

7. Carvalho, M. Using Mobile Agents as Roaming Security Guards to Test and Improve Security of Hosts and Networks [Текст] / Carvalho M., Cowin T., Suri N., Breedy M., Ford K. // Proceedings of the 2004 ACM Symposium on Applied Computing (SAC'04). – ACM. – 2004.
8. Pedireddy, T. A Prototype Multi Agent Network Security System [Текст] / Pedireddy T., Vidal J. // Proceedings of the AAM-AS'03. – ACM. – 2003.
9. Menezes, R. Self-Organization and Computer Security [Текст] / Menezes R. // Proceedings of the 2005 ACM Symposium on Applied Computing (SAC'05). – ACM. – 2005.
10. Valeyev S.S. Multiagent Technology and Information System Security [Текст] / S.S.Valeyev, T.K. Bakirov, D.N. Pogorelov, I.V. Starodumov // Proceedings of the 7th International Workshop on Computer Science and Information Technologies CS-IT'2005. – Vol.1, Ufa, Russia, 2005. – P. 195-200.

*Проведено комп'ютерне моделювання різних методів модуляції та демодуляції для системи передачі інформації. Визначено якісні характеристики в умовах впливу адитивного білого гаусового шуму. Зроблені рекомендації щодо використання методів для умов метеорного каналу*

**Ключові слова:** цифрова модуляція, АБГШ, метеорна система передачі інформації

---

*Проведено компьютерное моделирование различных методов модуляции и демодуляции для системы передачи информации. Определены качественные характеристики в условиях влияния аддитивного белого гауссового шума. Сделаны рекомендации по использованию методов для условий метеорного канала*

**Ключевые слова:** цифровая модуляция, АБГШ, метеорная система передачи информации

УДК 621.391

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ МЕТЕОРНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

**А. В. Воргуль**

Кандидат технических наук, доцент\*

E-mail: alvorgul@gmail.com

**Ю. Х. Сулейман**

Аспирант\*

\*Кафедра основ радиотехники

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

## 1. Введение

Целью работы является проверка в ходе компьютерного моделирования характеристик цифровой системы передачи информации (ЦСПИ) в целом в случае использования разных методов модуляции.

В качестве методов модуляций рассматривается амплитудная манипуляция (АМ), амплитудная манипуляция с подавленной несущей (БАМ), частотная манипуляция (ЧМан), минимальная частотная манипуляция (МЧМ), фазовая манипуляция (ФМан), квадратурная манипуляция.

В качестве проверяемых характеристик рассматривается доля ошибочно принятых бит (bit error rate – BER), дисперсия ошибки на входе квантователя, скорость модуляции [1–3], полоса частот, занимаемая модулированным сигналом при заданной полосе информационного сигнала.

## 2. Моделируемая ЦСПИ

Структурная схема части ЦСПИ, рассматриваемая в работе, имеет вид, рис. 1 [4]:



Рис. 1. Структурная схема исследуемой цифровой системы передачи информации

Согласно структурной схеме, выходной сигнал блока «источник информации» представляет собой поток битов. Формирователь преобразует битовый поток в последовательность символов. Число битов на один

символ может задаваться исследователем, в работе использовались значения 2, 4, 8 или 16 бит на символ. Необходимо отметить, что некоторые методы модуляций могут работать не с любым значением бит на символ [1, 3, 5]. Этап кодирования (и, соответственно, декодирования) является существенным и необходимым, но его рассмотрение выходит за рамки этой статьи. Информационным (модулирующим) сигналом является последовательность прямоугольных импульсов. Амплитуда импульсов может быть разной, в зависимости от количества бит в символе. При непосредственном использовании сигналов прямоугольной формы для модуляции возрастает уровень межсимвольных искажений (МСИ) и возникают проблемы с правильным выбором момента принятия решения в квантователе. Поэтому предварительным этапом, перед модуляцией, производится обработка информационного сигнала с помощью оконной функции. Выбор оконной функции для данной задачи рассматривается в работах [1, 2, 7]. На рис. 1 эта операция обозначена как формирование импульса. В приемной части системы в качестве обратной операции производится оптимальная фильтрация сигнала по известной форме импульсной характеристики фильтра [1,3]. Частота несущего колебания для всех методов модуляции фиксирована. В работе в качестве модели канала использовалась линейная модель без переотражений (только прямой канал) в условиях действия аддитивного Гауссова белого шума (АБГШ). После демодуляции и декодирования расположена точка мягкого решения [1–3]. После этой точки квантователь формирует из демодулированного и декодированного сигнала последовательность символов, эту точку называют точкой жесткого решения [1–3]. Разность сигналов между входом и выходом квантователя считаем шумом квантователя, если он сработал без ошибок.

