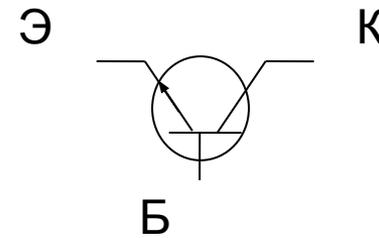
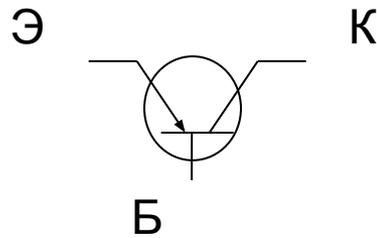
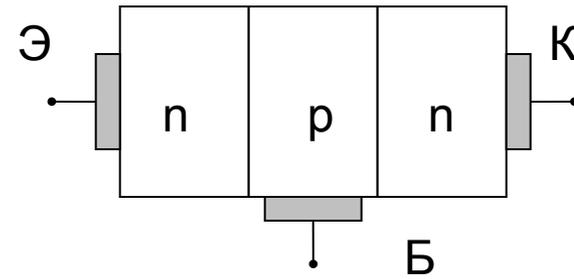
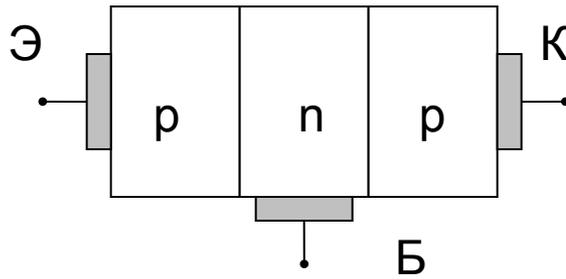
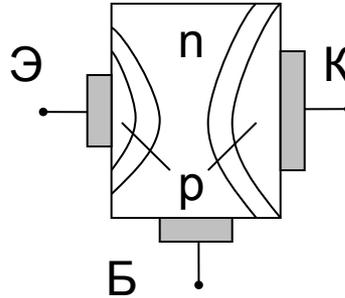


# БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

- § 4.1. Структура и основные режимы работы.
- § 4.2. Распределение стационарных потоков носителей заряда.
- § 4.3. Распределение носителей заряда.
- § 4.4. Значения постоянных токов при активном режиме.
- § 4.5. Явления в транзисторах при больших токах.
- § 4.6. Статические параметры.
- § 4.7. Пробой транзисторов.
- § 4.8. Статические характеристики.
- § 4.9. Работа транзистора на малом переменном сигнале.
- § 4.10. Малосигнальные параметры.
- § 4.11. Эквивалентные схемы.
- § 4.12. Эквивалентная схема одномерной теоретической модели.
- § 4.13. Барьерные емкости переходов и сопротивление базы.
- § 4.14. Частотные характеристики.
- § 4.15. Работа транзистора на импульсах.
- § 4.16. Шумы в транзисторах.
- § 4.17. Низкочастотные маломощные транзисторы.
- § 4.18. Высокочастотные маломощные транзисторы.
- § 4.19. Мощные транзисторы.
- § 4.20. Однопереходный транзистор.
- § 4.21. Надежность транзисторов.

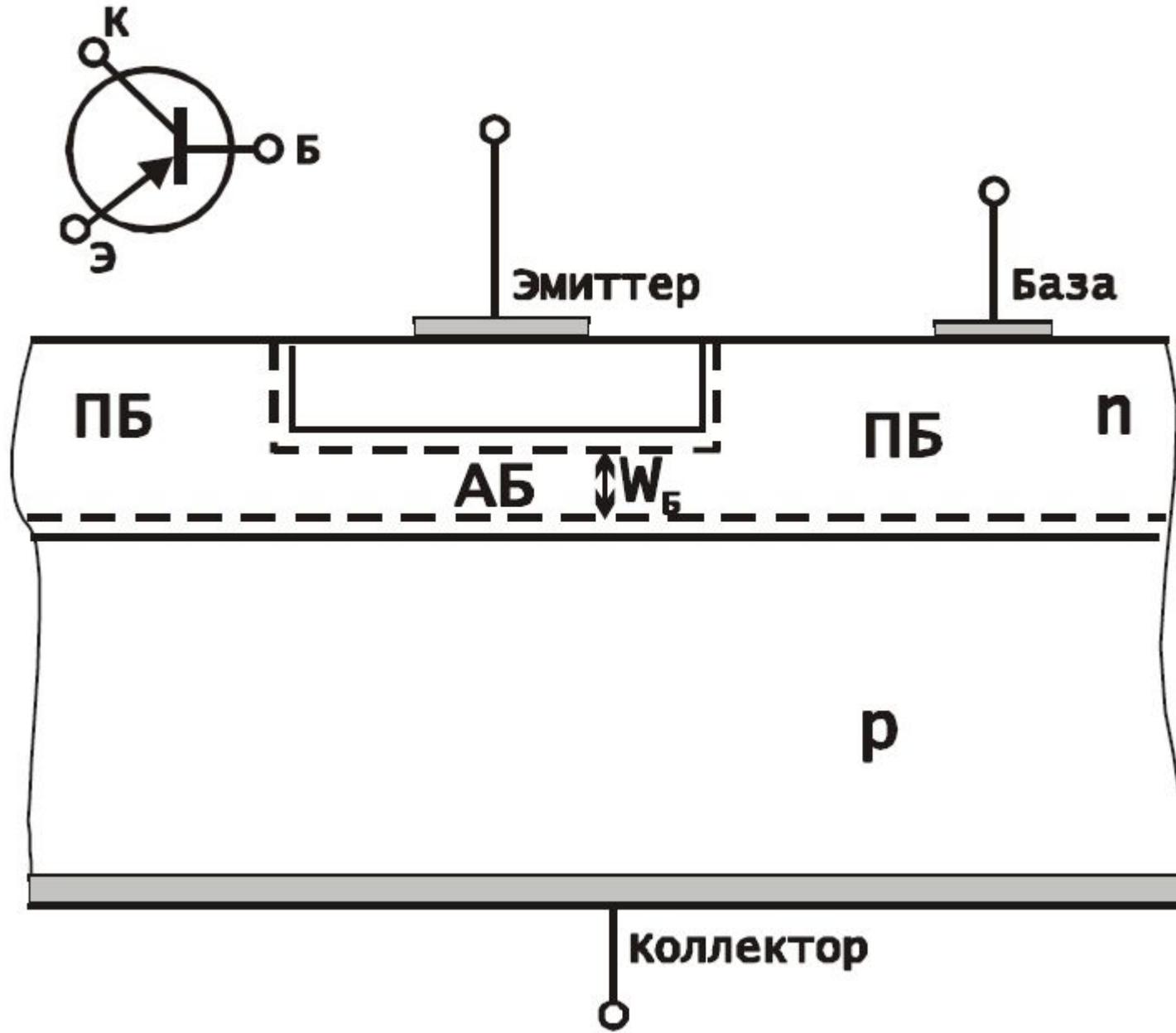
# БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Структура и основные режимы работы.



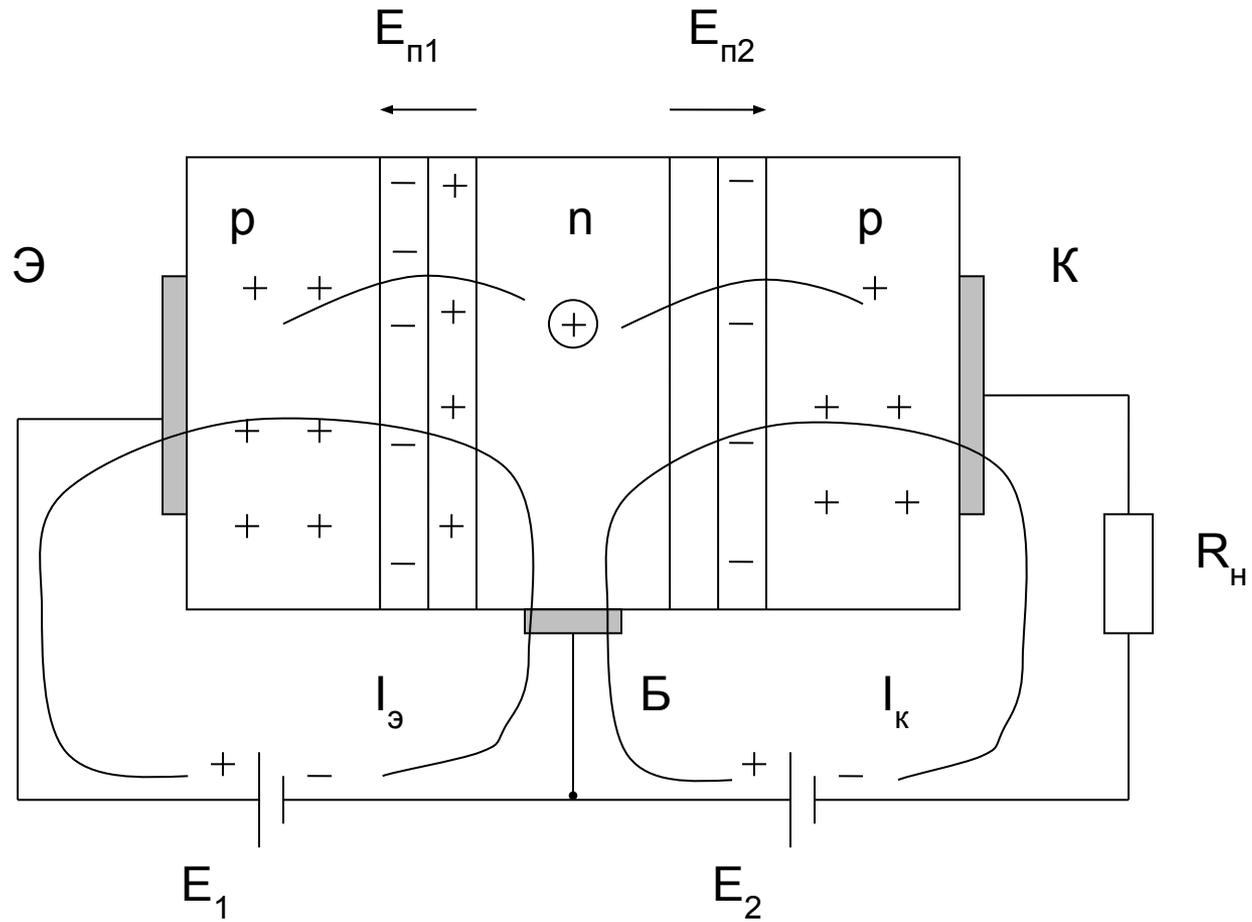
# БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Структура и основные режимы работы.



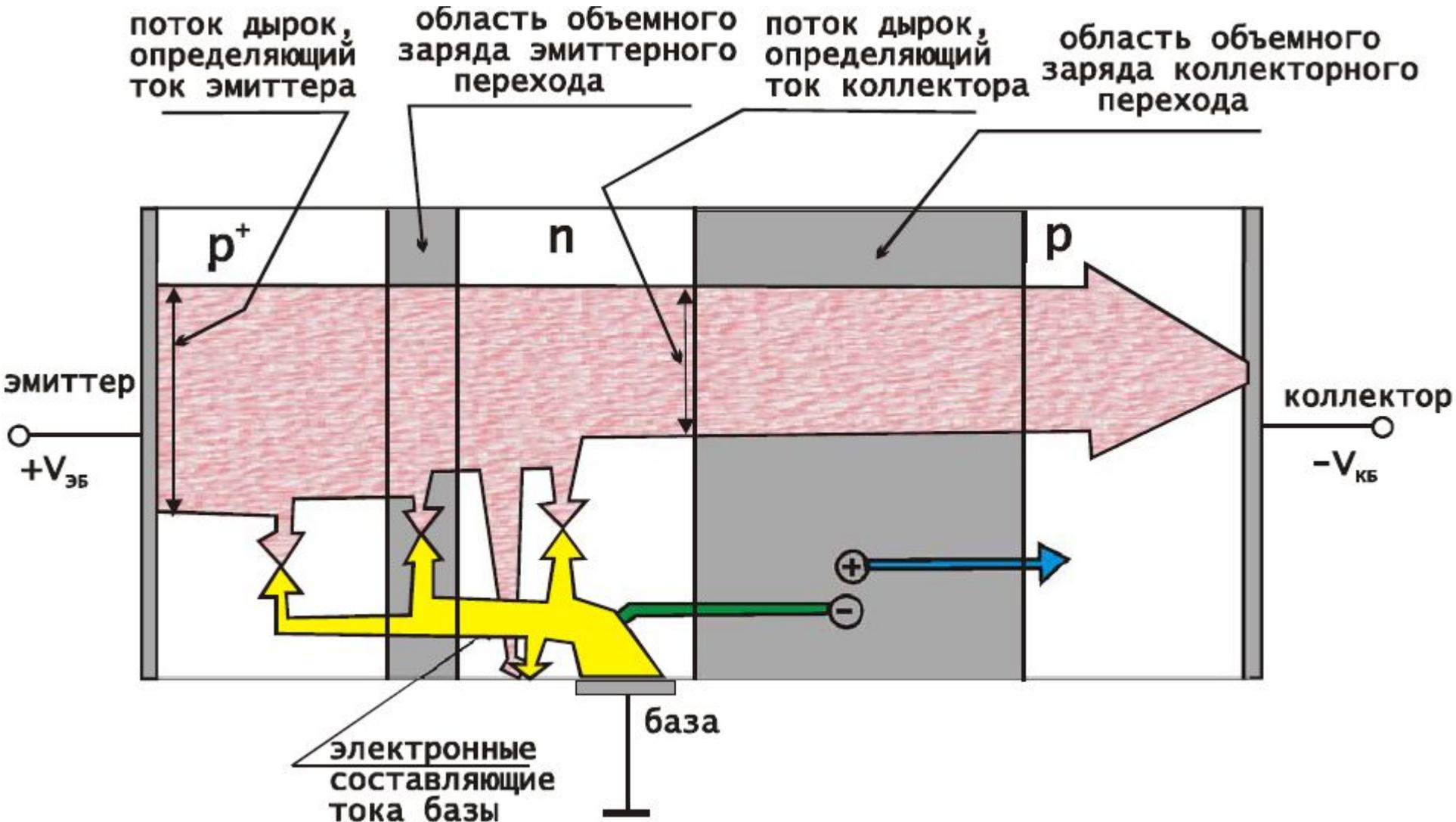
# БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Структура и основные режимы работы.



