СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Структурная схема и характеристики цифровой системы передачи непрерывных сообщений

1.1 Источник сообщений

1.2 АЦП и ЦАП

## 1.3 Кодер и декодер корректирующего кода

## 1.4 Модулятор и демодулятор

## 1.5 Канал связи

2. Расчет параметров АЦП и ЦАП

3. Расчет информационных характеристик источника сообщений и первичных сигналов

3.1 Расчет информационных характеристик источника непрерывных сообщений

3.2 Расчет информационных характеристик сигнала на выходе АЦП

4. Расчет помехоустойчивости демодулятора дискретной модуляции

5. Выбор корректирующего кода и расчет помехоустойчивости системы связи с кодированием

7. Расчет эффективности системы связи

Заключение

цифровой непрерывный сообщение демодулятор помехоустойчивость

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время тяжело представить себе жизнь людей без систем передачи информации. С помощью систем передачи информации соединяются в одну структуру компьютерные, телефонные и другие сети различных структур, городов и предприятий. С каждым днем растут потребности в скорости передачи информации, а главное в степени ее защищенности. Использование цифровых линий передачи информации значительно повысило и скорость передачи информации, и степень ее защищенности за счет использования в них оптического волокна и меньшей восприимчивости к помехам цифровых сигналов. Существенное преимущество цифровых систем также в простоте их подключения к ЭВМ, что позволяет существенно расширить применение вычислительной техники в исследовании систем связи и в управлении ими. Для исследования систем связи современная теория связи использует как детерминированные модели сигналов, так и вероятностные модели для передаваемых сообщений, соответствующих им сигналов и помех (шумов) в канале. Вероятностный подход учитывает случайный (для получателя) характер передачи сообщений и помех в канале и позволяет определить оптимальные приемные устройства (обеспечивающие максимально возможное качество) и предельные показатели систем передачи сообщений (систем связи).

1. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ НЕПРЕРЫВНЫХ СООБЩЕНИЙ

Совокупность технических средств для передачи сообщений от источника к потребителю называется системой связи (рис.1.1).

Рисунок 1.1 – Структурная схема ЦСП.

Важнейшими показателями работы системы связи являются скорость передачи (пропускная способность – так как эти две величины во всех системах связи связаны соотношением: пропускная способность > скорость передачи) и помехоустойчивость. Под помехоустойчивостью понимают способность системы противостоять вредному влиянию помех на передачу сообщений. Максимальное количество информации, которое может быть передано двоичным символом, получило название бит. Существуют и многие другие параметры, характеризующие с различных точек зрения качества системы связи. К ним относятся скрытность связи, надежность системы, габаритные размеры и масса аппаратуры, стоимость оборудования, эксплуатационные расходы и т. п.

Дадим описание каждого блока структурной схемы цифровой системы передачи непрерывных сообщений.

1.1 Источник сообщений

Совокупность знаков содержащих ту или иную информацию называют сообщением. Под информацией понимают совокупность сведений о каких-либо событиях, явлениях или предметах. Для передачи или хранения информации используются различные знаки, позволяющие выразить (представить) ее в некоторой форме.

Источник сообщения генерирует сигнал, предназначенный для дальнейшей передачи в канале связи. Этот сигнал должен содержать случайную составляющую, иначе он не будет нести никакой информации. В данной работе источник сообщений представляется в виде случайного процесса с нормальным распределением плотности вероятности мгновенных значений.

Кроме распределения плотности вероятности мгновенных значений основными характеристиками сигнала являются длительность сигнала Tc, его динамический диапазон Dc и ширина спектра Fc. Длительность сигнала Tc является естественным его параметром, определяющим интервал времени, в пределах которого сигнал существует. Динамический диапазон — это отношение наибольшей мгновенной мощности сигнала к той наименьшей мощности, которую необходимо отличать от нуля при заданном качестве передачи. Он выражается обычно в децибелах. Ширина спектра сигнала Fc – этот параметр дает представление о скорости изменения сигнала внутри интервала его существования. Спектр сигнала, в принципе, может быть неограниченным. Однако для любого сигнала можно указать диапазон частот, в пределах которого сосредоточена его основная энергия. Этим диапазоном и определяется ширина спектра сигнала. Можно также ввести более общую и наглядную характеристику – объем сигнала:

Vc=Tc Dc Fc (1.1)

Объем сигнала Vc дает общее представление о возможностях сигнала как переносчика сообщений, т.е. чем больше объем сигнала, тем большее количество информации можно поместить в этот сигнал и тем труднее такой сигнал передать по каналу связи [3].

1.2 АЦП и ЦАП

Рис 1.1. Структурная схема АЦП.

Рис 1.2. Структурная схема ЦАП.

В составе цифрового канала предусмотрены устройства для преобразования непрерывного сообщения в цифровую форму – аналогово-цифровой преобразователь на передающей стороне и устройство преобразования цифрового сигнала в непрерывный – ЦАП на приемной стороне. АЦП по средствам импульсно кодовой модуляции переводит сигнал из аналоговой формы в цифровую представленную в виде последовательности m-ичных кодовых комбинаций. На приемной стороне ЦАП восстанавливает исходное сообщение по принятым кодовым комбинациям. Более подробно АЦП и ЦАП будут рассмотрены в пункте 2.

