

新型数字电压表 原理与应用

沙占友 李学芝 邱 凯 著



国防工业出版社

新型数字电压表原理与应用

沙占友 李学芝 邱 凯 著

国防工业出版社

·北京·

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

新型数字电压表原理与应用/沙占友等著.-北京:国防工业出版社,1995.5
ISBN 7-118-01392-7

I. 新… II. 沙… III. 数字电压表-应用 IV. TM933.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 14071 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 100044)

北京四季青印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 29.5 700 千字
1995 年 5 月第 1 版 1995 年 5 月北京第 1 次印刷
印数 1—5500 册 定价:34.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

数字电压表简称 DVM,它是采用数字化测量的电压仪表。数字电压表迄今已有 40 多年的发展史,大致可划分成五个阶段。第一代产品是 50 年代问世的电子管数字电压表,第二代产品属于 60 年代出现的晶体管数字电压表,第三代产品为 70 年代研制的中、小规模集成电路的 DVM。近年来,国内外相继推出由大规模集成电路(LSI)或超大规模集成电路(VLSI)构成的数字电压表、智能数字电压表、分别属于第四代、第五代产品。它们不仅开创了电子测量的先河,更以其高准确度、高可靠性、高分辨力、高性价比等优良特性倍受人们的青睐。

目前,数字电压表正进入一个蓬勃发展的新时期。作为数字化仪表的基础与核心,数字电压表已被广泛应用于电子和电工测量、工业自动化仪表、自动测试系统等领域,显示出强大的生命力。与此同时,由数字电压表扩展而成的各种通用及专用仪器仪表、数字多用表,已将电量及非电量测量技术提高到崭新水平。

我国研制及生产新型数字电压表起步较晚,但发展速度惊人。近年来,国内许多厂家通过积极引进、吸收国外先进技术,努力赶超世界先进水平,现已能够批量生产 $3\frac{1}{2}$ 位~ $7\frac{1}{2}$ 位多种高、精、尖的数字电压表以及相应的标准源、校验仪。

目前各种新型数字电压表正在国内迅速推广与普及,但是专门介绍其电路原理及应用的书还很少见。在已出版的专著中,仍主要介绍第二、三代数字电压表的产品,难以适应电子技术发展的新形势。为此,我们特撰成此书以满足广大读者的迫切需要。

本书题材新颖,内容丰富,既有科学性和先进性,又注重实用性,主要有以下特点:

第一,该书详尽而深入地阐述第四代和第五代数字电压表的整机电路设计原理,多方位地介绍了国内外在该领域的新技术与新产品。例如,第二章介绍的带微处理器单片 A/D 转换器所构成的 $5\frac{1}{2}$ 位智能数字电压表、第三章介绍的由单片 DMM 专用 IC 构成的 4 位智能数字多用表、第四章剖析的各种多重显示仪表等,均具有国际 90 年代先进水平,这些内容是首次在国内科技书中作全面、系统地介绍。本书第五章还精辟论述了单片集成化的真有效值数字电压表、电平表的电路设计原理,目前真有效值仪表正获得迅速发展,将成为现代电子测量领域的一种重要手段。

本书是国内第一部专门介绍新型数字电压表电路设计与应用技术科技专著。

第二,实用性强。本书以基本原理和设计思想为基础,而把新型数字电压表的整机电路设计、调试和应用作为全书重点。对于关键性技术问题(如电路设计要点及难点、主要元器件选择、调试方法),亦作详细阐明。第六章还专门介绍数字电压表使用技巧,内容包括测试功能扩展及使用注意事项,这是作者长期从事仪器仪表研究工作积累的经验。第七章重点介绍由数字电压表扩展而成的数字多用表、数字钳形表、数字电容表和智能化温度巡检仪。最后两章内容对于改善数字电压表的性能、扩展其应用领域以及提高仪表的性价比,有着实用意

义。全书在阐述新型数字电压表原理与应用的同时,给出了大量的实用电路,并介绍了安装、调试方法,供读者灵活应用。

本书能为从事电子工作的工程技术人员、高等院校师生和数字电压表的使用人员提供帮助:所介绍内容对于开发具有高性价比的智能仪器和测试系统新产品、加速研制各种通用及专用新型电子测量仪表、对现有产品进行技术改造使之升级换代等方面,均具有重要的参考价值;并可帮助读者解决科研、生产中遇到的一些数字化测量领域的新课题。

第三,结构严谨,条理清楚,逻辑性强。内容由浅入深,循序渐进。以第二章为例,首先对国内外 $3\frac{1}{2}$ 位~ $5\frac{1}{2}$ 位单片 A/D 转换器进行综述,然后依次介绍 $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位数字电压表的电路设计。每种 DVM 都从芯片介绍起,最后构成整机电路。按先后顺序分别介绍低档、中档、高档数字电压表,既能给读者以系统、完整的概念,便于学习和掌握,又可满足不同读者的需要。

在本书撰写过程中承蒙国内外集成电路和仪器仪表厂家的大力支持,在此一并表示诚挚的谢意。

沙占友撰写了第二章、第五章、第七章,以及第一、三、四章部分内容。李学芝撰写了第一章主要内容并绘制了全部插图。邱凯撰写了第六章的 § 6.1~§ 6.16。沙占友撰写 § 6.17~§ 6.32。高俊岭撰写 § 2.10、§ 4.4、§ 4.5。参加本书撰写工作的还有欧阳欣、宋毓敏、张卫、张文清、林延琪、王晋元、王欣辉、陈志鹏、宋怀文同志。

由于作者水平所限,书中的缺点和不妥之处在所难免,敬请广大读者指正。

作 者

目 录

第一章 国内外新型数字电压表概述

- § 1.1 数字电压表的主要特点 (1)
- § 1.2 数字电压表的基本结构 (4)
 - 一、数字电压表的基本结构 (4)
 - 二、智能数字电压表的整机框图 (6)
 - 三、智能数字多用表的整机框图 (6)
- § 1.3 数字电压表发展的新趋向 ... (8)
- § 1.4 数字电压表的检测方法 (13)
 - 一、标准条件与额定工作条件 (14)
 - 二、标准源与量值传递 (14)
 - 三、直流数字电压表准确度的测试方法 (17)

