**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

**(СПбГУТ)**

**Кафедра теоретических основ телекоммуникаций**

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Курсовая работа**

**по дисциплине «Теория электрической связи»**

Выполнил

студент 2 курса, гр. РЦТ-22

Балан К. А.

«19» мая 2024

Принял

Зав. кафедры ТОТ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Щербатый П. Е.

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_ 2024

Санкт-Петербург

2024

Оглавление

[Введение 3](#_Toc70844794)

[Исходные данные 4](#_Toc70844795)

[1. Структурная схема системы цифровой связи 5](#_Toc70844796)

[2. Расчет системы цифровой связи 6](#_Toc70844797)

[2.1. Источник сообщений 6](#_Toc70844798)

[2.2. Аналого-цифровой преобразователь 11](#_Toc70844799)

[2.3. Кодер 13](#_Toc70844800)

[2.4 Формирователь модулирующих символов 15](#_Toc70844801)

[2.5 Расчет модулятора 20](#_Toc70844802)

[2.6 Непрерывный канал 26](#_Toc70844803)

[2.7 Демодулятор 27](#_Toc70844804)

[2.8 Декодер 30](#_Toc70844805)

[Выводы 42](#_Toc70844806)

[Список используемой литературы 43](#_Toc70844807)

# Введение

*Цель курсовой работы (КР)* - изучить принципы работы системы цифровой передачи аналоговых сообщений и рассчитать основные характеристики входящих в неё функциональных узлов.

*Задание*: изучить и разработать систему цифровой связи, оптимальную в отношении флуктуационной помехи и исключающую появление межсимвольной помехи.

*Требуется*

1. Изобразить структурную схему системы цифровой связи, включив блоки сглаживающих формирующих фильтров СФФ1 и СФФ2 в передающем устройстве и согласованных фильтров СФ1 и СФ2 в приёмном устройстве.
2. Пояснить назначение всех функциональных узлов системы цифровой связи.
3. Рассчитать основные характеристики системы передачи цифровой информации.

# Исходные данные

**Цель:** Изучить и разработать систему цифровой связи, оптимальную в отношении флуктуационной помехи и исключающую появления межсимвольной помехи.

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Данные по моему варианту |
| Предельные уровни аналогового сигнала (В) |  |
|  |
| Верхняя частота спектра аналогового сигнала |  |
| Заданный уровень квантования |  |
| Спектральная плотность мощность флуктуационной помехи |  |
| q- номер тактового интервала ошибки |  |
| Вид модуляции | КФМ-4 |

# 1. Структурная схема системы цифровой связи

Система связи предназначена для передачи аналоговых сообщений по цифровому каналу связи.

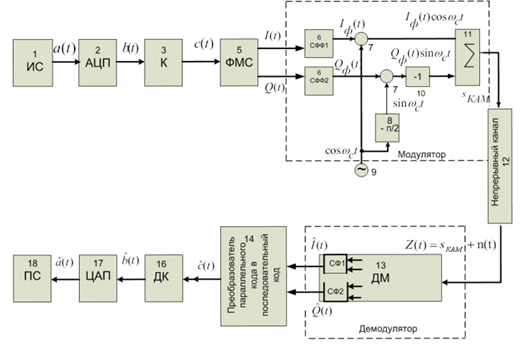


Рис.1 Структурная схема системы цифровой связи

Структурная схема системы цифровой связи.

Входящие в систему цифровой связи функциональные узлы:

1 – источник сообщений;

2 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП);

3 – кодер (К);

5 – формирователь модулирующих символов (ФМС) или преобразователь последовательного кода в параллельный код;

6 – сглаживающие формирующие фильтры (СФФ1, СФФ2);

7 – перемножители;

8 – фазовращатель;

9 – генератор гармонических колебаний;

10 – инвертор;

11 – сумматор;

12 – непрерывный канал;

13 – демодулятор (ДМ);

14 – преобразователь параллельного кода в последовательный код;

16 – декодер (ДК);

17 – цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП);

18 – получатель сообщений.

# 2. Расчет системы цифровой связи

## 2.1. Источник сообщений

A(t) a(t)

ИС

Источник сообщения (ИС) вырабатывает реализации *a(t)* стационарного случайного процесса *A*(*t*)типа квазибелого шума с параметрами , и . Мгновенные значения сообщения равновероятны в интервале от значения до значения.

Требуется:

1. Написать аналитические выражения для плотности вероятности *w(a)* мгновенных значений сообщения, функции распределения *F(a)* и построить их графики.
2. Рассчитать математическое ожидание и дисперсию *D{A(t)}* сообщения*A*(*t*).
3. Написать аналитическое выражение для спектральной плотности мощностисообщения *A*(*t*)и построить график.
4. Найти аналитическое выражение для корреляционной функциисообщения *A*(*t*) и построить график. По форме графикаопределить, является ли сообщение *A*(*t*) эргодическим случайным процессом или не является таковым.

0

Ход работы:

1. Для нахождения одномерной плотности вероятности мгновенных значений случайного

процесса *a(t)* учтем, что все его мгновенные значения в заданном интервале равновероятны, и, следовательно, плотность вероятности будет постоянна в этом интервале и равна нулю вне этого интервала.

Значение плотности вероятности внутри интервала от до определим из условия нормировки:

Таким образом, аналитическое выражение для плотности распределения вероятности случайного процесса *а*(*t*) имеет вид:

Тогда построим график одномерного закона распределения плотности вероятности мгновенных значений случайного процесса*a*(*t*):

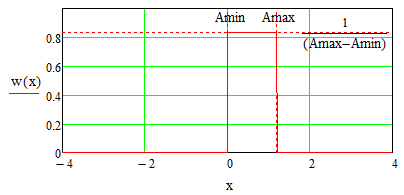


Рис. 2 Распределение плотности вероятности

Функция распределения *F*(*a*) связана с плотностью распределения интегральным соотношением:

При значение плотности вероятности , следовательно,

При значение функции распределения будет находиться следующим образом (∆ = :

При значение функции распределения будет находиться как:

Cоставим систему

Подставляя числовые значения, получим функцию распределения:

Тогда построим график одномерного закона распределения вероятности мгновенных значений случайного процесса*a*(*t*):

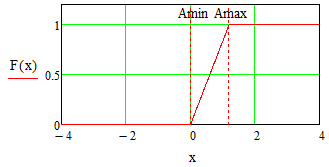


Рис. 3 Функция распределения

1. Найдем математическое ожидание *М* случайного процесса *a*(*t*):

Так как *w*(*a*) вне интервала от до равна нулю, то получим:

То есть получили, что среднее значение случайного процесса *a*(*t*) равно 0 В.

Найдем дисперсию или математическое ожидание квадрата D случайного процесса *a*(*t*):

1. Постоянная составляющаяпроцесса:

Мощностьпеременной составляющей процесса:

Спектральная плотность средней мощности имеет равномерное распределение в интервале частот от 0 до величиной.

Функция спектральной плотности мощности будет иметь вид:

График энергетического спектра:

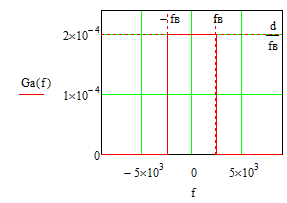


Рис. 4 Энергетический спектр

1. Корреляционную функцию случайного процесса можно определить через его энергетический спектр по теореме Винера-Хинчина.

Теорема Винера-Хинчина – связь между энергетическим спектром и корреляционной функцией:

Корреляционную функцию случайного процесса:

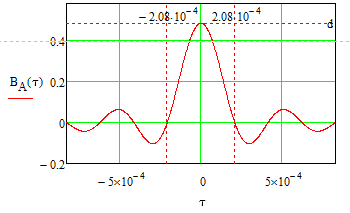


Рис. 5 Корреляционная функция

## 2.2. Аналого-цифровой преобразователь

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) преобразует реализации аналогового (непрерывного) сообщения*А*(*t*) в цифровую форму – поток двоичных символов нулей и единиц, т. е. в последовательность прямоугольных импульсов, где «0» имеет нулевое напряжение, а «1» - прямоугольный импульс положительной полярности.

