

Тиристоры

Докладчики: студенты группы 21301

Гардер Александр

Стафеев Федор

Лебедев Константин

[Начать просмотр](#)

Карта презентации

Общие сведения

Зонные диаграммы и токи диодного тиристора в открытом состоянии

Зонная диаграмма динистора

Зависимость коэффициента передачи α от тока эмиттера

ВАХ динистора

Зависимость коэффициента M от напряжения V_{G^2}
Умножение в коллекторном переходе

Тринистор

ВАХ тринистора

Общие сведения

- *Тиристор* – это полупроводниковый прибор с тремя и более p - n переходами, вольтамперная характеристика которого имеет участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением и который используется для переключения.
- Структура тиристора показана на рисунке 1. Тиристор представляет собой четырехслойный p_1 - n_1 - p_2 - n_2 прибор, содержащий три последовательно соединенных p - n перехода (Π_1 , Π_2 и Π_3). Обе внешние области называют эмиттерами ($\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2$), а внутренние области – базами ($\mathcal{B}_1, \mathcal{B}_2$) тиристора (рис. 1а). Переходы Π_1 и Π_2 называются эмиттерными, переход Π_3 – коллекторный переход.
- Управляющий электрод может быть подключен к любой из баз ($\mathcal{B}_1, \mathcal{B}_2$) тиристора, как показано на рисунке 1б.
- Прибор без управляющих электродов работает как двухполюсник и называется *диодным тиристором* (*динистором*). Прибор с управляющим электродом является трехполюсником и называется *триодным тиристором*.

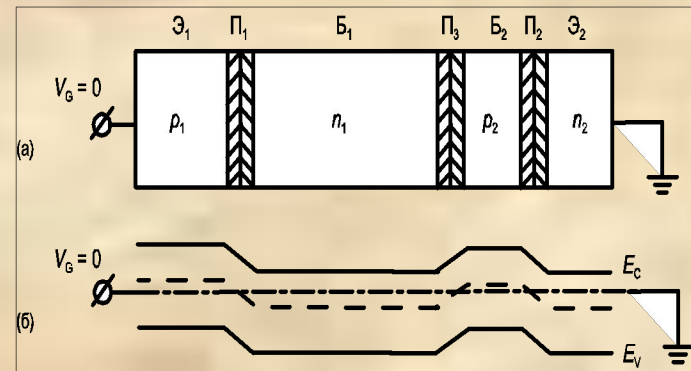


Рис. 1. Схема диодного тиристора
а) структура диодного тиристора; б) зонная диаграмма

- При создании тиристора в качестве исходного материала выбирается подложка n - или p -типа. Типичный профиль легирующей примеси в диффузионно-сплавном приборе показан на рисунке 3. В качестве исходного материала выбрана подложка n -типа. Диффузией с обеих сторон подложки одновременно создают слои p_1 и p_2 . На заключительной стадии путем сплавления (или диффузии) с одной стороны подложки создают слой n_2 . Структура полученного тиристора имеет вид $p_1^+-n_1-p_2-n_2^+$.

