

数字万用表应用技巧

沙占友 等著

SHUZI WANYONG BIAO
YINGYONG JIQIAO



数字万用表应用技巧

TM938.1

G F G Y C B S

数字万用表应用技巧

沙占友 等著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

数字万用表应用技巧/沙占友等著. —北京: 国防工业出版社, 1997. 3

ISBN 7-118-01642-X

I. 数… II. 沙… III. 数字式测量仪器-测量方法 IV. TM938.112

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 15469 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)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 16¼ 375 千字

1997 年 3 月第 1 版 1997 年 3 月北京第 1 次印刷

印数: 1—6000 册 定价: 20.80 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

数字万用表是目前国内外最常用的一种数字仪表。其主要优点是准确度高,分辨力强,测试功能完善,测量速率快,显示直观,过载能力强,耗电省,便于携带。进入 90 年代以来,数字万用表在我国获得迅速普及与广泛应用,已成为现代电子测量与维修工作的必备仪表,并正在逐步取代传统的模拟式(即指针式)万用表。

目前,有关数字万用表原理、维修及调试方法的书籍较多,但国内尚未出版专门介绍数字万用表扩展应用及测量技巧的专著,而这也是广大读者所迫切需要的。大量实践证明,数字万用表除用于常规测量之外,还可以进一步扩展其测量功能,在一定程度上代替许多专用电子测量仪器完成检测任务,满足专业和业余电子工作者的急需。为了推广数字万用表应用领域的新技术,现将我们近年来在科研工作中积累的许多有推广价值的经验和部分科研成果加以系统总结,撰成此书,以飨广大读者。

本书由沙占友撰写了第一章、第三章的 § 3.26~§ 3.75、第四章的 § 4.16~§ 4.25,并完成了全书的统稿与审定工作。李学芝撰写了第二章。沙占为撰写了 § 3.1~§ 3.15,姚树玮撰写了 § 4.1~§ 4.15,李凤学撰写了 § 3.16~§ 3.25 以及附录的内容。参加本书撰写工作的还有邱凯、沙江、彭仲琪等同志。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和疏漏之处,欢迎广大读者指正。

作 者

1996 年 3 月

目 录

第一章 数字万用表综述.....	(1)
§ 1.1 选择数字万用表的原则	(1)
§ 1.2 数字万用表常用集成电路简介	(5)
§ 1.3 单片 A/D 转换器基准电压与基本量程的对应关系	(8)
§ 1.4 52 种数字万用表的集成电路配置情况	(10)
§ 1.5 数字万用表发展的新趋势	(10)
§ 1.6 数字万用表典型产品的技术指标	(16)
§ 1.7 国内外数字万用表主要生产厂家及典型产品	(19)
§ 1.8 数字万用表常用的校准仪表	(20)
第二章 使用数字万用表的注意事项	(21)
§ 2.1 一般注意事项	(21)
§ 2.2 测量注意事项	(23)
§ 2.3 其他注意事项	(27)
第三章 数字万用表的扩展应用	(29)
§ 3.1 自动关机电路	(29)
§ 3.2 提高基准电压稳定性的方法	(31)
§ 3.3 增加交流/直流电源变换器	(35)
§ 3.4 单电源/双电源转换电路	(38)
§ 3.5 CMOS 不间断电源	(40)
§ 3.6 无工频变压器式的开关电源	(43)
§ 3.7 单片可调式开关电源	(45)
§ 3.8 液晶显示器标志符的驱动电路	(48)
§ 3.9 增加液晶条图显示功能	(51)
§ 3.10 增加 LED 条图显示功能	(54)
§ 3.11 改善数字万用表频率特性的方法	(57)
§ 3.12 利用单片 A/D 转换器完成运算功能	(59)
§ 3.13 MAX133/134 型 A/D 转换器的特殊应用	(61)
§ 3.14 增加读数保持功能的方法	(63)
§ 3.15 增加峰值保持功能的方法	(64)
§ 3.16 增加自动转换量程功能的方法	(65)
§ 3.17 从 MC14433 上获得并行 BCD 码的方法	(67)
§ 3.18 反译码器在数字万用表中的应用	(68)
§ 3.19 蜂鸣器电路	(69)
§ 3.20 超量程闪烁报警电路	(71)
§ 3.21 增加电池低电压检测电路	(72)

