An aerial photograph of a large dam and reservoir, likely the Chernomushki Dam. The dam is a long, curved concrete structure spanning a valley. The reservoir is filled with water, reflecting the golden light of the setting or rising sun. The surrounding landscape is hilly and forested. The sky is a mix of orange and blue.

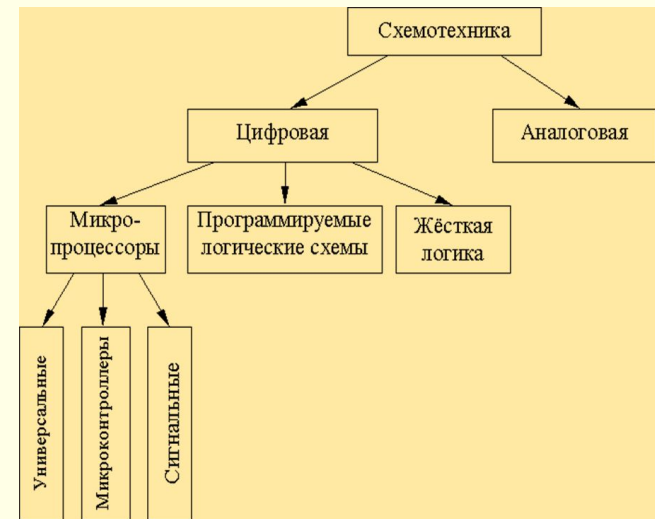
**«Информационно-измерительная техника и  
электроника»  
Электронные компоненты.**

**СШФ СФУ  
П.Черёмушки  
2022год**

# Электронные компоненты РЭА

## Основные определения :

Прежде, чем рассматривать **микроконтроллер**, рассмотрим **электронную систему управления** вообще. **Электронная система** – это любой электронный узел, блок или прибор, производящий обработку входных сигналов и выдачу выходных



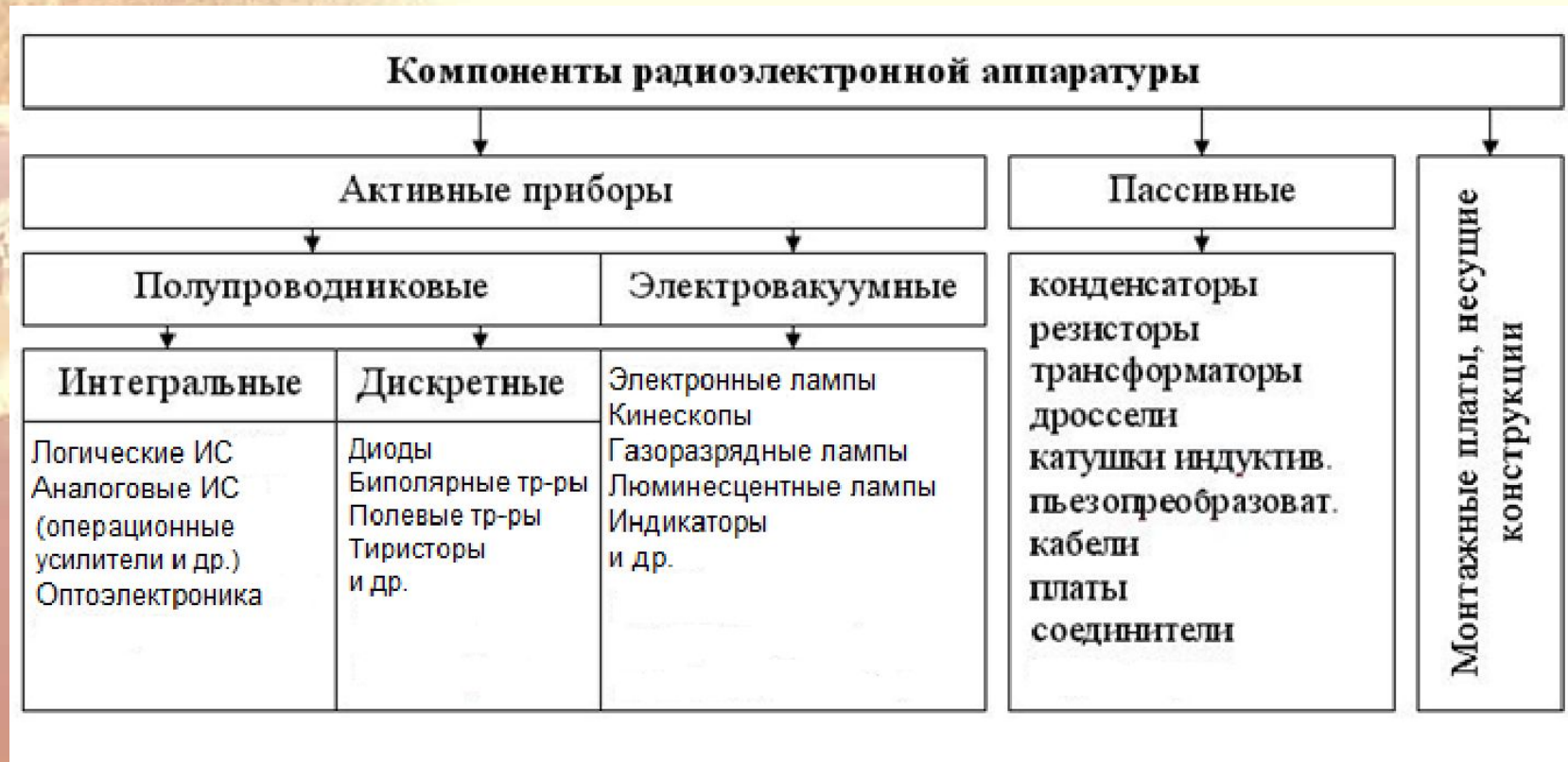
Любая система на "жесткой логике" обязательно представляет собой специализированную систему, настроенную исключительно **на одну задачу** или (реже) на несколько близких, заранее известных задач. Это имеет свои бесспорные преимущества: отсутствие избыточности и высокое быстродействие. Но в то же время большим недостатком цифровой системы на "жесткой логике" является то, что **для каждой новой задачи ее надо проектировать и изготавливать заново**. Это процесс длительный, дорогостоящий, требующий высокой квалификации исполнителей.

**Микроконтроллеры** — интегральные схемы, которые включают в себя все устройства, необходимые для реализации **цифровой системы управления** : процессор, ПЗУ, ОЗУ, АЦП, ЦАП, ГТИ, таймеры и другие устройства для связи с внешней средой.

# Электронные компоненты РЭА

## Основные определения :

**Радиоэлектроника** — область науки и техники, охватывающая теорию, методы создания и использования устройств **для передачи, приёма и преобразования информации** с помощью **электромагнитной энергии**.



# Электронные компоненты. Пассивные компоненты РЭА

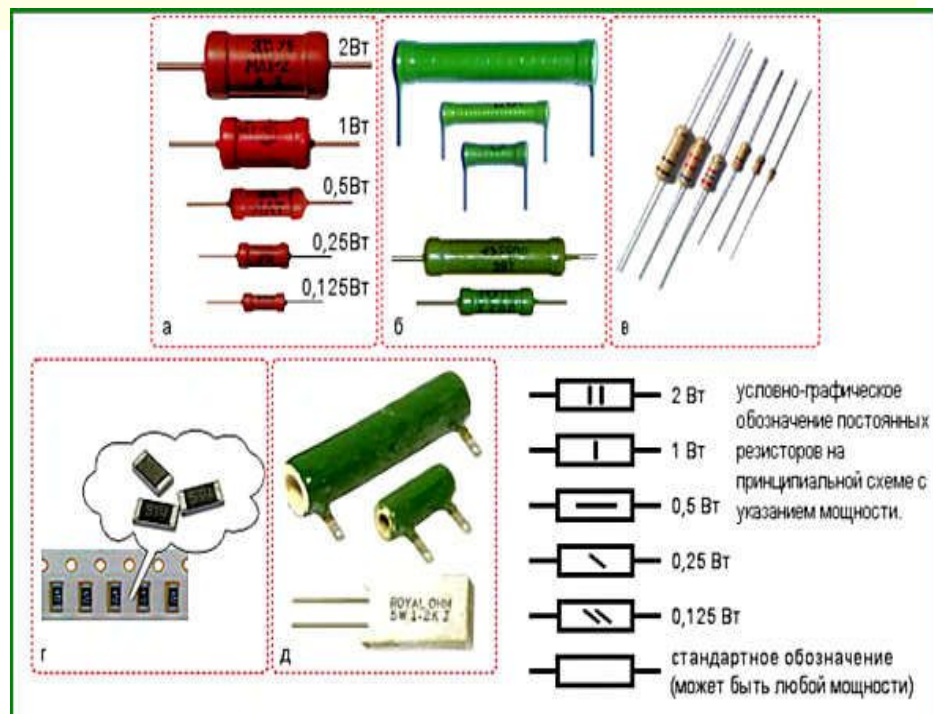
## Резисторы

**Резисторы** – наиболее распространенные компоненты электронных схем (20-50%)

Основная функция резистора сопротивление электрическому току в соответствии с законом Ома:

$$I = U/R$$

## Классификация резисторов



# Электронные компоненты. Пассивные компоненты РЭА

## Резисторы

Помимо резисторов с **постоянным значением сопротивления** существуют **переменные** (регулируемые и подстроечные) и **резисторы с нелинейной вольтамперной характеристикой (ВАХ)**: терморезисторы, варисторы, тензорезисторы, фоторезисторы и др.

### Классификация резисторов



# Электронные компоненты. Пассивные компоненты РЭА

## Основные параметры резисторов

1. Номинальное сопротивление.
2. Допускаемые отклонения сопротивлений от номинальных величин.
3. Номинальные мощности рассеивания (максимальные мощности, рассеиваемые резистором без изменения его номинального значения).
4. Предельное рабочее напряжение (напряжение, которое может быть приложено к резистору без нарушения его работоспособности).
5. Температурный коэффициент сопротивления ТКС (характеризует относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры на 1гр. С).

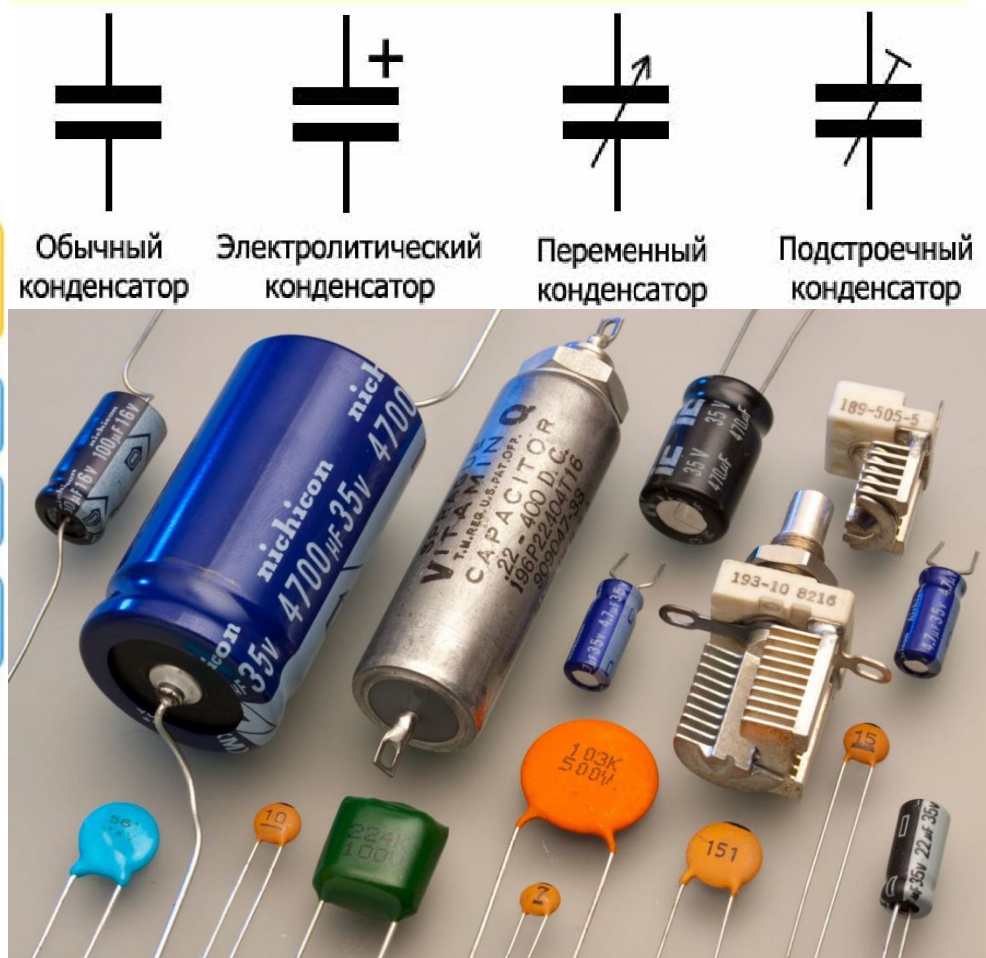
$$\text{ТКС} = \frac{\Delta R}{R_0 \cdot \Delta T}$$

6. Уровень собственных шумов D (мкВ/√Гц).
7. Влагоустойчивость и термостойкость.

