

Лекция 5

Элементы радиоприемных устройств систем радиосвязи

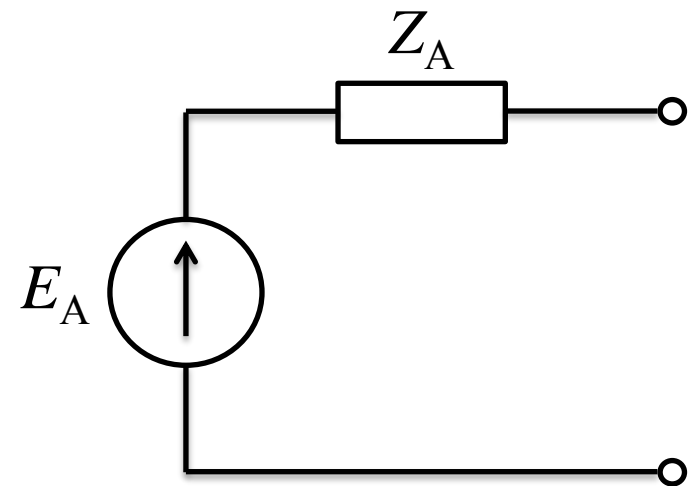
Рассматриваемые вопросы

- 1 Характеристики радиоприёмных устройств
- 2 Структурная схема радиоприёмника
- 3 Входные цепи радиоприёмников

1 Характеристики радиоприёмных устройств

Радиоприёмник предназначен для преобразования радиосигналов в первичные электрические сигналы, мощность которых должна обеспечивать нормальную работу приёмной оконечной аппаратуры.

Источником сигналов на входе радиоприёмника является **приёмная антенна**, которая может быть представлена в виде источника электродвижущей силы E_A с внутренним сопротивлением $Z_A = r_A + jx_A$.



В приёмной антенне наводится целая гамма сигналов и только один является полезным.

Характеристики радиоприёмных устройств

Одной из основных функций приёмника является **выделение полезного сигнала** из всей суммы их наводимых в антенне. Поэтому в радиоприёмниках осуществляется частотная избирательность, основанная на использовании частотно-зависимых избирательных электрических цепей, способных выделять полезный сигнал и ослаблять помехи, действующие на частотах, отличных от частоты принимаемого радиосигнала.

Второй функцией приёмника является **преобразование радиосигнала в первичный электрический сигнал**. Этот процесс называется демодуляцией (детектированием).

Третьей функцией приёмника является **усиление принимаемых слабых радиосигналов** до уровня, необходимого для нормальной работы оконечной аппаратуры.

Радиоприёмные устройства систем радиосвязи

Качество выполнения основных функций радиоприёмника определяется его электрическими характеристиками, основными из которых являются следующие:

- **диапазон рабочих частот**, определяется двумя граничными частотами f_{\min} и f_{\max} и коэффициентом перекрытия диапазона по частоте:

$$K_f = f_{\max} / f_{\min}.$$

В пределах этого диапазона приёмник может перестраиваться плавно или дискретно с интервалом между соседними частотами $\Delta f_{\text{рч}}$. общее количество частот, на которых может быть настроен радиоприёмник, рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{рч}} = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{\Delta f_{\text{рч}}} + 1$$

Характеристики радиоприёмных устройств

- чувствительность радиоприёмника характеризует его способность обеспечивать нормальный приём слабых сигналов. Количественно чувствительность приёмника оценивается минимальной величиной ЭДС в антенне $E_{A \min}$,

$$E_{A \min} = 2 \sqrt{kT \Delta F_{\text{пр}} N q^2 r_A} = 2q \sqrt{kT \Delta F_{\text{пр}} N r_A},$$

где k – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура;

$\Delta F_{\text{пр}}$ – полоса пропускания приёмника;

N – коэффициент шума линейного тракта приёмника, при которых обеспечивается требуемая мощность сигнала на выходе радиоприёмника при заданном отношении

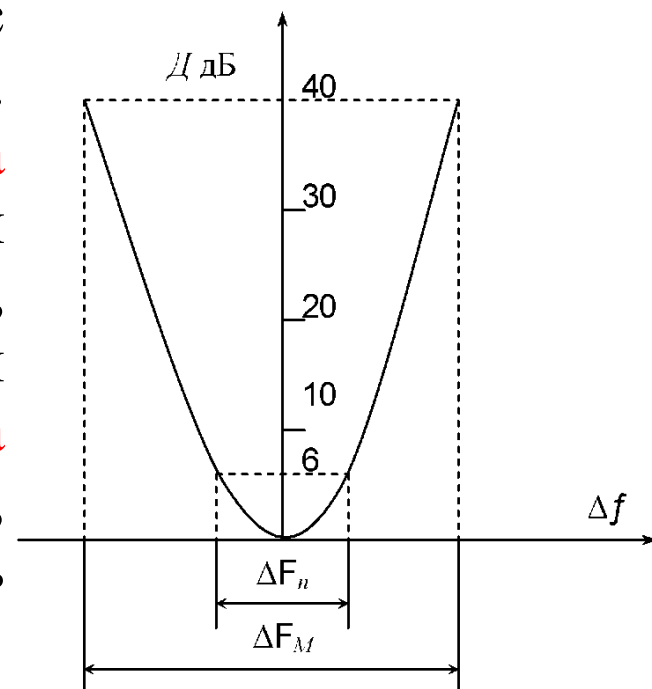
$$q = \left(U_c / U_{\text{ш}} \right)_{\text{вых}} = \sqrt{\left(P_c / P_{\text{ш}} \right)_{\text{вых}}}.$$

Характеристики радиоприёмных устройств

- **частотная избирательность** характеризует способность приёмника выделять полезный сигнал из совокупности радиосигналов и помех, действующих на его входе.

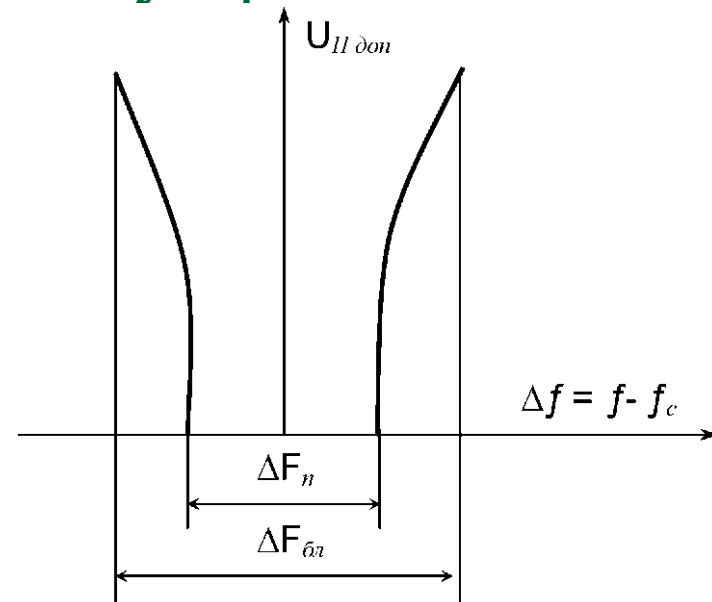
Линейная избирательность определяет избирательные свойства приёмника в предположении, что весь тракт приёма линейный, а на его входе действует радиосигнал только одной частоты с относительно малой амплитудой.

Параметры избирательности: **полоса пропускания приёмника** $\Delta F_{\text{п}}$, равная удвоенному значению расстройки $2\Delta f$, при которой чувствительности приёмника уменьшается на 6 дБ; **полоса мешания** $\Delta F_{\text{М}}$ — это такая полоса частот, на границах которой чувствительность приёмника уменьшается на 20 (40) дБ.



Характеристики радиоприёмных устройств

Избирательные свойства приёмника при воздействии помех наиболее полно определяются **характеристикой реальной избирательности**, представляющей собой график зависимости допустимых амплитуд помехи от её расстройки относительно частоты принимаемого сигнала.



Обычно реальную избирательность приёмника характеризуют не реальной избирательностью, а **полосой блокирования** (забития). Полосой блокирования называется удвоенное значение расстройки помехи относительно сигнала, при котором происходит блокирование сигнала помехой определённой амплитуды (указывается значение амплитуды помехи относительно амплитуды сигнала).

Характеристики радиоприёмных устройств

- частотная точность приёмника определяет его способность устанавливать и поддерживать с допустимой погрешностью заданное значение частоты. Она определяет возможность вхождения в связь без поиска и ведение связи без подстройки. Количественно оценивается, как и в передатчиках относительной нестабильностью, $\delta_{\text{пр}} = \Delta f_{\text{пр}} / f_c$

Для повышения надёжности радиосвязи погрешность установки частоты и её изменение в процессе работы компенсируется расширением полосы пропускания приёмника.

$$\Delta F_{\Pi} = \Delta F_c + 2\Delta f_{\text{пр}},$$

где ΔF_c – спектр принимаемого сигнала;

$\Delta f_{\text{пр}}$ – абсолютная расстройка приёмника, определяемая его частотной точностью.

