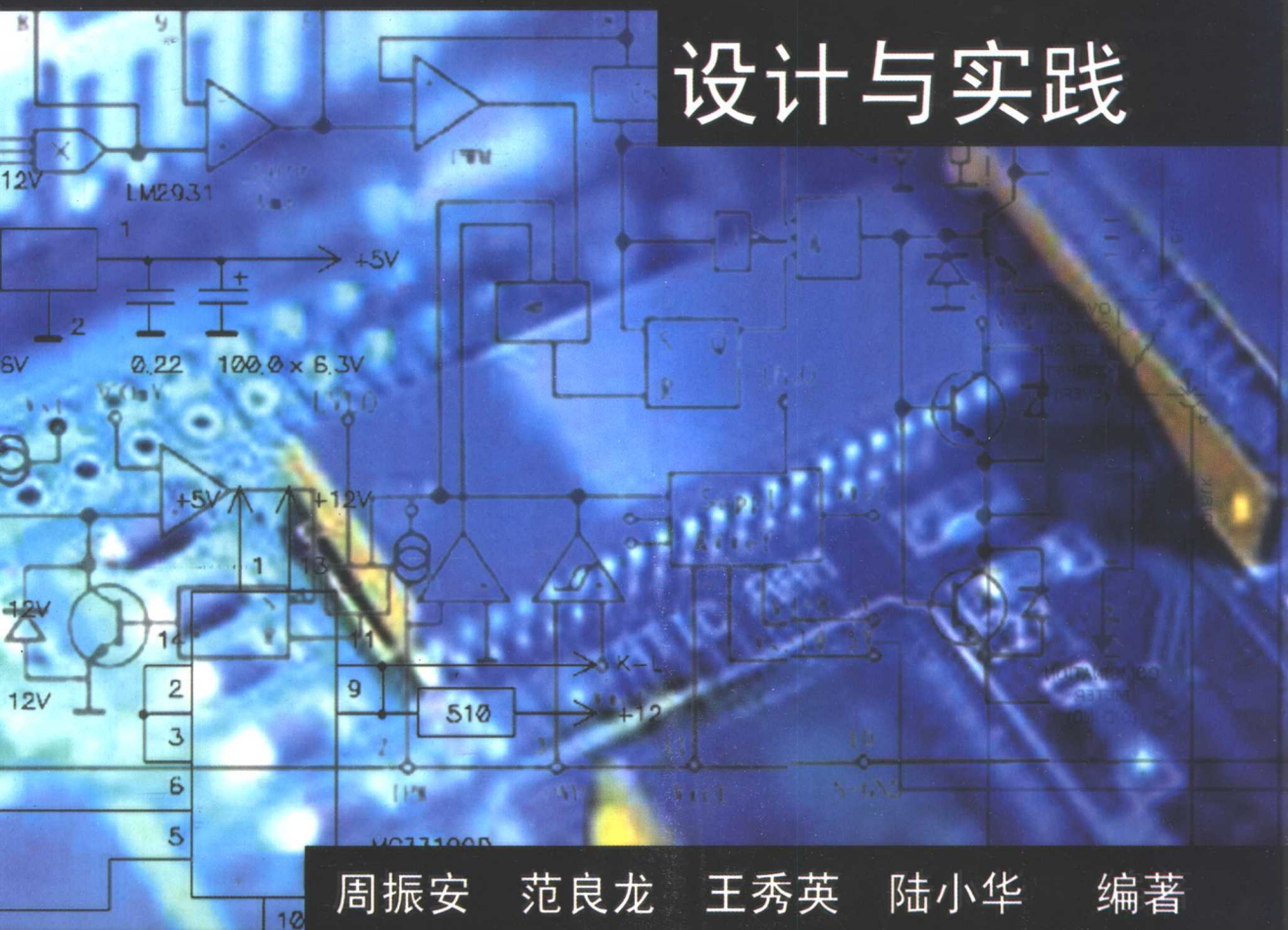


数据采集系统的

设计与实践



周振安 范良龙 王秀英 陆小华 编著

地震出版社

数据采集系统的设计与实践

周振安 范良龙 王秀英 陆小华 编著

地震出版社

图书在版编目(CIP)数据

数据采集系统的设计与实践/周振安等编者. —北京:地震出版社, 2005. 7

ISBN 7-5028-2658-0

I. 数... II. 周... III. 数据采集· IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 025508 号

地震版 XT 200500011

内 容 提 要

本书系统阐述了数据采集系统的原理及相关的技术问题, 对系统各部分的电路结构设计思想和实现方案进行了深入剖析, 对模拟信号的调理、模拟数字转换器及其与微控制器的接口等功能的实现, 给出了大量的实用电路。书中以一定篇幅对当前比较热门的实用化技术——网络化仪器的设计问题给以足够的重视, 并以地震前兆数据采集系统的设计为实例, 结合作者科研实践的经验总结和体会, 深入浅出地叙述了数据采集器的设计、开发全过程, 无论是对从事智能化仪器研发的科研人员, 还是对地震行业的仪器研发和管理维修人员, 都具有参考价值。

数据采集系统的设计与实践

周振安 范良龙 王秀英 陆小华 编著

责任编辑: 张晓波

责任校对: 张晓梅

特邀编辑: 连小力

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京大华山印刷厂

版(印)次: 2005 年 7 月第一版 2005 年 7 月第一次印刷

开本: 789×1092 1/16

字数: 583 千字

印张: 22.75

印数: 0001~2000

书号: ISBN 7-5028-2658-0/P·1239 (3287)

定价: 38.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

前 言

随着数字技术的飞速发展,数字化仪器已成为观测技术领域的主流仪器,因而数据采集技术也成为观测技术领域中十分重要的技术环节。