# Электронные компоненты. Пассивные компоненты РЭА

## Конденсаторы

**Конденсаторы (электрические ёмкости)** – это устройства способные накапливать и длительное время удерживать электрический заряд. Конструктивно они представляют собой два проводника в виде пластин, разделённые диэлектриком.



# Электронные компоненты. Пассивные компоненты РЭА

## Основные параметры конденсаторов

1. Номинальное значение ёмкости конденсатора.
2. Допустимое отклонение действительной ёмкости от номинального значения (в %).
3. Тангенс угла потерь или добротность  $Q$  ( $Q = 1 / \operatorname{tg} \delta$ ). Тангенс угла потерь характеризует электромагнитные потери в конденсаторе и определяется как отношение его активной мощности  $P$  к реактивной мощности  $Q$ :  $\operatorname{tg} \delta = P / Q$ .
4. Ток утечки (в основном для электролитических конденсаторов).
5. Сопротивление изоляции или постоянная времени саморазряда.  
Сопротивление изоляции определяется формулой  $R_{\text{из}} = U_0 / I_{\text{утечки}}$ , где  $U_0$  – постоянное напряжение, приложенное к конденсатору, вызвавшее ток утечки.
6. Температурный коэффициент ёмкости.
7. Номинальное напряжение.

$$TKE = \frac{\Delta C}{C_0 \Delta T}$$



# Электронные компоненты. Пассивные компоненты РЭА

## Катушки индуктивности

Катушки индуктивности **не являются комплектующими изделиями**, как, например, резисторы и конденсаторы. Они **изготавливаются** на сборочных заводах по изготовлению электронной аппаратуры и имеют те параметры, которые необходимы **для конкретных изделий**.

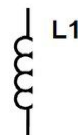
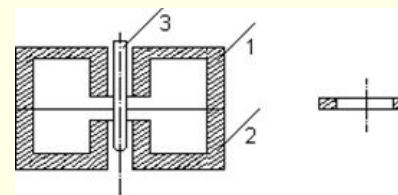
Катушки индуктивности, как правило, имеют **цилиндрическую или спиральную форму витков** и выполняются однослойными или многослойными.

Сопротивление катушки индуктивности переменному току определяется по формуле

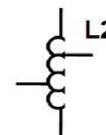
$$X_L = \omega L,$$

где  $\omega$  – частота переменного тока;  $L$  – величина индуктивности катушки.

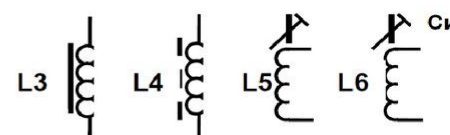
**Для увеличения значений индуктивности** и повышения их добротности широко применяют **магнитопроводы** с постоянными или регулируемыми параметрами. Наиболее распространённые формы магнитопроводов – бронева и тороидальная



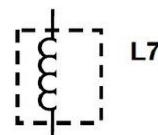
Катушка индуктивности



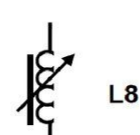
Катушка индуктивности с отводами



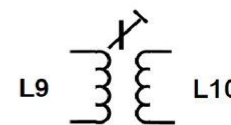
Катушки индуктивности с магнитопроводом (L6 – с медным)



Катушка индуктивности экранированная



Ферровариометр

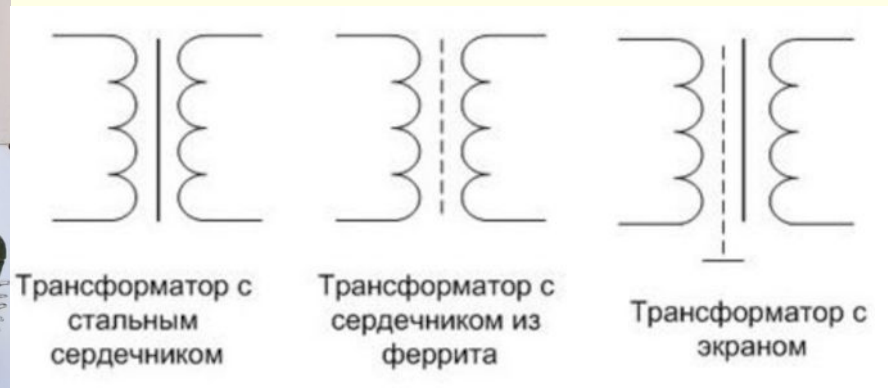


Индуктивно связанные катушки (ВЧ трансформатор)

# Электронные компоненты. Пассивные компоненты РЭА

## Трансформаторы электронной аппаратуры.

Трансформаторами называются статические устройства, обеспечивающие **преобразование параметров переменных напряжений и токов**. Трансформаторы позволяют: изменять уровни и фазу напряжений (токов); согласовывать сопротивления источников сигнала и нагрузки; разделять цепи по постоянному току; изменять форму переменного напряжения (тока). Принцип работы электромагнитного трансформатора основан на преобразовании энергии электрического поля в энергию магнитного поля и обратном преобразовании последней. Тем самым осуществляется передача электроэнергии из одной цепи в другую. Такой трансформатор состоит из ферромагнитного магнитопровода и размещённых на нём обмоток. Обмотка, подключаемая к первичной питающей сети, называется первичной, а обмотки, к которым подключаются цепи нагрузки, – вторичными.



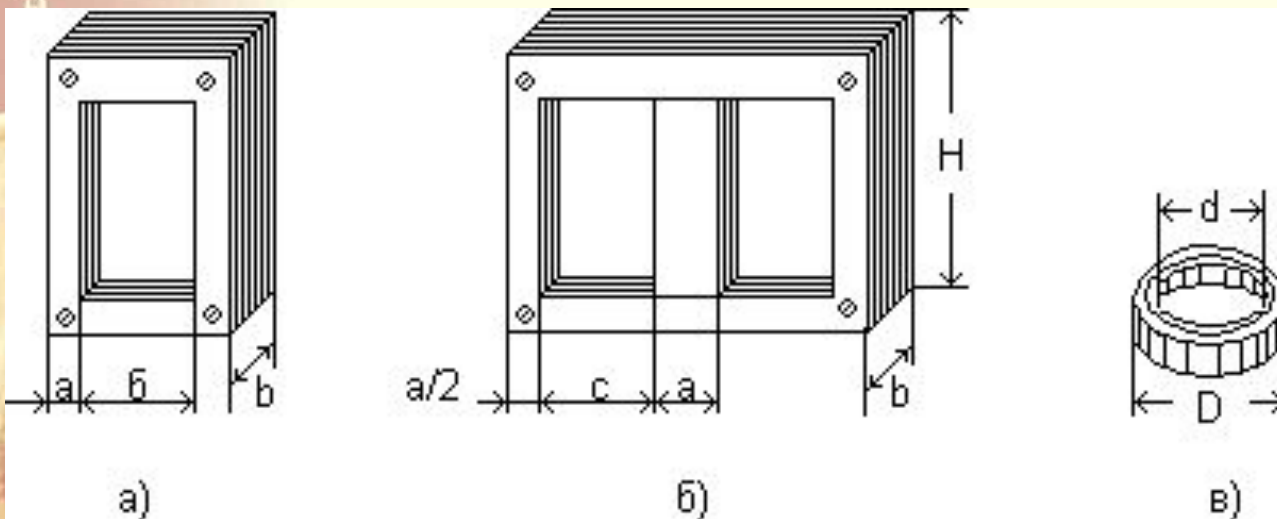
# Электронные компоненты. Пассивные компоненты РЭА

## Трансформаторы электронной аппаратуры.

Различают трансформаторы питания электронной аппаратуры и сигнальные трансформаторы.

**Трансформаторы питания** электронной аппаратуры – это маломощные трансформаторы, предназначенные для преобразования напряжения электрической сети в напряжения, необходимые для питания электронных устройств.

**Сигнальные трансформаторы** – это трансформаторы малой мощности, предназначенные для точной передачи, преобразования, а иногда и запоминания электрических сигналов. Их подразделяют на **входные** (обеспечивающие согласование входных сопротивлений электронных узлов и источников сигнала), **выходные** (обеспечивающие согласование выходных сопротивлений электронных устройств с сопротивлениями нагрузки), **проходные** (обеспечивающие согласование нагрузок между отдельными узлами электронной аппаратуры) и **импульсные** (обеспечивающие преобразование и формирование импульсных сигналов). Магнитопроводы трансформаторов электронной аппаратуры имеют различные конфигурации. Широко используются **стержневые (а)**, **броневые (б)** и **торидальные (в)** конструкции.



# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### *Электрофизические свойства полупроводников*

Все вещества состоят из атомов, в состав которых входят положительно заряженные ядра и вращающиеся вокруг них отрицательно заряженные электроны. В ядро входят электрически нейтральные нейтроны и положительно заряженные протоны. Количество протонов в ядре определяет его заряд. Отрицательный заряд электрона по величине равен положительному заряду протона. В нормальном состоянии число электронов, образующих электронную оболочку атома, равно числу протонов в ядре, и атом электрически нейтрален. Электроны вращаются вокруг ядра по орбитам, сгруппированным в слои. Каждому слою соответствует строго определённая энергия электрона  $W$  (так называемый разрешённый энергетический уровень). Количество электронов в слоях строго определено: в первом, ближайшем к ядру слое может находиться не более двух электронов, во втором – не более восьми и т. д.

***Электроны целиком заполненных слоёв устойчивы к внешним воздействиям.***

«Не уместившиеся» во внутренних слоях электроны образуют незаполненный внешний слой, который легко отдаёт и принимает электроны. Эти электроны определяют валентность элемента при химических реакциях. Чем дальше от ядра расположена орбита электрона, тем большей энергией он обладает. **Под воздействием энергии теплоты, света, радиации или каких-либо других внешних факторов электрон из валентной зоны может перейти на новую, более удалённую от ядра орбиту.** Такой электрон называется возбуждённым, а при дальнейшем увеличении энергии, называемой ***работой выхода***, электрон покидает поверхность вещества.

# Электронные компоненты.

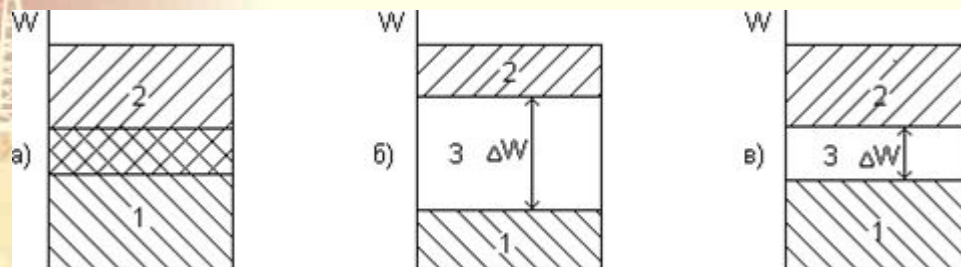
## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Электрофизические свойства полупроводников

В кристалле происходит взаимодействие между соседними атомами, заключающееся в том, что на электроны атома воздействуют ядра соседних атомов. В результате разрешённые энергетические уровни электронов смещаются и расщепляются на несколько – по числу соседних атомов в кристаллической решётке. Эти уровни создают энергетические зоны. **Совокупность энергетических уровней, соответствующих внешнему слою электронов, образует валентную зону.**

**Разрешённые уровни энергии, которые остаются незанятыми**, составляют **зону проводимости**, так как её уровни могут занимать возбуждённые электроны, обеспечивающие электропроводность вещества.

Между валентной зоной и зоной проводимости может располагаться **запрещённая зона**.



Энергетические зоны проводника (а), диэлектрика (б) и полупроводника (в).

1 – валентная зона; 2 – зона проводимости; 3 – запрещенная зона

# Электронные компоненты.

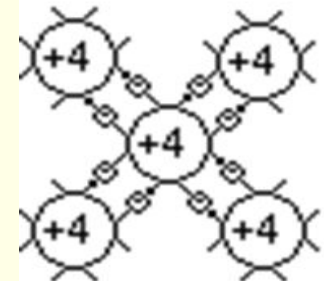
## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Электрофизические свойства полупроводников

В кристаллической решётке четырёхвалентного полупроводника (например, кремния, германия) каждый атом связан с четырьмя соседними атомами с помощью двух валентных электронов – по одному от каждого атома. В результате вокруг каждого ядра образуется восьмиэлектронная оболочка, устойчивая к внешним воздействиям. Так как все валентные электроны оказываются **прочно связанными** между собой, **свободных электронов, способных обеспечить электронную проводимость, нет**. Под воздействием внешних факторов (например, при повышении температуры) отдельные электроны атомов кристаллической решётки приобретают энергию, достаточную для освобождения от ковалентных связей, и **становятся свободными**.