Преобразование аналогового сигнала в цифровую форму осуществляется в три этапа.

На *первом* этапе производится дискретизация реализации  сообщения по времени. В моменты времени  берутся непрерывные по уровню отсчёты  мгновенных значений реализации . Расстояние между отсчётами равно интервалу , величина которого определяется в соответствии с теоремой Котельникова.

На *втором* этапе выполняется квантование точных отсчётов  по уровню. Для этого интервал  равный разности - разбивается на уровни квантования с постоянным шагом . Уровни квантования нумеруются целыми числами -1. Нумерация уровней начинается с уровня, которому соответствует значение , и заканчивается на уровне, которому соответствует значение . Каждый аналоговый отсчёт  заменяется значением ближайшего к нему уровня 0квантования  в виде целого числа, удовлетворяющего неравенству . Получаем квантованный отсчёт  в виде целого числа в десятичной форме счисления.

На *третьем* этапе число  в десятичной форме переводится в двоичную форму счисления в виде последовательности  двоичных символов и на выходе АЦП появляется сигнал в виде двоичной цифровой последовательности  информационных символов.

Расчёты:

1. Интервал дискретизации для получения) реализации *A*(t*),*
2. Частоты дискретизации:
3. Число уровней квантования L:
4. Расчет мощности шума квантования:

*=-52.041 дБ*

1. Найти минимальное число *k* двоичных разрядов, требуемое для записи в двоичной форме любого номера *j* из *L* −1 номеров уровней квантования. Параметры подбираются так, чтобы *L* = 2*k*, где *k* – разрядность АЦП, *L = 2k*,, где k – разрядность АЦП

*k* = *log2*512 = 9

1. Запись ­ разрядного двоичного числа, соответствующего заданному уровню квантования *j*:

j=340

1. Осциллограмма сигнала на выходе АЦП:

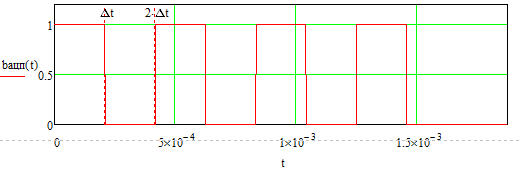


Рис.7 Осциллограмма на выходе АЦП

## 2.3. Кодер

Простейший двоичный сверточный кодер выполняет кодирование и образует модулирующий сигнал b(t). Последовательность символов на выходе кодера можно рассматривать как свертку импульсной характеристики кодера с выходной последовательностью информационных сигналов.

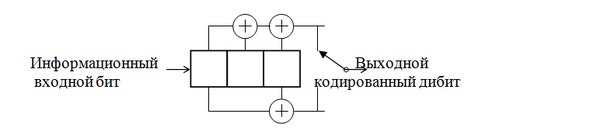


Рис.8 схема свёрточного кодера

**Параметры кодера:**

k - количество информационных символов, поступающих на вход кодера в виде информационного блока; k=1 .

n - количество кодовых символов, поступающих с выхода кодера в виде кодового блока; n=2.

K- длина кодового ограничения; K=3.

Отношение называется степенью кодирования и является мерой добавленной избыточности; .

Векторы связи; g1 = 111 и g2 = 101.

Расчет импульсной характеристики кодера.

Реакция кодера на входной сигнал = 10000…. называется импульсной характеристикой кодера.

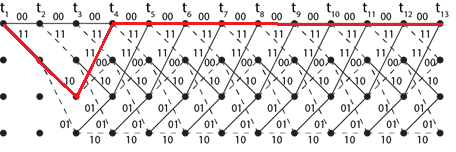


Рис.9 Расчет импульсной характеристики кодера

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Входные символы | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Выходные символы | 11 | 10 | 11 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |

Следовательно, импульсная характеристика кодера *h*(*k*)*=*111011000.

Кодовое расстояние *d* = 5, т.к. расстояние Хемминга между кодовой последовательностью и нулевой кодовой последовательностью равна 5, т.е. кодовое расстояние для сверточного кода, порождаемым кодером на рис. 8 , будет равно 5. Величина может быть также определена как число единичных символов в импульсной характеристике свёрточного кодера.

**Расчётная диаграмма сверточного кодера.**

1. Решетчатая диаграмма сверточного кодера от момента времени t1 до момента t10:

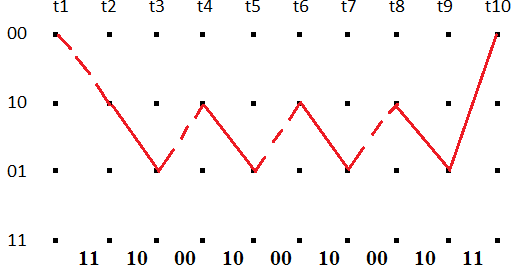
****

Рис.9 Решетчатая диаграмма кодера

m - исходное сообщения, u – конечное сообщения.

m=101010100

u=11 10 00 10 00 10 00 10 11

## 2.4 Формирователь модулирующих символов

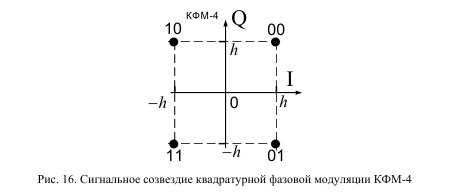
Формирователь модулирующих сигналов (ФМС) предназначен для преобразования двоичного цифрового потока от кодера *C*(*t*) в модулирующие сигналы *I*(*t*) и *Q*(*t*), которые необходимо подавать на синфазный и квадратурный входы модулятора для получения заданного сигнального созвездия на его выходе. Он должен содержать:

- регистр сдвига для деления входного потока бит от кодера на группы, передаваемые одним сигналом *s*КФМ(*t*) (дибиты при *QPSK* и квадбиты при *QASK*);

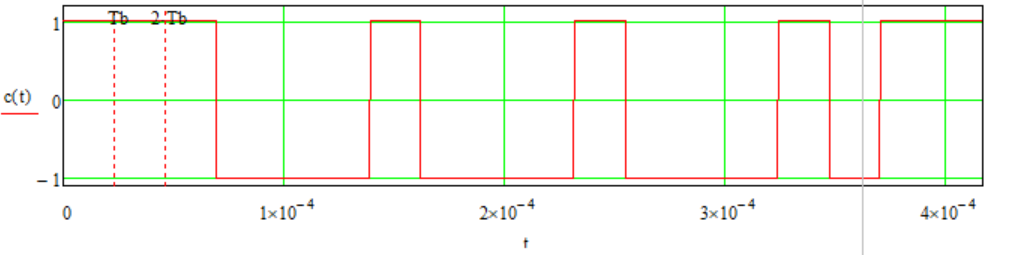
- преобразователи уровней битовых сигналов (униполярной кодировки в биполярную: при *QPSK* «0» → *h*, «1» → –*h*; при *QASK* «00» → 3*h*, «01» → *h*, «10» → –*h*, «11» → –3*h*);

- дополнительно, при *QASK,* –кодопреобразователь исходного кода квадбит в код Грея для выравнивания минимальных расстояний между сигналами модулятора и соответствующим им квадбитам.

