

中外数字万用表电路原理与维修技术

ZhongwaiShuziWanyongbiaodianluyuanliyuweixiujishu

沙占友 李学芝 著

人民邮电出版社

登记证号(京)143号

内 容 提 要

本书全面、深入、系统地介绍了中外数字万用表的电路工作原理与维修技术。

全书共四章。第一章为数字万用表的基本原理;第二章介绍 A/D 转换器及单片数字万用表集成电路;第三章讲述数字万用表的调试方法;第四章是全书的重点,深入地讲述了 50 种数字万用表及部分专用数字仪表(数字钳形表和数字电感电容表)等的电路工作原理与维修技术。书末还附有 11 种其它型号的数字仪表电路图。

本书内容丰富,深入浅出,图文并茂,是一本实用性较强的工具书。可供广大电子技术人员和电子爱好者阅读,并可作为大专院校有关专业学员的教学参考书。

中外数字万用表电路原理与维修技术

妙占友 李学芝 著

责任编辑 李少民

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街 27 号

冶金印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本:787×1092 1/16 1993年12月 第一版

印张:26.5 页数:212 1993年12月 北京第1次印刷

字数:661千字 插页:11 印数:1—11000册

ISBN7-115-05117-8/TN. 650

定价:20.00元

前 言

数字万用表是近年来涌现出的新型、通用仪表。数字万用表正得到迅速普及和广泛应用,在电子测量、家用电器维修等诸多领域中显示出了强大的生命力,并以其独具的优点受到人们的青睐。90年代是数字万用表蓬勃发展的新时期,用它来逐步取代传统的模拟式(即指针式)万用表,已成为科技发展的必然趋势。

当前,我国数字万用表的社会拥有量已达数百万块(台),伴随而来的维修问题也日显突出。由于国内至今尚未出版一部专门介绍各种数字万用表实用维修技术的书籍,而许多使用人员和维修单位又缺乏相应的技术资料,致使仪表发生故障后不能及时得到修复。广大电子技术人员、维修人员和电子爱好者迫切需要了解并掌握这方面的新技术。为此,现将我们在长期从事仪器仪表研究工作中所积累的经验及部分科研成果加以系统总结,并参考国内外仪器仪表和集成电路生产厂家提供的最新资料,撰写成此书,献给广大读者。

目前国内外生产的数字万用表型号多达几百种,本书仅从中选取具有代表性、国内常见的以及最新推出的产品加以介绍。全书共介绍50种型号的数字万用表及部分专用数字仪表的整机电路原理与维修技术。书末还给出了11种其它型号的数字万用表电路图所介绍的专用数字仪表包括由单片A/D转换器构成的数字钳形表、数字电感电容表、数字温度表、数字转速表和数字压力表,这类仪表在工业测量等领域用途甚广。

本书由沙占友执笔,李学芝同志参加了第一章、第三章的撰写工作。沙江、吴光希、赵星源、欧阳欣、林建琪、徐凌、许志浩、张薇、刘之卿、吴岚、陈思雨、杨瑛、沈宏斌同志为本书撰写提供了帮助。

由于作者水平有限,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

第一章 数字万用表基本原理	(1)
§ 1.1 数字万用表的主要特点	(1)
§ 1.2 数字万用表及其功能转换器的分类	(3)
§ 1.3 平均值响应的 AC/DC 电压转换器	(4)
§ 1.4 真有效值-直流(TRMS/DC)电压转换器	(5)
§ 1.5 高阻-电压(HI Ω /V)转换器	(7)
§ 1.6 采用脉宽调制法的电容量-电压(C/V)转换器	(8)
§ 1.7 采用容抗法的电容量-电压(C/V)转换器	(8)
§ 1.8 由热电偶和 PN 结构成的温度-电压(T/V)转换器	(9)
§ 1.9 频率-电压(f/V)转换器	(10)
§ 1.10 具有声、光报警功能的蜂鸣器电路	(11)
§ 1.11 方波信号发生器	(12)
§ 1.12 自动关机电路	(13)
第二章 单片 A/D 转换器及数字万用表集成电路	(14)
§ 2.1 常用单片 A/D 转换器综述	(14)
§ 2.2 ICL7106/ICL7126/ICL7136 型 3 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	(17)
一、ICL7106/ICL7126/ICL7136 的性能特点	(17)
二、管脚功能	(18)
三、ICL7106 的工作原理	(19)
四、ICL7106 的典型应用	(22)
§ 2.3 ICL7107/ICL7137 型 3 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	(23)
一、ICL7107/ICL7137 的性能特点	(23)
二、ICL7107/ICL7137 的工作原理	(24)
三、ICL7107/ICL7137 的典型应用	(24)
§ 2.4 MC14433 型 3 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	(25)
一、MC14433 的性能特点	(25)
二、MC14433 的管脚功能	(26)
三、MC14433 的工作原理	(26)
四、MC14433 的典型应用	(28)
§ 2.5 ICL7135 型单片 4 $\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器	(29)
一、ICL7135 的性能特点	(29)
二、ICL7135 的管脚功能	(30)
三、ICL7135 的工作原理	(31)

