

Лекция 3. Полевые транзисторы

3.1 Полевые транзисторы. Классификация

3.2 Полевые транзисторы. Статистические характеристики и эксплуатационные параметры

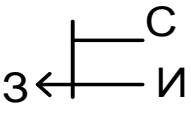
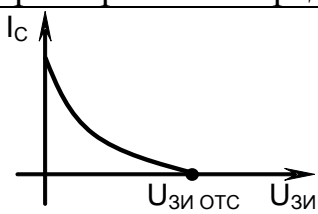
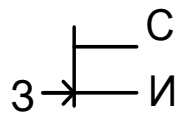
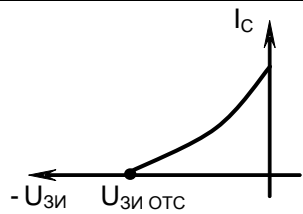
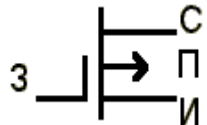
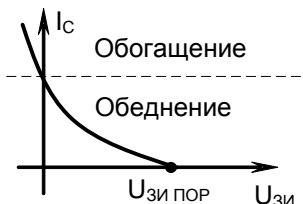
3.1. Полевые транзисторы. Классификация

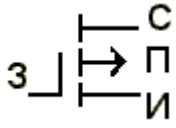
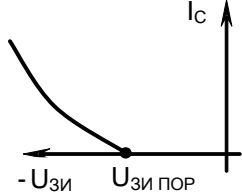

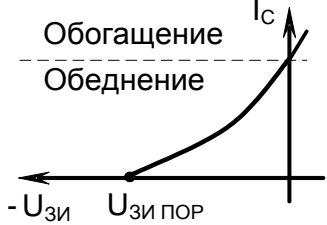
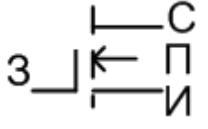
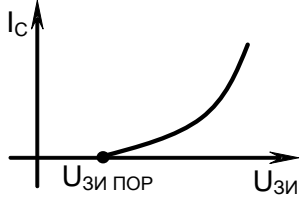
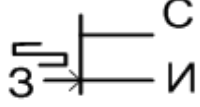
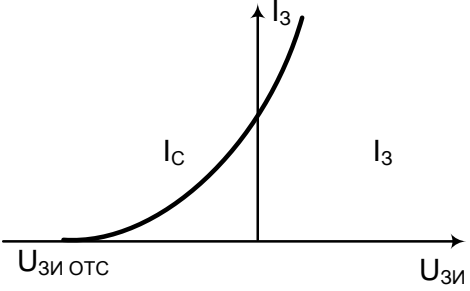
Полевыми транзисторами ПТ называют трех- или четырехэлектродные полупроводниковые приборы, в которых управление током осуществляется изменением проводимости токопроводящего канала путем воздействия электрического поля, поперечного к направлению тока. Токопроводящий канал соединяет две сильнолегированные области. Область, из которой носители заряда уходят в канал, называется истоком, а область, в которую они приходят, – стоком. Электрическое поле, изменяющее проводимость канала, создается путем подачи управляющего напряжения на электрод, называемый *затвором*. В полевых транзисторах от истока к стоку перемещаются только основные носители заряда (либо электроны, либо дырки), поэтому их часто называют униполярными [3,4].

Существует несколько разновидностей полевых транзисторов, различающихся физической структурой и способом управления проводимостью канала.

Типы ПТ с их характеристиками передачи и условными графическими обозначениями приведены в табл.3.1.

Таблица 3.1- Основные типы полевых транзисторов и условные обозначения

Наименование	УГО	Характеристика передачи
Транзистор полевой с p - n -переходом и каналом p -типа		
Транзистор полевой с p - n -переходом и каналом n -типа		
Транзистор полевой с изолированным затвором обедненного типа с p -каналом		

Транзистор полевой с изолированным затвором обогащенного типа с p -каналом		
Транзистор полевой с изолированным затвором обедненного типа с n -каналом		
Транзистор полевой с изолированным затвором обогащенного типа с n -каналом		
Полевой транзистор с затвором Шоттки и каналом n -типа.		

3.2 Полевые транзисторы. Статистические характеристики и эксплуатационные параметры

Различают полевые транзисторы с управляющим p - n -переходом, с изолированным затвором и полевой транзистор с барьером Шоттки.

