

高等学校教材

# 智能仪器

杨吉祥 编

.9

南京工学院出版社

## 内 容 提 要

本书是经电子工业部高等学校工科电子类教材编审委员会《仪表与测量》教材编审小组审定作为智能仪器课程教材。

内容包括：智能仪器软件设计基础，I/O设备，A/D、D/A和数据采集系统，数据处理与测量算法，智能仪器监控主程序设计，大规模集成电路GP-IB接口原理及编程，典型智能仪器解剖，本书特别着重讲解智能仪器的原理及设计技术，内容丰富，取材新颖、实用。

读者对象：大专院校电子测量与仪器专业的师生，高等学校电子类其他有关专业的高年级学生、研究生和从事微机应用的工程技术人员。

## 高 等 学 校 教 材 智 能 仪 器

杨 吉 祥 编

---

南京工学院出版社出版

南京市四牌楼2号

海军学院印刷厂印刷 江苏省新华书店发行

开本 787×1092毫米 1/16 印张16.625 字数424千字

1986年5月第1版 1986年5月第1次印刷

印数 1~10000册

---

统一书号：15409·002

定价：2.85元

责任编辑 朱经邦

# 出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从1977年底到1982年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材195种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础，精选内容，逐步更新，利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于1982年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》，中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构，并制定了1982~1985年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共217种选题。努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编者、各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社、天津科学技术出版社和南京工学院出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

## 前 言

本书系全国高等院校工科电子类电子仪器与测量技术专业统编教材之一。

本课程是电子仪器与测量技术专业的专业课。本课程的先修课程是“电子测量原理”、“微型计算机原理”和“GP-IB”接口等。本书是按总学时数为60—80小时编写的。

目前多数微处理器书籍或课程中仅讨论无符号整数四则运算和简单的查表程序，而在进行智能仪器或其它微处理器应用的软件设计时，经常遇到各种复杂的数值计算和非数值处理，因而本书第二、三章讨论这两方面的内容，以便为进行各种微处理器应用软件的设计建立必要的基础。

本书第四、五章讨论在以微处理器为基础的产品设计中的另一个重要课题——微型计算机与各种外部设备的接口。鉴于A/D和D/A转换对智能仪器至为重要，在第五章中进行专门讨论。

第六章讨论了智能仪器中的数据处理、数字信号处理及其它各种测量算法；第七章讨论了智能仪器监控主程序的设计，推荐了一种性能优良的监控主程序的设计方法——状态变量法；第八章讨论了GP-IB大规模集成电路的原理及编程；第九章剖析了一个典型的智能仪器，以使读者对智能仪器有一完整概念。

考虑到智能仪器内的程序最终都要以机器码形式固化在ROM内，而借助计算机把用高级语言编写的源程序翻译成目标程序的效率低、不实用，因而本书所列程序绝大多数都用汇编语言编写，多数程序还附有机码，以方便使用。鉴于Z80型微处理器是目前我国广泛使用的微处理器，因而本书多数程序用Z80型微处理器汇编语言编写。

本书由北方交通大学蒋焕文副教授主审。他详细审阅了本书全部书稿，提出了宝贵的改进意见。本书在编写过程中得到了南京工学院无线电工程系陈章教授、何振亚教授、孙文治副教授、沙玉钧副教授、陈永彬副教授的热情指导和帮助，还得到我院其他同志的支持和关心，编者在此一并表示衷心感谢。

限于编者水平，书中难免有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

一九八五年七月

# 目 录

## 第一章 导 论

§ 1.1 概述 .....	1
1.1.1 智能仪器的特点 .....	1
1.1.2 智能仪器的组成 .....	2
1.1.3 智能仪器的工作 .....	3
1.1.4 智能仪器的新发展——个人仪器 .....	5
§ 1.2 智能仪器举例 .....	6
§ 1.3 智能仪器设计简介 .....	7
1.3.1 设计要点 .....	7
1.3.2 监控程序的结构 .....	8
1.3.3 程序设计技术 .....	8
参考文献 .....	10