早在“八五”期间或更早时间,中国地震局就组织科技攻关,并在数字化观测技术方面取得重要成果。“九五”期间,基本实现了科研成果的实用化,在全国实现了约200多个地震前兆台站的数字化技术改造。“十五”期间,国家投入了更大资金,使我国现有地震台站基本上都可实现数字化改造,从而可使我国地震观测技术从根本上改变面貌。

面临地震台站上大量地震前兆观测仪器的更新换代,新型仪器的不断推出,规范设计、指导维修,提高相关专业人员的理论和实践水平已成当务之急。

在中国地震局地震联合基金会的大力支持下,作者历时3年,将长期从事地震观测领域的教学和科研的实践经验及部分研究成果,进行了认真、系统的总结,特别是将当前比较热门的网络化仪器的设计思想和内容的引入使得该书既包含有传统方法的原理描述,又着重于新型数字电子技术发展和网络化通信技术的应用,并结合了地震前兆观测技术领域的特殊问题,将数据采集系统的原理、设计和开发实践中一系列相关技术问题做了系统描述。相信本书为智能化仪器的研发人员、地震仪器的研发人员、维修人员都能提供一定帮助。这正是本书的主要写作目的,也是作者一直想做的一件事。

本书分为两篇:原理设计篇和研发实践篇。

原理设计篇包括第一章到第七章,讲述了模/数转换的基本原理,重点分析了双积分型、逐次比较型、 δ - σ 型等模/数转换的基本原理,并结合作者科研成果和实验总结,详细介绍了数据采集系统各个单元的实用电路、设计方法及相关的技术问题。

研发实践篇包括第八章到第十二章,主要以地震前兆综合数据采集器为典型例子进行具体剖析,突出了高精度数据采集和数据通信等地震前兆数据采集器中一些特殊问题的处理;给出了地震前兆公用数据采集器的常见故障分析及维修举例;并对数据采集系统的日常维护问题给予重视。书中给出了大量的实用电路,这些电路大部分都是经过作者亲手实验调试通过的,必定会为读者提供有益的借鉴作用。

本书第一章、第五章部分内容由中国地震局地壳应力研究所范良龙工程师执笔，第七章、第十章部分内容由高级工程师王秀英执笔，第六章由北京农业职业学院陆小华副教授执笔，第二、三、四及第五章部分内容，第八、九、十一、十二及第十章部分内容由周振安研究员执笔。全书由周振安研究员提出整体构思，并做最终审定。由于受作者学识水平所限，错误之处在所难免，希望同行专家和广大读者给予批评指正。

