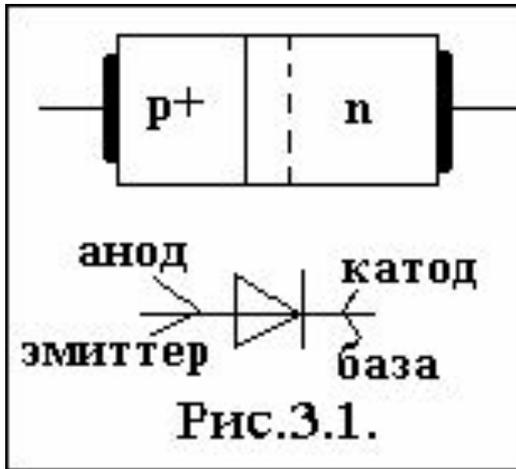


# Глава 2

## Полупроводниковые диоды

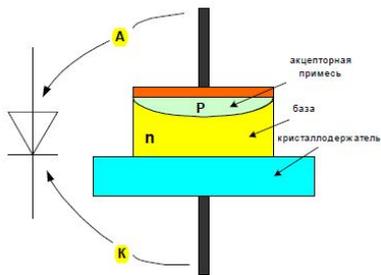


Полупроводниковый диод представляет собой полупроводниковый прибор с одним  $p-n$  переходом и двумя выводами. Большинство диодов изготовлены на основе несимметричных  $p-n$ -переходов. При этом одна из областей диода, обычно ( $p+$ ) высоколегированна и называется эмиттер, другая ( $n$ ) - слаболегированная – база.  $P-n$ -переход размещается в базе т.к она слаболегирована.

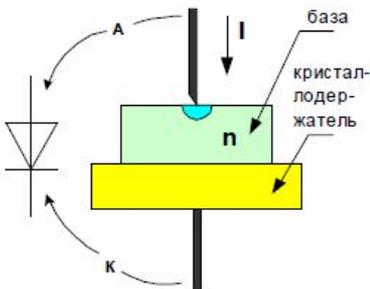
Структура, условное обозначение и название выводов показаны на рис. 3.1. Между каждой внешней областью полупроводника и ее выводом имеется омический контакт, который на рис. 3.1 показан жирной чертой.

В зависимости от технологии изготовления различают: точечные диоды, сплавные и микросплавные, с диффузионной базой, эпитаксиальные и др.

По функциональному назначению диоды делятся: выпрямительные, универсальные, импульсные, стабилитроны и стабилитроны, варикапы, туннельные и обращенные, а также СВЧ-диоды и др.



Точечные диоды.



# Классификация диодов по функциональному назначению и их УГО

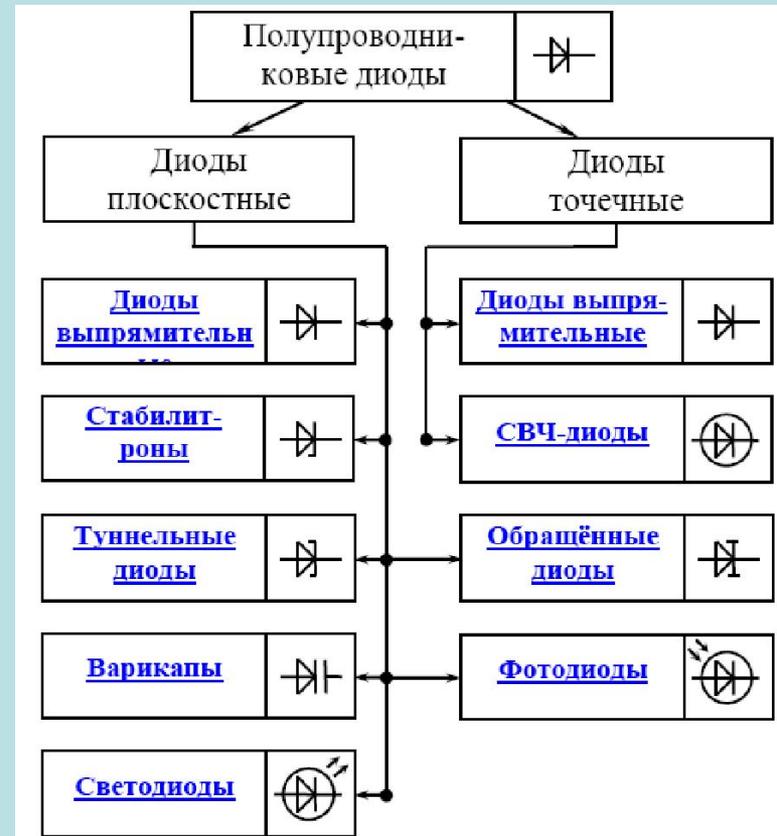
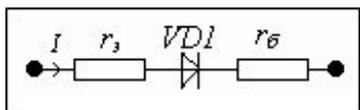
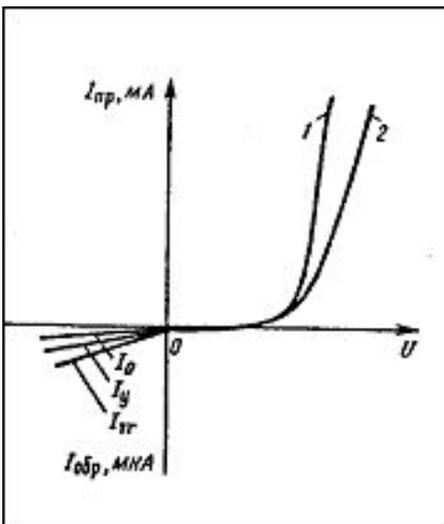


Рис. 1.2 Классификация и условные графические обозначения полупроводниковых диодов

# 2.1. Вольт-амперная характеристика диода



$$I = I_0 \left( e^{\frac{U - I r_b}{\Phi_T}} - 1 \right)$$

ВАХ реального диода имеет ряд отличий от ВАХ p-n-перехода (рис.3.2).

**При прямом смещении** необходимо учитывать объёмное сопротивление областей базы  $r_b$  и эмиттера  $r_z$  диода (рис.3.3.), обычно  $r_b \gg r_z$ . Падение напряжения на объёмном сопротивлении от тока диода, становятся существенным при токах, превышающих единицы миллиампер. Кроме того, часть напряжения падает на сопротивлении выводов. В результате напряжение непосредственно на p-n-переходе будет меньше напряжения, приложенного к внешним выводам диода. Это приводит к смещению прямой ветви ВАХ вправо (кривая 2) и почти линейной зависимости от приложенного напряжения.

