

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФИЛИАЛ  
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И  
ИНФОРМАТИКИ»

---



Кафедра: «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРНЫХ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ»**

Методическое руководство к лабораторной работе

Ростов-на-Дону  
2019 г.

**Ершов В.В.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ**

Руководство предназначено для выполнения экспериментальных исследований тиристорных полупроводниковых выпрямителей для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи.

Рассмотрено и одобрено на заседании  
кафедры ИТСС  
Протокол № 1 от 26.08.2019 г.

## Лабораторная работа №4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Цель работы: 1. Углубить и закрепить теоретические знания по устройству и принципу действия тиристорных выпрямителей.

2. Обучить студентов методам экспериментальных исследований тиристорных выпрямителей при работе на активную нагрузку и определения их основных эксплуатационных характеристик

#### ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Уяснить механизм протекания электромагнитных процессов в однофазных тиристорных выпрямителях.

2. Уяснить методику экспериментального исследования тиристорных выпрямителей. Снять регулировочную и внешнюю характеристики однофазного однопериодного однополупериодного и двухфазного однопериодного двухполупериодного тиристорных выпрямителей.

3. Оформить бланк отчета и защитить полученные в ходе экспериментальных исследований результаты.

#### ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Тиристорные выпрямители находят самое широкое практическое применение в системах электропитания современных систем телекоммуникаций. В практике в отличие от диодных за ними закрепилось название управляемых выпрямителей, поскольку по сравнению с диодами тиристоры обладают замечательным свойством переходить в открытое состояние не в момент естественной коммутации, а в момент подачи на тиристор управляющего сигнала.

Тиристоры относятся к классу переключающих полупроводниковых приборов. Тиристор представляет собой специальный тип полупроводникового диода, который может быть переведен в открытое состояние двумя способами:

- приложением к тиристорному напряжению, достаточного по величине для его открытия;
- приложением к тиристорному напряжению, величина которого недостаточна для его открытия, с одновременной подачей напряжения на управляющий электрод.

### Тиристорный однофазный однопериодный выпрямитель

Простейшая схема выпрямления с использованием тиристора показана на рис. 2.1 а. Если эту схему подключить к источнику переменного напряжения, недостаточного по уровню для перевода тиристора в проводящее состояние, последний в отличие от диода останется в закрытом состоянии и ток через него и, следовательно, через сопротивление нагрузки  $R_d$  не протекает. Если же одновременно с входным подать управляющее напряжение ( $U_y$ ) между управляющим электродом и катодом с полярностью, как показано на рис. 2.1,б, то тиристор открывается и продолжает находиться в открытом состоянии и после снятия управляющего напряжения. При этом основное сопротивление для источника переменного напряжения составляет сопротивление нагрузки  $R_d$ . Очевидно, при изменении на противоположную полярности приложенного входного напряжения, ток через тиристор, а следовательно, и через сопротивление нагрузки протекать не будет даже при подаче напряжения на управляющий электрод, поскольку тиристор при этом включен в обратном направлении.

С момента открытия тиристора напряжение на выходе схемы будет практически повторять по форме оставшуюся часть синусоиды положительного полупериода входного напряжения. Для рассматриваемой схемы (см. рис. 1,б,в) применительно к положительной полуволне питающего синусоидального напряжения момент

перехода мгновенных значений этого напряжения через ноль из области отрицательных в область положительных мгновенных значений называется точкой естественной коммутации. Фазовый угол (или просто фаза), отсчитываемый от этой точки (см. рис. 1 б) до момента подачи импульса напряжения на управляющий электрод тиристора, называется *углом управления* (или углом регули-

