

2. Активные фильтры на ОУ.

Активные фильтры - это усилители, имеющие избирательные частотные свойства:

- фильтры низких частот пропускают только низкие частоты;
- фильтры высоких частот;
- полосовые фильтры обеспечивают пропускание сигналов определенных частот;
- режекторные фильтры служат для непропускания колебаний в некоторой полосе частот.

Схема фильтра НЧ:

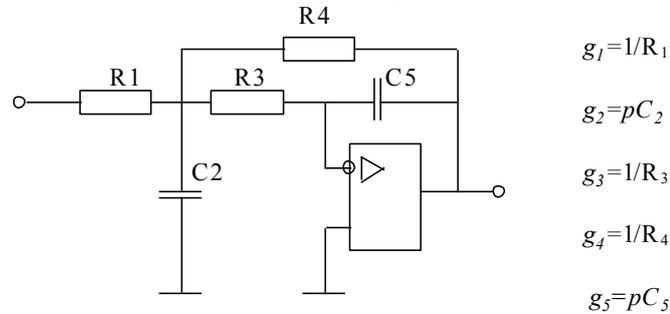
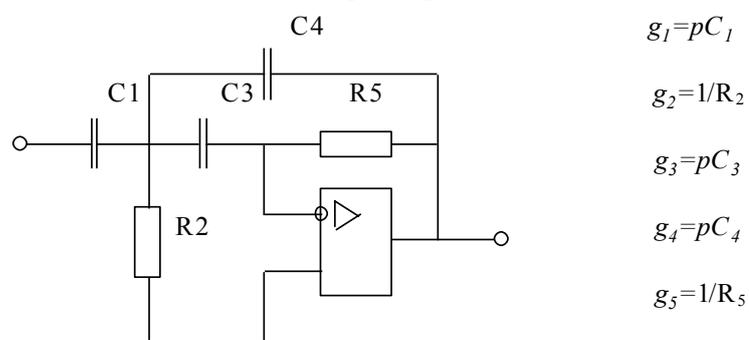
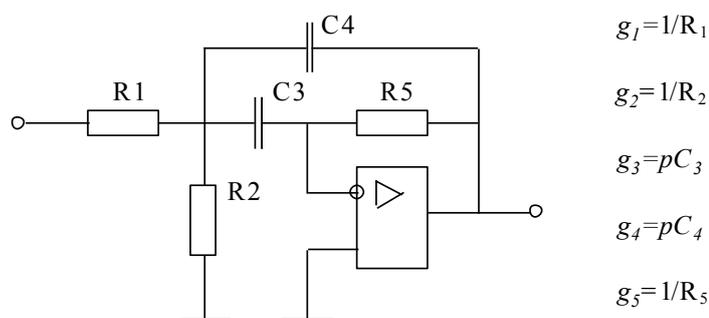


Схема фильтра ВЧ:

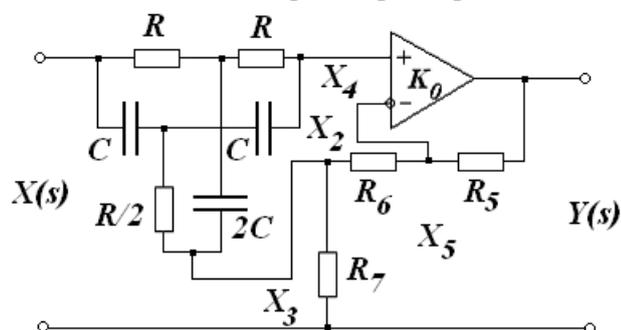


Полосовой фильтр:



Эти схемы — фильтры второго порядка: дают -40 дБ/дек на ЛАЧХ. Можно рассмотреть более простые фильтры первого порядка (-20 дБ/дек) — из первой задачи последнего РК.

Режекторный фильтр:

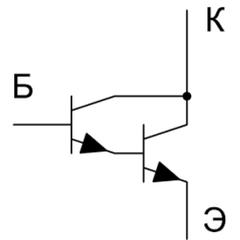


Билет 10

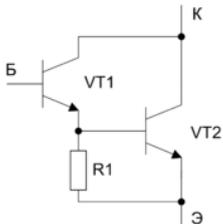
1. Основные параметры и характеристики составного транзистора Дарлингтона.

- Коэффициент передачи по току.
 - Входное сопротивление.
 - Выходная проводимость.
 - Обратный ток коллектор-эмиттер.
 - Время включения.
 - Обратный ток коллектора.
 - Максимально допустимый ток.
 - Граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером.
-
- Высокий коэффициент усиления по току (эмиттерному) β .
 - Схема Дарлингтона изготавливается в виде интегральных схем и при одинаковом токе рабочая поверхность кремния меньше, чем у биполярных транзисторов. Данные схемы представляют большой интерес при высоких напряжениях.

Дополнительно (не обязательно): Составной транзистор (транзистор Дарлингтона) — объединение двух или более биполярных транзисторов с целью увеличения коэффициента усиления по току. Такой транзистор используется в схемах, работающих с большими токами (например, в схемах стабилизаторов напряжения, выходных каскадов усилителей мощности) и во входных каскадах усилителей, если необходимо обеспечить большой входной импеданс.



