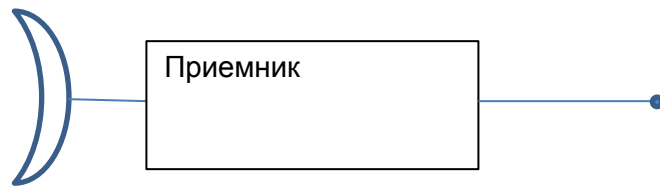


# **Показатели радиоприемных устройств**

1. Чувствительность
2. Избирательность (селективность)
3. Верность воспроизведения сообщений
4. Стабильность работы

# 1. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

Чувствительность – это способность приемника принимать слабые сигналы.



## 2. Избирательность (селективность)

Избирательность – это способность РПРУ выделять полезный сигнал, ослабляя действие мешающих сигналов (помех) .

Основана на использовании различия полезных и мешающих сигналов: направления прихода и времени действия, поляризации, амплитуды, частоты, фазы.

Существует:

**1. пространственная избирательность**, достигаемая с помощью остронаправленных приемных антенн или путем электронного управления синтезированной диаграммой направленности ФАР (фазированной антенной решетки);

**2. поляризационная избирательность**, реализуемая также приемной антенной, настраиваемой на вид поляризации волны принимаемого сигнала;

**3. временная избирательность** (при приеме импульсных сигнала) достигается отпиранием приемника только на время действия полезного сигнала.

**4.** основное значение имеет **частотная избирательность**, так как в системах радиосвязи, радиовещания и телевидения сигналы обычно отличаются по частоте и их разделение осуществляется с помощью резонансных цепей и фильтров.

**Односигнальная избирательность** определяется **АЧХ** фильтров УТ приемника при действии на его входе только одного малого сигнала (полезного или мешающего), не вызывающего нелинейных эффектов.

**Нормированной АЧХ** называют величину  $\gamma(f) = \frac{K(f)}{K_0}$  ,

где  $K(f)$  – модуль коэффициента усиления (передачи) УТ по напряжению на произвольной частоте  $f$ ;  
 $K_0$  - резонансный коэффициент усиления на частоте настройки приемника  $f_0$ .

# Избирательность

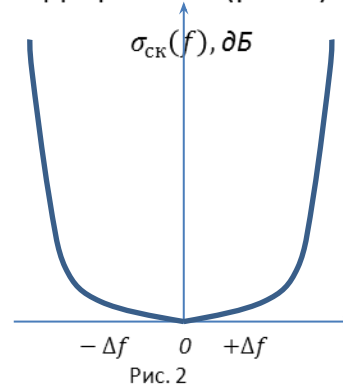
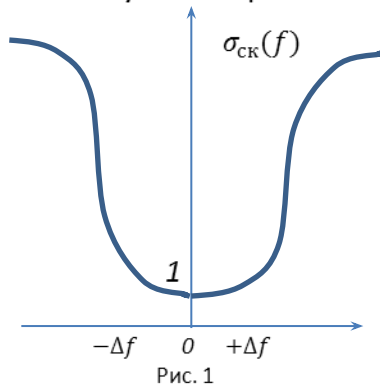
## (селективность)

Количественно **односигнальная избирательность** оценивается **величиной, обратной нормированной АЧХ**  $\gamma(f)$ ,

$$\sigma(f) = \frac{K_0}{K(f)}$$

и определяет ослабление помехи при заданной ее расстройке  $\Delta f = f - f_0$  относительно  $f_0$ .

Зависимость  $\sigma(\Delta f)$  называется **характеристикой односигнальной избирательности** (рис.1). Обычно используется оценка избирательности в децибелах (рис.2):  $\sigma(f)[\text{дБ}] = 20 \lg \left[ \frac{K_0}{K(\Delta f)_0} \right]$ .



**Идеальной характеристикой избирательности** является **прямоугольная** с полосой пропускания, равной ширине спектра полезного сигнала, в пределах которой  $Se=1$ , а за ее пределами  $Se \rightarrow \infty$ . В пределах такой характеристики обеспечивается неискаженное воспроизведение спектра сигнала и бесконечно большое подавление любой внеполосной помехи.

