

江 岳 编著

智能仪表

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

全书分为概论, 设计原理, GP—IB, 仪表分析, 设计举例五部分. 主要介绍智能仪表的设计原理和常用智能仪表的分析, 着重阐明智能仪表的设计方法、硬件系统组织、监控程序及实时操作系统的设计, 给出了一些仪表的设计实例, 以便读者掌握智能仪表的分析和设计方法. 此外, 还重点介绍了八位单片机Z8和16位单片机8096的基本知识及其应用. 同时给出广为流行的8085, Z80, 6800微处理器及6801, 8051单片机在仪表中的应用实例. 对IBM—PC, Apple机与智能仪表的软硬件接口也作了具体的介绍.

本书内容丰富, 叙述简明, 示例具体, 可作为计算机应用、测量、仪表专业的教材, 对从事计算机应用及仪表研究的科研人员亦有重要的参考价值.

智 能 仪 表

江 岳 编著

责任编辑: 黄 德 封面设计: 王瑞荣

*

中国科学技术大学出版社出版

(安徽省合肥市金寨路96号)

安徽省科技印刷厂印刷

安徽省新华书店发行

*

开本: 850×1168/32 印张: 18.875 字数: 489千

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

印数: 1—3000

ISBN7-312-00129-7/TP·10 定价: 4.40元

前 言

微型机的发展与应用对国防、科研及国民经济的发展起着越来越重要的作用。把微型机作为一种媒介引入其他学科，引起了原来学科根本变革的例子已越来越多。智能仪表的诞生就是一个明证。当前关于微型机的原理、组成、体系结构及软硬件方面的书已很多，但如何将微型机引入测量仪表，并与通用微机组合成完整的测试系统，造就新一代智能仪器，仍是广大科研单位、仪器制造厂、测量部门迫切需要解决的课题。本书就是为满足这方面的要求而编写的。

本书主要介绍智能仪表的设计原理和方法、通用微型机与仪表的连接、几种典型的智能仪表分析和给出几种智能仪表设计的具体实例。读者通过对本书的学习可以掌握智能仪表的原理和具体设计方法，进而研制各种新型的仪表。书中列举的设计原理和软硬件设计方法亦可用于测量和控制等部门。

第一章简要说明智能仪表的基本框图、特点和优点，介绍了各国智能仪表发展的现状。为了保持全书的系统性和扩大微机应用面，第一章中还对当前各种常用的电量与非电量测量原理和方案作了概括的介绍。

第二章是全书的重点。主要介绍智能仪表的设计原则和方法。考虑到当前单片机的发展，较详细地介绍了Z-8单片机与8096系列十六位单片机的基本知识与应用，并着重对监控程序和操作系统设计的三种方法作了详尽的阐述。在外部设备方面，主要介绍了LED显示器，液晶显示电路，CRT字符显示，编码键盘，触摸式键盘，EEPROM编程电路，配接行式打印机及模拟I/O。

系统的设计。本章还给出软硬件设计实例，对仪表的自检与仪表语言的设计也作了详细介绍。

第三章主要介绍智能仪器的遥控工作方式。即如何将智能仪表与常用微机IBM-PC/XT, Apple-Ⅱ连接成一个多台仪表的自动测试系统。该章阐述了GP-IB的基本概念，通用接口适配器与接口管理程序的软硬件设计，还给出了IBM-PC GPIB的实际操作步骤与程序设计举例。

第四章主要介绍几种典型的国外较先进的智能仪表。以美国产的181纳伏表为例介绍了智能数字电压表；以6801单片机为核心的计数器为例介绍了智能计数/定时器；以英国产的7151万用表为例介绍了脉冲调宽式智能数字万用表；还介绍了智能功率计的基本原理等等。

第五章是智能仪表设计举例。分别介绍以Z-8为控制器的数据记录仪的设计；以8051单片机为控制器的自动售货机的设计；以通用微处理器为控制器的温度测量装置的设计以及以8051单片机为控制器的晶体管特性图示仪的设计。读者可以从这四个例子中学习到许多有关设计方法和编程的技巧。

为了便于读者设计，使本书具有实用性，附录中给出了6801指令表，8085与Z80指令对照表，8051指令代码表，Z-8指令代码表（8096的指令表在第二章中给出）。

