

数字万用表 检测方法与应用

——(世纪新版)——

沙占友 沙江 著



数字万用表检测方法与应用

(世纪新版)

沙占友 沙 江 著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数字万用表检测方法与应用/沙占友, 沙江著. —北京: 人民邮电出版社, 2004.11
ISBN 7-115-12844-8

I. 数... II. ①沙... ②沙... III. 数字式测量仪器—复用电表—基本知识 IV. TM938.1
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 109156 号

内 容 简 介

本书从实用角度出发, 全面、系统、深入地介绍了新型数字万用表的基本测量原理、检测方法及应用。全书共 5 章: 第 1 章为数字万用表概述; 第 2 章介绍了数字万用表基本测量原理与应用; 第 3 章介绍使用注意事项; 第 4 章重点阐述利用数字万用表检测常用电子元器件的方法; 第 5 章详细介绍了数字万用表的功能扩展及应用。全书共计 65 个应用实例, 所介绍的应用技术和扩展方法均经过作者的实践验证, 可满足广大电子工作者和业余爱好者的急需。本书与《数字万用表功能扩展与应用》共为姊妹篇。

本书题材新颖, 内容丰富, 深入浅出, 具有科学性、先进性和很高的实用价值, 可供有关电子工程技术人员、家电维修人员及电子爱好者阅读。

数字万用表检测方法与应用 (世纪新版)

◆ 著 沙占友 沙 江
责任编辑 赵桂珍

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67129264
北京朝阳展望印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.5

字数: 292 千字 2004 年 11 月第 1 版
印数: 1-5 000 册 2004 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12844-8/TN · 2353

定价: 17.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

前 言

近年来,随着大规模集成电路的发展,由单片 A/D 转换器构成的数字万用表获得了迅速普及和广泛应用。数字万用表具有很高的性能价格比,其主要特点是准确度高,分辨力强,测试功能完善,测量速率快,显示直观,保护功能完善,耗电省,便于携带。目前,数字万用表正在逐步取代传统的指针式(即模拟式)万用表,成为现代电子测量及维修工作中最常用的数字仪表。

为了推广数字万用表的应用,1987 年作者曾撰写了国内第一部介绍数字万用表的专著——《数字万用表的原理、使用与维修》,该书于 1988 年出版后受到了广大读者的欢迎,历经 6 次印刷,总发行量达 8 万册。1996 年作者又编著了《电子工程手册 B15 分卷·新型数字多用表实用大全》(该套丛书被列为国家“八五”期间十大出版工程),也受到国内专家和读者的好评。

数字万用表检测及应用技术是电子测量的基础,也是电子工作者需要掌握的基本技能。目前,专门介绍数字万用表应用的书很少,而这正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,实现“一表多用”,在一定程度上代替多种专用电子测量仪器完成检测任务。为适应现代电子科技的发展,满足各类电子技术人员和业余爱好者的需要,现以原书部分内容为素材,大量补充了我们近年来在教学和科研工作中积累的新经验和部分科研成果后撰成此书,以飨广大读者。本书与《数字万用表功能扩展与应用》共为姊妹篇。

本书融科学性、先进性、实用性于一体,主要有以下特点。

第一,选题新颖、内容丰富、深入浅出及通俗易懂,能满足不同读者的需要。

第二,本书首先简要介绍数字万用表的基本测量原理及使用注意事项,然后重点阐述利用数字万用表检测常用电子元器件的方法,最后详细介绍了数字万用表的功能扩展及应用,共计 65 个应用实例。内容由浅入深,系统性强。

第三,实用性强,所介绍的扩展方法和应用技术均经过作者的实践验证,可满足专业技术人员和电子爱好者的急需,帮助读者解决在生产、科研开发中遇到的一些检测课题。读者还可举一反三,灵活运用。

参加本书撰写工作的还有沙莎、韩振廷、魏跃平、李学芝、宋怀文、王志刚、刘立新、张启明、刘东明、赵伟刚、宋廉波、刘建民、李志清、郑国辉、林志强及刘庆华同志。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏之处,欢迎广大读者指正。