1.3 Кодер и декодер корректирующего кода

На выходе АЦП наш сигнал является цифровым и представлен в двоичном коде. Однако этот код не является помехоустойчивым, поэтому между АЦП и модулятором включен кодер корректирующего кода, а между демодулятором и ЦАП - декодер корректирующего кода, для повышения помехозащищенности кода .

При кодировании происходит процесс преобразования элементов сообщения в соответствующие им числа (кодовые символы). Каждому элементу сообщения присваивается определенная совокупность кодовых символов, которая называется кодовой комбинацией. Совокупность кодовых комбинаций, обозначающих дискретные сообщения, образует код. Правило кодирования может быть выражено кодовой таблицей, в которой приводятся алфавит кодируемых сообщений и соответствующие им кодовые комбинации. Множество возможных кодовых символов называется кодовым алфавитом, а их количество m — основанием кода. Число разрядов n, образующих кодовую комбинацию, называется значностью кода, или длиной кодовой комбинации.

Декодирование состоит в восстановлении сообщения по принимаемым кодовым символам. Устройство, осуществляющее кодирование и декодирование, называют кодеком.

1.4 Модулятор и демодулятор

Так как сигнал является широкополосным и не приспособленным к передачи в канале связи то его моделируют и делают более приспособленным к передаче в канале связи. Модуляция производится путем изменения тех или иных параметров физического носителя по закону передаваемых сообщений.

При дискретной модуляции закодированное сообщение, представляющее собой последовательность кодовых символов, преобразуется в последовательность элементов (посылок) сигнала путем воздействия кодовых символов на переносчик. Посредством модуляции один из параметров переносчика изменяется по закону, определяемому кодом. При непосредственной передаче переносчиком может быть постоянный ток, изменяющимися параметрами которого являются величина и направление тока. Обычно в качестве переносчика, как и в непрерывной модуляции, используют высокочастотный переменный ток (гармоническое колебание). В этом случае можно получить АМ, ЧМ и ФМ.

В данной системе используется четырех позиционная ОФМ-4 модуляция.

Переданное сообщение в приемнике обычно восстанавливается в такой последовательности. Сначала сигнал демодулируется. В системах передачи непрерывных сообщений в результате демодуляции восстанавливается первичный сигнал, отображающий переданное сообщение. Этот сигнал затем поступает на воспроизводящее или записывающее устройство. В системах передачи дискретных сообщений в результате демодуляции последовательность элементов сигнала превращается в последовательность кодовых символов, после чего эта последовательность преобразуется в последовательность элементов сообщения, выдаваемую получателю. Это преобразование называется декодированием. Операции демодуляции и декодирования – не просто операции обратные модуляции и кодированию. В результате различных искажений и воздействия помех пришедший сигнал может существенно отличаться от переданного. Поэтому всегда можно высказать несколько предположений о том какое именно сообщение передавалось. Задачей приемного устройства и является принятие решения о том, какое из возможных сообщений действительно передавалось источником. Та часть приемного устройства, которая осуществляет анализ приходящего сигнала и принимает решение о переданном сообщении, называется решающей схемой. На рисунке 1.3-1.5 представлена модель передачи сигнала с помощью ОФМ-4 модуляции. Устройство модулятора состоит из Элемента XOR , который сравнивает текущий и предыдущий биты. Он меняет значения с 1 и -1 или наоборот, если на текущий бит=1, и не меняет значения, если текущий бит=0. Далее сигнал накладывается на синусоиду. Демодулятор осуществляет детектирование, затем перемножение с сигналом, задержанным на длину 1 бита, результат фильтрует. Фиксируем результат в начале битового интервала и по его значению определяем значение передаваемого бита.

Рис 1.3 Модель модулятора и демодулятора для передачи сигнала с помощью ОФМ-4.

Рисунок 1.4 – Переданный и принятый сигналы.

Рисунок 1.5 – Модулированный сигнал.

1.5 Канал связи

Линией связи называется среда, используемая для передачи сигналов от передатчика к приемнику. В системах электрической связи — это кабель или волновод, в системах радиосвязи — область пространства, в котором распространяются электромагнитные волны от передатчика к приемнику.

Каналом связи называется совокупность средств, обеспечивающих передачу сигнала от некоторой точки А системы до точки В (рис. 1.1). Точки А и В могут быть выбраны произвольно, лишь бы между ними проходил сигнал. Если сигналы, поступающие на вход канала и снимающиеся с его выхода, являются дискретными (по состояниям), то канал называется дискретным. Если входные и выходные сигналы канала являются непрерывными, то и канал называется непрерывным. Встречаются также дискретно-непрерывные и непрерывно-дискретные каналы, на вход которых поступают дискретные сигналы, а с выхода снимаются непрерывные, или наоборот. Видно, что канал может быть дискретным или непрерывным независимо от характера передаваемых сообщений. Более того, в одной и той же системе связи можно выделить как дискретный, так и непрерывный каналы. Все зависит от того, каким образом выбраны точки А и В входа и выхода канала.

