

数字仪表精品丛书 ①

新型数字电压表

原理与应用

◆ 沙占友 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



数字仪表精品丛书①

新型数字电压表原理与应用

沙占友 著



机械工业出版社

数字电压表是数字仪表的基础与核心。本书从实用角度出发,全面、深入、系统地阐述由大规模或超大规模集成电路构成的各种新型单片数字电压表的电路设计原理与应用技术。

全书共6章。第1章为新型数字电压表概述。第2章和第3章分别介绍2位、3½位、3¾位、4½位、5½位单片A/D转换器的原理与应用,以及数字电压表和智能数字电压表的电路设计要点。第4章和第5章分别阐述真有效值数字电压表、数字电平表及多重显示仪表的原理与应用。第6章专门介绍数字电压表的使用技巧。这是一本专门介绍新型数字电压表电路设计原理与应用的科技专著。本书为“数字仪表精品丛书”的第1本,该丛书还包括《新型数字万用表原理与应用》、《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,深入浅出,图文并茂,融科学性、先进性、实用性于一体,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,并可作为高等院校相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

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

(数字仪表精品丛书①)

ISBN 7-111-17525-5

I. 新… II. 沙… III. 数字电压表 IV. TM933.22

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第115396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:张世琴 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1月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·15.5印张·379千字

0 001—4 000册

定价:25.00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
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

数字电压表简称 DVM (Digital Voltmeter), 它是采用数字化测量的电压仪表。新型单片数字电压表以其高准确度、高可靠性、高分辨力、高性价比等优良特性倍受人们的青睐。目前, 数字电压表作为数字化仪表的基础与核心, 已被广泛应用于电子和电工测量、工业自动化仪表、自动测试系统等领域, 显示出强大的生命力。与此同时, 由数字电压表扩展而成的各种通用及专用仪器仪表 (含数字万用表), 也将电量及非电量测量技术提高到崭新水平。近年来, 国内许多厂家通过积极引进、吸收国外先进技术, 努力赶超世界先进水平, 现已能够大批量生产多种高、精、尖的数字电压表以及相应的标准源、校验仪。

为了推广数字电压表的应用技术, 作者于 1995 年著《新型数字电压表原理与应用》一书, 该书由国防工业出版社出版后曾受到广大读者与专家的好评。近年来, 随着各种新型数字电压表的大量问世和迅速推广, 原著作已难以适应现代电子科技的发展。鉴于目前国内专门介绍新型数字电压表的书还很少见, 为满足广大读者的需要, 作者现以原书部分内容为素材, 又将近年来在教学和科研工作中积累的经验和部分科研成果进行了系统总结, 并参考国外厂家提供的最新资料后撰成此书。本书作为“数字仪表精品丛书”的第 1 本, 该丛书还包括《新型数字万用表原理与应用》、《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, 既有科学性和先进性, 又注重实用性, 主要有以下特点:

第一, 该书详尽而深入地阐述了单片数字电压表的整机电路设计原理, 全方位地介绍了国内外在该领域的新技术与新产品。例如, 所介绍的 $5\frac{1}{2}$ 位智能数字电压表、真有效值数字仪表等, 均具有国际先进水平。

第二, 实用性强。本书以基本原理为基础, 把新型数字电压表的整机电路原理、调试和应用作为全书重点。对于关键性技术问题 (如电路设计要点及难点、主要元器件选择、调试方法) 亦作了详细阐述。第 6 章还专门介绍了数字电压表的使用技巧, 内容包括测试功能扩展及使用注意事项, 这是作者长期从事仪器仪表研究工作积累的经验。全书在阐述新型数字电压表原理与应用的同时, 还给出了大量的实用电路供读者灵活应用。

第三, 结构严谨、条理清楚、逻辑性强。本书内容由浅入深、循序渐进。以第 2 章和第 3 章为例, 首先对国内外 $3\frac{1}{2}$ 位 ~ $5\frac{1}{2}$ 位单片 A/D 转换器进行综述, 然后依次介绍 $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位数字电压表的电路设计。每种 DVM 都从芯片介绍起, 最后构成整机电路。按先后顺序分别介绍低档、中档、高档数字电压表, 既能给读者以完整、清晰的概念, 便于学习和掌握, 又可满足不同读者的需要。