本书是中国科学技术大学研究生和高年级本科生教材，教学时数为40~60学时。它可作为高等学校计算机应用、测量仪表，自动控制等专业的教材，也可供从事智能仪表设计与研究人员的参考。

中国科学技术大学许薇对本书进行了数百篇外文资料的检索，翻译了国际上1987、1988年有关的最新资料，提供了大量的素材，并对全书进行了文字修改与订正工作，对本书的出版作出了重要贡献。中国科学技术大学超导研究所提供了数种国际上先

进的智能仪表资料，作者在此一并表示衷心的感谢。

本书的许多内容1984年以来虽多次在校内外对研究生、大学生讲授过，但由于作者水平有限，缺点与不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。

江 岳

1989年2月于合肥

目 次

前 言

第一章 智能仪表概论..... (1)

§ 1.1 什么是智能仪表..... (1)

1.1.1 智能仪表的定义和特点..... (1)

1.1.2 智能仪表的基本框图..... (3)

1.1.3 智能仪表的基本工作方式..... (8)

§ 1.2 智能仪表的优点..... (9)

§ 1.3 智能仪表的发展..... (16)

1.3.1 数字电压表与万用表..... (16)

1.3.2 智能频率计..... (18)

1.3.3 智能电桥..... (19)

1.3.4 智能温度计..... (20)

1.3.5 记录装置..... (20)

§ 1.4 常用仪表测量原理简介..... (22)

1.4.1 传感器简述..... (22)

1.4.2 几种电量的测量..... (29)

1.4.3 几种非电量的测量..... (40)

第二章 智能仪表设计原理..... (60)

§ 2.1 智能仪表设计原则和步骤..... (60)

2.1.1 设计的基本方法..... (60)

2.1.2 设计的基本步骤..... (64)

2.1.3 选择仪表中微型机的原则..... (65)

2.1.4 软件设计范围..... (66)

§ 2.2 微处理器与单片机的选择..... (69)

2.2.1 8085A微处理器构成基本系统..... (69)

2.2.2 Z 80微处理器构成基本系统..... (71)

2.2.3 6800微处理器构成基本系统	(74)
2.2.4 6801单片机构成基本系统	(77)
2.2.5 8051系列单片机构成基本系统	(80)
2.2.6 Z-8单片机构成基本系统	(93)
2.2.6.1 Z-8的基本结构	(93)
2.2.6.2 Z-8的寻址方式	(114)
2.2.6.3 Z-8的指令系统	(118)
2.2.6.4 Z-8系列	(120)
2.2.7 MCS-96系列单片机构成基本系统	(121)
2.2.7.1 概 述	(121)
2.2.7.2 MCS-96的硬件结构	(124)
2.2.7.3 MCS-96的寻址方式和指令系统	(166)
2.2.7.4 MCS-96的基础程序设计	(176)
§ 2.3 存储器的选择和保护	(197)
2.3.1 存储器的选择	(197)
2.3.2 存储器的选址方式	(199)
2.3.3 掉电保护功能	(201)
§ 2.4 外部设备的选择与电路设计	(212)
2.4.1 外部设备概述	(212)
2.4.2 LED显示器设计	(213)
2.4.3 液晶显示电路设计	(220)
2.4.4 CRT字符显示系统	(230)
2.4.5 编码键盘的设计	(234)
2.4.6 非编码键盘的设计	(240)
2.4.7 触摸式键盘	(243)
2.4.8 EEPROM 固化编程电路设计	(244)
2.4.9 行式打印机接口设计	(248)
2.4.10 模拟I/O系统(A/D与D/A)设计	(253)
2.4.11 外存储器	(255)
§ 2.5 数据操作	(259)
2.5.1 表驱动程序	(259)
2.5.2 指针(指示器POINTER)	(264)
2.5.3 软件滤波	(267)

