

数据采集与控制系统

——计算机测控技术

赵负图 编著

Shu ju cai ji

Yu kong zhi

Xi tong

北京科学技术出版社

数据采集与控制系统

——计算机测控技术

赵负图 编著

北京科学技术出版社

内 容 简 介

本书系统地叙述了数据采集和控制系统的基本原理和应用。主要内容包括计算机在测试与控制应用方面的理论与关键技术；数据采集与控制系统的构成；系统通用接口与传感器技术；系统软件；系统指标；抗干扰技术和系统计算机网络。同时还介绍了典型实例。在附录中选编了国内外先进的测试和控制用的芯片数据等资料。

本书可供数采及测控系统设计、制造人员和使用维护人员，大专院校有关专业师生及从事计量、仪器、仪表、传感器、设备进行自动测试和控制的广大科技人员参考。也可作为测试和控制技术训练班的教材。

数据采集与控制系统

——计算机测控技术

赵负图 编著

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路19号)

新华书店首都发行所发行 各地新华书店经售

中国科学技术情报研究所印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 19.25印张 485,000字

1987年9月第一版 1987年9月第一次印刷

印数 1—1,800册

统一书号15274·055 定价3.60元

前 言

近几年来, 计算机技术在我国已开始用于数据采集和工业过程控制。

计算机在各个领域的应用, 概括起来就是测、控、算、管四个字。计算机技术已经渗透到各个技术领域, 诸如企业管理、办公室自动化、宾馆饭店自动化, 工厂、企业、局部地区, 以至全国性的联网通讯等。尽管计算机应用领域很多。形式各异, 逻辑和软件编程不同, 但其核心问题就是数据采集和控制, 基本理论是一致的。只要掌握了这门技术。对计算机的应用就能一通百通。计算机测控技术是智能仪器、自动测量、测试和控制发展的必然趋势, 在国外已发展成为专门的学科。

本书是以计算机在测试控制领域中的数据采集和控制为中心, 以系统的组成为线索, 详细地讨论了数采和控制系统的原理和应用。主要内容包括现代计算机测控应用中的一些重要课题: 数据采集和控制系统组成; 构成系统的主要部件; 系统通用接口技术; 系统终端器件; 系统软件; 系统的通用技术指标; 计算机联网; 系统的抗干扰技术。同时还介绍了国内外一些典型课题研究 with 测控系统的实例, 汇编了国外典型的测控系统常用集成芯片等资料。

本书编写突出以应用、分析和解决实际问题为主, 对测控电路着重于分析设计, 了解掌握其功能特性, 论述解决各种技术问题所需的主要软件、硬件知识及主要接口技术和接口电路。同时, 选材上又注意了先进性、系统性和完整性。因此。读者通过本书不仅了解到数据采集和控制系统的基础知识, 还可以掌握应用上的关键技术和具体方法。

本书内容广泛, 作者水平有限, 书中难免有缺点和错误, 欢迎广大读者批评指正。

作 者

一九八五年二月

目 录

第一章 概 述	(1)
一、计算机和数据采集技术.....	(1)
二、数据采集技术的发展和应 用.....	(2)
第二章 数据采集原理及系统的组成	(6)
一、量化和编码.....	(7)
二、数据采集原理.....	(12)
三、系统的组成.....	(20)
1. 仪器仪表和计算机组成的系统.....	(20)
2. A/D及D/A板和计算机组成的系统.....	(22)
第三章 系统主要电路	(28)
一、A/D和D/A变换器的应用.....	(28)
1. D/A变换器的应用.....	(28)
2. A/D变换器的应用.....	(33)
3. 应用举例.....	(35)
二、同步和异步采集电路.....	(45)
三、采样保持器及应用.....	(47)
四、多路转换开关及应用举例.....	(50)
五、光电隔离电路.....	(57)
六、程控放大器.....	(58)
七、开环和闭环控制.....	(58)
第四章 系统常用的几种接口	(60)
一、串行ASCII.....	(61)
二、CAMAC 接口.....	(63)
1. CAMAC 简介.....	(63)
2. CAMAC 硬件.....	(64)
3. CAMAC 系统的构成.....	(68)
三、EIA标准通讯接口.....	(71)
1. RS-232-C 接口概述.....	(71)
2. RS-232-C 工作原理及应用.....	(75)
3. RS-449, RS-422, RS-423和RS-485.....	(78)
四、IEEE-488 接口.....	(80)
1. IEEE-488总线的概况.....	(80)
2. IEEE-488接口功能.....	(83)
3. IEEE-488 母 线.....	(85)
4. 母线系统中的消息.....	(87)

