

JISUANJI MONII/OJISHU

张俊科 江 岳 编著

计算机 模拟 I/O 技术

国防科技大学出版社

TP35
/222

JISUANJI MONI/OJISHU

计算机模拟 I/O 技术

国防科技大学 张俊科
中国科技大学 江 岳 编 著

国防科技大学出版社

内 容 简 介

本书是一本模拟 I/O 系统的专著。作者在多年从事教学、科研的基础上写成。主要介绍模拟 I/O 系统的组成、工作原理、典型器件、调试方法、误差分析及与微机的接口等。书中讨论的都是反映 80 年代水平的集成电路或模块化电路,都是常用的典型器件。全书共分六章,即导论、ADC、DAC、主要功能电路、轴角数字变换、采样与恢复、接口与系统。

本书叙述简明,知识密度大,有较多的图表,收集了较多的实用资料,可作为有关技术人员参考手册。是当前国内计算机推广应用较好的一本参考书。也可作为计算机、控制、测量专业的教材。

计算机模拟 I/O 技术

张俊科 江 岳 编著
责任编辑 王金荣
装帧设计 侯 云

*

国防科技大学出版社 出版

湖南省新华书店 发行
国防科技大学印刷厂 印装

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 15³/₈ 字数: 367 千字
1986年6月第1版 1986年6月第1次印刷 印数: 1—10,000
统一书号: 15045·011 定价: 2.98元

前 言

计算机的发展，特别是微型机的发展与应用，对国防、科研及国民经济的发展起着越来越重要的作用。关于微型机的原理、组成、体系结构及应用等方面，不论硬件或软件类型的书已很丰富。但是当把微机系统用于测量、数据采集、控制等场合时，模拟 I/O 接口 (Analog I/O Port) 是不可缺少的，然而这方面的书尚不多。尤其是模拟器件发展水平很高，种类相当完善的今天，用户如何根据自己的实际需要现成的模拟器件来构成模拟 I/O 系统是很实际的问题。

本书是一本模拟 I/O 系统的专著，介绍模拟 I/O 系统的组成、工作原理、典型器件、调试方法、误差分析和与微型机的接口等。内容上以硬件为主，也包括部份软件。本书所讨论的各种典型器件：ADC 与 DAC、测量放大器、模拟多路开关、采样保持电路和对数压缩与扩张电路均为 80 年代先进的集成电路或模块化电路。

本书第一章介绍模拟 I/O 系统的作用、组成部件及系统实例。

第二章介绍 DAC，讨论了两种常见的 DAC 电路原理；双极性 DAC (偏移码与补码) 的构成原理；DAC 的误差分析。以美国模拟器件公司的 AD562、DAC1132 及 DAC1136 为例说明它们的特性、组成、使用、接法、校准及调试等。

第三章讨论 ADC，介绍了三种类型的 ADC 的原理 (计数式 ADC、逐次比较式 ADC、并行高速编码 ADC)、特性与主要参数、误差分析、校准与测试。典型的器件是 AD572 (12bit) 及 ADC1131 (14bit)。

第四章讨论了四种主要的功能电路，包括测量放大器，模拟多路转换器，采样保持电路、数据压缩与扩张电路。对这些电路的作用、原理、误差调整、使用接法都作了必要的介绍，并有实际电路为例。

第五章专门介绍轴角数字与数字轴角变换原理、包括码盘、旋转变压器及同步机轴角编码，对分法轴角编码，电容传感器及电感传感器轴角编码，简要介绍了几种常见的数字轴角变换。

第六章从系统的角度出发，讨论了连续信号采样变换后产生的误差及信号恢复的方法。

第七章介绍模拟 I/O 系统与微型机的接口方式，讨论了八位微型机与十六位微型机与 ADC 及 DAC 的连接，最后给出了微型机模拟 I/O 系统实例及系统设计实例。

本书作者是多年从事“计算机模拟 I/O 接口技术”教学与科研工作的中年教师，有一定的教学与科研经验。编写本书的目的是把它作为有关专业的教材，因此力求简明、精练，内容都是精选的。教学时数为 40~60 学时，可以作为高等学校计算机、自动控制、仪表测量等专业高年级选用的教材。同时，也可供从事微型机应用系统的设计和研究工作人员作为参考，对于他们，本书将是一本有实用价值的手册。

