

# **РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА**

**Особенности приёма АМ и ЧМ сигналов**

**Методическая разработка**

САРАНСК  
ИЗДАТЕЛЬСТВО МОРДОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

## 8. Особенности приёма АМ и ЧМ сигналов.

### Особенности приёма сигналов с амплитудной модуляцией.

Существует несколько факторов, способных вызвать искажение принимаемого приёмником АМ сигнала.

1. Влияние среды распространение радиоволн. Наиболее характерная проблема при приёме сигналов – многолучевое распространение радиоволн, когда сигнал от одной и той же радиостанции приходит в место приёма по нескольким траекториям. При дальнем распространении радиоволн через ионосферу взаимный сдвиг сигналов по времени может достигать 0,5 – 2 мс. Это означает, что при двухлучевом распространении спектральные составляющие сигнала оказываются сдвинутыми по фазе. Такой сдвиг влияет на форму огибающей принятого сигнала, что после детектирования проявляется как искажение сигнала. Подобные искажения можно уменьшить только применением остронаправленных антенн, позволяющих выбирать в пространстве только один луч.

2. Искажение АМ сигнала в линейном тракте приёмника.

Известно, что амплитудно – модулированный одной гармоникой сигнал имеет спектр, содержащий три составляющие.

$$U_{ex} = U_m [\cos \omega_n t + \frac{1}{2} m \cos(\omega_n + \Omega)t + \frac{1}{2} m \cos(\omega_n - \Omega)t] \quad (8.1)$$

Амплитуды несущей и боковых на выходе радиотракта зависят от формы АЧХ и взаимного расположения АЧХ и спектра сигнала. Напряжение на выходе можно определить спектральным методом, согласно которому каждая составляющая спектра сигнала умножается на коэффициент усиления радиотракта на частоте этой составляющей. При точной настройке радиотракта на несущую частоту сигнала и симметричной АЧХ (рис. 8.1, а) выражение для напряжения на выходе имеет вид:

$$U_{ex} = U_m K_0 \left\{ \cos \omega_n t + \frac{1}{2} m \gamma \cos[(\omega_n + \Omega)t - \varphi] + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} m \gamma \cos[(\omega_n - \Omega)t + \varphi] \right\} \quad (8.2)$$

Сравнение (8.1) и (8.2) показывает, что сигнал на выходе радиотракта имеет меньший коэффициент модуляции, так как коэффициент  $\gamma < 1$ . Это объясняется тем, что боковые составляющие спектра сигнала усиливаются меньше, чем составляющие несущей частоты. Изменение коэффициента модуляции существенно зависит от модулирующей частоты, чем выше  $\Omega$ , тем больше снижается  $m$ . С уменьшением коэффициента модуляции падает уровень низкочастотного сигнала модуляции на выходе детектора. Если сигнал на входе приёмника модулирован суммой частот, то для каждой составляющей спектра изменение коэффициента модуляции будет различным, и поэтому будет иметь место частотные искажения.

