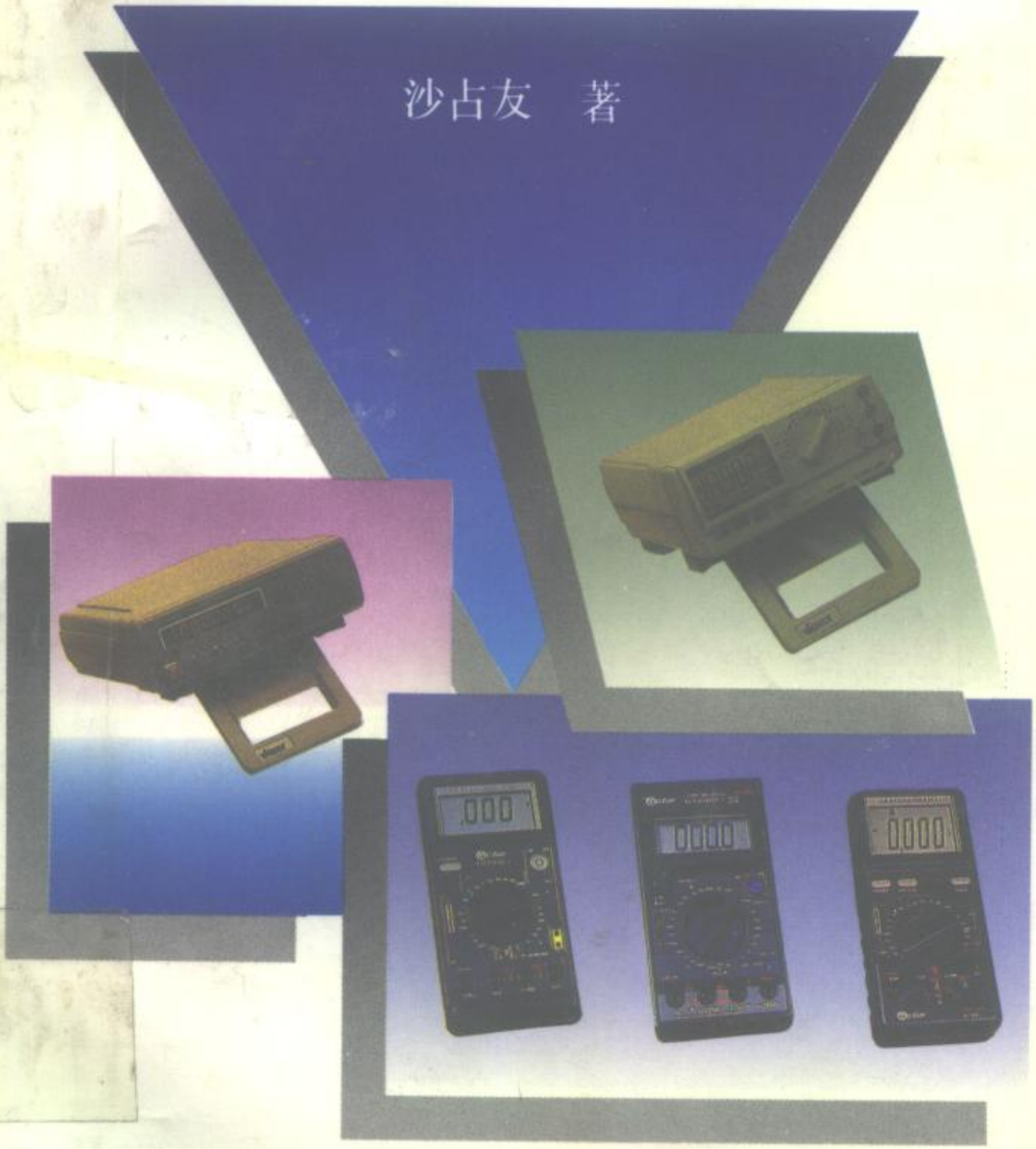
胜利牌数字仪器仪表原理与检修指南

沙占友 著



電子工業出版社

TM935.1
S-2-2

361461

胜利牌数字仪器仪表原理与检修指南

沙占友　著

哈尔滨船舶工程学院
图书馆

電子工業出版社

（京）新登字055号

DV09/25

内 容 提 要

本书专门介绍深圳胜利仪器有限公司(中外合资)最新开发的各种数字仪表与智能仪器的原理与维修技术。

全书共五章。第一章介绍国内外数字万用表发展概况。第二章阐述数字万用表基本原理及各种新型单片A/D转换器的工作原理。第三章深入剖析10种$3^1/_2$位～$4^1/_2$位数字万用表新产品的整体电路原理，所介绍的数字/模拟条图双显示数字万用表，有效值数字万用表，单片数字万用表等，均为当今国际流行款式。第四章重点介绍种$3^1/_4$位～$5^1/_2$位智能仪器，其中三重显示智能数字万用表等均达到国际先进水平。第五章详述数字万用表的调试方法与维修技术。

本书内容丰富，立意新颖，通俗易懂，集科学性、实用性、系统性于一体，可供广大电子技术人员和电子爱好者阅读，并可作为高等院校电子测量、仪器仪表等专业的教学参考书。

胜利牌数字仪器仪表
原理与检修指南
沙占友 著
责任编辑 魏永喜
电子工业出版社出版(北京市万寿路)
电子工业出版社发行
北京市燕山联营印刷厂印刷
开本：850×1168毫米 1/32 印张：11.375 插页：6 字数：344千字
1992年8月第1版 1992年8月第1次印刷
印数：25000册 定价：8.50元
ISBN 7-5053-1768-9/TN·491

目　录

第一章　国内外数字万用表发展概况…… 1
§1.1　数字万用表概述 …… 1
§1.2　数字万用表发展的新趋向…… 11
§1.3　数字万用表产品的分类 …… 18
§1.4　数字万用表测量功能综述…… 23
§1.5　胜利牌数字万用表典型产品的技术指标…… 26
第二章　数字万用表的基本原理…… 27
§2.1　数字万用表的基本构成 …… 28
一、普通数字万用表的基本构成 …… 28
二、单片数字万用表的基本构成 …… 29
三、数字/模拟条图双显示数字万用表的基本构成 …… 30
四、智能数字万用表的基本构成 …… 30
§2.2　单片A/D转换器综述 …… 31
一、单片A/D转换器的分类 …… 31
二、各种单片A/D转换器特点综述 …… 32
§2.3　ICL7106型单片3½位 A/D 转换器…… 39
一、ICL7106的主要特点 …… 39
二、ICL7106的管脚功能 …… 41
三、ICL7106的工作原理 …… 43
四、ICL7106的典型应用 …… 58
五、使用注意事项 …… 60
六、功能检查 …… 61
§2.4　ICL7136 型单片3½位A/D转换器…… 62
一、ICL7136的主要特点 …… 62
二、ICL7136的典型应用 …… 63

三、外围元件选择 …… 64
§2.5 NJU9207型3½位自动量程数字万用表芯片 …… 65
一、NJU9207的主要特点 …… 65
二、NJU9207的管脚功能 …… 67
三、NJU9207的工作原理 …… 69
四、NJU9207的典型应用 …… 78
五、使用注意事项 …… 80
§2.6 TSC818系列3½位数字/41段模拟条图双显示数字万用表芯片 …… 81
一、TSC818系列的主要特点 …… 81
二、TSC818系列的管脚功能 …… 84
三、A/D转换器工作原理 …… 88
四、双显示数字万用表设计原理及典型应用 …… 92
五、元器件选择 …… 110
§2.7 ICL7139型3¾位自动量程数字万用表芯片 …… 112
一、ICL7139的主要特点 …… 112
二、ICL7139的管脚功能 …… 114
三、ICL7139的工作原理 …… 116
四、ICL7139的典型应用 …… 126
五、使用注意事项 …… 128
§2.8 ICL7135型单片4½位A/D转换器 …… 129
一、ICL7135的主要特点 …… 129
二、ICL7135的管脚功能 …… 131
三、ICL7135的工作原理 …… 133
四、ICL7135的典型应用 …… 138
五、ICL7135与微处理器的接口 …… 145
§2.9 ICL7129型单片4½位A/D转换器 …… 146
一、ICL7129的主要特点 …… 146
二、ICL7129的管脚功能 …… 148
三、ICL7129的工作原理 …… 150
四、ICL7129的典型应用 …… 155

五、外围元器件选择 …… 157
第三章 常用数字万用表电路分析 …… 159
§3.1 DT840D型3½位数字万用表的电路分析 …… 159
一、性能简介 …… 159
二、DT840D型数字万用表的电路分析 …… 161
§3.2 DT890C+型3½位数字万用表的电路分析 …… 171
一、性能简介 …… 171
二、DT890C+型数字万用表的电路分析 …… 174
§3.3 3211B型3¾位笔式数字万用表的电路分析 …… 183
一、性能特点 …… 183
二、3211B型笔式数字万用表的电路分析 …… 185
§3.4 3210型3½位数字式钳形电流表的电路分析 …… 188
一、性能简介 …… 188
二、3210型数字钳流表的电路分析 …… 190
§3.5 DT960T型3½位数字/模拟条图双显示数字万用表的电路分析 …… 192
一、性能简介 …… 193
二、DT960T型双显示数字万用表的电路分析 …… 199
三、操作方法 …… 210
§3.6 DT970型3¾位数字万用表的电路分析 …… 212
一、性能简介 …… 212
二、TSC820型带频率计数器的3¾位A/D转换器 …… 215
三、DT970型数字万用表的电路分析 …… 222
§3.7 DT930F+型4½位数字万用表的电路分析 …… 227
一、性能简介 …… 227
二、DT930F+型数字万用表的电路分析 …… 230
§3.8 DT980型4½位真有效值数字万用表的电路分析 …… 234
一、性能特点 …… 234
二、DT980型数字万用表的电路分析 …… 235

三、DT980改进型数字万用表的电路分析 …… 240
§3.9 DT1000型4½位数字万用表的电路分析 …… 241
一、性能特点 …… 241
二、DT1000型4½位数字万用表的电路分析 …… 243
§3.10 DM8145、VC8145型4½位台式数字万用表的电路分析 …… 247
一、DM8145性能简介 …… 247
二、DM8145型台式数字万用表的电路分析 …… 249
三、VC8145型台式数字万用表简介 …… 254
第四章 新型智能仪器 …… 255
§4.1 智能仪器概述 …… 255
§4.2 VC8235、DT900型3¾位双显示智能数字万用表 …… 256
一、VC8235的主要特点 …… 256
二、技术指标 …… 254
三、VC8235、DT900的测试功能及原理框图 …… 259
§4.3 VC8345型4¾位三重显示智能数字万用表 …… 266
一、主要特点 …… 267
二、技术指标 …… 269
三、测试功能及原理框图 …… 271
§4.4 VC8055型5½位智能数字电压表 …… 274
一、VC8055的性能简介 …… 274
二、HI7159型带微处理器单片5½位A/D转换器的工作原理 …… 274
三、VC8055的电路分析 …… 281
§4.5 VC8255型5½位智能数字万用表 …… 282
一、主要特点与技术指标 …… 282
二、工作原理简介 …… 285
§4.6 DT990型4¾位袖珍式双显示真有效值智能数字万用表简介 …… 287

第五章　数字万用表的调试与维修 …… 290
§5.1　数字万用表调试概述 …… 290
一、标准测试条件 …… 290
二、环境条件 …… 291
三、标准源 …… 292
§5.2　检验规范 …… 293
§5.3　袖珍式数字万用表的调试内容概述 …… 297
§5.4　DT840D型数字万用表的调试方法 …… 304
§5.5　DT890C+型数字万用表的调试方法 …… 305
§5.6　3211B笔式数字万用表的调试方法 …… 307
§5.7　3210型数字钳流表的调试方法 …… 308
§5.8　DT960T型数字万用表的调试方法 …… 310
§5.9　DT970型数字万用表的调试方法 …… 312
§5.10　DT930F+型数字万用表的调试方法 …… 314
§5.11　DT980型数字万用表的调试方法 …… 316
§5.12　DT1000型数字万用表的调试方法 …… 317
§5.13　DM8145型4½位台式数字万用表的调试方法及故障检修 …… 319
§5.14　袖珍式数字万用表常见故障分析 …… 323
附录一　本书主要符号表 …… 337
附录二　本书所用集成电路中外型号对照 …… 344
附录三　胜利仪器有限公司简介 …… 346
附录四　胜利牌数字仪器仪表产品一览表 …… 347
参考文献 …… 351

第一章　国内外数字万用表发展概况

数字万用表(DMM)是近年来涌现的新型、通用数字仪表，它是大规模集成电路(LSI)与数显技术的结晶。目前，数字万用表正获得迅速推广与普及，并以其独具的优点受到国内外电子工作者的青睐。

本章对国内外数字万用表的主要特点、产品分类、测量功能和技术指标作一概述。

§1.1　数字万用表概述

数字万用表亦称数字多用表DMM(Digital Multimeter)，它是在60年代问世的。早期数字万用表产品仍采用分立元件或中、小规模集成电路设计而成，其准确度不高而价格昂贵，并且体积大、功耗高，难以推广。80年代以来，随着电子工业的发展与电子技术的进步，采用新型大规模集成电路制成的各种袖珍式、台式及智能化数字万用表，正在国内外迅速普及，并在电子、电工测量等领域显示出强大的生命力。我国数字仪表工业起步较晚，目前数字万用表的市场占有率大约只有15%，远低于指针式(即模拟式)万用表。但在一些经济发达的国家，指针式仪表早已退居从属地位。例如早在80年代初期，美国的数字仪表市场占有率已高达70%，指针仪表仅占30%，并且随着时间的推移，数字仪表所占比例还在不断升高。可以断言，90年代将是数字仪表蓬勃发展的新时期，用数字万用表逐步取代指针式万用表也是电子科技发展的必然趋势。

下面介绍数字万用表的主要特点。

数字万用表主要具有以下特点：

1．显示清晰、直观，读数准确

传统的指针式万用表需借助刻度盘和指针来读数，由于刻度线多，分度不同，线性度也相差很大，使用人员容易读错数，另外在读数过程中还会产生人为的测量误差(例如视差)。数字万用表则采用先进的数显技术，显示结果一目了然，只要仪表不发生跳数现象，测量结果就是唯一的，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，可大大缩短读数和记录的时间。

高档智能化数字万用表均带微处理器和标准接口，能配计算机与打印机进行数据处理及自动打印，构成完整的测试系统。

2．测量准确度高

数字万用表的准确度远优于指针式万用表。表 1.1.1列出目前国内外数字万用表典型产品在基本量程的准确度指标（综合误

表 1.1.1 数字万用表与指针万用表准确度之比较

最高准确度 / 被测量 / 显示位数	直流电压 DCV	直流电流 DCA	交流电压 ACV	电阻 Ω	典型产品 *
3½位	±0.5%	±0.5%	±0.8%	±1.0%	DT830A
4½位	±0.03%	±0.2%	±0.5%	±0.1%	VC8145
5½位	±0.004%	±0.05%	±0.25%	±0.003%	VC8255
6½位	±0.0005%	±0.005%	±0.02%	±0.001%	1061A
7½位	±0.0002%	±0.005%	±0.01%	±0.0003%	1081
8½位	±0.00003%				7081
指针式万用表	±2.5%	±2.5%	±5.0%	±2.5%	500

* DT830A、VC8145、VC8255是深圳胜利仪器有限公司产品，1061是英国德创朗(Datron)公司产品，1081和7081均系英国舒力源(Solartron)公司产品。除DT830A为袖珍式外，其余均为台式。500型为国产指针式万用表。

差，不含数字化误差项），这些优良指标是指针式万用表望尘莫及的。

3．显示位数及显示特点

数字万用表的显示位数一般为2½～8位。具体讲，有2½位、3位、3½位、3⅔位、3¾位、4½位、4¾位、5½位、6½位、7½位、8½位共11种。最近国外还推出8¾位及10½数字仪表。

判定数字仪表位数有两条原则：（1）能显示0～9所有数字的位是整位；（2）分数位的数值是以最大显示值中最高位数值为分子，用满量程时最高位数值作分母。例如，最大显示值为±1999、满量程计数值为2000的数字仪表称作3½位，其最高位只能显示0或1。余者类推。

3⅔位（读作三又三分之二位）的最高位只能显示从0～2的数字，故最大显示值为±2999。这类数字万用表的典型产品有DT860A、DT860B、DT910和DT950。在同样情况下它们的量限要比3½位数字万用表高50%。荷兰飞利浦（PHILIPS）公司最新研制的93、95、97型万用示波表中的数字万用表部分，亦采用3⅔位LCD。

需要指出的是，目前也有人将3⅔位仪表仍然称作3½位仪表，但必须指明其量限扩展了50%，以免将二者混淆。

3¾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，量限比3½位高一倍。国外最近研制的TSC820、ICL7139和ICL7149型单片DMM芯片，均属于3¾位。利用这3种芯片中的一种，即可构成一块单片数字万用表，典型产品有DT970、3211B型（笔式）数字万用表。

使用3¾位数字万用表进行测量有许多方便之处。例如，普通3½位DMM的次高交流电压档为200V，若要测量220V或380V工频电压，必须选择最高交流电压档（通常为700V档）。相比之下，3¾位DMM的次高交流电压档为400V，最适宜测量工频电源电压，既不欠量程，也不超量程，测量准确度优于700V档，

而分辨力可提高10倍。

普及型低档数字万用表一般属于3 ½位仪表。在多功能型数字万用表中，以3½位居多，但也有3 ⅔位和3 ¾位的。4 ½位和4 ¾位数字万用表分袖珍式与台式两种。5 ½位及5½位以上的均属于台式智能数字万用表。

常见袖珍式DMM，采用字高为12.5mm(0.5英寸)的液晶显示器。为提高观察的清晰度，最近研制的DT940C、DT1000型数字万用表均采用字高18mm的大屏幕LCD，DT960T、DT970、DT980型则采用字高25mm(1英寸)的超大屏幕LCD。

新型数字万用表增加了标志符显示功能，包括单位符号(例如mV、V、kV、mA、A、Ω、kΩ、MΩ、nS、kHz、nF、μF)、测量项目符号(AC、DC)、特殊符号(如低电压符号LOW BAT、蜂鸣器符号)等。DT980的液晶显示器在小数点下方还设有量程符号，例如十位小数点下边可显示2000，表明该小数点发光时所对应的量程是2000.0。

为克服数字仪表不能反映被测电量的连续变化过程及变化趋势之不足，一种高分辨率"数字/模拟条图"双显示数字万用表已经问世，典型产品为87型(Fluke公司)、DT960T型(胜利仪器有限公司)。这类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指针式万用表创造了条件。

4. 分辨力高

数字仪表在最低电压量程上末位1个字所对应的电压值，称作仪表的分辨力，它反映出仪表灵敏度的高低。数字仪表的分辨力随着显示位数的增加而提高。

数字万用表的分辨力亦可用分辨率来表示。分辨率是指所能显示的最小数字与最大数字之比，一般用百分数表示。例如，3½位数字万用表可显示的最小数字(不包括零)为1，最大数字为1999，故分辨率为1/1999≈0.05%。同理可以计算出，3¾位DMM的分辨率是1/3999≈0.025%，4½位DMM则是0.005%。

特别需要指出的是，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”(对微小电量的“识别”能力)，后者则反映测量的“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)误认为是类似于准确度的一项指标。

分辨力只与仪表显示位数有关，而准确度则取决于A/D转换器、功能转换器等的误差以及量化误差。从测量误差的角度看，分辨力是“虚”指标(与测量误差无关)，准确度才是“实”指标(决定测量误差的大小)。因此，任意增加显示位数来提高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，从仪表设计的角度看，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。此外，分辨力指标在用于相对比较两个电量的大小时，也有一定参考价值。

举例说明：DT940C型3½位数字万用表的2V量程，其准确度为±(0.5%RDG+1字)①，而分辨力可达1mV，即0.001V。假定读数值为0.853V，测量准确度就等于±(0.5%×835+1字)≈±5字，表明测量误差为±5字，被测量的真值应为0.830～0.840V之间。显然，在计算误差的过程中不必考虑分辨力指标。这也就是说，读数值末位上的数字5是不准确的。

再假定用同一块表测另一电压时读数为0.841V，只要显示值稳定不跳数，即可认为该电压值比前者(0.835V)略高。这就是相对比较的含义。

表1.1.2列出数字万用表所能达到的最高分辨力指标。

5. 仪表的输入阻抗很高

现代电测仪表应具有很高的输入阻抗。这样在测量时由被测电路上吸取的电流极小，不会影响被测电路(或信号源)的工作状态，由此可减小测量误差。

① RDG表示读数值(不考虑小数点)。

表 1.1.2 数字万用表最高分辨力指标

显示位数	最大显示值	最高分辨力	最高分辨率	备　注
$3^1/_2$位	1999	100μV	0.05%	
$3^3/_4$位	3999	100μV	0.025%	
$4^1/_2$位	19999	10μV	0.005%	1μV=10^{-6}V
$5^1/_2$位	199999	10μV	0.005%	
		1μV	0.0005%	1nV=10^{-9}V
$6^1/_2$位	1999999	100nV	0.00005%	
$7^1/_2$位	19999999	10nV	0.000005%	
$8^1/_2$位	199999999	1nV	0.0000005%	

目前，3½位袖珍式数字万用表交、直流电压档的输入阻抗一般为10MΩ，5½位～7½位台式智能数字万用表可大于10GΩ(即10000MΩ)。交流电压档受输入电容的影响，其输入阻抗低于直流电压档，只适于测低频电压，但这可通过高频探头来解决。例如，国产85RF型高频电压探头可将仪表的频率响应扩展到20kHz～700MHz。

6. 单片集成化

袖珍式数字万用表普遍采用CMOS单片大规模集成电路A/D转换器，配以少量辅助芯片及外围元器件而构成的。其复杂电路集中于芯片内部，而外围电路比较简单。因此仪表的集成度高、体积小、重量轻，很容易实现微功耗。整机功耗一般为几至几十毫瓦（视A/D转换芯片而定），一节9V叠层电池可连续使用数百小时乃至上千小时。

最新研制的袖珍式（或笔式）数字万用表已开始采用单片DMM芯片，仅需一片专用IC即可构成功能较完善的数字万用表。例如，DT970、3211B型数字万用表分别选用TSC820、ICL7139单片DMM专用IC，使外围电路更趋于简化，而仪表性能指标及

测试功能进一步提高。以3211B为例，该表内部仅用5只电阻器、2只电位器和5只电容器，却可以测量交、直流电压、电阻，并具有自动转换量程之功能。

7．测试功能完善

数字万用表的测试功能远远超过传统的指针式万用表。新型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（V_f）、晶体管共发射极电流放大系数（hFE），还可以测量电容量（C）、电导（nS）、温度（T）、频率（f），增设了用以检查线路通断的蜂鸣器档（BZ）、低功率法测电阻档（LOΩ），有的表还能输出方波电压信号，作低频信号源使用。

新型数字万用表在设计上大多增加了下述新颖实用的测试功能：读数保持（HOLD）、逻辑测试（LOGIC）、真有效值（TRMS）测量、相对值（REL △）测量、自动关断电源（AUTO OFF POWER）、脉冲宽度PD（Pulse Duration）测量、占空比D（Duty Factor）测量。有的表还实现了AC/DC自动转换功能。

新型智能数字万用表则更胜一筹，开创了现代电子测量的先河。特别需指出的是，最新开发的$3\frac{3}{4}$位～$4\frac{3}{4}$位智能数字万用表，将高性能与低成本集于一身，通常具有以下先进功能：液晶条图显示（LCD Bargraph）、多重显示、最小值/最大值存储（Min/Max Mode）峰值保持（PK HOLD），存储（MER）、读存储数据（MEM RCL）、复位（RST）、数据输出（COMM）、预置（SET）、设定测量范围的上、下限（UP∧、UP∨）、自动校准（AUTO CAL）、功率电平测量（dB_m）、电源电压设定（S）、快速测量（FAST）。三重显示可编程智能数字万用表能同时显示三种不同参数值（例如MAX、MIN、实时值），并能预置测量范围的上、下限，为测量工作带来很大方便。有的表（例如DT830）还实现了电容档自动转换量程。

与此同时，数字电感表、数字电容表、数字钳形表、数字兆欧表、数字温度表、红外测温仪、数字功率表、智能功率分析仪等专用数字仪器仪表亦获得长足发展，为数字仪表大家族增添了光彩。以DM6404 型汽车万用表为例，该表可测量汽车上铂触点的接触电阻，发动机转速，调整耗油量，检查空气滤清器的好坏，检查发动机的平衡以确定气缸故障，检查电瓶是否漏电，检测电压调节器，测量电机和电瓶输出的大电流。如配上附属装置还可测量温度、压力等。

荷兰飞利浦（PHILIPS）公司最近推出的 PM93、95和 97型万用示波表，将 $3\frac{2}{3}$ 位数字万用表、双通道数字存储示波器和函数发生器集于一身，是90年代一项高科技产品。其中，以PM97的性能最佳，功能最强。该仪器中的 $3\frac{2}{3}$ 位数字万用表可测交流真有效值（AC或AC+ DC），1Hz～5MHz频率，相对值，百分数变化，dB_m，实时值，最大值，最小值，平均值等。示波器频响为DC～50MHz，具有波形平均（对256个波形取平均）、游标测量（同时进行5种测量），标记、数学运算，存储（存储8个波形）等功能，还能将波形放大。函数发生器可产生 4 种测试信号。该表在昏暗环境下具有发光夜视功能。由 4.8V 镍镉电池供电。带RS-232C接口。

8．保护电路比较完善

数字万用表内部均有比较完善的保护电路，使用过程中只要不超出规定的极限值，即使发生误操作，一般也不会损坏大规模集成电路。当然，应力求避免误操作，以免因外围元件（如快速熔断器、量程转换开关）的损坏而影响正常使用。

常用的保护装置有以下几种：

1．过流保护装置

（1）快速熔丝管

（2）熔断电阻器，亦称保险电阻器或易熔电阻器。它兼有电阻器与熔断器的双重功能。当电流超出其熔断电流时，就会在额

定时间内熔断，将电路切断，起到保护作用。熔断电阻器大多属于一次性产品，但目前也研制出供多次使用的熔断电阻器。

(3) 在A/D转换器的输入端增加限流保护电阻。

2. 过压保护装置

(1) 双向限幅硅二极管

(2) 过压放电保护器，亦称火花放电器或火花间隙器，英文符号为SG (Spark Gap)。它具有两个绝缘电极，当冲击电压超过其击穿电压时，在两极之间迅速发生火花放电现象。放电之后能自行恢复绝缘状态。DT890C、DT930F 型数字万用表中就使用了这种保护装置。

(3) 压敏电阻器。压敏电阻器是电压灵敏电阻器VSR(Voltage-Sensitive Resistor) 的简称，是一种新型过压保护元件。

压敏电阻器是以氧化锌 (ZnO) 为主要材料制成的金属氧化物半导体陶瓷元件，其电阻值随端电压而变化。压敏电阻器的工作电压范围宽 (一般为6～3000V，分成多种规格)，对过压脉冲响应快 (响应时间仅几至几十纳秒)，耐冲击电流能力强(通流量指标可达 100A～20kA)，漏电流小 (低于几至几十微安)，工作稳定可靠，电阻温度系数α_t<0.05%/℃。

(4) 瞬态电压抑制器TVS(Transient Voltage Suppressor)。其外形与普通二极管无异，而电路符号和稳压二极管相同。它也采用齐纳技术，按反向接法接入电路。常态下呈高阻态，对输入电路无影响。在承受瞬时高压脉冲时，器件被反向击穿，迅速变成低阻态，同时将输入电压箝制在规定电平。TVS 器件可"吸收"数千瓦的瞬态电功率，所能承受的瞬态脉冲电流可达几百安培，而其箝位响应时间仅为1ps (10^{-12}s)，比压敏电阻器又快了几百倍。

TVS器件亦分单向和双向两种，前者适用于直流电路，后者适用于交流电路。由于瞬态电压抑制器响应快、无噪声、瞬态功率大、体积小、价格低，可作为电子仪器、各种数字仪表的过压

保护装置。

3. 电阻档保护装置

(1) 晶体管保护器。一般是将单只晶体管或复合式晶体管(达林顿管)接成二极管使用，利用其发射结的反向击穿特性起到箝位保护作用。

(2) 热敏电阻器。

热敏电阻器有两种类型。一种是负温度系数热敏电阻器NTC (Negative Temperature Coefficient)。其特点是在工作温度范围内，电阻随温度的升高而降低，电阻温度系数α_T一般为-(1~6)%/℃。当温度大幅度升高时，阻值可降低3~5个数量级。另一种类型是正温度系数热敏电阻器PTC (Positive Temperature Coefficient)。其特征是在工作温度范围之内具有正的电阻温度系数，当温度低于居里点温度时，电阻值基本不变；当温度达到并超过居里点温度时，电阻率发生突变，可增大3~4个数量级，此时电阻温度系数达到+(10~60)%/℃。因此，PTC具有开关特性。

数字万用表一般采用PTC热敏电阻器作为电阻档保护装置。将PTC串入电路中，常温下阻值约为500Ω。若因误动作(例如用电阻档去测220V交流电压)使电流迅速增大，PTC受热后电阻值也急剧升高，使电流大大减小，起到限流保护作用。

9. 测量速率快

数字万用表在每秒钟内对被测电量的测量次数称作测量速率，单位是"次/s"。它主要取决于A/D转换器的转换速率。也有的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用的时间叫测量周期。显然，测量周期愈短，测量速率就愈高，二者成倒数关系。

注意，测量周期与采样时间不同，后者仅指正向积分的时间，对3½位双积分式A/D转换器而言，一个完整的测量周期T至少应包括自动调零时间T_{AZ}、采样(正向积分)时间T_1、反向积分

时间T_2。即$T = T_{AZ} + T_1 + T_2 > T_1$。

3½位、4½位数字万用表的测量速率一般是2～5次/s，多数表为2～3次/s；4¾位DMM可达20次/s。5½位～7½位数字万用表一般可达几十次/s或更高。Data Precision公司生产的7500/D10型5½位数字万用表，测量速率高达1000次/s。

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。为解决这一矛盾，5½位～8½位DMM大多增加了快速测量档。作快速测量时速率可提高几倍，但此时显示位数会减少一位（例如从7½位降至6½位），准确度亦随之降低。某些表（例如8840A型5½位DMM）还设有低速(S)中速（M）、快速（F)三档，可满足不同用户对测量速率的需要。

10. 抗干扰能力强

噪声干扰大致分两类，一类是串模干扰，干扰电压与被测信号串联后加至仪表的输入端；另一类是共模干扰，干扰电压同时加于仪表的两个输入端。衡量仪表抗干扰能力的技术指标也有两个：串模抑制比（SMRR）和共模抑制比（CMRR)。

5½位以下的数字万用表大多采用积分式(包括双积分式、多重积分式）A/D转换原理，只要选择采样周期等于串模信号周期的整倍数，就能有效地抑制串模干扰。这是因为串模干扰电压在信号积分阶段被平均掉的缘故。中、低档数字万用表的共模抑制比可达86～120dB。

高档数字万用表的CMRR = 100～160dB，SMRR可达100dB左右。

§1.2 数字万用表发展的新趋向

目前，数字万用表正处于蓬勃发展的新时期，新技术、新工艺不断涌现，新产品层出不穷。下面对其发展趋势作一简介。

1. 广泛采用新技术，不断开发新产品

电子科技的进步，往往预示着数字万用表研制水平的新突破。近年来各种新技术（包括专利技术）愈来愈普遍的被采用，迅速转化为生产力。例如，英国迪特朗（Datron）公司的“自动校准（AUTO-CAL)”技术、固态真有效值（TRMS) AC/DC转换技术，Fluke公司的“余数再循环”专利技术，模拟器件（AD）公司的四斜率A/D转换专利技术、ANALOGIC公司的“依次加法积分”专利技术等，均为提高数字万用表性能指标作出了贡献。

国外现已开发出3¾位单片DMM芯片、5½位单片A/D转换器，为研制和推广高性价比数字万用表以及高准确度智能仪器创造了条件。预计今后在增加芯片集成度的同时，还将不断提高A/D转换准确度与稳定度指标。

智能DMM及智能数字频率计已开始采用“等精度”测量频率法(详见本书§4.2)。

2. ASIC的推广

ASIC是“用户特制集成电路”(Application Specific Integrated Circuit) 的英文缩写①。它是80年代迅速发展起来的一项高科技产品。从设计思想、研制手段，直到测试方法，都与传统的专用IC有着质的区别。过去集成电路的供需关系一直维持在“厂家⟶用户”的格局上，即芯片厂家向用户提供标准产品，用户则不能提出自己的特殊要求。自1982年以来，上述局面发生重大变化，出现了全定值及半定制产品。即厂家接受用户的委托，为满足用户特殊需要而专门研制的IC产品。它充分体现了“用户⟶厂家⟶用户”的新型供需关系。此外，为研制ASIC所采用的技术和手段均有重大突破。

ASIC产品是将超大规模集成电路（VLSI）的工艺技术、计算机辅助设计（CAD)、自动测试技术（ATE）三者结合的丰硕成果。目前国外一些芯片厂家已建立起超大规模集成电路计算机辅

① ASIC又可译成“特制集成电路”。

助设计（简称VLSI-CAD）中心，作为开发新产品的重要手段。现在，智能化的VLSI-CAD系统已能将有源器件的尺寸缩小到亚微米，从而设计出包含上百万只晶体管的超大规模集成电路。利用这种系统不仅能完成芯片的逻辑电路设计、逻辑功能模拟、版图设计(包括布局和布线)，还能对成品进行自动测试。

ASIC主要包括门阵列（GAL）、可编程门阵列、标准单元、宏单元、可编程逻辑器件。ASIC在我国才刚刚起步，现已能生产门阵列等产品。使用一片门阵列即可代替几十片CD4000系列或74LS系列数字IC。此外，我国还研制成炮弹弹道跟踪系统专用IC（全定制）、2Mbit汉字点阵芯片等多种新产品。据统计，目前ASIC产品已占国际IC市场的14.7%，预计90年代将超过50%。到那时，标准IC将不得不退居次位。

国外已成功地将CMOS数字IC、模拟IC和微型计算机（包括PU、ROM、RAM）集成在一片超大规模集成电路中，仅配上传感器和少数外围元件，就能构成一台完整的智能仪器。一种五功能电脑温控仪的外形及芯片框图分别如图1.2.1、图1.2.2所示。其外形尺寸仅92.0×43.5×10(mm)，采用1.5V钮扣电池供电。它具有测温、控温、越限报警、计时、数据输出等功能，测温准

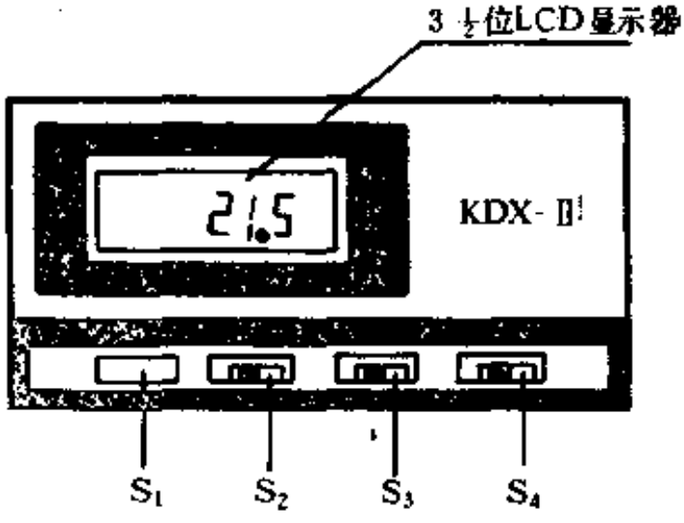


图 1.2.1 五功能电脑温控仪外形

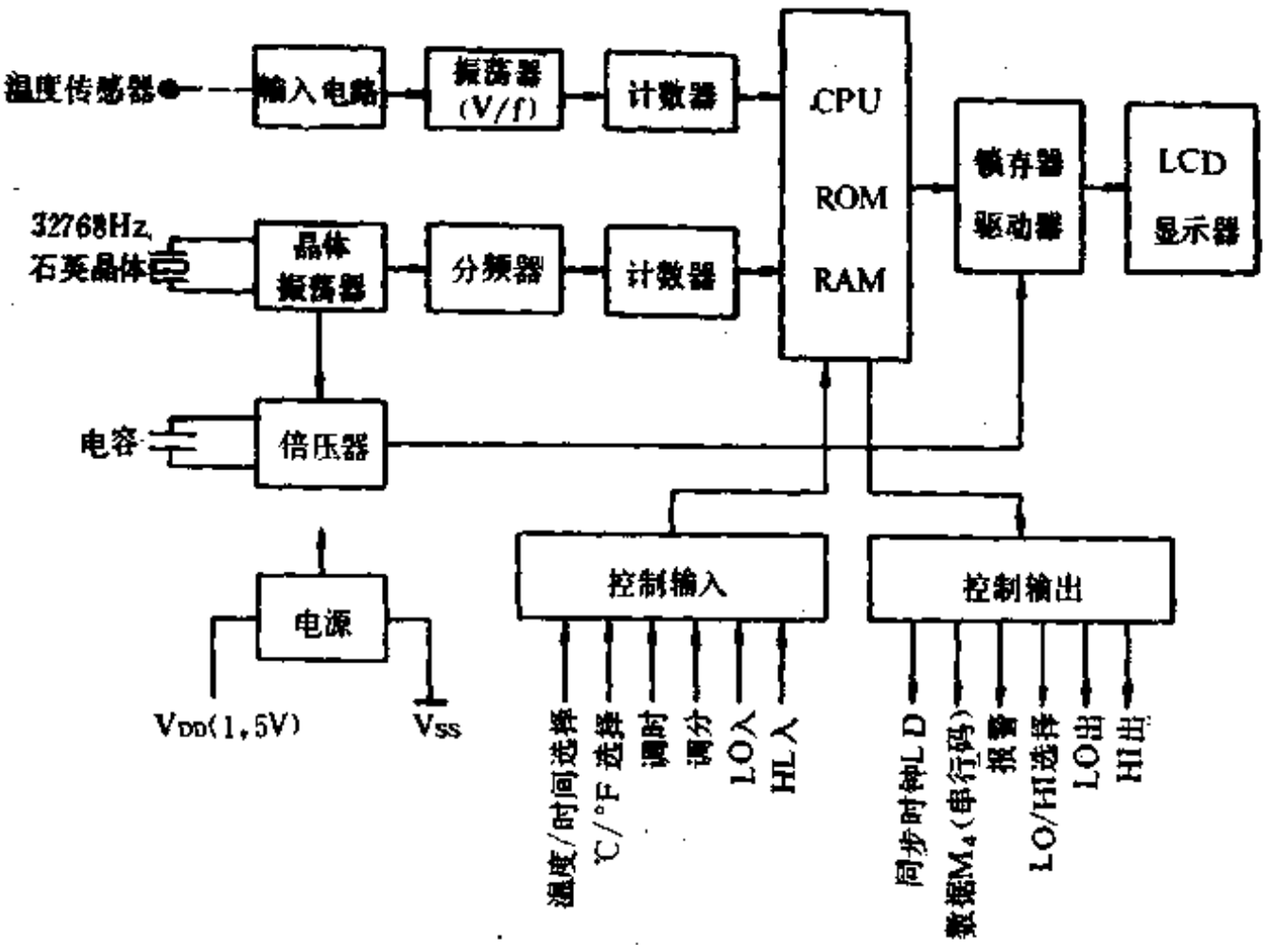


图 1.2.2 芯片内部框图

确度最高可达±0.1℃，能对单点温度、双点温度或区间温度进行自动控制，能输出频率为4kHz、时间为5s的断续报警信号，还具有BCD串行数据输出及同步时钟信号输出，便于同计算机连接。

为满足国内外市场的需求，深圳胜利仪器有限公司最新开发的DM6243P数字式智能化光电转速仪，也是ASIC技术的结晶。该仪器在满足非接触、高准确度测量转速的前提下，采用专用带微处理器的大规模集成电路设计而成。它能将最后测出的转速值、测量过程中的最大转速值与最小转速值自动存入存储器中。依次按下存储呼叫按钮（Memory），上述3种转速值就依照顺序分别显示出来。只要仪器不掉电，数据将被长期保存下来，直到下次测量时数据才被刷新，存储器记忆新的转速值。

DM6234P的主要技术指标如下：

（1）显示方式：5位字高为10mm的LCD液晶显示器，能显示出测量功能符号；

（2）转速测量范围：5～100000r/min；

（3）分辨力：0.1r/min（0.5～999.9 r/min），1r/min（>1000r/min）；

（4）准确度：±(0.05%±1字)；

（5）采样时间：1s（>60r/min）；

（6）量程转换方式：自动转换量程；

（7）记忆功能：最后一次转速值（LA）、最大值（UP）、最小值（dn）；

（8）检测距离：50～150mm（最远为300mm），视环境亮度而定。

该仪器采用非接触测量转速法，首先将反射标记(一种胶纸)贴在被测转动物体表面，然后按下测量按钮，让光束对准被测目标并校准可见光与被测目标位于同一直线上，待显示器上出现闪烁符号"卜·卜"，即可开始测速。若转动轴本身能反射光，则需将反射标记以外的区域覆复上黑色纸带。

测量按钮断开之后，最后一次转速值（LA）、最大值(UP)、最小值（dn）立即自动存储下来，如图1.2.3所示。测量完毕，

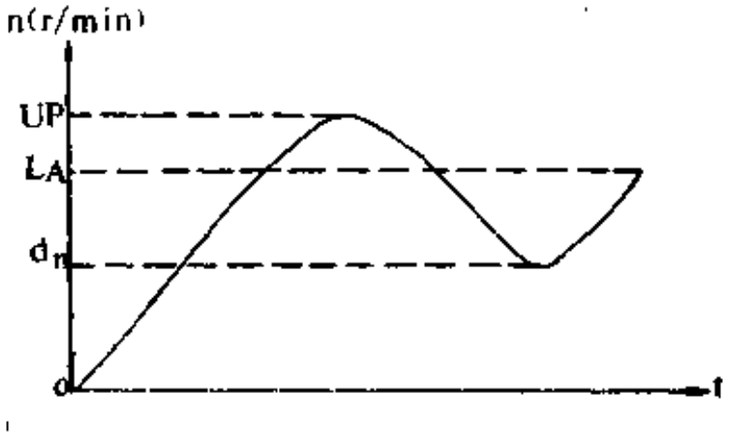


图 1.2.3 三种转速值的存储

第一次按下 Memory 钮时，显示“LA”和最后一次转速值；第二次按下时显示“UP”和最大值，第三次按下时显示“dn”和最小值。

综上所述，ASIC的问世不仅改变了传统的电路系统设计方法，还为优化设计、提高产品的性价比和可靠性指标奠定了基础。

3．广泛采用新工艺、新器件

下一代数字万用表将朝着标准模块化的方向发展。电子模块（Electronic Block）亦称微电子功能组件，简称模块。它是采用微电子技术、把集成电路与微型电子元器件（如表面安装元件SMD）密集安装在印制板上，可完成某一特定功能的商品化部件，这种结构亦被称为“二次集成”。模块外形分敞开式和全密封式两种。由模块构成的整机，具有以下显著特点：①大大简化了电路设计，缩短了新产品研制周期；②模块的上机率可达100%，大大提高了整机（或系统）的合格率及可靠性；③能减小体积与重量；④便于安装和维修；⑤采用全密封式模块还可以防止伪造，维护厂家信誉。

国产数字万用表中，DT960T 率先采用了模块，该表使用测频模块和模拟开关模块各一块。这两种模块均由超小型IC、表面安装元件SMD和印制板所构成。预计在不久的将来，数字万用表的功能电路将被标准化、通用化、系列化的模块（如AC/DC模块、测电容模块、测温模块、自动关机模块等）所代替。

目前，4½位袖珍式数字万用表已开始选用精密网络电阻（俗称排阻）。这种新器件采用集成工艺制成，内部各电阻器的准确度高（±0.05%～±0.1%），而且一致性好（具有相同的温度系数），使用方便，适于构成精密分压器。此外，在液晶显示器上也正作重大改进：一方面是大屏幕（字高18mm）及超大屏幕（字高25mm）的LCD将成为流行款式，另一方面是以电致发光显示器件（EL）为背光源的透射式LCD用于产品中，能保证夜间

观察字形时清晰可见。此外，“数字/模拟条图”双显示以及多重显示的数字万用表将成为用户欢迎的新产品。

数字万用表在外观设计上也不断改进，表壳绝缘性能显著提高(能承受4.5kV的试验电压)，机械式开关将逐步被薄膜开关、一体化薄膜面板所取代。薄膜开关又称膜片开关或触摸开关，它是国际80年代发展起来的新型开关。薄膜开关与传统的机械式开关（包括按键开关）相比，具有寿命长（>100万次）、密封性好、抗划痕性能好、装饰美观、容易清洗、操作力小(<35kPa)、重量轻、体积小、附着力强等优点。薄膜面板则是在薄膜开关的基础上发展起来的。它集按键、开关、面板、透明显示窗、字符图案、引出线（导电带）于一体，不仅能构成电子整机产品的操纵系统，还能作为仪器的面板。薄膜面板具有多种操作功能，很容易和微型计算机配套。薄膜开关的装饰性极佳，根据需要既可选择色泽明快、绚丽多彩、富有时代气息的流行色，又可选择端重大方为基本色调，至于图案及字符设计就更加灵活。

高档智能数字万用表的工艺设计尤为讲究。例如，Solartron公司研制的7081型$8\frac{1}{2}$位数字万用表，在关键电路上均采用精密元器件。所用电阻器的温度系数低于0.5ppm/℃（1 ppm = 10^{-6}）。所选用的精密稳压二极管的温度系数低于1ppm/℃，并预先经过老化处理，可构成超低温漂、超低噪声的基准电压源。

特别应当指出，在90年代表面安装技术SMT(Surface Mounting Technology)将普遍推广。该项技术被誉为自半导体器件问世以来世界电子工业的重大突破。所谓表面安装，是将微型化的表面安装集成电路（SMIC）和表面安装元件（SMD），用粘贴工艺直接安装在印制板上，再用波峰焊机焊好，取代了传统的打孔焊接方案，使元器件的安装密度大大增加，而产品可靠性亦得到明显提高。预计到90年代初，全世界生产的电子零件中有50%属于表面安装元器件或组件。目前在录像机、音响设备、微型电视机、计算机等生产领域已开始采用SMT技术。

SMT需要使用表面安装设备（贴片机、波峰焊机、清洗机等）。SMT正逐步进入电子仪器仪表行业。

4. 进一步提高测量速率

袖珍式数字万用表的测量速率只有2～3次/秒，自动量程数字万用表的测量时间就更长些。为解决这一难题，目前有两种方案：一种是采用高速A/D转换芯片，但仪表成本要相应提高；第二种方案是采用两片A/D转换器，其中低速A/D转换器作数字显示，中速A/D转换器配液晶条图，前者测量速率较低（约2次/秒），但后者可达20～25次／秒。由于条图反应速度很快，所以能观察被测模拟电量迅速变化的情况，并且利用条图变化区间还能迅速获得超量程（OR）、欠量程（UR）等信号，用来控制自动转换量程的过程。这种设计方案可以大大缩短测量周期，在VC 8235型3¾位双显示智能数字万用表中，即采用该方案。

为适应快速采集数据、进行实时测量之需要，近期内高档智能数字万用表的测量速率可望达到几千次／秒。

§1.3 数字万用表产品的分类

数字万用表的种类繁多，型号各异，大体上可作以下分类：

一、根据量程转换方式分类

量程转换方式有以下3种：

1. 手动转换量程（MAN range）

手动转换量程式数字万用表的内部电路比较简单，价格相对较低，但操作比较繁琐，而且由于量程选得不合适，容易使仪表过载。这类仪表的典型产品有DT810、DT830、DT830A、DT840D、DT890系列、DT930系列，DT980、DT1000。

2. 自动转换量程（AUTO range）

自动转换量程式数字万用表能够简化操作，并且可以有效地

避免过载现象。典型产品有DT860D、DT860B、DT 860C、DT 910、DT960T、3211B。这类仪表的测量过程较长，因为当被测电量很小时，一般也要从最高量程开始测量①，然后逐渐降低量程，直到合适为止，这势必会增加等待时间。此外，这类仪表的价格也相应提高。

3. 自动/手动转换量程(AUTO-MAN range)

这类仪表的特点是一部分测量项目为自动转换量程，而另一部分测量项目为手动转换量程。典型产品有DT970。以DT 970为例，该表在频率档能自动转换量程，其余档均靠手动转换量程。

二、根据用途和功能分类

按照用途、价格及功能的不同，数字万用表大致可分成7大类。

1. 低档数字万用表

低档表属于普及型数字万用表，其特点是价格较低，功能较少。除具备测量V、A、Ω的基本功能之外，通常还设有二极管及蜂鸣器档、h_{FE}插口。目前国产数字万用表中，以胜利牌DT 830B型的售价为最低，每块仅68元左右，完全可与指针式万用表竞争，并取代后者。

低档数字万用表典型产品还有DT810、DT 830、DT830A、DT840D、DT860D等。笔式万用表（例如3211B）亦属于低档表。

2. 中档数字万用表

(1) 多功能型数字万用表

典型产品有DT890C、DT890C+、DT890D、DT970等。这类表一般有测温档、电容档、电导档。有的表还设有频率档、逻辑

① DT960T型是从最低量程开始测量。

测试档，并增加读数保持（HOLD）功能。例如最近问世的DT970型3¾位五合一的仪表，兼有数字万用表、数字频率计、数字电容表、数字温度计、逻辑测试笔等五种功能。

（2）中等准确度、多功能型数字万用表

典型产品有DT930F、DT930F+、DT930FG、DT980、DT1000等4½位数字万用表。这类表的准确度较高，功能较全。例如，DT930F+型的基本电压档准确度达到±（0.05%RDG+3字），DT930F和DT930FG型也能达到±（0.1%RDG+2字）。

（3）4½位台式数字万用表

典型产品有DM8145型①，该表采用0.36英寸(字高9.1 mm)绿色LED数码管，外形尺寸为260×65×280（mm），重2 kg，电源电压为220V±20V。其基本电压档的准确度为±(0.03%RDG+4字)。

3. 智能数字万用表

（1）中档智能数字万用表

这类表一般采用4～8位单片机，显示位数是3¾位～4¾位。典型产品有DT900、VC 8235（3¾位），VC 8345（4¾位）、DT990（4¾位），均配RS-232接口。

（2）高档智能数字万用表

此类表典型产品有胜利牌VC8255型（5½位），美国Fluke公司生产的8840A型（5½位）、8500A型（6½位），英国Datron公司生产的1081型（7½位），英国Solartron公司生产的7081型(8½位)。内部带8～16位微处理器，具有数据处理、故障自检等多种功能，通过RS-232或IEEE-488接口与计算机、打印机相连。以1081为例，该表可测1nV～1000V交、直流电压，1μΩ～10MΩ电阻，－100～＋200℃温度（分辨力达0.001℃）。它采用自动校准专利技术，能对全部测量项目和量程进行自动校准，并显示出

① DM8145的改进型为VC8145。

极值和各项测量误差。

4．数字／模拟混合式万用表

这是国外近年来生产的一类特殊仪表，其结构特点是在指针式万用表的基础上，又增加了3½位数显装置。典型产品有日本三和电气计器公司生产的DA250型万用表。英国约翰·弗卢克公司最近推出的20系列袖珍式万用表，也是将指针式仪表与3½位数字仪表组合成一体。

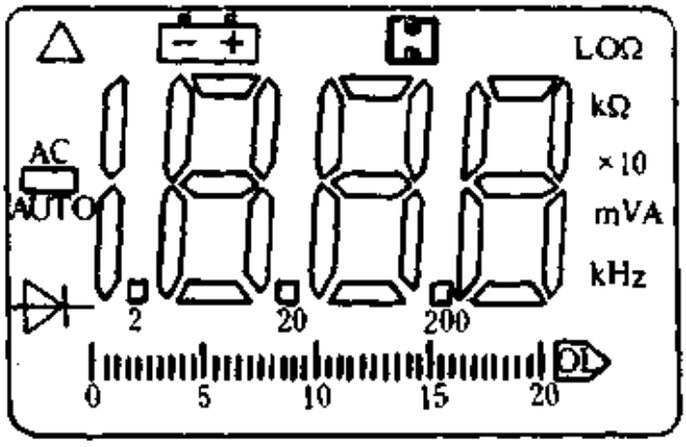
5．数字／模拟条图双显示及多重显示数字万用表

众所周知，数字万用表是采用数字化测量技术，将被测电量转换成电压信号，并以不连续、离散的数字形式加以显示。因此，它是通过断续的方式进行测量的。这说明用数字万用表不便于观察被测电量的连续变化以及变化趋势。例如用它来观察电解电容器的充、放电过程或热敏电阻值随温度变化的规律，就不如指针万用表那样方便、直观。

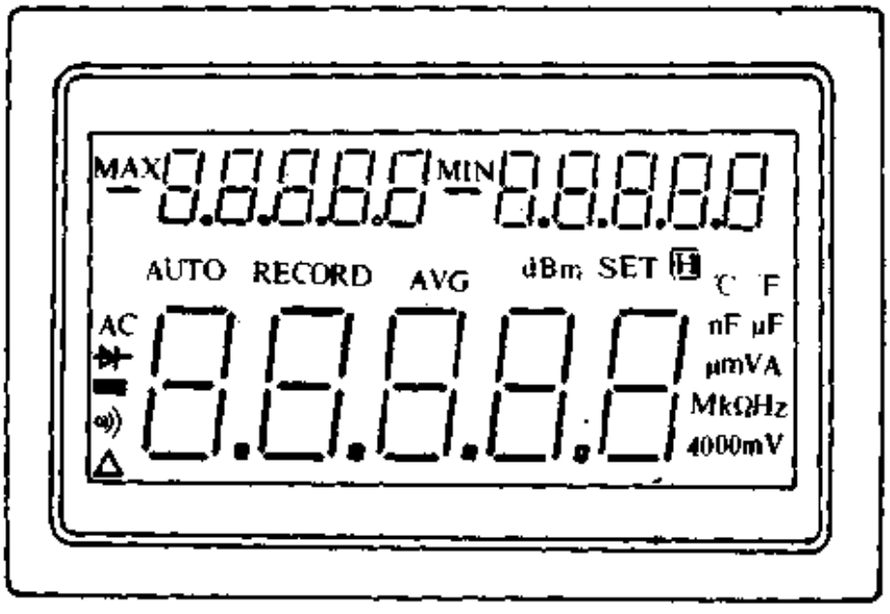
为彻底解决数字万用表不适应测量变化量的技术难题，近年来问世的"数字/模拟条状图形(简称模拟条图或条棒)"双显示数字万用表，已成为国际90年代的流行款式。典型产品有Fluke公司生产的87型4½位双显示数字万用表。深圳胜利仪器有限公司于90年代初在国内率先推出DT960型、DT960T型双显示数字万用表。

DT960T采用TSC818系列①3½位A/D转换器，并将液晶屏分成3½位数显和41段模拟条图显示两部分，LCD上还能显示各种标志符(测试功能符号及单位符号)。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，使测试人员一目了然，参见图1.3(a)。与众不同的是，它虽然称作3½位仪表，最大显示值却可达到2999，此时最高位的数字1呈闪烁状态，其他位不消隐，表示仪表已进入扩展分辨率工作方式。该表还增

① TSC818系列产品由TSC818A和TSC818D组成。



(a)



(b)

(a) 数字/模拟条图双显示 (b) 三重数字显示

图 1.3 双显示及多重显示

加了交流真有效值(TRMS)、相对值(REL △)测量功能。

该公司最新研制的DT990型$4\frac{3}{4}$位真有效值双显示智能数字万用表，采用4位微处理器(µP)控制，$4\frac{3}{4}$位数显加上高速42段模拟条图显示。该表还可测量最大值、最小值、平均值、相对值、频率、功率电平、电压电平，并有自动数据保持和智能化的自动关机等功能。

目前，国外已研制出101段高分辨率LCD模拟条图专用A/D

转换芯片，其非线性误差和重复性误差分别为±0.2段、±0.1段，测量速率可达15～40次/S。

多重显示数字万用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组以上的数据（例如最大值、最小值、平均值）。DT900型即是一例，该表可显示两组$3\frac{3}{4}$位数据和42段条图。VC8345则是$4\frac{3}{4}$位三重显示的台式DMM，其LCD显示如图1.3(b)所示。

6．数字式专用仪表

典型产品有胜利牌3210型数字钳流表，DM6013型数字电容表，DM6243型数字电感电容表，DM6060型数字功率表，DM6404型汽车万用表，DM6801、DM6902型数字温度表。此外还有LX101型数字照度计，IR-0512L型红外测温仪，VC3200、VC3165型智能数字频率计等。

7．ASIC产品

典型产品有DM6234P型数字式智能化光电转速仪。

目前在市售数字万用表中，第1、2类产品占多数，第3类产品一般作为科研及实验室精密测量用，第4类极为少见，第5类产品为国际流行款式，第6类和第7类主要适于工业和实验室测量用。

§1.4 数字万用表测量功能综述

普及型数字万用表除能测量直流电压(DCV)、交流电压(ACV)、直流电流(DCA)、交流电流(ACA)、电阻(Ω)之外，一般还能测量半导体二极管的正向压降V_F，小功率晶体管的共发射极电流放大系数h_{FE}。利用表内的电子蜂鸣器，还可以检查线路的通断。数字万用表都具有自动调零(Auto-Zero，简称AZ)、自动极性(Auto-Polarity)显示、电池低电压指示(LOW BAT)、超量程指示(Over Range，简称OR)等功能。在超量程时显示

特殊标志符(OVER、←等)，有的表还伴有发光二极管LED闪烁，蜂鸣器(BZ)也发出报警声。

最近几年来问世的新型数字万用表①又在以下几个方面增强了测试功能：

1．增加测温档

所谓测温型数字万用表的典型产品有DT890C、DT890C+、DT940C、DT970。它们配上热电偶传感器(仪表附件)，即可以测量温度。其中DT970除配K型热电偶测量－50～1000℃温度外，表内还设置了半导体温度传感器专用来测量环境温度。

2．增加电导档

DT930F+、DT940C等数字万用表均设有100nS电导档，可间接测量10～10000MΩ的高阻。电导单位S(西门子)，1nS＝10^{-9}S。根据公式$R_x = 1/G_x$（G_x是被测电导量)，可换算成电阻值。

3．增加频率档

DT930F+、DT960T和DT1000均设有一个频率档(20kHz)，可以测量10Hz～20kHz的音频。DT980设两个频率档(20kHz、200kHz)，能测10Hz～200kHz的低频。DT970则设有4个频率档(4kHz、40kHz、400kHz、4MHz)，可以测量低频至高频信号，其特点是量限比$3\frac{1}{2}$位DMM提高一倍，并且能自动转换频率量程，测量准确度达±0.1%±1字。

4．增加读数保持功能

为方便用户测变化量的需要，DT960T、DT980和DT1000还增加了读数保持功能键，符号为HOLD。测量过程中只要按下此键，读数即被保存下来。保持时间与按下键以后的时间相等。

5．相对值测量功能

DT960、DT960T专设有相对值测量键(REL △)，按下此

① 有关新型智能数字万用表的测试功能见本书第四章。

键后，首次测量值即被存储下来，以后每次的测量结果自动减去初始值，这样在显示器上只示出二者差值。利用该功能键，可进行电阻比对、元器件筛选，探头阻值的自动补偿，测量电压、电流的相对值。

6．峰值保持及逻辑测试功能

DT970型数字万用表增设了峰值保持键（PK HOLD）和逻辑测试档（LOGIC）。前者用于显示最大读数值，后者能够检查TTL、CMOS电路的逻辑电平（高电平或低电平），当测试低电平时蜂鸣器还发声。

7．真有效值测试功能

袖珍式数字万用表的交流档通常采用线性整流电路，构成平均值AC/DC转换器。其特点是电路本身对输入正弦电压的平均值响应，而仪表按正弦波形的有效值进行标定。但这类仪表都存在不足之处，它们对被测交流电压的波形失真反应非常敏感，当不是纯粹的正弦波形时会产生明显的测量误差，而且不能测量非正弦波。

为适应精确测量交流电压的需要，必须采用真有效值测量法，即利用集成电路的乘、除法运算器来实现有效值电压的转换。因为所测出的是真正的有效值，所以其读数比平均值AC/DC转换式仪表更准确，也更客观。此类数字万用表的典型产品有DT960T、DT980、DM8145，这几种表的交流档都是根据真有值测量原理而设计的。

8．模拟条图显示功能

带LCD模拟条图显示的袖珍式数字万用表典型产品有：胜利牌DT960、DT960T型（3½位数显/41段条图），Fluke 87型真有效值数字万用表（4½位数显/32段条图），85型数字万用表（3¾位数显/41段条图）。模拟条图的段数愈多，分辨率愈高，但芯片的驱动电路相应复杂些。

9．量程扩展

在对老产品进行改进或研制新产品时，仪表的量程可作适当扩展。例如，DT890A型最高电阻档为20MΩ，其改进型号DT890B增设了200MΩ档，但此档测量结果一般仅供参考，生产厂家不再提供准确度指标。最新设计的DT1000型数字万用表，200MΩ档的准确度为±[5%(RDG-100字)+10字]。

早期产品DT830型的电流量限为10A，其改进型DT830A的电流量限扩展为20A。此外，新研制的DT970、DT980、DT1000型均设置了20A插口。

10. 自动关机功能

为使用方便，DT840D、DT1000型以及DT970和DT980的改进型均增加了自动关机功能，可避免因忘记关电源而空耗电池。当仪表停止使用或停留在某一档位的时间超过15分钟时，电源将被自动切断，仪表进入待用状态，此时整机静态工作电流仅7μA，功率约63μW，耗电量可忽略不计。在切断电源之前，液晶显示器上的读数会出现闪动，提醒用户重新启动电源。若转动一下量程开关，亦可重新启动电源，但应注意预先停止测量，而不要在测量电压或电流过程中用改变量程的方法来启动电源。对DT1000而言，重新开启电源时，必须按动两次电源开关。

11. AC/DC自动转换功能

新研制的DT860D型数字万用表具有交流/直流自动转换功能。

§1.5 胜利牌数字万用表典型产品的技术指标

表1.5列出8种胜利牌数字万用表的主要技术指标，供读者在选购时参考。

第二章　数字万用表的基本原理

数字万用表的核心是 A/D（模拟量/数字量）转换器。这类A/D转换器有两大类，一类是单片A/D转换器专用IC，另一类则是单片DMM（数字万用表）专用IC。

所谓"单片A/D转换器"，是采用CMOS工艺将数字电压表的基本电路（包括模拟电路与数字电路）集成在同一个芯片上，并能配以数显器件（LCD显示器或LED显示器）显示A/D转换结果的专用集成电路。单片A/D转换器均属于大规模集成电路(LSI)集成度较高而价格较低，能以最简方式构成数字电压表（DVM）及数字面板表（DPM)。若对其外围电路进行扩展，再增加一些集成电路、阻容元件和选择开关，就能构成一块数字万用表。这类表只对A/D转换器实现了单片集成化，但就数字万用表而言，还需使用多片集成电路，外围电路仍比较复杂。

单片DMM专用IC是国际80年代末至90年代初期研制成的新产品，它是在单片A/D转换器基础上发展而成的。这类芯片的集成度很高，它们集数字万用表的基本电路功能于一身，能以最简方式构成一块性能优良、功能比较齐全的数字万用表，具有很高的性能/价格比。单片数字万用表的准确度较高，能够自动转换量程，外围电路也非常简单，为袖珍式数字万用表的推广普及创造了有利条件。

本章专门介绍数字万用表的基本工作原理，重点阐述国内外单片A/D转换器（含单片DMM专用IC，下同）的性能特点、工作原理及典型应用。掌握这些内容，将为分析数字万用表整机电路以及开展维修工作奠定基础。

§2.1 数字万用表的基本构成

一、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2.1.1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、功能及量程选择开关、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（极性符号等）驱动电路。

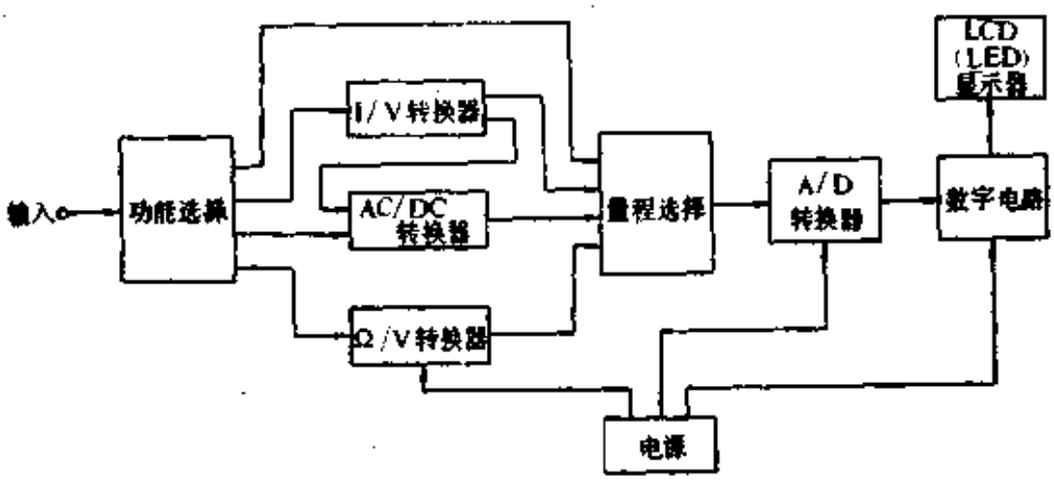


图 2.1.1 普通数字万用表的基本构成

常见的功能转换器有：

(1) 电流/电压（I/V）转换器；

(2) 平均值交流/直流（AC/DC）转换器；

(3) 电阻/电压（Ω/V）转换器；

(4) 二极管正向压降/电压（V_F/V）转换器；

(5) 晶体管电流放大系数/电压（hFE/V）转换器；

(6) 电导/电压（G/V）转换器；

(7) 电容量/电压（C/V）转换器；

(8) 温度/电压（T/V）转换器；

(9) 频率/电压（f/V）转换器；

这类表的外围电路比较复杂，大多采用手动转换量程方式。

二、单片数字万用表的基本构成

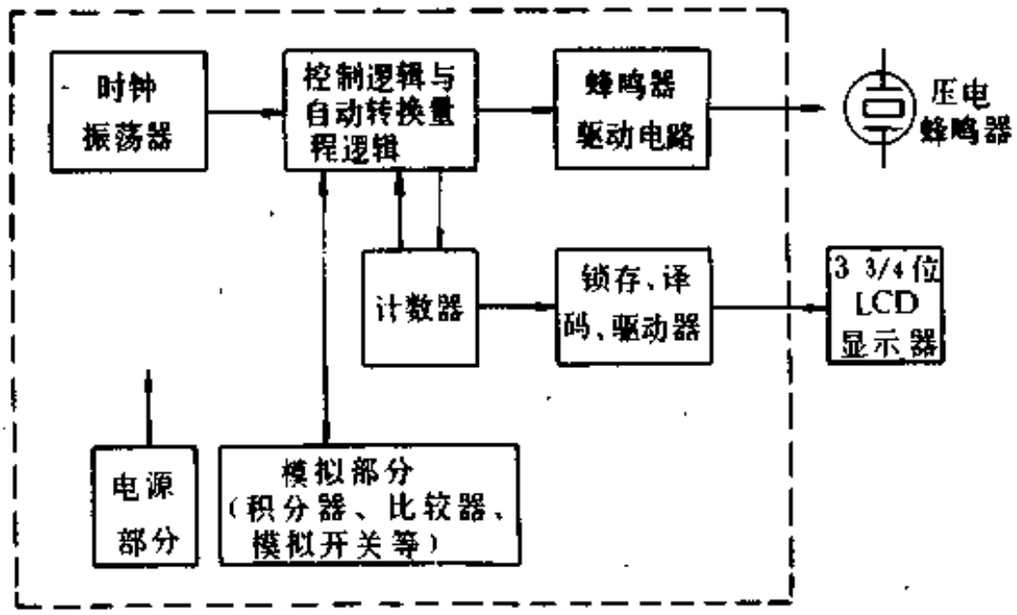


图 2.1.2 单片数字万用表的基本构成

单片数字万用表的基本构成如图2.1.2所示。单片DMM专用IC的典型产品有UJN9207(3½位)、TSC815 (3½位) 和 ICL7139 (3¾位)。除电流档采用手动转换量程方式，其余各档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），此外还有电压档的分压电阻，电阻档的标准电

阻、电流档的分流电阻，AC/DC转换器以及量程选择开关、电源电路。

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。

三、数字/模拟条图双显示数字万用表的基本构成

80年代后期问世的数字/模拟条图双显示数字万用表，其基本构成如图2.1.3所示。这类仪表采用两片专用A/D转换器，公用一套3½位数字/液晶模拟条图显示器。其中，自动转换量程A/D转换器就相当于单片DMM专用IC，典型产品为TSC818A；液晶条图A/D转换器的典型产品为TSC818D，二者完全兼容，同属TSC818系列。