在本书撰写过程中, 得到国内外集成电路厂家的支持, 李学芝、沙江、韩振廷、沙莎、魏跃平、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、

IV

李志清、郑国辉、林志强、刘庆华、杨华、张海涛、郑哲贤、韩滨、刘治国、陈凯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

目 录

前言

第一章 数字电压表概述 1

第一节 电子测量仪器的分类及 型号命名法 1

第二节 数字仪表的发展趋势 3

第三节 数字电压表的特点 5

第四节 国内外 2 位 ~ 5½ 位单 片 A/D 转换器综述 7

一、单片 A/D 转换器的分类 7

二、单片 A/D 转换器综述 8

三、单片 A/D 转换器基准电压与 量程的对应关系 10

第五节 数字电压表的检定 方法 11

一、标准条件与额定工作 条件 11

二、标准源与量值传递 11

三、直流数字电压表准确度的 测试方法 12

第二章 2 位 ~ 4½ 位数字电压表的 原理与应用 14

第一节 由 NJU9252 构成的单片 2 位数字电压表 14

一、NJU9252 的工作原理 14

二、由 NJU9252 构成的 2 位数字 温度计 16

第二节 由 TSC806/807 构成的单片 2½ 位数字仪表 16

一、TSC806/807 的性能特点 16

二、TSC806/807 的典型应用 17

第三节 由 CA3162E 构成的单片 3 位数字电压表 17

一、CA3162E 的性能特点 17

二、CA3162E 的工作原理 18

三、由 CA3162E 和 CA3161E 构成的 3 位数字电压表 19

第四节 由 ICL7106 构成的单片 3½ 位数字电压表 20

一、ICL7106 的性能特点 20

二、ICL7106 的引脚功能 21

三、ICL7106 的工作原理 22

四、由 ICL7106 构成的 3½ 位数字 电压表 39

五、使用注意事项 39

六、ICL7106 的功能检查 42

第五节 由 ICL7126/7136 构成的 单片低功耗 3½ 位数 字电压表 44

一、ICL7136 的性能特点 44

二、由 ICL7126/7136 构成的 3½ 位 数字电压表 44

第六节 由 ICL7107/7137 构成的 单片 3½ 位数字 电压表 46

一、ICL7107/7137 的性能特点 46

二、ICL7107/7137 的工作原理 47

三、由 ICL7107/7137 构成的 3½ 位数字电压表 47

四、ICL7107/7137 的功能检查 47

第七节 由 ICL7116/7117 构成具 有读数保持功能的单片 3½ 位数字电压表 50

第八节 MAX138/139/140 型单片 3½ 位数字电压表 52

一、MAX138/139/140 的性能 特点 52

二、MAX138/139/140 的工作 原理 52

三、由 MAX138/139/140 构成

的 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表	54	五、ICL7135 与微处理器的	
第九节 由 MC14433 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位		接口	92
数字电压表	56	第十四节 由 ICL7129 构成的单片	
一、MC14433 的性能特点	56	$4\frac{1}{2}$ 位数字电压表	93
二、MC14433 的引脚功能	57	一、ICL7129 的性能特点	93
三、MC14433 的工作原理	59	二、ICL7129 的引脚功能	94
四、由 MC14433 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位数字		三、ICL7129 的工作原理	96
电压表	64	四、由 ICL7129 构成的 $4\frac{1}{2}$ 位数字	
五、使用注意事项	70	电压表	98
六、 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表的调试		五、外围元器件选择	100
方法	72		
七、MC14433 与微处理器的		第三章 $3\frac{1}{2}$ 位 ~ $5\frac{1}{2}$ 位智能数字	
接口	73	电压表的原理与应用	101
第十节 由 ADD3501/3701 构成的		第一节 MAX1492/1494 型带串行	
单片 $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位数字		接口的单片 $3\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位	
电压表	73	A/D 转换器	101
一、ADD3501/3701 的性能		一、MAX1492/1494 的性能	
特点	73	特点	101
二、ADD3701 的引脚功能	74	二、MAX1494 的工作原理	102
