|  |
| --- |
| Федеральное государственное образовательное бюджетное  учреждение высшего профессионального образования  **«Санкт-Петербургский государственный университет**  **телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича»**  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Факультет многоканальных телекоммуникационных систем  Кафедра  теоретических основ связи и радиотехники  ***КУРСОВАЯ РАБОТА***  учебная дисциплина «**Общая теория связи**»  Тема: **«Расчёт основных характеристик цифровой системы связи**  **с использованием квадратурной модуляции»**  Выполнила студентка II курса группы  ИКТ-113 Мизгунова А. С.  номер зачётной книжки 112056;  номер выполненного варианта =56  Проверил руководитель  Оценка \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_(подпись)  Санкт-Петербург - 2013 |

Цель курсовой работы – изучить принципы работы системы цифровой передачи аналоговых сообщений и рассчитать основные характеристики входящих в нее функциональных узлов.

**1. Структурная схема системы цифровой связи**

Система связи предназначена для передачи аналоговых сообщений по цифровому каналу связи. Структурная схема для КАМ-16 и КФМ-4 представлена на рис. 1.1.

DrawСТСХbap2wmf

Рис. 1.1. Структурная схема системы цифровой связи.

Входящие в систему цифровой связи функциональные узлы имеют следующие назначения:

1. источник сообщений создает реализации *a*(*t*) случайного процесса *A*(*t*);
2. аналого-цифровой преобразователь преобразует аналоговый сигнал от источника сообщения в последовательность его двоичных цифровых отсчетов;
3. кодер включает в цифровой поток от АЦП дополнительные символы, предназначенные для повышения помехоустойчивости системы связи;
4. формирователь модулирующих сигналов служит для получения модулирующих сигналов *I*(*t*) и *Q*(*t*), соответствующих заданному виду модуляции;
5. перемножители – для получения БМ сигналов: синфазного *I*(*t*)cosωС*t* и квадратурного *Q*(*t*)sinωС*t*.
6. фазовращатель – для получения второго несущего колебания, ортогонального по отношению к первому;
7. генератор гармонических колебаний – для получения несущего колебания;
8. сумматор для объединения синфазного и квадратурного сигналов в единый сигнал с квадратурной модуляцией *S*КАМ(*t*) = *I*(*t*)cosωС*t + Q*(*t*)sinωС*t*;
9. непрерывный канал – среда распространения сигнала *S*КАМ(*t*);
10. демодулятор – для анализа приходящего сигнала, искаженного помехами, и принятии решения о переданном сообщении;
11. преобразователь параллельного кода в последовательный код – для преобразования сигнала с выхода демодулятора в последовательный формат кодовых комбинаций;
12. декодер – для исправления части ошибок, возникших при приёме сообщений вследствие влияния помех;
13. цифро-аналоговый преобразователь – для восстановления аналоговой формы сигнала по принятым его цифровым отсчетам;
14. получатель сообщений.

**2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**

*Номер* выполняемого *варианта*  определяется двумя последними цифрами в номере зачетной книжки (98) Используя номер варианта  внести свои данные в табл. 1.

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Предельные уровни  аналогового сигнала  , (В) | (В) | Внести  свои данные |
| (В) |
| Верхняя частота спектра  аналогового сигнала | (Гц) | 1,56 ∙10 4 (Гц) |
| Заданный уровень  квантования |  | 332 |
| Спектральная плотность  мощности  флуктуационной  помехи | Номер варианта  в пределах | 2,3∙10-7 Гц |
| 1…33 |  |
| 34…66 |  |
| 67…99 |  |
| – номер тактового  интервала ошибки |  | 3 |
| № вида модуляции | Вид модуляции | Вид модуляции  по числу |
| 0 | КФМ-4 | + |
| 1 | КАМ-16 |  |

КАМ-16 (QAM) квадратурная амплитудная модуляция

КФМ-4 (QPSK) квадратурная фазовая модуляция

*N*O (В2/Гц) – спектральная плотность мощности флуктуационной помехи

*J10=500-3m – з*аданный уровень квантования

*f*B = (1+*m*)·104 (Гц) – Верхняя частота спектра аналогового сигнала

*q* = *m* mod 3 + 1 – номер тактового интервала ошибки

**3. Расчет системы цифровой связи**

**3.1. Источник сообщения**

Источник сообщения (ИС) вырабатывает реализации  стационарного случайного процесса  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  и построить их графики.





