

Лекция 7

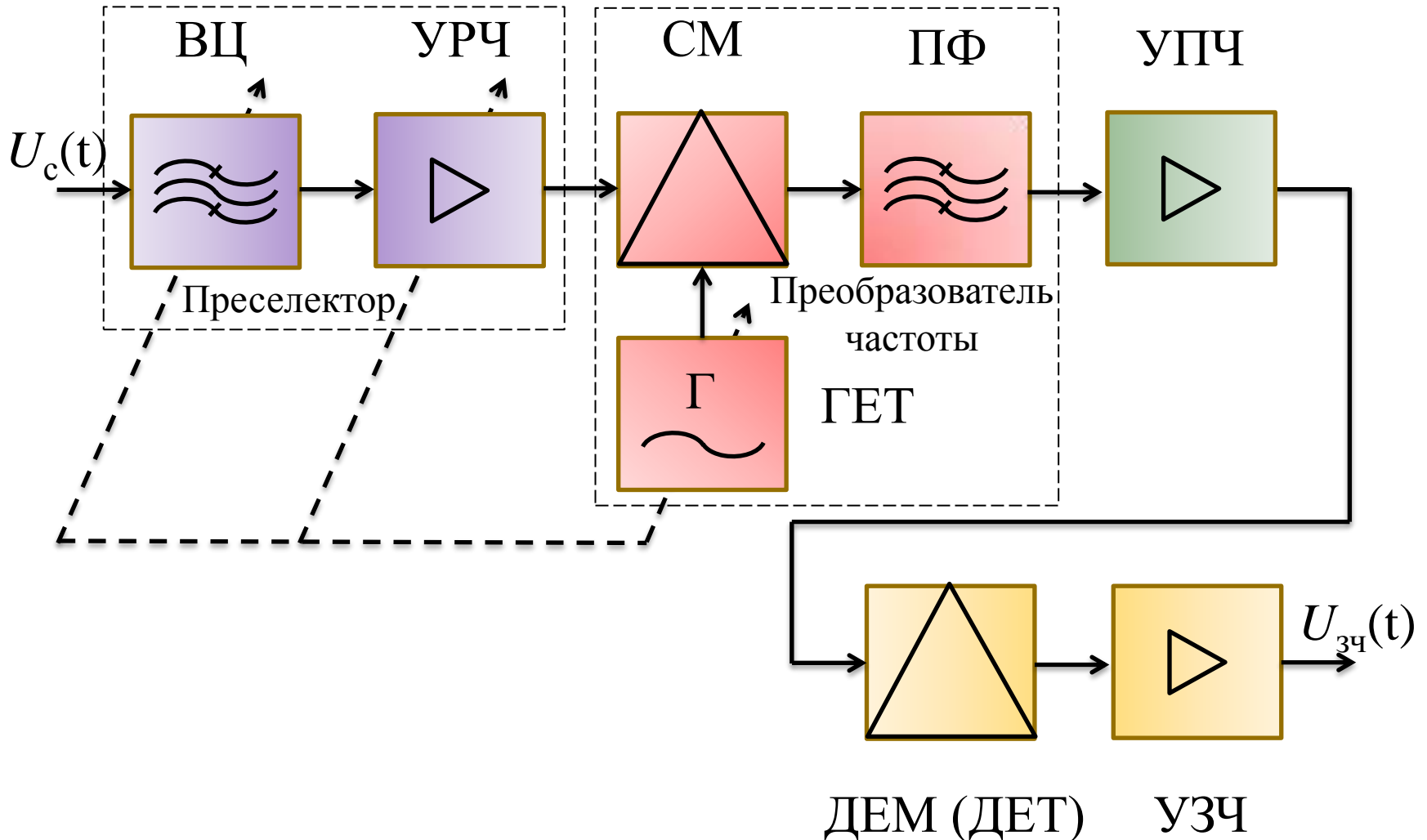
**Элементы радиоприёмных устройств
систем радиосвязи**

Рассматриваемые вопросы

- 1 Общие сведения об усилителях промежуточной частоты.
Разновидности усилителей промежуточной частоты
 - 2 Детектирование радиосигналов. Распространенные
схемы детекторов
 - 3 Избирательные низкочастотные усилители
-

1 Общие сведения об усилителях промежуточной частоты.

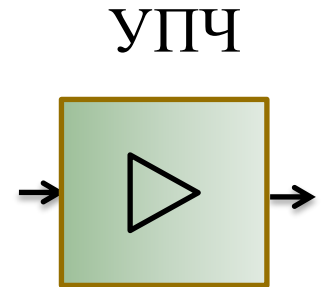
Схемы усилителей промежуточной частоты



Структурная схема супергетеродинного приёмника

Общие сведения об усилителях промежуточной частоты

Усилители промежуточной частоты осуществляют усиление сигнала на промежуточной частоте.



Основные функции усилителя промежуточной частоты :

- обеспечение основного усиления сигналов в приёмнике до величины, необходимой для нормальной работы детектора;
- обеспечивают основную избирательность по отношению к сигналам соседних станций.

Вследствие того, что УПЧ должны обеспечивать основное усиление в приёмнике ($60 \div 120$ дБ), число их каскадов может достигать до 10.

Общие сведения об усилителях промежуточной частоты

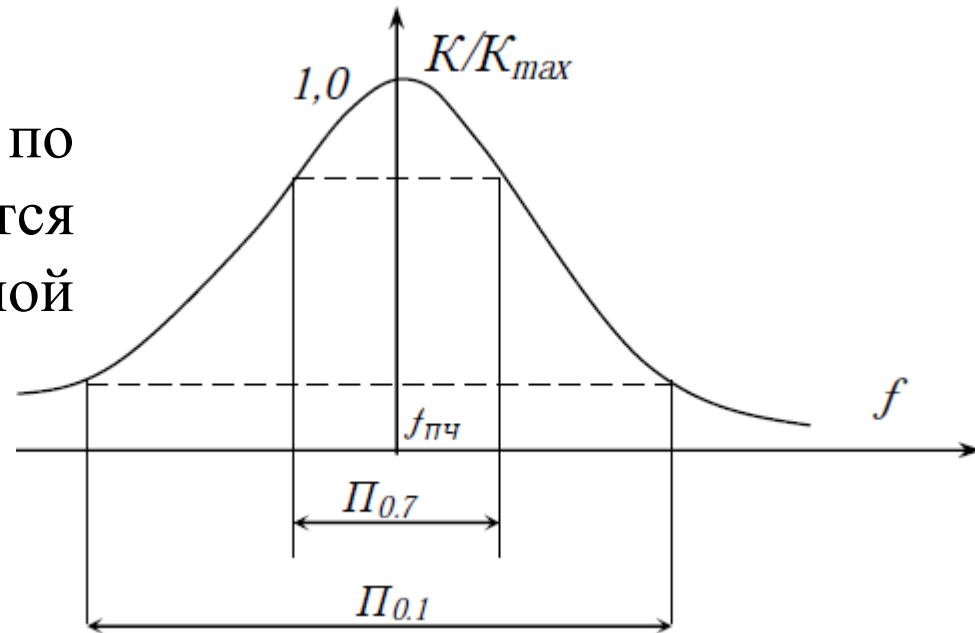
Качественные показатели УПЧ

Полоса пропускания — полоса частот, в пределах которой коэффициент усиления УПЧ уменьшается не более чем до уровня $0,707 K_{\max}$.

Идеальной АХЧ по избирательности является характеристика прямоугольной формы.

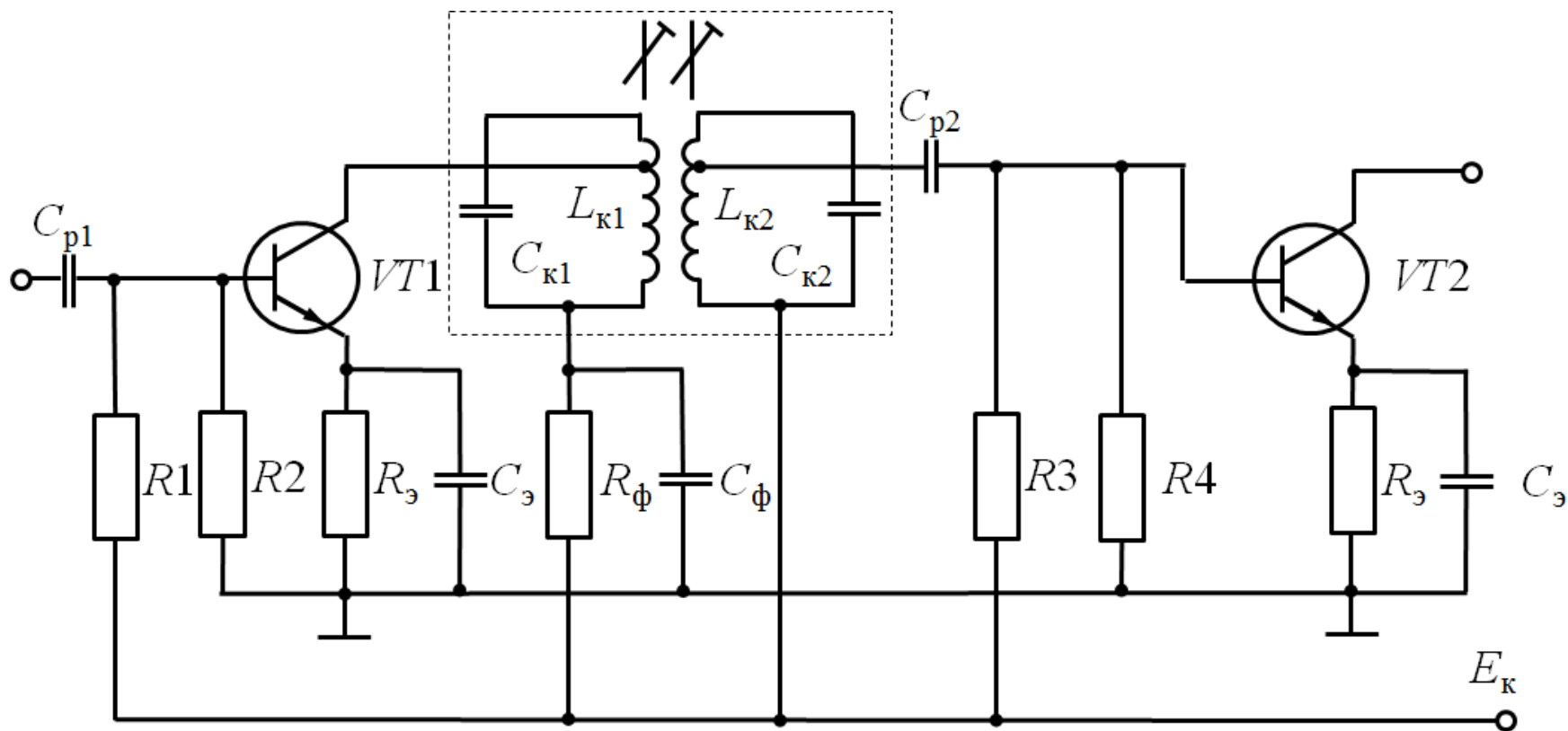
Приближение реальной характеристики к идеальной характеризуется

коэффициентом прямоугольности K_n :

