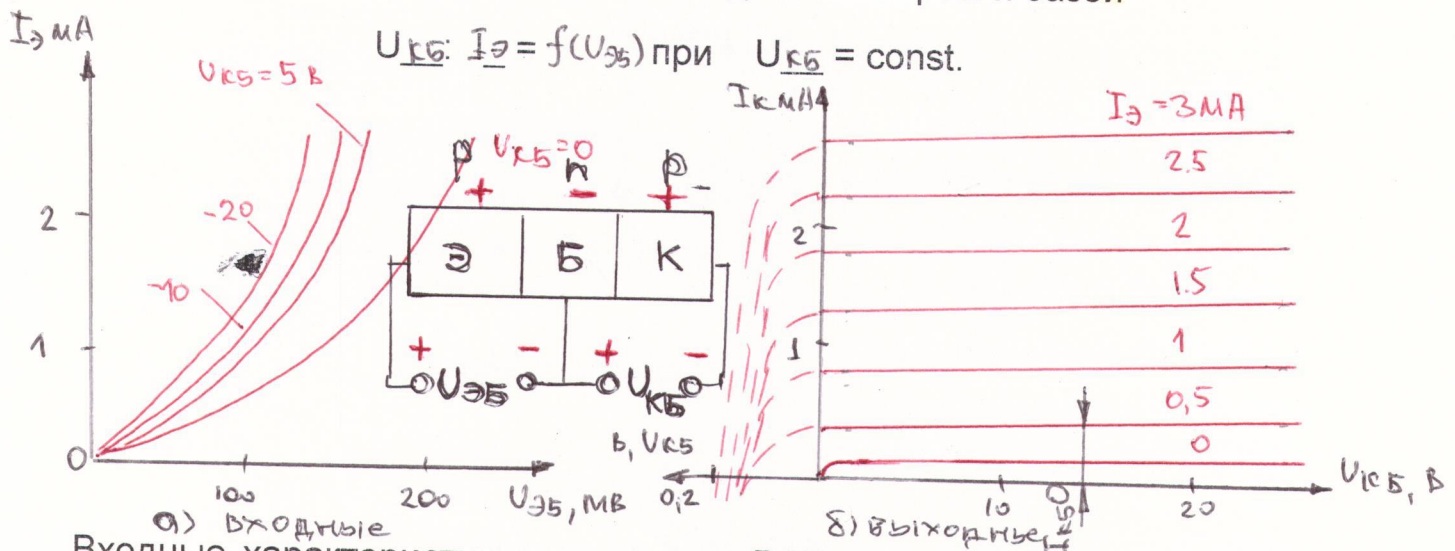


Тема : Полупроводниковые приборы.

1. Характеристики биполярных транзисторов и их маркировка.
2. Общие сведения о полевых транзисторах и тиристорах, их маркировка, область применения.

1 Для схемы с общей базой входная характеристика представляет собой зависимость тока эмиттера от напряжения м/д эмиттером и базой при постоянной величине напряжения м/д коллектором и базой



Входные характеристики аналогичны ВАХ p-n перехода для прямого тока, причём изменение напряжения  $U_{CB}$  слабо влияет на ток эмиттера. Это объясняется тем, что эл. поле создаваемое напряжением  $U_{CB}$ , в схеме с общей базой сосредоточено в коллекторном переходе и оказывает незначительное влияние на прохождение зарядов через эмиттерный переход.