本书出版得到中国地震局地震联合基金会的大力支持，在此一并致谢！

周振安

2005.3

目 录

第一篇 原理设计

第一章 模拟数字转换基本理论	(3)
1.1 概述	(3)
1.1.1 信号类型.....	(3)
1.1.2 模数转换的必要性.....	(3)
1.1.3 模数转换电路的基本构成.....	(4)
1.1.4 模数转换器的发展趋势.....	(5)
1.2 模数转换的基本理论	(5)
1.2.1 采样过程.....	(5)
1.2.2 采样定律与滤波器.....	(6)
1.2.3 采样/保持器	(7)
1.2.4 模拟开关和多路切换器.....	(9)
1.2.5 量化与量化噪声	(11)
1.3 逐次比较型模/数转换的基本原理	(14)
1.3.1 数模(D/A)转换器基本原理	(14)
1.3.2 逐次比较型模数转换器的基本原理	(15)
1.3.3 逐次比较型 A/D 转换器的特点.....	(17)
1.4 双积分型模/数转换器	(17)
1.4.1 双积分型模/数转换的基本原理.....	(17)
1.4.2 双积分型模数转换器的主要特点	(19)
1.5 Σ - Δ 型模/数转换的基本原理	(19)
1.5.1 Σ - Δ 型模数变换基本工作过程	(19)
1.5.2 过采样	(20)
1.5.3 Σ - Δ 型 A/D 转换器的信噪比	(21)
1.5.4 抽取滤波器	(26)
1.5.5 Σ - Δ 型 A/D 转换器的主要特点	(26)

1.6	其他类型的模/数转换	(26)
1.6.1	V/F 型模数转换器原理	(26)
1.6.2	流水线型 A/D 转换器	(29)
1.6.3	算术型 A/D 转换器	(31)
1.6.4	并行 A/D 转换器	(32)
1.6.5	串/并行 A/D 转换器	(34)
1.7	A/D 转换器的主要技术参数及性能分析	(35)
1.7.1	A/D 转换器的主要技术参数	(35)
1.7.2	模数转换器的静态特性分析	(37)
1.7.3	动态特性分析	(42)
1.7.4	模数转换器的接口特性	(42)
1.7.5	几种 A/D 转换器的性能比较	(43)
第二章	高精度数据采集模拟通道的设计	(45)
2.1	概述	(45)
2.1.1	数据采集系统的定义	(45)
2.1.2	高精度数据采集系统的主要特点	(45)
2.1.3	高精度数据采集系统设计的基本要点	(46)
2.1.4	高精度数据采集系统实现的基本方案及设计思路	(47)
2.2	信号调节及类型转换	(49)
2.3	低通滤波	(50)
2.3.1	无源 RC 低通滤波器	(51)
2.3.2	无源 LC 低通滤波器	(51)
2.3.3	有源低通滤波器	(52)
2.4	多路转换开关设计	(53)
2.4.1	多路转换开关的主要技术要求	(53)
2.4.2	常用模拟电子开关简介	(54)
2.4.3	机械触点式开关	(56)
2.5	信号调节及程控放大	(57)
2.5.1	信号调节的必要性	(57)
2.5.2	程控放大器的构成	(58)
第三章	模/数转换电路设计	(63)
3.1	模数转换电路设计的几个相关问题	(63)
3.1.1	技术指标	(63)
3.1.2	电压基准源选择	(64)