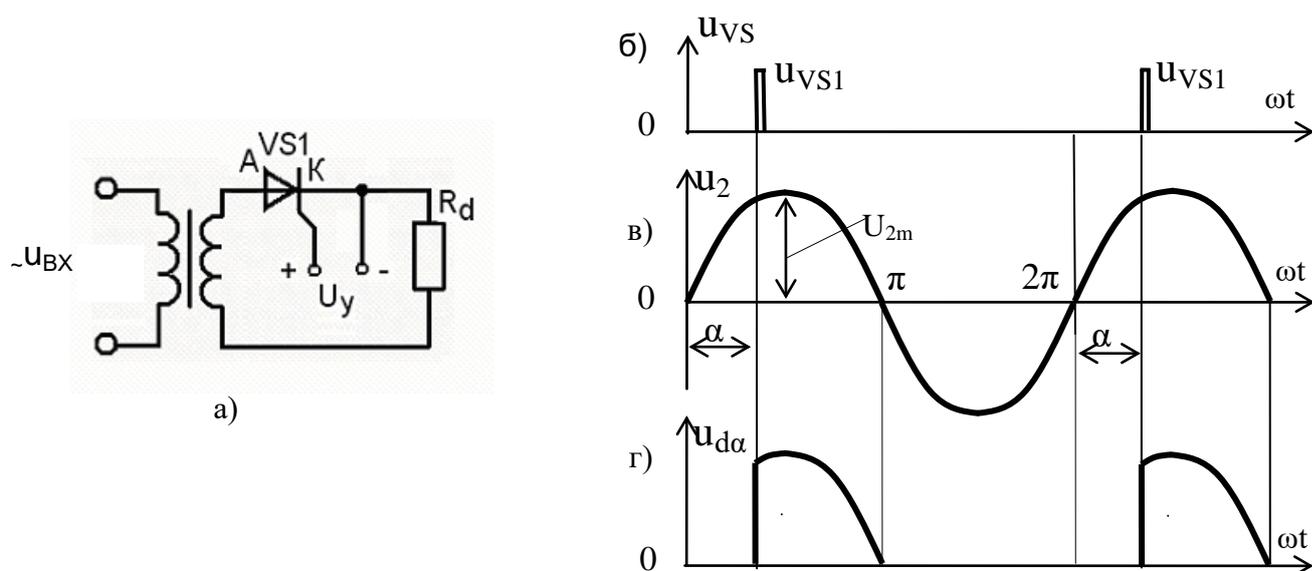


Рис. 1. Тиристорный однофазный однопериодный выпрямитель (а) и временные диаграммы напряжений (б...г)

рования) и обозначается  $\alpha$ . Очевидно, при  $\alpha = 0$  вся положительная полуволна входного синусоидального напряжения прикладывается к сопротивлению нагрузки, а при  $0 \leq \alpha \leq 180^\circ$  к сопротивлению нагрузки будет прикладываться оставшаяся часть исходной синусоиды положительного полупериода входного напряжения. Таким образом, изменяя угол  $\alpha$ , можно изменять среднее значение напряжения на выходе схемы.

Среднее значение выпрямленного напряжения равно

$$U_{d\alpha} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_{2m} \cdot \sin \omega t \, d\omega t = \frac{U_{2m}}{2\pi} (1 + \cos \alpha), \quad (1)$$

где  $U_{2m}$  - амплитудное значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

Выражение (2.1) представляет собой регулировочную характеристику тиристорного однофазного однопериодного однополупериодного выпрямителя  $U_{d\alpha} = f(\alpha)$ . Графически она представлена на рис. 2.2. Из выражения (2.1) и графика (рис. 2) следует, что при  $\alpha = \pi$  среднее значение выпрямленного напряжения  $U_{d\alpha}$  будет равно нулю. При  $\alpha = 0$   $U_{d\alpha} = U_{d0} = U_{2m}/\pi$ . Таким образом, изменение угла  $\alpha$  в пределах от  $\alpha = 0$  до  $\alpha = \pi$  приводит к изменению среднего значения выпрямленного напряжения от  $U_{d0} = U_{2m} / \pi$  до  $U_{d\alpha} = 0$ .

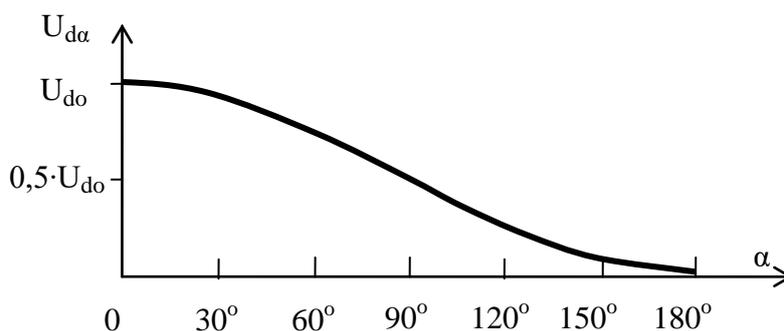


Рис. 2. Регулировочная характеристика тиристорного однофазного однопериодного однополупериодного выпрямителя

Внешняя характеристика однофазного мостового тиристорного выпрямителя, т.е. зависимость  $U_{d\alpha} = f(I_{d\alpha})$  имеет падающий характер (рис. 3). При этом каждому углу управления соответствует своя внешняя характеристика.

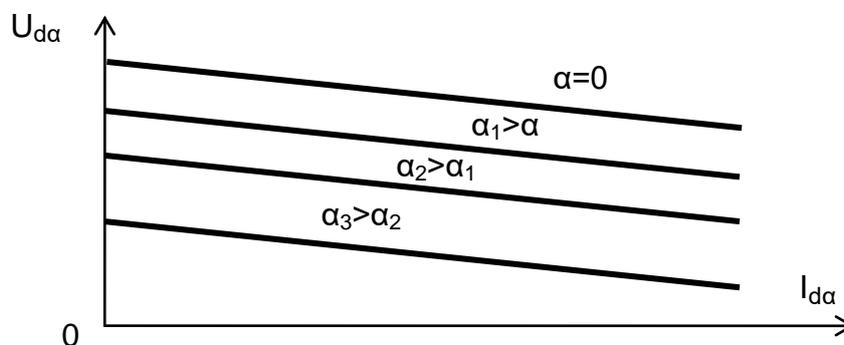


Рис. 3. Внешняя характеристика тиристорного однофазного однопериодного однополупериодного выпрямителя

## Тиристорный двухфазный однотактный двухполупериодный выпрямитель

Эта схема (рис. 4, а) представляет собой сочетание двух схем однополупериодных выпрямителей, работающих на общую активную нагрузку.

