

高级音响师速成实用教程

中国录音师协会教育委员会 编著

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目（CIP）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编著．—北京：人民邮电出版社，
2007.7
ISBN 978-7-115-16088-1

I．高… II．中… III．音频设备—技术培训—教材 IV．TN912.2
中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 050810 号

内 容 提 要

本书系统讲解了高级音响师必须具备的数字音频知识以及相关设备的基本原理与音响设备的使用方法。书中主要包括数字音频技术基础、数字音频记录技术、数字调音台、数字音频工作站、CobraNet 技术、EASE 的原理与应用等，同时还介绍了音质主观评价和音响设备的维护方法。

本书是学习音响调音技术的一本很好的读物，既可供具有一定音响调音工作经验的读者阅读，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

- ◆ 编 著 中国录音师协会教育委员会
责任编辑 张兆晋
- ◆ 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 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 http://www.ptpress.com.cn
人民邮电出版社河北印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本：787×1092 1/16
印张：14.5
字数：354 千字 2007 年 7 月第 1 版
印数：1－5 000 册 2007 年 7 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-16088-1/TN

定价：26.00 元

读者服务热线：(010)67129264 印装质量热线：(010)67129223

音响师速成实用教程审定委员会

顾 问：李志荣

主 任：王庚年

副主任：高雨春

委 员：孙庆有 刘书兰 于纪凯

高级音响师速成实用教程编辑委员会

主 任：王明臣

副主任：陈洪诚

委 员：李大康 陈洪诚 王树森 郭 忱 韩宪柱
黄志强 高 剑 付永平 王 雷

前 言

随着我国文化娱乐事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 5000 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数十万人。作为一个新兴的职业，音响师越来越受到人们的青睐。

要成为一个合格的音响师，必须掌握相关的理论知识，并具有一定的技能技巧，诸如电工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实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，也只有在考取职业资格证书后才能具有上岗资格。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。

本套教程分三册出版，包括《初级音响师速成实用教程》、《中级音响师速成实用教程》和《高级音响师速成实用教程》。其中，《初级音响师速成实用教程》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》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做了比较详细的介绍；《高级音响师速成实用教程》以讲解数字声频技术为主，介绍了数字声频技术的发展和应用，数字声频设备的基本原理、使用和操作方法，以及正确判断音响设备故障、正确处理故障和维修的方法。

本套教程既适合音响调音工作的从业人员以及准备从事该行业工作的人员阅读，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。

对于书中的错误和不当之处，请广大读者批评指正。

中国录音师协会教育委员会

序

我们每人都有两只耳朵，正因为有了它，我们才能与他人交流、学习与娱乐，并从周围环境中获取信息，参与各种社会活动。在我们这个星球上，充满了各种各样的声音，形成了一个富有生命力的世界。假如世界上没有了声音，没有了语言，没有了音乐，成群的人们互不相识——则不可能形成社会，整个地球也将成为一个寂静可怕的死亡世界。

由于文明以及与文明相协调的技术的扩展，大大地增加和丰富了大自然的声音，产生了大量新的声源，从而使人类社会的生活更加丰富多彩。人类对声音的认识和理解能力，反映了其文化修养的进步程度。然而，有时候这些新的声波却强行进入人们的耳朵，丝毫不顾及人们的意愿，常常令人们难以忍受。这种巨大的噪声干扰不仅使人们心绪烦乱，严重影响人们的生活质量，甚至还会缩短人们的生命。

如何有效地控制和利用声音更好地为人类服务，同时与噪声作斗争，是每一位声频技术工作者的光荣任务。要完成这个光荣的任务，就要求我们每一位声频工作者不但要具备数学、物理学、电声学、乐理学等方面的知识，而且还要了解生理声学和心理声学等相关学科的知识。每一位声频工作者都应当成为一个技术与艺术相结合，理论与实践相统一的综合性人才。但遗憾的是，目前在这方面合格的人才还不多，教育和培养这方面的人才已是当务之急。

编写这套书的专家教授们，也是广播影视业的行家。他们具有从事声频技术与教育工作所需的专业品质，在编写这套书的过程中也展示了他们的才干。作为一个在广播影视各个岗位都工作过的业者，我衷心地推荐这套书，并希望广大读者在阅读本书的时候能对这种品质有一种亲身的感受。让我们同心协力，为创造一个美好的声音环境，为我们在整个地球上到处可以听到美妙的声音而努力。

