

中国录音师协会教育委员会
中国传媒大学信息工程学院 编著
北京恩维特声像技术中心



第3版

高级 音响师 速成实用教程

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

- ▶ 中国录音师协会教育委员会
- ▶ 中国传媒大学信息工程学院 编著
- ▶ 北京恩维特声像技术中心



高级 音响师 速成实用教程

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

高级音响师速成实用教程 / 中国录音师协会教育委员会, 中国传媒大学信息工程学院, 北京恩维特声像技术中心编著. — 3版. — 北京: 人民邮电出版社, 2013. 1
ISBN 978-7-115-29916-1

I. ①高… II. ①中… ②中… ③北… III. ①音频设备—技术培训—教材 IV. ①TN912.2

中国版本图书馆CIP数据核字 (2012) 第270698号

内 容 提 要

本书主要讲解了数字音响系统的基础理论、数字声频设备的基本原理和使用方法, 内容包括数字声频技术、数字声频记录技术、数字调音台、数字声频工作站、CobraNet 技术、网络音频系统, 以及 EASE、Smaart、数字声频处理器的原理与应用, 并介绍了音质的主观评价方法。

本书适合具有一定理论基础和实践经验的音响调音技术人员阅读, 也可作为音响师培训班和大、中专院校相关专业的教材使用。

高级音响师速成实用教程 (第 3 版)

- ◆ 编 著 中国录音师协会教育委员会
中国传媒大学信息工程学院
北京恩维特声像技术中心
- 责任编辑 张 鹏
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16
字数: 382 千字 2013 年 1 月第 3 版
印数: 9 001—13 000 册 2013 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-29916-1

定价: 46.00 元

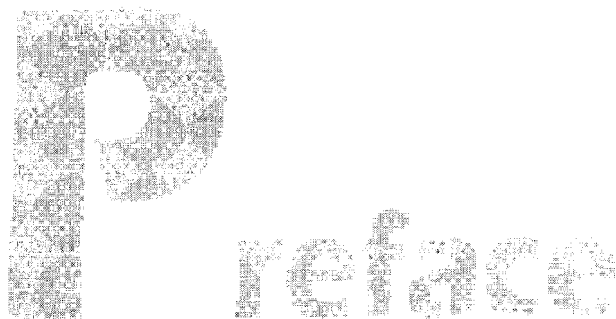
读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

编 委 会

主 任：王明臣

副主任：金洪海 李 遥

编 委：王树森 韩宪柱 王 雷 胡 彤 王 强



前 言

随着我国文化娱乐产业的飞速发展和声频技术水平的日益提高,专业音响师(调音师)的社会需求量越来越大。据统计,全国现有电台、电视台的数量已超过 5 000 家,再加上影视制作间和歌舞厅、影剧院、厅堂扩音、电化教学等,与音响技术相关的从业人员已有近百万人之多。作为一个新兴的职业,音响师越来越受到人们的青睐。

要成为一名合格的音响师,必须掌握相关的理论知识,并具有一定的技能技巧,诸如电子学和电子学基础知识、电声学和建筑声学基础知识、乐理学知识和设备装配以及应用操作能力都十分重要。从 2003 年开始,音响师要求持职业资格证书上岗。即便是具有大专或本科学历的人员,也只有考取职业资格证书后才具有上岗资格。另外,由于声频技术发展很快,从模拟技术进入数字技术已是大势所趋,设备和技术的更新已在很多单位逐步实现,知识更新和人员素质的提高已迫在眉睫。因此,尽快培养出高水平的音响专业人才,满足社会的需求,已成为当前职业技能培训的一个重要方面。

本套教程正是为了顺应现代声频技术、音响技术的发展潮流,满足广大声频工作者,特别是大量音响技术人员的实际需求而编写的,具有较高的实用价值。由于目前市场上适合音响师实际工作需要的书籍很少,系统介绍音响调音技术的书籍尚无法满足读者的需要,因此,本套教程的出版能在一定程度上弥补这种不足。

