

## Лабораторная работа

### УПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Цель работы: изучение устройства и принципа действия управляемого выпрямителя, экспериментальное исследование его характеристик при работе на активную нагрузку

#### Общие сведения

Регулирование выходного напряжения выпрямителя возможно с помощью реостата или потенциометра в цепи постоянного тока или автотрансформатора в цепи переменного тока. Оба способа просты, но имеют существенные недостатки: низкий КПД вследствие значительного потребления энергии регулируемыми элементами, громоздкость и высокая стоимость регуляторов. В настоящее время широко применяют более экономичные и удобные управляемые выпрямители. В качестве вентилей в них используются тиристоры, позволяющие совместить процессы

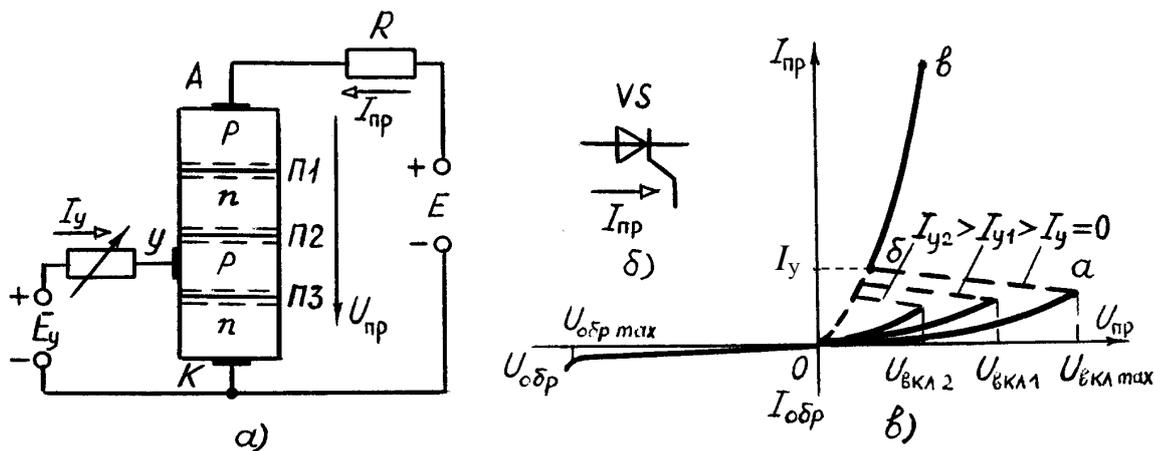


Рисунок 1

выпрямления и регулирования.

Тиристор представляет собой полупроводниковый прибор с тремя или более  $p$ - $n$ -переходами и тремя выводами. Структура, условное обозначение и вольтамперная характеристика тиристора приведены на рисунке 1. Его основу составляет кристалл кремния, в котором созданы четыре слоя с разными типами электропроводности. Внешний  $p$ -слой называют анодом (А), внешний  $n$ -слой – катодом (К), а два внутренних слоя – базами. Одна из баз имеет вывод – управляющий электрод (У). При прямом включении (анод положителен по отношению к катоду) переходы П1 и П3 смещены в прямом направлении и ток  $I_{пр}$  определяется высоким сопротивлением закрытого перехода П2. До тех пор пока П2 закрыт, прямой ток практически равен нулю. При поступлении на управляющий электрод импульсного сигнала за счет перераспределения зарядов в области баз переход П2 открывается. Сопротивление его уменьшается и тиристор переходит на рабочую часть характеристики, подобную прямой ветви характеристики диода. Таким образом, тиристор можно считать управляемым диодом, который проводит ток только в одном направлении после

поступления разрешающего сигнала на управляющий электрод. Он остается во включенном состоянии, пока протекающий через него ток больше критического, называемого током удержания  $I_{уд}$ . Как только  $I_{пр}$  станет меньше  $I_{уд}$ , тиристор закрывается.

При обратном включении тиристора (анод отрицателен по отношению к катоду) закрыты два перехода П1 и П3 и тиристор тока не проводит. Для нормальной работы тиристора надо, чтобы напряжение на нем не превышало при прямом и при обратном включении допустимых значений  $U_{вкл\ max}$  и  $U_{обр\ max}$ .

На рисунке 2 показана схема стенда для исследования управляемого выпрямителя. При отключенном выключателе **В** цепь тиристора  $VS2$  разомкнута и получаем схему однополупериодного выпрямителя на двух последовательно включенных вентилях  $VD2$  и  $VS1$ . Диод  $VD2$  открыт все положительные полупериоды напряжения, и процессы управления выпрямленным напряжением определяются работой тиристора  $VS1$ .