王 庚 辛

2007 年 4 月

目 录

第一章 数字音频技术基础	1
第一节 A/D 转换	1
一、采样	1
二、滤波和混叠	3
三、量化	5
四、采样分辨率的可闻效果	5
五、高频颤动的使用	7
六、高频颤动的种类	9
七、A/D 转换中的过采样	10
八、A/D 转换中的噪声整形	10
第二节 D/A 转换	11
一、基本的 D/A 转换	11
二、D/A 转换中的过采样	12
第三节 音质与采样率和分辨率之间的关系	12
一、心理声学限制	12
二、采样率	13
三、量化分辨率	14
第四节 数字化处理的相关问题	16
一、时基抖动及对转换器的影响	16
二、改变音频信号的分辨率（再量化）	17
三、动态范围扩展	18
四、误码校正	18
第五节 数字音频信号处理	19
一、电平控制	19
二、交叉渐变	19
三、调音	20
四、数字滤波器和均衡	20
五、数字混响和其他效果	21
六、动态处理	22
七、采样率转换	22
第二章 数字音频记录技术	24
第一节 数字录音带（DAT）	24
一、DAT 盒式磁带的构造	24
二、DAT 模式的分类与特点	25

三、DAT 硬件设计的基本方案	26
四、磁道上的记录格式	28
五、DAT 的方位记录与自动磁道跟踪	29
六、8-10 调制码记录方式	31
七、DAT 的纠错编码	32
八、DAT 的时间码	33
第二节 DVD	34
一、概述	35
二、DVD-Video	37
三、DVD-Audio	40
第三节 MP3	44
一、MP3 机的特点与主要性能	44
二、MP3 播放机的工作原理	45
三、MP3 播放机的使用	47
第三章 数字调音台	50
第一节 调音台的种类与特点	50
一、按信号处理方式分类	50
二、按用途分类	50
第二节 数字调音台的基本结构与功能特点	51
一、数字调音台的基本结构	51
二、数字调音台的功能特点	52
第三节 数字调音台的应用	53
一、D8B 数字调音台概述	53
二、D8B 操作台后背板	57
三、D8B 主机	61
四、D8B 操作台面板	63
五、D8B 的操作软件	78
六、数字效果处理第三方插件	84
七、D8B 的实际应用	89
第四章 M I D I (乐器数字接口)	93
第一节 MIDI 的硬件	93
第二节 MIDI 信息的组成	95
一、通道信息	95
二、系统信息	97
第三节 MIDI 制作系统中的设备	98
一、概述	98
二、MIDI 键盘合成器	99
三、音源	101

四、鼓机	102
五、MIDI 音序器	102
六、MIDI 效果器	103
第四节 MIDI 设备在录音中的应用	103
第五节 电脑音乐系统	104
一、电脑音乐系统的组成	104
二、电脑音乐系统在音乐节目制作中的应用	105
第五章 数字声频工作站	107
第一节 数字声频工作站的构成	107
一、专门的系统	107
二、以桌面计算机为基础的系统	108
第二节 数字声频工作站的声频处理	109
一、大容量存储媒体声音的记录原理	109
二、多声道记录和重放	113
三、声频编辑	117
四、时基和同步	123
五、变速操作	125
六、工作站中的 DSP	126
第三节 文件格式及数据交换	128
一、声频文件格式	128
二、开放媒体构架交换 (OMFI)	133
三、CD 预母版格式	134
四、数字声频接口	135
五、数字信号同步	143
六、网络	147
第四节 数字声频工作站中的视频技术	154
一、数字视频基础	154
二、视频数据压缩	156
三、MPEG 和 JPEG	158
四、桌面视频系统	159
五、用于声频工作站的数字视频选件	159
六、SMPTE/EBU 时间码	160
七、丢帧时码格式	161
八、时码的处理	162
第六章 CobraNet 技术	163
第一节 CobraNet 设备的类型	163
一、只用于作信号传送	163
二、用于信号输入、信号处理、信号输出	163