中国录音师协会教育委员会(<http://www.cavre.com>)是二级协会,担负着全国录音师、音响师的教育培训任务;中国传媒大学是全国综合性重点大学,其信息工程学院的培养重点是声像技术方面的高级专业人才;北京恩维特声像技术中心是由人力资源和社会保障部正式委托的职业培训机构。由上述 3 个单位在中国传媒大学联合成立的音响师、录音师、灯光师培训中心已有 13 年的历史,已举办培训班 60 多期,培训学员近万人之多,在培训规模和培训质量方面在我国位居前列,是目前我国重要的声像职业技能培训基地。本套教材正是培训中心多年教学实践经验的总结,在培训中收到了良好效果。

本套教程为第 3 版,分 3 册出版,包括《初级音响师速成实用教程(第 3 版)》、《中级音响师速成实用教程(第 3 版)》和《高级音响师速成实用教程(第 3 版)》。其中,《初级音响师速成实用教程(第 3 版)》主要针对初学者,介绍音响设备的基本原理、基本操作方法,主要讲解音响师必备的电学、声学基础知识,如声音的基本属性、电工基础知识等,重点讲解了操作性很强的音响系统的连接、主要设备的操作与使用方法,是初级音响师的入门读物;《中级音响师速成实用教程(第 3 版)》主要讲解音响系统基础理论、系统的调整方法与使用技巧,特别是对主要设备(如调音台)与周边设备的调整方法以及各种场合的调音技巧作了



比较详细的介绍；《高级音响师速成实用教程（第3版）》以讲解数字声频技术为主，介绍了数字声频技术的发展和應用，数字声频设备的基本原理、使用 and 操作方法，以及正确判断音响设备故障、正确处理故障和维修的方法。本次再版除改正了原书中的一些疏漏外，重点对《高级音响师速成实用教程（第2版）》的内容作了较大改动，以适应目前蓬勃发展的数字化进程。

对于书中的疏漏和不当之处，敬请广大读者批评指正。

中国录音师协会教育委员会
中国传媒大学信息工程学院
北京恩维特声像技术中心
2012年9月9日
于北京

C Contents



目 录

1

第1章 数字音频技术基础

1

1.1	A/D 转换	1
1.1.1	采样	1
1.1.2	滤波和混叠	3
1.1.3	量化	4
1.1.4	采样分辨率的可闻效果	5
1.1.5	高频颤动的使用	7
1.1.6	高频颤动的种类	9
1.1.7	A/D 转换中的过采样	10
1.1.8	A/D 转换中的噪声整形	10
1.2	D/A 转换	11
1.2.1	基本的 D/A 转换	11
1.2.2	D/A 转换中的过采样	11
1.3	音质与采样频率和分辨率之间的关系	12
1.3.1	心理声学限制	12
1.3.2	采样频率	13
1.3.3	量化分辨率	14
1.4	数字化处理的相关问题	16
1.4.1	时基抖动及对转换器的影响	16
1.4.2	改变音频信号的分辨率(再量化)	17
1.4.3	动态范围扩展	18
1.4.4	误码校正	18
1.5	数字音频信号处理	19
1.5.1	电平控制	19
1.5.2	交叉渐变	19
1.5.3	调音	20
1.5.4	数字滤波器和均衡	20
1.5.5	数字混响和其他效果	22
1.5.6	动态处理	22



2

1.5.7 采样频率转换	22
--------------------	----

第2章 数字声频记录技术 24

2.1 数字录音带 (DAT)	24
2.1.1 DAT 盒式磁带的构造	24
2.1.2 DAT 模式的分类与特点	25
2.1.3 DAT 硬件设计的基本方案	26
2.1.4 磁道上的记录格式	28
2.1.5 DAT 的方位记录与自动磁道跟踪	30
2.1.6 8-10 调制码记录方式	30
2.1.7 DAT 的纠错编码	32
2.1.8 DAT 的时间码	33
2.2 DVD	35
2.2.1 概述	35
2.2.2 DVD-Video	38
2.2.3 DVD-Audio	40
2.3 MP3	44
2.3.1 MP3 播放机的特点与主要性能	45
2.3.2 MP3 播放机的工作原理	45
2.3.3 MP3 播放机的使用	48

