

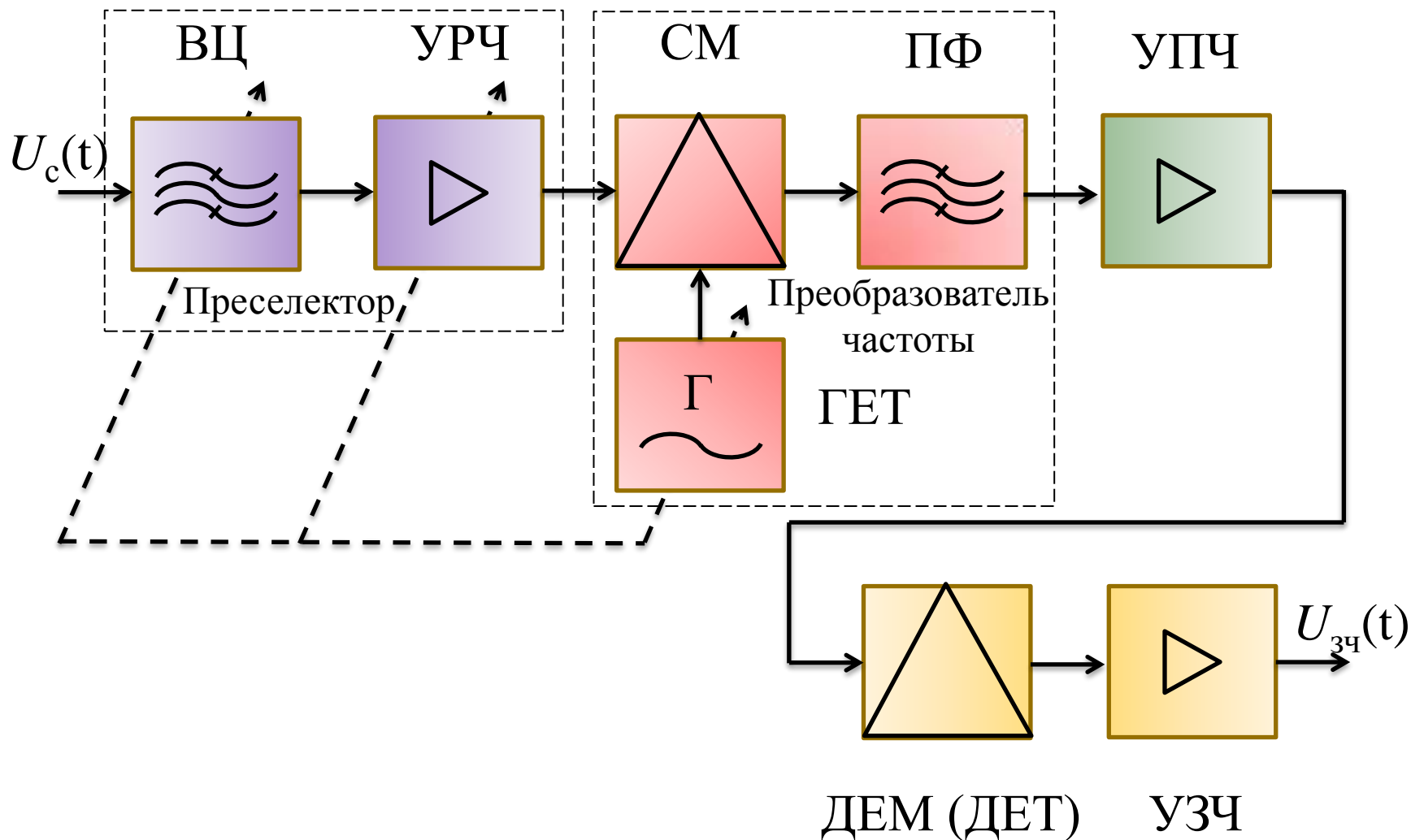
Лекция 6

**Элементы радиоприёмных устройств
систем радиосвязи**

Рассматриваемые вопросы

- 1 Общие сведения об усилителях радиочастоты
- 2 Распространенные схемы усилителей радиочастоты
- 3 Принцип работы преобразователя частоты
- 4 Параметры преобразователя частоты.
Некоторые схемы преобразователей

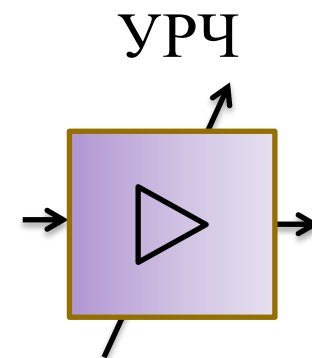
1 Общие сведения об усилителях радиочастоты



Структурная схема супергетеродинного приёмника

Общие сведения об усилителях радиочастоты

Усилители радиочастоты осуществляют усиление прошедшего через входную цепь радиосигнала на принимаемой частоте.

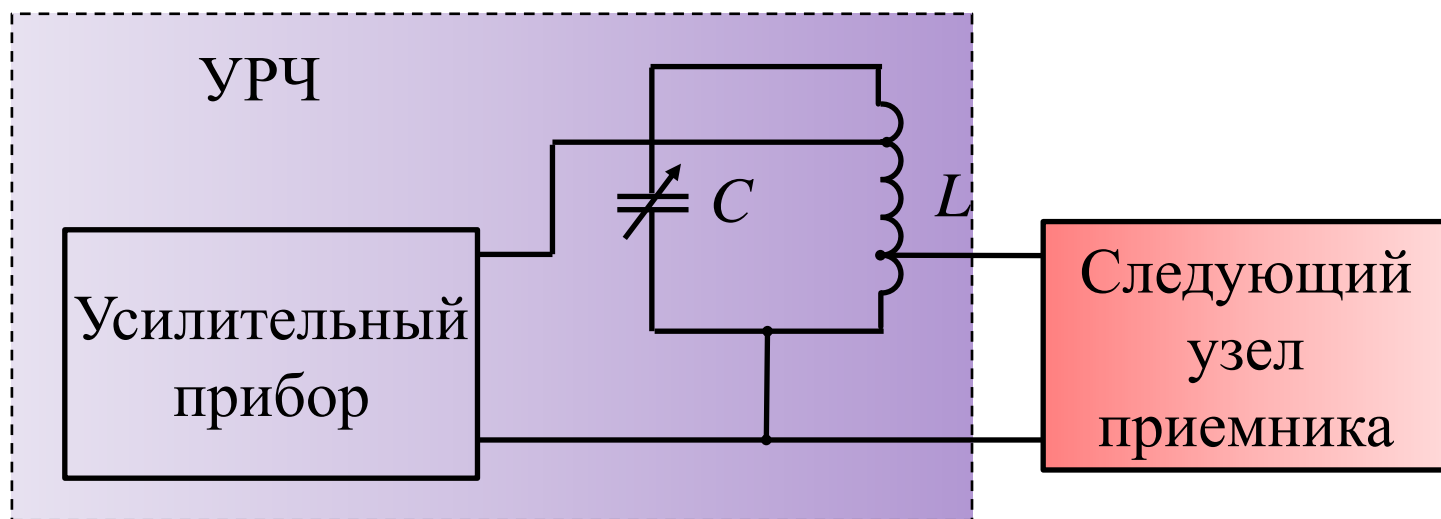


Основные функции усилителей радиочастоты:

- усиление принимаемых радиосигналов при незначительном добавлении собственных шумов;
- обеспечение (совместно с входными цепями) избирательности по внеполосным каналам приёма;
- защита антенны от проникновения сигнала собственного гетеродина, который может создать помеху соседним радиоприёмным устройствам.

Общие сведения об усилителях радиочастоты

Особенность усилителей радиочастоты — наличие в их составе избирательной цепи (перестраиваемого колебательного контура) с неполным включением.



Такой способ включения позволяет уменьшить шунтирующее влияние усилительных элементов на колебательный контур.

Общие сведения об усилителях радиочастоты

Качественные показатели усилителей радиочастоты

Коэффициент усиления

по напряжению $K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$

по мощности $K_P = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}$

Резонансные УРЧ имеют максимальное усиление на резонансной частоте избирательной цепи. Зависимость коэффициента усиления усилителя от частоты называется его *амплитудно-частотной характеристикой*.

Общие сведения об усилителях радиочастоты

Коэффициент шума $N_{Ш}$ усилителя показывает, во сколько раз отношение сигнал/шум на его входе больше, чем на выходе.