四、ICL7135 的典型应用	(32)
§ 2.6 ICL7129 型单片 4 ½ 位 A/D 转换器	(32)
一、ICL7129 的主要特点	(32)
二、ICL7129 的管脚功能	(34)
三、ICL7129 的工作原理	(35)
四、ICL7129 的典型应用	(37)
§ 2.7 ICL7139 型单片 3 ¾ 位数字万用表集成电路	(37)
一、ICL7139 的性能特点	(37)
二、ICL7139 的管脚功能	(38)
三、ICL7139 的工作原理	(39)
四、ICL7139 的典型应用	(40)
§ 2.8 TSC815 型单片 3 ½ 位数字万用表集成电路	(41)
一、TSC815 的性能特点	(41)
二、TSC815 的管脚功能	(42)
三、TSC815 的工作原理	(43)
四、TSC815 的典型应用	(44)
§ 2.9 TSC818A/D 型双显示数字万用表集成电路	(46)
一、TSC818 系列产品的性能特点	(46)
二、TSC818 系列产品的管脚功能	(47)
三、A/D 转换器的工作原理	(48)
四、双显示数字万用表的典型电路	(51)
第三章 数字万用表的调试方法	(53)
§ 3.1 调试及检修数字万用表的注意事项	(53)
一、环境要求	(53)
二、调试用的标准源	(53)
三、调试要求和原则	(53)
四、检修注意事项	(54)
§ 3.2 单片 A/D 转换器的功能检查	(54)
一、ICL7106 型 A/D 转换器的功能检查	(55)
二、ICL7107 型 A/D 转换器的功能检查	(55)
三、MC14433 型 A/D 转换器的功能检查	(56)
§ 3.3 数字万用表的调试方法	(56)
一、直流电压档(DCV)的调试	(56)
二、交流电压档(ACV)的调试	(57)
三、直流电流档(DCA)的调试	(57)
四、交流电流档(ACA)的调试	(57)
五、电阻档(Ω)的调试	(57)
§ 3.4 数字钳形表的调试方法	(57)
一、调试用的仪器设备	(58)

二、直流电压档(DCV)的调试	(58)
三、交流电压档(ACV)的调试	(58)
四、电阻档(Ω)的调试	(58)
五、交流电流档(ACA)的调试	(59)
六、高阻档的调试	(59)
第四章 中外数字万用表电路原理与维修技术	(60)
§ 4.1 DT-1 型 3 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表	(60)
一、性能简介	(60)
二、DT-1 型数字万用表的电路分析	(61)
三、调试方法	(69)
四、常见故障检修方法	(70)
§ 4.2 DT-2 型 3 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表	(72)
一、性能简介	(72)
二、DT-2 型数字万用表的电路分析	(73)
三、调试方法	(79)
四、常见故障检修方法	(80)
§ 4.3 DT810/CM2500/DT2500 型 3 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表	(81)
一、性能简介	(81)
二、DT810 型数字万用表的电路分析	(85)
三、调试方法	(92)
四、常见故障检修方法	(93)
§ 4.4 DT830 型 3 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表	(94)
一、性能简介	(94)
二、DT830 型数字万用表的电路分析	(97)
三、调试方法	(108)
四、常见故障检修方法	(109)
§ 4.5 DT830A/DT840 型 3 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表	(114)
一、性能简介	(114)
二、DT830A/DT840 型数字万用表的电路分析	(116)
三、调试方法	(125)
四、常见故障检修方法	(126)
§ 4.6 DT830B/CM2300 型 3 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表	(128)
一、性能简介	(128)
二、DT830B 型数字万用表的电路分析	(129)
三、调试方法	(133)
四、常见故障检修方法	(134)
§ 4.7 DT830C/DT830D/CM2400 型 3 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表	(134)
一、性能简介	(135)
二、DT830C 型数字万用表的电路分析	(136)

