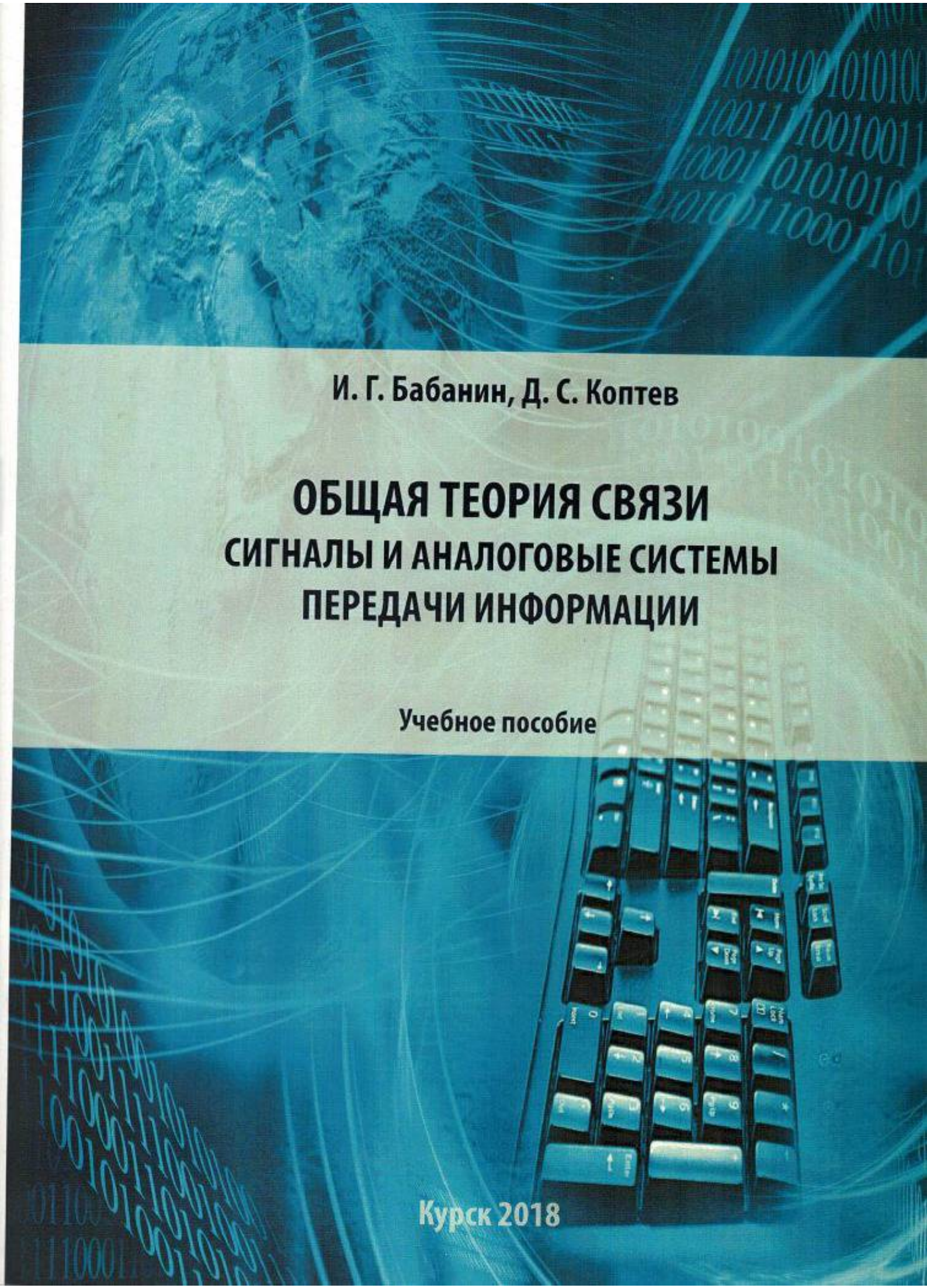

И. Г. Бабанин, Д. С. Коптев

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СВЯЗИ
СИГНАЛЫ И АНАЛОГОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Учебное пособие

Курск 2018

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

И. Г. Бабанин, Д. С. Коптев

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СВЯЗИ
СИГНАЛЫ И АНАЛОГОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Учебное пособие

Утверждено Учебно-методическим советом
Юго-Западного государственного университета

Курск 2018

УДК 621.391(075.8)
ББК 38.811я7
Б 12

Рецензенты:
Доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики и нанотехнологий ФГБОУ ВО «Курский государственный университет» *Ю. А. Неручев*
Доктор технических наук, главный научный сотрудник НИИЦ (г. Курск) «18 ЦНИИ» МО РФ *В. Г. Довбня*

Бабанин И. Г.

