

Министерство образования Российской Федерации
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. А.Н. ТУПОЛЕВА

С.В. КОЗЛОВ, С.С. СЕДОВ

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Методическое пособие по курсовому проектированию

Казань 2000

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается бурный рост и развитие систем связи различного назначения. Их работа обеспечивает передачу сообщений из одного пункта в другой. При передаче сообщений возникает ряд вопросов, без решения которых передача сообщений невозможна. Эти вопросы являются общими для различных систем связи и носят теоретический характер. Их изучению посвящена дисциплина «Теория электрической связи»

Можно выделить следующие вопросы, относящиеся к передаче сообщений, как одни из наиболее важных:

- пропускная способность канала связи
- верность передачи сообщений
- эффективное и помехоустойчивое кодирование
- оптимальный прием сигналов
- цифровые методы передачи сообщений

Решение каждого такого вопроса составляет общую задачу, которая включает в себя ряд частных задач, различающихся в зависимости от конкретного вида передаваемого сигнала, а также от характеристик системы связи.

Общей целью решения поставленных задач является уменьшение или полное устранение потерь информации при передаче сообщений с помощью системы связи. Сущность решения состоит в согласовании характеристик системы связи с передаваемыми по ней сигналами, а также в использовании методов, позволяющих принимать верное решение относительно переданной информации в условиях воздействия помех на сигнал (помехоустойчивое кодирование и статистические методы приема сигнала).

Целью курсового проектирования является выработка у студентов умения и навыка ставить и грамотно решать подобные задачи. В результате выполнения курсового проекта студент должен научиться рассчитывать основные характеристики элементов систем связи и уметь анализировать происходящие в них процессы.

ОБЪЕМ И ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Объем выполняемой студентом работы: текст пояснительной записки - не менее 10 листов формата А4; графическая часть - 2 листа формата А1. Образец титульного листа приведен в приложении.

Нумерация страниц пояснительной записки делается сверху, посередине листа. Титульный лист и следующий за ним лист с заданием не нумеруются, но их номера учитываются при нумерации. Таким образом, первый лист с текстом будет иметь номер 3; следующий - номер 4 и т.д. Размеры полей: слева не менее 2,5 см, сверху и снизу - по 2 см, справа - не менее 1,5 см.

Формулы в пояснительной записке приводятся только в отдельной строке, посередине строки. Они снабжаются номерами в круглых скобках в той же строке справа. Эти номера могут использоваться как ссылки на формулы, например: «подставляя выражение (1) в (2), получим:...».

Все рисунки должны снабжаться подрисовочными подписями с номерами. Подпись ставится внизу рисунка посередине страницы, например: «Рис. 1. Структурная схема системы связи». В тексте обязательно должно быть указание на рисунок. Графики в тексте также считаются рисунками. Таблицы имеют надписи, расположенные над таблицей и прижатые к правому краю: «Таблица 1». Если таблица в тексте только одна, то номер таблицы не ставится.

Используемую литературу следует привести в конце пояснительной записки по образцу, указанному в следующем разделе. В тексте необходимо делать ссылки на литературу. В квадратных скобках дается номер источника согласно приведенному списку литературы. Например: «Пропускной способностью канала [2] называется [2]: (определение из литературы)».

Графическая часть представляет собой несколько формул, таблиц и графиков, начерченных на двух листах формата А1. Вид графического материала и его расположение на листах должны быть строго привязаны к выступлению студента на защите курсового проекта. Все представленные формулы и графики должны иллюстрировать речь студента (см. раздел «Защита курсового проекта»). Не допускается приведение на плакате каких-либо графиков или формул, если их нет в пояснительной записке. Размер элементов чертежей (букв и цифр) должен быть такой, чтобы они легко читались с расстояния 3-4 метра. Для этого высота букв и цифр должна быть не менее 3,5 см. Поля составляют не менее, чем по 2 см с каждой стороны листа.

СТРУКТУРА ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ЛИТЕРАТУРА ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

1. Введение.

Во введении кратко обосновывается актуальность поставленной задачи (ее важность и то, какими методами она решается). Также указывается место этой задачи среди общего круга задач, решаемых при передаче сообщений и результаты, к которым приводит ее решение.

2. Теоретическая часть.

В теоретической части должна быть полностью раскрыта сущность решаемой задачи. Это делается на основе изучения и анализа литературы, приведенной в данном пособии. Здесь же необходимо дать определения основных понятий и величин, которые будут использоваться при решении поставленной задачи.

Например, при решении задач по пропускной способности канала, нужно привести определение и формулу пропускной способности, а также тех величин, от которых она зависит и понятий, тесно связанных с пропускной способностью: полосы частот канала, отношения сигнал/шум в канале, количества информации, энтропии источника и т.д. Далее, на основании анализа задания и литературы, следует сделать качественный вывод, что при увеличении количества передаваемой информации данный канал сможет пропускать ее без искажений только до какого-то предела. При превышении этого предела необходимо либо изменять характеристики канала связи, либо применять методы т.н. «обмена» полосы частот на длительность сигнала или динамического диапазона на полосу частот, т.е. подстраивать передаваемый сигнал под данный канал.

Точно такой же анализ и выводы необходимо сделать и при решении других типов задач. Результатом теоретической части должен быть выбор и обоснование расчета, необходимого для решения поставленной задачи.

3. Расчет (практическая часть).

По своей сути это и есть решение задачи. Расчет выполняется по исходным данным на основании формул и соотношений, приведенных в теоретической части пояснительной записки. По результатам расчета строятся таблицы и графики, которые были указаны в задании. Делается вывод о том, при каких характеристиках сигнала и системы связи, сигнал будет передаваться данной системой без искажений.

4. Заключение.

В заключении кратко поясняется суть решенной задачи, указываются методы и способы ее решения, приводятся основные результаты. Целесообразно сделать вывод о том, что в результате проведенного расчета поставленная задача была полностью решена.

5. Список литературы.

Список литературы дается в алфавитном порядке. Образец строки в списке: «1. Зюко А.Г., Кловский Д.Д. и др. Теория передачи сигналов. -М.: Радио и Связь, 1986.».

Сначала проставляется номер строки, затем фамилии и инициалы авторов через запятую. Если авторов больше трех, то возможно сокращение «и др.». Далее следует название книги, город издания, название издательства, и год издания. Для Москвы и Санкт-Петербурга применяются сокращения: «-М.» -СПб». В тексте обязательно должны быть ссылки на литературу, указанную в списке.

Список литературы по курсовому проектированию:

1. Зюко А.Г., Кловский Д.Д. и др. Теория передачи сигналов. -М.: Радио и Связь, 1986.
2. Кловский Д. Д., Шилкин В.А. Теория электрической связи. -М.: Радио и связь, 1990.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969.

В [1] дана теория по предлагаемым темам; в [1 и 2] - основные формулы по темам, также в [2] приведены алгоритмы помехоустойчивого и эффективного кодирования; в [3] - формулы законов распределения вероятностей, а также понятия вероятностей и плотностей распределения вероятностей.

ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Защита курсового проекта по дисциплине «Теория электрической связи» проходит на кафедре. Защиту проводит комиссия из двух преподавателей кафедры. По результатам защиты выставляется оценка. На защите студент произносит речь, в которой он должен кратко охарактеризовать поставленную задачу, пояснить методы решения задачи и представить полученные результаты. Затем он отвечает на вопросы преподавателей, после чего комиссия выставляет оценку.

Речь должна быть краткой - не более 5 минут. Студент должен четко сформулировать поставленную в работе задачу, охарактеризовать методы ее решения и пояснить полученные результаты. Для этого необходимо написать и выучить речь перед защитой. На вопросы преподавателей после выступления следует отвечать более подробно и обстоятельно. Графический материал, представленный на листах должен служить иллюстрацией к речи, т.е. на плакаты следует выносить те формулы, графики и цифры, о которых студент будет рассказывать в своей речи.

Пример расположения графического материала на листах:

Первый лист: Сначала идет общий заголовок (заголовок всего проекта), затем формулы, выражающие исходное задание. Формулы даются без пояснений, все пояснения к ним делаются устно. Далее идет заголовок, например: «Расчет обнаруживающей и исправляющей способности помехоустойчивого кода» и приводятся основные формулы расчета и таблица расчета. Здесь тоже присутствуют только цифры.

Второй лист: Сначала приводится график, построенный по таблице расчета. График снабжается заголовком: «Зависимость (величины Y) от (величины X)». Затем приводятся полученные результаты в виде цифр и делаются выводы по проделанной работе. Выводы на листе даются в форме предложений, но их надо строить так, чтобы в них было как можно меньше слов.

ПОРЯДОК И СРОКИ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В течение трех первых недель осеннего семестра (до 21 сентября) студент должен получить у преподавателя задание на выполнение курсового проекта. Далее в проектный день преподаватель назначает время проведения консультаций. Регулярное посещение консультаций значительно упростит и облегчит работу над проектом. На консультациях студент решает с помощью преподавателя вопросы, возникшие у него в ходе работы над проектом.

Порядок работы над проектом.

Первый этап. Студент по приведенной литературе должен изучить ту область, в которой он будет решать поставленную задачу. Например, если дана задача по помехоустойчивому кодированию, то студент должен представлять себе ясно и четко, что такое кодирование вообще, виды помехоустойчивых кодов, их параметры. На это при нормальном темпе работы уходит от двух недель до 1 месяца. Срок окончания первого этапа работы - 20 октября

Второй этап. Студент непосредственно решает поставленную перед ним задачу. Проводит все необходимые вычисления, строит таблицы результатов и графики по ним. На это также затрачивается от двух недель до 1 месяца. Срок окончания второго этапа - 20 ноября.

Третий этап работы - оформление пояснительной записки и графического материала - от одной до двух недель. Срок окончания - 5 декабря.

ТЕМЫ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ И ЗАДАНИЯ ПО НИМ

ТЕМА 1. Эффективное кодирование. Коды Хаффмена и Шеннона-Фано.

Задание № 1

Источник сообщений выдает целые значения x_i ($i=1,2,...12$) случайной величины X , распределение которой подчиняется закону Пуассона с параметром $\lambda=1$.

Закодировать сообщения кодом Хаффмена.

Определить:

- 1) Пригодность кода для передачи сообщений в смысле их однозначного декодирования.
- 2) Степень сжатия кода по сравнению с равномерным двоичным кодом (в процентах).
- 3) Насколько код Хаффмена длиннее оптимального (в процентах).

Задание № 2

Источник сообщений выдает целые значения x_i ($i=1,2,...10$) случайной величины X , распределение которой подчиняется закону Рэлея с параметром $\sigma=2.5$

Закодировать сообщения кодом Хаффмена.

Определить:

- 1) Пригодность кода для передачи сообщений в смысле их однозначного декодирования.
- 2) Степень сжатия кода по сравнению с равномерным двоичным кодом (в процентах).
- 3) Насколько код Хаффмена длиннее оптимального (в процентах).

Задание № 3

Источник сообщений выдает целые значения x_i ($i=1,2,...12$) случайной величины X , распределение которой подчиняется закону Пуассона с параметром $\lambda=3$.

Закодировать сообщения кодом Шеннона-Фано.

Определить:

- 1) Пригодность кода для передачи сообщений в смысле их однозначного декодирования.
- 2) Степень сжатия кода по сравнению с равномерным двоичным кодом (в процентах).
- 3) Насколько код Шеннона-Фано длиннее оптимального (в процентах).

Задание № 4

Источник сообщений выдает целые значения x_i ($i=1,2,...10$) случайной величины X , распределение которой подчиняется закону Рэлея с параметром $\sigma=4.5$

Закодировать сообщения кодом Шеннона-Фано.

Определить:

- 1) Пригодность кода для передачи сообщений в смысле их однозначного декодирования.
- 2) Степень сжатия кода по сравнению с равномерным двоичным кодом (в процентах).
- 3) Насколько код Шеннона-Фано длиннее оптимального (в процентах).

Задание № 5

Источник сообщений выдает целые значения x_i ($i=1,2,\dots,20$) случайной величины X , распределение которой подчиняется закону Гаусса с параметрами $m=10.5$ и $\sigma=2.5$

Закодировать сообщения кодами Хаффмена и Шеннона-Фано.

Определить:

- 1) Какой из кодов пригоден для передачи сообщений в смысле их однозначного декодирования.
- 2) Степень сжатия кодов по сравнению с равномерным двоичным кодом (в процентах).
- 3) Какой из кодов оптимальнее по средней длине (в процентах).

Литература по теме 1:

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.
2. Кловский Д.Д., Шилкин В.А. Теория электрической связи.
3. Зюко А.Г. Теория передачи сигналов.

УКАЗАНИЕ. В [1] даны законы распределения случайных величин; в [2] - алгоритмы кодирования сообщений по методам Хаффмена и Шеннона-Фано; в [3] - теория эффективного кодирования.

ТЕМА 2. Помехоустойчивое кодирование

Задание № 6.

Необходимо закодировать и передать 7 различных сообщений по двоичному симметричному каналу без памяти. Вероятность ошибки при передаче символа по каналу $p=0.2$. Кодирование производится избыточным кодом $q_n=1\dots 4$

Рассчитать в зависимости от изменения q_n :

- 1) d ; n ; g ; q_o кода.
- 2) Вероятности ошибочного декодирования и необнаруженной ошибки.
- 3) Время передачи по каналу одного сообщения, если $v_k=1000$ сим/с.

Построить графики указанных зависимостей.

Задание № 7.

Необходимо закодировать и передать 5 различных сообщений по двоичному симметричному каналу без памяти. Кодирование производится избыточным кодом с минимальным кодовым расстоянием по Хэммингу $d=5$. Вероятность ошибки при передаче символа по каналу меняется $p=0.2; 0.3; \dots 0.8$.

Рассчитать:

- 1) g ; n ; q_n ; q_o кода.
- 2) Вероятности ошибочного декодирования и необнаруженной ошибки в зависимости от изменения p .
- 3) Время передачи по каналу одного сообщения, если $v_k=1000$ сим/с.

Построить графики указанных зависимостей.

Задание № 8.

