



普通高等教育“十二五”规划教材

智能仪器 原理及设计技术

ZHINENG YIQI
YUANLI JI SHEJI JISHU

主编 刘大茂



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育“十二五”规划教材

智能仪器原理及设计技术

刘大茂 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

智能仪器是一门集电子技术、微机应用技术、测控技术、仪器与测量技术等于一体的跨学科的专业技术课程。本书介绍了以 80C51 单片机为核心构成的智能仪器的工作原理与设计方法。书中详细介绍了智能仪器的各个组成部分,包括信号预处理电路、A/D 转换器和 D/A 转换器与单片机的接口设计,以及人机接口包括键盘、LED 显示器、LCD 显示器、CRT 显示器、微型打印机与单片机的接口设计。书中还深入讨论了常用标准接口总线、监控主程序和接口管理程序的设计,常用的测量算法及优化系统性能的高精确度、高抗干扰和低功耗的设计方法,这些方法也适用于一般的单片机应用系统设计。

本书内容丰富、新颖、实用,文字精炼、深入浅出、通俗易懂、逻辑性和系统性强,可作为高等工科院校的电子信息工程、通信工程、电气工程、机电一体化、仪器仪表、检测控制等专业的教科书或参考书,也可供从事智能仪器或单片机应用的研究人员或工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

智能仪器原理及设计技术/刘大茂主编. —北京:国防工业出版社,2014.5

ISBN 978-7-118-09384-1

I. ①智... II. ①刘... III. ①智能仪器-理论②智能仪器-设计 IV. ①TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 075989 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 21 ¼ 字数 489 千字

2014 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 45.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

智能仪器是一门集电子技术、单片机技术、传感器技术、仪器仪表、嵌入式系统、自动测控技术、计算机应用技术、网络与通信技术等于一体的跨学科的专业技术课程。自 20 世纪 80 年代以来,这门课程已逐步引入到国内的电子信息工程、通信工程、测控技术与自动化仪表、电子测量与仪器、计算机应用等信息工程类专业中。随着微电子技术和计算机技术的飞速发展,电子测量仪器、测控仪表的智能化、总线化、网络化已经成为整个行业发展的主要趋势,同时也日益成为工程界和科技界人士所关注的热点课题之一。因此,对于电子信息工程类专业的科技人员来说,了解和熟悉智能仪器的工作原理及其设计思想和设计方法是十分重要和必须的。

高等工科院校电子信息类专业的学生毕业后大多要从事电子产品的设计开发工作,为此,在本科教育阶段开设一门“智能型电子产品设计”课程非常必要。因为智能仪器是各种智能化电子产品的典型代表,其硬件结构和系统软件均可作为一般智能化电子产品的模型,故以“智能仪器原理及设计技术”作为电子信息类专业的“智能型电子产品设计”课程教材是非常合适的。作者所在的福州大学的电子信息类专业自 20 世纪 80 年代后期就开设了“智能仪器”课程。它对学生的专业知识结构的改善及毕业生适应工作的能力提高都产生了很大的影响。通过本课程的学习,学生可较深刻地了解智能型电子产品的软件和硬件结构、工作原理及设计方法。它使先修的专业基础知识在电子系统中的应用有了明显的展示,激发了学生的学习积极性;它为电子类学生开展课外科技活动,如实施创新实验计划项目、参加全国大学生电子设计竞赛,以及完成毕业设计等实践环节,提供了极其有用的理论与实践的指导思想和技术资料。

本书共分为 8 章。第 1 章绪论,简要介绍智能仪器的定义、特点、组成、工作原理、发展概况及设计要点。第 2 章智能仪器的标准数据通信接口,介绍目前常用的 RS-232、RS-485、SPI、I²C、USB、CAN 及 GP-IB 总线的技术规范及实现方法,并介绍了无线数据传输模块及应用方法。第 3 章预处理电路及数据采集,简要介绍了微机应用系统的基本结构框图、几种典型模拟信号放大器等预处理电路,还介绍了传感器及应用,在当前迅猛发展的物联网中,传感器处于研究对象与检测系统的接口位置,是感知、获取与检测信息的窗口,它提供物联网系统赖以进行决策和处理所必需的原始数据。当今的电子信息工程师应具备这方面的知识,本章介绍了传感器的基础知识,列举了一些常用和新型传感器及其应用实例。本章还着重介绍 DAC 接口、ADC 接口的软硬件设计方法,并通过典型实例进行讨论,最后介绍了数据采集系统。第 4 章人机接口技术,介绍了目前智能仪器中常

