

## Лабораторная работа №3

курса «Силовая электроника».

Подготовил Двадненко В.Я.

# ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИРИСТОРОВ И СИМИСТОРОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ТОКА СПРЯМЛЕНИЯ И МИНИМАЛЬНОГО ТОКА УДЕРЖАНИЯ

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

**Тиристор** — полупроводниковый прибор, выполненный на основе монокристалла полупроводника с тремя или более  $p$ - $n$ -переходами и имеющий два устойчивых состояния:

- «закрытое» состояние — состояние низкой проводимости;
- «открытое» состояние — состояние высокой проводимости.

Основное применение **тринисторов** (тиристоров с тремя электрическими выводами — анодом, катодом и управляющим электродом) — управление мощной нагрузкой с помощью слабого сигнала, подаваемого на управляющий электрод.

Тиристор можно рассматривать как электронный выключатель (ключ). Также тиристоры применяются в ключевых устройствах, например, силового электропривода.

### Устройство и основные виды тиристоров

---

Устройство тиристоров показано на рис. 1. Тиристор состоит из четырёх полупроводников (слоёв), соединённых последовательно и отличающихся типами проводимости:  $p$ - $n$ - $p$ - $n$ .  $p$ - $n$ -переходы между проводниками на рисунке обозначены как «J1», «J2» и «J3». Контакт к внешнему  $p$ -слою называется анодом, к внешнему  $n$ -слою — катодом. В общем случае  $p$ - $n$ - $p$ - $n$ -прибор может иметь до двух управляющих электродов

(баз), присоединённых к внутренним слоям. Подачей сигнала на управляющий электрод производится управление тиристором (изменение его состояния).

Существуют различные виды тиристоров, которые подразделяются, главным образом:

- по способу управления;
- по проводимости:
- тиристоры, проводящие ток в одном направлении (тристор);
- тиристор симметричный проводящие ток в двух направлениях

(отечественное название — «симистор», англ. *en:TRIAC*).

Симистор (симметричный тиристор) представляет собой полупроводниковый прибор, по своей структуре является аналогом встречно-параллельного включения двух тиристоров. Способен пропускать электрический ток в обоих направлениях.

- 

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) тиристора нелинейна и показывает, что дифференциальное сопротивление тиристора на некоторых участках отрицательное. По сравнению, например, с транзисторными ключами, управление тиристором имеет некоторые особенности. Переход тиристора из одного состояния в другое в электрической цепи происходит скачком (лавинообразно) и осуществляется внешним воздействием на прибор: либо напряжением (током), либо светом (для фототиристора). После перехода тиристора в открытое состояние он остаётся в этом состоянии даже после прекращения управляющего сигнала. Тиристор остаётся в открытом состоянии до тех пор, пока протекающий через него ток превышает некоторую величину, называемую током удержания.

---

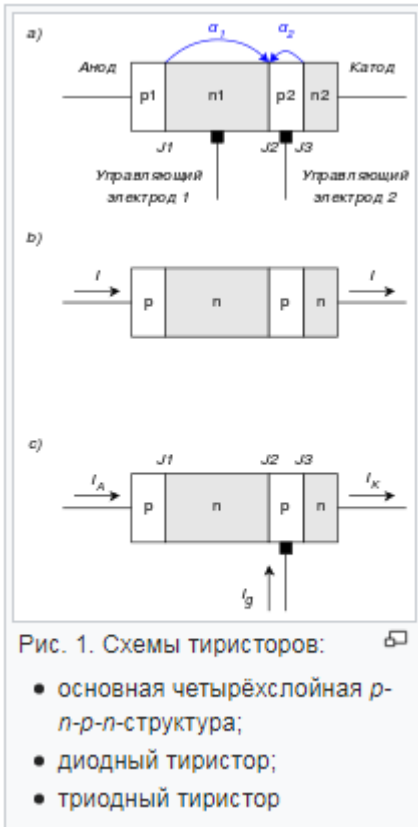


Рис. 1. Схемы тиристоров:

- основная четырёхслойная  $p-n-p-n$ -структура;
- диодный тиристор;
- триодный тиристор

### Вольт-амперная характеристика тиристора

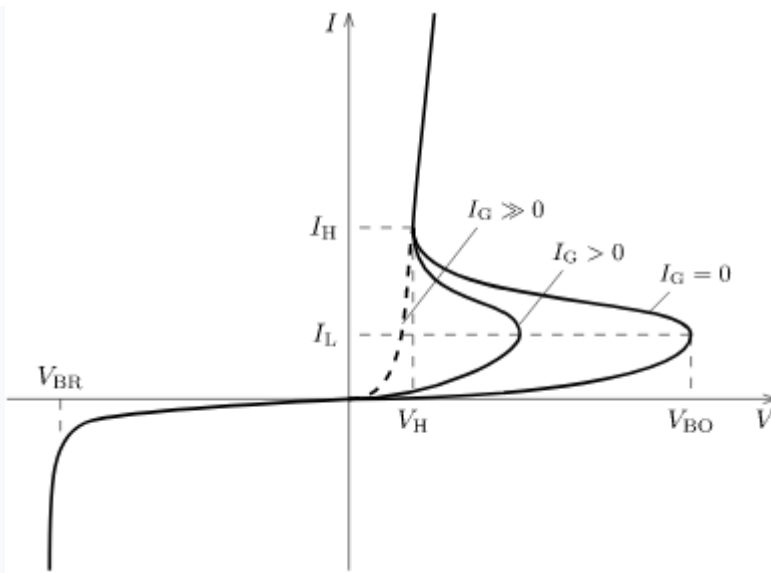


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика тиристора (ВАХ)

Типичная ВАХ тиристора, проводящего в одном направлении (с управляющими электродами или без них), приведена на рис. 2. Описание ВАХ:

- кривая ВАХ на участке, ограниченном прямоугольником с координатами вершин  $(0;0)$  и  $(V_{во};I_L)$  (нижняя ветвь), соответствует высокому сопротивлению прибора (прямому запираению прибора);
- точка  $(V_{во};I_L)$  соответствует моменту включения тиристора (переключению динистора во включённое состояние);
- кривая ВАХ на участке, ограниченном прямоугольником с координатами вершин  $(V_{во};I_L)$  и  $(V_H;I_H)$ , соответствует переключению прибора во включённое состояние (неустойчивая область). Судя по тому, что кривая имеет S-образную форму, можно сделать вывод о том, что сопротивление тиристора отрицательное дифференциальное. Когда разность потенциалов между анодом и катодом тиристора прямой полярности превысит величину  $V_{во}$ , произойдёт отпирание тиристора (динисторный эффект);
- кривая ВАХ от точки с координатами  $(V_H;I_H)$  и выше соответствует открытому состоянию прибора (прямой проводимости);
- на графике показаны ВАХ с разными токами управления  $I_G$  (токами на управляющем электроде тиристора):  $I_G=0$ ;  $I_G>0$ ;  $I_G>>0$ . Чем больше ток  $I_G$ , тем при меньшем напряжении  $V_{во}$  происходит переключение тиристора в проводящее состояние;
- пунктиром обозначена кривая ВАХ, соответствующая протеканию в цепи тока  $I_G>>0$  — так называемого «тока включения спрямления». При таком токе тиристор переходит в проводящее состояние при минимальной разности потенциалов между анодом и катодом. Для перевода тиристора в непроводящее состояние необходимо снизить ток в цепи анод-катод ниже тока включения спрямления;
- кривая ВАХ на участке от  $V_{BR}$  до 0 соответствует режиму обратного запираения прибора;

кривая ВАХ на участке от  $-\infty$  до  $V_{BR}$  соответствует режиму обратного пробоя. По типу нелинейности ВАХ тиристор относят к S-приборам.