Пусть при положительной полуволне питающего напряжения, потенциал точки *а* будет положительным, а потенциал точки *б* – отрицательным. При отрицательной полуволне напряжения, потенциал точки *б* становится положительным, а точки *а* – отрицательным.

Тогда при указанной на рис. 4,а полярности (без скобок) вторичного напряжения  $u_2$  к аноду тиристора *VS1* прикладывается положительный потенциал, а к его катоду - отрицательный потенциал. Такая полярность на тиристоре *VS1* является необходимой для его открытия, но он не будет открыт до момента подачи импульса на его управляющий электрод, а тиристор *VS2* при указанной на рис. 4, а полярности находится в закрытом состоянии.

В момент времени, соответствующий фазовому углу  $\omega t_1 = \omega t_0 + \alpha$  на управляющий электрод тиристора *VS1* подается импульс  $u_{VS1}$  от системы управления. Тиристор *VS1* открывается и остается в этом состоянии до момента времени  $\omega t_2$ , характеризуемого фазовым углом, равным  $\pi$ . При этом через тиристор *VS1*, резистор нагрузки  $R_d$  и верхнюю половину вторичной обмотки трансформатора протекает ток в направлении, показанном сплошными стрелками. Тиристор *VS2* в это время закрыт, ток через него не течет, поскольку к нему приложено обратное напряжение.

На интервале  $\omega t_1 \dots \omega t_2$  к сопротивлению нагрузки  $R_d$  прикладывается выпрямленное напряжение  $u_d$  (см. рис. 2.4 е), повторяющее по форме напряжение вторичной обмотки трансформатора, и по сопротивлению  $R_d$  течет ток  $i_d$ , совпадающий по форме с напряжением  $u_d$  и током вентиля *VS1* (см. рис. 4 г, е).

В момент  $\omega t_2$  полярность напряжения  $u_2$  на вторичной обмотке меняется на противоположную. В результате к аноду тиристора *VS1* прикладывается отрицательный потенциал, а к его катоду - положительный потенциал (см. рис. 4,а). К аноду тиристора *VS2*

наоборот прикладывается положительный потенциал, а к его катоду - отрицательный потенциал (см. рис. 4,а). В результате тиристор  $VS1$  закрывается, а тиристор  $VS2$  не будет открыт до момента подачи импульса на его управляющий электрод.

В момент времени, соответствующий фазовому углу  $\omega t_3 = \pi + \alpha$ , когда на управляющий электрод тиристора  $VS2$  подается импульс  $u_{VS2}$  (см. рис. 4,б). Тиристор  $VS2$  открывается и остается в этом