## 第二章 软件基础之一——数值计算

§ 2.1 概述 .....	11
§ 2.2 无符号整数运算 .....	12
2.2.1 无符号二进制整数乘法运算 .....	12
2.2.2 无符号BCD整数乘法运算 .....	14
2.2.3 无符号二进制整数除法运算 .....	18
2.2.4 无符号BCD整数除法运算 .....	20
§ 2.3 带符号整数运算 .....	23
2.3.1 2补数整数乘法运算 .....	23
2.3.2 2补数整数除法运算 .....	26
§ 2.4 浮点数运算 .....	27
2.4.1 浮点数的表示 .....	27
2.4.2 常用浮点数处理程序 .....	28
2.4.3 浮点数加减运算 .....	35
2.4.4 浮点数乘法运算 .....	36
2.4.5 浮点数除法运算 .....	43
§ 2.5 基本函数计算 .....	46
2.5.1 台劳公式 .....	46
2.5.2 正弦函数计算 .....	47
2.5.3 自然对数计算 .....	48
2.5.4 指数函数 $e^x$ 计算 .....	49

2.5.5 平方根计算 .....	51
§ 2.6 智能仪器中数值计算举例 .....	53
参考文献 .....	54

### 第三章 软件基础之二——非数值处理

§ 3.1 数据结构的基本类型 .....	55
3.1.1 线性表和向量 .....	55
3.1.2 线性链表 .....	63
3.1.3 树 .....	68
§ 3.2 查找 .....	70
3.2.1 顺序查找 .....	70
3.2.2 对半查找 .....	71
3.2.3 分块查找 .....	75
§ 3.3 排序 .....	76
3.3.1 冒泡排序 .....	76
3.3.2 快速排序 .....	77
3.3.3 希尔排序 .....	79
3.3.4 堆排序 .....	80
参考文献 .....	83

### 第四章 输入输出技术

§ 4.1 键盘接口 .....	84
4.1.1 非编码键盘 .....	85
4.1.2 编码键盘 .....	89
§ 4.2 LED显示器接口 .....	90
4.2.1 七段LED显示器 .....	90
4.2.2 点阵式LED .....	93
4.2.3 用LSI电路实现键盘-显示器接口 .....	93
4.2.4 智能仪器中键盘-显示器接口举例 .....	94
§ 4.3 CRT显示器接口 .....	96
4.3.1 显示原理 .....	96
4.3.2 字符显示终端 .....	99
参考文献 .....	101

### 第五章 A/D、D/A转换接口和数据采集

§ 5.1 概述 .....	102
----------------	-----

§ 5.2	DAC接口 .....	103
5.2.1	8位DAC接口及波形产生 .....	103
5.2.2	10位DAC接口 .....	104
§ 5.3	比较式ADC接口 .....	106
5.3.1	阶梯波比较式ADC接口 .....	106
5.3.2	逐次逼近式ADC接口 .....	108
§ 5.4	双斜式ADC接口 .....	111
§ 5.5	多斜式ADC接口 .....	115
5.5.1	三斜式ADC接口 .....	115
5.5.2	四斜式ADC接口 .....	122
§ 5.6	数据采集 .....	124
5.6.1	数据采集系统结构 .....	124
5.6.2	模拟开关 .....	125
5.6.3	采样保持电路 .....	128
5.6.4	数据放大器 .....	130
5.6.5	数据采集系统实例 .....	131
§ 5.7	单片数据采集系统 .....	134
参考文献	.....	136

## 第六章 数据处理和测量算法

§ 6.1	测量数据的加工整理 .....	138
6.1.1	倒数计数器原理 .....	138
6.1.2	数据的拆装 .....	139
6.1.3	13位BCD数除法 .....	139
6.1.4	小数点位置、单位和字长的确定 .....	143
6.1.5	四舍五入操作 .....	145
6.1.6	数据显示 .....	148
§ 6.2	计测信号的改善 .....	150
6.2.1	噪音的性质和分类 .....	150
6.2.2	噪音的消除 .....	153
§ 6.3	测量精确度的提高 .....	162
6.3.1	等精度测量结果的数据处理 .....	163
6.3.2	非线性特性的校正 .....	165
6.3.3	偏移和增益误差的自动校准 .....	167
6.3.4	归一化技术及频率响应误差的校准 .....	172
6.3.5	最佳测量方法的自动选择 .....	172
§ 6.4	测量算法 .....	173
6.4.1	HG-1850型微处理器电压表总流程图 .....	173
6.4.2	BY1951A数字多用表的整机程序流程图 .....	174