### **Характеристики тиристоров**

Современные тиристоры изготавливают на токи от 1 мА до 10 кА; на напряжения от нескольких В до нескольких кВ; скорость нарастания в них прямого тока достигает  $10^9$  А/с, напряжения —  $10^9$  В/с, время включения составляет величины от нескольких десятых долей до нескольких десятков мкс, время выключения — от нескольких единиц до нескольких сотен мкс; КПД достигает 99 %. К распространённым отечественным тиристорам можно отнести приборы КУ202 (25-400 В, ток 10 А), к импортным — MCR100 (100-600 В, 0,8 А), 2N5064 (200 В, 0,5 А), C106D (400 В, 4 А), TYN612 (600 В, 12 А), BT151 (800 В, 7,5-12 А) и другие. Также следует помнить, что не все тиристоры допускают приложение обратного напряжения, сравнимого с допустимым прямым напряжением. Управляемая мощность через тиристор может достигать вплоть до 100 МВт.

### **Применение**

---

Тиристоры применяются в составе следующих устройств:

- электронные ключи;
- управляемые выпрямители;
- преобразователи (инверторы);
- регуляторы мощности (диммеры);
- электронное зажигание.

### **Принцип действия тиристора**

**Тиристор** является силовым электронным не полностью управляемым ключом. Поэтому иногда в технической литературе его называют однооперационным тиристором, который может сигналом управления переводиться только в проводящее состояние, т. е. включаться. Для его

выключения (при работе на постоянном токе) необходимо принимать специальные меры, обеспечивающие спадание прямого тока до нуля.

Тиристорный ключ может проводить ток только в одном направлении, а в закрытом состоянии способен выдержать как прямое, так и обратное напряжение.

Тиристор имеет четырехслойную p-n-p-n-структуру с тремя выводами: анод (А), катод (С) и управляющий электрод (G), что отражено на рис. 5

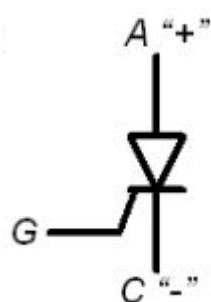


Рис. 5 Обычный тиристор



**Тиристоры являются наиболее мощными электронными ключами, способными коммутировать цепи с напряжением до 5 кВ и токами до 5 кА при частоте не более 1 кГц.**

Конструктивное исполнение тиристоров приведено на рис. 6.

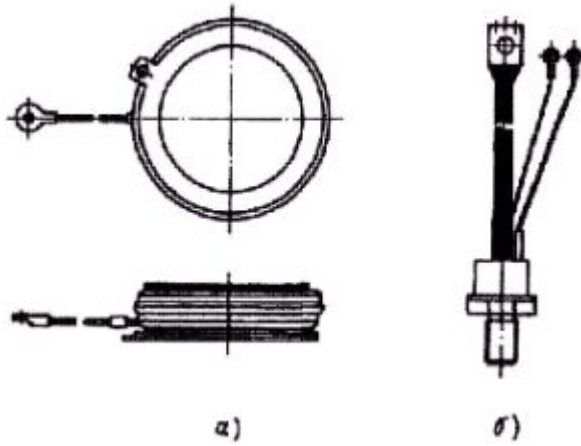


Рис.6. Конструкция корпусов тиристорov: а) – таблеточная; б) – штыревая

### Симисторы

Симисторы (симметричные или двунаправленные тиристоры – триаки или triac) – полупроводниковые ключи, предназначенные для работы в сетях переменного напряжения, проводящие ток в обоих направлениях и имеющие симметричную вольт-амперную характеристику. В большинстве случаев симисторы используются в качестве ключевого регулятора переменного тока, вытеснив применяемые ранее для этого устройства, состоящие из двух встречно-параллельно включенных тиристорov. Применение симисторov распространено в устройствах работающих с токами примерно до 10-20А.