用的外围设备,即键盘、LED显示器、LCD显示器、CRT显示器、微型打印机等与单片机的接口技术,包括硬件连接和接口程序的设计,还较详细地介绍了8279和7289两种键盘/显示器专用接口芯片的结构原理及应用方法,它们在应用系统设计时是很实用的。第5章测量算法与系统优化设计,介绍了常用的测量算法、提高测量精确度的有效方法、低功耗设计方法、抗干扰设计方法。第6章监控主程序的设计,介绍了两种常用的设计方法,即直接分析法与状态变量法。第7章接口管理程序的设计,介绍了MC68488接口芯片,及其与80C51单片机的接口电路设计及接口管理程序的设计。第8章智能仪器设计实例,列举了四个较为简单而又典型的智能仪器的设计,目的是使读者对智能仪器的设计任务、设计思想和实现方法有一个基本的了解。

本书的主要特点如下:

(1) 结构合理,章节安排、重点与难点分布符合教学要求,内容新颖、详实,系统性、可教性和实践性均较强。

(2) 注重理论联系实际,在讲清基本原理的基础上,着重讨论在智能仪器设计过程中所涉及的具体方法和设计技巧。在内容编排上,基础部分强调系统性和先进性,原理与设计部分注重反映有实用价值的核心技术和反映智能仪器最新发展的实际内容。

(3) 紧密结合教学与科研实践,并力求内容的实用性和先进性。从工作原理的分析、设计方案的讨论,元器件的选择,到软、硬件设计方法的介绍都遵循这一原则,使得本书内容既丰富又通俗易懂。每章均附有一定数量的习题与思考题,便于教学或自学。

考虑到智能仪器功能结构的复杂性不断增加,串行接口芯片的大量涌现,书中介绍了几种串行总线,并在各部分的设计中都安排了具有串行接口芯片的软、硬件设计的内容。

本书内容新颖、实用,叙述条理清楚,文字精炼、深入浅出、通俗易懂,它使读者较快地了解和掌握智能仪器的工作原理与设计方法,这些方法也广泛适用于一般的单片机应用系统的设计。本书既可作为高等工科院校的电子信息工程、通信工程、物联网工程、电气工程、机电一体化、检测控制、仪器仪表等专业的教科书,或作为大学生电子设计竞赛、实施大学生创新实验计划项目、完成本科毕业设计的技术参考资料,也可供电子电气信息类工程技术人员阅读。

本书在撰稿过程中,得到许多同行的支持与帮助,包括协助搜集资料、文字录入、校对、图表文稿整理工作,在此一并表示衷心感谢!书中主要内容在福州大学、福州大学阳光学院相关专业中讲授过,取得了较满意的效果。

由于作者水平有限以及时间比较仓促,疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者

2013年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 智能仪器及其特点	1
1.1.2 智能仪器的组成	4
1.1.3 智能仪器的工作原理	5
1.1.4 智能仪器的新发展	7
1.2 智能仪器设计简介	10
1.2.1 设计要点	10
1.2.2 监控程序的结构	11
1.2.3 程序设计技术	11
1.2.4 智能仪器的研制步骤	13
1.2.5 智能仪器设计中应注意的问题	16
习题与思考题	19
第 2 章 智能仪器的标准数据通信接口	20
2.1 RS-232 标准串行接口总线	20
2.2 SPI 总线标准	26
2.2.1 SPI 总线标准介绍	26
2.2.2 利用模拟 SPI 扩展串行 E ² PROM	28
2.3 I ² C 标准总线	37
2.3.1 I ² C 标准总线介绍	37
2.3.2 80C51 单片机模拟 I ² C 总线应用实例	40
2.4 USB 总线标准	46
2.4.1 USB 总线标准介绍	46
2.4.2 应用实例	49
2.5 CAN 总线	55
2.5.1 CAN 通信总线原理	56
2.5.2 常用的 CAN 通信总线芯片	60
2.5.3 CAN 通信总线硬件设计	61
2.6 GP-IB 接口总线	62

