

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ СХЕМ ВЫПРЯМЛЕНИЯ ТОКА

(2 часа)

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Изучение устройства и принципа работы выпрямителей однофазного тока.
2. Определение внешних характеристик выпрямителей.
3. Исследование влияния вида нагрузки (активная, активно-емкостная и активно-индуктивная) на работу выпрямителя.
4. Изучение работы фильтров типа "С" и " Δ С". Получение практических навыков расчета коэффициентов пульсации выпрямленных напряжений для различных схем выпрямления.
5. Получение практических навыков обнаружения неисправностей в выпрямительных схемах с помощью электронных измерительных приборов.

II. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Выпрямительные устройства являются преобразователями переменного тока в постоянный и входят составной частью в большинство вторичных источников питания. Выпрямители прежде всего делятся на однофазные, трехфазные и многофазные. Мощные выпрямители мощностью более 1 кВт, как правило, выполняются по трехфазной и многофазной схеме и применяются для систем питания электронно-лучевых печей, электродвигателей постоянного тока, для питания дуговых печей постоянного тока, для электролизных печей при производстве алюминия, для электрофильтров и др.

Однофазные маломощные выпрямители устройства мощностью менее 1 кВт применяются практически во всех источниках питания электронных систем измерения, анализа, контроля и управления, микромашин постоянного тока, систем автоматического регулирования и т.п. Выпрямители, как правило, работают со сглаживающими фильтрами. Наиболее простыми и часто используемыми являются ем-

костные (тип "С") и индуктивные (тип "L") фильтры, а также комбинированные LC фильтры. Емкостные фильтры применяются в малоомощных источниках питания, предназначенных для систем измерения, анализа, контроля и управления при значениях выпрямленного тока менее 1 A ($I_d \leq 1 \text{ A}$). Индуктивные фильтры используются в мощных источниках питания электродвигателей постоянного тока, дуговых печей, сварочных аппаратов и т.п., в которых значения выпрямленного тока более 1 A ($I_d > 1 \text{ A}$), так как они более эффективны именно в режиме больших токов.

В комплекс выпрямительного устройства, изображенного на рис.5.1, входят следующие элементы:

Тр - трансформатор, для согласования требуемых напряжений.

В - диоды или вентили, непосредственно преобразующие переменный ток в постоянный, за счет пропускания тока только в одном направлении.

Ф - фильтры, уменьшающие амплитуду пульсаций выпрямленного напряжения, но не влияющие на его частоту.

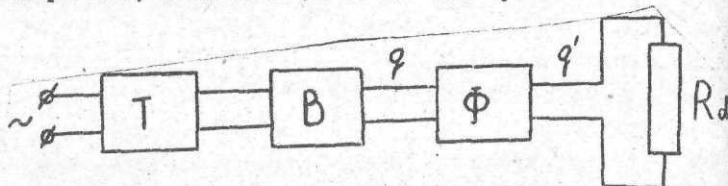


Рис.5.1. Структурная схема комплекса выпрямительного устройства

К выходу фильтра подключается нагрузка R_d .

Как источник постоянного тока, выпрямитель характеризует следующие параметры:

U_{dH} - номинальное выпрямленное напряжение;

I_{dH} - номинальный выпрямленный ток;

U_{bmax} - максимальное обратное напряжение, приложенное к диоду в непроводящую часть периода;

P_{Tr} - расчетная мощность трансформатора;

$R_{вых}$ - выходное сопротивление на постоянном токе;

α - коэффициент пульсации выпрямленного напряжения;

U_2 - переменное напряжение на входе выпрямителя.

Основной характеристикой выпрямителя, как источника питания, является его нагрузочная характеристика, которая называется внешней характеристикой выпрямителя.

Эта характеристика представляет собой зависимость выпрямленного напряжения от величины нагрузочного (выпрямленного) тока и записывается как $V_d = f(I_d)$.

По этой характеристике для любого выпрямителя может быть определено его выходное сопротивление при номинальных значениях выпрямленного тока I_{dH} и напряжения V_{dH} по выражению

$$R_{вх} = \left| \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \right|.$$

Фильтр, стоящий между выпрямителем и нагрузкой, уменьшает амплитуду пульсаций выпрямленного напряжения, передаваемого в нагрузку, т.е. оказывает сглаживающее действие.