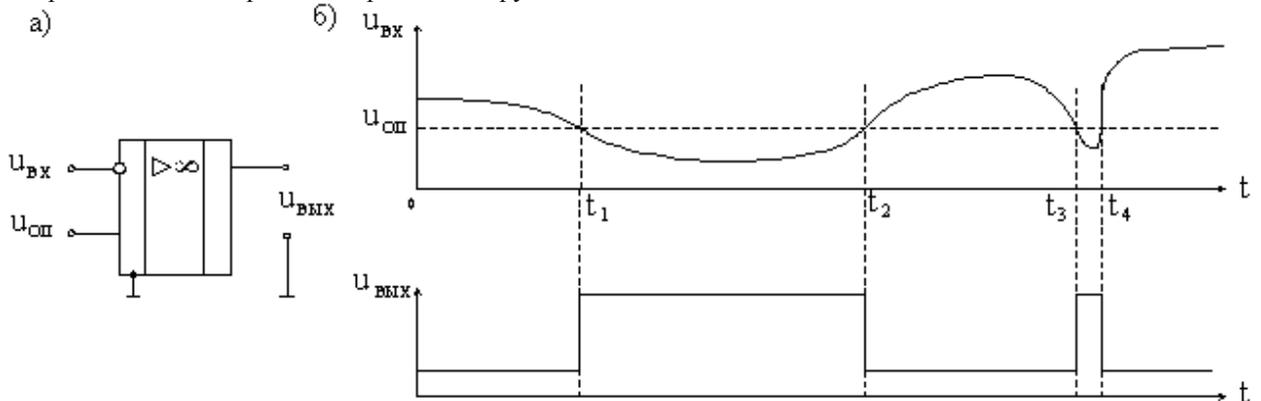
Условное обозначение составного транзистора



Принципиальная схема составного транзистора (как он есть в интегральном исполнении).

2. Компаратор напряжений на ОУ: схема, временные диаграммы, принцип работы.

Компараторы – это ОУ специального назначения, предназначенные для сравнения по уровню двух своих входных напряжений и скачкообразного изменения своего выходного напряжения в тех случаях, когда одно из сравниваемых напряжений превышает другое.



На один вход компаратора подается входной сигнал $u_{вх}$, на другой - опорное напряжение $u_{оп}$. В зависимости от соотношения уровней $u_{вх}$ и $u_{оп}$ компаратор меняет свое состояние и уровень выходного напряжения. При $u_{вх} > u_{оп}$ выходное напряжение будет малым (см. на рис.3.19,б,в интервалы времени от 0 до t_1 , от t_2 до t_3 и после t_4), а при $u_{вх} < u_{оп}$ – большим (см. на рис.3.19,б,в интервалы времени от t_1 до t_2 и t_3 до t_4), поскольку $u_{вх}$ подается на

инвертирующий вход (отметим, что для получения большого $U_{\text{ВЫХ}}$ при $U_{\text{ВХ}} > U_{\text{оп}}$, нужно подавать $U_{\text{ВХ}}$ на неинвертирующий вход, а $U_{\text{оп}}$ на инвертирующий вход).

Билет 11

1. Усилитель с общим эмиттером.

При схеме включения биполярного транзистора с **общим эмиттером (ОЭ)** входной сигнал подаётся на базу, а снимается с коллектора. При этом выходной сигнал инвертируется относительно входного (для гармонического сигнала фаза выходного сигнала отличается от входного на 180°). Каскад усиливает и ток, и напряжение. Сигнал подается и снимается относительно общего эмиттера.

(Данное включение транзистора позволяет получить наибольшее усиление по мощности, поэтому наиболее распространено. Однако, при такой схеме нелинейные искажения сигнала больше, чем в схемах с общей базой или с общим коллектором. Кроме того, при данной схеме включения на характеристики усилителя значительное влияние оказывают внешние факторы, такие как напряжение питания, или температура окружающей среды. Обычно для компенсации этих факторов применяют отрицательную обратную связь, но она снижает коэффициент усиления.)

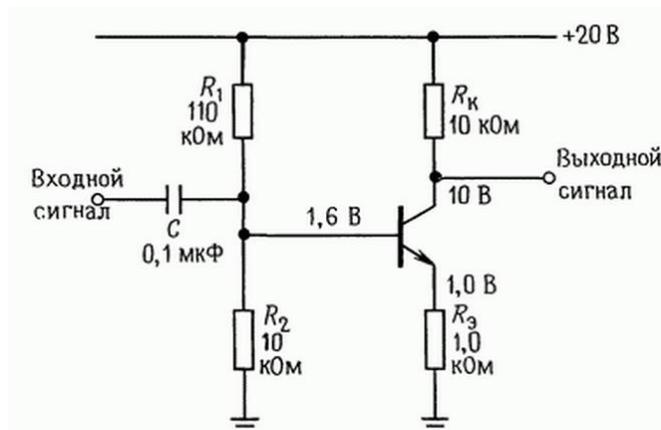


Рис. 2.27. Каскад усиления переменного тока с общим эмиттером с отрицательной обратной связью в цепи эмиттера. Обратите внимание, что выходной сигнал снимается с коллектора, а не с эмиттера.

2. Аналоговый перемножитель напряжений.

Устройство и принцип действия. Аналоговыми перемножителями напряжений называют интегральные микросхемы, предназначенные для выполнения операции перемножения двух сигналов и выдачи результата перемножения в форме напряжения.

$$U_{\text{ВВЫ}} = \frac{U_{\text{к}} U_{\text{у}}}{U_{\text{г}}} = K_{\text{п}} U_{\text{х}} U_{\text{у}}$$

где $U_{\text{г}} = K_{\text{п}}^{-1}$ — масштабирующее напряжение.

В аналоговом перемножителе напряжения выходное напряжение пропорционально произведению входных. Если произведение получается с правильным алгебраическим знаком, перемножитель называют четырехквadrантным.

