

Тема №3. Основы построения систем и устройств РЛК (РЛС) РТВ ВВС.

Занятие №4. Элементы приёмных устройств.

Вопрос №1. Входные цепи.

Вопрос №2. Преобразователи частоты.

**Вопрос №3. Обоснование требуемой
полосы пропускания приёмного РЛС.**

Литература:

1).Ю.А .Буланов, С.Н.Усов. Усилители и радиоприёмные устройства. Изд.Высшая школа,М.1971г.(стр.289-340)

2).Ю.Н.Седышев.

Приёмные устройства радиолокационных сигналов.Воениздат.М.1977г.Стр.59-108.

Вопроса для контроля

- 1.Какие основные схемы построения передающих устройства применяются в радиолокации. Достоинства и недостатки.**
- 2.Перечислить основные элементы высокочастотного тракта.**
- 3.Основные технические характеристики высокочастотного тракта .**
- 4.Какие линии передачи высокочастотной энергии используются в качестве фидеров в РЛС метрового , дециметрового и сантиметрового диапазонов?**
- 5.Перечислить основные параметры радиолокационных приемников.**
- 6.Перечислить основные функции приемных устройств**

Ответ на 1 вопрос

1. Фидерные линии или волноводы
2. Устройства для согласования
3. Переходные устройства
4. Вращающееся сочленение
5. Антенные переключатели
6. Фазоздвигающие устройства
7. Электромеханические устройства

Ответ на 2 вопрос

1. степень согласования

волноводного тракта с нагрузкой;

2. потери энергии в волноводном

тракте;

3. максимальная передаваемая

мощность

Коэффициент бегущей волны (КБВ) или обратной ему величиной - коэффициентом стоячей волны напряжения - КСВН.

Для волноводов значение погонного ослабления составляет 0,01...0,05 дБ/м, для полосковых и коаксиальных линий передачи - 0,05...0,5 дБ/м. Потери реальных трактов РЛС - 0,5...1 дБ на передачу и 2...3 дБ на прием.

$$P_{\text{и доп}} = (0,2 \dots 0,3) (E_{\text{пред}}^2 ab / 480\pi) \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}$$

$$P_{\text{и доп}} = (0,2 \dots 0,3) (E_a^2 a^2 \sqrt{\epsilon_r} / 120) \ln (b/a)$$

Ответ на 3 вопрос

Двухпроводные линии передачи, состоящие из двух параллельных проводников используются в метровом диапазоне волн.

Коаксиальная линия состоит из двух соосно расположенных проводников внутреннего и внешнего Коаксиальные линии широко используются для передачи высокочастотных колебаний в дециметровом диапазоне волн .

В сантиметровом диапазоне волн широко применяются **волноводы**—линии передачи высокочастотной энергии в виде труб.

Ответ на 4 вопрос. Основные параметры радиолокационных приемников:

1. **Предельная чувствительность**
2. **Коэффициент шума**
3. **Избирательность**
4. **Динамический диапазон**
5. **Полоса пропускания Π**
6. **Диапазон рабочих частот**
7. **Выходной сигнал по U или по P .**

Ответ на 5 вопрос. Основные функции:

- усиление полезного сигнала с шумом (помехами);
- избирательность (чаще всего частотная) - выделение сигнала из принимаемой смеси сигнала и шума (помех);
- усиление выделенного полезного сигнала до уровня, обеспечивающего заданное качество обработки и функционирования конечных устройств;
- преобразование полезного сигнала, включающее преобразование частоты;
- демодуляцию полезного сигнала (декодирование)

Варианты

1. До какого предела необходимо увеличить дальность действия РЛС если H_{\max} самолета = 10 км? Высота электрической оси антенны $H_a = 9$ м.
2. $\beta_k = 175$ град. Ширина диаграммы направленности антенной системы в азимутальной плоскости = 4 град. Определить азимут цели.
3. Дальность до Луны 385000 км. Определить $F_{\text{п макс}}$ (частота посылок) импульсов при однозначном измерении D (дальности).
4. Цель удалена от РЛС на $D_{\text{ц}} = 75$ км. Какую дальность до цели покажет индикатор РЛС, если период следования $T_{\text{п}}$ импульсов РЛС равен 300 мкс.?
5. Назначение когерентно-импульсного устройства в систем СДЦ?
- 6). Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) согласованного фильтра ?

Ответы по контрольной работе:

1. $D_{\text{пв}} = 4,12(\sqrt{\text{ha}} + \sqrt{\text{Гц}}) = 4,12 \times 100 \approx 500 \text{ км}$

2. $\Delta c = P \times \tau_{\text{и}} \times M$. $D \approx \sqrt[4]{\Delta c} \rightarrow \sqrt[4]{16} / 2 = 2 \text{ км}$

3. $\Delta D = c \tau_{\text{и}} / 2$ $\tau_{\text{и}} = \frac{50 \times 2}{3 \times 10^8} = 0,3 \text{ мкс}$, $1 \text{ мкс} \equiv 150 \text{ м}$,

$50 \text{ м} \equiv 0,3 \text{ мкс}$

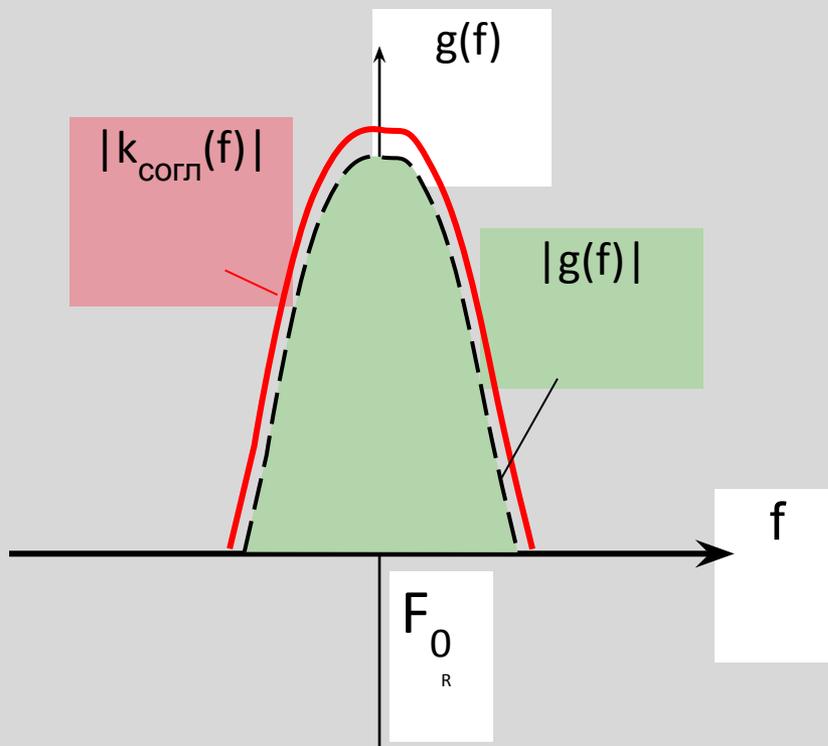
4. $\beta_{\text{ц}} = \beta_{\text{к}} - \frac{\Delta \beta}{2} = 175 - \frac{4}{2} = 173 \text{ град.}$

3). $c \cdot t(T_{\text{п}}) / 2 = D$ $1/T_{\text{п}} = F_{\text{п}} = c / 2D = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} / 2 \cdot 385 \cdot 10^6$
 $= 0,39 \text{ Гц.}$

4). $D_{\text{ц}} = cT_{\text{п}}/2 = 3 \cdot 10^8 \cdot 300 \cdot 10^{-6} / 2 = 45 \text{ км}$

$75 \text{ км} - 45 \text{ км} = 30 \text{ км}$

6)

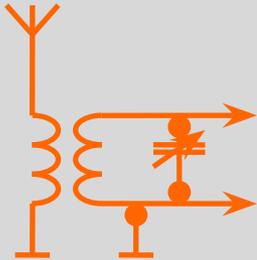


Вопрос №1. Входные цепи.

