

- допустимый прямой ток  $I_{\text{ДПР}}$ ;
- время включения  $t_{\text{ВКЛ}}$  и время выключения  $t_{\text{ВЫКЛ}}$ .

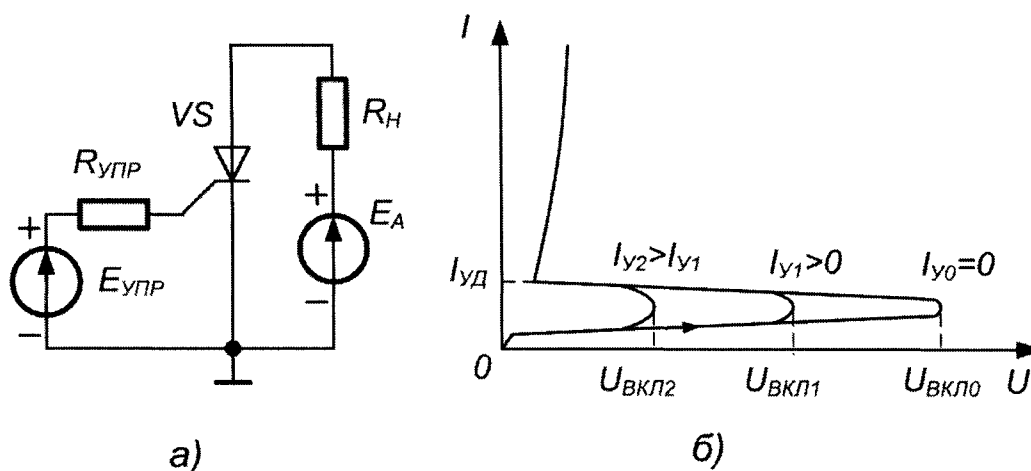


Рис. 5.6. Схема включения (а) и вольтамперные характеристики (б) тиристора

Основной областью применения динистров и тиристоров, является использование их в качестве электронных ключей в схемах переключения как постоянных, так и переменных электрических сигналов.

**Симистор** – это симметричный тиристор, который предназначен для коммутации в цепях переменного тока. Он может использоваться для создания реверсивных выпрямителей или регуляторов переменного тока. Структура симметричного тиристора приведена на рис.5.7, а, а его условное обозначение – на рис.5.7, б. Полупроводниковая структура симистора содержит пять полупроводниковых слоев с различным типом проводимости и имеет более сложную конфигурацию по сравнению с тиристором. Вольтамперная характеристика симистора показана на рис.5.8.

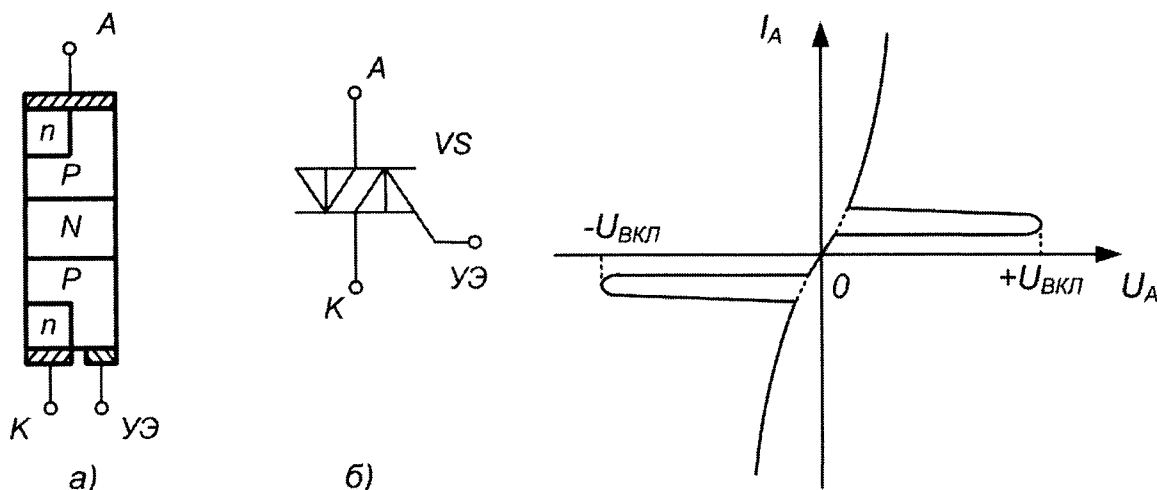


Рис. 5.7. Структура симметричного тиристора (а) и его условное графическое изображение (б)

Рис. 5.8. Вольтамперная характеристика симистора

В соответствии с вольтамперной характеристикой симистор включается в любом направлении при подаче на управляющий электрод (УЭ) положительного импульса управления. Требования к импульсу управления такие же, как и для тиристора. Основные характеристики симистора и система его обозначений такие же, как и для тиристора. Симистор можно заменить двумя встречно-параллельно включенными тиристорами с соединенными электродами управления.

### 3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В состав лабораторного стенда входят:

- базовый лабораторный стенд;
- лабораторный модуль **М4**.