第二章 新型 $3\frac{1}{2}$ 位~ $5\frac{1}{2}$ 位数字

电压表的设计原理

- § 2.1 国内外 $3\frac{1}{2}$ 位~ $5\frac{1}{2}$ 位单片 A/D 转换器综述 (20)
 - 一、单片 A/D 转换器的分类 (20)
 - 二、各种单片 A/D 转换器的特点综述 (22)
- § 2.2 ICL7106 型单片 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 (23)
 - 一、ICL7106 的主要特点 (23)
 - 二、ICL7106 的管脚功能 (24)
 - 三、ICL7106 的工作原理 (26)
 - 四、由 ICL7106 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表电路设计 (42)
 - 五、使用注意事项 (43)
 - 六、ICL7106 的功能检查 (44)
- § 2.3 ICL7126、ICL7136 型单片 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 (46)
 - 一、ICL7136 的主要特点 (46)
 - 二、由 ICL7126/7136 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表电路设计 (47)

§ 2.4 ICL7107、ICL7137 型单片

$3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 (49)

- 一、ICL7107/7137 的主要特点 (49)
- 二、ICL7107/7137 的工作原理 (49)
- 三、由 ICL7107/7137 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表电路设计 (51)
- 四、ICL7107/7137 的功能检查 (51)

§ 2.5 ICL7116、ICL7117 型单片

$3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 (53)

§ 2.6 MC14433 型单片 $3\frac{1}{2}$ 位

A/D 转换器 (56)

- 一、MC14433 的主要特点 (56)
- 二、MC14433 的管脚功能 (57)
- 三、MC14433 的工作原理 (59)
- 四、由 MC14433 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表电路设计 (66)
- 五、使用注意事项 (74)
- 六、 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表的调试方法 (76)
- 七、MC14433 与微处理器的接口 (78)

§ 2.7 ADD3501、ADD3701 型单片

$3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位 A/D 转

换器 (79)

- 一、ADD3701 的主要特点 (79)
- 二、ADD3701 的管脚功能 (79)
- 三、ADD3701 的工作原理 (80)
- 四、由 ADD3701 构成的 $3\frac{3}{4}$ 位数字电压表电路设计 (82)

§ 2.8 ICL7135 型单片 $4\frac{1}{2}$ 位 A/D

转换器 (84)

- 一、ICL7135 的主要特点 (84)
- 二、ICL7135 的管脚功能 (85)
- 三、ICL7135 的工作原理 (86)
- 四、由 ICL7135 构成的 $4\frac{1}{2}$ 位数字电

压表电路设计	(88)
五、ICL7135 与微处理器的接口	(93)
§ 2.9 ICL7129 型单片 $4\frac{1}{2}$ 位 A/D	
转换器	(95)
一、ICL7129 的主要特点	(95)
二、ICL7129 的管脚功能	(96)
三、ICL7129 的工作原理	(98)
四、由 ICL7129 构成的 $4\frac{1}{2}$ 位数字电	
压表电路设计	(101)
五、外围元器件选择	(101)
§ 2.10 AD7555 型单片 $5\frac{1}{2}$ 位/	
$4\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	(103)
一、AD7555 的主要特点	(103)
二、AD7555 的管脚功能	(103)
三、AD7555 的工作原理	(105)
四、由 AD7555 构成的 $5\frac{1}{2}$ 位/ $4\frac{1}{2}$ 位	
数字电压表电路设计	(108)
五、AD7555 的校准方法	(111)
六、AD7555 系统与微型计算机的	
接口	(112)
七、使用注意事项	(113)
§ 2.11 HI7159 型带微处理器单片	
$5\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	(115)
一、HI7159 的主要特点	(115)
二、HI7159 的管脚功能	(118)
三、HI7159 的工作原理	(119)
四、HI7159 外围模拟电路的设计	(128)
五、由 HI7159 构成的 $5\frac{1}{2}$ 位智能数字	
电压表电路设计	(130)
§ 2.12 其他单片 A/D 转换器	
简介	(132)
一、TSC806/807 型单片 $2\frac{1}{2}$ 位 A/D	
转换器	(132)
二、NJU9201/9202 系列单片 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D	
转换器	(133)
三、NJU9203/9204 系列带读数保持功能	
的单片 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	(134)
四、TSC822 型低电压单片 $3\frac{3}{4}$ 位 A/D	
转换器	(134)
五、TSC829 型单片 $4\frac{1}{2}$ 位 A/D 转	

换器	(138)
----------	-------

第三章 单片数字多用表集成 电路的原理与应用

§ 3.1 单片 $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位、 $4\frac{3}{4}$ 位数字多	
用表集成电路综述	(140)
一、单片 DMM 集成电路的分类	(140)
二、各种单片 DMM 集成电路的特	
点综述	(142)
§ 3.2 NJU9207 型单片 $3\frac{1}{2}$ 位自动	
量程数字多用表集成	
电路	(143)
一、NJU9207 的主要特点	(143)
二、NJU9207 的管脚功能	(144)
三、NJU9207 的工作原理	(146)
四、由 NJU9207 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位自动/手	
动量程数字多用表电路设计	(152)
五、使用注意事项	(154)
§ 3.3 ICL7139、ICL7149 型单片	
$3\frac{3}{4}$ 位自动量程数字多用表	
集成电路	(154)
一、ICL7139 的主要特点	(154)
二、ICL7139 的管脚功能	(156)
三、ICL7139 的工作原理	(158)
四、由 ICL7139 构成的单片 $3\frac{3}{4}$ 位自	
动量程数字多用表电路设计	(165)
五、使用注意事项	(165)
六、ICL7149 的使用特点	(166)
§ 3.4 TSC815 型单片 $3\frac{1}{2}$ 位自动	
量程数字多用表集成	
电路	(167)
一、TSC815 的主要特点	(167)
二、TSC815 性能概述	(168)
三、TSC815 的管脚功能	(169)
四、TSC815 的原理简介	(171)
五、由 TSC815 构成的单片 $3\frac{1}{2}$ 位自动	
量程数字多用表电路设计	(172)
§ 3.5 TSC820 型带频率计数器的	
$3\frac{3}{4}$ 位数字多用表集成	
电路	(175)
一、TSC820 的性能特点	(175)