参考文献 .....	176
------------	-----

## 第七章 监控主程序的设计

§ 7.1 直接分析法 .....	178
§ 7.2 状态变量法 .....	181
7.2.1 状态与状态矩阵 .....	181
7.2.2 状态变量法设计步骤 .....	182
7.2.3 状态图和状态表的设计考虑 .....	187
7.2.4 状态变量法设计监控主程序简例 .....	190
参考文献 .....	193

## 第八章 GP-IB及接口管理程序的设计

§ 8.1 GP-IB 接口概述 .....	194
8.1.1 接口功能要素 .....	194
8.1.2 接口的基本特性 .....	195
8.1.3 总线结构 .....	195
8.1.4 消息及其编码 .....	196
8.1.5 三线挂钩过程 .....	196
8.1.6 接口功能设置 .....	197
§ 8.2 MC68488接口 (GPIA) 原理 .....	198
8.2.1 GPIA引出线功能 .....	198
8.2.2 GPIA内部寄存器功能 .....	202
§ 8.3 GPIA的简单编程 .....	209
8.3.1 讲功能编程 .....	209
8.3.2 听功能编程 .....	211
8.3.3 扩大寻址方式编程 .....	212
8.3.4 服务请求和串行点名过程及编程 .....	213
§ 8.4 接口管理程序的设计 .....	214
8.4.1 概述 .....	214
8.4.2 接口启动程序 .....	215
8.4.3 接口管理主程序 .....	215
§ 8.5 仪器消息的输入/输出及编程 .....	217
8.5.1 仪器消息的编码格式 .....	217
8.5.2 程控命令的编码格式 .....	220
8.5.3 程控命令的输入和识别 .....	224
8.5.4 测量数据的编码格式 .....	227
8.5.5 测量数据格式的转换及编程 .....	227
8.5.6 测量数据的输出方式 .....	230



§ 9.6 GP-IB 软件接口 .....	231
参考文献 .....	233

## 第九章 典型智能仪器介绍

§ 9.1 1071A型数字多用表的主要功能 .....	234
§ 9.2 仪器的组成 .....	236
§ 9.3 直流隔离放大器 .....	238
§ 9.4 A/D转换器 .....	239
9.4.1 转换原理 .....	239
9.4.2 转换器电路 .....	241
§ 9.5 交直流转换器 .....	242
9.5.1 前置放大器 .....	242
9.5.2 真有效值转换电路 .....	243
§ 9.6 其它模拟电路 .....	245
9.6.1 欧姆转换器 .....	245
9.6.2 电流转换器 .....	247
9.6.3 双层屏蔽与模拟接口 .....	247
9.6.4 功能选择 .....	249
§ 9.7 数字电路 .....	249
9.7.1 微处理器和存贮器 .....	249
9.7.2 A/D转换器的数字部分 .....	249
9.7.3 键盘和显示器电路 .....	251
9.7.4 GP-IB接口 .....	251
§ 9.8 系统软件 .....	252
9.8.1 系统软件 .....	252
9.8.2 自测试程序 .....	253
参考文献 .....	255

# 第一章 导 论

## § 1.1 概 述

所谓智能仪器，是指能够做一些需要人类的智慧才能完成工作或即能够实现智慧劳动的仪器。雷达、汽车、火箭等等现代化设备都只是人眼、人腿等五官或四肢的延伸，而不是取代人类大脑的某部分功能，因而不属于智能设备。

四则运算、命令识别等是智慧劳动，而问题求解、定理证明、自然语言理解、对答系统等则是更高层次的智慧劳动。但至今为止，究竟什么样的工作算是智慧劳动，什么样的仪器算是智能仪器，尚无明确定义。本书讨论的是目前迅猛发展着的带有微型计算机和GP-IB接口 (General Purpose - Interface Bus) 的仪器。为了区别于传统的仪器，人们习惯上把这类仪器称为智能仪器。当然，这些仪器所具有的智能水平有高有低，但随着科学技术的迅速发展，智能仪器所具有的智能水平将会越来越高。

