

Лабораторная работа №3 «ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТИРИСТОРА»

Цель работы: Исследование статических характеристик управляемого тиристора.

Общие сведения

Тиристоры – переключающие полупроводниковые приборы, имеющие четырёхслойную структуру. Они имеют два устойчивых состояния: открытое (проводящее) и закрытое (непроводящее). Они выпускаются с двумя или тремя выводами. В первом случае они называются **динисторами** (или диодными тиристорами) во втором – **тринисторами** (триодными или управляемыми тиристорами). Их условные обозначения показаны на рис. 1. Выводы обозначаются: А – анод, К – катод, УЭ – управляющий электрод. Производятся также **симисторы** – симметричные динисторы и тиристоры, которые могут проводить ток в обоих направлениях и эквивалентны двум динисторам или тиристорам, соединённым встречно – параллельно.

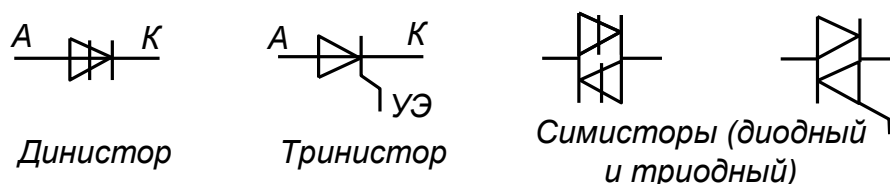


Рис. 1. Условные графические обозначения различных типов тиристоров

Четырёхслойная структура динистора представлена на рис. 2, а. Для уяснения принципа действия четырёхслойный прибор можно представить как два трёхслойных прибора (рис. 2, б) или два транзистора, соединённых как показано на рис. 2, в.

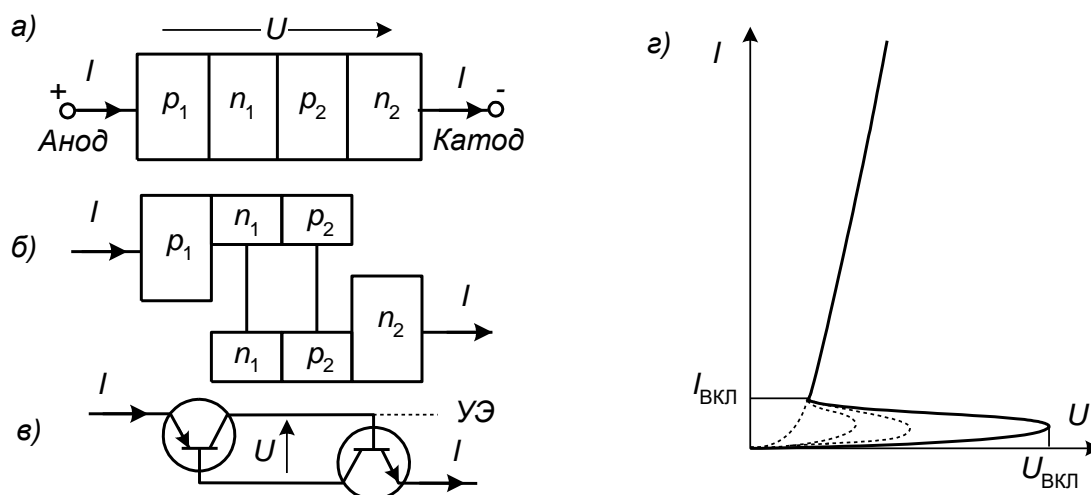


Рис. 2

При прямом приложенном напряжении, показанном на рисунках, левый и правый p – n -переходы открыты, а средний закрыт. Через тиристор протекает лишь незначительный ток неосновных носителей (рис. 2, г). По мере увеличения прямого напряжения энергия носителей заряда, проходящих через запертый $n1$ – $p2$ увеличивается и при некотором напряжении ($U_{ВКЛ}$) возникает ударная ионизация атомов полупроводника в зоне $n1$ – $p2$ перехода, ток резко возрастает, два транзистора (рис. 2, в) открываются, напряжение на тиристоре резко падает, и он переходит в открытое состояние. Вольт-амперная характеристика открытого тиристора аналогична вольт-амперной характеристике диода. При снижении тока тиристор остаётся в открытом состоянии до некоторого небольшого тока, называемого током удержания ($I_{уд}$). Он несколько меньше тока включения, показанного на рис. 2, г.