Характеристики радиоприёмных устройств

- **нелинейные искажения сигналов** вызываются нелинейностью характеристик элементов приёмного тракта. Они проявляются в искажении формы первичных сигналов и количественно оцениваются коэффициентом гармоник:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1^2}$$

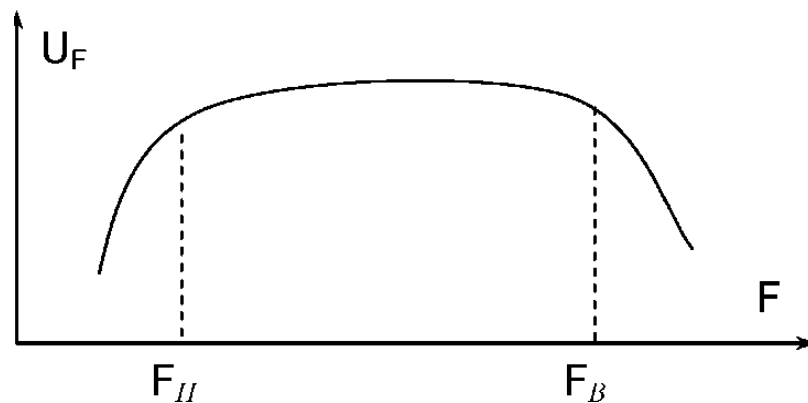
где U_2, U_3, \dots, U_n – амплитуды высших гармоник на выходе приёмника; U_1 – амплитуда первой гармоники на выходе приёмника.

- **амплитудно-частотные искажения сигналов** обусловлены различием в коэффициенте усиления для различных составляющих спектра первичного сигнала.

Характеристики радиоприёмных устройств

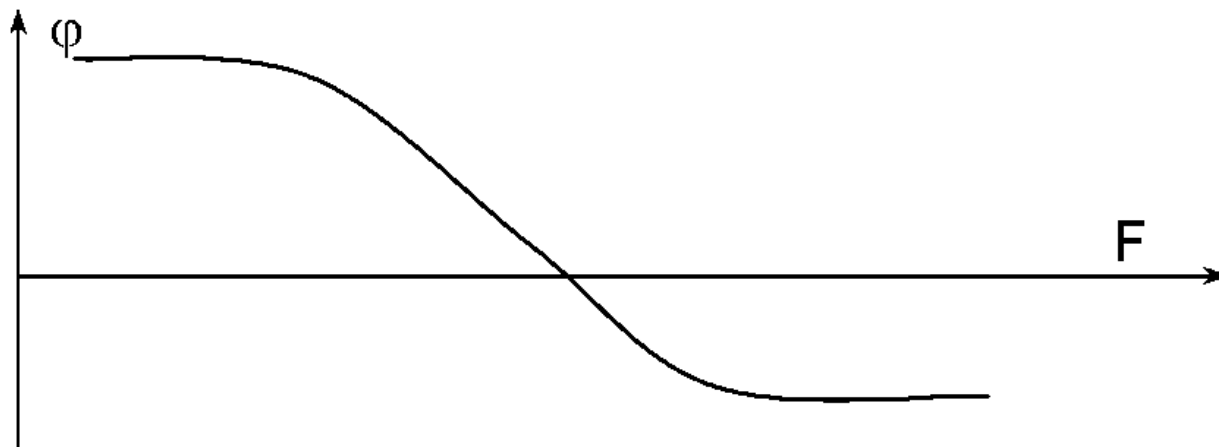
Они оцениваются амплитудно-частотной характеристикой АЧХ, представляющей собой график зависимости амплитуды первичного сигнала U_F на выходе приёмника от частоты F .

Часто для количественной оценки амплитудно-частотных искажений вместо АЧХ пользуются коэффициентом частотных искажений: $M_H = U_{F_{\max}}/U_{F_H}$ и $M_B = U_{F_{\max}}/U_{F_B}$ где U_{F_H} и U_{F_B} — амплитуда первичного сигнала на выходе приёмника на нижней и верхней частотах спектра первичного сигнала; $U_{F_{\max}}$ — максимальное значение амплитуды первичного сигнала на выходе приёмника на средней частоте спектра.



Характеристики радиоприёмных устройств

- **фазочастотные искажения сигналов** обусловлены нелинейностью фазовой характеристики приёмника, под которой понимается зависимость фазы φ первичного сигнала на выходе приёмника от частоты F .



- **время перестройки приёмника** определяет надёжность радиосвязи. В настоящее время перестройки исчисляется долями секунды.

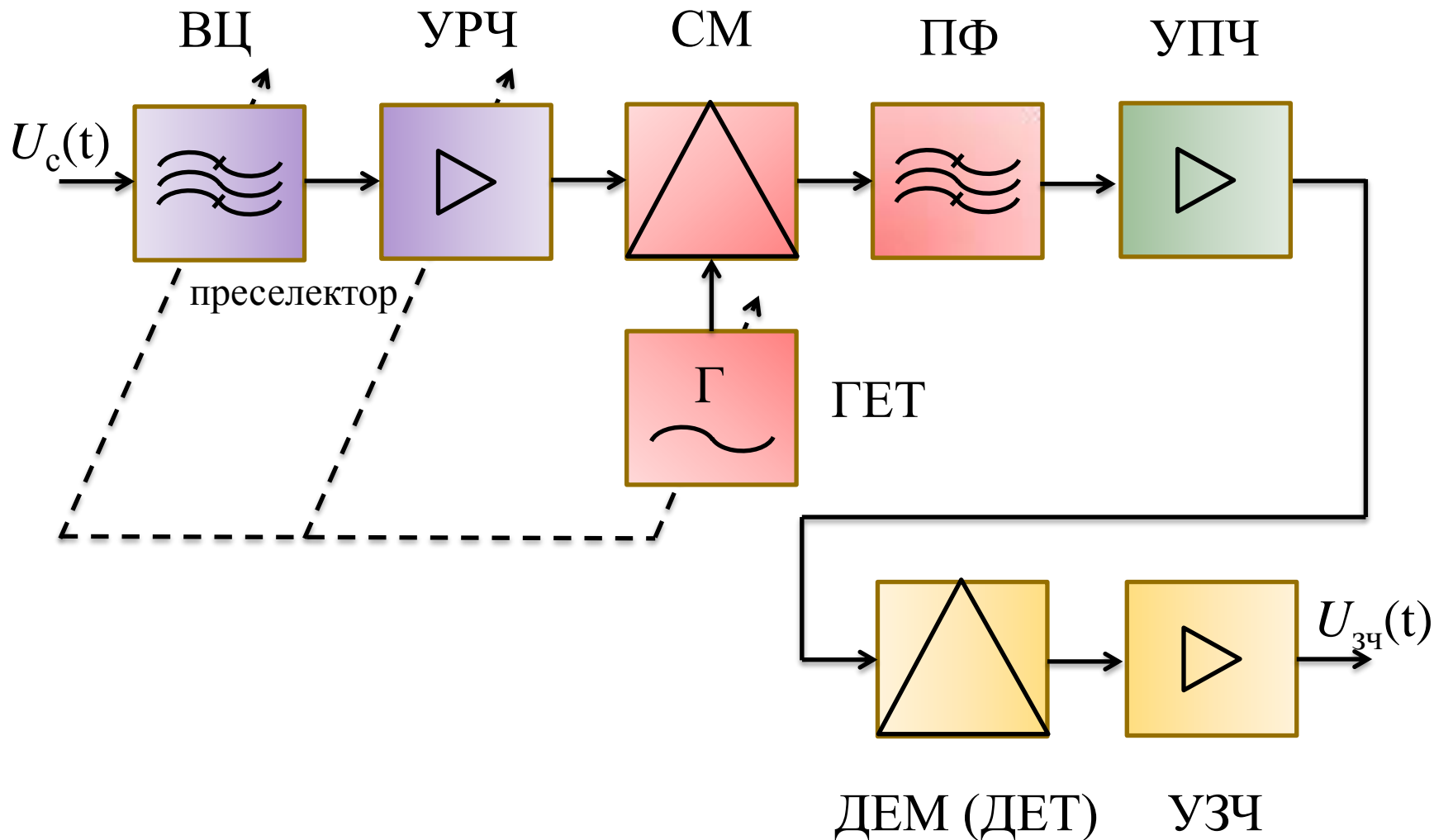
2 Структурная схема радиоприёмника

Все современные радиоприёмники строятся по так называемой **супергетеродинной** схеме.

В отличие от более ранних схем радиоприёмников (детекторных приемников и **приемников прямого усиления**), в **супергетеродинном** приёмнике основное усиление сигнала, выделение его на фоне помех и преобразование в первичный сигнал осуществляется не на принимаемой частоте, перестраиваемой по диапазону рабочих частот приёмника, а на постоянной, более низкой, так называемой **промежуточной частоте**.

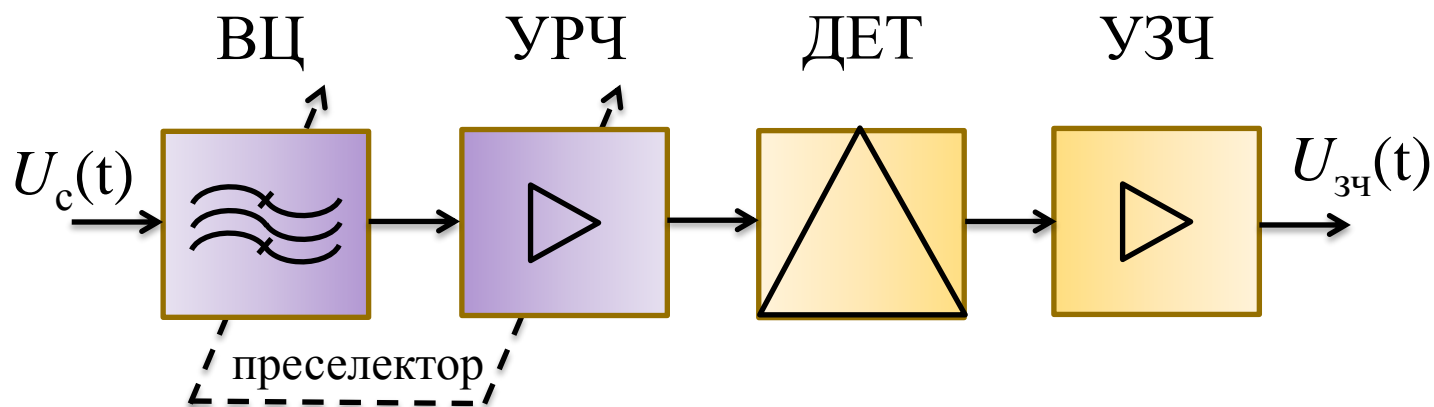
Основным достоинством **супергетеродинного** приёмника являются **высокая чувствительность и избирательность**, постоянные во всём частотном диапазоне приёма.