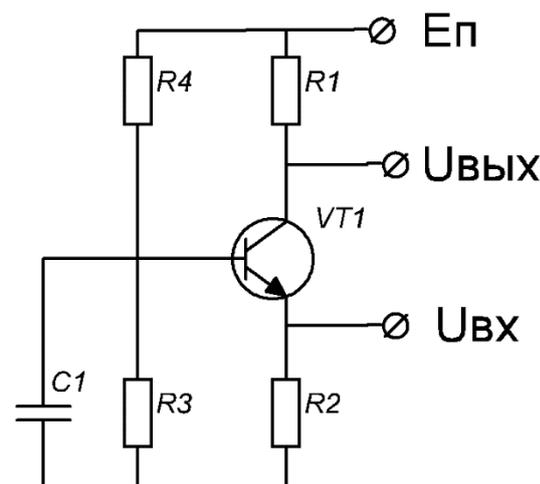
Разработано несколько способов построения аналоговых перемножителей напряжения: логарифмирующие, квадратирующие, с широтноимпульсной модуляцией и др.

(Дополнение (может вызвать наводящий вопрос: Аналоговые перемножители (АП) предназначены для перемножения двух аналоговых величин и поэтому могут использоваться для построения умножителей частоты, фазовых детекторов, балансных модуляторов, а также в системах автоматического регулирования в качестве перемножителей и схем возведения в степень.)

Билет 12

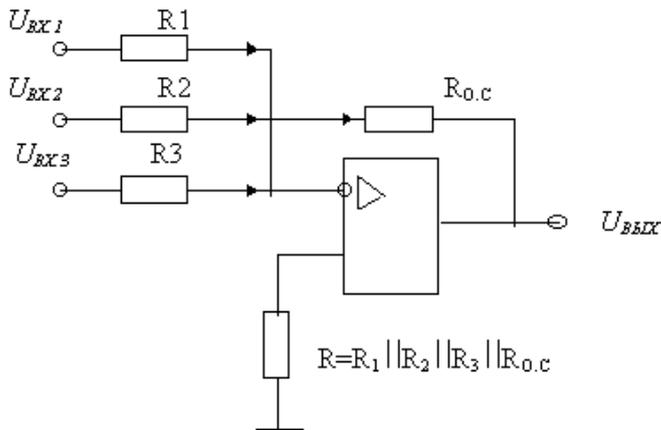
1. Усилитель с общей базой.

Усилительный каскад с общей базой (ОБ). Характеризуется отсутствием усиления по току (коэффициент передачи близок к единице, но меньше единицы), высоким коэффициентом усиления по напряжению и умеренным (по сравнению со схемой с общим эмиттером) коэффициентом усиления по мощности. Входной сигнал подаётся на эмиттер, а выходной снимается с коллектора. При этом входное



сопротивление очень мало, а выходное — велико. Фазы входного и выходного сигнала совпадают.

2. Суммирующий усилитель.



Суммирующее устройство выполнено на основе схемы инвертирующего усилителя.

Так как инвертирующий вход имеет практически нулевой потенциал, отсутствует взаимное влияние входных сигналов. Из условия

$$I_{R_{0.c}} = I_{R_1} + I_{R_2} + I_{R_3}$$

получаем:

$$U_{вых} = -\frac{R_{0.c}}{R_1} \cdot U_{вх.1} - \frac{R_{0.c}}{R_2} \cdot U_{вх.2} - \frac{R_{0.c}}{R_3} \cdot U_{вх.3}$$

Усиление каждого входа сигнала равно отношению сопротивления резистора $R_{0.c}$ к сопротивлению соответствующего входного резистора.

Билет 13

1. Основные параметры и характеристики усилителя с общим коллектором.

- Коэффициент усиления по току
- Коэффициент усиления по напряжению
- Коэффициент усиления по мощности
- Входное сопротивление
- Выходное сопротивление

Дополнительно:

1) Входное сопротивление транзистора

$R_{вх.m} = r_{\bar{\sigma}} + (h_{21\sigma} + 1)(r_{\bar{\sigma}.диф} + R_{\bar{\sigma}.н})$
достигает значительной величины.

Для каскада $R_{вх} = R_{вх.m} \parallel R_{\bar{\sigma}}$

2) Выходное сопротивление транзистора

$R_{вых} = U_2 / I_2$ при $U_1 = 0$, $R_{\bar{\sigma}.н} = \infty$.

$$I_2 = U_2 / (r_{\bar{\sigma}.диф} + r_{\bar{\sigma}}) + [r_{\bar{\sigma}} / (r_{\bar{\sigma}} + r_{\bar{\sigma}.диф})] h_{21\sigma} I_{\bar{\sigma}}$$

Отсюда $R_{вых.m} = r_{\bar{\sigma}.диф} + r_{\bar{\sigma}} / (h_{21\sigma} + 1)$.

Кстати, оно равно $R_{вх.m}$ в схеме с общей базой.

Если учесть и внутреннее сопротивление источника сигнала:

$$R_{вх.m} = r_{\bar{\sigma}.диф} + (r_{\bar{\sigma}} + R_r) / (h_{21\sigma} + 1)$$

$R_{вых.m}$ имеет небольшие значения. При $I = 5 \text{ mA}$, $h_{21\sigma} = 50$, $r_{\bar{\sigma}} = 200 \text{ Ом}$

$$R_{вых.m} = 25/5 + 200/50 = 9 \text{ Ом}$$

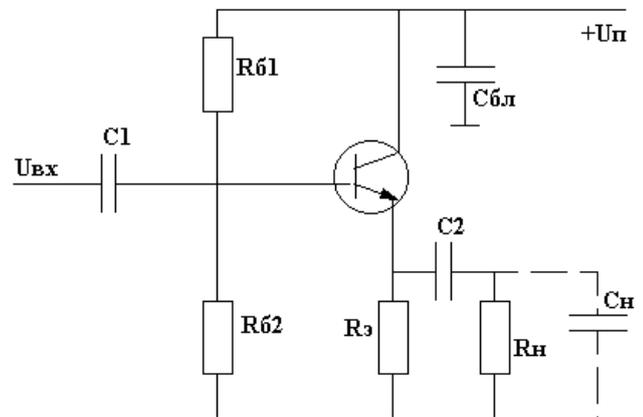
При учете R_r величина $R_{вых.m}$ возрастает, и при $R_r \rightarrow \infty$, $R_{вых.m} \rightarrow r_{\bar{\sigma}.диф}^*$ Практически при $R_r \cong 2 \text{ кОм}$ $R_{вых.m} \cong 100 \text{ Ом}$.