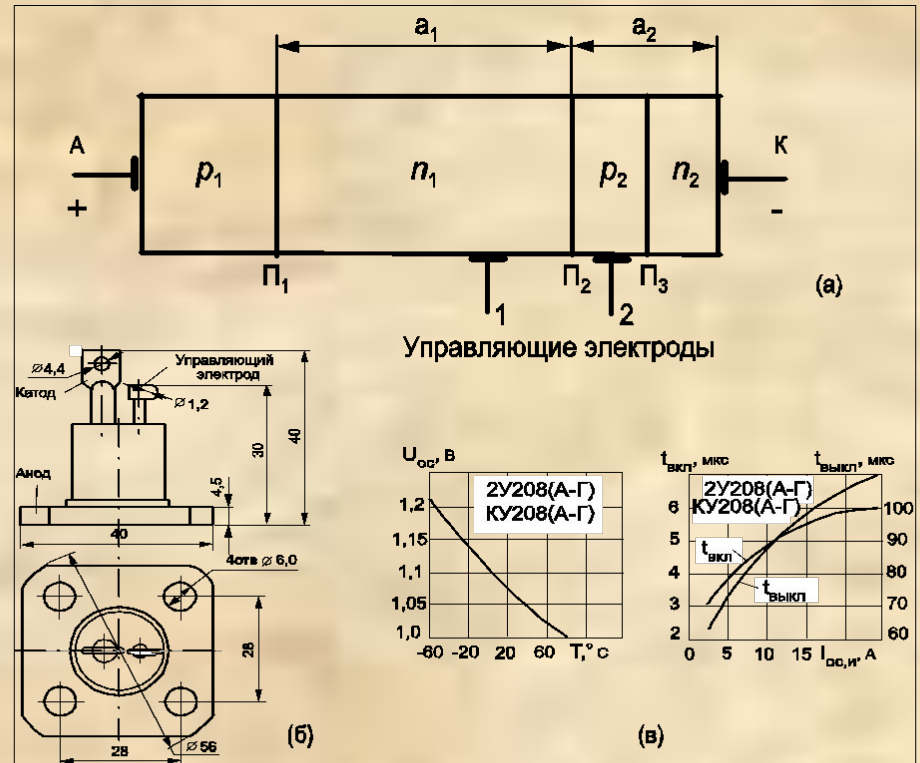


Рис. 2. Схема (а), приборная реализация (б) и характеристики (в) триодного тиристора

Профиль концентрации легирующей примеси (N_s) в эмиттерах и базах тиристора

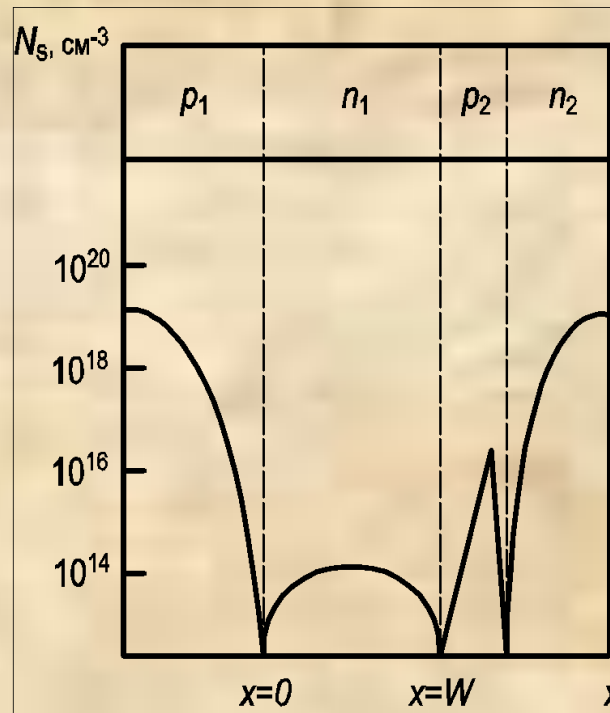


Рис 3. (Смотри заголовок).



Зонная диаграмма динистора на различных участках ВАХ

- Вольт-амперная характеристика диодного тиристора приведенная на рисунке 4, имеет несколько различных участков. Прямое смещение тиристора соответствует положительному напряжению V_G , подаваемому на первый p_1 -эмиттер тиристора.
- Участок характеристики между точками 1 и 2 соответствует закрытому состоянию с высоким сопротивлением. В этом случае основная часть напряжения V_G падает на коллекторном переходе P_2 , который в смещен в обратном направлении. Эмиттерные переходы P_1 и P_2 включены в прямом направлении. Первый участок ВАХ тиристора аналогичен обратной ветви ВАХ $p-n$ перехода.
- При достижении напряжения V_G , называемого напряжением включения $U_{вкл}$, или тока J , называемого током включения $J_{вкл}$, ВАХ тиристора переходит на участок между точками 3 и 4, соответствующий открытому состоянию (низкое сопротивление). Между точками 2 и 3 находится переходный участок характеристики с отрицательным дифференциальным сопротивлением, не наблюдаемый на статических ВАХ тиристора.