Работа фильтра характеризуется коэффициентом сглаживания S_ϕ , равным отношению коэффициентов пульсаций на входе фильтра q (на выходе выпрямителя) и на выходе фильтра q' (на нагрузке). Величина коэффициента сглаживания фильтра всегда больше единицы.

Параметры элементов выпрямительного устройства зависят от величины выпрямленного напряжения V_d и тока I_d нагрузки.

Схема соединения диодов выбирается, исходя из требуемой формы и величины выпрямленного тока, напряжения и типа применяемого фильтра.

В работе рассматриваются однофазные выпрямительные схемы с идеальными характеристиками элементов. Идеализация сводится к следующему

1. Потери в трансформаторе на активном сопротивлении обмоток не учитываются (считаются равными нулю).

В этом случае $\Delta V_L = 0$ и $\vec{V}_2 = \vec{E}_2$.

2. Сопротивление диода (вентилля) в проводящем направлении считается равным нулю, а в непроводящем направлении равным бесконечности. При этом потери напряжения в прямом направлении будут равны нулю $\Delta V_a = 0$, и ток в обратном направлении в непроводящую часть периода также будет равен нулю $I_R = 0$.

3. Также не учитываются потери в фильтре на активном сопротивлении реактивных элементов, т.е. $\Delta V_{\phi} = 0$.

Подобная идеализация в малой степени изменяет количественное соотношение между параметрами выпрямителя, и не изменяет качествен-

ной картины происходящих процессов, зато значительно упрощает эксперимент и понимание происходящих процессов. При проектировании выпрямителя производится его расчет, который сводится к следующему: на основании известного напряжения сети и требуемых постоянных значений выпрямленного тока и напряжения в нагрузке выбирается схема соединения диодов (вентилей), выбирается необходимый тип вентиля по току и по напряжению, рассчитывается или подбирается сглаживающий фильтр, определяется расчетная мощность трансформатора и его коэффициент трансформации.

Выбор схемы соединения диодов (вентилей) определяется мощностью выпрямителя, коэффициентом полезного действия, экономическими соображениями и др. показателями.

В данной работе рассматриваются следующие однофазные схемы:

1. Однофазная однополупериодная (рис.5.2).

2. Однофазная мостовая (рис.5.4).

В работе необходимо определить внешние характеристики выпрямителей $U_d = f(I_d)$ для всех приведенных схем при работе выпрямителя как на чисто активную нагрузку, так и при работе с фильтрами "С", "L", "LC" и провести сопоставление схем выпрямления. Схема однофазного однополупериодного выпрямителя, работающего на активную нагрузку, приведена на рис.5.2. Схема работает следующим образом. Во время положительного полупериода переменного напряжения U_2 (на верхнем конце вторичной обмотки трансформатора напряжение имеет знак "+"). к аноду диода Д приложено положительное напряжение и диод пропускает ток в нагрузку R_d .

Ток будет протекать в течение всего положительного полупериода питающего напряжения U_2 . При смене полярности напряжение U_2 диод не будет пропускать тока и к нему будет приложено обратное напряжение, максимальное значение которого $U_{\text{max}} = \pi U_d$. Временные диаграммы для рассматриваемой схемы приведены на рис. 5.3. Частота пульсаций выпрямленного напряжения (основной гармоники) равна частоте напряжения питающей сети $f_{\text{ор}} = f_c$. Схема однофазного двухполупериодного мостового выпрямителя приведена на рис.5.4. В этой схеме, в любой момент времени, работают 2 последовательно включенных диода, либо $D_1 - D_3$, либо $D_2 - D_4$. Каждая пара диодов работает в свой полупериод, а ток в нагрузке протекает в течение двух полупериодов. Частота пульсаций выпрямленного напряжения (основной гармоники) в 2 раза