$$K_{\Pi} = \frac{\Pi_{0,1}}{\Pi_{0,7}}.$$


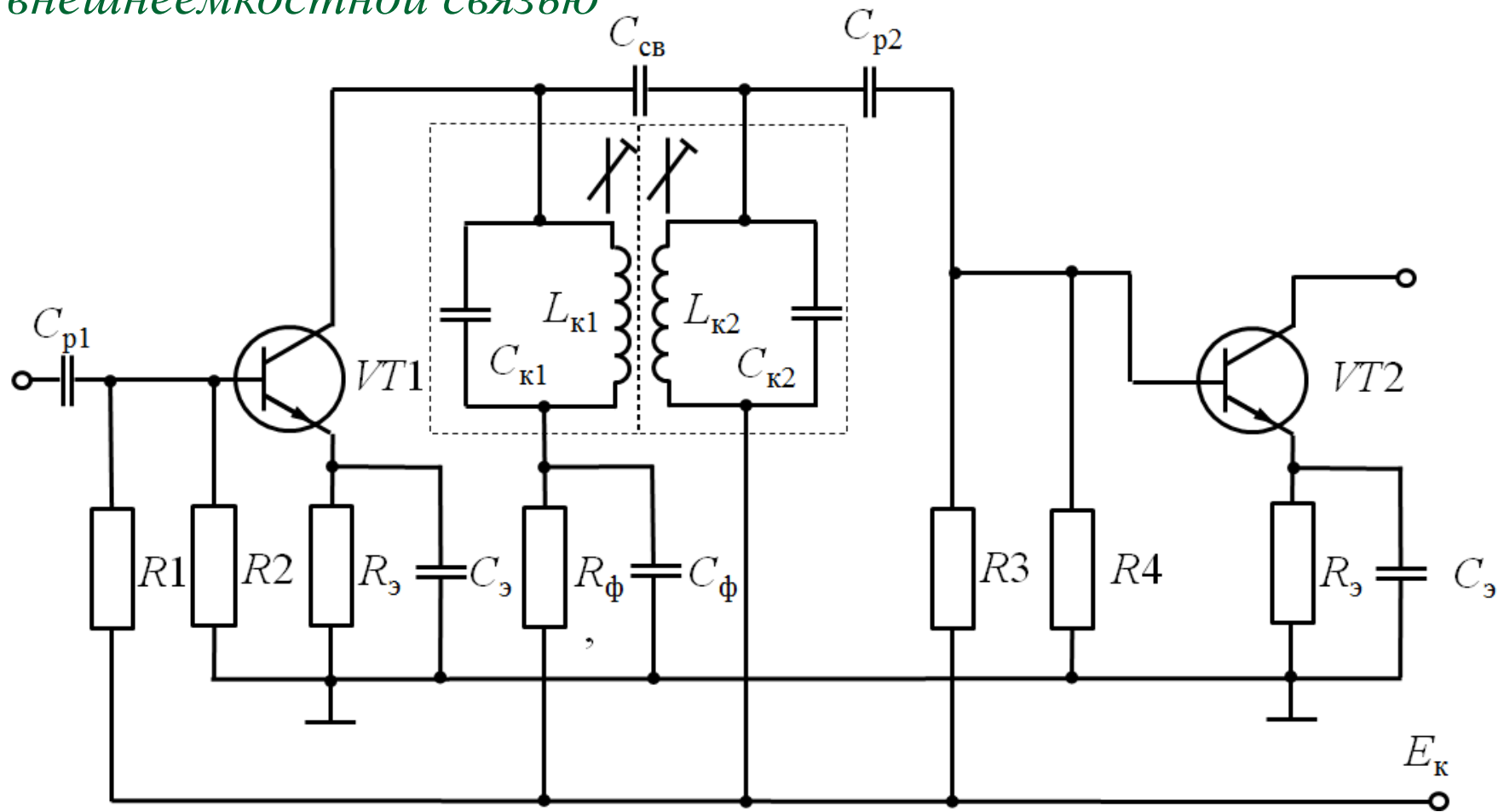
Схемы усилителей промежуточной частоты

Усилитель ПЧ с двухконтурным полосовым фильтром с индуктивной связью



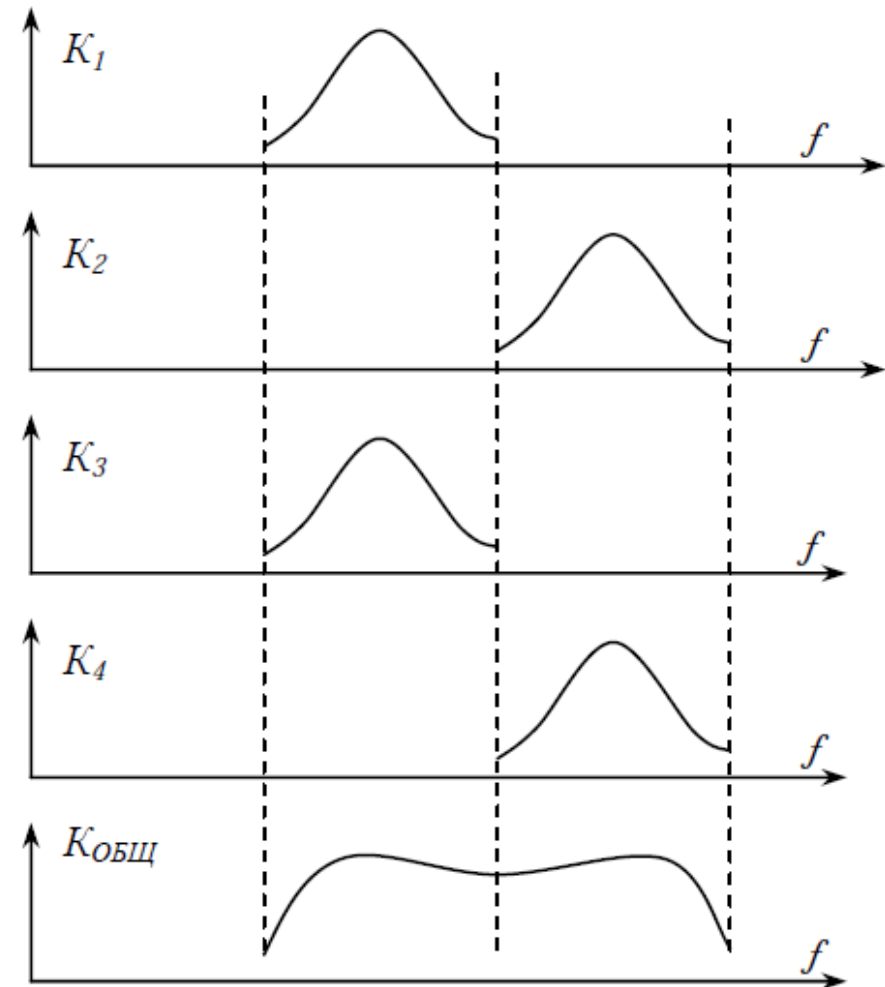
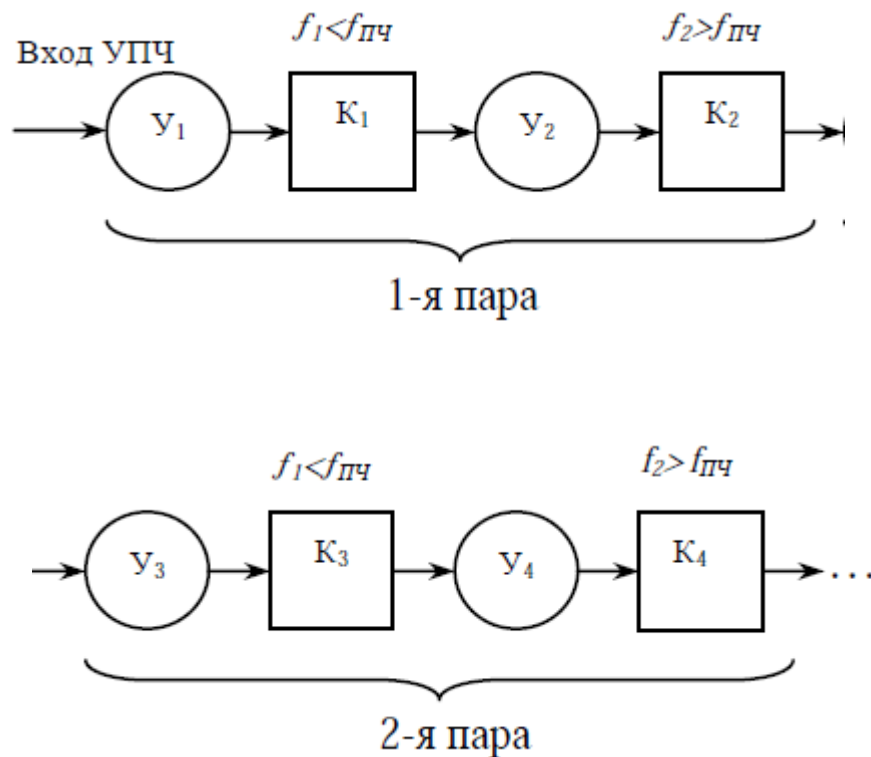
Схемы усилителей промежуточной частоты

Усилитель ПЧ с двухконтурным полосовым фильтром с внешнеёмкостной связью



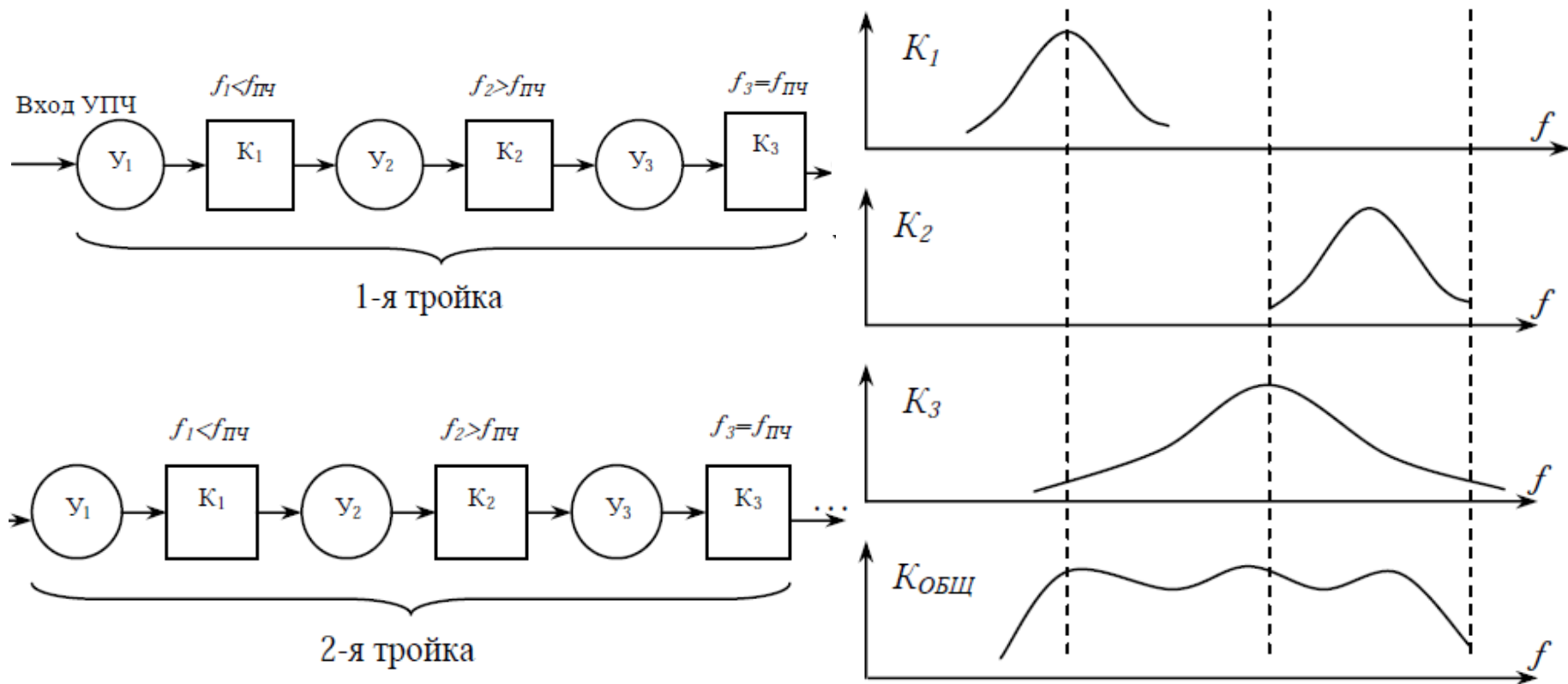
Схемы усилителей промежуточной частоты

УПЧ с парами взаимно расстроенных одноконтурных каскадов



Схемы усилителей промежуточной частоты

УПЧ с тройками взаимно расстроенных одноконтурных каскадов



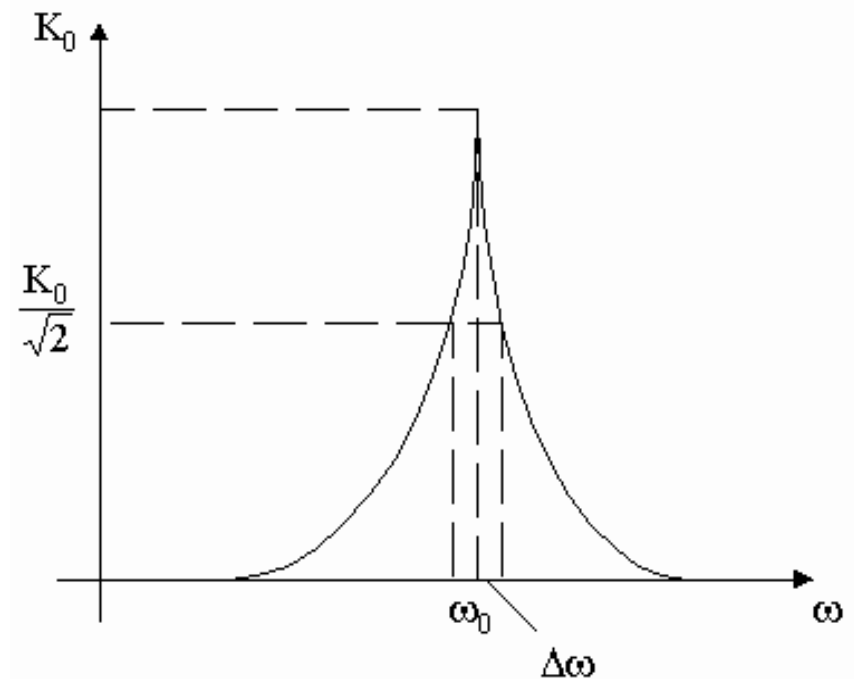
3 Избирательные низкочастотные усилители

Усилители, предназначенные для выделения и усиления сигналов с узкой полосой частот (в идеале только одной частоты) называются избирательными. Такие усилители применяются в системах, работающих на фиксированной частоте.

В них они обеспечивают высокую помехоустойчивость.

Частотная характеристика имеет вид острой резонансной кривой. Вид передаточной характеристики избирательного усилителя, как правило, определяется частотной характеристикой ЦОС.

В избирательном усилителе ОС частотнозависимая с явно выраженным экстремумом.



Избирательные низкочастотные усилители

Основные параметры избирательных усилителей:

- 1) **Частота настройки** ω_0 - частота сигнала, которую усилитель должен выделить и усилить.
- 2) **Коэффициент усиления** на частоте настройки K_0 .
- 3) **Полоса пропускания** $2\Delta\omega$ в которой коэффициент усиления $K > K/\sqrt{2}$. Она является качественным показателем избирательности усилителя. Чем уже эта полоса, тем лучше избирательные свойства усилителя.
- 4) **Добротность**. Характеризует избирательные свойства усилителя относительно ω_0 : $Q = \omega_0 / 2\Delta\omega$. Добротность показывает во сколько раз полоса пропускания меньше частоты настройки.

