

吴龙章 裘洲龙◎编著

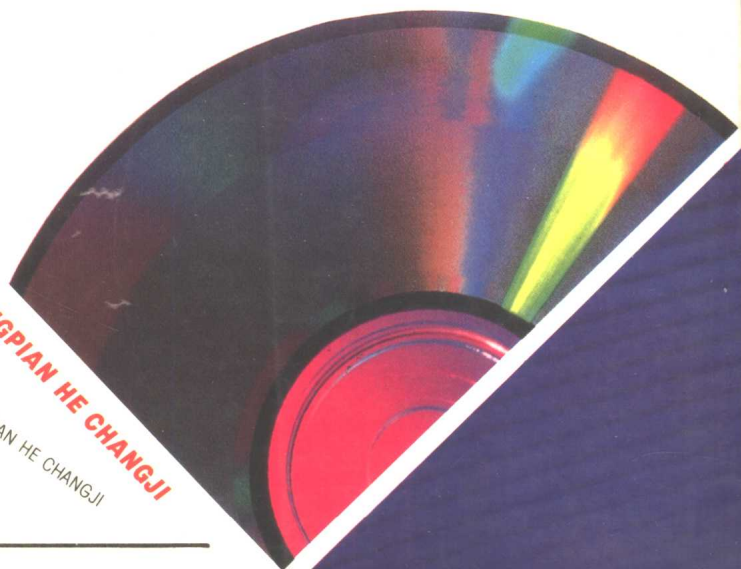
CD数字音频

唱片和唱机



CD SHUZI YINPIN CHANGPIAN HE CHANGJI

CD SHUZI YINPIN CHANGPIAN HE CHANGJI



上海科技教育出版社

CD 数字音频唱片和唱机

吴龙章 裘洲龙 编著

上海科技教育出版社

TN912.2/26

CD 数字音频唱片和唱机

吴龙章 袁洲龙 编著

上海科技教育出版社出版发行

(上海冠生园路 393 号 邮政编码 200233)

各地 **新华书店** 经销 上海联合科教文印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 6.375 插页 5 字数 160000

1996 年 6 月第 1 版 1996 年 6 月第 1 次印刷

印数 1—1500

ISBN 7-5428-1177-0/T·7

定价:10.20 元

0.82元

前 言

随着 CD(Compact Disc)技术的迅速发展,CD 唱片和唱机已经逐步地进入家庭。它的出现,对于我国音象制品的发展、丰富人民的文化生活起了积极的作用。目前,CD 已不局限于数字音频唱片这一品种,它正朝着音象和数据存贮等方面发展,成为记录声音、图象和数据信息的新媒体。

CD 唱片和唱机是一种集数字技术、超大规模集成电路技术、超高密度记录技术、精密伺服技术和激光技术等高新技术为一体的产品。本书的前半部分着重介绍了声音的记录和重放、数字唱片的基本原理、CD 唱片的制造工艺及其发展过程。本书的后半部分围绕 CD 唱机的构成,着重介绍其各个部分的基本原理,并结合实际,对 CD 唱机的各个部分作出详尽的分析。为了便于读者选购和使用 CD 唱片和唱机,本书还以较大的篇幅介绍了 CD 唱片的选购和使用,以及 CD 唱机的操作和维修等方面的基本知识和经验。

在编著本书的过程中,承蒙有关人员的支持和合作,在此一并表示诚挚的谢意!

由于时间和水平所限,错误之处在所难免,热忱欢迎广大读者给予批评指正。

编著者

1993 年春于上海

目 录

第一章 数字技术基础	1
1.1 数字技术概况	1
1.2 声音信号的数字化	2
1.3 数字信号的记录和重放.....	11
1.4 数字音响的特点	17
第二章 CD 唱片	20
2.1 CD 唱片的特点	20
2.2 CD 唱片记录的数字信号	24
2.3 CD 唱片的刻录	32
2.4 CD 唱片的复制	37
第三章 CD 唱片的各种衍生制式	46
3.1 CD-ROM(Read-Only Memory 只读存储器).....	46
3.2 CD-I(Interactive 交互式).....	49
3.3 CD-V(Video 影像)	52
第四章 半导体激光器	53
4.1 半导体激光器.....	53
4.2 激光拾音器的工作原理与结构.....	58
4.3 检测伺服误差信号的光学系统.....	64
4.4 控制技术.....	70
4.5 半导体激光的安全标准.....	72
第五章 光学伺服和驱动机构	73
5.1 聚焦伺服.....	73
5.2 循迹伺服机构.....	76

