

智能仪器设计指南

沈兰荪 著

北京科海培训中心

一九八八年七月

编辑：科海培训中心教材部
发行：科海培训中心资料组
地址：北京2725信箱 科海培训中心
资料组

(北京海淀路332路黄庄站旁)

印刷：河北省蔚县印刷厂

简 介

七十年代后期以来,随着微处理器的广泛应用,出现了完全突破传统概念的,全新一代的仪器仪表——智能仪器。它已成为八十年代仪器仪表发展的一个主要方向。

本书系统阐述了智能仪器的硬件与软件基础,通过典型智能仪器的分析,介绍了智能仪器的设计方法。同时还注意介绍有关学科的进一步发展动向,使读者可对这一领域的内容、方法、发展有一全貌的了解。

本书可供从事仪器仪表设计、生产与维修、自动控制、电子技术应用、计算机应用等领域的广大工程技术人员阅读,也可供中专以上计算机、仪器仪表或电子工程等专业的师生参考,亦可作为电子应用技术培训班的教材。

智能仪器设计

沈兰荪 林丽霞 许晓晖 著
邸瑞芝 孙葆根 宇正武

一九八八年七月

序

历来科学上的重大发现,往往是由于新的观测手段的发明而开展起来的。以获得物理诺贝尔奖金的百分比来说,百分之五十是属于新的仪器或测试手段的发明创造。从今天进入信息科技时代来看,仪器仪表是实现信息的获取、转换、处理和揭示物质运动的必备工具,是当代普遍称之为时代标志的信息科技的三大支柱(信息获取及处理、信息传输与通信、电子技术及计算机)之一,仪器仪表也是新技术革命的一项重要内容。在现代化建设中,仪器仪表以其在生产质量所能起到的监测作用,而在技术上有着高一层的要求。因而仪器仪表工业是带动国民经济各部门技术进步、新老企业的技术改造、提高劳动生产率、提高社会经济效益,开发与节约能源和材料,发展科学技术的先导性工业。仪器仪表装备水平在很大程度上反映出一个国家的生产力发展和现代化水平。

七十年代后期以来,随着微处理器的广泛应用,出现了完全突破传统概念的、全新的一代仪器仪表——智能仪器(Intelligent Instrument)。这种仪器以微电子器件代替常规电子线路,以微处理器为核心,具有信息采集、显示、处理、传输以及优化控制等功能,甚至具有辅助专家推断分析与决策的能力。

智能仪器一出现就显示了它极大的生命力,已成为八十年代仪器仪表发展的一个主要方向。它不仅一般在测试仪器中,也在大型分析仪器、大规模集成电路质量检查仪器、光学分析仪器中反映了出来。智能仪器是人工智能、计算机、信号处理、电子学、VLSI等多门学科与技术的结合。它的发展不仅对仪器仪表行业,也将对自动控制、电子技术应用、军事工程、科学实验等领域产生深远的影响。

沈兰荪同志的“智能仪器设计”是关于智能仪器这一新兴技术的一本专门著作。我希望这本书的出版能有助于我国仪器仪表行业科研与生产的发展。

中国仪器仪表学会理事长
中国科学院学部委员

王大珩
一九八一年六月廿二日

目 录

序.....	(王大珩) (1)
一、概述	(1)
(一) 什么是智能仪器	(1)
(二) 智能仪器的组成	(2)
(三) 智能仪器的特点	(2)
(四) 智能仪器的发展	(4)
二、数据采集技术	(6)
(一) 采样方式的讨论	(6)
(二) 系统设计的硬件结构	(7)
(三) 数据采集的软件设计	(9)
(四) 采用双微处理器的数据采集系统	(12)
(五) 数据缓冲区的设立	(13)
(六) 数据采集系统的组成	(16)
(七) 传感器与数据采集系统的连接	(17)
三、输入输出技术	(21)
(一) 键盘	(21)
(二) CRT显示器	(23)
(三) 一种简易的数字示波部件	(27)
四、数据处理技术	(31)
(一) 采用算术运算的数据处理技术	(31)
(二) 采用逻辑运算的数据处理技术	(33)
(三) 采用微积分运算的数据处理技术	(34)
(四) 曲线拟合与非线性特性的校正	(36)
(五) 智能仪器数据处理功能小结	(40)
五、数据处理与误差分析	(43)
(一) 克服随机误差的方法	(43)
(二) 克服系统误差的方法	(48)
(三) 疏失误差的克服	(53)
六、信号处理技术	(55)
(一) 概述	(55)
(二) 数字信号处理方法	(58)
(三) 单片数字信号处理芯片 (DSP)	(58)
(四) 关于DSP芯片应用的讨论.....	(62)
七、智能仪器的标准接口总线	(64)

