

Лекция 12.

Устройство и принцип работы тиристора, симистора и фототиристора

Запираемые тиристоры, в отличие от тринисторов, которые были рассмотрены ранее, - это полностью управляемые приборы, и под воздействием тока управляющего электрода они могут переходить из закрытого состояния в открытое состояние, и наоборот. Чтобы выключить запираемый тиристор, нужно пропустить через управляющий электрод ток противоположной полярности, чем полярность, вызывавшая отпирание компонента. Для закрывания изначально открытого запираемого тиристора необходимо уменьшить сумму коэффициентов передачи эмиттерных токов ниже единицы и обеднить базы носителями зарядов, для чего управляющий электрод должен быть распределён по полупроводниковому кристаллу. Для этого управляющий электрод запираемого тиристора, как и катод, выполняют из множества однотипных ячеек, распределённых определённым образом по площади кристалла. Важным параметром рассматриваемых тириستоров выступает коэффициент запираения, который равен отношению тока анода к необходимому для выключения компонента обратному току управляющего электрода. Запираемые тиристоры обычно используют в преобразовательной технике в качестве электронных ключей. Запираемые тиристоры также называют двухоперационными тиристорами. Они являются полупроводниковыми приборами, которые можно и включить и выключить по цепи управления. Такой тиристор в зарубежной терминологии получил обозначение GTO-тиристор (*Gate Turn - Off*). В областях анода и катода запираемый тиристор состоит из большого числа технологических ячеек, представляющих отдельные тиристоры, которые включены параллельно.

Структура запираемого тиристора изображена на рис. 5.12.

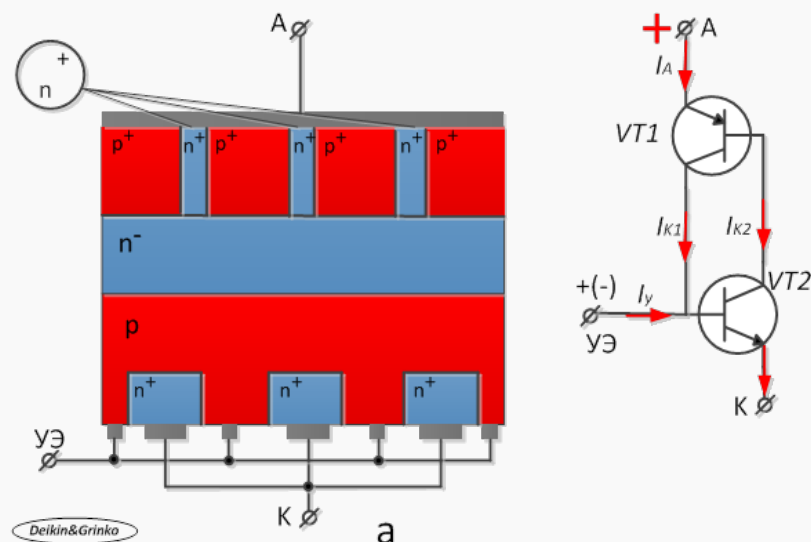


Рис. 5.12. Структура запираемого тиристора (а) и двухтранзисторный эквивалент (б) одной из ячеек тиристора

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 и длительности управляющего тока выключения, а также равномерности его распределения по всем ячейкам, избыточная концентрация неосновных носителей заряда сначала снижается до нуля вблизи коллекторного перехода тиристора. При этом коллекторный переход смещается в обратном направлении, воспринимая часть внешнего напряжения. Так, оба транзистора начинают работать в активном режиме, и в структуре возникает положительная обратная связь при отрицательном базовом токе в п-р-п-транзисторе VT2. Вследствие лавинообразного уменьшения зарядов в базовых областях анодный ток начинает снижаться. Транзистор VT2 п-р-п-типа первый входит в режим отсечки. Действие положительной обратной связи прекращается, и дальнейший спад анодного тока определяется рекомбинацией в п- базе тиристора.

.Вольт-амперная характеристика запираемого тиристора аналогична характеристике незапираемого тиристора (рис. 5.13).