1.Сигнальное созвездие для заданного вида модуляции



2. График реализации *c(t*) случайного процесса *С(t)* с выхода блока сверточного кодера (К) на входе блока ФМС на первых 18 бинарных интервалах длительностью :



Аналитическое выражение для случайного процесса *С(t):*



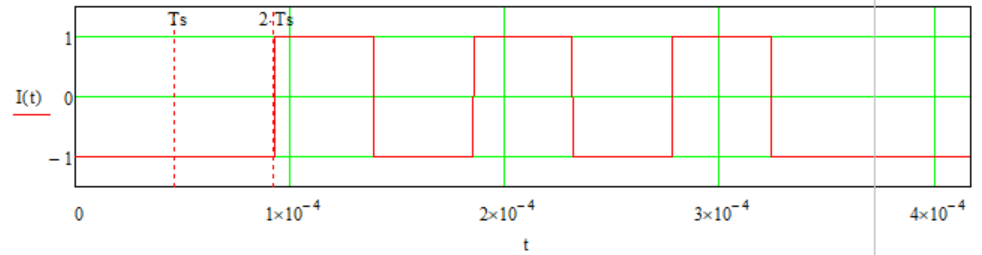
где  ­ прямоугольный импульс длительностью 

 при 

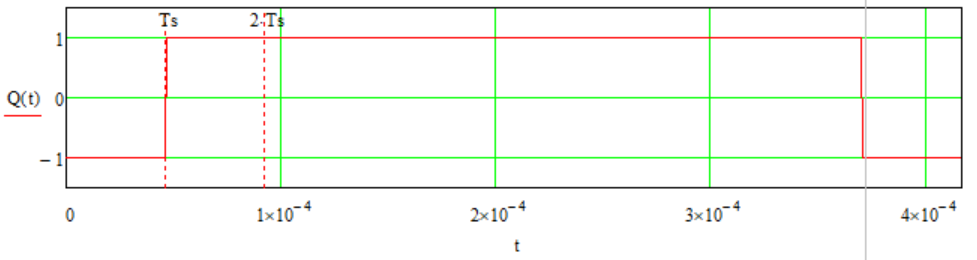
где ­ прямоугольный импульс такой же формы, как , но сдвинутый *вправо* относительно импульса  на величину , если , или *влево*, если ;  - случайная величина 0, +*h* (значение бита на  - интервале ).

3. Аналитические выражения и графики для случайных процессов *I(t)* и *Q(t)* на символьных интервалах длительностью

;



;



где  ­ прямоугольный импульс длительностью TS=2TB.

*TB*- бинарный интервал;

*Ts*- символьный интервал;

*g2(t-nTS)* прямоугольный импульс такой же формы, как импульс g2(t), но сдвинутый вправо относительно импульса g2(t) на величину *nTS*, если n>0, или влево, если n<0; *In* и *Qn*независимые случайные величины, заданные на символьном интервале с номером n, которые согласно сигнальному созвездию принимают:

*P(-h)=P(h)= 0,5*

4. Аналитические выражения для корреляционной функции BC(τ) и спектральной

плотности G(w) входного случайного процесса C(t) и построение их графиков.

Процесс *C*(*t*) является случайным синхронным телеграфным сигналом. Его корреляционная функция имеет вид

,

а энергетический спектр

,

где *Т* = *ТВ* – длительность тактового интервала, а h=1.

Графики *B*C(τ) и *GC*(*f*):

График корреляционной функции случайного процесса:

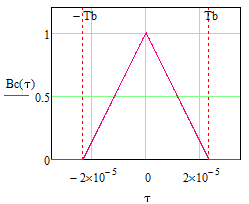
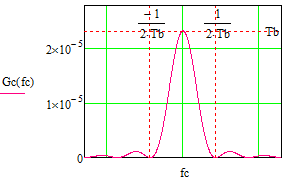


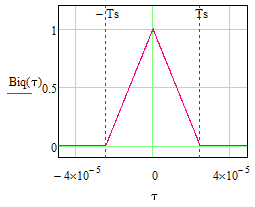
График спектральной плотности случайного процесса:



Аналитические выражения для корреляционных функций (τ) и (τ) , спектральных плотностей мощности (ω) и (ω) случайных процессов *I(t)* и *Q(t):*

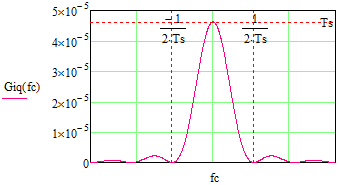
Случайный процесс *Q*(*t*) имеет такие же вероятностные характеристики, какие имеет процесс *I(t)*, поэтому имеет место равенство: *BQ(τ) = BI(τ).*

График корреляционных функций *(τ) и (τ) ():*



Используя теорему Винера – Хинчина и равенство *BQ(τ) = BI(τ),* получим*:*

График спектральной плотности мощности случайных процессов I(t) и Q(t):



1. Cравнить графики корреляционных функций и спектральных плотностей мощности сигналов на входе и выходе блока ФМС.

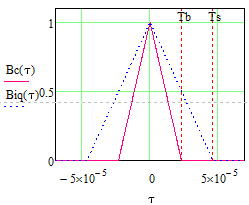


Рис.17 Сравнение графиков корреляционных функций на входе и на выходе ФМС

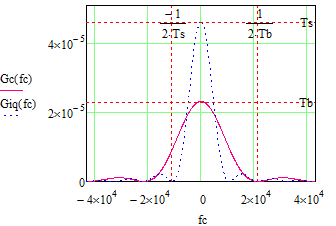


Рис.18 Сравнение графиков спектральных плотностей на входе и на выходе ФМС

В случае КФМ-4 величина *TS = 2TB*, где *TB* – бинарный интервал, и поэтому графики функций *GQ(ω)* и *GI(ω),* оставаясь нефинитными, станут в 2 раза уже, чем график *GC(ω).* Графики *BQ(τ)* и *BI(τ)* поэтому станут в 2 раза шире, чем график *BC(τ*).

## 2.5 Расчет модулятора

В состав модулятора входят блоки-перемножители, инвертор и сумматор, на выходе которого получаем сигнал заданного вида модуляции КФМ-4.

В состав модулятора структурной схемы цифровой системы связи (ЦСС) между блоками ФМС и перемножителями входят сглаживающие формирующие фильтры СФФ, необходимые для оптимизации ЦЦС в отношении межсимвольной помехи, а также инвертор и сумматор, на выходе которого получается сигнал заданного вида модуляции КФМ-4.

В модуляторе случайный синхронный телеграфный сигнал производит модуляцию гармонического несущего колебания *u(t*), где

*u*(*t*) = *U*с cos 2*πf*с *t*, *U*с = 1 В, *f*с = *V*к.

Используется фазовая модуляция (ФМ).

* + 1. ***Сглаживающий формирующий фильтр***

1. Изобразить структурную схему модулятора в составе ЦСС.

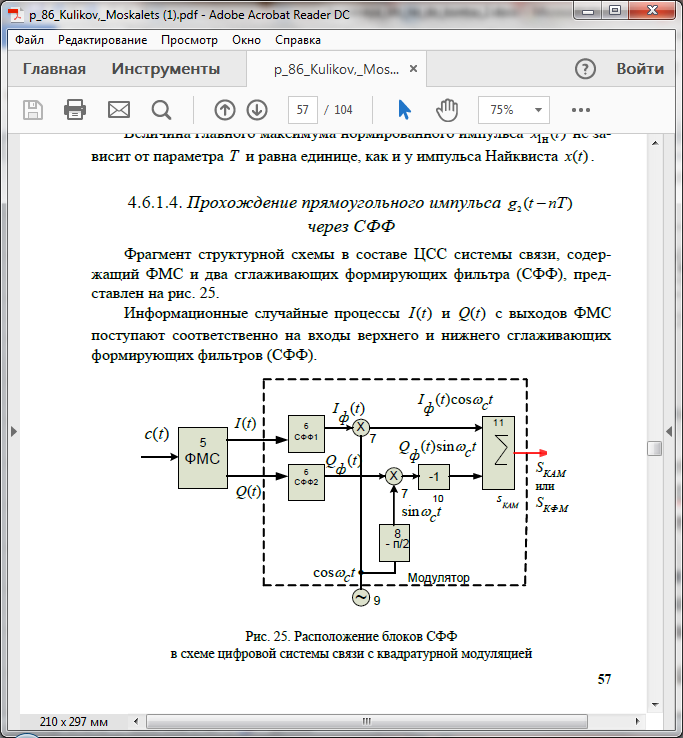


Схема модулятора в составе ЦСС

В состав модулятора входят блоки:

- генератор несущего колебания *U*cosωС*t*,

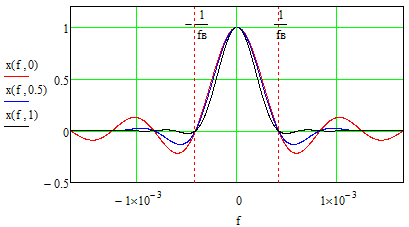
- фазовращатель на – 90º для получения квадратурного несущего колебания *U*sinωС*t*,

- перемножители, для получения БМ сигналов *SI*(*t*) = *I*(*t*)cosωС*t* и *SQ*(*t*) = *Q*(*t*)sinωС*t*, модулированных сигналами *I*(*t*) и *Q*(*t*), соответственно;

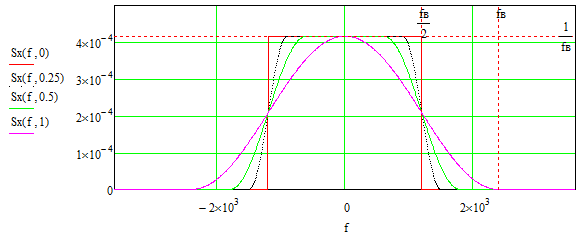
- сумматор для получения сигнала с квадратурной модуляцией *S*КФМ(*t*) = *SI*(*t*) + *SQ*(*t*) = *I*(*t*)cosωС*t + Q*(*t*)sinωС*t* = *A*(*t*)cos(ωС*t* – ψ) = *A*(*t*)cos(ωС*t* + φ),где **– огибающая, а φ = (–ψ)– фаза сигнала *S*КФМ(*t*); cosψ = *I*(*t*)/*A*(*t*) = cosφ, sinψ = *Q*(*t*)/*A*(*t*) = –sinφ.

1. Написать аналитические выражения для сигнала *x(t)* со «спектром приподнятого косинуса» (импульса Найквиста) и его спектральной плотности *Sx(f)* для значений коэффициента сглаживания 0 ≤ β ≤ 1. Изобразить их графики сигналов *x(t)* и соответствующие спектральные плотности.

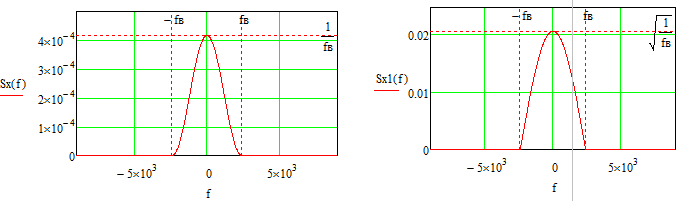
где *β* – коэффициент сглаживания (или ската), который может принимать значения в интервале 0 ≤ β ≤ 1.



Импульс Найквиста с разным коэффициентом ß

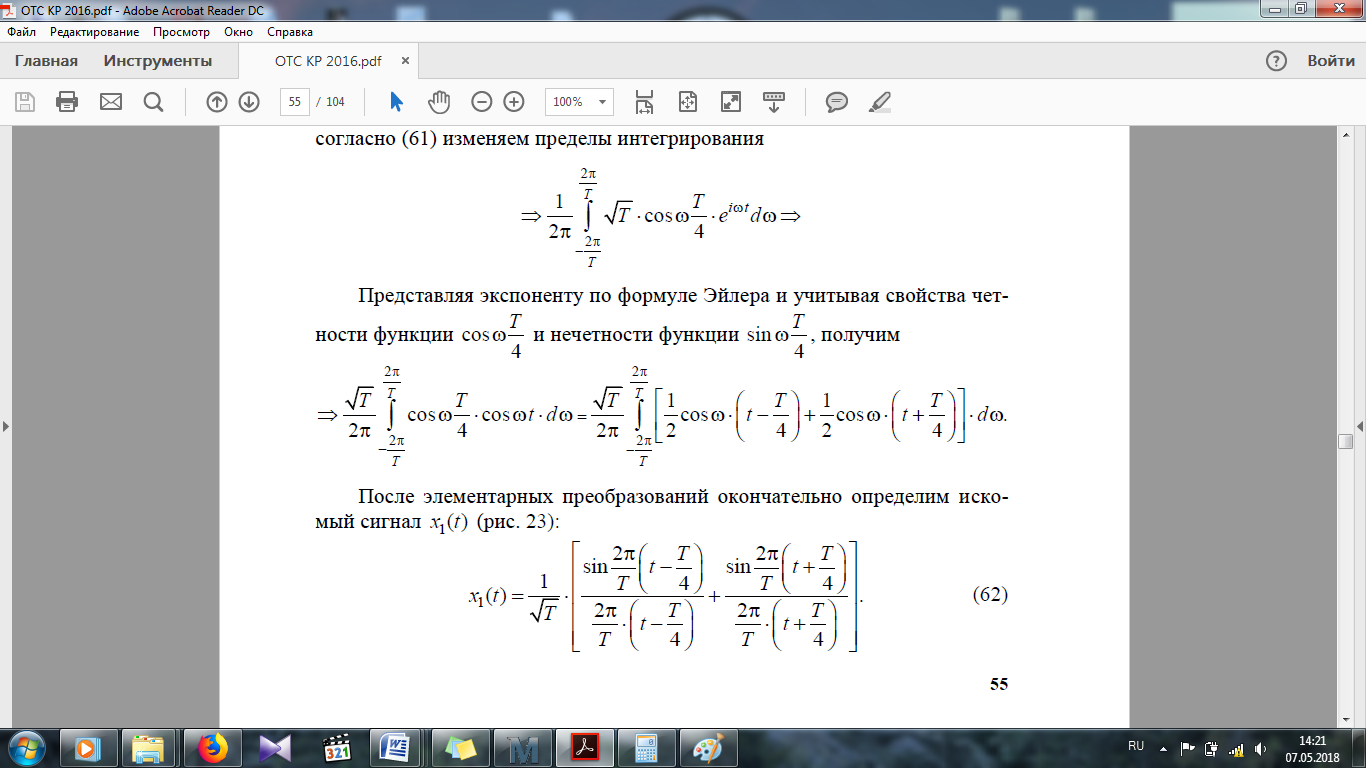
 График спектральной плотности импульса Найквиста с разным коэффициентом ß

1. Изобразить графики спектральных плотностей *Sx(f)* и *Sx1(f)* сигналов *x(t)* и *x1(t)* (рис.17), где *x(t)* - импульс Найквиста при коэффициенте сглаживания =1; *x1(t)* -импульс со спектральной плотности *Sx1(f)=*.



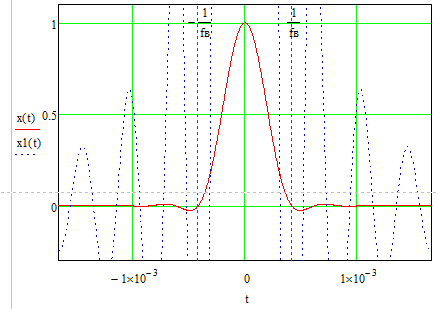
Сравнение графиков спектральный плотностей *Sx(f)* и *Sx1(f)*cигналов

1. На одном рисунке изобразить графики импульсов *x(t)*и *x1(t)*. Выполняя обратное преобразование Фурье от известной функции *Sx1(f),* определим искомый импульс *x1(t).*

**

После элементарных преобразований получаем:

Величина главного максимума импульса *x(t)* равна единице, а величина главного максимума *x1(t)* зависит от параметра *T* и равна . И желательно от импульса *x1(t)*перейти к нормальному импульсу *x1н(t)*.