(一) 概述	(64)
(二) GP-IB总线结构	(64)
(三) GP-IB接口设计	(67)
(四) GP-IB系统的运行	(70)
八、智能仪器系统软件的设计	(72)
(一) 概述	(72)
(二) 循环优先作业调度程序	(72)
(三) 键码分析作业调度程序	(72)
(四) 状态分析法	(74)
(五) 具有自动菜单选择功能的监控程序	(76)
(六) 树型结构的监控程序	(77)
(七) 实时多任务监控程序的设计	(80)
九、有限自动机理论用于智能仪器系统软件的设计	(83)
(一) 有限自动机的基本概念	(83)
(二) 智能仪器系统软件的有限自动机模型	(84)
(三) 有限自动机模型的化简	(87)
(四) 设计智能仪器的系统软件	(89)
十、智能仪器的应用软件设计	(94)
(一) 概述	(94)
(二) ICP光量计的组成及硬件环境	(94)
(三) ICP光量计应用软件系统结构	(96)
(四) ICP光量计应用软件的设计	(101)
1. ACT表	(101)
2. BASICA语言编制的应用程序对数据库的存取	(102)
3. 数据传输及采集	(104)
4. 建立工作曲线	(108)
5. 计算分析结果	(111)
6. 人机友好接口的设计	(115)
十一、智能仪器的硬件设计	(117)
(一) 概述	(117)
(二) PS-30型电平发生器	(117)
1. 组成框图	(117)
2. 微机控制系统的工作过程	(118)
(三) 微机板的硬件设计	(118)
1. 微处理器单元	(120)
2. 电平转换单元	(121)
3. 电源单元	(122)
(四) 前面板的硬件设计	(124)
1. 键盘单元	(124)

2. 频率、电平显示电路.....	(126)
3. 指示灯指示电路.....	(127)
4. 方波产生器.....	(128)
(五) 接口板的设计	(128)
1. 频率接口电路.....	(128)
2. 电平接口电路.....	(129)
(六) 智能仪器硬件设计中几个应考虑的问题	(130)
1. 地线处理.....	(130)
2. 仪器自检与故障诊断的硬件考虑.....	(131)
十二、数据域测试技术	(132)
(一) 概述	(132)
(二) 常规仪表仍被广泛使用	(132)
(三) 逻辑分析仪是新一代的数据域测试仪器	(133)
(四) 仿真器使软硬件相结合	(136)
(五) 开发系统主要用于软件调试	(137)
(六) 特征分析仪的工作原理	(138)
十三、个人仪器	(142)
(一) 概述	(142)
(二) 插入式概念	(143)
(三) 个人仪器的发展	(144)
(四) 个人仪器总线	(148)
(五) 个人仪器软件	(149)
十四、直接数字频率合成器的设计——独立仪器的设计	(151)
(一) 概述	(151)
(二) DDFS的输出频率与相位控制方法	(151)
(三) 性能指标	(152)
(四) 微机控制电路	(153)
(五) 控制程序	(154)
(六) 关于DDFS设计的一些讨论	(155)
十五、多通道数字存储示波器的设计——个人仪器的设计	(160)
(一) 概述	(160)
(二) 主要功能	(160)
(三) 系统结构	(161)
(四) 硬件实现	(162)
(五) 个人仪器的软件分析	(166)
参考资料	(173)
后记	(174)

一、概 述

生产实践与科学实验广泛地使用着各种仪器仪表。第一代仪器仪表是模拟式仪表,这种仪表至今仍在各种场合被广泛地使用着。大量指针式的电压表、电流表、功率计以及一些通用测试仪器,均是典型的模拟式仪表。这类仪表的基本结构是电磁式结构,它是利用电磁测量的原理、使用指针的移动来显示最终测量读数的。

第二代仪器仪表是数字式仪表,它具有远较模拟仪表为高的测量精度与响应速度。这类仪表的基本原理在于将待测的模拟信号转换为数字信号进行测量,并以数字形式显示最终结果。虽然,电表、示波器与记录仪等仪器的数字化已被公认为不会完全取代模拟式仪表,然而今天数字化仪表的增长速度已经远远超过了模拟仪表。据统计,美国信号记录仪的市场销售额,以1981年为基数,1985年模拟式仪表增长了15%,而数字式仪表增长了350%,数字式仪表占总销售额的比例也由9%上升到27%。

第三代的仪器仪表即为智能仪器(Intelligent Instrument)。这类仪器大致可分为两类,一类内含微处理器,有人称为“内含微处理器仪器”或“微机化仪器”。另一类,仪器本身与微型机在硬件结构上是分开的,但仪器由微型机控制,进行数据采集与处理,这类仪器也应属于智能仪器的范畴。智能仪器由于它所具有一系列独特优点已成为八十年代仪器仪表发展的方向。[参考资料1、2、4、5、16、32]。

