

数据采集系统及其器件

陶 楚 良 编著

北京工业学院出版社

内 容 简 介

本书主要讨论数据采集系统的构成和数据采集器件,重点在数据采集器件的原理和应用。全书共分七章。第一章综合论述数据采集和数据分配系统的各种结构类型;第二章扼要介绍数据转换的理论基础;第三章至第六章详细讨论了数据采集和数据分配系统中各种类型器件的工作原理、性能和应用;第七章从系统的角度讨论各种电路和器件的具体设计。全书叙述简明、概念清楚、取材较新、便于自学。

本书既可作为高等学校工科电子类专业教材,也可供从事半导体集成电路方面工作的工程技术人员参考。

本书由王汉生教授主审,经原兵器工业部第一教材编审委员会电子工程编审组于1987年6月审定。

数据采集系统及其器件

陶 楚 良 编 著

*

北京工业学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米32开本 13.25:印张 297千字

1988年6月第一版 1988年6月第一次印刷

ISBN 7-81013-021-8/TN·1

印数: 1—4,000册 定价: 2.20元

目 录

第一章 数据采集和数据分配原理	1
第一节 数据采集系统	2
一、数据采集系统的组成	2
二、单通道转换	7
三、多通道转换	10
第二节 数据分配系统	12
一、数字分配与模拟分配的比较	14
二、数字分配系统	16
三、模拟分配系统	17
参考文献	20
第二章 数据转换的理论基础	21
第一节 采样	21
第二节 量化	25
第三节 码制	28
参考文献	37
第三章 数/模转换器 (DAC)	38
第一节 数/模转换器的工作原理	38
一、并行DAC	38
二、乘法DAC	65
三、串行DAC	69
四、间接DAC	79
第二节 DAC的特性参数及其测量	82
一、DAC的特性参数	82
二、DAC的误差	86
三、DAC特性参数的测试	96
第三节 实际DAC电路及应用举例	105
一、10位CMOSDAC——AD7533	106
二、8位微机兼容DAC——AD558	112

三、8 位微机兼容双缓冲器DAC——DAC0830 系列	116
四、高分辨率程序控制单片16位DAC——AD7546	122
参考文献	133
第四章 模/数转换器 (ADC)	134
第一节 ADC的分类和特性参数	134
一、定义和分类	134
二、ADC的特性参数	135
第二节 模拟ADC	139
一、单斜ADC	139
二、双斜ADC	142
三、四斜ADC	152
四、V/F转换器	163
五、电容电荷转移型ADC	167
第三节 逻辑ADC	176
一、逐次逼近型ADC	176
二、传播型ADC	180
三、并行型ADC	186
四、比较器型ADC——计数器	190
五、跟踪(Tracking)型ADC	192
第四节 ADC的误差	193
第五节 ADC的测试	210
第六节 实际ADC电路及应用举例	217
一、与微处理器接口的12位ADC——AD574	218
二、带有8通道多路器、与微处理器兼容的8位ADC ——ADC0808、ADC0809	226
三、6 位视频并行ADC——ADC833	232
参考文献	242
第五章 采样/保持电路	243
第一节 概述	243
第二节 几种采/保电路的性能	245
一、反相闭环积分型采/保电路	246
二、非反相闭环单位增益采/保电路	249
三、超高速采/保电路	250