Избирательные усилители строятся на основе обычных усилительных схем.

Для построения избирательного усилителя необходимо включить в тракт ОС усилителя частотно-зависимую цепь.

Избирательные низкочастотные усилители

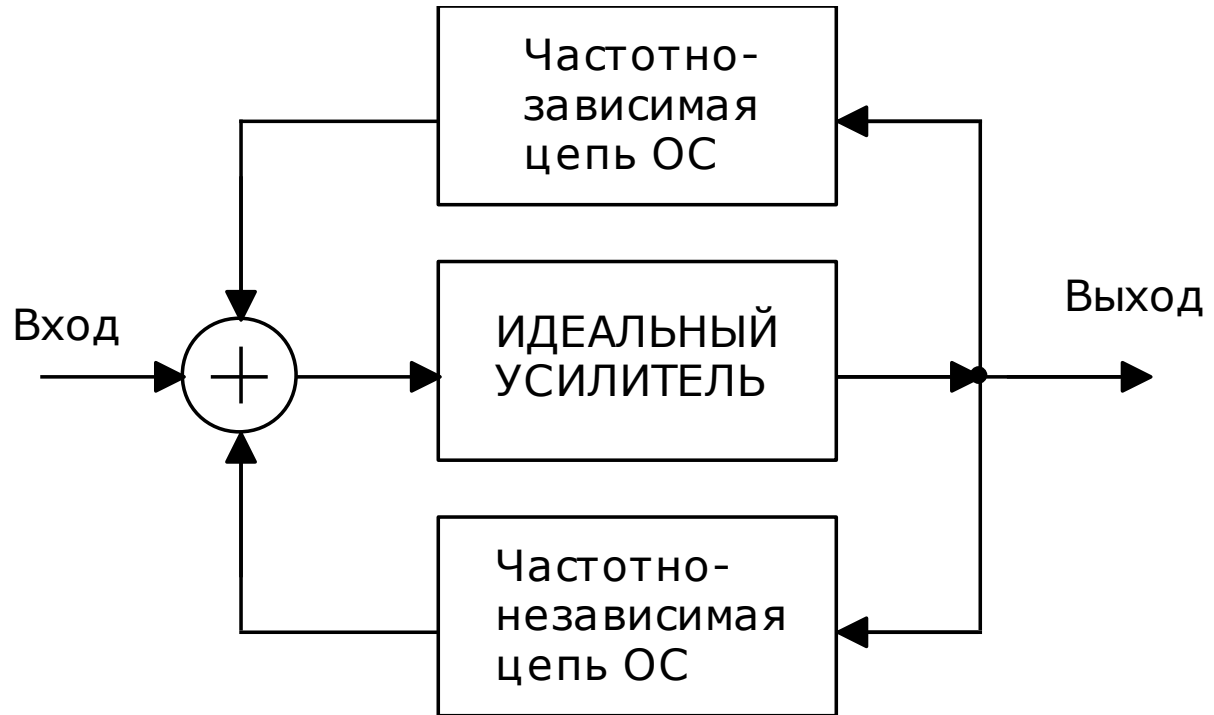
Избирательные усилители строят на основе частотно-зависимых цепей. Выделяют две группы избирательных усилителей:

1) LC - типа.

Используются резонансные свойства колебательного LC - контура.

2) RC - типа.

Необходимую характеристику получают с помощью RC - цепей.



Избирательные низкочастотные усилители

В области низких частот избирательные усилители нецелесообразно выполнять с помощью LC элементов, так как добротности колебательной системы становятся малыми, а габариты L и C резко возрастают.

Поэтому в сравнительно низкочастотных схемах (десятки килогерц и ниже) частотно-избирательная цепь выполняется на RC элементах.

Таким образом, избирательные усилители включают усилители и цепь ОС, состоящую из резисторов и конденсаторов и обладающие избирательными свойствами по отношению колебаний определенной частоты.

В зависимости от глубины ОС, способа ее получения и других факторов избирательные усилители могут работать в режиме генератора синусоидальных колебаний, избирательных усилителей, заграждающих фильтров.

Избирательные низкочастотные усилители

Для улучшения качественных показателей РС-систем в схеме применяемых усилителей предусматриваются обычно вещественные стабилизирующие ОС.

По виду РС-цепей, применяемых в избирательных системах, их можно выделить три основные группы:

1. РС – цепи, в которых фазовый сдвиг равен $\pm \pi/n$, где n – число РС цепей, равное числу каскадов многофазного генератора. Подобные системы применяются для построения схем многофазного генератора.

2. РС-цепи, в которых на определенной частоте фазовый сдвиг равен нулю.

3. РС-цепи, в которых на определенной частоте фазовый сдвиг равен $\pm 180^0$.

Избирательные низкочастотные усилители

Две последние группы находят наиболее широкое применение в схемах избирательных усилителей, заграждающих фильтров и автогенераторов.

В цепи ОС широко применяются мостовые и полумостовые RC цепи, частотные характеристики которых напоминают частотные характеристики LC контуров.

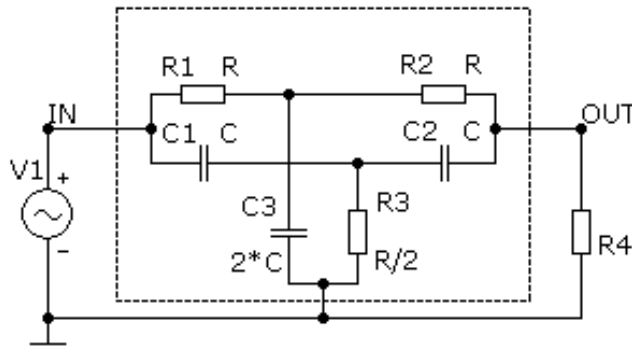
Поскольку природа таких характеристик иная, частоту ω_0 , соответствующую резонансной частоте колебательного контура, называют частотой квазирезонанса.

Широкое распространение получили две схемы:

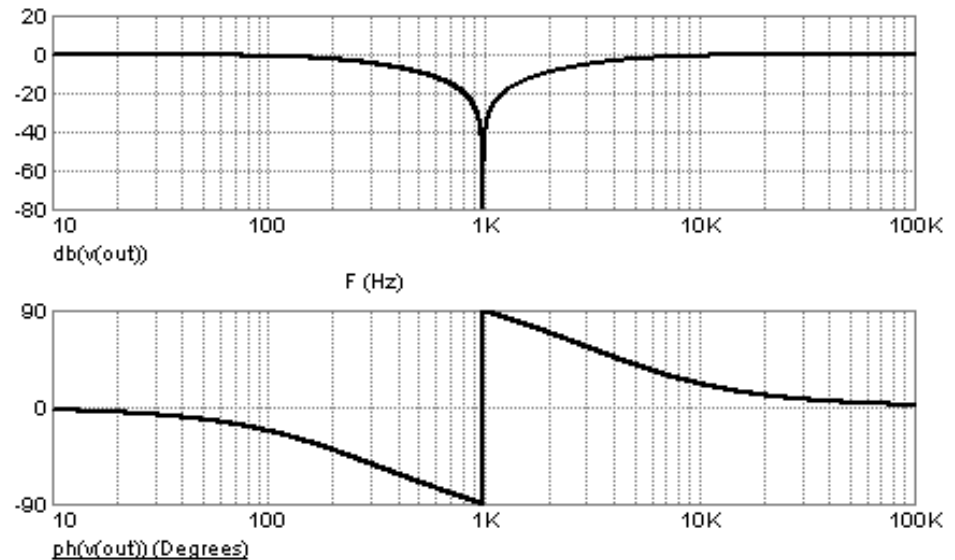
- двойной T-мост
- мост Вина.

Избирательные низкочастотные усилители

Двойной Т-мост. На частоте настройки коэффициент передачи такой схемы равен нулю.



а)



б)

Схема двойного Т образного моста (а) и его АЧХ и ФЧХ (б)

Используя законов Кирхгофа для отдельных контуров можно получить следующее выражение для коэффициента передачи моста:

Избирательные низкочастотные усилители

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{R_1 R_2 R_3 + R_3 X_1 X_3 + R_3 X_2 X_3 + X_1 X_2 X_3 + X_3 R_1 R_3 + X_3 R_2 R_3}{(R_1 + R_3)(R_2 + X_2)(R_3 + X_1) + R_1 X_3(R_3 + X_1) + R_3 X_1(R_1 + X_3)} = 0$$

Дробь равна нулю, если числитель равен нулю.

Приравниваем нулю мнимую и вещественную часть числителя.

$$R_1 R_2 + X_3(X_1 + X_2) = 0$$

$$X_1 X_2 + R_3(R_1 + R_2) = 0,$$

или

$$\frac{R_1 R_2}{R_3(R_1 + R_2)} = \frac{x_3(X_1 + X_2)}{X_1 X_2} = \frac{C_1 + C_2}{C_3} = 1,$$

Последнее равенство принято равным единице, что не обязательно.

Таким образом $C_3 = C_1 + C_2$, а $R_3 = R_1 // R_2$.

Избирательные низкочастотные усилители

Далее можно записать равенство

$$X3(X1+X2)=X1X2.$$

Тогда $R1R2+X1X2=0$, $R1R2+1/j\omega C1 1/j\omega C2 = 0$.

Отсюда находим

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C1C2R1R2}}.$$

Итак, частота квазирезонанса двойного Т-моста

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C1C2R1R2}}$$

Обычно выбирают $R1=R2=2R3$, $C1=C2=1/2 C3$.

Тогда $\omega_0 = 1/RC$, где $R=R1$, $C=C1$

Избирательные низкочастотные усилители

Мост Вина

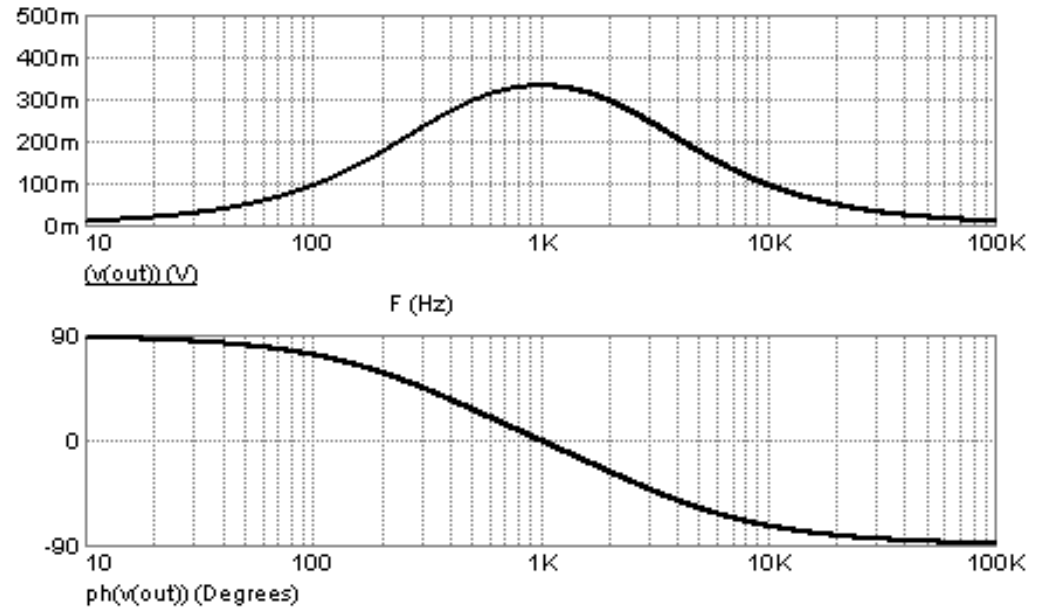
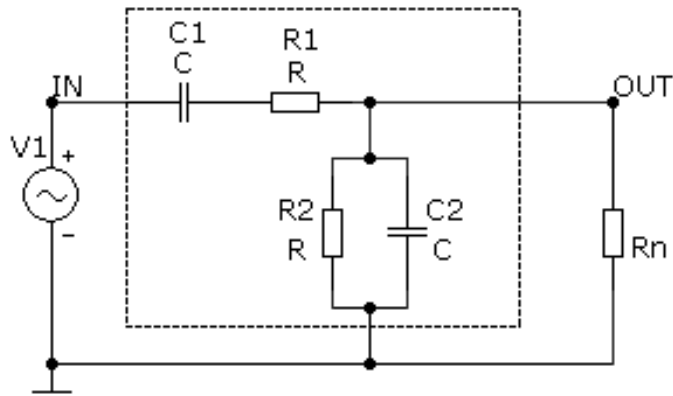


Схема моста Вина (а) и его частотная и фазовая характеристика (б)

Запишем выражение для коэффициента передачи

$$\frac{U2}{U1} = \frac{Z2}{Z1 + Z2},$$

Избирательные низкочастотные усилители

где $Z1 = R1 + X1$, $Z2 = R2 // X2$.