- $V_{DRM}$  – максимальное напряжение при прямом включении (D – direct, прямой)
- $V_{RRM}$  – максимальное напряжение при обратном включении (R – reverse, обратный)
- $I_{DRM}$  – максимальный ток при прямом включении
- $I_{RRM}$  – максимальный ток при обратном включении
- $I_H$  – ток удержания (Hold – держать, удерживать)

Рис.3. ВАХ симистора

Поскольку в симисторе (триаке) нет явно выраженного анода и катода, его электроды обозначают MT1 (Main Terminal 1 – основной электрод 1 симистора) и MT2 (Main Terminal 2 – основной электрод 2 симистора), а также управляющий электрод или затвор (Gate). Триаке может управляться как положительным, так и отрицательным напряжением между управляющим электродом (затвором) и MT1. Эта особенность позволяет симистору работать во всех четырех квадрантах. При работе симистора на нагрузку в сети переменного тока 220 В (регуляторы скорости вращения двигателя, регуляторы яркости лампы или диммеры) полярности затвора и основного



электрода МТ1 всегда совпадают. Из этого следует, что в таких случаях симисторы работают в первом и третьем квадрантах. При этом параметры коммутации триаков практически одинаковы, а затвор обладает максимальной чувствительностью. Вольт-амперная характеристика переключения для этого случая и основные параметры симистора приведены на рисунке 3.

Ток удержания характеризует минимальное значение тока через симистор, при котором он еще находится в открытом состоянии. Полупроводниковая структура симистора не симметрична, поэтому этот прибор не может иметь идеальную симметрию характеристики и параметров, поэтому производители не выпускают триаки на очень большие токи, какие достижимы у тиристоров. Кроме того, у симисторов могут отличаться значения токов управления для разных квадрантов (эти параметры приводятся в документации производителя).

## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения работы понадобится двухканальный источник питания или два одноканальных источника с регулируемым напряжением до 30В и регулируемым током до 3А. Кроме того, желательно иметь кроме встроенных в блок питания вольтметров и отдельный вольтметр для измерения напряжения непосредственно на электродах тиристоров (симисторов). Также возможно применение токоограничивающих резисторов, если в блоках питания нет ограничения тока.

Для выполнения работы понадобится набор испытуемых тиристоров и симисторов. (КУ201, КУ202, Д235, ТБ271-200, Т2-10-3, КУ208).

## СХЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТИРИСТОРОВ

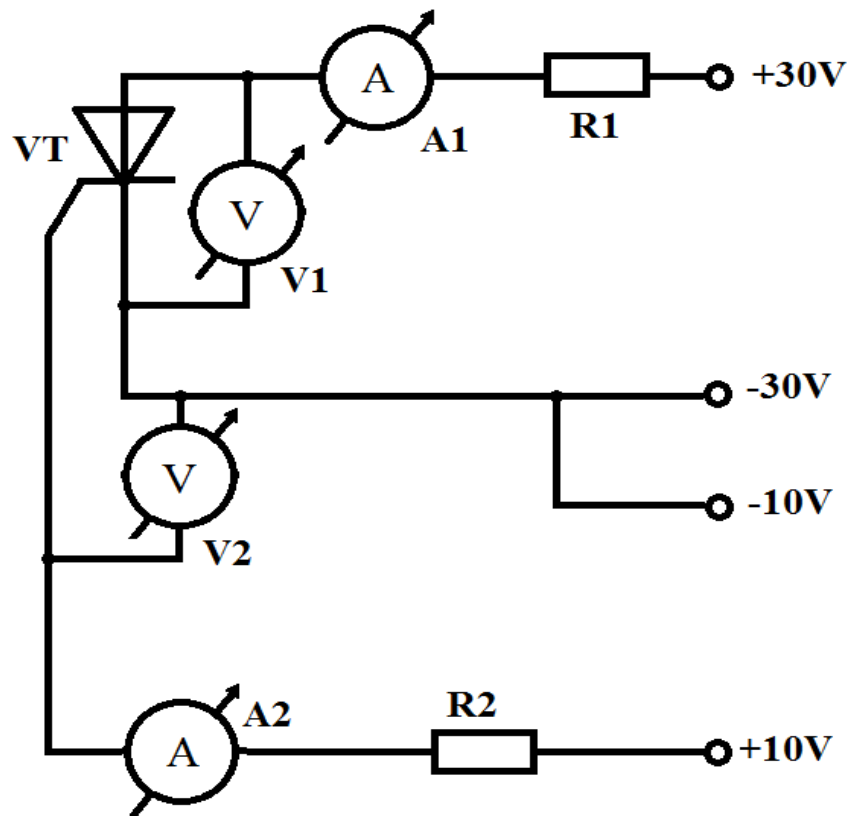


Рис. 4. Схема для снятия параметров тиристоров

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Собрать схему согласно Рис.4.  $R_1=10$  ом,  $R_2=30$  ом. Ток можно измерять встроенными в блок питания амперметрами. Резисторы  $R_1$  и  $R_2$  для мощных тиристоров и в случае применения блока питания с ограничением тока (не более 3 А) можно не устанавливать. В этом случае также можно воспользоваться встроенными в источник питания вольтметрами.

В начале для тиристора КУ202 снимем ВАХ в запертом состоянии. Для этого подать питание на клеммы +30В и -30В (анод-катод тиристора), питание на клеммы +10В и -10В (затвор-катод тиристора) не подавать. Меняя напряжение анод-катод снять зависимость тока амперметра  $A_1$  от этого напряжения (вольтметр  $V_1$ ). Снять надо 5 - 6 точек, как для прямой полярности питания, так и для обратной. График  $I(U)$  в декартовых координатах по этим точкам будет в виде прямой линии, проходящей вблизи оси напряжения.

Далее следует открыть тиристор. Для этого на клеммы +10В и –10В кратковременно подать импульс напряжением 10В и с ограничением тока 1А. При этом на блоке, питающем цепь анод-катод установить напряжение 30В, а регулировку тока поставить в среднее положение. После этого, меняя напряжение или ток органами управления источника питания снять зависимость  $I(U)$  для прямой ветви ВАХ тиристора. При этом следует обратить внимание, что при снижении тока в случае приближения к неустойчивому участку с отрицательным сопротивлением, тиристор может запереться. Поэтому в этом месте надо уменьшать промежуток между точками. Если тиристор перейдет в запертое состояние, его следует повторно открыть так, как описано выше и продолжить измерения.

В процессе выполнения указанных выше измерений следует получить значения отпирающего напряжение управления (напряжения управляющий электрод-катод), соответствующее минимальному постоянному отпирающему току управляющего электрода. Требуется записать и этот минимальный постоянный отпирающий ток, также являющийся важным параметром тиристора. Кроме того, необходимо определить и записать минимальный постоянный удерживающий ток в цепи анод-катод.

Провести все описанные выше измерения с другими входящими в комплект лабораторной работы тиристорами (КУ201, Д235, ТБ271-200, Т2-10-3).

Для симистора КУ208 все описанные выше измерения провести два раза. Первый раз с полярностью подключения источников питания так, как указано на схеме рис.4, второй раз сменив полярность обоих источников.

## ОФОРМЛЕНИЕ РАБОТЫ

По данным, полученным в процессе выполнения работы построить ВАХ для всех тиристор и симисторов в координатах: ось абсцисс напряжение анод-катод (напряжение МТ1-МТ2 для симистора), ось ординат ток через тиристор (симистор). При построении ВАХ конкретного тиристора или симистора наносятся на график и точки запертого прибора и точки открытого

прибора. Точки соединяют сплошными линиями, за исключением участка с отрицательным сопротивлением, для которого точки снять невозможно. Его рисуют пунктирной линией (см. рис.3).

Под каждым графиком привести полученные для данного тиристора (симистора) значения отпирающего напряжение управления (напряжения управляющий электрод-катод) и соответствующее значение минимального постоянного отпирающего тока управляющего электрода. Кроме того, под каждым графиком необходимо записать минимальный постоянный удерживающий ток в цепи анод-катод (MT1-MT2).