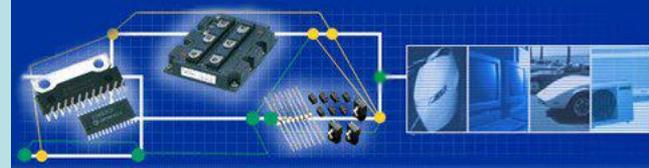


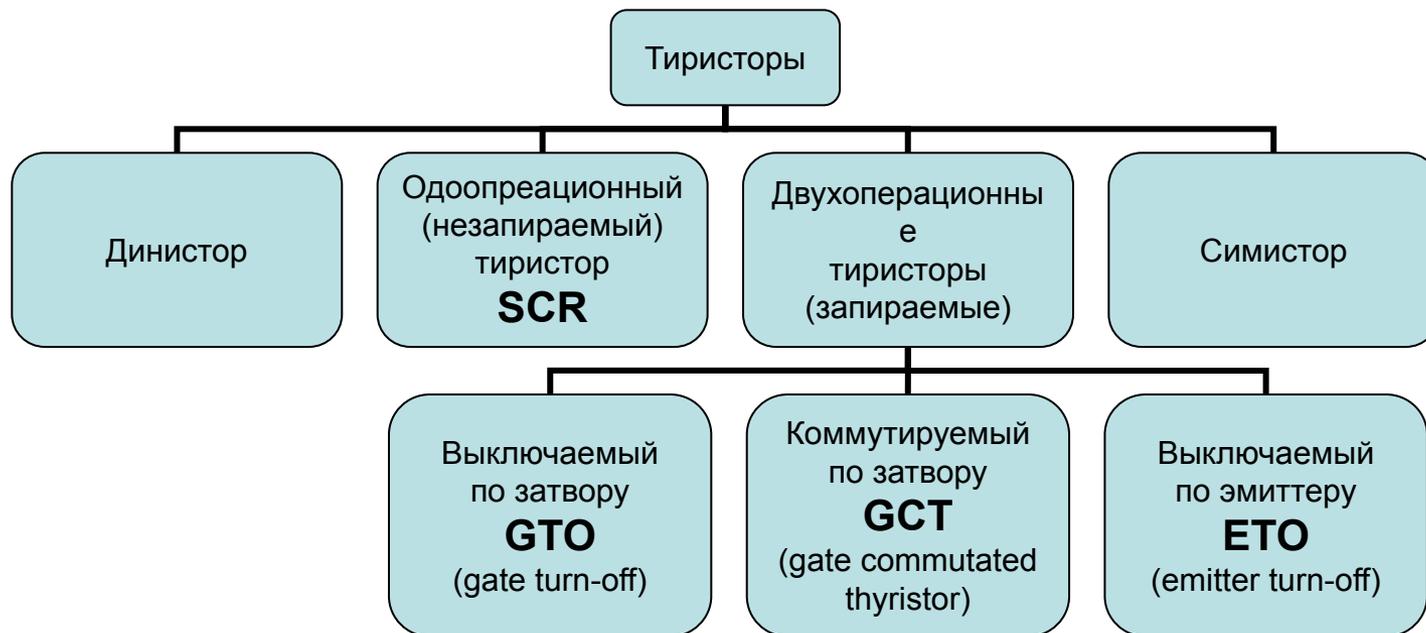
Твердотельная электроника

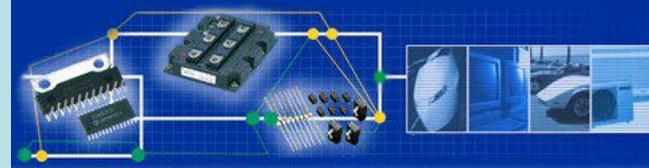
Лекция 6



6. Тиристоры

Электропреобразовательный полупроводниковый прибор с тремя или более р-п-переходами, вольтамперная характеристика которого имеет участок отрицательного сопротивления, называют **тиристором**.





6.1 Устройство и принцип действия динистора

Динистором (диодным тиристором) называется двухэлектродный прибор диодного типа с тремя рп-переходами