5. 接口功能状态·····	(90)
6. 接口系统机械规范和集成芯片·····	(95)
7. 接口应用举例·····	(97)
第五章 传感技术在系统中的应用 ·····	(105)
一、传感技术·····	(105)
二、系统中几种常用的传感器·····	(111)
第六章 系统软件 ·····	(130)
一、系统开发软件·····	(130)
二、A/D变换器和微机系统软件·····	(133)
三、仪器仪表和微机系统的软件·····	(145)
四、应用举例·····	(150)
第七章 系统的基本性能指标 ·····	(163)
一、系统的基本性能术语·····	(163)
二、系统的基本指标·····	(171)
第八章 系统抗干扰措施 ·····	(176)
一、干扰的产生·····	(176)
二、干扰的途径·····	(177)
三、抗干扰措施·····	(180)
第九章 系统应用 ·····	(191)
一、系统在测定物体位置、形状和表面缺陷中的应用·····	(192)
1. 圆筒体的三维定位·····	(192)
2. 形状识别·····	(194)
3. 激光扫描式表面检查·····	(194)
4. 在坐标测量系统中的应用·····	(195)
二、系统在采用时域信号波形处理测试中的应用·····	(201)
1. 瞬态信号采集系统·····	(201)
2. 超声波探伤系统·····	(202)
3. 根据振动波形检查异常情况·····	(203)
三、多通道数据采集和自动控制系统的应用·····	(204)
1. 1024通道数据采集和多通道控制系统·····	(204)
2. 3600通道的数据采集和多通道控制系统·····	(208)
3. 多通道数据采集和控制系统的主要特点·····	(209)
4. 数据采集和控制系统应用程序的编制·····	(211)
四、小型多功能通用数据采集系统·····	(214)
1. 小型数据采集系统SCX-80·····	(214)
2. 系统在热压机上的应用·····	(219)
3. TP801B组成的系统用于热电偶测温·····	(223)
第十章 联网通讯 ·····	(232)
一、计算机网络·····	(232)
二、局部网络实施·····	(244)

1. Ethernet 网络的访问方式	(244)
2. Ethernet 网络的组成	(246)
3. Ethernet 接口控制器集成芯片	(249)
4. 网络节点——数据采集和控制	(251)
5. 设计考虑	(252)
三、网络应用举例	(255)
附录 系统常用编码及器件	(268)
一、几种常用的编码	(268)
二、系统常用器件	(271)
主要参考资料	(301)

第一章 概 述

一、计算机和数据采集技术

近年来,大规模集成电路的飞速发展,计算机技术不断地推广应用,使传统的仪器仪表、数字测量技术在数据采集方面升华到一个崭新的阶段。计算机技术已成为当代数据采集和自动控制的核心技术。随着科学技术的发展,迫切要求有计算速度快、精度高、能按程序的规定自动进行数据采集和自动控制的新型计算机。

计算机是信息加工和协助人们进行脑力劳动的工具。所谓“信息”不仅包括情报、消息、资料、新闻,而且包括所有的知识,它是经过人们提炼,加工,系统化的知识。凡是将原始信息变成对人们更有用的信息的过程,都称为信息加工。

计算机由硬件和软件两大部分组成,硬件是物质,软件是信息。软件是人类赋予计算机的智能,是计算机的灵魂。

目前数据采集和控制系统用的计算机,微型机越来越多,主要有以下几种:

1 位机是一种最简单的机器,机器指令最小,主要用在工业控制方面。

4 位机是当前家用电器应用较多的机器,它结构简单,工作灵活,价格便宜,是自成体系的完整的计算机。

8 位、12位和16位计算机是高中档数据采集和控制系统的中枢,其功能比1位、4位机强得多。由于结构复杂,通常都将中央处理器这一部分做成单独电路,称为微处理机。它与存储器、外设等组成一个完整的微型计算机(包括单板机)。微处理机是机器的计算与控制中心,实际上它是由运算器和控制器两部分组成的。目前应用较广的有8位微处理机,例如8080, 8085, 6800, 6502和Z80, 16位机有8086, 68000, Z-8000等。它们主要用于各种中高档数据采集与实时控制系统。当前我国正在用8位单板机来改造旧的机床设备等,实现数控。

通用微型计算机是数据采集和控制的智能多面手。它们作控制用时,只与人及设备发生关系,而协助人们进行脑力劳动却是通过数据采集系统。在结构上,有人机联系的外设,如键盘、显示器、打印机等。此外还增添了用来存放大量软件的外存储器,用得最多的是软磁盘。

计算机在功能上的特点是软件多样化,它包括管理机器各种资源的操作系统;进行人机会话的各种语言;调试软件和各种各样的应用软件。这些软件形成一个智囊团,都存放在磁盘存储器之中,EPROM中只存放极少量用来启动的程序。要用到某种软件时,将它从磁盘中调入读写存储器RAM。由此可见,软件在计算机中起着主导作用。当前数据采集和控制系统中用得最多的8位计算机是Apple-II、16位计算机是IBM-PC。