При освобождении электрона от ковалентной связи в кристаллической решётке возникает **свободное место**, обладающее положительным зарядом. Такое место называется **дыркой**, а процесс образования пары «свободный электрон – дырка» – **генерацией**. В дырку может «перескочить» валентный электрон из ковалентной связи соседнего атома. В результате ковалентная связь в одном атоме восстановится (этот процесс называется **рекомбинацией**).

Проводимость полупроводника обусловлена перемещением как отрицательно заряженных электронов, так и положительно заряженных дырок. Соответственно различают два типа проводимости – **электронную, или проводимость  $n$  – типа**, и **дырочную, или проводимость  $p$  – типа**.



# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Электрофизические свойства полупроводников

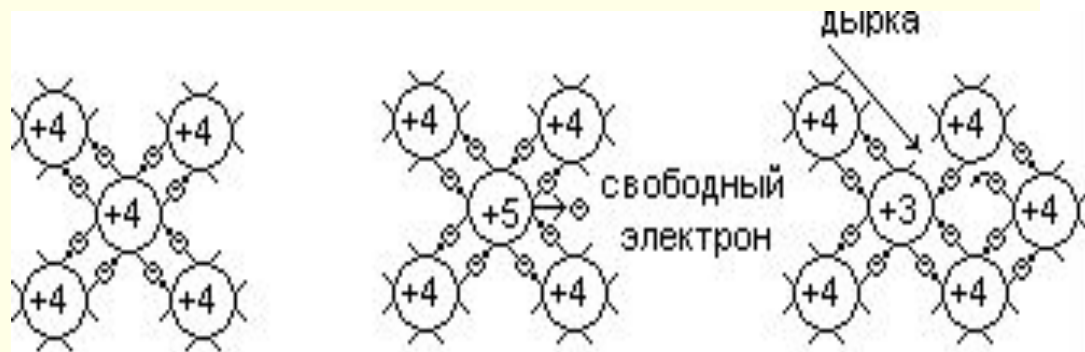
Для создания полупроводниковых элементов широко применяют **примесные полупроводники**. С четырёхвалентным германием и кремнием используют пятивалентные (мышьяк, сурьму, фосфор) и трёхвалентные примеси (бор, алюминий, индий, галлий).

В случае **пятивалентной примеси** четыре валентных электрона примесного атома совместно с четырьмя электронами соседних атомов основного вещества образуют ковалентные связи, а пятый валентный электрон оказывается «лишним». В результате даже при комнатной температуре **«лишние» электроны легко** освобождаются от своих атомов, переходя **в зону проводимости**. В таких полупроводниках электропроводность обеспечивается главным образом **избытком свободных электронов**. Их называют полупроводниками **n – типа**, а примеси **донорными**.

При введении **трёхвалентной примеси** в одной из ковалентных связей примесного и атома основного полупроводника отсутствует электрон, т. е. **образуется дырка**. Дырки в таких полупроводниках становятся основными носителями зарядов, создавая эффект перемещения

положительных зарядов.

Трёхвалентные примеси называют **акцепторными**, а полупроводники с такой примесью – полупроводниками **p-типа**.

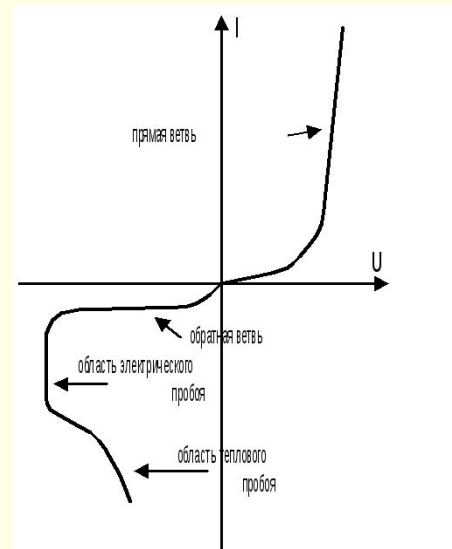
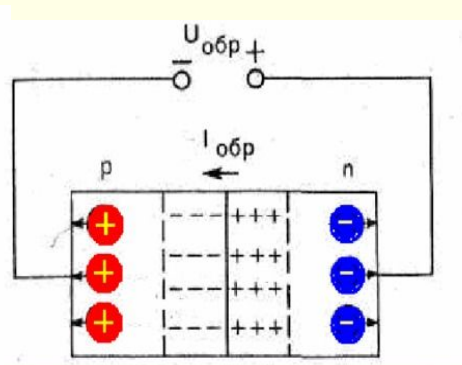
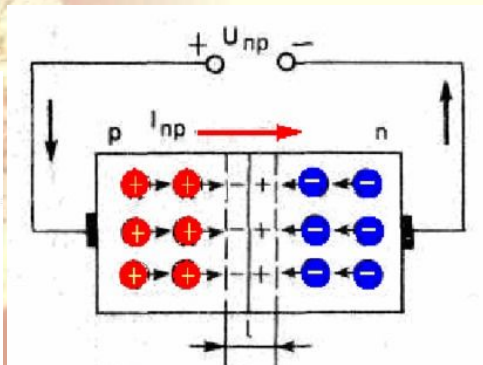
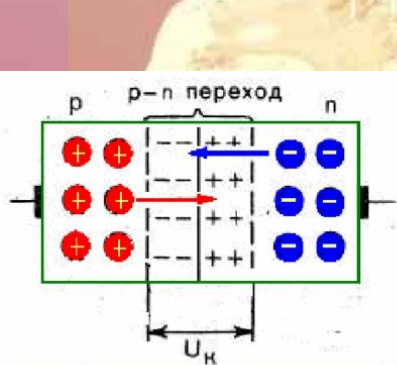


# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Электрофизические свойства полупроводников

**Электронно-дырочным переходом** (или кратко р-п-переходом) называют тонкий слой между двумя областями полупроводникового кристалла, одна из которых имеет электронную, а другая – дырочную проводимость. Сразу после создания р-п-перехода при отсутствии внешнего электрического поля электроны из п-области стремятся проникнуть в р-область, где концентрация электронов значительно ниже. Аналогично, дырки из р-области перемещаются в п-область. В результате встречного движения противоположных зарядов возникает так называемый диффузионный ток р-п-перехода. Электроны, перешедшие в р-область, рекомбинируют с дырками, в результате чего в р-области вблизи границы раздела двух типов полупроводников появятся отрицательно заряженные неподвижные ионы акцепторной примеси. В свою очередь, уход электронов из п-области приводит к появлению в приконтактной части п-области некомпенсированных положительно заряженных неподвижных ионов донорной примеси.







# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

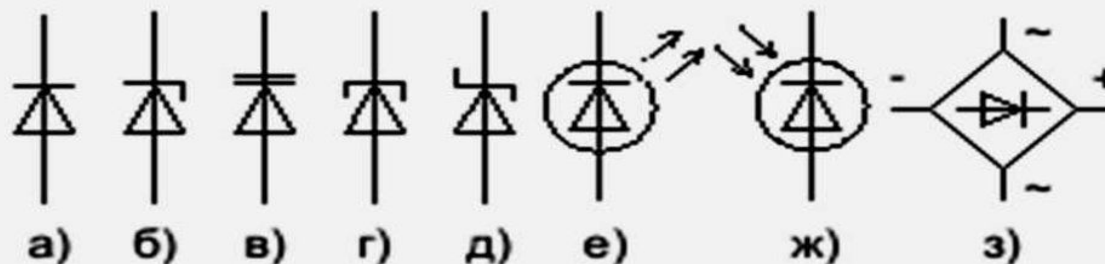
### Выпрямительные диоды

Эти диоды предназначены для преобразования (**выпрямления**) **переменного тока** в постоянный. Выпрямительные диоды характеризуются **малым сопротивлением в прямом направлении и позволяют пропускать большие токи** (до десятков и сотен ампер) при допустимых обратных напряжениях до 1000В. Для этого **площадь р-п-перехода выполняется относительно большой** и, следовательно, ёмкость р-п-перехода достаточно велика (десятки пикофарад). Поэтому **переходные процессы в этих диодах** протекают относительно долго. (Под длительностью переходного процесса понимают время перехода из открытого состояния диода в запертое и наоборот при перемене полярности приложенного напряжения).

### Импульсные диоды

Импульсные диоды **имеют малую длительность переходных процессов** и предназначены для работы в импульсных и цифровых устройствах. От выпрямительных диодов они отличаются малыми ёмкостями р-п-переходов (доли пФ) и рядом параметров, определяющих переходные характеристики диода. Уменьшение ёмкостей достигается за счёт **уменьшения площади р-п-перехода**, поэтому допустимые мощности рассеяния у них невелики (30 - 40мВт).

### Обозначение диодов в схемах



а) Так обозначают выпрямительные, высокочастотные, СВЧ, импульсные и диоды Гана; б) стабилитроны; в) варикапы; г) туннельные диоды; д) диоды Шоттки; е) светодиоды; ж) фотодиоды; з) выпрямительные блоки

# Электронные компоненты.

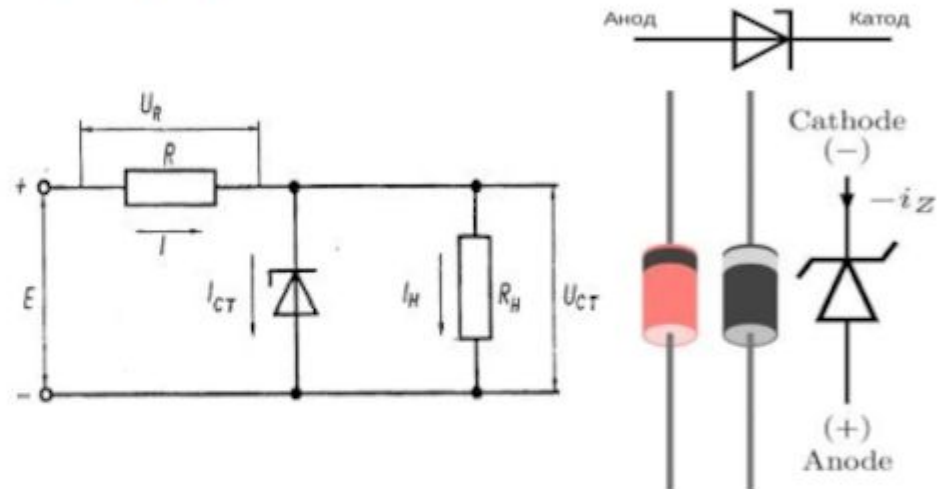
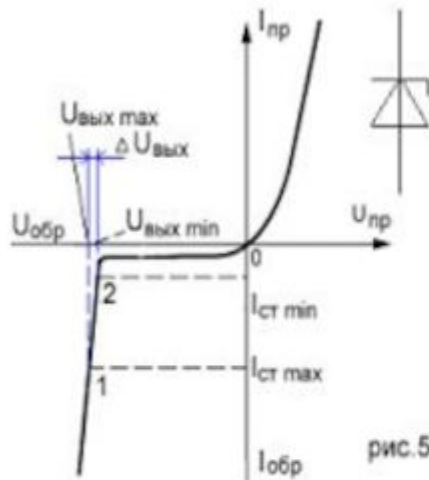
## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Полупроводниковые диоды, их виды и основные свойства Стабилитроны

Стабилитроны – это диоды, использующие **участок ВАХ p-n-перехода, соответствующий обратному электрическому пробую.**

**Стабилитрону свойственна стабильность**

**падения напряжения** на нём при изменениях в несколько раз тока, протекающего через него. Благодаря этому свойству, стабилитроны широко применяются в качестве опорного напряжения, которое остаётся неизменным при изменениях параметров схемы. Применяются они и как стабилизаторы напряжения при небольших мощностях нагрузки.



Вольтамперная характеристика стабилитрона при обратном включении      Схема включения стабилитрона

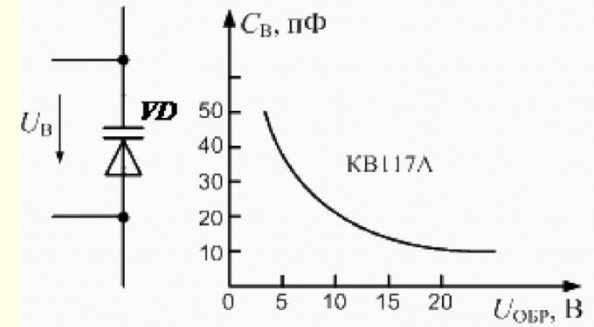
# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Полупроводниковые диоды, их виды и основные свойства

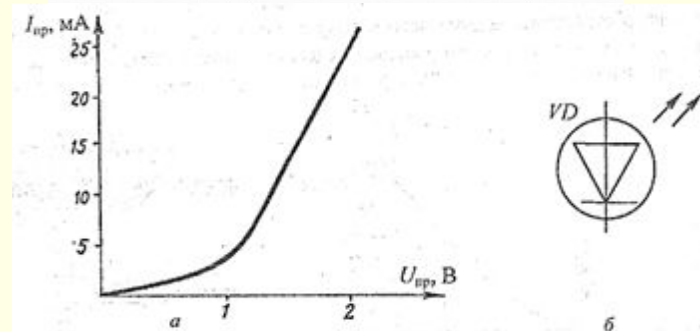
#### Варикапы

Варикап – это п/п диод, предназначенный для использования в качестве управляемой электрическим напряжением ёмкости. В варикапе ширина электронно-дырочного перехода и его ёмкость зависят от величины приложенного к нему напряжения. Варикап работает при обратном напряжении, приложенном к р-п- переходу. Его ёмкость меняется в широких пределах, а её значение определяют от величины обратного напряжения.



