**3.21. Оглавление**

1. Исходные данные
2. Задание на курсовую работу
3. Выполнение работы

3.1. Структурная схема системы связи.

3.2. Структурная схема приемника.

3.3. Принятие решения приемником по одному отсчету.

3.4. Вероятность ошибки на выходе приемника.

3.5. Выигрыш в отношении сигнал/шум при применении оптимального приемника.

3.6. Максимально возможная помехоустойчивость при заданном виде сигнала.

3.7. Принятие решения приемником по трем независимым отсчетам.

3.8. Вероятность ошибки при использовании метода синхронного накопления.

3.9. Расчет шума квантования при передаче сигналов методом ИКМ.

3.10. Прием с использованием сложных сигналов и согласованного фильтра.

3.11. Форма сложных сигналов при передаче символов «1» и «0».

3.12.Импульсная характеристика согласованного фильтра.

3.13. Схема согласованного фильтра для приема сложных сигналов.

3.14.Форма сигналов на выходе согласованного фильтра при передаче символов «1» и «0».

3.15.Оптимальные пороги при асинхронном и синхронном способах приема.

3.16.Энергетический выигрыш при применении согласованного фильтра.

3.17.Вероятность ошибки на выходе приемника при применении сложных сигналов и согласованного фильтра.

3.18. Сравнительный анализ различных способов приема.

3.19. Приложение. Расчет исходных данных для заданного варианта работы.

3.20. Список литературы.

3.21. Оглавление.

3.22. Дата выполнения работы и личная подпись студента.

1. Исходные данные

1. Номер варианта *N* = 15;
2. Амплитуда канальных импульсов ;



1. Дисперсия шума



1. Априорная вероятность передачи символов «1» Р(1) = 0,6;
2. Значение отсчета принятой смеси сигнала и помехи при однократном отсчете *Z(t0)* = 0,0022 , *B*;
3. Значения отсчетов принятой смеси сигнала и помехи при приеме по совокупности трех независимых ( некоррелированных ) отсчетов

*Z(t1)* = 0,0022 , *B*;

*Z(t2)*= 0,0013 , *B*;

*Z(t3)*= 0,0024 , *B*;

1. Вид сигнала в канале связи – ЧМ;
2. Способ приема сигнала – когерентный (КГ);
3. Максимальная амплитуда аналогового сигнала на входе АЦП

*bmax* = 6,5 *B*;

10.Пикфактор входного сигнала *П* = 3;

11.Скорость передачи *V* = 15000 *Бод*;

12. Число разрядов двоичного кода (при передаче сигналов методом ИКМ)

*n* = 8;

13. Вид дискретной последовательности шумоподобного сигнала 2562.

# 2. Задание на курсовую работу

Разработать обобщенную структурную схему системы связи для передачи непрерывных сообщений дискретными сигналами, разработать структурную схему приемника и структурную схему оптимального фильтра, рассчитать основные характеристики разработанной системы связи и сделать обобщающие выводы по результатам расчета.

**3.1. Структурная схема системы связи**



Преоб-разование сигнала в сообщение

Прием-ник

Линия связи

Пере-датчик

Преоб-разование сообщения в сигнал



Получатель

Источник сообщений

Источник помех

Системой связи называется совокупность технических средств для передачи сообщений от источника к потребителю. Этими средствами являются передающее устройство, линия связи и приемное устройство.

Рассмотрим назначение отдельных элементов этой схемы и проиллюстрируем происходящие в них процессы соответствующими временными и спектральными диаграммами.

На выходе источника сообщений имеем непрерывное сообщение:



В устройстве преобразования сообщения в сигнал непрерывное сообщение, поступающее с выхода источника, преобразуется в цифровой сигнал. Процесс преобразования состоит из нескольких операций. Сначала непрерывное сообщение подвергается дискретизации по времени:



Далее полученная последовательность дискретных отсчетов передаваемого сообщения квантуется, и посредством кодирования представляется в виде последовательности двоичных символов «1» и «0». Такое преобразование называется импульсно кодовой модуляцией (ИКМ), а устройство, где оно происходит называется аналого-цифровым преобразователем (АЦП).



В передатчике происходит модуляция сигнала, в данном случае – это частотная модуляция (ЧМ).



