

**1. Аналоговая форма представления информации.****Описание линейных систем в частотной и временной области.**

**Аналоговая форма представления информации** – представление протекания процессов в доступной, легко читаемой для человека форме. На физическом уровне логические и запоминающие элементы работают с аналоговым представлением информации. АФП информации является незащищенным от воздействия помех. Объемы информации, передаваемые с помощью АФП в технических системах, могут быть очень большими. Точность реализации функции, в качестве ее количественной характеристики, является абсолютная погрешность  $\delta_a(x, y) = |R(x, y) - A(x, y)|$  или относительная погрешность  $\delta_r(x, y) = \frac{R(x, y) - A(x, y)}{|A(x, y)|}$ , либо

приведенная относительная погрешность (max относит.):

$$\delta_{гр}(x, y) = \frac{R(x, y) - A(x, y)}{\max |A(x, y)|}, \text{ где } R - \text{реальная, } A -$$

эталонная. Функционально выделяют приборную и методическую погрешности. Факторы, определяющие точность реализации ф-ции: -внешние, случайные или регулярные воздействия (наводки); -внутренние нефункциональные воздействия (помехи); -технологические отклонения значений схемных параметров; -ограниченный диапазон существования схемных элементов; -неэквивалентность реальной и идеальной ф-ций схемных узлов. *Примеры.* Для гармонического сигнала  $A(t) = A_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$  возможны

три вида периодических сигналов (модуляции):

$A(t) = A(t) \sin(\omega t + \varphi)$  -амплитудная,

$A(t) = A_0 \sin(\omega(t) + \varphi_0)$  -частотная,  $A(t) = A_0 \sin(\omega_0 t + \varphi(t))$  - фазовая.

**Описание линейных систем в частотной и временной области.**

**Передаточная характеристика** – отношение выходной величины ко входной. Она полностью описывает свойства линейной системы, имеющей один вход и один выход и может быть функцией времени или частоты.

Передаточная х-ка:  $H(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}$ , импульсная х-ка:

$$h(t) = \frac{Y(t)}{X(t)},$$

переходная х-ка:  $g(t) = \frac{Y(t)}{\sigma(t)} \cdot X(t)$  - импульс Дирака,  $\sigma(t)$  -

единичный скачек. Импульсные и переходные характеристики позволяют определить реакцию системы на непериодическое воздействие, определяем с помощью интеграла Дюамеля:

$$Y(t) = \int_t h(t - \tau) X(\tau) d\tau$$

Из известной передаточной характеристики можно определить импульсную и переходную. Передаточную характеристику можно представить в виде отношения двух полиномов:

$$\overline{H}(j\omega) = \frac{1 + j\omega a_1 - \omega^2 a_2 + j\omega^3 a_3 + \dots}{1 + j\omega b_1 - \omega^2 b_2 + j\omega^3 b_3 + \dots} = H(\omega) e^{j\varphi(\omega)}$$

при  $p=j\omega$ ,  $\overline{H}(p) = \text{Re}[\overline{H}] + j\text{Im}[\overline{H}]$ . При  $\overline{H}(p)=0$   $p$  – «нуль», при

$\overline{H}(p) \rightarrow \infty$   $p$  – «полус». Передаточная ф-ция  $\overline{H}(p)$  определяет амплитудно-частотную характеристику (АЧХ)  $H(\omega)$  и фазо-частотную характеристику (ФЧХ)  $\varphi(\omega)$ :

$$H(\omega) = \sqrt{[\text{Re}[\overline{H}]]^2 + [\text{Im}[\overline{H}]]^2} \quad \varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Im}[\overline{H}]}{\text{Re}[\overline{H}]} \quad \text{Коэффициент}$$

передачи – это модуль, или действительная составляющая передаточной функции, которая задается в натуральном или в логарифмическом масштабе. Определяем коэффициент по току, напряжению или

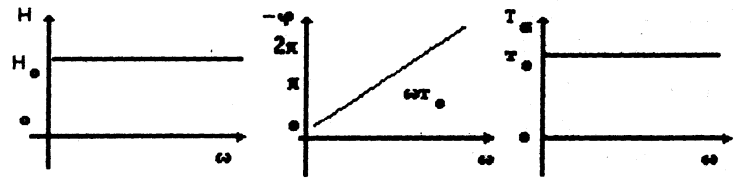
мощности:  $K_i = I_{\text{вых}} / I_{\text{вх}}; K_u = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}; K_p = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}$  Фазовая

