

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ВЫПРЯМИТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к лабораторным работам по курсу «Электронные устройства автоматики»
для студентов специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация
технологических процессов и производств (легкая промышленность)»**

ВИТЕБСК
2011

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор УО
«ВГТУ»

_____ **С.И. Малашенков**

«_____» _____ **2011 г.**

ВЫПРЯМИТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по курсу «Электронные устройства автоматике» для студентов специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств (легкая промышленность)»

РЕКОМЕНДОВАНО

**Редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ»**

«_____» _____ **2011 г.**

протокол № _____

ВИТЕБСК
2011

УДК 621.3(07)

Выпрямители переменного тока : методические указания к лабораторным работам по курсу «Электронные устройства автоматики» для студентов специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств (легкая промышленность)».

Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, УО "ВГТУ", 2011.

Составители: ст. преп. Куксевич В.Ф.,
асс. Кусков А.С.

Методические указания составлены в соответствии с учебной программой курса «Электронные устройства автоматики», изучаемого студентами специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств (легкая промышленность)». Приведены общие указания к лабораторным занятиям, даны краткие теоретические сведения по изучаемым устройствам.

Одобрено кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» УО "ВГТУ" 5.10.2011 г., протокол № 2

Рецензент: ст. преп. Клименкова С.А.
Редактор: доц., д.т.н. Кузнецов А.А.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО "ВГТУ" «_____» _____ 2011 г., протокол № _____

Ответственный за выпуск: Букин Ю.А.

Учреждение образования "Витебский государственный технологический университет"

Подписано в печать _____. Формат _____. Уч.-изд. лист. _____. Печать ризографическая. Тираж _____ экз. Заказ № _____. Цена _____ руб.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.

210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

Содержание

Лабораторная работа № 1 <i>Исследование однофазных схем выпрямления</i>	4
Лабораторная работа № 2 <i>Исследование трехфазных схем выпрямления</i>	13
Лабораторная работа № 3 <i>Исследование сглаживающих фильтров</i>	19
Лабораторная работа № 4 <i>Исследование однофазных схем выпрямления с умножением напряжения</i>	26
Лабораторная работа № 5 <i>Исследование однофазного управляемого выпрямителя</i>	31
Литература	38

Лабораторная работа № 1

Исследование однофазных схем выпрямления

Цель работы: изучение принципа действия однофазных одно- и двухполупериодных схем выпрямления.

Теоретические сведения

Выпрямительным устройством (выпрямителем) называют статический преобразователь электрической энергии переменного тока в энергию постоянного тока. Выпрямительное устройство может состоять из трех основных элементов (рис. 1.1): трансформатора 1, вентильной схемы 2 и сглаживающего фильтра 3.

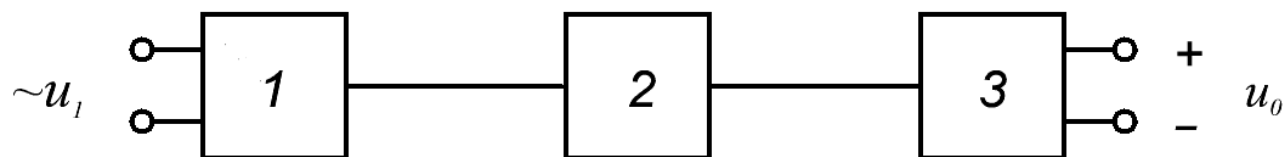


Рисунок 1.1 – Структурная схема выпрямителя

Трансформатор в выпрямительном устройстве предназначен для получения заданного напряжения, а также для устранения непосредственной электрической связи (гальванической связи) цепи выпрямленного тока с питающей сетью. Вентильная схема преобразует переменное напряжение в пульсирующее однополярное, а сглаживающий фильтр служит для получения постоянного напряжения из пульсирующего, т. е. для ослабления переменных составляющих, содержащихся в пульсирующем напряжении.

Режим работы выпрямителя и параметры образующих его элементов в значительной степени зависят от характера его нагрузки (активная, активно-емкостная, активно-индуктивная и др.). В электронных устройствах автоматики наиболее распространенной является работа выпрямителя на нагрузку активного или активно-емкостного характера. В последнем случае емкостная составляющая образуется конденсатором, устанавливаемым параллельно нагрузке с целью снижения пульсаций выпрямленного напряжения.

Выходными параметрами выпрямителя являются следующие величины: U_0 – среднее значение выпрямленного напряжения, I_0 – среднее значение выпрямленного тока, f_{n1} – частота основной гармоники выпрямленного напряжения, K_n – коэффициент пульсации выпрямленного напряжения.

Коэффициентом пульсации называют отношение амплитуды основной (первой) гармоники выпрямленного напряжения к его среднему значению:

$$K_n = U_{mn} / U_{0..}$$

Внешняя характеристика выпрямителя – зависимость выпрямленного напряжения U_0 от тока нагрузки I_0 при неизменном напряжении на входе выпрямителя. По этой характеристике можно определить выходное напряжение выпрямителя при заданной нагрузке и его внутреннее сопротивление:

$$R_0 = \Delta U_0 / \Delta I_0.$$

Вентили в схемах выпрямления характеризуют следующими параметрами: средним выпрямленным током $I_{np.ср}$, действующим значением тока I_{np} , амплитудой тока $I_{m.нр}$, амплитудой обратного напряжения $U_{m.обр}$, средней мощностью $P_{ср}$.

При проектировании выпрямителей выбор вентиля осуществляют так, чтобы значения указанных параметров в электрической цепи не превышали предельно допустимых значений для выбранных вентилях.

При питании от однофазной сети используют следующие схемы выпрямления: однополупериодную, двухполупериодную с выводом нулевой точки трансформатора, мостовую (схема Греча).

Однополупериодная схема выпрямления (рис. 1.2) отличается простотой, небольшим числом элементов, невысокой стоимостью, возможностью работы без трансформатора непосредственно от питающей сети.

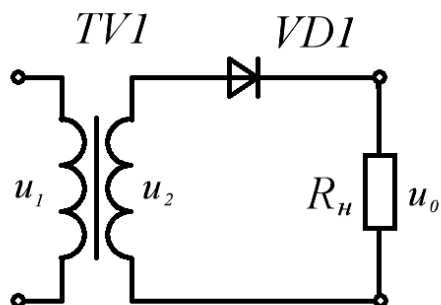


Рисунок 1.2 – Однополупериодная схема выпрямления

На рис. 1.3 представлены временные диаграммы, характеризующие работу этой схемы на активную нагрузку при питании синусоидальным напряжением. Если принять сопротивление вторичной обмотки трансформатора и прямое сопротивление вентиля равными нулю, то во время положительной полуволны u_2 (вентиль VDI открыт) напряжение на нагрузке повторяет форму напряжения на

вторичной обмотке трансформатора. Во время отрицательной полуволны u_2 (вентиль $VD1$ закрыт) напряжение U_0 на нагрузке равно нулю, а поскольку обратное сопротивление вентиля $R_{обр} \gg R_n$, то напряжение вторичной обмотки полностью приложено к вентилю (потенциал анода вентиля становится отрицательным).

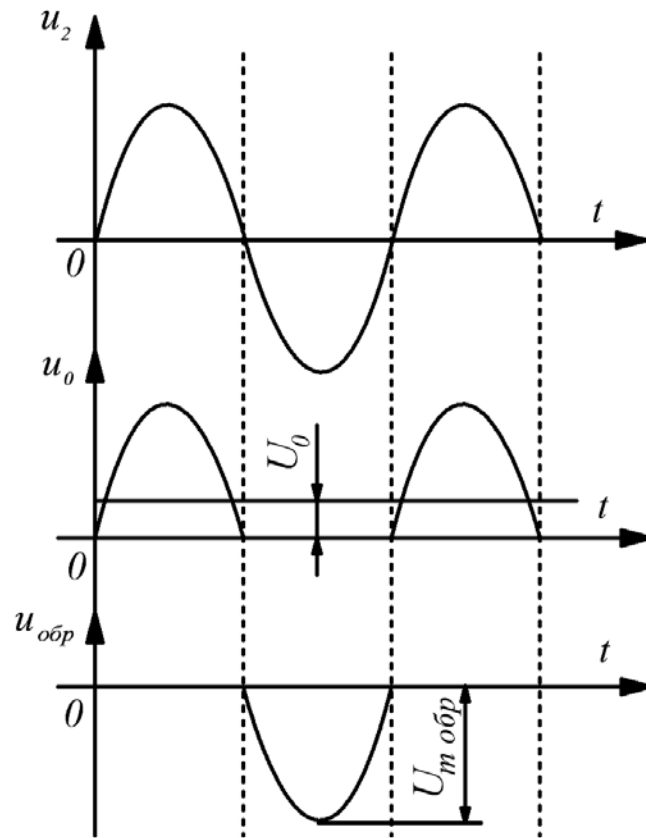


Рисунок 1.3 – Временные диаграммы

Для однополупериодной схемы выпрямления характерны следующие недостатки: низкая частота пульсации, высокое обратное напряжение на вентиле, плохое использование трансформатора (используется энергия одной полуволны напряжения вторичной обмотки), вынужденное намагничивание сердечника трансформатора (по вторичной обмотке протекает постоянная составляющая выпрямленного тока).

Двухполупериодная схема выпрямления с выводом нулевой точки трансформатора (рис. 1.4) образована двумя вентилями $VD1$ и $VD2$, трансформатором $TV1$, имеющим две одинаковые вторичные обмотки, включенные последовательно и согласно.

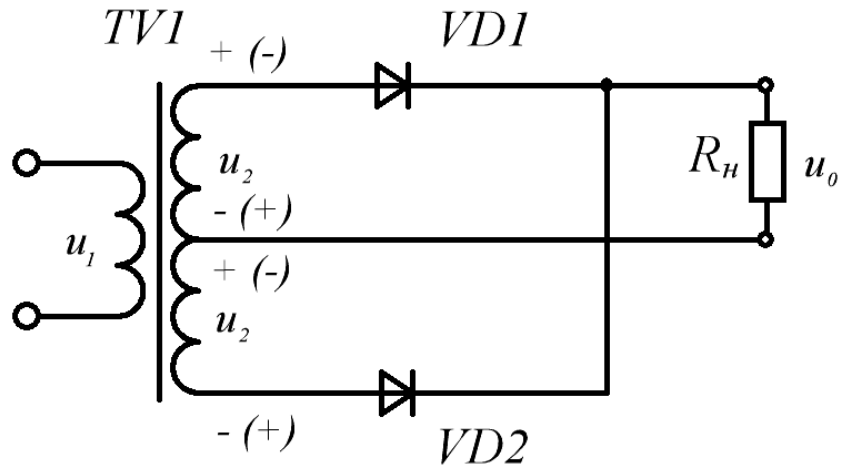


Рисунок 1.4 – Двухполупериодная схема выпрямления с выводом нулевой точки трансформатора

Во время положительной полуволны u_2 (полярность указана без скобок) открыт вентиль $VD1$. Во время отрицательной полуволны (полярность указана в скобках) открыт вентиль $VD2$. Ток обоих вентилях протекает через нагрузку в одном направлении. Временные диаграммы напряжений для этой схемы выпрямления представлены на рис. 1.5.

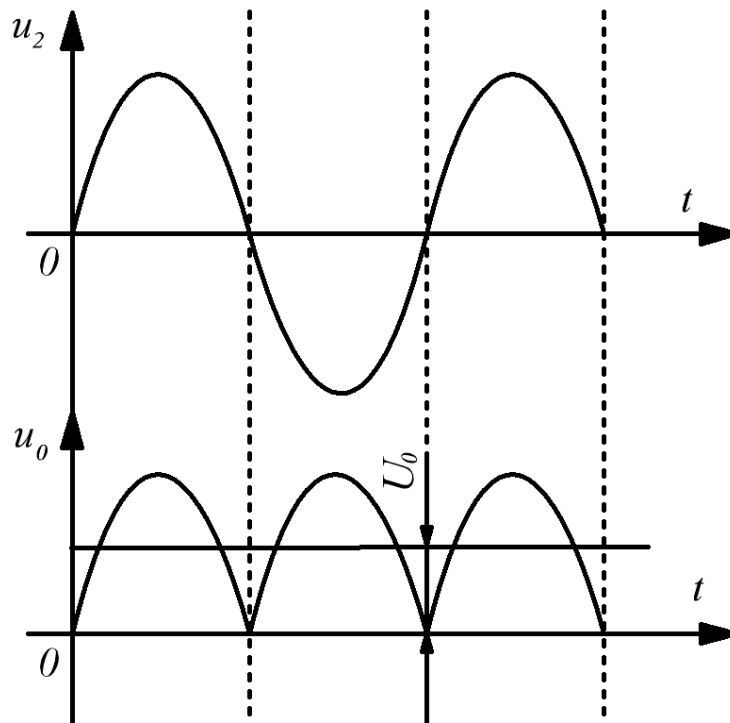


Рисунок 1.5 – Временные диаграммы

Фактически эта схема представляет собой две однополупериодные схемы выпрямления, работающие поочередно (через $T/2$) на общую нагрузку, что и предопределяет ее достоинства и недостатки. К достоинствам схемы выпрямления с нулевой точкой можно отнести следующие: частота пульсации в два раза выше, чем в однополупериодной схеме, в два раза выше среднее значение выпрямленного напряжения, хороший КПД, отсутствие вынужденного намагничивания трансформатора. Основная область применения этой схемы – низковольтные выпрямители. Поскольку в любой момент времени в ней последовательно с нагрузкой оказывается включенным только один вентиль, то при больших выпрямленных токах и малых напряжениях это позволяет получить хороший КПД. К недостаткам схемы с нулевой точкой следует отнести плохое использование трансформатора (две вторичные обмотки, работающие в течение $T/2$ каждая), высокое обратное напряжение на вентилях, невозможность работы без трансформатора.

