Санкт - Петербургский государственный университет телекоммуникаций

имени проф. М. А. Бонч-Бруевича

**КУРСОВАЯ ПРОЕКТ**

**ПО**

**ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ**

**(вариант 72)**

Выполнил: Сабаев А. А.

студент группы Р-89

Проверил: Лесман М. Я.

Санкт-Петербург

2001

# Задание на курсовую работу.

Рассчитать основные характеристики системы передачи сообщений, включающий в себя источник сообщений, дискретизатор, кодирующее устройство (кодер), модулятор, канал связи, демодулятор, декодер и фильтр-восстановитель.

Структурная схема системы связи имеет вид:



# Исходные данные для расчета :

В

В

Гц



фазовая модуляция

В2/Гц

вид приема - оптимальная когерентная обработка сигнала

# Источник собщения.

Источник выдает сообщение a(t), представляющее собой непрерывный стационарный процесс, мгновенные значения которого в интервале от amin до amax равновероятны, а основная доля мощности сосредоточена в полосе частот от 0 до FВ.

Требуется:

1. Записать аналитическое выражение и построить график одномерного закона распределения плотности вероятности Wa мгновенных значений случайного процесса a(t).
2. Найти математическое ожидание m1 и дисперсию σ2 процесса a(t).

1.Для нахождения одномерной плотности вероятности мгновенных значений случайного процесса a(t) учтем, что все его мгновенные значения в заданном интервале равновероятны, и, следовательно, плотность вероятности будет постоянна в этом интервале и равна нулю вне этого интервала.

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









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



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



2. Найдем математическое ожидание m1 случайного процесса a(t):



Так как W(a) вне интервала от amin до amax равна 0, то получим:





 В

То есть получили, что среднее значение случайного процесса a(t)равно 6.4В.

Найдем дисперсию или математическое ожидание квадрата σ2 случайного процесса a(t):













так как , то



В2

**Дискретизатор.**

Передача информации от источника осуществляется по дискретной системе связи. Для этого сообщение a(t) в дискретизаторе квантуется по времени и по уровню равномерным шагом. Шаг квантования по уровню Δa=0.1B.

Требуется:

1. Определить шаг квантования по времени Δt.
2. Определить число уровней квантования L.
3. Рассчитать относительную мощность шума квантования, определив ее как отношение средней мощности шума квантования Ршк к средней мощности сигнала, т.е. дисперсии σ2.
4. Рассматривая дискретизатор, как дискретный источник информации с объемом алфавита L, определить его энтропию Н и производительность Н' (отсчеты, взятые через интервал Δt, считать независимыми).
5. Шаг квантования по времени  определим из теоремы Котельникова:



1. Число уровней квантования L при равномерном шаге  определятся как частное от деления размаха сигнала (amax-amin) на шаг квантования Δa.



1. Для нахождения средней мощности шума квантования надо знать закон распределения шума - W(ξ). Так как мгновенные значения равновероятны в заданном интервале, то закон распределения шума W(ξ) в интервале aj-Δa/2≤ξ≤aj+Δa/2 будет равномерным и не будет зависеть от номера интервала.

Следовательно, средняя мощность шума квантования будет равна:



Закон определения шума определим из условия нормировки:









Тогда средняя мощность шума квантования:





Относительную величину мощности шума квантования получим, взяв отношение Ршк к дисперсии случайного процесса a(t):



1. Энтропия - это математическое ожидание количества информации или мера неопределенности сообщений.

Покажем, что при заданном законе распределения мгновенных значений процесса  все уровни квантования равновероятны. Для этого найдем вероятность j-го уровня квантования что равносильно вероятности попадания  в интервал .



Мы видим, что не зависит от j.

Тогда энтропия будет определяться как энтропия дискретного источника независимых сообщений, все символы которого равновероятны:

бит

Производительностью такого источника будет суммарная энтропия сообщений, переданных за единицу времени:



**Кодер.**

В кодере процесс кодирования осуществляется в два этапа. На 1-ом этапе производится безызбыточное (примитивное) кодирование каждого уровня квантованного сообщения a(ti) к-разрядным двоичным кодом. На 2-ом этапе к полученной к-разрядной двоичной кодовой комбинации добавляется один проверочный символ, формируемый простым суммированием по модулю 2 всех информационных символов. В результате этих преобразований на выходе кодера образуется синхронная двоичная случайная последовательность b(t) (синхронный случайный телеграфный сигнал), состоящая из последовательности биполярных импульсов единичной высоты, причем положительные импульсы в ней соответствуют нулевым символам кодовой комбинации, а отрицательные - единичным.