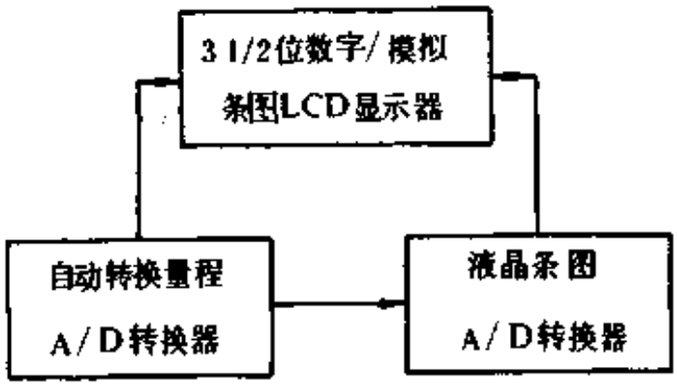


图 2.1.3 数字/模拟条图双显示数字万用表的基本构成

数字/模拟条图双显示数字万用表也代表了数字万用表的一种发展方向。

四、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的高档数字仪表。其主要优点是准确度很高，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2.1.4示出一种智能数字万用表的内部总线图。

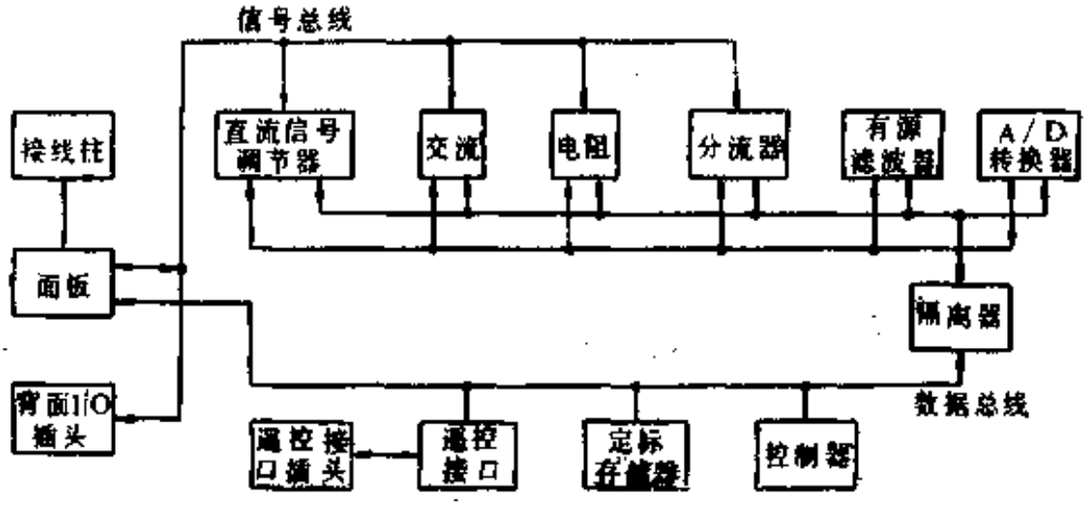


图 2.1.4 智能数字万用表的内部总线

§ 2.2 单片A/D转换器综述

目前国内外生产的新型单片A/D转换器品种繁多，下面首先介绍产品分类，然后对其性能特点及应用领域作一综述。

一、单片A/D转换器的分类

按照配用显示器位数的不同，单片A/D转换器主要分$3\frac{1}{2}$位、$3\frac{3}{4}$位、$4\frac{1}{2}$位、$5\frac{1}{2}$位共四种[①]。表2.2列出目前国内外最常见的13种单片A/D转换器的主要性能指标。

现对表2.1作几点说明：

(1) 最大计数值：$3\frac{1}{2}$位是±1999，$3\frac{3}{4}$位是±3999，$4\frac{1}{2}$位是±19999，$5\frac{1}{2}$位是±199999。

(2) 按照A/D转换原理划分，有以下两类：

① Teledyne公司还生产TSC806/807型$2\frac{1}{2}$位A/D转换器，最大计数值为±199。

①双积分式：典型产品有7106、7136、7107、7137、9207、818、14433。

②多重积分式：典型产品有7129、7139、7149、7159。

此外，也有的单片A/D转换器采用脉宽调制式(PWM)、电荷平衡式转换原理。

(3) 在7106、7136、7107和7137芯片内部，有+2.8V（典型值）的基准电压源，利用外部的精密多圈电位器可获得所需基准电压（+100.0mv或+1.000V)。

14433、7135、7129、7139、7149、7159均需外接能隙基准电压源。使用7135时还应接BCD/7段译码驱动器、位驱动器。

(4) 表中的输入阻抗及电源电压均为典型值，电源电流则为最大值。

(5) 国产型号中，CC表示国标系列，CH系列是上海无线电十四厂产品，5G系列为上海元件五厂产品。ICL系列是美国英特西尔（Intersil）公司产品，TSC系列是美国泰利达（Teledyne)公司产品，NJU是新日本无线公司（JRC）产品，MC为美国莫托洛拉（Motorola）公司产品，HI是美国哈里斯（HARRIS）公司的产品。

二、各种单片A/D转换器特点综述

下面对表2.2所列13种单片A/D转换器的性能特点及应用领域作一综述。

7106型采用异或门输出，静态驱动LCD液晶显示器，由9V叠层电池供电，功耗小，低成本，适宜制作袖珍式普及型数字万用表。例如DT810、DT830A、DT890B、DT890C+、DT890D、DM6015型3½位数字万用表即采用这种芯片。日本JRC公司生产的NJU9201与7106通用，DT810（出口型号为VC2300）中用的就是NJU9201。

表 2.2 国内外单片A/D转换器

位数	型号	主要特点	显示类型	A/D转换速率(次/s)	基本量程	输入阻抗(Ω)
3'/2	7106	双积分式，内基准，低成本，单电源供电	静态驱动 3'/2位LCD	0.1～15	200mV / 2V	10^{10}
	7136	为7106的改进型，进一步降低了功耗	静态驱动 3'/2位LCD	0.1～4	200mV / 2V	10^{10}
	7107	双积分式，内基准，低成本，双电源供电	静态驱动 共阳极 3'/2位LED	0.1～15	200mV / 2V	10^{10}
	7137	为7107的改进型，进一步降低了功耗	静态驱动 共阳极3'/2位LED	0.1～4	200mV / 2V	10^{10}
	9207	单片自动/手动转换量程式数字万用表芯片，有25个量程，可测直流电压、交流电压、直流电流、交流电流、电阻，还设有二极管档、检查线路通断档，有超量程和读数保持(HOLD)功能	动态驱动 3'/2位LCD		200mV～2000VDC，2V～2000VAC，2mA～20ADC，2mV～20AAC，100Ω～20MΩ	10^{10}
	818A 818D	818A与818D配合使用，可以构成3'/2位/41段模拟条图双显示数字万用表，双积分式，外基准，单电源，手动/自动转换量程，能读数保持	动态驱动 3'/2位LCD数字显示器与41段LCD条图显示器，有单位符号显示	2	200mV～1000VDC，2V～700VAC，30mA～20ADC，30mA～10AAC，200Ω～30MΩ，BZ	10^{10}

性能一览表

转换误差(字)	基准电压(V)	电源电压、电流	管脚数*	国外型号	国内对应型号
±1	0.100/1.000	9V 1.8mA	DIP-40	ICL7106 TSC7106 NJU9201	CC7106 CH7106
±1	0.100/1.000	9V 100μA	DIP-40	ICL7136	CH7136
±1	0.100/1.000	±5V 1.8mA	DIP-40	ICL7107 TSC7107 NJU9202	CC7107 CH7107
±1	0.100/1.000	±5V 200μA	DIP-40	ICL7137	——
±1		3V <1.0mA	PLCC-80	UJN9207	——
±1	163.85 mV	9V 0.8mA	PLCC-60	TSC818A	——
			DIP-20	TSC818D	——

位数	型号	主要特点	显示类型	A/D转换速率(次/秒)	基本量程	输入阻抗(Ω)
	14433	双积分式，外基准，具有多路调制BCD码输出，有超量程、欠量程输出，可配微机	动态驱动3'/₂位共阴级LED	3～10	200mV / 2V	10^9
3'/₄	7139 / 7149	单片自动转换量程式数字万用表芯片，18个量程，有单位符号及低电压指示输出，能读数保持	动态驱动3'/₄位LCD，有单位符号显示	2	400mV、4V、40V，400V、4mA、40mA、400mA、4A、4kΩ、40kΩ、400kΩ、4MΩ、BZ	10^{10}
4'/₂	7135	双积分式，外基准，有超量程、欠量程、忙碌输出，能读数保持，可配微机	动态驱动4'/₂位共阴极LED	0.1～7.5	2V	10^{10}
	7129	多重积分式，外基准，数字调零，有量程输入、超量程、欠量程，低电压指示，标志符输出，能读数保持	动态驱动4'/₂位LCD，有单位符号显示	1～6	200mV / 2V	10^{10}
5'/₂	7159	多重积分，外基准，自动数字调零，高分辨率，高准确度，高速A/D转换，有两个串行口和一个并行口，可配微机、打印机，芯片本身带微处理器	动态驱动5'/₂位或者4'/₂位LCD	15 (5'/₂位) / 60 (4'/₂位)	2V	10^9

* DIP表示双列直插式，PLCC代表扁平封装，后面的数字是管脚数。

续表

转换误差(字)	基准电压(V)	电源电压、电流	管脚数	国外型号	国内对应型号
±1	200mV / 2.000V	±5V,静态电流≤2mA	DIP-24	MC14433 TSC14433	5G14433 CH14433
±1	1.000V	9V 1.5mA	DIP-40	ICL7139	——
				ICL7149	——
±1	1.0000	5V 3.0mA	DIP-28	ICL7135	CH7135
±0.5	1.0000	9V 1.4mA	DIP-40	ICL7129	——
±12 (5½位) / ±2 (4½位)	1.00000	±5V	DIP-28	HI7159	——

7136是7106的改进型号，其功耗仅为7106的1/18，二者可以互换。

7107采用大电流反相器输出，静态驱动共阳极LED显示器，由±5V双电源供电，显示亮度高，但耗电较大，适于制作数字面板表和台式3½位数字仪表。

7137则是7107的改进型，典型功耗为7107的1/9，二者亦能互相代换。

9207是单片数字万用表芯片，自动/手动转换量程，具有超量程输出、开机复位、电池低电压指示、读数保持功能，能直接驱动LCD显示器和压电蜂鸣器（检查线路通断用），由3V电源供电。9207能以最简方式构成一块多功能数字万用表。3210型数字钳流表采用的就是这种芯片。

818型包括两种芯片：818A和818D。818A属于3½位单片数字万用表芯片，818D则是41段LCD条图A/D转换器。二者完全兼容，搭配使用即可构成一块新颖的"数字/模拟条图"双显示万用表。DT960、DT960T型数字万用表就选用这两种芯片。

14433也是目前国内外普遍使用的一种芯片。它以动态扫描方式输出BCD码，经译码驱动器接3½位共阴极LED显示器。14433能输出$\overline{OR}$（超量程）、EOC（A/D转换结束标志）信号，利用外部门电路还可以获得欠量程信号（UR）。它输出的BCD码可送至微型计算机作数据处理。与7106系列相比，14433的外围电路比较复杂，但应用领域很广，适用于自动测试系统或构成低档智能仪表。

7139与7149的性能指标及管脚排列完全相同，区别只是7139内设AC/DC转换器，7149需外接AC/DC转换器。二者均属于3¾位单片DMM芯片，比3½位数字仪表的量限高一倍，只需外接基准电压源、液晶显示器和十几只阻容元件，即可构成一块准确度较高、多功能、自动转换量程的数字万用表。3211B型笔式数字万用表即采用一片7139。DT970中使用的TSC820，性能与7139

相近，又增加了测量频率及逻辑电平的功能①。

7135采用BCD码扫描输出方式，通过段译码驱动器和位驱动器，使4½位共阴极LED显示器作动态扫描显示。7135具有准确度高，耗电省（与静态显示相比），能输出超量程（OR）、欠量程（UR）、忙碌输出（BUSY）、可实现读数保持，能与微型计算机相连等优点，可广泛用于高准确度数字仪表、智能仪器及自动测试系统中。DM8145、VC8145型4½位台式数字万用表均采用这种芯片。

7129是高性能/价格比的4½位单片A/D转换器。DT930F、DT980、DT1000型数字万用表即采用这种芯片。7120采用多重积分（三重积分）、数字调零原理，将A/D转换的准确度提高到±0.005%。芯片设有10:1量程输入端，可选择200mV或2V基本量程，最高分辨力达10μV，比7135提高一个数量级。7129有标志符驱动端，用来显示单位符号和特殊标记。7129的外围电路简单，适于制作4½位DMM。但它没有BCD码输出，不能直接同微机相连。

7159是国际上90年代的新产品，它属于智能化、高准确度、高分辨力5½位单片A/D转换器，芯片本身带微处理器。它采用逐次累加式多重积分技术、低噪声BIMOS专利技术、自动数字调零与数字滤波技术，能将系统的零漂和非线性误差减到最低限度，还降低了对积分器外围元件精确度的要求。构成5½位DVM时满量程为1.99999V，分辨力达10μV，它还能构成4½位DVM。测量速率为15次/秒（5½位）、60次/秒（4½位）。芯片有两个串行口和一个并行口，有3种通讯方式，串行通讯时有4种波特率可供选择，能配微型计算机和打印机。其性能指标远优于美国AD公司在80年代中期生产的AD7555型5½位/4½位A/D转换器。

① 详见本书§3.6。

§2.3 ICL7106型单片31/2位A/D转换器

ICL7106的同类产品有TSC7106、CH7106等。它们是目前应用最广的一种3½位A/D转换器。目前，普及型袖珍式数字万用表大多采用这种芯片，完成模/数转换。

一、ICL7106的主要特点

（1）采用单电源供电，电压范围是7～15V。可使用9V叠层电池，有助于实现仪表的小型化。

（2）内部有异或门输出电路（又称相位驱动器），能直接驱动3½位LCD显示器。

（3）低功耗。芯片本身的工作电流仅1.8mA，功耗约16mW。一节9V叠层电池能连续工作200小时，正常情况下可间断使用一年左右。

（4）输入阻抗极高，典型值为$10^{10}\Omega$，对输入信号无衰减作用。

（5）外围电路简单，整机组装方便，只需5只电阻器、5只电容器和LCD显示器，就能构成一块直流数字电压表。若再增加一些辅助电路和转换开关，便可组成数字万用表。

（6）内设时钟电路，可采用低成本的阻容振荡器，或选用频率稳定度很高的石英晶体振荡器，亦可外接时钟信号。

（7）能通过内部模拟开关实现自动调零，能自动判定被测电压的极性。利用外部异或门（或异或非门），可显示超量程符号及负极性符号。

（8）在芯片内部的V_+与COM端之间，有一个稳定性好，带负载能力较强的基准电压源，典型值为2.8V。利用电阻分压器可获得所需要的基准电压V_{REF}，以保证A/D转换的准确度。转换准

表 2.3.1 ICL7106的主要技术指标

参数名称	符号	测 试 条 件	最小值	典型值	最大值	单位
输入漏电流	I_{IN}	$V_{IN}=0V$	——	1	10	pA
零伏输入读数	——	$V_{IN}=0N$，满量程200mV	−000.0	±000.0	+000.0	读数
比例读数	——	$V_{IN}=V_{REF}=100mV$	999	999/1000	1000	读数
翻转误差	——	$\|-V_{IN}\|=+V_{IN}=200mV$	−1	±0.2	+1	字
非线性误差	——	满量程为200mV或2V	−1	±0.2	+1	字
零读数温漂	α_T	$V_{IN}=0V$，$0°\leqslant T_A\leqslant 70℃$	——	0.2	1	μV/℃
模拟公共端电压	$V_+\sim COM$	V_-与COM端接25kΩ电阻	2.4	2.8	3.2	V
电源电压	$V_+\sim V_-$	——	7	9	15	V
液晶驱动电压	V_{DRIVE}	$V_+=9V$	4	5	6	V
共模抑制比	CMRR	——	——	86	——	dB

确度达±0.05%±1个字。

(9) 可以很方便地对芯片进行功能检查，由此判定其质量好坏。

(10) 抗干扰能力强，噪声低，失调温漂和增益温漂都很低，可靠性好，使用寿命长。

(11) A/D转换速率较低，规定范围是0.1～15次/秒，一般选2～5次/秒，但已能满足常规电子与电工测量的需要。

(12) 工作温度范围是0～70℃，但受液晶显示器所限制，仪表的环境温度不宜超过40℃，相对湿度≤80%。

ICL7106的主要技术指标见表2.3.1。测试条件为环境温度$T_A=25℃$，时钟频率$f_0=45kHz$，电源电压$V_+=9V$。

二、ICL7106的管脚功能

ICL7106采用双列直插式塑料或陶瓷封装，共有40个引出端(简称DIP-40)。管脚排列如图2.3.1所示。各管脚功能如下：

V_+、V_-——分别为电源的正、负端；

COM——模拟信号的公共端，简称"模拟地"，使用时通常将该端与输入信号的负端、基准电压的负端短接；

TEST——测试端。该端经内部500Ω电阻接数字电路公共端，因两端呈等电位，故亦称"数字地(GND或DGND)"、"逻辑地"。此端有两个功能，一是作"测试指示"，将它与V_+短接后，LCD显示器的全部笔段点亮，应显示出1888(全亮笔段)。据此可确定显示器有无笔段残缺现象；第二个功能是作为数字地供外部驱动器使用，例如构成小数点显示电路。

a_1～g_1、a_2～g_2、a_3～g_3——分别为个、十、百位笔段驱动端，依次接个、十、百位液晶显示器的相应笔段电极，参见图2.3.2(a)。LCD为7段显示(a～g)，DP表示小数点。

bc_4——千位(即最高位，亦称1/2位)笔段驱动端，接千位LCD的b、c段，这两个笔段在内部是连通的，参见图2.3.2(b)。当计

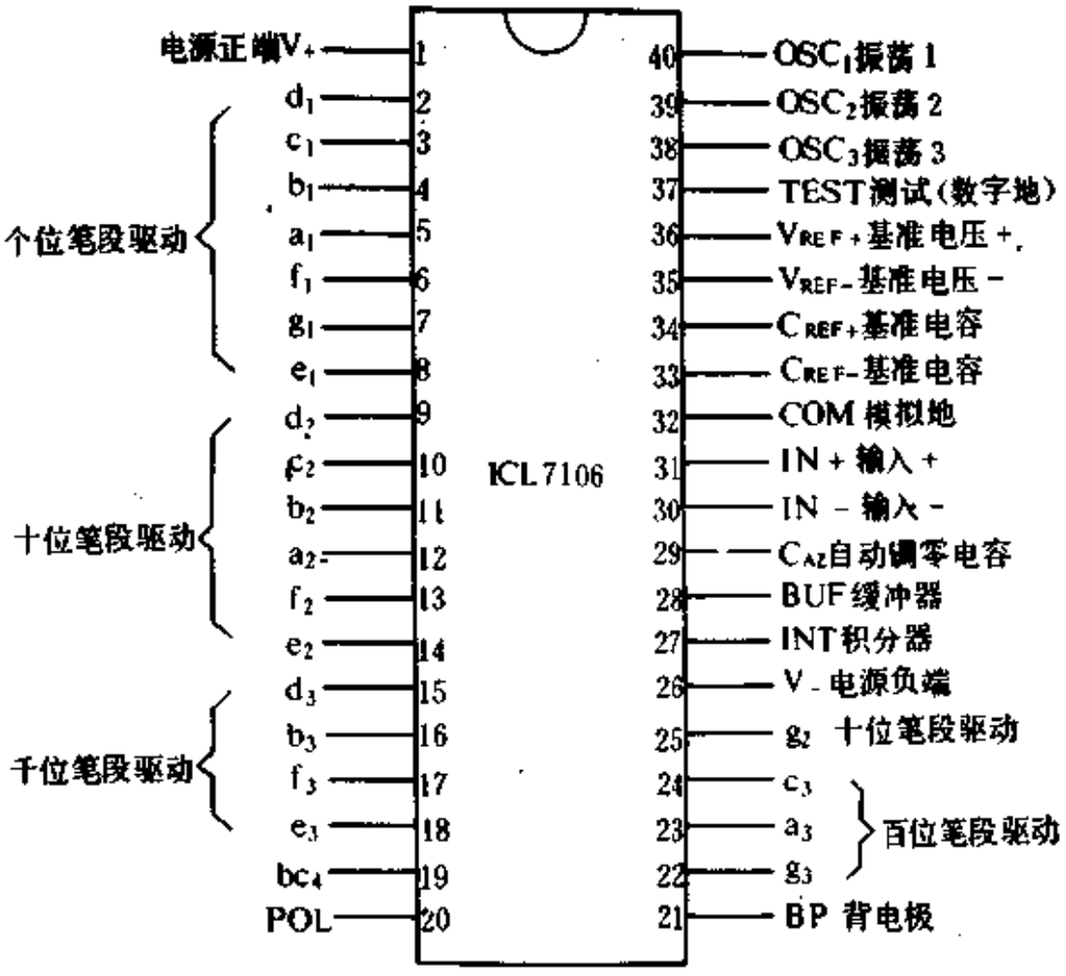
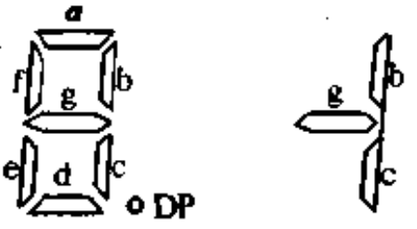


图 2.3.1 ICL7106的管脚排列



(a) 7段数字笔段；(b) 千位笔段

图 2.3.2 LCD显示器笔段

数值$N>1999$时，显示器溢出，仅千位显示“1”，其余位均消隐，以此表示仪表过载；

POL——负极性指示输出端，接(b)图中的g 段，当POL端输出的方波与背电极方波反相时，显示负号“－”。

BP——液晶显示器背面公共电极的驱动端，简称“背电极”；

$OSC_1 \sim OSC_3$——时钟振荡器的引出端，需外接阻容元件构成两级反相式阻容振荡器；

V_{REF+}——基准电压的正端，简称“基准+”，通常从内部基准电压源获得所需要的基准电压，亦可根据需要采用外部基准电压，以提高基准电压的稳定性；

V_{REF-}——基准电压的负端，简称“基准-”；

C_{REF+}、C_{REF-}——外接基准电容的正、负端；

IN_+、IN_-——模拟电压输入端，分别接被测直流电压 V_{IN} 的正端与负端；

C_{AZ}——外接自动调零电容C_{A2}端，该端接芯片内部积分器的反相输入端；

BUF——缓冲放大器的输出端，接积分电阻R_{INT}；

INT——积分器输出端，接积分电容C_{INT}。

需要说明，7106的数字地（GND）并未引出，但可将测试端（TEST）视为数字地。

三、ICL7106的工作原理

ICL7106内部包括模拟电路（即双积分式A/D转换器）和数字电路两大部分。但这两部分是互相联系的，一方面控制逻辑单元发出控制信号，按规定的时序将各组模拟开关接通或断开，确保A/D转换正常进行；另一方面模拟电路中的比较器输出信号又控制数字电路的工作状态与显示结果。下面分别介绍各部分的工作原理。

（一）双积分式A/D转换器

双积分式A/D转换器的转换准确度高，抗串模干扰能力强，线路简单，成本低廉，适于作为低速A/D转换器。ICL7106的模

拟电路如图2.3.3所示。主要由基准电压源、缓冲器、比较器和模拟开关所组成。积分器是A/D转换器的心脏，在一个测量周期内，积分器首先对输入电压进行正向积分，再对基准电压反向积分。积分结果送比较器与零电平进行比较。比较器的输出作为数字电路的控制信号。信号输入电路与积分器之间通过缓冲器进行隔离。

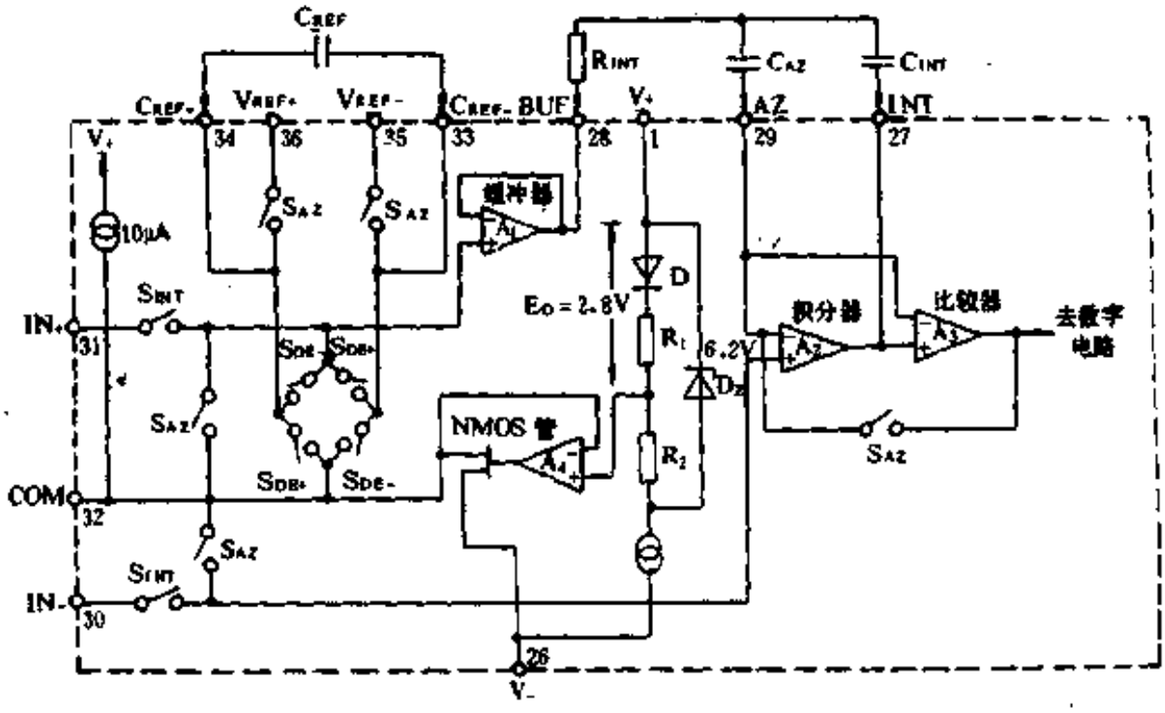


图 2.3.3 ICL7106的模拟电路

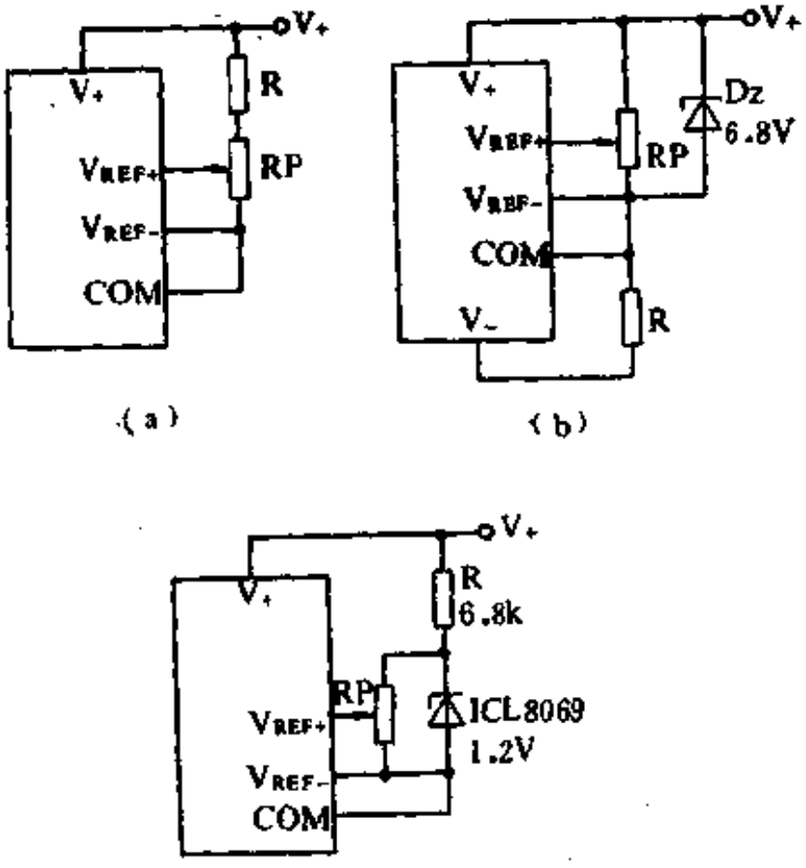
1. 基准电压源

基准电压源具有极低的电压温度系数，即输出电压不受环境温度变化的影响。7106内部采用的是简易基准电压源，电路由稳压二极管D_Z、硅二极管D、电阻R_1、R_2组成。当加在$V_+ \sim V_-$之间的电源电压$E \geqslant 7V$时，D_Z被反向击穿，其稳定电压$V_Z = 6.2V$。V_Z经过D、R_1、R_2分压后得到$E_0 = 2.8V$(典型值)。硅二极管的正向压降具有负的温度系数，而电阻R_1、R_2上的压降具有正的温度系数，二者互相抵消，可使温漂显著降低。E_0的电压温度系数$\alpha_T < 150ppm/℃$($1ppm = 10^{-6}$)，电压调整率为0.001%/%。

为提高COM端带负载能力，E_0还经过一级缓冲器A_4接COM

端。NMOS管加在COM与V-之间，可使 COM 端电 位比V- 高4～6.4V。该电压与 电池 电压 有关，当$E=9V$，$E_0=2.8V$时约 为6.2V；E降到7V时约4.2V。COM端电位比V+低2.8V，考虑到制造工艺的离散性，E_0的允许范围是2.4～3.2V，其输出 阻抗约为35Ω。利用2.8V基准电压源E_0，不仅能给芯片提供基准电压V_{REF}，还为设计数字万用表的电阻档、二极管档、h_{FE}档提 供了便 利条件。

在对温度漂移要求不高的情况下，可利用电阻分压器直接从E_0中获取V_{REF}，电路如图2.3.4(a)所示。分压器由固定 电阻R和精密多圈电位器RP组成，利用RP精细地调整 V_{REF}值。通 常，环境温度变化2～8℃时大约产生 1 个字的误差。但在电源电压降到



(a) 电阻分压；(b) 外接稳压管；(c) 外接能隙基准电压源

图 2.3.4 获取基准电压的三种方法

7V以下时，D_Z不能反向击穿进入稳压状态，导致基准电压源性能变坏，芯片不能正常工作。

设计精密测量仪表时，建议参照图2.3.4(b)、(c)所示电路，采用外部基准电压源。(b)图选用6.8V稳压管。(c)图使用ICL8069型能隙基准电压源，可提供1.2V高稳定度电压，电压温度系数可低至10ppm/℃①。

设计电路时通常将COM与IN_端短接，否则二者电位不等，会产生一个共模电压，引起测量误差。

2．模拟开关

CMOS模拟开关具有微功耗(小于1μW)、速度快(传输正向频率可达几十兆赫)、体积小、使用寿命长、无触点等优点，是比较理想的开关器件。但它属于电压控制型器件，控制电流极小，所以被传输信号应是电压信号。

7106内部有3组模拟开关。S_{AZ}是自动调零开关，S_{INT}是正向积分开关，S_{DE+}和S_{DE-}是反向积分开关。由控制逻辑适时发出控制信号，接通相应的模拟开关，保证A/D转换正常进行。

3．双积分A/D转换器工作原理

A/D转换器的每个测量周期分成三个阶段：自动调零(AZ)、正向积分(INT)、反向积分(DE)。

第一阶段，自动调零AZ(Auto-Zero)：

在此阶段，S_{AZ}闭合、S_{INT}、S_{DE}断开，完成以下工作：第一，将IN_+，IN_-的外部引线断开，并将缓冲器的同相输入端与模拟地短接，使芯片内部的输入电压$V_{IN}=0V$；第二，把积分器反相输入端与比较器输出端短接，此时反映到比较器输出端的总失调电压对自动调零电容C_{AZ}充电，以补偿缓冲器、积分器和比较器本身的失调电压，可保证输入失调电压小于10μV；第三，基准电压V_{REF}向基准电容C_{REF}充电，使之被充到V_{REF}，为反向积分

① ICL8069共分四档，电压温度系数为10～100ppm/℃。

作准备。

第二阶段，正向积分（亦称信号积分或采样）INT(integral)：

此时S_{INT}闭合，S_{AZ}和S_{DE}断开，切断自动调零电路并去掉短路线，IN_+、IN_-端分别被接通，积分器和比较器开始工作。被测电压V_{IN}经缓冲器和积分电阻后送至积分器。积分器在固定时间T_1内，以$V_{IN}/(R_{INT} \cdot C_{INT})$的斜率对$V_{IN}$进行定时积分。令计数脉冲的频率为$f_{CP}$，周期为$T_{CP}$，则$T_1 = 1000T_{CP}$。当计数器计满1000个脉冲数时，积分器的输出电压为

$$V_0 = \frac{K}{R_{INT}C_{INT}} \int_0^{T_1} V_{IN}dt = \frac{KT_1}{R_{INT}C_{INT}} \cdot V_{IN} \quad (2.3.1)$$

式中，K是缓冲放大器的电压放大系数，T_1也叫采样时间。在正向积分结束时，V_{IN}的极性即被判定。

第三阶段，反向积分，亦称解积分DE（Decompose Integral）：

在此阶段，S_{AZ}、S_{INT}断开，S_{DE+}、S_{DE-}闭合。控制逻辑在对V_{IN}进行极性判断之后，接通相应极性的模拟开关，将C_{REF}上已充好的基准电压按相反极性代替V_{IN}，进行反向积分，斜率变成$V_{REF}/(R_{INT} \cdot C_{INT})$。经过时间$T_2$，积分器的输出又回到零电平，参见图2.3.5。该图分别绘出对负极性输入电压（$V_{IN}<0$）和正极性输入电压（$V_{IN}>0$）的积分波形。

当反向积分结束时，有关系式

$$V_0 = \frac{K}{R_{INT}C_{INT}} \int_0^{T_2} V_{REF}dt = V_0 - \frac{KV_{REF}}{R_{INT}C_{INT}} = 0 \quad (2.3.2)$$

将式（2.3.1）代入式（2.3.2）中整理后得到

$$T_2 = \frac{T_1}{V_{REF}} \cdot V_{IN} \quad (2.3.3)$$

假定在T_2时间内计数值（即仪表显示值，不考虑小数点）为N，则$T_2 = NT_{CP}$。代入式（2.3.3）中得到

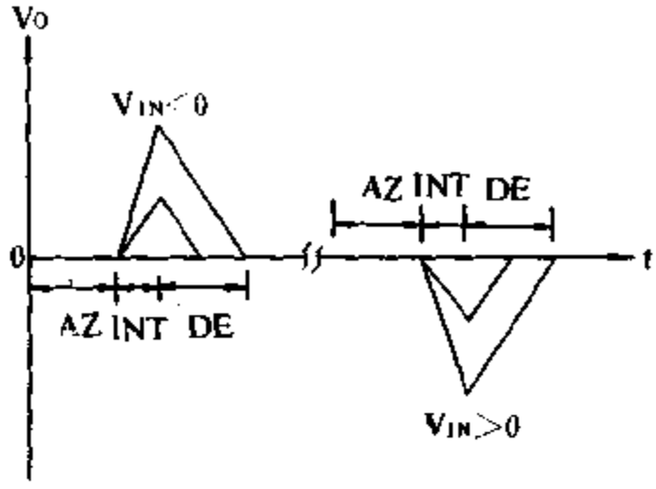


图 2.3.5 双积分输出电压示意图

$$N = -\frac{T_1}{T_{CP}V_{REF}} \cdot V_{IN} \qquad (2.3.4)$$

分析式（2.3.4）可知，因T_1、T_{CP}、V_{REF}均是固定不变的，故计数值N仅与被测电压V_{IN}成正比，由此实现了模拟量-数字量转换。

在测量过程中，ICL7106能自动完成下述循环：

自动调零→正向积分→反向积分

A/D 转换器的时序波形如图2.3.6所示。每个阶段的时间分配如下：

自动调零时间：$1000T_{CP} \sim 3000T_{CP}$

正向积分时间T_1：$3000T_{CP} \sim 4000T_{CP}$（$T_1 = 1000T_{CP}$）

反向积分时间T_2：$0 \sim 2000T_{CP}$

每个A/D转换周期为$4000T_{CP}$，折合$16000T_0$。

需作几点说明：

（1）自动调零时间是可变的，必须等上一次反向积分结束后才开始。举例说明，若在$0 \sim 1850T_{CP}$时间内完成反向积分（$T_2 = 1850T_{CP}$），就从$1851T_{CP} \sim 3000T_{CP}$的时间内自动调零。此时调零时间为$3000T_{CP} - 1851T_{CP} = 1149T_{CP}$。

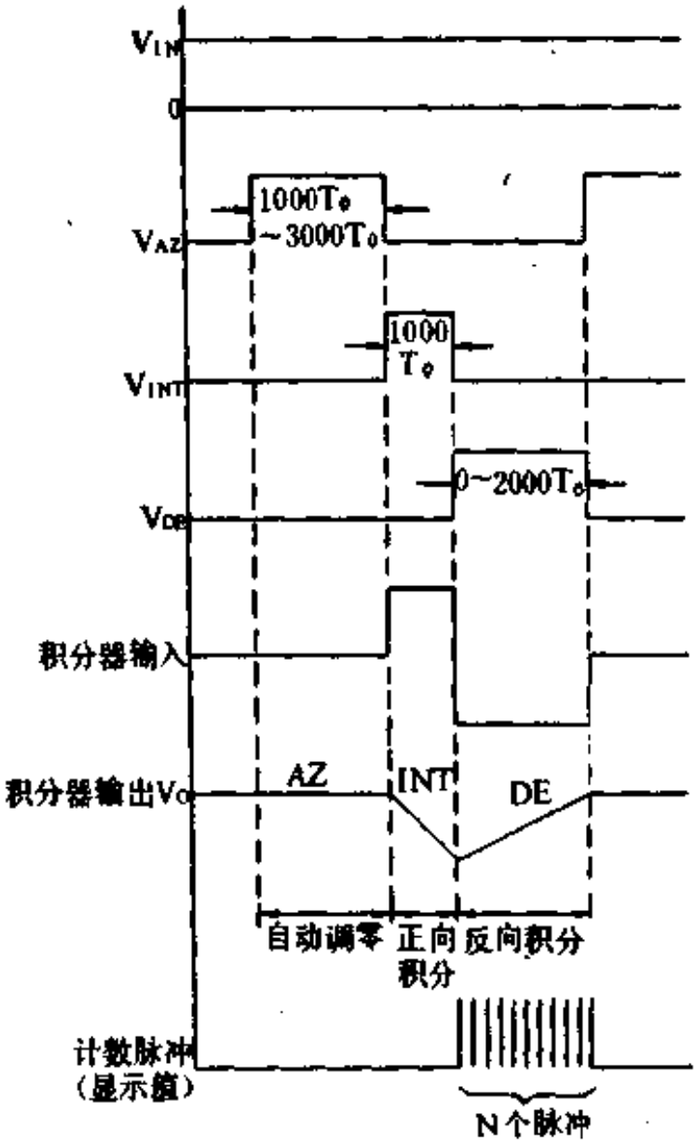


图 2.3.6　A/D转换器时序波形

(2) T_1是固定不变的，T_2则随V_{IN}的大小而变化。

因为$T_1/T_{CP}=1000$，选基准电压$V_{REF}=100.0mV$，所以由式(2.3.4)得到

$$N=\frac{1000}{V_{REF}}\cdot V_{IN}=\frac{1000}{100.0}\cdot V_{IN}=10V_{IN} \qquad (2.3.5)$$

即
$$V_{IN}=0.1N \qquad (2.3.6)$$

只要将小数点定在十位后边，便可直读结果。

满量程时$N=2000$，$V_{IN}=V_M$，由式(2.3.4)可导出满量程

电压V_M与基准电压的关系式

$$V_M = 2V_{REF} \qquad (2.3.7)$$

显然，当$V_{REF} = 100.0mV$时，$V_M = 200mV$；$V_{REF} = 1000mV$时，$V_M = 2V$。式（2.3.7）对ICL系列3½位A/D转换器均适用。

3½位DVM、DMM的最大显示值为1999，满量程时将显示过载符号"1"。

（3）上述定时关系由7106本身特性所决定，外界无法改变。

（4）为提高双积分数字仪表抑制工频干扰的能力，所选采样时间T_1应为工频周期的整倍数。利用正向积分阶段对输入电压取平均的特点，即可消除外界引入的工频干扰。

我国采用50Hz交流电网，其周期为20ms，应选

$$T_1 = n \cdot 20ms \qquad (2.3.8)$$

式中，n = 1，2，3…。n愈大，对串模干扰的抑制能力愈强，但A/D转换时间延长，测量速率降低。例如可取时钟频率$f_0 = 40kHz$，即$T_1 = 1000T_{CP} = 100ms$，恰是20ms的5倍。

欧美国家采用60Hz交流电网，周期是16⅔ms。为抑制60Hz干扰，可选$f_0 = 33\frac{1}{3}kHz$、40kHz、48kHz、60kHz、$66\frac{2}{3}kHz$等。

实际上考虑到交流电网的频率也会有一定波动（例如在50±0.5Hz范围内变化），一般情况下并不要求时钟频率严格等于规定值，允许有一定的偏差。但时钟频率的稳定性应尽量高，否则在T_1、T_2两个时间内T_{CP}不等，会影响转换准确度。

（二）数字电路

数字电路亦称逻辑电路。ICL7106的数字电路如图2.3.7所示。数字电路主要包括8个单元电路：（1）时钟振荡器；（2）分频器；（3）计数器；（4）锁存器；（5）译码器；（6）异或门相位驱动器；（7）控制逻辑；（8）3½位LCD显示器。图中虚线框内

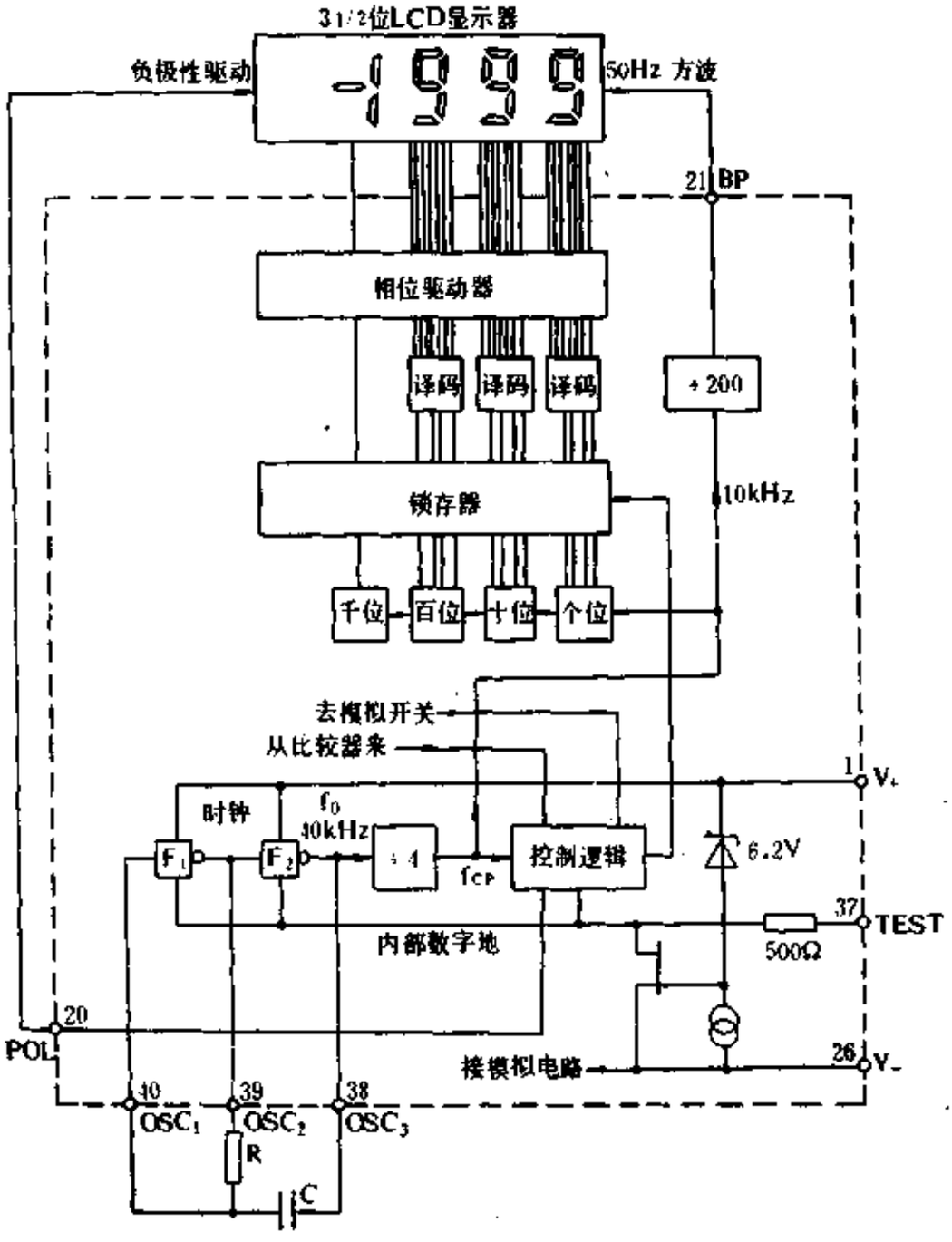


图 2.3.7　ICL7106的数字电路

表示7106的数字电路，框外是外围电路。

1．时钟振荡器

为降低成本，3½位数字电压表一般采用两级反相式阻容振荡器。时钟振荡器由7106内部反相器F_1、F_2及外部元件R、C组成。其输出波形为占空比D≈50%的方波，电路见图2.3.8。

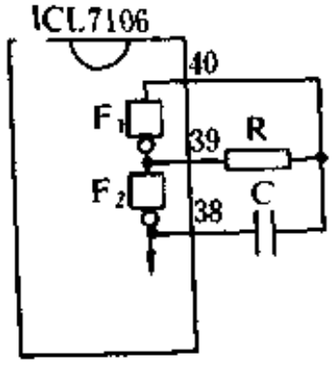


图 2.3.8 时钟振荡器电路

振荡频率与振荡周期的估算公式为

$$f_0 \approx \frac{0.455}{\tau} = \frac{0.455}{RC} \qquad (2.3.9)$$

$$T_0 = 2\tau \ln 3 \approx 2.2\tau = 2.2RC \qquad (2.3.10)$$

式中τ表示时间常数，$\tau = RC$，单位是s。

应当指出，按式（2.3.9）求出的振荡频率比实际值有一定偏差。这是因为反相器的转移电压V_T并不一定等于$V_+/2$（公式成立条件），而且阻容元件亦存在误差，因此上述两个公式均为估算公式。为提高振荡频率的准确度和稳定度，还可在OSC_1端（40脚）串入几百千欧的偏置电阻。

选取阻容元件的方法并非唯一的，只要能满足时间常数的要求，R、C值可以适当搭配。但需注意两点：第一，一般要求$R \geqslant 1k\Omega$，$C \geqslant 100pF$，否则电路不易起振；第二，尽量增大R值，减小C值，因为大容量电容器的体积较大，会给设计和安装印制板带来困难。

举例说明，对于$f_0 = 40kHz$，若取$R = 120k\Omega$，$C = 120k\Omega$，则$f_0 \approx 38kHz$，可近似取作40kHz。此外还可取$R = 56k\Omega$，$C = 220pF$。这时可求出

$$\text{测量速率} = f_0/16000 = 2.5\text{次/秒}$$

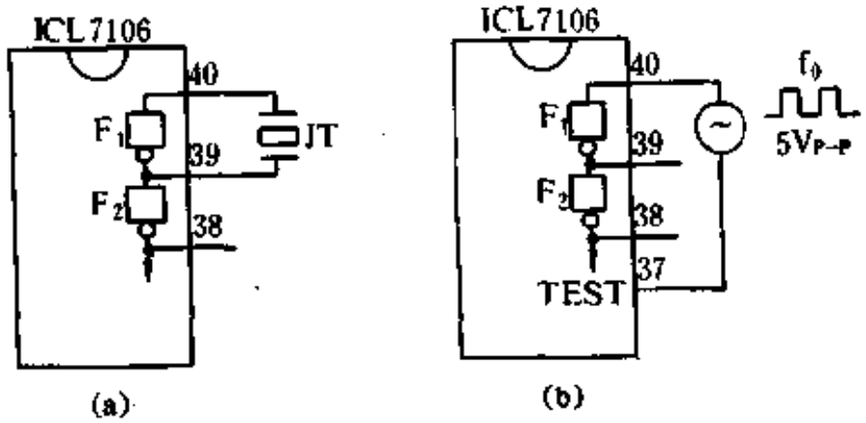
如果取$R = 100k\Omega$，$C = 100pF$，则$f_0 \approx 48kHz$，测量速率就提

高到3次/秒。

ICL7106的时钟电路有3种设计方案：

（1）在第38、39、40脚之间接入RC网络，参见图2.3.8。其特点是外围电路的成本低，但频率稳定度较差。

（2）在第39与40脚之间外接石英晶体JT，构成晶振电路。其特点是振荡频率的准确度与稳定度都很高，但电路成本较高，适于精密测量。电路如图2.3.9(a)所示。



(a)晶振电路；(b)外时钟电路

图 2.3.9 两种时钟振荡电路

（3）将外部时钟频率f_0接至第40脚，f_0可选16～48kHz，幅度约5V_{P-P}。在巡回检测系统使用多片7106时，采用外时钟输入方式不仅能简化电路设计（公用一路时钟），还可实现同步，即在同一时刻对多路输入电压进行采样。电路见图2.3.9(b)。

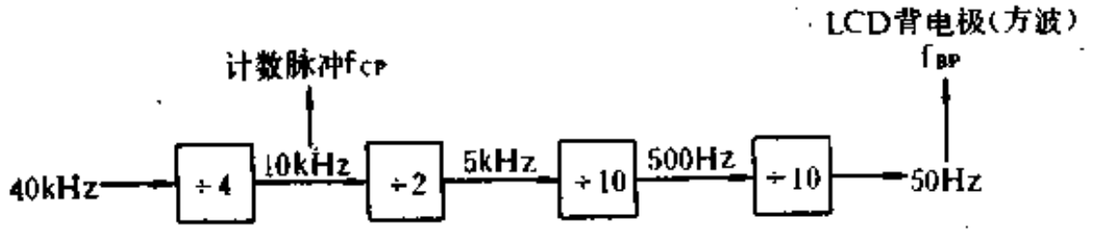
2．分频器

对时钟脉冲进行逐级分频，即可分别得到所需计数频率f_{CP}、液晶显示器背电极方波信号f_{BP}。分频器由一级4分频，一级2分频和两级10分频构成。整个分频电路完成800分频。

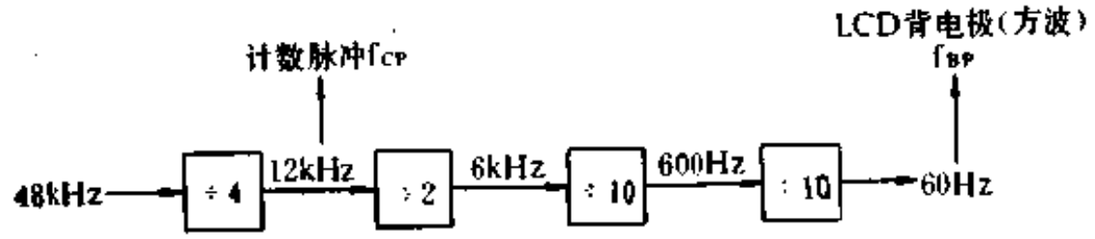
对应于不同的时钟频率（$f_{01}=40kHz$，$f_{02}=48kHz$，分频形式如图2.3.10所示。图中÷4表示4分频，余者类推。

3．计数器

采用二-十进制（BCD码）计数器，仍符合“逢十进一”的规律。每个整数位的计数器由4级触发器和门电路所组成。最高位



(a)



(b)

(a) $f_{o1}=40kHz$；(b) $f_{o2}=48kHz$

图 2.3.10 两种分频形式

(1/2位) 只有0和1两种计数状态，只需用1级触发器。

4. 译码器

译码器的作用是将BCD码译成7段码，供显示用。数字万用表所用LCD显示器大多采用7段结构，有a、b、c、d、e、f、g七个笔段。由这些笔段可组成从0～9中的任何数。图2.3.11是笔段字形图。

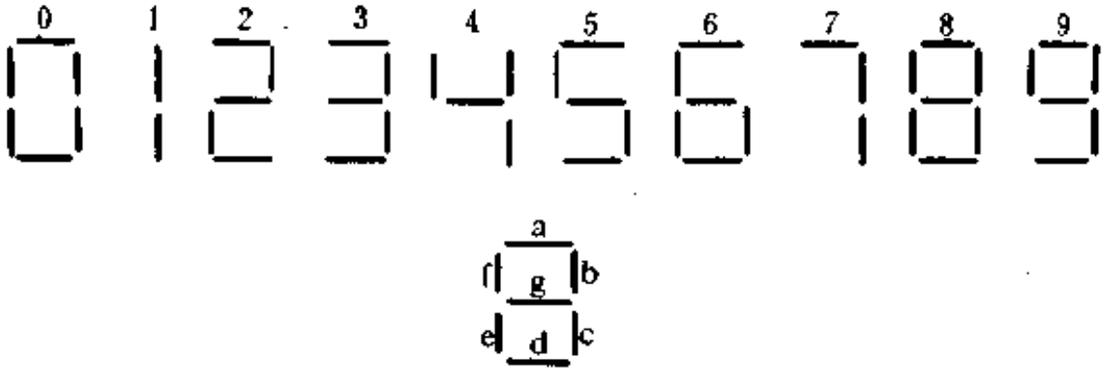


图 2.3.11 笔段字形图

5. 异或门相位驱动器

液晶显示器的一个重要特点就是必须采用交流驱动方式。因为若用直流驱动，会使液晶材料发生电解、产生气泡而变质，大大缩短使用寿命。

当液晶显示器的笔段电极（a～g）与背电极（BP）呈等电位时，液晶不显示（消隐）；当二者存在一定的电位差时，液晶就发光。通常是把两个频率与幅度相同而相位相反、占空比为50%的方波电压，分别加于笔段引出端与BP端之间，利用二者电位差来驱动该笔段发光。如果这两端的方波电压为同相，电位差等于零，该笔段就消隐。方波频率范围一般取30～200Hz。由ICL7106构成的数字万用表，一般选50～60Hz的方波电压，幅度为4～6V，典型值是5V。

驱动电路可采用异或门。异或门特点是：当两个输入端 A、B的状态相异时（一个是高电平，另一个为低 电 平），输出端J为高电平；反之，J为低电平。异或门的逻辑符 号见 图2.3.12，逻辑表达式为

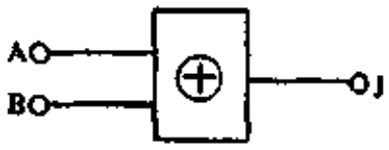


图 2.3.12　异或门的逻辑符号

$$J = A \oplus B = \bar{A}B + A\bar{B} \qquad (2.3.11)$$

异或门交流驱动的波形如图2.3.13所示。当输入 端A = 0（低电平）时，其输出端J端波形的相位与BP端一致，因此笔段 电极与背电极两端的电位差为零伏，使该笔 段 消 隐。当A = 1（高电平）时，J端波形的相位与BP端相反，由于笔段电极两端 存在电位差，使该笔段显示。

ICL7106内部设有异或门电路，可直 接 驱动3 ½位LCD数字显示器。但是为显示小 数 点（DP_1～DP_3）及 低 电压 指 示 符号

(←—)，还需外加一片四异或门集成电路，典型产品有CD4030、CD4070型CMOS四异或门。

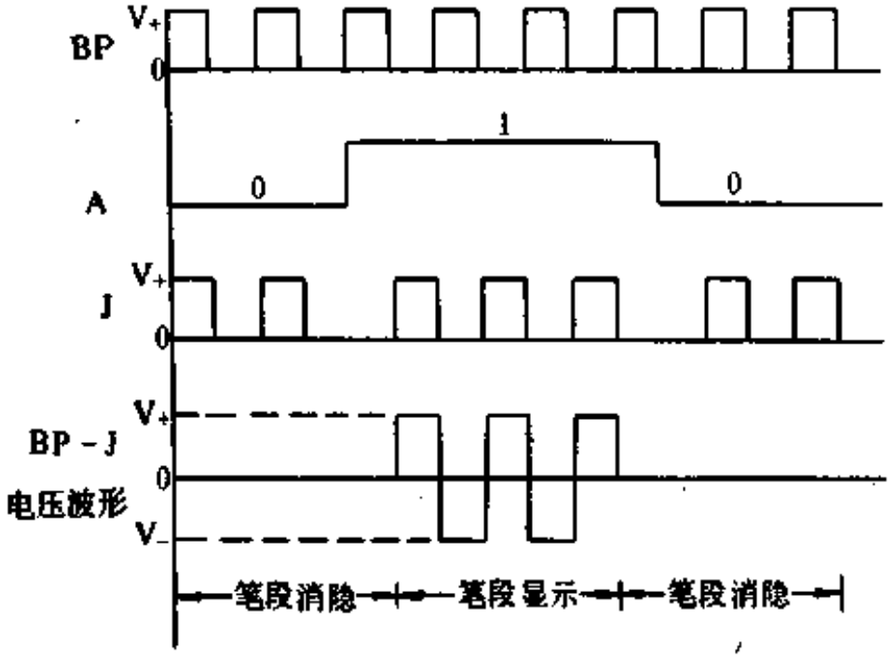


图 2.3.13 异或门驱动的波形

此外，亦可采用异或非门驱动LCD显示器。异或非门的逻辑符号见图2.3.14。异或非门的特点是当两个输入端状态相同（均为高电平，或均为低电平）时，输出高电平；反之输出低电平。控制端为高电平时有效。例如，A端接方波V_A，控制端B固定接低电平时，异或非门输出的方波V_F恰与V_A的波形反相，见图2.3.15。异或非门的逻辑表达式为

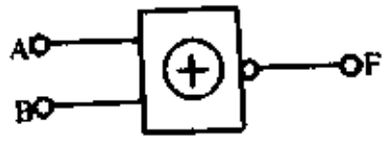


图 2.3.14 异或非门逻辑符号

$$F=\overline{A\oplus B}=\overline{\bar{A}B+A\bar{B}} \qquad (2.3.12)$$

在DT830型数字万用表中，就使用一片CD4077型四异或非门。

6. 控制逻辑

控制逻辑有3个功能：

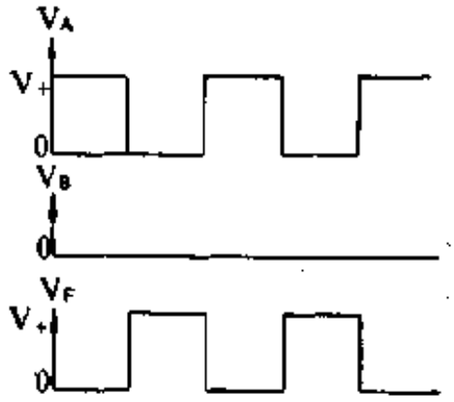


图 2.3.15 异或非门驱动的波形

(1) 识别积分器的工作状态，适时地发出控制信号，使模拟开关按规定顺序接通或断开，保证A/D转换正常进行。

(2) 判定输入电压的极性并控制LCD显示器的负极性显示。

(3) 当输入电压超量程时发出溢出信号，使千位数显示"1"，其余数码全部消隐。

7. 锁存器

锁存器接在计数器与译码器之间，仅当控制逻辑发出选通信号时，计数器中的A/D转换结果才能送至译码器。因此，每完成一次A/D转换后显示值改变一次。利用锁存器可避免在计数过程中显示器不断跳数，减少视觉疲劳，便于观察和记录。

8. 液晶显示器

液晶是介于固态和液态之间的一种晶状物质，兼有液体的流动性与晶体的光学特性。常见的液晶显示器有两种。一种是反射型，另一种是向列型。后者的驱动电压较低，容易用CMOS或TTL电路驱动，被广泛用于袖珍式数字仪表中。

图2.3.16是向列型液晶显示器的原理图。它由偏光板A、奈塞（nesa）玻璃板B、液晶、公共电极（BP）C、偏光板D和漫反射玻璃E组成。奈塞是透明导电膜之意。液晶封装在B、C两板之间。偏光板A、D的作用是只允许沿板上箭头方向的偏振光通过。在奈塞玻璃上加工有字形（图中黑竖道表示数字1），并在字

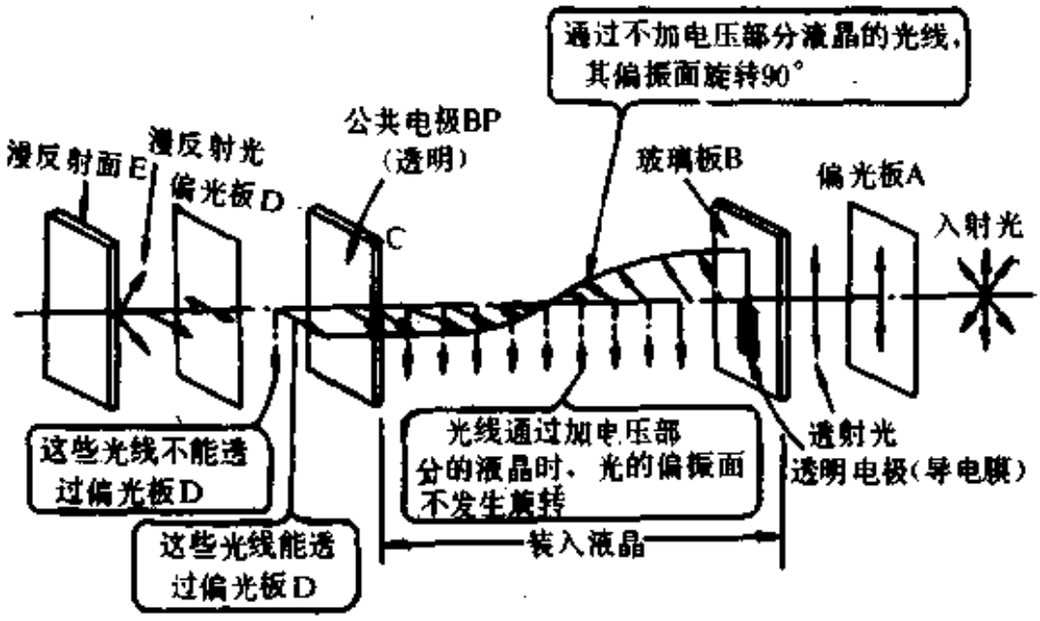


图 2.3.16　向列型液晶显示器原理

形上涂一层透明的导电薄膜，无字处则不涂。入射光可以是太阳光之类的自然光。自然光有许多振动面，但偏光板A只让竖直方向的偏振光透过。如果在B板的字形1与公共电极C之间加上电压，那末封装在里面的液晶分子将重新排列，除字形1的偏振面方向不变以外（图中虚线箭头所示），其他光线的偏振面都要旋转90°（图中水平方向实线箭头所示）。而偏光极D只让水平方向的光线通过，不让表示字形1的光线通过。水平光线经过漫反射玻璃E，向右边发生漫反射，因此从右边看上去是亮区。因为字形1的光线不能反射回去，所以从右边看到的是暗区，即黑色的数字1。液晶表面还可以加滤光片，例如加黄色滤光片，就在黄色背景上出现黑色的数字。

液晶显示器一般经过导电橡胶棍与驱动电路相连。驱动多位LCD显示器时，为减少引线数量，也可采用动态驱动方法（即时分割法）。

四、ICL7106的典型应用

由ICL7106构成的3 ½位数字电压表的典型电路如图2.3.17所示。图中省略了小数点显示、负极性显示的控制电路。该表量

程V_M = 200mV，称之为基准档或基本表。下面介绍各外围元件的作用。

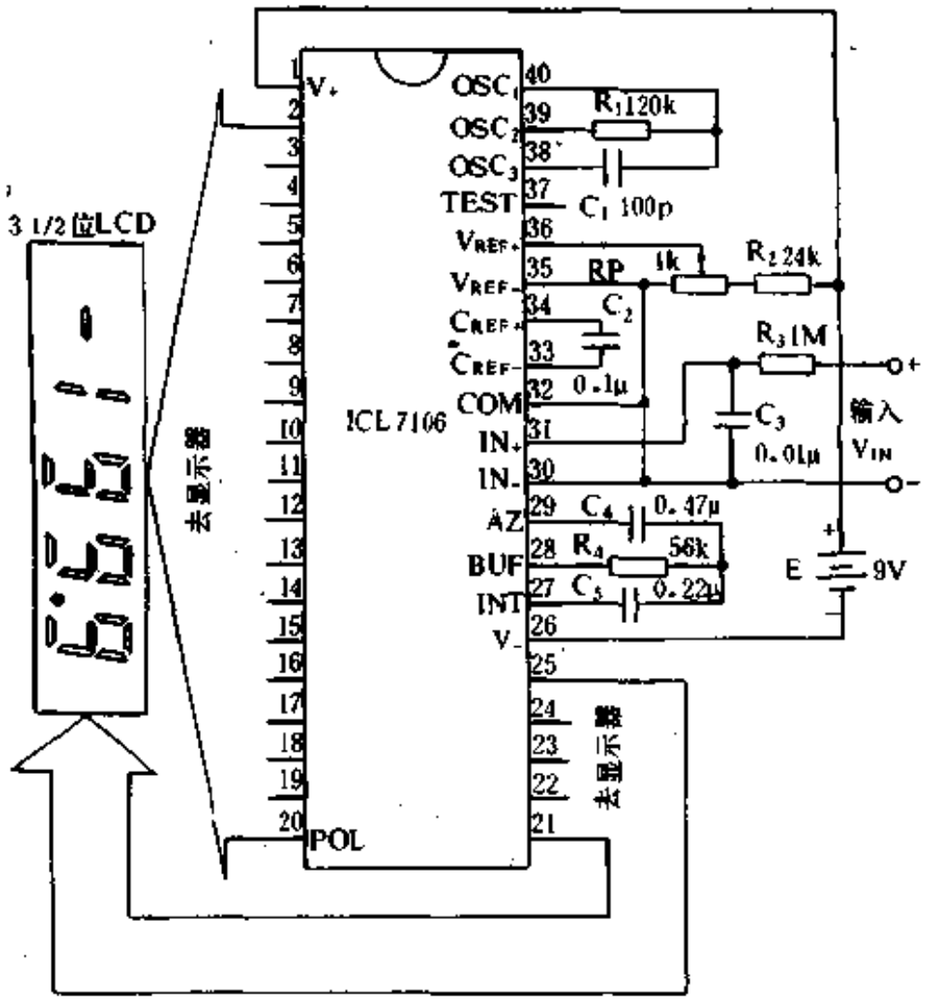


图 2.3.17　由ICL7106构成的3 $^1/_2$位数字电压表

R_1、C_1为时钟振荡器的阻、容元件。

RP、R_2组成基准电压的分压电路。其中，RP是精密多圈电位器，R_2是固定电阻。调整RP使基准电压V_{REF} = 100.0mV。

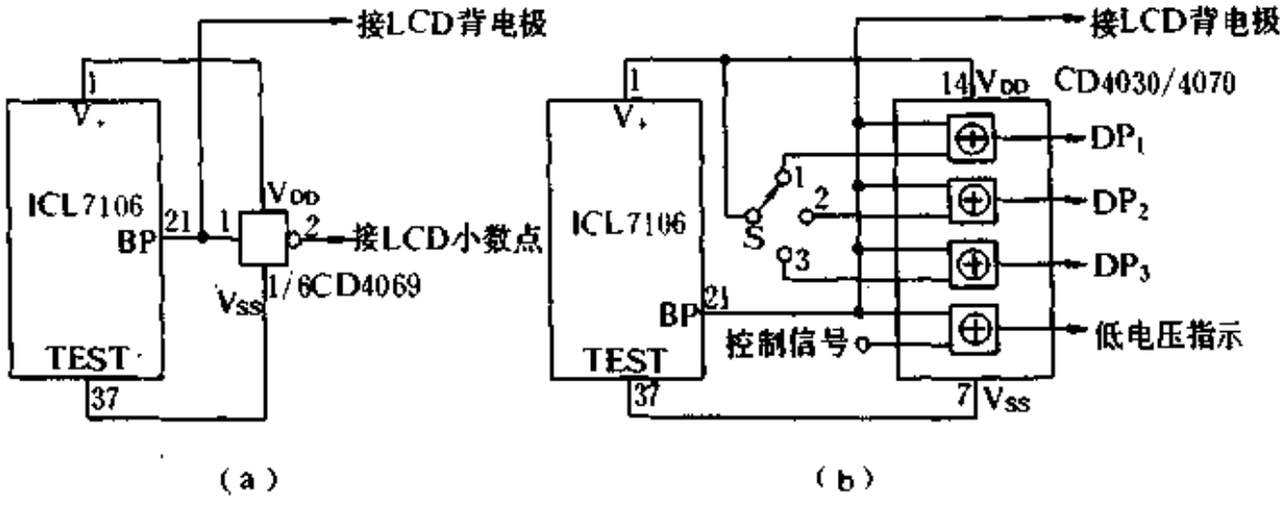
R_3、C_3为输入端高频滤波器，以提高仪表的抗干扰能力。R_3兼作输入端IN+的限流电阻。