### 4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Подготовьте шаблон отчета в редакторе **MS Word**.

Установите ключ в разъем модуля **М4** лабораторного стенда. Внешний вид модуля показан на рис.5.9.

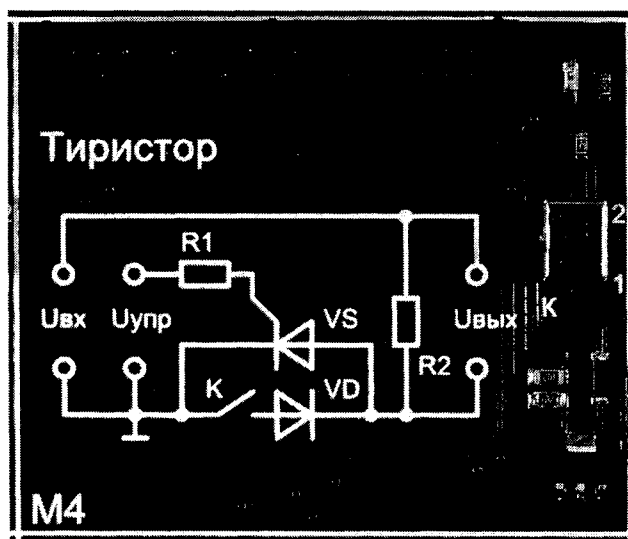


Рис. 5.9. Внешний вид модуля **М4**

Загрузите и запустите программу **Lab5(M4).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП (рис.5.10), необходимого для выполнения лабораторного задания.

#### **Задание. Исследование вольтамперной характеристики тиристора**

4.1.1. Установите переключатель «К» модуля **М4** в положение «1».

4.1.2. Создайте условия для включения тиристора. Для этого с помощью ползункового регулятора  $E_a$  на лицевой панели ВП установите напряжение анода тиристора равным 10 В. Затем переместите ползунок ре-

гулятора  $E_{упр}$  в верхнее положение. При этом тиристор откроется, о чем будет свидетельствовать резкое увеличение тока  $I_a$  в цепи анода до максимального значения.