5.3	给进伺服机构	79
5.4	主轴电动机伺服	81
5.5	驱动机构中的浮动装置	84
5.6	驱动机构的小型化技术	85
第六章	CD 唱机重放的信号处理及它的随机存取功能	88
6.1	CD 唱机重放信号概况	88
6.2	CD 唱机重放的信号处理	92
6.3	随机存取的基本概念	100
6.4	随机存取的功能动作	106
第七章	CD 激光唱机的音频特性及其测试方法	110
7.1	音频特性的测试	110
7.2	音频特性与音质的关系	113
7.3	部件与音质的关系	116
7.4	CD 唱机的测试方法	121
第八章	CD 唱机的使用与维修	127
8.1	CD 唱机的种类	127
8.2	CD 唱机的使用	132
8.3	CD 唱片的选购和使用	136
8.4	CD 唱机的操作键及其功能	138
8.5	CD 唱机的操作说明	141
8.6	激光拾音器的维修	142
8.7	CD 唱机的调整	145
8.8	CD 唱机故障的检查与排除	148
附录 1		163
附录 2		167
附录 3		187

第一章 数字技术基础

1.1 数字技术概况

1937年,Reeves 发明了 PCM(pulse code modulation)技术后,在实用化的基础上,1948年 Bardeen 又发明了半导体器件,其后在半导体技术的飞速发展的基础上,PCM 技术首先在通讯领域内实用化,并且实现了用 PCM 录音的调频广播。

一方面,当旋转扫描的磁带录象机刚进入实用化后,1967年,日本 NHK 广播电台首先研究试制成功旋转磁头方式的 PCM 录音机(即 R-DAT 的雏型)。随之几年后,日本哥伦比亚公司首先推出应用 PCM 录音技术制作密纹唱片原版用的磁带,并制造了大量的唱片。同时,随着家用录象机的普及,国外许多生产厂商都在开发利用磁带录象机的 PCM 附加器。1979年,日本机械电子工业协会首先提出了家用录象机的标准,并组织了对专用的大规模集成电路的开发,1980年首先推出使用 L 型盒带的 PCM 录音机,1981年又推出使用袖珍盒带的 PCM 录音机。

1982年12月日本 SONY 公司首先实现了小型化的旋转磁头方式的 DAT(digital audio tape),次年的6月 DAT《恳谈会》成立,先后制定了小型化的盒式录音机的 DAT 标准和专业用的固定磁头方式 DAT 的标准,提出了 DASH 形式。1986年6月《恳谈会》正式公布了固定磁头方式的 DAT 标准。

在数字技术的发展初期,除了信号的磁记录和光学记录以外,在信号的传送和处理技术上也不断地得到应用和发展,日本 NHK

首先在主录音机上使用 PCM 处理器制作调频节目,并于 1978 年 9 月实现调频立体声节目的数字传送。之后,日本 SONY 公司在数字信号的处理方面先后发表了取样频率变换器、量化比特变换器和混响附加装置。

近年来,数字技术在立体声传送系统和视频广播方面也已经进入实用化阶段。

1.2 声音信号的数字化

1.2.1 模拟信号和数字化信号

声音信号通过话筒(传声器)等音响设备变成一种电信号,如图 1-1 所示,它是一种振幅在时间轴上连续变化的模拟量。

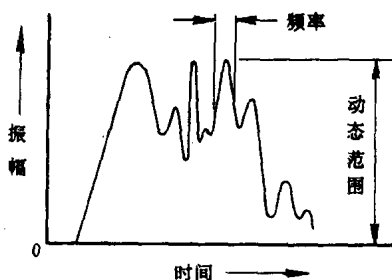


图 1-1 振幅随时间连续变化的模拟信号

存在于自然界的各种声音,无论在时间轴方向(频率变化),还是在振幅轴方向(强弱变化)都是没有什么限制的。如果要真实地传递自然界的一切声音,最好是让其频带和动态范围(强弱变化的幅度)都无限大。但实际上这是完全不可能的,而且声音都是通过人耳听见的,人耳听觉的最高频率一般为 20kHz,对强弱变化的要求大约也只有 120dB 的跟随能力。