C_2、C_4分别是基准电容和自动调零电容。

R_4、C_5分别为积分电阻和积分电容。

仪表采用9V叠层电池供电。电路中将IN-、V_{REF}-与COM短接。该表测量速率为2.5次/秒。

ICL7106只有液晶笔段与背电极驱动端，没有小数点驱动端。为显示小数点，需另加外围电路，参见图2.3.18。对于固定小数点显示（只显示1个小数点且位置固定），可采用(a)图所示电路，使用CMOS六反相器CD4069（现只用其中一个反相器）。亦可用NPN型小功率晶体管（例如3DG6、9013、9014）代替反相器。对于位置可变的小数点显示，可采用CD4030或CD4070四异或门，电路见(b)图。S是小数点选择开关，DP_1～DP_3分别表示个、十、百位小数点驱动端，LCD显示器的背电极接BP。剩下一个异或门还可用来驱动低电压标志符。



(a) 固定小数点显示；(b) 小数点可选择

图 2.3.18 小数点显示电路

五、使用注意事项

1. 量程设计

由ICL7106构成DVM的基本量程为200mV。若需改装成2V量程，应改变图2.3.17中的R_2、C_4、R_4的数值，其余元件值不变。两种量程的元件对照见表2.3.2。

2. 元件选择

积分电容C_5应选用漏电阻高、介质吸收系数小的聚苯乙烯电容器或聚四氟乙烯电容器。

表 2.3.2 200mV与2V量程元件对照

名 称	量程V_M	基准电压V_{REF}	R_2	C_4	R_4	备 注
基本表	200mV	+100.0mV	24kΩ	0.47μF	56kΩ	f_0=40kHz
改装表	2V	+1.000V	1.5kΩ	0.047μF	330kΩ	

六、功能检查

功能检查可判断ICL7106质量的好坏。为便于检查，表2.3.3列出200mV基本表的显示特点。

功能检查的内容如下：

(1) 检查零输入时的显示值；

表 2.3.3 200mV基本表的显示特点

输入电压V_{IN}(mV)	显示内容			
	千位	百位	十位	个位
0	消隐	0	0	0
<10.0	消隐	0	0~9	0~9
100.0~199.9	1	0~9	0~9	0~9
>199.9	1	消隐	消隐	消隐

表 2.3.4 ICL7106的功能检查内容

检查内容	检查方法		显示内容				
	开关位置	被短接的管脚	负号	千位	百位	十位	个位
0.00	1	IN_+—IN_- (第31脚—30脚)	消隐	消隐	0	0	0
100.0	2	IN_+—V_{REF+} (第31脚—36脚)	消隐	1	0	0	0±1
1888	3	TEST—V_+ (第37脚—1脚)	消隐	1	8	8	8
负号和溢出	4	IN_+—V_- (第31脚—26脚)	—	1	消隐	消隐	消隐

(2) 检查基准电压V_{REF};

(3) 检查液晶显示器的全亮笔划;

(4) 检查负号显示及溢出显示。

功能检查内容见表2.3.4，测试电路如图2.3.19所示。

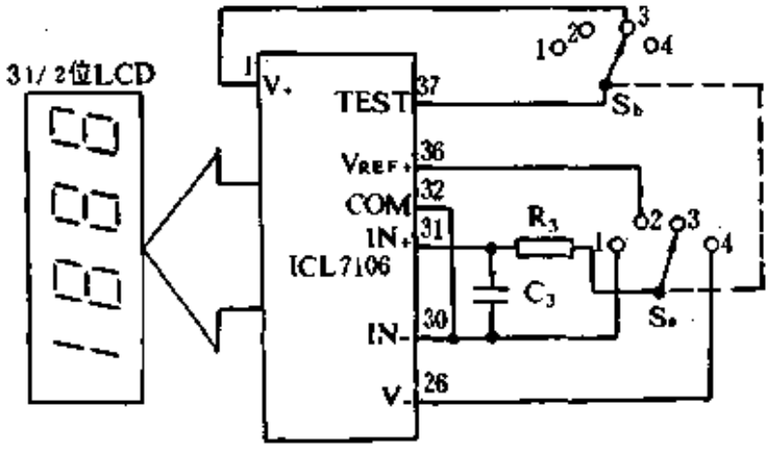


图 2.3.19 ICL7106的功能检查电路

§2.4 ICL7136型单片3½位A/D转换器

ICL7136属于微功耗单片3½位A/D转换器，它是ICL7106的改进型号。这两种芯片的性能指标略有差异，而工作原理及管脚排列完全相同，可以互相代换。

一、ICL7136的主要特点

(1) 微功耗。最大功耗约1mW，电源电流的典型值仅70μA，最 大为100μA，只相当于7106的$^1/_{18}$。使用9V叠层电池可连续工作 0 00h（7106为200h），电池使用寿命可提高40倍。

(2) 输入电流为1pA。

(3) 低噪声，噪声电压的峰-峰值为15μV(典型值)。

(4) 能消除超量程时的滞后效应。由超量程状态转入正常测

量的恢复时间极短。在设计电阻档时可实现电阻测量的快速读数。

（5）测量速率为0.1～4次/秒，通常取1～3次/秒，低于7106，后者为0.1～15次/秒。

ICL7136在电路上有以下改进：

第一，在模拟电路的输出端增加了过零检波器和极性触发器；

第二，在缓冲器与积分器之间增加一个自动调零模拟开关S_{AZ}。

二、ICL7136的典型应用

图2.4是由ICL7136构成的$3\frac{1}{2}$位数字电压表，满量程为2V，测量速率为1次/秒。

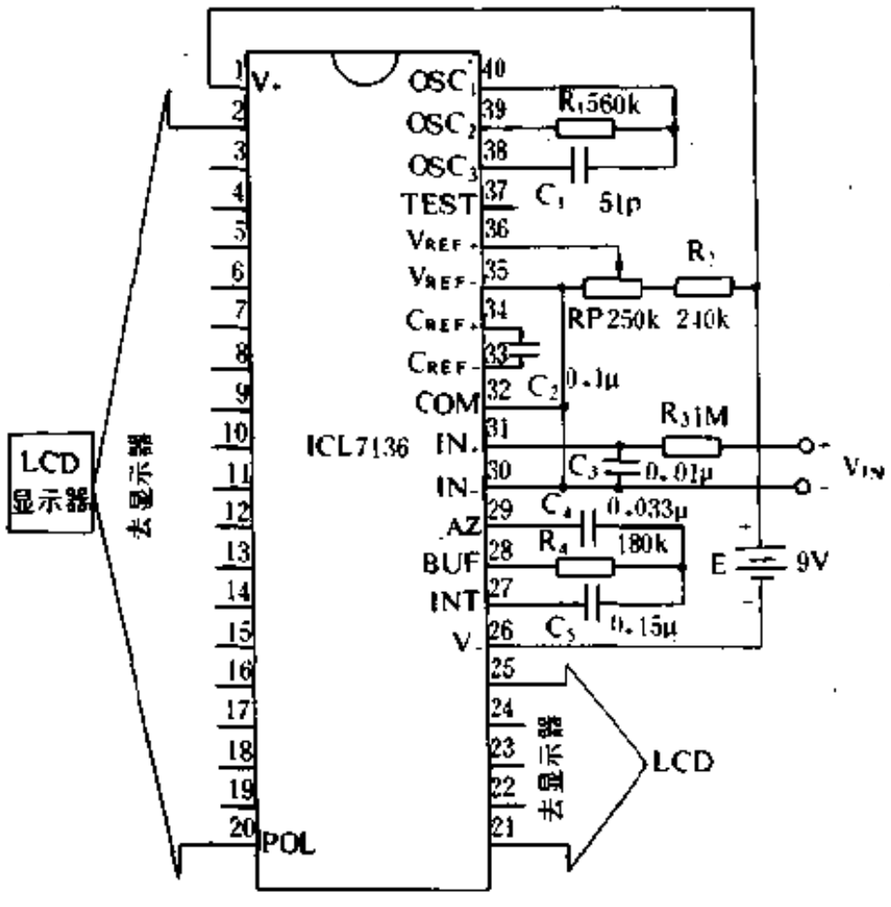


图 2.4 由ICL7136构成的数字电压表

三、外围元件选择

1. 积分电阻R_4

对于200mV量程，满量程时积分器输出电压$V_o = 2V$（$V_{IN} > 0$），或$V_o = -2V$（$V_{IN} < 0$）。输出电流$I_o \approx 1\mu A$。由此求出$R_4 = V_o/I_o \approx 200k\Omega$。通常取$R_4 = 180k\Omega$。对于2V量程，$I_o \approx 0.1\mu A$，$R_4$取$1.8M\Omega$。

积分电阻值决定积分电流的大小。R_4取得过小，积分电流会超出积分器带负载的能力，使V_o趋于饱和。反之，R_4取得太大，I_o就非常小，印制板上的漏电流会增加测量误差。

调试仪表时分别输入V_M和$-V_M$的电压①，若两次读数相差较大，则表明积分器输出电压的对称性较差，可适当增大R_4的阻值，降低积分电压的斜率。

2. 积分电容C_5

积分时间常数取决于积分电阻与积分电容的乘积，即$\tau = R_4C_5$。为保证线性积分，要求$\tau \gg T_1$，T_1是正向积分时间。

由于模拟电路中缓冲器的电压放大倍数$K \approx 1$，由式(2.3.1)推导出

$$C_{INT} = \frac{T_1}{R_{INT}V_o} \cdot V_{IN} \qquad (2.4.1)$$

若用R_4、C_5分别代替R_{INT}和C_{INT}，考虑到满量程时$V_{IN} = V_M$，于是

$$C_5 = \frac{T_1}{R_4V_o} \cdot V_M \qquad (2.4.2)$$

当测量速率为3次/秒时，对应于$f_o = 48kHz$，$T_o = 20.8\mu s$，$T_{CP} = 4T_o = 83.2\mu s$，$T_1 = 1000T_{CP} = 83.2ms$。积分器满量程输出电压$V_o \approx 2V$。将$R_4 = 180k\Omega$，$V_o = 2V$，$T_1 = 83.2ms$，$V_M =$

① 为避免仪表超量程，实际输入电压应略低于V_M，或略高于$-V_M$。

200mV一并代入式（2.4.2）中得到$C_5 = 0.046\mu F$。实取标称容量0.047μF。

当测量速率为1次/秒时，$f_0 = 16kHz$，$T_1 = 250ms$。同理可求出200mV档的$C_5 = 0.138\mu F$。实取标称值0.15μF。

（3）自动调零电容C_4

利用自动调零电容可以消除缓冲器、积分器和比较器的输入失调电压。在调零过程中，利用比较器输出端的失调电压对C_4充电，并使C_4上的电压与失调电压反相。调零电容的大小，也会影响系统的噪声。

对于200mV量程，可适当增大C_4的电容量，通常取0.33μF或0.47μF。对于2V量程，为提高从超量程状态恢复到正常测量的速度，应减小C_4的容量，一般取$C_4 = 0.033\mu F$或0.047μF。

§2.5 NJU9207型3 1/2位自动量程数字万用表芯片

NJU9207是3½位自动转换量程数字万用表专用IC，它采用双积分式A/D转换原理，能以最简方式构成一块性能优良、功能较完善的袖珍式数字万用表。

一、NJU9207的主要特点

（1）采用大规模集成电路，实现了数字万用表的单片集成化，共设有27个量程。

（2）电源电压范围是1.8～3.6V，典型值为3V，可由两节1.5V钮扣电池供电。

（3）低功耗。工作电流$I_{DD} \leqslant 1mA$，功耗低于3mW。

（4）给内部驱动LCD的电源增加了稳压装置。

（5）具有超量程、读数保持功能，电池低电压报警功能。

（6）能直接驱动LCD显示器和压电蜂鸣器。

（7）有开机自动复位功能。

（8）输入漏电流小于100pA，非线性误差≤±0.2%FS，颠倒误差≤±0.1%FS，FS表示满量程。

（9）测量速度为2次/秒。

NJU9207的主要技术指标见表2.5.1。测试条件为T_A=25℃，V_{DD}=3.0V，V_{GND}=1.5V，直流200mV量程。因V_{DD_1}和V_{DD_2}呈等电位，故统称作V_{DD}。

表 2.5.1 NJU9207的主要技术指标

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
电源电压	V_{DD}		1.8	3.0	3.6	V
	V_{GND}		0.9	1.5	1.8	
负电源电压	V_{SSZ}	V_{SSZ}端		−2.8		V
工作电流	I_{DD}				1.0	mA
采样时间	T_1			100		ms
测量速率				2		次/s
非线性误差		输入串联电阻 R_1=10MΩ			±0.2	%FS
颠倒误差					±0.1	
零伏输入读数			0	0	0	
输入电压	V_{IH}	FC_1～FC_4，RC_1～RC_4，RH，AFC，DH，A/M端	2.45			V
	V_{IL}				0.55	
输入阻抗	Z_I	XT端		5		MΩ
电阻档开路电压		200Ω～20MΩ档		0.43		V
输入上拉电阻	R_I	FC_1～FC_4，RC_1～RC_4，RH，AFC，DH端	100	300	500	kΩ
蜂鸣器端输出电流	I_{OH}	BZ端 V_{OH}=2.7V	0.25	0.75		mA
	I_{OL}	BZ端 V_{OL}=0.3V	0.25	0.75		

续表

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
背电极驱动电压（对V_{DD}）	V_H	$COM_1 \sim COM_4$		−1.03		V
	V_L			−2.07		
	V_{DSP}			−3.10		
液晶笔段驱动电压（对V_{DD}）	V_H	$SEG_1 \sim SEG_{10}$		−1.03		V
	V_L			−2.07		
	V_{DSP}			−3.10		
输入漏电流	I_{IL}	V_I端，$V_{IN}=0mV$			±10	pA
		V_I端，$V_{IN}=\pm 200mV$			±100	

二、NJU9207的管脚功能

NJU9207采用扁平封装，共80个引出端，管脚排列见图

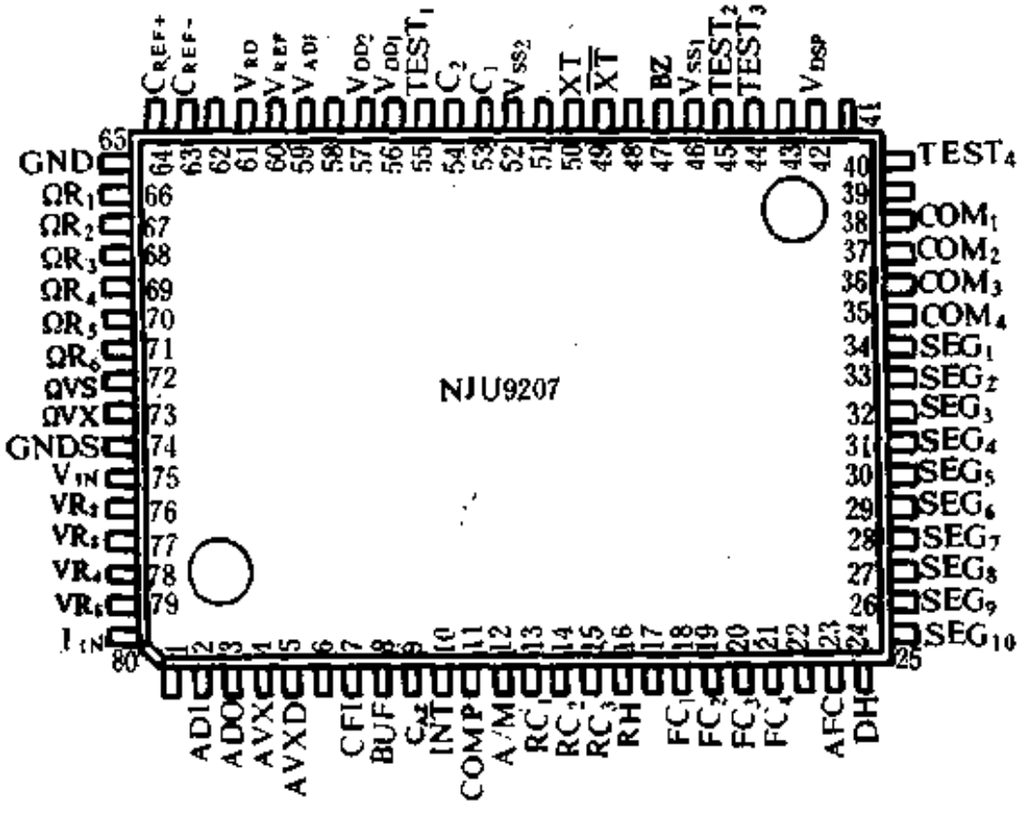


图 2.5.1 NJU9207的管脚排列

2.5.1。第1、6、17、22、39、41、43、48、51、58、62脚为空脚。其余各管脚的功能如下：

ADI——交流/直流（AC/DC）转换输入端；

ADO——AC/DC转换输出端；

AVX——交流电压输入时A/D转换的高输入端；

AVXD——交流电压输入时A/D转换的低输入端；

CFI——滤波电容端；

BUF——缓冲放大器输出端；

C_{AZ}——自动调零电容端；

INT——积分器输出端，接积分电容；

COMP——比较器输出端；

A/M（AUTO-MAN）——自动/手动转换量程控制端，此端接高电平时为自动转换量程，为低电平时选择手动转换量程；

$RC_1 \sim RC_3$——量程设置端（开机为高电平①）；

RH——量程保持端，RH = 0时量程保持；

DH——读数保持端，DH = 1时 正常计数，DH = 0时 读数保持，刚开机时DH = 1；

$FC_1 \sim FC_4$——功能设置端；

AFC——量程极限 状态转 换端，AFC = 1时 为 量程 极限状态，AFC = 0时为满量程状态；

$SEG_1 \sim SEG_{10}$——LCD段驱动端；

$COM_1 \sim COM_4$——LCD的4个公共电极（背电极）；

V_{DSP}——LCD驱动电源的检查端；

BZ——驱动蜂鸣器的输出端；

$\overline{XT}$、XT——外接石英晶体端；

C_1、C_2——升压电容端；

V_{ADJ}——基准电压调整端；

① 控制输入端$RC_1 \sim RC_3$、RH、DH、$FC_1 \sim FC_4$、AFC在芯片内部均接有上拉电阻。

V_{REF}——内部基准电压源的输出端；

V_{RD}——基准电压监测端；

C_{REF+}、C_{REF-}——基准电容端；

$\Omega R_1 \sim \Omega R_6$——测电阻时的标准电阻端；

ΩVS——测电阻时的基准电压输入端；

ΩVX——测电阻时测试电压的输入端；

V_{IN}——电压测量输入端；

$VR_2 \sim VR_5$——分压电阻端；

I_{IN}——电流测量输入端；

$TEST_1 \sim TEST_4$——测试端1、2、3、4；

V_{SS_1}——模拟、数字地（0V）；

V_{SS_2}——LCD负电源（－3V）；

V_{DD_1}——数字电路正电源（＋3V）；

V_{DD_2}——模拟电路正电源（＋3V）；

GND——模拟输入中点（＋1.5V）；

GNDS——积分时刻GND侧检测端。

三、NJU9207的工作原理

NJU9207的内部框图如图2.5.2所示。主要包括输入电路(多路模拟开关)、积分器、比较器、控制逻辑、锁存器、LCD驱动器、基准电压源、振荡器（时钟振荡器、时基振荡器)、量程/功能选择器。此外在电源电路中还包括电压比较器、电压调节器和电池寿命检出电路。下面重点介绍各部分的功能。

1. 测量功能

NJU9207的基本测量功能参见表2.5.2。

2. 测量功能的选择

改变$FC_1 \sim FC_4$端的输入状态，可以选择不同的测量功能，见表2.5.3。表中，1代表高电平，0代表低电平。功能选择开关可选用旋转式开关。

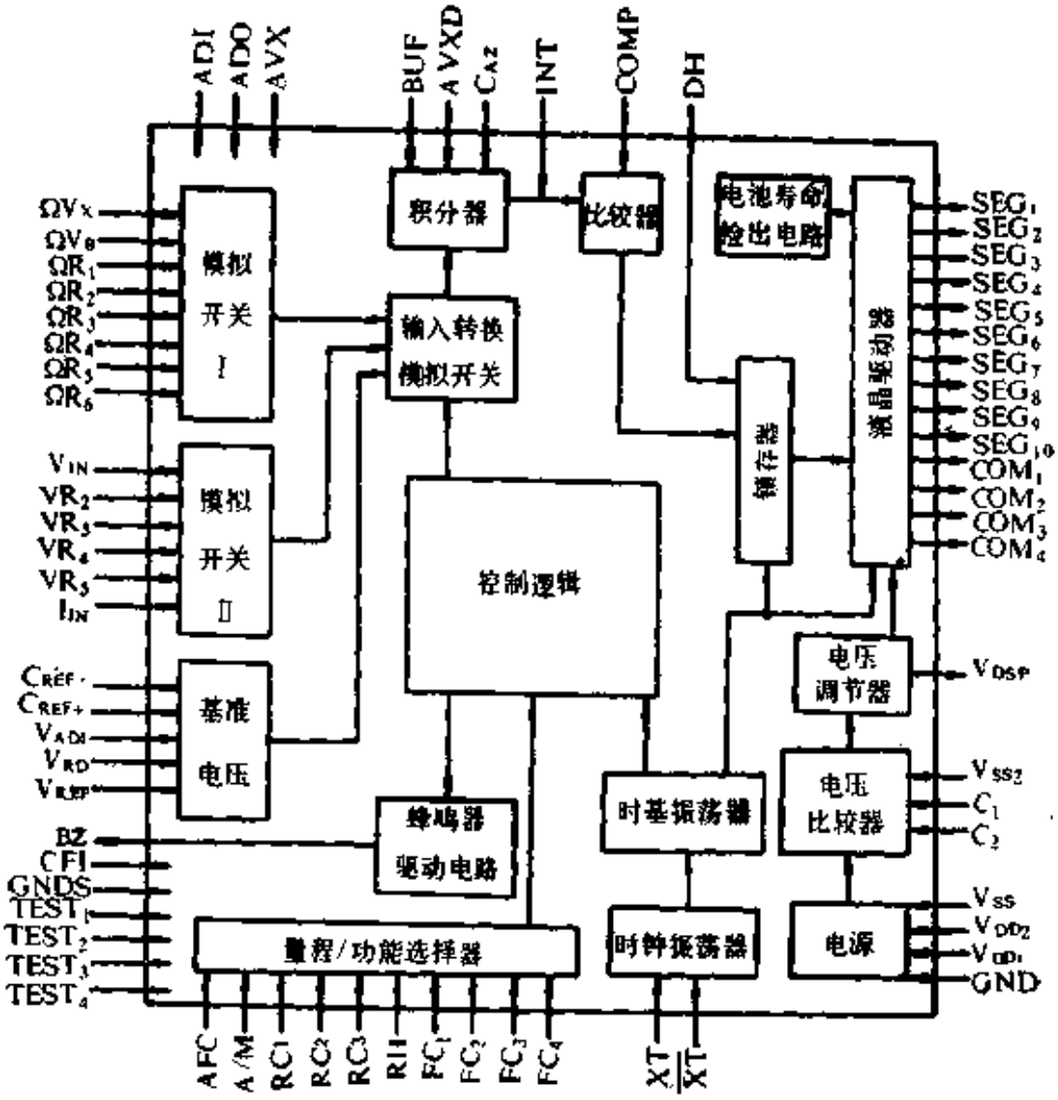


图 2.5.2 NJU9207的内部框图

表 2.5.2 测量功能一览表

测量功能	量程	转换量程方式
直流电压DCV	200mV～2000V(5量程)	自动
交流电压ACV	2V～2000V (4量程)	自动
电 阻Ω	200Ω～20MΩ (6量程)	自动
直流电流DCA	2mA～20A (5量程)	手动
交流电流ACA	2mA～20A (5量程)	手动
检测二极管	1量程	(借用2V档)
检查线路通断	1量程	(借用2kΩ档)

表 2.5.3 测量功能选择

测量功能	FC_1	FC_2	FC_3	FC_4
DCV	1	1	1	1
ACV	0	1	1	1
DCA	1	0	1	1
ACA	0	0	1	1
Ω	1	1	0	1
检测二级管	1	0	0	1
检查线路通断	1	1	1	0

3. 转换确认信号及系统复位信号

(1) 转换确认信号

在转换功能开关时，$FC_1 \sim FC_4$端的输入电平发生跳变（1→0或者0→1），BZ端就输出31.25ms为2kHz音频信号，直接驱动压电蜂鸣器发声。蜂鸣信号的波形见图2.5.3。

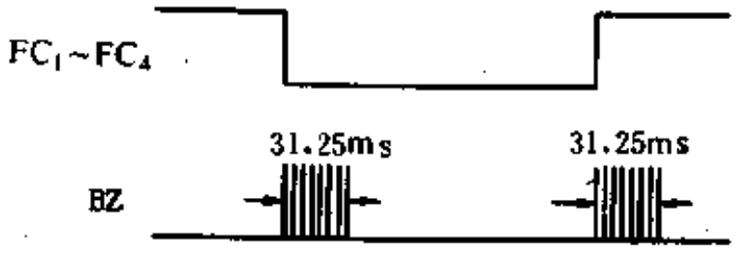


图 2.5.3 蜂鸣信号波形

(2) 系统复位信号

在$FC_1 \sim FC_4$端的电平发生跳变的同时，完成量程置位、计数器复位、解除读数保持、自动复位。

量程置位的情况见表2.5.4，$DP_1 \sim DP_3$分别代表十、百、千位的小数点。在超量程时，经过功能转换之后，由AFC的电平来决定将哪个量程置位。

功能设置输出信号$FC_1 \sim FC_4$还使计数器复位，NJU9207被初始化。如果A/D转换正在进行之中，那末$FC_1 \sim FC_4$的下降沿使正向积分波形回零，而上升沿使反向积分波形回零，参见图2.5.4。

表 2.5.4 量程量位情况

测量功能	AFC=0		AFC=1	
	量程	小数点	量程	小数点
DCV	200mA	DP_1	2V	DP_3
ACV	2V	DP_3	2V	DP_3
DCA	200mA	DP_1	200mA	DP_1
ACA	200mA	DP_1	200mA	DP_1
Ω	200Ω	DP_1	2kΩ	DP_3
检测二极管	2V	DP_3	2V	DP_3
检查线路通断	2kΩ	DP_3	2kΩ	DP_3

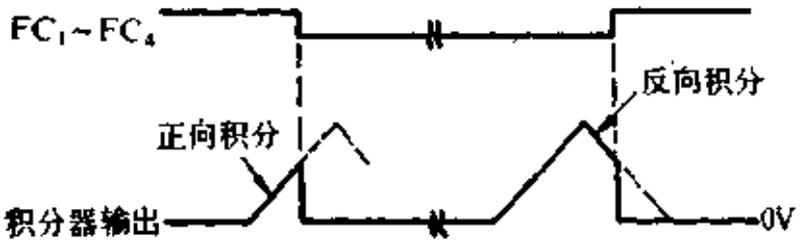


图 2.5.4 积分波形回零情况

4. 检查线路通断

此时选择 2kΩ档，当被测线路的电阻 $R_x<300\Omega$时，蜂鸣器发出持续的响声，显示值就是R_x。

5. 检测二极管

仍选用2kΩ档，开路电压为1.5V。按照正常接法，仪表显示出正向压降V_F值。

6. 自动/手动转换量程功能

为实现自动转换量程与手动转换量程的互换，应在RC_1与V_{SS_1}之间增加一个按钮开关SB_1(参见图2.5.11)。只需控制好按下SB_1时间的长短(t)，即可在两种状态下任意转换，见图2.5.5。满量程方式及量程控制方式分别见表2.5.5、表2.5.6。

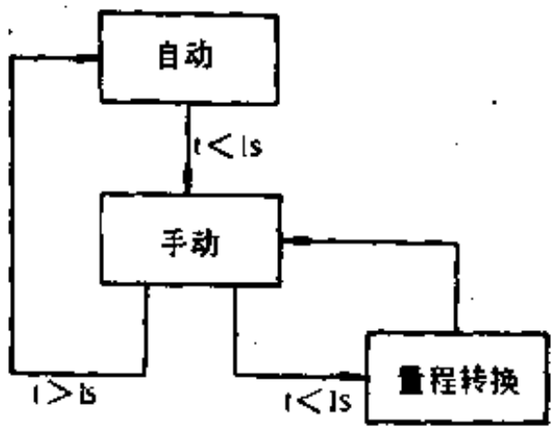


图 2.5.5 自动/手动转换流程图

表 2.5.6 满量程方式

功能	自动	手动		量程限制范围
		SB_1	$SB_1(t<1s)$	
DCV	量程1～量程5	→保持	量程5→4→…→量程1	200mV～2000V
ACV	量程1～量程4	→保持	量程4→3→…→量程1	2V～2000V
DCA	量程1	量程1	量程1	200mA
ACA	量程1	量程1	量程1	200mA
Ω	量程1～量程6	→保持	量程6→5→…→量程1	200Ω～20MΩ

表 2.5.6 量程控制方式

功能	自动	手动		量程限制范围
		SB_1	SB_1 (t<1s)	
DCV	量程1～量程4	→保持	量程4→3→…→量程1	2V～2000V
ACV	量程1～量程4	→保持	量程4→3→…→量程1	2V～2000V
DCA	量程1	量程1	量程1	200mA
ACA	量程1	量程1	量程1	200mA
Ω	量程1～量程4	→保持	量程4→3→…→量程1	2kΩ～2000kΩ

当量程设置端RC_1～RC_3加低电平(时间约1s)时，无论仪表处于哪个量程，通过切换功能设置端FC_1～FC_4，均可使之回到满量

程状态。这就是自动返回功能。

当量程保持端接低电平时，能将测量时刻的量程保持下来。此时量程设置RC_1端不起作用。

转换量程时，RC_1端信号的下降沿使蜂鸣器发出2kHz音频声音，以此作为操作的确认信号，见图2.5.6。

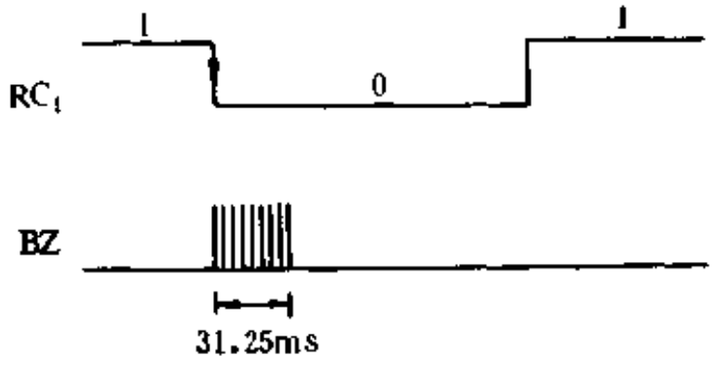


图 2.5.6 自动转换量程的确认信号

7. 手动转换量程

手动转换量程是通过改变RC_1～RC_3的输入电平来实现的，详见表2.5.7。对应于RC_1～RC_3端输入信号的下降沿，蜂鸣器在31.25ms的时间内发声，作为手动操作的确认信号。

8. 蜂鸣器驱动信号

蜂鸣器驱动信号有以下三种方式：

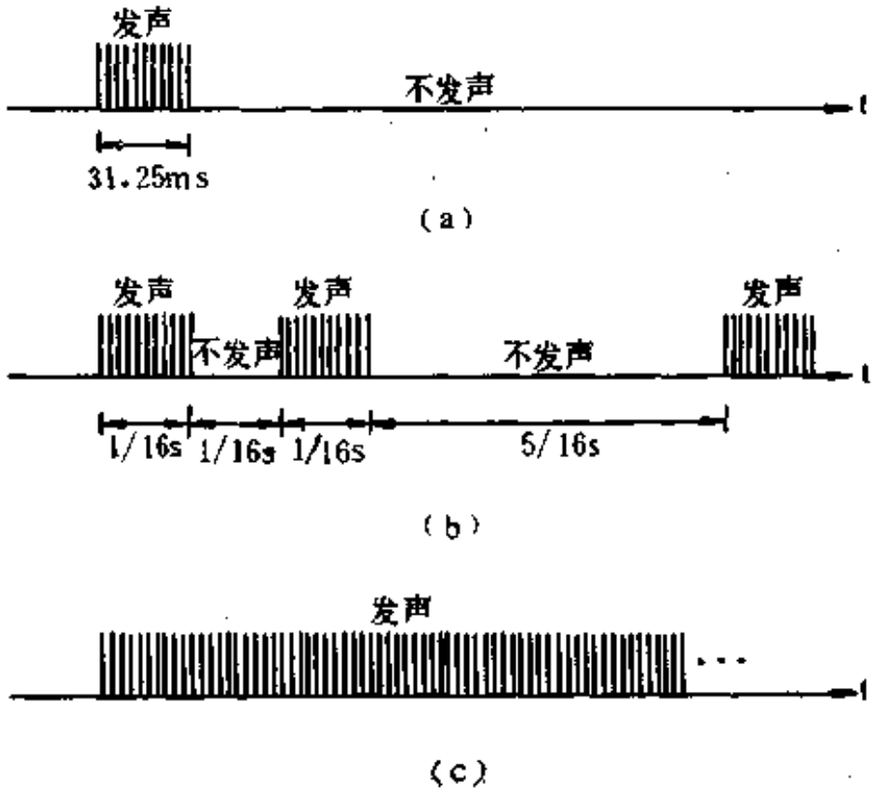
表 2.5.7 手动转换量程的输入电平

RC_1	RC_2	RC_3	DCV	ACV	DCA. ACA	Ω
1	1	1	(量程2)2V	(量程1)2V	(量程1)2mA	(量程2)2kΩ
0	1	1	(量程3)20V	(量程2)20V	(量程2)20mA	(量程3)20kΩ
1	0	1	(量程4)200V	(量程3)200V	(量程3)200mA	(量程4)200kΩ
0	0	1	(量程5)2000V	(量程4)2000V	(量程4)2000mA	(量程5)2000kΩ
1	1	0	(量程5)2000V	(量程4)2000V	(量程5)20A	(量程6)20MΩ
0	1	0	(量程1)200mV	(量程1)2V	(量程1)2mA	(量程1)200Ω

(1) 操作确认信号，发声特点是持续时间仅31.25ms，见图2.5.7(a)；

(2) 过载报警信号，发出"嘀—嗒"声(电阻档除外)，见(b)图；

(3) 检查线路接通时的信号为持续报警声，见图(c)，此时$R_x<300\Omega$。



(a) 操作确认信号；(b) 过载报警信号；
(c) 被测线路接通($R_x<300\Omega$)信号

图 2.5.7 蜂鸣器驱动信号的三种波形

9. 防自激功能

为防止从输入端引入干扰，每个控制输入端均有防自激功能，通过延迟一段时间可消除持续时间小于62.5ms的自激信号，参见图2.5.8。

10. LCD显示功能

NJU9207需配专用3½位LCD显示器，外形如图2.5.9所示。

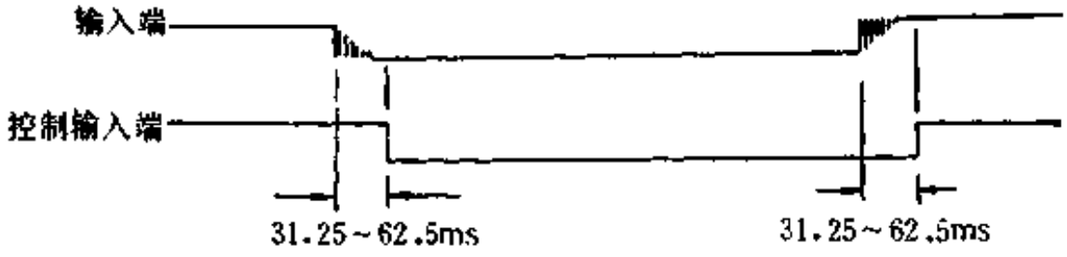
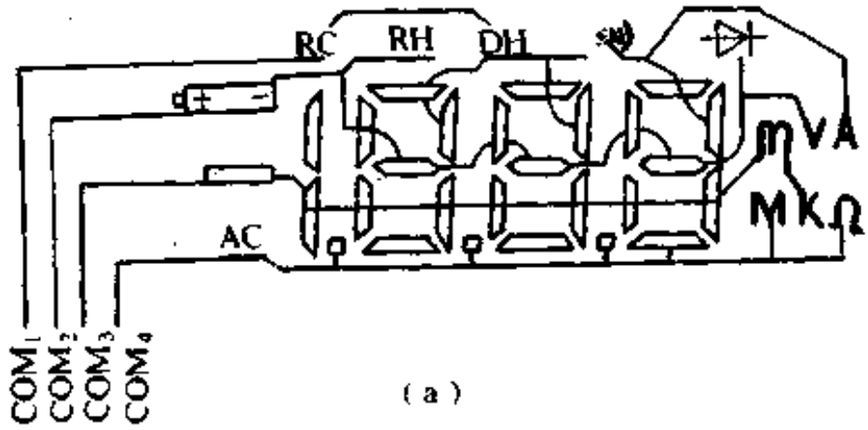
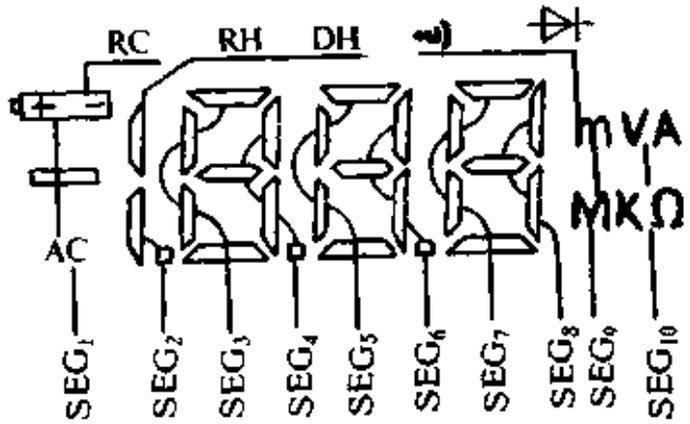


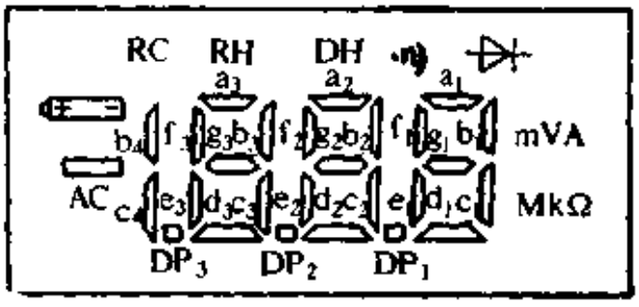
图 2.5.8 防自激功能



(a)



(b)



(c)

(a) 背面接线；(b) 正面接线；(c) 显示器外形

图 2.5.9 LCD显示器外形

表2.5.8列出背电极(COM_1～COM_4)、段驱动端(SEG_1～SEG_{10})、标志符驱动端(RC等)的对应关系。为简化NJU9207与LCD显示器的引线数量，现采用时分割驱动法。就是把全部笔段划分成四组，分别与COM_1～COM_4搭配，然后使这四组笔段按照一定的时序轮流发光。对每一笔段而言，驱动电压波形如图2.5.10所示。

表 2.5.8 电极对应关系

	SEG_1	SEG_2	SEG_3	SEG_4	SEG_5	SEG_6	SEG_7	SEG_8	SEG_9	SEG_{10}
COM_1	RC	DH	a_3	b_3	a_2	b_2	a_1	b_1	》》	A
COM_2	BATT	RH	f_3	g_3	f_2	g_2	f_1	g_1	卄	V
COM_3	—	b_4c_4	e_3	c_3	e_2	c_2	e_1	c_1	m	k
COM_4	AC	DP_3	d_4	DP_2	d_2	DP_1	d_1	/	M	Ω



图 2.5.10 笔段驱动电压波形

下面对LCD显示功能作一详细介绍。

(1) 电池低电压指示：当V_{DD}侧或V_{SS}侧的1.5V电池电压降到1.1～1.3V以下时，就显示低电压指示符号，其图形符号与干电池相似。

(2) "－"：当DCV或DCA端输入为负时，显示"－"号。

(3) "AC"：选择ACV或ACA功能时，显示交流符号"AC"。

(4)"RH"：全自动状态下(A/M＝1)，RH端为低电平时，显示"RH"。

(5) "RC"：全自动状态下(A/M＝1)，RC_1端进行量程控制时，显示"RC"。

(6) "》》"：检查线路通断时显示此符号。

(7) "卄"：检测二极管时显示此符号。

(8) “DH”：按一下DH端按钮开关SB_2(参见图2.5.11)，即显示“DH”并且读数保持(HOLD)；再按一下SB_2，“DH”就消隐并解除读数保持。

(9) “mV”：选择DCV200mV量程时显示“mV”。

(10) “V”：在DCV或ACV 2V、20V、200V、2000V量程时显示“V”。

(11) “Ω”：200Ω量程时显示“Ω”。

(12) “kΩ”：在2kΩ、20kΩ、200kΩ、2000kΩ(即2MΩ)量程以及检查线路通断时显示“kΩ”。

(13) “MΩ”：仅20MΩ量程显示此符号。

(14) “mA”：DC、AC的mA档显示此符号。

(15) “A”：DC、AC的20A档显示“A”。

(16) 输入过载显示：输入过载时，内部计数器最大计到2000，但其显示值为“1000”且最高位的“1”闪烁。当计数值N>2000时，仅后面三位显示“000”。

(17) 极性显示：对于DCV、DCA的所有量程，当输入为负时显示“-”号。对ACV、ACA、Ω、线路通断档，负极性符号不显示。此外，当DCV和DCA档读数为“000”时，负极性符号也不显示。

(18) 读数保持：给DH端加一个负脉冲时，显示“DH”，表示读数保持。再加一个负脉冲，则“DH”消隐，解除读数保持。此外，在对测量功能及量程进行转换时，原来的读数保持功能亦被自动解除。

(19) 开机自动复位：刚开机时液晶显示器全亮(对LCD作检测)，蜂鸣器发声(持续时间为62.5ms)，对芯片进行初始化。

四、NJU9207的典型应用

1. 自动转换量程数字万用表

由NJU9207构成的3½位自动转换量程数字万用表电路如图

2.5.11所示(见附图)。该仪表采用E_1和E_2两节1.5V电池供电，将第56脚与57脚短接，并以E_1、E_2中点的电位作为GND。显然，若以V_{SS1}为参考电位，则$V_{DD1}=V_{DD2}=+3V$，$V_{GND}=+1.5V$。电源开关S_1采用双刀单掷开关，能同时接通或断开E_1和E_2。C_8、C_9为电源滤波电容。C_{12}为升压电容。

晶振电路由32.768kHz石英晶体JT、C_{13}构成。BZ为压电陶瓷蜂鸣器。

基准电压调整电路由R_{27}、RP、R_{28}组成。其中，RP为精密多圈电位器。

R_1～R_6分别是200Ω～20MΩ档的标准电阻。R_7为限流保护电阻。R_8、C_1构成电阻档输入端的高频滤波器，提高抗干扰能力。

R_9～R_{13}是交、直流电压档的分压电阻，对输入电压起到衰减作用。

R_{14}～R_{18}是交、直流电流档的分流电阻。S_2为电流档量程选择开关(手动)。D_1、D_2是双向限幅过压保护二极管。

AC/DC转换器由D_3、D_4、R_{19}～R_{24}、C_2～C_5组成。R_{24}为可调电阻，供校准交流档用。

R_{25}、C_7分别为积分电阻与积分电容。C_6是自动调零电容。R_{26}为积分器频率响应补偿电阻，它与积分电容C_7串联后可减小零点误差。

S_3为自动/手动方式选择开关。当S_3断开时，A/M端经过内部上拉电阻接高电平，仪表选择自动量程方式工作；闭合S_3时，A/M端接低电平V_{SS1}，变成手动量程方式。SB_1是自动转换量程的操作按钮，根据按下按钮时间t的长短，也可实现自动/手动方式的转换，其功能见图2.5.5。S_3～S_5是量程设置开关，其操作功能见表2.5.7。S_6～S_9是测量功能设置开关，操作原理参见表2.5.3。SB_2为读数保持按钮。

NJU6207的COM_1～COM_4脚分别接3½位LCD的4个背电极。SEG_1～SEG_{10}依次接显示器的段驱动端。AFC端固定接低电

平，量程置位情况见表2.5.4中AFC＝0的栏目。

2. 手动转换量程数字万用表

欲构成手动转换量程式数字万用表，只需对图2.5.11所示电路稍加改动：将A/M端固定接低电平，并且去掉量程设置开关S_3～S_5。

五、使用注意事项

1. 外围元件选择

图2.5.11中的R_{27}、R_{28}的阻值误差应小于±2.0%，电阻温度系数低于±50ppm/℃。分压电阻R_9～R_{13}需采用误差为±0.5%的精密金属膜电阻。其他电阻的误差为±1%即可。

积分电容C_7须选用聚苯乙烯电容器。

2. 极限参数

使用NJU9207时必须注意不得超过其极限参数值。具体讲，电源电压(V_{DD1}-V_{SS1})＜4.0V，(V_{GND}-V_{SS1})＜2.0V；模拟输入端(V_{IN}、I_{IN}、ΩVX)及控制输入端(A/M、RC_1～RC_3、FC_1～FC_4、RH、DH、AFC)的电压不允许超过(V_{DD1}-V_{SS1})。工作温度范围限定在0～＋50℃以内，焊接温度低于260℃，每个管脚的焊接时间应小于10s。

3. 保护措施

(1) DCmA、ACmA输入电路中还应串入2.5A快速熔丝管(图中未画)，对2mA～2A档进行限流保护。20A档的分流电阻R_{14}(0.01Ω)用φ2.0锰铜丝制成，并用电桥调准电阻值。通常，20A档不加限流过护装置。

(2) 仪表外壳上的DCV、ACV输入插口及表笔线必须能承受2000V直流高压。为保险起见，测直流电压时输入电压应限制在1000V以内。对于交流输入电压，规定在700V$_{rms}$以下。RMS表示有效值。

§2.6 TSC818系列3 1/2位数字/41段模拟条图双显示数字万用表芯片

TSC818系列包括TSC818A型3½位数字显示A/D转换器、TSC818D型41段①LCD模拟条图显示A/D转换器。将这两种芯片配套使用，即可构成高性价比、多功能、自动/手动转换量程的双显示数字万用表。此外，还可用于调零显示、调谐显示等领域。

一、TSC818系列的主要特点

(1) 能充分发挥双显示仪表之优点。一方面由数字显示器提供精确的测量结果(分辨率达0.05%)及各种标志符显示；另一方面通过41段模拟条图显示使被测电量的幅度一目了然，并能反映出变化趋势。

(2) 具有自动/手动转换量程两种工作方式，操作灵活，使用方便。其中，交、直流电压档及电阻档均为自动转换量程，电流档系手动转换量程。

(3) 选择自动转换量程方式，最大显示值为1999；选择手动转换量程方式能把量程扩展50%，仪表的分辨率亦相应提高，此时最大显示值为2999，只是千位上的"2"需用闪烁状态的"1"表示。41段模拟条图则反映出被测模拟电量的大小及变化趋势，仅在手动方式下才有可能作满度显示。

(4) 属于双积分式A/D转换器，外接32.768kHz石英晶体产生时钟频率，测量速率约为2次/秒。由它们构成的双显示万用表具有22个基本量程和1个附加量程：

直流电压量程5个：200mV、2V、20V、200V、2000V②；

① 包括零段，共计41段(0～40)。

② 受量程开关耐压值所限，数字万用表的最高直流电压量程一般选1000V，最高交流电压量程为700V。

交流电压量程4个：2V、20V、200V、2000V；

直流电流量程2个：20mA、200mA；

交流电流量程2个：20mA、200mA；

常规电阻量程5个：200Ω、2KΩ、20KΩ、200KΩ、2MΩ；

低功率电阻量程4个：2kΩ、20kΩ、200kΩ、2MΩ。

附加量程1个：利用蜂鸣器检查线路的通断。

(5)TSC818A内部包含供AC/DC转换用的运算放大器，只需外接整流二极管及阻容元件，即可构成线形整流电路，测量交流电压或者交流电流。

(6)在测量电阻时设有常规测量(Ω)和低功率测量(LOΩ)两种方式。前者供一般测量用，后者适宜对电路中的电阻值进行在线测量，而勿需将元器件从印制板上焊下来。选择低功率测量方式，不必考虑硅二极管或硅晶体管对测量的影响。

(7) 具有相对值测量(数据存储)、读数保持、超量程显示、极性显示、标志符显示、低电压指示、蜂鸣器驱动等多种功能，为测量提供了极大方便。芯片能提供多种蜂鸣器驱动信号，根据蜂鸣器发声的不同即可判定被测电量的大致范围。

(8) 利用LCD显示器能显示各种标志符。

(9) 采用9V单电源供电。TSC818A的电源电压典型值为9V。TSC818D所需要的5V电源直接取自TSC818A的V_{CC}与V_{DIS}端。

(10) 低功耗。TSC818A的工作电流为0.8mA(典型值)，功耗约7.2mW。TSC818D为40μA，功耗仅0.2mW。

使用时应注意，TSC818A的电源电压极限值为15V，TSC818D为6.0V。二者工作温度范围均为0～+70℃。

TSC818A、TSC818D的主要技术指标分别见表2.6.1、表2.6.2。TSC818A的测试条件为：$V_S = 9V$，$T_A = 25℃$，测试电路参见典型应用中的图2.6.6。TSC818D的测试条件是：$V_{CC} = +5V$，$V_{GND} = 0V$，$T_A = 25℃$。

表 2.6.1 TSC818A的主要技术指标

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
零输入读数		200mV量程，输入电阻10MΩ	-0000	0000	+0000	读数
		200mA和200mA量程	-0000	0000	+0000	
转换误差		200mV量程，输入电阻10MΩ	—	—	±1	字
		20mA和200mA量程	—	—	±1	
非线性误差		最佳情况的非线性	—	—	±1	字
输入漏电流	I_{IN}		—	—	10	PA
输入噪声		0.1～10Hz的频带宽度	—	20	—	μV_{p-p}
交流频率响应		±1%误差	—	40～500	—	Hz
		±5%误差	—	40～2k	—	
Ω档开路电压		不含200Ω量程	—	570	660	mV
LOΩ档开路电压		不含200Ω量程	—	285	350	mV
Vcc对COM端电压	V_{COM}	($V_{CC}-V_{COM}$)	2.8	3.0	3.3	V
COM端电压温度系数	α_T		—	—	50	ppm/℃
扫描显示频率		多路扫描显示	—	100	—	Hz
高电平	V_{OH}	ANNUNC、DEINT端：$I_L=100\mu A$	—	$V_{CC}-0.1$	—	V
低电平	V_{OL}	ANNUNC、DEINT端$I_L=100\mu A$	—	GND+0.1	—	V
蜂鸣器驱动频率			—	4	—	kHz
低电压指示标志		低于此值，应更换9V电池	6.3	6.6	7.0	V
工作电流			—	0.8	1.5	mA

表 2.6.2 TSC818D主要技术指标

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单 位
高电平输入	V_{IH}		2.5	—	—	V
低电平输入	V_{IL}		—	—	1	V
逻辑输入电流	I_L	$V_{CC} \geqslant V_{IN} \geqslant V_{GND}$	—	0.01	10	nA
扫描显示频率			—	100	—	Hz
工作电流			—	40	100	μA

二、TSC818系列的管脚功能

1. TSC818A

TSC818A采用60脚塑料扁平封装，管脚排列见图2.6.1。各管脚功能如下(上边加横线者为负逻辑)：

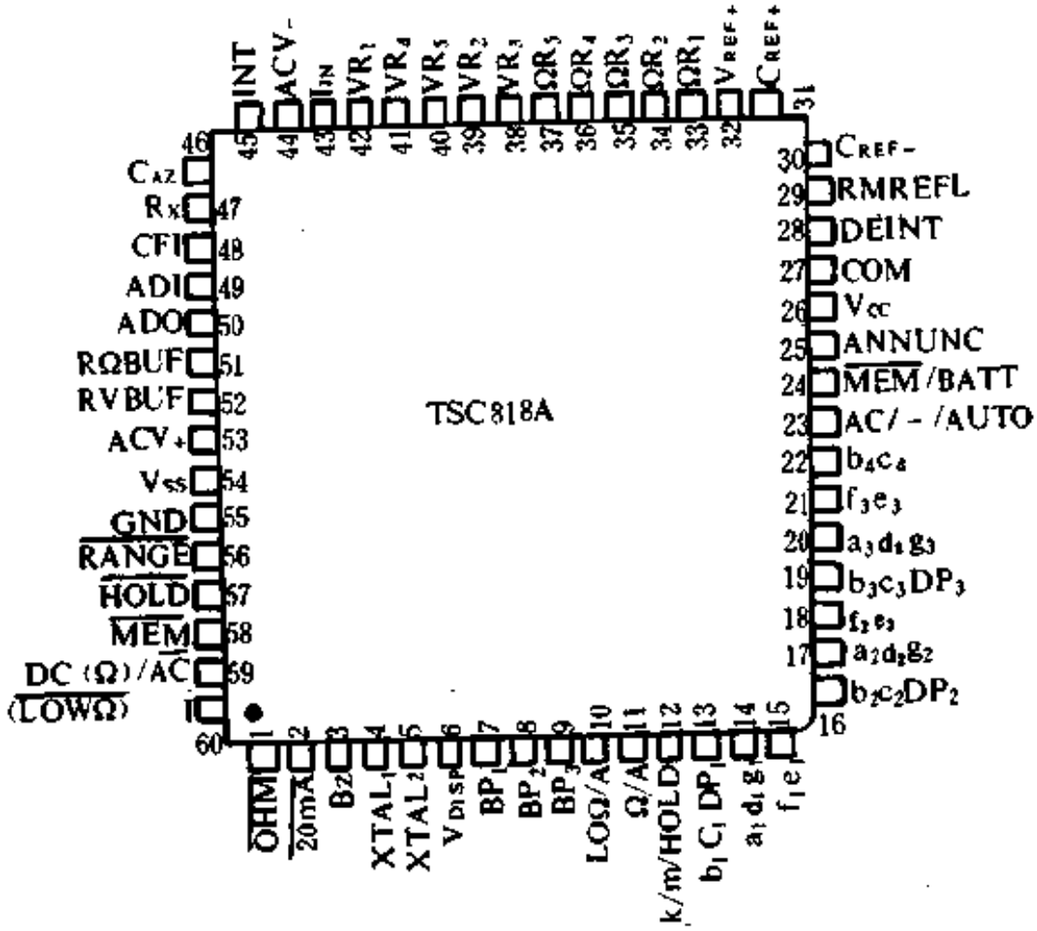


图 2.6.1 TSC818A的管脚排列

$\overline{OHM}$ ——逻辑输入端，测量电阻时应接GND(数字地)；

$\overline{20mA}$ ——逻辑输入端，选择20mA电流档时应接GND；

BZ——蜂鸣器驱动端，在测电阻时若读数小于19，即发出连续的4kHz音频声；在测电压或电流时若出现过载现象，则发出不连续的4kHz音频声；

$XTAL_1$、$XTAL_2$——外接32.768kHz石英晶体端，$XTAL_1$还作为时钟输出，驱动TSC818D的CLK端；

V_{DISP}——用来设置液晶显示器的最大驱动电平V_p。此端不接GND时V_p = 3V，接GND时V_p = 5V。该端还能补偿LCD临界电压的温度变化；

BP_1～BP_3——分别为LCD的背电极1、背电极2和背电极3；

LOΩ/A——低功率电阻测量/测量电流时LCD标志符驱动端；

Ω/V——测量电阻或电压时LCD标志符驱动端；

k/m/HOLD ——k("kΩ")、m("mA"或"mV")以及HOLD(读数保持)标志符的驱动端；

$b_1c_1DP_1$、$a_1d_1g_1$、f_1e_1、$b_2c_2DP_2$、$a_2d_2g_2$、f_2e_2、$b_3c_3DP_3$、$a_3d_3g_3$、f_3e_3、b_4c_4 ——分别为个位(最低位LSD)、十位、百位、千位(最高位SMD)的笔段及小数点(DP)驱动端；

AC/－/AUTO——交流测量、负极性、自动转换量程标志符的驱动端；

$\overline{MEM}$ /BATT——相对值测量(具有存储功能)及低电压指示的标志符驱动端；

ANNUNC——标志符显示控制端，该端输出的方波与BP_1的频率相同；将欲显示的标志符驱动电极接此端时，该标志符显示，接BP_1时标志符消隐；ANNUNC信号还能使TSC818A与TSC818D的背电极波形保持同步；

V_{CC}、V_{SS}——分别接9V电源的正、负极；

COM、GND——分别为模拟地和数字地，其中V_{COM}比V_{CC}大约低3.0V，V_{GND}比V_{CC}大约低5V；

DEINT——反向积分（解积分）输出端，将A/D转换结果送至液晶条图驱动器；

RMREFL——比例法测电阻时基准电压的低端；

C_{REF+}、C_{REF-}——基准电容的正、负端；

V_{REF+}——测量电压及电流时基准电压的正输入端；通常V_{REF}=163.85mV；

$\Omega R_1 \sim \Omega R_5$①——分别为200Ω、2kΩ、20kΩ、200kΩ、2MΩ档的标准电阻接线端；

$VR_1 \sim VR_5$——分别为测量电压时的÷1、÷10、÷100、÷1000、÷10000衰减器，VR_1也是输入端（V_{IN}）；

I_{IN}——被测电流输入端；

ACV-——AC/DC转换器的低输出端；

INT——积分电容端，通常取$C_{INT}=0.1\mu F$；

C_{AZ}——自动调零电容端，一般取$C_{AZ}=0.1\mu F$；

Rx——被测电阻输入端；

CFI——外接滤波电容端；

ADI——内部AC/DC放大器的反相输入端；

ADO——内部AC/DC放大器的输出端；

RΩBUF——测量电阻时缓冲器输出端，外接220kΩ的积分电阻$R_{\Omega BUF}$；

RVIBUF——测量电压及电流时缓冲器输出端，外接150kΩ的积分电阻R_{IVBUF}；

ACV+——AC/DC转换器的高输出端；

① $\Omega R_1 \sim \Omega R_5$中的R表示量程（Range），下标为量程序号，下同。

$\overline{\text{RANGE}}$——手动量程选择的输入端；

$\overline{\text{HOLD}}$——读数保持端，此端接GND时读数保持；

$\overline{\text{MEM}}$——相对值测量时进入存储状态的输入端，当此端与GND瞬间接通后，首次测量结果中个位与十位上的数据即被存储下来，并从以后的测量结果中自动扣除；

DC（Ω）/$\overline{\text{AC}}$（$\overline{\text{LOW}}$ Ω）——测电压或电流时为直流/交流选择端，测电阻时为常规电阻测量/低功率测量选择端；

$\overline{\text{I}}$——测电流选择端（$\overline{\text{I}}$应接GND）。

2. TSC818D

TSC818D采用20脚双列直插式封装，管脚排列见图2.6.2。各管脚的功能如下：

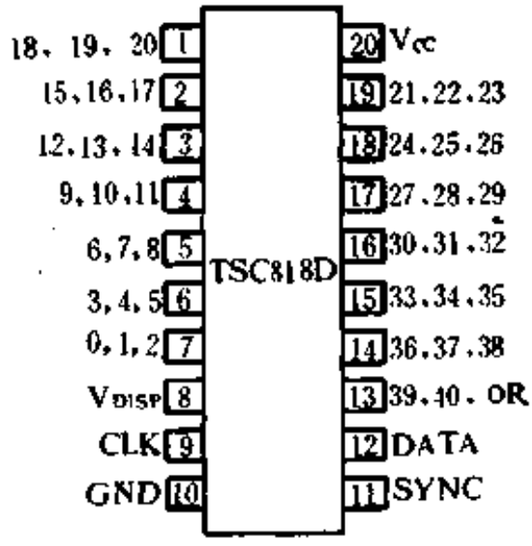


图 2.6.2 TSC818D的管脚排列

V_{CC}——正电源端，使用时与TSC818A的V_{CC}短接；

GND——数字地，与TSC818A的GND端接通；

V_{DISP}——设置液晶条图显示器的最大驱动电平，该端与TSC818A的V_{DISP}端相连，亦可与GND相接；

CLK——时钟输入端，与TSC818A的XTAL$_1$端相连；

SYNC——显示输入端，与TSC818A的ANNUNC相连，可使TSC818D与TSC818A的背电极信号保持同步；

DATA——数字量输入端，与TSC818A的DEINT相连，当DATA = 1时以时钟脉冲(CLK)作计数脉冲；

0、1、2、3、4、5、…36、37、38、39、40、OR——分别为0～40段LCD条图及超量程标志符的驱动端。

三、A/D转换器工作原理

TSC818是由两片CMOS大规模集成电路组成的：TSC818A将自动/手动转换量程的双积分式A/D转换器和3½位LCD驱动器融为一体，而TSC818D提供数字格式和41段LCD条图的驱动器。二者可构成一个完整的测试系统。

在每一个A/D转换周期内，数字量由TSC818A传输到TSC818D。因此，条图显示能够跟踪3½位数字显示。用n表示条图显示段数，数字显示与条图显示的对应关系参见表2.6.3。两种显示内容以同样的速率被刷新。仅当TSC818A工作在量程扩展方式(手动转换量程，最大显示值N = 2999)时，条图才有可能连续显示41段(包含零段)。

表 2.6.3 数字显示与条图显示的对应关系*

3½位数字显示值N	条图显示段数 n
0～24	0
25～74	1
75～124	2
⋮	⋮
(50n－25)～(50n＋24) (这里 1≤n≤40)	n
⋮	⋮
1975～2024	40
＞2024	溢出(OVR)

* N＞1999的情况主要在手动转换量程方式下出现。

1. A/D转换器的框图

TSC818A中的A/D转换器，在自动转换量程时满量程为2000字，在手动转换 量程时满量程为3000字。图2.6.3为模拟部分的

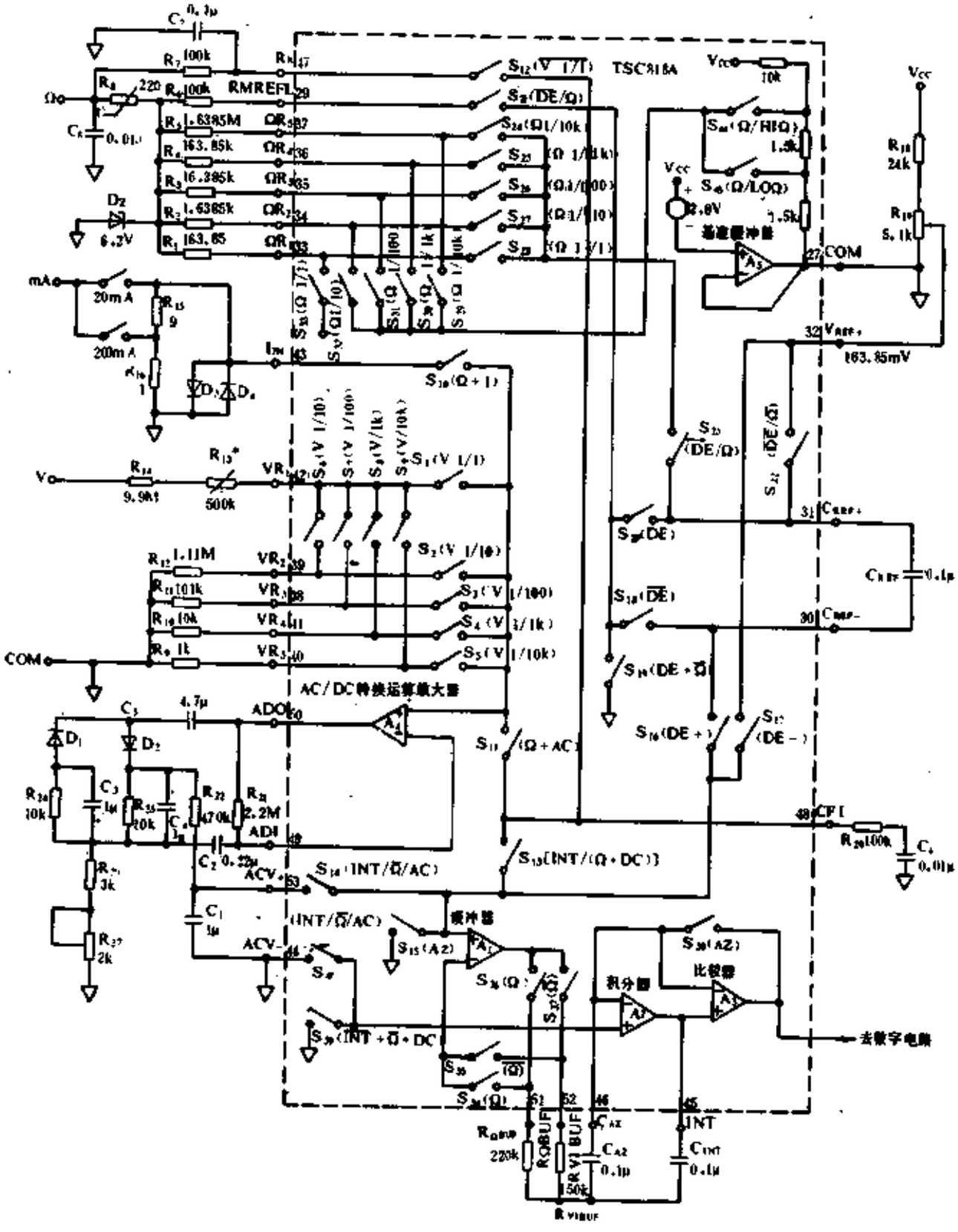


图 2.6.3 TSC818A的模拟部分框图

简化框图。主要包括缓冲器A_1、积分器A_2、比较器A_3，AC/DC转换运算放大器A_4、基准缓冲器A_5和多路模拟开关。模拟开关S_1～S_{44}的括弧内是控制信号的名称。由控制逻辑按一定时序发出控制信号，接通相应的模拟开关，实现电路变换，即可保证A/D转换正常进行。在自动转换量程时，控制逻辑能自动调整电压档的分压电阻或电阻档的标准电阻，使每次测量均在最佳量程下进行。有关外围电路的原理将在典型应用中作详细介绍。

TSC818D的框图以及它同TSC818A的连接方式如图2.6.4所示。TSC818D内部主要包括条图计数器，条图锁存器，时钟分频器，背电极相位驱动器和三重(BP_1～BP_3)驱动器。由图可见，TSC818D并不需要一个单独的电源，因为TSC818A的(V_{CC}-V_{GND})可直接给它供电，从而简化了电源装置。

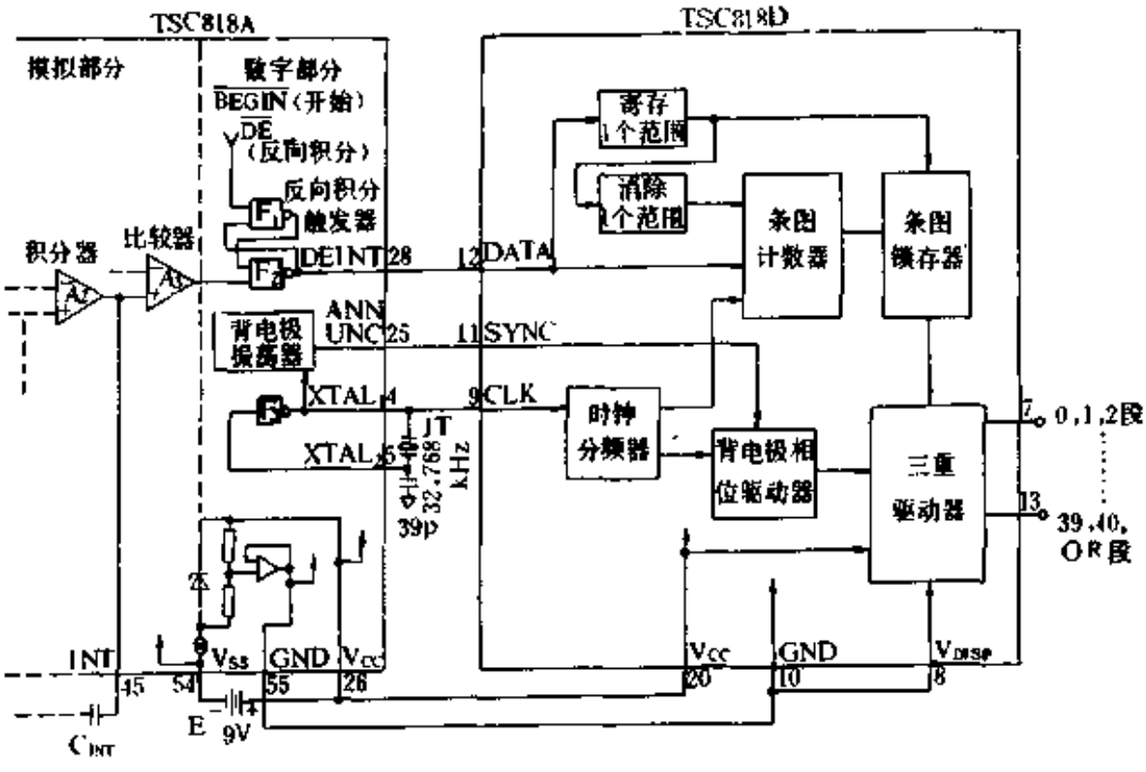


图 2.6.4 TSC818D的框图以及同TSC818A的连接方式

当TSC818D的数字量输入端DATA = 1时，对时钟脉冲进行计数，计数值n(即模拟条图的显示段数)与$3\frac{1}{2}$位数字显示值N成正比(参见表2.6.3)。当DATA = 0时，数据n被送至条图锁存器中，