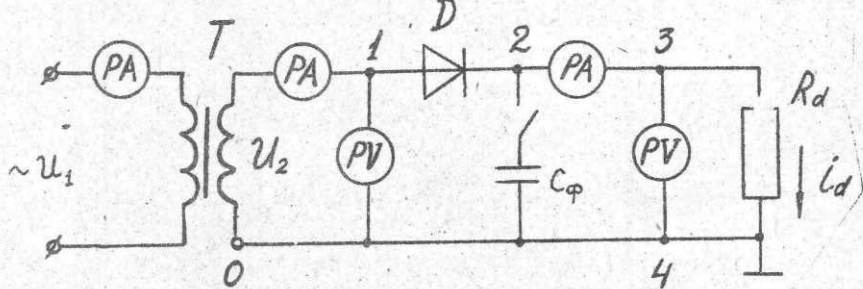


Рис.5.2. Схема однофазного однополупериодного выпрямителя

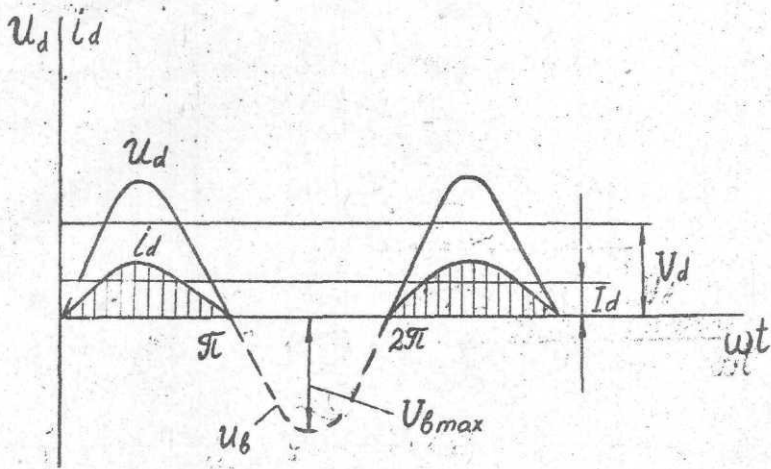


Рис.5.3. Временные диаграммы напряжения и тока при однополупериодного выпрямителя

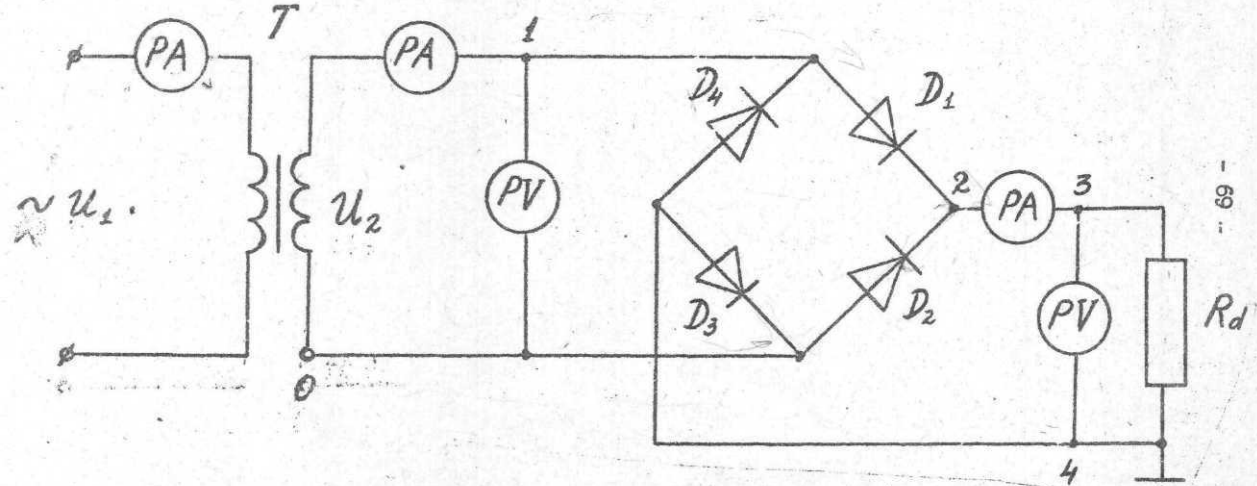


Рис. 5.4. Схема однофазного мостового двухполупериодного выпрямителя

выше частоты напряжения питающей сети $f_{or} = 2f_c$. Временные диаграммы токов и напряжений для данной схемы приведены на рис.5.5.