Для оценки степени близости реальной характеристики избирательности к идеальной используется **коэффициент прямоугольности**

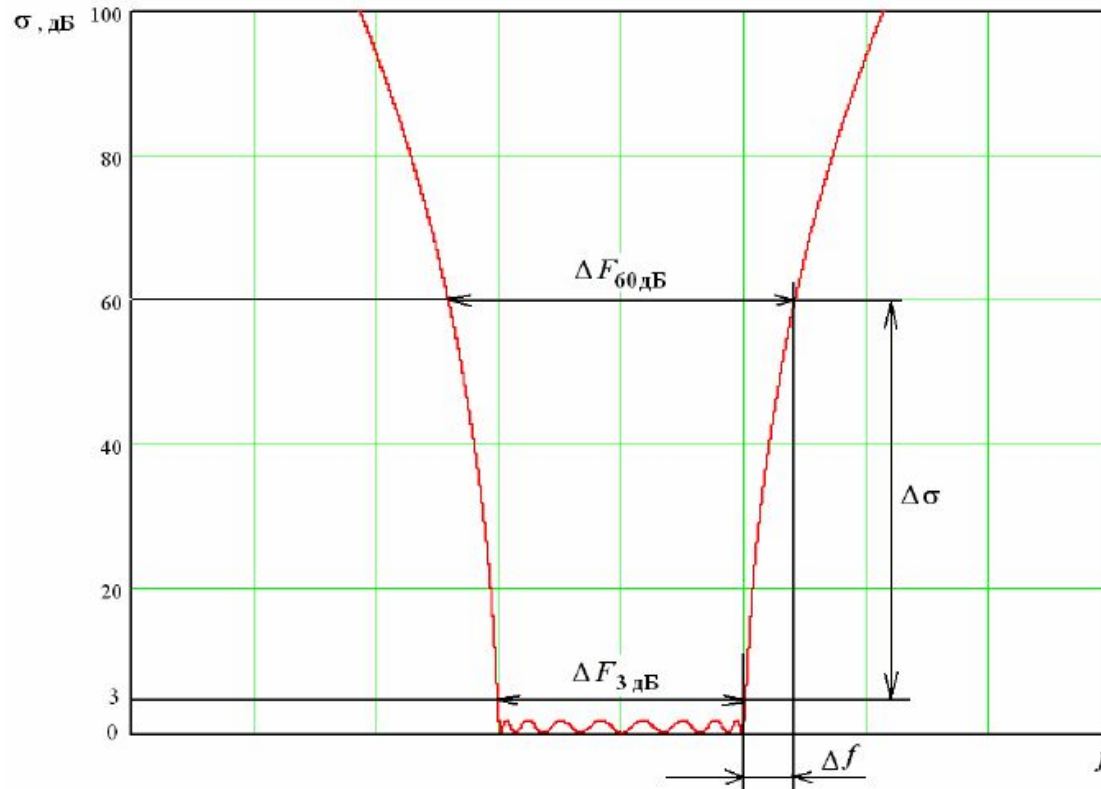
$$k_{\text{п}\gamma} = \frac{\Pi_\gamma}{\Pi_{0,7}}, \text{ где } \Pi_{0,7} - \text{полоса пропускания УТ на уровне } \frac{1}{\sqrt{2}} \cong 0,707 \text{ (3дБ)}$$

и  $\Pi_\gamma$  – полоса на заданном уровне  $\gamma$ , который выбирается равным одному из значений: 0,1; 0,01; 0,001 и т.д.

Для идеальной характеристики  $k_{\text{п}\gamma} = 1$ , т.е. избирательность тем выше, чем ближе коэффициент прямоугольности к единице.

# Избирательность (селективность)

Вблизи частоты настройки характеристику избирательности можно оценивать значениями коэффициентов прямоугольности и средней крутизны скатов (СКС)



$$K_{\text{Пур}} = \frac{\Delta F_{\text{ур}}}{\Delta F_{3\text{дБ}}}$$

Например:  $K_{\text{П}60\text{дБ}} = \frac{\Delta F_{60\text{дБ}}}{\Delta F_{3\text{дБ}}}$