三、ADD3701 的工作原理	74	三、MAX1494 的典型应用	107
四、由 ADD3701 构成的 $3\frac{3}{4}$ 位数字		第二节 MAX1497/1499 型带串行	
电压表	75	接口的单片 $3\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{1}{2}$	
第十一节 由 TC811 构成的单片 $3\frac{1}{2}$		位 A/D 转换器	109
位数字电压表	77	一、MAX1497/1499 的性能	
一、TC811 的性能特点	77	特点	109
二、TC811 的工作原理	77	二、MAX1497/1499 的工作原理	110
三、由 TC811 构成的 $3\frac{1}{2}$ 位数字		三、由 MAX1499 构成的 $4\frac{1}{2}$ 位智能	
电压表	79	数字电压表	114
第十二节 由 TC831 构成的单片 $3\frac{3}{4}$		第三节 HI-7159/7159A 型带微	
位数字电压表	80	处理器的单片 $5\frac{1}{2}$ 位 A/D	
一、TC831 的性能特点	80	转换器	115
二、TC831 的引脚功能	80	一、HI-7159/7159A 的性能	
三、TC831 的工作原理	81	特点	115
四、由 TC831 构成的 $3\frac{3}{4}$ 位 LED/LCD		二、HI-7159A 的引脚功能	116
显示数字电压表	82	三、HI-7159A 的工作原理	117
第十三节 由 ICL7135 构成的单片		四、HI-7159A 外围模拟电路的	
$4\frac{1}{2}$ 位数字电压表	84	设计	123
一、ICL7135 的性能特点	84	五、由 HI-7159A 构成的 $5\frac{1}{2}$ 位智	
二、ICL7135 的引脚功能	85	能数字电压表	125
三、ICL7135 的工作原理	86	第四节 $5\frac{1}{2}$ 位智能数字电压表的整	
四、由 ICL7135 构成的 $4\frac{1}{2}$ 位数字		机电路原理	126
电压表	89		

一、性能特点	126	三、由 AD637 构成的真有效值数字 仪表及特殊运算仪表	156
二、5½ 位智能数字电压表的整机 电路原理	126	第六节 由 AD736 构成的真有效 值数字电压表	160
第五节 TC534 型带精密 A/D 转 换器的可编程数据采集 系统	130	一、AD736 的性能特点	160
一、TC534 的性能特点	130	二、AD736 的引脚功能	160
二、TC534 的工作原理	130	三、AD736 的工作原理	161
三、TC534 的编程方法	132	四、由 AD736 构成的真有效值数字 电压表	162
四、由 TC534 构成的 4 通道数据 采集系统	133	第七节 由 AD737 构成的真有效 值数字电压表	163
第四章 真有效值数字电压表的原理 与应用	135	一、AD737 的性能特点	163
第一节 真有效值数字仪表的 基本原理	135	二、AD737 的工作原理	163
一、测量真有效值电压的基本 原理	135	三、AD737 的典型用法与使用 技巧	164
二、测量电平的基本原理	138	四、由 AD737 构成的多量程真有效 值数字电压表	165
第二节 单片真有效值/直流转换 器综述	139	第八节 由 LTC1966/1967/1968 构成的 真有效值数字电压表	166
第三节 由 AD536A 构成的真有效 值数字电压/电平表	142	一、LTC1966/1967/1968 的性能 特点	166
一、AD536A 的性能特点	142	二、LTC1966 的工作原理	167
二、AD536A 的引脚功能	142	三、由 LTC1966 构成的真有效值数 字仪表	170
三、AD536A 的工作原理	143	第九节 LTC1966 的电路设计要点 及常见故障分析	171
四、由 AD536A 构成的真有效值数字 电压/电平表	145	一、LTC1966 的电路设计要点	171
五、使用注意事项	147	二、LTC1966 的常见故障分析	175
第四节 由 AD636 构成的真有效值 数字电压/电平表	148	第五章 多重显示仪表的原理 与应用	177
一、AD636 的性能特点	148	第一节 由 TC826 构成的 41 段液 晶条图显示仪表	177
二、AD636 的工作原理	149	一、TC826 的性能特点	177
三、由 AD636 构成的真有效值 仪表	149	二、TC826 的引脚功能	177
四、由 AD636 构成的多量程真有效 值数字电压/电平表	152	三、TC826 的工作原理	179
第五节 由 AD637 构成的真有效 值数字电压表	153	四、由 TC826 构成的 41 段液晶条图 显示仪表	181
一、AD637 的性能特点	153	第二节 由 ICL7182 构成的高分辨率 液晶条图显示仪表	182
二、AD637 的工作原理	154	一、ICL7182 的性能特点	182