Непрерывный канал связи можно характеризовать так же, как и сигнал, тремя параметрами: временем Tk, в течение которого по каналу ведется передача, динамическим диапазоном Dk и полосой пропускания канала Fk. Также в канале связи на сигнал накладываются помехи, обусловленные различными характеристиками среды распространения.

2. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АЦП И ЦАП

Исходные данные для расчетов:

* максимальная частота спектра первичного сигнала =6,5 кГц;
* плотность вероятности мгновенных значений первичного сигнала p(b) –двухстороннее экспоненциальное распределение;
* средняя мощность первичного сигнала =0,07 Вт;
* коэффициент амплитуды первичного сигнала =9;
* допустимое отношение сигнал/помеха на входе получателя =30 дБ;
* допустимое значение сигнал/шум квантования =33 дБ;
* в АЦП производится равномерное квантование.

Требуется:

- составить и определить структурные схемы АЦП и ЦАП ;

* определить интервал дискретизации  и частоту дискретизации ;
* определить число уровней квантования L и значность двоичного кода n;
* рассчитать длительность двоичного символа ;
* рассчитать отношение сигнал/шум квантования  при выбранных параметрах АЦП;
* рассчитать допустимую вероятность ошибки символа  в канале связи (на входе ЦАП).

В составе цифрового канала предусмотрены устройства для преобразования непрерывного сообщения в цифровую форму – аналогово-цифровой преобразователь на передающей стороне и устройство преобразования цифрового сигнала в непрерывный – ЦАП на приемной стороне. Структурные схемы АЦП и ЦАП приведены на рисунке 1.1,1.2.

Входной ФНЧ в схеме АЦП необходим для ограничения спектра первичного сигнала. Это связано с тем, что у большинства первичных сигналов спектр является медленно убывающей функцией, и величина  не есть частота, выше которой спектр равен нулю, а является граничной частотой полосы, которую необходимо передать из условия достижения заданного качества воспроизведения первичного сигнала ( определяется требуемой разборчивостью речи, четкостью изображения и т.д.).

На приемной стороне линии связи последовательность импульсов после демодуляции и регенерации в приемнике поступает на цифро-аналоговый преобразователь ЦАП, назначение которого состоит в обратном преобразовании (восстановлении) непрерывного сообщения по принятой последовательности кодовых комбинаций. В состав ЦАП входят декодирующее устройство, предназначенное для преобразования кодовых комбинаций в квантованную последовательность отчетов, и сглаживающий фильтр, восстанавливающий непрерывное сообщение по квантованным значениям.

Преобразование аналог-цифра состоит из трех операций (рис.2.2): сначала непрерывное сообщение подвергается дискретизации по времени через интервалы Δt (рис.2.2, а); полученные отсчеты мгновенных значений b(kΔt) квантуются (рис.2.2,б); наконец, полученная последовательность квантованных значений bкв(kΔt) передаваемого сообщения представляется посредством кодирования в виде последовательности т-ичных кодовых комбинаций (рис.2.2,в). Такое преобразование называется импульсно-кодовой модуляцией.

Рисунок 2.2 – Преобразование непрерывного сообщения в последовательность двоичных импульсов.

Преобразование непрерывных сообщений в цифровую форму в системах ИКМ, как отмечалось, сопровождается округлением мгновенных значений до ближайших разрешенных уровней квантования. Возникающая при этом погрешность представления является неустранимой, но контролируемой (так как не превышает половины шага квантования) (рис.2.2,г). Погрешность (ошибку) квантования, представляющую собой разность между исходным сообщением и сообщением, восстановленным по квантованным отсчетам, называют шумом квантования.

Интервал дискретизации по времени  выбираем на основе теоремы Котельникова: функция времени, спектр которой ограничен сверху некоторым значением частоты Fmax полностью определяется своими отсчетами, сделанными с частотой fкв≥2Fmax .

Итак, частота дискретизации  выбирается из условия

 (2.1)

кГц

кГц.

Увеличение частоты дискретизации позволяет упростить входной фильтр АЦП, ограничивающий спектр первичного сигнала, и выходной (интерполирующий) ФНЧ ЦАП, восстанавливающий непрерывный сигнал по отчетам. Но увеличение частоты дискретизации приводит к уменьшению длительности двоичных сигналов на выходе АЦП, что требует нежелательного расширения полосы частот канала связи для передачи этих символов. Обычно параметры входного ФНЧ АЦП и выходного ФНЧ ЦАП выбирают одинаковыми.