(一) 什么是智能仪器

什么是智能仪器呢?至今,人们尚无公认的定义。首先我们来讨论什么是“智能”。一般认为“智能”指的是“一种能随外界变化的条件,确定正确行动的能力”。也可以说,“智能”是“随外界条件变化的一种正确反应的能力”。人工智能的创始人之一、诺贝尔奖金获得者西蒙认为:“人工智能的研究目的在于学会怎样编制计算机程序来完成机智的行动(解决问题,学习、推理与作出决定)。”

从信息科学的角度来看,信息技术的发展可以分为四个层次,即“信息化”、“自动化”、“最优化”与“智能化”。信息化是指仅仅把客观物理概念加以数码化,即以二进制数代表之,便于存贮与处理,是最初的一层。自动化是按固定的规则进行重复性的处理,达到预期的目的。最优化是按某种预定指标限制,使某项任务取得最优的解。这里仅把问题看成是一种数值的概念,最优是指使此数值最小或最大。这种最优化常常是指计算问题。智能化是最高层次,它应包括理解、推理、判断与分析等一系列功能,是数值、逻辑与知识的综合分析结果。当然,也应包括经验在内,智能化的标志应是知识的表达与应用。

显然,今天人们通常称谓的“智能仪器”,用上述“智能”及“智能化”的讨论来衡量还有相当的距离。可以说,今天的智能仪器仍处在仪器智能化的很低阶段,它只是把微处理器及微型计算机与传统的仪器仪表结合起来;它能适应被测参数的变化,自动补偿、自动选择量程、自动校准、自寻故障、自动进行指标判断与分选以及进行逻辑操作、定量

控制与程序控制等。微处理器与大容量存储器是智能仪器的核心。因此，今天的智能仪器可以更精确地称谓“微机化仪器”(Microcomputer based instrument)。

八十年代以来，随着计算机科学技术的发展，仪器智能化有了迅速地进展，从小型智能电表、通用测试仪器到大型分析测试仪器，各种智能仪器大量涌现。美国1978年，日本1980年实现智能化的仪器仪表品种已占50%。苏联同期也达35%。这些智能仪器不仅能测试并输出检测信息，而且能对检测信息进行存贮、提取、加工与处理，有的智能仪器甚至具有辅助专家推断、分析与决策的能力。

(二) 智能仪器的组成

图1-1示出一个智能示波器的框图。模拟输入信号经过模数转换(ADC)后，送往存储器(RAM)。RAM中所采集到的数据由微处理器进行数据处理，处理结果再送回RAM，并由微处理器进一步控制，达到输出显示的目的。示波器的操作可通过专用面板上设置的按键进行。微处理器能够提供很强的数据处理功能，如加、减、乘、除、偏移运算、比例运算、峰值检测等等。仪器通过数据处理，可以实现误差分析以提高仪器的性能指标。通过调用预先存放在ROM中的程序，智能示波器就能具有很高的信号处理能力，进行相关运算、数字滤波与频谱分析等。而且，示波器还能方便地与微型计算机联接起来，组合成多参数，多功能的自动测量系统。

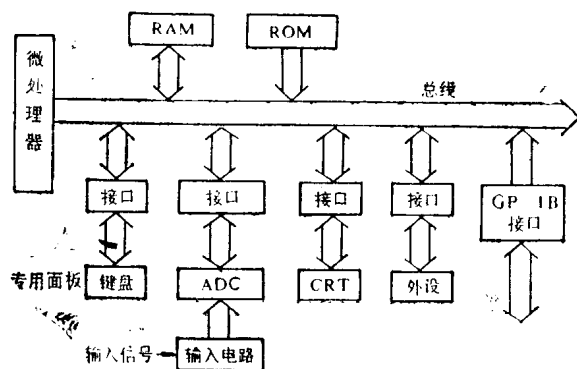


图 1-1 智能示波器框图

与传统的仪器仪表不同，图1-1所示的智能示波器是用微处理器与存储器(RAM、ROM)来代替过去以电子线路为主体的结构，而且用软件技术来代替电子线路的硬件功能。从图1-1的框图可以看到：数据采集技术与输入输出技术（输入输出技术包括键盘及接口电路，LET显示器及其接口电路，CRT显示器等）是智能仪器的硬件基础。数据处理技术与信号处理技术是智能仪器的软件基础。智能仪器可以说是人工智能、信号处理、计算机科学、电子学、VLSI等新兴技术与传统仪表技术的结合。

(三) 智能仪器的特点

在仪器仪表中应用微处理器，给仪器仪表带来了一系列的影响，最明显的也许是表现在仪器的前面板及控制操作机构上。

传统仪器仪表，前面板操纵控制器的安排在很大程度上取决于连接到这些控制器上的

部件的体积及位置。例如，与衰减器相连的旋转式开关必须安装在衰减器正前方的面板上，而一般衰减器则装在开关的控制轴上。由于面板的最终布置受仪器内部结构的很大限制，就不能充分地考虑用户使用的方便。智能仪器广泛使用键盘、LED显示器或CRT，使人—仪器间的接口与仪器功能部件的设计可以完全独立进行，从而明显地改变了仪器前面板及有关控制操作机构的设计。

