

Ю. А. Ковалгин
Э. И. Вологдин

Аудиотехника

*Для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению 210400 – «Радиотехника»
квалификации (степени) «бакалавр» и квалификации (степени) магистр,
студентов, обучающихся по направлению 210700 –
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
соответствующих профилей подготовки*

Москва
Горячая линия - Телеком
2013

УДК 681.84
ББК 32.871-5
К56

Ковалгин Ю. А., Вологдин Э. И.

К56 Аудиотехника. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 742 с., ил.

ISBN 978-5-9912-0241-1.

Рассмотрены характеристики музыкальных и речевых сигналов; звуковые системы телевидения, радиовещания, кинематографа, шоу-бизнеса. Основное внимание в учебнике уделено цифровой звукотехнике, в частности: аналого-цифровому преобразованию аудиосигналов; статистическим и психоакустическим методам компрессии цифровых аудиоданных без потерь (энтропийное, арифметическое и субполосное кодирование, алгоритмы DST и MLP) и с потерями (стандарты MPEG-1, ISO/IEC 11172-3, MPEG-2 ISO/IEC 13818-3 и ISO/IEC 13918-7, MPEG-4 ISO/IEC 14496-3, MPEG D Surround, а также Dolby AC-3, apt-X100, ATRAC); частотной, временной и динамической обработке аудиосигналов, методам получения разнообразных звуковых эффектов. В нем рассмотрены также звуковое оборудование и аппаратно-программные средства аппаратно-студийных комплексов, концертных залов, студий звукозаписи; канальное кодирование и цифровые аудиоинтерфейсы; контроль качества аудиосигналов, систем и устройств.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 210400 – «Радиотехника» квалификации (степени) «бакалавр» и квалификации (степени) магистр, студентов, обучающихся по направлению 210700 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» соответствующих профилей подготовки. Будет полезна специалистам и широкому кругу читателей, интересующихся современными технологиями телерадиовещания, кинематографа, шоу-бизнеса.

ББК 32.871-5

Адрес издательства в Интернет www.techbook.ru

Учебное издание

Ковалгин Юрий Алексеевич, Вологдин Эдуард Иванович

АУДИОТЕХНИКА

Учебник для вузов

Редактор Ю. Н. Чернышов
Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышов
Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 03.08.2012. Формат 60×88/16. Усл.-печ. л. 46,375.

Тираж 500 экз. (1-й завод 100 экз.) Изд. № 23241.

ISBN 978-5-9912-0241-1

© Ю. А. Ковалгин, Э. И. Вологдин, 2013

© Издательство «Горячая линия – Телеком», 2013

Предисловие

Дисциплина «Аудиотехника» имеет своей целью изучение совокупности средств, способов и методов формирования, преобразования и воспроизведения аудиосигналов, знакомство с принципами построения звуковой аппаратуры различного назначения, с основами проектирования и эксплуатации звукового оборудования студийных и зрелищных предприятий при формировании, демонстрации и тиражировании аудиопродукции шоу-, радио-, теле- и кинопрограмм.

Задачей данной дисциплины является подготовка студентов в области цифровой аудиотехники, направленной на изучение:

- характеристик аудиосигналов и связанных с ними особенностей их восприятия; структур звуковых систем вещания, кинематографа, шоу-бизнеса, форматов сигналов звуковых систем;
- аппаратно-программных средств, предназначенных для формирования, преобразования и обработки аудиосигналов;
- методов кодирования звуковых сигналов, включая помехоустойчивое кодирование, исправление ошибок, компрессию и форматы цифровых аудиоданных;
- стандартов цифровой звукотехники;
- систем шумоподавления, электронного монтажа и редактирования фонограмм; звуковых процессоров;
- звукового оборудования радиодомов, телецентров, киностудий, студий звукозаписи, видео- и концертных залов;
- звуковых карт мультимедийных комплексов;
- принципов построения электромузыкальных инструментов и их интерфейсов;
- методов контроля и измерения параметров качества звуковой аппаратуры вещания, кинематографа, шоу-бизнеса, особенностей ее эксплуатации.