2.6.1	接口功能要素	62
2.6.2	接口的基本特性	63
2.6.3	总线结构	63
2.6.4	消息及其编码	64
2.6.5	三线挂钩过程	65
2.6.6	接口功能设置	66
2.7	无线数据传输和 PTR2000 的应用	66
2.7.1	调制解调器技术简介	67
2.7.2	PTR2000 无线收发 MODEM 的应用	68
	习题与思考题	71
第 3 章	预处理电路及数据采集	72
3.1	概述	72
3.2	传感器及其应用	73
3.2.1	传感器基础知识	73
3.2.2	几种常用或新型传感器简介	75
3.2.3	传感器应用实例	79
3.3	模拟信号放大电路	83
3.3.1	模拟信号放大及集成运放简介	83
3.3.2	放大电路实例	85
3.4	DAC 接口	89
3.4.1	DAC 芯片与微机接口的一般方法	90
3.4.2	DAC 芯片与 80C51 单片机接口举例	93
3.5	ADC 接口	97
3.5.1	ADC 芯片与微机接口的一般方法	97
3.5.2	常用的 ADC 芯片与 80C51 单片机接口举例	101
3.6	数据采集系统	125
3.6.1	数据采集系统结构	125
3.6.2	模拟开关	126
3.6.3	采样保持电路	128
3.6.4	单片数据采集系统	130
	习题与思考题	133
第 4 章	人机接口技术	134
4.1	键盘接口	134
4.1.1	键盘简介	134
4.1.2	非编码键盘	136

4.1.3	编码键盘	143
4.1.4	触摸屏技术	145
4.2	LED 显示器接口	147
4.2.1	七段 LED 显示器	147
4.2.2	点阵式 LED 显示器	151
4.3	键盘/显示器接口实例	153
4.3.1	用 8155H 芯片实现键盘/显示器接口	153
4.3.2	用 51 单片机的串行口实现键盘/显示器接口	156
4.3.3	利用 8279 专用接口芯片实现键盘/显示器接口	158
4.3.4	利用 7289 串行接口芯片实现键盘/显示器接口	169
4.4	LCD 显示器接口	179
4.4.1	LCD 显示器的基本结构及工作原理	179
4.4.2	LCD 显示器与单片机接口	181
4.4.3	液晶显示模块的应用	187
4.5	CRT 显示器接口	200
4.5.1	CRT 显示原理	200
4.5.2	字符显示终端	203
4.6	微型打印机接口	205
4.6.1	8051 与 GP16 微型打印机的接口	205
4.6.2	8051 与 PP40 绘图打印机的接口	210
	习题与思考题	221
第 5 章	测量算法与系统优化设计	222
5.1	测量算法	222
5.1.1	量程选择	222
5.1.2	极限判断与越限报警	223
5.1.3	自检算法	224
5.1.4	标度变换	224
5.1.5	智能仪器的软件主流程实例	227
5.2	测量精确度的提高	229
5.2.1	随机误差与数字滤波	229
5.2.2	系统误差的处理	237
5.3	智能仪器的低功耗设计	246
5.3.1	低功耗设计概述	246
5.3.2	51 系列单片机的低功耗运行	247
5.3.3	存储器的低功耗运行	250
5.3.4	智能仪器的低功耗设计方案	252

5.4 智能仪器的抗干扰设计	253
5.4.1 主要干扰源及相应的抗干扰措施	253
5.4.2 印制电路板及电路的抗干扰设计	257
5.4.3 软件抗干扰设计	258
习题与思考题	265
第6章 监控主程序的设计	266
6.1 直接分析法	266
6.1.1 用选择结构设计监控主程序	266
6.1.2 用转移表法设计监控主程序	267
6.2 状态变量法	271
6.2.1 状态变量法的实质	271
6.2.2 状态变量法设计步骤	273
6.2.3 设计状态图和状态表的原则与技巧	276
6.2.4 用状态变量法设计监控主程序实例	281
习题与思考题	284
第7章 接口管理程序的设计	285
7.1 MC68488 接口(GPIA)原理	285
7.1.1 GPIA 引出线功能	285
7.1.2 GPIA 内部寄存器功能	289
7.2 80C51 单片机与 MC68488 接口电路设计	295
7.2.1 时钟信号的产生	295
7.2.2 读写控制信号	296
7.2.3 芯片选通控制	296
7.3 接口管理程序的设计	297
7.3.1 概述	297
7.3.2 接口启动程序	297
7.3.3 接口管理主程序	298
习题与思考题	300
第8章 智能仪器设计实例	301
8.1 数字频率计的设计	301
8.1.1 系统组成与设计方​​案	301
8.1.2 频率计程序设计	302
8.2 超声波测距仪的设计	306
8.2.1 SB5227 型超声波测距专用集成电路	306

8.2.2	超声波测距仪的设计	308
8.2.3	超声波测距网络系统的构成	312
8.3	数字多用表的设计	312
8.3.1	设计任务及要求	312
8.3.2	设计思路与方案	313
8.3.3	系统硬件设计	313
8.3.4	软件设计	316
8.4	智能型出租车计价器的设计	318
8.4.1	设计任务与要求	318
8.4.2	设计方案	319
8.4.3	系统设计	320
8.4.4	硬件开发	321
8.4.5	软件设计	323
8.4.6	系统调试	328
8.4.7	指标测试与软件固化	329
	习题与思考题	329
参考文献	330