Мостовая схема выпрямления (рис. 1.6) содержит четыре вентиля и трансформатор с одной вторичной обмоткой.

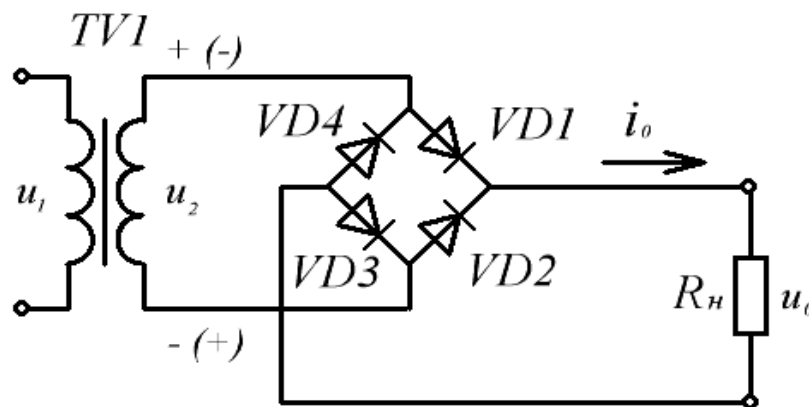


Рисунок 1.6 – Мостовая схема выпрямления

Во время положительной полуволны напряжения u_2 во вторичной обмотке трансформатора $VT1$ проводят ток вентили $VD1$, $VD3$, а во время отрицательной – вентили $VD2$, $VD4$. При этом ток в нагрузке протекает в одном направлении, указанном стрелкой, а ток во вторичной обмотке трансформатора через каждые $T/2$ изменяет свое направление на противоположное.

К закрытым вентилям прикладывается обратное напряжение, повторяющее по форме напряжение вторичной обмотки трансформатора. Максимальное значение обратного напряжения равно U_{m2} , т. е. амплитуде напряжения вторичной обмотки трансформатора. Поскольку в течение $T/2$ проводят ток два вентиля, а два – находятся в непроводящем состоянии, то к каждому из закрытых вентилях оказывается приложенным $U_{m.обр} = U_{m2} / 2$ (при равенстве их обратных

сопротивлений). Временные диаграммы входного и выходного напряжений мостовой схемы выпрямления совпадают с соответствующими диаграммами выпрямителя с нулевым выводом (рис. 1.5).

При работе на активно-индуктивную нагрузку форма тока в вентилях становится более сглаженной, а при работе на активно-емкостную нагрузку в данной схеме, как и в других, появляется угол отсечки $2\theta_{VD} < \pi$. При этом ток вентилей имеет форму синусоидальных импульсов. При включении схемы выпрямления (конденсатор нагрузки разряжен) амплитуда тока вентилей может значительно превысить величину среднего значения выпрямленного тока. Наиболее благоприятным для вентилей является режим работы на активно-индуктивную нагрузку, наименее благоприятным – на активно-емкостную.

Основными преимуществами мостовой схемы являются: большая частота пульсаций, чем в однополупериодной схеме; небольшое обратное напряжение; хорошее использование трансформатора; отсутствие вынужденного намагничивания; возможность работы без трансформатора.

Недостатки мостовой схемы: большое количество вентилей, повышенное падение напряжения на вентилях.

Основные параметры рассмотренных схем выпрямления при работе на активную нагрузку представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Схема выпрямления	$\frac{U_2}{U_0}$	$\frac{U_{m.обр}}{U_0}$	$\frac{I_{np.ср}}{I_0}$	$\frac{I_{m.нр}}{I_0}$	$\frac{I_{нр}}{I_0}$	$\frac{I_2}{I_0}$	$\frac{S_{mp}}{P_0}$	K_n	$\frac{f_n}{f_c}$
Однополупериодная	2,22	3,14	1	3,14	1,57	1,57	3,09	1,57	1
Двухполупериодная с нулевой точкой	1,11	3,14	0,5	1,57	0,785	0,785	1,48	0,67	2
Однофазная мостовая	1,11	1,57	0,5	1,57	0,785	1,11	1,23	0,67	2

Основные параметры двухполупериодной и мостовой схем выпрямления при работе на активно-индуктивную нагрузку представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Схема выпрямления	$\frac{U_2}{U_0}$	$\frac{U_{m.обр}}{U_0}$	$\frac{I_{np.ср}}{I_0}$	$\frac{I_{m.нр}}{I_0}$	$\frac{I_{нр}}{I_0}$	$\frac{I_2}{I_0}$	$\frac{S_{mp}}{P_0}$	K_n	$\frac{f_n}{f_c}$
Двухполупериодная с нулевой точкой	1,11	3,14	0,5	1	0,707	0,707	1,34	0,67	2
Однофазная мостовая	1,11	1,57	0,5	1	0,707	1	1,11	0,67	2

Все величины, характеризующие работу выпрямителя на активно-емкостную нагрузку, зависят от угла отсечки θ и определяются графоаналитическим способом. Основные параметры рассмотренных схем выпрямления при работе на активно-емкостную нагрузку представлены в табл.1.3.

Таблица 1.3

Схема выпрямления	$\frac{U_2}{U_0}$	$\frac{U_{m.обр}}{U_0}$	$\frac{I_{np.ср}}{I_0}$	$\frac{I_{m.нр}}{I_0}$	$\frac{I_{нр}}{I_0}$	$\frac{I_2}{I_0}$	$\frac{S_{mp}}{P_0}$	$\frac{f_n}{f_c}$	R_0
Однополупериодная	B	2,82B	1	F	D	D	$0,5BD + \sqrt{D^2 - 1}$	1	$r_{np.D} + r_{mp}$
Двухполупериодная с нулевой точкой	B	2,82B	0,5	0,5F	0,5D	0,5D	0,85BD	2	$r_{np.D} + r_{mp}$
Однофазная мостовая	B	1,41B	0,5	0,5F	D	0,707D	0,707BD	2	$r_{np.D} + r_{mp}$

В табл. 1.3 $A = I_0 \pi R_0 / U_0$ m – расчетный параметр, от которого зависят коэффициенты B, D, F, H (рис. 1.7 – 1.11); R_0 – внутреннее сопротивление выпрямителя; r_{mp} – сопротивление обмоток трансформатора, равное

$$r_{mp} = K_r \frac{U_0}{I_0 f_c B_m} \sqrt[4]{\frac{S f_c B_m}{U_0 I_0}},$$

где f_c – частота питающей сети, Гц; S – число стержней трансформатора, на котором помещены обмотки; B_m – амплитуда магнитной индукции, Тл; K_r – коэффициент, зависящий от схемы выпрямления: однополупериодная – $K_r = 2,3$; двухполупериодная – $K_r = 4,7$; однофазная мостовая – $K_r = 3,5$.

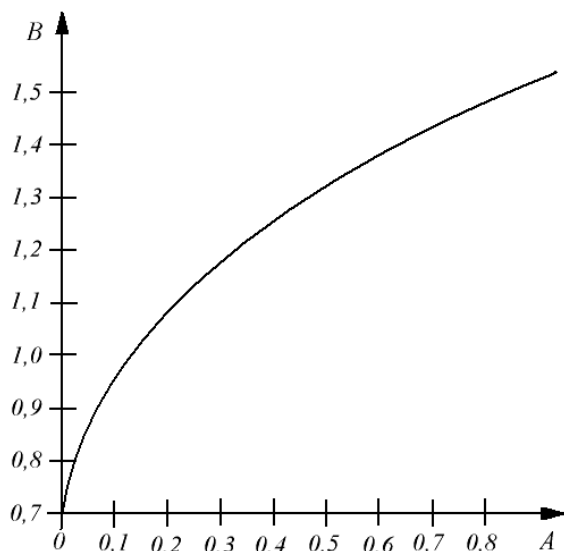


Рисунок 1.7

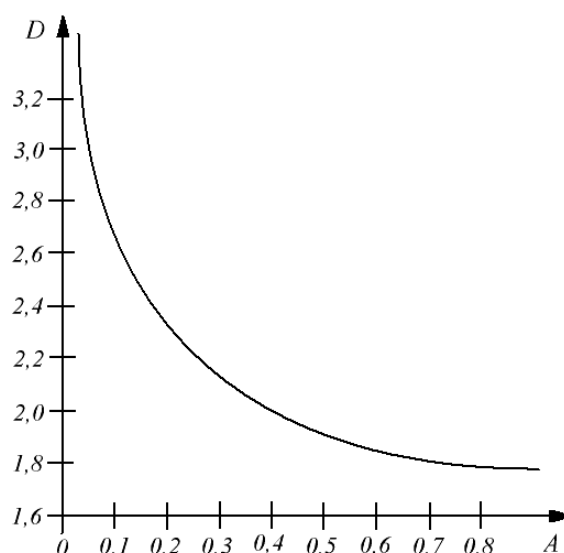


Рисунок 1.8

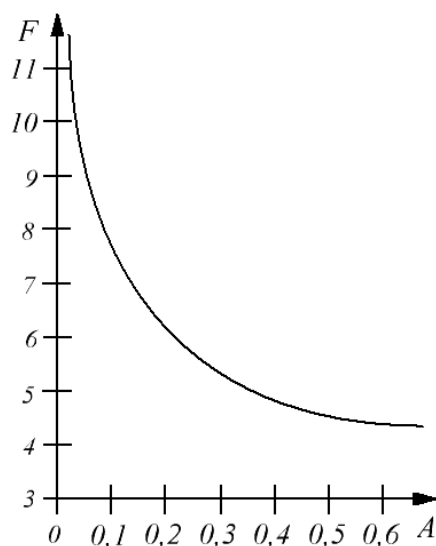


Рисунок 1.9

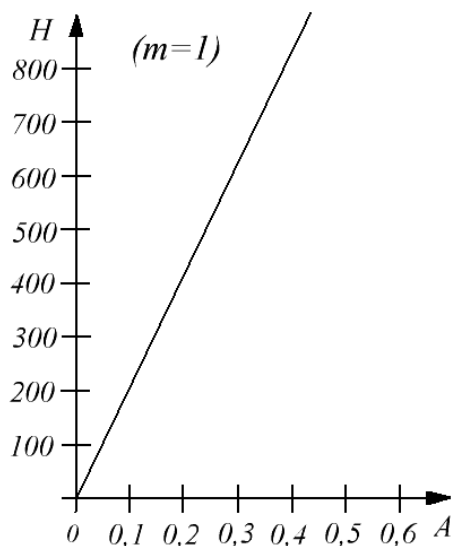


Рисунок 1.10

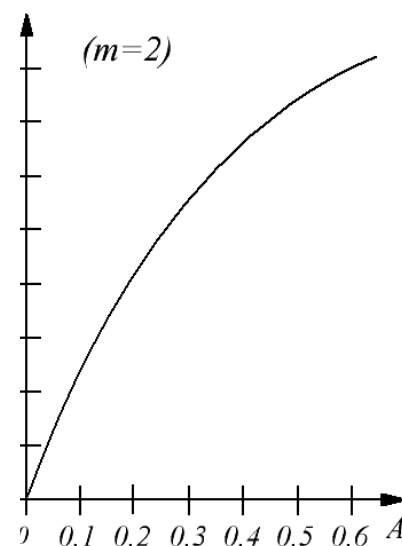


Рисунок 1.11

Порядок выполнения работы

1. Работа выполняется на унифицированном стенде УИЛС – 1. Для выполнения работы выбрать модуль "ВЫПРЯМИТЕЛЬ", схема которого представлена на рис. 1.12, и разместить его на наборном поле.