3

第3章 数字调音台 50

3.1 数字调音台的特点	50
3.2 VENUE 数字调音台的特点	51
3.3 调音台的使用	53
3.3.1 调音台背面板	53
3.3.2 调音台前面板	54
3.3.3 操作控制屏幕与软件	60
3.4 调音操作步骤	63

4

第4章 MIDI (乐器数字接口) 68

4.1 MIDI 的硬件	68
4.2 MIDI 信息的组成	70
4.2.1 通道信息	70
4.2.2 系统信息	72
4.3 MIDI 制作系统中的设备	74
4.3.1 概述	74
4.3.2 MIDI 键盘合成器	75
4.3.3 音源	77
4.3.4 鼓机	77



4.3.5	MIDI 音序器	77
4.3.6	MIDI 效果器	78
4.4	MIDI 设备在录音中的应用	78
4.5	电脑音乐制作系统	79
4.5.1	电脑音乐制作系统的组成	79
4.5.2	电脑音乐制作系统在音乐节目制作中的应用	80

5

第 5 章 数字音频工作站 83

5.1	数字音频工作站的构成	83
5.1.1	专门的系统	83
5.1.2	以桌面计算机为基础的系统	83
5.2	数字音频工作站的音频处理	85
5.2.1	大容量存储媒体声音的记录原理	85
5.2.2	多声道记录和重放	89
5.2.3	音频编辑	93
5.2.4	时基和同步	100
5.2.5	变速操作	103
5.2.6	工作站中的 DSP	103
5.3	文件格式及数据交换	106
5.3.1	音频文件格式	106
5.3.2	开放媒体构架交换 (OMFI)	110
5.3.3	CD 预母版格式	111
5.3.4	数字音频接口	113
5.3.5	数字信号同步	122
5.3.6	网络	126
5.4	数字音频工作站中的视频技术	132
5.4.1	数字视频基础	133
5.4.2	视频数据压缩	135
5.4.3	MPEG 和 JPEG	137
5.4.4	桌面视频系统	138
5.4.5	用于音频工作站的数字视频选件	138
5.4.6	SMPTE/EBU 时码	139
5.4.7	丢帧时码格式	141
5.4.8	时码的处理	141

6

第 6 章 CobraNet 技术 143

6.1	CobraNet 设备的类型	143
6.1.1	只用于信号传送	143
6.1.2	用于信号输入、信号处理、信号输出	144
6.2	CobraNet 技术的应用	144
6.2.1	CobraNet 技术的应用范围	144
6.2.2	CobraNet 以太网的使用	144
6.2.3	使用网络交换机作为 CobraNet 的网络交换设备	144



6.3	以太网与 CobraNet 的数据帧结构	147
6.3.1	MAC 数据帧结构	147
6.3.2	数据包结构	148
6.4	大容量数据与 CobraNet 网络优化	150
6.4.1	生成树协议 (Spanning Tree) IEEE 802.1d	150
6.4.2	干线生成协议 IEEE 802.3ad	151
6.4.3	VLAN 的应用 (IEEE 802.1q)	152
6.5	简单网络管理协议	153
6.6	Conductor 与 BuddyLink	155
6.6.1	Conductor	155
6.6.2	BuddyLink	156

7

第 7 章	AUDIONET 网络音频平台系统	157
-------	-------------------	-----

7.1	AUDIONET 网络音频平台系统的构成	157
7.1.1	RS1200 软件	157
7.1.2	AUDIONET 网络音频传输器	160
7.1.3	AUDIONET 网络音频处理器	162
7.1.4	AUDIONET 网络音频平台系统的功能特点	165
7.2	AUDIONET 网络数字功放和网络有源音箱	165
7.2.1	NET6000D 网络数字功放	165
7.2.2	网络有源音箱	166
7.3	AUDIONET 网络音频平台系统的应用	168

8

第 8 章	EASE 的原理与应用	171
-------	-------------	-----

8.1	EASE 的基本概念	171
8.1.1	什么是 EASE	171
8.1.2	EASE 软件研究与发展的过程	171
8.1.3	EASE 的主要功能	172
8.2	利用 EASE 软件创建房间模型	172
8.2.1	启动 EASE	172
8.2.2	创建房间模型	173
8.2.3	加上听众区	174
8.2.4	加上听众座椅	174
8.2.5	加载扬声器和墙面吸声材料	175
8.3	利用 EASE 软件建立电声学模拟	175
8.3.1	选择扬声器	175
8.3.2	确定扬声器的瞄准	175
8.4	EASE 工程项目的检查与修正	176
8.4.1	工程项目的一般检查	176
8.4.2	声场特性的检查与修正	176
8.4.3	声音质量效果的检查	178