Длина помехоустойчивого кода $n=10$. Необходимо обеспечить вероятность необнаруженной ошибки при передаче такого кода $P_{но} \leq 10^{-5}$. Вероятность ошибки при передаче символа по каналу меняется $p=0.2; 0.3; 0.4, 0.5$.

Рассчитать:

- 1) Минимальное кодовое расстояние d для каждого случая и кратность обнаруживаемых и исправляемых ошибок.
- 2) Пропускную способность канала, если $v_k=1000$ сим/с.

Построить графики указанных зависимостей.

Литература по теме 2:

1. Зюко А.Г. Теория передачи сигналов.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.

ТЕМА 3. Пропускная способность канала связи

Задание № 9

В канале действует аддитивный белый гауссовский шум. Отношение С/Ш меняется с 25 до 15 дБ. $F=1,5$ кГц; $v_k=7 \cdot 10^3$ бит/с

Рассчитать:

- 1) Изменение пропускной способности канала
- 2) Изменение избыточности кода, необходимой для сведения ошибки декодирования к сколь угодно малой величине.

Построить графики зависимостей $C=f(P_c/P_{ш})$ и $\kappa=f(C)$

Задание № 10

Источник сообщений выдает значения случайной величины X , подчиняющейся нормальному закону распределения с параметрами $m=8.5$; $\sigma=2.5; 3.5; \dots 6.5$. Длительность кодовой комбинации - 100 мс; $v_n=15$ сообщ/с. Найти минимальную пропускную способность канала, при которой вероятность ошибки декодирования составит $P_{од}<10^{-6}$.

Рассчитать:

- 1) Изменение пропускной способности канала при изменении σ .

Построить график зависимости $C=f(\sigma)$.

Задание № 11

Необходимо передать 10^5 бит информации за 70 с. Отношение C/Π в канале - 23 дБ.

Рассчитать:

- 1) Ширину полосы частот канала

Пусть ширина спектра передаваемых сообщений составляет 0.7 кГц, а динамический диапазон меняется от 25 до 35 дБ.

Рассчитать:

- 1) Изменение ширины полосы частот канала, при нулевой ненадежности передачи информации.
- 2) Изменение ненадежности передачи информации при постоянной полосе частот канала, рассчитанной в первом пункте.

Построить графики зависимостей $F=f(P_B/P_{\epsilon})$; $H=f(P_B/P_{\epsilon})$

Задание № 12

Система связи должна обеспечивать верность передачи не ниже 20 дБ. Ширина спектров передаваемых сообщений меняется от 1 до 3 кГц. Эффективность системы связи - $\eta=0.8$. Рассчитать изменение минимального отношения C/Π в канале с тем, чтобы обеспечить заданную верность. Ширина полосы частот канала - 2 кГц. Построить график зависимости.

Задание №13.

Эффективность системы меняется от 0.2 до 0.8. В полосе частот канала 4,5 кГц действует аддитивный белый шум, со спектральной плотностью мощности $3 \cdot 10^{-7}$ Вт/Гц. Ширина спектра сообщения - 2 кГц. Рассчитать изменение минимальной мощности сигнала в канале с тем, чтобы обеспечить обобщенный выигрыш системы g' , равный трем. Построить график полученной зависимости.

Литература:

1. Зюко А.Г. Теория передачи сигналов.
2. Кловский Д.Д., Шилкин В.А. Теория электрической связи.

ТЕМА 4 Оптимальный прием сигналов

Задание № 14

Необходимо с помощью метода максимального правдоподобия отыскать на участке принятого сигнала длиной 10 мс точку начала импульса. Частота дискретизации сигнала - 1 кГц. Шум распределен по закону Рэлея с $\sigma=1$ мВ; сигнал имеет нормальное распределение с $\sigma=1$ мВ m изменяется от 1 до 5.5 мВ с шагом 0.5 мВ на отсчет. Рассчитать функцию правдоподобия. Создать алгоритм поиска точки (блок-схему алгоритма).

Задание № 15

Необходимо с помощью метода максимума апостериорной вероятности отыскать на участке принятого сигнала длиной 15 мс точку конца импульса. Частота дискретизации сигнала - 1 кГц. Шум распределен по закону Рэлея с $\sigma=2$ мВ; сигнал имеет нормальное распределение с $\sigma=1.5$ мВ m изменяется от 1 до 15 мВ с шагом 1 мВ на отсчет. Априорное распределение искомых точек на участке подчиняется закону Гаусса с $m=5$ мс от начала участка и $\sigma=3$ мВ

Рассчитать функцию правдоподобия и апостериорную вероятность гипотез. Создать алгоритм поиска точки (блок-схему алгоритма).

Задание № 16.

Необходимо с помощью метода минимума среднего риска отыскать на участке принятого сигнала длиной 15 мс точку конца импульса. Частота дискретизации сигнала - 1 кГц. Шум распределен по закону Рэлея с $\sigma=1$ мВ; сигнал имеет нормальное распределение с $\sigma=1.5$ мВ m изменяется от 1 до 5 мВ с шагом 0.3 мВ на отсчет. Ап-

приорное распределение искомым точек на участке подчиняется закону Гаусса с $m=8$ мс от начала участка и $\sigma=2$ мВ. Функция потерь: $0.5 \cdot x^2$, где x - ошибка в мс.

Рассчитать: функцию правдоподобия, апостериорную вероятность гипотез и минимум среднего риска. Создать алгоритм поиска точки (блок-схему алгоритма).

Задание № 17.

Принимается 2 известных сигнала от 2-х источников сообщений ИС₁ и ИС₂. После демодуляции и декодирования имеем: $S_1=5$ В; $S_2=5.6$ В. В канале действует аддитивный гауссовский шум $\sigma=200$ мВ. Решающее устройство анализирует принятый сигнал и определяет источник, выдавший сообщение. Априорная вероятность гипотезы о срабатывании ИС₁ меняется от 0.1 до 0.9 с шагом 0.1.

Рассчитать: суммарную вероятность ошибки для методов максимального правдоподобия и максимума апостериорной вероятности. Построить графики зависимостей вероятностей ошибок для 2-х методов от априорной вероятности гипотезы.

Задание № 18.

Принимается 2 известных сигнала от 2-х источников сообщений ИС₁ и ИС₂. После демодуляции и декодирования имеем: $S_1=7$ В; $S_2=9$ В. В канале действует аддитивный гауссовский шум $\sigma=700$ мВ. Решающее устройство анализирует принятый сигнал и определяет источник, выдавший сообщение. Априорные вероятности гипотез о срабатывании ИС₁ и ИС₂ равны 0.35 и 0.65 соответственно. Плата за риск $P_{01}=10/P_{10}$, где P_{10} меняется: 1; 1.3; 2; 3.16; 5; 7.5; 10.

Рассчитать: суммарную вероятность ошибки для методов максимума апостериорной вероятности и минимума среднего риска. Построить графики зависимостей вероятностей ошибок для 2-х методов от платы за риск.

Задание № 19.