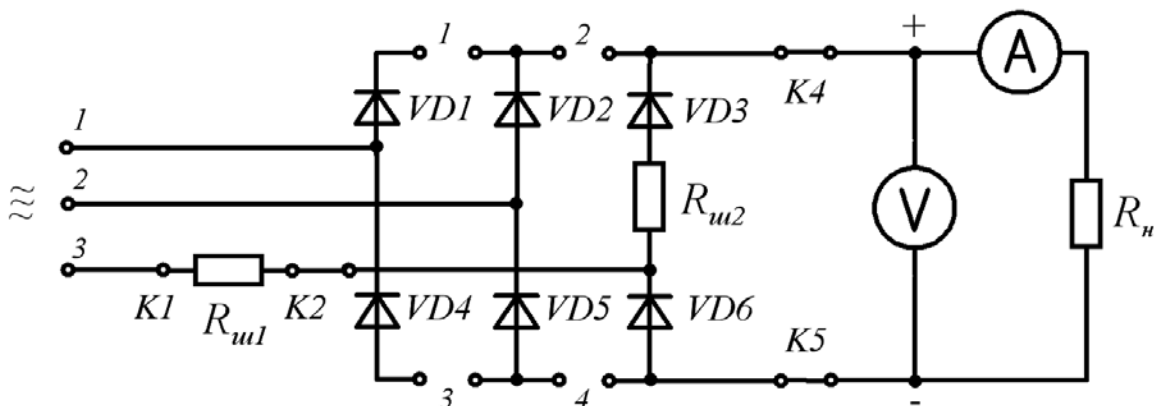


Рисунок 1.12 – Схема модуля "ВЫПРЯМИТЕЛЬ"

2. Для исследования однофазной однополупериодной схемы выпрямления к аноду диода $VD1$ и нижнему выводу нагрузки подать переменное напряжение с частотой 50 Гц от любой фазы источника трехфазного напряжения стенда. Катод диода $VD1$ подключить к точке соединения выводов амперметра и вольтметра. Подключить к выпрямителю нагрузку R_n , используя блок переменных сопротивлений стенда. Изменяя сопротивление нагрузки от 100 до 900 Ом , а также при $R_n = \infty$, измерить напряжение U_0 и ток I_0 . Данные занести в таблицу 1.4. Подключить к нагрузке осциллограф и зарисовать осциллограммы напряжений u_2 и u_0 при $R_n = 900 \text{ Ом}$.

3. Для исследования однофазной мостовой схемы выпрямления к входным клеммам 1 и 2 схемы модуля "ВЫПРЯМИТЕЛЬ" подать переменное напряжение с частотой 50 Гц от любой фазы источника трехфазного напряжения стенда. Перемкнуть клеммы 1 и 3 схемы. Подключить к выпрямителю нагрузку R_n , используя блок переменных сопротивлений стенда и измерительные приборы. Изменяя сопротивление нагрузки от 100 до 900 Ом , а также при $R_n = \infty$, измерить напряжение U_0 и ток I_0 . Данные занести в таблицу 1.4. Подключить к нагрузке осциллограф и зарисовать осциллограмму напряжения u_0 при $R_n = 900 \text{ Ом}$.

Таблица 1.4

	$R_n, \text{ Ом}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	∞
Однофазная однополупериодная схема	$U_0, \text{ В}$										
	$I_0, \text{ мА}$										
Однофазная мостовая схема	$U_0, \text{ В}$										
	$I_0, \text{ мА}$										

4. Построить внешние характеристики обеих схем выпрямления $U_0 = f(I_0)$.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия однополупериодной схемы выпрямления, ее достоинства и недостатки.
2. Объясните принцип действия двухполупериодной схемы выпрямления с нулевой точкой, ее достоинства и недостатки.
3. Объясните принцип действия мостовой схемы выпрямления, ее достоинства и недостатки.
4. Что такое внешняя характеристика выпрямителя? Чем определяется ее наклон?
5. Что такое коэффициент пульсаций и внутреннее сопротивление выпрямителя?
6. Как влияет характер нагрузки на режимы работы выпрямителя?

Лабораторная работа № 2

Исследование трехфазных схем выпрямления

Цель работы: изучение принципа действия основных трехфазных схем выпрямления, экспериментальное определение их основных параметров и характеристик.

Теоретические сведения

Трехфазные выпрямители используют для получения выпрямленного напряжения при средних и больших мощностях в нагрузке. Наибольшее распространение получили две трехфазные схемы выпрямления: трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом (схема Миткевича) и мостовая схема (схема Ларионова).

Трехфазную схему выпрямления с нулевым выводом образуют трансформатор и три вентиля (рис. 2.1). Первичные обмотки трансформатора могут быть соединены звездой или треугольником. Вторичные обмотки должны быть соединены звездой. Свободные выводы вторичных обмоток подключены к анодам вентиля, катоды которых соединены в узел. Сопротивление нагрузки подключают между точкой соединения катодов и нулевой точкой вторичных обмоток.

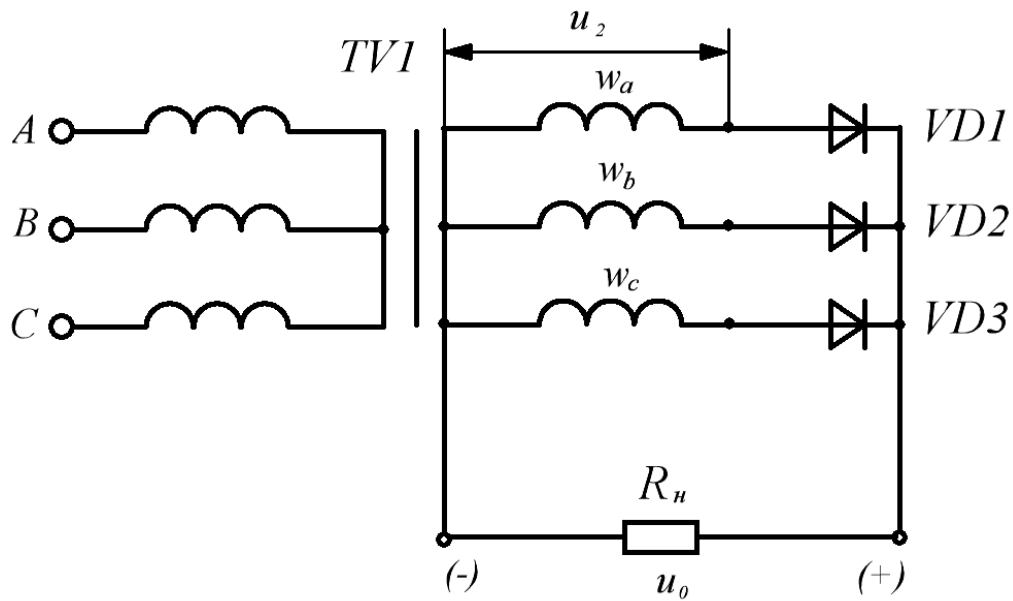


Рисунок 2.1 – Трехфазная схема выпрямления с нулевым выводом

Временные диаграммы, поясняющие работу схемы, приведены на рис. 2.2. Рассмотрим работу этой схемы выпрямления при активной нагрузке.

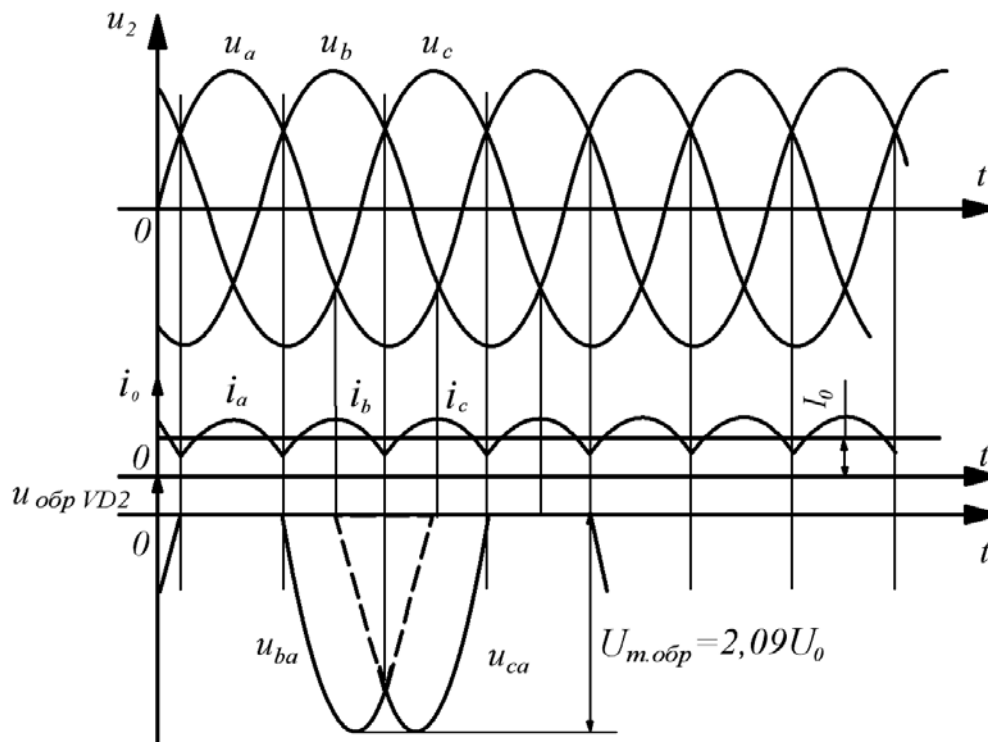


Рисунок 2.2 – Временные диаграммы

Поскольку сопротивление нагрузки выпрямителя включено между нулевым выводом обмоток и точкой соединения катодов вентилях, они будут открываться только при положительной полярности соответствующего фазного напряжения. Кроме того, открытым может быть только тот вентиль, мгновенное значение напряжения на аноде которого в данный момент времени выше, чем у других. Из рис. 2.2 видно, что каждый из вентилях проводит ток в течение $T/3$.

Поскольку направление тока через нагрузку не изменяется, ток в нагрузке имеет однополярный пульсирующий характер, частота пульсаций в три раза выше частоты питающей сети. Следует отметить, что направление тока во вторичных обмотках трансформатора также остается постоянным, что вызывает вынужденное намагничивание сердечника трансформатора.

Трехфазная мостовая схема выпрямления образована трехфазным трансформатором и шестью вентилями (рис. 2.3).

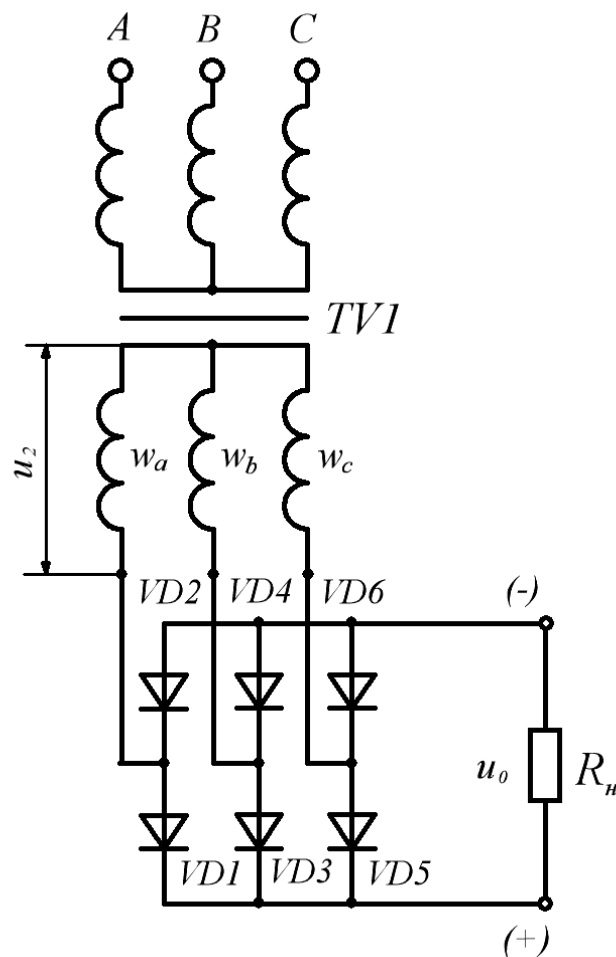


Рисунок 2.3 – Трехфазная мостовая схема выпрямления

Вентили $VD1$, $VD3$, $VD5$ образуют так называемую катодную группу, поскольку их катоды соединены в узел, а вентили $VD2$, $VD4$, $VD6$ – анодную

группу (их аноды сведены в узел). Временные диаграммы, поясняющие работу схемы при активной нагрузке, приведены на рис. 2.4.