9

第 9 章	Smaart 原理与应用	181
-------	--------------	-----

9.1	Smaart 的主要测量功能与配置单元	181
-----	---------------------	-----



9.1.1	Smaart 的主要测量功能	181
9.1.2	Smaart 基本单元配置	182
9.2	系统设置与电平调整	182
9.2.1	系统设置	182
9.2.2	电平调整	183
9.3	测量实例	184
9.3.1	实时频谱分析仪 (RTA)	184
9.3.2	模拟式均衡器测量	185
9.3.3	扬声器系统测量	187
9.3.4	对扬声器系统进行均衡处理	190

10

第 10 章 PA 数字音频处理器的原理与应用 192

10.1	面板功能旋钮与连接	192
10.1.1	后面板	192
10.1.2	前面板	193
10.1.3	快捷启动	194
10.2	基本编辑功能	199
10.3	操作运行	201
10.3.1	程序定义	202
10.3.2	工厂程序向导	202
10.4	参数及调整	203
10.4.1	前置分频器	203
10.4.2	声反馈抑制器	203
10.4.3	分谐波合成发生器	204
10.4.4	分频器	204
10.4.5	后置分频器的参数均衡 PEQ	205
10.4.6	压缩器/限幅器	205
10.4.7	扬声器延时调整	206
10.5	分频器的使用	207
10.5.1	2 × 6 分频器	207
10.5.2	2 × 5 分频器	208
10.5.3	2 × 4 分频器	208
10.5.4	2 × 3 分频器	208

11

第 11 章 音质主观评价 210

11.1	音质评价的意义与评定方法	210
11.1.1	音质评价的意义	210
11.1.2	音质评价的术语	210
11.1.3	评定小组的组成	211
11.1.4	评定方法	212
11.2	审听室的技术性能	216
11.2.1	容积	217
11.2.2	各边比例	217
11.2.3	混响时间	217



11.2.4	噪声级	217
11.2.5	审听人员的位置	217
11.2.6	审听区内的声级和传输频率特性	217
11.2.7	审听室内吸声材料的布置	218
11.2.8	其他干扰	218
11.2.9	灯光	218
11.2.10	室内气候条件	218
11.2.11	室内颜色	218
11.3	评价用电声设备的技术要求	218
11.3.1	磁带录音机	219
11.3.2	调音控制台	219
11.3.3	功率放大器	220
11.3.4	监听扬声器箱的声学特性	220
11.3.5	耳机的特性	220
11.3.6	CD 唱机	220
11.3.7	家用监听系统	221

12

第12章 音响设备的使用与维修 222

12.1	音响设备的使用	222
12.1.1	正确进行系统配置与连接	222
12.1.2	养成正确的开/关机顺序习惯	222
12.1.3	防止声反馈引起的啸叫	222
12.1.4	晶闸管干扰及防止措施	225
12.1.5	避免损坏扩音机和扬声器的措施	228
12.2	扩声系统设备故障检修的基本方法	228
12.2.1	直接观察法	228
12.2.2	测量电压法	229
12.2.3	测量电阻法	229
12.2.4	元器件替代法	230
12.2.5	波形观察法	230
12.2.6	触击检查法	230
12.2.7	模拟检查法	231
12.2.8	电路分割法	231
12.2.9	在线测量法	232
12.2.10	短接旁路法	232
12.3	系统设备常见故障的检修程序	233
12.3.1	无声故障	233
12.3.2	电源故障	234
12.3.3	扬声器故障	236
12.3.4	主放大器故障	237
12.3.5	立体声设备一个声道故障	237
12.3.6	AV 放大器及调音台常见故障	238
12.4	音响系统故障维修实例	240