二、ICL7182 的引脚功能	183	二、在线测量电阻	216
三、ICL7182 的工作原理	183	三、在线测量晶体管共射极直流	
四、由 ICL7182 构成的高分辨率液晶		电流放大系数 (h_{FE})	218
条图显示仪表	186	第五节 利用交流数字电压表测量	
第三节 LED 条图显示仪表	187	周期性非正弦波的	
一、LM3914/3915/3916 的性能		方法	219
特点	187	第六节 宽频带不失真阻容分压器	
二、LM3914 的工作原理	188	的设计	221
三、LM3914 的典型应用	189	一、阻容分压器的设计原理	221
第四节 多重显示仪表	194	二、确定 C_1 、 C_2 电容量的	
一、TSC827 的原理与应用	195	方法	223
二、TC828 的原理与应用	200	第七节 利用数字电压表测量占空	
三、四重显示仪表的电路设计	204	比的方法	223
第六章 数字电压表的使用技巧	206	第八节 利用交流数字电压表测量	
第一节 利用 A/D 转换器完成		相位差的方法	225
运算功能	206	第九节 利用数字电压表作直流毫	
一、做乘法、除法及倒数运算	206	伏信号发生器	228
二、做加法、减法运算	206	一、电路原理	228
三、典型应用实例	207	二、实验数据及注意事项	229
第二节 数字电压表增加读数保持		第十节 数字电压表的单电源/双电	
功能的方法	208	源转换电路	229
一、给 ICL7106 增加读数保持		一、利用 CMOS 门电路产生 -5V	
功能	208	电源	229
二、给 ICL7107 增加读数保持		二、利用 ICL7660 产生 -5V	
功能	208	电源	230
第三节 提高数字电压表稳定		三、正负压连续可调、对称输出	
性的方法	209	的稳压电源	231
一、利用外部基准电压源来提高		第十一节 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表的	
稳定性	209	印制电路板设计	232
二、利用石英晶体振荡器来提高时钟		一、MAX139 的印制电路板设计	232
频率的稳定性	211	二、ICL7106 和 ICL7116 的印制电路	
三、利用锁相时钟提高数字电压表抗		板设计	234
电网干扰的能力	212	三、ICL7107 与 ICL7117 的印制电路	
第四节 数字电压表在线测量		板设计	235
技术	214	参考文献	237
一、在线测量直流电流	214		

第一章 数字电压表概述

数字电压表简称 DVM,它是采用数字化测量技术设计的电压表。数字电压表自 1952 年问世以来,已有 50 多年的发展史,大致经历了五代产品。第一代产品是 20 世纪 50 年代问世的电子管数字电压表,第二代产品属于 20 世纪 60 年代出现的晶体管数字电压表,第三代产品为 20 世纪 70 年代研制的中、小规模集成电路的 DVM。近年来,国内外相继推出由大规模集成电路 (LSI) 或超大规模集成电路 (VLSI) 构成的数字电压表、智能数字电压表,分别属于第四代、第五代产品。它们不仅开创了电子测量的先河,更以其高准确度、高可靠性、高分辨力、高性价比等优良特性而受到人们的青睐。