ВАХ диода с учетом объёмного сопротивления записывается выражением

$$I = I_0 \left( e^{\frac{U}{\Phi_T}} - 1 \right) \qquad I = I_0 \left( e^{\frac{U - I r_b}{\Phi_T}} - 1 \right)$$

где  $U_{пр}$  — напряжение, приложенное к выводам;  $r$  — суммарное сопротивление базы и электродов диода, обычно  $r = r_b$ .

**При обратном смещении** диода ток диода не остается постоянным равным  $I_0$  т.е. наблюдается рост обратного тока.

Это объясняется тем, что обратный ток диода состоит из трех составляющих:  
 $I_{обр} = I_0 + I_{тг} + I_{ут}$

где  $I_0$  — тепловой ток перехода;

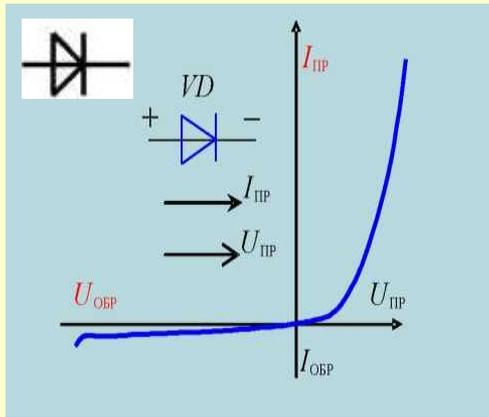
$I_{тг}$  — ток термогенерации. Он возрастает с увеличением обратного напряжения. Это связано с тем, что p-n перехода расширяется, увеличивается его объем и следовательно увеличивается количество неосновных носителей, образующихся в нем за счёт термогенерации. Он на 4-5 порядка больше тока  $I_0$ .

$I_{ут}$  — ток утечки. Он связан конечной величиной проводимости поверхности кристалла, из которого изготовлен диод. В современных диодах он всегда меньше термотока.

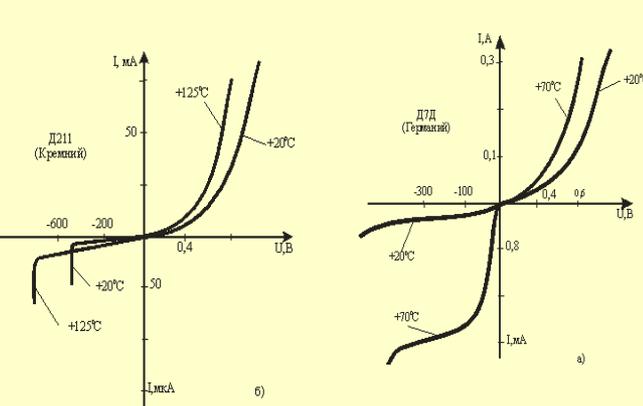
# Полупроводниковые диоды

**Полупроводниковый диод** – это электропреобразовательный полупроводниковый прибор с одним электрическим переходом и двумя выводами, в котором используются различные свойства р-n- перехода (односторонняя проводимость, электрический пробой, туннельный эффект, эл. емкость).

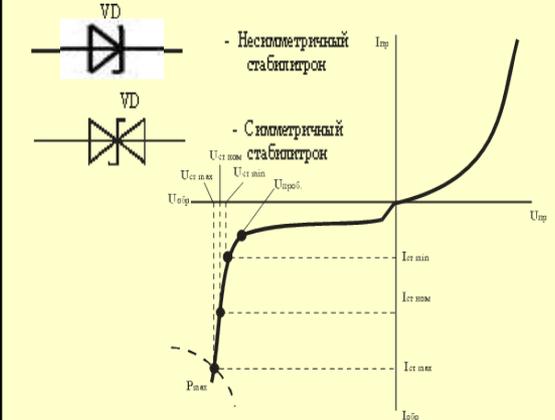
## Выпрямительный диод



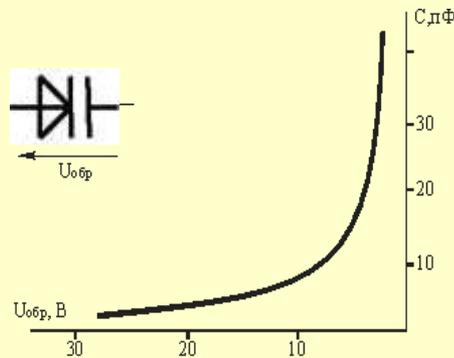
## Германиевый диод Кремниевый диод



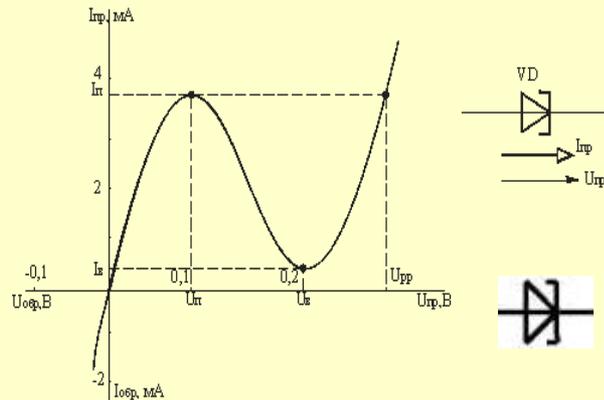
## Стабилитрон



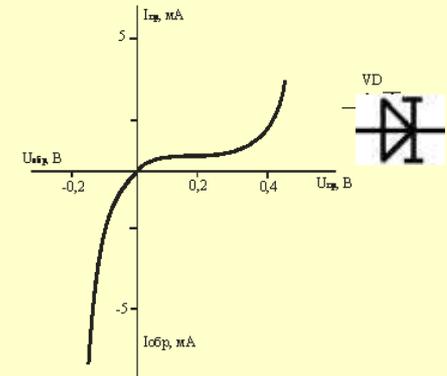
## Варикап



## Туннельный диод



## Обращенный диод



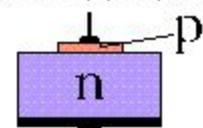
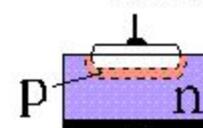
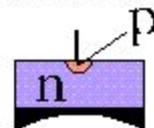
# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ (VD)