第三节 采/保电路的工作过程、参数和误差	251
一、采样	252
二、采样—保持的过渡	256
三、保持	266
第四节 采/保电路应用举例	273
一、采/保电路与ADC的连接	273
二、多通道数据采集	275
三、数据分配	280
四、防止DAC误操作(DAC Deglitch)	282
参考文献	283
第六章 数据采集系统中常用的其他器件	284
第一节 模拟开关和模拟多路器	284
一、模拟开关	286
二、模拟多路器	299
第二节 基准源	302
一、齐纳二极管基准源	303
二、带隙基准源	307
第三节 高速运算放大器	314
一、运放的增益带宽乘积、压摆率和满功率频率	314
二、输入动态范围	317
三、提高压摆率的途径	320
四、高速运放电路	323
第四节 测量放大器	327
一、运放的共模抑制比和输入阻抗	327
二、测量放大器的结构	330
三、测量放大器应用举例	333
第五节 隔离放大器	333
一、为什么要隔离和如何隔离	338
二、隔离放大器的结构和参数	340
三、隔离放大器应用举例	345
第六节 集成电压比较器	348
一、电压比较器的功能、结构和传输特性	348
二、电压比较器的主要性能指标	350

三、比较器电路简介	352
第七节 薄膜电阻	360
参考文献	363
第七章 数据采集系统设计和器件选择考虑	365
第一节 信号修整	365
一、信号的偏移和定度	366
二、电桥信号的线性化	367
三、宽动态范围信号的修整	369
四、均方根(RMS)值的测量	382
第二节 数据采集系统元器件选择举例	384
一、元器件选择的考虑	385
二、数据采集系统元器件选择举例	391
第三节 数据采集子系统——集成模块DAS1128	395
一、DAS1128的功能综述	397
二、量程和码制的选择	399
三、输入连接和多路器选址	400
四、A/D转换模式选择及系统时序	404
参考文献	408
附录 数据采集器件性能表	409

第一章 数据采集和 数据分配原理

现实世界的物理参数都是模拟量。如速度、压力、温度等都是连续方式存在和变化的，所以人们最初接触到的是模拟类型的信息。对于各种模拟量，人们要认识它，使用它，往往首先要将各种物理参量转换成为电的模拟信号，然后进行处理，如放大、传输、滤波等等。工业上实现机械的和工艺的控制，一般也需要模拟信号。因此，长期以来，把信号保持在模拟形式看来是合乎逻辑的。但另一方面，数字信号的优越性也是不可否认的。它便于存贮，容易运算，有较强的抗干扰能力等等。直到数字计算机技术和数据转换器件得到迅速发展，数字信号的优越性才得以更低费用实现。如果把数字信号领域称为艺术世界，则联系现实世界与艺术世界的纽带就是数据转换器——数/模转换器和模/数转换器，或称为接口。

数据采集系统是这样一种电路系统，它把从传感器或其他方式得到的模拟信号，经过必要的处理后转换成数字信号，以供存贮、传输、处理和显示之用。

数据分配系统则是这样一种电路系统，它把数字计算机或其他方式提供的数字信号转换成模拟信号，经必要的处理（如滤波、功率放大等）后送给执行机构。

本章主要介绍这两种系统的一般结构，简述它们的各个组成部分的工作性能，举例说明系统的工作过程。关于系统

的设计考虑, 元器件的选择, 误差分析等问题将在第七章中作深入一步的讨论。

第一节 数据采集系统

数据采集技术的应用是极其广泛的。从大的方面来说, 例如数据遥测系统、脉冲编码与调制通信、自动测试系统、数据采样控制系统、一次性(瞬态)数据记录系统、视频信号处理系统等等。至于实验室用的数字多用表、数字面板表等, 则是用作显示的最简单的数据采集系统。

一、数据采集系统的组成

数据采集的核心内容是把模拟信号转换为数字信号。因此, 数据采集系统中的关键器件就是模/数转换器, 简称A/D转换器或ADC。此外, 一个数据采集系统中一般还包括下列各种器件: 传感器(Transducer, Sensor), 信号修整电路(Signal Conditioning), 模拟多路器(Analog multiplexer), 采样/保持电路(Sample-Hold), 程序控制定序器(Programmer Sequencer)等。图1-1示出了包括上述各组成部分的典型数据采集系统框图。各组成部分的作用概要介绍如下:

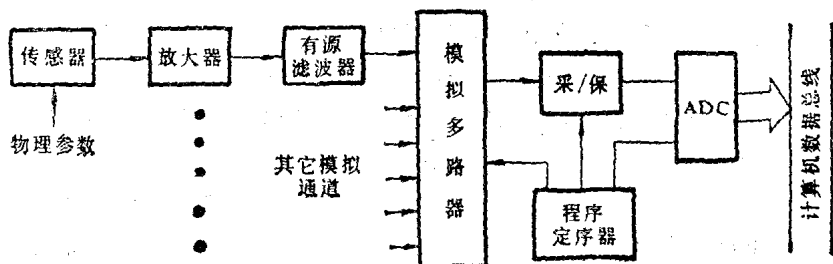


图1-1 数据采集系统

1. 传感器

送入系统的各种待转换物理参数如温度、压力、位移、流量等都是模拟量。首先要把这些模拟量转换成为电信号，才能由电路实现进一步的处理。把各种物理量转换成电信号的器件称为传感器。测量温度的传感器有热电偶、热敏电阻等；测量机械力的有压（力）敏传感器、应变片等；测量机械位移的有感应式位移传感器等；测量气体的有气敏传感器等。……

2. 信号修整电路

传感器给出的电信号往往远不是所需要的理想状态，这就要对信号加以修整。信号修整电路是内容极为丰富的各种电路的综合名称。它的作用是：

（1）把信号调整到符合A/D转换器工作所需要的数值。最简明的例子是放大。例如传感器的输出信号一般是毫伏数量级，而A/D转换器的满量程输入电压大都是2.5V、5V或10V。为了充分发挥A/D转换器的分辨率，即转换器输出的数字位数，就要把传感器输出的模拟信号放大到与A/D转换器满量程相应的电平值。

（2）滤除信号中的不需要成分。例如传感器电桥输出中含有不需要的共模分量；在恶劣电磁环境中远距离传输时传输线上除了有用的电信号外，还感应有电噪声；信号中含有不必要的高频分量等。为了滤除它们，信号修整电路往往含有测量放大器、隔离放大器、滤波器等。

（3）把信号调整到便于进一步处理的需要。例如传感器电桥输出输入关系具有非线性性质，电桥电路的线性化修整可使系统的反馈控制大为简单；又如几乎被噪声淹没的信号，通过“相加—平均”电路可使信噪比大为改善。

(4) 减轻对后续电路性能指标的过高要求。例如对大动态范围信号的对数压缩,可以避免对A/D转换器的分辨率提出不切实际的要求。

以上这些问题,第七章第一节将作进一步讨论。

3. 模拟多路器

如果有许多独立的模拟信号源,都要转换成数字形式,方法之一是在这些信号源与一个A/D转换器之间接入模拟多路器(或称模拟多路开关),

如图 1-2 所示。在选址输入作用下,多路器顺序地或按指定次序地把各路模拟信号依次送入 ADC 转换成数字形式。A/D转换器对模拟信号的转换要花费一定时间,称为转换时间。在转换时间内模拟信号应保持不变,这样,ADC的数字输出才有

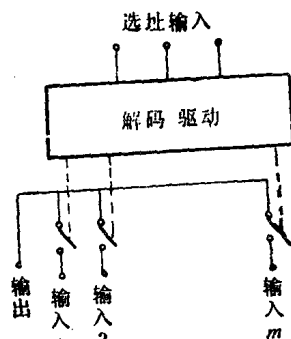


图1-2 模拟多路器

确切的含义,即代表指定的被转换模拟量。为此,模拟多路器对于每个模拟信号通道都要接通一段时间,才能换接到下一个通道。接通时间应大于或等于A/D转换器的转换时间与多路器本身的开关接通延迟时间之和。前者视ADC类型不同从几十毫秒到几微秒,后者通常为几十纳秒。因此,信号在数据采集系统中的通过率(Throughput rate),即每秒转换信号数据的次数是有限的。