Для того чтобы ФНЧ не вносили линейных искажений в непрерывный сигнал, граничные частоты полос пропускания ФНЧ должны удовлетворять условию

 (2.2)

Для того чтобы исключить наложение спектров  и  (см. приложение А), а также обеспечить ослабление восстанавливающим ФНЧ составляющих , граничные частоты полос задерживания ФНЧ должны удовлетворять условию

.(2.3)

Чтобы ФНЧ не были слишком сложными, отношение граничных частот выбирают из условия

.(2.4)

После учета этих условий, т.е. формулы (2.2), (2.3), (2.4) выбираем

fД =15 кГц, f1 =6,5 кГц, f2=8,5 кГц.

Интервал дискретизации по времени

 (2.5)

.

Средняя мощность шума квантования :

. (2.6)

Заданное в децибелах отношение сигнал/помеха необходимо представить в разах

, (2.7)





Тогда по формуле (2.6)

 Вт.

Помехоустойчивость системы передачи непрерывных сообщений определяется величиной

 (2.8)

где - средняя мощность первичного сигнала;

- средняя мощность помехи на выходе системы передачи.

Из формулы (2.8)

Вт

В системе цифровой передачи методом ИКМ мощность помехи на выходе ЦАП определяется

, (2.9)

где  - средняя мощность шума квантования;

 - средняя мощность шумов ложных импульсов.

Из формулы (2.9)

 Вт.

Мощность шума квантования выражается через величину шага квантования  [1, ф-ла (8.8)]

.(2.10)

Из формулы (2.10) найдем шаг квантования

.

Первичный сигнал , подлежащий преобразованию в цифровой сигнал, принимает значения от  до  и интервал (,) подлежит квантованию. У сигналов со средним значением равным нулю . Если значение  не задано, то оно определяется с помощью соотношения

(2.11)

где  - коэффициент амплитуды (в [1] обозначается П и называется пик-фактором). Он характеризует превышение максимальным (амплитудным) значением сигнала его среднеквадратического значения, равного корню из средней мощности сигнала.

Число уровней квантования L найдем по формуле (2.12)

 (2.12)



Значность двоичного кода АЦП

(2.13)

есть целое число. Поэтому число уровней квантования L выбирается как такая целая степень числа 2, при которой

.

Примем L=256 так как 8 – это наиболее близкое значение разрядности из существующих разрядностей ЦАП и АЦП.

Из формулы (2.13)

.

Следовательно .Тогда отношение сигнал/шум квантования [1, ф-ла (8.11)]

 (2.14)



Для определения допустимой вероятности ошибки двоичного символа на входе ЦАП  необходимо предварительно определить допустимую величину мощности шума ложных импульсов на основе соотношения (2.9)

(2.15)

Здесь  -мощность шума квантования, определяемая соотношениями (2.10) и (2.12) при выбранном числе уровней квантования L.



.Вт

Тогда из соотношения (2.15)

Вт

Далее воспользуемся соотношением [1, ф-ла (8.14)], связывающим  и вероятность ошибки бита на входе ЦАП 

. (2.16)

Соотношение (2.16) позволяет рассчитать допустимую вероятность ошибки символа  на входе ЦАП:

.

Длительность двоичного символа на выходе АЦП определяется

(2.17)



3. РАСЧЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКА СООБЩЕНИЙ И ПЕРВИЧНЫХ СИГНАЛОВ

3.1 Расчет информационных характеристик источника непрерывных сообщений

Сообщение непрерывного источника преобразуется в первичный аналоговый сигнал  обычно без потери информации, поэтому расчеты информационных характеристик источника проводятся для первичного сигнала.

Исходные данные для расчета:

* плотность вероятности мгновенных значений первичного сигнала  ⎯ДЭР ;
* максимальная частота спектра первичного сигнала =6,5 кГц;
* отношение средней мощности первичного сигнала к средней мощности ошибки воспроизведения на выходе системы передачи = 30дБ=1000.

Подлежат расчету:

* эпсилон-энтропия источника ;
* коэффициент избыточности источника ;
* производительность источника .

Эпсилон-энтропия определяет количество существенной информации в одном отсчете непрерывного сообщения и является мерой информативности (непредсказуемости) непрерывного источника. Эпсилон-энтропия Hε(В) определяется как минимальное количество информации, содержащейся в Z(t)=B(t)+E(t) относительно сигнала B(t), при котором Z(t) и B(t) эквивалентны. Эквивалентность принимается как близость в среднеквадратическом смысле:  - допустимое значение шума наблюдения.

Итак, по определению

Hε(B)=h(B)-maxh(B|Z), (3.1)

где,⎯ максимум берется по всем условным распределениям p(b), для которых .Так как B(t)=Z(t)-E(t), то условная дифференциальная энтропия h(B|Z) при заданном сигнале Z(t) полностью определяется шумом воспроизведения E(t). Если шум воспроизведения имеет фиксированную дисперсию , то дифференциальная энтропия h(E) максимальна при гауссовском распределении и равна

h(E)=. (3.2)

Дифференциальная энтропия сигнала h(B) зависит от вида распределения вероятностей p(b) и дисперсии сигнала . У сигналов со средним значением равным нулю =Pb. Для равновероятного закона распределения случайных величин дифференциальная энтропия будет равна

 (3.3)

подставляя (3.2) и (3.3) в (3.1) получим

==4,878

=4,983

Величина  характеризует минимальное отношение сигнал/шум, при котором сигнал B(t) и процесс Z(t) еще эквивалентны.

