**Донской государственный технический университет**

# Кафедра радиоэлектроники

**Лабораторная работа № 2**

**Анализ методов формирования и характеристик сигналов в цифровых системах радиосвязи**

**Лабораторная работа № 2**

**Тема: Анализ методов формирования и характеристик сигналов в**

**цифровых радиосистемах документальной связи**

**Учебные вопросы:**

**1. Теоретический материал к лабораторной работе.**

**2. Практическая часть лабораторной работы.**

**1. Теоретический материал к лабораторной работе**

**1.1. Анализ модуляции сигналов в цифровых сетях мобильной связи.**

Модулятор - это узел передатчика, в котором происходит преобразование низкочастотного полезного сигнала (речи или данных) в радиочастотный сигнал, который после усиления поступает на антенну. На приёмной стороне обратное преобразование радиочастотного сигнала в полезный низкочастотный сигнал осуществляется демодулятором.

**Существуют три основных вида модуляции:**

* амплитудная модуляция (АМ) (Amplitude Modulation - AM);
* частотная модуляция (ЧМ) (Frequency Modulation - FM);
* фазовая модуляция (ФМ) (Phase Modulation - PM).

Наиболее помехоустойчивыми являются два последних вида модуляции, которые обычно и применяют в современной радиосвязи. При передаче цифровых (или оцифрованного аналогового сигнала) сигналов было разработано большое количество разновидностей способов модуляции, но все они по сути являются разновидностями частотной или фазовой модуляции. Поскольку в электрическом виде цифровой сигнал - это видеоимпульсный (скачкообразный) сигнал, то при модуляции **частота или фаза высокочастотного радиосигнала будут меняться скачком**. В этом случае говорят не модуляция, а **манипуляция(английский термин - *Shift keying)*.** Такая дискретная модуляция имеет свою специфику и во многом отличается от более привычной для радиоинженеров модуляции аналоговыми сигналами. В применении к цифровой сотовой связи в качестве обязательных для используемых методов модуляции выступают требования высокой спектральной эффективности, низкого уровня помех по смежным каналам, низкая частота битовых ошибок (Bit Error Rate - BER), экономичность (эффективность использования энергии источника питания), простота реализации. Рассмотрим в качестве примеров методы модуляции применяемые в цифровых системах мобильной связи, например в стандарте GSM. В стандарте этом стандарте используется ***дифференциальная (относительная) квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом / 4 ( / 4 Differential Quadrature Phase Shift Keying - / 4* DQPSK*)*.** Это дискретная фазовая манипуляция с основным дискретом коммутации фазы на / 2 (как при обычной квадратурной фазовой манипуляции), но с дополнительным сдвигом по фазе на  */ 4* при переходе от символа к символу входной модулирующей последовательности импульсов.



Слово ***дифференциальная***в названии метода означает, что очередное изменение фазы отсчитывается не по отношению к фазе некоторого опорного сигнала, а по отношению к фазе предыдущего дискрета.

Наиболее часто в цифровых сетях мобильной связи используют методы фазовой манипуляции передаваемых сигналов связи, представленные на рисунках 1, 2 и 3.

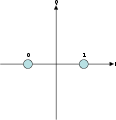


Рисунок 1. - Двоичная фазовая манипуляция (BPSK)

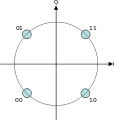


Рисунок 2. - Квадратурная фазовая манипуляция (QPSK)

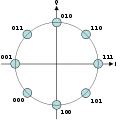


Рисунок 3. - Восьмеричная фазовая манипуляция (8-PSK)

