуправляемого двухпульсового выпрямителя, работающего на различные нагрузки. Экспериментально проверить основные соотношения, характеризующие работу данного выпрямителя.

Краткие теоретические сведения

Для уменьшения пульсации выпрямленного тока и улучшения использования трансформатора и вентилей при однофазном токе обычно используют двухполупериодные выпрямители. В зависимости от схемы соединения их вентилей они могут быть выполнены с нулевым выводом или по мостовой схеме.

В двухполупериодном (двухпульсовом) выпрямителе по схеме с нулевым выводом вторичная (вентильная) обмотка трансформатора имеет три вывода (рис. 4.1).

К двум крайним выводам подсоединены вентили. Нагрузка включена между точками соединения их катодов и сред-

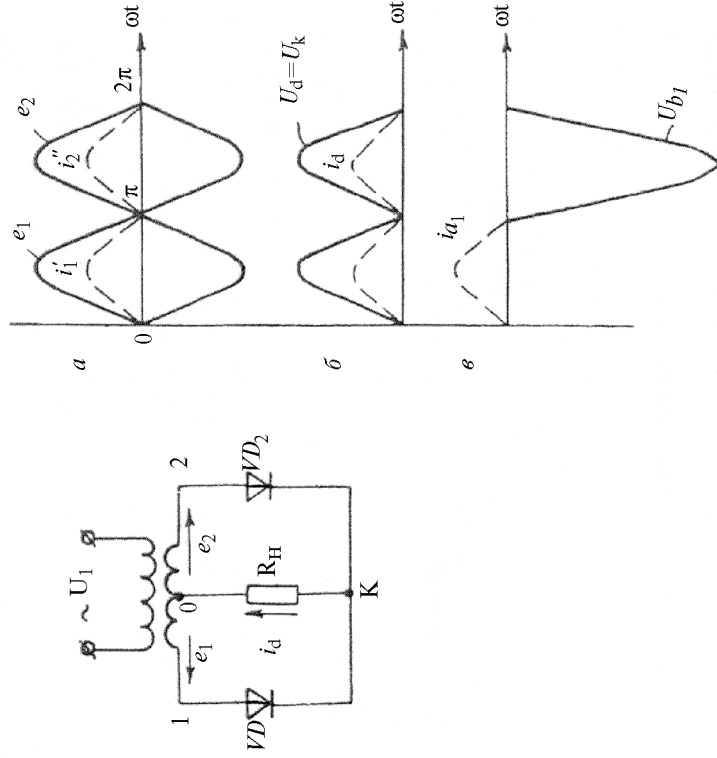


Рис. 4.1. Двухполупериодный выпрямитель однофазного тока по схеме с нулевым выводом и временные диаграммы ЭДС и тока во вторичных обмотках трансформатора (a), токов и напряжений на нагрузке (b) и прямого тока и обратного напряжения на вентиле VD_1 (e)

ним выводом вторичной обмотки трансформатора. Трансформатор преобразует однофазное напряжение, подаваемое на его первичную обмотку, в двухфазное напряжение. При этом индуктированные в его вторичных (вентильных) обмотках ЭДС (e_1 и e_2) сдвинуты друг относительно друга на π (рис. 4.1, а). Так как оба вентиля включены в две противоположные фазы вторичной обмотки трансформатора, то подаваемые в цепи этих вентилях ЭДС в любой момент времени будут противоположны по знаку.

В течение нечетных полупериодов ЭДС (от 0 до π , от 2π до 3π и т.д.) ток будут пропускать вентиль VD_1 потенциал анода, которого относительно точки O будет положительен. Вентиль VD_2 , установленный в противоположной обмотке в это время не будут пропускать ток, так как на его аноде в это время будет потенциал относительно точки O отрицателен.

В течение четных полупериодов ЭДС (от π до 2π , 3π до 4π и т.д.) работа вентилях изменится на противоположную, т.е. вентиль VD_1 , который раньше проводил ток закроется, а вентиль VD_2 , который не проводил ток откроется.

Таким образом, вентили проводят ток поочередно, когда потенциал их анода положителен относительно средней (нулевой) точки O вторичной обмотки трансформатора. Переход тока с вентиля VD_1 на вентиль VD_2 происходит в момент, когда напряжение на вторичной обмотке трансформатора сменит знак.

Каждый вентиль пропускает ток только в течение своего полупериода, но ток через нагрузку i_d протекает в течение обоих полупериодов в одном направлении (рис. 4.1, б). Положительным полюсом выпрямителя является общая точка катодов вентилях (точка K), а отрицательным — средний (нулевой) вывод трансформатора (точка O).

В непроводящую часть периода к вентилю приложено обратное напряжение, определяемое геометрической разностью фазных ЭДС, т.е. напряжением всей обмотки между точками 1 и 2. Амплитуда этого напряжения вдвое больше амплитуды фазных ЭДС (рис. 4.1, в).

Напомним, что для рассматриваемого выпрямителя при **активной нагрузке** теоретическое соотношение между действующим значением ЭДС (U_2) и средним выходным напряжением U_d может быть отражено следующей зависимостью:

$$U_d = 2\sqrt{2} \cdot U_2 / \pi = 0,9U_2 \text{ или } U_2 = 1,11U_d.$$

Максимальное значение обратного напряжения U_b , приложенного к вентилю:

$$U_b = 2\sqrt{2} \cdot U_2 = \pi U_d.$$

Средний выпрямленный ток: $I_d = 2I_{M2}/\pi$,

где I_{M2} — амплитудное значение тока вторичной обмотки трансформатора.

Средний ток, протекающий через каждый вентиль в течение полупериода: $I_a = I_d/2 = I_{M2}/\pi$.

Порядок выполнения лабораторной работы

4.1. Ознакомиться с параметрами выбранных диодов, используемых в схеме выпрямления; методикой сборки схемы, проведения замеров и наблюдений.

4.2. Собрать схему испытаний, согласно рис. 4.2.

4.3. Используя значения U_2 , заданные преподавателем для каждого варианта, и соотношения, приведенные в (прил. 2) вы-

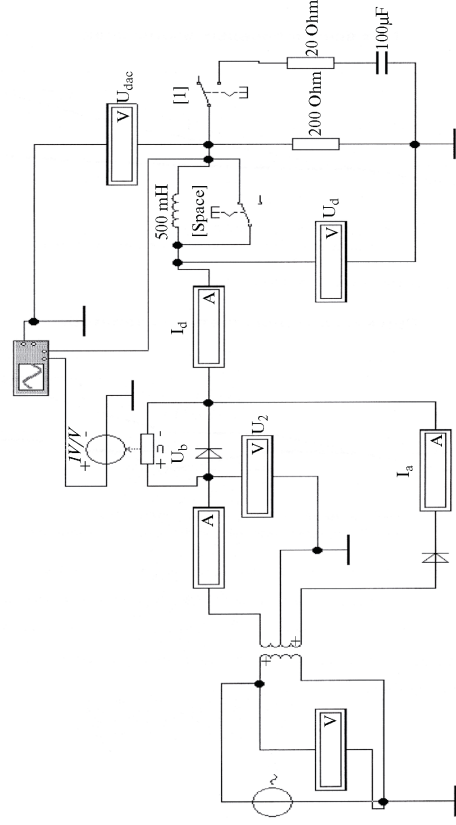


Рис. 4.2. Схема для снятия параметров двухфазного выпрямителя однофазного тока с нулевым выводом

числить: среднее значение выходного напряжения U_d ; действующее значение переменной составляющей напряжения на нагрузке U_{dac} ; максимальное обратное напряжение на диоде U_b и значения U_a/U_d , U_{dac}/U_d , U_b/U_d . Вычисленные данные занести в таблицу (форма таблицы приведена во введении).

4.4. Включить схему на активную нагрузку 200 Ом (ключ [Space] включен, а ключ [I] отключен). Измерить токи, протекающие через один из диодов I_a и через нагрузку I_d . Измерить постоянную составляющую U_d и переменную составляющие напряжения U_{dac} на нагрузке.

Зафиксировать форму обратного напряжения на одном из диодов и выпрямленного напряжения на нагрузке. Измерить максимальное обратное напряжение U_b на диоде. Определить число пульсаций напряжения на нагрузке за период приложенного напряжения.

4.5. Параллельно активной нагрузке через защитное сопротивление 20 Ом поочередно ключем [I] подключить конденсаторы емкостью 100 и 1000 мкФ и повторить измерения, указанные в п. 4.4.

4.6. При отключенной емкости последовательно активной нагрузке 200 Ом поочередно ключем [Space] подключить индуктивность 0,5 Гн, а затем 5 Гн и повторить измерения, указанные в п. 4.4.

4.7. Полученные в п.п. 4.4 – 4.6 данные занести в таблицу.

4.8. Составить отчет, включающий цель работы, схему испытаний, осциллограммы, таблицу с полученными расчетными и измеренными значениями и выводы.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Какова особенность трансформатора в данной схеме выпрямителя?
2. Как изменяется соотношение U_{dac}/U_d при изменении характера нагрузки и по сравнению с однополупериодной схемой выпрямления?
3. Как изменяется обратное напряжение на диоде U_b и напряжение на нагрузке U_d при подключении емкости или индуктивности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

НЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ДВУХПУЛЬСОВЫЙ МОСТОВОЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Цель работы. Ознакомиться с особенностями работы неуправляемого двухпульсового мостового выпрямителя, работающего на различные нагрузки. Экспериментально проверить основные соотношения, характеризующие работу данного выпрямителя.

Краткие теоретические сведения

Двухпульсовый мостовой выпрямитель или однофазный мостовой выпрямитель отличается от предыдущей схемы тем, что вторичная обмотка выполнена однофазной, содержит четыре вентили, причем два из них соединены катодами (VD_1 и VD_3) и образуют катодную группу, а два – анодами (VD_2 и VD_4) и образуют анодную группу.

Катодная и анодная группы вентиля образуют мост. К одной диагонали моста подключена вторичная обмотка трансформатора, а к другой – нагрузка. Схема мостового выпрямителя однофазного тока представлена на рис. 5.1.

Общая точка катодной группы является положительным полюсом выпрямителя, а общая точка анодной группы – отрицательным полюсом выпрямителя.