3.1.3	外围电路元器件选择	(67)
3.2	4 位半双积分型 AD 芯片 ICL7135 应用技术	(69)
3.2.1	ICL7135 芯片简介	(69)
3.2.2	ICL7135 芯片的接口控制	(70)
3.2.3	接口举例	(71)
3.2.4	使用注意事项	(72)
3.3	Σ - Δ 型模数转换器 AD7703 芯片介绍	(73)
3.3.1	AD7703 的主要特点	(73)
3.3.2	AD7703 模数芯片的主要构成及引脚定义	(73)
3.3.3	AD7703 模数器使用要点	(74)
3.3.4	AD7703 与单片机接口时序	(76)
3.3.5	AD7703 与 CPU 的几种接口方式	(77)
3.3.6	使用注意事项	(79)
3.4	24 位分辨率的 Σ - Δ 型模数转换器 AD7713	(80)
3.4.1	AD7713 的基本特点及引脚定义	(80)
3.4.2	AD7713 内部控制字的设定	(82)
3.4.3	AD7713 的基本连接电路	(84)
3.4.4	AD7713 的两种工作方式简介	(85)
3.4.5	AD7713 与 CPU 的接口	(88)
3.4.6	注意事项	(91)
3.5	LTC2440 芯片应用简介	(91)
3.5.1	主要性能特点简介	(91)
3.5.2	引脚定义及内部功能框图	(92)
3.5.3	接口技术及应用	(93)
3.6	V/F 转换器 VFC32 应用简介	(97)
3.6.1	VFC32 芯片概述	(97)
3.6.2	VFC32 工作原理及其应用	(98)
第四章	数据采集系统的控制单元设计	(102)
4.1	单片机概述	(102)
4.1.1	单片机的发展简介	(102)
4.2	标准 8051 内核 8 位单片机简介	(104)
4.2.1	标准 8051 单片机外部引脚及内部结构	(104)
4.2.2	标准 8051 单片机指令系统	(108)
4.2.3	MCS-51 系列单片机的应用	(111)

4.3	8 位单片机应用系统接口能力的扩展	(115)
4.3.1	系统寻址能力的扩展	(116)
4.3.2	I/O 口的扩展	(117)
4.3.3	显示器接口技术	(119)
4.3.4	键盘接口技术	(125)
4.4	数据采集系统的数据存储区设计	(132)
4.4.1	存储器硬件设计的一般考虑	(132)
4.4.2	几种存储器的工作原理简介	(133)
4.4.3	常用数据存储器芯片应用举例	(137)
4.5	系统日历时钟设计	(145)
4.5.1	软件时钟的实现	(145)
4.5.2	硬件时钟的实现	(147)
4.6	数据采集系统的电源电路设计	(154)
4.6.1	电源电路概述	(154)
4.6.2	电源电路的基本工作原理及应用简介	(156)
第五章	高性能 SOC 芯片的应用开发	(160)
5.1	C8051FXXX 系列单片机特点及开发环境简介	(160)
5.1.1	C8051FXXX 系列单片机的主要特点	(160)
5.1.2	C8051FXXX 单片机开发环境	(164)
5.2	C8051F02X 单片机外部引脚与内部结构原理简介	(166)
5.2.1	C8051F02X 单片机的外部引脚	(166)
5.2.2	C8051F020 单片机内部结构	(167)
5.3	C8051F02X 单片机的特殊功能寄存器及基本操作	(171)
5.3.1	C8051F02X 系列单片机的特殊功能寄存器	(171)
5.3.2	中断源及其管理问题	(173)
5.3.3	系统复位操作	(174)
5.3.4	系统时钟及振荡问题	(175)
5.3.5	看门狗功能	(178)
5.3.6	系统资源配置问题	(179)
5.3.7	存储器操作问题	(184)
5.4	MSC1210 单片机应用简介	(187)
5.4.1	MSC1210 简介	(187)
5.4.2	与 A/D 相关的几个特殊功能寄存器描述及系统初始化问题	(188)
5.4.3	使用注意事项	(191)