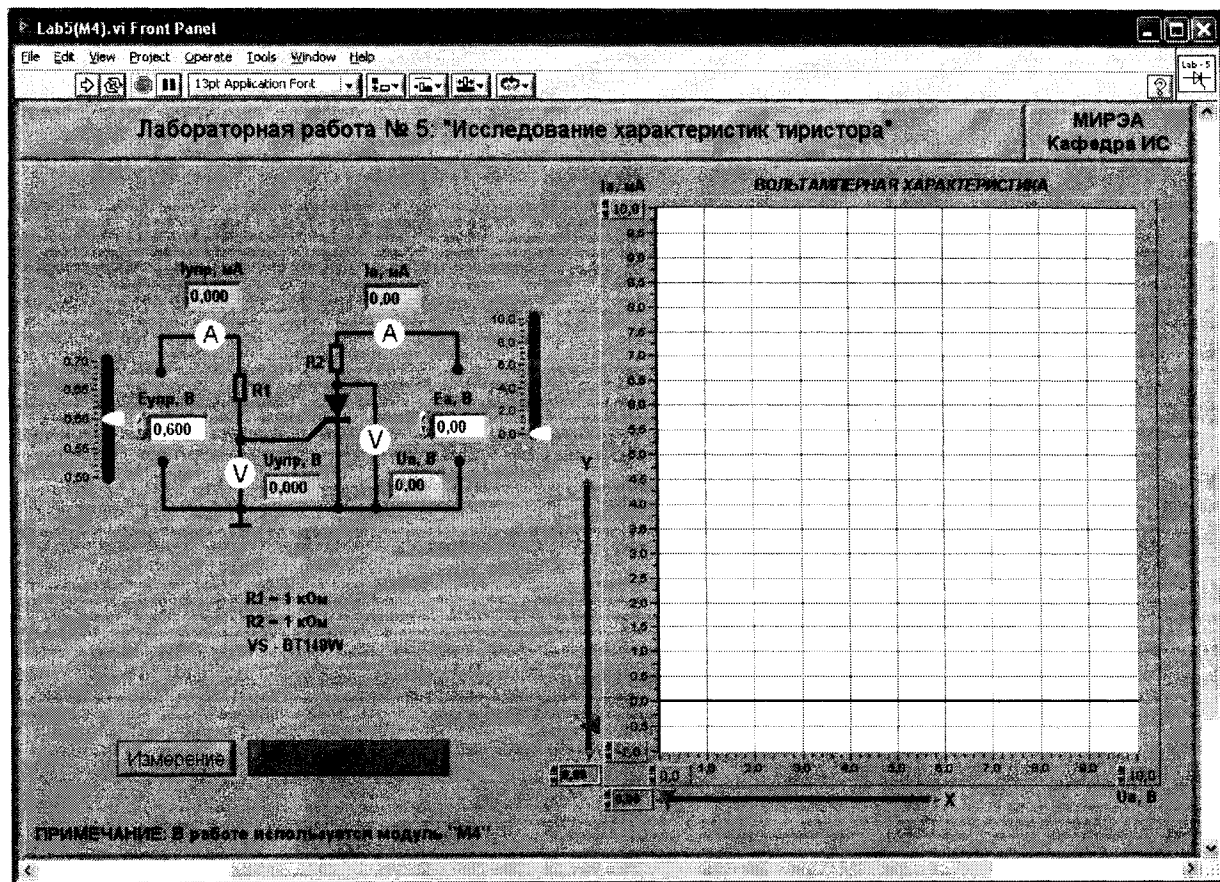


Рис. 5.10. Лицевая панель ВП

4.1.3. Переведите тиристор в закрытое состояние. Для этого плавно уменьшайте ползунковым регулятором  $E_{упр}$  напряжение на управляющем электроде тиристора до тех пор, пока не произойдет скачкообразное уменьшение тока анода тиристора  $I_a$ .

4.1.4. Для построения ВАХ тиристора нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Измерение». На графическом индикаторе ВП будет построена зависимость анодного тока  $I_a$  тиристора от напряжения на аноде  $U_a$ . Линия красного цвета соответствует режиму монотонного увеличения анодного напряжения  $U_a$  от 0 В до 10 В, а линия синего цвета – режиму монотонного уменьшения анодного напряжения  $U_a$  от 10 В до 0 В при неизменном напряжении  $E_{упр}$  на управляющем электроде тиристора. Отрезки пунктирных линий соответствуют не поддающимся измерению с помощью данного ВП разрывам на ВАХ в моменты переключения тиристора. Скопируйте ВАХ тиристора в отчет.

4.1.5. По ВАХ тиристора определите величины анодного тока  $I_a$  и напряжения на аноде  $U_a$  в момент его включения. Для этого установите пересечение вертикальной и горизонтальной линий курсора около точки

включения тиристора на пологом участке восходящей ветви ВАХ. Линии курсора перемещаются по экрану графического индикатора с помощью соответствующих ползунковых регуляторов «Х» и «У». По цифровым индикаторам ползунковых регуляторов определите измеряемые значения тока и напряжения. Для удобства измерений масштаб шкалы (как для вертикальной, так и для горизонтальной осей графика) может быть изменен с помощью цифровых элементов управления, задающих ее начальное и конечное значения. Запишите полученные величины  $I_{a.ВКЛ}$  и  $U_{a.ВКЛ}$  в отчет.

4.1.6. Определите падение напряжения на открытом тиристоре. Для этого с помощью ползункового регулятора «У» установите горизонтальную линию курсора напротив деления «6 мА» вертикальной оси графика. Затем с помощью ползункового регулятора «Х» установите вертикальную линию курсора так, чтобы она проходила через точку пересечения горизонтальной линии курсора с нисходящей ветвью ВАХ тиристора. По цифровому индикатору ползункового регулятора «Х» определите и запишите в отчет значение падения напряжения  $U_{ПР}$  на открытом тиристоре.

4.1.7. Определите ток и напряжение выключения тиристора. Для этого установите пересечение вертикальной и горизонтальной линий курсора около точки выключения тиристора на крутом участке нисходящей ветви ВАХ. По цифровым индикаторам ползунковых регуляторов «Х» и «У» определите и запишите в отчет значения  $I_{a.ВЫКЛ}$  и  $U_{a.ВЫКЛ}$ .

4.1.8. Постепенно увеличивая напряжение на управляющем электроде с помощью регулятора  $E_{УПР}$  и, нажимая при этом на кнопку «Измерение» для построения ВАХ, определите и запишите в отчет напряжение на управляющем электроде тиристора  $U_{УПР.МАХ}$ , начиная с которого на ВАХ тиристора отсутствует пологий участок. Также определите и запишите в отчет соответствующие этому режиму ток управления  $I_{УПР}$ .

4.1.9. Выключите ВП, для чего нажмите на лицевой панели ВП кнопку «Завершение работы».

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какие полупроводниковые приборы называются тиристорами?
- Изобразите структуру динистора.
- Нарисуйте транзисторную схему замещения динистора.
- При каком условии происходит включение динистора?
- Какими способами можно обеспечить выключение динистора?
- Чем отличаются конструкции тиристора и динистора?
- Какие бывают разновидности тиристоров?
- Каковы особенности ВАХ тиристора по сравнению с динистором?
- Отличаются ли способы выключения тиристора и динистора?
- В чем состоит особенность конструкции симистора? Как выглядит его вольтамперная характеристика?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ СХЕМ НА ТИРИСТОРАХ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследование схем управляемого выпрямителя и регулятора мощности на основе тиристора.

#### 2. СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Благодаря возможности управления моментом включения, тиристоры применяются в схемах с управляемыми характеристиками.

##### *Управляемый выпрямитель*

Простейшая схема управляемого однополупериодного выпрямителя на одном тиристоре приведена на рис.6.1.

