

A/D、D/A 转换器接口技术 与实用线路

杨振江 编著



● 西安电子科技大学出版社

A/D、D/A 转换器接口技术 与实用线路

杨振江 编著

西安电子科技大学出版社

1996

(陕)新登字 010 号

内 容 简 介

本书从实用角度出发,除阐述 A/D、D/A 转换器的基本原理、基本接法、参数选择、干扰抑制和接口技术之外,着重介绍了常用 A/D、D/A 转换器在科学研究和生产实践中的应用和实用线路,对部分电路还提供了应用软件,并加有注释。本书共分七章,每章均有实例,使之具有理论联系实际的特色。有些例子可能正是您企图要实现的,或者稍加修改就可能解决您工作中的难题。

本书对于从事数据采集、计算机应用、智能仪器设计、数字通信、自动控制和电子工程等领域的工程师和科技人员都具有参考价值,也可以作为大专院校有关专业的教学参考书。

JS185/27

A/D、D/A 转换器接口技术 与实用线路

杨振江 编著

责任编辑 杨 兵

西安电子科技大学出版社出版发行

陕西省富平县印刷厂印刷

各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 23 4/16 字数 548 千字

1996 年 11 月第 1 版 1996 年 11 月第 1 次印刷 印数 1-5 000

ISBN 7-5606-0461-7/TN·0102 定价: 23.50 元

前 言

在过程控制及各种智能仪器仪表中,多由计算机进行实时控制及实时数据处理,计算机所加工的信息总是数字量,而被检测的对象往往是一些连续变化的模拟量(如温度、压力、速度和流量等),因此必须先将这些模拟量转换为数字量,以便输送到计算机内进行运算处理,此过程称之为模/数(A/D)转换。由计算机进行加工处理的数字量,往往也需要转换成模拟量,以便对某些特征量进行实时控制,这一过程称之为数/模(D/A)转换。目前,除国外能生产大规模集成电路、混合集成电路和单片 A/D、D/A 转换器之外,我国也相继研制和生产出了许多数据转换芯片,它们与微机相结合将会产生不可估量的经济效益。

A/D、D/A 转换技术是数字测量和数字控制领域中必不可少的重要组成部分。过去,读者想要掌握这方面的技术绝非短期内可以办到,而现在随着微电子学的迅猛发展,对那些具有明确应用目的的一般工程技术人员来说,掌握这些转换技术并不那么困难了。他们无需自行设计、调试复杂的电子电路,只需合理选用商品化的大规模 A/D、D/A 转换芯片,了解它们的功能和学会正确的使用方法即可。

编写本书的主要目的,就是为了帮助那些从事电子工程、系统工程和计算机应用工程的科技人员和其他科技人员了解近年来转换器的发展成果,并迅速地掌握它,应用它。数据转换往往并不是最终目的,而是达到测量、采集、处理和控制等目的的一种手段。对于这方面的应用,已经在国内外普遍引起高度重视,可以说没有 A/D、D/A 转换器的广泛应用,就没有微机应用的发展,也就谈不上现代化的实现。

本书共分七章,主要内容包括:绪论、模拟开关与采样/保持器、D/A 转换基本原理与接口技术、A/D 转换基本原理与接口技术、V/F 和 F/V 转换及其接口、A/D 和 D/A 转换实用线路、抗干扰措施与印制电路板设计。全书从头至尾都突出一个“用”字,除阐述基本原理、基本接法和计算机的接口技术之外,列举了大量的实用电路和应用软件,使该书具有理论联系实际的特色,这对于具体设计检测仪器、智能仪表、数据采集、自动控制等电路会有较大的参考价值。当然,电子技术的发展日新月异,新原理、新器件不断涌现,本书无法包罗所有器件与应用电路,但是选择了许多有代表性的器件和电路及近年来发展起来的新的实用技术,作为重点分析和介绍对象。在阐述集成 A/D、D/A 转换技术和外围电路(包括多路模拟开关、采样/保持器件和电源基准电路等)的同时,还对具有更高抗干扰能力的 V/F、F/V 转换器件及抗干扰措施作了详细讨论。在有的章节中还引用了 90 年代新推出的转换器件,力图使读者更多地接受新思想、新技术。本书所举实例大都可直接应用于生产实践,解决技术难题,有的例子稍加修改即可使很多实际问题迎刃而解。