第1章 绪 论

1.1 概 述

1.1.1 智能仪器及其特点

1. 什么是智能仪器

智能仪器是一类新型的电子仪器，它由传统仪器发展而来，但又与传统仪器有很大区别。电子仪器已有几十年的历史了，今天的电子测量仪器与几十年前的相比，有着天壤之别。特别是微处理器的应用，使电子仪器发生了重大的变革。

回顾电子仪器的发展过程，从使用的器件来看，它经历了从真空管时代→晶体管时代→集成电路时代三个阶段。若从仪器的工作原理来看，它经历了三代。第一代是模拟式电子仪器，大量指针式的电压表、电流表、功率表及一些通用的测试仪器均是典型的模拟式仪器。这一代仪器功能简单、精度低、响应速度慢。第二代是数字式电子仪器，它的基本工作原理是将待测的模拟信号转换成数字信号，并进行测量，结果以数字形式输出显示。它的精度高，速度快，读数清晰、直观，结果可打印输出，也容易与计算机技术相结合。同时因数字信号便于远距离传输，数字式电子仪器适用于遥测、遥控。第三代就是智能仪器，它是在数字化的基础上用微机装备起来的，是计算机技术与电子仪器相结合的产物。它具有数据存储、运算、逻辑判断能力，能根据被测参数的变化自选量程，可自动校正、自动补偿、自寻故障等，可以做一些需要人类的智慧才能完成的工作，即具备了一定的智能，故称为智能仪器。具体地说，本书讨论的智能仪器是指含有微机和自动测试系统通用接口 GP-IB 的电子测量仪器。

微处理器的出现对于科学技术的各个领域都产生了极大的影响，同样也引起了一场仪器技术的革命。微处理器在智能仪器中的作用可归结为两大类，即对测试过程的控制和对测试数据的处理。

对测试过程的控制就是微处理器可接受来自键盘和 GP-IB 接口的命令，解释并执行这些命令，诸如发出一个控制信号给测试电路，以规定功能、设置量程、改变工作方式。通过查询或测试电路向微处理器发出中断请求，使微处理器及时了解电路的工作情况，控制仪器的整个工作过程。

对测试数据的处理即电子仪器引入微处理器后，大大提高了数据存储和处理能力。硬件电路只要具备最基本的测试能力，提供少量的原始数据即可。至于对数据的进一步加工处理，如数据的组装、运算、舍入、决定小数点位置和单位、转换成七段码送到显示器显示或按规定格式从 GP-IB 接口输出等工作均可由软件来完成。

2. 智能仪器的特点

智能仪器在核心部件微处理器的作用下，具备了下列主要特点。

1) 仪器的功能强大

如前所述, 智能仪器内含微机, 它具有数据存储和处理能力。在软件的配合下, 仪器的功能可大大增强。例如传统的频率计数器能测量频率、周期、时间间隔等参数, 带有微处理器和 A/D 转换器的通用计数器还能测量电压、相位、上升时间、空度系数、压摆率、漂移及比率等多种电参数; 又如传统的数字多用表只能测量交流与直流电压、电流及电阻, 而带有微处理器的数字多用表, 除此之外还能测量百分率偏离、偏移、比例、最大/最小、极限、统计等多种参数。仪器如果配上适当的传感器, 还可测量温度、压力等非电参数。智能仪器多功能的特色主要是通过微处理器的数据存储和快速计算进行间接测量实现的。下面列举几种智能仪器中常用的数值计算。

(1) 乘常数: $R=cx$, 将测量结果 x 乘以用户从键盘输入的常数 c 。这种改变直线斜率的运算很有用处, 它能把电量变成其他工程单位。例如, 当用数字电压表通过传感器测量压力时, 把测量结果乘以系数后, 所显示的值就直接代表被测的压力值。

(2) 百分率偏离: $R=100(x-n)/n$, 此运算可确定测量结果对一个标称值的百分率偏离。用户从键盘输入标称值 n , 每次把测量结果与标称值进行比较, 智能仪器显示百分率偏离。这可用于检验元件的容差。

