



Ю.М. Вешкурцев

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕМОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Монография

Новосибирск
2020

УДК 621.396 : 519.21

ББК 32.842

В40

Бычков Е.Д., доктор технических наук, доцент, проф. кафедры ТРСиС ОмГУПС;
Кобенко В.Ю., доктор технических наук, доцент, проф. кафедры ЭЛЕКТРОНИКИ ОмГТУ.

Вешкурцев Ю.М.

В40 «Основы теории построения модемов нового поколения» / Ю.М. Вешкурцев. Монография – Новосибирск: Изд. ООО «СибАК», 2020. – 184 с.

ISBN 978-5-6044077-5-2

В монографии представлены основы теории построения модемов нового поколения. Модемы строятся на принципах статистической теории связи, базирующейся на использовании случайного сигнала (хаоса) в качестве носителя информации. В таком сигнале модулируется характеристическая функция, которая является фундаментальной характеристикой случайного процесса. Метод модуляции и демодуляции сигнала запатентован и позволяет создавать модемы с показателями эффективности на несколько порядков выше одноименных показателей известных устройств. Модемы нового поколения сразу скачком на несколько порядков вперед улучшают технические характеристики оборудования цифровой IT – технологии, так как в проводных и радиоканалах они работают без ошибок при приеме ста дуодециллионов двоичных символов.

Книга рекомендуется для научных работников и специалистов в области цифровых систем связи, статистической радиотехники и приборостроения, может быть полезна аспирантам, магистрам и студентам соответствующих специальностей.

Табл. 95. Ил. 53. Библиогр. 43 назв..

ББК 32.842

ISBN 978-5-6044077-5-2

© Вешкурцев Ю.М., 2020

© Институт радиоэлектроники, сервиса и диагностики

© Омский государственный технический университет

© ООО «СибАК», 2020

СОДЕРЖАНИЕ:

Введение	7
Глава 1. Характеристическая функция	9
1.1. Характеристическая функция: определение, свойства	9
1.2. Оценки характеристической функции мгновенных значений случайного процесса	17
1.3. Оценки характеристической функции дискретной величины	23
1.4. Новое свойство характеристической функции	25
Глава 2. Квазидетерминированные сигналы	28
2.1. Модель сигнала с законом распределения арксинус	28
2.2. Модель сигнала с законом распределения Вешкурцева	31
2.3. Модель сигнала с законом распределения косинус	33
2.4. Модель сигнала с законом распределения Тихонова ...	37
Глава 3. Модемы нового поколения	41
3.1. Первый способ модуляции сигнала	41
3.2. Второй способ модуляции сигнала	46
3.3. Модулятор сигнала комбинированный	48
3.4. Демодулятор сигнала двухканальный	49
3.5. Демодулятор сигнала одноканальный	51

Глава 4. Помехоустойчивость модема в канале с «белым» шумом	55
4.1. Помехоустойчивость модема А при приёме аддитивной смеси шума и сигнала с распределением мгновенных значений по закону арксинуса	55
4.1.1. Помехоустойчивость модема А2 при приёме аддитивной смеси шума и нецентрированного сигнала с распределением мгновенных значений по закону арксинуса .	55
4.1.2. Помехоустойчивость модема А1 при приёме аддитивной смеси шума и центрированного сигнала с распределением мгновенных значений по закону арксинуса .	63
4.2. Помехоустойчивость модема В при приёме аддитивной смеси шума и сигнала с распределением мгновенных значений по закону Вешкурцева	68
4.2.1. Помехоустойчивость модема В1 при приёме аддитивной смеси шума и сигнала с распределением мгновенных значений по центрированному закону Вешкурцева	68
4.2.2. Помехоустойчивость модема В2 при приёме аддитивной смеси шума и сигнала с распределением мгновенных значений по нецентрированному закону Вешкурцева	73
4.3. Помехоустойчивость модема К2 при приёме аддитивной смеси шума и сигнала с распределением мгновенных значений по закону косинуса	78
4.4. Помехоустойчивость модема при приёме аддитивной смеси шума и сигнала с распределением мгновенных значений по закону Тихонова	86
4.4.1. Помехоустойчивость модема Т2 при приёме аддитивной смеси шума и сигнала с распределением мгновенных значений по закону Тихонова с параметром $D=1$	86

4.4.2. Помехоустойчивость модема T2 при приёме аддитивной смеси шума и сигнала с распределением мгновенных значений по закону Тихонова с параметром $D = 2$	93
4.4.3. Помехоустойчивость модема T2 при приёме аддитивной смеси шума и сигнала с распределением мгновенных значений по закону Тихонова с параметром $D = 5$	97
4.4.4. Помехоустойчивость модема T1 при приёме аддитивной смеси шума и сигнала с распределением мгновенных значений по закону Тихонова с переменным параметром D	102
4.5. Показатели эффективности цифровых систем с модемами нового поколения	106
4.6. Сравнение помехоустойчивости модемов нового поколения	109
Глава 5. Помехоустойчивость модема в канале с гауссовым шумом	114
5.1.1. Помехоустойчивость модема A2 при приёме аддитивной смеси гауссова шума и нецентрированного сигнала с распределением мгновенных значений по закону арксинуса	114
5.1.2. Помехоустойчивость модема A1 при приёме аддитивной смеси гауссова шума и централизованного сигнала с распределением мгновенных значений по закону арксинуса	123
5.2.1. Помехоустойчивость модема B2 при приёме аддитивной смеси гауссова шума и сигнала с распределением мгновенных значений по нецентрированному закону Вешкурцева	129
5.2.2. Помехоустойчивость модема B1 при приёме аддитивной смеси гауссова шума и сигнала с распределением мгновенных значений по централизованному закону Вешкурцева	136