三、调试方法	(142)
四、常见故障检修方法	(143)
§ 4.8 DT840D/CM3900A 型 3 ½ 位数字万用表	(144)
一、性能简介	(144)
二、DT840D/CM3900A 型数字万用表的电路分析	(147)
三、调试方法	(156)
四、常见故障检修方法	(157)
§ 4.9 DT860 型 3 ½ 位自动量程数字万用表	(158)
一、性能简介	(158)
二、DT860 型数字万用表的电路分析	(159)
三、调试方法	(163)
四、常见故障检修方法	(164)
§ 4.10 DT860B 型 3 ½ 位自动量程数字万用表	(165)
一、性能简介	(165)
二、DT860B 型数字万用表的电路分析	(168)
三、常见故障检修方法	(179)
§ 4.11 DT890/DT890A 型 3 ½ 位数字万用表	(181)
一、性能简介	(181)
二、DT890/DT890A 型数字万用表的电路分析	(184)
三、调试方法	(196)
四、常见故障检修方法	(197)
§ 4.12 DT890B 型 3 ½ 位数字万用表	(200)
一、性能简介	(200)
二、DT890B 型数字万用表的电路分析	(202)
三、功能选择器的构造及组装方法	(215)
四、调试方法	(217)
五、常见故障检修方法	(218)
§ 4.13 DT890C 型 3 ½ 位数字万用表	(219)
一、性能简介	(219)
二、DT890C 型数字万用表的电路分析	(222)
三、调试方法	(230)
四、常见故障检修方法	(232)
§ 4.14 3211B 型笔式 3 ¾ 位自动量程数字万用表	(234)
一、性能简介	(234)
二、3211B 型数字万用表的电路分析	(235)
三、给 3211B 型表增设 DCA、ACA 档的方法	(243)
四、调试方法	(244)
五、维修要点及常见故障分析	(245)
§ 4.15 DT950 型 3 ½ 位自动量程式数字/模拟条图双显示万用表	(246)
一、性能简介	(246)

二、DT950 型数字万用表的电路分析	(249)
三、调试方法	(253)
四、关键元器件的选择与代换	(254)
§ 4.16 DT960T/CM3310/DT960 型 3 $\frac{1}{2}$ 位自动量程式数字/模拟条图双显示 万用表	(255)
一、性能简介	(255)
二、操作方法	(257)
三、DT960T 型数字万用表的电路分析	(259)
四、调试方法	(267)
五、常见故障检修方法	(268)
§ 4.17 DT930F/DT930F ₊ /DT930FG 型 4 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表	(270)
一、性能简介	(270)
二、DT930F ₊ 型数字万用表的电路分析	(272)
三、调试方法	(285)
四、关键元器件的选择与代换	(287)
五、常见故障检修方法	(288)
§ 4.18 DT980/CM4400/DT980 改进型 4 $\frac{1}{2}$ 位真有效值数字万用表	(289)
一、性能简介	(289)
二、DT980 型数字万用表的电路分析	(291)
三、测量交流真有效值(AC TRMS)的几种方法	(301)
四、调试方法	(303)
五、常见故障检修方法	(304)
§ 4.19 DM6016 型 3 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表	(305)
一、性能简介	(305)
二、DM6016 型数字万用表的电路分析	(307)
三、调试方法	(307)
§ 4.20 DM6018 系列 3 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表	(309)
一、性能简介	(310)
二、DM6018 型数字万用表的电路分析	(310)
三、调试方法	(319)
四、常见故障检修方法	(320)
§ 4.21 DM8045A/DM8145A 型 4 $\frac{1}{2}$ 位台式数字万用表	(320)
一、性能简介	(321)
二、DM8145A 型数字万用表的电路分析	(322)
三、调试方法	(330)
四、常见故障检修方法	(331)
§ 4.22 RD-1 型 3 $\frac{1}{2}$ 位数字式多用电阻测量仪	(332)
一、性能简介	(332)
二、RD-1 型数字式多用电阻测量仪的工作原理	(333)
三、调试方法	(341)

