

Федеральное государственное казенное профессиональное
образовательное учреждение
«Ломоносовский морской колледж Военно-Морского Флота»
Министерства обороны Российской Федерации

Методическая разработка по дисциплине
«Радиопередающие устройства»

Тема: «Модуляция и манипуляция в радиопередатчиках»

Автор публикации:

преподаватель РТЦ Старков Андрей Игоревич

Предназначена для использования учащимися учебных заведений СПО
для подготовки к занятиям и экзаменам

Ломоносов
2024 г.

ТЕМА 1. АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ И МАНИПУЛЯЦИЯ В ПЕРЕДАТЧИКАХ.

1. ВИДЫ МОДУЛЯЦИИ.

Для передачи сообщений по радио используют радиосигналы или модулированные сигналы, полученные в результате модуляции. Без модуляции не существует понятия радио.

Модуляцией называется процесс изменения одного из параметров (амплитуды, частоты или фазы) высокочастотного колебания под действием модулирующего (первичного) сигнала.

Основные виды модуляции:

1. Амплитудная модуляция (АМ).
2. Частотная модуляция (ЧМ).
3. Фазовая модуляция (ФМ).

Другие виды модуляции:

1. Однополосная модуляция (ОМ).
2. Все виды манипуляции:
 - амплитудная манипуляция (АМ_н) или амплитудная телеграфия (АТ) ;
 - частотная манипуляция (ЧМ_н) или частотная телеграфия (ЧТ) и
 - двойная частотная телеграфия (ДЧТ);
 - фазовая манипуляция (ФМ_н).
3. Комбинированные (смешанные) виды модуляции:
 - амплитудно-импульсная модуляция (АИМ);
 - частотно-импульсная модуляция (ЧИМ);
 - фазово-импульсная модуляция (ФИМ);
 - широтно-импульсная модуляция (ШИМ);
 - другие.

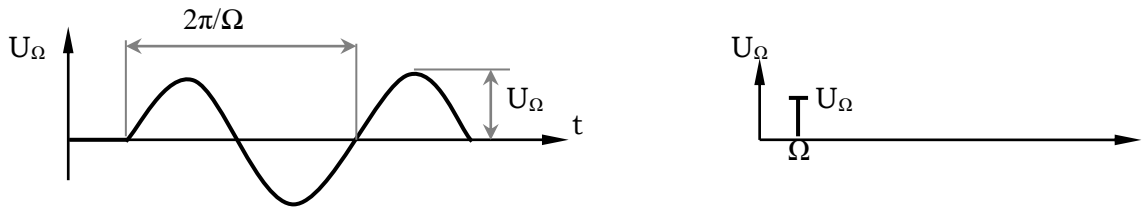
2. АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ, ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.

Амплитудной модуляцией называется процесс изменения амплитуды колебания несущей частоты под действием модулирующего сигнала.

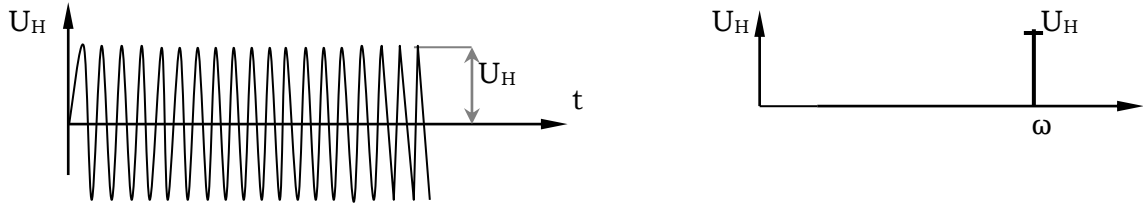
Рассмотрим простейший случай амплитудной модуляции - модуляцию колебаний несущей частоты ω с напряжением U_n однотональным модулирующим сигналом с частотой Ω . Примем $\Omega \ll \omega$

Модулирующий (тональный) сигнал, колебания несущей частоты и результат модуляции - АМ сигнал можно представить во временной (на оси времени), спектральной (на оси частот) и математической форме следующим образом:

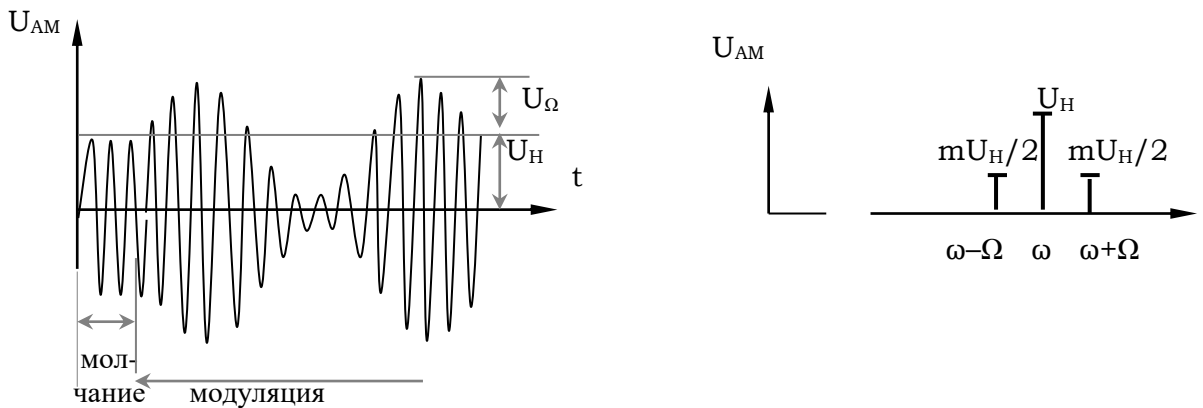
Модулирующий сигнал $U_{\Omega} = U_{\Omega} \cos \Omega t$



Несущее колебание $U_H = U_H \cos \omega t$



Амплитудно-модулированный сигнал (U_{AM})



$$U_{AM} = (U_H + U_{\Omega} \cos \Omega t) \cos \omega t = U_H \cos \omega t + (mU_H / 2) \cos (\omega - \Omega)t + (mU_H / 2) \cos (\omega + \Omega)t$$

Анализ иллюстраций и формул показывает, что спектр АМ сигнала при тональной модуляции состоит из трех колебаний: колебания несущей частоты $U_H \cos \omega t$ и двух боковых составляющих с амплитудами $mU_H/2$ и частотами $\omega - \Omega$ и $\omega + \Omega$.

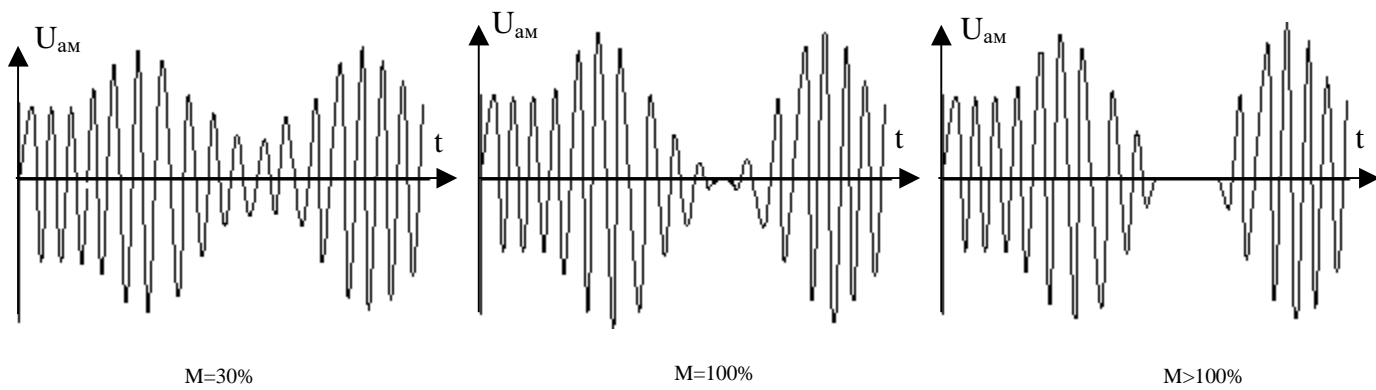
Мощность боковых составляющих, в которых содержится информация, зависит от коэффициента модуляции m или глубины модуляции.

$$m = \frac{U_{\Omega}}{U_H}; m = \frac{U_{\Omega}}{U_H} \cdot 100\%$$

Коэффициент модуляции это отношение изменения

амплитуды несущих колебаний к амплитуде в отсутствие модуляции.

Чем больше m , тем эффективнее модуляция. Целесообразно иметь m как можно больше, но не больше 1 (100%), т.к. в этом случае имеет место пере модуляция и искажение передаваемой информации.