СТРУКТУРА

ПРИНЦИП УСТРОЙСТВА

ТОЧЕЧНОГО ДИОДА

ПЛОСКОСТНОГО ДИОДА

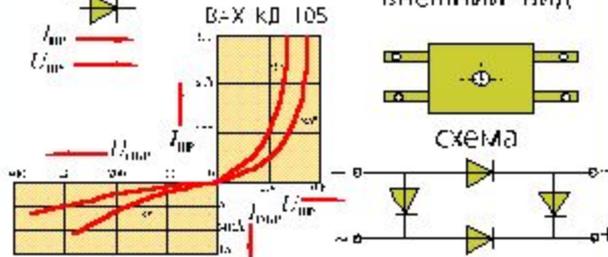


сплавной

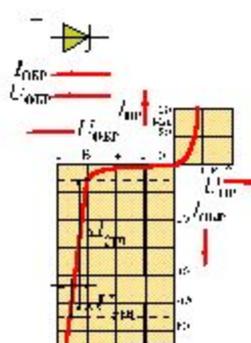
диффузионный

## ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ ДИОДЫ

выпрямительный блок КЦ 402  
внешний вид



## СТАБИЛИТРОНЫ

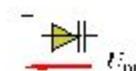


$$R_{ст} = \frac{\Delta U_{ст}}{\Delta I_{ст}}$$

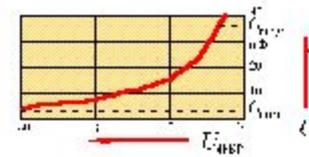
$$\gamma_{КС} = \frac{\Delta U_{ст}}{U_{ст} \Delta T} \cdot 100\%$$

-температурный коэффициент напряжения (%/°C)  
(-0,65 ... +0,2)

## ВАРИКАПЫ



$C_D$  при  $U_{обр} = (2 \dots 5) В$   
(10 ... 500) пФ

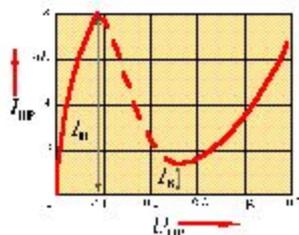


$$K_c = \frac{C_{max}}{C_{min}}$$

-коэффициент перекрытия емкости (5 ... 20)

## ТУННЕЛЬНЫЕ ДИОДЫ

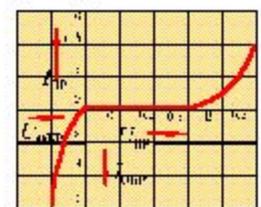
$I_{п}$  - ток пика  
 $I_{н}$  - ток впадины  
 $I_{п}/I_{н} = (5 \dots 20)$



## ОБРАЩЕННЫЕ ДИОДЫ



$I_{обр} = 0$  при  $U_{обр} < 0,3 В$



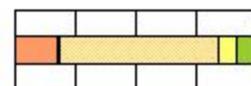
## СВЕТОДИОДЫ



внешний вид светодиода АТЗ 16



$I_{обр}$  через p-n переход, красного цвета свечения



$I_{обр}$  через p-n переход, зеленого цвета свечения

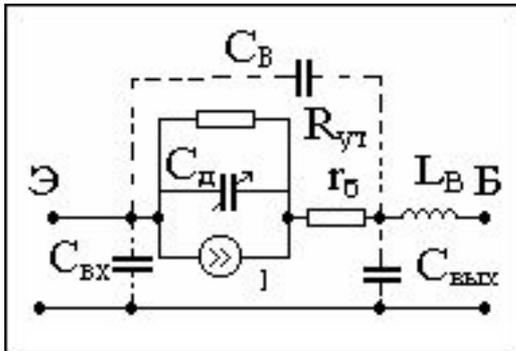
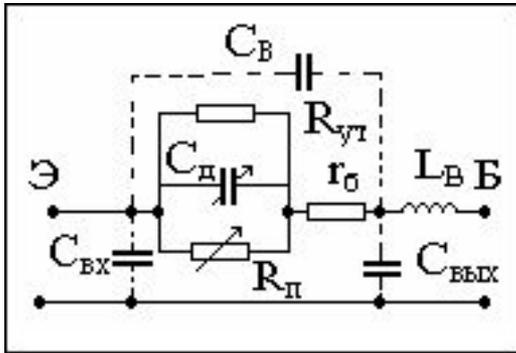
**К Д 104 А**

СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ ДИОДОВ ПО ГОСТ - 113369-19-81

- разновидность данного типа диодов
- порядковые номера разработки технологического типа диода
- подкласс диода (Д-выпрямительные; И-импульсные; С-стабилитроны; Ц-выпрямительные столбы и блоки; В-варикапы; Т-туннельные)
- исходный материал (Г или 1 германий; К или 2 кремний; А или 3 соединения галлия; И или 4 соединения индия)



## 2.2. Эквивалентная схема диода



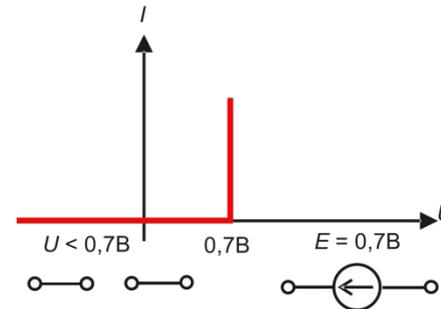
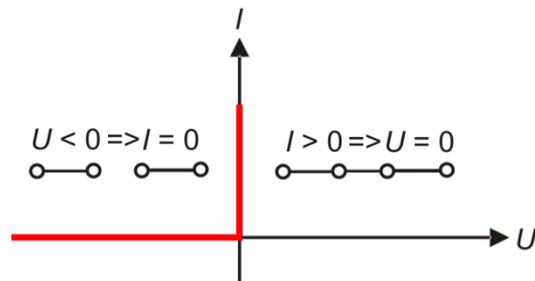
Эта схема, состоит из электрических элементов, которые учитывают физические процессы, происходящие в  $p-n$  переходе, и влияние элементов конструкции на электрические свойства.

**Эквивалентная схема замещения  $p-n$  перехода при малых сигналах**, когда можно не учитывать нелинейных свойств диода приведена на рис. .

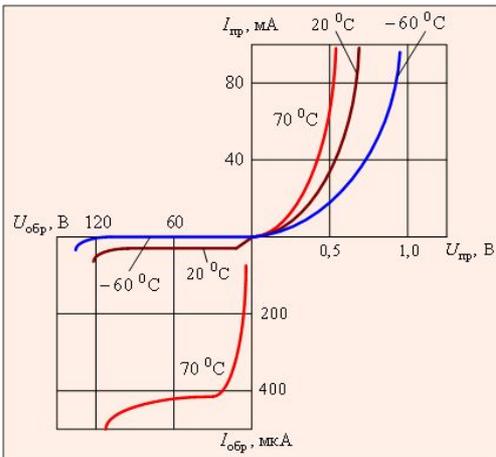
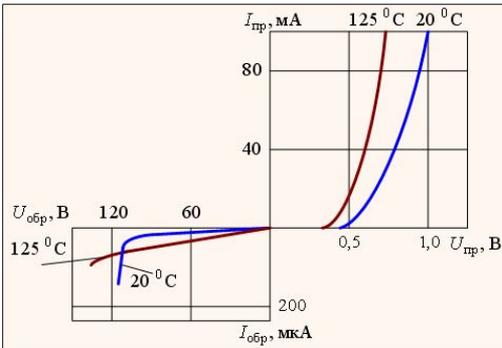
Здесь  $C_D$  — общая емкость диода, зависящая от режима;  $R_D = R_{диф}$  — дифференциальное сопротивление перехода, значение которого определяют с помощью статической ВАХ диода в заданной рабочей точке ( $R_{диф} = \Delta U / \Delta I |_{U=const}$ );  $r_B$  — распределенное электрическое сопротивление базы диода, его электродов и выводов,  $R_{ут}$  — сопротивление утечки.

