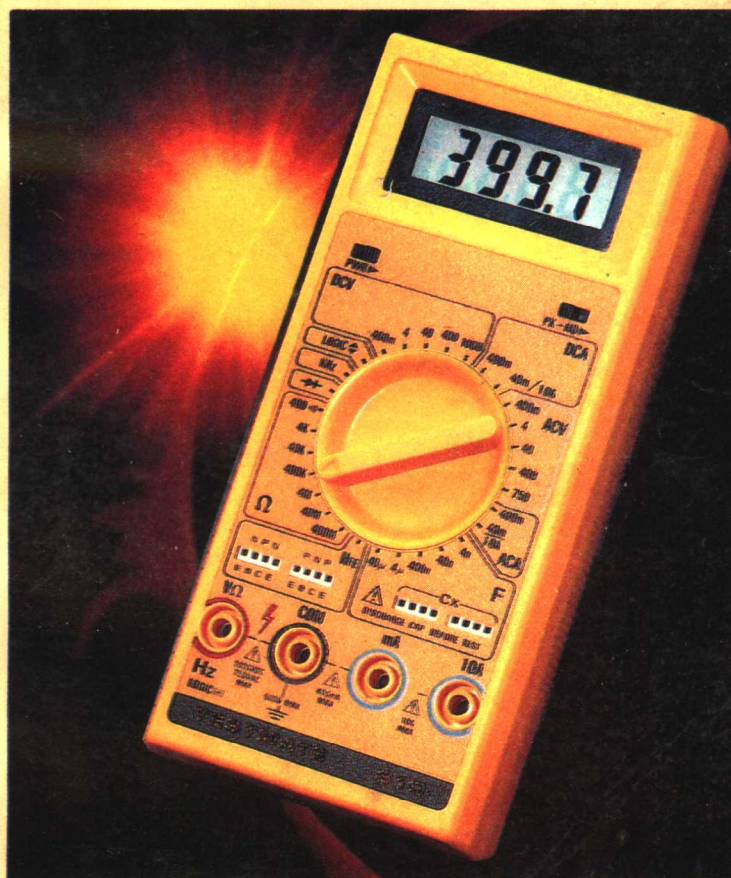


SHUZIWANYONGBIAO YEYUZHIZUO YU JIANXIUZHINAN

数字万用表 业余制作与 检修指南

沙占友 编译



人民邮电出版社

数字万用表 业余制作与检修指南

沙占友 编译

人民邮电出版社

登记证号(京)143号

内 容 简 介

本书从实用角度出发,详细阐述 $3\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位数字万用表的制作、调试与检修方法。全书共四章。第一章为数字万用表基础知识,综述数字万用表和13种新型单片A/D转换器的性能特点,重点介绍了12种功能转换器的电路设计。第二章讲述数字万用表的制作原理以及新型 $3\frac{3}{4}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位数字电压表的电路设计。第三章介绍8种常见数字万用表的组装和调试技术。第四章阐述数字万用表的使用要点与检修方法。

本书题材新颖,内容丰富,资料翔实,通俗易懂,实用性强。可供从事电子技术的各类人员和电子爱好者阅读,并可作为大专院校电子测量、仪器仪表等专业的教学参考书。

数字万用表业余制作与检修指南

沙占友 编译

*

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

北京振华印刷厂印刷

新华书店北京科技发行所经销

开本:850×1168 1/32 1992年11月第 一 版

印张:9 16/32 页数:152 1992年11月北京第1次印刷

字数:248千字 插页:2 印数:1—9000册

ISBN7-115-04690-5/TN·524

定价: 6.90 元

前 言

近年来,数字万用表以其独特的优点受到人们的欢迎,并得到迅速普及与广泛应用,正在许多领域逐步取代模拟式(即指针式)万用表。目前,许多电子工作者和电子爱好者已不满足于使用数字万用表,更希望能够利用国内条件自行设计、动手制作性能优良、成本较低的数字万用表。

本书详细阐述了8种常见的 $3\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位数字万用表的制作、调试和检修方法,并且介绍了新型 $3\frac{3}{4}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位数字电压表(均可扩展成数字万用表)的设计原理。本书题材新颖,内容丰富,深入浅出,实用性强。对初学者是一本比较理想的入门读物,对从事电子技术的各类人员则是一本有实用价值的工具书,可作为制作与检修指南。