(3) 偏移: $R=x-\Delta$, 这是许多智能仪器都具备的一种功能, 把测量结果减去或加上一个从键盘输入的常数 Δ 。

(4) 比例: 比例是一个量相对于另一个量的关系, 在数学上是进行除法运算。比例可分为以下几种情况。

① 线性的: $R=x/r$, 其中 r 是参考量, 例如是一个电阻值。如果测得该电阻上的电压, 则通过比例运算, 就可获得通过该电阻的电流值。

② 对数的: $R=20\lg(x/r)$, 用户从键盘输入常数 r 后, 仪器自动进行对数计算, 并以分贝 (dB) 为单位显示读数。

③ 功率的: $R=x^2/r$, 将测量结果平方后除以参考量 r 。如果 r 是负载电阻, x 是该电阻上的电压, 则通过这项计算可直接显示功率。

(5) 最大 / 最小: 求多个测量结果中的最大值、最小值和峰—峰值。智能仪器无需保存每个测量结果, 仅需保存当前的最大值和最小值。当发现新的最大值或最小值时, 就更新原来的最大值或最小值。

(6) 极限: 在某些测量中, 用户关心的是被测量 (如温度或压力等) 是否越出安全范围。这时用户可先设置高、低极限。当被测量越出该极限时, 仪器就给出某种警告。在测量结束后, 仪器还能分别显示超出高限、低限和未超出界限的测量次数。

(7) 统计: 常用于计算测量结果的算术平均值、方差、标准偏差、均方根值等。

2) 仪器的性能优越

智能仪器中通过微处理器的数据存储和运算处理可很容易地实现多种自动补偿、自动校正、多次测量平均等技术, 以提高测量精度。通过执行适当和巧妙的算法, 常常可以克服或弥补仪器硬件本身的缺陷或弱点, 改善仪器的性能。智能仪器中对随机误差通常用求平均值的方法来克服, 对系统误差则根据误差产生的原因采用适当的方法处理。例如, HP3455 型数字电压表的实时自动校正先进行三次不同方式的测量, 然后由微处理器自动把测量数据代入自校准方程进行计算, 以消除由漂移及放大器增益不稳定所带

来的误差。借助于微处理器不仅能校正由漂移、增益不稳定等引起的误差，还能校正由各种传感器、变换器及电路引起的非线性或频率响应等误差。

图 1-1 表示 HP5335 通用计数器中所谓“三点两线”法校正 V-F 转换器非线性的例子。图 1-1 中曲线表示实际变换器的电压-频率转换曲线，它与直线（实线）间的距离为转换过程中的非线性误差。为了减小该误差，寻找第 3 点（图 1-1 中为曲线的中点）进行校正。并从该点到两端点引两直线（虚线），显然这时的误差（即两虚线与曲线间的距离）大大减小了。在实际仪器中，两端点电压分别取为 -5V 与 $+5\text{V}$ ，由精密电压源提供；中点电压为 0V ，直接接地。这个方法不但校正了 V-F 转换的非线性误差，而且也校正了由零点、增益等不稳定所引起的误差。智能仪器还可自动选择一种最佳的测量方法，以获得很高的精度。

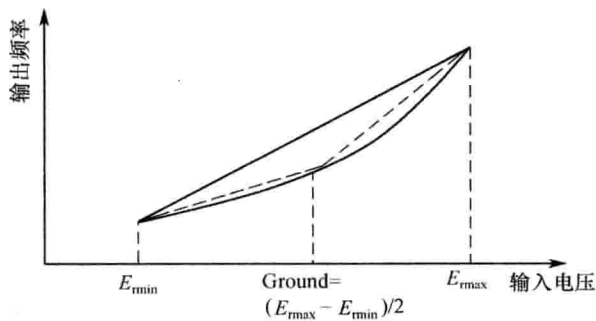


图 1-1 HP5335 中 V-F 转换器非线性的校正

3) 操作自动化

智能仪器的自动化程度高，因而被称为自动测试仪器。传统仪器面板上的开关和旋钮均被键盘所代替。仪器操作人员要做的工作仅仅是按键，省却了繁琐的人工调节。智能仪器通常都能自动选择量程、自动校准，有的还能自动调整测试点。这样既方便了操作，又提高了测试精度。

4) 具有对外接口功能

智能仪器通常都具备 GP-IB 接口，能很方便地接入自动测试系统中接受遥控，实现自动测试。

5) 可实现硬件软化

仪器中采用微处理器后能实现“硬件软化”，使许多硬件逻辑都可用软件取代。例如，传统数字电压表的数字电路通常采用了大量的计数器、寄存器、译码显示电路及复杂的控制电路，而在智能仪器中，只要速度跟得上，这些电路都可用软件取代。显然，这可使仪器降低成本、减小体积、降低功耗和提高可靠性。

6) 采用面板显示

智能仪器均采用面板显示，除了用简单的 LED 指示灯外，多用七段 LED 或 LCD 显示器来显示十进制数字和其他字符。有的用点阵式 LED 或 LCD 及 CRT 显示器来显示各种字符，面板显示字迹清晰、直观。