下面介绍智能仪器的特点、组成、工作及其新发展。

### 1.1.1 智能仪器的特点

微处理器的出现正在引起一场仪器技术的革命。由于它具有体积小、价格低、可靠性高、功能强及使用灵活方便等优点，通过它能容易地把计算机技术应用于各种电子仪器，不仅使它们具有某种智能，变得“灵巧”，而且正在出现新一代的仪器产品。

微处理器的应用之所以给电子仪器以惊人的冲击，其主要原因在于仪器和测量技术一旦与计算机技术相结合就会大大增强仪器的功能和灵活性，使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迎刃而解。例如，传统的数字多用表 (DMM) 只能测量交流与直流电压、电流及电阻，但用微处理器的数字多用表还能测量诸如百分率偏离、偏移、比例、最小/最大、极限、统计 (平均值、方差、均方差、均方根值) 等多种电参数；甚至在外加传感器后，还能测量温度、压力等非电参数。再如传统的频率计数器能测量频率、周期、时间间隔等参数，但带微处理器和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。由于微处理器的应用，目前正在出现一代所谓“小型自动测试系统” (Mini ATS) 的新仪器。这已不是传统意义上的单品种、单功能仪器，而是一种相当于一个小型自动测试系统的单机多功能仪器。

电子仪器中引入了计算机技术后，除了增强仪器功能外，还提高了仪器的性能指标。通过微处理器的数据处理、存贮等能力可容易地实现各种自动校正、多次测量平均等技术，从而提高了测量精度。HP3455型数字电压表的实时自动校正是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。藉助于微处理器，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 HP 5335通用计数器中用所谓“三点两线”法校正V-F转换器非线性的例子。图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-5伏与+5伏，由精密电压源提供；中点电压为零伏，直接接地。这个方法非但校正了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。

智能仪器的另一个特点是操作自动化，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是按键，省却了烦琐的人工调节。智能仪器通常都能自动选择量程、自动校准、有的还能自动调正测试点，这样既方便了操作，又提高了测试精度。

智能仪器还有一个重要特点，就是具有对外接口功能，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。

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。

现代智能仪器通常都具有很强的自测试和自诊断功能，它能自身测试其功能是否正常，自行诊断是否存在故障及故障的部位，从而大大提高了仪器的可靠性，简化和加快了仪器的维修工作。

### 1.1.2 智能仪器的组成

在物理结构上，微型计算机内含于电子仪器，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，还在于它与外界的通讯通常都通过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等。既然测试电路是微型计算机的外围设备之一，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

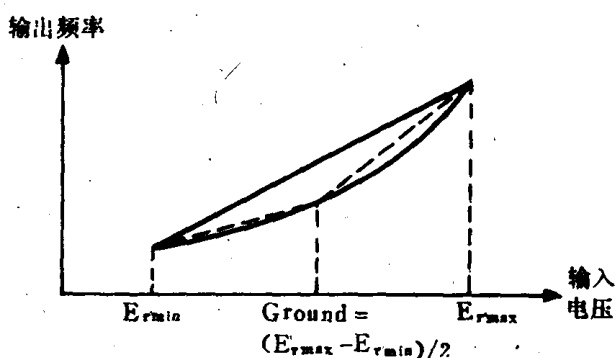


图1.1 HP 5335中V-F转换器非线性的校正

统的主控制器等等。

虽然智能仪器中的测试电路仅是作为微型计算机的外围设备而存在，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。