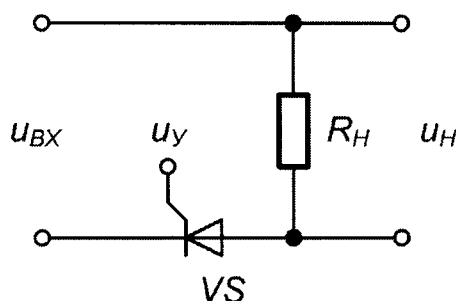


Рис. 6.1. Схема управляемого выпрямителя

Для управления включением тиристора необходимо выполнить два условия: напряжение на аноде тиристора должно быть положительным (но не превышающим напряжение  $U_{a.вкл}$ ) и к управляющему электроду должно быть приложено положительное напряжение, соответствующее отпирающему току. Первое условие выполняется для положительных полуволн входного напряжения  $u_{BX} = U_m \sin(\omega t)$  (рис.6.2, а), а для выполнения второго условия на управляющий электрод тиристора подают отпирающие импульсы  $u_U$  (рис.6.2, б). После включения тиристора управляющий электрод теряет управляющие свойства. Выключение тиристора произойдет при уменьшении напряжения на его аноде до уровня  $U_{a.выкл}$ .

Форма импульсов напряжения  $u_H$  на активной нагрузке  $R_H$  без фильтра приведена на рис.6.2, в. Момент включения тиристора можно регулировать в пределах положительной полуволны входного напряжения, т.е.  $0 < \alpha < \pi$ , где  $\alpha = \omega t$  — угол сдвига управляющего импульса относительно момента  $u_{BX}=0$ , называемый *углом включения*. Таким образом, длительность включенного состояния тиристора определяется выражением:

$$t_u = \frac{T}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right), \quad (6.1)$$

где  $T$  – период колебания входного напряжения  $u_{BX}$ .

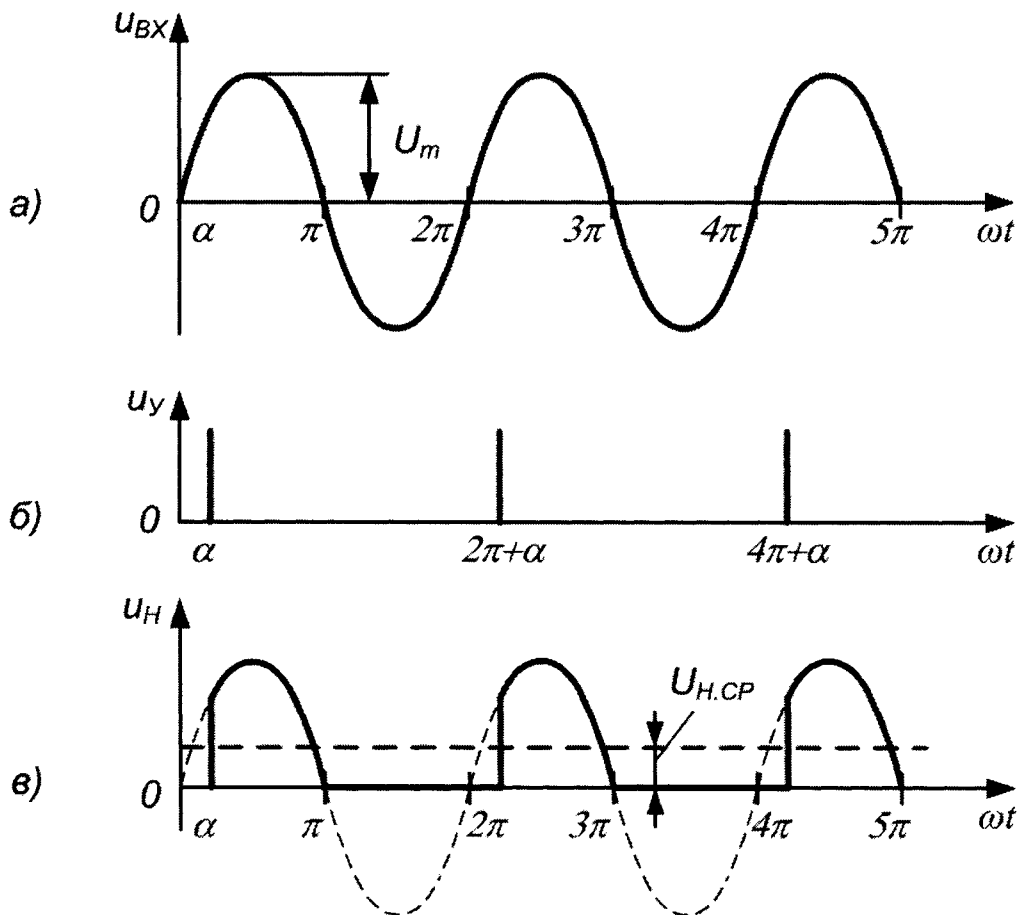


Рис. 6.2. Временные диаграммы напряжений на входе управляемого выпрямителя (а), на управляющем электроде тиристора (б) и нагрузке (в)

Среднее напряжение на нагрузке без учета падения напряжения на открытом тиристоре будет равно:

$$U_{H.CP} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} u_{BX} d(\omega t) = \frac{U_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha). \quad (6.2)$$

Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя приведена на рис.6.3. При угле включения тиристора  $\alpha = 0$  среднее выпрямленное напряжение на нагрузке  $U_{H.CP}$  будет максимальным, а при  $\alpha = \pi$  напряжение на нагрузке равно нулю ( $U_{H.CP} = 0$ ). Такой способ управления тиристором называется фазоимпульсным.