Тогда
$$\frac{U2}{U1} = \frac{X2R2}{R1R2 + X1X2 + X1R2 + X2R1 + X2R2}.$$

На частоте квазирезонанса коэффициент передачи равен вещественному числу, т.е. вещественная часть знаменателя равна нулю.

$$R1R2 + X1X2 = 0.$$

При равенстве резисторов и конденсаторов частота квазирезонанса $\omega_0 = 1/RC$, а коэффициент передачи

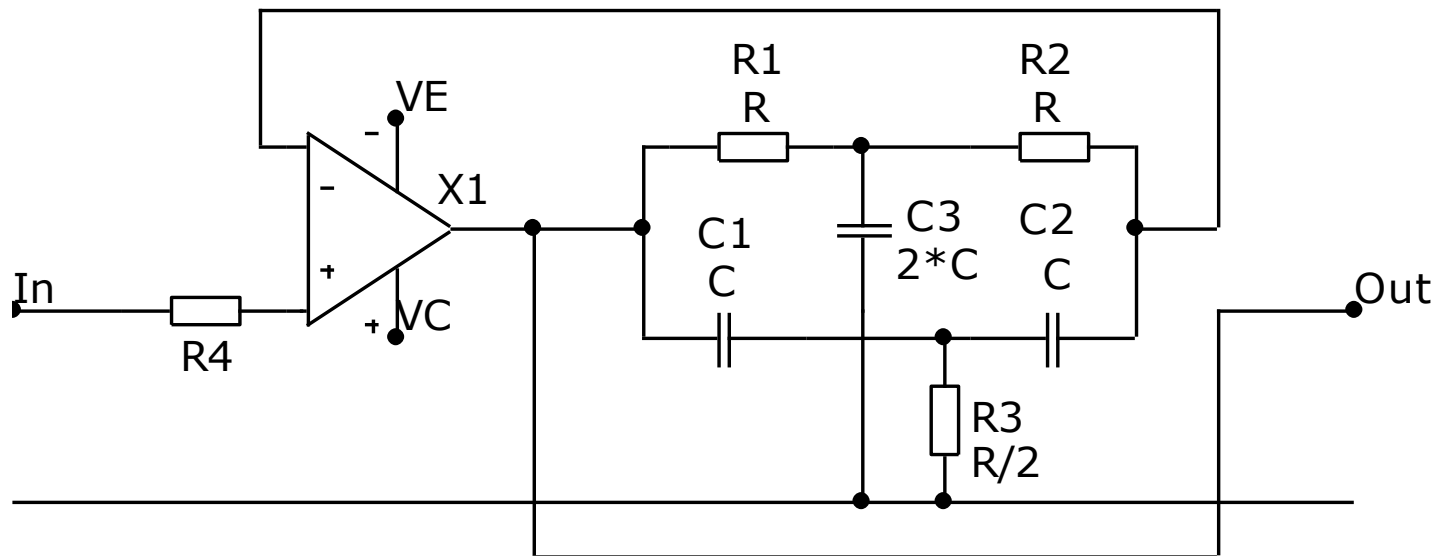
$$\frac{U2}{U1} = \frac{1}{1 + \frac{C1}{C2} + \frac{R1}{R2}}.$$

Итак, для моста Вина при $R1=R2=R$ и $C1=C2=C$ частота $\omega_0 = 1/RC$, а коэффициент передачи $U2/U1=1/3$

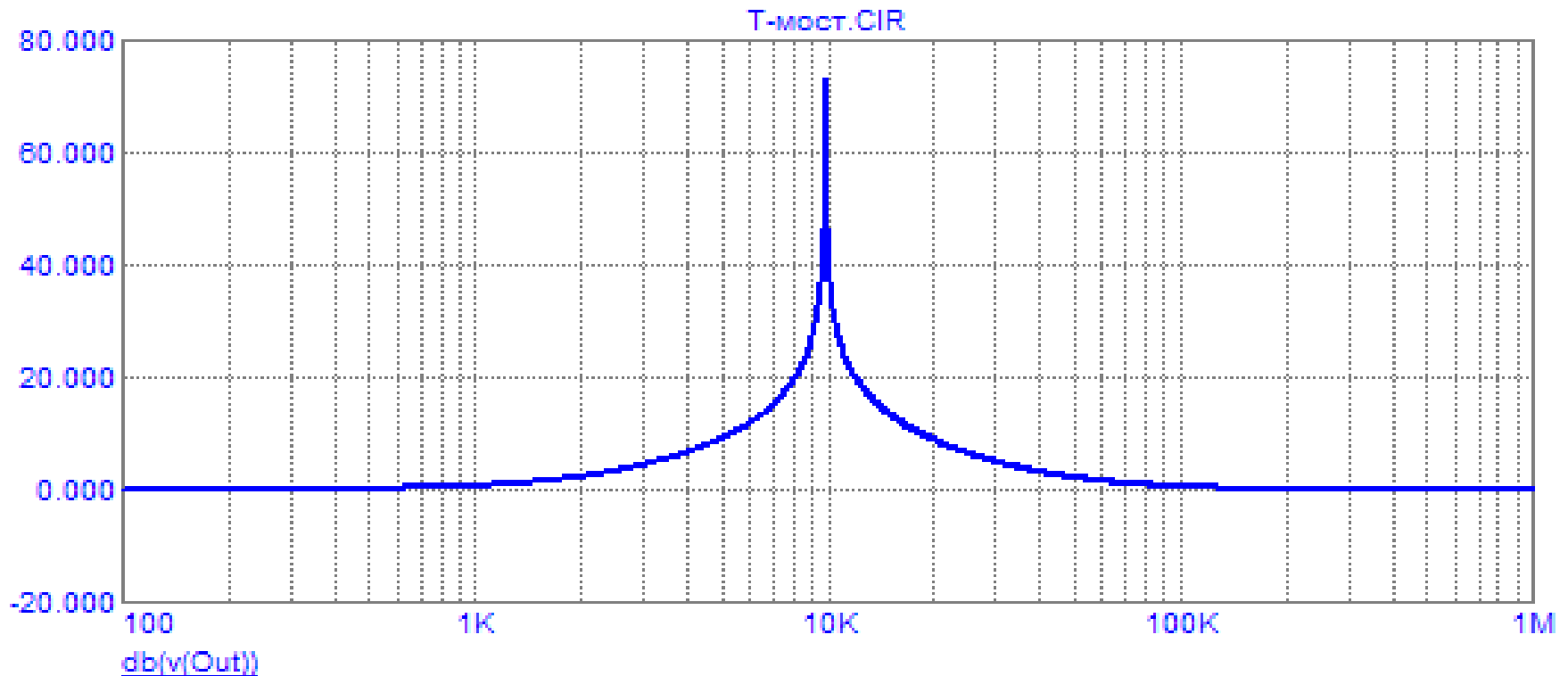
Избирательные низкочастотные усилители

Рассмотрим построение избирательного усилителя на основе двойного Т-моста.

Двойной Т-мост имеет нулевой коэффициент передачи на частоте квазирезонанса и единичный в остальной полосе частот. Поэтому если включить такую схему в цепь отрицательной обратной связи, то на частоте квазирезонанса цепь ОС разомкнется и коэффициент передачи усилителя существенно возрастет.

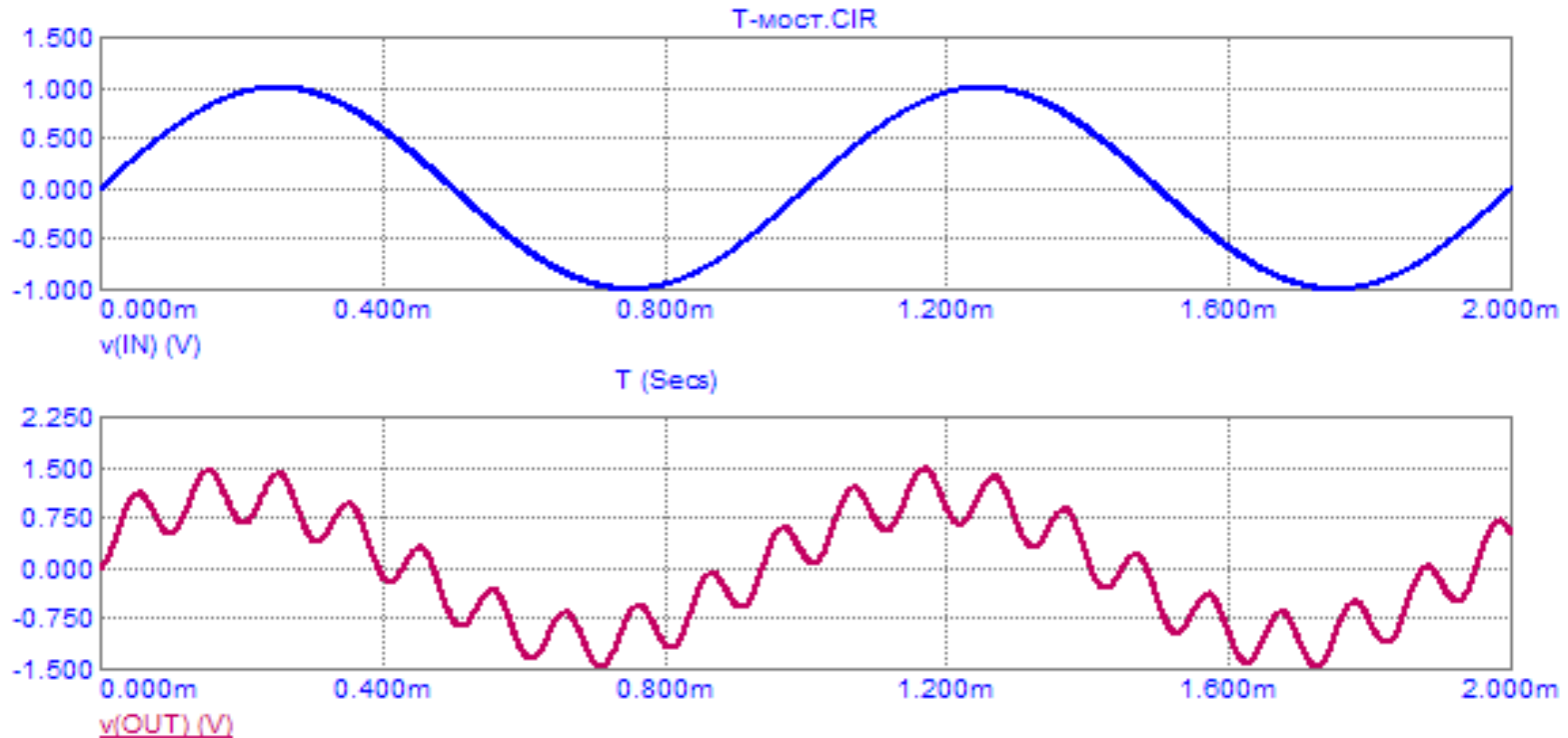


Избирательные низкочастотные усилители



На частоте квазирезонанса коэффициент усиления получается очень большим (несколько тысяч). Поэтому в таком усилителе практически всегда будут наблюдаться колебания на частоте квазирезонанса, что искажает усиливаемый сигнал.

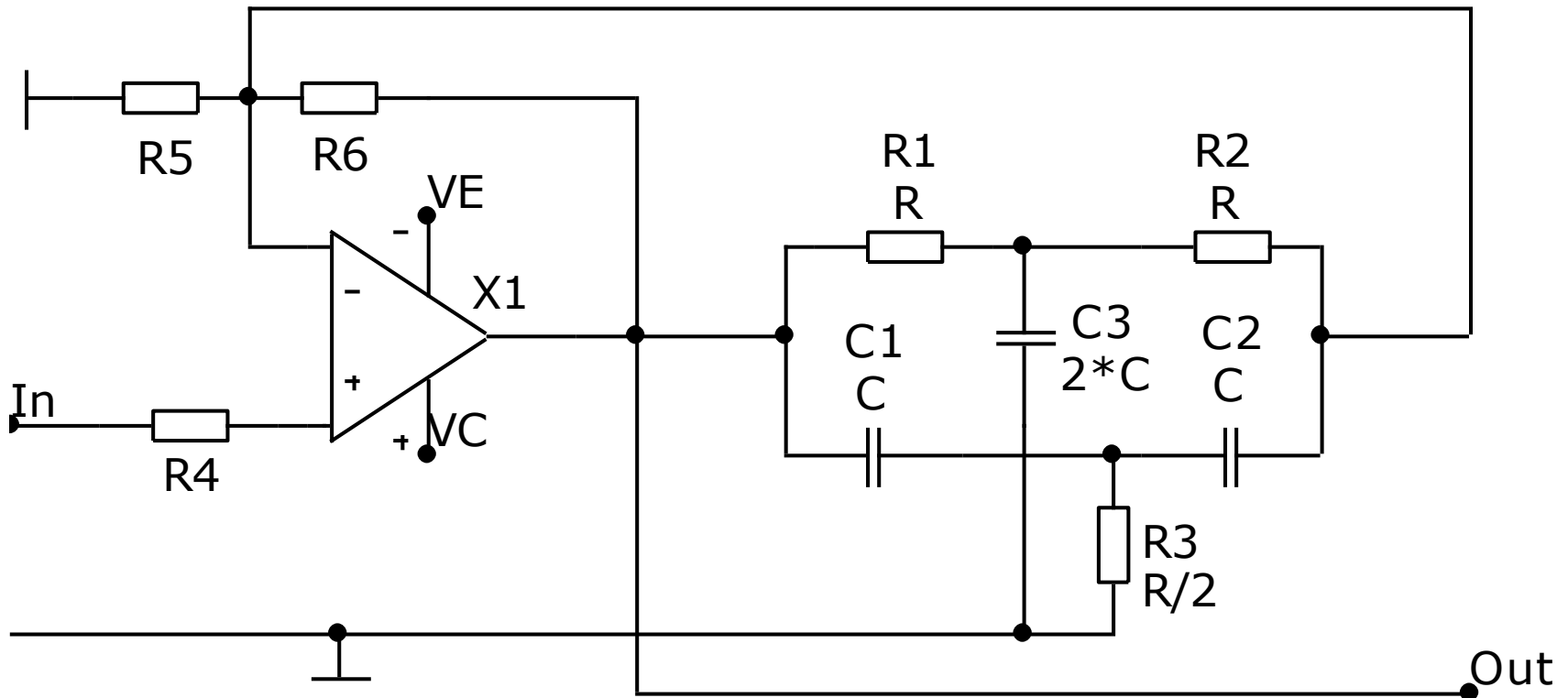
Избирательные низкочастотные усилители



Чтобы этого не происходило, необходимо ограничить коэффициент усиления. Для этого параллельно частотно-зависимой цепи (двойному Т-мосту) ставят обычную резистивную цепь, которая определяет коэффициент усиления на частоте квазирезонанса.