Структурная схема радиоприёмника

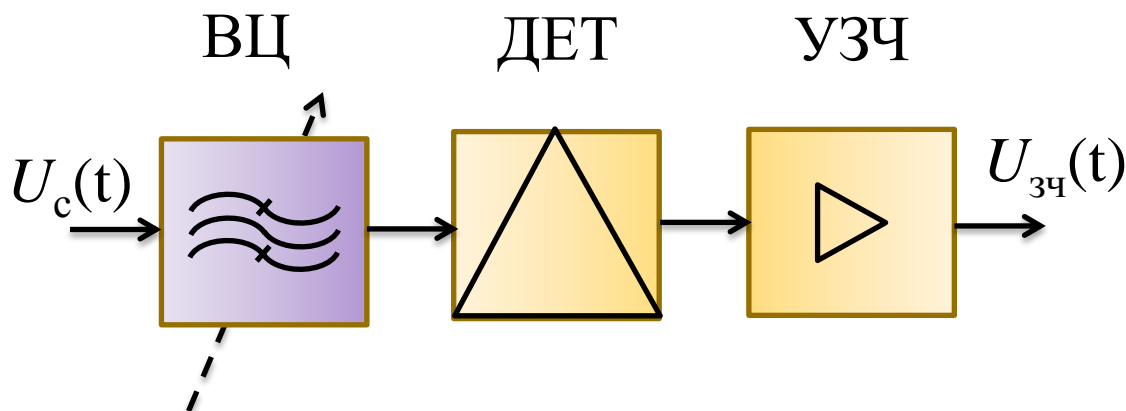


Структурная схема супергетеродинного приёмника

Структурная схема радиоприёмника



Структурная схема приёмника прямого усиления



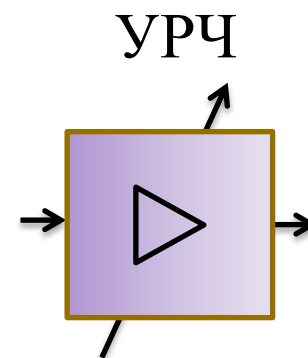
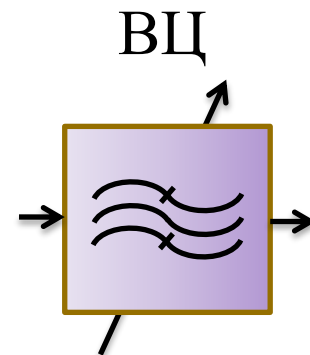
Структурная схема детекторного приёмника

Структурная схема радиоприёмника

Входная цепь (ВЦ) представляет собой перестраиваемую по диапазону рабочих частот частотно-избирательную систему.

Она осуществляет первичную частотную селекцию полезного сигнала, ослабляет внеполосные сильные помехи, обеспечивая линейное усиление последующих каскадов приёмника, совместно с УРЧ осуществляет избирательность по побочным каналам приёма.

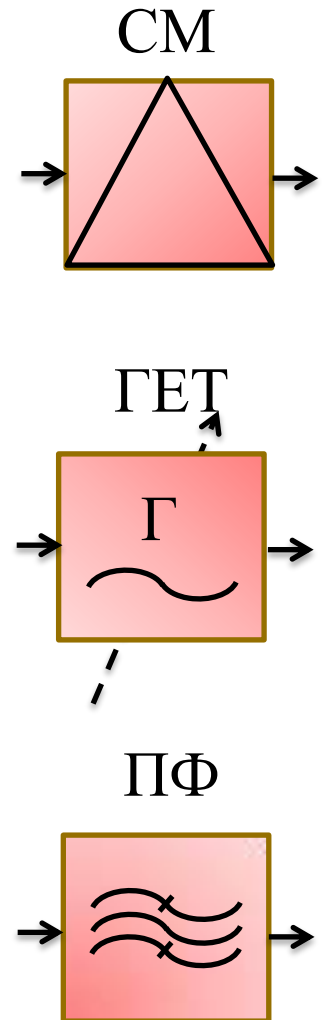
Усилитель радиочастоты (УРЧ) предназначен для повышения чувствительности приёмника благодаря применению малошумящего усилителя и обеспечения требуемой избирательности приёмника по побочным каналам приёма.



Структурная схема радиоприёмника

Смеситель (СМ), гетеродин (ГЕТ) и полосовой фильтр (ПФ) образуют **преобразователь частоты**, предназначенный для преобразования сигнала радиочастоты $f_{\text{рч}}$ в сигнал постоянной по величине промежуточной частоты $f_{\text{пч}}$, что позволяет использовать в последующих элементах приёмного тракта неперестраиваемые многоконтурные избирательные системы, обеспечивающие высокую избирательность приёмника по соседним каналам приёма.

Кроме того, сравнительно низкая $f_{\text{пч}}$ позволяет обеспечить высокий коэффициент усиления приёмного тракта, что улучшает чувствительность приёмника.



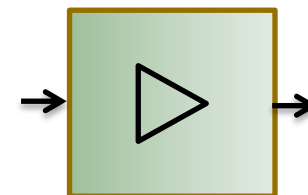
Структурная схема радиоприёмника

В **усилителе промежуточной частоты (УПЧ)** производится основное усиление радиосигнала, формирование полосы пропускания частот и осуществляется основная избирательность по соседнему каналу.

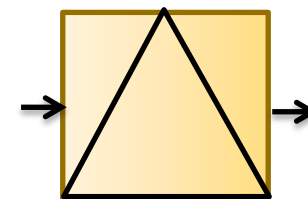
Основное требование к **демодулятору (детектору) (ДЕМ (ДЕТ))** – линейность преобразования радиосигналов в первичный сигнал.

Усилитель звуковой частоты (УЗЧ) предназначен для усиления первичных электрических сигналов до величины, обеспечивающей нормальную работу оконечной приёмной аппаратуры.

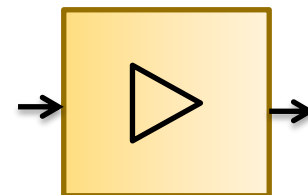
УПЧ



ДЕМ (ДЕТ)



УЗЧ

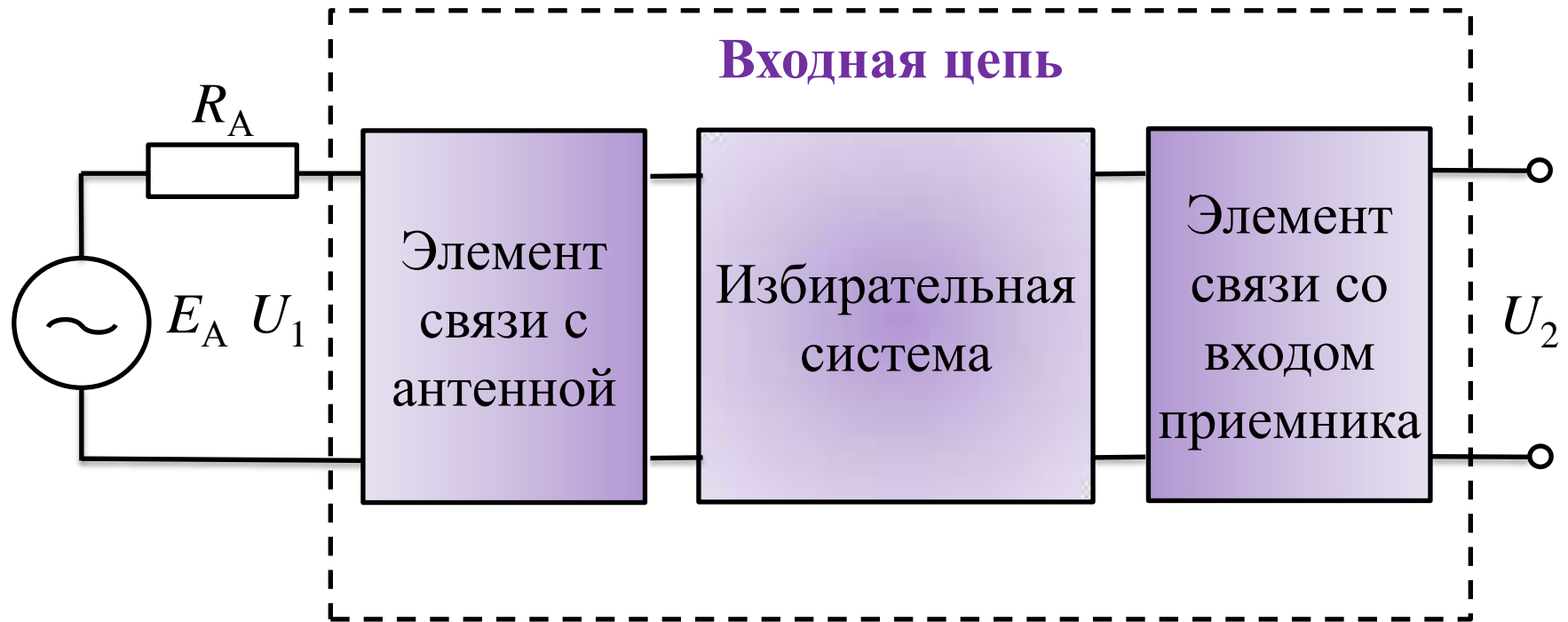


3 Входные цепи радиоприёмников

Входная цепь выполняет следующие функции:

- согласует вход приёмника с антенно-фидерным устройством, чем повышает коэффициент передачи входной цепи и соответственно чувствительность приёмника.
- обеспечивает избирательность по побочным каналам приёма;
- ослабляет внеполосные помехи, чем обеспечивает работу усилительных каскадов приёмника в линейном режиме и повышает реальную избирательность приёмника

Входные цепи радиоприёмников



Структурная схема входной цепи

Таким образом, **входная цепь** по своей сути является фильтром, выполняющим кроме своей основной задачи — спектральной фильтрации сигнала еще и задачи согласования с предыдущим и последующими устройствами.