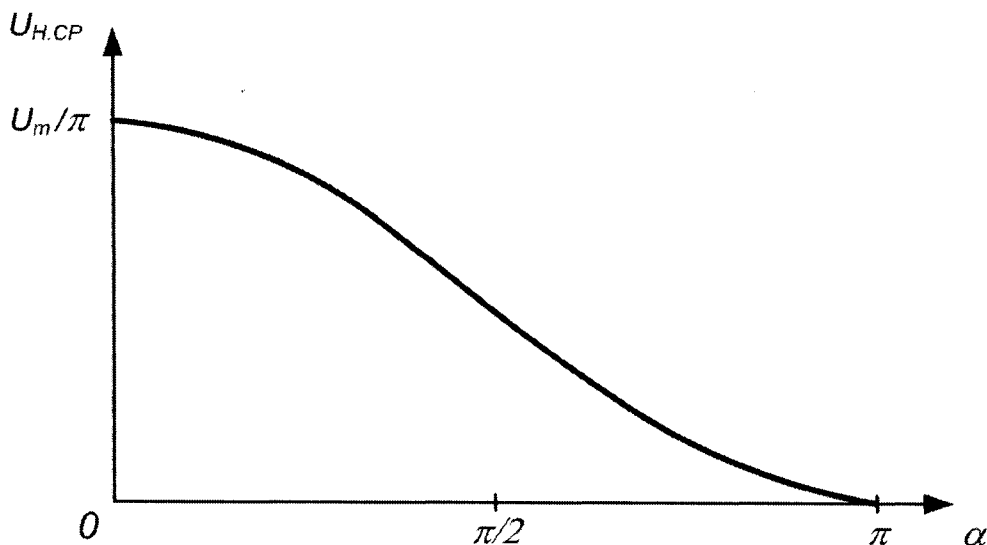


Рис. 6.3. Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя

### Тиристорный регулятор мощности

При эксплуатации ряда электроприборов переменного тока возникает необходимость регулирования мощности, подводимой к нагрузке, например, изменение яркости свечения ламп накаливания, управление тепловыделением электронагревателей, регулирование скорости вращения электродвигателей. Современные регуляторы мощности строятся на основе тириستоров.

Принцип работы тиристорного регулятора рассмотрим на примере однофазного однополупериодного регулятора, работающего на активную нагрузку. Схема такого регулятора приведена на рис.6.4, а временные диаграммы, поясняющие ее работу на рис.6.5.

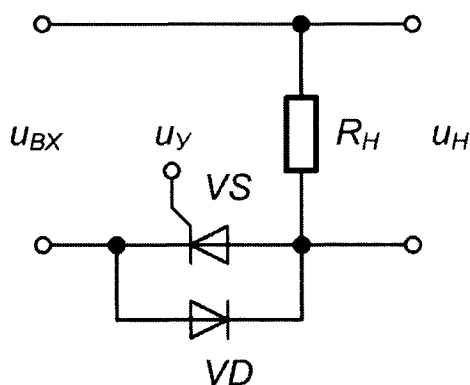


Рис. 6.4. Схема тиристорного регулятора мощности

В этой схеме последовательно с сопротивлением нагрузки включены соединенные встречно-параллельно тиристор VS и выпрямительный диод

VD. Регулирование мощности, выделяемой на нагрузке, осуществляется за счет изменения угла включения тиристора с помощью управляющих импульсов, поступающих со схемы управления.