2.5.4 线性化处理	(272)
2.5.5 软件标定	(274)
§ 2.6 智能仪表监控程序和实时操作系统的设计	(278)
2.6.1 单板机监控程序的设计	(278)
2.6.2 智能仪表的监控程序的设计	(299)
2.6.3 实时操作系统的设计	(315)
§ 2.7 自检	(334)
2.7.1 自检方式	(334)
2.7.2 硬件的检测	(335)
2.7.3 自检软件	(338)
§ 2.8 仪表语言的设计	(342)
2.8.1 概述	(342)
2.8.2 ICL语言简介	(343)
2.8.3 ICL语言的解释程序	(347)
2.8.4 程序举例	(348)
第三章 智能仪表的遥控工作方式	(350)
§ 3.1 GP-IB基本概念	(350)
3.1.1 自动测试系统	(350)
3.1.2 IEEE-488总线 (GP-IB)	(351)
3.1.3 总线标准信号图	(352)
3.1.4 GP-IB 各线功能	(354)
3.1.5 信号交换过程	(358)
3.1.6 接口基本功能	(361)
3.1.7 设备地址与讲、听地址	(367)
3.1.8 命令和数据	(370)
3.1.9 代码与格式	(374)
§ 3.2 通用接口适配器与接口管理程序	(380)
3.2.1 GP-IB 接口板硬件设计	(380)
3.2.2 接口管理程序	(393)
3.2.3 GP-IB的软件接口	(398)
§ 3.3 IBM-PC GP-IB系统的应用	(407)
3.3.1 微型机与GP-IB的连接	(417)

3.3.2 DS-GPIB软件包	(409)
3.3.3 应用编程举例	(420)
3.3.4 DS-GPIB使用方法	(427)
第四章 典型智能仪表分析	(430)
§ 4.1 智能数字电压表	(430)
4.1.1 智能数字电压表的功能	(430)
4.1.2 智能电压表原理电路及流程图	(433)
4.1.3 181型智能数字电压表介绍	(437)
§ 4.2 智能计数器/定时器	(465)
4.2.1 智能计数器/定时器的特点	(466)
4.2.2 智能计数器的基本工作方式	(466)
4.2.3 6801单片机智能计数器	(468)
§ 4.3 智能数字万用表	(494)
4.3.1 7151型万用表基本特性	(494)
4.3.2 7151型万用表原理简介	(497)
4.3.3 模数转换原理(脉冲调宽)	(499)
§ 4.4 智能数字功率表	(501)
4.4.1 基本原理	(501)
4.4.2 系统硬件	(502)
4.4.3 系统操作	(504)
4.4.4 精度指标	(507)
第五章 智能仪表设计举例	(508)
§ 5.1 数据记录仪的设计	(508)
5.1.1 设计的要求与基本性能	(508)
5.1.2 总体设计的考虑	(510)
5.1.3 硬件设计	(513)
5.1.4 软件设计	(515)
§ 5.2 自动售货机控制器的设计	(530)
5.2.1 设计任务分析	(531)
5.2.2 设计方法	(532)
§ 5.3 温度测量装置设计	(538)
5.3.1 用热敏电阻测温方案	(538)

5.3.2 用半导体电阻测温方案	(540)
§ 5.4 智能晶体管特性图示仪的设计	(542)
5.4.1 基本方案	(543)
5.4.2 图示仪的硬件设计	(551)
5.4.3 图示仪的软件设计	(559)
附录1 6801基本指令表	(565)
附录2 8085 Z-80指令对照表	(575)
附录3 8051指令代码表	(579)
附录4 ASCII码表 (IOS 七位编码表)	(583)
附录5 Z-8指令代码表	(584)
参考文献	(588)

第一章 智能仪表概论

当前微型计算机在各个学科和领域中正在不断普及与深化,把微型机作为一种媒介引入到其他学科,引起原来学科的根本变化或变革的例子已屡见不鲜。智能仪表的诞生正是微型机进入仪器仪表领域并使仪器仪表发生大变革的证明。