§ 3.22	增加电池测试电路	(73)
§ 3.23	利用数字万用表兼作信号发生器	(74)
§ 3.24	增设方波信号发生器挡	(77)
§ 3.25	占空比可调的矩形波信号发生器	(78)
§ 3.26	附加高频精密函数波形发生器	(79)
§ 3.27	3½位数字电压表的印制板设计	(85)
§ 3.28	数字万用表的印制板设计	(89)
§ 3.29	单片 A/D 转换器功能检查的方法	(91)
§ 3.30	利用频率合成技术获取多种晶振频率的方法	(93)
§ 3.31	利用锁相时钟提高抗电网干扰的能力	(95)
§ 3.32	利用电源噪声滤波器抑制噪声干扰	(97)
§ 3.33	提高电压挡灵敏度的方法	(98)
§ 3.34	扩展电压挡测量范围的简便方法	(100)
§ 3.35	测量高内阻信号源电压的方法	(102)
§ 3.36	平均值响应的交流/直流转换器	(103)
§ 3.37	简易平均值响应的交流/直流转换器	(105)
§ 3.38	测量真有效值电压的方法	(106)
§ 3.39	真有效值数字电压表减小交流误差的方法	(111)
§ 3.40	多量程真有效值数字电压表	(112)
§ 3.41	测量真有效值电平的方法	(114)
§ 3.42	多量程真有效值数字电压/电平表	(117)
§ 3.43	单片真有效值/直流转换器的使用技巧	(118)
§ 3.44	给 ICL7149 增加 AC/DC 转换器的方法	(120)
§ 3.45	测量逻辑电平的方法	(121)
§ 3.46	交流/直流测量功能自动转换电路	(123)
§ 3.47	测量低阻的方法	(124)
§ 3.48	测量在线电阻的方法	(125)
§ 3.49	测量高阻的方法	(126)
§ 3.50	测量电阻比值的方法	(128)
§ 3.51	测量电导的方法	(129)
§ 3.52	用脉宽调制法测量电容	(132)
§ 3.53	用容抗法测量电容	(135)
§ 3.54	借用电容挡测量电感的简便方法	(139)
§ 3.55	测量频率的方法	(141)
§ 3.56	单片 10MHz 数字频率计实验仪	(144)
§ 3.57	测量转速的方法	(147)
§ 3.58	数字式占空比测量仪	(150)
§ 3.59	准确测量占空比的简便方法	(155)
§ 3.60	二极管测量电路	(158)
§ 3.61	晶体管测量电路	(159)
§ 3.62	PN 结测温电路	(161)
§ 3.63	热电偶测温电路	(163)
§ 3.64	自动温度补偿式测温电路	(166)

§ 3. 65	由集成温度传感器构成的测温电路	(169)
§ 3. 66	3½位数字照度计	(172)
§ 3. 67	3½位数字显示报警仪	(175)
§ 3. 68	微型 4 位可预置定时器	(177)
§ 3. 69	微型 6 位通用累加计数器	(180)
§ 3. 70	宽频带不失真阻容分压器的设计	(181)
§ 3. 71	判定交流电源火线的方法	(184)
§ 3. 72	测量静电的方法	(185)
§ 3. 73	集成稳压器的散热器设计方法	(186)
§ 3. 74	开关电源高频变压器的设计方法	(190)
§ 3. 75	数字万用表中的保护电路	(195)
第四章	数字万用表的测量技巧	(199)
§ 4. 1	检测二极管以及鉴别硅管与锗管	(199)
§ 4. 2	检测整流桥	(200)
§ 4. 3	检测变容二极管的方法	(202)
§ 4. 4	识别肖特基二极管的方法	(204)
§ 4. 5	检测晶体管以及鉴别硅管与锗管	(206)
§ 4. 6	利用复测法消除 h_{FE} 挡的测量误差	(208)
§ 4. 7	扩展电阻挡的测量范围	(209)
§ 4. 8	利用 h_{FE} 挡应急测量电阻的方法	(210)
§ 4. 9	检测场效应管的方法	(211)
§ 4. 10	检测 VMOS 管的方法	(214)
§ 4. 11	检测单结晶体管的方法	(215)
§ 4. 12	检测晶闸管的方法	(218)
§ 4. 13	检测双向晶闸管的方法	(220)
§ 4. 14	估测电容器容量的方法	(222)
§ 4. 15	检查电解电容器的方法	(225)
§ 4. 16	检查压电陶瓷片的方法	(225)
§ 4. 17	检测发光二极管的方法	(226)
§ 4. 18	检测闪烁发光二极管的方法	(229)
§ 4. 19	检测 LED 数码管的方法	(230)
§ 4. 20	检查液晶显示器的方法	(231)
§ 4. 21	检测光电耦合器的方法	(233)
§ 4. 22	检测固态继电器的方法	(234)
§ 4. 23	精确测量表头的内阻	(236)
§ 4. 24	测量磁饱和稳压器的稳压性能	(236)
§ 4. 25	检测开关电源的方法	(239)
附录		(242)
附录一	本书主要符号表	(242)
附录二	常用电量符号及单位换算	(245)
附录三	DT830B、DT890C ₊ 、DT940C、M830B 型数字万用表的总电路	(246)
参考文献		(253)

第一章 数字万用表综述

本章重点阐述选择数字万用表的原则,并对数字万用表常用集成电路作一综述。此外,还介绍了各种数字万用表的集成电路配置情况、数字万用表的发展新趋势以及典型产品的技术指标。

§ 1.1 选择数字万用表的原则

数字万用表亦称数字多用表(DMM),其种类繁多,型号各异。每个电子工作者都希望有一块较理想的数字万用表。选择数字万用表的原则很多,有时甚至会因人而异。但对于手持式(袖珍式)数字万用表而言,大致应具备以下特点:显示清晰,准确度高,分辨力强,测量范围宽,测试功能齐全,抗干扰能力强,保护电路比较完善,外形美观、大方,操作简便、灵活,可靠性好,功耗较低,便于携带,价格适中。现分别叙述如下。