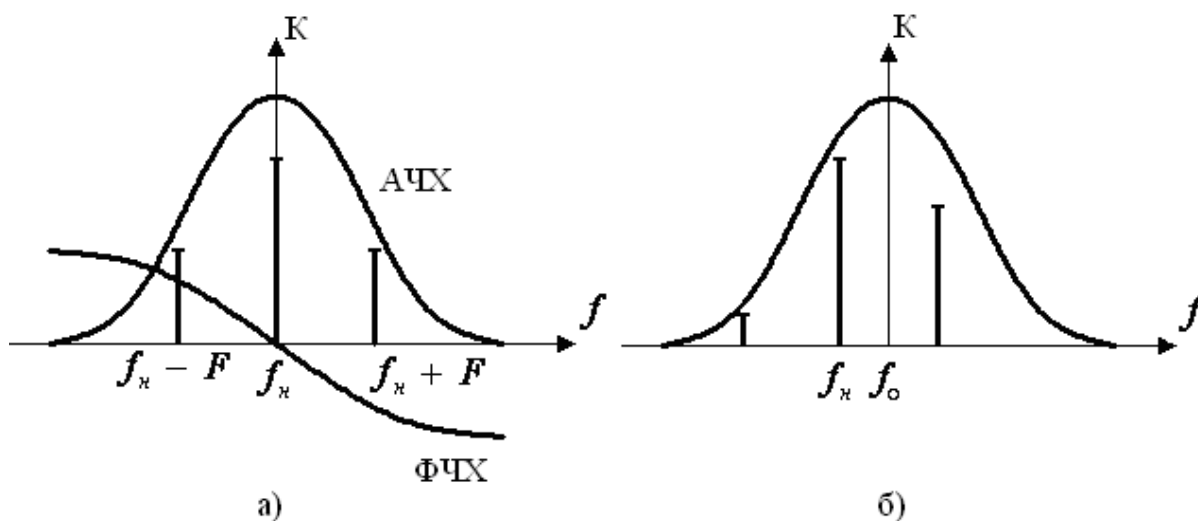


Рис. 8.1. Прохождение спектра сигнала через селективную систему.

При неточной настройке радиотракта на несущую частоту сигнала (рис. 8.1, б) спектр напряжения на выходе радиотракта становится несимметричным, так как одна боковая составляющая усиливается больше, чем другая. Возможно даже полное подавление одной боковой составляющей. В этом случае огибающая несущего колебания будет изменяться уже не по синусоидальному закону, и после детектирования появляются нелинейные искажения сигнала. Кроме того, согласно выражению (8.2) в огибающей напряжения выходного сигнала появляется фазовый сдвиг, зависящий от частоты модулирующего сигнала, поэтому после детектирования напряжение будет иметь вид:

$$U_{\text{д}} = KK_{\text{д}}U_m m \cos(\Omega t - \varphi) \quad (8.3)$$

Следовательно, от характера фазочастотной характеристики радиотракта зависят сдвиги спектральных составляющих сигнала на выходе детектора. Если ФЧХ для рассматриваемой части спектра линейна, т. е.  $\varphi = \tau\Omega$ , то

$$U_{\partial} = KK_{\partial}U_m m \cos \Omega(t - \tau), \quad (8.4)$$

т. е. имеет место только групповое запаздывание сигнала. Если же ФЧХ не линейна, то возникают фазовые искажения, особенно опасные при приёме телевизионного изображения.

### 3. Искажения сигнала из – за нелинейности элементов радиотракта.

Характеристики электронных приборов радиотракта для малых сигналов являются линейными. Однако при приёме сильных сигналов могут проявляться их нелинейные свойства. Из рис. 8.2 следует, что при синусоидальном изменении амплитуды входного сигнала изменение выходного сигнала уже несинусоидально.

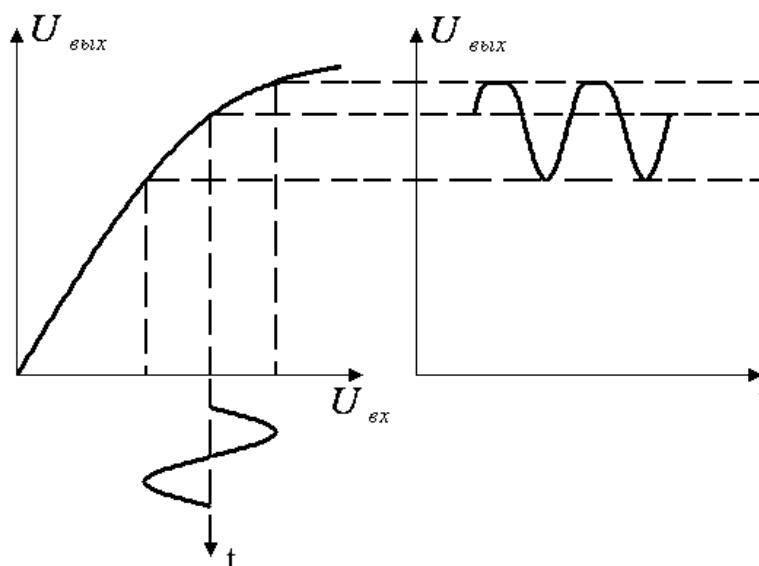


Рис. 8.2. Характер влияния нелинейности ВАХ электронного прибора на искажения сигнала.

Для уменьшения уровня таких искажений необходимо применять приборы с широким линейным участком ВАХ и не допускать чрезмерного увеличения амплитуды входного сигнала.