本书是在翻译《デジタルテストの作り方・使い方》一书的基础上,根据国内读者对象和电子元器件市场情况,对原著内容作了大幅度地删改,补充了本人多年积累的实践经验及部分科研成果,并参考中外厂家提供的最新资料之后编译而成的。鉴于原著成书较早,只介绍两种A/D转换器及DT-1型、DT-2型两种数字万用表,本书重点增加了目前在国内外比较流行的11种A/D转换器和6种新型数字万用表的整机电路分析,以及组装和调试方法,以飨广大读者。

本书承蒙沙占祥副教授审校,特致谢忱。

鉴于本人水平有限,书中难免存在缺点和不妥之处,敬请广大读者指正。

编译器

目 录

第一章 数字万用表基础知识.....	(1)
§ 1.1 数字万用表的主要特点	(1)
一 特点	(1)
二 技术指标	(7)
§ 1.2 A/D 转换器简介	(7)
一 13 种单片 $3\frac{1}{2}$ 位~ $5\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器的分类	(7)
二 A/D 转换的几种方式	(10)
三 双积分式 A/D 转换器	(11)
§ 1.3 数字万用表的功能转换器	(15)
一 功能转换器的种类	(15)
二 $R-V(\Omega-V)$ 转换器	(16)
三 $I-V$ 转换器	(18)
四 $v-V(AC-DC)$ 转换器和 $i-V$ 转换器	(19)
五 电阻比值 (R_x/R_n) 转换器	(21)
六 $G-V$ 转换器	(22)
七 $h_{FE}-V$ 转换器	(23)
八 V_F-V 转换器	(24)
九 $C-V$ 转换器	(25)
十 $t-V$ 转换器	(26)
十一 蜂鸣器电路	(29)
十二 $f-V$ 转换器	(30)

第二章 数字万用表的工作原理及制作注意事项 (33)

§ 2.1 集成运算放大器..... (33)

- 一 运算放大器基础知识 (33)
- 二 失调电压的调整 (34)
- 三 运算放大器的基本用法 (36)

§ 2.2 CMOS 电路 (42)

- 一 MOS 场效应管..... (42)
- 二 CMOS 电路 (44)

§ 2.3 数字万用表中常用的运算放大器..... (48)

- 一 μ PC153A 型低功耗单运放 (48)
- 二 LM316 型低失调电流单运放 (50)
- 三 CA3130、3140 型高输入阻抗单运放 (51)
- 四 μ A776 型可编程运放 (53)
- 五 TL062 型低功耗双运放 (55)
- 六 ICL7650 型斩波自稳零式高精度运放 (55)

§ 2.4 数字万用表中常用的大规模集成电路..... (58)

- 一 MC14433 型 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 (58)
- 二 ICL7106 型 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 (61)
- 三 ICL7107 型 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 (65)
- 四 ADD3701 型 $3\frac{3}{4}$ 位 A/D 转换器 (67)
- 五 ICL7135 型 $4\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 (68)
- 六 ICL7129 型 $4\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 (70)
- 七 AD7555 型 $5\frac{1}{2}$ 位/ $4\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 (73)

§ 2.5 几种典型数字万用表的技术指标..... (75)

一	DT-1 型数字万用表技术指标	(76)
二	DT-2 型数字万用表技术指标	(77)
三	DT-830 普及型数字万用表技术指标	(78)
四	DT-890C 型多功能数字万用表技术指标	(80)
五	DT-930F+高精度数字万用表技术指标	(82)
§ 2.6	制作注意事项	(84)
§ 2.7	整机框图及模拟部分的电路图	(86)
一	DT-1 型	(86)
二	DT-2 型	(86)
§ 2.8	电压测量电路	(90)
一	DT-1 型的电压测量电路	(90)
二	DT-2 型的电压测量电路	(99)
三	DT-830 型的电压测量电路	(101)
§ 2.9	电阻测量电路	(102)
一	恒流源法测电阻的实用电路	(102)
二	DT-1 型的电阻测量电路	(106)
三	DT-2 型的电阻测量电路	(107)
四	DT-830 型的电阻测量电路	(107)
§ 2.10	电流测量电路	(108)
一	DT-1 型的电流测量电路	(108)
二	DT-2 型的电流测量电路	(109)
三	DT-830 型的电流测量电路	(110)
§ 2.11	模-数转换电路的典型应用	(111)
一	3 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换电路(驱动 LED)	(111)
二	3 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换电路(驱动 LCD)	(119)
三	3 $\frac{3}{4}$ 位 A/D 转换电路	(123)
四	4 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换电路	(127)