§ 1.1 什么是智能仪表

1.1.1 智能仪表的定义和特点

回顾一下仪器仪表的发展史,大家都知道,第一代的仪器仪表是指针式的仪表,如实验室至今还在使用的万用表、电压表、电流表、功率表及晶体管电压表等等。这些仪表的基本结构是电磁式的,基于电磁测量原理使用指针来显示最终测量值。第二代的仪器仪表是数字式的仪表,这类仪表适用于快速响应和高精度的要求。目前这类仪表很普及,如数字电压表、数字功率计、数字频率计等等。这类仪表的基本原理是基于将模拟信号的测量转化为数字信号测量,并以数字显示或打印最终结果。第三代的测量仪表就是本书要介绍的智能仪表,这类仪表中含有一个单片计算机或体积很小的微型机,有时亦称为内含微处理器的仪表,或称为基于微型机的仪表(Microcomputer-Based Instrumentation)。这类仪表因为功能丰富又很灵巧,国外书刊中常简称为智能仪表(Intelligent Instruments)。有时为了避免该名词与人工智能中的“智能”的含义混淆,也可以称为微型机化测量仪表。

内含的微型机是仪表的控制中枢。仪表的功能由软、硬件相结合来完成。这类仪表一般都装有通用接口，仪表与外部微机之间通过通用接口总线(GP-IB)联系，多台这样的仪表与微机可构成自动测试系统。由内含微机进行控制称为本地方式，由外部微机(或控制器)通过GP-IB进行控制称为遥控方式。

仪表中引入了微型机后有什么特点呢？概括地说有四个特点：

一、仪表有了可编程特性

计算机软件进入仪表，可以代替大量的硬件逻辑电路，这叫硬件软化。例如，在硬件电路中要将电压除以2就要有一个精确的分压电路；而用软件只需将电压对应的数值放在某一寄存器中，执行一次一条右移指令就行了。再如在硬件电路中要延时较长的时间，通常要用单稳态触发器、微分电路、二极管及反相器才能实现；而在软件中只需编一个延时子程序就可以代替这些硬件电路。这样的例子很多，特别是在控制电路中应用一些接口芯片的位控特性进行一个复杂功能的控制，其软件编程很简单（即可以用存储控制程序代替以往的顺序控制）。而如果代之以硬件，就需要一大套控制和定时电路。所以软件移植入仪器仪表可以大大简化硬件的结构，代替常规的逻辑电路。

二、仪表有了可记忆特性

以往的仪表采用组合逻辑电路和时序电路，只能在某一时刻记忆一些简单状态，当下一状态到来时，前一状态的信息就消失了。但微型机引入仪表后，由于它的随机存储器可以记忆前一状态信息，只要通电，就可以一直保持记忆，并且可以同时记忆许多状态信息，然后进行重现或处理。例如，普通示波器只能显示当前时刻的波形，而智能化的存储示波器则可以存储若干条波形曲线，供使用者选用或比较。并且重要的信息还可以写入仪器的ROM中或转储磁带中，永不丢失，待下一次实验时再调用这些

信息数据，还可以在遥控方式下将数据存入软盘中。

三、仪表有了计算功能

由于智能仪表内含微型计算机，因此可以进行许多复杂的计算，并且具有很高的精度。而没有智能化的仪表仪器，虽然在采用一些模拟算法电路后也可以进行简单的加、减、乘、除或对数运算等等，但电路的精度受电源及干扰的影响很大，往往得不到保证，至于复杂的计算则根本无法用硬件来模拟实现。而在智能仪表中可经常进行诸如乘除一个常数、确定两个被测量之比和偏离额定值的百分比、将结果移动一个常量、确定极大和极小值、被测量的给定极限检测等多方面的运算和比较。

四、仪表有了数据处理的功能

智能仪表有丰富的数据处理能力。在测量中常遇到线性化处理、自检自校、测量值与工程值的转换以及抗干扰问题。由于有了微处理器及软件，这些都可以很方便地用软件来处理，一方面大大减轻了硬件的负担，又增加了丰富的处理功能。智能仪表也完全可以进行检索、优化等功能。在遥控方式下利用计算机的软盘具有大容量的特点，还可以向仪表中引入专家系统，对仪表检测的结果立即作出处理意见。

智能仪表中的微型机不再是简单的发布命令和完成测量数据运算的工具，而是与仪表融为一体，它可以改变测量的原理及方法，创造出新一代测量仪器仪表来。

1.1.2 智能仪表的基本框图

下面先举几个例子说明仪表的基本框图。图1-1给出了一个智能阻抗测量仪的框图。这个仪器借助GP-IB接口与其它系统连接，允许其它的计算机对其控制。振荡器分频后提供时钟信号和测试的交流信号，前置电路施加测试信号到未知的阻抗和一个标准的阻抗上，并提供一个输出信号，这个输出信号与阻抗上的