Требуется:

1. Определить минимальное значение к, необходимое для кодирования всех L уровней квантованного сообщения a(ti).
2. Определить избыточность кода с одной проверкой на четность Рк.
3. Записать двоичную кодовую комбинацию, соответствующую передаче aj-го уровня, считая, что при примитивном кодировании на 1-м этапе aj-му уровню ставится в соответствие двоичная кодовая комбинация, представляющая собой запись числа в двоичной системе.
4. определить число двоичных символов, выдаваемых кодером в секунду Vk и длительность двоичного символа Т.
5. Найдем минимальное значение к, необходимое для кодирования всех L уровней квантованного сообщения a(ti).



1. Определим избыточность кода с одной проверкой на четность.



1. Представим число j=74 в двоичной системе счисления:



Следовательно к=7 информационных символов кодовой комбинации будут иметь вид:

Определим проверочный символ *в8* путем суммирования по модулю 2 всех к=7 информационных символов.



Учитывая, что правило суммирования по модулю 2 имеет вид:



получим, что *в8=*0.

Таким образом, искомая кодовая комбинация, соответствующая передаче *а*74 уровня квантованного сообщения, будет иметь вид:

**4.** Число двоичных символов, выдаваемых кодером в секунду Vк, определяется числом отсчетов (1/Δt) и числом двоичных символов n=к+1, приходящихся на один отсчет.



Длительность двоичного символа определяется как величина, обратная Vk.



**Модулятор.**

В модуляторе синхронная двоичная случайная последовательность биполярных импульсов *в(t)* осуществляет манипуляцию гармонического переносчика U0cos(2πf0t).

U0=1B, f0=100Vk=1.6 МГц

Задана фазовая манипуляция, т.е.





Требуется:

1. Изобразить временные диаграммы модулирующего *в(t)* и манипулированного s(t) сигналов, соответствующих передаче *а*j-го уровня сообщения *а(t)*/
2. Привести выражение и начертить график корреляционной функции модулирующего сигнала *в(t) - Bв(τ).*
3. Привести выражение и начертить график спектральной плотности мощности модулирующего сигнала *в(t)* - G*в(f)*.
4. Определить условную ширину энергетического спектра модулирующего сигнала ΔF*в*(t) из условия ΔF*в*=αVk (где α выбирается от 1 до 3). Отложить полученное значение ΔF*в* на графике G*в(f)*.
5. Записать аналитическое выражение модулированного сигнала s(t)=F[*в(t)*].
6. Привести выражение и построить график энергетического спектра модулированного сигнала Gs(f).
7. Определить условную ширину энергетического спектра модулированного сигнала ΔFs. Отложить полученное значение ΔFs на графике Gs(f).
8. Изобразим временную диаграмму модулирующего сигнала *в(t)*.

Изобразим временную диаграмму манипулированного сигнала s(t):

1. **2.** Для определения функции корреляции рассмотрим два сечения в моменты t1 и t2 (t2-t1=τ) и найдем математическое ожидание произведения X(t1)X(t1+τ).

Если τ>Т, то эти сечения принадлежат разным тактовым интервалам и произведение может с равной вероятностью принимать значения +1 и -1, так что его математическое ожидание равно 0.

Если τ<Т, то возможны два варианта: случай А, когда они принадлежат одному интервалу и , следовательно, X(t1)X(t1+τ)=1, и случай В, когда они принадлежат разным тактовым интервалам и X(t1)X(t1+τ) может с равной вероятностью равняться +1 и -1. Поэтому при τ<Т математическое ожидание X(t1)X(t1+τ) равно вероятности р(а) того, что оба сечения оказались в одном интервале. Случай А имеет место, если первое из двух сечений отстоит от начала тактового интервала не более чем Т-|τ|, а вероятность этого равна (Т-|τ|)/Т.