1. 显示位数

数字万用表的显示位数通常为 $3\frac{1}{2}$ 位~ $8\frac{1}{2}$ 位。具体讲,有 $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位、 $3\frac{1}{4}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{3}{4}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位、 $6\frac{1}{2}$ 位、 $7\frac{1}{2}$ 位、 $8\frac{1}{2}$ 位共 9 种。

判定数字仪表的显示位数有两条原则:其一是,能显示从 0~9 中所有数字的位是整数位;其二是,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,某数字万用表的最大显示值为 ± 1999 ,满量程计数值为 2000,这表明该仪表有 3 个整数位,而分数位的分子是 1,分母是 2,故称之为 $3\frac{1}{2}$ 位,读作“三位半”,其最高位只能显示 0 或 1(0 通常不显示)。

$3\frac{3}{4}$ 位(读作“三又三分之二位”)数字万用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,它要比 $3\frac{1}{2}$ 位 DMM 的量限高 50%,后者仅为 ± 1999 。应当指出,目前也有人把 $3\frac{3}{4}$ 位仪表仍称作 $3\frac{1}{2}$ 位仪表,但必须指明其量限已扩展 50%,以免将二者混淆。

$3\frac{1}{4}$ 位(读作“三又四分之三位”)数字万用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 $3\frac{1}{4}$ 位数字万用表测量电网电压有许多优越之处。例如,普通 $3\frac{1}{2}$ 位 DMM 的次高交流电压挡为 200V,若要测量 220V 或 380V 电网电压,必须选择最高交流电压挡(通常为 700V 挡,少数表为 750V 挡),该挡分辨力仅 1V。相比之下, $3\frac{1}{4}$ 位 DMM 的次高 ACV 挡为 400V,最适宜测量工频电网电压,既不欠量程,也不超量程,其测量准确度优于上述 700V 挡,而分辨力可提高 10 倍,达到 0.1V,这与 $4\frac{1}{2}$ 位 DMM 的 700V 挡分辨力相同。

普及型数字万用表一般属于 $3\frac{1}{2}$ 位仪表。 $4\frac{1}{2}$ 位数字万用表分手持式、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万用表。

2. 显示特点

数字万用表采用先进的数显技术,显示清晰直观,读数准确。它既保证了读数的客观性,又符合人们的读数习惯,能够缩短读数或记录的时间。这些优点是传统的模拟式(即指针式)万用表(VOM)所不具备的。

常见的手持式数字万用表(HDMM)采用字高为 12.5mm(0.5 英寸)的液晶显示器 LCD。为提高观察清晰度,新型数字万用表已采用字高 18mm(大约折合 $\frac{3}{4}$ 英寸)的大屏幕 LCD,部分产品还选用字高 25mm(1 英寸)的超大屏幕 LCD。90 系列万用示波表则采用以场致发光器件(EL)作背光源的超大屏幕 LCD 点阵。为提高显示亮度,台式数字万用表大多选用 LED 数码管或荧光数码管(VFD)。

新型数字万用表还增加了标志符显示功能,包括单位符号(例如 nV、 μ V、mV、V、kV、nA、 μ A、mA、A、m Ω 、 Ω 、k Ω 、M Ω 、nS、kHz、MHz、pF、nF、 μ F、 μ H、mH、H),测量项目符号(例如 AC、DC、LO Ω 、LOGIC、MEM),特殊符号(如低电压指示符号 LO BAT,读数保持符号 HOLD 或者 H,自动量程符号 AUTO,10 倍乘符号 $\times 10$,蜂鸣器符号等)。有些数字万用表还在液晶显示器的小数点下面设置了量程标志符,例如当小数点下边显示 200 时,表明所对应的量程为 200,依次类推。

为解决数字仪表不便于反映被测电量的连续变化过程及变化趋势的难题,近年来带模拟条图的双显示数字万用表和多重显示数字万用表正相继问世。这类仪表兼有数字万用表与模拟万用表之优点,为用数字万用表完全取代模拟式万用表创造了条件。

3. 准确度

数字万用表的准确度是测量结果中系统误差与随机误差的综合。它表示测量值与真值的一致程度,也反映测量误差的大小。一般讲准确度愈高,测量误差就愈小,反之亦然。

准确度有三种表达方式,分别如下:

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

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

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

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(例如分压器、分流器、真有效值转换器)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,例如英国舒力强公司生产的 LM1940 型 5 $\frac{1}{2}$ 位 DVM,其准确度就表示为 $\pm (0.002\%RDG + 0.001FS + 1\mu V)$,式中第三项表示热电势引起的误差为 $\pm 1\mu V$ 。

数字万用表的准确度远优于模拟式万用表。以 DCV 基本量程的准确度指标(不含数字化误差)为例, 3 $\frac{1}{2}$ 位、4 $\frac{1}{2}$ 位 DMM 分别可达 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 0.03\%$, 8 $\frac{1}{2}$ 位 DMM 可达 $\pm 0.00006\%$ 。