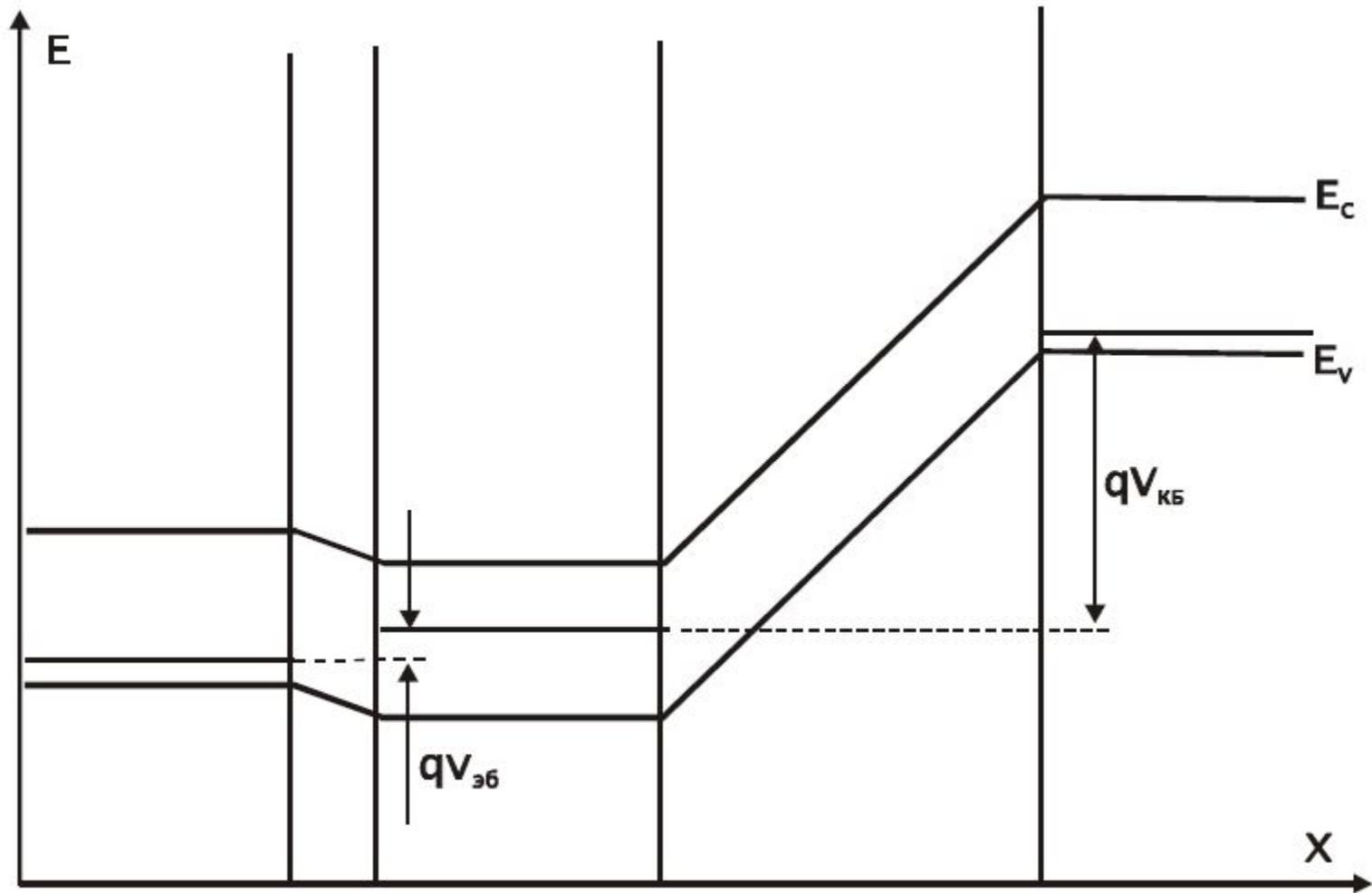
# БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Структура и основные режимы работы.



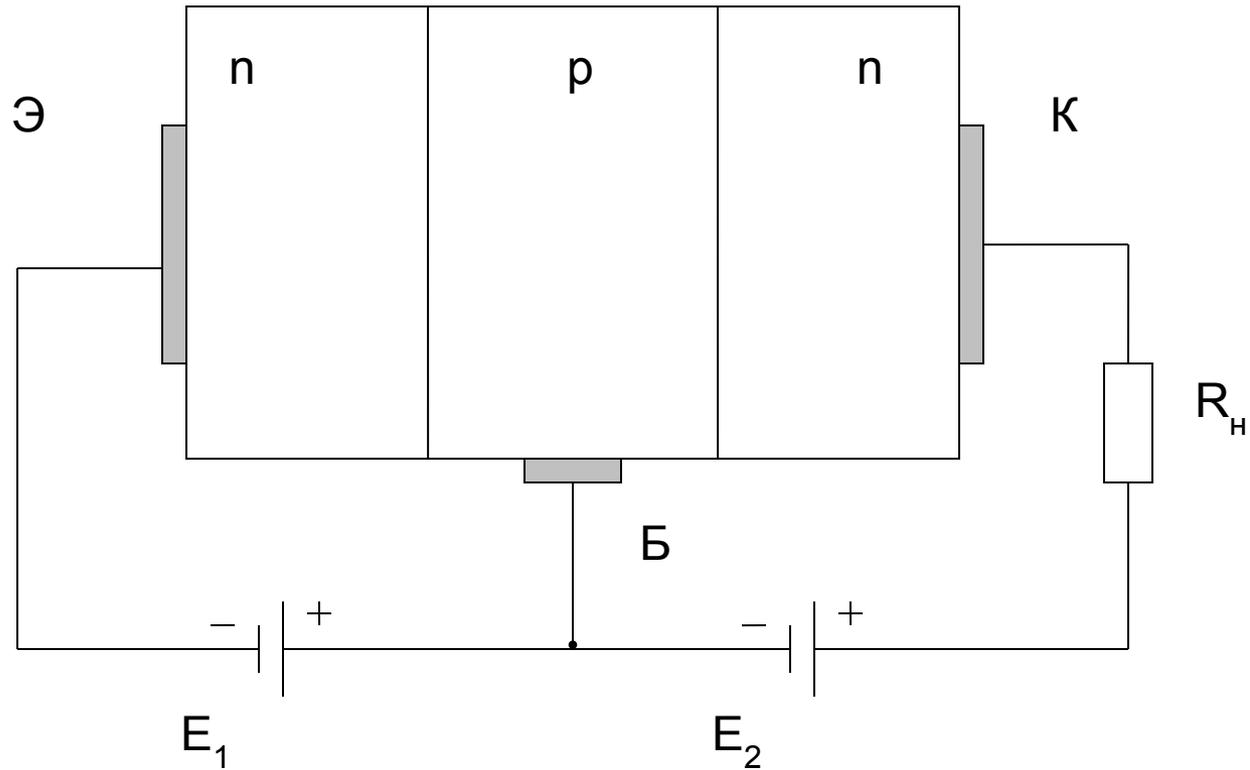
# БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Структура и основные режимы работы.



# БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Структура и основные режимы работы.



# 5. ТИРИСТОРЫ

- § 5.1. Структура и принцип действия.
- § 5.2. Способы переключения.
- § 5.3. Конструкция и технология изготовления.
- § 5.4. Параметры и характеристики.

# Тиристоры

## Структура и основные режимы работы.

Тиристором называется четырёхслойный полупроводниковый прибор, состоящий из последовательно чередующихся областей р- и n – типов проводимости.

Первый вид тиристоров – это динисторы.

- Динисторы – это диодные тиристоры, или неуправляемые переключательные диоды.
- Тринисторы – это управляемые переключательные диоды.
- Симисторы – это симметричные тиристоры, т. е. тиристоры с симметричной ВАХ.

Рассмотрим эти приборы.

**1) Устройство и принцип действия динисторов.**

**2) Основные параметры тиристоров.**

**3) Тринисторы.**

**4) Понятие о симисторах.**

**1) Устройство и принцип действия динисторов.** Наружная р-область и вывод от неё называется анодом (смотрите Рис. 109).

# Тиристоры

Структура и основные режимы работы.

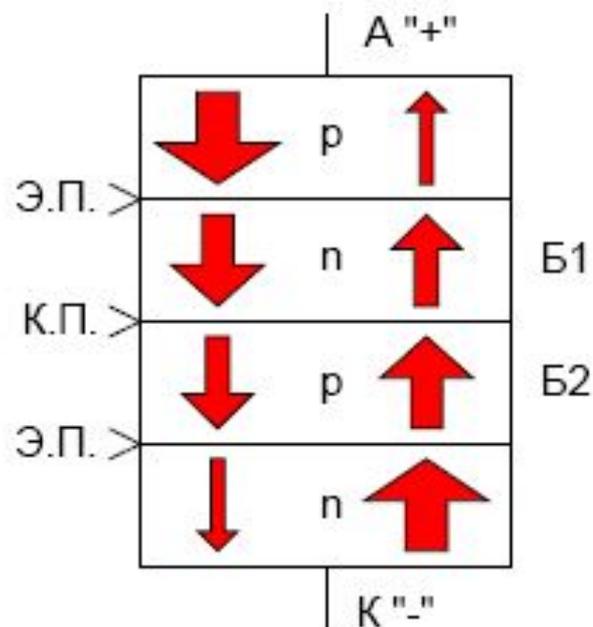


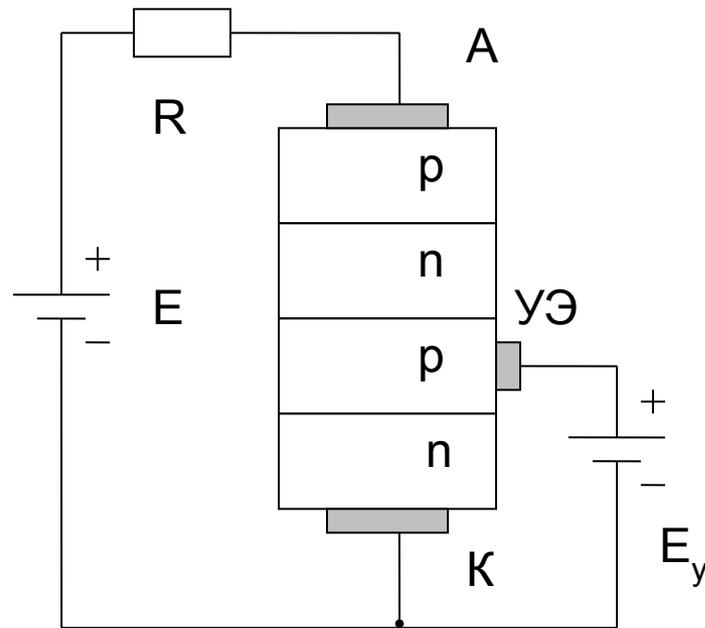
Рис. 109

Наружная n-область и вывод от неё называется катодом. Внутренние p- и n-области называются базами динистора. Крайние p-n переходы называются эмиттерными, а средний p-n переход называется коллекторным. Подадим на анод «-», а на катод «+». При этом эмиттерные переходы будут закрыты, коллекторный открыт. Основные носители зарядов из анода и катода не смогут перейти в базу, поэтому через динистор будет протекать только маленький обратный ток, вызванный не основными носителями заряда.

Если на анод подать «+», а на катод «-», эмиттерные переходы открываются, а коллекторный закрывается.

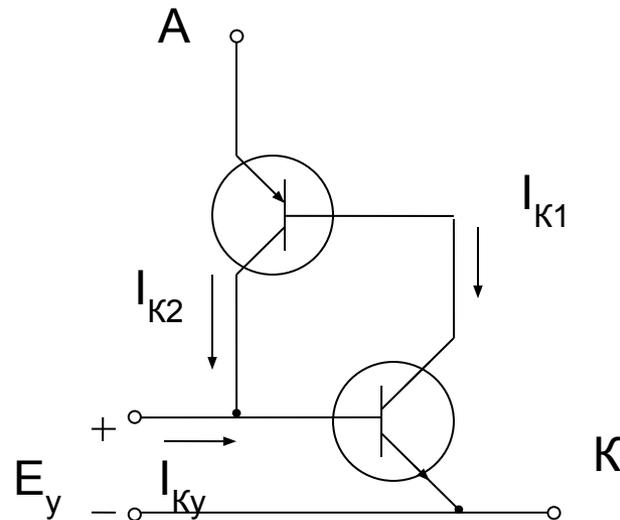
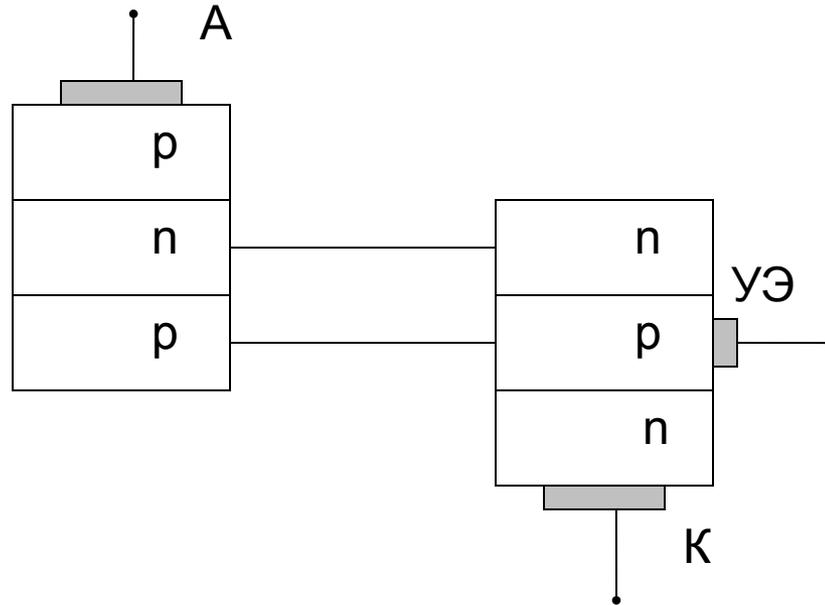
# Тиристоры

