

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (справочное) Пример получения информации о тиристоре

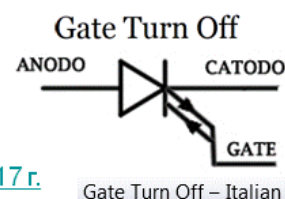


Классификация силовых преобразователей  
электропривода и их элементная база

Н.А.Хлебалин

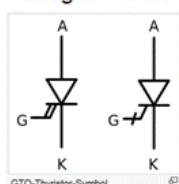
Запираемые тиристоры GTO выпускаются на большие токи и напряжения, но частота коммутации у них ограничена приблизительно 500 Гц.

**GTO-Thyristor** <https://de.wikipedia.org/wiki/GTO-Thyristor> 22 октября 2017 г.



Der **GTO-Thyristor** (englisch *gate turn-off thyristor*) ist ein **Thyristor**, der wie ein normaler Thyristor mit einem positiven Stromimpuls am Steuereingang – dem *Gate* – eingeschaltet werden kann. Im Gegensatz zum normalen Thyristor kann er mittels eines negativen Stromimpulses (der bis zu einem Drittel des Laststroms beträgt) auch ausgeschaltet werden.

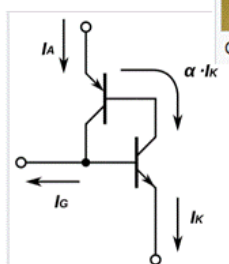
#### Typische technische Parameter



GTO-Thyristor-Symbol



GTO-Thyristor für 1,6 kA



Ersatzschaltung

Vorwärtsspannung	$U_F$	vor Zündung 50 V bis 5 kV
		nach Zündung 0,6 V bis 3 V
Vorwärtsstrom	$I_F$	bis 3 kA
Rückwärtsspannung	$U_R$	bis 5 kV

Characteristic	Description	Thyristor (1600 V, 350 A)	GTO (1600 V, 350 A)
$V_{T\ ON}$	On state voltage drop	1.5 V	3.4 V
$t_{on}, I_{g\ on}$	Turn on time, gate current	8 $\mu$ s, 200 mA	2 $\mu$ s, 2 A
$t_{off}$	Turn off time	150 $\mu$ s	15 $\mu$ s

Comparison of an SCR and GTO of same rating.

### Теоретическая часть

Тиристор – это четырехслойный полупроводниковый прибор, обладающий двумя устойчивыми состояниями: состоянием низкой проводимости (тиристор закрыт) и состоянием высокой проводимости (тиристор открыт).

Тиристор как ключевой элемент нашел широкое применение в цепях постоянного и переменного токов. Режим работы, когда отпирание прибора следует после достижения на нем напряжения переключения (переключение по цепи анода), используется в схемах с динисторами. Для тиристора переключение по цепи анода представляет интерес лишь с точки зрения анализа принципа действия. Практически же применяется режим отпирания тиристора по управляющему электроду, то есть за счет подачи на управляющий электрод отпирающего импульса напряжения.

Основные параметры тиристоры:

$U_{\text{вкл}}$  – прямое анодное напряжение, при котором происходит включение тиристора;

$I_{\text{вкл}}$  – ток включения;

$I_{\text{у вкл}}$  – отпирающий ток управления - наименьший ток в цепи управляющего электрода, который обеспечивает переключение при данном напряжении анода;

$I_{\text{пр max}}$  – максимально допустимый ток в прямом направлении.

Существуют двухэлектродные тиристоры - динисторы; трехэлектродные тиристоры - триисторы, в которых возможно управление напряжением включения тиристора (обычно их и называют тиристорами). Разработаны тиристоры, имеющие одинаковые ВАХ при различной полярности приложенного напряжения. Это симметричные тиристоры - симисторы. Включение тиристора как это следует из вышесказанного, можно производить: а) путем медленного увеличения анодного напряжения; б) путем подачи напряжения на управляющий электрод. Возможно также включение тиристора путем быстрого увеличения анодного напряжения. При этом через прибор будут протекать значительные емкостные токи, приводящие к уменьшению напряжения включения с ростом скорости изменения напряжения  $\partial U / \partial t$ .

