

Лекция 4

Полевые транзисторы FET (field-effect transistor)

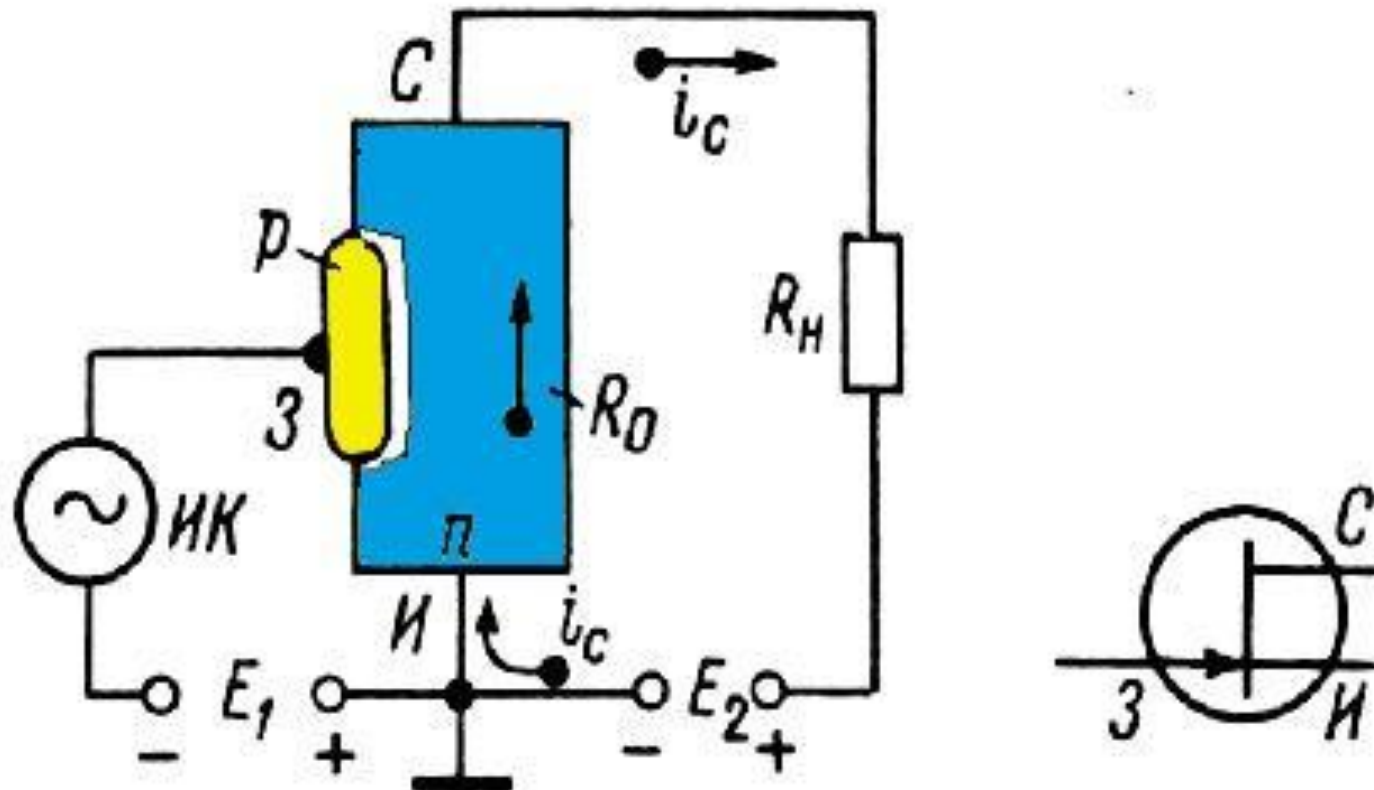
Устройство, принципы работы
полевых транзисторов
различных типов

**Чем более мы размышляем, тем более убеждаемся, что
ничего не знаем.**

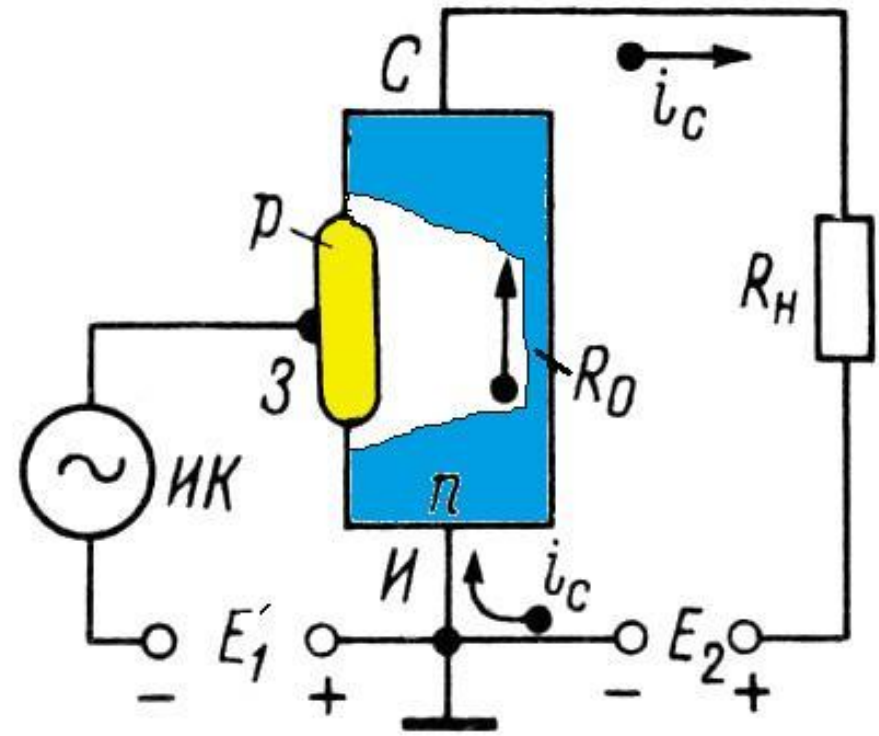
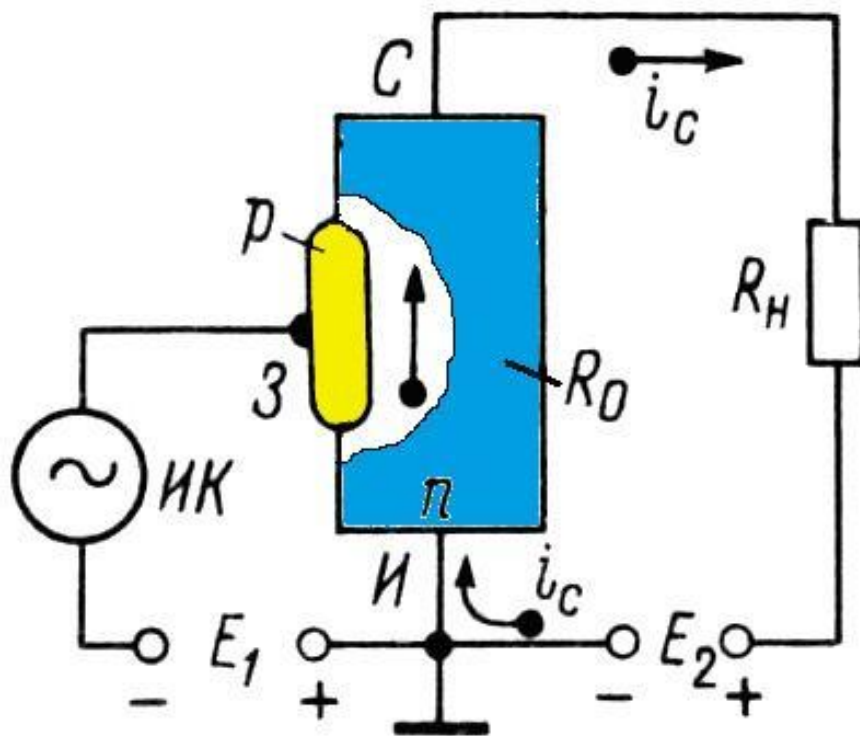
Вольтер



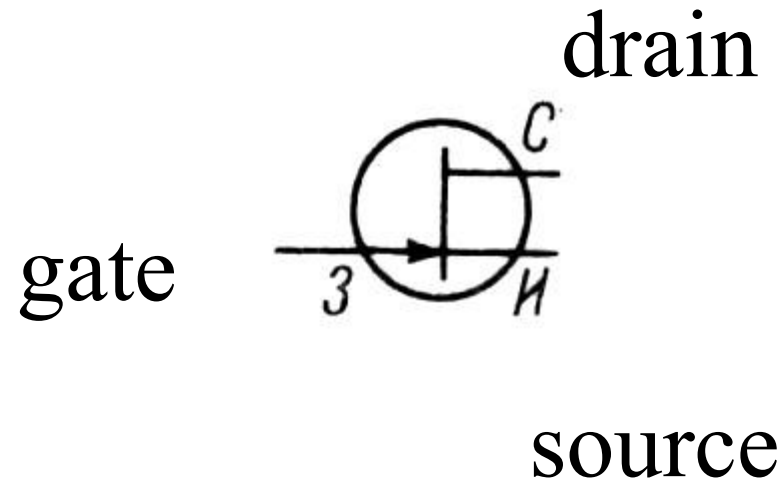
Полевой транзистор с управляющим р-п переходом и каналом n-типа n-channel junction FET



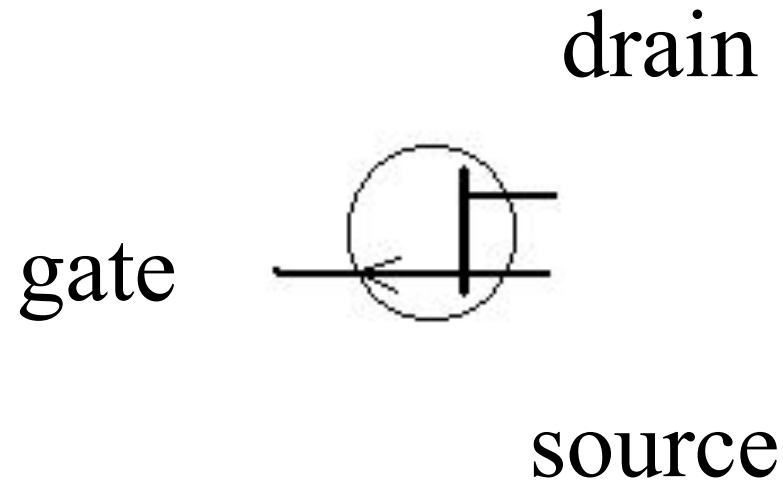
Полевой транзистор с управляющим р-п переходом и каналом n-типа



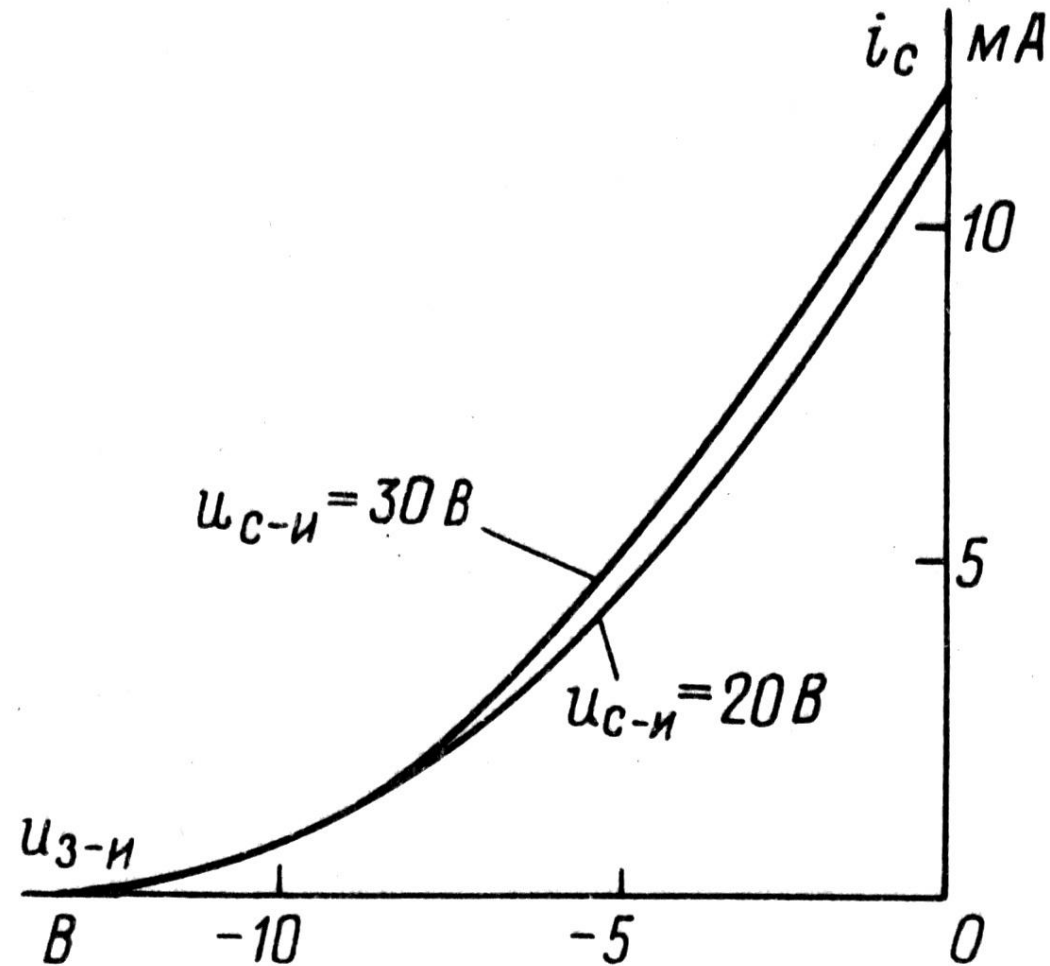
N-channel FET (electron-conducting)



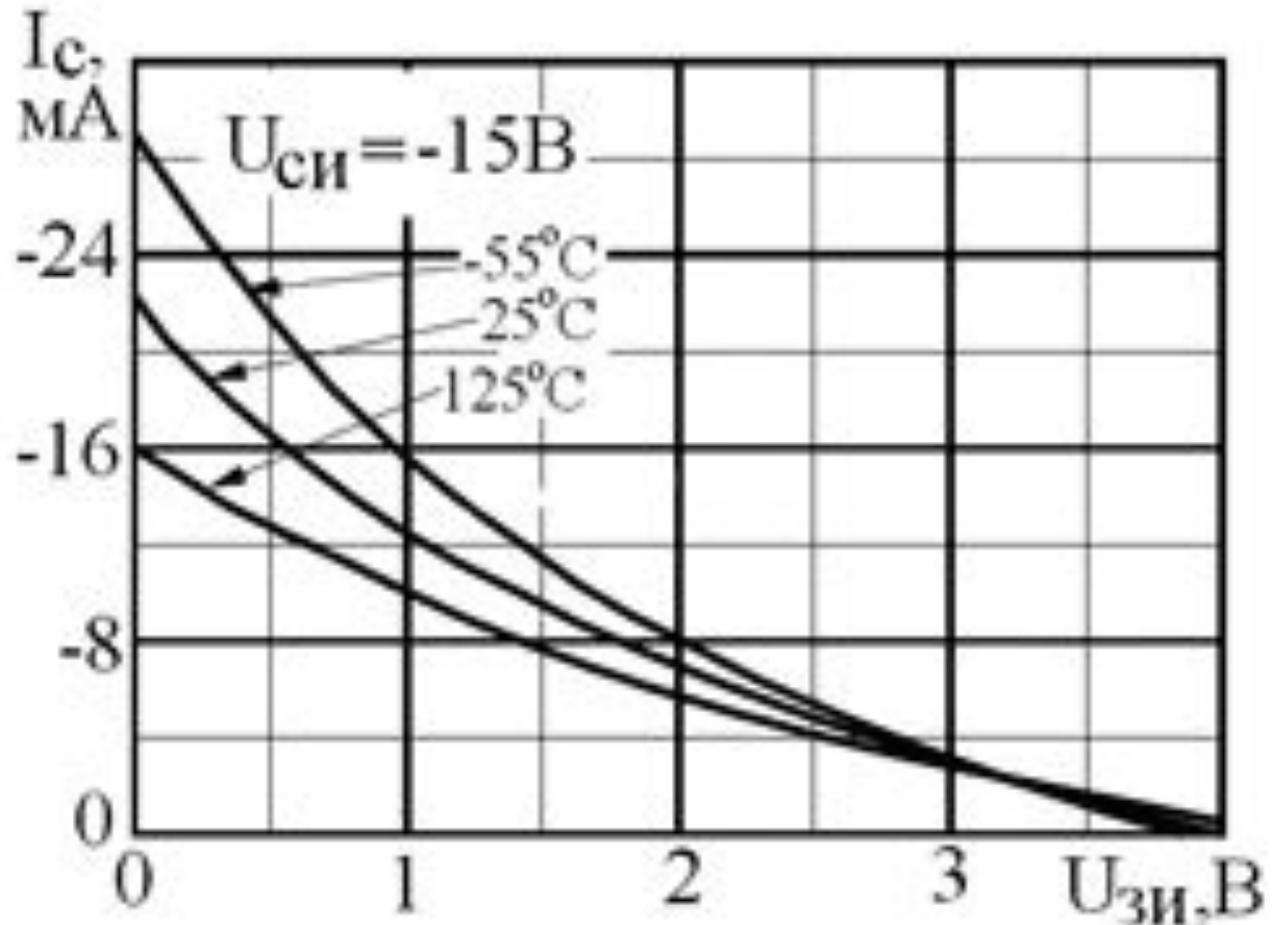
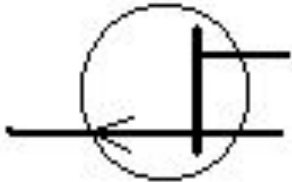
P-channel FET (hole-conducting FET)