Содержание учебника «Аудиотехника» соответствует примерной рабочей программе одноименного курса специальности 210312 «Аудиовизуальная техника» направления 654200 «Радиотехника». Дисциплина «Аудиотехника» входит в блок специальных дисциплин федерального компонента специальности 210312.

Данная книга — первая попытка написания учебника по данной дисциплине. Отметим, что дисциплина «Аудиотехника» является одной из основных, входящих в блок специальных дисциплин, определяющих подготовку дипломированного специалиста по данной области знаний. В учебнике рассматриваются все темы, относящиеся к различным аспектам применения знаний в области аудиотехники в телевидении, радиовещании, шоу-бизнесе, кинематографе, аудио- и видеосистемах различного назначения. Изучение дисциплины «Аудиотехника» базируется на физико-математической подготовке студентов, получаемой при изучении курсов «Высшая математика», «Физика», «Теория электрических цепей», а также на содержательной части таких дисциплин, как «Цифровая обработка сигналов», «Акустика», «Зрительно-слуховое восприятие аудиовизуальных программ».

В результате изучения данной дисциплины *студенты должны знать*:

- основные типы профессиональных звуковых систем, применяемых в радиовещании, телевидении, кинематографе, шоу-бизнесе, обеспечиваемое ими качество звучания; методы его оценки;
- характеристики аналоговых и цифровых звуковых сигналов; форматы звуковых сигналов при их формировании и воспроизведении;

- стереофонический эффект, его механизмы и природу;
- методы и устройства кодирования звуковых сигналов; форматы цифровых звуковых сигналов;
- алгоритмы сокращения избыточности звуковых сигналов, включая алгоритмы группы MPEG и ATSC;
- помехоустойчивое кодирование, методы обнаружения и исправления цифровых ошибок;
- устройства, аппаратные средства и программное обеспечение для формирования, обработки и воспроизведения звуковых сигналов;
- принципы построения адаптивных звуковых систем, звуковых процессоров, синтезаторов пространственного звучания;
- профессиональное звуковое оборудование радиодомов, телецентров, киностудий, студий звукозаписи, видео- и концертных залов;
- звуковые карты для мультимедийных комплексов: стандарты, типы и структуры карт, средства обработки звуковых данных, технологические возможности, области применения;
- методы синтеза звука на основе частотной модуляции, таблицы волн; принципы работы электронных музыкальных инструментов, компьютерные музыкальные станции, интерфейс MIDI;
- цифровые соединительные шины и интерфейсы;
- международные стандарты в области аудиотехники;
- контроль, измерение параметров и особенности эксплуатации профессиональной звуковой аппаратуры.

В результате изучения данной дисциплины *студенты должны уметь:*

- разрабатывать и обосновывать технические задания на проектирование профессиональной звуковой аппаратуры в целом, структурные и принципиальные схемы входящих в ее состав узлов и блоков;
- обосновывать технические требования и значения параметров качества как отдельных узлов и блоков, так и в целом звуковых комплексов различного назначения; выполнять электрические расчеты схем узлов и блоков аппаратуры с применением современных пакетов прикладных программ;
- проводить имитационное моделирование устройств и блоков профессиональных аудиоустройств;
- грамотно эксплуатировать профессиональное звуковое оборудование, включая текущий контроль и оценку его параметров качества.

Студенты должны *иметь навыки и опыт работы с:*

- пакетами профессиональных программ, позволяющими выполнять расчет, анализ технических параметров и режимов работы, а также имитационное моделирование аудиоустройств в целом, их узлов и блоков;
- аппаратно-программными средствами и устройствами, предназначенными для формирования, обработки, кодирования, декодирования и воспроизведения звуковых сигналов;
- современным аналоговым и цифровым оборудованием радиодомов, телецентров, кинотеатров, киностудий, предприятий шоу-бизнеса.

Изучение дисциплины «Аудиотехника» требует сочетания лекций с индивидуальными занятиями расчетного типа, лабораторными занятиями исследовательского характера, курсовым проектированием, обеспечивающим развитие практических навыков использования полученных знаний для решения комплексных инженерных задач.