В результате действия шумов входа $P_{Ш\text{ ВХ}}$ на входе усилителя имеется некоторое отношение $(P_C/P_{Ш})_{ВХ}$. На выходе к усиленным шумам входа добавляются собственные шумы усилителя, вследствие чего мощность шума на выходе усилителя увеличивается.

$$P_{Ш. Вых} = P_{Ш. Собств} + KP_{Ш. ВХ},$$

где K – коэффициент усиления усилителя

следовательно

$$N_{Ш} = \frac{(P_C/P_{Ш})_{ВХ}}{(P_C/P_{Ш})_{Вых}} = \frac{P_{С. ВХ}/P_{Ш. ВХ}}{KP_{С. ВХ}/(P_{Ш. Собств} + KP_{Ш. ВХ})} = 1 + \frac{P_{Ш. Собств}}{KP_{Ш. ВХ}}$$

Общие сведения об усилителях радиочастоты

Избирательность УРЧ определяется избирательностью резонансной системы, входящей в его состав. Количественно избирательность σ_U характеризуется числом, показывающим, во сколько раз уменьшается коэффициент усиления $K\Delta f$ по сравнению с резонансным K_0 при заданной расстройке Δf

$$\sigma_U = K_0 / K_{\Delta f}$$

Искажения сигнала в УРЧ, собственно как и в радиоприёмнике в целом, возможны три вида искажения:

- амплитудно-частотные искажения, полностью определяемые формой АЧХ избирательной системы УРЧ;
- фазо-частотные искажения, являющиеся следствием нелинейности ФЧХ УРЧ,
- нелинейные искажения, вследствие низкого уровня полезного сигнала, определяются в основном внеполосной сильной помехой.

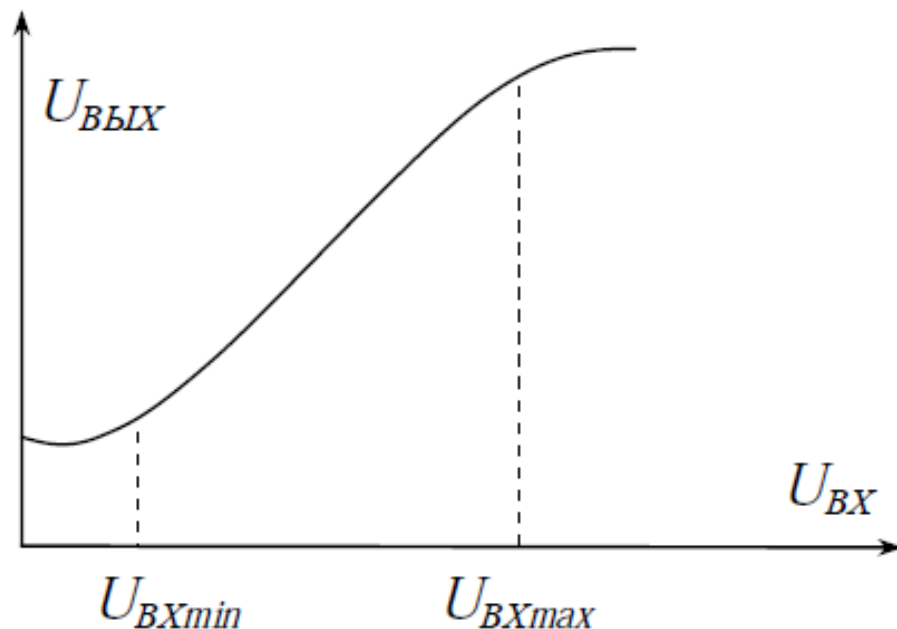
Общие сведения об усилителях радиочастоты

Динамический диапазон

УРЧ определяется его амплитудной характеристикой.

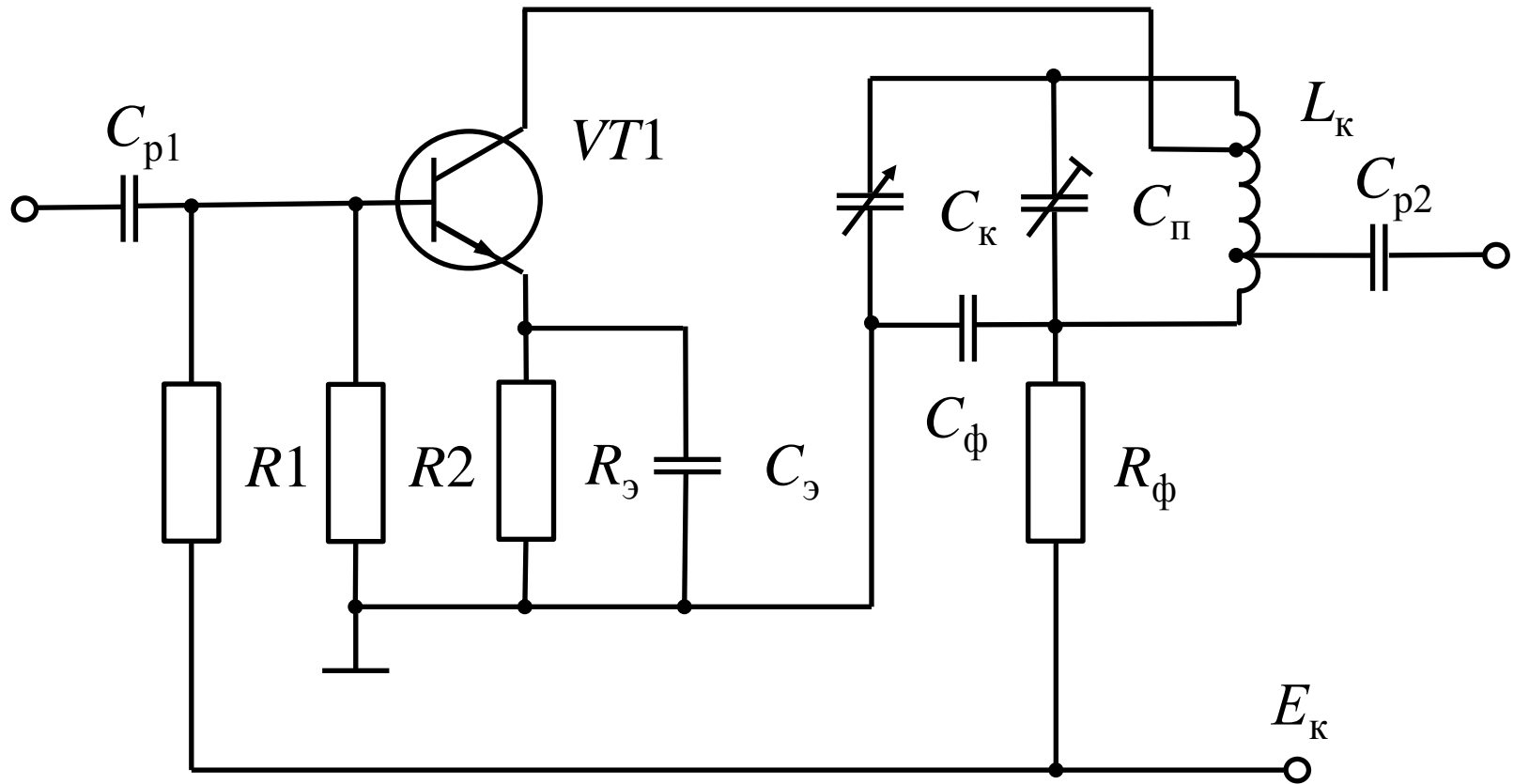
Количественно его принято выражать в логарифмических величинах

$$D = 20 \lg \frac{U_{BX \max}}{U_{BX \min}},$$



где $U_{BX \min}$ — ограничивается уровнем собственных шумов;
 $U_{BX \max}$ — ограничивается допустимыми нелинейными искажениями.

