

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

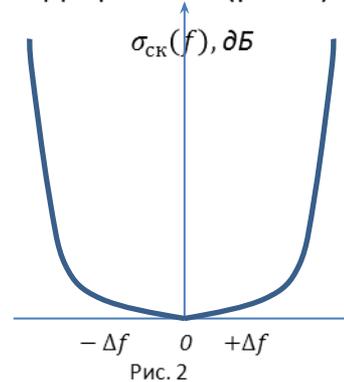
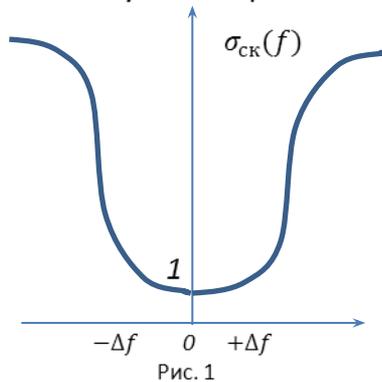
(селективность)

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**

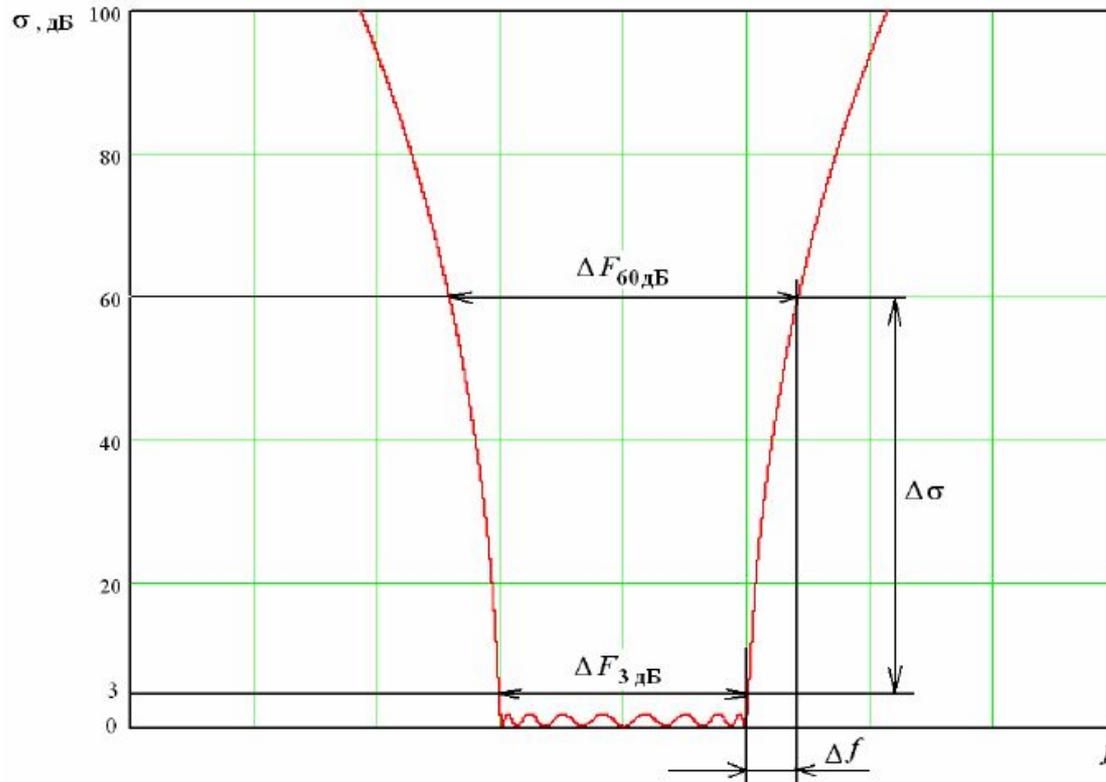
$$k_{\text{п}\gamma} = \frac{\Pi_{\gamma}}{\Pi_{0,7}}, \text{ где } \Pi_{0,7} - \text{полоса пропускания УТ на уровне } \frac{1}{\sqrt{2}} \cong 0,707 \text{ (3дБ)}$$