本书二、三、四、五章由国防科技大学张俊科编写，一、六、七章由中国科技大学江岳编写。由于编者水平有限，错误与不妥之处难免存在，欢迎读者批评指正。

编著者

1986.1

目 录

1 导论

1.1 模拟 I/O 系统在微机应用中的地位	2
1.2 模拟 I/O系统的组成	4
1.2.1 传感器	6
1.2.2 多路开关	6
1.2.3 测量放大器	8
1.2.4 采样保持电路	9
1.2.5 模数变换器	12
1.2.6 数模变换器	13
1.3 模拟 I/O 系统举例	13

2 数字模拟变换器

2.1 基本原理	18
2.1.1 梯形DAC	19
2.1.2 多发射极DAC	22
2.2 双极性DAC	27
2.2.1 双极性代码	27
2.2.2 偏移码DAC	28
2.2.3 补码DAC	31
2.2.4 构成双极性DAC的另一种方法	31
2.3 误差分析	37
2.3.1 静态误差	37
2.3.1.1 零点偏移误差	37
2.3.1.2 增益误差	38
2.3.1.3 非线性误差	39
2.3.1.4 微分非线性误差	42
2.3.1.5 单调性问题	43
2.3.1.6 位数与精度的关系	45
2.3.2 动态误差	47
2.3.2.1 建立时间	47
2.3.2.2 尖峰干扰	48
2.4 DAC 器件实例	49
2.4.1 AD562/AD563	49

2.4.2 DAC1132	55
2.4.2.1 数字输入特性	56
2.4.2.2 输出特性	56
2.4.2.3 框图	57
2.4.2.4 输出连接	58
2.4.2.5 输入输出关系	58
2.4.2.6 偏移及增益调节	59
2.4.2.7 电源及地线的接法	60
2.4.3 DAC1136	60
2.4.3.1 输入	60
2.4.3.2 输出屏蔽	62
2.4.3.3 零点偏移及增益调节	62
2.4.3.4 微分非线性调整	65
2.5 乘法数模变换器	67
2.6 DAC的测试与校准	71
2.6.1 DAC的输入输出关系	71
2.6.2 用数字表校准与测试	73
2.6.3 比较法自动测试	74
2.6.4 位扫描DAC校准与测试	75

3 模拟数字变换器

3.1 概述	80
3.2 计数式ADC	81
3.2.1 电压-时间间隔-数字变换器	82
3.2.1.1 单积分式	82
3.2.1.2 双积分式	84
3.2.2 电压-频率-数字变换器	86
3.3 比较式ADC	89
3.3.1 工作过程	90
3.3.2 比较器	95
3.3.3 双极性变换	97
3.4 高速ADC	98
3.5 ADC的转移特性及参数	104
3.5.1 转移特性	104
3.5.2 主要参数	105
3.5.2.1 精度	105
3.5.2.2 变换时间	105
3.5.2.3 分辨率	106
3.6 ADC误差	106
3.6.1 量化误差	107
3.6.2 零点偏移误差	107
3.6.3 增益误差	108

3.6.4	非线性误差	109
3.6.5	微分非线性误差	109
3.7	ADC 的校准与测试	111
3.7.1	简便方法	111
3.7.2	动态交叉图法测试与校准	114
3.8	典型器件介绍	120
3.8.1	AD572	120
3.8.1.1	主要特性	120
3.8.1.2	功能框图	121
3.8.1.3	工作原理	123
3.8.1.4	二进制代码	125
3.8.1.5	零点偏移调整	126
3.8.1.6	增益调节	129
3.8.1.7	接地	129
3.8.1.8	电源滤波	129
3.8.1.9	校准	130
3.8.1.10	量程及缓冲放大器接法	131
3.8.1.11	短周期输入	133
3.8.1.12	数字输出数据	133
3.8.1.13	应用	134
3.8.1.14	器件尺寸	135
3.8.2	ADC1131	136
3.8.2.1	时间波形	136
3.8.2.2	外形尺寸	138
3.8.2.3	方框图及引脚	138
3.8.2.4	模拟输入特性	138
3.8.2.5	并行数据输出	140
3.8.2.6	串行数据输出	141
3.8.2.7	偏移及增益调节	142
3.8.2.8	电源及地线连接	143
3.8.2.9	时钟连接	144
3.8.2.10	短周期连接	144
3.8.2.11	重复变换	145
3.9	模拟地与数字地	145

4 主要功能电路

4.1	测量放大器	148
4.1.1	测量放大器的用途	148
4.1.2	常用的典型结构	149
4.1.2.1	单只运算放大器结构	149
4.1.2.2	三只运算放大器结构	150
4.1.2.3	高性能测量放大器	151