2 Распространенные схемы усилителей радиочастоты



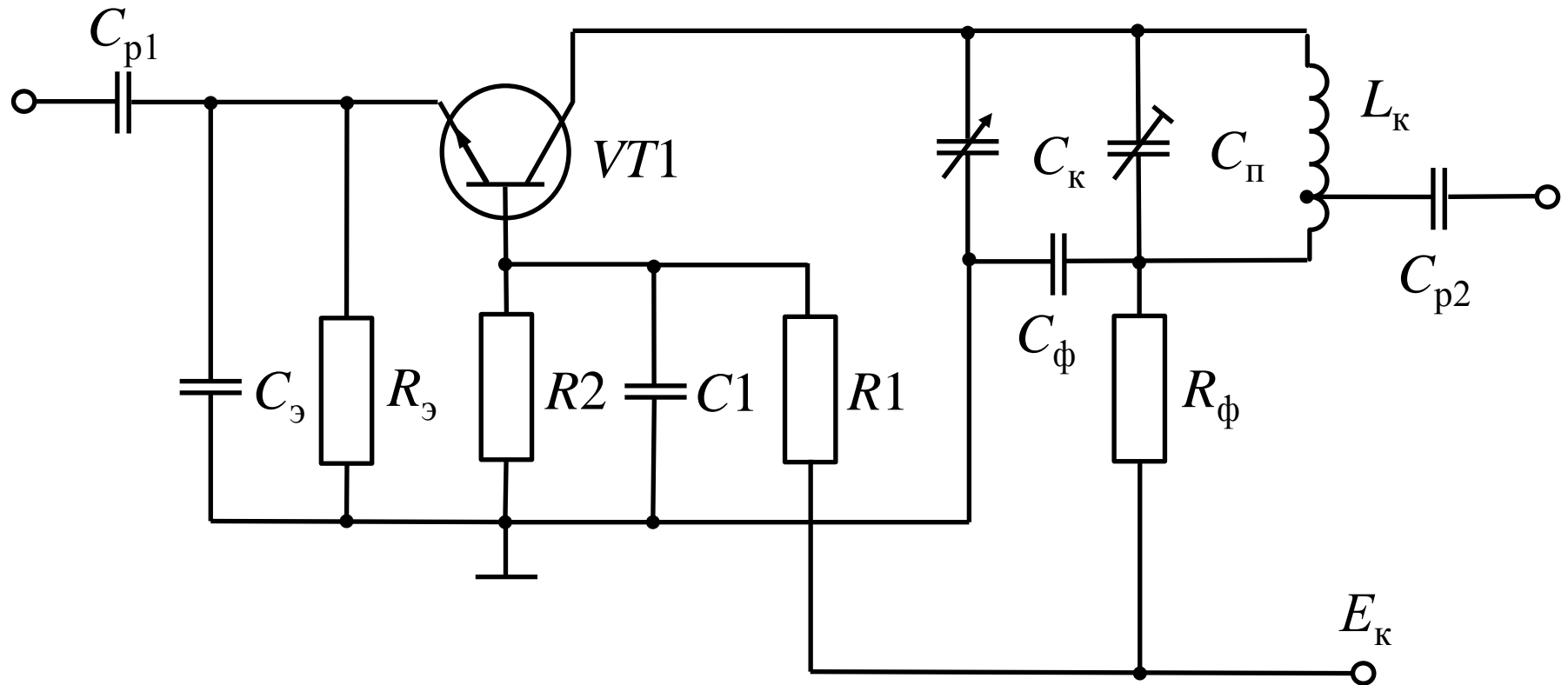
Избирательный усилитель радиочастоты с общим эмиттером

Распространенные схемы усилителей радиочастоты

Состав избирательного усилителя радиочастоты с общим эмиттером и назначение его элементов:

- **усилительный прибор** – транзистор $VT1$;
- **избирательная цепь** – колебательный контур $L_k C_k C_{\Pi}$;
- C_{p1}, C_{p2} – разделительные ёмкости;
- $R1, R2$ – делитель напряжения E_k , обеспечивающий постоянное смещение на базе $VT1$;
- R_9, C_9 – обеспечивают автоматическое смещение на базе $VT1$ за счёт постоянной составляющей эмиттерного тока и стабилизируют режим $VT1$ по постоянному току;
- C_{Φ}, R_{Φ} – устраняют паразитную связь между каскадами через общий источник питания, чем повышают устойчивость усилителей с количеством каскадов больше одного.

Распространенные схемы усилителей радиочастоты



Избирательный усилитель радиочастоты с общей базой

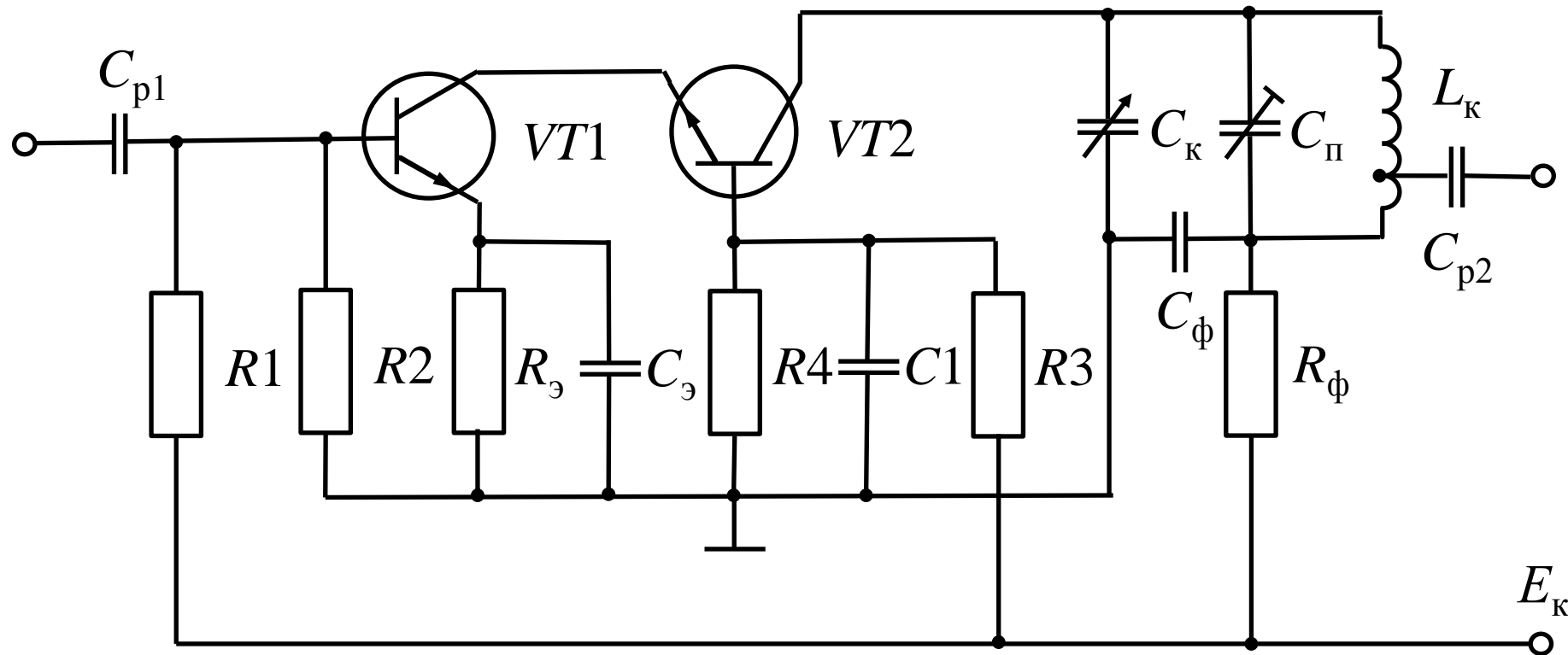
Распространенные схемы усилителей радиочастоты

Схема с общей базой отличается от схемы с общим эмиттером тем, что в ней база $VT1$ является общим электродом для входной и выходной цепей, по частоте радиосигнала она соединена с корпусом через ёмкость C_1 , и соответственно её потенциал равен нулю.

Основная особенность схемы УРЧ с общей базой в том, что в ней образуется 100 % ООС по току вследствие того, что вся переменная составляющая коллекторного тока протекает по входной цепи.

За счёт глубокой ООС в УРЧ с общей базой отсутствует усиление по току, но значительно возрастает, по сравнению со схемой с общим эмиттером, допустимый коэффициент устойчивого усиления по напряжению, который в схеме с общим эмиттером резко уменьшается с ростом частоты.