**Двоичная фазовая манипуляция**

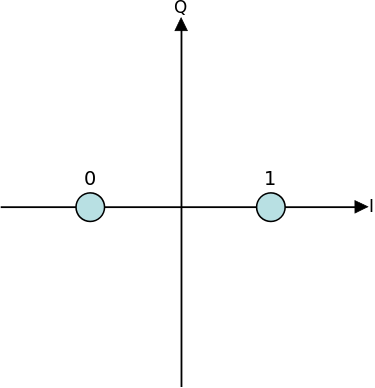


Рисунок 4. - Фазовое созвездие для двоичной ФМн

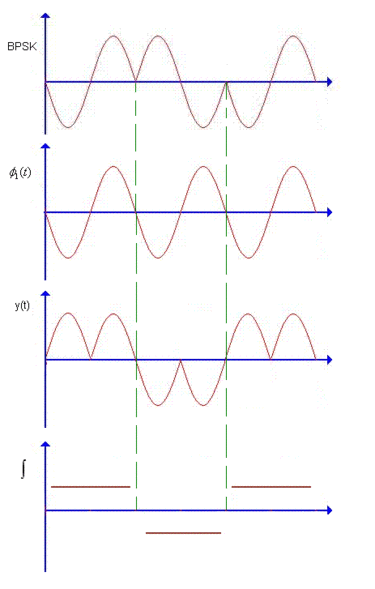


Рисунок 5. -[**Осциллограммы**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%81%D1%86%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84) сигналов при двоичной фазовой демодуляции

**Двоичная фазовая манипуляция** ([англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *BPSK — binary phase-shift keying*) — самая простая форма фазовой манипуляции. Работа схемы двоичной ФМн заключается в смещении фазы несущего колебания на одно из двух значений, нуль или (180°). Двоичную фазовую манипуляцию можно также рассматривать как частный случай [квадратурной манипуляции](http://ru.wikipedia.org/wiki/QAM) (QAM-2).



Эта модуляция является самой помехоустойчивой из всех видов ФМн, то есть при использовании бинарной ФМн вероятность ошибки при приёме данных наименьшая. Однако каждый символ несет только 1 бит информации, что обуславливает наименьшую в этом методе модуляции [**скорость передачи информации**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B8_%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8)**.**

**Вероятность ошибки на бит** ([англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *BER — Bit Error Rate*) при бинарной ФМн в канале с [**аддитивным белым гауссовским шумом**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%91%D0%93%D0%A8) (АБГШ) может быть вычислена по формуле:



где



Так как на символ приходится 1 бит, то по этой же формуле вычисляется и вероятность ошибки на символ.

В присутствии произвольного изменения фазы, введенного каналом связи, демодулятор не способен определить, какая точка созвездия соответствует 1 и 0. В результате данные дифференциально кодируются до модуляции (используется ОФМн).

**Квадратурная фазовая манипуляция**

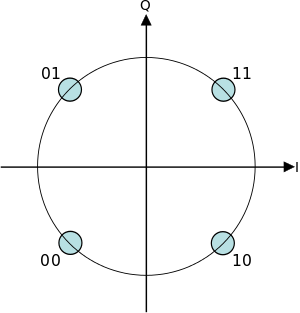


Рисунок 6. - Фазовое созвездие для квадратурной ФМн.

При **квадратурной фазовой манипуляции** ([англ.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *QPSK — Quadrature Phase Shift Keying* или 4-PSK) используется созвездие из четырёх точек, размещённых на равных расстояниях на окружности. Используя 4 фазы, в QPSK на символ приходится два бита, как показано на рисунке 6. Анализ показывает, что скорость может быть увеличена в два раза относительно BPSK при той же полосе сигнала, либо оставить скорость прежней, но уменьшить полосу вдвое.

Хотя QPSK можно считать [**квадратурной манипуляцией**](http://ru.wikipedia.org/wiki/QAM) (QAM-4), иногда её проще рассматривать в виде двух независимых модулированных несущих, сдвинутых на 90°. При таком подходе чётные (нечётные) биты используются для модуляции синфазной составляющей , а нечётные (чётные) — квадратурной составляющей несущей . Так как BPSK используется для обеих составляющих несущей, то они могут быть [**демодулированы**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F) независимо.



Как и при BPSK, существует проблема неопределённости начальной фазы в приёмнике. Поэтому данные дифференциально кодируются до модуляции (используется ОФМн).