Управляемые тиристоры имеют кроме основных выводов «Анод» и «Катод» третий вывод «Управляющий электрод». Он показан на рис. 2, в пунктиром. Подавая на него импульс тока положительной полярности, мы принудительно открываем один из транзисторов, второй транзистор также открывается, так как через его базу начинает протекать ток коллектора другого транзистора. Напряжение включения уменьшается, как показано на рис. 2, г пунктиром. При токе управления, превышающем открывающий ток управления ($I_{откр. у}$) вольт-амперная характеристика тиристора полностью аналогична характеристике диода.

Таким образом, тиристор представляет собой частично управляемый клапан, который можно перевести в проводящее состояние при наличии одновременно двух факторов: положительный потенциал анода относительно катода; подача управляющего сигнала в виде тока управления в цепи управляющего электрода. Если хотя бы один из этих факторов отсутствует, то тиристор будет оставаться в закрытом состоянии.

Частичная управляемость тиристора заключается в том, что после включения тиристора, цепь управления становится ненужной, так как он сам себя поддерживает во включенном состоянии. Выключить обычный тиристор по цепи управления невозможно. Поэтому он называется **однооперационным тиристором** или в зарубежной терминологии *SCR (Silicon Controlled Rectifier)*. Для запираания тиристора необходимо каким-либо способом снизить анодный ток до нуля и удерживать его на нулевом уровне в течение времени рассасывания неосновных носителей, накопившихся в базах транзисторов $VT1$ и $VT2$, называемое временем восстановления запирающих свойств. Кроме того, скорость нарастания анодного напряжения не должна превышать для данного типа тиристоров допустимую величину.

В настоящее время разработаны новые типы тиристоров, так называемые **двухоперационные тиристоры** или **запираемые тиристоры**. Они являются полностью управляемыми полупроводниковыми приборами, которые можно и включить и выключить по цепи управления. Такой тиристор в зарубежной терминологии получил обозначение *GTO-тиристор* (*Gate Turn-Off*). Это достигается благодаря тому, что в областях анода и катода такой прибор состоит из большого числа технологических ячеек, представляющих отдельные тиристоры, которые включены параллельно.

Физические процессы, протекающие в запираемых тиристорах, во многом аналогичны уже рассмотренным для однооперационного тиристора. Исключение составляет процесс выключения отрицательным током управления.

Во включенном состоянии все переходы тиристора находятся в состоянии насыщения. При достаточной величине, длительности управляющего тока, а также равномерности его распределения по всем ячейкам, избыточная концентрация носителей заряда снижается до нуля вблизи коллекторного перехода. При этом коллекторный переход смещается в обратном направлении. Транзисторы начинают работать в активном режиме и в структуре возникает положительная обратная связь при отрицательном базовом токе в $n-p-n$ -транзисторе $VT2$. Вследствие лавинообразного уменьшения зарядов в базовых областях анодный ток начинает снижаться. Транзистор $VT2$ $n-p-n$ -типа первый входит в режим отсечки. Действие положительной обратной связи прекращается, и дальнейший спад анодного тока определяется рекомбинацией в n^- базе тиристора.

Вольт-амперная характеристика запираемого тиристора аналогична характеристике незапираемого тиристора (рис. 3). На электрических принципиальных схемах запираемые тиристоры обозначаются условными обозначениями, представленными на рис. 4.

