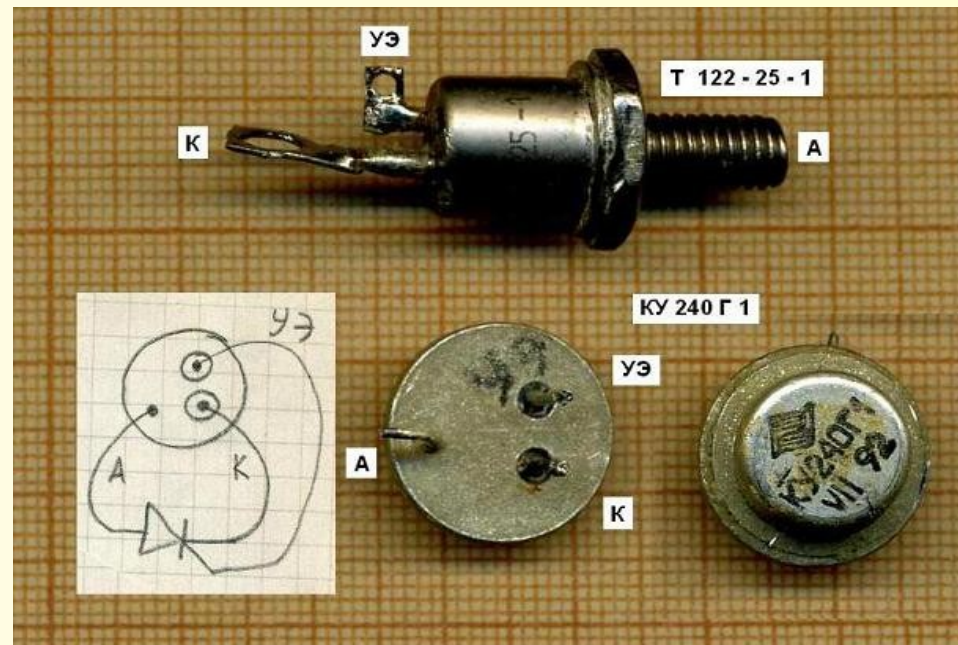
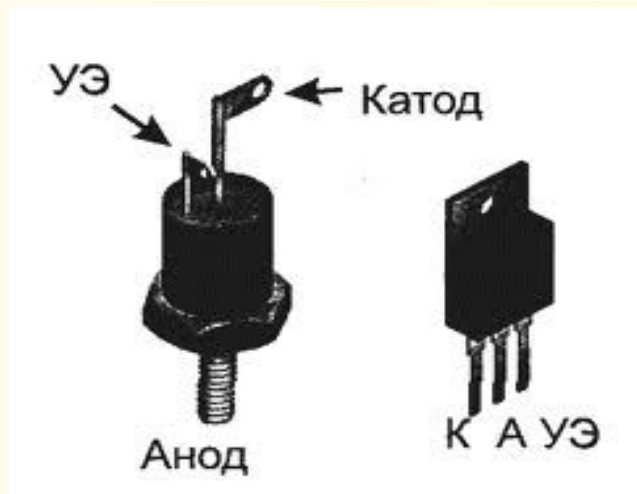


Тиристоры

Автор: Горбунова Ольга
Александровна
гр. 31303

Общие сведения:

Тиристор – это полупроводниковый прибор с тремя и более $p-n$ переходами, вольт-амперная характеристика которого имеет участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением и который используется для переключения



