

Лекция 4

Тема лекции: Однополосные и широкополосные сигналы в системах радиосвязи

- **Учебные вопросы:**
- **1. Однополосные сигналы, область применения, преимущества и недостатки.**
- **2. Асинхронизм радиоканала. Методы формирования и обработки однополосных сигналов.**

Литература

- 1. Б.Г. Колесников и др. "Системы и средства связи" Учебник МО: 1990, с. 295-331.
- 2. А.Е. Варакин и др. «Системы связи с шумоподобными сигналами» М.: Радио и связь, 1985, с.384, ил. с.3-16

1-й вопрос: Однополосные сигналы, область применения, преимущества и недостатки

1. Математическая модель АМ сигнала в тригонометрической форме.
2. Главный недостаток АМ сигналов.
3. Виды однополосных сигналов.
4. Использование мощности передатчика в АМ-сигналах.
5. Выигрыш ОПС.
6. Математическая модель ОМ-сигнала.

Математическая модель АМ сигнала в тригонометрической форме

$$u_{AM}(t) = U_0 \cos \omega_0 t + 0,5m_{AM}U_0 \cos(\omega_0 + \Delta\Omega)t + \\ + 0,5m_{AM}U_0 \cos(\omega_0 - \Delta\Omega)t$$

Главный недостаток АМ сигналов

- Помимо низкой помехоустойчивости, **основным недостатком АМ сигналов является неэффективное использование мощности передатчика.**
- **Как избавиться от этого недостатка?**
- Передавать только одну боковую полосу, т.к. вся информация модулирующего сигнала содержится в каждой из боковых полос.
- Однако, при отсутствии несущей в передаваемом радиосигнале, на приемной стороне возможно, но технически значительно сложнее выделить (демодулировать) из радиосигнала передаваемое сообщение.
- **Как быть?**
- Передают вместе с одной БП также и несущее опорное колебание.
- Однако, из энергетических соображений, амплитуду этого колебания уменьшают. Обычно передают 10% или 50% от U_0 .
- Что делать, если необходимо организовать двухканальную работу?
- По каждой из боковых полос передают свое независимое информационное сообщение.

Вместо этого, в большинстве радиостанций КВ и УКВ

Виды однополосных сигналов

- АЗН - $A_1(B_1)$ - однополосная телефония в верхней (нижней) БП с 50% несущей;
- АЗА - $A_1(B_1)$ - однополосная телефония в верхней (нижней) БП с 10% несущей;
- АЗ - $A_1(B_1)$ - однополосная телефония в верхней (нижней) БП с подавленной несущей;
- АЗВ₂ - подавл. – двухканальная однополосная телефония в верхней и нижней боковых независимых полосах с подавленной несущей;
- АЗВ₂ - ослабл. – двухканальная однополосная телефония в верхней и нижней боковых независимых полосах с 10% несущей;
- АЗВ₁ - ослабл. – одноканальная однополосная телефония в двух боковых полосах с 10% несущей;
- АЗВ₁ - подавл. - одноканальная однополосная телефония в двух боковых полосах с подавленной несущей.

Использование мощности передатчика в АМ-сигналах

Известно, что мощность, выделяемая на единичном сопротивлении, для АМ сигнала колеблется в пределах

$$\text{от } P_{\min} = \frac{U_o^2}{2}(1 - m_{AM})^2 \quad \text{до} \quad P_{\max} = \frac{U_o^2}{2}(1 + m_{AM})^2$$

При гармоническом модулирующем сигнале $S(t)$ средняя мощность может быть определена из выражения

$$P_{cp} = \frac{U_o^2}{2T_c} \int_0^{T_c} (1 + m_{AM} \cos \Omega_M t)^2 dt = \frac{U_o^2}{2}$$

где T_c — период сигнала $S(t)$

$$P_{cp} = \frac{U_o^2}{2} + \frac{m^2 U_o^2}{8} + \frac{m^2 U_o^2}{8} - \text{полезная мощность не более } 1/3 \text{ на НБП + ВБП}$$

При $m_{AM} = m_{AM \max} = 1$

$P_{cp} = 0,375 P_{\max}$, т.е. мощность передатчика используется не эффективно.