где = 51,2 В.

Графики  и *w*(*a*) приведены на рис. 3.1.1.

*F*(*a*)

1

-25,6 0 25,6 *a* (В)

*w*(*a*) (1/В)

-25,6 0 25,6 *a* (В)

Рис. 3.1.1. Графики функции распределения и плотности вероятности 

1. Рассчитать математическое ожидание *M*[*A*(*t*)] и дисперсию *D*[*A*(*t*)]

сообщения *A*(*t*).

*M*[*A*(*t*)] = 0















































2

2

2

1

)

(

)

(

2

2

2

*мин*

*макс*

*минí*

*макс*

*минí*

*макс*

*a*

*a*

*минí*

*макс*

*a*

*a*

*a*

*a*

*a*

*a*

*a*

*da*

*a*

*a*

*a*

*da*

*a*

*aw*

*t*

*A*

*M*

*макс*

*мин*



1. Написать аналитическое выражение для спектральной плотности мощности  сообщения  и построить график.

= 212,5/(2∙1,56∙104)= 6,8 мВ2/Гц





- fв fв

1. Найти аналитическое выражение для корреляционной функции  сообщения  и построить график. По форме графика  определить, является ли сообщение  эргодическим случайным процессом или не является таковым. Корреляционную функцию случайного процесса можно определить через его энергетический спектр по теореме Винера-Хинчина [1, стр.117 – 119].



График *BA*(τ) приведен на рис. 3.1.2.

*BA*(τ)

*GAf*B

-3/2*f*B -2/2*f*B-1/2*f*B 0 1/2*f*B2/2*f*B 3/2*f*B τ

Рис. 3.1.2. Корреляционная функция процесса *A*(*t*)

**3.2. Аналого-цифровой преобразователь**

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) преобразует реализации аналогового (непрерывного) сообщения  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. Амплитуда импульсов равна .

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 отсчеты  мгновенных значений реализации . Расстояние между отсчетами равно интервалу , величина которого определяется в соответствии с теоремой Котельникова.

На *втором* этапе выполняется квантование точных отсчетов  по уровню. Для этого интервал  равный разности - разбивается на уровни квантования с постоянным шагом . Уровни квантования нумеруются целыми числами . Нумерация уровней начинается с уровня, которому соответствует значение , и заканчивается на уровне, которому соответствует значение . Обычно величина шага квантования  выбирается так, чтобы число уровней квантования  можно представить в виде , где  ­ целое число.

Каждый аналоговый отсчет  заменяется значением ближайшего к нему уровня квантования  в виде целого числа, удовлетворяющего неравенству . Получаем квантованный отсчет  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.

Требуется:

1. Рассчитать интервал дискретизации  для получения отсчетов  реализации , , 

32 мкс.

2. Рассчитать частоту дискретизации .

31,25 кГц.

3. Определить число уровней квантования .

*L* = 2*k*, где *k* – разрядность АЦП,

*k* = 9, *L* = 2*k* = 29 = 512.

4. Рассчитать мощность шума квантования  и сравнить ее с мощностью непрерывного сообщения  [см. п. 2 раздела 1].

0,81 мВ2

 –54,2 дБ

1. Записать  ­ разрядное двоичное число, соответствующее заданному уровню квантования *j*.

Число двоичных разрядов k=9

*j* = 33210 = 1010011002

6. Начертить временную диаграмму отклика АЦП  на заданный уровень квантования  в виде последовательности импульсов, сопоставляя *единичным* символам прямоугольные импульсы положительной полярности, а *нулевым* – нулевые напряжения. Над импульсами надписать значения соответствующих двоичных информационных символов (рис.3.2.1). Длительность отклика АЦП на каждый отсчет не должна превышать интервала дискретизации .

1 1

1 1

0 0

0 0

0

Рис. 3.2.1. Осциллограмма сигнала на выходе АЦП

**3.3. Кодер**

Используется помехоустойчивый свёрточный код. Выбрать структурную схему сверточного кодера [1, стр. 251 - 253].

Требуется:

1. Использовать сверточный код с параметрами:

- степень кодирования *k*/*n* = 1/2,

- длина кодового ограничения *K* = 3,

- векторы связи и .