При подаче напряжения на мост вентили проводят ток парно: VD_1 и VD_2 – в течение положительных, а VD_3 , VD_4 – в течение отрицательных полупериодов питающего напряжения.

Напомним, что из вентилей катодной группы будет работать тот, на аноде которого наибольший потенциал. Из вентилей анодной группы будет работать тот, на катоде которого наименьший потенциал.

ЭДС вторичной обмотки e показана на рис. 5.1, а. В период от 0 до π на аноде вентиля VD_1 катодной группы потенциал наибольший, а на катоде VD_2 – наименьший, поэтому эти вентили будут открыты и через нагрузку R_n от точки K к точ-

ке A полечет ток. В период от π до 2π , т.е. при смене полярности напряжения, откроются вентили VD_3 и VD_4 , а вентили VD_1 и VD_2 закроются, но ток также будет проходить через нагрузку от точки K к точке A .

На рис. 5.1, $г$ представлена кривая напряжения на актив-ной нагрузке построенная как геометрическая разность кривых, представленных на рис. 5.1, $б$ и рис. 5.1, $в$. Форма тока нагрузки в точности повторяет форму напряжения.

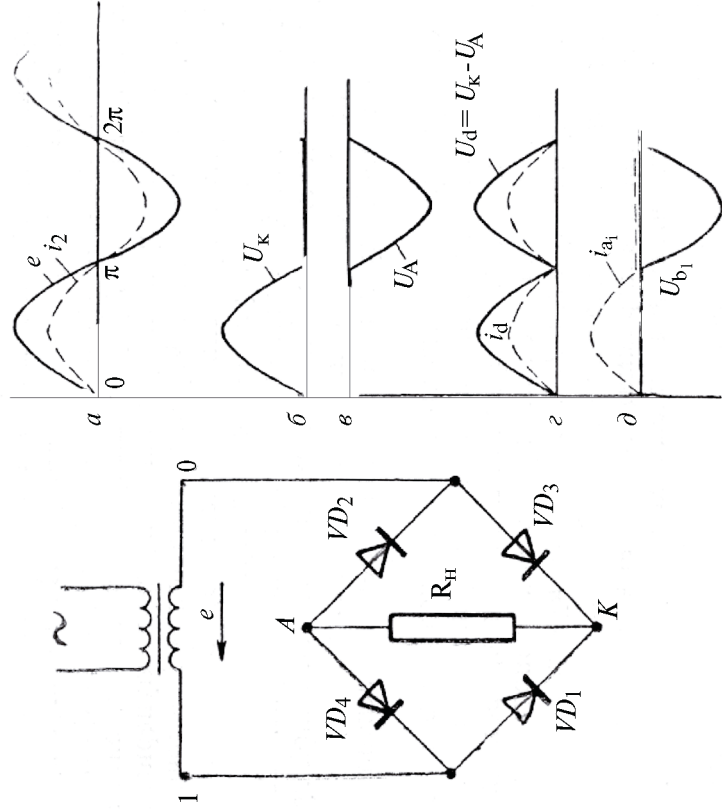


Рис. 5.1. Мостовая схема двухпульсового выпрямителя однофазного тока и временные диаграммы ЭДС и тока во вторичной обмотке трансформатора (a), напряжения в точках A и K моста ($б$) и ($в$), тока и напряжения на нагрузке ($г$) и прямого тока и обратного напряжения на вентиле VD_1 ($д$)

Рассмотрим работу вентиля VD_1 . В период от 0 до π VD_1 открыт, через него проходит ток нагрузки, а напряжение на нем равно нулю. В период от π до 2π ток, проходящий через него равен нулю и к нему приложена разность потенциалов между точками K и L , т. е. Диаграмма работы вентиля VD_1 приведена на рис. 5.1, д. Напомним, что среднее значение выпрямленного напряжения мостовой схемы:

$$U_d = 2\sqrt{2} U_2 / \pi = 0,9 U_2,$$

где U_2 – действующее напряжение вторичной обмотки трансформатора.

Максимальное значение обратного напряжения U_b , приложенного к вентилю:

$$U_b = \sqrt{2} U_2 = \pi U_d / 2 = 1,57 U_d.$$

Средний выпрямленный ток: $I_d = 0,9 I_2$,

где I_2 – действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора.

Средний ток, протекающий через каждый диод в течение полупериода:

$$I_a = I_d / 2 = I_{M2} / \pi,$$

где I_{M2} – амплитудное значение тока вторичной обмотки трансформатора.

Сравнивая данную схему с двухполупериодной схемой с нулевым выводом можно отметить следующее:

- обратное напряжение на вентиле в мостовой схеме вдвое меньше;
- трансформатор используется более полно и его конструкция более проста;
- в мостовой схеме применено вдвое больше вентилялей;
- падение напряжения в реальном вентильном комплексе вдвое больше в мостовой схеме.

Порядок выполнения лабораторной работы

5.1. Ознакомиться с параметрами выбранных диодов, используемых в схеме выпрямления.

5.2. Собрать схему испытаний, согласно рис. 5.2.

5.3. Используя значения U_2 , заданные преподавателем для каждого варианта, и соотношения, приведенные в (прил. 2) вы-

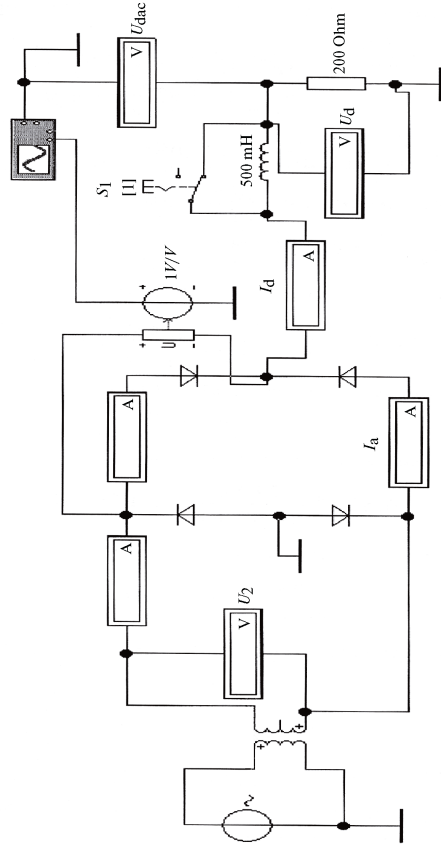


Рис. 5.2. Схема для снятия параметров двухполупериодного выпрямителя однофазного тока по мостовой схеме

числить: среднее значение выходного напряжения U_d ; действующее значение переменной составляющей напряжения на нагрузке U_{dac} ; максимальное обратное напряжение на диоде U_b и значения U_2/U_d , U_{dac}/U_d , U_b/U_d . Вычисленные данные занести в таблицу (форма таблицы приведена во Введении).

5.4. Включить схему на активную нагрузку 200 Ом (ключ [1] включен).

Измерить токи, протекающие через один из диодов I_a и через нагрузку I_d . Измерить постоянную U_d и переменную составляющие напряжения U_{dac} на нагрузке. Зафиксировать форму обратного напряжения на одном из диодов и выпрямленного напряжения на нагрузке. Измерить максимальное обратное напряжение U_b на диоде. Определить число пульсаций напряжения на нагрузке за период приложенного напряжения.

5.5. Последовательно активной нагрузке 200 Ом разомкнуть ключ [1] поочередно подключить индуктивность 0,5 Гн, а затем 5 Гн и повторить измерения, указанные в п. 5.4.

5.7. Полученные в п. 5.4 и п. 5.5 данные занести в таблицу.

5.8. Составить отчет, включающий цель работы, схему испытаний, осциллограммы, таблицу с полученными расчетными и измеренными значениями и выводы.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Какие преимущества и недостатки мостовой схемы проводникового выпрямителя перед выпрямителем, собранным по двухпульсовой схеме с нулевым выводом?
2. В какой последовательности включаются диоды в данной схеме выпрямления?
3. Как изменится обратное напряжение на диоде U_b и напряжение на нагрузке U_d при подключении индуктивности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

НЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ТРЕХПУЛЬСОВЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Цель работы. Ознакомиться с особенностями работы управляемого трехфазного выпрямителя, собранного по схеме с нулевым выводом при работе на различные нагрузки. Экспериментально проверить основные соотношения, характеризующие работу данного выпрямителя.

Краткие теоретические сведения

Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом является простейшей трехпульсовой схемой (рис. 6.1). В этой схеме концы фаз вторичной обмотки трансформатора, соединенной в звезду, подключены к анодам вентилей VD_1 - VD_3 , катоды которых объединены (точка K). Между точкой K и нулевой точкой (точка O) трансформатора включена нагрузка R_n . Первичная обмотка трансформатора может соединяться как в звезду, так и в треугольник.

В трехфазной системе фазные ЭДС (e_A , e_B и e_C , тонкие линии на рис. 6.1, а) сдвинуты относительно друг друга на угол $2\pi/3$ или 120° .

В каждый момент времени ток нагрузки i_d пропускает один диод, потенциал анода которого максимален относительно нулевой точки O . Из диаграммы фазных ЭДС (рис. 6.1, а) видно, что в период времени от 0 до $2\pi/3$ наиболее высокий потенциал

имеет фаза A , следовательно, в это время открыт вентиль VD_1 , вентили VD_2 и VD_3 закрыты, так как $e_A > e_B$ и e_C . Потенциал точки K относительно точки O в этот период будет соответствовать текущему значению e_A ($\varphi_K = e_A$). В период от $2\pi/3$ до $4\pi/3$ ЭДС $e_B > e_A$ и e_C , поэтому будет открыт вентиль VD_2 , а вентили VD_1 и VD_3 будут закрыты. Потенциал точки K относительно точки O в этот период будет соответствовать текущему значению e_B . Наконец, в период от $4\pi/3$ до 2π ЭДС $e_C > e_B$ и e_A — будет открыт вентиль VD_3 , а вентили VD_1 и VD_2 будут закрыты, а потенциал точки K относительно точки O в этот период будет соответствовать текущему значению e_C .

Диаграмма выпрямленного напряжения $U_d = \varphi_K$ построена на рис. 6.1, a жирной линией. Как видно, выпрямленное напряжение в этой схеме имеет три пульсации за период и напряжение U_d в нуль ни разу не обращается.