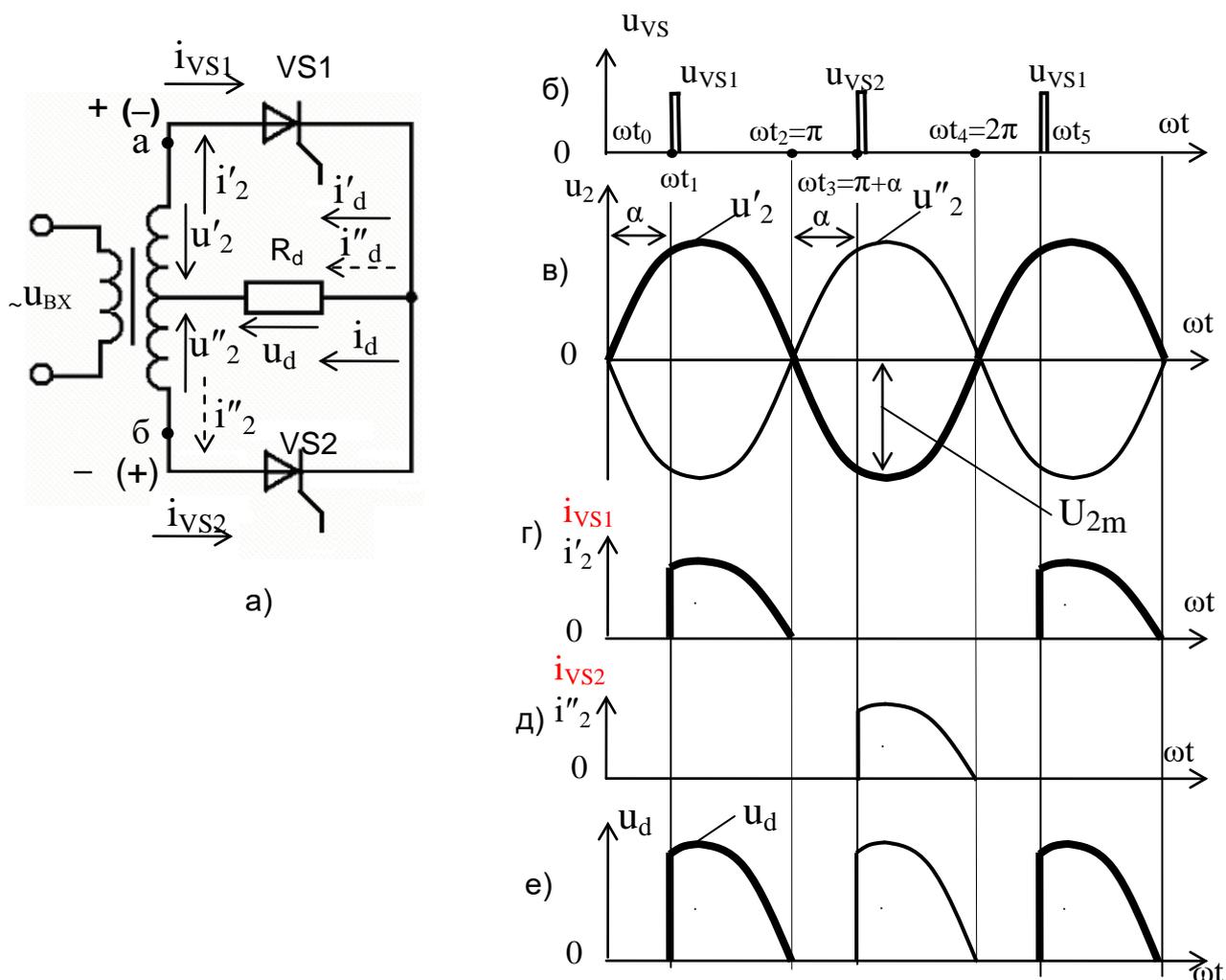


Рис. 4 Двухфазный однокатный двухполупериодный выпрямитель (а), диаграммы напряжений и токов (б...е)

состоянии до момента времени  $\omega t_4$ , характеризуемого фазовым углом, равным  $2\pi$ . При этом через тиристор  $VS2$ , резистор нагрузки  $R_d$  и нижнюю половину вторичной обмотки трансформатора протекает ток в направлении, показанном сплошными стрелками. Тири-

стор  $VS1$  на интервале  $\omega t_3 \dots \omega t_4$  закрыт, ток через него не течет, поскольку к нему приложено обратное напряжение. С момента времени  $\omega t_5 = 2\pi + \alpha$  процесс коммутации тиристоров повторяется.

Таким образом, в рассматриваемом тиристорном выпрямителе тиристоры  $VS1$  и  $VS2$  при подаче на их управляющие электроды импульсов от системы управления соответственно в моменты времени  $\omega t_1 = \omega t_0 + \alpha$  и  $\omega t_3 = \pi + \alpha$ , включаются в работу и пропускают ток в нагрузку попарно, обеспечивая двухполупериодное выпрямление переменного тока в постоянный.

Среднее значение выпрямленного напряжения равно

$$U_{d\alpha} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_{2m} \cdot \sin \cdot \omega t \, d\omega t = \frac{U_{2m}}{\pi} (1 + \cos \alpha), \quad (2)$$

где  $U_{2m}$  - амплитудное значение напряжения на каждой вторичной полуобмотке трансформатора.

Для нерегулируемого режима при  $\alpha = 0$  (что соответствует выпрямителю на диодах)  $U_{d0} = 2U_{2m} / \pi$ .

Выражение (2) представляет собой регулировочную характеристику тиристорного двухфазного однопериодного двухполупериодного выпрямителя  $U_{d\alpha} = f(\alpha)$ . Графически она представлена на рис. 5. Из выражения (2) и графика (рис. 5) следует, что при  $\alpha = \pi$  среднее значение выпрямленного напряжения  $U_{d\alpha}$  будет равно нулю.

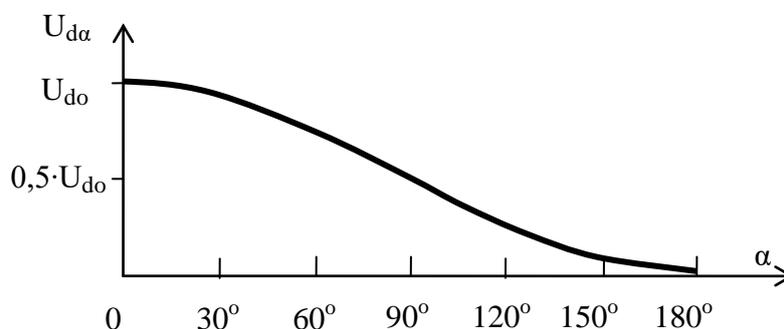


Рис. 5. Регулировочная характеристика тиристорного двухфазного однопериодного двухполупериодного выпрямителя

При  $\alpha = 0$   $U_{d\alpha} = U_{d0} = 2U_{2m}/\pi$ . Таким образом, изменение угла  $\alpha$  в пределах от  $\alpha = 0$  до  $\alpha = \pi$  приводит к изменению среднего значения выпрямленного напряжения от  $U_{d0} = 2U_{2m}/\pi$  до  $U_{d\alpha} = 0$ .