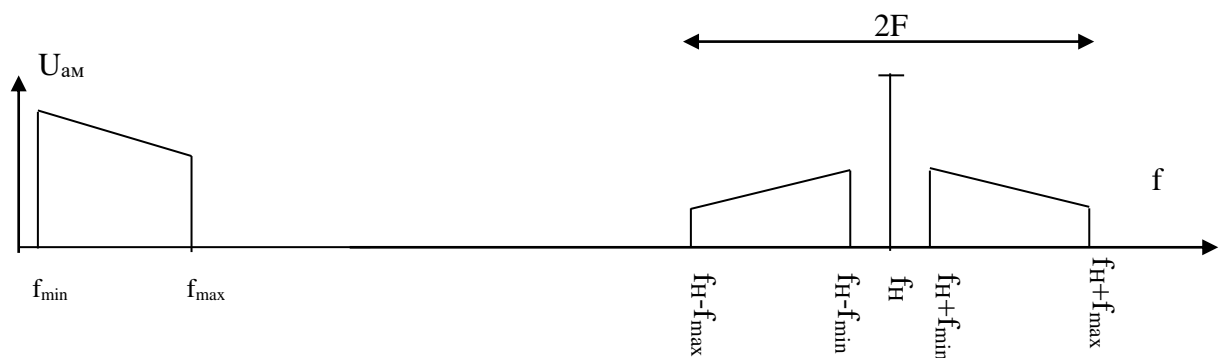


Учитывая, что $\omega=2\pi f$, а $\Omega=2\pi F$, спектр частот такого колебания можно представить следующим образом



Ширина спектра АМ сигнала при одно-тональной модуляции составляет $2F$.

Если в качестве модулирующего используется речевой (телефонный) сигнал со спектром звуковых частот $F_{min} \div F_{max}$ то в результате модуляции будет получено колебание со спектром следующего вида.



Спектр такого АМ сигнала состоит из несущего колебания и двух симметрично (зеркально) расположенных верхней и нижней боковых полос (НБП и ВБП). Полоса частот, или ширина спектра радиосигнала при АМ равна удвоенной максимальной частоте модулирующего сигнала. В коммерческой связи, где наибольшая модулирующая частота - 3,4 КГц, ширина спектра АМ сигнала составит 6,8 КГц.

Энергетический анализ АМ сигнала показывает, что при $m = 1$ (100%) мощность боковых полос (содержащих сообщение) составляет $1/4$ от мощности несущего колебания и $1/16$ от максимальной или пиковой при модуляции. При 30% -й используемой в радиовещании модуляции излучается только 2,5% мощности каждой из боковых полос, а 95% бесполезно тратится на несущую. Таким образом, АМ невыгодна энергетически.

Недостатки АМ

1. АМ невыгодна энергетически. Большая часть мощности радиосигнала (не менее $2/3$) сосредоточена не в боковых полосах, содержащих сообщение, а в несущей.
2. При АМ неэффективно используются усилительные элементы, лампы и транзисторы рассчитываются на мощность в 16 раз и более превышающую полезную мощность боковой полосы.
3. Спектр АМ сигнала в два раза шире спектра однополосномодулированного (ОМ) сигнала. Это говорит о худшей помехоустойчивости и нерациональном использовании частотного пространства при АМ.

Достоинства АМ

1. Простота, что делает возможным использование относительно простых (и дешевых) передатчиков и приёмников.
2. При передаче АМ сигналов допускается большая нестабильность частоты ПРД, чем при передаче однополосных сигналов.

Недостатки АМ делают её малоприменимой в коммерческой (военной) связи. В современной СВ, ПВ, КВ радиосвязи основным видом модуляции является однополосная. Тем не менее в передатчиках предусмотрен режим АМ для обеспечения связи с р/станциями старого парка, в которых отсутствует режим ОМ. АМ также используется для связи с быстролетающими объектами, где использовать ОМ затруднительно из-за доплеровского эффекта.

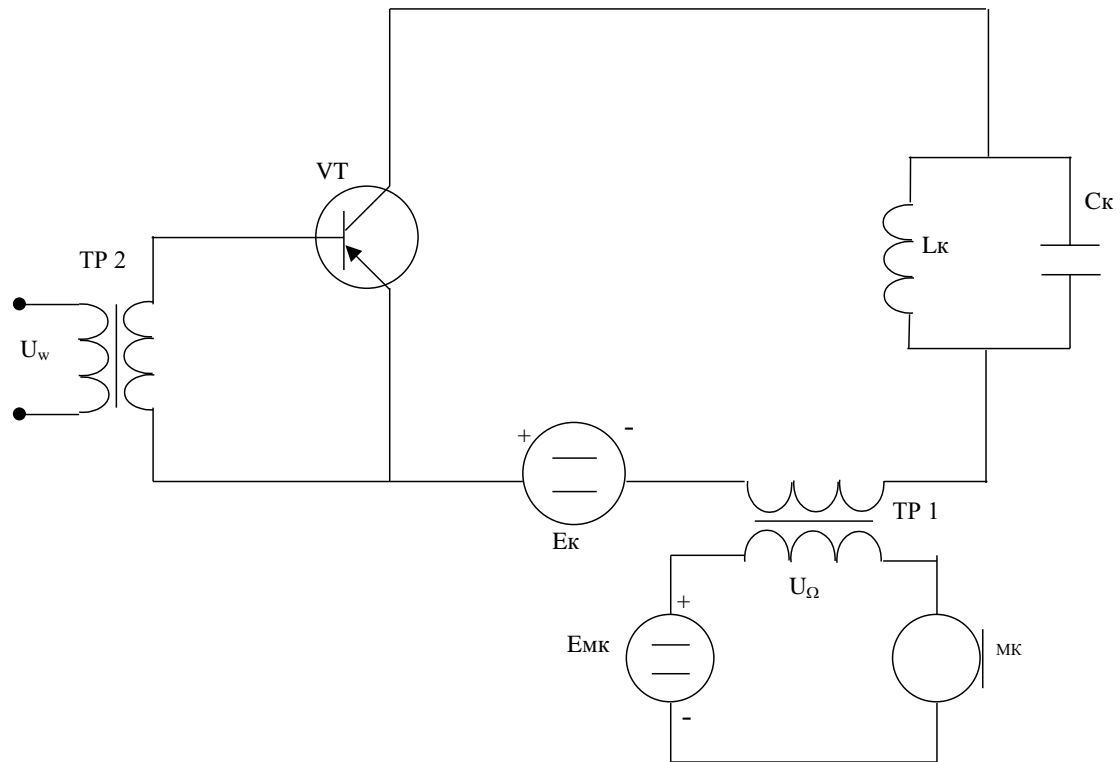
АМ – широко использовалась в радиовещании диапазонов ДВ, СВ, КВ на протяжении почти целого века.

Такое долгое использование АМ в радиовещании объясняется:

1. Наличием у населения огромного парка ДВ, СВ, КВ приёмников АМ сигналов.
2. Большой стоимостью радиоприёмников ОМ сигналов, чем приёмников АМ сигналов.
3. Энергетический проигрыш имеет место в основном в ПРД, а не в ПРМ. АМ тем более обоснована, чем на большее количество ПРМ осуществляется трансляция передатчиком. К примеру, энергозатратные передатчики ДВ, СВ, диапазонов государственных радиовещательных станций работали на миллионные аудитории слушателей. Вопрос эффективности в этих обстоятельствах не был первостепенным.

3. СХЕМА МОДУЛЯТОРА АМ СИГНАЛОВ

АМ наиболее простой вид модуляции. АМ может быть реализована в любом ВЧ каскаде передатчика. Наиболее целесообразно осуществлять АМ в одном из промежуточных каскадов ПРД. В современных судовых радиопередатчиках модуляция осуществляется в специальном (иногда конструктивно отдельном) устройстве – возбuditеле, в котором есть модулятор. Для реализации АМ используют модуляцию на выходной или входной электрод.



Изображенный модулятор представляет собой упрощенную схему модуляции на выходной электрод (или схему коллекторной модуляции).