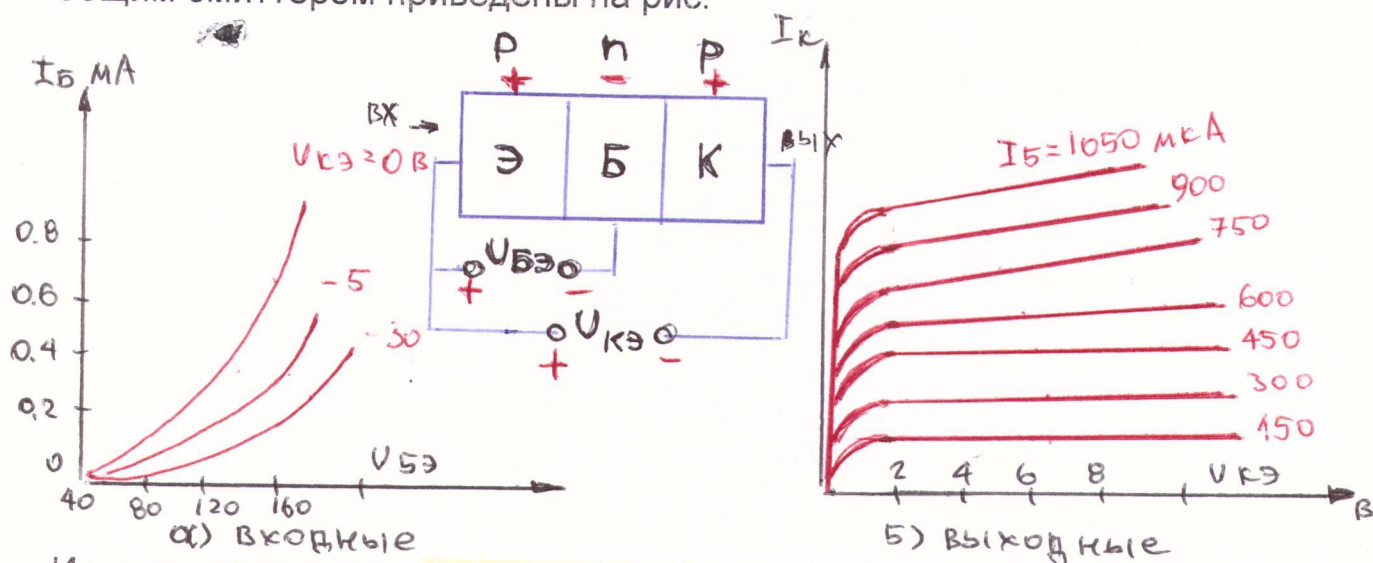
Выходные характеристики тр-ра с общей базой показывают зависимость тока коллектора от напряжения на коллекторе при постоянных значениях эмиттерного тока:  $I_C = \varphi(U_{CB})$  при  $I_E = \text{const.}$  Из рис б) видно, что при нормальной рабочей полярности напряжения  $U_{CB}$ , когда коллекторный переход работает в обратном направлении, выходные характеристики представляют собой почти прямые линии, идущие с очень небольшим наклоном. Это объясняется тем, что коллекторный ток создаётся за счёт диффузии носителей зарядов, проникающих от эмиттера через базу к коллектору. Поэтому величина коллекторного тока определяется главным образом величиной тока эмиттера и незначительно зависят от напряжения  $U_{CB}$ , приложенного к коллекторному переходу. Даже при  $U_{CB} = 0$  ток коллектора может иметь достаточно большую величину, зависящую от величины тока эмиттера.

При  $I_E = 0$  характеристика выходит из начала координат, а затем идёт на небольшой высоте, почти параллельно оси абсцисс. Она соответствует обычной характеристике обратного тока p-n -перехода. Ток  $I_{CB0}$  определяемый такой характеристикой, является неуправляемым и представляет собой один из параметров транзистора.

Из рис б) видно, что при перемене полярности напряжения  $U_{кб}$  ток  $I_{к}$  резко уменьшается и достигает нуля при значительных напряжениях  $U_{кб}$ . В этом случае коллекторный переход работает в прямом направлении и напряжение  $U_{кб}$  противодействует диффузии носителей зарядов, идущих от эмиттера к коллектору. При дальнейшем увеличении прямого напряжения, приложенного к коллекторному переходу, ток через переход резко возрастает и идёт в направлении, обратном нормальному рабочему току. При этом транзистор может выйти из строя.

Для схемы с общим эмиттером статической выходной характеристикой является график зависимости тока базы  $I_{б}$  от напряжения база—эмиттер  $U_{бэ}$  при постоянном напряжении коллектор—эмиттер  $U_{кэ}$ :  $I_{б} = f(U_{бэ})$  при  $U_{кэ} = \text{const}$ . Выходные хар-ки для схемы с общим эмиттером представляют собой зависимости тока  $I_{к}$  от напряжения м/д коллектором и эмиттером при постоянном токе базы:  $I_{к} = \varphi(U_{кэ})$  при  $I_{б} = \text{const}$ .

