

◎ 沙占友 王彦朋 杜之涛 著

便携式数字万用表 原理与维修



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

便携式数字万用表 原理与维修

从1988年《数字万用表的原理、使用与维修》

1994年《新型数字万用表原理与维修》

到2008年《便携式数字万用表原理与维修》

**将实用性·先进性·科学性融为一体
使用·维修·调试·设计·制作宝典**

 谨以此书奉献给广大读者 



责任编辑：魏永昌

封面设计：喻 晓

本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。



ISBN 978-7-121-08032-6



9 787121 080326 >

定价：45.00 元

便携式数字万用表原理与维修

沙占友 王彦朋 杜之涛 著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING



内 容 简 介

本书全面系统、深入精辟地阐述了便携式(即手持式)数字万用表的工作原理与维修、调试技术。全书共7章。第1章介绍数字万用表概述。第2章介绍数字万用表使用与维修指南。第3、4章分别介绍单片A/D转换器、单片数字万用表集成电路的原理与应用。第5章详细阐述22种数字万用表功能转换器的工作原理及常见故障分析。第6、7章深入剖析了21种便携式数字万用表的整机电路原理与故障检修方法。

本书内容丰富、论点新颖,深入浅出,图文并茂,具有严谨的科学性、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参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

便携式数字万用表原理与维修/沙占友,王彦朋,杜之涛著. —北京:电子工业出版社,2009.2

ISBN 978-7-121-08032-6

I.便… II.①沙…②王…③杜… III.①数字式测量仪器—复用电表—理论②数字式测量仪器—复用电表—维修 IV. TM938.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第206066号

责任编辑:魏永昌

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:24 字数:615千字

印 次:2009年2月第1次印刷

印 数:4000册 定价:45.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

数字万用表亦称数字多用表(DMM),是广大电子技术人员和电子爱好者从事电子测量及维修工作的必备仪表。便携式(亦称手持式)数字万用表以其功能完善、通用性强、价格低、耗电省、便于携带等显著优点,深受广大用户的青睐。数字万用表是在20世纪60年代问世的。我国的数字万用表工业起步于70年代中期,先后经历了引进、发展、技术创新这3个阶段。目前,我国数字万用表的产量已跃居世界首位,便携式数字万用表的年产量已超过1000万块(台),产品远销世界100多个国家或地区。

对广大用户而言,学会正确使用数字万用表是工作的前提条件,熟悉其工作原理是工作的基础,而掌握维修技术是工作的可靠保证。为了推广数字万用表的应用与维修技术,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》,1988年由电子工业出版社出版,该书曾9次重印,总印数达10万册。此后撰写的《新型数字万用表原理与维修》一书,1994年也由电子工业出版社出版。上述著作受到国内专家和读者的广泛好评。近年来,出版社和作者不断收到各地读者的来电或来函,希望《新型数字万用表原理与维修》一书能够重印或再版。为适应现代电子科技的发展,满足广大读者的急需,现以原著部分内容为基础,大量补充了作者近年来在科研和教学工作中积累的新经验和部分科研成果后撰成此书,定名为《便携式数字万用表原理与维修》,以飨广大读者。

本书融科学性、先进性、系统性、实用性于一体,主要有以下特点:

第一,全面、系统、深入地阐述了便携式数字万用表所采用的新技术及新颖检测电路。

第二,本书以新型便携式数字万用表的整机电路原理与维修、调试作为重点,对于电路设计和故障检修的要点、难点、关键元器件选择及代换都做了详细论述。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都具有重要参考价值。

第三,本书结构严谨,内容由浅入深。先后介绍低、中、高档数字万用表,形成了“芯片→单元电路→整机电路原理→故障检修→调试方法”的完整体系。既便于读者阅读,又能给读者以科学、严密、系统的概念。

第四,鉴于数字万用表是以单片A/D转换器为核心,以功能转换器为基本单元电路而扩展构成的,本书详细阐述了22种数字万用表功能转换器的工作原理及常见故障分析,这对掌握数字万用表的原理与维修技术具有重要意义。