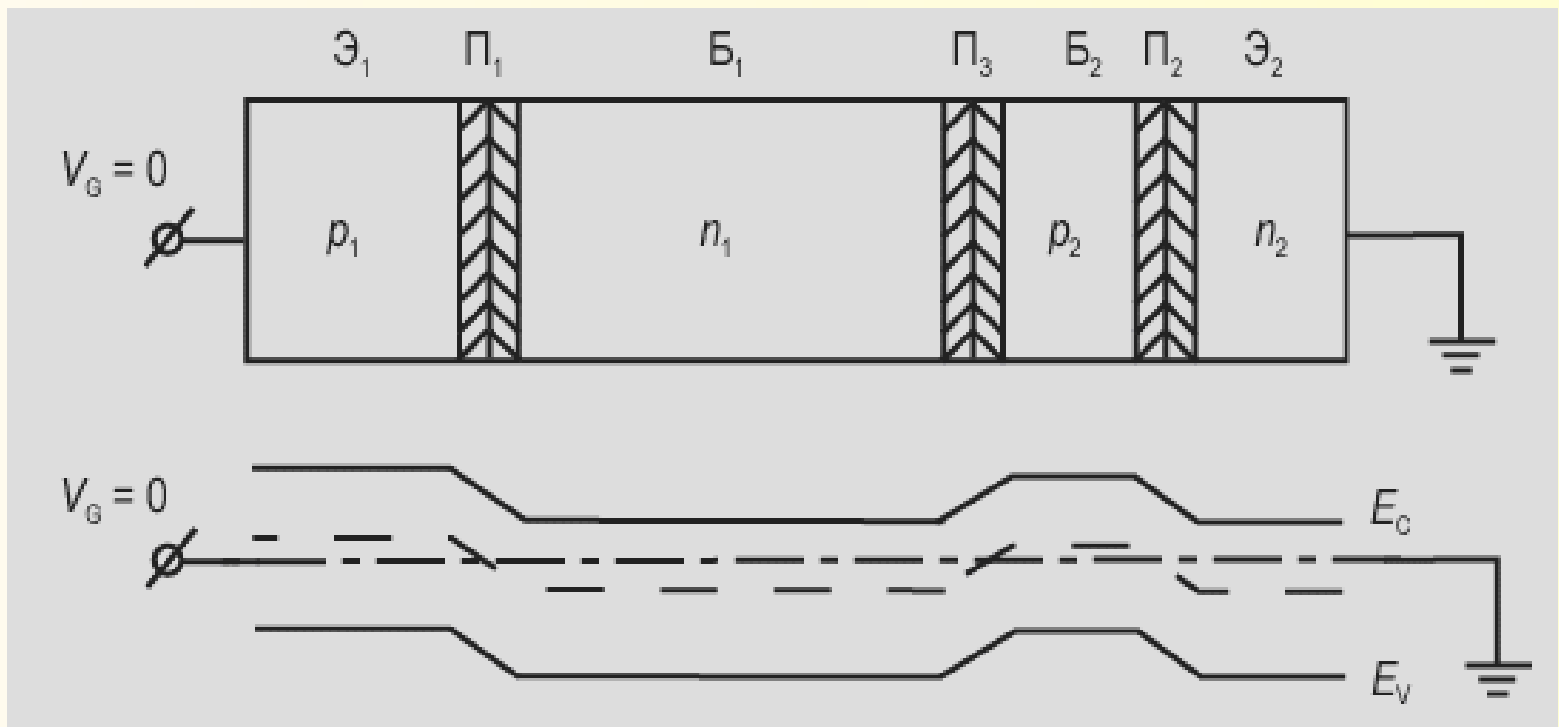
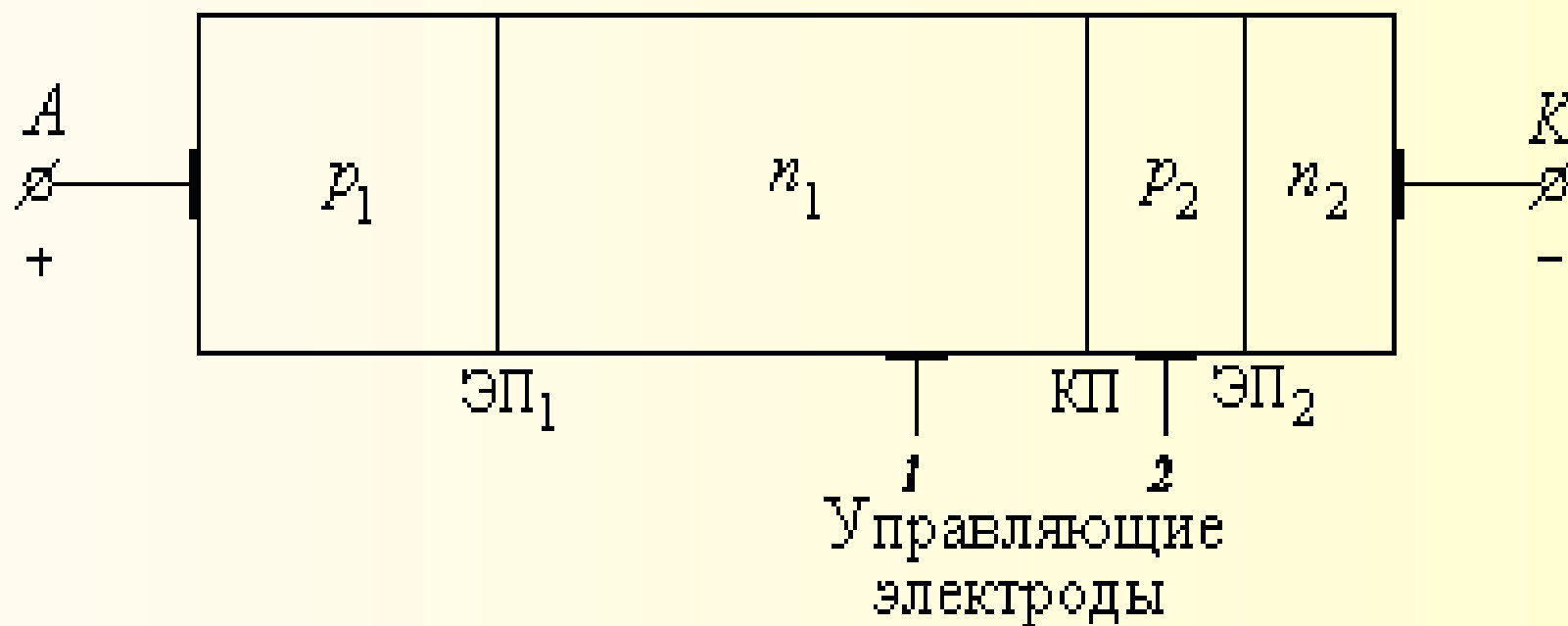


Схема диодного тиристора:

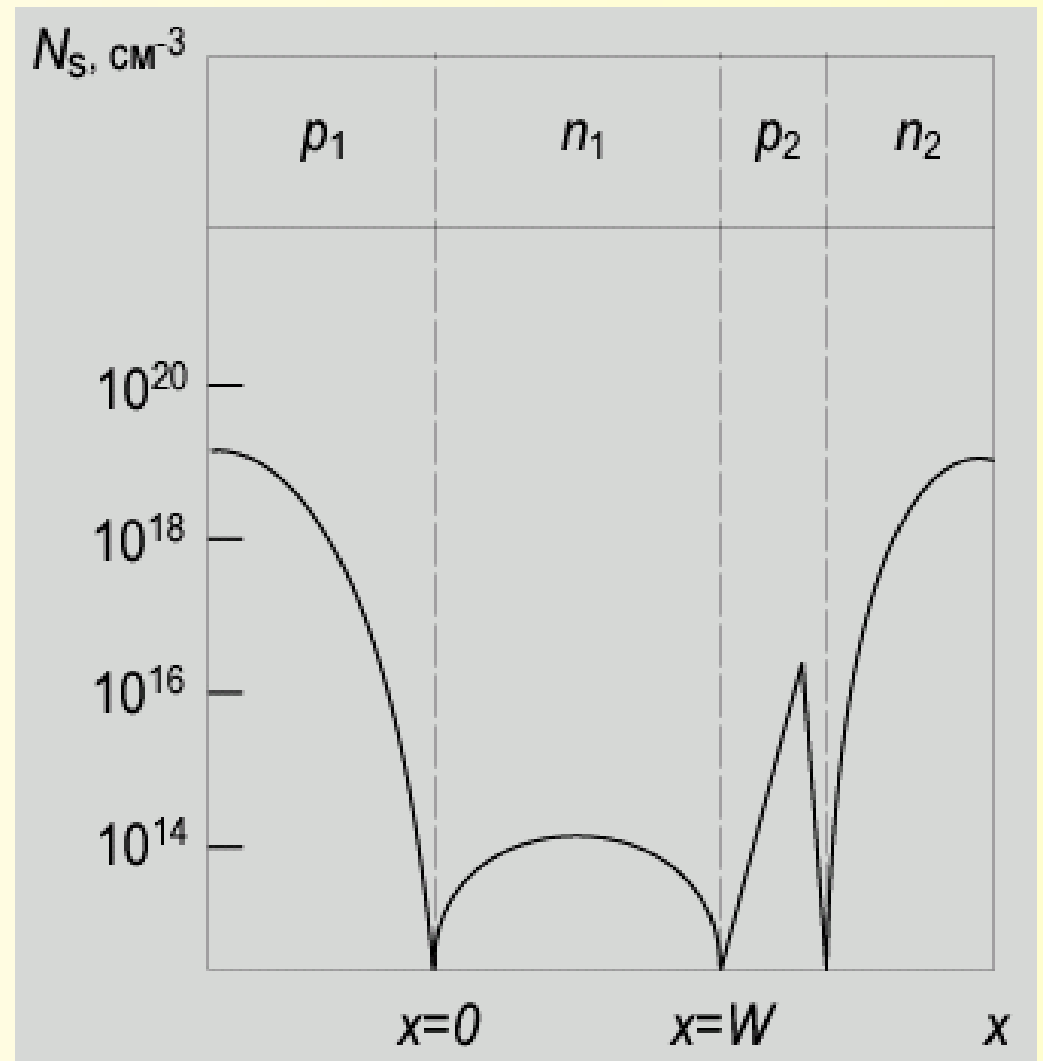
а) структура диодного тиристора; б) зонная диаграмма

Тиристор представляет собой четырехслойный $p_1-n_1-p_2-n_2$ прибор, содержащий три последовательно соединенных $p-n$ перехода (П_1 , П_2 и П_3). Обе внешние области называют эмиттерами (Э_1 , Э_2), а внутренние области – базами (Б_1 , Б_2) тиристора. Переходы П_1 и П_2 называются эмиттерными, переход П_3 – коллекторный переход.

Управляющий электрод может быть подключен к любой из баз тиристора. Прибор без управляющих электродов работает как двухполюсник и называется **диодным тиристором (динистором)**. Прибор с управляющим электродом является трехполюсником и называется **триодным тиристором (тринистором)**.



При создании тиристора в качестве исходного материала выбирается подложка **n-** или **p-типа**. Типичный профиль легирующей примеси в диффузионно-сплавном приборе показан на рисунке. В качестве исходного материала выбрана подложка **n-типа**. Диффузией с обеих сторон подложки одновременно создают слои **p1** и **p2**. На заключительной стадии путем сплавления (или диффузии) с одной стороны подложки создают слой **n2**. Структура полученного тиристора имеет вид **p1+-n1-p2-n2+**.



Профиль концентрации легирующей примеси в эмиттерах и базах транзистора.

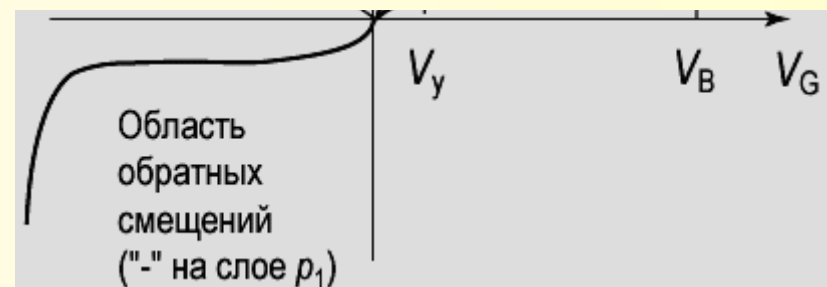
ВАХ тиристора:

Основное свойство тиристора – тиристорный эффект. Тиристорный эффект заключается в том, что система (обладающая им) имеет на ВАХ два участка с различным сопротивлением и может обратимо переключаться между ними.