第 1 章

数字音频技术基础

本章将简要介绍有关数字音频技术的基础知识，主要阐述那些在数字音频中影响声音质量的有关问题，并对音频数字信号处理（DSP）作一个简要的介绍。

数字音频系统的基本结构如图 1-1 所示。模拟音频信号在 A/D 转换中被转换成二进制值。这些二进制值经各种方式的 DSP 后，被编码并且存储起来，或者被传送出去。存储或者传送的信号仍可进行进一步的处理，然后转换回模拟域。

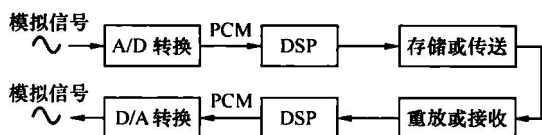


图 1-1 数字音频系统基本结构框图

1.1 A/D 转换

A/D 转换是决定数字音频信号最终质量优劣的最重要的一环。事实上，一个音频信号在进行了转换处理之后，其声音质量只有变坏的可能，而绝无转好的希望。许多音频处理纯粹是在数字域中进行的，在这种情况下，A/D 转换并非关键所在，但是大多数的操作仍然不时地需要从模拟域上获得声音素材。工作站的价格各不相同，因此这些数字音频工作站及其周边转换器的质量也有优劣之分。许多分立的专业转换器的价格都相当于一个台式计算机的全部数字音频硬件和软件的价格。如今，在许多多媒体台式计算机中都能见到 16bit 的转换器，然而与最有效的那些设备相比，这些设备的表现很不理想。正如在下面所要看到的，采样率以及每个采样的比特数是决定一个数字音频信号质量优劣的主要因素，而转换器的质量却表明在这些限制之下，是否能更接近极限。

除此之外，必须承认的一点是：对于很多人来说，一个 16bit 的转换器听起来与别的并没有什么不同，很多时候价格与质量并不是成正比的。

1.1.1 采样

模拟的音频信号是在时间上连续的电信号，而 A/D 转换器的任务正是将这一信号转换为在时间上离散的二进制数序列。在转换器中，采样过程包括对音频波形的振幅在规定的间隔上及时进行测量或采样，如图 1-2 所示。显然，采样脉冲准确地表示出了信号在每一时刻的瞬间振幅。采样可被看作是当快速连续播放时组成连续动感电影的一个个静止帧。

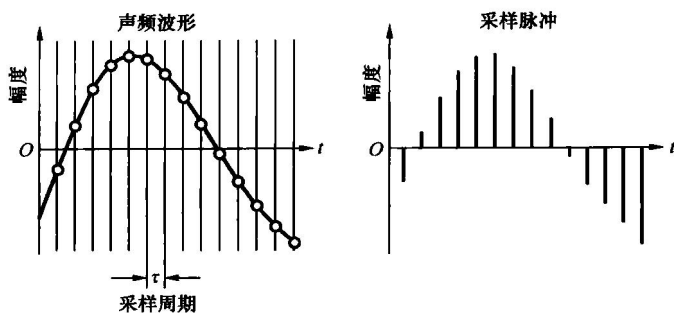


图 1-2 任意音频信号以规律的时间间隔被采样

基于详细地表征一个信号的需要,有必要在每秒钟获取大量的采样值,同时香农采样定理指出:如果一个信号的必要信息能被恢复,那么在每一个音频周期必须至少得有两个采样。从图 1-3 中可以看到,如果在音频信号的每一个周期只获得很少的采样,那么采样所描绘的可能会迥异于其采样的原始波形,这也是有助于理解混叠这一现象的一种方法。通过 D/A 转换来恢复出被采样的信号时,混叠会产生原始信号不需要的成分。