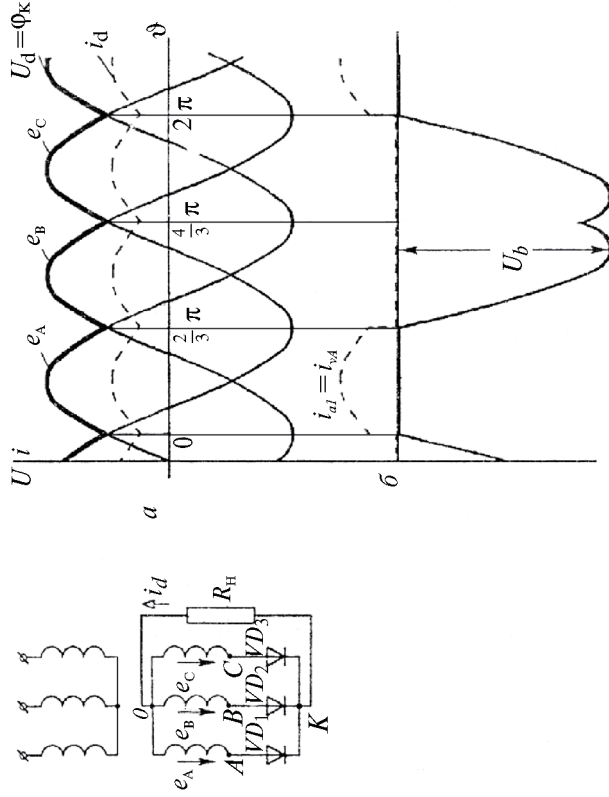


Рис. 6.1. Трехпульсовая схема выпрямления трехфазного тока с нулевым выводом, временные диаграммы ЭДС напряжения и токов (a) и прямого тока и обратного напряжения на вентиле VD_1 (b)

Ток активной нагрузки i_d пропорционален напряжению u_d (пунктирная кривая на диаграмме рис. 6.1, а). Каждый вентиль на интервале одного периода проводит ток $1/3$ периода ($2\pi/3$), при этом через него и через обмотку соответствующей фазы проходит полный ток нагрузки. Диаграмма тока вентиля VD_1 (i_{a1}) и фазы A (i_{va}) показаны пунктирной линией на рис. 6.1, б. Остальные $2/3$ периода вентиль закрыт. Его обратное напряжение определяется разностью потенциалов анода данного вентиля (точка A) и потенциалов катодов других вентилях соответственно на интервалах их проводимости (точка K). На рис. 6.1, б сплошной жирной линией показано напряжение на вентиле VD_1 как геометрическая разность e_A и U_d .

Напомним, что среднее значение выпрямленного напряжения трехпульсовой схемы: $U_d = 1,17U_2$, где U_2 — действующее значение фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора.

Максимальное значение обратного напряжения U_b , приложенного к вентилю:

$$U_b = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_2 = 2\pi U_d / 3 = 2,09 U_d.$$

Средний выпрямленный ток: $I_d = 1,72 I_2$,

где I_2 — действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора.

Через каждый диод в течение полупериода протекает ток: $I_a = I_d / 3$.

При своей простоте схема с нулевым выводом обладает рядом недостатков;

- каждая фаза вторичной обмотки трансформатора загружена только $1/3$ периода;

- обратное напряжение на вентиле получается значительным из-за того, что к нагрузке прикладывается фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора, а к вентилю — линейное;

- так как ток во вторичных обмотках трансформатора направлен в одну сторону, его намагничивающая сила не может быть полностью скомпенсирована током первичных обмоток,

что приводит к увеличению сечения стержней трансформатора и увеличению стоимости трансформатора.

Порядок выполнения лабораторной работы

6.1. Ознакомиться с параметрами выбранных диодов, используемых в схеме выпрямления; методикой сборки схемы, проведения замеров и наблюдений.

6.2. Собрать схему испытаний, согласно рис. 6.2.

6.3. Используя значения U_2 , заданные преподавателем для каждого варианта, и соотношения, приведенные в (прил. 2) вычислить: среднее значение выходного напряжения U_d ; действующее значение переменной составляющей напряжения на нагрузке $U_{\text{дас}}$; максимальное обратное напряжение на диоде U_b и значения U_2/U_d , $U_{\text{дас}}/U_d$, U_b/U_d . Вычисленные данные занести в таблицу (форма таблицы приведена во Введении).

6.4. Включить схему на активную нагрузку (200 Ом). Измерить токи, протекающие через один из диодов и через нагрузку. Измерить постоянную и переменную составляющие напряжения на нагрузке.

По осциллографу зафиксировать форму обратного напряжения на одном из диодов и выпрямленного напряжения на нагрузке. Измерить максимальное обратное напряжение на диоде. Определить число пульсаций напряжения на нагрузке за период приложенного напряжения.

6.5. Имитировать (ключ [Spase] разомкнуть) обрыв в одной из фаз и повторить измерения, указанные в п. 6.4.

6.6. Включить схему (без имитации обрыва в одной из фаз) на активную нагрузку 200 Ом с последовательно включенной (ключ [I] разомкнуть) индуктивностью 0,5 Гн, а затем 5 Гн. Повторить измерения, указанные в п. 6.4.

6.7. Полученные в п.п. 6.4 - 6.6 данные занести в таблицу.

6.8. Составить отчет, включающий цель работы, схему испытаний, осциллограммы, таблицу полученных значений и выводы.

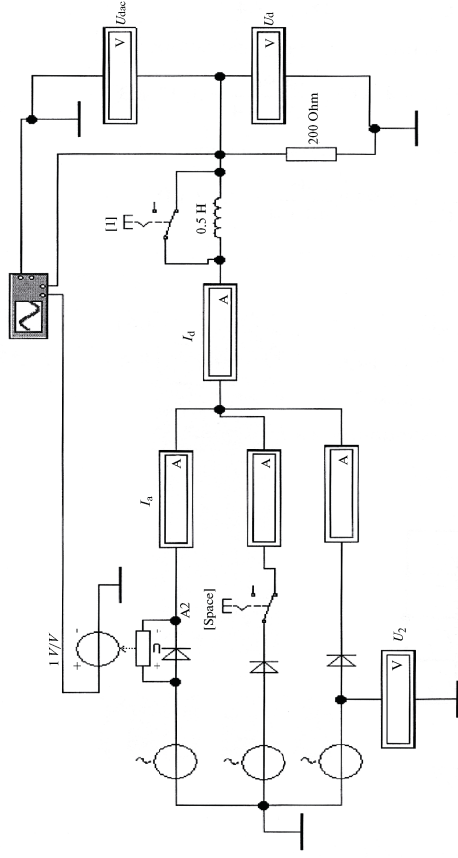


Рис. 6.2. Схема для снятия параметров трехпульсового

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Почему изменились соотношения U_2/U_d , U_{dac}/U_d , U_b/U_d , I_a/I_d по сравнению с этими соотношениями в двухпульсовой схеме выпрямления с нулевым выводом?
2. Какую часть периода приложенного напряжения проводят вентили в данной схеме и почему?
3. Как изменяется выпрямленное напряжение и его пульсация, если последовательно с активной нагрузкой подключить индуктивность?
4. Как изменяется выпрямленное напряжение и его пульсация, если происходит обрыв одной из фаз?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

НЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ШЕСТИПУЛЬСОВЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Цель работы. Ознакомиться с особенностями работы неуправляемого трехфазного выпрямителя собранного по мостовой схеме при работе на различные нагрузки. Экспериментально проверить основные соотношения, характеризующие работу выпрямителя.

Краткие теоретические сведения

Трехфазная мостовая схема выпрямления (схема Ларионова) содержит трансформатор, обмотки которого могут соединяться как в звезду, так и в треугольник. На рис. 7.1, приведенная схема, содержащая трехфазный трансформатор, обмотки которого соединены в звезду, шесть вентиляей и нагрузочный резистор сопротивлением $R_{н}$.

Как известно, фазные ЭДС в трехфазной системе (e_A , e_B и e_C) сдвинуты относительно друг друга на угол $2\pi/3$ (120°) (тонкие линии на рис. 7.1, а).

Вентили образуют две группы по три вентиля с нечетными (катодная группа) и четными (анодная группа) номерами. В каждый момент времени работает пара вентиляей – по одному из катодной и анодной групп. В катодной группе открыт вентиль, у которого анод имеет наиболее высокий потенциал, а в анодной группе – вентиль, 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 период времени от 0 до $2\pi/3$ (см. рис. 7.1, а), наибольшее значение имеет e_A , поэтому наибольший потенциал будет на аноде VD_1 , присоединенного к фазе А. Поскольку сопротивление диода VD_1 в проводящем направлении практически равно нулю, то потенциал общей точки катодов равен по-

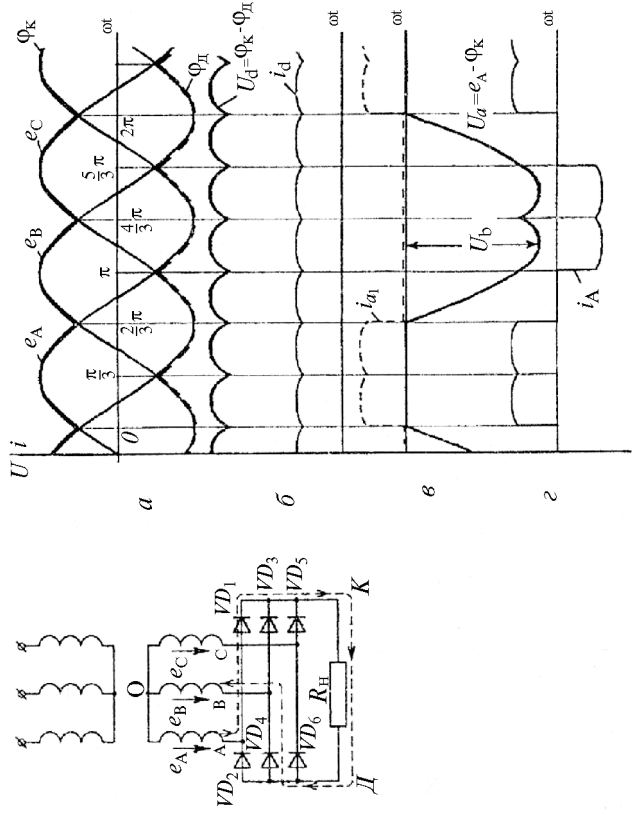


Рис. 7.1. Шестипульсовая мостовая схема выпрямления трехфазного тока и временные диаграммы ЭДС и напряжения (*a*), напряжения и токов в нагрузке (*б*), прямого тока и обратного напряжения на вентиле VD_1 (*в*) и токов в фазе *A* (*г*)

потенциалу зажима фазы *A* из-за чего диоды VD_3 и VD_5 заперты — потенциалы их анодов ниже потенциалов катодов.