4. 分辨力

数字万用表在最低电压量程上末位 1 个字所对应的电压值,称作分辨力。它反映出仪表灵敏度的高低。数字仪表的分辨力随显示位数的增加而提高。不同位数 DMM 所能达

^① 也有的仪表用 U_x 表示显示值,而用 U_M (或 V_M 、RNG)表示满度值。

到的最高分辨力指标如下: $100\mu\text{V}$ ($3\frac{1}{2}$ 位), $10\mu\text{V}$ ($4\frac{1}{2}$ 位), $1\mu\text{V}$ ($5\frac{1}{2}$ 位), 100nV ($6\frac{1}{2}$ 位), 10nV ($7\frac{1}{2}$ 位), 1nV ($8\frac{1}{2}$ 位)。

数字万用表的分辨力指标亦可用分辨率来表示。分辨率是指仪表所能显示的最小数字(零除外)与最大数字的百分比。例如, $3\frac{1}{2}$ 位数字万用表可显示的最小数字为1, 最大数字为1999, 故分辨率等于 $1/1999 \approx 0.05\%$ 。同理可计算出, $3\frac{2}{3}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{3}{4}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位、 $6\frac{1}{2}$ 位、 $7\frac{1}{2}$ 位、 $8\frac{1}{2}$ 位 DMM 的分辨率依次为 0.033% 、 0.025% 、 0.005% 、 0.0025% 、 0.0005% 、 0.00005% 、 0.000005% 、 0.0000005% 。

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技术指标。实际上, 分辨力仅仅与仪表的显示位数有关, 而准确度则取决于仪表内部 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, 从设计数字万用表的角度看, 分辨力应受到准确度的制约。此外, 某些高档数字万用表的显示位数是可变的, 例如 $7\frac{1}{2}$ 位 DMM 可选 $6\frac{1}{2}$ 位或 $5\frac{1}{2}$ 位方式下工作, 其目的是提高测量速率, 此时准确度与分辨力指标均已下降。

还应指出, 分辨力与分辨率也有所区别。例如, $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{2}{3}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位仪表的分辨力相同, 都是 $100\mu\text{V}$, 但三者的分辨率却不同, 分别为 0.05% 、 0.033% 和 0.025% , 这是由定义式所决定的。

5. 仪表类型

数字万用表按照量程转换方式来分类, 可划分成3种类型: 手动量程(MAN RANGE), 自动量程(AUTO RANGE), 自动/手动量程(AUTO/MAN RANGE)。

根据功能、用途及价格的不同, 数字万用表大致可分成9大类: 低档数字万用表(亦称普及型数字万用表), 中档数字万用表, 中、高档智能数字万用表, 数字/模拟混合式仪表, 数字/模拟条图双显示仪表, 多重显示仪表, 专用数字仪表, 由特制集成电路(ASIC)构成的仪表, 万用示波表(将数字万用表、数字存储示波器、函数发生器集于一身)。

6. 测量范围

以 $4\frac{1}{2}$ 位手持式多功能数字万用表为例, 其测量范围一般为: DCV ($0.01\text{mV} \sim 1000\text{V}$), ACV ($0.01\text{mV} \sim 700\text{V}$ 或 750V), DCA ($0.1\mu\text{A} \sim 20\text{A}$), ACA ($1\mu\text{A} \sim 20\text{A}$), Ω ($0.01\Omega \sim 20\text{M}\Omega$, 少数仪表可达 $200\text{M}\Omega$), 电导 ($0.1\text{nS} \sim 100\text{nS}$), 电容 C ($0.1\text{pF} \sim 20\mu\text{F}$), 频率 f ($10\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$, 部分仪表可达 200kHz), h_{FE} ($0 \sim 1000$), 可满足常规电子测量之需要。智能数字万用表的测量范围更宽, 进一步扩展了量程。

7. 测试功能

数字万用表不仅可以测量直流电压(DCV)、交流电压(ACV)、直流电流(DCA)、交流电流(ACA)、电阻(Ω)、二极管正向压降(V_F)、晶体管共发射极电流放大系数(h_{FE}), 还能测电容量(C)、电导(nS)、温度(T)、频率(f), 并增加了用以检查线路通断的蜂鸣器挡(BZ)、低功率法测电阻挡(LO Ω)。有的仪表还具有电感挡、信号挡、AC/DC 自动转换功能, 电容挡自动转换量程功能。

新型数字万用表大多增加了下述新颖实用的测试功能:读数保持(*HOLD*)、逻辑测试(*LOGIC*)、真有效值测量(*TRMS*)、相对值测量(*REL* Δ)、自动关机(*AUTO OFF POWER*)等。*VC90* 系列以及 *TSG960A* 型数字万用表还具有语音报数功能。

最新开发的 $3\frac{3}{4}$ 位~ $4\frac{3}{4}$ 位智能数字万用表,将高性能与低成本集于一身,大都具有下述功能:液晶条图显示(*LCD Bargraph*)、多重显示、最小值/最大值存储方式(*Min/Max Mode*)、峰值保持(*PK HOLD*)、数据存储(*MER*)、读存储数据(*MEM RCL*)、复位(*RST*)、数据输出(*COMM*)、预置(*SET*)、设定测量范围的上、下限(*UP $\wedge$, DOWN $\vee$*)、自动校准(*AUTO CAL*)、功率电平测量(*dB_m*)、电源电压设定(*S*)、快速测量(*FAST*)等。