智能仪器另一个虽不明显却很重要的特点是仪器的自测功能。智能仪器如果发生了故障，可以自检出来，而且还能协助诊断发生故障的根源。这种自测试不仅在仪器启动时进行，也可以在仪器运行时进行。它的应用实际上只受到仪器设计者想象力的限制。

微处理器的引入使智能仪器的功能较传统仪表有了极大的提高，许多原来用硬件逻辑难以解决或根本无法解决的问题可以用软件很灵活地解决。传统的数字万用表（DMM）只能测量电阻、交直流电压、电流。智能万用表不仅如此，还能测量诸如百分率偏移、比例、极值、统计参数等。

微处理器的引入除了增强仪器功能外，还大大提高了仪器的性能指标。通过微处理器的数据处理，可以实现自动校正、多次测量平均，从而提高仪器的精度。自动校正时，不仅可以消除由于漂移、增益不稳定等因素引起的误差，而且还能校正由各种传感器、变换器带来的非线性或频率响应误差。

智能仪器的再一个特点是操作自动化。微处理器集中了控制仪器的测量过程，如控制键盘扫描、量程选择、开关启闭、数据采集、传输、处理以及显示输出等，从而实现了测量过程的自动化。

智能仪器还有一个重要特点，就是具有对外接口能力，通常均具有GPIB接口。自七十年代初，计算机的总线技术开始转移到仪器仪表上。IEEE-488（GPIB）仪用接口总线和CAMAC计算机自动测量与控制总线首先成为国际标准的仪器系统用总线。智能仪器可以很方便地通过自己的标准总线组成用户所需要的多功能自动测试系统。

下面我们采用英国Solatron Ltd公司的7065数字电压表来进一步说明智能仪器的特点。

7065数字电压表可以6.5位测量5种电参数，最大直流电压灵敏度为1微伏，误差为 $\pm (0.0005 U_x + 4 \text{字})$ 。7065内包含有10个运算及控制程序，共可完成31种功能。主要有：

1. 对测量结果乘上一个常数。
2. 计算引用误差。
3. 计算绝对误差。
4. 计算各种比值（分贝、功率等）。
5. 求极大、极小值。
6. 进行统计分析。
7. 对四种热电偶的非线性特性进行测量结果的校正（摄氏、华氏温标）。
8. 多项式运算。
9. 测量时间间隔的自动控制。
10. 存贮测量结果。
11. 通过前面板按键输入各种常数。
12. 自动校准。

- 13.故障自动诊断。
- 14.自动误差读出。
- 15.装有GP-IB与RS-232C接口。

(四) 智能仪器的发展

自第一种装入四位微处理器数字万用表(DMM)于1975年在美国出现以来,微处理器很快进入到传统的电测仪器仪表以及大型分析仪器、光学仪器等各个领域。最有代表性的智能仪器产品有数字电压表(DVM)、数字式万用表(DMM)、数字式存贮示波器(DSO)、逻辑分析仪(LA)、波形分析仪(WA)等。智能仪器的发展已表现出如下一些趋势:

1. 大量仪器仪表的设计工作正转化为半导体电路设计的形式

当今,半导体集成电路制作水平的提高已把许多仪器仪表的设计工作转变成电路设计形式。现在,仪器、仪表整机性能的提高往往依赖于一个新电路的问世。高频、高灵敏度、高稳定性、高速度和低功耗等仪器仪表主要性能指标的进一步提高,已比较难以从仪表设计自身去解决,而不得不依靠有关电路器件的设计与制作水平。

1982年,Philips公司用新的“蠕动型电荷耦合器件”一下子就把存贮示波器的取样频率提高了5倍。硅器件的高频与超高速性能一般认为已接近极限,新系列的GaAs器件与电路不仅已达到相同水平,而且表现出有更高的发展前景。GaAs通用移位寄存器已可工作在1.4GHz钟频下,超过ECL电路一倍以上,且有良好的环境温度适应性,对微波仪器及高速数字仪器正在起着推进作用。

对仪表工作者来说,很有意义的一项工作在于把一些性能要求很高的线路单元设计成集成电路,然后转给集成电路生产厂家制成专用集成电路,再用到新型仪器仪表中去。

2. 信号检测与信号处理技术已在进一步推动智能仪器的发展

用于信号检测的传感器的发展,形成了新一代的具有自诊断、自修复、智能化且有很强适应性的敏感元件。微电子技术的这一进步将敏感元件与测量值的预处理合为一体,从而大大提高了信号检测能力,也推动了智能仪器有关测试功能的提高。