二、TSC820 的管脚功能	(177)	三、A/D 转换器的工作原理	(230)
三、TSC820 的工作原理	(181)	四、双显示数字多用表的设计原理及 典型应用	(233)
四、由 TSC820 构成的数字多用表基本 电路设计	(190)	五、元器件选择	(245)
五、元件值选择	(192)	§ 4.4 适合配微机的高分辨率液晶 模拟条图 A/D 转换器	
§ 3.6 MAX133、MAX134 型专配 微处理器的 $4\frac{3}{4}$ 位/ $3\frac{3}{4}$ 位数字 多用表集成电路	(193)	TSC827	(246)
一、MAX133/134 的性能特点	(193)	一、TSC827 的主要特点	(246)
二、MAX133/134 的管脚功能	(195)	二、TSC827 的管脚功能	(248)
三、MAX133/134 的工作原理	(196)	三、TSC827 的工作原理	(249)
四、由 MAX133/134 构成的 $3\frac{3}{4}$ 位或 $4\frac{3}{4}$ 位智能数字多用表电路设计 ...	(206)	四、由 TSC827 构成的高分辨率液晶条 图显示仪表电路设计	(263)
五、外部元件选择及印制板设计要点 ...	(208)	五、使用注意事项	(264)
六、MAX133/134 与微处理器的配合 ...	(208)	六、TSC827 与微处理器的接口	(266)
七、MAX133/134 在测试系统中的 特殊应用	(212)	§ 4.5 TSC828 型三重 $3\frac{1}{2}$ 位 LCD 显示驱动器	(269)
§ 3.7 其他单片 DMM 集成电路 简介	(214)	一、TSC828 的主要特点	(269)
一、TSC824 型 $3\frac{3}{4}$ 位自动量程数字多 用表集成电路	(214)	二、TSC828 的管脚功能	(269)
二、AP75 型 $3\frac{1}{2}$ 位专配微处理器的数 字多用表集成电路	(215)	三、TSC828 的工作原理	(272)
第四章 多重显示仪表的电路 设计原理		四、由 TSC828 和 TSC827 构成的四重 数字/模拟条图显示仪表电路 设计	(278)
§ 4.1 多重显示仪表专用集成电 路的分类	(218)	五、TSC828 配微处理器的典型应用 ...	(279)
§ 4.2 ICL7182 型高分辨率液晶模 拟条图 A/D 转换器	(220)	第五章 真有效值数字电压表的 电路设计	
一、ICL7182 的主要特点	(220)	§ 5.1 真有效值数字仪表的基本 原理	(280)
二、ICL7182 的管脚功能	(220)	§ 5.2 单片真有效值/直流转换器 综述	(282)
三、ICL7182 的工作原理	(221)	§ 5.3 由 AD536A 构成的真有效值 数字电压/电平表	(284)
四、由 ICL7182 构成的 101 段液晶模拟 条图显示仪表	(224)	一、AD536A 的主要特点	(284)
§ 4.3 TSC818 系列 $3\frac{1}{2}$ 位数字/41 段液晶模拟条图双显示数字 多用表集成电路	(225)	二、AD536A 的管脚功能	(285)
一、TSC818 系列产品的主要特点	(225)	三、AD536A 的工作原理	(286)
二、TSC818 系列产品的管脚排列及 功能	(227)	四、由 AD536A 构成的真有效值数字 电压/电平表	(288)
		五、使用注意事项	(290)
		§ 5.4 由 AD636 构成的真有效值数 字电压/电平表	(291)
		一、AD636 的主要特点	(292)
		二、AD636 的工作原理	(292)

三、由 AD636 构成的真有效值仪表	(292)	§ 6.10 1.5V 及 9V 电池的测试	
§ 5.5 由 AD637 构成的真有效值数		电路	(339)
字电压/电平表	(296)	§ 6.11 增加方波信号发生器	(340)
一、AD637 的主要特点	(296)	§ 6.12 用频率合成法获取多种晶振	
二、AD637 的工作原理	(296)	频率的方法	(342)
三、由 AD637 构成的真有效值数字电压		§ 6.13 平均值响应的 AC/DC 转换	
表、电平表及特殊运算仪表	(299)	器电路设计	(345)
§ 5.6 由 AD736 构成的真有效值数		§ 6.14 宽频带不失真阻容分压器的	
字电压表	(302)	设计	(346)
一、AD736 的主要特点	(302)	§ 6.15 增加 AC/DC 自动转换	
二、AD736 的管脚功能	(303)	功能	(349)
三、AD736 的工作原理	(303)	§ 6.16 比例法测量电阻	(351)
四、AD736 的典型应用	(306)	§ 6.17 测量低阻及在线电阻的	
§ 5.7 由 AD737 构成的真有效值		方法	(352)
数字电压表	(306)	§ 6.18 测量高阻的电路设计	(354)
一、AD737 的性能特点	(306)	§ 6.19 测量电阻比和相对	
二、AD737 的典型用法与使用技巧	(307)	误差	(356)
第六章 数字电压表的使用技巧		§ 6.20 具有声、光报警功能的蜂鸣	
§ 6.1 数字电压表印制电路板		器电路	(357)
设计	(310)	§ 6.21 测量电导	(358)
一、ICL7106 和 ICL7116 的印制电路		§ 6.22 用脉宽调制法测电	
板设计	(310)	容量	(361)
二、ICL7107 与 ICL7117 的印制电路板		§ 6.23 用容抗法测电容量	(365)
设计	(310)	§ 6.24 测量频率	(368)
三、 $3\frac{1}{2}$ 位和 $4\frac{1}{2}$ 位数字面板表典型产品		§ 6.25 由 PN 结或热电偶构成的测	
的印制电路板构造	(311)	温电路	(369)
§ 6.2 自动关机电路	(317)	§ 6.26 能进行温度自动补偿的热电	
§ 6.3 单电源/双电源转换		偶测温电路	(374)
电路	(318)	§ 6.27 由集成温度传感器构成的测	
§ 6.4 提高基准电压稳定性的		温电路	(376)
方法	(321)	§ 6.28 测量二极管正向压降及晶体	
§ 6.5 自动转换量程的电路		管电流放大系数的	
设计	(324)	电路	(379)
§ 6.6 提高数字电压表灵敏度的		§ 6.29 液晶显示器标志符的驱动	
方法	(330)	电路	(382)
§ 6.7 利用 A/D 转换器完成运算		§ 6.30 反译码器在数字电压表中的	
功能	(332)	应用	(384)
§ 6.8 数字电压表增加读数保持功		§ 6.31 利用锁相时钟提高数字电	
能的方法	(336)	压表抑制电网串模干扰的	
§ 6.9 电池低电压检测电路	(338)		