$$\text{СКС} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta f}$$

Измеряется дБ/кГц, дБ/МГц

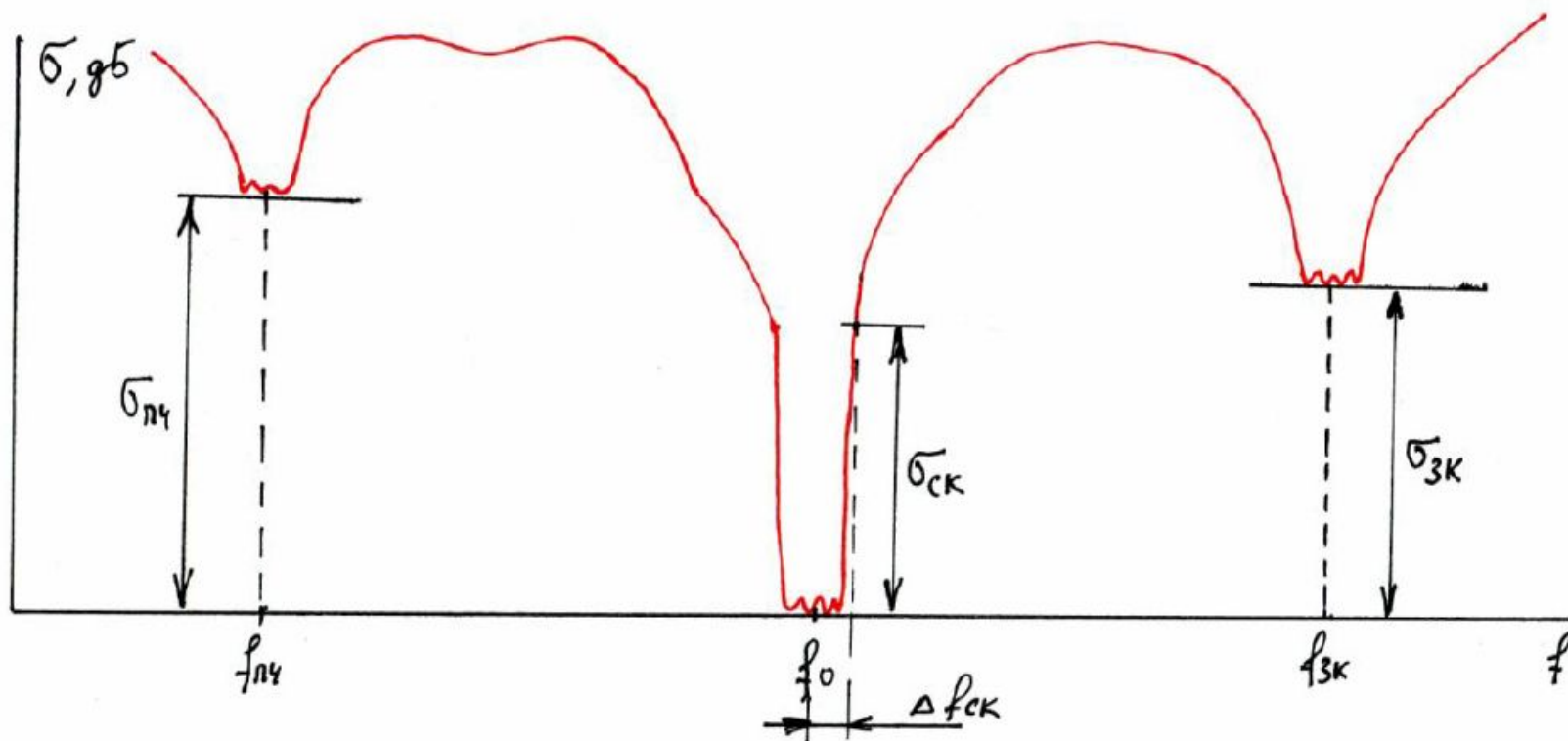
# Избирательность (селективность)

Односигмальную избирательность количественно оценивают относительным ослаблением, создаваемым додетекторным трактом приемника на частоте  $f$  по сравнению с частотой настройки  $f_0$ . Для этого определяют отношение уровня сигнала  $E_A(f)$  на частоте  $f$  к его значению на частоте настройки  $E_{A0}$  при неизменном уровне сигнала на входе.