智能仪器的出现一开始就与信号处理技术紧密相关。目前信号处理已由一维、二维处理向三维(全息)处理发展,已由频域处理向时域处理发展。信号处理学科的新成果正在极大地增强与智能仪器有关的信号处理功能。

3. 从总线制仪器向个人仪器发展

总线制仪器的概念与智能仪器、微型机应用等紧密相关,今天人们已很难区分开计算机系统的总线或仪器系统的总线,例如:GPIB不仅是仪用总线标准,也用在分级计算机系统中上、下位机之间的通信。但八十年代以来,随着个人计算机的发展,性能价格比的提高已使它进入工厂、机关、实验室等各个场合。个人计算机的普及导致了“个人仪器”的产生。

不同于通常的总线制仪器往往称之为独立仪器,个人仪器有两种结构:在个人计算机

机箱中插入有测量功能的扩充板；在外接扩充箱中，插入有测量功能的印刷电路板。这种结构实际上属于个人工作站的概念（图1-2）。个人仪器中各个仪器插件均有独立的测量功能，在这种结构中，仪器插件间可进行实时的相互通讯，可互相触发获得时间上相关的测试结果。个人仪器已开始用作逻辑模拟器、数据库管理、图象获取、仿真、PROM编程、数据采集以及低档开发系统。

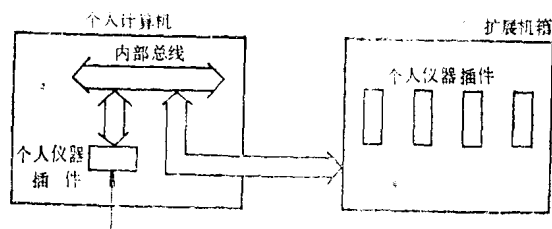


图 1-2 个人仪器结构

还应该指出，个人仪器与计算机辅助设计、计算机辅助工程的发展，导致了个人工作站的出现。仪器设计与测试工程师可以根据自己的需要、习惯来组织与配置自己的个人工作站，从而形成以个人为中心的最有效地开发工具，从而大大提高工作效率。

4. 数据域测试仪器的兴起

智能仪器的发展，进一步反映出经典的频域或时域测量技术与计算机科学技术的进步不相适应。七十年代以来数据域测量分析的概念开始形成，从而也兴起了一类新的仪器——数据域测试仪器。

这类仪器包括有：集成电路测试仪、逻辑分析仪、仿真器、字符发生器、特征信号分析仪及微型机开发系统等。这些仪器的使用与设定技术比较复杂，而且随着功能的增强，仪器兼容而会变得更加复杂。这类仪器大多发展了屏幕软键提示以代替大量的多功能键，用菜单式对话程序来密切人机关系。这类仪器的一些新产品具有一些自学习的功能。例如对安装在印刷电路板上的元件电路测试，可以先测试一个完全正常的印刷板上相应两个端点间在非通电状态下的等效电参数与工作状态下的逻辑变化规律，自动送入仪器的存储器，从而建立起一个印刷板/元件资料库，然后再来检测在调试与运行中的元件电路是否正常。这种带有资料库的仪器可以在现场用极简单的操作来进行复杂的检查。

5. 生产过程控制仪器正面临飞跃

生产过程控制系统是一个多层次的分散型的计算机系统，完成全企业的生产调度、过程控制和管理协调三大任务。在多层次系统中，面向过程控制的最低层次的为控制层，它是由各种数字调节器、数据记录器、采集装置、可编程控制器和直接数字控制设备等组成。过程色谱仪、材料分析处理设备等仪器也将作为在线仪器直接接口到生产过程中去。智能仪器的发展，已推动了生产过程控制仪器的更新换代，全新的智能化的生产过程控制仪器正在涌现。

二、数据采集技术

数据采集技术广泛地应用在各种智能仪器中，已成为智能仪器的硬件基础之一。在智能仪器中，已成为智能仪器的硬件基础之一。在智能仪器中，如何根据需要来构成一个具有很高性能价格比的数据采集部件呢？

根据智能仪器对数据采集不同的技术要求，可以提出不同结构的采集系统〔参考资料1, 2, 34〕。数据采集系统的主要技术指标有：分辨率、精度、输入信号电平、采集速度以及共模噪声抑制能力等。图2-1示出一个通用的数据采集系统结构。它包括模拟多路开关MUX，测量放大器IA，采样保持电路SHA，模数转换器ADC等。