第二节	CobraNet 技术的应用	164
一、	CobraNet 技术的应用范围	164
二、	CobraNet 以太网的使用	164
三、	使用网络交换机作为 CobraNet 的网络交换设备	164
第三节	以太网与 CobraNet 的数据帧结构	167
一、	MAC 数据帧结构	167
二、	数据包结构	168
第四节	大容量数据与 CobraNet 网络优化	170
一、	生成树协议 (Spanning Tree) IEEE 802.1d	170
二、	干线生成协议 IEEE 802.3ad	171
三、	VLAN 的应用 (IEEE 802.1q)	172
第五节	简单网络管理协议	173
第六节	Conductor 与 BuddyLink	176
一、	Conductor	176
二、	BuddyLink	176
第七章	EASE 的原理与应用	178
第一节	EASE 的基本概念	178
一、	什么是 EASE	178
二、	EASE 软件研究与发展的过程	178
三、	EASE 的主要功能	179
第二节	利用 EASE 软件创建房间模型	179
一、	启动 EASE	179
二、	创建房间模型	180
三、	加上听众区	181
四、	加上听众坐椅	181
五、	加载扬声器和墙面吸声材料	182
第三节	利用 EASE 软件建立电声学模拟	182
一、	选择扬声器	182
二、	确定扬声器的瞄向	182
第四节	EASE 工程项目的检查与修正	183
一、	工程项目的一般检查	183
二、	声场特性的检查与修正	183
三、	声音质量效果的检查	185
第八章	音质主观评价	188
第一节	音质评价的意义与评定方法	188
一、	音质评价的意义	188
二、	音质评价的术语	188
三、	评定小组的组成	189

四、评定方法	190
第二节 审听室的技术性能	194
一、容积	194
二、各边比例	194
三、混响时间	194
四、噪声级	194
五、审听人员的位置	195
六、审听区内的声级和传输频率特性	195
七、审听室内吸声材料的布置	196
八、其他干扰	196
九、灯光	196
十、室内气候条件	196
十一、室内颜色	196
第三节 评价用电声设备的技术要求	196
一、磁带录音机	196
二、调音控制台	197
三、功率放大器	197
四、监听扬声器箱的声学特性	198
五、耳机的特性	198
六、CD 唱机	198
七、家用监听系统	198
第九章 音响设备的使用与维修	199
第一节 音响设备的使用	199
一、正确进行系统配置与连接	199
二、养成正确的开机关机顺序习惯	199
三、防止声反馈引起的啸叫	199
四、晶闸管干扰及防止措施	202
五、避免损坏扩音机和扬声器的措施	204
第二节 扩声系统设备故障检修的基本方法	204
一、直接观察法	205
二、测量电压法	205
三、测量电阻法	205
四、器件替代法	206
五、波形观察法	207
六、触击检查法	207
七、模拟检查法	207
八、电路分割法	208
九、在线测量法	208
十、短接旁路法	209

第三节 系统设备常见故障的检修程序 209
 一、无声故障 209
 二、电源故障 210
 三、扬声器故障 212
 四、主放大器故障 212
 五、立体声设备一个声道故障 215
 六、AV 放大器及调音台常见故障 215
 第四节 音响系统故障维修实例 216

第一章 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 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数字信号处理 (DSP) 后，被编码并且存储起来，或者被传出去。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。