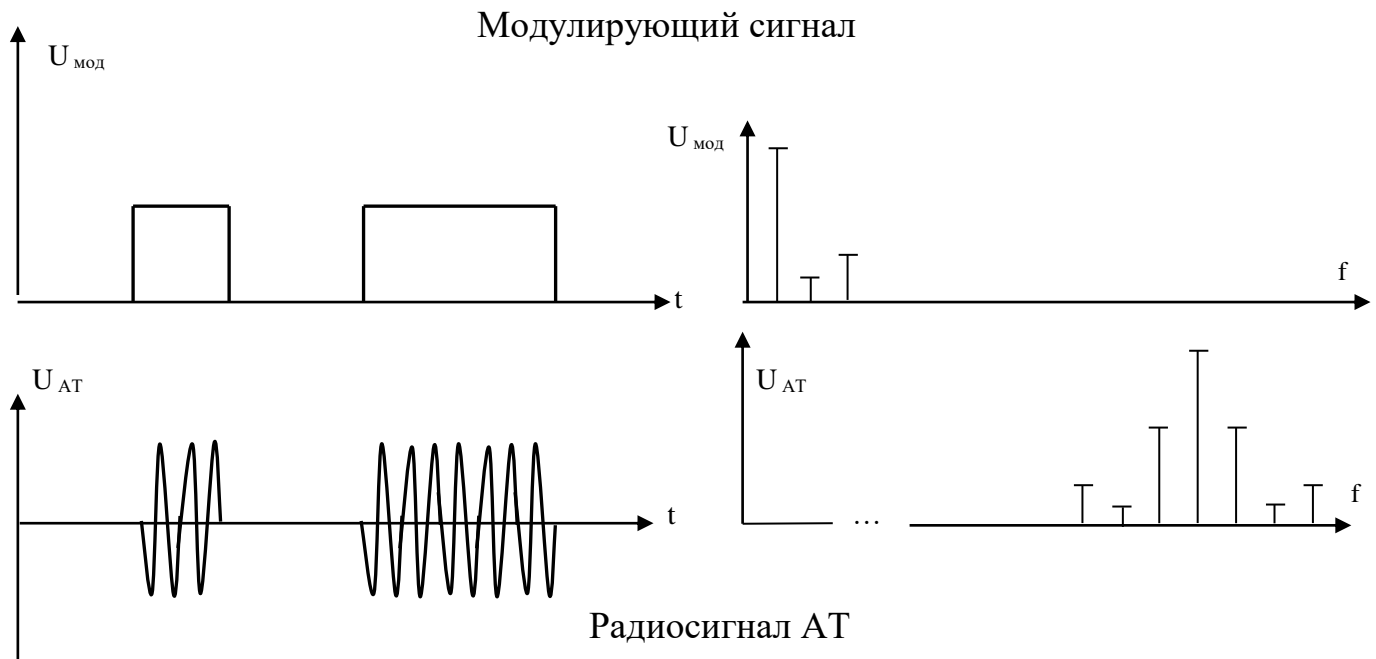
Это резонансный усилитель (РУ или ГВВ) в выходную цепь которого подается напряжение модулирующего сигнала - U_{Ω} (U_F)

Контур усилителя настроен на несущую частоту $\omega(f)$. При отсутствии U_{Ω} (U_F) модулятор работает как РУ, усиливая колебания несущей частоты $\omega(f)$. При подаче модулирующего напряжения U_{Ω} (U_F) в соответствие с законом его изменения изменяется питание выходной цепи усилителя. Это вызовет изменение усиления (т.е. изменение амплитуды) несущей в соответствие с законом U_{Ω} (U_F). При этом будет иметь место АМ.

Модуляция - процесс нелинейный, связанный с преобразованием спектра. Спектр выходного (полученного при АМ) сигнала отличается от исходных сигналов U_{Ω} (U_F) и U_{ω} (U_f) **Поэтому режим работы усилительного элемента должен быть нелинейным, т.е. с отсечкой** (режимы классов АВ, В, С).

4. АМПЛИТУДНАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ (АМ_n) ИЛИ ТЕЛЕГРАФИЯ (АТ), ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Амплитудная телеграфия - это такой частный вид амплитудной модуляции, при котором модулирующее напряжение имеет вид прямоугольных низкочастотных посылок. АТ характеризуется наличием колебаний несущей частоты на выходе ПРД в моменты "нажатия" и отсутствием колебаний в моменты "отжатия" (пауз). То есть при АТ состояние (амплитуды) модулирующего и радиосигнала изменяются дискретно (скачкообразно).



Временное и спектральное изображения модулирующего и радиосигнала при АТ.

Известно, что прямоугольные телеграфные посылки имеют спектр, состоящий из бесконечного числа гармонических составляющих. Однако 95% мощности такого сигнала содержится в первых трёх гармониках. Поэтому по каналам радиосвязи передается достаточно узкий спектр АТ сигнала, состоящий из несущей, 3-х верхних и 3-х нижних боковых гармоник.

Ширина спектра такого сигнала зависит от скорости телеграфирования и может быть вычислена по формуле $\Delta f \approx 3N$ (Гц), где N число слов передаваемых в минуту. Максимальная скорость ручной передачи не превышает 30 слов в минуту, поэтому для АТ сигнала необходимая полоса частот не превышает 100 Гц, что в десятки раз уже полосы частот занимаемой телефонными сигналами при любом виде модуляции (АМ, ОМ, ЧМ, ФМ).

1. Более узкая ширина спектра АТ сигнала способствует повышению помехоустойчивости радиосвязи.

2. Постоянство амплитуды посылки ВЧ колебаний при АТ позволяет максимально использовать усилительные элементы и обеспечить максимальный КПД ПРД. Это делает режим АТ более экономичным в сравнении с телефонным при АМ.

3. Процесс преобразования сигнала в сообщение осуществляется человеком, который при достаточном опыте способен различить сигналы телеграфного кода значительно пораженные помехами (биологический фактор). Для приемлемой разборчивости при приеме телефонных сигналов соотношение P_c/P_p должно иметь порядок 10:1. При приеме телеграфных радиосигналов кода Морзе опытным оператором это соотношение даже может быть равным 1:1.

Перечисленные факторы объясняют повышение дальности связи без увеличения энергозатрат при переходе с телефонного режима работы ПРД на режим работы АТ. Существует слуховая телеграфия посредством использования неравномерного кода Морзе, а также телеграфия посредством равномерного кода Бодо (их несколько типов). В первом случае на приеме должен находиться, принимающий сигналы на слух оператор. Во втором случае прием осуществляется автоматически. Обычно скорость передачи во втором случае значительно больше, чем при слуховом приеме (при этом используется аппаратура быстрогодействия – т.н. трансмиттеры). Спектр АТ сигнала при увеличении скорости передачи расширяется, а помехоустойчивость ухудшается. Уменьшается и дальность связи.

Достоинства слуховой АТ:

1. Узкий спектр радиосигнала (радиосигналы АТ самые узкополосные):
 - возможность разместить большое количество каналов на заданном участке частотного диапазона (в десятки раз больше чем при передаче телефонных сигналов).
 - высокая помехоустойчивость и большая, чем в телефонном режиме дальность связи.
2. Экономичная работа ПРД объясняется постоянством амплитуды ВЧ посылок (высокий КПД и малая потребляемая мощность). Вся излучаемая мощность сосредоточена в колебании одной частоты.
3. Простота реализации процесса в передатчике. АТ самый технически простой вид модуляции и манипуляции.

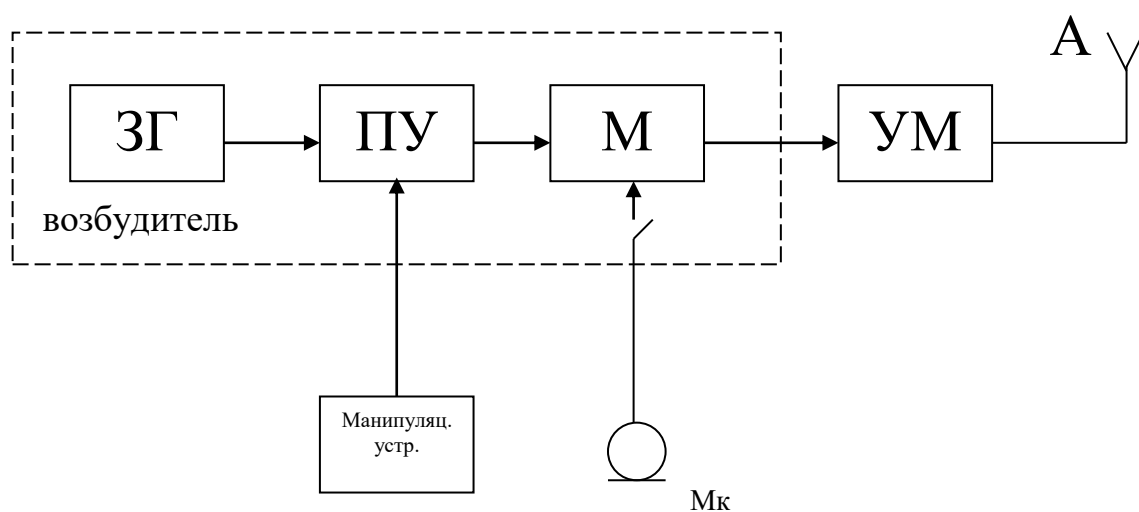
Недостатки АТ:

1. Невозможность приема с помощью радиовещательных ПРМ АМ сигналов, т.к. в них не предусмотрены специальные гетеродины.
2. Невозможность эффективного использования аппаратуры быстрогодействия. Из-за переходных процессов посылки «слипаются», а достоверность приема уменьшается.
3. Малая скорость передачи и приема информации ограничены возможностями оператора на приемной стороне.
4. Необходимость в квалифицированном телеграфисте.