8. 测量速率

数字万用表每秒钟对被测电量的测量次数叫测量速率,其单位是“次/s”。它主要取决于 *A/D* 转换器的转换速率。有的手持式数字万用表用测量周期来表示测量的快慢。完成一次测量过程所需要的时间叫测量周期。显见,测量速率愈高,测量周期就愈短,二者呈倒数关系。 $3\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位数字万用表的测量速率一般为 2~5 次/s,多数仪表为 2~3 次/s。 $4\frac{3}{4}$ 位 DMM 可达 20 次/s。 $5\frac{1}{2}$ 位~ $7\frac{1}{2}$ 位数字万用表一般为几十次/s 以上,有的能达到几百甚至上千次/s。*HP3458A* 型 $8\frac{1}{2}$ 位 DMM 工作在 $4\frac{1}{2}$ 位方式下的最高测量速率可达 10 万次/s,在 $8\frac{1}{2}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位方式下分别为 6 次/s、5 万次/s。

测量速率与准确度指标存在着矛盾,通常是准确度愈高,测量速率愈低,二者难以兼顾。解决这一矛盾有两种办法:一种是增设快速测量挡,该挡专用于测量速率较快的 *A/D* 转换器;另一种办法是通过降低显示位数来大幅度提高测量速率,此法目前应用的比较普遍,可满足不同用户对测量速率的需要。

9. 输入阻抗

测量电压时仪表应具有很高的输入阻抗,这样在测量过程中从被测电路中吸取的电流极小,不会影响被测电路或信号源的工作状态,能够减小测量误差。 $3\frac{1}{2}$ 位手持式数字万用表的 *DCV* 档输入电阻一般为 $10\text{M}\Omega$, $5\frac{1}{2}$ 位~ $8\frac{1}{2}$ 位智能数字万用表可大于 $10000\text{M}\Omega$ 。*ACV* 档受输入电容的影响,其输入阻抗一般低于 *DCV* 挡,且只适于测量中、低频电压,测高频电压需借助于高频探头(仪表附件)。

10. 集成化

手持式数字万用表采用单片 *A/D* 转换器,外围电路比较简单,只需少量辅助芯片和元器件。近年来单片 DMM 专用芯片不断问世,使用一片 IC 即可构成功能比较完善的自动量程数字万用表,为简化设计和降低成本创造了有利条件。

11. 低功耗

新型数字万用表普遍采用 CMOS 大规模集成电路的 *A/D* 转换器,整机功耗很低。 $3\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位手持式 DMM 的整机功耗仅几十毫瓦,可用 9V 叠层电池供电。 $5\frac{1}{2}$ 位~ $8\frac{1}{2}$ 位 DMM 的总功耗一般也只有十至几十瓦。

12. 抗干扰能力

$5\frac{1}{2}$ 位以下的数字万用表普遍采用积分式 *A/D* 转换原理,只要选择正向积分时间恰好等于串模干扰信号周期的整倍数,就能有效地抑制串模干扰。这是因为串模干扰信号在正向积分阶段被平均掉的缘故。中、低挡数字万用表的共模抑制比(*CMRR*)可达 86~

120dB。

13. 保护电路

数字万用表应具有比较完善的保护电路,过载能力强。使用中只要不超过规定的极限指标,即使出现误操作(例如用电阻挡去测 220V 交流电压),一般也不会损坏仪表内部的大规模集成电路。当然应力求避免误操作,以免因外围元件(如熔丝管、量程开关)损坏而影响正常使用。况且,任何保护电路也不可能做到万无一失。极言之,倘若保护电路发生故障,仪表就失去了保护屏障。

有关数字万用表中的各种保护电路,详见 § 3.75。

以上介绍的只是选择数字万用表的主要原则,还未考虑价格因素以及其他人为因素。诚然,要求一块数字万用表做到尽善尽美也是不现实的,应当根据实际情况来选择数字万用表,量力购物,并使物尽其用。例如,业余无线电爱好者、家电维修人员,可选择普及型或多功能型手持式 $3\frac{1}{2}$ 位数字万用表。用于野外测量或现场测量时,可选 $3\frac{3}{4}$ 位笔式数字万用表。专业电子技术人员及电子实验室测量工作者,可选 $4\frac{1}{2}$ 位数字万用表。从事精密测量或计量工作的人员,宜采用 $4\frac{1}{2}$ 位以上的中、高档台式数字万用表。

§ 1.2 数字万用表常用集成电路简介

国内外生产的数字万用表所用集成电路的种类较多,大致可分成 10 类:①单片 A/D 转换器;②单片数字万用表专用集成电路;③多重显示数字万用表专用集成电路;④单片真有效值/直流转换器;⑤运算放大器和电压比较器;⑥基准电压源;⑦CMOS 数字电路;⑧时基电路(即定时器);⑨微处理器或单片机;⑩集成稳压器等。其中,第①~③类集成电路最为重要,是数字万用表的核心器件。