Относительное ослабление принято оценивать в децибелах:

$$\sigma(f) = 20 \cdot \log \frac{E_A(f)}{E_{A0}}$$

Зависимость  $\sigma(f)$  называют характеристикой избирательности

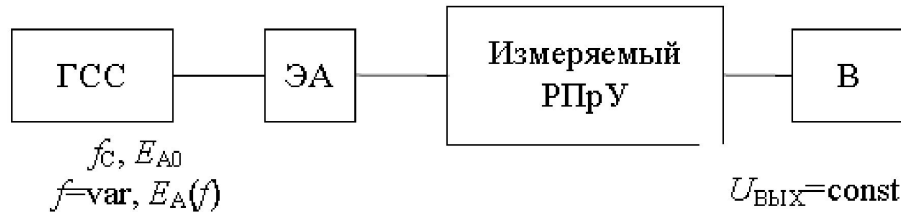


# Избирательность (селективность)

- **Измерение параметров характеристики избирательности приемника**

Односигнальную избирательность количественно оценивают относительным ослаблением, создаваемым додетекторным трактом приемника на частоте  $f$  по сравнению с частотой настройки  $f_0$ . Для этого определяют отношение уровня сигнала  $E_A(f)$  на частоте  $f$  к его значению на частоте настройки  $E_{A0}$  при неизменном уровне сигнала на выходе.

$$\sigma(f) = E_A(f) - E_{A0} \quad \text{или} \quad \sigma = 20 \lg \left( \frac{E_A(f)}{E_{A0}} \right)$$



## 1. Измерение избирательности по соседнему каналу.

Зафиксировать чувствительность  $E_{A0}$  и частоту настройки  $f_0$ .

Не изменяя настройку приемника подать от генератора колебание с частотой верхнего соседнего канала в пределах  $f \pm 9$  кГц .

Увеличивая уровень сигнала  $E_{A \text{ СК}}$ , подаваемого от генератора; добиться, чтобы напряжение на выходе приемника стало равным  $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{СТ}}$  (0,44 В).

Рассчитать значение избирательности по соседнему каналу:

$$\sigma_{\text{СК}}(f) = E_{A \text{ СК}} - E_{A0} \quad \text{или} \quad \sigma_{\text{СК}} = 20 \lg \left( \frac{E_{A \text{ СК}}(f)}{E_{A0}} \right)$$

Избирательность приемника по соседнему каналу определяется худшим из двух измеренных значений.



# Избирательность (селективность)

2. Измерение избирательности приемника по зеркальному и другим дополнительным каналам приема:

Зафиксировать частоты настройки приемника  $f_0$  и  $f_{гет}$ .

Рассчитать частоты зеркального и других наиболее опасных дополнительных каналов приема.

$$f_{зк} = f_{г} + f_{пч}, \quad f_{доп1} = 2f_{г} \pm f_{пч}, \quad f_{доп2} = f_{г} \pm \frac{f(пч)}{2}.$$

Измерить ослабление зеркального канала в приемнике. Для этого, не изменяя частоту настройки приемника установить частоту генератора равной рассчитанному значению  $f_{зк}$ .

Увеличивая уровень входного напряжения  $E_{Азк}$ , подаваемого от генератора; добиться, чтобы напряжение на выходе приемника стало равным  $U_{ВЫХ} = U_{СТ}$  (0,44 В).

Рассчитать значение избирательности по зеркальному каналу:

$$\sigma_{зк}(f) = E_{Азк} - E_{АО}$$

или

$$\sigma_{зк} = 20 \lg \left( \frac{E_{Азк}(f)}{E_{АО}} \right)$$

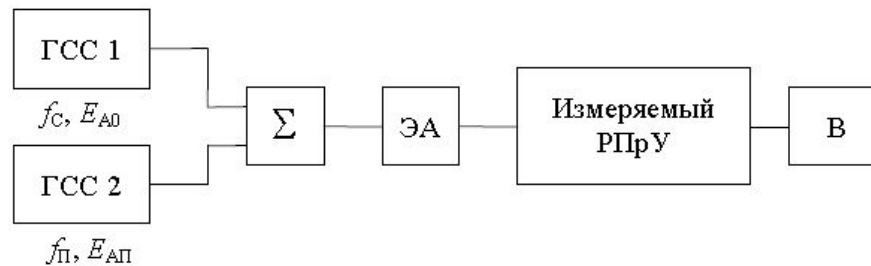
Рассчитать избирательность приемника по другим дополнительным каналам приема.