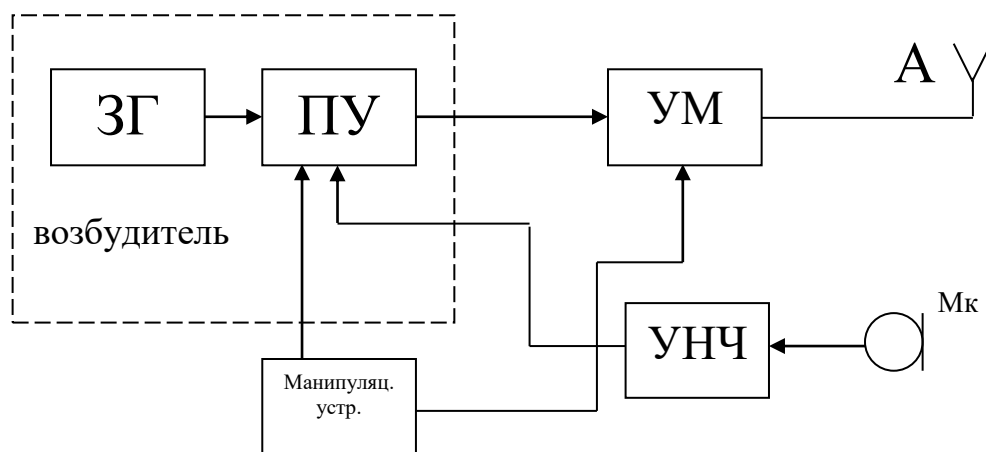
Рассмотренный пример радиосигнала амплитудной манипуляции представляет т.н. класс излучения А1А. Такие радиосигналы получили наибольшее распространение в войсковой и морской радиосвязи. Радиосигналы классов А2А и Н2А предназначены также для слуховой телеграфии, но из-за худших энергетических характеристик используются реже, чем радиосигналы класса А1А. Слуховая телеграфия самая помехоустойчивая и обеспечивает наибольшую дальность связи.

5. ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ АТ

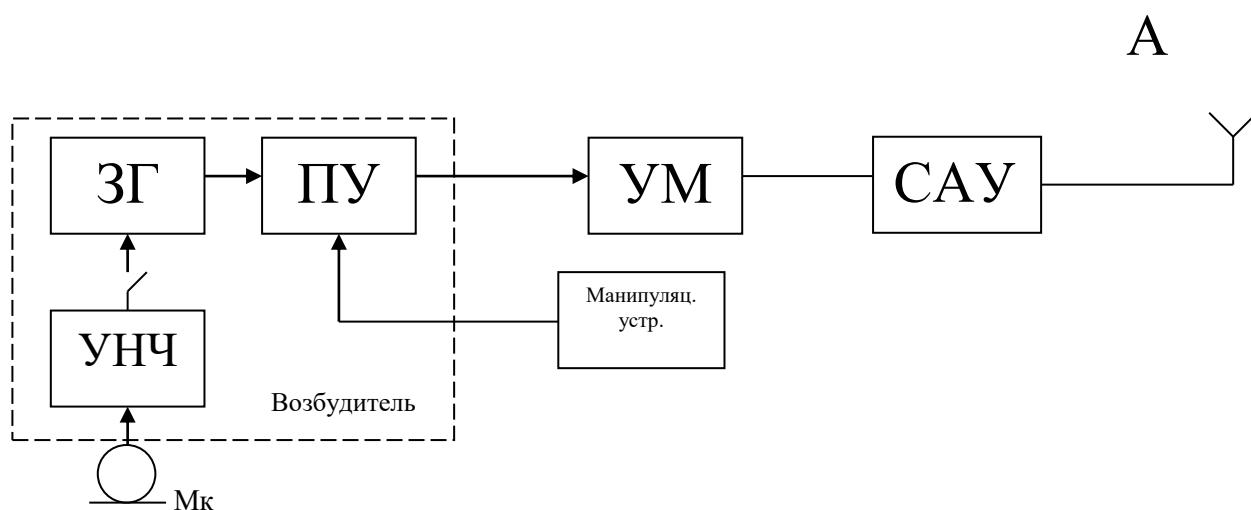
Осуществлять АТ можно в любом каскаде передатчика. Но подключение цепей манипуляции к задающему генератору понижает стабильность его частоты. Воздействовать на мощные каскады нежелательно из-за нецелесообразности прерывать большие токи. Поэтому АТ осуществляется, как правило, в промежуточном усилителе передатчика. В маломощных ПРД достаточно часто АТ осуществляется и в более мощных каскадах, в том числе и в УМ. В относительно мощных радиостанциях необходимо воздействовать (запирать и отпирать) одновременно и на маломощный каскад и на усилитель мощности. Это необходимо для обеспечения чистой паузы, т.е. для исключения излучения собственных шумов УМ в момент «отжатия».



а) АТ в маломощных ПРД АМ сигналов осуществляется в промежуточных каскадах возбуждения.



б) АТ в ПРД значительной мощности осуществляется одновременно воздействием на ПУ и на УМ (чистая пауза).



в) В ПРД ЧМ сигналов предусмотрен режим АТ. Принцип телеграфии может быть реализован по схеме а) или б).

ЗГ - задающий генератор (в современных РПДУ наиболее часто используются СЧ - синтезаторы частот)

ПУ - промежуточный усилитель

М - модулятор

УМ – усилитель мощности

УНЧ – усилитель низкой частоты

Мк – микрофон

САУ – согласующее антенное устройство

А – антенна

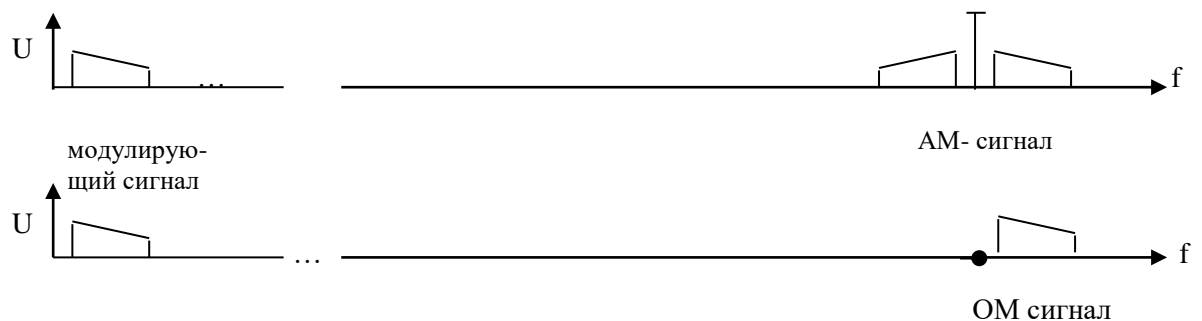
Манипуляционное устройство

ТЕМА 2. ОДНОПОЛОСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ В ПЕРЕДАТЧИКАХ.

1. ОДНОПОЛОСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ, ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

Для передачи сообщения по радио, в принципе, достаточно излучать в виде электромагнитных волн лишь одну боковую полосу частот спектра АМ сигнала. Это объясняется тем, что колебания боковой полосы содержащие информацию являются высокочастотными и способны излучаться в виде радиоволн. Вторая боковая полоса не нужна так как дублирует первую. Несущее колебание информации не содержит, однако потребляет большую часть энергии при излучении радиосигнала. Несущая, необходимая для выделения первичного сигнала при приёме, создается искусственно в ПРМ с помощью специального генератора -гетеродина.

Модуляция, в результате которой получают колебания с одной боковой полосой частот, называется однополосной модуляцией (ОМ). ОМ сигнал можно получить из обычного АМ сигнала путем частичного или полного подавления несущей частоты и одной из боковых полос.



Наиболее часто, для облегчения точного восстановления несущей в ПРМ, несущая ОМ сигнала при формировании в ПРД подавляется не полностью. Остаток неподавленной несущей называют пилот-сигналом и измеряют в процентах. В зависимости от условий радиосвязи используется различная величина пилот-сигнала: 3%;10%;70%. Величина пилот-сигнала и конкретная боковая полоса частот, по которой осуществляется передача сообщений, указывается в обозначении вида работы: ВБ-3%;НБ-10% и т.д.

