

## Описание лабораторного стенда

В комплект лабораторной установки входят следующие модули: «Тиристорный преобразователь», «Нагрузка», «Модуль питания», «Модуль измерительный», «Мультиметры» и двухканальный осциллограф.

Передняя панель модуля «Тиристорный преобразователь» представлена на рис. 1. На ней изображена мнемосхема и установлены коммутирующие, регулирующие и измерительные элементы. На мнемосхеме изображены трансформатор TV и реверсивный тиристорный преобразователь, состоящий из комплекта «Вперед» (UZ1) и комплекта «Назад» (UZ2).. С помощью тумблера SA1 устанавливаются заданные параметры трансформатора (фактически подключаются дополнительные реакторы, имитирующие индуктивности рассеяния трансформатора). Параметры трансформатора в зависимости от положения тумблера SA1 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Положение тумблера	Первичное напряжение $U_1$ , В	Вторичное напряжение $U_2$ , В	Индуктивное сопротивление рассеяния, приведенное ко вторичной стороне $x_a$ , Ом	Активное сопротивление, приведенное ко вторичной стороне $r_a$ , Ом
L1	220 В	46	4,3	1,65
L2	220 В	46	0,3	1,5

Тумблер SA2 подключает встречный мост (комплект «Назад»), давая возможность исследовать реверсивную схему «Р». Тумблер SA3 позволяет исследовать либо нулевую, либо мостовую схему выпрямления.

*Переключение схемы тумблерами SA2 и SA3 возможно только при выключенном автомате QF2 модуля питания.*

Потенциометр RP1 служит для регулирования напряжения на входе системы управления СУ с целью установки требуемого угла управления. Измерительный прибор P1 служит для измерения угла управления  $\alpha$ .

Для обеспечения безопасности при осциллографировании первичного тока применен трансформатор тока ТА, на вторичной стороне которого включен шунт RS1. Коэффициент передачи трансформатора тока вместе с шунтом  $K_{ТТ} = 0.1$  мВ/мА. При этом масштаб по току  $m_i = \frac{m_u}{K_{ТТ}}, \frac{\text{мА}}{\text{дел}}$ .

Шунт RS2 ( 1 Ом) предназначен для осциллографирования тока вентилля, а шунт RS3 ( 1 Ом) для осциллографирования выпрямленного тока.

При этом масштаб по току  $m_i = \frac{m_u}{R_{ш}}, \frac{\text{А}}{\text{дел}}$ .

На передней панели находятся гнезда для осуществления внешних соединений (X1–X16).

Нагрузкой для модуля «Тиристорный преобразователь» является модуль «Нагрузка» (рис. 2.).

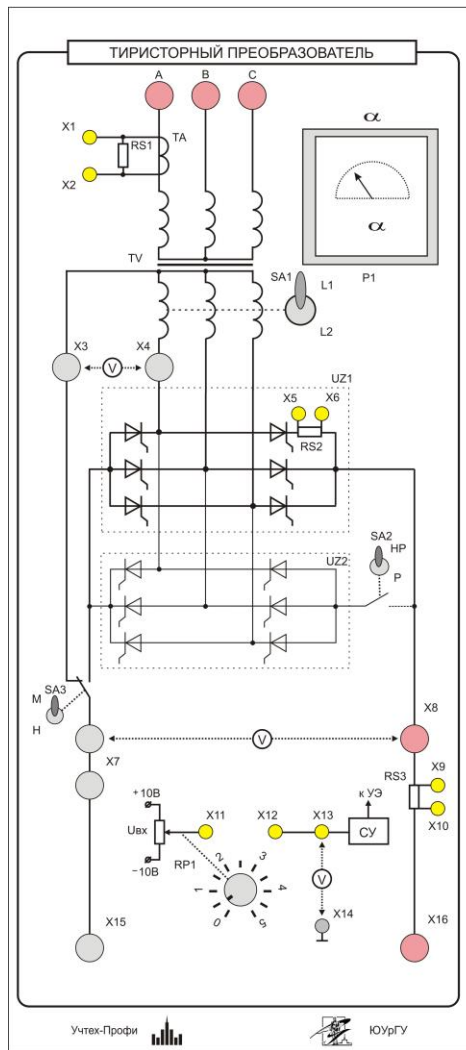


Рис.1. Модуль «Тиристорный преобразователь».