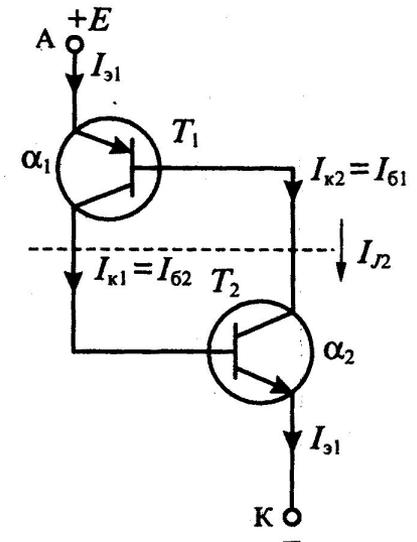
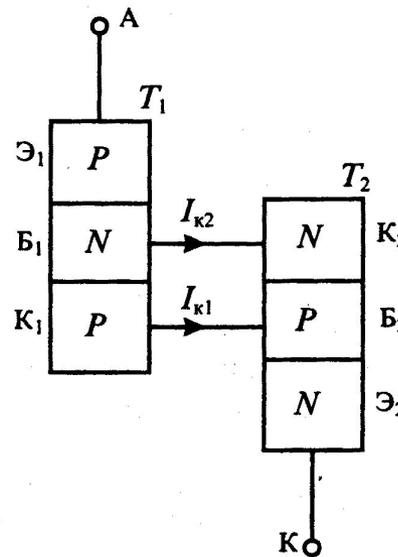
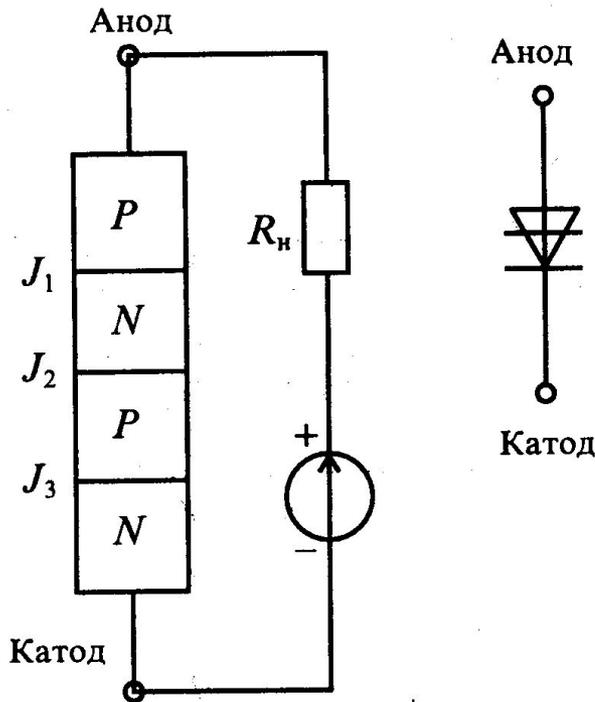


Рис.1 Структура и УГО динистора

Рис.2 Схема замещения динистора

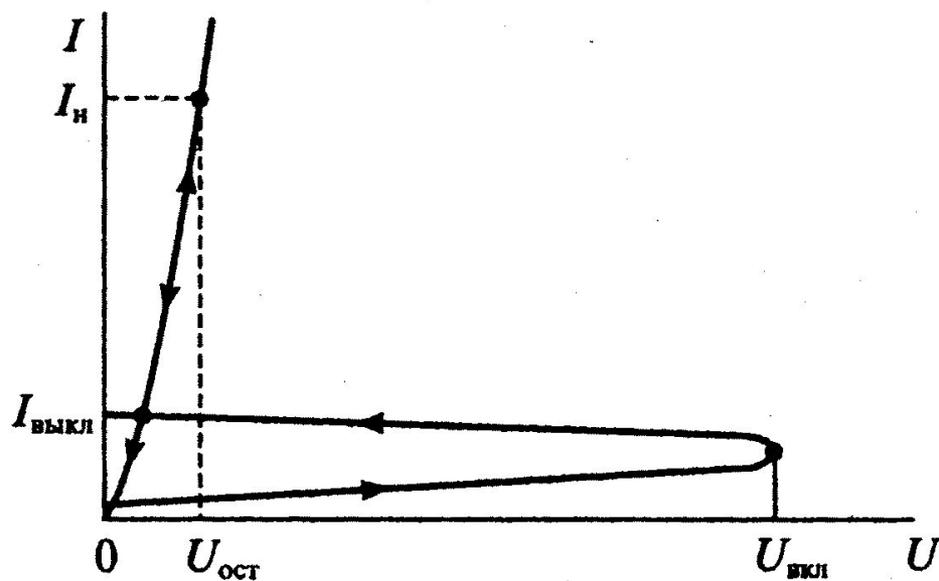
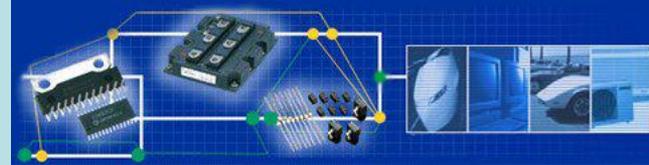