§ 4.23	DM6015/DM6015A/MIC2060PA 型 3 ½ 位数字钳形表	(341)
一、性能简介	(342)	
二、DM6015 型数字钳形表的电路分析	(342)	
三、调试方法	(348)	
§ 4.24	DM6266/DM6266 ₊ 型 3 ½ 位数字钳形表	(348)
一、性能简介	(348)	
二、工作原理	(350)	
三、调试方法	(354)	
§ 4.25	DM6261 型绝缘测试附加器	(354)
一、性能简介	(354)	
二、DM6261 型绝缘测试附加器的电路分析	(355)	
三、调试方法	(360)	
§ 4.26	DM6902 型 3 ½ 位数字温度表	(360)
一、性能简介	(361)	
二、DM6902 型数字温度表的电路分析	(361)	
三、调试方法	(365)	
四、常见故障检修方法	(367)	
§ 4.27	ST89 型 3 ½ 位数字温度表	(367)
一、性能简介	(367)	
二、ST89 型数字温度表的电路分析	(368)	
三、调试方法	(374)	
四、常见故障检修方法	(374)	
§ 4.28	DM6013A 型 3 ½ 位数字电容表	(375)
一、性能简介	(375)	
二、DM6013A 型数字电容表的电路分析	(377)	
三、调试方法	(381)	
§ 4.29	DM6234P 型 5 位数字式智能光电转速表	(382)
一、性能简介	(382)	
二、DM6234P 型智能光电转速表的电路分析	(383)	
三、常见故障检修方法	(383)	
§ 4.30	SP89 型 3 ½ 位数字压力表	(385)
一、性能简介	(385)	
二、SP89 型数字压力表的电路分析	(386)	
三、常见故障检修方法	(395)	
附录一	本书所用集成电路的中外型号对照	(397)
附录二	国内外数字万用表主要生产厂家及典型产品型号	(399)
附录三	11 种数字仪表电路图	(400)
一、DM6025 型 3 ½ 位数字万用表	(400)	
二、DM6017 型 4 ½ 位数字万用表	(402)	
三、DM801 型 3 ½ 位数字温度表	(403)	

四、T7106 型 3 ½ 位数字温度表	(404)
五、CM8601 型 3 ½ 位数字电感电容表	(405)
六、DT2232D 型 3 ½ 位数字式光电转速表	(406)
七、DM6301 型 3 ½ 位数字式光电转速表	(407)
八、DT2234 型 5 位数字式光电转速表	(408)
九、LX101 型 3 ½ 位数字照度计	(409)
十、SF-2 型 3 ½ 位数字负荷表	(410)
十一、3210 型 3 ½ 位数字钳形表	(411)
参考文献	(412)

第一章 数字万用表基本原理

本章重点介绍数字万用表的主要特点,基本工作原理以及新型功能转换器的电路设计。

§ 1.1 数字万用表的主要特点

数字万用表亦称数字多用表(DMM),其主要特点是显示直观、读数准确、准确度高、分辨力强、功能完善、性能稳定、过载能力强、耗电省、体积小、易于携带。

1. 显示直观,读数准确

数字万用表采用数字化测量及数显技术,读数具有客观性和唯一性,测量结果一目了然,不存在模拟式(即指针式)万用表的读数误差(视差)。高档智能化数字万用表还可以配微型计算机、打印机,按照规定的格式将数据打印出来。

2. 显示位数及显示特点

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。

判定数字仪表的位数有两条原则:(1) 能显示 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,而用满量程时最高位的数字作分母。举例说明 $3\frac{1}{2}$ 位数字仪表的最大显示值为 ± 1999 ,满量程计数值为 2000,这表明在其最大显示值中最高位的数字为 1(作分子),满量程时最高位数字为 2(作分母),因此最高位是半位,记作 $\frac{1}{2}$ 位,它只能显示 0 或 1。其余三位均是整数位。

$3\frac{2}{3}$ 位(读作三又三分之二位)的最高位只能显示 0~2 的数字,故最大显示值为 ± 2999 。在同样情况下它们的量程比 $3\frac{1}{2}$ 位数字万用表扩展 50%。需要说明的是,目前也有人将 $3\frac{2}{3}$ 位仪表仍称作 $3\frac{1}{2}$ 位仪表,但必须指明其量程扩展了 50%,以免将二者混淆。