Величина

 (3.4)

называется избыточностью источника с объемом алфавита L. Она показывает, какая доля максимально возможной при этом алфавите энтропии не используется источником.

Производительность источника непрерывных сообщений можно определить как количество информации, которое необходимо передать в единицу времени, чтобы восстановить сообщение при заданном критерии эквивалентности. Если источник выдает независимые отсчеты сообщения (сигнала) дискретно во времени со средней скоростью υ, то его эпсилон-производительность

 (3.5)

Эпсилон-производительность называют также скоростью создания информации при заданном критерии верности. Для источника непрерывных сообщений, ограниченных полосой Fс, согласно теореме Котельникова шаг дискретизации Δt=1/υ=1/(2Fc), т. е. необходимое число отсчетов в секунду равно 2/Fс. Если спектр сообщения в полосе Fс равномерен, то эти отсчеты некоррелированы, а для гауссовского источника и независимы. В этом случае

 бит/с. (3.6)

3.2 Расчет информационных характеристик сигнала на выходе АЦП

Исходные данные для расчета:

* плотность распределения вероятностей мгновенных значений  ⎯ ДЭР и коэффициент амплитуды =9 первичного сигнала;
* число уровней квантования АЦП L=256;
* частота дискретизации АЦП =15 кГц.

Подлежат расчету:

* энтропия квантованных отсчетов ;
* скорость создания информации на выходе АЦП .

Квантованный сигнал  является дискретным по уровню и его энтропия  вычисляется по формуле

 , (3.7)

(полагают, что производимые в АЦП отсчеты независимы). Входящие в эту формулу вероятности квантованных значений сигнала можно определить

, (3.8)

где  - квантованное значение сигнала на i-ом уровне квантования;

 - плотность вероятности сигнала ;

 - шаг квантования, определяемый по формуле (2.11).

Расчеты энтропии квантованного сигнала выполним с помощью ЭВМ.

Для ДЭР

 (3.9)



Некоторые источники передают сообщения с фиксированной скоростью, затрачивая в среднем время Т на каждое сообщение. Производительностью (в бит на секунду) такого источника H'(B) называется суммарная энтропия сообщений, переданных за единицу времени:

 (3.10)

.

Разницу между полученными значениями  и ( < ) можно объяснить тем, что код на выходе АЦП обладает некоторой избыточностью. Эта избыточность связана с применением двоичного кода, из-за которого число уровней квантования сигнала определяется формулой  и превышает необходимое а также, тем , что любой кодер должен обладать большей производительностью чем источник сообщения, что бы успевать его обрабатывать.

4. РАСЧЕТ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ДЕМОДУЛЯТОРА ДИСКРЕТНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Требуется рассчитать:

* зависимость вероятности ошибки бита от отношения сигнал/шум на входе демодулятора  и построить график этой зависимости;
* значения требуемых отношений сигнал/шум на входе демодулятора  и , обеспечивающих допустимую вероятность ошибки бита .

Помехоустойчивость демодулятора сигнала дискретной модуляции определяют вероятностью ошибки сигнала  либо вероятностью ошибки двоичного символа р. Вероятности ошибки и р зависят от вида модуляции, способа приема, отношения энергии сигнала к удельной мощности помехи и характеристик канала связи.

Для двоичных сигналов  и р совпадают. Формулы для расчета вероятности ошибки символа при передаче двоичных сигналов по гауссовскому каналу связи с постоянными параметрами приведены в [2, разд. 6.5, 6.6]. Для ОФМ-2 вероятность ошибки двоичного кода будет определяться по формуле:

 (4.1)

где

 - функция Крампа.

Для заданного вида модуляции и способа приема рассчитаем и построим график зависимости

 (4.2)

График данной функции показан на рис 4.1, кривая f1(h).

Если в канале связи не используется помехоустойчивое кодирование, то допустимая вероятность ошибки символа на выходе демодулятора равняется значению , найденному при расчете параметров ЦАП либо декодера простого кода. Определим требуемое отношение сигнал/шум для системы передачи без кодирования , при котором . Получим =10,434 дБ.

Рисунок 4.1.⎯ Вероятность ошибки бита от отношения сигнал/шум на входе демодулятора.

5. ВЫБОР КОРРЕКТИРУЮЩЕГО КОДА И РАСЧЕТ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С КОДИРОВАНИЕМ

Корректирующие коды позволяют повысить помехоустойчивость и тем самым уменьшить требуемое отношение сигнал/шум на входе демодулятора при заданной вероятности ошибки передаваемых символов. При помехоустойчивом кодировании обнаружение и исправление ошибок возможно потому, что большая часть из 2n двоичных комбинаций длины n не используется для передачи сообщений источника (запрещённые комбинации). Появление запрещённой комбинации на приёмном конце однозначно свидетельствует об ошибке в канале.