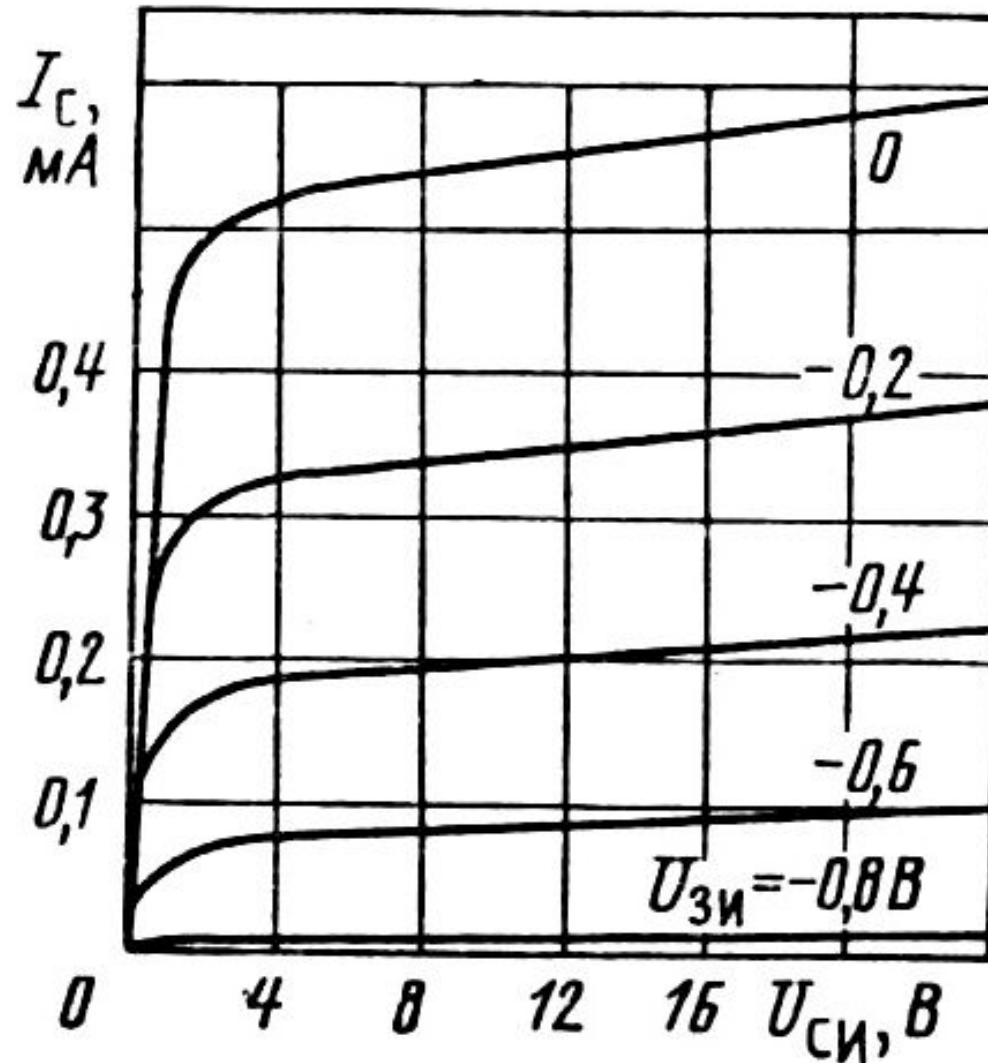
Управляющие (сток-затворные) характеристики полевого транзистора с каналом n-типа



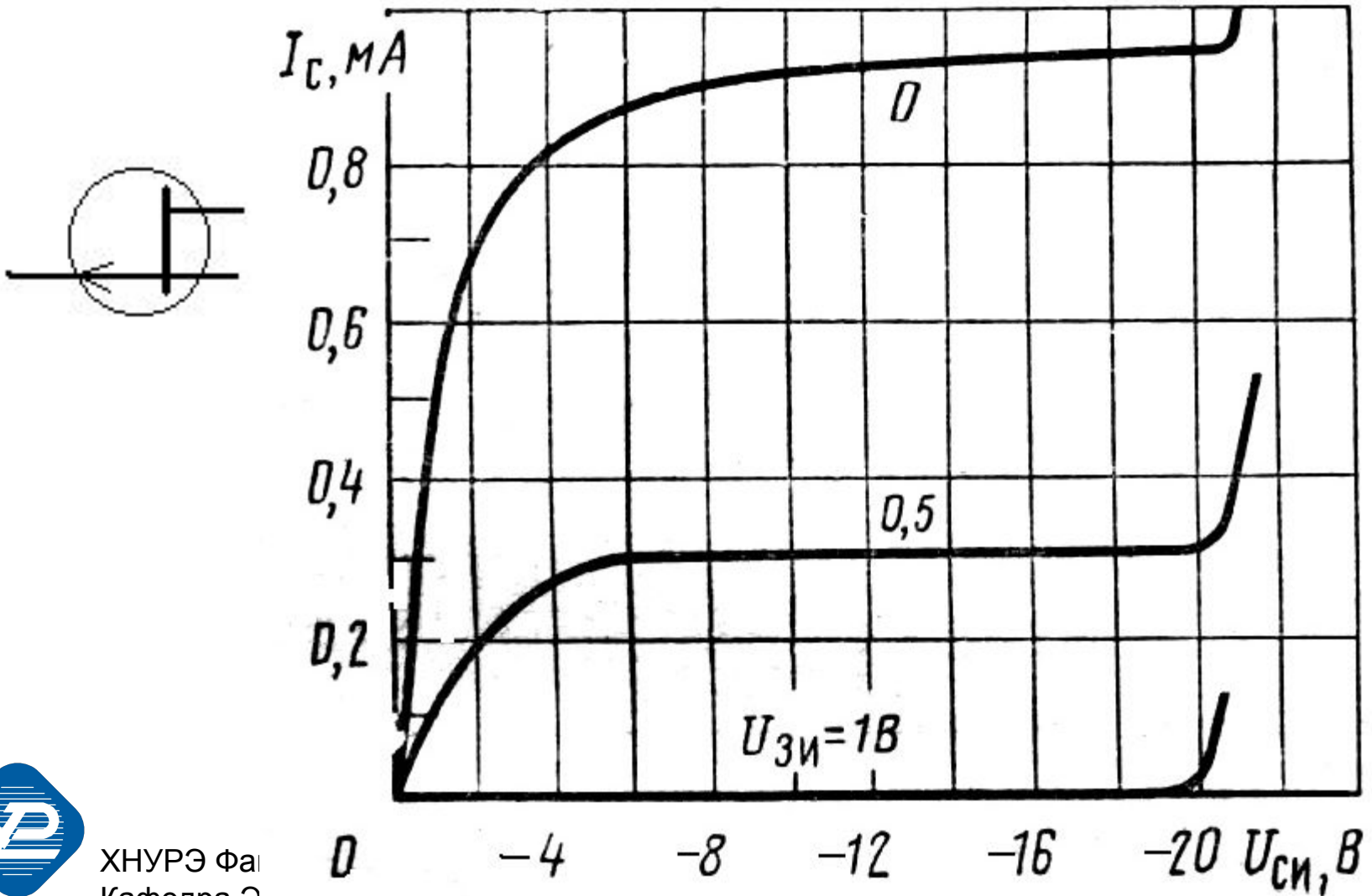
Управляющие (сток-затворные) характеристики полевого транзистора с каналом р-типа



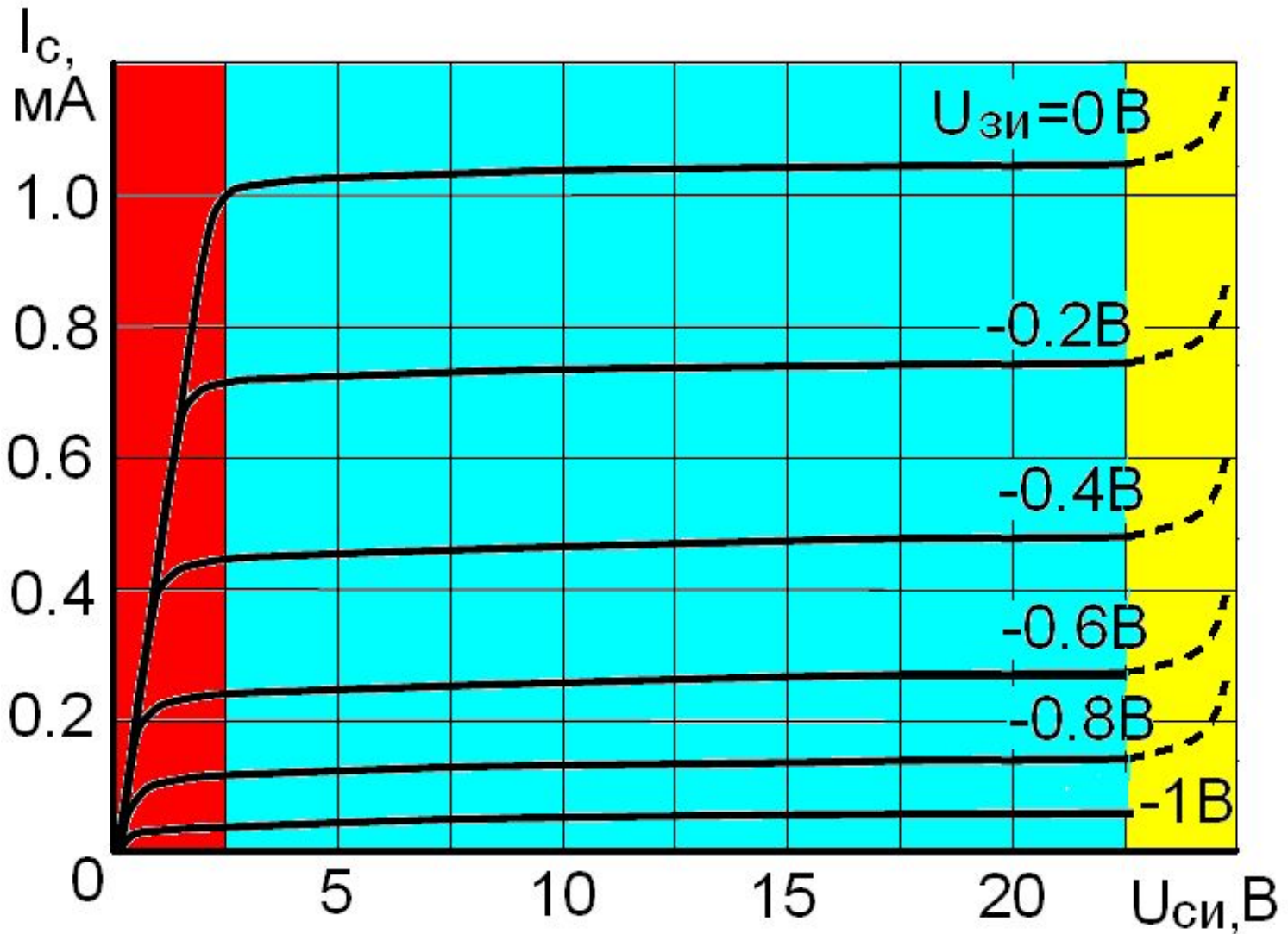
Выходные (стоковые) характеристики полевого транзистора с каналом n-типа



Выходные (стоковые) характеристики полевого транзистора с каналом р-типа



Участки выходной характеристики



Пологая область характеристики

$$I_c = I_{c_{нач}} \left(1 - U_{3И} / U_{3Иотс}\right)^2$$

$$U_{СИнас} = |U_{3Иотс}| - |U_{3И}|$$

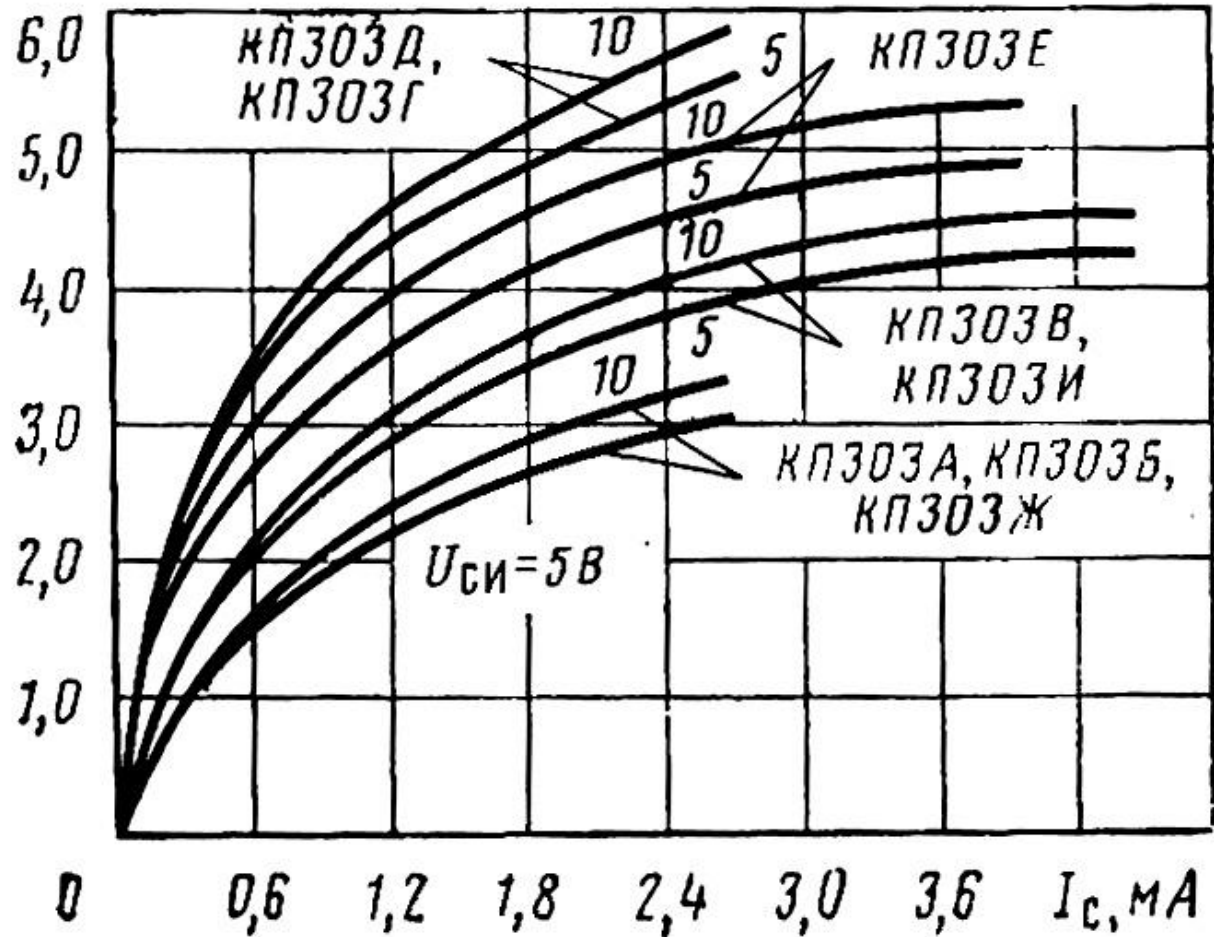
$$S = dI_c / dU_{3И} \quad \text{при } U_{СИ} = \text{const}$$

$$S_{нач} = 2I_{c_{нач}} / U_{3Иотс} \quad \text{при } U_{3И} = 0$$

$$S = S_{нач} \left(1 - U_{3И} / U_{3Иотс}\right)$$



Крутизна характеристики транзистора с каналом n-типа

 $S, \text{mA/V}$


Полевые транзисторы с изолированным затвором (insulated-gate FET)