电压成正比，并被送到相敏检波器去。由微机控制相敏检波器将这个被测阻抗对应的交流输入电压变换为直流电压输出，再经过A/D转换器进行模数转换，得到的数字信号送入微处理器计算和标定，从而得到未知的阻抗值。这个值可以在CRT上显示出来或通过GP-IB总线送到外部系统。

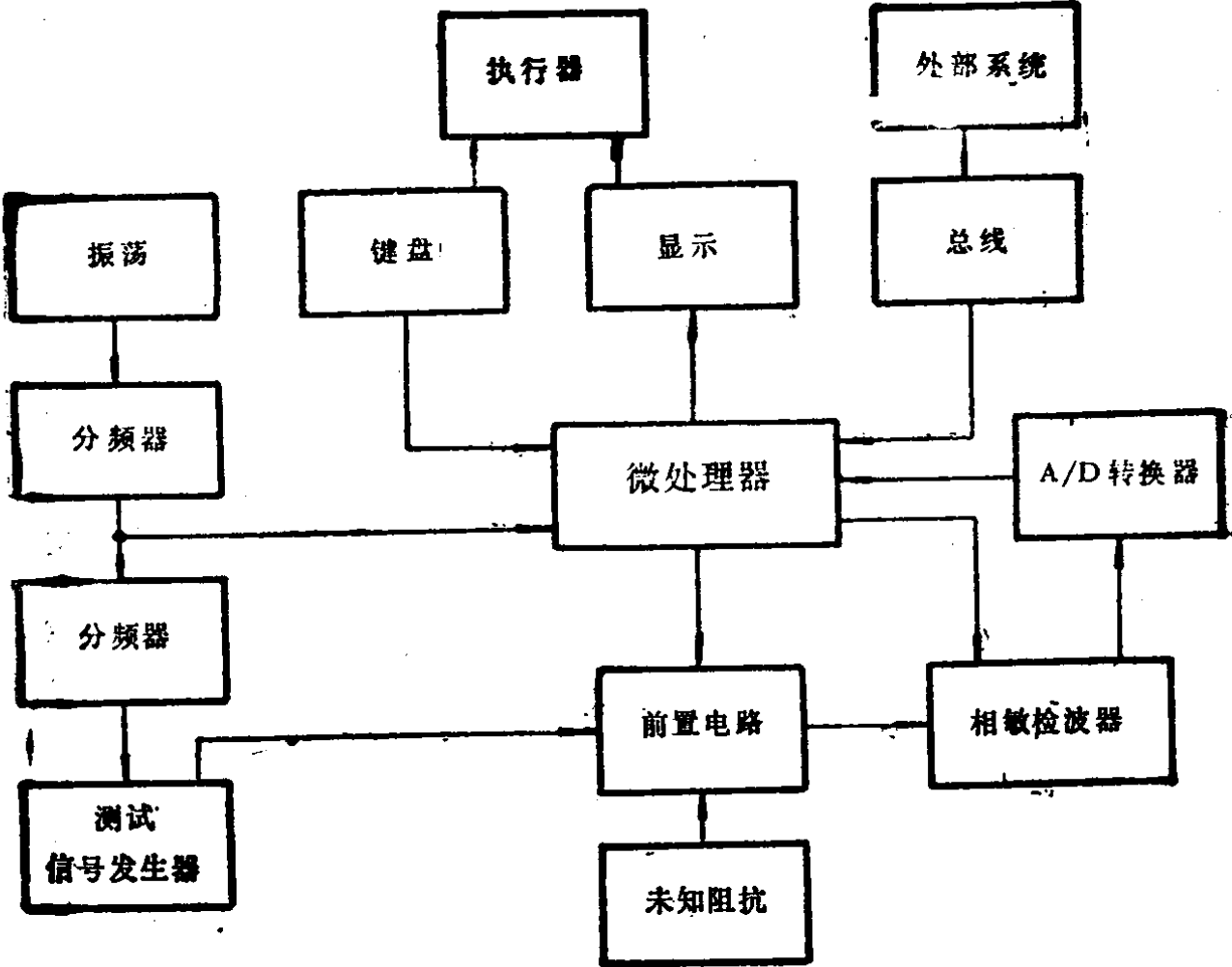


图 1.1 智能阻抗测量仪框图

图1.2是一个智能数字万用表的框图。图中 X 、 Y 是被测量的模拟量， X 量经过A/D转换变为二进制数码，送往数据锁存。因为采用了12位A/D转换器，所以需要两个八位锁存器，然后进入微机数据总线。 Y 量接至V/F变换器，模拟电压变换为对应的脉冲频率，输出的脉冲接至A/D转换器的复位端。这样就使特测信号 X 的数字值的重复频率与 Y 值成正比。换句话说，

即Y的大小可以控制X值采样的次数。这样X数字值的和实际上等于模拟输入量X和Y的乘积。利用求 $X \cdot Y$ 积的不定积分，求区间T内 $X \cdot Y$ 积的平均值，求 $X \cdot Y$ 积的积分值编成不同的软件，可以使同一仪表分别用来测量交直流电压、电流、功率和电能等等。