条图计数器复位，为下次A/D转换做好准备。时钟频率经过分频器产生3个扫描频率，使液晶条图作多路扫描显示。

将TSC818A的ANNUNC输出端与TSC818D的SYNC输入端相连，可使两个系统的LCD驱动器同步工作。其优点是二者能公用一套背电极驱动器和LCD显示器，可节省3个引出端($BP_1 \sim BP_3$)。

LCD的背电极与段驱动电压值由V_{CC}、V_{DISP}设定。通常将V_{DISP}与GND相连，则驱动电压大约为5V。若V_{DISP}不与GND接通，则必须与TSC818A的V_{DISP}相连。

模/数转换结果经TSC818A的DEINT和$XTAL_1$传输到TSC818D。反向积分时间(T_2)与被测模拟电压成正比，在反向积分开始的时刻，DEINT达到最大值，转换结束时回到零点。在T_2时间内，对从$XTAL_1$端输出的32.768kHz时钟频率进行计数，计数结果就是n值。

2. A/D转换器工作原理

TSC818A采用双积分式A/D转换原理.晶振频率为32.768kHz，经内部分频器作二分频后得到时钟频率$f_0 = 16.384kHz$，时钟周期$T_0 = 61.04\mu s$。A/D转换也分成三个阶段进行：自动调零(AZ)、正向积分(INT)、反向积分(DE)。完成一次A/D转换共需8000个时钟周期，记作$8000T_0$，折合$488.3ms \approx 0.5s$，因此测量速率约为2次/秒。A/D转换器的定时情况如下：

正向积分时间固定为$T_1 = 1638.5T_0 = 100ms$，可以有效地抑制50Hz交流电网的干扰。

反向积分时间是不固定的，其最大值T_2对应于满量程时的模拟输入电压。在自动转换量程方式中，$T_2 = 2000T_0 = 122.1ms$。而在手动转换量程方式中，$T_2' = 3000T_0 = 183.15ms$，即量程可以扩展50%。

其余时间为自动调零阶段所占有。自动量程时，调零时间为

$$8000T_0 - 2000T_0 - 1638.5T_0 = 4361.5T_0$$

手动量程时的自动调零时间为

$$8000T_0 - 3000T_0 - 1638.5T_0 = 3361.5T_0$$

图2.6.5示出在自动量程方式下TSC818A的积分波形及定时情况。

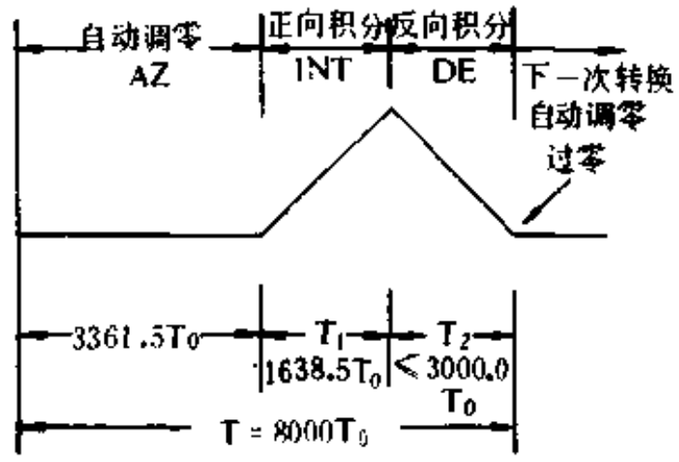


图 2.6.5 TSC818A的积分波形及定时情况

四、双显示数字万用表设计原理及典型应用

由TSC818A和TSC818D构成的3½位数字/41段模拟条图双显示数字万用表的电路，如图2.6.6所示。图中，S_1、S_2分别为20mA、200mA量程的输入选择开关。S_3为读数保持开关，S_4是蜂鸣器开关。S_5(S_{5a}、S_{5b})是测量种类(V、Ω、20mA、200mA)选择开关。SB_1～SB_3均为按钮开关，操作时按动一下即可。其中SB_1是相对值测量按钮，SB_2是自动/手动转换量程按钮，SB_3是DC/AC(或Ω/LOΩ)测量方式选择按钮。

下面详细阐述双显示数字万用表的工作原理。

1. 测量电压、电流、电阻的选择方式

通过改变TSC818A的输入控制端$\overline{OHM}$(1脚)和$\overline{I}$(60脚)的逻辑电平，可分别实现测量电压、电流、电阻之功能，详见表2.6.4。需要说明两点：

(1) 表中的"0"表示低电平GND，"1"表示高电平V_{CC}。因$\overline{OHM}$端与$\overline{I}$端在芯片内部均设置了上拉电阻，故这两端开路时

呈高电平V_{cc}。实际应用中对表2.6.4还可作适当简化。

表 2.6.4 测量功能的选择方式

逻辑电平		测量功能
$\overline{OHM}$ (1脚)	$\overline{I}$ (60脚)	
0	0	电压 (V)
0	1	电阻 (Ω)
1	0	电流 (mA)
1	1	电压 (V)

(2) 采用自动转换量程方式时只能测量电阻及电压。因为芯片内部的多路模拟开关只能传输电压信号，不能传输电流信号，所以测量电流时必须借助于手动转换量程。

2. 测量电压

(1) 自动转换电压量程

此时满量程计数值$N = V_X = 2000$。自动转换量程是从灵敏度最高的量程开始的。对于直流电压为200mV量程，交流电压则为2V量程。在测量过程中，若$V_X < 9\% V_M$，即$V_X < 9\% \times 2000 = 180$，说明欠量程，仪表就自动降低量程，选择灵敏度更高的量程；若$V_X > 2000$，表明超量程，仪表就自动升高量程。

测量电压时自动转换量程的流程图如图2.6.7所示。图中i表示测量种类：$i = 0$为直流电压，$V_M = 200mV$；$i = 1$表示测交流电压，$V_M = 2V$。令计数值$N = V_X = 10^{-1} V_{IN}$，并用K代表量程转换的次数。由图可见，$V_X < 180$时应降低一档量程($i = i - 1$)；$V_X > 2000$时则升高一档量程($i = i + 1$)。因为电压量程总共只有5个，所以至多能转换4次：200mV→2V→20V→200V→2000V。显然，i的取值范围是0、1、2、3、4。

若转换到最高量程时$V_X \geqslant 3000$，则千位(最高位)上显示闪

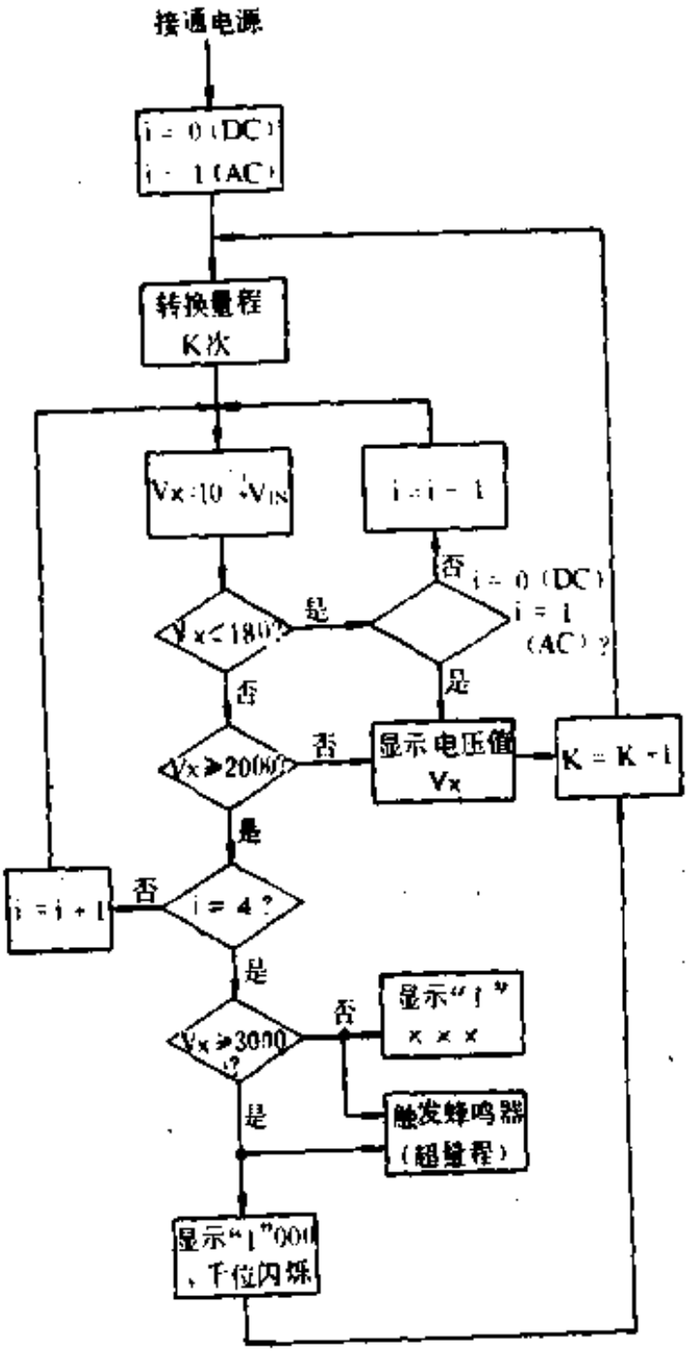


图 2.6.7 测量电压时自动转换量程的流程图

烁状态的"1"，显示值为"1"000。若3000>V_x≥2000时，则显示"1"×××，其中个、十、百位上的"×"代表从0～9中的任意数。与此同时，还触发蜂鸣器发出4kHz的报警声。

LCD显示器上的标志符"AUTO"(自动)，仅在自动转换量程

方式下才显示。

(2) 手动转换电压量程

仪表通电后首先进入自动转换量程操作方式，只要按动一下按钮开关SB_2，使量程选择端RANGE(56脚)与GND端瞬间接通，即可转入手动操作方式，并从最低电压档开始。

仪表能够维持手动方式，除非测量种类(V、Ω)或测量方式(AC/DC、Ω/LOΩ)发生变化，才返回自动量程方式。

图2.6.8示出手动测量电压的流程图。采用手动方式时仪表的量程能够扩展50%，分辨率亦相应提高。扩展前，$V_M = 2000$，分辨率为

$$1/2000 \times 100\% = 0.05\%$$

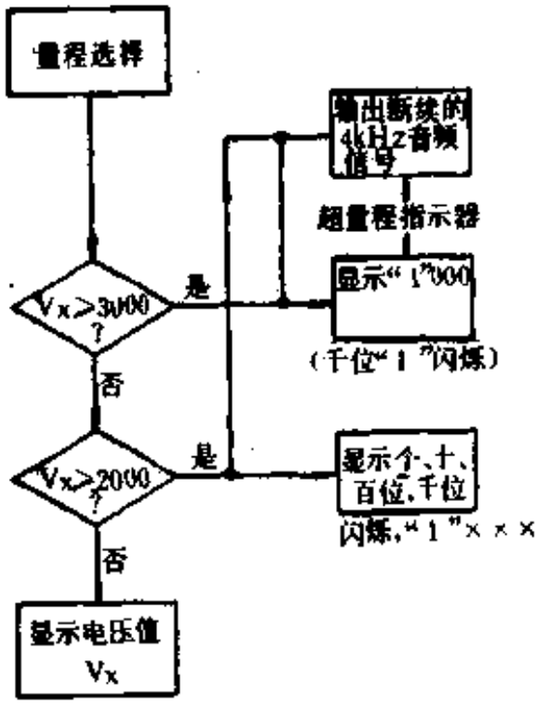


图 2.6.8 手动测量电压的流程图

扩展后$V_M' = 3000$，分辨率也提高到

$$1/3000 \times 100\% \approx 0.03\%$$

应当指出，采用手动方式时，所有电压量程均可作上述扩展。而对于自动方式，仅在最高电压量程(2000V)才能扩展量程。

下面介绍扩展量程过程中的显示特征。

第一，当3000＞V_x≥2000时

①个位、十位、百位仍为正常显示状态，即能显示从0～9的任意数字；

②仅在千位上出现闪烁状态的"1"，总显示值为"1"×××。注意，这里需将闪烁的"1"当作千位上出现数字"2"来看待；

③液晶条图作扩展显示，条图的显示段数长度与V_x值相符；

④蜂鸣器发出断续的4kHz音频信号，作为超量程报警。

第二，当V_x≥3000时

①个位、十位、百位均显示零；

②千位上出现闪烁状态的"1"，总显示值为"1"000。但是，这里要把闪烁的"1"作为千位上出现"3"来看待；

③液晶条图继续作扩展显示，条图显示段仍与V_x保持一致。

④蜂鸣器发出断续的4kHz音频信号。

上述规律完全由芯片内部电路来控制，外界无法改变。重要的是，操作人员应注意上述两种超量程显示特点的细微差别，以便作出正确判断。

(3) 交流电压测量(AC/DC转换)

利用TSC818A内部的运算放大器和外部整流元件，可构成线性整流电路，实现AC/DC转换(参见图2.6.3)。

芯片中AC/DC转换运算放大器(A_4)的主要技术指标如下：

开环电压增益A_{VO}：44dB

增益带宽乘积BW_G：0.4MHz

电压变化率$\Delta V/\Delta t$：1V/μs

输出电压幅度V_{OP-P}：±1.5V(带10kΩ负载)

在刚接通电源时，仪表先进入直流测量方式。若按动一下图2.6.6中的SB_3，使DC/AC端(59脚)瞬间接GND，仪表即转入交流测量方式，并在LCD显示器上出现"AC"标志符。

测交流电压时，模拟开关S_1(或S_2～S_5中的一个开关)和S_{14}闭

合，输入电压经过分压器和模拟开关S_1加至A_4的同相输入端，再经过A_4放大后，由D_2作半波整流，D_2仅在信号的正半周导通。整流后的脉动直流电压通过C_1滤掉纹波之后，又通过模拟开关S_{14}送至A/D转换电路中缓冲器A_1的同相输入端。D_1是保护二极管，负半周时D_1导通，为整流电路提供泄放回路。R_{27}是交流档的校正电阻。

倘若已经选择了手动操作方式，那末在按下SB_3后，仪表即回到自动转换量程方式。作手动操作时，应首先选定直流(DC)或交流(AC)方式，然后选取合适的量程。

3. 测量电流

测量电流时只能工作于手动操作方式。将图2.6.6中的$\overline{I}$端接GND，使$\overline{I}=0$，即可进行电流测量。电流量程只设置两档，分别为20mA和200mA。

图2.6.6中的S_5(S_{5a}、S_{5b})为4W2D转换开关。当S_5置于20mA档时，$\overline{I}$端与$\overline{20mA}$端均接GND。当S_5拨至200mA档时，$\overline{20mA}$端开路，经内部上拉电阻接V_{CC}，此时$\overline{I}$端仍接GND。

R_{15}、R_{18}是电流档的分流器。20mA档的分流电阻值等于10Ω($R_{15}+R_{18}=10\Omega$)，200mA档为1Ω(R_{16})。被测电流在分流电阻上的压降，就作为仪表的输入电压。这两档的满量程压降均为200mV。D_3、D_4是双向限幅二极管，起过压保护作用。

为减小测量大电流时引线电阻所造成的误差，要求R_{16}与COM的印制导线电阻非常小。因为对200mA档而言，0.05Ω的导线电阻就能造成5%的测量误差！此外还要求COM端与系统公共模拟地线上的压降接近于零伏。

测量电流过程中亦可以扩展量程。图2.6.9示出手动操作方式测量电流的流程图。其显示规律与手动测量电压相同，仅显示单位不同。

4. 测量电阻

测量电阻时的电路框图如图2.6.10所示。外围元件中，R_1～

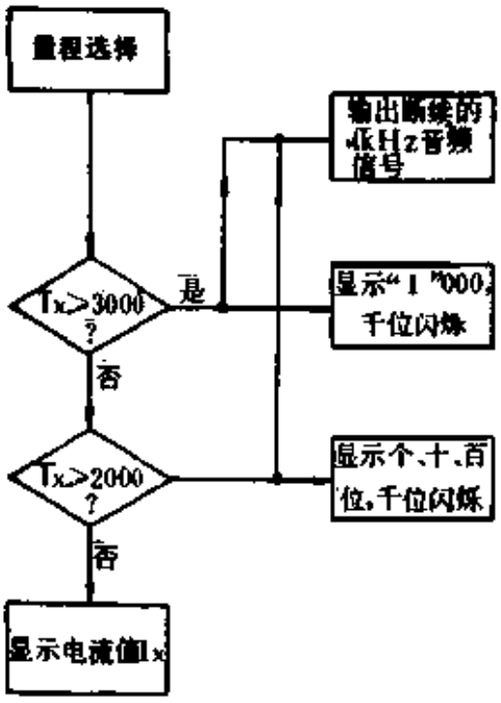


图 2.6.9 手动方式测量电流的流程图

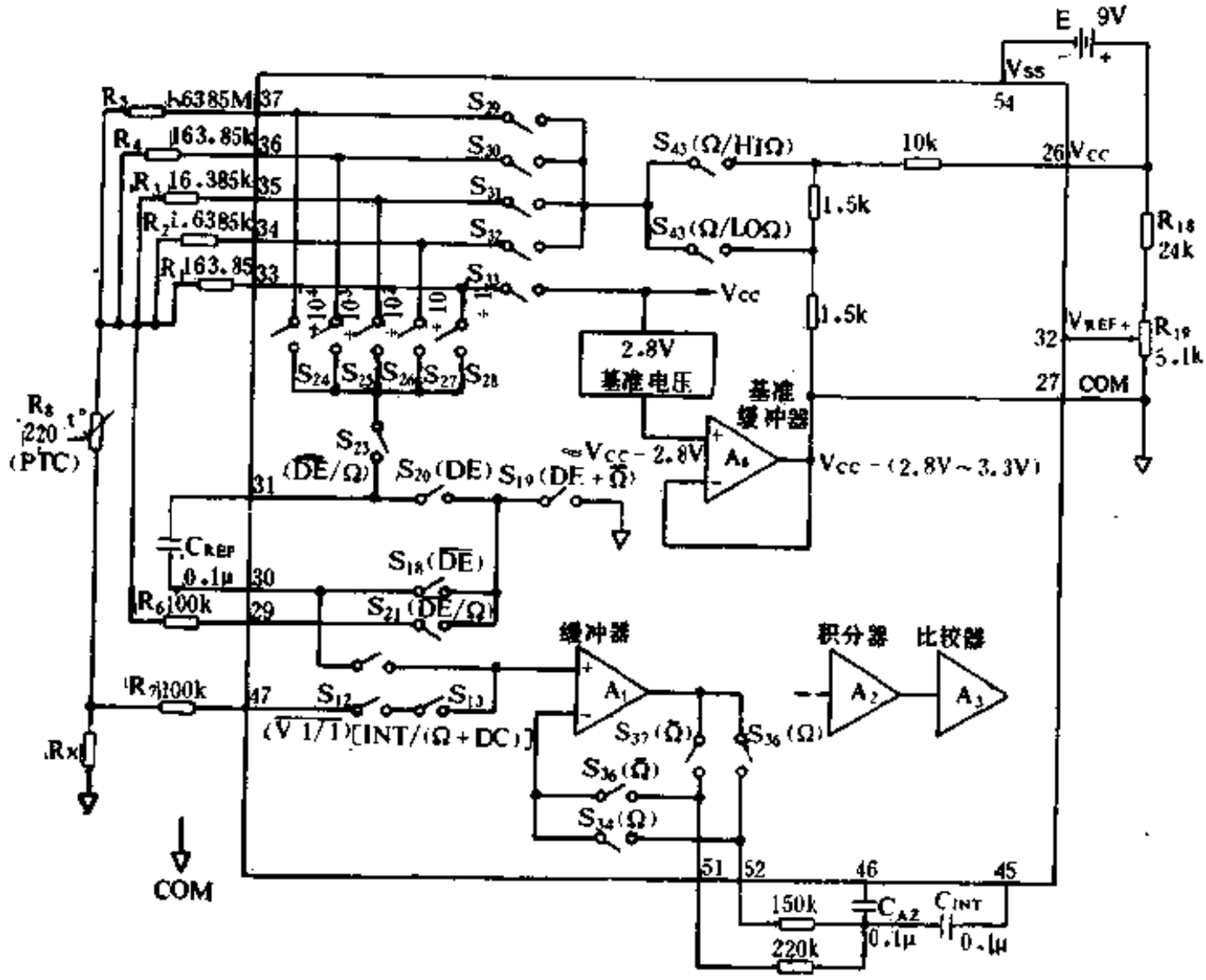


图 2.6.10 测量电阻时的电路框图

R_5分别为5个电阻档的标准电阻，R_x是被测电阻。R_8是具有正温度系数的热敏电阻(PTC)，正常情况下$R_8=220\Omega$。倘若不慎用电阻档去测量220V交流电压，通过R_8的电流就迅速增大，R_8立即发热，其电阻值可以提高几个数量级，使输入电压绝大部分降落在其上，从而保护芯片不致损坏。

TSC818A也采用比例法测量电阻，测量原理见图2.6.11。现以200kΩ档为例，被测电阻R_x与PTC电阻R_8、标准电阻R_4相串联。开路电压V_A与测量种类有关。由图2.6.10可见，若取$V_{CC}-V_{COM}=2.8V$，在选择"Ω"方式时模拟开关S_{44}闭合，开路电压

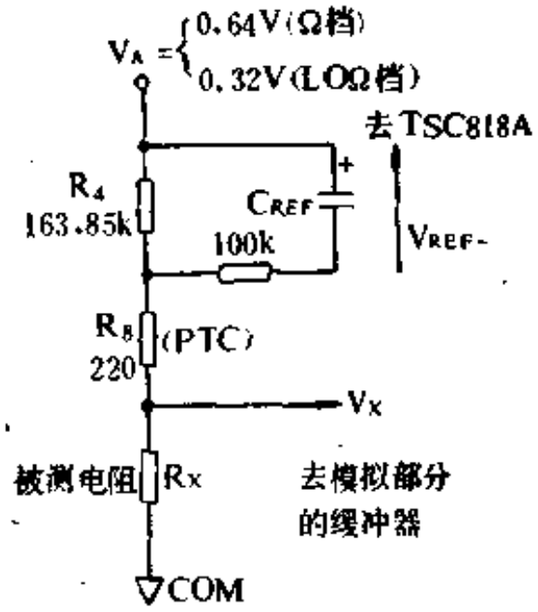


图 2.6.11 测量电阻的原理

$$V_A=\frac{2.8V}{10k\Omega+1.5k\Omega+1.5k\Omega}\times 3k\Omega=0.64V$$

假如选择"LOΩ"方式，模拟开关S_{43}就闭合，此时开路电压

$$V_A=\frac{2.8V}{10k\Omega+1.5k\Omega+1.5k\Omega}\times 1.5k\Omega=0.32V$$

根据图2.6.11进而可推导出测量电阻时的公式：

$$V_{REF}=\frac{R_4}{R_4+R_8+R_x}\cdot V_A \qquad (2.6.1)$$

$$V_x = -\frac{R_x}{R_4 + R_8 + R_x} \cdot V_A \qquad (2.6.2)$$

因正向积分电压与反向积分电压的幅度相等，故

$$\frac{V_x}{R_{INT}C_{INT}} \cdot T_1 = \frac{V_{REF}}{R_{INT}C_{INT}} \cdot T_2 \qquad (2.6.3)$$

式中，T_1、T_2分别为正向积分时间与反向积分时间。把式(2.6.1)和式(2.6.2)一并代入式(2.6.3)中，整理后得到

$$R_x = R_4 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 163.85 \times \frac{T_2}{T_1} \ (k\Omega) \qquad (2.6.4)$$

式(2.6.4)中不含V_A项，这表明采用比例法测量电阻时，开路电压略有变化并不影响测量的准确度。

设反向积分时间T_2内的计数值(亦即显示值)为N，再与$T_1 = 1638.5(T_0)$一并代入式(2.6.4)中得到

$$R_x = 0.1N \ (k\Omega) \qquad (2.6.5)$$

式(2.6.5)就是测量电阻的基本原理。对于不同的电阻档，只需改变小数点的位置以及显示的单位符号(Ω、kΩ、MΩ)，即可直读结果。

测量电阻过程中是以标准电阻R_0上的压降作为芯片的基准电压，被测电阻R_x上的电压作为仪表的输入电压。标准电阻R_0(即电路中的$R_1 \sim R_5$)的准确度指标，视仪表的设计要求而定，最好选用特制的精密网络电阻。这些电阻值非标称阻值，在业余条件下只能用金属膜电阻器选配(串、并联)，但总误差不得超过±0.5%。各档R_0的电阻值详见表2.6.5。表中的"电阻档倍率"的含义是以2kΩ量程为基本量程(倍率为1)，然后分别计算其他量程与该量程的比值。除200Ω档之外，其余各档均可选择低功率测量电阻方式(LOΩ)。

低功率档是专门为在线测量阻容元件而设置的，此时不必考虑硅二极管或硅晶体管的并联影响。因为LOΩ方式下的开路电压

表 2.6.5 各电阻档的标准电阻值

电阻量程	标准电阻R_s	电阻档倍率	能否选择低功率方式
200Ω (量程1)	163.85Ω	×0.1	不能
2kΩ (量程2)	1.6385kΩ	×1	能够
20kΩ (量程30)	16.385kΩ	×10	能够
200kΩ (量程4)	163.85kΩ	×100	能够
2MΩ (量程5)	1.6385MΩ	×1000	能够

$V_A \approx 0.32V$，远低于硅PN结的导通压降(约0.65～0.7V)，所以测量过程中硅管不会导通，对线路中其他阻容元件等无分流作用。

(2) 自动转换电阻量程

在"Ω"方式，首先选择200Ω量程，而"LOΩ"方式则将2kΩ档作为首选量程。

在测量过程中，若计数值$N = R_X < 19$，蜂鸣器就发出连续不断的4kHz音频信号，以此表示被测线路接通。计数值小于19，亦即$N \leqslant 18$，对应于$N \leqslant 0.9\%V_M$。

当$R_X < 180$时，说明欠量程，仪表自动降低量程。

仅当$2000 > R_X > 180$时，处于最佳量程。

当$3000 > R_X \geqslant 2000$时，显示值为"1"×××，仪表超量程，自动升高量程。

$R_X \geqslant 3000$时显示值变成"1"000，仪表进一步超量程，然后自动升高量程。

注意，测量电阻过程中的蜂鸣器信号不再是超量程标志，而仅表示被测线路接通，并只能发出连续不断的4kHz音频信号。超量程情况下蜂鸣器不发声。

自动转换电阻量程的流程图如图2.6.12所示。

(3) 手动转换电阻量程

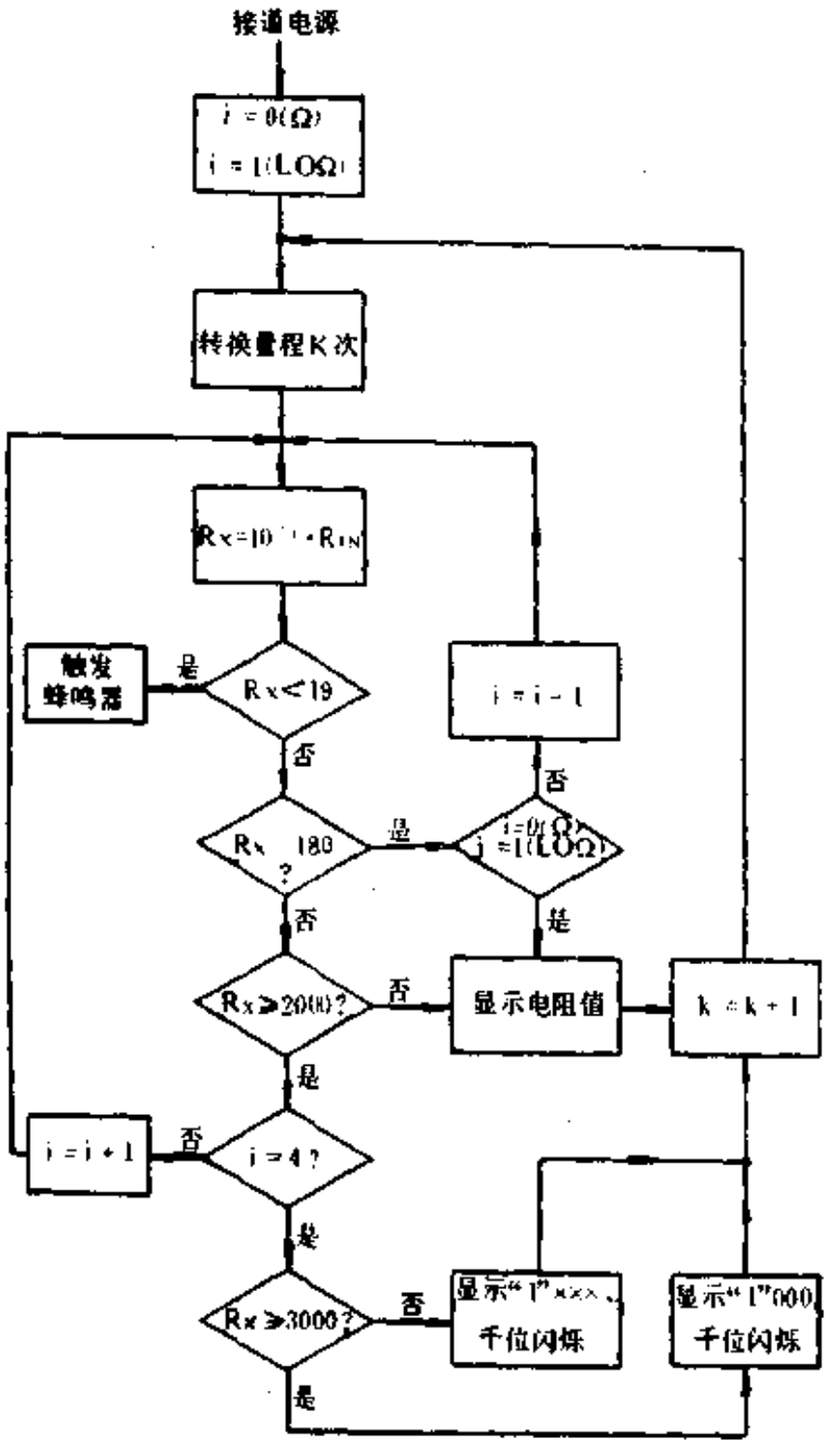


图 2.6.12 自动转换电阻量程的流程图

手动转换电阻量程的流程图见图2.6.13，其原理不再赘述。此方式也适用于自动转换量程操作中 $2M\Omega < R_x < 2.999M\Omega$ 的情况。

6. 相对值测量

TSC818A的 $\overline{MEM}$ 端（58）脚是相对值测量方式的控制端，

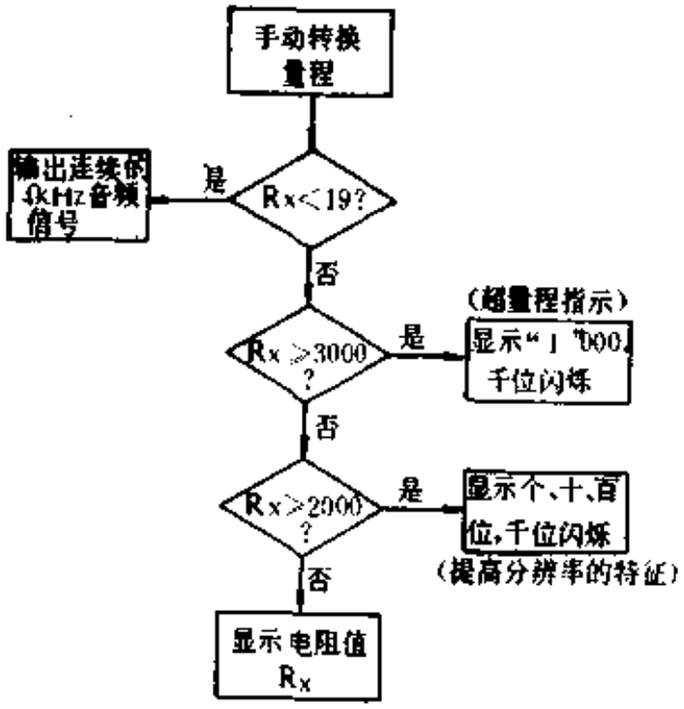


图 2.6.13 手动转换电阻量程的流程图

在LCD显示屏上则用"－MEM"标志符来表示相对值测量。MEM是英文Relative Measurement(相对值测量)的缩写。$\overline{MEM}$表示负逻辑。

相对值测量的种类包括电阻（Ω)、电压（V)、电流（mA)、AC/DC、Ω/LOΩ。相对值测量的主要用途在于观察或记录被测电量的微小变化量。电阻相对值测量不仅适用于进行电阻比对和电阻筛选，还能自动扣除导线电阻引起的测量误差。作相对值测量时，人们关心的并非每个被测电量的具体数值，而恰恰是它们之间的相对差值。

按动一下图2.6.6中的SB_1按钮，使$\overline{MEM}=0$，仪表即进入相对值测量方式，LCD显示屏上出现"－MEM"的标志符。如果在测量过程中改变测量种类或者量程，仪表就转入常规测量。重新按动SB_1，才能恢复相对值测量方式。

仪表作相对值测量时，兼有数据存储与自动完成减法运算这两种功能。数据存储范围是$N=MEM\leqslant 99$，对应于$5\%V_M$。其工作特点是将首次测量值中的个位和十位数据存储下来，并从以后

的每次测量值中自动扣除。为便于理解其测量原理，下面将通过几个实例加以说明。这里用K表示测量的次数。

例1　电压相对值测量（选择20.00V量程）

第1次测量$V_x(K)$ =0.51V。因MEM>0.51V，故该数据被存储下来。

第2次测量$V_x(K+1)$ =3.68V，实际显示值为3.68-0.51=3.17V。

第3次测量$V_x(K+2)$ = -5.21V，显示值则为-5.21-0.51=-5.72V。

例2　电阻相对值测量（20kΩ量程）

$R_x(K)$ =18.21kΩ

MEM>0.21kΩ

$R_x(K+1)$ ≈19.87kΩ，显示值为19.87-0.21=19.66kΩ。

例3　电阻相对值测量（200Ω量程）

$R_x(K)$ =18.2Ω

MEM>8.2Ω

$R_x(K+1)$ ≈36.7Ω，显示值等于36.7-8.2=28.5Ω。

$R_x(K+2)$ =5.8Ω，显示值等于5.8-8.2=-2.4Ω。

注意，对于固定的电阻量程，若被测电阻值低于存储值，仪表将显示负阻值。

6. 低电压检测电路

TSC818A内部的低电压检测电路如图2.6.14所示。比较器的参考电压V_Z由稳压二极管提供，V_Z=6.2V。V_T是比较电压，有公式

$$V_T=\frac{R_2}{R_1+R_2}\cdot V_{CC} \qquad (2.6.6)$$

当9V叠层电池V_{CC}降至7V时，V_T=6.2V。若V_{CC}<7V时，V_T<6.2V，比较器就输出低电压指示信号，驱动LCD显示器上的低电压标志符发光。V_{CC}接近于6.2V时，仪表还能显示，但测量

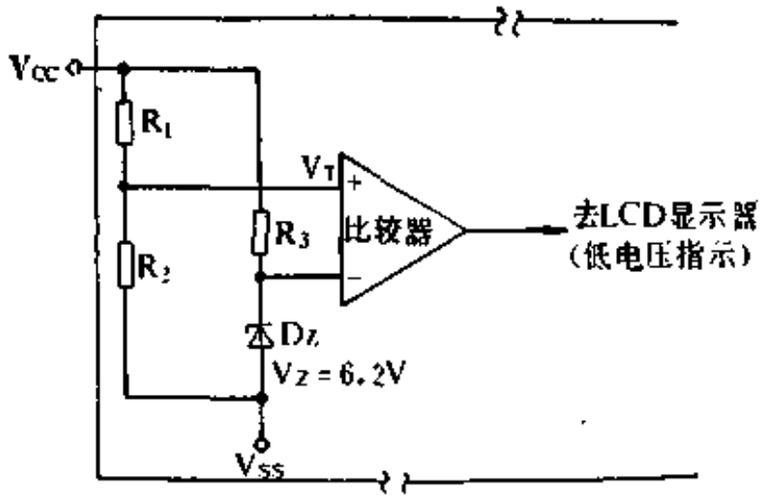


图 2.6.14 低电压检测电路

误差明显增大，应及时更换9V叠层电池。

7. 液晶驱动显示器

TSC818A采用⅓偏置法动态驱动LCD显示器，3个背电极信号轮流工作，相应的数字笔段可在信号驱动下依次发光，其驱动波形如图2.6.15所示。TSC818D驱动的则是LCD条图。

LCD必须用不含直流成份的交流电压来驱动。设液晶的笔段驱动电极与背电极两端的电压有效值为V_{RMS}。液晶的峰值驱动电压$V_P = V_{CC} - V_{DISP}$。当V_{DISP}端不接GND时，V_{DISP}比 V_{CC} 低3V，因此$V_P = 3V$。对于显示段，$V_{RMS} = (\sqrt{11}/3\sqrt{3}) \cdot V_P$。对于消隐段，$V_{RMS} = V_P/3 = 1V$。

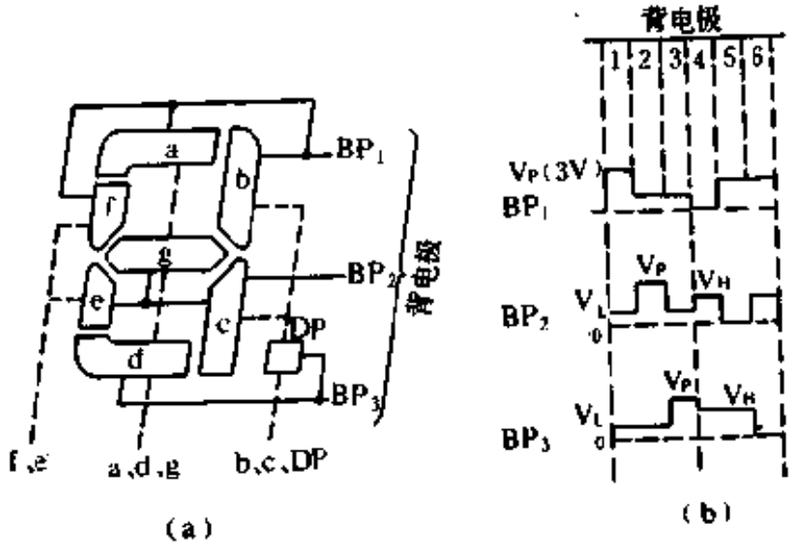
若将V_{DISP}端与GND短接时，$V_P \approx 5.0V$。

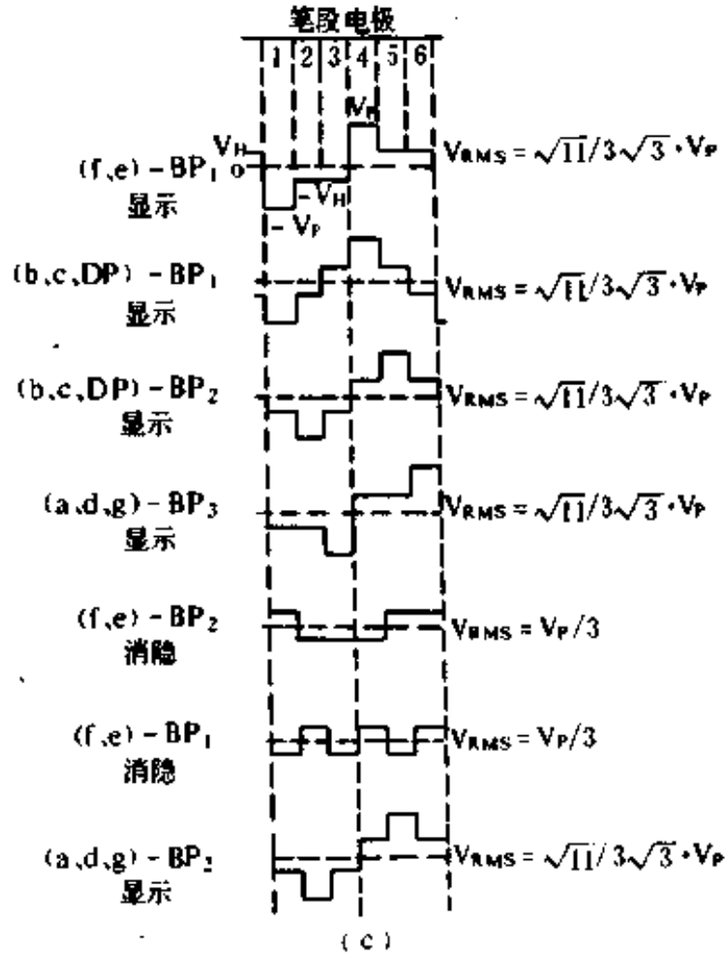
在TSC818A芯片内部，利用图2.6.16所示电阻分压器，可获得两个中间电平V_H、V_L。该分压器的总电阻值为150kΩ。不难计算出：

$$V_H = \frac{2}{3}(V_{CC} - V_{DISP}) = \frac{2}{3}V_P \qquad (2.6.7)$$

$$V_L = \frac{1}{3}(V_{CC} - V_{DISP}) = \frac{1}{3}V_P \qquad (2.6.8)$$

当 $(V_{CC} - V_{DISP}) = V_P = 3V$时，$V_H = 2V$，$V_L = 1V$。





(a) 字形笔段接线；(b) 背电极波形；(c) 笔段两端的电压波形

图 2.6.15 液晶驱动波形

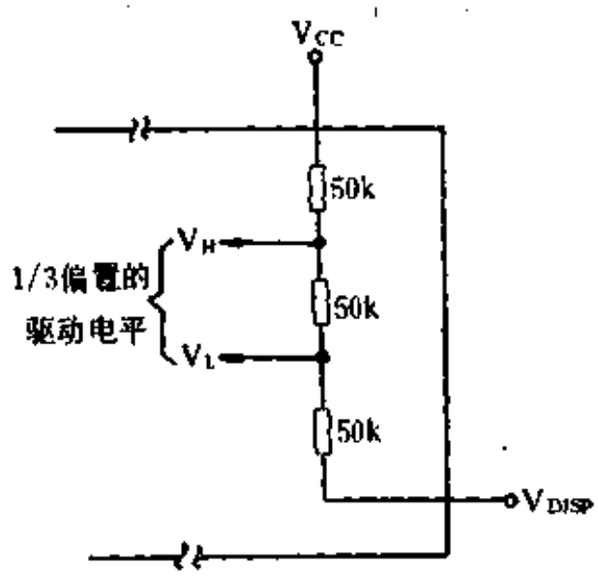


图 2.6.16 利用分压器获得V_H、V_L电平

设置V_H、V_L电平的目的在于，可靠地控制液晶段的显示及消隐。

本仪表采用的数字/条图双显示LCD的外形如图2.6.17所示。36个管脚的排列方式详见表2.6.6。表中的×0～×40代表41段

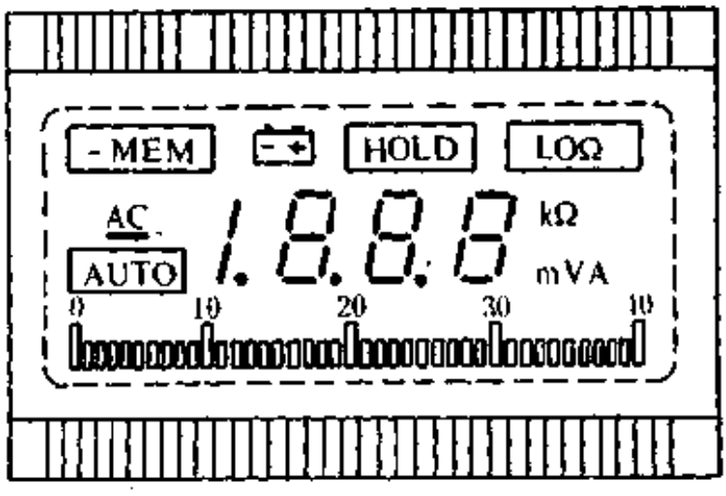


图 2.6.17 数字/条图双显示LCD的外形

LCD条图引出端。SCALE(标度)端以及Z、Y标志符端均不用。此外，还有一种LCD显示器也带41段条图，但总分度格数为20(对应于$N=2000$)，后面配以超量程标志符"OL"，详见§3.5，DT960T型数字万用表就采用后一种LCD显示器。

8. 蜂鸣器驱动信号

表 2.6.6 双显示LCD的管脚排列

管脚序号	BP_1	BP_2	BP_3	管脚序号	BP_1	BP_2	BP_3
1	——	——	SCALE	19	——	——	BP_3
2	×0	×1	×2	20	——	BP_2	——
3	×5	×4	×3	21	BP_1	——	——
4	×6	×7	×8	22	——	LOΩ	A
5	×11	×10	×9	23	——	Ω	V
6	×12	×13	×14	24	HOLD	k	m
7	×17	×16	×15	25	b_4	c_4	——
8	×18	×19	×20	26	a_4	g_4	d_4
9	×23	×22	×21	27	f_4	e_4	——
10	×24	×25	×26	28	b_3	c_3	DP_3
11	×29	×28	×27	29	a_3	g_3	d_3
12	×30	×31	×32	30	f_3	e_3	——
13	×35	×34	×33	31	b_2	c_2	DP_2
14	×36	×37	×38	32	a_2	g_2	d_2
15	——	×40	×39	33	f_2	e_2	——
16	BP_1	——	——	34	b_1	c_1	DP_1
17	——	BP_2	——	35	Z	−MEM	——
18	——	——	BP_3	36	AC	Y	AUTO

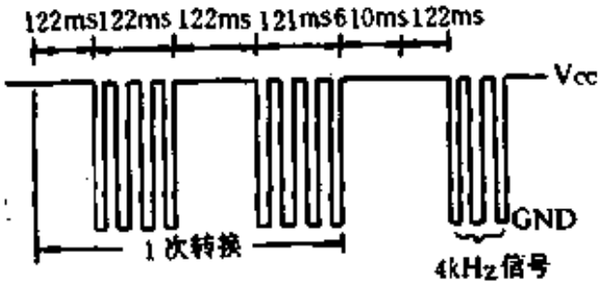
蜂鸣器属于压电式电-声转换器件，由TSC818A提供驱动信号。驱动信号的幅度是（$V_{CC}-V_{DD}$），频率为4kHz，但波形及发声特点依测量种类而定。表2.6.7归纳出蜂鸣器驱动信号的特征。蜂鸣器驱动信号的时序波形如图2.6.18所示。需要注意，无论在自动量程或手动操作时，只要是测量种类（V、I）、测量方式（AC/DC、Ω/LOΩ）或者量程发生改变时，蜂鸣器都能瞬间

表 2.6.7 蜂鸣器驱动信号的特征

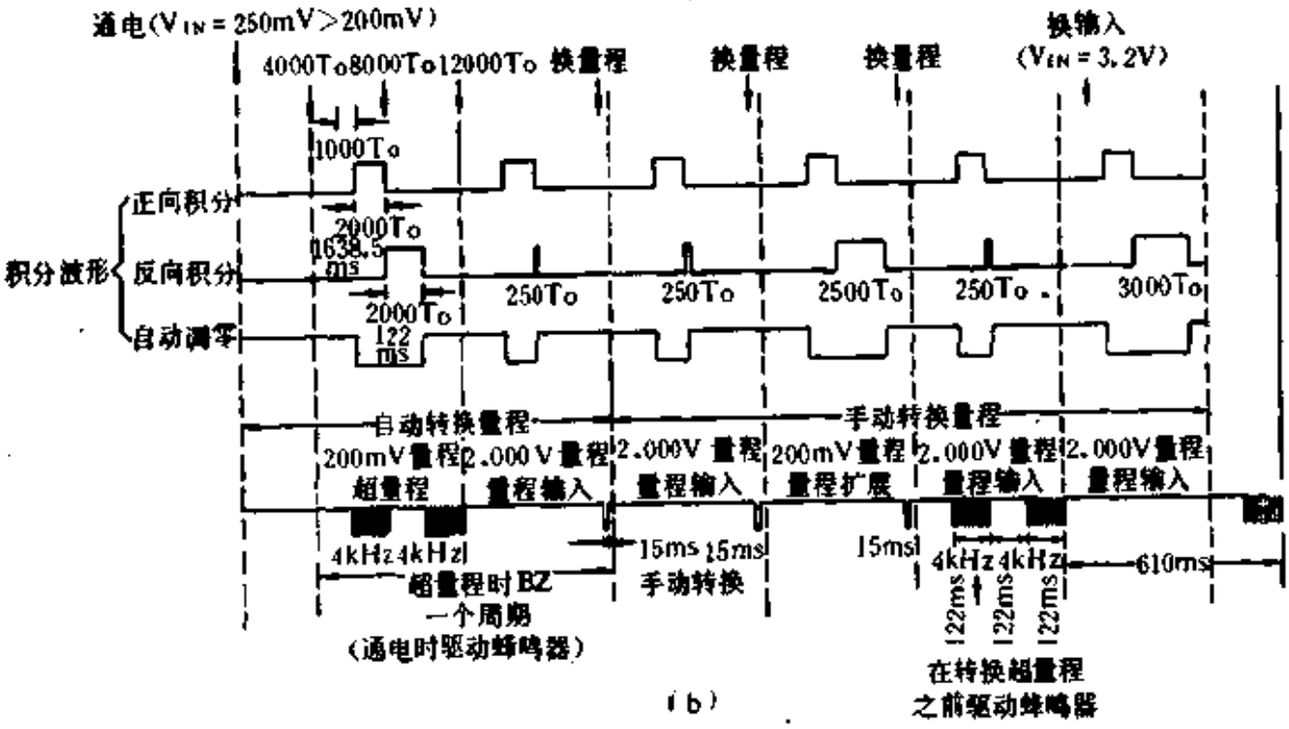
测量种类	计数值N*	显示状态	蜂鸣器发声特点
V、mA、AC/DC	<2000	<2000	不发声
	≥2000	"1"×××**	发出断续的4kHz音频信号
	≥3000	"1"000	
Ω	<19	<19	发出连续的4kHz音频信号
	≥2000	"1"×××	不发声
	≥3000	"1"000	

* 计数值N可用V_x或I_x代替。

** "1"表示千位出现闪烁状态的1。



(a)



(b)

(a) 用断续发声表示超量程； (b) 时序波形。

图 2.6.18 蜂鸣器驱动信号的时序波形

发声，持续时间仅为15ms。

超量程时的断续信号，实际上是将4kHz连续信号与4.1Hz低频方波信号（半周期为122ms）经过“逻辑与”，组合而成的。

9. 读数保持功能

将图2.6.6中的开关S_3闭合时，仪表可实现读数保持，直到S_3被断开为止。

五、元器件选择

1. 积分电阻

TSC818A有两个积分电阻：R_{VIBUF}和$R_{\Omega BUF}$。其中，R_{VIBUF}用于电压或电流测量电路，$R_{\Omega BUF}$则专用于电阻测量电路。下面分别介绍选择这两个积分电阻的原则。

（1）R_{VIBUF}的选择

在自动量程方式，利用分压器可使芯片的输入电压的满量程$V_M = 200mV$；而在手动操作方式，满量程值可扩展到$V_M' = 300mV$。这时要求积分器的输出幅度为最大，而又不发生饱和。因此，积分器输出电压的幅度V_{INT}应限定在$(V_{CC} - 0.45V) \sim (V_{SS} + 0.5V)$之间。

R_{VIBUF}的计算公式为

$$R_{VIBUF} = \frac{V_M' T}{V_{INT} C_{INT}} \qquad (2.6.9)$$

将$V_M' = 300mV$，$T_1 = 100ms$，$V_{INT} = \pm 2V$，$C_{INT} = 0.1\mu F$一并代入式（2.6.9）中：

$$R_{VIBUF} = \frac{300mV \times 100ms}{2V \times 0.1\mu F} = \frac{0.3 \times 0.1}{2 \times 0.1 \times 10^{-6}} \approx 150k\Omega$$

（2）$R_{\Omega BUF}$的选择

在对200Ω档进行手动扩展量程操作时，根据图2.6.19不难计算芯片的输入电压Vx。计算公式为

$$V_x = \frac{(V_{CC} - V_{COM})\ R_{Xmax}}{R_s + R_1 + R_8 + R_{Xmax}} \qquad (2.6.10)$$

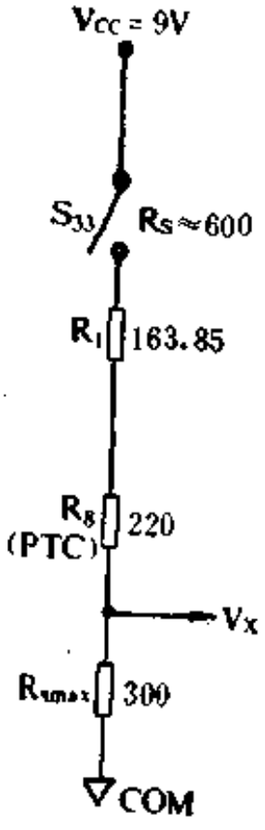


图 2.6.19 200Ω档在扩展量程时的等效电路

式中 R_S——模拟开关 S_{33} 的导通电阻，$R_S \approx 600\Omega$；

Rx_{max}——200Ω档在扩展量程以后测量电阻的最大值（对应于满量程）。

将$(V_{CC} - V_{COM}) \approx 2.8V$，$R_{xmax} = 300\Omega$，$R_s \approx 600\Omega$；$R_1 = 163.85\Omega$，$R_8 = 220\Omega$一齐代入式（2.6.10）中得到，$V_x \approx 0.65V$，可近似取0.7V。

在作扩展操作时，积分器输出幅度V_{INT}也提高到±3.1V。计算R_{OBUF}的公式如下：

$$R_{OBUF} = \frac{V_{xmax} T_1}{V_{INT} C_{INT}} \qquad (2.6.11)$$

将$V_{xmax} = 0.7V$，$T_1 = 100ms$，$V_{INT} = 3.1V$，$C_{INT} = 0.1\mu F$一并代入式(2.6.11)中，计算出$R_{OBUF} \approx 220k\Omega$。

2. C_{INT}、C_{AZ}、C_{REF}的选择

积分电容须采用0.1μF的聚丙烯电容器。自动调零电容C_{AZ}和基准电容C_{REF}可选择绝缘性能良好的聚苯乙烯电容器。

3. 基准电压的调整

TSC818A中包含一个低温漂的基准电压源，其电压温度系数低于75ppm/℃，电源电压的典型值为3.0V，允许范围是2.8～3.3V。

利用外部电阻分压器R_{18}、R_{19}（参见图2.6.6），可以获得所

需要的基准电压V_{REF} = 163.85mV。

§2.7 ICL7139型3¾位自动量程数字万用表芯片

ICL7139是美国Intersil公司研制的3¾位自动转换量程式数字万用表专用IC。这种集成电路集DMM的基本功能于一身，为研制新型、高性能价格比的数字万用表创造了条件。其同类产品为ICL7149，二者的工作原理和管脚排列基本相同，区别只是ICL7149内部没有AC/DC转换功能。下面介绍ICL7139的设计原理及典型应用。

一、ICL7139的主要特点

ICL7139具有以下特点：

(1) 显示位数为3¾位，最大显示值是±3999，满量程(FS)为4000，比3½位数字万用表的量程扩大了一倍。

(2) 集成度高，外围电路非常简单。在芯片内部就有一个平均值响应的AC/DC转换器。

(3) 共设有18个基本量程：

直流电压（DCV）量程：400mV，4V，40V，400V；

直流电流（DCA）量程：4mA，40mA，400mA，4A；

交流电压（ACV）量程：40V，400V（有效值）；

交流电流（ACA）量程：4mA，40mA，400mA，4A（有效值）；

电阻（Ω）量程：4kΩ，40kΩ，400kΩ，4MΩ。

(4) 当测量项目(DCV、DCA、ACV、ACA、Ω)确定之后，能自动选择最佳量程，减小测量误差。

(5) 采用双积分式A/D转换原理，准确度高，抗干扰能力强。基本量程的准确度指标详见表2.7.1，表中RDG代表读数

值。

（6）对于所有量程，当输入电压信号为零时，显示值均为零。

表 2.7.1 准确度指标(T_A=25℃)

测量项目	量程	准确度	说明
直流电压(DCA)	400mV 4V 40V	<±(0.2%RDG+1字)	
	400V	<±(1.0%RDG+1字)	
直流电流(DCA)	4mA 40mA	<±(0.2%RDG+1字)	调至满量程
	400mA 4A	<±(0.5%RDG+1字)	非满量程
交流电压(ACV)	40V 400V (RMS)	±2.0%RDG	使用100kHz石英晶体时，交流电压频率为50Hz
电阻(Ω)	4kΩ 400kΩ	<±(0.5%RDG+8字)	
	40kΩ 4MΩ	<±(1.0%RDG+9字)	

（7）采用时分割法双重驱动液晶显示器LCD。ICL7139有3个小数点驱动端(DP_1～DP_3)，11个标志符驱动端（LOW BAT，AC，V，A，Ω，k，m，μA，mA，MΩ，mV），另外还有极性驱动端（POL)。它们在3¾位LCD显示器上的对应笔段如图2.7.1所示。

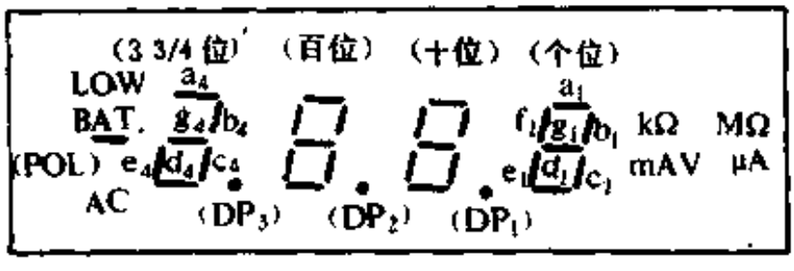


图 2.7.1 3¾位LCD显示器

（8）采用单电源供电，电压范围宽（7～11V），微功耗。使用9V叠层电池时，电源电流为1.5mA（典型值），功耗低于20mW。

(9) 当电源电压低于7V时，能输出低电压指示信号（LOW BAT）。在用低阻档检查线路通断时，B(OUT) 端可驱动外部压电陶瓷蜂鸣器（BZ）发声，以此表示被测线路接通。

(10) 具有读数保持（HOLD）功能。

二、ICL7139的管脚功能

ICL7139采用40脚双列直插式塑料封装，管脚排列见图2.7.2。各管脚的功能如下（方括弧内为英文全称）：

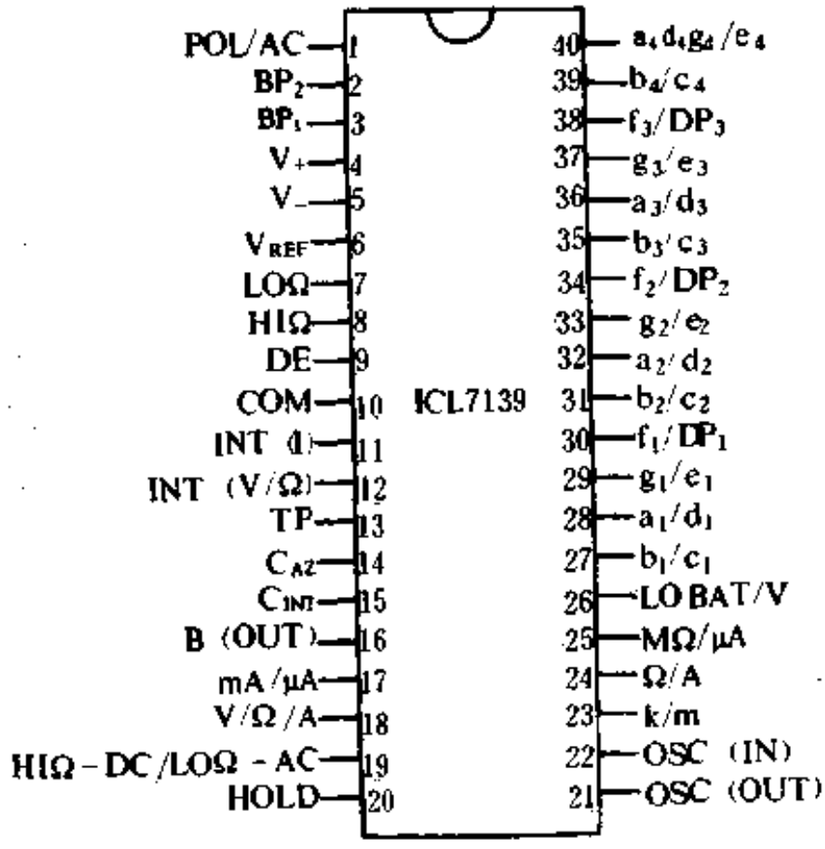


图 2.7.2 ICL7139的管脚排列

POL/AC——极性/交流符号驱动端；

BP_1、BP_2——液晶显示器背面的两个公共电极，简称背电极；

V_+、V_-——分别接电源的正、负极；

V_{REF}——基准电压输入端；

LOΩ、HIΩ——分别为低阻档和高阻档；

DE[DEINT]——反向积分端；

COM[ANALOG COMMON]——模拟电路的公共地，简称模拟地；

INT(I)——电流积分器输入端；

INT(V/Ω)——电压/电阻积分器输入端；

TP[TRIPLE POINT]——三态输入端，在测量过程中受内部模拟开关控制，此端可为高电平（V_+）、低电平（COM）或高阻态；

C_{AZ}——自动调零电容端；

C_{INT}——积分电容端；

B(OUT)[BEEPER OUT]——蜂鸣信号输出端；

mA/μA——电流单位选择端，此端接V_+时选择mA，开路或者接COM时选择μA；

V/Ω/A——测量项目选择端，由于它在芯片内部经高阻值偏置电阻接COM，因此属于三态端，开路时测量电压，接V_+时测量电阻，接V_-时测量电流；

HIΩ-DC/LOΩ-AC——高阻（或直流）/低阻（或交流）输入控制端，此端接V_+时测量高阻或直流，开路或者接COM端时测量低阻或交流；

HOLD——读数保持端，接V_+时读数保持，开路或者接COM时自动测量；

OSC(IN)、OSC(OUT)——时钟振荡器输入、输出端；

k/m，Ω/A，MΩ/μA——LCD的标志符驱动端；

LOW BAT/V——低电压指示/电压符号驱动端；

a_1/d_1，b_1/c_1，g_1/e_1，f_1/DP_1——LCD显示器中个位笔段及小数点驱动端（十位、百位情况依此类推）；

a_4、d_4、g_4/e_4、b_4/c_4——千位笔段驱动端，其中a_4、d_4、g_4短接，故千位只能显示数字1、2、3，称作3/4位。

需作两点说明：

第一，LCD显示器有两个背电极（BP_1/BP_2）。以28脚为例，a_1/d_1中的a_1段以BP_1作背电极，d_1段则以BP_2为背电极，余者类推。

第二，ICL7139的17脚～20脚均系三态输入端，它们在不同接线方式下的逻辑功能见表2.7.2。表中的测试（TEST）功能专供厂家检查产品质量用，与用户关系不大。

表 2.7.2 三态端接线方式与逻辑功能

管　脚	接 V_+	开路(或接COM)	接 V_-
17	mA	μA	测试
18	测量电阻(Ω)	测量电压(V)	测量电流(A)
19	HIΩ/DC	LOΩ/AC	测试
20	保持(HOLD)	自动(AUTO)	测试

三、ICL7139的工作原理

1. 简化框图

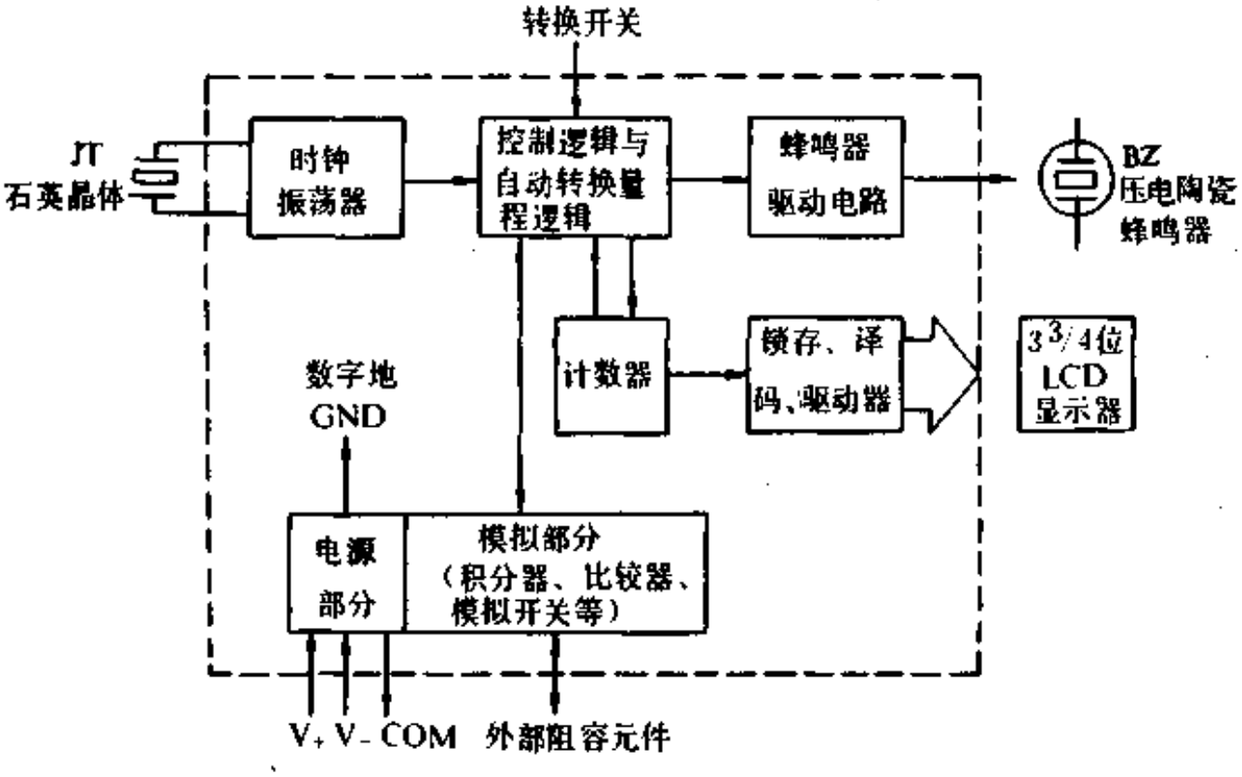


图 2.7.3 ICL7139的简化框图

ICL7139的简化框图如图2.7.3所示。芯片内部包括模拟电路与数字电路两大部分。模拟部分主要有积分器、比较器、缓冲器、多路模拟开关。模拟部分的电源取自V_+与V_-。

多路模拟开关被分成若干组，其通断状态均受数字电路控制。

数字部分包括控制逻辑和自动转换量程逻辑、$3\frac{3}{4}$位计数器、锁存器、译码驱动器、时钟振荡器。国外采用60Hz交流电，晶振频率f_0取120kHz，能有效地抑制60Hz交流干扰。我国采用50Hz交流电，f_0应取100kHz，时钟周期$T_0 = 1/f_0 = 10\mu s$。经芯片内部的分频器作二分频后，得到计数频率f_{CP}，计数脉冲的周期$T_{CP} = 20\mu s$。