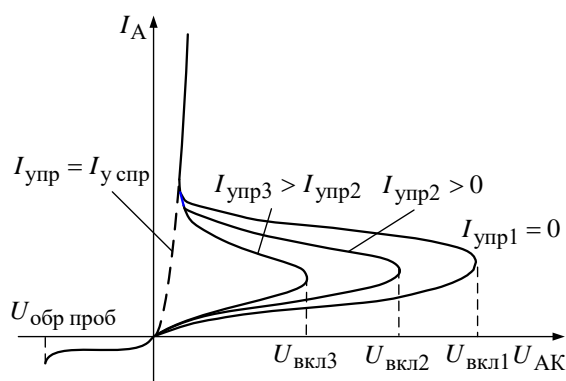


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика двухоперационного тиристора

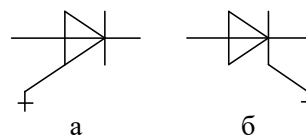


Рис. 4. Условные обозначения запираемых тиристоров с управлением по аноду (а), с управлением по катоду (б)

Описание макета лабораторной установки.

Схема макета лабораторной установки представлена на рис. 5.

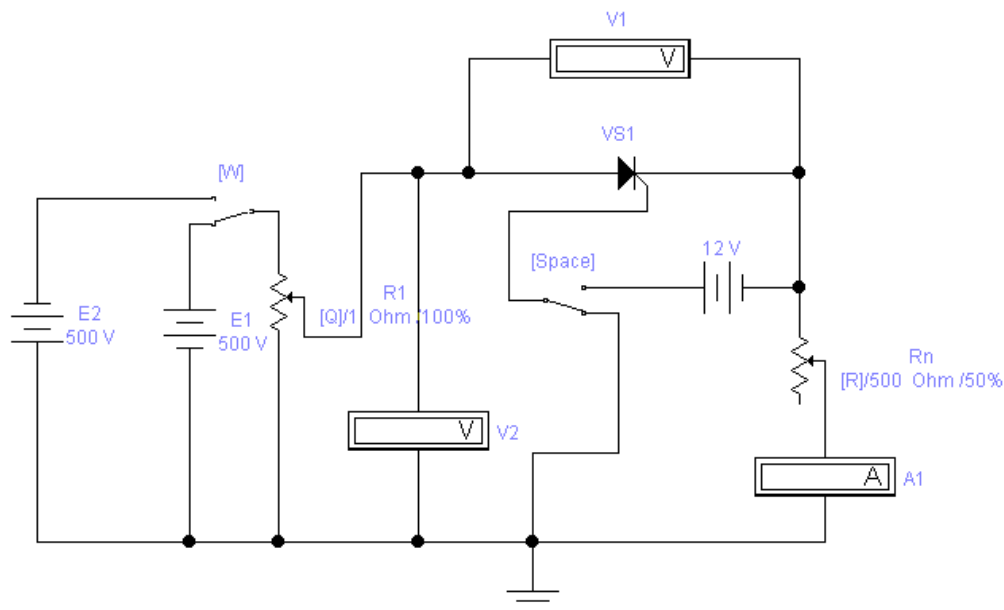


Рис. 5. Принципиальная схема лабораторной установки для исследования характеристик тиристора

В зависимости от положения переключателей [W], [Space] схема позволяет снять прямую и обратную ветви вольт-амперной характеристики тиристора VS1. Нижнее положение переключателя [W] соответствует отпирающей полярности напряжения источника E1, верхнее положение – запирающей полярности напряжения источника E2.

При переключении переключателя [Space] в верхнее положение на тиристор VS1 подается управляющий сигнал. Нижнее положение переключателя [Space] позволяет открыть тиристор при отсутствии управляющего сигнала, т.е. представить тиристор, в качестве динистора.

Для изменения значения сопротивления потенциометров в сторону уменьшения нажимаем клавишу [Q] или [R], для увеличения – зажимаем [Shift] и клавишу [Q] или [R].

Задания на лабораторную работу

Задание 1: исследование прямой ветви вольт-амперной характеристики тиристора:

1.1. Соберите с помощью переключателей [W], [Space] схему, представленную на рис. 5. В данном эксперименте тиристор VS1 включится по достижении определённого напряжения включения между анодом и катодом (при отсутствии управляющего сигнала), что является частным случаем и соответствует типу тиристора, называемого динистром. Зафиксируйте напряжение включения тиристора и занесите его в табл. 1.

1.2. Установите сопротивление нагрузки 500 Ом.

1.3. Установите сопротивление потенциометра $R1=1\text{ Ом}$.

