Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Естественные и математические науки»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к лабораторной работе «Исследование выпрямителей»
для студентов направлений

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
09.03.04 «Программная инженерия»
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическоеобеспечение машиностроительных производств»
18.03.01 «Химическая технология»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»
29.03.05 «Конструирование изделий легкой промышленности»

Очной, очно-заочной и заочной формы обучения

Энгельс 2024

Лабораторная работа № 5
«Исследование выпрямителей»

Цель работы: изучение принципа действия и основных характеристик однофазной (ОМС) и трехфазной (ТМС) мостовых схем выпрямления. Ознакомление с действием сглаживающих фильтров в схемах выпрямления.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Назначение, применение и элементы выпрямителя

Устройства автоматики, широко применяемые для управления и контроля технологических процессов, содержат большое число полупроводниковых приборов (диодов, транзисторов, тиристоров, интегральных микросхем и др.). Такие электронные устройства могут работать, как правило, при потреблении энергии от источников питания постоянного тока. Устройства электропривода, содержащие двигатели постоянного тока, катушки постоянных электромагнитов также работают от источников постоянного тока. И, наконец, для зарядки аккумуляторных батарей и действия гальванических ванн необходимы источники постоянного тока.

Так как первичным источником питания является промышленная сеть переменного тока, то прибегают к выпрямлению переменного тока в постоянный с помощью специальных устройств, называемых выпрямителями.

Выпрямитель это устройство, предназначенное для преобразования переменного тока в постоянный. Выпрямители подразделяют на неуправляемые и управляемые. Неуправляемые выпрямители служат для получения выпрямленного напряжения неизменной величины, которое потребляют большинство электронных устройств. Управляемые выпрямители служат для получения выпрямленного напряжения или тока регулируемой величины и применяются для питания устройств электропривода. В зависимости от числа фаз источника выпрямленного напряжения различают однофазные и трехфазные выпрямители. По величине мощности выпрямители подразделяются - малой (до 0,5 кВт), средней (0,5-1,5 кВт) и большой (более 1,5 кВт) мощности. Выпрямители малой мощности являются, как правило, однофазными, выпрямители средней и большой мощности - трехфазными.

Основными элементами неуправляемого выпрямителя обычно являются (рис.1) силовой трансформатор 1, служащий для согласования напряжения сети U_1 с выходным напряжением выпрямителя U_0, а также для электрического разделения питающей сети и цепи нагрузки; блок вентилей 2 осуществляет выпрямление переменного тока; сглаживающий фильтр 3 служит для уменьшения пульсации выпрямленного тока в цепи нагрузки.

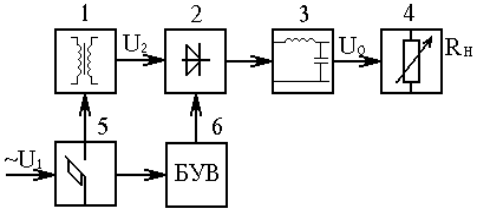


Рис.1. Структурная схема выпрямителя

Если выпрямитель управляемый, то в схему входит еще узел 6, содержащий систему управления вентилями. Для защиты выпрямителя от повреждений при аварийных режимах в его схему входит блок защиты и сигнализации 5.

В некоторых случаях в схеме выпрямителя могут отсутствовать отдельные элементы, например, фильтр 3, при работе на нагрузку индуктивного характера, или силовой трансформатор.

Однофазная мостовая схема выпрямителя (ОМС) состоит из трансформатора Т и четырех вентилей VD1, VD2, VD3, VD4, соединенных по схеме моста, рис.2, а. К одной диагонали моста подводится переменное напряжение U_2, а к другой подключается нагрузка R_H. Общая точка анодов вентилей VD2 и VD4 является отрицательным полюсом выпрямителя, а общая точка катодов вентилей VD1 и VD3 является положительным полюсом выпрямителя.