Внешняя характеристика тиристорного двухфазного одноктного двухполупериодного выпрямителя, т.е. зависимость  $U_{d\alpha} = f(I_{d\alpha})$  имеет падающий характер (рис. 6). При этом каждому углу управления соответствует своя внешняя характеристика.

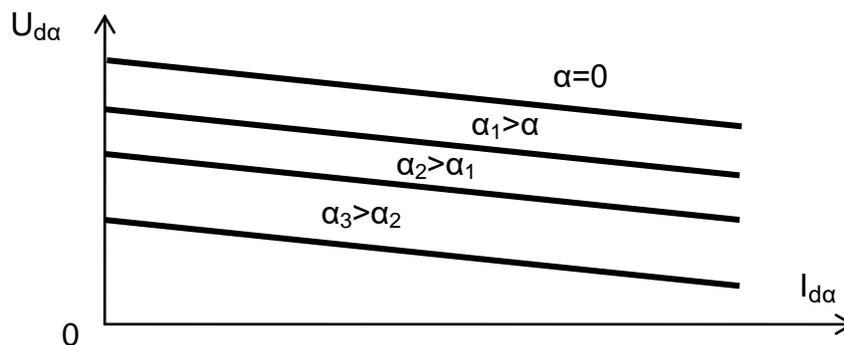


Рис. 6. Внешняя характеристика двухфазного одноктного двухполупериодного выпрямителя

## ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА И МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

С точки зрения безопасности работ, проводимых в ходе экспериментальных исследований, следует знать, что лабораторные установки конструктивно смонтированы на универсальном лабораторном столе.

На лицевых панелях выгравированы схемы исследуемых устройств и расположены органы управления. В учебной аудитории размещено четыре универсальных лабораторных стола. Трехфазное и однофазное напряжения к лабораторным столам подается централизованно от автоматических выключателей. На схему каждой лабораторной установки напряжение подается через соответствующий выключатель.

При проведении лабораторных работ обязательным является выполнение следующих правил:

1. Перед началом эксперимента органы управления и индикации на лицевой панели данной лабораторной установки должны быть установлены в исходное положение.

2. Включение схемы лабораторной установки допускается только с разрешения руководителя занятия.

3. Запрещается прикасаться к токоведущим частям лабораторных установок, производить переключения, не оговоренные в руководстве к данной лабораторной работе.

4. В случае поражения электрическим током необходимо:

- немедленно отключить питание лабораторной установки, а также автоматический выключатель питания всех лабораторных столов;
- освободить пострадавшего от соприкосновения с электрической цепью, обеспечив предварительно собственную безопасность;
- доложить о случившемся руководителю занятия, вызвать медицинского работника и, не дожидаясь его прибытия, без промедления приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

## СОСТАВ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Универсальная лабораторная установка предназначена для экспериментального исследования однофазного, трехфазного и шестифазного диодных и тиристорных выпрямителей.

В состав лабораторной установки входят:

1. Лабораторный пульт.
2. Электронный осциллограф.

Лицевая панель лабораторного пульта состоит из трех составных частей: левой, центральной и правой. Левая и правая панели являются стационарными, а центральная вместе с установленными на ней элементами и платами является съемной.

На левой лицевой панели:

- выгравированы схемы трехфазного и однофазного трансформаторов с различными вариантами соединения вторичных цепей;

- размещены вольтметр PV1 и амперметр PA1, предназначенные для измерения переменных и постоянных напряжений и токов в различных точках изучаемых схем;

- установлены кнопки *зеленого* цвета ТРЕХФАЗНАЯ СЕТЬ-ВКЛ, ОДНОФАЗНАЯ СЕТЬ-ВКЛ и *красного* цвета ТРЕХФАЗНАЯ СЕТЬ-ВЫКЛ, ОДНОФАЗНАЯ СЕТЬ-ВЫКЛ.

На центральной лицевой панели выгравированы:

- схемы вентиляльных групп диодных трехфазных (VD1...VD12) выпрямителей;

- схемы диодов (VD13...VD16);

- схемы тиристоров (VS1...VS2);

- схемы конденсаторов C1...C4);

На правой лицевой панели:

- выгравированы схемы электрических сглаживающих фильтров;

- размещены вольтметр PV2 и амперметр PA2, предназначенные для измерения постоянных напряжений и токов на выходе исследуемых схем выпрямления. В данной работе вольтметр PV2 измеряет среднее значение выпрямленного напряжения  $U_d$  и среднее значение выпрямленного тока на выходе исследуемых схем выпрямления.

- установлен выключатель СЕТЬ для подачи питающего напряжения на установку;

- установлены регуляторы величины сопротивления нагрузки

$R_{н.грубо}$  и  $R_{н.точно}$ .

Приборы PV1, PA1 и PV2 имеют переключатели режима измерения для измерения переменных и постоянных напряжений и тока.

Пределы измерения приборов PV1, PA1 и PV2, PA2 переключаются автоматически в зависимости от режима измерения «переменный - постоянный» и типа подключаемого сменного блока.