第一节 电子测量仪器的分类及型号命名法

随着科学技术的进步和电子工业的发展,大批新型电子测量仪器、仪表如雨后春笋,竞相问世。下面介绍电子测量仪器的分类及型号命名方法。

尽管电子仪器的种类繁多、型号各异,但就其原理和用途而言,大致可分为 42 大类:①频率测量仪(包括频率标准和频率计数器);②时间测量仪;③电阻测量仪(含接地电阻表、绝缘电阻表(兆欧表)等);④电容测量仪(包括测量介质损耗角正切等参数);⑤电感测量仪(含品质因数测量仪、高频 Q 表);⑥温度及温度系数测量仪;⑦接收机测试仪;⑧阻抗测量仪(含阻抗图示仪);⑨电桥;⑩模拟式电压表,模拟式万用表(俗称复用表);⑪数字电压表,数字万用表;⑫功率计;⑬信号发生器(包括函数发生器);⑭示波器(含存储示波器);⑮频率特性测量仪(含扫频仪、频谱分析仪);⑯失真度测量仪;⑰调制度测量仪;⑱放大器;⑲半导体分立器件测试仪;⑳电子管测量仪;㉑集成电路测试仪;㉒稳定电源(包括稳压电源、稳流电源、稳频电源、开关电源、不间断电源(UPS)、程控电源等);㉓电声测量仪器;㉔广播音响测量仪器;㉕电视测量仪器;㉖数字通信设备综合测试仪;㉗红外测试仪;㉘雷达综合测试仪;㉙移动通信设备综合测试仪;㉚载波通信仪表;㉛电磁场强度仪;㉜相位计;㉝衰减器;㉞等效天线;㉟动态分析仪器;㊱数据域分析仪;㊲噪声发生器;㊳无线电干扰场强测量仪、电磁兼容性综合测试仪及附属设备;㊴光学测量仪;㊵安全耐压试验仪器;㊶虚拟仪器;㊷标准源及校准仪。

以上为各种通用电子测量仪器。此外,还有应变仪、转矩仪、流量计、气体分析仪、各种医用仪器等多种专用电子仪器。还有一些综合测试仪可能包括几类仪器的功能,例如 RLC 自动测试仪,这里不再赘述。

根据我国电子测量仪器的型号命名方法,通用电子仪器的型号由以下 4 部分组成:第 1 部分由两个字母或三个字母(汉语拼音,下同)表示仪器的种类;第 2 部分由一个字母或两个字母表示同一类中不同特征的仪器;第 3 部分为一间隔横线;第 4 部分用数字表示序号。

表 1-1-1 列出 24 种电子测量仪器的型号组成及命名方法。

表 1-1-1 电子测量仪器的型号组成

电子仪器种类	型号组成及字母含义			
	第1部分	第2部分	第3部分	第4部分
模拟式复用表(即万用表)	MF(模复)		—	序号
频率计	PJ(频计)		—	序号
电阻电桥	RQ(阻桥)		—	序号
万用电桥	WQ(万桥)		—	序号
功率计	GL(功率)		—	序号
低频信号发生器	XF(信发)	D(低频)	—	序号
高频信号发生器	XF	G(高频)	—	序号
彩色电视信号发生器	DF(电发)		—	序号
示波器	SB(示波)		—	序号
同步示波器	SB	T(同步)	—	序号
脉冲示波器	SB	M(脉冲)	—	序号
二踪示波器	SB	E(二踪)	—	序号
二线示波器	SB	R(二线)	—	序号
直流放大器	FD(放大)	Z(直流)	—	序号
高灵敏度直流放大器	FD	ZG(直高)	—	序号
电视综合测试仪	ZC(综测)	S(视)	—	序号
电子管试验器	GS(管试)		—	序号
晶体三极管测试仪	JS(晶三)		—	序号
电子管特性图示仪	GT(管图)		—	序号
晶体管特性图示仪	JT(晶图)		—	序号
稳压电源	WY(稳压)		—	序号
万用稳压电源	WY	W(万用)	—	序号
电平表	DP(电平)		—	序号
声级计	SJ(声级)		—	序号

下面举几个型号的例子来说明命名方法。

例 1: 仪表型号 MF-18

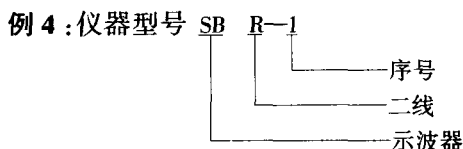
MF — 模拟式复用表(即指针万用表)
 18 — 序号

例 2: 仪器型号 WQ-5A

WQ — 万用电桥
 5A — 序号

例 3: 仪器型号 XF G-7

XF — 信号发生器
 G — 高频
 7 — 序号



需要说明两点:第一,某些国产仪器型号并未严格按上述规定命名(例如SR8双迹示波器);第二,进口或国内组装的仪器仪表大多用英文缩写及数字来命名(例如DT830型数字万用表,8840A型数字万用表)。