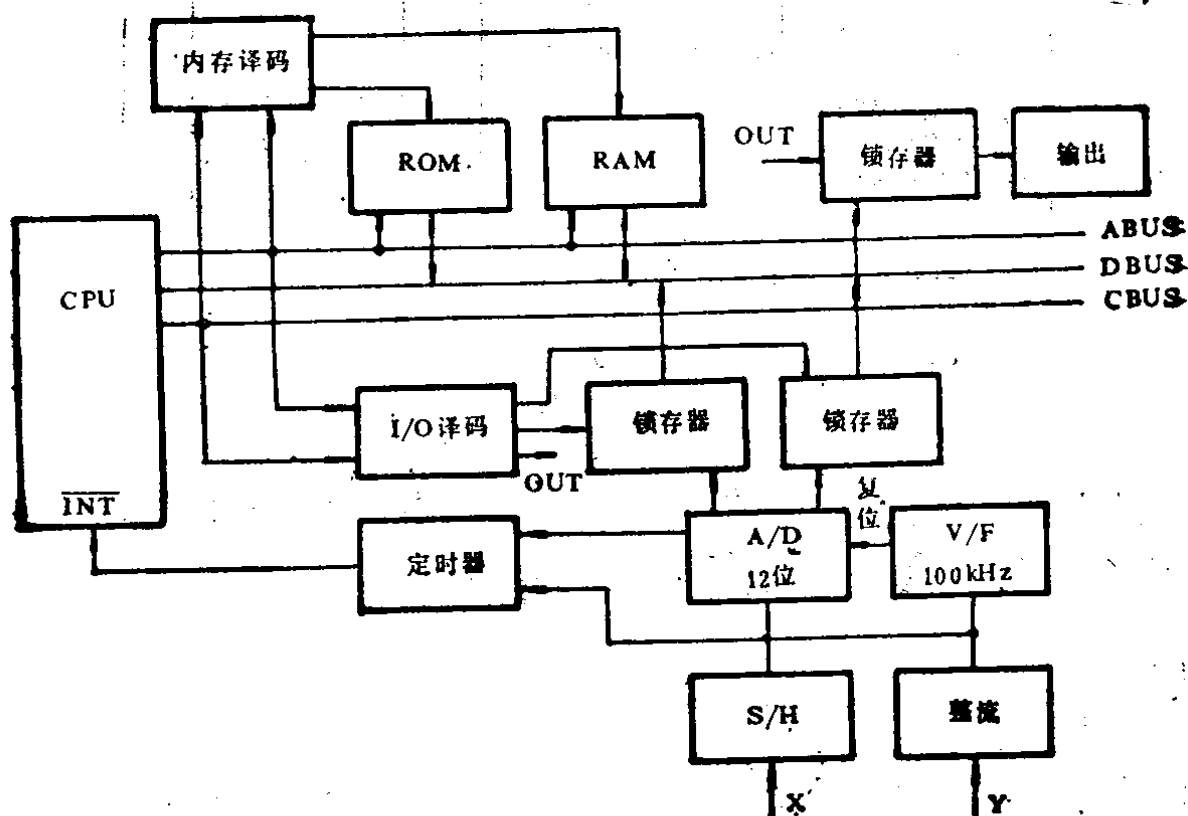


图 1.2 智能万用表框图

图1.3是一个智能示波器的框图。模拟电压输入信号经过A/D转换之后，先在RAM中存储，然后经过微型机进行数据处理，处理结果再送回RAM中存储起来，处理后的曲线数据也可以存入RAM的另一区段。所谓由计算机进行数据处理是指进行加、减、乘、除、求平均值、求有效值、求平方根等等。仪器的面板上装有许多专用键，按某一个键就可以把原始采集到的曲线数据进行某种对应的运算。如果用户要求上面几种运算以外的处理，可以自编好一段程序放在RAM中，按下一个“用户自定义