МДП-транзисторы

(металл-диэлектрик-полупроводник)

metal-insulator-semiconductor transistor

(MIS insulated-gate transistor)

МОП-транзисторы

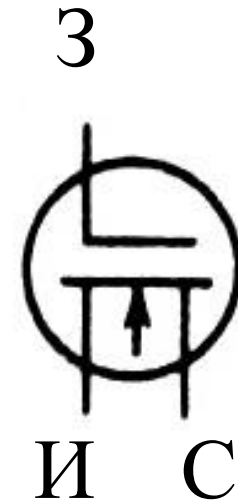
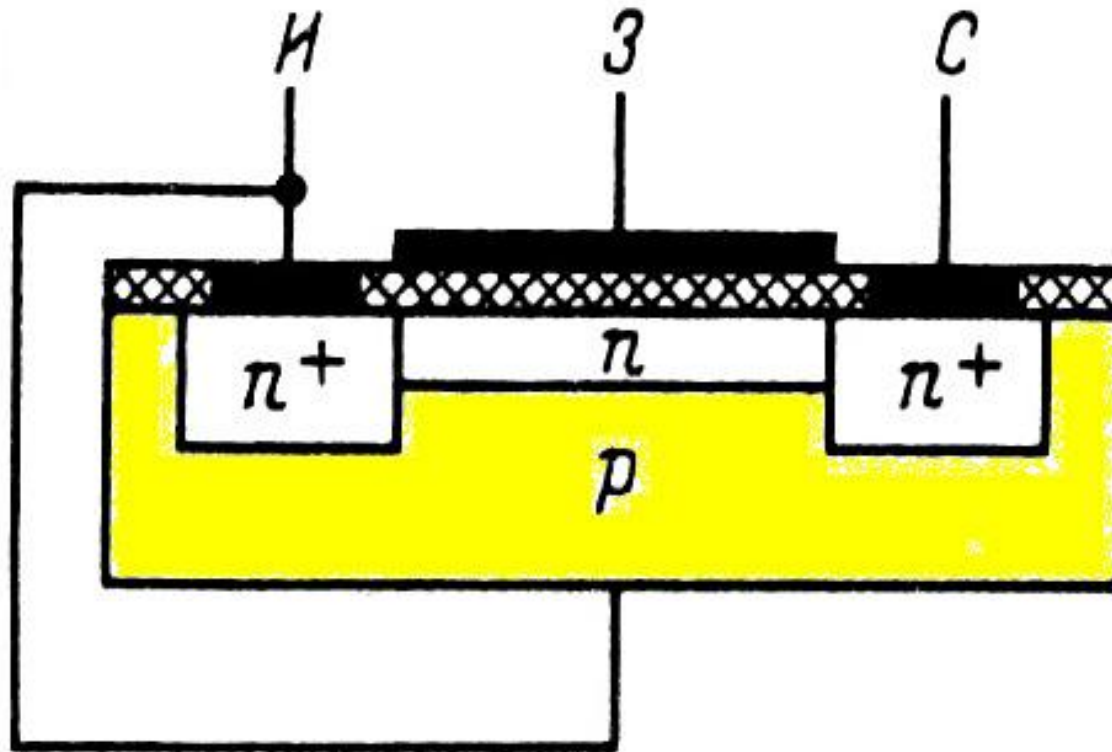
(металл-оксид-полупроводник)

metal-oxide-semiconductor MOS

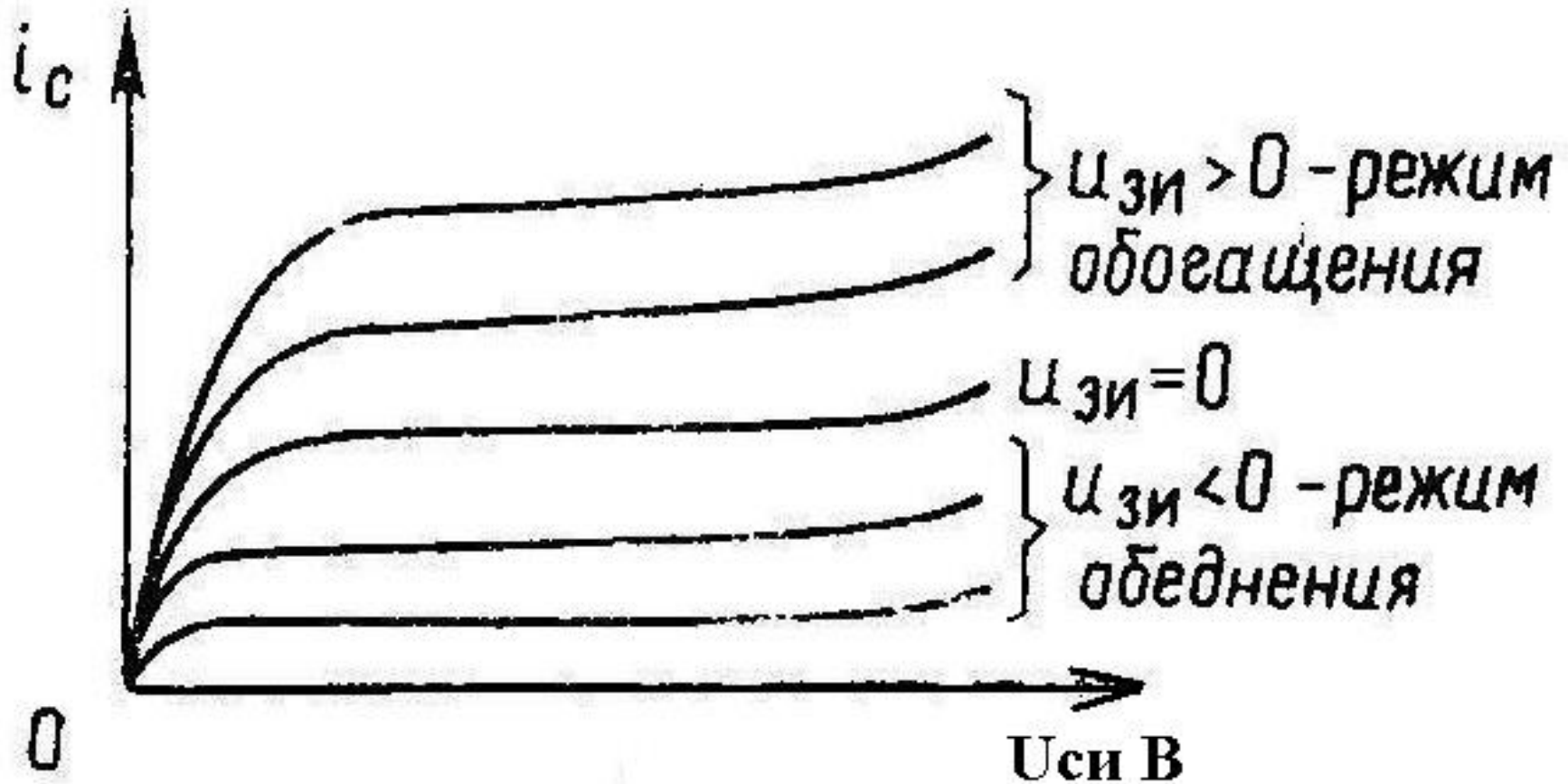
(MOS insulated transistor)



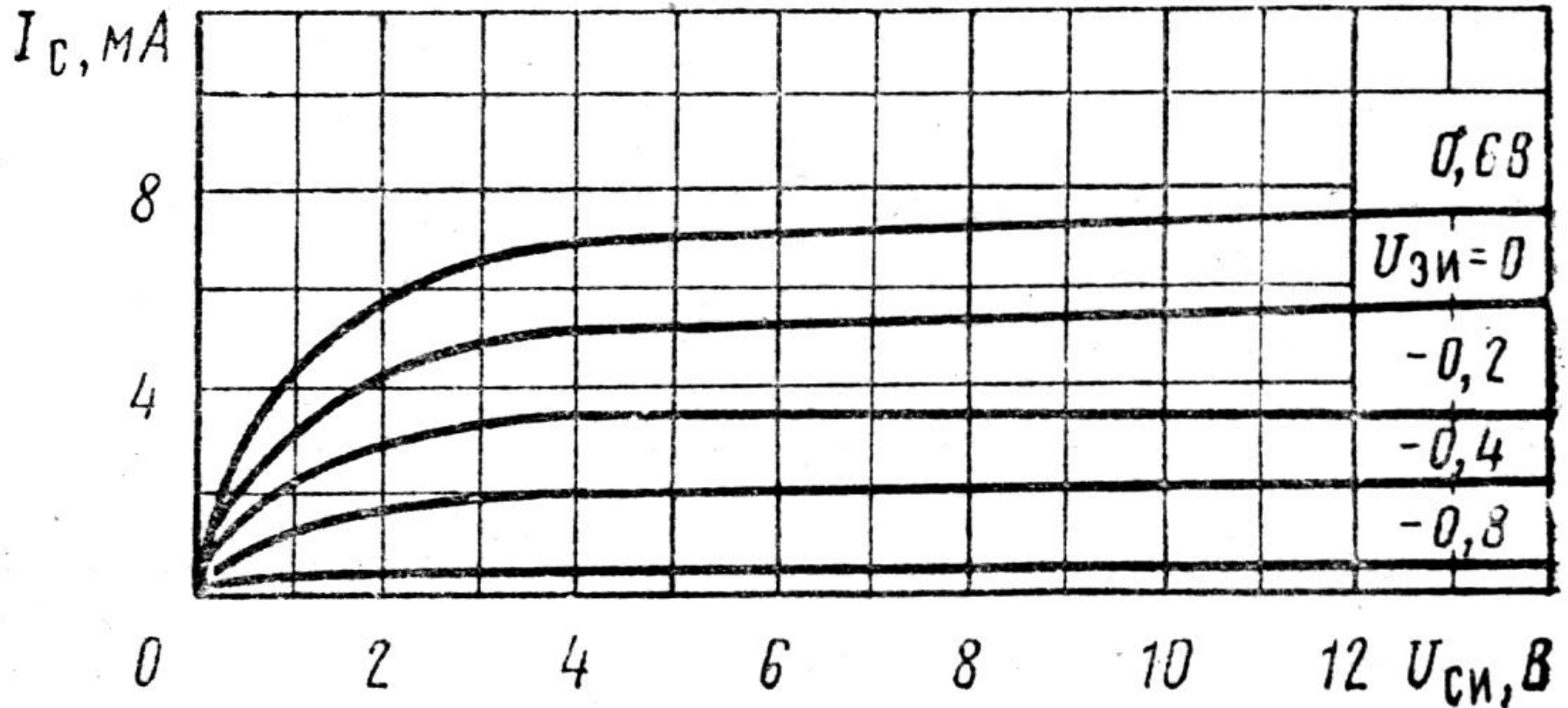
МДП-транзистор с встроенным каналом n-типа



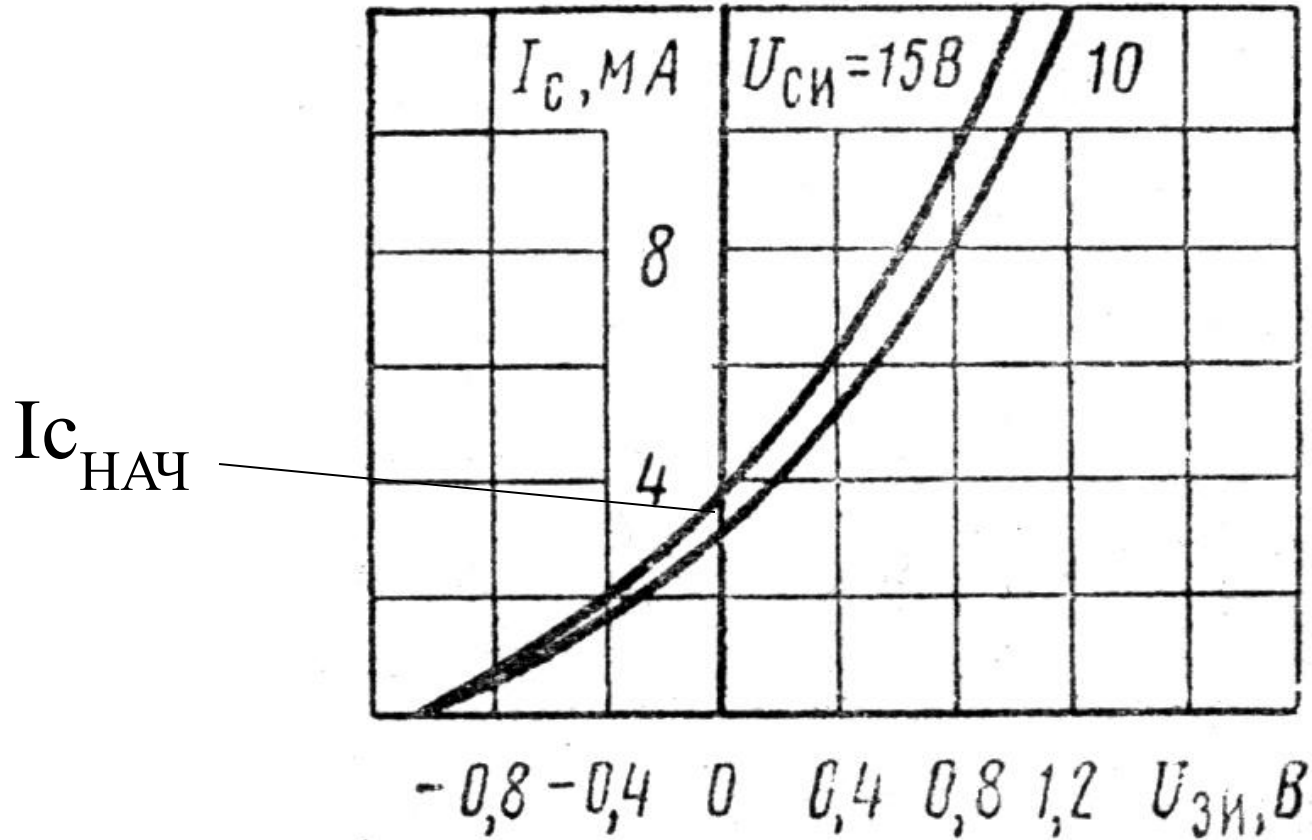
Выходные характеристики МДП-транзистора с встроенным каналом n-типа



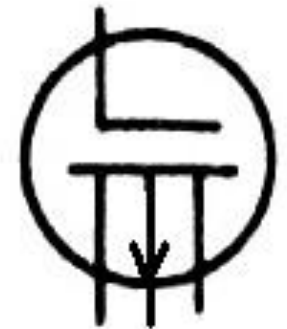
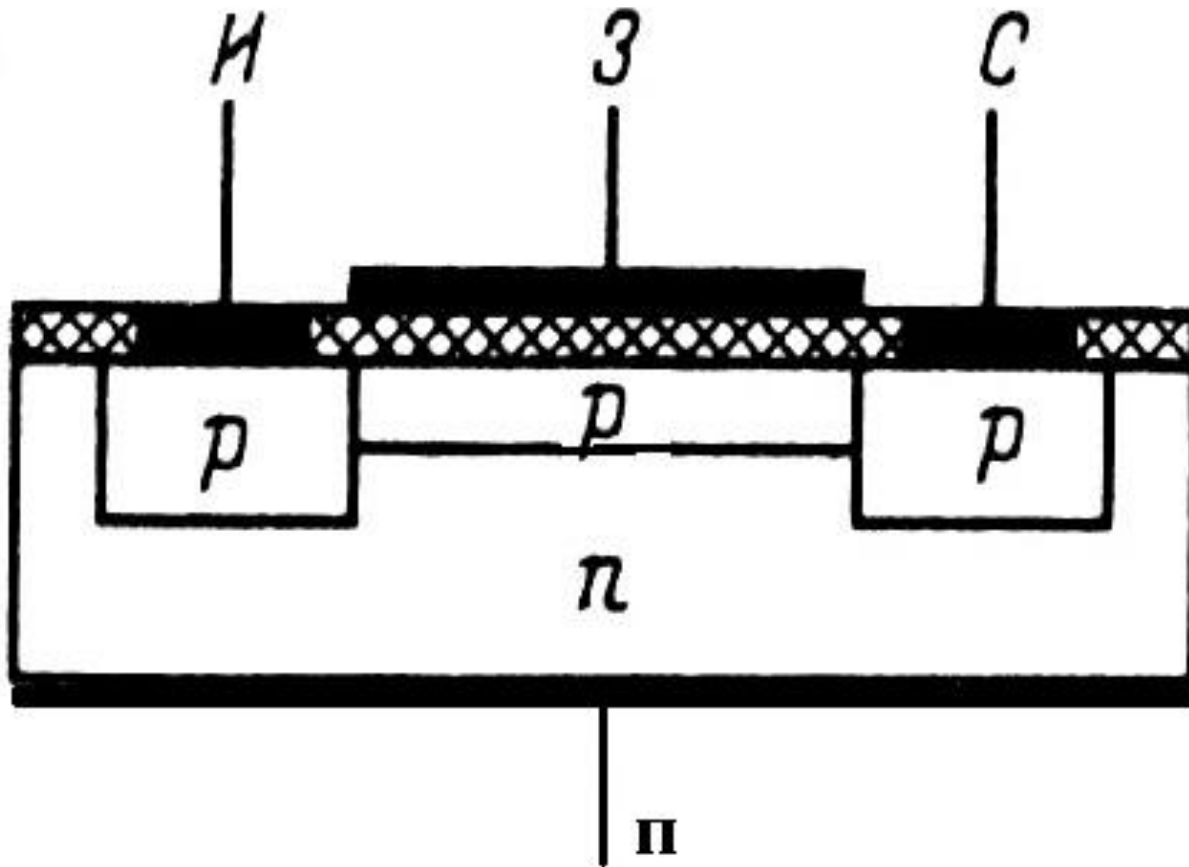
Выходные характеристики МДП-транзистора с встроенным каналом n-типа