Распространенные схемы усилителей радиочастоты



Каскодная схема усилителя радиочастоты

Распространенные схемы усилителей радиочастоты

Каскодная схема УРЧ состоит из двух последовательно соединенных каскадов,

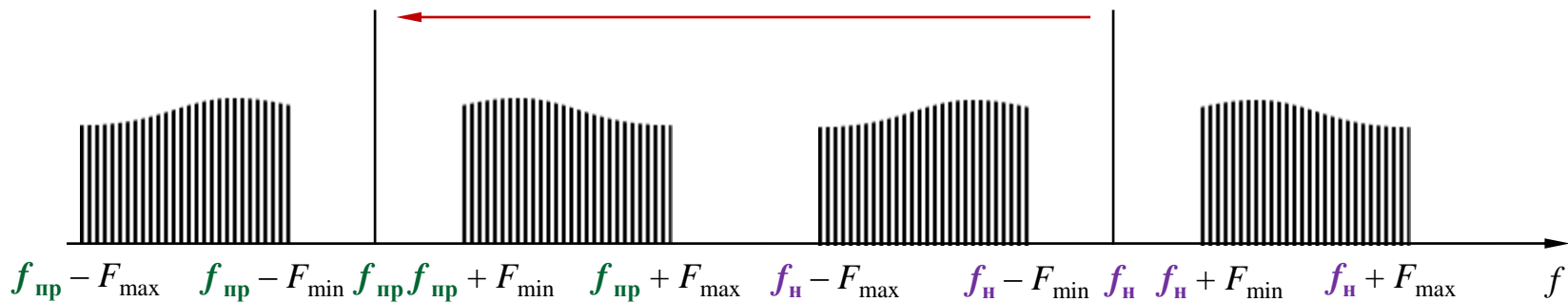
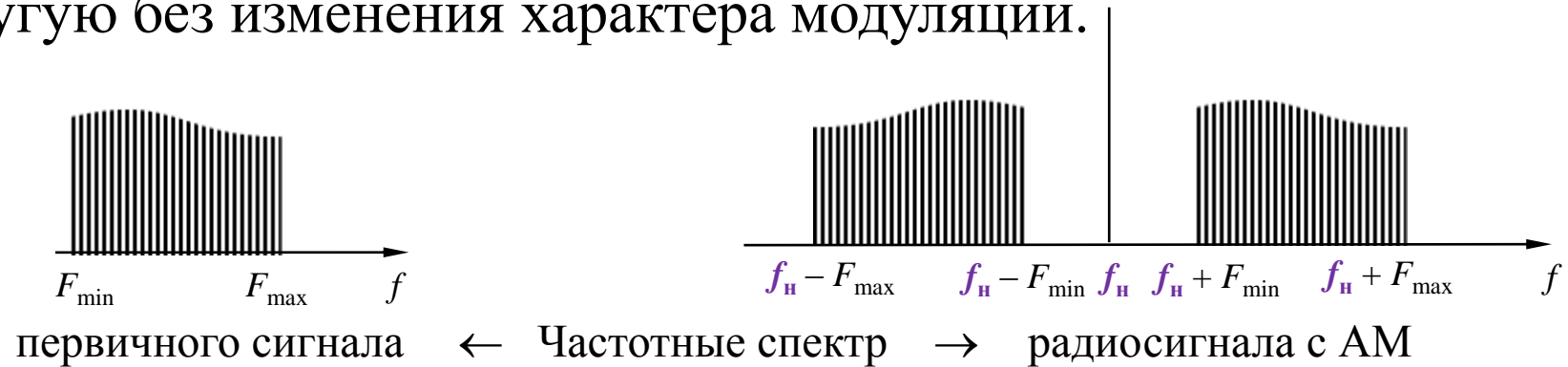
Вследствие того, что нагрузкой 1-го каскада (с ОЭ) является входное сопротивление 2-го каскада (с ОБ), которое близко к нулю, 1-й каскад не имеет усиления по напряжению, а 2-й каскад не имеет усиления по току.

Таким образом, усилительная способность каскодной схемы по мощности такая же, как схемы с ОЭ, нагруженной на резонансную нагрузку с большим сопротивлением.

Устойчивость каскодной схемы такая же, как схемы с ОБ, т. к. 1-й каскад имеет коэффициент усиления по напряжению меньше единицы и не влияет на устойчивость всей схемы.

3 Принцип работы преобразователя частоты

Преобразователь частоты – устройство, осуществляющие перенос спектра частот сигнала из одной области частот в другую без изменения характера модуляции.

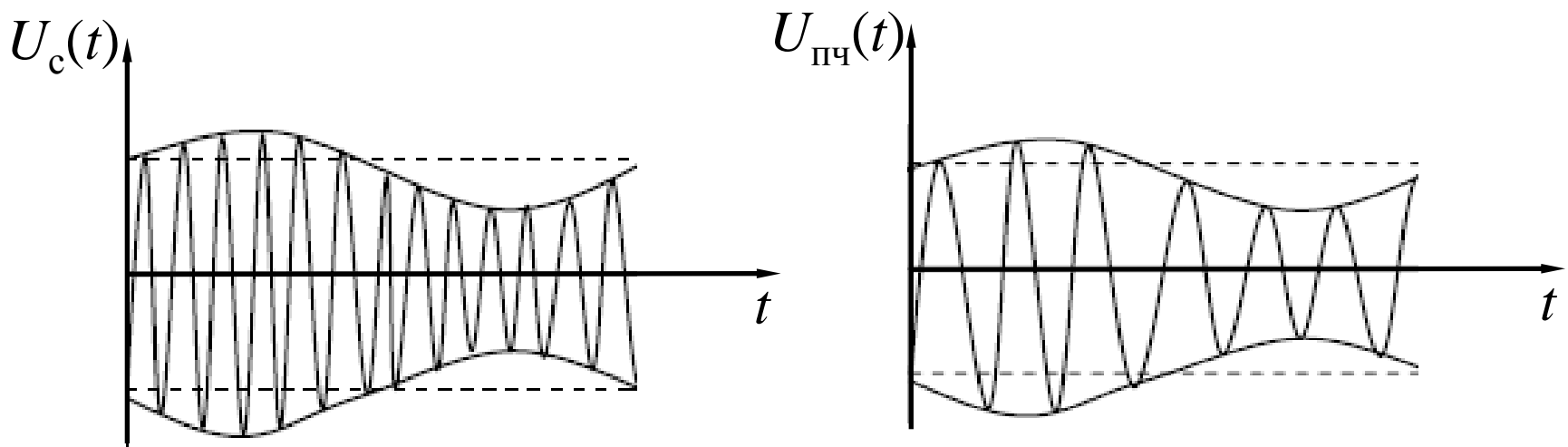


Процесс переноса спектра частот сигнала из одной области частот в другую

$$F_{\min} < F_{\max} \ll f_{\text{пр}} \ll f_{\text{н}}$$

Принцип работы преобразователя частоты

Во временной области при преобразовании амплитудно-модулированного колебания этот процесс выглядит следующим образом: изменяется частота несущего колебания, которая преобразуется в промежуточную, а закон амплитудной модуляции остаётся неизменным



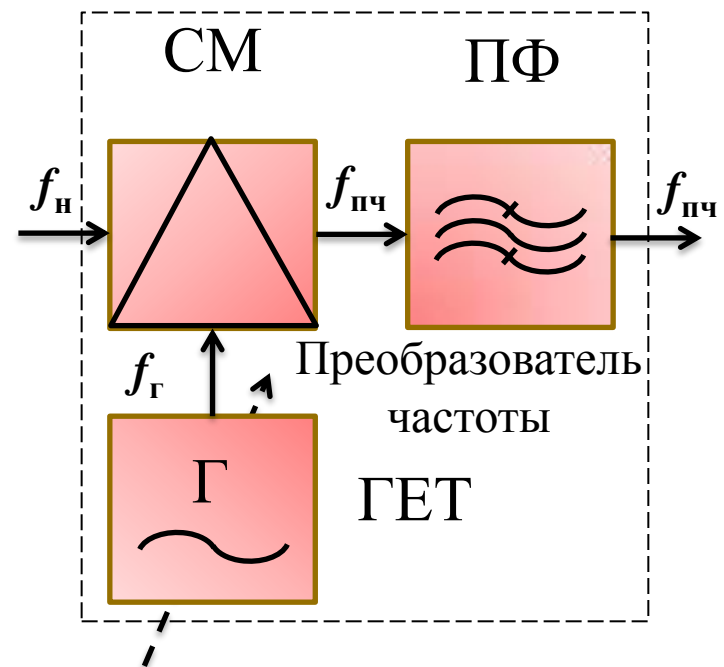
Принцип работы преобразователя частоты

Для преобразования частоты используется нелинейный элемент, на который подаются колебания одновременно двух частот: колебания с частотой сигнала f_n и колебания с частотой вспомогательного генератора (гетеродина) f_Γ

Как правило, вольтамперная характеристика нелинейного элемента квадратична и ток, текущий через него описывается выражением

$$i_{нэ}(t) = aU_{вх}^2(t)$$

где a – коэффициент пропорциональности, mA/V .