## Тиристоры и динисторы



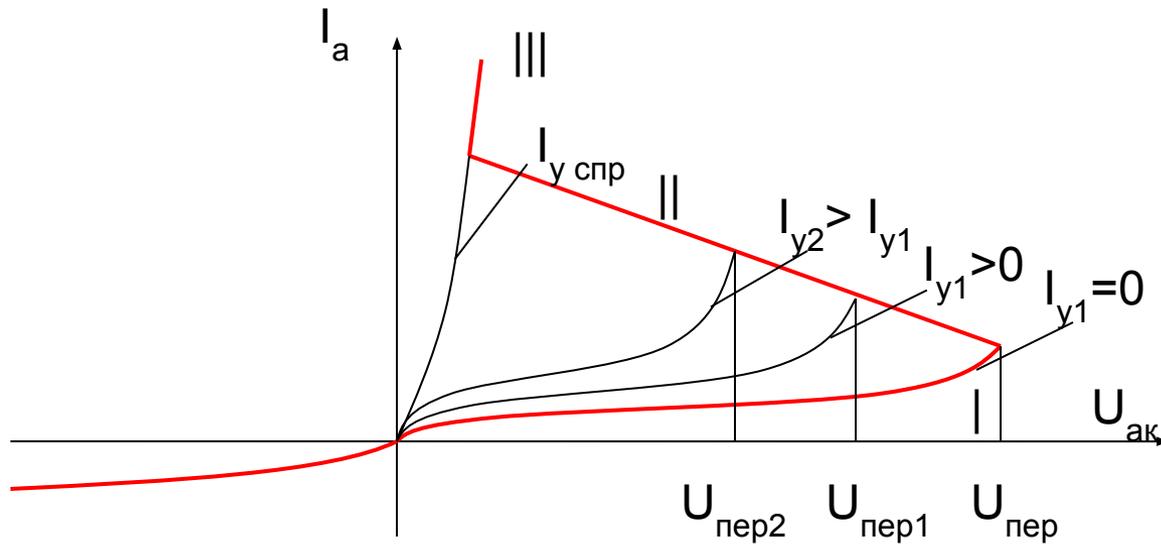
# Тиристоры

## Тиристоры и динисторы



# Тиристоры

## Тиристоры и динисторы



# Тиристоры

## Динисторы

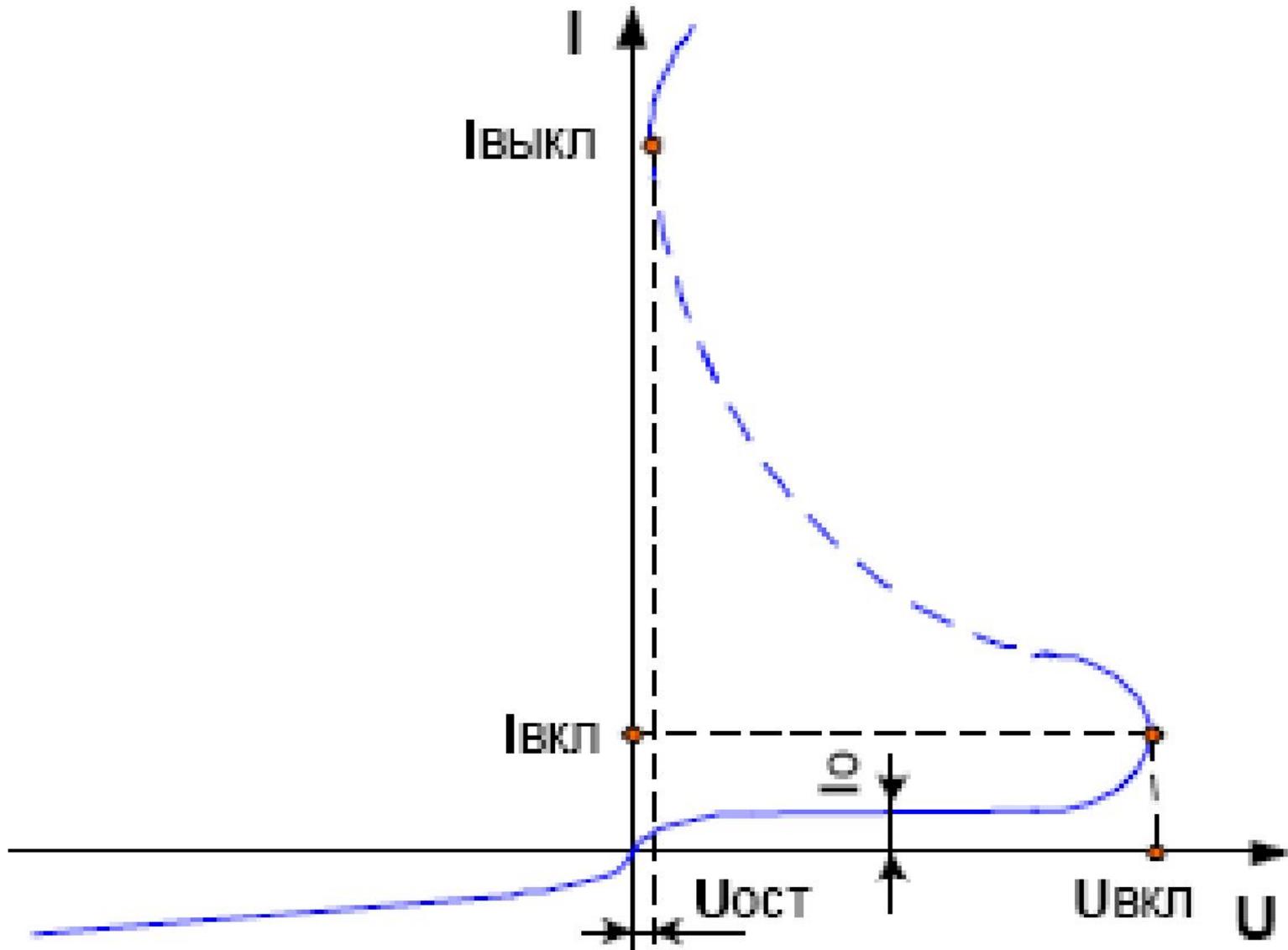
Динисторы применяются в виде бесконтактных переключательных устройств, управляемых напряжением.

### Принцип действия.

Основные носители зарядов переходят из анода в базу 1, а из катода – в базу 2, где они становятся не основными и в базах происходит интенсивная рекомбинация зарядов, в результате которой количество свободных носителей зарядов уменьшается. Эти носители заряда подходят к коллекторному переходу, поле которых для них будет ускоряющим, затем проходят базу и переходят через открытый эмиттерный переход, т. к. в базах они опять становятся основными. Пройдя эмиттерные переходы, электроны переходят в анод, а дырки – в катод, где они вторично становятся не основными и вторично происходит интенсивная рекомбинация. В результате количество зарядов, прошедших через динистор, будет очень мало и прямой ток также будет очень мал. При увеличении напряжения прямой ток незначительно возрастает, т. к. увеличивается скорость движения носителей, а интенсивность рекомбинации уменьшается. При увеличении напряжения до определённой величины происходит электрический пробой коллекторного перехода. Сопротивление динистора резко уменьшается, ток через него сильно увеличивается и падение напряжения на нём значительно уменьшается. Считается, что динистор перешёл из выключенного состояния во включённое.

# Тиристоры

Структура и основные режимы работы.



# Тиристоры

## Основные параметры тиристоров.

**Напряжение включения** ( $U_{вкл}$ ) – это напряжение, при котором ток через динистор начинает сильно возрастать.

**Ток включения** ( $I_{вкл}$ ) – это ток, соответствующий напряжению включения.

**Ток выключения** ( $I_{выкл}$ ) – это минимальный ток через тиристор, при котором он остаётся ещё во включённом состоянии.

**Остаточное напряжение** ( $U_{ост}$ ) – это минимальное напряжение на тиристоре во включённом состоянии.

**Ток утечки** ( $I_o$ ) – это ток через тиристор в выключенном состоянии при заданном напряжении на аноде.

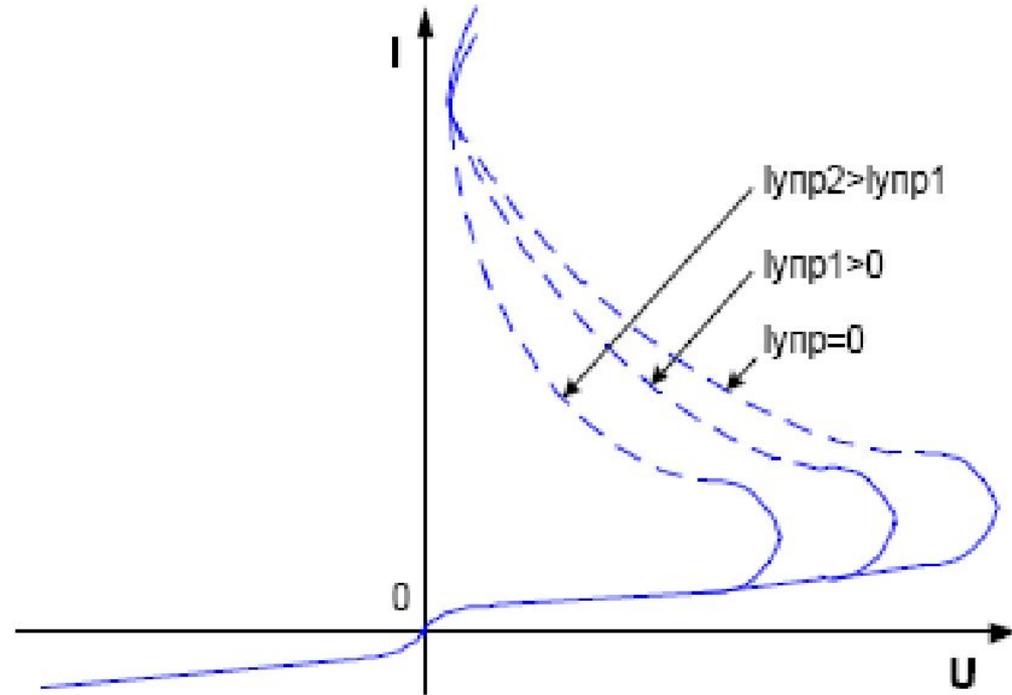
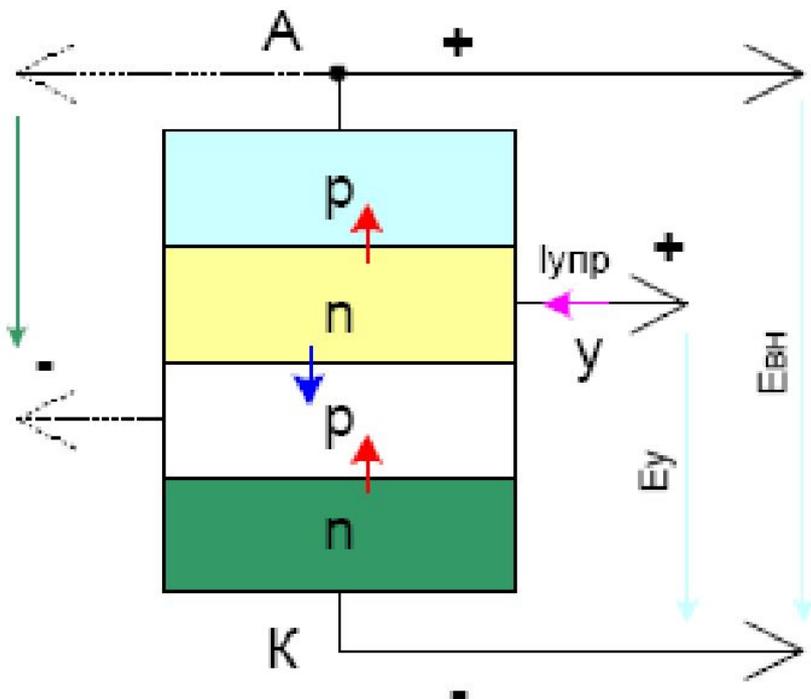
**Максимально допустимое обратное напряжение** ( $U_{обр.max}$ ).

**Максимально допустимое прямое напряжение** ( $U_{пр.max}$ ).

**Время включения** ( $t_{вкл}$ ) – это время, за которое напряжение на тиристоре уменьшится до 0,1 напряжения включения.

**Время выключения** ( $t_{выкл}$ ) – это время, за которое тиристор переходит из включённого в выключенное состояние.

# Тиристоры



# Тиристоры

## Тринисторы

Тринисторы можно включать при напряжениях, меньших напряжения включения динистора.

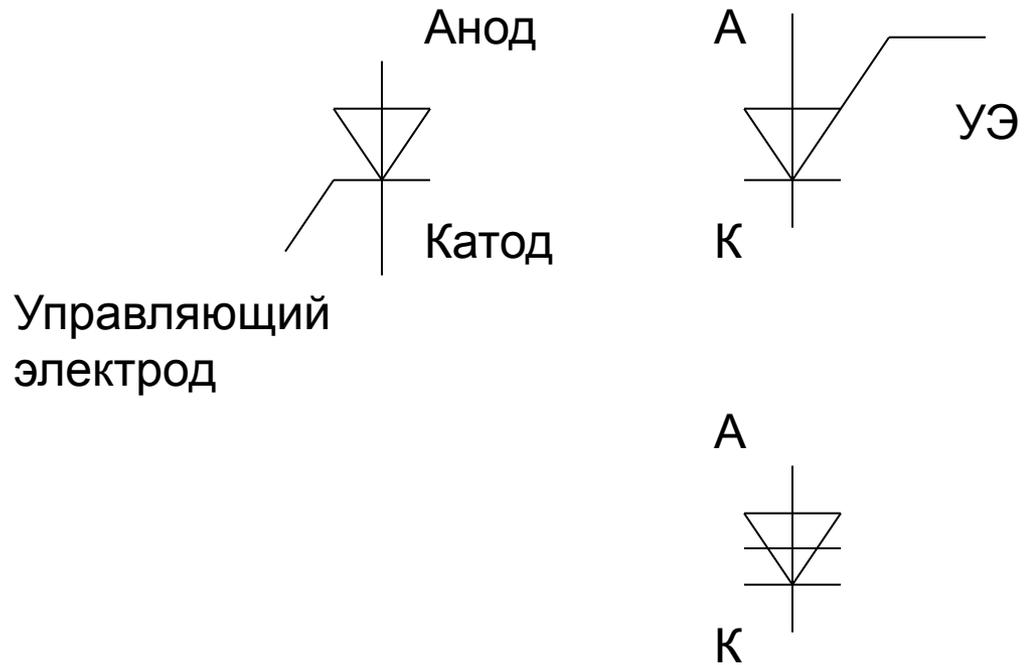
Для этого достаточно на одну из баз подать дополнительное напряжение таким образом, чтобы создаваемое им поле совпадало по направлению с полем анода на коллекторном переходе.

Можно подать ток управления на вторую базу, но для этого на управляющий электрод необходимо подавать напряжение отрицательной полярности относительно анода, и поэтому различают тринисторы с управлением по катоду и с управлением по аноду.

На рисунках 114 – 119 изображены условные графические обозначения (УГО) рассматриваемых в данной теме приборов. На рисунке 114 – УГО динистора, на 115 – тринистора с управлением по катоду, на 116 – тринистора с управлением по аноду, на 117 – неуправляемого симистора, на 118 – симистора с управлением по аноду, и на 119, соответственно, симистора с управлением по катоду.

# Тиристоры

## Тиристоры и динисторы



# Тиристоры

## Тринисторы

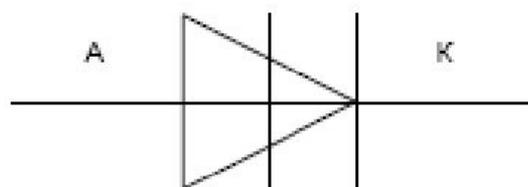


Рис. 114

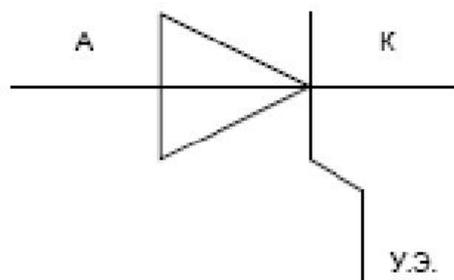


Рис. 115

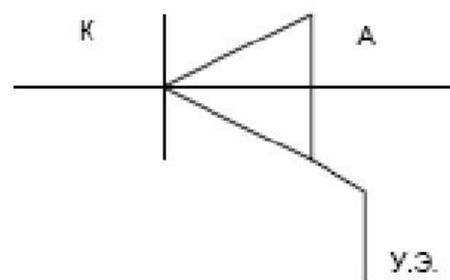


Рис. 116

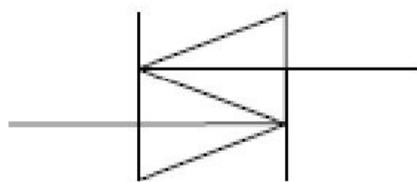


Рис. 117

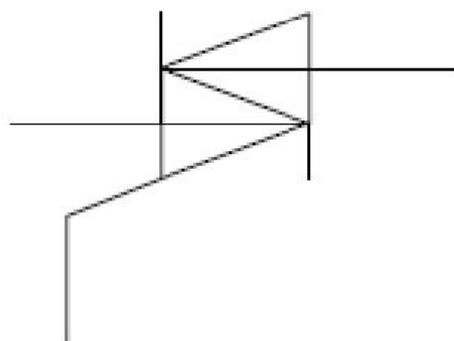


Рис. 118

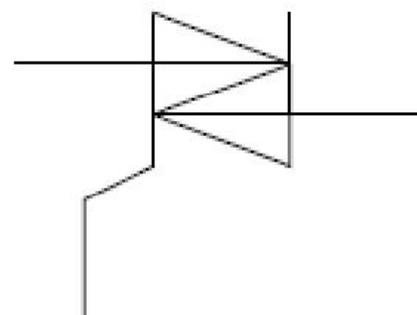


Рис. 119

Маркировка расшифровывается так:

КН102Б – кремниевый динистор; КУ202А – кремниевый тринистор. Первая буква «К» обозначает материал кремний. Вторая – тип прибора – динистор или тринистор. Третья группа – трёхзначный цифровой код, и четвёртая группа, расшифровываются так же, как и все рассмотренные ранее полупроводниковые приборы.