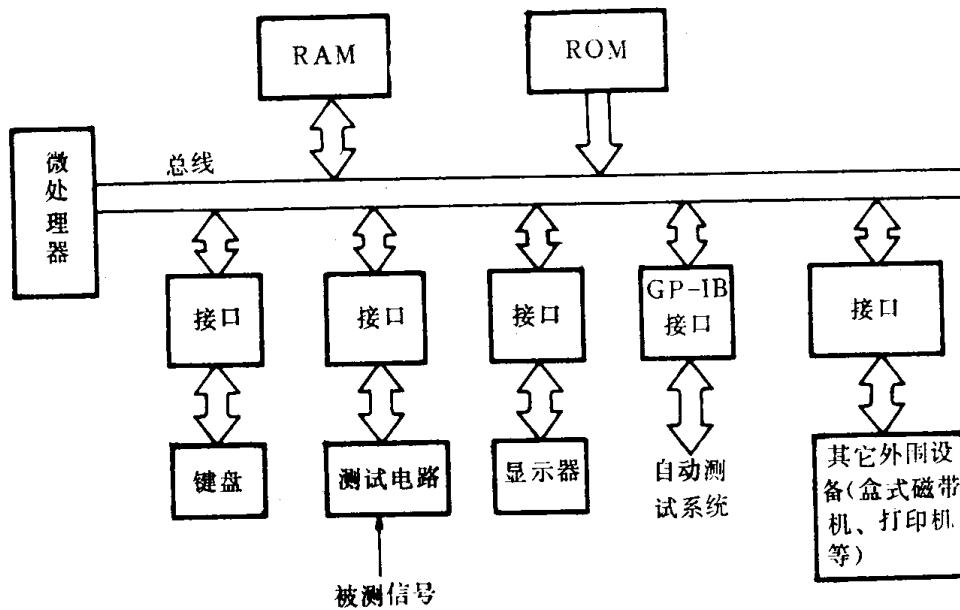


图1.2 智能仪器的基本组成

### 1.1.3 智能仪器的工作

#### 一、传统DVM的工作原理

让我们以数字电压表（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。

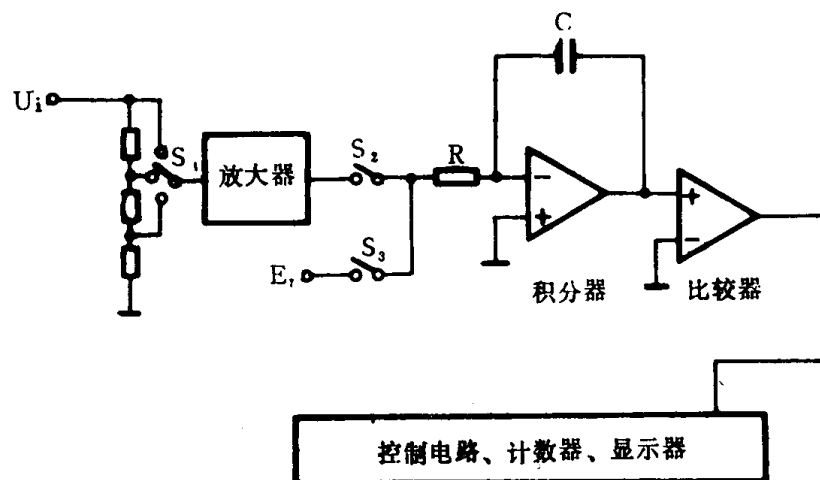


图1.3 传统积分式DVM原理图

图1.3是传统的积分式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,使积分式模数转换器(ADC)按规定的时序进行工作。例如,在双斜式(又称双积分式)ADC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变方向相反。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,一次模/数转换结束。积分器对基准电压进行积分的周期称为比较期。在比较期内计数器进行计数。可以证明(详见第五章),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。

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。

## 二、智能积分式DVM的工作原理

图1.4表示了智能积分式数字电压表的原理框图。它包括A/D转换器、微处理机、键盘、显示器及GP-IB接口等部件。在微处理机和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 $b_0$ — $b_4$ 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<sub>0</sub>数据总线。微处理器通过输入口检查比较器的状态。工作过程如下:

1. 微处理器根据来自键盘或GP-IB接口的命令,向输出口的 $b_0$ — $b_2$ 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 $S_3$ 开关,积分器对被测电压 $U_i$ 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藉助软件进行计数,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,同时置输出口的 $b_3$ 、 $b_4$ 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种种处理后,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机发出各种命令,微处理机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. 微处理机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贮和计算能力,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、统计处理及其它数学运算等;