4.1.3	测量放大器的选择	157
4.1.4	测量放大器的误差分析	160
4.2	模拟多路开关	162
4.2.1	模拟多路开关的用途	162
4.2.2	CMOS模拟多路开关原理	164
4.2.3	器件实例	166
4.2.3.1	AD7501、AD7503、AD7502	166
4.2.3.2	AD7506、AD7507	169
4.2.4	多级使用	171
4.2.5	模拟多路开关对系统精度的影响	176
4.3	采样保持电路	177
4.3.1	电路功能	177
4.3.2	主要参数	179
4.3.2.1	捕获时间	179
4.3.2.2	孔径时间	179
4.3.2.3	保持时间	180
4.3.2.4	变化率	180
4.3.3	基本电路结构	180
4.3.4	误差分析	182
4.3.4.1	静态误差	182
4.3.4.2	瞬态误差	183
4.3.4.3	减小误差的方法	185
4.3.5	器件实例	187
4.3.5.1	AD582	188
4.3.5.2	SHA-2A	195
4.4	数据压缩与扩张	196
4.4.1	数据压缩与扩张的用途	196
4.4.2	对数电路与反对数电路	200
4.4.2.1	基本原理	200
4.4.2.2	器件实例	205
4.4.3	数据压缩举例	211
4.4.4	反对数扩张应用例	214

5 轴角数字变换

5.1	码盘	218
5.1.1	码盘	218
5.1.2	读数误差的产生	220
5.1.3	循环码的来由与特性	221
5.1.4	逻辑选择读数方法	227
5.1.4.1	双刷法	227
5.1.4.2	V形刷法	230
5.1.5	光码盘	233

5.2	旋转变压器轴角编码	233
5.2.1	旋转变压器输出信号	234
5.2.2	编码原理	236
5.2.3	粗精组合提高精度	243
5.2.3.1	机械传动的粗精组合	244
5.2.3.2	电气传动的粗精组合	247
5.2.4	粗精组合纠错问题	248
5.2.5	基本参数设计	256
5.3	同步机轴角编码	258
5.3.1	二相法	259
5.3.1.1	变压器法	259
5.3.1.2	运算放大器法	260
5.3.2	三相法	261
5.3.3	三相法与二相法编码的比较	269
5.3.4	小结	269
5.4	对分法轴角编码	270
5.4.1	编码原理	271
5.4.1.1	前六位数码的形成	273
5.4.1.2	后十位数码的形成	283
5.4.2	粗精组合及纠错方法	286
5.4.3	粗精信号幅值设计	295
5.4.4	级数、极对数及线数的讨论	296
5.5	电容传感器轴角编码	302
5.5.1	电容传感器	303
5.5.2	相位数字变换	306
5.5.2.1	周期性相位数字变换	306
5.5.2.2	连续相位数字变换	308
5.5.3	锁相倍频环路	309
5.5.4	频差分离器	312
5.5.4.1	要求	312
5.5.4.2	基本电路	313
5.5.4.3	对消脉冲成对叠合的电路	314
5.6	感应同步器轴角编码	315
5.6.1	感应同步器原理	316
5.6.2	编码原理	321
5.6.2.1	粗编码系统	322
5.6.2.2	精编码系统	324
5.7	步进电机数字轴角变换	330
5.7.1	步进电机原理	331
5.7.2	步进电机控制	335
5.8	数字同步机变换	338

5.8.1	数字交流变换器DAIC	339
5.8.1.1	特性	339
5.8.1.2	第一类DAIC	339
5.8.1.3	第二类DAIC	347
5.8.2	数字同步机变换器	341
5.8.2.1	$\sin\theta$ 及 $\cos\theta$ 为数字形式	342
5.8.2.2	$\sin\theta$ 及 $\cos\theta$ 为模拟形式	343
5.8.2.3	$\sin\theta$ 及 $\cos\theta$ 的获得	344
5.9	数字相位轴角变换器	348
5.9.1	数字相位变换器	349
5.9.2	相位鉴别器及相位电压变换器	350
5.9.3	移相器	354
5.9.4	粗精通道问题	356
6	采样与恢复	
6.1	采样	360
6.2	采样频率和信号混淆	362
6.3	采样频率与分辨率	369
6.3.1	量化误差	370
6.3.2	采样频率与分辨率	373
6.3.3	孔隙误差	374
6.3.4	精度与分辨率	374
6.4	变换系统的误差分析	375
6.5	信号恢复方法	389
6.6	信号恢复应用举例及误差分析	395
6.7	信号的分配与传输	400
7	接口与系统	
7.1	接口概述	403
7.2	串行通讯接口	408
7.2.1	8251可编程通讯接口	409
7.2.2	6850异步通讯接口	411
7.3	DMA 控制器	414
7.4	八位微型机与ADC、DAC的连接	422
7.4.1	Z80-CPU与ADC、DAC的连接	422
7.4.2	6800与ADC、DAC的连接	435
7.5	十六位微型机与ADC、DAC的连接	440
7.5.1	8086/8088与ADC、DAC的连接	440
7.5.2	68000与ADC、DAC的连接	445
7.6	微型机模拟 I/O系统举例	449
7.6.1	模拟输入板—AIM-12板	449
7.6.1.1	指标	449