Рис.3 ВАХ динистора

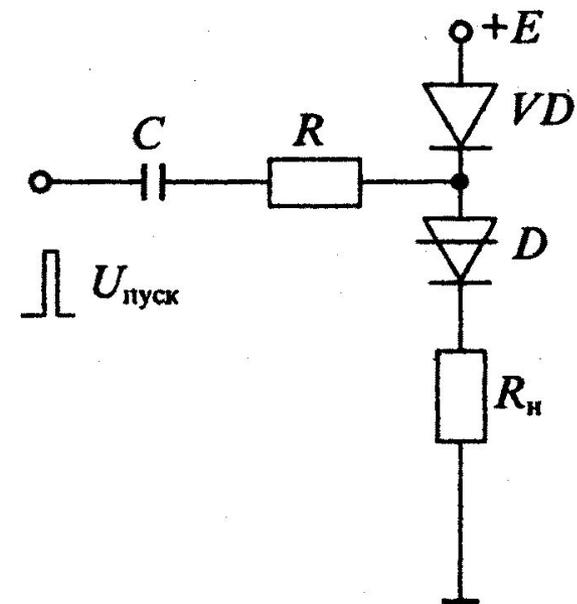


Рис.4 Схема включения динистора

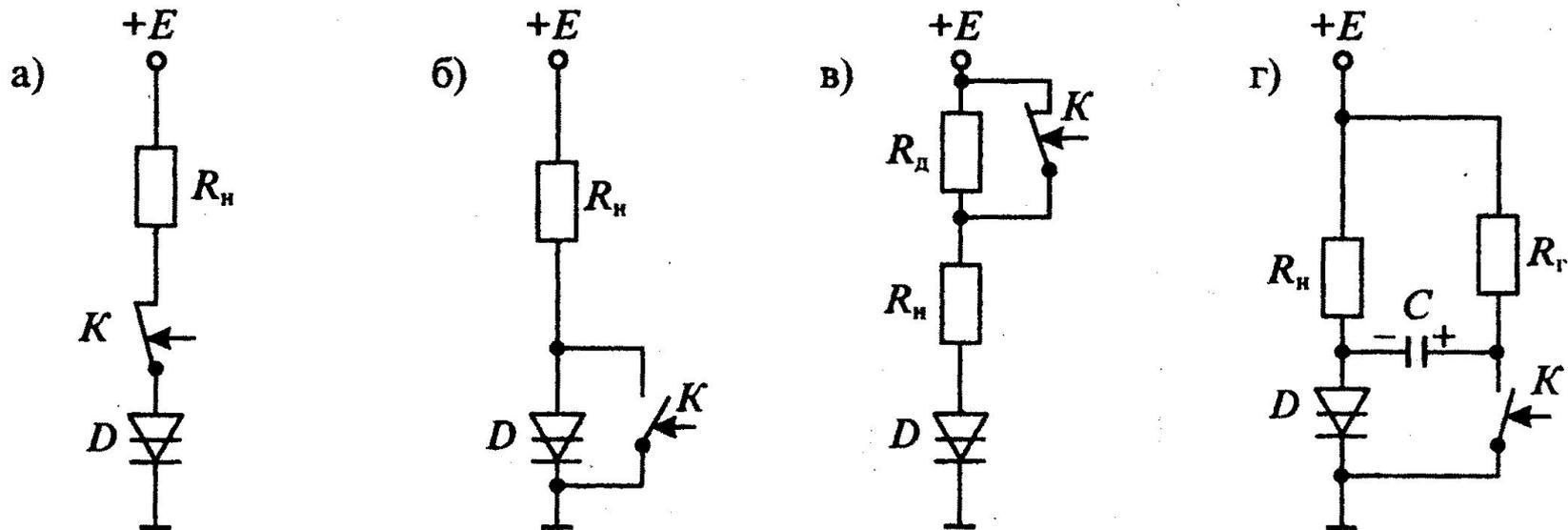
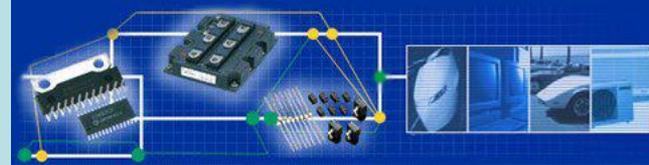
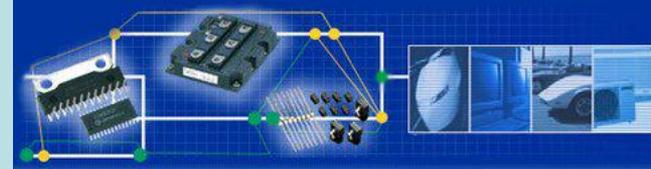


Рис.5 Схемы выключения динистора



6.2 Устройство и принцип действия тиристора

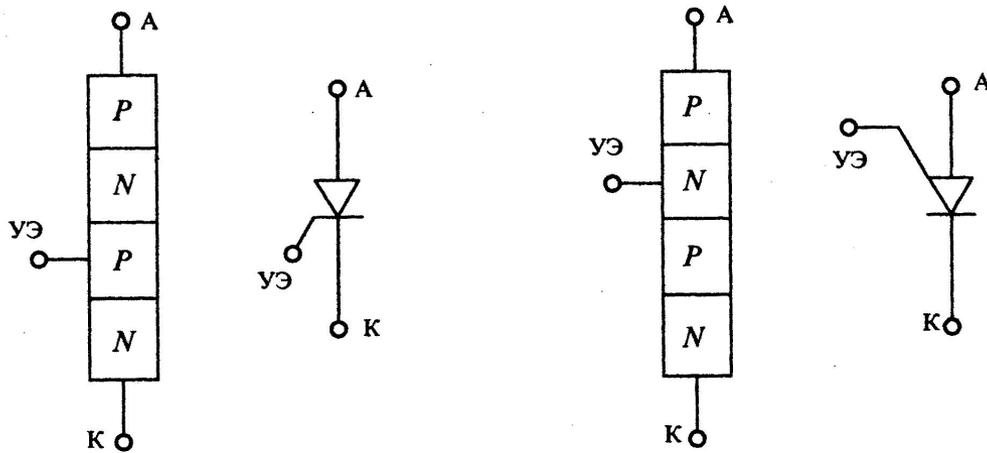


Рис.6 Структура и УГО тиристора с катодным и анодным управлением

Пример обозначения тиристора: ТХ-100-10-XXX. Здесь ТХ - обозначение разработки тиристора, 100 - номинальный ток тиристора в А, 10 - класс тиристора, XXX - цифры, регламентирующие параметры du/dt , di/dt , $t_{выкл}$.

