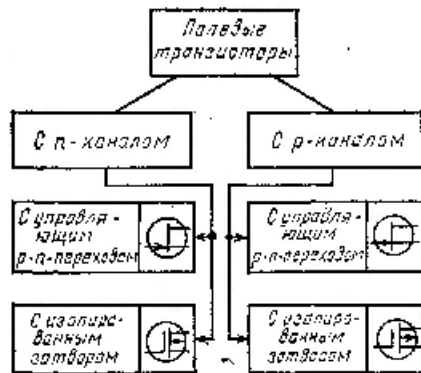


Полевым транзистором называют электропреобразовательный прибор, в котором ток канала управляется электрическим полем, возникающим с приложением напряжения между затвором и истоком, и который предназначен для усиления мощности электромагнитных колебаний.

Каналом называют центральную область транзистора. Электрод, из которого в канал входят основные носители заряда, называют истоком, а электрод, через который основные носители уходят из канала,— стоком. Электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала, называют затвором.

Рис. 1. Классификация и условные графические обозначения полевых транзисторов



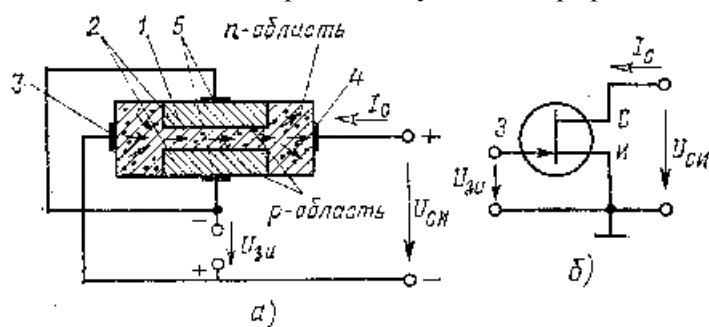
Поскольку в полевых транзисторах ток определяется движением носителей только одного знака, ранее их называли *униполярными* транзисторами, что подчеркивало движение носителей заряда одного знака.

Полевые транзисторы изготовляют из кремния и в зависимости от электропроводности исходного материала подразделяют на транзисторы с р-каналом и п-каналом. Классификация и условные графические обозначения полевых транзисторов приведены на рис. 1.

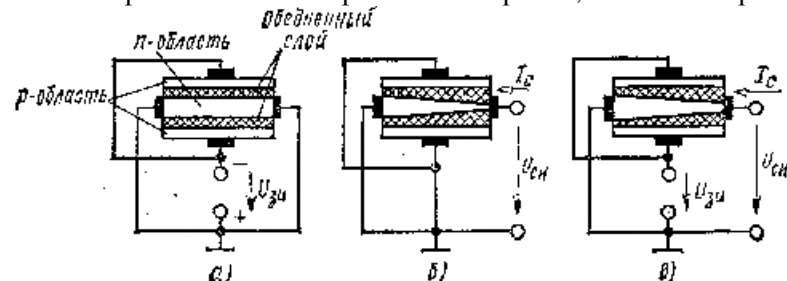
Полевой транзистор с управляющим переходом — полевой транзистор, у которого затвор электрически отделен от канала закрытым р-п-переходом.

Структурная схема и схема включения полевого транзистора с п-каналом и управляющим р-п-переходом показаны на рис. 2.

Рис. 2. Структура (а) и схема включения полевого транзистора с затвором в виде р-п-перехода (б): 1, 2 — области канала и затвора соответственно; 3, 4, 5 — выводы истока, стока и затвора соответственно



В транзисторе с п-каналом основными носителями заряда в канале являются электроны, которые движутся вдоль канала от истока с низким потенциалом к стоку с более высоким потенциалом, образуя ток стока I_C . Между затвором и истоком приложено напряжение, запирающее р-п-переход, образованный п-областью канала и р-областью затвора. Таким образом, в полевом транзисторе с п-каналом полярности приложенных напряжений следующие: $U_{си} > 0$, $U_{зи} < 0$.



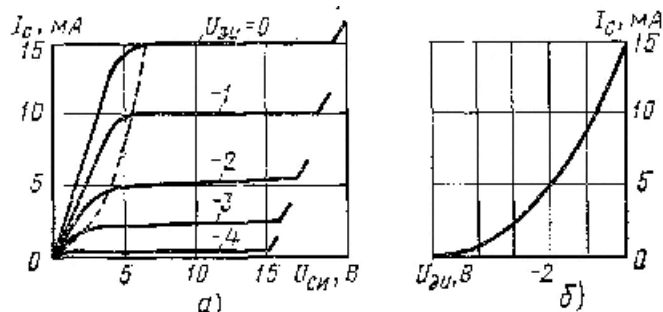
В транзисторе с р-каналом основными носителями заряда являются дырки, которые движутся в направлении снижения потенциала, поэтому полярности приложенных напряжений должны быть иными: $U_{си} < 0$, $U_{зи} \geq 0$.

Рис. 3. Перекрытие канала в полевом транзисторе

Рассмотрим более подробно работу полевого транзистора с п-каналом. Транзисторы с р-каналом работают аналогично. На рис. 3 показано, как происходит изменение поперечного сечения канала при подаче напряжения на электроды транзистора. При подаче запирающего напряжения на р-п-переход между затвором и каналом (рис. 3, а) на границах канала возникает равномерный слой, обедненный носителями заряда и обладающий высоким удельным сопротивлением. Это приводит к уменьшению проводящей ширины канала.