一般讲,性能最好的话筒,其高频响应最大值约为 20kHz,能保证有 100dB 的动态效应就已经十分满意了。但是,人们总是希望声音信号能尽量地保持不失真地(或少失真地)进行记录、重放。遗憾的是,在模拟信号系统中,即使是高级的 Hi-Fi 系统,声音信

号通过记录和重放,总是或多或少地由于通道记录和重放系统而引起原声音信号的失真。就磁记录而言,近年来努力改进磁带带基和磁性材料以及记录磁头的性能,力求提高最大记录电平和降低噪声电平。尽管如此,由于始终没有离开模拟记录的范畴,要获得更高质量的记录和重放是十分困难的事情。

将数字信号用于传送、记录或重放,不仅使各种音响设备获得比原有的模拟信号或设备具有更高的技术性能,而且还具有模拟信号音响不能达到的新功能,从本质上解决了模拟信号所无法解决的问题,使声音信号的记录和重放进入了一个崭新的时代。

数字信号和模拟信号相比,有许多明显的优点。

(1) 信号噪声比与连续处理的次数无关。音频信号经过数字处理后,是用若干位二进制的两个电平值来表示的,因而在连续处理的过程中或在传输中即使引入了噪声,但只要能够识别出二进制的电平值,就可以正确无误地再生出原有的信号,而完全不会降低原有的信噪比。而模拟音频信号在处理和传输过程中都有可能引入新的噪声信号,为了获得足够高的信噪比,就必须对各种处理设备提出较高的信噪比的要求。譬如一个 60dB 增益的音频放大器,即使从器件的选择到电路程式的确定都是精雕细刻,但是其信噪比也很难达到 70dB,而 CD 唱片系统的信噪比大于 90dB 已属平常了。

(2) 传送、记录、存贮设备的非线性(其中包括幅度、相位、互调、瞬态等)失真对模拟信号的叠加影响,尤其瞬态互调失真几乎是致命的。因为它是原理性的失真,在模拟系统中是很难采取有效措施的。而数字信号与设备自身的非线性无关,与系统增益大小无关。一个分辨率为 16bit 的 CD 唱片系统,其非线性失真 $\leq 0.005\%$ 。

(3) 模拟信号系统的设备,考虑到器件、电源等因素,其动态范围是有限的。记录大型交响音乐的密纹唱片,信号被压缩到

65dB 左右,而在实际中,最大音乐动态可高达 90dB 以上。数字信号在设备中却是“畅通无阻”,动态大于 90dB 以上,而且有更加平直的频率响应。

表 1-1 模拟信号和数字化信号的比较

项 目 \ 信 号	模拟信号	数字信号
电平方向	连 续	离 散
时间方向	连 续	离 散
对应实际信号	直 接	间 接
计 算	困 难	容 易
记 录	困 难	容 易
噪音的影响	有	无

(4) 模拟信号在传送、记录、存贮过程中容易受到外界信号的干扰。一些低电平设备的屏蔽处理几乎是至关重要的必备措施,甚至于要求采用多种多层屏蔽或其他措施。而数字信号的抗干扰能力强。

(5) 此外,采用数字信号可以实现设备的自动化操作和调整。现代微处理机的迅速发展和大容量存贮器的研制成功,导致数字信号存贮容易,而且存贮质量与存贮持续的时间无关。

但是,数字信号在系统处理过程中又带来新的技术难题,这就是:

(1) 数字信号在传送、记录、存贮中必须要更宽的频带,往往要比模拟信号高出两个数量级。例如:一个中高档的立体声节目,其传送速率为 1.24Mbit/s,而相应的频带宽是 1.24MHz。实际上,由于截止频率的相位特性使 PCM 信号失真,解调后丢失部分信号成分,所以通常要取 2~4MHz 频带宽。

(2) 在数字信号处理加工过程中,不能直接监听,给录音师和操作人员带来不便。

(3) 目前数字音频设备的成本仍然较高,维护工作也需要较高的技术水平。

随着数字音频技术的发展,音频设备的数字化是必然趋势,而上述的技术难题将会得到解决。

1.2.2 模拟音频信号的数字变换

对于一个随机的模拟音频信号,它是很难用数字式来表达的。但是,模拟信号冲激脉冲的理论分析为我们将模拟信号的离散化提供了理论依据。一个任意波形的模拟信号 $x(t)$,它可以分解成一组等效的分量脉冲。如图