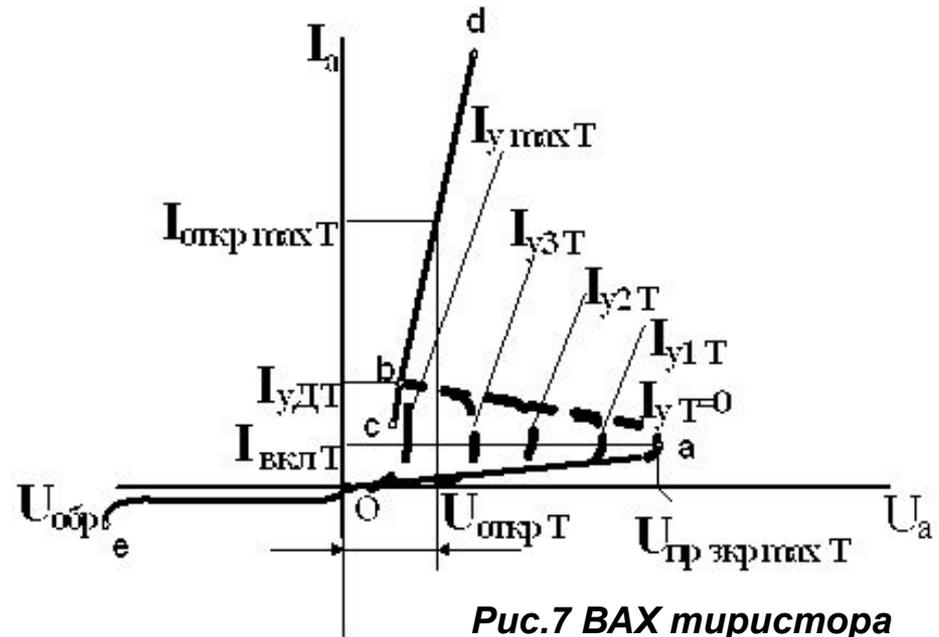
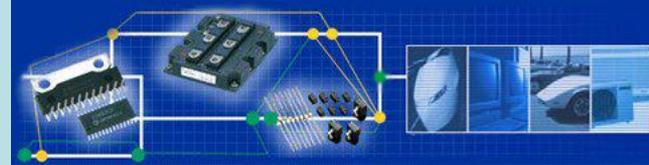


Рис.7 ВАХ тиристора



Параметры тиристора:

1. Класс.

Характеризует максимальное повторяющееся напряжение, которое можно прикладывать к прибору как в прямом так и в обратном направлении и при этом он остается в непроводящем состоянии. $U_{кл} = U_{max} / (1,5 \dots 2)$, $U_{max} = U_{пр. max} \approx U_{обр. max}$.
Классы от 0,5 до 20. $U_{кл} = K_{л} \cdot 100 \text{ В}$.

2. Ток прямой номинальный.

Это допустимый средний ток в открытом состоянии. Диапазон токов: 100мА...1000А. Ток оговаривается при естественном и принудительном охлаждении. Принудительное охлаждение потоком воздуха применяется для мощных приборов. При этом оговаривается скорость воздуха.

3. Прямое падение напряжения в открытом состоянии $U_{пр. откр.}$

$U_{пр. откр.} = 0,8 \dots 1,2 \text{ В}$.

4. Допустимая скорость нарастания напряжения на закрытом тиристоре в прямом направлении du/dt . Параметр du/dt приводится в справочнике. $du/dt = 100 \dots 2000 \text{ В/мкс}$.

5. Допустимая скорость нарастания тока через открытый тиристор di/dt .

6. Время включения $t_{вкл.}$

Это интервал времени между началом импульса управления и моментом, когда напряжение на тиристоре снизится до 0,1 от напряжения питания. Составляет несколько мкс.

7. Время выключения $t_{выкл.}$

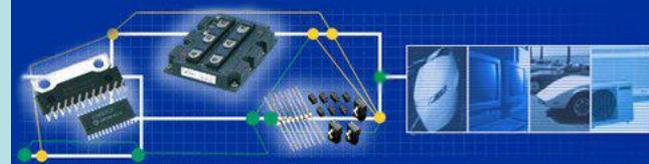
Это интервал времени от момента перехода тока анода через ноль до момента приложения к нему прямого напряжения, не вызывающего его отпирания. В несколько раз больше времени включения. Для приборов средней мощности $t_{выкл.} = 50 \dots 300 \text{ мкс}$.

8. Ток управления $I_{упр.}$

Различают $I_{упр. длит.}$ и $I_{упр. имп.}$. $I_{упр. имп.} = 20 \dots 1000 \text{ мА}$.