Иногда схему замещения дополняют емкостью между выводами диода  $C_B$ , емкостями  $C_{BX}$  и  $C_{BYX}$  (показаны пунктиром) и индуктивностью выводов  $L_B$ .

**Эквивалентная схема при больших сигналах** аналогична предыдущей. Однако в ней учитываются нелинейные свойства  $p-n$ -перехода путем замены дифференциального сопротивления на источник зависимый источник тока  $I = I_0(e^{U/\phi T} - 1)$ .



## 2.3. Влияние температуры на ВАХ диода



$$I_0(T) = I(T_0) 2^{(T-T_0)/T^*},$$

Температура окружающей среды оказывает существенное влияние на вольтамперную характеристику диода. С изменением температуры несколько меняется ход как прямой, так и обратной ветви ВАХ.

При увеличении температуры возрастает концентрация неосновных носителей в кристалле полупроводника. Это приводит к росту обратного тока перехода (за счет увеличения тока двух его составляющих:  $I_0$  и  $I_{тг}$ ), а также уменьшению объемного сопротивления области базы. При увеличении температуры обратный ток насыщения увеличивается примерно в 2 раза у германиевых и в 2,5 раза у кремниевых диодов на каждые  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Зависимость обратного тока от температуры аппроксимируется выражением

$$I_0(T) = I(T_0) 2^{(T-T_0)/T^*},$$

где:  $I(T_0)$  - ток измерен при температуре  $T_0$ ;  $T$  - текущая температура;  $T^*$  - температура удвоения обратного тока -  $(5-6)0\text{C}$  - для Ge и  $(9-10)0\text{C}$  - для Si.

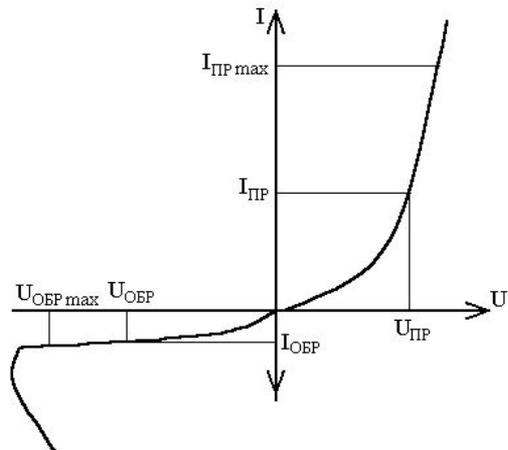
Максимально допустимое увеличение обратного тока диода определяет максимально допустимую температуру диода, которая составляет  $80-100\text{ }^{\circ}\text{C}$  для германиевых диодов и  $150-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  для кремниевых..

Ток утечки слабо зависят от температуры, но может существенно изменяться во времени. Поэтому он, в основном, определяет временную нестабильность обратной ветви ВАХ.

Прямая ветвь ВАХ при увеличении температуры сдвигается влево и становится более крутой (рис. 3.3). Это объясняется ростом  $I_{обр}$  (3.2) и уменьшением  $r_b$ , Последнее, уменьшает падение напряжения на базе, а напряжение непосредственно на переходе растет при неизменном напряжении на внешних выводах.

Для оценки температурной нестабильности прямой ветви вводится температурный коэффициент напряжения (ТКН)  $\alpha_T = \Delta U / \Delta T$ , показывающий, как изменится прямое напряжение на диоде с изменением температуры на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  при фиксированном прямом токе. В диапазоне температур от  $-60$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$   $\alpha_T \approx -2,3\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ .

## 2.4. Выпрямительные диоды



Выпрямительные диоды – предназначены для выпрямления низкочастотного переменного тока и обычно используются в источниках питания. Под выпрямлением понимают преобразование двухполярного тока в однополярный. Для выпрямления используется основное свойство диоды – их односторонняя проводимость.

В качестве **выпрямительных** диодов в источниках питания для выпрямления больших токов используют плоскостные диоды. Они имеют большую площадь контакта  $p$  и  $n$  областей и большую барьерную емкость (емкостное сопротивление  $X_c = 1/(\omega C)$ , что не позволяет выпрямлять на высоких частотах. Кроме того такие диоды имеет большую величину обратного тока.

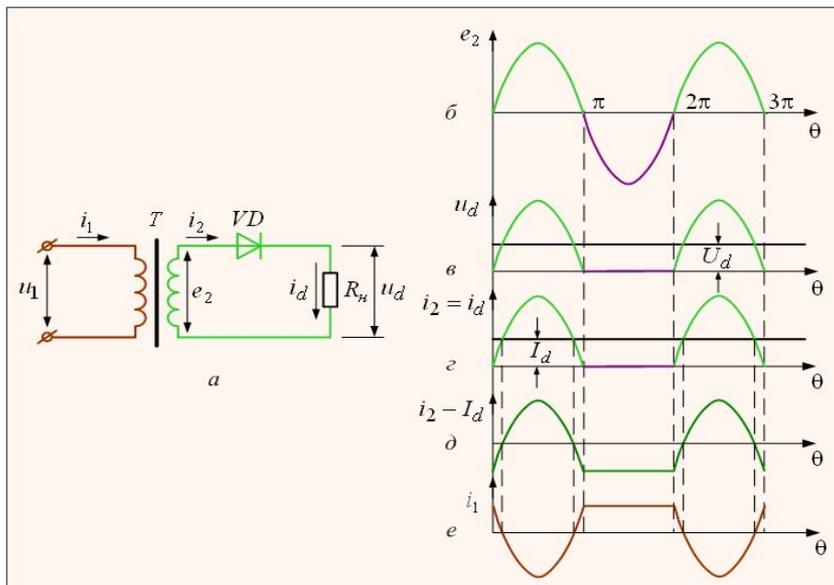
Основными параметрами, характеризующими выпрямительные диоды, являются (рисунок 2.1):