Область прямых смещений ($V_g > 0$):



Область обратных смещений ($V_g < 0$):

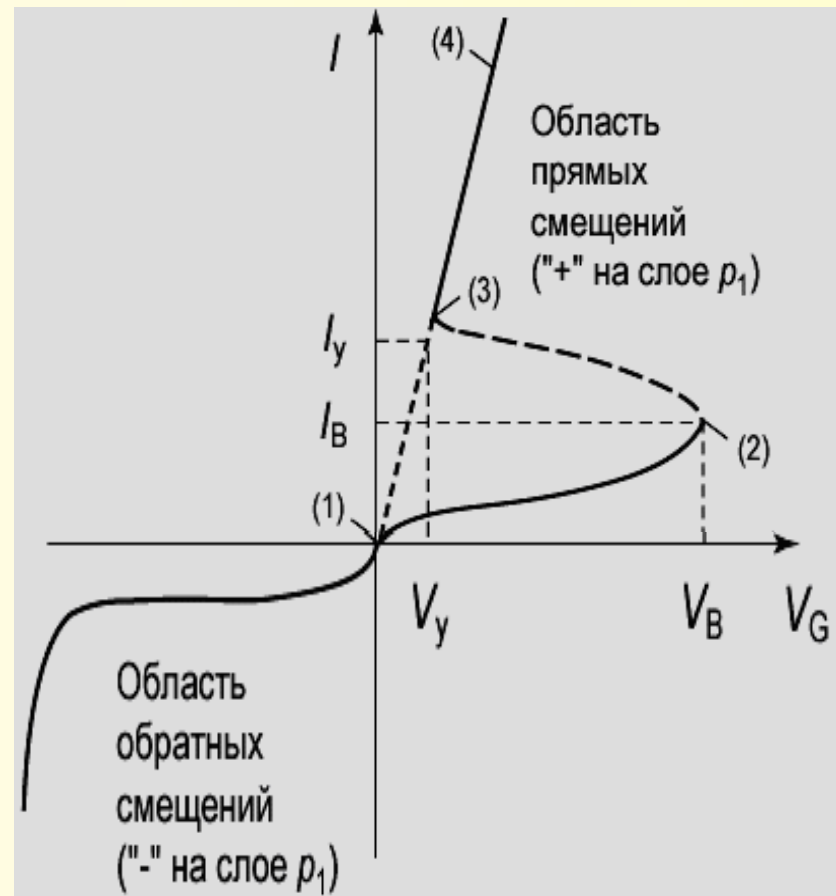


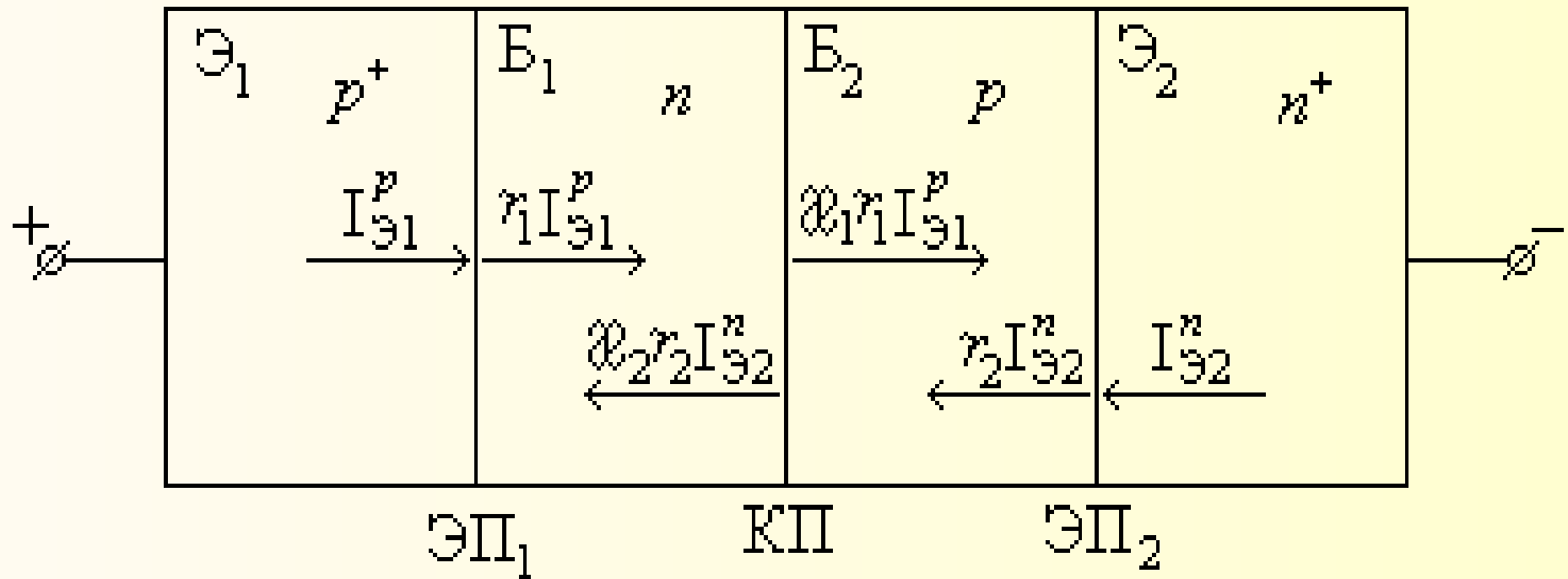
Прямое смещение тиристора соответствует положительному напряжению V_g , подаваемому на первый p_1 -эмиттер тиристора.

