

$$a = \frac{Fo_{1/2} d^2}{t_{1/2}}, \quad (11)$$

где $Fo_{1/2}$ – безразмерное время (критерий Фурье), соответствующее достижению безразмерной температурой (безразмерным сигналом) половины максимального значения; $t_{1/2}$ – время, соответствующее достижению экспериментальной кривой половины максимального значения.

Найденное решение рассмотренной задачи позволяет обосновать методику определения температуропроводности для образцов в форме цилиндра.

Библиографические ссылки

1. Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity / W. J. Parker, R. S. Jenkins, C. P. Buttler, G. L. Abbott // J. Applied. Phys. – 1961. – Vol. 32. '9. – Pp. 1679–1684.

2. *Перевозчиков С. М., Загребин Л. Д.* Автоматизированная система измерения теплофизических параметров металлов и сплавов // Приборы и техника эксперимента. – 1998. – № 3. – С. 155–158.

3. Температуропроводность и теплопроводность твердого и жидкого олова / В. Е. Зиновьев, А. А. Баскакова, Л. Д. Загребин [и др.] // ИФЖ. – 1973. – Т. 25, № 3. – С. 490–494.

4. *Каракулов О. Е., Загребин Л. Д., Шабанова И. Н.* Измерение температуропроводности образцов в виде шара. Система Fe-Sn // ТВТ-2010. – Т. 48. – № 3. – С. 368–372.

5. *Загребин Л. Д., Перевозчиков С. М., Лялин В. Е.* Высокотемпературное пирометрическое измерение температуропроводности импульсным методом // Теплофизика высоких температур. – 2002. – Т. 40, № 4.

6. *Лыков А. В.* Теория теплопроводности. – М., 1967.

7. *Каракулов О. Е., Загребин Л. Д., Шабанова И. Н.* Указ. соч.

8. *Козлов В. П.* Двумерные осесимметричные нестационарные задачи теплопроводности. – Минск, 1986.

9. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / А. Г. Шашков, Г. М. Волохов [и др.]. – М.: Энергия, 1973.

Получено 15.03.2016

УДК: 621.396.13

Д. Ю. Поленов, аспирант, ОАО «Научно-производственное объединение измерительной техники», г. Королев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ ПОСТРОЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MATLAB

Для правильного выбора решений по организации системы радиосвязи разработчику необходимо рассмотреть ее основные характеристики, влияющие факторы, условия распространения сигнала, а также предусмотреть способы нейтрализации дестабилизирующих сил. Чтобы сделать это как можно ближе к действительным условиям, предлагается смоделировать параметры радиопередачи (модуляция несущей, необходимость внедрения ко-

дирования, его способ) в реальном времени, исследовать влияние дестабилизирующих факторов, присутствующих при радиопередаче (шум в канале связи, изменение отношения сигнал – шум и др. [1]), а именно: создать компьютерную модель системы радиосвязи.

Упрощенное изображение системы радиопередачи информации [2] приводится схематически, что соответствует рис. 1.

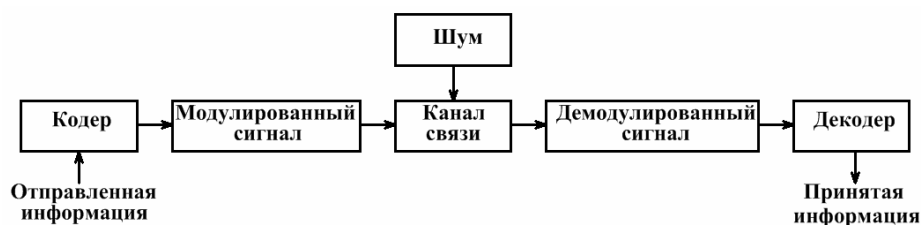


Рис. 1. Упрощенная модель системы радиопередачи информации

Отправляемая информация поступает на вход кодера, который для повышения достоверности и помехозащищенности ее кодирует. С помощью модулированной закодированными данными несущей частоты информация передается по каналу связи, в котором присутствует шум. Смесь модулированно-

го сигнала и шума поступает на приемную сторону, где производится выделение информационного сигнала из несущего. Полученный сигнал декодируется, и в результате получают оценки первоначально передаваемых данных.

Для реализации системы радиосвязи разработчик имеет в своем распоряжении лишь математический аппарат.

Между тем в случае необходимости моделирования приведенных выше параметров радиопередачи сделать это затруднительно, а порой невозможно.