В сравнении с АМ ОМ имеет д о с т о и н с т в а:

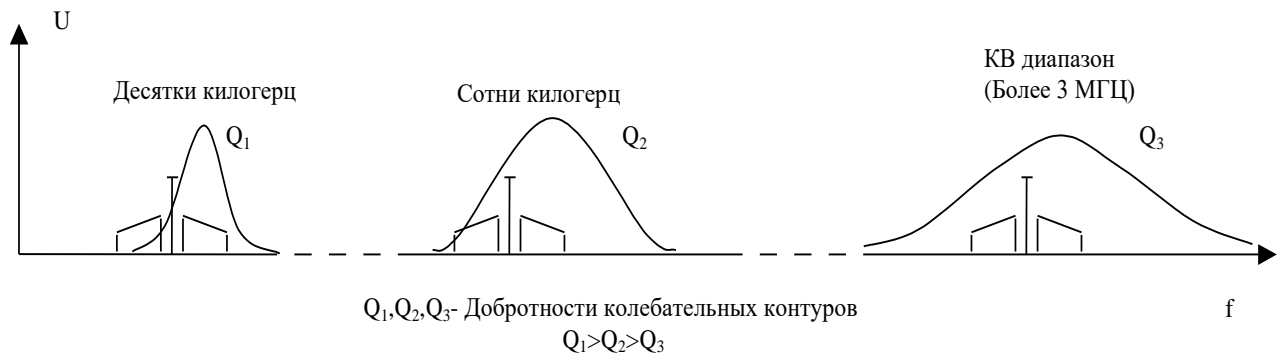
1. При передаче СМ сигналов вся мощность ПРД используется на создан только одной боковой полосы. Реальный энергетический выигрыш при ОМ 8-10 раз, теоретический до 16 раз .
2. При ОМ спектр радиосигнала в два раза уже, чем при АМ, поэтому связь посредством ОМ более помехоустойчива. Это выражается в более низком уровне внутренних шумов при приеме, а также в уменьшении эффекта быстрых замираний радиосвязи в КВ диапазоне. Сужение полосы частот в два раза позволяет разместить на одном и том же участке частотного диапазона в два раза больше радиоканалов

Н е д о с т а т к и ОМ:

1. Сложность формирования ОМ сигнала.
2. Высокие требования стабильности частот задающих генераторов, ПРД и гетеродинов ПРМ ($\delta = \Delta f / f_n$, должна быть не хуже $10^{-6} \div 10^{-7}$), т.е. необходимость в синтезаторе частот.

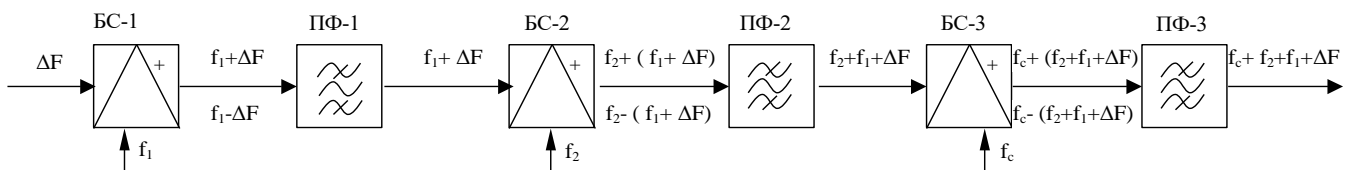
2. ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОСИГНАЛОВ ОМ.

Однополосный сигнал можно получить из обычного АМ, выделив из него с помощью фильтра необходимую полосу частот. Но такой способ формирования ОМ сигнала на практике реализовать невозможно, т.к. на высоких рабочих частотах невозможно с помощью обычных контуров чисто выделить одну боковую полосу и подавить несущую и вторую боковую полосу частот. Это связано с ухудшением фильтрующих свойств контуров при увеличении f , из-за уменьшения их добротности, а НБП и ВБП АМ сигнала слишком близко расположены друг от друга (между ними 600Гц.).



Данный рисунок иллюстрирует фильтрующие возможности колебательных контуров, в различных частотных диапазонах.

Существует несколько способов формирования ОМ сигналов. Наиболее распространенным способом является фильтровой. Суть этого способа заключается в выделении с помощью фильтра одной из боковых полос АМ сигнала сформированный на относительно низкой поднесущей частоте с последующим переносом выделенной полосы сигнала в область высоких рабочих частот.



Функциональная схема формирования ОМ сигнала фильтровым способом

ПФ- полосовой
фильтр
БС – балансный
смеситель

f_1 - первая под несущая частота.
 f_2 – вторая поднесущая частота
(поднесущие частоты наиболее
часто поступают с синтезатора)

f_c - частота синтезатора
 ΔF - полоса частот
первичного сигнала
0,3 ÷ 3,4 КГц.

В первом БС на относительно низкой поднесущей f_1 формируется АМ сигнал. Величина f_1 составляет несколько десятков кГц. Поэтому необходимую

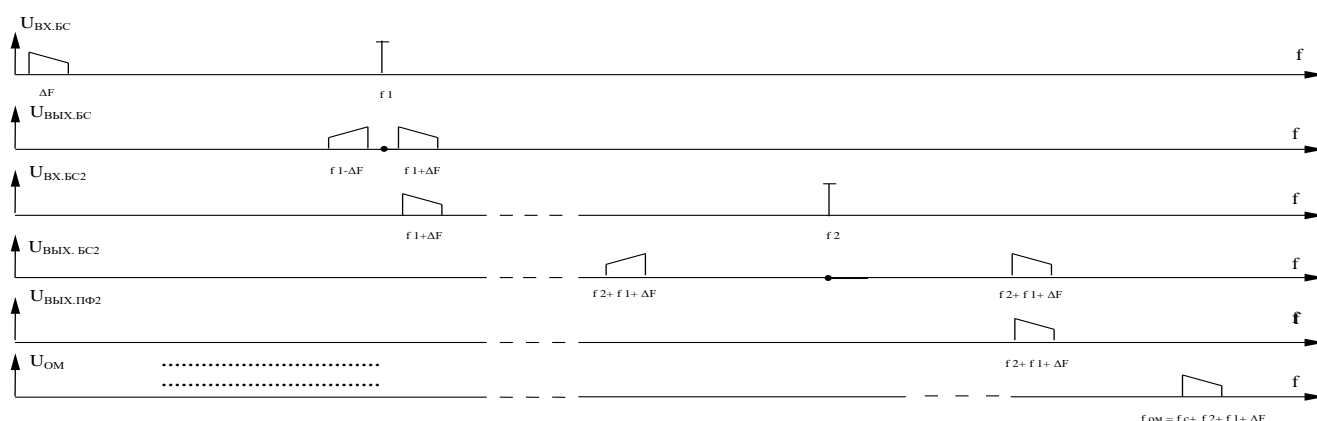
боковую полосу частот телефонного сигнала можно выделить с помощью сравнительно несложного полосового фильтра ПФ-1.

Выделенная боковая полоса частот в несколько десятков кГц является модулирующим сигналом на второй поднесущей f_2 во втором БС. Величина f_2 составляет несколько сот кГц, а частотный интервал между полезной и лишней боковыми полосами составляет несколько десятков кГц. Поэтому и после второго преобразования необходимую боковую полосу можно выделить с помощью несложного полосового фильтра.

Третье преобразование осуществляется в БС-3 на третьей поднесущей f_c поступающей с синтезатора. После амплитудной модуляции и выделения в

ПФ-3 верхней боковой полосы частота сформированного ОМ сигнала составит $f_{OM} = f_p = f_c + f_2 + f_1 + \Delta F$

Из приведённых графиков видно, что на каждом последующем этапе преобразования частотное расстояние между боковыми полосами спектра АМ сигнала увеличивается. Это делает возможным “чистое” выделение боковой полосы полосовыми фильтрами обычного качества, т.е. облегчает, эффективную фильтрацию нужной боковой полосы



Формирование ОМ сигнала с помощью фильтрового способа (путем последовательных преобразований на поднесущих частотах).