Б 12 Общая теория связи. Сигналы и аналоговые системы передачи информации: учеб. пособие / И. Г. Бабанин, Д. С. Коптев; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2018. – 110 с. – Библиогр.: 108–109 с.

ISBN 978-5-7681-1341-4

Содержание учебного пособия соответствует требованиям ФГОС ВО по техническим специальностям и направлениям подготовки, в том числе по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» и направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Учебное пособие является теоретической базой, позволяющей специалисту в области телекоммуникаций квалифицированно эксплуатировать современные телекоммуникационные системы, уверенно ориентироваться среди множества устройств и систем связи, представленных на рынке, четко представлять их сильные и слабые стороны, пути их совершенствования.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» и направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» очной и заочной форм обучения, а также для аспирантов и преподавателей вузов, специализирующихся в области разработки и эксплуатации систем передачи аналоговой информации.

УДК 621.391(075.8)
ББК 38.811я7

ISBN 978-5-7681-1341-4

© Юго-Западный государственный университет, 2018
© Бабанин И. Г., Коптев Д. С., 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ....4
КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ....6
ВВЕДЕНИЕ....7
1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ....9
1.1. Обобщённая структурная схема системы связи....9
1.2. Разложение сигналов в ряд по ортогональным функциям....16
1.3. Дискретизация сигналов во времени....20
1.4. Основы электрических цепей....28
1.5. Аппроксимация характеристик....39
1.6. Методы расчёта спектра тока на выходе НЭЦ....41
2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ МОДУЛЯЦИЙ В АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ....49
2.1. Амплитудная модуляция....49
2.2. Частотная модуляция....63
2.3. Фазовая модуляция....69
3. ТЕОРИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ....75
3.1. Характеристики случайных процессов....75
3.2. Нормальный случайный (гауссов) процесс....82
3.3. Плотность вероятности и функция распределения гармонического колебания со случайной начальной фазой....85
3.4. Плотность вероятности и функция распределения дискретных случайных процессов....89
3.5. Анализ линейных стационарных систем....94
4. МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ....101
4.1. Системы с частотным разделением каналов....101
4.2. Системы с временным разделением каналов....102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ....107
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК....108

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью данного учебного пособия является изучение теоретических основ дисциплин «Общая теория связи» и «Теория электрической связи».

Содержание учебного пособия соответствует требованиям федерального государственного образовательного стандарта вышего образования для студентов специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» и направления подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», рабочим программам соответствующих дисциплин и основным задачам их освоения.

Пособие является теоретической базой, позволяющей специалисту в области телекоммуникаций квалифицированно эксплуатировать современные телекоммуникационные системы, уверенно ориентироваться среди множества устройств и систем связи, представленных на рынке, четко представлять их сильные и слабые стороны, пути их совершенствования.

Содержание учебного пособия составляют следующие вопросы:

– общие сведения о системах электросвязи;

– математические модели сигналов и помех;

– основы теории модуляции и детектирования;

– случайные процессы;

– модели непрерывных каналов;

– многоканальные системы передачи информации.

Освоение вышеприведенных вопросов нацелено на формирование следующих компетенций:

– способность проводить инструментальные измерения, используемые в области инфокоммуникационных технологий и систем связи;

– умение проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств

автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ;

– способность применять положения теорий электрических цепей, радиотехнических сигналов, распространения радиоволн, цифровой обработки сигналов, информации и кодирования, электрической связи для решения профессиональных задач.

При подготовке пособия использованы теоретические положения, отраженные в монографиях, научных статьях, учебной литературе.

КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ

АД	амплитудный диодный детектор
АИМ	амплитудно-импульсная модуляция
АМ	амплитудная модуляция
АЧХ	амплитудно-частотная характеристика
БШ	белый шум
ВАХ	вольт-амперная характеристика
ИФР	интегральная функция распределения
ИФНЧ	идеальный фильтр низких частот
ИХ	импульсная характеристика
ЛЭЦ	линейная электрическая цепь
МО	математическое ожидание
МСИ	межсимвольная интерференция
НЭ	нелинейный элемент
НЭЦ	нелинейная электрическая цепь
ПВ	плотность вероятностей
ПФ	полосовой фильтр
ПЭЦ	параметрическая электрическая цепь
СВ	случайная величина
СМХ	статическая модуляционная характеристика
СП	случайный процесс
ФД	фазовый детектор
ФК	функция корреляции
ФМ	фазовая модуляция
ФНЧ	фильтр низких частот
ЧМ	частотная модуляция
ЧД	частотный детектор

ВВЕДЕНИЕ

Современные системы электрической связи постоянно и стремительно развиваются. Широкое применение находят мобильные и волоконно-оптические системы связи, характеристики которых постоянно совершенствуются, в том числе и за счет применения новых видов сигналов и методов их обработки. Помочь современному специалисту в области телекоммуникаций ориентироваться в этих вопросах может хорошее знание основ теории электрической связи.

Общая теория связи относится к числу фундаментальных дисциплин подготовки инженеров-связистов самого разного профиля и имеет цель сформировать знания основ теорий передачи и кодирования сообщений, методов передачи и приема дискретных и непрерывных сообщений, цифровой обработки, принципов построения многоканальных систем передачи и методов повышения эффективности систем электросвязи, а также умений использовать методы анализа систем электрической связи для количественной оценки их эффективности.

Предметом изучения дисциплины являются закономерности процессов преобразования и передачи информации в системах электросвязи.

Знания и умения по дисциплине являются составной частью общепрофессиональной подготовки к самостоятельной инженерно-эксплуатационной деятельности, а также в сфере разработки новых систем связи.

Основы современной общей теории связи были заложены в фундаментальных работах В. А. Котельникова по теории потенциальной помехоустойчивости (1947 г.) и К. Шеннона по теории информации (1948 г.). Отдельные вопросы теории связи рассматривались в более ранних работах Х. Найквиста (1928 г.) и В. А. Котельникова (1933 г.), в которых сформулирована и доказана теорема отсчетов, в работе Р. Хартли (1928 г.), где была введена логарифмическая мера количества информации. В создании и развитии статистической теории связи большую роль сыграли работы А. Я. Хинчина (1938 г.) по корреляционной теории стационарных случайных процессов, А. Н. Колмогорова (1941 г.) и Н. Винера (1947 г.) по интерполированию и экстраполированию стационарных случайных

последовательностей, А. Вальда (1950 г.) по теории статистических решений. Дальнейшее развитие теория получила в работах В. И. Сифорова, А. А. Харкевича, Л. М. Финка, Б. Р. Левина, Р. Л. Добрушина, Д. Д. Кловского, Д. Миддлтона, Р. Райса, Р. Галлагера, К. Хелстрома, А. Файнстейна, Р. Фано и многих других отечественных и зарубежных ученых.

Современная теория связи позволяет достаточно полно оценить различные системы связи по многим параметрам, и в частности по их помехоустойчивости и эффективности и, тем самым определить, какие из них являются наиболее перспективными. При этом достаточно четко указываются не только возможности совершенствования существующих систем связи, но и пути создания новых, более совершенных систем.

Необходимо отметить, что современные представления об общей теории связи начали складываться за последние годы, базируясь на фундаментальных работах в области физики, математики, биологии, медицины и даже экономики, когда стала очевидной проблема эффективности телекоммуникационных систем [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные системы связи становятся все более совершенными, предоставляя пользователю широкий выбор различных телекоммуникационных услуг. С точки зрения специалиста в области телекоммуникаций это означает, что системы связи становятся все более сложными и их эксплуатация требует не только некоторых практических навыков, но и глубоких знаний в области теории связи.

Первая часть курса «Общая теория связи. Сигналы и аналоговые системы передачи информации», посвященная в основном изучению преобразований аналоговых сигналов в различных блоках системы связи, имеет самостоятельное значение, поскольку значительная часть информации передается в аналоговой форме. К аналоговым относятся системы передачи: с частотным разделением каналов, в которых для передачи сигналов по каждому каналу передачи в диапазоне частот линейного тракта отводится определенная полоса частот и с временным разделением каналов, в которых для передачи сигналов по каждому каналу передачи в линейном тракте отводятся определенные интервалы времени.