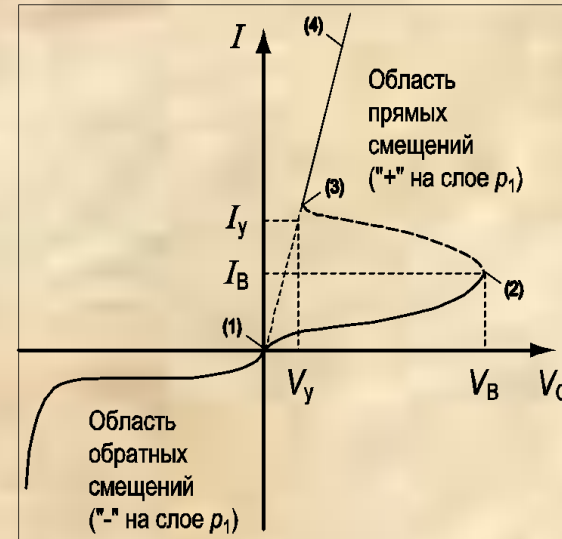


Рис. 4. ВАХ тиристора

V_G — напряжение между анодом и катодом; I_Y, V_Y — минимальный удерживающий ток и напряжение



Вах динистора

В стационарном случае токи через переходы Π_1, Π_2, Π_3 равны, тогда

$$I = M(\alpha_1 I_{\Pi_1} + \alpha_2 I_{\Pi_2} + I_{E0}), (4)$$

откуда

$$I = \frac{MI_{E0}}{1 - M\alpha}; \quad I = \frac{MI_{E0}}{1 - M(\alpha_1 + \alpha_2)}, (5)$$

где $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = \frac{M(n_2 - p_2)}{n_1 - p_1 - p_2}$ – суммарный коэффициент передачи тока первого

и второго транзистора. Выражение (5) в первом приближении описывает ВАХ диодного тиристора на «закрытом» участке.

По мере роста значения $M(\alpha_1 + \alpha_2)$ значение α устремится к 1. Это соответствует состоянию «закрыто» в состоянии «открыто».

Напряжение переключения $U_{перекл}$ тиристора от 20-50 В до 1000-2000 В.

Для тиристора (в зависимости от площади) ток в состоянии «закрыто» должен характеризоваться малыми значениями α и M , значениями коэффициентов α_1 и α_2 в состоянии «открыто» – большими.

В закрытом состоянии ($\alpha = 0$) коллекторном переходе (Π_2) в диодном направлении ток $J_{р рек}$ и ток $J_{р диф}$ тиристора в состоянии равновесия приложена энергия в виде смещения («+» на слое p_1) в закрытом состоянии представлена на рисунке 6.

Если полярность напряжения между анодом и катодом сменить на обратную, то переходы Π_1 и Π_3 будут смещены в обратном направлении, а Π_2 – в прямом. ВАХ обратносмещенных $p-n$ переходов.