作 者

目 录

第1章 数字万用表概述	1
1.1 数字万用表的主要特点	1
1.2 数字万用表的基本构成	4
1.2.1 普通数字万用表的基本构成	4
1.2.2 单片数字万用表的基本构成	5
1.2.3 智能数字万用表的基本构成	5
1.3 数字万用表的产品分类	6
1.3.1 按照量程转换方式分类	6
1.3.2 按照用途及功能分类	7
1.4 数字万用表典型产品介绍	8
1.4.1 DT890D 型数字万用表的性能特点	8
1.4.2 DT890D 型数字万用表的主要技术指标	8
第2章 数字万用表基本测量原理及应用	10
2.1 测量直流电压	10
2.2 测量交流电压	11
2.3 测量电流	12
2.4 测量电阻	13
2.4.1 用比例法测量常规电阻	13
2.4.2 测量高阻的电路	14
2.5 测量电导	16
2.5.1 测量电导的基本原理	16
2.5.2 数字电导表的电路工作原理	16
2.6 测量电容	17
2.7 测量频率	19
2.8 测量二极管	20
2.9 测量晶体管 h_{FE}	21
2.10 测量温度	22
2.10.1 测温电桥的工作原理	22
2.10.2 测量注意事项	24
2.11 检测线路通断	24
第3章 数字万用表的使用注意事项	26
3.1 使用前的注意事项	26
3.2 测量时的注意事项	28

3.3 其他使用注意事项	32
第4章 用数字万用表检测常用元器件的方法	34
4.1 检测二极管并区分硅管与锗管的方法	34
4.1.1 判定二极管的正、负极	34
4.1.2 区分硅管与锗管	35
4.1.3 使用注意事项	35
4.2 检测整流桥的方法	36
4.2.1 检测整流桥的方法	36
4.2.2 注意事项	37
4.3 检测变容二极管的方法	37
4.3.1 变容二极管的构造原理	37
4.3.2 检测变容二极管的方法	38
4.3.3 注意事项	39
4.4 识别肖特基二极管的方法	39
4.4.1 肖特基二极管的工作原理	40
4.4.2 识别肖特基二极管的方法	41
4.4.3 注意事项	41
4.5 检测晶体管并区分硅管与锗管的方法	41
4.5.1 判定基极	42
4.5.2 鉴别 NPN 管与 PNP 管	42
4.5.3 判定集电极和发射极, 同时测量 h_{FE} 值	42
4.5.4 注意事项	43
4.6 利用复测法消除 h_{FE} 挡测量误差的方法	43
4.6.1 h_{FE} 挡测量误差的分析	43
4.6.2 利用复测法消除 h_{FE} 挡的测量误差	44
4.7 扩展电阻挡测量范围的方法	44
4.7.1 扩展电阻挡测量范围的简便方法	44
4.7.2 注意事项	45
4.8 利用 h_{FE} 挡应急测量电阻的方法	45
4.9 检测场效应管的方法	46
4.9.1 检测结型场效应管	46
4.9.2 估测绝缘栅型场效应管的跨导	49
4.10 检测 VMOS 管的方法	49
4.10.1 VMOS 管的结构	50
4.10.2 检测 VMOS 管的方法	50
4.10.3 注意事项	50
4.11 检测单结晶体管的方法	51
4.11.1 判定单结管的电极	52
4.11.2 检查单结管的触发能力, 兼区分 B_1 、 B_2 极	52