Электрический переход между полупроводниками с разным типом электропроводности нашел свое применение в полевых транзисторах с управляющим p - n -переходом.

В них в качестве затвора используется область полупроводника, тип электропроводности которой противоположен типу электропроводности канала, в результате чего между затвором и каналом образуется p - n -переход.

В транзисторах с изолированным затвором между металлическим затвором и проводящим каналом расположен тонкий слой диэлектрика так, что образуется структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структура). Такие транзисторы обычно называют *МДП-транзисторами* [3,4].

Полевые транзисторы с p - n -переходом при одинаковых геометрических размерах с МДП ПТ могут иметь в рабочем режиме меньшие входные емкости. Это объясняется тем, что в рабочем режиме к электронно-дырочному переходу «затвор-канал» прикладывается запирающее

напряжение, и, следовательно, барьерная емкость перехода (аналогично варикапу) уменьшается.

Выходное сопротивление ПТ находится в пределах десятков-сотен кОм.

Сочетание достоинств полевых транзисторов с $p-n$ -переходом и МДП-транзисторов реализуется в транзисторах с барьером Шоттки.

В качестве статических характеристик ПТ представляются функциональные зависимости между токами и напряжениями, прикладываемыми к их электродам: *входная характеристика* $I_3 = f(U_{3И})$ при $U_{СИ} = const$; *характеристика обратной связи* $I_3 = f(U_{СИ})$ при $U_{3И} = const$; *характеристика прямой передачи* $I_C = f(U_{3И})$ при $U_{СИ} = const$; *выходная характеристика* $I_C = f(U_{СИ})$ при $U_{3И} = const$.

На практике широко используются лишь две последние характеристики, причем первую из них часто называют *передаточной характеристикой*.

Входная характеристика и характеристика обратной связи применяется редко, так как в абсолютном большинстве случаев входные токи ПТ пренебрежимо малы (от 10^{-8} до 10^{-12} А) по сравнению с токами, протекающими через элементы, подключенные к их входам.

Характеристика прямой передачи описывается формулой:

$$I_C = I_{C0} \left(1 - \frac{U_{3И}}{U_{3И\text{отс}}} \right)^2, \quad (3.1)$$

где I_{C0} – ток стока при $U_{3И} = 0$.

Особенностью полевых транзисторов является наличие на их передаточной характеристике термостабильной точки, т.е. точки, в которой ток стока практически постоянен при различных температурах (точка А на рис. 3.1.). Это объясняется следующим образом.

При повышении температуры из-за уменьшения подвижности носителей удельная проводимость канала уменьшается, а, следовательно, уменьшается и ток стока. Одновременно сокращается ширина $p-n$ -перехода, расширяется проводящая часть канала и увеличивается ток. Первое сказывается при больших токах стока, второе – при малых. Эти два противоположных процесса при определенном выборе рабочей точки могут взаимно компенсироваться.

Передаточные характеристики нормально открытого и нормально закрытого транзисторов с барьером Шоттки приведены на рис. 3.2.

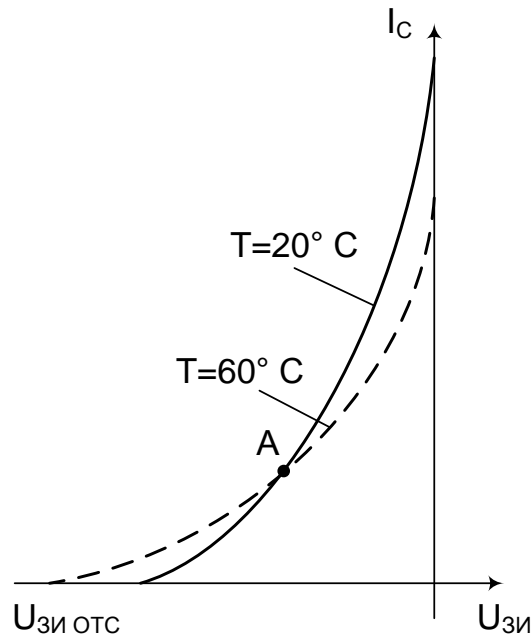


Рис. 3.1. Влияние температуры на характеристики прямой передачи ПТ

Напряжение, подаваемое на затвор такого транзистора, не должно превышать 0,4 В, чтобы в цепи затвора не появился нежелательный прямой ток.