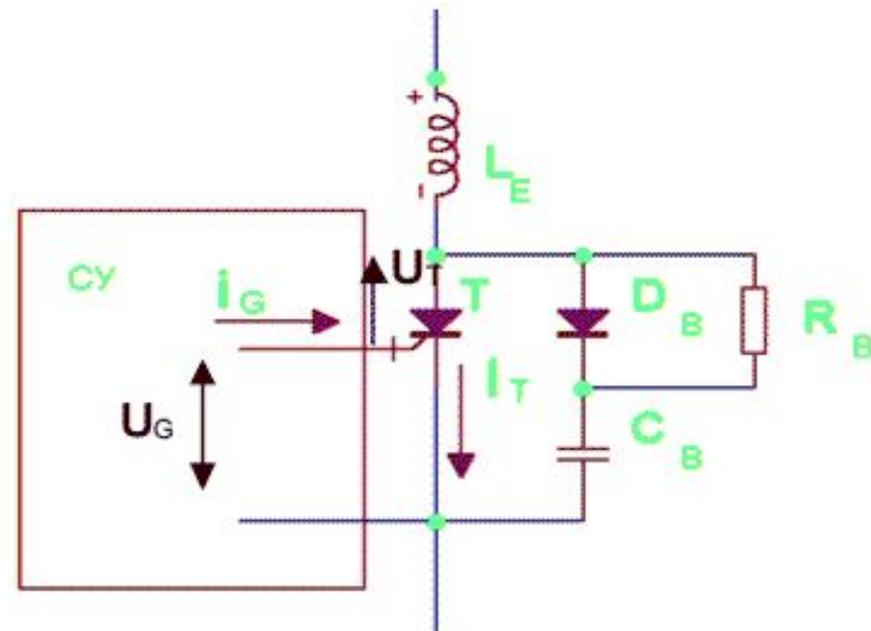
9. Ток удержания $I_{уд.}$

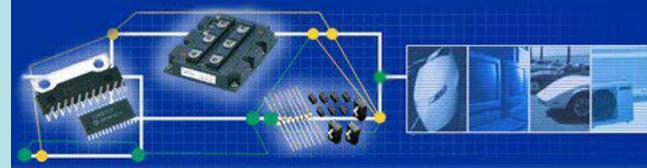
Это минимальное значение прямого тока, при котором тиристор остается в открытом состоянии. Обычно $I_{уд.} \approx I_{упр. длит.}$.



Защитные (снабберные) цепи тиристора

- Тиристор имеет паразитные межэлектродные емкости. При приложении крутого фронта прямого напряжения может произойти самопроизвольное включение тиристора. Для ограничения du/dt параллельно тиристоры подключают конденсатор определенной емкости. Последовательно с конденсатором включают небольшое сопротивление, т.к. при включении тиристора конденсатор разряжается на него и R необходимо для ограничения тока разряда. Обычно $C=0,2...2\text{мкФ}$, $R=10...100\text{ Ом}$ мощностью до 25Вт. R-C цепь параллельно тиристоры можно не ставить, если выбирается тиристор с большим запасом по классу. Это существенно снижает габариты преобразовательного устройства.
- При включении тиристора средней и большой мощности ток вначале начинает концентрироваться около управляющего электрода, а затем распределяется по всей полупроводниковой структуре. Концентрация тока, нарастающего с большой скоростью около управляющего электрода, может привести к прожогу структуры. Если di/dt ограничено, то ток успевает распределиться по структуре и разрушения полупроводника не будет. Для ограничения di/dt последовательно с тиристором включается индуктивность L. Часто в качестве L выступает индуктивность трансформатора питания.





6.3 Устройство и принцип действия симистора

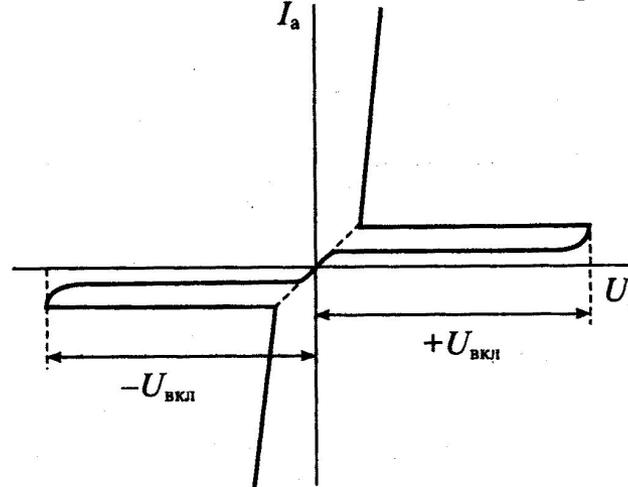
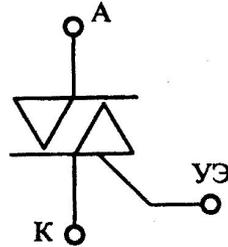
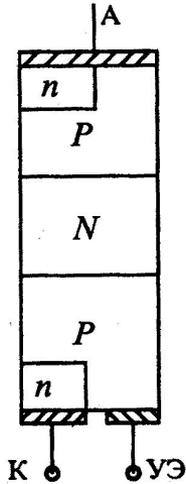


Рис.8 Структура и УГО симистора

Рис.9 ВАХ симистора

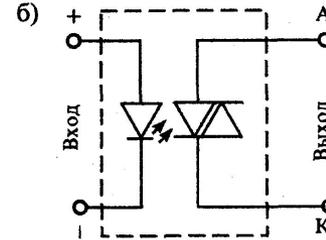
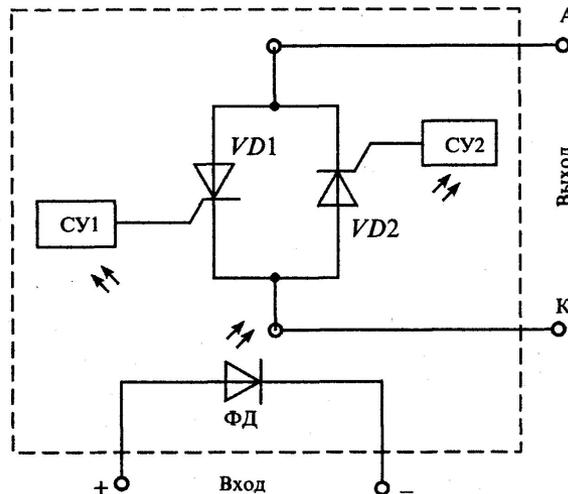
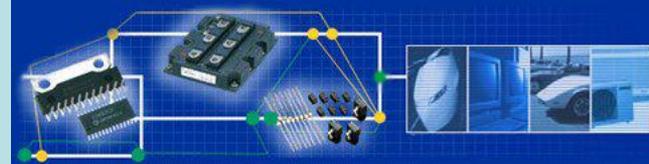