7) 具有自测试和自诊断功能

智能仪器通常还具有很强的自测试和自诊断功能。它能测试自身的功能是否正常，如不

正常还能判断故障的部位，并给出指示。这样大大提高了仪器工作的可靠性，给仪器的使用和维修带来很大方便。常见的自测试有开机自测试、周期性自测试和键控自测试。

1.1.2 智能仪器的组成

在物理结构上，微机内含于电子仪器，微处理器及其支持部件是整个测试电路的一个组成部分；但是从计算机的观点来看，测试电路与键盘、GP-IB 接口及显示器等部件一样，仅是计算机的一种外围设备。智能仪器的基本组成如图 1-2 所示。显然，这是典型的计算机结构，与一般计算机的差别在于它多了一个“专用的外围设备”——测试电路，同时还在于它与外界通信通常都通过 GP-IB 接口进行。既然智能仪器具有计算机结构，因此它的工作方式和计算机一样，而与传统的测量仪器差别较大。微处理器是整个智能仪器的核心，固化在只读存储器内的程序是仪器的“灵魂”。系统采用总线结构，所有外围设备（包括测试电路）和存储器都“挂”在总线上，微处理器按地址对它们进行访问。微处理器接受来自键盘或 GP-IB 接口的命令，解释并执行这些命令，诸如发出一个控制信号到某个电路，或者进行某种数据处理等。既然测试电路是微机的外围设备之一，因而在硬件上它们之间必然有某种形式的接口，从简单的三态门、译码器、A/D 和 D/A 转换器到程控接口等。微处理器通过接口发出各种控制信息给测试电路，以规定功能、启动测量、改变工作方式等。微处理器通过查询或测试电路向微处理器提出中断请求，使微处理器及时了解测试电路的工作状况。当测试电路完成一次测量后，微处理器读取测量数据，进行必要的加工、计算、变换等处理，最后以各种方式输出，如送到显示器显示、打印机打印或送给系统的主控制器等。

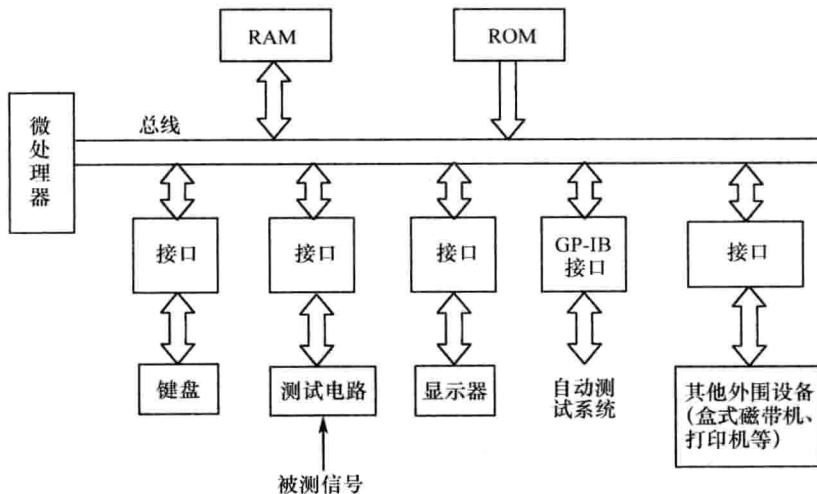


图 1-2 智能仪器的基本组成

虽然智能仪器中的测试电路仅是作为微机的外围设备而存在的，仪器中引入微处理器后有可能降低对测试硬件的要求，但仍不能忽视测试硬件的重要性，有时提高仪器性能指标的关键仍然在于测试硬件的改进。

1.1.3 智能仪器的工作原理

1. 传统 DVM 的工作原理及特点

现在以数字电压表 (DVM) 为例来说明智能仪器的工作特点。为便于比较, 首先回顾一下大家熟悉的传统 DVM 的工作原理。

图 1-3 是传统积分式 DVM 原理图。置于仪器面板上的波段开关 (S_1) 用以改变量程; 控制电路按规定时序发出各种控制信号, 使积分式 A/D 转换器 (ADC) 按规定的时序进行工作。例如, 在双斜式 (又称双积分式) A/D 转换器中, 积分器先对被测信号 U_i 进行定时积分, 积分时间 T_1 称为采样期。为抑制工频 (50Hz) 干扰, T_1 常取为工频周期的整数倍。 T_1 周期结束后, 控制电路发出信号, 使积分器对极性与被测电压极性相反的基准电压 E_r 进行积分。由于被积分电压的极性相反, 因而积分器输出电压的斜率方向相反。当积分器输出电压到达零时, 比较器输出产生跳变, 通过控制电路使积分器停止积分, 一次 A/D 转换结束。积分器对基准电压进行积分的周期称为比较期 T_2 。在比较期内, 计数器进行计数。可以证明, 该计数值正比于被测电压。最后把代表被测电压的计数值送至显示器显示。