Выигрыш ОПС

- Использование сигналов ОМ обеспечивает выигрыш по полосе частот в два раза, а по мощности в соответствии с выражением:
- $B_{OM} = \frac{m_{\text{М}}^2 + k^2}{m_{\text{АМ}}^2}$ - для каналов с постоянными параметрами.
- где B_{OM} - энергетический выигрыш, показывающий, во сколько раз нужно увеличить среднюю мощность АМ сигнала по сравнению с мощностью сигнала ОМ при одинаковой верности связи;
- $k_{\Pi} = \sqrt{\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{cp}}}}$ - пикфактор первичного сигнала.
- Для каналов с переменными параметрами (замираниями) энергетический выигрыш B_{OM} уменьшается.
- Для АМ $P_{\text{cp}} = \frac{J_o^2}{2} + m \frac{U_o^2}{8} + \frac{U_o^2}{8} m$ - это полезная мощность каждой из 2-х боковых полос
- Для ОМ $P_{\text{cp}} = \frac{U_o^2}{2}$
- Полезная мощность передатчика ОПС в 4 раза больше полезной мощности для ПРД сигналов АМ.
- Еще в 2 раза идет энергетический выигрыш ОМ за счет уменьшения полосы пропускания приемника.
- В КВ диапазоне на процесс приема информации меньше влияет селективное замирание сигналов, что соответствует выигрышу по мощности примерно в 2 раза.
- Переход от АМ к ОМ эквивалентен выигрышу по мощности примерно в 16 раз (10-12 дБ).

Математическая модель ОМ-сигнала

$$u(t) = U(t) \cos [\omega_0 t \pm \varphi(t)]$$

где $U(t)$ - огибающая сигнала,

$\varphi(t)$ - мгновенная фаза сигнала.

Из этого выражения следует, что формирование сигнала ОМ соответствует переносу спектра первичного сигнала $S(t) = U_m \cos \varphi(t)$ по оси частот на величину несущей ω_0 .

Недостатки ОПС

- - необходимость дополнительного восстановления несущей на при-ёмной стороне;
- - более сложные схемы детекти-рования.

2-й вопрос: Асинхронизм радиоканала. Методы формирования и обработки однополосных сигналов

1. Асинхронизм радиоканала.
2. Способы детектирования ОПС.
3. Сущность синхронного детектирования.
4. Мат. Модель синхронного детектирования.
5. Сущность линейного детектирования.
6. Способы формирования ОПС.
7. Фильтровый способ.
8. Фазокомпенсационный способ.
9. Фазофильтровый способ.
10. Синтетический способ.

Асинхронизм радиоканала

При потере несущей на приемной стороне, ее уходах, вызванных различными факторами, возникает т.н. асинхронизм радиоканалов, который может привести к полной потере информации, содержащейся в ОПС.

Демодуляция ОПС без несущей не может быть осуществлена на обычном амплитудном детекторе. ВАХ АД может быть представлена выражением:

$$i_g(t) = a_1 u(t) + a_2 u^2(t) + \dots$$

где a_i - коэффициенты разложения степенного ряда.

Для гармонического сигнала ОПС описывается выражением

$$U(t) = U_0 \cos(\omega_0 \pm \Omega_M)t$$

сделаем подстановку: $i_g(t) = a_1 U_0 \cos(\omega_0 \pm \Omega_M)t + a_2 U^2 \cos^2(\omega_0 \pm \Omega_M)t + \dots$

В этом выражении отсутствуют составляющие с частотой Ω_M , т.е. выделить Ω_M невозможно.

Способы детектирования ОПС

- Существует два способа получения $\underline{\Omega}_M$:
- Синхронное детектирование (перемножение).
- Использование линейного детектора, обеспечивающего сложение принятого радиосигнала с несущим колебанием.