### Особенности приёма непрерывных ЧМ сигналов.

При частотной модуляции частота несущего колебания изменяется пропорционально величине передаваемого сигнала, а амплитуда несущего колебания остаётся неизменной. Угловая частота и фаза колебания связаны между собой соотношением:

$$\omega(t) = d\varphi(t) / dt \quad (8.5)$$

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega(t) dt + \varphi_0 \quad (8.6)$$

При частотной модуляции одним гармоническим колебанием с частотой  $\Omega$  выражение для частоты модулированного колебания имеет вид:

$$\omega(t) = \omega_n + \Delta\omega \cos \Omega t \quad (8.7)$$

Из – за изменения частоты меняется и фаза колебания:

$$\varphi(t) = \int_0^t (\omega_n + \Delta\omega \cos \Omega t) dt + \varphi_0 = \omega_n t + \varphi_0 + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \Omega t \quad (8.8)$$

При модуляции ВЧ колебания одной гармоникой и при условии  $\varphi_0 = 0$

$$U(t) = U_n \cos \varphi(t) = U_n \cos(\omega_n t + m \sin \Omega t), \quad (8.9)$$

где  $m = \frac{\Delta\omega}{\Omega}$  - индекс модуляции.

Ширина спектра УМ сигнала может быть оценена по формуле:

$$2\Delta f \approx 2F_{\max} (1 + m + \sqrt{m}), \quad (8.10)$$

Где  $F_{\max}$  – максимальная модуляционная частота.

При  $m \leq 1$  модуляция называется узкополосной,

при  $m > 1$  - широкополосной.

Узкополосная ЧМ применяется в служебной и низовой радиосвязи, широкополосная – при высококачественном радиовещании и для звукового сопровождения телевизионных передач.

В телевидении  $m \approx 5$ , в радиовещании  $m \approx 3,3$ . Однако спектр сигнала при широкополосной модуляции занимает очень широкую полосу, поэтому передача сигналов с ЧМ осуществляется в УКВ диапазоне.

Структурная схема приёмника ЧМ сигналов практически не отличается от схемы обычного супергетеродинного приёмника АМ сигналов, только вместо амплитудного применяется частотный детектор. В приёмнике ЧМ сигналов даже при отсутствии помех могут возникать искажения сигнала. Основными причинами искажений являются:

1. Искажения сигнала в радиотракте.

Предположим, что на входе радиотракта РПУ с известными АЧХ и ФЧХ действует ЧМ сигнал вида:

$$U_{ex}(t) = U_n \cos(\omega_n t + m \sin \Omega t). \quad (8.11)$$

Поскольку спектр ЧМ сигнала весьма широк, и существенно больше полосы пропускания радиотракта, то сигнал на выходе тракта будет отличаться от входного сигнала. Для каждого мгновенного значения частоты ЧМ в соответствии с АЧХ существует свой коэффициент усиления  $K(\omega)$  и фазовый сдвиг  $\varphi[\omega(t)]$  (см. рис. 8.3).

$$U_{вых}(t) = U_n K[\omega(t)] \cos \{ \omega_n t + m \sin \Omega t + \varphi[\omega(t)] \} \quad (8.12)$$

Сравнение выражений (8.11) и (8.12) позволяет выявить различия между  $U_{вх}$  и  $U_{вых}$ , определяющие искажения ЧМ сигнала. Из рис. 8.3 следует, что  $K(t)$  радиотракта изменяется с удвоенной частотой модуляции  $\Omega$ , а фаза  $\varphi(t)$  – с частотой модуляции. Таким образом, при прохождении ЧМ сигнала через радиотракт возникает паразитная амплитудная модуляция. Амплитудную модуляцию в приёмнике устраняют с помощью амплитудного ограничителя. При расстройке приёмника относительно центральной частоты коэффициент усиления  $K(\omega)$  изменяется в значительно большей степени. Кроме амплитудно – частотных искажений, из – за изменения во времени  $\varphi(t)$  в радиотракте возникает ещё и паразитная фазовая модуляция. Так как ФЧХ

радиотракта нелинейна, то фаза  $\varphi(t)$  меняется не строго по гармоническому закону. Изменение фазы вызывает приращение частоты выходного напряжения. Если частота на входе изменяется по закону:

$$\omega_{ex} = \omega_0 + \Delta\omega \cos \Omega t \quad (8.13)$$

то на выходе она будет изменяться по закону:

$$\omega_{вых} = \omega_0 + \Delta\omega \cos \Omega t + \delta\omega(t), \quad (8.14)$$

где  $\delta\omega(t) = d\varphi(t)/dt$ .

Таким образом частота на выходе радиотракта будет изменяться уже не по закону  $\cos \Omega t$ , т. е. сигнал будет искажён.