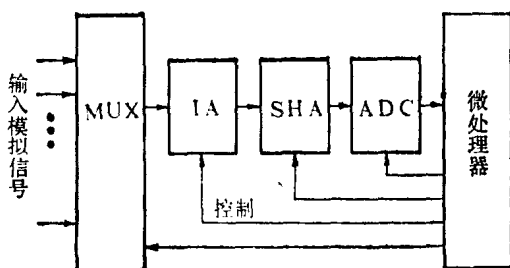


图 2-1 通用的数据采集系统

（一）采样方式的讨论

智能仪器有两种基本的数字化采样方式可供选择：“实时采样”（Real-time Sampling）与“等效时间采样”（Equivalent-time Sampling）。显然，“实时采样”最为直观。当数字化一开始，信号波形的第一个采样点就被采入并数字化。然后，经过一个采样间隔，再采入第二个样本。这样一直将整个信号波形数字化后存入波形存储器。实时采样的主要优点在于信号波形一到就采入，因此适用于任何形式的信号波形，重复的或不重复的。又由于所有采样点是按时间顺序，因而易于实现波形显示功能。

为了不丢失被采样信号的信息，实时采样的采样频率应满足采样定理的要求。在工程上采样频率应取采样信号所含最高频率的K倍。K值的选取决定于系统要求的信息处理精度，通常取 $K \geq 10 \sim 20$ 。

“实时采样”的主要缺点，是速度分辨率较差。每个采样点的采入、量化、存储均必须在小于采样间隔的时间内全部完成。

在智能仪器中，“实时采样”除了通常使用的“定时采样”（即等间隔采样）外，还常常使用“变步长采样”，即“等点采样”。这种采样方法不论被测信号频率为多少，一个信号周期内均匀采样的点数总共为N个。由于采样信号周期随被测信号周期变化，故通常均称为“变步长采样”。

“变步长采样”既能满足仪器精度的要求，又能合理地使用仪器计算机内存单元。

“变步长采样”还能使增强仪器功能所要求的数据处理的软件设计大为简化。

“实时采样”的特例为“扫描转换技术”，又称为“实时闪光转换”。扫描转换以某

种快速采样的办法收集信号波形，然后用一段时间成批地处理所有样本的转换。显然，这不是一种连续进行的数字化技术。

“等效时间采样”技术可以实现很高的数字化转换速率，然而，这种技术要求信号波形是可以重复产生的。由于波形可以重复取得，故采样可以用较慢速度进行。采集的样本可以是时序的（步进、步退、差频），也可以是随机的。这样就可以把许多采集的样本合成一个采样密度较高的波形（图2-2）。一般也常将“等效时间采样”称谓“变换采样”。

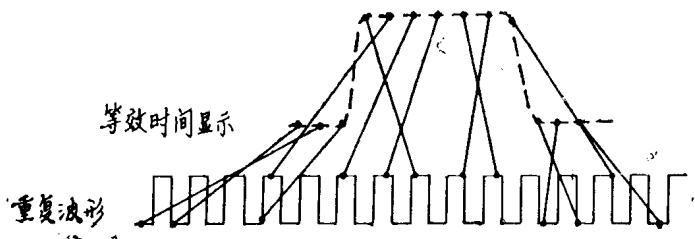


图 2-2 等效时间采样技术

表2-1示出采样方式的分类。当被测信号有效持续时间很短时，产生高重复频率的采样脉冲将很困难，因而采用“实时采样”方式也有困难。但如果被测信号是周期或重复信号，则可以考虑采用“变换采样”（即等效时间采样）。

表 2-1 采样方式的分类

采样	实时采样	定时采样（等间隔采样）
		等点采样（变步长采样）
	变换采样 （等效时间采样）	时序变换采样 步进 步退 差频 随机变换采样

（二） 系统设计的硬件结构：

如果采用图2-1所示数据采集系统的典型结构。[参考资料6、7、8、16]。在图2-1中，当多路转换结构采用单端工作方式时，各输入信号则以同一个公共点为参考点。这个公共点与IA以及ADC的参考点通常不处于同一电位，其电位差将与每个输入信号串联，从而引起测量误差。而当多路转换结构采用双端差动工作方式时，系统就可以提供良好的共模抑制能力。

现在让我们通过一个采用16位微处理器Intel8086的系统设计实例（图2-3）来进一步讨论图2-1的数据采集系统。在图2-3中，多路开关MUX采用Analog Devices公司的AD7501，测量放大器IA由3个运算放大器CA3140搭成，采样保持电路SHA采用LF398，模数转换器ADC采用AD公司的AD574(A)。整个系统直接接口到16位微处理器 Intel8086 上。