скорость  $T_p = - \frac{\varphi(\omega) + 2\pi k}{\omega} \quad k = \dots -2, -1, 0, 1, 2, \dots,$

групповое время задержки  $T_p = - \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega}$ . Понятие искажений

справедливо только для сигналов состоящих из нескольких гармоник. *Линейные искажения* – это изменение формы сигнала во времени, вызываемое различными условиями передачи его частотных составляющих. Для того, чтобы передача сигнала в линейной системе была неискаженной необходимо:  $H(\omega) = H_0 = \text{const}, \varphi(\omega) = -(\omega T_0 + k\pi) \quad k = \dots -2, -1, 0, 1, 2, \dots$

Идеальные линейные системы передают гармонические



**рис. 1.2. Частотные характеристики идеальной линейной системы.**

сигналы без искажений.

*Активные компоненты* электронной схемы – элементы, которые вырабатывают энергию (источник тока/напряжения). *Пассивные компоненты* электронной схемы – элементы, которые только потребляют энергию (все остальные).

## 2. Биполярный транзистор. Основные схемы включения.

**Биполярный транзистор** — трёхэлектродный полупроводниковый прибор, один из типов транзистора. Электроды подключены к трём последовательно расположенным слоям полупроводника с чередующимся типом примесной проводимости. По этому способу чередования различают  $n p n$  и  $p n p$  транзисторы ( $n$  (negative) — электронный тип примесной проводимости,  $p$  (positive) — дырочный). В биполярном транзисторе, в отличие от других разновидностей, основными носителями являются и электроны, и дырки (от слова «би» — «два»). Схематическое устройство транзистора показано на втором рисунке.

Электрод, подключённый к центральному слою, называют базой, электроды, подключённые к внешним слоям, называют коллектором и эмиттером. На простейшей схеме различия между коллектором и

эмиттером не видны. В действительности же коллектор отличается от эмиттера, главное отличие коллектора — большая площадь  $p - n$ -перехода. Кроме того, для работы транзистора абсолютно необходима малая толщина базы.

### Принцип действия транзистора

В активном режиме работы транзистор включён так, что его эмиттерный переход смещён в прямом направлении (открыт), а коллекторный переход смещён в обратном направлении. Для определённости рассмотрим  $p n p$  транзистор, все рассуждения повторяются абсолютно аналогично для случая  $n p n$  транзистора, с заменой слова «электроны» на «дырки», и наоборот, а также с заменой всех напряжений на противоположные по знаку. В  $p n p$  транзисторе электроны, основные носители тока в эмиттере, проходят через открытый переход эмиттер-база (инжектируются) в область базы. Часть этих электронов рекомбинирует с основными носителями заряда в базе (дырками), часть диффундирует обратно в эмиттер. Однако, из-за того что базу делают очень тонкой и сравнительно слабо легированной, большая часть электронов, инжектированных из эмиттера, диффундирует в область коллекторного перехода захватывает электроны (напомним, что они — неосновные носители в базе, поэтому для них переход открыт), и пронесёт их в коллектор. Ток коллектора, таким образом, практически равен току эмиттера, за исключением небольшой потери на рекомбинацию в базе, которая и образует ток базы ( $I_3 = I_6 + I_k$ ). Коэффициент  $\alpha$ , связывающий ток эмиттера и ток коллектора ( $I_k = \alpha I_3$ ) называется коэффициентом передачи тока эмиттера. Численное значение коэффициента  $\alpha$  0.9 — 0.999. Чем больше коэффициент, тем эффективнее транзистор передает ток. Этот

### Схемы включения

**Схема включения с общей базой** Любая схема включения транзистора характеризуется двумя основными показателями: коэффициент усиления по току  $I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$ . Для схемы с общей базой  $I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}} = I_k/I_3 = \alpha$  ( $\alpha < 1$ ) входное сопротивление  $R_{\text{вхб}} = U_{\text{вх}}/I_{\text{вх}} = U_{\text{бз}}/I_3$ . Входное сопротивление для схемы с общей базой мало и составляет десятки Ом, так как входная цепь транзистора при этом представляет собой открытый эмиттерный переход транзистора.