沙占友教授撰写了第2章、第5章、第6章和第7章,并完成了全书的审阅和统稿工作。王彦朋教授撰写了第3章和第4章。杜之涛老师撰写了第1章和附录。在本书撰写工作中得到李学芝、沙江、韩振廷、沙莎、魏跃平、张文清、宋怀文、陈庆华、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、王金和、赵仁明、李新华等同志的帮助,在此一并致谢。

由于作者水平所限,书中的纰漏在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

2008年8月于河北科技大学

目 录

第 1 章 数字万用表概述	(1)
1.1 数字万用表的性能特点	(1)
1.2 数字万用表的产品分类	(4)
1.2.1 按量程转换方式分类	(4)
1.2.2 按用途及功能分类	(4)
1.3 数字万用表的发展趋势	(6)
1.4 数字万用表的基本构成	(8)
1.4.1 普通数字万用表的基本构成	(8)
1.4.2 单片数字万用表的基本构成	(9)
1.4.3 智能数字万用表的基本构成	(10)
1.5 单片 A/D 转换器简介	(11)
1.5.1 单片 A/D 转换器的分类	(11)
1.5.2 单片 A/D 转换器综述	(12)
1.5.3 单片 A/D 转换器基准电压与量程的对应关系	(13)
1.6 单片数字万用表集成电路简介	(14)
1.7 中外数字万用表典型产品与技术指标	(19)
1.7.1 中外数字万用表的典型产品	(19)
1.7.2 数字万用表的典型产品的技术指标	(20)
第 2 章 数字万用表使用与维修指南	(22)
2.1 数字万用表的使用注意事项	(22)
2.1.1 使用之前的注意事项	(22)
2.1.2 测量时的注意事项	(24)
2.1.3 其他使用注意事项	(29)
2.2 数字万用表保护电路的设计	(30)
2.2.1 电流挡的保护电路	(30)
2.2.2 电压挡的保护电路	(30)
2.2.3 电阻挡的保护电路	(32)
2.2.4 其他测量挡的保护电路	(33)
2.3 改善数字万用表频率特性的方法	(35)
2.3.1 利用高频探头改善数字万用表的频率特性	(36)
2.3.2 注意事项	(37)
2.4 数字万用表的检修方法	(37)
2.4.1 检修数字万用表的步骤	(37)
2.4.2 检修数字万用表的 12 种方法	(38)
2.5 数字万用表的调试方法	(41)

2.5.1	数字万用表的调试程序	(41)
2.5.2	数字万用表的调试方法	(41)
2.6	数字万用表校准仪	(47)
2.6.1	DG30 系列数字万用表校准仪性能简介	(47)
2.6.2	DG30-3a 型数字万用表校准仪原理简介	(48)
第 3 章	单片 A/D 转换器的原理与应用	(50)
3.1	ICL7106 型 3½ 位单片 A/D 转换器	(50)
3.1.1	ICL7106 的性能特点	(50)
3.1.2	ICL7106 的工作原理	(51)
3.1.3	ICL7106 的典型应用及设计要点	(62)
3.2	MAX138/139/140 型 3½ 位单片 A/D 转换器	(65)
3.2.1	MAX138/139/140 的性能特点	(66)
3.2.2	MAX138/139/140 的工作原理	(66)
3.2.3	MAX138/139/140 的典型应用及设计要点	(67)
3.3	MC14433 型 3½ 位单片 A/D 转换器	(70)
3.3.1	MC14433 的性能特点	(70)
3.3.2	MC14433 的工作原理	(71)
3.3.3	MC14433 的典型应用及设计要点	(76)
3.4	ICL7135 型 4½ 位单片 A/D 转换器	(86)
3.4.1	ICL7135 的性能特点	(86)
3.4.2	ICL7135 的工作原理	(86)
3.4.3	ICL7135 的典型应用及设计要点	(89)
3.5	ICL7129 型 4½ 位单片 A/D 转换器	(93)
3.5.1	ICL7129 的性能特点	(93)
3.5.2	ICL7129 的工作原理	(94)
3.5.3	ICL7129 的典型应用及设计要点	(99)
3.6	MAX1492/1494 型带串行接口的单片 3½ 位、4½ 位 A/D 转换器	(100)
3.6.1	MAX1492/1494 的性能特点	(100)
3.6.2	MAX1494 的工作原理	(101)
3.6.3	MAX1494 的典型应用	(106)
3.7	MAX1497/1499 型带串行接口的单片 3½ 位、4½ 位 A/D 转换器	(109)
3.7.1	MAX1497/1499 的性能特点	(109)
3.7.2	MAX1499 的工作原理	(110)
3.7.3	MAX1499 的典型应用	(114)
3.8	HI-7159A 型带微处理器的单片 5½ 位 A/D 转换器	(114)
3.8.1	HI-7159A 的性能特点	(115)
3.8.2	HI-7159A 的工作原理	(115)
3.8.3	HI-7159A 的典型应用及设计要点	(123)
第 4 章	单片数字万用表集成电路的原理与应用	(127)
4.1	AME7106 型多功能低功耗单片 3½ 位 A/D 转换器	(127)

