**Задание** - 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 расчетов.

**1.1 Исходные данные**

контрольная работа выполняется для следующих исходных данных:

1. Номер варианта *N*= .
2. Вид сигнала в канале связи (ДАМ, ДЧМ, ДФМ, ДОФМ).
3. Скорость передачи сигналов *V*= , Бод.
4. Амплитуда канальных сигналов *А*= .
5. Дисперсия шума  *2*= .
6. Априорная вероятность передачи символов "1" *p*(1) = .
7. Способ приема сигнала (КГ, НКГ).
8. Полоса пропускания реального приемника, определяемая шириной спектра сигналов двоичных ДАМ, ДЧМ, ДФМ, ДОФМ, вычисляется по формулам

* f* прДАМ =  *f* прДФМ =  *f*прДОФМ = 2/*T*,  *f*прДЧМ= 2,5/*T*,

где *T* = 1/*V* - длительность элемента сигнала, определяемая скоростью передачи (модуляции) сигналов *V*.
9. Значение отсчета принятой смеси сигнала и помехи на входе решающей схемы приёмника при однократном отсчете *Z*(*t*0) = .
10. Значения отсчетов принятой смеси сигнала и помехи при приеме по совокупности трех независимых (некоррелированных) отсчетов *Z*(*t*1) = ,
*Z*(*t*2) = , *Z*(*t*3) = .
11. Максимальная амплитуда аналогового сигнала на входе АЦП
*b*max = .
12. Пик-фактор входного сигнала П = .
13. Число разрядов двоичного кода (при передаче сигналов методом ИКМ) *n* = .
14. Вид дискретной последовательности сложного сигнала.

Расчет численных значений этих параметров приводится в приложении
в конце работы.

**1.2 Содержание пояснительной записки**

1. В данном разделе определены требования к структуре пояснительной записки к контрольной работе и последовательность изложения результатов выполнения.
2. Введение.
3. Задание.
4. Исходные данные (приводятся только текст и численные значения параметров. .Расчет их приводится в приложении в конце работы).
5. Структурная схема системы связи.
6. Структурная схема приемника.
7. Принятие решения приемником по одному отсчету.
8. Вероятность ошибки на выходе приемника.
9. Выигрыш в отношении сигнал/шум при применении оптимального приемника.
10. Максимально возможная помехоустойчивость при заданном виде сигнала.
11. Принятие решения приемником по трем независимым отсчетам.
12. Вероятность ошибки при использовании метода синхронного накопления.
13. Применение импульсно-кодовой модуляции для передачи аналоговых сигналов.
14. Использование сложных сигналов и согласованного фильтра.
15. Импульсная характеристика согласованного фильтра.
16. Схема согласованного фильтра для приема сложных сигналов. Форма сигналов на выходе согласованного фильтра при передаче символов "1" и "0".
17. Оптимальные пороги решающего устройства при синхронном и асинхронном способах принятия решения при приеме сложных сигналов
согласованным фильтром.
18. Энергетический выигрыш при применении согласованного фильтра.
19. Вероятность ошибки на выходе приемника при применении сложных сигналов и согласованного фильтра.
20. Пропускная способность разработанной системы связи.
21. Заключение.
22. Приложение. Расчет исходных данных для заданного варианта
работы.
23. Список литературы.
24. Оглавление.
25. Дата выполнения работы и личная подпись студента.

**1.3 Порядок выполнения контрольной работы.**

1.3.1 Нарисуйте обобщенную структурную схему системы связи для передачи непрерывных сообщений дискретными сигналами, приведите подробное описание назначения входящих в нее блоков.

Преобразования сообщения и сигналов в системе связи проиллюстрируйте качественным приведением временных и спектральных диаграмм на выходе каждого блока системы связи с соблюдением единого масштаба по оси абсцисс. Опишите временные и спектральные диаграммы. Вид модуляции и способ приема, используемые в системе связи, заданы в табл.1 и определяются в соответствии с вариантом задания. Номер варианта задания численно равен двум последним цифрам Вашего пароля.

1.3.2 В соответствии с исходными данными задания приведите выражение временной функции используемого сигнала и его векторную диаграмму. Изобразите структурную схему Вашего приемника и опишите ее работу (предполагается, что приемник не является оптимальным).