在本书写作过程中得到了许多老师和同志们热情帮助。杨兵副编审对本书的编写提出了很有价值的建议;曾余庚教授和孙文焕教授对本书的出版都极为关心;李杰工程师在技术资料等方面给予了支持帮助。在此,笔者谨向他们表示由衷的感谢。此外,参考文献的作者们为开拓这一领域做了很多有意义的工作,本书得以完成是同他们的支持分不开的,在此,笔者也表示衷心感谢。

由于笔者水平有限，书中错误或不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编著者

1995 年 7 月于西安电子科技大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 模拟输入/输出系统	1
1.1.1 模拟量及其量化	1
1.1.2 采样过程	2
1.1.3 采样定理	2
1.2 数据转换器	4
1.2.1 数据转换器的种类	4
1.2.2 数据转换器发展趋势	4
第 2 章 模拟开关及采样/保持器	6
2.1 电子模拟开关	6
2.1.1 模拟开关的特性	6
2.1.2 CMOS 模拟开关的基本原理和特性	6
2.1.3 CMOS 模拟门	8
2.2 多路模拟开关	9
2.2.1 多路模拟开关的结构	9
2.2.2 常用集成多路模拟开关	10
一、三组二路双向模拟开关	10
二、二组四选一模拟开关	10
三、八选一模拟开关	11
四、双八选一模拟开关	12
五、十六选一模拟开关	14
2.2.3 集成多路模拟开关主要参数	15
一、有关参数意义	15
二、主要性能与指标	15
2.2.4 电流开关	15
一、双极型电流开关	16
二、CMOS 电流开关	16
2.2.5 多路模拟开关的应用	17
一、多路模拟开关与不同电平接口时的电源供电	17
二、通道的扩展	18
三、由 CMOS 模拟开关组合的程控放大器	19
2.3 采样/保持器	19
2.3.1 采样/保持器的基本原理	19
2.3.2 采样/保持器的基本结构	20
一、串联型采样/保持器	20
二、反馈型采样/保持器	20
三、电容校正型采样/保持器	21
2.3.3 采样/保持器的性能参数	22

2.3.4 常用集成采样/保持器	23
一、AD582 采样/保持器	23
二、LF398 采样/保持器	24
2.3.5 采样/保持器的应用	25
第3章 D/A 转换器的基本原理与接口技术	27
3.1 D/A 转换的基本原理	27
3.1.1 解码原理	27
3.1.2 D/A 转换器的基本结构	29
一、权电阻网络 D/A 转换器	29
二、T 形 R-2R 电阻网络 D/A 转换器	29
三、2 ⁿ R 电阻分压式 D/A 转换器	30
四、集成化 D/A 转换器	30
3.2 D/A 转换器的接口技术	32
3.2.1 D/A 转换接口设计的一般性问题	32
一、D/A 转换芯片的选择原则	32
二、参考电压源的配置	33
三、数字输入码与模拟输出电压的极性	33
3.2.2 D/A 转换器的主要参数和意义	35
一、静态参数	35
二、动态参数	36
3.3 常用 D/A 转换芯片	37
3.3.1 通用型 8 位 D/A 转换器 DAC0808	40
一、基本接法	40
二、DAC0808 与 CPU 的接口电路	42
3.3.2 通用型 8 位 D/A 转换器 AD7524	42
一、基本接法	43
二、AD7524 与 8085CPU 接口电路	43
3.3.3 8 位双缓冲 D/A 转换器 DAC0832	44
一、DAC0832 的引脚说明	44
二、应用特性	46
三、DAC0832 与单片机的接口方法	46
3.3.4 10 位 D/A 转换器 AD7520	47
一、AD7520 的结构与应用特性	47
二、AD7520 与 MCS-51 单片机的接口方法	48
3.3.5 12 位 D/A 转换器 DAC1210	50
一、DAC1210 与 PC 机接口电路	51
二、电路的调试方法	52
3.3.6 串行输入 D/A 转换器 AD7543	52
一、AD7543 的基本接法	53
二、AD7543 与微处理器接口	53
3.3.7 16 位高精度 D/A 转换器 AD7546	54
一、基本结构	54
二、应用事项	55