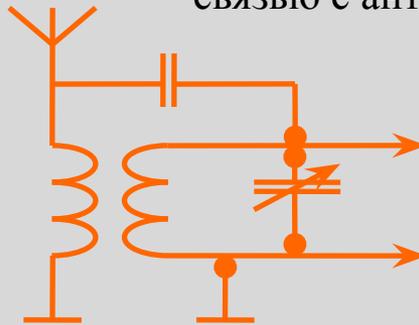
Входные цепи предназначены для согласования антенно- фидерной системы с усилителем высокой частоты, а при отсутствии УВЧ,— непосредственно с преобразователем, и осуществления предварительной избирательности.

В качестве входных цепей используются отдельные колебательные системы или совокупность нескольких связанных между собой колебательных систем (рис.1).

Входная цепь с индуктивной связью с антенной



Входная цепь с комбинированной связью с антенной



Наиболее распространённая входная цепь состоит из одного контура, связанного с антенной при помощи индуктивной автотрансформаторной, или емкостной связи. В РЛ приёмнике всегда осуществляется согласование его входного сопротивления с волновым сопротивлением антенного фидера с целью получения в нём только бегущих волн

В диапазонах длинных, средних, коротких волн и в начальном участке метрового диапазона волн (до 150-200 МГц) в качестве входных (а также межкаскадных) цепей используются колебательные контуры с сосредоточенными параметрами, состоящие из катушек индуктивности и конденсаторов (рис. 8.10).

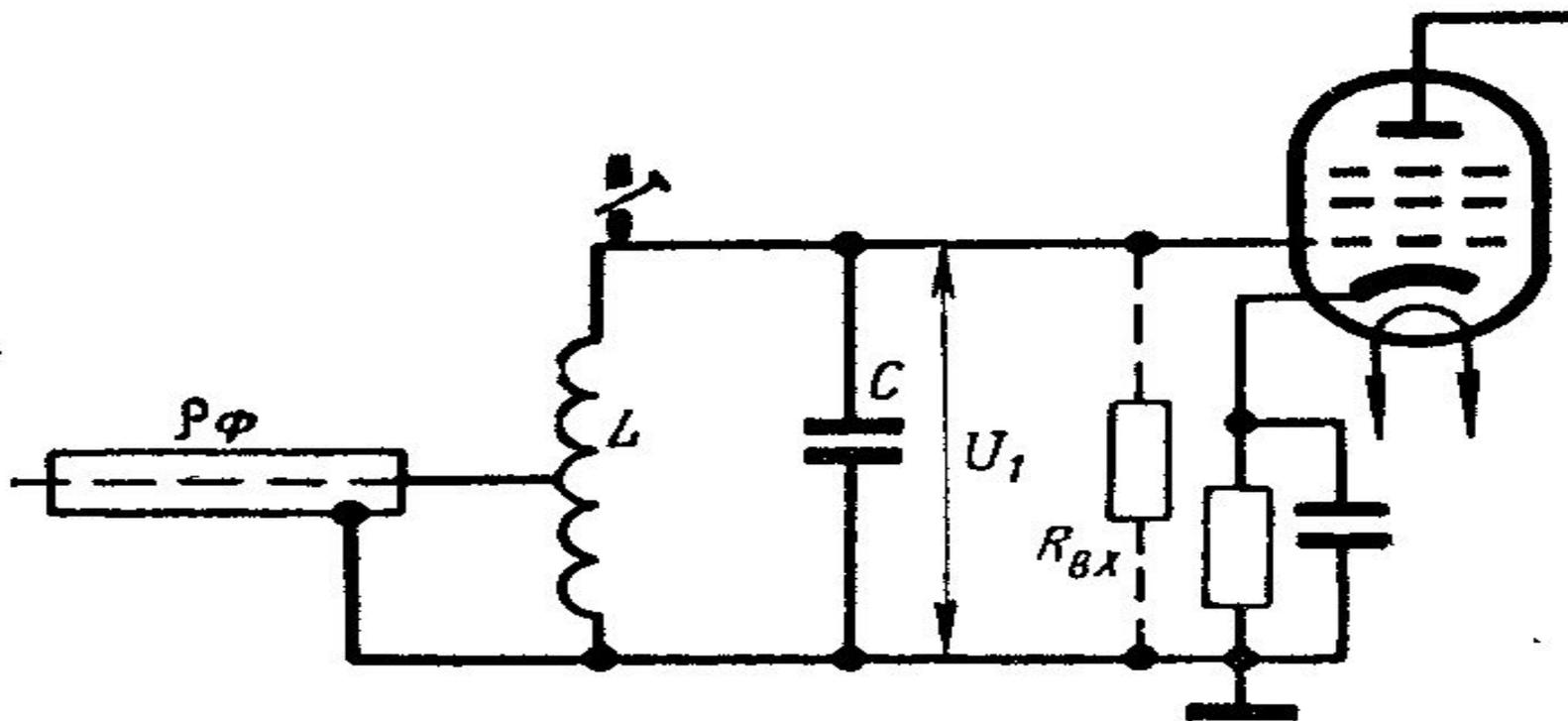


Рис. 8.10. Входная цепь с сосредоточенными параметрами

Входная цепь с автотрансформаторной связью

В радиолокационных станциях метрового диапазона напряжение сигнала обычно подается на вход приемника по коаксиальному фидеру. Такой фидер несимметричен по отношению к земле.

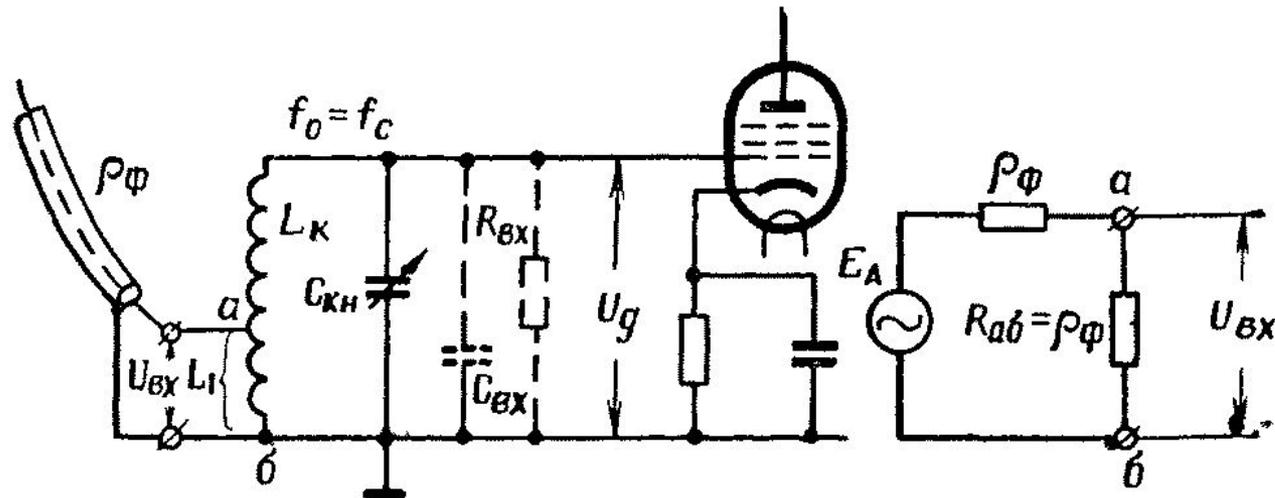


Рис. 2.102. Несимметричная входная цепь с автотрансформаторной связью и эквивалентная схема входа приемника при выполнении условий согласования

Поэтому и входная цепь приемника оказывается несимметричной. Она может быть связана с антенной при помощи автотрансформаторной связи (рис. 2.102).