第二节 数字仪表的发展趋势

采用新技术、新工艺,由VLSI构成的新型数字仪表及高档智能仪器的大量问世,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仪表的发展趋向。

1. 广泛采用新技术,不断开发新产品

电子技术的进步,往往预示着数字仪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,并迅速转化为生产力。例如,美国福鲁克(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,都为提高数字仪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位数字万用表中,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,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 $\alpha_T < 1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。HP 3458A型数字万用表(DMM)测量直流电压的准确度高达 $\pm 0.00006\%$,按4½位方式工作时的测量速率可达10万次/秒。7081型数字电压表的转换准确度为 $\pm 0.00003\%$,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,已开发的5½位单片智能化A/D转换器、专配微机的4¾位单片数字万用表芯片等,为研制高性价比数字仪表创造了条件。惠普、福鲁克等公司都拥有一批专用集成电路(ASIC)产品,作为开发数字仪表的技术依托和看家本领。美国泰克(TEK)公司推出的万能示波表中,就采用单片示波器专用集成电路。

供智能仪表使用的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,打破了8031统治8位单片机的局面。摩托罗拉公司开发的MC68HC05系列单片机,可广泛用于智能仪器、通信设备和家电产品中。在此基础上,该公司又开发了功能更强的MC68HC08系列8位单片机。8098型16位单片机现已被80251所代替。目前全世界每年销售的单片机数量已达到100亿片。

2. 广泛采用新工艺

新一代数字仪表正朝着标准模块化的方向发展。预计在不久的将来,更多的数字仪表将

由标准化、通用化、系列化的模块所构成,给电路设计、安装调试和维修都带来极大方便。

表面安装技术(SMT)和表面安装元器件(SMD)将获得普遍应用。这项技术被誉为世界电子工艺技术的一项重要突破。所谓表面安装是将微型化的表面安装集成电路(SMIC)和表面安装元器件,用粘贴工艺直接安装在印制板上,再用波峰焊机焊接,由此取代传统的打孔焊接工艺,使印制板安装密度大为增加,可靠性得到明显提高。目前,全世界生产的电子元件中已有50%属于表面安装元器件或组件,SMT正在仪器仪表、计算机和高档家电产品中迅速推广与应用。

进入21世纪后,各类电子元器件正以SMD化为目标,进一步实现小型化、复合化、高准确度、高可靠性。片状金属箔电阻的准确度和电阻温度系数(RTC),将分别提高到 $\pm 0.005\%$ 、 $\pm 1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。薄膜电容将向小型化、高频化和低噪声方向发展,钽电容继续向小型化、大容量和高可靠性方向发展。带温度补偿的超小型石英晶体振荡器以及新型硅振荡器将被推广采用。印制板向多层、薄型、高电路密度方向发展,印制导线宽度和间距有望达到 $50\mu\text{m}$ 。片状阻容网络、LC滤波器、带LED的开关等复合式电子产品也将得到进一步发展。预计2010年全球电子元器件的片状化率可达90%。

3. 多重显示仪表

为彻底解决数字仪表不便于观察连续变化量的技术难题,“数字/模拟条图”双显示仪表已成为国际流行款式,它兼有数字仪表准确度高、模拟式仪表便于观察被测量的变化过程及变化趋势这两大优点。这里讲的模拟条图有两层含义:第一,被测量为连续变化的模拟量;第二,用条图形式来模拟被测量的变化情况。

条图(bargraph)亦称条状图形,也有人称之为条棒或模拟条状显示。模拟条图大致分成3类:①液晶显示器(LCD)条图,呈断续的条状,这种显示器的分辨力高、微功耗,体积小,低压驱动,适合于电池供电的小型化仪表。不足之处是它本身不发光,需借助于背光源才便于夜间观察。目前这种显示器应用较广;②等离子体(PDP)光柱显示器,其优点是自身发光、亮度高、显示清晰、观察距离远、分辨力较高,缺点是驱动电压高、耗电较大;③LED条图(又称LED光柱),它是由多只发光二极管排列而成。这种显示器的亮度高、成本低,但像素尺寸较大、功耗高。数字/液晶条图双显示仪表的典型产品有FLUKE87型 $4\frac{1}{2}$ 位数字/ 4×32 段条图DMM,国产MS9803R型 $3\frac{3}{4}$ 位数字/42段条图DMM。