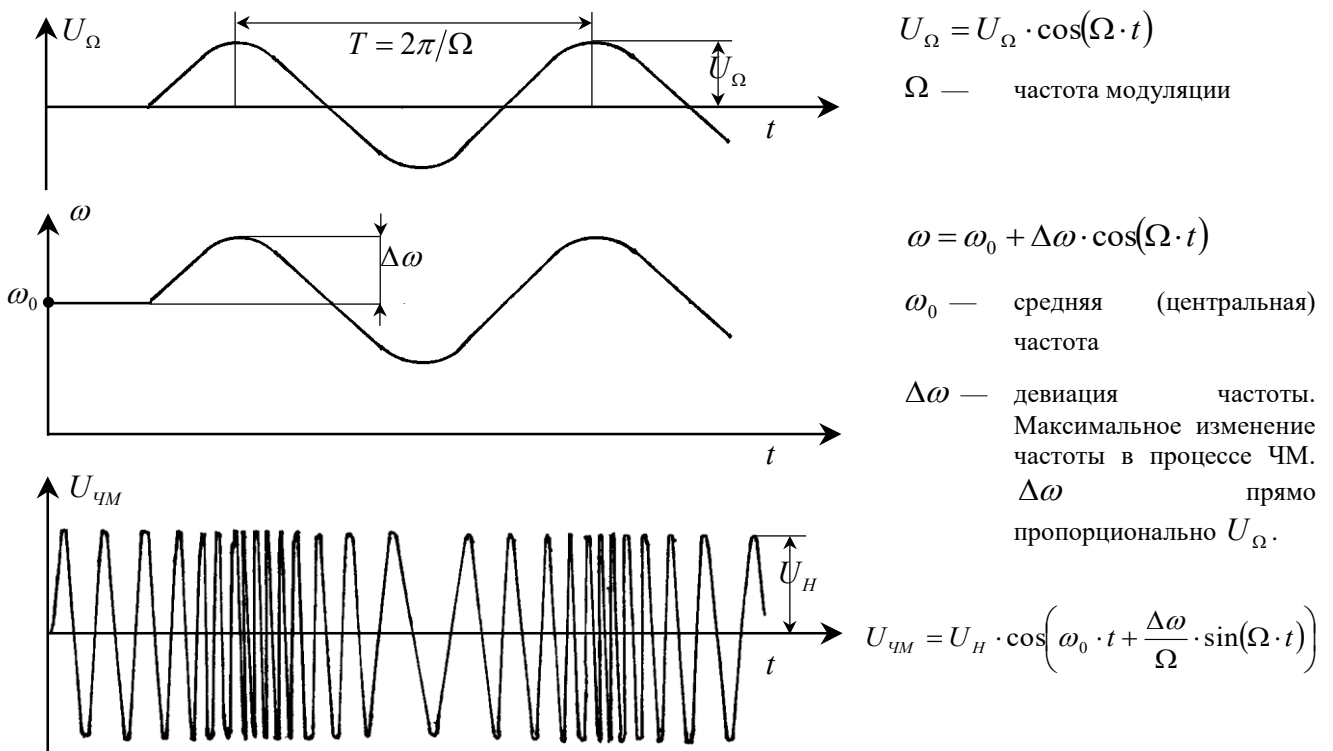
В рассматриваемой схеме ОМ в качестве модуляторов используются балансные смесители или кольцевые балансные смесители. В такого рода модуляторах формируется АМ сигнал с полностью или частично подавленной несущей. Дальнейшая фильтрация необходимой боковой полосы в АМ сигнала сформированного в таком смесителе упрощается. Поднесущие частоты f_1 и f_2 как правило постоянны, поэтому ПФ-1 и ПФ-2 работают на фиксированных частотах, что также упрощает фильтрацию и удешевляет схему. f_c в зависимости от требуемой рабочей частоты f_{OM} может изменяться. Это зависит от величины рабочей частоты. ПФ-3 при этом должен быть перестраиваемым.

ТЕМА 3. ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ В ПЕРЕДАТЧИКАХ.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ.

Частотной модуляцией (ЧМ) называется такой вид управления колебаниями радиочастоты, при котором по закону модулирующего (первичного) сигнала изменяется частота высокочастотных колебаний, а амплитуда остается постоянной.

При модуляции тональным сигналом процесс ЧМ можно представить следующим образом

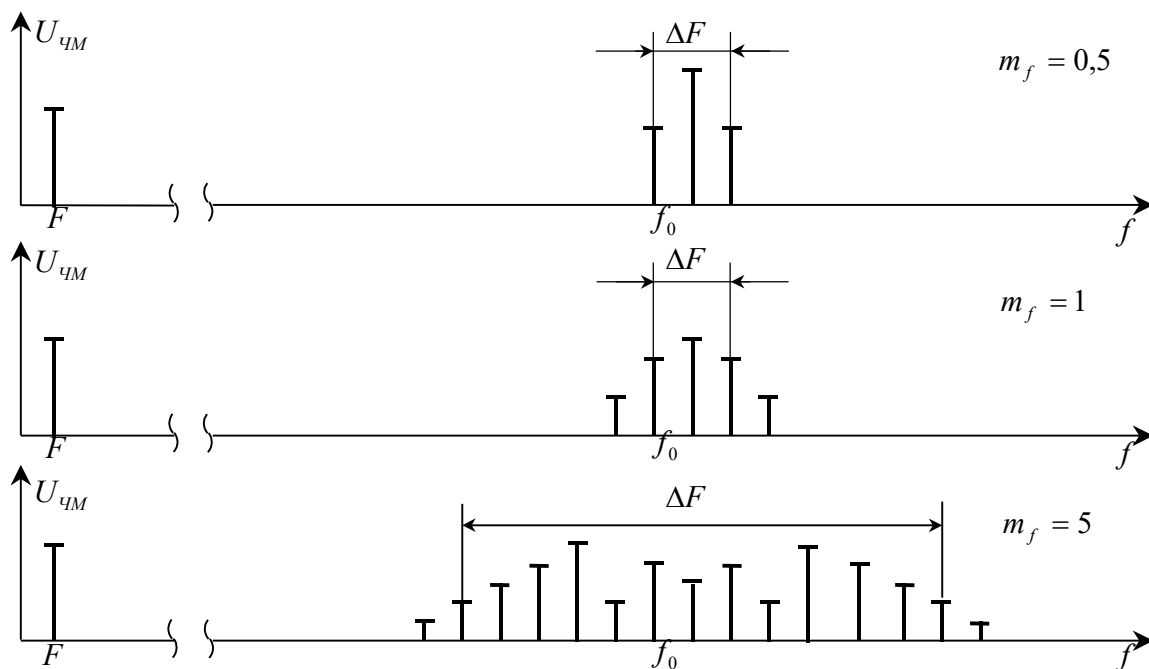


$$m_f = \frac{\Delta\omega}{\Omega} = \frac{\Delta f}{F} \text{ — индекс частотной модуляции.}$$

Это отношение девиации частоты к частоте модуляции. m_f показывает насколько эффективно изменяется ω под действие U_{Ω} . m_f зависит только от U_{Ω} .

Спектр ЧМ сигнала представляет собой бесконечно большое число пар боковых составляющих с частотами $\omega_0 \pm n \cdot \Omega$ ($f_0 \pm n \cdot F$), где $n = 1, 2, 3, \dots$ целые числа — номера гармоник.

Ширина спектра ЧМ сигнала зависит от m_f , а m_f определяется U_{Ω} . Чем больше U_{Ω} , тем больше $\Delta\omega$, тем больше m_f и тем шире полоса частот ЧМ сигнала (или его спектр).



Когда $m_f \leq 1$ ($\Omega \geq \Delta\omega$) имеет место узкополосная ЧМ.

Когда $m_f > 1$ ($\Omega < \Delta\omega$) имеет место широкополосная ЧМ.

При узкополосной ЧМ ширина спектра сигнала примерно равна $2 \cdot \Omega_{\max}$ ($2 \cdot F_{\max}$) как и в случае с АМ.

При широкополосной ЧМ ширина спектра сигнала примерно равна $2 \cdot \Delta\omega$ ($2 \cdot \Delta f$) или $2 \cdot m_f \cdot \Omega_{\max}$ ($2 \cdot m_f \cdot F_{\max}$).

Пример: Девиация частоты в высококачественном радиовещании составляет 75 кГц . Определить: 1. m_f , 2. ΔF ; если известно, что спектр модулирующего сигнала составляет $30 - 15000 \text{ Гц}$.

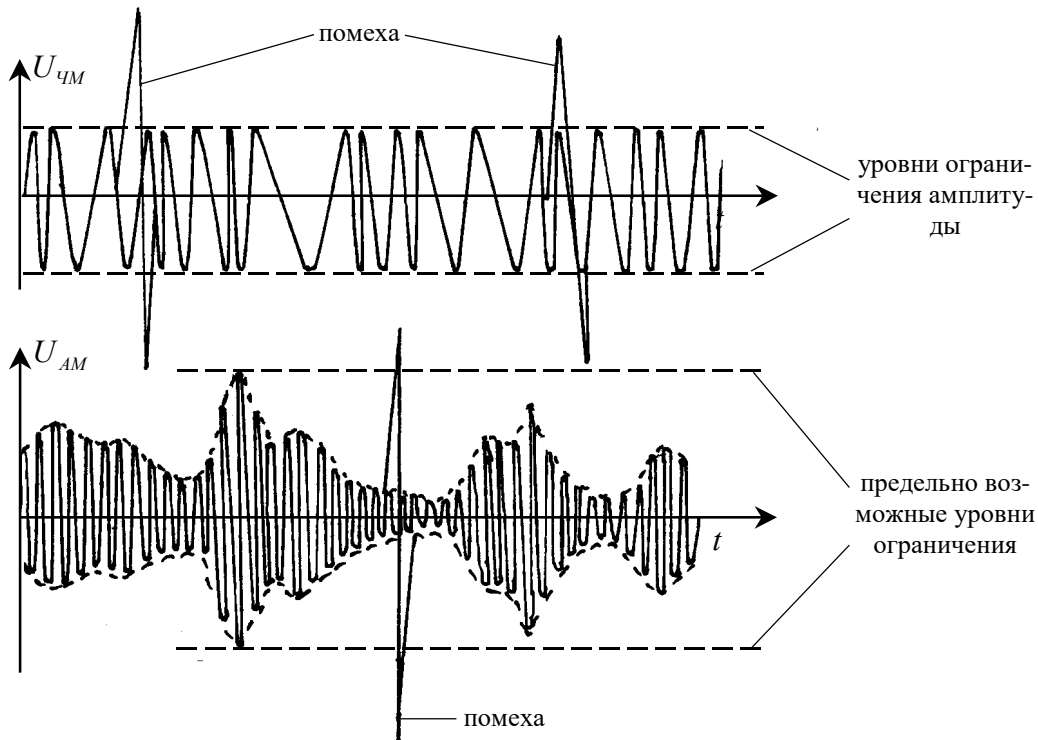
Решение:

$$1. m_f = \Delta f / F_{\max} = 75 \text{ кГц} / 15 \text{ кГц} = 5.$$

$$2. \Delta F = 2 \cdot \Delta f = 75 \text{ кГц} \cdot 2 = 150 \text{ кГц}.$$

Вследствие более высокой помехоустойчивости широкополосная ЧМ получила большее распространение, чем, узкополосная ЧМ. В радиопередатчиках, используемых в коммерческой (в том числе морской) радиосвязи ширина спектра используемых радиосигналов составляет $10 - 25 \text{ КГц}$ (при максимальной частоте первичного телефонного сигнала $3,4 \text{ КГц}$)