1.3.3 Сообщения передаются последовательностью двоичных символов "1" и "0", которые появляются с априорными вероятностями соответственно *p*(1) и *р*(0). Этим символам соответствуют канальные сигналы *S*1(*t*) и *S*2(*t*), которые точно известны в месте приема.

В канале связи на передаваемые сигналы воздействует гауссовский стационарный шум с дисперсией  2. Приемник, оптимальный по критерию идеального наблюдателя (минимума средней вероятности ошибки), принимает решение по одному отсчету смеси сигнала и помехи

*Z*(*t0*)*= Si*(*t0*)*+ *(*t0*)

на интервале элемента сигнала длительности *Т*. Рассчитайте и изобразите графически кривые плотностей распределения *W*( ) и условных вероятностей *W*(z/0) и *W*(z/1) Покажите на графике значения *A,  , z*(*t*0). Определите, какой символ ("1" или "0") будет зарегистрирован приемником для исходных данных Вашего варианта с использованием отношения правдоподобия. Предварительно поясните, что такое отношение правдоподобия, приведите общее выражение для его вычисления применительно к Вашему варианту задания и сделайте необходимые расчеты. Приведите выражение и поясните смысл критерия идеального наблюдателя.

1.3.4 Рассчитаем вероятность неправильного приема двоичного символа (среднюю вероятность ошибки) в рассматриваемом приемнике для заданного вида сигнала и способа приема, а также зависимость *p*(*h*)(построить график для 4-5 значений *h* ) с учетом реальной полосы пропускания приемника (на этом графике показать точку, соответствующую рассчитанной величине *h* и вычисленной вероятности ошибки).

1.3.5 В предположении оптимального приема (фильтрации) сигналов определим:

а) максимально возможное отношение сигнал/шум *h*20*;*

б) выигрыш в отношении сигнал/шум оптимального приемника по сравнению с рассчитываемым.

1.3.6 Для определения потенциальной помехоустойчивости приема символов определим среднюю вероятность ошибки при оптимальном приеме для заданного вида сигнала. Дайте определение потенциальной помехоустойчивости и опишите условия, при которых она достигается.

1.3.7 Определим, какой символ будет зарегистрирован на приеме при условии, что решение о переданном символе принимается по совокупности трех некоррелированных (независимых) отсчетов *Z*1*= Z*(*t*1),*Z*2*=Z*(*t*2),
*Z*3*= Z*(*t*3) на длительности элемента сигнала *Т*(метод многократных отсчетов или метод дискретного синхронного накопления). Предварительно выведите общее выражение для вычисления отношения правдоподобия применительно к Вашему варианту задания и сделайте необходимые расчеты.

1.3.8 Найдем ожидаемую среднюю вероятность ошибки в приемнике, использующего метод синхронного накопления. Пояснить физически, за счет чего, во сколько раз и какой ценой достигается повышение помехоустойчивости приема дискретных сообщений при методе синхронного накопления (увеличение отношения сигнал/шум и уменьшение вероятности ошибки).

1.3.9 Опишите сущность, достоинства и недостатки ИКМ с приведением необходимых графических иллюстраций, поясняющих полный процесс преобразования непрерывного сообщения в сигнал ИКМ. Рассчитайте мощность шума квантования и отношение сигнал/шум квантования *h2*кв для случая поступления на вход приёмника сигнала с максимальной амплитудой. Поясните соображения выбора значения шага квантования (в том числе и с учётом уровня шума).

1.3.10 Считаем, что символы "1" и "0" передаются сложными сигналами *S*1(*t*) и *S*2(*t*) (с большой базой), которые представляют собой последовательности прямоугольных импульсов положительной и отрицательной полярности длительности *Т*. Прием этих сигналов осуществляется с помощью согласованного фильтра. Поясните сущность, преимущества и недостатки использования сигналов с большой базой.

Изобразите форму заданных сигналов при передаче по каналу связи символов "1" и ''0'' в предположении, что и *S*2(*t*) = -*S*1(*t*), при этом длительность каждого из сигналов равна *nT*, где *n* - число элементов сложного сигнала.