$3\frac{3}{4}$ 位(读作三又四分之三位)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 $3\frac{1}{2}$ 位高一倍。

$4\frac{1}{2}$ 位仪表的最大显示值为 ± 19999 ,余者类推。

普及型数字万用表一般属于 $3\frac{1}{2}$ 位仪表。在多功能型数字万用表中,以 $3\frac{1}{2}$ 位居多,但也有 $3\frac{2}{3}$ 位和 $3\frac{3}{4}$ 位的。 $4\frac{1}{2}$ 位、 $4\frac{3}{4}$ 位数字万用表分袖珍式与台式两种。 $5\frac{1}{2}$ 位以及 $5\frac{1}{2}$ 位以上的均属于台式智能数字万用表。

新型数字万用表采用字高 18mm 或 25mm 的大屏幕液晶显示器,还增加了标志符显示功能,可以显示单位符号、测量项目符号以及其他特殊符号,为测试人员提供了方便。

最近问世的“数字/模拟条图”双显示数字万用表,克服了数字仪表不能反映被测电量连续变化过程及变化趋势之不足。这种仪表兼有数字仪表和模拟仪表的优点,为用数字万用表完全取代模拟式万用表创造了条件。

3. 准确度高

数字万用表的测量误差通常用准确度来表示,准确度愈高,测量误差愈小。准确度有两种表示方法,公式分别为

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

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

式(1.1.1)中,RDG表示读数值,FS表示满度值。公式中的第一项代表仪表的综合误差,第二项则代表量化误差,即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,就变成式(1.1.1),因此二式是等价的。

举例说明:DT980型4½位数字万用表直流2V档的准确度为 $\pm(0.05\% \text{RDG} + 3 \text{字})$ 。其中3个字的误差折合成满量程的 $3/20000 = 0.015\%$,因此,该仪表的准确度亦可表示成 $\pm(0.05\% \text{RDG} + 0.015\% \text{FS})$,式中的 $\text{FS} = 20000$ 。本书介绍的数字万用表,其准确度一般用式(1.1.2)来表达。

数字万用表的准确度远优于模拟式万用表的准确度。以直流电压档的基本误差为例,模拟式万用表通常为 $\pm 2.5\%$,而3½位DMM为 $\pm 0.5\%$,8½位DMM则小至 $\pm 0.00003\%$!

4. 高分辨力

数字万用表最低电压量程上末位1个字所对应的电压值,叫作仪表的分辨力。它反映仪表灵敏度的高低,并且随着显示位数的增加而提高。需要指出,分辨力与准确度属于两个不同的概念,前者表征仪表对微小电量的“识别”能力,即“灵敏性”;后者反映测量结果与真值的一致程度,即“准确性”。严格讲,分辨力应受准确度的制约,有多高的准确度,才有与之相适应的分辨力。因此,任意增加显示位数表提高分辨力的方案是不可取的。

数字万用表的分辨力亦可用分辨率表示。分辨率是指所能显示的最小数字(零除外)与最大数字之比,通常用百分数表示。例如,3¾位数字万用表可显示的最小数字为1,最大数字为3999,故分辨率为 $1/3999 \approx 0.025\%$ 。

5. 测试功能及保护功能完善

数字万用表一般可以测量直流电压(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}),有些仪表还能测量电容量(C)、电导(nS)、温度(T)。仪表设有低电压检测(L.O BAT)功能,还能检查线路通断(蜂鸣器档BZ)。新型数字万用表增加了读数保持(HOLD)、真有效值(TRMS)测量、相对值(REL Δ)测量、逻辑电平测试(LOGIC)、自动关机(AUTO OFF POWER)等功能。

智能数字万用表具有数据处理、数据输出、多种参数测试、存储、故障自检等功能。

数字万用表内部有较完善的过压保护、过流保护电路,只要不超过规定的极限值,即使发生误操作(例如用电阻档去测量220V交流电压),一般也不会损坏A/D转换芯片。

6. 测量速率快

测量速率是指仪表在每秒钟内对被测电量的测量速率,其单位是“次/s”。3½位、4½位数

字万用表的测量速率大多为 2~5 次/s。4 $\frac{3}{4}$ 位仪表可达 20 次/s。5 $\frac{1}{2}$ 位~8 $\frac{1}{2}$ 位数字万用表可达几十次/s,甚至 1000 次/s。HP3458A 型 8 $\frac{1}{2}$ 位 DMM 在 4 $\frac{1}{2}$ 位方式下测量速率高达 10 万次/s。