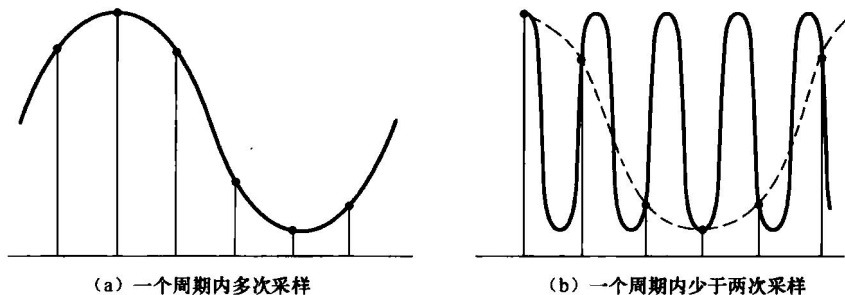


图 1-3 每一音频周期必须至少得到两个采样

将采样过程形象化的另一个方法是把它放在调制的情况下加以考虑,就像在图 1-4 中表示的那样。连续的音频波形被用来调制一个规则的脉冲序列,这些脉冲的频率就是采样频率。在调制之前,所有这些脉冲都有同样的振幅(高度),但是在调制之后,脉冲的振幅将根据音频信号在该点的瞬时振幅被加以修正。这一过程称之为脉冲振幅调制(PAM),调制信号的频谱如图 1-5 所示。可以看见,除了“基带”音频信号(采样前的原始频谱)之外,现在又出现了许多额外的频谱,并以采样频率的倍频频率为中心,呈对称分布。作为振幅调制的一个结果,采样频率及其倍

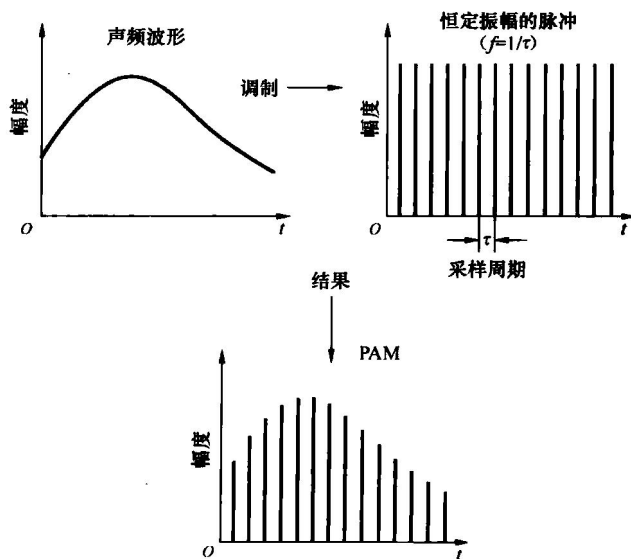


图 1-4 放在脉冲振幅调制下的采样



频的每一边都产生了边带，它将采样频率及其倍频上下延伸基带宽度。换言之，这样的边带是声频频带的对称镜像。

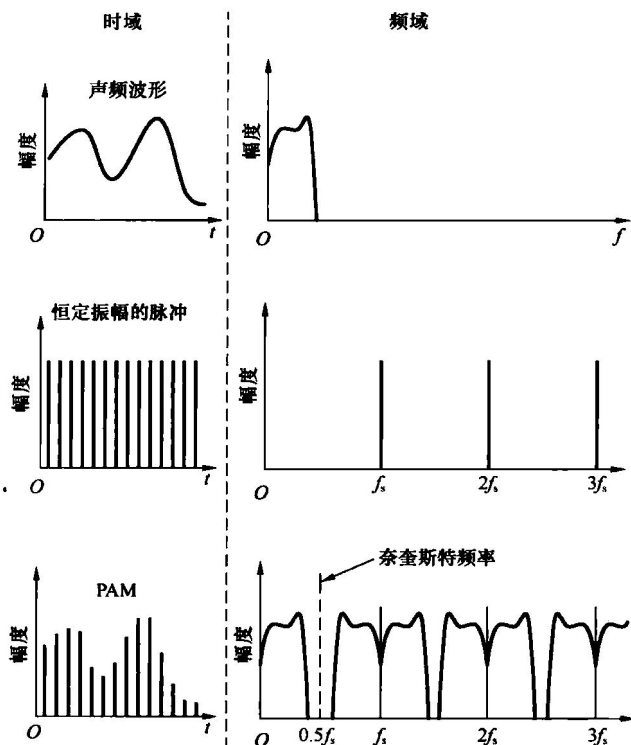


图 1-5 调制信号的频谱

1.1.2 滤波和混叠

从图 1-6 中可以容易地看出，为什么采样频率必须至少两倍于信号基带所含的最高频率。这是因为：超过奈奎斯特（Nyquist）采样频率的一个扩展的基带导致了第一个重复频谱的较低的边带重叠在基带的较后部分。这里举出两个例子来进一步说明：在第一个例子中，一个基带声音有足够低的频率，其采样了的边带频率处在声频范围之上；而在第二个例子中，一个较高的频率产生了较低的采样边带，正好落在基带之内，形成对原始声音的一个混叠。

