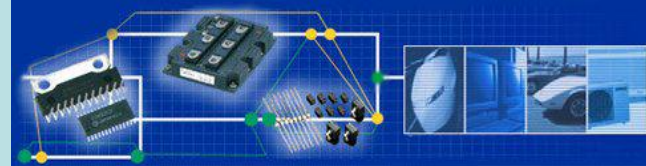


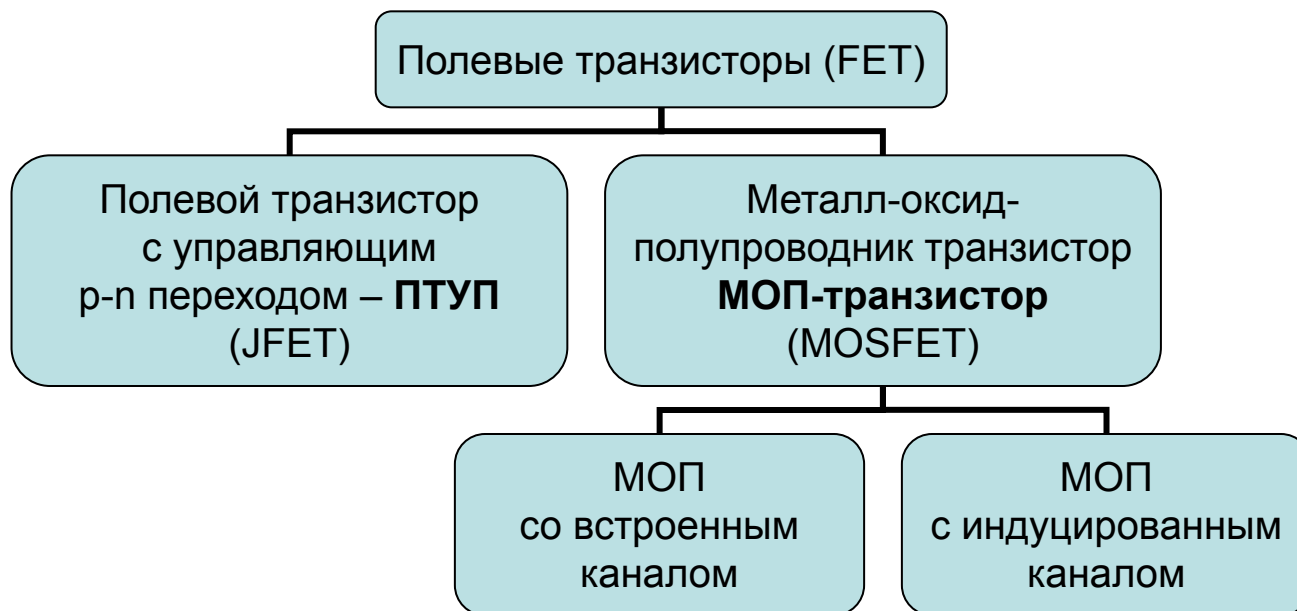
Твердотельная электроника

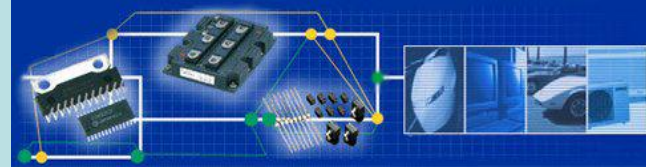
Лекция 5



5. Полевые транзисторы.

Полевым транзистором называется полупроводниковый прибор, в котором ток создаётся только основными носителями зарядов под действием продольного электрического поля, а управление этим током осуществляется поперечным электрическим полем, которое создаётся напряжением, приложенным к управляющему электроду.





5.1 Устройство и принцип действия ПТУП

Несколько определений:

- Вывод полевого транзистора, от которого истекают основные носители зарядов, называется **истоком**.
- Вывод полевого транзистора, к которому стекают основные носители зарядов, называется **стоком**.
- Вывод полевого транзистора, к которому прикладывается управляющее напряжение, создающее поперечное электрическое поле называется **затвором**.
- Участок полупроводника, по которому движутся основные носители зарядов, между рп-переходом, называется **каналом** полевого транзистора.