下面对数字万用表常用集成电路作一简介。

1. 单片 A/D 转换器

所谓“单片 A/D 转换器”,是采用 CMOS 工艺将数字电压表的基本电路(包括模拟电路与数字电路)集成在同一芯片上,配以 LCD 或 LED 数显器件后能显示 A/D 转换结果的集成电路。单片 A/D 转换器均属于大规模集成电路(LSI),集成度很高而价格较低。它们能以最简方式构成数字电压表(DVM)、数字面板表(DPM);若对其外围电路进行扩展,增加各种功能转换器,就能构成一块数字万用表。这类仪表仅对 A/D 转换器实现了单片集成化,但就整个数字万用表而言,尚需使用一些集成电路,因此整机电路仍较复杂。

按照显示位数来划分,目前国内外生产的单片 A/D 转换器主要有 6 种: $2\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{3}{4}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位。若按智能化程度来区分,又可分成纯硬件式单片 A/D 转换器、本身带微处理器的单片 A/D 转换器两种。后者是国际 90 年代的新产品。目前国内外生产的 $2\frac{1}{2}$ 位~ $5\frac{1}{2}$ 位单片 A/D 转换器典型产品详见表 1.2.1。表中的 TSC 系列为美国泰利达(Teledyne)公司产品,ICL 和 HI 系列是美国哈里斯(Harris)公司产品,MC 为美国摩托罗拉(Motorola)公司产品,ADD 为美国国家半导体公司(NSC)产品,AD 是美国模拟器件公司(AD)产品。CC 为国标系列 CMOS 电路,CH 是上海无线电十四厂产品,5G 为上海元件五厂产品,DG 是北京八七八厂产品。

表 1.2.1 单片 A/D 转换器典型产品

产品型号	显示位数	最大 显示值	适配 显示器	转换速率 /次/s	工作电源	封装形式 ^①	国内型号
TSC806	2½位	±199	LCD		+9V		
TSC807	2½位	±199	LED		±5V		
ICL7106	3½位	±1999	LCD	0.1~15	+9V, 1.8mA	DIP-40	CC7106 CH7106
ICL7107	3½位	±1999	LED	0.1~15	±5V, 1.8mA	DIP-40	CC7107 CH7107
ICL7116	3½位	±1999	LCD	0.1~15	+9V, 1.8mA	DIP-40	CH7116
ICL7117	3½位	±1999	LED	0.1~15	±5V, 1.8mA	DIP-40	CH7117
ICL7126	3½位	±1999	LCD	0.1~4	+9V, 100μA	DIP-40	DG7126 CH7126
ICL7136	3½位	±1999	LCD	0.1~4	+9V, 100μA	DIP-40	
ICL7137	3½位	±1999	LED	0.1~4	±5V, 200μA	DIP-40	
MC14433	3½位	±1999	LED	3~10	±5V, ≤2mA	DIP-24	5G14433 CH14433
ADD3501	3½位	±1999	LED	1.5~10	+5V, 10mA	DIP-28	
ADD3701	3¾位	±3999	LED	1~5	+5V, 10mA	DIP-28	
ICL7135	4½位	±19999	LED	0.1~7.5	±5V, 3mA	DIP-28	CH7135
ICL7129	4½位	±19999	LCD	2	+9V, 1.4mA	DIP-40	
TSC829	4½位	±19999	LCD		+9V	PLCC-60	
AD7555	5½位	±199999	LED	>0.57 (5½位)	±5V, 5mA	DIP-28	
	4½位	±19999		>1.6 (4½位)			
HI7159 HI7159A	5½位	±199999	LCD 或 LED	15 (5½位)	±5V, ≤10mA	DIP-28	
	4½位	±19999		60 (4½位)			

①DIP、PLCC 分别表示双列直插式,扁平封装式,后面数字为管脚数。

2. 单片数字万用表专用集成电路

把一块功能比较完善、自动量程数字万用表的基本电路集成在一个芯片上,便构成了单片数字万用表专用 IC。典型产品列入表 1.2.2 中。以 NJU9207 为例,它是日本无线电公司(JRC)产品,共设有 27 个基本量程,自动/手动量程,能测 DCV、ACV、DCA、ACA、Ω、二极管、检查线路通断,具有读数保持、超量程指示、低电压指示等功能。MAX133、134 为美国最大集成电路(亦称马克希姆)公司(MAXIM)产品,AP25 是美国福鲁克(Fluke)公司产品,它们均需配微处理器(μP)。此外,日本无线电公司继生产 NJU9207 之后,最近又研制出 NJU9208 型单片 3½位 DMM 集成电路。

表 1.2.2 单片 DMM 专用集成电路

产品型号	显示位数	最大显示值	适配显示器	转换速率/次/s	工作电源	封装形式	量程数
NJU9207	3½位	±1999	LCD	2	+3V, 1mA	PLCC-80	27
ICL7139、 ICL7149	3¾位	±3999	LCD	采样时间 约 0.2s	+9V, 1.5mA	DIP-40	18
TSC815	3½位	±1999 或±2999	LCD	2.5	+9V, 0.8mA	PLCC-60	22
TSC820	3¾位	±3999	LCD	2.5	+9V, 1mA	DIP-40	7
TSC824	3¾位	±3999	LCD	2.5	±1.5V		
AP25	3½位	±3200	由 μ P 决定		+9V, <380 μ A		
MAX133、 MAX134	4¾位 3¾位	±39999 ±3999	LCD	20	+9V 或 ± 5V, 100 μ A	DIP-40	20 ^①
①需配微处理器、显示驱动器和 AC/DC 转换器。							