3.4 数字/角度转换器——步进电机	57
3.4.1 步进电机的工作原理	57
一、单三拍工作方式	57
二、六拍工作方式	57
3.4.2 步进电机的接口控制	58
第4章 A/D转换器的基本原理与接口技术	60
4.1 A/D转换的基本原理	60
4.1.1 双积分式A/D转换器	60
一、双积分式A/D转换器的转换原理	60
二、双积分式A/D转换器的特性	63
三、双积分式A/D转换器的参数选择与误差分析	64
4.1.2 逐次逼近式A/D转换器	65
一、逐次逼近式A/D转换器的原理	65
二、逐次逼近式A/D转换器的误差分析	66
4.1.3 二进制斜坡式A/D转换器的原理	67
4.1.4 并行比较式A/D转换器的原理	68
4.1.5 量化反馈式A/D转换器的原理	69
4.2 A/D转换器接口技术	71
4.2.1 A/D转换器的主要参数和意义	71
4.2.2 A/D转换器及其相应电路选择原则	72
一、A/D转换器的选择	72
二、其它相应电路的选择	73
4.2.3 A/D转换器应用中的问题	73
一、内部偏置电路的控制与调节	73
二、外接偏置电路	75
4.3 常用集成A/D转换器	76
4.3.1 $3\frac{1}{2}$ 位双积分式A/D转换器 MC14433	81
一、特性	81
二、电路结构与引脚功能	81
三、主要参数选择	85
四、数字输出方式	86
五、基本接法与接口电路	87
4.3.2 $3\frac{1}{2}$ 位双积分式A/D转换器 ICL7126	90
一、特性	90
二、电路结构与引脚功能	91
三、参数选择与基准电压连接	93
四、数字输出显示方式	94
五、基本接法	95
4.3.3 $4\frac{1}{2}$ 位双积分式A/D转换器 ICL7135	96
一、ICL7135内部电路组成与引脚说明	97
二、主要参数选择	100
三、数据输出方式	100

四、基本接法与接口电路	101
4.3.4 12位二进制输出双积分式 A/D 转换器 ICL7109	106
一、内部结构与引脚说明	107
二、电路主要参数选择	109
三、ICL7109 与 CPU 的接口电路	111
4.3.5 $5\frac{1}{2}\left(4\frac{1}{2}\right)$ 位积分式 A/D 转换器 AD7555	112
一、内部结构与引脚说明	114
二、主要参数选择	115
三、基本接法与接口电路	116
4.3.6 8 位 CMOS 单片逐次逼近式 A/D 转换器 ADC0801~0805	117
一、内部结构与引脚说明	117
二、应用事项	120
三、与微机接口电路	121
4.3.7 8 位 8 输入逐次逼近式 A/D 转换器 ADC0808/0809	121
一、内部结构与引脚说明	122
二、ADC0808/0809 与微机接口	123
4.3.8 8 位 16 输入逐次逼近式 A/D 转换器 ADC0816/0817	125
一、内部结构与引脚说明	126
二、ADC0816/0817 与微机接口	127
4.3.9 12 位逐次逼近式 A/D 转换器 AD574A	129
一、参数特性	129
二、内部结构与引脚说明	130
三、AD574A 与微机接口	132
4.3.10 12 位 100 kHz 逐次逼近式 A/D 转换器 AD1674	136
一、内部结构与引脚说明	136
二、AD1674 与 PC 总线接口	138
4.3.11 12 位逐次逼近式 A/D 转换器 ADC1210/1211	139
一、内部结构与引脚说明	139
二、基本接法	140
三、应用事项	141
4.3.12 单电源低功耗 A/D 转换器 ADC1005	143
一、内部结构与引脚说明	143
二、基本接法与接口电路	144
4.3.13 20 位单片串行 A/D 转换器 AD7703	146
一、内部结构与引脚说明	146
二、主要特点与性能参数	148
三、基本接法与数字接口	148

第 5 章 V/F 转换和 F/V 转换及其接口 151

5.1 V/F、F/V 转换的优点与系统结构	151
5.2 采用 555 定时器构成的 V/F 变换电路	152
5.2.1 0~-10 V 变成 0~10 kHz 的 V/F 转换器	153
5.2.2 0~+10 V 变成 0~10 kHz 的 V/F 转换器	154
5.2.3 0~+10 V 变成 0~10 Hz 的 V/F 转换器	155

