

数字仪表精品丛书 ②

新型数字万用表

原理与应用

◆ 沙占友 著



数字仪表精品丛书②

新型数字万用表原理与应用

沙占友 著



机械工业出版社

本书全面系统、深入精辟地阐述了目前国内流行的各种新型数字万用表的原理与应用。全书共8章。第1章为数字万用表概述。第2章阐述16种数字万用表功能转换器的基本原理。第3章和第4章分别介绍了15种单片数字万用表、单片智能数字万用表集成电路的原理与应用。第5~7章,对目前国内目前流行的36种 $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位数字万用表的整机电路作了深入的剖析。第8章论述了数字万用表的使用指南。这是一本介绍新型数字万用表设计原理与应用的专著。本书为“数字仪表精品丛书”的第2本,该丛书还包括《新型数字电压表原理与应用》、《新型专用数字仪表原理与应用》和《数字仪表新颖电路原理与应用》。

本书题材新颖,内容丰富,叙述严谨,深入浅出,图文并茂,既有科学性、先进性,又具有很高的实用价值,可供从事科研、测试、维修工作的各类电子技术人员和电子爱好者阅读,并可作为高等院校电子信息工程、测试计量技术及仪器等专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新型数字万用表原理与应用/沙占友著. —北京:机械工业出版社, 2006.1

(数字仪表精品丛书②)

ISBN 7-111-18194-8

I. 新… II. 沙… III. 数字式测量仪器-复用电表
IV. TM938.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第154439号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:牛新国

责任编辑:罗莉 版式设计:霍永明 责任校对:吴美英

封面设计:王伟光 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006年3月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·17印张·8插页·470千字

0 001—5 000册

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线(010)88379768

封面无防伪标均为盗版



沙占友 1968年毕业于南开大学，现任河北科技大学教授(享受国务院政府特殊津贴)，校级教学名师，河北省优秀教师，河北省精品课程主讲教师。已出版《万用表妙用100例》(1994年荣获全国优秀畅销书奖)、《数字万用表的原理、使用与维修》、《数字化测量技术与应用》、《单片机外围电路设计》(2003年荣获全国优秀畅销书奖)、《智能传感器系统设计与应用》等22部著作，发表学术论文265篇。曾先后获得河北省普通高校优秀教学成果一等奖、河北省科技进步奖、河北省十大发明奖和'97布鲁塞尔尤里卡银奖。

前 言

数字万用表 (DMM) 亦称数字多用表, 是目前在电子测量及维修工作中最常用、最得力的一种工具类数字仪表。数字万用表迄今已有几十年的发展历史。近年来, 由大规模集成电路构成的新型数字万用表和高档智能数字万用表大量问世, 标志着电子测量领域的一场革命, 也开创了现代电子测量技术的先河。目前, 我国数字万用表的产量已跃居世界首位, 每年生产近千万台 (块) 中、低档数字万用表, 并向 100 多个国家大量出口, 占世界中低档数字万用表总产量的 85% 以上。

为了推广数字万用表的应用技术, 作者曾撰写了国内第一本介绍数字万用表的专著——《数字万用表的原理、使用与维修》(电子工业出版社 1988 年出版), 此后又先后撰写了《数字万用表业余制作与检修指南》(人民邮电出版社 1992 年出版)、《新型数字万用表原理与维修》(电子工业出版社 1994 年出版) 等著作, 均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, 也是电子工作者的基本技能。随着数字万用表的迅速普及, 使用数字万用表的人员也大量增加。但目前专门介绍新型数字万用表原理与应用的书籍很少, 而这正是广大读者所迫切需要的。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, 现以原著部分内容为素材, 补充了大量本人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。本书作为“数字仪表精品丛书”的第 2 本, 该丛书还包括《新型数字电压表原理与应用》、《新型专用数字仪表原理与应用》和《数字仪表新颖电路原理与应用》。

本书融科学性、先进性、系统性、实用性于一体, 主要具有以下特点:

第一, 全面、系统、深入、多方位地阐述了各种新型数字万用表、智能数字万用表的新技术。

第二, 实用性强。本书把新型数字万用表的整机电路工作原理与应用作为重点, 对于电路设计要点及难点、主要元器件选择方法等关键性技术问题, 亦作了详细阐述。本书所介绍的内容, 对于数字万用表的使用、维修人员和新产品开发人员, 均具有重要参考价值。

第三, 叙述严谨, 条理清楚, 由浅入深。本书按先后顺序, 依次介绍了从 $3\frac{1}{2}$ 位到 $5\frac{1}{2}$ 位低、中、高档数字万用表, 贯穿了从芯片→单元电路→整机电路原理及应用的体系, 既便于读者阅读, 又能给读者完整、清晰的概念。