Напряжение, приложенное между стоком и истоком (рис. 3, б), приводит к появлению неравномерного обедненного слоя, так как разность потенциалов между затвором и каналом увеличивается в направлении от истока к стоку и наименьшее сечение канала расположено вблизи стока.

Рис. 4. Вольтамперные характеристики полевого транзистора: а — выходные; б — передаточная



Если одновременно подать напряжения $U_{си} > 0$ и $U_{зи} < 0$ (рис. 3, в), то толщина обедненного слоя, а, следовательно, и сечение канала будут определяться действием этих двух напряжений.

При этом минимальное сечение канала определяется их суммой. Когда суммарное напряжение достигает

напряжения запираания: $U_{си} + |U_{зи}| = U_{зип}$, обедненные области смыкаются и сопротивление канала резко возрастает.

Вольтамперные характеристики полевого транзистора приведены на рис. 4. Здесь зависимости тока стока I_c от напряжения при постоянном напряжении на затворе $U_{зи}$ определяют *выходные*, или *стоковые*, характеристики полевого транзистора (рис. 4, а). На начальном участке характеристик $U_{си} + |U_{зи}| < U_{зип}$ ток стока I_c возрастает с увеличением $U_{си}$. При повышении напряжения сток — исток до $U_{си} = U_{зип} - |U_{зи}|$ происходит перекрытие канала и дальнейший рост тока I_c прекращается (участок насыщения). Отрицательное напряжение $U_{зи}$ между затвором и истоком смещает момент перекрытия канала в сторону меньших значений напряжения $U_{си}$ и тока стока I_c . Участок насыщения является рабочей областью выходных характеристик полевого транзистора.

Дальнейшее увеличение напряжения $U_{си}$ приводит к пробою р-п-перехода между затвором и каналом и выводит транзистор из строя. По выходным характеристикам может быть построена *передаточная* характеристика $I_c = f(U_{зи})$ (рис. 4, б). На участке насыщения она практически не зависит от напряжения $U_{си}$. *Входная* характеристика полевого транзистора — зависимость тока утечки затвора I_3 от напряжения затвор — исток — обычно не используется, так как при $U_{зи} \leq 0$ р-п-переход между затвором и каналом закрыт и ток затвора очень мал ($I_3 \sim 10^{-8} \div 10^{-9}$ А), поэтому во многих случаях его можно не принимать во внимание.

Полевой транзистор с изолированным затвором — полевой транзистор, затвор которого электрически отделен от канала слоем диэлектрика. У полевых транзисторов с изолированным затвором для уменьшения тока утечки затвора I_3 между металлическими затворами и полупроводниковым каналом находится тонкий слой диэлектрика, обычно оксид кремния, а р-п-переход отсутствует. Такие полевые транзисторы часто называют МДП-транзисторами (МДП — металл — диэлектрик — полупроводник) или МОП-транзисторами (МОП — металл — оксид — полупроводник).

Вольтамперные характеристики полевых транзисторов с изолированным затвором в основном аналогичны характеристикам транзисторов с затвором в виде р-п-перехода. В то же время изолированный затвор позволяет работать в области положительных напряжений между затвором и истоком: $U_{зи} > 0$. В этой области происходит расширение канала и увеличение тока стока I_c .

Основными параметрами полевых транзисторов являются *крутизна характеристики передачи*

$$S = \frac{dI_c}{dU_{зи}} \text{ при } U_{си} = \text{const} \quad (1.13)$$

и *дифференциальное сопротивление стока* (канала) на участке насыщения

$$R_c = \frac{dU_{си}}{dI_c} \text{ при } U_{зи} = \text{const}. \quad (1.14)$$

В качестве предельно допустимых параметров нормируются: максимально допустимые напряжения $U_{си.max}$ и $U_{зи.max}$; максимально допустимая мощность стока $P_c.max$; максимально допустимый ток стока $I_c.max$. Значения параметров полевых транзисторов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения параметров полевых транзисторов

Тип транзистора	S, мА/В	R _c , МОм	U _{си max} , В	P _{c.max} , Вт	I _{c max} , мА	I ₃ , А
С р-п-переходом	1—20	0,1—0,5	5—100	0,1—10	10—1000	10-8-10-9
С изолированным затвором	0,5—50	0,1—0,5	5—1000	0,01—50	0,1—5000	10-10—10-15

Межэлектродные емкости полевых транзисторов между затвором и стоком $C_{зс}$, а также затвором и истоком $C_{зи}$ обычно не превышают 1—20 пФ.

Полевые транзисторы с коротким каналом (длиной 1—3 мкм) являются высокочастотными приборами и могут работать на частотах до 100 МГц,

Контрольные вопросы:

1. Что такое полевой транзистор?
2. Перечислите выводы транзистора и поясните их назначение.
3. Почему полевые транзисторы называют униполярными?
4. Как классифицируются полевые транзисторы?
5. Нарисуйте структурную схему полевого транзистора с n-каналом и управляющим р-п-переходом. Поясните принцип его работы.
6. Нарисуйте стоковые и передаточную характеристику транзистора. Какую информацию можно получить используя эти характеристики?
7. Расскажите о полевых транзисторах с изолированным затвором.
8. Назовите основные параметры полевых транзисторов. Как определить эти параметры?