Схема ОМС работает в следующем порядке. Пусть в течение первого полупериода напряжение U_2 положительно (интервал от 0 до Т/2, рис.2, б),

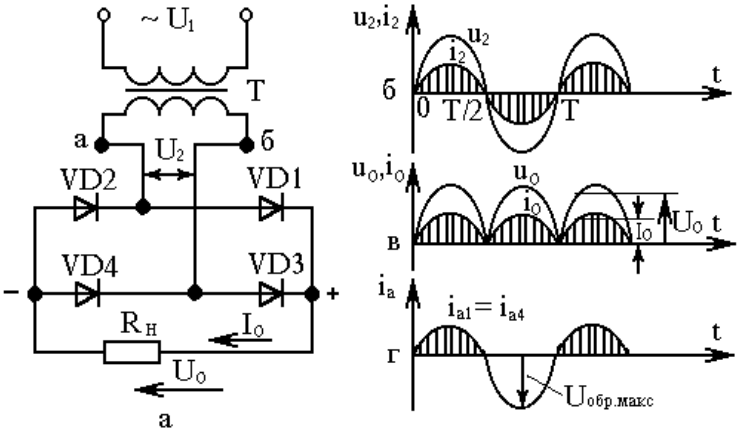


Рис.2. Однофазная мостовая схема выпрямителя

и направлено от точки "а" к точке "б" трансформатора. В этом случае открываются вентили VD1 и VD4 и по цепи потечет ток: точка "а" - вентиль VD1 - нагрузка R_H - вентиль VD4 - точка "б" - трансформатор. Ток вентилей показан на диаграмме рис.2, г, а ток в нагрузке i_0 - на рис.2, в. Вентили VD2 и VD3 закрыты и испытывают на себе приложенное обратное напряжение $U_{обр.макс}$, равное амплитуде вторичного напряжения трансформатора. В следующий полу период (интервал от Т/2 до Т) напряжение U_2 отрицательно (рис.2, б) и направлено от точки "б" к точке "а". Вентили VD1 и VD4 закрываются, а вентили VD2 и VD3 открываются. Ток течет по цепи: точка "б" - вентиль VD3 - нагрузка R_H - вентиль VD2 - точка "а". При этом при нагрузке ток течет в том же направлении. Диаграммы напряжений и токов на элементах схемы приведены на рис.2, б, в, г. Выпрямленное напряжение U_0

пульсирует от нуля до максимума, равного амплитуде вторичного напряжения трансформатора.

Частота пульсаций выпрямленного напряжения вдвое больше частоты напряжения сети $f_{ВЫПР} = 2f_{СЕТИ}$. При активной нагрузке ток повторяет форму напряжения. Ток через вентили протекает в течение полупериода и равен половине тока нагрузки.

Работа ОМС выпрямления характеризуется следующими соотношениями между токами, напряжениями и мощностями.

$U_0 = \frac{U_2}{1{,}11} = 0{,}9U_2$ - среднее значение выпрямленного напряжения;

$I_0 = \frac{0{,}9U_2}{R_Н} = 0{,}9I_2$ - среднее значение выпрямленного тока;

$I_a = \frac{I_0}{2}$ - среднее значение тока через вентиль;

$U_{ОБР.МАКС.} = U_{2m} = \sqrt{2}U_2 = 1{,}57U_0$ - максимальное обратное напряжение, под которым находятся закрытые вентили.

Расчетные мощности обмоток трансформатора

$$S_1 = I_1U_1 = 1{,}11\frac{I_0}{k}1{,}11kU_0 = 1{,}23P_0,$$
$$S_2 = I_2U_2 = 1{,}11I_0 1{,}11U_0 = 1{,}23P_0, \qquad (1)$$

где k-коэффициент трансформации трансформатора.

Расчетная (типовая) мощность трансформатора

$$S_{ТР} = \frac{S_1 + S_2}{2} = 1{,}23P_O, \qquad (2)$$

Трехфазная мостовая схема (ТМС) выпрямления состоит из трехфазного трансформатора Т, вторичные обмотки которого соединяются по схеме "звезда" и шести вентилей VD1- VD6, рис.3, а, соединенных по схеме моста.

Вентили образуют две группы: 1) катодную или нечетную (вентили VD1, VD3, VD5), у которых вместе соединены катоды, образующие положительный полюс выпрямителя; 2) анодную или четную (вентили VD2, VD4, VD6) , у которых вместе соединены аноды, образующие отрицательный полюс выпрямителя.

В данной схеме в любой момент времени открыты два вентиля, один в катодной группе, другой в анодной группе, при этом каждый из вентилей работает в течение одной трети периода.

В катодной группе открыт тот вентиль, у которого положительное напряжение на аноде больше, чем у других вентилей. Например, в интервале t_1-t_3, рис.2, б, открыт вентиль VD1, в интервале t_3-t_5 - открыт вентиль VD3 и т. д. В анодной группе открыт тот вентиль, у которого отрицательное напряжение на катоде ниже, чем у других вентилей.