4. 采样/保持电路

在很多情况下,待转换的模拟信号是随时间快速变化的。如果在转换过程(即转换时间)内信号电平有了改变,

则转换结果或者与指定瞬间的模拟信号有较大误差，甚至可能已是面目全非了。为了保证模/数转换的精确性，需要在模拟信号源与ADC之间接入采样/保持电路，如图1-3所示。在“采样”指令作用下，开关 S 接通，电路进入采样模式，采/保电路的输出跟随输入一同改变。当“保持”指令到达时，开关 S 断开，电容器 C 上的电压及采/保电路输出电压均保持在“保持”指令到达瞬间的模拟信号值。然后，A/D转换器开始转换，给出对应的数字输出。从采样定理（见第二章第一节）可知，只要满足一定条件，按固定时间间隔采集的样品可以完整地恢复出原始的模拟信号。

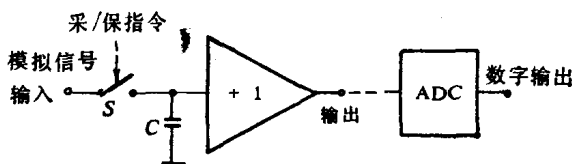


图1-3 采样/保持电路示意图

采样/保持过程实际上是把模拟信号样品存贮在电容器中。对电容器充放电需要一定的时间，其大小由时间常数决定。所以采/保电路对样品的采集需要经过一段采集时间。外加的采样时间必须大于或等于采集时间，电容器上的电压才能基本等于模拟输入信号。采/保电路的采集时间一般为几十纳秒到几微秒。显然采/保电路的接入必将降低数据采集系统中模拟信号的通过率。

5. A/D 转换器 (ADC)

A/D转换器把模拟输入信号电压转换为与之对应的数字输出。A/D转换器最主要的技术指标是分辨率和转换率。ADC的分辨率是指ADC能够分辨的最小模拟输入电压变化

量，即在这一模拟输入变量作用下，ADC的数字输出最低有效位的状态将有改变。分辨率与ADC的数字输出的位数直接有关。ADC把模拟信号转换成数字信号需要一定时间，称为转换时间。转换时间的倒数即为转换率，表示ADC每秒能够完成的转换次数。

此外，精度、线性度、单调性、输入电压量程、数字输出的码制等参数以及尺寸、价格等也是使用ADC时必须考虑的性能和因素。A/D转换器类型很多，各有优点。目前最常用的基本上是两种。一种是逐次逼近型，以其优异的精度和速度综合性能而得到广泛应用。另一种是双斜积分型，因低速度、高精度、低价格被广泛应用在数字多用表、数字面板表中。

6. 程序定序器

数据采集系统中的多路器、采样/保持电路、ADC都要按一定时间顺序有秩序地工作。完成顺序定时控制的电路称为程序定序器，它可以在数字计算机控制下工作。在有些情况下则直接由数字计算机完成整个数据采集系统的控制任务。

综上所述，一个数据采集系统的电路结构设计以及元、部件的选择，首先要考虑的关键性能是：

- (1) 分辨率和精度；
- (2) 要监测的模拟信号的通道数目；
- (3) 每个通道的采样率；
- (4) 系统的模拟信号通过率；
- (5) 信号修整的需要；
- (6) 价格。

仔细分析以上各项因素，目的是力求得到既满足数据采

集性能要求又在价格上最为经济的数据采集系统。可能的典型结构^[1]包括:

(1) 单通道转换——被采集的只有一个模拟信号。电路结构可能是：直接转换；信号修整后直接转换；采样/保持、转换；信号修整、采样/保持、转换。

(2) 多通道转换——被采集的模拟信号有两个以上。电路结构可能是：各通道单独有信号修整、采/保、ADC，经数字多路器送入数据总线；各通道单独有信号修整、采/保，经模拟多路器送入共用的 ADC；各通道单独有信号修整，经模拟多路器送入共用的采/保及 ADC。