Типичные выходные и входные статические характеристики транзистора с общим эмиттером приведены на рис.



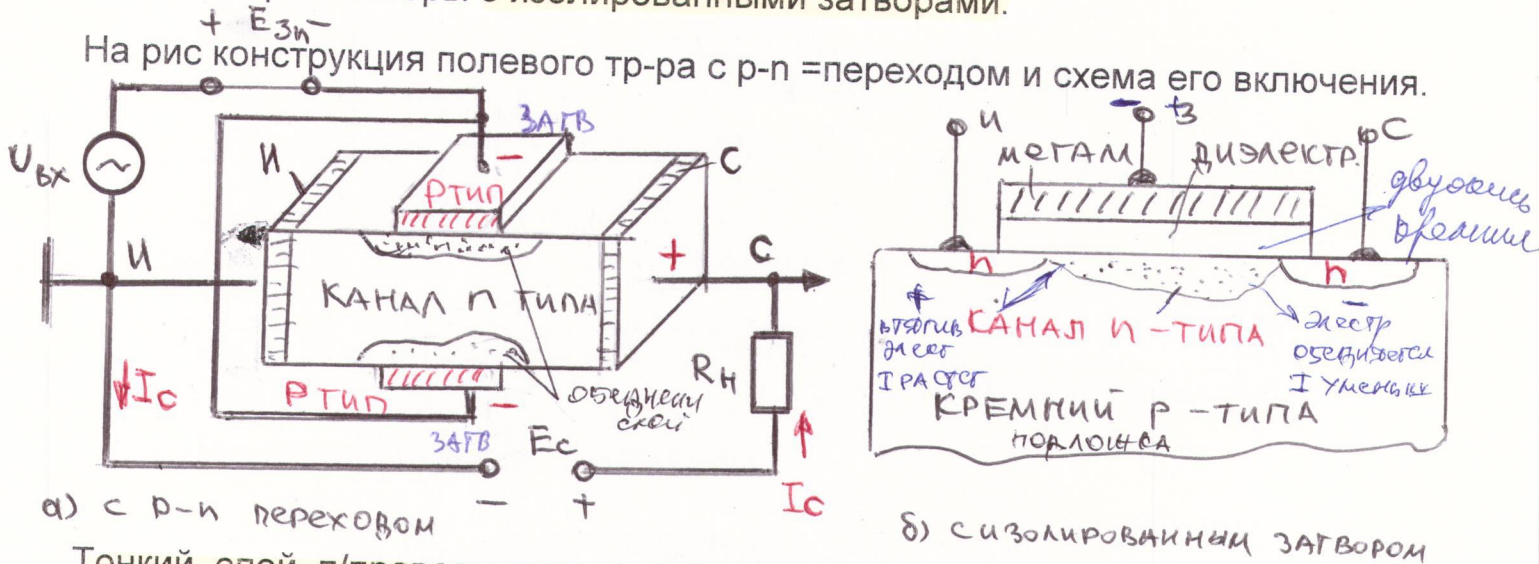
Из рис. видно что с ростом напряжения  $U_{кэ}$  ток  $I_{б}$  уменьшается, этим объясняется, что при увеличении  $U_{кэ}$  растёт напряжение приложенное к коллекторному переходу в обратном направлении, уменьшается вероятность рекомбинации носителей заряда в базе, так как почти все носители быстро вытягиваются в коллектор.

Для объяснения хода выходных характеристик обратимся к рис. из которого видно, что в схеме с общим эмиттером напряжение, приложенное к коллекторному переходу, равно  $U_{кэ} - U_{бэ}$ , так как эти напряжения м/д точками коллектор—база, оказались включенными встречно. Поэтому при  $|U_{кэ}| < |U_{бэ}|$  напряжение на коллекторном переходе оказывается включенным в прямом направлении. Это приводит к тому, что крутизна выходных характеристик на начальном участке от  $U_{кэ} = 0$  до  $|U_{кэ}| = |U_{бэ}|$  велика. На участке  $|U_{кэ}| > |U_{бэ}|$  крутизна характеристик уменьшается, они идут почти параллельно оси абсцисс. Положение каждой из выходных характеристик зависит, главным образом, от величины тока базы.