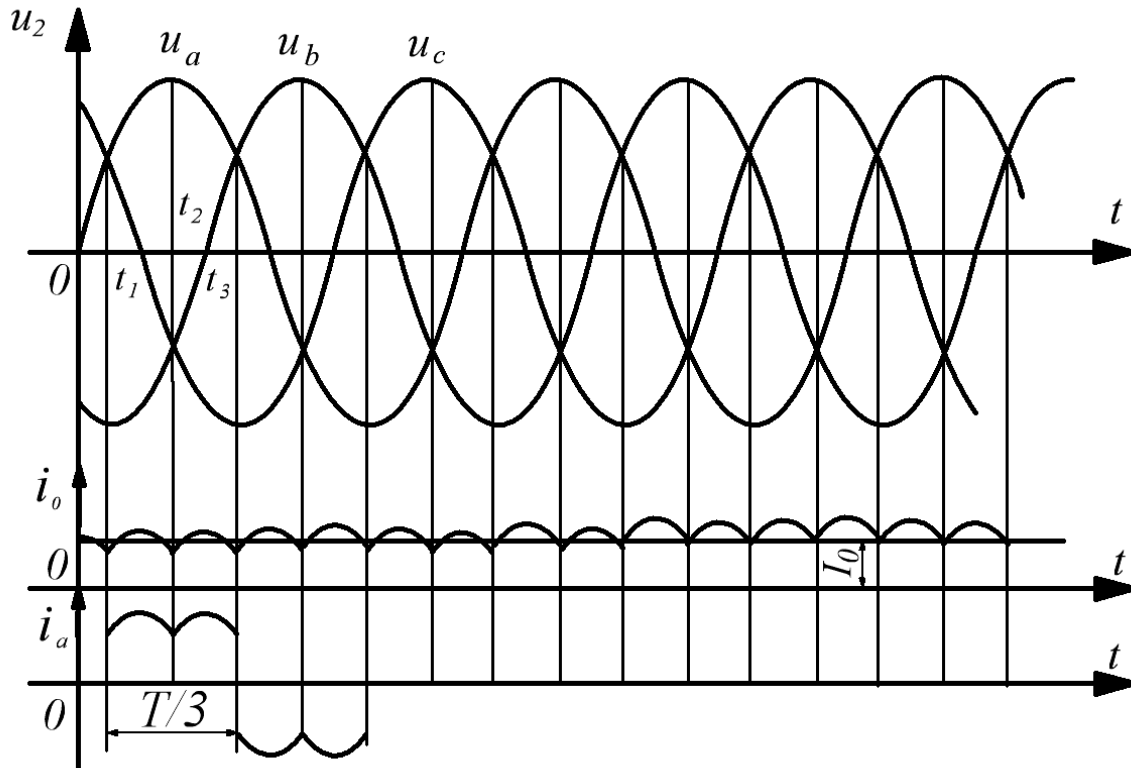


Рисунок 2.4 – Временные диаграммы

Каждый вентиль выпрямителя проводит ток в течение $T/3$. В анодной группе в данный момент будет работать тот вентиль, напряжение на катоде которого имеет наиболее отрицательное мгновенное значение. В катодной группе ток проводит вентиль, имеющий на аноде наибольшее мгновенное положительное значение напряжения. Например, в течение интервала времени t_1-t_2 ток проходит по контуру: $w_a-VD1-R_H-VD4-w_b-w_a$, в течение t_2-t_3 : $w_a-VD1-R_H-VD6-w_c-w_a$. В схеме Ларионова одновременно пропускают ток (как и в однофазной мостовой схеме) два вентиля: один из катодной, а второй из анодной группы.

Выпрямленное напряжение определяется в любой момент времени разностью напряжений фаз с наиболее положительным и наиболее отрицательным напряжениями, т. е. линейным напряжением. Поскольку каждая вторичная обмотка связана с двумя вентилями, по ней за период входного напряжения протекает ток этих вентилях дважды в противоположных направлениях. К неработающей в данный момент паре вентилях приложено обратное напряжение, равное амплитуде линейного. Из этого следует, что обратное напряжение на вентиле в схеме Ларионова в два раза меньше (при равенстве обратных сопротивлений вентилях), чем в схеме с нулевой точкой.

Основные параметры рассмотренных трехфазных схем выпрямления приведены в табл. 2.1 (работа на активную нагрузку); табл. 2.2 (работа на активно-индуктивную нагрузку); табл. 2.3 (работа на активно-емкостную нагрузку).

Таблица 2.1

Схема выпрямления	$\frac{U_2}{U_0}$	$\frac{U_{m.обр}}{U_0}$	$\frac{I_{np.cp}}{I_0}$	$\frac{I_{m.np}}{I_0}$	$\frac{I_{np}}{I_0}$	$\frac{I_2}{I_0}$	$\frac{S_{mp}}{P_0}$	K_n	$\frac{f_n}{f_c}$
Трехфазная с нулевой точкой	0,855	2,1	0,33	1,21	0,59	0,59	1,38	0,25	3
Трехфазная мостовая	0,43	1,05	0,33	1,05	0,58	0,82	1,05	0,057	6

Таблица 2.2

Схема выпрямления	$\frac{U_2}{U_0}$	$\frac{U_{m.обр}}{U_0}$	$\frac{I_{np.cp}}{I_0}$	$\frac{I_{m.np}}{I_0}$	$\frac{I_{np}}{I_0}$	$\frac{I_2}{I_0}$	$\frac{S_{mp}}{P_0}$	K_n	$\frac{f_n}{f_c}$
Трехфазная с нулевой точкой	0,855	2,1	0,33	1	0,58	0,58	1,34	0,25	3
Трехфазная мостовая	0,43	1,05	0,33	1	0,58	0,82	1,05	0,057	3

Таблица 2.3

Схема выпрямления	$\frac{U_2}{U_0}$	$\frac{U_{m.обр}}{U_0}$	$\frac{I_{np.cp}}{I_0}$	$\frac{I_{m.np}}{I_0}$	$\frac{I_{np}}{I_0}$	$\frac{I_2}{I_0}$	$\frac{S_{mp}}{P_0}$	K_n	R_0
Трехфазная с нулевой точкой	B	2,44B	0,33	0,33F	0,33D	0,33D	0,9BB	$\frac{H}{R_0 C}$	$r_{np.VD} + r_{mp}$
Трехфазная мостовая	0,58B	1,41B	0,33	0,33F	0,24D	0,33D	0,58BD	$\frac{H}{R_0 C}$	$2r_{np.VD} + r_{mp}$

Указанные в табл. 2.1, 2.2 и 2.3 соотношения приведены для случая соединения обмоток трансформатора «звезда–звезда».

Несмотря на большее в два раза количество вентилях, схема Ларионова гораздо предпочтительнее схемы с нулевым выводом благодаря следующим достоинствам: небольшое значение максимального обратного напряжения на вентиле, хорошее использование трансформатора по мощности и отсутствие вынужденного подмагничивания, малый коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения, повышенная частота пульсаций выпрямленного напряжения,

возможность работы от трансформатора с соединением вторичных обмоток как звездой, так и треугольником, а также непосредственно от трехфазной питающей сети.

Порядок выполнения работы

1. Работа выполняется на унифицированном стенде УИЛС – 1. Для выполнения работы выбрать модуль "ВЫПРЯМИТЕЛЬ", схема которого представлена на рис. 1.12, и разместить его на наборном поле.

2. Для исследования трехфазной схемы выпрямления с нулевым выводом к входным клеммам 1, 2 и 3 схемы модуля "ВЫПРЯМИТЕЛЬ" подать трехфазное напряжение с частотой 50 Гц от источника трехфазного напряжения стенда, соединив фазы источника звездой. Переключить клеммы 1 и 2 схемы. Подключить к выпрямителю нагрузку R_n , используя блок переменных сопротивлений стенда и измерительные приборы. Нижний вывод нагрузки соединить с точкой соединения концов фаз источника. Изменяя сопротивление нагрузки от 100 до 900 Ом, а также при $R_n = \infty$, измерить напряжение U_0 и ток I_0 . Данные занести в таблицу 2.1. Подключить к нагрузке осциллограф и зарисовать осциллограммы напряжений u_2 и u_0 при $R_n = 900$ Ом.

3. Для исследования трехфазной мостовой схемы выпрямления к входным клеммам 1, 2 и 3 схемы модуля "ВЫПРЯМИТЕЛЬ" подать трехфазное напряжение с частотой 50 Гц от источника трехфазного напряжения стенда, соединив фазы источника звездой. Переключить клеммы 1, 2, 3 и 4 схемы. Подключить к выпрямителю нагрузку R_n , используя блок переменных сопротивлений стенда и измерительные приборы. Изменяя сопротивление нагрузки от 100 до 900 Ом, а также при $R_n = \infty$, измерить напряжение U_0 и ток I_0 . Данные занести в таблицу 2.1. Подключить к нагрузке осциллограф и зарисовать осциллограмму напряжения u_0 при $R_n = 900$ Ом.

Таблица 2.1

	$R_n, \text{Ом}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	∞
Трехфазная схема с нулевым выводом	$U_0, \text{В}$										
	$I_0, \text{мА}$										
Трехфазная мостовая схема	$U_0, \text{В}$										
	$I_0, \text{мА}$										

4. Построить внешние характеристики обеих схем выпрямления $U_0=f(I_0)$.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия трехфазной схемы выпрямления с нулевым выводом, ее достоинства и недостатки.
2. Объясните принцип действия трехфазной мостовой схемы выпрямления, ее достоинства и недостатки.
3. Дайте сравнительную оценку трехфазных схем выпрямления: с нулевым выводом и мостовой.
5. Дайте сравнительную оценку однофазных и трехфазных схем выпрямления.
6. Чему равны длительность работы проводящей пары вентилей и длительность работы вентиля в схеме Ларионова?

Лабораторная работа № 3

Исследование сглаживающих фильтров

Цель работы: изучение принципа действия сглаживающих фильтров и исследование их основных характеристик.

Теоретические сведения

Выходное напряжение всех схем выпрямления имеет пульсирующий характер, т. е. наряду с постоянной составляющей содержит значительную переменную составляющую, существенно нарушающую работоспособность питаемых от выпрямителя электронных устройств. Для уменьшения переменной составляющей выпрямленного напряжения на выходе выпрямителя устанавливают сглаживающий фильтр, чаще всего представляющий собой фильтр нижних частот, частота среза которого выбирается ниже частоты первой (основной) гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения.

Степень пульсаций выпрямленного напряжения оценивают коэффициентом пульсаций, который равен отношению амплитуды первой гармоники напряжения пульсаций U_{m1} к среднему значению U_0 выходного напряжения $K_n = U_{m1} / U_0$. Зная кратность пульсаций выпрямленного напряжения m , коэффициент пульсаций на выходе выпрямителя по первой гармонике определяют как $K_n = 2 / (m^2 - 1)$. Качество работы сглаживающего фильтра оценивают его коэффициентом сглаживания, который равен отношению коэффициента пульсаций на входе фильтра к коэффициенту пульсаций на его выходе $K_c = K_{nвх} / K_{nвых}$. Иногда для

оценки свойств сглаживающего фильтра удобнее использовать коэффициент фильтрации, представляющий собой отношение амплитуд переменных составляющих напряжений на входе и выходе фильтра $K_\phi = U_{\text{вх}} / U_{\text{вых}}$.

Рассмотрим принцип действия основных типов пассивных сглаживающих фильтров, наиболее широко используемых на практике.

Емкостной фильтр представляет собой конденсатор C_ϕ , включенный параллельно нагрузке R_n выпрямителя (рис. 3.1).

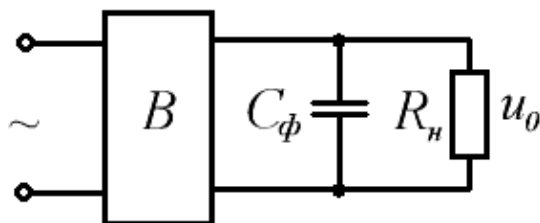


Рисунок 3.1 – Схема выпрямления с емкостным фильтром

В течение интервала времени, когда мгновенное значение напряжения $u_{\text{вых}}$ на выходе выпрямителя больше мгновенного значения напряжения u_c на конденсаторе (рис. 3.2), конденсатор накапливает энергию, поступающую от выпрямителя. При этом вентили выпрямителя открыты и по ним течет ток заряда конденсатора. Когда выпрямленное напряжение становится меньше напряжения на конденсаторе, вентили закрываются, и ток в нагрузке поддерживается за счет энергии, накопленной в конденсаторе фильтра C_ϕ .

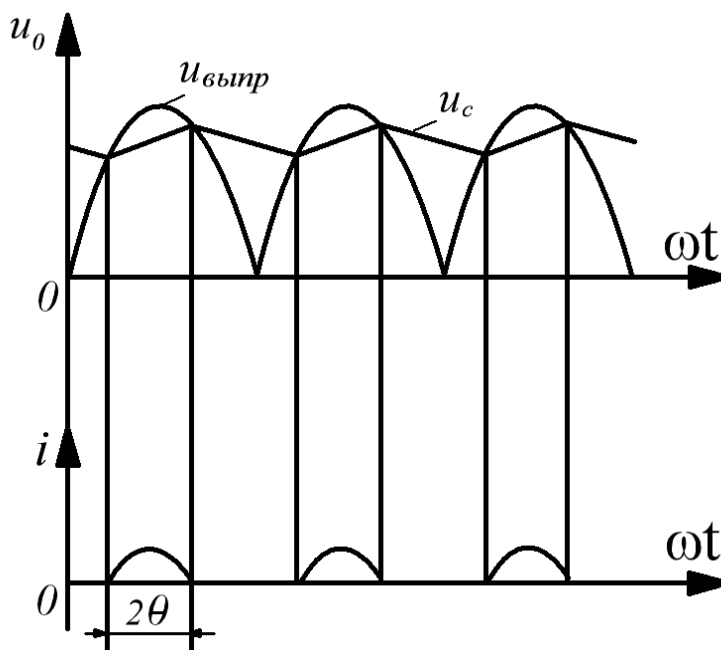


Рисунок 3.2 – Временные диаграммы

Половину интервала, в течение которого вентиль выпрямителя пропускает ток (смещен в прямом направлении), называют углом отсечки и обозначают θ (рис. 3.2).