Принимается 2 известных сигнала от 2-х источников сообщений ИС₁ и ИС₂. После демодуляции и декодирования имеем: $S_1=4$ В; $S_2=5$ В. В канале действует аддитивный гауссовский шум $\sigma=300$ мВ. Решающее устройство анализирует принятый сигнал и определяет источник, выдавший сообщение. Априорные вероятности гипотез о срабатывании ИС₁ и ИС₂ равны 0.4 и 0.6 соответственно. Плата за риск $P_{01}=10/P_{10}$, где P_{10} меняется: 1; 1.3; 2; 3.16; 5; 7.5; 10.

Рассчитать: суммарную вероятность ошибки для методов минимума среднего риска и максимального правдоподобия. Построить графики зависимостей вероятностей ошибок для 2-х методов от платы за риск.

Задание № 20.

На фоне аддитивной полигауссовой помехи с распределением $w_n(u)=q_1 N\{m_1, \sigma_1\} + q_2 N\{m_2, \sigma_2\}$ ведется прием полезного сигнала $w_c(u)=N\{m_c, \sigma_c\}$. Априорная вероятность возникновения сигнала - 0.6. Решение о наличии сигнала принимается по методу максимума апостериорной вероятности. $q_1=0.3$; $q_2=0.7$; $m_1=5$ В; $m_2=10$ В; $\sigma_1=2$ В; $\sigma_2=3$ В; $m_c=8$ В; $\sigma_c=1.2$ В.

Построить графики w_n и w_{cn} и алгоритм принятия решения.

Определить зоны принятия решений для методов максимального правдоподобия и максимума апостериорной вероятности. Определить суммарные ошибки для двух методов.

Литература по теме 4:

1. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники Т2.
2. Зюко А.Г. Теория передачи сигналов.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.

УКАЗАНИЕ. В [1] приведены статистические методы обработки сигналов (методы максимального правдоподобия, максимума апостериорной вероятности и минимума среднего риска); в [2] дана теория оптимального приема сигналов; в [3] даны законы распределения случайных величин.

ТЕМА 5: Импульсно-кодовая модуляция.

Задание №21

Рассчитать систему ИКМ с равномерными дискретизацией и квантованием для пилообразного сигнала с частотой повторения 1000 Гц, динамическим диапазоном 80 дБ и максимальным значением 1В. Восстановление сигнала осуществляется фильтром второго порядка с частотной характеристикой $K(\omega) = \frac{1}{(1 + \omega^2 LC)}$.

Погрешность дискретизации должна составить не более 5%. Вычислить параметры фильтра RC, частоту дискретизации F_D , количество разрядов АЦП шум квантования и скорость передачи данных.

Задание №22

Рассчитать систему ИКМ с равномерными дискретизацией и квантованием для симметричного треугольного сигнала с частотой повторения 1000 Гц, динамическим диапазоном 60 дБ и максимальным значением 1В. Восстановление сигнала осуществляется фильтром первого порядка с частотной характеристикой

$$K(\omega) = \frac{1}{(1 + \omega RC)}$$

Погрешность дискретизации должна составить не более 3%. Вычислить параметры фильтра RC, частоту дискретизации F_D , количество разрядов АЦП, шум квантования и скорость передачи данных.

Задание №23

Рассчитать систему ИКМ с адаптивной дискретизацией и равномерным квантованием для гармонического сигнала с частотой 1000 Гц, динамическим диапазоном 60 дБ и максимальным значением 1В. Восстановление сигнала экстраполирующим полиномом нулевой степени. Наибольшее отклонение дискретизации ϵ_0 должно составить не более половины $U_{\min}$. Вычислить моменты дискретизации в пределах периода, среднюю частоту дискретизации $F_{\text{Дср}}^{\text{ср}}$, количество разрядов АЦП, шум квантования и скорость передачи данных.

Задание №24

Рассчитать систему ИКМ с адаптивной дискретизацией и равномерным квантованием для гармонического сигнала с частотой 1200 Гц, динамическим диапазоном 50 дБ и максимальным значением 1В. Восстановление сигнала экстраполирующим полиномом первой степени. Наибольшее отклонение дискретизации ϵ_0 должно составить не более половины $U_{\min}$. Вычислить моменты дискретизации в пределах периода, среднюю частоту дискретизации $F_{\text{Дср}}^{\text{ср}}$, количество разрядов АЦП, шум квантования и скорость передачи данных.

Задание №25

Рассчитать систему ИКМ с адаптивной дискретизацией и равномерным квантованием для бигармонического сигнала с равноамплитудными компонентами с частотами 1000 Гц и 1200 Гц, динамическим диапазоном 80 дБ и максимальным значением 1В. Восстановление сигнала экстраполирующим полиномом нулевой степени. Наибольшее отклонение дискретизации ϵ_0 должно составить не более половины $U_{\min}$. Вычислить моменты дискретизации в пределах периода, среднюю частоту дискретизации $F_{\text{Дср}}^{\text{ср}}$, количество разрядов АЦП, шум квантования и скорость передачи данных.

ТЕМА 6: Многоканальные системы передачи информации.

Задание №26

Определить ширину спектра группового сигнала 10-канальной системы ЧРК при условии, что каждое канальное сообщение имеет спектр сигнала постоянный в диапазоне от 0 до 3400 Гц. Разделение сигналов осуществляется фильтром с АЧХ

$$K(\omega) = \frac{Q}{\left(1 + \left(1 - (\omega/\omega_0)^2\right)^2\right)}$$

при $Q=20$. Уровень помех от соседнего канала не превосходит 5%.

Задание №27

Определить ширину спектра группового сигнала 8-канальной системы ВРК при условии, что каждое канальное сообщение имеет спектр в диапазоне от 300 до 3400 Гц, и уровень помех от соседнего канала не превосходит 5%.

Задание №28

Определить ширину спектра группового сигнала системы однополосной ЧРК с коммутацией каналов при условии, что каждое канальное сообщение имеет спектр в диапазоне от 300 до 3400 Гц с коэффициентом запаса 20%, интенсивностью вызова 2 за 5 с, средней продолжительностью соединения 40с и вероятностью блокировки 0,5%.

Задание №29

Определить ширину спектра группового сигнала системы ВРК с коммутацией каналов при условии, что каждое канальное сообщение имеет спектр в диапазоне от 0 до 8000Гц с коэффициентом запаса 40%, интенсивностью вызова 1 за 5 с, средней продолжительностью соединения 60с и вероятностью блокировки 0,1%.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ПО ТЕМАМ

ТЕМА 1. Эффективное кодирование. Коды Хаффмена и Шеннона-Фано.

Задание:

Источник сообщений выдает целые значения x_i ($i=1,2,...12$) случайной величины X , распределение которой подчиняется закону Пуассона с параметром $\lambda=1$.

Закодировать сообщения кодом Хаффмена.

Определить:

- 1) Пригодность кода для передачи сообщений в смысле их однозначного декодирования.
- 2) Степень сжатия кода по сравнению с равномерным двоичным кодом (в процентах).
- 3) Насколько код Хаффмена длиннее оптимального (в процентах).

Решение:

Для создания кода Хаффмена найдем сначала вероятности, с которыми появляются 12 сообщений x_i от $x_1=1$ до $x_{12}=12$. Закон Пуассона определяется выражением:

$$P_i = \frac{\lambda^i}{i!} \exp(-\lambda); i=1,2,...12,$$

где P_i - вероятность того, что случайная величина X примет значение, равное i .