4.11.3 测量单结晶体管的分压比	53
4.12 检测晶闸管的方法	53
4.12.1 判定晶闸管的电极	54
4.12.2 检查晶闸管的触发能力	54
4.12.3 注意事项	55
4.13 检测双向晶闸管的方法	55
4.13.1 判定双向晶闸管的电极	56
4.13.2 检查双向晶闸管的触发能力	56
4.13.3 注意事项	57
4.14 估测电容器容量的方法	57
4.14.1 直接测量法	57
4.14.2 间接测量法	58
4.15 检查电解电容器的方法	59
4.15.1 测量方法	60
4.15.2 注意事项	60
4.16 检查压电陶瓷片的方法	60
4.16.1 压电陶瓷片的性能特点	60
4.16.2 用数字万用表检查压电陶瓷片的方法	60
4.17 检测普通发光二极管的方法	61
4.17.1 用数字万用表检测单色发光二极管的方法	62
4.17.2 用数字万用表检测变色发光二极管的方法	63
4.18 检测蓝光、白光发光二极管的方法	64
4.18.1 蓝光 LED 的性能特点及检测方法	65
4.18.2 白光 LED 的性能特点及检测方法	66
4.19 检测闪烁发光二极管的方法	67
4.20 检测 LED 数码管的方法	68
4.21 检查液晶显示器的方法	71
4.21.1 液晶显示器的性能特点与工作原理	71
4.21.2 用数字万用表检查液晶显示器的方法	72
4.22 检测光耦合器的方法	73
4.22.1 光耦合器的类型及性能特点	74
4.22.2 利用数字万用表检测光耦合器的方法	75
4.23 检测固态继电器的方法	76
4.23.1 固态继电器的工作原理	76
4.23.2 检测固态继电器的方法	77
4.24 精确测量表头内阻的方法	78
4.25 检测 CMOS 模拟开关的方法	79
4.25.1 CMOS 模拟开关的工作原理	79
4.25.2 用数字万用表检测模拟开关	81
4.26 检测磁珠的方法	81

4.26.1	磁珠的基本工作原理	81
4.26.2	磁珠在开关电源中的典型应用	83
4.26.3	用数字万用表检测磁珠的方法	84
4.27	检测数字电位器的方法	85
4.27.1	数字电位器的主要特点及产品分类	85
4.27.2	数字电位器的工作原理与典型应用	86
4.27.3	数字电位器的误差分析与检测方法	88
4.28	检测数字电容器的方法	90
4.28.1	X90100 型数字电容器的主要特点	90
4.28.2	X90100 型数字电容器的原理与应用	90
4.28.3	数字电容器的检测方法	92
第 5 章	数字万用表的应用	93
5.1	给数字万用表增加自动关机功能	93
5.1.1	自动关机电路的工作原理	93
5.1.2	改装方法	94
5.1.3	注意事项	95
5.2	提高数字万用表稳定性的方法	95
5.2.1	用外部稳压管来提高基准电压的稳定性	95
5.2.2	用外部基准电压源来提高基准电压的稳定性	96
5.3	改善数字万用表频率特性的方法	99
5.3.1	利用高频探头改善数字万用表的频率特性	99
5.3.2	注意事项	100
5.3.3	改装前后数字万用表的频率特性对照	101
5.4	数字万用表的单电源/双电源转换电路	101
5.4.1	利用 CMOS 门电路产生 -5V 电源	101
5.4.2	利用 ICL7660 产生 -5V 电源	102
5.4.3	正负压连续可调、对称输出的稳压电源	104
5.5	数字万用表电源适配器及电源模块	104
5.5.1	数字万用表电源适配器	105
5.5.2	智能数字万用表电源模块	107
5.6	提高电压挡灵敏度的方法	110
5.6.1	ICL7650 的性能简介	110
5.6.2	由 ICL7650 构成的前置放大电路	111
5.7	扩展电压挡测量范围的简便方法	112
5.7.1	利用分压电阻扩展电压量程	112
5.7.2	利用外部分压器扩展电压量程	113
5.8	测量高内阻信号源电压的方法	113
5.9	测量真有效值电压的方法	114
5.9.1	真有效值数字仪表的基本原理	115

