

А. И. Приходько

# Детерминированные сигналы

*Рекомендовано УМО по образованию в области  
телекоммуникаций в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по направлению  
подготовки дипломированных специалистов  
210400 – «Телекоммуникации»*

Москва  
Горячая линия - Телеком  
2013

УДК 621.39 (075.8)

ББК 32.88 я73

П77

Рецензенты: кафедра «Вычислительной техники и автоматизированных систем управления» Кубанского государственного технологического университета (зав. кафедрой доктор техн. наук, профессор В. И. Ключко); доктор техн. наук, профессор В. И. Лойко

**Приходько А. И.**

**П77** Детерминированные сигналы. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2013. – 326 с.: ил.

**ISBN 978-5-9912-0262-6.**

Рассмотрены основные характеристики, методы описания и преобразования детерминированных сигналов во временной и в частотной области. Даны определение и краткая классификация сигналов, рассмотрены основные характеристики и методы геометрического представления сигналов. Рассмотрены вопросы спектрального анализа периодических и непериодических сигналов, свойства и методы вычисления преобразования Фурье. Приведены основные модели испытательных сигналов и их спектры, дано определение и рассмотрены методы описания линейных стационарных систем во временной или в частотной области. Рассмотрены энергетические частотные характеристики и различные методы оценки эффективной ширины спектра сигналов, а также их авто- и взаимокорреляционные характеристики. Рассмотрены процессы дискретизации непрерывных видеосигналов во времени, их квантования по уровню и кодирования квантованных сигналов. Даны понятия комплексного узкополосного сигнала и его комплексной огибающей, определено преобразование Гильберта во временной и в частотной области, рассмотрены аналитический сигнал и его основные свойства и вопросы квадратурной дискретизации узкополосных сигналов. Теоретический материал сопровождается большим количеством примеров, представляющих самостоятельный интерес.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 210400 – «Телекоммуникации», будет полезно специалистам.

**ББК 32.88 я73**

*Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU*

*Учебное издание*

**Приходько Андрей Иванович**

**Детерминированные сигналы**

Учебное пособие для вузов

Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 03.08.2012. Формат 60х88/16. Гарнитура Times New Roman.

Тираж 500 экз. (1-й завод 100 экз.) Уч.-изд. л. 20,38. Изд. № 120262.

**ISBN 978-5-9912-0262-6**

© А. И. Приходько, 2013

© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2013

## Предисловие

В предлагаемом издании рассмотрены методы представления и описания детерминированных сигналов, показана связь соответствующего математического аппарата и инженерных задач. Учебное пособие включает шесть глав и приложение.

В главе 1 «Основные характеристики сигналов» приведены определение и краткая классификация сигналов, рассмотрены основные характеристики и методы геометрического представления сигналов.

В главе 2 «Спектральный анализ сигналов» рассмотрены вопросы спектрального анализа периодических и непериодических сигналов, свойства и методы вычисления преобразования Фурье.

В главе 3 «Испытательные сигналы и линейные стационарные системы» приведены основные модели испытательных сигналов и их спектры, дано определение и рассмотрены методы описания линейных стационарных систем во временной или в частотной области.

В главе 4 «Энергетические частотные и корреляционные характеристики сигналов» рассмотрены энергетические частотные характеристики и различные методы оценки эффективной ширины спектра сигналов, а также их авто- и взаимокорреляционные характеристики.

В главе 5 «Аналого-цифровое преобразование непрерывных сигналов» обсуждены процессы дискретизации непрерывных видеосигналов во времени, их квантования по уровню и кодирования квантованных сигналов.

В главе 6 «Узкополосные сигналы» введены понятия комплексного узкополосного сигнала и его комплексной огибающей, определено преобразование Гильберта во временной и в частотной области, рассмотрены аналитический сигнал и его основные свойства, обсуждены вопросы квадратурной дискретизации узкополосных сигналов.

В приложении представлены справочные формулы и таблицы с краткими сведениями по свойствам преобразования Фурье, испытательных сигналов и преобразования Гильберта.