Полевым транзистором называется трёхэлектродный п/проводниковый прибор, в котором ток создают основные носители зарядов под действием продольного эл. поля, а управление величиной тока осуществляется поперечным эл. полем, создаваемым напряжением, приложенным к управляющему электроду.

Все полевые транзисторы по своим конструктивным особенностям подразделяются на две группы: 1) полевые транзисторы с р-п-переходами; 2) полевые транзисторы с изолированными затворами.

На рис конструкция полевого тр-ра с р-п-переходом и схема его включения.



Тонкий слой п/проводникового типа п или р, ограниченный с двух сторон электронно-дырочными переходами, называется каналом. Принцип действия транзисторов с каналом типа п или р аналогичен: различие лишь в полярности подводимых напряжений. Включение канала в эл. цепь обеспечивается с помощью двух внешних электродов, один из которых (И) называется истоком, а второй (С) называется—стоком. Вывод, подсоединённый к областям р-типа, является управляющим электродом и называется затвором (З). Выводы И, С и З соответствуют (в порядке перечисления) катоду, аноду и сетке электровакуумного триода или эмиттеру, коллектору и базе обычного биполярного тр-ра.

Величина тока в канале зависит от напряжения  $U_C$ , приложенного м/д стоком и истоком, нагрузочного сопротивления и сопротивления п/проводниковой пластинки м/д стоком и истоком. При  $U_C$  и  $R_H = \text{const}$  ток в канале  $I_C$  (ток стока) зависит только от эффективной площади поперечного сечения канала. Источник  $E_{зп}$  создаёт отрицательный потенциал на затворе, что приводит к увеличению толщины р-п-перехода и уменьшению токопроводящего сечения канала. С уменьшением сечения канала увеличивается сопротивление м/д истоком и стоком и снижается величина тока  $I_C$ . Уменьшение напряжения на затворе вызывает уменьшение сопротивления канала и возрастание тока  $I_C$ . Подключив последовательно с  $E_{зп}$  источник усиливаемого переменного напряжения  $U_{вх}$  можно изменять ток в канале  $I_C$  по закону изменения входного напряжения. Ток стока проходя через сопротивление нагрузки  $R_H$ , создаёт на нём падение напряжения, изменяющегося по закону  $U_{вх}$ . Подбором величины  $R_H$  можно усилить сигнал.

Полевые транзисторы с изолированным затвором имеют структуру металл-диэлектрик (окисел)—п/проводник. Поэтому их часто называют МДП или МОП. Основой прибора служит пластинка (подложка) монокристаллического кремния р-типа. Области истока и стока представляют собой участки кремния, сильно легированные примесью п-типа. Расстояние м/д истоком и стоком примерно 1 мкм. На этом участке расположена узкая слабо легированная полоска кремния п-типа (канал). Затвором служит металлическая пластинка, изолированная от канала слоем диэлектрика толщиной 0,1 мкм. Диэлектрик двуокись кремния.

В зависимости от полярности (относительно истока) напряжения, канал может обедняться или обогащаться носителями заряда (электронами). При отрицательном напряжении на затворе электроны проводимости выталкиваются из области канала в объём полупроводника подложки. При этом канал обедняется носителями заряда, что ведёт к уменьшению тока. Положительное напряжение на затворе способствует втягиванию электронов проводимости из подложки в канал. В этом режиме обогащения ток канала возрастает.

Таким образом, в отличие от полевого тр-ра с р-п-переходами транзистор с изолированным затвором может работать с нулевым отрицательным или положительным напряжением на затворе.

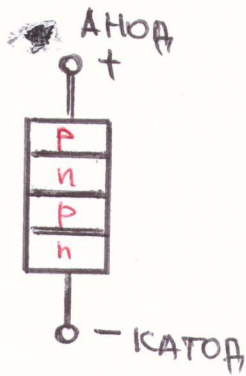
Выходные хар-ки полевого тр-ра с изолированным затвором имеют такой же вид, как и хар-ки тр-ра с р-п-переходами. Различие заключается в том, что тр-ры с р-п-переходами могут работать только в режиме обеднения (сужения) канала, а тр-ры типа МДП (или МОП) как в режиме обеднения (при отрицательных напряжениях на затворе), так и в режиме обогащения (при положительных напряжениях на затворе).