4.1.1	AME7106 的性能特点	(127)
4.1.2	AME7106 的工作原理	(128)
4.1.3	AME7106 的典型应用及设计要点	(129)
4.2	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	(130)
4.2.1	UM7108F 的性能特点	(130)
4.2.2	UM7108F 的工作原理	(131)
4.2.3	UM7108F 的典型应用及设计要点	(135)
4.3	ICL7139/7149 型单片 3 $\frac{3}{4}$ 位自动量程数字万用表集成电路	(136)
4.3.1	ICL7139/7149 的性能特点	(136)
4.3.2	ICL7139 的工作原理	(137)
4.3.3	ICL7139 的典型应用及设计要点	(143)
4.4	TC820 型单片 3 $\frac{3}{4}$ 位数字万用表集成电路	(144)
4.4.1	TC820 的性能特点	(144)
4.4.2	TC820 的工作原理	(145)
4.4.3	TC820 的典型应用及设计要点	(152)
4.5	NJU9214 型单片 4 $\frac{1}{4}$ 位数字/42 段液晶条图双显示智能数字万用表集成电路	(154)
4.5.1	NJU9214 的性能特点	(154)
4.5.2	NJU9214 的工作原理	(155)
4.5.3	NJU9214 的典型应用及设计要点	(162)
4.6	FS9922-DMM4 型 3 $\frac{1}{2}$ 位数字/61 段液晶条图双显示智能数字万用表集成电路	(165)
4.6.1	FS9922-DMM4 的性能特点	(165)
4.6.2	FS9922-DMM4 的工作原理	(166)
4.6.3	FS9922-DMM4 的典型应用及设计要点	(170)
4.7	ES51966/51999 型单片 4 $\frac{1}{4}$ 位/5 $\frac{1}{4}$ 位智能数字万用表集成电路	(179)
4.7.1	ES51966/51999 的性能特点	(179)
4.7.2	ES51999 的工作原理	(180)
4.7.3	ES51999 的典型应用	(183)
第 5 章	数字万用表功能转换器的工作原理及常见故障分析	(186)
5.1	DCV 转换器的工作原理及常见故障分析	(186)
5.1.1	DCV 转换器的工作原理	(186)
5.1.2	DCV 转换器的常见故障分析	(187)
5.2	线性 AC/DC 转换器的工作原理及常见故障分析	(187)
5.2.1	线性 AC/DC 转换器的工作原理	(187)
5.2.2	线性 AC/DC 转换器的常见故障分析	(189)
5.3	简易平均值 AC/DC 转换器的工作原理及常见故障分析	(189)
5.3.1	简易平均值 AC/DC 转换器的工作原理	(189)
5.3.2	简易平均值 AC/DC 转换器的常见故障分析	(190)
5.4	TRMS/DC 转换器的工作原理及常见故障分析	(191)
5.4.1	TRMS/DC 转换器的工作原理	(191)
5.4.2	TRMS/DC 转换器的常见故障分析	(193)