Принцип работы преобразователя частоты

При подаче на нелинейный элемент напряжения, изменяющегося с частотой ω_c и описываемого выражением:

$$U_c(t) = U_{mc} \cos \omega_c t,$$

и синусоидального напряжения гетеродина с частотой ω_Γ описываемого выражением:

$$U_\Gamma(t) = U_{m\Gamma} \cos \omega_\Gamma t,$$

выражение для результирующего напряжения на входе смесителя можно записать в виде:

$$U_{вх}(t) = U_\Gamma(t) + U_c(t) = U_{m\Gamma} \cos \omega_\Gamma t + U_{mc} \cos \omega_c t.$$

Принцип работы преобразователя частоты

Величина тока, протекающего через нелинейный элемент выражается как:

$$\begin{aligned} i_{\text{нэ}}(t) &= aU_{\text{вх}}^2(t) = aU_{\text{мг}}^2 \cos^2 \omega_{\text{г}} t + \\ &+ 2aU_{\text{мг}}U_{\text{мс}} \cos \omega_{\text{г}} t \cos \omega_{\text{с}} t + aU_{\text{мс}}^2 \cos^2 \omega_{\text{с}} t = \\ &= aU_{\text{мг}}^2 \cos^2 \omega_{\text{г}} t + aU_{\text{мг}}U_{\text{мс}} \cos(\omega_{\text{г}} + \omega_{\text{с}})t + \\ &+ aU_{\text{мг}}U_{\text{мс}} \cos(\omega_{\text{г}} - \omega_{\text{с}})t + aU_{\text{мс}}^2 \cos^2 \omega_{\text{с}} t \end{aligned}$$

Это выражение показывает, что ток в цепи смесителя является сложным и содержит составляющие: с частотами основных колебаний $\omega_{\text{г}}$ и $\omega_{\text{с}}$ и составляющие комбинационных частот $(\omega_{\text{г}} + \omega_{\text{с}})$ и $(\omega_{\text{г}} - \omega_{\text{с}})$.

Принцип работы преобразователя частоты

В радиоприёмных устройствах целесообразно понижение частоты входного сигнала, поэтому обычно используется составляющая с разностной частотой ($\omega_r - \omega_c$).

Для ее выделения фильтр на выходе смесителя настраивается на промежуточную частоту $f_{пч} = (\omega_r - \omega_c)$.

Амплитуда составляющей промежуточной частоты равна $aU_{мг}U_{мс}$. Так как амплитуда напряжения гетеродина $U_{мг}$ неизменна, то закон изменения амплитуды составляющей промежуточной частоты определяется законом изменения амплитуды преобразуемого сигнала $U_{мс}$.

Это означает, что в случае амплитудной модуляции преобразуемого сигнала, напряжение промежуточной частоты оказывается промодулированным по такому же закону.

Принцип работы преобразователя частоты

Для линейности преобразования необходимо, выполнение следующих условий:

- ВАХ нелинейного элемента в пределах изменения напряжения гетеродина должна быть квадратичной;
- амплитуда напряжения гетеродина должна быть значительно больше амплитуды напряжения сигнала ($U_{\text{мг}} \gg U_{\text{мс}}$);
- фильтр на выходе смесителя должен быть идеальным, т. е. выделять только составляющую $f_{\text{пч}} = (\omega_{\text{г}} - \omega_{\text{с}})$.

4 Параметры преобразователя частоты. Некоторые схемы преобразователей

Параметры преобразователя частоты – это коэффициенты, устанавливающие количественную связь между токами и напряжениями в схеме преобразователя.

Если параметры преобразователя не зависят от нагрузки на входе и выходе, то они называются **внутренними**, или собственными параметрами, если зависят от нагрузки – называются **внешними**.

Внутренние параметры:

крутизна преобразования – определяется при коротком замыкании на выходе смесителя не зависит от нагрузки:

$$S_{\text{ПР}} = \left. \frac{I_{\text{мПЧ}}}{U_{\text{мс}}} \right|_{U_{\text{мПЧ}}=0}$$

Параметры преобразователя частоты

- *среднее значение выходной проводимости за период $U_r(t)$* – определяется при КЗ на входе смесителя:
$$G_{22_0} = \left. \frac{I_{mПЧ}}{U_{mC}} \right|_{U_{mC}=0}$$
- *среднее значение входной проводимости за период $U_r(t)$* – определяется при КЗ на выходе смесителя:
$$G_{11_0} = \left. \frac{I_{mC}}{U_{mC}} \right|_{U_{mПЧ}=0}$$

Внешний параметр – *Коэффициент преобразования:*

$$K_{ПР} = \frac{U_{mПЧ}}{U_{mC}}; \quad I_{mПЧ} = U_{mПЧ} (G_{22_0} + Y_H); \quad U_{mПЧ} = \frac{I_{mПЧ}}{G_{22_0} + Y_H}.$$

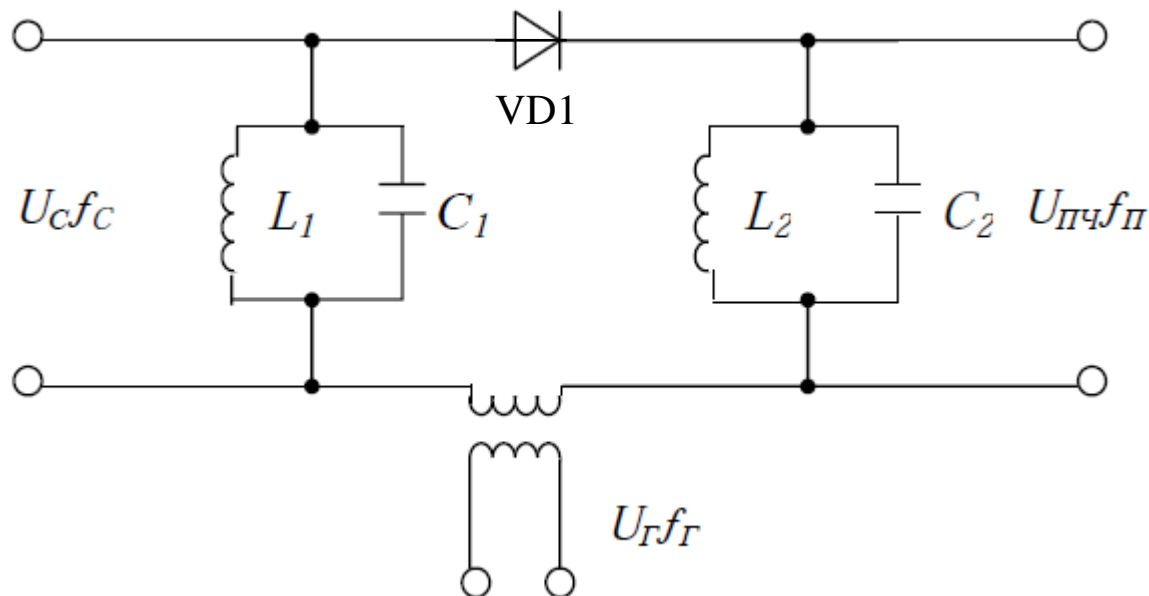
$$K_{ПР} = \frac{I_{mПЧ}}{(G_{22_0} + Y_H) \cdot U_{mC}} = \frac{S_{ПР}}{G_{22_0} + Y_H}$$

Так как $G_{22_0} \ll Y_H$, то
$$K_{ПР} \approx \frac{S_{ПР}}{Y_H} \approx S_{ПР} \cdot R_H.$$

Некоторые схемы преобразователей

Простой диодный преобразователь частоты

Колебательный контур L_1C_1 создаёт нагрузку на f_c , колебательный контур L_2C_2 создаёт нагрузку на $f_{пч}$.



На диод $VD1$ действует суммарное напряжение $U_{VD1} = U_c + U_{Г} + U_{пч}$. Под действием суммарного напряжения ток диода имеет составляющие: постоянного тока, гармоники гетеродина и сигнала и комбинационные составляющие