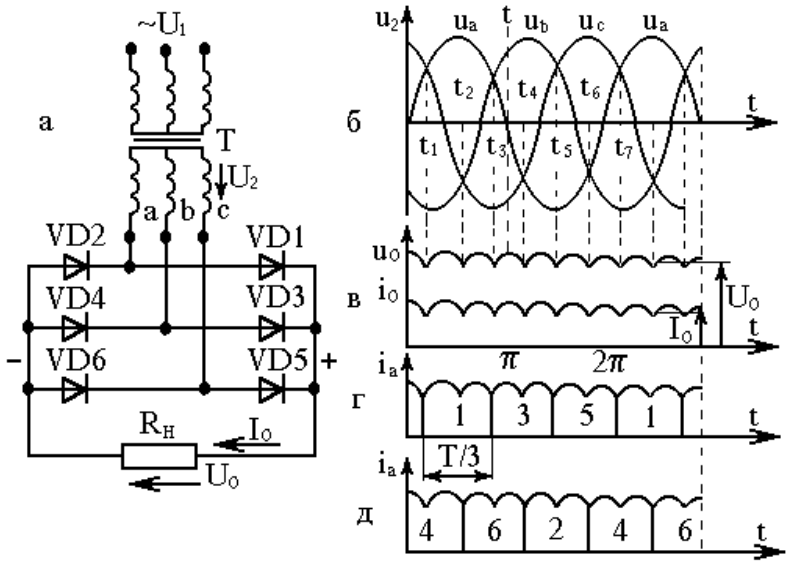


Рис.3. Трехфазная мостовая схема выпрямления

Например, в интервале t_2-t_4 открыт вентиль VD6, катод которого соединен с фазой U_c, имеющей наименьший потенциал в этом интервале. Рассмотрим работу ТМС в момент времени t, (рис.2, в). В этот момент наибольшее положительное напряжение фазы "в" приложено к аноду вентиля VD3, а наименьшее отрицательное напряжение фазы "с" приложено к катоду вентиля VD6. Эти вентили в момент t будут открыты. Ток в цепи будет течь по пути: точка "b" трансформатора - вентиль VD3 - нагрузка R_H - вентиль VD6 - точка "с" трансформатора. При работе выпрямителя ток через сопротивление нагрузки R_H течет в одном направлении.

Переключение вентилей в катодной группе происходит в момент пересечения положительных полуволн фазных напряжений, а в анодной группе в момент пересечения отрицательных полуволн фазных напряжений.

На рис.3, в-д представлены диаграммы напряжений и токов, поясняющие работу выпрямителя. На рис.3, б приведены фазные напряжения трехфазного тока, подаваемые на вход выпрямителя. На рис.3, в показаны формы выпрямленного напряжения и тока. На рис.3, г,д показаны токи вентилей.

Работа ТМС на активную нагрузку характеризуется следующими соотношениями между токами, напряжениями и мощностями:

$$f_{ВЫПР} = 6f_{СЕТИ}; U_0 = 2{,}34U_2; U_{ОБР.МАКС.} = 1{,}05U_0; I_a = \frac{I_0}{3}; S_{ТР} = 1{,}05P_0,$$

где U_2 - фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора.

ТМС имеет следующие преимущества перед ОМС: равномерное распределение нагрузки по всем фазам сети; обратное напряжение на вентилях всего на 5% превышает напряжение на нагрузке; большая частота и меньшая амплитуда пульсаций выпрямленного напряжения; больший КПД. ТМС широко применяется в промышленных выпрямителях.

В приложениях П1 и П2 приведены схемы, формы выпрямленного напряжения и расчетные соотношения для некоторых других выпрямителей средней и большой мощности.

Сглаживающие фильтры. Кривая выпрямленного напряжения, образованная из положительных участков синусоид, содержит постоянную и переменную составляющие. Полезный эффект (энергетический) у большинства потребителей постоянного тока создают только постоянные составляющие напряжения и тока. Переменные же составляющие $U_m^{(K)}$, образующие пульсации, приводят обычно к бесполезной затрате мощности, а иногда и к помехам. Например, у двигателя постоянного тока увеличиваются потери, ухудшается коммутация, что приводит к нагреву двигателя и усилению искрения под щетками. Покрытие металлов в гальванических ваннах пульсирующим током хуже, чем постоянным. В электронике и радиоаппаратуре пульсация приводит к значительным помехам (фон переменного тока на выходе усилителей). Для уменьшения пульсации напряжения на выходе выпрямителя устанавливается специальное устройство, называемое сглаживающим фильтром.