第四, 资料翔实, 信息量大。本书对目前国内常见的 36 种数字万用表的整机电路作了深入的剖析, 并且许多整机电路是国内首次公开, 读者可举一反三, 触类旁通。

由于本书为数字万用表专著, 而数字万用表的整机电路很复杂, 其总电路图的图形符号和字母符号在国际上已有规范, 而且为国内外电子技术人员所熟悉, 所以本书为便于读者对照原产品检修, 未作修改。

在本书撰写过程中得到了国内外仪器仪表厂家的支持, 深圳市胜利高电子科技有限公司

IV

刘宇兵经理及其同仁也给予了大力帮助。李学芝、沙江、韩振廷、沙莎、张文清、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、林志强等同志也为本书作了有益的工作，在此一并致谢。

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

数字万用表常用符号

1. 数字仪表

DMM 数字万用表 (数字多用表)
DPM 数字面板表
DVM 数字电压表

2. 电源

↓ OPEN 沿箭头方向打开电池盖
AUTO OFF POWER 自动关机、自动断电
BATT、LO BAT、← 低电压指示符
E 电源电压
FAST FUSE 快速熔丝管
FU、FUSE 熔丝管
ON (OFF) 通 (断)
POWER 电源、电源开关或电源按键
SLEEP MODE 休眠模式 (备用状态)
TM 电源变压器
 U_- 、 U_{SS} 、 $-U_S$ 电源负端
 U_+ 、 U_{DD} 、 U_{CC} 、 $+U_S$ 电源正端
 U_{EE} 负电源端

3. 插孔及插座

°C、K、K TYPE、THERMOCOUPLE 测量温度时 K 型热电偶的输入插座
CAP、 C_x 测量电容的输入插座
COM 模拟电路的公共地插孔, 接黑表笔
f/V/ Ω 测量频率、电压、电阻的输入插孔, 接红表笔
 h_{FE} 测量晶体管共发射极电流放大系数的插座
Hz 频率信号的输入插孔
mA、A 测量电流的输入插孔, 接红表笔
V Ω 、V/ Ω 测量电压或电阻的输入插孔, 接红表笔
V Ω mA 测量电压、电阻、电流 (单位是 mA) 的输入插孔, 接红表笔

4. 测量挡

•••) (或 ∇)、▷ 蜂鸣器及二极管挡
AC/AC+DC 交流耦合 (不含直流分量) / 交流耦合 (含直流分量) 方式选择键

AC/DC、 \approx 交流/直流选择键
ACA 交流电流挡
ACV 交流电压挡
ADJ 调整旋钮
ADP 适配器测量端, 该端配上相应的测试电路后即可对数字万用表的测量功能及量程进行扩展, 增加测量晶体管 h_{FE} 、温度、绝缘电阻、转速、照度等功能
AUTO CAL 自动校准
AUTO、AR、Auto range 自动转换量程
AUTO-MAN RANGE 自动/手动转换量程
BAT CHECK 电池测试挡
C、CAP 电容挡
CAL 校准
CLOSED-CASE CAL 闭壳校准
dB_m 分贝 (功率电平) 测量键
DCA 直流电流挡
DCV 直流电压挡
F、f、FREQ、kHz 频率挡
FUNCTION 功能键
 h_{FE} NPN PNP 测量 NPN 或 PNP 型晶体管 h_{FE} 值的功能挡
HOLD、DH、DATA HOLD、HLDR 读数保持开关
H Ω 高阻挡
LO Ω 、LOW Ω 、LOW OHM、OHM LOW 低功率法测量电阻的功能键
L Ω 低阻挡
MAN RANGE 手动转换量程
MEM 存储键
MIN MAX, Min/Max Mode 最小值/最大值存储方式键
nS 电导挡
PK、PK HOLD 峰值 (最大值) 保持键
PRINT 打印键
RANGE 量程键
REL、REL Δ 相对值测量键
RH 量程保持
RST 复位键
SET 预置键

T、TEMP 温度挡
 TRMS、TRUE RMS 真有效值功能键
 UP \wedge 或 \uparrow 、DWN \vee 或 \downarrow 设定测量范围的上、下限功能键
 ZERO ADJ 电容挡手动调零旋钮
 Ω 、OHM、Ohm 电阻挡