在大家所熟悉的电影“轮辐”效应中，就能够看到混叠这种现象，因为不断变换的画面也是信号采样的一个例子。在影片中，静止画面（影像样本）在正常情况下是以 24 帧每秒的速度获取的。如果拍摄一个有着参考标志的旋转的车轮，当静止画面的播放速度比旋转的速度快得多的话，将会感到车轮向前转动，但是随着旋转速度的增加，车轮将表现出减速、停止、开始向后运动的效果。当车轮旋转的速度变得更快时，实际效果所表现出的向后运动速度也将变快，这个向后的动作就是由于以一个很低的速度进行采样所产生的混叠。显然，车轮其实并没有向后，但其视觉效果却是如此。

在数字录音中，如果允许一个音频信号产生混叠，重放时也将听到如同向后旋转车轮般的听觉效果——也就是说，在第一边频没有可闻频谱中的声音成分，随着信号原始频率的增加，其频率下降。所以，在基本的转换器中，必须在采样之前就对基带音频信号进行滤波，



如图 1-7 中所示, 从而除去一些超过 $1/2$ 采样频率 (即奈奎斯特频率) 的部分。

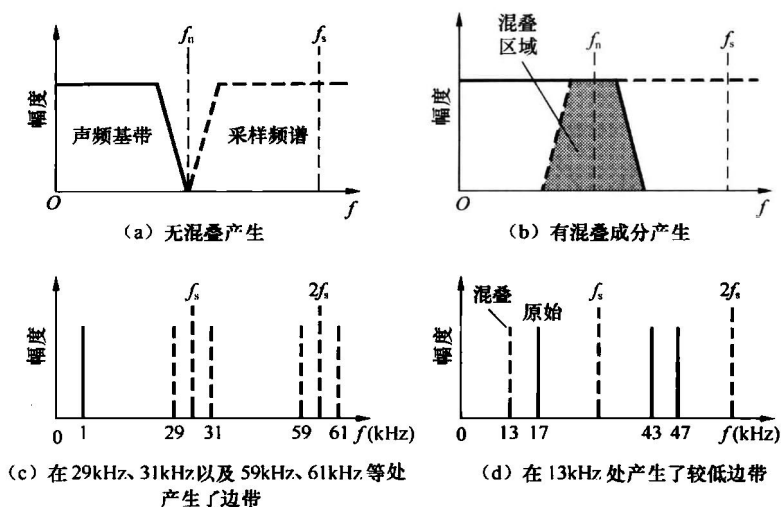


图 1-6 在频域内观察的混叠

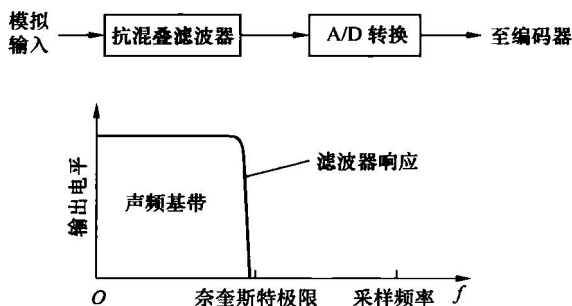


图 1-7 在转换前使用模拟的抗混叠滤波器滤去输入信号中超过奈奎斯特采样频率的成分

在实际系统中, 因为不可能有理想化的滤波器, 采样频率要稍微高于两倍的记录频带上限, 允许通带与阻带的过渡特性不是非常陡峭。在 D/A 和 A/D 转换器中采用的滤波器对声音音色有明显的影响, 因为它们决定了在声频频带内频率响应的线性, 在高频处倾斜衰减, 以及系统具有线性相位响应。在一个非过采样转换器中, 滤波器必须滤掉所有高于 $1/2$ 采样频率的信号, 至少也要衰减 80dB。陡峭的滤波器很可能在高频处有不确定的相位响应, 同时由于滤波器的高 Q 值可能表现出“铃响”, 因此陡峭滤波器也有缺点, 其制作也非常复杂。尽管滤波器的影响在许多方面是不可避免的, 但制作者已经在抗混叠和平滑滤波器研究设计方面取得了长足的进展, 许多目前采用的性能较差的滤波器, 其性能已有所改进, 一个积极的效果即反映在音质的改善上。