二、单通道转换

1. 直接转换

这是最简单的数据采集系统。只用一个 A/D 转换器,直接把模拟信号转换成为数字信号。数字面板表就是典型的例子, A/D 转换器的输出数码用于数字显示。图 1-4 是直接转换的结构图。图中所示的电路处于自由运转状态。ADC 每次转换完毕,给出“状态”信号,使缓冲器(存储器)存贮和输出新的数字数据,同时又作为转换指令,启动 ADC 作下一次转换。

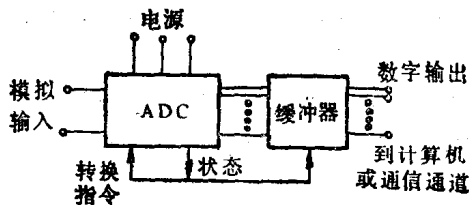


图1-4 单通道直接转换数据采集系统

这种最简单的数字化系统存在着两个根本问题:

第一, 输入模拟信号的最大幅度必须与所选用 ADC 的量程相匹配, 才能充分发挥 ADC 分辨能力。例如 ADC 的满量程为 5V, 而模拟信号最大幅度小于 2.5V, 则 ADC 的二进制输出码最高位 (MSB) 永远是“0”, 即没有起作用。反之, 如果输入模拟信号最大幅度超过 5V, 则显然不能得到正确的转换。

第二, 前面已经提到, 在 ADC 转换的过程中, 模拟输入信号的数值应基本保持不变。更严密地说, 在 ADC 的转换时间内输入的变动应小于允许的误差范围。通常规定的误差范围为 ADC 输入满量程值的 $1/2^n$, n 是 ADC 输出码的位数。计算 (见第五章第一节) 表明, 当输入信号为正弦波, $n=12$, ADC 转换时间为 $25\mu\text{s}$ 时, 待转换的输入信号频率不能超过 3Hz。

因此, 这种最简单的数据采集方式的应用受到很大限制。

2. 信号修整和直接转换

对于比较微弱的慢变模拟信号, 例如由测温传感器 (热偶、热敏电阻) 输出的信号, 需要在 ADC 的前面增加前置放大器, 使信号增大到其最大值与 ADC 的输入满量程相适应。这一技术措施称为定度 (Scaling)。前置放大是信号修整电路中最基本的一种。

一般情况下, 定度可以简单地用运算放大器实现。但有时被采集的信号是特殊的, 例如信号中含有较大的共模分量, 信号必须经远距离传输, 在恶劣电磁环境下远距离传输不可避免地被感应各种噪声; 信号源处于极高的离地电位; 信号源可能产生极高的瞬态尖峰共模电压; 信号来自人体,

如心电信号，为安全起见输入信号源必须与数据采集系统电气隔离等等。这些情况下，定就要采用测量放大器或光耦合或变压器耦合的隔离放大器。

图 1-5 是带有前置放大器的直接转换系统的电路结构。

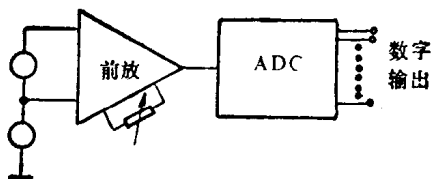


图1-5 带有前放的直接转换系统

3. 采样/保持和转换

图 1-6 示出了含有采样/保持电路的单通道数据采集系统的结构。由于增加了采/保电路，在一定程度上解决了直接转换对信号变化速率的限制。因为采/保电路在采样和保持两种模式工作时，都会产生一些误差，有些误差与信号是无关的，所以采/保电路总是放在前置放大器的后面，让采/保电路与 ADC 直接连接。采/保电路的增益一般都取 1，使采/保电路的量程与 ADC 的量程相等，让信号定度的任务单独由前置放大器完成。