На частотах свыше 200 МГц применяются колебательные системы с распределенными параметрами, поскольку с повышением частоты габариты катушек индуктивности уменьшаются и на частотах свыше 200 МГц они оказываются конструктивно не выполнимыми. Кроме того, с повышением частоты вследствие роста активного сопротивления проводников из-за поверхностного эффекта быстро падает добротность колебательных систем с сосредоточенными параметрами.

На частотах от 200 до 1000 МГц в качестве входных (и межкаскадных) цепей применяются отрезки длинных линий, а на частотах свыше 1000 МГц — объемные резонаторы,

3. Входные цепи радиолокационных приемников дециметровых и сантиметровых волн

На частотах выше 300 Мгц (на волнах короче одного метра) контуры с сосредоточенными параметрами не применяются. Объясняется это тем, что при повышении частоты настройки контуров

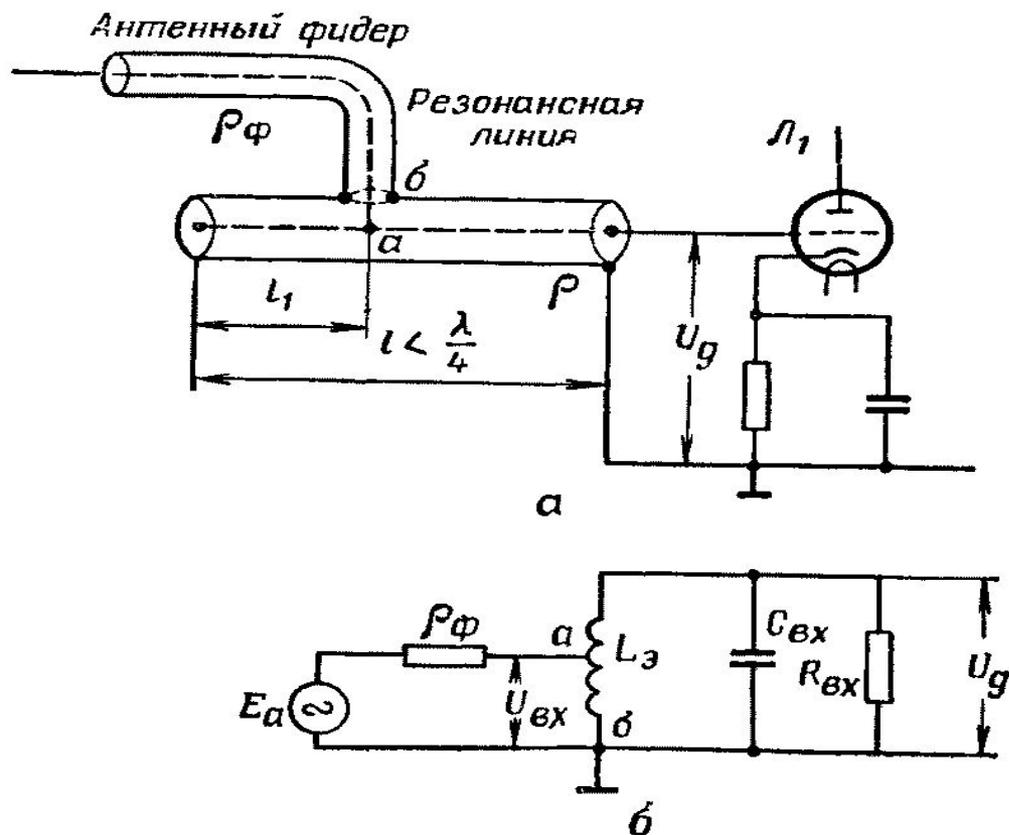


Рис. 2.108. Входная цепь с резонансной коаксиальной линией*

а — принципиальная схема, б — эквивалентная схема

необходимо уменьшать L_k и C_k . Но уменьшению емкости C_k существует предел. Во входной цепи приемника минимально возможная емкость контура равна входной емкости лампы.

Дальнейшее повышение частоты настройки контура возможно только за счет уменьшения индуктивности контура. Однако при этом резко уменьшается его добротность, вследствие чего избирательность входной цепи ухудшается, а коэффициент передачи напряжения уменьшается. Поэтому в приемнике дециметровых волн в качестве входного контура применяют коаксиальную резонансную линию (рис. 2.108, а). Конструктивно она выполняется вместе с коаксиальной линией анодной цепи и лампой маячкового типа (рис. 2.134). Такую входную цепь рассматривают как трансформатор сопротивлений с малыми потерями. Она согласует волновое сопротивление фидера $\rho_{\text{ф}}$ с входным сопротивлением усилительной лампы. Эквивалентная схема данной входной цепи изображена на рис. 2.108, б.

Применение резонансных линий в качестве колебательных контуров ограничивается диапазоном дециметровых волн. На сантиметровых волнах их применять затруднительно из-за малых геометрических размеров. Поэтому в приемнике сантиметрового диапазона входная цепь выполняется в виде объемного резонатора.

Параметры входных цепей:

- коэффициент передачи

$$K_{п} = U_{с.вх} : U_{с.вых}$$

- диапазон рабочих частот

Возможность перестройки

- коэффициент шума

Вопрос №2. Преобразователи частоты.

Преобразователем частоты (ПЧ) называется устройство, преобразующее напряжение высокой частоты в напряжение промежуточной частоты с сохранением закона модуляции. Иными словами, с помощью преобразователя частоты осуществляется линейный перенос спектра сигнала из одной области частот в другую. В зависимости от диапазона преобразуемых частот схемное решение преобразователя частоты может быть различным, однако во всех случаях он должен содержать:

- нелинейный элемент (смеситель);**
- вспомогательный источник высокочастотных колебаний (гетеродин);**
- фильтр колебаний промежуточной частоты (нагрузка).**