32位微型计算机,时钟频率可达20兆赫,它已具备了浮点运算、多作业用户处理,以及虚拟存储器这一类以往只有大型计算机才能完成的功能。目前可用在数据采集和控制系统中的32位微型计算机已有10多种,如Intel80386、Motrola68020、HP公司的FOCUS、Zilog的Z-80000等。预计八十年代后期,微型计算机将进入32位机的时代。

微型机计算机的发展与竞争,将把数据采集技术和控制技术推向新的更完善的境地。现

在性能更加完善的64位微处理机也是指日可等了。

计算机发展速度很快,14年间集成度提高了2个数量级,但键盘、显示器、打印机、磁盘等这些传统设备仍然是当前计算机数据采集系统的主要外部设备。用这些设备与人来往,它一不能识别人写的字,二不能听懂人说的话,三不能将结果用人的语言告诉使用人员,因此尽管计算机有超凡的信息加工本领,但它的外部“感觉”器官却十分迟纯,这就限制了计算机内部功能的充分发挥。数据采集系统的传感器、敏感元件正是弥补了这些不足,为此,设计了许多种接口及终端硬件。

数据采集系统的计算机软件将越来越复杂,使用越来越方便。首先作为计算机总指挥的操作系统,必须适应于硬件的发展。目前8位和16位系统中使用的大部分是单用户,单作业系统,今后将会越来越多的系统要求多用户、多作业功能。这对数据采集和自动控制的发展和运用,将有极大的推动作用。

在测试和控制系统中的仪表和控制设备,由于使用了计算机,使系统结构简化、功能得到加强。如量程自动选择,功能自动换转,精度自动调节,故障自动检测,各种过载自动报警、自动保护等。同时,使用计算机能使系统的检测领域扩大。如宇宙空间参量测试;人们无法接近的有剧毒、高压等地方的自动检测。另外,系统的测量速度快、精度高,能进行实时控制和数据处理,如在科学试验中,有时要对测量的对象随时进行大量的观察和处理、进行实时控制,然后进行统计分析,找出新的规律,形成新的理论。还有些非电测量中处理非线性系统或大量的离散数据,而且,必须要代替人进行监视、控制、消除人为误差。有些大型试验要求同时采集成千上万个点的数据,用一般的仪器仪表是无法完成的。

数据采集系统是计算机应用硬件、软件的综合技术,是近代电子技术、自动控制技术、计算机技术、半导体技术、微电子技术和传感技术的综合应用。它是以电子计算机为核心,连接各种仪器仪表、智能器件和传感器,组成各类大中小型数据采集系统。根据使用的目的、用途,进行电量和非电量多参量的数据采集、数据处理,实施多种功能控制。数据采集技术是解决测量、控制、计算、存储、分析信号的最新最佳技术。特别是测试非电量更是如此,因为电子敏感元件能将非电量转换成电量进行测量。如目前已经能够将光、热、磁、力、超声、气氛、射线等物理、化学和生物反映的信息量转换成电和其他信号,给数据采集系统输入各种信息,使数采技术在控制和测试系统中得到广泛应用。

二、数据采集技术的发展和运用

数据采集系统开始于五十年代,1956年美国首先研究了用在军事上的测试项目,这是不依靠任何有关的测试文件,由非熟练人员上机进行自动操作。这是以电子计算机的速度完成测试,而且通过程序编制的灵活性,还可以适应任何具体的测试项目,从而完成大量的数据测试。大约在六十年代的后期,就有成套的数据采集系统进入市场。七十年代后期,微型机的高速发展,诞生了仪表同计算机溶为一体的数据采集系统。由于它的性能优良,超过自动检测仪表,因此获得了惊人的发展,出现了数据自动检测、过程自动控制、数据自动处理的数据采集和自动控制系统。

数据采集系统初期是用几台包括显示器和记录仪在内的仪器组合起来的,这些仪器可以是模拟式的,也可以是数字式的。由一台程序控制器和小型计算机控制,用于某一特定的检测目标。其特点是程序固定、功能简单、具有一定的分析能力。其次是接口卡片积木式系

统，它是把设计成与程控仪器相适应的接口卡片箱装在专用的计算机内。在某系统中，如果使用仪器相同，就不必更改接口卡片。不同的系统配备不同的仪器，则只需将要使用的仪器卡片插进去，不需要的抽出来，更改几条接线即可，这种系统比测试台灵活得多。长期以来，人们希望有一种国际通用的标准接口系统。如果在世界各地都按统一标准来设计可编程的仪器、仪表和器件，就可以把任何厂家生产的任何型号的可编程的器件，用一条无源的标准母线电缆互相连接起来，其中包括计算机在内。如1966年欧洲开始研究的CAMAC系统和IEEE-488母线系统。最近数据采集技术发生了极大的变化，大、中、小计算机，微型机，单片机和大规模集成电路的组合，用软件管理，使测试系统的成本降低，体积减小，功能成倍增加，测量范围大大扩展，加强了数据处理和加工能力。