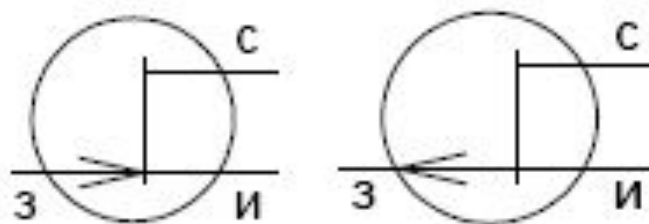
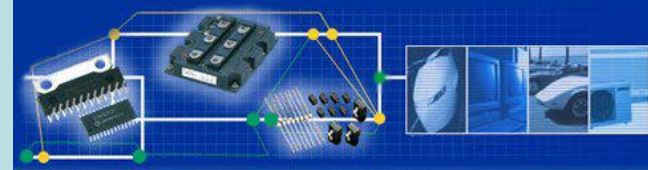


Рис.1 УГО ПТУП с каналом n- и p-типа



- 1) $U_{зи} = 0$; $I_{c1} = \max$;
- 2) $|U_{зи}| > 0$; $I_{c2} < I_{c1}$
- 3) $|U_{зи}| \gg 0$; $I_{c3} = 0$

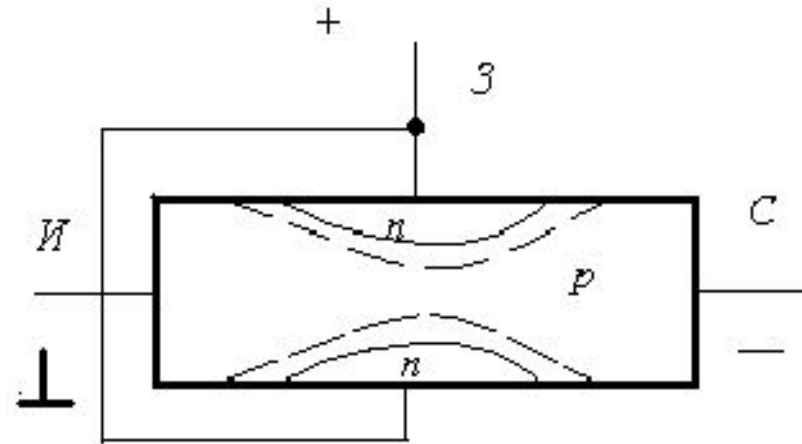
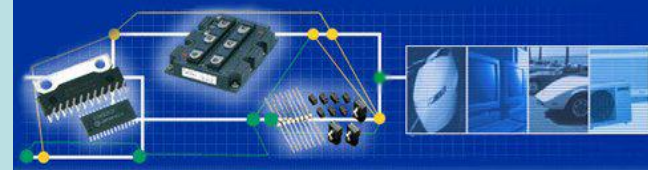


Рис.2 Конструкция ПТУП с каналом p-типа

- 1) При отсутствии напряжения на затворе p-n переходы закрыты собственным внутренним полем, ширина их минимальна, а ширина канала максимальна и ток стока будет максимальным.
- 2) При увеличении запирающего напряжения на затворе ширина p-n переходов увеличивается, а ширина канала и ток стока уменьшаются.
- 3) При достаточно больших напряжениях на затворе ширина p-n переходов может увеличиться настолько, что они сольются, ток стока станет равным нулю. Напряжение на затворе, при котором ток стока равен нулю, называется **напряжением отсечки**.

Вывод: полевой транзистор представляет собой управляемый полупроводниковый прибор, так как, изменяя напряжение на затворе, можно уменьшать ток стока и поэтому принято говорить, что полевые транзисторы с управляющими p-n переходами работают только в режиме обеднения канала.