Входные цепи радиоприёмников

Фильтр – электронное устройство (четерехполюсник), пропускающее со входа на выход сигнал определенной частоты или полосы частот и не пропускающее (подавляющее) остальные частоты.

Частотные свойства фильтра описывает его амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) – это зависимость модуля коэффициента передачи фильтра $|K|$ от частоты f (или ω).

Фазо-частотная характеристика (ФЧХ) – это зависимость фазового сдвига между входным и выходным сигналом от частоты f (или ω).

Входные цепи радиоприёмников

Модуль коэффициента передачи $|K|$ – это отношение амплитуды выходного сигнала к амплитуде входного сигнала. Например, модуль коэффициента передачи по напряжению:

$$|K| = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}},$$

где $U_{\text{ВЫХ}}$ – амплитуда выходного напряжения,

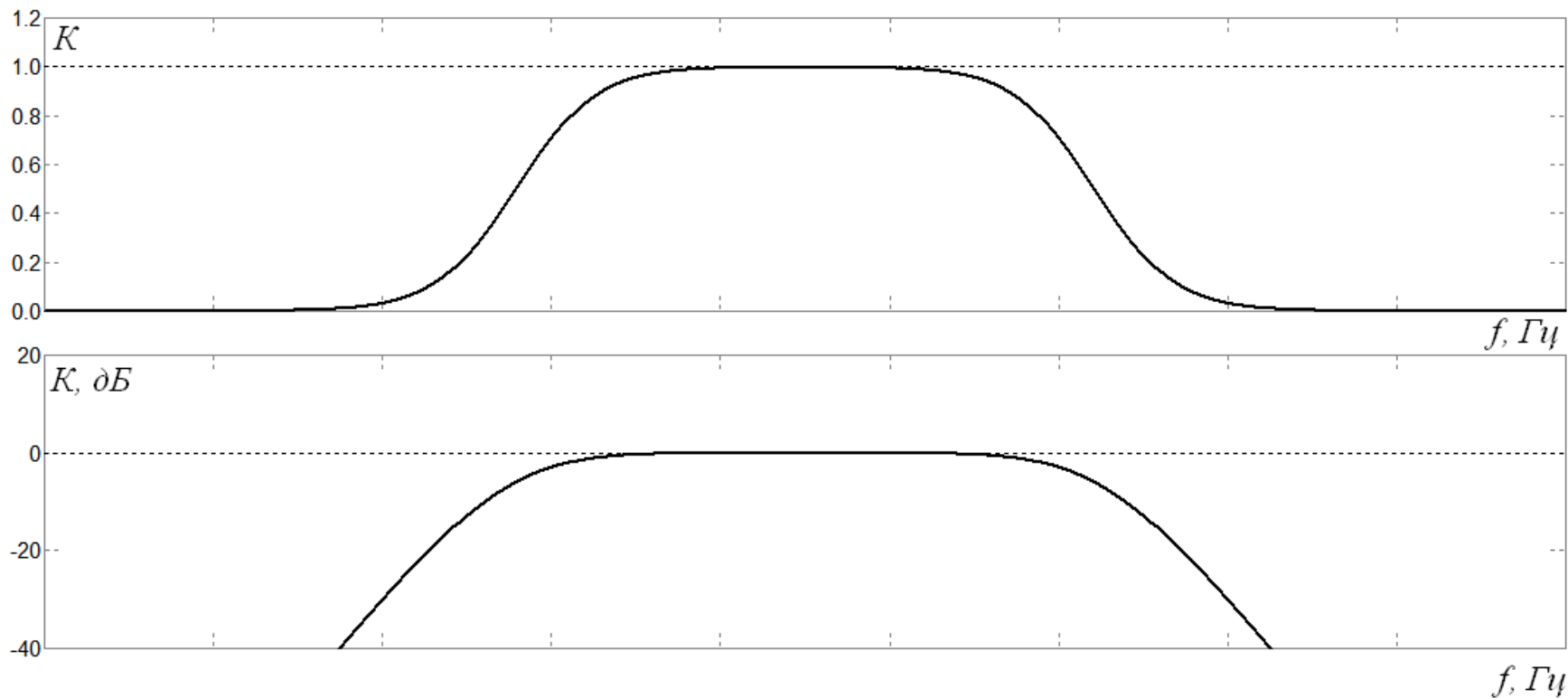
$U_{\text{ВХ}}$ – амплитуда входного напряжения

Модуль коэффициента передачи может также измеряться в дБ :

$$|K_{\text{дБ}}| = 20 \lg (U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}})$$

Амплитудно-частотная характеристика чаще всего строится в полулогарифмическом масштабе (по оси частот масштаб логарифмический, по оси коэффициента передачи – линейный).

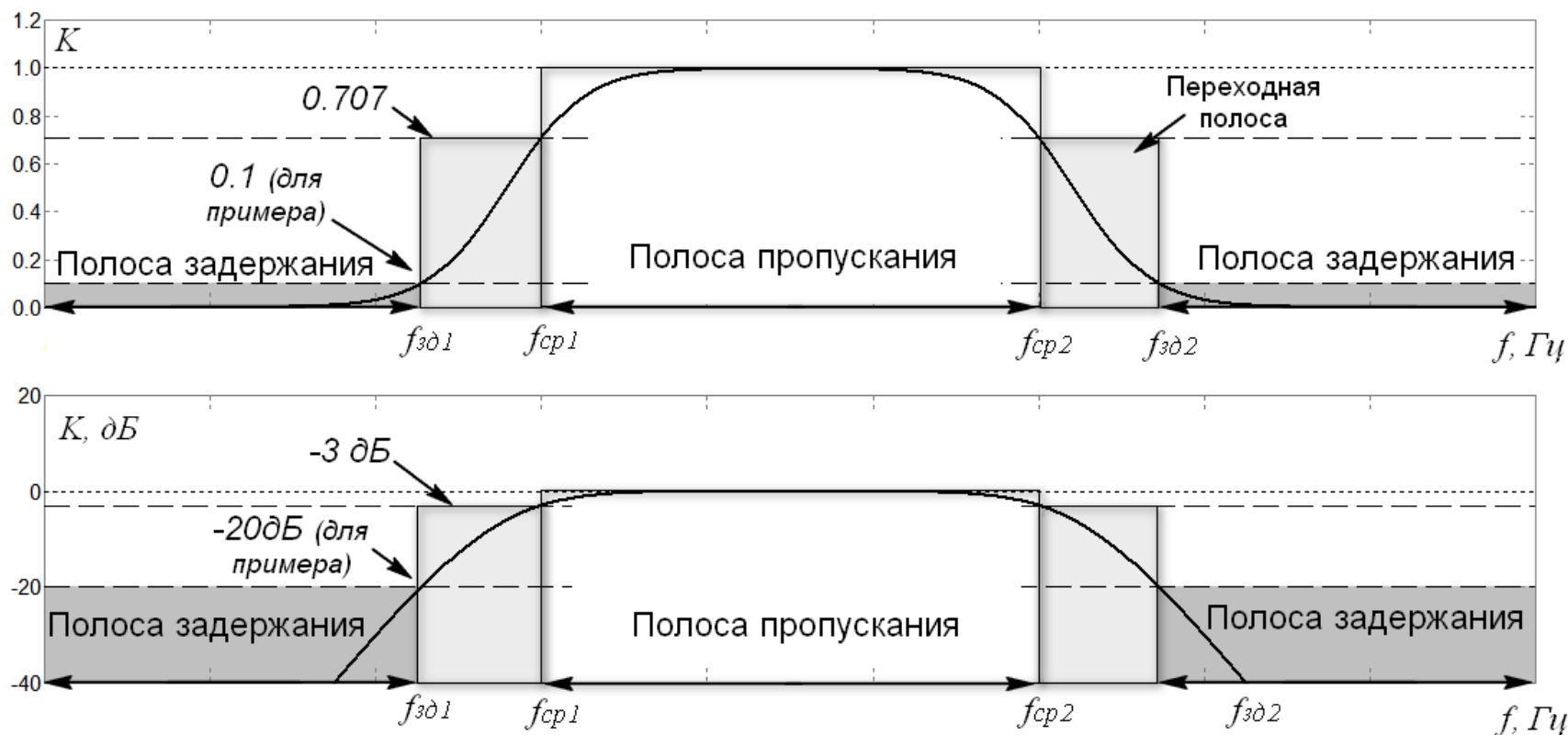
Входные цепи радиоприёмников



Общий вид АЧХ фильтра
вверху – $|K|$ измеряется «в размах»;
внизу – $|K|$ измеряется в дБ.