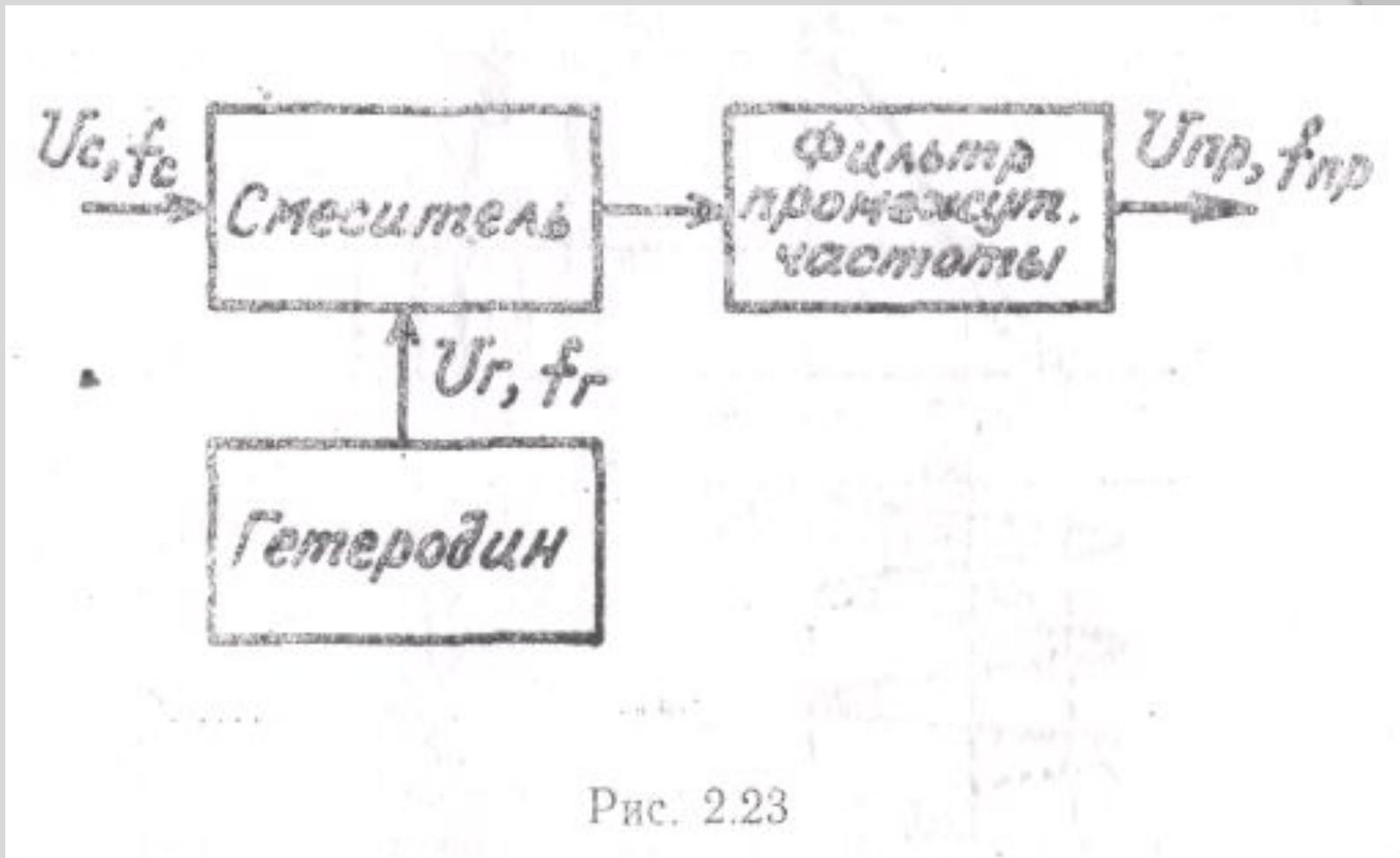
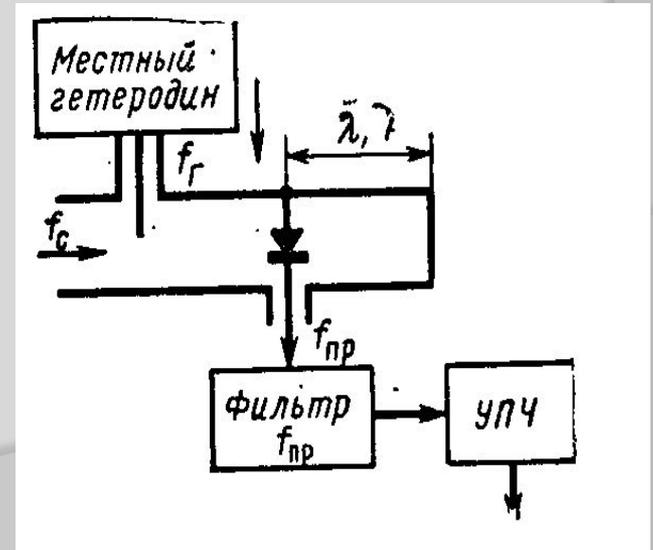
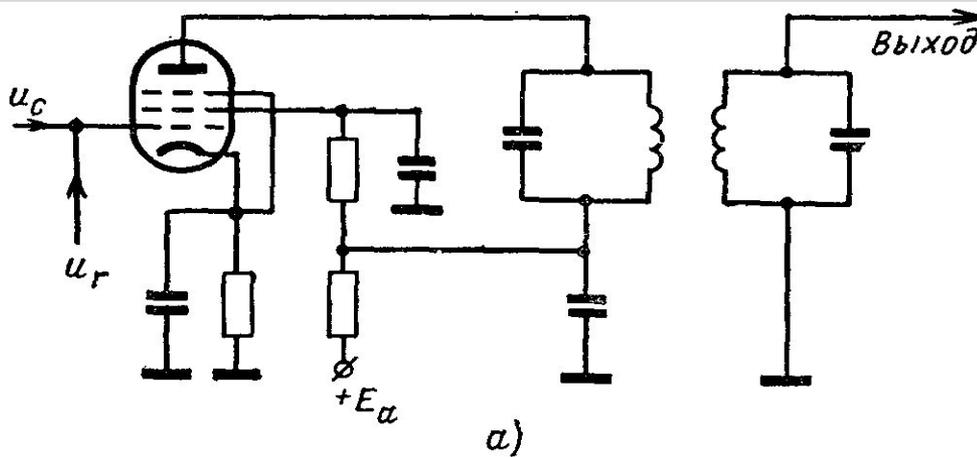


Рис. 2.23

Основным признаком классификации преобразователей частоты различных диапазонов является тип смесителя. Различают ламповые, односеточные и двухсеточные, транзисторные и диодные преобразователи частоты.



Основными техническими параметрами преобразователей частоты.

1. Коэффициент передачи—отношение комплексных амплитуд сигнала на промежуточной частоте и высокой частоте.

$$K_p = \left| \frac{\dot{U}_{np}}{\dot{U}_c} \right|.$$

Величина K_p для ламповых, транзисторных преобразователей частоты составляет несколько единиц, для диодных преобразователей ($K_p = 0,25 \dots 0,5$).

2. Коэффициент шума определяется типом смесителя и частотным диапазоном. Требование снижения коэффициента шума является существенным при малом коэффициенте усиления УВЧ по мощности.

Общие требования к преобразователям частоты следующие:

- минимальный коэффициент шума, равномерность АЧХ и линейность ФЧХ;
- минимальный уровень мощности гетеродина;
- максимальная развязка трактов гетеродина и сигнала;
- максимальное подавление нежелательных продуктов преобразования;
- надежность работы; малые габаритные размеры и масса.

$$u_c = U_c \cos 2\pi f_c t$$

$$U_r = U_r \cos 2\pi f_r t.$$

Зависимость анодного тока лампы от напряжения на сетке должна быть нелинейной. Тогда совместное действие напряжений двух различных частот на электронную лампу заставляет анодный ток изменяться по сложному закону. В составе анодного тока появятся комбинации $\pm m f_r \pm n f_c$, где m и n — целые числа.

Полезным сигналом является колебание с промежут $f_{пр.}$ частотой

Этот сигнал выделяется колебательной системой в анодной цепи лампы,

В супергетеродинных схемах одна из основных проблем - необходимость подавлять сигнал в так называемом зеркальном канале. Его природа понятна - поскольку после смесителя выделяется $f_{nc} = |fc - f_2|$, в тракт ПЧ может попасть как сигнал с частотой $fc = f_2 - f_{nc}$ (если частота гетеродина выше сигнала настройки), так и с $f_3 = f_2 + f_{nc}$, т.е. сигнал, расположенный симметрично частоте настройки относительно частоты гетеродина. Следовательно, $f_3 = fc \pm 2f_{nc}$ в зависимости от того, выше или ниже частоты гетеродина находится полезный сигнал. Понятно, что подавлять сигнал в зеркальном канале необходимо в преселекторе, до смесителя. Причем чем выше ПЧ, тем больше разнос основного и зеркального каналов и тем проще решить эту проблему.