Пульсация напряжения на выходе выпрямителя (работа без фильтра) оценивается коэффициентом пульсации $q_{ВХ}$, который равен:

$$q_{ВХ} = \frac{U_{1m}}{U_0}, \qquad (3)$$

где U_{1m} - амплитуда основной (первой) гармоники выпрямленного напряжения;

U_0 - постоянная составляющая выпрямленного напряжения.

Пульсация напряжения на нагрузке (при работе выпрямителя с фильтром) характеризуется коэффициентом $q_{ВЫХ}$, который равен

$$q_{ВЫХ} = \frac{U_{0\sim}}{U_0}, \qquad (4)$$

где $U_{0\sim}$ - амплитуда первой гармоники на нагрузке (после фильтра);

U_0 - выпрямленное напряжение на нагрузке $R_Н$ (после фильтра).

Пульсация напряжения на нагрузке ($q_{ВЫХ}$) задается условиями работы потребителя, а пульсация напряжения на выходе выпрямителя ($q_{ВХ}$) известна после выбора схемы выпрямления: ОМС - $q_{ВХ}$ = 67%, ТМС $q_{ВХ}$ = 6% и ТНС - $q_{ВХ}$ = 25%. Отношение значений $q_{ВХ}$ и $q_{ВЫХ}$ определяет степень сглаживания фильтра выпрямленного напряжения и называется коэффициентом сглаживания фильтра:

$$S = \frac{q_{ВХ}}{q_{ВЫХ}}. \qquad (5)$$

Виды фильтров: емкостный, индуктивный, индуктивно-емкостный и другие (рис.4).

Емкостный фильтр (рис., 4а) представляет собой конденсатор С, включаемый параллельно нагрузке. Он пропускает через себя переменную составляющую, а по нагрузке течет только постоянная составляющая

выпрямленного тока. Обычно $x_C = \frac{1}{\omega c} << R_H$ и применяется при малых токах и больших величинах R_H.

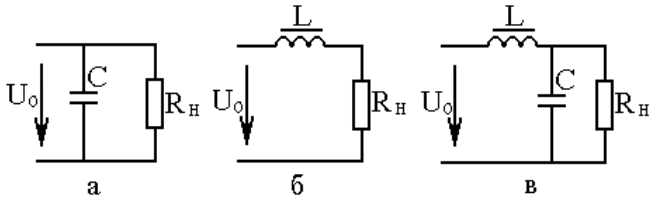


Рис.4. Сглаживающие фильтры:
а - емкостный фильтр; б - индуктивный фильтр; в - индуктивно-емкостный

Индуктивный фильтр (рис.4, б) представляет собой дроссель, включаемый последовательно с нагрузкой и обладающий большим реактивным сопротивлением $x_L = \omega L$ для переменной составляющей выпрямленного тока. Для хорошего сглаживания напряжения на нагрузке необходимо, чтобы $x_L = \omega L >> R_H$.

Индуктивный фильтр выгодно применять в выпрямителях средней и большой мощности, у которых сопротивление нагрузки мало. Если требуется иметь очень малое значение коэффициента пульсации $q_{ВЫХ}$, то применяют Г - образный и другие многозвенные фильтры.

Внешние характеристики выпрямителя. Наличие активных сопротивлений в обмотках трансформатора и в последовательных элементах сглаживающего фильтра, а также внутреннее падение напряжения в вентилях приводит к тому, что с ростом нагрузочного тока выходное напряжение выпрямителя уменьшается. Зависимость выпрямленного напряжения U_0 от выпрямленного тока I_0 называется внешней характеристикой выпрямителя $U_0=f(I_0)$. На рис.5 представлены внешние характеристики выпрямителя при отсутствии и наличии фильтров.

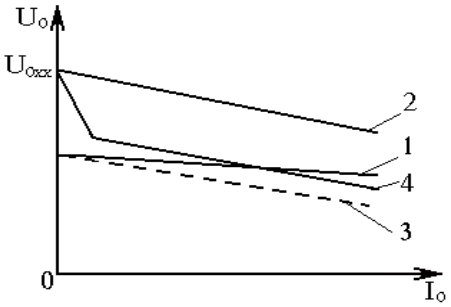


Рис.5. Внешние характеристики выпрямителя:
1 - без фильтра; 2 - С фильтр; 3 - L фильтр; 4 - LC фильтр

КПД выпрямителя определяется отношением полезной мощности к мощности потребляемой сети, для однофазного выпрямителя:

$$\eta = \frac{P_0}{P_1} = \frac{I_0 U_0}{I_1 U_1} \qquad (6)$$

и для трехфазного выпрямителя:

$$\eta = \frac{P_0}{3P_\Phi} = \frac{I_0 U_0}{3I_{1\Phi} U_{1\Phi}}, \qquad (7)$$