5.2. Характеристики и параметры ПТУП

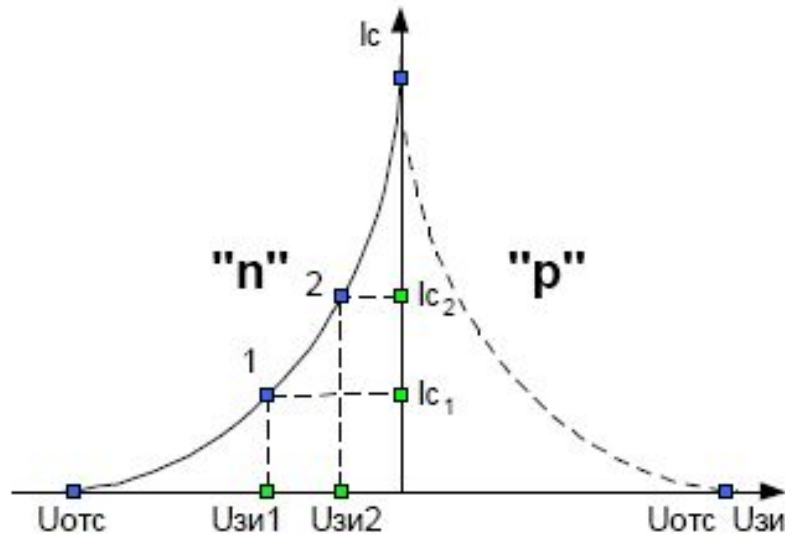


Рис.3 Стокозатворная (переходная) характеристика (ВАХ) ПТУП

Стокозатворная характеристика – это зависимость тока стока (I_c) от напряжения на затворе ($U_{зи}$) при $U_{си} = \text{const}$

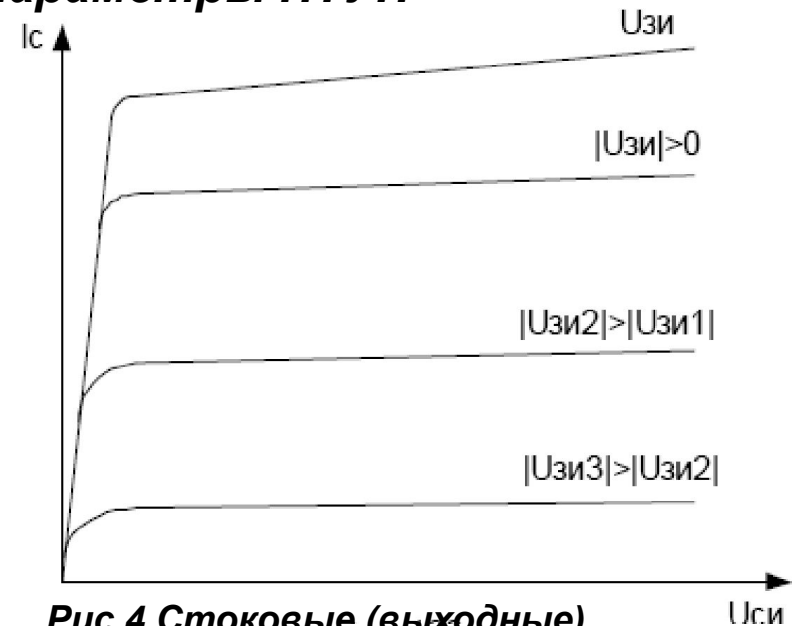


Рис.4 Стоковые (выходные) характеристики (ВАХ) ПТУП

Стоковая характеристика – это зависимость I_c от $U_{си}$ при постоянном напряжении на затворе. $I_c = f(U_{си})$ при $U_{зи} = \text{Const}$