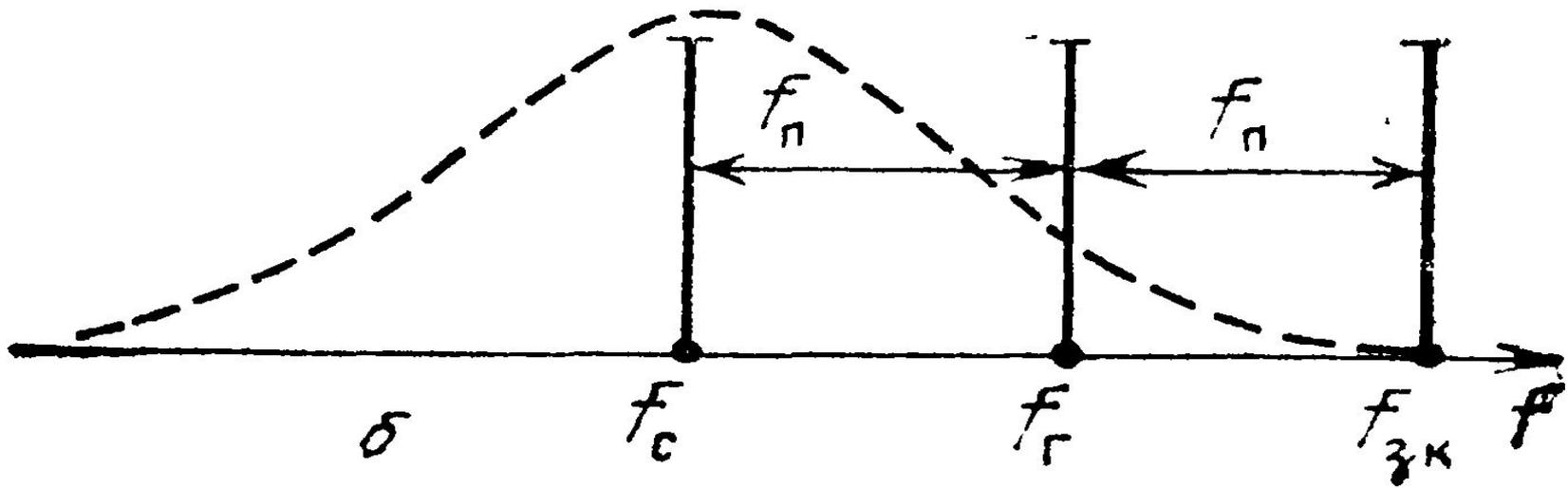
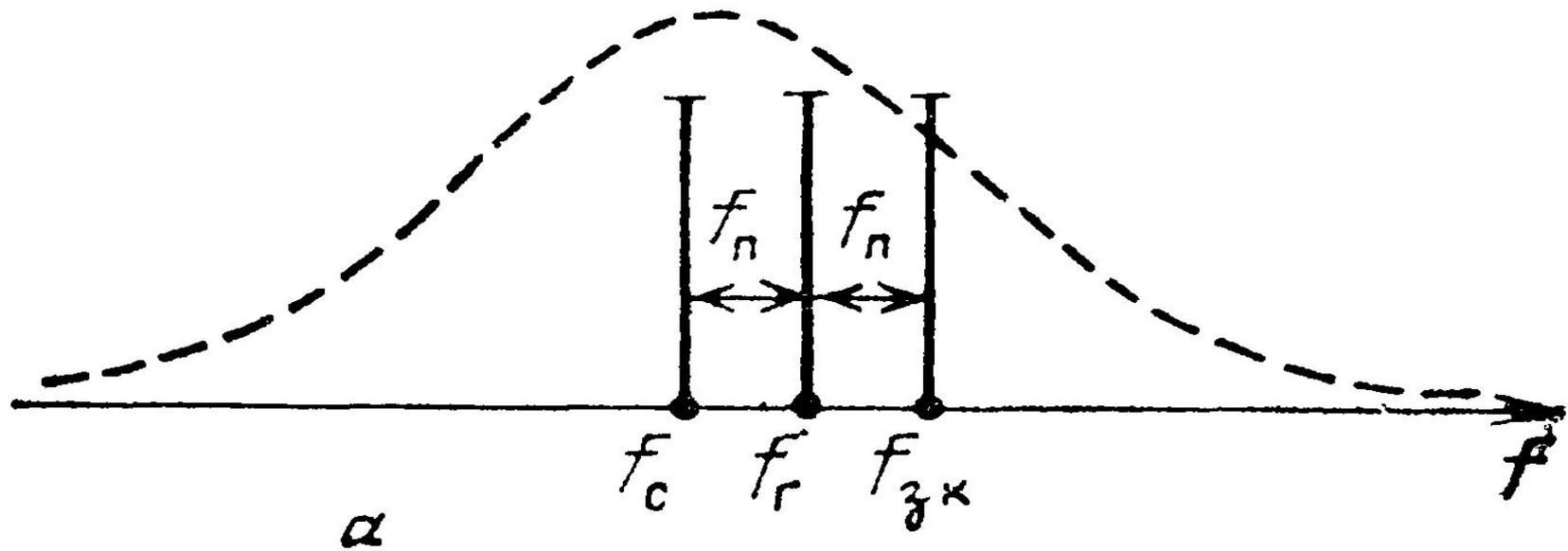
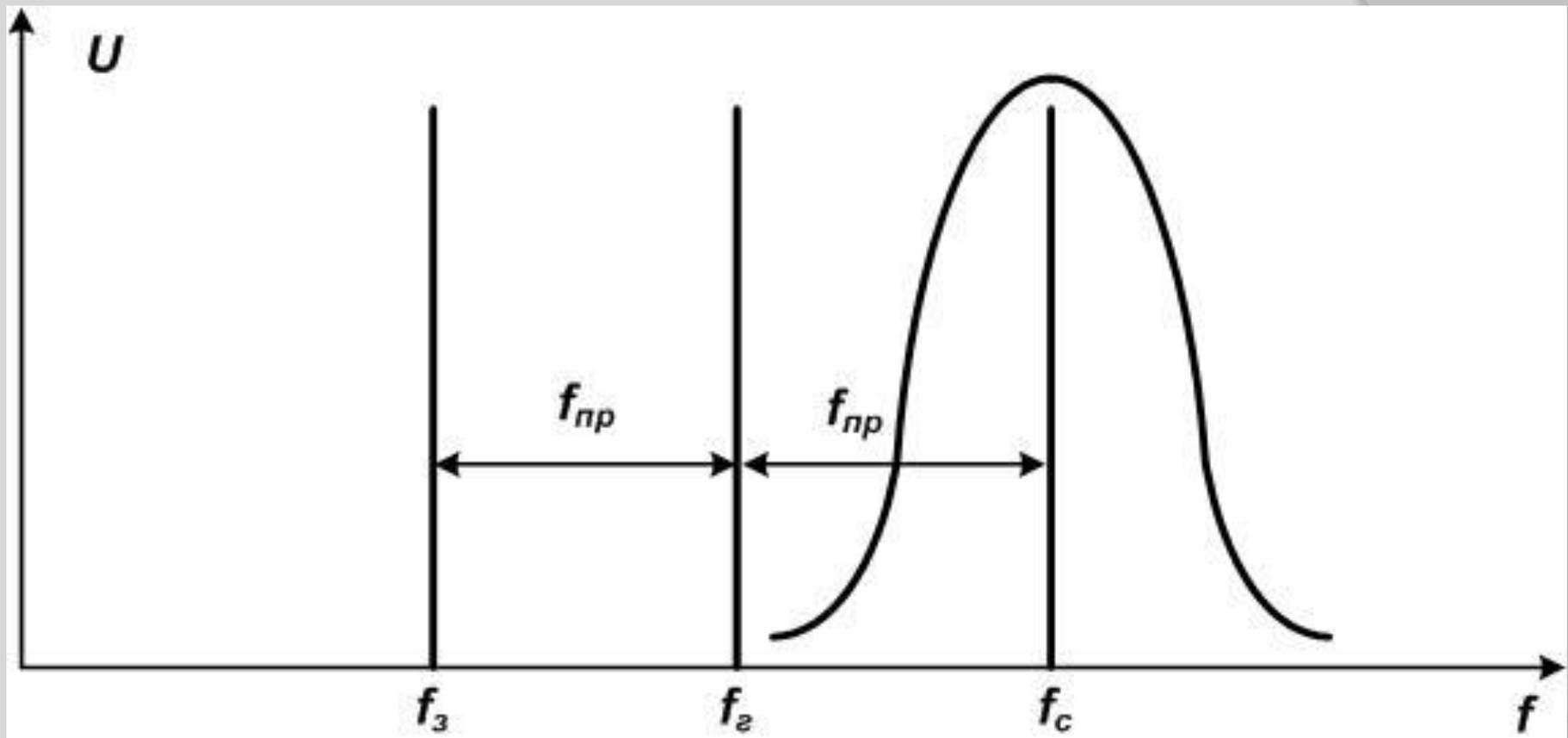