Тогда функция корреляции имеет вид:



1. Найдем выражение для спектральной плотности мощности модулированного сигнала по теореме Винера-Хинчина:





Так как В(τ) - функция четная, то









Возьмем интеграл по частям:





Построим график спектральной плотности мощности модулирующего сигнала:

1. Найдем условную ширину спектра сигнала. Под условной шириной спектра сигнала понимают полосу частот, в которой сосредоточена основная доля мощности сигнала. Чем больше выбранное значение α, тем большая доля мощности будет сосредоточена в этой полосе частот.

Пусть α=2



Определим долю мощности, сосредоточенную п полосе частот от 0 до .





Рассмотрим по отдельности числитель и знаменатель этого выражения.



Возьмем этот интеграл по частям.

U=sin2x

dU=sin2xdx







 - интегральный синус



Si(4π)=1.4922

Si(0)=0



Аналогично получим ,что 







То есть получили, что 95% всей мощности сигнала приходится на полосу частот от0 до ΔF*в*.

1. Аналитическое выражение модулированного сигнала s(t)=F[*в*(t)] будет иметь вид:



**6.** При ФМ выражение энергетического спектра модулирванного сигнала имеет вид:





Тогда построим график энергетического спектра модулированного сигнала Gs(f).

1. Условная ширина энергетического спектра будет в 2 раза больше условной ширины энергетического спектра модулирующего сигнала.

кГц

**Канал связи.**

Передача сигналов s(t) осуществляется по неискажающему каналу с постоянными параметрами и аддитивной флуктуационной помехой n(t) с равномерным энергетическим спектром G0 (белый шум).

Сигнал на выходе такого канала можно записать следующим образом:



Требуется:

1. Определить мощность шума в полосе частот Fk=ΔFs
2. Найти отношение средней мощности сигнала к мощности шума.
3. Найти по формуле Шеннона пропускную способность канала в полосе Fk.
4. Определить эффективность использования пропускной способности канала Кс, определив ее как отношение производительности источника Н' к пропускной способности канала С.
5. График спектральной плотности мощности квазибелого шума имеет вид:

Тогда мощность шума в полосе частот Fk равна:



 Вт

1. Для двоичных равновероятных символов s1(t) и s2(t) их средняя мощность будет равна:



где  - энергия сигнала s1(t)

 - энергия сигнала s2(t)



Тогда 

Так как , то



Но так как мы используем не всю мощность ее сигнала, а только 95% всей мощности, то

В2/1Ом

Тогда отношение средней мощности сигнала к мощности шума равно:



1. Пропускную способность канала связи найдем по теореме Шеннона:

**4.** Найдем эффективность использования пропускной способности канала связи:



**Демодулятор.**

В демодуляторе осуществляется оптимальная по критерию максимального правдоподобия когерентная обработка принимаемого сигнала z(t)=s(t)+n(t).

Требуется:

1. Записать правило решения демодулятора, оптимального по критерия оптимального по критерию максимального правдоподобия.
2. Записать алгоритм работы и нарисовать структурную схему оптимального демодулятора для заданного вида модуляции и способа приема.
3. Вычислить вероятность ошибки р оптимального демодулятора.
4. Определить как нужно изменить энергию сигнала, чтобы при других видах модуляции и заданном способе приема обеспечить вычисленное значение вероятности ошибки р.
5. Так как все символы передаются равновероятно, то правило максимального правдоподобия имеет вид:

Λi>Λj при i≠j

где - отношение правдоподобия

W(z|*в*i) - функция правдоподобия i-ой гипотезы

W(z|ш) - функция правдоподобия, что никакой сигнал не передавался

1. Алгоритм работы оптимального по критерию максимального правдоподобия когерентного демодулятора при передаче двоичных сообщений может быть представлен в следующем виде:

если , то принятым считается сигнал s1(t);

если <,то принятым считается сигнал s2(t).

Так как Е1=Е2 и s1=s2, то получим:

если , то принятым считается сигнал s1(t),

если <0, то принятым считается сигнал s2(t).

Изобразим структурную схему оптимального демодулятора:

1. Вероятность ошибки оптимального когерентного демодулятора для канала с аддитивным белым шумом при передаче двоичных сообщений определяется следующим выражением:



где  - интеграл вероятности



Из справочника "Интеграл вероятности" находим Ф(х)=0,99803



1. Для того чтобы вероятность ошибки оставалась неизменной энергию сигнала для амплитудной модуляции надо увеличить в 4 раза, а для частотной модуляции энергию надо увеличить в 2 раза.