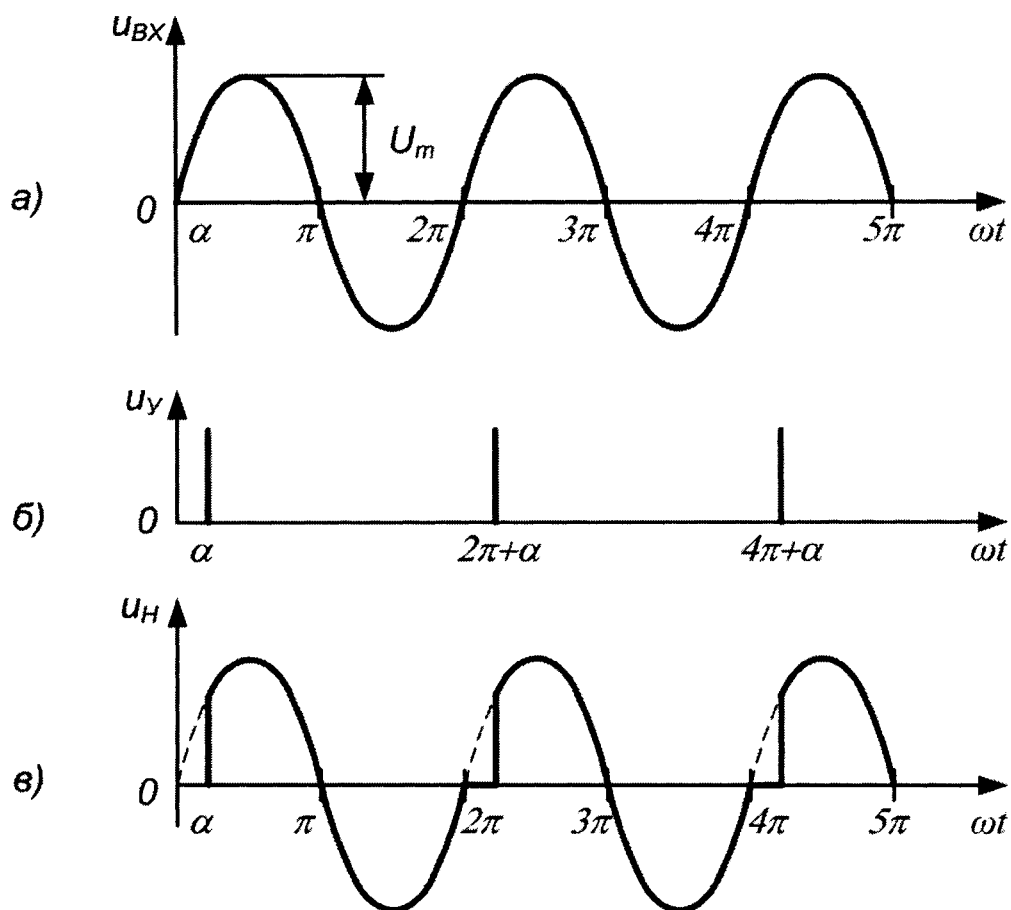


Рис. 6.5. Временные диаграммы напряжений на входе регулятора мощности (а), управляющем электроде тиристора (б) и нагрузке (в)

Условия включения тиристора реализуются в течение положительной полуволны входного напряжения. В этот промежуток времени выпрямительный диод смещен в обратном направлении и не оказывает влияние на работу схемы. Регулирование угла включения тиристора приводит к изменению времени протекания тока через сопротивление нагрузки, и, следовательно, к изменению подводимой к нагрузке электрической мощности. Во время действия отрицательной полуволны входного напряжения тиристор закрыт. При этом выпрямительный диод открыт и входное напряжение (с учетом падения напряжения на открытом диоде) приложено к нагрузке.

Особенностью рассмотренной схемы является то, что регулирование производится только в течение положительного полупериода входного напряжения. Поэтому при изменении угла включения тиристора от  $\alpha=0$  до  $\alpha=\pi$  мощность в нагрузке будет изменяться от 100% до 50% от макси-



мального значения  $P_{MAX}$ .

Действующее напряжение на выходе регулятора (при условии  $0 < \alpha < \pi$ ) определяется соотношением:

$$U_{H.Д} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{2\pi} u_{BX}^2 d(\omega t)} = U_m \sqrt{\frac{1}{8\pi} (4\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha)}. \quad (6.3)$$

Тогда мощность, подводимая к нагрузке равна:

$$P = \frac{U_{H.Д}^2}{R_H} = \frac{U_m^2}{8\pi R_H} (4\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha). \quad (6.4)$$

В выражениях (6.3) и (6.4) не учитывается падение напряжения на тиристоре и диоде в открытом состоянии.

Регулировочная характеристика устройства приведена на рис.6.6.