При рассмотрении системы считается, что в точке приема частота и начальная фаза несущего колебания известна с нулевой погрешностью, а также что символическая синхронизация осуществляется идеально.

### 3. Алгоритм моделирования системы ЦСПИ

Для получения зависимости BER и дисперсии шума квантователя от соотношения сигнал/шум: передаче в ходе имитационного эксперимента подается текстовая строка; строка преобразуется в последовательность бит; последовательность бит форматируется в соответствии с выбранной длиной алфавита  $M, \{2, 4, 6, 8\}$ ; с помощью заданной оконной функции формируется сигнал длительностью  $T$  секунд, соответствующий каждому символу. Использовались оконные функции прямоугольной формы, Хэмминга и корень из приподнятого косинуса [5, 6]; применяется модуляция; добавляется АБГШ с заданной дисперсией шума; применяется демодуляция; осуществляется оптимальная фильтрация. Импульсная характеристика считается заданной и определяется по пункту "формирование"; выполняется квантование; определяется принятая текстовая строка, дисперсия шума квантователя и число битовых ошибок.

При выполнении алгоритма для набора значений дисперсии шума получаем требуемые зависимости.

Такой подход позволяет гибко менять множество параметров системы ЦСПИ.

### 4. Разновидности амплитудной манипуляции

В связи с тем, что ЦСПИ планируется использовать в условиях метеорного канала, в котором АЧХ существенно нестабилен, эти виды модуляции не являются лучшим выбором. Рассматриваются здесь как наиболее простые, описанные в литературе [1–3, 5, 6], т. е., как стартовый.

Для получения модулированного сигнала  $s(t)$  (рис. 2) в случае БАМ информационный сигнал  $s_m(t)$  умножается на несущее колебание. Для классической АМ модуляцию можно осуществить так же, но на входе необходимо сформировать сумму  $(1 + M_{AM} \cdot s_m(t))$ . Демодуляция происходит немного сложнее. После умножения принятого сигнала  $s(t)$  на опорное колебание необходимо, используя ФНЧ (рис. 3), избавиться от второй гармоники. Для БАМ этого достаточно. Если используется классическая АМ, для правильной работы квантователя необходимо удалить постоянную составляющую. В случае синхронности и синфазности по несущему колебанию результат прекрасный. В противном случае, выходной сигнал будет зависеть от разности фаз несущих колебаний в модуляторе и демодуляторе соответственно. Но, если использовать схемы с двумя квадратурными каналами, то влияние неизвестной начальной фазы можно полностью исключить. БАМ используют, если канал действительно линейный с не слишком большим затуханием. Для метеорного канала данный метод модуляции неприемлем.

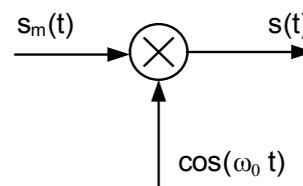


Рис. 2. Модулятор АМ

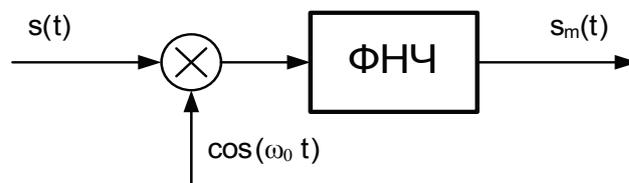


Рис. 3. Демодулятор АМ

### 5. Угловая модуляция

Как известно, [1–3, 8] когерентный прием позволяет несколько улучшить характеристики системы в целом, но требует знания фазы, что приводит к существенному усложнению системы. Поэтому постараемся использовать некогерентный прием и квадратурные каналы. Когерентный прием сложен и в данной работе не рассматривается. Некогерентный прием на базе

схемы с квадратурными каналами приводит к тому, что к демодулированному сигналу добавляется линейная составляющая, пропорциональная частотной расстройке плюс случайная начальная фаза. При этом начинает проявляться второй эффект, который заключается в периодичности арктангенса, что из-за неоднозначности может привести к аномальным ошибкам.