5.9.2	单片真有效值/直流转换器的产品分类	116
5.9.3	真有效值数字电压表的实用电路	117
5.10	减小真有效值数字电压表交流误差的方法	119
5.10.1	增大平均电容 C_{AV} 的容量	120
5.10.2	增加后置滤波器	120
5.11	多量程真有效值数字电压表	121
5.12	测量真有效值电平的方法	122
5.12.1	电平的测量	122
5.12.2	由 AD536A 构成的真有效值数字电平表	123
5.12.3	由 AD637 构成的真有效值数字电平表	124
5.13	多量程真有效值数字电压/电平表	124
5.14	单片真有效值/直流转换器的使用技巧	125
5.14.1	给 AD737 增加测量电平的功能	125
5.14.2	利用两片 AD637 完成求矢量和的运算	126
5.14.3	提高测量准确度的方法	127
5.15	数字万用表的保护电路	127
5.15.1	电流挡的保护电路	127
5.15.2	电压挡的保护电路	128
5.15.3	电阻挡的保护电路	129
5.15.4	二极管挡的保护电路	130
5.15.5	电容挡的保护电路	130
5.15.6	频率挡的保护电路	131
5.15.7	电导挡的保护电路	131
5.16	给数字万用表增加液晶条图显示功能	131
5.16.1	多重液晶显示仪表专用集成电路的分类	132
5.16.2	ICL7182 型高分辨率液晶条图 A/D 转换器	132
5.16.3	多重数字/液晶条图显示仪表的电路设计	134
5.17	给数字万用表增加 LED 条图显示功能	136
5.17.1	LM3914 型 LED 条图驱动器	136
5.17.2	高精度 100 段 LED 条图显示仪表	137
5.18	利用数字万用表的单片 A/D 转换器完成运算功能	138
5.18.1	做乘法、除法及倒数运算	138
5.18.2	做加法、减法运算	139
5.18.3	典型应用实例	139
5.18.4	使用注意事项	140
5.19	检查数字万用表 A/D 转换器的方法	140
5.19.1	ICL7106 的功能检查 (200mV 量程)	140
5.19.2	ICL7107 的功能检查 (200mV 量程)	141
5.19.3	MC14433 的功能检查 (2V 量程)	142
5.20	智能数字万用表 A/D 转换器的特殊应用	142

5.20.1	MAX134 的典型应用	142
5.20.2	MAX134 的特殊应用	145
5.21	给数字万用表增加读数保持功能	146
5.21.1	给 ICL7106 增加读数保持功能	146
5.21.2	给 ICL7107 增加读数保持功能	147
5.21.3	MCM4433 的读数保持电路	147
5.21.4	其他单片 A/D 转换器的读数保持电路	147
5.22	给数字万用表增加峰值保持功能	148
5.22.1	最大读数保持电路	148
5.22.2	峰值保持电路	148
5.23	给数字万用表增加自动转换量程功能	149
5.24	给数字万用表增加超量程闪烁报警功能	151
5.25	给数字万用表增加电池低电压检测电路	152
5.25.1	由异或门构成的电池低电压检测电路	152
5.25.2	由晶体管构成的低电压检测电路	153
5.26	给数字万用表增加电池测试电路	153
5.27	利用数字万用表兼作信号发生器	154
5.27.1	常见数字万用表中的信号源	154
5.27.2	使用注意事项	156
5.28	给数字万用表增加方波信号发生器	156
5.28.1	50Hz 方波信号发生器	157
5.28.2	两级反相式阻容振荡器	157
5.28.3	频率连续可调的方波信号发生器	158
5.28.4	方波信号发生器的特殊应用	159
5.29	给数字万用表增加占空比可调的矩形波信号发生器	160
5.29.1	由门电路构成占空比可调的振荡器	160
5.29.2	由定时器构成占空比可调的振荡器	161
5.30	利用石英晶体振荡器来提高时钟频率的稳定性	162
5.30.1	石英晶体的工作原理	162
5.30.2	晶振电路的工作原理	163
5.31	给数字万用表增加秒基准信号发生器	164
5.31.1	由 CD4060 构成的秒基准信号发生器	164
5.31.2	由石英钟表集成电路构成的秒基准信号发生器	165
5.32	利用频率合成技术获取多种晶振频率的方法	166
5.33	3½ 位数字电压表的印制板设计	168
5.33.1	MAX139 的印制板设计	168
5.33.2	ICL7106 和 ICL7116 的印制板设计	170
5.33.3	ICL7107 和 ICL7117 的印制板设计	171
5.33.4	MCM4433 的印制板设计	173
5.34	数字万用表的印制板设计	174