В период от 0 до $\pi/3$ (шестая часть периода) наименьший потенциал (максимальный по значению и отрицательный по знаку) имеет фаза *B*. Следовательно, в анодной группе в это время открыт вентиль VD_4 и ток проходит по пути указанном на схеме пунктиром. Вентили VD_2 и VD_6 в это время заперты, так как потенциалы их катодов выше потенциалов анодов. В промежутке времени от $\pi/3$ до $2\pi/3$ наименьшим потенциалом (максимальный по значению и отрицательный по знаку) обладает фаза *C*. В это время в паре с вентилем VD_1 работает вентиль VD_6 .

В период от $2\pi/3$ до $4\pi/3$ наибольший потенциал находится в фазе *B* и работает вентиль VD_3 . В паре с ним в период от $2\pi/3$ до

пл будет работать вентиль VD_6 , а в период от π до $4\pi/3$ — вентиль VD_2 и т.д.

Потенциал точки K (φ_K) определяется законом изменения ЭДС той фазы, с которой соединен анод проводящего вентиля. Потенциал точки D (φ_D) определяется законом изменения ЭДС фазы, с которой соединен катод проводящего вентиля анодной группы. На рис. 7.1, а жирной сплошной линией построен потенциал точки K и жирной пунктирной линией — потенциал точки D . Напряжение на нагрузке определяется геометрической разницей этих кривых и построено на рис. 7.1, б.

Через шестую часть периода вентили подключают нагрузку R_n к трансформатору всегда так, чтобы ток протекал от наиболее положительной к наиболее отрицательной фазе. Выпрямленное напряжение и выпрямленный ток пульсируют с шестикратной частотой по сравнению с частотой сети (рис. 7.1, б).

Каждый вентиль работает в этой схеме $1/3$ периода, а в остальные $2/3$ периода к нему приложена геометрическая разность фазной ЭДС и потенциала в точке K или D . Диаграмма работы вентиля VD_1 показана на рис. 7.1, в.

Каждая фаза вторичной обмотки нагружена током в течение $2/3$ периода. Ток фазы A показан на рис. 7.1, г.

Преимуществами трехфазной мостовой схемы являются: наилучшее из всех известных схем использование трансформатора, так как вторичная обмотка его нагружена $2/3$ периода; малый коэффициент пульсаций и высокая их частота, что облегчает устройство сглаживающих фильтров; невысокое значение максимального обратного напряжения на вентилях; простая конструкция трансформатора и в магнитном отношении трансформатор полностью уравновешен.

Напомним некоторые соотношения для рассматриваемого выпрямителя при активной нагрузке.

Среднее значение выпрямленного напряжения: $U_d = 3\sqrt{2} \cdot U_{2л} / \pi = 1,35 U_{2л} = 2,34 U_2$,

где $U_{2л}$ — действующее значение линейного напряжения вторичной обмотки трансформатора; U_2 — действующее значение фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора.

Средний выпрямленный ток: $I_d = 1,22 I_2$,
 где I_2 — действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора.

Среднее значение тока через вентиль: $I_a = I_d/3$.

Максимальное обратное напряжение на вентиле:

$$U_{bmax} = \sqrt{2} \cdot U_{2л} = \sqrt{6} \cdot U_2 = \pi U_d/3 = 1,05 U_d.$$

Порядок выполнения лабораторной работы

7.1. Ознакомиться с параметрами диодов, используемых в схеме выпрямления, методикой сборки схемы, проведения замеров и наблюдений.

7.2. Собрать схему испытаний, согласно рис. 7.2.

7.3. Используя значения U_2 , заданные преподавателем для каждого варианта, и соотношения, приведенные в (прил. 2) вычислить: среднее значение выходного напряжения U_d ; действующее значение переменной составляющей напряжения на нагрузке U_{dac} ; максимальное обратное напряжение на диоде U_b и значения U_2/U_d , U_{dac}/U_d , U_b/U_d . Вычисленные данные занести в таблицу (форма таблицы приведена во Введении).

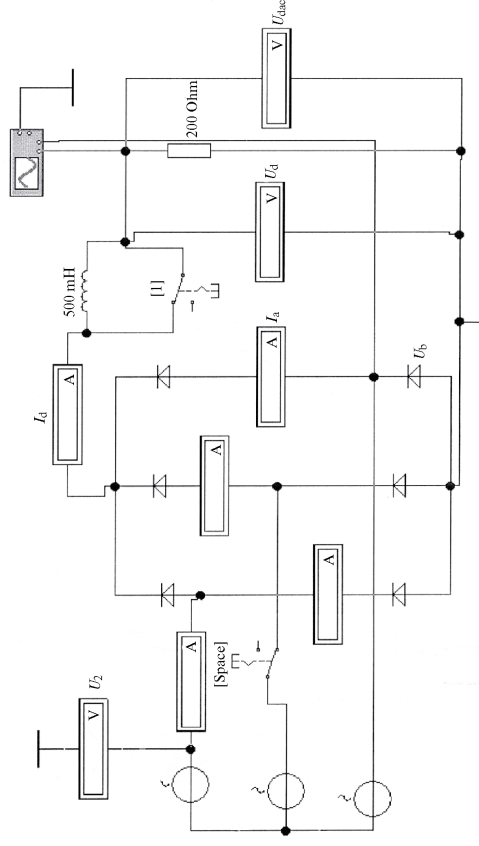


Рис. 7.2. Схема для снятия параметров шестипульсового выпрямителя

7.4. Включить схему на активную нагрузку 200 Ом (ключи [Space] и [1] включены). Измерить токи, протекающие через один из диодов I_a и через нагрузку I_d . Измерить постоянную U_d и переменную составляющие $U_{\text{дас}}$ напряжения на нагрузке.

Зафиксировать форму обратного напряжения на одном из диодов и выпрямленного напряжения на нагрузке. Измерить максимальное обратное напряжение U_b на диоде. Определить число пульсаций напряжения на нагрузке за период приложенного напряжения (20 мс).

7.5. Имитировать обрыв (ключ [Space] разомкнуть) в одной из фаз и повторить измерения, указанные в п. 7.4.

7.6. Включить схему (без имитации обрыва в одной из фаз) на активную нагрузку 200 Ом с последовательно включенной (ключ [1] разомкнут) индуктивностью 0,5 Гн, а затем 5 Гн. Повторить измерения, указанные в п. 7.4.

7.7. Полученные в п.п. 7.4 - 7.6 данные занести в таблицу.

7.8. Составить отчет, включающий цель работы, схему испытаний, осциллограммы, таблицу полученных расчетных и измеренных значений и выводы.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. В какой последовательности проводят вентили в данной схеме выпрямления?

2. Почему изменились соотношения U_a/U_d , $U_{\text{дас}}/U_d$, U_b/U_d , I_a/I_d по сравнению с этими соотношениями в трехпульсовой схемой выпрямления с нулевым выводом?

3. Как изменяется выпрямленное напряжение и его пульсация, если последовательно с активной нагрузкой подключить индуктивность?

4. Как изменяется выпрямленное напряжение и его пульсация, если происходит обрыв одной из фаз?

5. Каковы преимущества трехфазной мостовой схемы выпрямления?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

НЕУПРАВЛЯЕМЫЙ ДВЕНАДЦАТИПУЛЬСОВЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Цель работы. Ознакомиться со схемами управляемого двенадцатипульсового выпрямителя. Экспериментально проверить основные соотношения, характеризующие работу последовательной схемы двенадцатипульсового выпрямителя.

Краткие теоретические сведения

Для получения меньших пульсаций выпрямленного напряжения, снижения высших гармонических составляющих в кривой сетевого тока, создания агрегатов на более высокие напряжения и токи на тяговых подстанциях постоянного тока магистральных железных дорог в настоящее время применяются двенадцатипульсовые полупроводниковые выпрямители.

Двенадцатипульсовые схемы выпрямления создаются путем соединения двух трехфазных мостовых выпрямителей, каждый из которых питается от своего трансформатора (эквивалентная схема) или от преобразовательного трансформатора с двумя вторичными обмотками (собственная схема).

Для собственной схемы двенадцатипульсового выпрямителя трансформатор должен иметь две вентильные обмотки: одну соединенную звездой, а другую – треугольником. Они обеспечивают сдвиг векторов линейных напряжений в 30° . Первичная (сетевая) обмотка трансформатора может соединяться как в звезду, так и в треугольник.

Вентильные обмотки соединяются только по мостовой схеме. Выпрямительные мосты могут соединяться между собой по цепи выпрямленного тока параллельно (для увеличения тока в нагрузке) или последовательно (для увеличения напряжения на нагрузке).

Схема параллельного типа требует очень точного соблюдения равенства сопротивлений обеих вторичных обмоток, применения сложных трансформаторов или применения уравнительных реакторов, поэтому применяется редко.

Рассмотрим собственную двенадцатипульсовую схему последовательного типа (рис. 8.1) со схемой соединения первичных обмоток звездой, вторичных — звездой и треугольником.