Восстановление запирающих свойств осуществляется за счёт приложения к тиристоры обратного напряжения. Величина  $t_{\text{в}}$  определяет время в течение которого происходит полное рассасывание носителей заряда в базовых слоях ранее проводившего тиристора при приложении обратного напряжения, по окончании которого к прибору может быть вновь приложено напряжение в прямом направлении без опасения его самопроизвольного отпирания. Процесс восстановления запирающих свойств происходит за счет двух факторов: протекания обратного тока через тиристор, при котором отводится основная часть носителей заряда, накопленных в базах прибора, и рекомбинации оставшихся носителей заряда. Величины  $t_{\text{вк}}$  и  $t_{\text{к}}$  определяют частотные свойства тиристора и зависит от его типа. Время  $t_{\text{вк}}$  составляет от 1-5 до 30 мкс, а время  $t_{\text{в}}$  от 5-12 до 250 мкс.

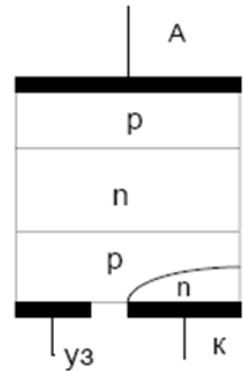


Рис. 1 Полупроводниковая структура тиристора

Вольтамперные характеристики динистора представлены на рис. 2, а тиристора на рис. 3.

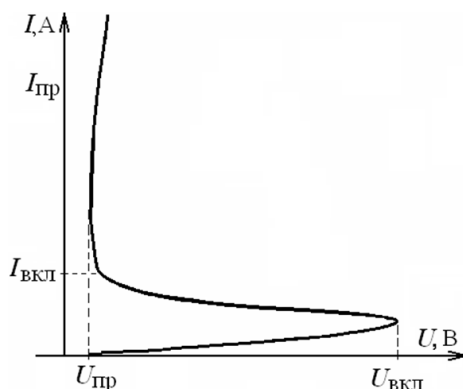


Рис. 2 Вольтамперная характеристики динистора

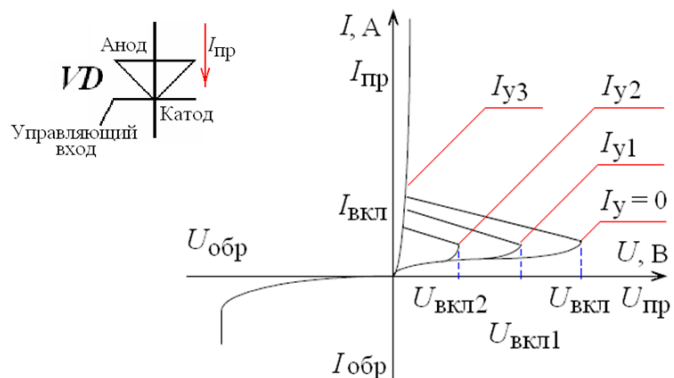
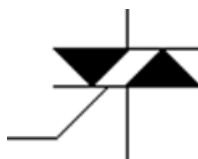


Рис. 3 Вольтамперные характеристики тиристора для различных токов управления

Тиристор, который может открываться при отрицательном напряжении  $U_a$ , называется симистором (симметричный тиристор). Расположение нагрузки в анодной или катодной цепи принципиального значения не имеет.



Симистор может открываться при положительном и отрицательном значениях анодного напряжения положительным и отрицательным импульсами соответственно на управляющем входе. Временная диаграмма работы управляемого выпрямителя на симисторе представлена на рис. 14.