и Π_{γ} – полоса на заданном уровне γ , 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) и



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

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

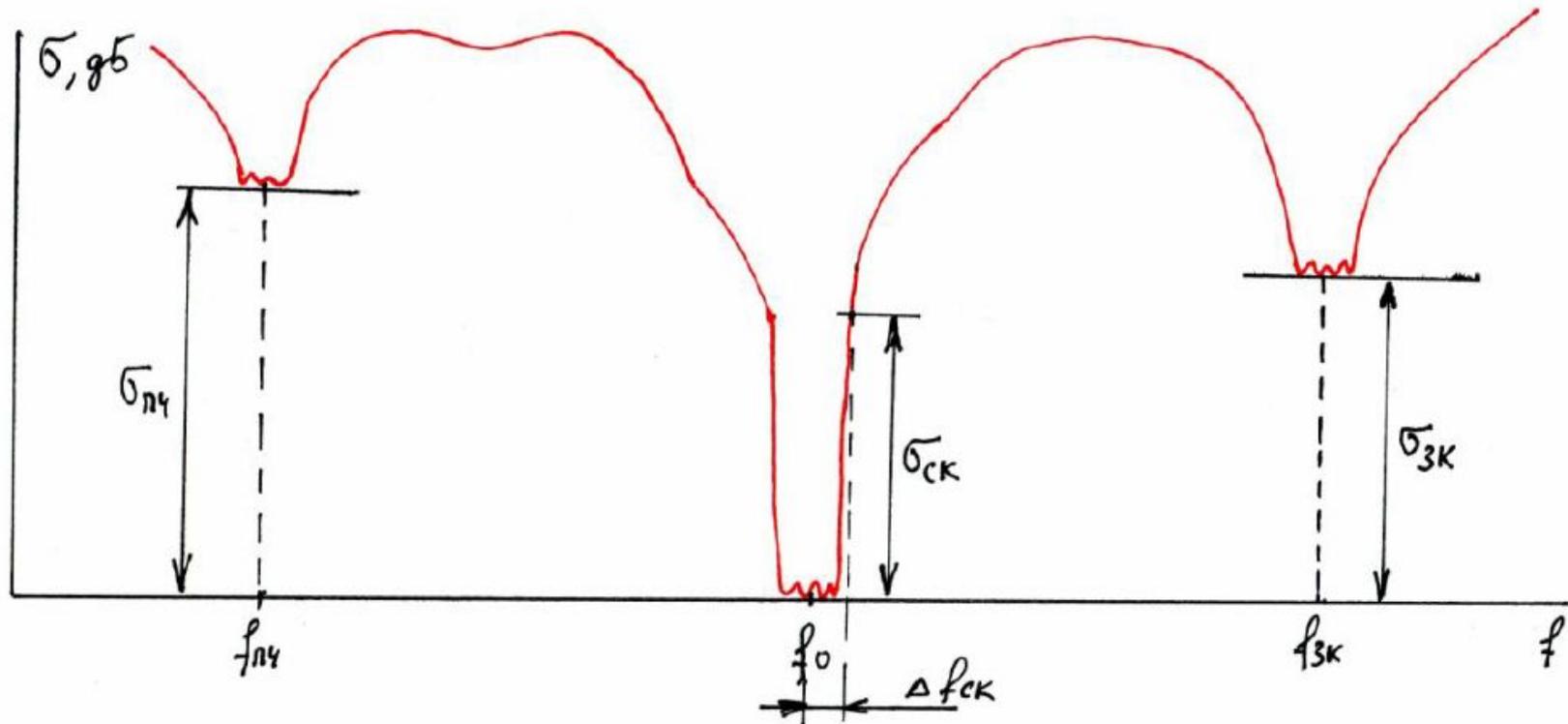
Избирательность (селективность)