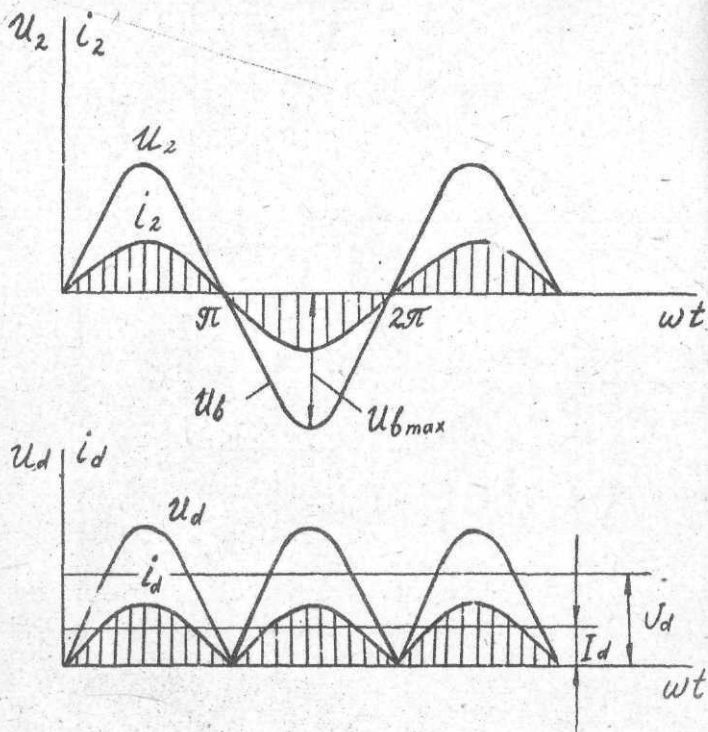


Рис.5.5. Временные диаграммы напряжения и тока при двухполупериодном выпрямлении (мостовая схема)

Максимальное обратное напряжение, приложенное к любому диоду в непроводящую часть периода $U_{bmax} = \frac{\pi}{2} U_d$. В этой схеме лучшее использование трансформатора, так как во вторичной обмотке трансформатора отсутствует постоянная составляющая, а ток в ней имеет чисто синусоидальную форму, больший КЦД и меньшая мощность трансформатора по сравнению с другими однофазными

схемами выпрямления.

Выпрямители могут работать и без трансформатора, если напряжение питающей сети соответствует требуемому напряжению U_2 .

Работе выпрямителей на активно-индуктивную нагрузку рассматривается на примере мостовой двухполупериодной схемы выпрямления рис.5.6.

Включение катушки индуктивности последовательно с нагрузкой приводит к тому, что при возрастании тока в нагрузке катушка индуктивности накапливает электромагнитную энергию. Когда ток в нагрузке уменьшается, катушка индуктивности отдает запасенную энергию в цепь нагрузки, препятствуя уменьшению тока. За счет этого время спада напряжения в цепи увеличивается.

Включение в электрическую цепь накопителя электромагнитной энергии приводит к тому, что форма тока в цепи нагрузки не соответствует форме тока диода, и существенно снижены пульсации выпрямленного напряжения.

Для наблюдения временных диаграмм напряжений в схемах выпрямления необходимо использовать осциллограф, подключаемый к следующим точкам (рис.5.2, рис.5.4):

0 - 1 - напряжение на вторичной обмотке трансформатора;

1 - 2 - напряжение на диоде;

3 - 4 - напряжение на нагрузке.

Работа выпрямителя совместно со сглаживающим фильтром рассматривается на примере однофазной мостовой схемы выпрямления. Рассматривается работа выпрямителя с "С" фильтром (рис.5.7) и с "LC" фильтром (рис.5.8).