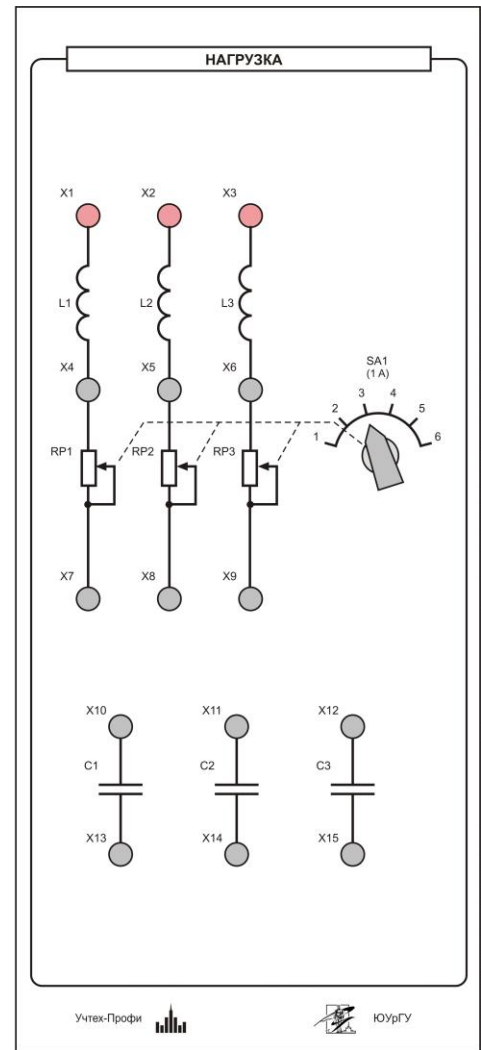


Рис. 2 Модуль «Нагрузка».

Он обеспечивает работу исследуемого преобразователя на активную и на активно-индуктивную нагрузку. На лицевой панели изображена мнемосхема и установлены коммутирующие и регулирующие элементы.

В нагрузке регулируются только активные сопротивления фаз нагрузки, а индуктивности остаются неизменными. Регулирование производится переключателем SA1. Значения резисторов, соответствующие положениям переключателя приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Положение переключателя	1	2	3	4	5	6
Сопротивление (Ом)	100	200	400	600	1000	1600

Сглаживающий реактор L1 индуктивностью 80 мГн вместе с резистором RP1 играют роль регулируемой активно-индуктивной нагрузки. Емкость каждого конденсатора 10 мкФ.

Питание установки производится от трехфазной сети переменного напряжения ( $U_{л} = 380 \text{ В}$ ) через автоматический выключатель  $QF2$ , установленный в «Модуле питания».

Максимальный выпрямленный ток установки  $I_d = 1 \text{ А}$ .

Первичный ток, напряжение, мощности и  $\cos\phi$  в одной фазе измеряются с помощью подключаемого модуля «Измеритель мощности».

### ***Порядок включения и выключения установки***

1) Собрать силовую схему эксперимента для выполнения лабораторной работы. *Внимание! Для большей безопасности, сетевое напряжение от «Модуля питания» следует подавать через защищённые провода.*

2) Проверить соответствие положений тумблеров и перемычек решаемой задаче.

3) В модуле «Тиристорный преобразователь» переключить тумблер SA1 в положение, соответствующее заданным параметрам трансформатора. Проверить наличие перемычки между гнездами X11 – X12.

4) Установить переключатель SA1 на модуле «Нагрузка» в положение максимального сопротивления (крайнее правое положение).

5) Включить автомат QF2 «Модуля питания».

6) Установить угол управления потенциометром RP1 на модуле «Тиристорный преобразователь».

7) Установить необходимое сопротивление на модуле «Нагрузка».

При включенном модуле питания запрещается переключать тумблеры SA1, SA2, SA3 и производить другие пересоединения.

Изменение места включения измерительных приборов недопустимо.

### ***Порядок выключения установки***

1. Снизить ток нагрузки  $I_d$  до минимума .

2. Выключить автомат QF2 «Модуля питания».

***При срабатывании защиты*** по току необходимо отключить автомат QF2 «Модуля питания», проверить схему, позвать преподавателя, выяснить и устранить причину отключения. Включить автомат «Модуля питания».