能力	(386)	§ 7.6 DT910 型单片 $3\frac{3}{4}$ 位自动量	
§ 6.32 利用电源噪声滤波器提高数		程数字多用表	(424)
字电压表抑制噪声干扰的		一、DT910 型数字多用表的性能	
能力	(388)	特点	(424)
§ 6.33 数字仪表中的保护		二、DT910 型数字多用表的电路工作	
装置	(390)	原理	(425)
第七章 由 DVM 扩展成的通用		§ 7.7 VC8255 型 $5\frac{1}{2}$ 位智能数字多	
及专用数字仪表		用表	(427)
§ 7.1 $3\frac{1}{2}$ 位多量程真有效值数字		一、智能仪器概述	(427)
电压表	(393)	二、VC8255 型 $5\frac{1}{2}$ 位智能数字多	
§ 7.2 $3\frac{1}{2}$ 位多量程真有效值数字		用表	(428)
电平表	(395)	§ 7.8 DM3210 型 $3\frac{1}{2}$ 位数字钳	
§ 7.3 DT830C 型 $3\frac{1}{2}$ 位数字多		形表	(432)
用表	(398)	一、DM3210 型数字钳形表的性能	
一、性能特点	(398)	特点	(432)
二、DT830C 型数字多用表的电路		二、DM3210 型数字钳形表的电路工作	
工作原理	(399)	原理	(433)
§ 7.4 DT890 系列 $3\frac{1}{2}$ 位多功能数		§ 7.9 DM6013A 型 $3\frac{1}{2}$ 位数字电	
字多用表	(405)	容表	(434)
一、DT890 系列产品综述	(406)	一、DM6013A 型 $3\frac{1}{2}$ 位数字电容	
二、DT890C ₊ 型数字多用表的性能		表的性能特点	(434)
特点	(407)	二、DM6013A 型数字电容表的电路工作	
三、DT890C ₊ 型数字多用表的电路工作		原理	(435)
原理	(409)	§ 7.10 智能化温度自动巡检仪 ...	(436)
§ 7.5 DT1000 型 $4\frac{1}{2}$ 位高准确度数		一、电路工作原理	(436)
字多用表	(417)	二、程序设计	(439)
一、DT1000 型数字多用表的性能		附录 国内外数字电压表与数字多用表	
特点	(417)	的主要生产厂家及典型产品 ...	(443)
二、DT1000 型数字多用表的电路工作		参考文献	(445)
原理	(419)		

第一章 国内外新型数字电压表概述

传统的模拟式(即指针式)电压表已有 100 多年的发展历史,虽经不断改进与完善,仍无法满足现代电子测量的需要。数字电压表自 1952 年问世以来,显示出强大的生命力,现已成为在电子测量领域中应用最广泛的一种仪表。本章将对国内外新型数字电压表作一综述。

§ 1.1 数字电压表的主要特点

数字电压表简称 DVM (Digital Voltmeter)。它是采用数字化测量技术,把连续的模拟量(直流输入电压)转换成不连续、离散的数字形式并加以显示的仪表。智能化数字电压表则是大规模集成电路(LSI)、数显技术、计算机技术、自动测试技术(ATE)的结晶。

数字电压表主要有以下特点:

1. 显示清晰、直观,读数准确

传统的模拟式电压表必须借助于指针和刻度盘进行读数。在读数过程中不可避免地会引入人为的测量误差(例如视差),并且还容易造成视觉疲劳。数字电压表则采用先进的数显技术,使显示结果一目了然,只要仪表不发生跳数现象,测量结果就是唯一的,不仅保证了读数的客观性与准确性,还符合人们的读数习惯,能够缩短读数和记录的时间。

新型数字电压表在数显的基础上,还增加了显示各种标志符的功能。这些标志符中包括测量项目符号(例如 *DC*、*AC*、*TRMS*、*AVG*、*PK*),单位符号(μV 、 mV 、 V 、 kV),特殊符号(如极性符号,电池低电压指示符、读数保持符、逻辑电平符号),既便于读数,又对操作人员给予明显提示。

为解决数字电压表不能反映被测电压的连续变化过程以及变化趋势这一难题,最近一种“数字/模拟条图”数字电压表业已问世。这类仪表将数字显示与高分辨率模拟条图显示集于一身,它兼有 DVM 与模拟电压表二者之优点,为用数字电压表完全取代模拟式电压表创造了条件。

智能数字电压表均带微处理器和标准接口,可配计算机和打印机进行数据处理或自动打印,构成完整的测试系统。

2. 显示位数

显示位数通常为 $2\frac{1}{2}$ 位 $\sim 8\frac{1}{2}$ 位。具体讲,有 $2\frac{1}{2}$ 位、3 位、 $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{2}{3}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位、4 位、 $4\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{3}{4}$ 位、5 位、 $5\frac{1}{2}$ 位、6 位、 $6\frac{1}{2}$ 位、 $7\frac{1}{2}$ 位、 $8\frac{1}{2}$ 位共 14 种。国外最近还推出 $8\frac{3}{4}$ 位和 $10\frac{1}{2}$ 位数字仪表。

判定数字仪表的位数有两条原则:①能显示从 0 $\sim$ 9 所有数字的位是整数位;②分数位的数值是以最大显示值中最高位数字为分子,用满量程时最高位数字作分母。例如,某数字仪表的最大显示值为 ± 19999 ,满量程计数值为 20000,这表明该仪表有 4 个整数位,而分数位的分子为 1,分母是 2,故称之为 $4\frac{1}{2}$ 位,读作四位半,其最高位只能显示 0 或 1。

$3\frac{2}{3}$ 位(读作三又三分之二位)仪表的最高位只能显示从0~2的数字,故最大显示值为 ± 2999 。在同样情况下,它们要比 $3\frac{1}{2}$ 位仪表的量限高50%,后者仅为 ± 1999 。应指出的是,目前也有人将 $3\frac{2}{3}$ 位仪表仍称作 $3\frac{1}{2}$ 位,但必须指明其量限已扩展50%,以免将二者混淆。

$3\frac{3}{4}$ 位(读作三又四分之三位)仪表的最高位可显示从0~3的数字,因此最大显示值为 ± 3999 ,其量限比 $3\frac{1}{2}$ 位仪表高一倍。使用 $3\frac{3}{4}$ 位交流数字电压表进行测量,有许多方便之处。例如,普通 $3\frac{1}{2}$ 位交流DVM(含 $3\frac{1}{2}$ 位DMM的ACV挡,下同)的次高交流电压挡为200V,若要测量220V或380V工频电压,必须选择最高交流电压挡(通常为700V挡)。相比之下, $3\frac{3}{4}$ 位交流DVM的次高交流电压挡为400V,最适宜测量工频电源电压,既不欠量程,也不超量程,其测量准确度优于700V挡,而分辨力可提高10倍。

普及型数字电压表一般属于 $3\frac{1}{2}$ 位仪表。 $4\frac{1}{2}$ 位数字电压表分袖珍式(即手持式)与台式两种。 $5\frac{1}{2}$ 位及 $5\frac{1}{2}$ 位以上的仪表大多属于台式智能数字电压表。