5.3 使用专用集成芯片的 V/F、F/V 转换器	156
5.3.1 VFC32 型 V/F、F/V 转换器	156
一、V/F 转换及其接法	157
二、F/V 转换及其接法	158
三、双极性输入时的 V/F 转换接法	158
5.3.2 BG382 型 V/F、F/V 转换器	159
一、V/F 转换及其接法	159
二、F/V 转换及其接法	161
5.3.3 AD651 型 V/F、F/V 转换器	161
一、性能特点	161
二、主要参数	161
三、AD651 同步 V/F 转换原理	162
四、AD651 的外部连接方法	162
5.3.4 LMx31 系列 V/F、F/V 转换器	164
一、性能特点	164
二、内部结构与工作原理	164
三、组成 V/F 转换器	166
四、组成 F/V 转换器	167
5.4 光电耦合器在 V/F、F/V 接口中的隔离作用	168
5.4.1 光电隔离的正确使用	168
5.4.2 光电耦合器在 V/F、F/V 线路中的接法	169
5.4.3 使用光电耦合器应注意的几个问题	170
5.4.4 常用光电耦合器	170
5.5 V/F、F/V 转换器与 CPU 的连接	172
5.5.1 LM331 型与 8098 单片机的连接	172
5.5.2 JDM-02 型与 8031 单片机的连接	172
第 6 章 A/D、D/A 转换实用线路	174
6.1 D/A 转换实用线路	174
6.1.1 数字控制的高精度线性电源	174
一、数控单极性电压源电路	174
二、数控双极性电压源电路	174
三、数控单极性电流源电路	174
四、数控双极性电流源电路	176
6.1.2 D/A 转换器控制力发生器励磁线圈电路	176
6.1.3 数控波形发生器	178
一、数控三角波、方波发生器电路	178
二、两路异步输出的波形发生器	179
三、多功能数控波形发生器	184
四、任意时间函数波形发生器	185
6.1.4 用两片 DAC0832 构成的 16 位 D/A 转换电路	185
6.1.5 用一片 MC1408 构成的多路 D/A 转换电路	186
6.1.6 可编程的时间延迟电路	188
6.1.7 可编程的数字低通滤波器	189

6.1.8 程控放大器	191
一、高性能数字增益控制放大器——衰减器	191
二、高性能数控放大器——增益除法器	191
6.1.9 用 D/A 转换器实现的采样/保持电路	192
一、永久型采样/保持器	192
二、跟踪型采样/保持器	194
6.1.10 通过 8279 接口与 DAC82 构成的 16 路 D/A 转换电路	195
6.1.11 实用 BCD 码 D/A 转换电路	198
6.1.12 用 D/A 转换器构成的频率合成器	198
6.1.13 数控直流电动机	201
6.1.14 步进电机控制接口实例	205
一、四相步进电机激励方式	205
二、脉冲分配器及驱动电路	206
三、步进电机控制接口实例	209
6.1.15 综合实例——带有光电隔离的 STD 总线 D/A 接口插件板	209
一、STD 总线介绍	210
二、D/A 转换接口线路	212
6.2 A/D 转换实用线路	214
6.2.1 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表电路	214
一、由 ICL7106 构成的数字电压表	215
二、由 ICL7107 构成的数字电压表	217
三、由 ICL7116 构成的数字电压表	218
四、由 ICL7117 构成的数字电压表	218
五、由 ICL7136 构成的数字电压表	219
6.2.2 由 HI7159A 构成的 $5\frac{1}{2}$ 位智能数字电压表电路	220
一、HI7159A 的组成与接线	221
二、HI7159A 的命令设置	223
三、由 HI7159A 组成的智能数字电压表	226
6.2.3 由 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器构成的数字万用表电路	226
一、多量程直流数字电压表	227
二、多量程直流数字电流表	228
三、多量程交流数字电压表	228
四、多量程数字欧姆表	229
五、多量程数字电容表	230
6.2.4 利用 MC14433 A/D 转换器实现自动量程转换的数字多用表	231
6.2.5 由 ICL7107 构成的数字压力表电路	234
6.2.6 袖珍型数字温度表电路	235
6.2.7 实用数字频率计电路	236
6.2.8 在 Apple 机上实现的高精度多路 A/D 转换板	237
一、Apple 机总线槽口信息	237
二、标准 8 路 A/D 板实用线路	237
三、软件编程方法	239