Характеристика управления МДП-транзистора с встроенным каналом n-типа



МДП-транзистор с встроенным каналом р-типа



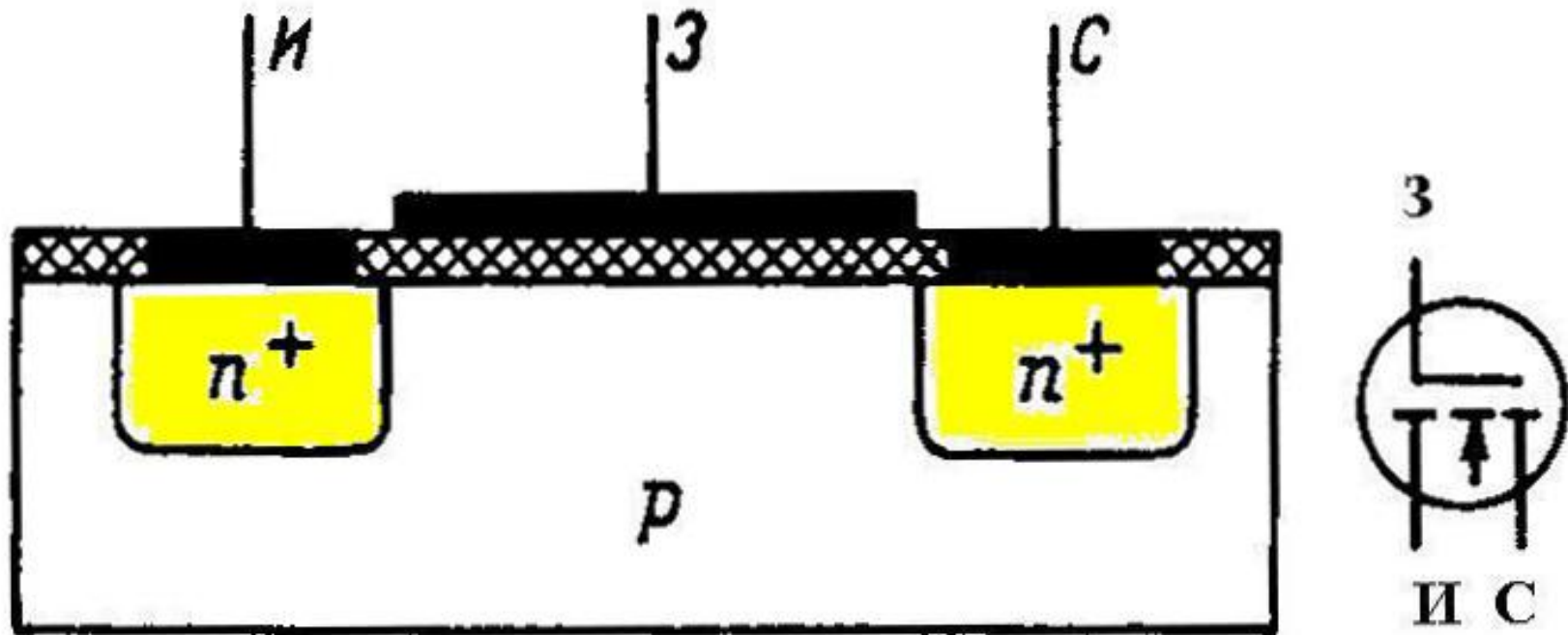
Выходные характеристики МДП-транзистора с встроенным каналом р-типа



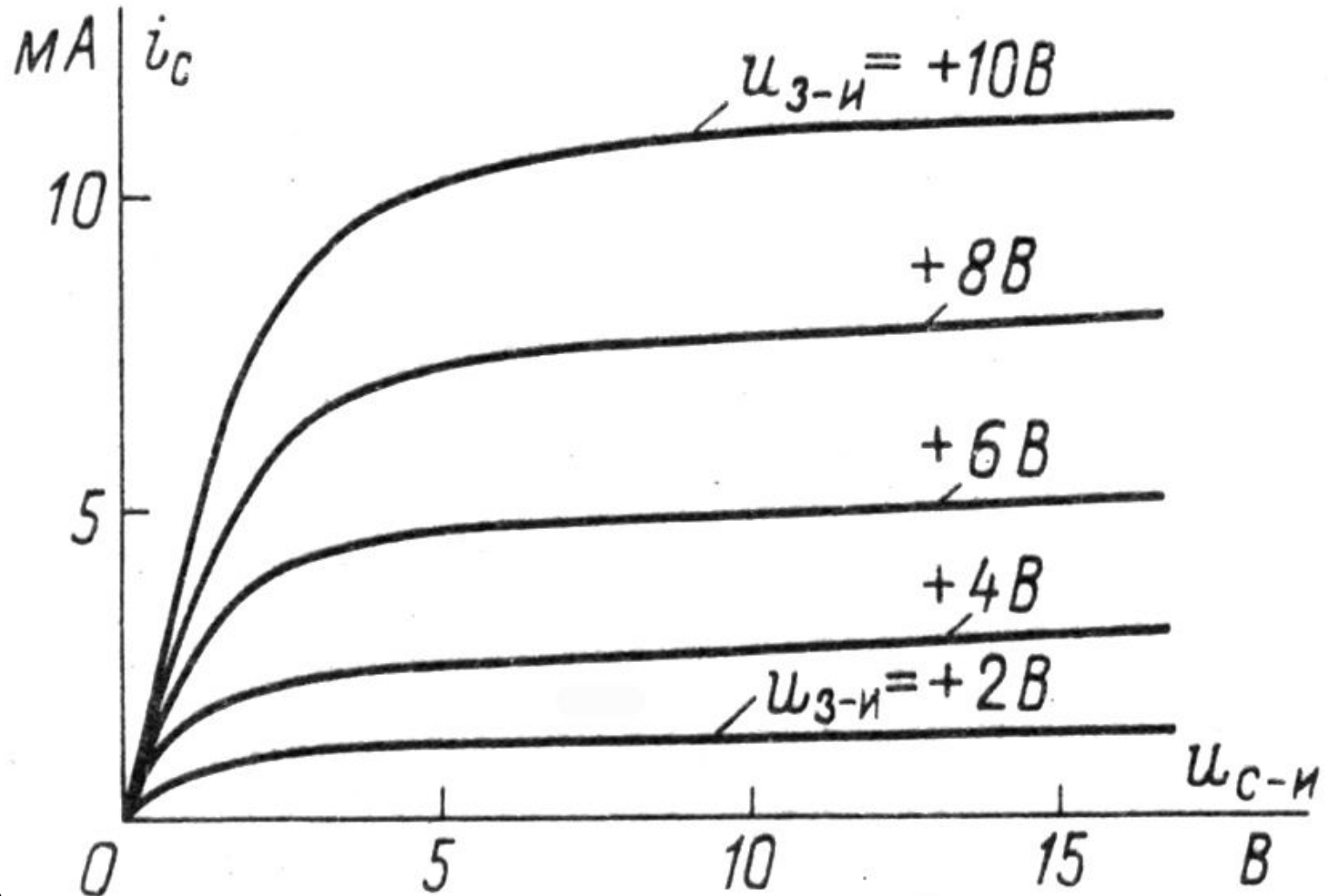
Характеристика управления МДП-транзистора с встроенным каналом р-типа



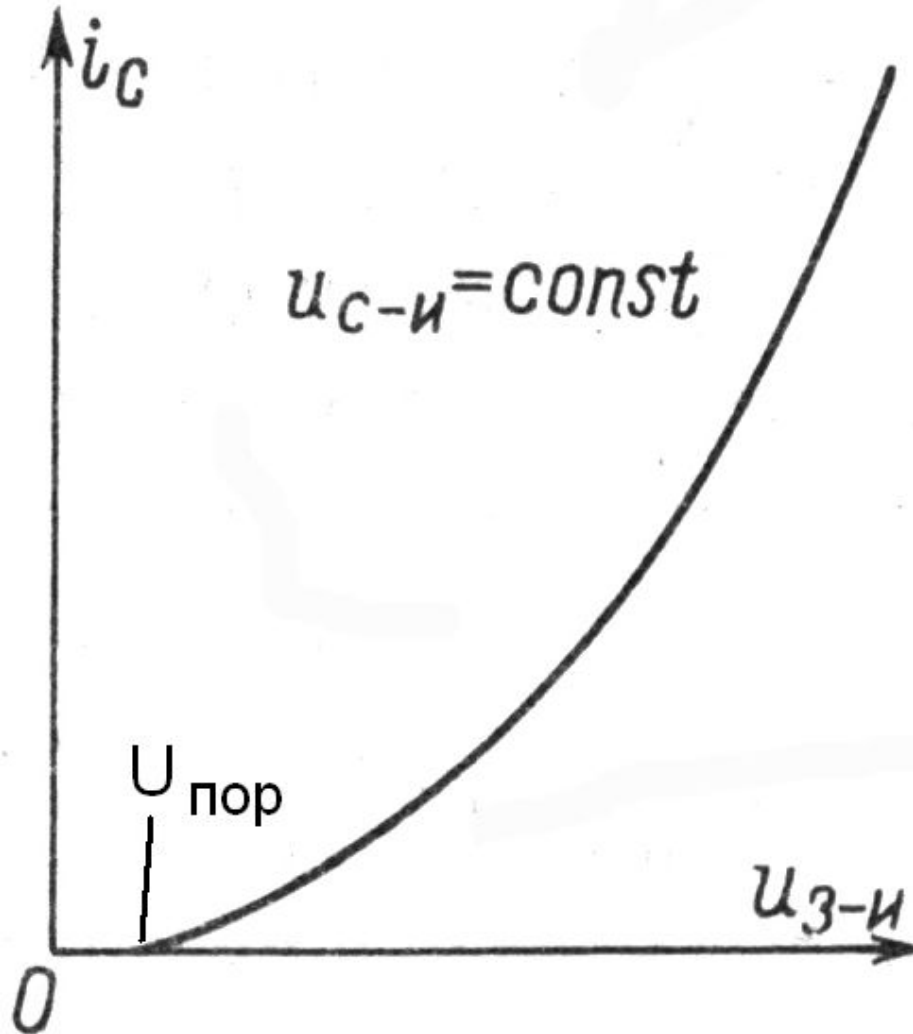
Полевой транзистор с индуцированным каналом n-типа Induced-channel FET



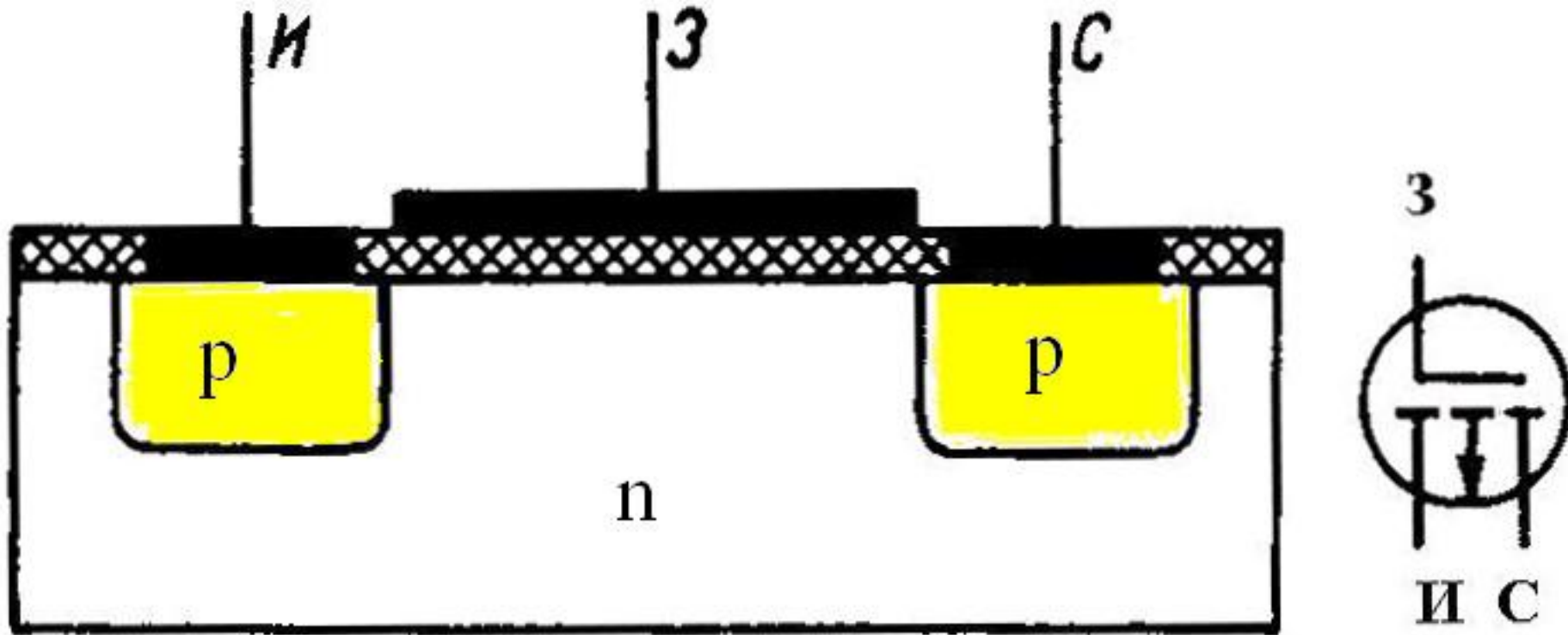
Выходные характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом n-типа