五	$5\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换电路	(134)
§ 2.12	负电源发生电路	(138)
一	利用门电路产生负电源	(138)
二	利用 ICL7660 直流电源变换器产生负电源	(139)
三	利用交流电源获得正、负对称的直流电源	(141)
§ 2.13	基准电压发生电路	(142)
一	国内外基准电压源产品分类	(142)
二	利用 MC1403 获得基准电压	(143)
三	利用 LM399 获得基准电压	(144)
四	利用 78L02 代替基准电压源	(145)
五	给 ICL7106 增加外部基准电压源	(147)
§ 2.14	显示器	(148)
一	发光二极管显示器(LED)	(148)
二	液晶显示器(LCD)	(153)
三	DT-1 型的驱动电路	(156)
四	DT-2 型的驱动电路	(159)
五	DT-830 型的驱动电路	(166)
§ 2.15	自动转换量程的电路设计	(167)
一	利用移位寄存器自动转换量程	(167)
二	超量程自动报警电路	(169)
§ 2.16	并行 BCD 码输出及读数保持电路	(171)
一	并行 BCD 码输出的电路设计	(171)
二	读数保持电路	(172)
§ 2.17	数字万用表与微处理机的接口	(173)
一	MC14433 与微处理机的接口	(173)
二	ICL7135 与微处理机的接口	(174)
§ 2.18	提高仪表灵敏度的方法	(175)

第三章 数字万用表的装配与调试方法..... (178)

§ 3.1 8种数字万用表的整机电路分析及元器件表 (178)

- 一 常见数字万用表的外形照片..... (178)
- 二 DT-1型数字万用表的电路图和元器件表 (183)
- 三 DT-2型数字万用表的电路图和元器件表 (188)
- 四 DT-830型数字万用表的电路图和元器件表 (193)
- 五 DT-860型数字万用表电路分析 (198)
- 六 DT-890型、890A型数字万用表电路分析 (201)
- 七 DT-890B型数字万用表的电路图与元器件表 (205)
- 八 DT-890C型数字万用表的电路分析和元器件表 ... (209)
- 九 DT-930F型 $4\frac{1}{2}$ 位数字万用表的电路分析和元器件表 ...
..... (215)

§ 3.2 印制电路板及制作要点 (220)

- 一 印制电路板图..... (220)
- 二 机壳加工图..... (226)
- 三 机壳的装配要点..... (230)
- 四 印制板的安装方法..... (230)
- 五 开关的接线方法..... (231)
- 六 焊接..... (237)

§ 3.3 数字万用表的调试方法 (238)

- 一 调试概述..... (238)
- 二 DT-1型数字万用表的调试方法 (240)
- 三 DT-2型数字万用表的调试方法 (244)
- 四 DT-830型数字万用表的组装、调试方法 (246)
- 五 DT-860型数字万用表的调试方法 (249)
- 六 DT-890B型数字万用表的组装、调试方法 (251)
- 七 DT-890C型数字万用表的调试方法 (254)

八	DT-930F 型数字万用表的组装、调试方法	(256)
§ 3.4	数字万用表的测试方法	(257)
一	名词术语	(257)
二	测试条件	(258)
三	测试固有误差	(259)
四	测试稳定度	(261)
五	测试电源电压及环境温度变化产生的误差	(263)
六	其他测试项目	(264)
第四章	数字万用表的使用与检修方法	(268)
§ 4.1	误差产生的原因及表示方法	(268)
一	数字化误差	(269)
二	模拟误差	(270)
三	误差的表示方法	(271)
§ 4.2	使用数字万用表的注意事项	(272)
§ 4.3	检修数字万用表的方法	(279)
附录	本书所用集成电路的中外型号对照	(289)
参考文献		(293)

第一章 数字万用表基础知识



本章首先对数字万用表的特点和各种新型单片 A/D 转换器作一综述,然后重点介绍 12 种功能转换器的设计原理。对同一种功能转换器,有的还给出了几种设计方案。这些功能转换器不仅具有代表性,还有通用性与实用价值。原则上它们可以同任何一种单片 A/D 转换器进行组合,构成一块高精度、多功能、低成本的数字万用表。