Для данных схем определяется коэффициент пульсаций ρ' на нагрузке и коэффициент сглаживания фильтра $\beta_{\text{ср}}$. Практическое определение коэффициента пульсаций с помощью осциллографа проводится по методике, изложенной в лабораторной работе I.

III. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка для исследования схем выпрямления состоит из лабораторной панели, закрепленной на вертикальной стойке лабораторного стенда и контрольно-измерительной аппаратуры. На лабораторной панели смонтирована и выгравирована универсальная мне-

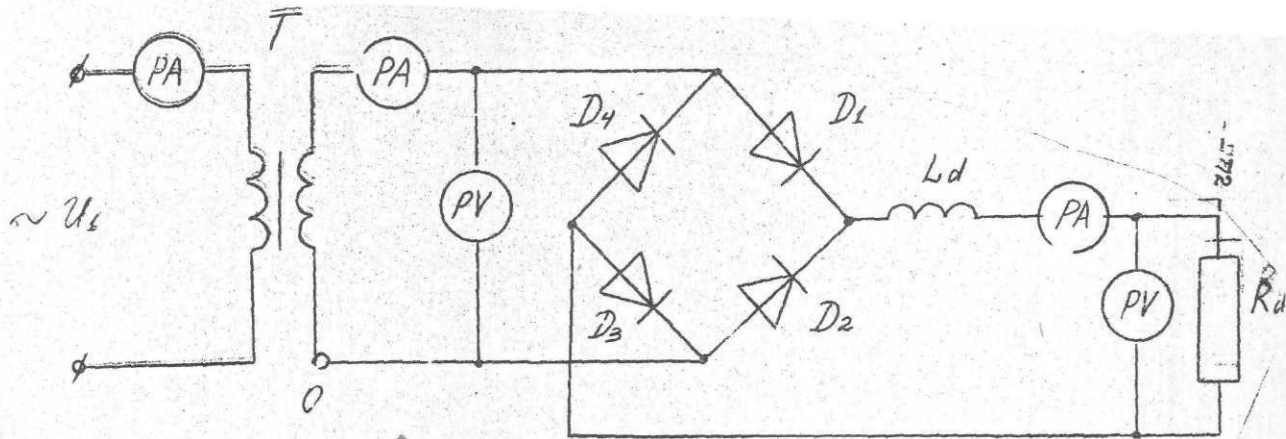


Рис.5.6. Схема однофазного мостового выпрямителя с активно-индуктивной нагрузкой

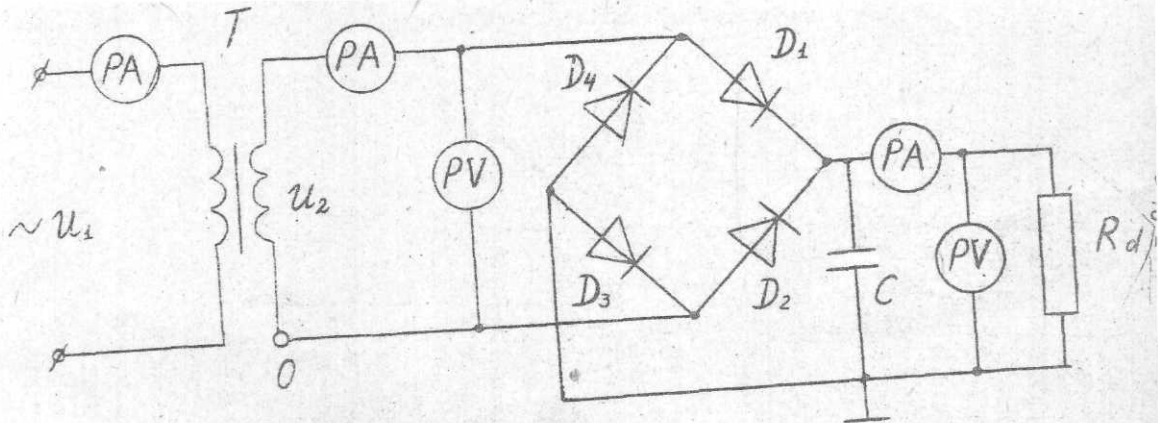


Рис. 5.7. Схема однофазного мостового выпрямителя с емкостным фильтром

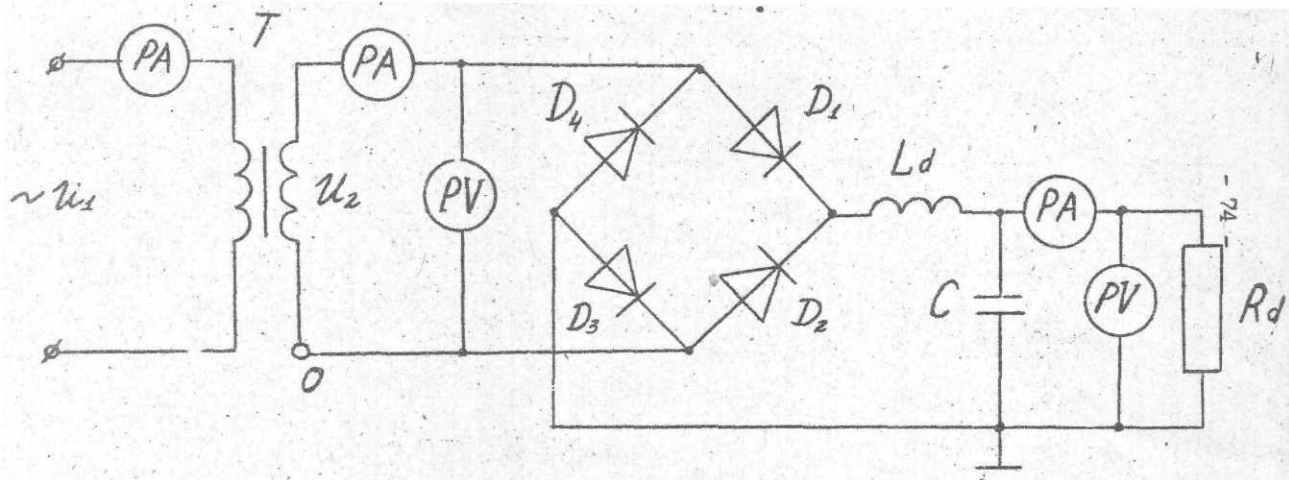


Рис. 5.8. Схема однофазного мостового выпрямителя с индуктивно-емкостным фильтром

мосхема выпрямительного комплекса, позволяющая собирать различные схемы выпрямителей как однофазных, так и трехфазных.

На лицевой панели стенда установлены контрольно-измерительные приборы, соединенные кабельным разъемом с мнемосхемой выпрямительного комплекса. Используемые измерительные приборы на лабораторном стенде имеют следующие обозначения:

A_1 - амперметр класса точности 0,5 для измерения действующего значения тока I_1 в первичной обмотке трансформатора;

A_2 - амперметр класса точности 0,5 для измерения действующего значения тока I_2 во вторичной обмотке трансформатора;

U_1 - цифровой вольтметр класса точности 0,5 для определения напряжения в первичной обмотке трансформатора;

U_2 - вольтметр класса точности 0,5 для измерения действующего значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора;

A_d - амперметр класса точности 0,5 для измерения действующего тока в нагрузке;

U_d - вольтметр класса точности 0,5 для измерения действующего значения напряжения в нагрузке.

Электронно-лучевой осциллограф типа СІ-І9Б и цифровой электронный вольтметр установлены на лабораторном стенде.

Подключение электронно-лучевого осциллографа с помощью специального кабеля к контрольным точкам дает возможность определения временных диаграмм на различных участках и элементах схем при исследовании выпрямителей и поиске их неисправностей.

IV. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ И УКАЗАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

В данной работе студенты проводят измерение зависимости выпрямленного напряжения от величины нагрузочного тока, измеряют средние значения напряжений и токов для определения внешних характеристик однофазных выпрямителей как при работе с фильтрами, так и без них. Проводят измерения коэффициентов пульсаций и определяют коэффициенты сглаживания фильтров.