Отличие QPSK от первых видов модуляции **(**[**АМн**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F)**,** [**ЧМн**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%86%D0%B8%D1%8F)) в том, что плотность передаваемой информации в расчёте на частотную ширину канала (на символ, на [**герц**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D1%80%D1%86_%28%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%29)) выше единицы.

Например, в АМн плотность много меньше единицы (0,1—0,001 [**бит**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D1%82)**/**[**Гц**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D1%80%D1%86_%28%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%29)) — это связано с необходимостью накопления энергии в фильтрах в первых малочувствительных приёмниках (например русский изобретатель радио [**Попов**](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B2)использовал АМн в первом в мире приёмнике). В ЧМн этот показатель приближается к единице (0,1—1) бит/символ (бит/[Гц](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D1%80%D1%86_%28%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0_%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%29)). Например в [GMSK](http://ru.wikipedia.org/wiki/GMSK), применяемому в [**GSM**](http://ru.wikipedia.org/wiki/GSM) плотность информации равняется 1.

Этот вид модуляции используется, например, в стандарте сотовой связи [**CDMA2000**](http://ru.wikipedia.org/wiki/CDMA2000)[**1X EV-DO**](http://ru.wikipedia.org/wiki/1X_EV-DO)**.**

**π/4-QPSK**

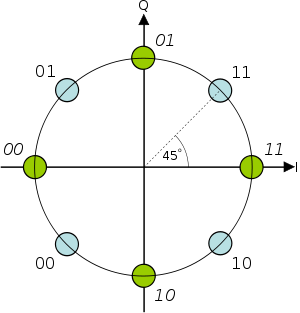


Рисунок 7. - Фазовое созвездие для квадратурной π/4 ФМн.

Здесь изображены два отдельных созвездия использующие кодирование Грея, которые повёрнуты на 45° относительно друг друга. Обычно, чётные и нечётные биты используются для определения точек соответствующего созвездия. Это приводит к уменьшению максимального скачка фазы с 180° до 135°.

С другой стороны, использование π/4-QPSK приводит к простой демодуляции и вследствие этого она используется в системах сотовой связи с временным разделением каналов.

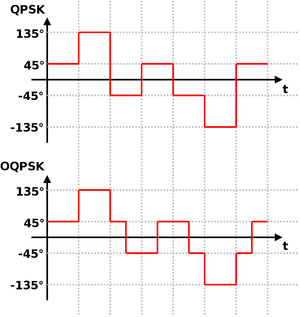


Рисунок 8. - Сравнение OQPSK и QPSK

**ФМн более высоких порядков**

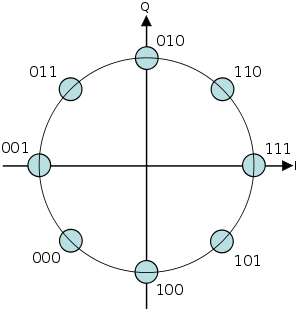


Рисунок 9. - Фазовое созвездие для восьмеричной ФМн

ФМн с порядком больше 8 используют редко.

При объяснении метода  */ 4* DQPSK часто предварительно описывают методы бинарной фазовой манипуляции с дискретом (Binary Phase Shift Keying) и квадратурной фазовой манипуляции (Quadrature Phase Shift Keying - QPSK) - фазовой манипуляции с дискретом / 2, а также метод квадратурной фазовой манипуляции со смещением (Offset Quadrature Phase Shift Keying - OQPSK). Все эти разновидности станут достаточно понятными после рассмотрения метода относительной фазовой манипуляции.



В методе *p / 4* DQPSK */ 4* DQPSK все импульсы входной информационной последовательности *bk,* поступающие на вход модулятора, разбиваются на пары - на 2-х битовые символы, т. е. в символ входит чётный и нечётный биты входной последовательности. Таких символов возможно всего четыре. Они получаются из элементарных сочетаний логического нуля и единицы по два бита 00, 01, 10, 11. Значит для передачи таких символов достаточно четыре фазовых состояний. При переходе от символа к символу начальная фаза колебаний несущей частоты скачком изменяется на величину Dj, которая определяется битами символа в соответствии с установленным алгоритмом.