多重显示仪表是在双显示仪表基础上发展起来的。这类仪表能同时显示3组或3组以上的相关数据,大多配有模拟条图显示。典型产品有VC97型手持式智能DMM,它是国内首创的 $3\frac{3}{4}$ 位带LCD背光源的四重显示仪表,主显示器用以显示测量值,3个辅助显示器分别显示最大值(MAX)、最小值(MIN)、测量时间(从开机起计时),并有42段快速响应的液晶条图,能设定上、下限,带RS-232接口。FLUKE45型多功能测试仪能同时显示被测交流电压值及频率值。

4. 提高安全性

仪器仪表在设计和使用中的安全性,对生产厂家和广大用户都至关重要。一方面厂家必须为仪表设计安全保护电路,并使之符合国际标准(例如美国UL认证、德国GS认证、ISO9001国际质量体系认证);另一方面用户必须安全操作,时刻注意仪表上的各种安全警告指示。仪表的保护电路在于最大限度地减小或防止因误操作而造成的危害。以数字万用表为例,常见的误操作是用电流挡或电阻挡去测量电压。此外,在测试过程中,附近大功率电气

设备的切换或负载变化,均会在仪表输入端产生瞬态过电压。若将高电压、大电流输入到未加保护的仪表,就会产生电弧、火花,很容易使仪表损坏,甚至危及人身安全。常见的保护装置如下:

(1) 过电流保护装置

快速熔丝管 (Fast Fuse)、熔断电阻器、限流电阻。

(2) 过电压保护装置

双向限幅二极管,火花放电器 (SG),半导体放电管,氖管,压敏电阻器 (VSR),瞬态电压抑制器 (TVS),快速晶闸管 (FSCR)。

(3) 电阻挡保护装置

二极管或晶体管保护器,正温度系数热敏电阻 (PTCR)。

手持式 DMM 在外观上亦不断改进,例如具有“三防”(防摔、防尘、防水)功能,增加保护托罩,选用隐埋式插座等。

5. 操作简单化

无按键的智能仪器已经问世,典型产品有比利时的 DSA-720 型智能动态信号分析仪、惠普公司的 6510B 型逻辑分析系统。它们的共同特点是没有按键,利用触摸屏来完成各种复杂的操作和测试工作。对这类仪器而言,键盘已不再是必要的了。

手持式仪表的操作也日趋简单。单刀操作、单按钮手动量程数字万用表是优选方案之一。对于自动量程数字万用表,操作键也不断减少。为便于单手拇指操作,福鲁克公司使用一只具有定时功能的按钮。根据按下时间的长短,可选择不同的功能并产生声、光提示信号。

第三节 数字电压表的特点

数字电压表具有以下十大特点:

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。数字电压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。

新型数字电压表还增加了标识符显示功能,包括测量项目符号、单位符号和特殊符号。而数字/模拟条图双显示数字电压表将数字显示与高分辨率模拟条图显示集于一身,兼有 DVM 与模拟电压表的优点,为用 DVM 完全取代模拟电压表创造了条件。

智能数字电压表均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

显示位数通常为 2 位~8½ 位。具体讲,有 2 位、2½ 位、3 位、3½ 位、3¾ 位、3¼ 位、4½ 位、4¾ 位、5½ 位、6½ 位、7½ 位、8½ 位共 12 种。判定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数字为分子,用满量程时最高位数字做分母。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 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电压表。

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:

$$\Delta U = \pm (a\% U_x + b\% U_M) \quad (1-3-1)$$

$$\Delta U = \pm (a\% U_x + n) \quad (1-3-2)$$

式 (1-3-1) 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 (1-3-2) 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, 就变成了式 (1-3-1)。可见上述二式是完全等价的。数字电压表的准确度远优于模拟电压表。例如, $3\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位 DVM 的准确度分别可达 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.02\%$ 。

4. 分辨率高

数字电压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 DVM 的最高分辨力分别为 $100\mu\text{V}$ 、 $10\mu\text{V}$ 、 1nV 。DVM 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 DVM 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, 从设计数字电压表的角度看, 分辨力应受准确度的制约, 并与之相适应。

