РАБОТА 3

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ДЕМОДУЛЯТОРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГАУССОВЫХ ПОМЕХ**

Цель работы

Закрепить теоретические знания и приобрести навыки по коли­чественной оценке и имитационному моделированию основных качественных показателейдемодуляторов.

При подготовке к лабораторной работе необходимо:

изучить основные методы обработки сигналов в демодуляторах;

ознакомиться с описанием лабораторной работы;

подготовить бланк отчета согласно разделу "Содержание отчета";

подготовить ответы на контрольные вопросы.

**Краткие сведения из теории**

Рассмотрим задачу различения двух детерминированных (известных демодулятору) сигна­лов  и  на фоне шума (помехи) по критерию идеального наблюдателя. Критерий идеального наблюдателя применяется, когда известны априорные вероятности *р*(*S*1) и *р*(*S*2). В дальнейшем полагаем *р*(*S*1) = *р*(*S*2)=0.5, что дает наибольшую информативность источника сигналов.

Согласно критерию идеального наблюдателя пороговый уровень устанавливается таким, чтобы вероятность общей ошибки *Рош*  была минимальной и, соответственно, вероятность правильного ре­шения - максимальной. Таким образом, оптимальный характер идеального наблюдения состоит в том, что он минимизирует вероятность ошибочного решения.

Пусть принятое колебание (наблюдаемый процесс) представляет собой сумму

, (1)

где - гауссовый белый шум.

Неизвестный параметр  может принимать одно из двух значений =1 (присутствует сигнал) и  = 0 (присутствует сигнал). По принятой реализации  нужно решить, какое именно значение имеет параметр  =1 или  =0, т.е. какой из сигналов передавался. Предположим, что демодулятор приемника принимает решение , т.е. выдает оценку величины . При  условная вероятность того, что это решение правильно фиксирует прием сигнала , очевидно, равна . Вероятность  еще называют апостериорной вероятностью сигнала  (т.е. вероятностью, определенной после опыта, заключающегося в наблюдении и анализе сигнала ).

Примем, что в системе модулятор - демодулятор (модем) обеспечена надежная тактовая синхронизация на тактовом интервале передачи сигнала длительностью *Т*, а в канале связи действует стационарный белый шум c односторонней спектральной плотностью мощности *N*0, и нулевым математическим ожиданием (помеха типа N[0,*N*0]).Возьмем на тактовом интервале *m* равноотстоящих сечений через  (выполним дискретизацию сигнала (1) с частотой Найквиста равной 2*F*). Отсчеты  в этих сечениях для квазибелого (ограниченного полосой частот от 0 до *F*) гауссового шума независимы. Поэтому *m* - мерная плотность вероятности для взятых отсчетов

, (2)

где  - дисперсия (мощность) квазибелого шума.

При гипотезе, что передавался сигнал , согласно (1)  .Следовательно, условная *m* - мерная плотность вероятности сечений *z*(*t*) определится такой же формулой, как и (2), если *z*(*tk*) заменить разностью , представляющей при этой гипотезе помеху :

. (3)

Оптимальный демодулятор принимает решение о приеме сигнала , если значение будет больше величины . С учетом (3) алгоритм решения в пользу сигнала можно записать в виде

. (4)

Алгоритм типа (4) имеет наглядное геометрическое обоснование. Левая часть неравенства определяет сумму удалений квадратов дискретных отсчетов помехи от соответствующих дискрет сигнала , а правая часть определяет удаление той же помехи от сигнала . Все величины, входящие в (4) на приемной стороне известны, что и позволяет приемнику принимать количественно обоснованное решение в пользу сигнала, для которого воздействие помехи оказалось меньше.

Вернемся к исходной задаче для белого шума. Для этого следует расширять полосу *F,* тогда число сечений *m* стремится к бесконечности, а – к нулю. Суммы в (4) (условно дополненные множителем ) обращаются в интегралы и после раскрытия квадрата под интегралами алгоритм принятия решения (в пользу сигнала ) при обработке аналоговых сигналов с равновероятной передачей примет вид

, (5)

где ,  - энергия *i*-го сигнала.

Для бинарного модема неравенство (5) можно представить в более простом виде:

, (6)

где  определяет пороговый уровень решающего устройства демодулятора;

- разность сигналов.

Для определения помехоустойчивости приемника алгоритм (5) с подстановкой (1) представим выражением

. (7)

В данном выражении можно выделить случайные и детерминированные составляющие

, (8)

где 

Случайная величина  имеет нормальное распределение, как результат линейной операции над случайным процессом N[0,*N*0]. Ее математическое ожидание

, (9)

а дисперсия

Воспользовавшись фильтрующим свойством дельта-функции , получим

. (10)

Учитывая (9) и (10) вероятность не выполнения неравенства (7), т.е. вероятность ошибки, определим выражением

 (11)

где  - функция Крампа.