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 П2, который смещен в обратном направлении. Эмиттерные переходы включены в прямом направлении. Первый участок ВАХ тиристора аналогичен обратной ветви ВАХ p - n перехода.

При достижении напряжения, 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.

ВАХ тиристора:





Дырки из первого эмиттера инжектируются в первую базу через первый эмиттерный переход, смещенный прямо. Коэффициент инжекции γ_1 . Затем они диффундируют до коллекторного перехода. Коэффициент переноса α_1 . Дырки в первой базе являются неосновными носителями, они экстрагируются через обратно смещенный коллекторный переход во вторую базу. Коэффициент передачи Э₁-Б₂ равен $\alpha_1 = \gamma_1 \alpha_1$.

Электроны из второго эмиттера инжектируются во вторую базу через второй эмиттерный переход. Коэффициент инжекции γ_2 . Затем они диффундируют до коллекторного перехода. Коэффициент переноса α_2 . Электроны во второй базе являются неосновными носителями, они экстрагируются во вторую базу. Коэффициент передачи Э₂-Б₁ равен $\alpha_2 = \gamma_2 \alpha_2$.

Тиристорный эффект наблюдается, если коэффициенты передачи зависят либо от тока, либо от напряжения.

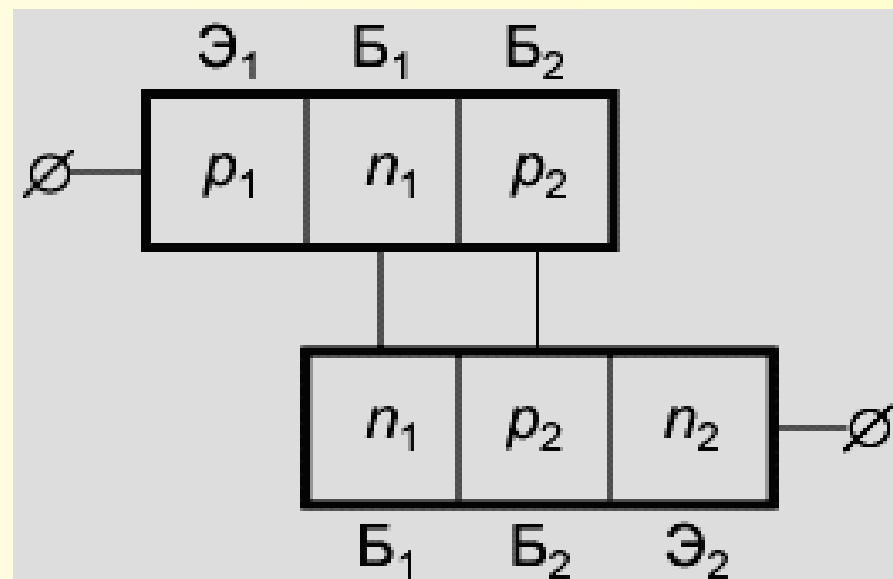
Модель динистора:

Тиристор можно рассматривать как соединение $p-n-p$ транзистора с $n-p-n$ транзистором, причем коллектор каждого из них соединен с базой другого. Центральный переход действует как коллектор дырок, инжектируемых переходом ЭП₁, и как коллектор электронов, инжектируемых переходом ЭП₂.

$I_{п1}$ - ток через переход П1

$I_{п2}$ - ток через переход П2

$I_{п3}$ - ток через переход П3



$I_{п1 \rightarrow п3}$ - часть тока $I_{п1}$, дошедшая до коллекторного перехода П3

α - статическим коэффициентом усиления по току

M - коэффициент лавинного умножения

$I_{к0}$ - обратный ток перехода П3 (генерационный и тепловой)

Токи в динисторе:

$$I_{П1 \rightarrow П3} = \alpha_1 \cdot I_{П1} \quad I_{П2 \rightarrow П3} = \alpha_2 \cdot I_{П2}$$

$$I_{П3} = M \cdot (\alpha_1 I + \alpha_2 I + I_{КО})$$

$$I = M \cdot (\alpha_1 I + \alpha_2 I + I_{КО})$$

$$I = \frac{M \cdot I_{КО}}{1 - M\alpha}$$

$$I = \frac{M \cdot I_{КО}}{1 - M(\alpha_1 + \alpha_2)}$$

Условие переключения:

По мере роста α и M , с ростом V_g :

$$M (\alpha_1 + \alpha_2) = 1 \longrightarrow I = \infty$$

Это и является условием переключения тиристора из состояния «закрыто» в состояние «открыто».