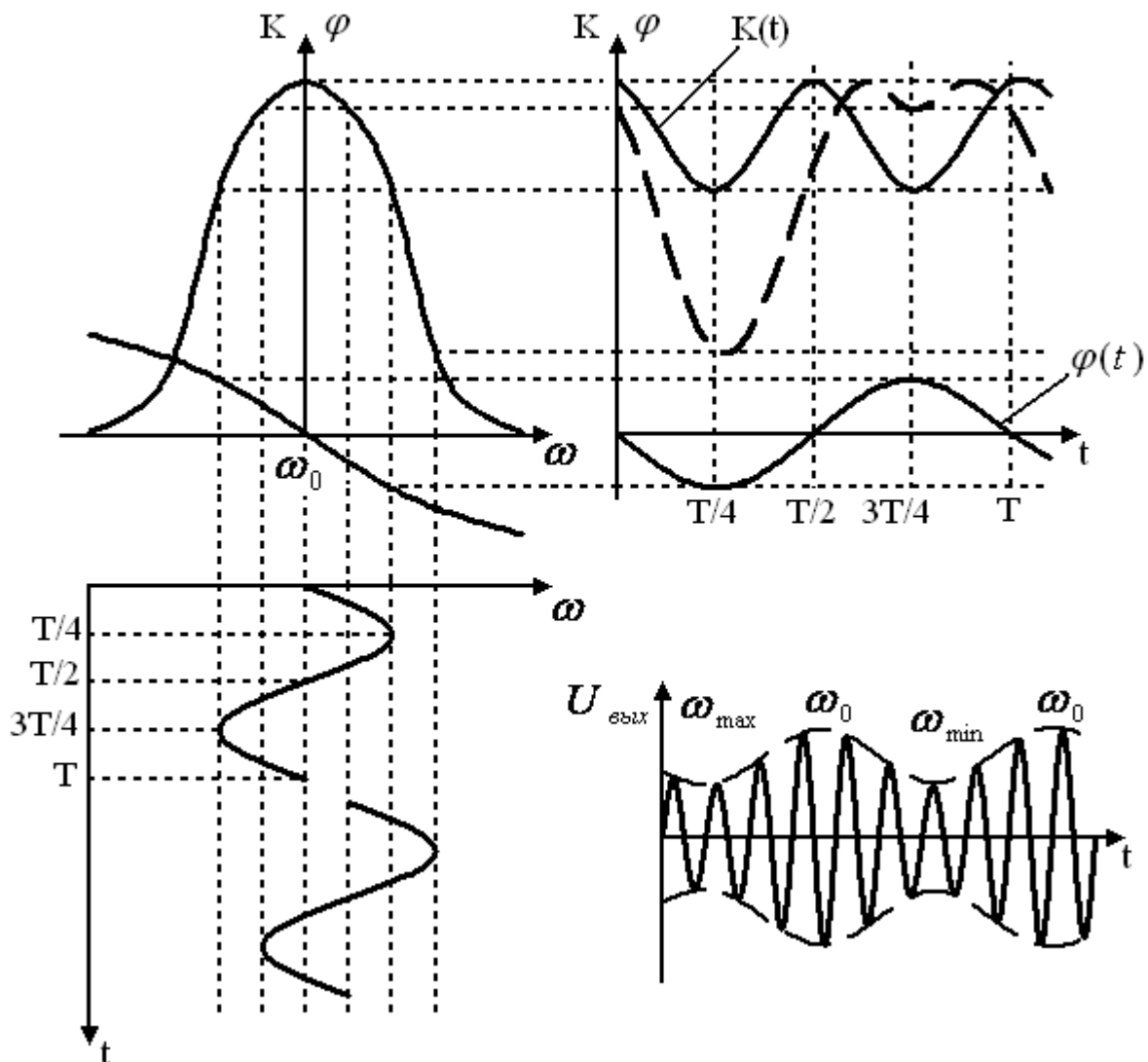


Рис. 3. Характер искажений ЧМ сигнала при прохождении через радиотракт приёмника.

## 2. Искажения ЧМ сигнала при детектировании.

Нелинейные искажения в приёмнике ЧМ сигналов могут возникать и при детектировании. Причин может быть несколько.

Во-первых, если сигнал на входе частотного детектора имеет паразитную амплитудную модуляцию, то она будет проявляться и на выходе.