2. 测量直流电压

测量直流电压时，模拟电路的简化框图和时序波形分别如图

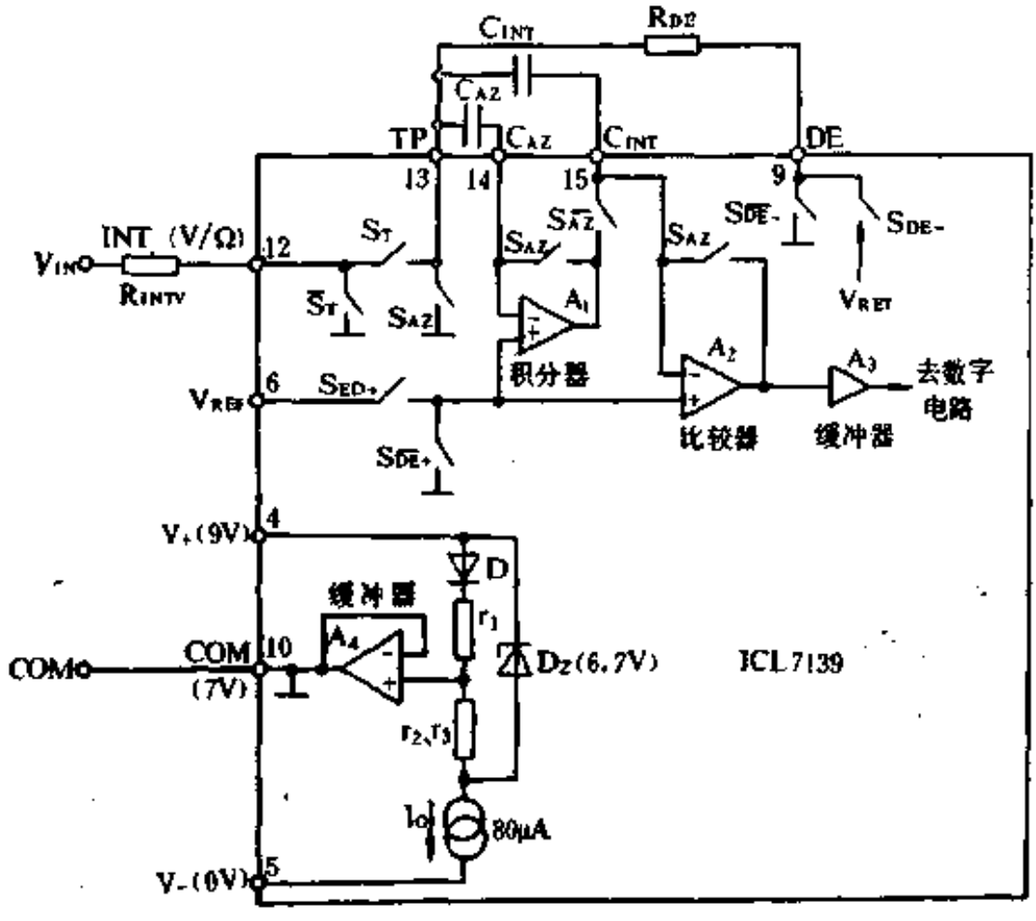


图 2.7.4 测直流电压时模拟电路框图

2.7.4、图2.7.5所示。图中各模拟开关的名称如下：

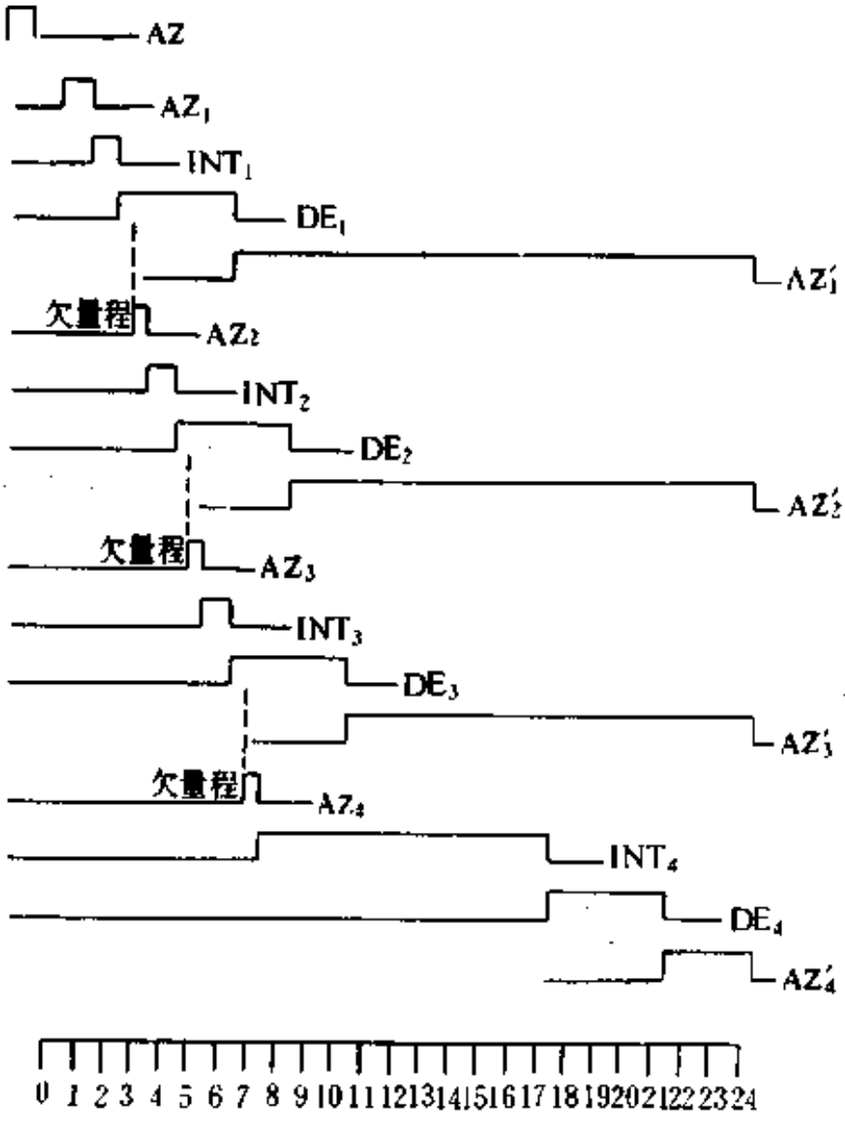


图 2.7.5 测直流电压时的时序波形

S_{AZ}、$S_{\overline{AZ}}$——自动调零开关；

S_{DE+}、$S_{\overline{DE}+}$、$S_{\overline{DE}-}$——反向积分开关；

S_T——组合信号开关，其逻辑表达式为 $T = INT \cdot AR \cdot \overline{AZ}$，该控制信号是将INT（正向积分）、AR(自动转换量程)、$\overline{AZ}$这3个信号相“与”之后得到的。在上述信号中，用横线代表逻辑“非”，+、-号表示极性。

图2.7.4中，R_{INTV}是测电压时的积分电阻，R_{DE}是反向积分电阻。C_{INT}、C_{AZ}则分别为积分电容和自动调零电容。V_{IN}代表输

入电压。

为确保仪表安全，每次测量均从最高量程开始，再根据被测直流电压的大小，依次降低量程，直至最佳量程。自动转换量程的过程是：量程1(400V)→量程2(40V)→量程3(4V)→量程4(400mV)。注意，ICL7139的最高电压量程规定为量程1，这与NJU9207以及TSC818的规定正好相反。

下面详细介绍测量直流电压的原理。

(1) 自动调零 (AZ)

在自动调零过程中，模拟开关S_{AZ}分别将积分器、比较器的反相输入端与输出端短接，使积分器和比较器均作为电压跟随器使用，其电压增益为1。于是，积分器的失调电压就储存在C_{AZ}上，比较器的失调电压则储于C_{INT}中。

选择晶振频率f_0=100kHz时，f_{CP}=50kHz，完成自动调零阶段共需1000T_{CP}，折合20ms。

(2) 量程1——400V档 (AZ_1、INT_1、DE_1)

其自动调零、正向积分、反向积分的过程分别用AZ_1、INT_1和DE_1表示。在INT_1期间内，模拟开关S_T将INT (V/Ω) 端 (12脚)与TP端(13脚) 接通，对V_{IN}进行第一次正向积分，正向积分时间$t_1=10T_{CP}=200\mu s$。因为50Hz市电的周期$T=20ms=1000T_{CP}$，恰好是t_1的整倍数，所以能有效抑制50Hz干扰。

在DE_1期间内，首先判断C_{INT}上电压极性为正还是为负，然后C_{INT}进行放电（实际上是基准电压对C_{INT}反向充电），放电电流$I_{DE}=V_{REF}/R_{DE}$。与此同时，比较器还密切监视C_{INT}上的电压，一旦电压降到零时①，比较器就翻转，将本次计数值锁存。假如计数值$N>4000$，而C_{INT}上的电压仍未回零，就说明仪表超量程，液晶屏上应显示超量程符号"OL"。若N<360，则表示欠量程，ICL7139就会发出欠量程信号，自动转入量程2。当N=360～

① 更准确讲，应是降到比较器的参考电压(V_{BS})值。

3999时，证明所选量程适宜，于是计数、译码电路被选通，显示出被测电压的数值。

这里选定360为欠量程的界限值，是因为芯片厂家规定$V_{IN}<9\%FS$时为欠量程。显然，$9\%FS=9\%\times4000=360$。

(3) 量程2——40V档 (AZ_2、INT_2、DE_2)

量程2的工作原理同上。区别仅是测量周期为$T-360T_{CP}=1000T_{CP}-360T_{CP}=640T_{CP}$，其中正向积分时间$t_2\approx100T_{CP}$。由于$t_2=10t_1$，所以量程2的灵敏度是量程1的10倍。

同样道理，当$N=360\sim3999$时能正常显示；$N<360$时，ICL7139再次产生欠量程信号，自动转入量程3。

(4) 量程3——4V (AZ_3、INT_3、DE_3)

该量程的正向积分时间$t_3=1000T_{CP}$，灵敏度是量程1的100倍。

(5) 量程4——400mV(AZ_4、INT_4、DE_4)

其正向积分时间$t_4=10000T_{CP}$，灵敏度是量程1的1000倍。

3. 测量直流电流

测量直流电流时，模拟电路的框图如图2.7.6所示。它与测量直流电压的过程颇有相似之处，区别仅在于：

(1) 为完成电流/电压(I/V)转换，需要外接分流器。分流电阻是R_1和R_2。测小电流时分流电阻$R_1+R_2=10.0\Omega$，显示单位为μA。测大电流时分流电阻即$R_2(0.1\Omega)$，显示单位是mA。

(2) 测电流时要跳过量程1和量程2，只用量程3和量程4，两次正向积分的时间分别为$t_3(1000T_{CP})$、$t_4(10000T_{CP})$；

(3) 电流积分电阻R_{INTI}的阻值等于R_{INTV}的1/10，即$R_{INTI}=1M\Omega$。

由于测电流时选择灵敏度高的两个量程，并且降低了积分电阻的阻值，故可使4mA、400mA档的满量程输入电压均为40mV，而40mA和4A档均为400mV。

4. 测量交流电压

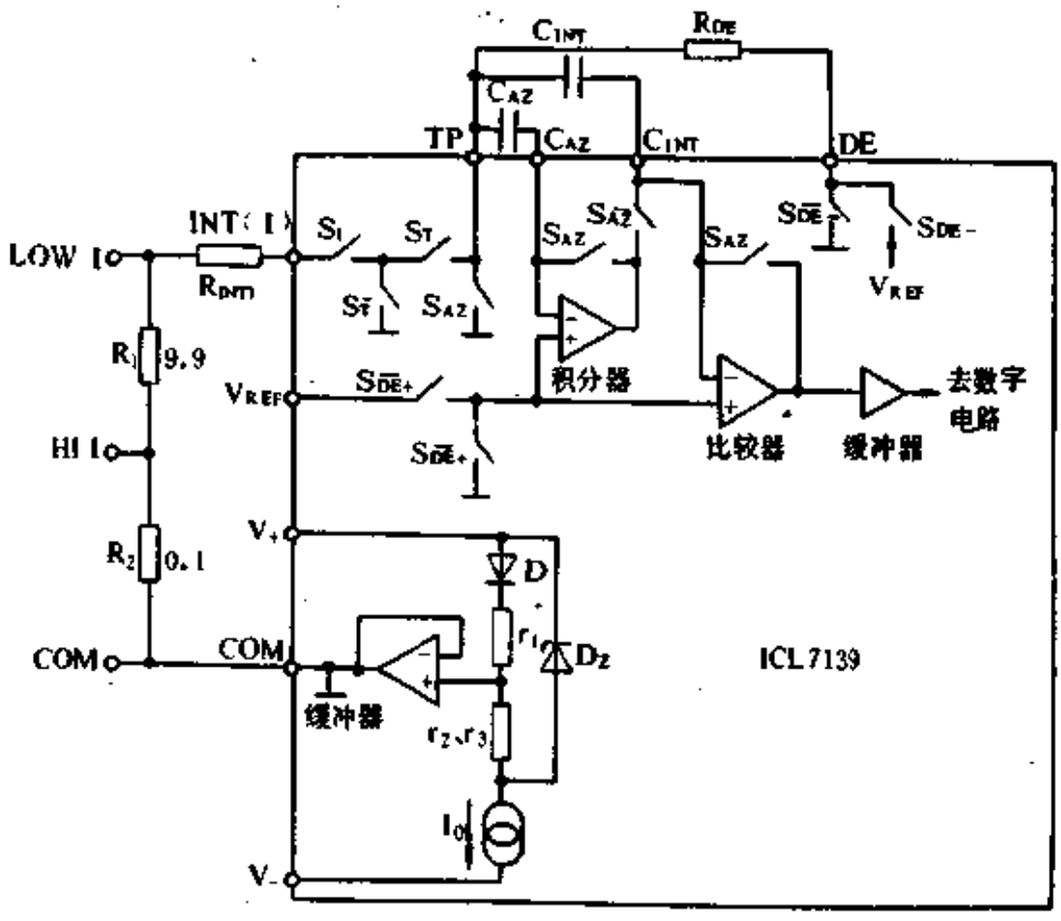


图 2.7.6 测直流电流时模拟电路框图

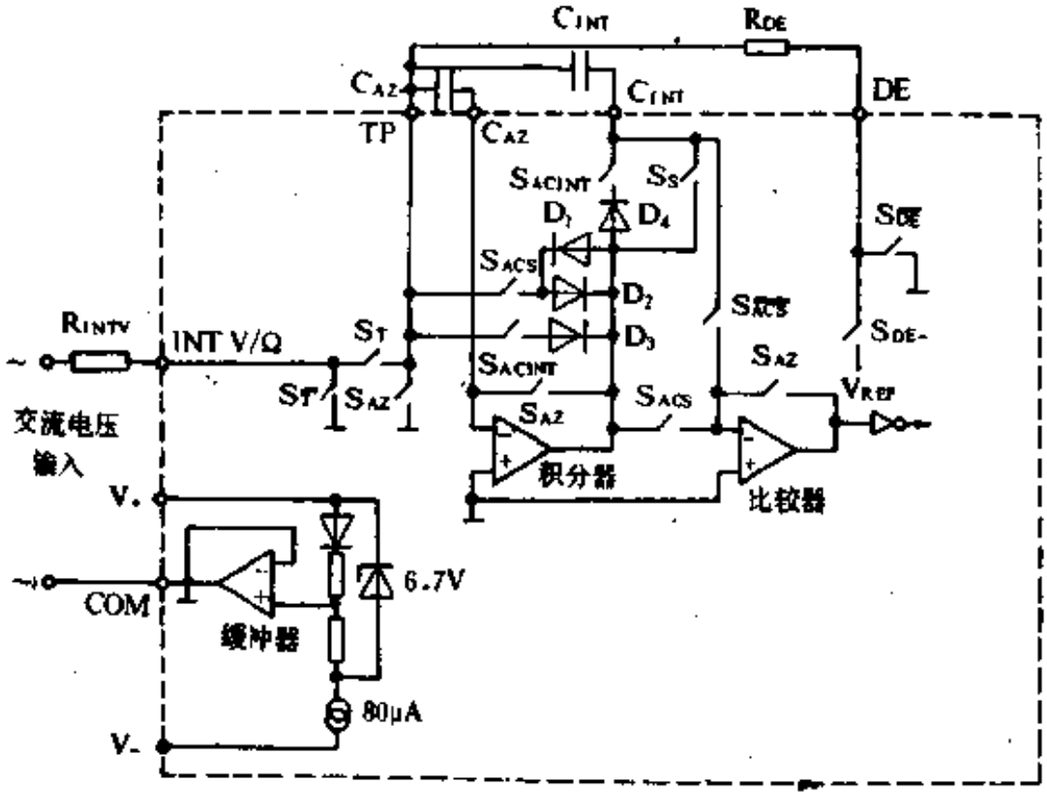


图 2.7.7 ICL7139中的AC/DC转换器

ICL7139与其他单片A/D转换器的不同之处还在于，AC/DC转换器就集成在芯片内部，因此测交流电压时几乎不需要外围电路。AC/DC转换器是以半波整流的平均值为响应的，其电路如图2.7.7所示。与图2.7.4相比，电路中又增加了几个模拟开关，其名称如下：

S——组合信号开关，其逻辑表达式为$S=\overline{AZ}\cdot\overline{ACS}\cdot\overline{ACINT}$。该控制信号是将$\overline{AZ}$（自动调零）、$\overline{ACS}$（交流同步）、$\overline{ACINT}$（交流正向积分）这3个信号相"与"后得到的。字母上的横线仍表示逻辑"非"；

T——另一个组合信号开关，逻辑表达式为$T=(INT+ACS)\overline{AZ}\cdot AS$，式中AR为自动量程信号；

ACS——交流同步信号开关，ACS是"AC SYNC"的缩写。

测量时交流输入电压直接加到ICL7139的电压积分电阻R_{INTV}上。交流测量周期自积分电容C_{INT}被断开之时开始。积分器在这里是作为一个能自动回零的比较器使用，来检测过零信号，使A/D转换过程与交流输入电压的频率保持同步。转换过程仍分自动调零（AZ）、正向积分（INT）、反向积分（DE）三个阶段。由于整流二极管D_4与积分电容C_{INT}相串联，半波整流后的电流只能从积分器流向积分电容，因此C_{INT}上的电压与半波整流的平均值电压$\overline{V}$成正比。有关系式：

$$V_{RMS}/\overline{V}=\pi/\sqrt{2}=2.22$$

ICL7139的时钟脉冲用来对被测交流电压的有效值（V_{RMS}）进行计数，仪表可直接显示交流电压的有效值。

从使用角度看，上述AC/DC转换电路非常简单，也不需要进行调整，整个时序控制均由芯片内部的控制逻辑来完成。需要指出的是，该AC/DC转换电路的工作频率范围较窄，适宜测量50HZ的交流电压。

5. 测量交流电流

将被测交流电流经过分流器产生压降，再经过电流积分电阻

R_{INTI}，送至INT(I)端，即可利用内部的AC/DC转换器转换成平均值电压。交流电流有4个量程：4mA、40mA、400mA、4A（有效值），电路从略。

6. 测量电阻

采用比例法测量电阻，电路如图2.7.8所示。设被测电阻为R_x，标准电阻为R_0（即图中的R_{01}、R_{02}）。在低阻档（4kΩ、40kΩ），标准电阻选$R_{01}=10k\Omega$，高阻档（400kΩ、4MΩ）选$R_{02}=1M\Omega$。测量电阻的量程转换过程及时序波形与测直流电压相同。其特点如下：

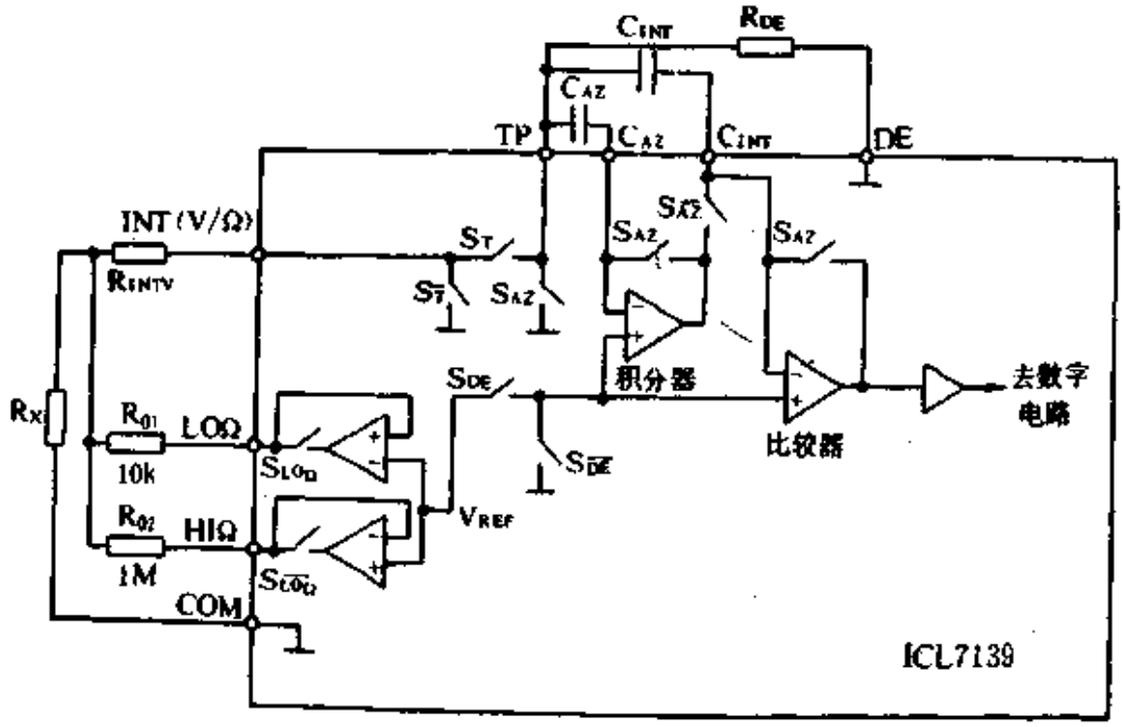


图 2.7.8 测量电阻的电路

（1）在正向积分阶段，以R_x上的压降为输入电压。

（2）在反向积分阶段，以R_0上的压降作为基准电压。因R_x与R_0串联成分压器；故

$$\frac{V_{IN}}{V_{R_0}}=\frac{V_{R_x}}{V_{R_0}}=\frac{IR_x}{IR_0}=\frac{R_x}{R_0} \qquad (2.7.1)$$

显示值

$$N=k\cdot\frac{R_x}{R_0} \qquad (2.7.2)$$

式中，k为比例系数。这就是比例法测量电阻的原理。

7．蜂鸣信号电路

当仪表置于4kΩ量程时，图2.7.9所示蜂鸣信号电路将起作用。选$R_3=10k\Omega$(可用R_{61}代替)，仅当$R_x<1k\Omega$时，从16脚输出蜂鸣信号。其工作原理简述如下：因为4kΩ档满量程的输入电压为400mV，所以1kΩ被测电阻可产生100mV压降。比较器的参考电压$V_x=100mV$。当$V_{Rx}<V_x$时，比较器翻转，打开与非门，内部2kKz音频信号通过与非门和驱动器，使外部压电陶瓷蜂鸣器发声。

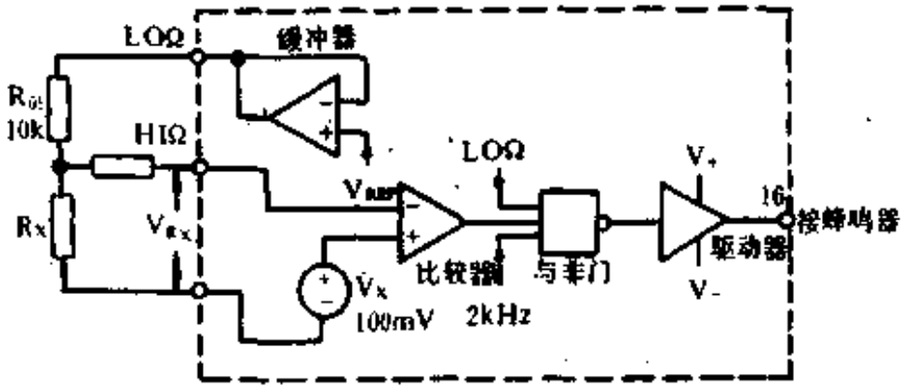


图 2.7.9 蜂鸣信号电路

8．时钟振荡器

如图2.7.10所示，时钟振荡电路包括反相器F、内部振荡电

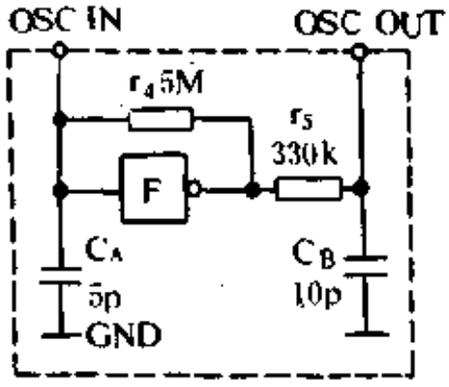


图 2.7.10 时钟振荡电路

容C_A和C_B、内部电阻r_4和r_5。使用时只需外接100kHz石英晶体，即可构成柯尔皮兹(电容三点式)振荡器，产生高稳定度的晶振

频率。若采用外部时钟，输入信号应为0.5～3V_{p-p}。

9. 公共端电压

ICL7139的公共电压是由稳压二极管D_Z、二极管D、电阻 r_1～r_3产生的，如图2.7.11所示。D_Z的稳定电压为6.7V，它具有正温度系数，而D为负温度系数。设计芯片时，只要合理选择 r_1～r_3的电阻值，即可使二者的温度系数互相抵消，接近于零温漂。

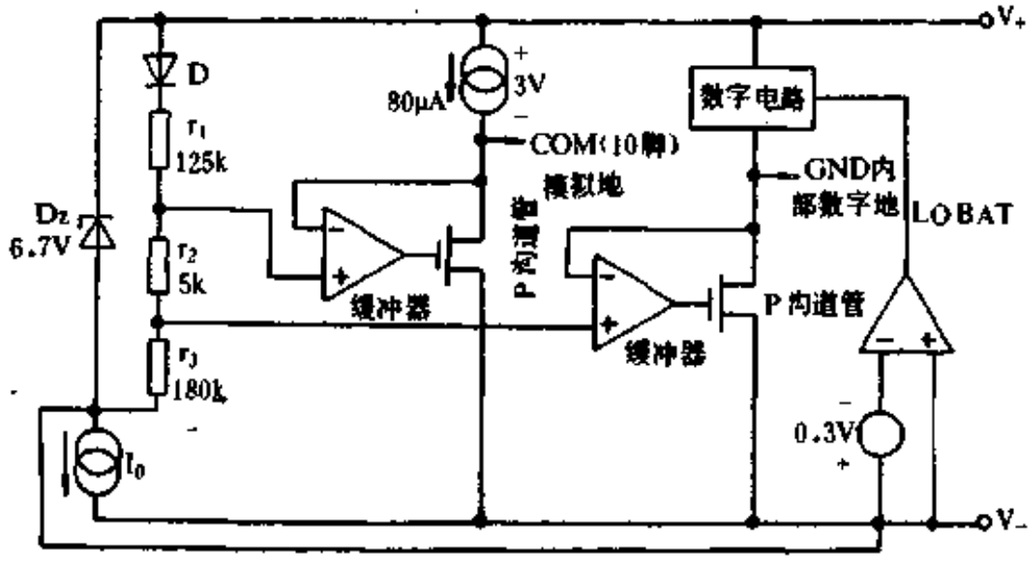


图 2.7.11 产生公共端电压的电路

公共电压经过缓冲器之后得到模拟地（COM）与数字地（GND）。模拟地从10脚引出，V_+与COM之间的电压为3V。数字地并未引出，仅供内部逻辑电路使用，V_+与GND之间的电压为3.1V。

COM端所接缓冲器允许灌入20mA的电流，这也为设计b_{FE}档(专测晶体管共发射极电流放大系数)提供了方便。此外，从COM端还可输出0.01mA的电流，输出阻抗为10Ω。

10. 显示驱动器

为减少芯片及LCD显示器的引出端数量，现采用时分割法双重驱动液晶显示器，所用$3^1/_2$位LCD有两个背电极。由于将笔段分成两组轮流发光，两个笔段可公用一条驱动线，所以引线数目比静态驱动法大约可减少一半。

典型的LCD驱动波形见图2.7.12。仅当驱动信号与背电极信号反相时，相应笔段两端才能形成电压，使该笔段发光。如果两个信号同相位，笔段就不发光。图中的V_{PEAK}代表峰值显示电压，要求$V_{PEAK}=3V\pm10\%$。若折合成有效值，则显示开启电压的最小值为2.37V，显示关闭电压的最大值为1.06V。

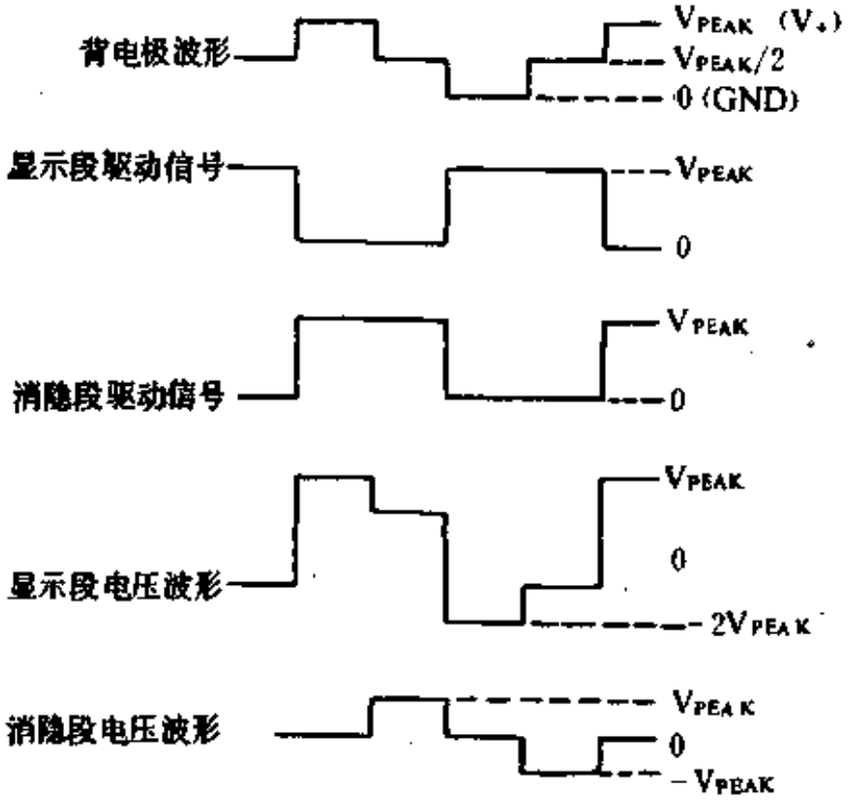


图 2.7.12 典型的LCD驱动波形

LCD必须用交流电压驱动，要求驱动电压中的直流分量接近于零。否则直流成分会促使液晶发生电解，大大缩短使用寿命。ICL7139输出的直流分量低于50mV，完全可满足要求。

四、ICL7139的典型应用

由ICL7139构成的单片$3^3/_4$位自动转换量程数字万用表基本电路，如图2.7.13所示。图中，JT为100kHz石英晶体。S_1为电源开关，S_2是高阻（或直流）/低阻（或交流）选择开关。S_3为读数保持/自动测量选择开关。S_4（S_{4A}、S_{4B}）为测量项目选择开关。

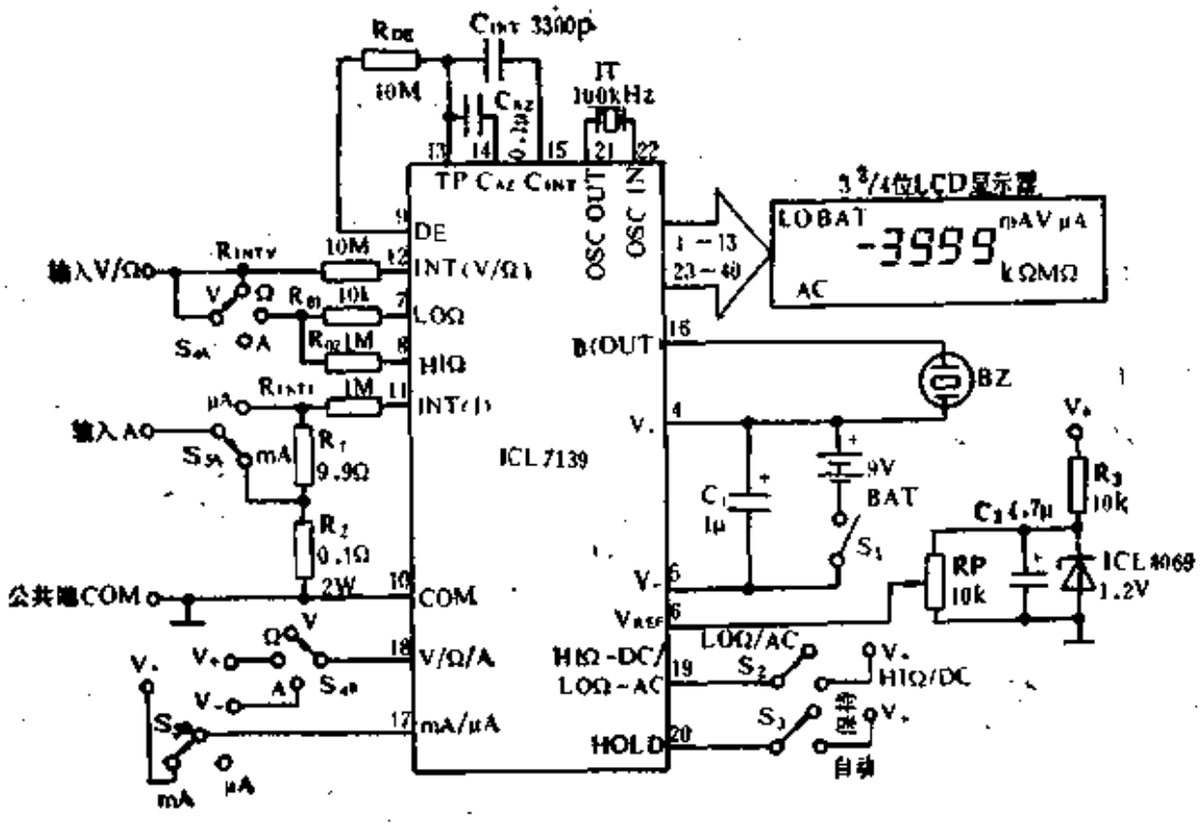


图 2.7.13　由ICL7139构成的单片DMM电路

S_5（S_{5A}、S_{5B}）是μA/mA选择开关，μA档适于测量4mA(4000μA)以下的电流。C_1是9V电源的滤波电容。

为提高基准电压的稳定度，现利用ICL8069型能带间隙式基准电压源提供1.2V（典型值）的稳定电压，其电压温度系数为10～100ppm/℃。1.2V电压经过10kΩ精密多圈电位器RP分压后，得到高稳定度的基准电压V_{REF} = 1.000V。R_3是限流电阻，C_2用来

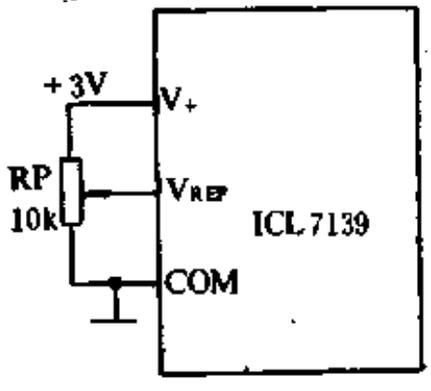


图 2.7.14　获得基准电压的另一种电路

滤除干扰。

如果对基准电压的稳定度要求不高，也可以利用芯片上V_+-COM之间的3V稳定电压产生V_{REF}，电路参见图2.7.14。

五、使用注意事项

1. 元器件选择

C_{INT}须采用介质吸收系数很小的聚丙烯电容器，以减小非线性误差。电容量由下式决定

$$C_{INT}=\frac{\text{积分时间}\times\text{积分电流}}{\text{积分器的电压摆幅}}$$

$$=\frac{10000\times 2T_0\times 0.4V/R_{INTV}}{2V} \qquad (2.7.3)$$

将$T_0=10\mu s$。$R_{INTV}=10M\Omega$代入上式得到$C_{INT}=4000pF$。亦可近似取标称容量3300PF。

R_{INTV}、R_{INTI}均选用金属膜电阻器，允许存在阻值偏差，但二者的电阻比(R_{INTV}/R_{INTI})必须等于10:1，比值误差应小于±0.05%。R_{DE}的阻值等于R_{INTV}，它们应具有相同的电阻温度系数。C_{AZ}宜选择聚苯乙烯或聚碳酸脂电容器。R_{01}、R_{02}的误差均应≤±0.5%。R_1、R_2必须严格匹配，误差不得超过±0.5%。R_2的额定功率为2W，以便承受4A的大电流。

设基准电压源的输入阻抗为Z_0，要求$Z_0\leqslant R_{DF}/4000=2.5k\Omega$。100kHz石英晶体的谐振电阻$R_L$应小于25kΩ，初始频差低于±0.05%。

2. 保护电路

为防止误用电流档或电阻档测220V交流电压时损坏仪表，应增设保护电路。对于电流档，可在输入电路串接一只0.5A快速熔丝管。电阻档不必另加保护电路，但要求R_{01}(10kΩ)在短时间内能承受4.8W的功耗。

3. 印制板设计与焊接要点

外部模拟电路应靠近ICL7139芯片，并且尽量远离其他交流电源和液晶显示器驱动电路，以免引入交流干扰。在设计第9、12、13、14、15脚的印制电路板时，可参考图2.7.15。图中的粗线表示印制导线。

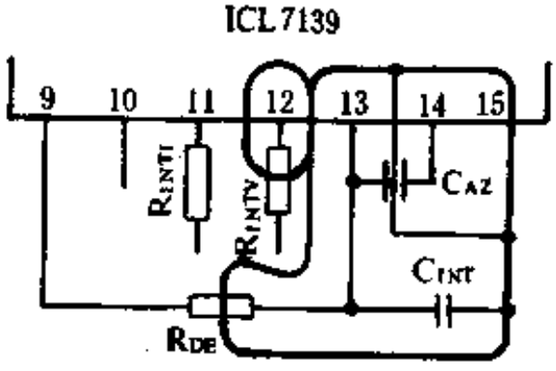


图 2.7.15 印制板设计

印制板的漏电流应极小。焊接完毕，应当用无水酒精棉球重点清洗以下3处：第12脚INT(V/Ω)与11脚，第13脚，第9脚(DE)与14脚(C_{AZ})。

§2.8 ICL7135型单片4½位A/D转换器

一、ICL7135的主要特点

ICL7135是美国Intersil公司生产的高准确度、通用性单片CMOS 4½位A/D转换器。其主要特点如下：

(1) 满量程为2.0000V，在±20000计数范围内的准确度为±1个字。

(2) 能够自动校正零点，保证在零伏输入时读数为零。

(3) 输入阻抗大于$10^9\Omega$，输入漏电流仅1pA(典型值)。允许差分输入。

(4) 能自动判别信号的极性，具有读数保持功能。

表 2.8 ICL7135的主要技术指标

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
零伏输入读数		$V_{IN}=0V$，满量程2.0000V	−0.0000	±0.0000	+0.0000	读数
比例读数		$V_{IN}=V_{REF}$，满量程2.0000V	+0.9998	+0.9999	+1.0000	读数
非线性误差		$-2V\leqslant V_{IN}\leqslant+2V$		0.5	1	字
差分线性		$-2V\leqslant V_{IN}\leqslant+2V$		0.01		最低位
翻转误差		$-V_{IN}=+V_{IN}$		0.5	1	字
噪声电压（峰-峰值）		$V_{IN}=0V$，满量程2.0000V		15		μV
输入漏电流	I_{IN}	$V_{IN}=0V$ $IN_+\sim IN_-$			10	pA
零读数温漂		$V_{IN}=0V$，$0\leqslant T_A\leqslant 70℃$（外部基准为0ppm/℃）		0.5	2	μV/℃
比例因子的温度系数		$V_{IN}=+2V$，$0\leqslant T_A\leqslant 70℃$（设外部基准电压的温度系数为0ppm/℃）		2	5	ppm/℃
模拟输入电压	V_{IN+}		2.8	2.2		V
	V_{IN-}			1.6	0.8	V
CL、R/$\overline{H}$端输入电流	V_{IN+}	$V_{IN}=+5V$		0.1	10	μA
	V_{IN-}	$V_{IN}=0V$		0.02	0.1	mA
全部输出低电平	V_{OL}	$I_{OL}=1.6mA$		0.25	0.40	V
输出高电平（$B_1\sim B_8$，$D_1\sim D_5$）	V_{OH}	$I_{OH}=-1mA$	2.4	4.2		V
输出高电平（OR，$\overline{UR}$，BYSU.$\overline{STR}$，POL）	V_{OH}	$I_{OH}=-10\mu A$	4.9	4.99		V

（续）

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
+5V电源范围	V_+		+4	+5	+6	V
−5V电源范围	V_-		−3	−5	−8	V
+5V电源电流	I_+	f_c=0Hz		1.1	3.0	mA
−5V电源电流	I_-	f_c=0Hz		0.8	3.0	mA
功耗电容	C_{PD}	对应于时钟频率		40		pF
时钟频率	f_c		直流	120	200	kHz

(5) 有超量程(OR)和欠量程(UR)信号，容易实现自动转换量程。

(6) 设有6个控制信号端（OR、UR、$\overline{STR}$、POL、R/$\overline{H}$、BUSY)，能与微型计算机相连，进行数据处理，亦可构成智能仪器或自动测试系统。

(7) 采用多路BCD码扫描输出，能够降低LED显示器的显示功耗。

(8) 构成4½位数字电压表时，需外接段译码驱动器、位驱动器、时钟振荡器、基准电压电路和LED显示器。所有输出与TTL电路兼容。

(9) 能以闪烁的方式表示超量程状态。

(10) 采用±5V双电源供电。

ICL7135的主要技术指标见表2.8。测试条件为：V_+ = +5V，V_- = −5V，环境温度T_A = 25℃，测量速率3次/秒。

二、ICL7135的管脚功能

ICL7135采用双列直插式，共28个管脚，排列顺序如图2.8.1

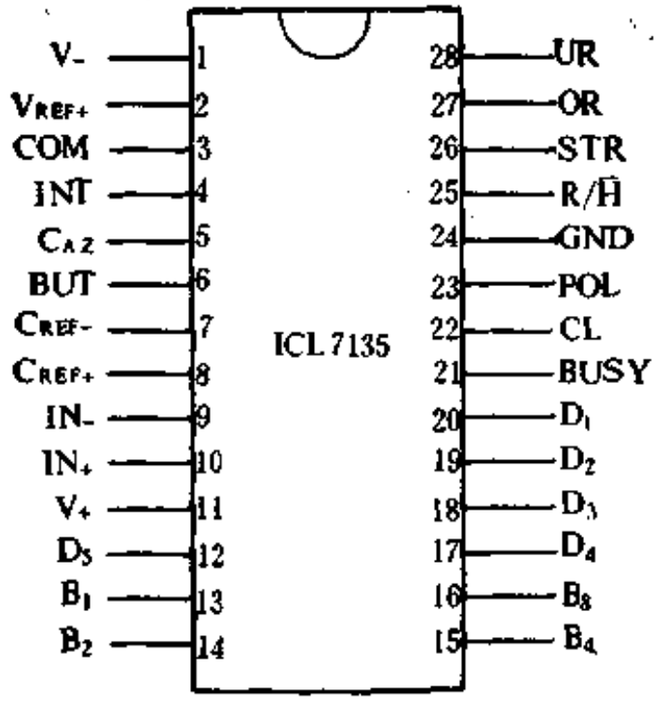


图 2.8.1 ICL7135的管脚排列

所示。各管脚功能如下：

V_+(11脚)——接 +5V电源；

V_-(1脚)——接 -5V电源；

GND(24脚)——数字地；

CL(22脚)——时钟信号输入端；

$D_1 \sim D_5$——分别为个、十、百、千、万位的位选通信号输出端，按照D_5(最高位MSD)→D_4→D_3→D_2→D_1(最低位LSD)的顺序输出扫描驱动信号。只要不出现超量程状态，就一直不断地进行扫描。超量程时，从$\overline{STR}$选通信号结束一直到D_5重新扫描的时间内，全部位选通信号停止，显示器将断续地亮灭，以闪烁显示的方法表示超量程状态。

B_1、B_2、B_4、B_8——BCD码(8、4、2、1、编码)输出端，输出数据与位选通信号保持同步。当位选通信号D_5 = 1时，输出 万位数据；D_4 = 1时输出千位 数据，依此类推。万位只能输出0和1，对应于BCD码0000和0001。其余各位都可输出0～9的数据，对应于BCD码的0000～1001。但是在超量程时各位输出均为零。

OR(27脚)——超量程信号 输出端，当$V_{IN}\geqslant 2.0000V$ 时，OR变成高电平。

UR(28脚)——欠量程信号 输出端，当显示 值$N\leqslant 9\%V_M=1800$(不考虑小数点)时，UR输出高电平。

$\overline{STR}$(26脚)——数据选通 输出端。在每个A／D转换周期开始时，$\overline{STR}$端产生5个 脉冲宽度 等于1／2时钟周期的 负脉冲，分别对应于5个位选通信号的1／2脉宽处(参见图2、8、6)。利用此端信号可以把各位BCD码数据传输到外部锁存器或微处理器。

BUSY(21脚)——忙碌输出，用来指示A／D转换正 在进行或已经进行完毕。在积分过程中BUSY 为高电平，在自动 调零阶段为低电平。

R／$\overline{H}$(25脚)——运行／保持控制端。此端加高电平 或悬空时能自动完成A／D转换；接低电平时读数 保持不变，直到R／$\overline{H}$端又恢复高电平时才能改变读数。在保持期间，A／D转换照常进行。

POL(23脚)——信号极性输出，正信号时 输出高电平，负信号时输出低电平。

其余管脚的符号及功能同ICL7106。

三、ICL7135的工作原理

ICL7135 属于大规模集成电路，除显示驱动 器、基准电压源和时钟信号发生器之外，所有电路都集成在一个芯片上。芯片内部也包括模拟电路与数字电路两大部分。

模拟电路的框图如图2.8.2所示，主要包括 缓冲器A_1、积分器A_2、比较器A_3、过零检测、极性触发器和 4组模拟开关。每个A／D转换周期分四个 阶段：自动 调零(AZ)，正向 积分(INT)，反向积分(DE)和零积分 (ZI)。它比ICL7106增加了零积分阶段。

1. 自动调零阶段 (AZ)

此时图2.8.2中的S_{AZ}闭合，而其余模拟开关 均断开，等效电路见图2.8.3。在自动调零阶段要完成三项工作：(1) 将IN_+、IN_-

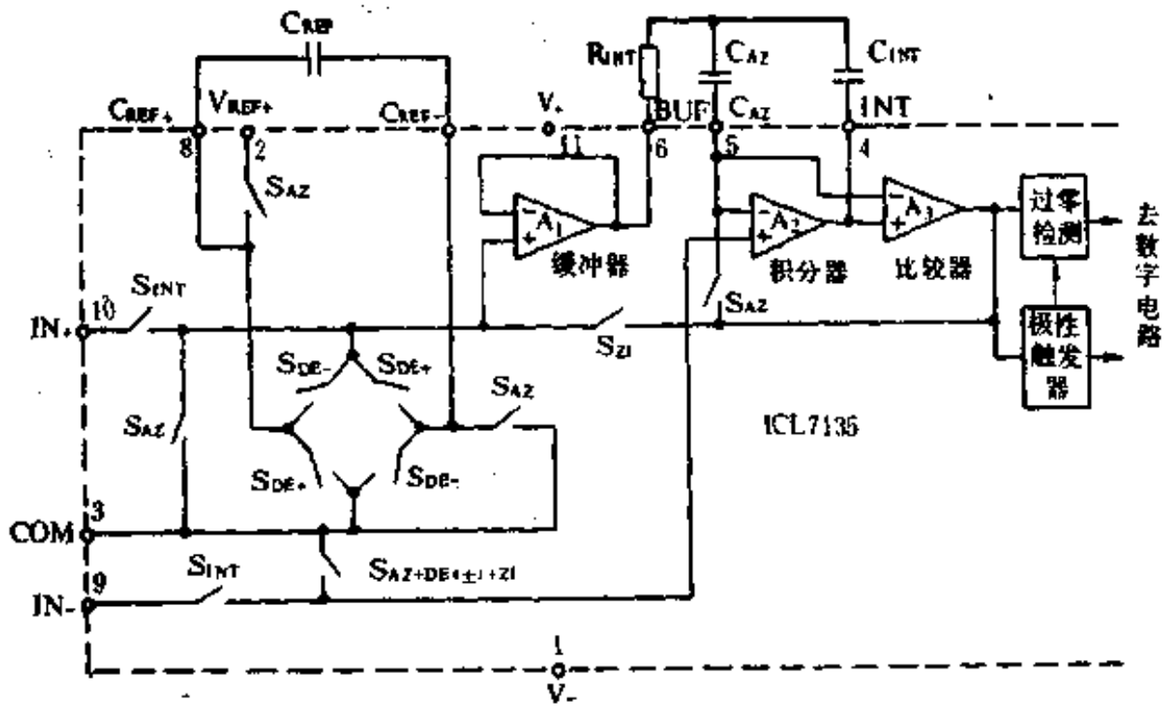


图 2.8.2 ICL7135的模拟电路框图

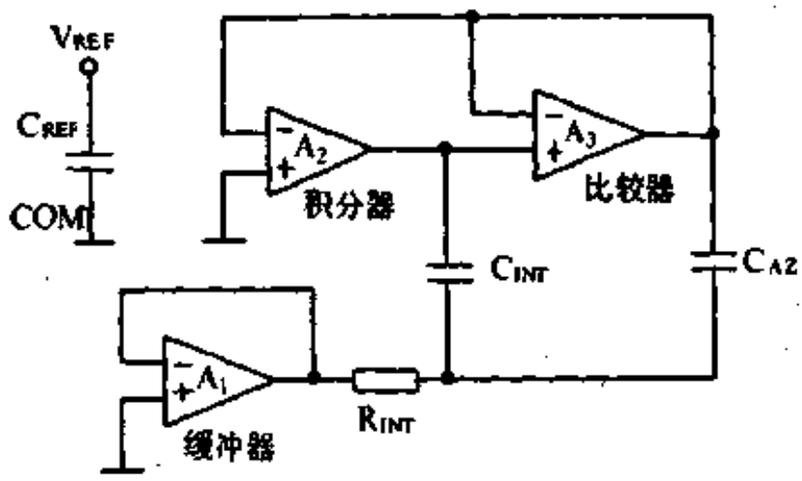


图 2.8.3 自动调零等效电路

端断开，通过S_{AZ}使$V_{IN}=0$；（2）基准电压 V_{REF} 对基准电容C_{REF}充电，充到V_{REF}（1.0000V）；(3) 闭合反馈回路，将$A_1\sim A_3$的失调电压寄存在调零电容C_{AZ}上，以便在后面的正向积分阶段予以补偿，使输入端失调电压小于10μV。

2. 正向积分阶段(INT)

等效电路如图 2.8.4 所示。此时仅S_{INT} 接通，ICL7135对V_{IN}进行定时积分，$T_1=10000T_0$。此阶段结束时，信号的极性被寄

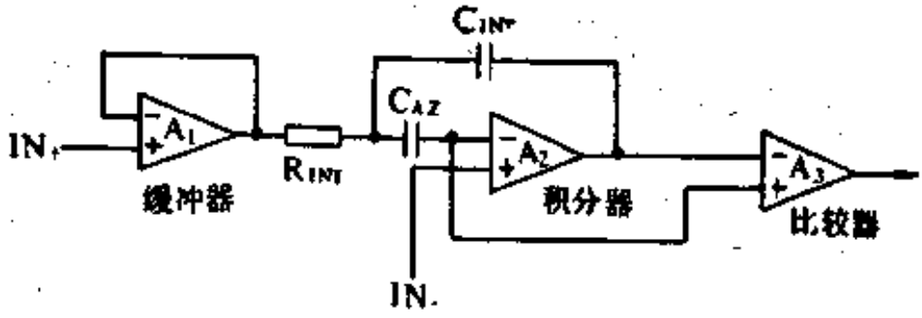


图 2.8.4 正向积分等效电路

存在极性触发器中。

3. 反向积分阶段(DE)

反向积分的等效电路与图 2.8.4 基本相同，区别只是把缓冲器A_1和积分器A_2的同相输入端 分别改接V_{REF}、COM。ICL7135通过对基准电压进行反向积分，使积分器的输出回到零点。反向积分时间T_2与被测电压V_{IN}成正比。仪表显示值N的表达式为

$$N = \frac{10000}{V_{REF}} \cdot V_{IN} \qquad (2.8.1)$$

若将$V_{REF} = 1.0000V$代入上式，并且把小数点定在 万位的后面，则

$$N = 1.0000V_{IN} \qquad (2.8.2)$$

式中V_{IN}的单位为伏特(V) 。

图2.8.2中的模拟开关S_{DE+}、S_{DE-}，能够自动实现 极性转换功能。当$V_{IN} > 0$时，两只S_{DE+}开关接通，使C_{REF}上的基准电压V_{REF}按照负电压的接法输入 到A_1 的同相输入端。当 $V_{IN} < 0$时，两只S_{DE-}开关接通，V_{REF}就以正电压的接法输入至A_1。由此可见，无论输入电压呈何种极性，总能保证积分器作反向积分，最后达到积分器回零之目的。

4. 零积分阶段 (ZI)

设置ZI阶段的主要作用是在超量程情况过去之后，使积分器快速回零。在此阶段，S_{ZI}闭合，IN-与COM短接，IN+与比较器的输出端也短接，构成深度负反馈回路，保证积分器能迅速回零。

零积分阶段的等效电路见图2.8.5。完成这一阶段通常需要 100T_0～200T_0，但在超量程时可扩展到6200T_0。

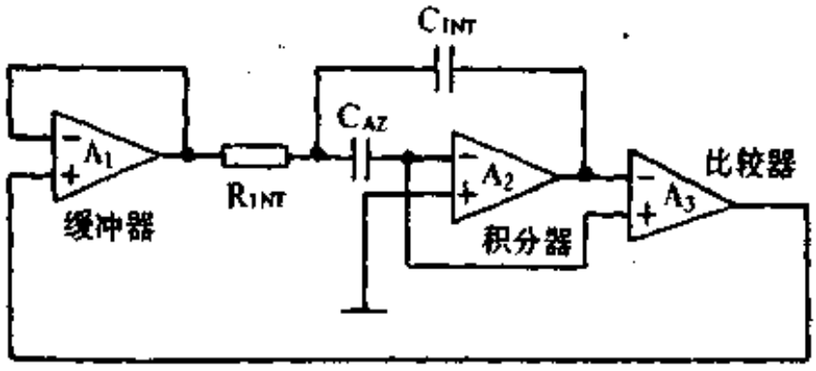


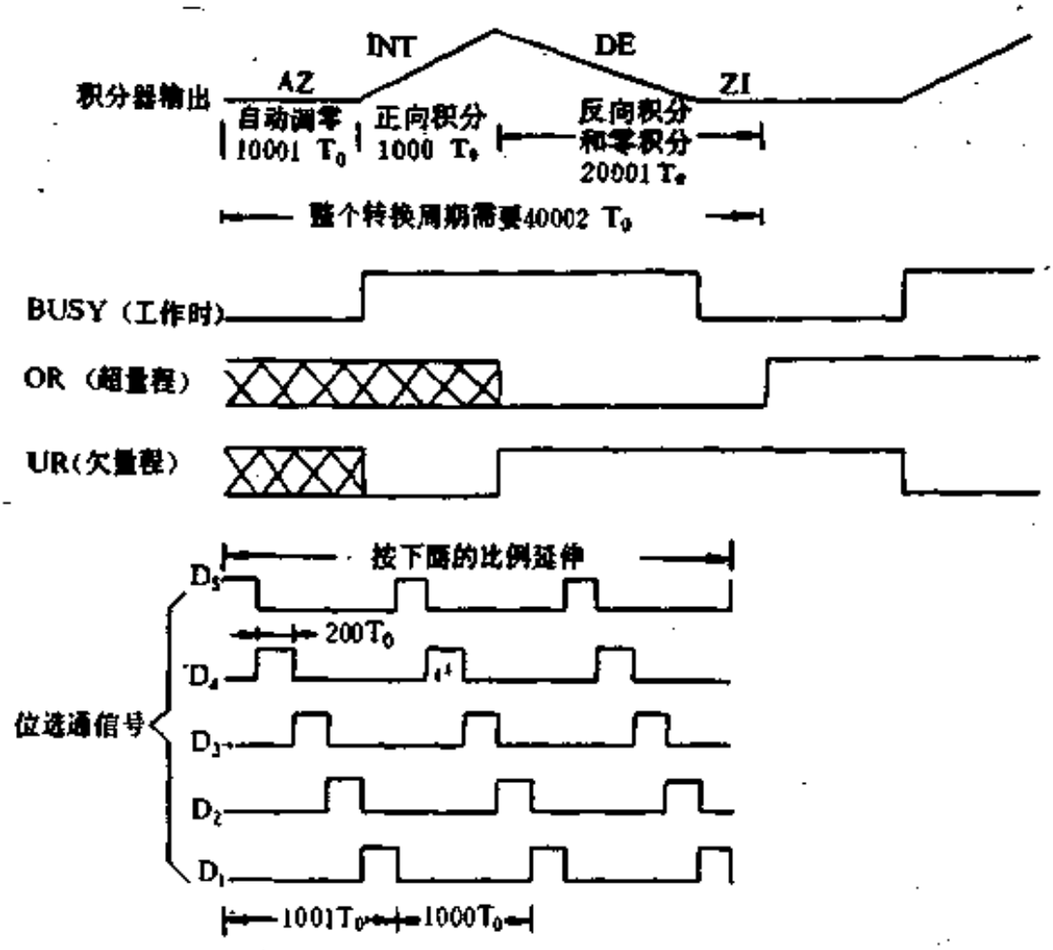
图 2.8.5 零积分的等效电路

ICL7135完成一次A／D转换共需 40002T_0，其中自动调零占10001T_0，正向积分固定为 10000T_0，而反向积分与零积分总共占20001T_0。图2.8.6示出ICL7135进行A／D转换的时序波形。由图可见，位选通信号D_5～D_1的正脉冲宽度均为 200T_0，数据选通信号$\overline{STR}$的负脉冲间隔也是200T_0。仅在AZ 阶段刚开始时，D_5的脉宽为201T_0，即5个位选通信号的总周期等于1001T_0，这是为解决数字电路的同步问题而专门设计的。

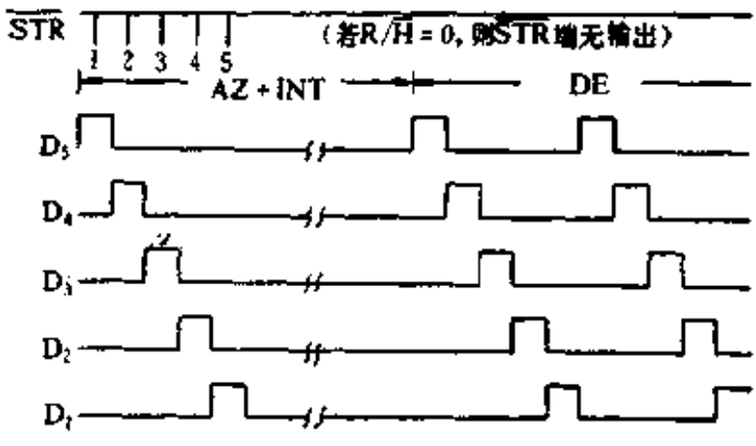
需要指出，因为正向积分时间$T_1 = 10000T_0$，而反向积分时间最长为$T_2 = 20001T_0$，即$T_2 = 2T_1$，所以ICL7135 的基准电压等于满量程电压的一半，即$V_{REF} = V_M / 2 = 2.0000V / 2 = 1.0000V$。

ICL7135允许IN_+和IN_-端作差分输入。差分电压范围是(V_+ − 0.5V)～(V_- + 1.0V)。当$V_+ = +5V$，$V_- = -5V$时，具体范围是4.5～ − 4.0V。这时系统的共模抑制比CMRR = 86dB（典型值）。因为积分器输出电压也随共模电压而摆动，所以特别要注意积分器的输出不能达到饱和状态，否则会影响A／D转换结果的准确度。

ICL7135的数字电路见图2.8.7，主要由$4\frac{1}{2}$位计数器、锁存器、位选通及BCD码多路扫描电路、极性触发器、过零触发器和控制逻辑所组成。计数器一方面对A／D转换结果进行计数，另



（a）



（b）

图 2.8.6 A／D转换时序波形

一方面还对4个阶段的时钟周期计数。在反向积分阶段开始的时刻，计数器从零开始计数；当积分器输出通过零点时将计数结果送至锁存器，直至下一A／D转换周期过零时，才刷新A／D转换结果。多路扫描电路同步输出位选通信号以及该位的A／D转换结果(BCD码)。控制逻辑向各组模拟开关发出控制信号，决定其通断状态。

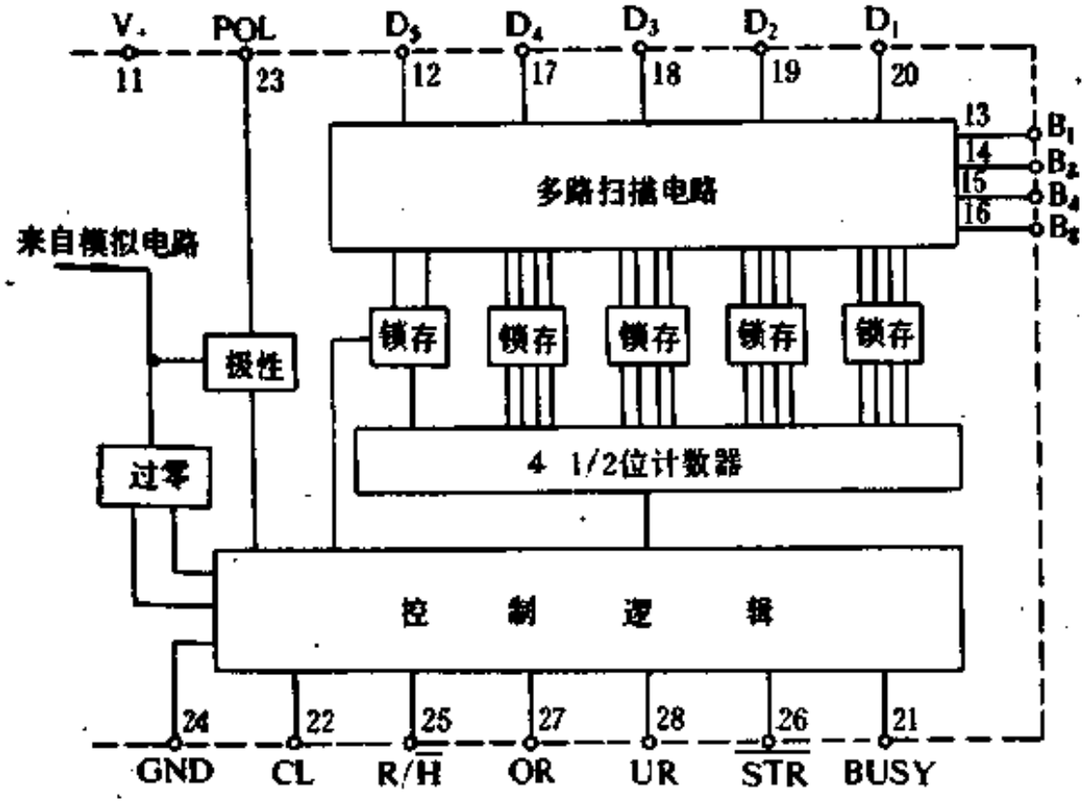


图 2.8.7 ICL7135的数字电路

四、ICL7135的典型应用

1. 配共阴极LED显示器

由ICL7135构成4½位数字电压表的典型电路如图2.8.8所示。电路中使用5只共阴极LED数码管。因万位属于½位，故只接数码管的b、c段用来显示1，g段作为负极性显示(正极性时g段消隐)。

基准电压的稳定度关系到A／D转换总误差的大小，现采用高稳定度的能隙基准电压源ICL8069，其稳定电压为1.2V，电压

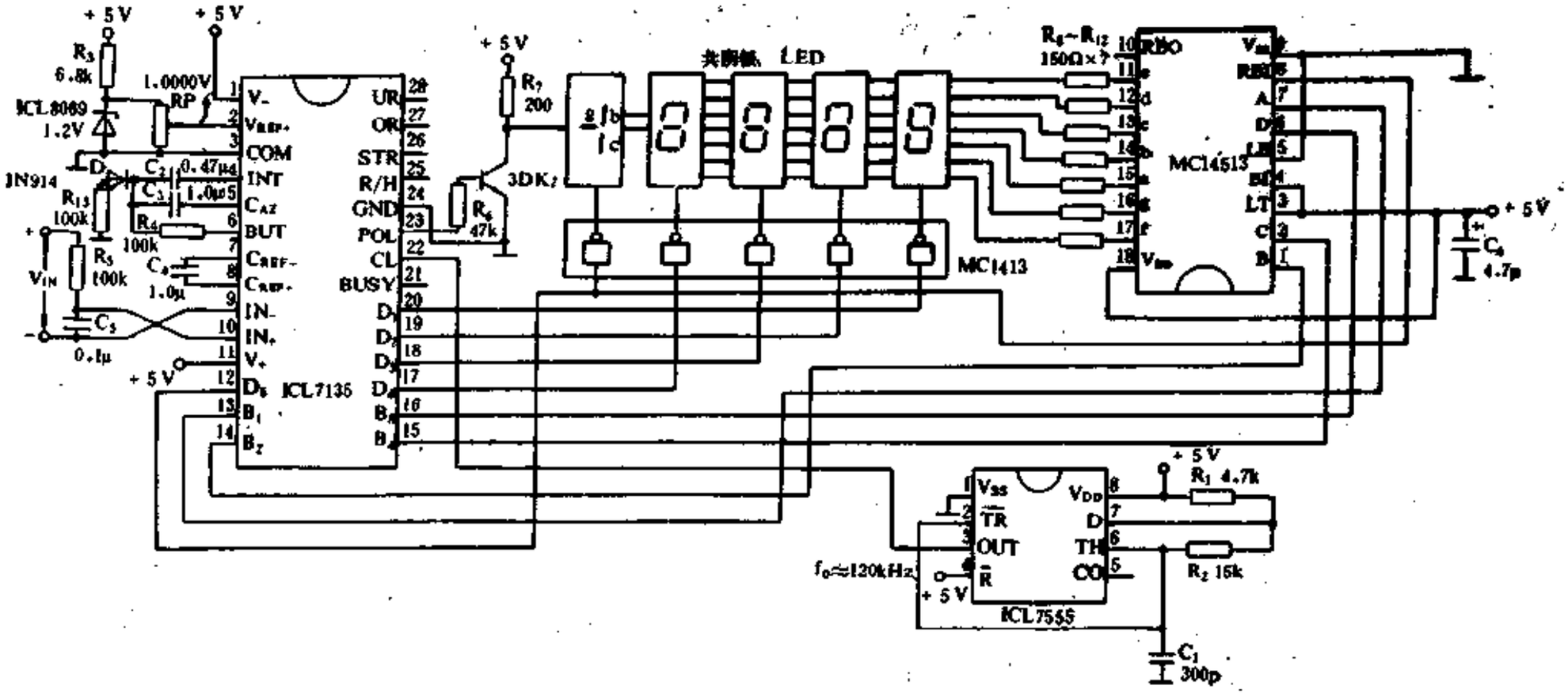


图 2.8.8 由ICL7135构成的4½位数字电压 表(电路之一)

温度系数约为10ppm／℃①。再经过精密多圈电位器 RP分压后，得到所需要的1.0000V 基准电压。在输入端接有高频滤波器(R_5、C_5)，可以滤掉高频干扰，避免瞬间高压感应信号将输入端击穿。R_5还有限流保护作用。

为保证 A／D 转换的准确度，对积分电阻 R_{INT} 和积分电容 C_{INT}的选择至关重要。由图2.8.4可见，积分器对积分电容 C_{INT} 的充电电流I_{INT}由下式决定：

$$I_{INT}=\frac{V_{IN+}-V_{IN-}}{R_{INT}}=\frac{V_{IN}}{R_{INT}} \qquad (2.8.3)$$

因为ICL7135中的运算放大器在输出电流为5～40μA 时具有良好的线性度，所以通常取 $I_{INT}=20\mu A$。考虑到式(2.8.3)中V_{IN}的最大值对应于满量程电压V_M。由此得到积分电阻 R_{INT}的计算公式

$$R_{INT}=\frac{V_M}{I_{INT}}=\frac{V_M}{20\mu A} \qquad (2.8.4)$$

将$V_M=2.0000V$代入上式得$R_{INT}=100k\Omega$，电路中积分电阻R_4就取100kΩ。

前已述及，正向积分时间$T_1=10000T_0=10000/f_0$。现用 V_{INT}表示积分电容 C_{INT} 两端的电压，亦即积分器输出电压的幅度，有公式

$$V_{INT}=\frac{T_1I_{INT}}{C_{INT}}=\frac{10000T_0I_{INT}}{C_{INT}}=\frac{10000I_{INT}}{f_0C_{INT}} \qquad (2.8.5)$$

故

$$C_{INT}=\frac{10000I_{INT}}{f_0V_{INT}} \qquad (2.8.6)$$

积分电压V_{INT} 的合适幅度应为3.5～4.0V。实选$f_0=120kHz$，$I_{INT}=20\mu A$，$V_{INT}=3.5V$，一并代入式(2.8.6) 中得到，$C_{INT}=0.47\mu F$。图中的积分电容C_2即取 0.47μF，C_2宜选用聚丙烯电