Электронный осциллограф - для снятия осциллограмм выходного напряжения исследуемых выпрямителей.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Исследование тиристорного однофазного однопериодного однополупериодного выпрямителя.

1.1 Снятие регулировочной характеристики  $U_{d\alpha} = f(\alpha)$  при  $I_{d\alpha} = const$ .

1.1.1. Собрать схему для исследования тиристорного однофазного однопериодного однополупериодного выпрямителя (рис. 7.).

1.1.2. На правой лицевой панели плавно повернуть ручку регулятора  $R_{н.точно}$  против часовой стрелки до упора, а ручку регулятора  $R_{н.грубо}$  поставить в положение «3».

1.1.3. Подключить ВХОД осциллографа к гнездам 6, 7 на лицевой панели пульта. Включить осциллограф.

1.1.4. Представить схему на проверку преподавателю или заведующему лабораторией.

1.1.5. На правой лицевой панели включить выключатель СЕТЬ.

1.1.6. На левой лицевой панели нажать зеленую кнопку ОДНОФАЗНАЯ СЕТЬ-ВКЛ.

1.1.7. С помощью органов управления осциллографа получить на его экране устойчивое изображение кривой выпрямленного напряжения исследуемой схемы.

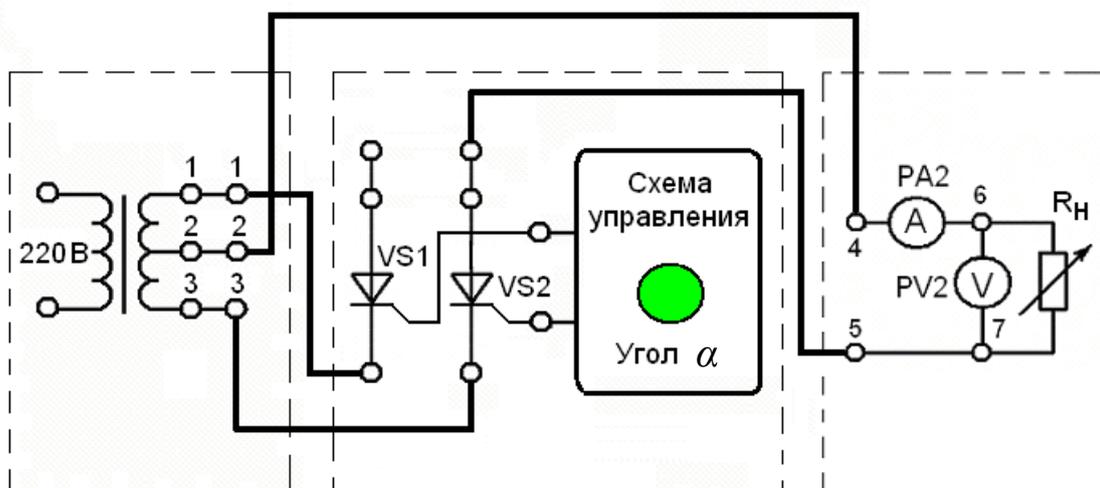


Рис. 7. Схема для исследования тиристорного однофазного однопериодного однополупериодного выпрямителя

1.1.8. Ручкой переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ» осциллографа получить на его экране изображение положительной полуволны кривой выпрямленного напряжения исследуемой схемы на интервале в три больших деления (при этом каждому большому делению будет соответствовать угол в  $60^\circ$ ).

1.1.9. На центральной лицевой панели ручки потенциометра «угол  $\alpha$ » плавно повернуть против часовой стрелки до упора.

1.1.10. По осциллограмме выходного напряжения на экране осциллографа замерить в малых делениях шкалы максимальное  $U_{d,max}$  значение выпрямленного напряжения. Умножить его на множитель, против которого установлена ручка переключателя «V/ДЕЛ.» осциллографа, и записать в табл. 1 амплитудное значение выпрямленного напряжения  $U_{2m}$ .

1.1.11. Плавно поворачивая ручку потенциометра «угол  $\alpha$ » по часовой стрелке, установить по осциллограмме выпрямленного напряжения на экране осциллографа угол  $\alpha = 30^\circ$ . Занести в табл. 2.1. показания прибора PV2.

1.1.12. Последовательно устанавливая значения углов регулирования  $\alpha$ , указанных в табл. 1., выполнить п. 1.1.11. Зарисовать осциллограммы выходного напряжения для  $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$  и  $150^\circ$ .

Таблица 2.1

Схема выпрямления	П а р а м е т р ы			
	Измеряются			Вычисляется
	$U_{2m}, В$	$\alpha$ , град	$U_{d\alpha}, В$	$U_{d\alpha} В$
ООО		30		
		60		
		90		
		120		
		150		

1.1.13. Используя выражение (1), рассчитать величину постоянной составляющей выпрямленного напряжения  $U_{d\alpha}$  для указанных углов регулирования  $\alpha$  и записать в табл. 1.;



2. Исследование тиристорного двухфазного одноконтного двухполупериодного выпрямителя.