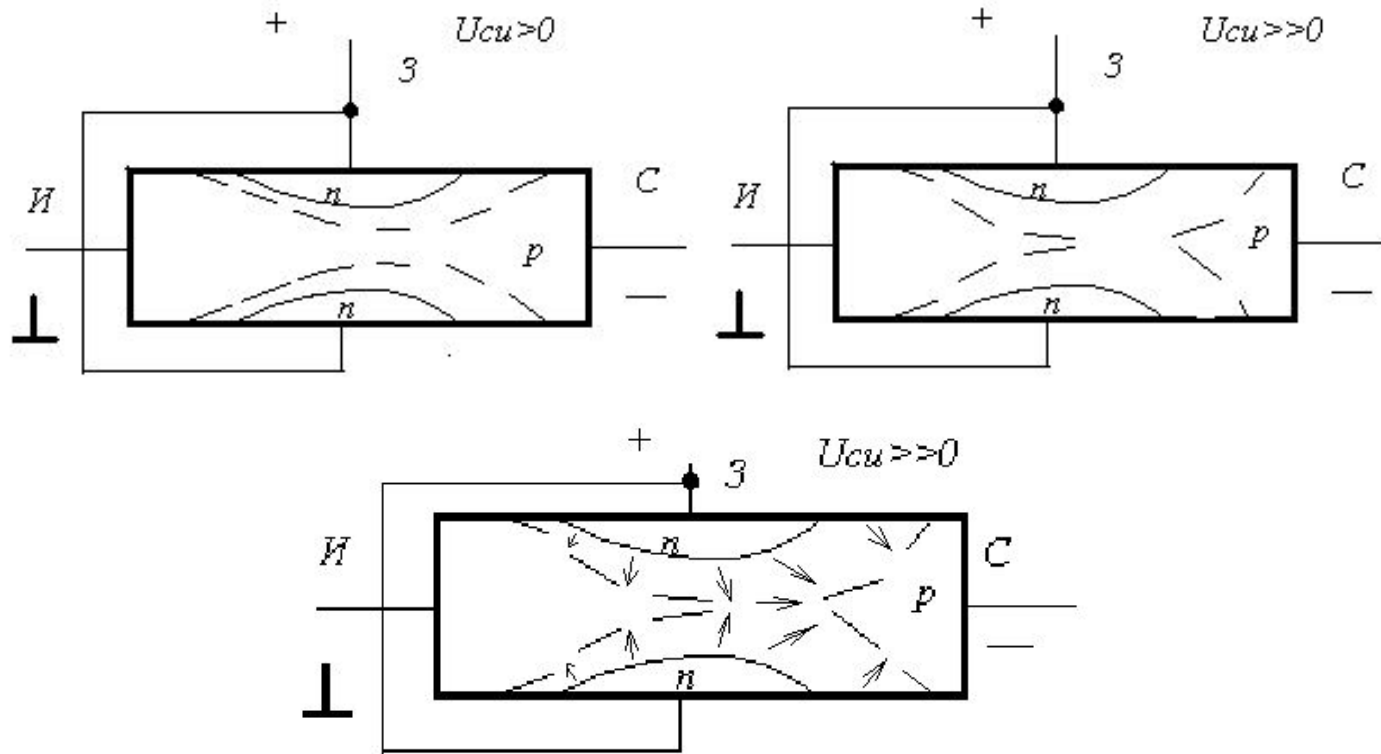
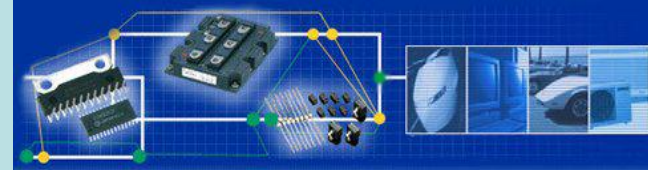
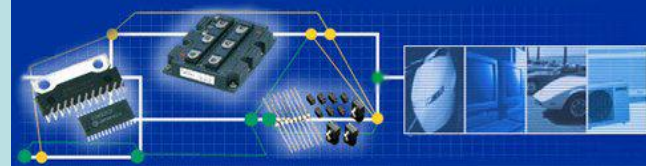


Рис.5 Изменение формы ООЗ при увеличении $U_{зи}$ ($U_{зи} = const$)



Напряжение, с которого начинается пологий участок стоковой характеристики, называется **напряжением насыщения**:

$$U_{сн} = U_0 - U_{зи}$$

Кроме того:

$$I_c = I_{c \max} (1 - U_{зи} / U_0)^2$$

где $I_{c \max}$ – **максимальный ток стока**, имеющий место при $U_{зи} = 0$.