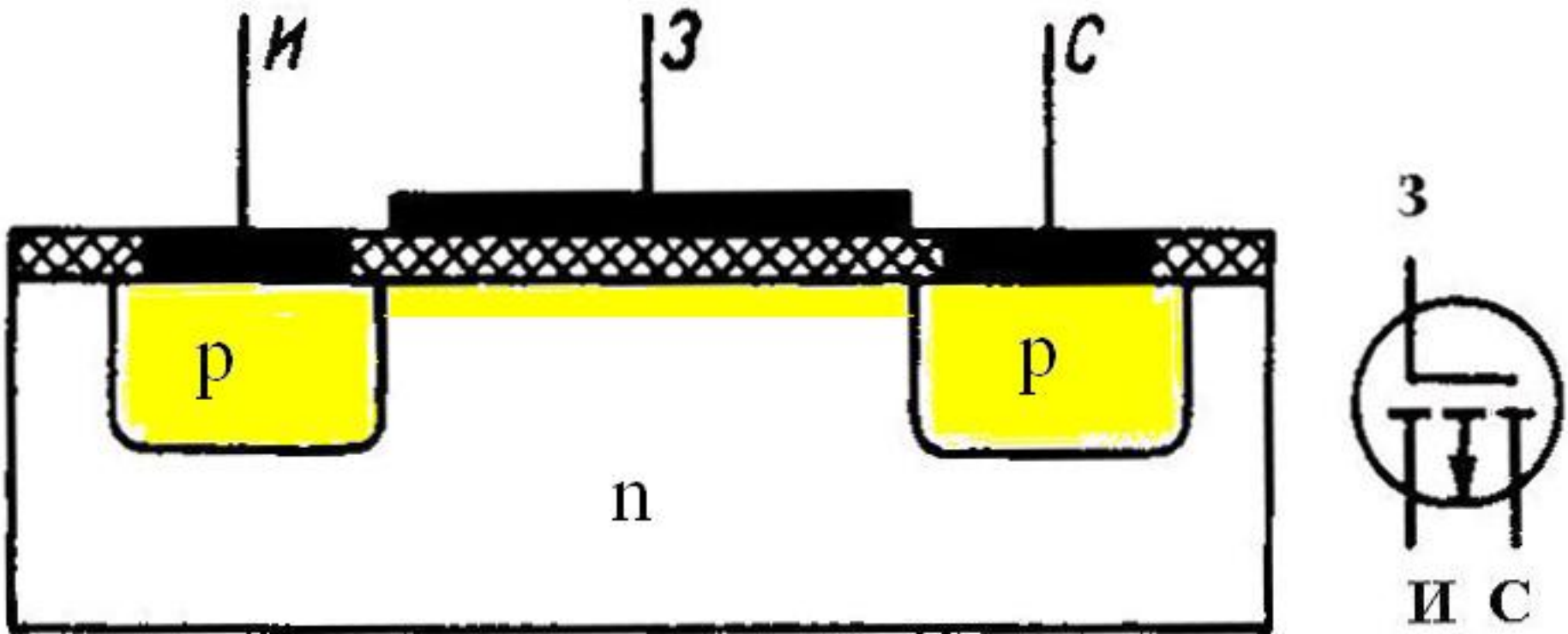
Характеристика управления МДП-транзистора с индуцированным каналом n-типа



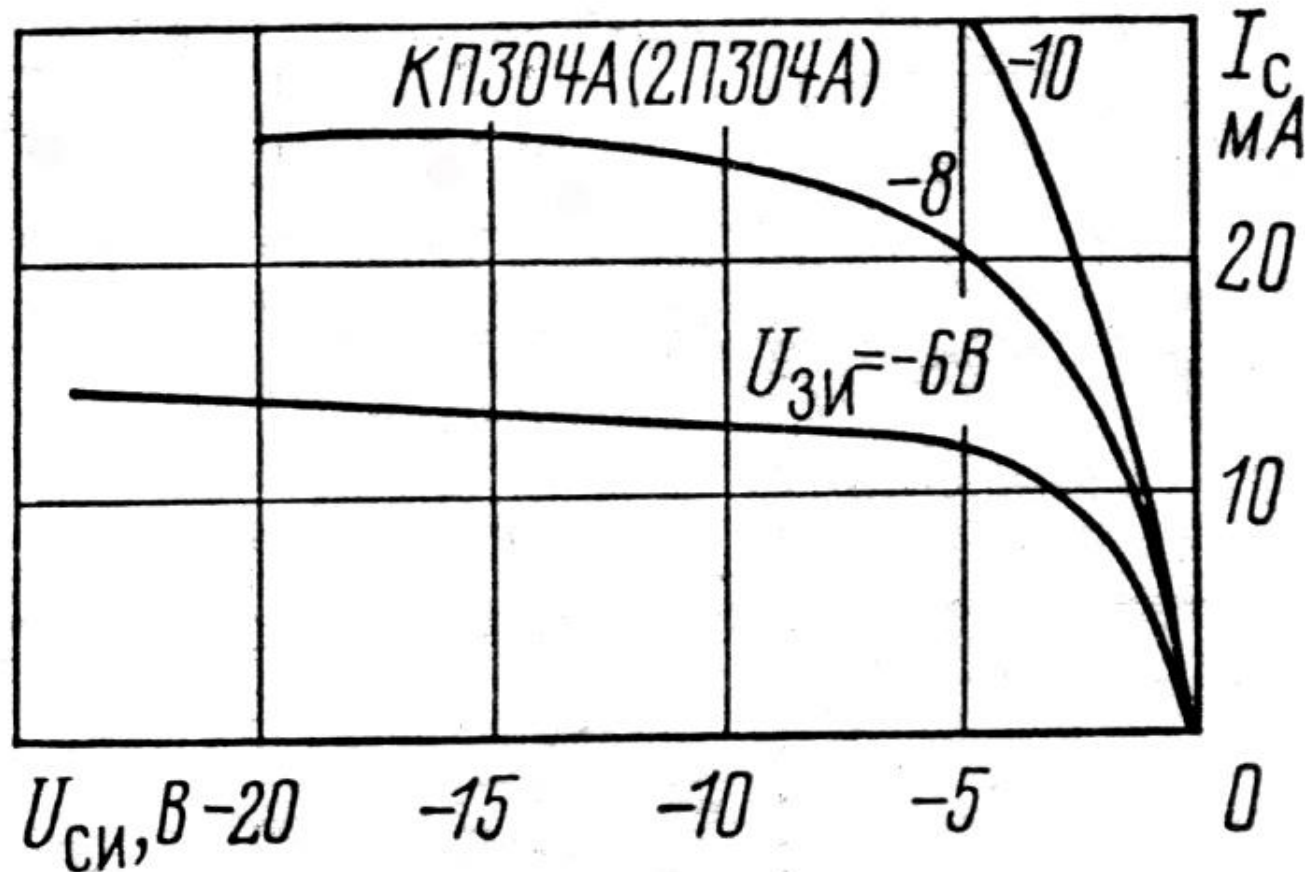
Полевой транзистор с индуцированным каналом р-типа



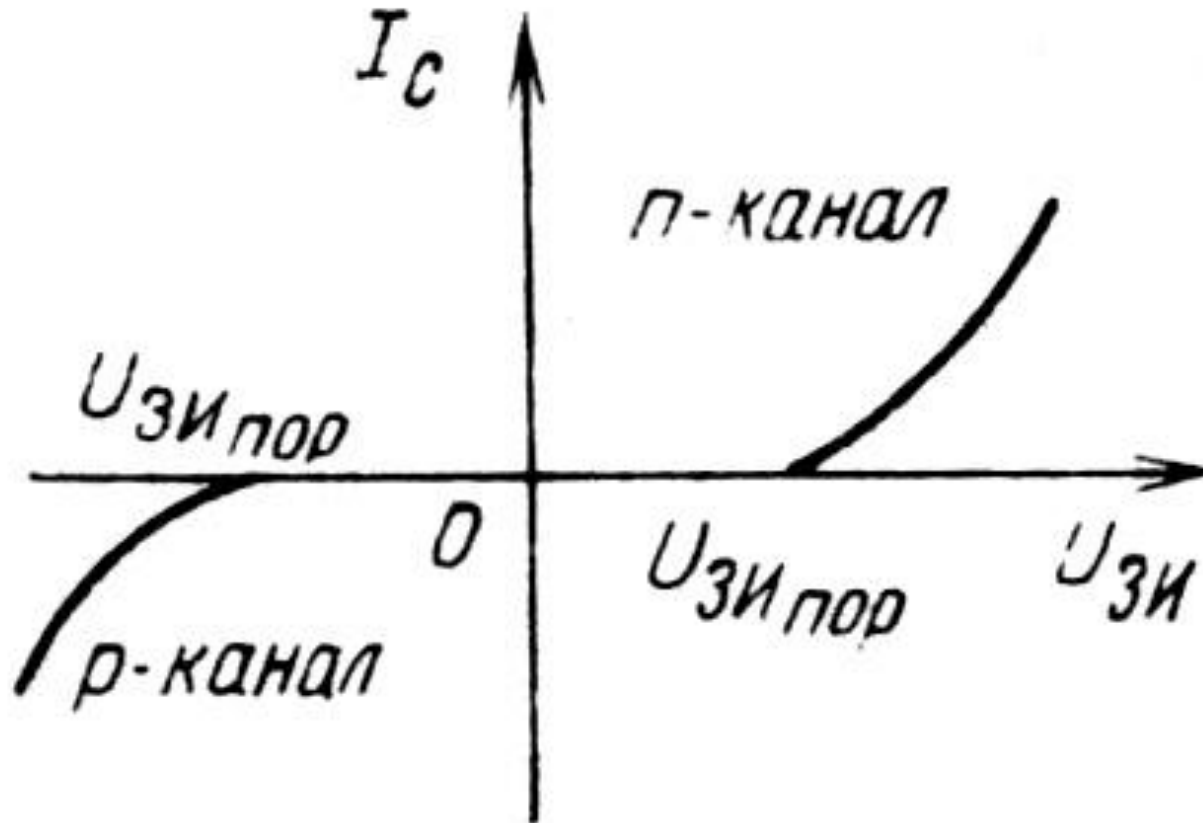
Полевой транзистор с индуцированным каналом р-типа



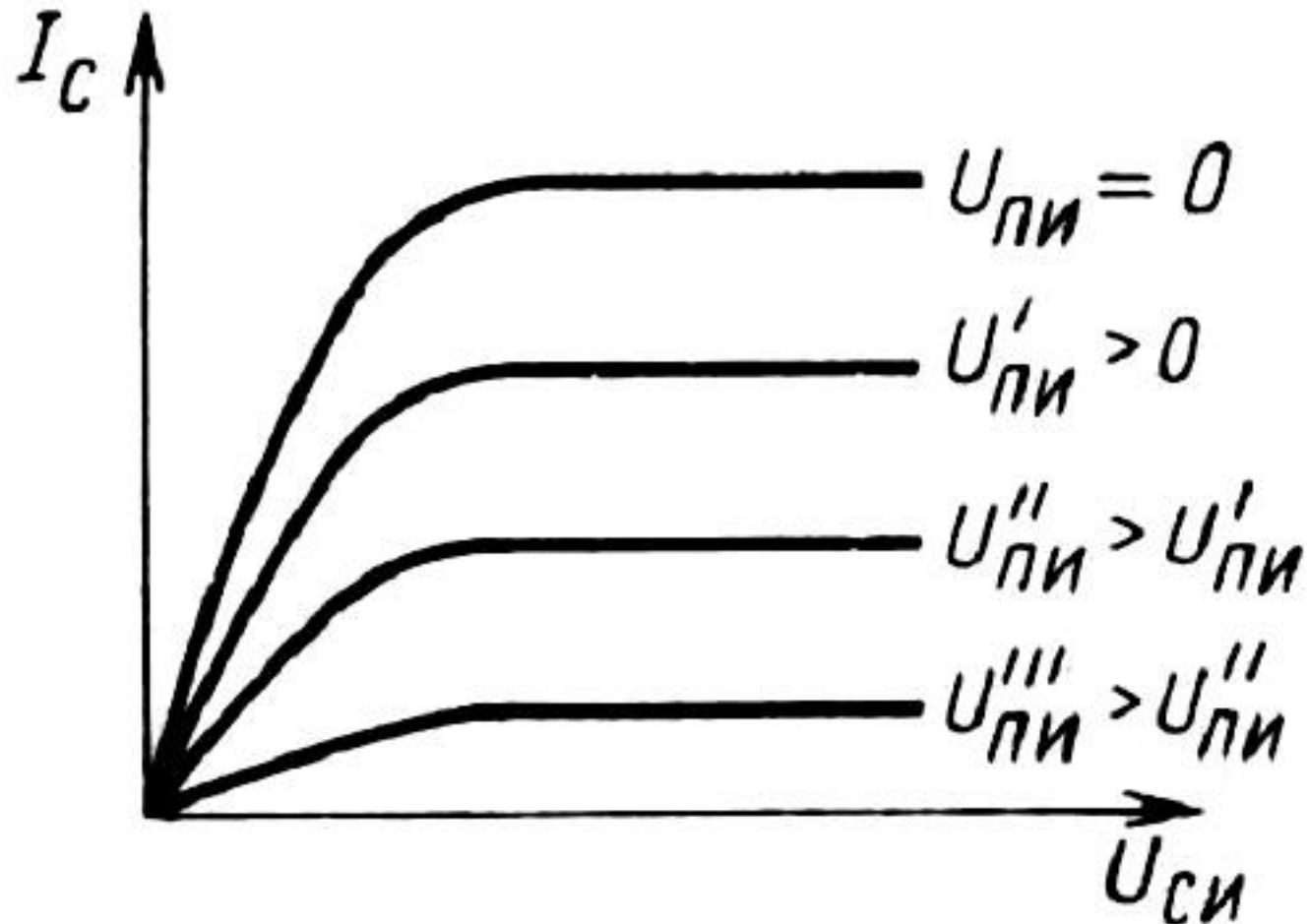
Выходные характеристики МДП-транзистора с индуцированным каналом р-типа



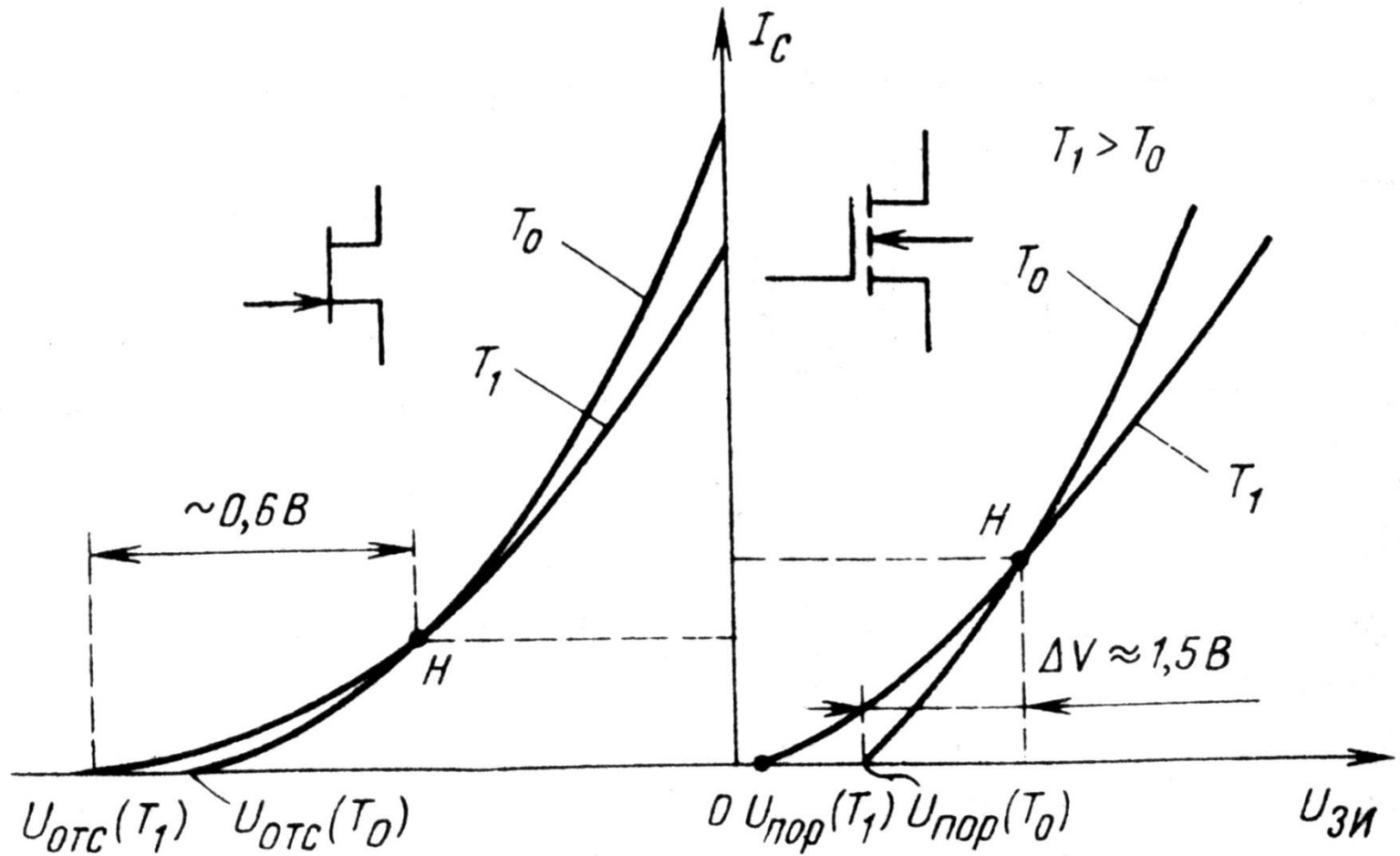
Характеристики управления МДП-транзистора с индуцированным каналом



Выходные характеристики МДП-транзистора при различных напряжениях на подложке



характеристик полевых транзисторов от температуры



Основные параметры полевых транзисторов

Крутизна характеристики

$$S = \delta I_C / \delta U_{зи} \text{ при } U_{си} = \text{const};$$
$$S = 0.1 \div 500 \text{ ma/V}$$