5.5	AC/DC 测量功能自动转换器的工作原理及常见故障分析	(194)
5.5.1	AC/DC 测量功能自动转换器的工作原理	(194)
5.5.2	AC/DC 测量功能自动转换器的常见故障分析	(195)
5.6	I/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(196)
5.6.1	I/U 转换器的工作原理	(196)
5.6.2	I/U 转换器的常见故障分析	(196)
5.7	在线测量 I/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(197)
5.7.1	在线测量 I/U 转换器的工作原理	(197)
5.7.2	在线测量 I/U 转换器的测量数据及常见故障分析	(199)
5.8	R/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(199)
5.8.1	R/U 转换器的工作原理	(200)
5.8.2	R/U 转换器的常见故障分析	(201)
5.9	在线测量 R/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(202)
5.9.1	在线测量 R/U 转换器的工作原理	(202)
5.9.2	在线测量 R/U 转换器的测量数据及常见故障分析	(203)
5.10	$H/R/U$ 转换器的工作原理及常见故障分析	(204)
5.10.1	$H/R/U$ 转换器的工作原理	(204)
5.10.2	$H/R/U$ 转换器的常见故障分析	(205)
5.11	G/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(206)
5.11.1	G/U 转换器的工作原理	(206)
5.11.2	G/U 转换器的常见故障分析	(208)
5.12	C/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(209)
5.12.1	脉宽调制法 C/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(209)
5.12.2	容抗法 C/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(212)
5.13	L/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(214)
5.13.1	采用感抗法的 L/U 转换器工作原理及常见故障分析	(214)
5.13.2	采用容抗法的 L/U 转换器工作原理与误差修正	(218)
5.14	f/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(219)
5.14.1	f/U 转换器的工作原理	(219)
5.14.2	f/U 转换器的使用注意事项及常见故障分析	(221)
5.15	D/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(221)
5.15.1	D/U 转换器的工作原理	(221)
5.15.2	D/U 转换器的测量数据及常见故障分析	(223)
5.16	U_F/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(223)
5.16.1	U_F/U 转换器的工作原理	(223)
5.16.2	U_F/U 转换器的常见故障分析	(224)
5.17	h_{FE}/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(225)
5.17.1	h_{FE}/U 转换器的工作原理	(225)
5.17.2	h_{FE}/U 转换器的常见故障分析	(225)
5.18	在线测量 h_{FE}/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(226)

5.18.1	在线测量 h_{FE}/U 转换器的工作原理	(226)
5.18.2	在线测量 h_{FE}/U 转换器的常见故障分析	(227)
5.19	T/U 转换器的工作原理及常见故障分析	(227)
5.19.1	T/U 转换器的工作原理	(227)
5.19.2	T/U 转换器的使用注意事项及常见故障分析	(229)
5.20	检查线路通/断的电路的工作原理及常见故障分析	(230)
5.20.1	检查线路通/断的电路的工作原理	(230)
5.20.2	检查线路通/断的电路的常见故障分析	(231)
5.21	电池检测电路的工作原理及常见故障分析	(231)
5.21.1	电池检测电路的工作原理	(231)
5.21.2	电池检测电路的常见故障分析	(232)
5.22	自动关机电路的工作原理及常见故障分析	(232)
5.22.1	自动关机电路的工作原理	(232)
5.22.2	自动关机电路的测量数据及常见故障分析	(234)
第6章	3½位数字万用表的原理、维修及调试	(235)
6.1	DT830A 型 3½位数字万用表	(235)
6.1.1	DT830A 型数字万用表的性能特点	(235)
6.1.2	DT830A 型数字万用表的整机电路剖析	(236)
6.1.3	DT830A 型数字万用表的故障检修及调试方法	(243)
6.2	DT830B/DT830B 改进型 3½位数字万用表	(246)
6.2.1	DT830B/DT830B 改进型数字万用表的性能特点	(247)
6.2.2	DT830B/DT830B 改进型数字万用表的整机电路剖析	(247)
6.2.3	DT830B 型数字万用表的故障检修及调试方法	(254)
6.3	DT840D 型 3½位数字万用表	(255)
6.3.1	DT840D 型数字万用表的性能特点	(255)
6.3.2	DT840D 型数字万用表的整机电路剖析	(255)
6.3.3	DT840D 型数字万用表的故障检修及调试方法	(263)
6.4	VC890D 型 3½位数字万用表	(264)
6.4.1	VC890D 型数字万用表的性能特点	(264)
6.4.2	VC890D 型数字万用表的整机电路剖析	(265)
6.4.3	VC890D 型数字万用表的故障检修及调试方法	(269)
6.5	VC9801A+型 3½位数字万用表	(272)
6.5.1	VC9801A+型数字万用表的性能特点	(273)
6.5.2	VC9801A+型数字万用表的整机电路剖析	(273)
6.5.3	VC9801A+型数字万用表的故障检修及调试方法	(282)
6.6	VC9802A+型 3½位数字万用表	(284)
6.6.1	VC9802A+型数字万用表的性能特点	(284)
6.6.2	VC9802A+型数字万用表的整机电路剖析	(284)
6.6.3	VC9802A+型数字万用表的故障检修及调试方法	(286)
6.7	VC9804/VC9804A+型 3½位数字万用表	(287)