Тем не менее существуют методы построения модели радиосвязи и ее исследований. Рассмотрим возможность создания компьютерной модели радиоканала и применения в качестве среды его построения программный продукт Matlab, куда входит пакет Simulink [3, 4]. Данный пакет включает раздел Communication, содержащий блоки средств радиосвязи

(кодеры/декодеры, модуляторы/демодуляторы), имитации воздействий на радиосвязь (шум), задания основных параметров связи (отношение сигнал/шум), а также средства просмотра результатов радиопередачи (глазковая диаграмма, подсчет битовых ошибок) [5, 6] и др.

Построим в Matlab модель радиосвязи, при этом передача информации будет осуществляться по каналу связи с аддитивным белым шумом, в качестве несущей остановимся на 16-позиционной квадратурной амплитудной модуляции, для оценки качества связи получим данные о достоверности передаваемых бит. На рис. 2 приведена вышеописанная модель радиосвязи.

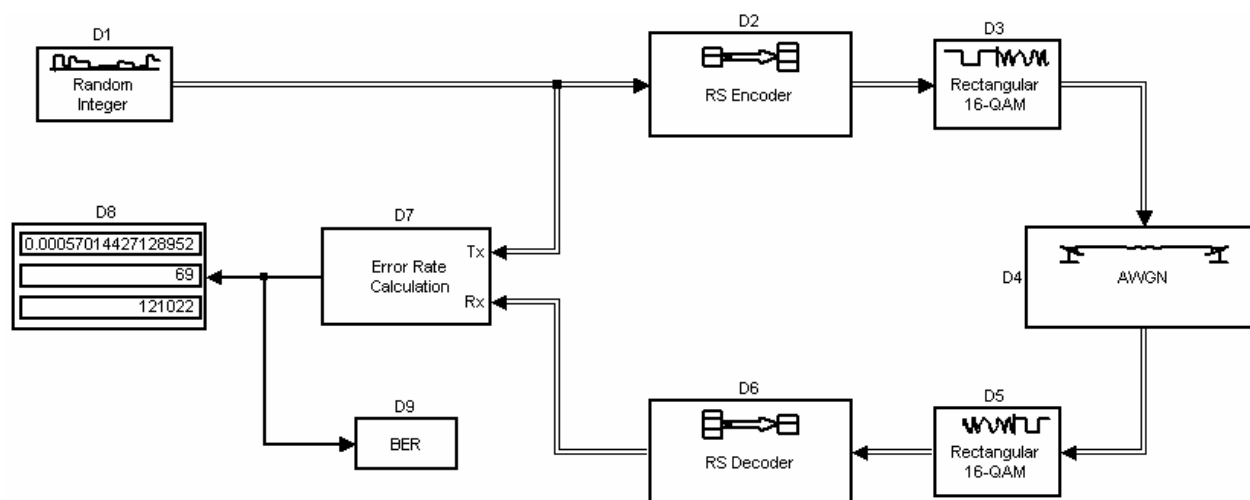


Рис. 2. Модель радиосвязи, построенная в Matlab

Для формирования отправляемой информации в схеме (рис. 2) предусмотрен блок *D1*. Блоки *D2* и *D6* представляют собой кодер и декодер информации. В качестве модулятора применен блок *D3*, использующий в качестве несущей 16-позиционную квадратурную модулированную несущую (16-QAM), в свою очередь, блок *D5* служит демодулятором. Блок *D4* является каналом связи. В блоке *D7* сравнивается информация до радиопередачи и после, в результате чего блок *D8* отображает количество допущенных битовых ошибок. Блок *D9* используется для построения графика зависимости вероятности битовой ошибки (P_b) к отношению энергии бита к спектральной плотности мощности шума $\left(\frac{E_b}{N_o}\right)$.

При рассмотрении построенной модели радиосвязи заметны аналогии с рис. 1: имеется блок отправленной информации (*D1*), кодер/декодер информации (*D2* и *D6*), модулятор/демодулятор (*D3* и *D5*) и канал связи (*D4*).

Перейдем к рассмотрению основных параметров блоков созданной схемы, приведенных в таблице.

После создания нужной схемы радиосвязи перейдем к ее анализу с помощью очередного средства Matlab – Bit Error Rate Analysis Tool, которое позволя-

ет построить график зависимости P_b от $\frac{E_b}{N_o}$. Построим

и сравним по вышеуказанному показателю телеметрические системы (ТС) «Скут-40» (ЧМ-2 и ЧМ-4), «Орбита IV» (ФМ-2) без применения кодирования с системами радиосвязи, использующими КАМ-64 (с кодированием методом Рида – Соломона и без).