# Избирательность

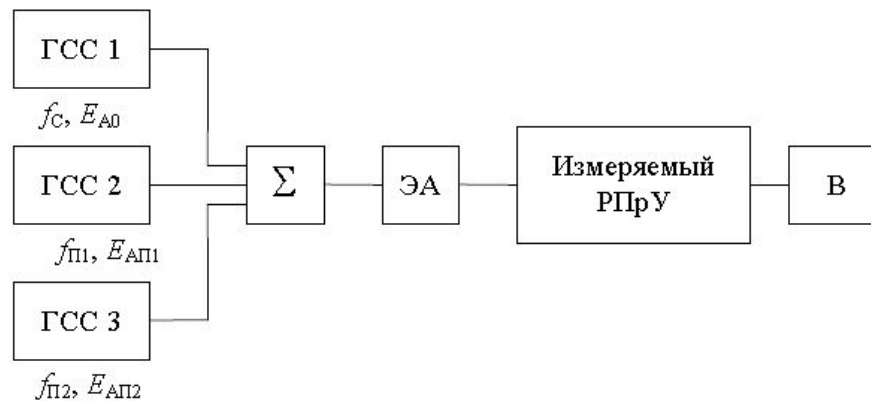
## (селективность)

В условиях действия сильных помех, приводящих к указанным эффектам, наиболее полную характеристику дает **эффективная** или **многосигнальная частотная избирательность**. Для оценки **двух** или **трехсигнальной избирательности** на вход приемника подаются соответственно два или три колебания, имитирующие сигнал и помехи с определенным соотношением частот и

Г При измерениях **многосигнальной избирательности** используют 2 или 3 ГСС. Один – источник полезного сигнала, остальные источники помех. Сигнал и помехи действуют на вход приемника **одновременно**. Многосигнальная избирательность позволяет учесть нелинейные эффекты во входных каскадах приемника (блокирование, перекрестную модуляцию, интермодуляцию).



Измерение двухсигнальной избирательности  
(Эффекты блокирования и перекрестной модуляции)



Измерение трехсигнальной избирательности  
(Эффекты интермодуляции)

# Избирательность (селективность)

- В большинстве систем радиосвязи и радиовещания полезный сигнал принимается на фоне одной или нескольких значительных по уровню помех. При этом даже незначительная нелинейность УТ приводит к таким эффектам как **перекрестная модуляция, сжатие амплитуды, блокирование, интермодуляция**.

**ПЕРЕКРЕСТНАЯ модуляция** - взаимная модуляция двух или большего числа колебаний вследствие их взаимодействия в нелинейных устройствах или при распространении в пространстве с нелинейными свойствами. Перекрестная модуляция проявляется в переносе модуляции помехи на полезный сигнал. Если колебание сигнала модулировано, то перекрестная модуляция ухудшает отношение сигнал/помеха или делает прием сигнала невозможным.

**СЖАТИЕ АМПЛИТУДЫ**, т.е нарушение линейной зависимости между амплитудами сигнала на входе и выходе УТ.

**БЛОКИРОВАНИЕ ПОЛЕЗНОГО СИГНАЛА** возникает вследствие уменьшения коэффициента усиления УТ под воздействием сильных мешающих сигналов с частотами, отличающимися от частот основного и побочного каналов приема.

**ИНТЕРМОДУЛЯЦИЯ** — это процесс взаимодействия нескольких различных сигналов в нелинейных каскадах радиоприемного тракта. В результате возникают новые составляющие спектра, зашумляющие принимаемый сигнал (либо проявляющиеся в качестве зеркального сигнала)  $mf_{п1} \pm nf_{п2} \pm pf_{п3} \pm \dots$ , где  $m, n, p$  - целые числа.

В условиях действия сильных помех, приводящих к указанным эффектам, наиболее полную характеристику дает **эффективная** или **многосигнальная частотная избирательность**. Для оценки **двух** или **трехсигнальной избирательности** на вход приемника подаются соответственно два или три колебания, имитирующие сигнал и помехи с определенным соотношением частот и параметров модуляции.

# 3. Помехоустойчивость

**Помехоустойчивость** - это способность РПрУ обеспечивать нормальное функционирование в условиях воздействия определенной совокупности помех.

Существует 3 вида количественной оценки помехоустойчивости: **вероятностный**, применяемый при приеме дискретных сигналов; **энергетический** – при приеме аналоговых сигналов и **артикуляционный**, используемый для оценки помехоустойчивости речевых сообщений путем разборчивости передаваемых тестовых тестов.