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

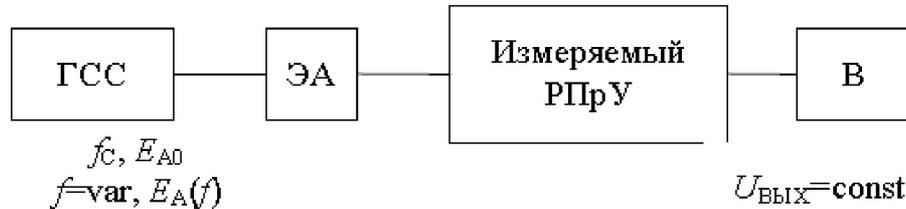


Избирательность (селективность)

- **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

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

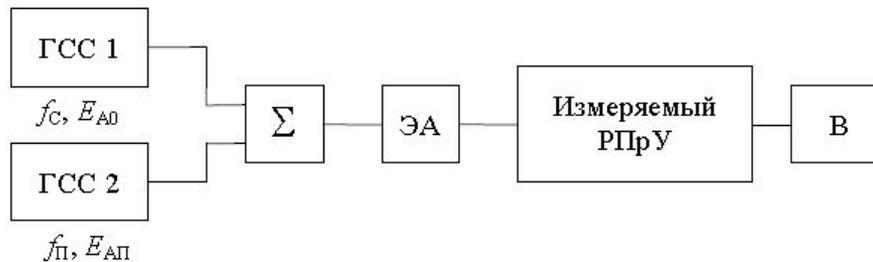
Рассчитать избирательность приемника по другим дополнительным каналам приема.

Избирательность

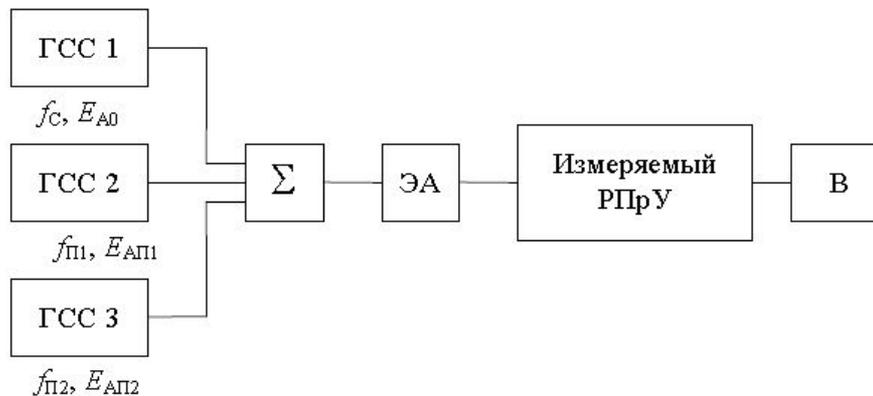
(селективность)

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">▪ Насыщение и искажения огибающей▪ Амплитудно-фазовая конверсия	Обусловленные высоким уровнем внеполосных помех: <ul style="list-style-type: none">▪ Блокирование▪ Перекрестная модуляция▪ Интермодуляция