5. 显示器

(\square) 读数保持标识符
 \triangleright 二极管
 $\circ)))$ 蜂鸣器
 - 负极性标识符
 Δ 相对值测量标识符
 OL 过载 (即超量程)
 1 溢出符号, 超量程时仅最高位显示“1”
 AC 交流测量标识符
 AP 自动极性显示
 AV、av、AVG 平均值
 B/L LCD 背光源按键 (按下时打开背光源, 弹起时关闭背光源)
 DUR 显示刷新速率
 EL 场致发光器件 (亦可作为 LCD 的背光源)
 FS、f.s、RNG 满度值 (满量程)
 HV 高压标识符
 LCD 液晶显示器, 液晶屏
 LCD bargraph 液晶条图
 LED 发光二极管, 半导体数码管
 LO BAT、LO BATT、 \square 电池低电压指示
 MIN, MAX, TYP 分别代表最小值、最大值、典型值
 MR 测量速率
 OR、OVR、OVER、OVER RANGE 超量程
 PK、PEAK 峰值
 RDG 读数值
 RMS、rms 有效值 (均方根值)
 TRMS、TEV 真有效值
 UR、UNDER RANGE 欠量程

6. 集成电路、A/D 转换器

A/D 模/数转换
 a ~ g 7 段笔画驱动端
 ADC 模/数转换器
 AMP 放大器

ANNUNC、ANND、ANNUNCIATOR DRIVE 标识符驱动端
 ASIC 用户专用集成电路
 AZ 自动调零
 b_4c_4 千位 b、c 段的驱动端 (3 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表)
 b_5c_5 万位 b、c 段的驱动端 (4 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表)
 BP、B.P 液晶显示器背面公共电极 (简称背电极) 的驱动端
 BUF 缓冲器
 BZ、BEEPER、B (OUT) 蜂鸣器驱动端
 CF 滤波器
 CLCC 扁平陶瓷封装
 CMOS 互补型金属-氧化物-半导体集成电路
 COM、AGND 模拟地
 COMP 比较器
 CONT 连续测量标识符驱动端
 \overline{CS} 片选端 (负逻辑)
 DE 反向积分 (解积分)
 DIGIT 位
 DIP 双列直插式封装
 DP、D.P、dp 小数点驱动端
 DSP 数字信号处理器
 E_0 基准电压源
 E_N 噪声电压
 EOC A/D 转换结束标志信号输出端
 f_0 晶振频率、时钟频率
 f_{CP} 计数频率
 GND、DGND 数字地 (逻辑地)
 GUARD 保护环
 IC 集成电路
 INT 正向积分 (信号积分)
 IR 积分器
 LPF 低通滤波器
 LSD 最低位
 LSI 大规模集成电路
 MSD 最高位
 NC 空脚
 NE 噪声误差
 NL 非线性误差
 OA 运算放大器
 OSC、XT、XTAL、CL、CP 时钟端
 PLCC 扁平塑料封装

POL 负极性驱动端
 PR 比例读数
 $\overline{\text{RD}}$ 读信号端 (负逻辑)
 RE 翻转误差, 亦称颠倒误差
 SEG 段
 SIP 单列直插式封装
 SMD 表面安装元件
 SMIC 表面安装集成电路
 SMT 表面安装技术
 T 完成一次 A/D 转换所需时间
 T_0 时钟周期
 T_1 正向积分时间
 T_2 反向积分时间
 T_{CP} 计数脉冲的周期, 简称计数周期
 TE 转换误差
 TEST 测试端
 TTL 晶体管-晶体管逻辑集成电路
 U_{DISP} 设置 LCD 最大驱动电平 U_P 的引出端
 U_{REF} 基准电压
 VLSI 超大规模集成电路
 $\overline{\text{WR}}$ 写信号端 (负逻辑)
 ZE 零读数误差
 ZI 零积分
 ZR 零输入读数
 μC 单片机
 μP 微处理器
 τ 时间常数

7. 其他

■ 双重绝缘

⚡ 危险! 此处可能有高压
 △ 注意! 使用人员应参照说明书操作
 C_{IN} 仪表输入电容
 CMR 共模抑制比
 D 占空比 (%)
 D (或 L) .W.H. 长、宽、高