По данной формуле находим все 12 вероятностей и располагаем их в порядке убывания. Затем непосредственно кодируем сообщения кодом Хаффмена. Суть кодирования состоит в том, что мы присваиваем двум сообщениям с наименьшими вероятностями значения кодовых символов 1 и 0. Затем мы эти вероятности складываем, после чего у нас образуется новая совокупность из 11 вероятностей с одной суммарной вероятностью. Далее мы снова ищем две наименьшие вероятности и присваиваем им значения кодовых символов 1 и 0. После сложения вероятностей, их остается уже 10. Процесс кодирования продолжается до тех пор, пока не останутся две суммарные вероятности. Полученный код считывается *справа налево*.

Пример кодирования для 9 сообщений с определенными вероятностями их появления показан в таблице:

Сообщение	P_i	Граф кода Хаффмена (кодвые символы)	Код
a_1	0,2		11
a_2	0,15		001
a_3	0,15		011
a_4	0,12		010
a_5	0,1		101
a_6	0,1		100
a_7	0,08		0001
a_8	0,06		00001
a_9	0,04		00000

1. Пригодность кода для передачи сообщений в смысле их однозначного декодирования определяется по наличию у полученного кода т.н. *префиксного свойства*. Суть этого свойства заключается в том, что никакая кодовая комбинация, взятая целиком, не должна являться началом другой кодовой комбинации этого же кода.

2. Степень сжатия данного кода по сравнению с равномерным определяется так: сначала вычисляется средняя длина кодовой комбинации данного кода [2, стр. 192]:

$$\bar{n} = \sum_{i=1}^{12} n_i P_i.$$

Минимальная длина кодовой комбинации равномерного кода, которым можно закодировать 12 сообщений определяется как наибольшее ближайшее целое к $\log 12$. Это будет 4. Таким образом степень сжатия кода можно определить:

$$\frac{4 - \bar{n}}{\bar{n}} \times 100\%$$

3. Минимальная средняя доля кодовой комбинации оптимального эффективного кода численно равна энтропии источника сообщений:

$$\bar{n}_{\min.o} = H(A) = \sum_{i=1}^{12} p_i \log \frac{1}{p_i}.$$

Таким образом, полученный код длиннее оптимального в процентах на:

$$\frac{\bar{n} - \bar{n}_{\min.o}}{\bar{n}_{\min.o}} \times 100\%$$

ТЕМА 2. Помехоустойчивое кодирование

Задание.

Необходимо закодировать и передать 7 различных сообщений по двоичному симметричному каналу без памяти. Вероятность ошибки при передаче символа по каналу $p=0.2$. Кодирование производится избыточным кодом $q_n=1...4$

Рассчитать в зависимости от изменения q_n :

- 1) d ; n ; g ; q_0 кода.
- 2) Вероятности ошибочного декодирования и необнаруженной ошибки.
- 3) Время передачи по каналу одного сообщения, если $v_k=1000$ имп/с.

Решение:

Сначала рассчитаем параметры кода:

а) по известной кратности исправляемых ошибок q_n найдем минимальное кодовое расстояние d . Известно, что $q_n=(d-1)/2$ для нечетных d ; $q_n=d/2-1$ для четных d . Отсюда находим: $d=2q_n+1$; или $d=2(q_n+1)$. Выберем наибольшее d .

б) найдем количество избыточных символов кода $g=2d-2-\log(d)$.

в) определим количество информационных символов k как наибольшее ближайшее целое к $\log 7$. Таким образом, $k=3$.

г) найдем общую длину кодовой комбинации: $n=k+g$.

д) обнаруживающая способность кода $q_0=d-1$.

Все эти действия необходимо проделать для различных значений исправляющей способности кода q_n , изменяющейся от 1 до 4.

Затем определяем вероятность ошибочного декодирования $P_{o.d.}$ по формуле [1, стр. 142]:

$$P_{o.d.} \leq \sum_{q=[d/2]}^n C_n^q p^q (1-p)^{n-q},$$

и вероятность необнаруженной ошибки $P_{н.о.}$:

$$P_{н.о.} \leq \sum_{q=d}^n C_n^q p^q (1-p)^{n-q}.$$

Здесь $[d/2]$ обозначает наибольшую целую часть $d/2$; p - вероятность ошибочной передачи одного кодового символа; C_n^q - количество сочетаний из n элементов по q :

$$C_n^q = \frac{n!}{q!(n-q)!}$$

Время передачи по каналу одного сообщения T определяется так. Если известно количество кодовых импульсов, передаваемых в секунду v_k , то время передачи одного импульса: $1/v_k$. Длина нашего кода - n импульсов. Поэтому:

$$T=n/v_k$$

ТЕМА 3. Пропускная способность канала связи

Задание

В канале действует аддитивный белый гауссовский шум. Отношение С/Ш меняется с 25 до 15 дБ. $F=1,5$ кГц; $v_k=7 \cdot 10^3$ бит/с

Рассчитать:

- 1) Изменение пропускной способности канала
- 2) Изменение избыточности кода, необходимой для сведения ошибки декодирования к сколь угодно малой величине.

Решение:

Пропускная способность гауссовского канала определяется [1, стр.118]:

$$C = F \log\left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}}\right).$$

Отношение сигнал/шум падает по условию задания с 25 до 15 дБ. Поэтому C также будет уменьшаться. Необходимо уменьшать $C/Ш$ с 25 до 15 дБ с шагом 1 дБ и вычислить по формуле 10 значений C . При этом надо учесть, что в формуле отношение $C/Ш$ - $P_c/P_{ш}$ - дано в разгах, поэтому данные в дБ необходимо пересчитать в

разы: $x \text{ дБ} = 10 \lg \frac{P_c}{P_{ш}}$; отсюда $\frac{P_c}{P_{ш}} = 10^{x/10}$.

Производительность кодера $H(B) = v_k \cdot H(B)$ должна быть меньше пропускной способности канала C , иначе неизбежны потери информации в канале. Максимальное значение энтропии двоичного кодера $H_{\max} = H(B) = \log 2 = 1$ бит. Если C уменьшается, то для избежания потерь информации можно уменьшать $H(B)$ так, чтобы $H(B)$ оставалась все время меньше C . Если же $H(B) < 1$, это означает, что кодовые символы не равновероятны и зависимы друг от друга, т.е. используется избыточный (помехоустойчивый) код. Избыточность этого кода вычисляется по формуле:

$$\kappa = 1 - \frac{H(B)}{H_{\max}} = 1 - H(B).$$

Итак, пропускная способность канала C определяет предельное значение производительности кодера $H(B)$: $H(B) < C$. Отсюда находим предельное значение энтропии кодера:

$$H(B) \leq \frac{C}{v_k}$$

Затем вычисляем избыточность кода κ . По сути эта величина показывает процент кодовых символов, которые не тратятся на передачу полезной информации а служат для защиты кода от ошибок.