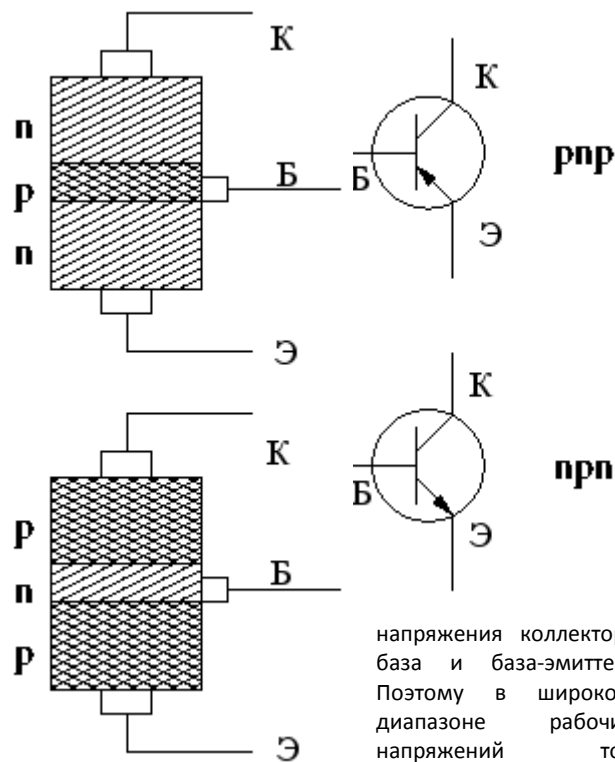
**Недостатки схемы с общей базой:** Схема не усиливает ток, так как  $\alpha < 1$  Малое входное сопротивление Два разных источника напряжения для питания.

**Достоинства:** Хорошие температурные и частотные свойства.

### Схема включения с общим эмиттером

$$I_{\text{вых}} = I_k \quad I_{\text{вх}} = I_6 \quad U_{\text{вх}} = U_{\text{бз}} \quad U_{\text{вых}} = U_{\text{кз}}$$

коэффициент мало зависит от



напряжения коллектор-база и база-эмиттер. Поэтому в широком диапазоне рабочих напряжений ток коллектора пропорционален току базы, коэффициент пропорциональности равен  $\beta = \alpha / (1 - \alpha) \approx (10 - 1000)$ . Таким образом, изменяя малый ток базы, можно управлять значительно большим током коллектора.

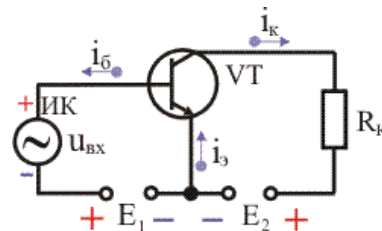
### Режимы работы биполярного транзистора

**Нормальный активный режим** Переход эмиттер — база включен в прямом направлении (открыт), а переход коллектор — база — в обратном (закрыт) **Инверсный активный режим** Эмиттерный переход имеет обратное включение, а коллекторный переход — прямое. **Режим насыщения** Оба  $p-n$  перехода смещены в прямом направлении (оба открыты). **Режим отсечки** В данном режиме оба  $p-n$  перехода прибора смещены в обратном направлении (оба закрыты).

### Основные параметры транзистора:

Коэффициенты усиления: по току  $k_I = \Delta I_{\text{вых}} / \Delta I_{\text{вх}}$  по напряжению  $k_U = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta U_{\text{вх}}$  по мощности  $k_P = \Delta P_{\text{вых}} / \Delta P_{\text{вх}}$

Сопротивления: входное  $R_{\text{вх}} = U_{\text{вх}} / I_{\text{вх}}$  выходное  $R_{\text{вых}} = U_{\text{вых}} / I_{\text{вых}}$



**Достоинства:** Большой коэффициент усиления по току Большое входное сопротивление Можно обойтись одним источником питания

**Недостатки:** Худшие температурные и частотные свойства по сравнению со схемой с общей базой. Выходное переменное напряжение инвертируется относительно входного.