EMI 电磁干扰
 JT 石英晶体
 K 分压比
 K_f 波形因数
 K_p 波峰因数
 MTBF 平均故障间隔时间
 NE 氖管
 NTCR 负温度系数热敏电阻
 PCB、P.C.B 印制电路板, 简称印制板
 PMR 电源抑制比
 PNF 电源噪声滤波器
 PTCR 正温度系数热敏电阻
 RH 相对湿度 (%)
 r_{IN} A/D 转换器输入电阻
 R_{IN} 仪表输入电阻
 R_T 、 R_t 热敏电阻
 SCR 晶闸管
 SG 火花放电器
 SMR 串模抑制比
 t 脉冲宽度 (s)
 TP 测试点
 TRMS 真有效值
 TVS 瞬态电压抑制器 (亦称瞬变电压抑制二极管)
 \overline{U} 、 U_{AV} 交流电压平均值
 U_{IN} 、 U_i 输入电压
 U_{INT} 积分器输出电压
 U_{OUT} 、 U_o 输出电压
 U_P 、 U_{PK} 峰值电压
 $U_{\text{P-P}}$ 峰-峰值电压
 U_{RMS} 、 U (RMS) 交流电压有效值 (平均值响应)
 VDz 稳压二极管
 VD 半导体二极管
 VSR 压敏电阻器
 VT 晶体管
 α_T 、 α_t 温度系数
 γ 相对误差 (%)

目 录

前言

数字万用表常用符号

第一章 数字万用表概述	1
第一节 数字万用表的主要特点	1
第二节 数字万用表的产品分类	4
一、按量程转换方式分类	4
二、按用途及功能分类	4
第三节 数字万用表的基本构成	5
一、普通数字万用表的基本构成	5
二、单片数字万用表的基本构成	6
三、智能数字万用表的基本构成	7
第四节 单片数字万用表集成电路简介	7
第五节 国内外数字万用表主要生产 厂家及典型产品	11
第六节 新型数字万用表典型产品 的技术指标	12
第七节 71种常用数字万用表的集成 电路配置情况	14
第二章 数字万用表功能转换器的 基本原理	17
第一节 DCV 测量电路	17
第二节 线性 AC/DC 转换器	18
第三节 简易平均值 AC/DC 转换器	19
第四节 交流/直流 (AC/DC) 测量 功能自动转换器	20
第五节 I/U 转换器	21
第六节 Ω/U 转换器	22
第七节 $H\Omega/U$ 转换器	24
第八节 G/U 转换器	25
一、测量电导的基本原理	25
二、数字电导表的电路工作原理	26

第九节 C/U 转换器	27
第十节 f/U 转换器	29
第十一节 U_F/U 转换器	31
第十二节 h_{FE}/U 转换器	31
第十三节 T/U 转换器	32
一、 T/U 转换器的工作原理	33
二、测量注意事项	34
第十四节 检测线路通断的电路	35
第十五节 检测电池的电路	35
第十六节 自动关机电路	36
一、自动关机电路的工作原理	36
二、改装方法	37

第三章 单片数字万用表集成电路的 原理与应用

第一节 AME7106 型多功能低功耗 单片 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	39
一、AME7106 的性能特点	39
二、AME7106 的工作原理	40
三、AME7106 的典型应用	41
第二节 UM7108F 型具有串行接口及 频率测量功能的单片 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	42
一、UM7108F 的性能特点	42
二、UM7108F 的引脚功能	42
三、UM7108F 的工作原理	43
四、由 UM7108F 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位 数字万用表	46
第三节 NJU9207/9212 型单片 $3\frac{1}{2}$ 位自动量程数字万用表 集成电路	47
一、NJU9207/9212 的性能特点	47
二、NJU9207/9212 的引脚功能	48
三、NJU9207 的工作原理	49
四、由 NJU9207 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位自	