7.6.1.2	电路原理	451
7.6.1.3	三种工作模式	453
7.6.1.4	程序举例	456
7.6.2	模拟输出板—AOM-12板	458
7.6.2.1	概述	458
7.6.2.2	性能	459
7.6.2.3	工作原理	460
7.6.2.4	编程	462
7.7	微型机模拟 I/O系统设计	464
7.7.1	传感器与信号分析	464
7.7.2	系统设计的基本考虑	466
7.7.2.1	性能价格比问题	466
7.7.2.2	误差源	466
7.7.3	设计步骤	468
7.7.3.1	确定输入输出基本参数	467
7.7.3.2	确定基本方案和框图	469
7.7.3.3	基本参数计算	475
7.7.4	设计举例	476
7.7.5	误差验算	478
参考文献		478

1 导论

当前以微型计算机为重要支柱之一的新的技术革命正在全球兴起。微型计算机已经广泛用于国防尖端、工业、农业、商业、科技、医疗等各部门，可以说已渗透到社会各个领域和角落。

在微型机应用的浪潮中一门新的学科“微型机模拟 I/O 系统”十分引人注目，已逐渐成为微型机应用的支柱。七十年代以前计算机的外围组织——过程输入输出通道多数采用分立元件的电子线路，结构庞大、价格昂贵、用户使用不便，可靠性差、误差大。随着微型机的发展，特别是随着硬件模块（模板）的发展，使模拟输入和输出通道集成在一块插件板上，方便地插入微机内部总线，大大提高了灵活性和可靠性。

随着应用方面的深化，许多新的课题又不断提出。如：数据压缩、数据扩展、数据修整、数据恢复与分配、数据传输通讯、模拟 I/O 板的智能化；各种新型的接口、专用数据处理模块……使这门学科不仅仅是 A/D(ADC)、D/A(DAC) 转换问题，而是发展为一个模拟 I/O 系统，所涉及到的知识面也越来越宽。如：快速傅里叶变换、滤波器理论、数据压缩、误差理论及微机通讯等等。

本章对什么是模拟 I/O 系统，它在微型机应用中的地位作一介绍，简明叙述了它的主要组成部分，并举例说明一个系统的大致工作过程，以使读者对模拟 I/O 系统有一个初步的较完整的概念。

1.1 模拟I/O系统在微机应用中的地位

模拟 I/O 系统是计算机的模拟输入输出系统。众所周知，没有配接模拟 I/O 系统的数字计算机只能输入、处理数字信号。但在微机应用中，如何运用微机来检测和控制各种物理过程已成为当前十分迫切需要解决的课题，一般被测试或被控制的物理量多数是模拟量。如：温度、压强、位移、流量、光量度和速度等。这些物理量经过普通传感器变换成电量后，也仍是模拟量，无法直接输入以数字处理为基础的电子计算机中去；计算机也不能输出模拟信号去控制模拟设备。为此，必须先将模拟量经过一个系统变成数字量，这个过程叫“数据采集”(Data Acquisition)和“数据变换”(Data Conversion)；而计算机处理后的信息是数字信号，经常要经过一个系统转换为模拟量并进行分配，这个过程叫“信号恢复”(Signal Recovery)和“数据分配”(Data Distribution)。模拟 I/O 系统正是完成这两大任务的系统。

图 1-1 给出了这个系统变换过程的示意图。

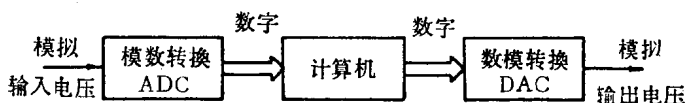


图 1-1 模拟信号输入输出变换

用微型计算机对模拟信号进行数字化处理具有许多优点，如精确度高、灵活性好，可表示复杂的动作、重复性好等等。由于硬件价格的大幅度下降，使得微型机模拟 I/O 系统的应用不断扩大。如果将它的应用列成表，将得到一张非常长的表。下面略举几例：

- 语音分析(Speech Analysis)

- 合成语音(Artificial Speech)
- 声纳(Sonar)
- 地震仪(Seismography)
- 自动测试设备
- 光谱分析
- 自动跟踪系统和宇航系统
- 各式仪器仪表
- 传感器信号分析
- 工厂生产的过程控制
- 化学反应控制与处理
- 仿真器
- 自动控制系统
- 污染的监督分析
- 振动和噪音的分析

.....