Выпрямленное напряжение представляет собой сумму постоянной составляющей и ряда гармонических составляющих с частотами, кратными частоте питающей сети. Наибольшую амплитуду имеет первая основная гармоническая составляющая. Поскольку для постоянного тока конденсатор представляет бесконечно большое сопротивление, постоянная составляющая тока выпрямителя замыкается через нагрузку, а переменная составляющая – через конденсатор фильтра. С целью ослабления переменной составляющей тока в нагрузке емкость конденсатора фильтра выбирают так, чтобы его сопротивление первой гармонике тока было много меньше сопротивления нагрузки $1/(m\omega C_\phi) \ll R_n$. Из этого выражения следует, что эффективность емкостного фильтра тем выше, чем больше сопротивление нагрузки, т. е. чем меньше ток нагрузки.

Поскольку сглаживающее действие емкостного фильтра основано на накоплении энергии $W_c = C_\phi U^2 / 2$, величина которой пропорциональна квадрату напряжения на конденсаторе, то наиболее целесообразно использовать емкостный фильтр при повышенных напряжениях.

Индуктивный фильтр представляет собой дроссель L_ϕ , включенный последовательно с сопротивлением нагрузки R_n (рис. 3.3).

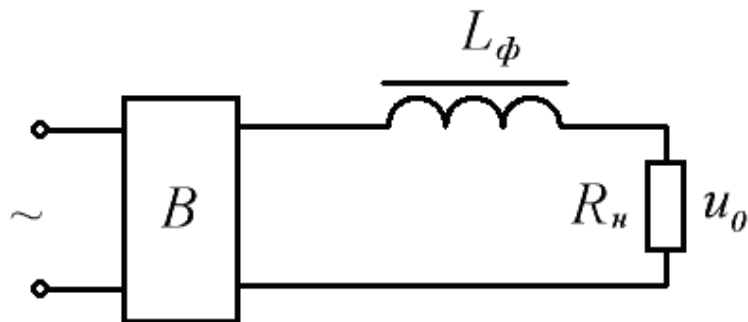


Рисунок 3.3 – Схема выпрямления с индуктивным фильтром

Сглаживающее действие индуктивного фильтра обусловлено возникновением в нем ЭДС самоиндукции, препятствующей изменению мгновенного значения выпрямленного тока. Если пренебречь активным сопротивлением дросселя, то постоянная составляющая выпрямленного тока им не ослабляется и подается в нагрузку без изменения, тогда как переменная составляющая будет в значительной степени ослаблена. Для эффективного сглаживания пульсаций необходимо индуктивность дросселя выбрать из условия $m\omega L_\phi \gg R_n$. Величина энергии, запасаемой дросселем фильтра, равна $W_L = L_\phi I^2 /$

2. Очевидно наиболее эффективное использование индуктивного фильтра при больших токах нагрузки. При правильном выборе индуктивный фильтр позволяет обеспечить непрерывность тока в цепи нагрузки. Выходное напряжение выпрямителя с индуктивным фильтром изменяется меньше с изменением тока нагрузки, чем в случае использования емкостного фильтра.

Г-образные фильтры. Г-образный LC-фильтр получают включением параллельно нагрузке конденсатора емкостью C_ϕ , а последовательно – дросселя индуктивностью L_ϕ (рис. 3.4).

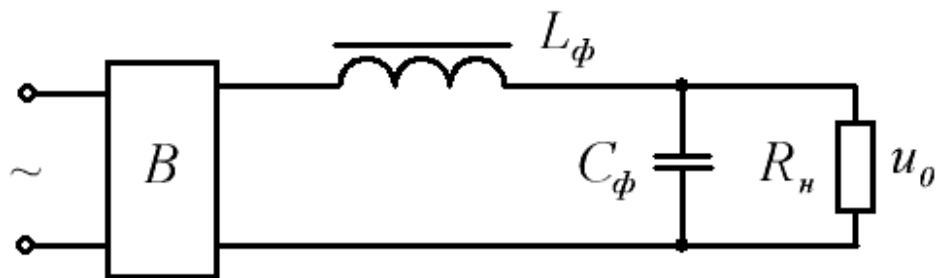


Рисунок 3.4 – Схема выпрямления с Г-образным LC-фильтром

В данном фильтре сочетаются положительные качества емкостного и индуктивного фильтров. Параметры L_ϕ и C_ϕ образующих его элементов выбирают из условия $m\omega L_\phi \gg R_n \gg 1/(m\omega C_\phi)$. Для обеспечения жесткой нагрузочной характеристики этого фильтра необходимо обеспечить непрерывность тока в дросселе, что выполняется при $L_\phi = L_{кр} > K_{пвх} R_{нmax} / (m\omega)$, где $K_{пвх}$ – коэффициент пульсации напряжения на входе фильтра.

В выпрямителях малой мощности, а также в выпрямителях с высоким входным напряжением и малым током нагрузки вместо дросселя часто ставят резистор сопротивления R_ϕ (рис. 3.5), получая сглаживающий Г-образный RC – фильтр.

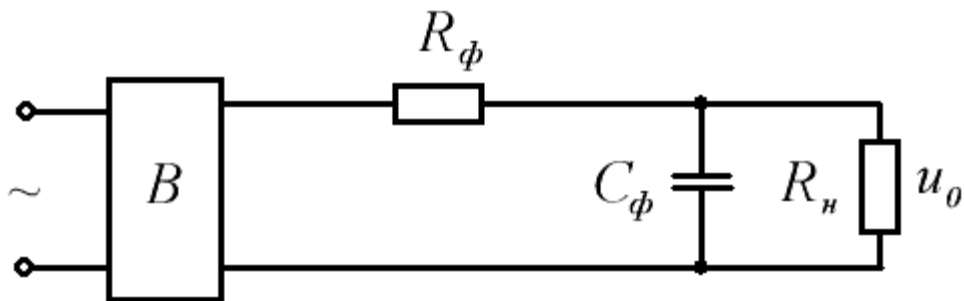


Рисунок 3.5 – Схема выпрямления с Г-образным RC-фильтром

В этом фильтре на сопротивлении R_ϕ , кроме переменной составляющей, выделяется часть постоянной составляющей выпрямленного напряжения, что снижает КПД фильтра и требует повышения выходного напряжения выпрямителя.

Достоинством RC -фильтров являются малые размеры и стоимость. Для получения хорошего коэффициента сглаживания и приемлемого КПД элементы RC -фильтра выбирают из следующих условий:

$$\frac{1}{m\omega C_\phi} \ll R_n; \quad R_\phi \gg \frac{1}{m\omega C_\phi}; \quad R_\phi = R_n(1 - \eta) / \eta.$$

Оптимальным считается КПД порядка 0,8.

Многозвенные фильтры. При необходимости получения высоких значений коэффициента сглаживания применяют более сложные схемы фильтров: Π -образные (рис. 3.6) и двойные Γ -образные (рис. 3.7). При расчете таких фильтров принимают их коэффициенты сглаживания равными произведению коэффициентов сглаживания образующих их простых фильтров. Например, коэффициент сглаживания Π -образного фильтра принимают равным произведению коэффициентов сглаживания емкостного и Γ -образного фильтров.

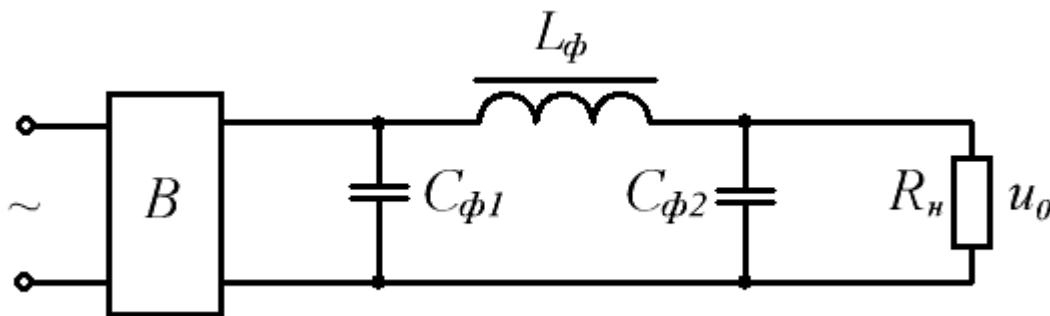


Рисунок 3.6 – Схема выпрямления с Π -образным фильтром

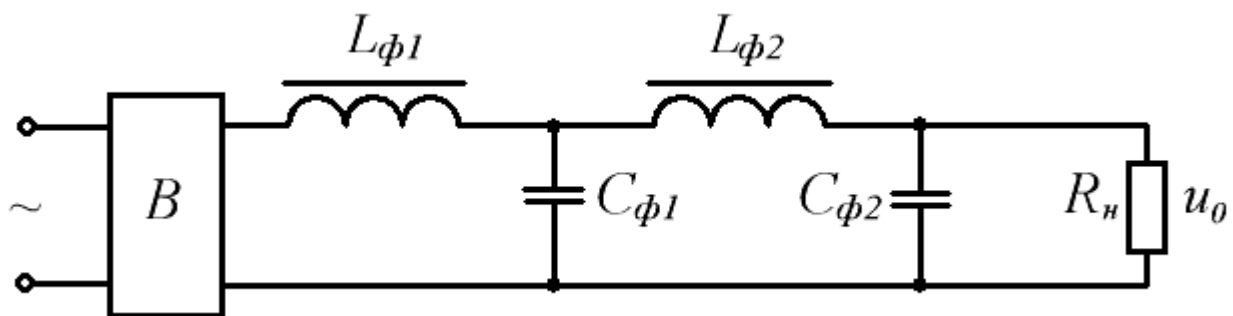


Рисунок 3.7 – Схема выпрямления с двойным Γ -образным фильтром

В табл. 3.1 приведены основные расчетные соотношения для определения коэффициентов сглаживания основных типов сглаживающих фильтров.

Таблица 3.1

№	Наименование фильтра	Коэффициенты пульсации или сглаживания
1	Емкостный	$K_n = \frac{1}{m\omega C_\phi R_n}$
2	Индуктивный	$K_c = \frac{m\omega L_\phi}{R_n}$
3	Γ -образный LC-фильтр	$K_c = m^2 \omega^2 L_\phi C_\phi - 1$
4	Γ -образный RC-фильтр	$K_c = m\omega \frac{R_\phi R_n}{R_\phi + R_n} C_\phi$

Порядок выполнения работы

1. Работа выполняется на унифицированном стенде УИЛС – 1. Для выполнения работы выбрать модуль "ВЫПРЯМИТЕЛЬ", схема которого представлена на рис. 1.12, и разместить его на наборном поле.

2. Для исследования схемы выпрямления с емкостным фильтром собрать схему на рис. 3.1. В качестве выпрямителя «В» использовать однофазную мостовую схему выпрямления (сборка схемы описана в п. 3 порядка выполнения лабораторной работы № 1). Подключить к выпрямителю нагрузку R_n , используя блок переменных сопротивлений стенда. К входным клеммам 1 и 2 схемы модуля "ВЫПРЯМИТЕЛЬ" подать переменное напряжение с частотой 50 Гц от любой фазы источника трехфазного напряжения стенда. Подключить к нагрузке осциллограф и зарисовать осциллограмму напряжения u_0 при отсутствии фильтра для $R_n = 900 \text{ Ом}$.

При отключенном источнике питания подключить к выпрямителю конденсатор фильтра C_ϕ емкостью 10 мкФ, используя блоки емкостей стенда.

Включив питание схемы, зарисовать осциллограмму напряжения u_0 при $R_n = 900 \text{ Ом}$. Изменяя сопротивление нагрузки от 100 до 900 Ом, а также при $R_n = \infty$, измерить напряжение U_0 и ток I_0 . Данные занести в таблицу 3.2.

3. Для исследования схемы выпрямления с Γ -образным LC-фильтром собрать схему на рис. 3.4. Дроссель фильтра L_ϕ индуктивностью 0,55 Гн подключить к выпрямителю, используя блоки индуктивностей стенда. Конденсатор фильтра C_ϕ емкостью 10 мкФ подключить к выпрямителю, используя блоки емкостей стенда. Включив питание схемы, зарисовать осциллограмму напряжения u_0 при $R_n = 900 \text{ Ом}$. Изменяя сопротивление нагрузки

от 100 до 900 Ом, а также при $R_n = \infty$, измерить напряжение U_0 и ток I_0 . Данные занести в таблицу 3.2.