Рис.10 Структура и УГО оптосимистора



6.4 Примеры применения тиристоров

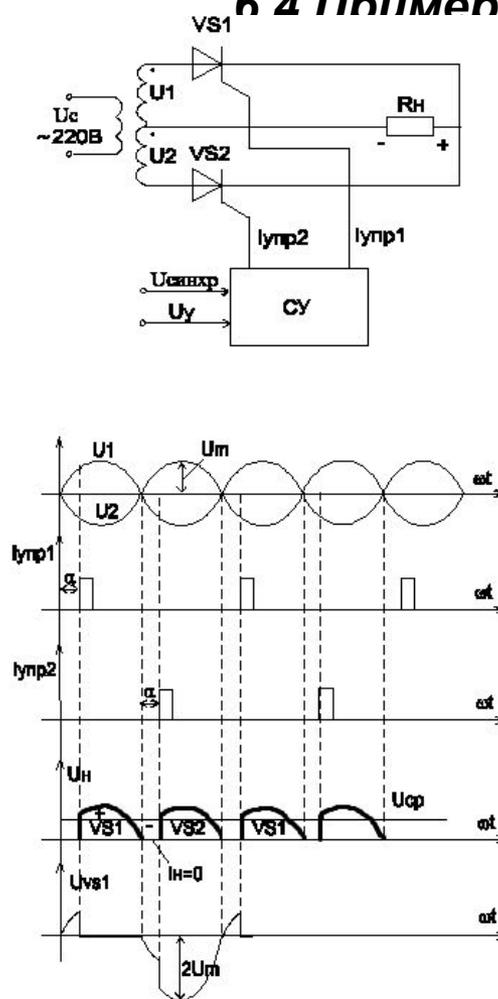


Рис.11 Двухполупериодный управляемый выпрямитель

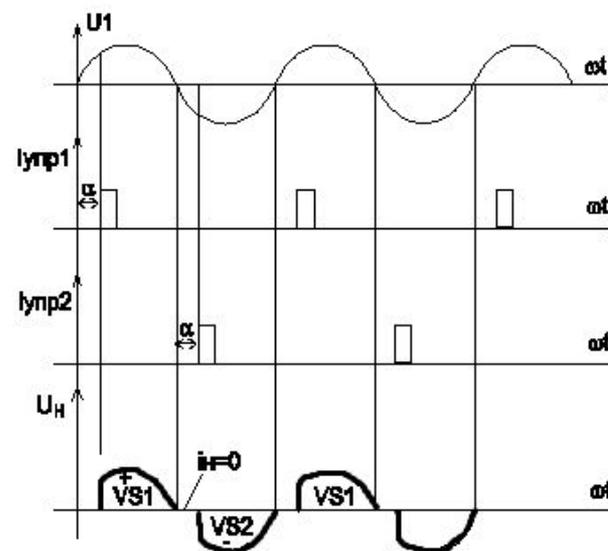
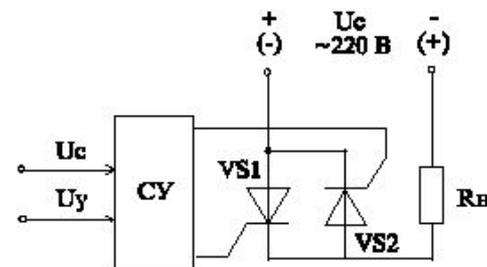
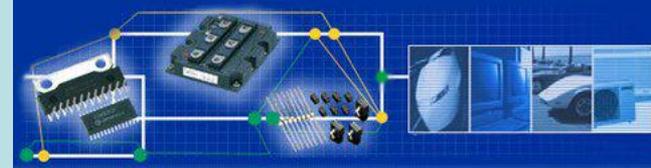