- максимальный прямой ток  $I_{\text{пр max}}$ ;
- падение напряжения на диоде при заданном значении прямого тока  $I_{\text{пр}}$  ( $U_{\text{пр}} \approx 0,3...0,7$  В для германиевых диодов и  $U_{\text{пр}} \approx 0,8...1,2$  В -для кремниевых);
- максимально допустимое постоянное обратное напряжение диода  $U_{\text{обр max}}$ ;
- обратный ток  $I_{\text{обр}}$  при заданном обратном напряжении  $U_{\text{обр}}$  (значение обратного тока германиевых диодов на два -три порядка больше, чем у кремниевых);
- барьерная емкость диода при подаче на него обратного напряжения некоторой величины;
- $f_{\text{max}}$  - диапазон частот, в котором возможна работа диода без существенного снижения выпрямленного тока;
- рабочий диапазон температур (германиевые диоды работают в диапазоне  $-60...+70^\circ\text{C}$ , кремниевые - в диапазоне  $-60...+150^\circ\text{C}$ , что объясняется малыми обратными токами кремниевых диодов).

*Средняя рассеиваемая мощность* диода  $P_{\text{ср Д}}$  – средняя за период мощность рассеиваемая диодом при протекании тока в прямом и обратном направлении.

Превышение максимально допустимых величин ведет к резкому сокращению срока службы или пробую диода.

Улучшая условия охлаждения (вентиляцией, применением радиаторов), можно увеличить отводимую мощность и избежать теплового пробоя. Применение радиаторов позволяет также увеличить прямой ток.



Промышленностью выпускаются кремниевые выпрямительные диоды на токи до сотен ампер и обратные напряжения до тысяч вольт. Если необходимо работать при обратных напряжениях, превышающих допустимые  $U_{обр}$  для одного диода, то диоды соединяют последовательно. Для увеличения выпрямленного тока можно применяться параллельное включение диодов.

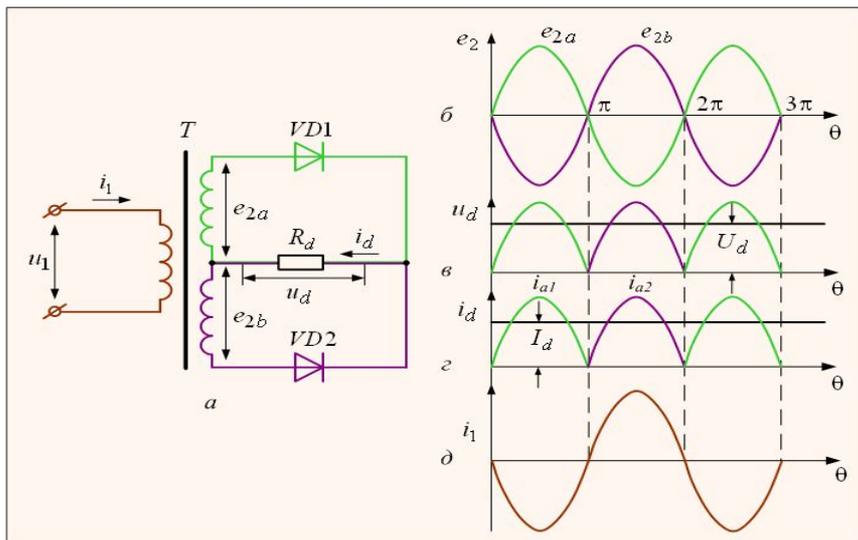
1) Однополупериодный выпрямитель. Трансформатор служит для понижения амплитуды переменного напряжения. Диод служит для выпрямления переменного тока.

2) Двухполупериодный выпрямитель. Предыдущая схема имеет существенный недостаток. Он состоит в том, что не используется часть энергии первичного источника питания (отрицательный полупериод). Недостаток устраняется в схеме двухполупериодного выпрямителя.

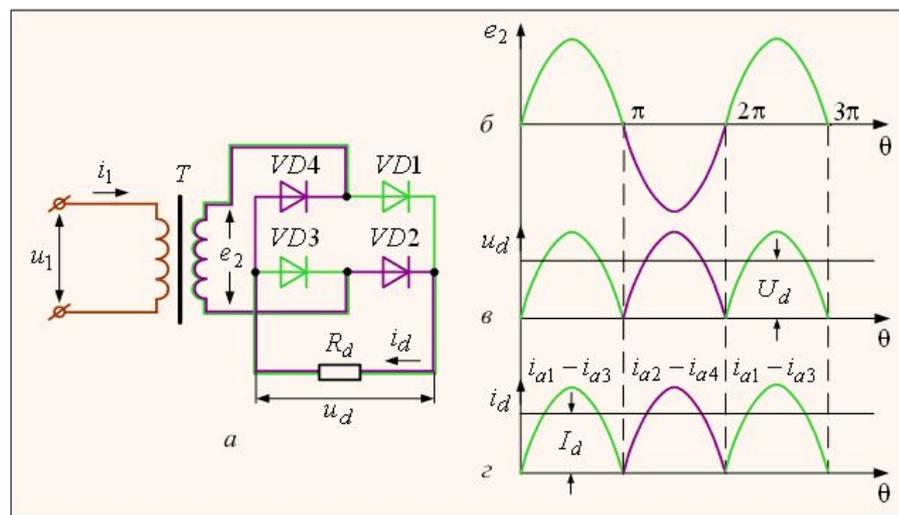
В первый положительный (+) полупериод, ток протекает так : +, VD3, Rн↓, VD2, - .

Во второй – отрицательный (-) так: +, VD4, Rн↓, VD1, - . В обоих случаях он через нагрузку протекает в одном направлении ↓- сверху вниз, т.е. происходит выпрямление тока.

Однофазный однополупериодный выпрямитель



Однофазный двухполупериодный выпрямитель со средней точкой



Однофазный мостовой выпрямитель

## 2.5. Импульсные диоды

Импульсные диоды – это диоды, которые предназначены для работы в ключевом режиме в импульсных схемах. Диоды в таких схемах выполняют роль электрических ключей. Электрический ключ имеет два состояния:

1. Замкнутое, когда его сопротивление равно нулю  $R_{vd} = 0$ .
2. Разомкнутое, когда его сопротивление бесконечно  $R_{vd} = \infty$ .