В технической литературе при записи вероятности ошибки часто встречается функция . Функция  табулирована и называется дополнительной функцией ошибок. Применяя данную функцию в (11), получим

 (12)

Наиболее распространенными бинарными модемами с гармоническими сигналами являются системы с амплитудной (АМ), фазовой (ФМ) и частотной (ЧМ) манипуляцией. Алгоритм работы демодулятора в любой из этих систем определяется из выражения (8), но значение порога  различно. Меняется и помехоустойчивость модема, найденная из (11), при подстановке соответствующего  .

В качестве примера рассмотрим бинарную систему с АМ, когда сигнал , а . Все записанные здесь параметры сигналов: - амплитуда, - частота и - фаза считаются известными демодулятору. При этих сигналах , ,  и решающее правило (6) запишется в виде

. (13)

Структурная схема демодулятора сигналов с АМ, составленная по (13), приведена на рис.1.

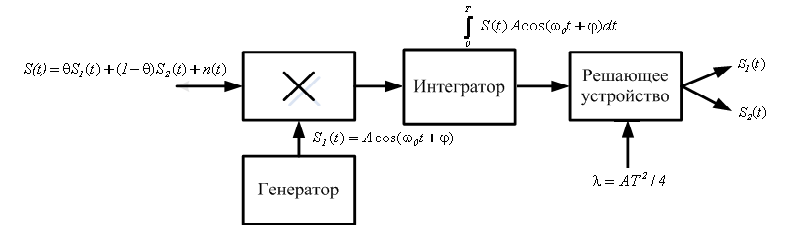


Рис. 1 Структура демодулятора сигналов с АМ

Вероятность такого демодулятора ошибки согласно (12) определяется из выражения

 (14)

где величина  - превышение энергии сигнала над (двусторонней  ) спектральной плотностью мощности шума.

По формуле (14) можно рассчитать построить график зависимости  от превышения сигнала над шумом  (рис. 2). На таком графике по оси абсцисс отложена величина , представленная в дБ ([дБ]=10 lg() ).

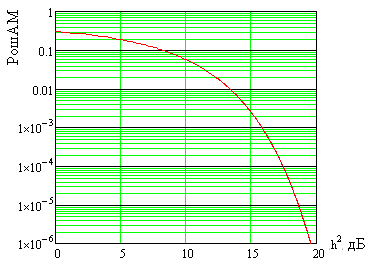


Рис. 2 Помехоустойчивость системы с АМ

При бинарной системе типа ФМ наиболее помехоустойчивыми являются противоположные по фазе сигналы:

 и . (15)

Алгоритм работы демодулятора сводится при этом к следующему:

 (16)

и реализуется схемой, приведенной на рис. 1, при значении параметра .

Оптимальный демодулятор сигналов с ЧМ принимает решение в пользу сигнала  при выполнении неравенства

. (17)

Структурная схема такого демодулятора включает два каскада, каждый из которых реализует соответствующую часть неравенства (17).

Структурная схема демодулятора, отражающая оптимальный алгоритм его работы, позволяет построить блок-схему программы для имитационного моделирования. Программу имитационной модели можно записать с применением любого алгоритмического языка программирования. Обработку результатов моделирования в виде графических зависимостей можно выполнить пользуясь программой на Mathcad или MatLab.

Порядок выполнение работы

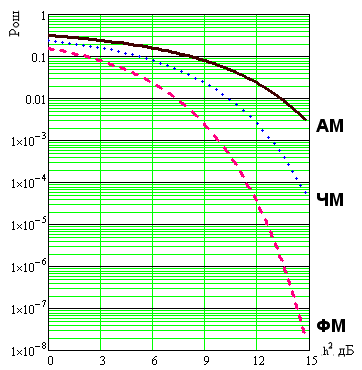
1. Исследовать помехоустойчивость системы связи при передаче информации сигналами с АМ, ФМ и ЧМ:
   1. Построить график потенциальной помехоустойчивости модемов с ЧМ и ФМ;
   2. Сделать вывод, при каком методе передачи информации и за счет чего достигается выигрыш в помехоустойчивости;
   3. Построить блок-схему программы имитационного моделирования демодулятора сигналов с АМ, ФМ и ЧМ;
   4. Создать и отладить программу имитационной модели демодуляторов сигналов с АМ, ФМ и ЧМ;
   5. На имитационной модели демодуляторов сигналов с АМ, ФМ и ЧМ провести моделирование, результаты помехоустойчивости демодуляторов представить графически;
   6. Оценить доверительные интервалы результатов моделирования для системы с АМ.
2. Оформить отчет с результатами выполнения пункта 1 задания по работе.