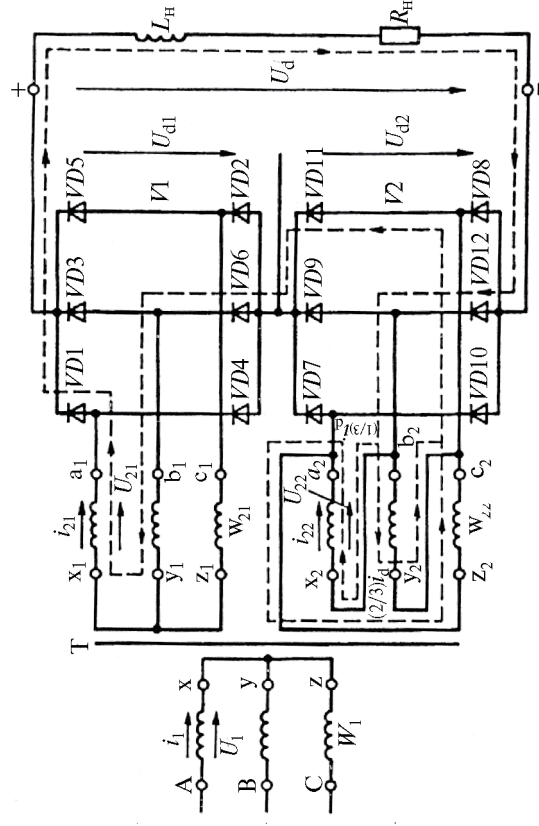


Рис. 8.1. Двенадцатипульсовая схема выпрямления последовательного типа

Соединение одной вторичной обмотки в звезду и другой обмотки в треугольник обуславливает сдвиг по фазе коммутируемых напряжений двух вторичных обмоток на $\pi/6=30$ эл. град, причем фазное напряжение обмоток последней (соединенной в треугольник) должно быть в $\sqrt{3}$ раз больше, чем у первой (соединенной в звезду).

Линейное напряжение вторичной обмотки (звезда) определяет выпрямленное напряжение U_{d1} . Напряжение U_{22} , являющееся фазным для обмотки, соединенной в треугольник, формирует кривую напряжения U_{d2} (на рис. 8.1. показано соответствующими стрелками). Результирующее выпрямленное напряжение U_d представляет собой сумму мгновенных значе-

ний напряжения на выходе обеих схем $U_d = U_{d1} + U_{d2}$. Это напряжение имеет двенадцать пульсаций в течение периода.

Группы выпрямителей ($V1, V2$) в этой схеме работают самостоятельно. На каждом интервале ток i_d проводят четыре диода: два в схеме группы выпрямления $V1$ и два в схеме — $V2$. На рис. 8.1. пунктиром показан контур тока нагрузки на интервале повторяемости выпрямленного напряжения $\pi/6$: контур тока нагрузки замыкается через фазу b_1 и a_1 , диод $VD1$ кагодной группы $V1$, нагрузку $L_H - R_H$, диод $VD12$ анодной группы $V2$, параллельно включенные фазы b_2 и $a_2 - c_2$, диод $VD11$ катодной группы $V2$, диод $VD6$ анодной группы $V1$.

Последовательность переключения вентиляей в каждом мостовом выпрямителе сохраняется такой же, как в обычном мостовом шестипульсовой выпрямителе с соответствующим соединением обмоток трансформатора.

Основные расчетные зависимости для обеих мостовых схем остаются такими же, как для шестипульсовых схем выпрямления.

Среднее значение выпрямленного напряжения двенадцатипульсовой схемы последовательного типа рассчитывается по формуле:

$$U_d = 2,34U_{21} + 1,35U_{22}, \quad (8.1)$$

где U_{21} , U_{22} — действующее значения фазных напряжений вторичных обмоток трансформатора, В.

Другие соотношения параметров, характеризующих работу двенадцатипульсового выпрямителя, приведены в прил. 2.

Улучшение формы тока и напряжения способствует повышению коэффициента мощности, снижению потерь от высших гармонических составляющих в питающей сети и первичной обмотке преобразовательного трансформатора.

Использование трансформатора в двенадцатипульсовой схеме примерно такое же, как в мостовой шестипульсовой схеме. Некоторое повышение коэффициента использования связано с лучшим использованием первичной обмотки вследствие более благоприятной формы тока.

Порядок выполнения лабораторной работы

8.1. Ознакомиться с параметрами диодов, используемых в схеме выпрямления, методикой сборки схемы, проведения замеров и наблюдений.

8.2. Собрать схему испытаний, согласно рис. 8.2.

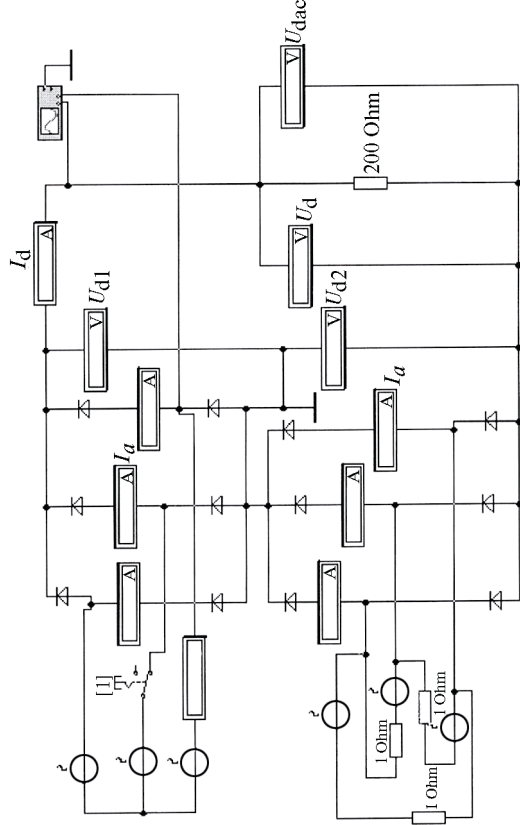


Рис. 8.2. Схема для снятия параметров двенадцатиполупроводникового выпрямителя

8.3. Используя значения U_2 , заданные преподавателем для каждого варианта, и соотношения, приведенные в (прил. 2) вычислить: среднее значение выходного напряжения U_d ; эффективное значение переменной составляющей напряжения на нагрузке $U_{\text{dас}}$; максимальное обратное напряжение на диоде U_b и значения U_2/U_d , $U_{\text{dас}}/U_d$, U_b/U_d . По формуле (8.1) вычислить значения выпрямленных напряжений на первом (U_{d1}) и втором (U_{d2}) мостах. Вычисленные данные занести в таблицу (форма таблицы приведена во Введении).

8.4. Включить схему на активную нагрузку (200 Ом). Измерить токи, протекающие через один из диодов I_a и через нагрузку I_d . Измерить значения выпрямленных напряжений на первом (U_{d1}) и втором (U_{d2}) мостах; постоянную U_d и переменную составляющие $U_{\text{dас}}$ напряжения на нагрузке.

Зафиксировать форму обратного напряжения на одном из диодов и выпрямленного напряжения на нагрузке. Измерить максимальное обратное напряжение U_b на одном из диодов. Определить число пульсаций напряжения на выпрямленном напряжении каждого моста за период приложенного напряжения (20 мс). Данные занести в таблицу.

8.5. Имитировать обрыв в одной из фаз (разомкнуть ключ [1]) и повторить измерения, указанные в п. 8.4.

8.6. Составить отчет, включающий цель работы, схему испытаний, осциллограммы, таблицу полученных расчетных и измеренных значений и выводы.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Сколько вентиляей одновременно проводят в данной схеме выпрямления?
2. Почему изменились соотношения U_2/U_d , $U_{\text{двс}}/U_d$, U_b/U_d , I_a/I_d по сравнению с этими соотношениями шестипульсовой схемой выпрямления?
3. В чем заключаются особенности построения двенадцатипульсовой схемы выпрямления последовательного и параллельного типа?
4. Как изменяется выпрямленное напряжение и его пульсация, если происходит обрыв одной из фаз?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫПРЯМЛЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Цель работы. Ознакомиться с возможностью регулирования среднего значения напряжения подводимого к нагрузке и с особенностями работы управляемого выпрямителя.

Краткие теоретические сведения

Выпрямленное напряжение можно регулировать: изменением величины напряжения переменного тока подаваемого на вентили выпрямителя; изменением момента открытия управляемых вентилях при неизменном или ступенчатом изменении величины напряжения подаваемого на вентили выпрямителя.

При регулировании среднего выпрямленного напряжения изменением напряжения, подаваемого на вентили выпрямителя, можно изменить вторичное напряжение трансформатора, к которому подключен выпрямитель или напряжение, подаваемое на первичную обмотку трансформатора.

Вторичное напряжение трансформатора обычно изменяют ступенчато, изменяя число витков во вторичной обмотке, поэтому регулирование среднего выпрямленного напряжения получается не плавным, а ступенчатым.

Для регулирования напряжения на первичной обмотке трансформатора обычно используют регулировочные автотрансформаторы, имеющие несколько переключателей для изменения выходного напряжения. При регулировании на вторичной стороне трансформатора переключающие аппараты приходится рассчитывать на большие токи, что усложняет их конструкцию. При регулировании на первичной стороне — упрощается конструкция переключающих аппаратов, так как токи в обмотках трансформатора обратно пропорциональны их напряжениям, однако масса и габариты трансформатора при этом возрастают, а его КПД и коэффициент мощности уменьшается.

Оба способа позволяют осуществлять только ступенчатое регулирование выпрямленного напряжения.

Для плавного регулирования выпрямленного напряжения используют управляемые выпрямители, в которых в качестве вентилей используются тиристоры и силовые транзисторы.

Изменяя момент подачи отпирающих импульсов на управляющие выводы тиристоров, можно открывать вентили с задержкой. Тиристор будет находиться в проводящем состоянии

до тех пор, пока ток, протекающий через него, не спадет до нуля.

Угол задержки, отсчитываемый от момента естественного включения вентиля, выраженный в электрических градусах, называется углом регулирования и обычно обозначается буквой α .

Плавно увеличивая угол α , можно задерживать момент начала прохождения тока через вентиль и уменьшать среднее значение выпрямленного напряжения.

Наибольшее значение среднего напряжения будет иметь при угле $\alpha = 0$, а наименьшее (равно нулю) при $\alpha = 180^\circ$ для активной нагрузки и при $\alpha = 90^\circ$ для индуктивной нагрузки.

Выпрямленное напряжение обычно представляют в виде суммы двух составляющих: постоянной, т.е. среднего значения U_d и переменной $U_{\text{дс}}$ представляющей собой переменное напряжение несинусоидальной формы. Увеличение угла регулирования α приводит к увеличению переменной составляющей, поэтому уменьшается коэффициент мощности выпрямителя.