ТЕМА 4 Оптимальный прием сигналов

Задание

Принимается 2 известных сигнала от 2-х источников сообщений ИС₁ и ИС₂. После демодуляции и декодирования имеем: $S_1 = 5 \text{ В}$; $S_2 = 5.6 \text{ В}$. В канале действует аддитивный гауссовский шум $\sigma = 200 \text{ мВ}$. Решающее устройство анализирует принятый сигнал и определяет источник, выдавший сообщение. Априорная вероятность гипотезы о срабатывании ИС₁ меняется от 0.1 до 0.9 с шагом 0.1.

Рассчитать: суммарную вероятность ошибки для методов максимального правдоподобия и максимума апостериорной вероятности. Построить графики зависимостей вероятностей ошибок для 2-х методов от априорной вероятности гипотезы.

Решение.

Пример сигнально-шумовой ситуации, характерной для данного задания приведен на рисунке. Точки на оси U , соответствующие пикам (максимумам) кривых плотностей вероятностей $w_1(U)$ и $w_2(U)$, являются значениями сигналов S_1 и S_2 соответственно. Если бы на сигналы не накладывался шум, то на вход приемника поступали бы только эти два значения: либо S_1 , либо S_2 . Однако в канале действует случайный гауссовский шум n с математическим ожиданием $m=0$ и среднеквадратическим отклонением σ . Шум складывается с сигналом и поэтому невозможно заранее предсказать какое значение входного колебания Z будет на входе приемника: либо $Z = S_1 + n$, либо $Z = S_2 + n$.

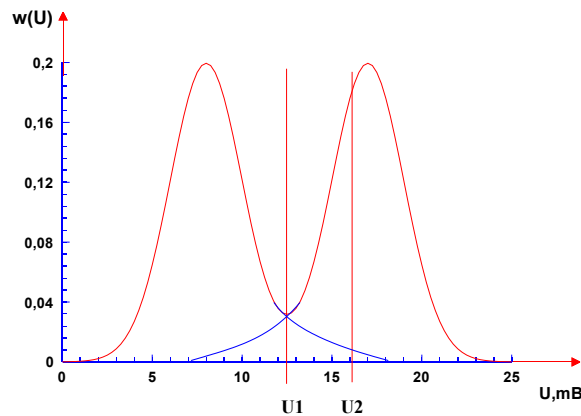


Рис. Сигнально-шумовая ситуация и порог принятия решения.

Нормальный (гауссовский) закон распределения шума определяется его плотностью вероятности:

$$w = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \exp\left(-\frac{(u-m)^2}{2\sigma^2}\right)$$

При наличии только шума $m=0$. При складывании шума с детерминированным сигналом, мат. ожидание результирующей случайной величины Z становится равным значению сигнала: $m_1=S_1$ и $m_2=S_2$. Эти две кривые w_1 и w_2 изображены на рисунке. Решающее устройство определяет какой сигнал пришел на вход по порогу U_1 или U_2 . Если значение $Z < U_1$, то на входе имеем сигнал S_1 ; если же $Z > U_1$ - то сигнал S_2 . Порог выбирается по простому принципу: вся область значений сигнала U разбивается на две подобласти; в левой сигнал Z ближе по какому-либо критерию к S_1 , в правой - к S_2 . Критерии же эти могут быть различны. Рассмотрим сначала критерий максимального правдоподобия.

Составляют так называемое отношение правдоподобия $\Lambda = \frac{w_2}{w_1}$ и сравнивают его с порогом: если $\Lambda > 1$

то это сигнал S_2 ; если $\Lambda < 1$ то сигнал S_1 . Порог, выставленный по этому критерию показан на рисунке (U_1). Критерий максимума апостериорной вероятности отличается тем, что в нем учитываются не равные вероятности гипотез о возникновении сигналов S_1 и S_2 . Здесь то же отношение правдоподобия Λ сравнивается с порогом $P(S_1)/P(S_2)$. Поэтому пороговое значение может быть другим, например как U_2 на рисунке. В задании необходимо найти по известным w_1 и w_2 пороговое значение U_1 для первого критерия, а затем рассчитать пороговые значения U_2 для второго критерия, при изменяющихся значениях $P(S_1)$. При этом учесть, что $P(S_2)=1-P(S_1)$.

Суммарная вероятность ошибки вычисляется по формуле:

$$P_{ош} = P(S_1) \int_U^{m_1+3\sigma} w_1 dU + P(S_2) \int_{m_2-3\sigma}^U w_2 dU.$$

По сути это вычисление площадей «хвостов» кривых w_1 и w_2 , заходящих за порог U , и взятых с весовыми коэффициентами $P(S_1)$ и $P(S_2)$. Для критерия максимального правдоподобия надо принять $P(S_1)=P(S_2)$. Рассчитав вероятности ошибок для различных случаев мы увидим, что максимальное значение вероятности ошибки будет получаться для критерия максимального правдоподобия.

ТЕМА 5. Импульсно-кодовая модуляция.

В цифровых системах связи сигналы передаются с помощью импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). Фактически ИКМ представляет собой два последовательно осуществляемых процесса дискретизация во времени и квантование по уровню. В результате данных процессов реальный аналоговый сигнал преобразуется в последовательность цифровых кодов.

Рассмотрим подробнее процесс дискретизации сигнала. Основной задачей дискретизации является выделение из сигнала некоторых временных отсчетов, обеспечивающих возможность восстановления по ним реального сигнала. При этом обычно стараются либо максимально уменьшить количество отсчетов при заданной погрешности восстановления сигнала, либо наоборот минимальной погрешности восстановления - при заданном количестве отсчетов в единицу времени. Для обеспечения этих условий мы можем варьировать двумя элементами:

1. Моментами взятия отсчетов;
2. Выбором функций, которыми аппроксимируется восстановленный сигнал.

По моментам взятия отсчетов, все виды дискретизации делят на равномерную и адаптивную. В качестве функций, использующихся для восстановления сигнала, применяют функции отсчетов ряда Котельникова, интерполирующие многочлены Лагранжа, экстраполирующие многочлены Тейлора и др.

Теоретически, при дискретизации по теореме Котельникова, ошибка дискретизации должна быть равна нулю. Однако в связи с невозможностью точно выполнить условий теоремы Котельникова все виды дискретизации имеют некоторую погрешность $\varepsilon > 0$.

Основными причинами возникновения ошибок при дискретизации по Котельникову являются не выполняющееся реально условие об ограниченности сигнала частотой F_B и не возможность построения идеальных фильтров нижних частот (ФНЧ), для формирования функций отсчетов. Обе эти причины зависят от выбора частоты дискретизации F_D , причем, чем больше F_D , тем меньше погрешность дискретизации, но тем больше объем данных передаваемых системой ИКМ за единицу времени.

Относительная точность воспроизведения сигнала за счет превышения полосы реального сигнала частоты F_B γ_{F_B} может быть определена из соотношения:

$$\gamma_{F_B} = \frac{\int_0^{\omega_B} S^2(\omega) d\omega}{\int_0^{\omega_D} S^2(\omega) d\omega} = \frac{P_\varepsilon(\omega)}{P_C(\omega)}, \quad (1)$$

где $S(\omega)$ - спектр входного сигнала; ω - циклическая частота: $\omega = 2 \cdot \pi \cdot F$.