5.34.1	3¾位数字万用表的印制板	174
5.34.2	3½位数字万用表的印制板	175
5.35	利用锁相时钟提高数字万用表抗电网干扰的能力	176
5.36	利用电磁干扰滤波器抑制数字万用表的噪声干扰	177
5.36.1	电磁干扰滤波器的构造原理及应用	177
5.36.2	电磁干扰滤波器的技术参数及测试方法	179
5.37	利用高频噪声模拟器测量数字万用表的抗干扰性能	180
5.37.1	高频噪声模拟器的性能特点	180
5.37.2	高频噪声模拟器的工作原理	181
5.37.3	高频噪声模拟器的应用	183
参考文献		186

第 1 章 数字万用表概述

本章首先介绍了数字万用表的主要特点和基本构成，然后阐述了数字万用表的产品分类，最后介绍了一种数字万用表典型产品的性能特点及主要技术指标。

1.1 数字万用表的主要特点

数字万用表亦称数字多用表，简称 DMM (Digital Multimeter)。它是在数字电压表 (Digital Voltmeter, 简称 DVM) 的基础上构成的。

数字万用表具有以下 10 大特点。

1. 显示清晰直观，读数准确

传统的模拟式仪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），并且容易造成视觉疲劳。数字万用表则采用先进的数显技术，使测量结果一目了然，只要仪表不发生跳数现象，测量结果就是惟一的，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，能缩短读数和记录的时间。

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。为了提高观察的清晰度，新型数字万用表已普遍采用字高 18mm (约 0.7 英寸) ~ 25mm (约 1 英寸) 的大屏幕 LCD。有些数字万用表还增加了背光源，以便于夜间观察读数。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，包括测量项目符号（例如 AC、DC、 h_{FE} 、 $LO\Omega$ 、LOGIC 及 MEM），单位符号（例如 mV、V、kV、 μA 、mA、A、 Ω 、k Ω 、M Ω 、nS、Hz、kHz、MHz、pF、nF 及 μF ），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 $\times 10$ 及蜂鸣器符号等）。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，就表明所对应的量程为 200，依次类推。

为解决数字万用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，一种“数字/模拟条图”仪表也已问世。这里讲的“模拟条图”有双重含义：第一，被测量为连续变化的模拟量；第二，利用条状图形来模拟被测量的大小及变化趋势。这类仪表将数字显示与高分辨率模拟条图显示集于一身，兼有数字万用表与指针万用表之优点，为用数字万用表完全取代指针万用表创造了条件。

智能数字万用表带微处理器与标准接口，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

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、 $3\frac{2}{3}$ 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，共 9 种。判定数字万用表及其他数字仪表的位数有两条原则：①能显示从 0~9 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的数字为分子，用满量程时最高位的数字作分母。例如，某数字仪表的最大显示值为 ± 1999 ，满量程计数值为 2000，这表明该仪表有 3 个整数位，而分数值的分子为 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。3 $\frac{3}{4}$ 位仪表的最高位只能显示从 0~2 的数字，最大显示值为 ± 2999 ，比 3 $\frac{1}{2}$ 位仪表的量限高 50%。3 $\frac{3}{4}$ 位仪表的最高位可显示从 0~3 的数字，最大显示值为 ± 3999 ，其量限比 3 $\frac{1}{2}$ 位仪表高一倍。5 $\frac{1}{2}$ 位以上的仪表大多属于台式智能数字万用表。

3. 准确度高

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，也反映了测量误差的大小，准确度愈高，测量误差愈小。测量的绝对误差有两种表达式：

$$\Delta U = \pm (a\% U_x + b\% U_M) \quad (1.1.1)$$

$$\Delta U = \pm (a\% U_x + n) \quad (1.1.2)$$

式 (1.1.1) 中， U_x 为读数值（即显示值）， U_M 表示满度值。括号中前一项代表 A/D 转换器和功能转换器（例如分压器）的综合误差，后一项是数字化处理所带来的误差。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，则变成式 (1.1.1)。因此，上述二式是完全等价的。数字万用表的准确度远优于指针万用表，例如 3 $\frac{1}{2}$ 位、4 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表的准确度分别可达 $\pm 0.3\%$ 、 $\pm 0.05\%$ 。