Сущность синхронного детектирования

- Синхронным детектированием называется амплитудное детектирование ВЧ или НЧ колебаний при одновременной подаче на детектор напряжения сигнала и опорного напряжения, совпадающих по частоте и фазе.
- В синхронном детекторе напряжение сигнала и помехе до детектирования умножаются на синхронное напряжение синусоидальной или прямоугольной формы. На выходе синхронного

Мат. модель синхронного детектирования

ОПС можно записать: $u_s(t) = U_0 \cos(\omega_0 \pm \Omega_M)t$

несущая $u_n(t) = U_H \cos \omega_0 t$

В синхронном детекторе эти сигнала перемножаются:

$$u_s(t) = u_s(t) \cdot u_n(t) = \frac{U_0 U_H}{2} \cos(\omega_0 + \Omega_M - \omega_0)t + \frac{U_0 U_H}{2} \cos(\omega_0 + \Omega_M + \omega_0)t =$$

$$= \frac{U_0 U_H}{2} \cos \Omega t + \frac{U_0 U_H}{2} \cos(2\omega_0 + \Omega_M)t$$

$$\frac{U_0 U_H}{2} \cos \Omega t \text{ - это слагаемое выделяется ФНЧ.}$$

Сущность линейного детектирования

При сложении в линейном амплитудном детекторе получаем:

$$u_{\Sigma}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \Omega_M t) + U_H \cos \omega_0 t$$

На выходе ФНЧ:

$$u_{\Phi НЧ}(t) = U_{\Phi}(1 + m \cos \Omega_M t)$$

т.е. результирующее колебание на выходе ФНЧ оказывается
промодулированным по амплитуде и фазе.

Способы формирования ОПС

- **Существует следующие способы формирования ОПС:**
- **1. Способ последовательных преобразований с фильтрацией (фильтровый).**
- **2. Фазокомпенсационный (фазовый).**
- **3. Фазофильтровый.**
- **4. Синтетический.**

Фильтровый способ

- Основан на подавлении неиспользуемой боковой полосы и несущей в состоянии с последовательным повышением средней частоты спектра и переносом ее область рабочих частот.
- Для подавления несущей частоты применяют балансные модуляторы.
- - возможность получения высококачественной ОПС;
- - высокая стабильность показателей ОПС;
- - сравнительная простота налаживания передатчика и отдельных его узлов.
- *Недостатки:*
- громоздкость схемы;
- сложность ПФ;
- большое число побочных составляющих, требующих подавления

Фазокомпенсационный способ

- Основан на взаимной компенсации соответствующих составляющих спектров при нелинейных преобразованиях модулирующего и опорного колебаний и обеспечении определенных фазовых соотношений между ними.
- Достоинства:
 - - отсутствие сложных и дорогих фильтров;
 - - возможность получения ОПС без дополнительных преобразований;
 - - дешевизна конструкции.
- Недостатки:
 - - трудность подавления БП более, чем на 40-45 лБ;
 - - высокие требования к отдельным элементам схемы;
 - - меньшая стабильность подавления БП и несущей при скачках частоты

Фазофилтовый способ

- Основан на использовании принципов фильтрации и фазовой компенсации.
- **Достоинства:**
 - - возможность формирования ОПС непосредственно на рабочей частоте.
- **Недостатки:**
 - - трудность обеспечения равенства коэффициентов передачи БМ;
 - - неполная компенсация инверсного спектра (как следствие первого недостатка).

Синтетический способ

- Основан на использовании связи модулирующего и однополосного сигналов.
- Если выделить напряжение, соответствующее огибающей НЧ сигнала, а затем напряжение, пропорциональное его частоте, а затем провести амплитудно-частотную модуляцию напряжения несущей частоты, то получим колебание, соответствующее одной боковой полосе.
- Достоинства:
- возможность использования в любом диапазоне частот.
- Недостатки:
- - трудность сохранения фазовых соотношений между АМ и ЧМ составляющими в процессе