6.2.9 在 PC 系列总线上实现的多路 A/D 转换板	239
一、PC 系列总线槽口信息	239
二、由 ADC0809 构成的 8 路 A/D 卡线路	246
三、由 AD574A 构成的 16 路 A/D 卡线路	248
四、由 ICL7109 构成的 8 路 A/D 卡线路	251
6.2.10 在 STD 总线上实现的多路光电隔离式 A/D 转换板	253
6.2.11 综合实例——在 PC 系列微机上使用的一种高精度多点温度检测板	253
一、系统构成框图	253
二、热电偶测温基本原理	253
三、温度检测电路	256
四、软件编程实例	256
6.3 V/F、F/V 转换实用线路	279
6.3.1 适应远距离传送的 V/F 光电隔离转换电路	279
6.3.2 用 F007C 构成的 F/V 转换电路	279
6.3.3 高精度 V/F 转换电路	280
6.3.4 简单实用的 V/T 变换电路	280
6.3.5 用 V/F 变换器作低成本 A/D 转换与单片机的接口电路	281
6.3.6 Z80—CTC 与 V/F 变换结合构成的 A/D 转换电路	284
6.3.7 V/F 变换器 LM131 构成的两种转换电路	286
6.3.8 V/F 和 F/V 转换器 TD650 的实用电路	287
6.3.9 综合实例——V/F 变换器用于微弱信号检测	290
6.4 A/D、D/A 转换综合实用线路	294
6.4.1 长周期高稳定的数字式积分器	294
6.4.2 数字式瞬态波形记录器	295
6.4.3 数字式存贮示波器	296
一、数字式存贮示波器的原理	296
二、智能化的示波器	297
6.4.4 单片机控制的 A/D、D/A 转换电路	298
一、8 位 A/D、D/A 多路转换电路	298
二、12 位 A/D、D/A 转换电路	300
6.4.5 A/D、D/A 转换器在肌电测量装置中的应用	304
6.4.6 A/D、D/A 转换器在胃电检测装置中的应用	305
6.4.7 无限冲击和有限冲击响应数字滤波器	306
6.4.8 在 PC 系列微机上运行的 8 位 A/D、D/A 转换电路板	308
一、硬件组成	308
二、软件编程实例	313
第 7 章 抗干扰措施与印制电路板的设计	325
7.1 抗干扰的三要素	325
7.2 模拟信号数据采集系统的抗干扰措施	325
7.2.1 模拟电路和数字电路的隔离	325
7.2.2 对输入模拟信号实行软件滤波	327
7.3 电压/数字转换技术中的抗干扰措施	329
7.3.1 串模噪声的抑制	329

7.3.2 共模噪声的抑制	330
7.4 集成电路的扇出及其不用端子的处理	332
7.5 抑制数字信号传输过程中共模噪声的几种方法	333
7.5.1 差动方式传输和接收	333
7.5.2 电流环方式传输	334
7.5.3 绝缘隔离的传输方式	334
7.6 印制电路板设计要点	336
7.6.1 地线和电源线的处理	337
7.6.2 旁路电容的接入	338
7.6.3 印制电路板的布局	340
7.7 印制电路板的绘制	340
7.7.1 采用 CAD 技术的优点	340
7.7.2 SMARTWORK 软件	341
7.7.3 PROTEL 软件	342
一、PROTEL 软件的特性	342
二、PROTEL 软件的使用	343
三、PROTEL 软件的运行环境	345
7.7.4 orCAD 软件	345
一、orCAD/SDB Ⅲ 的概况	345
二、orCAD/SDB Ⅲ 的运行环境	347
附录 部分集成电路引脚图	348
主要参考文献	360

第 1 章 绪 论

1.1 模拟输入/输出系统

在机械、动力或电子工程等领域中, 对一个动态运行的系统进行测试, 就是对其产生的电、磁、光以及力学量(如应力、压力、振动、位移、加速度等)进行测试。这些动态变化的量就是一个系统产生的某种信号, 测试就是对这些信号进行采集、处理。这些信号实质上是某个物理量随时间变化的连续函数, 它包含着大量的信息, 利用这些信息就可以辨别一个系统, 分析一个系统, 控制一个系统。关键是提取这些信息, 处理这些信息, 而计算机是提取和处理这些信息的最好工具。然而, 计算机处理的是数字量, 那么这些模拟信号如何变成能被计算机接受并可进行处理的离散数字量呢? 这就需要对连续信号进行采样、保持、模/数转换(A/D 转换), 然后用计算机将量化的数字信号进行信息提取和处理。有时又需要将这些数字量变成模拟量输出, 这就是 D/A 转换。图 1.1 示出了这种系统的结构。