Крутизна характеристики по подложке

$$S_{\Pi} = \delta I_C / \delta U_{\Pi} \text{ при } U_{си} = \text{const};$$
$$S_{\Pi} = 0.1 \div 1 \text{ ma/V}$$



Основные параметры полевых транзисторов

Дифференциальное выходное (внутреннее R_i) сопротивление

$$r_{\text{ВЫХ}} = R_i = \delta U_{\text{СИ}} / \delta I_{\text{С}} \text{ при } U_{\text{ЗИ}} = \text{const};$$

Дифференциальное сопротивление участка затвор-сток

$$R_{\text{ЗС}} = \delta U_{\text{ЗС}} / \delta I_{\text{С}}.$$

Максимальная рабочая частота f_{max}

Начальный ток стока $I_{\text{С.нач}}$

Напряжение отсечки $U_{\text{отс}}$



Основные параметры полевых транзисторов

Входная емкость $C_{вх}$

Сопротивление сток-исток в открытом состоянии $R_{си}$

Ток утечки затвора $I_{ут}$

Пороговое напряжение $U_{пор}$



Предельные эксплуатационные параметры

Напряжение сток-исток $U_{си}$

Напряжение затвор-исток $U_{зи}$

Напряжение затвор-сток $U_{зс}$

Температурный диапазон

Постоянный ток стока $I_{ст.мах}$

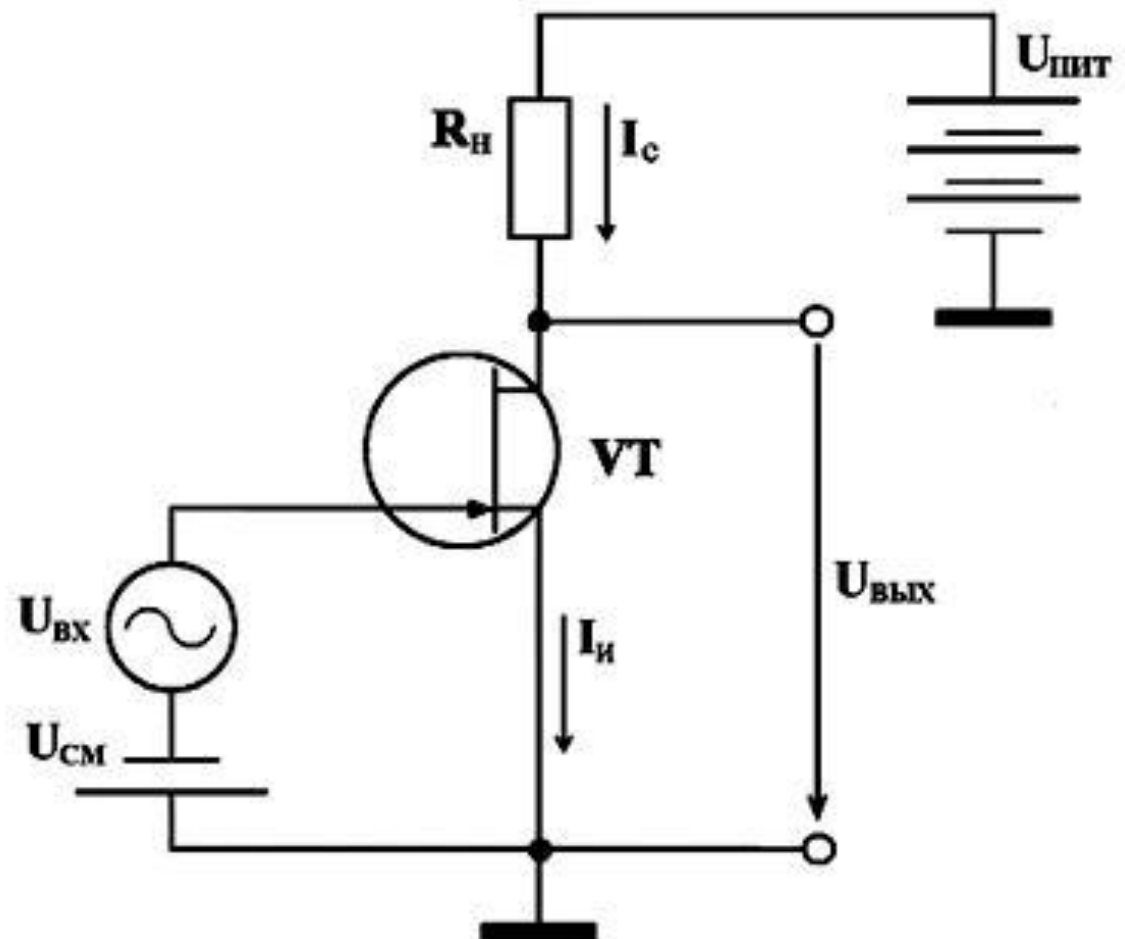


Схемы включения полевых транзисторов С общим истоком (ОИ)

$$U_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{C}} R_{\text{C}}$$

$$K_{\text{U}} = S R_{\text{C}}$$

$$R_{\text{ВЫХ}} \approx R_{\text{C}}$$



Схемы включения полевых транзисторов С общим истоком (ОИ)

$$R_{BX} \approx R_{CM}$$

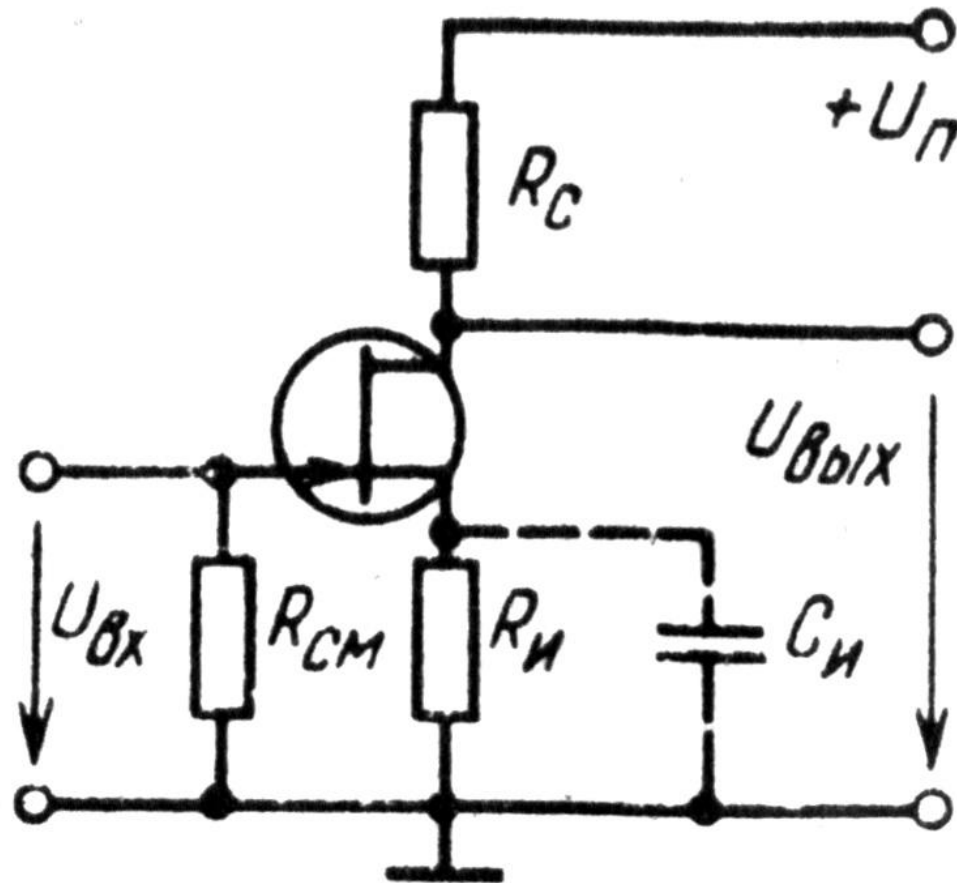


Схема с общим стоком (ОС)

$$R_{\text{ВЫХ}} \approx 1/S$$

$$K_U \approx SR_{\text{И}} / (S + R_{\text{И}})$$

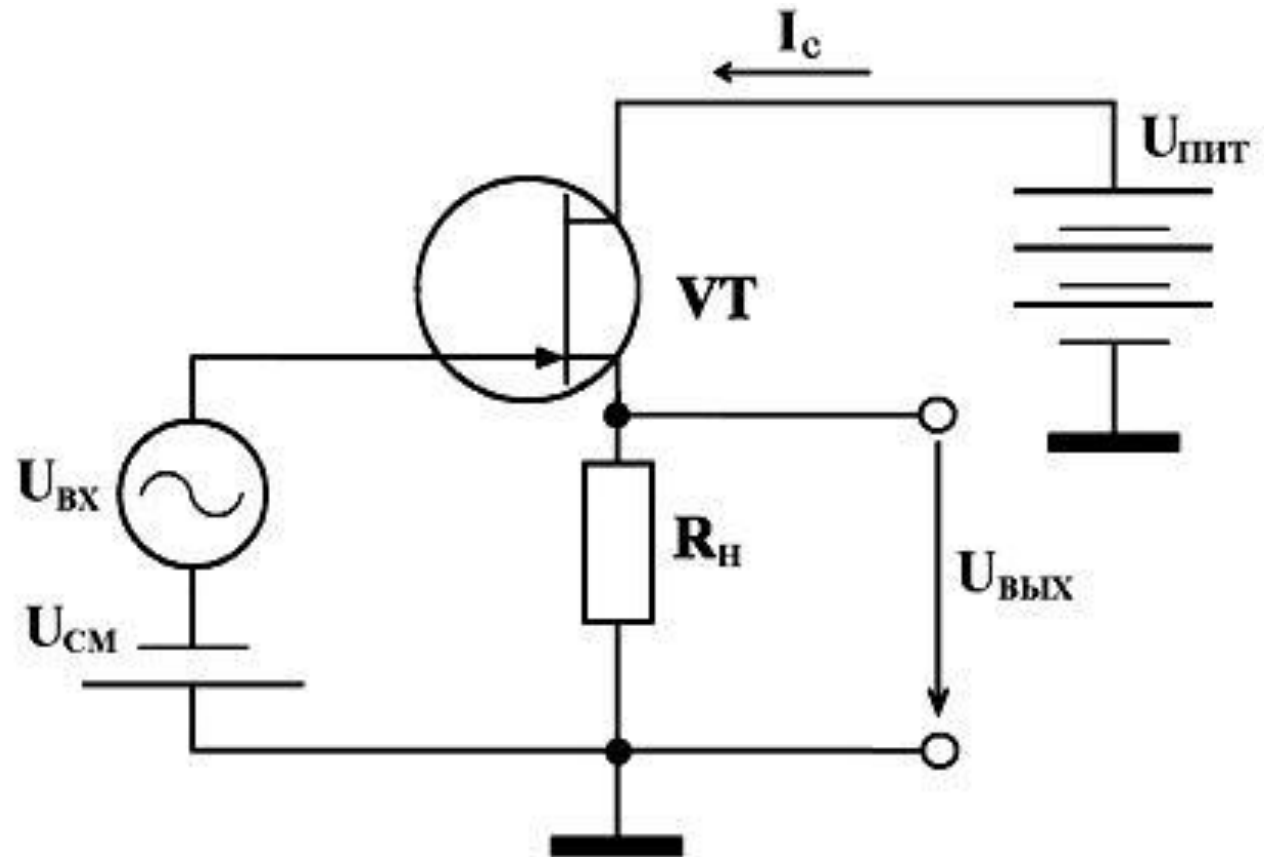
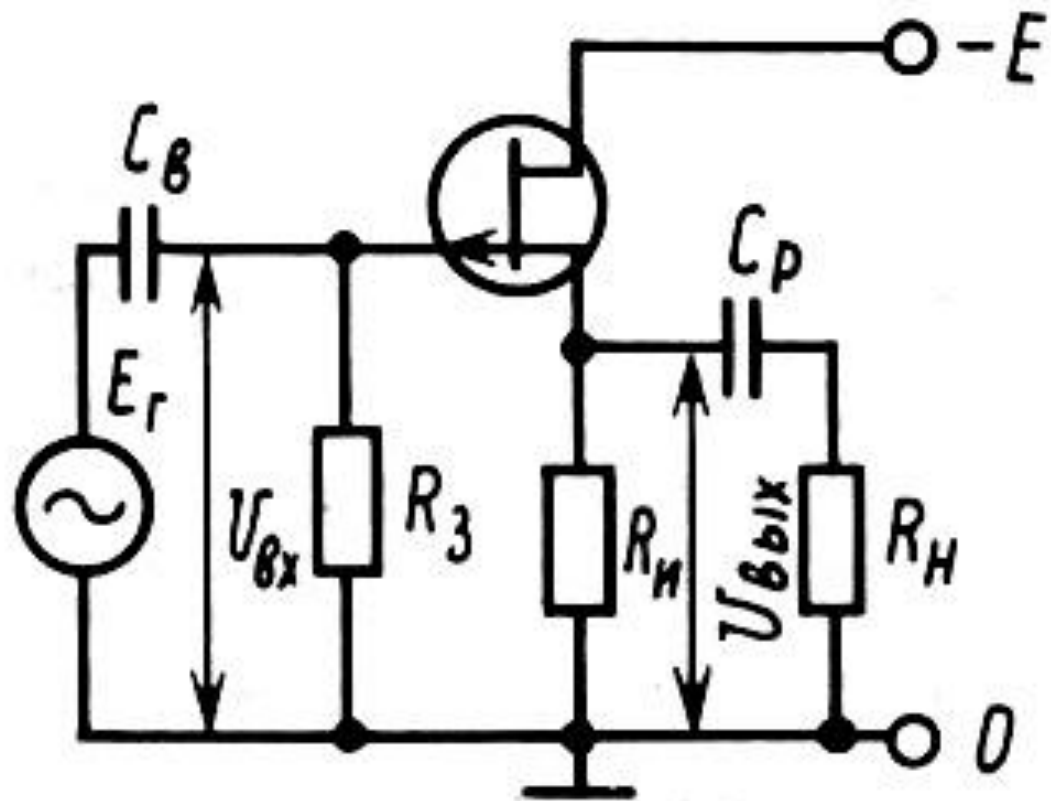
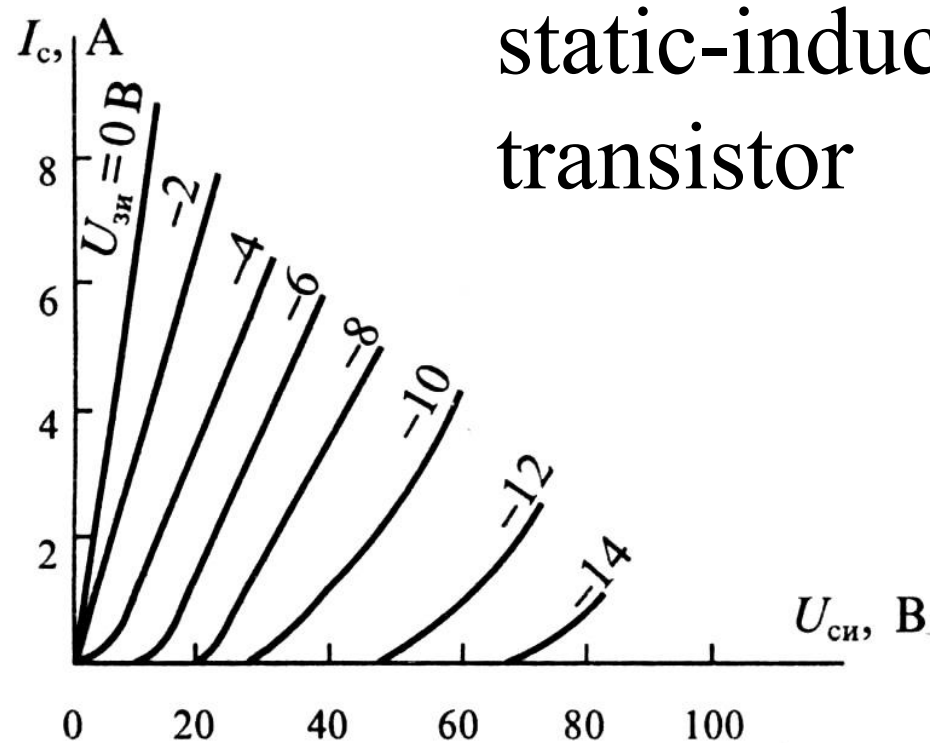
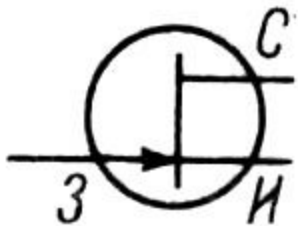