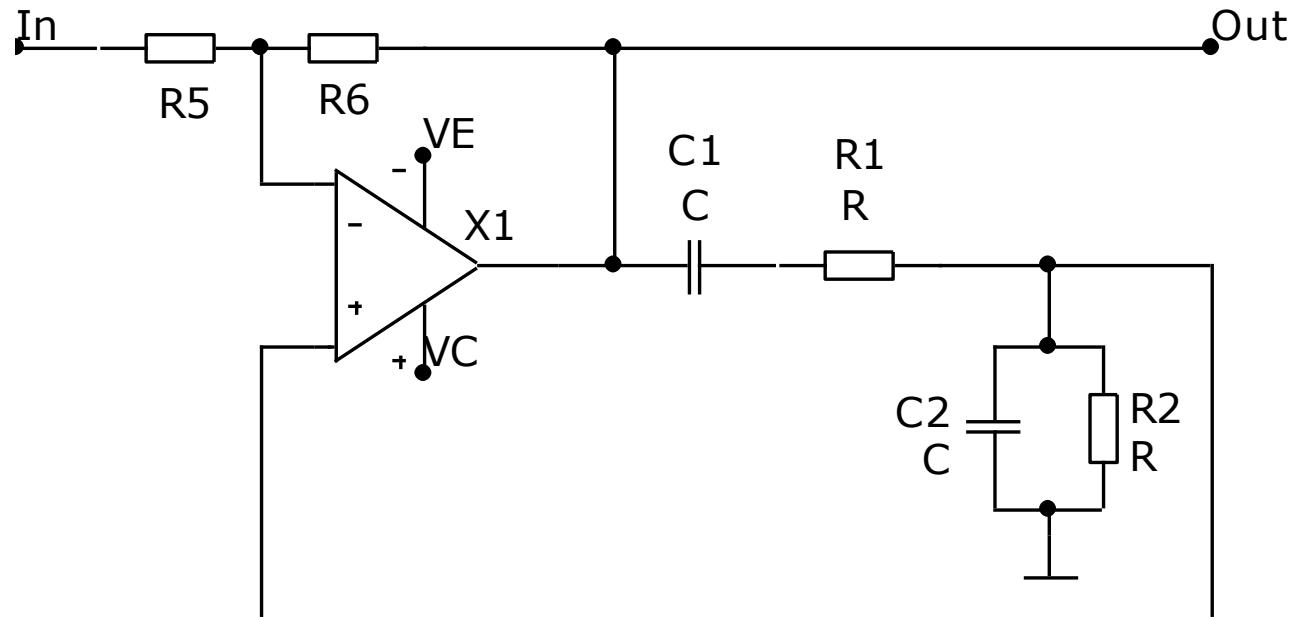
Избирательные низкочастотные усилители

В схеме это резистивный делитель R5, R6



Избирательные низкочастотные усилители

Избирательный усилитель можно построить и на основе **моста Вина**. Но в этом случае его нужно включать не в цепь отрицательной, а в цепь положительной обратной связи. На частоте квазирезонанса коэффициент передачи цепи положительной обратной связи увеличится до $1/3$ и общий коэффициент усилителя существенно возрастет.

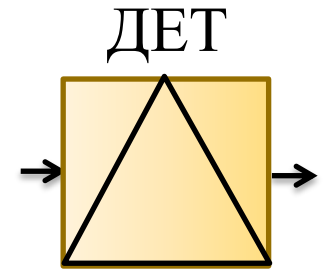


2 Детектирование радиосигналов.

Распространенные схемы детекторов

Детектирование – процесс выделения сигнала модуляции (напряжения низкой частоты) которое в неявном виде содержится в колебаниях промежуточной частоты.

Детектор – каскад радиоприёмника, в котором осуществляется преобразование входного модулированного радиосигнала в напряжение (ток), меняющееся по закону первичного модулирующего сигнала.



В зависимости от вида модуляции радиосигнала (амплитудно-модулированные колебания, частотно-модулированные колебания, фазо-модулированные колебания) для детектирования используются различные устройства.

Детектирование радиосигналов

Амплитудную модуляцию применяют только в диапазоне частот 118...136 МГц для связи с самолётами. В цифровых системах наземной мобильной радиосвязи амплитудные детекторы (демодуляторы) не применяются.

В амплитудном детекторе происходит извлечение информации, заключенной в изменении амплитуды сигнала по некоторому закону (первичного сигнала) во временной области.



Детектирование радиосигналов

Параметры амплитудного детектора

Коэффициент передачи детектора

$$K_A = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$$

Входное сопротивление детектора

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_1}$$

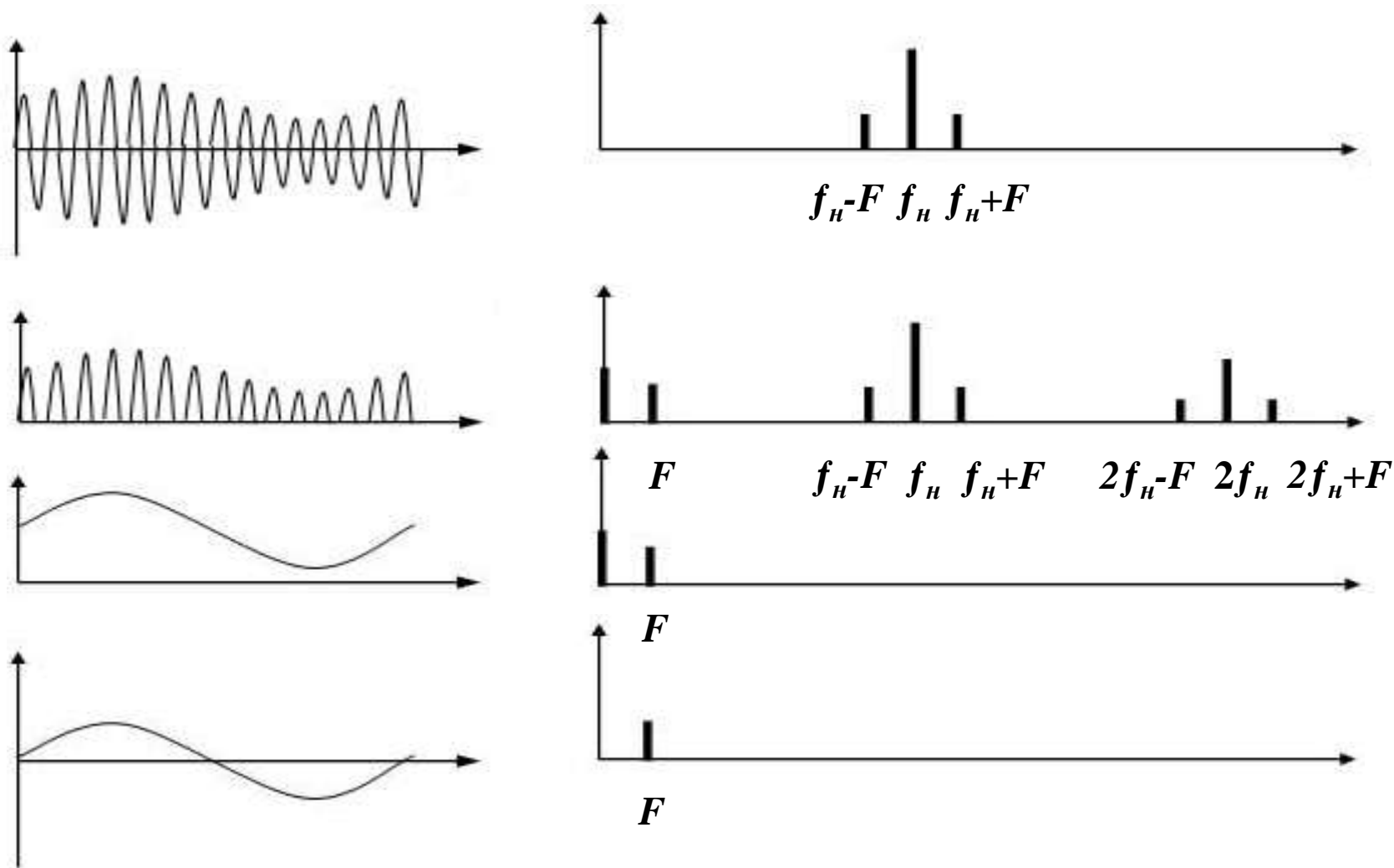
где I_1 — амплитуда 1-й гармоники тока детектора