2. Нарисовать схему кодера, соответствующую заданным параметрам, и определить его импульсную характеристику *g*(*x*).

1-й (нечетный) кодированный бит

Информационный 1 2 3 Выходной

входной бит кодированный дибит

2-й (четный) кодированный бит

Рис. 3.3.1. Сверточный кодер (*k*/*n* = 1/2, *K* = 3)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| И.С. | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| К.С. | 11 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 01 | 01 | 11 |

3. Изобразить решетчатую диаграмму сверточного кодера от момента времени *t*1 до момента времени *t*10.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

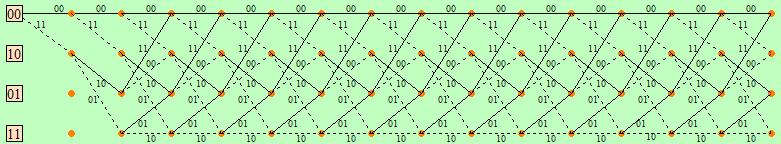


Рис.3.3.1 Решетчатая диаграмма кодера.

4. На решетчатой диаграмме сверточного кодера построить путь, соответствующий последовательности информационных символов *b*(*iT*) от АЦП для заданного уровня квантования , и определить по нему последовательность кодовых символов *c*(*iTb*) на выходе кодера.

*b*(*iT*) = 011001110

*t*1 *t*2 *t*3 *t*4 *t*5 *t*6 *t*7 *t*8 *t*9 *t*10

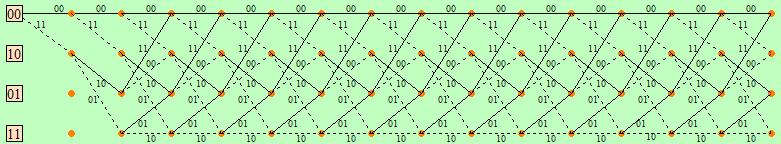


Рис. 3.3.2. Решетчатая диаграмма сверточного кодера

*c*(*iTb*) = 11 10 10 10 11 11 01 01 11

5. Определить длительность двоичного символа *ТВ* на выходе кодера (в последовательном формате)

1,8 мкс.

**3.4. Формирователь модулирующих сигналов**

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*КАМ(*t*) (дибиты при *QPSK*);

- 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*);

Требуется:

1. Изобразить сигнальное созвездие для заданного вида модуляции.

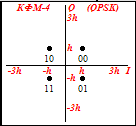


Рис. 3.4.1. Сигнальное созвездия четырехуровневой *QPSK*

1. Изобразить график реализации *c*(*t*) случайного процесса *C*(*t*)

на входе блока ФМС (выходе сверточного кодера) для первых 16 бинарных интервалов (рис. 3.4.2).

С(t)

h

1

1

1

1

1

1

1

1

1 1 1 Тб

0

-h 0

Рис. 3.4.2. Осциллограмма реализации с выхода сверточного кодера

Написать аналитическое выражение для случайного процесса .



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 ).

1. В соответствии с сигнальным созвездием модулятора *QPSK*

(или *QASK*) изобразить для входной реализации  графики реализаций  и  на выходе блока ФМС случайных процессов  и  (рис. 3.4.3). Написать аналитические выражения для случайных процессов  и .

; 

где  ­ прямоугольный импульс длительностью *TS*.

 ­ прямоугольный импульс такой же формы, как импульс , но сдвинутый вправо относительно импульса  на величину , если , или влево, если ;  и  ­ независимые случайные величины, заданные на символьном интервале с номером , которые согласно сигнальному созвездию (рис. 3.4.1) принимают:

для *QPSK* два дискретных значения –*h*, +*h* с вероятностью 0,5 каждое, т. е. ;

С(t)

h

1

1

1

1

1

1

1

1

1 1 1 Тб

0

-h 0

I(t)

Q(t)

Рис.

3.4.3. Осциллограммы реализаций *i*(*t*) *q*(*t*) на выходах  и  ФМС

1. Написать аналитические выражения для корреляционной функции

 и спектральной плотности мощности  входного случайного процесса  и построить графики этих функций.

Процесс *C*(*t*) является случайным синхронным телеграфным сигналом. Его корреляционная функция имеет вид [1]

,при

0,при

а энергетический спектр

,

где *Т* = *ТВ* – длительность тактового интервала.