也有的数字万用表是用测量周期来表示测量的快慢。完成一次测量过程的时间称作测量周期,单位是 s。显然,测量周期和测量速率呈倒数关系,测量速率愈高,测量周期就愈短。

7. 抗干扰能力强

数字万用表普遍采用积分式(包括双积分式、多重积分式)A/D 转换器,能有效地抑制串模干扰。此外,对于共模干扰的抑制能力也很强,中、低档数字万用表的共模抑制比(CMRR)可达 86~120dB,高档数字万用表则为 100~160dB。

8. 价格不断降低,应用日益普及

目前国产数字万用表中,以 DT830B 型的售价为最低,完全可以同模拟万用表竞争。随着国内电子工业的发展,数字万用表的成本还将逐步降低,而性能会不断提高。可以断言,用数字万用表取代模拟万用表是电子科技发展的必然趋势。

9. 便于装配和维修

由于数字万用表普遍采用大规模集成电路(LSI),因此,其外围电路比较简单,给装配及维修工作提供了便利条件。

§ 1.2 数字万用表及其功能转换器的分类

1. 数字万用表的分类

数字万用表的种类繁多、型号各异,大致可作以下分类:

(1) 普及型数字万用表

普及型数字万用表的电路简单、功能较少、价格较低。除测量 V、A、 Ω 之外,一般还设有二极管档、蜂鸣器档,有的还能测量晶体管的 h_{FE} 。

普及型数字万用表的典型产品有 DT810、DT830、DT830A、DT830B、DT830C、3211B、DT910。

(2) 多功能型数字万用表

这类表一般设有测温档、电容档、频率档、电导档,具有读数保持功能。典型产品有 DT890C、DT890C₊、DT890D、DT970、DT930、DT930F₊、DT980、DT1000 型。后面 4 种型号均属于 4 $\frac{1}{2}$ 位 DMM。

(3) 多重显示仪表

多重显示仪表是国际 90 年代的流行款式,它能同时显示两个或两个以上数据(含条图值)。以数字/模拟条图双显示仪表为例,它具有 3 $\frac{1}{2}$ 位数显和 41 段模拟条图显示两部分,利用数显部分可准确读出被测电量的数值,模拟条图则用以指示变化趋势。典型产品有 Fluke 公司生产的 73、75、77、87、88 型数字万用表,国内产品有 DT950、DT960、DT960T、BY1935、SIC6010、SIC6030 型。

(4) 智能数字万用表

此类仪表的典型产品有胜利牌 VC8345(4 $\frac{3}{4}$ 位), 美国 Fluke 公司生产的 8840A 型(5 $\frac{1}{2}$ 位)、8500A 型(6 $\frac{1}{2}$ 位), 美国 HP 公司生产的 HP34401A 型(6 $\frac{1}{2}$ 位)、HP3458A 型(8 $\frac{1}{2}$ 位), 英国 Solartron 公司生产的 7081 型(8 $\frac{1}{2}$ 位)。仪表内部带 4 位、8 位或 16 位微处理器, 具有 RS-232 或 IEEE-488 接口, 能直接配计算机、打印机。

(5) 数字式专用表

典型产品有 DM6015 型数字钳形表、DM6902 型数字温度表、DM6013A 型数字电容表、DM62434 型数字电感电容表、DM6234P 型数字式智能光电转速表、LX101 型数字照度计、IR-0512L 型红外测温仪等。

2. 功能转换器的分类

数字万用表是在直流数字电压表(DVM)的基础上扩展而成的。为了测量交流电压、电流、电阻、电容、频率、二极管正向压降 V_F 、晶体管放大系数 h_{FE} 等, 必须给 DVM 增加相应的功能转换器, 将被测电量转换成直流电压信号, 再由 A/D 转换器转换成数字量并以数字形式显示出来。

功能转换器的种类很多, 主要包括:

- (1) 平均值响应的交流-直流(AC/DC)转换器;
- (2) 真有效值-直流(TRMS/DC)转换器;
- (3) 电流-电压(I/V)转换器;
- (4) 比例法电阻-电压(Ω/V)转换器;
- (5) 高阻-电压(HI Ω/V)转换器;
- (6) 电导-电压(G/V)转换器;
- (7) 二极管正向压降-电压(V_F/V)转换器;
- (8) 晶体管电流放大系数-电压(h_{FE}/V)转换器;
- (9) 脉宽调制法电容量-电压(C/V)转换器;
- (10) 容抗法电容量-电压(C/V)转换器;
- (11) 电阻比(R_x/R_0)转换器;
- (12) 由热电偶或 PN 结构成的温度-电压(T/V)转换器;
- (13) 由集成温度传感器构成的温度-电压(T/V)转换器;
- (14) 频率-电压(f/V)转换器;
- (15) 逻辑电平检测电路;
- (16) 检测线路通断的电路;
- (17) 电池低电压检测电路;
- (18) 电池测试电路;
- (19) 自动关机电路;
- (20) 方波信号发生器。

§ 1.3 平均值响应的 AC/DC 电压转换器

简易型数字万用表(例如 DT810、DT830B、DT830C)利用二极管作半波整流, 构成 AC/

DC 转换器。但二极管存在非线性,降低了交流电压档的准确度。绝大多数的数字万用表采用线性整流器,以提高测量交流电压的准确度和灵敏度。由运算放大器和二极管组成半波线性整流电路,能使输出电压的平均值 $\bar{V}_0$ 与输入交流电压的有效值 V_1 (RMS)严格成正比。电路具有平均值响应特性。

具有平均值响应的 AC/DC 转换器典型电路如图 1.3 所示。利用 TL062 型双运放中的一组运放($\frac{1}{2}$ TL062)和二极管 D_3 作半波线性整流,再经过滤波电路获得平均值电压 $\bar{V}_0$ 。为提高 AC/DC 转换器的输入阻抗,减小对信号的衰减, $\frac{1}{2}$ TL062 接成同相放大器。 R_1 是输入电阻, R_2 和 R_3 为负反馈电阻。取 $R_1=R_2=R_3=100\text{k}\Omega$ 时,运放的电压放大倍数恰为

$$K = (1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1}) = (1 + \frac{100\text{k} + 100\text{k}}{100\text{k}}) = 3(\text{倍})$$

RP 是交流电压档的校准电位器,调整 RP,可使整个 AC/DC 转换器的电压放大倍数为 2.22 倍,仪表直接显示出被测正弦交流电压的有效值。

C_1 是频率补偿电容, C_3 和 C_4 为隔直电容。 D_1 和 C_2 用以减小非线性失真。 D_2 是保护二极管。正半周时 D_3 导通, D_2 截止,信号的流程为: $\frac{1}{2}$ TL062 $\rightarrow C_3 \rightarrow D_3 \rightarrow R_4 \rightarrow R_5 \rightarrow \text{RP} \rightarrow \text{COM}$ (模拟地);负半周时 D_3 截止, D_2 导通,信号沿下述途径泄放: $\text{COM} \rightarrow \text{RP} \rightarrow R_5 \rightarrow D_2 \rightarrow C_3 \rightarrow \frac{1}{2}$ TL062。平滑滤波器由 R_6 、 C_5 构成,可将整流后的脉动直流电压变成平均值电压 $\bar{V}_0$,送至数字电压表。

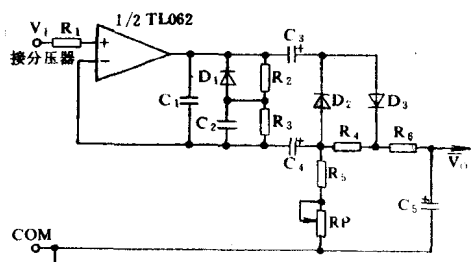


图 1.3 平均值响应的 AC/DC 转换器典型电路

需要说明两点:

(1) 图 1.3 所示 AC/DC 转换电路,仅能测量 200mV(RMS)以下的交流电压,欲构成多量程交流数字电压表,需在 AC/DC 转换器的前级增加分压器。

(2) TL062 亦可改用 CA3140 型高输入阻抗运算放大器。但这里选用一片 TL062 型双运放,因为剩下的一组运放还可作其他用途,例如构成蜂鸣器电路中的电压比较器。目的是提高芯片的利用率和降低电路成本。