键”即转入执行这一段程序，完成程序中所要求的特殊运算并显示结果。

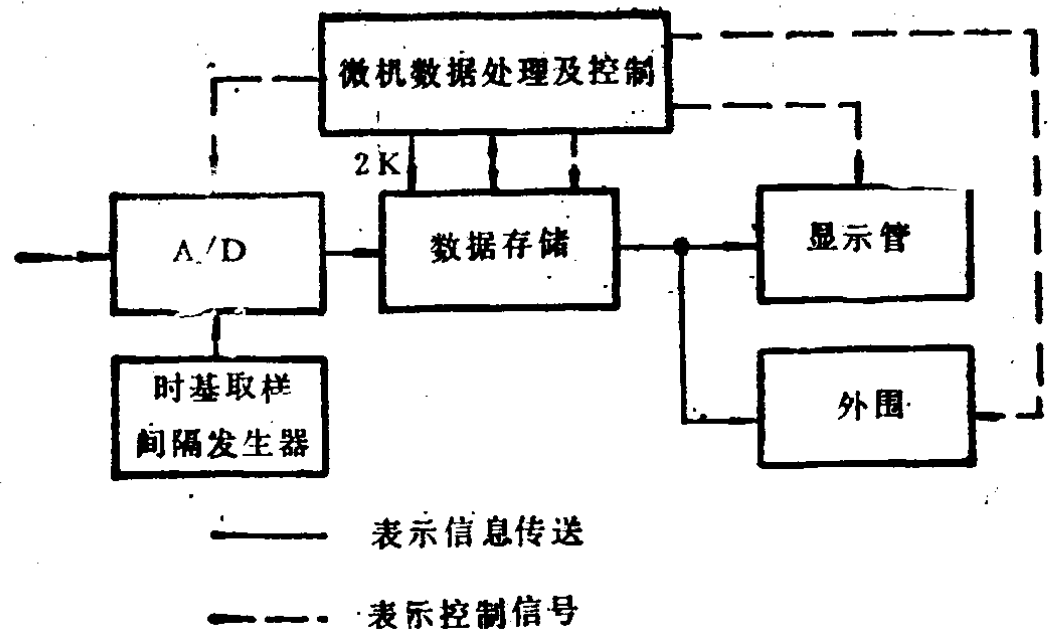


图 1.3 智能示波器框图

从上面三个例子中我们可以大致归纳出一个完整的智能仪表框图（见图1.4）。

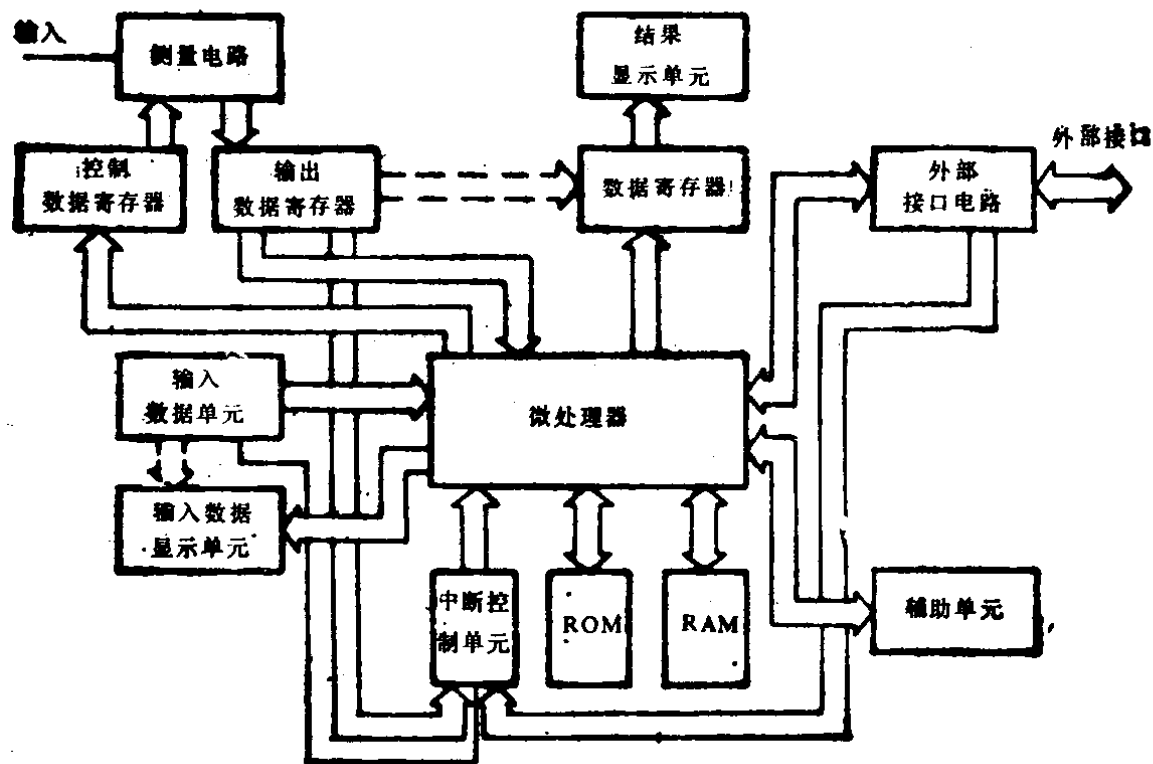


图 1.4 单处理器智能仪表框图

图中测量电路通过可编程控制数字寄存器和输出数据寄存器与微处理器相连接，这两个寄存器包含了测量结果以及测量电路状态的信息。测量结果可以用阿拉伯数字形式在数字显示器上显示出来，或者由打印机打印以及以图形方式在示波器屏幕上显示出来。数字显示时，测量结果可以直接从输出寄存器取出。这种方式通常用于简单的不需要处理测量结果的设备中。设备的工作流程控制依靠存储在ROM中的程序来实现。典型的解决方法是用一个功能数字键盘，它可以胜任许多功能，简化了测量设备与执行器的连接。例如，最简单的功能是重复显示数字键按下的数字，使人看到稳定的数字显示，并可以直观地判断输入参数是否有差错；其他的键则一般对应一些仪表特定的功能。每一键对应ROM中的一段相应功能程序。

智能仪表通常也都可以纳入一个大系统，由计算机或可编程计算器进行控制。为此备有GP-IB标准总线插座和电路，以便相互连接。其作用是每个仪表都完成自己固定的一些程序，这些程序自动地执行仪器所需的算法或者借助按键转入执行有关的程序段。这些程序是存储在ROM中的，不会丢失。

图1.4中的微处理器是一个多任务系统，该系统的主要部分是实时处理的（如过程控制或原始数据处理），而其他一些部分没有严格的时间限制。它决定了对软件的实时要求，特别是对控制部分软件的实时要求。但是在许多场合，若设备较复杂，则这些要求往往难以满足。在许多复杂设备中，往往采用多微处理器分层结构。在这种结构中各处理器执行各自的任務，统一受一个控制处理器监督控制。图1.5给出了这种分层结构图。这个多处理器系统中有数据处理微处理器，显示结果微处理器和外部接口微处理器。这些是专用微处理器，还有一个中心控制微处理器。由于各处理器都有自己的ROM和RAM以及接口电路，所以是一个多微机系统。因为各专用微处理器的任务不同，所以可以分