Входные цепи радиоприёмников

Амплитудно-частотная характеристика фильтра делится на несколько участков:



Участки АЧХ фильтра

Входные цепи радиоприёмников

Полоса пропускания (полоса прозрачности) — диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) электронного устройства достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы.

Ширина полосы пропускания — полоса частот, в пределах которой неравномерность частотной характеристики не превышает заданной.

Границы полосы пропускания называются частотами среза (граничными частотами):

$f_{\text{ср1}}$ — нижняя частота среза,

$f_{\text{ср2}}$ — верхняя частота среза.

Входные цепи радиоприёмников

Частота среза — эта частота, на которой по сравнению с максимальным значением коэффициент передачи фильтра уменьшается на -3 дБ (или в $\sqrt{2}$ раз, если коэффициент передачи измеряется «в размах»)

Полоса задержания — полоса частот, в пределах которой коэффициент передачи фильтра не превышает заданного значения (например -20 дБ).

Границы полосы задержания — частоты $f_{\text{зд1}}$ и $f_{\text{зд2}}$.

Полоса перехода — это диапазон частот между полосой пропускания и полосой задержания.

Форма кривой модуля коэффициента передачи фильтра в полосе перехода не нормируется (важны только минимальные и максимальные значения).

Входные цепи радиоприёмников

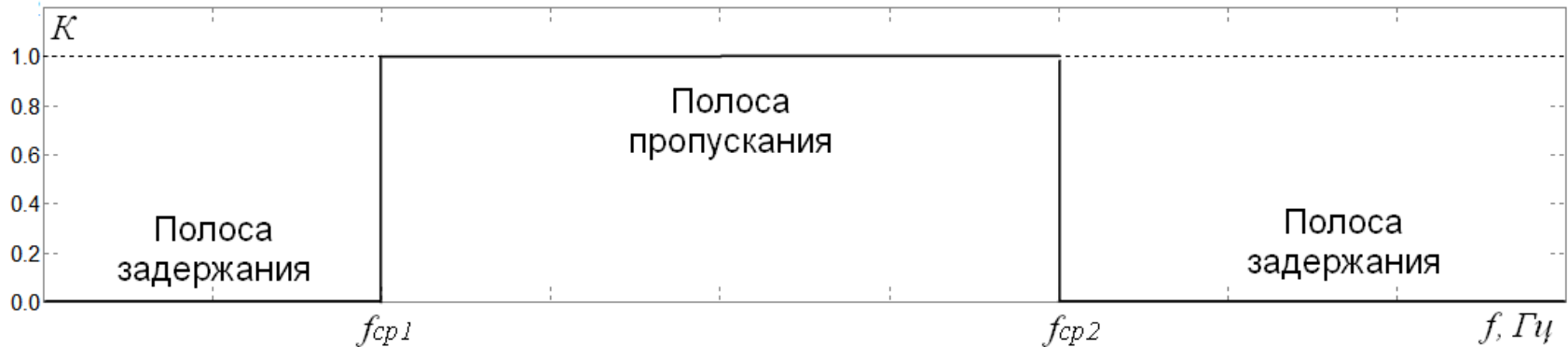
В характеристиках фильтра **полоса перехода** может не указываться, тогда фильтр будет характеризоваться только **полосой пропускания** и крутизной спада частотной характеристики (в дБ/дек).

Весь остальной частотный диапазон вне полосы пропускания будет **полосой задержания**, а **частота среза** будет границей **полосы задержания** и **полосы пропускания**.

Идеальный фильтр обладает в **полосе пропускания** коэффициентом передачи, равным 1 (0 дБ) и полностью подавляет все частоты входного сигнала в полосе задержания, т. е. коэффициент передачи в этой полосе стремится к 0 ($-\infty \text{ в дБ}$).

Входные цепи радиоприёмников

Переходной зоны между частотами полосы подавления и полосы пропускания не существует.



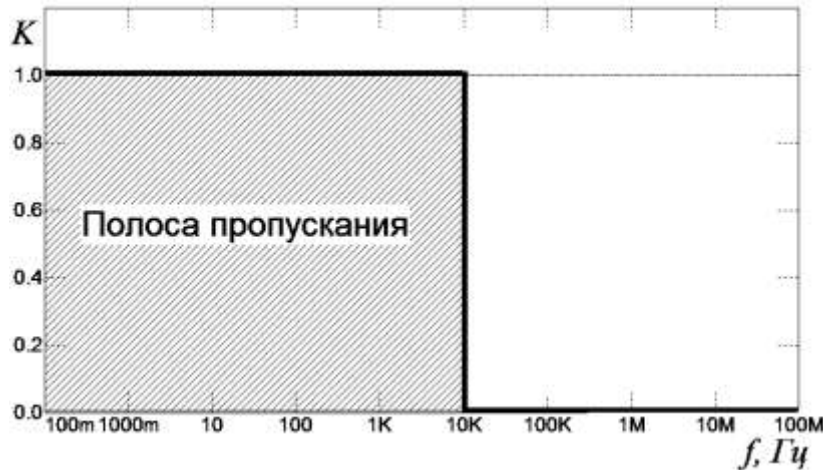
АЧХ идеального фильтра

По виду амплитудно-частотной характеристики фильтры делятся на 4 группы:

- **фильтры нижних частот (ФНЧ)**;
- **фильтры верхних частот (ФВЧ)**;
- **режекторные фильтры (РФ)**;
- **полосовые фильтры (ПФ)**.

Входные цепи радиоприёмников

Фильтр нижних частот — электронный фильтр, пропускающий сигналы с частотами ниже некоторой частоты (частоты среза), и уменьшающий (подавляющий) сигналы с частотами выше этой частоты.

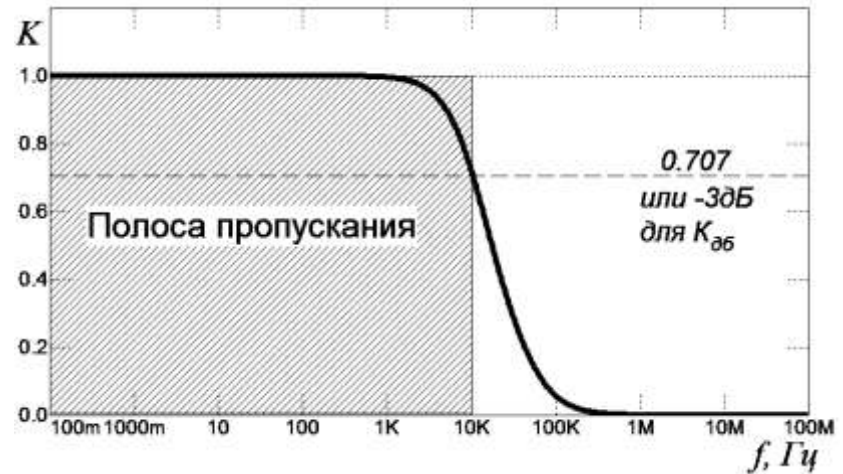


АЧХ идеального **ФНЧ**

Для идеального **ФНЧ** справедливо:

$$|K| = 1, \text{ если } f \leq f_{\text{ср}};$$

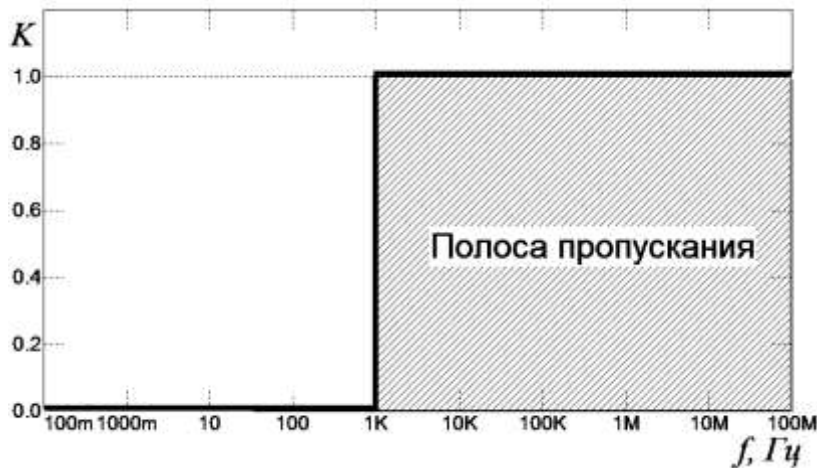
$$|K| = 0, \text{ если } f > f_{\text{ср}}.$$



АЧХ реального **ФНЧ**

Входные цепи радиоприёмников

Фильтр верхних частот — электронный фильтр, пропускающий сигналы с частотами выше некоторой частоты (частоты среза), и уменьшающий (подавляющий) частоты сигнала ниже этой частоты.