# Работа №1. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО НЕУПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ПО ТРЕХФАЗНОЙ МОСТОВОЙ СХЕМЕ

## Задание и методические указания

*I Предварительное домашнее задание:*

1. Нарисовать схему исследуемого неуправляемого трехфазного мостового выпрямителя без измерительных приборов и измерительных резисторов.
2. Построить в масштабе друг под временные диаграммы:
  - a) ЭДС вторичных обмоток трансформатора:  $e_{2a}, e_{2b}, e_{2c},$  ;
  - b) выпрямленного напряжения  $u_d$  ;
  - c) тока нагрузки (при  $x_d = \infty$ );
  - d) тока вентиля  $i_a$ ;
  - e) напряжения на вентиле  $u_{ak}$ ;
  - f) тока вторичной обмотки трансформатора  $i_2$  ;
  - g) тока первичной обмотки трансформатора  $i_1$  .
3. Полагая отсутствие потерь в выпрямителе и считая нагрузку активно-индуктивной ( $R_H=100$  Ом,  $K_{TP}=4,78$ ), рассчитать:
  - a) среднее значение напряжения на нагрузке  $U_d$ ;
  - b) среднее значение тока нагрузки  $I_d$ ;
  - c) среднее значение тока тиристора  $I_a$ ;
  - d) максимальное значение напряжения на диоде (тиристоре)  $U_{ak.max}$ ;
  - e) действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора  $I_2$ ;
  - f) действующее значение тока первичной обмотки трансформатора  $I_1$ ;
4. Рассчитать выходную (внешнюю) характеристику  $U_d=f(I_d)$  трехфазного мостового выпрямителя.

$$U_d = U_{d0} - n\Delta E_0 - nr_i I_d - r_a I_d - \frac{I_d m x_a}{2\pi}$$

Где  $\Delta E_0=1$  В – пороговое напряжение открытого диода;

$r_i = 0,05$  Ом – дифференциальное внутреннее активное сопротивление диода в открытом состоянии ;

$r_a = 1,65$  Ом – активное сопротивление обмоток трансформатора;

$x_a = 4,3$  Ом – анодное индуктивное сопротивление рассеяния.

Результаты расчета занести в таблицу 1. По данным полученной таблицы построить внешнюю характеристику

Таблица 1.

$U_d$ В							
$I_d$ А	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

II. Экспериментальное исследование трехфазной мостовой схемы выпрямления:

а) собрать схему для исследования трехфазной мостовой схемы при работе на активно-индуктивную нагрузку в соответствии с рис.1.