自动量程数字万用表	53	殊应用	85
五、使用注意事项	53	七、使用注意事项	87
第四节 ICL7139/7149 型单片 $3\frac{3}{4}$ 位		第二节 NJU9210 型单片 $3\frac{3}{4}$ 位数字	
自动量程数字万用表集		/42 段液晶条图双显示数	
成电路	55	字万用表集成电路	88
一、ICL7139/7149 的性能特点	55	一、NJU9210 的性能特点	88
二、ICL7139 的引脚功能	56	二、NJU9210 的引脚功能	88
三、ICL7139 的工作原理	56	三、NJU9210 的工作原理	89
四、由 ICL7139 构成的单片 $3\frac{3}{4}$ 位自		四、由 NJU9210 构成的单片双显示数	
动量程数字万用表	61	字万用表电路	92
五、使用注意事项	62	第三节 NJU9214 型单片 $4\frac{3}{4}$ 位数字	
第五节 TC815/818A 型单片 $3\frac{1}{2}$ 位		/42 段液晶条图双显示智能	
自动量程数字万用表集成		数字万用表集成电路	94
电路	62	一、NJU9214 的性能特点	94
一、TC815/818A 的性能特点	62	二、NJU9214 的引脚功能	95
二、TC815/818A 的引脚功能	63	三、NJU9214 的工作原理	97
三、TC815 的工作原理	64	四、由 NJU9214 构成的单片双显示智	
四、由 TC815 构成的单片 $3\frac{1}{2}$ 位自动		能数字万用表电路	103
量程数字万用表	67	第四节 FS9922—DMM4 型 $3\frac{6}{10}$ 位数	
第六节 TC820 型单片 $3\frac{3}{4}$ 位数字		字/61 段液晶条图双显示智	
万用表集成电路	69	能数字万用表集成电路	105
一、TC820 的性能特点	69	一、FS9922—DMM4 的性能特点	105
二、TC820 的引脚功能	70	二、FS9922—DMM4 的引脚功能	106
三、TC820 的工作原理	72	三、FS9922—DMM4 的工作原理	109
四、由 TC820 构成的数字万用表		四、由 FS9922—DMM4 构成的单片双显	
基本电路	76	示智能数字万用表电路	112
五、使用注意事项	76	第五节 ES51918 型单片智能数字万	
第四章 单片智能数字万用表集成		用表集成电路	120
电路的原理与应用	79	一、ES51918 的性能特点	120
第一节 MAX133/134 型专配微处理		二、ES51918 的工作原理	121
器的 $4\frac{3}{4}$ 位/ $3\frac{3}{4}$ 位数字万		三、由 ES51918 构成的单片智能数	
用表集成电路	79	字万用表电路	125
一、MAX133/134 的性能特点	79	第五章 $3\frac{1}{2}$ 位数字万用表的整机电	
二、MAX133/134 的引脚功能	80	路原理及应用	127
三、MAX133/134 的工作原理	80	第一节 DT830A 型 $3\frac{1}{2}$ 位数字万	
四、由 MAX133/134 构成的 $3\frac{3}{4}$ 位或 $4\frac{3}{4}$ 位		用表	127
智能数字万用表	83	一、DT830A 型数字万用表的性能特点	127
五、MAX133/134 与微处理器的接口		二、DT830A 型数字万用表的整机电路	
电路	83	原理及应用	127
六、MAX133/134 在测试系统中的特		第二节 DT830B/DT830B (改进型)	

/M830B/DT830L 型 3½位	
数字万用表	135
一、DT830B/DT830B (改进型)	
/M830B/DT830L 型数字万用表	
的性能特点	135
二、DT830B/DT830B (改进型)	
/M830B 型数字万用表的整机电	
路原理及应用	136
第三节 DT830C/DT830D 型 3½位数	
字万用表	143
一、DT830C/DT830D 型数字万用表	
的性能特点	143
二、DT830C/DT830D 型数字万用表	
的整机电路原理及应用	143
第四节 DT840D 型 3½位数字	
万用表	150
一、DT840D 型数字万用表的性能特点	150
二、DT840D 型数字万用表的整机	
电路原理及应用	151
第五节 VC890D/VC890C + 型 3½	
位数字万用表	156
一、VC890D/VC890C + 型数字万用表	
的性能特点	156
二、VC890D/VC890C + 型数字万用表的	
整机电路原理及应用	157
第六节 VC9801/VC9801 + /VC9801A	
+ 型 3½位数字万用表	160
一、VC9801/VC9801 + /VC9801A + 型	
数字万用表的性能特点	160
二、VC9801/VC9801 A + 型数	
字万用表的整机电路原	
理及应用	161
第七节 VC9802/VC9802A + 型 3½位	
数字万用表	168
一、VC9802/ VC9802A + 型数字万	
用表的性能特点	168
二、VC9802A + 型数字万用表的整机电	
路原理及应用	169
第八节 VC9804/ VC9804A + 型 3½	
位数字万用表	170
一、VC9804/VC9804A + 型数字万用	
表的性能特点	170
二、VC9804 A + 型数字万用表的整机	
电路原理及应用	171
第九节 VC9805/VC9805A + 型	
3½位数字万用表	176
一、VC9805/VC9805A + 型数字万用表的	
性能特点	176
二、VC9805 A + 型数字万用表的	
整机电路原理及应用	176
第十节 VC9808 + /VC9808A + 型 3½	
位数字万用表	177
一、VC9808 + /VC9808A + 型数字万用	
表的性能特点	178
二、VC9808 + 型数字万用表的整机	
电路原理及应用	178
第十一节 DT9802 型 3½位数字	
万用表	189
一、DT9802 型数字万用表的性	
能特点	189
二、DT9802 型数字万用表的整	
机电路	189
第六章 4½位、5½位数字万用表	
的整机电路原理及应用	190
第一节 DT930F + /VC930F + 型 4½	
位数字万用表	190
一、DT930F + /VC930F + 型数字万用	
表的性能特点	190
二、DT930F + /VC930F + 型数字万用表的	
整机电路原理及应用	191
第二节 VC980/VC980 + 型 4½位数	
字万用表	198
一、VC980/VC980 + 型数字万	
用表的性能特点	198
二、VC980 型数字万用表的整	
机电路原理及应用	199
第三节 DT1000 型 4½位数字	
万用表	205
一、DT1000 型数字万用表的性能	
特点	205
二、DT1000 型数字万用表的整机	