В то же время в задачах развития Единой автоматизированной сети связи страны, поставленных перед работниками связи, большое внимание уделяется развитию цифровых систем передачи и увеличению их пропускной способности. Широкое внедрение ЦСП на первичной сети связи требует соответствующей подготовки специалистов в этой области.

Данное учебное пособие является, фактически, введением в теорию цифровой электрической связи. Цифровые системы связи позволяют еще более расширить спектр телекоммуникационных услуг, предоставляемых пользователю, и представляют собой ту базу, без которой невозможно функционирование ни одной сферы бизнеса на современном этапе развития информационного сообщества.

Более подробно о видах и характеристиках цифровых систем передачи будет описано во второй части данного учебного пособия «Общая теория связи. Цифровые системы передачи данных».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аджемов, А. С. Общая теория связи: учеб. / А. С. Аджемов, В. Г. Санников. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 624 с.

2. Акулиничев, Ю. П. Теория электрической связи / Ю. П. Акулиничев. – М.: Лань, 2010. – 240 с.

3. Андреев, Р. Н. Теория электрической связи: курс лекций: учеб. пособие / Р. Н. Андреев, Р. П. Краснов, М. Ю. Чепелев. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 230 с.

4. Баскаков, С. И. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. / С. И. Баскаков. – 5-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2005. – 462 с.

5. Белецкий, А. Ф. Теория линейных электрических цепей: учеб. / А. Ф. Белецкий. – М.: Радио и связь, 1986. – 544 с.

6. Биккенин, Р. Р. Теория электрической связи / Р. Р. Биккенин, М. Н. Чесноков. – М.: Академия, 2010. – 336 с.

7. Васильев, К. К. Теория электрической связи: учеб. пособие / К. К. Васильев, В. А. Глушков, А. В. Дормидонтов; под общ. ред. К. К. Васильева. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 452 с.

8. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы / И. С. Гоноровский. – М.: Дрофа, 2006. – 720 с.

9. Зюко, А. Г. Теория передачи сигналов: учеб. / А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, М. В. Назаров. – М.: Связь, 1980. – 288 с.

10. Клюев, Л. Л. Теория электрической связи / Л. Л. Клюев. – М.: Техноперспектива, 2008. – 424 с.

11. Лукьянюк, С. Г. Теория электрической связи. Сигналы, помехи и системы передачи: учеб. пособие / С. Г. Лукьянюк, А. М. Потапенко; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2012. – 223 с.

12. Методологические основы синтеза систем диагностики технического состояния космических и летательных аппаратов: монография / И. Е. Мухин, А. И. Мухин, С. Н. Михайлов [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2018. – 211 с.

13. Многоканальные системы передачи: учеб. / Н. Н. Баева, В. Н. Гордиенко, С. А. Курицын [и др.]; под ред. Н. Н. Баевой и В. Н. Гордиенко. – М.: Радио и связь, 1997. – 560 с.

14. Мухин, И. Е. Методологические основы синтеза систем обеспечения электромагнитного доступа средствами радиомониторинга современных систем телекоммуникаций: монография /

И. Е. Мухин, А. В. Хмелевская, И. Г. Бабанин; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2016. – 316 с.

15. Мухин, И. Е. Основы конструирования радиоэлектронной аппаратуры с учётом обеспечения электромагнитной совместимости: уч. пособие / И. Е. Мухин, А. В. Хмелевская, Д. С. Коптев; Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2018. – 140 с.

16. Прокис Дж. Цифровая связь: пер. с англ. / под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.

17. Шварцман, В. О. Теория передачи дискретной информации: учеб. / В. О. Шварцман, Г. А. Емельянов. – М.: Связь, 1979. – 424 с.

Учебное издание

Бабанин Иван Геннадьевич
Коптев Дмитрий Сергеевич

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СВЯЗИ
СИГНАЛЫ И АНАЛОГОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Учебное пособие

Редактор *Н. В. Комардина*
Компьютерная верстка и макет *О. В. Кофановой*

Подписано в печать 25.10.2018. Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 6,4. Уч.-изд. л. 5,6. Тираж 100 экз. Заказ 83.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.
Отпечатано в ЮЗГУ.