Без управляющего тока  $i_y$  тиристор не откроется даже в положительные полупериоды  $u_2$ . Напряжение на нагрузке  $u_H$  и ток  $i_H$  будут равны нулю. Управляющий ток  $i_y$  в виде коротких импульсов вырабатывается и подается на управляющий электрод тиристора блоком управления БУ. Эти импульсы синхронизированы с положительными полупериодами напряжения  $u_2$ . С помощью потенциометра их можно смещать по фазе относительно  $u_2$  на угол  $\alpha$ , называемый углом управления. Угол  $\alpha$  можно изменять в пределах от 0 до  $180^\circ$ .

Если управляющие импульсы приходят на тиристор в начале каждого положительного полупериода ( $\alpha=0^\circ$ ), то тиристор сразу открывается и ток через нагрузку протекает весь полупериод (рисунок 3) Среднее напряжение на нагрузке будет такое же, как и при работе неуправляемого выпрямителя

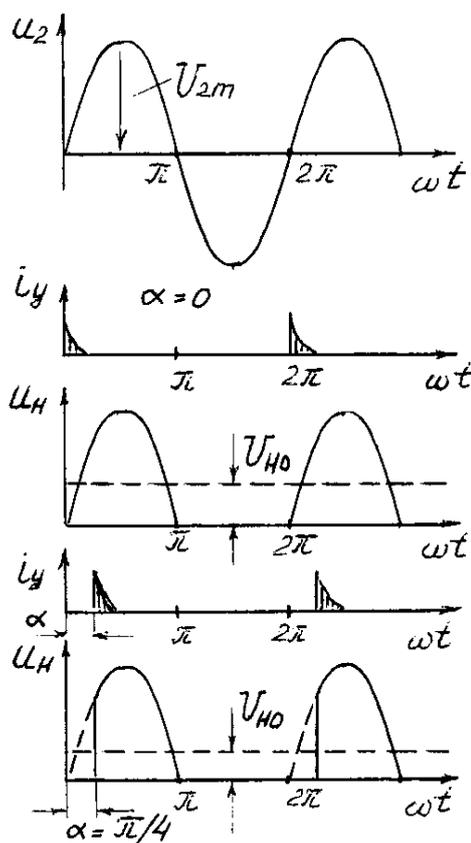
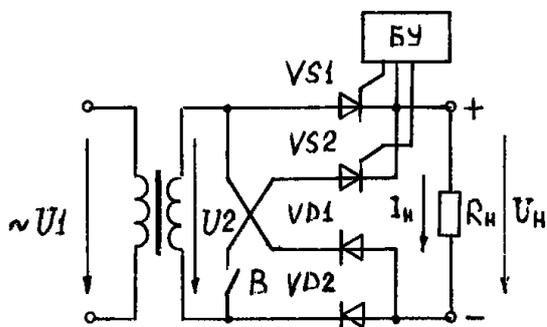


Рисунок 3

$$U_{HO} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} U_{2m} \sin \omega t d\omega t = \frac{U_{2m}}{\pi} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0,45 U_2.$$

Если с помощью БУ импульсы  $i_y$  сместить на угол  $\alpha$  относительно напряжения  $u_2$ , то тиристор откроется с запаздыванием, и будет пропускать ток только часть полупериода от  $\alpha$  до  $\pi$ . В этом случае

$$U_{H\ ср} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_{2m} \sin \omega t d\omega t = \frac{U_{2m}}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = U_{HO} \frac{1 + \cos \alpha}{2}.$$

Таким образом, изменяя  $\alpha$  от 0 до  $180^\circ$ , можно плавно регулировать  $U_{н\text{ ср}}$  от  $U_{но}$  до 0. Ток нагрузки повторяет  $i_n$

$$I_{н\text{ ср}} = \frac{U_{н\text{ ср}}}{R_n} = I_{но} \frac{1 + \cos \alpha}{2}.$$

При включенном выключателе **В** работают все четыре вентиля и получаем схему мостового управляемого выпрямителя. Принцип работы тиристоров в этой схеме не отличается от описанного выше. Управляющие импульсы  $i_y$  подаются на VS1 и VS2 синхронно с положительными полупериодами напряжения на каждом из них.

Среднее значение выпрямленного напряжения вдвое больше, чем при однополупериодном выпрямлении

$$U_{н\text{ ср}} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} U_{2m} \sin \omega t d\omega t = U_{но} \frac{1 + \cos \alpha}{2}, \text{ где } U_{но} = 0,9 U_2.$$

Возможности управляемых выпрямителей определяют две основные характеристики:

Характеристика управления, представляющая зависимость  $U_{н\text{ ср}}(\alpha)$  при  $R_n = \text{const}$ .

Внешняя характеристика, отражающая зависимость  $U_{н\text{ ср}}(I_{н\text{ ср}})$  при  $\alpha = \text{const}$ .