Высокая помехоустойчивость ЧМ объясняется тем, что информации содержится в изменении частоты (а не амплитуды), и воздействие помехи на широкополосный ЧМ сигнал ($m_f > 1$) не вызывает значительного изменения частоты. Влияние же мощной (импульсной) помехи легко устраняется с помощью ограничителя амплитуды в ПРМ, что невозможно при АМ.



Достоинства ЧМ:

1. Высокая помехоустойчивость.
2. Лучшие энергетические показатели, чем при АМ, т.к. амплитуда ЧМ сигнала постоянна, можно обеспечить высокий КПД.
3. Усилительные элементы трактов ПРД и ПРМ работают на полную номинальную мощность, что реально благодаря постоянству амплитуды ЧМ сигнала.
4. Высокое качество передачи информации (особенно в радиовещании) может быть реализовано при широкополосной ЧМ.

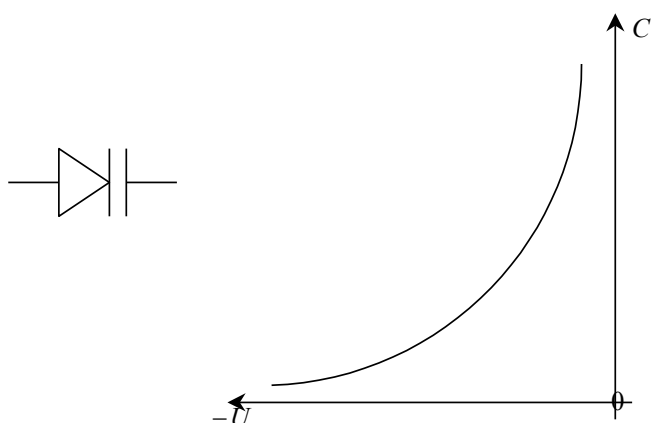
Недостаток ЧМ:

1. Относительно широкий спектр радиосигнала не позволяет реализовать принцип широкополосной ЧМ в диапазоне частот ниже УКВ.

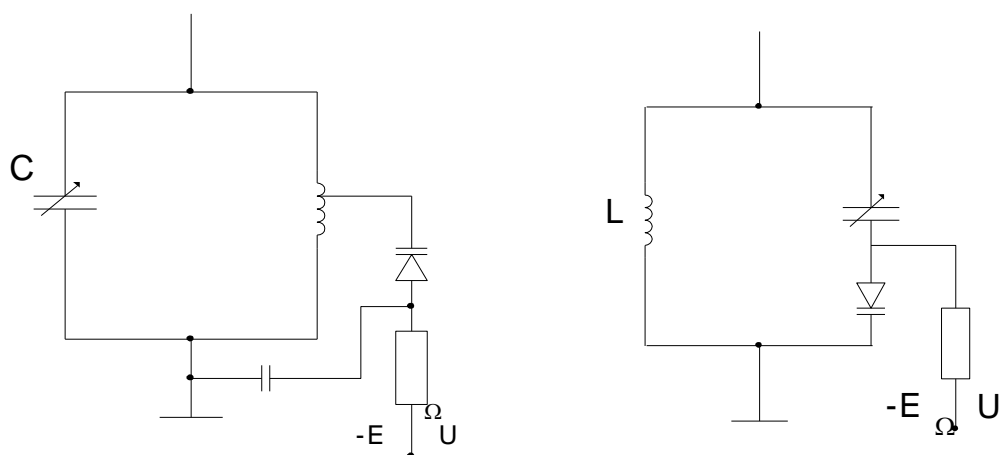
2. ФОРМИРОВАНИЕ РАДИОСИГНАЛОВ С ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ (ЧМ).

Частотная модуляция осуществляется в автогенераторах. Частота автогенератора определяется параметрами его задающего колебательного контура ($f = 1/2\pi\sqrt{LC}$), поэтому изменить частоту возможно только в контуре автогенератора, изменяя L или C . Для реализации ЧМ, в качестве элемента способного воспринимать модулирующие воздействия используют реактивные элементы (РЭ) — варикапы. Варикап это полупроводниковый прибор (диод), емкость C которого в запертом состоянии зависит от приложенного к его

электродам напряжения. Схемное изображение варикапа и его статическая вольт-фарадная характеристика выглядят следующим образом:

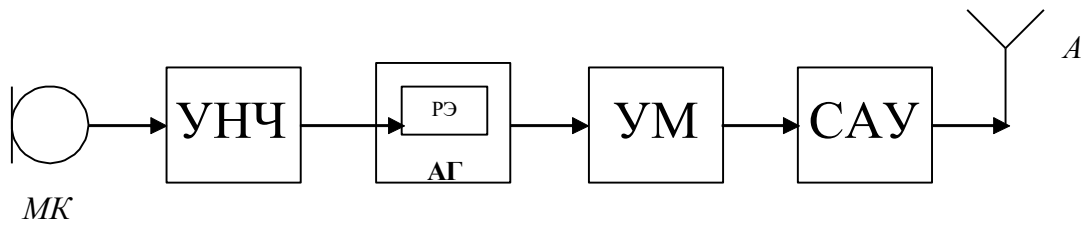


Если такой варикап, предварительно запертый приложенным к нему отрицательным напряжением, включить в колебательный контур автогенератора и подавать на него напряжение первичного электрического сигнала, то емкость варикапа будет изменяться по закону первичного электрического сигнала, следовательно, будет изменяться общая емкость колебательного контура, а значит и частота колебаний, создаваемых автогенератором. Таким образом, в таком автогенераторе вместе с созданием высокочастотных колебаний одновременно осуществляется и частотная модуляция.

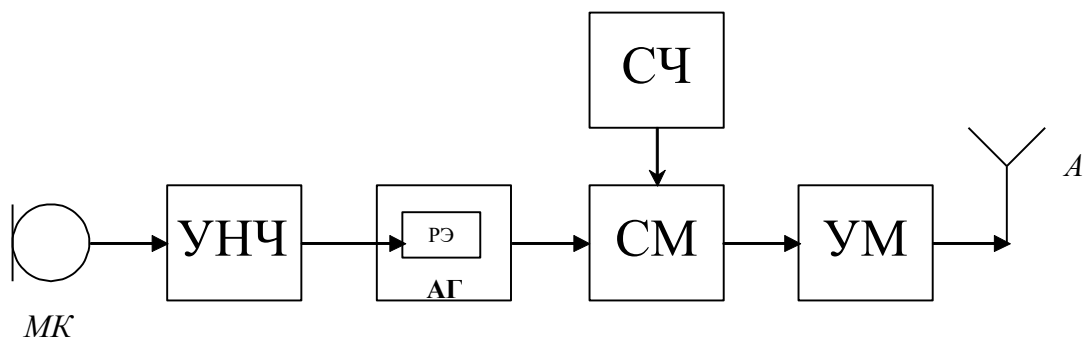


Способы включения варикапа в колебательный контур автогенератора.

В р/станциях УКВ диапазона послевоенного периода наиболее часто использовался способ построения структурной схемы передатчика, в котором формирование ЧМ сигналов на рабочей частоте.



В современных радиостанциях для обеспечения постоянства девиации частоты ЧМ сигналов во всем диапазоне частот частотную модуляцию осуществляют на относительно низких частотах (в несколько десятков сот $кГц$). В область рабочих частот ЧМ сигнал переносят посредством сложения с высокой (УКВ диапазона) частотой синтезатора.