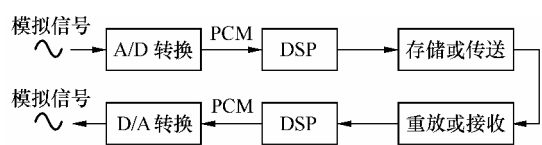


图 1-1 数字音频系统基本结构框图

第一节 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。

一、采样

模拟的音频信号是在时间上连续的电信号，而模数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。

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。

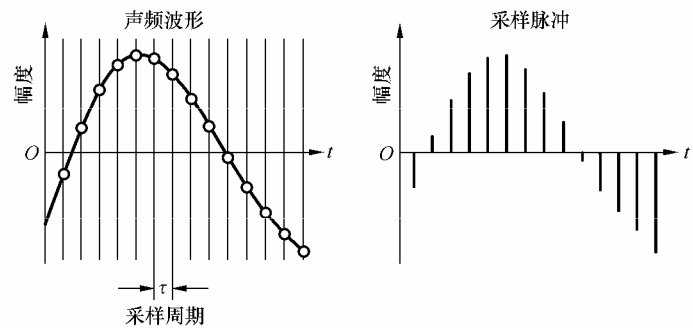


图 1-2 任意音频信号以规律的时间间隔被采样

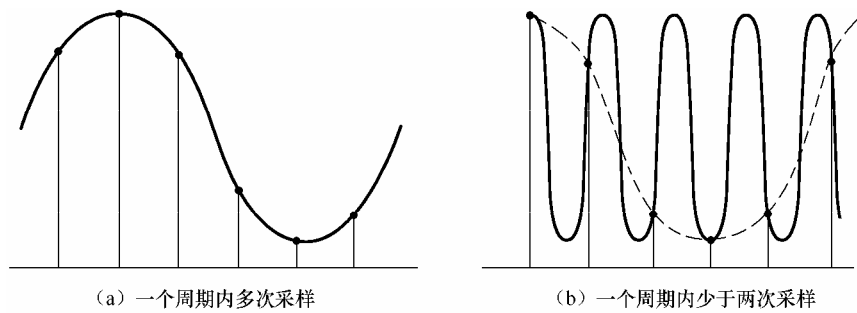


图 1-3 每一音频周期必须至少得到两个采样

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

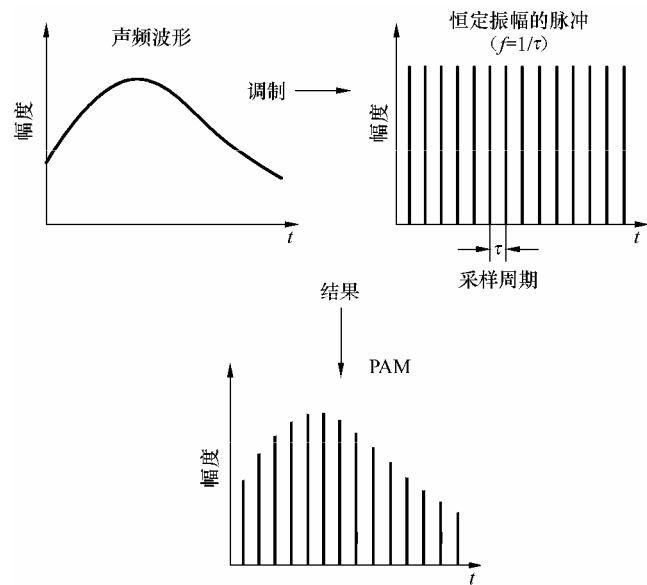


图 1-4 放在脉冲振幅调制下的采样

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

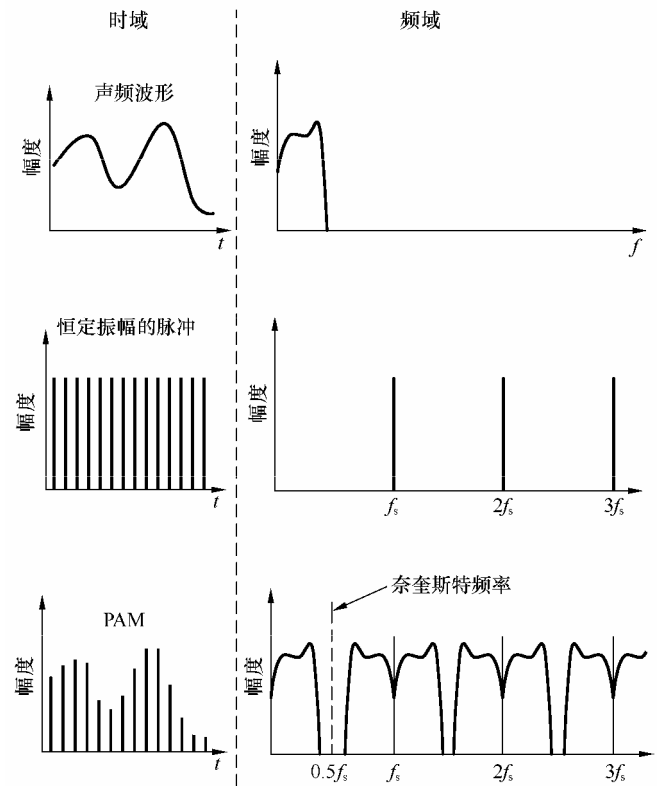


图 1-5 调制信号的频谱

二、滤波和混叠

从图 1-6 中可以相对容易地看出，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音频范围之上，而在第二个例子中，一个较高的频率产生了较低的采样的边带，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“轮幅”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。