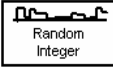
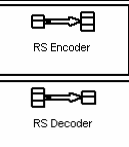
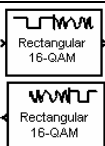
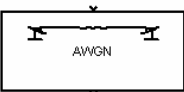
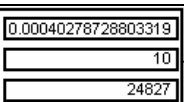
Схемы радиосвязи рассматриваемых систем (ЧМ-2, ЧМ-4, ФМ-2 и КАМ-64) будут соответствовать рис. 3, за исключением блоков модулятора/демодулятора. Как видно, на данной схеме отсутствуют блоки кодера и декодера. Система с КАМ-64 и кодированием соответствует рис. 2.

Результаты моделирования систем по показателю зависимости P_b от $\frac{E_b}{N_o}$ приведены на рис. 4.

Для анализа систем был выбран интервал зависимости $\frac{E_b}{N_o}$ от 0 до 12 дБ. При анализе построенных

зависимостей видно, что система с КАМ-64 и кодированием методом Рида – Соломона является наилучшей. Система с ФМ-2 несколько выигрывает у КАМ-64 без кодирования, а системы с ЧМ проигрывают конкурентам.

Блоки, применяемые при построении системы радиосвязи

Обозначение	Основные параметры
Генератор случайной последовательности	
	<i>M</i> -ary number – количество вариантов значений выходной последовательности. <i>Samples per frame</i> – число передаваемых информационных бит за один цикл передачи
Кодер/декодер	
	<i>Codeword length N</i> – общее количество передаваемых бит, включая информационные и кодирующие. <i>Message length K</i> – количество информационных бит
Модулятор/демодулятор	
	<i>M</i> -ary number – значение позиционности модулированного колебания. Есть возможность выбора блоков с ФМ, АМ, ЧМ и другими видами модуляции
Канал связи	
	<i>Mode</i> – выбор режима задания изменяемого параметра канала связи (E_b/N_o (в нашем случае), SNR , E_s/N_o и др.). E_b/N_o (dB) – значение показателя $\frac{E_b}{N_o}$, дБ
Дисплей	
	В процессе моделирования данный блок отображает: – вероятность битовой ошибки; – количество ошибок; – количество переданных бит