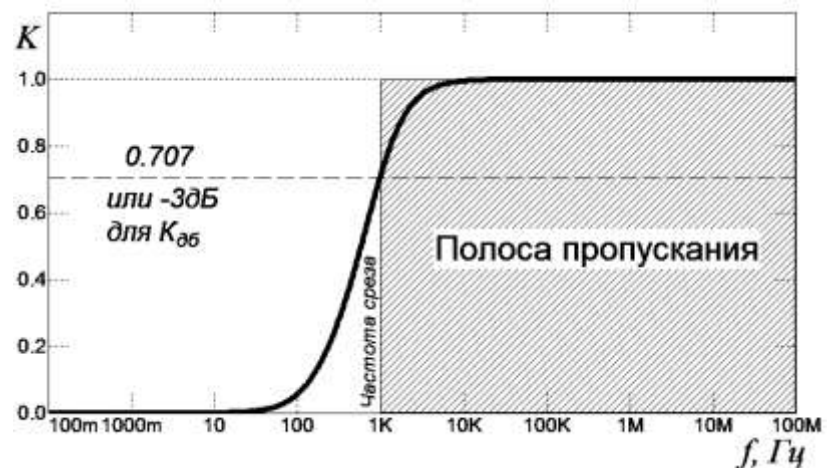


АЧХ идеального ФВЧ

Для идеального ФВЧ справедливо:

$$|K| = 1, \text{ если } f \geq f_{\text{ср}};$$

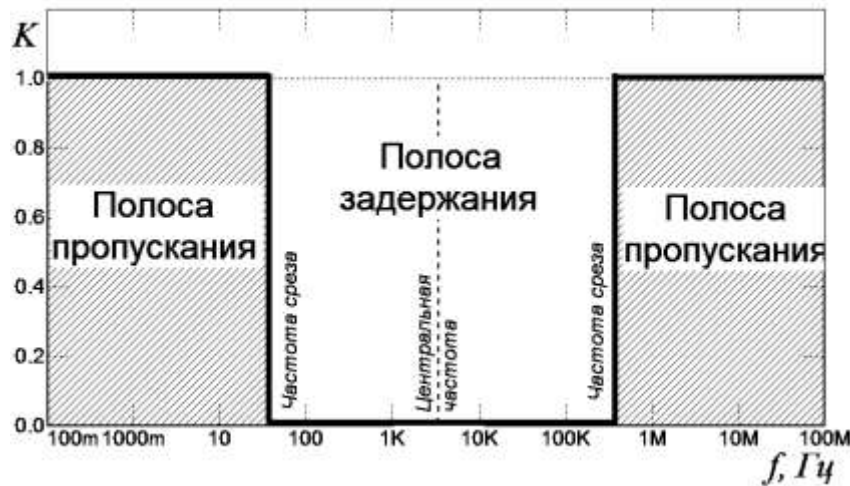
$$|K| = 0, \text{ если } f < f_{\text{ср}}.$$



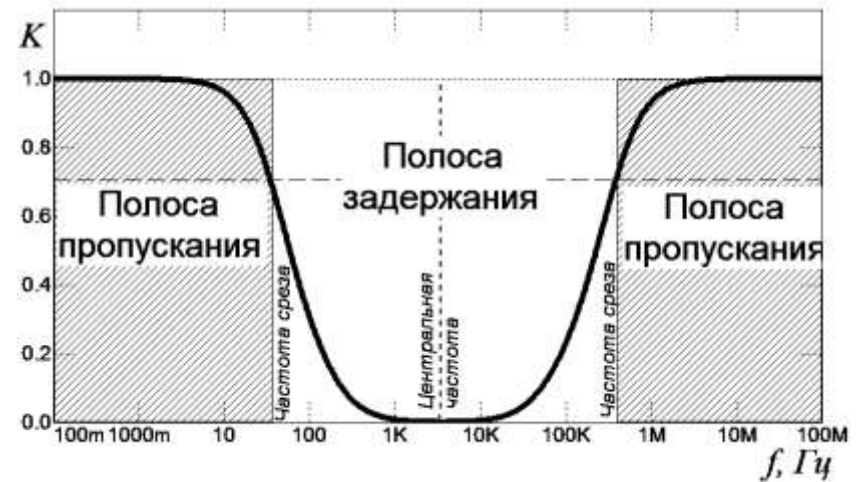
АЧХ реального ФВЧ

Входные цепи радиоприёмников

Режекторный фильтр (*полосно-заграждающий фильтр, фильтр-пробка*) – электронный фильтр, который не пропускает (подавляет) сигналы, в некоторой полосе частот и пропускает сигналы с частотами, не попадающими в этот диапазон.



АЧХ идеального РФ

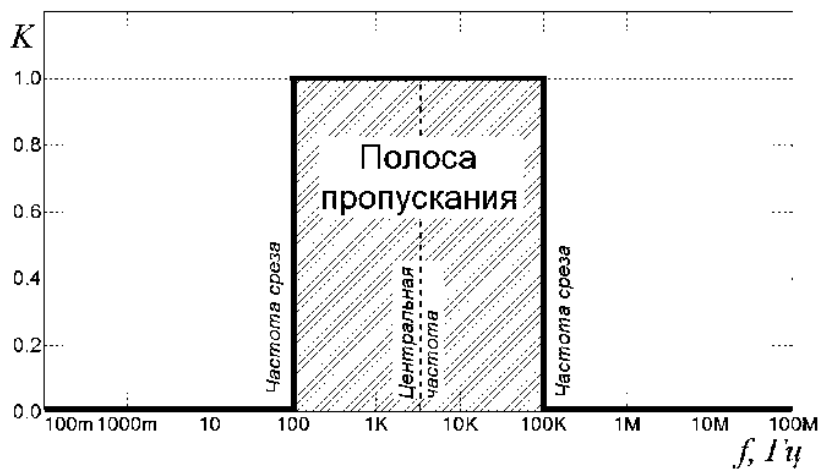


АЧХ реального РФ

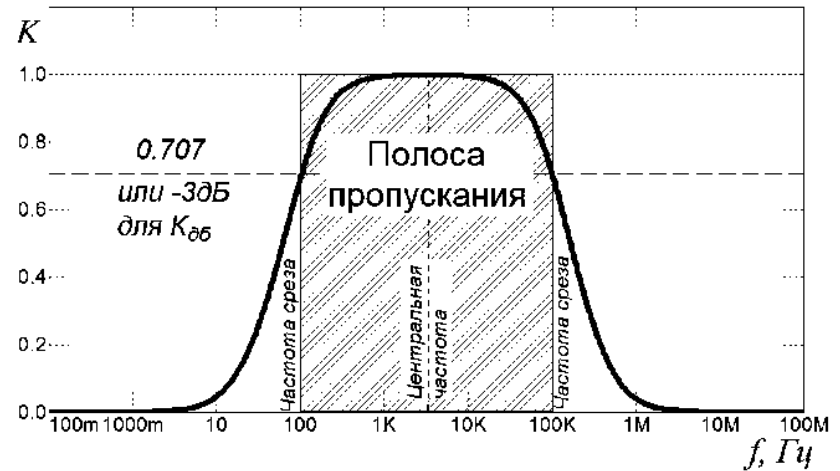
Входные цепи радиоприёмников

Полосовой фильтр (*полосно-пропускающий фильтр*)

— электронный фильтр, который пропускает сигналы, в некоторой полосе частот и подавляет сигналы с частотами, не попадающими в этот диапазон.



АЧХ идеального ПФ

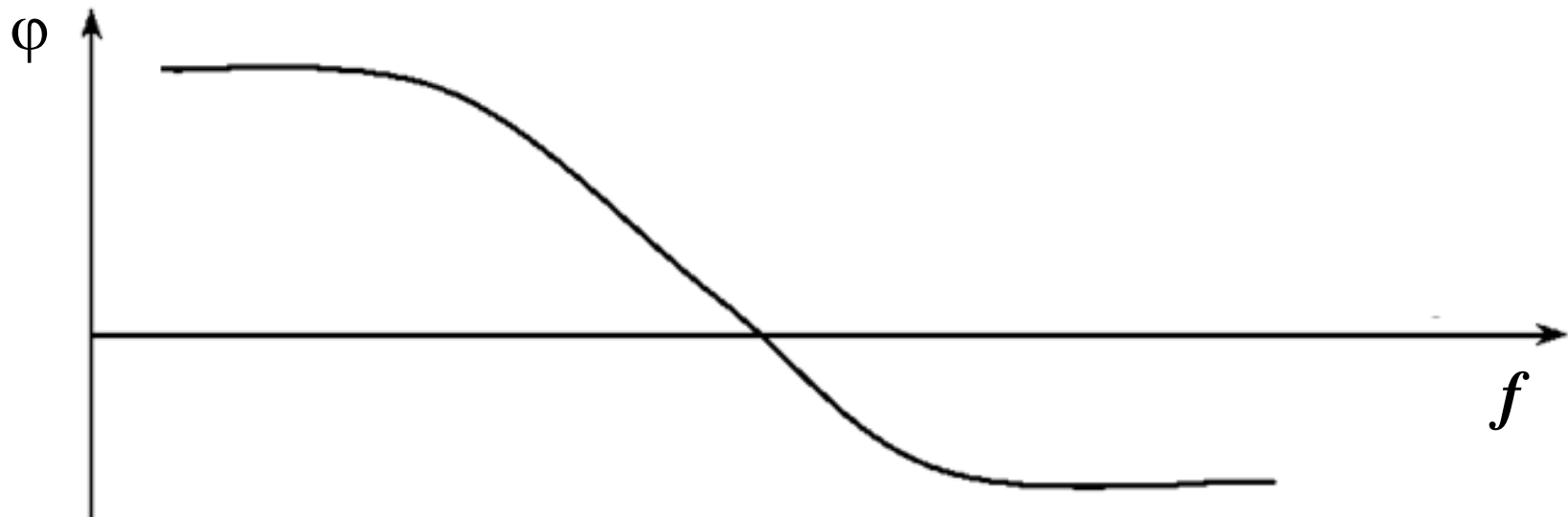


АЧХ реального ПФ

Полосовой фильтр — линейная система и может быть представлен в виде последовательности, состоящей из ФНЧ и ФВЧ.