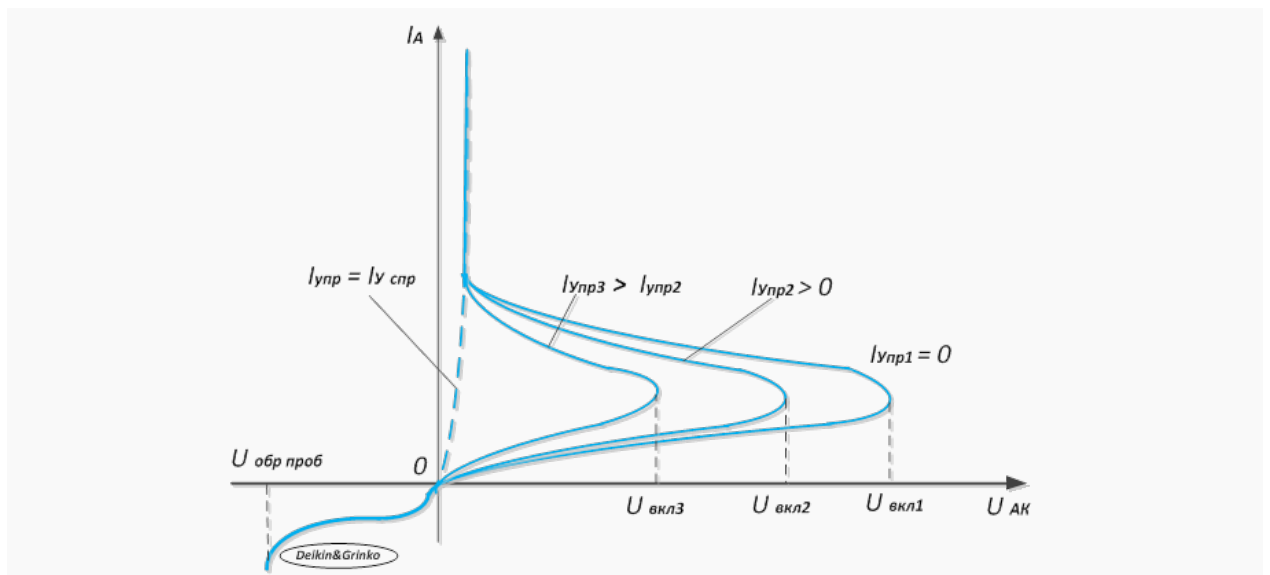


Рис.5.13. Вольт-амперная характеристика двухоперационного тиристора

На электрических принципиальных схемах запираемые тиристоры обозначаются условными обозначениями, представленными на рис. 5.14 (Петрович В. П., 2008).

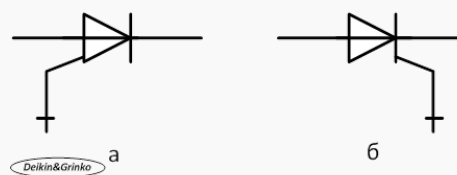


Рис. 5.14. Условные обозначения запираемых тринисторов: а - с управлением по аноду; б - с управлением по катоду

Широкое применение в цепях переменного тока получили так называемые **симисторы** (симметричные тиристоры), которые выполняются на основе многослойной полупроводниковой структуры (рис. 5.15, а).

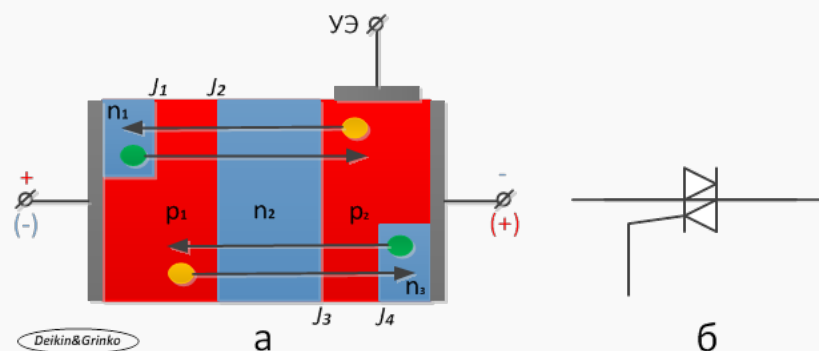


Рис. 5.15. Структура симистора -а и его условное графическое обозначение -б

Основой в симисторе является монокристалл полупроводника, в котором созданы, пять областей с чередующимся типом проводимости, которые образуют четыре р-п-перехода. Контакты от крайних областей наполовину шунтируют первый и четвертый р-п-переходы. При полярности внешнего источника напряжения, указанной без скобок, переход J_1 окажется включенным в обратном направлении и ток через него будет исчезающе мал. Весь ток через полупроводниковую структуру при такой полярности источника будет протекать через область p_1 . Четвертый переход J_4 будет включен в прямом направлении и через него будет проходить инжекция электронов. Значит, при данной полярности источника рабочая структура симистора представляет собой p_1 - n_2 - p_2 - n_3 -структуру, аналогичную структуре обычного тиристора, работа которого уже была рассмотрена выше. При смене полярности на противоположную (указана в скобках) уже будет закрыт переход J_4 , а переход J_1 будет открыт. Структура симистора становится n_1 - p_1 - p_2 - r_2 , то есть опять аналогична структуре обычного тиристора, но направленного в противоположную сторону. Таким образом, в схемном отношении симистор можно представить в виде двух встречно-параллельных тиристоров.