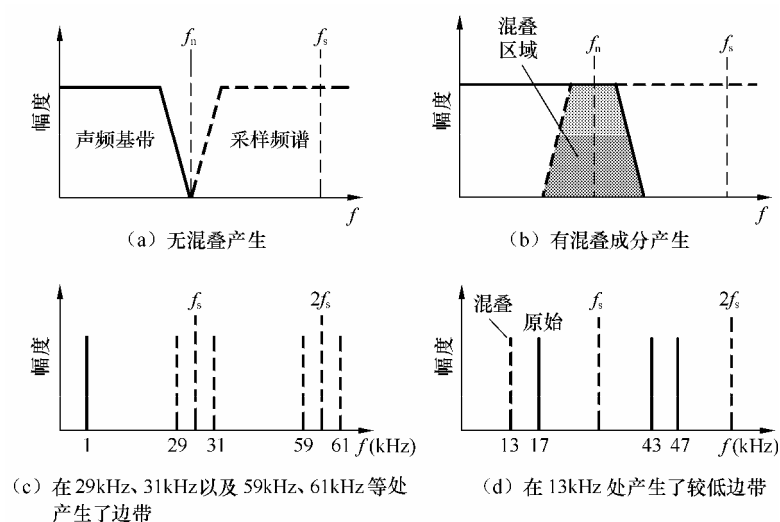


图 1-6 在频域内观察的混叠

在数字录音中，如果允许一个声频信号产生混叠，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声频信号进行滤波，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。

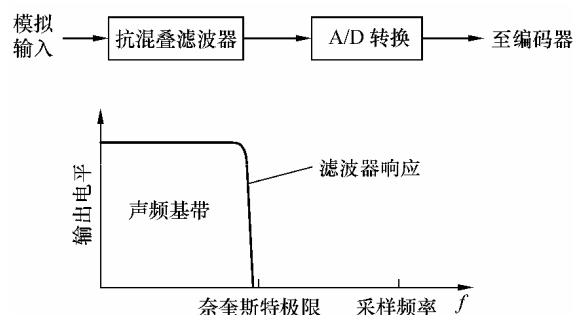


图 1-7 在转换前使用模拟的抗混叠滤波器滤去输入信号中超过奈奎斯特采样频率的成分

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。

过取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。

三、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增量，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 $2^4(16)$ 个量化步阶，而一个 16bit 的量化器则可提供多达 $2^{16}(65536)$ 个量化步阶。

能够随时有效表示信号振幅的离散步阶的数目是有限的，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步阶的幅度，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 表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 信号最大的确定的采样值是 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。

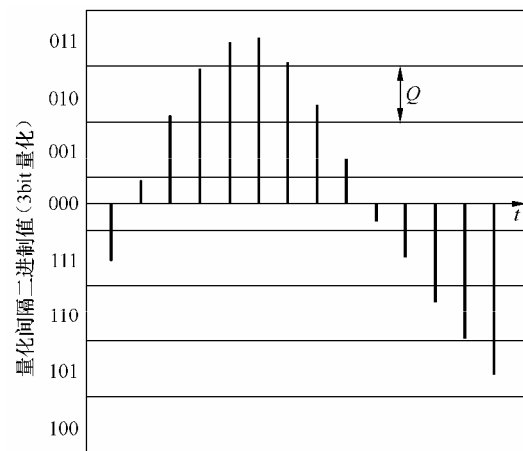


图 1-8 量化时采样的振幅被转换成一些阶梯状变化值

最大正向信号电压	7F	7FFF	7FFF
		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

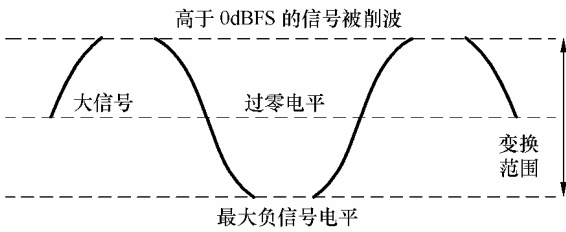


图 1-10 数字系统中超过峰值点电平的信号被削波情况

四、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，相关的声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。