Для решения задачи получения большой помехоустойчивости был разработан метод фазовой манипуляции (ФМн) или, как его ещё называют, фазовой телеграфии (ФТ), а затем – относительной фазовой телеграфии или манипуляции (ОФТ или ОФМн).

Принцип ФМн состоит в том, что по закону дискретной манипулирующей функции изменяется фаза ВЧ сигнала передатчика.

Математическая модель для однократной фазовой телеграфии может быть записана так:

«1» → u1 (t) = U0 cos (ω0 t + φ0)

«0» → u2 (t) = U0 cos (ω0 t + φ0 + π)

Этот метод называют π – манипуляцией.

**Основной недостаток систем ФМн заключается в следующем:**

если начальная фаза опорного сигнала при приёме ФМн колебания изменится на π, то полярность напряжения на выходе фазового детектора, соответствующая посылкам «0» и «1» изменится на обратную.

Это хорошо иллюстрируется структурной схемой приёмника ФМн сигналов:

ФД

П

И

УСВ

*x*(*t*)

Sоп (t) = So (t)

П – перемножитель сигналов *x*(*t*) и S0 (*t*)

И – интегратор;

УСВ - устройство сравнения и выбора.

Рисунок 10. – Схема приёмника ФМн сигналов

При смене фазы S0 (t) на π, полярность сигналов, соответствующих «0» и «1» на выходе УСВ меняется на обратную, т.е. начинается «обратная работа» – идёт потеря информации.

Использование метода ОФТ позволяет избавиться от «обратной работы» и использовать все достоинства фазовой манипуляции в реальных каналах связи.

Сущность метода ОФТ заключается в том, что отказываются от абсолютной системы отсчёта фазы и вводят относительную систему отсчёта фазы для каждой посылки.

При ОФТ выбор фазы сигнальной посылки зависит от вида информационного символа и фазы предыдущей посылки.

Если условиться, что символу «0» соответствует посылка сигнала с Δφ = 0, а символу «1» - Δφ = π, то получим следующее правило манипуляции при ОФМн:

- при передаче символа «0», фаза посылки остается такой же, как и у предыдущей посылки.

При передаче символа «1» фаза посылки изменяется на 180° по отношению к фазе предыдущей посылки.

При ОФТ одно и то же значение символа может быть передано как сигналом с фазой «0», так и сигналом с фазой «π», в зависимости от предыдущего сигнала.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Кодовые символы | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| ФМн | 0 | π | 0 | π | π | 0 | 0 | π |
| ОФМн | 0 | π | π | 0 | π | π | π | 0 |

Вспомогательная посылка - это посылка, относительно которой ведется отсчёт фазы первой информационной посылки.

Алгоритм перекодирования сигнала на передающей стороне может быть записан в виде:

*вп* = *ап* + *вп*-1,

где *вп* – формируемая в результате перекодирования посылка двоичного дискретного сигнала;

*ап -* символ (посылка) *п* - го элемента последовательности S(t);

*вп-1*  - задержанный на время τ символ (посылка) n-1-го элемента перекодированной последовательности.

Символ означает сложение по модулю 2.

Возможно, и обратное правило кодирования:

Если S(t) = 1 при Δφ = 0

и S(t) = 0 при Δφ = π

при передаче единичной *п*-й посылки *вп* сигнала S(t) фаза несущего колебания частоты ω0 остаётся неизменной по сравнению с предыдущей посылкой *вп*−1 , а при передаче нулевой *п*-й посылки фаза несущего колебания скачком изменится на π по сравнению с предыдущей посылкой (*п*-1-ой).