6.7.1	VC9804/VC9804A+型数字万用表的性能特点	(288)
6.7.2	VC9804A+型数字万用表的整机电路剖析	(288)
6.7.3	VC9804A+型数字万用表的故障检修及调试方法	(294)
6.8	VC9805/VC9805A+型 3½位数字万用表	(296)
6.8.1	VC9805/VC9805A+型数字万用表的性能特点	(296)
6.8.2	VC9805A+型数字万用表的整机电路剖析	(297)
6.8.3	VC9805A+型数字万用表的故障检修及调试方法	(299)
6.9	VC9808+型 3½位数字万用表	(301)
6.9.1	VC9808+型数字万用表的性能特点	(301)
6.9.2	VC9808+型数字万用表的整机电路剖析	(302)
6.9.3	VC9808+型数字万用表的故障检修及调试方法	(310)
第7章	3¾位和 4½位数字万用表的原理、维修及调试	(315)
7.1	3211B 型 3¾位笔式数字万用表	(315)
7.1.1	3211B 型数字万用表的性能特点	(315)
7.1.2	3211B 型数字万用表的整机电路原理剖析	(316)
7.1.3	3211B 型数字万用表的故障检修及调试方法	(318)
7.2	VC970 型 3¾位数字万用表	(320)
7.2.1	VC970 型 3¾位数字万用表的性能特点	(320)
7.2.2	VC970 型 3¾位数字万用表的整机电路原理剖析	(320)
7.2.3	VC970 型 3¾位数字万用表的故障检修及调试方法	(324)
7.3	DT930F+/VC930F+型 4½位数字万用表	(326)
7.3.1	DT930F+/VC930F+型数字万用表的性能特点	(326)
7.3.2	DT930F+/VC930F+型数字万用表的整机电路原理剖析	(327)
7.3.3	DT930F+/VC930F+型数字万用表的故障检修及调试方法	(336)
7.4	VC980/VC980+型 4½位数字万用表	(339)
7.4.1	VC980/VC980+型数字万用表的性能特点	(339)
7.4.2	VC980 型数字万用表的整机电路原理剖析	(340)
7.4.3	VC980 型数字万用表的故障检修及调试方法	(347)
7.5	DT1000 型 4½位数字万用表	(350)
7.5.1	DT1000 型数字万用表的性能特点	(350)
7.5.2	DT1000 型数字万用表的整机电路原理剖析	(350)
7.5.3	DT1000 型数字万用表的故障检修及调试方法	(356)
7.6	VC9806+/VC9807A+型 4½位数字万用表	(358)
7.6.1	VC9806+/VC9807A+型数字万用表的性能特点	(358)
7.6.2	VC9806+/VC9807A+型数字万用表的整机电路原理剖析	(359)
7.6.3	VC9807A+型数字万用表的故障检修及调试方法	(365)
附录A	数字万用表的常用符号	(367)
参考文献		(373)

第 1 章 数字万用表概述

本章首先介绍了数字万用表的性能特点、产品分类、发展趋势和基本构成,然后分别阐述数字万用表的基本构成、单片 A/D 转换器及单片数字万用表集成电路的性能特点、数字万用表的主要生产厂家及典型产品,最后介绍数字万用表典型产品的技术指标。

1.1 数字万用表的性能特点

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, DVM) 的基础上扩展而成的。

数字万用表具有以下十大特点。

1. 显示清晰直观,读数准确

为了提高观察的清晰度,新型便携式数字万用表 (HDMM) 已普遍采用字高大于 26mm (约 1in) 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识符显示功能,包括测量项目符号 (如 AC、DC、 h_{FE} 、 $LO\Omega$ 、LOGIC、MEM),单位符号 (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,依此类推。