где $J_{1\Phi}$, $U_{1\Phi}$ - фазные ток и напряжение сети.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Описание экспериментальной установки

Работа проводится на стенде с названием "Исследование выпрямителей". Источником переменного напряжения служит трехфазная сеть с напряжением 36/24 В, поэтому исследуются выпрямители без трансформаторов. Сеть обозначена клеммами A, B, C, N. На стенде имеются шесть вентилей с выводами, что позволяет собирать требуемую схему выпрямителя. Сглаживающий фильтр представлен дросселем L и конденсатором C. Нагрузкой служат лампы накаливания мощностью 40-60 Вт и номинальным напряжением 36 В. Лампы могут включаться тумблерами S2-S6. Максимальный постоянный ток в цепи с лампами - 5А.

Приборы и методика измерений

На стенде установлены вольтметры и амперметры для измерения переменных и постоянных напряжений и токов. Для измерения переменной составляющей выпрямленного тока следует воспользоваться цифровым вольтметром переменного тока типа В8-11А. Наблюдение осциллограмм напряжений на нагрузке производится осциллографом С1-73.

В данной лабораторной работе при измерениях используется метод непосредственного отсчета с прямыми однократными измерениями. Результат измерения записывается в виде:

$$A \pm \Delta A,$$

где A - показание прибора (результат наблюдения);

ΔA - предел максимальной абсолютной погрешности измерительного прибора.

При выполнении лабораторной работы результаты наблюдений, т. е. показания приборов, заносить в таблицы.

ТРЕБОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

1. Сборку схемы проводите только при отключенном напряжении сети.
2. Стенд включает только преподаватель после проверки схемы.
3. При измерениях не касайтесь оголенных токоведущих частей. Провода, подключенные к переносным приборам, держите за изолированные части.

4. Не прикасайтесь одновременно к металлическим корпусам измерительных электронных приборов и осциллографов и заземленным конструкциям, например, отопительным батареям или трубам.

5. По окончании измерений выключите стенд.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться со стендом и схемой опыта. Выбрать на стенде необходимые для работы приборы и показать их преподавателю.

2. Собрать схему опыта. В данной работе исследуются две схемы выпрямления: однофазная мостовая (ОМС), рис. 6 и трехфазная мостовая (ТМС), рис. 7. Сначала следует собрать ОМС и исследовать ее по программе, приведенной ниже, а затем то же выполнить для ТМС выпрямления.

3. Снять внешнюю характеристику выпрямителя $U_0 = f(I_0)$ без фильтра. Для этого зашунтировать дроссель фильтра включением тумблера S и разомкнуть цепь конденсатора C тумблером S1. В режиме холостого хода выпрямителя записать в табл. 1 показания вольтметров переменного и постоянного напряжений. Далее, увеличивая ток нагрузки (включением параллельно ламп накаливания), проделать не менее пяти измерений токов и напряжений согласно табл. 1.

4. Снять внешнюю характеристику выпрямителя с фильтром. Для этого отключить тумблер S и включить S1, после чего выполнить те же операции, что и в предыдущем пункте.

5. Определить коэффициенты пульсаций и сглаживания выпрямителя без фильтра и с фильтром. Для этого измерить величину переменной составляющей выпрямленного напряжения на нагрузке в режиме холостого хода и в режиме номинальной нагрузки выпрямителя. Данные измерений и вычислений записать в табл. 2.