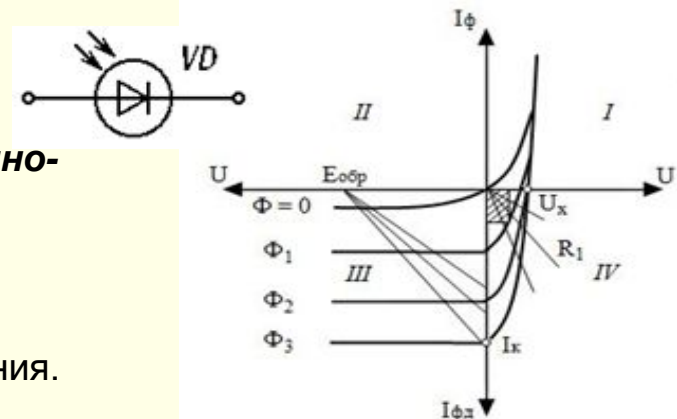
#### Светодиоды

Светодиодами называются маломощные полупроводниковые источники света, основой которых является излучающий рп-переход. Свечение рп-перехода **вызвано рекомбинацией носителей заряда**. При подаче прямого напряжения электроны из n-области проникают в р-область, где рекомбинируют с дырками и излучают освободившуюся энергию в виде света.



#### Фотодиоды

Фотодиод — это полупроводниковые приборы, принцип действия которых основан на генерации **под действием света электронно-дырочных пар в рп-переходе**, в результате чего увеличивается концентрация основных и неосновных носителей заряда в его объеме. Обратный ток фотодиода определяется концентрацией неосновных носителей и, следовательно, интенсивностью облучения.



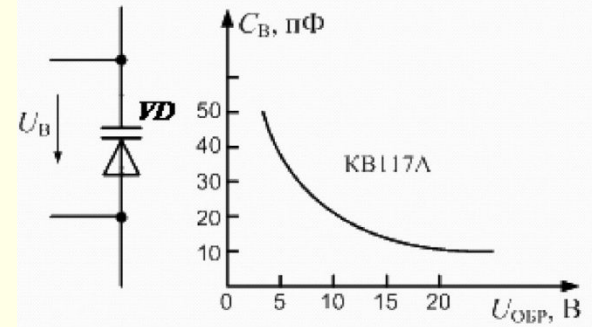
# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Полупроводниковые диоды, их виды и основные свойства

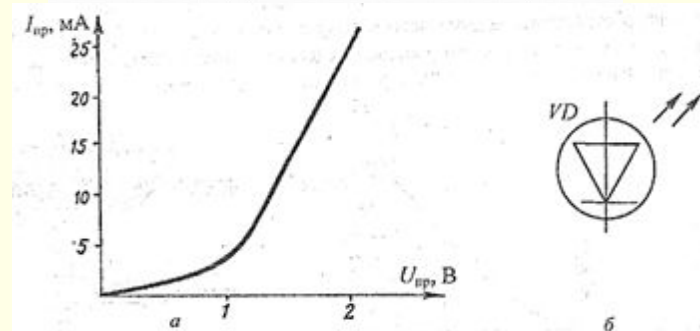
#### Варикапы

Варикап – это п/п диод, предназначенный для использования в качестве управляемой электрическим напряжением ёмкости. В варикапе ширина электронно-дырочного перехода и его ёмкость зависят от величины приложенного к нему напряжения. Варикап работает при обратном напряжении, приложенном к р-п- переходу. Его ёмкость меняется в широких пределах, а её значение определяют от величины обратного напряжения.



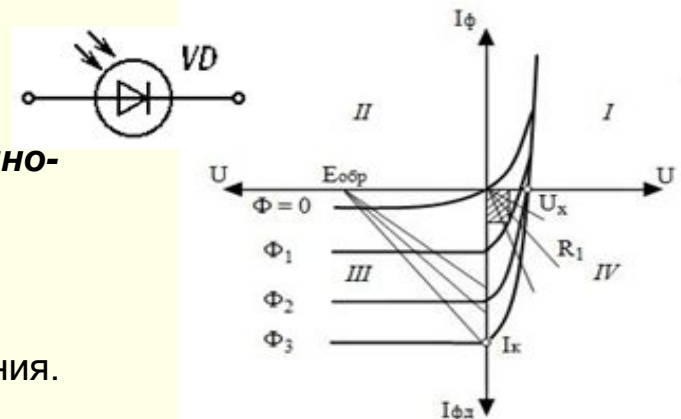
#### Светодиоды

Светодиодами называются маломощные полупроводниковые источники света, основой которых является излучающий рп-переход. Свечение рп-перехода **вызвано рекомбинацией носителей заряда**. При подаче прямого напряжения электроны из n-области проникают в р-область, где рекомбинируют с дырками и излучают освободившуюся энергию в виде света.



#### Фотодиоды

Фотодиод — это полупроводниковые приборы, принцип действия которых основан на генерации **под действием света электронно-дырочных пар в рп-переходе**, в результате чего увеличивается концентрация основных и неосновных носителей заряда в его объеме. Обратный ток фотодиода определяется концентрацией неосновных носителей и, следовательно, интенсивностью облучения.



# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Транзисторы

#### Биполярные транзисторы, их виды и основные свойства

**Транзисторы** – полупроводниковые приборы, предназначенные для усиления, генерирования и преобразования электрических сигналов. Позволяют регулировать ток в электрической цепи.

#### Биполярные транзисторы

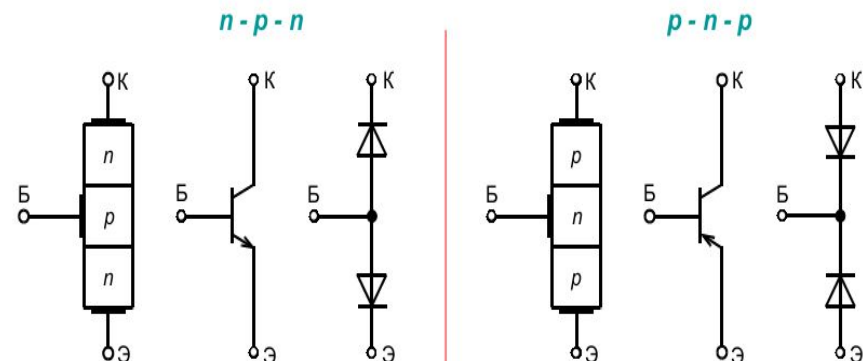
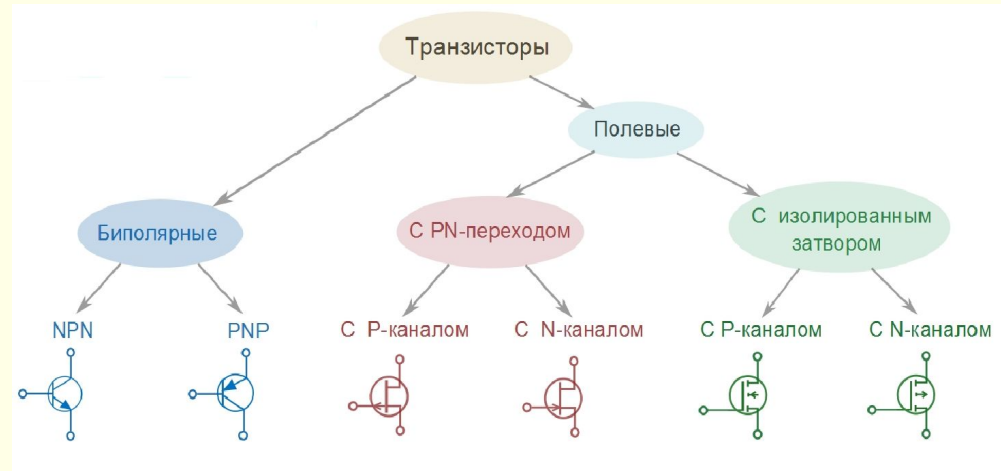
– полупроводниковые приборы

**с тремя взаимодействующими**

**областями**. На границах этих областей

возникают **электронно-дырочные переходы**.

От каждой области полупроводника сделаны токоотводы (омические контакты). Среднюю область транзистора, расположенную между электронно-дырочными переходами, называют базой (Б). Одну из областей делают так, чтобы из неё наиболее эффективно проходила инжекция носителей заряда в базу, а другую – так, чтобы р-п-переход между базой и этой областью наилучшим образом собирал инжектированные в базу носители заряда, то есть осуществлял экстракцию носителей заряда из базы.



Б – база  
К – коллектор  
Э – эмиттер

ЭП – эмиттерный переход (между Б и Э)  
КП – коллекторный переход (между К и Б)

На пластинке полупроводника создаются три области различной электропроводности. В зависимости от порядка расположения областей различают *n - p - n* и *p - n - p*-транзисторы.

# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Транзисторы

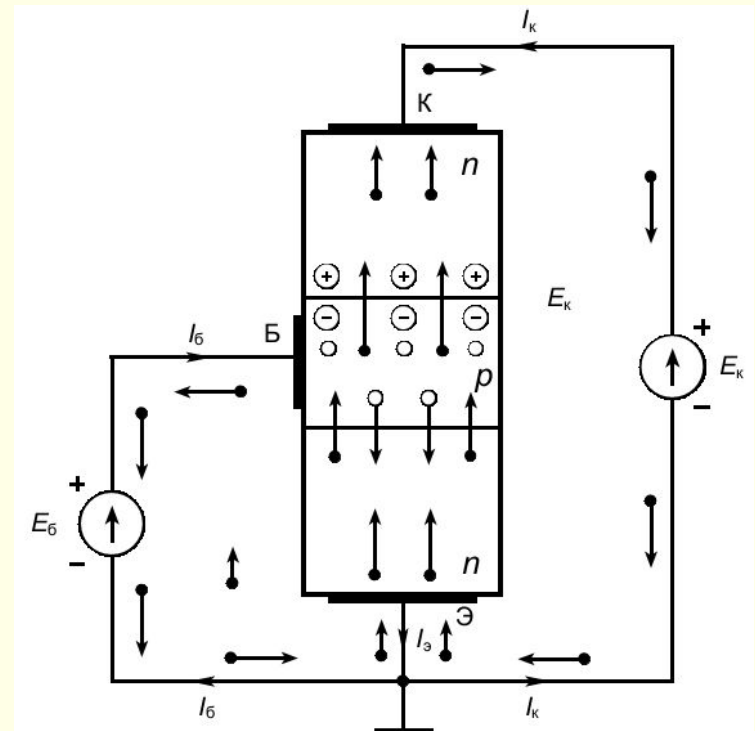
#### Биполярные транзисторы .Физика процессов

Напряжения на переходах задаются внешними источниками постоянного напряжения  $E_B$  и  $E_K$ . Их полярность и величина напряжения обеспечивают смещение ЭП в прямом направлении, а КП – в обратном, т.е. активный режим работы.

Так как ЭП смещен в прямом направлении, то потенциальный барьер (как в обычном р-п-переходе) в этом переходе понижен, поэтому электроны легко, его преодолевая, инжектируются из эмиттера в базу. Небольшая часть электронов ( $\approx 5\%$ ) в базе рекомбинируют с дырками и в результате возникает сравнительно небольшой базовый ток  $I_B$  (дырок в базе мало, т.к. толщина база мала), а большая оставшаяся часть электронов ( $\approx 95\%$ ) достигает коллекторного перехода. Поскольку КП смещен в обратном направлении, то на этом переходе образуются объемные заряды (подобно обычному р-п-переходу при обратном напряжении). Между зарядами возникает электрическое поле, которое способствует продвижению (экстракции) через КП электронов из эмиттера. Эти электроны и создают коллекторный ток. Ток коллектора  $I_K$  получается меньше тока эмиттера  $I_Э$  на величину тока базы  $I_B$ . В соответствии с законом Кирхгофа между токами всегда справедливо соотношение:

$$I_Э = I_K + I_B,$$

т.к.  $I_B \ll I_Э$ , то  $I_Э \approx I_K$ .



# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

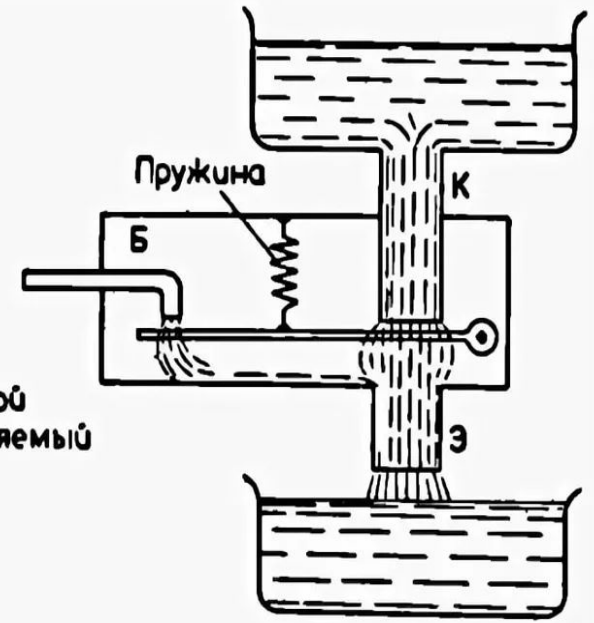
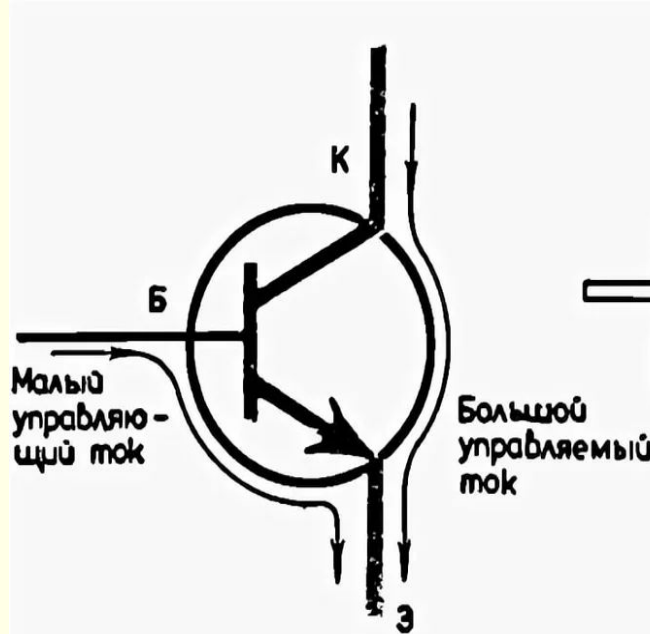
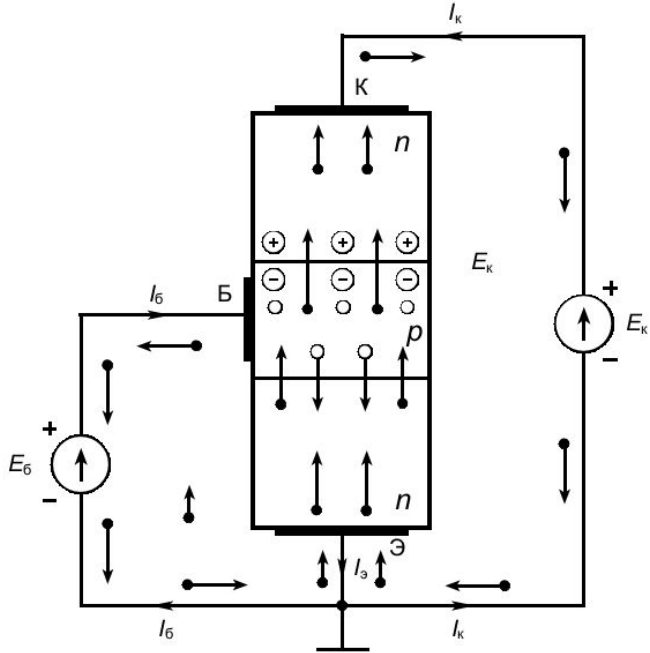
### Транзисторы

#### Биполярные транзисторы .Физика процессов

С помощью малых токов базы можно управлять большими токами коллектора (эмитера) от источника  $E_k$ . Процесс управления можно представить аналогией в гидравлике: небольшим потоком жидкости  $I_B$  можно управлять гораздо большим потоком вытекающим из коллектора  $K$ .

$$I_{\text{э}} = I_{\text{к}} + I_{\text{б}},$$

т.к.  $I_{\text{б}} \ll I_{\text{э}}$ , то  $I_{\text{э}} \approx I_{\text{к}}$ .





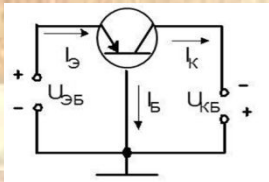
# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Транзисторы

#### Биполярные транзисторы . Режимы работы транзистора

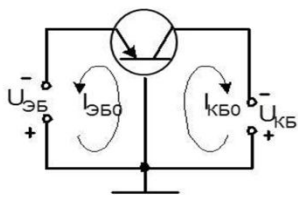
1. **Активный (усилительный)** используется в **усилителях и генераторах**:



КП смещен в обратном направлении;  
ЭП смещен в прямом направлении;

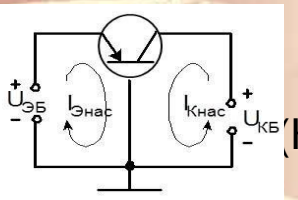
2. **Режим отсечки** (транзистор заперт) используется в **ключевых схемах** (ключ разомкнут);

КП, ЭП смещены в обратном направлении;



3. **Режим насыщения** (транзистор открыт) используется в **ключевых схемах** (ключ замкнут),

КП, ЭП смещены в прямом направлении;



4. **Инверсный режим** (К и Э меняют местами) **используется редко**, т.к. все параметры

КП смещен в прямом направлении;

ЭП смещен в обратном направлении.

# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

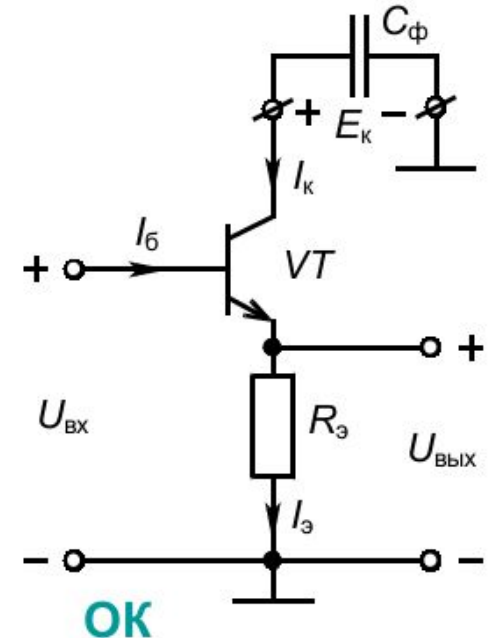
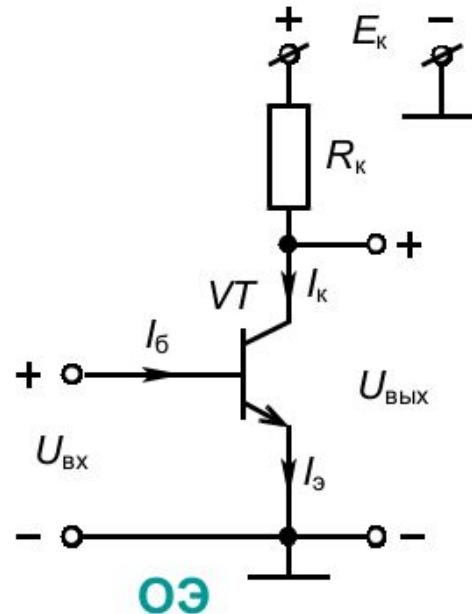
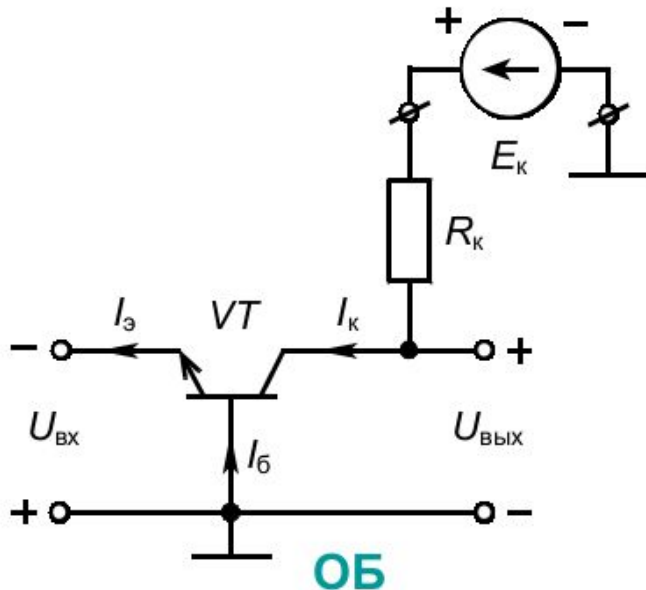
### Транзисторы

#### Биполярные транзисторы . Схемы включения транзистора

На практике применяют три основных схемы включения транзисторов:

- с общим эмиттером (ОЭ);
- с общей базой (ОБ);
- с общим коллектором (ОК, или эмиттерный повторитель).

**Тип схемы включения определяется по выводу (электроду) транзистора, который является общим для входной и выходной цепей по переменному току.**



# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Транзисторы

#### Биполярные транзисторы . Схемы включения транзистора

Свойства усилительных каскадов ( коэффициенты усиления, входное и выходное сопротивление каскада и фазовый сдвиг между входным и выходным сигналом) зависят от схемы включения

Параметр	Схема с ОБ	Схема с ОЭ	Схема с ОК
Коэффициент усиления по току $k_I$	<i>Немного меньше единицы</i>	<i>Десятки-сотни единиц</i>	<i>Десятки-сотни единиц</i>
Коэффициент усиления по напряжению $k_U$	<i>Десятки-сотни единиц</i>	<i>Десятки-сотни единиц</i>	<i>Немного мень- ше единицы</i>
Коэффициент усиления по мощности $k_P$	<i>Десятки-сотни единиц</i>	<i>Сотни-десятки тысяч единиц</i>	<i>Десятки-сотни единиц</i>
Входное сопротивление $R_{вх}$	<i>Единицы- десятки Ом</i>	<i>Сотни Ом- единицы кОм</i>	<i>Десятки-сотни кОм</i>
Выходное сопротивление $R_{вых}$	<i>Сотни кОм- единицы МОм</i>	<i>Единицы- десятки кОм</i>	<i>Сотни Ом- единицы кОм</i>
Фазовый сдвиг между $U_{вых}$ и $U_{вх}$	<i>0°</i>	<i>180°</i>	<i>0°</i>

# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Транзисторы

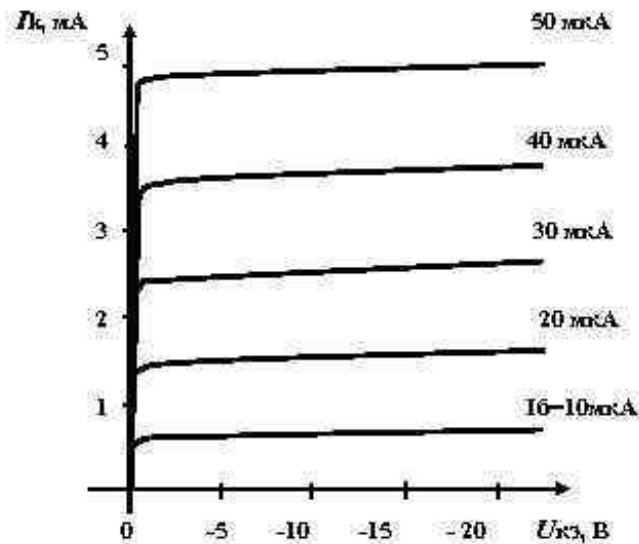
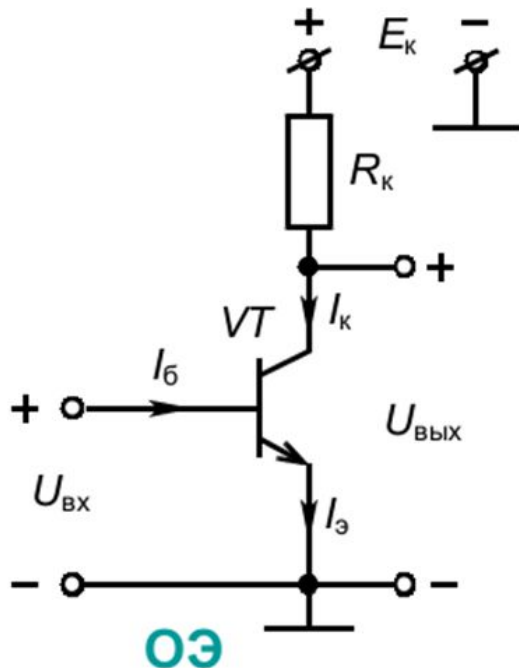
#### Биполярные транзисторы . ВАХ транзистора по схеме ОЭ

Статические характеристики снимаются на постоянном токе и без нагрузки в выходной цепи.