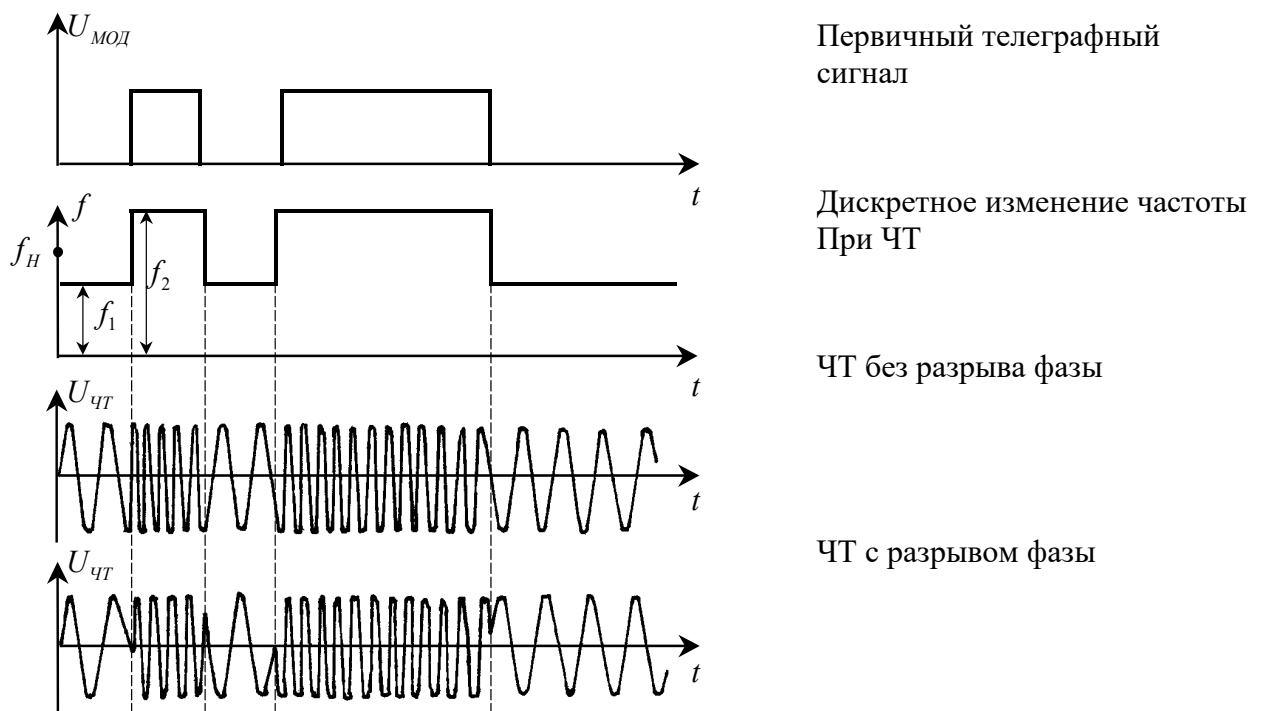
Схему реализации частотной модуляции нередко выполняют не в АГ, а в промежуточном каскаде. В этом случае модулирующим напряжением воздействуют на фазу высокочастотного колебания, которая сопровождается незначительным изменением частоты. Девиация частоты при этом мала. Её увеличения добиваются путем умножения частоты в 3-10 раз. При увеличении частоты увеличивается и её полезное изменение, то есть девиация.

3. ЧАСТОТНАЯ МАНИПУЛЯЦИЯ (ЧМ_n) ИЛИ ЧАСТОТНАЯ ТЕЛЕГРАФИЯ (ЧТ), ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

Частотная манипуляция и другая разновидность угловой модуляции фазовая манипуляция широко используются при передаче по радио информации в цифровом коде. Наибольшее распространение получила радиосвязь при передаче текстовой информации с использованием на приеме автоматической (без участия оператора) буквопечатающей оконечной аппаратуры, а также в факсимильной связи, при передаче по радио карт, фотографий, документов. Частотная манипуляция (телеграфия), как и фазовая (тоже угловой вид модуляции) особенно актуальна в морской радиосвязи.

При частотной телеграфии в соответствии с телеграфным кодом происходит дискретное изменение частоты несущих колебаний. Во время нажатия ключа ЗГ ПРД генерирует колебания с более высокой частотой f_2 , а во время отжатия с более низкой f_1 .

При ЧТ антенна излучает одну и ту же энергию. Поэтому её называют телеграфией с активной паузой.



Разность частот нажатия и отжатия $f_2 - f_1$ называется сдвигом частот. Номинальная средняя частота f_H находится посередине частотного сдвига, на неё настраивается радиостанция.

Спектр телеграфного первичного сигнала (с учётом передачи только первых 3-х гармоник) узок и при максимальной скорости ручной передачи не превышает $50 \Gamma\text{ц}$. Поэтому ширина спектра широкополосного радиосигнала с ЧТ ($\Delta F = 2 \cdot m_f \cdot F_{\max}$) не превышает нескольких сот $\Gamma\text{ц}$, а при использовании аппаратуры быстрогодействия (трансммиттеров) не превышает нескольких единиц килогерц. Это уже спектра при любом виде модуляции и лишь немного шире спектра АТ сигнала.

Для ЧТ характерно:

1. Узкий спектр даже широкополосного ЧТ сигнала (высокая помехоустойчивость, экономия частотного пространства).
2. Постоянство амплитуды ЧТ сигнала обеспечивает
 - отсутствие характерных для АТ переходных процессов, что даёт возможность использования аппаратуры быстрогодействия;
 - высокий КПД (следовательно малая потребляемая мощность) ;
 - возможность подавления амплитудных помех с помощью ограничителя в ПРМ.

Это делает процесс ЧТ энергетически более выгодной, чем. АТ. Энергетический выигрыш по мощности составляет 4-9 раз. Таким, образом, энергетически ЧТ самый выгодный вид модуляции.

Для увеличения пропускной способности канала радиосвязи, а также для более рационального использования аппаратуры телеграфирования применяют двухканальное телеграфирование (ДЧТ).

При ДЧТ передается информация одновременно по двум канала. При этом возможны 4 комбинации посылок "нажатия" (1) и "отжатия" (0), которые соответствует определенной частота манипуляции.

1 канал	0	0	1	1
2 канал	0	1	0	1
Частота манипуляции	f_1	f_1	f_1	f_1

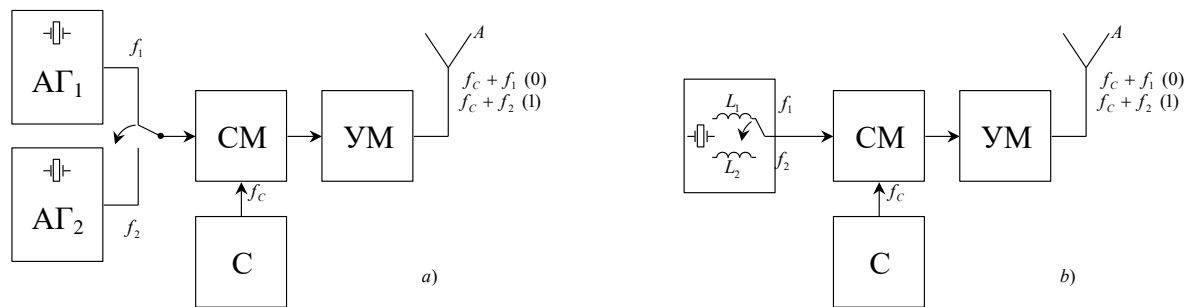
Так как спектр ЧТ и ДЧТ сигналов узкий, то, в отличие от ЧМ, ЧТ и ДЧТ может эффективно использоваться в КВ, ПВ, СВ диапазонах.

4. ФОРМИРОВАНИЕ ЧТ СИГНАЛОВ

Основным требованием для ЧТ является обеспечение высокой стабильности передаваемых частот. Поэтому для эффективной реализации метода используют кварцевые автогенераторы АГ. Если под действием телеграфных посылок обеспечить поочерёдное подключение к последующим каскадам, ПРД двух

(четырёх при ДЧТ) работающих на разных частотах кварцевых АГ будет иметь место ЧТ с разрывом фазы (рисунок а). Спектр ЧТ сигнала при этом будет шире, чем при ЧТ без разрыва фазы.

Лучшие результаты имеет ЧТ в кварцевом АГ, частотный сдвиг в котором обеспечивается воздействием на ёмкость кварцедержателя резонатора специальных манипуляционных индуктивностей или емкостей. В этом случае колебания АГ представляют собой неразрывный процесс, и разрыва фазы нет (рисунок б). Кварцевые АГ работают на своих частотах, между которыми разница в частотный сдвиг, а рабочая частота, на которой обеспечивается радиосвязь, определяется синтезатором частот (СЧ). Частоту СЧ задает оператор.



АГ – автогенераторы

СМ – смесители

С – синтезатор частот

УМ – усилитель мощности

А – антенна

Эксплуатационной особенностью передатчиков с частотной и фазовой телеграфией является необходимость учитывать, что сигналы данных видов манипуляции – это сигналы с активной паузой. Передатчик при переходе на режим ЧТ сразу начинает излучать колебания радиочастоты «отжатия». Этого не происходит при использовании режима АГ (А1А, А2А, Н2А), или в режиме ОМ при полном подавлении несущей.