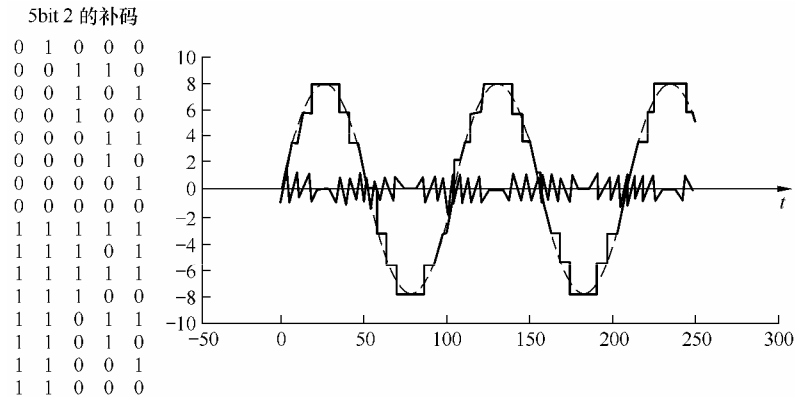


图 1-11 量化误差被加在原始采样值上

首先让我们考虑一个电平很低的正弦波信号，它被采样随后被又量化，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[见图 1-12 (a)]。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) 为该信号的频谱分析，它清楚地表明在原来的基础之上所产生失真的成分（偶次谐波占主要地位）。一旦信号降至开启 LSB（最低有效位）的电平之下，也许就没有调制了。因此，将一个信号衰减至无声，反映在听觉上的效果就是一个逐渐增加的失真信号突然消失。如正弦波信号电平较高则会越过更多的量化间隔，并产生更多的非零采样值。随着信号电平增加，量化误差最大值仍然是 $\pm 0.5Q$ ，但占整个信号电平的比例逐渐减小，同时误差也逐渐与信号失去相关性。

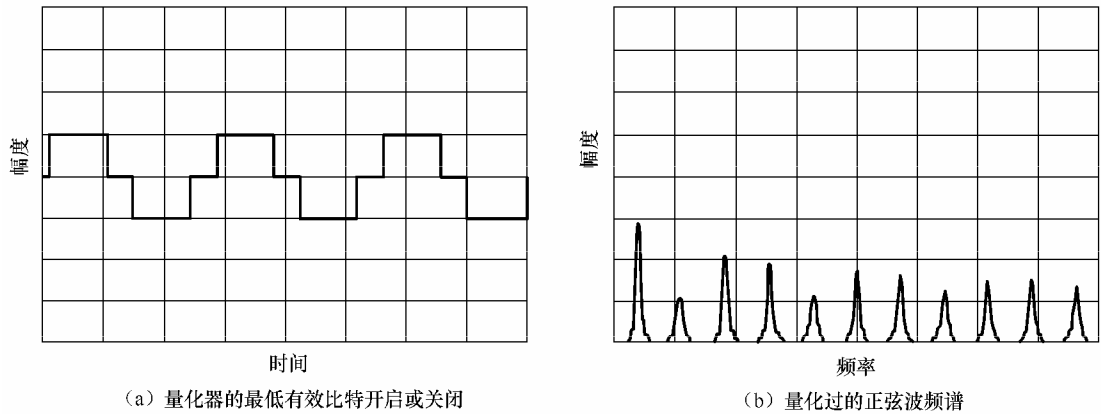


图 1-12 电平很低的正弦信号被采样随后又量化情况

现在考虑一个有合理高电平的音乐信号，它的振幅以及频谱特征变化很大，因此其量化误差有着随机的特性。换句话说，这更像噪声，而非失真，因此经常用量化噪声来描述由量化误差所造成的听觉上的效果。分析量化误差的功率时，假定它有类似于噪声的特性，表明它有 $Q/\sqrt{12}$ 的均方根振幅，这里 Q 是用一个量化间隔来表示电压增量。所以一个理想的 n

- 6 -