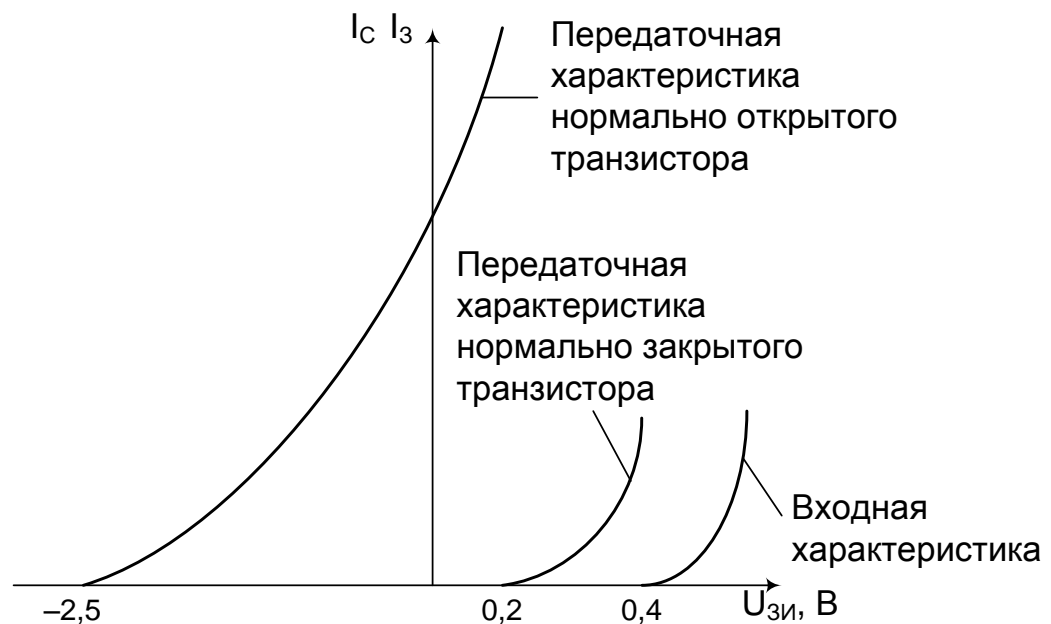
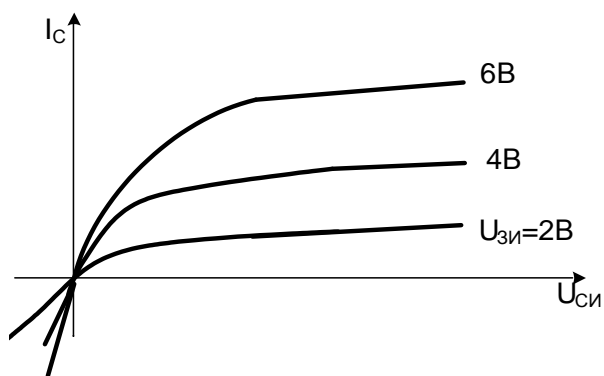
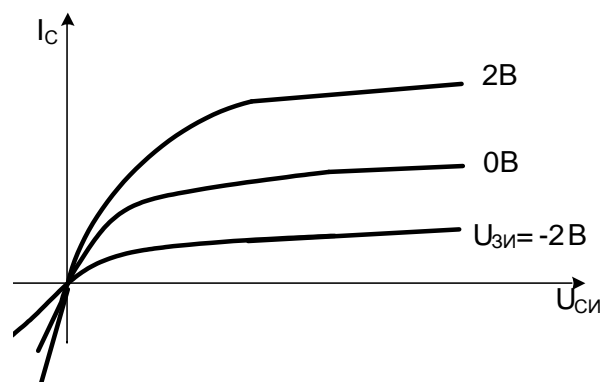


Рис. 3.2. Характеристики ПТ с барьером Шоттки

Выходные характеристики МДП ПТ не содержат область возникновения прямых токов затвора. Однако следует заметить, что аналогичная область будет иметь место и у МДП ПТ, если их подложка соединена с истоком. В этом случае при обратной полярности напряжения сток-исток возникают прямые токи подложки. Выходные характеристики таких транзисторов имеют вид в соответствии с рис. 3.3.



а



б

Рис. 3.3. Выходные характеристики ПТ:

а) с индуцированным n -каналом; б) со встроенным n -каналом