Симистор имеет вольт-амперную характеристику, симметричную относительно начала координат (рис. 5.16), что и нашло отражение в его названии (Петрович В. П., 2008).

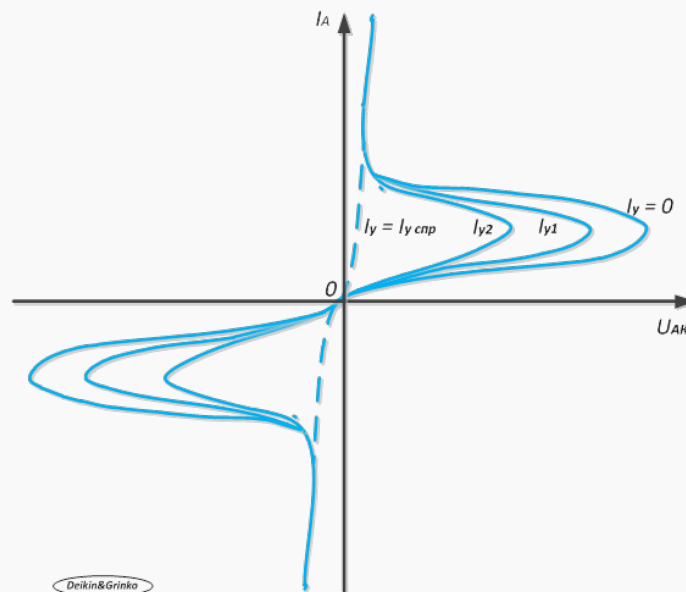


Рис. 5.16. Вольт-амперная характеристика симистора

Фототиристором называют специальный тиристор, в корпусе которого (в случае дискретного исполнения) предусмотрено окно, в которое вместо подачи сигнала на управляющий электрод подаётся сигнал в виде потока лучистой энергии (рис. 5.17). При облучении всего полупроводникового кристалла, либо только участка между катодом и управляющим электродом

тиристора под действием фотонов возникает фотогенерация носителей заряда, и чем интенсивнее будет световой поток, тем больше станет ток, протекающий по тиристоры. При достаточной освещённости ток через выводы анод-катод тиристора лавинообразно возрастает, что вызывает открывание тиристора. Длительность включения фототиристоров может достигать несколько микросекунд. Следует отметить, что спектр света, которым облучают полупроводниковую структуру, должен быть согласован с определённой длиной волны, к облучению которой фототиристор максимально чувствителен. Материалом фототиристоров, как и типовых тиристоров, обычно выступает кремний. Редко в качестве основного материала маломощных быстродействующих тиристоров выступает арсенид галлия. Все остальные характеристики такого тиристора аналогичны характеристикам обычного тиристора с электрическим управлением.

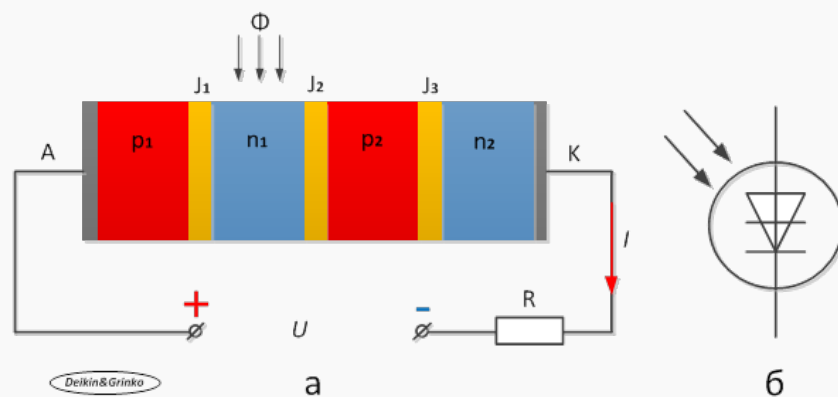


Рис. 5.17. Структура фототиристора -а и его условное графическое обозначение -б

Слайд 20. На рис. 5.18 представлена вольт-амперная характеристика фототиристора. Фототиристоры используются для коммутации световым сигналом электрических сигналов большой мощности. Сопротивление фототиристора изменяется от 10^8 Ом (в запертом состоянии) до 10^{-1} Ом в открытом состоянии. Время переключения тиристоров лежит в пределах $10^{-5} \dots 10^{-6}$ секунды.