4. Для исследования схемы выпрямления с Γ -образным RC-фильтром собрать схему на рис. 3.5. Резистор фильтра R_ϕ сопротивлением 200 Ом подключить к выпрямителю, используя элементы наборного поля стенда. Конденсатор фильтра C_ϕ емкостью 10 мкФ подключить к выпрямителю, используя блоки емкостей стенда. Включив питание схемы, зарисовать осциллограмму напряжения u_0 при $R_n = 900$ Ом. Изменяя сопротивление нагрузки от 100 до 900 Ом, а также при $R_n = \infty$, измерить напряжение U_0 и ток I_0 . Данные занести в таблицу 3.2.

5. Для исследования схемы выпрямления с Π -образным фильтром собрать схему на рис. 3.6. Дроссель фильтра L_ϕ индуктивностью 0,55 Гн подключить к выпрямителю, используя блоки индуктивностей стенда. Конденсаторы фильтра $C_{\phi 1}$ и $C_{\phi 2}$ емкостью 10 мкФ подключить к выпрямителю, используя блоки емкостей стенда. Включив питание схемы, зарисовать осциллограмму напряжения u_0 при $R_n = 900$ Ом. Изменяя сопротивление нагрузки от 100 до 900 Ом, а также при $R_n = \infty$, измерить напряжение U_0 и ток I_0 . Данные занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

	$R_n, \text{Ом}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	∞
Схема выпрямления с емкостным фильтром	$U_0, \text{В}$										
	$I_0, \text{мА}$										
Схема выпрямления с Γ -образным LC-фильтром	$U_0, \text{В}$										
	$I_0, \text{мА}$										
Схема выпрямления с Γ -образным RC-фильтром	$U_0, \text{В}$										
	$I_0, \text{мА}$										
Схема выпрямления с Π -образным фильтром	$U_0, \text{В}$										
	$I_0, \text{мА}$										

4. Построить внешние характеристики схем выпрямления с исследованными фильтрами $U_0 = f(I_0)$.

5. Определить коэффициенты сглаживания исследованных фильтров.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы различных сглаживающих фильтров.
2. Как выбирается конденсатор в емкостном фильтре?
3. Как выбирается дроссель в индуктивном фильтре?
4. Каковы особенности емкостного и индуктивного фильтров? Назовите область их применения.
5. Как выбирать R_ϕ и C_ϕ в Γ -образном RC -фильтре?
6. Что такое угол отсечки и чем он определяется?
7. Назовите основные параметры фильтров.

Лабораторная работа № 4

Исследование однофазных схем выпрямления с умножением напряжения

Цель работы: изучение принципа действия однофазных схем выпрямления с умножением напряжения и определение их основных параметров.

Теоретические сведения

Схемы выпрямителей с умножением напряжения позволяют без использования трансформатора получать на выходе умноженное в несколько раз входное напряжение.

Однополупериодная несимметричная схема удвоения напряжения

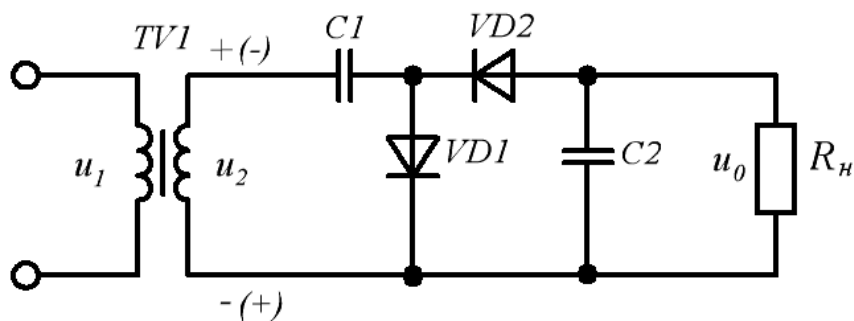


Рисунок 4.1 – Однополупериодная несимметричная схема удвоения напряжения

В течение первого полупериода (полярность без скобок) $VD1$ открыт, $VD2$ заперт, $C1$ заряжается через $VD1$, до амплитудного значения U_{2m} . Во второй

полупериод $VD1$ закрывается, открывается $VD2$. Начинает заряжаться $C2$, находясь под суммарным напряжением источника и конденсатора $C1$. Таким образом

$$U_{C2} = U_{C1} + U_{2m} = 2U_{2m}$$

В следующий полупериод $VD2$ закрывается, $C1$ заряжается до U_{2m} , а $C2$ разряжается на нагрузку. При этом $U_n = 2U_{2m}$.

Недостатки схемы аналогичны недостаткам однополупериодного выпрямителя.

Схема используется для повышения коэффициента передачи сигналов в электрических схемах, в качестве измерительного выпрямителя.

Двухполупериодная симметричная схема удвоения напряжения

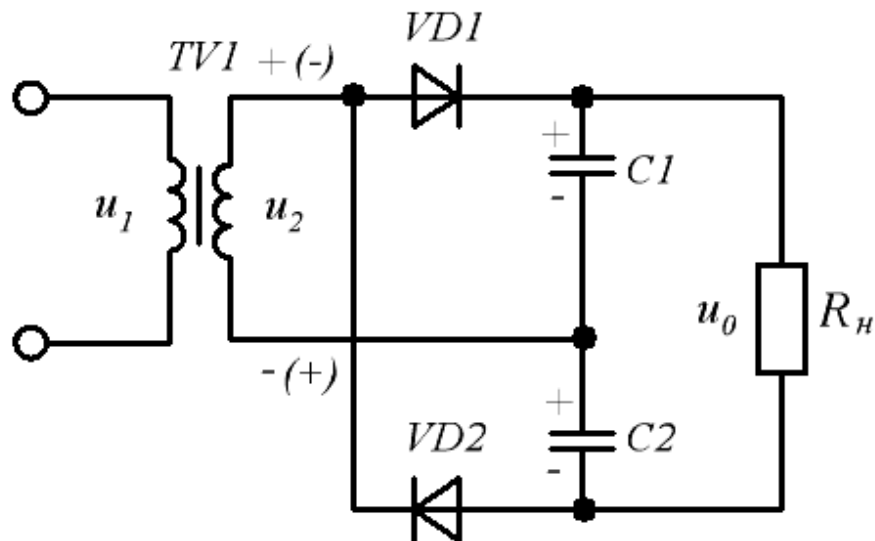


Рисунок 4.2 – Двухполупериодная симметричная схема удвоения напряжения

В течение первого полупериода (полярность без скобок) $VD1$ открыт, $VD2$ заперт. $C1$ заряжается до U_{2m} . В момент t_1 , когда $u_2 < u_{C1}$ (рис. 4.3), $VD1$ закрывается, а $C1$ стремится разрядиться через R_n .

В начале второго полупериода (полярность в скобках) $VD2$ открыт, $VD1$ закрыт и $C2$ заряжается до U_{2m} . В момент t_2 , когда $u_2 < u_{C2}$, $VD2$ закрывается и $C2$ стремится разрядиться через R_n .

Так как $\tau_{разр}$ $C1$ и $C2$ выбирают большими, то u_{C1} и u_{C2} при разряде изменяются незначительно. Таким образом

$$U_0 = U_{C1} + U_{C2} = 2U_{2m}$$

В данной схеме исключается подмагничивание сердечника трансформатора.

На основе данных схем строятся схемы многократного умножения напряжения.

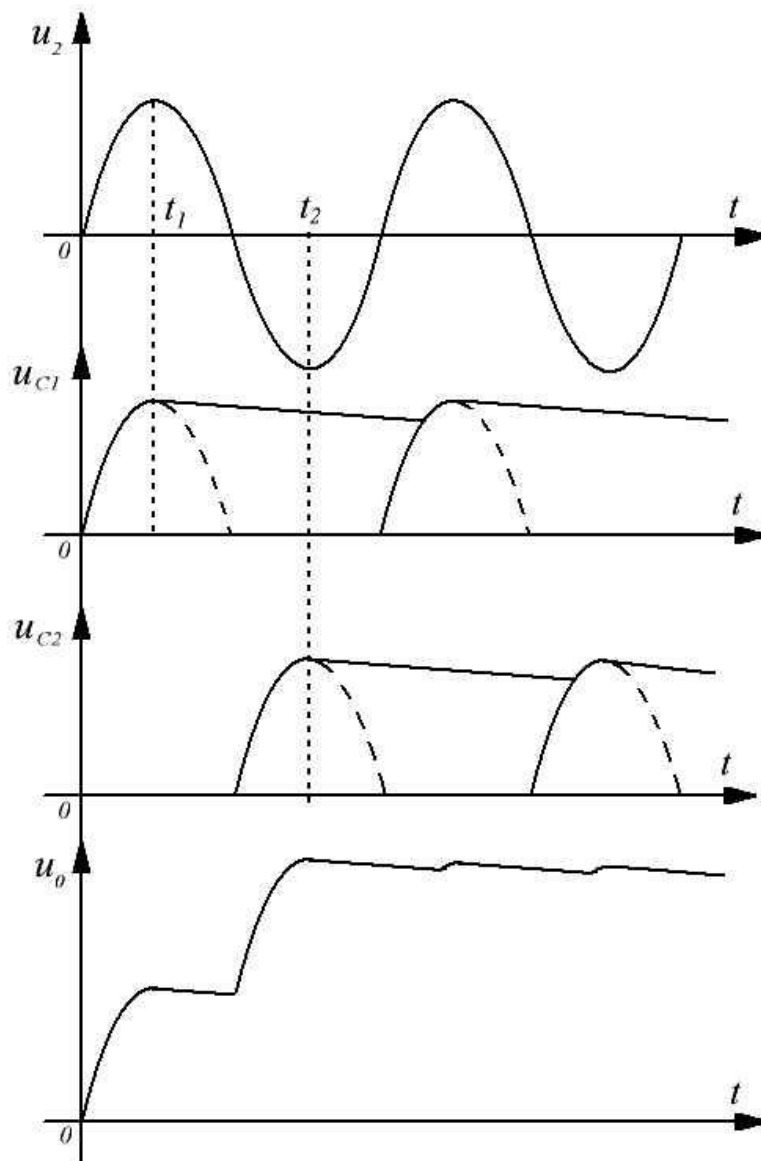


Рисунок 4.3 – Временные диаграммы

Однополупериодная схема умножения напряжения (схема первого рода)

В течение первого полупериода (полярность без скобок) $VD1$ открыт и $C1$ заряжается до U_{2m} (рис. 4.4). Во второй полупериод к $C2$ приложена сумма напряжений источника и конденсатора $C1$. При этом

$$U_{C2} = 2U_{2m}.$$

В следующий полупериод $VD2$ закрывается, а к $C3$ приложено суммарное напряжение источника и конденсатора $C2$.

$$U_{C3} = U_{2m} + U_{C2} = U_{2m} + 2U_{2m} = 3U_{2m}.$$

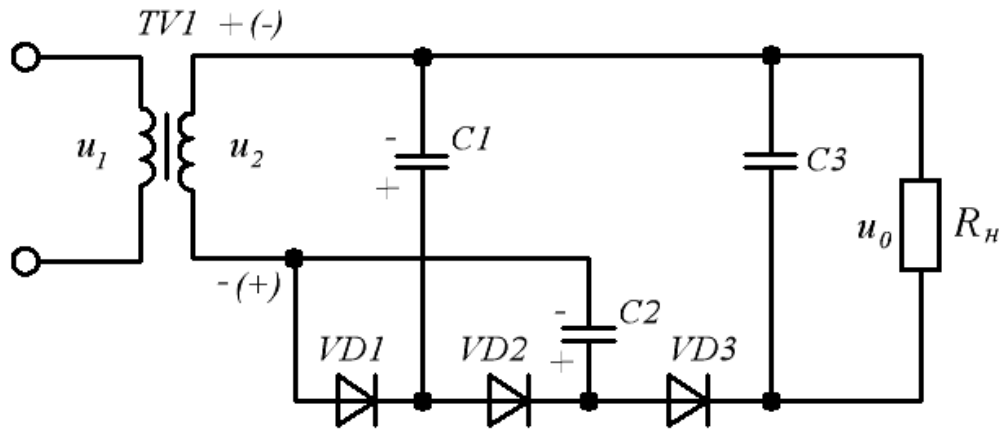


Рисунок 4.4 – Однополупериодная схема умножения напряжения (схема первого рода)

Чтобы получить на выходе напряжение nU_{2m} , необходимо подключить n контуров по аналогии с двумя первыми.

В данной схеме $U_{обр} = 2U_{2m}$ (кроме первого диода), что позволяет использовать при любых U маломощные диоды, но конденсаторы (особенно выходные) должны быть рассчитаны на высокие напряжения.