Проходя через линию связи, ЧМ – сигнал подвергается воздействию различного рода помех, и на вход приемника поступает смесь полезного сигнала и помехи. Приемник обрабатывает эту смесь и принимает решение о том, какой сигнал передавался. С выхода приемника сигнал поступает на устройство преобразования сигнала в сообщение. Таким устройством является цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Здесь происходит преобразование последовательности двоичных символов в квантованную последовательность отсчетов, которые сглаживаются до непрерывного сообщения с той или иной точностью, и к получателю приходит сообщение, подобное сообщению на выходе источника.



**3.2. Структурная схема приемника**



РУ

(–)

ФНЧ

Х

ФНЧ

Х

На вход приемника поступает смесь сигнала и помехи *Z(t).*

Суть когерентного метода приема заключается в том, что на приемной стороне о передаваемом сигнале известно все: частота, фаза, длительность, момент прихода. Поэтому, сигналы *Х1(t)* и *Х2(t)* – точные копии передаваемых сигналов. Устройства умножения эти копии перемножаются с *Z(t).* Далее произведения *Х1(t)Z(t)* и *Х2(t)Z(t)* проходят через ФНЧ, вычитаются в вычитающем устройстве и поступают на вход решающего устройства, где происходит сравнение с пороговым напряжением. Решение принимается в пользу того сигнала, у которого функция взаимной корреляции будет больше.

3.3. Принятие решения приемником по одному отсчету

Сообщения передаются последовательностью двоичных символов «1» и «0», которые появляются с априорными вероятностями *Р(1)* = 0,6 и *Р(0)* = 0,4. Этим символам соответствуют канальные сигналы *S1(t)* и *S2(t),* которые точно известны в месте приема.

В канале связи на передаваемые сигналы воздействует гауссовский стационарный шум с дисперсией *σ2 =* 1,65 10-5 . Приемник, оптимальный по критерию идеального наблюдателя (минимума средней вероятности ошибки), принимает решение по одному отсчету смеси сигнала и помехи *Z(t0) = Si(t0) + ξ(t0)* на интервале элемента сигнала длительности *Т*.

Для принятия решения по критерию идеального наблюдателя используется отношение правдоподобия *λ*, которое определяется выражением:



где *W(Z/1)* и *W(Z/0)* – условные функции плотности вероятности; и пороговое отношение правдоподобия *λ0*, равное



Правило принятия решения в данном случае будет следующим:

Если *λ >λ0*, то решение принимается в пользу сигнала «1», иначе – в пользу сигнала «0».

Для применения критерия идеального наблюдателя необходимо выполнение следующих условий:

1. Сигналы должны быть полностью известны;
2. Действие в канале связи помехи с гауссовским законом распределения ;
3. Должны быть известны априорные вероятности сигналов.

Плотности вероятностей *W(Z/1)* и *W(Z/0)* рассчитываются по формулам:



Найдем отношение правдоподобия *λ*:



Пороговое отношение правдоподобия *λ0* = 0,4/0,6 = 0,67. Используя правило принятия решения, получаем 5,12 > 0,67, т.е. *λ >λ0*, следовательно, передавался сигнал «1».

По формулам для *W(Z/1)* и *W(Z/0)* рассчитаем значения и построим графики функций *W(Z/1)* и *W(Z/0).*

Результаты расчетов сведем в таблицу

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Z* x10-3 | 12 | –10 | –8 | –6 | –4 | –2 | –1 | 0 | 1 | 2 | 4 |
| *W(Z/1)* | 0 | 0,04 | 0,23 | 1,15 | 4,42 | 13,34 | 21,19 | 31,65 | 44,50 | 58,87 | 85,93 |
| *Z* x10-3 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 |
| *W(Z/1)* | 98,42 | 88,46 | 62,39 | 34,53 | 15,01 | 5,11 | 1,36 | 0,28 | 0,05 | 0,006 | 0 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Z* x10-3 | –26 | –24 | –22 | –20 | –18 | –16 | –14 | –12 | –10 | –8 | –6 |
| *W(Z/0)* | 0 | 0,006 | 0,05 | 0,28 | 1,36 | 5,11 | 15,01 | 34,53 | 62,39 | 88,46 | 98,42 |
| *Z* x10-3 | –4 | –2 | –1 | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| *W(Z/0)* | 85,93 | 58,87 | 44,50 | 31,65 | 21,19 | 13,34 | 4,42 | 1,15 | 0,23 | 0,04 | 0 |