Входные цепи радиоприёмников

Частным случаем такого фильтра можно считать **избирательный фильтр**, который имеет максимум коэффициента передачи только на одной частоте, т. е. подавляет все частоты, кроме центральной частоты.



Вид фазо-частотной характеристики (ФЧХ)

Входные цепи радиоприёмников

Качественные показатели входной цепи:

Коэффициент передачи входной цепи

- по напряжению $K_{U_{вц}} = \frac{U_2}{E_A}$

- по мощности $K_{P_{вц}} = \frac{P_2}{P_A}$

где $P_2 = U_2^2 / R_{вх}$ – мощность на входе приёмника;

$P_A = U_A^2 / 4R_A$ – мощность сигнала в антенне.

$$K_{P_{вц}} = 4K_{U_{вц}}^2 \frac{R_A}{R_{вх}}$$

Входные цепи радиоприёмников

Коэффициент избирательности входной цепи

$$\sigma_U = K_{\text{вц}0} / K_{\text{вц}\Delta f}$$

где $K_{\text{вц}0}$ — коэффициент передачи на резонансной частоте;

$K_{\text{вц}\Delta f}$ — коэффициент передачи при заданной расстройке Δf .

Коэффициент неравномерности в полосе пропускания

$$\sigma_{\text{п}} = K_{\text{вц}0} / K_{\text{вцгп}}$$

где $K_{\text{вцгп}}$ — коэффициент передачи на границе полосы пропускания.

Коэффициент перекрытия диапазона

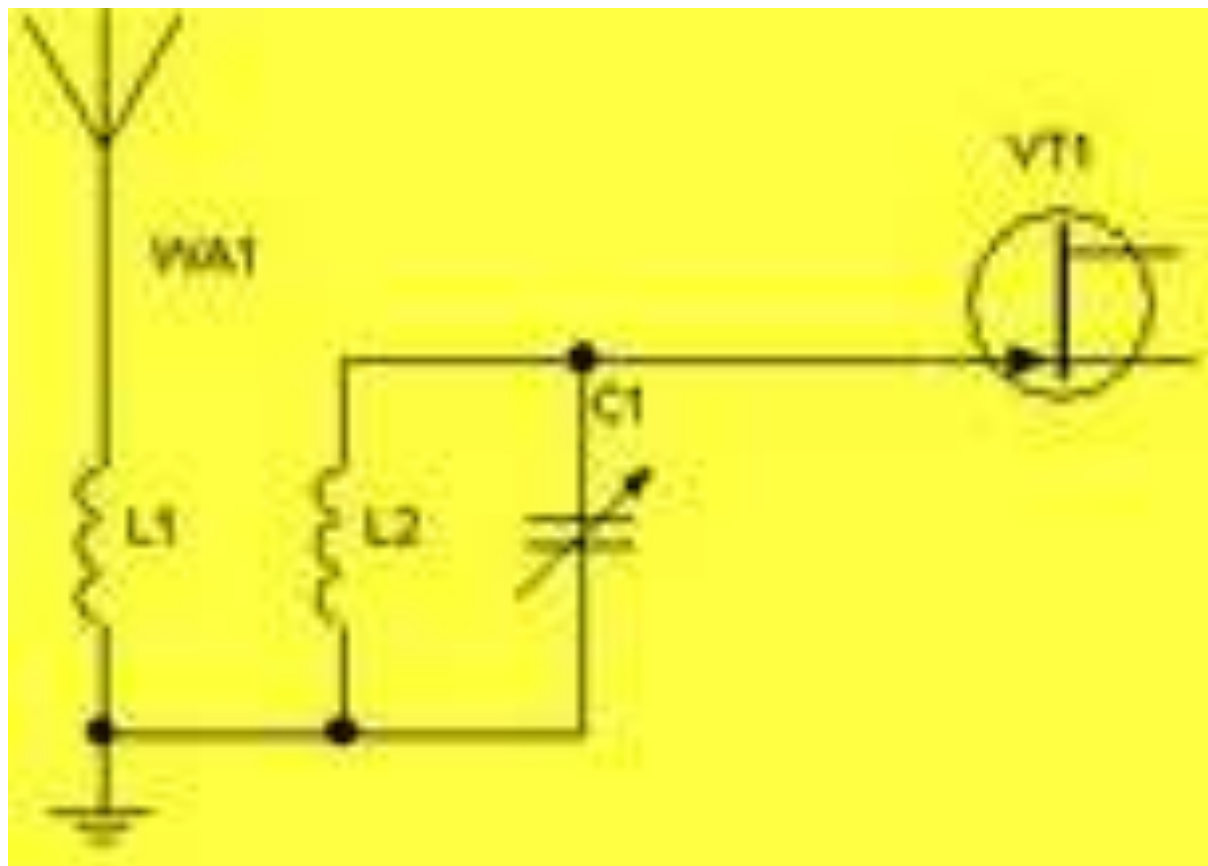
$$K_{\text{д}} = f_{0\text{max}} / f_{0\text{min}}$$

где $f_{0\text{max}}$, $f_{0\text{min}}$ — крайние частоты диапазона рабочих частот.

Входные цепи радиоприёмников

В зависимости от вида связи входной цепи с антенной различают схемы:

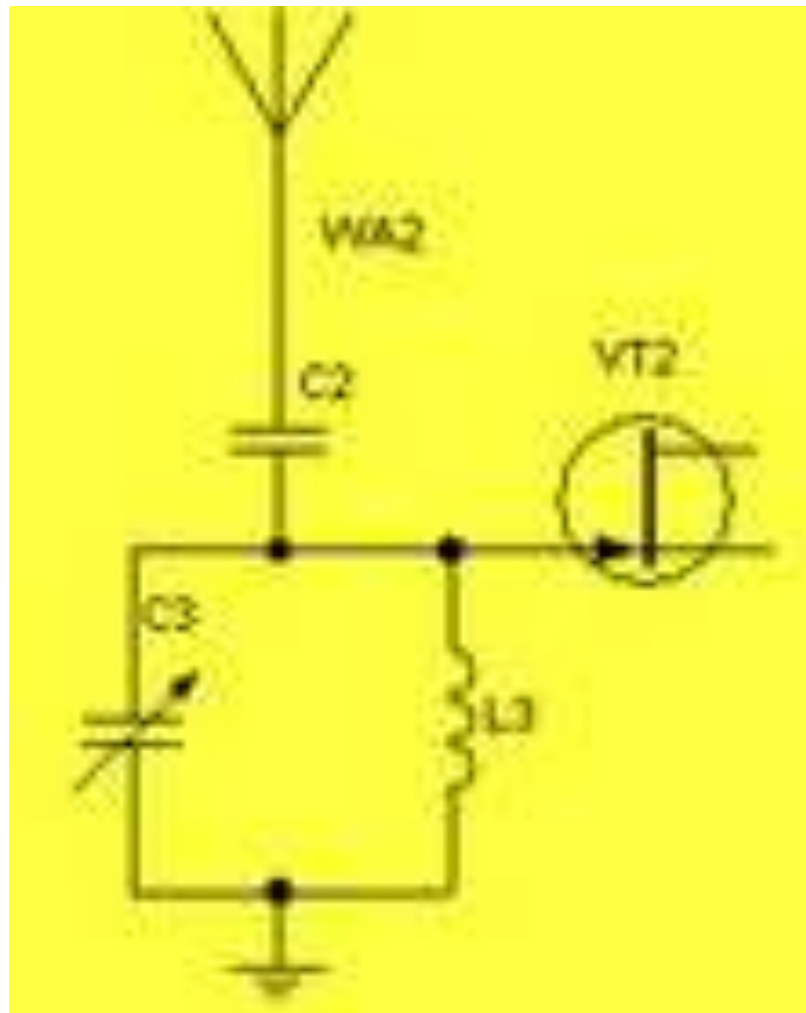
с индуктивной
связью



Входные цепи радиоприёмников

В зависимости от вида связи **входной цепи** с антенной различают схемы:

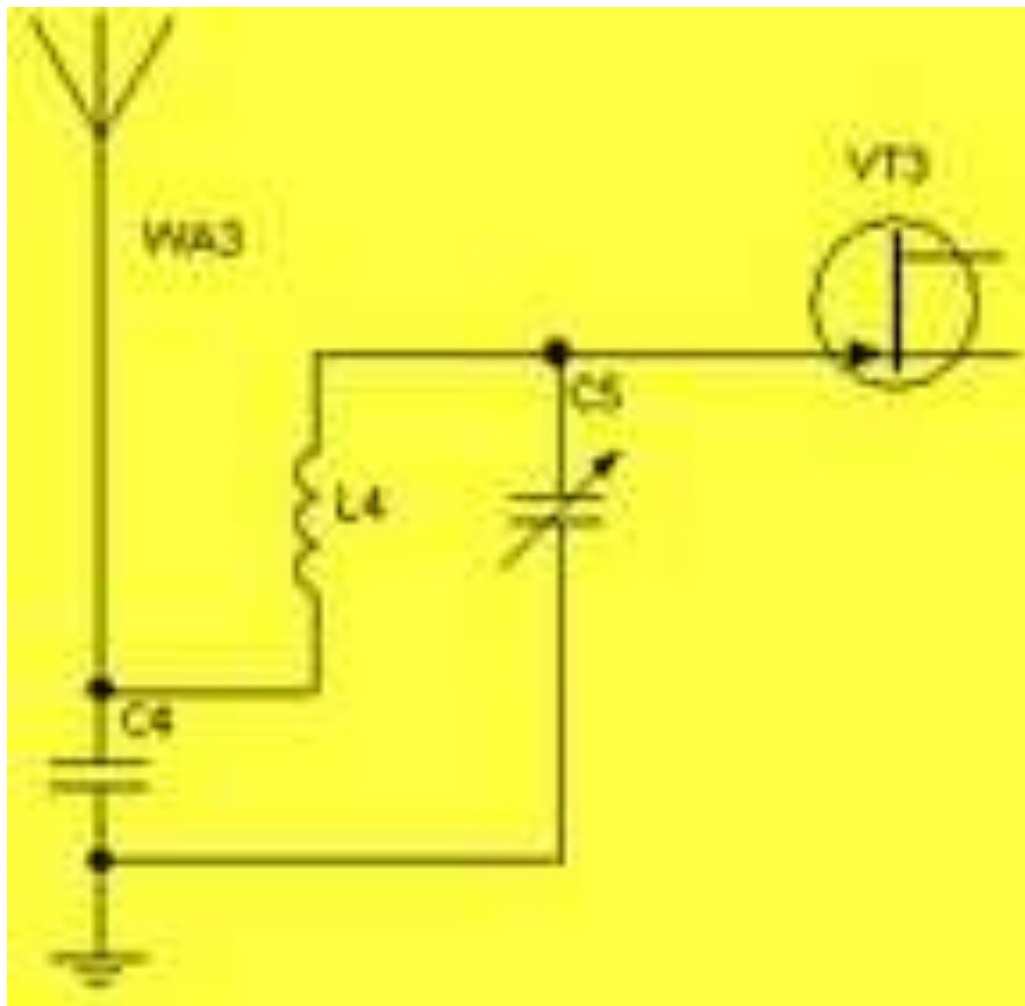
с внешнеемкостной
связью



Входные цепи радиоприёмников

В зависимости от вида связи **входной цепи** с антенной различают схемы:

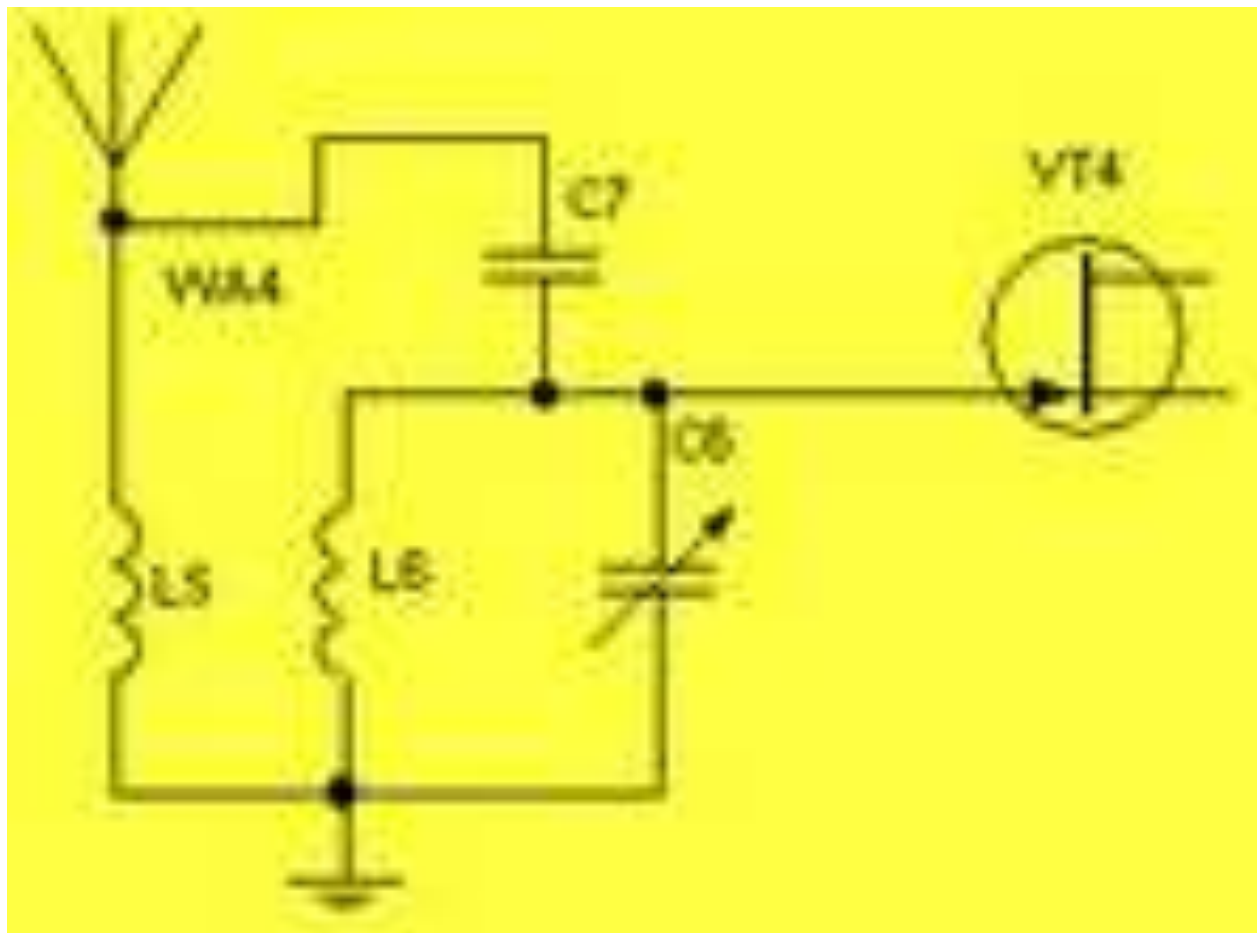
с **внутриемкостной**
связью



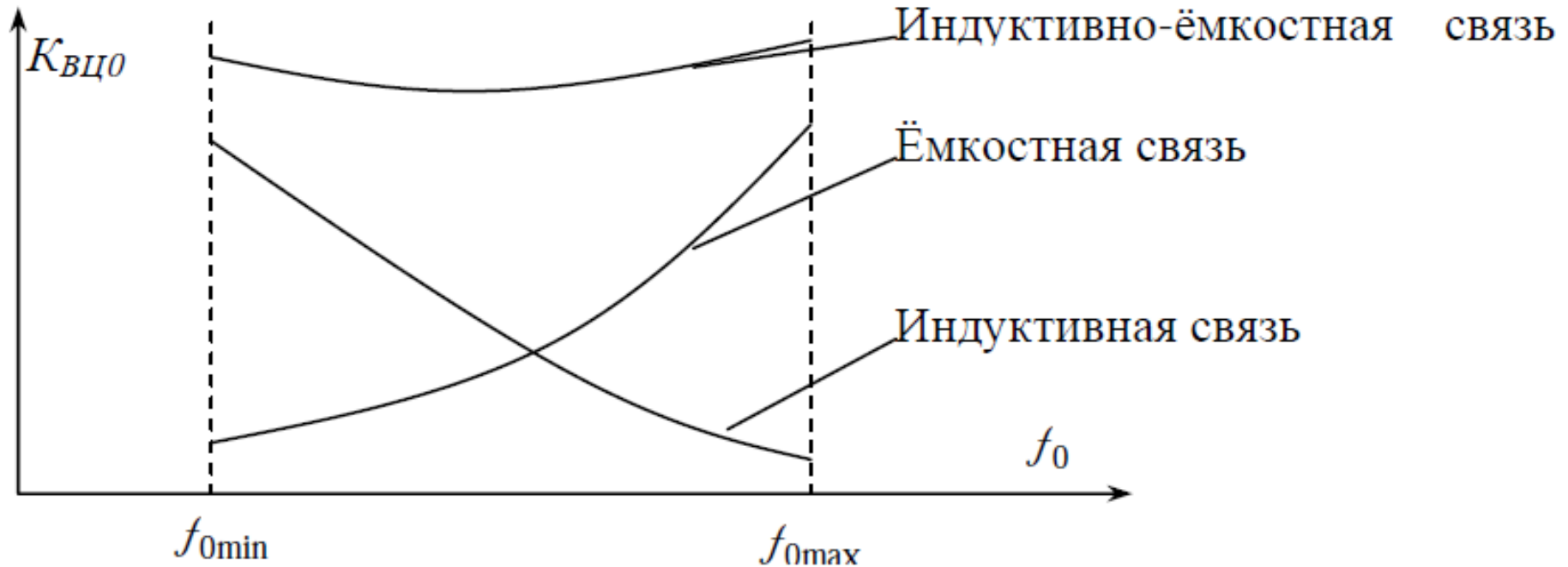
Входные цепи радиоприёмников

В зависимости от вида связи **входной цепи** с антенной различают схемы:

с комбинированной
связью



Входные цепи радиоприёмников



Из графиков видно, что уменьшение коэффициента передачи к концу диапазона за счёт индуктивной связи будет компенсироваться его возрастанием за счёт ёмкостной связи. При достаточно тщательной настройке схемы можно получить практически постоянный по диапазону коэффициент передачи.

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).