诚然,我们并不要求一块数字万用表同时具备这样多的功能转换器。因此,读者完全可根据实际情况,从中选取若干种电路并加以巧妙的组合,通过自己的辛勤劳动,研制出新颖独特、适合自己的数字万用表。

§ 1.1 数字万用表的主要特点

近年来涌现的数字万用表(DMM)是数显技术与新型大规模集成电路(LSI)技术的结晶。数字万用表能受到人们的青睐,这同它所具有的许多独特优点是分不开的。下面简要介绍数字万用表的主要特点和技术指标。

一 特点

1. 分类

数字万用表的种类繁多,型号各异,大体上可分成四类:

(1)普及型数字万用表,例如 DT-1、DT-2、DT-830 型等。

(2)多功能型数字万用表,例如 DT-870、DT-890C、DT-890FC 型等。

(3)高精度、多功能型数字万用表,例如 DT-930F、DT-930F+、DT-930FG、DT-980 型等 $4\frac{1}{2}$ 位 DMM。

(4)高精度、智能化数字万用表,例如北京某研究所引进生产的 8840A 型($5\frac{1}{2}$ 位)、天津某厂引进生产的 1081 型($7\frac{1}{2}$ 位)、英国某公司生产的 7081 型($8\frac{1}{2}$ 位)等。它们内部均带微处理器(CPU),具有数据处理、故障自检等多种功能,通过 IEEE-488 标准接口可与计算机、打印机连接。以 1081 型数字万用表为例,该表可测 $1\text{nV}\sim 1000\text{V}$ 的交、直流电压, $1\mu\Omega\sim 10\text{M}\Omega$ 电阻, $-100\sim +200^\circ\text{C}$ 温度(分辨力达 0.001°C)。它采用自动校准(AUTOCAL)的专利技术,能对全部测量项目和量程进行自动校准,并能显示出极值和各项测量误差。各种高精度、智能化数字万用表的问世,标志着现代电子测量技术已跨入崭新的阶段。

目前,在市售的数字万用表中,前两类占绝大多数。实际上,对于电子爱好者来说,有一块普及型数字万用表已经能基本上满足使用要求。

还需要说明一点,随着产品的不断更新和日臻完善,厂家继生产基本型之后又陆续推出一批改进型或增强型数字万用表。例如,DT-890B、C、FC 等均是原 DT-890 的改进型,而 DT-930F+、DT-930FG 则是 DT-930F 的增强型。它们在测量功能、精度指标等方面又有进一步提高。

2. 显示位数

数字万用表的显示位数一般为 3~8 位。具体讲,有 3 位、 $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位、 $6\frac{1}{2}$ 位、 $7\frac{1}{2}$ 位、 $8\frac{1}{2}$ 位共 8 种。若最高位只

能显示 0 或 1 (零也可以消隐) 则称作半位。能显示 0~9 所有数字的位算作整位。例如, $3\frac{1}{2}$ 位 (读作三位半) 数字万用表的最大显示值为 1999, 说明显示位数中有 3 个整位, 1 个半位。通常认为, 最高位只能显示 0~2 的数字, 该位是 $\frac{3}{4}$ 位。因此, $3\frac{3}{4}$ 位 (读作三又四分之三位) 的最大显示值应为 2999。 $3\frac{3}{4}$ 位数字万用表的典型产品有 DT-860A、DT-860B、DT-910 型, 在同样情况下, 它们的量限比 $3\frac{1}{2}$ 位高 50%。但是也有例外情况, 有的芯片制造厂家 (例如美国 NSC 公司) 则认为, $3\frac{3}{4}$ 位的最大显示值是 3999, 即它的量限比 $3\frac{1}{2}$ 位高一倍。 $3\frac{3}{4}$ 位定义的不统一, 是由于不同厂家作出各自的规定而造成的。

普及型数字万用表大多属于 $3\frac{1}{2}$ 位仪表。

常用的 $4\frac{1}{2}$ 位袖珍式数字万用表有 DT-930F、DT-930F+、DT-930FG, $4\frac{1}{2}$ 位各式数字万用表有 DM8145、DM8245 等型号。它们的最大显示值均为 19999。