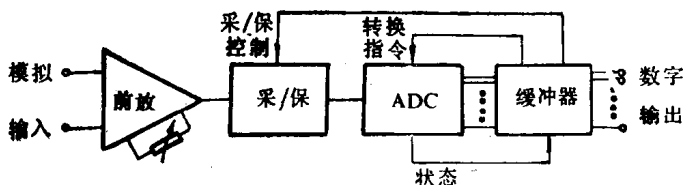


图1-6 含有采/保电路的单通道数据采集系统

三、多通道转换

当需要采集的信号为多个时，就要采用多通道转换系统。

1. 各通道单独转换，经数字多路器输出

看起来最节省的多通道转换是采用“时分”的方法。如图 1-1 所示那样，模拟多路器把各通道已修整好的模拟信号按规定顺序依次送入公共的采/保电路和 ADC 转换成数字信号。采/保电路和 ADC 在时间上被各通道分割。但是如图 1-7 所示，每个通道独自占用一套转换电路的方案，直到今天仍有可取之处。

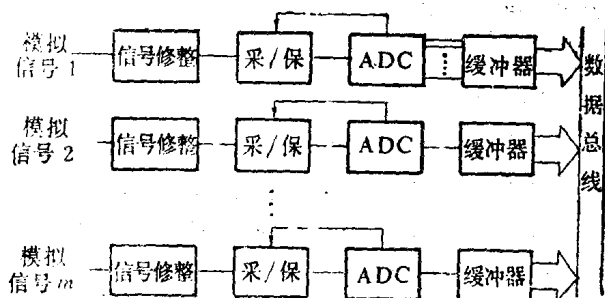


图 1-7 各通道单独转换的多通道数据采集系统

首先，转换完毕的数字信号是依次逐个地被数字多路器送入计算机或通信等设备中去的。如果系统的数字通过率相同，与图 1-1 的系统结构相比，各通道单独转换时，每个通道允许有更长的转换时间。也就是对 ADC 的性能要求可降低，价格也随之降低了。从另一角度看，如果 ADC 转换时间相同，则各通道单独转换时，系统的数据通过率可大大提高。

其次，可能是更重要的，应用于工业的数据采集系统，各种类型的传感器可能分布在厂房的各个部位。采用每个通道有单独转换器的方案，就可以就地模拟信号数字化，然后以数字形式把数据传输到数据处理中心。而象图1-1那样多通道共用一个ADC，则势必以模拟形式把各通道信号传送到设在数据处理中心的ADC。显然，前者具有强得多的抗干扰能力。

最后，每个通道有单独转换器的方案有更大的灵活性。例如对于变化缓慢的模拟信号，该通道就可以不用采/保电路；对于精度要求不高的信号，该通道就可以采用分辨率较低的ADC等。

2. 共用ADC的多通道数据采集

一般来说A/D转换器是数据采集系统中价格最高的器件，各通道共用ADC是降低系统造价最有效的措施。多通道数据采集的某些应用，如风洞测试、地震试验、一些单次发生的事件的测量等，要求测得的是发生在同一瞬间各部分（或各种）物理状态的数据。对于这些情况，各通道要单独

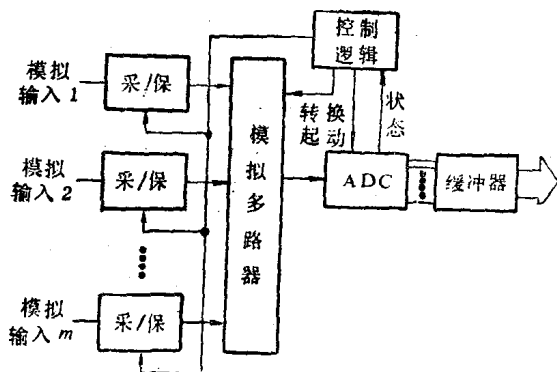


图1-8 同时采集、公共ADC的多通道采集系统