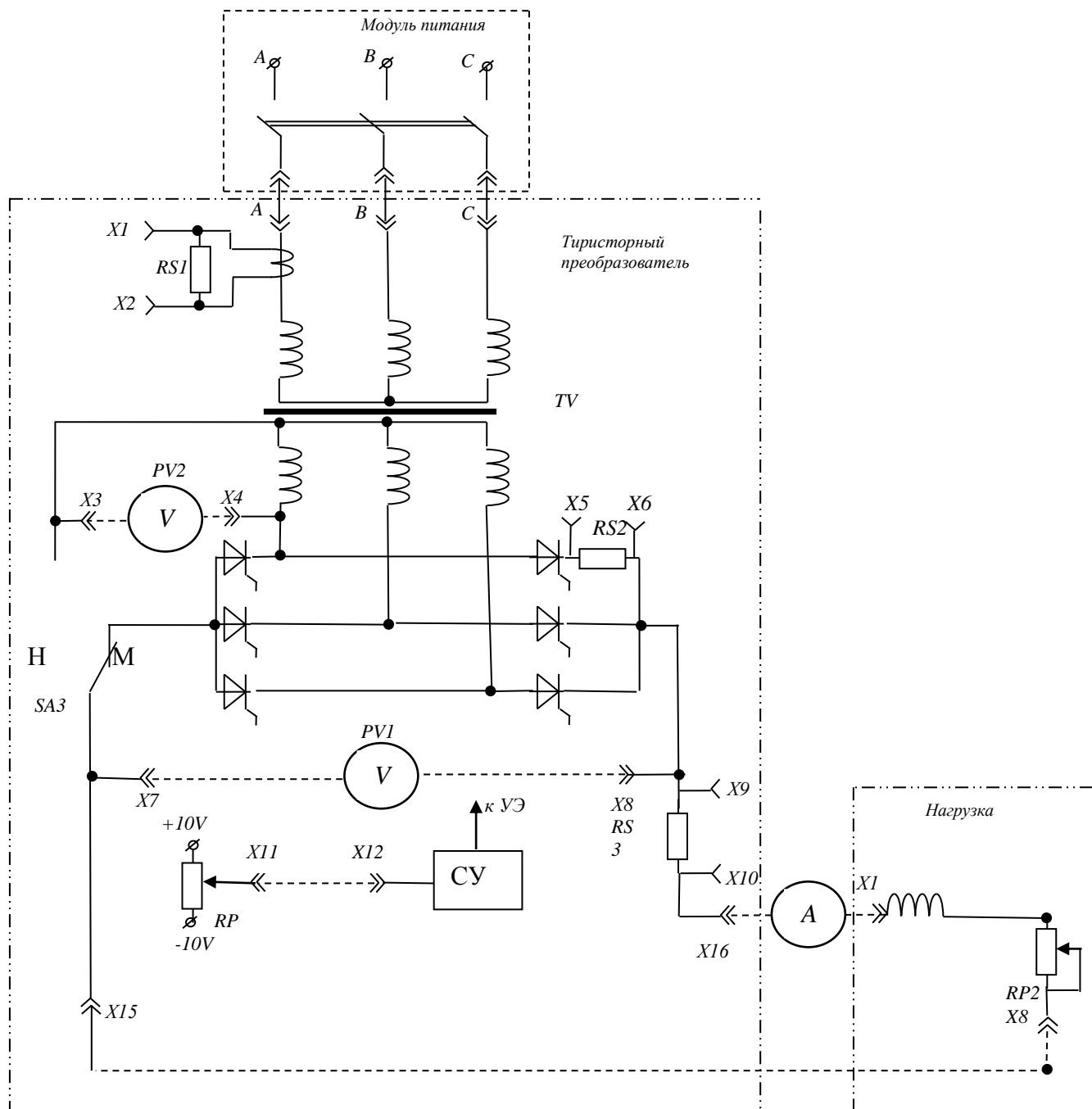


Рис. 1. Принципиальная схема для исследования неуправляемых выпрямителей при работе на активно-индуктивную нагрузку

Дополнительные перемычки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

В табл. 2 приведены измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 1).

Таблица 2

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Среднее значение выпрямленного напряжения $U_d$	PV1	= 200 В	Мультиметры
Среднее значение выпрямленного тока $I_d$	PA1	= 2 А	Модуль измерительный
Действующее значение вторичного напряжения трансформатора $U_2$	PV2	~ 200 В	Мультиметры

Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 2; Установить переключатель SA3 в положение М (мостовая схема). Переключатель SA1 установить в положение L2. Установить перемычку между гнездами X11, X12. Установить ручку потенциометра RP1 в среднее положение; включить автомат на модуле. Регулятором RP1 установить по прибору значение угла  $\alpha=0$  (ручку регулятора угла управления повернуть по часовой стрелке до упора); установить заданное значение сопротивления нагрузки (или значение выпрямленного тока близкое к заданному);

а) снять осциллограммы анодного тока  $i_a$  и анодного напряжения  $u_a$  при  $R_n=200$  Ом; для этого подключить входы осциллографа для измерения напряжения на вентиле  $u_a$  и тока  $i_a$ , соединив корпус осциллографа с гнездом X6, вход канала CH1 с гнездом X5 и канала CH2 с гнездом X4. Здесь и в дальнейшем рекомендуется использовать канал CH1 для осциллографирования тока, а канал CH2 – напряжения. На канал CH2 сигнал подается через делитель 1:10; проверить с помощью осциллографа соответствие угла  $\alpha=0$ ; записать масштабы по напряжению; не забудьте учесть коэффициент деления выносного делителя осциллографа;

б) подключить входы осциллографа для измерения выпрямленного напряжения  $u_d$  и тока  $i_d$ ; соединив корпус осциллографа с гнездом X10, вход канала CH1 с гнездом X9 и канала CH2 с гнездом X7; сигнал подаваемый со входа CH2 нужно перевернуть (инвертировать), для чего нажать на кнопку CH2 INV; в тех же масштабах зарисовать выпрямленное напряжение  $u_d$  и ток  $i_d$  (обратить внимание на длительность коммутационного интервала);

в) с помощью измерительных приборов сделать замеры выпрямленного напряжения  $U_d$  и первичного тока трансформатора  $I_1$  при заданном токе нагрузки  $I_d$  и угле  $\alpha_1$ .