1-2 所示,在这里设分量脉冲的宽度为 T ,高度是它的初值 $x(nT)$ 的话,这样,每个分量脉冲的面积就是 $x(nT) \cdot T$;显然,任何一组模拟的音频信号 $x(t)$,它都可以用一组阶跃的脉冲数列来逼近,这个阶跃脉冲的重复频率,通常就称为取样频率,它直接决定了音频系统的频带宽,这是根据奈奎斯特(Nyquist)定理来决定的。

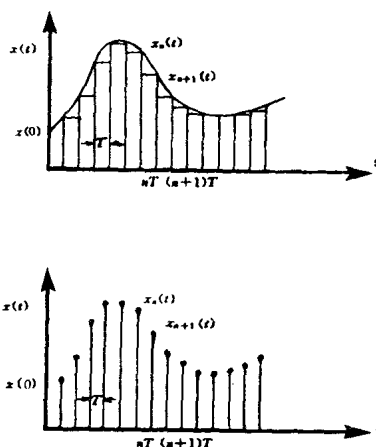


图 1-2 模拟音频信号的
等效分量脉冲

奈奎斯特取样定理告诉我们,对于具有最高频率为 f_0 的模拟音频信号,取样频率必须大于或等于 $2f_0$,阶跃脉冲才能准确地恢复为原模拟信号。因此,当取样信号为 $x(nT)$ 时,频率为 $\frac{1}{2}T$ (Hz) 的原模拟信号 $x(t)$ 如下式所示,式中 n 为整数, T 为取样周期。

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(nT) \cdot \frac{\sin \frac{\pi}{T}(t-nT)}{\frac{\pi}{T}(t-nT)} \quad (1-1)$$

式(1-1)表明,若用满足取样定理的取样信号 $x(nT)$ 去恢复模

拟信号,只要把内插函数 $\frac{\sin \frac{\pi}{T}(t-nT)}{\frac{\pi}{T}(t-nT)}$ 与 $x(nT)$ 进行加权和。

实际上,借助没有幅度变化的脉冲序列和理想的低通滤波器是不能实现解调的。若在取样时频率限制不够充分的话,则在取样的信号中会出现频谱的重叠。此时,即使用 $\frac{T}{2}$ 带宽的低通滤波器去滤除调制频谱,但在基带频谱中仍含有谐波的调制频谱。因此,恢复的模拟信号就会有失真,如图 1-3 所示,这就是通常所称的混叠失真。

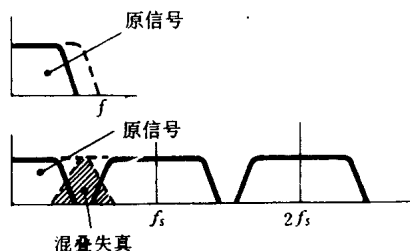


图 1-3 频谱重叠引起混叠失真

叠失真。

通常,取样频率不可能无限制地提高,也就是说,取样点是有限的,取样时间间隔是有限的小。因此,一个模拟信号的取样轨迹就不可能完全逼近实际的模拟信号,高频端就显得更加

明显。即使是取样频率为最高频率上限的 2 倍,但对一个 20kHz 的高频信号,在其一个周期里亦仅两次取样。另外,由于取样脉冲的不均匀(即取样脉冲周期的跳动),这种高频脉冲实际上是一种叠加在输入信号中的随机噪声。

取样值一般采用几个离散的振幅值来量化,同时,把这几个振幅值用脉冲数字信号来变换,这种变换一般均采用二进制的模数变换器来进行的,即分层处理方法。其层次 $N=2^n$, 这里表示有 N 个不同的量化电平值, n 是量化 bit 数。显然采用的 bit 数越高,分

层的层次就越多,所取的量化电平值就越高。由于在量化过程中,确切地讲,就是在分层处理中,不可避免地出现因化整而造成的误差,这个误差电压为输入模拟信号与已量化信号的差值,这个误差电压在数字信号处理过程中称为量化噪声,它直接决定了脉冲编码调制的动态范围,量化和量化噪声如图 1-4 所示。