# Тиристоры

## Понятие о симисторах.

Подадим положительное напряжение на области  $p1$ ,  $n1$ , а отрицательное на области  $p2$ ,  $n3$ .

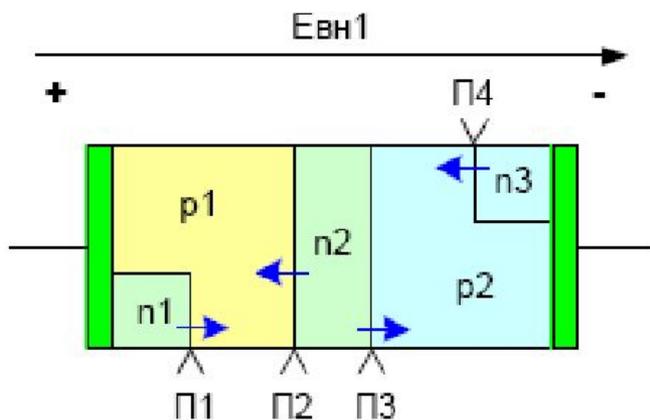


Рис. 120

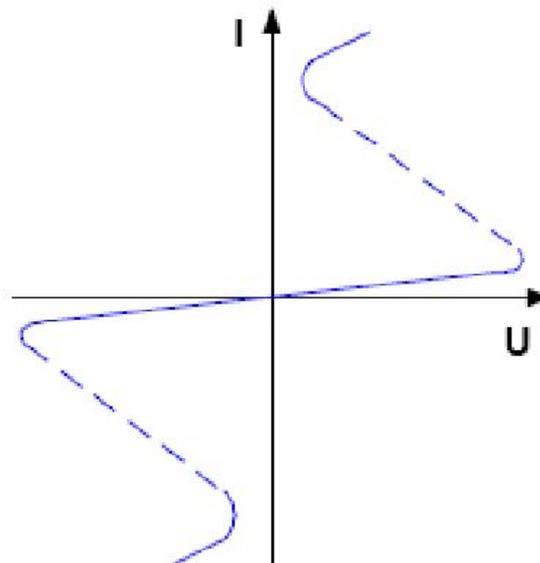


Рис. 121

Переход  $\text{П1}$  закрыт, и выключается из работы область  $n1$ . Переходы  $\text{П2}$  и  $\text{П4}$  открыты и выполняют функцию эмиттерных переходов. Переход  $\text{П3}$  закрыт и выполняет функцию коллекторного перехода.

Таким образом, структура симистора будет представлять собой области  $p1$ ,  $n2$ ,  $p2$ ,  $n3$ , где  $p1$  будет выполнять функции анода, а  $n3$  – катода при прямом включении. Подадим напряжение плюсом на области  $p2$ ,  $n3$ , а минусом на области  $p1$ ,  $n1$ . Переход  $\text{П4}$  закроется и выключит из работы область  $n3$ . Переходы  $\text{П1}$  и  $\text{П3}$  откроются и будут играть роль эмиттерных переходов. Переход  $\text{П2}$  закроется и будет выполнять функцию коллекторного перехода.

Структура симистора будет иметь вид  $p2$ - $n2$ ,  $p1$ - $n1$ , где область  $p2$  будет являться анодом, а  $n1$  – катодом. В результате будет получаться структура в прямом включении, но при обратном напряжении. ВАХ будет иметь вид, изображённый на Рис. 121.

## 6. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ И ПРИБОРЫ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

§ 6.1. Полевые транзисторы с управляющим  $p$ - $n$ -переходом.

§ 6.2. Расчет выходных статических характеристик полевого транзистора с управляющим  $p$ - $n$ -переходом.

§ 6.3. Эквивалентные схемы полевого транзистора с управляющим  $p$ - $n$ -переходом.

§ 6.4. Частотные свойства полевых транзисторов с управляющим  $p$ - $n$ -переходом.

§ 6.5. Полевые транзисторы с изолированным затвором (МДП-транзисторы).

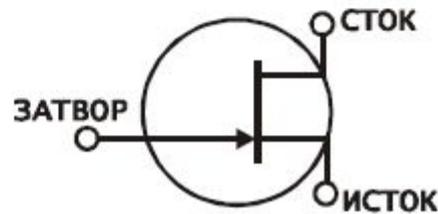
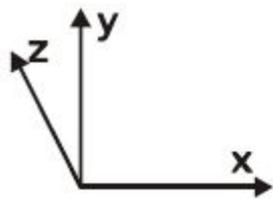
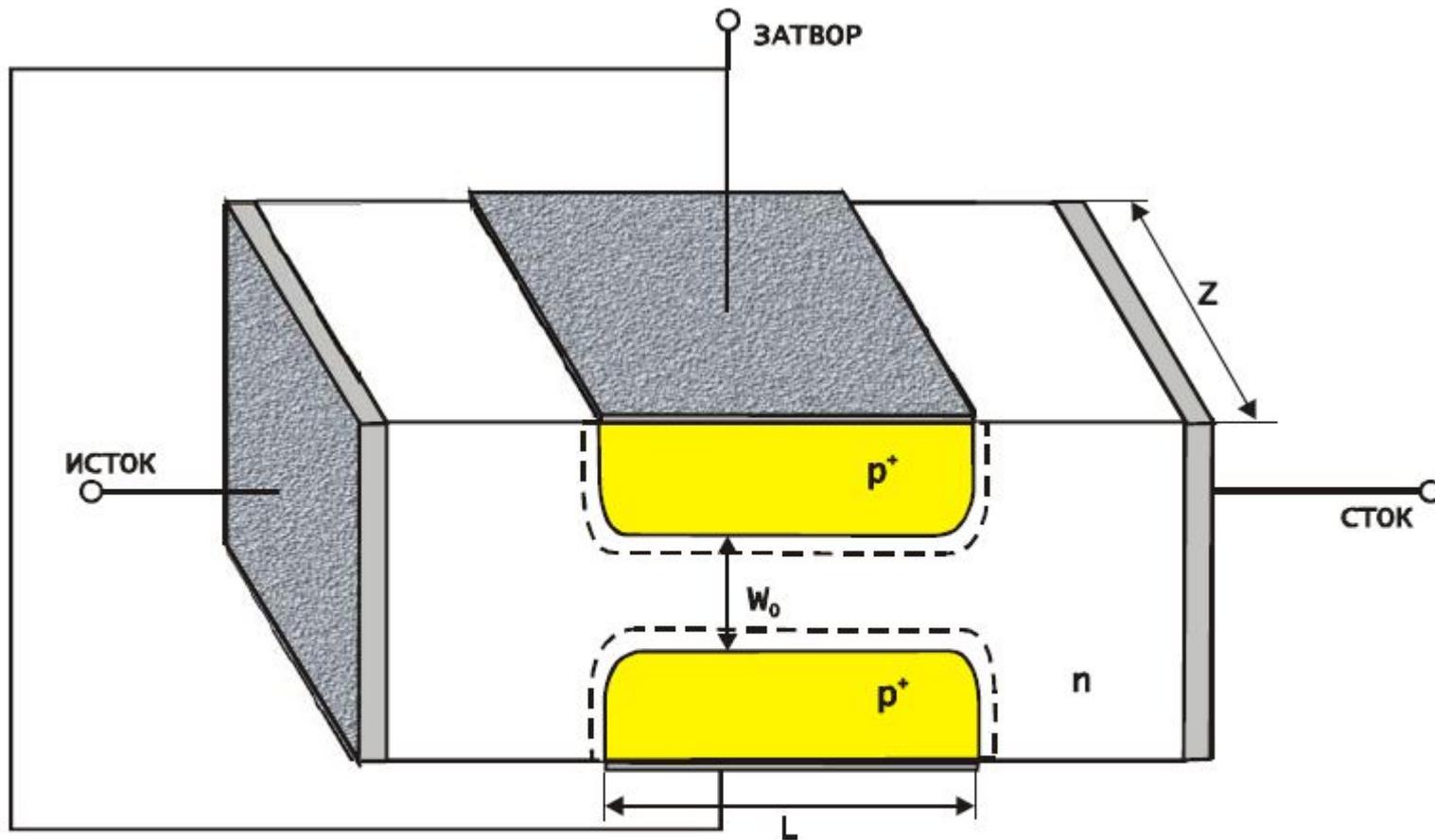
§ 6.6. Расчет выходных статических характеристик полевого транзистора с изолированным затвором.

§ 6.7. Параметры и свойства полевых транзисторов с изолированным затвором.

§ 6.8. Полупроводниковые приборы с зарядовой связью.

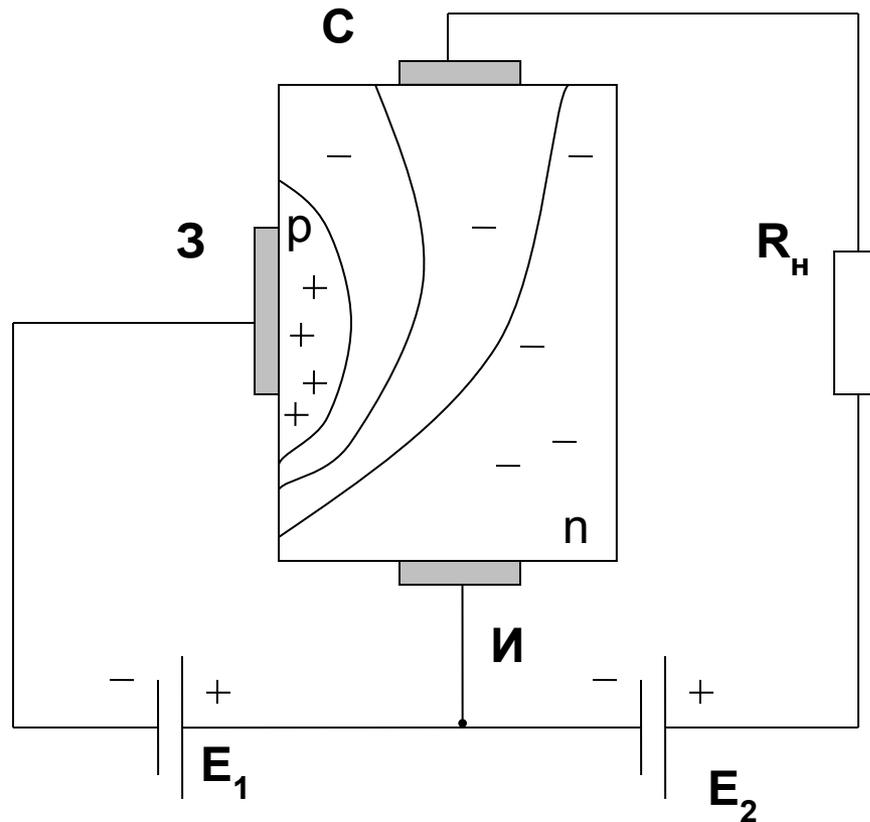
§ 6.9. Разновидности приборов с зарядовой связью.

# Полевые транзисторы



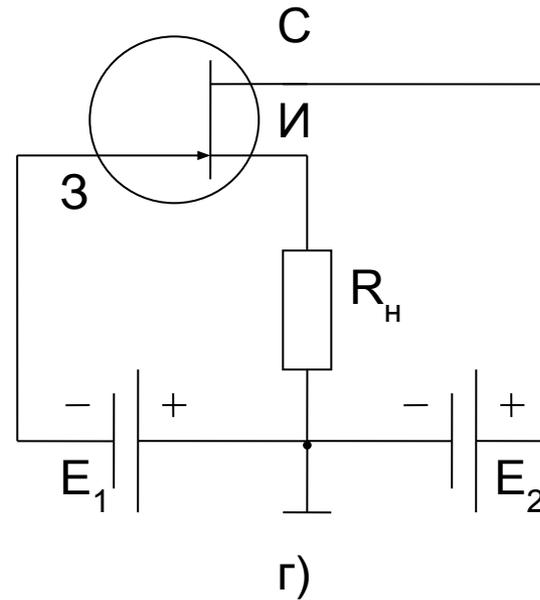
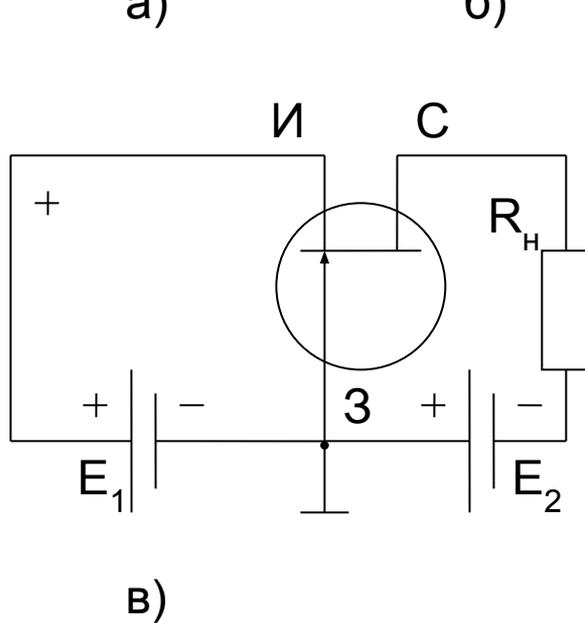
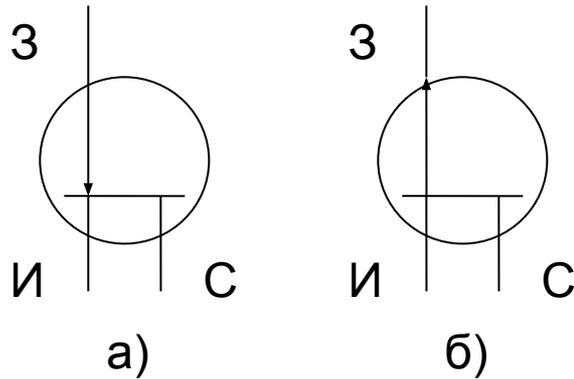
# Полевые транзисторы

*Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом*



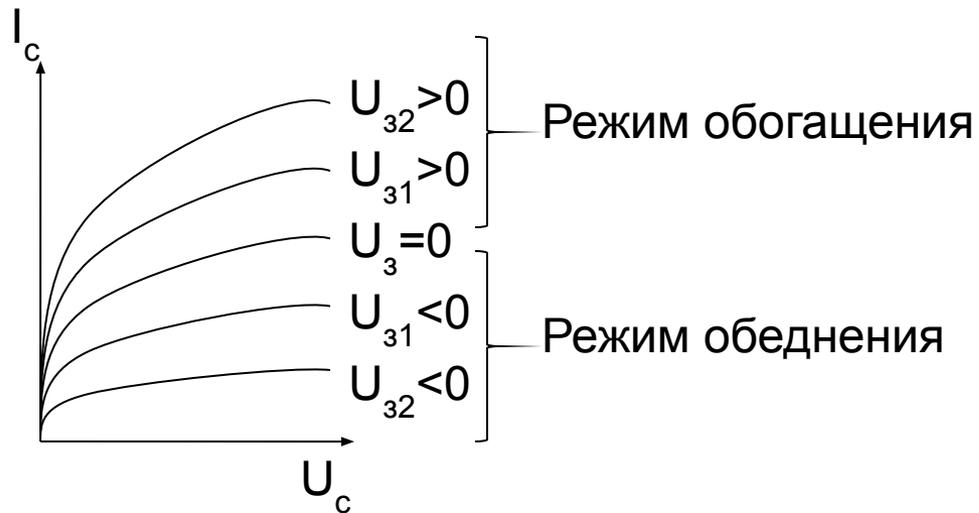
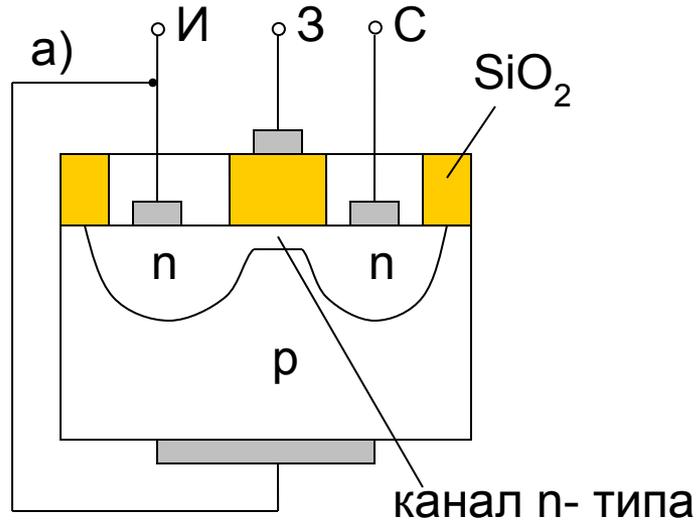
# Полевые транзисторы

*Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом*



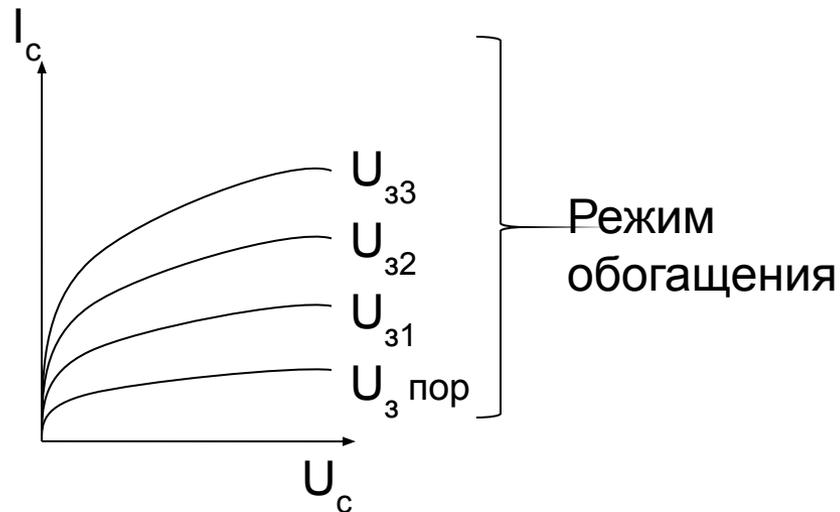
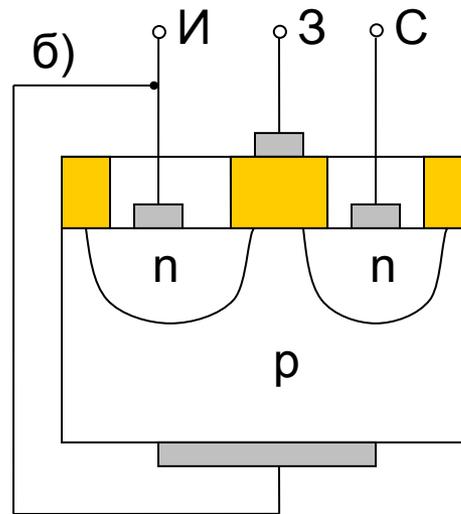
# Полевые транзисторы

## Полевые транзисторы с изолированным затвором



# Полевые транзисторы

Полевые транзисторы с изолированным затвором



# ПРИБОРЫ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

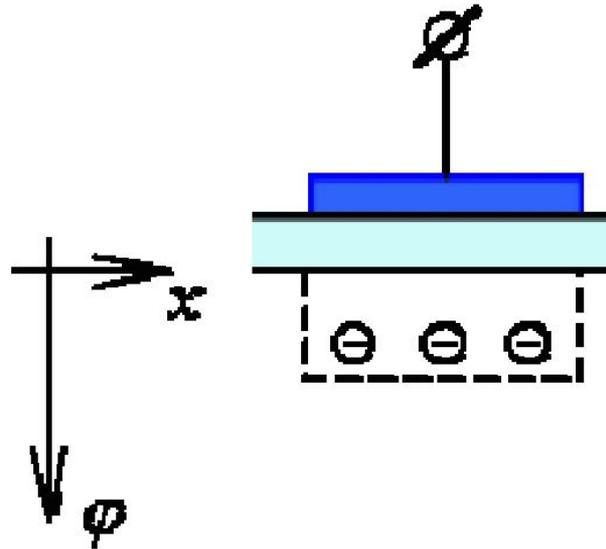
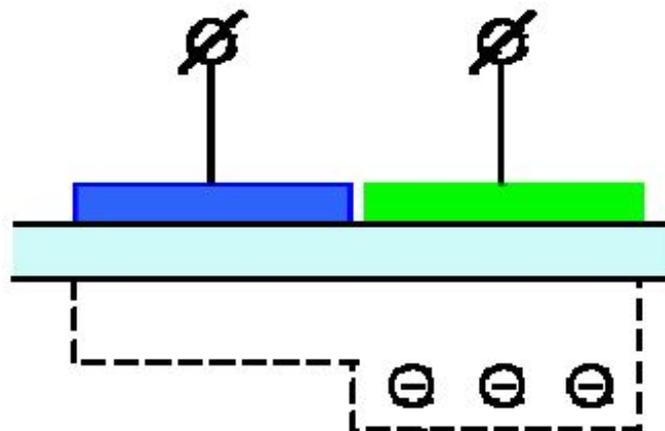


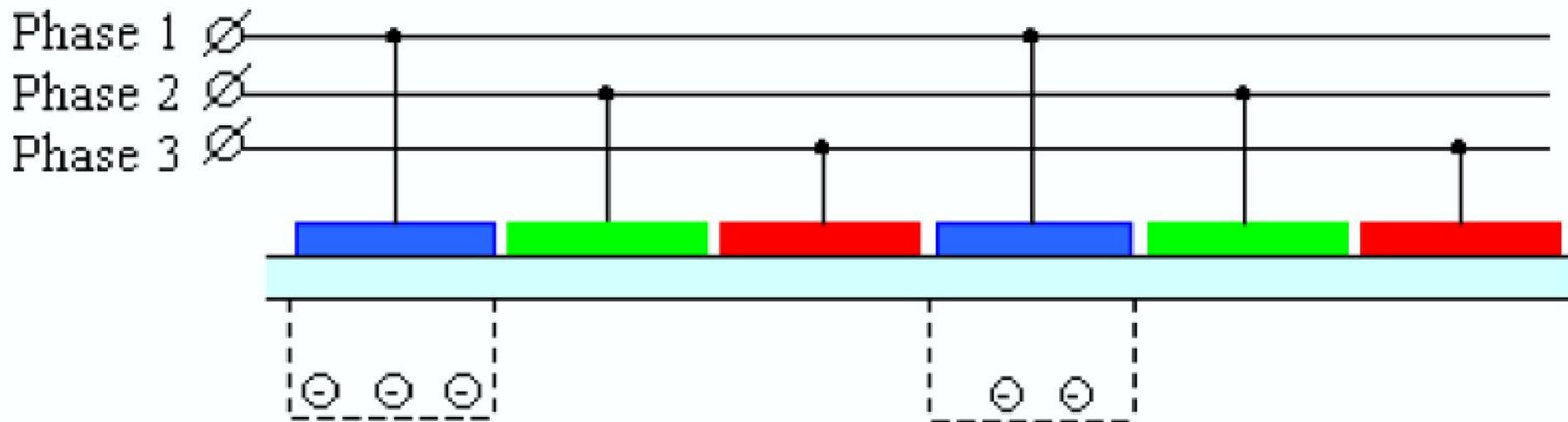
Рис.1а. Образование потенциальной ямы при приложении напряжения к затвору.

# ПРИБОРЫ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ



**Рис.16. Перекрытие потенциальных ям двух близко расположенных затворов. Заряд перетекает в яму, в которой потенциальная яма глубже.**

# ПРИБОРЫ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ



**Рис.1в. Простейший трёхфазный ПЗС-регистр.  
Заряд в каждой потенциальной яме разный!**

# ПРИБОРЫ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

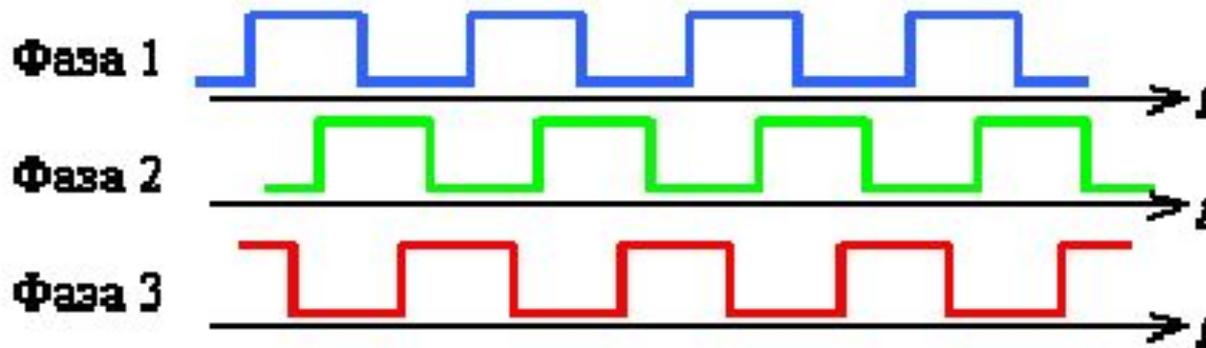


Рис.1г. Тактовые диаграммы управления трёхфазным регистром -- это три меандра, сдвинутые на  $120^\circ$ .

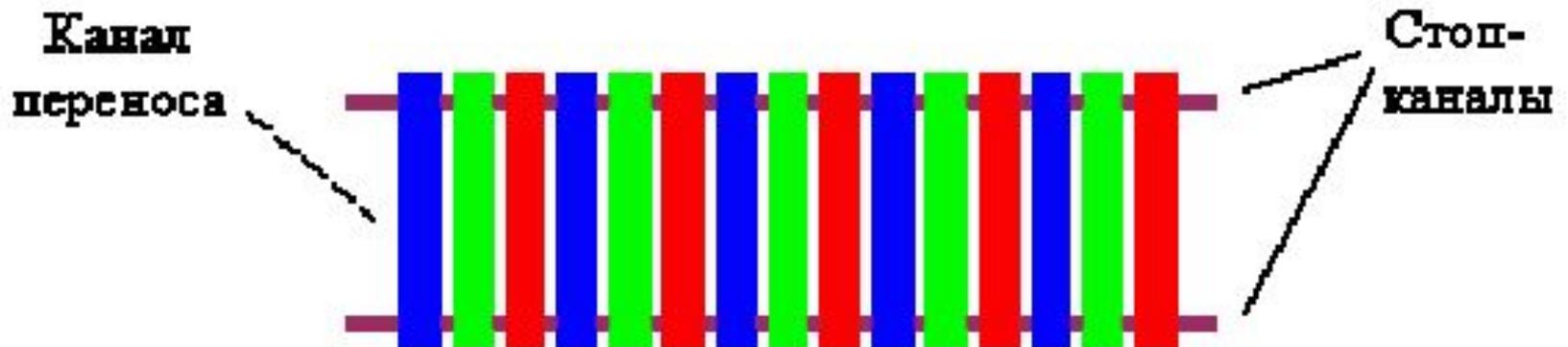


Рис.1д. Вид на регистр «сверху». Канал переноса в боковом направлении ограничивается стоп-каналами.

# ПРИБОРЫ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

Нескомпенсированный заряд примесей



Рис.2а. Распределение зарядов в скрытом канале.

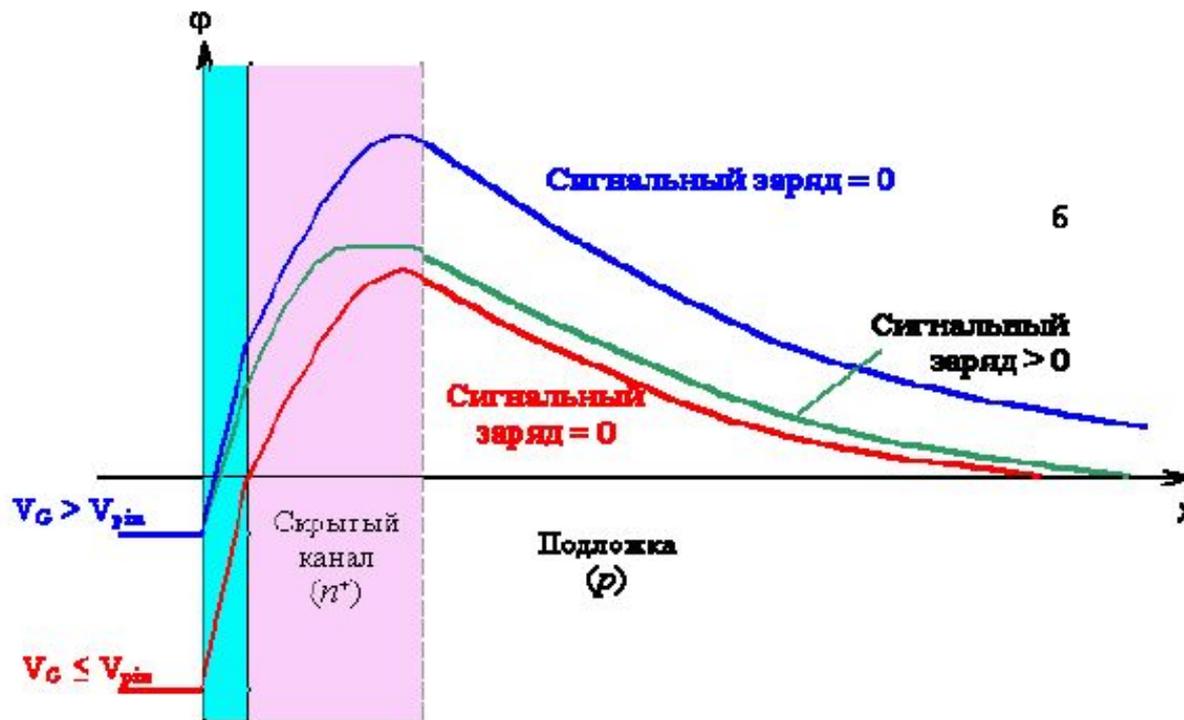


Рис.2б. Распределение потенциалов в ПЗС со скрытым каналом: при отсутствии сигнального заряда, с сигнальным зарядом и при фиксации поверхностного потенциала.