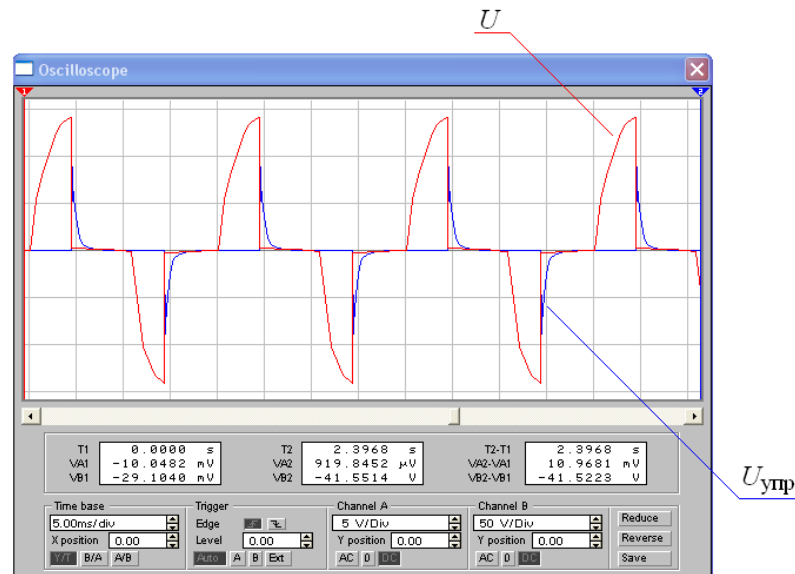


Рис. 14 Временная диаграмма работы симистора

## Общие параметры тиристоров

1. **Напряжение включения** — это минимальное анодное напряжение, при котором тиристор переходит во включенное состояние.
2. **Прямое напряжение** — это прямое падение напряжения при максимальном токе анода.
3. **Обратное напряжение** — это максимально допустимое напряжение на тиристоре в закрытом состоянии.
4. **Максимально допустимый прямой ток** — это максимальный ток в открытом состоянии.
5. **Обратный ток** — ток при максимальном обратном напряжении.
6. **Максимальный ток управления электрода**
7. **Время задержки включения/выключения**
8. **Максимально допустимая рассеиваемая мощность**

Для динисторов используются значения параметров (рис. 4):

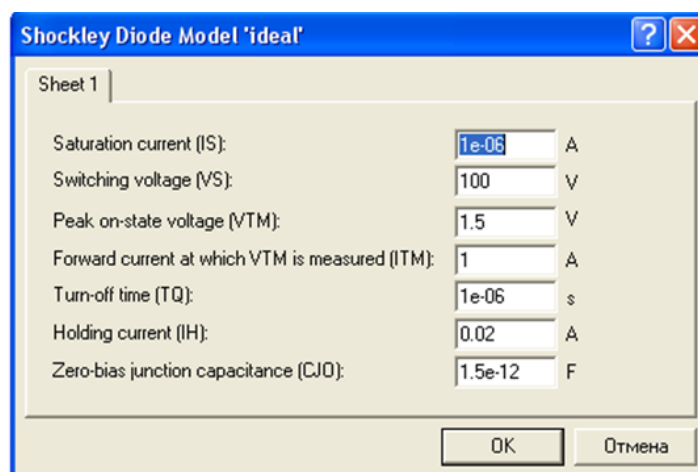


Рис. 4 Значения параметров диодистора

Обозначение параметров:

$I_S$  — обратный ток диодистора;

$V_S$  — напряжение, при котором диодистор переключается в открытое состояние;

$V_{TM}$  — падение напряжения в открытом состоянии;

$I_{TM}$  — ток в открытом состоянии;

$T_Q$  — время переключения в закрытое состояние;

$C_{JO}$  — барьерная емкость диодистора при нулевом напряжении на переходе;

$I_H$  — минимальный ток в открытом состоянии (если он меньше установленного, то прибор переходит в закрытое состояние).

Для тиристоров используются значения параметров (рис. 5):

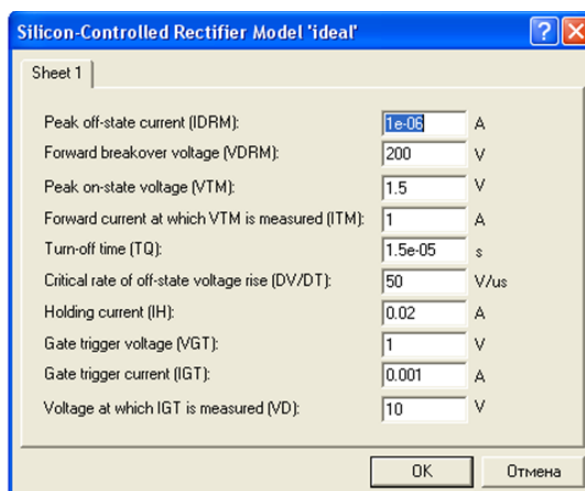


Рис. 5 Значения параметров тиристора

Обозначение параметров тиристора:

$IDRM$  — обратный ток тиристора;

$V_{DRM}$  — напряжение, при котором тиристор переключается в открытое состояние при нулевом напряжении на управляющем электроде;

$V_{TM}$  — падение напряжения в открытом состоянии;

$I_{TM}$  — ток в открытом состоянии;

$T_Q$  — время переключения в закрытое состояние;

$I_H$  — минимальный ток в открытом состоянии (если он меньше установленного, то прибор переходит в закрытое состояние);

$DV/DT$  — допустимая скорость изменения напряжения на аноде тиристора, при котором он продолжает оставаться в закрытом состоянии (при большей скорости тиристор открывается);

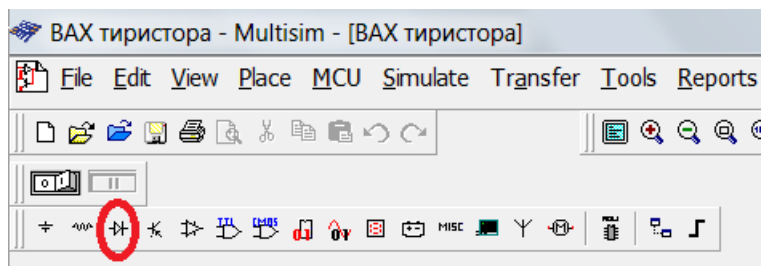
$V_{GT}$  — напряжение на управляющем электроде открытого тиристора

$I_{GT}$  — ток управляющего электрода;

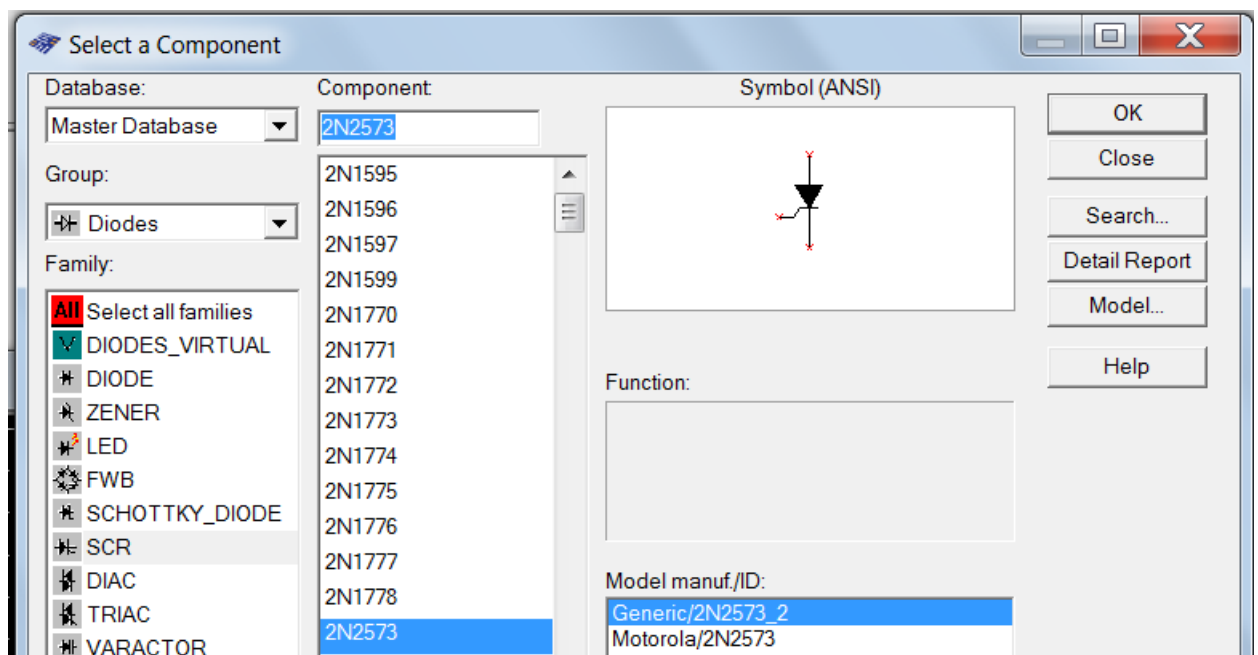
$V_D$  — отпирающее напряжение на управляющем электроде.