3. 准确度高

数字电压表的准确度是测量结果中系统误差与随机误差的综合。它表示测量结果与真值的一致程度,也反映测量误差的大小。一般讲准确度愈高,测量误差愈小,反之亦然。

准确度的公式有三种表述方式:

$$\text{准确度} = \pm (a\% \text{RDG} + b\% \text{FS}) \quad (1.1.1)$$

$$\text{准确度} = \pm (a\% \text{RDG} + n \text{个字}) \quad (1.1.2)$$

$$\text{准确度} = \pm (a\% \text{RDG} + b\% \text{FS} + n \text{个字}) \quad (1.1.3)$$

式(1.1.1)中, RDG 为读数值(即显示值), FS 表示满度值^①。括弧中前一项代表 A/D 转换器和功能转换器的综合误差,后一项是由于数字化处理而带来的误差。式(1.1.2)中, n 是量化误差反映在末位数字上的变化量。若把 n 个字的误差折合成满量程的百分数,即变成式(1.1.1)。可见上述二式是完全等价的。

式(1.1.3)比较特殊,应用面较窄。例如英国舒力强(Solartron)公司生产的 LM1940 型 $5\frac{1}{2}$ 位 DVM, 其准确度就表示为 $\pm (0.002\% \text{RDG} + 0.001\% \text{FS} + 1\mu\text{V})$, 式中第三项表示热电势引起的误差为 $\pm 1\mu\text{V}$ 。本书介绍的数字电压表一律用式(1.1.2)来表示准确度。

根据准确度的高低,可将 DVM 分成若干等级。直流数字电压表共分 11 个等级: 0.0005、0.001、0.002、0.005、0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0。以 0.001 级为例,它表示当 $V_{IN} = V_M$ 时仪表的相对误差 $\leq \pm 0.001\%$, 余者类推。

数字电压表的准确度远优于模拟式电压表,后者的准确度只有 7 个等级: 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。普通 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表的准确度已可达 $\pm 0.1\%$, 而 $4\frac{1}{2}$ 位 DVM 为 $\pm 0.01\%$ 。英国舒力强公司研制的 $8\frac{1}{2}$ 位 DVM, 转换准确度为 $\pm 0.00003\%$, 分辨力高达 $1/(14 \times 10^7)$ 。

4. 分辨力高

数字电压表在最低电压量程上末位 1 个字所对应的电压值,称作仪表的分辨力,它反映

^① 有些 DVM 用 U_x 表示显示值,而用 U_M (或 V_M 、RNG)表示满度值。

出仪表灵敏度的高低。数字电压表的分辨力随显示位数的增加而提高。例如, $3\frac{1}{2}$ 位 DVM 的最高分辨力为 $100\mu\text{V}$, $4\frac{1}{2}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位 DVM 分别为 $10\mu\text{V}$ 、 $1\mu\text{V}$ 。 $7\frac{1}{2}$ 位、 $8\frac{1}{2}$ 位 DVM 的最高分辨力依次为 10nV 、 1nV ($1\text{nV}=10^{-9}\text{V}$)。

数字电压表的分辨力指标亦可用分辨率来表示。分辨率是指所能显示的最小数字(零除外)与最大数字之比,通常用百分数表示。例如, $3\frac{1}{2}$ 位 DVM 的分辨率为 $\frac{1}{1999}\approx 0.05\%$ 。同理可计算出, $4\frac{1}{2}$ 位和 $5\frac{1}{2}$ 位 DVM 的分辨率依次为 0.005% 、 0.0005% 。

需要指出,分辨力与准确度属于两个不同的概念。前者表征仪表的“灵敏性”,即对微小电压的“识别”能力;后者反映测量的“准确性”,即测量结果与真值的一致程度。二者无必然的联系,因此不能混为一谈,更不得将分辨力(或分辨率)误以为是类似于准确度的一项指标。

实际上分辨力仅与仪表的显示位数有关,而准确度则取决于 A/D 转换器、功能转换器的综合误差以及量化误差。从测量角度看,分辨力是“虚”指标(与测量误差无关),准确度才是“实”指标(它决定测量误差的大小)。因此,任意增加显示位数来提高仪表分辨力的方案是不可取的。原因就在于这样达到的高分辨力指标将失去意义。换言之,从设计数字电压表的角度看,分辨力应受到准确度的制约,有多高的准确度,才有与之相适应的分辨力。

还应指出,为满足不同测量项目的需要,某些高档智能数字仪表的显示位数是可变的。例如, 8505A 型 $7\frac{1}{2}$ 位 DMM 测 DCV 时可选 $7\frac{1}{2}$ 位方式,以提高准确度与分辨力,而在测 ACV 时只能在 $6\frac{1}{2}$ 位或 $5\frac{1}{2}$ 位方式下工作,这是因为交流电压远不如直流电压稳定,且准确测量交流电压的难度较高。

5. 测量范围宽

多量程数字电压表通常可测 $0\sim 1000\text{V}$ 的直流电压,配上高压探头还可测量几千伏乃至上万伏的高压。

6. 扩展能力强

在数字电压表的基础上,还可以扩展成各种专用及通用数字仪表、数字多用表。仅以电压类型的仪表为例,就可划分成直流数字电压表、交流数字电压表、峰值数字电压表、真有效值数字电压表、数字电平表、逻辑电平测试仪等等。有的还具有读数保持(HOLD)、峰值保持(PK HOLD)、相对值测量(REL Δ)等新颖功能。

新型智能数字电压表大多具有下述功能:计算最大值(MAX)、最小值(MIN)、即时值或平均值(AVG),数据存储,数据输出,上、下限设定,电源电压设定,自动校准(AUTO CAL)、快速测量,多重显示等。

7. 测量速率快

数字电压表在每秒钟内对被测电压的测量次数,叫测量速率,单位是“次/s”。它主要取决于 A/D 转换器的转换速率。也有的 DVM 用测量周期来表示测量的快慢。完成一次测量过程所用的时间叫测量周期,它与测量速率成倒数关系。

$3\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位 DVM 的测量速率一般在 10 次/s 以下。 $5\frac{1}{2}$ 位~ $8\frac{1}{2}$ 位 DVM 一般在几十次/s 左右,有些能达到几百甚至上千次/s。目前,数字电压表的最高测量速率已达到 10 万次/s。

8. 输入阻抗高

数字电压表具有很高的输入阻抗,通常为 $10\text{M}\Omega \sim 10000\text{M}\Omega$,最高可达 $10^6\text{M}\Omega$ 。这样在测量时从被测电路上吸取的电流极小,不会影响被测信号源的工作状态,由此可减小由信号源内阻带来的附加误差。