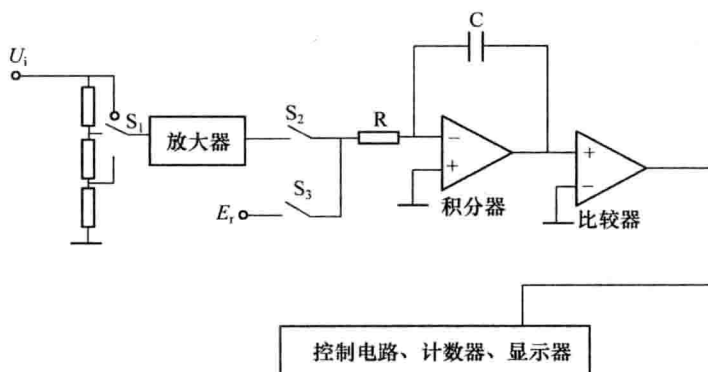


图 1-3 传统积分式 DVM 原理图

可见, 传统的 DVM 具有下列特点:

- (1) 操作者通过控制面板上的各种旋钮、开关的位置直接改变仪器中的各种电参数 (如电平、元件参数等), 以设置仪器的各种功能。
- (2) 各种控制、计数、漂移补偿等工作完全由硬件完成。
- (3) 控制电路采用随机逻辑, 因而电路复杂, 设计和调试困难, 可靠性也差。

2. 智能积分式 DVM 的工作原理及特点

图 1-4 表示了智能积分式数字电压表的原理框图。

智能积分式 DVM 包括 A/D 转换器、微处理器、键盘、显示器及 GP-IB 接口等部件。在微处理器和 A/D 转换器之间有一个 5 位的输出口和一个 1 位的输入口。5 位输出口 b_0 位~ b_4 位分别控制 S_0 ~ S_4 开关的通断, 其中 S_0 ~ S_2 开关选择量程, S_3 、 S_4 开关选择积分器输入信号。输入口连接 D_0 数据总线。微处理器通过输入口检查比较器的状态, 其工作过程如下。

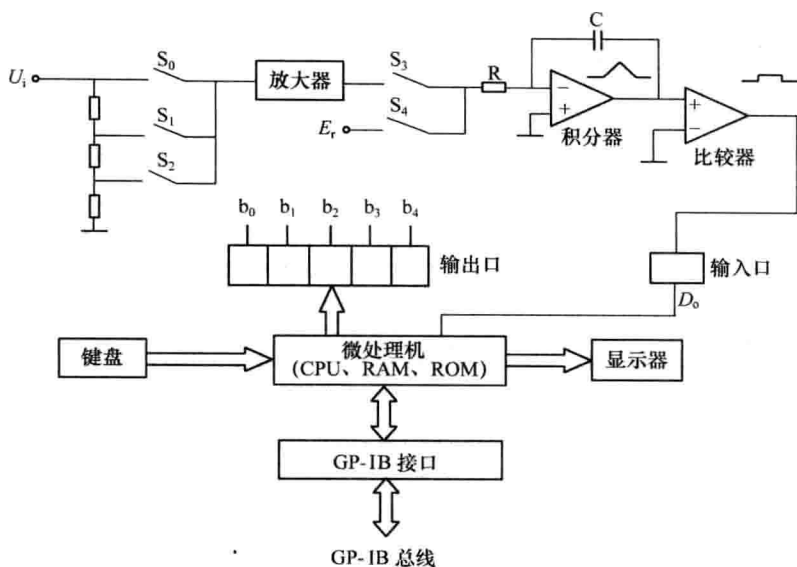


图 1-4 智能积分式 DVM 原理框图

(1) 微处理器根据来自键盘或 GP-IB 接口的命令，向输出口的 b_0 位~ b_2 位输出合适信息，以规定量程。

(2) 微处理器置输出口的 b_3 位为高电平。接通开关 S_3 ，积分器对被测电压 U_1 进行定时积分。同时微机系统通过软件或硬件进行计数，以确定采样期 T_1 时间。