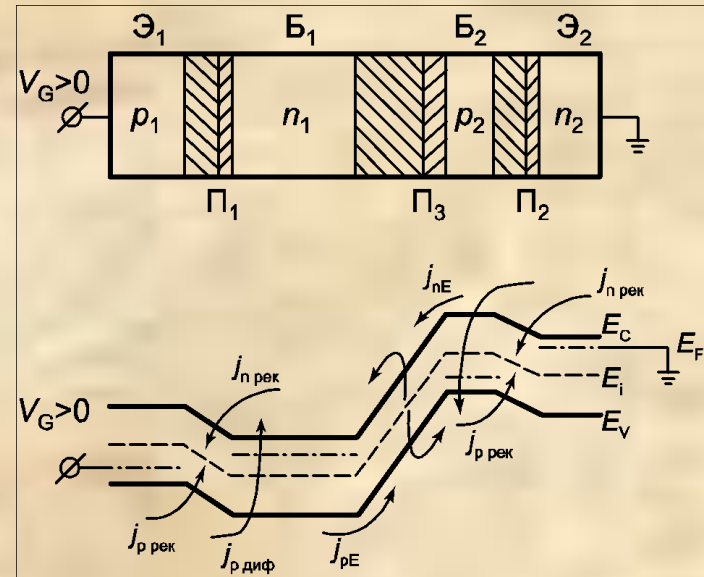


Рис. 6. Зонная диаграмма и токи в тиристор в закрытом состоянии



Зонные диаграммы и токи диодного тиристора в открытом состоянии

- В открытом состоянии (α – велики) все три перехода смещены в прямом направлении. Это происходит вследствие накопления объемных зарядов в базах n_2 , p_2 тиристора.
- Действительно, при больших значениях коэффициента передачи α_2 электроны, инжектированные из n_2 -эмиттера в p_2 -базу, диффундируют к p - n переходу коллектора Π_3 , проходят его и попадают в n_1 -базу. Дальнейшему прохождению электронов по тиристорной структуре препятствует потенциальный барьер эмиттерного перехода Π_1 . Поэтому часть электронов, оказавшись в потенциальной яме n_1 -базы, образует отрицательный избыточный заряд.
- Инжектированные дырки из эмиттера p_1 в базу n_1 диффундируют к p - n переходу коллектора Π_3 , проходят через него и попадают в базу p_2 . Дальнейшему их продвижению препятствует потенциальный барьер эмиттерного перехода Π_2 . Следовательно, в базе p_2 происходит накопление избыточного положительного заряда.
- В результате накопления избыточного положительного заряда в базе p_2 и отрицательного заряда в базе n_1 переход Π_3 смещается в прямом направлении, происходит резкое увеличение тока и одновременное уменьшение падения напряжения на тиристоре. На рисунке 7 приведена зонная диаграмма тиристора с накопленным объемным зарядом в обеих базах n_1 и p_2 .

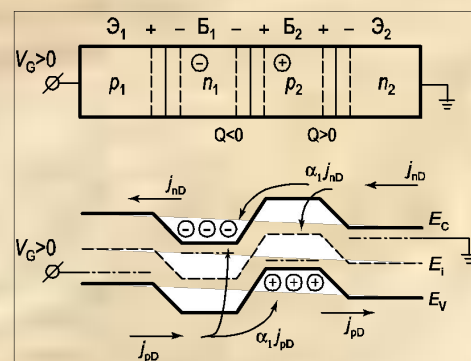


Рис. 7. Зонная диаграмма и токи тиристора в открытом состоянии (везде прямое смещение)

- Величина падения напряжения в прямом участке ВАХ составляет прямое напряжение на трех прямо смещенных $p-n$ переходах и имеет величину порядка 1-2 вольт.
- Зонная диаграмма тиристора в открытом состоянии имеет следующий вид, когда на всех $p-n$ переходах прямое смещение, на Π_1 и Π_2 за счет внешнего напряжения, и на Π_3 за счет объемных зарядов в базах B_1 и B_2 .
- Таким образом, тиристор имеет два устойчивых состояния: малый ток, большое напряжение, высокое сопротивление; и большой ток, малое напряжение, малое сопротивление. Переход тиристора из “закрытого” в “открытое” состояние связан с накоплением объемного заряда в базах B_1 и B_2 из-за роста значения коэффициента передачи эмиттерного тока α и коэффициента умножения M .
- То есть рост α , M с ростом тока J и напряжения V_G в тиристоре является причиной перехода тиристора из состояния “закрытого” в состояние “открытого”.
- В открытом состоянии тиристор находится до тех пор, пока за счет проходящего тока поддерживаются избыточные заряды в базах, необходимые для понижения высоты потенциального барьера коллекторного перехода до величины, соответствующей прямому его включению. Если же ток уменьшить до значения I_y , то в результате рекомбинации избыточные заряды в базах уменьшатся, $p-n$ переход коллектора окажется включенным в обратном направлении, произойдет перераспределение падений напряжений на $p-n$ переходах, уменьшатся коэффициенты передачи α и тиристор перейдет в закрытое состояние.
- Таким образом, тиристор в области прямых смещений (прямое включение) является бистабильным элементом, способным переключаться из закрытого состояния с высоким сопротивлением и малым током в открытое состояние с низким сопротивлением и большим током, и наоборот.



Зависимость коэффициента передачи α от тока эмиттера

- В области малых токов основная причина зависимости α от тока I связана с рекомбинацией в эмиттерном переходе. При наличии рекомбинационных центров в области пространственного заряда эмиттерного перехода прямой ток такого перехода в области малых прямых смещений – рекомбинационный $J_{рек}$. Зависимость этого тока от напряжения экспоненциальная, но показатель экспоненты в два раза меньше, чем для диффузионного тока J_{pD} .
- По мере роста прямого напряжения на $p-n$ переходе диффузионная компонента тока J_{pD} начинает превалировать над рекомбинационной. В терминах эффективности эмиттера это эквивалентно возрастанию эффективности эмиттера, а следовательно, и увеличению коэффициента передач $\alpha = \gamma\chi$. На рисунке 6 показана зонная диаграмма эмиттерного перехода, которая иллюстрирует конкуренцию двух токов – рекомбинационного и диффузионного в токе эмиттера, а на рисунке 8 – типичная зависимость коэффициента передачи α от тока эмиттера I_3 при наличии рекомбинационных центров в ОПЗ $p-n$ перехода.