9. 集成度高,微功耗

新型数字电压表普遍采用 CMOS 大规模集成电路,整机功耗很低。

10. 抗干扰能力强

噪声干扰大致分两类,一类是串模干扰,干扰电压与被测信号串联后加至仪表的输入端;另一类是共模干扰,干扰电压同时加于仪表的两个输入端。衡量仪表抗干扰能力的技术指标也有两个:串模抑制比(SMRR)和共模抑制比(CMRR)。

$5\frac{1}{2}$ 位以下的数字电压表大多采用双积分式或多重积分式 A/D 转换器,只要采样时间(即正向积分时间)等于串模信号周期的整倍数,就能有效地抑制串模干扰。这是因为串模干扰电压在正向积分阶段被平均掉的缘故。中、低档数字电压表的共模抑制比可达 $80 \sim 120\text{dB}$,SMRR 可达 100dB 左右。

高档数字电压表大多采用数字滤波和浮地保护等技术,进一步提高了抗干扰能力,其 CMRR 可达 $100 \sim 180\text{dB}$,SMRR 为 100dB 左右。

§ 1.2 数字电压表的基本结构

下面介绍数字电压表的基本结构,以及由它扩展而成的数字多用表 DMM (Digital Multimeter) 的整机框图。

一、数字电压表的基本结构

普通数字电压表的基本结构如图 1.2.1 所示。主要包括 8 部分:①输入电路;② A/D 转换器;③基准电压源;④计数器;⑤逻辑控制器;⑥译码驱动器;⑦数字显示器;⑧电源。总电路又可归纳成模拟与数字两大部分,①~③为模拟部分,④~⑦是数字部分。

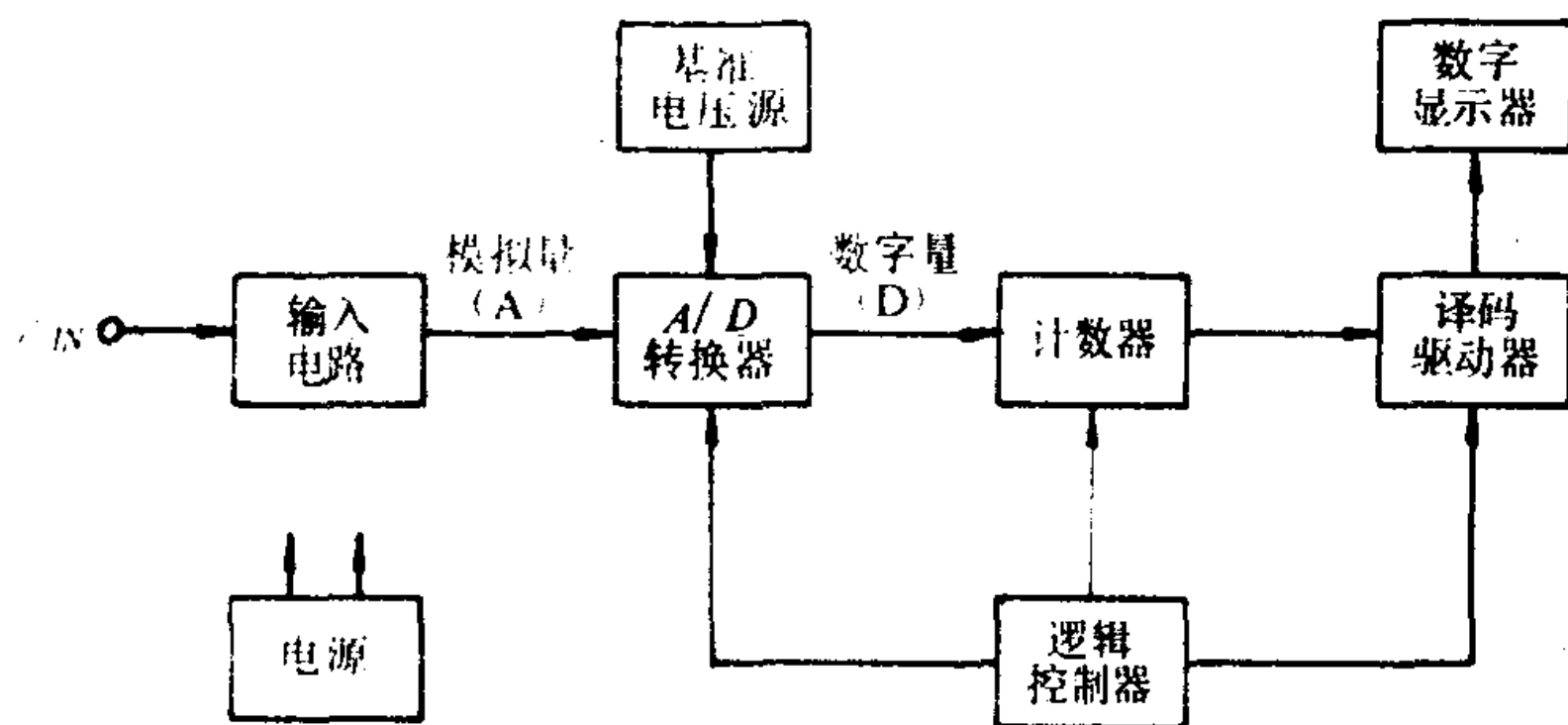


图 1.2.1 数字电压表的基本结构

输入电路的作用是将基本量程变为扩展量程,以便构成多量程数字电压表,满足各种测量的需要。当扩展量程高于基本量程时,需经分压器对输入电压进行衰减,再送至 A/D 转换器中。若扩展量程低于基本量程,应通过前置放大器将输入电压进行放大。A/D 转换器是 DVM 的心脏,利用它可将模拟量转换成数字量。逻辑控制器是仪表的中枢,用以控制 A/D

转换顺序,保证测量正常进行。 A/D 转换结果就反映在计数器中,并通过译码电路变换成笔段码,最后驱动显示器显示出相应的数值。数字电压表的电源主要分 4 种:直流电源(由电池供电),交流电源(220V、50Hz 或 60Hz 电源),交-直流两用电源,不间断电源 UPS。

数字电压表中常用的显示器件有辉光数码管、荧光数码管(VFD),液晶显示器(LCD),发光二极管数码显示器(LED),CMOS-LED 光电组合器件(CL),LED 点阵显示器。这几种显示器的主要性能比较见表 1.2.1。由表可见,在各种显示器中以 LCD 的功耗为最低,而 LED 的发光响应时间最短,寿命最长。因此目前的数字电压表大多采用 LED 或 LCD 显示器,二者均可由集成电路直接驱动。