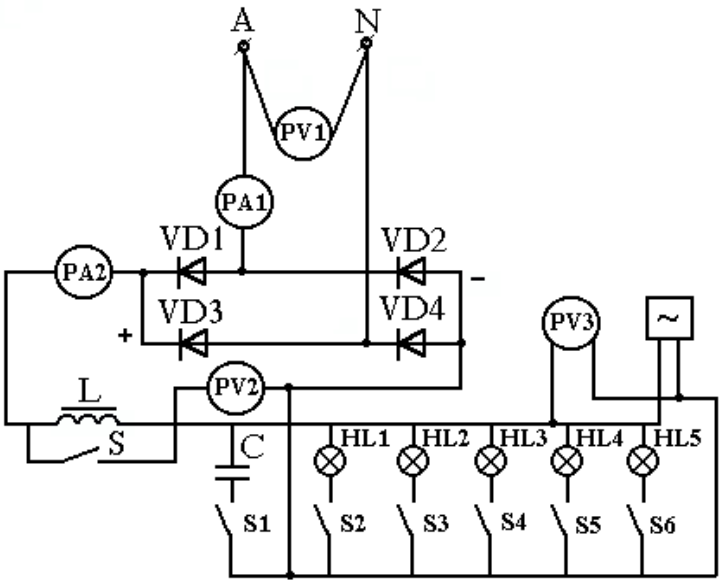


Рис.6. Схема исследования однофазного выпрямителя

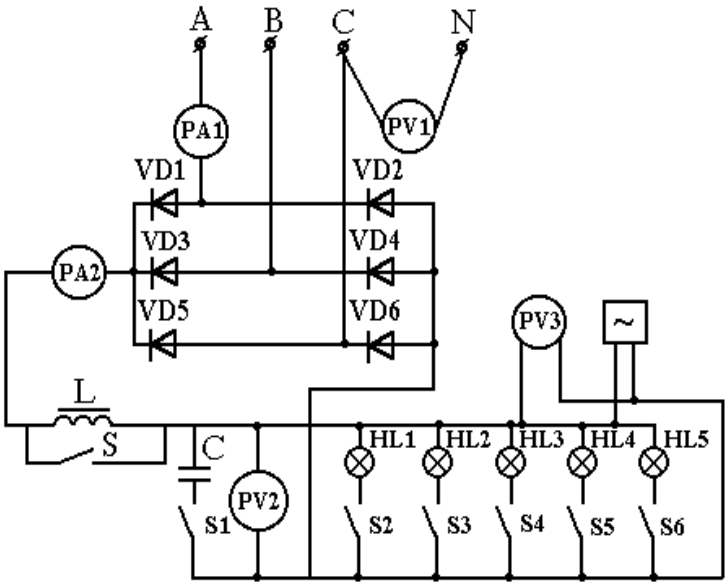


Рис.7. Схема исследования трехфазного выпрямителя

Таблица 1

№ п/п	Измерено без фильтра					Вычисл.	Измерено с фильтром					Вычисл.
	U, В	I, А	U_0, В	I_0, А	$f_В$, Гц	η, %	U, В	I, А	U_0, В	I_0, А	$f_В$, Гц	η, %

Таблица 2

Режим работы выпрямителя	Без фильтра			С фильтром			
	U_{1m}, В	U_0, В	$q_{ВХ}$	$U_{0\sim}$, В	U_0, В	$q_{ВЫХ}$	S
Режим холостого хода							
Номинальная нагрузка							

6. Провести наблюдения формы напряжения в различных точках выпрямителя и зарисовать следующие осциллограммы:

1) фазное напряжение на входе выпрямителя;

2) напряжение на выходе выпрямителя без фильтра в режиме холостого хода, при этом определить частоту пульсаций выпрямленного напряжения $f_{ВЫПР}$;

3) то же в режиме номинальной нагрузки;

4) напряжение на выходе выпрямителя с фильтром в режиме холостого хода;

5) то же в режиме номинальной нагрузки.

7. Выполнить пункты 3-6 для ТМС выпрямления.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

1. КПД выпрямителя вычислить по формуле (6) для однофазного выпрямителя и по формуле (7) для трехфазного выпрямителя.

2. Коэффициенты пульсаций и сглаживания вычислить по формулам: (3), (4), (5).

3. Для каждого типа выпрямителя на одном графике представить внешние характеристики выпрямителя без фильтра и с фильтром.

4. На одном графике представить внешние характеристики ОМС и ТМС выпрямления с фильтром.

5. Вычислить максимальные абсолютные погрешности применяемых приборов и максимальные относительные погрешности измерения следующих величин: U_O, I_O, P_O.

СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете наряду с общими требованиями, предъявляемые к каждому отчету, должны быть: технические характеристики приборов, схемы опытов, таблицы с результатами наблюдений и вычислений, осциллограммы напряжений, графики внешних характеристик.

Отчет заканчивается выводами, в которых необходимо отразить: как изменяется и на сколько процентов внешняя характеристика выпрямителя без фильтра; как влияет фильтр на внешнюю характеристику и на форму выпрямленного напряжения; во сколько раз применяемый фильтр сглаживает пульсацию выпрямленного напряжения; по результатам исследований сформулировать преимущества трехфазного выпрямителя перед однофазным.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Каковы математические связи между действующим, амплитудным и средним значением переменного тока?
2. Изобразите вентиль. Укажите анод и катод. В каком направлении и при каких условиях через вентиль может проходить ток?
3. Назовите основные два параметра, по которым выбирают вентили. Как эти параметры определяются для ОМС и ТМС выпрямления?
4. Начертите схему ОМС и объясните ее работу.
5. Объясните работу ТМС выпрямления.
6. В каких случаях применяется емкостной фильтр, и в каких- индуктивный фильтр?
7. Как влияет сглаживающий фильтр на внешнюю характеристику и форму выходного напряжения?
8. Изобразите внешние характеристики выпрямителя без фильтра и с фильтром: емкостным, индуктивным, Г-образным LC.
9. Каковы коэффициенты пульсаций в ОМС и ТМС?
10. Каковы преимущества ТМС перед ОМС? Где применяется ОМС?
11. Изобразите осциллограммы выпрямленного тока и напряжения при работе на активную нагрузку в ОМС.