Коэффициент фильтрации

$$K_{\text{ф}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ПВЫХ}}}$$

где $U_{\text{ПВЫХ}}$ — амплитуда пульсаций $U_{\text{ВЫХ}}$

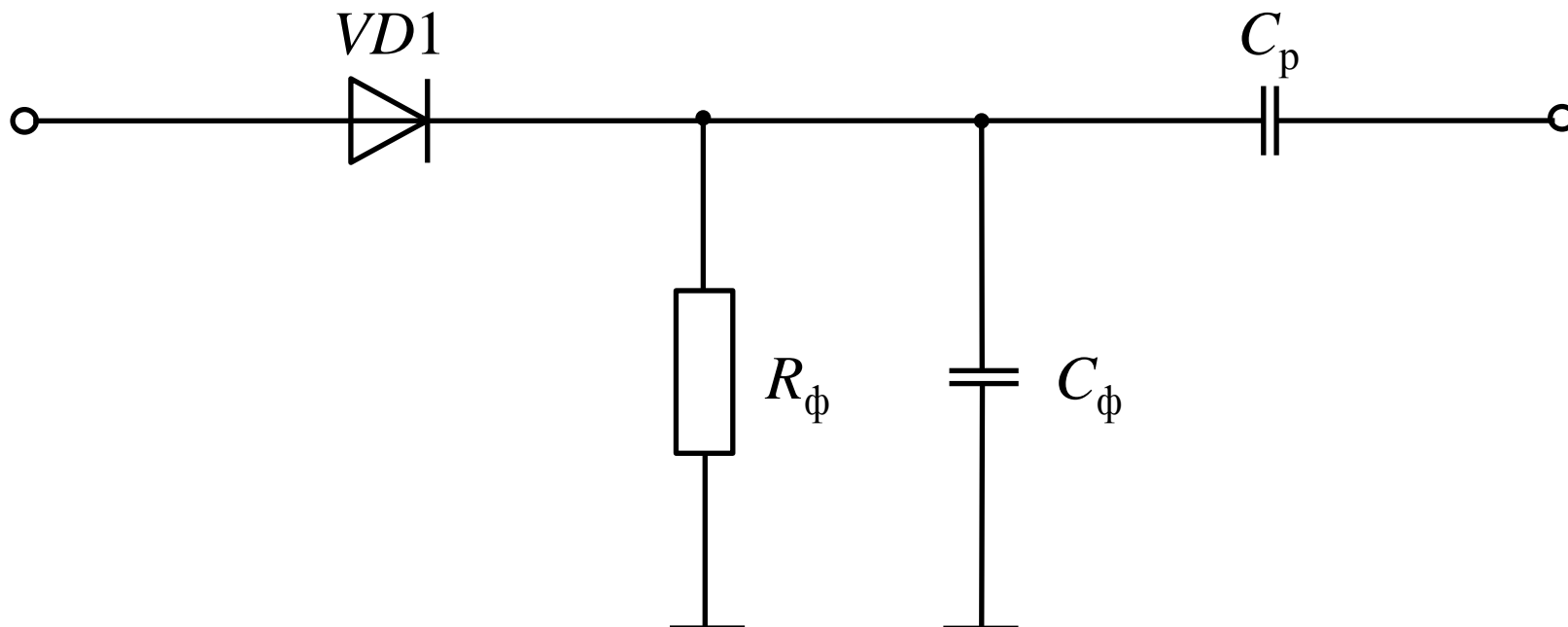
Детектирование радиосигналов



Детектирование амплитудно-модулированных сигналов

Распространенные схемы детекторов

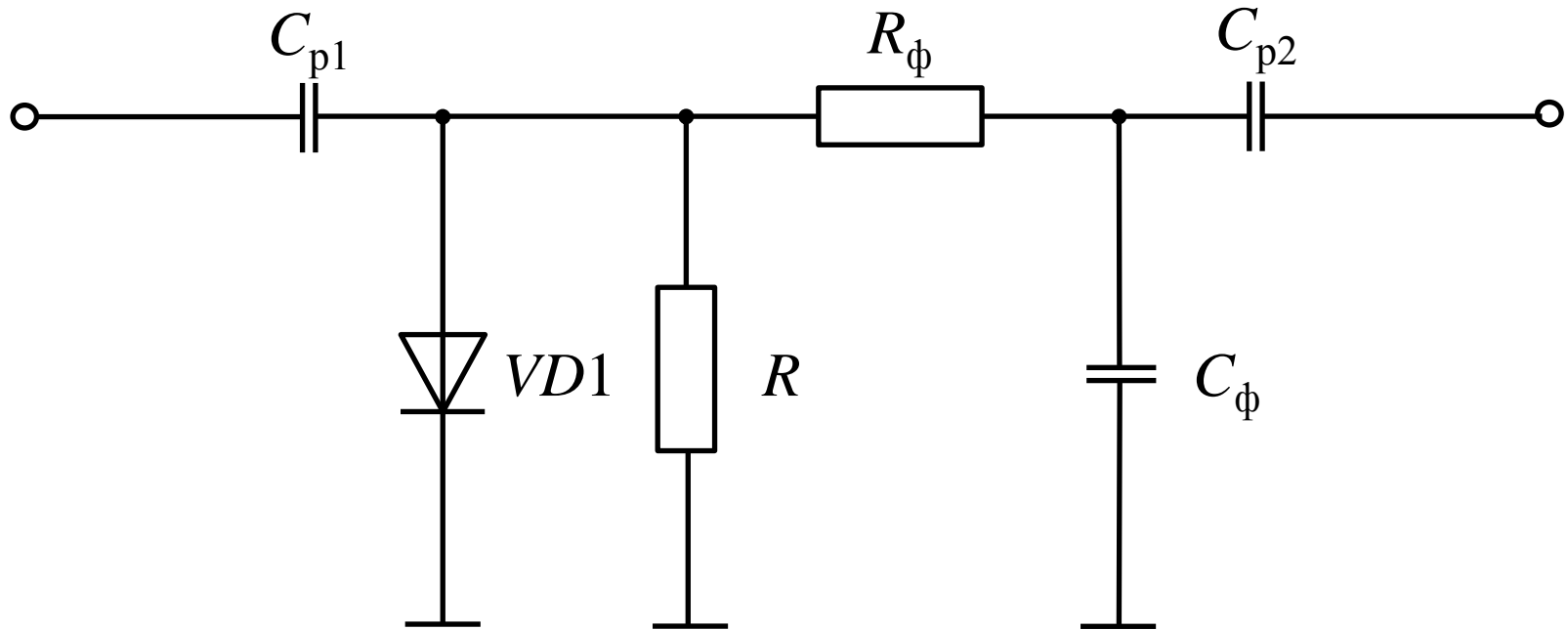
Последовательная схема амплитудного детектора



Последовательная схема амплитудного детектора применяется при отсутствии во входном сигнале постоянной составляющей, которая может изменять режим работы диода.

Распространенные схемы детекторов

Параллельная схема амплитудного детектора

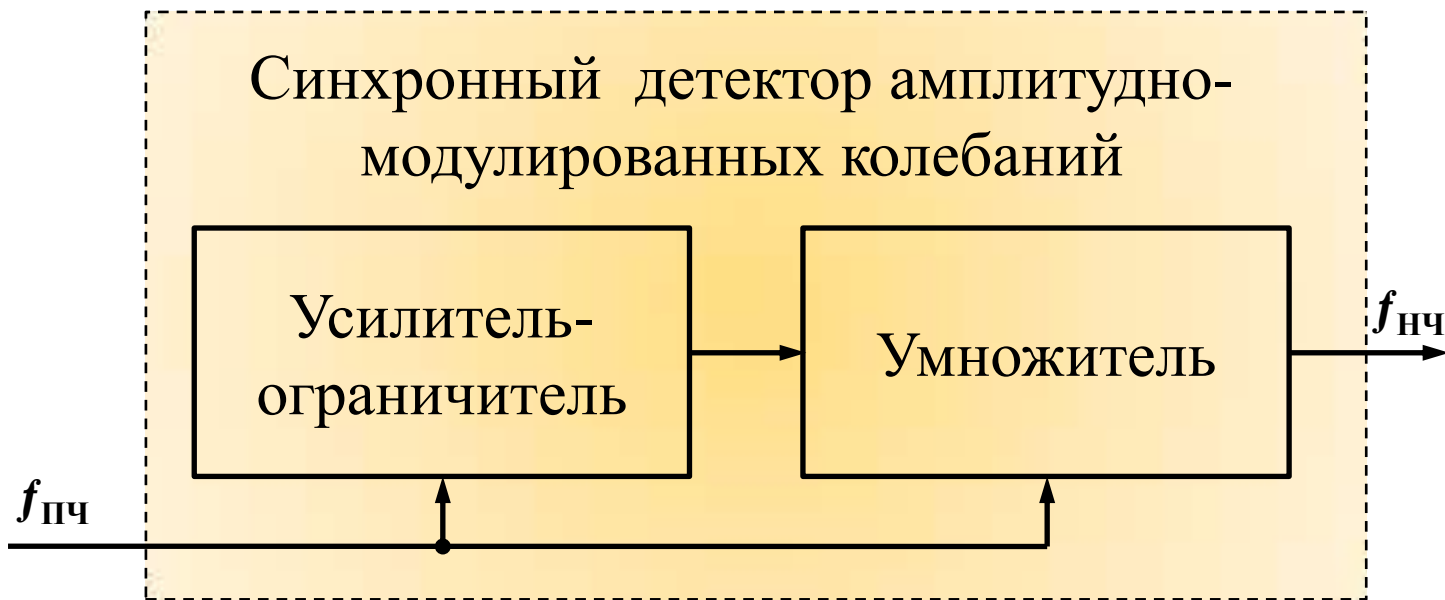


Параллельная схема применяется в случае наличия во входном сигнале постоянной составляющей. Её влияние на режим работы диода устраняется включением ёмкости C_{p1} .

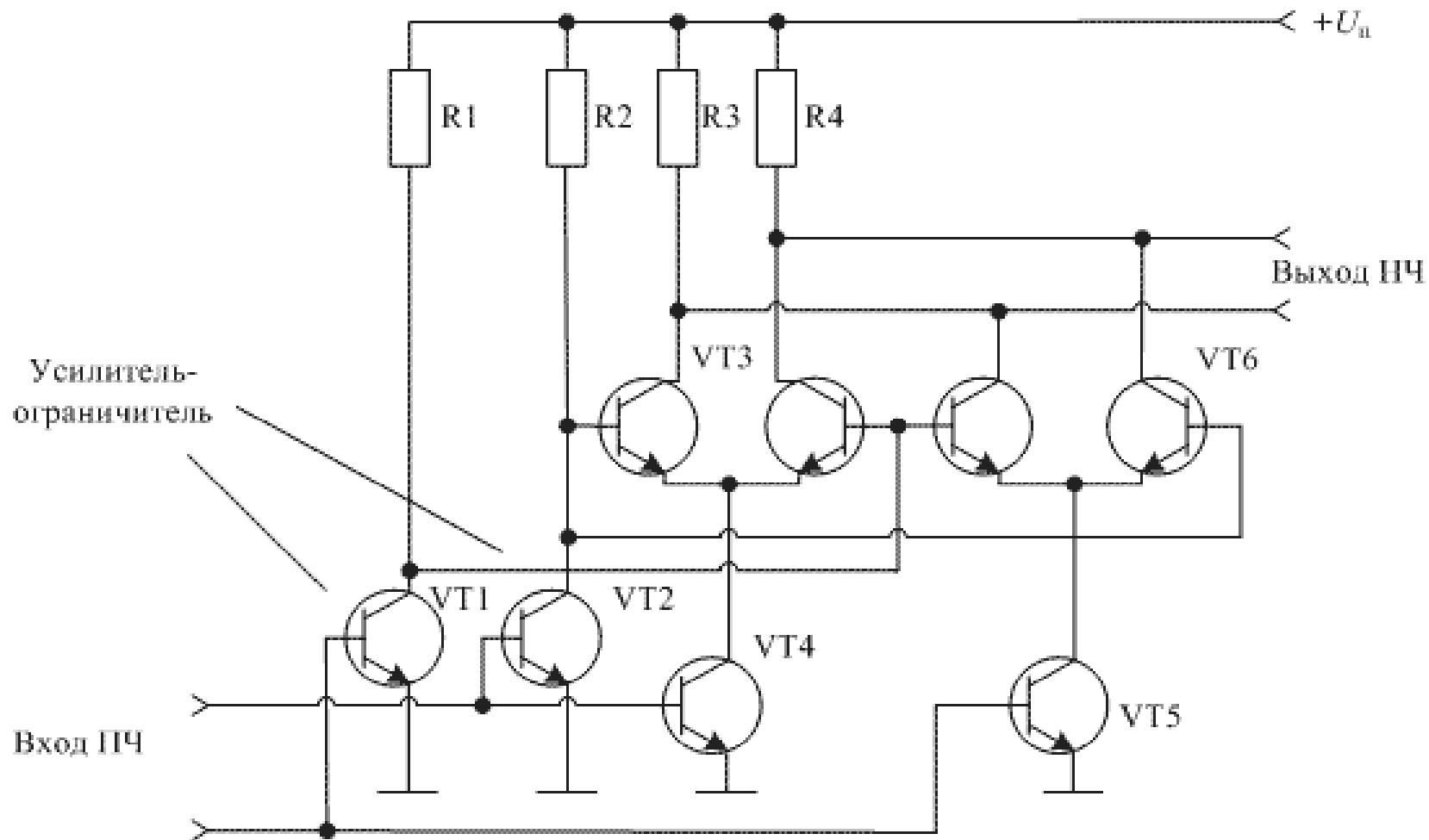
Распространенные схемы детекторов

В настоящее время в качестве амплитудных детекторов обычно используются синхронные детекторы.

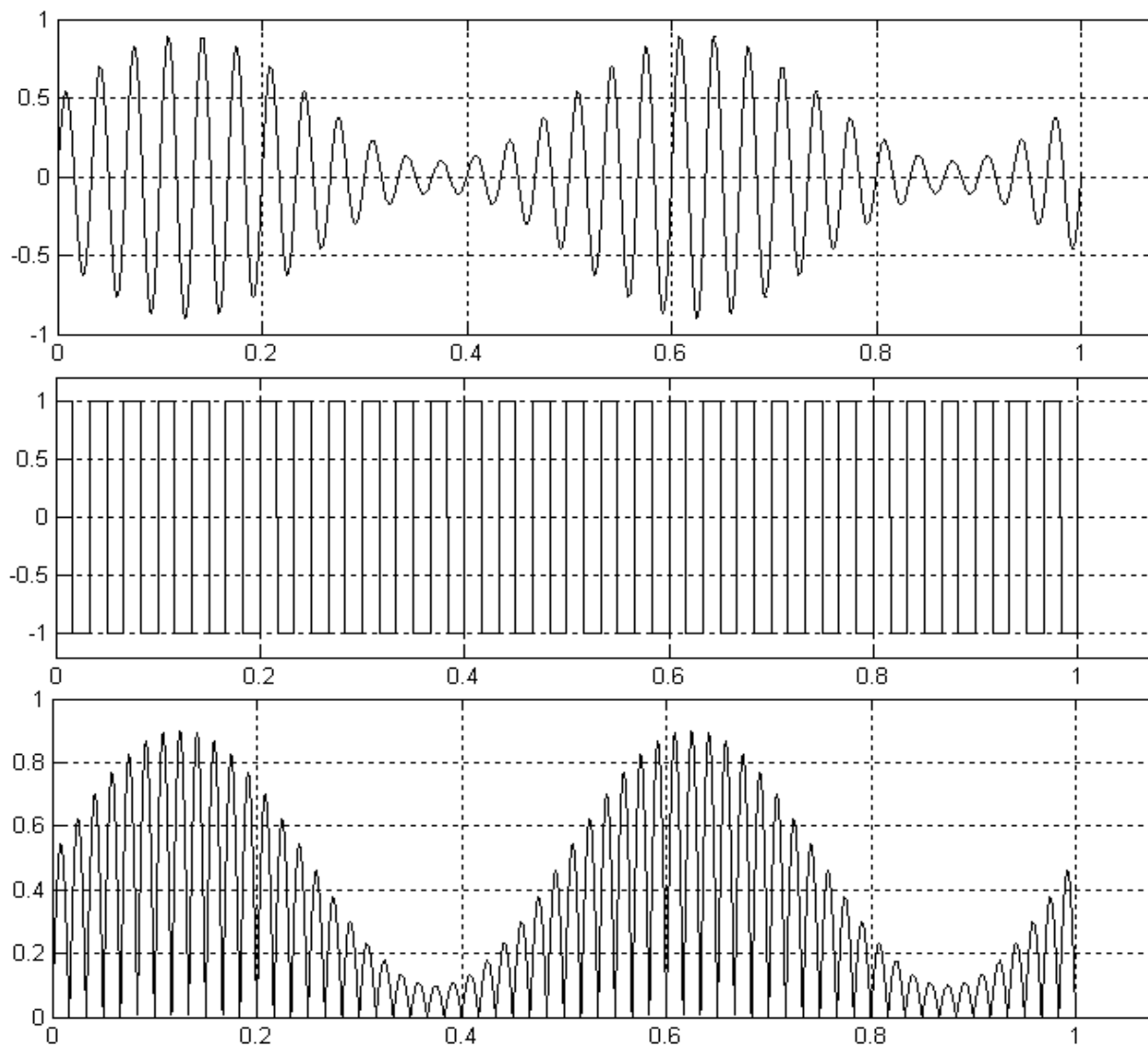
Основными узлами синхронного детектора является аналоговый умножитель (смеситель частот) и усилитель-ограничитель.