Графики *B*C(τ) и *GC*(*f*) приведены на рис. 3.4.4.



Рис. 3.4.4. Корреляционная функция *B*C(τ) (а) и энергетический спектр *GC*(*f*) (б)

синхронного телеграфного сигнала *C*(*t*)

5. Написать аналитические выражения для корреляционных функций

*BI*(τ) и *BQ*(τ), спектральных плотностей мощности *GI*(*f*) и *GQ*(*f*) случайных процессов *I*(*t*) и *Q*(*t*). Построить графики этих функций.

Процессы *I*(*t*) и *Q*(*t*) отличаются от процесса *C*(*t*) длительностями тактовых интервалов (*TS* = 2*TB* для *QPSK* и *TS* = 4*TB* для *QАSK*), а для *QАSK* ещё и начальными значениями *BI*(0) = *BQ*(0) = *D*[*I*(*t*)] = *D*[*Q*(*t*)] и *GI*(0) = *GQ*(0) = *D*[*I*(*t*)]/ *TS* = *D*[*Q*(*t*)]/ *TS*



корреляционная функция имеет вид [1]

,при

0,при

а энергетический спектр

,

Графики *B*I(τ) и *GI*(*f*) приведены на рис. 3.4.5.

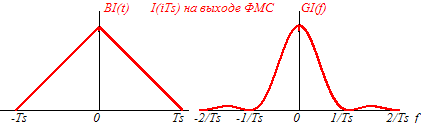


Рис. 3.4.5. Корреляционная функция *B*I(τ) (а) и энергетический *GI*(*f*) спектр (б) синхронного телеграфного сигнала *I*(*t*)

6. Определить длительность символьного интервала *TS*.

*TS* = 2*TB* для *QPSK* ,

где *TB* - бинарный интервал.

*TS* = 2*TB* = 2·1,8 = 3,6 мкс

**3.5. Модулятор**

DrawСТСХbap2wmf

В состав модулятора входят блоки:

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

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

- перемножители ПМ 1 и ПМ 2, 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*КАМ(*t*) = *SI*(*t*) + *SQ*(*t*) = *I*(*t*)cosωС*t + Q*(*t*)sinωС*t*.

Х

Y

Х

Г

-900

Х

∑

Вход В(t) А

Выход

Б

Рис.3.5. Схема модулятора КФМ-4.

Формулу для определения сигнального созвездия можно представить в следующем виде:



 ;  – фазу отсчитывают по круговому направлению против часовой стрелки, так как в выражении для *Q* перед *А* стоит знак минус. Таким образом, при считывании фазы с сигнального созвездия меняем знак по мнимой оси на противоположный (см. знак «минус» перед *А* в выражении для *Q*)

1. На четырех символьных интервалах *TS* нарисовать графики следующих сигналов (в виде символических прямоугольников с указанием их амплитуд и фаз, определенных по сигнальному созвездию заданного вида модуляции):

синфазного БМ сигнала ;

квадратурного БМ сигнала ;

сигнала заданной квадратурной модуляции ;

кодовой последовательности с выхода кодера (без учета их временных сдвигов для удобства сопоставления).

С(t)

h

1

1

1

1

1

1

1

1

1 1 1 Тб

0

-h 0

I(t)

Q(t)

Рис. 3.5.1. Построения графиков

для сигналов КФМ-4 в блоке модулятора

1 t

-1

Рис.3.5.2.Сигнал заданной квадратурной модуляции на выходе сумматора в квазигармонической форме.

2. Написать аналитические выражения для корреляционных функций *BSI*(τ), *BSQ*(τ) и для спектральных плотностей мощности *GSI*(*f*) и *GSQ*(*f*) сигналов *SI*(*t*) и *SQ*(*t*) на выходах перемножителей модулятора.

Из анализа, приведенного в [2, стр. 41 – 42], следует

,

аналогично



Спектральные плотности мощности *GSI*(*f*) и *GSQ*(*f*) сигналов *SI*(*t*) и *SQ*(*t*) можно найти по теореме Винера-Хинчина как преобразование Фурье от их корреляционных функций [2, стр.43]

,

.