Для определения коэффициента усиления усилителя на основе полевого транзистора важно знать его **крутизну** (аналогично коэффициенту β в биполярных транзисторах):

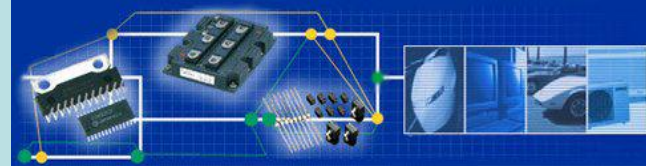
$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}} \text{ при } U_{сн} = Const$$

$$S = S_{\max} (1 - U_{зи} / U_0)$$

где S_{\max} – **максимальная крутизна**, имеющая место при $U_{зи} = 0$. Она определяется как:

$$S_{\max} = 2I_{c \max} / U_0$$

Крутизна измеряется в мА/В, и составляет обычно от 1 до 100. **Входное сопротивление** – $10^9 \dots 10^{12}$ Ом.



И вот вам ещё три полезные формулы:

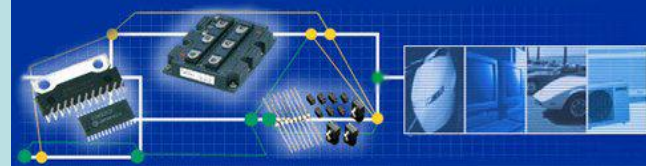
Сопротивление открытого канала:

$$R_{0i} = \frac{R_0}{1 - \sqrt{\frac{U_i}{U_{mc}}}}$$

где R_0 – сопротивление открытого канала при $U_{зи}=0$

$$U_i = U_{omc} \cdot \left(1 - \frac{R_0}{R_{0i}}\right)^2$$

$$U_i = U_{omc} \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{I_c}{I_{cmax}}}\right)$$