3) Коэффициент передачи по напряжению

$$K_{U.o} = U_{вых} / U_{вх} = I_{\bar{\sigma}} R_{\bar{\sigma}.н} / I_{\bar{\sigma}} R_{вх.m} = ((h_{21\sigma} + 1) I_{\bar{\sigma}} R_{\bar{\sigma}.н}) / I_{\bar{\sigma}} (r_{\bar{\sigma}} + (h_{21\sigma} + 1)(r_{\bar{\sigma}.диф} + R_{\bar{\sigma}.н}))$$

$$K_{U.o} = R_{\bar{\sigma}.н} / (R_{\bar{\sigma}.н} + R_{вых.m}) < 1$$

Выходное напряжение по форме и по фазе повторяет входное. Напряжение на эмиттере отслеживает изменения потенциала базы, поэтому каскад допускает большие амплитуды входного сигнала без перегрузки транзистора.



Потенциал $U_{б, \max}$ ограничен сверху напряжением питания U_n , а $U_{б, \min}$ – областью малых токов эмиттера, когда $R_{\text{вых}}$ сильно возрастает из-за уменьшения $h_{21э}$ и увеличения $r_{э, \text{диф}}$.

4) Коэффициент усиления по току

$$K_{I_0} = I_H/I_2 = I_6/I_2 * I_3/I_6 * I_H/I_3 = R_2 / (R_2 + R_{\text{вх}}) * (h_{21э} + 1) * R_3 / (R_3 + R_H).$$

Максимальное усиление по току при $R_2 \rightarrow \infty$, $R_6 \rightarrow \infty$, $R_H \rightarrow 0$

$$K_{I_0 \max} = h_{21э} + 1$$

5) Коэффициент усиления мощности

Либо отношение выходной к входной мощности, либо произведение коэффициентов по току и напряжению.

2. Интегратор и дифференциатор на ОУ: схемы, временные диаграммы, принцип работы.

Интегратор:

Стандартный интегратор на ОУ, показанный на рис. 7.2, б содержит входной резистор R и конденсатор C, включенный в цепь обратной связи ОУ. Ток, поступающий на инвертирующий вход ОУ, определяется сопротивлением резистора R. За счет большого собственного коэффициента усиления ОУ его инвертирующий вход оказывается виртуальной землей. В результате входной ток определяется только входным напряжением и резистором R. Следовательно, практически весь входной ток протекает через конденсатор C, заряжая его.

$$U_c(t) = U_{c0} - \frac{1}{C} \cdot \int i_c(t) dt \quad i_c = I_{R1} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{R_1}$$

$$U_{\text{сос}}(t) = U_{c0} - \frac{1}{C_{\text{ос}}} \cdot \int \frac{U_{\text{ВХ}}(t)}{R_1} dt = U_{c0} - \frac{1}{C_{\text{ос}} \cdot R_1} \cdot \int U_{\text{ВХ}}(t) dt = U_{c0} - \frac{1}{T_{\text{И}}} \cdot \int U_{\text{ВХ}}(t) dt$$

$$T_{\text{И}} = C_{\text{ос}} \cdot R_1$$

где

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = U_{c0} - \frac{1}{T_{\text{И}}} \cdot \int U_{\text{ВХ}}(t) dt$$

Оциллограммы входного и выходного напряжений схемы при подаче на вход меандра

При подаче на вход схемы меандра, получаем выходной сигнал, показанный на рисунке 6.1.2.

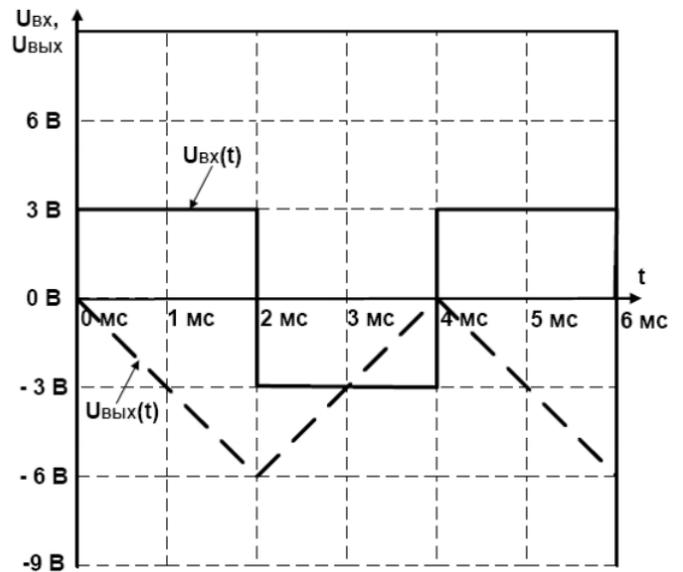
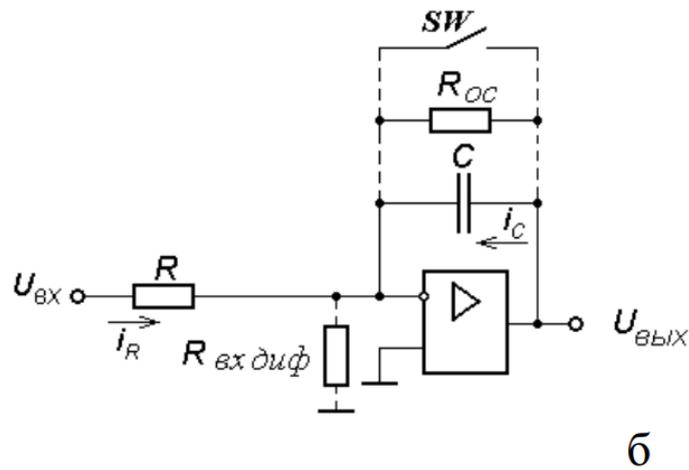