**1.2. Импульсная модуляция сигналов в радиосистемах документальной электросвязи.**

Увеличение объёма информации, передаваемой по каналам связи, приводит ко всё более широкому применению импульсной модуляции, которая имеет целый ряд преимуществ перед модуляцией гармонических колебаний. Импульсная модуляция используется в телекоммуникационных системах с временным разделением каналов, в которых в паузах между импульсами, несущими информацию одного канала, размещается информация других каналов. Последовательность импульсов позволяет модулировать несколько параметров сигнала, т. е. более эффективно использовать канал связи. Применение импульсных сигналов даёт возможность существенно увеличить мощность в импульсе при небольшой средней мощности и тем самым повысить помехоустойчивость передачи информации.

В практике наиболее часто используются импульсы прямоугольной формы, которые легко формируются на основе современной электронной базы. Периодическая последовательность прямоугольных импульсов показана на рис.11.

Периодическую последовательность импульсов характеризуют следующие параметры: амплитуда импульсов , период повторения , частота импульсов , длитель­ность импульсов , скважность , фаза импульсов где - задержка относительно опорной последовательности импульсов (показана штриховыми линиями).



Любой из перечисленных параметров импульсной последовательности может являться параметром модуляции. На рис.12 проиллюстрированы основные виды импульсной модуляции.

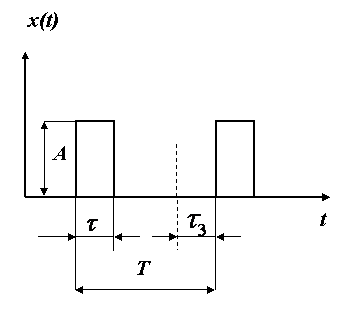


Рисунок 11. – Последовательность прямоугольных импульсов

При ***амплитудно-импульсной модуляции* (АИМ)** в соответствии с модулирующей функцией изменяется амплитуда импульсов.



При ***частотно-импульсной модуляции* (ЧИМ)** изменяется частота повторения импульсов. При этом обычно остаётся постоянной либо длительность импульсов, либо их скважность.

При ***широтно-импульсной модуляции* (ШИМ)**частота повторения импульсов не меняется, но меняется длительность импульсов и, соответственно, скважность.

При ***фазово-импульсной модуляции* (ФИМ)** форма импульсов не меняется, они лишь незначительно (на ) смещаются относительно опорной периодической последовательности импульсов во времени. Как и при непрерывной модуляции гармонических сигналов, различия между ЧИМ и ФИМ заключаются лишь в глубине модуляции.

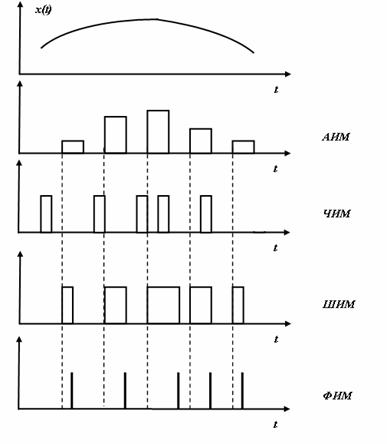


Рисунок 12. – Основные виды импульсной модуляции

В современных телекоммуникационных системах широко используется передача информации по радиоканалу. В этом случае необходим перенос частотной полосы сигнала в высокочастотную область и передача ведётся на высокой гармонической частоте, т.е., по сути, используется двойная модуляция, когда импульсные последовательности, показанные на рис.12 имеют высокочастотное гармоническое заполнение.

Импульсная модуляция означает, что по каналам связи передаются дискретные отсчёты модулирующей функции. Рассмотрим спектральные характеристики импульсных последовательностей.