# ПРИБОРЫ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

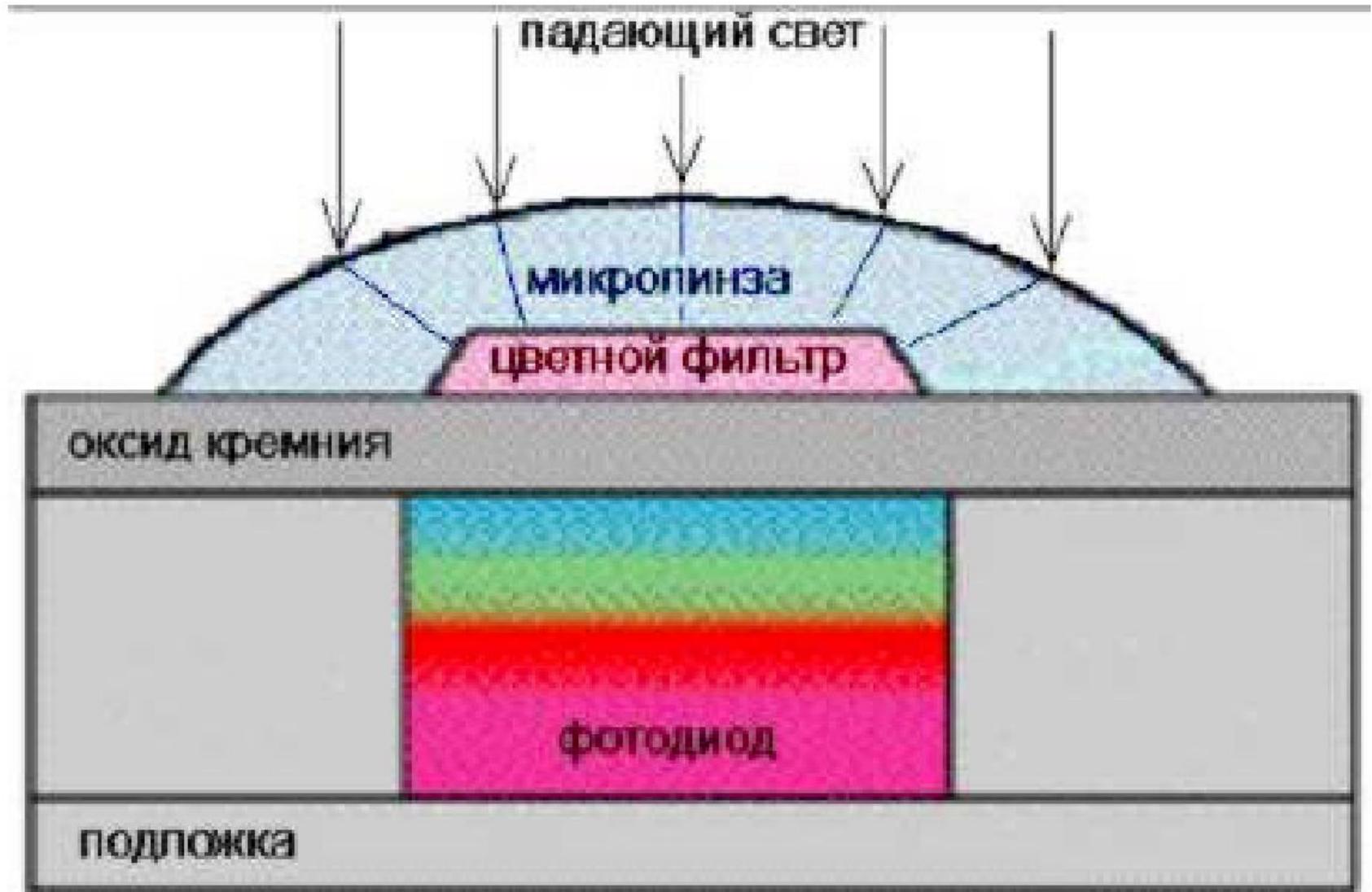


Рис.4в. Дополнительная секция памяти к матрице с МП.

# ПРИБОРЫ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

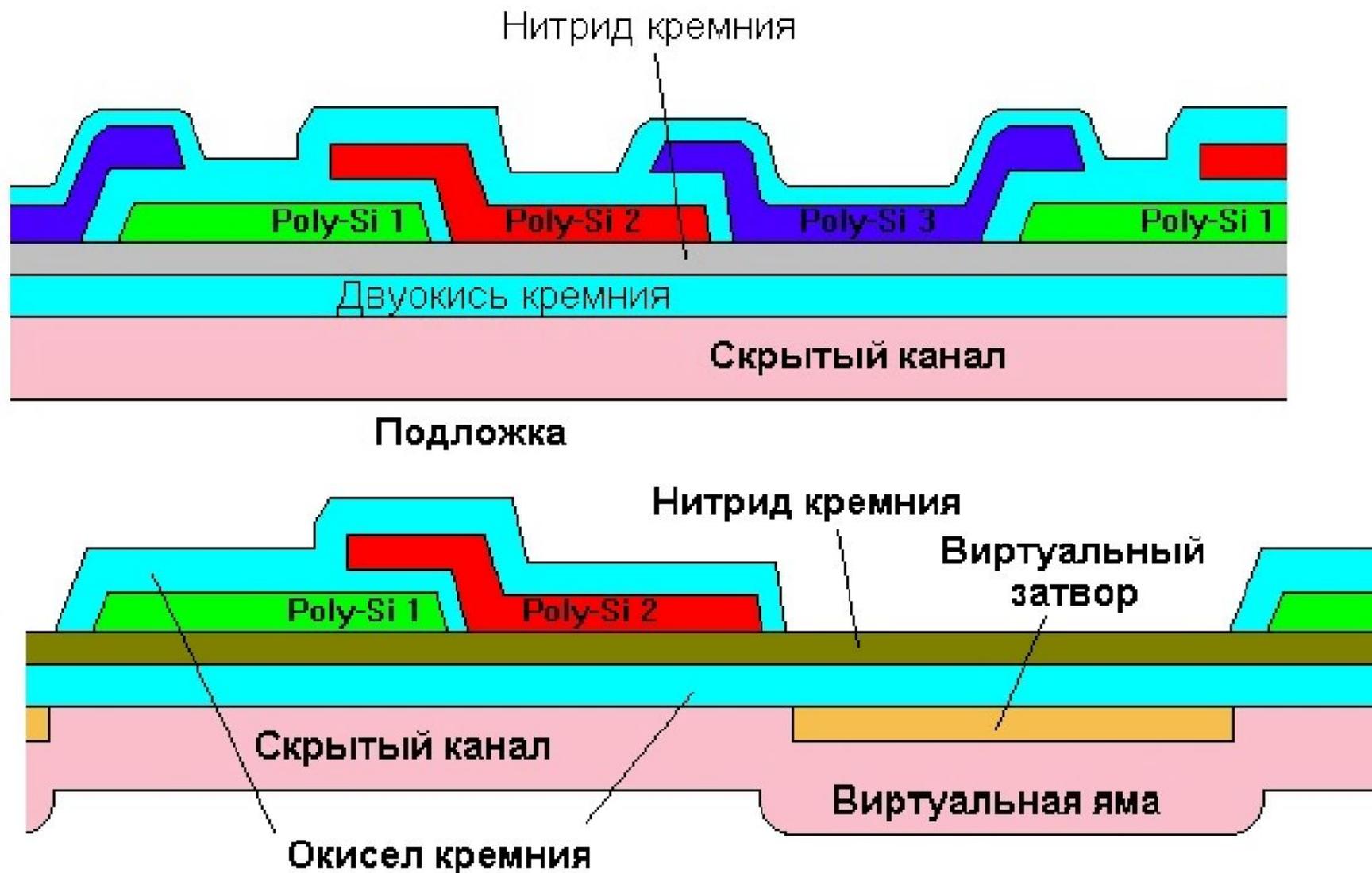


Рис.5. Сечение трёхфазного ПЗС с электродами из поликристаллического кремния (вверху) и с виртуальной фазой (внизу). Около половины площади ячейки свободно от поликремния.

# ПРИБОРЫ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

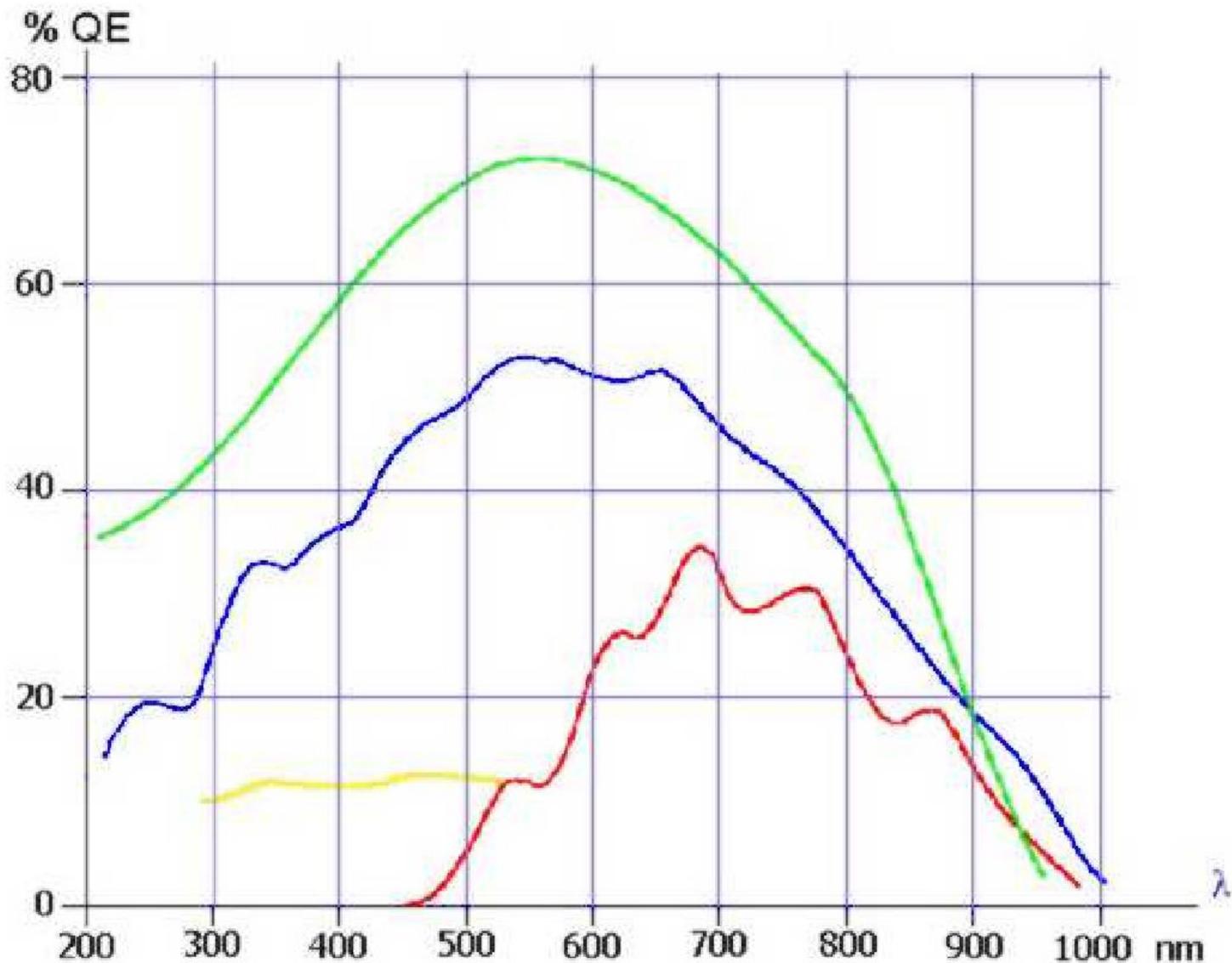


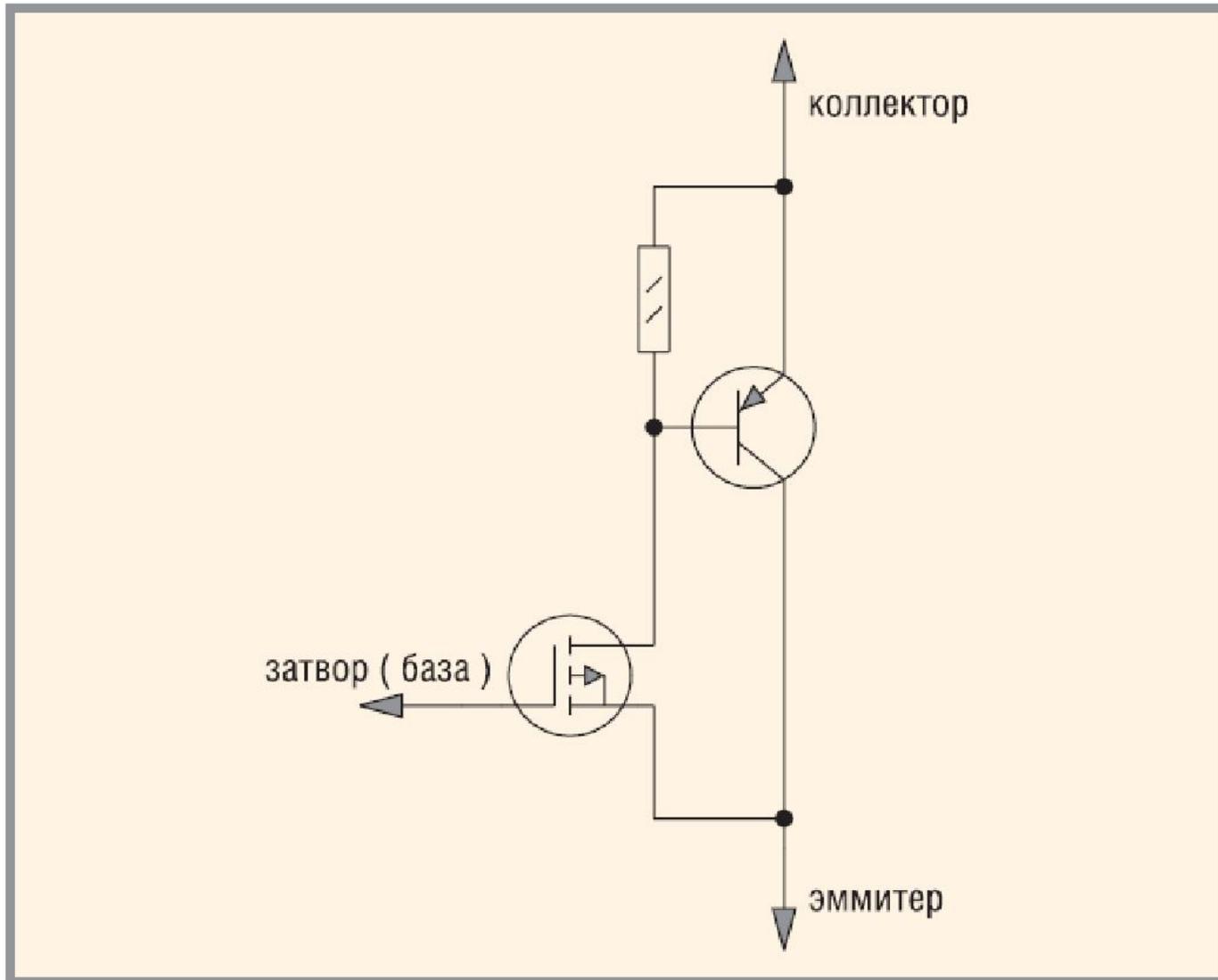
Рис.6. Спектральные характеристики абсолютного квантового выхода:  
обычного ПЗС, ПЗС с люминофорным покрытием,  
с освещением с обратной стороны подложки, с виртуальной фазой.