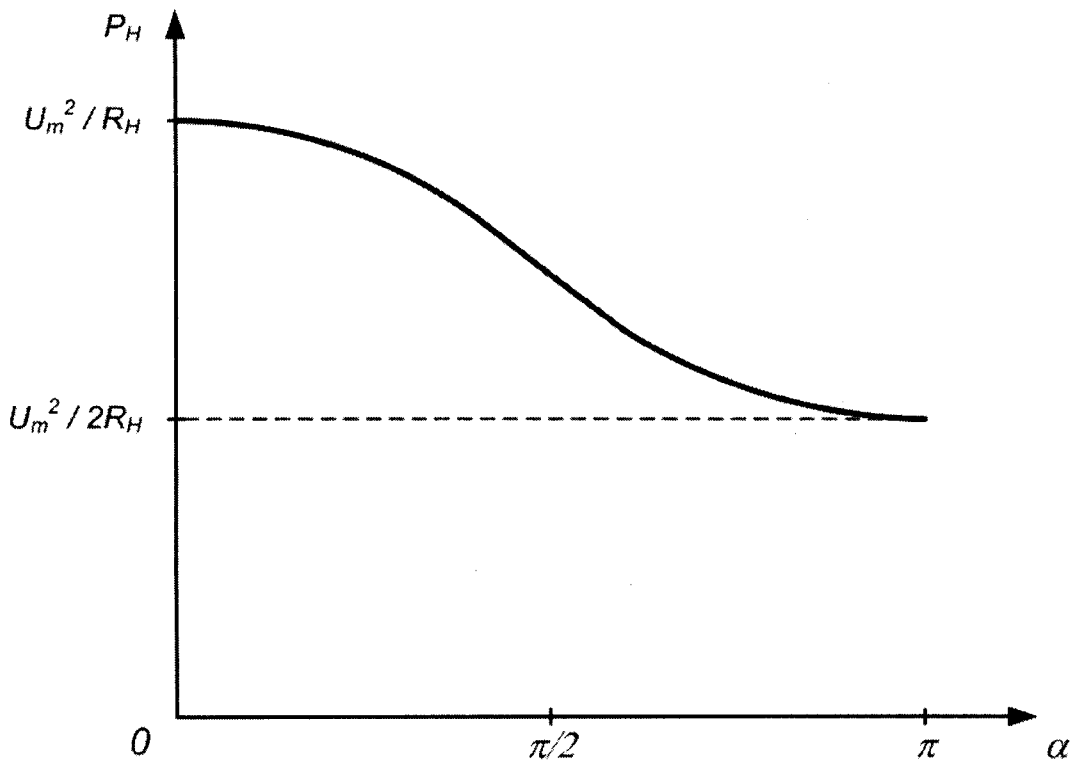


Рис.6.6. Регулировочная характеристика регулятора мощности

К недостаткам однополупериодного регулирования мощности следует отнести:

- ограниченный диапазон изменения мощности (от 50% до 100%);
- появление постоянной составляющей напряжения на нагрузке при углах включения тиристора  $\alpha > 0$ .

Оба недостатка могут быть устранены при двухполупериодном регулировании мощности. Для этого в схеме можно использовать два тиристора (рис.6.7, а) или симистор (рис.6.7, б). Схема управления должна выраба-

тывать управляющие импульсы в каждом полупериоде входного напряжения. При этом мощность на нагрузке можно регулировать в диапазоне от 0 до 100%.

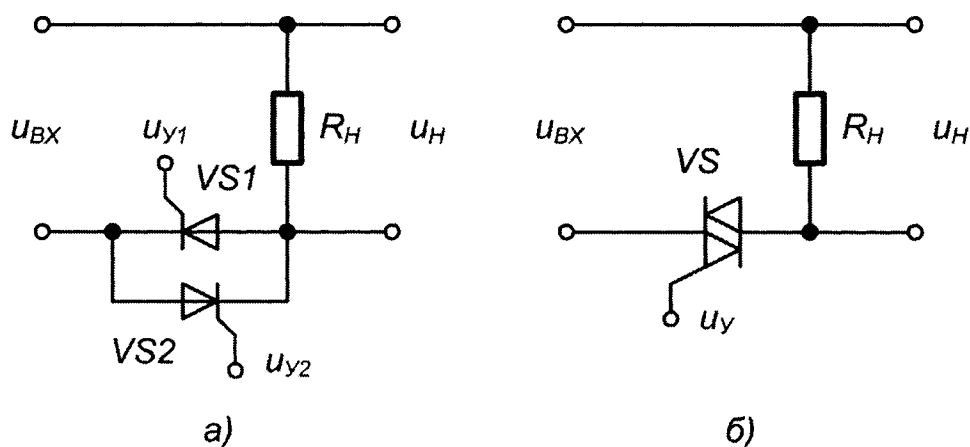


Рис. 6.7. Схемы регуляторов мощности на двух тиристорах (а) и симисторе (б)

### 3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В состав лабораторного стенда входят:

- базовый лабораторный стенд;
- лабораторный модуль **М4**.

### 4. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Подготовьте шаблон отчета в редакторе **MS Word**.

Установите ключ в разъем модуля **М4** лабораторного стенда. Внешний вид модуля показан на рис.6.8.

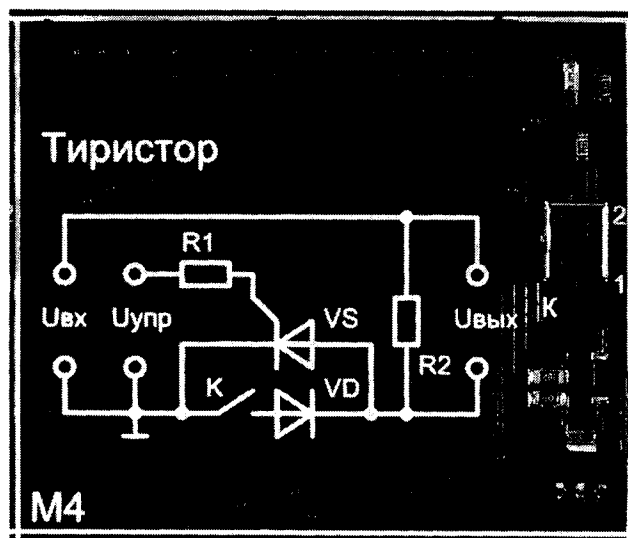


Рис. 6.8. Внешний вид модуля **М4**

Загрузите и запустите программу **Lab6(M4).vi**. На экране появится изображение лицевой панели ВП (рис.6.9), необходимого для выполнения лабораторных заданий.