3. Написать аналитические выражения для корреляционной функции сигнала *BS*(τ) и для спектральной плотности мощности *GS*(*f*) сигнала *S*КАМ(*t*) заданного вида квадратурной модуляции на выходесумматора модулятора. Построить графики этих функций.

Учитывая, что процесс *S*КАМ(*t*) является суммой двух случайных независимых процессов *SI*(*t*) и *SQ*(*t*)

*S*КАМ(*t*) = *SI*(*t*) + *SQ*(*t*) = *I*(*t*)cosωС*t + Q*(*t*)sinωС*t*,

его корреляционная функция будет равна сумме корреляционных функций слагаемых процессов

*BS*(τ) = *BSI*(τ) + *BSQ*(τ) = 

По этой же причине спектральная плотность мощности *GS*(*f*) сигнала *S*КАМ(*t*) есть сумма энергетических спектров *GSI*(*f*) и *GSQ*(*f*) сигналов *SI*(*t*) и *SQ*(*t*), соответственно,

.

Графики *BS*(τ) и *GS*(*f*) приведены на рис. 3.5.3.

τ

ω

cos

)

(

)

τ

(

c







*I*

*S*

*B*

*B*

*S*

*T*

*S*

*T*



0

0

0

τ

τ

ω

cos

)

(

2

1

)

τ

(

c

cos







*I*

*I*

*B*

*B*

Рис. 3.5.3. График корреляционной функции случайного процесса 

Drawmod7redwmf

Рис. 3.5.3 График функции 

4. Определить *FS* – ширину спектра модулированного сигнала *S*КАМ(*t*) по второму нулю его огибающей

1438 кГц

**3.6. Непрерывный канал**

Передача сигнала *s*КАМ(*t*) происходит по непрерывному неискажающему каналу с постоянными параметрами в присутствии

аддитивной помехи типа гауссовского белого шума (АБГШ). Сигнал на выходе такого канала имеет вид

*z*(*t*) = μ*s*КАМ(*t*) + *n*(*t*),

где μ – коэффициент передачи канала. Для всех вариантов принять μ = 1. Односторонняя спектральная плотность мощности помехи равна *N*О

(значения *N*О для своего варианта взять из таблицы исходных данных).

Требуется:

1. Определить минимально необходимую ширину полосы частот непрерывного канала *F*К.

=1,44 МГц;

2. Определить мощность помехи  на выходе канала.

*Р*П = *N*O·*Fk* = 1,85·10-7·144·103 = 0,26 В2

3. Определить  ­ среднюю мощность сигнала *s*(*t*) и найти отношение /.





4. Рассчитать пропускную способность  (за секунду) непрерывного канала.



5. Оценить эффективность использования пропускной способности непрерывного канала, равную отношению производительности источника  к пропускной способности канала, т. е.



где



**3.7. Демодулятор**

Когерентный демодулятор производит анализ принятого приёмником смеси переданного сигнала с помехой *z*(*t*) = μ*s*КАМ(*t*) + *n*(*t*), сопоставляя его с известными образцами сигналов, формируемых модулятором. Анализ завершается принятием решения по критерию максимального правдоподобия в пользу наиболее вероятного передаваемого сигнала (символа).

Требуется:

1. Изобразить структурную схему когерентного демодулятора,

оптимального по критерию максимального правдоподобия для заданного сигнала квадратурной модуляции (рис. 3.7.1).

Рис. 3.7.1. Схема демодулятора для сигнала квадратурной модуляции КФМ-4

2. Написать алгоритмы работы решающих устройств РУ1 и РУ2 в составе когерентного демодулятора.

.

В момент окончания каждого символьного интервала длительностью  решающее устройство РУ1 (и РУ2) определяет номер входа , на котором напряжение максимально, и формирует соответствующий дибит в параллельном формате:

«00» при  = 1, «10» при  = 2, «01» при  = 3, «11» при  = 4.