г) подключить вход осциллографа для измерения первичного тока  $i_1$ , соединив корпус осциллографа с гнездом X2, а вход канала CH1 с гнездом X1; зарисовать первичный ток  $i_1$ ; записать масштабы по току и времени (углу);

д) измерить коэффициент пульсации на активном сопротивлении нагрузки как отношение амплитуды переменной составляющей напряжения на нагрузке к среднему значению напряжения на нагрузке. ( $R_H = 100 \text{ Ом}$ ,  $L_\Phi = 0,08 \text{ Гн}$  (одна индуктивность)).

е) измерить коэффициент пульсации при значении индуктивности фильтра  $L_\Phi = 0,24 \text{ Гн}$ . Для получения индуктивности  $L_\Phi = 0,24 \text{ Гн}$  необходимо в блоке нагрузки включить последовательно 3 индуктивности (Рис.2).

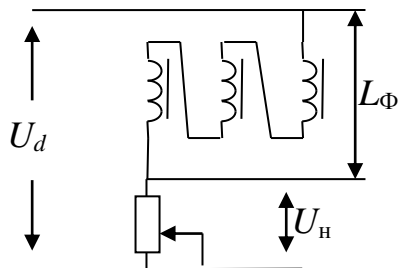


Рис.2

ж) снять внешние характеристики  $U_d = F(I_d)$ . Характеристики снимать, изменяя ток переключателем SA1 в модуле «Нагрузка» в диапазоне  $0 \leq I_d \leq 0,9 \text{ А}$ .

з) установить другие параметры трансформатора переключением тумблера SA1 в модуле «Тиристорный преобразователь» в положение L1 и снова снять внешнюю характеристику. Построить обе внешние характеристики на одном графике;

и) Снять осциллограммы углов коммутации  $\gamma$  (длительность коммутационного интервала) для двух значений тумблера SA1 в модуле «Тиристорный преобразователь» (для двух значений индуктивности). Осциллограмма снимается на выходном напряжении выпрямителя.

### **Содержание отчета**

- а) наименование и цель работы;
- б) принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики и осциллограммы;
- е) сравнить осциллограммы и построенные диаграммы; сравнить расчетное и экспериментальное значение; объяснить расхождения;
- ж) сделать выводы о влиянии на внешние характеристики и угол коммутации анодной индуктивности  $L_a$ ;

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите основные величины, используемые при описании работы выпрямителей.

2. Что такое пульсность схемы  $m$ ?
3. Какова частота пульсации в изучаемых схемах?
4. Что такое непрерывный режим?
5. Что такое внешняя характеристика? От каких параметров зависит ее положение в непрерывном режиме?
6. Сравнить трехфазную нулевую и трехфазную мостовую схемы по основным показателям.
7. Сравните форму токов  $i_a$  и  $i_2$  для трехфазной мостовой схемы при  $\chi_d = \infty$ . Почему отличаются формулы для  $I_a$  и  $I_2$ ?
8. Как снимаются внешние характеристики?
9. Будут ли осциллограммы, снятые в лабораторной работе, отличаться от временных диаграмм? Почему?
10. Почему измеренный ток  $I_1$  отличается от расчетного?
11. По каким признакам классифицируются выпрямители?

***Литература:***

1. Попков О.З. Основы преобразовательной техники. Москва. Издательский дом МЭИ 2005г. . ISBN 5-7046-1236-9 (Стр. 58-61, 85-89, 92-93).



## Работа №2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ПО СХЕМЕ С НУЛЕВЫМ ВЫВОДОМ

### *Цель работы*

Исследование электромагнитных процессов и характеристик управляемого выпрямителя, выполненного по трехфазной схеме нулевым выводом, при работе на активно-индуктивную нагрузку в режиме непрерывного тока.

### *Описание лабораторной установки*

Ознакомиться с описанием лабораторной установки и о порядке ее включения и выключения, описанной в работе №1.