Показатели, такие как чувствительность, избирательность и помехоустойчивость, определяют характеристику электромагнитной совместимости (ЭМС), отражающую способность (возможность) РПрУ работать как в комплексе с радиоэлектронными устройствами данной радиосистемы (внутрисистемная ЭМС), так и с другими радиосистемами (межсистемная ЭМС).

Содержащиеся в РПрУ генераторные, цифровые и иные устройства создают узкополосные и широкополосные электромагнитные излучения, которые могут быть помехами для других радиоэлектронных средств. Например, когда РПрУ размещены на самолетах, судах, космических аппаратах или при работе от общих антенн.

Передаваемые сообщения могут искажаться в приемном тракте из-за недостаточной ЭМС приемника или из-за неидеальности его характеристик.

**Способность приемника** в отсутствие помех воспроизводить на выходе закон модуляции входных сигналов с заданной точностью называется **верностью воспроизведения сообщений**.

# Верность воспроизведения сообщений

Количественно верность воспроизведения оценивается **искажениями выходного сигнала** – изменениями его формы по отношению к модулирующему сигналу (его функции).

Различают статические и динамические характеристики.

**Статические** характеристики: характеристики линейных искажений, нелинейных искажений и искажений, связанных с ограничением динамического диапазона.

## 3. ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ В ПРИЕМНИКЕ. ПАРАМЕТРЫ МНОГОСИГНАЛЬНОЙ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ

Искажения			
Линейные		Нелинейные	
В додетекторном тракте	В последетекторном тракте	В додетекторном тракте	В последетекторном тракте
		Обусловленные высоким уровнем сигнала: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Насыщение и искажения огибающей</li><li>▪ Амплитудно-фазовая конверсия</li></ul>	Обусловленные высоким уровнем внеполосных помех: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Блокирование</li><li>▪ Перекрестная модуляция</li><li>▪ Интермодуляция</li></ul>

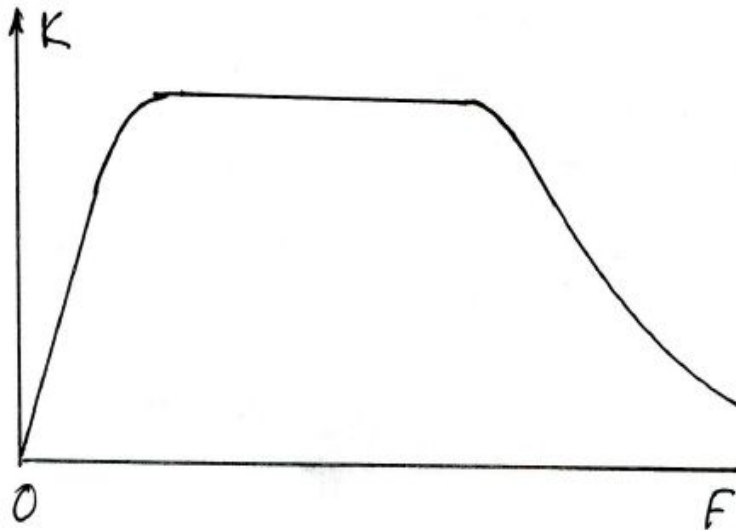
# Верность воспроизведения сообщений

## 3.1. Линейные искажения в приемнике

Линейные искажения изменяют соотношение между спектральными составляющими сигнала. При этом новых спектральных составляющих в спектр сигнала не вносится

Для отсутствия линейных искажений необходимо, чтобы в полосе сигнала АЧХ устройства была равномерной, а ФЧХ линейной

### 3.1.1. Линейные искажения в усилительных каскадах последетекторного тракта



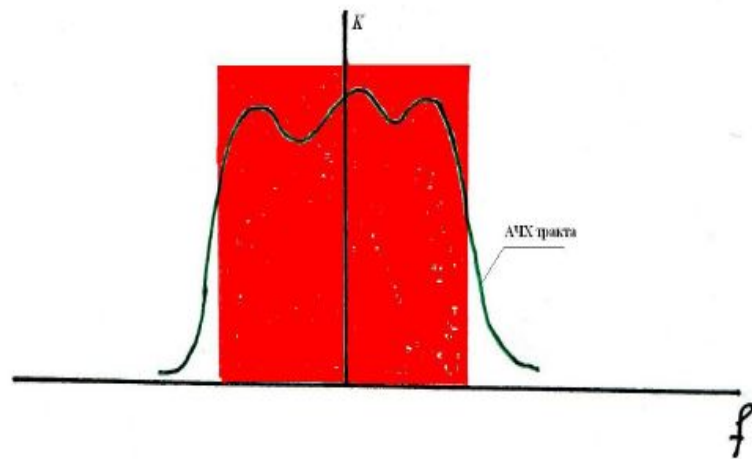
Завал нижних частот обусловлен влиянием разделительных емкостей