3. Определить вероятности ошибок на выходах решающих устройств РУ1 и РУ2 при определении значений символов *In* и *Qn*, равных *h, –h*

,

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

|  |  |
| --- | --- |
| Передаваемые величины *In* и *Qn* | Вероятность ошибки в работе РУ1 и РУ2 |
| *In* = ±*h*, *Qn* = ±*h* | ,  где *Q* (*x*)– дополнительная функция ошибок,  *Е*1 - энергия сигнала 1·cosωc*t*, *Е*1 = 0,5·12·*TS*  *N*O – спектральная плотность мощности БГШ |

=

4. Определить вероятности ошибок на выходе преобразователя

параллельного кода в последовательный код (ФМС) для заданных параметров сигналов  и :

для точек сигнального созвездия с координатами *In* = ±*h*, *Qn* = ±*h* (4 точки у *QPSK*)

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

5. Определить среднюю вероятность ошибки на выходе преобразователя:

для *QPSK*:

*P*ср(ош) = 4·*P*In=h,Qn=h(ош) / 4 = *P*In=h,Qn=h(ош)=.

**3.8 Декодер**

Декодер формирует из непрерывной последовательности кодовых символов, поступающих с выхода демодулятора (возможно, с ошибками), выходную непрерывную последовательность декодированных кодовых символов, в которых ошибки частично либо полностью исправлены.

Требуется:

1. Переписать последовательность кодовых символов, полученных на выходе кодера из п. 4 раздела 3.3

= 001101011111011001.

2. Получить входную для декодера последовательность кодовых символов путём внесения в последовательность однократной ошибки в позиции *q* (по варианту)

=000x101011111011001 (при *q* = 3).

3. Построить решетчатые диаграммы выживших путей декодера для моментов: *t*1 – *t*4, *t*1 – *t*5, *t*1 – *t*6, *t*1 – *t*7, *t*1 – *t*8, *t*1 – *t*9, *t*1 – *t*10, *t*1 – *t*4 (рис. 3.8.1). На построенных диаграммах, вычислить метрики путей, входящих в каждый узел диаграммы, выделить фрагменты единственно выживших путей и прочитать по ним декодированную кодовую последовательность *â*ВЫХ(*k*). Убедиться в том, что *â*ВЫХ(*k*) = *b*ВЫХ(*k*), т.е. в исправлении ошибки в позиции *q*.

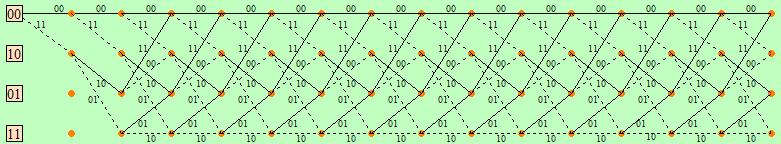
****

Рис. 3.8.1. Решетчатая диаграмма декодера ( степень кодирования ½,К=3)

Решетчатая диаграмма декодера на рис 3.8.1. отличается от решетчатой диаграммы кодера на рис 3.3.1 тем, что ребрам этих решеток соответствуют разные обозначения. Числа над ребрами решетки декодера определяются, как расстояние Хемминга между двумя символами принятой последовательности , расположенными над данным ребром и двумя символами, которыми отмечено данное ребро на решетке кодера.

1.Тепер построим честь решетчатой диаграммы декодера , которая расположена между моментами t1 и t4. Для удобства узлы обозначим буквами

a,b,c,d и a,y,l,n.

Определим метрику путей по Хеммингу, исходящих из одной точки a и приходящих в узлы d,k,m,p.

Из диаграммы видно, что в узел d приходят два пути a,b,c,d и a,y,l,d. Определим по диаграмме метрику этих путей

Гa,b,c,d=0+1+1= 2

Гa,y,l,d=2+2+1=5

В узел k приходят так же два пути a,b,c,k и a,y,l,d. Их метрики равны

Гa,b,c,k=0+1+1=2

Гa,y,l,k=2+2+1=5

В узел m приходят так же два пути a,b,z,m и a,y,n,m. Их метрики равны

Гa,b,z,m=0+1+2=3

Гa,y,n,m=2+0+0=2

В узел p приходят так же два пути a,b,z,p и a,y,n,p. Их метрики равны

Гa,b,z,p=0+1+0=1

Гa,y,n,p=2+0+2=4.

Целью алгоритма Витерби является то, что из двух путей, приходящих в каждый из узлов *d,k,m,p,* выжившим считается только один путь-тот путь, которому соответствует меньшая метрика. С учетом этого, из двух путей, приходящих в узел *a*, выживает узел *a,b,c,d.* Из остальных пар выживут соответственно a,b,c,k; a,y,n,m; a,b,z,p.