① ICL8069分四档，电压温度系数为10～100ppm/℃，最高一档可达10ppm/℃。

容器，以减小介质损耗。

若将式(2.8.3)代入式(2.8.5)中，就得到

$$V_{INT}=\frac{10000T_0}{R_{INT}\cdot C_{INT}}\cdot V_{IN} \qquad (2.8.7)$$

显然，积分电压的幅度与时间常数$\tau=R_{INT}\cdot C_{INT}$成反比，而与输入电压$V_{IN}$成正比。选择$\tau$值的原则是在积分器不饱和（饱和电压仅0.3V）的前提下获得最大输出电压。对±5V电源而言，当COM端与电源地短接并且$V_M\approx 2.0000V$时，积分电压的幅度为3.5～4.0V是适宜的。上述规律可作为选定R_{INT}、C_{INT}、f_0的依据。

ICL7135的翻转误差很小，典型值为±0.5字。为满足精密测量之需要，电路中还增加了翻转电阻R_{13}和二极管D，以消除翻转误差。通常取$R_{13}=100k\Omega$，D选用IN914型硅二极管。假若翻转误差对测量影响很小，亦可省去R_{13}和D。

时钟信号发生器由ICL7555（国产型号为CC7555、5G7555）CMOS单定时器组成。振荡频率f_0、占空比D的计算公式分别为

$$f_0=\frac{1}{T_0}=\frac{1.44}{(R_1+2R_2)C_1} \qquad (2.8.8)$$

$$D=\frac{t_1}{T_0}=\frac{R_1+R_2}{R_1+2R_2}\cdot 100\% \qquad (2.8.9)$$

式中t_1是脉冲宽度（高电平时间）。现取$R_1\approx 4.7k\Omega$，$R_2=15k\Omega$，$C_1=300pf$，分别代入式(2.8.8)和式(2.8.9)，得到振荡频率$f_0\approx 120kHz$，占空比$D\approx 57\%$，测量速率为120kHz/40002≈3次/s秒时钟电路亦可用两级反相式RC振荡器来代替。时钟频率f_0应是50Hz的整倍数，一般可选40kHz、100kHz、120kHz、150kHz、200kHz等。

双积分式A/D转换器的最高转换速率受比较器工作频率所限制。一般情况下比较器对于积分器有3μs的延迟时间。假定时钟

频率选160kHz，那末3μs的延迟时间就意味着，当输入50μV电压时仪表读数为0或1，150μV时为1或2，250μV时为2或3，…。这表明上述延迟时间可造成1个字的误差。特别是当f_0>160kHz时，即使将输入端短路($V_{IN}=0$)，个位也会出现1个字的跳数现象。为此，还可在积分电容C_2上串联一只几十欧的小电阻。该电阻的作用是在反向积分开始时，积分器能输出一个很窄的消隐脉冲，以补偿比较器的延迟时间。这样能把时钟频率的上限大约扩展3倍，$f_{max}\approx480kHz$。

在多数应用场合，输入信号是单极性的。此时比较器的延迟问题不再限制时钟频率上限。这是因为非线性失真及干扰都不随频率升高而显著增加，而且比较器延迟所造成的计数误差是一常量，能以数字调零消除之。因此，时钟频率最高可选1MHz。

图2.8.8中实选$f_0\approx120kHz$，仪表的测量速率约等于120000/40002≈3次/秒。因此仪表在过载时，显示器的闪烁频率也是3次/秒。ICL7135的测量速率一般为0.1～7.5次/秒。特殊情况下可扩展到25次/秒(对应于$f_0=1MHz$)，但应相应调整积分器外围元件R_1和C_2。

自动调零电容C_3的大小对系统的噪声有一定影响，适当增大电容量能降低噪声。基准电容C_4的容量亦应足够大，使C_{AZ}端(第5脚)对地的分布电容可忽略不计。鉴于C_3、C_4的介质损耗仅在刚通电时或电路由过载状态恢复正常时起重要作用，因此若最初几秒钟内不需要精确读数的话，也可以选用价格便宜的1.0μF电容器代替之。

笔段译码驱动器由一片MC14513(国产型号为CC14513)完成。位选通信号D_1～D_5经过七达林顿驱动器阵列MC1413(现只用其中的5路)，分别接LED显示器的公共阴极。

ICL7135的D_5端接MC14513的无效零消隐输入控制端RBI。当万位上的数据为零并且正好扫到万位($D_5=1$)时，MC14513的RBI=1，使万位上的无效零消隐。若万位数据为1，则在$D_5=1$

的时间内就显示数字1。使用时还应注意，将MC14513的锁存控制端LE接地(不锁存)，灯测试端$\overline{LT}$和消隐控制端$\overline{BI}$均接高电平(不作灯测试①，也不强迫消隐)。

万位显示器的g段用作负极性显示。当被测电压$V_{IN}<0$时，POL = 0，开关晶体管3DK2截止，集电极输出高电平，使g段发光。$V_{IN}>0$时，POL = 1，3DK2导通，g段消隐。

上面介绍的$4^1/_2$位数字电压表只能配共阴极LED显示器。如果需配共阳极LED显示器，可采用图2.8.9所示由路。该电路与图2.8.8主要有以下区别：

(1) 段译码驱动器选用TTL电路7446，驱动信号为低电平有效(负逻辑)。

(2) 位扫描驱动器采用9013型NPN晶体管$T_1 \sim T_5$，5只管子的集电极均接+5V。举例说明，当扫到百位时，T_3导通，百位数码管的公共阳极接通+5V电压，该位数码管发光。

(3) 最高位改用共阳极LED符号管，能分别显示正、负两种极性。g段和DP段分别经过限流电阻R_8、R_9接数字地，保持常亮状态。当POL>0时，T_6导通，f、e段也发光，与g段一同构成"+"号。当$V_{IN}<0$时POL = 0，T_6截止，f、e段消隐，仅由g段显示"-"号。小数点DP定在万位后面，表示满量程为2.0000V。

当$D_5 = 1$时还使T_7导通，$\overline{RBI} = 0$，若万位数据出现零，即自动消隐。

(4) 由CD4069构成两级反相式阻容振荡器，产生120kHz的时钟频率。

(5) 为简化电源线路，现使用一片ICL7660(国产型号为5G7660型直流电源变换器)，将+5V单电源变成±5V双电源。ICL7660属于高效DC/DC转换器，其电源转换效率高达95%(典型值)。C_6的作用相当于一个"充电泵"，由C_6和C_7构成泵电源，从

① $\overline{LT}$端的作用是检查LED显示器的质量好坏，由此判定是否有笔段残缺现象。当$\overline{LT}=0$时，应显示全亮笔段"8"。

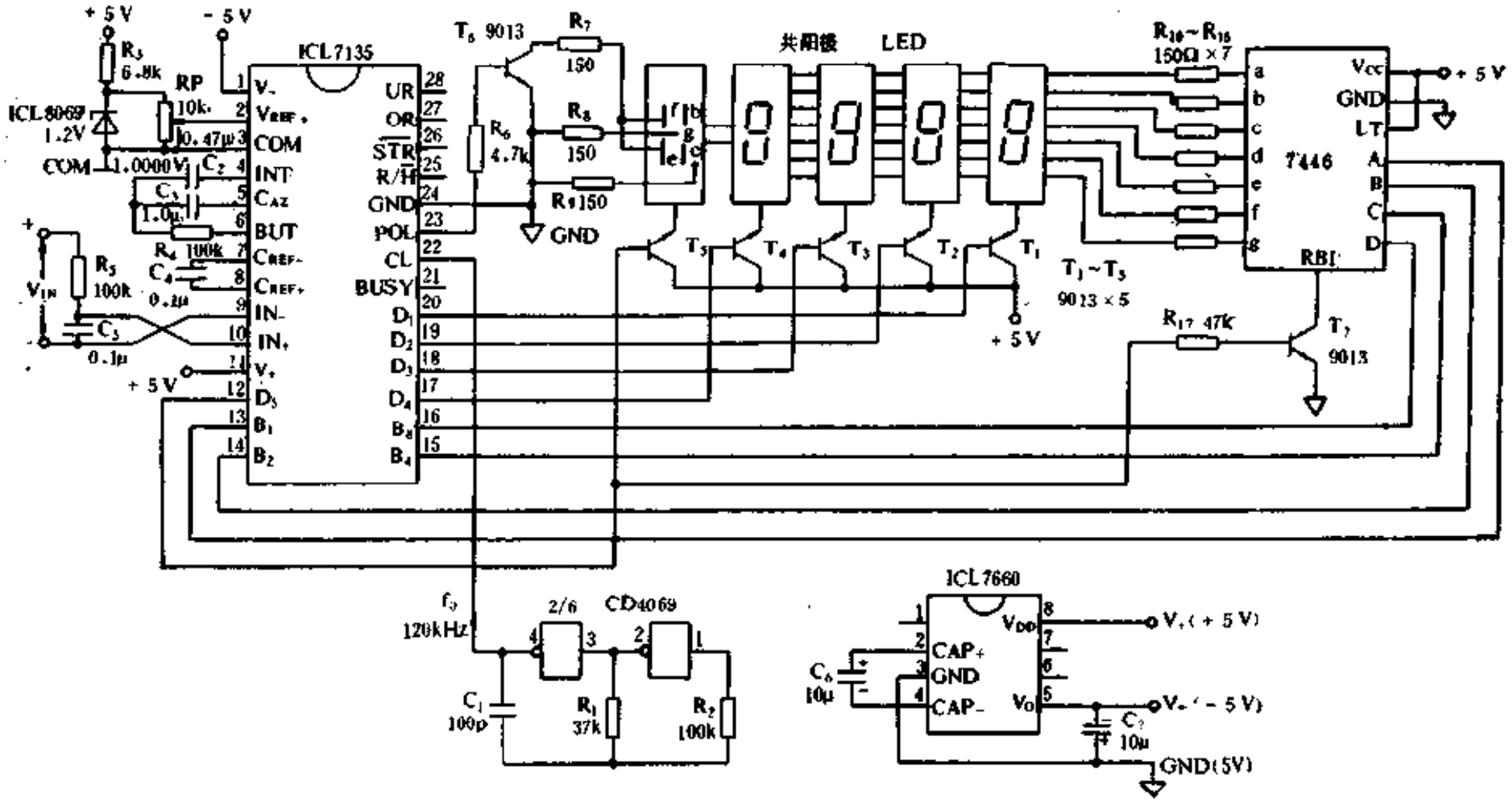


图 2.8.9 由ICL7135构成的4 1/2位数字电压表(电路之二)

C_7上形成－5V输出。C_6、C_7宜采用10μF的钽电容器。

除此之外，ICL7135配上一片ICM7211A四位液晶译码驱动器，还可驱动LCD显示器。

五、ICL7135 与微处理器的接口

由ICL7135构成的高准确度4½位数字电压表很容易和微处理器相连，构成智能仪表。

图2.8.10是ICL7135通过8255接口与8080或者8085微处理器连接的电路。8255可编程I/O接口工作在"模式1"，即选通输入/输出。74HC157是高速CMOS四位2选1数据选择器(同相输出)。

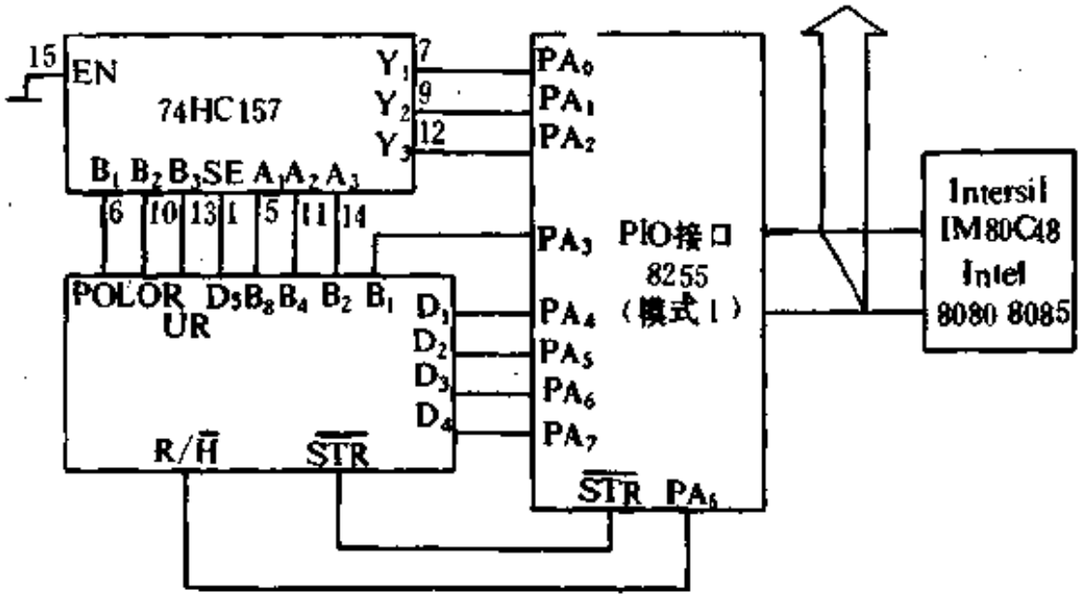


图 2.8.10 ICL7135 与微处理器的接口

$A_1 \sim A_3$、$B_1 \sim B_3$是两组可供选择的输入端，$Y_1 \sim Y_3$是同相输出端，分别接8255的PA口输入端$PA_0 \sim PA_2$，ICL7135的B_1端直接连PA_3。现将禁止端EN固定接低电平，使之不起作用，并以ICL7135的D_5作为74HC157的选通信号SE。当$D_5=0$时，74HC157选中$A_1 \sim A_3$上的数据，因此就把ICL7135输出的BCD码数据(B_1、B_2、B_4、B_8)送给8235。当$D_5=1$时选中$B_1 \sim B_3$，就把ICL7135输出的极性(POL)、超量程(OR)、欠量程(UR)信号送给8255。

8255的PA_0～PA_3作为数据的入口，PA_4～PA_7作位的入口，并且还用PA_6端控制A/D转换器处于工作状态或保持状态。

整个测量过程由微型计算机通过数据总线和控制线进行操作。

§2.9 ICL7129型单片41/2位A/D转换器

ICL7129是美国Intersil公司于80年代后期研制的高性价比4½位液晶显示单片A/D转换器。目前这种芯片已进入国内市场，由它构成的DT930FG、DT930F+、DT980、DT1000型4½位数字万用表也已面市。

一、ICL7129的主要特点

(1) 属于CMOS大规模集成电路，具有高准确度、高分辨力、微功耗、外围电路简单、价格较低廉等优点。它能以多路扫描方式直接驱动4½位LCD显示器(芯片带小数点驱动端)，最大显示值为±19999。其性能优于国内普遍使用的ICL7135型4½位A/D转换器，外围电路也比ICL7135大为简化。适于制作高准确度袖珍式4½位数字电压表及数字万用表。

(2) ICL7129在积分电路上作了重大改进，采用了逐次(多重)积分、数字调零等先进技术，使其准确度高达±0.005%(对应于满量程时的±4个字)，共模抑制比CMRR亦提高到110dB。

(3) 专门设有10:1量程输入端，基本量程可选择200mV或2V，最高分辨力达10μV，比ICL7135提高一个数量级，而二者的价格相当。

(4) 可提供超量程、欠量程、电池低电压指示、负极性指示、蜂鸣器驱动、标志符驱动等多种信号。

(5) 外围电路简单，只需外接几只阻容元件和基准电压源即

表 2.9 ICL7129的主要技术指标

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
零伏输入读数		$V_{IN}=0V$, $V_M=200.00mV$	−0.0000	0.0000	+0.0000	读数
零读数温漂	α_T	$V_{IN}=0V$, $0℃<T_A<+70℃$		±0.5		μV/℃
比例读数		$V_{IN}=V_{REF}=1.0000V$ $V_M=2.0000V$	0.9996	0.9999	1.0000	读数
量程转换准确度		$V_{IN}=0.10000V$（低量程） $V_{IN}=1.0000V$（高量程）	0.9999	1.0000	1.0001	比值
翻转误差		$-V_{IN}=+V_{IN}=199mV$		1.5	3.0	字
非线性误差		$V_M=200.00mA$		1.0		字
共模抑制比	CMRR	$V_{IN}=0V$，共模电压 1.0V $V_M=200.00mV$		110		dB
输入漏电流	I_{IN}	$V_{IN}=0V$，$IN_+\sim IN_-$		1	10	pA
比例因子的温度系数		$V_{IN}=199mV$，$0<T_A<+70℃$（设外部基准电压的温度系数为0ppm/℃）		2	7	ppm/℃
COM端电压	V_{COM}	$V_+\sim COM$	2.8	3.2	3.5	V
GND端电压	V_{GND}	$V_+\sim GND$	4.5	5.3	5.8	V
电源电压范围	$V_+\sim V_-$		6	9	12	V
电源电流		$(V_+\sim V_-)=9V$		1.0	1.5	mA
时钟频率	f_0			120	360	kHz
V_{DISP}端电阻		$V_{DISP}\sim V_+$		50		kΩ
低电压指示阈值		$V_+\sim V_-$	6.3	7.2	7.7	V

可工作。测量速率为1～6次/秒，通常取2次/秒左右。

（6）采用单电源供电，微功耗。电源电压允许范围是6～12V(极限值为15V)。通常选9V叠层电池供电，工作电流为1.0mA，典型功耗约9mW。工作温度为0～+70℃。

ICL7129的主要技术指标见表2.9。测试条件为：$(V_+ \sim V_-) = 9V$，$V_{REF} = 1.0000V$，$T_A = +25℃$，$f_0 = 120kHz$。

二、ICL7129的管脚功能

ICL7129采用40脚双列直插式塑料封装，管脚排列如图2.9.1所示。各管脚的功能如下：

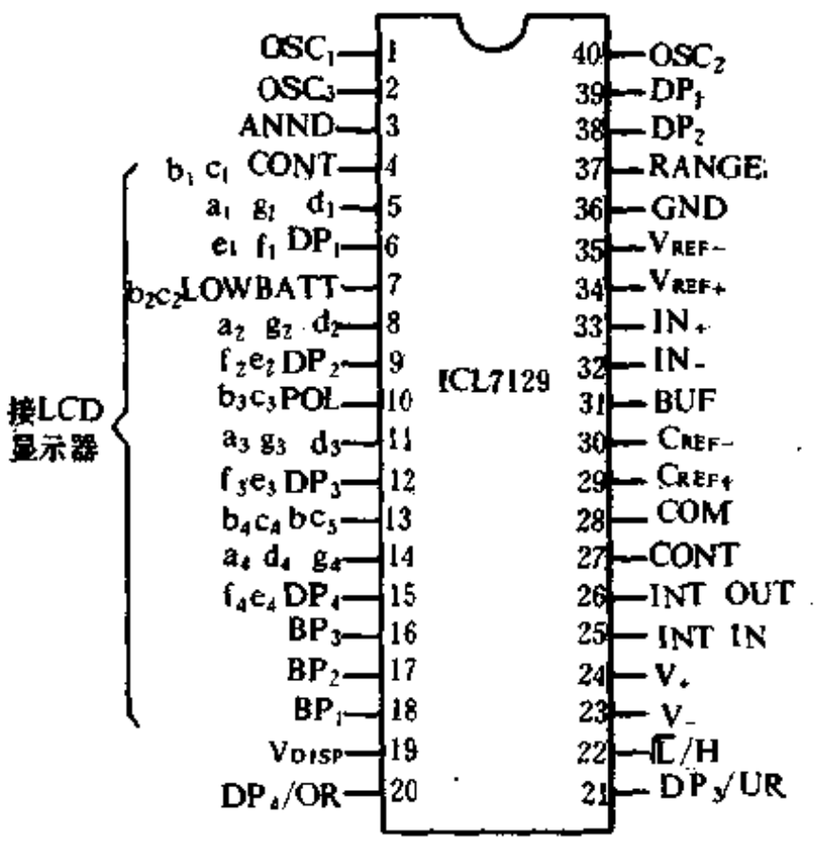


图 2.9.1 ICL7129的管脚排列

$OSC_1 \sim OSC_3$——时钟振荡器的3个引出端；

ANND(ANNUNCIATOR DRIVE)——标志符①驱动端。液晶

① 标志符亦可译作标示器。

显示器上的标志符包括国际单位制SI中的词头(μ、m、k、M)以及单位符号(A、V、Ω)等；

$a_1 \sim g_1$，$a_2 \sim g_2$，$a_3 \sim g_3$，$a_4 \sim g_4$——分别为个、十、百、千位LCD显示器的段驱动端；

bc_5——万位(最高位)b、c段的驱动端；

POL——负极性符号的驱动端；

LOW BATT——电池低电压指示驱动端，当电池电压低于7.2V(典型值)时，此端输出低电压指示信号；

$DP_1 \sim DP_4$——小数点驱动端；

$BP_1 \sim BP_3$——液晶显示器上3个背面公共电极(简称背电极)的驱动端；

V_{DISP}——多路扫描LCD驱动器的电源负极，使用时一般将此端与GND端短接；

DP_4/OR(I/O)——作输入端用，此端接高电平时最高位的小数点亮；作输出端用，当计数值超过±19999时输出超量程信号($OR=1$)，超量程时个位至千位显示器均消隐；

DP_3/UR(I/O)——作输入端用，接高电平时千位小数点亮；作输出端用，计数值低于1000即相当于满量程的5%时，输出欠量程信号UR=1；

$\overline{L}$/H(I/O)——锁存/保持端。此端悬空时，A/D转换器连续工作；为低电平时选通、更新显示内容，在每个A/D转换周期的最后200个时钟周期内，此脚输出低电平，将计数结果送至译码器；为高电平时读数保持。

V_+、V_-——正、负电源端；

INT IN——积分器输入端；

INT OUT——积分器输出端；

CONT(I/O)——连续端。作输入端用，高电平时连续显示标志符显示，低电平时连续显示标志符消隐；作输出用，当输入电压$V_{IN}<+200mV$时输出高电平，当$V_{IN}>+200mV$时输出低电平；

若需增加连续检测功能，可将此 端控制压电陶瓷蜂鸣器，当V_{IN}＜+200mV时控制蜂鸣器发声；

COM、GND——分别为模拟地与数字地；

C_{REF+}、C_{REF-}——基准电容的正、负端；

BUF——缓冲器输出端；

IN_+、IN_-——输入电压的正、负端。在芯片内部，这两端还分别接电压比较器Ⅱ的输入端（参见图2.9.2）。比较器的输出端经过500kΩ电阻，一方面用来驱动液晶显示器的连续显示标志（"CONT"），另一方面还接至芯片的CONT端（27脚）。当V_{IN}＜200mV时，CONT端变成高电平，通过外部门控振荡器驱动蜂鸣器发声，与此同时液晶屏上显示出CONT(连续)标志符，使仪表具有可闻的连续检测功能；

V_{REF+}、V_{REF-}——基准电压的正、负极；

RANGE——量程选择端，此端悬空时经内部下拉电阻接地，所选量程为200mv；此端接高电平时为2V量程。

需要说明几点：

(1) ICL7129的小数点选择方式有自动/手动两种。第20、21、38、39脚为手动选点输入端，将其中某一脚接高电平，即可使相应小数点亮。自动选点时则由量程设定；

(2) 第20、21、22、27脚均为双向输入/输出端。若不作输出时，将其接至V_+或GND端，使之失效，不起作用；

(3) 为达到10μV的高分辨力，就要求噪声电压非常低，因此ICL7129没有采用ICL7135由自动调零电容来校正失调电压的方案，而是采用数字调零技术。这样既可省去外部的自动调零电容，也避免该电容产生的噪声电压。

三、ICL7129的工作原理

ICL7129内部也分模拟电路和数字电路两大部分。模拟电路框图如图2.9.2所示，主要包括缓冲器、积分器、比较器Ⅰ、

比较器Ⅱ和多路模拟开关。外围元件是基准电容C_{REF}、积分电阻R_{INT}、积分电容C_{INT}。每个A/D转换周期分成9个阶段：零积分AZ、正向积分INT(INT_1、INT_2)、反向积分DE_1、复位RESET、10倍乘(×10)、反向积分DE_2、复位、10倍乘、反向积分DE_3。积分波形如图2.9.3所示，为便于观察，现对虚线区域内的

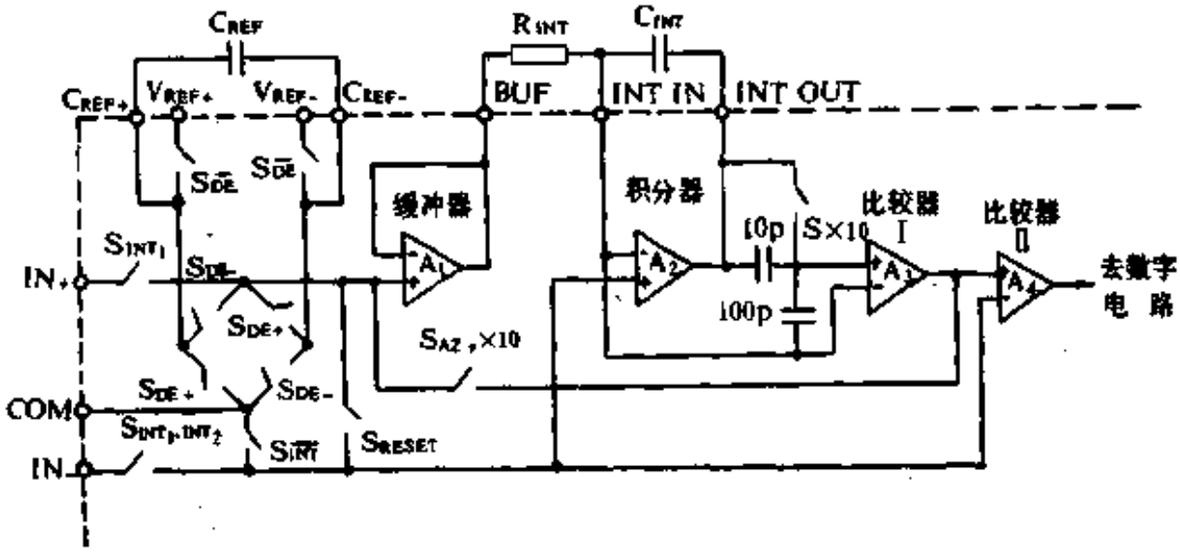


图 2.9.2 ICL7129的模拟电路框图

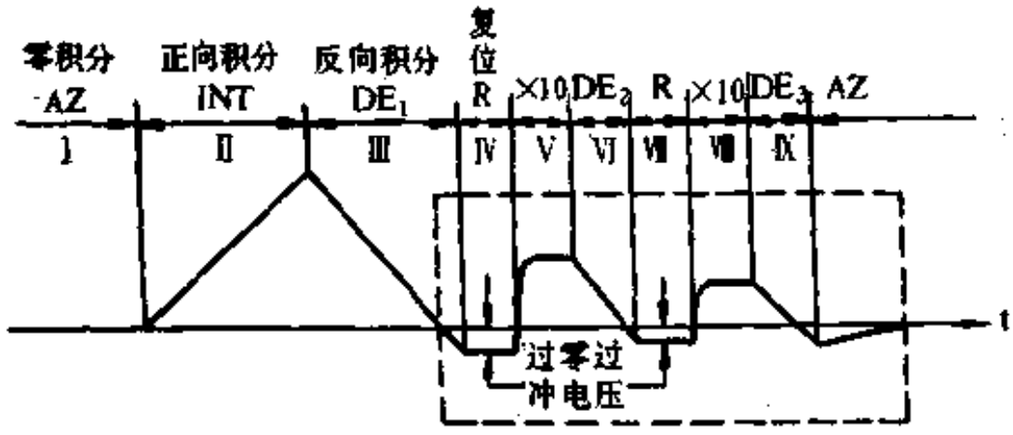


图 2.9.3 积分波形

时间及幅度座标均作了放大。同双积分式相比，ICL7129增加了两个反向积分阶段(DE_2、DE_3)，并且是将DE_1的过零过冲电压① 放

① 过零过冲电压亦称越零过冲电压，它是指残存在积分电容上的误差电压。该电压是由于比较器的延时作用以及时钟的量化作用而使积分器产生的过冲误差电压，可直接影响A/D转换的准确度。时钟的量化作用是指，因反向积分过程只能在时钟脉冲跳变时才能结束，所以使积分器总有一个过冲电压。

大10倍之后，再开始DE_2。同样，DE_2的过零过冲电压也被放大10倍，然后才开始DE_3阶段。其工作特点是：在DE_1期间，计数器计入3½位的数值，在DE_2期间计数值达4½位，而在DE_3期间计数值就达到5½位，然后四舍五入变成4½位，因此可实现高准确度的指标。

缓冲器、积分器、比较器产生的失调电压，则通过重复地将输入端短路(即复位)予以消除，从而实现自动调零。此外，在INT_2期间，模拟开关S_{INT2}闭合，芯片能提供一个与测量周期相同的共模电压，因此可大大提高电路的共模抑制比。测量周期结束时，计数器中的数据能精确到满量程的0.02%。

设时钟频率为f_0，经过芯片内部二分频后得到计数脉冲频率f_{CP},周期为T_{CP}。完成一次A/D转换共需30000个T_{CP},折合60000T_0。在200mV量程，正向积分时间$T_1 = 10000T_{CP}$；在2V量程，$T_1 = 1000T_{CP}$。仪表的测量速率等于$f_0/60000$。当$f_0 = 120kHz$时，测量速率为2次/秒；$f_0 = 100kHz$时测量速率是1.6次/秒。

ICL7129地电位的电路设计见图2.9.4。由图可见，典型情况下$(V_+ \sim V_-) = 9V$，$(V_+ \sim COM) = 3.2V$,$(V_+ \sim GND) = 5.3V$。特别，当V_+与V_-之间的电源电压降低到7.2V(典型值)以下时，逻辑

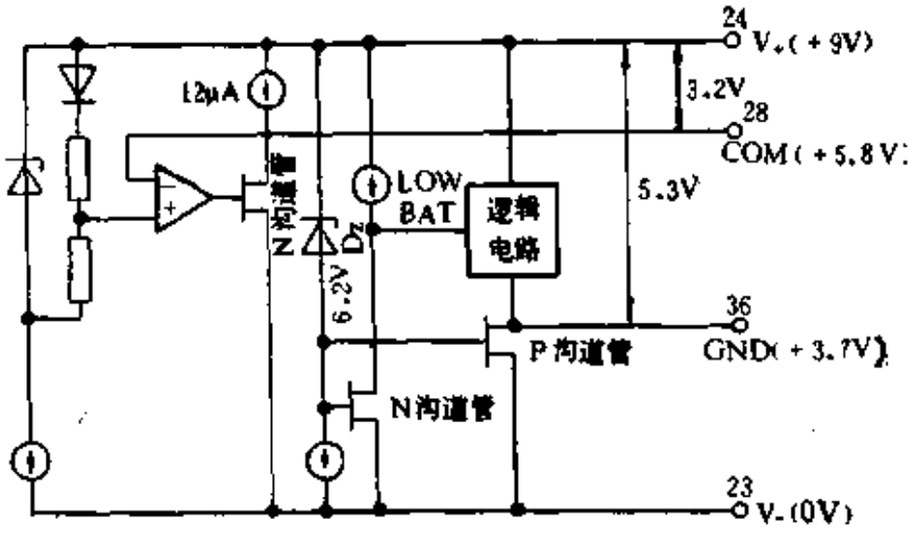


图 2.9.4 地电位的电路设计

电路使第7脚为高电平，液晶屏上显出低电压指示符号“LOW BATT”。

数字电路的框图如图2.9.5所示。主要包括时钟振荡电路、控制逻辑、时序计数/译码器、加/减可逆计数器、锁存/译码/多路

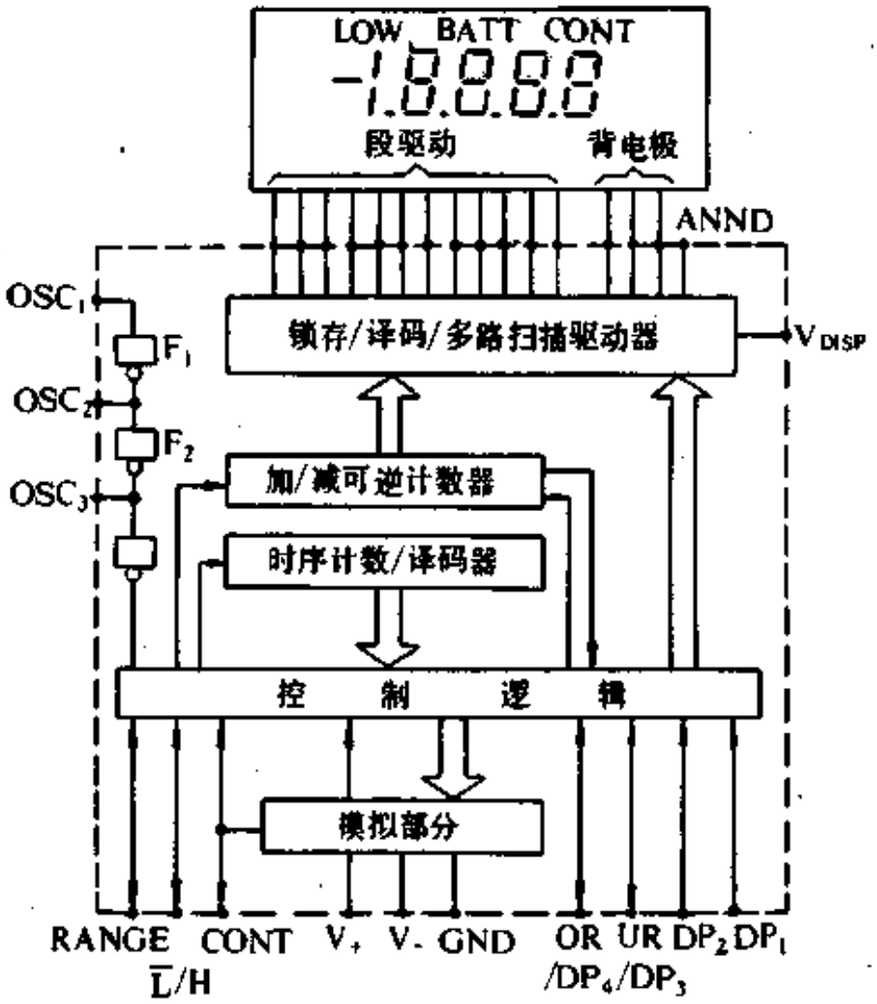


图 2.9.5 ICL7129的数字电路框图

扫描驱动器。数字电路的电源电压取自V_+与GND(V_{DISP}与GND在外部短接)。反相器F_1、F_2可以接外部阻容元件构成两级反相式RC振荡器，亦可以接石英晶体构成晶振荡电路。

ICL7129需配专用的4½位液晶显示器。这种显示器上不仅带符号及单位显示，还有3个背电极(BP_1～BP_3)，采用⅓编置的时间分割法驱动LCD。个位至千位的全部笔段(含小数点)被分成三组，每个背电极与段总数的⅓接通。具体讲，BP_1与所有的f、

a、b段接通，BP_2与所有的c、e、g段接通，BP_3则与所有的d段、DP段以及ANND相连。液晶显示器一般采用50～120Hz的交流方波电压驱动，ICL7129大多选100Hz左右的频率(与时钟频率有关)。当段驱动信号与背电极电压波形的相位相反时，该液晶笔段的两端即加上电位差而发光。与静态驱动相比，采用时分割法能大大减少驱动线，芯片的管脚数量亦随之减少，驱动4½位LCD只需12根驱动线，参见图2.9.6.。

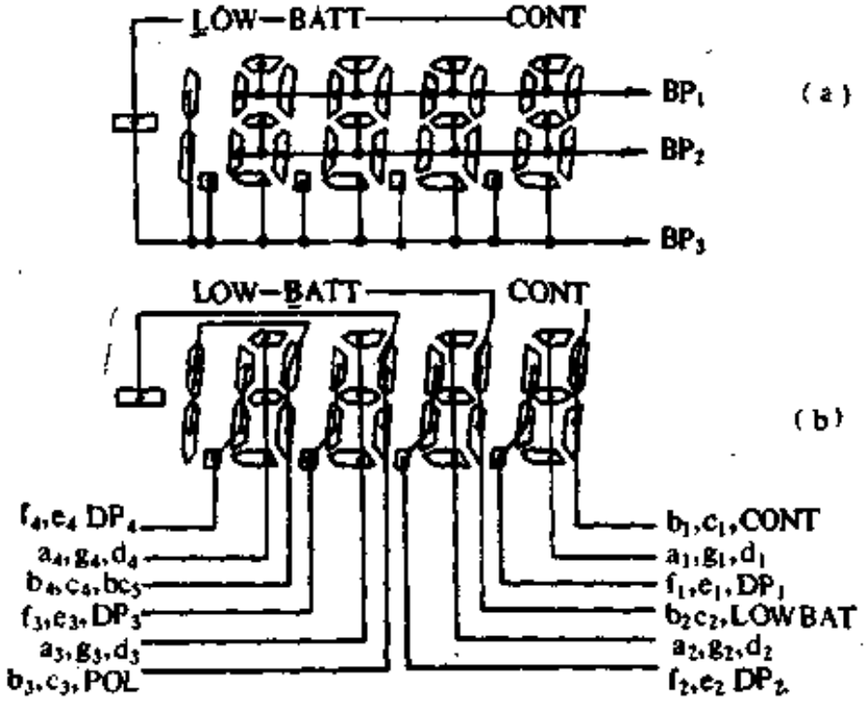


图 2.9.6 4 1/2位LCD显示器内部结构

标志符驱动端ANND能输出方波信号，其频率与背电极 BP_1～BP_3相同、信号幅度等于$(V_+ - V_{DISP}) = (V_+ - GND) \approx 5V$。图2.9.7示出这4个输出端的时序波形。ANND的用途在于，借助量程及功能选择开关，可显示出被测电量的单位符号。具体接线方法是：将欲显示的液晶标志符m的背电极接BP，另一电极经开关S_1接ANND；标志符V的背电极也接同一个BP，另一电极经开关S_2接ANND。这样，当选择200mV档时，可显示出mV作为单位符号，接参见图2.9.8。

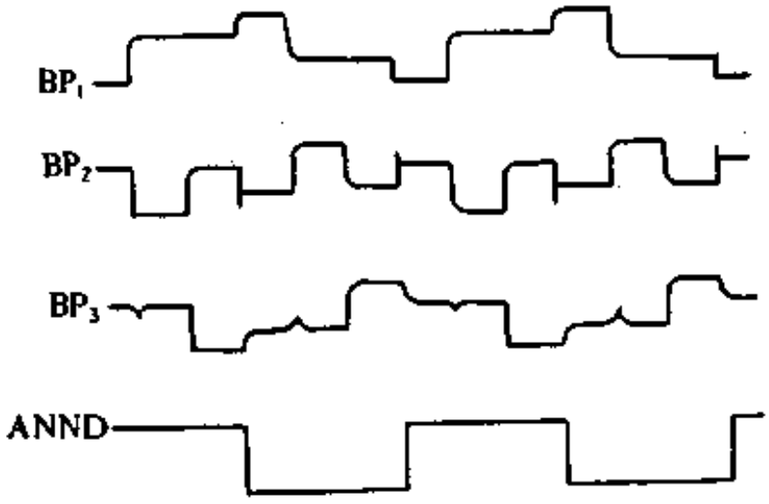


图 2.9.7　背电极与ANND的时序波形

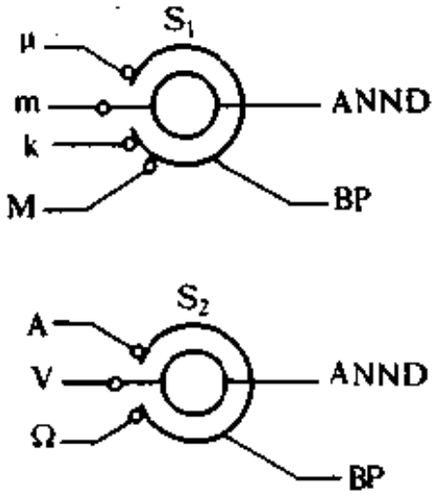


图 2.9.8　单位符号显示方法

四、ICL7129的典型应用

由ICL7129构成的4½位数字电压表的典型电路如图 2.9.9 所示。外围电路只用12只阻容元件和一个基准电压源。为降低成本，现采用由R_1、C_1和内部反相器F_1、F_2构成的时钟振荡器。为有效地抑制 50Hz 串模干扰，时钟频率应选50Hz的整倍数。现取$R_1=91k\Omega$，$C_1=51pF$，代入式(2.3.9) 中得到$f_0\approx100k$ Hz，此时测量速率为1.67次/秒。国外大多使用 60Hz交流电，一般选$R_1=75k\Omega$,$C_1=51pF$,$f_0\approx120kHz$,测量速率约 2次/秒。而这种仪

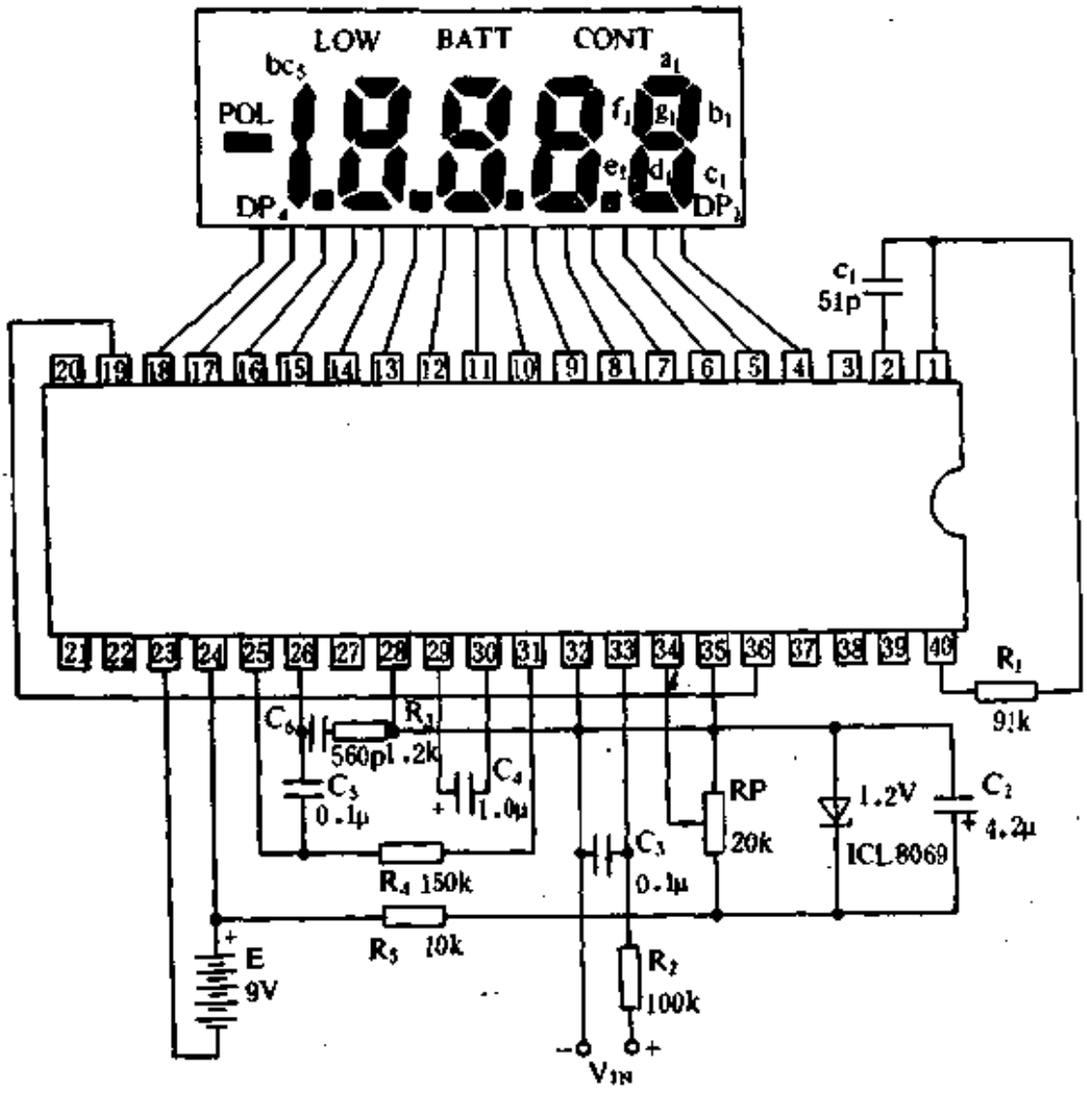


图 2.9.9 由ICL7129 构成4½位数字电压表典型电路

表抑制50 Hz干扰的能力较差，必要时可将R_1改成91kΩ。

阻容振荡器的频率漂移量较大，会产生噪声干扰。要设计高准确度DVM时，建议改用100kHz石英晶体振荡器。此时电路需作如下改动：去掉C_1，使第2脚开路，R_1改成270 kΩ，R_1与石英晶体JT串联后接第1脚。在石英晶体两端各经过一只5～10pF电容器接V_+，构成如图2.9.10所示的柯尔皮兹(电容三点式)晶振电路。

图 2.9.9 中的基准电压由 ICL8069 提供。RP是精密多圈电位器。200mV量程及2V量程的基准电压均为1.0000V。仔细调整

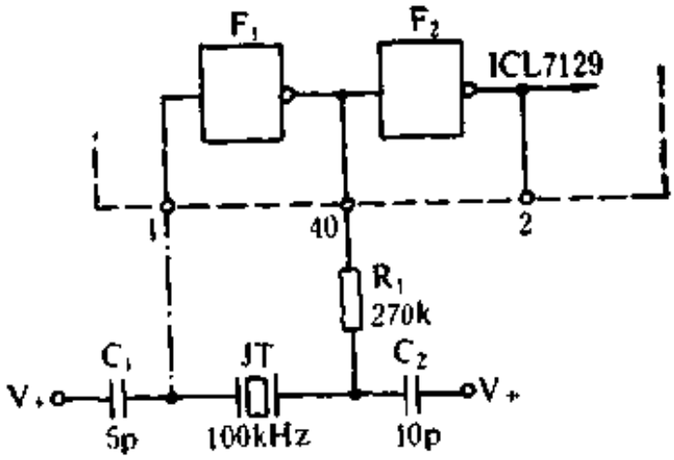


图 2.9.10 100kHz晶振电路

RP，可使V_{REF}达到规定值(允许有±1个字误差)。有条件的，最好能用5½位DVM监测V_{REF}。R_5是ICL8069输入端的限流电阻。C_2是消噪电容，亦可省去不用。

R_2、C_3构成阻容滤波器，滤除输入端的高频干扰。C_4为基准电容。R_4、C_5分别是积分电阻和积分电容。C_6、R_3用来补偿积分器的频率特性。

五、外围元器件选择

(1) ICL7129有3个关键外围元件，即基准电容、积分电阻与积分电容。但它没有使用双积分式A/D转换器中的自动调零电容。图2.9.9中的C_4、C_5应选择介质吸收系数小的聚丙烯电容，或国产CB_3、CB_4型聚苯乙烯电容。积分电阻R_4的设计也很关键。减小R_4值虽然能够改善积分器的线性，但印制板上的池漏电流也会增加，一般以150kΩ为最佳阻值。

(2) ICL8069也可用MC1403(国产型号为5G1403)代替。MC1403能隙基准电压源的典型电压值为2.5V，需重新调整RP。

(3) 若采用±5V双电源供电，应将COM端与IN_短接，GND端经0.1μF消噪电容接V_。假如由+5V单电源供电，需使用一片ICL7660型CMOS电源变换器，获得±5V对称输出的双电源，电路可参见图2.8.9。

(4) 若无ICL7129专用的4½位LCD显示器，在业余条件下也可用国产供计算器使用的YXY8001型液晶屏代替。YXY8001为8位数显，现只用其中的4个整位和一个半位，其余笔段不用。

第三章　常用数字万用表电路分析

十年来，胜利仪器有限公司先后从国外引进并自行开发的数字仪器、仪表多达六十余种。本章仅从中选取目前常用的并且最有代表性的十余种新型数字万用表，分别阐述其性能特点和电路设计原理。

§3.1　DT840D型3 1/2位数字万用表的电路分析

DT840D属于袖珍式3½位手动量程数字万用表，其性能优于早期研制的DT830等数字万用表产品。

一、性能简介

1. 主要特点

DT840D设有30个量程，除20A插孔之外，所有量程均加过载保护电路。该表适用于测量直流和交流电压、直流和交流电流、电阻、二极管正向压降、晶体管共发射极电流放大系数hFE，利用蜂鸣器档可检查线路通断。仪表具有自动显示测量种类及单位符号、自动显示极性、超量程(过载)显示、低电压指示、自动关机等功能。

DT840D同早期数字万用表DT830相比，在电路设计上主要作了以下改进：

(1) 在测量过程中能自动显示被测电量的种类(例如AC、hFE等)和单位(如mV、V、μA、mA、A、Ω、kΩ、MΩ)。使操作者一目了然，便于读数和记录。

(2) 具有自动关机功能。在停止测量后，大约经过15分钟仪表即可自动切断电源，避免因忘记关电源而长时间空耗电池。

(3) 增加了2A档，并将10A插孔的量限提高到20A。

(4) 为节省档位，采用8芯结构的hFE插口，分别测量PNP管和NPN管的hFE值。

2. 主要技术指标

量程：30个。

DCV：200mV，2V，20V，200V，1000V

ACV：200mV，2V，20V，200V，700V(正弦波有效值，平均值响应)

DCA：200μA，2mA，20mA，200mA，2A，20A

ACA：200μA，2mA，20mA，200mA，2A，20A(正弦波有效值，平均值响应)

Ω：200Ω，2kΩ，20kΩ，200kΩ，2MΩ，20MΩ

二极管和蜂鸣器档

hFE档：NPN管，PNP管

DT840D采用9V叠层电池供电，工作温度范围是0～40℃，外形尺寸172×88×36(长×宽×高)，重量0.34kg(包括9V电池)。

表 3.1.1 DT840D的测量范围与准确度指标

测量功能	测量范围	准确度***	最高分辨力
DCV	0～1000V	±(0.5%RDG+1字)～±(0.8%RDG+2字)	100μV
ACV(RMS)*	0～700V**	±(0.8%RDG+3字)～±(1.2%RDG+3字)	100μV
DCA	0～20A	±(0.5%RDC+1字)～±(2.0%RDG+5字)	0.1μA
ACA(RMS)	0～20A	±(1.2%RDG+3字)～±(3.0%RDG+7字)	0.1μA
Ω	0～20MΩ	±(0.8%RDG+1字)～±(1.0%RDG+2字)	0.1Ω

* RMS表示有效值。

** 频率范围是40～400Hz。

*** 准确度指标与量程有关，下同。

表 3.1.2 二极管与蜂鸣器档、hEF档的测试条件

量程	测试功能	测试条件
二极管	测量二极管的正向压降V_F	开路电压约为2.8V 正向电流$I_F \approx 1mA$
蜂鸣器	当被测线路电阻小于70Ω时BZ发声	开路电压约2.8V
hFE	测量晶体管的hFE值(0～1000)	$V_{CE} \approx 2.8V$ $I_B \approx 10\mu A$

仪表的测量速率约3次/秒，典型功耗约40mW。

DT840D的测量范围及准确度指标见表3.1.1，表中的RDG代表读数值。二极管与蜂鸣器档、hFE档的测试条件见表3.1.2。

DT840D数字万用表的外形如图3.1.1所示。面板上方是3½位LCD显示器，字高为18mm；两侧分别装有电源开关和hFE插口。最下边4个输入插孔依次为20A、mA、COM、V/Ω。中间为量程选择开关。9V叠层电池装在后盖的电池盒内。

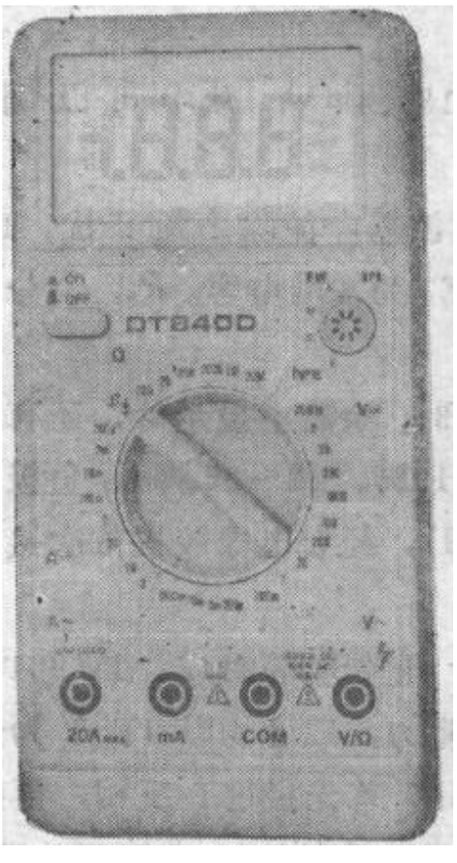


图 3.1.1 DT840D型数字万用表的外形

二、DT840D型数字万用表的电路分析

DT840D型3½位数字万用表的总电路如图3.1.2所示(见附图)。S_1是电源开关，S_2(S_{2a}～S_{2b})为量程选择开关。图中已将S_2置于直流200mV量程。电路中共使用4片集成电路：IC_1(TSC7106)，IC_2(CD4011)，IC_3(IC_{3a}与IC_{3b}合用一片TL062)，IC_4(TL061)。下面分别介绍各单元电路的工作原理。

1. 双积分A/D转换器

采用TSC7106型CMOS单片3½位双积分式A/D转换器，基本量程按200mV设计.在图3.1.2中，由R_{39}、

C_{10}与7106内部的反相器F_1、F_2构成两级反相式阻容振荡器。实取$R_{39}=100k\Omega$，$C_{10}=100pF$，代入式(2.3.9)中得到时钟频率$f_0\approx45.5kHz$，可近似取48kHz。进而计算出仪表的测量速率

$$f_0/16000\approx48kHz/16000=3次/秒$$

基准电压由R_{24}、RP_1、R_{26}组成的分压器提供。仔细调整电位器RP_1，可使$V_{REF}=100.0mV$。因为基准电压源E_0(V+-COM)的典型值为2.8V，当RP_1的滑动触头移至最下端a点时

$$V_a=\frac{R_{26}}{R_{24}+RP_1+R_{26}}\cdot E_0=\frac{380}{11.5k+200+380}\times2.8V=83.1mV$$

而RP_1调至最上端b点时

$$V_b=\frac{RP_1+R_{26}}{R_{24}+RP_1+R_{26}}\cdot E_0=\frac{200+380}{11.5k+200+380}\times2.8V=134.4mV$$

所以RP_1的电压调节范围是83.1～134.4mV，从中可以调出$V_{REF}=100.0mV$。

R_{37}、C_7组成输入端的高频阻容滤波器，滤除高频干扰，R_{37}还起限流作用。C_8是自动调零电容，C_{11}为基准电容。R_{38}、C_9分别是积分电阻和积分电容。

3½位液晶显示器的型号为JH163，除数字显示外，还有多种标志符显示。7106的段驱动端(2～19脚，22～25脚)、负极性驱动端POL(20脚)和背电极端BP(21脚)，经导电橡胶棍依次接至LCD的相应引脚。

标志符驱动电路由晶体管T_3、T_4、开关S_{26}等组成。T_3(9014)起反相作用，T_4是射随器，提高驱动能力，二者均以TEST为数字地。7106的BP端输出的方波信号V_{BP}，首先经过T_3反相，再经过T_4，获得反相后的方波信号V'_{BP}，接至欲显示的标志符驱动端。以200mV档为例，由于mV标志符两端施以反相的方波电压，因此

在该档时液晶屏右端的“mV”标志符发光。仪表的数值显示与标志符显示总是相对应的。R_{48}～R_{59}为偏置电阻（2MΩ片状电阻），能使未选中的标志符可靠地消隐。R_{46}～R_{48}是小数点符号显示的偏置电阻。

2. 自动关机及低电压指示电路

自动关机电路由电源开关S_1、电解电容器C_{15}、单运放TL061（IC_4）、NPN型晶体管9014（T_5）、PNP型晶体管9015（T_6）所组成。TL061接成电压比较器，T_6起开关作用，T_5是推动管。电路的工作原理分析如下：

当电源开关S_1拨至OFF位置时，手动关机。9V电池E向C_{15}迅速充电，直到$V_{C_{15}}=E$。S_1拨于ON时接通电源。此时IC_4同相输入端（脚3）的电压$V_3=V_{C_{15}}$。反相输入端（脚2）的电压由下式决定：

$$V_2=\frac{R_{62}}{R_{61}+R_{62}}\cdot E=\frac{200k}{1M+200k}\cdot E=\frac{E}{6} \qquad (3.1.1)$$

随着C_{15}向R_{60}持续放电，$V_{C_{15}}$逐渐降低，有公式

$$V_{C_{15}}(t)=Ee^{-t/R_{60}C_{15}} \qquad (3.1.2)$$

式中，t为放电时间。令$E=9V$，代入式（3.1.1）中得到$V_2=1.5V$，V_2即电压比较器的参考电压。显然，当$V_{C_{15}}>V_2$时，IC_4输出高电平，T_5导通，进而使T_6导通。电池E经过T_6的E-C电极加至TSC7106等的V_+端，芯片正常工作。E还经过D_8给IC_4供电，D_8起隔离作用，避免$V_{C_{15}}$与E互相影响。

当$V_{C_{15}}<1.5V$时，IC_4翻转，输出低电平，令T_5和T_6截止，切断V_+的供电线路，使仪表停止工作。由此可见，R_{60}和C_{15}在电路中起“定时器”的作用：关机后C_{15}充电，开机后C_{15}向R_{60}放电，放电时间常数$\tau=R_{60}C_{15}$决定自动关机时间的长短。

将$V_{C_{15}}(t)=1.5V$，$E=9V$，$R_{60}=10M\Omega$，$C_{15}=47\mu F$一并代入式（3.1.2），很容易计算出自动关机电路的供电时间。因为

$$1.5=9e^{-t/10M\times 47\mu}$$

故　　$t = 470\ln 6 = 842s \approx 14min$

这表明，仪表大约工作14分钟之后即可自动关机。若需重新测量，应先将S_1拨至OFF，再次对C_{15}充电，然后把S_1拨回ON，就可以继续使用。分析式(3.1.2)可知，增大R_{60}的阻值，能增加工作时间；反之，减少R_{60}的阻值就缩短了工作时间。例如取$R_{60} = 5.1M\Omega$时，经大约7分钟就自动关机。

需要说明的是，在DT840D自动关机之后，还有另一种启动电源方式，即只要拨动一下量程选择开关S_2，也能重新测量。由图3.1.2可见，S_{2g}的结构非常特殊，左边长条(在印制板上实际为圆弧)经过S_1接电池正极；而右边长条接C_{15}的正极，其上还带29个刀。这些刀的排列位置与测量档依次相差半个档的间距，只能在换档过程中被接通。这意味着每拨动一次S_2，C_{15}就被充一次电。由于C_{15}的充电时间常数极小，瞬间即可对C_{15}充好电，使之继续向R_{60}放电。由此看来，这种启动方式在效果上与拨动电源开关S_1是相同的，而在操作上更为简便。

低电压指示电路主要由T_2(9014)组成。当电池电压$E>7V$时，T_2导通，集电极电压$V_C \approx 0V$，输出为零。当E降至7V以下时T_2截止，背电极方波信号V_{BP}经过R_{40}、C_{12}移相后加至低电压标志符的驱动端，使之发光，表示应更换电池了。

3. 直流电压测量电路

利用电阻分压器可将基本量程为200mV的表扩展成五量程直流数字电压表，五个电压量程分别是200mV，2V，20V，200V，1000V。图3.1.2中$R_1 \sim R_7$为分压电阻，均采用误差为$\pm 0.5\%$的精密金属膜电阻。分压器的总阻值为10MΩ，各档的分压比由量程选择开关S_2来控制。

需要说明两点：

(1) 为节省数字万用表中的元件，通常是借用多量程直流数字电压表的分压电阻作为数字欧姆表的标准电阻。对DT840D而言，直流电压为5档，电阻却为6档，因此至少需用6只分压电阻。

鉴于200mV档分压电阻达9.0MΩ，为便于调整，选用配对电阻R_1和R_2，二者串联可获得9.0MΩ的高阻。1000V档分压电阻值应为1kΩ，实际由R_6+R_7构成，该档的分压比为1kΩ/10MΩ=1/10000，R_7还兼作200Ω档的标准电阻。

(2) 各电压档的输入电阻均为10MΩ。这是考虑到TSC7106的输入电阻$r_{IN}=10^{10}\Omega=10000M\Omega$(典型值)，在设计多量程数字电压表时，一般选仪表的输入电阻$R_{IN}=0.001r_{IN}=10M\Omega$，使$r_{IN}\gg R_{IN}$，故可完全忽略$r_{IN}$对信号的分流作用。

4. 直流电流测量电路

当被测电流I_{IN}流过分流电阻时可产生电压降，以此作为200mV基本表的输入电压V_{IN}，即可实现I/V转换，利用数字电压表显示出被测电流的大小。再通过量程选择开关扩展成多量程直流数字电流表。

DT840D的6个DCA量程依次是：200μA、2mA、20mA、200mA、2A和20A。20A档单独使用一个输入插孔，不经过选择开关。分流器由$R_8\sim R_{13}$组成，总阻值为1kΩ。其中，$R_8\sim R_{10}$选用精密金属膜电阻(误差为±0.5%)，R_{11}和R_{12}采用精密线绕电阻。因20A的工作电流很大，故分流电阻R_{13}使用一根锰铜丝电阻，其冷态阻值用电桥校准为0.01Ω。

在图3.1.2中，FU①是2A/250V的快速熔丝管，起过流保护作用。D_1、D_2组成双向限幅二极管，作过压保护用。当输入电压低于硅二极管的正向导通电压时，二极管截止，对测量并无影响。一旦$V_{IN}>0.6\sim0.7V$，二极管迅速导通，从而限制了仪表的输入电压。

应当指出的是20A档未加保险装置，因此用该档测量最大输入电流(20A)的时间不得超过15s，以免损坏锰铜丝电阻。

5. 交流电压测量电路

① FU是英文FUSE(熔丝管、保险管)的缩写。

该表采用平均值响应的AC/DC转换电路，5个交流电压量程依次为200mV、2V、20V、200V、700V（有效值）。现将最高量程定为700V，是因为量程选择开关S_2的耐压值为1000V，该档的最大峰值电压 $V_P = \sqrt{2} \times 700 = 990V$，同1000V已经很接近。

测量交流电压时仍借用直流电压档的分压器。利用低漂移双运放TL062中的一组运放IC_{3b}和二极管D_7，组成平均值响应的线性半波整流电路。这种电路可避免二极管在小信号整流时引起的非线性误差，使输入电压V_{IN}(RMS)与输出电压$\overline{V}_0$（平均值）成线性关系，适于测量0～200mV的弱交流电压。

对半波整流而言，正弦波电压有效值与平均值的关系为$V_{RMS} = 2.22\overline{V}$。这就要求电路的电压放大倍数必须大于2.22倍，才有调整的余量。电路中的R_{31}、R_{32}是负反馈电阻，可将IC_{3b}偏置在线性放大区，同时控制运放的增益。现取$R_{31} = R_{32} = 100k\Omega$，$IC_{3b}$同相端的输入电阻$R_{30} = 100k\Omega$，故电压放大倍数为

$$K_V = \left(1 + \frac{R_{31} + R_{32}}{R_{30}}\right) = 1 + \frac{100k + 100k}{100k} = 3 > 2.22 \text{（倍）}$$

上式所得符合电路设计要求。需要注意的是IC_{3b}作同相放大器使用，目的在于提高其输入阻抗，减小对输入信号的衰减。

尽管TL062属于低漂移运放，但考虑到AC/DC转换器的输入电压很弱，即使漂移电压很小，也可能造成测量误差。因此，需通过C_5和C_2起隔直作用，不让直流成分（包括IC_{3b}的漂移电压）进入整流滤波电路。

在正半周时D_7导通，D_6截止，IC_{3b}的输出电流途经$C_5 \rightarrow D_7 \rightarrow R_{33} \rightarrow R_{35} \rightarrow RP_2 \rightarrow$地（COM端），并经过$R_{34}$对$C_6$进行充电。负半周时$D_6$导通，$D_7$截止，电流途经地$\rightarrow RP_2 \rightarrow R_{35} \rightarrow D_6 \rightarrow C_5 \rightarrow IC_{3b}$。此时$C_6$缓慢地放电，放电时间常数$\tau = r_{IN}C_6$。$r_{IN}$是TSC7106的输入电阻，其阻值极高，典型值达$10^{10}\Omega$，故可认为$C_6$两端电压仍维持不变。

由R_{34}和C_6组成的平滑滤波器可滤掉交流纹波，高频干扰信

号则由R_{37}、C_7构成的高频滤波器滤除，从而获得稳定的平均值电压$\overline{V}_0$。再由TSC7106对$\overline{V}_0$进行A/D转换。

RP_2是交流电压档的校准电位器，调整RP_2可使整个AC/DC转换器的电压放大倍数为2.22倍，令仪表直接显示出被测电压的有效值。

R_6在电路中起保护作用。负半周时，D_6为反向电流提供通路。C_3是运放的频率补偿电容。R_{31}和C_2还为D_5提供一个合适的偏置电压，以减小AC/DC转换器对小信号进行放大时的波形失真。

6．交流电流测量电路

在直流电流档的基础上再增加AC/DC转换电路，就构成6量程交流数字电流表，其原理不再赘述。

7．电阻测量电路

采用比例法测量电阻。此时需将原来的基准电压电路断开，TSC7106内部的2.8V基准电压源经过R_{23}、D_{10}，提供测试电压$V_{TEST}=V_{D10}\approx 0.7V$。标准电阻$R_0$(即电路中的$R_1\sim R_7$)、正温度系数热敏电阻PTC，与被测电阻$R_x$构成串联电路。以$R_0$上的压降作为7106的基准电压，$R_x$上的压降则作为7106的输入电压。因为

$$\frac{V_{Rx}}{V_{R0}}=\frac{R_x}{R_0}$$

所以

$$R_x=\frac{R_0}{V_{R0}}\cdot V_{Rx}=\frac{R_0}{V_{R0}}\cdot V_{IN} \qquad (3.1.3)$$

式中，比值R_0/V_{R0}为一定值，因此R_x仅与V_{Rx}(即V_{IN})成正比，这就是比例法测量电阻的原理。

电阻档的保护电路由晶体管T_1(9013)和正温度系数热敏电阻PTC以及限流电阻R_{37}所组成。这里是将T_1的集电结短接，利用其发射结反向电压约为5.8～7V的特性，代替稳压管作过压保护。

PTC则是过流保护元件。当不慎误用电阻档测量220V交流电压时，电压经PTC加到T_1上，使T_1反向击穿(软击穿)。由于PTC的初始电阻很低，常温下仅500Ω，所以它上面通过的电流很大，使PTC迅速发热，电阻值急剧增大，对T_1起到限流保护作用，使之不会转入硬击穿而烧毁，进而保护了TSC7106不致损坏。

具体讲，在交流电压的正半周，T_1反向击穿，将V_{REF}-COM之间的电压箝位于6V左右。在负半周，T_1正向导通，又把V_{REF}-COM之间的电压箝制在0.6～0.7V左右。需要说明的是，220V电压虽可通过R_{37}加至IN+端，但由于R_{37}的阻值很高(IMΩ)，能将输入电流限制在220μA以内，加之TSC7106的模拟输入端内部设有过压保护电路，可承受1000V的瞬间电压，因此只要保护电路正常动作，就不会损坏芯片。

综上所述，PTC和T_1的保护作用可归纳成两条，一是为220V交流电源的电流提供一条通路，使之不流入ICL7106中；二是对V_{REF}-COM之间的电压进行箝位。IN+端主要由R_{37}作限流保护。

为了抑制外界干扰信号，同时也降低T_1在反向击穿时产生的噪声电压，有的数字万用表(例如DT890C+)还在晶体管发射结并联一只0.1μF的消噪电容，参见图3.2.2所示电路中的T_4、C_{18}。

8. 二极管和蜂鸣器档

利用7106内部的基准电压源E_0向被测二极管提供2.8V的测试电压，使正向接法的二极管导通，正向工作电流$I_F \approx 1mA$。导通压降V_F经过R_{21}、R_{22}构成的分压器再衰减10倍之后，就作为7106的输入电压。此时基准电压V_{REF}仍为100.0mV，但仪表量程已扩展为2V，故可显示出被测二极管的正向压降V_F值。

该档还用来检查线路的通断，亦可称之为蜂鸣器档。图3.1.2中的IC_{3a}(½TL062)作电压比较器使用，其同相输入端(脚3)加参考电压V_3，容易求出

$$V_3 = \frac{R_{18}}{R_{18}+R_{15}} \cdot E_0 = \frac{47\text{k}}{2\text{M}+47\text{k}} \times 2.8 = 0.064\text{V}$$

反相输入端(脚2)则施以比较电压V_2，设二极管D_3的导通压降$V_{D3}=0.7\text{V}$，未接R_x时

$$V_2 = \frac{R_{21}+R_{22}}{R_{14}+R_{16}+R_{21}+R_{22}} \cdot (E_0 - V_{D3}) = \frac{900\text{k}+100\text{k}}{100+2\text{k}+900\text{k}+100\text{k}} \times (2.8-0.3) \approx 2.1\text{V}$$