Повышения коэффициента мощности выпрямителя с плавной регулировкой выпрямленного напряжения достигается несколькими способами. Наиболее распространенным является способ, при котором осуществляется ступенчатое изменение напряжения, подаваемого на выпрямитель от трансформатора, а в пределах каждой ступени плавное изменение угла регулирования α .

Схема управления тиристором может иметь автономный источник питания или питаться от основного источника питания выпрямителя, но в обоих случаях она должна быть согласована с фазой основного источника питания.

В качестве ключа, определяющего момент подачи импульса на управляющий электрод тиристора, может быть диодистор, стабилитрон, транзисторная или тиристорная схема, работающая в ключевом режиме.

В предлагаемой схеме (рис. 9.1) момент включения тиристора зависит от величины напряжения включения динистора

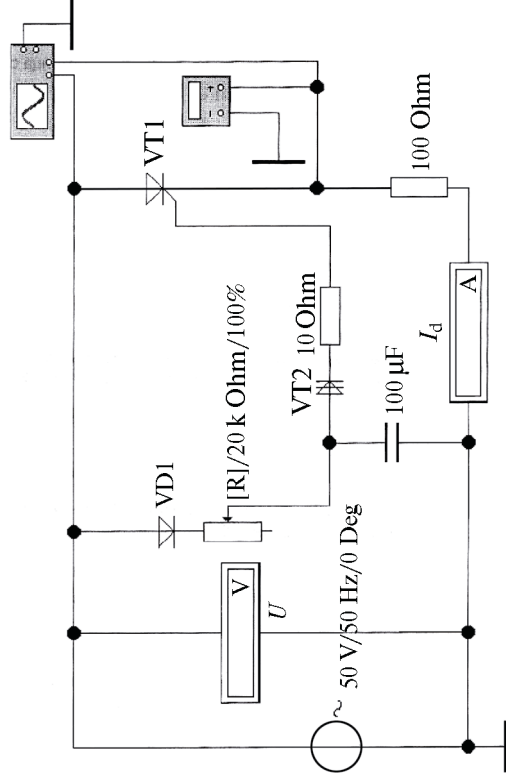


Рис. 9.1. Схема управляемого однополупериодного выпрямителя

ра (стабилитрона) и времени зарядки емкости до напряжения включения диодистора. Напряжение включения диодистора (стабилитрона) зависит только от типа прибора (например, $U_y = 10 \text{ В}$); время зарядки емкости определяется величиной напряжения источника переменного тока и током зарядки емкости. При неизменном напряжении переменного тока, время зарядки емкости до напряжения переключения диодистора можно регулировать за счет изменения величины сопротивления, включенного последовательно с емкостью.

Порядок выполнения лабораторной работы

- 9.1. Собрать схему испытаний, согласно рис. 9.1.
- 9.2. При напряжении источника 50В, 50Гц произвести выбор тиристора VT1 и диода VD1 с обратным напряжением $U_b > 150 \text{ В}$; диодистора VT2 (диода Шокли или стабилитрона) с напряжением переключения $\approx 10\text{В}$; конденсатора с емкостью 100 мкФ и напряжением $> 10\text{В}$. При отсутствии в библиотеке полупроводников с вышеуказанными параметрами - установить их в режиме «ideal».

9.3. Включить схему на активную нагрузку 100 Ом и регулируемое сопротивление 20кОм/100%. При значениях регулируемого сопротивления 100-75-50-25-10-5% с помощью мультиметра провести измерение: среднего значения выпрямленного напряжения U_d и эффективного значения переменной составляющей выпрямленного напряжения на активной нагрузке $U_{\text{дас}}$, а по осциллограмме определить углы регулирования α .

Измерение угла регулирования α производить по осциллограмме канала В. При этом курсорами измерить время включенного состояния тиристора (Т2-Т1) в миллисекундах, а затем провести вычисление угла регулирования в градусах по формуле $\alpha = 180 - [360 \cdot (T2-T1)/20]$.

Данные занести в табл. 9.1.

Таблица 9.1

R, %	100%	75%	25%	10%	5%
$U, \text{В}$	50	100	50	100	50
T2-T1, мс					
$\alpha, ^\circ$					
$U_d, \text{В}$					
$U_{\text{дас}}, \text{В}$					
$U_{\text{дас}}/U_d$					

9.4. Увеличить напряжение источника питания в два раза, т.е. установить напряжение 100 В, 50 Гц. Включить схему на активную нагрузку 100 Ом и регулируемое сопротивление 20кОм/100%. Провести измерения согласно п. 9.3 и данные занести в табл. 9.1.

9.5. По полученным в п. 9.3, 9.4 данным, произвести вычисления отношения $U_{\text{дас}}/U_d$ и занести их в табл. 9.1.

9.5. Составить отчет, включающий цель работы, схему испытаний, осциллограмму, таблицу с результатами расчетов и измерения, выводы.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Каково назначение элементов в схеме управляемого выпрямителя?
2. Каковы отличия регулирования среднего выпрямленного напряжения с помощью управляемого и неуправляемого выпрямителя?
3. Каковы преимущества и недостатки управляемой схемы выпрямления?
4. Как изменяется соотношение $U_{\text{двс}}/U_d$ при изменении угла управления?

Рекомендуемая литература

1. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: Уч. пос. для вузов. – М.: Изд. МЭИ, 2005.
2. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1999.
3. Засорин С.Н. и др. Электронная и преобразовательная техника: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1981.
4. Куликов П.Б. Управляемые двухпульсовые выпрямители электрических железных дорог: Уч. пос. – М.: РГОТУПС, 2000.
5. Куликов П.Б. Неуправляемые двухпульсовые выпрямители электрических железных дорог: Уч. пос. – М.: ВЗИИТ, 1995.
6. Куликов П.Б. Трехфазные выпрямители электрических железных дорог: Уч. пос. – М.: РГОТУПС, 1998.

Краткое руководство

по применению программного комплекса Electronics Workbench V.5.0С при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Электронная техника и преобразователи в электроснабжении»

В настоящее время вместо физического моделирования лабораторных работ используют математическое моделирование на базе средств вычислительной техники. К числу наиболее популярных и удобных для моделирования электрических и электронных схем относится комплекс программ Electronics Workbench V.5.0С.

Для работы с программным комплексом Electronics Workbench V.5.0С необходим IBM – совместимый персональный компьютер с процессором 1486 (рекомендуется Pentium) и операционной системой Windows 95 или выше. Интерфейс Electronics Workbench можно освоить за несколько часов работы или двадцать минут в зависимости от подготовки пользователя.

В данном Руководстве приведены только те операции, которые необходимы для проведения лабораторных работ по дисциплине «Электронная техника и преобразователи в электроснабжении».

Для начала работы с программным пакетом необходимо загрузить систему, установить Electronics Workbench (EWB), если это не было сделано ранее.

Моделирование лабораторной работы начинается с подготовки нового файла для работы. При отсутствии схемы проведения лабораторной работы, прежде чем создавать чертёж принципиальной схемы средствами программы EWB, на листе бумаги необходимо подготовить ее эскиз с примерным расположением компонентов.

В общем случае процесс создания схемы начинается с размещения на рабочем поле EWB компонентов схемы из соответствующей панели компонентов.

Каждая из панелей компонентов программы **EWB** по очереди могут быть вызваны с помощью соответствующей пиктограммы (иконки), расположенных под строкой меню (рис. П1).

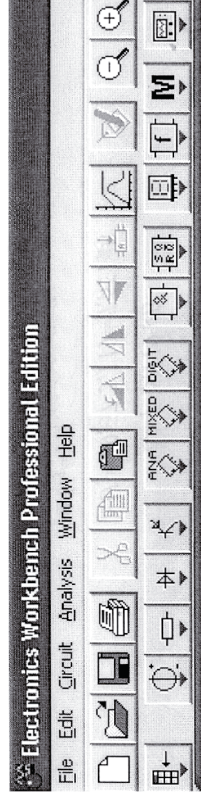


Рис. П1. Панель компонентов программы **EWB**

Для открытия нужной панели (библиотеки компонентов) необходимо подвести курсор мыши к соответствующей иконке и один раз нажать на левую кнопку мыши. После чего на рабочем поле будет размещена вся библиотека данной панели. Необходимый для создания схемы значок (символ) компонента с помощью мышки с нажатой левой кнопкой переносится из библиотеки компонентов на рабочее поле программы, после чего кнопка отпускается (для фиксирования символа).

Для выбора модели компонента необходимо два раза нажать на левую кнопку мыши на символе его графического изображения и в раскрывающемся после этого диалоговом окне указать свой выбор модели. Для редактирования значений параметров модели нужно нажать кнопку *Edit*. При этом откроется диалоговое окно свойств модели, в котором при помощи мыши и клавиатуры можно изменить значения ее параметров. Выбор изменения подтверждается нажатием кнопки **OK** или клавиши *Enter*.

После размещения компонентов производится соединение их выводов проводниками. При этом необходимо учитывать, что к выводу компонента можно подключить только один проводник.

Для выполнения подключения курсор мыши подводится к выводу компонента и после появления круглой площадки темного цвета нажимается левая кнопка и появляющийся при

этом проводник протягивается к выводу другого компонента до появления на нем такой же круглой площадки, после чего кнопка мыши отпускается, и соединение готово. Примерная схема выполнения этой операции (подключения источника 12V к сопротивлению 1 кΩ) приведена на рис. П2.

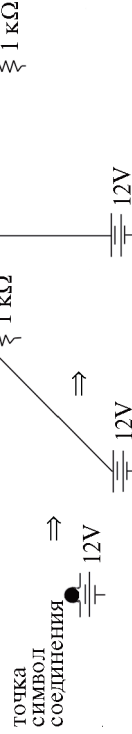


Рис. П2. Схема выполнения соединений проводником

Следует отметить, что прокладка соединительных проводников производится автоматически, причем препятствия – компоненты и другие проводники – огибаются по ортогональным направлениям (по горизонтали или вертикали).

При необходимости подключения к этим выводам других проводников в панели Basic выбирается точка (рис. П3) и переносится на ранее установленный проводник.