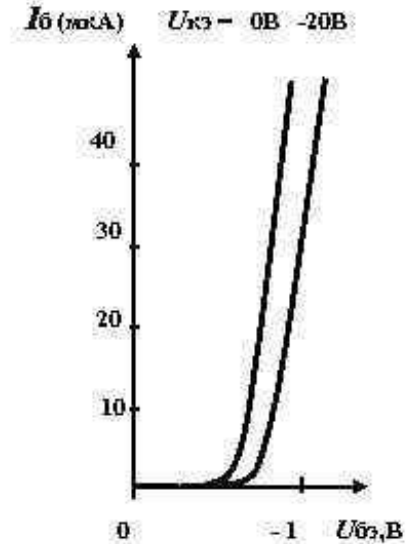
Данные характеристики используются для расчета транзисторных схем. На практике интересны входные и выходные характеристики. Входные ВАХ отражают зависимость напряжения и тока во входной цепи, выходные ВАХ – в выходной цепи.

Для каждой из схем включения транзистора имеют место быть свои характеристики.

Наиболее распространены ВАХ для схем ОЭ и ОБ, которые и приводятся в справочниках.



Семейство выходных характеристик



Семейство входных характеристик

# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Транзисторы

#### Биполярные транзисторы . Основные параметры транзисторов

## Основные параметры транзистора

- Коэффициент усиления по току.
- Входное сопротивление.
- Выходное сопротивление.
- Обратный ток эмиттера при заданном  $U_{эб}$ .
- Время включения (время задержки).
- Предельная частота коэффициента передачи.
- Емкость коллекторного перехода.
- Обратный ток коллектора при заданном  $U_{кб}$ .
- Максимально допустимые параметры  $U_{кб}$ ,  $U_{кэ}$ ,  $I_{к}$ .
- Максимальная мощность рассеиваемая без теплоотвода.
- Минимальная и максимальная рабочая температура.





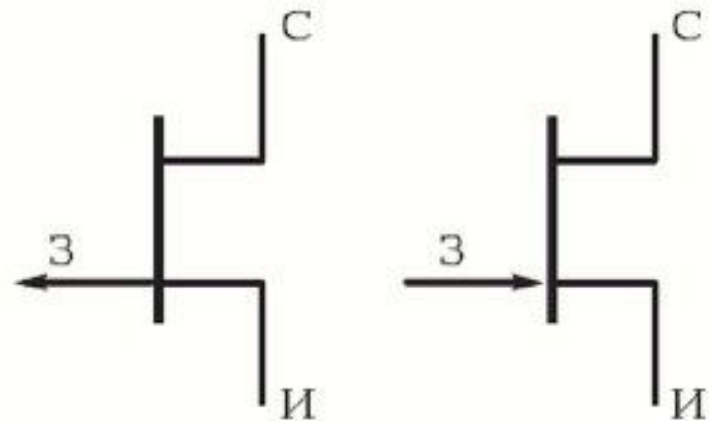
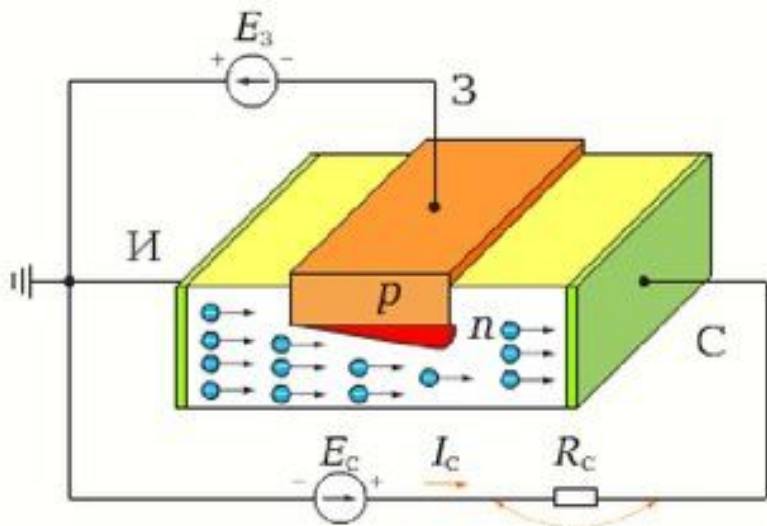
# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Транзисторы

#### Полевые транзисторы . Полевой транзистор с управляющим р-п-переходом.

В полевых транзисторах с управляющим р-п-переходом управление током транзистора достигается путём **изменения сечения канала** за счёт изменения области, занимаемой этим переходом. **Управляющий р-п-переход образуется между каналом и затвором**, которые выполняются из полупроводников противоположных типов проводимости. Так, если канал образован полупроводником п-типа (рис. 40,а), то затвор – полупроводником р-типа. **Напряжение между затвором и истоком всегда подаётся обратной полярности**, т. е. запирающей р-п-переход. При подаче напряжения обратной полярности область, занимаемая р-п-переходом, расширяется. При этом расширяется и область, обеднённая носителями заряда, а значит, сужается область канала, через которую может течь ток.



# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Транзисторы

#### Полевые транзисторы . Полевой транзистор с изолированным затвором.

Полевой транзистор с изолированным затвором – это транзистор, **имеющий затвор, электрически изолированный от проводящего канала.**

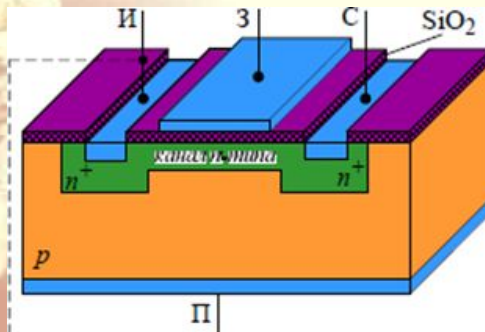
У них металлический затвор отделен от полупроводникового канала тонким слоем диэлектрика. Поскольку металлический затвор отделен от полупроводника слоем диэлектрика, то входное сопротивление таких транзисторов велико (для современных транзисторов достигает  $10^{17}$  Ом).

Полевые транзисторы с изолированным затвором бывают двух типов:

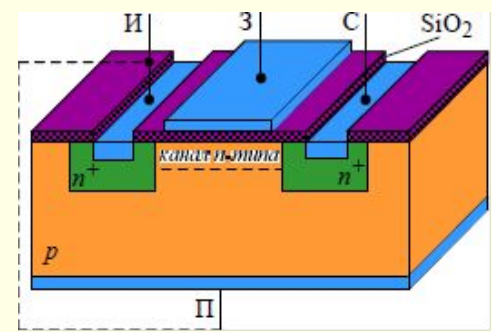
- **со встроенным (собственным) каналом;**
- **с индуцированным (инверсионным) каналом.**

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

Встроенный канал



Индуцированный (инверсионный) канал





# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Транзисторы

#### **Полевой транзистор с изолированным затвором со встроенным каналом.**

Полевой транзистор с изолированным затвором **со встроенным каналом** представляет собой монокристалл полупроводника, обычно кремния, где создана электропроводность какого-либо типа. В нем созданы две области с электропроводностью противоположного типа (в нашем случае  $n^+$ -типа), которые соединены между собой тонким приповерхностным слоем этого же типа проводимости. От этих двух зон сформированы электрические выводы, которые называют истоком и стоком. На поверхности канала имеется слой диэлектрика.

Если **в отсутствие напряжения на затворе** приложить между истоком и стоком напряжение  $U$  си любой полярности, то через канал потечет ток, представляющий собой поток электронов. При **подаче на затвор отрицательного напряжения** относительно истока, а следовательно и кристалла, в канале возникает **поперечное электрическое поле, которое будет выталкивать электроны** из области канала в основание. Канал **обедняется основными носителями** – электронами, его сопротивление увеличивается, и **ток стока уменьшается**. Чем больше отрицательное напряжение на затворе, тем меньше этот ток. Такой режим называется **режимом обеднения**. При подаче на затвор **положительного напряжения**, относительно

истока, направление поперечного электрического поля изменится на противоположное, и оно будет, наоборот, **притягивать**

**электроны из областей истока и стока**, а также из кристалла полупроводника. **Проводимость канала увеличивается**, и ток стока возрастает. Такой режим называется **режимом обогащения**.

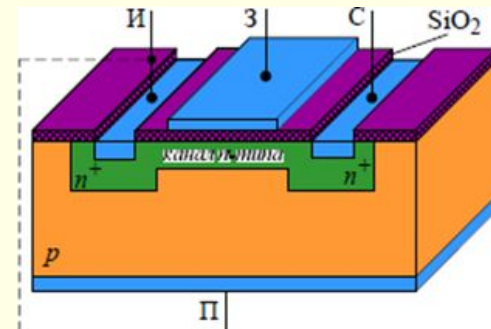
#### Обозначение в схемах



*p-типа*



*n-типа*



# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

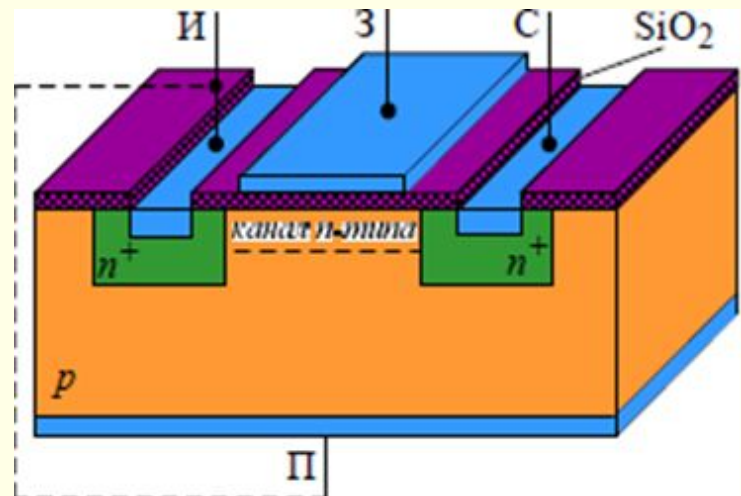
### Транзисторы

#### Полевой транзистор с индуцированным (инверсионным) каналом.

Полевой транзистор с изолированным затвором с индуцированным не имеет встроенного канала между областями истока и стока. **При отсутствии напряжения на затворе ток между истоком и стоком не потечет ни при какой полярности напряжения**, так как один из р-п- переходов будет обязательно заперт.

**Если подать на затвор напряжение положительной полярности** относительно истока, то под действием возникающего **поперечного электрического поля электроны** из областей истока и стока, а также из областей кристалла, будут **перемещаться в приповерхностную область по направлению к затвору**. Когда напряжение на затворе превысит некоторое пороговое значение, то в приповерхностном слое концентрация электронов повысится настолько, что **превысит концентрацию дырок в этой области и здесь произойдет инверсия типа электропроводности**, т. е. образуется **тонкий канал n- типа** и в цепи стока появится ток. Чем больше положительное напряжение на затворе, тем больше проводимость канала и больше ток стока. Таким образом, такой транзистор может работать только в **режиме обогащения**.

#### Обозначение в схемах



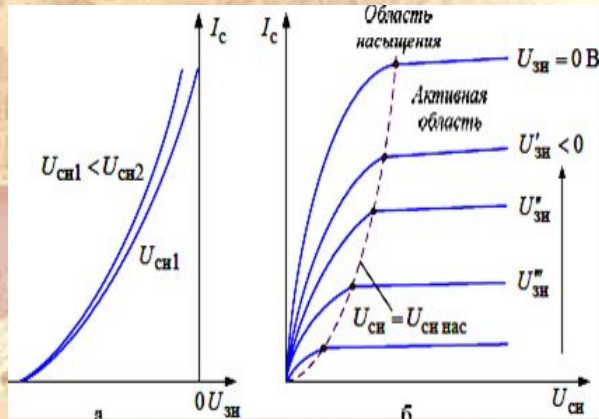
# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

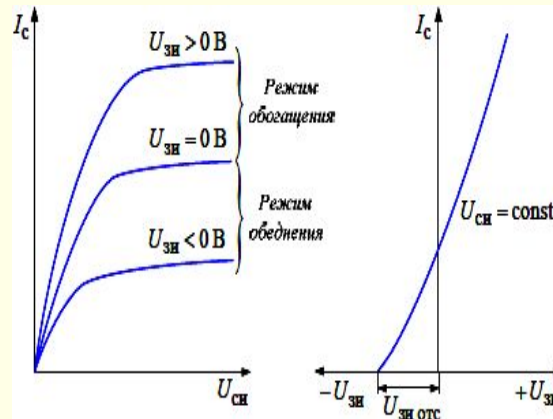
### Транзисторы

#### Вольтамперные характеристики полевых транзисторов.

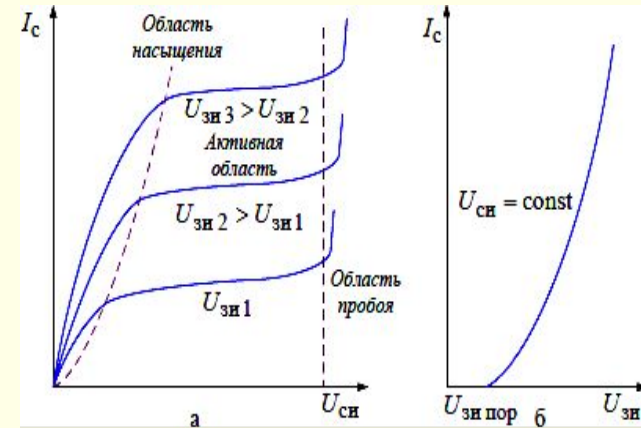
С управляющим р-п переходом



МОП со встроенным каналом



МОП с индуцированным каналом



#### Основные характеристики полевых транзисторов

1. **Максимальный ток.**
2. **Максимальное напряжение сток-исток**, после которого наступает пробой.
3. **Внутреннее (выходное) сопротивление.** Оно представляет собой сопротивление канала для переменного тока (напряжение затвор-исток — константа).
4. **Крутизна стоко-затворной характеристики.** Чем она больше, тем «острее» реакция транзистора на изменение напряжения на затворе.
5. **Входное сопротивление.** Оно определяется сопротивлением обратного смещенного р-п перехода и обычно достигает единиц и десятков МОм
6. **Коэффициент усиления** — отношение изменения напряжения исток-сток к изменению напряжения затвор-исток при постоянном токе стока.

# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

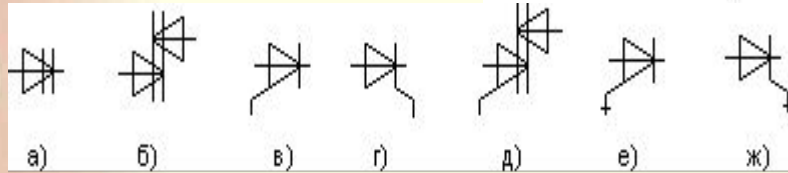
**Тиристоры: определение, виды тиристоров, обозначение в схемах.**

Тиристор – полупроводниковый прибор *с тремя или более взаимодействующими р-п-переходами*, вольт-амперная характеристика которого имеет участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением и который *используется для переключения*.

Тиристор, имеющий *два вывода*, называется *диодным тиристором (динистором)*.

Тиристор, имеющий *два основных вывода и один управляющий вывод*, называется *триодным тиристором (тринистором)*.

Тиристор, имеющий *симметричную относительно начала координат вольтамперную характеристику*, называется *симметричным тиристором (симметристом)*.



- а) динистор; б) симметричный динистор; в) триодный незапираемый с управлением по аноду; г) триодный незапираемый с управлением по катоду; д) триодный симметричный; е) триодный запираемый с управлением по аноду; ж) триодный запираемый с управлением по катоду

# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### **Тиристоры: принцип действия динистора, вольтамперная характеристика**

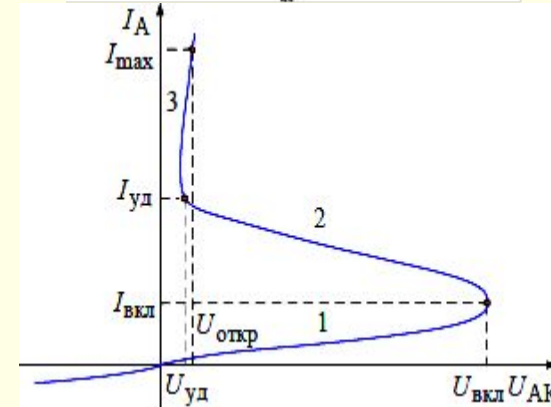
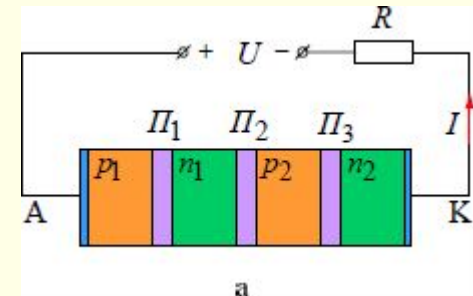
Динистор представляет собой монокристалл полупроводника, обычно кремния, в котором созданы четыре чередующиеся области с различным типом проводимости  $p_1-n_1-p_2-n_2$ .

На границах раздела этих областей возникнут  $p-n$ -переходы: крайние переходы  $\Pi_1$  и  $\Pi_3$  называются эмиттерными, а области, примыкающие к ним, – эмиттерами; средний  $p-n$ -переход  $\Pi_2$  называется коллекторным. Внутренние  $n_1$ - и  $p_2$ -области структуры называется базами. Область  $p_1$ , в которую попадает ток из внешней сети, называется анодом (А), область  $n_2$  – катодом (К).

Рассмотрим процессы, происходящие в тиристоре **при подаче прямого напряжения, т. е. «+» на анод, «–» на катод**. В этом случае крайние  $p-n$ -переходы  $\Pi_1$  и  $\Pi_3$  смещены в прямом направлении, средний переход  $\Pi_2$  смещен в обратном направлении.

**При малых значениях внешнего напряжения** все оно практически падает на коллекторном переходе  $\Pi_2$ .

При увеличении внешнего напряжения, по мере увеличения ширины перехода  $\Pi_2$ , все большую роль начинают играть носители заряда, образовавшиеся вследствие ударной ионизации – носители заряда ускоряются настолько, что при столкновении с атомами  $p-n$ -перехода  $\Pi_2$  ионизируют их, вызывая лавинное размножение носителей заряда. Образовавшиеся при этом дырки под влиянием электрического поля переходят в область  $p_2$ , а электроны в область  $n_1$ . **Ток через переход  $\Pi_2$  увеличивается, а его сопротивление и падение напряжения на нем уменьшаются**. Это приводит к **повышению напряжения, приложенного к переходам  $\Pi_1$  и  $\Pi_3$**  и увеличению инжекции через них, что вызывает дальнейший рост коллекторного тока и токов инжекции.

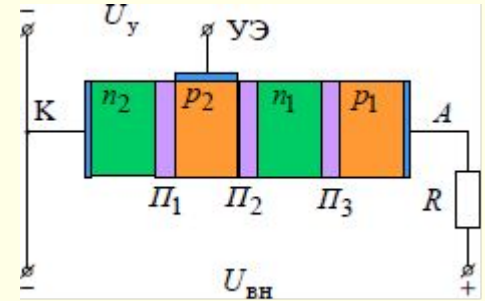


# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

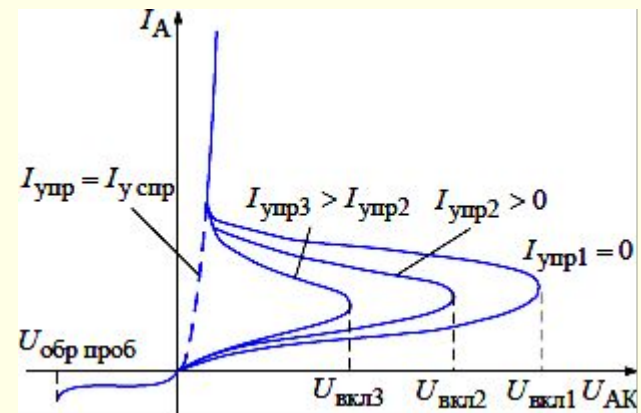
**Тиристоры: принцип действия тринистора, вольтамперная характеристика**

**Триодный тиристор (тринистор)** отличается от динистора **наличием вывода** от одной из баз. Этот вывод называется **управляющим электродом**. Если подключить внешний источник  $U_{вн}$  так, как показано на рисунке, то получим, что р-п-переходы П1 и П3 будут смещены внешним источником в прямом направлении, а средний р-п-переход П2 будет смещен в обратном направлении, и во внешней цепи будет протекать маленький обратный ток коллекторного перехода П2. Подключим другой внешний источник  $U_y$  (источник управления) между катодом и управляющим электродом (УЭ).



Тогда ток управления, протекающий под действием источника управления, при определенной своей величине может привести к лавинообразному нарастанию тока в полупроводниковой структуре до тех пор, пока он не будет ограничен резистором  $R$  в цепи источника питания  $U_{вн}$ . Произойдет процесс включения тиристора. Для того, чтобы выключить тиристор, необходимо прервать ток, протекающий в его силовой цепи, на короткий промежуток времени, достаточный для рассасывания неосновных носителей в зонах полупроводника и восстановления управляющих свойств. Чтобы снова включить тиристор, необходимо снова пропустить в его цепи управления ток  $I_y$ , чтобы снова запустить процесс внутренней положительной обратной связи.

Таким образом, **тринистор представляет собой бесконтактный ключ**, который может быть только в двух устойчивых состояниях: **либо в выключенном, либо во включенном.**



# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

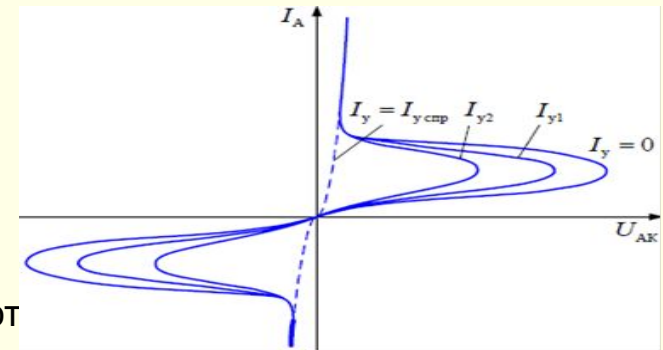
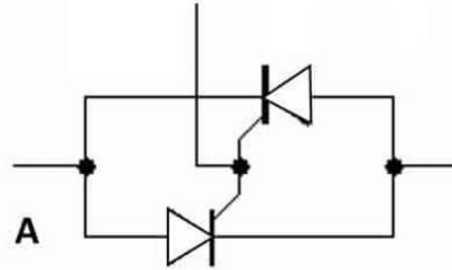
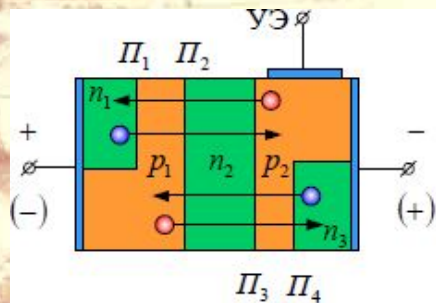
**Тиристоры: принцип действия симистора, вольтамперная характеристика**

**Симистор** (симметричный тиристор) – Triode for Alternating Current (TRIAC) –

**триодный тиристор, имеющий симметричные прямую и обратную ветви ВАХ.**

Основным отличием симистора от тиристора является проводимость сразу в двух направлениях.

Симистор можно заменить 2 тиристорами, которые имеют встречно-параллельное подключение. В некоторой литературе можно встретить и другие названия: триак и симметричный управляемый диод.



Основой в а н с

от

чередующимся типом проводимости, которые образуют четыре p-n-перехода. контакты от крайних областей наполовину шунтируют первый и четвертый p-n-переходы. При полярности внешнего источника напряжения, указанной без скобок, переход П1 окажется включенным в обратном направлении и ток через него будет исчезающе мал. Весь ток через полупроводниковую структуру при такой полярности источника будет протекать через область p1. Четвертый переход П4 будет включен в прямом направлении и через него будет проходить инжекция электронов. Значит, при данной полярности источника рабочая структура симистора представляет собой p1-n2-p2-n3-структуру, аналогичную структуре обычного тиристора, работа которого уже была рассмотрена выше. При смене полярности на противоположную (указана в скобках) уже будет закрыт переход П4, а переход П1 будет открыт. Структура симистора становится n1-p1-n2-p2, то есть опять аналогична структуре обычного тиристора, но направленного в противоположную сторону..