Схема с общим стоком (ОС)

$$R_{вх} \approx R_3$$

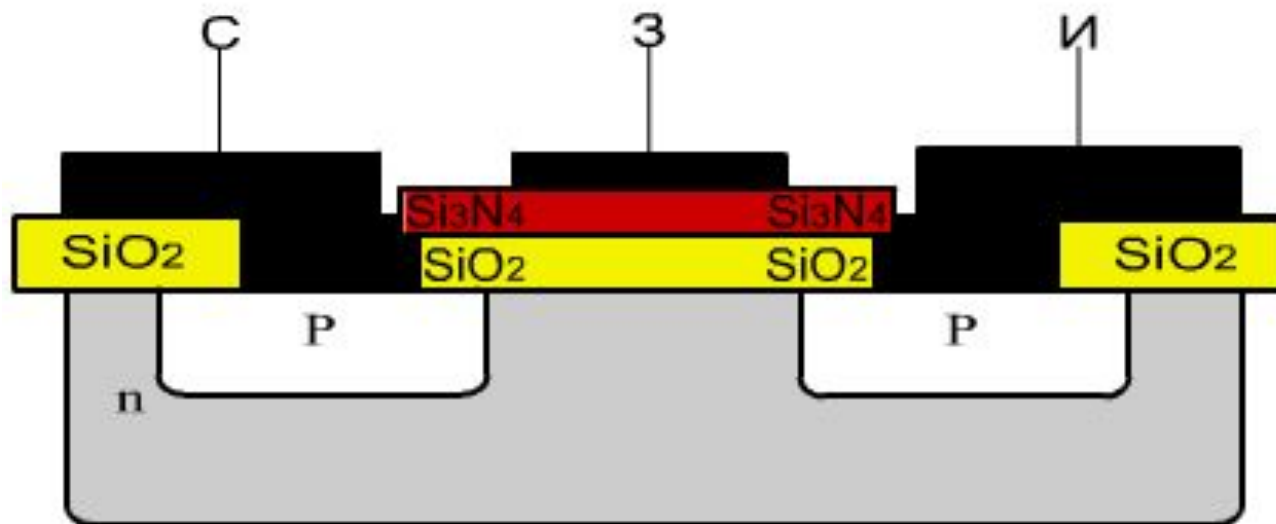


Статический индукционный транзистор (СИТ)



Транзистор структуры металл-нитрид-оксид-полупроводник (МНОП)

metal-nitride-oxide-semiconductor transistor (MNOS-transistor)

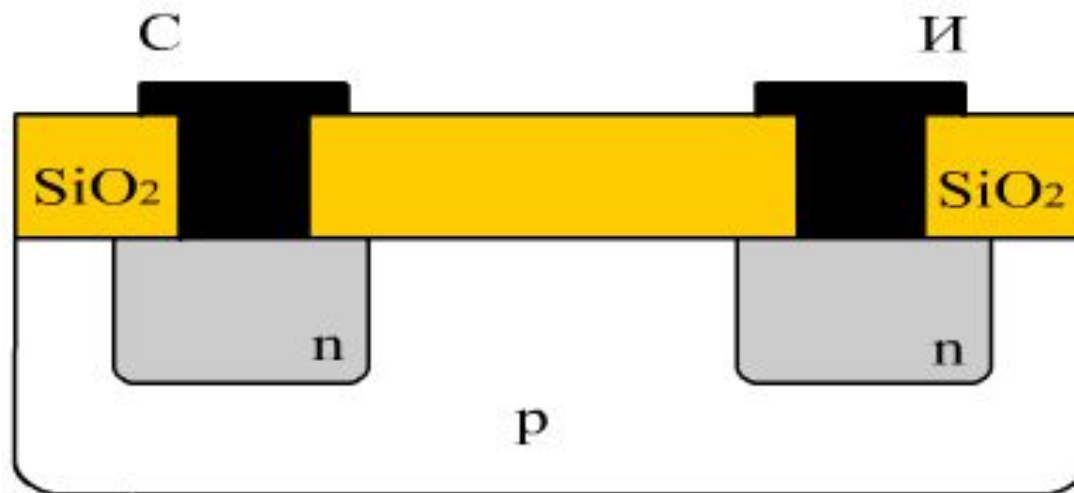


ЛИЗМОП транзистор

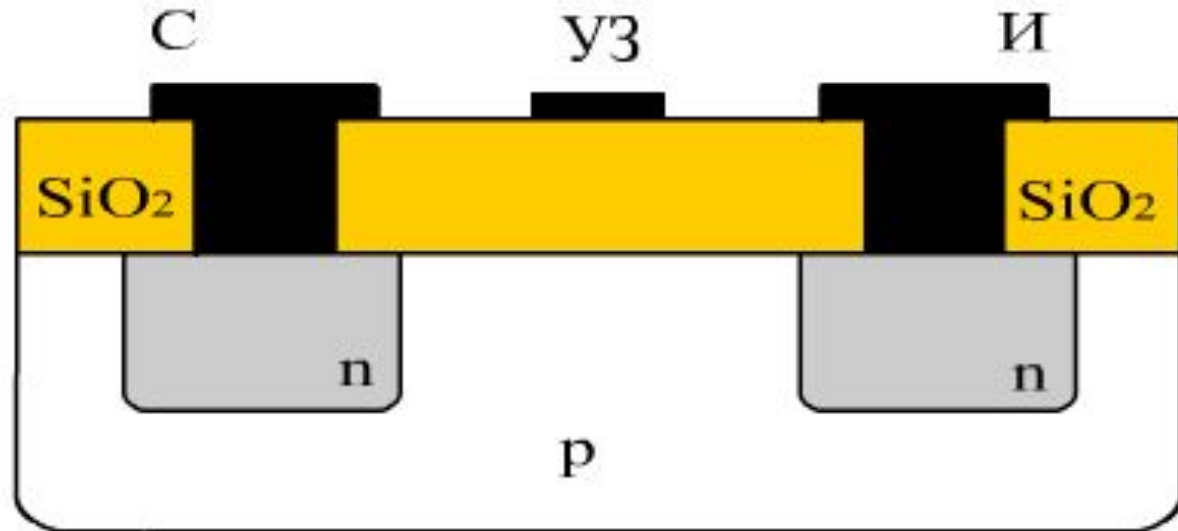
(МОП-транзистор с лавинной
инжекцией заряда)

floating-gate avalanche-injection

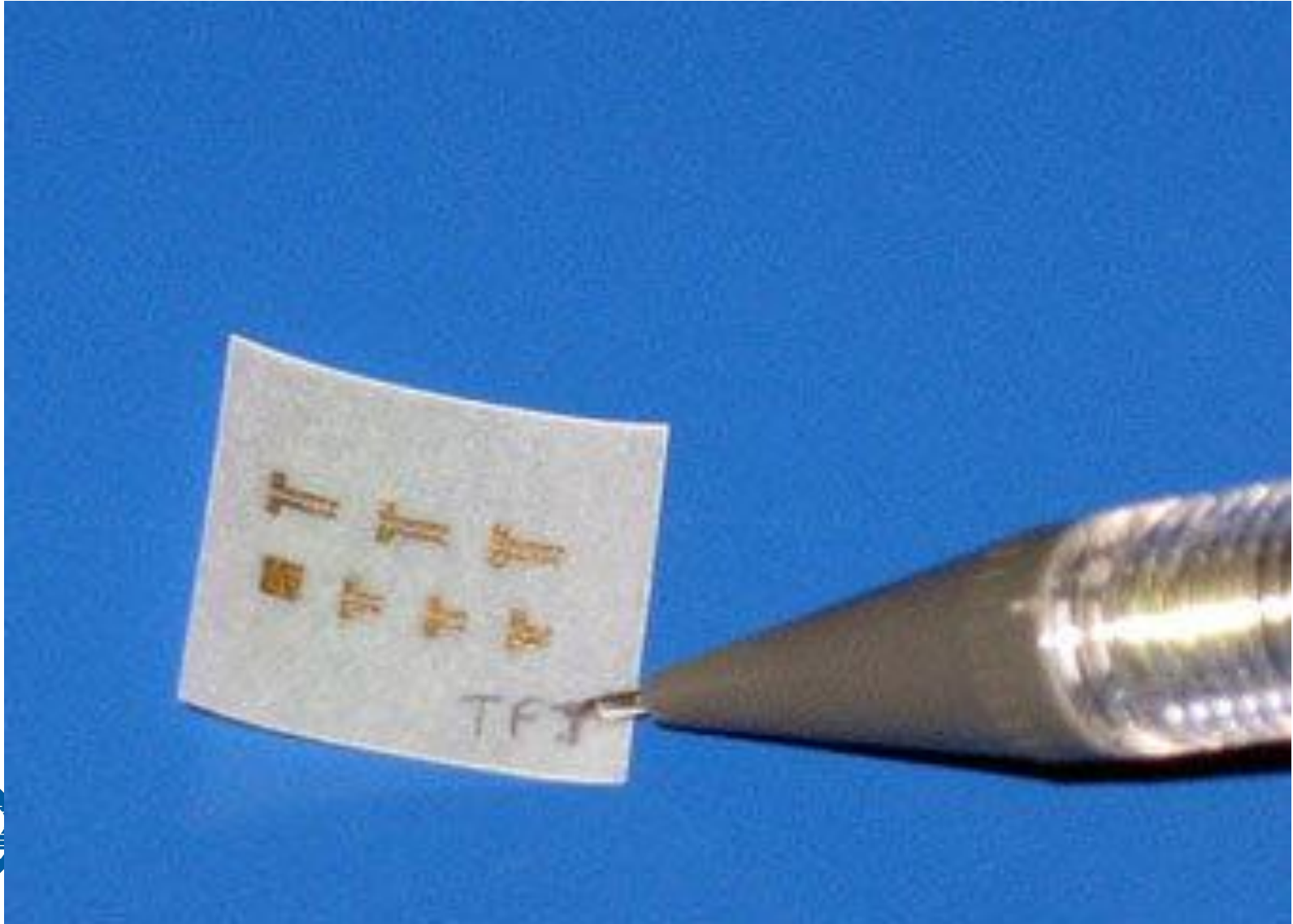
MOS transistor



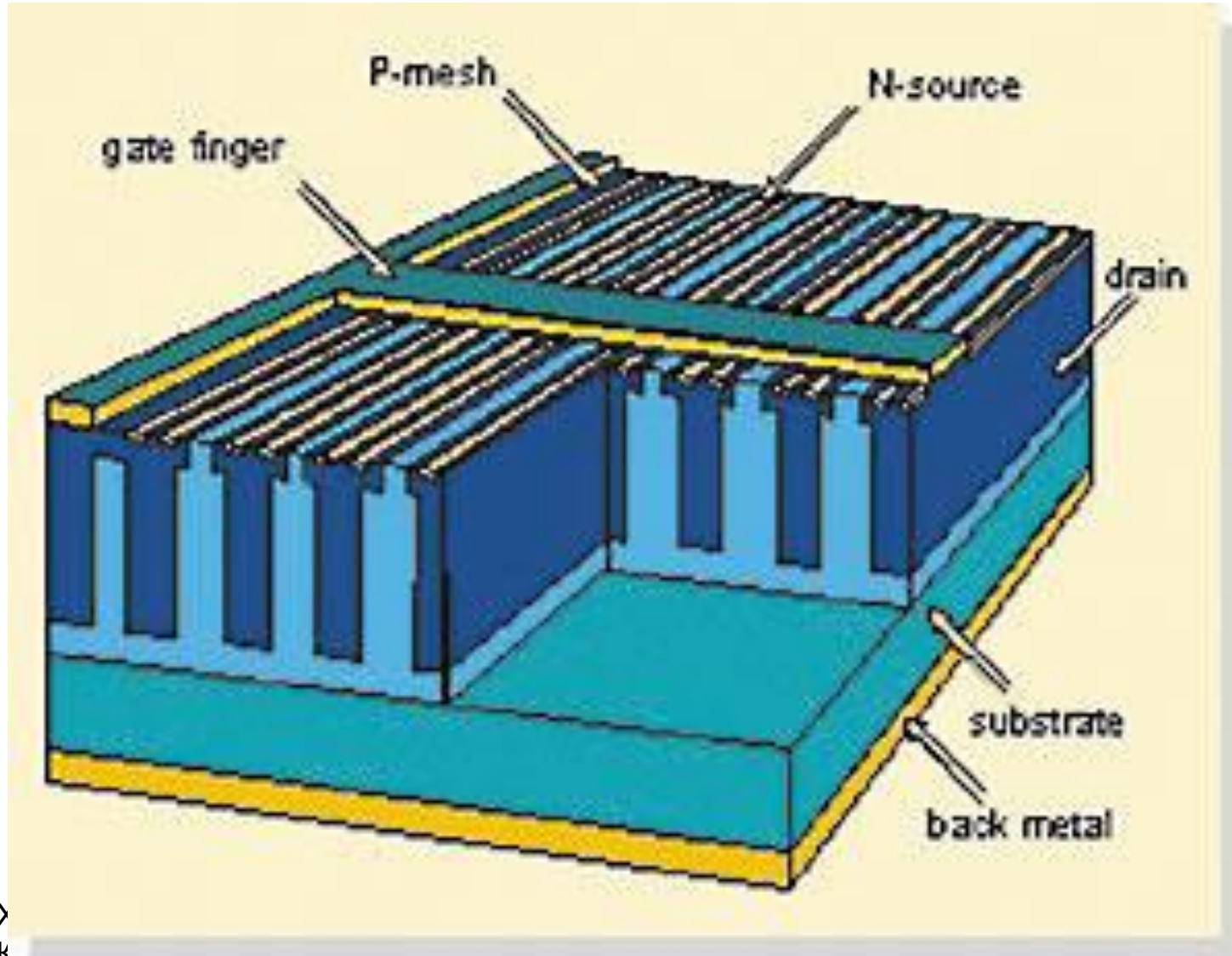
ЛИЗМОП транзистор с управляющим затвором