### *Задание и методические указания*

*Предварительное домашнее задание:*

1. Нарисовать схему исследуемого управляемого трехфазного выпрямителя по схеме нулевым выводом без измерительных приборов и измерительных резисторов.
2. Построить в масштабе друг под временные диаграммы:
  - a) ЭДС вторичных обмоток трансформатора:  $e_{2a}, e_{2b}, e_{2c}$ ;
  - b) выпрямленного напряжения  $u_d$ ;
  - c) тока нагрузки (при  $x_d = \infty$ );
  - d) тока вентиля  $i_a$ ;
  - e) напряжения на вентиле  $u_{ak}$ ;
  - f) тока вторичной обмотки трансформатора  $i_2$ ;
  - g) тока первичной обмотки трансформатора  $i_1$ .
3. Полагая отсутствие потерь в выпрямителе и считая нагрузку активно-индуктивной ( $R_H=100$  Ом,  $K_{TP}=4,78$  и  $\alpha=30^\circ$ ), рассчитать:
  - a) среднее значение напряжения на нагрузке  $U_d$ ;
  - b) среднее значение тока нагрузки  $I_d$ ;
  - c) среднее значение тока тиристора  $I_a$ ;
  - d) максимальное значение напряжения на диоде (тиристоре)  $U_{ak.max}$ ;
  - e) действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора  $I_2$ ;
  - f) действующее значение тока первичной обмотки трансформатора  $I_1$ ;
4. рассчитать угол коммутации  $\gamma$  в схеме с нулевым выводом; угол  $\gamma$  определяется из соотношения при:  $\alpha=30^\circ$ ,  $x_a=4,3$  Ом,  $I_d=0,3A$ .

$$\cos(\alpha + \gamma) = \cos\alpha - \frac{x_a I_d}{\sqrt{2} E_2 \sin\left(\frac{\pi}{m}\right)} ;$$

Где  $m$  – пульсность схемы (отношение периода питающего напряжения к периоду пульсации).

5. Рассчитать выходную (внешнюю) характеристику  $U_d=f(I_d)$  трехфазного выпрямителя по схеме нулевым выводом.

$$U_d = U_{d0} \cos \alpha - n\Delta E_0 - nr_i I_d - r_a I_d - \frac{I_d m x_a}{2\pi}$$

Где  $\Delta E_0=1$  В – пороговое напряжение открытого диода;

$r_i = 0,05$  Ом – дифференциальное внутреннее активное сопротивление диода в открытом состоянии ;

$r_a = 1,65$  Ом – активное сопротивление обмоток трансформатора;

$x_a = 4,3$  Ом – анодное индуктивное сопротивление рассеяния.

Результаты расчета занести в таблицу 1. По данным полученной таблицы построить внешнюю характеристику

Таблица 1.

$U_d$ В							
$I_d$ А	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

2. Экспериментальное исследование трехфазной схемы с нулевым выводом управляемого выпрямления:

а) собрать схему для исследования трехфазной схемы с нулевым выводом при работе на активно-индуктивную нагрузку в соответствии с рис. 1.

Дополнительные переключки и измерительные приборы, подключаемые в схему, показаны штриховой линией.

В табл. 2 приведены измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, в соответствии с принятыми обозначениями на принципиальной схеме (см. рис. 1).

Таблица 2

Измеряемые величины	Обозначение прибора	Предел измерения	Месторасположение прибора (название модуля)
Среднее значение выпрямленного напряжения $U_d$	PV1	= 200 В	Мультиметры
Среднее значение выпрямленного тока $I_d$	PA1	= 2 А	Модуль измерительный
Действующее значение вторичного напряжения трансформатора $U_2$	PV2	~ 200 В	Мультиметры

Установить требуемые пределы измерений на измерительных приборах согласно табл. 2; Установить переключатель SA3 в положение Н (нулевая схема). Переключателем SA1 установить заданные параметры трансформатора. Установить переключку между гнездами X11, X12. Установить ручку потенциометра RP1 в среднее положение; включить автомат на модуле питания. Регулятором RP1 установить по прибору

заданное значение угла  $\alpha$ ; установить заданное значение сопротивления нагрузки (или значение выпрямленного тока близкое к заданному);