1.4. Уменьшая сопротивление потенциометра $R1$ снимите показания с вольтметра $V1$ и амперметра $A1$ (5...7 значений). Данные запишите в табл. 1

1.5. После того как тиристор включился он сам себя поддерживает в открытом состоянии. Для его выключения переведите переключатель $[W]$ в верхнее положение (тем самым создав запирающую полярность напряжения для тиристора) и дождитесь, когда ток на амперметре $A1$ снизится до минимального значения. Выведите значение потенциометра $R1$ на максимальное значение. Затем переведите переключатель $[W]$ в нижнее положение.

1.6. Повторяем действия п. 1.4, уменьшая значение сопротивления потенциометра $R1$, доведите его значение до минимального значения равного 75%, при этом фиксируя показания вольтметра $V1$ и амперметра $A1$ (3...5 значений). Записав при этом в табл. 1 напряжение включения $U_{вкл2}$ с вольтметра $V2$ при значении сопротивления потенциометра равного 75%. Затем подайте сигнал управления, переключив переключатель $[Space]$ в верхнее положение. Дождитесь, когда тиристор включится (напряжение на вольтметре $V1$ имеет минимальное значение, ток на амперметре $A1$ – максимальное) и зафиксируйте значения тока и напряжения. Данные занесите в табл. 1. Выключите тиристор $VS1$ повторив п. 1.5.

1.7. Повторите п. 1.6 с двумя минимальными значениями сопротивления $R1$ в диапазоне 60% ...65%.

Таблица 1

| $U_{вкл1}= \text{ В}$ | | | | | | | |
|-----------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| $U1, \text{ В}$ | | | | | | | |
| $I1, \text{ А}$ | | | | | | | |
| $U_{вкл2}= \text{ В}$ | | | | | | | |
| $U1, \text{ В}$ | | | | | | | |
| $I1, \text{ А}$ | | | | | | | |
| $U_{вкл3}= \text{ В}$ | | | | | | | |
| $U1, \text{ В}$ | | | | | | | |
| $I1, \text{ А}$ | | | | | | | |
| $U_{вкл4}= \text{ В}$ | | | | | | | |
| $U1, \text{ В}$ | | | | | | | |
| $I1, \text{ А}$ | | | | | | | |

Задание 2: исследование обратной ветви вольт-амперной характеристики тиристора:

2.1. Соберите с помощью переключателей $[W]$, $[Space]$ схему, представленную на рис. 5 при этом переключатель $[W]$ включен в верхнее положение, которое соответствует запирающей для тиристора $VS1$ полярности.

2.2. Установите сопротивление нагрузки 500 Ом.

2.3. Установите сопротивление потенциометра $R1=1\text{ Ом}$.

2.4. Уменьшая сопротивление потенциометра R1 снимите показания с вольтметра V1 и амперметра A1 (5...7 значений). Данные запишите в табл. 2.

2.5. Убедитесь, что при запирающей полярности напряжения условий для включения не существует даже при наличии сигнала управления, переводя переключатель [Spase] в верхнее положение.

Таблица 2

| | | | | | | | |
|-------|--|--|--|--|--|--|--|
| U1, В | | | | | | | |
| I1, А | | | | | | | |

По результатам экспериментов постройте вольт-амперные характеристики в одних осях: прямую ветвь в первом квадранте, обратную ветвь в третьем квадранте.

Контрольные вопросы

1. Какие типы тиристоров вы знаете и чем они отличаются друг от друга?
2. Как работает динистор, каковы его основные характеристики?
3. Как влияет температура на характеристики тиристоров?
4. Как изменяется вольтамперная характеристика тринистора при увеличении величины управляющего импульса и почему?
5. Почему тиристор называют частично управляемым вентилем?
6. Нарисуйте структуру р-п-переходов тринистора и подпишите его выводы.
7. Чем отличается симистор от тринистора по структуре и по характеристикам?
8. Каковы условия открытия тринистора?
9. Какие условия должны быть выполнены, чтобы тринистор закрылся?
10. Чем двухоперационный тиристор отличается от однооперационного?