Снова построим диаграмму, но на ней укажем только выжившие пути к моменту времени t4 (Рис. 3.8.1, a.). Теперь полученную диаграмму на рис (Рис. 3.8.1, б.) достроим соответствующими ребрами до момента t5( из каждого узла d,k,m,p проводим два новых ребра).

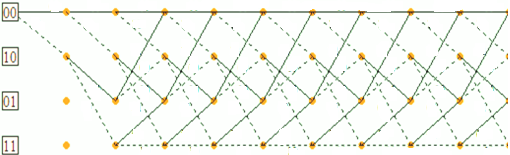
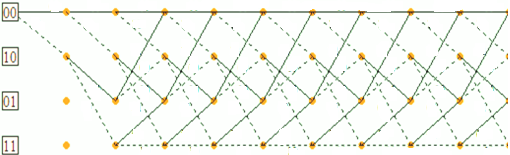
 

Рис. 3.8.1, a. Решетчатая диаграмма декодера Рис. 3.8.1, б. Выжившие пути к моменту времени t4.

между моментами t1 и t4.

1. Выжившие пути к моменту времени t4, достроенные до момента t5.

В узел j приходят два пути a,b,c,d,j и a,y,n,m,j ; метрика этих путей равна:

Гa,b,c,d,j= 0+1+1+1=3

Гa,y,n,m,j=2+0+0+1=3

В узел f приходят также два пути a,b,c,d,f и a,y,n,m,f:

Гa,b,c,d,f=3

Гa,y,n,m,f=3

В узел v приходят также два пути a,b,c,k,v и a,b,z,p,v:

Гa,b,c,k,v=4

Гa,b,z,p,v=1

В узел q приходят также два пути a,b,c,k,q и a,b,z,p,q:

Гa,b,c,k,q=2

Гa,b,z,p,q=3

Двум путям, приходящих в узел j, соответствую одинаковые расстояние Хемминга, равные 3. Поэтому из этих двух путей произвольно выбираем любой, например, a,b,c,d,j. Аналогично из двух путей, приходящий в узел f , произвольно выбираем любой путь , например, a,b,c,d,f. Из двух путей, приходящих в узел v : a,b,z,p,v. Из двух путей приходящих в узел q: a,b,c,k,q.

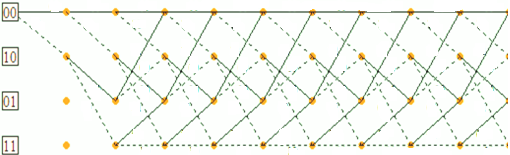


Рис.3.8.1.в. Выжившие пути к моменту t4, достроенные до момента t5.

3.Выжившие пути к моменту t5 , достроенные до моменты t6.

Узел i : *Гa,b,c,d,j,i=5*

*Гa,b,z,p,v,i=1*

Узел o : *Гa,b,c,d,j,o=3*

*Гa,b,z,p,v,o=3*

Узел w : *Гa,b,c,d,f,w=4*

*Гa,b,c,k,q,w=3*

Узел e: *Гa,b,c,d,f,e=4*

*Гa,b,c,k,q,e=3*

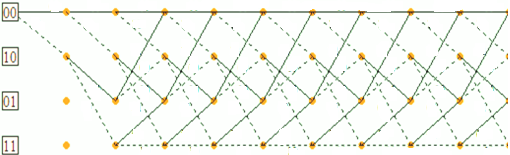


Рис.3.8.1.г. Выжившие пути к моменту t5 ,достроенные до момента t6 .

Согласно вышесказанному выживают следующие пути: a,b,z,p,v,i ; a,b,z,p,v,o ; a,b,c,k,q,w ; a,b,c,k,q,e. На диаграмме (рис. 3.8.1.г.) строим эти пути.

4 . Выжившие пути к моменту t6, достроенные до момента t7 .

Узел y: Гa,b,c,k,q,w,y=3

Гa,b,z,p,v,I,y=3

Узел m: Гa,b,c,k,q,w,m=5

Гa,b,z,p,v,i,m=1

Узел ф: Гa,b,c,k,q,e,ф=4

Гa,b,z,p,v,o,ф=4

Узел и: Гa,b,c,k,q,e,u=4

Гa,b,z,p,v,o,u=4

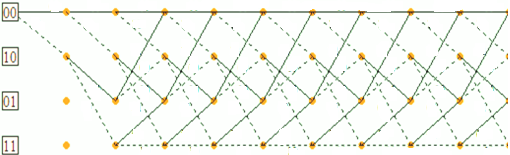


Рис.3.8.1.д. Выжившие пути к моменту t6 , достроенные до момента t7.