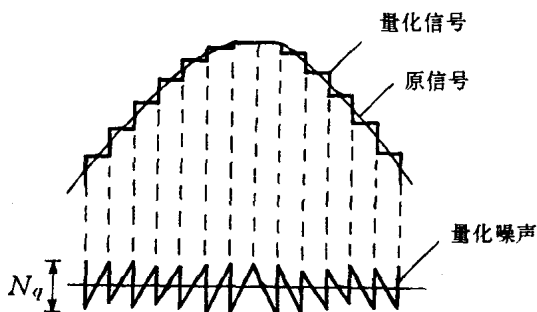


图 1-4 量化和量化噪声

在均匀量化的情况下,如输入信号的振幅为 E ,量化阶跃(即分层电压)为 $E_q = \frac{E}{N-1}$,则最大的量化误差就是 $\pm \frac{1}{2} E_q$,那末,量化噪声电平为:

$$N_q = \frac{2}{E_q} \int_0^{\frac{E}{2}} x^2 dx = \frac{1}{12} E_q \quad (1-2)$$

假定输入信号是幅值为 E 的正弦波,信号电压为:

$$S = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left(\frac{E}{2} \sin x \right)^2 dx = \frac{E^2}{8} \quad (1-3)$$

那末,信号电压和量化噪声电压之比为:

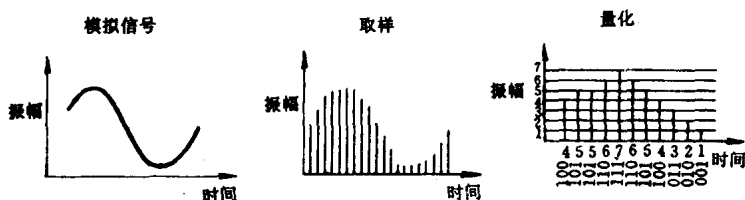
$$\frac{S}{N_q} = \frac{\frac{E^2}{8}}{\frac{E_q^2}{12}} \approx \frac{3}{2} N^2 \quad (1-4)$$

因此,其动态范围是:

$$D = 10 \log_{10} \left(\frac{S}{N_q} \right) \approx 10 \log_{10} \left(\frac{3}{2} N^{2n} \right) \approx 6n + 1.76 (\text{dB}) \quad (1-5)$$

在量化过程中,量化噪声总是不可避免的,它是在信号存在时出现的一种失真,是一种经量化的值与原信号值之间的差异而产生的失真。其频谱结构随着量化幅值的增加而变得复杂,若产生在几个 bit 以上时,将被看作为白噪声,但在小振幅时,即使是增加量化 bit 数,也会出现一种与输入信号相关的严重失真。

以上我们分析了模拟音频信号数字变换的基本原理,所谓音频信号的数字化,就是把振幅随时间连续变化的信号,用离散的值来表示其模拟量的一种方式。如图 1-5 所示,输入的模拟信号在某一个等时间间隔上读出其每一个信号的幅值,经过这一取样,在时间轴上使连续的信号离散化。接着把各个取样值进行分级整取,这个过程就是量化。最后把这些整数值的二进制数,用脉冲电平“0”或“1”来表示,这个过程又称为编码。模拟音频信号变换为数字信号一般都要经过上述三个过程,而且这三个过程几乎是同时进行的。



·图 1-5 模拟音频信号的数字变换过程

1.2.3 音频信号的数字编码

音频信号数字化之后能否达到预定的电声性能要求呢? 这是必然要提出的问题。

数字化后,电声性能主要取决于参数的选择,如上节所述,数

字化的主要参数是取样频率和每个取样(即一个分辨率)要用几位(bit)数码来表示。在确定参数时,必须将客观的指标与电声性能的主观评价联系起来,这一点与模拟音频系统确定技术指标的方法是一致的。

1.2.3.1 取样频率的确定

按照奈奎斯特定理,最小取样频率至少等于或高于信号频率分量的两倍,为了使带限滤波器容易实现而又不过分地浪费频带,往往是取样频率稍大于临界取样频率,同时还要考虑与传送信道或记录设备的连接方式。

例如:对于最高频率为 15kHz 的声音广播,考虑到与取样频率为 8kHz 的数字通讯系统的接口,它的取样频率定为 32kHz (8kHz 的整数倍)是合理的。同样,对于更高质量音乐节目的广播,或者作为音乐节目的制作、加工处理及进行变换时,其最高频率达 20kHz,取样频率一般都选用 48kHz。