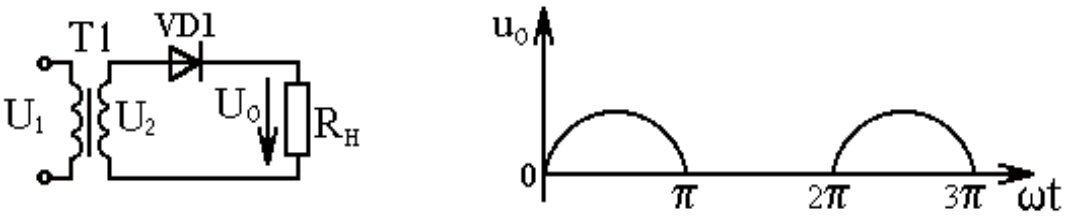
12. Изобразите осциллограммы выпрямленного тока и напряжения при работе на активную нагрузку в ТМС.

Литература

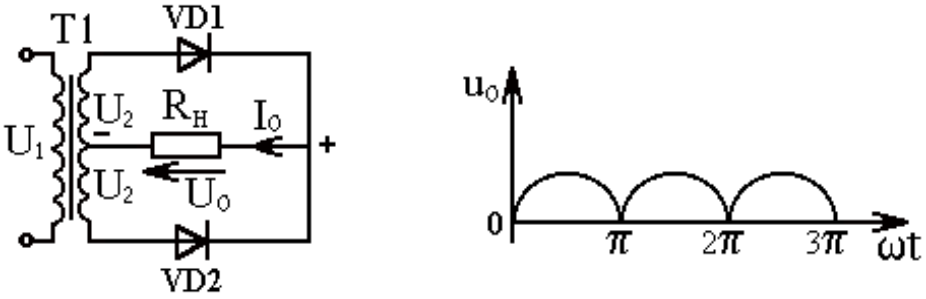
1. Богданов, В. В. Электротехника : учебное пособие / В. В. Богданов, О. Б. Давыденко, Н. П. Савин, А. В. Сапсалев. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 148 с. - ISBN 978-5-7782-3954-8. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778239548.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Ермуратский, П. В. Электротехника и электроника / П. В. Ермуратский, Г. П. Лычкина, Ю. Б. Минкин. - Москва : ДМК Пресс, 2013. - 416 с. - ISBN 978-5-94074-894-6. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940748946.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа : по подписке.
3. Клепча, В. Ф. Электротехника. Лабораторный практикум : учеб. пособие / В. Ф. Клепча- 3-е изд. , стер. - Минск : РИПО, 2019. - 179 с. - ISBN 978-985-503-867-3. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789855038673.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа : по подписке.
4. Марченко, А. Л. Электротехника : учебное пособие / А. Л. Марченко. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 236 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-017056-5. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1587594 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
5. Электротехника. В примерах и задачах : учебное пособие / Е. И. Алгазин, В. В. Богданов, А. В. Сапсалев [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Алгазина. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. - 128 с. - ISBN 978-5-7782-4287-6. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1869119 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
6. Гальперин, М. В. Электротехника и электроника : учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 480 с. — (Высшее образование). - ISBN 978-5-00091-779-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/2030904 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
7. Маркелов, С. Н. Электротехника и электроника : учебное пособие / С. Н. Маркелов, Б. Я. Сазанов. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 267 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-014451-1. - Текст: электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/982772 (дата обращения: 18.09.2023). – Режим доступа: по подписке.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