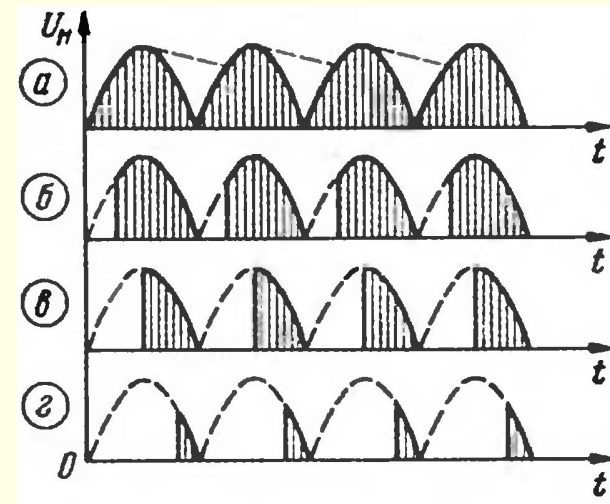
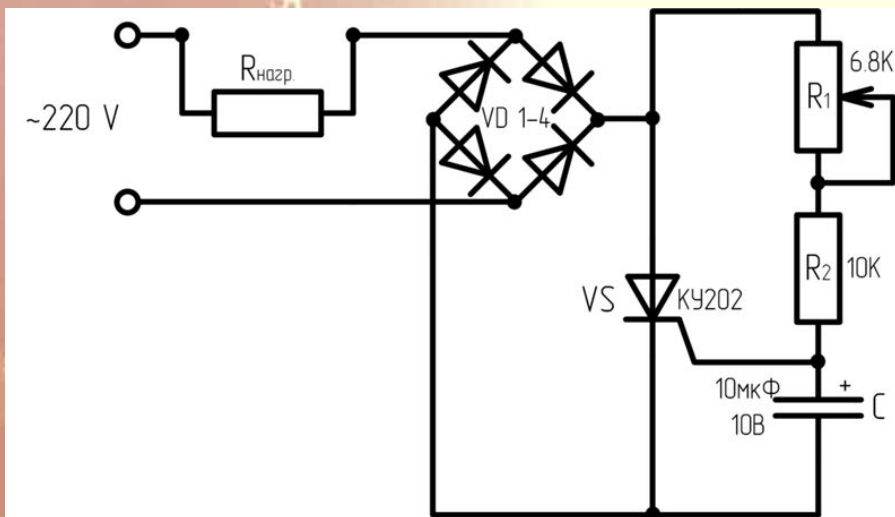
# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### *Тиристоры: основные параметры тиристоров, применение.*

1. Напряжение включения — это минимальное анодное напряжение, при котором тиристор переходит во включенное состояние.
2. Прямое напряжение — это прямое падение напряжения при максимальном токе анода.
3. Обратное напряжение — это максимально допустимое напряжение на тиристоре в закрытом состоянии.
4. Максимально допустимый прямой ток — это максимальный ток в открытом состоянии.
5. Обратный ток — ток при максимальной обратном напряжении.
6. Максимальный ток управления электродом
7. Время задержки включения/выключения
8. Максимально допустимая рассеиваемая мощность

### *Пример применения тиристоров*





# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Оптоэлектронные приборы, виды приборов

**Оптоэлектронными приборами** называют устройства, **излучающие и преобразующие излучение в инфракрасной, видимой или ультрафиолетовой областях спектра** или использующие для своей работы электромагнитные излучения, частоты которых находятся в этих областях.

Для осуществления элементарного преобразования в оптоэлектронике необходимо иметь **управляемый источник** света (фотоизлучатель), яркость свечения которого **однозначно определяется электрическим сигналом**, а также **фотоприёмник**, сопротивление или ЭДС которого зависят от степени его освещённости.

Источник света, **световой поток или яркость которого являются однозначной функцией электрического сигнала**, поступающего на его вход, называют управляемым источником света.



фоторезисторы

фотодиоды

светодиоды



Фототранзисторы

Фототриоды

оптопары

# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### *Оптоэлектронные приборы*

#### *Управляемые источники света*

В оптоэлектронике используются следующие управляемые источники света:

1. **Лампы накаливания** – это вакуумированный баллон с вольфрамовой нитью накаливания. Они имеют широкий спектр излучения, который в основном лежит в инфракрасном диапазоне (0,4 – 4 мкм), сравнительно инерционны, не позволяют работать на частотах свыше 10-20 Гц.
2. **Газоразрядные источники излучения** – в них используют явление свечения, возникающего при протекании тока через ионизированный газ. Газоразрядные источники излучения имеют невысокую временную стабильность параметров и значительные габариты. Они плохо совместимы с интегральными микросхемами, но успешно используются в составе устройств отображения информации.
3. **ЭлектрOLUMИНИСЦЕНТНЫЕ управляемые источники света** – это, в настоящее время, наиболее перспективные источники света. Для возникновения люминисценции в каком-либо теле, в том числе и в полупроводнике, его необходимо привести в возбуждённое состояние.
4. **Инжекционные светодиоды**

Светодиод представляет собой излучающий р-п переход, свечение в котором возникает вследствие рекомбинации носителей заряда (электронов и дырок) при смещении р-п перехода в прямом направлении. Цвет свечения зависит от материала примесей, вводимых в полупроводник.

# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

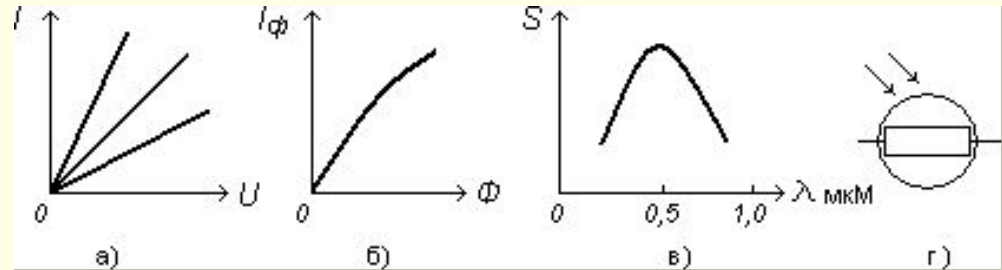
### Оптоэлектронные приборы. Фотоприемники.

Фотоприёмники предназначены для **преобразования светового излучения в электрические сигналы**. В качестве фотоприёмников могут быть использованы **фоторезисторы, фотодиоды, фототиристоры и т. д.**

При подборе фотоизлучателей и фотоприёмников **необходимо согласовывать их спектральные характеристики**. В противном случае вследствие несовершенства существующих источников света сложно получить удовлетворительные результаты.

### Фоторезисторы.

В фоторезисторах используется явление изменения сопротивления вещества под действием инфракрасного, видимого или ультрафиолетового излучения. Основным элементом их является п/п пластина, сопротивление которой при освещении изменяется.



ВАХ

Энергетическая х-ка

Спектральная

### Фотодиоды.

Простейший фотодиод представляет собой п/п диод, в котором обеспечивается возможность воздействия оптического излучения на р-п-переход.

При воздействии излучения в направлении, перпендикулярном поверхности р-п-перехода, в результате поглощения фотонов, с энергией, большей, чем ширина запрещённой зоны, в области возникают электронно-дырочные пары

# Электронные компоненты.

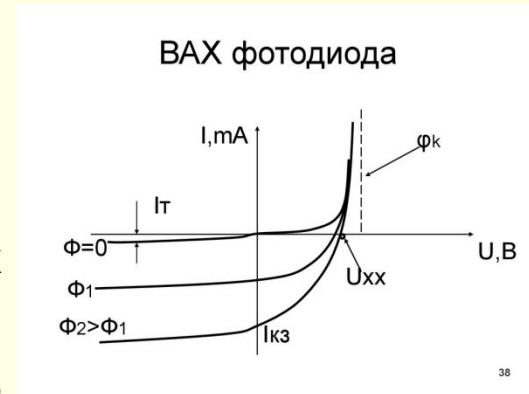
## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

### Оптоэлектронные приборы. Фотоприемники.

#### Фотодиоды.

Простейший фотодиод представляет собой п/п диод, в котором обеспечивается возможность воздействия оптического излучения на р-п-переход.

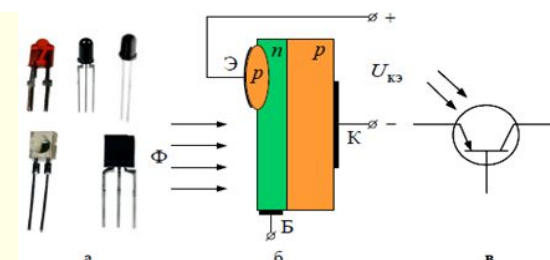
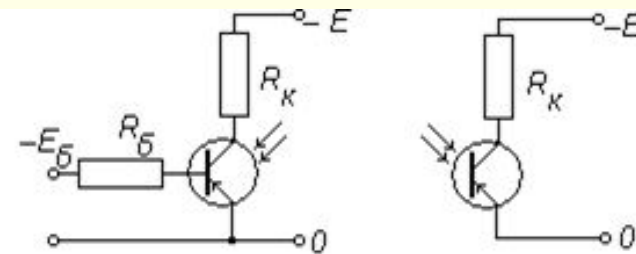
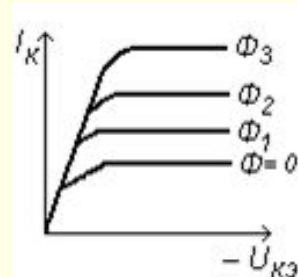
При воздействии излучения в направлении, перпендикулярном поверхности р-п-перехода, в результате поглощения фотонов, с энергией, большей, чем ширина запрещённой зоны, в п-области возникают электронно-дырочные пары. Таким образом, ток через р-п-переход обусловлен дрейфом неосновных носителей – дырок. Дрейфовый ток фотоносителей называется фототоком  $I_{\phi}$ .



#### Фототранзистор

Фототранзистор – это полупроводниковый фотоэлектрический прибор с двумя р-п-переходами. Устройство и принцип действия фототранзистора такие же, как и биполярного транзистора. Отличие же заключается в том, что внешняя часть базы является

**фоточувствительной поверхностью,**  
а в корпусе имеется **окно для пропуска света**



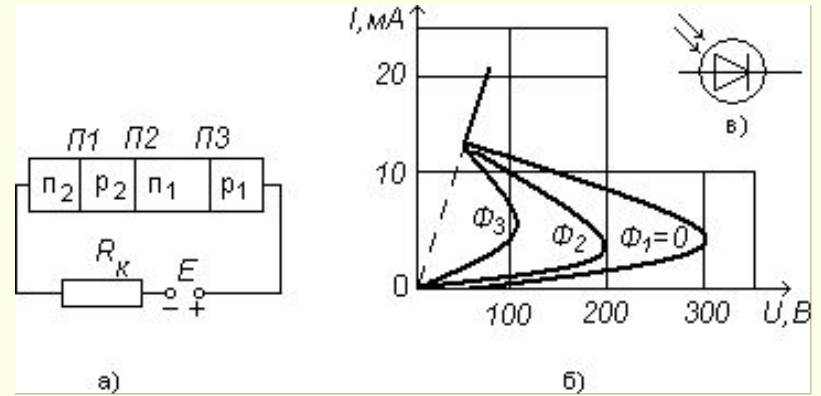
# Электронные компоненты.

## Активные полупроводниковые компоненты РЭА.

**Оптоэлектронные приборы. Фотоприемники. Фототиристоры.**

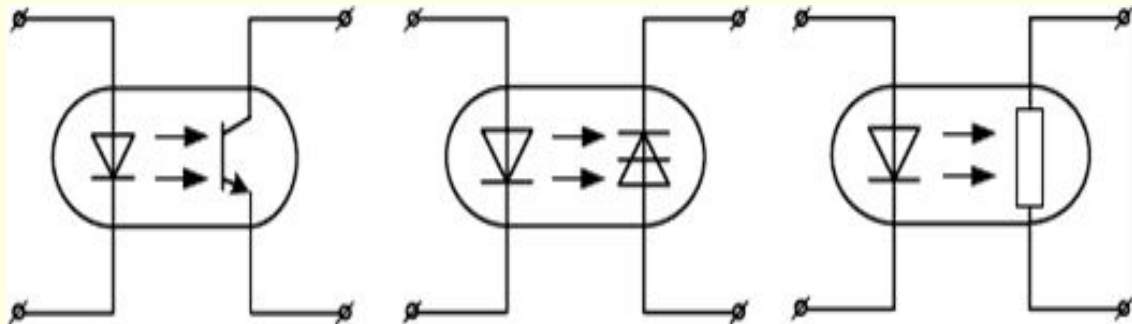
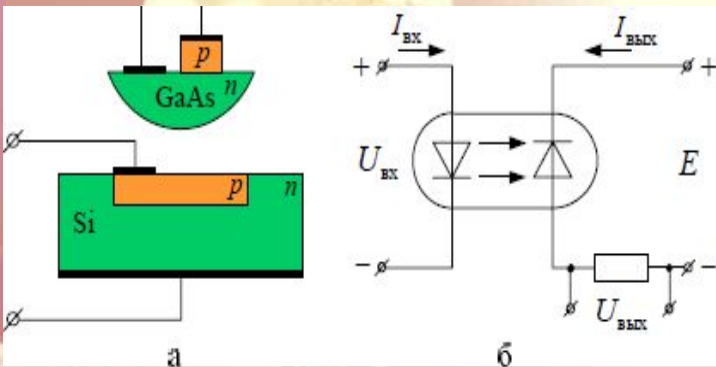
### Оптроны.

Фототиристоры используются **для коммутации световым сигналом электрических цепей большой мощности.** Они представляют собой фотоэлектрические аналоги управляемого тиристора. Фототиристор имеет четырехслойную р-п-р-п-структуру, у которой переходы П 1 и П 3 смещены в прямом направлении, а коллекторный переход П2 – в обратном. Свет обычно попадает на обе базы тиристора – слои р 2 и п1. При этом с ростом освещённости возрастают эмиттерные токи, что приводит к возрастанию тока через тиристор.



### Оптроны

Оптрон – это устройство, которое объединяет в одном корпусе светодиод и приёмник фотоизлучения, например фотодиод и служит для гальванической развязки цепей управления и силовых цепей.



**Благодарю за внимание**  
**Буду рад ответить на ваши вопросы**

**Преподаватель Саяно-Шушенского  
филиала Сибирского  
федерального университета  
А.М. Волошин**