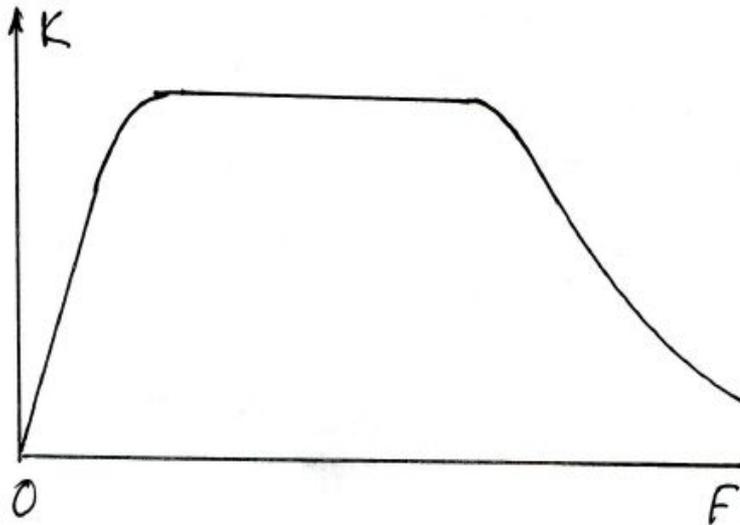
Верность воспроизведения сообщений

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



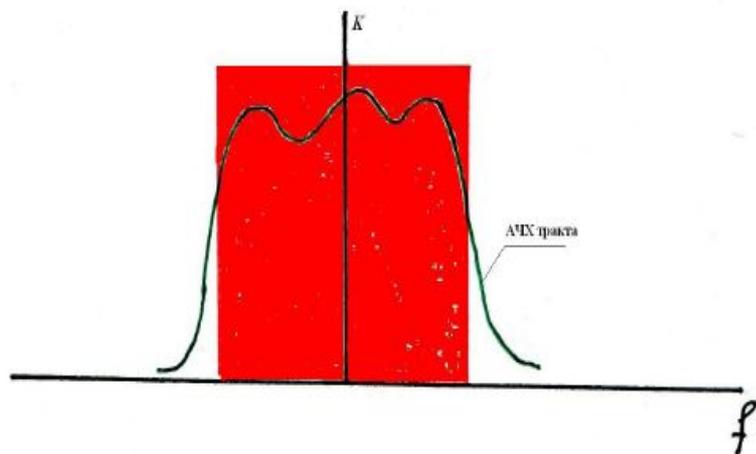
Завал нижних частот обусловлен влиянием разделительных емкостей

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

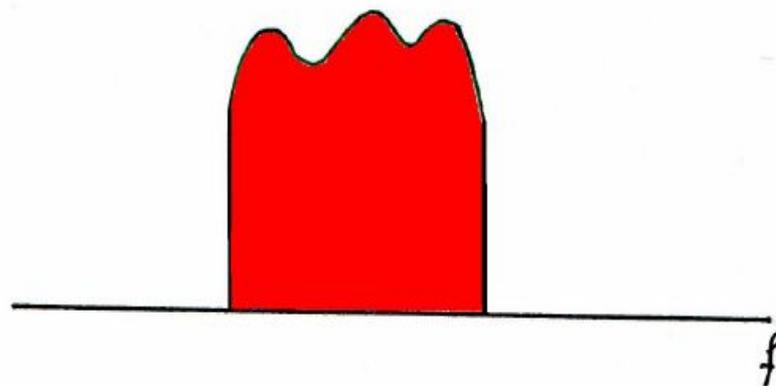
Верность воспроизведения сообщений

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 $u_{ВЧ}$ относительно точки заданной напряжением смещения U_0 :

$$u_1 = U_0 + u_{ВЧ}$$

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

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

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

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

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

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

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.

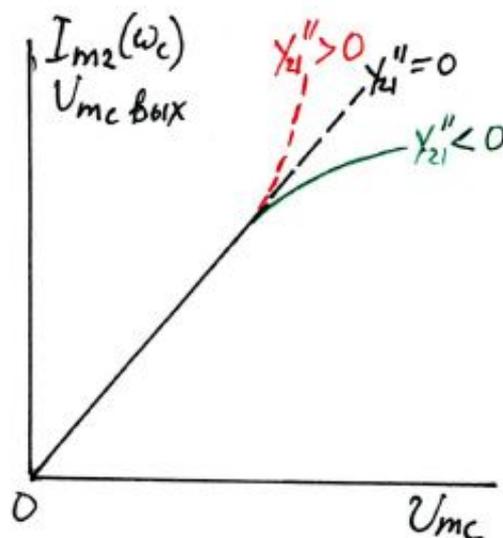
$$u_{вч} = U_{mC} \cdot \cos(\omega_C t)$$

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

Из всего спектра выходного тока представляют интерес только составляющие с частотой ω_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 ($U_{\text{мс нас}}$) – напряжения входного сигнала, при котором коэффициент передачи уменьшается на 1 дБ относительно малосигнального значения

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

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

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