对于数字录音机来说,取样频率 f_s 的确定是比较复杂的,既要考虑到声音信号的上限频率,又要兼顾到以视频为基础的系统的兼容性,同时在 TV 标准中,525 行的 NTSC 制和 625 行的 PAL 制,其行频分别是 15.750kHz 和 15.625kHz,所以取样频率一般用下式来计算:

$$f_s = L \cdot \frac{m-x}{m} \cdot f_H \quad (1-6)$$

式中, L 为一行中的取样字节;

x 是每帧消隐后的行数;

m 为每帧扫描线数;

f_H 为行频。

考虑到上述的各种因素,如在旋转磁头的数字录音机系统中,其标准的取样频率为 48kHz。由此,它的转换速度(时间)是 $1/48\text{kHz} = 20\mu\text{s}$,对双声道而言,其转换速度约为 $10\mu\text{s}$ 。因此,在

CD 唱片和 PCM 处理设备的接口上,使用 44.1kHz 的取样频率,对 20kHz 这个频率来说是最经济的,同时和 TV 信号又有一个简单的同步关系的值。

1.2.3.2 量化信噪比和动态范围的估算

根据线性量化器的转移特性来分,有中心台面型和中心升高型两种,它们的差别在于对微弱信号的量化差别,中心升高型将很微弱的输入信号变为零交叉波输出,在数字音响领域,大多数使用这一类型的量化器。

当线型量化器的输入信号为正弦信号时,其满载量化信噪比为 $\frac{S}{N_q} \approx \frac{3}{2} N^2$, 动态范围是 $D \approx 6n + 1.76(\text{dB})$ 。很清楚,每增加一个量化 bit,信噪比和动态范围就提高 6 dB。因此,对于采用 16bit 量化的数字音频磁带的传送速率为 $16 \times 2 \times 48\,000 = 1\,536\,000 \text{ bit/s}$,即相当于 1.536MHz 的带宽。也就是说,对于数字音响设备,要求其带宽应大于 1.5MHz,而与模拟音响设备的上限频率 20kHz 相比,它要求使用高密度信息的记录媒介。

对于广播电台高质量的声音广播,要求信噪比大于 75dB,如果还允许四次转换,损失达 6dB,那末,编码器的信噪比必须大于 80dB,因此要求采用 14bit 以上的量化 bit 数。

在 CD 唱片系统中,其取样频率为 44.1kHz,采用 16bit 线性量化时,其传送带宽约为 1.41MHz,这时信噪比和动态范围大于 96dB。

1.2.3.3 瞬时数据压缩

为了获得高的信噪比和大的动态范围,要求量化 bit 数很高。bit 数越高,要求传送信道的带宽越宽,这在信号带宽一定的情况下,传送容量就下降。在 PCM 通讯中,往往采用的是压缩编码的方法。高质量的声音广播以及专业或家用的音响设备,其频率特性、信噪比、动态特性都比数字通讯设备的要求高得多,这既要提

高小信号时的信噪比,又不能过多地降低大信号时的信噪比。

瞬时压缩方法正是针对小信号时高位“0”码多,将其弃之不传,而在大信号时,低位码的影响又较小,适当地舍去末尾的若干bit,这样做对小信号的精度和信噪比并无影响,而对信噪比较高的大信号来说,适当地降低一些也是允许的。瞬时数据压缩技术目前仅用于PCM声音广播,它把14bit码组压缩为10bit来进行传输。

1.3 数字信号的记录和重放

本节着重论述模拟-数字、数字-模拟转换的实现以及它的主要性能指标。

1.3.1 模拟-数字转换器

模拟-数字转换类似我们日常生活中的度量衡。平时我们用尺(m)来量一段布料(模拟量),量下来的次数(数字量)譬如为七次,即这段布料等于7m,实现了模数转换。再如我们通常用法码在天平上和被测物体重量(模拟量)进行比较,平衡后,单位重量法码的个数(数字量)是一个1000g的,即该物体的重量=1000g,同样实现了模数转换。

如前所述,音频信号的数字转换包括三个过程:即取样、量化和编码,而且三者是同时进行的。用两倍(或大)于模拟信号最高频率的窄脉冲,对输入模拟信号在时间轴向进行取样时,为了对这一取样的幅值信息进行分层判别,要求在下一个取样脉冲到来之前,把这个幅值信息保持一段时间。通常,把实现取样和保持这一过程作为一个整体,通称为取样保持电路。

取样保持电路如图1-6所示,由开关 K 和保持元件电容器 C 组成。每当取样时,开关 K 闭合,这时输出信号就是输入信号。在取样瞬间,输入模拟信号立即向电容器 C 充电(充电时间足够