**Литература**

1. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. - М.: Радио и связь, 1963. - 319 с.
2. Зюко А.Г. Теория электрической связи: учебник для вузов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, В.И. Коржик, В.М. Назаров //-М.: Радио и связь, 1999. - 431 с.

Контрольные вопросы

1. При каком виде модуляции достигается максимальная по­мехоустойчивость системы связи?
2. Как изменится вероятность ошибки при переходе от коге­рентного метода обработки к не когерентному.
3. Изменится ли вероятность ошибки при когерентном методе обработки при переходе от фазоманипулированных сигналов к сигналам с ЧМ?



**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОЇ ДЕМОДУЛЯТОРІВ ПРИ ДІЇ ГАУССОВИХ ПЕРЕШКОД**

Мета роботи

Закріпити теоретичні знання і набути навичок з кількісної оцінки та імітаційному моделюванню основних якісних показників демодуляторів.

При підготовці до лабораторної роботи необхідно:

вивчити основні методи обробки сигналів в демодуляторах;

ознайомитися з описом лабораторної роботи;

підготувати бланк звіту згідно з розділом "Зміст звіту";

підготувати відповіді на контрольні питання.

\u0009

**Короткі відомості з теорії**

Розглянемо завдання розрізнення двох детермінованих (відомих демодулятору) сигна¬лов і на тлі шуму (перешкоди) за критерієм ідеального спостерігача. Критерій ідеального спостерігача застосовується, коли відома апріорна вірогідність р (S1) і р (S2). Надалі вважаємо р (S1) = р (S2) =0.5, що дає найбільшу інформативність джерела сигналів. Згідно з критерієм ідеального спостерігача пороговий рівень встановлюється таким, щоб вірогідність загальної помилки Рош була мінімальною і, відповідно, вірогідність правильне ре¬шения - максимальною. Таким чином, оптимальний характер ідеального спостереження полягає в тому, що він мінімізує вірогідність помилкового рішення.

Нехай прийняте коливання (спостережуваний процес) є сумою

, (1)

де - гауссовый білий шум.

Невідомий параметр може приймати одно з двох значень =1 (є присутнім сигнал ) і = 0 (є присутнім сигнал ). По прийнятій реалізації треба вирішити, яке саме значення має параметр =1 або =0, тобто який з сигналів передавався. Припустимо, що демодулятор приймача приймає рішення, тобто видає оцінку величини . При умовна вірогідність того, що це рішення правильно фіксує прийом сигналу, очевидно, рівна . Вірогідність ще називають апостеріорною вірогідністю сигналу (тобто вірогідністю, визначеною після досвіду, що полягає в спостереженні і аналізі сигналу ).

Приймемо, що в системі модулятор - демодулятор (модем) забезпечена надійна тактова синхронізація на тактовому інтервалі передачі сигналу тривалістю Тонни, а в каналі зв'язку діє стаціонарний білий шум c односторонньою спектральною щільністю потужності N0, і нульовим математичним очікуванням (перешкода типу N[0, N0]). Візьмемо на тактовому інтервалі m рівновіддалених перерізів через (виконаємо дискретизацію сигналу (1) з частотою Найквіста рівною 2f). Відліки в цих перерізах для квазібілого (обмеженого смугою частот від 0 до F) шуму гауса незалежні. Тому m - мірна щільність вірогідності для узятих відліків

, (2)

де - дисперсія (потужність) квазібілого шуму.

При гіпотезі, що передавався сигнал, згідно (1) .Отже, умовна m - мірна щільність вірогідності перерізів z (t) визначиться такою ж формулою, як і (2), якщо z (tk) замінити різницею, що представляє при цій гіпотезі перешкоду :

. (3)

Оптимальний демодулятор приймає рішення про прийом сигналу, якщо значення буде більше величини . З обліком (3) алгоритм рішення на користь сигналу можна записати у виді

. (4)

Алгоритм типу (4) має наочне геометричне обгрунтування. Ліва частина нерівності визначає суму видалень квадратів дискретних відліків перешкоди від відповідних дискрет сигналу, а права частина визначає видалення тієї ж перешкоди від сигналу . Усі величини, що входять в (4) на приймальній стороні відомі, що і дозволяє приймачу приймати кількісно обгрунтоване рішення на користь сигналу, для якого дія перешкоди виявилася менше.