Завал в области верхних частот обусловлен влиянием паразитных емкостей (монтажа, входных и выходных емкостей активных приборов)

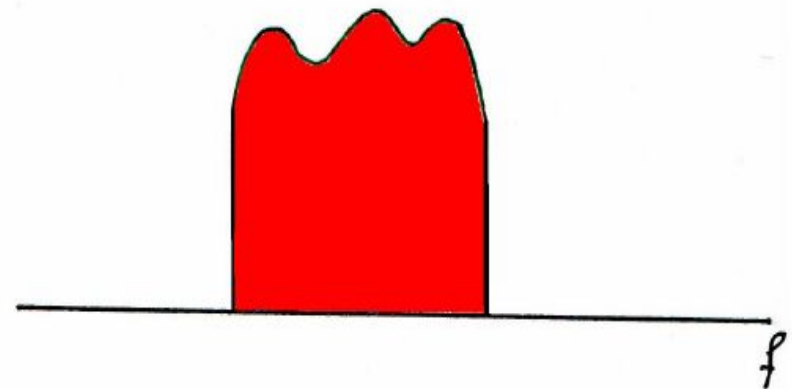
# Верность воспроизведения сообщений

## 3.1.1. Линейные искажения в усилительных каскадах додетекторного тракта

Обусловлены неравномерностью АЧХ и нелинейностью ФЧХ тракта (ФСИ) в полосе пропускания, ограниченностью полосы пропускания, нестабильностью частоты настройки (частоты гетеродина)



Спектр на входе тракта



Спектр на выходе тракта

Линейные искажения радиосигнала могут приводить к нелинейным искажениям продетектированного сигнала

# Верность воспроизведения сообщений

4

## 3.2. Нелинейные искажения в усилительных каскадах додетекторного тракта

### 3.2.1. Анализируемая модель

Нелинейные искажения сопровождаются появлением новых спектральных составляющих, которых не было в исходном сигнале.

Нелинейные искажения обусловлены нелинейностью транзисторов, диодов. При больших уровнях сигналов может проявиться нелинейность катушек индуктивности с ферритовыми сердечниками.

В активных приборах может быть несколько источников нелинейных искажений:

- Нелинейная зависимость выходного тока от входного напряжения
- Нелинейная зависимость выходных проводимости и емкости от выходного напряжения
- Нелинейная зависимость входных проводимости и емкости от входного напряжения
- Нелинейная зависимость проходной емкости от выходного напряжения

Ограничения анализа:

- Полагаем, что единственным источником нелинейности является нелинейная зависимость выходного тока  $i_2$  от входного напряжения  $u_1$



- Зависимость  $i_2(u_1)$  является монотонной функцией
- Анализируемый усилительный каскад не содержит обратных связей
- Представляют интерес относительно малые нелинейные искажения
- Представляют интерес только те спектральные составляющие, которые попадают в полосу пропускания приемника (ФСЧ)



# Верность воспроизведения сообщений

Разлагаем выходной ток  $i_2$  в ряд Тейлора по степеням напряжения  $u_{\text{ВЧ}}$  относительно точки заданной напряжением смещения  $U_0$ :

$$u_1 = U_0 + u_{\text{ВЧ}}$$

$$i_2 = f(U_0) + f'(U_0) \cdot u_{\text{ВЧ}} + \frac{1}{2!} f''(U_0) \cdot u_{\text{ВЧ}}^2 + \frac{1}{3!} f'''(U_0) \cdot u_{\text{ВЧ}}^3 + \dots$$

$$f(U_0) = I_0 \quad - \text{ постоянная составляющая тока}$$

$$f'(U_0) = \frac{di_2}{du_1} = y_{21} \quad - \text{ крутизна вольтамперной характеристики активного прибора в точке, заданной } U_0$$