5. 测量范围宽

多量程数字电压表一般可测 0~1000V 直流电压, 配上高压探头还可测量上万伏的高压。多量程交流数字电压表可测量 0~700V (或 750V) 的正弦电压有效值, 而真有效值数字电压表能准确测量任意波形的电压有效值。

6. 扩展能力强

在数字电压表的基础上、还可扩展成各种通用及专用数字仪表、数字万用表和智能仪器, 以满足不同的需要。

7. 测量速率快

数字电压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, 其倒数是测量周期。 $3\frac{1}{2}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位 DVM 的测量速率分别为每

秒几次、每秒几十次。 $8\frac{1}{2}$ 位 DVM 采用降位的方法, 最高测量速率可达 10 万次/秒。

8. 输入阻抗高

数字电压表具有很高的输入阻抗, 通常为 $10 \sim 10000\text{M}\Omega$, 最高可达 $1\text{T}\Omega$ 。在测量时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

新型数字电压表普遍采用 CMOS 大规模集成电路, 整机功耗很低。

10. 抗干扰能力强

$5\frac{1}{2}$ 位以下的 DVM 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、 $80 \sim 120\text{dB}$ 。高档 DVM 还采用数字滤波、浮地保护等先进技术, 进一步提高了抗干扰能力, CMR 可达 180dB。

第四节 国内外 2 位 $\sim 5\frac{1}{2}$ 位单片 A/D 转换器综述

A/D 转换器是数字电压表及数字万用表的“心脏”。下面首先介绍单片 A/D 转换器的分类, 然后给出单片 A/D 转换器基准电压与量程的对应关系。

一、单片 A/D 转换器的分类

所谓“单片 A/D 转换器”, 是采用 CMOS 工艺将 DVM 的基本电路 (含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。它们均属于大规模集成电路, 能以最简方式构成 DVM、DPM (数字面板表)。若对其外围电路进行扩展, 增加各种功能转换器, 还可构成 DMM。

按照显示位数来划分, 单片 A/D 转换器主要有 7 种: 2 位、 $2\frac{1}{2}$ 位、3 位、 $3\frac{1}{2}$ 位、 $3\frac{3}{4}$ 位、 $4\frac{1}{2}$ 位、 $5\frac{1}{2}$ 位。若按智能化程度来区分, 又可分为两种: 纯硬件电路、带 μP 的电路。

目前国内外生产的单片 A/D 转换器已达数百种, 表 1-4-1 列出了 28 种典型产品的主要技术指标。其中, NJU 为日本无线电 (JRC) 公司产品。ICL 系列和 HI、CA 系列为美国英特西尔 (Intersil) 公司产品, 该公司现已从哈里斯 (Harris) 公司中分出来。MC14433 为摩托罗拉 (Motorola) 公司产品。TC811 和 TC831 均为微芯片 (Microchip) 公司的产品, 原泰柯姆 (Telcom) 公司现已并入 Microchip 公司。MAX 系列为马克西姆 (MAXIM) 公司产品, ADD 为模拟器件公司 (ADI) 产品。

表 1-4-1 28 种单片 A/D 转换器的主要技术指标

产品型号	显示位数/位	最大显示值	适配显示器	转换速率 (次/秒)	工作电源	封装 形式 ^①	生产企业
NJU9252	2	± 99	LED	1	+5V	DIP-14	JRC 公司
TSC806	$2\frac{1}{2}$	± 199	LCD	—	+9V	—	Teledyne 公司
TSC807	$2\frac{1}{2}$	± 199	LED	—	$\pm 5\text{V}$	—	Teledyne 公司
CA3162E	3	$-99 \sim +999$	LED	4~96	+5V, 17mA	PDIP-16	Intersil 公司
ICL7106	$3\frac{1}{2}$	± 1999	LCD	0.1~15	+9V, 1.8mA	DIP-40	Intersil 公司
ICL7107	$3\frac{1}{2}$	± 1999	LED	0.1~15	$\pm 5\text{V}$, 1.8mA	DIP-40	Intersil 公司
ICL7116	$3\frac{1}{2}$	± 1999	LCD	0.1~15	+9V, 1.8mA	DIP-40	Intersil 公司