Напряжение переключения $V_{\text{перекл}}$ составляет у тиристорov от **20-50 В** до **1000-2000 В**, а ток переключения

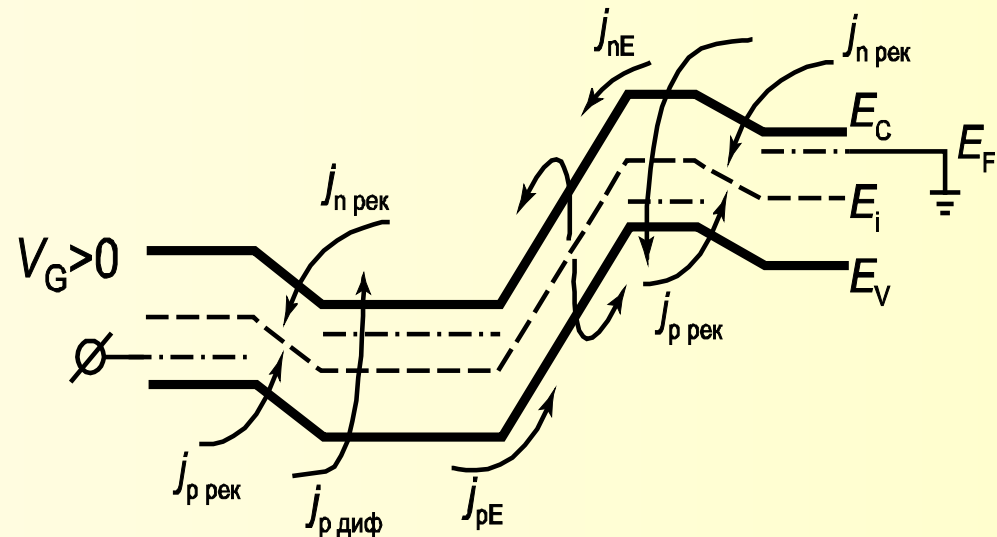
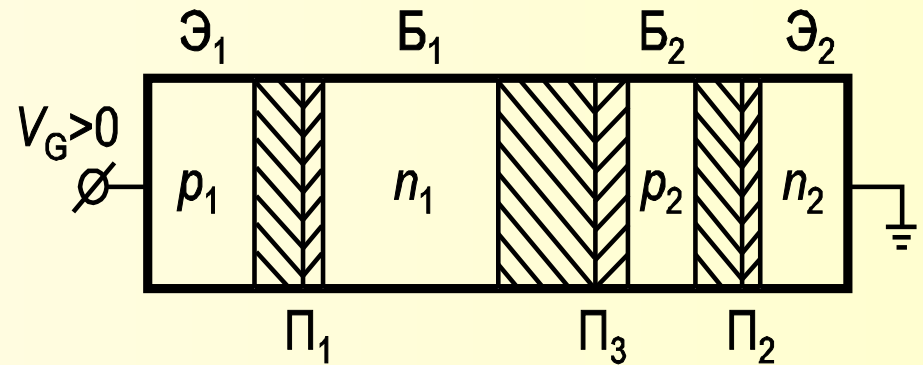
$I_{\text{перекл}}$ - от долей микроампера до единиц миллиампера (в зависимости от площади).

Таким образом, в состоянии «закрыто» тиристор должен характеризоваться малыми значениями α и M , а в состоянии «открыто» – большими значениями коэффициентов α и M .

Закрытое состояние:

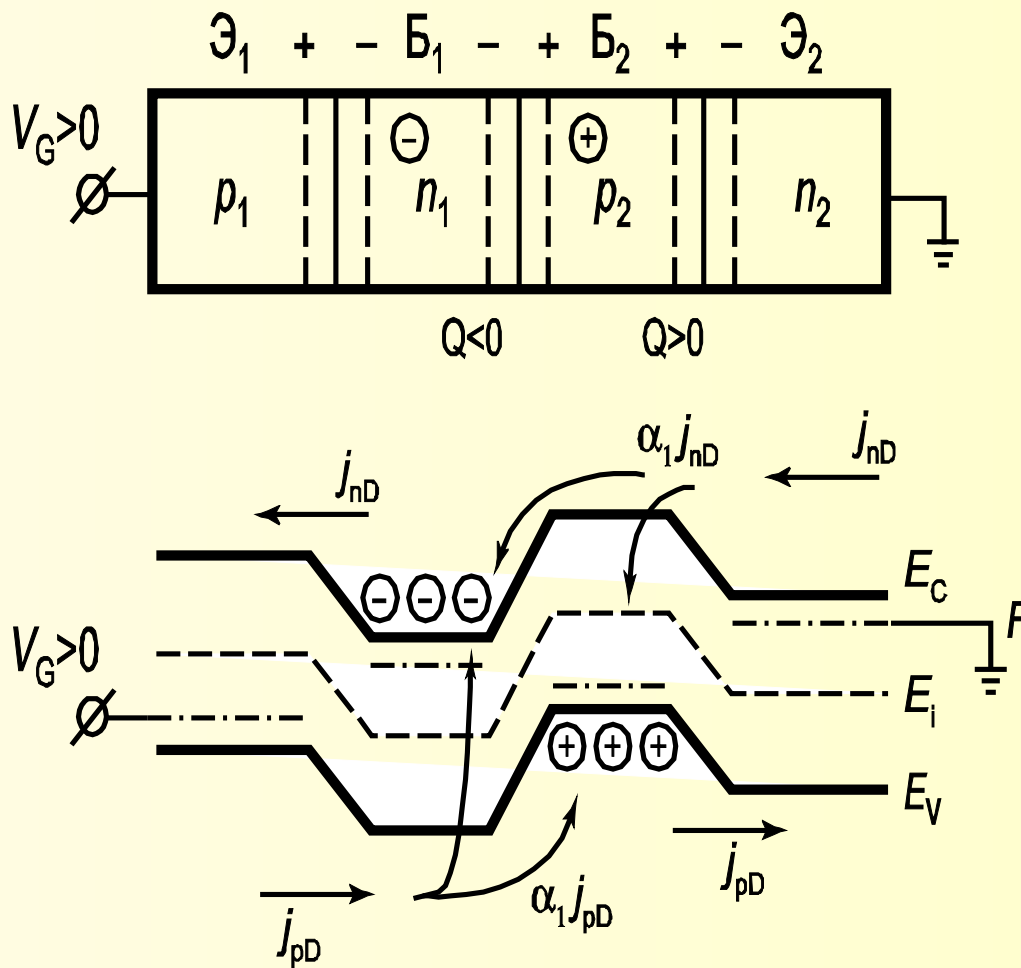
В закрытом состоянии, эмиттерные переходы открыты, а коллекторный переход закрыт. Почти все приложенное напряжение падает на коллекторном переходе, и ток тиристора – это ток обратнo-смещенного p - n перехода. На рисунке показано распределение объемных зарядов в переходах тиристора, зонная диаграмма и токи в закрытом состоянии.

Если полярность напряжения между анодом и катодом сменить на обратную, то переходы П1 и П3 будут смещены в обратном направлении, а П2 - в прямом. **ВАХ** тиристора в этом случае будет обычная **ВАХ** двух обратнo-смещенных p - n переходов.



Открытое состояние:

В открытом состоянии коэффициенты α_1 и α_2 велики. То есть, почти все дырки попадают из \mathcal{E}_1 в \mathcal{B}_2 , и почти все электроны попадают из \mathcal{E}_2 в \mathcal{B}_1 . Дальнейшему прохождению дырок препятствует потенциальный барьер ЭП₂, а дальнейшему прохождению электронов – потенциальный барьер ЭП₁. Накапливается избыточный положительный заряд во второй базе, и избыточный отрицательный в первой. Заряды накапливаются до тех пор, пока их поле не сместит КП в прямом направлении. Таким образом, все три перехода будут смещены в прямом направлении (ЭП за счет внешнего напряжения, а КП за счет поля объемных зарядов в базах), ток резко увеличивается, а падение напряжения уменьшается. На рисунке показаны распределение зарядов, зонная диаграмма и токи в открытом состоянии.



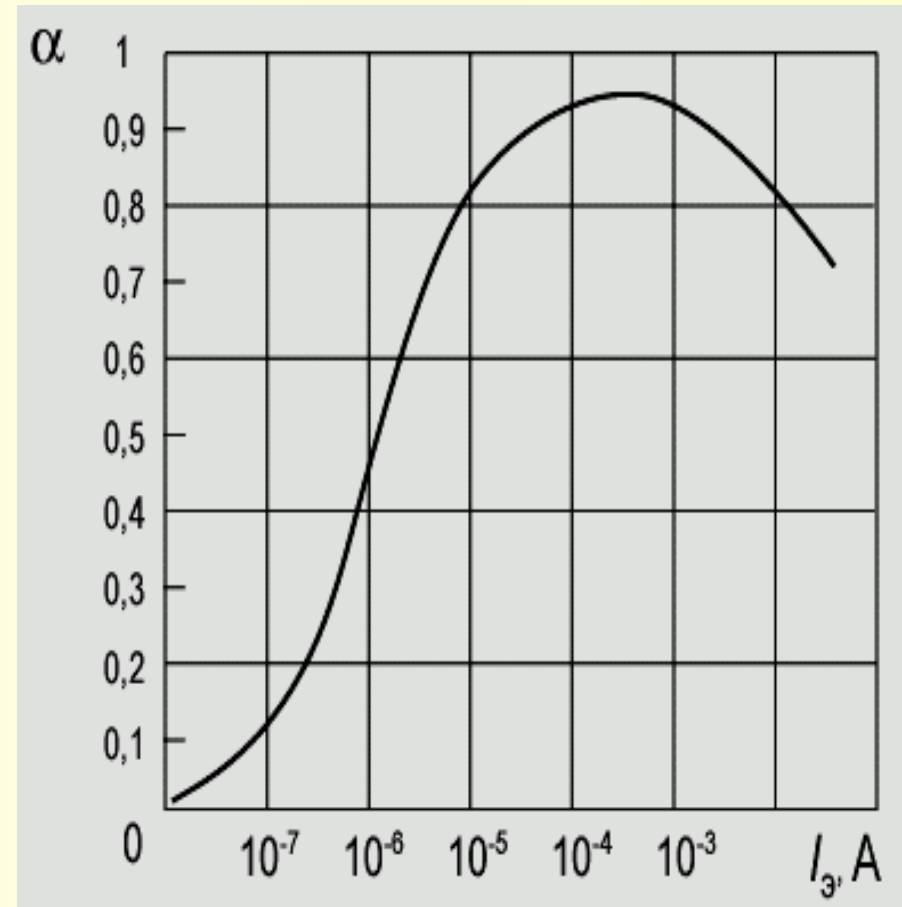
Таким образом, тиристор имеет два устойчивых состояния: малый ток, большое напряжение, высокое сопротивление и большой ток, малое напряжение, низкое сопротивление. Переход тиристора из закрытого состояния в открытое связан с накоплением объемного заряда в базах из-за роста коэффициента передачи эмиттерного тока.