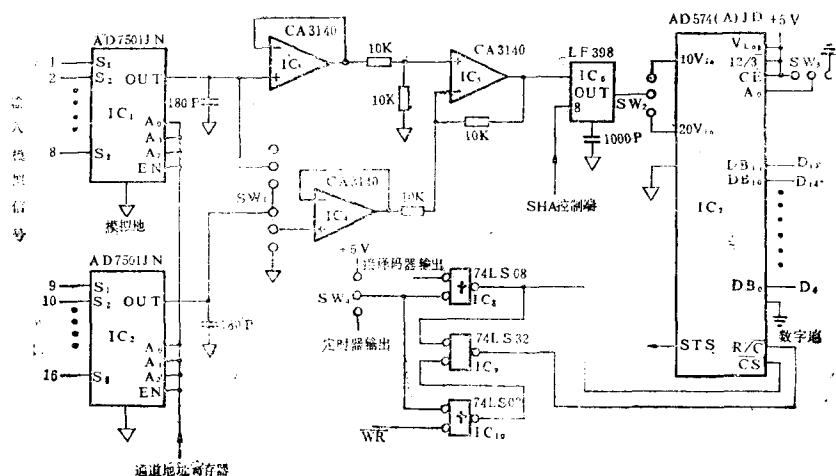


图 2-3 一个数据采集系统

AD7501是8选1的单片CMOS多路模拟开关，寻址输入端为 A_0 、 A_1 、 A_2 ，输出由允许端EN控制。系统共采用2片AD7501，可以提供16路单端输入或8路双端输入。

IC_3 、 IC_4 接成阻抗跟随器， IC_5 接成差动输入型式。测量放大器IA完成如下功能：

- (1) 阻抗匹配与输入缓冲；
- (2) 单端双端输入转换；
- (3) 提供高共模抑制能力。

LF398是采用BI-FET工艺制成的单片采样保持器。当LF398第8脚为高电平时，输出端跟随输入端的信号；为低电平时，LF398的输出端保持第8脚变为低电平前一刻的电平，直到第8脚再次变为高电平为止。

采样保持器的主要技术指标决定于保持电容器的选取。保持电容器应选择聚苯乙烯或聚四氟乙烯电容器。电容值应综合考虑精度、下降误差、采样/保持偏差、馈送与采样频率等参数。图2-4表示了这些参数与电容值大小的关系。

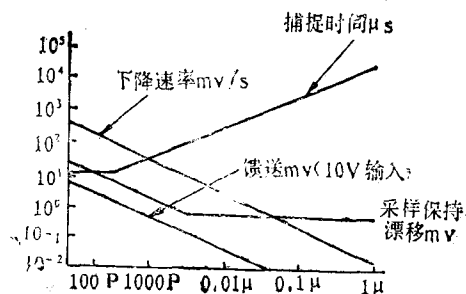


图 2-4 保持电容器的选择

为了提高采样频率，电容可小到100pf，但这限制了精度。对于分辨率为12位的高精度输入信号应选择较大的电容值，这样，馈送、采样/保持的偏差与下降误差可以减少。值得注意的是在印刷电路板布线时应努力减小有关的分布电容。

AD574 (A) 是一种十分完善的逐次逼近式12位ADC，它的三态数据总线 $D_0 \sim D_{11}$ 可以直接与微处理器8086的数据总线接口。通过改变引脚 A_0 的输入电平可以使AD574 (A) 工作于8bit转换（典型转换时间为16 μ S）或是12bit转换（典型转换时间为25 μ s）。开关 SW_1 为转换周期选择开关。在12bit转换周期情况下，通过改变 $12\sqrt{8}$ 的输入电平可以

选择AD574(A)的输出格式为8位格式或16位格式,从而使12bit的ADC可以与8位或16位微处理器直接接口。

AD574(A)由内部产生时钟信号与参考电压。它可以在单极输入方式下工作,也可以在双极输入方式下工作。开关 SW_1 可将输入范围控制在10伏或20伏。当 $CE = 1, \overline{CS} = 0$; $R\sqrt{C}$ 端出现负跳时AD574(A)开始模数转换,此时数据线 $D_0 \sim D_{11}$ 呈高阻态,STS输出为高电平。转换结束后,STS输出变为低电平。当 $CE = 1, \overline{CS} = 0, R\sqrt{C} = 1$ 时,数据线 $D_0 \sim D_{11}$ 上将出现此次转换结果。

数据采集时,首先应进行通道选择的工作。微处理器执行写操作将所要选择的通道地址打入通道地址寄存器。打入的四位地址中的前三位 $A_0 \sim A_2$ 作为每一片AD7501的通道地址, A_3 与 $\overline{A_3}$ 用作两片AD7501的允许信号。开关 SW_1 完成单、双端工作的切换。

通道切换完成后,采集的模拟信号通过IA到达SHA输入端。平时AD574(A)的 $R\sqrt{C}$ 为高电平,STS为低电平,LF398的8脚为高电平,采样保持器SHA处于采样方式,输出端跟踪输入变化。当启动ADC进行模数转换时, $R\sqrt{C}$ 变低,LF398的8脚变为低电平,进入保持方式。在 $R\sqrt{C}$ 由低变高之前,STS变为高电平,使得LF398的保持状态维持到模数转换结束。模数转换是通过正常的I/O写操作来完成的。