4. 分辨率高

数字万用表在最低电压量程上末位 1 个字所代表的电压值，称作仪表的分辨力，它反映了仪表灵敏度的高低。分辨力随显示位数的增加而提高。例如，3 $\frac{1}{2}$ 、4 $\frac{1}{2}$ 位、8 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表的最高分辨力分别为 100 μ V、10 μ V、1nV。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 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表的分辨率为 $1/1999 \approx 0.05\%$ 。

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显示位数有关，而准确度则取决于 A/D 转换器等总误差。

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（代表测量误差的大小）。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，分辨力应受准确度的制约，并与之相适应。

5. 测试功能强

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（ U_F ）、晶体管共发射极电流放大系数（ h_{FE} ），还能测量电容（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）、低功率法测量电阻挡（LO Ω ）。有的仪表还具有电感挡、信号发生器挡、AC/DC

自动转换功能。

新型数字万用表大多增加了下述测试功能：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。国产 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 3½位~4½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，测量最小值/最大值，峰值保持（PK HOLD），数据存储（MER），复位（RST），数据输出，预置（SET），设定测量范围的上、下限，自动校准（AUTO CAL），功率电平测量（dB_m），电源电压设定，快速测量（FAST）等。

6. 测量范围宽

以 4½位手持式多功能数字万用表为例，其测量范围一般为：DCV（0.01mV~1000V），ACV（0.01mV~700V 或 750V），DCA（0.1μA~20A），ACA（1μA~20A），Ω（0.01Ω~20MΩ，少数仪表可达 200MΩ），电导（0.1~100nS），电容（0.1pF~20μF），频率（10Hz~20kHz，部分仪表可达 200kHz），二极管正向压降 U_F （0~2V），晶体管电流放大系数 h_{FE} （0~1000），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。

7. 测量速率快

数字万用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/秒”。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。显然，测量速率愈高，测量周期就愈短，二者呈倒数关系。3½位数字万用表的测量速率一般为 2~5 次/秒，多数仪表为 2~3 次/秒。4½位 DMM 可达 20 次/秒。5½位~7½位数字万用表一般为几十次/秒以上，有的能达到几百甚至上千次/秒。HP3458A 型 8½位 DMM 工作在 4½位方式下的最高测量速率可达 10 万次/秒，在 8½位、5½位方式下分别为 6 万次/秒、5 万次/秒。

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，适配测量速率较快的 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，此法目前应用得比较普遍，可满足不同用户对测量速率的需要。

8. 输入阻抗高

数字万用表电压挡具有很高的输入阻抗，通常为 10 MΩ~10000MΩ，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，能减小由信号源内阻引起的测量误差。

9. 集成度高，微功耗

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外围元器件。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。

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。3½位、4½位手持式 DMM 的整机功耗仅几十毫瓦，可用 9V 叠层电池供电。5½位~8½位 DMM 的总功耗一般也只有十至几十瓦。

10. 保护功能完善，抗干扰能力强

数字万用表具有比较完善的保护电路，过载能力强。使用时只要不超过规定的极限指标，即使出现误操作（例如用电阻挡去测量 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（如保险管、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。换言之，倘若保护电路发生故障，仪表就失去了保护屏障。

5½位以下的数字万用表大多采用积分式 A/D 转换器，其串模抑制比（SMR）、共模抑制比（CMR）分别可达 100dB、80~120dB。高档数字万用表还采用数字滤波、浮地等先进技术，进一步提高了抗干扰能力，CMR 可达 180dB。