于由$V_3 \ll V_2$，故比较器在常态下输出低电平。当V/Ω插口与COM插口之间接被测线路电阻R_x时，若$R_x<70\Omega$（例如设$R_x=60\Omega$）时，脚2的电压变成（忽略R_{21}和R_{22}的并联影响）

$$V_2' = \frac{R_x}{R_{14}+R_{16}+R_x} \cdot (E_0 - V_{D3}) = \frac{60}{100+2\text{k}+60} \times (2.8-0.7) = 0.058\text{V}$$

因为$V_2' < V_3$，所以比较器翻转，IC_3.输出高电平。二极管档的保护电路由D_3、D_4和R_{16}组成，其工作原理详见本书§3.6。

IC_2是门控振荡器，采用一片2输入端4与非门CD4011，A为控制门，B～D均接成反相器。当IC_3.输出高电平时，与门A被打开，RC振荡器起振。实取$R_{20} \approx 470\text{k}$，$C_1=1000\text{PF}$，代入式(2．3．9)中计算出振荡频率$f_0 \approx 1\text{kHz}$。该信号能够驱动Φ20压电陶瓷蜂鸣器BZ发出音频声，以表示被测线路接通。当$R_x>70\Omega$时，蜂鸣器不发声。

需要说明两点：

(1) 采用电阻档检查线路通断时，既要注意被测线路和表笔，还必须观察LCD显示出的电阻值来判断线路的通断，使用很不方便，况且受仪表测量速率所限，测量时费工费时。使用蜂鸣器档，眼睛可以关注被测线路及表笔，仅凭听觉就能迅速判断线路是否接通，使用非常方便。在对多根导线区分线号时尤为迅速、简捷。

(2) 与基本测量档不同，蜂鸣器档属于附加功能测试档，因此该档不规定准确度指标，只给出通、断发声的大致范围。对DT840D而言，规定$R_x<70\Omega$时蜂鸣器发声，也只是个大致范围，允许有一定的偏差。根据理论计算，仅当$R_x<65\Omega$时，蜂鸣器才能发声。考虑到电阻元件值存在一定误差，并且$V_{D_3}\approx0.7V$，故大致规定70Ω为发声界限。假定某块DT840D在$R_x<65\Omega$时发声，也应视为合格。

9. 测量晶体管hFE的电路

利用该档的hFE插口，能够测量小功率PNP或NPN型晶体管的hFE，测量范围是0～1000倍。

以NPN管为例，将被测管的E、B、C电极按顺序插入E、B、C插孔时，C极接通V_+，由7106的E_0提供2.8V的集电极电压。测试电路属于共发射接法。R_{28}和R_{29}(均为220kΩ①)为固定偏置电阻，所提供的基极电流$I_B\approx E_0/R_{29}\approx2.8V/220k\Omega\approx10\mu A$。发射极经$R_{27}$(10Ω)接模拟地COM。$R_{27}$是取样电阻，由它实现I/V转换，将发射极电流$I_E$转换成仪表输入电压$V_{IN}$。因为

$$hFE\approx I_C/I_B \tag{3.1.4}$$

$$I_E=I_C+I_B\approx I_C \tag{3.1.5}$$

所以
$$V_{IN}=I_ER_{27}\approx I_CR_{27}=hFEI_BR_{27} \tag{3.1.6}$$

将$I_B=10\mu A$，$R_{27}=10\Omega$代入式(3.1.6)中整理后得到

$$hFE=10V_{IN} \tag{3.1.7}$$

显然，若选用200mV档(去掉小数点)并将V_{IN}的单位取mV，即可直读hFE值。由于hFE插口的输出电流有限，通常规定$I_C\leqslant10mA$，因此hFE档的测量范围是0～1000倍。$hFE>1000$时，E_0明显降低，测量误差会增大。当$hFE\geqslant2000$时，仪表溢出。

使用hFE档时应注意下列事项：

(1) hFE插口共有8个插孔。以NPN为例，右侧上、下两个E

① 有的表取270kΩ。

孔在内部连通，使用时可任选其中一个E孔。设置两个E孔只是为了测量方便。

（2）晶体管的hFE值与测试条件有关。鉴于被测管在低电压、小电流条件下工作，并且式（3.1.4）中未考虑穿透电流I_{CEO}等因素的影响，因此测量结果仅供参考。hFE档的优点在于测量简便、迅速、安全，特别适合于业余条件下挑选晶体管，进行晶体管配对。

（3）设计PNP管测量电路时，需要改变电源电压E_0的极性，还应把R_{27}移至集电极上面。

§3.2 DT890C+型3½位数字万用表的电路分析

DT890系列包括DT890A、DT890B、DT890C、DT890D①、DT890C+等5种型号。其中以DT890C+的性能最佳，它属于高可靠性、多功能3½位数字万用表，亦是DT890C的增强性。

一、性能简介

1. 主要特点

DT890C+采用字高18mm的大液晶显示器，能同时显示读数与单位符号，共设置31个量程。该表不仅能测量直流和交流电压、直流和交流电流、电阻、二极管正向压降、晶体管hFE、检查线路通断，还可测量电容量和温度。测电容时仪表能自动调零。表内的温度传感器能自动测量并显示常温（室温）。若将K型镍铬-镍铝或镍铬-镍硅（NiCr-NiAl或NiCr-NiSi）热电偶插入测温插孔中，再把热电偶的热端置于被测温度环境中，便可自动测量温度，测量范围是－40～＋1000℃。此外，为满足测量高阻的需

① DT890D没有测温档，其他电路同DT890C+

要，仪表增加了200MΩ档。

DT890C+对全部量程实行过载保护，并具有防跌落性能，是电子测量人员和无线电爱好者比较理想的工具类仪表。

2．技术指标

量程31个

DCV：200mV，2V，20V，200V，1000V

ACV：200mV，2V，20V，200V，700V（正弦波有效值，平均值响应）

DCA：2mA，20mA，200mA，20A

ACA：200mA，20A（正弦波有效值，平均值响应）

Ω：200Ω，2kΩ，20kΩ，200kΩ，2MΩ，20MΩ，200MΩ

电容C[①]：2000pF，20nF，200nF，2μF，20μF

二极管和蜂鸣器档

hFE档：NPN管，PNP管

温度（配K型热电偶）：－40～＋1000℃

DT890C+使用6F22、NEDA 1604等型号的9V叠层电池供电，工作温度范围是0～40℃；但仪表仅在23±5℃范围内保证准确度指标，超出此范围时应考虑附加温度误差。外形尺寸为172×88×36（mm），重量0.34kg（包括9V电池），仪表的测量速率为3次/秒，典型功耗约40mW。

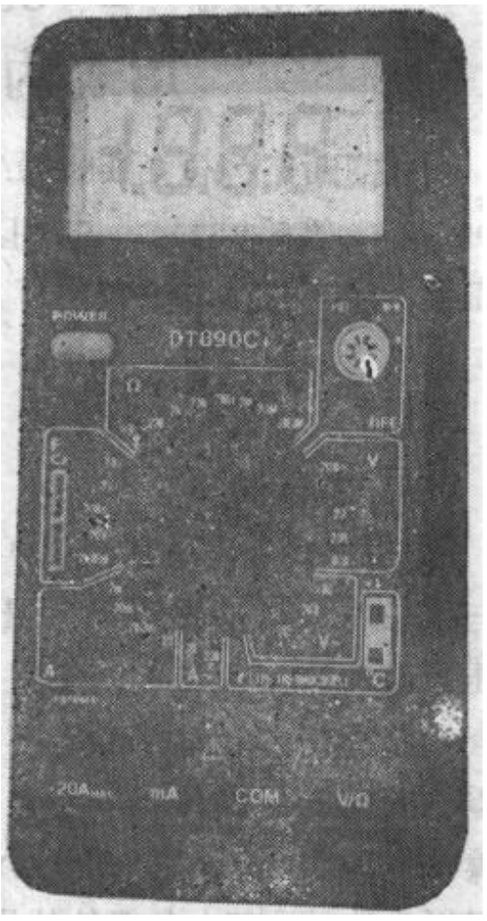


图 3.2.1 DT890C+型数字万用表的外形

① 在DT890C+的面板上用CAP表示电容档，CAP是英文电容(Capacitance)的缩写。

DT890C+型数字万用表的外形如图3.2.1所示。在面板左侧设有电容插座C+(单位是F)，右上方为8芯hFE插口，右下方是热电偶插座。

DT890C+的测量范围及准确度指标详见表3.2.1。二极管和蜂鸣器档、hFE档的测试条件与DT840D完全相同，参见§3.1。需要说明几点：

表 3.2.1 DT890C+的测量范围与准确度指标

测量功能	测量范围	准确度	最高分辨力
DCV	0～1000V	±(0.5%RDG+1字)～ ±(0.8%RDG+2字)	100μV
ACV(RMS)	0～700V	±(0.8%RDG+3字)～ ±(1.2%RDG+3字)	100μV
DCA	0～20A	±(0.5%RDG+1字)～ ±(2.0%RDG+5字)	1μA
ACA(RMS)	0～20A	±(2.0%RDG+3字)～ ±(3.0%RDG+7字)	100μA
Ω	0～200MΩ	±(0.8%RDG+1字)～ ±(1.0%RDG+2字)	0.1Ω
C	0～20μF	±(2.5%RDG+3字)	1pF
T	−40～+1000℃	±(0.75%RDG+3字)～ ±(1.5%RDG+15字)	1℃

(1) 200Ω～20MΩ电阻档的开路电压(测试电压)均低于0.7V，仅200MΩ档为2.8V。

(2) 200MΩ档属于附加档，因此该档不给出准确度指标，测量结果仅供参考。当表笔短路时显示10个字属于正常现象，正式测量时应从读数值中减去初始值。

(3) 仪表设计为当温度档不插热电偶时显示常温，插上热电偶后显示被测温度。

二、DT890C+型数字万用表的电路分析

DT890C+型3½位数字万用表的总电路如图3.2.2所示(见附图)。S_1 (S_{1a}、S_{1b}) 是电源开关，S_2 (S_{2a}～S_{2e}) 为量程选择开关，图中已将S_2拨到直流200mV量程。电路中共使用5片集成电路：IC_1 (TSC7106)，IC_2、IC_3 (两片TL062)，IC_4 (LM358)，IC_5(CD4011)。

3½位A/D转换器仍选用TSC7106。R_1、C_2分别是积分电阻与积分电容。C_1是自动调零电容。R_4、C_3为时钟振荡器的外围阻容元件，设计的时钟频率$f_0 \approx 48kHz$。C_4为基准电容。输入端高频滤波器由R_2、C_5组成。基准电压分压电路包括固定电阻R_{58}、R_{59}，电位器RP_3，调整RP_3可使$V_{REF} = 100.0mV$。

仪表配用3½位LCD，可显示下列标志符：AC，二极管及蜂鸣器符号，hFE，低电压指示符号，p，n，μ，F，mV，V，μ，m，A，Ω，kΩ，MΩ和℃。

DT890C+的DCV、ACV、DCA、ACA、Ω、二极管与蜂鸣器、hFE测量电路，标志符驱动电路，低电压指示电路，与DT840D基本相同，不再赘述。与DT840D的区别主要是去掉了下述各档：直流200μA档，交流200μA、2mA、20mA、2A档；另外增加了5个电容档，温度档和200MΩ高阻档。下面仅介绍新增设的测量电路的工作原理。

1. 200MΩ电阻档的设计原理

采用比例法测量电阻，通常只能测20MΩ以下的电阻。否则当$R_x > 20M\Omega$时，随着仪表输入电阻的提高，必然引入外界干扰信号，使仪表严重跳数而无法测量。因此欲增加200MΩ档，必须突破电阻电路的传统设计方法。

该档的设计思想是将被测电阻R_x与基准电压的电路相串联，使基准电压V_{REF}随R_x值而改变；TSC7106的输入端则接一固定电压V_{IN}。因此，从R_x上引入的干扰信号不会加至输入端，从而避

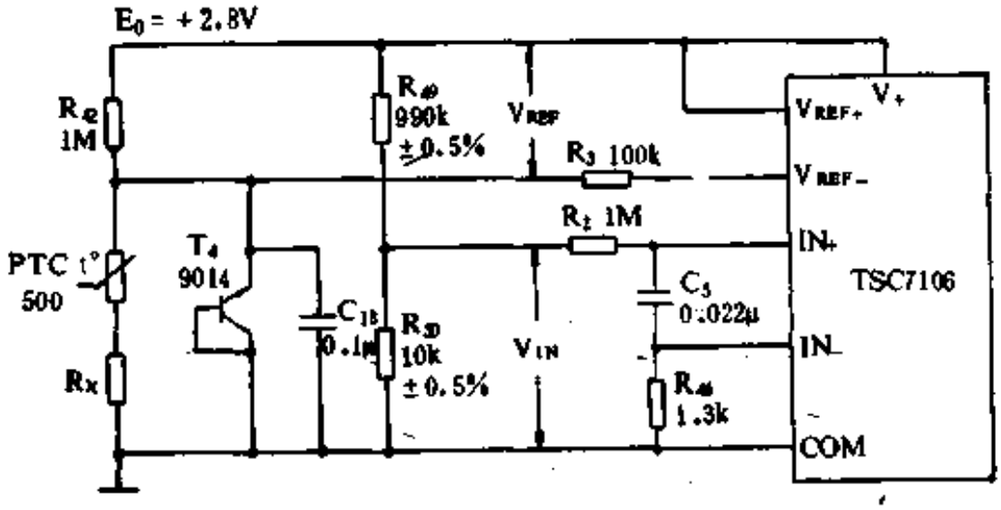


图 3.2.3 200MΩ档测量电路

免了仪表跳数现象。由图3.2.3可见，基准电压源E_0(+2.8V)经过R_{42}、PTC和R_x之后接模拟地，并以R_{42}上的压降作为基准电压。有公式

$$V_{REF} \approx \frac{R_{42}}{R_{42} + PTC + R_x} \cdot E_0 \qquad (3.2.1)$$

通常R_x的阻值很高，$R_x \gg R_{42} + PTC$，上式可化简成

$$V_{REF} = \frac{R_{42}}{R_x} \cdot E_0 \qquad (3.2.2)$$

另一方面，由R_{49}与R_{50}组成固定式分压器，并以R_{50}上的压降作为TSC7106的输入电压V_{IN}，其表达式为

$$V_{IN} = \frac{R_{50}}{R_{49} + R_{50}} \cdot E_0 \qquad (3.2.3)$$

若把$R_{50} = 10k\Omega$，$R_{49} = 990k\Omega$，$E_0 = 2.8V$代入式(3.2.3)中，则得到$V_{IN} = 0.01E_0 = 0.01 \times 2.8V = 28mV$。

将式(3.2.2)除以式(3.2.3)，整理后得到

$$\frac{V_{REF}}{V_{IN}} = \frac{R_{42}(R_{49} + R_{50})}{R_x R_{50}}$$

从中解出

$$R_x = \frac{R_{42}(R_{49}+R_{50})}{R_{50}} \cdot \frac{V_{IN}}{V_{REF}} \qquad (3.2.4)$$

再把R_{42}、R_{49}、R_{50}之值一并代入式（3.2.4）中，则

$$R_x = \frac{1M \cdot (990k + 10k)}{10k} \cdot \frac{V_{IN}}{V_{REF}} = 100M\Omega \cdot \frac{V_{IN}}{V_{REF}} \qquad (3.2.5)$$

式（3.2.5）就是200MΩ档的测量原理。下面通过两个例子加以说明。

例1　当$V_{REF} = V_{IN}$时，根据7106芯片的设计原理可知，仪表显示值应为1000，称之为比例读数。显然，将$V_{REF} = V_{IN}$代入式(3.2.5)中得到$R_x = 100M\Omega$。因此只要把小数点定在十位后边，显示值即为100.0MΩ。

例2　满量程时$R_x = 200M\Omega$，此时$V_{REF} = V_{IN}/2 = 28mV/2 = 14mV$，使仪表开始溢出。因此该档只能测量200MΩ以下的高阻。

下面分析该档的零点误差。当$R_x = 0$时，因为在常温下$R_{42} \gg$ PTC，故$V_{REF} = E_0$，而$V_{IN} = 0.01E_0$，代入式（3.2.5）中得到$R_x = 1M\Omega$。鉴于200MΩ档的最大显示值为199.9MΩ，所以1MΩ的电阻值就折合10个字。这表明200MΩ档存在10个字的固有零点误差。因此，将测量值减去1MΩ才是实际电阻值。

需要指出的是，200MΩ档属于扩展档，其准确度指标低于其他电阻档。影响该档准确度的因素较多，主要归纳成两条：①当R_x阻值较低时，$R_x \gg R_{42}$ + PTC之关系式不再成立，应对式(3.2.2)进行修正；②该档存在10个字的零点误差。DT890C+的电路中有一特别之处，即TSC7106的IN_与COM端没有短接，而是经过R_{46}(1.3kΩ)相连。R_{46}是测温档的一个桥臂电阻，上述设计只是为了兼顾温度档的电路。

2. 温度档的工作原理

早期数字万用表产品中，仅DT890C能够测量温度，但该表

用于常温测量时需要插上热电偶，或者将VΩ插孔与COM插孔短路，使用不够方便。

DT890C+在测温电路上作了改进，主要特点是：①利用内置的半导体温度传感器直接测量室温，不需要插热电偶或将输入插孔短路；②该传感器还能对热电偶的冷端温度进行补偿，使仪表直接显示被测点的温度值。

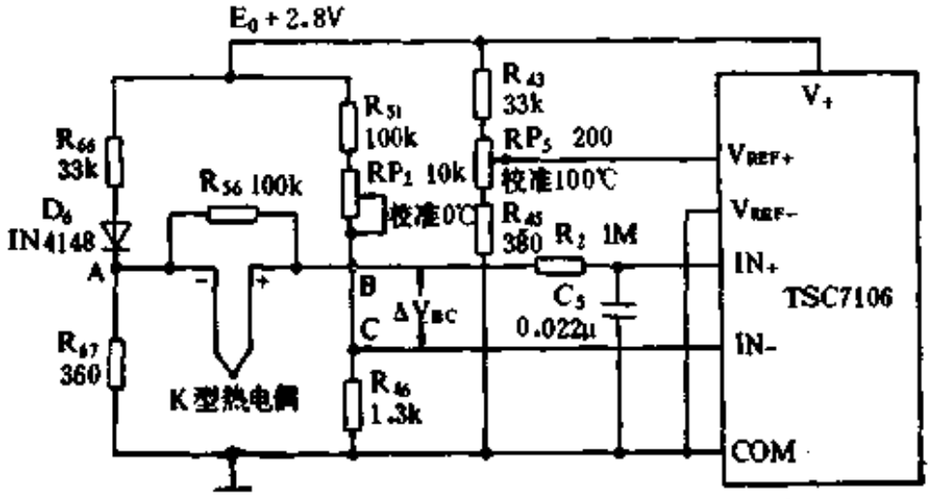


图 3.2.4 DT890C+的测温电桥

DT890C+的测温电路如图3.2.4所示。测温电桥的4个桥臂分别由 R_{66} 和 D_6，R_{67}，R_{51} 和 RP_2，R_{46} 组成。其中，D_6 为硅二极管1N4148，此处作半导体温度传感器使用。由R_{66}、R_{67}组成分压器，分压比 $m = R_{67}/(R_{66} + R_{67})$。热电偶和电阻$R_{56}$跨接在A、B两点之间，电桥输出电压为$\Delta V_{BC}$，以此作为TSC7106的输入电压。在DT890C+中，TSC7106采用差动输入方式。由于R_{46}的电阻值很小，仅1.3kΩ，而双积分式A/D转换器TSC7106的抗串模干扰能力很强，因此在测量电压、电流时不必考虑R_{46}的影响，认为IN-与COM端呈等电位。

前已述及，在TSC7106的V+-COM端之间有一个内部基准电压源，$E_0 = 2.8V$，测温电桥的供桥电压就取自E_0。基准电压电路则由R_{43}、RP_5和R_{45}组成。

测温探头采用K型（镍铬-镍铝或镍铬-镍硅）热电偶，测温范围一般为－40～1000℃。K型热电偶产生的温差热电势e(mV)与温差ΔT(℃)成正比。表3.2.2列出其温度-热电势对照表。

表 3.2.2 K型热电偶的温度-热电势对照表

温　　度(℃)	−20	0	20	100	300	700	1000
热电势(mV)	−0.777	0.000	0.798	4.095	12.207	29.128	41.269

分析表3.2.2不难看出，K型热电偶具有正的电压温度系数，$\alpha_{TK}=e/\Delta T=41.269\text{mV}/(1000℃-0℃)=41.269\mu\text{V}/℃$。为便于计算，这里取近似值$\alpha_{TK}\approx40\mu\text{V}/℃$。

下面举例说明温度补偿的基本原理。

假定被测温度$T=100℃$(热端)，室温$T_A=20℃$(冷端)，此时热电势$e=\alpha_{TK}(T-T_A)=40\mu\text{V}/℃\times(100-20)℃=40\mu\text{V}/℃\times80℃=3.2\text{mV}$(对应于80℃的毫伏值)。其极性如图3.2.4所示，与热电偶的正、负极性一致。这表明，测量100℃温度时仪表显示80℃，比实际被测温度低20℃，而20℃就对应于0.8mV。我们设想，将e作电源看待，若给它串联一个电势e_1(0.8mV)，使$e+e_1$恰好等于100℃对应的热电势(4mV)，仪表便能直接显示出100℃。实际上只要把A点电位降低e_1的数值，也就相当于串入电势e_1，使B点电位相应提升到$e+e_1$，同样可以直读温度值。这就是对冷端温度进行补偿的基本原理。下面具体介绍电路设计。

众所周知，硅PN结的正向导通压降V_F与温度T成正比，但电压温度系数为负值，$\alpha_{TD}\approx-(2.0\sim2.5)\text{mV}/℃$。具体到某只管子，$\alpha_{TD}$为一常数。假定1N4148的$\alpha_{TD}=-2.4\text{mV}/℃$，现以A为参考点，并且设其电位$V_A=0\text{V}$。当$T_A=20℃$时，$\Delta V_F=\alpha_{TD}\cdot T_A\approx-2.4\text{mV}/℃\times20℃=-48\text{mV}$。$D_6$导通压降的变化量$\Delta V_F$经过$R_{66}$、$R_{67}$分压，迫使A点电位降低

$$\Delta V_A = m\Delta V_F = \frac{R_{67}}{R_{c8}+R_{67}} \cdot \Delta V_F = \frac{360}{33k+360} \times (-48mV$$

$$= -0.8mV$$

这正是K型热电偶在冷端温度为20℃时所需要的补偿电势 e_t。推而广之，在整个测温范围内，上述电路都能对K型热电偶的冷端温度进行补偿。

该电路在设计上有三个特点：第一，利用硅PN结导通压降的负温度系数，去补偿K型热电偶的正温度系数；第二，鉴于$|\alpha_{TD}| \gg \alpha_{TK}$，借助于分压器使$|\alpha_{TD}/m| = \alpha_{TK}$，从而实现温度自动补偿；第三，插上热电偶时仪表显示的是被测温度T，热电偶开路时则显示常温（严格讲应为表壳内部温度，即室温）。

硅二极管作温度传感器使用时，测温范围大致是-50～150℃。考虑到D_6装在仪表内部，而仪表工作温度规定为0～40℃，因此用内部温度传感器只能测量常温。欲测高于40℃或低于0℃的温度，须使用测温探头，表3.2.3列出适合配数字万用表的3种测温探头，可供选择。

表 3.2.3 配数字万用表的测温探头

探头型号	准确度	测温范围
TP01	±(0.5%+1℃)	-50～250℃
TP02	0～750℃为±(0.75%+1℃)，0～50℃为-3℃	-50～750℃
TP03	±(0.5%+1℃)	-50～1300℃

最后再说明几点：

(1) 温度测量中的"归一化"并非0.1mV/℃，而是1个字/℃。这样，1000个字就对应于1000℃。不难算出，该档的基准电压$V_{REF} \approx 40mV$。在校准100℃时，实际是就是调整基准电压，只不过所关注的并非V_{REF}的具体数值，而是仪表应显示100个字（对应于100℃）。

(2) 电路中RP_5为校准0℃的电位器，RP_6是校准100℃的电位器。校准100℃以上温度时，一般由直流毫伏标准源提供毫伏电压，来模拟热电势。表3.2.2中－20、0、100、300、700℃三组数据，就是出厂前校准DT890C+温度档的测试点。

(3) 实际上D_6的α_{TD}值有一定偏差，另外桥臂电阻值亦存在误差，但均可以在校准0℃时予以消除。需要注意的是热电势信号很弱，桥臂电阻必须选用金属膜电阻。因为碳膜电阻的电噪声较大，会引起明显的测量误差，所以不能采用。

3. 电容测量电路

早期数字万用表产品（例如DT890A)采用脉宽调制(PWM)法测量电容量。其设计思想是利用被测电容器C_x的充放电过程来调制频率为一定的脉冲波形，使其占空比D与C_x成正比。再经过滤波电路取出其直流电压$\overline{V_0}$，送至A/D转换器中。显然，其变化规律为：$C_x\uparrow \rightarrow D\uparrow \rightarrow \overline{V_0}\uparrow$，反之亦然。从而完成了C/DCV的转换过程，将被测电容量变成直流电压。例如，DT890A型数字万用表电容档的电路，即采用此种方案。

脉宽调制法测电容的缺点是，每次测量之前必须手动调零，给操作人员带来不便。此外，测量准确度较低。

新型数字万用表普遍采用容抗法测量电容，实现了自动调零。其设计思想是，首先利用频率约为400Hz的正弦波信号将C_x变成容抗X_C，然后进行C/ACV转换，把X_C量转换成交流信号电压，再经过AC/DC转换器取出平均值电压$\overline{V_0}$，送至A/D转换器。显然$\overline{V_0}$与C_x成正比，只要合理设计并适当调节电路参数，即可直读电容量。

容抗法测量电容的主要优点是电容档能自动调零，使测量过程大为简化，缩短了测量时间；测量准确度亦得到提高。因此，新设计定型的DT890C+、DT930F+、DT970、DT980、DT1000型数字万用表均采用该设计方案。

DT890C+的电容测量电路由IC_2、IC_4组成、采用TL062、LM

358型双运放各一片。其中，IC_{2a}和R_{11}、C_8、R_{12}、C_9构成文氏桥振荡器。振荡频率由下式确定

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \tag{3.2.6}$$

现取$R_{11} = R_{12} = R = 39.2k\Omega$，$C_8 = C_9 = C = 0.01\mu F$，代入上式

$$f_0 = 1/\ (2\pi \times 39.2k \times 0.01\mu)\ = 406Hz \approx 400Hz$$

文氏桥振荡器的输出波形为正弦波。

IC_{2b}是一级反相输入的缓冲放大器。其电压增益为

$$A_{2b} = -\frac{R_{15} + RP_1}{R_{65}} \tag{3.2.7}$$

式中，RP_1为电容档校准电位器，调节RP_1可以改变IC_{2b}的电压增益。

IC_{4a}是一级反相输入电压放大器。它与IC_{2b}的不同之处主要有两点：第一，其负反馈电阻R_f（亦即电路中的R_{16}、$R_{27}\sim R_{30}$）的阻值依电容量程而定；第二，这里是把被测电容的容抗X_C作为运放的输入电阻。

众所周知，电容器的容抗与频率、电容量之间存在下述关系式：

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C_x} \tag{3.2.8}$$

这表明，当频率f一定时，容抗X_C与电容量C_x成反比。下面以2μF档为例，分析该档的电压增益。

IC_{4a}的电压增益为

$$A_{4a} = -\frac{R_f}{X_C} = -\frac{R_{16} + R_{30}}{1/2\pi f C_x} = 2\pi f (R_{16} + R_{30})Cx \tag{3.2.9}$$

因此，IC_{2b}和IC_{4a}总的电压增益为

$$A = A_{2b} \cdot A_{4a} = \frac{2\pi f(R_{15} + RP_1)(R_{16} + R_{30})}{R_{65}} \cdot Cx \quad (3.2.10)$$

若设IC_{2b}、IC_{4a}的输出电压有效值分别为V_{o2b}和V_{o4a}，则

$$V_{o4a} = \frac{2\pi f(R_{15} + RP_1)(R_{16} + R_{30}) \cdot V_{o2b}}{R_{65}} \cdot C_x \quad (3.2.11)$$

令$K = 2\pi f(R_{15} + RP_1)(R_{16} + R_{30})V_{o2b}/R_{65}$，上式可化简为

$$V_{o4a} = KC_x \quad (3.2.12)$$

这表明V_{o4a}与C_x成正比，从而实现了C/ACV的转换。

IC_{4b}为有源带通滤波器，它只允许400Hz信号通过，可滤掉其他频率的杂波干扰，使IC_{4a}的输出电压V_{o4b}为400Hz正弦波。V_{o4b}再经过IC_{3b}完成AC/DC转换，获得平均值电压$\overline{V}_o$，送给A/D转换器。这就是容抗法测量电容的设计原理。

综上所述，测量电容量的过程可大致归纳成：

文氏桥振荡器→C/ACV转换器→AC/DC转换器→A/D转换器

最后需说明几点：

（1）R_{16}、R_{27}～R_{30}均为IC_{4a}的负反馈电阻R_f。但在转换电容量程时，R_f的阻值按照10倍率的关系来改变。举例说明，在2000pF档，$R_f = R_{15} + R_{30} + R_{29} + R_{28} + R_{27} = 1M\Omega$；而在20nF档，$R'_f = R_{16} + R_{30} + R_{29} + R_{28} = 100k\Omega$，即$R_f/R'_f = 10$。其余电容档依此类推。其原因是，当$C_x$从2000pF增加到20nF，容抗值$X_C$下降了10倍。由式（3.2.11）可知，$V_{o4a}$乃至$\overline{V}_o$亦会相应地增大10倍。可是A/D转换器的基本量程业已确定为200mV，如果不降低20nF档的电压增益，其最大输出电压将达2V，必然使仪表严重过载，无法测量。

由式（3.2.9）还可推导出IC_{4a}电压增益的另一表达式：

$$A_{4a} = -R_f/X_C \approx -2\pi f R_f C_x \quad (3.2.13)$$

因此，在C_x增加到10倍（由2000pF→20nF）的同时，只要将R_f的阻值减小到原来的1/10（由1MΩ→100kΩ），就能保证A_{4a}不变，亦即电容档的总增益不变，使A/D转换器始终工作在200mV

基本量程上（对应于2000pF电容档）。这样既实现了量程扩展，又简化了电路设计。

若设2000pF档的负反馈电阻值为1，则20nF、200nF、2μF、20μF电容档的负反馈电阻值就依次为1/10、1/100、1/1000和1/10000，量程却以10、100、1000、10000的倍率递增，使A_{vf}始终保持不变。

（2）由于IC_2、IC_4均工作于交流状态，不存在零点漂移，而AC/DC转换器的漂移电压可忽略不计（已加隔直电容），况且TSC7106型A/D转换器本身具有自动调零之功能，因此电容档不需要加手动调零电位器。电路中的RP_1电位器只是用以校准电容档的，一经调好就不再变动。

（3）$D_8 \sim D_{12}$分别为电容输入插孔两侧的过压保护二极管，其作用是将V_{o2b}的最大输出电压（峰值）以及V_{i4}的最大输入电压（峰值）限制在0.7V左右，保护运放不致损坏。此外，尽管电容档不允许测量带电的电容器，然而实际上却可能发生这种误操作，此时上述二极管可为被测电容器提供放电回路，在一定程度上能起到保护作用。

§3.3 3211B型3¾位笔式数字万用表的电路分析

3211B是3¾位自动量程笔式数字万用表，下面介绍其性能特点及工作原理。

一、性能特点

（1）选用单片数字万用表集成电路，显示位数是3¾位，最大显示值为±3999，满量程为4000，比3½位数字万用表的量程扩大了一倍。

（2）能自动快速转换量程（采样时间约为0.2s），同时显示

被测电量的数值及单位符号，操作简单，读数方便，有读数保持功能。

（3）测量准确度较高，详见表3.3。

表 3.3 3211B的测量范围与准确度指标

测量功能	量程	准确度
DCV	400mV 4V 40V 400V	±(1%RDG±10字)
ACV(RMS)	40V 400V (有效值)	±(2.5%RDG±10字)
Ω	4kΩ 40kΩ 400kΩ 4MΩ	±(1%RDG±9字)

（4）采用笔式结构，外形尺寸为16×3×2.2mm（不计探针），重0.11kg（含电池和表笔）。外围电路简单，体积小巧，携带方便，仪表外形和结构分别如图3.3.1、图3.3.2所示。图中各部分的名称如下：

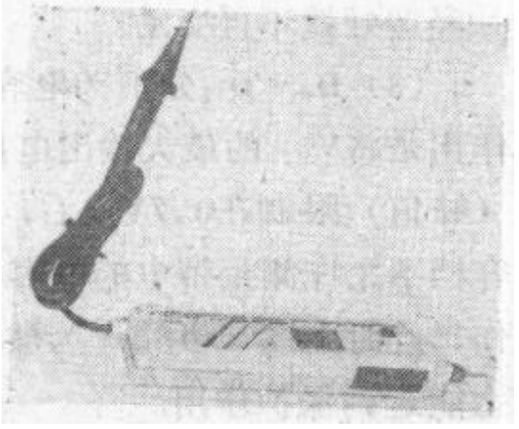


图 3.3.1 3211B型笔式数字万用表外形

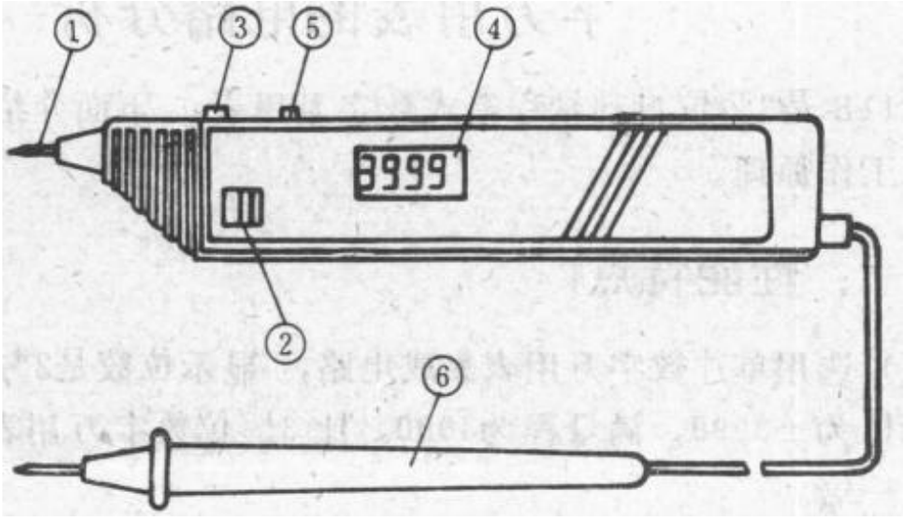


图 3.3.2 3211B笔式数字万用表的结构

①——测试探针（+）；

②——V/Ω功能开关；

③——DC/AC或HΩ/LΩ以及电池OFF的转换开关，HΩ、LΩ档的测量范围分别为40kΩ～4MΩ、0～40kΩ；在LΩ档，若被测电阻R_x＜1kΩ，则蜂鸣器发声；OFF表示电池关断；

④——液晶显示器；

⑤——读数保持按钮（HOLD）；

⑥——黑表笔（-）。

（5）具有读数保持功能，能将读数暂时保留下来。利用蜂鸣器可以快速检查线路的通断。当电池电压低于7V时显示低电压指示符号"BAT"。

（6）微功耗。一节9V叠层电池可使用1000h左右，典型功耗约20mW。

二、3211B型笔式数字万用表的电路分析

3211B采用美国Intersil公司研制的ICL7139型$3\frac{3}{4}$位自动转换量程式数字万用表专用IC。该芯片集DMM功能于一身，具有很高的性能/价格比。有关ICL7139的工作原理，详见§2.7。

3211B的总电路如图3.3.3所示。图中S_1是V/Ω选择开关。S_2是高阻（或直流）/低阻（或交流）选择开关，兼作电源开关。S_1、S_2需配合使用。例如S_1拨至V档时利用S_2选择DC或AC方式；S_1置于Ω档时则由S_2选定HIΩ或LOΩ方式。SB是读数保持（HOLD）按钮。

时钟振荡器由IC_2（CMOS单定时器ICM7555）构成。R_6和RP_2为定时电阻，C_5是定时电容。计算振荡频率和输出矩形波占空比（D）的公式分别为

$$f_0 \approx \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_6 + 2RP_2)C_5} \qquad (3.3.1)$$

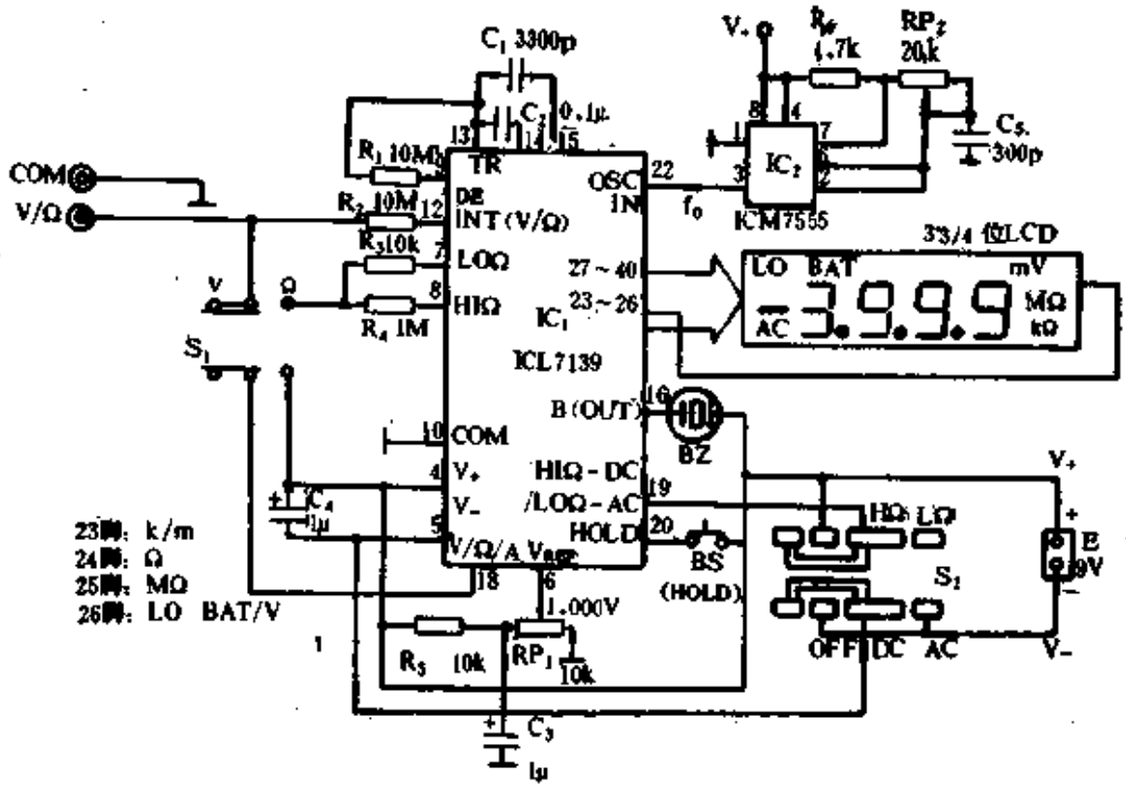


图 3.3.3 3211B型3¾位笔式数字万用表总电路

$$D \approx \frac{t_1}{T} = \frac{R_6 + RP_2}{R_6 + 2RP_2} \cdot 100\% \qquad (3.3.2)$$

式中 T——振荡周期；

t_1——输出波形的脉冲宽度。

实取$R_6 = 4.7k\Omega$，$C_5 = 300pF$，调整电位器RP_2可使$f_0 \approx 100$ kHz，占空比D接近于50%。因此ICM7555的输出波形近似于方波信号。

C_1是积分电容，选用介质吸收系数很小的聚丙烯电容器。C_2为自动调零电容。R_1是反向积分电阻，R_2是电压档积分电阻。R_3、R_4为电阻档的标准电阻。V_+与COM端之间可提供3V稳定电压，通过R_5、RP_1分压后获得1.000V的基准电压。C_3、C_4分别为消噪电容和电源滤波电容。当被测线路接通时，(规定为$R_x < 1k\Omega$)，从16脚输出2kHz音频信号，可直接驱动压电陶瓷蜂鸣器BZ发声。

测量电压时仪表总是从最高量程开始，按照400V→40V→4V→400mV的顺序自动转换量程，直至最佳量程。令满量程的计数值为FS(FS=4000)，在最佳量程时显示值N的范围应是

$$FS > N \geqslant 9\%FS \qquad (3.3.3)$$

对应于 $4000 > N \geqslant 360$

需要指出，3211B使用ICL7139内部的AC/DC平均值转换电路，因此工作频率范围很窄，适于测量50Hz的交流电压。当被测电压的频率偏离50Hz时，测量误差会明显增加。

测电阻时仍采用比例法。被测电阻Rx与标准电阻相串联，以标准电阻上的压降作为基准电压 V_{REF}，Rx上的压降则作为输入电压 V_{IN}。R_3是低阻档(4kΩ、40kΩ)的标准电阻，R_4为高阻档(400kΩ、4MΩ)的标准电阻。

为减少LCD的引线数量，ICL7139采用时分割法驱动液晶显示器。

为简化电路，该表未设置直流和交流电流档。

由§2.7可知，ICL7139的时钟频率选 $f_0 = 100kHz$ 时，芯片内部的计数频率 $f_{CP} = 50kHz$，计数频率的周期 $T_{CP} = 20\mu s$。因为从量程1(400V档)顺序转换到量程4(400mV)的过程中，正向积分时间依次为 $10T_{CP}$、$100T_{CP}$、$1000T_{CP}$、$10000T_{CP}$，所以仪表的最大采样时间 $T_1 = 11110T_{CP} \approx 0.22s \approx 0.2s$。

选择外围元件时应使 $R_1 = R_2 = 10M\Omega$，$R_3 = 10k\Omega$，$R_5 = 10k\Omega$，$R_4 = 100R_3 = 1M\Omega$。C_1的理论计算值为4000pF，通常取3300pF或4000pF。

若对电路稍加改动，还可增加400mA直流电流档，使3211B的测量功能进一步扩展。具体方法是参照图2.7.14所示电路，另外增加一个400mA插孔。在INT(I)端(11脚)串联一只测电流用的积分电阻 R_{INT1}，实取 $R_7 = R_{INT1} = 1M\Omega$。外接分流电阻 R_8，其阻值为10Ω±0.5%，功率取2W。为安全起见，输入电流插口上还

应串联一只0.5A的快速熔管。

§3.4 3210型$3^1/_2$位数字式钳形电流表的电路分析

钳形电流表简称钳流表，专用以测量电网中的大电流。由于采用非接触法测量电流，所以使用方便、安全，属于常用电工仪表。传统的钳流表使用指针式表头，准确度较低，体积大而笨重，读数亦不直观，已无法满足现代电工与电气设备测量之需要。深圳胜利仪器有限公司最新研制的3210型袖珍式数字钳流表，集先进的电子技术和工艺设计于一身，其主要性能远优于指针式钳流表，是钳流表的更新换代产品。

表3.4列出3210型数字钳流表与国产T301型指针式钳流表主要性能的比较。

表 3.4.1 两种钳流表主要性能之比较

钳流表型号	3210	T301
显示方式	$3^1/_2$位LCD数字显示	指针式
准确度	±(1.5%RDG+10字)	±2.5
最高分辨力(mA)	10	200
测量范围(A)	0～200	0～250
测量速率(次/秒)	2	——
读数保持功能	有	无
外形尺寸(mm)	155×54×20	385×110×75
重　　量(kg)	0.086	2

一、性能简介

3210型$3^1/_2$位数字钳流表的外形和结构分别如图3.4.1、图

3.4.2所示。

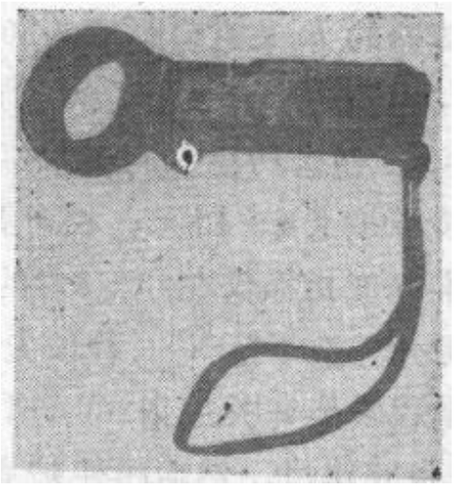
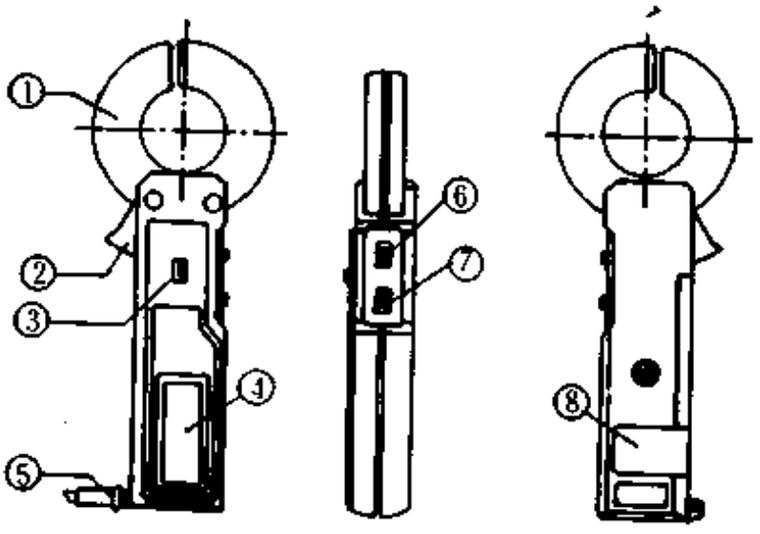


图 3.4.1 3210型数字钳流表外形



(a)正面 (b)侧面 (c)背面

图 3.4.2 3210型数字钳流表的结构

1——钳头；2——扳机；3——保持开关；4——液晶显示器；5——手提带；6——量程转换开关；7——电源开关；8——电池盖。

3210的主要特点如下：

(1) 采用大规模集成电路和$3\frac{1}{2}$位LCD显示器，最大显示值为1999。仪表设有两个量程：20A、200A，分辨力分别为10mA和0.1A。手动转换量程，测量速率为2次/秒。

(2) 测交流电流时能显示标志符AC、A。

(3) 具有读数保持(其标志符为DH)、低电压指示(标志符为

B)等功能。超量程时 最高位出现闪烁状态的"1"。

(4) 钳形变流器的 最大钳口距离为30mm。

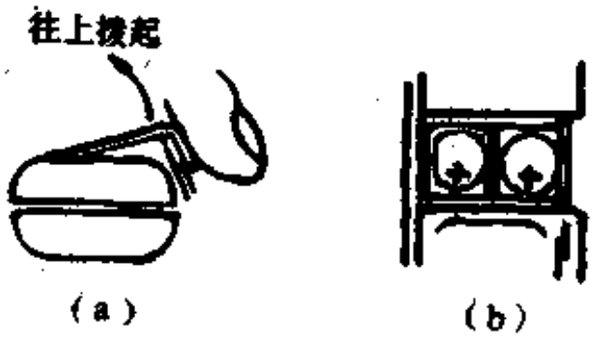
(5) 微 功耗，使用φ11.7×5.2(mm)的两节1.5V钮扣电池，工作电流I_{DD}≤1mA，整机功耗仅3mW。

(6) 工作环境温度为0～40°C，相对湿度＜80%，储存温度为－10～60℃，但准确度指标仅在23±5℃的条件下才能保证。

使用前把电源开关拨于"ON"。若预先无法估计被测交流电流的大小，则应将量程转换开关拨到200A档，以免损坏分流器。

测量 时首 先张开钳口，然后钳住被 测导线并使 钳口完全闭合，形成回路，即可 读数。假如读 数小于20A，应选择20A档，以提高分辨力。当环境太暗而无法读数时，可按下保持开关，再移至亮光处读取数值。测量完毕，将电源开关 拨至"OFF"，还须断开保持开关，以免在下次开机时仪表进入数据保持状态而无法正常测量。

更换钮扣电池 的具 体方法见图3.4.3，注意电池极性不得接反。



(a)取下旧电池　(b)装好新电池

图 3.4.3 更换电池 的方法

二、3210型数字钳流表的电路分析

3210型3½位数字钳流表的总电路如图3.4.4所示(见附图)。电路中采用新日本无线公司(JRC)最新研制的NJU9207型3½位数

字万用表专用IC，能以最简方式构成单片数字钳流表。有关NJU9207的工作原理详见本书§2.5。

图3.4.4中，S_2(S_{2a}、S_{2b})是电源开关。E_1和E_2是两节1.5V钮扣电池，取其中点电位为GND。C_{13}、C_{14}是电源滤波电容，C_{11}为升压电容。晶振电路由32.768kHz石英晶体JT与电容器C_9组成。R_{11}、C_8分别是积分电阻与积分电容，C_7为自动调零电容。基准电压分压器由固定电阻R_{13}、R_{14}和精密多圈电位器RP_2所组成，调整RP_2可使39脚对GND的电压V_{REF}=160mV。

3½位LCD的电极接线方式见表3.4.2。表中，COM_1～COM_4为背电极，SEG_1～SEG_{10}是段驱动端，标志符包括AC、A、DH、低电压指示。液晶片与NJU9207通过导电橡胶棍及印制导线相连。

表 3.4.2 液晶电极的接线方式

	SEG_1	SEG_2	SEG_3	SEG_4	SEG_5	SEG_6	SEG_7	SEG_8	SEG_{10}
COM_1		DH	a_3	b_3	a_2	b_2	a_1	b_1	A
COM_2			f_3	g_3	f_2	g_2	f_1	g_1	
COM_3		b_4c_4	e_3	c_3	e_2	c_2	e_1	c_1	
COM_4	AC		d_3	DP_3	d_1	DP_2	d_1		

钳形变流器(CT)是具有钳式结构的电流互感器，用以测量导线中的交流电流。它主要由铜管轴、硅钢片、带骨架的线圈、钳口拉簧及压簧、钳口外壳等组成。当交流电通过导线时，根据电磁感应原理，线圈上感应出交流电流。为提高抗共模干扰的能力，线圈采用双向绕法。C_2用来滤除低频干扰。

钳形变流器(亦称电流传感器)的变流比设计为2000：1，当被测交流电流为200A时，实际输出电流仅为100mA。该电流通过分流器形成压降，作为9207的输入电压，满量程为200mV。由此可知，200A档分流电阻R_3=200mV/100mA=2Ω。同理，很

容易计算出20A档分流电阻的总阻值应为20Ω，该分流器由R_1、R_2、RP_1和R_3组成。RP_1为校正电位器，调整RP_1可使下列关系式成立：

$$R_1 // (R_2 + RP_1) + R_3 = 20\Omega$$

D_1、D_2是双向限幅二极管，进行过压保护。

AC/DC转换器由D_3、D_4、$R_4 \sim R_{10}$、$C_3 \sim C_6$组成。

S_1为量程转换开关，其中S_{1a}用以设置量程，S_{1b}用来改变分流电阻值。NJU9207的量程设置端$RC_1 \sim RC_3$的内部均接有上拉电阻，开路时呈高电平。因此，当S_{1a}拨至位置3时，$RC_1 = 0$，$RC_2 = 1$，$RC_3 \approx 1$，仪表选择20A档。当S_{1a}拨于位置1时，$RC_1 = 1$，$RC_2 = 0$，$RC_3 \approx 1$，仪表选择200A档。

由图可见，NJU9207的功能设置端$FC_1 \sim FC_4$的逻辑状态为0011，查表2.5.3可知，此时选择交流电流测试功能(ACA)。因该表只用来测量交流电流，未设电阻档及电压档，故不需外接标准电阻和分压电阻。

最后需要说明几点：

(1) 分流电阻$R_1 \sim R_3$须采用精密金属膜电阻，阻值误差为±1%，电阻温度系数应低至50ppm/℃。

(2) 总电路中只有$C_2 \sim C_{14}$，没有电容器C_1、C_4、C_5、C_{10}、C_{11}、C_{13}、C_{14}均采用小型环氧树脂封装的钽电容。

(3) 仪表按照50Hz交流电流进行标定。若电网频率为60Hz，则测量结果仅供参考。

§3.5 DT960T型$3^1/_2$位数字/模拟条图双显示数字万用表的电路分析

DT960系列包括DT960、DT960T两种型号，出口产品型号则分别按CM3300和CM3310命名。它们均属于数字/模拟条图双显示数字万用表，并且量程可扩展50%，是目前国际上流行的一种

新款式。其中，DT960T的性能最佳，该表增加了真有效值测试功能，属于高档真有效值自动量程双显示数字万用表。下面介绍DT960T的性能特点与工作原理。

一、性能简介

1. 主要特点

(1) 具有数字、模拟双重显示功能。数字显示的最大显示值为±1999(自动量程)或±2999(手动量程)；模拟显示为41段(含零段)LCD条图。该仪表既具备数字仪表准确度高的特性，又有模拟式(即指针式)仪表反映变化过程及变化趋势一目了然的优点，数值显示清晰，条图变化醒目。

(2) 量程转换方式有自动、手动两种，可任意选择。前者操作简便，后者能将量程扩展50%。仪表共设置38个量程。

(3) 采用双积分式A/D转换原理，抗干扰能力强，外围电路比较简单。晶振频率为32.768kHz，完成一次A/D转换需488.3ms，折合测量速率约2次/秒。

(4) 设计先进，功能完善。具有相对值测量、读数保持、极性显示、超量程显示、低电平指示、标志符显示、低功率法在线测量电阻、检查二极管及线路通断(蜂鸣器档)、频率测量、过载保护等多种功能。200mV量程的输入电阻高达1000MΩ($10^9\Omega$)。

(5) 利用真有效值AC/DC转换电路，可以测量40～200Hz的交流电压或电流。当被测正弦波电压(或电流)存在波形失真时，并不会影响测量准确度，此外还可以测量非正弦波电压。

(6) 采用40×60(mm)超大型LCD，液晶显示器能显示测量种类、量程以及单位符号等标志符，给读数和记录提供了便利条件。

(7) 选用9V单电源供电，低功耗。

(8) 造型美观，工艺考究，安全性好。其电气安全性能是参照美国UL标准和德国VDE标准而设计的。跌落时不易损坏，输

入插孔采用隐埋式全保护结构，以保证操作者的安全。

2. 技术指标

（1）输入极限值见表3.5.1，使用中不得超出极限值。

表 3.5.1 输入极限值

测试功能	输入插孔	输入极限值
DCV ACV	V—COM	1000VDC或700VAC(RMS)
Ω	Ω—COM	250VDC或AC(RMS)
DCmA ACmA	mA—COM	400mADC或AC(RMS)
20A	20A—COM	20ADC或AC(RMS)
kHz	kHz—COM	250VDC或AC(RMS)

（2）DT960T双显示数字万用表采用6F22型9V叠层电池供电。工作温度：0～40℃，储存温度－10～50℃，保证准确度的环境温度为23±5℃。外形尺寸为190×85×40(mm)，重量0.35kg（含电池）。测量速率2次/秒，典型功耗约40mW。

（3）直流电压(DCV)

输入电阻：200mV量程为1000MΩ，其他量程均为10MΩ。

过载保护：全部量程为1000VDC或AC峰值。

技术指标见表3.5.2。

表 3.5.2 直流电压档的技术指标

量程		准确度	分辨力
自动	手动		
200mV	300mA	±(0.5%RDG+2字)	100μV
2V	3V	±(0.8%RDG+1字)	1mV
20V	30V		10mV
200V	300V		100mV
1000V	1000V	±(1.0%RDG+2字)	1V

(4) 交流电压(ACV)

显示值：真有效值(TRMS)

输入电阻：所有量程均为10MΩ

频率范围：2V、20V、200V量程为40～400Hz，700V量程为40～200Hz。

过载保护：700V（RMS）或1000V峰值（PEAK）

技术指标详见表3.5.3。

表 3.5.3 交流电压档的技术指标

量程		准确度*	分辨力
自动	手动		
2V	3V	±(1.0%RDG+10字)	1mV
20V	30V	±(1.0%RDG+3字)	10mV
200V	300V		100mV
700V	700V	±(1.2%RDG+5字)	1V

* 当输入电压大于15%V量时，准确度指标有效。

(5) 直流电流（DCA）

过载保护：0.2A／250V熔丝管，20A无保险

最大输入：20A量程测试不得超过15s

技术指标见表3.5.4。

表 3.5.4 直流电流档的技术指标

手动量程	准确度	分辨力
30mA	±(1%RDG+2字)	10μA
300mA	±(1%RDG+2字)	100μA
20A	±(2%RDG+5字)	10mA

(6) 交流电流（ACA）

显示值：真有效值（TRMS）

频率范围：40～200Hz

其他规范同DCA，技术指标见表3.5.5。

表 3.5.5 交流电流档的技术指标

手动量程	准　确　度*	分　辨　力
30mA	±(2%RDG+5字)	10μA
300mA	±(2%RDG+5字)	100μA
20A	±(3%RDG+7字)	10mA

* 仅当被测电流大于15%In时，准确度指标才有效。

(7) 电阻（Ω）

过载保护：200Ω量程为250VDC或AC（RMS），其余量程为500VDC或AC（RMS）。

测量电阻分常规测量（HIΩ）和低功率测量（LOΩ）两种方式，技术指标分别见表3.5.6和表3.5.7。后者适于对电路中的电阻值进行在线测量。

表 3.5.6 HIΩ电阻档的技术指标

量程		准　确　度	分辨力	开路电压
自　动	手　动			
200Ω	300Ω	±(0.8%RDG+2字)	0.1Ω	2.8V
2kΩ	3kΩ		1Ω	0.57～0.66V
20kΩ	30kΩ		10Ω	
200kΩ	300kΩ		100Ω	
2MΩ	3MΩ	±(1.2%RDG+2字)	1kΩ	
20MΩ	30MΩ	±(2.0%RDG+5字)	10kΩ	

(8) 检查线路通断

当显示值小于20个字时蜂鸣器发声。

表 3.5.7 LOΩ电阻档的技术指标

量程		准确度	分辨力	开路电压
自动	手动			
2kΩ	3kΩ	±(1.0%RDG+3字)	1Ω	0.28～0.35V
20kΩ	30kΩ		10Ω	
200kΩ	300kΩ		100Ω	
2MΩ	3MΩ	±(2.0%RDG+3字)	1kΩ	
20MΩ	30MΩ	±(2.5%RDG+8字)	10kΩ	

(9) 二极管测试

技术指标见表3.5.8。

表 3.5.8 二极管测试的技术指标

量程	准确度	测试电流	测试电压	输入保护
0～2V	±(5%RDG+2字)	1mA(V_F=0.6V)	<2.8V	250V(RMS)

(10) 频率测试 (kHz)

技术指标见表3.5.9。

表 3.5.9 频率测试的技术指标

量程	准确度	灵敏度	输入保护
10Hz～20kHz	±(0.5%RDG+1字)	50mV(RMS)	250V(RMS)

DT960T型3½位数字/模拟条图双显示数字万用表的外形如图3.5.1所示。面板上部是双显示液晶屏 (LCD)。中上部4个按键从左至右依次为交、直流／低功率测电阻的选择键(≃LOΩ)，相对值测量键 (REL △)，手动量程键 (RANGE)，读数保持键 (HOLD回)。中间为功能转换开关，当开关置于OFF时将电源关断。下边4个带安全保护套的输入插孔分别为20A、kHz (测频)、COM、VΩmA (测电压／电阻／电流)。

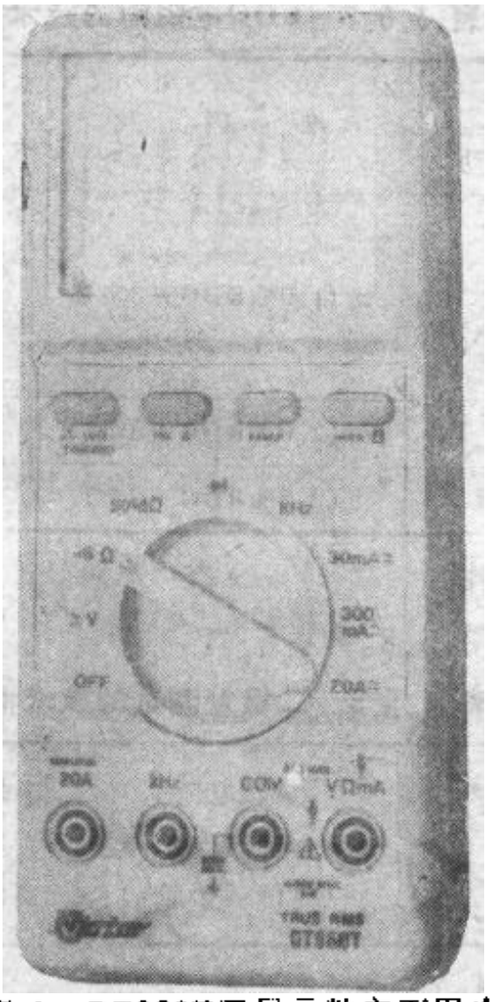


图 3.5.1　DT960T双显示数字万用表外形

3½位数字／41段模拟条图双显示LCD的外形如图 3.5.2 所示，图中注明了各标志符的特定含意。

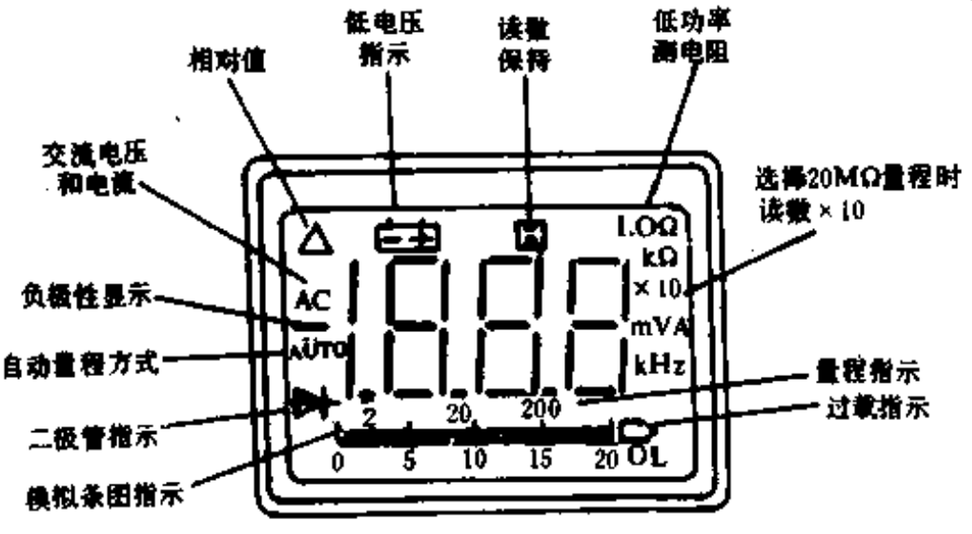


图 3.5.2　双显示LCD的外形

二、DT960T型双显示数字万用表的电路分析

DT960T型双显示数字万用表的总电路如图3.5.3所示（见附图）。S_1（$S_{1.}$～$S_{1.}$）是功能选择开关兼电源开关。SB_1是DC/AC或Ω/LOΩ的选择键，SB_2是自动／手动量程选择键，SB_3为相对值测量键，SB_4为读数保持键。电路中使用下述集成电路：IC^1（TSC818A），IC_2（TSC 818D），IC_3（AD 736），IC_4(406003)，IC_5(406004)。其中，IC_3和IC_4属于电子模块。下面分析整机电路的工作原理。

1. A/D转换器

A/D 转换器包括 TSC818A 型 3½ 位数字显示 A/D 转换器、TSC818D型41段LCD模拟条图显示转换器，二者配套使用，组成自动／手动量程双显示数字万用表。有关TSC818 系列的工作原理详见本书§2.6。

首先由石英晶体产生32.768kHz 的晶振频率，再经过二分频获得16.384kHz的时钟频率。完成一次A/D转换共需8000个时钟周期，即488.3ms≈0.5s，因此仪表的测量速率约2次/秒。

E为9V叠层电池，S_{1C}是电源开关，C_{12}是电源滤波电容。基准电压电路由R_{17}～R_{19}组成，R_{19}为可调电阻。V_{CC}～V_{COM}之间的电压为3.0V（典型值），很容易计算出基准电压的调整范围：

$$V_1 = \frac{R_{18}}{R_{17}+R_{18}} \times 3.0 = \frac{5.6k}{5.6k+100k} \times 3.0 = 159mV$$

$$V_2 = \frac{R_{18}+R_{19}}{R_{17}+R_{18}+R_{19}} \times 3.0 = \frac{2.2k+5.6k}{2.2k+5.6k+100k} \times 3.0 = 217mV$$

因此调整范围是159～217 mV，从中可调出 V_{REF} = 163.85mV。

C_7是自动调零电容，C_8、C_{10}分别为积分电容和基准电容。R_{25}是电阻档的积分电阻，R_{28}是电压档及电流档的积分电阻。由R_{20}、C_9组成滤波电路。蜂鸣器(BZ)采用φ20(mm)压电陶瓷蜂鸣

器。

为提高驱动电平的幅度，现将TSC818A的V_{DISP}端（6脚）经R_{30}接GND，设定的LCD驱动电平最高为$V_P = 5V$。同理，TSC818D的V_{DISP}端（8脚）也经R_{40}接GND。TSC818A的A／D转换结果从DEINT端（28脚）输出，送至TSC818D的数字量输入端DATA（12脚），并将TSC818A的ANNUNC端与TSC818D的显示输入端SYNC相连，因此液晶屏上的条图幅度与数显值成正比，二者严格保持同步，以相同的速率被刷新。

2．功能选择电路的分析

通过设定$\overline{OHM}$（1脚）和$\bar{I}$（60脚）的逻辑电平，可实现不同的测试功能。

当S_1置于"V"时，$\overline{OHM}$端与I端开路，均呈高电平，此时选择测量电压方式（参见表2.6.4）。分压器由R_9～R_{14}组成，5个电压档的衰减比依次为1/1、1/10、1/100、1/1000、1/10000。

S_1置于"Ω"时，$\overline{OHM}$端经过D_8接GND，I端开路，因此$\overline{OHM}=0$，$\bar{I}=1$，选择测量电阻方式。6个电阻档的标准电阻分别为R_1～R_6。被测电阻接在VΩmA插孔与COM插孔之间。电阻档的保护电路由晶体管T_1、正温度系数热敏电阻器PTC_1和PTC_2、火花放电器SG组成①。晶体管T_1(9013)的C-B电极短接，作稳压二极管使用，其反向击穿电压为5.8～7V，可代替图2.6.6中的6.2V稳压二极管D_Z。选择常规测量电阻"Ω"方式时，59脚开路，芯片能提供0.57～0.66V的开路电压（亦称测试电压）。选择低功率测电阻"LOΩ"方式时，开路电压仅为0.28～0.35V。

S_1拨到30MΩ档时，$\overline{OHM}$端经D_9接GND，其他情况同上。

S_1拨于30mA或300mA档时，$\overline{OHM}=1$，$\bar{I}=0$，选择测量电流方式。选30mA档时，$\overline{20mA}$端（2脚）接GND。选300mA档时2脚开路，呈高电平。注意，测量电流时只能工作于手动量程方式，

① 为简化电路，可将PTC_1、PTC_2合用一只PTC，并且去掉SG，DT960T产品已作上述改动。

但能使量程扩展50%，把原来的20mA、200mA量程分别扩展成30mA和300mA。R_{15}、R_{16}、R_{16}^{*}为电流档的分流电阻，其中$R_{16}=9\Omega$，$R_{16}/\!/R_{16}^{*}=1\Omega$，两档满度压降均为200mV。双向限幅二极管$D_1$、$D_2$起过压保护作用，0.2A熔丝管作过流保护。

20A档专用一个输入插孔，该档分流电阻为锰铜丝电阻，$R_{41}=0.01\Omega$，未加过流保护装置。

图3.5.3中，IC_4采用406003型模拟开关模块。模块内部包含IC401（IC401A～IC401D）、IC402和IC403，主要用来驱动液晶显示器上的各种标志符。IC_4实际由一片超小型2输入端四与非门CD4011组成。IC402和IC403是两片超小型4路双向模拟开关CD4066。该模块上选用表面安装集成电路（SMIC)①，外围阻容元件也全部采用表面安装元件（SMD），结构为印制板插入式。

3. 真有效值AC/DC转换器的工作原理

（1）真有效值仪表的基本原理

交流信号电压的主要参数有电压有效值（V）、平均值（$\bar{V}$）和峰值（V_P）。其中，电压有效值能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。

传统的数字万用表的交流电压档属于平均值仪表，它是以平均值为响应的。其原理是利用平均值AC/DC转换器获得$\bar{V}$，再根据正弦波有效值与平均值的固定关系，使仪表显示出有效值V（详见§3.1）。正弦波的波形因数$K_f=V/\bar{V}=1.111$，即

$$V=1.111\bar{V} \qquad (3.5.1)$$

式（3.5.1）只适合于没有失真的正弦波。倘若被测正弦波存在失真，或者为非正弦波（例如方波、矩形波、三角波等），式（3.5.1）不再成立，式中的波形因数须作相应变动。显然，若仍用平均值仪表去测量失真的正弦波或者测量非正弦波，势必引