Рис. П3. Символ соединения

Чтобы точка почернела (первоначально она имеет красный цвет), необходимо щелкнуть мышью по свободному месту рабочего поля. Если эта точка действительно имеет электрическое соединение с проводником, то она полностью окрашивается черным цветом. Если на ней виден след от пересекающего проводника, то электрического соединения нет и точку необходимо установить заново.

После удачной установки к точке соединения можно подключить еще два проводника. Если соединение нужно разорвать, курсор подводится к одному из выводов компонентов или точке соединения и при появлении площадки нажимается левая кнопка, проводник отводится на свободное место рабочего поля, после чего кнопка отпускается. Если необходимо подключить вы-

вод к имеющемуся на схеме проводнику, то проводник от вывода компонента курсором подводится к указанному проводнику и после появления точки соединения кнопка мыши отпускается.

Точка соединения может быть использована не только для подключения проводников, но и для введения надписей (например, указания величины тока в проводнике, его функционального назначения и т.п.). Для этого необходимо дважды щелкнуть по точке и в раскрывшемся окне ввести необходимую запись (не более 14 символов), причем запись можно смещать вправо путем введения слева нужного количества пробелов. Это свойство может быть использовано и в том случае, когда позиционное обозначение компонента (например, C1, R10) накладывается на рядом проходящий проводник или другие элементы схемы.

Если необходимо переместить отдельный сегмент проводника, к нему подводится курсор, нажимается левая кнопка и после появления в вертикальной или горизонтальной плоскости двойного курсора производятся нужные перемещения.

Любой компонент схемы можно удалить с рабочего поля при нажатии на нем правой кнопки и выполнения команды Cut или Delete.

При сборке схемы нажатием на элементы правой кнопки мыши можно получить быстрый доступ к простейшим операциям над положением элементов, таких как вращение (rotate), разворот (flip), копирование/вырезание (copy/cut), вставка (paste). Эти же действия можно осуществлять с помощью левой кнопки мыши и соответствующих иконок над панелью компонентов.

Запуск схемы (включение питания) производится переводом находящегося в верхнем правом углу экрана выключателя (0/1) в положение 1 или с помощью команды Ctrl+G. Для остановки моделирования нужно перевести выключатель (0/1) в положение 0 или набрать на клавиатуре команду Ctrl+T. Прерывание моделирование производится после нажатия на кнопку Pause, которая расположена рядом с выключателем (0/1) или выполнить команду F9. Возобновить моделирование можно повторным нажатием клавиши F9 или повторным нажатием выключателя в правом верхнем углу окна программы.

По окончании моделирования или отдельного его этапа приборы зафиксировут значения измеренных параметров, а осциллограф параметры и форму моделируемых процессов.

В случае серьезной ошибки в схеме (замыкание элементов питания накоротко, отсутствие нулевого потенциала в схеме, неправильного соединения) будет выдано предупреждение.

Предупреждения, все объяснения и обозначения в программе Electronics Workbench V.5.0С даны на английском языке. Это одно из неудобств пользования данной программой. Кроме того, необходимо иметь в виду, что ошибки в измерениях могут достигать 5%.

Если схема не помещается на экране монитора, любой ее участок можно просмотреть при помощи линеек прокрутки, расположенных справа и под рабочим полем или изменив масштаб моделирующей схемы.

Перейдем теперь к краткому обзору библиотечных компонентов программы EWB необходимых для проведения лабораторных работ по дисциплине «Электронная техника и преобразователи в электроснабжении». При выполнении этих лабораторных работ используются только пять панелей компонентов (Sources, Basic, Diodes, Indicators, Instruments), в которых находятся все нужные элементы моделируемых схем.

Подключение к схеме пассивных компонентов и контрольных измерительных приборов производится аналогично.

Источники электропитания постоянного и переменного тока находятся в панели Sources. Для генератора переменного напряжения (рис.П4) задается напряжение (Voltage), частота (Frequency) и начальная фаза (Phase) синусоидального сигнала с помощью диалогового окна (рис. П5).



Рис. П4. Генератор переменного напряжения

Аналогично выбирается источник постоянного тока и его параметры.

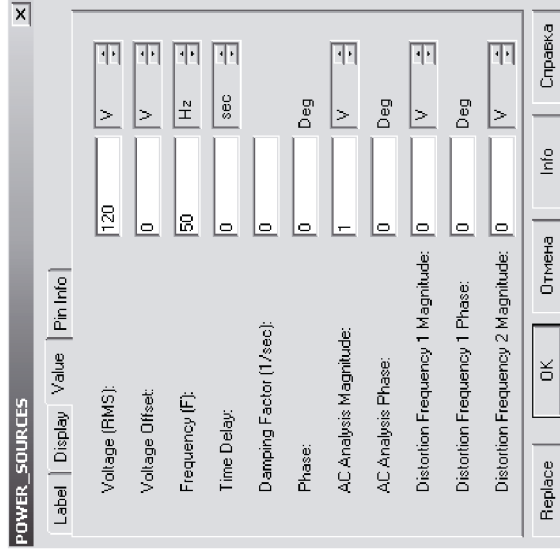


Рис. П5. Диалоговое окно свойств генератора

В панели Sources находятся зависимые источники питания - четыре трехполосники. Величина выходного напряжения идеального четырехполосника, управляемого напряжением (рис. П6) в каждый момент времени определяется мгновенным значением входного управляющего сигнала и коэффициентом четырехполосника.

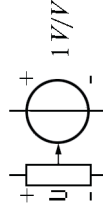


Рис. П6. Обозначение источника ЭДС, управляемого напряжением

В этой панели находится и компонент «заземление» (рис. П7), имеющий нулевое напряжение и таким образом обеспечивающий исходную точку для отсчета потенциалов.

В панели Basic кроме точки соединения пассивных элементов приведены на рис. П 8.



Рис. П7. Обозначение компонента «заземление»

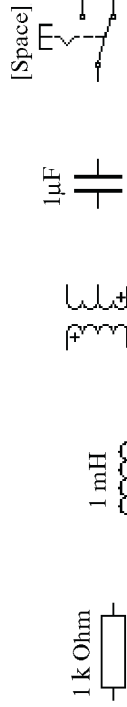


Рис. П8. Обозначения пассивных компонентов

Выбор и установление параметров сопротивлений, емкостей и индуктивностей аналогичен сказанному выше.

Отдельно остановимся на коммутирующем устройстве. Коммутирующее устройство, приведенное на рис. П8, - переключатель типа однополюсного тумблера, управляемого нажатием назначенной клавиши клавиатуры (по умолчанию клавиши Space - пробел). Имя клавиши устанавливается в диалоговом окне на (рис. П9).

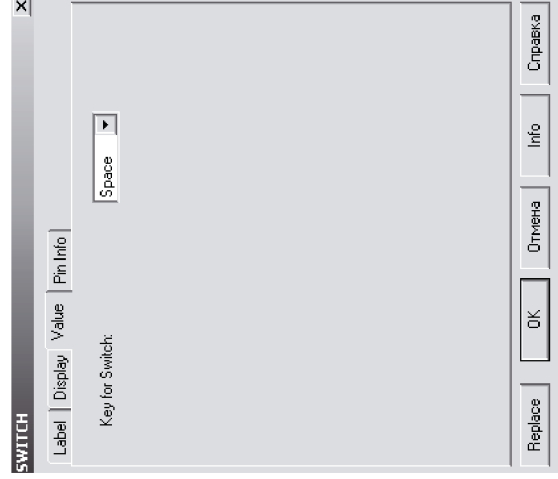


Рис. П9. Диалоговое окно свойств переключателя

В панели Diodes находятся выпрямительные элементы – диоды и тиристоры выбор и установление их параметров аналогичен сказанному выше.

В панели Indicators находятся индикаторные приборы (вольтметры, амперметры). Их вид представлен на рис. П10.



Рис. П10. Обозначения индикаторных приборов

Вольтметры и амперметры обеспечивают отсчет измеряемой величины с точностью до третьего знака.

Параметры приборов задаются в диалоговом окне, показанном для вольтметра на (рис. П11). В поле первого параметра задается входное сопротивление вольтметра, в поле второго – режим измерения постоянного (DC) или эффективного значения напряжения переменного (AC) тока.

Напомним, что при физическом моделировании среднее значение выпрямленного напряжения измеряется вольтметрами магнитоэлектрической системы. Эффективные значения фазного или линейного напряжения переменного тока измеряются вольтметрами электромагнитной или электродинамической системы.

Диалоговое окно для амперметра такое же, как и на рис. П11, стой лишь разницей, что первый параметр – это внутреннее сопротивление амперметра, которое значительно меньше входного сопротивления вольтметра. **Отрицательная клемма для подключения этих приборов обозначена широкой черной полосой** и может быть размещена на любой грани иконки при вращении изображения компонента (вращение выполняется нажатием комбинации клавиш Ctrl+R).

Программа EWB позволяет использовать в схеме несколько амперметров или вольтметров.

В панели Instruments находятся мультиметр, осциллограф и функциональный генератор. Для их активации необходимо

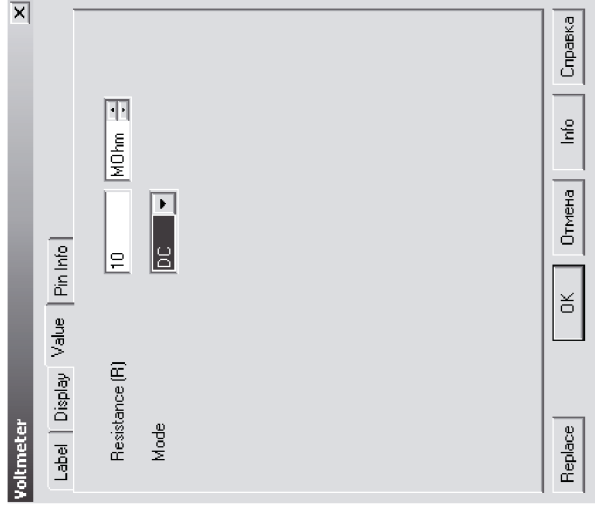


Рис. П11 . Диалоговое окно свойств вольтметра

на обозначении прибора дважды щелкнуть мышью. При этом на рабочем поле выводится уменьшенное изображение мультиметра, осциллографа или функционального генератора.