Рис. 1.8

Основной паразитный канал приема носит название зеркального или канала симметричной станции. Его происхождение и название объясняются рис. 1.8, а. Частота $f_{зк}$ зеркального канала отличается от частоты f_c сигнала на удвоенное значение промежуточной частоты. При этом условии в соответствии с (1.6) колебание с частотой $f_{зк}$ преобразуется так же, как и сигнал, в колебание с частотой $f_{п}$. Другими словами, супергетеродинный приемник оказывается настроенным на две частоты: f_c и $f_{зк}$, симметрично расположенные относительно частоты гетеродина. Ослабление помех, действующих на частоте зеркального канала, возможно только с помощью избирательных систем, включенных до преобразователя, т. е. сигнальных контуров входной цепи и УРЧ. Частотная характеристика этих блоков показана пунктиром на рис. 1.8. Степень подавления помех, действующих на частоте зеркального канала, можно повысить, увеличив промежуточную частоту (рис. 1.8, б). Однако при этом надо иметь в виду, что увеличение $f_{п}$ может привести к недопустимому расширению полосы пропускания УПЧ и снижению избирательности по соседнему каналу (так же, как и в приемнике прямого усиления при увеличении частоты сигнала). В ука-



АЧХ преселектора

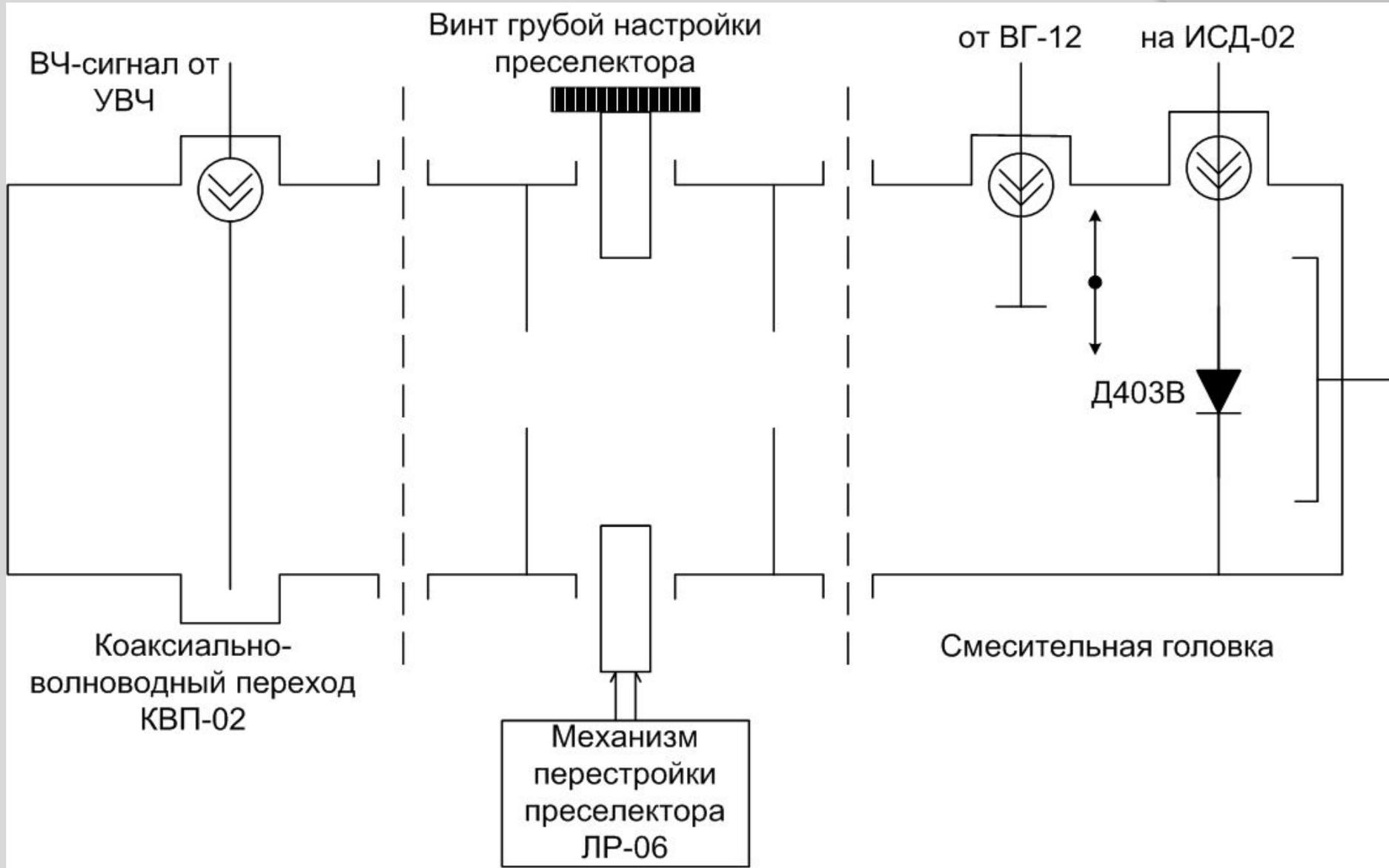
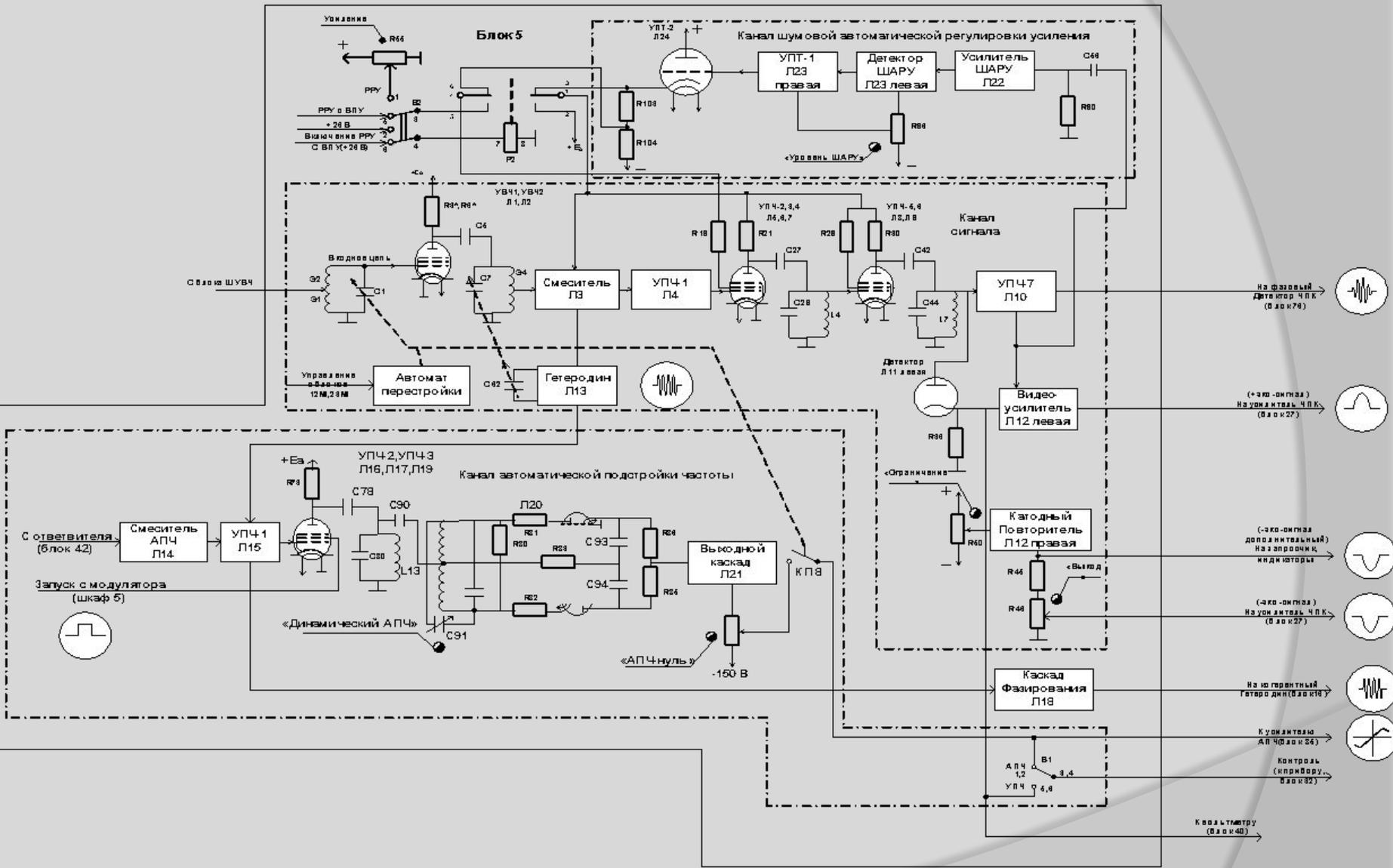