Оглавление

Предисловие	3
1 Аудиосигналы и их характеристики	6
1.1. Уровни, динамический диапазон и пик-фактор аудиосигналов.....	6
1.2. Распределения мгновенных значений и уровней речевых и музыкальных сигналов	14
1.3. Распределение длительностей выбросов и пауз речевых и музыкальных сигналов	18
1.4. Статистические характеристики речевых сигналов	21
1.5. Текущая, среднеминутная и долговременная мощности сигналов речи и музыки	28
1.6. Частотный диапазон и спектры музыкальных и речевых сигналов	30
1.7. Средняя мощность речевых и музыкальных сигналов	33
1.8. Огибающая и мгновенная частота звуковых сигналов.....	34
1.9. Моделирование и синтез аудиосигналов	36
Контрольные вопросы к главе 1	40
2 Звуковые системы	41
2.1. Качество звучания при естественном слушании	41
2.2. Назначение и классификация звуковых систем, форматы звуковых сигналов	44
2.3. Звуковые системы и качество звучания	48
2.4. Обычная стереофоническая звуковая система	50
2.5. Стереофонический эффект	52
2.5. Стереоамбиофонические звуковые системы	75
2.6. Системы пространственного звучания с панорамным кодированием сигналов источников звука	77
Психофизическая модель двухканальной звуковой системы	77
Адаптивное декодирование сигналов в системах с панорамным кодированием	85
Блок управления в системах с панорамным кодированием сигналов источников звука	88
2.7. Системы пространственного звучания фирмы Dolby Lab	90
Система Dolby Surround	91
Системы Dolby Pro Logic I и Dolby Pro Logic II	95
Система Dolby THX Matrix	100
Системы Dolby Digital 5.1 и Dolby Digital EX 6.1	101
2.8. Системы пространственного звучания фирм DTS Technology и Sony ..	104
Система DTS — Digital Theatre System	104
Система SDDS — Sony Dynamic Digital Sound	106
2.9. Бинауральные звуковые системы	107
Передача пространственной информации и зона слушания в бинауральной звуковой системе	123

Бифонические процессоры	127
2.10. Универсальный звуковой формат	131
2.11. Новейшие звуковые системы и технологии	134
Новейшие системы пространственного звучания	134
Амбиофонические системы больших залов	139
Звуковая система «Амбисоник»	143
Технология Wave Field Synthesis	147
Контрольные вопросы к главе 2	150
3 Аналого-цифровое преобразование аудиосигналов	151
3.1. ИКМ с равномерным квантованием	153
Функциональная схема ИКМ-модулятора	153
Реконструкция звуковых сигналов	159
Спектр ошибок округления	162
Звучание ошибок квантования	170
Технологии повышения качества звучания	173
3.2. Сигма-дельта модуляция	182
Основы технологии Noise Shaping	182
Математические модели сигма-дельта модуляторов	184
Одноразрядные АЦП на основе сигма-дельта модуляции	187
Одноразрядные ЦАП на основе сигма-дельта модуляции	191
Многоразрядные ЦАП	194
3.3. ИКМ с линейным предсказанием	197
Дифференциальная ИКМ и дельта-модуляция	200
Адаптивная дифференциальная ИКМ (ADPCM)	203
3.4. ИКМ с неравномерным шагом квантования	204
Мгновенное компандирование	204
Почти мгновенное компандирование	207
ИКМ с плавающей запятой	208
Транскодер ИКМ с плавающей запятой	211
Контрольные вопросы к главе 3	211
4 Статистические методы компрессии цифровых аудиоданных	213
4.1. Информационная энтропия	214
4.2. Энтропийное кодирование	215
4.3. Коды переменной длины	217
4.4. Арифметическое кодирование	223
4.5. Субполосное кодирование	226
4.6. Компрессирование в формате MP3	230
Субполосное кодирование в формате MP3	232
Психоакустическая модель	232
Код Хаффмана	236
Адаптивное кодирование	237
4.7. Квадратурно-зеркальные фильтры и вейвлет-преобразование	238
Основные положения теории вейвлетов	239
Оптимизации вейвлетных базисов	243