表 1.2.1 几种显示器件的性能比较

参 数 名 称	早期显示器		新型显示器件			
	辉光管	VFD	LCD	LED	一位 CL 组合器件	5×7LED 点阵(矩阵极)
工作电压	175V	20V	4~6V 方 波	1.7~2.5V	$V_{DD} = 5V$	$\leq 2.5V$
工作电流	2mA	6mA	10 μ A	30~60mA (7 段)	30~80mA (7 段)	10mA
典型功耗	350mW	120mW	50 μ W	70mW	200mW	60mW
发光响应时间	150 μ s	1ms	50ms	<0.1 μ s	<0.1 μ s	<0.1 μ s
最高工作频率	—	—	几百赫	几兆赫	$\geq 2.5\text{MHz}$	几兆赫
发光颜色	桔红、橙	绿	本身不发光	红、绿、橙、黄	红、橙	橙红、红、绿
显示亮度	高	较高	低	高	高	高
平均使用寿命	大于 500h	2000h	5000h	大于 10 万 h	—	—

普通数码管只能显示 0~9 的数字,用途仅限于数字显示,不能显示字符、汉字及图案。若将许多发光二极管按照点阵(行、列)形式排列起来,显示内容就非常丰富,显示方式也异常灵活。LED 点阵显示器就是以发光二极管为基本发光单元——像素,再按行与列的顺序排列而成的新型显示器件。它具有发光亮度高、参数一致性好、可靠性高、接线简单、拼装方便等优点,能构成各种尺寸的显示屏。因此适合于由计算机控制的数字电压表等智能仪器中,利用先进的智能显示技术来取代传统的数显技术。常见的 LED 点阵有 5×7(长方形,包含 35 个像素)、8×8(正方形,64 个像素)等规格。以 5×7 点阵为例,5 代表每一行有 5 只 LED,7 代表每列有 7 只 LED,依次类推。图 1.2.2 分别示出 P2057A 型 5×7LED 点阵的外形、管脚排列、内部结构,以及用它显示出英文字母 B 的字形。5×7 点阵可以显示 ASCII 码的字符,包括数字 0~9、大小写英文字母、运算符号。

目前, A/D 转换器的类型多达数十种,表 1.2.2 仅列出常见的十余种形式。本书介绍的 A/D 转换器以双积分或多重积分式为主,也有脉冲宽度调制式、电荷平衡式的。

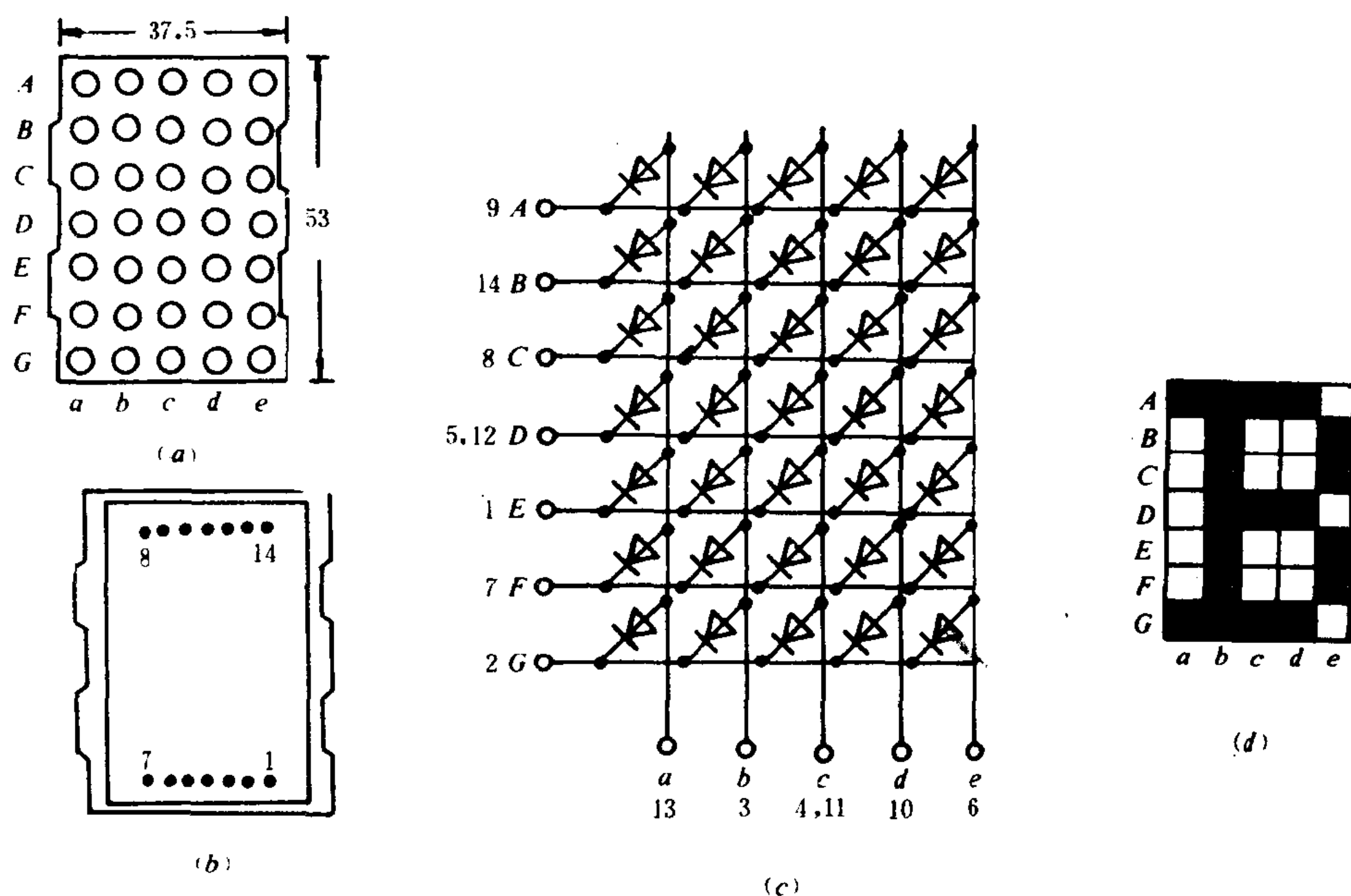


图 1.2.2 P2057A 型 LED 点阵显示器
(a) 外形; (b) 管脚; (c) 内部结构; (d) 字符示例。

表 1.2.2 A/D 转换器的分类

类 型	形 式
积分型	双积分式, 多重积分式, 电荷平衡式
斜坡型	斜坡 (V/T) 式, 阶梯斜坡式, 多斜式
比较型	逐次比较式, 跟随比较式, 余数再循环比较式
脉宽型	脉冲宽度调制式 (PWM)
复合型	积分斜坡式, 两次取样式, 多次取样式