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的优点,为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。具体地讲,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做分母。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33 000,MS8050 型台式智能数字万用表的满量程值为53 000,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:

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

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

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

式(1-1-1)中,RDG为读数值(即显示值),FS表示满量程值。括号中第一项代表A/D转换器和功能转换器(如分压器)的综合误差,第二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、 $4\frac{1}{2}$ 位便携式数字万用表的准确度分别可达 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 0.1\%$ 。

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,称做仪表的分辨力,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)、逻辑测试(LOGIC)、真有效值测量(TRMS)、相对值测量(REL)、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 $4000\sim 40\,000\text{lx}$ ，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 $3\frac{1}{4}$ 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，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。例如国产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，可通过RS-232C接口连到PC上。

6. 测量范围宽

以 $4\frac{1}{2}$ 位便携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 $200\text{M}\Omega$ ，甚至扩展到 $2000\text{M}\Omega$)，电导($0.1\sim 100\text{nS}$)，电容($0.1\text{pF}\sim 20\mu\text{F}$)，电感($1\mu\text{H}\sim 20\text{H}$)，频率($10\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ ，部分仪表可达 200kHz ，甚至扩展到 10MHz)，二极管正向压降 U_F ($0\sim 2\text{V}$)，晶体管电流放大系数 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。

7. 测量速率快

数字万用表在每秒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。有的便携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。显而易见，测量速率愈高，测量周期愈短，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 $2\sim 5$ 次/秒，多数仪表为 $2\sim 3$ 次/秒。 $4\frac{1}{2}$ 位DMM可达20次/秒。 $5\frac{1}{2}$ 位 $\sim 7\frac{1}{2}$ 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，此法目前应用的比较普遍，可以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 $10\sim 10\,000\text{M}\Omega$ ，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

便携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DMM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。3½位、4½位便携式 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 10W 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（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。

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、双重屏蔽等先进技术，进一步提高了抗干扰能力，CMR 可达 180dB。

1.2 数字万用表的产品分类

1.2.1 按量程转换方式分类

1. 手动量程

手动量程式数字万用表的价格较低，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。

1.2.2 按用途及功能分类

1. 低档数字万用表

低档数字万用表属于 3½位普及型仪表，功能比较简单，价格与指针式万用表相当。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

多功能型数字万用表一般设置了电容挡、测温挡、频率挡，有的还增加了高阻挡、电导

挡及电感挡。典型产品有 DT890C+、DT9208、VC9805A+及 VC9808+型 3½位数字万用表。

(2) 4½位数字万用表

4½位数字万用表的准确度较高,功能较全,适合实验室测量用。典型产品有 VC930F+、VC980A、DT1000、M1000、VC9806A+及 VC9807A+型 4½位便携式数字万用表,VC8045-II 型 4½位台式数字万用表。

(3) 语音数字万用表

语音数字万用表内含语音合成电路,在显示数字的同时还能用语音播报测量结果。典型产品有 VC90 型数字万用表。

3. 智能数字万用表

(1) 中档智能数字万用表

中档智能数字万用表一般采用 4~8 位单片机,带 RS-232 接口。典型产品有 Victor98、VC8145A 和 MS9803R 型数字万用表。

(2) 高档智能数字万用表

高档智能数字万用表内含 8 位~16 位单片机,具有数据处理、自动校准、故障自检等多种功能。典型产品有 HP3458A、7181 型 8½位台式数字万用表。

4. 双显示及多重显示数字万用表

双显示仪表的特点是在数字显示的基础上增加了模拟条图显示器,后者能迅速反应被测量的变化过程及变化趋势,典型产品有 VC98A、VC98B、MS8215 型数字万用表。多重显示仪表是在双显示仪表的基础上发展而成的,它能同时显示两组以上的数据(如最大值、最小值),典型产品有国产 VC97、MS8203 型数字万用表,Fluke 公司生产的 87、88 型数字万用表。

5. 专用数字仪表

例如 VC6013 型数字电容表,DM4070D、ADM6243、LC6243 型数字电感电容表,DM6801A、DM6902 型数字温度计,3001C、SW508 及 CTH-2 型数字温湿度计,VC850 三相交流电相序计,HT-602 智能露点仪,LX101 数字照度计,DM6234P 型光电式数字转速表,AM-4202 型数字风速表,DM6266 型数字钳形表,DM3218、DT266FT 型钳形数字万用表,CM6100、PG14A 型数字功率表,Fluke 78 型汽车数字多用表。