Кодовые (разрешённые) комбинации должны удовлетворять некоторой системе проверок (задающей код), что позволяет отличать их от запрещённых комбинаций. Результатом вычисления проверок для принятой из канала комбинации является синдром. Если синдром нулевой, то принята кодовая комбинация (ошибок нет). При обнаружении ошибок декодер отбрасывает те принятые комбинации, которые имеют ненулевой синдром. При исправлении ошибок декодер по синдрому определяет положение ошибочных символов в принятой комбинации и инвертирует их.

Величина, показывающая во сколько раз (на сколько дБ) уменьшается требуемое кодирование, называется энергетическим выигрышем кодирования (ЭВК).

Каналы связи с помехоустойчивым кодированием и без него удобно сравнивать, если в качестве отношения сигнал/шум использовать отношение энергии сигнала, затрачиваемой на передачу одного информационного символа , к удельной мощности шума :

(5.1)

Так, если в канале связи без кодирования требуемое отношение сигнал/шум для обеспечения заданной вероятности ошибки обозначим , а в канале связи с кодированием - , то ЭВК будет определяться



или

.(5.2)

Исходные данные для расчета:

* требуемый ЭВК ⎯ Δ=2,2 дБ;
* вид модуляции в канале связи и способ приема ⎯ ОФМ-2, когерентный;
* тип непрерывного канала связи ⎯ канал с постоянными параметрами и аддитивным Гауссовым шумом;
* допустимая вероятность ошибки двоичного символа на выходе декодера ;
* отношение сигнал/шум на входе демодулятора дБ , обеспечивающее допустимую вероятность ошибки  в канале кодирования;
* длительность двоичного символа на входе кодера корректирующего кода  мкс.

Требуется:

* выбрать и обосновать параметры кода: значность п, число информационных символов кодовой комбинации k и кратность исправляемых ошибок ;
* рассчитать зависимость вероятности ошибки символа на выходе декодера от отношения сигнал/шум на входе демодулятора  при использовании выбранного кода;
* определить полученный ЭВК;
* вычислить требуемое отношение  на входе демодулятора.

Прежде всего рассмотрим методику расчета помехоустойчивости канала связи с корректирующим кодом. Предположим, что параметры кода п, k и  и отношение сигнал/шум  заданы. При декодировании с исправлением ошибок вероятность ошибочного декодирования определяется из условия, что число ошибок в кодовой комбинации на входе декодера q превышает кратность исправляемых ошибок [2, ф-ла (5.15)]:

,(5.3)

где

 -(5.4)

вероятность ошибки кратности q

 -(5.5)

число сочетаний из п по q;

р - вероятность ошибки двоичного символа на входе декодера, расчет которой для гауссовского канала связи с постоянными параметрами рассмотрен в разд. 4. В используемые там формулы необходимо подставлять

.(5.6)

Соотношение (5.6) учитывает уменьшение длительности символов, передаваемых по непрерывному каналу связи, из-за введения в кодовые комбинации дополнительных символов при кодировании, и соответствующее уменьшение энергии сигнала на входе демодулятора.

Для перехода от вероятности ошибочного декодирования  к вероятности ошибки двоичного символа  достаточно учесть принцип исправления ошибок декодером: декодер запрещенную кодовую комбинацию заменяет ближайшей разрешенной. Поэтому, если число ошибок в комбинации q= ,но , то в результате декодирования комбинация будет содержать  ошибок ( - кодовое расстояние кода). Поскольку ошибки более высокой вероятности маловероятны, то окончательно можно считать, что в ошибочно декодированной комбинации имеется  ошибочных символов. У корректирующих кодов кодовое расстояние . С учетом этого переход от  к  можно выполнить по формуле

(5.7)

Приведенные соотношения позволяют выполнить расчет помехоустойчивости в канале связи с корректирующим кодом при заданных параметрах кода п, k и , отношении сигнал/шум в непрерывном канале связи , виде модуляции, способе приема и длительности символа  в следующем порядке:

1. Расчет отношения сигнал/шум  на входе демодулятора по формуле (5.6);
2. Расчет вероятности ошибки символа на выходе демодулятора р по методике, изложенной в разд. 4;
3. Расчет вероятности ошибочного декодирования кодовой комбинации  по формулам (5.3)…(5.5);
4. Расчет вероятности ошибки символа на выходе декодера  по формуле (5.7).

Согласно заданию на курсовую работу требуется выбрать и обосновать параметры кода, обеспечивающего требуемый ЭВК. Перейдем к решению этой задачи.

Чем больше кратность исправляемых ошибок , тем более высокая помехоустойчивость может быть достигнута за счет применения кодирования. Но при увеличении  растет сложность кодера и особенно декодера. Рассмотрим применение кодов со значением =1 и, соответственно, с =4.

Для любого натурального числа r=n-k существует код Хемминга с =4 при  [2, с. 149]. К кодам Хемминга любой длины п с наименьшим числом r, удовлетворяющим условию

(5.8)

Используя соотношение (5.8) можно указать пару чисел n и k, при которых существует код Хемминга. Так как k=8 ⎯ число информационных символов на выходе АЦП, то n=12.