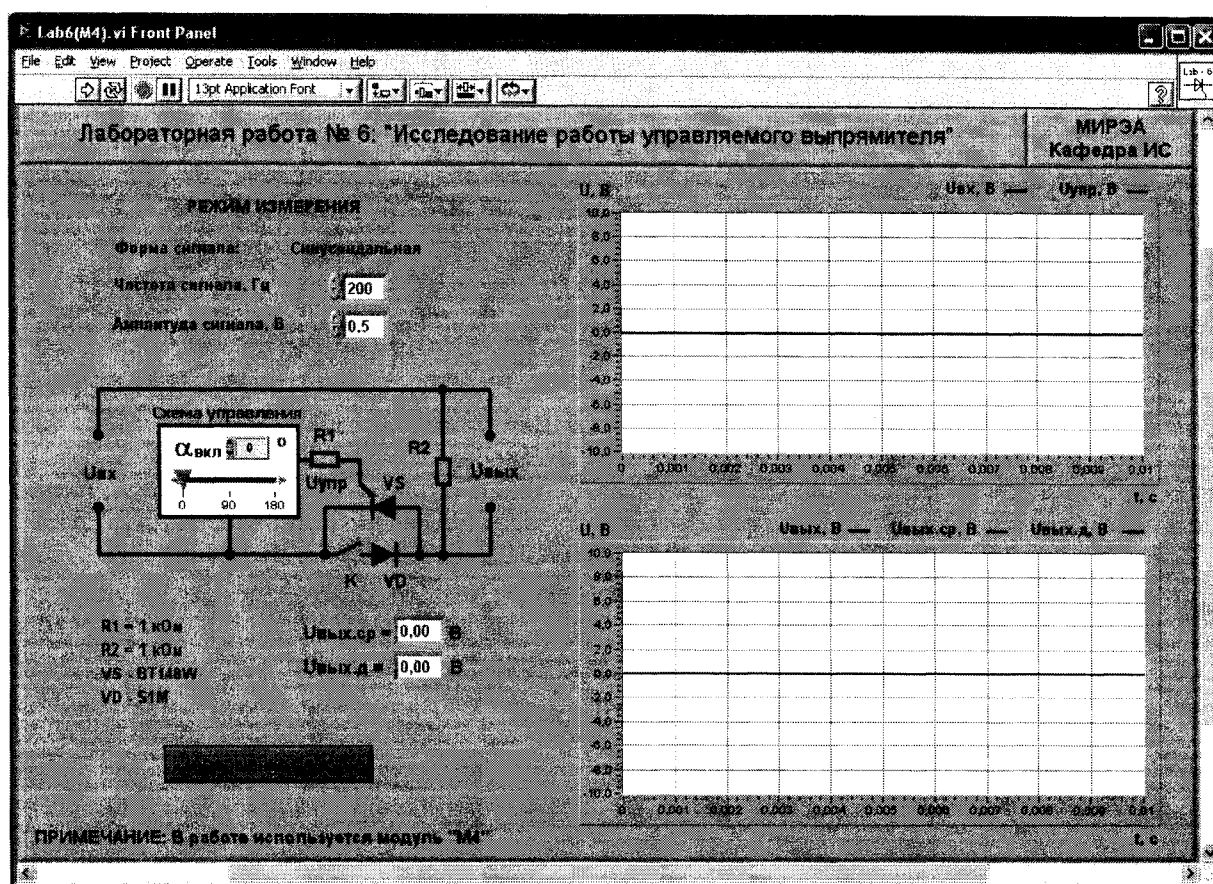


Рис. 6.9. Лицевая панель ВП

### Задание 1. Исследование работы управляемого однополупериодного выпрямителя

4.1.1. Установите переключатель «К» модуля **М4** в положение «1».

4.1.2. С помощью элементов управления на лицевой панели ВП выберите режим измерения. Установите частоту входного сигнала **200 Гц**. Амплитуду сигнала на входе установите такой величины, чтобы сигналы на осциллограммах не имели видимых искажений и были удобны для наблюдения и измерений.

4.1.3. С помощью ползункового регулятора схемы управления установите задержку импульсов управления относительно начала положительного полупериода входного сигнала, соответствующую углу включения тиристора, равному примерно  $90^\circ$ . На верхнем графическом индикаторе можно наблюдать изображение входного сигнала  $u_{вх}(t)$  (синий цвет) и импульсов управления  $u_{упр}(t)$  (красный цвет), на нижнем – выходное напряжение на нагрузке  $u_H(t)$  (синий цвет) и средний уровень этого напряжения  $U_{вых.ср}$  (красный цвет). Скопируйте изображения обоих графических ин-