***Спектры сигналов при импульсной модуляции.*** Найдем спектр одиночного прямоугольного импульса длительностью и амплитудой при помощи интеграла Фурье:



, (1)



где . При изменении положения импульса во времени его амплитудный спектр не изменится, изменится лишь его фазовый спектр. Пусть сигнал состоит из последовательности таких прямоугольных импульсов с периодом повторения . Тогда разложим его в ряд Фурье



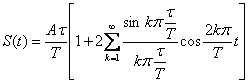
, (2)



где - частота первой гармоники. Рассчитав , окончательно получим



. (3)



Амплитудный спектр такого сигнала показан на рис.13. Спектр последовательности импульсов имеет дискретный характер, а его огибающая соответствует спектру одиночного импульса (2). Дискретные значения частоты кратны частоте повторения импульсов в последовательности . Спектр рис.13 соответствует скважности . Таким образом, реальная ширина спектра последовательности импульсов определяется длительностью импульса и может быть расширена при ее уменьшении.

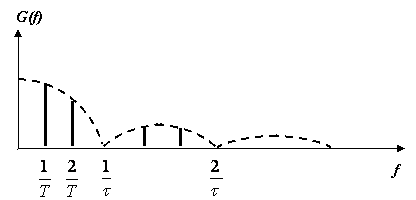


Рисунок 13. - Спектр последовательности прямоугольных импульсов

Рассмотрим теперь спектр импульсно-модулированного сигнала на примере АИМ. Пусть модулирующая функция меняется по гармоническому закону

, (4)

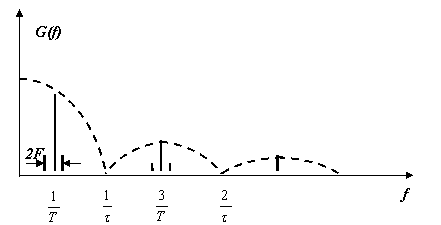


Рисунок 14. – Спектр АИМ сигнала

где частота модуляции удовлетворяет следующему условию: . То есть на один период модуляции должно приходиться несколько импульсов, иначе импульсная модуляция лишена смысла. В этом случае можно показать, что спектр модулированного (АИМ) сигнала будет иметь вид, показанный на рис.14. Здесь скважность . Как видно из этого рисунка, изменение спектра при наличии модуляции аналогично тому, что наблюдается при непрерывной модуляции. В спектре возникают дополнительные составляющие на комбинационных частотах , где определяется частотой повторения импульсов. В практических задачах чаще всего ограничиваются первой гармоникой , и искажение спектра за счет импульсной модуляции определяется огибающей, т.е. длительностью импульсов. Если длительность импульсов мала (огибающая спектра на участке достаточно полога), то амплитуда спектральных составляющих на комбинационных частотах, которые определяют точность восстановления амплитуды модуляции модулирующей функции, искажается незначительно. Кроме того, при восстановлении модулирующей функции это искажение может быть учтено. Аналогичный вывод можно сделать для других видов импульсной модуляции (ЧИМ, ФИМ и т.д.). **Наиболее помехоустойчивой из импульсных видов модуляции считается ФИМ.**



Таким образом, импульсная модуляция позволяет передавать данные практически без искажений, и, по сравнению с аналоговой модуляцией гармоническими сигналами, позволяет за единицу времени в той же полосе частот предавать значительно большие объёмы информации. В современных радиосистемах сигналы ЧИМ, ФИМ, ШИМ чаще всего преобразуются в цифровой код, что вообще исключает искажение информации.

В радиолокации для получения высокой разрешающей способности и большой дальности применяют сжатие сигнала в радиоприемнике путем внутриимпульсной частотной и фазовой модуляции излучаемого радиопередатчиком сигнала. Одним из таких способов внутриимпульсной модуляции является изменение частоты сигнала по линейному закону , (5)

где Δωдев - девиация частоты; Т - длительность линейного ЧМ (ЛЧМ) сигнала.