При увеличении n имеет место следующее: уменьшается скорость кода  или расширяется полоса частот, занимаемая канальным сигналом, увеличивается отношение сигнал/шум  (ф-ла (5.6)) на входе демодулятора при фиксированном значении  , уменьшается вероятность ошибки символа на входе декодера р. При малых значениях р и не слишком больших значениях п величина  убывает быстрее, нежели растет число , и величины  и  уменьшаются. Следовательно, при увеличении п увеличивается ЭВК. При больших значениях п уменьшение  замедляется и при достаточно больших значениях п начинается рост  и уменьшение ЭВК.

После набора кода рассчитаем зависимость, характеризующую помехоустойчивость канала связи с кодированием. Используя формулы (5.3)…(5.7) и методику построения зависимости вероятности ошибки бита от отношения сигнал/шум на входе демодулятора (разд. 4) получим

 (5.9)

Изменяя величину  в широких пределах, получим зависимость  (рис.4.1), характеризующую помехоустойчивость канала связи с выбранным кодом. По этой зависимости определим требуемое отношение сигнал/шум  на входе демодулятора, при котором обеспечивается допустимая вероятность ошибки символа на выходе декодера, т.е.  . По найденному значению =8.172 дБ и полученному при расчете помехоустойчивости демодулятора значению =10,434дБ определим ЭВК по формуле (5.2).

Δ=-=2.262 дБ.

Определим требуемое отношение сигнал/шум на входе демодулятора в канале связи с кодированием

= 61,23 дБ (5.10)

Применение помехоустойчивого кодирования позволило уменьшить отношение сигнал/шум на входе демодулятора, для заданного качества обслуживания; энергетический выигрыш кодирования превысил заданный и составил 2,262 дБ вместо требуемого 2,2 дБ.

Рис.5.1. Графики зависимости вероятности ошибки бита от отношения сигнал/шум на входе демодулятора и на выходе декодера.

6. РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

#### Эффективность системы связи оценивают коэффициентами информационной, частотной и энергетической эффективности, определяемыми формулами. Для оценки эффективности систем связи используют коэффициент использования канала по мощности β (энергетическую эффективность) и коэффициент использования канала по полосе частот γ (частотную эффективность):

 , (6.1)

 , (6.2)

где R — скорость передачи информации;

ρ0 — отношение мощности сигнала Рс к спектральной плотности N0 мощности шума;

F — ширина полосы частот, занимаемой сигналом.

Безразмерные коэффициенты β и γ имеют смысл удельных скоростей (скоростей отнесенных к одному из параметров канала). Так, коэффициент γ определяет скорость передачи информации в единичной полосе частот.

Обобщенной характеристикой эффективности систем связи является коэффициент использования канала по пропускной способности (информационная эффективность)

 (6.3)

С учетом формулы Шеннона:,где ρ=Рс/Рш — отношение мощностей сигнала и шума в полосе F, получаем следующее выражения:

 (6.4)

При расчетах эффективности под каналом связи понимают совокупность средств, обеспечивающих передачу сигналов от выхода модулятора до входа демодулятора.

Исходные данные для расчета:

* тип канала связи - канал с постоянными параметрами и аддитивным белым гауссовским шумом;
* метод модуляции ОФМ-2;
* параметры, определяющие ширину спектра модулированного сигнала и полосу пропускания канала связи: =8,33 мкс, (Pc /N0)1 = 1,327\*106; (Pc /N0)2 = 0,788\*106
* скорость передачи информации Ru=63,4 кбит/с;
* параметры корректирующего кода: n=12, k=8.

Пропускная способность непрерывного канала связи определяется формулой Шеннона (4.48) в [1]:

. (6.7)

Входящая в эту формулу полоса пропускания канала связи  принимается равной ширине спектра модулированного сигнала .

а) дискретная модуляция без помехоустойчивого кодирования:

При передаче сигналов дискретной модуляции минимально возможная ширина спектра сигналов определяется пределом Найквиста [1, с.284]: при ОФМ

,(6.5)

 - (6.6)

длительность элемента модулированного сигнала;

 - длительность двоичного символа на входе демодулятора.

Если передаваемое сообщение не подвергается помехоустойчивому кодированию, то значение  равно длительности двоичного символа  на выходе АЦП либо кодера простого кода.

 8,33 мкс

 кГц

кбит/с

б)дискретная модуляция с помехоустойчивым кодированием:

используем формулу, в которой учитываются параметры корректирующего кода:

,(6.7)

где n и k - параметры корректирующего кода, равные соответственно 16 и 11,

с

 5,553 мкс

Длительность элемента модулированного сигнала будет равна

 кбит/с

 кбит/с

Сопоставим полученные значения пропускной способности канала связи С с производительностью источника , найденную при расчете информационных характеристик источника сообщений:

а) дискретная модуляция без помехоустойчивого кодирования:

Ru=63,4 кбит/с С=190 кбит/с

Ru<С.