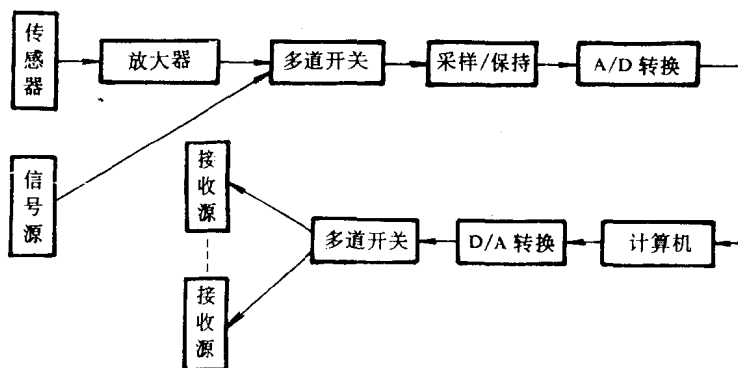


图 1.1 计算机控制的一个输入输出系统

1.1.1 模拟量及其量化

模拟量是表示各种实际模拟现象的物理量。这些量可以是电量(如电压、电流等), 也可以是来自传感器的非电量(如应变、温度、压力等)。在数据转换系统中, 往往需要将这些量(电量)分成有限个不连续的阶梯或增量, 即变成数字量, 这个过程一般被称为量化。量化过程就是用数字量表示模拟量的过程。理论上, 一个模拟量可以用无限多个数值表示, 也就是说分辨率是无限高的, 但是在模数转换系统中, 这显然是不现实的。由于设计能力、工艺水平、噪声影响等各种条件的限制, 分辨率不可能无限高。

由于量化是一种用数字量逼近模拟量的过程, 因而也是一种舍入过程, 所以量化误差等效于数值分析中的舍入误差。在量化过程中产生舍入误差的原因是由于量化幅度的数量是有限的。量化误差是输入信号和量化输出之间的差异, 是量化幅度和输入信号的函数。

为了说明量化结果, 考虑图 1.2 用小幅度阶梯量化的情况。对于单位阶跃函数输入的响应, 量化前后的波形是不同的, 前者是连续的光滑曲线, 而后者是阶梯式曲线。这两者

之间存在的差异,说明在量化过程中会产生误差或噪声。从这个角度讲,量化误差可以视为由于量化结果而引入系统的噪声。

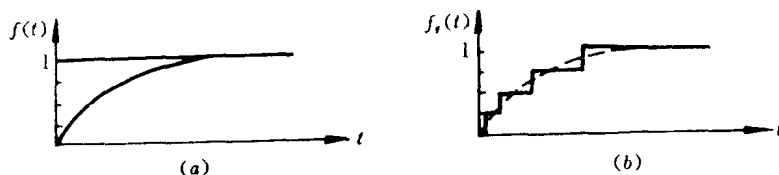


图 1.2 小信号量化前后比较

1.1.2 采样过程

采样就是周期性地读出或测量一种连续信号。测量的周期称为采样周期 T_s , 采样周期的倒数称为采样频率 $f_s = 1/T_s$ 。

被采样的连续信号一般是时间的连续函数。在科研和生产的应用中,如信号检测实时控制、数据处理等系统,经常要把这种信号转变成数字量,这项工作要靠 A/D 转换器完成。然而,无论 A/D 转换器的转换速度有多快,完成一次转换总是要占用一段时间的。这样,为了保证转换器能稳定可靠地工作,往往通过采样开关(或采样保持器),先对连续信号进行采样,即只在转换周期中一段很短时间间隔完成对输入信号的测量。采样开关的输入是一种连续信号,而输出则变为离散的信号(也称为采样信号),采样所得的离散信号是从连续信号取出的,是连续信号的一部分,它与作为数字量的离散信号完全不同。采样信号仍是模拟量,是一种脉冲调制信号,如图 1.3 所示。