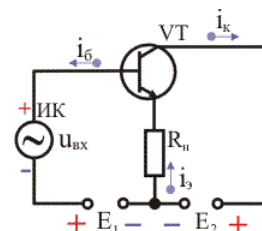
### Схема с общим коллектором

$$I_{\text{вых}} = I_3 \quad I_{\text{вх}} = I_6 \quad U_{\text{вх}} = U_{\text{бк}} \quad U_{\text{вых}} = U_{\text{кз}}$$

**Достоинства:** Большое входное сопротивление

**Недостатки:** Не усиливает напряжение

Схему с таким включением также называют «эмиттерным повторителем».

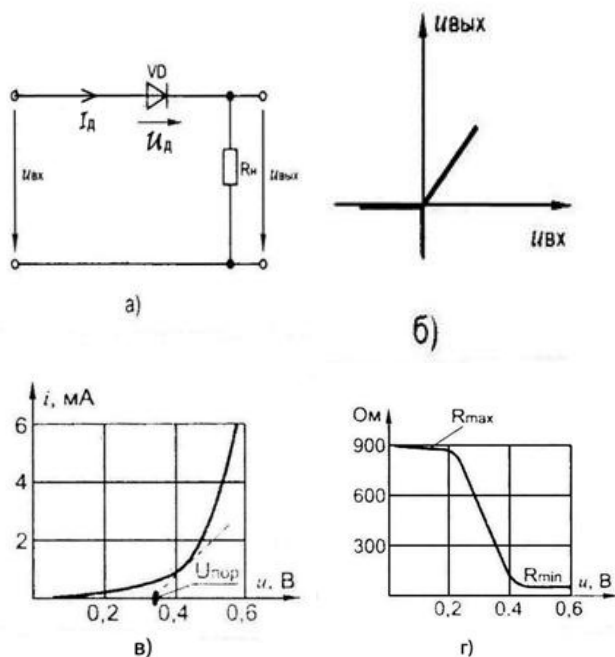


Основные показатели биполярного транзистора для различных схем его включения

Вид схемы	Токи	Напряжения	Основные параметры			Примечание
			$k_I$	$k_U$	$R_{вх}$	
1. общей базой	$I_Э$	$U_{ЭБ}$	$\alpha$	$\alpha \frac{R_n}{R_{вх Б}}$	$\frac{U_{ЭБ}}{I_Э}$	$k_I < 1, k_U > 1$
2. общим эмиттером	$I_Б$	$U_{ЭБ}$	$\beta$	$\beta \frac{R_n}{R_{вх Б}}$	$\frac{U_{ЭБ}(\beta+1)}{I_Э}$	$k_I > 1, k_U > 1$
3. общим коллектором	$I_Б$	$U_{КБ}$	$\beta+1$	$\frac{R_n}{R_n + R_{вх Б}}$	$R_n(\beta+1)$	$k_I > 1, k_U < 1$

### 3. Диодные ключи. Их структура. Статические и динамические характеристики.

Диодные ключи – простейший тип электронных ключей. Схема диодного ключа, статическая передаточная характеристика, ВАХ и зависимость дифференциального сопротивления от напряжения



Принцип работы диодного электронного ключа основан на изменении величины дифференциального сопротивления полупроводникового диода в окрестностях порогового значения напряжения на диоде  $U_{пор}$ . На рисунке "в" показана вольт-амперная характеристика полупроводникового диода, на которой показано значение  $U_{пор}$ . Это значение находится на пересечении оси напряжений с касательной, проведенной к восходящему участку вольт-амперной характеристики. На рисунке "г" показана зависимость дифференциального

$$R_d = \frac{du}{di}$$

сопротивления от напряжения на диоде. Из рисунка следует, что в окрестности порогового напряжения 0,3 В происходит резкое изменение дифференциального

сопротивления диода с крайними значениями 900 и 35 Ом ( $R_{min} = 35 \text{ Ом}$ ,  $R_{max} = 900 \text{ Ом}$ ).

$$Y = \frac{U_{вх}}{R_{нн} + R_H}$$

В состоянии "включено" диод открыт и  $U_{вых} \approx U_{вх}$ .

$$Y = \frac{U_{вх}}{R_{нн} + R_H}$$

В состоянии "выключено" диод закрыт и  $U_{вых} \approx U_{вх} \cdot R_n / R_{max} \ll U_{вх}$

С целью уменьшения времени переключения используемые диоды с малой емкостью перехода порядка 0,5-2 пФ, при этом обеспечивается время выключения порядка 0,5-0,05 мкс. Диодные ключи не позволяют электрически разделить управляющую и управляемую цепи, что часто требуется в практических схемах.