数据采集系统一般具有三个突出的优点：

第一，价格低。数据采集系统配备小型计算机，几片大规模集成电路，如CPU、ROM、RAM、I/O接口等。

第二，维修方便，故障自检，模块板标准化系列化。

第三，功能得到最大的扩展。由于一般数据采集系统都配有A/D变换器，有时还配有D/A变换器，这样计算机就可以处理模拟量和数字量。另外，还有采样保持电路，放大调节电路，逻辑控制电路等。

一般数据采集系统具有下列功能：

(1) 自动操作：对于通用测试，预先把操作程序存入PROM、ROM、EPROM中，操作人员只要按键盘上所规定的功能键，数据采集器就能按预先编制的程序自动操作，对于特定的测量，操作人员可以临时编制程序，存入机器内部，按新的程序工作。

(2) 自动选择：能自动选择测量项目、测量范围、增益和频率范围达到最佳状态，使测量精度最高。

(3) 结果判断：数据采集系统可根据预先给定的指示标准，判断测试结果是否正确。并能自动记录显示。

(4) 自动校正：可进行自动调零，按预先给定的标准进行自校，消除温度，噪声及干扰等因素，把系统误差存储起来，便于后来从测试结果中扣除，提高测试精度。

(5) 数据处理：能把测量的数据进行分类处理，进行数学运算，模拟运算，误差修正，工程单位转换等。

(6) 自动控制：对被测对象进行适时控制和分时控制。

(7) 故障报警：能进行自身的故障诊断报警，由CPU向系统各部分发出校准信号，经过比较，可以判断各部分有无故障。而且在测试过程中，如果有故障，同样也能报警。

(8) 联网通讯：一般计算机的外设，如打印机、显示器、磁盘磁带机、绘图机、记录仪，通过标准接口和系统进行联网通讯，同时通过标准接口，还能与另外的数据采集和控制系统进行联网通讯。

在国外，技术先进的国家，数据采集技术已在军事、航空电子设备及宇航技术方面被广泛地采用。特别是七十年代的后期，出现了高性能、高可靠性的单片数采系统(DAS)。1983年美国已设计生产了对军事/航空方面应用的完整的12位(bit)单片数采系统，体积非常小，耐温(-55℃至+125℃)，这是与计算机完全兼容的数采系统。目前有的系统产品精度已达24位，采集速度每秒达到几十万次以上，通道可达几千个。采用先进的模块式结构，根据不同的应用要求，通过简单的增加和更改模块，就可扩展或修改系统，可以很迅速

地组成一个新的系统。如美国 Keithley 公司的 DAS500 系列数据采集系统,就是用十个模块,根据功能不同选择组合,迅速组成小型的数据采集系统。又如英国 Solartron 公司 3530 就是一个体积小、功能强的数据采集系统。通过组合最多可拥有 3600 个输入输出通道进行测量和控制,用 FORTRAN 语言编制测试和控制程序,实现对 3530 的控制,完成预定的数据采集和控制任务。

国外数据采集技术已成为一种专门的技术。各种不同的功能板及系统软件,还在向标准化系列化发展。某些国家有专门研究机构,生产和销售部门。从它的系统性和配置来看,已进入分布智能系统。

我国虽然起步较晚,但是自从六十年代,研制成仪器仪表组成的第一台巡回检测、控制、处理的系统之后,至今测控处理已发展到开始用小型计算机,微型机,单板机,单片机等大规模集成电路组成的各种系统,逐渐地在军事、科研、工业等各行各业得到应用。它作为一种新兴技术在测试和控制领域中正在引起人们的极大关注。特别是局部网络的发展,引起了人们很大的兴趣。一座实验楼,办公楼,饭店、或一个工厂区通过局部网,把多台数据采集系统联起来,可实现一些具有重要意义的工作。例如:

一般事务数据处理。如文件访问、存储和传送;外部设备的应用,服务等资源分配;数据采集器对数据采集器以及数据采集器对外部设备的接口;售货点操作;终端对终端通讯;分布式数据库管理;计划管理等。

办公室自动化。如文件存取,传送;数字化声音的存储转发、仿真;电子邮件和消息服务;字处理机通讯。

实验室,工厂和工业自动化。如实时过程控制;自动化生产;图象、声音和数据处理设备的互联。

实时的声音和图象。如家用电话转换;闭路电视;安全和监视;大楼自动化管理。

家用数据采集器。如处理机、存储器和外部设备的公配;文件访问、传送和存储;软件电视、管光发和分配;中央协调和控制。

旅馆、饭店自动化。如温度湿度、亮度控制、服务器具、安全系统、对话装置、电话、管理计算机和其他功能可由一个局部网实现控制。

除上述应用领域外,还可以得到如下好处:

资源分配,用户可以分配访问高速打印机、大容量磁盘机、高速电信设备、分时服务、数据库管理系统以及每个单独的数据采集系统所不可能得到的其他资源。

由于数据采集器是全部互联的,因此它可支持终端对终端通讯、应用转换和在大多数点对点环境中不常使用的功能。利用网络作为信息交换的介质,例如提供对用户文件和数据库的访问,支持电子邮件应用等。

局部网可作为不同类型或不同厂商设备之间的公共接口,这样用户可免于对单个厂家的依赖。它可以把老的技术设备同新的技术设备结合起来,延长现有系统的使用寿命。设备可安装到设施最便利的地方或用户方便的邻近地方,不必集中在一个区域。过去不能联接的计算机终端可通过局部网结合在一起,使分散的信息处理功能结合成为一个整体,可以集中收集数据系统网络设计和其他网络管理的资料。控制中心可进行网络范围的故障隔离诊断和错误处理、报告。

联网分布式处理可以淘汰中央控制计算机,避免网络失效,扩大网络发展极限和改善服务。它比一般点对点网络传送信息速率高、误差率低和传输距离长。信息通过量每个通道为

200k~50Mbps, 误差率为 $10^{-3} \sim 10^{-13}$, 扩展较简单、灵活。如果要在网络上增加一个用户设备, 如同把它插入专用接口那样简单, 不必重新组合网络。用户设备可从一个地方转移到另一个地方。

总之, 局部网络的发展使数据采集系统, 无论是单机还是通过联网的多机系统、今后必将在测试控制领域得到迅速的发展。

第二章 数据采集原理及系统的组成

数据采集就是把来自各种各样传感器的信号数据实时地、准确地测量或汇集起来,用计算机进行实时处理或记录存储,以供事后应用。另一种是计算机和各种智能仪器仪表、有接口的控制设备、部件连接起来进行数据采集,实时完成测试和控制功能。尽管传感器和仪器仪表种类繁多,但它们输出的信号可分为模拟信号和数字信号。

数据采集系统结构型式多种多样,一般都是通过微机的标准接口,经过标准母线,连接各种功能模块、仪器仪表和传感器,组成测量和控制系统。

采集系统的组成特点:

(1) 采集通道组成可多可少,应用灵活。如单参量采集用单通道;多参量采集的大型试验,可用几百以至几千个通道。通道有控制通道、顺序采集通道、同步采集通道,对成千上万个模拟信号、数据信号进行测量和采集,经过输出,实施各种控制。

(2) 根据信号电平高低,可以灵活采用不同分辨率的A/D, D/A变换器完成采集和控制功能。例如热电偶和应变、位移电桥的输出都是低电平信号,其满量程一般在5mV至20mV的范围。要求能测出和分辨出微伏级信号,就要用12位至14位A/D。对于温度计量或电子计量中为了保证精度要求,可用高分辨率的16位或更高的A/D变换器。

(3) 能实现实时采样和实时处理、实时控制、实时显示。因为在试验过程中,要测量的信号点多,每一个点的测量时间不能过长。有的试验要采集瞬态过程的数据,这就要求有更高的采集速度,就要用特殊的存取电路和模/数、数/模变换电路,从软件和硬件上综合设计。

(4) 测量速度快精度高。对于高精度测量,一般测量仪器是不难满足的,但对于高速高精度的测量这些仪器是无法满足的。对于多点快速采集系统,一般精度可达 $\pm 0.1\%$,如精度有特殊要求,可用16位A/D转换器(转换速度可达 $35\mu s$),精度可达 0.01% 。

完成上述测量要求的方法比较多,早期曾使用仪器仪表、智能仪器和计算机相连,对模拟信号进行采集和记录。但由于这种仪器仪表采集速度慢,用于快变化信号采集,其主要缺点是设备多、数据精度低、时间长,很难实时采集和实时处理数据。现在广泛用A/D和D/A变换组成的数采系统,可以提高测量和采集数据的精度,提高数据处理速度,克服了用仪器仪表作为采集端点信号的缺点。