(3) T_1 周期结束后，微处理器置输出口 b_3 位为低电平， b_4 位为高电平。接通 S_4 ，断开 S_3 ，积分器对基准电压 E_r 进行积分，进入比较期。这时微处理器一方面借助软件进行计数，同时通过输入口检查比较器的输出是否发生跳变。

(4) 当微处理器检出比较器输出发生跳变时，表明积分器输出已返回零电平。这时微处理器一方面停止计数，另一方面置输出口的 b_3 、 b_4 位均为低电平，断开 S_3 、 S_4 ，积分器停止积分，一次 A/D 转换结束。

(5) 微处理器对比较期内的计数值进行各种处理后，或送显示器显示，或经 GP-IB 总线发送到远地。

可见，智能数字电压表具有下列特点：

(1) 操作者通过键盘按键向微处理器发出各种命令，微处理器对这些命令进行译码后发出适当的控制信号，以规定仪器的各种功能。

(2) 微处理器通过执行程序发出一系列控制信号，使测试电路正常工作。即使仪器硬件不变，只要改变软件就能改变仪器的工作，有些硬件电路（如计数器等）的功能均可由软件完成。

(3) 由于微处理机具有存储和计算能力，因而能对测量数据进行各种数字处理，如自动校正零点偏移和增益漂移、统计处理及其他数学运算等。

(4) 具有计算机结构，各部件都“挂”在总线上，因而方便了系统的设计、调试、修改和维护。

(5) 具有 GP-IB 接口，能接入自动测试系统进行工作。

1.1.4 智能仪器的新发展

近年来，智能仪器仪表发展尤为迅速，国内市场上已经出现了多种多样的智能化测量控制仪器仪表。智能仪器仪表呈现出微型化、多功能化、人工智能化和网络化的发展趋势。

1. 个人仪器

随着个人计算机的广泛普及，在智能仪器蓬勃发展的同时，从 1982 年起出现了一种新型的个人计算机与电子仪器相结合的产品——个人仪器。

自 20 世纪 60 年代以来，自动测试系统的发展已经历了 3 个阶段。第一个阶段是测试仪器与小型仪用计算机通过各种专用接口相连接而组成的自动测试系统，其代表产品有自动网络分析仪等。第二阶段是智能仪器，把微处理器放入仪器内部，通过内部接口把测试部件与计算机连接起来，而各个智能仪器又通过 GP-IB 接口总线与外部计算机相连接而组成自动测试系统。第三阶段是个人仪器，一台个人计算机控制多个仪器插件，相互通过计算机系统总线连接，如图 1-5 所示。

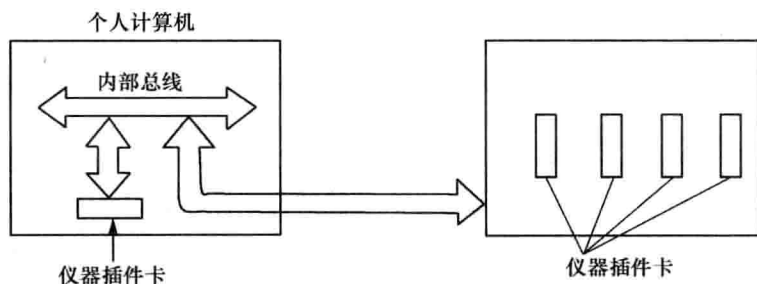


图 1-5 个人仪器结构

个人仪器具有下列特点。

(1) 成本低。在个人仪器系统中，每个测试功能不是由整机而是由插件完成的。每个插件无需智能仪器所需的微处理器、显示装置、键盘、机箱等部件，因而成本大大降低。与由 GP-IB 接口总线组成的测试系统相比，具有同样测试功能的个人仪器系统的价格可降低至其 1/3~1/10。

(2) 使用方便。在个人仪器中，标准的仪器功能写入操作软件中，并备有简单的清单 (Menu)。用户根据清单进行选择，无需编制程序就能完成各种测试任务，操作方便。例如一个在 GP-IB 系统中要求编写 30 行 BASIC 程序才能完成的任务，在个人仪器中只要按两次键就能完成。

(3) 制造方便。仪器插件卡与个人计算机之间的关系远不如智能仪器中微处理器与测量部件之间的关系密切，而价廉物美的个人计算机可以购买。这样仪器制造厂可集中精力研制、生产测试插件卡，生产周期短，制造方便。

(4) 实时交互作用。个人仪器是通过微机的系统总线连接的，因而相互间可进行实时的交互作用。例如，可让一台仪器去触发另一台仪器，使其在时间上相互关联。而在 GP-IB 系统中，仪器间不能实时交互，它们只接受系统控制器的控制，或向控制器提出服务请求。