Сравнение графиков импульсов *x(t)*и *x1(t)*

1. Написать аналитическое выражение для случайных процессов *Iф(t)* и *Qф(t)*.

*,*

где -детерминированный импульс, спектральная плотность, которого выражается через спектральную плотность импульса Нейквиста.

1. Написать аналитическое выражение для корреляционных функций и спектральных плотностей случайных процессов *Iф(t)* и *Qф(t)*, построить графики этих функций.

где для КФМ-4 равен h2.

График корреляционных функций случайных процессов *Iф(t)* и *Qф(t):*

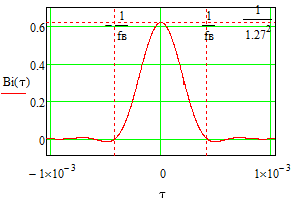
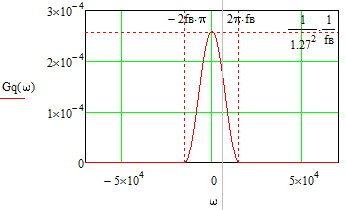


График спектральных плотностей случайных процессов *Iф(t)* и *Qф(t):*



* + 1. ***Блоки перемножителей, инвертор, сумматор***

Требуется:

1. Написать аналитические выражения для корреляционных функций и случайных процессов и  на выходах перемножителей, где - случайная фаза с равномерной плотностью вероятности на интервале от 0…2. Случайная фаза не зависит от случайных процессов и:
2. Написать аналитические выражения для корреляционных функций

и для спектральной плотности мощности *GS(ω)* сигнала *S(t)* на выходе сумматора. Построить графики этих функций.

где *x(-* импульс Найквиста при .

График корреляционной функции сигнала на выходе модулятора:

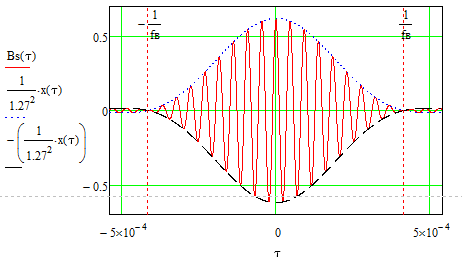
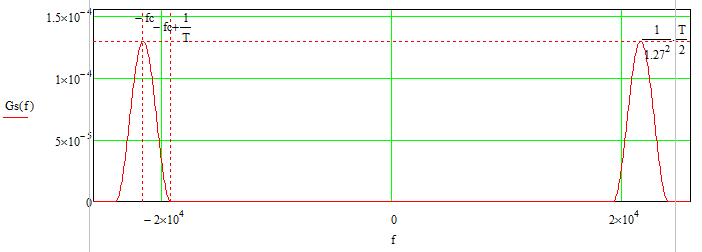


График спектральной плотности сигнала на выходе модулятора:



## 2.6 Непрерывный канал

Передача сигналаS(t)происходит по непрерывному неискаженному каналу с постоянными параметрами в присутствии аддитивной помехи n(t) типа Гауссовского белого шума. Сигнал Z(t) на выходе такого канала имеет вид:

где коэффициент передачи канала. Для всех вариантов принять = 1.

Односторонняя спектральная плотность мощности помехи n(t) равна *N*0=1.010-7В2/Гц.

Требуется:

1. Определить минимальную ширину полосы частот Fkнепрерывного канала, необходимую для передачи по каналу сигнала S(t) с выхода модулятора.
2. Определить Pc – среднюю мощность информационного сигналана выходе канала.

*Вт*

1. Определить Pп – среднюю мощность помехи n(t) на выходе канала и найти отношение Pc/ Pп

*Вт*

1. Рассчитать пропускную способность С (за секунду) непрерывного канала.

*бит/с.*

## 2.7 Демодулятор

Требуется:

1. Изобразить структурную схему демодулятора.

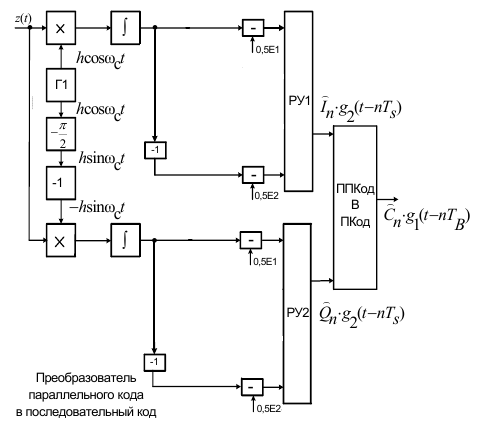


Схема демодулятора

Сигнал Z(t) поступает на входы Согласованных фильтров 1 и 2, на которых формируется выходной сигнал как отклик на сумму слагаемых:

Z(t)=, где

тогда отклик будет равен:

y1(kT)=

y2(kT)=

y3(kT)=

В соответствии со схемой демодулятора и напряжением y(kT) на выходе СФ1 в момент временит t=kT можно определить напряжения на входах Решающего Устройства (РУ1) в моменты времени t=kT:

Uвх1(kT)=

Uвх2(kT)=

Таким образом, если символ I0 принимает одно из возможных значений h, -h, то максимальное напряжение в момент времени t=6T будет сформировано соответственно, на первом, втором, третьем или четвертом входах РУ1, и решение будет принято в пользу только одного, определенного символа. Причем, он может быть ошибочным, из-за наличия помехи в канале n(t). Эти ошибки возможно будет исправить на этапе декодирования.

Рассуждения для СФ2 аналогичны.

1. Определение вероятности ошибок на выходах РУ1 и РУ2 при определении значений символов *In*и *Qn*(равных *h, -h, 3h, -3h*):

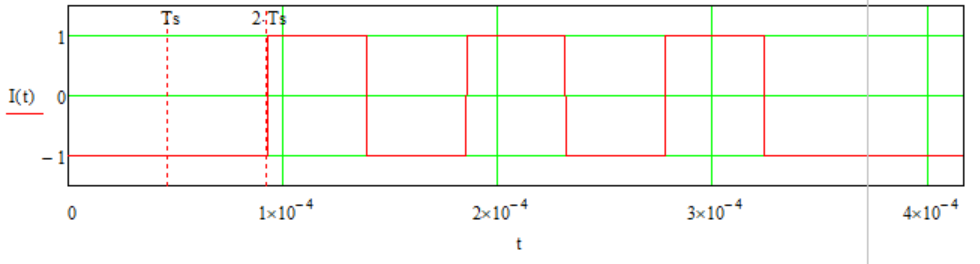
*PIn=h*(ош.п)=*PIn=-h*(ош.п)=*PQn=h*(ош.п)=*PQn=-h*(ош.п)

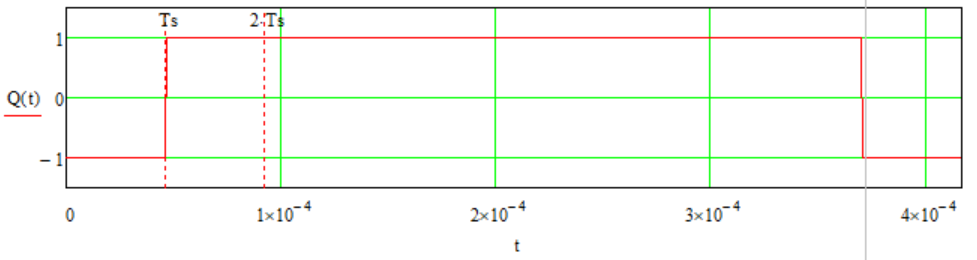
где *PIn*=*x*(ош) и*PQn*=*x*(ош)­ – вероятности ошибочного приема при *In=x* и *Qn=x,* соответственно.