数据采集系统在终端采集的信号,大多数是模拟量,要使计算机接受它,必须要转换数字量,因此要用一些特殊的取样电路,将收到的连续信号,经过A/D变换器转换成离散信号,供给计算机加工处理。在A/D变换器中,因为输入的模拟信号在时间上是连续量,而输出的数字信号代码是离散量,所以进行转换时,必须在一系列选定时间内,对输入的模拟信号采样,然后把这些采样值转换为输出的数字量。因此,一般A/D变换过程至少要通过采样、保持、量化、编码这四个步骤完成。如图2.1所示。这些步骤往往是合并进行的,例如采样和保持就是利用同一个电路连续进行的。量化和编码也是在转化过程中同时实现的,而且占用的时间又是保持时间的一部分。实际上在数据采集时,把数据输入计算机时,无论速度多么快,只能一个一个地输入。在实际中如何确定采样率,才能保证不丢失信息,将采样信

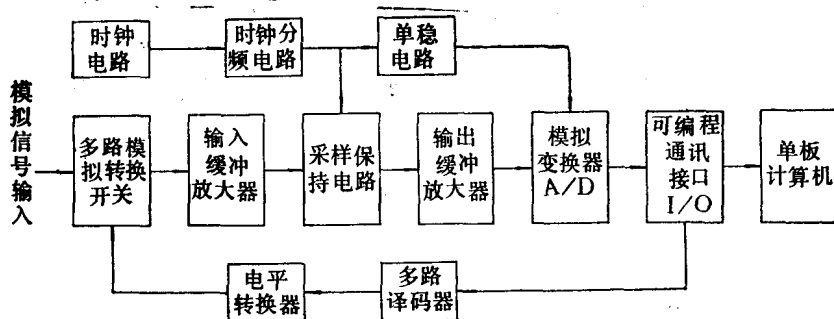


图2.1 多路数据采集器框图

号正确地还原成模拟信号，以及分析采样信号的频谱，供选择和设计放大器，确定采样速度之用，这是设计和选择数据采集系统首先要解决的问题。

图2.1 是一个16通道数据采集系统原理方框图。此系统由一个多路开关、信号调节（对信号进行放大和波形加工）、采样保持、A/D变换器、控制逻辑电路和单板机组成。

一般A/D变换器的输入信号均为伏级的大信号，为了将毫伏级的小信号变成伏级的大信号，必须用放大器。在多通道的数据采集系统中，对于异步采集，要放大的信号是从各个通道中汇集起来的采样信号。它包含有直流分量的调幅脉冲信号，所以要求放大器稳定、精确、增益可控，有直流到100kHz左右的频宽，零点漂移小到微伏级。当传感器和采集端头的输出与采集系统之间存在着共模电压时，还必须采用隔离放大器或具有抑制共模电压能力的差分放大器。各通道的信号必须先经过多道切换器，送到共用的放大器和A/D变换器。

对于某些如应变片桥式传感器等，还应设置信号调节器，供给电桥电源，调零装置，标准电路、滤波和补偿电路等。

为了便于数据处理和控制系统协调工作，还必须提供一些辅助性的数据：如通道地址，测量和采集的速率和时刻，放大器的增益，温度系数，零点漂移，非线性校正，工程单位转换系数，报警上下限规定等。采集系统输出的控制信号以及回答信号，都要有相应的逻辑电路来实现。

一、量化和编码

数字信号不仅在时间上是离散的，而且在数值上的变化也是不连续的。这就是说，任何一个数字量的大小，都是以某个最小数量单位的整数倍来表示的。因此，在用数字量表示采样电压时，必须把它化成这个最小数量单位的整数倍，这种转化过程叫做量化。所规定的最小数量单位叫做量化单位。显然，数字信号最低有效位中的“1”所表示的数量大小，就等于量化单位。把量化的数值用代码表示，就称为编码。

（1）量化误差

A/D变换器把模拟信号转换为数字数据或数码时，其中每个数字数据或数码相当于一个幅值大小的输入模拟电压。例如基准电压 $V_{R(+)} = +5V$ ， $V_{R(-)} = 0V$ ，输入模拟电压 $V_{IN} = +4.98V$ 。设 N 为转换结果（十进制数），A/D为8位（bit）模数变换器，根据转换公式

$$N = \frac{N_{IN} - V_{R(-)}}{V_{R(+)} - V_{R(-)}} \times 2^8 = \frac{4.98 - 0}{5 - 0} \times 256 = 255D = FFH \textcircled{1}$$

从公式得知，当A/D使用基准电压 $V_R = +5V$ 时， $1LSB \textcircled{2} = \frac{V_R}{256} \approx 20mV$ ；输入模拟电

压 $\approx +4.98V$ 时，转换结果 $N = FFH$ ，所以被转换模拟电压的范围是 $0 \sim 4.98V$ ，此电压的最大值为 $V_R - 1LSB$ 。被转换的模拟电压是连续的，而和它对应的数字是离散的，与数字对应的电压也是不连续的，如图2.2所示。