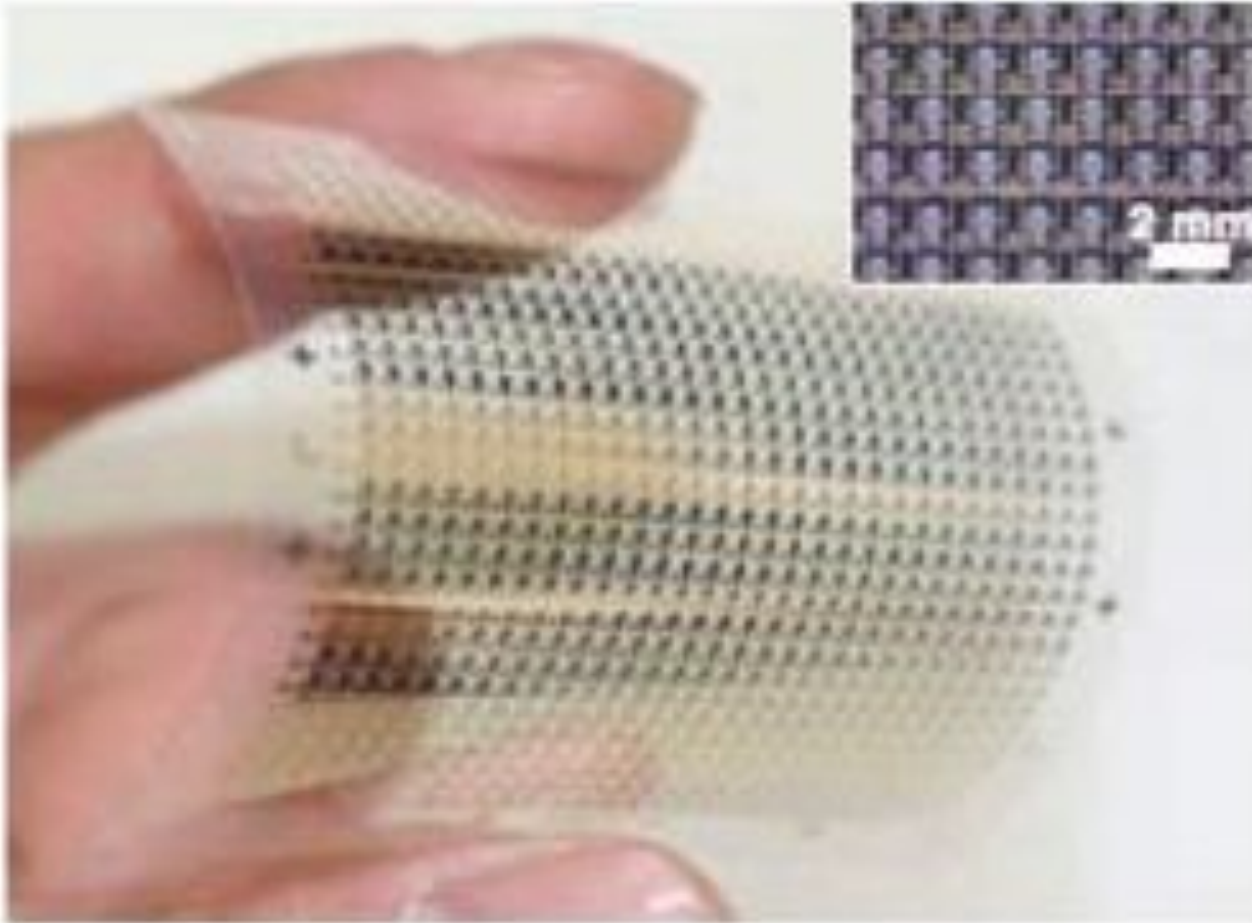
Полевые транзисторы на основе бумаги



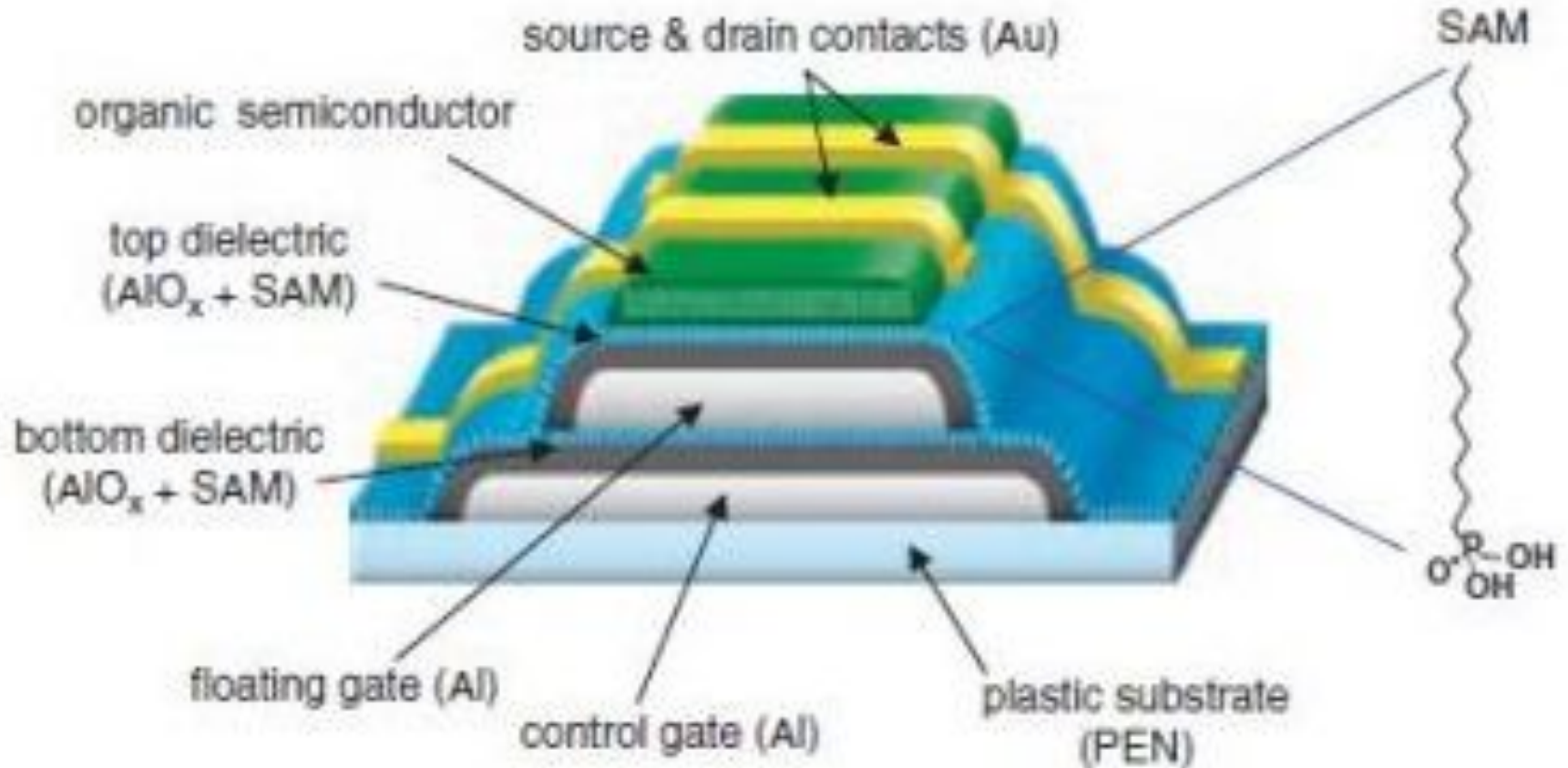
ТЕХНОЛОГИЯ MDmesh (Multiple Drain mesh)



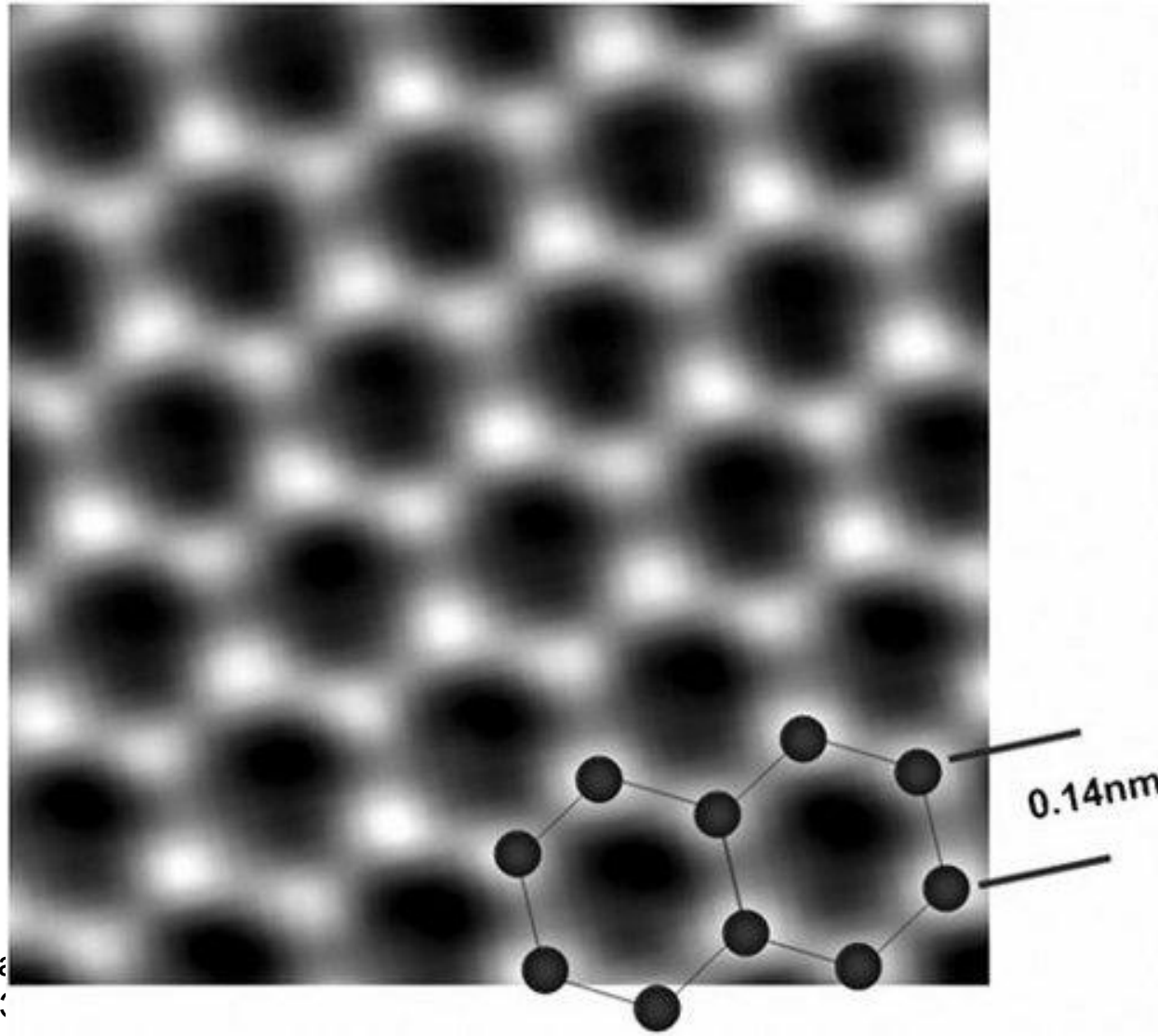
Гибкие органические транзисторы



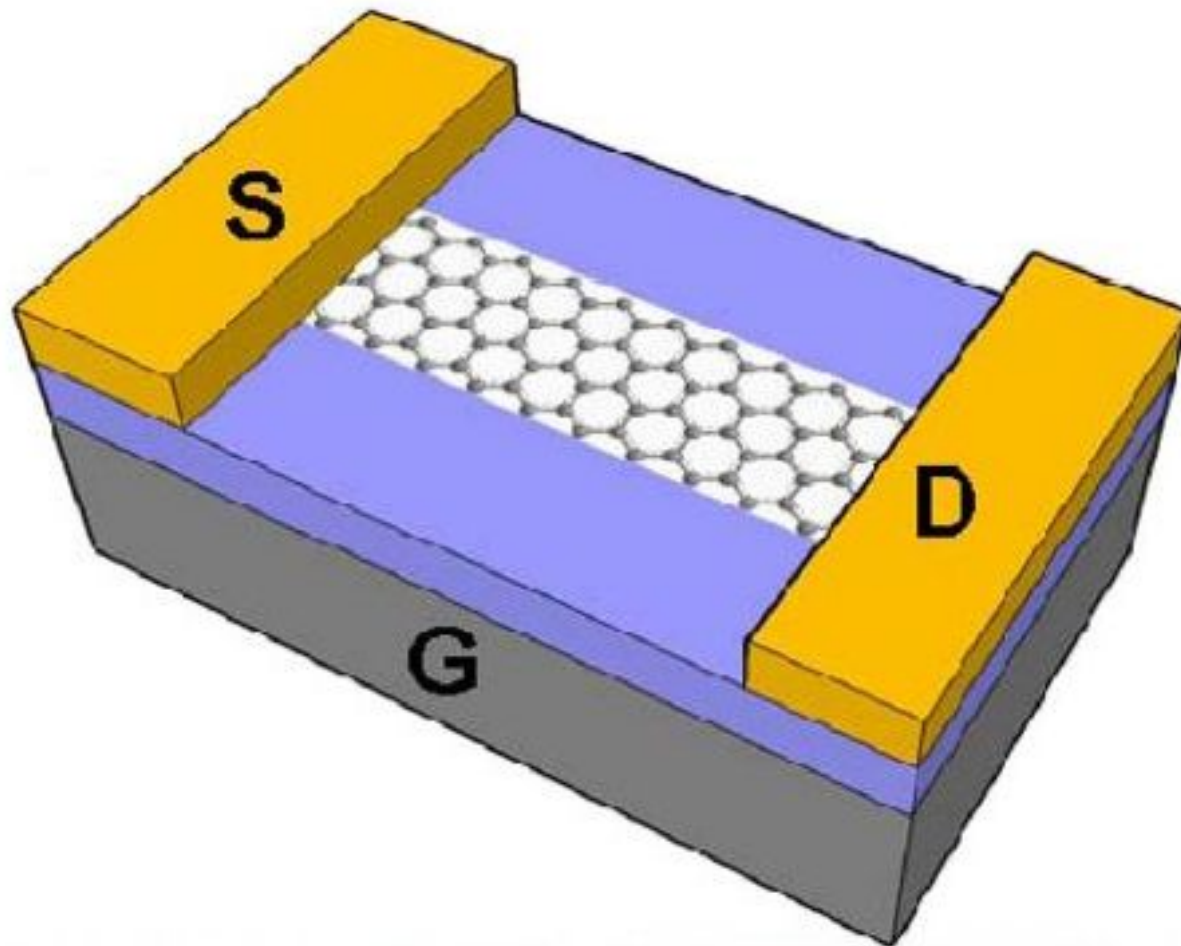
Гибкие органические транзисторы



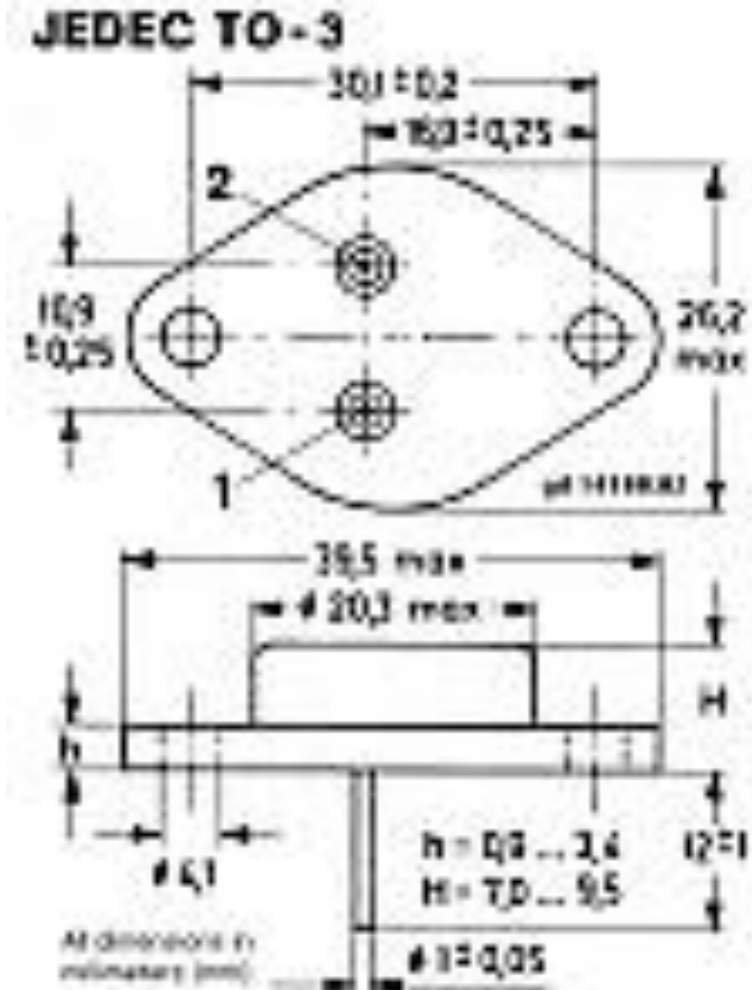
Полевые транзисторы на основе графена



Полевые транзисторы на основе графена



Типы корпусов транзисторов



Типы корпусов транзисторов

SOT 23



SOT 89



SO 8



DPAK



Типы корпусов транзисторов

TO 92



SPAK



DIP 4



Типы корпусов транзисторов

TO 18



TO 126



TO 220FP



TO 220AB



Типы корпусов транзисторов

TO 220-5



TO 218



TO 247AC



Типы корпусов транзисторов



Металлопластмассовый корпус (прототип корпуса Toshiba)



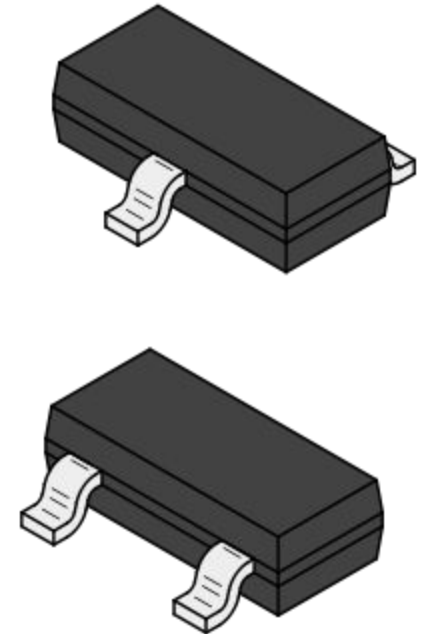
Типы корпусов транзисторов



Корпус Semikron



Типы корпусов транзисторов



SOT-23



Домашнее задание

- Устройство, принцип работы, основные параметры и характеристики

Биполярных транзисторов с
изолированным затвором