1.3.11 Поясните, что такое импульсная характеристика, приведите для неё выражение в случае согласованного фильтра и график для заданного сигнала.

1.3.12 Приведите схему согласованного фильтра для заданного сигнала и опишите, как формируется (поэлементно) сигнал на его выходе.

1.3.13 Пояснить, что представляет собой сигнал на выходе согласованного фильтра при поступлении на его вход сигнала, с которым он согласован, и последовательности произвольного вида. Рассчитайте форму полезного сигнала на выходе фильтра при передаче символа "1", а также форму помехи, в предположении, что на вход фильтра (в паузе) поступает непрерывная последовательность знакопеременных символов ...101010... (характерная, например, для случая действия в линии связи на сигнал флуктуационной помехи). Изобразите форму этих сигналов.

1.3.14 Изобразите на одном чертеже выходные сигналы согласованного фильтра при поступлении на его вход сигналов, соответствующих передаваемым символам "1" и "0", покажите пороговые уровни решающей схемы для случаев синхронного и асинхронного способов принятия решения. Обосновать выбор и вычислить значения пороговых напряжений решающей схемы.

Приведите и опишите структурные схемы, поясняющие прием сообщений синхронным и асинхронным способами принятия решения в решающей схеме по выходному сигналу согласованного фильтра. Обосновать, какой из способов более целесообразен с точки зрения помехоустойчивости.

1.3.15 Определим энергетический выигрыш при приеме сигналов с использованием согласованного фильтра (пояснить, за счет чего и какой ценой достигается этот выигрыш).

1.3.16 При определении вероятности ошибки считаем, что сигналы, соответствующие символам "1" и "0", являются взаимнопротивоположными и решение о переданном символе принимается с использованием пороговой решающей схемы синхронным способом (отсчеты берутся в конце каждого сигнала длительностью *kT*, где *T* - длительность одного элемента сложного сигнала). При этом считаем, что длительность сигнала возросла в *k* раз по сравнению со случаями использования простых сигналов, где *k* - количество элементарных посылок в сложном сигнале.

1.3.17 При проведении сравнительного анализа необходимо привести таблицу с рассчитанными значениями вероятностей ошибки для различных способов приема сигналов и дать необходимые пояснения полученным результатам (сделать выводы по работе).

1.3.18 Расчет исходных данных к контрольной работе (Приложение).

Исходные данные для расчета зависят от номера варианта задания, который численно равен двум последним цифрам Вашего пароля.

Таблица 1

Вид сигнала и способ приема

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра номера варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Вид сигнала | ДАМ | ДАМ | ДЧМ | ДФМ | ДАМ | ДЧМ | ОФМ | ДЧМ | ОФМ | ОФМ |
| Способприема | КГ | НКГ | КГ | КГ | НКГ | КГ | КГ | КГ | КГ | НКГ |
| *n* | 8 | 9 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 |

**КГ - когерентный прием, НКГ - некогерентный прием**

Амплитуда *А* канальных сигналов *S*1(*t*) и *S*2(*t*) определяется студентами из соотношения (1)

  (1)

где *N* - номер варианта задания ;

*К* = 1 для студентов, обучающихся по профилю *Сети связи и системы коммутации*,
*К* = 1,2 для студентов, обучающихся по профилю *Многоканальные телекоммуникационные системы*,
*К* = 1,5 для студентов, обучающихся по профилю *Системы радиосвязи и радиодоступа*, *Системы мобильной связи* и *Радиосвязь, радиовещание и телевидение*;

*М* = 1, 2, 3,... - последняя цифра номера группы.

Дисперсия шума  *2*находится из соотношения

* 2*= *A* 2 (0,10 + 0,008*N* ) (Вт).

Априорная вероятность передачи символа "1" *p*(1) задается из соотношения



Значения отсчетов принятой смеси сигнала и помехи находятся из соотношений

*Z*(*t*0)= (0,25 + )*А*,

*Z*(*t*1)*= Z*(*t*0),*Z*(*t*2)*=*0,6*Z*(*t*0),*Z*(*t*3)*=*1,1*Z*(*t*0).