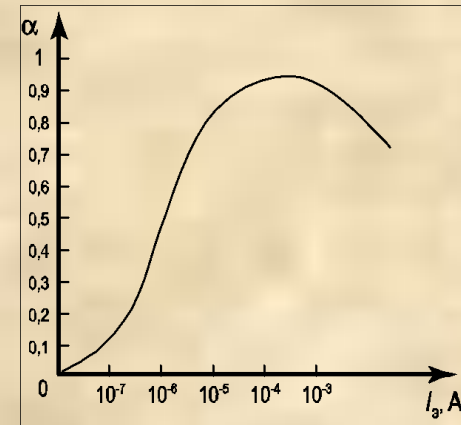


Рис. 8. Типичная зависимость коэффициента передачи α от тока эмиттера I_3

при наличии рекомбинационных центров в ОПЗ $p-n$ переходов



Зависимость коэффициента M от напряжения V_G . Умножение в коллекторном переходе

Другой физический механизм, приводящий к накоплению объемных зарядов в базах тиристора, связан с лавинным умножением в коллекторном переходе. При больших значениях обратного напряжения на $p-n$ переходе величина электрического поля E значению, соответствующему напряжению лавинного пробоя. В области пространственного заряда может возникнуть пробой к λ электрон или дырка набирают энергию $q \cdot \lambda E$, большую, чем ширина запрещенной зоны полупроводника $q \cdot \lambda E > E_g$. В результате происходит лавинному пробое в стабилитронах. генерацию новой электронно-дырочной пары. Это явление аналогично л

Если M – коэффициент умножения, определяемый как количество носителей, рожденных при лавинном умножении одной парой, то M описывается эмпирической формулой:

$$M = \frac{I_{\text{авт}}}{I_{\text{авт}}} = \frac{1}{1 - \left(\frac{U}{U_1}\right)^n}, \quad (6)$$

где U_M – напряжение лавинного пробоя, а n – коэффициент, зависящий от материала базы. Для Ge, Si n равно 3.

Таким образом, лавинное умножение в коллекторном переходе приводит к накоплению объемных зарядов в базах тиристора. С формальной точки зрения, умножение в коллекторе эквивалентно росту коэффициента передачи и величине коллекторного тока.



Тригистор

- Как уже говорилось, чтобы перевести тригистор в открытое состояние, необходимо накопить избыточный отрицательный заряд в базе n_1 и положительный в базе p_2 . Это осуществляется путем увеличения уровня инжекции через эмиттерные переходы Π_1 и Π_3 при увеличении напряжения на тригисторе до $U_{\text{перекл}}$. Накоплением объемных зарядов в базах B_1 и B_2 можно управлять, если у одной из баз имеется контакт, который называется управляющим электродом (см. рис. 1б).
- На управляющий электрод базы подается напряжение такой полярности, чтобы прилегающий к этой базе эмиттерный переход был включен в прямом направлении. Это приводит к росту тока через эмиттерный переход и снижению $U_{\text{перекл}}$. На рисунке 9 приведено семейство ВАХ тригистора при различных значениях управляющего тока.
- При достаточно больших значениях тока $I_{\text{упр}}$ ВАХ тригистора вырождается в прямую ветвь ВАХ диода. Критическое значение тока $I_{\text{упр}}$, при котором на ВАХ тригистора исчезает участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением и тригистор включается, минуя запертое состояние, называется током спрямления.
- Таким образом, наличие $I_{\text{упр}}$ принципиально не меняет существа процессов, определяющих вид ВАХ тригистора, но меняет значения параметров: напряжение переключения и ток переключения.