§ 1.4 真有效值-直流(TRMS/DC)电压转换器

交流信号电压的主要参数有电压有效值(V_{RMS})、平均值($\bar{V}$)和峰值(V_P)。其中电压有效值能够反映被测信号能量的大小,因此测量有效值比平均值和峰值更有用。

传统的数字式和模拟式万用表的交流电压档均属于平均值仪表,其工作原理是利用平均值 AC/DC 转换器获得 $\bar{V}$,再根据正弦波有效值与平均值的确定关系,使仪表显示出有效值 V_{RMS} 。

正弦波的波形因数表达式为

$$K_f = \frac{V_{\text{RMS}}}{\bar{V}} = 1.111 \quad (1.4.1)$$

即

$$V_{\text{RMS}} = 1.111 \bar{V} \quad (1.4.2)$$

而波峰因数的定义为

$$K_P = \frac{V_P}{V_{RMS}} \quad (1.4.3)$$

式(1.4.1)和式(1.4.2)仅适合于不失真的正弦波。倘若被测正弦波存在失真,或者被测对象为非正弦波(例如方波、矩形波、三角波等),上述公式就不再成立, K_I 、 K_P 之值需作相应改动。显见,若用平均值仪表去测量失真的正弦波或非正弦波,势必引起测量误差,这正是平均值仪表的固有缺陷。

为满足现代电子测量之需要,真有效值数字万用表目前正在国内外获得迅速发展。所谓真有效值是“真正有效值”之意,其英文缩写为 TRMS,亦称真均方根值。众所周知,交流电压有效值的定义式为

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (1.4.4)$$

其近似公式为

$$V_{RMS} = \sqrt{\overline{u^2}} \quad (1.4.5)$$

分析式(1.4.5)可知,利用电路对输入电压进行“平方→取平均值→开平方”运算,即可得到交流电压的有效值。因为它是根据定义式求得的,故称之为真有效值 V_{TRMS} 。真有效值仪表的最大优点是能够精确测量各种电压波形的有效值,而不必考虑波形参数以及失真度的大小。换言之,真有效值仪表具有准确度高与测量面广这两大优点,乃是平均值仪表无法比拟的。

表 1.4 列出真有效值仪表与平均值仪表在测量不同电压波形时的误差比较。平均值仪表相对于真有效值仪表的测量误差为

表 1.4 真有效值仪表与平均值仪表测量误差之比较

被测波形	波峰因数 K_P	波形因数 K_I	真有效值	平均值 (或均绝值*)	平均值仪表 的读数**	相对误差 (%)
正弦波	1.414	1.111	$0.707V_P$	$0.637V_P$	$0.707V_P$	0
半波整流波	2	1.571	$0.5V_P$	$0.318V_P$	$0.353V_P$	-29.4
方波 ($D=50\%$)	1	1	V_P	V_P	$1.111V_P$	-11.1
矩形波 ($D=25\%$)	2	2	$0.5V_P$	$0.25V_P$	$0.277V_P$	-44.6
三角波	1.732	1.155	$0.577V_P$	$0.5V_P$	$0.555V_P$	-3.8
锯齿波	1.732	1.155	$0.577V_P$	$0.5V_P$	$0.555V_P$	-3.8

* 因方波和三角波的平均值为零,故改用均绝值表示。

** 平均值仪表的读数等于 1.111 乘以平均值(或均绝值)。

$$\gamma = \frac{\text{平均值仪表读数} - \text{真有效值}}{\text{真有效值}} \cdot 100\% \quad (1.4.6)$$

举例说明,被测信号为矩形波,占空比 $D=25\%$,其波峰因数和波形因数相等, $K_P=K_I=\sqrt{1/D}=2$ 。因此, $V_{RMS}=\sqrt{D}V_P=0.5V_P$, $\bar{V}=DV_P=0.25V_P$ 。此时平均值仪表读数为 $1.111\bar{V}=1.111 \times 0.25V_P=0.277V_P$,由式(1.4.6)求出相对误差为

$$\gamma = \frac{0.277V_P - 0.5V_P}{0.5V_P} \times 100 = -44.6\%$$

上例中,平均值仪表的读数比真有效值偏低 44.6%,这显然是不允许的。若选择真有效值