Величина *V*задается соотношением *V*= 1000 *M N* Бод.

Максимальная амплитуда аналогового сигнала определяется выражением

*b*max = 2 + 0,3*N*(В).

Пик-фактор аналогового сигнала определяется выражением

П = 1,5 + 0,1*N*.

Вид дискретной последовательности *S*1(*t*) задан в табл.2 в восьмеричной форме (для компактности записи). При переводе *S*1(*t*) в двоичную форму необходимо заменить символы "0" на "-1".

Сигнал *S*2 (*t*) = - *S*1 (*t*).

**Примечание:** В разделе "Приложение" привести только сами расчеты без каких-либо подзаголовков и других словесных пояснений. Например:.



Таблица 2

Варианты дискретных последовательностей длиной 7, 9, 11 элементов
(в восьмеричной форме)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер группы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Номер варианта |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 | 103 | 121 | 150 | 413 | 433 | 506 | 530 | 605 | 113 | 106 |
| 2 | 141 | 105 | 123 | 151 | 415 | 443 | 514 | 542 | 130 | 144 |
| 3 | 543 | 142 | 106 | 130 | 154 | 423 | 454 | 516 | 142 | 105 |
| 4 | 562 | 550 | 144 | 113 | 131 | 162 | 426 | 456 | 123 | 141 |
| 5 | 611 | 606 | 560 | 145 | 115 | 134 | 164 | 432 | 503 | 150 |
| 6 | 2134 | 613 | 632 | 654 | 2113 | 116 | 2166 | 2132 | 415 | 423 |
| 7 | 2152 | 2136 | 615 | 641 | 660 | 2115 | 2216 | 2461 | 613 | 2164 |
| 8 | 2162 | 2153 | 2145 | 621 | 643 | 661 | 2123 | 2514 | 2136 | 621 |
| 9 | 2213 | 2164 | 2155 | 2151 | 624 | 646 | 2131 | 2126 | 632 | 2261 |
| 10 | 2232 | 2261 | 2322 | 2352 | 2415 | 626 | 650 | 2133 | 3504 | 3544 |
| 11 | 2342 | 2235 | 2305 | 2324 | 2362 | 2416 | 2431 | 2443 | 3602 | 3512 |
| 12 | 2362 | 2345 | 2236 | 2312 | 2326 | 2364 | 2423 | 2541 | 2456 | 3550 |
| 13 | 2432 | 2456 | 2351 | 2243 | 2321 | 2332 | 2436 | 2426 | 3511 | 3604 |
| 14 | 2446 | 2433 | 2462 | 2466 | 2246 | 2254 | 2341 | 2543 | 3540 | 2462 |
| 15 | 2516 | 2542 | 2435 | 2544 | 2562 | 2546 | 2256 | 2554 | 2642 | 3510 |
| 16 | 2564 | 2621 | 2642 | 2646 | 3123 | 3152 | 3213 | 3230 | 3214 | 3522 |
| 17 | 3113 | 2612 | 2624 | 2643 | 3112 | 3124 | 3164 | 3242 | 3610 | 3541 |
| 18 | 3122 | 3121 | 2613 | 2632 | 2654 | 3211 | 3126 | 3254 | 3521 | 3612 |
| 19 | 3134 | 3214 | 3221 | 2615 | 2661 | 3223 | 3215 | 3261 | 3614 | 3506 |
| 20 | 3241 | 3246 | 3260 | 3234 | 2616 | 3244 | 3243 | 3324 | 3630 | 3642 |
| 21 | 3301 | 3312 | 3320 | 3261 | 3330 | 3310 | 3505 | 3340 | 3624 | 3611 |
| 22 | 3262 | 3341 | 3303 | 3342 | 3302 | 3350 | 3321 | 3412 | 3621 | 3530 |
| 23 | 3411 | 3360 | 3426 | 3424 | 3441 | 3423 | 3454 | 3445 | 3614 | 3622 |
| 24 | 3422 | 3421 | 3414 | 3432 | 3444 | 3450 | 3442 | 3452 | 3620 | 3514 |
| 25 | 3451 | 3460 | 3501 | 3464 | 3503 | 3602 | 3550 | 3611 | 3644 | 3660 |