3. 多重显示数字万用表专用集成电路

详见表 1.2.3。表中的 TSC818A 和 TSC818D 为配套产品,分别用于驱动 3½位数字、41 段液晶条图显示器,构成一块双显示万用表。

表 1.2.3 多重显示 DMM 专用集成电路

产品型号	主 要 特 点	转换速率/次/s	工作电源	封装形式	生产厂家
ICL7182	高分辨率液晶条图 A/D 转换器,动态驱动 101 段液晶条图显示器,分辨率为 1%	25(最高为 40)	5V, 350 μ A	DIP-40	哈里斯公司 (Harris)
TSC818A TSC818D	二者配套使用,可构成 3½位/41 段液晶条图双显示万用表,有 22 个基本量程,1 个附加量程	2	9V, 0.8mA	PLCC-60 DIP-40	泰利达公司 (Teledyne)
NJU9210C	单片 3¾位数字/42 段液晶条图双显示万用表				日本无线电公司(JRC)
TSC827	高分辨率液晶条图 A/D 转换器,动态驱动 101 段液晶条图显示器,可编程,可配微机	7.5	±5V 或 +9V, 1.4mA	PLCC-68 (PLCC-60)	泰利达公司
TSC828	3½位 LCD 显示驱动器,可动态驱动三重 3½位 LCD 数字显示器,配上 TSC827 后为四重显示	—	+5V, 500 μ A	PLCC-68	泰利达公司

4. 单片真有效值/直流转换器

典型产品有美国模拟器件公司(AD)生产的 AD536A、AD636、AD637、AD736、AD737,详见 § 3.38。

5. 运算放大器和电压比较器

主要包括以下 10 类产品(括弧内为国产型号):

①低功耗结型场效应管(JFET)输入单运放:TL061;TL081(F073);LF411(CF411);LF412(CF412)。

②高输入阻抗单运放:CA3130(CF3130、F3130);CA3140(CF3140、F3140、DG3140)。这种运放的输入电阻很高,达 $1.5 \times 10^{12} \Omega$,适合作为平均值响应的交流/直流转换器中的线性放大器。

③斩波自稳零式精密运放:ICL7650(5G7650、CH7650)。适用于数字万用表中的精密运算放大器。

④低失调 JFET 输入双运放:TL062, μ PC4010。适合构成 AC/DC 转换器,兼作蜂鸣器电路中的电压比较器。还可作测频电路中的放大器。

⑤低功耗双运放:LM358、CA358(CF358、FX158、DG158)。它们与 TL062 配套使用,可组成容抗法测量电容的电路。

⑥低功耗四运放:LM324,CA324,SG324(CF324,FX324,DG324)。

⑦四电压比较器:LM339(FX339);MC14574(5G14574)。

6. 时基电路

ICM7555,NE555(CC7555,FX555),适于构成 A/D 转换器的外部时钟电路。ICM7556,NE556(CC7556,FX556),可用于脉宽调制法测量电容的电路。

7. 基准电压源

ICL8069C,MC1403(5G1403,CH1403);LM399(CJ399,SW399)。

8. CMOS 数字电路

这类芯片很多,常用的有六反相器 CD4069(CC4069)。四 2 输入与非门 CD4011、LC4011、MC14011(CC4011)。四异或门 CD4070、MC14070(CC4070);CD4030、TC4030(CC4030)。四异或非门 CD4077、HD14077(CC4077)。六反相施密特触发器 CD40106(CC40106)、74HC14(CC74HC14)。BCD-7 段锁存/译码/驱动器 CD4511、MC14511(CC4511);CD4513、MC14513(CC4513)。7 达林顿驱动器 MC1413、ULN2003A(5G1413)。

9. 微处理器或单片机

典型产品有 Z80、8031、80C31、MC68HC05C4。

10. 电源集成电路

①三端集成稳压器:LM7805、 μ A7805(CW7805);LM7812、 μ A7812、MC7812(CW7812);LM7905、 μ A7905、MC7905(CW7905)。

②高效直流电源变换器:ICL7660、TSC7660(5G7660,CW7660)。

③单片开关集成稳压器:例如,L4960,L4962,L296,L4964。

§ 1.3 单片 A/D 转换器基准电压与基本量程的对应关系

在设计或者调试数字万用表时,必须掌握各种单片 A/D 转换器(包括单片数字万用表专用集成电路和多重显示仪表专用集成电路)的基准电压与基本量程的对应关系。为此,表 1.3.1 列出 24 种常见单片 A/D 转换器的基准电压与基本量程对应关系。