Некоторые схемы преобразователей

Балансный преобразователь частоты

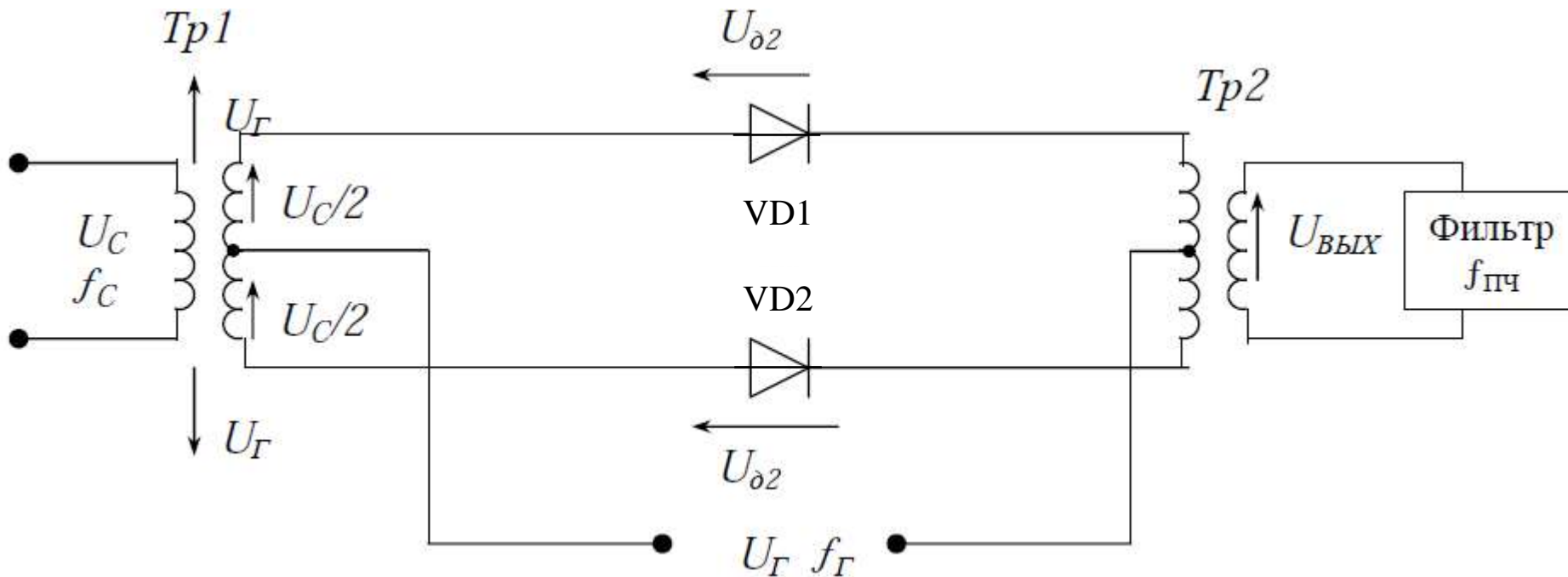
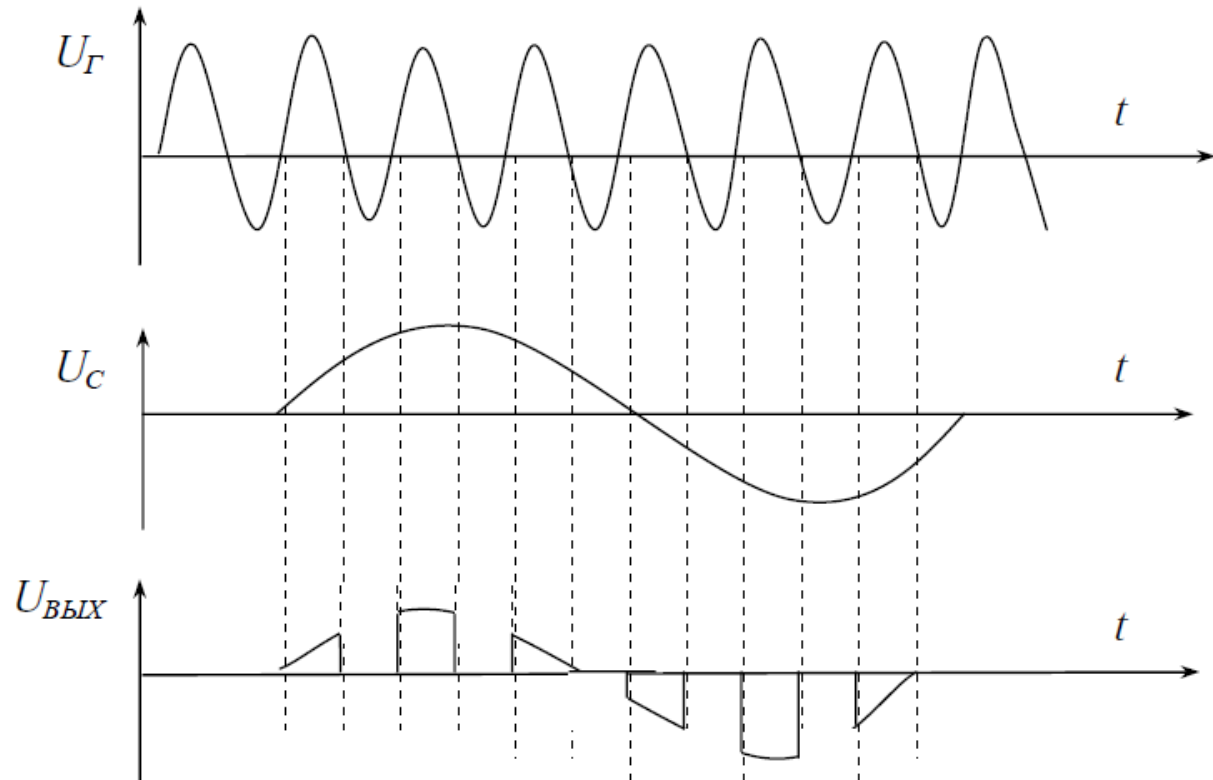


Схема симметрична относительно средних точек трансформаторов, к которым подключён гетеродин и образует симметричный мост, который при полной симметрии схемы находится в равновесии (балансе).

Некоторые схемы преобразователей

$U_{\Gamma} > 0; U_c = 0$.
Диоды открыты,
токи диодов равны
и направлены
встречно, $U_{\text{ВЫХ}} = 0$.
 $U_{\Gamma} < 0; U_c$ –
любой полярности.
Диоды закрыты,
 $U_{\text{ВЫХ}} = 0$.

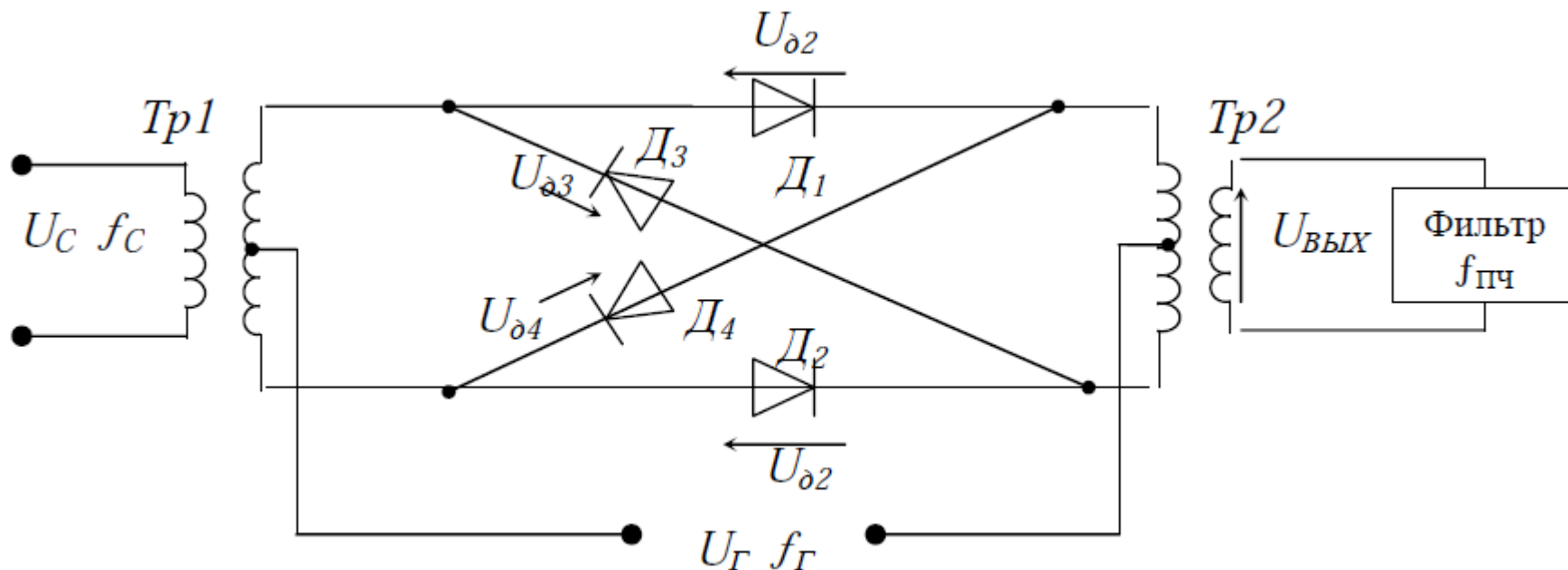


$U_{\Gamma} > 0; U_c > 0$; Диоды открыты, $i_{VD1} > i_{VD2}$, $U_{\text{ВЫХ}} > 0$ и
изменяется пропорционально U_c .

$U_{\Gamma} > 0; U_c < 0$; $i_{VD1} > i_{VD2}$, $U_{\text{ВЫХ}} < 0$ и изменяется
пропорционально напряжению сигнала U_c .