Плотность распределения вероятности помехи *W(ξ)* рассчитаем по формуле:



Результаты расчетов сведем в таблицу

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *ξ*x10-3 | –18 | –16 | –14 | –12 | –10 | –8 | –6 | –4 | –2 | –1 | 0 | 1 |
| *W(ξ)* | 0 | 0,04 | 0,26 | 1,25 | 4,76 | 14,16 | 33,07 | 60,63 | 87,23 | 95,53 | 98,47 | 95,53 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *ξ*x10-3 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
| *W(ξ)* | 87,23 | 60,63 | 33,07 | 14,16 | 4,76 | 1,25 | 0,26 | 0,04 | 0 |

* 1. **Вероятность ошибки на выходе приемника**

Рассчитаем вероятность ошибки для заданного вида сигнала и способа приема.



*h* находится из соотношения



где *h2* – отношение сигнал/шум.



Тогда



Вычислим полосу пропускания фильтра:



где *Т =* 1*/V* – длительность элемента сигнала, определяемая скоростью передачи (модуляции) сигналов *V*.



Используя формулу



рассчитаем и построим зависимость *Р(h).* Результаты расчета сведем в таблицу.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *h* | 0 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 |
| *P(h)* | 0,5 | 0,15866 | 0,06681 | 0,02275 | 0,00621 | 0,00135 | 0,000233 | 0,000032 |

**3.5. Выигрыш в отношении сигнал/шум при применении оптимального приемника**

В предположении оптимального приема (фильтрации) сигналов определим максимально возможное отношение сигнал/шум *h20.*



где *N0* – спектральная плотность помехи.



Отношение сигнал /шум для рассчитанного приемника:



то есть энергетический выигрыш в отношении сигнал/шум оптимального приемника по сравнению с рассчитанным – в 2 раза.



3.6. Максимально возможная помехоустойчивость при заданном виде сигнала

Для определения максимально возможной помехоустойчивости приема ЧМ сигналов определим среднюю вероятность ошибки при оптимальном приеме.



где



Тогда



3.7. Принятие решения приемником по трем независимым отсчетам

Определим, какой символ будет зарегистрирован на приеме при условии, что решение о переданном символе принимается по совокупности трех независимых некоррелированных отсчетов *Z1 = Z(t1),* *Z2 = Z(t2), Z3 = Z(t3)* на длительности элемента сигнала *Т*, имеющих следующие значения: *Z1* = 0,0022; *Z2* = 0,0013; *Z3* = 0,0024. Для принятия решения воспользуемся отношением правдоподобия, сравнив его с пороговым отношением.

В случае принятия решения по трем независимым отсчетам отношение правдоподобия примет вид:



Сравнивая *λ* с *λ0*, получаем: 4,39 > 0,67, т.е. *λ > λ0*, следовательно, передавался сигнал «1».

3.8. Вероятность ошибки при использовании метода синхронного накопления

Для принятия решения по трем независимым отсчетам используется метод синхронного накопления. При использовании этого метода приема повышается помехоустойчивость. Суть метода синхронного накопления заключается в суммировании отсчетов смеси сигнала и помехи. После оценки и суммирования отсчетов решающим устройством принимается решение о передаваемом сигнале.

Суммирование отсчетов сигнала ведется по амплитуде, т.к. его отсчеты коррелированны с коэффициентом корреляции, равным единице. Суммирование отсчетов помехи ведется по мощности, отсчеты помехи являются некоррелированными. Тогда мощность сигнала равна

*Р с ∑ = (NA)2*, мощность помехи *Р п ∑= Nσ2*, где *N* - количество отсчетов. Отношение сигнал/шум в этом случае равно:



Определим среднюю вероятность ошибки:



Сравним помехоустойчивости приема методом синхронного накопления и приема методом однократного отсчета:



Таким образом, помехоустойчивость приема методом синхронного накопления в 618,61 раз выше по сравнению с методом однократного отсчета.