Однополупериодная схема с умножением напряжения (схема второго рода)

В течение первого полупериода (полярность без скобок) $VD1$ открыт и $C1$ заряжается до U_{2m} (рис. 4.5). Во второй полупериод открывается $VD2$ и к конденсатору $C2$ приложено суммарное напряжение источника и конденсатора $C1$.

$$U_{C2} = U_{2m} + U_{C1} = 2U_{2m}$$

В следующем полупериоде $C3$ заряжается по цепи: $+U_2, C2, VD3, C3, C1, -U_2$.

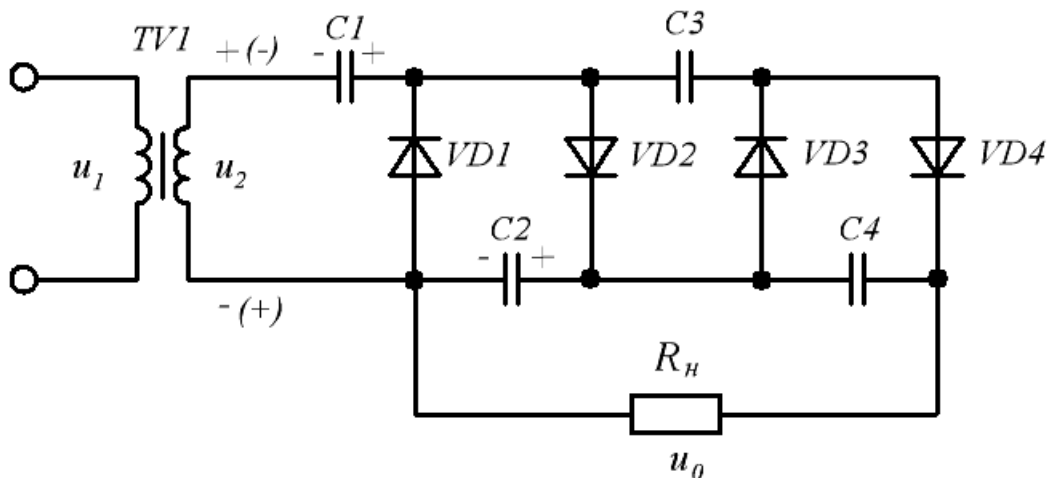


Рисунок 4.5 – Однополупериодная схема с умножением напряжения (схема второго рода)

Так как $C1$ включен в противофазе, то

$$U_{C3} = U_{2m} + U_{C2} - U_{C1} = U_{2m} + 2U_{2m} - U_{2m} = 2U_{2m}$$

В следующий полупериод происходит зарядка $C4$ по цепи $+U_2, C1, C3, VD4, C4, C2, (-)U_2$. Тогда

$$U_{C4} = U_{2m} + U_{C1} + U_{C3} - U_{C2} = U_{2m} + U_{2m} + 2U_{2m} - 2U_{2m} = 2U_{2m}$$

Таким образом, на каждом последующем конденсаторе будет создаваться напряжение $2U_{2m}$.

Необходимое значение напряжения получают, подключаясь к общей точке (любой из клемм вторичной обмотки трансформатора) и точках в схеме (снизу или сверху), в зависимости от требуемой величины выходного напряжения. Из-за несимметричности схемы происходит подмагничивание сердечника трансформатора. Для устранения данного явления используют комбинацию схем (рис. 4.6).

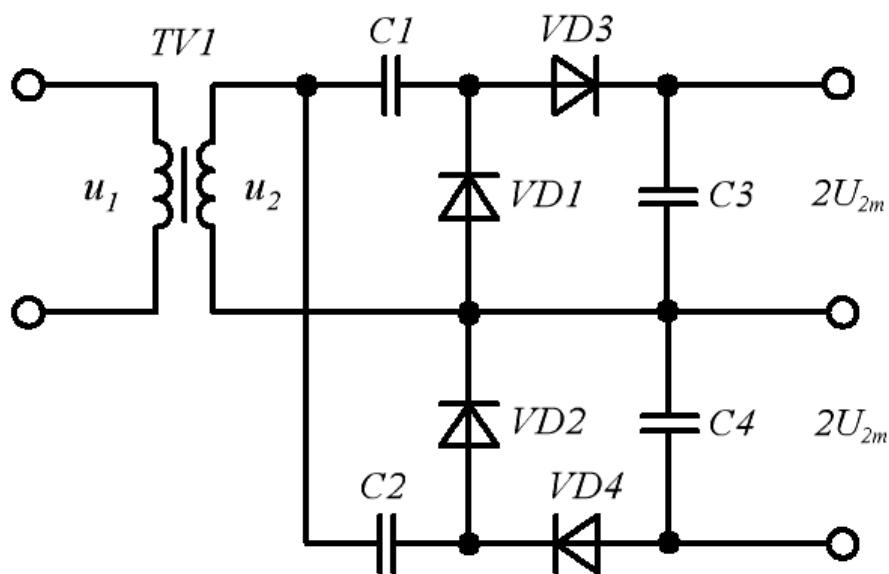


Рисунок 4.6 – Комбинированная схема умножения напряжения

Порядок выполнения работы

1. Для указанных преподавателем значений напряжения на вторичной обмотке трансформатора и сопротивления нагрузки собрать схемы рис. 4.1, 4.2, 4.4, 4.5, 4.6 и с помощью вольтметров измерить значения напряжения на нагрузке для различных значений емкости конденсаторов. Полученные результаты записать в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Схема \ С, мкФ	5	50	500
Рис. 4.1			
Рис. 4.2			
Рис. 4.4			
Рис. 4.5			
Рис. 4.6			

2. Снять осциллограммы напряжения на нагрузке исследуемых схем выпрямителей с умножением напряжения для различных значений емкости конденсаторов.

3. Проанализировать полученные результаты.

Контрольные вопросы

1. Пояснить принцип действия схем выпрямителей с умножением напряжения.

2. Дать сравнительную оценку указанных преподавателем схем выпрямителей с умножением напряжения.

3. Изобразить схемы замещения выпрямителей с умножением напряжения, указанные преподавателем.

Лабораторная работа № 5

Исследование однофазного управляемого выпрямителя

Цель работы: изучение принципа работы управляемого выпрямителя и его системы управления, определение основных параметров и характеристик управляемого выпрямителя.

Теоретические сведения

Управляемым называют выпрямитель, который кроме выпрямления переменного напряжения осуществляет регулирование величины выпрямленного напряжения. Управляемый выпрямитель можно получить из обычного заменой в нем неуправляемых вентилях (диодов) управляемыми вентилями-тринисторами. Регулирование осуществляется задержкой отпирания тринистора в пределах

полупериода входного переменного напряжения. Запирание тринистора происходит автоматически при снижении мгновенного значения входного напряжения до величины, при которой ток, протекающий через тринистор, становится меньше его тока удержания. Угол задержки отпирания тринистора отсчитывается от момента естественного отпирания вентиля, т. е. от момента, в который к вентилю начинает прикладываться положительное напряжение. Этот угол обозначают α и называют углом управления.

Схема силовой части управляемого выпрямителя и временные диаграммы, поясняющие его работу, представлены на рис. 5.1.

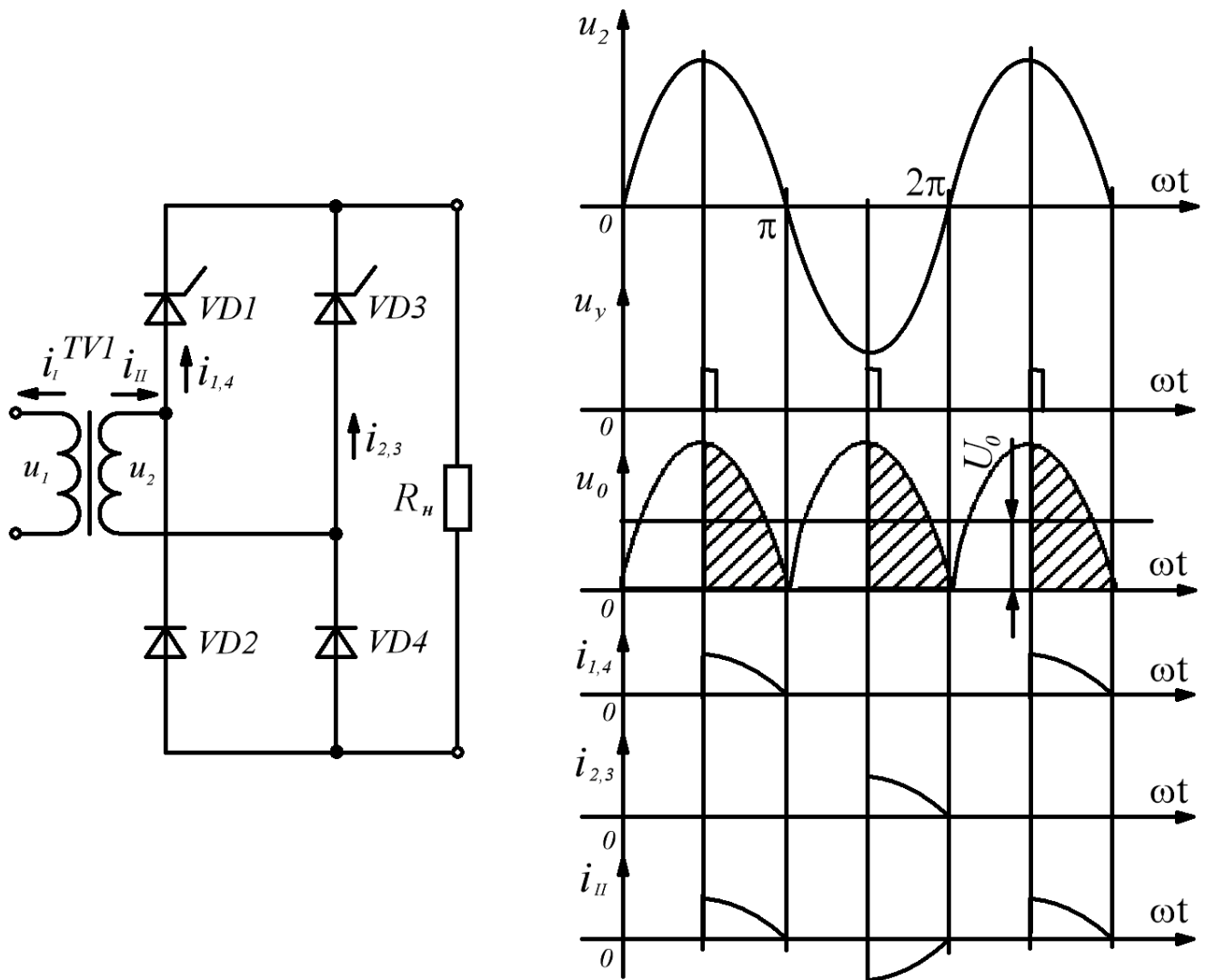


Рисунок 5.1 – Схема силовой части управляемого выпрямителя и временные диаграммы

Поскольку в мостовой схеме выпрямления в течение каждого полупериода переменного напряжения работают два вентиля, то при построении управляемого

выпрямителя нет необходимости в использовании четырех тринисторов. Следует отметить, что при работе на нагрузку индуктивного характера эта схема не является оптимальной, поскольку требует включения параллельно нагрузке обратного диода. В противном случае ток, протекающий через открытый тринистор, будет поддерживаться на уровне, большем тока удержания, за счет энергии, накопленной в индуктивности нагрузки. А это, в свою очередь, сделает невозможным своевременное запирающее действие открытого тринистора, т. е. нарушит работу выпрямителя.

Рассмотрим работу управляемого выпрямителя на активную нагрузку. На вход выпрямителя со вторичной обмотки трансформатора поступает переменное напряжение U_2 . Система управления вырабатывает импульсы напряжения U_y , которые подводятся к управляющим электродам тринисторов и временное положение которых можно изменять в пределах полупериода напряжения U_2 . На временных диаграммах рис. 5.1 угол управления принят равным 90° . До прихода импульсов управления тринисторы закрыты и напряжение на нагрузке равно нулю. В момент прихода импульса управления открывается соответствующий тринистор, и с этого момента к нагрузке прикладывается напряжение U_2 (падением напряжения на открытом тринисторе пренебрегаем). Изменяя угол управления α , можно регулировать среднее значение выпрямленного напряжения, которое определяется из выражения

$$U_{cp.\alpha} = U_0 = U_{cp.0} \frac{1 + \cos \alpha}{2},$$

где $U_{cp.0} = 2U_{m2}/\pi$ – среднее значение выпрямленного напряжения при угле управления $\alpha=0$, т. е. выпрямленное напряжение неуправляемого выпрямителя. Очевидно, при изменении угла управления от 0 до 180° среднее значение выпрямленного напряжения плавно уменьшается от $U_{cp.0}$ до 0 . Возможность плавной регулировки выпрямленного напряжения и является основным достоинством управляемого выпрямителя. В качестве его недостатков можно указать следующие:

- усложнение схемы, поскольку необходима система управления;
- увеличение коэффициента пульсации выпрямленного напряжения и расширение его спектра. Рост амплитуд и количества высших гармонических составляющих происходит за счет искажения формы выпрямленного напряжения и его резких перепадов в момент отпирания тринисторов;
- появление сдвига по фазе между током и напряжением в первичной обмотке трансформатора. Из временных диаграмм рис. 5.1 видно, что u_2 и i_{II} смещены по фазе на угол α . На этот же угол будут отличаться по фазе u_I и i_I . Таким образом, даже при чисто активной нагрузке управляемый выпрямитель потребляет из сети реактивную мощность, что снижает его коэффициент использования электроэнергии (коэффициент мощности) и способствует увеличению потерь в линии передачи электроэнергии.