### Параметры тиристора 2N2573

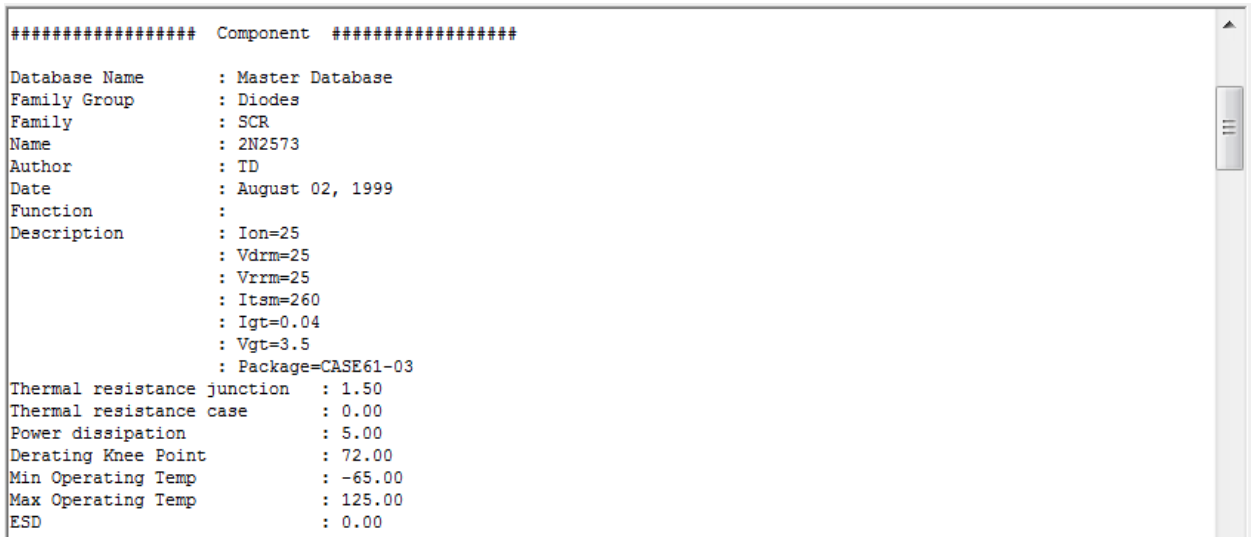
Входим в базу - щёлкаем по изображению диода в линейке элементов (обведено красным овалом):



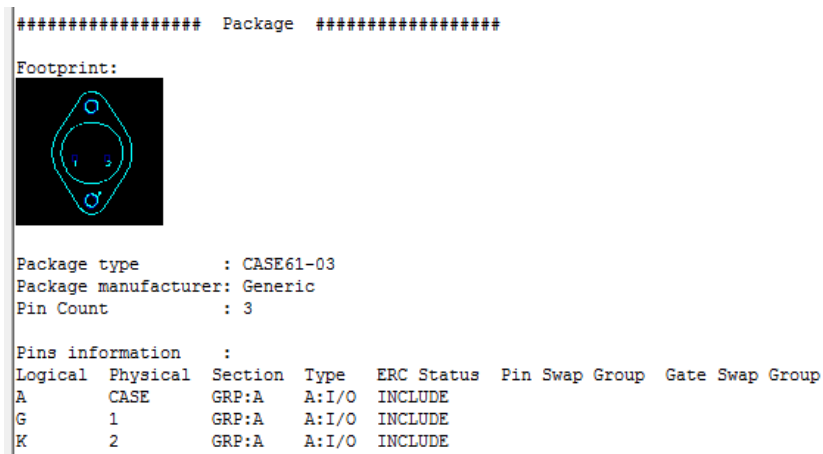
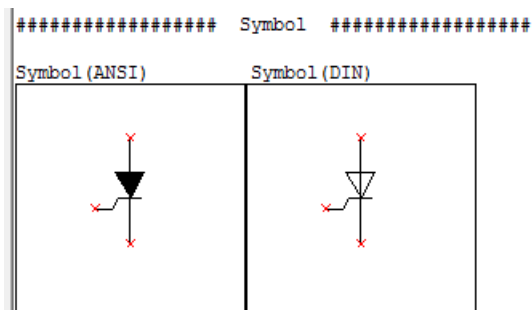
Выбираем тиристор:



Запрашиваем подробные сведения (Detail report):

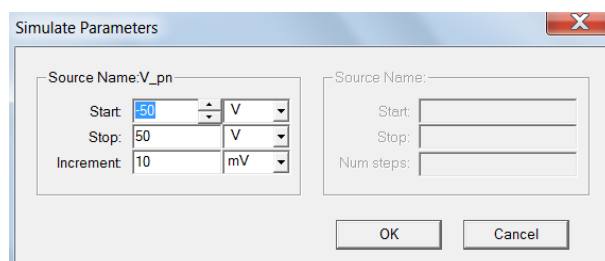


Смотрим обозначения на схемах и цоколёвку:



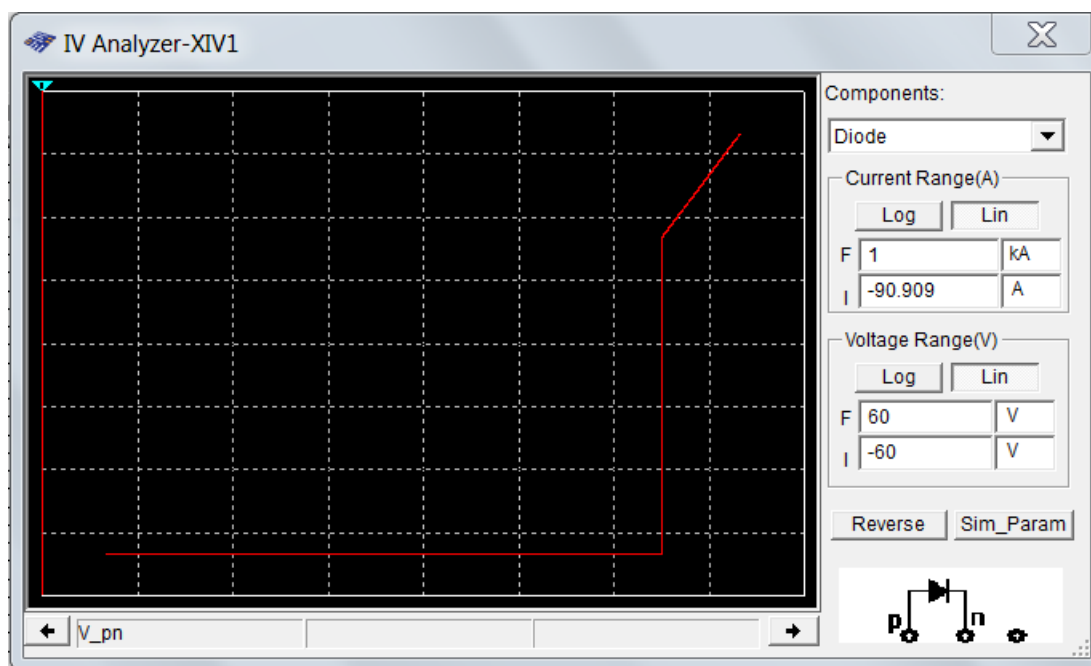
## МОДЕЛИРОВАНИЕ

При исходных настройках анализатора



получаем следующую ВАХ:





Так как управляющий электрод к анализатору не подключен, тиристор работает как диодистор. Используя визир, можно убедиться, что напряжение включения равно 37,5 В. Это приблизительно совпадает с паспортным значением ( $25 \cdot 1,414 = 35,35$  В). Правда, ток при этом значительно превышает  $I_{sm} = 260$  А (почему-то ток  $I_{tm}$  не указан).