Погрешность восстановления сигнала за счет не идеальности применяемого ФНЧ $\gamma_{ФНЧ}$ может быть определена из соотношения

$$\gamma_{ФНЧ} = \frac{\int_0^{\omega_B} S^2(\omega) \cdot (1 - K(\omega))^2 d\omega + \int_{\omega_D - \omega_B}^{\omega_D + \omega_B} S^2(\omega) \cdot K^2(\omega) d\omega}{\int_0^{\omega_B} S^2(\omega) d\omega}, \quad (2)$$

где $K(\omega)$ - частотная характеристика ФНЧ.

Другим критерием качества дискретизации является критерий наибольшего отклонения ε_0 . При этом оценивается погрешность восстановления $\delta_u(t)$, равная разности реального сигнала $u(t)$ и восстановленного сигнала $u^*(t)$. Шаг дискретизации выбирают исходя из условия

$$\delta_u(t) \leq \varepsilon_0. \quad (3)$$

Данный критерий наиболее часто применяют при адаптивной дискретизации. В этом случае время для каждого отсчета выбирают из условия

$$\delta_u(t) = \varepsilon_0. \quad (4)$$

При адаптивной дискретизации наиболее часто используют метод экстраполяции сигнала многочленами нулевой и первой степеней.

Примерно аналогичные преобразования с сигналом, но в амплитудной области происходят и при следующем процессе обработке – квантовании. Процесс квантования заключается в разбиении непрерывного диапазона значений сигнала от $U_{\min}$ до $U_{\max}$ на n интервалов, называемых шагом квантования. При этом реальному значению аналогового сигнала ставится в соответствие номер интервала, в который попадает значение входного сигнала. Если шаг квантования постоянен, то такое квантование называют равномерным, в противном – неравномерным. Процесс квантования осуществляется в аналогово-цифровом преобразователе (АЦП).

Возникающее при квантовании округление реального значения сигнала до ближайшего вызывает шум квантования, значение которого зависит от шага квантования. Для равномерного квантования среднеквадратичная ошибка квантования δ определяется из соотношения:

$$\delta = \frac{\Delta}{2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{(U_{\max} - U_{\min})}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot n}, \quad (5)$$

где Δ - шаг квантования, n – количество шагов квантования АЦП.

В реальных системах количество шагов квантования АЦП n равняется степени числа 2, из-за двоичной системы счисления, в которой работает большинство АЦП. При этом из условия $\delta < U_{\min}$ получим формулу для определения разрядности АЦП

$$N_{\text{АЦП}} = \log_2 \frac{U_{\max}}{U_{\min}} + 1. \quad (6)$$

При получении дробных результатов величина округляется в большую сторону.

Необходимая для передачи ИКМ сигнала пропускная способность канала связи определяется как произведение F_D и $N_{\text{АЦП}}$

$$V_{\text{ИКМ}} = F_D \cdot N_{\text{АЦП}}. \quad (7)$$

Задание

Рассчитать систему ИКМ с равномерными дискретизацией и квантованием для сигнала с верхней частотой 3400 Гц и динамическим диапазоном 40 дБ и максимальным значением 1В. Восстановление сигнала осуществляется фильтром первого порядка с частотной характеристикой $K(\omega) = 1/(1 + \omega RC)$. Спектр сигнала считать постоянным в диапазоне от 9 до 3400 Гц. Погрешность дискретизации должна составить не более половины 5%. Вычислить параметры фильтра RC, частоту дискретизации F_D , количество разрядов АЦП и шум квантования.

Решение.

Так как исходный сигнал ограничен по частоте, то $\gamma_{F_B} = 0$. Поэтому вся погрешность дискретизации определяется $\gamma_{\Phi HЧ}$. В нашем случае

$$\gamma_{\Phi HЧ} = \frac{1}{\omega_B} \left(\int_0^{\omega_B} (1 - K(\omega))^2 d\omega + \int_{\omega_D - \omega_B}^{\omega_D + \omega_B} K^2(\omega) d\omega \right). \quad (8)$$

Преобразуя формулу (7) получим, что:

$$\gamma_{\Phi HЧ} = 1 - 2 \cdot \frac{\ln(1 + \omega_B RC)}{\omega_B RC} + \frac{1}{(1 + \omega_B RC)^2} \left((1 + \omega_D RC)^2 - (\omega_B RC)^2 \right). \quad (9)$$

Данное выражение включает две части: первую, зависящую только от $\omega_B RC$ и вторую - зависящую и от F_D . Предположим, что они вносят равный вклад в общую погрешность. Тогда из условия задачи их величина не должна превосходить $\gamma_{\Phi HЧ} / 2 = 0.025$. Из этого условия определим $\omega_B RC$ и F_D .

$$\omega_B RC \approx \gamma_{\Phi HЧ} / 2 = 0.025 \Rightarrow RC = 7,35 \cdot 10^{-6} \text{ с} \quad (10)$$

$$F_D \approx (4/\gamma_{\Phi HЧ} - 1)/RC = 10^7 \text{ Гц} \quad (11)$$

Используя формулу 6, определим необходимое количество разрядов АЦП

$$N = \log_2 100 + 1 \approx 8. \quad (12)$$

По формуле 5 определим шум квантования

$$\delta = \frac{(1 - 0.01)}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 256} \approx 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ В} \quad (13)$$

Определим необходимую пропускную способность канала

$$V_{\text{ИКМ}} = 8 \cdot 10^7 \text{ бит/с}$$

ТЕМА 6. Многоканальные системы передачи информации.

Системы связи, в которых по одной линии связи передается одновременно несколько различных сообщений, называется многоканальной. Для передачи каждого сообщения в такой системе выделяется отдельные ка-

налы. Основным условием для каждого канала является линейная независимость сигналов, используемых в этих каналах, которую можно определить с использованием определителя Грама. При этом требуется, чтобы пропускная способность линии связи была не меньше суммы производительностей источников всех каналов в многоканальной системе связи.

$$C' \geq \sum_{k=1}^N H'_k, \quad (14)$$

где C' - пропускная способность линии связи; H'_k - производительность источника канала k ; N - количество каналов в многоканальной системе связи.

По способу разделения каналов все многоканальные системы связи делятся на четыре вида:

1. Системы с частотным разделением каналов (ЧРК);
2. Системы с временным разделением каналов (ВРК);
3. Системы с фазовым разделением каналов (ФРК);
4. Системы с кодовым разделением каналов.

В системах с ЧРК для каждого канала выделяется отдельная полоса частот, не перекрывающаяся с полосами других каналов. Процесс формирования сигнала с ЧРК приведен на рисунке.

Исходные низкочастотные сигналы S_{bi} переносятся на выделенные для них поднесущие $\Delta\omega_i$, и после суммирования формируется групповой сигнал ЧРК S_1 . Если сигналы S_{bi} имеют спектр шириной ω_i и полностью ограничены этой частотой, и для выделения сигналов используются идеальные полосовые фильтры с той же полосой пропускания ω_i и центральной частотой $\Delta\omega_i$, то можно обеспечить условие $\Delta\omega_i = \omega_i$ без возникновения каких либо помех.