5.3. Схемы включения ПТУП

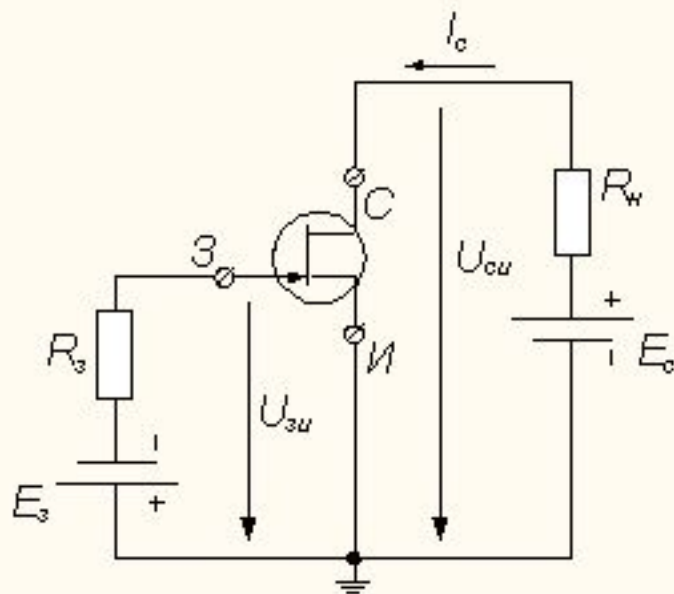


Рис.6 Схема включения ПТУП с ОИ

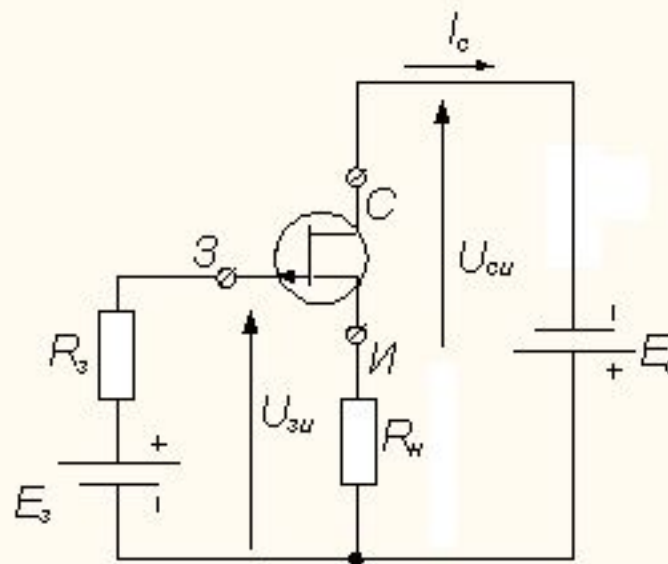
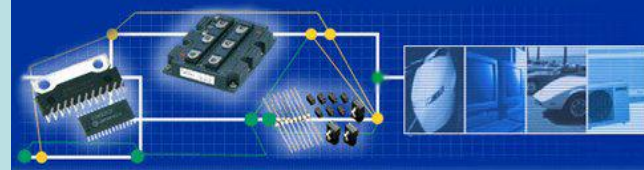


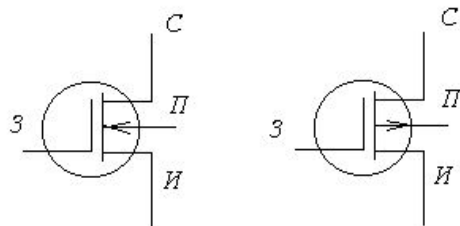
Рис.7 Схема включения ПТУП с ОС



5.4. МОП транзисторы (транзисторы с изолированным затвором)

Данные приборы имеют затвор в виде металлической плёнки, которая изолирована от полупроводника слоем диэлектрика, в виде которого применяется окись кремния. МОП – транзисторы могут быть двух видов:

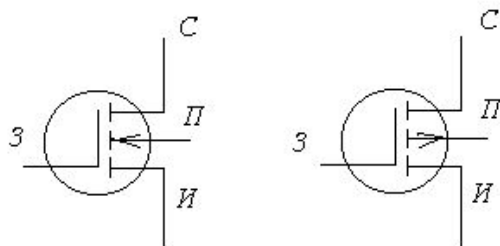
• Транзисторы со встроенным каналом



n-канал

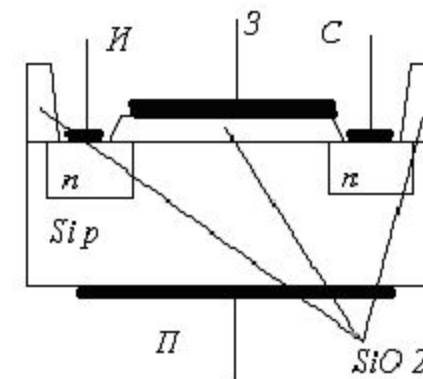
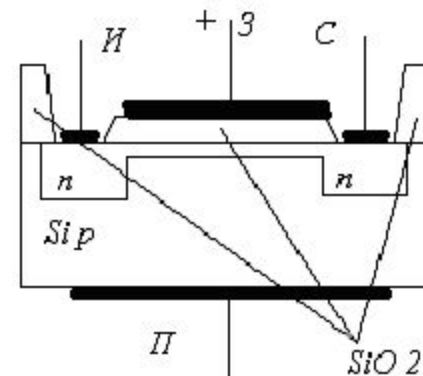
p-канал