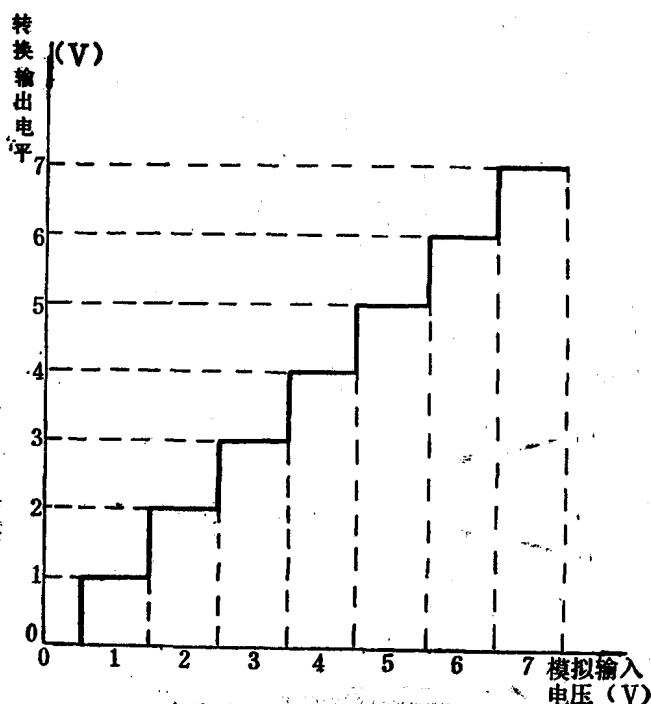


图2.2 量化输出与模拟输入关系

假如输入电压为 0 至 7 伏，则它可用 7 个离散的输出电平来表示。这里用一系列的模拟输入电压的判断电平，确定输出电平在何处发生跳变。图2.2中第一级在 $0.5V$ 处发生跳变， $0.5V$ 就是第一个判断电平，接下去每增加 $1V$ 就是一个判断电平。如果有 M 级离散输出电平（即 M 个量化电平），则只有 $M-1$ 个判断电平。可以看出，当模拟输入电平在两个相邻的判断电平之间变化时，输出也只有一个电平。当输入电压为 V_{IN} 时， $0.5V < V_{IN} < 1.5V$ ，输出电平为 $1V$ 。因此每一量化过程具有某一固有的量化单位 Q ， Q 等于两个相邻判断电平之差，在此， $Q = 1V$ 。若增加量化电平的数目 M ，则 M 越大， Q 越小，分辨率越高。

由于 M 总是有限的，所以 Q 也不可能无限小。既然模拟电压是连续的，那么它就不一定能被量化单位整除，因而不可避免地会引入误差，我们把这种误差称为量化误差。在把模拟信号划分为不同的量化等级时，用不同的划分方法时就得到不同的量化误差。

量化误差的定义： $e_q =$ 模拟输入的幅值 - 输出的量化电平。从计算可知，量化误差 e_q 的

① H (Hexadecimal) 表示十六进制数。

② LSB是A/D、D/A变换器中最低二进制位，表示变换器模拟量的最小变化值。

范围是从 $-\frac{1}{2}Q$ 到 $+\frac{1}{2}Q$ 。下面给出量化误差 e_q 与模拟输入幅值之间的关系。如果模拟输入幅度的变化是随机的, 则量化误差也是随机的。量化误差的均方值 $\overline{e^2}$, 可由下式求得:

$$\overline{e^2} = \int_{-\frac{Q}{2}}^{+\frac{Q}{2}} e_q^2 \rho(Q) de_q$$

式中 $\rho(Q)$ 是量化误差 e_q 在各个模拟输入幅值下出现的概率。如果分层间隔很小, 在每一间隔内可把模拟输入看成是等概率分布, 则量化误差也是均匀分布的, 其概率 $\rho(Q)$ 为:

$$\rho(Q) = \frac{1}{Q} \text{ (常数)}, \text{ 则 } \overline{e^2} = \frac{Q^2}{12}, \text{ 均方根值为 } \sqrt{\overline{e^2}} = \frac{Q}{\sqrt{12}} \approx 0.289Q.$$

(2) 编码和各种码制

量化电平用相应的数码或数字来代表。将量化电平转换为数码或数字信息。例如把量化的数值用二进制代码表示, 这个二进制代码就是A/D变换器输出信号。

在数据采集系统中、使用最多的是二进制码, 二进制数又可分为单极性和双极性。首先讨论单极性二进制数。例如把0至+1V的模拟电压信号转换成三位二进制代码, 就有不同的划分方法。