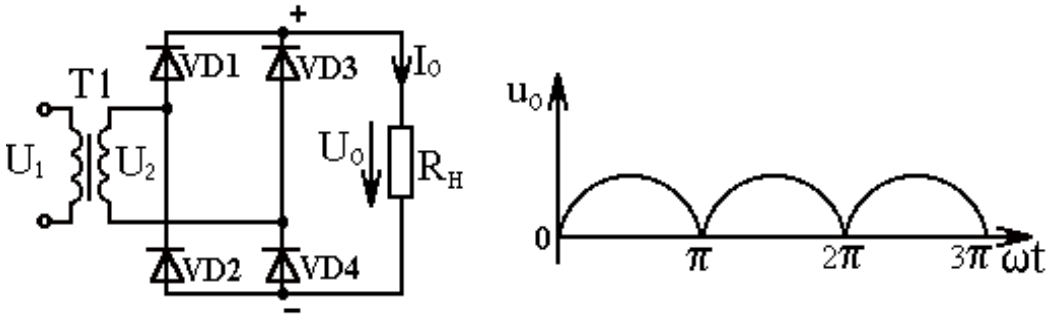
Схемы выпрямления и формы выходного напряжения при активной нагрузке



Однофазная однополупериодная



Однофазная с выводом средней точки



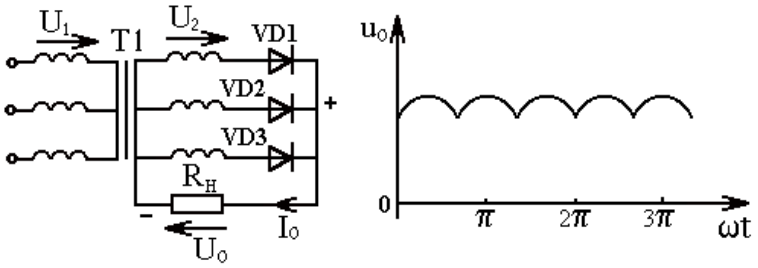
Однофазная мостовая

Соотношения между токами и напряжениями в выпрямителях

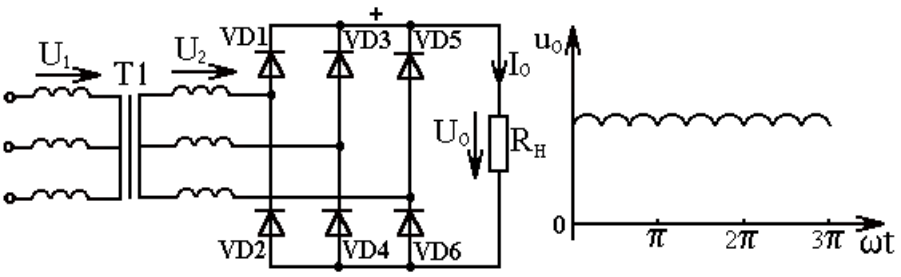
Схема выпрямления	$\frac{U_0}{U_{2Ф}}$	$\frac{U_{ОБР.МАКС.}}{U_0}$	$\frac{I_a}{I_0}$	$\frac{I_{a\,макс}}{I_0}$	$\frac{I_2}{I_0}$	$\frac{S_{ТР}}{P_0}$	Коэфф. пульсации, % ($q_{ВХ}$)
Однополупериодная	0,45	3,14	1	3,14	1,57	3,09	157
Однофазная нулевая	0,9	3,14	0,5	1,57	0,785	1,48	67
Однофазная мостовая	0,9	1,57	0,5	1,57	1,11	1,23	67

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Схемы выпрямления и формы выходного напряжения при активной нагрузке



Трехфазная с выводом нейтрали



Трехфазная мостовая

Соотношения между токами и напряжениями в выпрямителях

Схема выпрямления	$\frac{U_0}{U_{2Ф}}$	$\frac{U_{ОБР.МАКС.}}{U_0}$	$\frac{I_a}{I_0}$	$\frac{I_{a\,макс}}{I_0}$	$\frac{I_2}{I_0}$	$\frac{S_{ТР}}{P_0}$	Коэфф. пульсации, % ($q_{ВХ}$)
Трехфазная нулевая	1,17	2,09	0,33	1,21	0,585	1,35	25
Трехфазная мостовая	2,34	1,05	0,33	1,05	0,817	1,05	6

ОБОЗНАЧЕНИЯ

U_0, I_0, P_0 - средние значения выпрямленного напряжения, тока, и мощности на нагрузке.

$U_{ОБР.МАКС.}$ - допустимое длительное обратное напряжение, выдерживаемое вентилем (оно в 2 раза меньше $U_{ПРОБОЯ}$).

I_a - средний прямой ток вентиля. Его паспортное значение (номинальное значение).

$U_{2Ф}$ - фазное напряжение на вторичной обмотке трансформатора.

$I_{a\,макс}$ - амплитудное значение тока через вентиль.

Методические указания составил _____/А.С. Мостовой/