5.4.4	用 MSC121X 单片机实现高精度数据采集的程序开发流程	(193)
第六章	数据采集系统的可靠性设计技术	(194)
6.1	可靠性设计基本概念	(194)
6.1.1	可靠度 $R(t)$	(194)
6.1.2	失效率 $\lambda(t)$	(194)
6.1.3	平均无故障时间 MTBF	(195)
6.2	数据采集系统可靠性设计的基本技术措施	(195)
6.2.1	常用元器件的选择及工作状态	(195)
6.2.2	采用系统隔离技术提高系统抗干扰能力	(198)
6.2.3	利用软件设计技术提高系统可靠性	(203)
6.3	数据采集系统可靠性技术指标的估算	(204)
6.3.1	利用元器件的失效率来估算系统的 MTBF	(204)
6.3.2	系统 MTBF 的试验测试方法	(205)
6.3.3	DSC-2 系列数采器的 MTBF 估算	(206)
第七章	数据采集系统的通信功能设计	(207)
7.1	数据通信及组网的基本概念	(207)
7.1.1	数据通信的必要性	(207)
7.1.2	数据通信的基本要素	(207)
7.1.3	数据通信基本方式简介	(208)
7.1.4	通信组网的基本概念	(209)
7.2	RS-232 接口通信原理	(211)
7.2.1	RS-232 接口概述	(211)
7.2.2	异步通信传输格式	(212)
7.2.3	错误检测	(213)
7.2.4	接口信号定义	(215)
7.2.5	RS-232 口 9 芯、25 芯及 15 芯引脚定义及相互间转换	(216)
7.2.6	电平转换	(219)
7.2.7	远程通信	(220)
7.2.8	通信协议	(222)
7.3	支持 TCP/IP 协议的通信接口及组网设计	(222)
7.3.1	以太网通信结构	(222)
7.3.2	RJ45 接口信号定义	(223)
7.3.3	TCP/IP 协议简介	(224)

第二篇 研发实践

第八章 地震前兆公用数据采集器的硬件设计举例	(243)
8.1 概述	(243)
8.1.1 地震前兆观测要求的特殊性	(243)
8.1.2 地震前兆数据采集器的指标与功能要求	(244)
8.2 DSC-2A 型地震前兆公用数据采集器控制电路分析	(247)
8.2.1 控制电路基本功能框图	(248)
8.2.2 系统总线设计	(248)
8.2.3 译码电路设计	(250)
8.2.4 地震前兆数据采集器中存储电路设计	(251)
8.3 模拟量测量通道	(253)
8.3.1 低通滤波器电路设计	(253)
8.3.2 多路转换电路设计	(254)
8.3.3 程控放大器电路设计	(254)
8.3.4 A/D 转换电路设计	(256)
8.3.5 AD7703 与单片机接口设计	(258)
8.3.6 模拟量测量基本流程	(258)
第九章 地震前兆公用数据采集器系统监控软件设计	(261)
9.1 监控软件的总体设计	(261)
9.1.1 系统监控软件的自适应功能及其实现	(261)
9.1.2 系统监控软件的总体结构	(262)
9.2 系统初始化	(263)
9.2.1 系统初始化的主要内容	(263)
9.2.2 部分初始化程序编写	(264)
9.3 数据采集处理软件设计框图	(270)
9.3.1 数据采集启动子程序框图	(270)
9.3.2 ADC 中断服务子程序	(271)
9.3.3 量程切换子程序	(272)
9.3.4 串口发送、接收服务子程序框图	(272)
9.3.5 通信命令服务子程序框图	(273)
9.4 数据结构及数据存储管理软件设计	(275)
9.4.1 DSC2 系列地震前兆数据采集器的数据存储格式	(275)