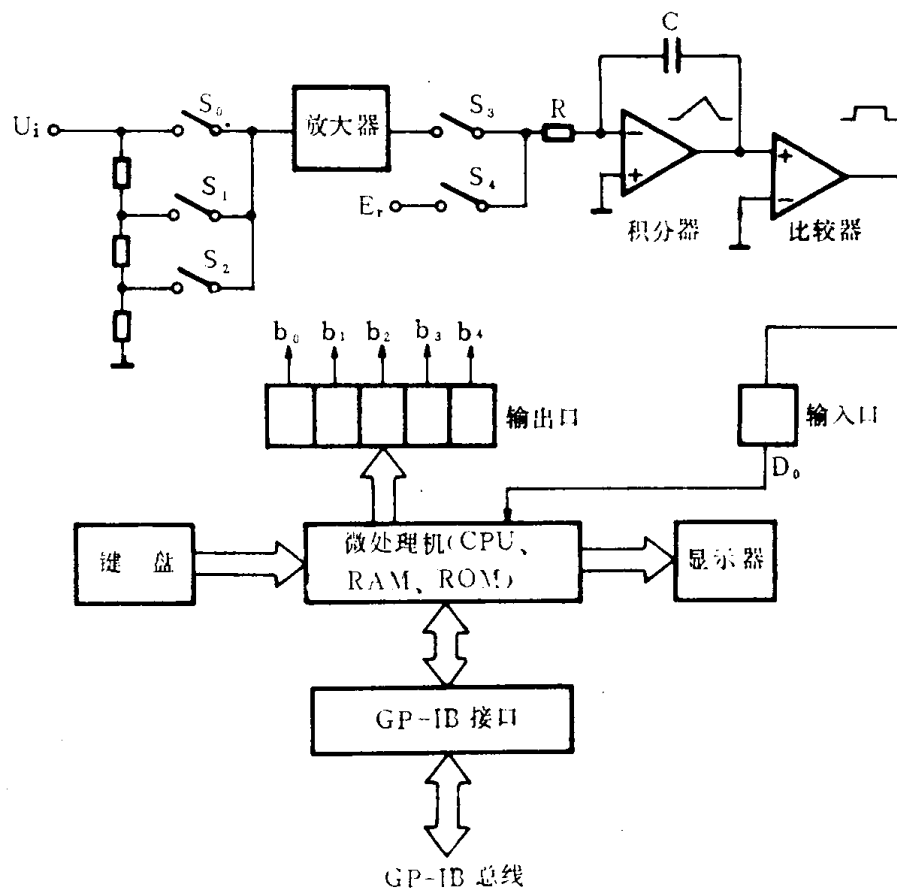


图1.4 智能积分式DVM原理框图

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——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60年代以来，自动测试系统的发展已经历了三个阶段。第一个阶段是仪器与小型仪用计算机通过各种专用接口相连接组成自动测试系统，其代表产品有自动网络分析仪等。第二阶段是智能仪器，把微处理机放入仪器内部，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。

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。每个插件毋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

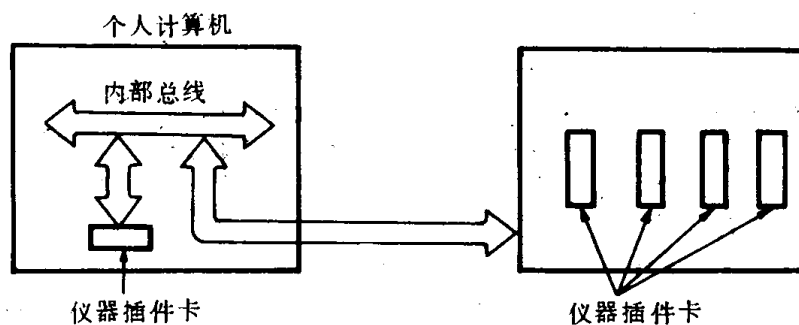


图1.5 个人仪器结构

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机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，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。个人仪器是通过微型计算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。

## § 1.2 智能仪器举例

1071型数字多用表内含微处理器和GP-IB接口，可测量直流电压、直流电流、交流电压、交流电流、电阻和比例等参数。对测量结果还可进行几种数学计算。测量直流电压时最大显示数为6位半（即1999999），在“平均值”方式时最大显示数为7位半，最高灵敏度为10nV，测量精度达 $(\pm 3\text{ppm读数} \pm 1\text{ppm满度})$ 。