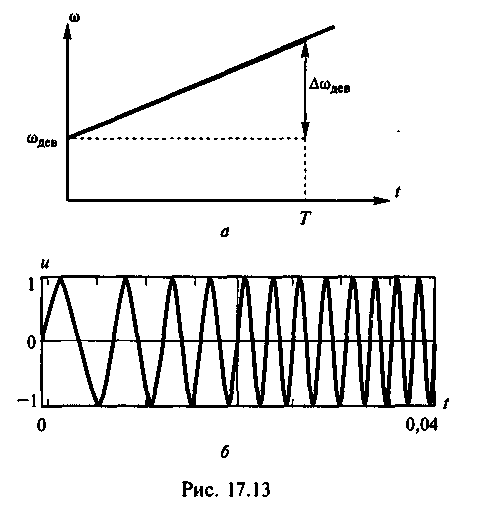
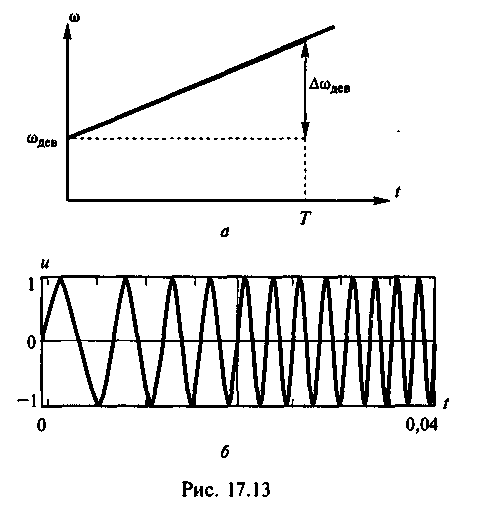


Рисунок 15. - ЛЧМ сигнал

Параметр m=ΔfдевТ, называемый базой сигнала, показывает, во сколько раз можно сжать по времени ЛЧМ сигнал на приёмной стороне радиолинии по сравнению с передающей. Для ЛЧМ сигнала можно записать:

 (6)

т.е. фаза меняется по квадратичному закону.

В РПДУ процесс ИМ и ЧМ следует синхронизировать. Структурная схема РПДУ при этом может иметь вид, показанный на рис. 16.

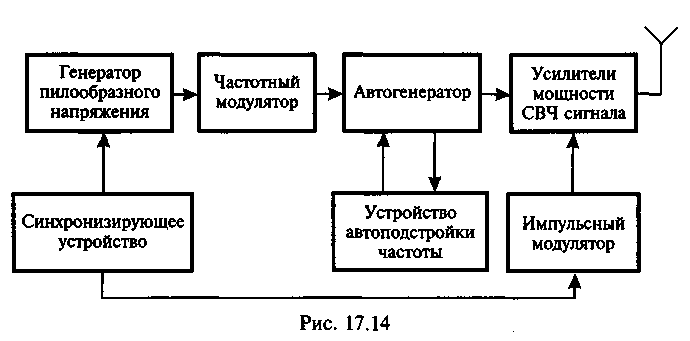


Рисунок 16. - Структурная схема РПДУ ИМ и ЧМ с синхронизацией ИМ и ЧМ

В схеме ЛЧМ сигнал формируется посредством генератора пилообразного напряжения, изменяющего частоту автогенератора по линейному закону. Стабилизация частоты автогенератора осуществляется устройством АПЧ. С помощью синхронизирующего устройства изменение частоты автогенератора начинается в момент подачи импульса на СВЧ усилитель мощности.

**2. Практическая часть лабораторной работы**

**В соответствии с номером учебного расчёта выполнить следующие задания и ответить на контрольные вопросы для условий:**

**1.)** Если S(t) = 1 при Δφ = 0

и S(t) = 0 при Δφ = π

**2.)**Если S(t) = 1 при Δφ = 0

и S(t) = 0 при Δφ = π

**Расчёт № 1**

**Задание 1.** Составить таблицу перекодирования для сигнала вида ОФТ, если первичный сигнал представлен кодовой комбинацией 00101101100.

**Задание 2.** Составить таблицу перекодирования для сигнала вида ОФТ, если первичный сигнал представлен кодовой комбинацией 11101001101.

**Задание 3.** Составить таблицу перекодирования для сигнала вида ОФТ, если первичный сигнал представлен кодовой комбинацией 01101101101.