Приведено большое количество примеров, иллюстрирующих теоретический материал. Некоторая часть примеров предназначена также для того, чтобы ввести дополнительные понятия и определения. Для разграничения примеров и основного текста они завершаются символом ■.

В книге принята единая система обозначений: функции времени обозначены строчными латинскими буквами, а их спектры – соответствующими прописными буквами.

При подборе учебного материала использованы источники, указанные в списке литературы.

# Глава 1

## Основные характеристики сигналов

### 1.1. Определение и классификация детерминированных сигналов

Сигнал (лат. *signum* – знак) – это физический процесс, однозначно отображающий передаваемое сообщение.

Детерминированный сигнал задается детерминированной (неслучайной) функцией времени  $u(t)$ , мгновенные значения которой являются неслучайными величинами.

Сигнал как физический процесс всегда описывается действительной функцией времени  $u(t)$ . Поэтому в дальнейшем по умолчанию предполагается, что сигналы  $u(t)$  – действительные. Случаи, когда для описания сигналов  $u(t)$  используется комплексное представление, будут оговариваться особо.

Непрерывный (аналоговый) сигнал – это сигнал  $u(t)$ , который в произвольные моменты времени может принимать любые значения в некотором интервале.

Дискретный сигнал – это сигнал  $u(t)$ , который в дискретные моменты времени может принимать конечное число значений на некотором интервале.

Сигнал с интегрируемым квадратом (сигнал с ограниченной энергией, энергетический сигнал) – это сигнал  $u(t)$ , для которого выполняется соотношение

$$\int_{-\infty}^{\infty} u^2(t) dt < \infty. \quad (1.1)$$

Импульсный сигнал – это сигнал с конечной энергией, существенно отличный от нуля в течение ограниченного интервала времени.

Финитный сигнал – это сигнал  $u(t)$ , имеющий конечную длительность. Он отличен от нуля только на ограниченном промежутке времени – длительности сигнала  $T$ .

# Оглавление

<b>Предисловие.....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. Основные характеристики сигналов.....</b>	<b>5</b>
1.1. Определение и классификация детерминированных сигналов.....	5
1.2. Энергетические характеристики сигналов.....	12
1.3. Характеристики уровня сигналов.....	14
1.4. Временные характеристики сигналов.....	20
1.5. Геометрическое представление сигналов.....	28
1.6. Библиографические замечания и ссылки.....	41
<b>Глава 2. Спектральный анализ сигналов.....</b>	<b>42</b>
2.1. Спектральный анализ периодических сигналов.....	42
2.2. Спектральный анализ непериодических сигналов.....	57
2.3. Свойства преобразования Фурье.....	61
2.4. Библиографические замечания и ссылки.....	86
<b>Глава 3. Испытательные сигналы и линейные стационарные системы.....</b>	<b>88</b>
3.1. Испытательные сигналы.....	88
3.2. Спектры неинтегрируемых сигналов.....	94
3.3. Линейные стационарные системы.....	100
3.4. Библиографические замечания и ссылки.....	113
<b>Глава 4. Энергетические частотные и корреляционные характеристики сигналов.....</b>	<b>114</b>
4.1. Энергетические частотные характеристики и эффективная ширина спектра сигналов.....	114
4.2. Автокорреляционные характеристики сигналов.....	144
4.3. Взаимокорреляционные характеристики сигналов....	161
4.4. Библиографические замечания и ссылки.....	174

<b>Глава 5. Аналого-цифровое преобразование непрерывных сигналов</b>	176
5.1. Дискретизация непрерывных сигналов во времени...	176
5.2. Квантование непрерывных сигналов по уровню.....	186
5.3. Кодирование квантованных сигналов.....	217
5.4. Библиографические замечания и ссылки.....	225
<b>Глава 6. Узкополосные сигналы</b>	227
6.1. Комплексное представление узкополосных сигналов.....	227
6.2. Преобразование Гильберта.....	256
6.3. Свойства преобразования Гильберта.....	260
6.4. Аналитический сигнал.....	278
6.5. Дискретизация узкополосных сигналов.....	308
6.6. Библиографические замечания и ссылки.....	314
<b>Литература</b>	316
<b>Приложение</b>	320