电路原理及应用·····	205	一、3211B型数字万用表的性能特点·····	235
第四节 VC9806+ / VC9807A+型4½位数字万用表·····	210	二、3211B型数字万用表的整机电路原理及应用·····	235
一、VC9806+ / VC9807A+型数字万用表的性能特点·····	211	第三节 DT910型3¾位自动量程数字万用表·····	237
二、VC9806+ / VC9807A+型数字万用表的整机电路原理及应用·····	211	一、DT910型数字万用表的性能特点·····	237
第五节 VC8045—Ⅱ型台式4½位数字万用表·····	215	二、DT910型数字万用表的整机电路原理及应用·····	239
一、VC8045—Ⅱ型台式数字万用表的性能特点·····	215	第四节 VC970型3¾位手动/自动量程数字万用表·····	239
二、VC8045—Ⅱ型台式数字万用表的原理及应用·····	216	一、VC970型数字万用表的性能特点·····	239
第六节 8840A型台式5½位智能数字万用表·····	218	二、VC970型数字万用表的整机电路原理及应用·····	240
一、8840A型台式数字万用表的性能特点·····	218	第八章 数字万用表使用指南·····	243
二、8840A型台式数字万用表的整机电路原理及应用·····	218	第一节 数字万用表使用要点·····	243
第七章 单片数字万用表的原理及应用·····	227	第二节 数字万用表的保护电路·····	246
第一节 DT860B/DT860D型3½位自动量程数字万用表·····	227	一、电流挡的保护电路·····	246
一、DT860B型数字万用表的性能特点·····	227	二、电压挡的保护电路·····	246
二、DT860B型数字万用表的整机电路原理及应用·····	227	三、电阻挡的保护电路·····	248
三、DT860D型数字万用表的性能特点及整机电路原理·····	233	四、其他测量挡的保护电路·····	248
第二节 3211B型3¾位笔式自动量程数字万用表·····	235	第三节 数字万用表的检修方法·····	249
		一、检修数字万用表的步骤·····	249
		二、检修数字万用表的12种方法·····	250
		第四节 数字万用表的调试方法·····	252
		一、数字万用表的调试程序·····	252
		二、数字万用表的调试方法·····	253
		第五节 数字万用表的校准仪表·····	258
		一、D030系列数字万用表校验仪·····	258
		二、5500A型多产品校准器·····	258
		参考文献·····	260

第一章 数字万用表概述

本章首先介绍了数字万用表的主要特点、产品分类和基本构成，然后分别阐述单片数字万用表集成电路的特点、数字万用表的主要生产厂家及典型产品，最后介绍 71 种常用数字万用表的集成电路配置情况。

第一节 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) 的基础上扩展而成的。

数字万用表具有以下 10 大特点：

1. 显示清晰直观，读数准确

为了提高观察的清晰度，新型手持式数字万用表 (HDMM) 已普遍采用字高为 26mm (约 1in) 的大屏幕 LCD (液晶显示器)。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识符显示功能，包括测量项目符号 (例如 AC、DC、 h_{FE} 、 $LO\Omega$ 、LOGIC、MEM)，单位符号 (例如 mV、V、kV、 μA 、mA、A、 Ω 、k Ω 、M Ω 、nS、Hz、kHz、MHz、pF、nF、 μF 、 $^{\circ}C$ 、 $^{\circ}F$)，特殊符号 (如低电压指示符号“LO BAT”、读数保持符号“HOLD”或“DH”、峰值保持符号“PEAK HOLD”或“PH”、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识符，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。判定数字万用表的位数有两条原则：第一，能显示从 0~9 所有数字的位是整数位；第二，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。

需要指出的是，目前有些新型智能数字万用表的显示位数比较特殊。例如，VC8145A 型

台式智能数字万用表的满量程值为 33000, MS8050 型台式智能数字万用表的满量程值为 53000, 就很难将其归入哪一种显示位数。这种情况下, 通常只给出满量程值。