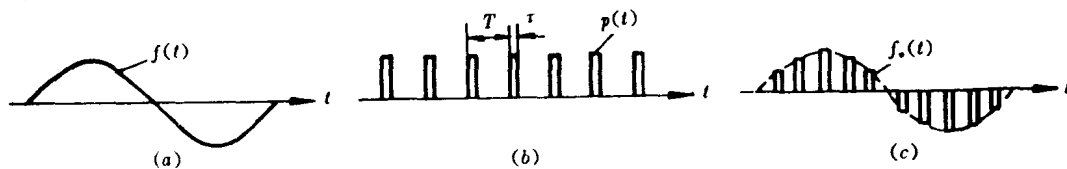


图 1.3 采样过程波形图

(a) 输入信号 $f(t)$; (b) 采样波形 $p(t)$; (c) 采样输出信号 $f_0(t)$

从图中可以看出,采样波形是具有一定幅度的等幅脉冲,而采样输出信号是被输入的连续信号所调制的脉冲信号,即采样输出信号 $f_0(t)$ 可以看成是连续信号 $f(t)$ 与脉冲序列 $p(t)$ 的乘积,即

$$f_0(t) = f(t)p(t) \quad (1-1)$$

1.1.3 采样定理

采样定理是说明在什么条件下采样开关输出的信号 $f_0(t)$ 能恢复输入信号 $f(t)$ 。根据频谱分析理论,只有采样信号的频谱不发生重叠现象时,采样的基频谱才能与信号频谱相一致。所以,采样定理可以表述为:为了使采样信号 $f_0(t)$ 能完全恢复连续信号 $f(t)$,包含任何干扰在内的信号 $f(t)$ 的最高有效频率——奈奎斯特频率 f_n 必须小于采样信号重复频率

f_s 的一半；或者表述为：为了从采样信号 $f_s(t)$ 中完全恢复连续信号 $f(t)$ ，采样信号 $p(t)$ 的重复频率 f_s 至少应为 $f(t)$ 的最高有效频率 f_H (包括噪声在内) 的 2 倍，即

$$\begin{cases} f_s \geq 2f_H \\ f_{s\min} = 2f_H \end{cases} \quad (1-2)$$

为了进一步说明这个理论的含义，图 1.4 给出了不同频率正弦波在不同采样频率下的采样结果， f_s 是采样频率， $f(t)$ 是正弦波的频率。在图(a)和图(b)中，采样频率大于正弦波频率的 2 倍，很明显，各采样点的连线仍能恢复成原来较完整的正弦波，在图(c)和图(d)中，采样频率刚好是正弦波频率的 2 倍，图(c)中全部采样点在横轴上；图(d)中采样点略有偏移，这种采样虽然描述了正弦波的频率，但并不唯一确定它的振幅，在图(d)中得到的就是频率相同但振幅不同的完整的正弦波。可见，采样频率刚好是正弦波频率的 2 倍时，不能完全确定一个正弦波。在图(e)和图(f)中，采样频率小于正弦波频率的 2 倍，显然，连接采样点所得的波形已不是原来的正弦波，其频率都发生了变化，得到两种不同的波形。从给定一组采样值中得到两种不同的正弦波信号，这种现象叫混叠。混叠引起模糊，因此要避免模糊，避免不确定性，采样频率必须大于被采样正弦波频率的 2 倍。