#### Предварительное задание к эксперименту

Действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора (рисунок 2)  $U_2 = 30$  В, частота  $f = 50$  Гц. Для заданного в таблице 1 управляемого выпрямителя и угла управления  $\alpha$ :

- 1) рассчитать  $U_{2m}$  и построить в масштабе временную диаграмму напряжения на нагрузке (не менее 2 периодов);
- 2) рассчитать среднее напряжение на нагрузке и указать его на построенной временной диаграмме;
- 3) рассчитать и построить в масштабе характеристику управления  $U_{н\text{ ср}}(\alpha)$ , полагая трансформатор и вентили идеальными;
- 4) определить, на какие напряжения  $U_{обр\text{ max}}$  и  $U_{вкл\text{ max}}$  должны быть выбраны вентили для заданного выпрямителя, работающего на активную нагрузку.

Результаты расчетов записать в таблицу 2.

Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Выпрямитель	однополупериодный				мостовой			
$\alpha, ^\circ$	30	60	90	120	30	60	90	120

Таблица 2

	$\alpha, ^\circ$	$U_2, \text{ В}$	$U_{2m}, \text{ В}$	$U_{н\text{ ср}}, \text{ В}$	$U_{обр\text{ max}}, \text{ В}$	$U_{вкл\text{ max}}, \text{ В}$
Вычислено	из табл. 1					
Измерено						

## Порядок выполнения работы

Собрать электрическую цепь по схеме рисунка 2 (выключатель **В** разомкнут). К зажимам нагрузки  $R_n$  подключить осциллограф.

Изменяя с помощью  $R_n$  ток нагрузки от нуля до наибольшего значения, снять внешние характеристики однополупериодного выпрямителя  $U_{н\text{ ср}}(I_{н\text{ ср}})$  для трех значений угла управления  $\alpha$  ( $0^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ). Результаты измерений записать в таблицу 3.

Таблица 3

$\alpha=0^\circ$	$U_{н\text{ ср}}, \text{В}$						
	$I_{н\text{ ср}}, \text{А}$						
$\alpha=60^\circ$	$U_{н\text{ ср}}, \text{В}$						
	$I_{н\text{ ср}}, \text{А}$						
$\alpha=120^\circ$	$U_{н\text{ ср}}, \text{В}$						
	$I_{н\text{ ср}}, \text{А}$						

3. При среднем значении  $R_n$ , изменяя угол управления от 0 до максимального, снять характеристику управления однополупериодного выпрямителя  $U_{н\text{ ср}}(\alpha)$  при  $R_n = \text{const}$ . Результаты измерений записать в таблицу 4.

Таблица 4

$\alpha, ^\circ$	0	30	60	90	120	150
$U_{н\text{ ср}}, \text{В}$						

4. Проследить на экране осциллографа за изменением формы кривой  $u_n(t)$  при разных  $\alpha$ . Зарисовать в масштабе эти кривые для трех значений  $\alpha$  ( $0^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ) и для  $\alpha$ , указанного в предварительном задании. Измерить вольтметром среднее значение напряжения  $U_{н\text{ ср}}$  для данных  $\alpha$  и указать на осциллограммах.

5. Выключателем **В** включить диод  $VD2$ . Исследовать однофазный мостовой управляемый выпрямитель согласно пунктам 2-4.

6. По результатам измерений в общих координатах построить семейства внешних характеристик при заданных значений  $\alpha$  ( $0^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ) для обоих выпрямителей.

7. По внешним характеристикам определить внутреннее сопротивление выпрямителя. Для этого представить выпрямитель эквивалентным генератором с  $E_3 = U_{н\text{ х}}$ .

8. На построенной в предварительном задании характеристике управления нанести экспериментальные точки из таблицы 4.

9. Экспериментально проверить расчеты предварительного задания, результаты записать в таблицу 2. Сравнить экспериментальные характеристики и осциллограммы с полученными в предварительном задании.

## Содержание отчета

Цель работы и схема исследуемого выпрямителя; расчет (таблица 2) и графики предварительного задания; осциллограммы  $i_n(t)$  для обоих выпрямителей; таблицы измерений; характеристики выпрямителей  $U_{н\text{ ср}}(\alpha)$ ,  $U_{н\text{ ср}}(I_{н\text{ ср}})$ ; сравнительная оценка исследованных схем и выводы.

## Контрольные вопросы

1. Что называют управляемым выпрямителем? 2. Для чего применяются эти выпрямители? 3. Каковы их основные достоинства? 4. Что такое тиристор? 5. Каковы его принцип действия, основные характеристики и параметры? 6. Почему тиристоры применяют в качестве вентилях в управляемых выпрямителях? 7. Назовите основные элементы управляемых выпрямителей и их назначение. 8. Что такое угол управления  $\alpha$  и как его можно измерить с помощью осциллографа? 9. Каковы основные характеристики управляемого выпрямителя? 10. Можно ли в мостовой схеме в качестве вентилях использовать четыре тиристора?