实际应用方面比所列出的例子要多得多,因此模拟 I/O 系统已成为微型机应用的重要支柱。

下面给出一个计算机控制系统的方框图(图 1-2)。图中模拟量输入通道的作用是把传感器输出的模拟信号按要求的精度和速度转换为数字信号送给中央处理单元 CPU。模拟量输出通道的作用是把计算机同控制生产过程的输出执行设备联接起来,它把经计算机处理后输出的数字代码转换成模拟信号去控制执行设备,如模拟电压表、伺服电机等等。这个模拟量输入通道和模拟量输出通道就是我们上面叙述的模拟 I/O 系统。

图中还画出了数字量输入通道和数字量输出通道。数字量输入通道把数字式记录监测设备的数字信号或开关信号送计算机处理;数字量输出通道的作用是把计算机送出的二进制代码信号再进行处理,以便能送回数字式仪表进行记录或检测,也

可送至数控设备进行控制。

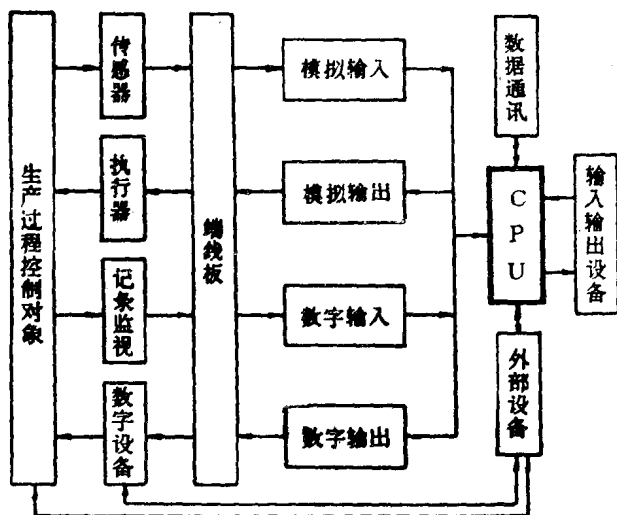


图 1-2 计算机控制系统方框图

本书只讲述模拟量输入通道和模拟量输出通道，数字量输入输出通道在一般微机教材中多有叙述，不再赘述。

1.2 模拟I/O系统的组成

为了便于了解系统的组成，首先简单介绍一下数据变换的物理过程。

使用计算机时，一个连续的物理过程的数据只能用时间上离散的数值来表示和输入，因此必须先将一个连续的时间函数信号用一定时间间隔的离散函数来表示，这个过程叫“采样”，如图 1-3 所示。

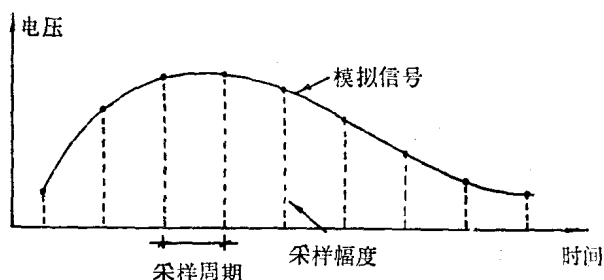


图 1-3 被采样模拟信号

当两个采样点足够接近，或者说采样频率足够高时，可以由采样定理证明这个离散信号能代替连续信号。经模拟 I/O 系统处理后可以恢复原始的模拟信号，如图 1-4 所示。



图 1-4 由采样值恢复模拟信号

由图可知，计算机也只能输出数值上离散的数据，波形呈阶梯形。如果模拟信号变化很慢，或负载有惯性（如整流式仪表），则信号很接近原信号。通常还可以在输出端接上一个平滑滤波器，以得到更接近原信号的波形，内插式滤波器的响应波形最好。

要向计算机输入还需有第二个过程，叫做量化。如果一台计算机是 4 位，一个数据字只有 16 种代码，即 0000, 0001, ..., 1111。模拟采样后的数值必须转化为这 16 种码，计算机才接受。每一组码都对应一个固定的模拟电平。因为一个采样值往往不恰好是某一代码的电平值，为此选择电平最接近的代码来