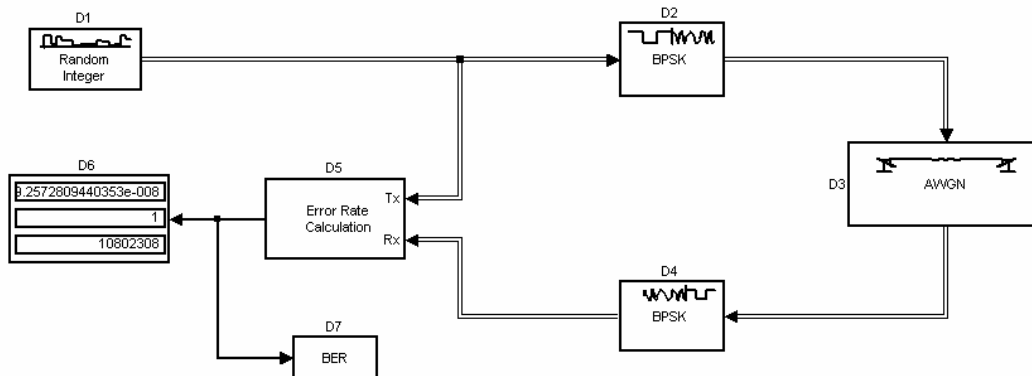


Рис. 3. Схема радиосвязи с ФМ-2

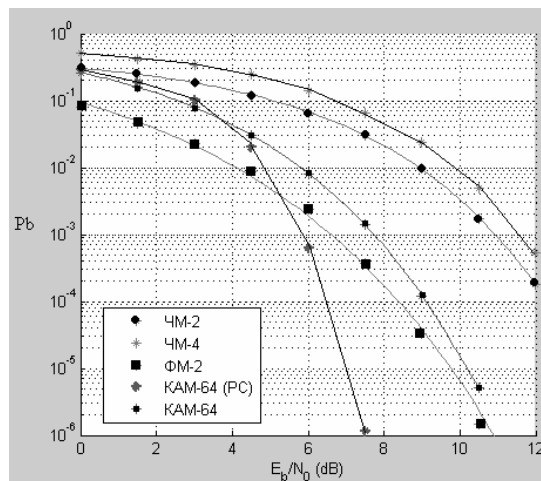


Рис. 4. Результаты моделирования систем радиосвязи с ЧМ-2, ЧМ-4, ФМ-2 и КАМ-64

Выводы

1. Построены две модели систем радиосвязи с помощью программного продукта Matlab: первая – с использованием кодирования передаваемой информации методом РС, модуляции несущей 16-КАМ; вторая – без использования кодирования передаваемой информации, с модуляцией несущей ФМ-2. Проведено их моделирование, в результате чего получены следующие количественные и качественные показатели работы систем: значения вероятности битовой ошибки, общее количество переданных бит, а также бит, переданных с ошибкой.

2. Проведено сравнение моделей радиосвязи по показателю зависимости P_b от $\frac{E_b}{N_o}$ с использованием различных видов модуляции несущей (ЧМ-2, ЧМ-4, ФМ-2 и КАМ-64), при этом результаты сравнения представлены графически (рис. 4). Показан выигрыш применения КАМ-64 с использованием кода Рида – Соломона, что позволяет сделать вывод о правильности расчетов в случае применения Matlab при

Получено 17.01.2016

сравнении полученных результатов с известными теоретическими исследованиями [7].

3. Проанализированы основные узлы, необходимые для построения систем радиосвязи, а именно: генератор передаваемых символов, кодер, модулятор, источник шума, демодулятор, декодер и анализатор ошибок, приведены их основные параметры.

Библиографические ссылки

1. Склар Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение : пер. с англ. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2003. – 1104 с.
2. Харкевич А. А. Основы радиотехники. – 3-е изд., стер. – М. : Физматлит, 2007. – 512 с.
3. Носов В. И. Моделирование систем связи в среде Matlab : учеб. пособие. – Новосибирск : Сибирский гос. ун-т телекоммуникаций и информатики, 2007. – 177 с.
4. Гультияев А. К. Визуальное моделирование в среде Matlab : учеб. курс. – СПб. : Питер, 2000. – 432 с.
5. Носов В. И. Указ. соч.
6. SIMULINK. Simulink Reference. – Version 5. – The MathWorks, Inc., July 2002. – 578 p.
7. Склар Б. Указ. соч.

УДК 621.396

А. Н. Копысов, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

А. В. Жидяев, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

И. С. Батурич, ОАО «Сарапульский радиозавод»

А. В. Савельев, доктор технических наук, профессор, ОАО «Сарапульский радиозавод»

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ТАКТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО МОДЕМА С MSK*

В условиях перехода современных средств связи на отечественную элементную базу актуальной становится проблема реализации эффективных алгоритмов цифровой обработки сигналов в условиях крайне ограниченных вычислительных ресурсов. В настоящее время при проектировании многоскоростных систем мобильной связи [1] широко используется частотная модуляция с минимальным сдвигом (МСК), так как этот тип модуляции обеспечивает высокую энергетическую и спектральную эффективность. Алгоритм формирования сигнала MSK достаточно прост [2] и может быть реализован непосредственно в синтезаторе частот передатчика. Наибольшей вычислительной нагрузкой обладает алгоритм демодуляции, общая схема которого приведена на рис. 1.

Для реализации демодулятора частотно модулированного (ЧМ) сигнала необходимо 3 операции сложения и 2 операции умножения на 1 отсчет цифрового сигнала. Для реализации устройства принятия решения необходим один оператор условного выбора. Следовательно, основной объем операций, тре-

буемых для работы демодулятора, использует устройство выделения тактовой частоты.

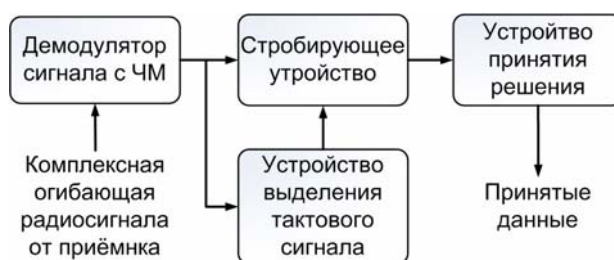


Рис. 1. Общая схема демодулятора сигнала с MSK

Из литературы [3] известен общий подход для реализации этого устройства: возведение демодулированного сигнала в квадрат и выделение сигнала тактовой частоты с помощью полосового фильтра (рис. 2). Для использования выделенного сигнала в качестве тактового необходимо задержать демодулированный сигнал на величину группового времени запаздывания тактовой частоты в фильтре.