6. 过程数字万用表

过程数字万用表亦称多功能校验仪,是一种兼有数字万用表和信号源功能的高精度、高分辨率、高可靠性便携式综合校验仪表,适合对工业自动化仪表进行现场校验或检修。可同时完成测量和输出任务,分别显示出测量值与输出信号值。具有 LED 背光源,便于光线暗淡的场合使用。典型产品有深圳业海科技发展有限公司生产的 YHS301A 型过程数字万用表(内含微处理器)。该仪表的输出信号包括电流(0~24.00mA,精度为 0.1%),电压(0~100.00mV、0~10.00V 两挡,精度为 0.1%),频率(10.00Hz~10.00kHz)。此外还能输出直流 24V 的回路电源,给变送器供电。其同类产品还有 Fluke 787、Victor 25 型过程数字万用表。

1.3 数字万用表的发展趋势

采用新技术、新工艺,由超大规模集成电路(VLSI)构成的新型数字万用表的问世,标志着电子仪器领域的一场革命,也开创了现代电子测量技术的先河。下面从5个方面阐述新型数字万用表的发展趋向。

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广泛采用,使之迅速转化为生产力。例如,美国福禄克(Fluke)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(Kelthley)公司的直流在线电流测量专利技术;哈里斯(Harris)公司的低噪声Bi-MOS工艺制造专利技术;模拟器件公司(ADI)的四斜率A/D转换技术、“闭壳(closed-case)”校准技术、“依次加法积分”专利技术;英国迪特朗(Datron)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(采用4线制测量电阻的同时检测并扣除电阻上的各种电动势);等精度测量频率等,都为提高数字万用表的技术性能做出了贡献。例如,美国惠普(HP)公司研制的HP3458A型8½位数字多用表(DMM)中,采用多斜率A/D转换原理,并用超导领域的约瑟夫森(Josephson)结阵列标准来校准10V挡的线性度,使之优于 5×10^{-8} 。英国舒力强(Solartron)公司生产的7081型8½位数字电压表(DVM),所用精密电阻的温度系数低至 $0.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,基准电压源的电压温度系数 $\alpha_T < 1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。HP3458A型DMM测量DCV的准确度高达 $\pm 0.000\ 06\%$,按4½位方式工作时的测量速率可达10万次/秒。7081型DVM的转换准确度为 $\pm 0.000\ 03\%$,分辨力为10nV。

与此同时,仪表专用的单片大规模、超大规模集成电路也发展迅速。例如,5½位单片智能化A/D转换器,专配微机的4½位单片DMM芯片等,为研制高性价比数字万用表创造了条件。惠普、福禄克等公司都拥有一批ASIC产品,作为开发数字万用表的技术依托。美国泰克(TEK)公司推出的万能示波表中,就采用单片示波器特制集成电路。

供智能数字万用表使用的8位单片机,现已发展到第三代产品。荷兰飞利浦(Philips)公司推出的80C51系列全兼容式8位单片机,摩托罗拉公司开发的MC68HC05系列单片机。美国得州仪器公司(TI)开发的MSP430系列新一代16位单片机。具有极低的功耗、丰富的内部资源和灵活方便的开发手段,已成为单片机领域一颗耀眼的新星。近年来32位单片机(亦称微控制器MCU)也不断面世,例如美国微芯(Microchip)公司开发的PIC32系列单片机、瑞萨(Renesas)公司的SH2/2A单片机、意-法半导体(ST)公司推出的TR750F单片机等。目前全世界每年销售的单片机数量已超过100亿片。这些新器件必将对数字万用表的发展起到推动作用。

虚拟仪器(Virtual Instrument, VI)是基于软件而开发成的仪器。它是在硬件的基础上,通过软件来实现测试功能的。虚拟仪器集测量仪器、计算机与软件于一身,将仪器硬件(如A/D、D/A转换器,数字I/O)、计算机资源(如 μP ,存储器,显示器)、软件(如软面板,图形界面,数据处理,信息交换等)有机地结合起来,构成软硬结合、虚实共体的新一代电子仪