9.4.2	数据存储及处理主要子程序结构设计	(277)
第十章	网络化仪器的通信功能与组网技术	(280)
10.1	地震前兆通信协议	(280)
10.1.1	地震前兆通信协议的常用命令字	(280)
10.2	地震前兆观测技术系统的组网技术	(284)
10.2.1	地震前兆台网结构	(284)
10.2.2	地震前兆台站组网技术	(285)
10.3	网络化地震前兆仪器的通信控制软件设计	(288)
10.3.1	网络化地震前兆仪器监控软件设计要求	(288)
10.3.2	网络化地震前兆仪器对接口协议的支持能力及 网络接口界面设计	(289)
第十一章	数据采集系统的安全保护技术	(297)
11.1	常用安全保护元器件简介	(297)
11.1.1	压敏电阻	(297)
11.1.2	瞬态二极管 TVS	(299)
11.1.3	自恢复保险管	(301)
11.2	地震前兆数据采集器中采用的几种保护措施	(302)
11.2.1	数据采集器的直流供电安全保护设计	(302)
11.2.2	数据采集器的信号输入端的保护	(303)
11.2.3	通信线路的保护设计	(303)
第十二章	地震前兆数据采集器故障分析与维护	(305)
12.1	数据采集系统故障判别的一般方法	(305)
12.1.1	一般步骤	(305)
12.1.2	数据采集系统故障分析处理的常用工具	(306)
12.2	系统简化法及其在地震前兆观测技术系统中的应用	(306)
12.2.1	地震前兆台站观测技术系统结构	(306)
12.2.2	利用系统简化法处理地震前兆集成系统故障举例	(310)
12.2.3	直观判别法和替换法	(313)
12.2.4	利用数字万用表判别数据采集器电路故障	(313)
12.2.5	信号跟踪法	(317)
12.3	地震前兆数据采集器常见故障现象的分析及处理	(321)
12.3.1	地震前兆数据采集器结构、布局及主要工作流程	(321)
12.4	常见故障现象的分析及处理	(324)
12.4.1	状态指示灯一直不闪烁	(324)

12.4.2	状态指示灯闪烁,但不能进行数据通信.....	(324)
12.4.3	刚开机时正常,延时一段时间后数据采集器死机.....	(325)
12.4.4	接通电源瞬间状态指示灯闪亮一下,紧接着保持状态不变.....	(325)
12.4.5	数据通信不正常.....	(325)
12.4.6	采集的数据不正常.....	(326)
12.4.7	电源电路故障的几种表现现象及处理办法.....	(328)
12.5	引起地震前兆数据采集器产生故障的外部因素.....	(328)
12.5.1	几种常见外部干扰源分析.....	(328)
12.5.2	地震前兆数据采集器的外部连接通路.....	(330)
12.5.3	由模拟信号输入通路引入干扰的分析处理.....	(330)
12.5.4	由通信接口通路引入干扰的分析处理.....	(331)
12.5.5	由供电通路引入干扰的分析处理.....	(331)
12.6	DSC-2 系列数据采集系统的典型故障综合分析举例.....	(333)
12.6.1	山东长清台典型故障分析.....	(333)
12.6.2	江苏徐州台典型故障分析.....	(334)
12.7	地震前兆数据采集系统的运行维护.....	(335)
12.7.1	数据采集系统的实验室标定.....	(335)
12.7.2	数据采集系统的现场检测问题.....	(338)
12.7.3	数据采集系统使用注意事项.....	(338)
主要参考资料.....		(340)
附图说明.....		(341)

第一篇 原理设计

第一章 模拟数字转换基本理论

1.1 概述

模拟—数字转换器常简称为模数转换器，它是用来把连续的模拟信号转换为适合数字系统处理的数字信号，它是数据采集系统的核心，被广泛应用于闭环控制系统、数字通讯系统、空间遥测系统、数字电压表和混合仿真系统中。将模拟量转换为数字量的过程称为模数转换，常写为 A/D 转换。将模拟量转换为数字量的装置称为模数转换器，通常简称为 A/D 转换器或 ADC(Analog Digital Converter)。而由数字信号转换成模拟信号的操作称为数模转换，常写为 D/A 转换，数模转换器可写成 D/A 转换器或 DAC(Digital Analog Converter)。实现模数转换的方法原理很多，相应的分类方法也很多。本章对比较经典的转换器的工作原理做了详细分析，着重介绍了几种常见类型的 A/D 的原理与方法，并对 ADC 的主要技术特性进行了分析比较。

1.1.1 信号类型

自然界中的信号大体上可以分为两大类，即模拟信号和数字信号。

1. 模拟信号

模拟信号是指在时间和幅值上都连续的信号，比如常见的正弦、余弦信号。自然界中大量物理量如温度、时间、角度、速度、流量、压力、位移等都是连续变化的模拟量，此外，各种非电量经过传感器转换成的电压或电流也多是连续变化的。这些连续变化的物理量都称为模拟量。