Подготовка к лабораторной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо выполнить следующие задания:

1. Зарисовать в конспект лабораторной работы схемы выпрямителей, сглаживающих фильтров типов "С", "L" и "LC". Записать основные соотношения между напряжениями U_2 ; $U_{a\max}$; U_d при работе выпрямителей на активную нагрузку.

2. Записать выражение для определения коэффициента пульсации выпрямленного напряжения и его числовое значение для однофазных схем выпрямления при работе на активную нагрузку.

3. Записать выражение для определения коэффициента сглаживания фильтра.

4. Подготовить ответы на контрольные вопросы 1-6, изложенные в разделе VII данной лабораторной работы.

Указания по охране труда

Перед проведением экспериментальных работ необходимо ознакомиться с инструкцией по технике безопасности.

Перед сборкой электрической цепи необходимо убедиться в отсутствии напряжения на стенде. Сборку проводить только проводниками, выданными лаборантом для данной работы. После сборки схемы обязательно приглашать лаборанта для проверки правильности сборки электрической цепи. Включение напряжения для питания лабораторной панели осуществляется только с разрешения лаборанта.

При проведении измерений с помощью электронных приборов не касаться руками одновременно корпуса прибора и схемы, а также одновременно двух корпусов различных приборов. Предварительно необходимо ознакомиться с лабораторным стендом и его комплектацией.

Методические указания по проведению эксперимента

При выполнении лабораторной работы следует учитывать, что изменение тока нагрузки выпрямителя осуществляется параллельным включением нагрузочных резисторов (сопротивление каждого резисто-

ра $R_d = 68 \text{ Ом}$). В этом случае ток нагрузки будет равен нулю при разомкнутой нагрузочной цепи, т.е. $R_d = \infty$. На выходе выпрямителя при этом будет максимальное напряжение, называемое напряжением холостого хода $U_{d_{хх}}$. Начинать любой эксперимент следует при токе нагрузки равным нулю, т.е. $I_d = 0$. Обработка временных диаграмм выпрямителей и определение коэффициентов пульсаций следует проводить по методике, изложенной в лабораторной работе I.

Задания, выполняемые в лаборатории

В процессе проведения лабораторной работы необходимо ответить на контрольные вопросы 7-11, изложенные в разделе УП данной лабораторной работы, а также выполнить следующие задания:

I. Собрать схему однополупериодного выпрямителя (см.рис.5.2).

I.1. Для всех специальностей снять внешнюю характеристику выпрямителя при работе на чисто активную нагрузку при неизменном напряжении питающей сети. Для всех величин нагрузок определить значения коэффициента пульсаций γ' на нагрузке. Данные занести в табл. I (левая часть).

I.2. Для специальностей 0408, 0204, 0405, 0406, 0407 снять внешнюю характеристику выпрямителя при работе на активно-емкостную нагрузку (фильтр типа "С"). Для минимального и максимального тока I_d определить коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке γ' .

Т а б л и ц а I

Внешняя характеристика выпрямителя

№ п/п	Активная				Активно-емкостная			
	R_d	I_d	U_d	γ'	R_d	I_d	U_d	γ'
	Ом	мА	В		Ом	мА	В	
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								

1.3. При максимальном токе нагрузки ($I_d = \max$), т.е. при минимальном сопротивлении активной нагрузки ($R_d = \min$) определить значения $I_1, I_2, U_1, U_2, I_d, U_d$ и занести их в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Параметры при максимальной нагрузке

Тип нагрузки	I_1	I_2	U_1	U_2	U_d	I_d
	мА	мА	В	В	В	мА
Активная	70	62	220	9	7,5	0,8
Активно-емкостная	35	25	220	9	8,7	0,25
	50	37	-	9	6,0	0,65

2. Собрать схему однофазного мостового выпрямителя (рис.5.4).

2.1. Определить внешние характеристики выпрямителя при работе на различные виды нагрузки.