Во-вторых, искажения могут быть вызваны кривизной рабочего участка характеристики частотного детектора.

В-третьих, причиной может стать несоответствие полосы изменения частоты  $2\Delta f_{max}$ , ширина рабочего участка детектора (рис. 4) или неточная настройка приёмника на среднюю частоту.

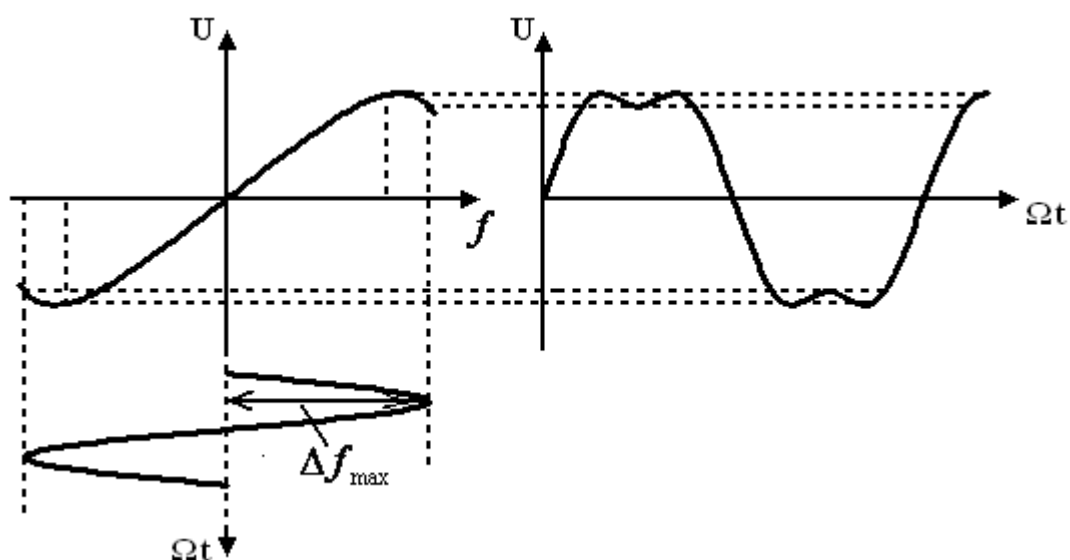


Рис. 8.4. Характер возможных искажений ЧМ сигнала при детектировании.

## 3. Действие помех при приёме ЧМ сигнала.

Предположим, что на выходе линейного тракта приёмника действует сигнал

$U_c = U_c \cos \omega_c t$  и помеха  $U_n = U_n \cos \omega_n t$ , частота помехи близка

к частоте сигнала,  $U_c > U_n$ . При сложении двух колебаний, как следует из векторной диаграммы (рис. 8.5) амплитуда результирующего колебания

меняется во времени от  $U_c + U_n$  до  $U_c - U_n$  с частотой биений

$F_b = f_c - f_n$ . Помимо изменения амплитуды помеха вызывает и



“качание” вектора результирующего напряжения относительно вектора сигнала, т. е. приводит к появлению фазовой, а следовательно, и частотной модуляции с девиацией фазы  $\Delta\varphi_n$ .

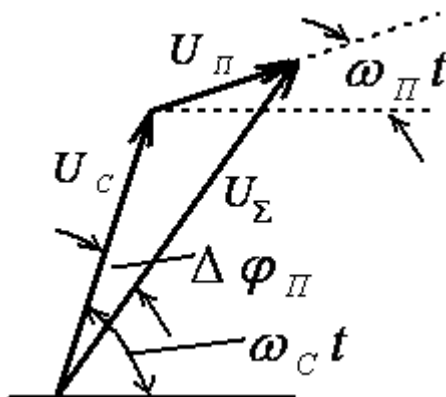


Рис. 8.5. Векторная диаграмма взаимодействия сигнала и помехи.

Эффективным средством борьбы с паразитной амплитудной модуляцией, вызываемой действием помех при приёме ЧМ сигналов является применение амплитудных ограничителей. Для ослабления действия паразитной частотной модуляции необходимо, чтобы девиация частоты за счёт паразитной частотной модуляции была во много раз меньше девиации частоты полезного сигнала, для этого нужно увеличивать девиацию частоты. Ослабить действие помехи можно увеличением мощности передатчика, т.е. выполнением условия  $U_c \gg U_n$ .