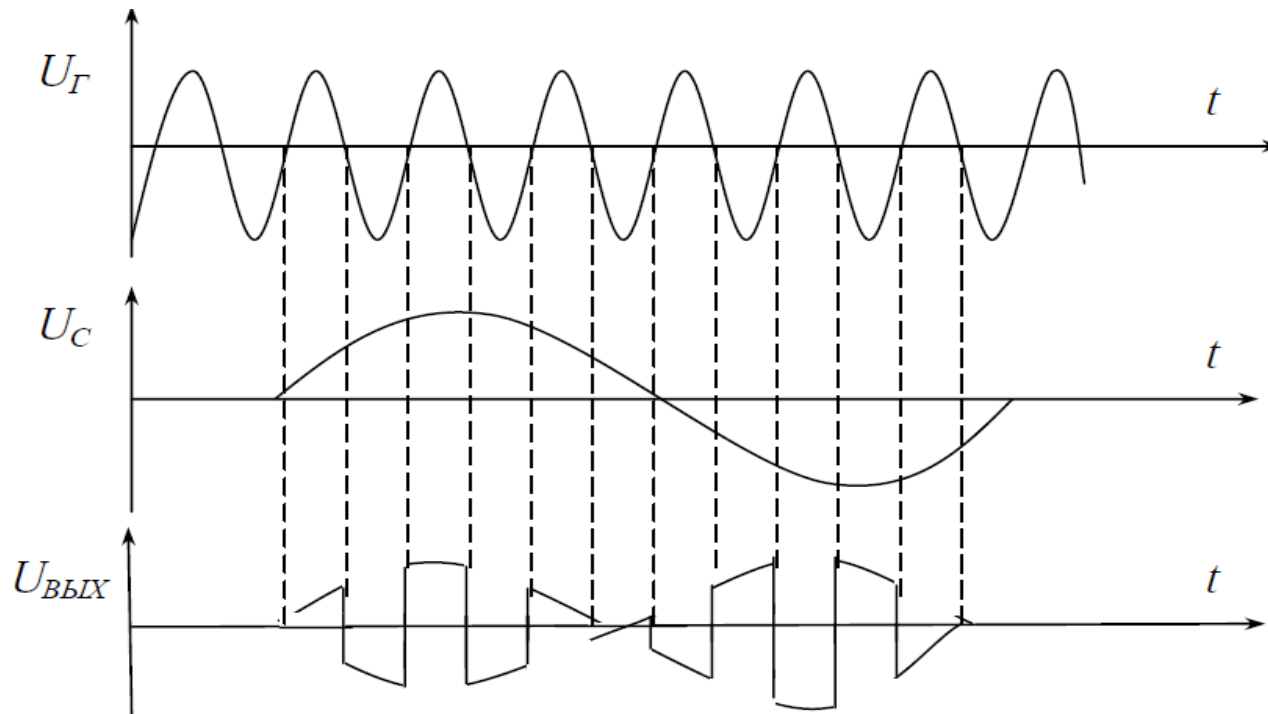
Некоторые схемы преобразователей

Кольцевой диодный преобразователь частоты



Эта схема получила название кольцевой потому, что в ней диоды включены по кольцу. Её точнее бы назвать двойной балансной, т. к. она представляет собой параллельное соединение двух балансных схем преобразователей частоты.

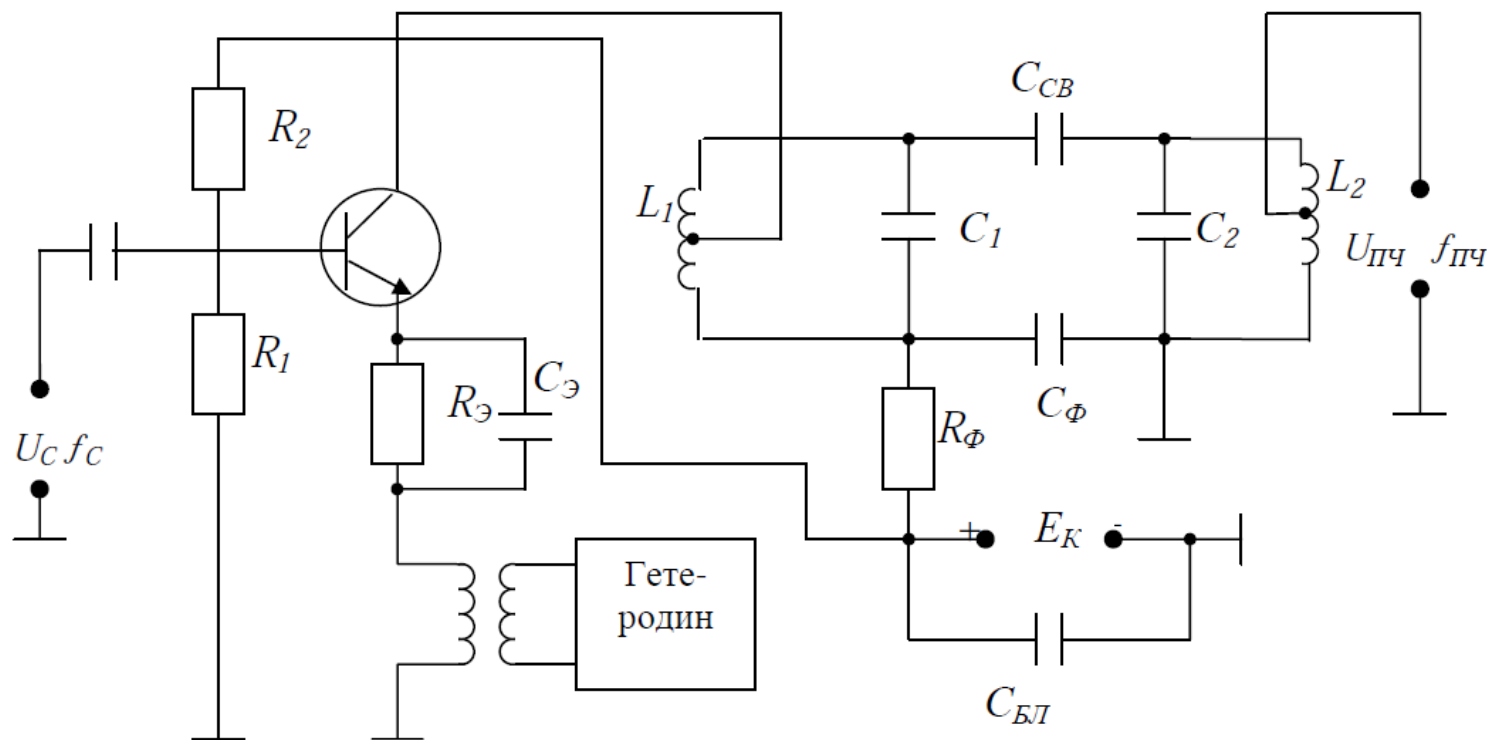
Некоторые схемы преобразователей



Пары диодов $D1$, $D2$ и $D3$, $D4$ коммутируются для U_c поочередно, т. е. когда диоды $D1$, $D2$ открыты, $D3$, $D4$ закрыты, и наоборот. Напряжение сигнала создаёт противоположные токи в обмотках $Tr2$ при коммутации диодов $D1$, $D2$ и $D3$, $D4$.