3. 量程转换

量程转换方式有 3 种: 手动转换量程 (Manual range)、自动转换量程 (Auto range)、自动/手动转换量程 (Auto/Manual range)。

手动转换量程式数字万用表的内部电路比较简单, 价格相对也低, 但是操作比较繁琐, 如果由于量程选得不合适, 仪表容易过载。自动转换量程式数字万用表能简化操作, 并且可以有效地避免过载现象。其不足之处是测量过程较长, 即使被测电量很低, 每次测量也要从最高量程开始, 然后逐渐降低量程, 直至合适为止, 这就增加了等待时间。另外, 这种表的价格较高。自动转换量程式数字万用表的典型产品有 DT-840、DT-845、DT-860、DT-860B、DT-860C、DT-910、SK-6221 等型号。

自动/手动转换量程式数字万用表兼有二者的特点,使用比较灵活,典型产品有 DT-950 型。

4. 外形结构

数字万用表的外形主要有袖珍式和台式两种。前者普遍采用 LCD 液晶显示器,用叠层电池或 5 号电池供电,体积小,耗电省。缺点是显示亮度低,在暗处无法观察。后者大多采用 LED 数码显示器,用交流(或交/直流)供电方式,仪表的显示亮度高,但体积较大,不利于携带,整机功耗较高。高精度智能数字万用表一般采用台式结构。

此外,也有的数字万用表制成笔式、台历式、日记本式,还有的与电子计算器或电子手表合为一体。这类表的精度都比较低。

5. 基本功能与扩展功能

普及型数字万用表除能测量直流电压(DC V)、交流电压(AC V)、直流电流(DC A)、交流电流(AC A)、电阻(Ω)之外,一般还能测量晶体二极管的正向压降 V_F ,小功率晶体三极管共发射极电流放大系数 h_{FE} 。利用表内的电子蜂鸣器,还可以检查线路的通断。数字万用表都具有自动调零、自动转换与显示被测电量的极性、过载自动报警(显示溢出符号或伴有 LED 闪烁,有的表还发出报警声)、电池低电压指示等功能。

新型数字万用表的功能还作了进一步扩展。例如,所谓测温型数字万用表 DT-890C、DT-890FC、DT-940B、DT-940C、DT-970,配上感温元件(仪表附件),可进行温度测量。有些数字万用表(例如 DT-890C、DT-930F+、DT-930FG 型),增设了 200nS 电导档,能测量 $5M\Omega \sim 10000M\Omega$ 的高阻。GY-5605 型还设计了 $2\mu S$ 、200nS 两个电导档,其中的 $2\mu S$ 档可测 $0.5M\Omega \sim 1000M\Omega$ 的高阻。DT-890FC、DT-980 均设有两个测频档:20kHz、200kHz,可测 10Hz $\sim$ 200kHz 的低频。DT-930F+、DT-930FG 能测 10Hz $\sim$ 20kHz 的音频频率。为方便用户,有的数字万用表(如 DT-890FC、DT-970、DT-980)还增加了读数保持功能,例如 DT-890FC 的面板上就专门设置了读数保持开关(HOLD ON),只要接通此开关,显示器上的测量结果就被保

存下来。读数保持时间与开关的接通时间相等。

此外,一些专用数字表也相继问世。例如 DW860 型数字功率计,可以测量 0~500W 的电功率。有的数字表还能测转速。DT-920 型数字式电阻表可提供 3~1000V 测试电压,最高能测 200000M Ω 的超高阻,能代替兆欧表作绝缘强度测试,而测量精度大为提高。DT-266 型可测 20m Ω ~2000M Ω 的电阻。

在袖珍式仪表中,DM6013 是数字电容表,DM6243 是数字式电感电容表,都属于常见的数字式专用仪表。DM6040D 则是 L、C、R 测量仪,可以测量电感、电容和电阻。IM4025 属于自动 LCR 测量仪,能自动转换量程。

为了说明目前在扩展数字万用表的功能方面所达到的水平,下面再列举两个典型产品。QY8610 型 4 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表具有 10 多种功能,可以测量频率、转速、流速、计数、振动、位移、电容,并可兼作标准信号发生器、频率-电压(f-V)转换器。DGSZ-836 型 4~6 位(显示位数依被测参数而变)在线多功能数字万用表的功能达 18 种之多(详见表 1.1.1)。该表的直流电压基本档精度为 $\pm 0.08\% \pm 1$ 字,并且能对电流、电阻和电容进行在线测量,避免并联电路的影响,这是其一大特点。