**3.9. Расчет шума квантования при передаче сигналов методом ИКМ**

При передаче сигналов методом ИКМ непрерывное сообщение преобразовывается в цифровой сигнал, т.е. в последовательность символов, сохраняя содержащуюся в сообщении существенную часть информации, определяемой ее эпсилон-энтропией.

Для преобразования непрерывного сообщения в цифровую форму используются операции квантования и кодирования. Полученная таким образом последовательность квантованных отсчетов кодируется и передается по дискретному каналу как всякое дискретное сообщение. На приемной стороне непрерывное сообщение после декодирования восстанавливается (с той или иной точностью ).

В отличие от непрерывного канала передачи в составе цифрового канала предусмотрены устройства для преобразования непрерывного сообщения в цифровую форму – аналого-цифровой преобразователь (АЦП) на передающей стороне и устройства преобразования цифрового сигнала в непрерывный – цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) на приемной стороне.

Преобразование непрерывных сообщений в цифровую форму в системах ИКМ сопровождается округлением мгновенных значений до ближайших разрешенных уровней квантования. Возникающая при этом погрешность представления является неустранимой, но контролируемой (так как не превышает шага квантования). Выбрав малый шаг квантования, можно обеспечить эквивалентность исходного и квантованного сообщений. Погрешность (ошибку) квантования, представляющую собой разность между исходным сообщением и сообщением, восстановленным по квантованным отсчетам, называют шумом квантования.

Определим мощность шума квантования и отношение сигнал/шум *h2* при максимальной амплитуде аналогового сигнала.

Отношение сигнал/шум в данном случае определяется следующим выражением:



где *b2(t)* – мощность сигнала, *ε2 (t)* – мощность шума квантования.

Мощность сигнала равна:



Здесь *bmax* – максимальная амплитуда аналогового сигнала на входе АЦП, П – пикфактор входного сигнала.

Мощность шума квантования равна:



где



здесь *L* – число уровней, *n* – число разрядов двоичного кода. *n* = 8.

Тогда



Отношение сигнал/шум тогда будет равно:



Шум квантования не связан с помехами и целиком определяется выбором числа уровней квантования. Его можно сделать сколь угодно малым, увеличивая число уровней квантования. При этом придется увеличивать число кодовых символов, приходящихся на каждый отсчет, а следовательно, сокращать длительность символа и расширять спектр сигнала в канале.

3.10. Прием с использованием сложных сигналов и согласованного фильтра

Использование для передачи сложных сигналов и согласованного фильтра обеспечивает эффективную защиту от импульсных и иногда от сосредоточенных помех.

Прием с использованием сложных сигналов и согласованного фильтра имеет большую помехоустойчивость, чем прием с использованием простых сигналов. Но основным недостатком этого метода является снижение скорости передачи информации вследствие увеличения длительности сложных сигналов.

3.11.Форма сложных сигналов при передаче символов «1» и «0»

*S1(t) =* {010101110010}

*S2(t) =* {101010001101}

*S1(t) =* { –1 1 –1 1 –1 1 1 1 –1 –1 1 –1 }

*S2(t) =* { 1 –1 1 –1 1 –1 –1 –1 1 1 –1 1 }

Форма сложного сигнала при передаче символа «1»



Форма сложного сигнала при передаче символа «0»:



3.12. Импульсная характеристика согласованного фильтра

Импульсная характеристика – отклик фильтра на очень короткий импульс (дельта-функцию). Импульсная переходная характеристика согласованного фильтра представляет собой зеркальное отображение временной функции сигнала.

*g(t) = aS(T –t),* где *а = const,*

*g(t) =* { –1 1 –1 –1 1 1 1 –1 1 –1 1 –1 }



3.13. Схема согласованного фильтра для приема сложных сигналов

Структурная схема согласованного фильтра для приема сложных сигналов будет иметь вид:



Х(-1)

Х(-1)

Х(-1)

Х(-1)

ФНЧ

t0

10t0

2t0

11t0

9t0

8t0

7t0

3t0

6t0

5t0

4t0

СФ

(t0)

Х(-1)

Х(-1)

∑

Если на вход линии в начальный момент времени подается одинкороткий единичный импульс,аппроксимирующий*δ***-**функцию, то с отводов снимаются такие же импульсы, разнесенные на интервалы Δ*t*, которые, пройдя через сумматор, поступают на вход ФНЧ.