Особенность работы цифровой системы заключается в том, что информационный сигнал кусочно-линейный и может принимать только одно из заданного числа значений. Это упрощает прием и позволяет эффективно использовать в дальнейшем декодирование. Для угловых методов модуляции амплитуда колебания должна быть постоянна, что облегчает работу АРУ в условиях изменения амплитуды принимаемого сигнала. При использовании частотных методов модуляции даже при прямоугольном окне формирующего фильтра не происходит скачков значения сигнала, если фазу формировать методом интегрирования значений частоты. При использовании фазовых методов скачки значений сигнала можно получить, чего следует тщательно избегать [1–3, 8].

**6. Частотная манипуляция**

В цифровой реализации разновидности угловой модуляции заиграли по-новому [9, 10]. Схемы модуляторов для ЧМ и ФМ почти одинаковы и приведены на рис. 4 (ФМ) и 6 (ЧМ). В схемах демодуляторов, рис. 5 и 7, как и при АМ, частота и фаза опорного сигнала считается точно известной. Но даже если это и не так, при использовании квадратурного канала на выходе будем иметь правильную частоту или фазу [8] и плюс две фазовых добавки – из-за несинхронности и из-за несинфазности.

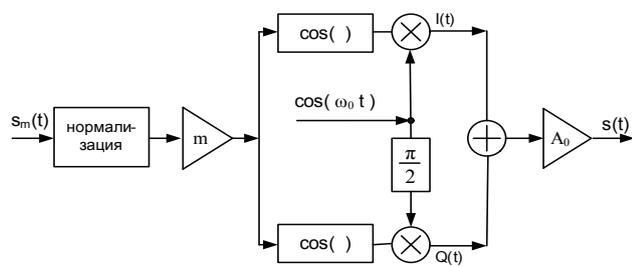


Рис. 4. Модулятор ФМ

ЧМ сигналы имеют большое распространение из-за простоты исполнения и нечувствительности к неизвестной начальной фазе. В ходе моделирования для ЧМ использовались все значения длины алфавита М – от 2 до 16. Увеличение М повышает скорость кодирования, но и приводит к расширению спектра. В этом смысле наиболее экономным является минимальная частотная модуляция (МЧМ).

Для ЧМ [8], после взятия производной от выходного сигнала, рис. 5(ФМ), частотное рассогласование повлияет лишь на постоянную составляющую демодулированного сигнала. Она может быть устранена в ходе работы квантователя. От нежелательной периодичности арктангенса можно избавиться, аппаратно реализовав производную от него, рис. 7. Деление в этой

схеме на квадрат амплитудной огибающей приводит к устранению влияния паразитной амплитудной модуляции [8].

К недостаткам данного метода модуляции следует отнести расширение полосы частот при увеличении длины алфавита.