5.3.1. Помехоустойчивость модема T2 при приёме аддитивной смеси гауссова шума и сигнала с распределением мгновенных значений по закону Тихонова с параметром $D = 5$	141
5.3.2. Помехоустойчивость модема T1 при приёме аддитивной смеси гауссова шума и сигнала с распределением мгновенных значений по центрированному закону Тихонова	149
5.4. Помехоустойчивость модема K2 при приёме аддитивной смеси гауссова шума и сигнала с распределением мгновенных значений по закону косинуса	154
Глава 6. Компьютерное моделирование модема	163
6.1. Описание компьютерной модели	163
6.2. Характеристики квазидетерминированного сигнала	168
6.3. Характеристики шума	170
6.4. Характеристики оценок характеристической функции квазидетерминированного сигнала	172
6.5. Исследование помехоустойчивости модема с использованием компьютерной модели	173
6.5.1. Исследование помехоустойчивости модема A1	174
Библиографический список	181

ВВЕДЕНИЕ

Наша страна полностью перешла на цифровое телевидение, а скоро наступит эпоха цифровой экономики. Комфортность россиян повысится за счет интеллектуальных цифровых технологий, базирующихся на современных цифровых системах. Каждая такая система имеет много важных характеристик, из которых выделим помехоустойчивость. Она определяет количество ошибок в документе в зависимости от уровня сигнала и помех. В настоящее время цифровые системы обеспечивают одну ошибку на десять миллионов бит информации. Применительно к документу можно говорить об одной ошибке в тексте со шрифтом 12 на ста листах бумаги формата А4. Много это или мало? Если рассматривать сто страниц электронной книги, то это мало. Если брать документ в виде ста квитанций о перечислении денежных средств получателям, то это много, так как ошибка может исказить сумму платежа каждому сотому клиенту. Подобной и любой другой ошибки в цифровой экономике не должно быть. Следовательно, для внедрения цифровой экономики необходимо будет повысить помехоустойчивость цифровых систем скачком сразу на несколько порядков.

Исторически стало правилом для передачи сообщений модулировать параметры детерминированного колебания, по инерции полагая возможным его присутствие на практике. Эта уверенность существовала до тех пор, пока не появились в 1950 году результаты измерений флуктуаций амплитуды, фазы, частоты физических источников гармонических колебаний. После этого оказалось, что детерминированное колебание – это не более того, как некоторая математическая абстракция, на практике нереализуемая. Тогда экспериментально установленные флуктуации параметров колебания скрыли термином «паразитные амплитудная, фазовая, частотная флуктуации». Такое сохранилось до настоящего времени, с ними борются. И как результат этого, установленные теоретически показатели помехоустойчивости систем связи оказываются до сих пор недостижимыми. Для преодоления сложившейся ситуации и повышения помехоустойчивости цифровых систем большим скачком вперед нами предлагается альтернативный вариант, а именно – отказаться от неперспективного детерминированного колебания и перейти к случайному или на первом этапе к квазидетерминированному сигналу. Оба сигнала, в нашем понимании, являются синонимом динамического хаоса, который открывает большие возможности при разработке новых методов передачи, хранения и обработки информации. При применении динамического хаоса уместно будет говорить о цифровых системах с высокой помехоустойчивостью, у которых вероятность ошибок составит менее $1 \cdot 10^{-40}$.

Кроме того, для достижения высокой помехоустойчивости цифровых систем предлагается новый подход к модуляции сигнала, включающий сказанное выше относительно хаоса и переход к модуляции характеристической функции сигнала, которая, по аналогии с космонавтикой, будет служить модулированному сигналу «скафандром». Новый метод модуляции случайного сигнала условно назовём статистической модуляцией, составляющей основу теории статистической связи. Результаты анализа показывают, что с помощью нового метода можно достичь предельных значений помехоустойчивости, спектральной и энергетической эффективности цифровых систем.

Таким образом, монография посвящена повышению на несколько порядков помехоустойчивости цифровых систем передачи данных с помощью новых методов, приемов и устройств. Её материал дополняет содержание авангардного направления статистической радиотехники, нацеленного на привлечение случайных процессов к решению задач теории статистической связи, которые остаются актуальными до настоящего времени. Используя случайные сигналы с вероятностными характеристиками, автор в своих исследованиях доказывает перспективность применения динамического хаоса в радиотехнических устройствах нового поколения, например, в модемах. В монографии рассмотрены разные структуры модемов, алгоритмы модуляции и демодуляции квазидетерминированного сигнала и характеристические функции сигналов, которые предлагается использовать при передаче цифровых данных. Попутно получены новые знания относительно характеристической функции и закона распределения сигналов, которые не были известны в теории вероятности. Показано, что сигнал, характеристическая функция, алгоритмы модуляции и демодуляции сигнала в совокупности являются продуктом цифровой технологии. Качественно и количественно оценена помехоустойчивость модемов нового поколения при работе в канале с шумами. При этом установлено, что при отношении по мощности сигнал/шум 3 дБ помехоустойчивость модема, как минимум, на пять порядков выше такой же характеристики известных аналогов, например, с фазовой модуляцией.

Вешкурцев Юрий Михайлович

Научное издание

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕМОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Редактор Ю.М. Вешкурцев
Художественный редактор Н.Д. Вешкурцев
Художник Н.С. Чернышева
Технический редактор Ю.М. Вешкурцев
Корректор Ю.М. Вешкурцев
Оператор электронной верстки Д.А. Титов

Подписано в печать 20.05.20. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 11,5. Тираж 550 экз.

Издательство ООО «СибАК»
630049, г. Новосибирск, Красный проспект, 165, оф. 4.
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3.

16+