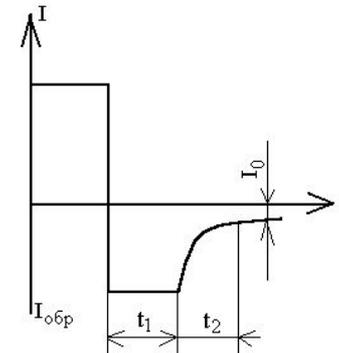
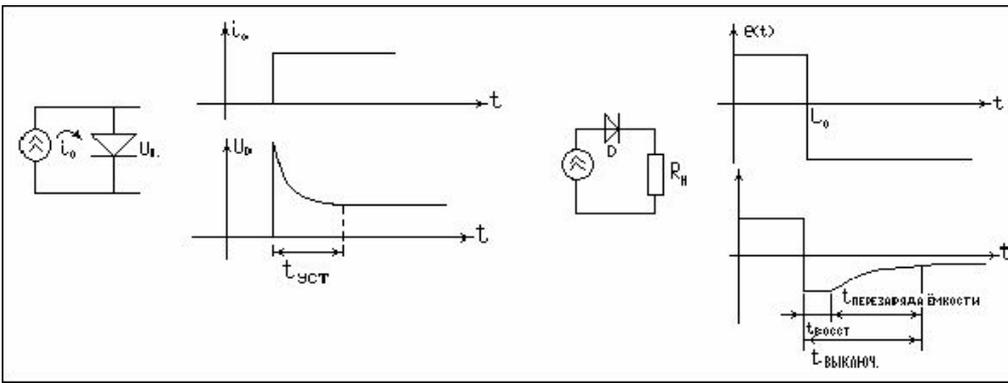
Этим требованиям удовлетворяют диоды в зависимости от полярности приложенного напряжения. Они имеют малое сопротивление при смещениях в прямом направлении, и большое сопротивление при смещениях в обратном направлении.

1. Важным параметром переключающих диодов является их быстродействие переключения. Факторами, ограничивающими скорость переключения диода, является:

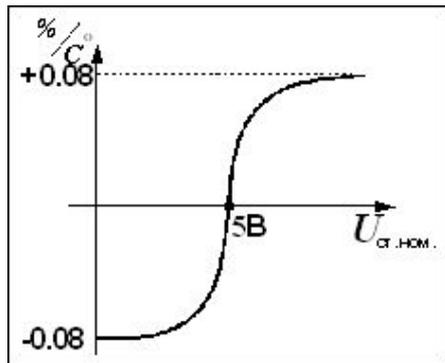
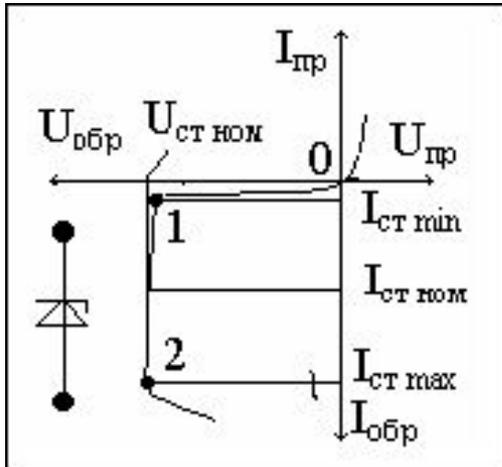
- а) ёмкость диода.
- б) скорость диффузии и связанные с ней время накопления и рассасывания неосновных носителей заряда.

В импульсных диодах высокая скорость переключения достигается уменьшением площади р-п-перехода, что снижает величину ёмкости диода. Однако, это уменьшает величину максимального прямого тока диода ( $I_{прям. max.}$ ). Импульсные диоды характеризуются теми же параметрами, что и выпрямительные, но имеют так же и специфические, связанные с быстродействием переключения. К ним относятся: время установления прямого напряжения на диоде ( $t_{уст}$ ):  $t_{уст}$  – время, за которое напряжение на диоде при включении прямого тока достигает своего стационарного значения с заданной точностью. Это время связано со скоростью диффузии состоит в уменьшении сопротивления области базы за счёт накопления в ней неосновных носителей заряда инжектируемых эмиттером. Первоначально оно высоко, т.к. мала концентрация носителей заряда. После подачи прямого напряжения концентрация неосновных носителей заряда в базе увеличивается, это снижает прямое сопротивление диода. Время восстановления обратного сопротивления диода ( $t_{восст.}$ ): определяется как время, в течение которого обратный ток диода после переключения

полярности приложенного напряжения с прямого на обратное достигает своего стационарного значения с заданной точностью. Это время связано с рассасыванием из базы неосновных носителей заряда накопленных при протекании прямого тока.  $t_{восст.}$  – время, за которое обратный ток через диод при его переключении достигает своего стационарного значения, с заданной точностью  $I_0$ , обычно 10% от максимального обратного тока.  $t_{восст.} = t_1 + t_2$ , где  $t_1$  – время рассасывания, за которое концентрация неосновных носителей заряда на границе р-п-перехода обращается в ноль,  $t_2$  – время разряда диффузионной емкости, связанное с рассасыванием неосновных зарядов в объеме базы диода. В целом время восстановления это время выключения диода, как ключа.



## 2.7. Стабилитроны и стабисторы



**Стабилитрон** – это полупроводниковый диод, изготовленный из слабо легированного кремния, который применяется для стабилизации постоянного напряжения. ВАХ стабилитрона при обратном смещении имеет участок малой зависимости напряжения от тока протекающего через него. Этот участок возникает за счёт электрического пробоя (рис. 1.5).

Стабилитрон характеризуется следующими параметрами:

**Номинальное напряжение стабилизации  $U_{ст.ном}$**  — номинальное напряжение на стабилитроне в рабочем режиме (при заданном токе стабилизации);

**номинальный ток стабилизации  $I_{ст.ном}$**  – ток через стабилитрон при номинальном напряжении стабилизации;

**минимальный ток стабилизации  $I_{ст.min}$**  — наименьшее значение тока стабилизации, при котором режим пробоя устойчив;

**максимально допустимый ток стабилизации  $I_{ст.max}$**  — наибольший ток стабилизации, при котором нагрев стабилитронов не выходит за допустимые пределы.

**Дифференциальное сопротивление  $R_{ст}$** — отношение приращения напряжения стабилизации к вызывающему его приращению тока стабилизации:  $R_{ст} = \Delta U_{ст} / \Delta I_{ст}$ .

**ТКН** – температурный коэффициент напряжения стабилизации:

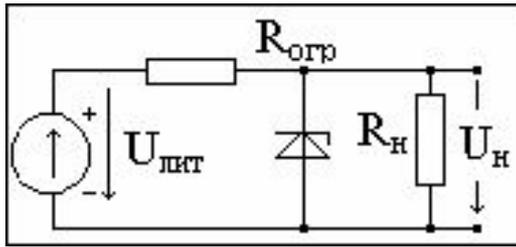
$$ТКН = \frac{\Delta U_{ст.ном.}}{U_{ст.ном.}} \frac{100\%}{\Delta T}$$

– относительное изменение напряжения на стабилитроне приведённое к одному градусу.