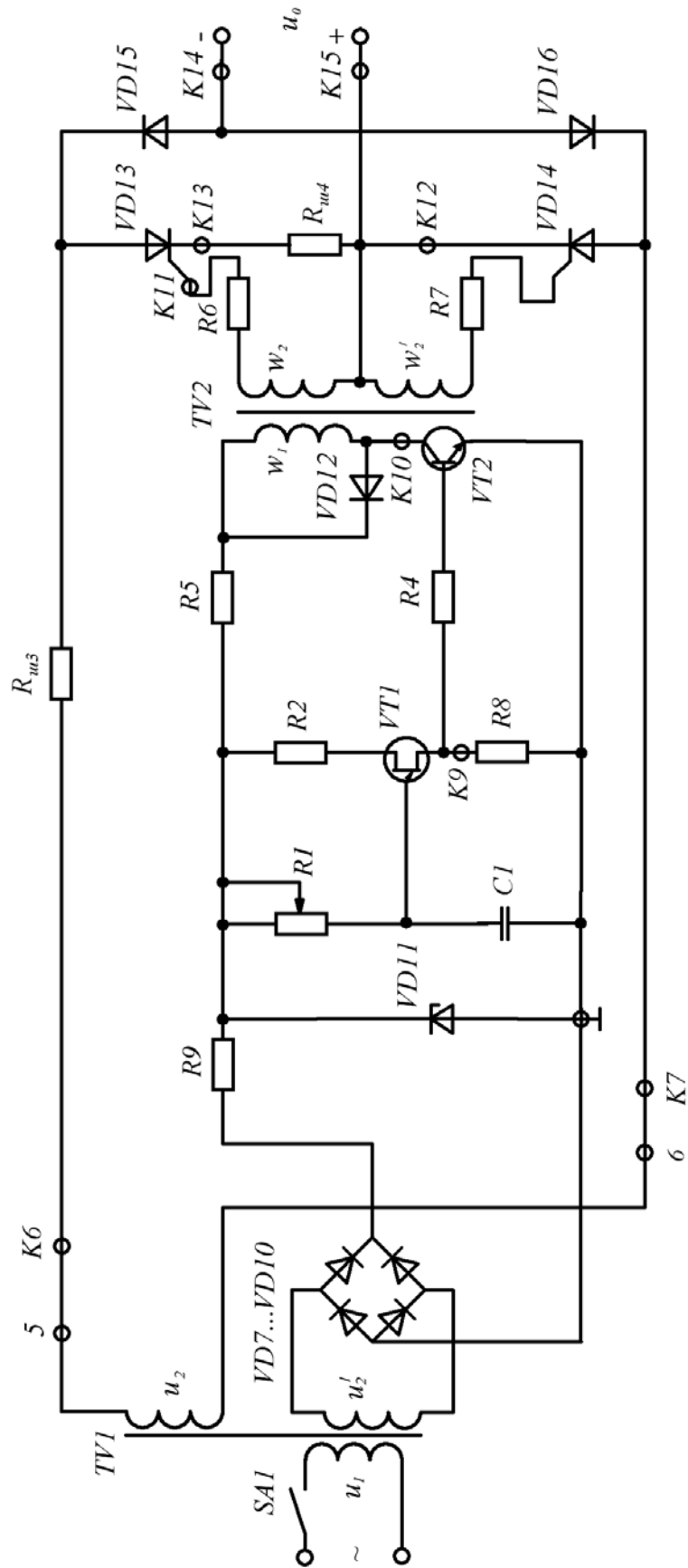


Рисунок 5.2 – Принципиальная электрическая схема управляемого выпрямителя

При работе управляемого выпрямителя на нагрузку емкостного характера и управлении тристорами короткими импульсами из-за появления угла отсечки θ при малых углах управления α могут быть пропуски включения триисторов.

Основной задачей, решаемой системой управления выпрямителем, следует считать генерацию коротких положительных импульсов напряжения, отпирающих триисторы в заданные моменты времени. Один из вариантов решения этой задачи показан на рис. 5.2, где приведена принципиальная электрическая схема управляемого выпрямителя, реализованная в лабораторном стенде.

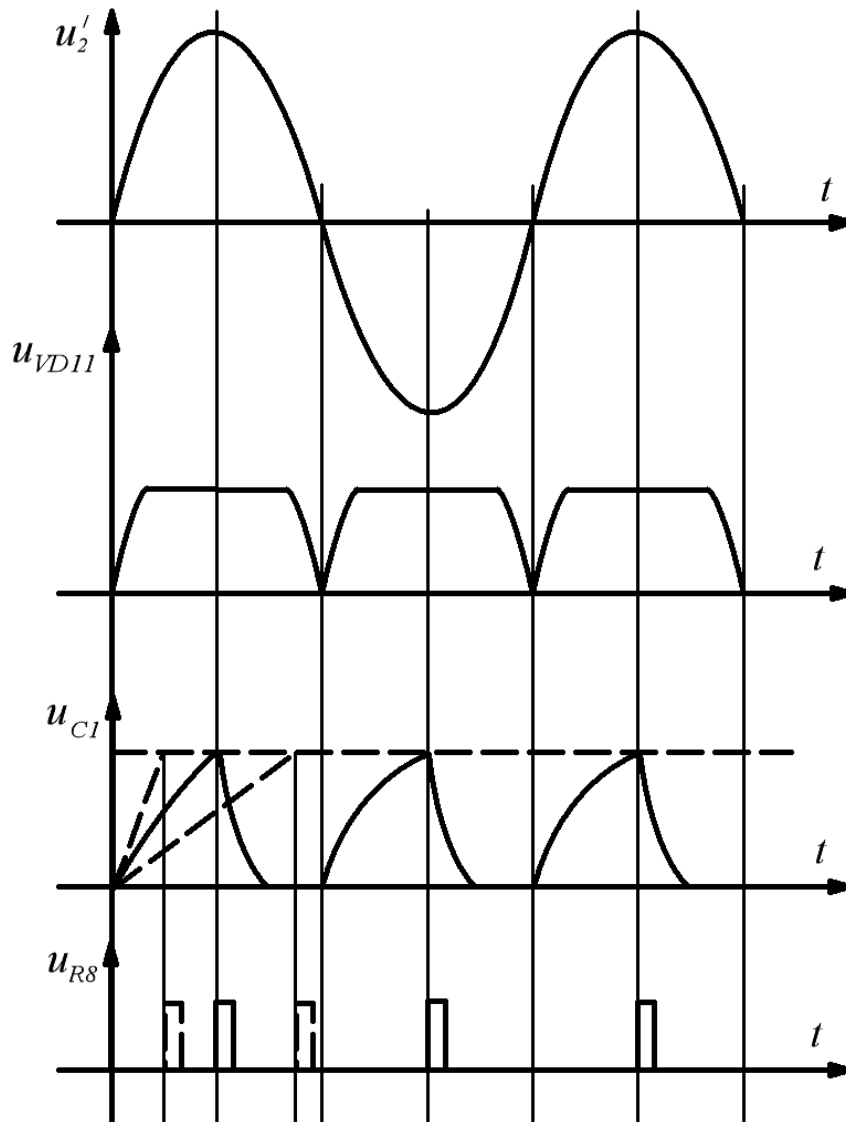


Рисунок 5.3 –Временные диаграммы

На рис. 5.3 приведены временные диаграммы, поясняющие ее работу. Обозначения элементов на рис. 5.3 соответствуют обозначениям на лабораторном стенде.

Рассмотрим работу системы управления. Для питания системы управления используется пульсирующее напряжение с выхода мостовой схемы $VD7...VD10$. Это напряжение ограничивается по амплитуде параметрическим стабилизатором $R9VD11$ и подводится к формирователю управляющих импульсов напряжения, выполненном на транзисторах $VT1$ и $VT2$. Основным узлом формирователя является каскад на однопереходном транзисторе $VT1$. Напряжение к эмиттеру $VT1$ подводится с конденсатора $C1$. В момент начала импульса напряжения U_{VD11} начинает заряжаться конденсатор $C1$ через $R1$. Напряжение на $C1$ экспоненциально возрастает. По достижении U_{C1} уровня включения $VT1$ ток через него резко увеличивается, и на резисторе $R8$ формируется короткий импульс. Конденсатор $C1$ разряжается через эмиттерный переход $VT1$, и с приходом очередного импульса напряжения U_{VD11} процесс повторяется. Сформированный на $R8$ импульс напряжения усиливается каскадом на транзисторе $VT2$ и со вторичных обмоток w_2 и w_2' импульсного трансформатора $TV2$ через токоограничивающие резисторы $R6$ и $R7$ подводится к управляющим электродам триисторов $VD13$ и $VD14$. Изменяя постоянную времени цепи $RC1$, регулируют скорость нарастания напряжения на $C1$, т. е. момент появления управляющего импульса U_{R8} .

Поскольку начало заряда конденсатора $C1$ привязано к началу каждого полупериода сетевого переменного напряжения, моменты включения триисторов $VD13$ и $VD14$ оказываются жестко синхронизированы с определенными мгновенными значениями выпрямляемого напряжения U_2 .

Показанные на рис. 5.2 резисторы $R_{ш3}$ и $R_{ш4}$ служат для исследования токов в соответствующих цепях.

Порядок выполнения работы

1. Работа выполняется на унифицированном стенде УИЛС – 1. Для выполнения работы выбрать модуль "ВЫПРЯМИТЕЛЬ" и разместить его на наборном поле. Схема однофазного управляемого выпрямителя представлена на рис. 5.2 и на лицевой панели стенда. Подключить к выходным клеммам $K14$ и 15 управляемого выпрямителя нагрузку R_n , используя блок переменных сопротивлений стенда.

2. Подать напряжение питания на выпрямитель $\pm 15 В$ в соответствии с обозначениями на модуле.

3. Установить сопротивление нагрузки $R_n = 900 \text{ Ом}$. Подключить к нагрузке осциллограф. Изменяя с помощью резистора $R1$ величину угла регулирования равномерно от 0° до 180° (определяется по осциллографу), измерить напряжение U_o для 5 различных значений α . Результаты измерений занести в таблицу 5.1.

4. Снять осциллограммы напряжения на нагрузке для первого, третьего и пятого значений α из таблицы 5.1.

Таблица 5.1

$\alpha, ^\circ$					
U_0, B					

5. Изменяя сопротивление нагрузки от 100 до 900 Ом, а также при $R_n = \infty$, измерить напряжение U_0 и ток I_0 для первого, третьего и пятого значений α из таблицы 5.1. Результаты измерений занести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2

	$R_n, \text{Ом}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	∞
$\alpha =$	U_0, B										
	$I_0, \text{мА}$										
$\alpha =$	U_0, B										
	$I_0, \text{мА}$										
$\alpha =$	U_0, B										
	$I_0, \text{мА}$										

6. По данным таблицы 5.1 построить регулировочную характеристику $U_0 = f(\alpha)$.

7. По данным таблицы 5.2 построить внешние характеристики $U_0 = f(I_0)$ для всех указанных в таблице значений α .

Контрольные вопросы

1. Объясните назначение и общие принципы работы управляемого выпрямителя.
2. Объясните принцип построения и работу системы управления по принципиальной схеме.
3. Каково назначение всех элементов принципиальной схемы управляемого выпрямителя и его схемы управления?
4. Объясните особенности работы управляемого выпрямителя на нагрузку активного, активно-индуктивного и активно-емкостного характера.
5. Что такое внешняя и регулировочная характеристики управляемого выпрямителя?

Литература

1. Электротехника с основами электроники / А. А. Федорченко, Ю. Г. Синдеев. – Москва : Дашков и К, 2007. – 416 с.
2. Электротехника и электроника / Б. И. Петленко [и др]. – Москва : Академия, 2007. – 320 с.
3. Электротехника, электроника и импульсная техника / А. Г. Морозов. – Москва : Высшая школа, 1987.
4. Основы промышленной электроники / под ред. В. Г. Герасимова. – Москва : Высшая школа, 1986.
5. Промышленная электроника / Ю. С. Забродин. – Москва : Высшая школа, 1982.
6. Расчет источников электропитания устройств связи / В. Е. Китаев, А. А. Бокуняев, М. Ф. Колканов. – Москва : Радио и связь, 1993.