б)дискретная модуляция с помехоустойчивым кодированием:

Ru=63,4 кбит/с С=282,2 кбит/с

Ru<С.

Применим теорему Шеннона [1, разд. 4.6] к полученным выводам (а и б): т.к. Ru<С, то существует такой способ кодирования и декодирования, при котором вероятность ошибочного декодирования сколь угодно мала.

Для расчета эффективностей скорость передачи информации  можно принять равной производительности источника  – при том качестве воспроизведения сообщений, которое имеет место в рассчитываемой системе связи, потери информации пренебрежимо малы.

Энергетическая эффективность.

а) По формуле (6.1) рассчитаем энергетическую эффективность для дискретной модуляции без помехоустойчивого кодирования

(-13,2 дБ)

б) По формуле (6.1) рассчитаем энергетическую эффективность для дискретной модуляции с помехоустойчивым кодированием



Частотная эффективность.

а) дискретная модуляция без помехоустойчивого кодирования:

частотную эффективность найдем по формуле

, (6.10)

где F – ширина спектра модулированного сигнала, равная 120 кГц,

(-2,77 дБ)

б) дискретная модуляция с помехоустойчивым кодированием:

используем формулу (6.10), подставив ширину спектра модулированного сигнала F= 180 кГц:

(-4,53 дБ)

Информационная эффективность.

а) дискретная модуляция без помехоустойчивого кодирования:

информационную эффективность найдем по формуле

, (6.11)

где С – пропускная способность непрерывного канала, равная 190 кбит/с



б) дискретная модуляция с помехоустойчивым кодированием:

используем формулу (6.11), подставив С=282,2кбит/с:



Рассчитаем и построим график предельной зависимости  - предел Шеннона. В [1, рис. 10.1] построен график  для системы со сколь угодно малой вероятностью ошибок, т.е. . Тогда из формулы (6.4) для этого случая находим зависимость  от 

 .

Полученная кривая является предельной и отражает наилучший обмен между  и  в непрерывном канале.

В реальных системах вероятность ошибки р всегда имеет конечное значение и < 1. Подставив значения информационной эффективности для систем без и с помехоустойчивым кодированием, построим (рис.6.1) два графика предельной зависимости по формуле, которую получаем из (6.4):

 . (6.12)

Значения  и  откладывают в логарифмических единицах - соответственно  и .

Рисунок 6.1 – Кривая предельной энергетической и частотной эффективности системы.

Для повышения эффективности СПИ широко используются помехоустойчивые коды. Применение корректирующих кодов позволяет повысить верность передачи сообщений или при заданной верности повысить энергетическую эффективность системы. Последнее особенно важно для систем c малой энергетикой (систем спутниковой и космической связи).

При увеличении числа позиций М в системах с ЧМ энергетическая эффективность увеличивается а частотная уменьшается а в системах ФМ и ОФМ –наоборот. Из простых систем ОФМ-2 — это одна из наиболее эффективных систем.

Эффективность системы можно существенно повысить, если перейти от дискретных каналов к каналам с непрерывным выходом (полунепрерывные каналы) а также при использовании много позиционных сигналов.

Однако при создании конкретных систем оценки эффективности по техническим параметрам совершенно не достаточно. Необходим технико-экономический подход, при котором совместно учитываются технические и экономические параметры системы. Одним из таких подходов является принцип минимальных затрат, согласно которому лучшей считается та система, для реализации и эксплуатации которой требуются наименьшие затраты при заданном техническом эффекте. В качестве технического эффекта можно принять информационную эффективность при допустимой верности передачи. Таким образом, выбор системы по показателям γ и β является исходным для последующего технико-экономического анализа системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перечень выполненных расчетов:

Интервал дискретизации по времени мкс

Значность двоичного кода АЦП .

Мощность шума квантованияВт.

Допустимая вероятность ошибки символа  на входе ЦАП

Длительность двоичного символа на выходе АЦП  мкс.

Эпсилон-энтропия источника .

Производительность источника бит/с.

Скорость создания информации на выходе квантующего устройства 

Отношение сигнал/шум на входе демодулятора =10,434 дБ.

Параметры корректирующего кода: n=12; k=8.

Отношение сигнал/шум на выходе декодера =8,172дБ .

ЭВК  дБ.

Эффективности систем

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Без помехоустойчивого кодирования | Параметры | С помехоустойчивым кодированием |
|  120 | F[кГц] |  180 |
| 190 | C[кбит/с] | 282,2 |
| 0.334 | η | 0.225 |
| 0.0478 | β | 0.0805 |
| 0,528 | γ | 0,352 |

Все выполненные расчеты соответствуют исходным данным.

В данной работе исследовалась цифровая система передачи информации с помехоустойчивым кодированием и без него. При использовании помехоустойчивого кодирования мы существенно понижаем вероятность приема неверного бита информации. Однако при использовании помехоустойчивого кодирования понижается степень использования пропускной способности канала связи. Для моделирования первичного сигнала использовалась ОФМ-2 модуляция. Из простых систем ОФМ-2 — это одна из наиболее эффективных систем.