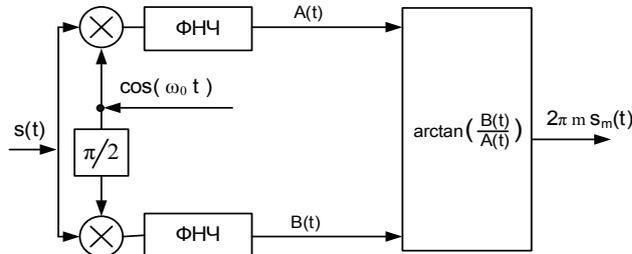


Рис. 5. Демодулятор ФМ

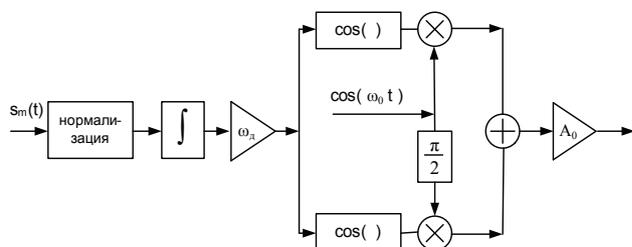


Рис. 6. Модулятор ЧМ

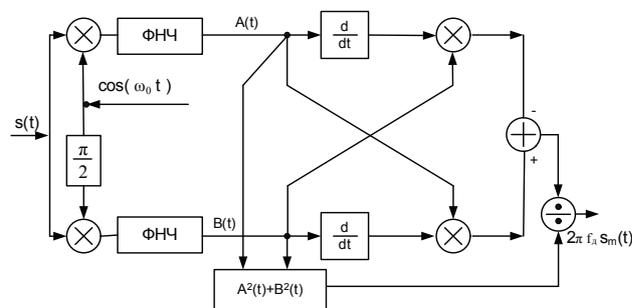


Рис. 7. Демодулятор ЧМ

**7. Фазовая манипуляция**

Как видно из структурных схем всех угловых методов модуляции, рис. 4-9, все они основаны на универсальном квадратурном модуляторе. Отличия между ними обусловлены спецификой конкретного вида модуляции. Для ФМ схемы получаются наиболее общими. К недостаткам относят большое влияние несинхронности и несинфазности, из-за которого иногда прием ФМ осуществляется по схеме ЧМ – преобразование в ФМ.

К несомненным достоинствам относят меньшее расширение спектра, чем в ЧМ [1, 5, 8].

**8. Квадратурная манипуляция**

Особенностью КАМ является возможность уменьшить при передаче символьную скорость в 2 раза за

счет ортогональной передачи двух каналов в одной полосе (на рис. 8 и 9 –  $I(t)$  и  $Q(t)$ ) [1, 3, 8].

При хорошем соотношении сигнал/помеха метод особенно выгоден, включает достоинства и недостатки ФМ [1, 3, 8].

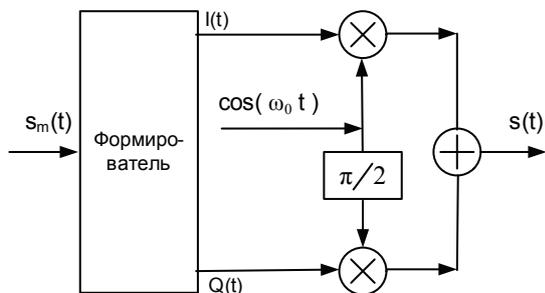


Рис. 8. Модулятор КАМ

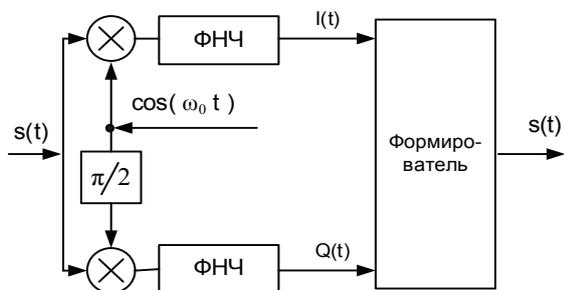


Рис. 9. Демодулятор КАМ

## 9. Выводы

Результатом работы является подробное описание алгоритмов модуляции и демодуляции с целью их дальнейшего использования для реализации в ПЛИС.

Особенность такой реализации будет невозможность или затруднительность использования стандартных функций, например,  $\arctan(x)$ , но позволит использовать несколько вычислительных ядер.

Было проведено моделирование части системы, изображенной на рис. 1, обладающей высокой сложностью и большим количеством параметров.

Результаты моделирования приведены на рис. 10.

Данные зависимости получены в предположении о линейности канала передачи, постоянства его коэффициента передачи и неизменности его во времени, что ни в коем случае не соответствует действительности, но зато позволяет выбрать метод модуляции. Модель помехи, использованная в канале – АБГШ.