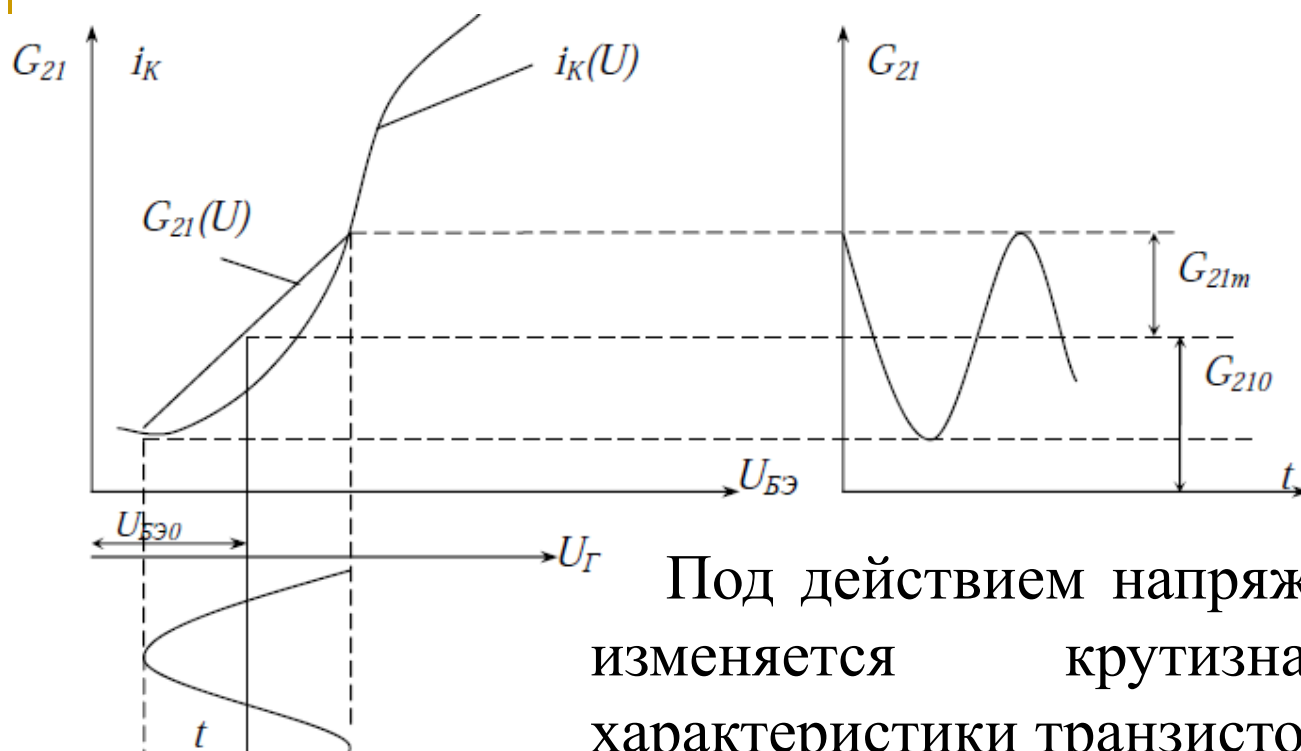
Некоторые схемы преобразователей

Преобразователь частоты на биполярном транзисторе



Преобразователи частоты на биполярных транзисторах имеют низкую линейность преобразования, высокий уровень шумов и низкое входное сопротивление.

Некоторые схемы преобразователей

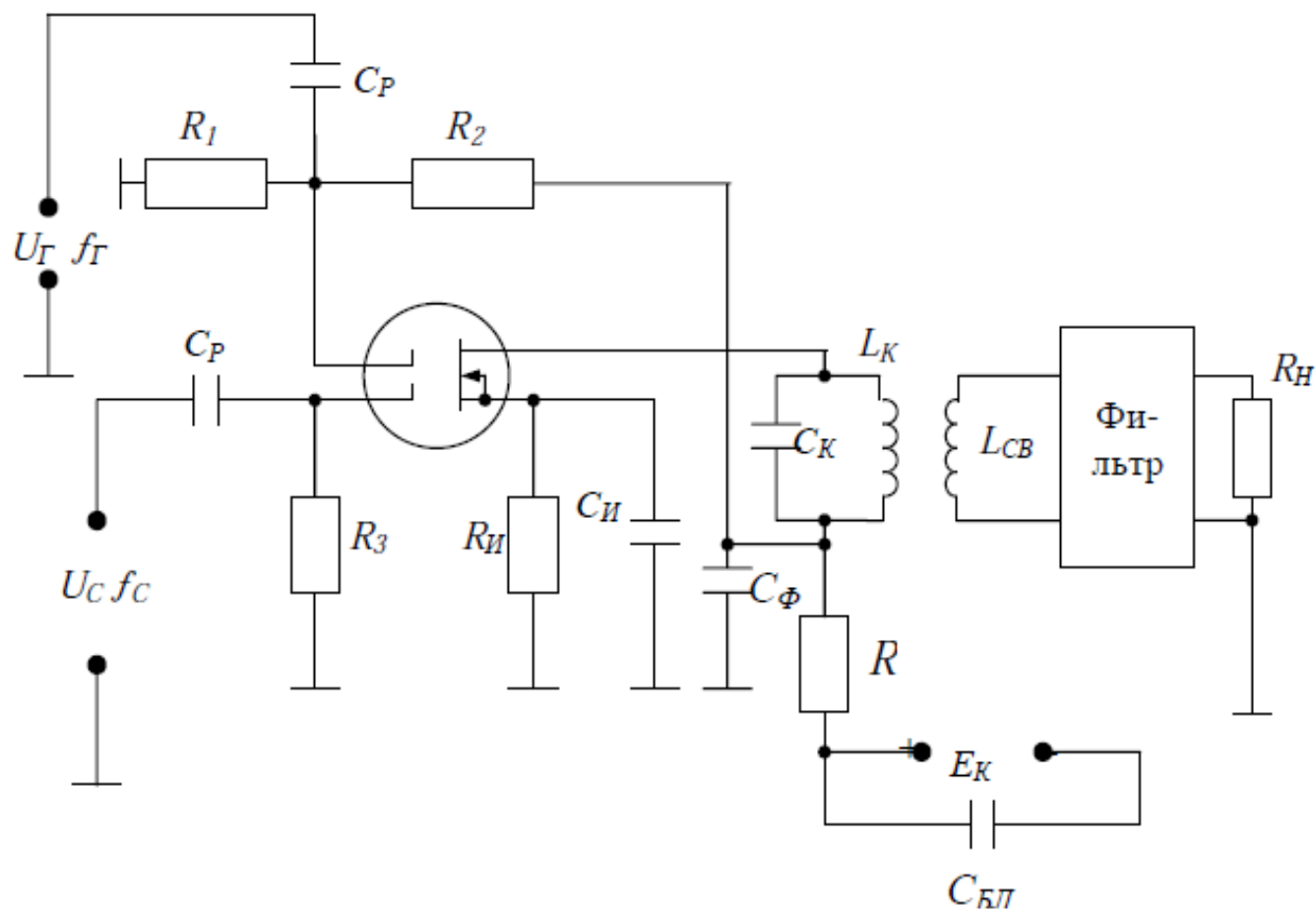


Под действием напряжения гетеродина изменяется крутизна проходной характеристики транзистора G_{21}

При подаче на вход транзистора с изменяющейся крутизной напряжения сигнала, в составе тока коллектора образуются комбинационные составляющие, в том числе и составляющая с частотой $f_{пч} = f_{г} - f_{с}$. Эта составляющая выделяется полосовым фильтром $L1C1L2C2C_{св}$.

Некоторые схемы преобразователей

Преобразователь частоты на полевом транзисторе



Некоторые схемы преобразователей

В преобразователях частоты используются двухзатворные полевые транзисторы

Напряжение U_c подают на один затвор транзистора, а напряжение U_r — на другой. При этом достигается хорошая развязка цепей сигнала и гетеродина. С помощью делителя $R1R2$ выбирается рабочая точка на середине квадратичного участка стоко-затворной характеристики.

Преимущества преобразователей на полевых транзисторах по сравнению с биполярными.

1. Близкая к квадратичной зависимость тока стока от напряжения затвор — исток, при которой $S(U_{зи})$ имеет линейную зависимость. Преобразование будет линейное с меньшим количеством комбинационных составляющих.
2. Большой динамический диапазон.

Литература

1. Першин, В. Т. Основы радиоэлектроники [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В. Т. Першин. - Мн. : Выш. Шк. 2006. - 436 с. - Режим доступа: URL http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=234977
2. Красковский Л. Е., Мельникова Л. Я., Меремсон Ю. Л. Приемо-передающие устройства железнодорожной радиосвязи [Электронный ресурс]: Учебное пособие / А. Е. Красковский и др.; под ред. А. Е. Красковского. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2010. – 360 с. - Режим доступа: URL http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=227703&sr=1
3. Акулиничев Ю. П. Теория и техника передачи информации [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю. П. Акулиничев, Л. С. Бернгардт. — Томск: Эль Контент, 2012. — 210 с. - Режим доступа: URL http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=208952&sr=1
4. Мелихов С. В. Аналоговое и цифровое радиовещание [Электронный ресурс]: Учебное пособие./ С. В. Мелихов. - Электрон. текстовые дан. – 2-е изд., испр. – Томск: Томск, гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2012.–233 с. - Режим доступа: URL http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view&book_id=208686 .
5. Томаси У. Электронные системы связи [Электронный ресурс] / У. Томаси. - Электрон. текстовые дан. – М.: Техносфера, 2007. – 1360 с. - Режим доступа: URL http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view&book_id=135422.
6. Головин, О. В.. Устройства генерирования, формирования, приема и обработки сигналов : учеб. пособие по спец."Средства связи с подвижными объектами" и "Радиосвязь, радиовещание и телевидение" / О.В. Головин .— М. : Горячая линия - Телеком, 2014 .— 782 с. : ил. (5 экземпляров в библиотеке).