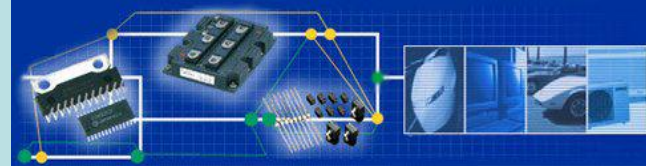
• Транзисторы с индуцированным каналом



n-канал

p-канал





5.5. Статические характеристики МОП-транзисторов

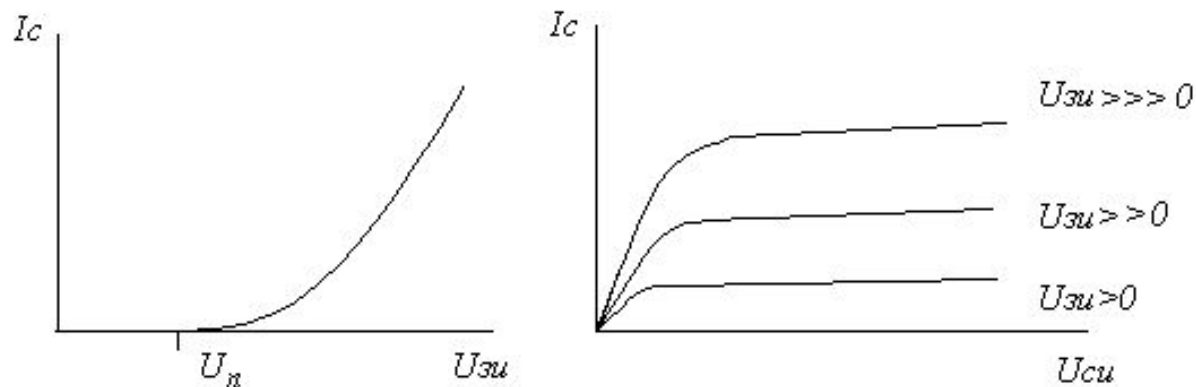


Рис. 8 Статические характеристики МОП-транзистора с индуцированным каналом

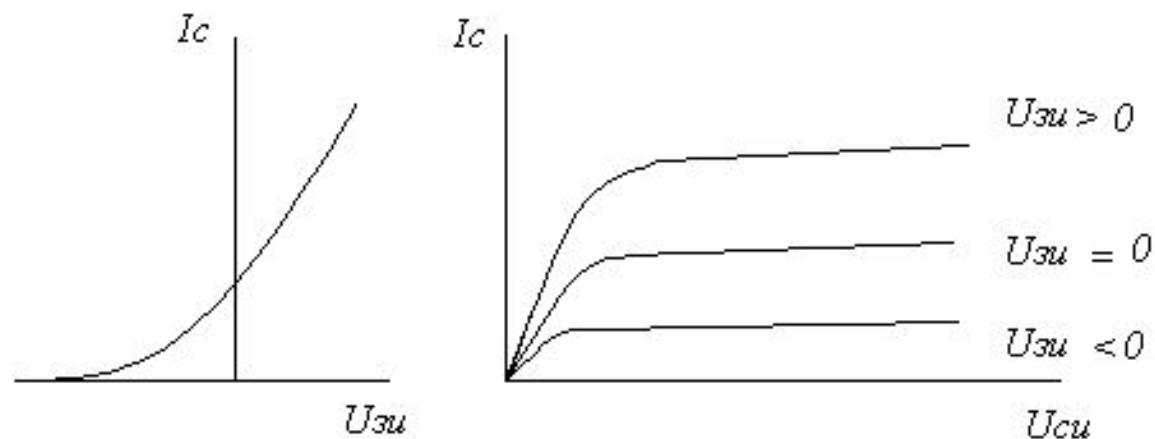
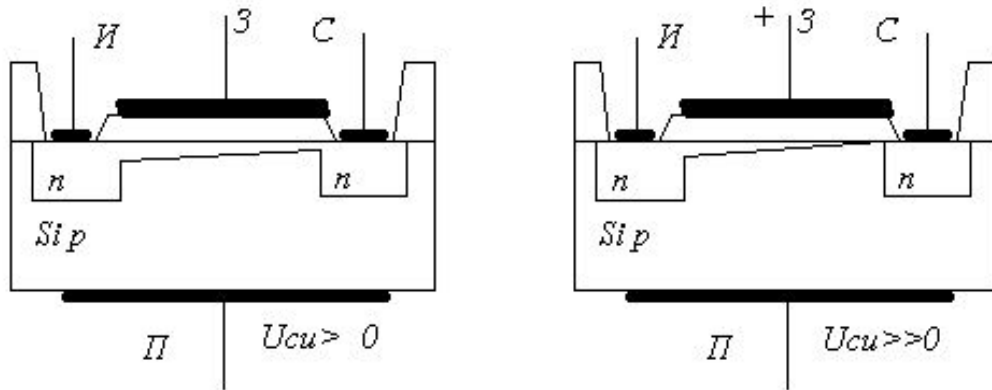
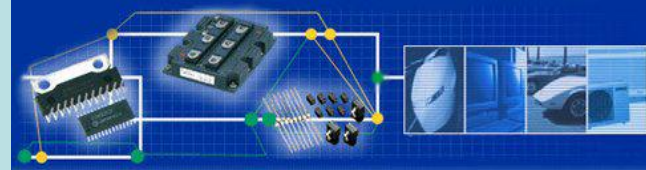