Результаты демонстрируют хорошее соответствие с классическими работами [1, 2]. Лучшие характеристики показывает ФМ.

Для примера приведен график, показывающий преимущества модуляции с непрерывной фазой.

К сожалению, за рамками работы остались существенные ограничения системы – ограниченность передаваемой средней мощности и полосы пропускания.

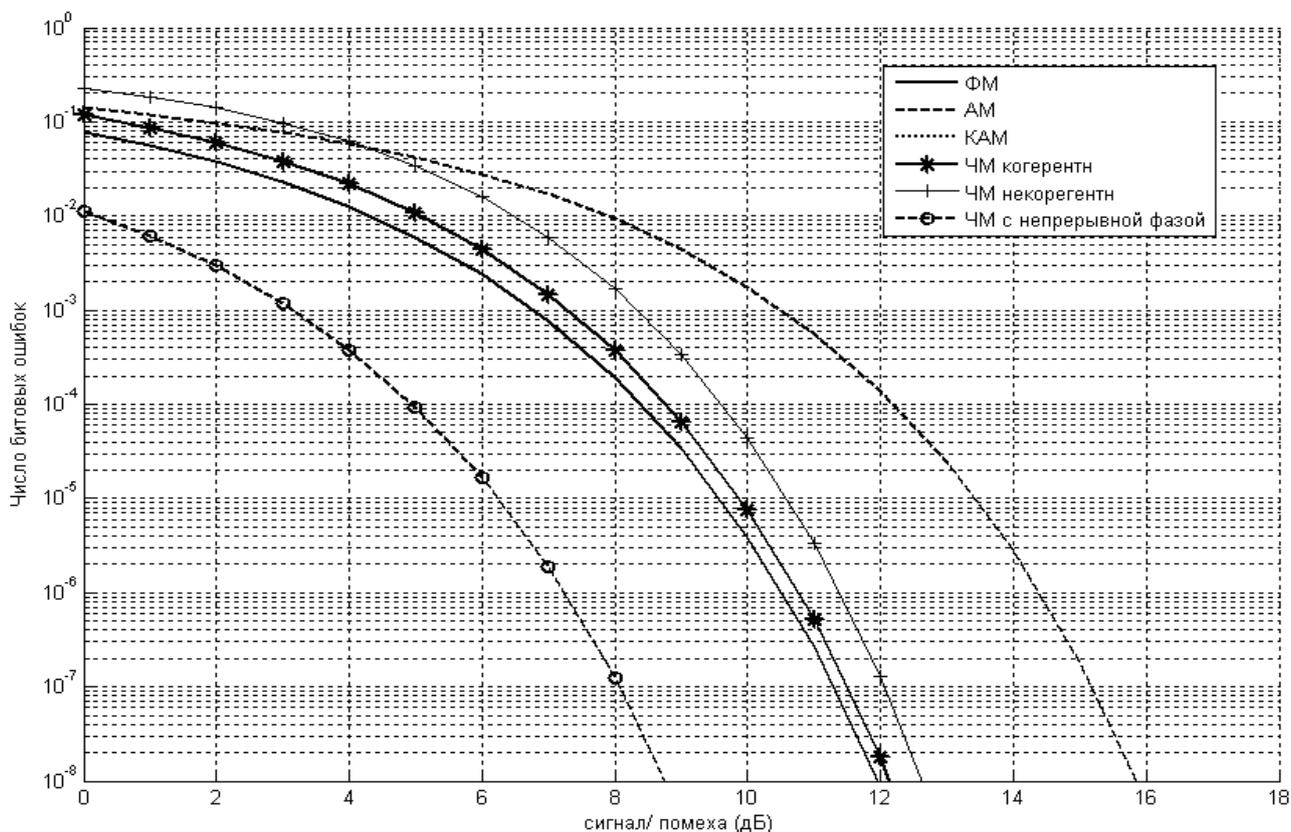


Рис. 10. Зависимости BER для разных методов модуляций. Везде  $M = 4$

## Література

1. Прокис, Дж. Цифровая связь. [Текст] / Дж Прокис . – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
2. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. [Текст] / Б Скляр. Изд.2-е, испр. :Пер. с англ.- М.: Издательский дом «Вильямс», 2007.- 1104 с.
3. Johnson, Jr. C. R. Software Receiver Design. Build Your Own Digital Communications. System in Five Easy Steps. [Текст] / C. R. Johnson, Jr., W. A. Sethares, A. G. Klein - Cambridge: Cambridge University Press, 2011. - 465 p.
4. Воргуль, А.В. Метеорная система передачи информации: пути к модернизации [Текст] / А.В. Воргуль, Ю.Х.Сулейман. – // Радиотехника. 2011. Вып. 165.
5. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов. Учебник. [Текст] / А. Б. Сергиенко – СПб: Питер, 2002 – 608 с.
6. Вильям Столлинг. Беспроводные линии связи и сети: пер. с англ. [Текст] / Вильям Столлинг – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.
7. Сулейман, Ю., Воргуль А. Модернизация метеорной системы передачи информации [Текст]: "Актуальні задачі сучасних технологій": збірник тез доповідей між.наук.-техніч.конф. 19–20 грудн. 2012р. / Відп. ред. Дзюра В.О м. Тернопіль – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2012.
8. Теория сигналов [Электронный ресурс] / DSPLIB.RU. – Режим доступа : <http://dsplib.ru/contentsignals.html/> / 27.02.2012 г. – Загл. с экрана.
9. Зелигер, А.Н. Критерии оценки качества систем связи [Текст] / А.Н. Зелигер– М.:Издательство «Связь», 1974. – 40 с.
10. Варагузин, В. Вблизи границы Шеннона [Текст] / В. Варагузин – // Телемультимедиа, июнь 2005, сс 3-10.