1.2 数字万用表的基本构成

1.2.1 普通数字万用表的基本构成

普通数字万用表的基本构成如图 1.2.1 所示。仪表的“心脏”是单片 A/D 转换器，典型产品有 ICL7106、ICL7136 型 3½位单片 A/D 转换器，ICL7135、ICL7129 型 4½位单片 A/D 转换器。外围电路主要包括功能转换器、测量项目及量程选择开关、LCD（或 LED）显示器。此外还有蜂鸣器振荡电路、驱动电路、检测线路通断电路、低电压指示电路、小数点及标志符驱动电路。

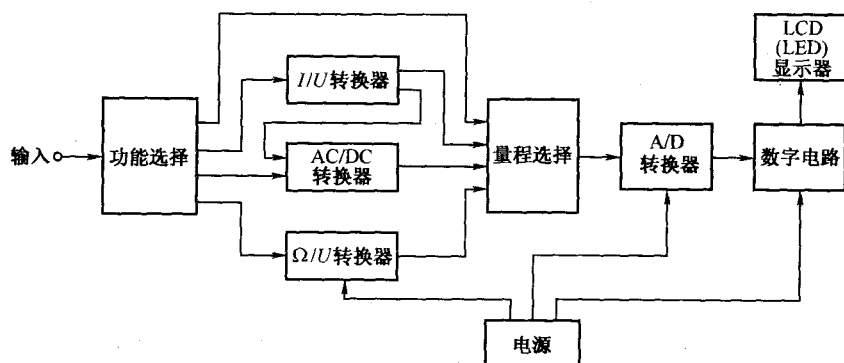


图 1.2.1 普通数字万用表的基本构成

数字万用表常见的功能转换器有以下 10 种：

- (1) 电流/电压 (I/U) 转换器；
- (2) 交流/直流 (AC/DC) 转换器；
- (3) 电阻/电压 (Ω/U) 转换器；
- (4) 电阻阈值转换器（蜂鸣器挡）；
- (5) 电导/电压 (G/U) 转换器；
- (6) 电容量/电压 (C/U) 转换器；

- (7) 频率/电压 (f/U) 转换器;
- (8) 二极管正向压降/电压 (U_F/U) 转换器;
- (9) 晶体管电流放大系数/电压 (h_{FE}/U) 转换器;
- (10) 温度/电压 (T/U) 转换器。

1.2.2 单片数字万用表的基本构成

单片数字万用表的基本构成如图 1.2.2 所示。单片 DMM 专用 IC 的典型产品有 UJN9207 (3½ 位)、TSC815 (3½ 位) 和 ICL7139 (3¾ 位)。除电流挡采用手动转换量程方式, 其余各挡均属于自动转换量程。芯片内部主要包括时钟振荡器、控制逻辑与自动转换量程逻辑, 计数器, 锁存、译码、驱动器, 模拟部分 (积分器、比较器、模拟开关等), 电源部分, 蜂鸣器驱动电路。外围元器件主要有石英晶体、3½ 位或 3¾ 位 LCD 显示器、压电陶瓷蜂鸣器 (BZ), 此外还有电压挡的分压电阻、电阻挡的标准电阻、电流挡的分流电阻、AC/DC 转换器、量程选择开关以及电源。

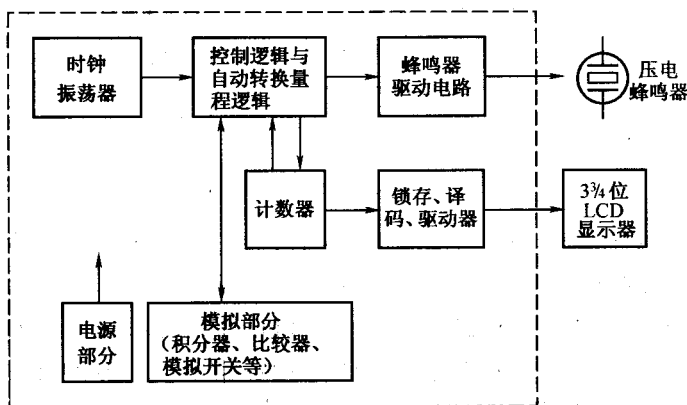


图 1.2.2 单片数字万用表的基本构成

与普通数字万用表相比, 单片数字万用表的外围电路大为简化, 性能指标明显提高, 还给维修、调试工作提供了方便。

1.2.3 智能数字万用表的基本构成

智能数字万用表是带微处理器 (μP) 或单片机 (μC) 的高档数字仪表。其主要优点是准确度高, 功能强, 具有自动校准、自动测量、自动数据处理等功能, 通过 RS-232 或 IEEE-488 标准接口与计算机相连, 很容易实现遥控、自动测试及实时控制系统。