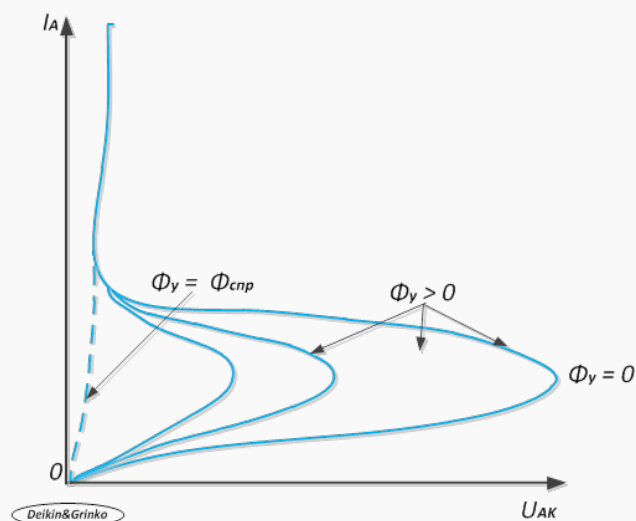


Рис. 5.18. Вольт-амперная характеристика фототиристора

Некоторые фототиристоры позволяют коммутировать токи силой до сотен ампер при напряжениях анод-катод в десятки киловольт и обеспечивают гальваническую развязку системы управления и исполнительной цепи. В результате между устройством управления и фототиристором не нужно включать дорогой, ненадёжный и крупногабаритный высоковольтный трансформатор, который был бы необходим для гальванической развязки обычного тиристора, включённого в цепь с высоким напряжением относительно земли (Москатов, 2010).

Силовые тиристоры характеризуются параметрами, аналогичными тем, которые имеются у силовых диодов. Но, кроме того, в технических условиях приводятся параметры цепи управления тиристоров, а также дополнительные параметры, характеризующие силовую цепь тиристора:

1. *Напряжение переключения*: постоянное - $U_{прк}$, импульсное - $U_{прк\text{и}}$ (десятки - сотни вольт).
2. *Напряжение в открытом состоянии* U_{oc} - падение напряжения на тиристоре в открытом состоянии (1÷3 В).
3. *Обратное напряжение* $U_{обр}$ - напряжение, при котором тиристор может работать длительное время без нарушения его работоспособности (единицы - тысячи вольт).
4. *Постоянное прямое напряжение в закрытом состоянии* $U_{зс}$ - максимальное значение прямого напряжения, при котором не происходит включение тиристора (единицы - сотни вольт).
5. *Неотпирающее напряжение на управляющем электроде* $U_{нот}$ - наибольшее напряжение, не вызывающее отпирание тиристора (доли вольт).
6. *Запирающее напряжение на управляющем электроде* $U_{уз}$ - напряжение, обеспечивающее требуемое значение запирающего тока управляющего электрода (единицы - десятки вольт).

7. Ток в открытом состоянии I_{oc} - максимальное значение тока открытого тиристора (сотни миллиампер - сотни ампер).
8. Обратный ток $I_{обр}$ (доли миллиампер).
9. Отпирающий ток $I_{y\text{ от}}$ - наименьший ток управляющего электрода, необходимый для включения тиристора (десятки миллиампер).
10. Ток утечки I_{yt} - это ток, протекающий через тиристор с разомкнутой цепью управления при прямом напряжении между анодом и катодом.
11. Ток удержания $I_{уд}$ - минимальный прямой ток, проходящий через тиристор при разомкнутой цепи управления, при котором тиристор еще находится в открытом состоянии.
12. Время включения $t_{вкл}$ - это время от момента подачи управляющего импульса до момента снижения напряжения $U_{ак}$ тиристора до 10 % от начального значения при работе на активную нагрузку (единицы - десятки микросекунд).
13. Время выключения $t_{выкл}$, называемое также временем восстановления управляющей способности тиристора. Это время от момента, когда прямой ток тиристора становится равным нулю, до момента, когда прибор снова будет способен выдерживать прямое напряжение между анодом и катодом. Это время в основном определяется временем рассасывания неосновных носителей в зонах полупроводника (десятки - сотни микросекунд).