В зависимости от специализации студенты определяют внешние характеристики выпрямителей при следующих нагрузках, выполненных в виде фильтров:

для всех специальностей -

для специальности 0408, 0204 -

для специальности 0405, 0406, -

0407, 4I4

для специальности 0403, 0404, -

0401, 0402

чисто активная нагрузка;

активно-индуктивная нагрузка
(фильтр типа "L");

активно-емкостная нагрузка
(фильтр типа "C");

активно-индуктивно-емкостная
нагрузка (фильтр типа "LC").

Начинать все эксперименты при значении тока $I_d = 0$ (все нагрузочные сопротивления R_d отключены)

Результаты занести в табл.3.

Внешняя характеристика выпрямителя

№ п/п	Вид нагрузки (по специальности)			
	R_d , Ом	I_d , мА	V_d , В	φ'
1.				
2.				
3.				

2.2. Зарисовать временные диаграммы напряжения и тока в нагрузке и во вторичной обмотке трансформатора. Определить с помощью осциллографа коэффициент пульсаций φ и коэффициент сглаживания S_φ фильтра.

Для максимальной нагрузки ($R_d = \min$) определить значения V_2 , I_2 , I_d , V_d , φ' , S_φ и занести в табл.4.

Т а б л и ц а 4

Параметры при максимальной нагрузке

№ п/п	Вид нагрузки	Параметр	V_2 , В	I_2 , мА	I_d , мА	V_d , В	φ'	S_φ
1.	без фильтра							
2.	L - фильтр							
3.	C - фильтр							
4.	LC - фильтр							

2.3. Разорвать цепь одного из вентиля (эквивалентно перегоранию вентиля) и определить при этом значения I_d и V_d , I_2 , V_2 . Зарисовать временные диаграммы напряжений и токов в нагрузке и во вторичной обмотке трансформатора.

Сравнить показатели работы исправного и неисправного выпрямителя.

Пробой конденсатора является аварийным режимом и поэтому

не может быть продемонстрирован. Этот режим характеризуется отсутствием напряжения на выходе и перегревом деталей выпрямителя, что может привести к выходу из строя всего выпрямительного устройства. Поэтому при обнаружении указанных признаков следует немедленно отключить электропитание схемы выпрямителя.

У. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. По данным таблиц 1 и 3 построить внешние характеристики выпрямителей. Для мостового выпрямителя по данным таблицы 1, 3 все характеристики строятся на одном графике.

2. Проанализировать осциллограммы напряжений на нагрузке и вторичной обмотке трансформатора для рассмотренных схем, как при активной нагрузке, так и при наличии фильтра.

3. Проанализировать осциллограммы напряжений на нагрузке и вторичной обмотке трансформатора при аномальной работе мостовой однофазной схемы (при обрыве цепи одного из вентиля).

4. Сравнить теоретические значения коэффициентов пульсаций с экспериментальными.

УІ. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

В содержание отчета входят:

- а) наименование работы и ее цель;
- б) краткое содержание работы, необходимые теоретические сведения и схемы 5.1; 5.2; 5.4; 5.6; 5.7; 5.8;
- в) таблицы с результатами экспериментов;
- г) осциллограммы и графики, построенные по экспериментальным данным;
- д) расчет значений коэффициентов сглаживания.

УП. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы основные элементы выпрямительной схемы?
2. Каково назначение основных элементов выпрямительной схемы?
3. Как экспериментально определить напряжение на вентиле в

любой выпрямительной схеме? - 81 -

4. Как экспериментально определяется коэффициент пульсаций в нагрузке?

5. В какой из рассмотренных схем выпрямления обратное напряжение выше и почему?

6. Для каких нагрузок используются однофазные схемы выпрямления?

7. Как найти неисправный вентиль в однофазной мостовой схеме?

8. Как влияет на величину выпрямительного напряжения подключение емкости параллельно нагрузке?

9. Как изменяется коэффициент пульсаций при подключении емкости параллельно нагрузке?

10. Как и с помощью каких приборов определяется коэффициент сглаживания фильтра?

11. Как экспериментально определить внутреннее сопротивление выпрямителя? Какие приборы при этом используются?

УШ. ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов В.Г. и др. Основы промышленной электроники. Учебник, изд. 2-е, переработанное. -М.: Высшая школа, 1978. с.177+183.