Распространенные схемы детекторов

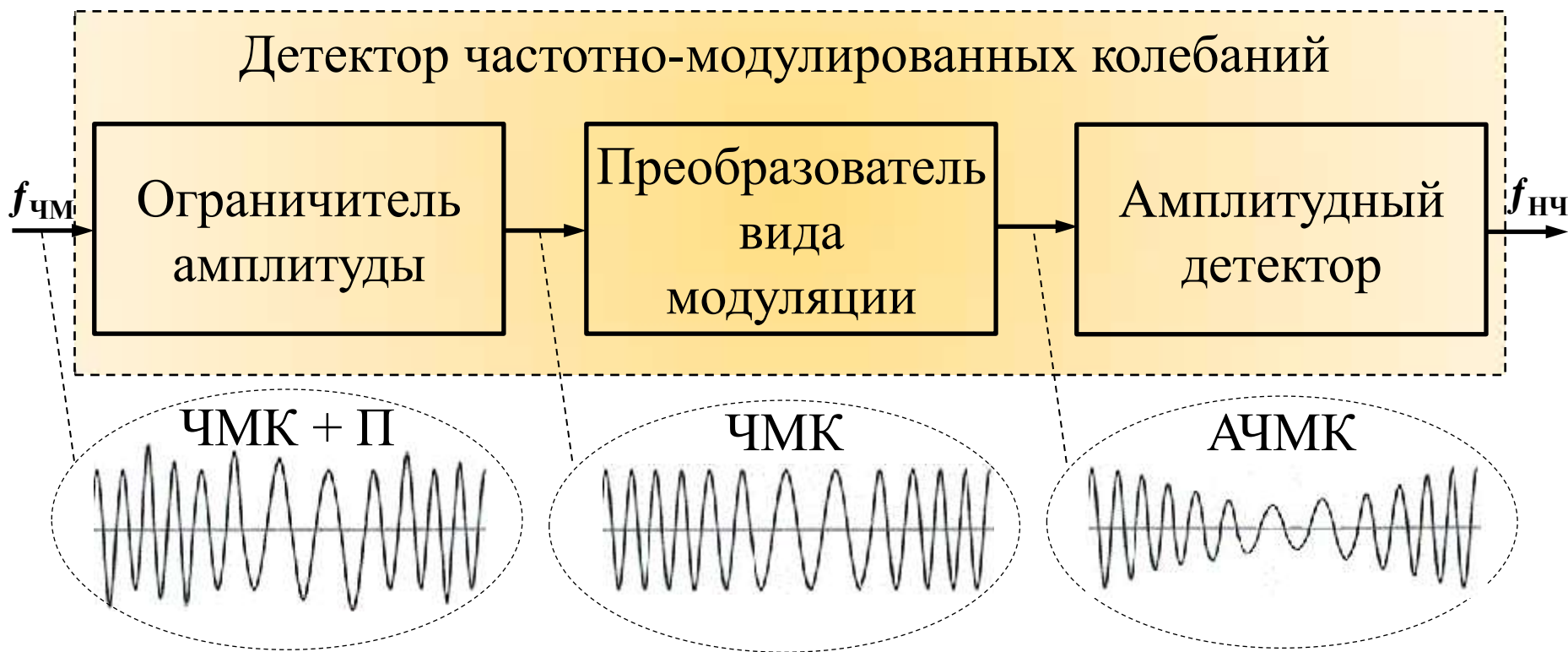


Распространенные схемы детекторов



Детектирование радиосигналов

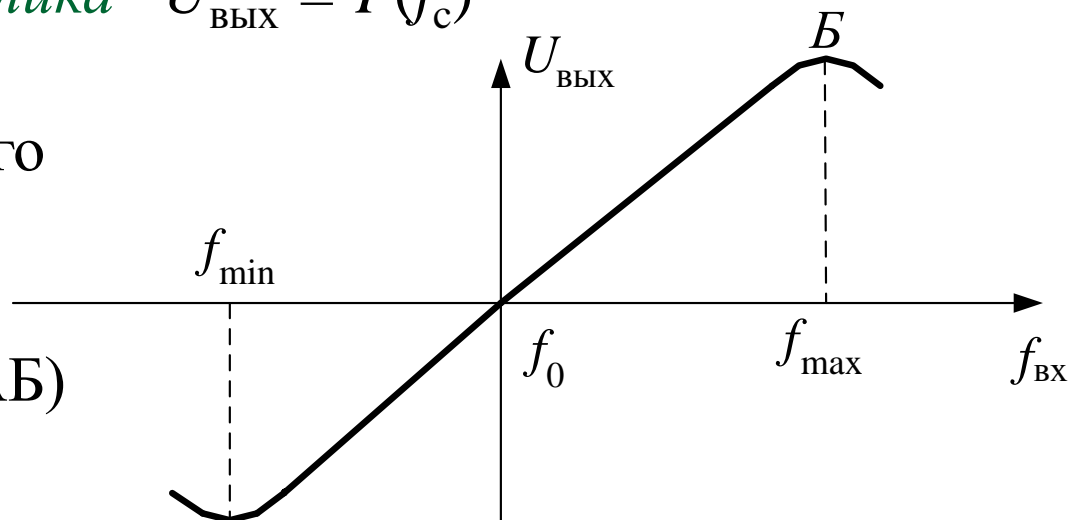
Частотный детектор — нелинейное радиотехническое устройство, у которого напряжение на выходе изменяется пропорционально изменению частоты частотно-модулированного сигнала.



Детектирование радиосигналов

Основным параметром частотного детектора является его *детекторная характеристика* $U_{\text{ВЫХ}} = F(f_c)$

Качество работы частотного детектора оценивается линейностью рабочего участка характеристики (АБ) и ее крутизной.



Эти параметры определяются как *полоса пропускания детектора*

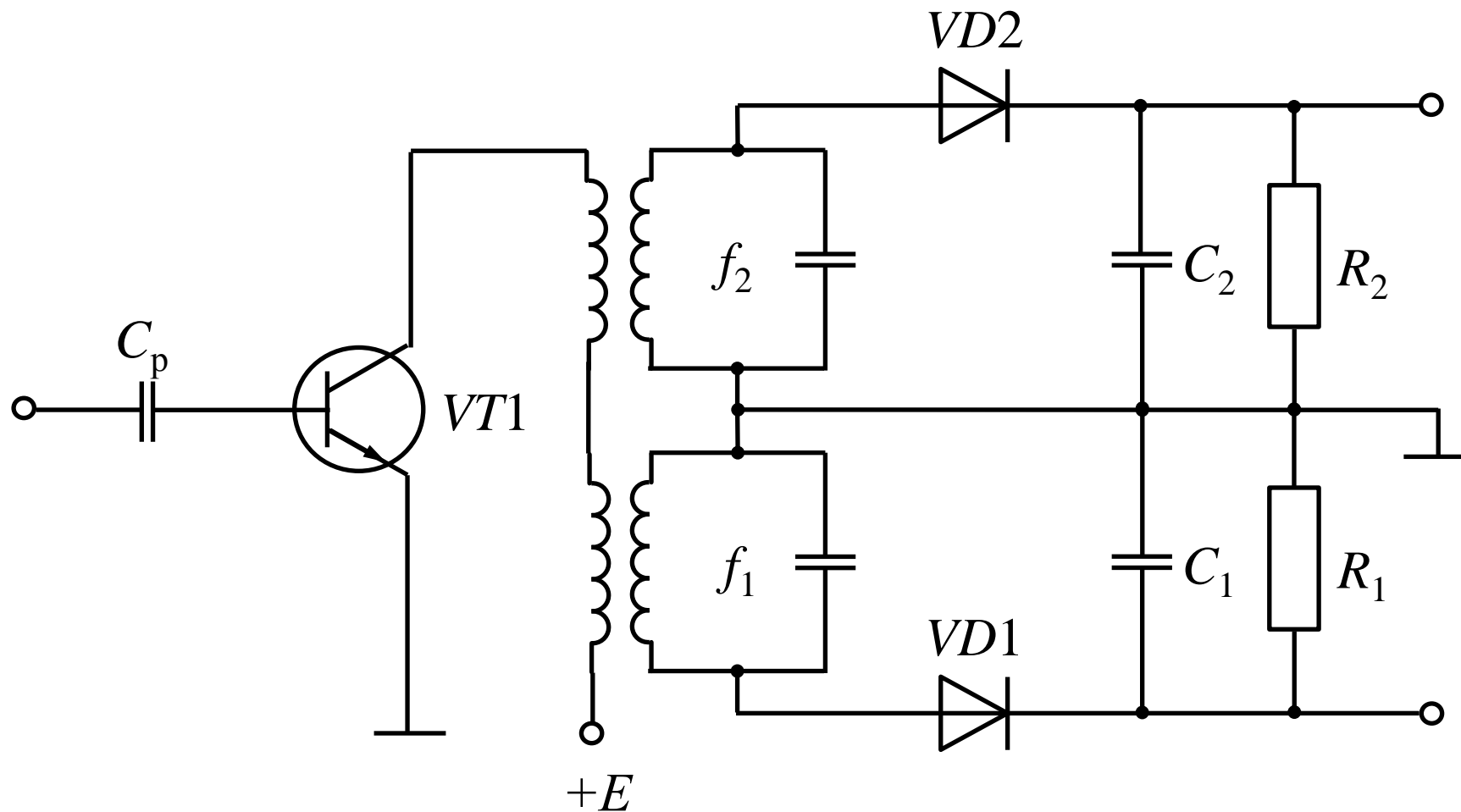
$$\Pi = f_{\text{max}} - f_{\text{min}},$$

и *крутизна АЧХ*

$$S_{\text{чД}} = \left. \frac{dU}{d\phi} \right|_{d\phi \rightarrow 0}$$

Распространенные схемы детекторов

*Частотный детектор
с двумя взаимно расстроенными контурами*



Детектирование радиосигналов

Роль **ограничителя амплитуды** может выполнить каскад усиления, работающий в режиме двухстороннего ограничения амплитуды.

В качестве **преобразователя вида модуляции**, в простейшем случае, может быть использован обычный колебательный контур.

Зависимость напряжения на выходе частотного детектора от изменения частоты входного сигнала называется его *детекторной характеристикой*.

Если *детекторная характеристика* в рабочей области линейна, то детектирование будет линейным.

Эффективность работы ЧД оценивается крутизной детекторной характеристики.

$$S_{\text{чд}} = \frac{\Delta U_m}{\Delta f_m}$$

Распространенные схемы детекторов

В этой схеме в качестве преобразователя вида модуляции используется двухконтурная система с взаимно расстроенными контурами относительно некоторой средней частоты f_H и два амплитудных детектора.

Верхний контур настроен на частоту $f_2 > f_H$, нижний настроен на частоту $f_1 < f_H$.

При $f_{BX} = f_H$, $U_{BIX} = 0$.

При $f_{BX} > f_H$, U_{BIX} положительно и изменяется пропорционально изменению частоты входного сигнала.

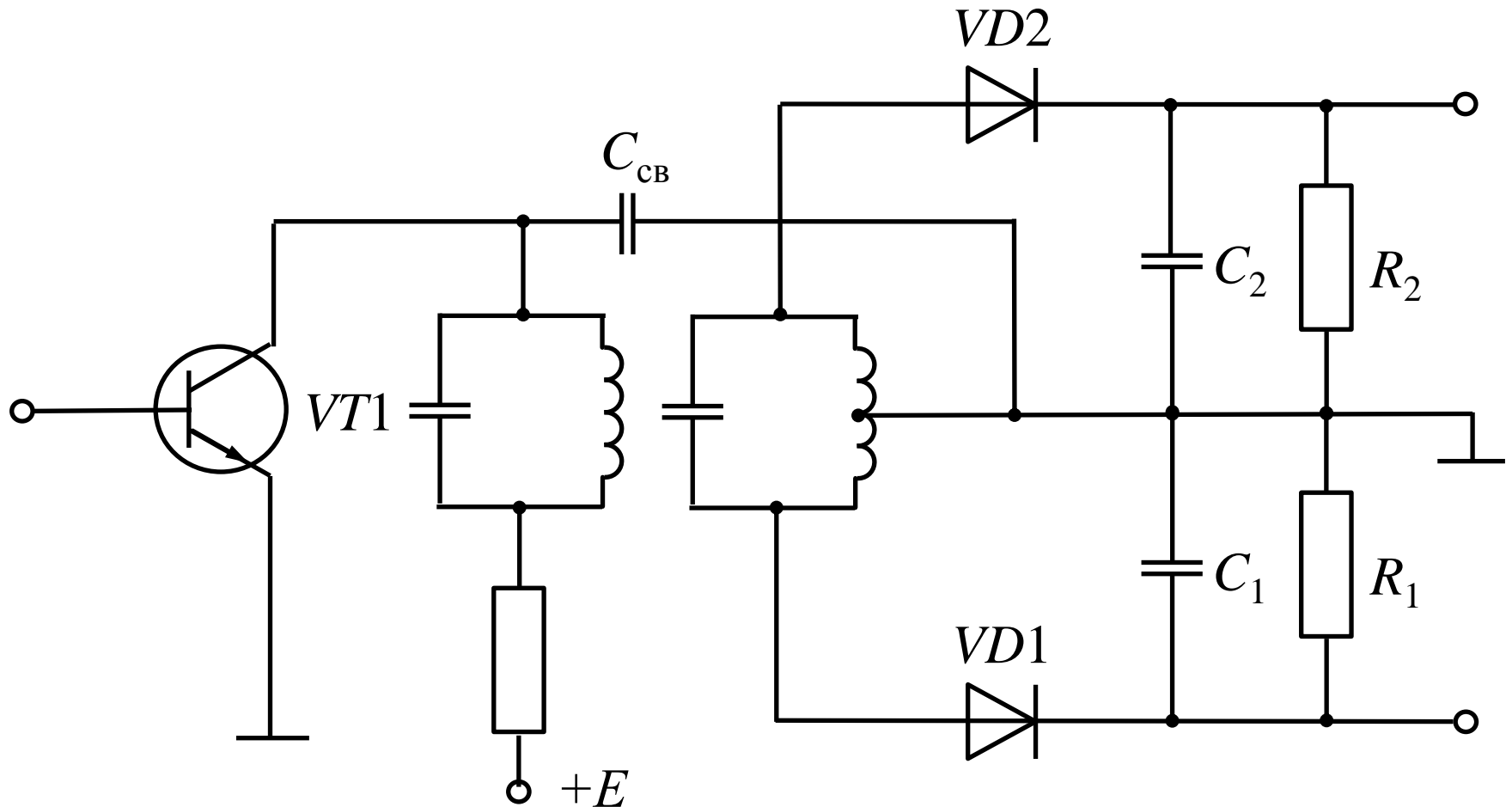
При $f_{BX} < f_H$, U_{BIX} отрицательно и изменяется пропорционально изменению частоты входного сигнала.