$$f''(U_0) = \frac{d^2 i_2}{du_1^2} = \frac{dy_{21}}{du_1} = y'_{21} \quad - \text{ первая производная крутизны в точке, заданной } U_0$$

$$f'''(U_0) = \frac{d^3 i_2}{du_1^3} = \frac{d^2 y_{21}}{du_1^2} = y''_{21} \quad - \text{ вторая производная крутизны в точке, заданной } U_0$$

$$i_2 = I_0 + y_{21} \cdot u_{\text{ВЧ}} + \frac{1}{2} \cdot y'_{21} \cdot u_{\text{ВЧ}}^2 + \frac{1}{6} \cdot y''_{21} \cdot u_{\text{ВЧ}}^3 + \dots$$

При анализе ограничиваемся первыми членами ряда

# Верность воспроизведения сообщений

## 3.2.2. Эффект насыщения. Искажения огибающей при насыщении

Эффект связан с большим уровнем сигнала. Наиболее ярко проявляется в последних каскадах УПЧ.

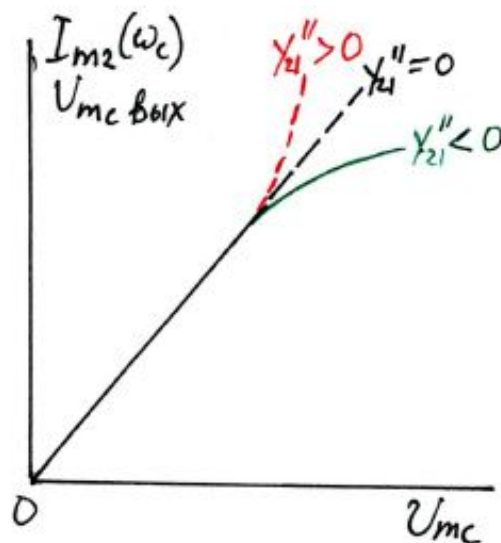
$$u_{вч} = U_{mC} \cdot \cos(\omega_C t)$$

$$\begin{aligned} i_2 &= I_0 + y_{21} \cdot U_{mC} \cdot \cos(\omega_C t) + \frac{1}{2} \cdot y'_{21} \cdot U_{mC}^2 \cdot \cos^2(\omega_C t) + \frac{1}{6} \cdot y''_{21} \cdot U_{mC}^3 \cdot \cos^3(\omega_C t) + \dots = \\ &= I_0 + y_{21} \cdot U_{mC} \cdot \cos(\omega_C t) + \frac{1}{2} \cdot y'_{21} \cdot U_{mC}^2 \cdot \frac{1 + \cos(2\omega_C t)}{2} + \frac{1}{6} \cdot y''_{21} \cdot U_{mC}^3 \cdot \left[ \frac{3}{4} \cos(\omega_C t) + \frac{1}{4} \cos(3\omega_C t) \right] + \dots \end{aligned}$$

Из всего спектра выходного тока представляют интерес только составляющие с частотой  $\omega_C$

$$I_{m2}(\omega_C) = y_{21} \cdot U_{mC} + \frac{1}{8} \cdot y''_{21} \cdot U_{mC}^3 + \dots$$

$$I_{m2}(\omega_C) = y_{21} \cdot U_{mC} \left( 1 + \frac{1}{8} \cdot \frac{y''_{21}}{y_{21}} \cdot U_{mC}^2 + \dots \right)$$



# Верность воспроизведения сообщений

7



Количественную оценку эффекта насыщения проводят посредством напряжения насыщения ( $U_{мс\ нас}$ ) – напряжения входного сигнала, при котором коэффициент передачи уменьшается на 1 дБ относительно малосигнального значения

$$0.891 = 1 - \frac{1}{8} \cdot \left| \frac{y''_{21}}{y_{21}} \right| \cdot U_{мс\ нас}^2$$

$$U_{мс\ нас} = 0.934 \sqrt{\frac{1}{\left| \frac{y''_{21}}{y_{21}} \right|}}$$

Широко используют параметр мощность насыщения  $P_1$ , которую обычно оценивают по выходу.

$P_1$  – мощность сигнала на выходе каскада, при которой усиление уменьшается на 1 дБ.  $P_1$  принято измерять в дБм