图1.6表示该数字多用表前面板上键盘和显示器的布置。键盘按键分为量程(RANGE)、功能(FUNCTION)、方式(MODE)和计算(COMPUTE)四组。

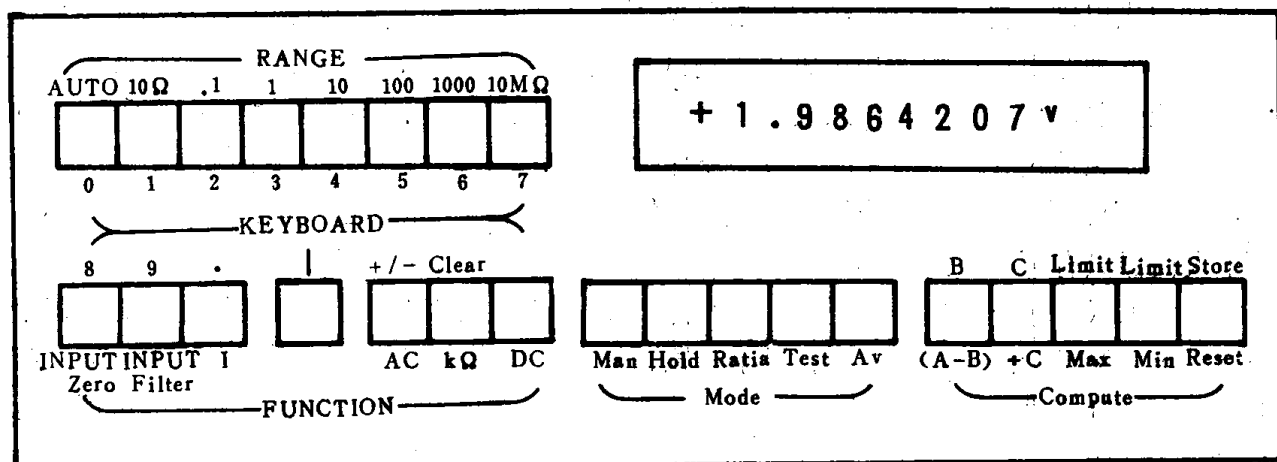


图1.6 数字多用表前面板键盘 - 显示器

量程组键选择量程。例如，按“0.1”键，选择0.1V或0.1A、0.1Ω等量程。“Auto”键规定自动选择量程。

功能组键选择测量功能“I”，“kΩ”，“AC”，“DC”。此外，“Input zero”键使仪器自动调零，即输入为零时显示零。“Input filter”键使仪器接入输入滤波器，从而抑制交流串模干扰。

当“Keyboard”键按下时，上述两组键均作数字键使用。

方式组键选择几种测量方式。当按“Hold”键后，仪器完成正在进行的测量并显示，但停止工作。这时，每按“Man”键一次，就进行一次测量并显示。“Ratio”键选择比例方式，显示数是两路输入的比例。“Test”键规定仪器进行自测试。按“Av”键使仪器进入“平均值”工作方式，即进行多次测量后求算术平均值以提高精度。

计算组键选择计算方式，或把当前显示数存入存贮器保存起来。在仪器内存设立了四个称为B，C，Limit(max)，Limit(min)的单元。若在按“Store”键后按B，C，Limit(max)或Limit(min)键，则把当前显示数分别送入B，C，Limit(max)或Limit(min)单元。

按“(A - B)”键使仪器进行减法运算后显示。其中A是测量结果，B是存贮单元B的内容。按“÷C”键使仪器将测量结果除以 $C \times 100\%$ 。C是存贮单元C的内容。按“Max”或“Min”键，使仪器显示几个读数中的最大值或最小值。这种方式开始时，应按两次“Store”键，以清除两个Limit单元的内容。

下面以“÷C”功能为例说明仪器操作步骤：

1. 按“KEYBOARD”键后按数字键“200”；
2. 按“Store”、“C”键，把常数200输入存贮单元C；
3. 按“DC”键，测量直流电压；
4. 按“10”键，规定10V量程档；
5. 按“÷C”键，使读数进行 $\div C \times 100\%$ 运算后显示。