2.1 Снятие регулировочной характеристики  $U_{d\alpha} = f(\alpha)$  при  $I_{d\alpha} = const$ .

2.1.1. Собрать схему для исследования тиристорного однофазного одноконтного однополупериодного выпрямителя (рис. 8.);

2.1.2. На правой лицевой панели плавно повернуть ручку регулятора  $R_{н.точно}$  против часовой стрелки до упора, а ручку регулятора  $R_{н.грубо}$  поставить в положение «3».

2.1.3. Подключить ВХОД осциллографа к гнездам 6, 7 на лицевой панели пульта. Включить осциллограф.

2.1.4. Представить схему на проверку преподавателю или заведующему лабораторией.

2.1.5. На правой лицевой панели включить выключатель СЕТЬ.

2.1.6. На левой лицевой панели нажать зеленую кнопку ОДНОФАЗНАЯ СЕТЬ-ВКЛ.

2.1.7. С помощью органов управления осциллографа получить на его экране устойчивое изображение кривой выпрямленного напряжения исследуемой схемы.

2.1.8. Ручкой переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ.» осциллографа получить на его экране изображение положительной полуволны

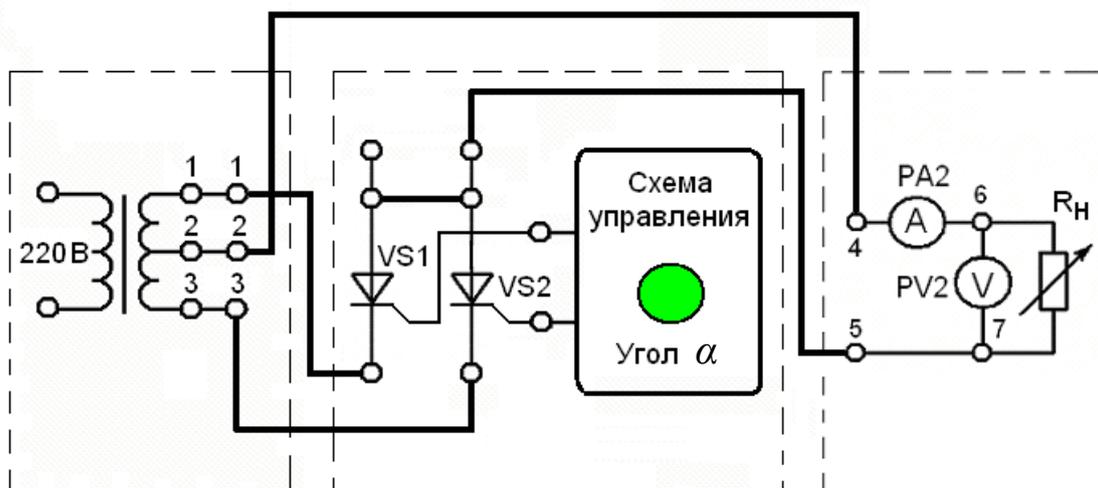


Рис. 8. Схема для исследования тиристорного двухфазного одноконтного двухполупериодного выпрямителя

кривой выпрямленного напряжения исследуемой схемы на интервале в три больших деления (при этом каждому большому делению будет соответствовать угол в  $60^\circ$ ).

2.1.9. На центральной лицевой панели ручки потенциометра «угол  $\alpha$ » плавно повернуть против часовой стрелки до упора;

2.1.10. По осциллограмме выходного напряжения на экране осциллографа замерить в малых делениях шкалы максимальное  $U_{d,max}$  значение выпрямленного напряжения. Умножить его на множитель, против которого установлена ручка переключателя «V/ДЕЛ.» осциллографа, и записать в табл. 2.3 амплитудное значение выпрямленного напряжения  $U_{2m}$ .

2.1.11. Плавно поворачивая ручку потенциометра «угол  $\alpha$ » по часовой стрелке, установить по осциллограмме выпрямленного напряжения на экране осциллографа угол  $\alpha = 30^\circ$ . Занести в табл. 3. показания прибора PV2.

2.1.12. Последовательно устанавливая значения углов регулирования  $\alpha$ , указанных в табл. 3., выполнить п. 2.1.11.; Зарисовать осциллограммы выходного напряжения для  $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$  и  $150^\circ$ .

2.1.13. Используя выражение (2.2), рассчитать величину постоянной составляющей выпрямленного напряжения  $U_{d\alpha}$  для указанных углов регулирования  $\alpha$  и записать в табл. 3.

2.1.14. По данным табл. 3. построить график  $U_{d\alpha} = f(\alpha)$ .

Таблица 3

Схема выпрямления	П а р а м е т р ы			
	Измеряются			Вычисляется
	$U_{2m}, В$	$\alpha$ , град	$U_{d\alpha}, В$	$U_{d\alpha} В$
ООО		30		
		60		
		90		
		120		
		150		

2.2 Снятие внешней характеристики  $U_{d\alpha} = f(I_{d\alpha})$  при  $\alpha = const$ .