Рис. 9 Статические характеристики МОП-транзистора со встроенным каналом



$$I_c = K [(U_{зи} - U_n) U_{си} - \frac{1}{2} U_{си}^2]$$

где K – коэффициент, зависящий от конструкции и технологии изготовления транзистора, имеет размерность A/B^2 . Это парабола в координатах $U_{си} - I_c$, причём перевёрнутая и проходящая через начало координат. Максимум лежит в точке:

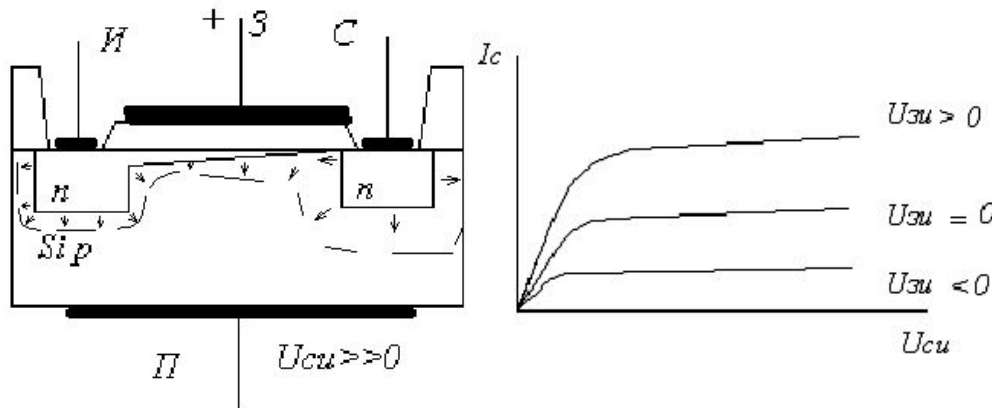
$$U_{си} = U_{зи} - U_n$$

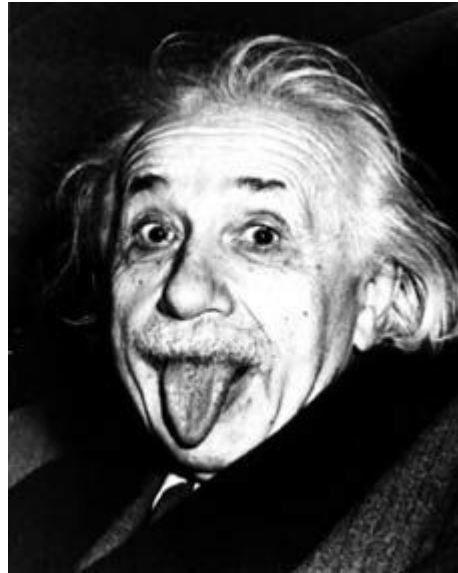
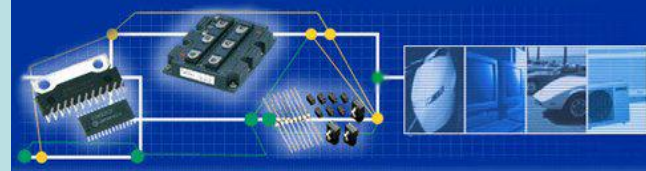
и составляет:

$$I_{c \max} = \frac{1}{2} K (U_{зи} - U_n)^2$$

$$I_c = I_{c \max} = \frac{1}{2} K (U_{зи} - U_n)^2$$

$$s = dI_c / dU_{зи} = K (U_{зи} - U_n)$$





*That's all
folks...*