$U_{ст.ном.} < 5В$  – при туннельном пробое.

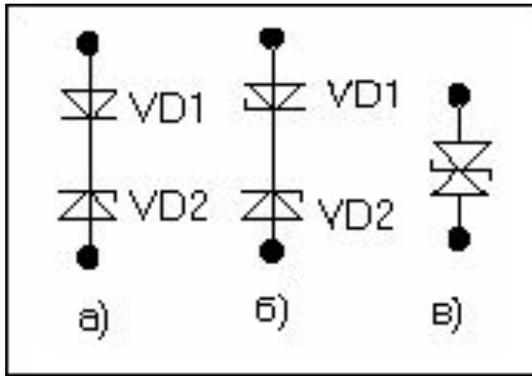
$U_{ст.ном.} > 5В$  – при лавинном пробое.

К параметрам стабилитронов также относят **максимально допустимый прямой ток  $I_{пр.и max}$** , **максимально допустимый импульсный ток  $I_{пр.и max}$** , **максимально допустимую рассеиваемую мощность  $P_{max}$** .



Параметрический стабилизатор напряжения (рис.9.). Он служит для обеспечения постоянства напряжения на нагрузке ( $U_n$ ) при изменении постоянного напряжения питания ( $U_{пит}$ ) или сопротивления нагрузки ( $R_n$ ).

Нагрузка (потребитель) включена параллельно стабилитрону. Ограничительное сопротивление ( $R_{огр}$ ) служит для установления и поддержания правильного режима стабилизации. Обычно  $R_{огр}$  рассчитывают для средней точки ВАХ стабилитрона (рис.5). Схема обеспечивает стабилизацию напряжения за счёт перераспределения токов  $I_{VD}$  и  $I_n$



Проведем анализ работы схемы.

По второму закону запишем соотношение:  $U_{пит} = (I_{VD} + I_n) R_{огр} + U_n$

Изменение напряжения питания на  $\Delta U_{пит}$ , приводит к появлению приращения напряжению на нагрузке на  $\Delta U_n$  и токов  $\Delta I_{VD} = \Delta U_n / r_{ст}$ ,  $\Delta I_n = \Delta U_n / R_n$ . Запишем исходное уравнение относительно приращений:

$\Delta U_{пит} = (\Delta U_n / r_{ст} + \Delta U_n / R_n) R_{огр} + \Delta U_n = \Delta U_n (1/r_{ст} + 1/R_n) R_{огр} + \Delta U_n$ .

Разрешим его относительно  $\Delta U_n$ , получим  $\Delta U_n = \Delta U_{пит} / [1 + R_{огр} / r_{ст} + R_{огр} / R_n]$

Поскольку  $R_{огр} / r_{ст}$  велико, то  $\Delta U_n$  мало. Чем больше  $R_{огр}$  и меньше  $r_{ст}$  тем меньше изменения выходного напряжения.

Расчёт схемы (обычно задано  $U_{пит}$ . и  $R_n$ ):

Выбор стабилитрона VD1 из условий:

и  $I_{ст.ном.} > I_n$ .

2)Расчет

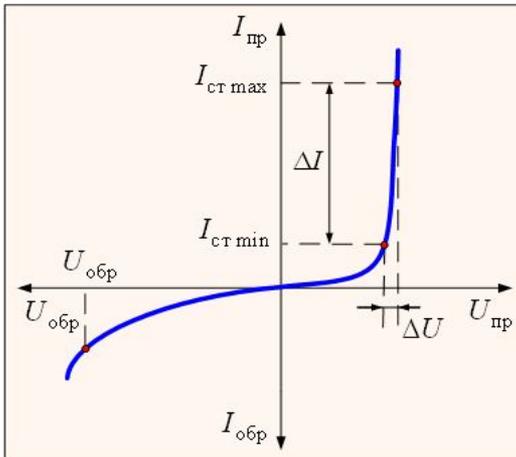
$$R_{огр.} = \frac{U_{вх.} - U_{ст.ном.}}{I_{ст.ном.}} \quad U_{ст.ном.} \approx U_{вых.}$$

Разновидности стабилитронов:

1. Прецизионные. Они имеют малое значение ТКН и нормированную величину  $U_{ст. ном.}$ . Малое ТКН достигается путем включения последовательно со стабилитроном (VD2), имеющим положительный ТКН диоды (VD1) в прямом направлении, ТКН которого отрицателен. Поскольку общий ТКН равен их сумме, то он оказывается малым по величине.

2. Двуханодный стабилитрон. Он состоит из двух стабилитронов включенных встречно-последовательно и применяется для стабилизации амплитуды переменных напряжений.

**Стабисторы** – это полупроводниковые диоды в которых для стабилизации напряжения используется прямая ветвь ВАХ. В таких диодах база сильно легирована примесями ( $r_б \rightarrow 0$ ), а потому их прямая ветвь практически идет вертикально. Параметры стабистора аналогичны параметрам стабилитрона. Они применяются для стабилизации малых напряжений ( $U_{ст.ном.} \approx 0.6В$ ).), ток стабисторов – от 1мА до нескольких десятков мА и отрицательный ТКН.



## 2.9. Туннельные и обращенные диоды

На границе сильно легированных (вырожденных) p-n структур с концентрацией примеси имеет место туннельный эффект.  $n \approx 10^{20} \text{ эл/см}^3$

Он проявляется в том, что при прямом смещении на прямой ветви ВАХ появляется спадающий участок АВ с отрицательным сопротивлением  $R_{\text{диф}} = \Delta U / \Delta I|_{\text{AB}} = -r < 0$ . Пунктиром на графике показана ВАХ диода.

Это позволяет использовать такой диод в усилителях и генераторах электрических колебаний в диапазоне СВЧ, а также в импульсных устройствах.

При обратном смещении ток из-за туннельного пробоя резко возрастает при малых напряжениях.

Основные параметры туннельного диода следующие:

*пиковый ток и напряжение пика  $I_{\text{п}}$ ,  $U_{\text{п}}$*  — ток и напряжение в точке А;

*ток и напряжение впадины  $I_{\text{в}}$ ,  $U_{\text{в}}$*  — ток и напряжение в точке В;

*отношение токов  $I_{\text{п}}/I_{\text{в}}$* ;

*напряжение пика* — прямое напряжение, соответствующее току пика;

*напряжение раствора  $U_{\text{р}}$*  — прямое напряжение, большее напряжения впадины, при котором ток равен пиковому; *индуктивность  $L_{\text{д}}$*  — полная последовательная индуктивность диода при заданных условиях; *удельная емкость  $C_{\text{д}}/I_{\text{п}}$*  — отношение емкости туннельного диода к пиковому току; *дифференциальное сопротивление  $g_{\text{диф}}$*  — величина, обратная крутизне ВАХ; *резонансная частота туннельного диода  $f_0$*  — расчетная частота, при которой общее реактивное сопротивление p-n-перехода и индуктивности корпуса туннельного диода обращается в нуль; *предельная резистивная частота  $fR$*  — расчетная частота, при которой активная составляющая полного сопротивления последовательной цепи, состоящей из p-n-перехода и сопротивления потерь, обращается в нуль; *шумовая постоянная туннельного диода  $K_{\text{ш}}$*  — величина, определяющая коэффициент шума диода; *сопротивление потерь туннельного диода  $R_{\text{п}}$*  — суммарное сопротивление кристалла, контактных присоединений и выводов.