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。测量的绝对误差有以下三种表达式:

$$\Delta U = \pm (a \% \text{RDG} + b \% \text{FS}) \quad (1-1-1)$$

$$\Delta U = \pm (a \% \text{RDG} + n) \quad (1-1-2)$$

$$\Delta U = \pm (a \% \text{RDG} + b \% \text{FS} + n) \quad (1-1-3)$$

式 (1-1-1) 中, RDG 为读数值 (即显示值), FS 表示满量程值。

括号中第 1 项代表 A/D 转换器和功能转换器 (例如分压器) 的综合误差, 第 2 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。式 (1-1-3) 比较特殊, 第三项通常表示由热电动势引起的测量误差。

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. 分辨力高

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 $3\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位、 $8\frac{1}{2}$ 位数字万用表的最高分辨力分别为 $100\mu\text{V}$ 、 $10\mu\text{V}$ 、 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 $1/1999 \approx 0.05\%$ 。

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 (G)、温度 (T) 和频率 (f), 而且利用蜂鸣器挡 (BZ) 还可检查线路的通断。VC9805A+、VC9808、MS8201H 型数字万用表增加了电感挡。有的仪表还有信号发生器挡及 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 (LOGIC) 测试、真有效值 (TRMS) 测量、相对值 (REL) 测量、自动关机 (AUTO OFF POWER)、当电流挡拨错位置时的声音告警等。国产 VC90 型数字万用表具有语音报数功能。MS8209 型“五合一”数字万用表, 还可以测量占空比 (测量范围是 $0.1\% \sim 99.9\%$, 误差为 $\pm 3.0\%$)、温度 (测量范围是 $-20 \sim 400^\circ\text{C}$ 或 $-20 \sim 1000^\circ\text{C}$, 误差为 $\pm 3.0\%$)、相对湿度 (测量范围是 $30\% \sim 95\%$, 误差为 $\pm 5.0\%$)、照度 (测量范围是 $4000 \sim 40000\text{lx}$, 误差为 $\pm 5.0\%$) 及噪声 (测量范围是 $35 \sim 100\text{dB}$, 误差为 $\pm 4\text{dB}$)。VC9808A+ 增加了 $2000\text{M}\Omega$ 超高阻挡, VC8145A 还能测量功率电平。

最新开发的 $3\frac{3}{4}$ 位 $\sim 4\frac{1}{2}$ 位智能数字万用表, 将高性能与低成本集于一身, 大多具有下述功能: 液晶条图显示 (LCD Bargraph), 多重显示, 测量最小值/最大值, 峰值保持, 数据存储, 复位, 数据输出, 设定测量范围的上、下限, 软件自动校准, 快速测量等。国产

MS9803R 型智能数字万用表采用光电隔离的 RS-232C 接口，还配有 PC Windows 视窗软件，能在 PC 上记录数据及输出图表。利用 MS9803R 所提供的 DMM VIEW Version2 软件，将 MS9803R 拨至直流 200mV 挡，并通过 RS-232C 接口连到 PC 上，实测某一缓慢变化的直流电压，所获得的测量曲线及部分测量数据见图 1-1-1。所选采样速率为 1 次/秒，总共采样 100 点。测量过程中的最小值为 11.5mV，最大值为 245.2mV。