1071数字多用表的详细介绍见第九章。

## § 1.3 智能仪器设计简介

### 1.3.1 设计要点

智能仪器设计的主要内容包括微处理器的选择、硬件设计和软件设计。

目前广泛流行的8位微处理器，无论从功能或成本来看都非常适宜用于智能仪器。这些微处理器具有64k的寻址能力，对一般智能仪器来说已完全足够。它们的支持部件丰富，特别是当前生产的大规模GP-IB集成电路可直接与相应的8位微处理器连接。目前，限制8位微处理器应用的主要因素往往在于它们的工作速度较慢。因此，当在某些实时控制、信号处理等应用中要求较高的工作速度时，就需要采用16位或位片式微处理器。

在硬件设计中，首先要设计仪器内部的微型计算机，同时设计测试硬件、仪器内部的外围设备和GP-IB接口，然后设计微型计算机和其它部件间的接口。这些将在第四、五章中讨论。

软件研制大致要经历这样一些阶段：任务描述、程序设计、编码、纠错、测试和编写文



件。

### 1.3.2 监控程序的结构

智能仪器与计算机一样，是执行命令的机器。在智能仪器中，命令常来自键盘和 GP-IB 接口。监控程序的任务是接受、分析并执行来自这两方面的命令。本书把接受和分析键盘命令的程序称为监控主程序，把接受和分析来自 GP-IB 接口命令的程序称为接口管理程序，把具体执行各种命令的程序称为命令处理子程序。

监控主程序和接口管理程序的结构在不同的智能仪器中有其共同性，分别在本书第七、八章进行详细讨论。命令处理子程序随智能仪器功能的不同而不同，没有统一的设计方法，本书按数据处理、输入/输出、自测试等方面概括在其它各章进行讨论。

### 1.3.3 程序设计技术

常用的程序设计技术有下列三种：

#### 1. 模块法

模块法是把一个长的程序分成若干个较小的程序模块进行设计和调试，然后把各个模块连接起来。如前已述，智能仪器监控程序总的可分为三大模块，即监控主程序、接口管理程序、命令处理子程序。命令处理子程序通常又可分为测试、数据处理、输入/输出、显示等子程序模块。由于程序分成一个个较小的独立模块，因而方便了编程、纠错和调试。

#### 2. 自顶向下设计方法

研制软件有两种截然不同的方式，一种叫做“自顶向下”（Top-down）法，另一种叫做“自底向上”（Bottom-up）法。所谓“自顶向下”法，概括地说，就是从整体到局部，最后到细节。即先考虑整体目标，明确整体任务，然后把整体任务分成一个个子任务，子任务再分成子任务，同时分析各子任务之间的关系，最后拟订各子任务的细节。这犹如要建造一个房子，先设计总体图，再绘制详细的结构图，最后一块砖一块砖地建造起来。所谓“自底向上”法，就是先解决细节问题，再把各个细节结合起来，就完成了整体任务。“自底向上”是传统的程序设计方法。这种方法有严重的缺点：由于从某个细节开始，对整体任务没有进行透彻的分析与了解，因而在设计某个模块程序时很可能会出现原来没有预料到的新情况，以至要求修改或重新设计已经设计好的程序模块，造成返工，浪费时间。目前，都趋向于采用“自顶向下”法。但事情不是绝对的，不少程序设计者认为，这两种方法应该结合起来使用。一开始在比较“顶上”的时候，应该采用“自顶向下”法，但“向下”到一定的程度，有时需要采用“自底向上”法。例如对某个关键的细节问题，先编制程序，并在硬件上运行，取得足够的数据后再回过头来继续设计。

#### 3. 结构程序设计

结构程序（Structured Programming）设计是70年代起逐渐被采用的一种新型的程序设计方法，它不仅在许多高级语言中应用，如已有结构 BASIC、结构 FORTRAN 等等，而且其基本结构同样适用于汇编语言的程序设计。结构程序设计的目的是使程序易读、易查、易调试，并提高编制程序的效率。在结构程序设计中不用或严格限制使用转移语句。结构程序设计的一条基本原则是每个程序模块只能有一个入口、一个出口。这样一来，各个程序模块可分别设计，然后用最小的接口组合起来，控制明确地从一个程序模块转移到下一个模块，使程序的调试、修改或维护都要容易得多。大的复杂的程序可由这些具有一个入口和