Рисунок 6.1.2 Диаграммы входного и выходного напряжения схемы при подаче на вход меандра

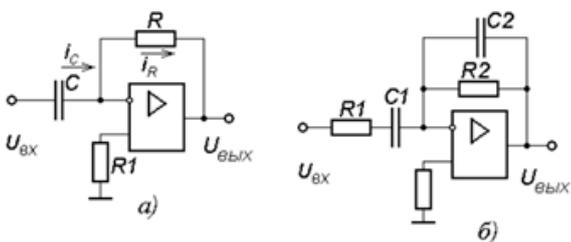


Рис. 7.5. Схема идеализированного дифференцирующего устройства (а); схема дифференцирующего устройства, применяемая на практике (б);

Дифференциатор - это устройство, выходное напряжение которого пропорционально скорости изменения сигнала на входе. Т.о. дифференцирующие цепи используются тогда, когда требуется преобразовать напряжение

заданной формы $U_{вх}(t)$ в сигнал $U_{вых}(t)$, изменяющийся по закону

Осциллограммы входного и выходного напряжений схемы при подаче на вход треугольного напряжения

На рисунке 6.2.2 приведен график диаграмм входного и выходного напряжения при подаче треугольного сигнала на вход схемы.

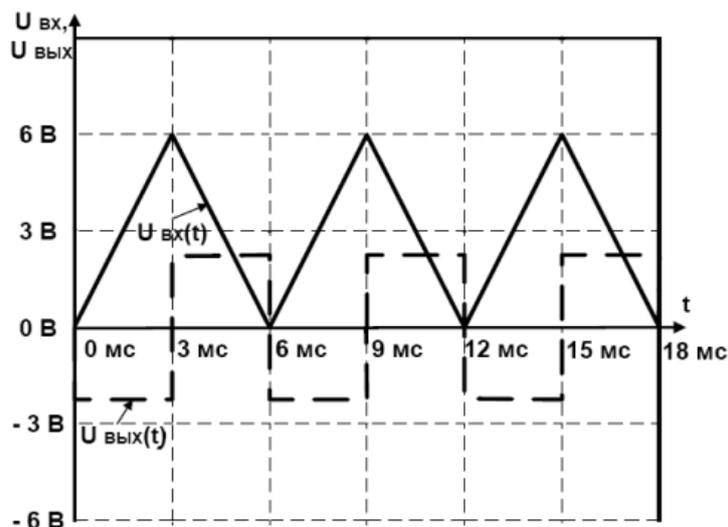


Рис. 6.2.2 Диаграммы входного и выходного напряжения при подаче треугольного сигнала

Если рассматривать ОУ идеальным ($K_{oy} \rightarrow \infty$, $R_{вх} \rightarrow \infty$, $R_{вых} \rightarrow 0$, $\omega_c \rightarrow \infty$), то передаточную функцию дифференцирующего устройства легко найти исходя из следующих рассуждений.

Если на входные зажимы подано напряжение $U_{вх}$, то в связи с малым отличием от нуля потенциала инвертирующего входа идеализированного ОУ оно практически полностью приложено к конденсатору C и вызывает появление тока зарядки

$$i_C = C \frac{dU_{вх}}{dt}.$$

Так как входное сопротивление ОУ достаточно велико, то весь ток конденсатора C протекает через резистор R , т.е., $i_C + i_R = 0$, откуда

$$i_R = -i_C = -C \frac{dU_{вх}}{dt}.$$

Выходной сигнал определяют падением напряжения на резисторе

$$U_{вых} = i_R R = -RC \frac{dU_{вх}}{dt}.$$

Из этого уравнения можно найти передаточную функцию рассматриваемого устройства в операторном виде

$$K(p) = \frac{U_{вых}(p)}{U_{вх}(p)} = -pRC.$$

Билет 14

1. Основные параметры и характеристики светопоглощающих и излучающих диодов.

Фотодиод (светопоглощающий диод) — приёмник **оптического излучения**, который преобразует попавший на его фоточувствительную область **свет** в **электрический заряд** за счёт процессов в **p-n-переходе**.

Параметры:

- чувствительность

Дополнительно: отражает изменение электрического состояния на выходе фотодиода при подаче на вход единичного оптического сигнала. Количественно чувствительность измеряется отношением изменения электрической характеристики, снимаемой на выходе фотоприёмника, к световому потоку или потоку излучения, его вызвавшему.

$$S_{i,\Phi_v} = \frac{I_\Phi}{\Phi_v}; \quad S_{i,E_v} = \frac{I_\Phi}{E_v} \text{ — токовая чувствительность по световому потоку}$$
$$S_{u,\Phi_e} = \frac{U_\Phi}{\Phi_e}; \quad S_{i,E_e} = \frac{U_\Phi}{E_e} \text{ — вольт-амперная чувствительность по энергетическому потоку}$$

- шумы

Дополнительно: помимо полезного сигнала на выходе фотодиода появляется хаотический сигнал со случайной амплитудой и **спектром** — шум фотодиода. Он не позволяет регистрировать сколь угодно малые полезные сигналы. Шум фотодиода складывается из шумов **полупроводникового** материала и фотонного шума.