过采样处理有助于减少模拟滤波产生的问题, 因为它将基带的第一个重复边带移至更高的频率上, 这样便允许使用较缓衰减斜率的滤波器。

1.1.3 量化

采样之后, 调制的脉冲序列被量化。在量化一个采样信号时, 采样的振幅被转换成一些阶梯



状变化的值,如图1-8所示。量化器决定量化间距的固定数据(Q 值的大小),每一个采样都位于其中,然后分配给它一个值来表示这个值的中心点。这样做的目的在于在脉冲编码调制中,每一个采样振幅都能由一个唯一的二进制数来表示。在线性量化中,每一个量化阶梯等同于信号电平的量,在二进制系统中,量化阶梯数等于 2^n 。这里 n 是指的二进制中的比特数,它用来表征每一个采样。因此,一个4bit转换器仅仅提供了 2^4 (16)个量化台阶,而一个16bit的量化器则可提供多达 2^{16} (65536)个量化台阶。

能够随时有效表示信号振幅的离散台阶的数目是有限的,所以在量化过程中会有误差产生。误差的最大值将为正负半个台阶的幅度,并且假如所表示的模拟电平保持不变的话,那么每个采样大量的比特数也将产生一个较小的误差。

图1-9所示的是在不同的分辨率下,数字音频信号所处的二进制数范围,通常使用2的补码形式表示。由图1-9可以看到,一个16bit信号最大的确定采样值是7FFF,同时最大的负值为8000。在其通过0V点时,采样值从全零(0000)变化至全1(FFFF),最大数字信号电平通常称为0dB FS(FS意为满刻度)。超过这个电平的信号被削波,导致了严重的失真,如图1-10所示。

最大正向信号电压	7F	7FFF	7FFFF
		正值	
0V	00	0000	00000
	FF	FFFF	FFFFF
		负值	
最大负向信号电压	80	8000	80000
	(a) 8bit 量化	(b) 16bit 量化	(c) 20bit 量化

图1-9 不同的分辨率下数字音频信号所处的二进制范围

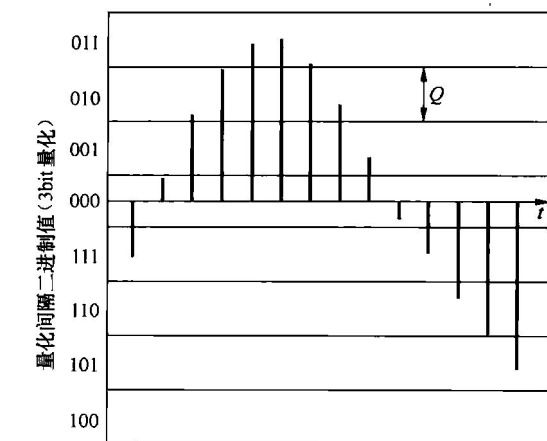


图1-8 量化时采样的振幅被转换成一些阶梯状变化值



图1-10 数字系统中超过峰值点电平的信号被削波情况

1.1.4 采样分辨率的可闻效果

量化误差可以认为是一个不想要的信号叠加在了想要的信号之上,如图1-11所示。根据它们的特性,不想要的信号可划分为失真或噪声,相关的音频信号的性质和电平很大程度上又决定了信号量化误差的性质。下面的几个例子通过图示的方法对16bit采样分辨率时数字域的清晰度进行了说明。

首先让我们考虑一个电平很低的正弦波信号,它被采样随后又被量化,其电平仅仅够让它在峰值的时候,使得量化器的最低有效比特开启或关闭,如图1-12(a)所示。这样一个信号会产生一个周期性的、与信号紧密相关的量化误差,导致了谐波失真。图1-12(b)