# ПРИБОРЫ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

Недавно фирма **Sony** анонсировала **Microblock CCD** - цветную **ПЗС-матрицу** и чипсет управления ПЗС и обработки видеосигнала, смонтированные в единый корпус со встроенным пластмассовым объективом. На выходе формируется стандартный ТВ сигнал. Размер этой цветной телекамеры – **18,3 на 18,3 на 7,3 миллиметра**.

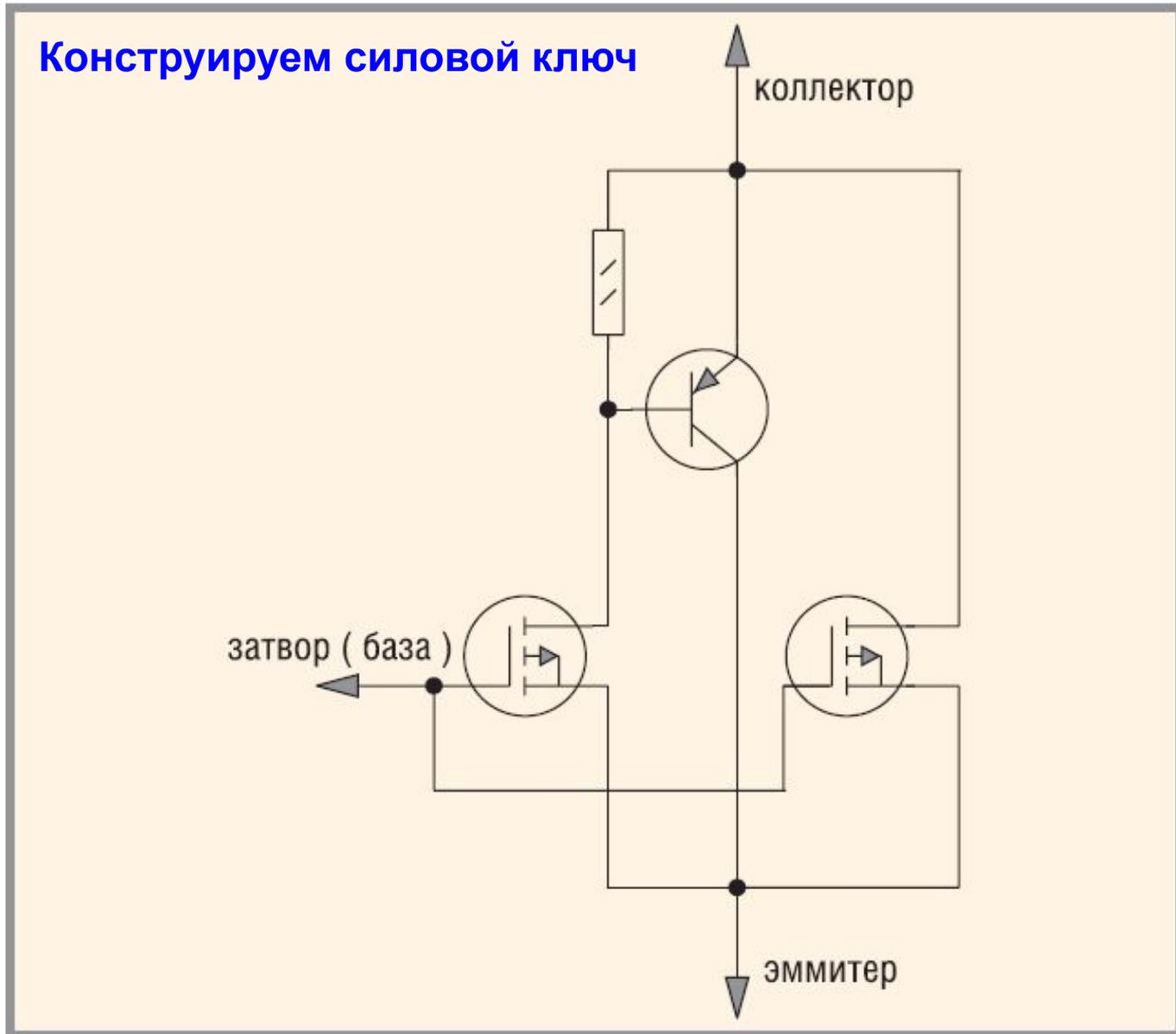
# Транзисторы MOSFET и IGBT

## Конструируем силовой ключ



**Рис. 1. Эквивалентная схема IGBT**

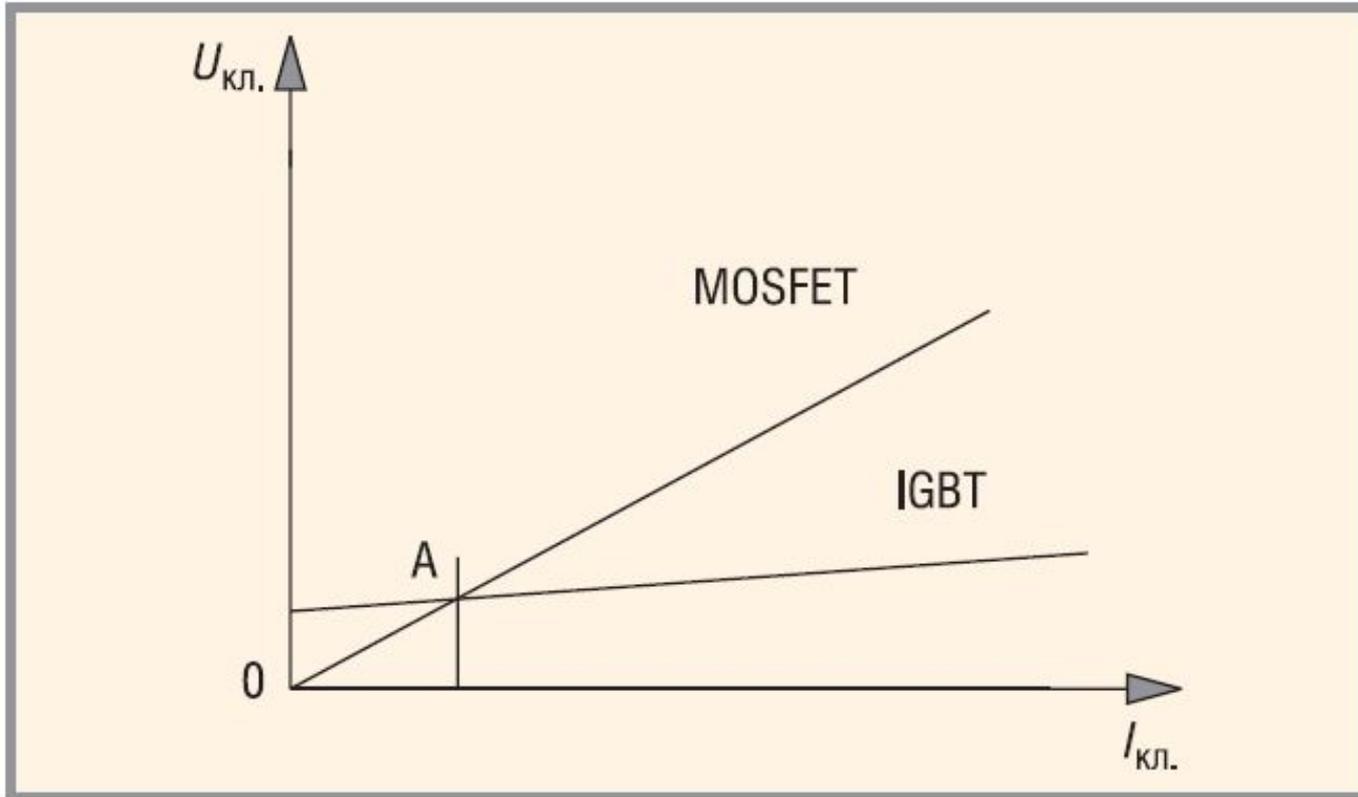
# Транзисторы MOSFET и IGBT



**Рис. 2. Эквивалентная схема трёхсоставного IGBT**

# Транзисторы MOSFET и IGBT

## Конструируем силовой ключ



**Рис. 3. Сравнение характеристик IGBT и MOSFET**

# Транзисторы MOSFET и IGBT

Выбор ключевых транзисторов для преобразователей с жёстким переключением

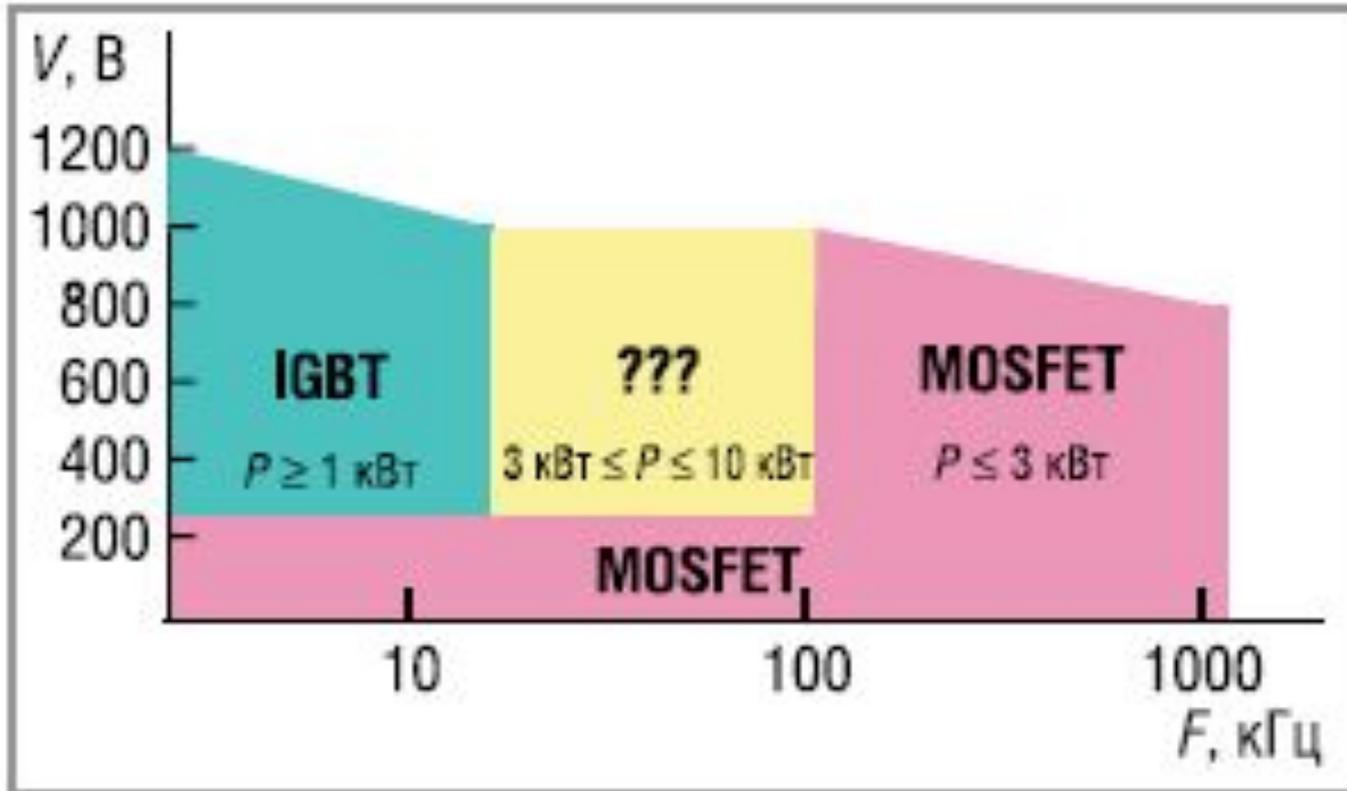
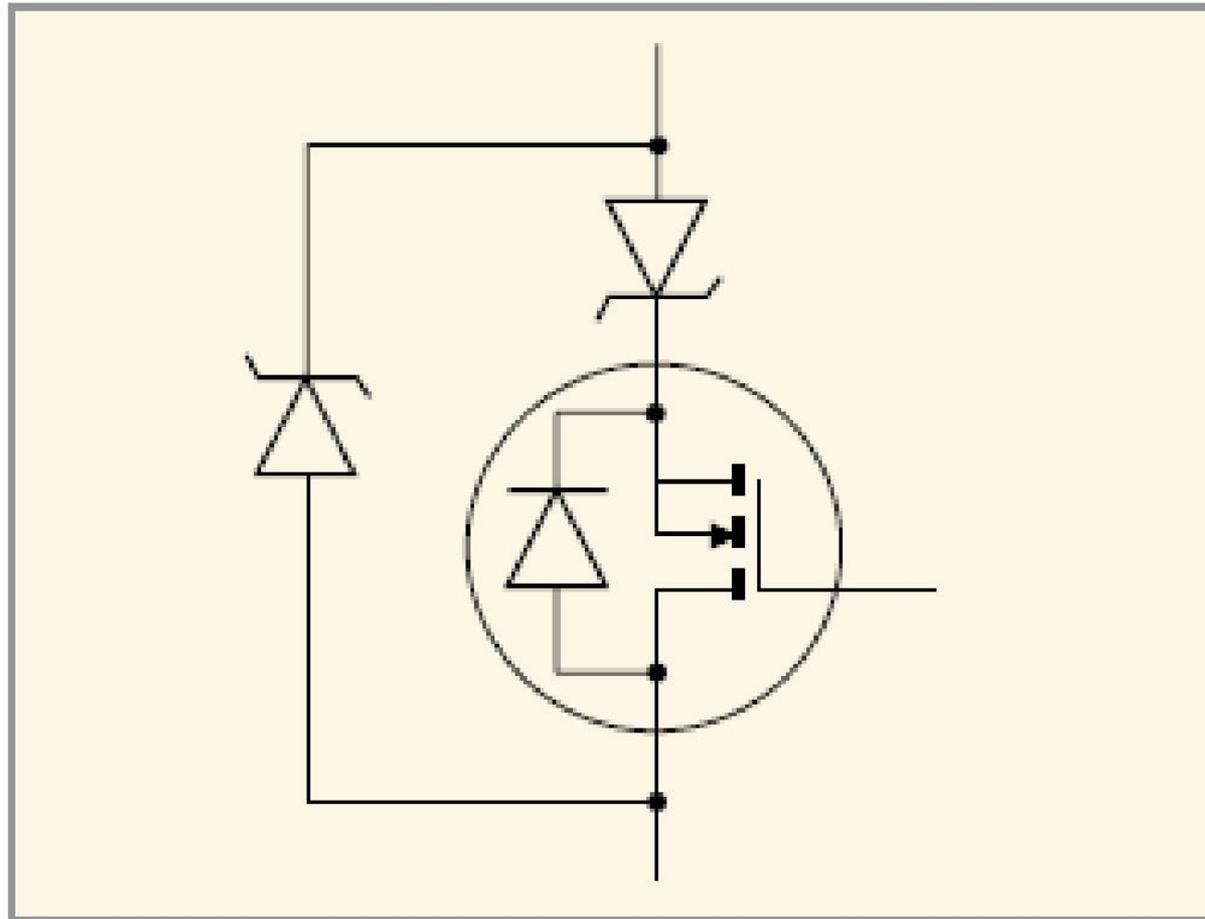