表 1.3.1 基准电压与基本量程的对应关系

A/D 转换器型号	内 基 准 电 压 源 E_0				基准电压 V_{REF}	基 本 量 程
	最小值 /V	典型值 /V	最大值 /V	电压温度系数 $\alpha_T/1\times10^{-6}/^{\circ}\text{C}$		
ICL7106	2.4	2.8	3.2	80	100.0mV	200mV
					1.000V	2V
ICL7107	2.4	2.8	3.2	80	100.0mV	200mV
					1.000V	2V
ICL7116	2.4	2.8	3.2	80	100.0mV	200mV
					1.000V	2V
ICL7117	2.4	2.8	3.2	80	100.0mV	200mV
					1.000V	2V
ICL7126	2.4	2.8	3.2	80	100.0mV	200mV
					1.000V	2V
ICL7136	2.4	2.8	3.2	150	100.0mV	200mV
					1.000V	2V
ICL7137	2.4	2.8	3.2	150	100.0mV	200mV
					1.000V	2V
MC14433	外 基 准				200.0mV	200mV
					2.000V	2V
ADD3501	外 基 准				200.0mV	200mV
					2.000V	2V
ADD3701	外 基 准				200.0mV	400mV
					2.000V	4V
ICL7135	外 基 准				1.0000V	1V
ICL7129	2.8	3.2	3.5		1.0000V	200mV
						1V
AD7555	外 基 准				4.0960V	2V
HI7159、 HI7159A	外 基 准				1.00000V	2V
TSC815	2.5	2.6	3.3	50	163.85mV	23 个量程
ICL7139	2.8	3.0	3.2	-100	1.000V	18 个量程
ICL7149	2.8	3.0	3.2	-100	1.000V	18 个量程
TSC820	3.15	3.3	3.45	35	200.0mV	7 个量程
MAX133、 MAX134	2.8	3.0	3.3	80	655.0mV	20 个量程
TSC818A	2.8	3.0	3.3	50	163.85mV	23 个量程
ICL7182	2.52	2.56	2.59	50	1.000V	1V
TSC827	3.1	3.3	3.5	50	1.000V	1V

§ 1.4 52 种数字万用表的集成电路配置情况

52 种常见数字万用表中的集成电路配置情况,详见表 1.4.1。表中所列集成电路序号,与该数字万用表的总电路和印制板中的序号相符。在 52 种仪表中,DT-1、DT-2、DT810、DT830、DT830A、DT840、DT830B(含两种机型)、DT830C、DT830D、DT840D、DT890、DT890A、DT890B、DT890C、DT890C₊、DT890D、DT940C、TSG960A、M3800、M3900、PF24A、DM6018、DM6018F、DM6022A 型均属于 3½ 位数字万用表。DT860、DT860B、DT860D、3211B、DT910、DT970、DT970 改进型均为单片 3½ 位或 3¾ 位数字万用表。DT930F(含两种机型)、DT930F₊、DT930FG、DT980、DT980 改进型、DT1000、DM8045、DM8045A、DM6017 型均属于 4½ 位数字万用表。DT950、DT960、DT960T 型为双显示 DMM。3210、DM6015、DM6015A、DM6266₊ 均系 3½ 位数字钳形表。DM6013A 是 3½ 位数字电容表。DM6801A、DM6902 均为 3½ 位数字温度表。

§ 1.5 数字万用表发展的新趋势

90 年代以来,数字万用表正处于蓬勃发展的新时期,突出表现在新技术不断涌现,新工艺被广泛采用,新产品层出不穷。下面从 10 个方面来介绍数字万用表发展的新趋势。

1. 广泛采用新技术,不断开发新产品

电子技术的进步,往往预示着数字万用表研制水平的新突破。近年来,各项新技术愈来愈被普遍采用,并且迅速转化为生产力。例如美国福鲁克公司的“余数再循环”专利技术、“自动脱离接触测量保持功能”专利技术,吉时利公司的在线直流电流测量的专利技术,哈里斯公司的低噪声 Bi-MOS 工艺制造专利技术,模拟器件公司的四斜率 A/D 转换专利技术,“闭壳(closed-case)”校准技术、“依次加法积分”专利技术,迪特朗公司的自动校准(AUTO-CAL)技术、固态真有效值转换技术、真欧姆测量技术(在用 4 线制测量电阻的同时检测并扣除电阻上的各种电动势)等,都为提高数字万用表的技术性能创造了条件。

智能数字万用表已开始采用“等精度”测量频率的方法。在测量极低频率(例如 0.034Hz)时,首先测出输入信号的周期 T ,然后通过 CPU 作倒数运算,求出被测频率 f ,便可得到与测高频时相同的精确度。

2. 广泛采用新工艺

新一代的数字万用表正朝着标准模块化的方向发展。电子模块亦称电子功能组件,简称模块。它是采用微电子技术和微型电子元器件、接插件组装成一体,能完成某一特定功能的商品化部件。在国产数字万用表中,DT960T、TSG960A 型均采用了模块。预计在不久的将来,数字万用表的单元电路将被标准化、通用化、系列化的模块所代替。

在 90 年代,表面安装技术(SMT)得到了普遍推广,这也是电子工艺的一项重要突破。所谓表面安装,是将微型化的表面安装集成电路(SMIC)和表面安装元件(SMD),用粘贴工艺直接安装在印制板上,再用波峰焊机焊接,以此取代传统的打孔焊接工艺,使印制板安装密度大为增加,可靠性明显提高。目前,SMT 技术正在仪器仪表、计算机和高档