二、智能数字电压表的整机框图

VC8055 型 $5\frac{1}{2}$ 位智能数字电压表的整机框图如图 1.2.3 所示。该仪表测量直流电压的范围是 $200\text{mV}\sim 1000\text{V}$, 共分 5 挡, 在 2V 挡的基本准确度为 $\pm 0.005\%$, 测量速率大于 20 次/s。仪表具有计算最大值、最小值、平均值的功能, 并设有 RS-232C 标准接口。VC8055 采用国际上最新型的 HI7159 带微处理器单片 $5\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器, 不仅使外围电路大为简化, 而且大大提高了仪表的性价比, 降低了成本。

整机电路主要包括 HI7159 型 $5\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器、MC68HC05C4 型微处理器、衰减器、电压量程选择、输入缓冲级、低通滤波器、基准电压源、LCD 显字组件, RS-232C 接口、操作键、过压报警器。

三、智能数字多用表的整机框图

对直流数字电压表 DVM 加以扩展, 即可构成多功能、多量程的数字多用表 DMM。图

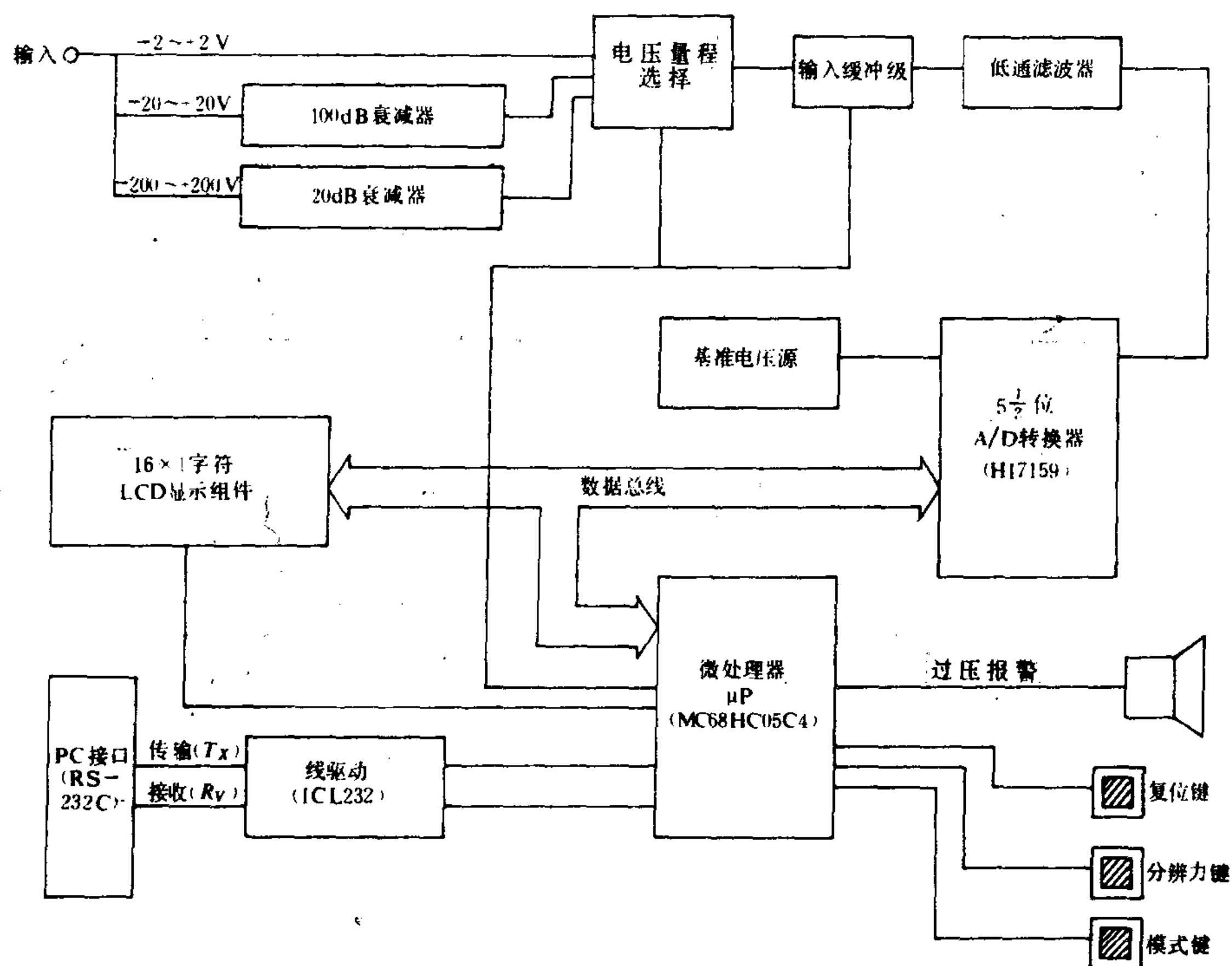


图 1.2.8 VC8055 的整机框图

1.2.4 示出美国福鲁克(Fluke)公司生产的 8840A 型 $5\frac{1}{2}$ 位数字多用表的整机功能框图。基本信号流程是,加至输入端的输入信号经标定处理后送至跟踪/保持(T/H)电路,再由 A/D 转换器变换成数字量,最后通过微型计算机(μC)接显示器与键盘。

直流标定电路构成仪器的前级,它具有三种功能。第一,对输入量进行检测。在选择 DCV、DCmA、 Ω 功能时,由它产生一个等效的直流电压。在 AC 输入时,改由真有效值转换器转换成直流电压。测电阻时,先由欧姆电流源提供测试电流,然后在被测电阻上形成一直流电压。直流电流输入由一个精密分流器转换成直流电压;第二,直流标定电路将量程范围内的等效直流电压调整到 A/D 转换器的输入量程($\pm 2\text{V}$)范围之内;第三,直流标定电路还可提供输入保护。

由跟踪/保持电路对已标定的直流电压进行采样,在每个转换周期给 A/D 转换器传送一个恒定电压。跟踪/保持电路还对某些量程提供附加的量程标定。

仪表的全部工作受微型计算机控制。利用 μC 读取从键盘输入的信息,并对每一种功能和量程进行组态,然后触发 A/D 转换器,计算出每个 A/D 转换周期的值,对 A/D 进行平均采样,再控制显示,并通过保护交联电路和 IEEE-488 接口与外部交换信息。显示器采用荧光数码管。

保护交联电路允许 μC 与 IEEE-488 接口之间进行串行、异步通讯,此时二者是电气隔离的。

电源部分为仪表各单元提供多路稳压电源。基准电压源则为 A/D 转换器和欧姆电流源提供精密的基准电压。