Рис. 1. Разграничение областей применения MOSFET и IGBT

# Транзисторы MOSFET и IGBT

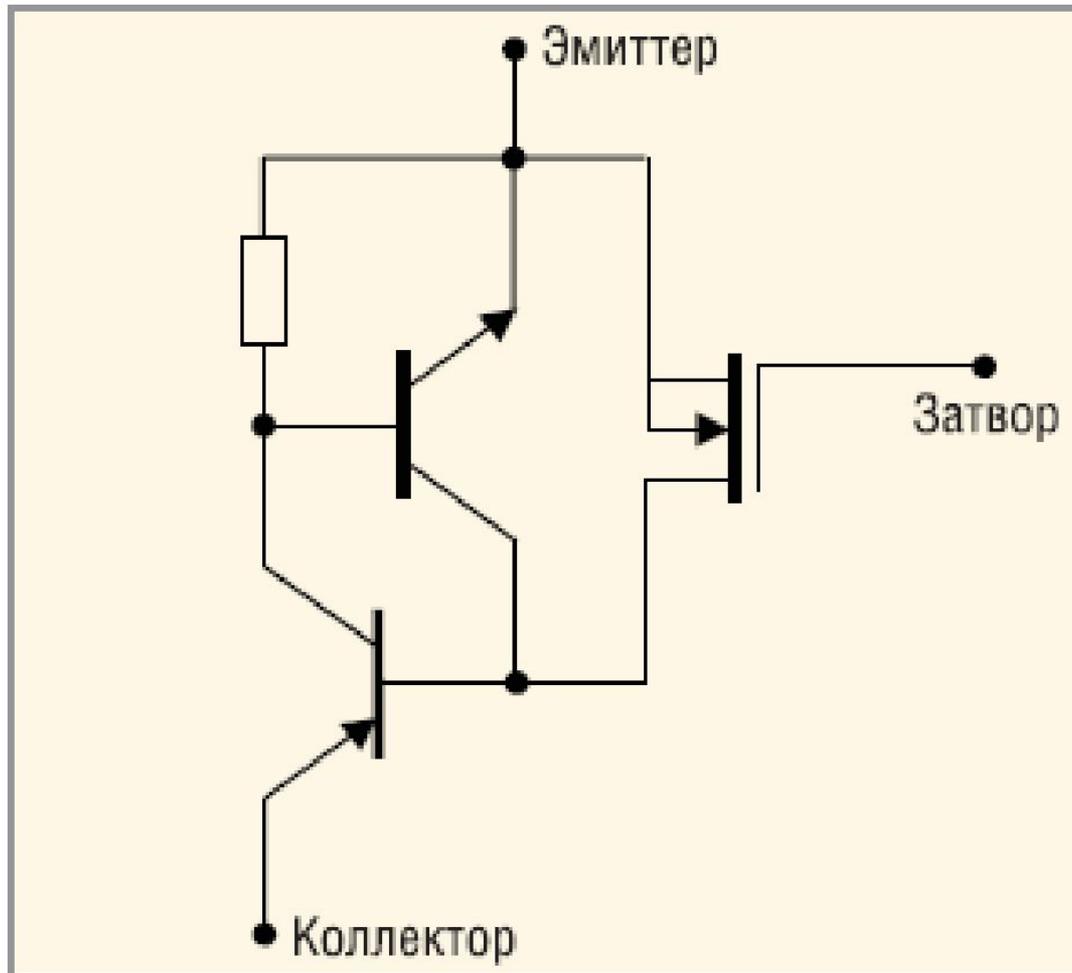
Выбор ключевых транзисторов для преобразователей с жёстким переключением



**Рис. 2. Встречно-параллельное подключение ULTRAFast- или SiC-диода**

# Транзисторы MOSFET и IGBT

Выбор ключевых транзисторов для преобразователей с жёстким переключением



**Рис. 3. IGBT можно представить как комбинацию биполярного p-n-p-транзистора и MOSFET**

# Транзисторы MOSFET и IGBT

## Выбор ключевых транзисторов для преобразователей с жёстким переключением

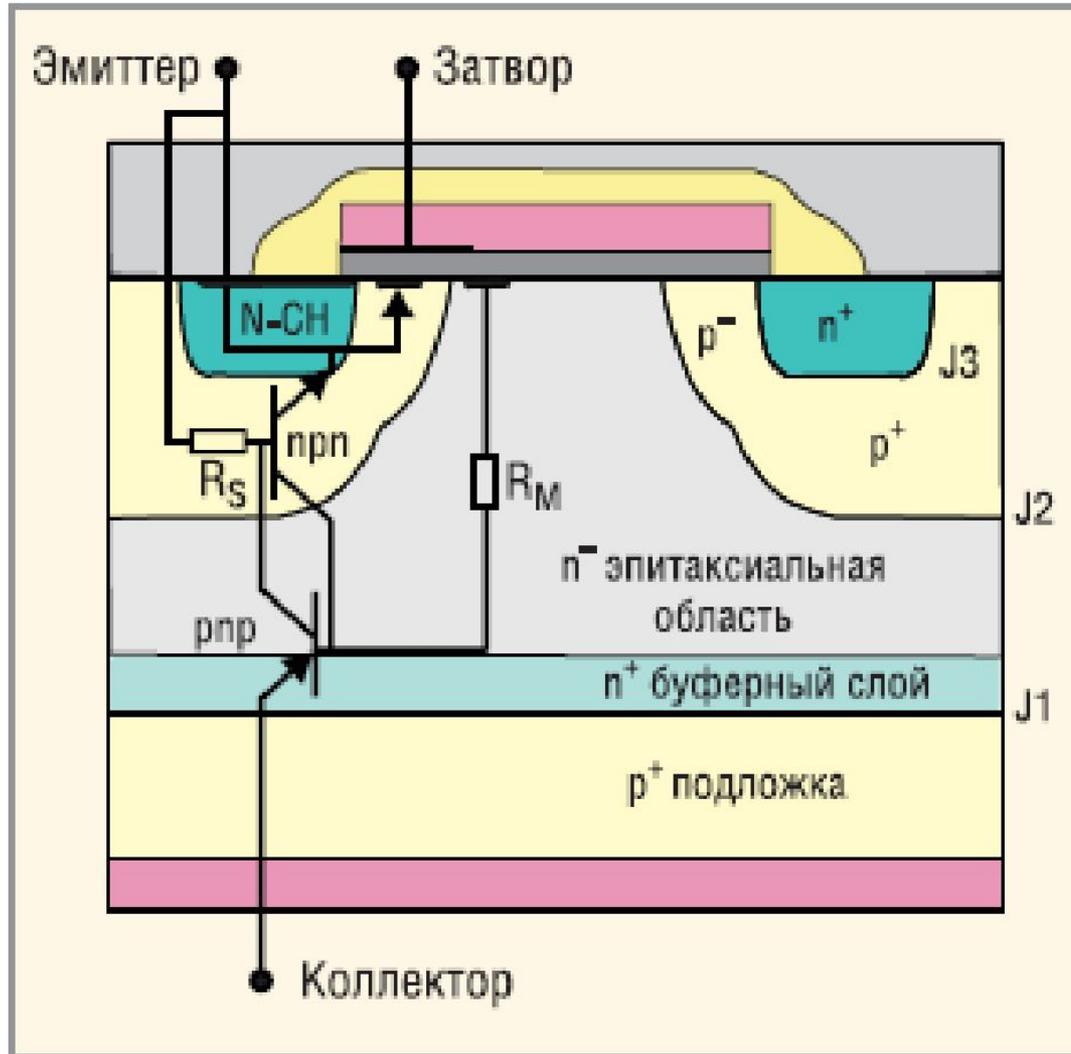


Рис. 4. Структура PT IGBT

# Основы микроэлектроники

## Классификация и УГО интегральных микросхем.

**ИМС** – микроэлектронное устройство, выполняющее функции целой электрической схемы и выполненное как единое целое.

Классифицируют ИМС по следующим признакам:

### 1. По технологии изготовления:

- **Плёночные** – это ИМС, у которых все элементы выполнены в виде тонких плёнок, нанесённых на диэлектрическое основание, т. е. подложку.
- **Гибридные (ГИС)** – это ИМС, у которых пассивные элементы выполнены по тонкоплёночной технологии, а активные элементы выполнены как отдельные, навесные, бескорпусные.
- **Полупроводниковые ИМС** – это микросхемы, у которых все элементы «выращены» в кристалле полупроводника.

**2. По способу преобразования и обработки информации** имеется два вида ИМС:

- **Аналоговые ИМС** – с непрерывной обработкой информации (смотрите процесс, запечатлённый, на рисунке 145);
- **Цифровые ИМС** – с дискретной обработкой информации (смотрите рисунок 146).

### 3. По степени интеграции:

$$K = \lg N$$

N – количество элементов в одном корпусе микросхемы.

# Основы микроэлектроники

## Система обозначений ИМС.

К 155 Л А 7

К 226 У Н 4

1 2 3 4

**1 – серия ИМС.** В одну серию объединяются ИМС, разработанные на основе единых схемотехнических решений и выполненные по одной технологии. Первая цифра серии - технологический признак ИМС:

1, 5, 7, 8 – полупроводниковые ИМС;

2, 4, 6, 8 – гибридные ИМС;

3 – все прочие.

**2 – группа ИМС по функциональному назначению:**

У – усилители

Г – генераторы

А – формирователи сигналов

Е – вторичные источники питания (ВИП)

Х – многофункциональные схемы

Л – логические схемы

Т – триггеры

И – схемы цифровых устройств

В – схемы вычислительных устройств и микро ЭВМ

Р – элементы памяти

# Основы микроэлектроники

## Система обозначений ИМС.

**3 – подгруппа, уточняющая функциональный признак.** В ней обозначения могут записываться так: УН, УВ, УН, УТ, УД. УН, например, обозначает «усилитель низкочастотный».

**4 – вид ИМС по своим электрическим параметрам** (для аналоговых ИМС) или же дальнейшее уточнение функций (для цифровых ИМС).

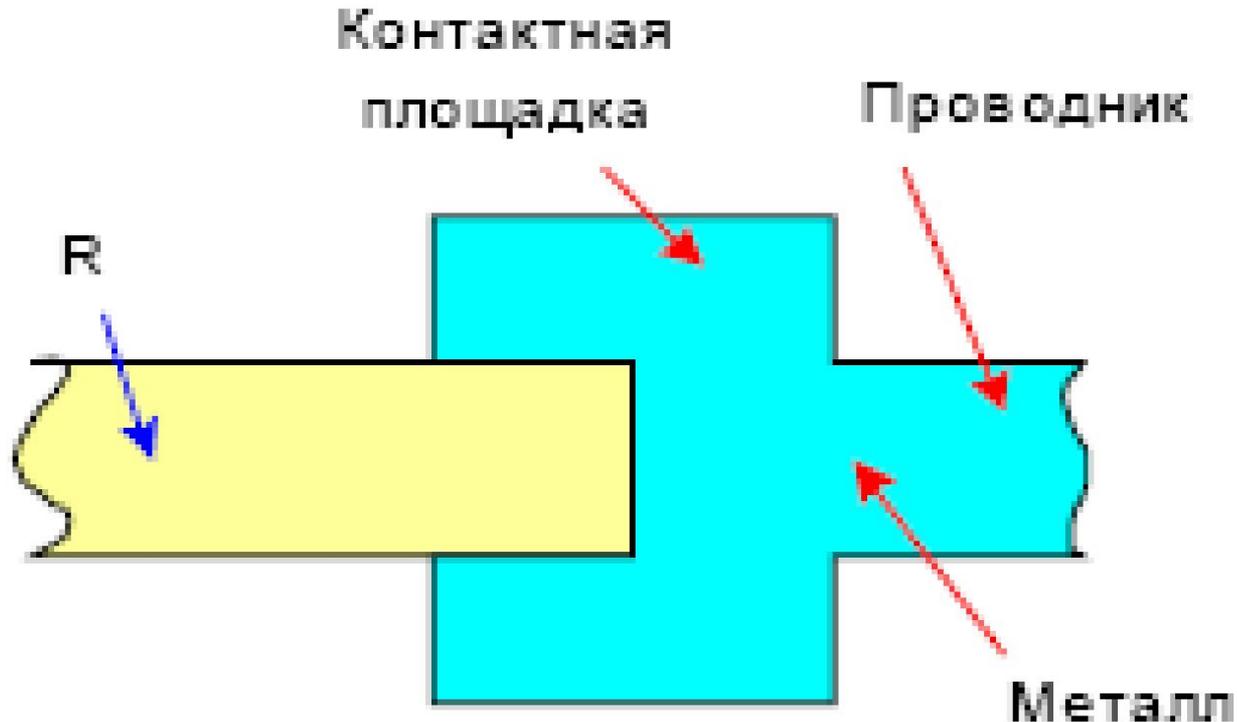
К155ЛА3 – 4 элемента 2И-НЕ. КР, КМ – разновидность корпуса, из чего сделан.

# Основы микроэлектроники

**Элементы и компоненты ГИС.** Одним из основных элементов ГИС является подложка из стеклокерамического материала. Форма всегда прямоугольная. К подложке предъявляются высокие требования по чистоте обработки поверхности, по химической стойкости и электрической прочности.

## **Контактные площадки и соединительные проводники.**

Контактные площадки предназначены для обеспечения электрического контакта между плёночными элементами и соединительными проводниками, а также между плёночными и навесными элементами.



# Основы микроэлектроники

Контактные площадки чаще всего изготавливаются из алюминия, потом медь, реже серебро, золото. Для улучшения адгезии (прилипания) между проводником (контактной площадкой) и подложкой их напыляют на подслое из никеля. Плёночные резисторы имеют прямоугольную форму