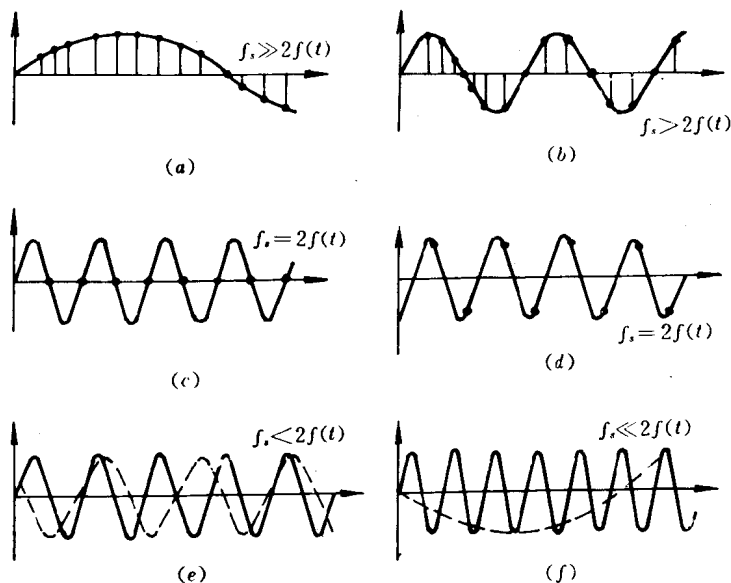


图 1.4 不同频率正弦波被采样的波形图

在采样定理应用中有几个问题值得注意：

(1) 信号源最高频率——奈奎斯特频率 f_H ，只有理解为包括噪声在内的最高频率才是正确的，而不能理解为有用信号的最高频率。

(2) 电子学系统的模拟信号有一些是非正弦波，但是任何一种波形都可以用傅立叶变换法处理，即可把它分成若干个傅立叶分量，看成由一系列不同频率的正弦波所组成。如果对一个非正弦波的信号进行采样，则采样频率要大于模拟信号中的最高频率成分(谐波分量频率)的 2 倍。采样定理还告诉我们，包含在模拟信号中的全部分量都将被采样。模拟信号可以用采样的方式从一处传送到另一处，并且再恢复成原来的信号。

(3) 采样定理在有限带宽信号情况下应用才是准确的, 否则将产生误差, 而不能完全恢复原信号。从理论上讲, 如果不是限带信号, 利用这种基本的采样方法就不可避免地要出现重叠现象, 但是绝大多数实际信号都是限带信号。实际上, 在一些数据采集系统中, 采样之前先对连续时间信号进行滤波, 以保证满足有限带宽的条件。

(4) 实际采样频率的选择: 如果没有混叠现象存在, 当将采样信号通过一个截止频率落在 f_H 和 $f_s - f_H$ 之间的低通滤波器后, 即可恢复出原输入信号。但实际上不可能制造出截止特性非常陡峭的低通滤波器, 所以在 f_H 与 $f_s - f_H$ 之间要有一个保护带, 这就说明实际采样频率必须大于采样定理所确定的理想最小值, 通常取 $f_s = (3 \sim 5)f_H$ 。

(5) 混叠频率 f_s : 根据采样定理分析可知, 对于一个已知采样频率 f_s 的采样系统存在一个混叠频率, $f_s = f_s/2$ 。所谓混叠频率, 就是当利用一个采样频率为 f_s 的离散时间系统进行信号处理时, 信号所允许的最高频率。任何频率大于 f_s 的分量都将重叠起来而不能恢复, 并使正规频带之内的数据也变得模糊起来。

1.2 数据转换器

1.2.1 数据转换器的种类

数据转换器包括模/数转换器(A/D)、数/模转换器(D/A)、压/频转换器(V/F)和频/压转换器(F/V)等。按结构分类, D/A、A/D 转换器皆可分为单片式、混合式和模组式; 按分辨率及速度来分类, 可分为低分辨率/低速度型、低分辨率/高速度型及高分辨率/低速度型。高与低的分界点是: 分辨率为 14 位, 速度为 1 MHz。V/F 和 F/V 转换器也是一种特殊的“A/D、D/A”转换器, 它在远距离传送系统中得到了广泛的应用, 目前也有多种集成芯片供使用。

1.2.2 数据转换器发展趋势

数据转换器的发展紧跟电子技术的发展水平。早在 60 年代数字频率计、数字电压表等数字仪表相继投放市场的时候, A/D、D/A 转换芯片就已被人们所重视; 进入 70 年代后, 各种模拟、数字集成电路大批量投入生产, 价格不断下降, A/D、D/A 转换芯片得到更加广泛的应用。

D/A 转换器较 A/D 转换器更容易制造, 前者只强调分辨率, 后者则要求速度和分辨率并重, 所以在设计上较复杂, 在价格上也较贵。统计资料表明, 单片式为数据转换器市场上的主体, 混合式和模组式正趋于下降趋势。单片式具有很高的增长率, 这不仅是由于它在低档应用上有着广泛的用途, 而且新一代的单片式具有卓越的性能, 能够取代混合式。混合式通常用于要求高速和高分辨率的尖端产品上; 但它们正受着最新设计的单片式挑战, 这是由于单片式除了具有混合式的性能外, 性能更可靠, 价格更趋于便宜。

市场上一个很重要的趋势, 就是着重更高水平的集成度。A/D、D/A 转换器作为独立单元的情况将会下降, 有更多的数据转换器会与其它芯片综合在一个组件上。例如, 单或多芯片数字信号处理器能够与 A/D 转换器连在一起, 以便接收、压缩、改善、存储、传输或处理其它方面的模拟信号, 如声音、图像和光。这一集成技术还会有明显的发展, 如最