PIn=h(ош) = PIn=-h(ош) = PQn=h(ош) = PQn=-h(ош) =

1. На четырех символьных интервалах длительностью TS нарисовать сигналы на выходах РУ1 и РУ2 демодулятора, соответствующие сигналам на выходе блока ФМС.

Осциллограмма сигнала на выходе РУ1 и РУ2:





1. Определить вероятности ошибок PIn=h, Qn=h(ош.п) на выходе преобразователя параллельного кода в последовательный код, если In=h и Qn=h, где PIn=h, Qn=h(ош.п) – обозначение вероятности ошибочного приема.

*PIn=h,Qn=h(ош) = PIn=h(ош) + PQn=h(ош) – PIn=h(ош)·PQn=h(ош)=*6

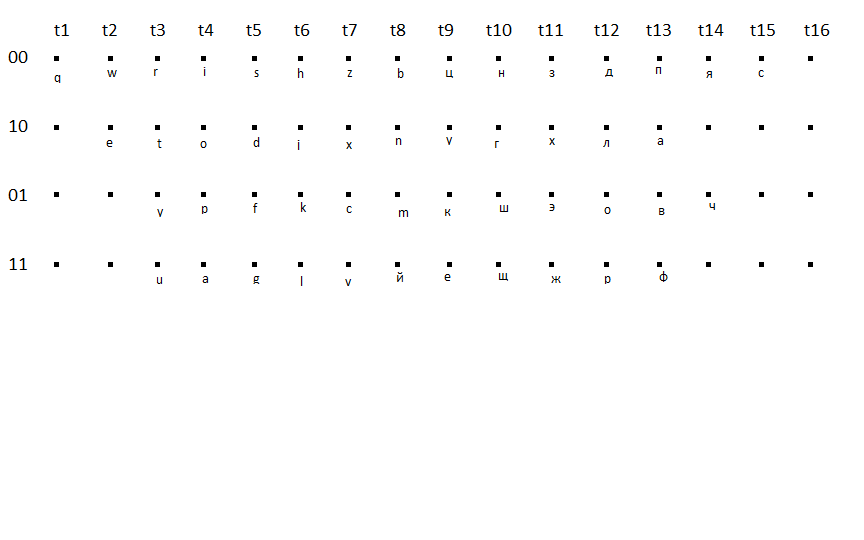
1. Определить среднюю вероятность ошибки на выходе преобразователя при условии, что имеют место равенства.

## 2.8 Декодер

Требуется:

1. Построить решетчатую диаграмму декодера последовательности по аналогии с решетчатой диаграммой кодера. Численные обозначения над ребрами решетчатой диаграммы декодера определяются с учетом последовательности своего варианта.

Общая схема кодера с помеченными точками представлена ниже:

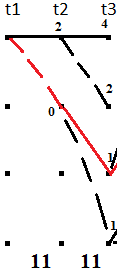


Тогда на каждом шаге будут следующие пути:

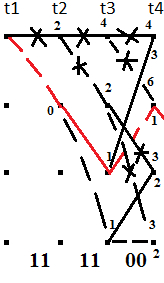
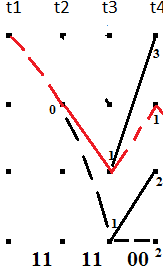
Шаг 1: 

Гqw=2

Гqe=0

Шаг 2:

Гqwr =2+2=4,   
Гqwt =2+0=2,   
Гqeu =0+1=1,  
Гqey =0+1=1,

Шаг 3: 

~~Гqwro =2+2+2=6~~

~~Гqwri =2+2+0=4~~

~~Гqwtp =2+0+1=3~~

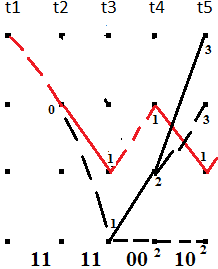
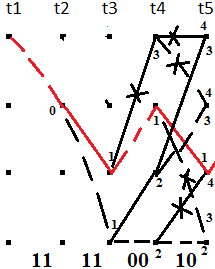
~~Гqwta =2+0+1=3~~

Гqeyo =0+1+0=1

Гqeyi =0+1+2=3

Гqeup =0+1+1=2

Гqeua =0+1+1=2

Шаг 4: 

~~Гqeuaf =0+1+1+2=4~~

Гqeuag =0+1+1+0=2

~~Гqeyis =0+1+2+1=4~~

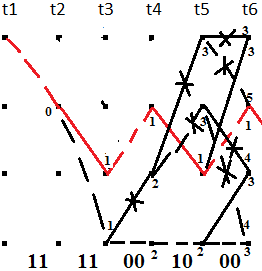
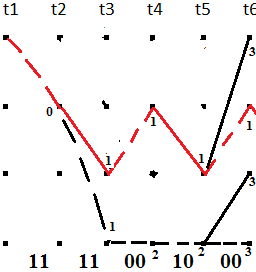
~~Гqeyid =0+1+2+1=4~~

Гqeyof =0+1+0+0=1

~~Гqeyog =0+1+0+2=3~~

Гqeups =0+1+1+1=3

Гqeupd =0+1+1+1=3

Шаг 5:  

~~Гqeupsj =0+1+1+1+2=5~~

~~Гqeupsh =0+1+1+1+0=3~~

~~Гqeupdk =0+1+1+1+1=4~~

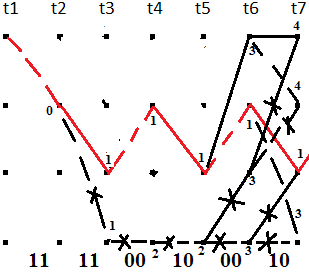
~~Гqeupdl =0+1+1+1+1=4~~

Гqeyofj =0+1+0+0+0=1

Гqeyofh =0+1+0+0+2=3

Гqeuagk =0+1+1+0+1=3

Гqeuagl =0+1+1+0+1=3

Шаг 6:

~~Гqeuaglc =0+1+1+0+1+2=5~~

~~Гqeuaglv =0+1+1+0+1+0=3~~

~~Гqeuagkz =0+1+1+0+1+1=4~~

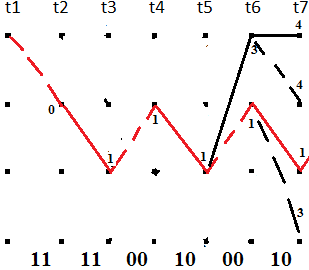
~~Гqeuagkx =0+1+1+0+1+1=4~~

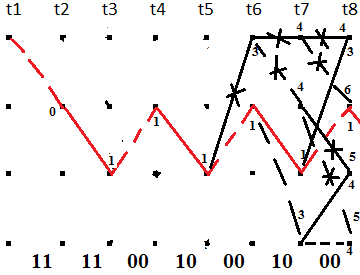
Гqeyofjc =0+1+0+0+0+0=1

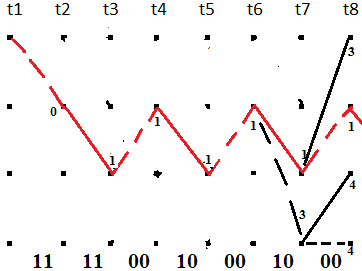
Гqeyofjv =0+1+0+0+0+2=3

Гqeyofhz =0+1+0+0+2+1=4

Гqeyofhx =0+1+0+0+2+1=4



Шаг 7: 