Характеристики:

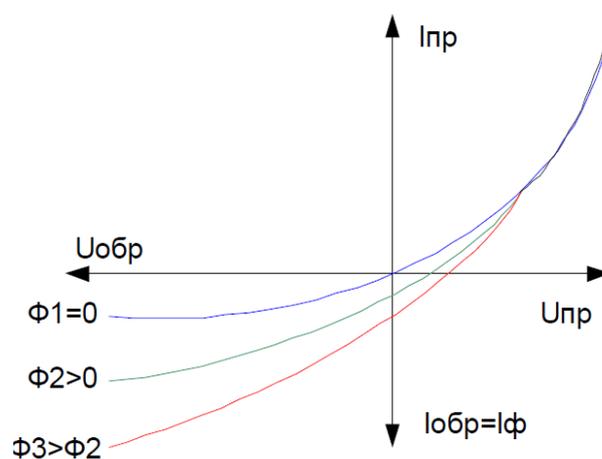
- вольт-амперная характеристика (ВАХ)**

зависимость выходного напряжения от входного тока. $U_\Phi = f(I_\Phi)$

- спектральные характеристики

Дополнительно: зависимость фототока от длины волны падающего света на фотодиод. Она определяется со стороны больших длин волн **шириной запрещённой зоны**, при

малых длинах волн большим показателем поглощения и увеличения влияния поверхностной рекомбинации носителей заряда с уменьшением длины волны квантов света. То есть коротковолновая граница чувствительности зависит от толщины базы и от скорости поверхностной рекомбинации. Положение максимума в спектральной характеристике фотодиода сильно зависит от степени роста коэффициента поглощения.



- световые характеристики

Дополнительно: зависимость фототока от освещённости, соответствует прямой пропорциональности фототока от освещённости. Это обусловлено тем, что толщина базы фотодиода значительно меньше диффузионной длины неосновных носителей заряда. То есть практически все неосновные носители заряда, возникшие в базе, принимают участие в образовании фототока.

- постоянная времени

Дополнительно: это время, в течение которого фототок фотодиода изменяется после освещения или после затемнения фотодиода в e раз (63 %) по отношению к установившемуся значению.

- темновое сопротивление

сопротивление фотодиода в отсутствие освещения.

- Инерционность

Светодиод или **светоизлучающий диод** — полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий **оптическое излучение** при пропускании через него электрического тока в прямом направлении.

Основные характеристики:

а) Яркостная характеристика – это мощностная зависимость излучения от прямого тока:

$$P_u = f(I_{пр})$$

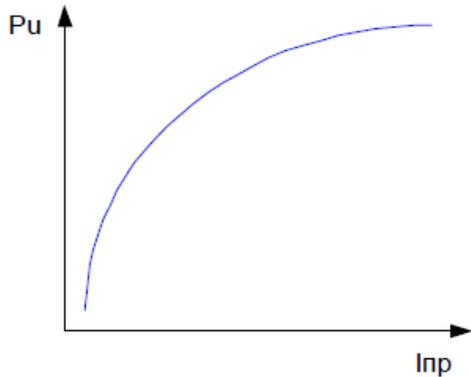


Рис. 52

Спектральная плотность

б) Спектральная характеристика – это зависимость:

$$r_{\lambda}^* = f(\lambda)$$

от длины волны

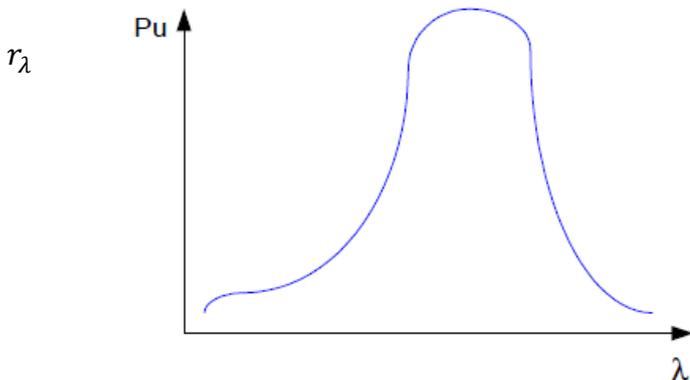


Рис. 53

Основные параметры: яркость свечения при максимальном прямом токе; полная мощность излучения $P_{u,max}$.

2. Преобразователь ток-напряжение на ОУ: схема, временные диаграммы, принцип работы.

Временных диаграмм нет (полный коспект стр. 76)

Входной сигнал - ток, а выходной - напряжение. ПТН должен иметь низкое $R_{вх}$ и малое $R_{вых}$.

Самый простой ПТН представлен на рис. 2.23. В качестве датчика измеряемого тока используется образцовый резистор R , падение напряжения на котором $I_{вх}R$ является входным сигналом для усилителя напряжения.

