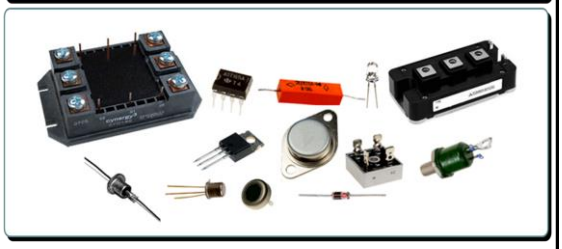
Министерство образования и науки российской федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.В. Глазачев

ЭЛЕКТРОНИКА 1.1



Полевые транзисторы

Общие сведения о полевых транзисторах

Полевой транзистор – это полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей заряда, протекающим через проводящий канал и управляемым электрическим полем.

Данный тип транзисторов разделяют на полевые транзисторы:

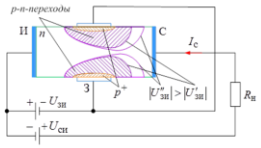
- ***с управляющим p-n-переходом***;
- ***с изолированным затвором***.

Конструкции полевых транзисторов

Полевой транзистор с управляющим p-n-переходом

Полевой транзистор с управляющим p-n-переходом – это транзистор, управление потоком основных носителей в котором происходит с помощью выпрямляющего электрического перехода, смещенного в обратном направлении.

Упрощенная структура полевого транзистора с управляющим *p-n*-переходом



И – *исток*, **С** – *сток*, **З** – *затвор*

с каналом *p*-типа

с каналом *n*-типа

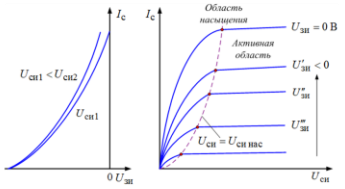
Управляющие (сток – затворные) характеристики:

$$I_C = f(U_{ЗИ})\big|_{U_{СИ}=\text{const} > U_{СИ\,нас}}$$

Выходные (стоковые) характеристики:

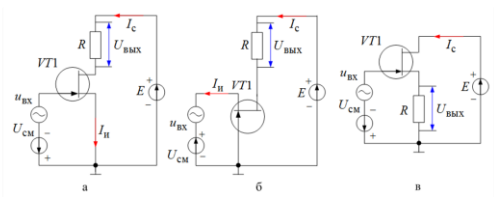
$$I_C = f(U_{СИ})\big|_{U_{ЗИ}=\text{const}}$$

Статические характеристики полевого транзистора с управляющим *p–n*-переходом с каналом n-типа



Схемы включения полевых транзисторов

с общим истоком *с общим затвором* *с общим стоком*



Основные параметры полевых транзисторов

1. ***Крутизна характеристики***

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{ЗИ}}\Big|_{U_{СИ}=\text{const}}$$

Определяют по управляющим характеристикам.

2. ***Внутреннее (выходное) сопротивление***

$$R_i = \frac{\Delta U_{СИ}}{\Delta I_c}\Big|_{U_{ЗИ}=\text{const}}$$

Определяют по выходным характеристикам транзистора.

3. ***Входное сопротивление***

$$R_{\text{вх}} = \frac{\Delta U_{\text{зи}}}{\Delta I_{\text{з}}}\Big|_{U_{\text{си}}=\text{const}}$$

Типовые значения параметров кремниевых полевых транзисторов с управляющим *p-n*-переходом:

$$S = 0{,}3\ldots3\ \frac{\text{мА}}{\text{В}} \qquad R_i = 0{,}11\ \text{МОм}$$

$$R_{\text{вх}} = 10^{10}\ \text{Ом} \qquad C_{\text{ЗИ}} = 0{,}2\ldots10\ \text{пФ}$$

Полевые транзисторы с изолированным затвором

Полевой транзистор с изолированным затвором – это транзистор, имеющий один или несколько затворов, электрически изолированных от проводящего канала.

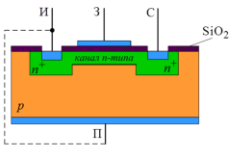
Полевые транзисторы с изолированным затвором бывают двух типов:

- со встроенным (собственным) каналом;

- с индуцированным (инверсионным) каналом.

Структура в обоих типах полевых транзисторов с изолированным затвором одинакова: *металл* – *окисел* (*диэлектрик*) – *полупроводник*, то такие транзисторы еще называют *МОП-транзисторами*, или *МДП-транзисторами*.