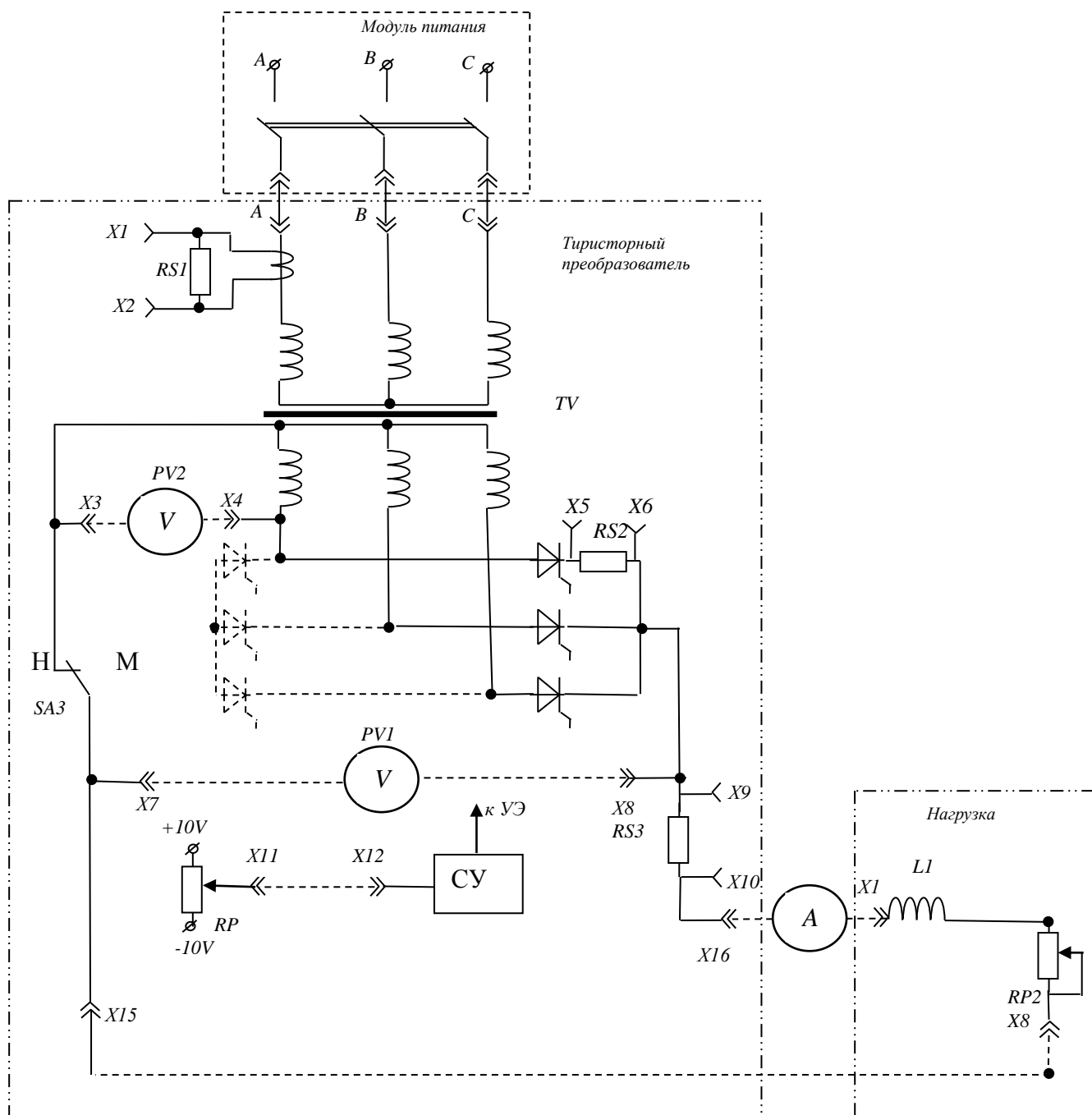


Рис. 1. Принципиальная схема для исследования управляемых выпрямителей при работе на активно-индуктивную нагрузку

а) Регулятором RP1 установить по прибору значение угла  $\alpha$ , равное 30 градусов;

б) снять осциллограммы анодного тока  $i_a$  и анодного напряжения  $u_a$ ; для этого подключить входы осциллографа для измерения напряжения на вентиле  $u_a$  и тока  $i_a$ , соединив корпус осциллографа с гнездом X6, вход канала CH1 с гнездом X5 и канала CH2 с гнездом X4. Здесь и в дальнейшем

рекомендуется использовать канал СН1 для осциллографирования тока, а канал СН2 – напряжения. На канал СН2 сигнал подается через делитель 1:10; проверить с помощью осциллографа соответствие угла  $\alpha$  заданному; записать масштабы по напряжению, току и времени (углу); не забудьте учесть коэффициент деления выносного делителя осциллографа;

в) подключить входы осциллографа для измерения выпрямленного напряжения  $u_d$  и тока  $i_d$ ; соединив корпус осциллографа с гнездом Х10, вход канала СН1 с гнездом Х9 и канала СН2 с гнездом Х7; сигнал подаваемый со входа СН2 нужно перевернуть (инвертировать), для чего нажать на кнопку СН2 INV; в тех же масштабах зарисовать выпрямленное напряжение  $u_d$  и ток  $i_d$  (обратить внимание на длительность коммутационного интервала);

г) с помощью измерительных приборов сделать замеры выпрямленного напряжения  $U_d$  и первичного тока трансформатора  $I_1$  при заданном токе нагрузки  $I_d$  и угле  $\alpha_1$ .