**Задание 4.** Составить таблицу перекодирования для сигнала вида ОФТ, если первичный сигнал представлен кодовой комбинацией 11101001100.

**Задание 5.** Нарисовать и пояснить спектр последовательности прямоугольных импульсов при q=4 и q=5. Сравнить спектры сигналов и сделать выводы.

**Задание 6.** Нарисовать и пояснить спектр АИМ сигнала, если q=2, τи = 10-5с, Fм=100 Гц.

**Задание 7.** Нарисовать и пояснить спектр АИМ сигнала, если q=3, τи = 10-4с, Fм=200 Гц.

**Задание 8.** Сравнить спектры сигналов в заданиях 6 и 7 и сделать выводы.

**Расчёт № 2**

**Задание 1.** Составить таблицу перекодирования для сигнала вида ОФТ, если первичный сигнал представлен кодовой комбинацией 00101101100.

**Задание № 2.** Составить таблицу перекодирования для сигнала вида ОФТ, если первичный сигнал представлен кодовой комбинацией 00101101100.

**Задание № 3.** Составить таблицу перекодирования для сигнала вида ОФТ, если первичный сигнал представлен кодовой комбинацией 00101101100.

**Задание № 4.** Составить таблицу перекодирования для сигнала вида ОФТ, если первичный сигнал представлен кодовой комбинацией 11101101101.

**Задание 5.** Нарисовать и пояснить спектр последовательности прямоугольных импульсов при q=3 и q=6. Сравнить спектры сигналов и сделать выводы.

**Задание 6.** Нарисовать и пояснить спектр АИМ сигнала, если q=3, τи = 10-5с, Fм=200 Гц.

**Задание 7.** Нарисовать и пояснить спектр АИМ сигнала, если q=4, τи = 10-4с, Fм=100 Гц.

**Задание 8.** Сравнить спектры сигналов в заданиях 6 и 7 и сделать выводы.

**Расчёт № 3**

**Задание 1.** Составить таблицу перекодирования для сигнала вида ОФТ, если первичный сигнал представлен кодовой комбинацией 00101101100.

**Задание № 2.** Составить таблицу перекодирования для сигнала вида ОФТ, если первичный сигнал представлен кодовой комбинацией 00101101100.

**Задание № 3.** Составить таблицу перекодирования для сигнала вида ОФТ, если первичный сигнал представлен кодовой комбинацией 11001000101.

**Задание № 4.** Составить таблицу перекодирования для сигнала вида ОФТ, если первичный сигнал представлен кодовой комбинацией 10001000111.

**Задание 5.** Нарисовать и пояснить спектр последовательности прямоугольных импульсов при q=2 и q=4. Сравнить спектры сигналов и сделать выводы.

**Задание 6.** Нарисовать и пояснить спектр АИМ сигнала, если q=5, τи = 10-5с, Fм=500 Гц.

**Задание 7.** Нарисовать и пояснить спектр АИМ сигнала, если q=2, τи = 10-4с, Fм=100 Гц.

**Задание 8.** Сравнить спектры сигналов в заданиях 6 и 7 и сделать выводы.

**Контрольные вопросы для всех расчётов**

1. Пояснить физическую сущность основных видов модуляции.

2. Пояснить понятие «манипуляция».

3. Перечислить требования к методам модуляции в цифровой сотовой связи.

4. Пояснить сущность двоичной фазовой манипуляции.

5. Пояснить сущность квадратурной фазовой манипуляции.

6. Пояснить отличие QPSK от АМн и ЧМн.

7. Пояснить графически и словами отличие OQPSK и QPSK.

8. Пояснить преимущество метода ОФМн перед методом ФМн.

9. Перечислить достоинства импульсной модуляции.

10. Нарисовать и пояснить спектр АИМ сигнала, если q=2, τи = 10-5с, Fм=100 Гц.

11. Нарисовать и пояснить спектр АИМ сигнала, если q=3, τи = 10-4с, Fм=200 Гц.