*Розглянуто проблему забезпечення якості послуг в мультисервісних мережах з пакетною комутацією. Запроваджено двовимірну класифікацію типів віртуальних з'єднань на транспортному рівні інтегрованої технології телекомунікацій для мереж майбутніх поколінь. Запропоновано метод контролю параметрів якості віртуальних з'єднань*

*Ключові слова: якість послуг, мережі майбутніх поколінь, інтегрована технологія телекомунікацій, віртуальні з'єднання*

*Рассмотрена проблема обеспечения качества услуг в мультисервисных сетях с пакетной коммутацией. Введена двумерная классификация типов виртуальных соединений на транспортном уровне интегрированной технологии телекоммуникаций для сетей будущих поколений. Предложен метод контроля параметров качества виртуального соединения*

*Ключевые слова: качество услуг, сети будущих поколений, интегрированная технология телекоммуникаций, виртуальные соединения*

УДК 621.391

## МЕТОД УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПОСЛУГ В ІНТЕГРОВАНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

В. І. Тіхонов

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра «Мережі зв'язку»

Одеська національна академія зв'язку

ім. А. С.Попова

вул. Ковальська, 1, м. Одеса, Україна, 65029

E-mail: victor.tykhonov@onat.edu.ua

### 1. Вступ

Нові виклики в галузі інфокомунікацій стимулюють пошуки альтернативних технологічних рішень для мереж майбутніх поколінь. В останнє десятиріччя сформувалась відома концепція ІТУ відносно конвергенції різних типів мереж та інтеграції послуг в мережах NGN, в якій мережеві функції розподілено на два прошарки, рис. 1 [1]. Нижній прошарок узагальнює транспортну функцію, що відповідає поняттю «телекомунікаційна мережа». Верхній прошарок у дворівневій моделі ІТУ відповідає поняттю «інформаційна,

мережа», яка не обов'язково є складовою частиною деякої інфокомунікаційної мережі. Наприклад, можуть існувати локальні інформаційні мережі, які не потребують передачі даних на довгі відстані і через це здатні простими засобами реалізувати високошвидкісний обмін даними між клієнтами та серверами. Натомість сучасні інформаційні мережі переважно є розподіленими системами і потребують використання транспортних засобів глобальних та регіональних телекомунікацій.

Деякі світові компанії-виробники телекомунікаційного обладнання підтримують особливу точку зору