2. 数字信号

数字信号是在时间和幅值上都是离散、且按一定方式编码的一组脉冲或电平信号。它是一个单位一个单位地增加或减少的，或者说只能按照断续阶跃的形式改变，因而不是连续的，通常称为离散量。

现代数字电子计算机的高速发展在科研、生产、实验及日常生活中发挥着巨大作用，但模拟量是不能直接输入给计算机来处理的，必须首先把这些模拟信号通过模数转换器变成数字信号，然后再送给计算机来处理。

1.1.2 模数转换的必要性

模数转换与数模转换技术是由数字测量和数字控制的需要而产生发展起来的，特别是微型计算机的迅速普及加速了这一技术的发展。转换技术最重要的应用就是数字控制系

统，控制对象可以是一个生产过程，也可能是一个自动控制装置。反映其运动状态的各项参数大都是非电模拟量，通过各种相应的传感器可以变换成电压或电流信号；在绝大多数情况下调节其状态参数的各种执行组件也需要电压或电流信号驱动。然而数字计算机只能接受和处理数字信号，其输出结果也是数字量。也就是说数字计算机和控制对象之间不能直接交换信息，而只能先通过采样器和 A/D 转换器把传感器输出的模拟信号转换为适合计算机处理的数字信号，并通过 D/A 转换器和保持器把计算机输出的数字量转换成连续的电压或电流信号去实现对被控制对象的闭环控制。因此，A/D 转换器和 D/A 转换器在数字计算机和被控制对象之间架起了一座“桥梁”。

在测控系统中，模数转换是非常重要的环节，尤其在以单片机或计算机为核心的数据采集系统中更是不可缺少。因为单片机只能识别数字信号，因此必须要通过 A/D 转换才能够得到计算机能够识别的数字信号。同时，A/D 的转换速度和精度也是特别重要的，因为在有些情况下(比如测量微弱信号)如果 A/D 选择不当将会得不到预期的结果。如果说单片机是数据采集系统的核心，那么 ADC 就是主体(躯干)，其他都是辅助功能。因此，模数转换器是数据采集系统的核心部分之一。

在遥测遥控技术领域、测量和测试设备中、通信和信号分析系统中、数字通信系统、医疗设备以及其他系统和设备中，A/D 转换器都得到广泛应用并起到非常重要的作用。

1.1.3 模数转换电路的基本构成

模数转换实际包含以下几个问题：信号调节问题、多路切换问题、采样/保持、模拟/数字(A/D)转换器等，如图 1.1 所示。

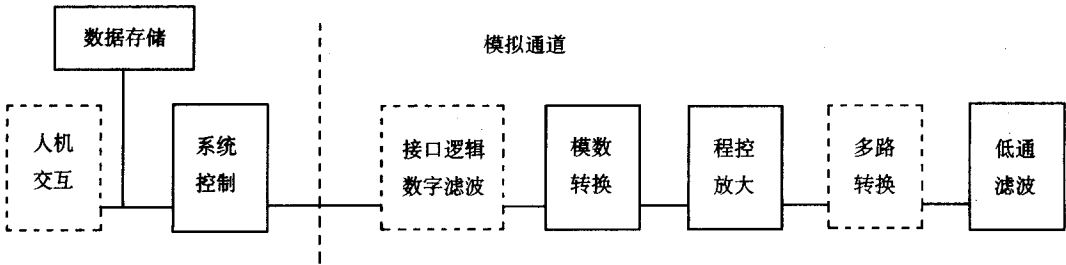


图 1.1 模数转换电路的基本结构

1. 信号调节问题

信号调节包括模拟信号的放大、滤波、阻抗变换等，使得所输入的模拟信号适合于模数变换器。主要作用为：

- 低通滤波：滤去高频噪声，提高信噪比；
 - 程控放大器：扩大数据采集系统的动态范围；
 - 信号变换：阻抗变换、电流—电压变换等。
- 电路设计时，不一定在每种应用场合都必须包含到。

2. 多路切换

模拟多路切换的电路的主要作用是提高模式转换电路的效率。当多路信号同时输入