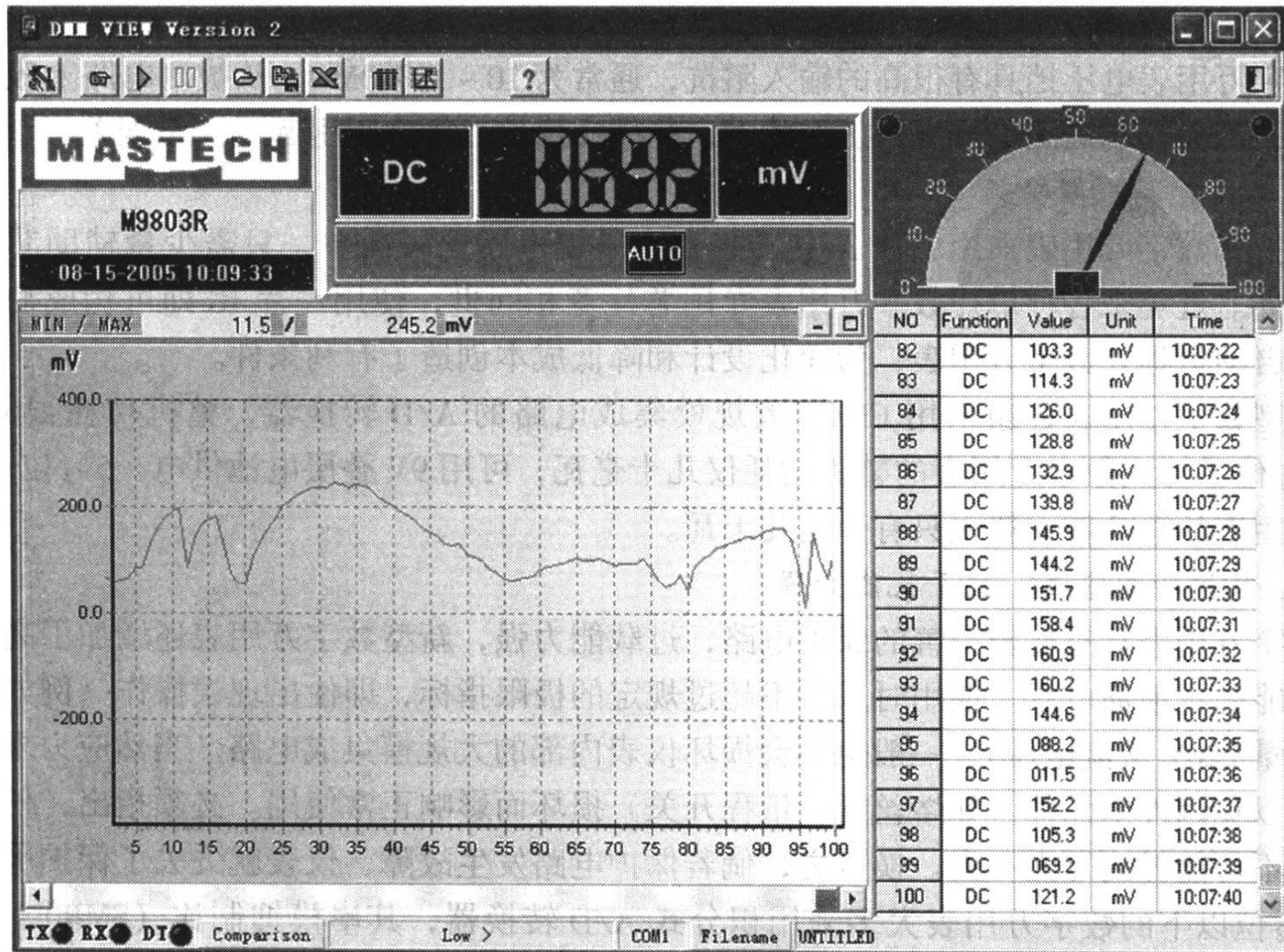


图 1-1-1 用 MS9803R 获得的测量曲线及测量数据表

6. 测量范围宽

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 (0.01mV ~ 1000V)，ACV (0.01mV ~ 700V 或 750V)，DCA (0.1 μ A ~ 20A)，ACA (1 μ A ~ 20A)， Ω (0.01 Ω ~ 20M Ω ，少数仪表可达 200M Ω ，甚至扩展到 2000M Ω)，电导 (0.1nS ~ 100nS)，电容 (0.1pF ~ 20 μ F)，电感 (1 μ H ~ 20H)，频率 (10Hz ~ 20kHz，部分仪表可达 200kHz，甚至扩展到 10MHz)，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的需要。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。 $4\frac{1}{2}$ 位数字万用表可达 20 次/秒。 $5\frac{1}{2}$ 位 ~ $7\frac{1}{2}$ 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 $8\frac{1}{2}$ 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/

秒，在 $8\frac{1}{2}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位方式下分别为 6 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，专配测量速率较快的 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 $10 \sim 10000\text{M}\Omega$ ，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。近年来各种单片数字万用表专用芯片竞相问世，使用一片 IC 即可构成功能比较完善的自动量程式数字万用表，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。 $3\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位手持式数字万用表的整机功耗仅几十毫瓦，可用 9V 叠层电池供电。 $5\frac{1}{2}$ 位 ~ $8\frac{1}{2}$ 位数字万用表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，新型数字万用表还增加了高压保护器件，能防止浪涌电压。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（如熔丝管、量程开关）损坏而影响正常使用。必须指出，任何保护电路都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。

$5\frac{1}{2}$ 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、双重屏蔽等先进技术，进一步提高了抗干扰能力，CMR 可达 180dB。

第二节 数字万用表的产品分类

一、按量程转换方式分类

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，能有效地避免过载，并使仪表处于最佳量程，从而提高了测量准确度与分辨力。此类仪表的价格较高。

二、按用途及功能分类

1. 低档数字万用表

它属于 $3\frac{1}{2}$ 位普及型仪表，功能比较简单，价格与指针万用表相当。典型产品有 M810、DT820B、DT830B、DT830C、DT830D、DT840D、M3900、DT5803、DT9201A 等型号。

2. 中档数字万用表

(1) 多功能型数字万用表