Повернемося до початкового завдання для білого шуму. Для цього слід розширювати смугу F, тоді число перерізів m прагне до нескінченності, а - до нуля. Суми в (4) (умовно доповнені множником ) звертаються в інтеграли і після розкриття квадрата під інтегралами алгоритм ухвалення рішення (на користь сигналу ) при обробці аналогових сигналів з рівноімовірною передачею прикмет вид

, (5)

де, - енергія i- го сигналу.

Для бінарного модему нерівність (5) можна представити в простішому виді:

, (6)

де визначає пороговий рівень вирішального облаштування демодулятора;

- різниця сигналів.

Для визначення завадостійкої приймача алгоритм (5) з підстановкою (1) представимо вираженням

. (7)

У цьому вираженні можна виділити випадкові і детерміновані складові

, (8)

де

Випадкова величина має нормальний розподіл, як результат лінійної операції над випадковим процесом N[0, N0]. Її математичне очікування

, (9)

а дисперсія

Скориставшись властивістю дельта-функції,, що фільтрує, отримаємо

. (10)

Враховуючи (9) і (10) вірогідність не виконання нерівності (7), тобто вірогідність помилки, визначимо вираженням

(11)

де - функція Крампа.

У технічній літературі при записі вірогідності помилки часто зустрічається функція . Функція табульована і називається додатковою функцією помилок. Застосовуючи цю функцію в (11), отримаємо

(12)

Найбільш поширеними бінарними модемами з гармонійними сигналами є системи з амплітудною (АМ), фазовою (ФМ) і частотною (ЧМ) маніпуляцією. Алгоритм роботи демодулятора у будь-якій з цих систем визначається з вираження (8), але значення порогу різне. Міняється і завадостійка модему, знайдена з (11), при підстановці того, що відповідає .

Як приклад розглянемо бінарну систему з АМ, коли сигнал, а . Усі записані тут параметри сигналів : - амплітуда, - частота і - фаза вважаються відомими демодулятору. При цих сигналах,, і вирішальне правило (6) запишеться у виді

. (13)

Структурна схема демодулятора сигналів з АМ, складена по (13), приведена на рис. 1.

Мал. 1 Структура демодулятора сигналів з АМ

Вірогідність такого демодулятора помилки згідно (12) визначається з вираження

(14)

де величина - перевищення енергії сигналу над (двосторонньою ) спектральною щільністю потужності шуму.

По формулі (14) можна розрахувати побудувати графік залежності від перевищення сигналу над шумом (мал. 2). На такому графіку по осі абсцис відкладена величина, представлена в дБ ( [дБ]=10 lg ( ) ).

\u0009

Мал. 2 Завадостійка системи з АМ

При бінарній системі типу ФМ найбільш завадостійкими є протилежні по фазі сигнали:

і . (15)

Алгоритм роботи демодулятора зводиться при цьому до наступного:

(16)

і реалізується схемою, приведеною на мал. 1, при значенні параметра .

\u0009Оптимальний демодулятор сигналів з ЧМ приймає рішення на користь сигналу при виконанні нерівності

\u0009\u0009 . (17)

Структурна схема такого демодулятора включає два каскади, кожен з яких реалізує відповідну частину нерівності (17).

\u0009Структурна схема демодулятора, що відбиває оптимальний алгоритм його роботи, дозволяє побудувати блок-схему програми для імітаційного моделювання. Програму імітаційної моделі можна записати із застосуванням будь-якої алгоритмічної мови програмування. Обробку результатів моделювання у вигляді графічних залежностей можна виконати користуючись програмою на Mathcad або MatLab.

Порядок виконання роботи

1.\u0009Досліджувати завадостійку системи зв'язку при передачі інформації сигналами з АМ, ФМ і ЧМ:

1.1.\u0009Побудувати графік потенційної завадостійкої модемів ЧМ і ФМ;

1.2.\u0009Зробити висновок, при якому методі передачі інформації і за рахунок чого досягається виграш в завадостійкій;

1.3.\u0009Побудувати блок-схему програми імітаційного моделювання демодулятора сигналів з АМ, ФМ і ЧМ;

1.4.\u0009Створити і відлагодити програму імітаційної моделі демодуляторів сигналів з АМ, ФМ і ЧМ;

1.5.\u0009На імітаційній моделі демодуляторів сигналів з АМ, ФМ і ЧМ провести моделювання, результати завадостійкої демодуляторів представити графічно;

1.6.\u0009Оцінити довірчі інтервали результатів моделювання для системи з АМ.

2.\u0009Оформити звіт з результатами виконання пункту 1 завдання по роботі.

Література

1.\u0009Тихонов В.И. Оптимальний прийом сигналів. - М.: Радіо і зв'язок, 1963. - 319 с.

2.\u0009Зюко А.Г. Теорія електричного зв'язку : підручник для внз / А.Г. Зюко, Д.Д.