4.8. Компрессия цифровых аудиоданных без потерь по алгоритму DST	249
Принцип компрессирования	249
Кодирование с предсказанием	250
Энтропийное кодирование	252
Мультиплексирование и демультимплексирование звуковых сигналов	253
4.9. Компрессия цифровых аудиоданных без потерь по алгоритму MLP	254
Система компрессии MLP	254
Кодирование в системе MLP	255
Матрицирование без потерь	256
Кодирование с предсказанием	257
Применение буферной памяти	258
Кодирование/декодирование субпоток	259
Контрольные вопросы к главе 4	260
5 Компрессия цифровых аудиоданных с потерями	262
5.1. Избыточность цифровых сигналов	262
5.2. Семейство стандартов MPEG	266
5.3. Кодеры стандарта MPEG-1 ISO/IEC 11172-3	267
Кодирование отсчетов ЗС в Layer 1 и Layer 2	270
5.4. Кодирование коэффициентов МДКП в MPEG-1 Layer 3	276
Внутренний итерационный цикл	277
Внешний итерационный цикл	284
Структура цифрового потока в MPEG-1 Layer 3	287
5.5. Стандарт MPEG-2 ISO/IEC 13818-3	288
5.6. Стандарт MPEG-2 ISO/IEC 13818-7 AAC	293
5.7. Кодирование звуковых сигналов в стандарте MPEG-4	297
5.8. Параметрическое кодирование звуковых сигналов	298
5.9. Метод копирования спектральных полос	315
5.10. Метод кодирования CELP стандарта MPEG-4	317
Вокодеры с линейным предсказанием	318
Векторное квантование и кодовые книги	320
Метод кодирования CELP	321
5.11. Процедуры объединения сигналов стереопары в стандартах MPEG	323
Эффективность процедуры объединения сигналов стереопары	326
5.12. Компрессия цифровых звуковых данных в системах Dolby Digital	327
Декодер системы Dolby AC-3	336
5.13. Компрессия цифровых данных в системе DTS	336
5.14. Компрессия цифровых звуковых данных в системе SDDS	342
5.15. Учет временной маскировки при кодировании звуковых сигналов	349
Методы оценки эффективности учета постмаскировки	349
Эффективность учета постмаскировки в алгоритмах компрессии цифровых аудиоданных	353
5.16. Применение вейвлетов при компрессии цифровых аудиоданных	356
Алгоритм перцепционного вейвлетного кодирования	358

- Результаты экспертной оценки качества кодека 362
- 5.17. Новейшие алгоритмы кодирования пространственных параметров стереофонических сигналов 363
- 5.18. Качество алгоритмов компрессии цифровых аудиоданных 378
 - Контрольные вопросы к главе 5 385
- 6 Частотная, динамическая и временная обработка аудиосигналов 387**
 - 6.1. Назначение и классификация фильтров частотной коррекции 387
 - 6.2. Цифровые базовые фильтры 390
 - Фильтры низких и высоких частот 1-го порядка 391
 - Фильтры низких и высоких частот 2-го порядка 392
 - Все пропускающие фильтры 1-го и 2-го порядков 394
 - Параметрические фильтры 396
 - 6.3. Цифровые фильтры частотной коррекции аудиосигналов 396
 - Обрезные фильтры низких и высоких частот 396
 - Фильтры плавного подъема и спада частотных характеристик 399
 - Узкополосные фильтры 401
 - 6.4. Эквалайзеры 403
 - 6.5. Основы динамической обработки аудиосигналов 409
 - Громкость звучания и динамический диапазон 416
 - Принцип динамической обработки аудиосигналов 418
 - 6.7. Алгоритмы работы динамического процессора 425
 - 6.8. Применение динамических процессоров 430
 - 6.9. Спектральная обработка аудиосигналов 437
 - Основы спектральной обработки звуковых сигналов 437
 - Слуховое восприятие нелинейных искажений 440
 - 6.10. Цифровые имитаторы звука магнитной фонограммы (сатураторы) 444
 - 6.11. Имитация звучания ламповых усилителей 446
 - 6.12. Эксайтеры, энхансеры и виталайзеры 451
 - 6.13. Типовые звенья для временной обработки аудиосигналов 452
 - 6.14. Звуковые эффекты на основе применения модуляций 457
 - 6.15. Звуковые эффекты на основе применения временной задержки 465
 - 6.16. Звуковые эффекты на основе транспонирования спектра сигнала 475
 - 6.17. Реверберация 476
 - Ревербераторы 479
 - 6.18. Алгоритмы реверберации 483
 - 6.19. Синтез пространственных сигналов в многоканальной стереофонии ... 488
 - Контрольные вопросы к главе 6 490
- 7 Звуковое оборудование и аппаратно-программные средства радиокompаний, концертных залов, студий звукозаписи 491**
 - 7.1. Аппаратно-студийный комплекс государственного радиовещания 491
 - Аппаратно-студийный блок 494
 - 7.2. Аппаратно-студийные блоки коммерческих радиокompаний 500