Рис.12 Регулятор переменного напряжения



6.5. Структура и принцип действия GTO-тиристора

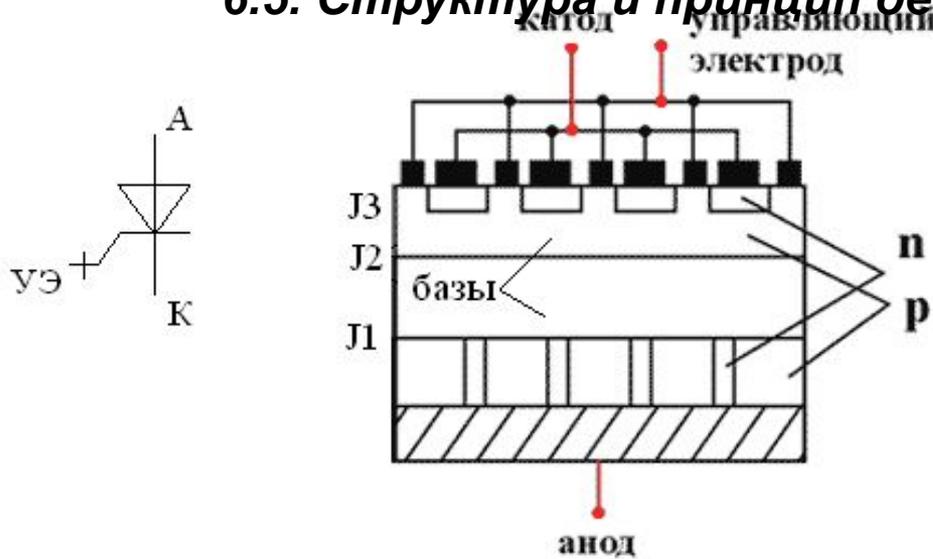


Рис.13 Структура GTO-тиристора

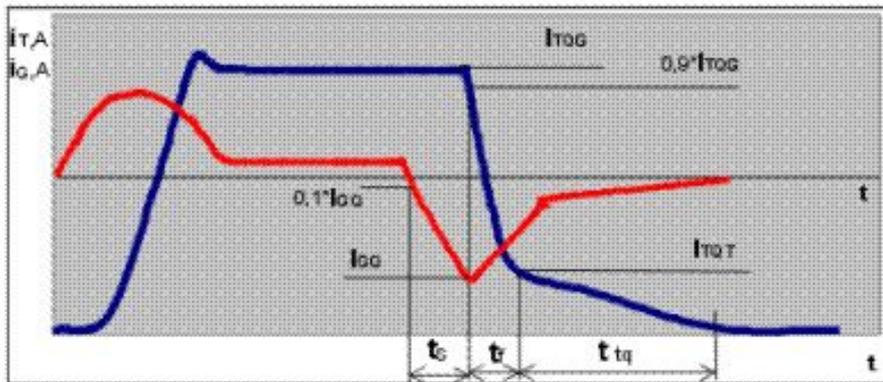
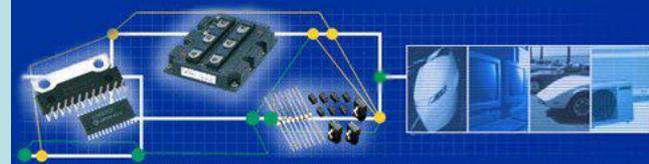


Рис.14 Графики изменения тока анода и УЭ

В цикле работы тиристора GTO различают четыре фазы: включение, проводящее состояние, выключение и блокирующее состояние.

На схематичном разрезе тиристорной структуры нижний вывод структуры анодный. Анод контактирует со слоем р. Затем снизу вверх следуют: базовый слой п, базовый слой р (имеющий вывод управляющего электрода), слой п, непосредственно контактирующий с катодным выводом. Четыре слоя образуют три р-п перехода: j1 между слоями р и п; j2 между слоями п и р; j3 между слоями р и п.

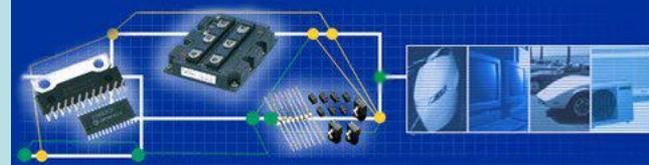


Фаза 1 - включение. Переход тиристорной структуры из блокирующего состояния в проводящее (включение) возможен только при приложении прямого напряжения между анодом и катодом. Переходы $j1$ и $j3$ смещаются в прямом направлении и не препятствуют прохождению носителей зарядов. Всё напряжение прикладывается к среднему переходу $j2$, который смещается в обратном направлении. Около перехода $j2$ образуется зона, обеднённая носителями зарядов, получившая название- область объёмного заряда. Чтобы включить тиристор GTO, к управляющему электроду и катоду по цепи управления прикладывается напряжение положительной полярности U_G (вывод "+" к слою p). В результате по цепи протекает ток включения I_G .

Запираемые тиристоры предъявляют жёсткие требования к крутизне фронта dI_G/dt и амплитуде I_{GM} тока управления. Через переход $j3$, кроме тока утечки, начинает протекать ток включения I_G . Создающие этот ток электроны будут инжектироваться из слоя n в слой p. Далее часть из них будет перебрасываться электрическим полем базового перехода $j2$ в слой n.

Одновременно увеличится встречная инжекция дырок из слоя p в слой n и далее в слой p, т. е. произойдёт увеличение тока, созданного неосновными носителями зарядов.

Суммарный ток, проходящий через базовый переход $j2$, превышает ток включения, происходит открытие тиристора, после чего носители зарядов будут свободно переходить через все его четыре области.

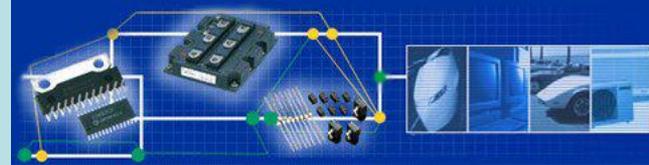


Фаза 2 - проводящее состояние. В режиме протекания прямого тока нет необходимости в токе управления I_G , если ток в цепи анода превышает величину тока удержания. Однако на практике для того, чтобы все структуры выключаемого тиристора постоянно находились в проводящем состоянии, всё же необходимо поддержание тока, предусмотренного для данного температурного режима. Таким образом, всё время включения и проводящего состояния система управления формирует импульс тока положительной полярности.

В проводящем состоянии все области полупроводниковой структуры обеспечивают равномерное движение носителей зарядов (электронов от катода к аноду, дырок - в обратном направлении). Через переходы j_1 , j_2 протекает анодный ток, через переход j_3 - суммарный ток анода и управляющего электрода.