Достоинства полевых транзисторов:

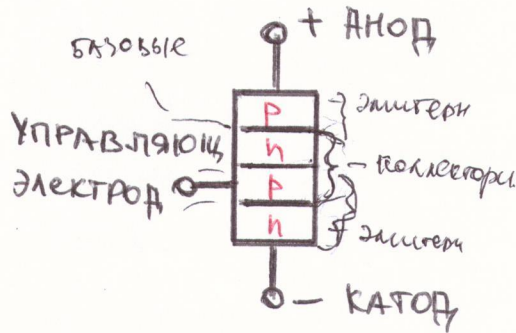
1. Высокое входное сопротивление, в канальных тр-рах с р-п-переходом  $10^6 \dots 10^9$  Ом, в тр-рах с изолированным затвором  $10^{12} \dots 10^{15}$  Ом. Такое высокое значение входного сопротивления обуславливается в первом случае тр-ров, электронно-дырочный переход м/д затвором и источником включён в обратном направлении, а в тр-рах с изолированным затвором очень большим сопротивлением утечки диэлектрического слоя.
2. Малый уровень собственных шумов, так как в полевых тр-рах в переносе тока, участвуют заряды только одного знака.
3. Высокая устойчивость температурным и радиационным воздействиям.
4. Высокая плотность расположения элементов при использовании приборов в интегральных микросхемах.

Тиристоры относятся к классу четырёхслойных п/проводниковых приборов, состоящих из четырёх последовательно чередующихся областей с проводимостью р и п-типа

Триодный тиристор – это п/проводниковый прибор, представляющий собой четырёхслойную структуру типа р-п-р-п (или п-р-п-р), имеющую вывод от двух крайних областей и от одной внутренней (базовой) области.

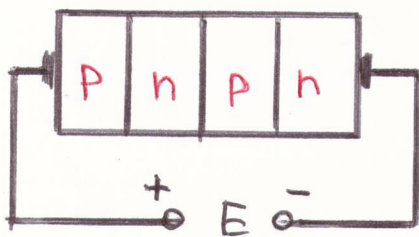


а) диодного

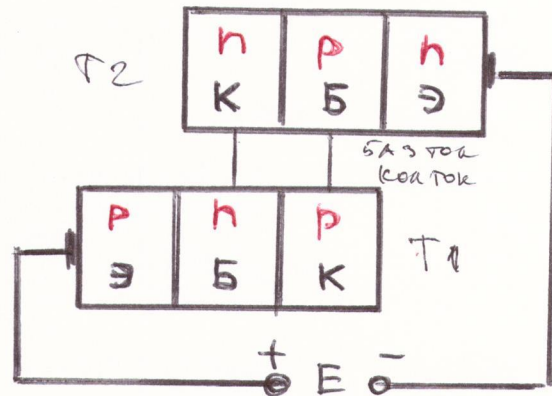


б) триодный

Крайние электронно-дырочные переходы называются эмиттерными, средний переход—коллекторным, внутренние области структуры лежащие м/д переходами называются базовыми. Электрод обеспечивающий эл.связь с внешней n-областью, называется катодом, а с внешней р-областью—анодом. В триод-тиристорах с внутренней р-областью (р-базой) соединён управляющий катод.



а)



Из схемы а) следует, что средний (коллекторный) р-п-переход заперт обратным напряжением источника Е. Однако при больших токах понижение высоты потенциального барьера оказывается настолько резким, что средний переход может оказаться открытым. При этом падение напряжения на приборе резко падает, а след-но, на ВАХ прибора появляется участок отрицательного сопротивления (когда рост тока ведёт к уменьшению напряжения на приборе).

Для анализа работы тиристора четырёхслойную структуру целесообразно представить в виде двух транзисторов типов р-п-р и п-р-п рис б) причём коллекторный ток тр-ра р-п-р (Т1) одновременно является базовым током тр-ра п-р-п (Т2), а коллекторный ток тр-ра Т2—базовым током тр-ра Т1.

Таким образом  $\bar{I}_{Б2} = \bar{I}_{К1}$  и  $\bar{I}_{Б1} = \bar{I}_{К2}$ .