Весьма существенна инертность, проявляемая при его переключении, обусловленная накоплением неосновных носителей в области р-п перехода, емкостью р-п перехода, емкостью и индуктивностью выводов. Основным параметром, определяющим быстродействие диода, является время восстановления обратного сопротивления. Кроме перечисленных параметров, имеют значение также индуктивность и емкость нагрузки, а также монтажные емкости.

Электронные ключи на основе диодов являются пассивными структурами, что приводит к ослаблению сигнала при прохождении таких ключей, что особенно заметно при построении многоступенчатых структур.

Диодные ключи чаще всего используются в качестве вспомогательных узлов в цифровой и аналоговой технике. При построении диодных ключей наибольшее распространение получили **последовательная и параллельная СК**

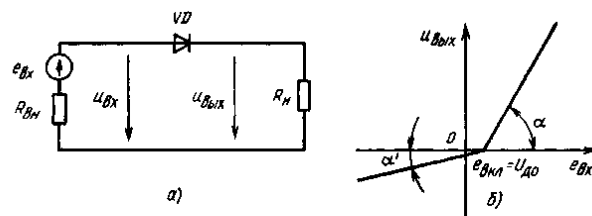


Рис. 10.4. Схема последовательного диодного ключа (а) и ее статическая характеристика передачи (б)

$$u_{вых} = \frac{R_n}{R_{вн} + r_{д пр} + R_n} (e_{вх} - U_{до})$$

$$e_{вх} > U_{до};$$

$$u_{вых} = \frac{R_n}{R_{вн} + r_{д обр} + R_n} e_{вх}$$

$$e_{вх} < U_{до},$$

При условии,

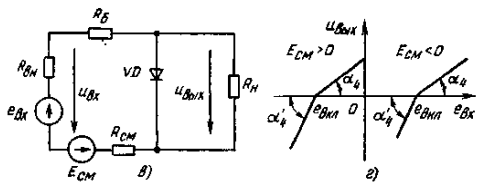
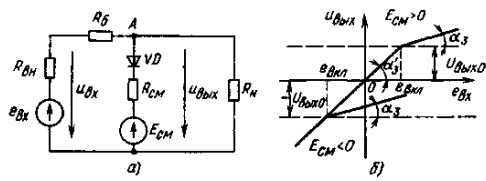
что диод и источник входного сигнала идеальны

$$u_{вых} = e_{вх} - U_{до} \text{ для } e_{вх} > U_{до};$$

$$u_{вых} = 0 \text{ для } e_{вх} < U_{до}.$$

В соответствии с полученными выражениями, статическая характеристика передачи последовательного диодного ключа имеет вид кусочно-линейной функции (рис. 10.4,б).

**Параллельный диодный ключ** Сопротивление  $R_b$  является балластным сопротивлением, ограничивающим ток, протекающий через диод.



$$U_{BXH} = \frac{e_{BX}}{1 + R'_6 \left( \frac{1}{R_H} + \frac{1}{r_{a \text{ оп}}} \right)} \quad \frac{U_{Д0}}{1 + r_{a \text{ оп}} \left( \frac{1}{R'_6} + \frac{1}{R_H} \right)}$$

$$e_{BX} \geq U_{Д0} (1 + R'_6/R_H);$$

$$U_{BXH} = \frac{e_{BX}}{1 + R'_6 \left( \frac{1}{R_H} + \frac{1}{r_{a \text{ оп}}} \right)} \quad \text{для } e_{BX} \leq U_{Д0} (1 + R'_6/R_H).$$

Следует отметить, что изменяя полярность включения диода и вводя в схему ключа несколько источников  $E_{CM}$ , можно значительно видоизменять статиче-1кую ВАХ схем как последовательного, так и параллельного диодных ключей.