3.14. Форма сигналов на выходе согласованного фильтра при передаче символов «1» и «0»

Форма сигналов на выходе согласованного фильтра с точностью до постоянного множителя представляет собой корреляционную функцию входного сигнала: *y(t) = aBs(T – t )*. Найдем эту функцию.



Значения функции корреляции будут следующими:

*B(0) =* 12*А2Т*;

*B(t0) =* –5 *А2Т*;

*B(2t0) =* 2 *А2Т*;

*B(3t0) =* –3 *А2Т*;

*B(4t0) =* 2 *А2Т*;

*B(5t0) =* –1 *А2Т*;

*B(6t0) =* –2 *А2Т*;

*B(7t0)* = 1 *А2Т*;

*B(8t0) =* –2 *А2Т*;

*B(9t0) =* 3 *А2Т*;

*B(10t0) =* –2 *А2Т*;

*B(11t0) =* 1 *А2Т*;

*B(12t0) =* 0.

**3.15. Оптимальные пороги при асинхронном и синхронном способах приема сигналов в схеме с согласованным фильтром**

При синхронном способе приема *Uпор*. = 0.

При асинхронном способе приема оптимальные пороги будут следующими:



2. Синхронный прием.

У синхронного приемника на входе РУ ставится ключ, который устраняет влияние побочных максимумов и выбирается одно пороговое напряжение, равное 0. Синхронный метод приема является более помехоустойчивым, чем асинхронный, так как при синхронном разница амплитуд сигналов при передаче «1» и «0» максимальна.

Структурная схема синхронного приемника.



Х(-1)

Х(-1)

Х(-1)

Х(-1)

Х(-1)

Х(-1)

РУ

∑

t0

10t0

2t0

11t0

9t0

8t0

7t0

3t0

6t0

5t0

4t0

СФ

(t0)



3.17. Вероятность ошибки на выходе приемника при применении сложных сигналов и согласованного фильтра

Вероятность ошибки на выходе приемника при применении согласованного фильтра определим по формуле:



Сигналы могут приниматься асинхронным и синхронным способом.

1. Асинхронный прием.

У асинхронного приемника отсутствует ключ, цепь замкнута, постоянно установлен порог, с помощью которого решающее устройство определяет, какой сигнал поступил на вход.

Структурная схема асинхронного приемника



Х(-1)

Х(-1)

Х(-1)

Х(-1)

Х(-1)

Х(-1)

РУ

∑

t0

10t0

2t0

11t0

9t0

8t0

7t0

3t0

6t0

5t0

4t0

СФ

(t0)

**3.18. Сравнительный анализ различных способов приема**

В данной работе были рассмотрены четыре способа приема. Для сравнения помехоустойчивости этих способов рассмотрим рассчи-танные значения средних вероятностей ошибки для каждого способа.

|  |  |
| --- | --- |
| Способ приема | Средняя вероятность ошибки |
| При однократном отсчете | 0,06681 |
| При оптимальной фильтрации | 0,0158 |
| Методом синхронного накопления | 0,000108 |
| При использовании сложных сигналов и согласованного фильтра. | <10-5 |

Глядя на результаты расчетов, можно сдел†††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††††† информации.

3.19. Приложение. Расчет исходных данных для заданного варианта работы

*N* =15;

*S2(t)= - S1(t)*;



*S1(t) =* {010101110010};

*S2(t) =* {101010001101};

*S1(t) =* { –1 1 –1 1 –1 1 1 1 –1 –1 1 –1 };

*S2(t) =* { 1 –1 1 –1 1 –1 –1 –1 1 1 –1 1 }.

**3.20. Список литературы**

1. Теория передачи сигналов: Учебник для вузов/ А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, М.В. Назаров, Л.М. Финк. – М., «Радио и связь», 1986. – 304с.
2. А.А. Макаров, Л.А. Чиченков. Основы теории помехоустойчивости дискретных сигналов: учебное пособие. – Новосибирск, СибГАТИ, 1997. – 44с.