При ОФМ, поскольку демодулятор включает в себя оптимальный когерентный демодулятор ФМ сигналов и блок перекодировки, вначале необходимо вычислить вероятность ошибки демодулятора ФМ сигналов, а затем определить вероятность ошибки на выходе блока перекодировки:



Так как вероятность ошибки по условию должна быть неизменной, т.е. рфм=рофм, то



Из справочника находим хофм=3,395



То есть для того, чтобы вероятность ошибки оставалась неизменной энергию сигнала при относительно-фазовой манипуляции надо увеличить в 1.2 раза при вероятности ошибки р=0,000985.

**Декодер.**

В декодере процесс декодирования осуществляется в 2 этапа. На 1-м этапе производится обнаружение ошибок в кодовой комбинации. Если ошибок в кодовой комбинации не обнаружено, то на 2-м этапе из нее сначала выделяются к информационных двоичных символов, а затем к-разрядная двоичная кодовая комбинация преобразуется в импульс, высота которого соответствует квантованному уровню переданного сообщения.

В случае обнаружения ошибки в кодовой комбинации исправляется наиболее ненадежный символ. Информация о степени надежности символов в кодовой комбинации поступает в кодер из демодулятора.

Требуется:

1. Оценить обнаруживающую q0 и исправляющую qи способности кода (n,n-1) с одной проверкой на четность.
2. Записать алгоритм обнаружения ошибок.
3. Определить вероятность необнаружения ошибки рно.
4. Предложить метод определения наименее надежного символа из n символов двоичной комбинации.
5. Обнаруживающая и исправляющая способности кодов определяются минимальным кодовым по Хеммингу между кодовыми комбинациями



Данный код обнаруживает все нечетные ошибки, т.к. это код с проверкой на четность.

Код гарантировано обнаруживает  ошибку, а гарантировано исправляет , т.е. вообще ничего не исправляет.

1. Если принятая кодовая комбинация совпадает с одной из разрешенных, то можно сделать вывод о том, что ошибок при передаче не было. Если принятая кодовая комбинация не совпадает ни с одной из разрешенных, то можно сделать вывод о том, что в кодовой комбинации произошли одна, три или пять ошибок.
2. Вероятность необнаружения ошибки при декодировании с одной проверкой на четность при условии, что мы ничего не исправляем, равна:



Вероятность обнаружения ошибки при таком алгоритме декодирования равна:







**4.**

Когда символ попадает в область [*а*,*в*], то определить какой символ передавался ("1" или "0") сложно. Наименее надежным будет символ более всех приближенный к точке М{x}. Если символ попадает в точку М{x} определить был передан "0" или "1" нельзя.

Наименее надежный символ - это символ, более всего отклоняющийся от разрешенных значений ("1" или "0"). При фазовой модуляции если фаза сигнала при передаче "1" и "0" отличается не на π, а предположим на π/4, то это и будет наименее надежный символ.

Так как используется код с одной проверкой на четное число единиц, то наименее надежный символ можно исправить.

Вероятность правильного приема при условии, что мы исправляем наименее надежный символ складывается из вероятности того, что все символы переданы верно и вероятности того, что один символ принят ошибочно и мы его исправляем:



 - вероятность того, что все символы приняты правильно

 - вероятность того, что один символ передан ошибочно, и мы его исправляем

Вероятность обнаружения ошибки в этом случае роо=0, так как однократную ошибку мы исправляем, а другие не учитываем.

Тогда вероятность необнаружения ошибки равна:



**Фильтр-восстановитель.**

Фильтр-восстановитель представляет собой фильтр нижних частот с частотой среза Fср.

Требуется:

1. Определить Fср.
2. Изобразить идеальные амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики фильтра-восстановителя.
3. Найти импульсную реакцию g(t) идеального фильтра-восстановителя. Начертить график g(t).
4. Частоту среза фильтра-восстановителя найдем по теореме Котельникова.

 кГц

1. Идеальная АЧХ фильтра-восстановителя имеет вид:

Идеальная ФЧХ фильтра-восстановителя имеет вид:

1. Найдем импульсную реакцию фильтра-восстановителя.

Пусть 