Студии коммерческих радиокompаний	502
7.3. Микшерные пультаы	505
7.4. Устройства (узлы, элементы) микшерных пультаов	515
7.5. Радиожурналистские комплекты	525
7.6. Технология производства аудиопрограмм	526
7.7. Автоматизация технологических процессов радиокompании	532
7.8. Программные продукты для автоматизации радиовещания	539
Программные продукты компании «Трактъ»	545
7.9. Типовые комплектации АСК радиокompаний	567
7.10. Каналообразующее оборудование для доставки звуковых сигналов к передатчику	576
7.11. Программные продукты для монтажа и обработки звуковых сигналов	580
Пакеты Sound Forge 9c и Audition 3	582
Пакет Samplitude Producer	588
7.12. Звуковое оборудование и аппаратно-программные средства концертных залов	592
Акустические особенности БКЗ «Октябрьский»	592
Измерения параметров систем звукоусиления и звукового поля в зале	601
Крокус Сити Холл	611
Государственный Кремлёвский дворец	614
7.13. Сабвуферные системы концертных залов	615
7.14. Звуковое оборудование и программные продукты студий звукозаписи	620
Аппаратно-программные средства и оборудование студий звукозаписи	623
Типовой состав оборудования домашней студии	629
7.15. Системы синхронного перевода речи, дискуссионные и конференц-системы	630
Контрольные вопросы к главе 7	641
8 Корректирующее и канальное кодирование аудиосигналов	642
8.1. Корректирующее кодирование аудиосигналов	642
Кодовые ошибки	644
Обнаружение кодовых ошибок	645
Корректирующий код Рида–Соломона	646
Кодирование с перемежением	649
Маскировка ошибочных слов	652
8.2. Стандарты корректирующего кодирования CD и DVD	653
8.3. Принципы канального кодирования	658
8.4. Характеристики канальных кодов	661
8.5. Цифровые звуковые интерфейсы	664
Профессиональные интерфейсы AES3 и AES/EBU	668
Профессиональный интерфейс AES3id	669
Профессиональные интерфейсы SDIF-3 и MAC-DSD	671
Бытовой звуковой интерфейс S/PDIF	671
Профессиональный интерфейс AES10 (MADI)	672

Звуковые карты персонального компьютера	673
Цифровой музыкальный интерфейс MIDI	676
Контрольные вопросы к главе 8	681
9 Контроль качества аудиосигналов, систем и устройств	682
9.1. Классификация методов оценки качества	682
9.2. Субъективная оценка качества аудиосигналов, систем и устройств	684
9.3. Традиционные методы объективной оценки качества	693
9.4. Метод комплексного статистического оценивания качества	697
9.5. Перцепционный метод объективной оценки качества аудиосигналов ...	705
9.6. Программный пакет SpectraLab 4.32.17	721
Контрольные вопросы к главе 9	727
Литература	728