表 1.1.1 DGSZ-836 型数字万用表功能一览表

电气参数	时间、频率参数	热工参数	输出
①在线直流电流	①波形宽度*	①温度	①标准频率脉冲
②在线交流电流	②脉冲宽度		②幅度可调的脉冲
③不在线交流和直流电流	③频率		③可调恒流源
④在线电阻	④周期		
⑤不在线电阻			
⑥在线电容			
⑦不在线电容			
⑧低阻			

续表

电气参数	时间、频率参数	热工参数	输出
⑨交、直流电压			
⑩声音报警功能			

* 波形宽度是指被测波形上任意两点的宽度。

6. 测量精度*

数字万用表的测量精度(简称精度),也叫准确度。测量精度愈高,说明误差愈小,反之亦然。精度有两种表示方法:

$$\text{精度} = \pm (a\% \text{rdg} + b\% \text{RNG}) \quad (1.1.1)$$

$$\text{精度} = \pm (a\% \text{rdg} + n \text{ 个字}) \quad (1.1.2)$$

式中,rdg 表示读数值, $a\% \text{rdg}$ 代表综合误差。RNG** 是满量程, $b\% \text{RNG}$ 代表数字化误差,也就是数字仪表的固有误差。若把式 1.1.1 中数字化误差项折合成末位数字的变化量,即得到式 1.1.2,因此二式完全等价。

数字万用表的精度等级,直接反映出相对误差值。例如,相对误差 $\leq \pm 0.1\%$,就表示精度为 0.1 级,以此类推。一般 0.1 级以下的表应当有 $3 \frac{1}{2}$ 位数字显示,0.02、0.05 级的表应有 $4 \frac{1}{2}$ 位数字显示,0.005、0.01 级的表应有 $5 \frac{1}{2}$ 位数字显示,而 0.002~0.0001 级的表应有 $6 \frac{1}{2} \sim 7 \frac{1}{2}$ 位数字显示。

数字万用表的基本档(通常为最低直流电压档)精度为最高,随着量程的扩展或经过转换器之后,精度指标会降低。

7. 分辨力

数字仪表在最低量程上末位一个字所对应的数值被称作分辨力,它反映出灵敏度的高低。 $3 \frac{1}{2}$ 位数字万用表的电压分辨力可达

* “精度”现改称“准确度”,本书尊重原著仍延用“精度”。

** 本书用 RNG(Range)表示满度值或满量程。此外亦可用 F.S(full scale)表示。

0.1mV, 即 $100\mu\text{V}$, $4\frac{1}{2}$ 位可达 $10\mu\text{V}$ 。8 $\frac{1}{2}$ 位 DMM 的分辨力高达 10nV ($1\text{nV}=10^{-9}\text{V}$)。

8. 保护功能

数字万用表内部有较完善的保护电路, 在出现误操作时可以保护集成电路不致于损坏。常用的保护电路有以下几种:

(1) 过流保护: 采用快速保险管及 A/D 转换器, 输入端加限流电阻。

(2) 过压保护: 采用双向限幅二极管或压敏二极管组成保护电路或加过压放电保护器。

(3) 电阻档保护: 使用热敏电阻、复合晶体管保护电路。

二 技术指标

表 1.1.2 列出了 8 种数字万用表* 的技术指标, 可供读者参考。

§ 1.2 A/D 转换器简介

A/D(模—数)转换器是数字万用表的“心脏”, 其作用是把被测模拟量(A)转换成离散形式的数字量(D), 以便最终在显示器上用数字显示出测量结果。

— 13 种单片 $3\frac{1}{2}$ 位~ $5\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器的分类

80 年代以来, 随着 CMOS 大规模集成电路(LSI)技术的发展, 由各种单片 A/D 转换器为基础而构成的数字万用表获得了广泛应用。这种仪表的测量精度高, 功能全, 外围电路简单, 耗电省, 体积小(一般为袖珍式), 成本低, 具有很高的性能价格比。

* DT-830 型~DT-930F 型为日本第一商事株式会社产品, 国内已有多家生产。