Схема смесителя сигналов РС-18



Функциональная схема приёмника (блок №5) РЛС П-18

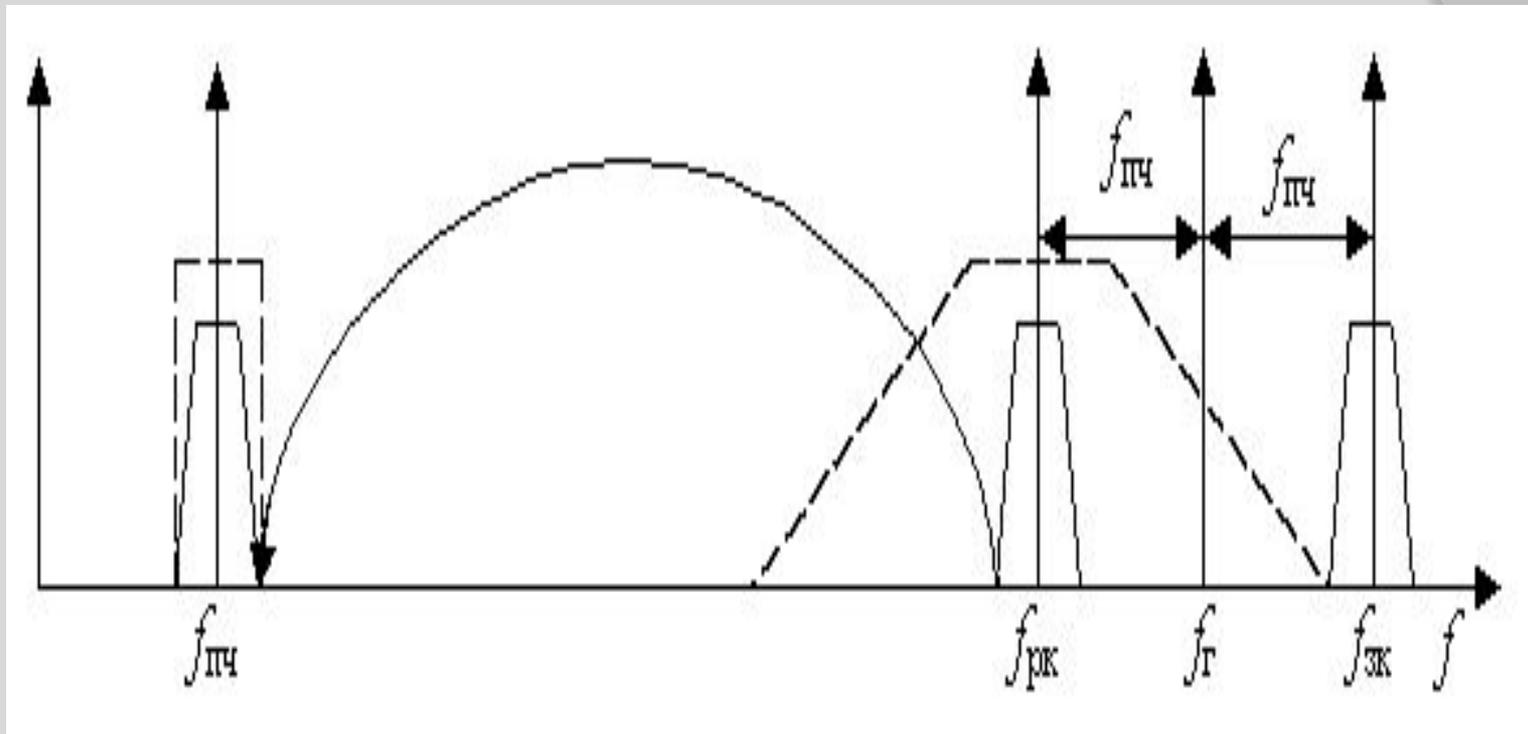


Рисунок . Процесс образования зеркального канала в супергетеродинном приемнике

$$U_{см} = \sin(\omega_c \cdot t + \varphi) \times \sin(\omega_2 \cdot t) = \frac{1}{2} (\cos((\omega_c - \omega_2) \cdot t + \varphi) + \cos((\omega_c + \omega_2) \cdot t + \varphi))$$

Вопрос №3. Обоснование требуемой полосы пропускания приёмного устройства РЛС

Основное усиление радиолокационных сигналов осуществляется на промежуточной частоте.

УПЧ представляет собой многокаскадный усилитель с линейными фильтрами, формирующими частотную характеристику требуемого вида

Наиболее распространены следующие типы УПЧ:

одноконтурные и многоконтурные. В одноконтурных усилителях контуры всех каскадов могут быть настроены на одну частоту или взаимно расстроены.

Схема одноконтурного УПЧ в обоих случаях одинакова.

Из многоконтурных УПЧ наиболее распространены двухконтурные. Иногда применяются УПЧ с двухконтурными взаимно расстроенными каскадами и УПЧ, когда один из каскадов имеет несколько (три и четыре) связанных контура (так называемый фильтр сосредоточенной селекции).

УПЧ характеризуются следующими параметрами:

- номинальной промежуточной частотой $f_{пр}$,
- коэффициентом усиления K ,
- полосой пропускания ΔF ,
- эффективностью \mathcal{E}
- коэффициентом прямоугольности $K_{п.о.и.}$

Промежуточная частота для радиоимпульсов должна также удовлетворять неравенству

$$f_{пр} \geq \frac{20 \div 40}{\tau_{и}}$$

На практике $f_{пр} = 10 \div 100 \text{ МГц}$; $K_{п.о.и.} = 1,5 \div 5$; $K_{общ} = 10^4 \div 10^6$.