Подключение мультиметра аналогично соединению вольтметра или амперметра. Двойным щелчком мыши по уменьшенному изображению мультиметра открывается увеличенное изображение мультиметра, на котором можно изменить характеристики измеряемых величин и регистрировать значения измеряемых величин.

Работа с осциллографом во многом аналогична работе с физическим двухлучевым осциллографом с запоминанием.

На уменьшенном изображении осциллографа (см. рис. 1.3) выведено четыре зажима для подключения к схеме. Левый и правый нижний зажимы представляют собой соответственно вход канала А и вход канала В. Верхний правый зажим – общий, обычно он соединяется с заземлением, чтобы осциллограф измерял напряжение относительно нуля.

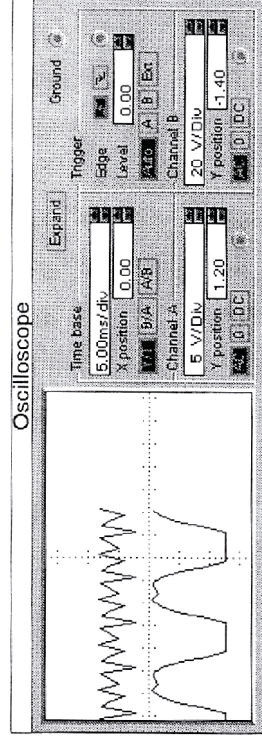


Рис. П12. Общий вид простой модели осциллографа EWB

Двойным щелчком мыши по уменьшенному изображению осциллографа открывается изображение передней панели *простой* модели осциллографа с четырьмя узлами управления и экраном (рис. П12).

С помощью узла TIME BASE панели управления кнопками «вверх- вниз» устанавливается масштаб времени (например, 5ms/div) общий для обоих каналов. В этом же узле располжены три кнопки (Y/T, A/B, V/A), позволяющие задавать вид зависимости отображаемых сигналов. При нажатии на кнопку Y/T по вертикальной оси откладывается напряжение, по горизонтальной оси — время, т.е. регистрируется изменение напряжения во времени. При нажатии кнопки V/A — регистрируется вольтамперная характеристика.

Узлы каналов A и B идентичны и независимы друг от друга. Соответствующими кнопками «вверх - вниз» устанавливается масштаб напряжения по вертикальной оси. Цена деления может дискретно устанавливаться от 10mV/div до 5 kV/div. Ниже в этих же узлах расположены кнопки «вверх- вниз» позволяющие дискретно сдвигать ось X вверх или вниз. Три нижние кнопки реализуют различные режимы входа осциллографа. Режим работы осциллографа с закрытым входом устанавливается нажатием на кнопку AC (при этом кнопка приобретает темный цвет). *В режиме AC на вход осциллографа не пропускается постоянная составляющая сигнала.* При нажатии на кнопку DC осциллограф переходит в режим с открытым входом. При нажатии на кнопку θ вход осциллографа соединяется с общим выводом осциллографа, что позволяет определить положение нулевой отметки по оси Y.

Систему синхронизации (поле TRIGGER) при проведении работ используем в режиме AUTO.

Нажатием клавиши EXPLAND на панели модели осциллографа открывается окно *расширенной* модели осциллографа (рис. П13). Панель расширенной модели осциллографа дополнена тремя информационными табло, на которых выводятся результаты измерений. На экране осциллографа расположены два курсора, обозначенные красным (1) и синим (2) цветом, при помощи которых можно измерять значения времени и напряжения в любой точке осциллографа. Для этого необходимо мышью курсоры за треугольники в их верхней части перевести в требуемое положение. Координаты времени в точке пересечения первого курсора с осциллограммами отображаются на левом табло (T1), координаты времени в точке второго курсора — на среднем табло (T2). На правом табло отображаются значения разностей между соответствующими координатами первого и второго курсора, т.е. времени между соответствующими точками осциллограмм (T2-T1).

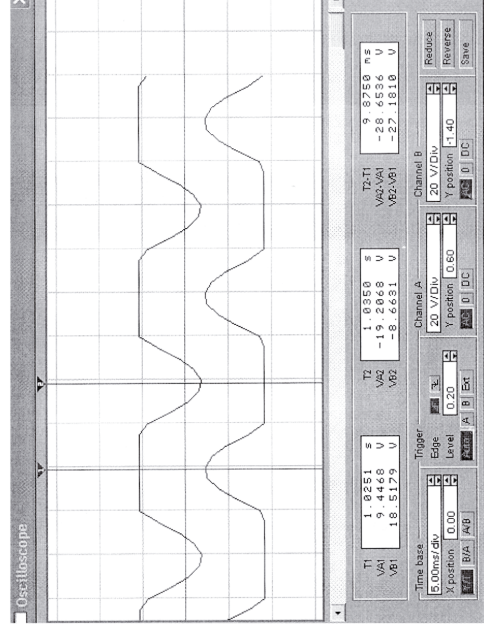


Рис. П13. Общий вид расширенной модели осциллографа EWB

Напряжение на входе А в позиции первого курсора обозначено в табло VA1, а входа В — в табло VB1; напряжение на входе А в позиции второго курсора — в табло VA2; а входа В — в табло VB2. Пре-

ть табло показывает непосредственно напряжение между соответствующими точками осциллограмм, т.е. VA2-VA1 и VB2-VB1.

Линейка прокрутки внизу экрана позволяет сдвигать картинку от конца процесса до самого начала.

Расширенная модель осциллографа занимает весь экран. Чтобы вернуться к простому изображению осциллографа, необходимо нажать на кнопку REDUCE в правом нижнем углу расширенной модели осциллографа.

Функциональный генератор является идеальным источником напряжения, вырабатывающим сигналы синусоидальной, прямоугольной или треугольной формы. На экран, как и осциллографа, выводится уменьшенное изображение генератора. Средний вывод генератора при подключении к схеме обеспечивает общую точку отсчета амплитуды переменного напряжения. Для отсчета относительно нуля общий вывод заземляют. Крайние правый и левый выходы служат для подачи переменного напряжения. Напряжение на правом выводе изменяется в положительном направлении относительно общего вывода, а напряжение на левом выводе — в отрицательном направлении.

Двойным нажатием мыши на уменьшенном изображении открывается увеличенное изображение генератора (рис. П14), где с помощью клавиатуры и кнопок со стрелками можно задать частоту и амплитуду выходного синусоидального напряжения (от 1 Гц до 999 МГц и от 0 мВ до 999 кВ). Другие возможности генератора не отмечаются так, как в лабораторных работах не используются.

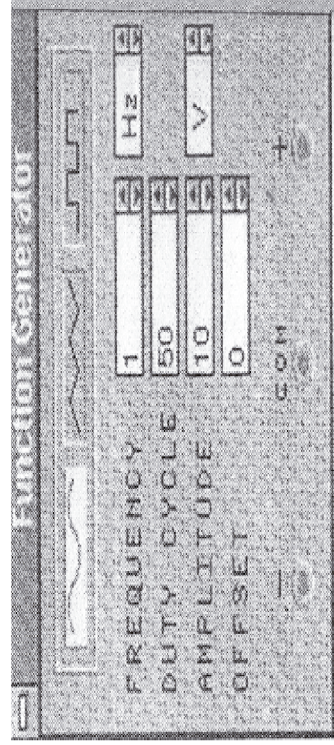


Рис. П14. Общий вид увеличенного изображения функционального генератора

Более подробное описание применения программного комплекса Electronics Workbench V.5.0С можно найти в следующей литературе:

1. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. Изд 3-е, переработанное и дополненное. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003, - 736 с.
2. Панфилов Д.И., Иванов В.С., Чепурин И.Н. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench: В 2 т./Под общ. ред. Д.И. Панфилова -Т.1: Электротехника. – М.: ДОДЭКА, 1999. - 306с.
3. Панфилов Д.И., Иванов В.С., Чепурин И.Н. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench: В 2 т./Под общ. ред. Д.И. Панфилова - Т. 2: Электроника. – М.: ДОДЭКА, 2000. - 288с.

Приложение 2

Основные соотношения в выпрямителях

Схема выпрямления	U_2/U_d	I_2/I_d	$k I_1/I_d$	U_b/U_d	P_d/S_T	I_a/I_d	$U_{\text{двс}}/U_d$
Однополупериодная	2,22	1,57	1,21	3,14	0,286	1	$1,11$ $f=50$ Гц
Однофазная двух- пульсовая с нуле- вым выводом	1,11 (1,11)	0,787 (0,707)	1,11 (1)	3,14 (3,14)	0,68 (0,75)	0,5	0,468 $f=100$ Гц
Однофазная двух- пульсовая мостовая	1,11	1,11	1,11	1,57	0,815 (0,9)	0,5	0,468 $f=100$ Гц
Трехфазная с нуле- вым выводом (трех- пульсовая)	0,855	0,583	0,476	2,09	0,74	0,33	0,177 $f=150$ Гц
Трехфазная мосто- вая (шестипульсо- вая)	0,427	0,817	0,817	1,05	0,95	0,33	0,039 $f=300$ Гц
Шестипульсовая нулевая с разделя- ющей катушкой	0,855	0,291	0,408	2,09	0,79	0,166	0,039 $f=300$ Гц
Двухмостовая двенадцати- пульсовая, последо- вательного типа	0,213	для Δ 0,471 для λ 0,816	1,578 для λ	0,52	0,97	0,33	0,009 $f=600$ Гц

Примечания: 1. Основные соотношения приведены для выпрямителей ра-
ботающих на активную нагрузку; в скобках на нагрузку, содержащую боль-
шую индуктивность.

2. Расшифровка обозначений: Δ – соединение в треугольник; λ – соеди-
нение в звезду.

3. Расшифровка других принятых обозначений приведена во Введении

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

**Руководство
по выполнению лабораторных работ**

Редактор Г. В. Тимченко

Компьютерная верстка Е. В. Ляшkevич

Тип. зак.	Изд. зак. 102.	Тираж 600.
Подписано в печать 11.02.08.	Гарнитура NewtonC	Офсет
Усл. печ. л. 4,25.		Формат 60×90 / ₁₆

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

Участок оперативной печати,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2