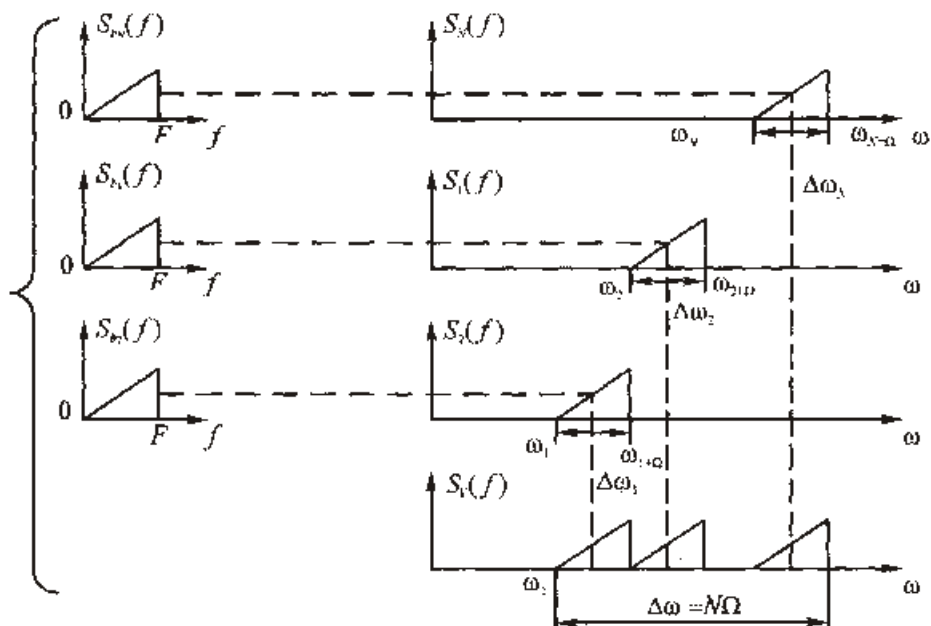


Рис. Формирование группового сигнала с ЧРК.

В реальных системах данные условия не выполняются, что приводит возникновению межканальных помех, за счет перекрывания их спектров. Для уменьшения уровня помех необходимо выделить защитные интервалы, то есть $\Delta\omega_i > \omega_i$. Величина защитного интервала $\Delta\omega_i - \omega_i$ выбирается исходя из заданных характеристик сигналов, полосовых фильтров и уровня допустимых межканальных помех. Уровень помех каналу i от канала j может быть определен по следующей формуле

$$\gamma_{ij} = \frac{\int_{\Delta\omega_i - \omega_i/2}^{\Delta\omega_i + \omega_i/2} S_i^2(\omega) \cdot (1 - K_i(\omega))^2 d\omega + \int_{\Delta\omega_j - \omega_j/2}^{\Delta\omega_j + \omega_j/2} S_j^2(\omega) \cdot K_j^2(\omega) d\omega}{\int_{\Delta\omega_i - \omega_i/2}^{\Delta\omega_i + \omega_i/2} S_i^2(\omega) d\omega} \quad (15)$$

Работа систем с ВРК основана на дискретизации сигналов во времени. Системы с ВРК выделяют для передачи отсчетов каждого из каналов свой отрезок времени Δt_i . Таким образом, передаточная функция ключа формирования сигнала в ВРК имеет вид

$$K_i(t) = \begin{cases} 1 & t \in \Delta t_i \\ 0 & t \notin \Delta t_i \end{cases} \quad (16)$$

В каналах с ВРК также наблюдаются искажения в виде увеличения длительности импульсов, вследствие ограниченности полосы линии связи. Данные искажения приводят к межсимвольным помехам и требуют применения защитных временных интервалов для их уменьшения.

Теоретически эффективность использования полосы частот систем с ЧРК и ВРК одинакова. На практике системы с ЧРК имеют несколько большую эффективность по этому показателю. Однако системы с ЧРК заметно сложнее и дороже в реализации. Кроме того, важными преимуществами системы с ВРК имеют меньший пик-фактор и простота работы импульсными видами модуляции (ФИМ, ШИМ, ИКМ).

Системы с ФРК нашли ограниченное применение, так как позволяют передавать только два канала, имеющие повернутые на 90° фазы. Трудностью реализации систем с ФРК является необходимость точной знания фазы сигнала, для разделения каналов.

Системы с кодовым разделением каналов используют ортогональные широкополосные сигналы, передаваемые в одной полосе частот в одно и то же время. Разделение сигналов в данном случае осуществляется с помощью специальных фильтров. Основным преимуществом систем с кодовым разделением каналов является асинхронность работы компонент системы, что является необходимым условием для всех остальных систем разделения каналов.

В последнее время получили развитие комбинационные способы разделения каналов для передачи дискретных сообщений. Суть данного разделения каналов заключается в формировании общего списка сообщений для всех источников. Если имеется N источников, каждый из которых формирует не более m сообщений, то общий список сообщений всех источников составит $M = m^N$ сообщений. Все эти сообщения передаются по линии связи, а далее декодируются и передаются на вход соответствующего приемника.

Особое место в системах многоканальной связи занимают сети распределения информации. В этих системах источники информации передают данные не постоянно, подключаясь в произвольные моменты времени и создавая пуассоновский поток вызовов с интенсивностью λ . Нагрузка зависит от количества, времени возникновения и продолжительности передачи сообщений через систему. Под интенсивностью нагрузки V понимают среднее число сообщений за один час. За единицу нагрузки $A = VT$ (T – среднее время передачи данных при одном подключении) принимается один Эрланг (1-часовое занятие в час). При этом обычно общее количество источников информации превышает количество каналов в многоканальной системе связи. В этом случае возникает эффект блокировки (отказа в передаче данных). Вероятность блокировки описывается формулой Эрланга

$$P_b = \frac{A^m / m!}{\sum_{i=0}^m A^i / i!}, \quad (17)$$

где m – число каналов в системе; A – интенсивность нагрузки.

Задание.

Определить ширину спектра группового сигнала 12-канальной системы однополосной ЧРК при условии, что каждое канальное сообщение занимает полосу частот 300...3400 Гц, а защитный промежуток Δf_3 составляет 30% от разности между поднесущими частотами.

Решение.

Так как все 12 каналов одинаковы, то полоса системы будет определяться

$$\Delta f_c = 11 \cdot \Delta f + f \quad (18)$$

Из условия

$$f = 3400 - 300 \text{ Гц} = 3100 \text{ Гц.}$$

Кроме того

$$\Delta f = f + \Delta f_3.$$

Следовательно, из условия

$$\Delta f = f / 0,7.$$

Получим

$$\Delta f_c = f \cdot \left(\frac{11}{0,7} + 1 \right) = 51814 \text{ Гц.}$$

Приложение. Образец титульного листа.

Министерство образования и науки Российской Федерации
КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. А. Н. Туполева

Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций
Кафедра Радиоэлектронных и телекоммуникационных систем

Пояснительная записка к курсовому
проекту по курсу

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ
на тему

Выполнил студент гр. _____

Руководитель: _____

Оценка _____

Казань 2010