Эффективностью каскада \mathcal{E}_0 называют произведение резонансного коэффициента усиления на его полосу пропускания.

Эффективностью усиления \mathcal{E} называют произведение коэффициента усиления одного каскада на полосу пропускания всего усилителя.

Чем больше эффективность каскада, тем большую полосу пропускания он имеет при постоянном коэффициенте усиления, или тем большее усиление может обеспечить при постоянной полосе пропускания.

По эффективности усилители делятся следующим образом. Наименьшую эффективность имеет усилитель с настроенными (резонансными) контурами, большую эффективность имеют многоконтурные УПЧ.

Усилители со связанными контурами имеют большую эффективность, чем УПЧ с парами расстроенных контуров.

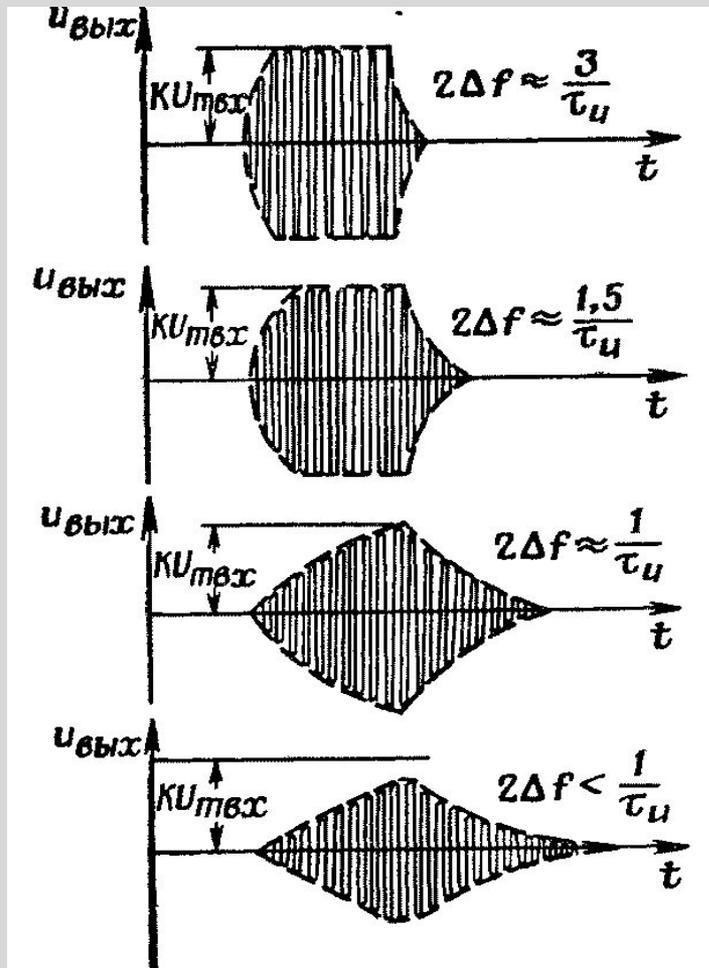
Избирательные свойства УПЧ характеризуют коэффициентом прямоугольности $K_{п0,1}$ под которым понимают отношение полосы частот на уровне 0,1 от максимального значения коэффициента усиления или выходного напряжения, к полосе пропускания. Для идеального усилителя, имеющего прямоугольную частотную характеристику, $K_{п0,1} = 1$. На практике $K_{п0,1} > 1$ - усилитель имеет тем большую избирательность, чем больше его частотная характеристика приближается к прямоугольной и, следовательно, чем больше величина $K_{п0,1}$ приближается к единице.

Усилители на одиночных контурах имеют меньшую избирательность, чем УПЧ на двойках и т. д. Усилители остальных типов примерно равноценны.

На практике при усилении радиоимпульсов длительностью **более 2 мксек** наибольшее применение находят УПЧ на одиночных настроенных контурах, поскольку эти усилители, кроме отмеченных выше недостатков, обладают существенными преимуществами по сравнению с другими типами УПЧ.

При усилении радиоимпульсов длительностью **менее 2 мксек**, когда усилитель должен иметь большую эффективность, для обеспечения которой УПЧ на настроенных контурах должен иметь 10—15 каскадов, применяют 6—8 каскадов УПЧ на расстроенных контурах (на двойках) или УПЧ с двумя связанными контурами.

В радиолокационных приемниках полоса пропускания УПЧ выбирается из двух противоречивых соображений: 1) искажения формы усиливаемых радиоимпульсов не должны быть большими; 2) чувствительность приемника должна быть максимально возможной.



Форма радиоимпульсов

на выходе УПЧ при различной полосе пропускания

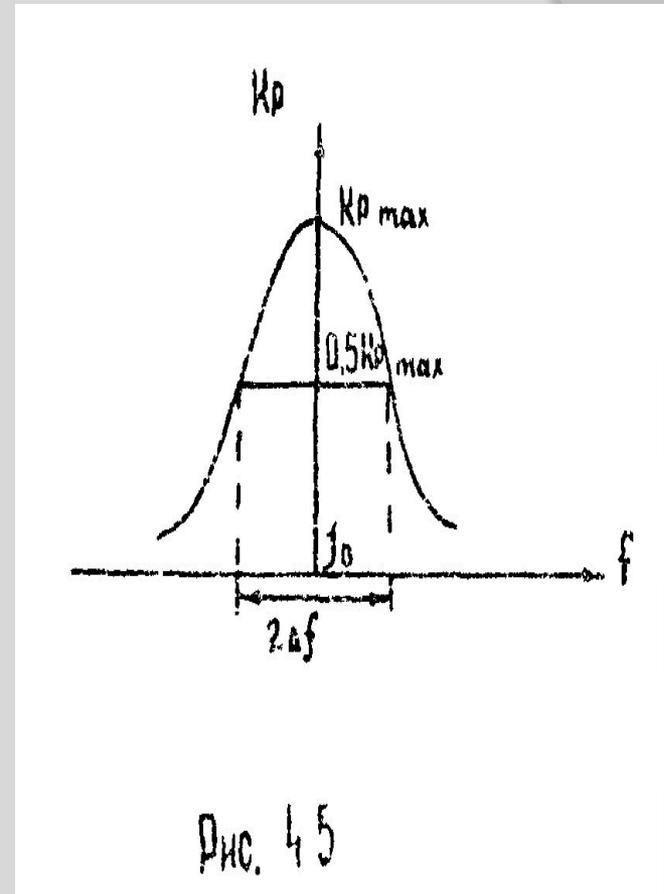


Рис. 45

Для радиолокационных приемников в случае простых сигналов полоса пропускания линейной части должна быть

$$2\Delta f = (1 \dots 5) / \tau_{\text{и}}$$

В. И. Сифоров теоретически показал, что при усилении прямоугольных радиоимпульсов усилителем с частотной характеристикой прямоугольной формы отношение $\frac{U_{m\epsilon}}{U_{m\text{ш}}}$ получается наибольшим при полосе пропускания

$$2\Delta f_{\text{опт}} = \frac{1,37}{\tau_{\text{и}}} \quad (2.272)$$

Литература:

- ⊙ Теоретические основы радиолокации. Ширман Я.Д. Издательство «Советское радио». Москва 1970 г.
- ⊙ Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981-416с.
- ⊙ Репин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. – М.: Сов. Радио, 1977-432с.
- ⊙ Фалькович С.Е., Хомяков Э.Н. Статистическая теория измерительных радиосистем. – М.: Радио и связь, 1981-287с.
- ⊙ Теоретические основы радиолокационных систем РТВ: Учебн. пособие / М.И. Ботов, В.А. Вяхирев. Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2007 г.