AD574(A)转换的结果为12bit二进制代码。在实际的数据读取时,将对应于该数据的模拟通道的地址加进去,从而构成了低四位为通道地址、高十二位为转换数据的完整的十六位数据。

模数转换器共有两种启动方式:定时启动与程序启动(程序启动又分为中断启动与编程启动两种)。定时启动应将定时器(如Intel的8253)产生的定时输出信号与ADC的启动信号输入脚相连。这一工作由开关 SW_4 完成。这样AD574(A)可以由微处理器发出的I/O写操作来启动,也可以由定时器的定时输出脉冲来完成启动。

ADC转换有两种管理方式,一种是将AD574(A)的状态线STS信号用作中断管理,另一种是将STS接到数据总线 D_7 上,以便查询时由 D_7 来读取STS状态,以确定ADC转换是否完成。

(三) 数据采集的软件设计

下面讨论图2-3系统相应的软件设计。

1. 地址分配

(1) ADC转换器 由于ADC转换的启动与读数只用一个片选信号 $\overline{CS}$ (启动时写信号 $\overline{WR}$ 同时生效),转换的结果又为12bit,故ADC启动与读数可分配同一地址。由于均为字操作,分配地址为F800H与F801H,实际工作只用到F800H。

(2) 通道地址寄存器 通道地址是由数据总线低四位送上去,故寻址通道地址寄存器时,应使用偶地址,现分配为F802H。此为字节操作,且为写操作。

(3) 查询口 查询工作通过数据总线的低四位完成, $D_0 \sim D_3$ 为正工作的通道地址。 D_7 反映STS状态。寻址查询口地址为F804H。此为字节操作,且为读操作。

2. 工作方式

数据采集共可归纳出以下六种工作方式：

(1) 编程启动，中断管理 微处理器发出的指令启动ADC转换，当转换结束时，由中断控制器发出中断申请。进入中断服务程序，完成转换数据的读取、处理等。这种方式便于软件管理。

(2) 定时启动，中断管理 定时器的定时输出脉冲启动ADC转换，当转换结束时，由中断控制器发出中断申请。这种工作方式便于由定时器控制进行等间隔的采样。

(3) 中断启动，中断管理 外部设备发出中断申请，进入中断服务后，由微处理器发指令启动ADC转换。当转换结束时，由中断控制器再次发出中断申请，中断服务程序完成收数。下一次ADC转换的启动要等待外设再次发出中断申请。这种方式适合于外部条件决定工作流程的场合。

(4) 编程启动，查询管理： 微处理器发出的指令启动ADC转换，转换结束信息由微处理器通过查询口查询。这种工作方式无需中断申请及响应，可用于软件管理的数据采集。

(5) 定时启动，查询管理： 此时启动方式同(2)，管理同(4)。

(6) 中断启动，查询管理： 此时启动方式同(3)，管理同(4)。

3. 程序设计

图2-5示出在定时启动、中断管理方式下的程序框图。图2-5(a)适用于需要对采集数据实时处理的场合，图2-5(b)适用于需要对某一采集通道进行连续快速采集的场合。

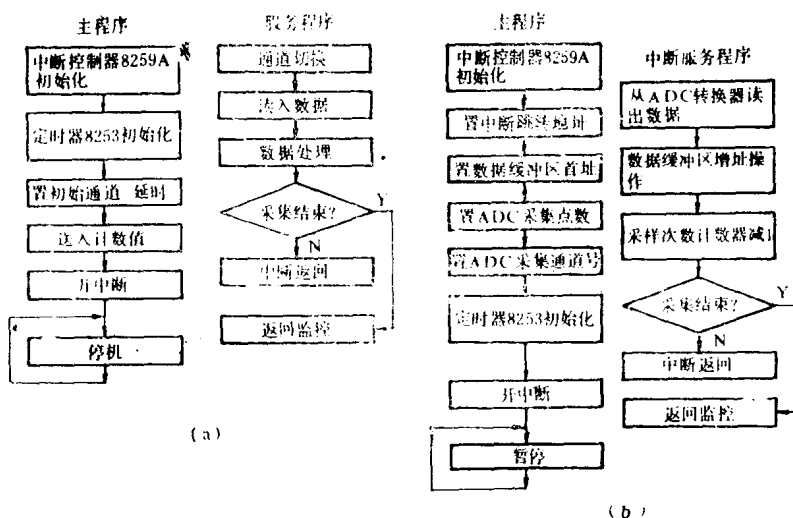


图 2-5 定时启动、中断管理的数据采集程序框图

下面是用8086汇编语言写出的图2-5(b)程序：

```
MOV DX, 0FFA0H ; 中断控制器8259A命令口
MOV AL, 13H ; 置8259A为单片工作方式
OUT DX, AL ; 边沿触发
```