д) подключить вход осциллографа для измерения первичного тока  $i_1$  соединив корпус осциллографа с гнездом Х2, а вход канала СН1 с гнездом Х1; зарисовать первичный ток  $i_1$ ; записать масштабы по току и времени (углу);

е) снять регулировочные характеристики выпрямителя  $U_d = F(\alpha)$  при двух значениях сопротивления нагрузки. Характеристики снимать, изменяя угол  $\alpha$  ручкой потенциометра  $RP1$  в модуле «Тиристорный преобразователь» с шагом 15 град. так, чтобы выпрямленное напряжение  $U_d$  изменялось в диапазоне от максимального значения до нуля. Выполняя опыт, контролировать непрерывность тока  $i_d$  с помощью осциллографа, соединив корпус осциллографа с гнездом Х10, вход канала СН1 с гнездом Х9 и канала СН2 с гнездом Х7; сигнал подаваемый со входа СН2 нужно перевернуть (инвертировать), для чего нажать на кнопку СН2 INV. При снятии характеристик отметить точку перехода от непрерывного режима к прерывистому. Построить характеристики на одном графике;

ж) снять внешние характеристики  $U_d = F(I_d)$  при заданном значении  $\alpha_1$  и при  $\alpha_2 = \alpha_1 + 15^\circ$ . Характеристики снимать, изменяя ток переключателем SA1 в модуле «Нагрузка» в диапазоне  $0 \leq I_d \leq 0,9$  А. Снизить ток нагрузки  $I_d$  до минимума, выключить автомат QF2 «Модуля питания»;

з) установить другие параметры трансформатора переключением тумблера SA1 в модуле «Тиристорный преобразователь». Включить автомат QF2 «Модуля питания», и снова снять внешнюю характеристику при заданном угле  $\alpha_1$ . Построить все внешние характеристики на одном графике;

и) установить тот же угол  $\alpha_1$  и ток нагрузки  $I_d$ , что и в п. а). Снять осциллограммы углов коммутации  $\gamma$  (длительность коммутационного интервала) для двух значений тумблера SA1 в модуле «Тиристорный преобразователь» (для двух значений индуктивности). Осциллограмма снимается на выходном напряжении выпрямителя.

## **Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
  - б) предварительные расчеты и построения;
  - в) исходные данные, принципиальную силовую схему;
  - г) обработанные осциллограммы. Указать, чем отличаются осциллограммы для непрерывного и прерывистого режима и для разных видов нагрузки;
  - д) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
  - е) экспериментально снятые и построенные характеристики;
  - ж) сравнение регулировочных и внешних характеристик при различных видах нагрузки;
- з) выводы по работе:
- объяснить влияние режима работы на вид внешних и регулировочных характеристик;
  - объяснить влияние вида нагрузки на вид внешних и регулировочных характеристик;
  - объяснить влияние угла управления на величину граничного тока.

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое внешняя характеристика?
2. От чего зависит вид внешней характеристики?
3. Что такое регулировочная характеристика?
4. Что такое граничный ток  $I_{d,гр}$  и граничный угол  $\alpha_{гр}$ ?
5. От чего зависят  $I_{d,гр}$  и  $\alpha_{гр}$ ?
6. Как определить экспериментально  $I_{d,гр}$  и  $\alpha_{гр}$ ?
7. Можно ли снять регулировочную характеристику на холостом ходу?
8. Что такое угол управления  $\alpha$ ?
9. Чем отличаются временные диаграммы (осциллограммы) выпрямленного напряжения  $u_d$  и тока  $i_d$  в различных режимах при различных видах нагрузки?

## **Литература:**

1. Попков О.З. Основы преобразовательной техники. Москва. Издательский дом МЭИ 2005г. . ISBN 5-7046-1236-9 (Стр. 58-61, 85-89, 92-93).