Фаза 3 - выключение. Для выключения тиристора GTO при неизменной полярности напряжения U_T (см. рис. 3) к управляющему электроду и катоду по цепи управления прикладывается напряжение отрицательной полярности U_{GR} . Оно вызывает ток выключения, протекание которого ведёт к рассасыванию основных носителей заряда (дырок) в базовом слое p . Другими словами, происходит рекомбинация дырок, поступивших в слой p из базового слоя n , и электронов, поступивших в этот же слой по управляющему электроду.

По мере освобождения от них базового перехода j_2 тиристор начинает запирается. Этот процесс характеризуется резким уменьшением прямого тока I_T тиристора за короткий промежуток времени до небольшой величины I_{TQT} (см. рис. 2). Сразу после запираания базового перехода j_2 начинает закрываться переход j_3 , однако за счёт энергии, запасённой в индуктивности цепей управления он ещё некоторое время находится в приоткрытом состоянии.

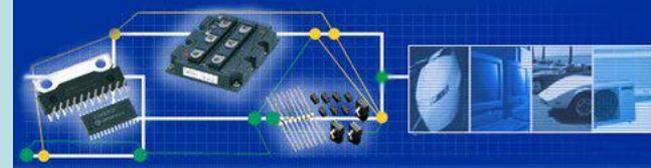


После того, как вся энергия, запасённая в индуктивности цепи управления, будет израсходована, переход $j3$ со стороны катода полностью запирается. С этого момента ток через тиристор равен току утечки, который протекает от анода к катоду через цепь управляющего электрода.

Процесс рекомбинации и, следовательно, выключения запираемого тиристора во многом зависит от крутизны фронта $dIGQ/dt$ и амплитуды IGQ обратного тока управления. Чтобы обеспечить необходимые крутизну и амплитуду этого тока, на управляющий электрод требуется подать напряжение UG , которое не должно превышать величины, допустимой для перехода $j3$.

Фаза 4 - блокирующее состояние. В режиме блокирующего состояния к управляющему электроду и катоду остаётся приложенным напряжение отрицательной полярности UGR от блока управления. По цепи управления протекает суммарный ток IGR , состоящий из тока утечки тиристора и обратного тока управления, проходящего через переход $j3$. Переход $j3$ смещается в обратном направлении. Таким образом, в тиристоре GTO, находящемся в прямом блокирующем состоянии, два перехода ($j2$ и $j3$) смещены в обратном направлении и образованы две области пространственного заряда.

Всё время выключения и блокирующего состояния система управления формирует импульс отрицательной полярности.



6.5. Структура и принцип действия GCT-тиристора

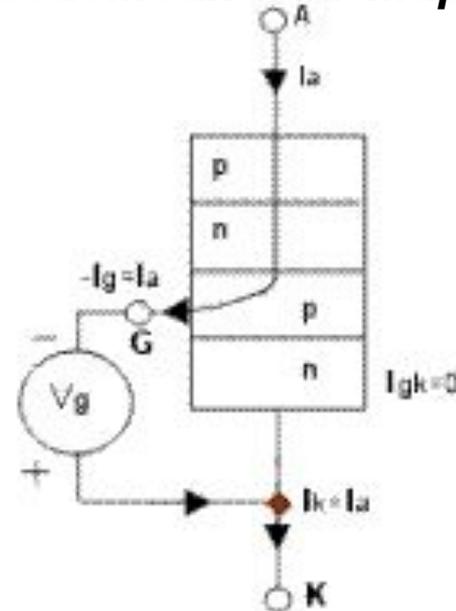
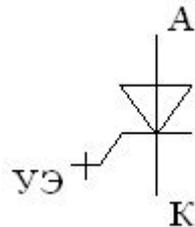
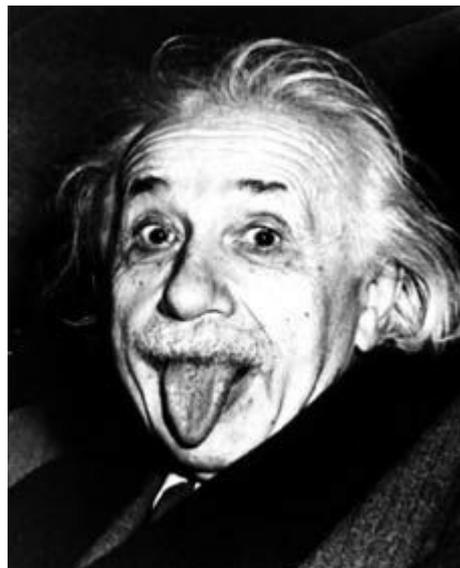
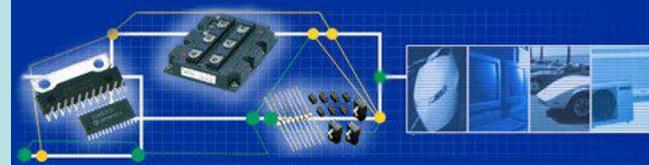


Рис.15 Распределение токов в GCT при выключении

GCT в фазах включения, проводящего и блокирующего состояния управляется также, как и GTO. При выключении управление GCT имеет две особенности:

- ток управления I_g равен или превосходит анодный ток I_a (для тиристорных GTO I_g меньше в 3 - 5 раз);
- управляющий электрод обладает низкой индуктивностью, что позволяет достичь скорости нарастания тока управления di_g/dt , равной 3000 А/мкс и более (для тиристорных GTO значение di_g/dt составляет 30-40 А/мкс).



*That's all
folks...*