К максимально допустимым параметрам относят *максимально допустимый постоянный прямой ток туннельного диода  $I_{\text{пр max}}$* , *максимально допустимый прямой импульсный ток  $I_{\text{пр.и max}}$*  и *максимально допустимый постоянный обратный ток  $I_{\text{обр max}}$* , *максимально допустимую мощность СВЧ  $P_{\text{свч max}}$* , рассеиваемую диодом.

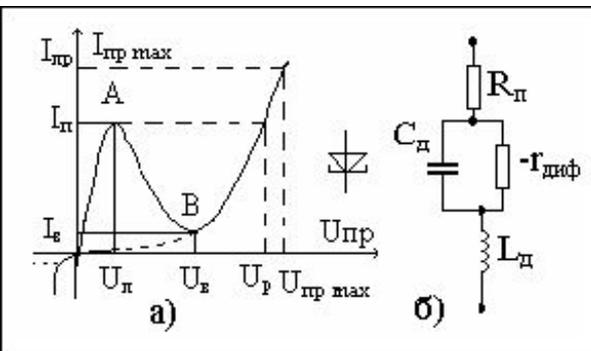
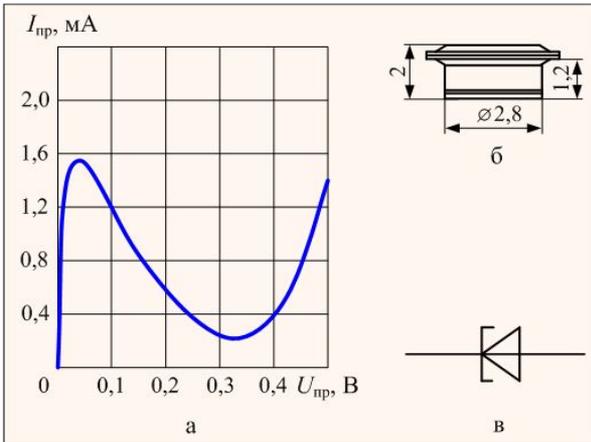
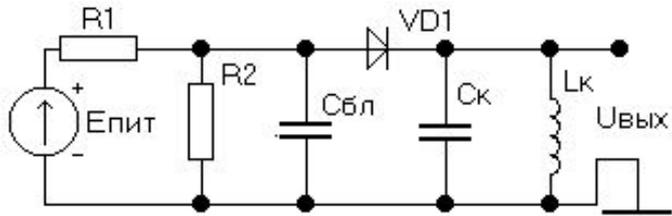


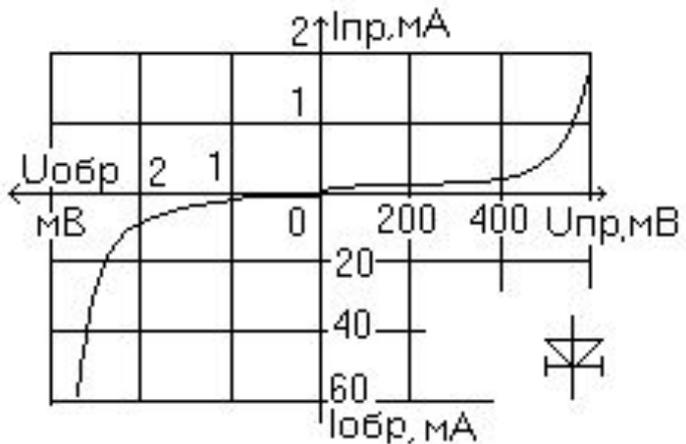
Схема генератора гармонических колебаний на ТД приведена на рис. . Назначение элементов: R1, R2 – резисторы, задают рабочую точку туннельного диода на середине участка ВАХ с отрицательным сопротивлением; Lк, Ск – колебательный контур; Сбл – ёмкость блокировочная, по переменной составляющей она подключает туннельный диод параллельно к колебательному контуру.



Туннельный диод, включённый параллельно колебательному контуру компенсирует своим отрицательным сопротивлением сопротивление потерь колебательного контура, а потому колебания в нем могут продолжаться бесконечно долго.

**Обращенные диоды** являются разновидностью туннельных диодов. В них концентрация примесей несколько меньше чем в туннельных. За счет этого у них отсутствует участок с отрицательным сопротивлением. На прямой ветви до напряжений 0,3-0,4В имеется практически горизонтальный участок с малым прямым током (рис. .), в то время как ток обратной ветви начиная с малых напряжений, за счет туннельного пробоя, резко возрастает. В этих диодах, для малых переменных сигналов, прямую ветвь можно считать не проводящей ток, а обратную – проводящей. Отсюда и название этих диодов.

Обращенные диоды используются для выпрямления СВЧ сигналов малых амплитуд (100-300)мВ.



## 2.10. Маркировка полупроводниковых диодов

Маркировка состоит из шести элементов, например:

К Д 2 1 7 А      или К С 1 9 1 Е  
1 2 3 4 5 6            1 2 3 4 5 6

1 - Буква или цифра, указывает вид материала, из которого изготовлен диод:  
1 или Г – Ge (германий); 2 или К – Si (кремний); 3 или А – GeAs.

2 - буква, указывает тип диода по его функциональному назначению:  
Д – диод; С – стабилитрон, стабистор; В – варикап; И – туннельный диод; А – СВЧ диоды.

3. Назначение и электрические свойства.

4 и 5 - указывают порядковый номер разработки или электрические свойства (в стабилитронах – это напряжение стабилизации; в диодах – порядковый номер).

6. - Буква, указывает деление диодов по параметрическим группам (в выпрямительных диодах – деление по параметру  $U_{обр.мах}$ , в стабилитронах деление по ТКН).



# Дисциплина: **Электротехника и электроника**

---

Лектор: Погодин Дмитрий Вадимович  
Кандидат технических наук,  
доцент кафедры РИИТ  
(кафедра Радиоэлектроники и  
информационно-измерительной  
техники)