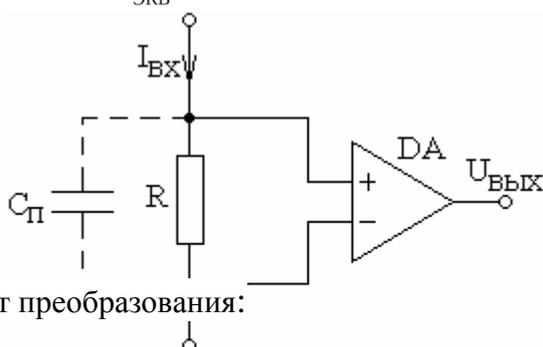
(Дополнительно (не обязательно) измеряемые токи $I_{вх}$ должны быть порядка нескольких десятков или, в крайнем случае, единицу микроампер. При измерении токов меньшей величины требуются высокоомные резисторы (генерирующие значительный шум) и малошумящие усилители с малыми токами смещения.)

Для переменного тока необходимо также учитывать влияние паразитной емкости $C_{п}$, уменьшающей полосу пропускания (частота среза $f_c = 1/2\pi RC_{п}$).

Для измерения малых токов с успехом может использоваться схема, рис. 2.24.

(Дополнительно (не обязательно): Нижняя граница $I_{вх}$ составляет доли пикоампера. Весь входной ток протекает через $R_{ос}$ и, следовательно, $U_{вых} = -R_{ос} \cdot I_{вх}$)

$$K_I = \frac{U_{ВЫХ}}{I_{ВХ}} = \frac{-R_{ОС}}{1 + \frac{R_{ЭКВ} + R_{ОС}}{K \cdot R_{ЭКВ}}} \approx -R_{ОС}$$



Коэффициент преобразования:

Рис. 2.23. Простейший ПТН

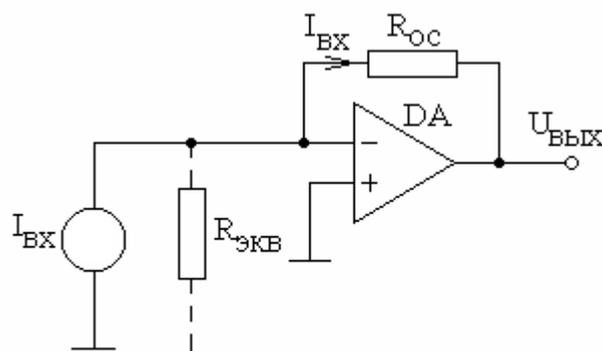


Рис. 2.24. ПТН для малых токов

Билет 15

1. Варикапы.

Варикап (от англ. *vari(able)* — «переменный», и *cap(acity)* — «ёмкость») — **полупроводниковый диод**, работа которого основана на зависимости барьерной ёмкости **p-n перехода** от **обратного напряжения**. Варикапы применяются в качестве элементов с электрически управляемой ёмкостью в схемах перестройки частоты **колебательного контура**, деления и умножения частоты, **частотной модуляции**, управляемых фазовращателей и др.



Дополнительно (не обязательно): При отсутствии внешнего напряжения в p-n-переходе существуют потенциальный барьер и внутреннее **электрическое поле**. Если к диоду приложить обратное напряжение, то высота этого потенциального барьера увеличится. Внешнее обратное напряжение отталкивает **электроны** в

глубь p-области, в результате чего происходит расширение обеднённой области p-n-перехода, которую можно представить как простейший плоский конденсатор, в котором обкладками служат границы области.

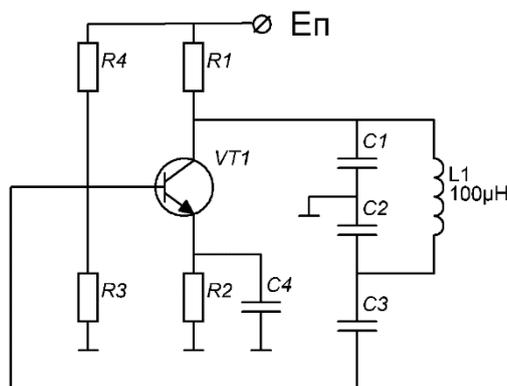
Основные параметры

- Общая ёмкость — ёмкость, измеренная между выводами варикапа при заданном обратном напряжении.
- Коэффициент перекрытия по ёмкости — отношение ёмкостей при двух заданных значениях обратного напряжения на варикапе.
- Добротность — отношение реактивного сопротивления варикапа на заданной частоте к сопротивлению потерь при заданном значении ёмкости или обратного напряжения.
- Постоянный обратный ток — постоянный ток, протекающий через варикап при заданном обратном напряжении.
- Максимально допустимое постоянное обратное напряжение.
- Максимально допустимая рассеиваемая мощность.
- Температурные коэффициенты ёмкости и добротности — отношение относительного изменения ёмкости (добротности) варикапа к вызвавшему его абсолютному изменению температуры. В общем случае сами эти коэффициенты зависят от значения обратного напряжения, приложенного к варикапу.
- Предельная частота варикапа — значение частоты, на которой реактивная составляющая проводимости варикапа становится равной активной составляющей. Измерение предельной частоты производится при конкретных заданных обратном напряжении и температуре, которые в свою очередь зависят от типа варикапа.

2. Ёмкостная трёхточечная схема генератора.

Генератор **Колпитца** (ёмкостная трёхточка) – генератор, использующий комбинацию индуктивности (L) с ёмкостью (C) для определения частоты, так же называется LC генератором. Одной из ключевых особенностей генераторов этого вида является их простота (нужна только одна индуктивность без отводов).

Напряжение обратной связи снимается с ёмкостного делителя напряжения.

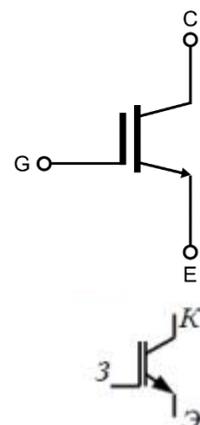


Билет 16

1. IGBT-транзистор.

Биполярный транзистор с изолированным затвором (БТИЗ) (IGBT) — трёхэлектродный силовой электронный прибор, используемый, в основном, как мощный **электронный ключ** в **импульсных источниках питания**, **инверторах**, в системах управления **электрическими приводами**.