图 1.2.3 示出由美国 Fluke 公司生产的 8840A 型 5½ 位数字万用表的电路框图。基本信号流程是, 输入信号经过标定处理后送到跟踪/保持 (T/H) 电路, 再由 A/D 转换器转换成数字量, 最后通过微型计算机接显示器和键盘。直流标定电路构成仪器的前级, 它具有以下三个功能: 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 ($\pm 2V$)

范围以内；第三，提供输入保护。

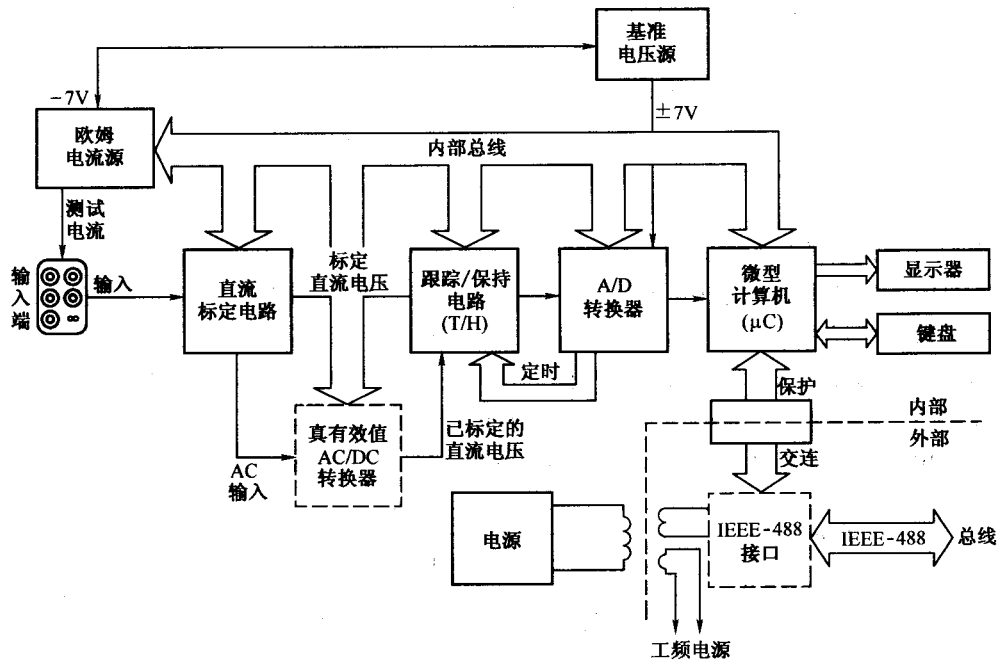


图 1.2.3 8840A 型 5½位数字万用表的电路框图

由跟踪/保持电路对已标定的直流电压进行采样，在每个 A/D 转换周期给 A/D 转换器传送一个恒定电压。跟踪/保持电路还可对某些附加量程进行标定。

该仪器受微型计算机（即单片机 μC ）控制，利用 μC 读取从键盘输入并对各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（VFD）。

保护交联电路允许 μC 与 IEEE-488 接口之间进行串行异步通信，此时二者是电气隔离的。电源部分可为仪表的各单元电路提供多路稳压电源。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。

1.3 数字万用表的产品分类

1.3.1 按照量程转换方式分类

1. 手动量程

这种仪表的价格较低，但操作比较复杂，因量程选择不合适很容易使仪表过载。

2. 自动量程

自动量程式数字万用表可大大简化操作，有效地避免过载并能使仪表处于最佳量程，从