2.2.1. На правой лицевой панели ручку регулятора  $R_{н.ГРУБО}$  поставить в положение «0»;

1.2.2. Выполнить п. 2.1.9.;

2.2.3. Плавно поворачивая ручку потенциометра «угол  $\alpha$ » по часовой стрелке, установить по осциллограмме выпрямленного напряжения на экране осциллографа угол  $\alpha = 60^\circ$ . Занести в табл. 4. показания приборов PV2 и PA2;

Таблица 4

Угол $\alpha$	$I_{d\alpha}/U_{d\alpha}$	Положения ручки регулятора $R_{н.ГРУБО}$											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\alpha = 60^\circ$	$I_{d\alpha}$												
	$U_{d\alpha}$												
$\alpha = 90^\circ$	$I_{d\alpha}$												
	$U_{d\alpha}$												
$\alpha = 120^\circ$	$I_{d\alpha}$												
	$U_{d\alpha}$												

2.2.4. На правой лицевой панели ручку регулятора  $R_{н.ГРУБО}$  поставить в положение «1». Занести в табл. 4. показания приборов PV2 и PA2;

2.2.5. Последовательно устанавливая ручку регулятора  $R_{н.ГРУБО}$  в положения «2»...«11», занести в табл. 4. показания приборов PV2 и PA2;

2.2.6. По данным табл. 4. построить графики  $U_{d\alpha} = f(I_{d\alpha})$ .

2.2.7 На левой лицевой панели нажать зеленую кнопку ОДНОФАЗНАЯ СЕТЬ-ВКЛ;

2.2.8. На правой лицевой панели выключить выключатель СЕТЬ;

2.2.9. Разобрать схему.

Содержание отчета

1. Схемы электрические принципиальные исследуемых выпрямителей (Рис. 1,а, 4,а,).

2. Таблицы 1, 2, 3, 4 с результатами измерений и вычислений.
3. Осциллограммы кривых выпрямленных напряжений.
4. Графики зависимостей  $U_{d\alpha} = f(\alpha)$  и  $U_{d\alpha} = f(I_{d\alpha})$  для однофазного и двухфазного тиристорных выпрямителей.
5. Выводы по результатам исследований.

### Контрольные вопросы

1. Изобразить и пояснить ВАХ тиристора.
2. Изобразить и пояснить характер изменения ВАХ тиристора для трех значений тока управления  $I_{y1} > I_{y2} > I_{y3}$ .
3. Указать условия включения тиристора.
4. Дать определение угла регулирования тиристора.
5. Изобразить структурную схему тиристорного выпрямителя и пояснить назначение ее элементов.
6. Изобразить простейшую схему тиристорного выпрямителя и пояснить ее работу.
7. Изобразить и пояснить внешнюю характеристику тиристорного однофазного однопериодного однополупериодного выпрямителя.
8. Изобразить и пояснить внешнюю характеристику тиристорного двухфазного однопериодного двухполупериодного выпрямителя для двух углов регулирования  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  ( $\alpha_1 > \alpha_2$ ).
9. Записать математическое выражение регулировочной характеристики тиристорного однофазного однопериодного однополупериодного выпрямителя.
10. Изобразить диаграмму выходного напряжения тиристорного однофазного однопериодного однополупериодного выпрямителя при угле регулирования  $\alpha = 0^\circ$ .
11. Изобразить диаграмму выходного напряжения тиристорного однофазного однопериодного однополупериодного выпрямителя при угле регулирования  $\alpha = 30^\circ$ .
12. Изобразить диаграмму выходного напряжения тиристорного двухфазного однопериодного двухполупериодного выпрямителя при угле регулирования  $\alpha = 90^\circ$ .

13. Определить  $U_{d\alpha}$  на выходе тиристорного однофазного одно- тактного однополупериодного выпрямителя, если дано:  $I_{d\alpha} = 0$ ,  $U_{2m} = 62,8$  В;  $\alpha = 150^\circ$ .

14. Как следует изменить угол регулирования  $\alpha$ , чтобы при уменьшении  $U_2$  на 5 % среднее значение выпрямленного напряжения на выходе однофазного мостового тиристорного выпрямителя не изменилось.

Задачу решить для двух начальных значений  $\alpha$  ( $\alpha_1 = 120^\circ$ ;  $\alpha_2 = 60^\circ$ ). Изобразить диаграммы выходных напряжений выпрямителя для этих углов.

15. Пояснить выражение: "Тиристорный однофазный одно- тактный однополупериодный однополупериодный выпрямитель".

16. Пояснить выражение: "Тиристорный двухфазный одното- ктный двухполупериодный выпрямитель".

#### Список использованной литературы

1. Электропитание устройств связи: Учебник для ВУЗОВ/ А.А. Бокуняев, В.М. Бушуев, А.С. Жерненко и др: Под ред. Ю.Д. Козляева.-М.: Радио и связь, 1998. 328 с.

2. Краткий курс математического анализа: Учебник для ВУЗОВ. А.Ф. Бермант, И.Г. Араманович – СПб: Издательство "Лань", 2005. – 736 с.