~~Гqeyofhzb =0+1+0+0+2+1+2=6~~

~~Гqeyofhzn =0+1+0+0+2+1+0=4~~

~~Гqeyofhxm =0+1+0+0+2+1+1=5~~

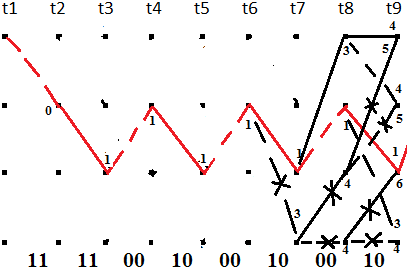
~~Гqeyofhxй =0+1+0+0+2+1+1=5~~

Гqeyofjcn =0+1+0+0+0+0+0=1

Гqeyofjcb =0+1+0+0+0+0+2=3

Гqeyofjvm =0+1+0+0+0+2+1=4

Гqeyofjvй =0+1+0+0+0+2+1=4

Шаг 8:

~~Гqeyofjvйк =0+1+0+0+0+2+1+2=6~~

~~Гqeyofjvйе =0+1+0+0+0+2+1+0=4~~

~~Гqeyofjvmц =0+1+0+0+0+2+1+1=5~~

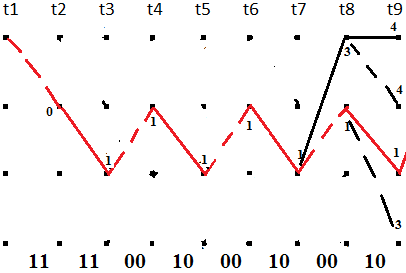
~~Гqeyofjvmу =0+1+0+0+0+2+1+1=5~~

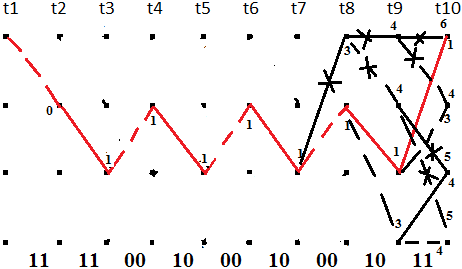
Гqeyofjcnк =0+1+0+0+0+0+0+0=1

Гqeyofjcnе =0+1+0+0+0+0+0+2=3

Гqeyofjcbц =0+1+0+0+0+0+2+1=4

Гqeyofjcbу =0+1+0+0+0+0+2+1=4



Шаг 9: 

~~Гqeyofjcbцн =0+1+0+0+0+0+2+1+2=6~~

~~Гqeyofjcbцг =0+1+0+0+0+0+2+1+0=4~~

~~Гqeyofjcbуш =0+1+0+0+0+0+2+1+1=5~~

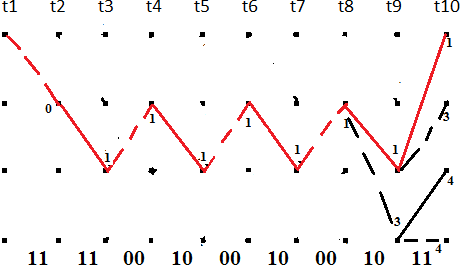
~~Гqeyofjcbущ =0+1+0+0+0+0+2+1+1=5~~

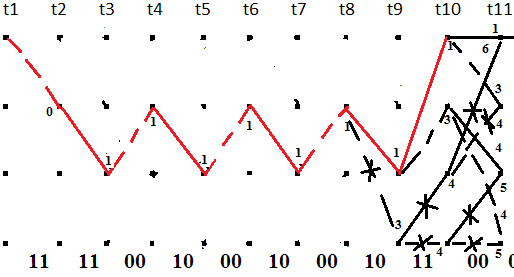
Гqeyofjcnкн =0+1+0+0+0+0+0+0+0=1

Гqeyofjcnкг =0+1+0+0+0+0+0+0+2=3

Гqeyofjcnеш =0+1+0+0+0+0+0+2+1=4

Гqeyofjcnещ =0+1+0+0+0+0+0+2+1=4



Шаг 10:

~~Гqeyofjcnешз =0+1+0+0+0+0+0+2+1+2=6~~

~~Гqeyofjcnешх =0+1+0+0+0+0+0+2+1+0=4~~

~~Гqeyofjcnещэ =0+1+0+0+0+0+0+2+1+1=5~~

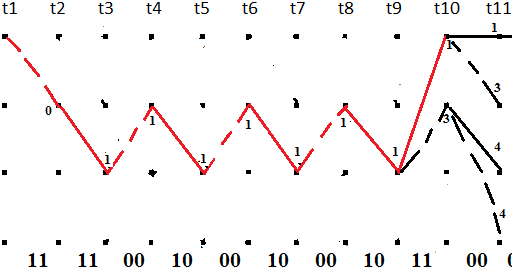
~~Гqeyofjcnещж =0+1+0+0+0+0+0+2+1+1=5~~

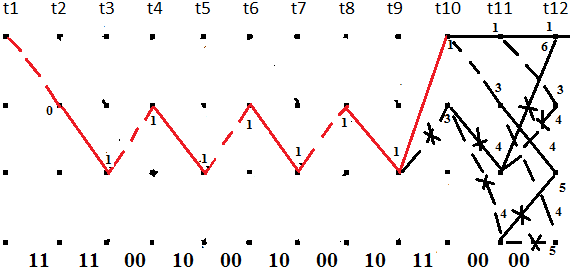
Гqeyofjcnкнз =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0=1

Гqeyofjcnкнх =0+1+0+0+0+0+0+0+0+2=3

Гqeyofjcnкгэ =0+1+0+0+0+0+0+0+2+1=4

Гqeyofjcnкгж =0+1+0+0+0+0+0+0+2+1=4



Шаг 11:

~~Гqeyofjcnкгэд =0+1+0+0+0+0+0+0+2+1+2=6~~

~~Гqeyofjcnкгэл =0+1+0+0+0+0+0+0+2+1+0=4~~

~~Гqeyofjcnкгжо =0+1+0+0+0+0+0+0+2+1+1=5~~

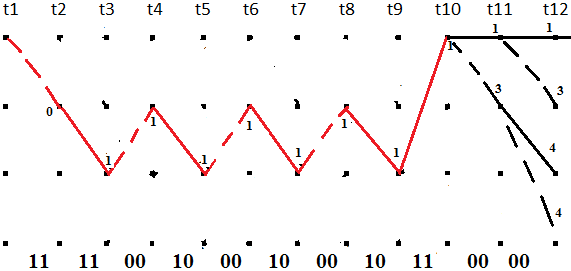
~~Гqeyofjcnкгжр =0+1+0+0+0+0+0+0+2+1+1=5~~

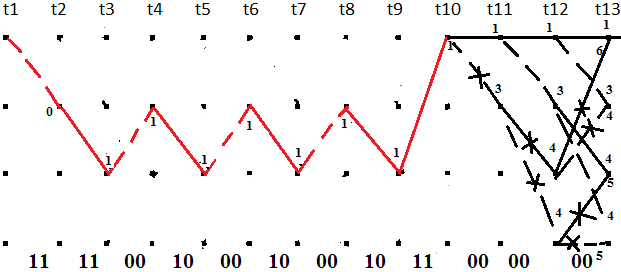
Гqeyofjcnкнзд =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+0=1

Гqeyofjcnкнзл =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+2=3

Гqeyofjcnкнхо =0+1+0+0+0+0+0+0+0+2+1=4

Гqeyofjcnкнхр =0+1+0+0+0+0+0+0+0+2+1=4



Шаг 12:

~~Гqeyofjcnкнхоп =0+1+0+0+0+0+0+0+0+2+1+2=6~~

~~Гqeyofjcnкнхоа =0+1+0+0+0+0+0+0+0+2+1+0=4~~

~~Гqeyofjcnкнхрв =0+1+0+0+0+0+0+0+0+2+1+1=5~~

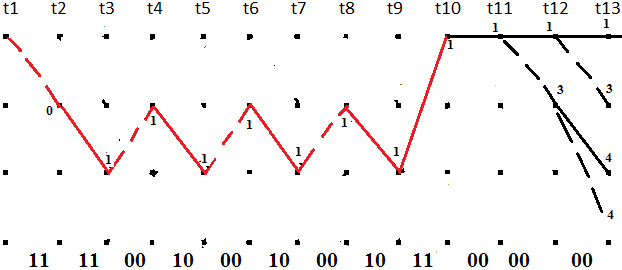
~~Гqeyofjcnкнхрф =0+1+0+0+0+0+0+0+0+2+1+1=5~~

Гqeyofjcnкнздп =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0=1

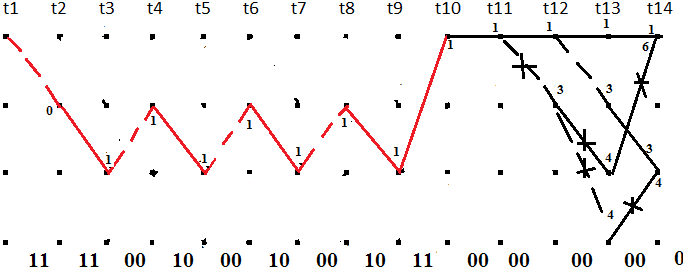
Гqeyofjcnкнзда =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+0+2=3

Гqeyofjcnкнзлв =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+2+1=4

Гqeyofjcnкнзлф =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+2+1=4



Поскольку декодеру известно, что, начиная с 13-го шага, производится обнуление кодера, возможны лишь переходы в состояния 00 или 01.

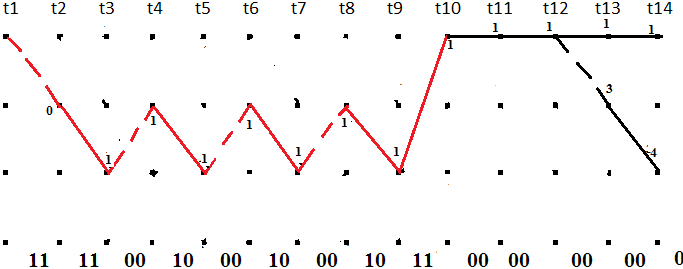
Шаг 13:

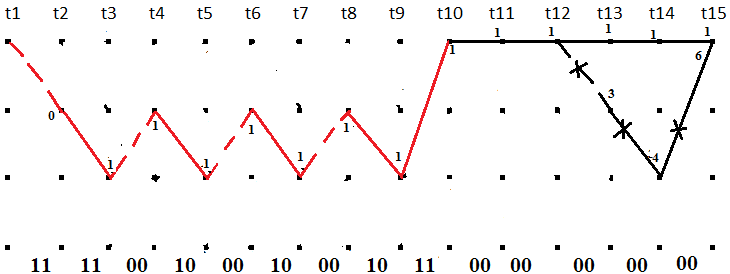
Гqeyofjcnкнздпя =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0=1

Гqeyofjcnкнздач =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+0+2+1=4

~~Гqeyofjcnкнзлвя =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+2+1+2=6~~

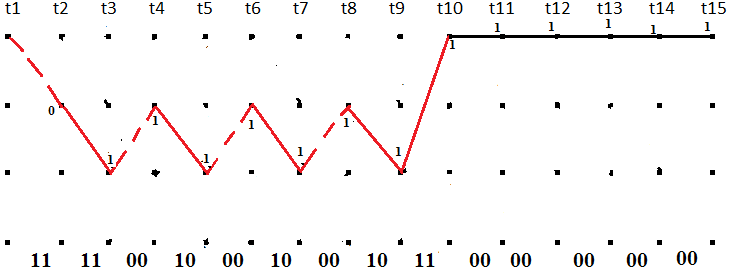
~~Гqeyofjcnкнзлфч =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+2+1+1=5~~



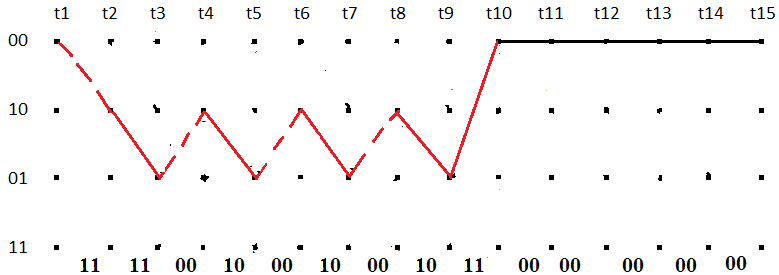
Шаг 14:

Гqeyofjcnкнздпяс =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0+0=1

~~Гqeyofjcnкнздачс =0+1+0+0+0+0+0+0+0+0+0+2+1+2=6~~



1. Построить диаграммы выживших путей от момента времени до момента времени по аналогии с решетчатыми диаграммами.



Определим соответствие информационным символам , которые поступали на вход сверточного кодера

# Выводы

В представленной работе исследовались принципы работы цифровой системы передачи сообщений (с использованием современного вида модуляции КФМ-16). Функциональные блоки системы связи, а именно – источник сообщений, аналого-цифровой преобразователь, кодирующее устройство, формирователь модулирующих символов, модулятор, непрерывный канал, демодулятор и декодер (дополнительно: сглаживающие формирующие фильтры СФФ в модуляторе и соответствующие согласованные фильтры СФ в демодуляторе, оптимизирующие систему связи в отношении флуктуационной помехи и устраняющие межсимвольную помеху),– рассматривались последовательно от входа к выходу.

Были получены навыки расчета характеристик заданных блоков и построения соответствующих графиков с помощью программы MathCad. Также в ходе работы было рассмотрено и использовано сверточное кодирование и декодирование на основе алгоритма Витерби. Декодированием на основе данного алгоритма были исправлены ошибки на выходе демодулятора. Были выявлены преимущества импульсов Найквиста перед обычными прямоугольными посредством сравнения их характеристик.

# Список используемой литературы

* + - 1. Общая теория связи: методические указания к выполнению курсовой работы / Л. Н. Куликов, М. Н. Москалец, П. П. Шумаков; СПбГУТ. – СПб., 2016. – 104 с.
      2. Теория электрической связи. Основы теории сверточного кодирования: Учебное пособие/ Л.Н.Куликов, М.Н.Москалец;СПбГУТ. – СПб., 2006.-32 c.
      3. Зюко, А. Г. Теория передачи сигналов / А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, М. В. Назаров, Л. М. Финк. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1986. – 304 с.
      4. Зюко, А. Г. Теория электрической связи : учебник для вузов / А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, В. И. Коржик, М. В. Назаров. – М. : Радио и связь, 1998.
      5. Прокис, Дж. Цифровая связь : пер. с англ. / Дж. Прокис ; под ред. Д. Д. Кловского. – М. : Радио и связь, 2000. – 800 с.
      6. Галкин, В. А. Цифровая мобильная радиосвязь : учеб. пособие для вузов / В. А. Галкин. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007 – 432 с.
      7. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. для вузов / И. С. Гоноровский. – Изд. Радио и связь, 1977.
      8. Куликов, Л. Н. Теория электрической связи. Основы сверточного кодирования : учеб. пособие / Л. Н. Куликов, М. Н. Москалец. – СПб., 2006.
      9. Куликов, Л. Н. Общая теория связи : методические указания к выполнению курсовой работы / Л. Н. Куликов, М. Н. Москалец, М. Н. Чесноков. – СПб., 2012.
      10. Григоровский, Л. Ф. Теория электрической связи. Модели сигналов и методы их преобразования в системах связи : учеб. пособие / Л. Ф. Григоровский, В. И. Коржик, В. Г. Красов, В. Ф. Кушнир. – Л. : ЛЭИС. – 1990.
      11. Тихонов, В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1982. – 624 с.