Выживают пути a,b,z,p,v,i,y ; a,b,z,p,v,I,m ; a,b,z,p,v,o,ф ; a,b,z,p,v,o,u.

1. Выжившие пути к моменту t7 , достроенные до моментаt8

Достраиваем полученную диаграмму соответствующими ребрами до момента t8 и указываем над вновь проведенными ребрами на рис.3.8.1.е. соответствующие расстояние Хемминга.

Находим :

Узел я: Гa,b,z,p,v,I,y,я=4

Гa,b,z,p,v,o,ф,я=5

Узел э: Гa,b,z,p,v,I,y,э=4

Гa,b,z,p,v,o,ф,э=5

Узел ю: Гa,b,z,p,v,I,m,ю=3

Гa,b,z,p,v,o,u,ю=4

Узел ь: Гa,b,z,p,v,I,m,ь=1

Гa,b,z,p,v,o,u,ь=6

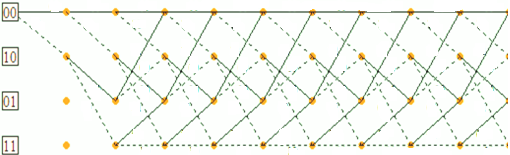


Рис.3.8.1.е. Выжившие пути к моменту t7 , достроенные до момента t8.

Выживают пути a,b,z,p,v,I,y,я ; a,b,z,p,v,I,y,э ; a,b,z,p,v,I,m,ю; a,b,z,p,v,I,m,ь.

1. Выжившие пути к моменту t8 , достроенные до моментаt9  и т.д. вычерчивают сигнал на диаграмме кодера. Изобразим диаграмму от момента t11 до момента t12 .

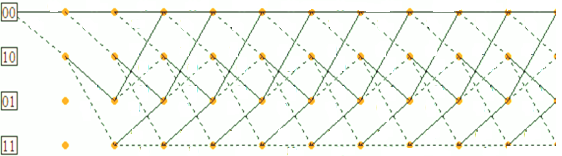


Рис.3.8.1.ж. Выжившие пути к моменту t11 , достроенные до момента t12.

1. Из построенной на рис 3.8.1.ж. диаграммы видно ,что от момента t1 до момента t10  выжил только один путь a,b,z,p,v,I,m,ь,г,ш,м. Теперь перенесем этот один выживший путь с диаграммы декодера на диаграмму кодера. Этому пути на диаграмме кодера соответствуют обозначения ребер 00, 11, 01, 01,11,11,01,10,01.

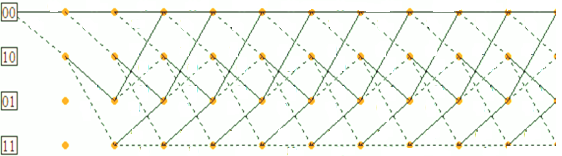
****

Рис.3.8.1.з. Выживший путь к моменту t10  на диаграмме декодера.

Декодер принимает решение, что на интервале от t1 до t10  по каналу передавалась последовательность кодовых символов, соответствующая выжившему пути a,b,z,p,v,I,m,ь,г,ш,м , т.е.: 00, 11, 01, 01,11,11,01,10,01. Эта последовательность совпадает с = 001101011111011001 от момента t1 до t10  . Таким образом, ошибки возникшие на выходе демодулятора, оказываются исправленными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сальников А.П. Теория электрической связи: Конспект лекций / СПбГУТ. – СПб., 2007. – 273 с.: ил.
2. Общая теория связи: методические указания к выполнению курсовой работы / Л. Н. Куликов, М. Н. Москалец, М. Н. Чесноков. – СПб. : Издательство СПбГУТ, 2012. – 80 с.
3. . Теория электрической связи:учеб.пособие для студ.высших учебных заведений / Р.Р. Биккенин, М.Н. Чесноков. - СПб.:Издательский центр «Академия» , 2010.-336с.