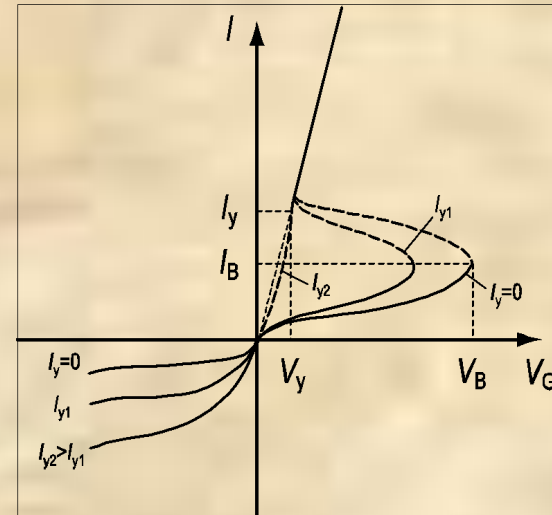
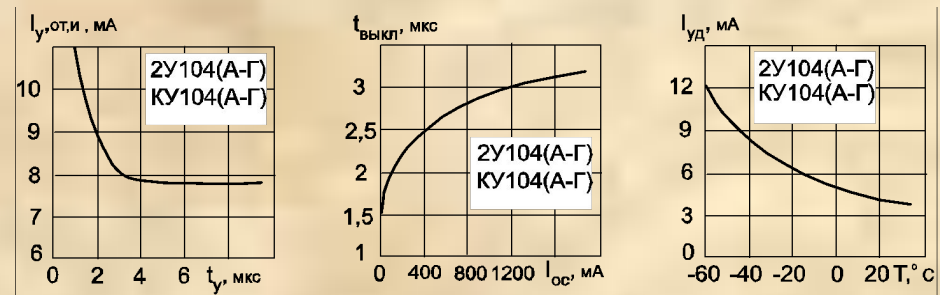


Рис. 9. ВАХ тригистора при различных значениях управляющего тока базы $I_{\text{упр}}$



тригисторов



ВАХ тринистора

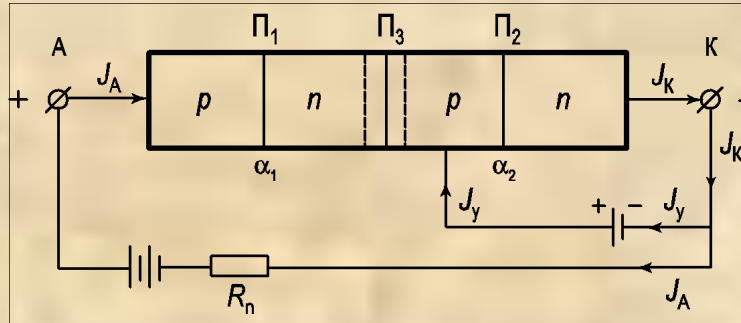


Рис. 11. Схема включения тринистора для расчета ВАХ

Аналогично как для динистора, при наличии управляющего тока I_y запишем систему уравнений для тока тиристора:

$$I_{\bar{1} \rightarrow \bar{3}} = \alpha_1 I_{\bar{1}} = \alpha_1 I_y, \quad I_{\bar{2} \rightarrow \bar{3}} = \alpha_2 I_{\bar{2}}; \quad I_{\bar{1} \rightarrow \bar{2}} = I_y + I_y. \quad (7)$$

Сумма всех токов, протекающих через переход Π_3 , будет равна:

$$(I_y + I_y)\alpha_2 + \alpha_1 I_y + I_{\bar{0}} = I_y. \quad (8)$$

Сохраняя обозначение тока тиристора как и ранее через знак $I = I_y$, запишем:

$$I = \frac{I_{\bar{0}} + \alpha_2 I_{\bar{0}}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (9) \quad \begin{array}{l} M \text{ в коллекторе } \Pi_3 \\ \text{ток через коллекторный} \end{array}$$

переход будет равен: $\alpha_2 M (I_y + I_{\bar{0}}) + \alpha_1 M I_y + M I_{\bar{0}} = I_y. \quad (10)$

Отсюда ВАХ тиристора на закрытом участке равна:

$$I = \frac{I_{\bar{0}} + \alpha_2 I_{\bar{0}}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (11)$$

Уравнение (7.11) описывает ВАХ тиристора в закрытом состоянии, поскольку коэффициенты M , α_1 и α_2 зависят от напряжения V_G .

Аналогично динистору, в открытом состоянии тиристор находится до тех пор, пока за счет проходящего тока поддерживаются избыточные заряды в базах, необходимые для понижения высоты потенциального барьера коллекторного перехода до величины, соответствующей прямому его включению.

Если же ток уменьшить до критического значения I_y , избыточные заряды в базах уменьшатся, $p-n$ то в результате рекомбинации и рассасывания в направлении, произойдет перераспределение зарядов и тиристор перейдет в закрытое состояние. инжекции в переходах, уменьшатся