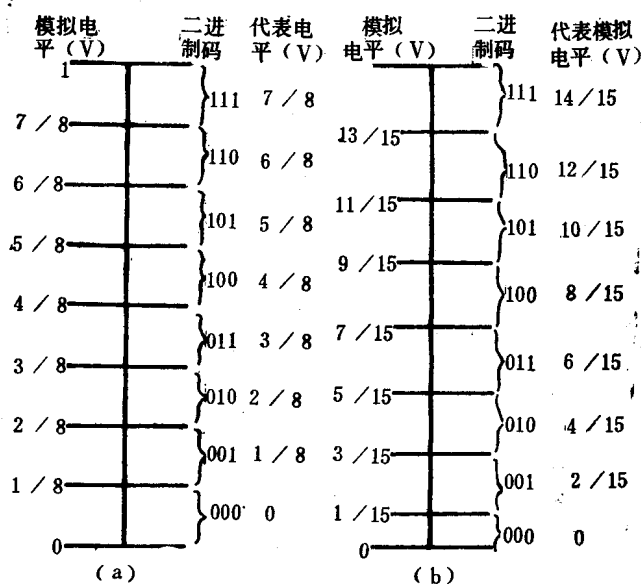


图2.3 划分量化电平的编码方法

从图2.3 (a) 中可以看出, 凡数值在0至1/8V之间的模拟电压用二进制000表示, 凡数值在1/8至2/8V之间的模拟电压用二进制的001表示, ……等。不难看出, 最大量化误差为1/8V。为了减少量化误差可用图2.3 (b) 划分方法, 用000代码所对应的模拟电压规定为0至1/15V。这时最大量化误差为1/15V。这个道理不难理解, 把二进制代码所代表的模拟电压值规定为它所对应的模拟电压范围的中点, 最大量化误差自然就被缩小为一半。

单极性二进制数 S_{2u} 和十进制数 S_{10} 的关系可用下式表示。设 S_{2u} 为N位单极性二进制数。

$$S_{2u} = B_1 B_2 B_3 \cdots B_1 \cdots B_N$$

式中 B_i 表示第 i 位二进制小数的系数, 它只能等于0或1。 S_{2n} 与 S_{10} 的关系可用下式表示

$$S_{10} = B_1 2^{-1} + B_2 2^{-2} + \dots + B_i 2^{-i} + \dots + B_N 2^{-N}$$

$$S_{10} = \sum_{i=1}^N B_i 2^{-i} \quad (B_i = 0 \text{ 或 } 1)$$

如果输入模拟电压为 V_{IN} , 模数变换器输出为单极性的二进制码, 则

$$V_{IN} = \sum_{i=1}^N B_i 2^{-i} V_R$$

式中 V_R 为模数变换器的基准电压。设 $N=3$, $V_R=8V$, 则 B_1 为最高位码 MSB, B_N 为最低位码 LSB, 则最高位码 B_1 (MSB)代表电压

$$V_{MSB} = 2^{-1} V_R = 4V$$

最低位码 B_N (LSB) 代表电压

$$V_{LSB} = 2^{-N} V_R = \frac{1}{2^3} \cdot 8 = 1V$$

一般1LSB等于模数变换器的分辨率或分辨电压, 量化电压

$$Q = \frac{1}{2^N} V_R$$

模拟变换器的分辨率 R 为

$$R = \frac{Q}{V_R} = \frac{1}{2^N} = \frac{1}{8}$$

量化电平数为 $M = 2^N = 8$

模数变换器的最大电压 V_{max} 为

$$V_{max} = (1 - 2^{-N}) V_R = 7V$$

现在讨论双极性二进制码。当模拟电压在正、负范围内变化时, 正常以2的补码形式进行编码, 如图2.4所示。这个例子中取最低有效位中的“1”所表示的数量为1V, 用三位二

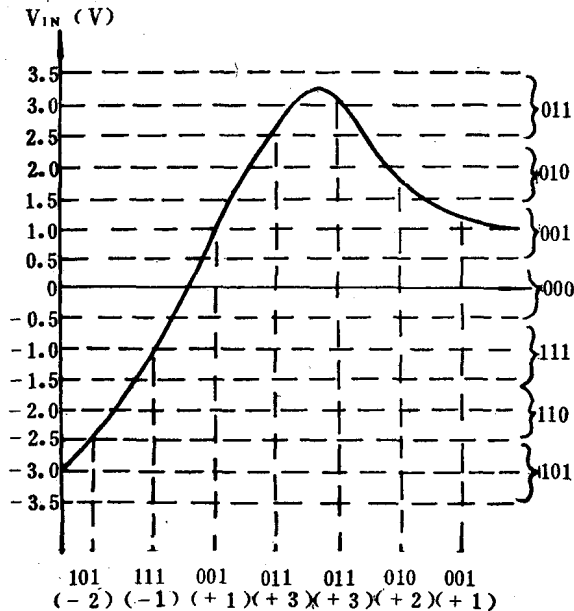


图2.4 双极性模拟电压的编码