В открытом состоянии тиристор находится до тех пор, пока поддерживаются избыточные заряды в базах, снижающие потенциальный барьер КП. Если уменьшить ток до значения $I_{уд}$, то в результате рекомбинации избыточные заряды на базах уменьшатся, КП окажется включенным в обратном направлении, тиристор перейдет в закрытое состояние.

Время переключения из закрытого состояния в открытое – это время накопления объемных зарядов в базах тиристора.

Зависимость коэффициента передачи α от тока эмиттера.

В области малых токов основная причина зависимости α от тока I связана с рекомбинацией в эмиттерном переходе. По мере роста прямого напряжения на р-п переходе диффузионная компонента тока $J_p D$ начинает превалировать над рекомбинационной, что эквивалентно возрастанию эффективности эмиттера, а следовательно, и увеличению коэффициента передачи α .



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 в области пространственного заряда может приблизиться к значению, соответствующему напряжению лавинного пробоя.

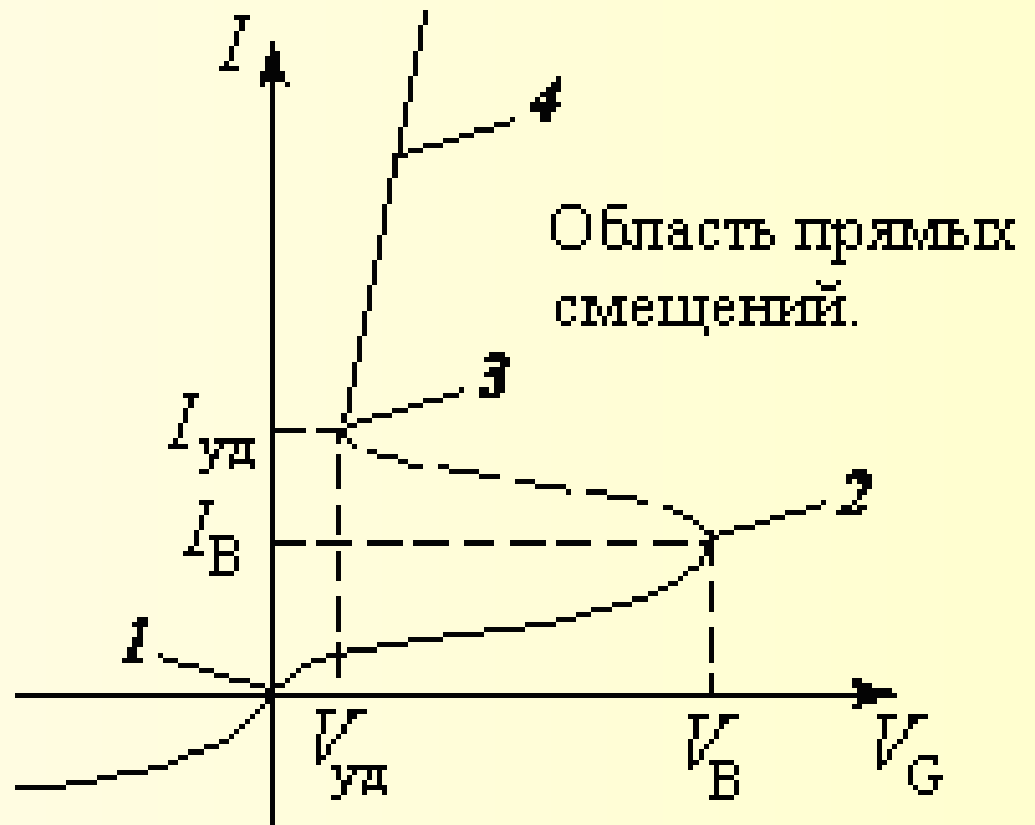
Таким образом, умножение в коллекторе может служить причиной накопления объемных зарядов в базах тиристора. С формальной точки зрения, умножение в коллекторе эквивалентно росту коэффициента передачи и величине коллекторного тока.

1-2: закрытое состояние. По мере роста V_G растут коэффициенты передачи эмиттерного тока α и коэффициент умножения M в коллекторном переходе.

2: точка переключения, выполняется условие $M(\alpha_1 + \alpha_2) = 1$.

2-3: участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Идет накопление объемных зарядов в базах тиристора.

3-4: открытое состояние. КП смещен прямо, за счет поля зарядов, накопленных в базах.



Спасибо за внимание.

Литература:

Твердотельная электроника. Второе издание, дополненное. // В. А. Гуртов. – М.: Техносфера, 2005. 408 с.