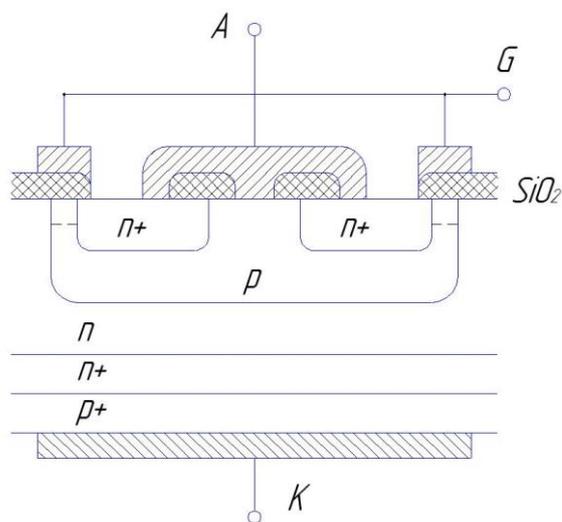
По своей внутренней структуре БТИЗ представляет собой каскадное включение двух электронных ключей: входной ключ на **полевом транзисторе** управляет мощным окончательным ключом на биполярном



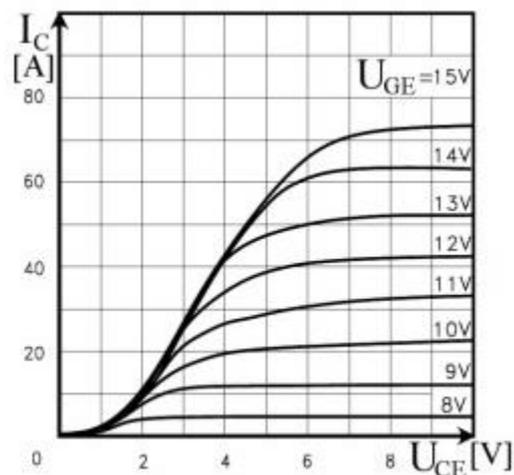
транзисторе. Управляющий электрод называется затвором, как у полевого транзистора, два других электрода — эмиттером и коллектором, как у биполярного.

Дополнительно (не обязательно):

Структура БТИЗ-транзистора.



Семейство выходных ВАХ IGBT-транзистора



2. Преобразователь ток-напряжение на ОУ: схема, временные диаграммы, принцип работы.

Временных диаграмм нет (полный коспект стр. 76)

Входной сигнал - ток, а выходной - напряжение. ПТН должен иметь низкое $R_{вх}$ и малое $R_{вых}$.

Самый простой ПТН представлен на рис. 2.23. В качестве датчика измеряемого тока используется образцовый резистор R , падение напряжения на котором $I_{вх}R$ является входным сигналом для усилителя напряжения.

(Дополнительно (не обязательно) измеряемые токи $I_{вх}$ должны быть порядка нескольких десятков или, в крайнем случае, единицу микроампер. При измерении токов меньшей величины требуются высокоомные резисторы (генерирующие значительный шум) и малошумящие усилители с малыми токами смещения.)

Для переменного тока необходимо также учитывать влияние паразитной емкости $C_{п}$, уменьшающей полосу пропускания (частота среза $f_c = 1/2\pi RC_{п}$).

Для измерения малых токов с успехом может использоваться схема, рис. 2.24.

(Дополнительно(не обязательно): Нижняя граница $I_{вх}$ составляет доли пикоампера. Весь входной ток протекает через $R_{ос}$ и, следовательно, $U_{вых} = -R_{ос} \cdot I_{вх}$)

Коэффициент преобразования:

$$K_1 = \frac{U_{ВЫХ}}{I_{ВХ}} = \frac{-R_{ОС}}{1 + \frac{R_{ЭКВ} + R_{ОС}}{K \cdot R_{ЭКВ}}} \approx -R_{ОС}$$

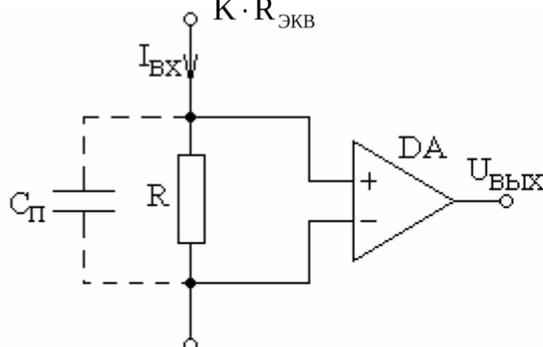


Рис. 2.23. Простейший ПТН

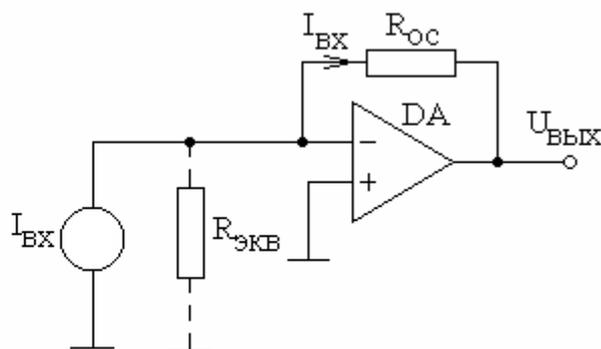


Рис. 2.24. ПТН для малых токов