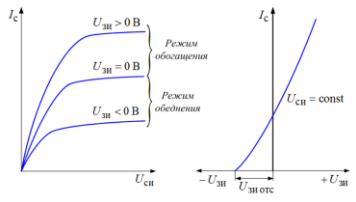
Полевой транзистор с изолированным затвором со встроенным каналом



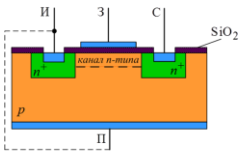
с каналом *p*-типа

с каналом *n*-типа

Статические характеристики МДП-транзистора
со встроенным каналом *n*-типа



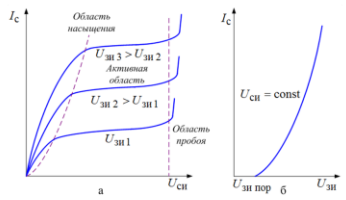
Полевой транзистор с изолированным затвором
с индуцированным каналом



с каналом *p*-типа

с каналом *n*-типа

Статические характеристики МДП-транзистора
с индуцированным каналом *n*-типа



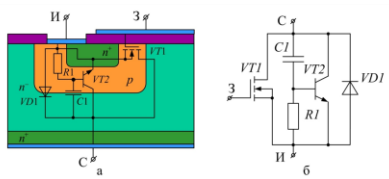
Сравнение МДП- и биполярного транзисторов

Биполярные транзисторы	***МДП-транзисторы***
Физические свойства	
Управляемый физический процесс – инжекция неосновных носителей заряда.	*Управляемый физический процесс – эффект поля, вызывающий изменение концентрации носителей заряда в канале.*
Выходной ток обеспечивается носителями обоих знаков (дырками и электронами).	*Выходной ток обеспечивается основными носителями одного знака (или дырками, или электронами).*
Низкая теплостойкость: с увеличением тока растет температура структуры, что проводит к большему увеличению тока.	*Высокая теплостойкость: рост температуры структуры приводит к увеличению сопротивления канала, и ток уменьшается*

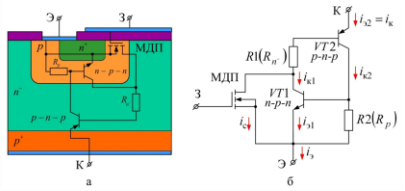
Биполярные транзисторы	***МДП-транзисторы***
Особенности эксплуатации	
Прибор управляется током, т. к. на входе имеется прямосмещенный p-n-переход и входное сопротивление мало.	*Прибор управляется напряжением, входное сопротивление очень велико, т. к. входная цепь от выходной цепи изолирована диэлектриком.*
Относительно небольшой коэффициент усиления по току.	*Очень большой коэффициент усиления по току.*
Необходимость специальных мер по повышению помехоустойчивости.	*Высокая помехоустойчивость.*
Высокая вероятность саморазогрева и вторичного пробоя: сужение области безопасной работы (ОБР).	*Низкая вероятность теплового саморазогрева и вторичного пробоя – расширение ОБР.*
Высокая чувствительность к токовым перегрузкам.	*Низкая чувствительность к токовым перегрузкам.*

Комбинированные транзисторы

Паразитные элементы структуры мощного МДП-транзистора (а), эквивалентная схема базовой ячейки (б)



Структура IGBT (а) и ее эквивалентная схема (б)

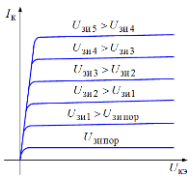
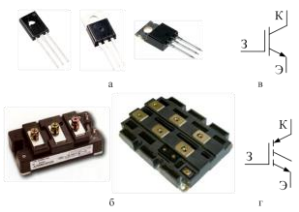


Такой комбинированный прибор получил название ***биполярного транзистора с изолированным затвором*** (БТИЗ) или, используя зарубежную терминологию - ***IGBT*** *Insulated Gate Bipolar Transistor*).

Эквивалентная крутизна характеристики всей схемы определяется как:

$$S_{\text{экв}} = \frac{S}{1-(\alpha_1+\alpha_2)}$$

Выходные характеристики IGBT



Конструкции IGBT: дискретное (а) и модульное (б) исполнение; условное графическое обозначение: в – отечественное; г – зарубежное