Детекторы с взаимно расстроенными контурами применяются при детектировании широкополосных ЧМ сигналов.

Распространенные схемы детекторов

Частотный детектор

с преобразователем вида модуляции на связанных контурах



Распространенные схемы детекторов

Преобразователь вида модуляции представляет собой систему двух контуров, связанных между собой внешней ёмкостной связью за счёт малой емкости $C_{св}$.

Оба контура настроены на одну частоту $f_0 = f_H$.

Принцип преобразования ЧМ колебаний в АЧМ колебания основан на изменении фазовых соотношений напряжений на контурах при изменении частоты входного сигнала.

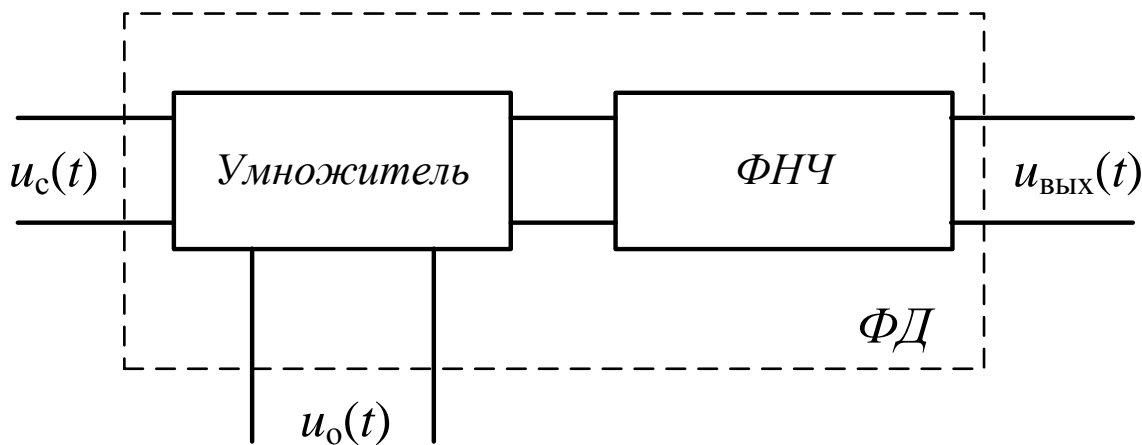
Частотные детекторы на связанных контурах в области несущей частоты имеют линейный участок детекторной характеристики, однако диапазон частот этого участка мал (несколько единиц килогерц).

Поэтому такие детекторы используют в узкополосных системах связи, в основном в одноканальных радиосистемах.

Детектирование радиосигналов

Фазовый детектор – нелинейное радиотехническое устройство, у которого выходное напряжение изменяется пропорционально разности фаз двух поданных на него колебаний.

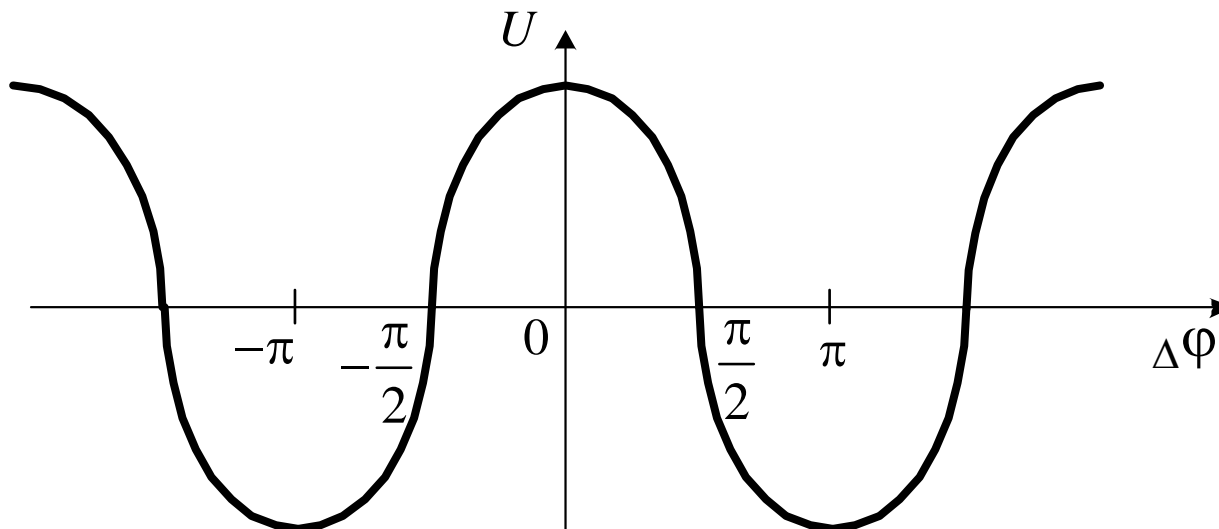
Принцип работы фазового детектора основан на сравнении фазы принимаемого сигнала $U_c(t) = U_{mc} \cos[\omega_n t + \Delta\varphi]$ с фазой опорного вспомогательного напряжения, частота которого равна частоте несущей этого сигнала $U_{on}(t) = U_{mo} \cos \omega_n t$



Детектирование радиосигналов

Основные технические характеристики :

детекторная (амплитудно-фазовая) характеристика — зависимость амплитуды выходного напряжения ФД от величины разности фаз $\Delta\varphi$



Детектирование радиосигналов

крутизна (чувствительность) АФХ, определяющаяся при заданных U_c и U_o :

$$S_{\text{ФД}} = \left. \frac{dU}{d\varphi} \right|_{d\varphi \rightarrow 0}$$

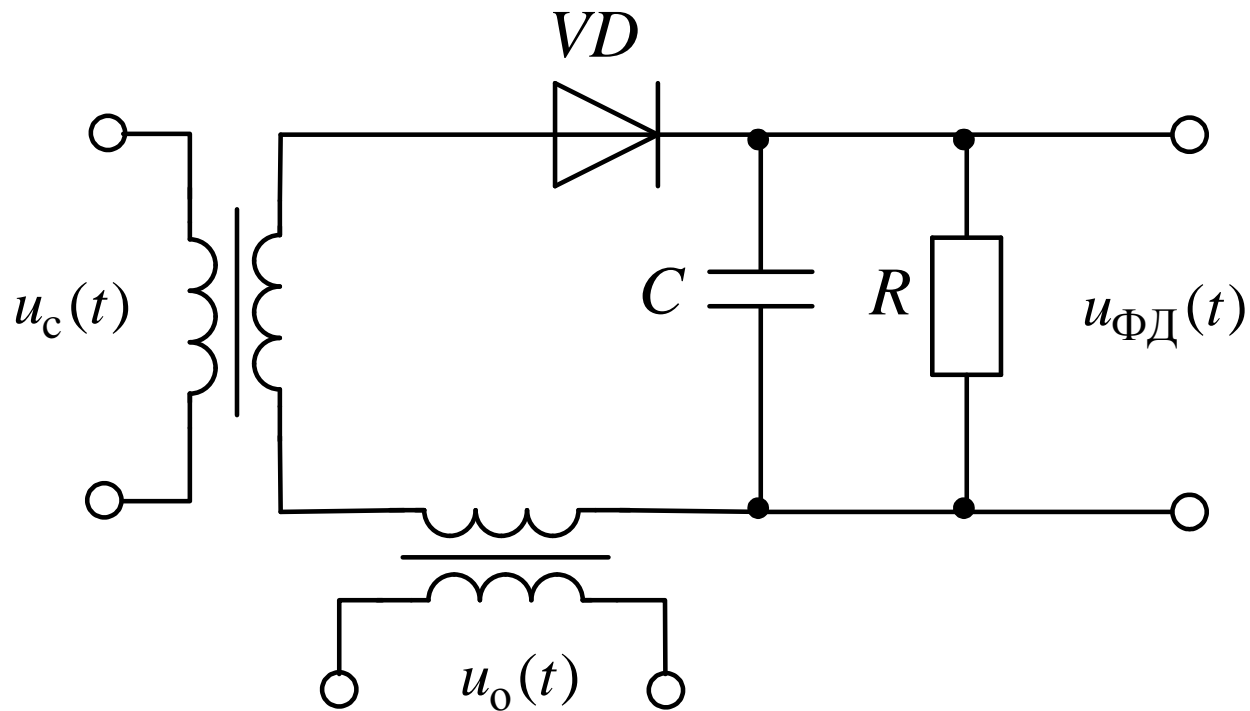
коэффициент передачи напряжения, равный отношению максимального выходного напряжения к амплитуде входного сигнала:

$$K_{\text{ФД}} = U_{\text{вых max}} / U_{\text{вх}}.$$

входное и выходное сопротивления ФД, влияющие на работу предшествующего детектору и следующего за ним каскадов, а также степень искажений, вносимых детектором в передаваемое сообщение.

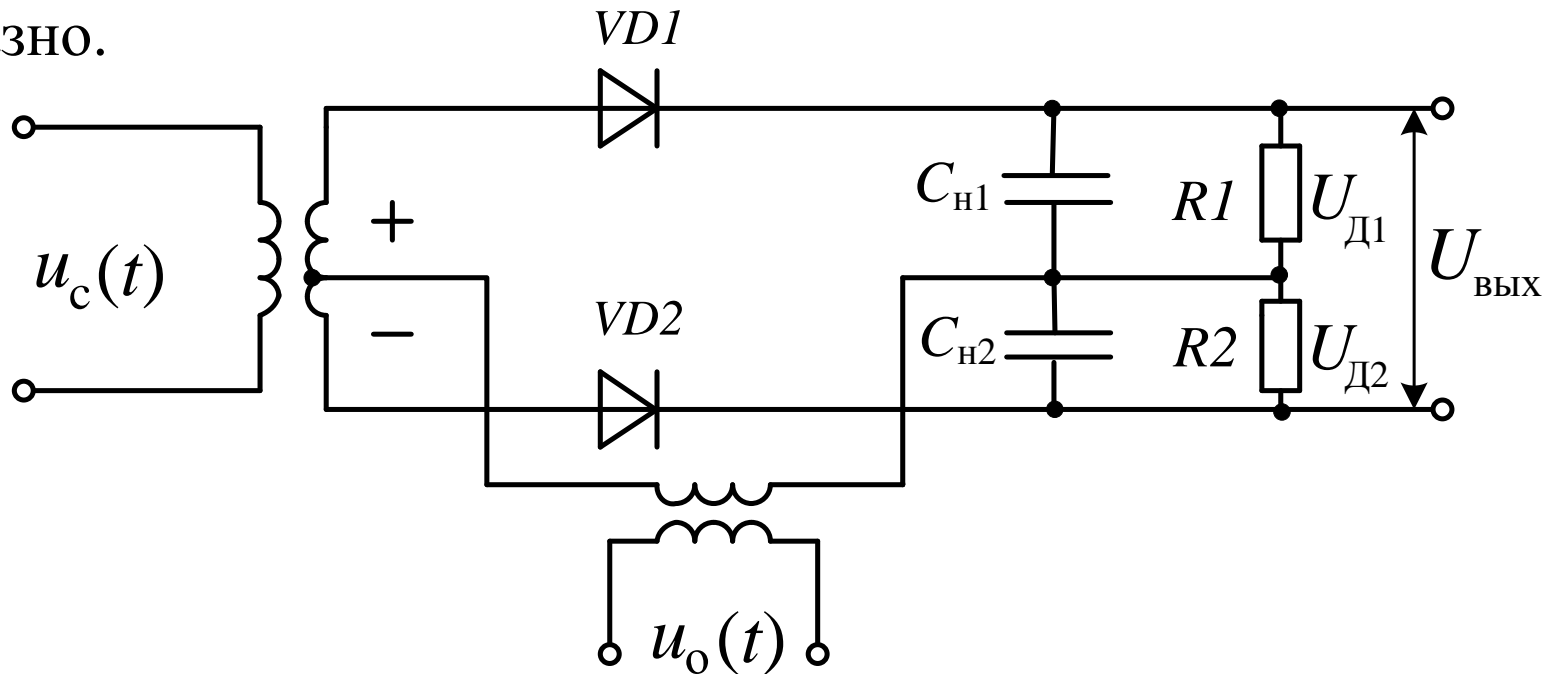
Распространенные схемы детекторов

Схема простого ФД отличается от обычного амплитудного детектора только тем, что на диод в данном случае воздействует сумма двух напряжений одинаковой частоты, но имеющих сдвиг по фазе.



Распространенные схемы детекторов

Балансный фазовый детектор состоит из двух амплитудных детекторов, включенных по балансной схеме, на входы которых с помощью трансформаторов приложены u_c и u_o напряжения. При этом u_c действует на первый и второй амплитудные детекторы в противофазе, а u_o , приложено синфазно.



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).