① 亦称SO（小型）IC，DIP-14封装高度为0.067英寸，管脚中心距为0.05英寸，只相当于普通双列直插式IC的一半。

起测量误差，这正是平均值仪表的固有缺陷。

为适应现代电子测量之需要，目前真有效值数字万用表在国内外正获得迅速发展。所谓真有效值是“真正有效值”之意，英文缩写为TRMS (True Root Mean Square)①，亦称真均方根值。众所周知，交流电压的有效值按下式定义：

$$V=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T\left|u^2(t)\right|dt} \qquad (3.5.2)$$

其近似公式为

$$V=\sqrt{\overline{u^2}} \qquad (3.5.3)$$

分析式（3.5.3）可知，借助于电路对输入电压进行“平方→取平均值→开平方”运算，就能得到交流信号的有效值。因它是由定义式求得的，故称之为真有效值。真有效值仪表的最大优点是能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。简言之，真有效值仪表兼有准确度高与测量面广这两大优点，这是平均值仪表所无法比拟的。

为使读者能有定量的了解，表3.5.10列出了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。表中，波峰因数Kp的定义为

$$K_P=\frac{V_P}{V} \qquad (3.5.4)$$

平均值仪表相对于真有效值仪表的测量误差为

$$\gamma=\frac{\text{平均值仪表读数}-\text{真有效值}}{\text{真有效值}}\cdot 100\% \qquad (3.5.5)$$

① 真有效值的另一种英文缩写是TEV(True Effective Value)，意即真正有效值。

表 3.5.10 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_f	真有效值	平均值（或均绝值*）	平均值仪表的读数**	相对误差（%）
无失真正弦波	1.414	1.111	$0.707V_p$	$0.637V_p$	$0.707V_p$	0
半波整流波	2	1.571	0.5	$0.318V_p$	$0.353V_p$	−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

* 因为方波、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）。

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，$K_p = K_f = \sqrt{1/D} = 2$①。因此，$V = \sqrt{D}V_p = 0.5V_p$，$\bar{V} = DV_p = 0.25V_p$。此时平均值仪表的读数为 $1.111\bar{V} = 1.111 \times 0.25V_p = 0.277V_p$，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。若选择真有效值仪表就不存在该项误差。

(2) AD736型真有效值AC/DC转换器的原理与典型应用

随着电子技术的发展，近年来各种真有效值AC/DC转换器专用集成电路已相继问世，并被用于国内外新型数字仪器仪表之中，构成真有效值DVM、真有效值DMM等。典型芯片有美国AD公司生产的AD533、AD636、AD637（DIP-14封装），AD736、

① 有关常见波形参数的计算方法，详见参考文献(3)P186～190。

AD737(DIP-8封装)，其中后面两种属于最新产品。此外还有BB4034、BB4341(国产型号为TD4341)等IC。在DT960T型数字万用表中选用AD736完成真有效值AC/DC转换。下面介绍AD736的主要特点、工作原理及典型应用。

AD736的主要优点是准确度高（±0.5%RDG±0.5mV)。灵敏度高(可处理低于100mV_{RMS}的输入信号)，测量速率较快、频率特性好(频率带宽最大为DC～90kHz)、输入阻抗极高（$10^{12}\Omega$)，输出阻抗很低(0.2Ω)，电源电压范围宽(从+2.8V、-3.2V，直到±16.5V)，低功耗(电源电流约200μA，最低功耗仅1mW)。AD736具有运算功能，可计算交流电压的均方根值$\sqrt{\overline{u^2}}$，若不加隔直电容，输出电压就是交流电压均方根值与直流分量之和。因此，它具有AC、AC+DC两种输出模式。AD736设有两个输入端，一是高阻抗输入端，以场效应管(FET)为输入级，输入阻抗高达$10^{12}\Omega$；另一端为低阻抗输入端，输入阻抗仅8kΩ。两种输入方式可单独使用，任选其一。AD736属于单片精密均方根/直流转换器，它通过激光修正后，测量输入正弦波电压的综合误差不超过(±0.5RDG±0.5mV)。对于波峰因数K_p=1～3的非正弦波，能达到很高的准确度。即使K_p>5，对于以200mV为满量程的输入信号，测量误差仅增加2.5%。

AD736的外围电路非常简单，而且不需要作任何调整。它能与各种CMOS单片A/D转换器(例如TSC7106、TSC818A、ICL7129)匹配，构成具有现代测试功能的高性价比真有效值DVM或DMM。

AD736通常采用双列直插式封装，共有8个引出端，管脚排列如图3.5.4所示。各管脚的功能如下：

$+V_S$、$-V_S$——正、负电源端，二者的电压范围分别是+2.8～+16.5V，-3.2～-16.5V，便携式或袖珍式仪表可选9V叠层电池作单电源供电；

C_C——低阻抗输入端，适于外接低阻抗的输入电压(例如TSC820型A/D转换器ADO端的输出电压，信号不超过200mV)，

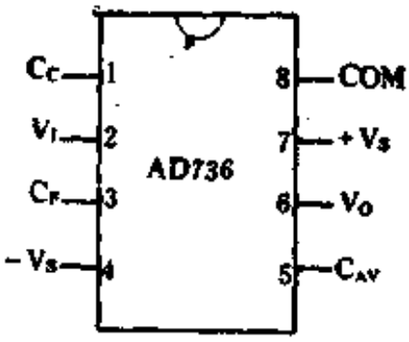


图 3.5.4 AD736的管脚排列

此时被测电压需经耦合电容C_C接此端，通常取$C_C = 10 \sim 20\mu F$；使用此端输入时，第2脚(V_I)应接COM；

V_I——高阻抗输入端，适于接高阻抗输入电压，一般是以分压器为输入级，分压器总电阻值选10MΩ，以减小对被测电压的分流作用。此端有两种工作方式：(1) AC+DC方式，此时将1脚直接与8脚(COM)短接，输出电压为交流真有效值与直流分量之和；(2) AC方式，此时1脚经隔直电容C_C(10μF)接8脚，输出电压为交流真有效值，不包含直流分量。以上两种方式可以任选一种，亦可通过开关进行选择。

COM——公共地；

V_O——输出端；

C_F——输出端滤波电容，增大C_F可改善滤波效果，但测量的稳定时间将延长，通常取$C_F = 10\mu F$；

C_{AV}——平均电容(Average CAP)。C_{AV}是AD736的关键外围元件，多数情况下可选$C_{AV} = 33\mu F$。

AD736的频率响应(带宽)与输入电压的大小有关，详见表3.5.10，误差条件为±1%。由表可见，AD736的带宽随着输入电压的升高(但最高不超过200mV_{RMS})而增加。

当$V_{IN} = 200mV_{RMS}$时，高、低阻抗输入的±3dB带宽分别为190kHz、460kHz。

在设计高准确度的真有效值AC/DC转换电路时，还应考虑被

表 3.5.10 频率响应与输入电压的关系

输入电压 V_{in}(RMS)	高阻抗输入的频率响应(kHz)	低阻抗输入的频率响应(kHz)
1mV	1	1
10mV	6	6
100mV	37	90
200mV	33	90

测电压波形的波峰因数K_p。常见的正弦波、方波、三角波、锯齿波的$K_p<2$，此时可取$C_{AV}=33\mu F$。但是对于窄脉冲列或者晶闸管(SCR)的波形，$K_p>2$，这时需适当增大C_{AV}的容量，延长取平均的时间，以便减小由$K_p>2$所引起的附加误差。AD736 的附加误差γ与K_p的关系曲线如图3.5.5所示。由图可见，随着K_p的增大，适当增加C_{AV}的容量即可减小附加误差。例如$K_p=4$时，取$C_{AV}=33\mu F$，$\gamma=3.1\%$；若将C_{AV}增加到200μF，γ就减小到1.2%，但测量稳定时间也相应延长。

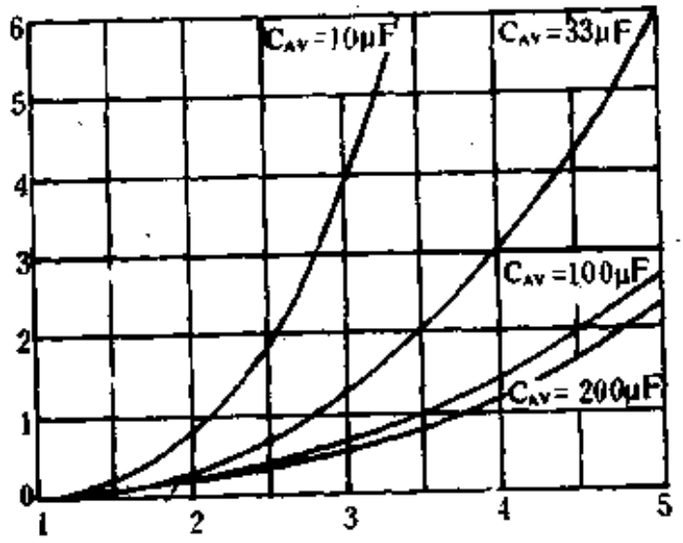


图 3.5.5 附加误差γ与K_p的关系曲线

AD736的内部框图如图3.5.6所示，主要包含5部分：输入缓冲器A_1、全波整流器、有效值单元(RMS · CORE)、偏置电路、输出放大器A_2。若以2脚为输入端，则被测电压加至缓冲器A_1的

同相输入端。A_1的输出电压经全波整流后，送到RMS单元中转换成真有效值电压，再通过输出放大器A_2输出。偏置电路的作用是为芯片内部各单元电路提供合适的偏置电压。

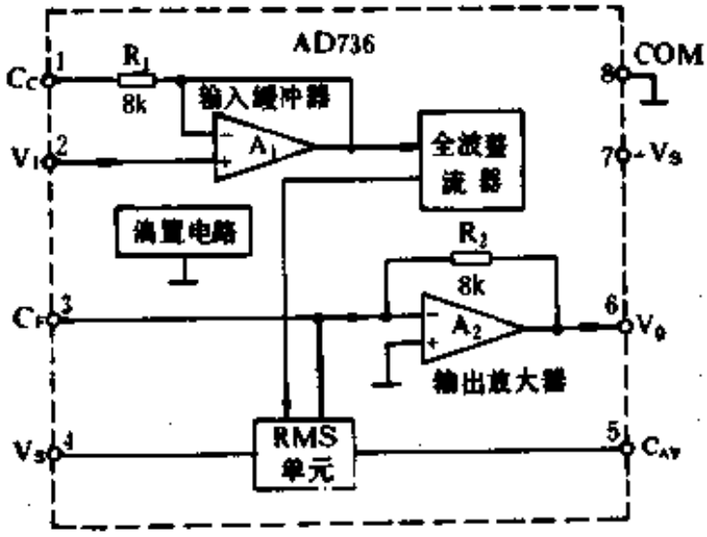


图 3.5.6 AD736的内部框图

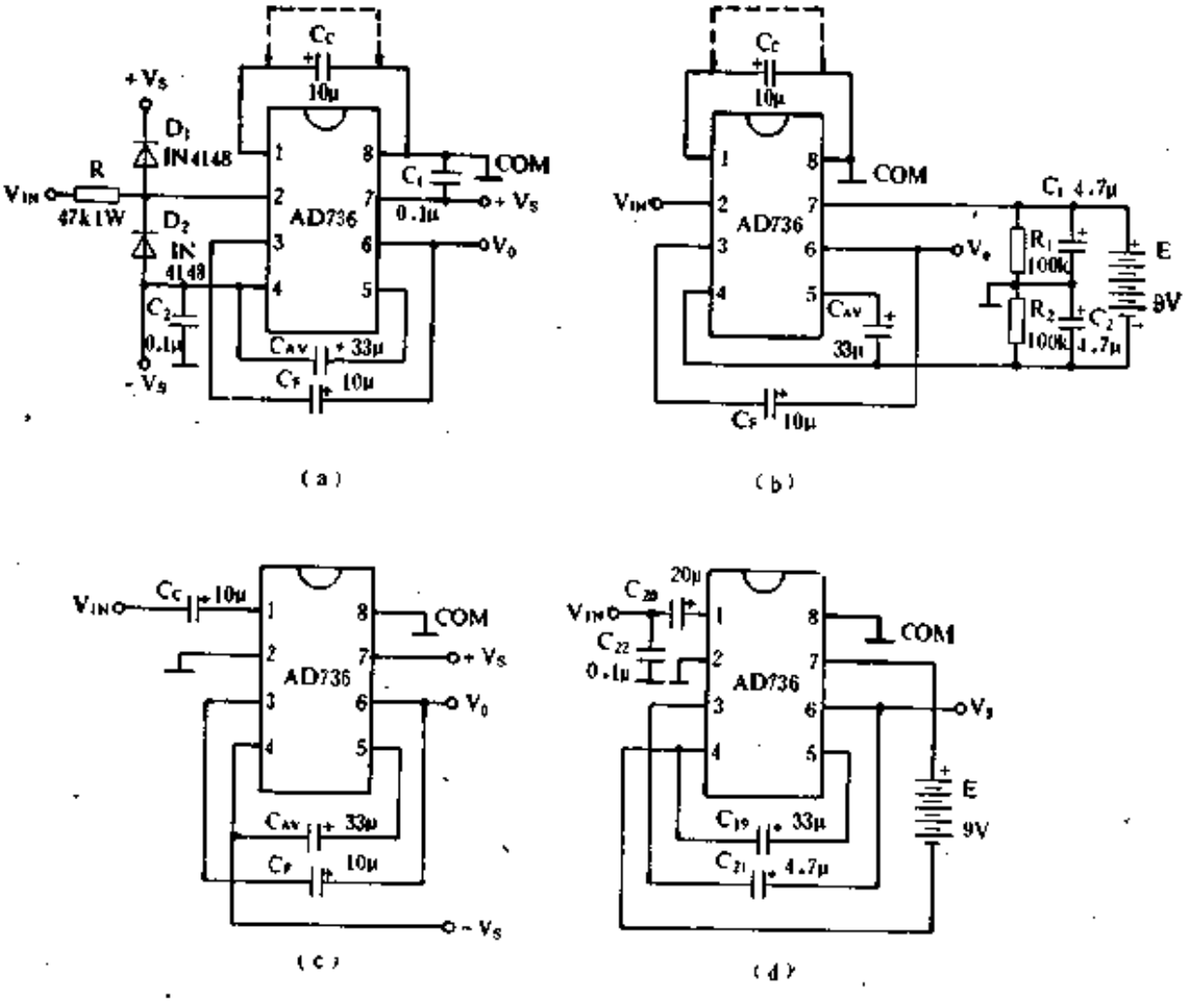
AD736的典型应用电路见图3.5.7，其中，(a)、(b)图均为高阻抗输入方式，(c)、(d)图属于低阻抗输入方式。(a)图为双电源供电，$+V_S$-COM、$-V_S$-COM之间均应并联一只0.1μF电容，以便滤掉电源进线端引入的高频干扰。C_C起隔直作用。若沿图中虚线所示方向将1脚与8脚短路，使C_C失效，选择的就是AC+DC方式；去掉短路线，即为AC方式。R为限流电阻，D_1、D_2为双向限幅二极管，起过压保护作用，可选IN4148型玻封开关管。

(b)图采用9V叠层电池供电。R_1、R_2为均衡电阻，使$V_{COM}=E/2=4.5V$。C_1、C_2为电源滤波电容。(a)、(b)图所示电路均可接高阻抗分压器。

(c) 图为低阻抗输入，采用双电源供电。

(d) 图也是低阻抗输入，但采用9V单电源供电。

DT960T数字万用表选用(d)图所示电路。这是因为交流输入电压取自TSC818A型A/D转换器的ADO端，而ADO端属于低阻抗输出。本章后面介绍的DT980数字万用表则不同，交流电压先经



(a) 高阻抗输入(双电源供电)；(b) 高阻抗输入(9V单电源供电)；
(c) 低阻抗输入(双电源)；　　(d) 低阻抗输入(9V单电源)。

图 3.5.7　AD736的4种典型应用电路

过高阻抗分压器衰减之后，才送至AD736，所以必须选 AD736的高阻抗输入端(2脚)，其电路与(b)图相似。这是二者的区别之处。

(d)图中，C_{20}为耦合电容，起隔直作用。C_{22}为高频滤波电容，C_{19}是平均电容，C_{21}为输出端滤波电容， AD739 的工作电源取自DT960T内部的9V叠层电池。

本书§2.6已介绍过，TSC818A芯片内部有一个AC/DC转换运算放大器(参见图3.6.3)。从VΩmA插孔输入的交流电压依次经过分压器和内部模拟开关，加至A_4的同相输入端，A_4输出的电压就作为AD736的输入电压 V_I。 AD736 输出的真有效值电压 V_o送

到TSC818A的ACV+端(52脚)，再通过内部模拟开关加至A/D转换电路，最后以数字形式显示出被测交流电压的真有效值。在图3.5.3中，还在A_4的反相输入端(ADI)与输出端(ADO)之间并联电阻R_{42}，用以稳定A_4的工作点。因为AD736的输入交流电压取自TSC818A的ADO端，所以其输入端不需要加过压保护电路。

4. 测量频率

DT960T在测量频率时，S_1应拨于"kHz"档。IC_5为测频模块，模块内部包含双运放(IC501A、IC501B)、4反相器(IC502)、定时器(IC503)。该模块实际由一片双运放TL062、一片2输入端四与非门CD4011(现接成4个反相器使用)、一片CMOS单定时器ICM7555组合而成。但所采用的是超小型IC及表面安装元件。

IC501A工作在开环状态下，具有很高的电压增益，用以完成同相放大及削波整形，将被测频率信号变成矩形波，供ICM7555使用。频率档的电压灵敏度可达50mV。电路中，R_{38}为限流电阻。玻封开关二极管D_{19}、D_{20}(1N4148×2)起过压保护作用。

IC501A输出的频率信号又经C_{14}耦合到IC502。IC502中的4个反相器起到缓冲(隔离)和进一步整形的作用。其输出信号与输入信号同相。R502、R503是偏置电阻，取 $R502 = R503 = 1M\Omega$，使得反相器A的工作点偏置在$(V_{CC} - V_{SS})/2$上，对应于电源电压的中点，可避免放大后的矩形波产生失真。

IC503作单稳态触发器使用，其正电源端V_{DD}经过IC402中的模拟开关接V_{CC}，测频率时模拟开关闭合，E、D两点被接通。复位端$\overline{R}$固定接高电平，总不复位，使频率/电压(f/V)转换过程得以持续进行下去。$\overline{TR}$是触发端，采用负脉冲触发。当$\overline{TR} = 0$时，输出端OUT = 1。第6脚为放电端D，7脚是阈值端TH。R504和R505的作用是将$\overline{TR}$端偏置在电源电压的中点上。R_{37}、C501分别为定时电阻与定时电容。可调电阻R_{35}用来校准频率档，调整R_{35}可以改变输出电压的幅度，使得1mV电压正好对应于100Hz。IC503输出的高电平脉冲宽度由下式决定：

$$t = 1.1R_{35}C_{501} \quad (s) \qquad (3.5.6)$$

输出电压经过R508和C_{16}、R506和C_{15}构成的两级阻容滤波电路，取出其平均值电压$\overline{V_o}$，就代表着被测频率值。频率愈高，在单位时间内触发的次数愈多，获得的$\overline{V_o}$值愈高，有公式

$$\overline{V_o} = Kf \qquad (3.5.7)$$

式中，K为比例系数，通过调整R_{35}可使$K = 1$。

IC501B是缓冲器，其输出电流经过S_{1d}送至TSC818A的电流输入端I_{IN}(43脚)。

5. 二极管测量电路

测量二极管时由TSC818A提供3.0V(典型值)的测试电压，二极管导通时的工作电流约为

$$I_F \approx \frac{3.0 - V_{D_6}}{R_{33} + R_{34}} \approx \frac{3.0 - 0.7}{2k + 100} \approx 1mA$$

被测二极管的正向压降V_F就作为仪表输入电压，加至VR_1端(42脚)。R_{33}、R_{34}、D_6、D_7构成保护电路。一旦误用该档测量220V市电时，在信号的正半周D_6反向截止，电路不通。负半周时电流经过COM→D_7→D_6→R_{33}的回路泄放，因此不会损坏仪表。

三、操作方法

1. 自动/手动量程选择

(1) 自动量程转换方式

当功能选择开关S_1置于V(或Ω)时，仪表首先进入自动量程方式，液晶屏显示"AUTO"(自动)，并从灵敏度最高档200mV(或200Ω)开始。仅在LOΩ方式下，首选2kΩ档。

设满量程电压为V_M，对应于最大显示值$N = 2000$。在测量过程中，若$V_{IN} < 9\%V_M$，即显示值$N < 180$时为欠量程，仪表自动降低量程，选择灵敏度更高的一档。当$N \geqslant 2000$时为超量程，仪表自动升高量程，选择灵敏度较低的一档。在最高量程，若N仍

≥2000，千位就出现闪烁状态的“1”，而个位～百位均可显示从0～9的任意数，与此同时，蜂鸣器发出断续的音频信号。当N≥3000时，显示“1”000，千位闪烁。

在测电阻时，若$N \leqslant 0.9\%V_{M}<19$，则蜂鸣器发出连续的4kHz音频信号。

对于自动方式，仅在1000V档及2MΩ档才能扩展量程。

（2）手动量程转换方式

首次按下“RANGE”键，仪表即从自动转入手动方式。只要断续地按动此键，就能手动选择合适的量程。但是，若按键时间超过1s，仪表将返回自动方式。

（3）测量电压

按下≃键可选择交流电压测量功能，LCD上出现“AC”标志符。因为200mV量程的输入电阻（指TSC818A的输入电阻r_{IN}）高达1000MΩ，所以任何微小的干扰电压都会造成仪表跳数。此时可将VΩmA插孔与COM插孔短路一下，使读数回零（允许有±2个字的误差），然后测量输入电压。

（4）测量电阻

当被测电阻$R_X<3M\Omega$时，S_1应拨至Ω位置。$R_X=2M\Omega\sim30M\Omega$时，应选择30MΩ档，此时LCD上出现倍乘标志符“×10”，表明读数扩大10倍后方为实际值。假如使用30MΩ档去测量2MΩ以下的电阻，读数就容易跳数，应改拨“Ω”位置。

按下RANGE键，仪表进入手动测量电阻方式。

按下LOΩ键，可选择低功率测量电阻方式，测试电压仅0.28～0.35V，此时被测电路中的硅二极管不会导通，能对在线电阻进行测量。

（5）测量电流

测量电流只能选择手动方式。当$Ix<300mA$时，使用VΩmA插孔，否则改由20A插孔输入。按下≃键可测量交流电流。

（6）测量频率

当S_1置于“kHz”档时，将两支表笔短路，仪表可显示几十个字的零点误差值，只要$N_0<99$，就属于正常现象。按下相对值测量键“REL △”，LCD上显示△标志符，即可消除零点误差。若$N_0>99$，说明外界干扰信号太强，必要时可将表笔线改用屏蔽线，屏蔽层接COM插孔，并且与大地接通。

(6) 相对值测量

详见本书§2.6中有关内容。

(7) 读数保持

完成一次测量后若按动一下“HOLD H”键，本次测量结果就保持在显示器上，LCD上亦出现 H 标志符。再次按动此键时， H 标志符消隐，仪表又转入正常测量。

§3.6 DT970型3 3/4位数字万用表的电路分析

DT970（出口产品型号为CM3400）属于高性价比，“五合一”型3¾位数字万用表。

一、性能简介

1. 主要特点

(1) 采用字高25mm的超大屏幕LCD，显示位数为3¾位，最大显示值为±3999，比普通3½位数字万用表的量程扩展了一倍。

(2) 该表具有“五合一”之功能，除作普通数字万用表使用，测量DCV、ACV、DCA、ACA、Ω、二极管和检查线路通断之外，还能代替数字电容表、数字温度表、数字频率计、逻辑测试笔。

（3）内置温度传感器可以测量常温，外接K型热电偶还能测量－50～1000℃的温度。

（4）具有峰值保持功能，按下峰值保持键（PK　HOLD①），能保持测量过程中的最大读数，再次按下此键又可对新的最大读数进行保持。此功能适于测量最高电压V_{M}、最大电流I_{M}、最高温度T_{M}、电机起动电流。若配以传感器，还能测最大流量Q_{M}、最高压力P_{M}等机械量。

（5）可代替逻辑测试笔测量逻辑电平，用以快速检查数字电路的故障。选择LOGIC档时，LCD显示出“LOGIC”和“OL”标志符，小数点均消隐。测量到高电平时仪表显示▲；测量到低电平时显示▼，并且蜂鸣器发声。

（6）共设置32个量程，测量速率为2.5次/秒。测频率时为自动量程，其余档均为手动量程。DT970改进型还增加了自动关机功能。

（7）能显示低电压指示、过载指示以及各种标志符（含单位符号）。

（8）该表符合国际电工委员会（IEC）颁布的电子测量仪器安全标准。

DT970型3$\frac{3}{4}$位数字万用表的外形如图3.6.1所示。仪表采用9V电池供电，典型功耗约60mW。工作温度为0～40℃，保证准确度的工作温度是±23±5℃，相对湿度＜80%。外形尺寸：190×85×40(mm)，重0.35kg（包含电池）。

当环境温度超出23±5℃（即18～28℃）时，应考虑附加温度误差，修正为

准确度±0.1%（0～18℃或28～40℃）

2．技术指标

（1）输入极限值见表3.6.1。在使用仪表过程中，不得超出规定的极限值。

① PK是英文Peak(峰值)的缩写，但这里应理解为最大读数值。

(2) 量程：共32个量程

DCV：400mV，4V，40V，400V，1000V

ACV：400mV，4V，40V，400V，750V

DCA：400mA，20A

ACA：400mA，20A

Ω：400Ω，4kΩ，40kΩ，400kΩ，4MΩ，40MΩ

C_x：4nF，40nF，400nF，4μF

kHz：4kHz，40kHz，400kHz，4MHz （自动转换量程）

℃：0～40℃ （内置传感器），－50～1000℃（K型热电偶）

PK HOLD（峰值保持）

二极管及蜂鸣器档

LOGIC（逻辑测试）

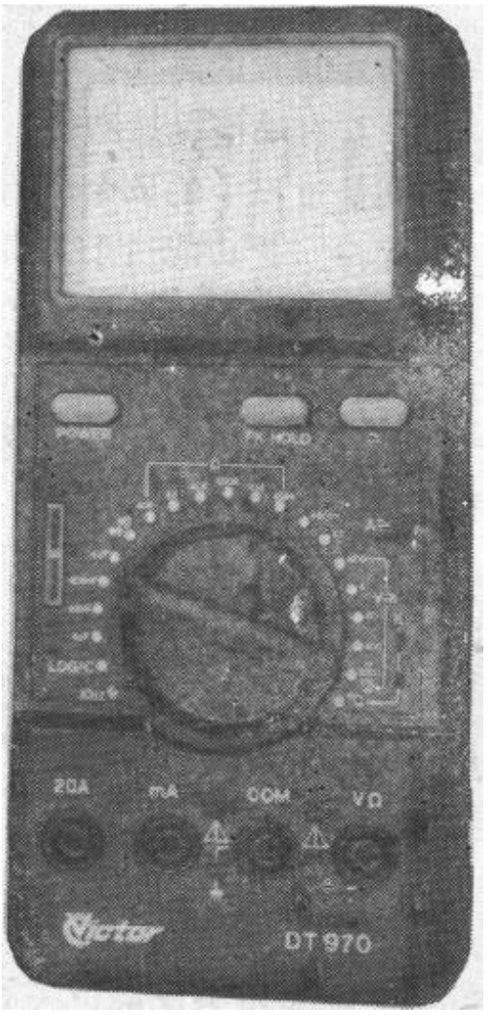


图 3.6.1 DT970型3½位数字万用表外形

表 3.6.1 输入极限值

测试功能	输入插孔	输入极限值
DCV ACV	VΩ——COM	1000V.DC或700VAC(RMS)
Ω	Ω——COM	250VDC或AC(RMS)
DCmA ACmA	mA——COM	400mADC或AC(RMS)
20A	20A——COM	20ADC或AC(RMS)
kHz LOGIC	VΩ——COM	250VDC或AC(RMS)

(3) 测量范围与准确度指标

表 3.6.2 DT970的测量范围与准确度指标

测量功能	测量范围	准　确　度	最高分辨力
DCV	0～1000V	±(0.5%RDG+1字)～±(0.5%RDG+2字)	100μV
ACV(RMS)	0～750V	±(0.8%RDG+3字)～±(1.2%RDG+5字)	100μV
DCA	0～20A	±(1.0%RDG+1字)～±(1.2%RDG+5字)	100μA
ACA(RMS)	0～20A	±(1.8%RDG+3字)～±(2.0%RDG+7字)	100μA
Ω	0～40MΩ	±(0.8%RDG+1字)～±(1.2%RDG+3字)	0.1Ω
C_x	0～4μF	±(2.5%±3字)	1pF
f	0～4MHz	±(0.1%RDG+1字)	1Hz
℃	−50～1000℃	±(0.5%RDG+3℃)～±(1.5%RDG+10℃)	1℃

见表3.6.2。需作说明的是，直流和交流电压档的输入电阻均为10MΩ，直流和交流20A档未加保险装置；电阻档开路电压约1.2～1.4V，输入端保护电压为500V（RMS）；电容档的测试频率为400Hz±10%；频率档采样时间为1s。二极管档开路电压为3.3V（典型值）。当被测线路的电阻值低于50Ω时，蜂鸣器发出连续的声音。

二、TSC820型带频率计数器的3 3/4位A/D转换器

1. TSC820的主要特点

(1) TSC820属于CMOS低功耗数字测量系统专用IC。芯片内部不仅有3¾位A/D转换器，还有一个完整的频率计数器（注意，它不是频率/电压转换器！）。前者可作单片3¾位A/D转换器使用，最大计数值为±3999，其分辨力比3½位A/D转换

器高10倍①。后者专用来测量频率（0～4MHz，自动量程），此功能是其他单片A/D转换器所不具备的。

(2) 芯片上设有逻辑电平测试功能选择端(LOGIC)、高电平输入端（HI）和低电平输入端（LO），只需增加逻辑检测电路，即可用来测试逻辑电平。对DT970而言，由外围电路设定的逻辑阈值电压约1.9V，因此规定低于1.9V为低电平，高于1.9V则为高电平。

当检测低电平时，LCD显示低电平标志符"▼"，同时蜂鸣器发出5kHz的声响；检测高电平时显示高电平标志符"▲"，蜂鸣器不发声。其功能等效于普通的逻辑测试笔。

当被测信号为脉冲信号时，假如占空比D≈50%（即方波信号），则▲符号与▼符号同时出现，并且二者颜色几乎同样深。若D＞50%，则▲符号深，▼符号浅。反之亦然。这样还可以粗略地评估脉冲信号的占空比及大致波形。

利用逻辑电平测试功能，可以快速判断被测信号的状态而不必考虑电压读数值。因为若用电压档去测量，就必须等读数稳定后才能确定，不仅时间长、而且无法对脉冲信号进行测量。

需要注意的是，该在没有信号输入时，也会出现▼并伴有蜂鸣声。

(3) 具有峰值保持（PK HOLD）功能。此处的"峰值保持"，不是瞬时峰值、而应理解为最大读数保持，即读数能自动保持在最大值上，仅当新数据比原有读数值大时，才能更新显示值，这与普通的读数保持（HOLD）不同。在进行峰值保持时，并不影响A/D转换或频率测量。峰值保持功能在测量电机起动电流以及监视最高温度值等时非常有用。

---

① 例如，使用3 1/2位DMM的700VAC档去测220V或380V交流电压时，分辨力为1V。而用DT970的400VAC档即可测量上述电压，该档分辨力达0.1V，与4 1/2位DMM的700VAC档的分辨力相同。从这个意义上讲，分辨力提高了10倍。

(4) 具有小数点输入选择端，有低电压指示功能。

(5) 采用1/3 偏置时分割法驱动LCD，使引线数量大为减小。LCD能显示各种标志符。

(6) 输入阻抗高，模拟输入端的漏电流仅1pA（典型值）。

(7) 微功耗。电源电压范围是7～15V。采用9V单电源供电，电源电流的典型值为1mA，功耗仅9mW。

2. TSC820的管脚功能

TSC820有3种规格，封装形式亦不同：(1) TSC820CPL，采用40脚双列直插式塑料封装（DIP-40）；(2) TSC820CLW和TSC820CKW，二者均采用44脚扁平封装（PLCC-44），新增加的4个引出端中包括欠量程输出端（UR）、超量程输出端（OR）、读数保持端（HOLD）。

DT970数字万用表采用DIP-40封装的TSC820，管脚排列见图3.6.2，下面分别介绍各管脚的功能：

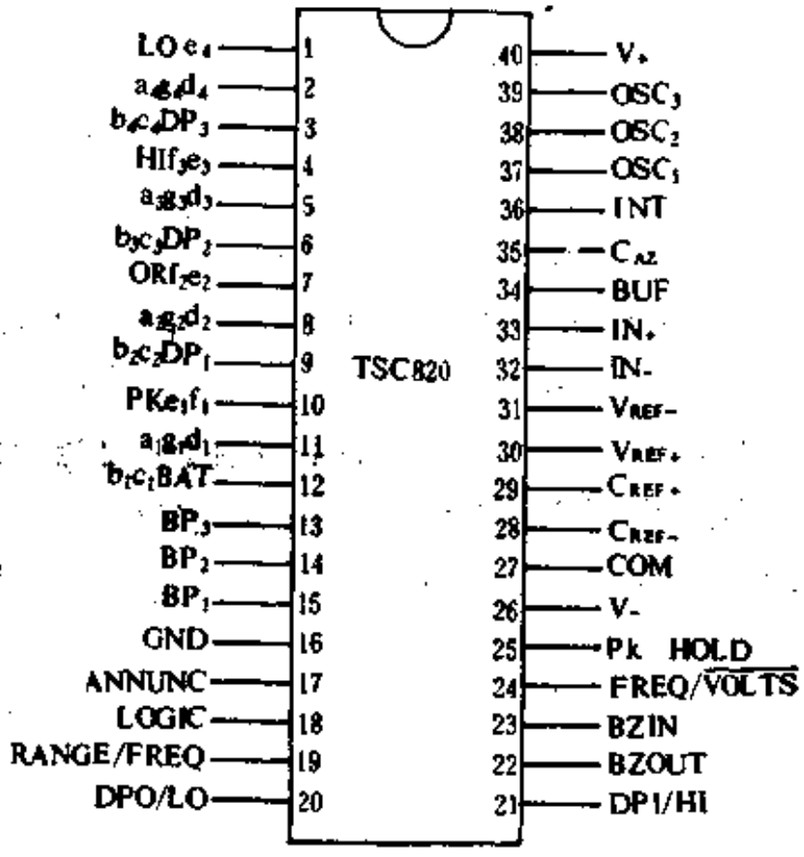


图 3.6.2 TSC820的管脚排列

1脚（LOe_4）——低电平标志符、极性、千位（最高位）e段的驱动端；

2脚（$a_4g_4d_4$）——千位数字的a、g、d段驱动端；

3脚（$b_4C_4DP_3$）——千位b、c段及小数点DP_3的驱动端；

4脚（HIf_3e_3）——高电平标志符、百位f和e段的驱动端；

5脚（$a_3g_3d_3$）——百位a、g、d段的驱动端；

6脚（$b_3c_3DP_2$）——百位b、c段及小数点DP_2的驱动端；

7脚（ORf_2e_2）——超量程标志符及十位f、e段的驱动端；

8脚（$a_2g_2d_2$）——十位a、g、d段的驱动端；

9脚（$b_2c_2DP_1$）——十位b、c段及小数点，DP_1的驱动端；

10脚（PKe_tf_t）——峰值保持标志符及个位（最低位）e、f段的驱动端；

11脚（$a_1g_1d_1$）——个位a、g、d段的驱动端；

12脚（b_1c_1BAT）——个位b、c段及低电压指示符（LOW BAT）的驱动端；

13脚（BP_3）——背电极3；

14脚（BP_2）——背电极2；

15脚（BP_1）——背电极1；

16脚（GND）——数字地；

17脚（ANNUNC）——方波输出，用来控制LCD的标志符显示状态；

18脚（LOGIC）——逻辑电平测量控制端。此端接高电平V_+时，芯片进入逻辑测试状态，液晶屏上显示由数字段构成的"0L"，此时小数点DP_1～DP_3均消隐，而由小数点输入端DPI和DPO去控制"HI"、"LO"电平标志符的显示状态。

若此端悬空或者接地，则完成A/D转换或频率测量，测量模式由f/$\overline{V}$端设定。

19脚（RANGE/FREQ，简写成R/f）——量程/频率测量选择端；此端的功能取决于f/$\overline{V}$端，当f/$\overline{V}$端接高电平时，R/f端

就作为频率计数器的输入端，在采样时间 $T = f_0/40000$（f_0表示时钟频率）内，对输入脉冲信号进行计数。

当f/$\overline{V}$端接低电平并且LOGIC也接低电平时，作A/D转换器用，此时又分两种情况：(1) $R/f = 0$（低电平GND）时，A/D转换器的基本量程$V_{M1} = 2V_{REF} = 400mV$；(2) $R/f = 1$（高电平V_+）时，基本量程$V_{M2} = 20V_{REF} = 4V$。因此，改变R/f端的逻辑状态即可实现10:1量程转换，而无需改动外部元件，这一点与ICL7129很相似。

表3.6.3列出TSC818的逻辑输入端功能，从表中不难发现，

表 3.6.3 逻辑输入端的功能*

f/$\overline{V}$端	R/f端	LOGIC端	测试功能
×	×	1	逻辑电平测试
0	0	0	A/D转换器，满量程400mV
0	1	0	A/D转换器，满量程4V
1	频率计数器输入	0	频率计数器

* 表中的1表示接V_+，0表示接GND，×表示任意状态。

LOGIC端具有第一优先权，无论f/$\overline{V}$端和R/f端的状态如何，只要LOGIC = 1，就选择逻辑电平测试模式。

20脚（DPO/LO）——双功能输入端，测电压时用来选择小数点，作逻辑测试用，此端输入高电平时显示▼符号。

21脚（DPI/HI）——双功能输入端，测电压时选择小数点，作逻辑测试用，此端输入高电平时显示▲符号。

表3.6.4为小数点输入端的真值表。

22脚（BZOUT）——蜂鸣信号输出端，频率为5kHz；

23脚（BZIN）——蜂鸣信号输入控制端，此端接高电平时22脚才能输出蜂鸣信号。

表 3.6.4 小数点输入端的真值表

DPI	DPO	液晶显示最大值
0	0	3999
0	1	399.9
1	0	39.99
1	1	3.999

24脚（FREQ/$\overline{\text{VOLTS}}$①，简写作f/$\overline{\text{V}}$端）——频率/电压测量的输入选择端。当此端接高电平时测量频率；接地或悬空时作A/D转换器用，此时输入量为电压信号V_{IN}。

25脚（PK HOLD）——峰值保持输入端。此端为高电平时具有峰值保持功能，在每次A/D转换的最后时刻，芯片内部计数器中的内容要与显示寄存器中的内容进行比较，若前者的数据大于后者的数据，则显示寄存器换成新的数据。对于缓慢变化的信号(例如温度)，其最大值很容易被转换并保持下来。但受TSC820的A/D转换速率所限，不能直接测量快速变化信号的峰值（例如振动、冲击、噪声、气缸最大爆发压力等峰值），还必须在外部增加一个峰值检测器。

40脚、26脚（V_+、V_-）——分别接正、负电源端；

27脚（COM）——模拟地；

28脚、29脚（C_{REF+}、C_{REF-}）——分别接基准电容的正、负端，通常取C_{REF} = 0.1μF（聚脂电容）；

30脚、31脚（V_{REF+}、V_{REF-}）——基准电压的正、负端，通常选V_{REF} = 200mV，但在特殊场合亦可选500mV、1.000V。提高基准电压，可以实现量程扩展，但仪表的分辨力随之降低，详见表3.6.5。

① $\overline{\text{VOLTS}}$上面的横线表示为负逻辑，低电平时有效。

表 3.6.5 基准电压与满量程输入电压、分辨力的关系

满量程输入电压	基准电压 (V_{REF})	分 辨 力
400mV	200mV	100μV
1.000V	500mV	250μV
2.000V	1.000V	500μV

33脚、32脚 (IN_+、IN_-) ——分别为模拟输入的高、低端；

34脚 (BUF) ——缓冲器输出端，接积分电阻，一般选 $R_{INT}=100k\Omega$；

35脚 (C_{AZ}) ——自动调零电容端；一般选 $C_{AZ}=0.47\mu F$；

36脚 (INT) ——积分器输出端，外接积分电容，可选 $C_{INT}=0.22\mu F$ 聚丙烯电容；

37脚～39脚 ($OSC_1\sim OSC_3$) ——时钟振荡器引出端。选用晶振电路时，40kHz石英晶体与470kΩ电阻串接于 $OSC_1\sim OSC_2$ 之间，与芯片内部的两级反相器构成晶振电路。亦可采用阻容振荡器，此时可取 $R=110k\Omega$，$C=75pF$，将RC网络接在 $OSC_1\sim OSC_3$ 之间，具体接线方式与ICL7106相同，只是管脚序号不同，时钟频率 $f_0\approx 0.3/RC\approx 40kHz$。考虑到测量频率时对时基的准确度要求很严 ($T=1s$)，因此DT970选用40kHz晶振电路。

TSC820系统所需频率（或时基），均由时钟频率分频后获得，具体情况如下：

A/D转换器的计数频率：$f_{CP}=f_0/2=20kHz$（作2分频）；

蜂鸣器信号频率：$f_{BZ}=f_0/8=5kHz$（8分频）；

LCD背电极信号频率：$f_{BP}=f_0/240\approx 167Hz$（240分频）；

频率计数器的时基频率：$f=f_0/40000=1Hz$（40000分频）。

使用注意事项：

(1) 当模拟输入信号 $V_{IN}>V_M$ 时，也将显示“0L”。

(2) 测量频率时能自动转换量程，见表3.6.6。

表 3.6.6 测频率时自动转换量程的特点

输入频率范围	小数点显示特点
0～3999Hz	DP_1显示
4.0～39.99kHz	DP_2显示
40～399.9kHz	DP_1显示
≥400kHz	小数点均消隐

(3) 测量逻辑电平及频率时，均需外接缓冲器。

3. TSC820的逻辑框图

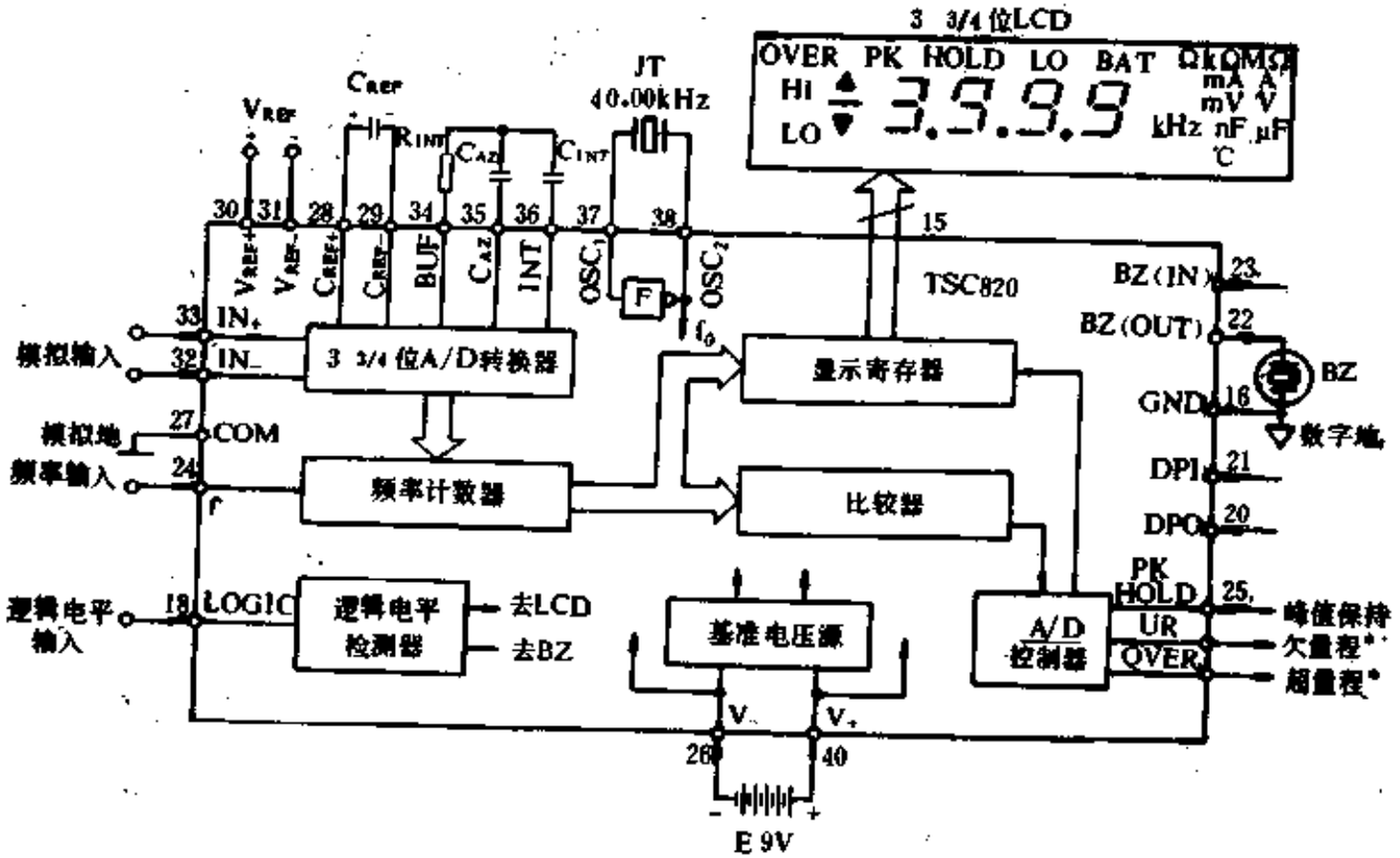
TSC820的逻辑框图如图3.6.3所示。芯片内部主要包括以下部分：(1) $3\frac{3}{4}$位A/D转换器；(2) 频率计数器；(3) 比较器；(4) 显示寄存器；(5) A/D控制器；(6) 逻辑电平检测器；(7) 基准电压源。外围元器件主要有 $3\frac{3}{4}$位LCD、蜂鸣器BZ、9V电池、石英晶体JT以及阻容元件。

三、DT970型数字万用表的电路分析

DT970型数字万用表的总电路如图3.6.4 所示（见附图）。为了绘图方便，现将交流/直流（AC/DC）转换器、电容量/交流电压（C/ACV）转换器均以方框图表示，具体电路分别示于右侧虚线框内。

图中S_1是电源开关，S_2是峰值保持键。S_3（S_{3a}、S_{3b}）为DC、AC选择键，S_{3a}专用来显示"AC"标志符。S_4(S_{4a}～S_{4g})为量程转换开关。图中已将S_4和S_8拨至200mVDC量程。电路中共使用5片集成电路：IC_1（TSC820），IC_2～IC_4（3片TL062），IC_5（74HC14）①。

① 早期产品曾选用CD4093型CMOS 2输入端四与非施密特触发器，工作频率较低，难以满足测4MHZ频率信号的要求。现一律改成74HC14型 高速 CMOS六反相施密特触发器，最高工作频率可达40MHz，远高于4MHz。



* 图中打 * 号的引出端仅适用于44脚扁平封装的产品

图 3.6.3 TSC820的逻辑框图

下面分析电路的工作原理。

1. 3 $^{3}/_{4}$位A/D转换器的工作原理

DT970采用美国Teledyne公司最新研制的TSC820型A/D转换器（DIP-40封装）。在芯片内部，V_+～COM端之间的基准电压源E_0=3.3V（典型值），其电压温度系数达35ppm/℃（典型值）。利用外部电阻分压器R_{51}、RP_4和R_{52}可获得所需基准电压。调整RP_4，使V_{REF}=200.0mV。

晶振电路由40.00kHz石英晶体JT，电阻R_3、R_4，以及芯片内部反相器F_1、F_2等组成。R_3的作用是将F_1偏置在线性放大区，并与内部的5pF和10pF小电容器构成柯尔皮兹（电容三点式）振荡器。R_4用以提高振荡频率的稳定度和减小电路的功耗。

R_1和C_1组成高频滤波器，以滤除模拟输入端的干扰。R_2是温度档测温电桥的一个桥臂。C_2是自动调零电容，C_4为基准电容。R_5和C_3分别为积分电阻与积分电容。TSC820的ANNUNC端(17脚)接至S_{46}，在量程转换开关的配合下，选择并驱动各种标志符的显示。

2. 直流电压测量

直流电压共分5档：400mV，4V，40V，400V，1000V。其电路比较简单，主要是由精密电阻R_{19}～R_{24}组成分压器。改变电阻，电压测量范围也改变。

3. 交流电压测量

由IC_{4b}（1/2TL062）组成平均值响应的线性AC/DC转换器。其中C_{11}、C_{12}为隔直电容，R_{37}为运放的负反馈电阻，C_6是频率补偿电容。D_{16}为整流管。D_{15}起保护作用，负半周时D_{15}导通，提供泄放回路。R_{40}与C_{13}组成RC滤波器。RP_2（500Ω）是交流电压档的校准电位器。

交流电压共设5档：400mV，4V，40V，400V，750V。与直流电压档公用一套分压器。

4. 直流电流测量

直流电流仅设两档：400mA，20A。R_{17}为0.99Ω线绕电阻，R_{18}是0.01Ω锰铜丝电阻，二者误差均为±0.5%。400mA的过流保护装置是0.5A熔丝管FU，20A档未加保护。D_6、D_7作为双向限幅过压保护用。

5. 交流电流测量

交流电流也分两档：400mA、20A。电路上只是又增加了AC/DC转换器。

6. 电阻测量

DT970仍采用比例法测量电阻。R_{54}～R_{58}分别为各电阻档的标准电阻R_0，误差均小于±0.3%。显示值N与被测电阻R_x的关系式为

$$N = \frac{R_x}{R_0} \times 2000 \qquad (3.6)$$

电阻测量共设6档：400Ω、4kΩ、40kΩ、400kΩ、4MΩ和40MΩ。

测量电阻时，内部3.3V基准电压源E_0经过R_{53}、D_{17}、D_{18}接模拟地。D_{17}、D_{18}的总压降为1.2～1.4V，以此作为电阻档的开路电压。过压保护电路由正温度系数热敏电阻R_6（PTC）和晶体管T_1组成。T_1接成二极管使用，过压时其发射结被反向击穿，起到保护作用。仅在40MΩ档，TSC820的19脚接V_+，量程扩展10倍，因此该档与4MΩ档公用一只标准电阻R_{58}（2MΩ）。

7. 蜂鸣器及二极管档

IC_{1a}（1/2TL062）是电压比较器，设其第2脚（反相输入端）与第3脚（同相输入端）的电压分别为V_2、V_3，其中V_3是参考电压，V_2为输入电压。仅当被测线路电阻低于50Ω时，$V_3 > V_2$，比较器输出高电平，经过隔离二极管D_1送至TSC820的BZIN端（23脚），再由BZOUT端（22脚）输出5kHz蜂鸣信号，驱动压电蜂鸣器发声。常态下$V_3 < V_2$，蜂鸣器不发声。

测量二极管的电路由R_{10}、D_2、D_3、R_{12}、R_{15}、R_{16}组成。+3.3V基准电压源经过R_{10}、D_3、R_{12}向被测二极管提供大约1mA

的工作电流。二极管的正向导通压降V_F被由R_{15}、R_{16}组成的分压器衰减10倍，以此作为TSC820的输入电压。当二极管反接时就相当于开路，仪表显示"0L"符号。

假若不慎误用该档去测量220V交流电压，D_2、D_3、R_{12}可起到保护作用。正半周时D_3反向偏置而截止，电路不通；负半周时经过COM→D_2→D_3→R_{12}形成回路，保证仪表不致受损。回路电流$I = 220V/R_{12} = 220V/2k\Omega = 110mA$（RMS）即最大电流被限制在110mA（RMS）。

R_{12}电阻上的电流极限为110mA，应选用2W的氧化膜电阻。D_2、D_3均采用1N4004型硅整流管，最高反向工作电压$V_{RM} = 400V$。

8. 频率测量

频率测量电路由Z_1、$R_7 \sim R_9$、C_5、C_6、D_4、D_5所组成。Z_1是IC_5（$^1/_6$74HC14）之中的一个施密特触发器，在电路中起缓冲作用，将R/f端（19脚）与频率输入电路隔离开来。此外，Z_1对输入频率信号还具有整形作用，使之变成矩形脉冲，以利于内部频率计数器计数。C_5是隔直电容，R_9为Z_1输入端限流保护电阻，C_6是加速电容。D_4、D_5是Z_1输入端的过压保护二极管。R_7和R_8为偏置电阻，实取$R_7 = R_8 = 2M\Omega$，可将Z_1的输入端电位偏置在$(V_+ - V_{COM})/2$上，保证Z_1输出上下对称的矩形波。

9. 电容测量

这部分的电路同DT890C_+，详见§3.2，分析从略。

10. 温度测量

测温电桥由R_{32}、硅二极管D_{10}（1N4148）和R_{33}，测温探头（K型热电偶）和R_{34}，R_{29}和RP_1，R_2分别组成4个桥臂，供桥电压约3.3V。其中，D_{10}为热电偶的低温补偿二极管，兼用以测量室温。该表的测温电路与DT 890C_+相同，详细工作原理参见§3.2。

基准电压电路由R_{50}、RP_5、R_{60}组成。图3.6.3中，RP_1(10kΩ)电位器用来校准0℃，RP_5（200Ω）电位器则用以校准100℃。

11. 逻辑电平测试

逻辑电平测试电路由R_{31}、施密特整形器Z_2～Z_4、量程转换开关S_{4b}～S_{4d}所组成。R_{31}为输入限流电阻，起保护作用。Z_2～Z_4起缓冲和整形作用，它们与Z_1合用一片74HC14。

选择逻辑测量模式时，LOGIC端（18脚）经S_{4b}接V_+。74HC14的阈值电压（亦称门限电压）约为1.9V①。当输入信号为高电平时，$V_{IN}>1.9V$，施密特触发器被触发，信号经过Z_2、Z_3两级反相整形，输出仍为高电平，接至DPI/HI端（21脚），通过TSC820驱动液晶屏显示高电平标志符"▲"。此时因信号经Z_4反相成低电平，故▼符号消隐。反之，输入低电平（$V_{IN}<1.9V$）时，Z_3输出低电平，而Z_4输出高电平，引至DPO/LO端（20脚），最终显示出"▼"符号。

需要指出的是，检测到低电平时蜂鸣器也呈工作状态，可发出5KHz的音响。

§3.7 DT930F+型$4^1/_2$位数字万用表的电路分析

DT930F系列包括DF930F、DT930F+、DT930FG三种型号，它们均属于4½位数字万用表。DT930F+和DT930FG都是DT930F的增强型，其中又以DT930F+的性能最佳。下面介绍DT930F+的性能特点及工作原理。

一、性能简介

1. 主要特点

DT930F+属于高准确度、多功能、4½位数字万用表。其主要特点如下：

① 由于施密特整形器存在滞后效应(回差电压)，因此1.9V仅是大概值，应与实测结果基本相符。

（1）高准确度。仪表采用4½位多重积分式 A/D转换器，在分压器电路中选用精密网络电阻，使其准确度和稳定性大为提高。以直流电压档为例，其基本误差为 ±0.05%，可作为0.1级的标准数字仪表使用。DT930F.是实验室、工厂和大专院校理想的高档工具表，亦是3½位数字万用表更新换代产品之一。

（2）高分辨力。仪表最大显示值为 ±19999，最高分辨力达10μV，比3½位DMM提高一个数量级。

（3）多功能。该表除测量 DCV、ACV、DCA、ACA、Ω之外，还能测量电导(0.1nS～100nS，对应于电阻范围 10000MΩ～10MΩ)、电容(0～20μF)、频率(10Hz～20kHz)、晶体管hFE、二极管正向压降Vr。利用电导档可测量高阻。

（4）具有读数保持功能(DATA HOLD)，LCD 能显示低电压指示标志符，超量程时千位显示"1"。

（5）共设置32个量程，手动转换量程。

（6）工作可靠、稳定性好。直流电压档的温度系数低至60 ppm/℃。

（7）电容档在测量时能够快速自动调零，不需要手动调整零点。

（8）采用大屏幕4½位液晶显示器，字高为18mm。

DT930F.型4½位数字万用表的外形如图3.7.1所示。仪表使用一节9V电池(6F22或NEDA1604)。典型功耗约40mW。测量速率约2次/秒。标准工作环境为23±5℃，相对湿度＜75%。使用条件为0～40℃，相对湿度＜85%。储存条件是－10～50℃，相对湿度＜90%。外形尺寸：172×88×36(mm)，重 0.34kg(含9V电池)。

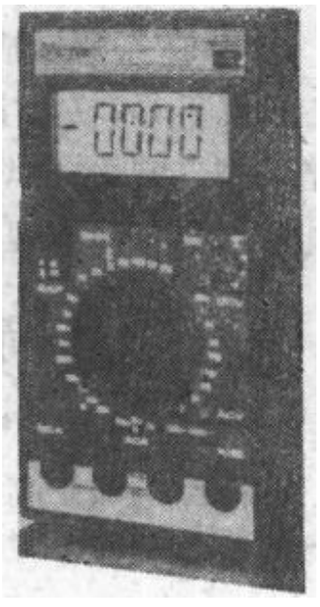


图 3.7.1 DT930F*型4½位数字万用表外形

2. 技术指标

技术指标详见表3.7.1和表3.7.2。表中S 为电导，其单位是

表 3.7.1 DT930F.的测量范围与准确度指标

测量功能	测量范围	准　确　度	最高分辨力
DCV	0～1000V	±(0.05%RDG+3字)～±(0.1%RDG+5字)	10μV
ACV(RMS)	0～700V	±(0.8%RDG+10字)～±(1.0%RDG+15字)	100μV
DCA	0～10A	±(0.5%RDG+2字)～±(2.0%RDG+10字)	10nA
ACA(RMS)	0～10A	±(0.8%RDG+10字)～±(2.0%RDG+10字)	100nA
Ω	0～20MΩ	±(0.2%RDG+1字)～±(0.5%RDG+5字)	0.01Ω
S	0.1～100nS	±(1.0%RDG+2字)	0.1nS
C_x	0～20μF	±(2.5%RDG+10字)	0.1pF
f	10Hz～20kHz	±(1.0%RDG+5字)	1Hz

表 3.7.2 h_{FE}档和二极管档的测试条件

量　程	测　试　功　能	测　试　条　件
hFE	测量晶体管hFE值 (hFE=0～1000)	$V_{ce}\approx3.2V$ $I_b\approx10\mu A$
二 极 管	测量二级管正向压降V_F	开路电压约3.2V 正向电流$I_F\approx1mA$

nS(读作"纳西门子")，有关系式：$1S=1/\Omega$，$1nS=10^{-9}S=1000M\Omega$。还需说明几点：(1) 直流及交流电压档的输入电阻均为10MΩ；(2) 交流电压频率范围是 40～400Hz；(3) 直流及交流电流档的满度压降均为200.0mV，因10A档未加保险装置，故每次测量时间不得超过15S；(4) 电阻档的开路电压约为3.2V；(5) 电容档的测试信号为400Hz正弦波；(6) 频率档的电压灵敏度为50mV(有效值)

DT930F，共设置32个量程：

DCV：200mV，2V，20V，200V，1000V

ACV：2V，20V，200V，700V

DCA：200μA，2mA，20mA，200mA，10A

ACA：2mA，20mA，200mA，10A

Ω：200Ω，2kΩ，20kΩ，200kΩ，2MΩ，20MΩ

S(电导档)：0.1～100nS

C_x(电容档)：2000pF，20nF，200nF，2μF，20μF

f(频率档)：10Hz～20kHz

hFE：NPN型及PNP型晶体管的hFE

二极管档

二、DT930F+型数字万用表的电路分析

DT930F+型4½位数字万用表的总电路如图3.7.2所示(见附图)，该电路对于DT930F和DT930FG型也基本适用。这3种表的主要区别反映在准确度指标上。以直流电压档的基本准确度为例，DT930F和DT930FG都是±0.1%，而DT930F+高达±0.05%。

图3.7.2中，S_1是电源开关，S_2(S_{2A}～S_{2R})是测量功能及量程选择开关，SB为读数保持键。hFE插口专用来测量NPN型或PNP型晶体管的hFE值。测频率时从f/V/Ω/nS插孔与COM插孔输入信号。测电导时使用f/V/Ω/nS插孔与A/nS插孔。电路中共使用7片集成电路：IC_1(ICL7129)，IC_2、IC_3(两片LM358)，IC_3(TL062)，IC_4(3/4CD4011)，IC_5(ICM7555)，IC_7(1/2TL062)，IC_8(ICL8069)。下面分析DT930F+的工作原理。

1. 4 ½位A/D转换器

DT930F+采用美国英特西尔公司最新研制的ICL7129型CMOS单片4½位多重积分A/D转换器，具有高准确度(±0.005%)、高分辨力、微功耗(9mW)，外围电路简单等优点。有关ICL7129的工作原理详见本书§2.9。

图3.7.2中，时钟振荡器由R_4、C_4以及芯片内部的反相器F_1、F_2构成。实选$R_4=75k\Omega$，$C_4=56pF$，时钟频率为

$$f_0 \approx \frac{0.455}{R_4 C_4} = \frac{0.455}{75\times10^3\times56\times10^{-12}} \approx 120\text{kHz}$$

因为完成一次A/D转换共需60000 个时钟脉冲， 故测量速率等于120kHz/60000 = 2次/秒。

R_1、C_1分别是积分电阻与积分电容。C_2是基准 电容。 由于ICL7129采用数字调零的先进技术， 因此不需要外接自动调零电容器(C_{A2})。连续标志符驱动端 CONT(27脚) 不用， 此端 经电阻 R_{56}接GND(36脚)。多路扫描驱动器的电源负极接V_{DISP} 端(19脚)，经过R_{81}接GND。为提高COM端带负载能力，在 COM 端(28脚)与仪表模拟地之间增加一级缓冲器IC_{7a}(1/2TL062)。

常态下量程选择端RANGE(37脚) 开路， 此端经内 部下拉电阻接低电平，基本量程为200mV。仅在电阻档及二极管档，此端接V_+，基本量程为2V。S_{2R}即基本量程选择开关。C_3是输入端高频滤波电容。基准电压由1.2V 能隙基 准电压源 IC_8(ICL8069)提供。200mV及2V基本量程的基准电压均为1.0000V。仔细调整精密多圈电位器RP_1，可使V_{REF}达到规定值。

2、功能转换电路

功能转换电路共使用5片集成电路(IC_2～IC_6)， 可构成交流/直流(AC/DC)转换器、 频率/电压 (f/V) 转换器、 电容量/电压(C/V)转换器。 此外还包括分压器、 分流器、 保护 器等辅助电路。

测电压时由精密网络电阻R_{42}、 R_{43a}～R_{43e}组成 分压器， 5个直流电压档分别为200mV、 2V、 20V、 200V和1000V。测交流电压时需增加AC/DC转换器。现利用IC_{3a}(1/2TL062)和二极管D_5作半波线性整流，再经过C_{12}滤波后得到平均 值电压$\overline{V}$。C_7、 C_{11}是隔直电容。D_4仅在负半周导通，起保护作用。 C_8是IC_{3a}的频率补偿电容。D_3和C_9用以减小非线性失真。RP_2是交 流电 压档的校准电位器。调整RP_2可使仪表直接显示被测交流电 压的有 效值。交流电压仅设4档： 2V、 20V、 200V和700V(RMS)。

测电流时由R_{43a}、R_{42}、R_{40}、R_{41}、R_{52}构成分流器。200μA档的分流电阻为$(R_{42}+R_{43a})=1k\Omega$。2mA、20mA、200mA、10A档的分流电阻依次为R_{42}(100Ω)、R_{40}(10Ω)、R_{41}(1Ω)和R_{52}(0.01Ω)。其中R_{52}为锰铜丝电阻。交流电流只有4档：2mA、20mA、200mA、10A。

该表采用比例法测电阻。各电阻档的标准电阻R_0分别由R_{42}、R_{43a}～R_{43e}代替。标准电阻上的压降作为ICL7129的基准电压V_{REF}，被测电阻R_x上的压降即输入电压V_{IN}。测试电压$(V_+-COM)=3.2$V(典型值)。6个电阻档依次为200Ω、2kΩ、20kΩ、200kΩ、2MΩ和20MΩ。

采用比例法一般最高只能测到20MΩ的高阻。若设计20MΩ以上的高阻档，势必增大仪表的输入电阻，这就容易引入外界电磁场的干扰，造成低位（个位、乃至十位、百位）跳数。使测量无法进行。部分数字万用表（如DT890C+、DT890B、DT890D、DT1000型），虽然设计了200MΩ高阻档，也只是附加档，测量误差较大，在将表笔短路时会有10个字(3½位)～100个字(4½位)的零点误差。

为了大幅度扩展高阻测量范围，同时又避免外界干扰，DT930F+型数字万用表专门设计了电导档。其特点是将标准电阻R_0与被测电阻R_x在电路中的位置对调，此时ICL7129在完成A/D转换的同时还自动做倒数运算，仪表显示出被测电阻的电导值G_x（单位是西门子S，1S=1/Ω）。有公式

$$G_x=\frac{1}{R_x} \tag{3.7}$$

最后可以反算出R_x值。

当S_2置于电导档(nS)时，以R_{42}与R_{43a}～R_{43e}串联的总阻值作为标准电阻，即$R_0=10M\Omega$，只是R_0要改接在IN+～IN-之间。被测电阻与V_{REF+}、V_{REF-}两端并联。根据比例法原理，当$R_x=R_0=10M\Omega$时，$V_{IN}=V_{REF}$，仪表应显示1000，即$G_x=1/R_x=10^{-7}$S

=100nS(1n=10^{-9})。此时电导档的满量程为200nS，分辨力为0.1nS。0.1nS～200nS的电导值就对应于10000MΩ～5MΩ。对于DT930F+，规定电导上限为100nS，因此所对应的电阻下限值为10MΩ。

采用电导法测量高阻的优点是能把原来的电阻档测量上限扩大几十甚至几百倍，这里是扩大10000MΩ/20MΩ=500倍。此外它还具有抗干扰能力强、示值稳定等优点。这是因为仪表的输入电阻就是R_0，R_0装在表壳内，不易引入外界干扰，并且R_0=10MΩ，未超过20MΩ，仪表跳数不明显。而被测电阻R_x接于V_{REF+}、V_{REF-}之间，即使由此处引入外界干扰，也加不到A/D转换器的输入端(IN_+、IN_-)，因此测高阻时不易跳数。电导档的测试电压约3.2V，适于测量半导体器件、石英晶体、印制板等的绝缘电阻，不会损坏被测器件。

频率测量电路由IC_{3b}(1/2TL062)、IC_4(3/4CD4011)、IC_5(ICM7555)构成。被测频率信号经过IC_{3b}放大和削波整形，变成矩形波，D_8、D_9为双向限幅二极管，起过压保护作用。CD4011中的二输入端与非门均接成反相器使用，一方面起缓冲作用，另一方面也有放大整形作用。CMOS单定时器ICM7555则完成f/V转换，其工作原理详见本书§3.8。

电容测试电路由IC_2、IC_6两片LM358型双运放组成。电路基本同DT890C+，唯一区别是IC_{2b}接成同相放大器使用。详细电路分析，请参阅本书§3.2。

电流档的过流保护装置采用0.2A、250V熔丝管FU。过压保护器包括正温度系数热敏电阻R_T(PTC)，火花间隙放电器SG，双向限幅二极管D_1和D_2，晶体管T_1。

需要说明的是，最近生产的数字万用表(包括DT930F+)一般都省掉了火花间隙放电器。

有关测量晶体管hFE和二极管正向压降V_F的电路分析，请参阅本书§3.1中有关内容。

§3.8 DT980型$4^1/_2$位真有效值数字万用表的电路分析

DT980型4½位高准确度真有效值数字万用表是一种新产品，目前这种仪表已大量面市，下面介绍其性能特点及工作原理。

一、性能特点

1. 主要特点

(1) DT980属于高准确度、多功能、4½位数字万用表，它采用字高25mm的超大屏幕液晶显示器，最大显示值为±19999。该表除测量直流和交流电压及电流、电阻之外，还能测量电容量、频率，二极管，检查线路通断。该表还增设200kHz频率档。

(2) 采用真有效值AC/DC转换电路，测量交流电压和电流时显示为真有效值，不仅能消除波形失真所引起的测量误差，还能测量非正弦波电压。此外，测交流电量时选用AC+DC方式，显示值为交流真有效值(AC)与直流分量(DC)之和。

(3) 采用逐次（多重）积分、数字调零等先进技术，A/D转换的准确度高达±0.005%，比3½位DMM提高一个数量级。

(4) 具有"三防"（防摔、防尘、防水）功能。

(5) 具有读数保持功能。仪表能显示各种标志符，包括AC、H、低电压指示以及单位符号。小数点下边的数字则用来显示量程。

2. 技术指标

(1) 量程：共29个量程

DCV：200mV，2V，20V，200V，1000V

ACV：200mV，2V，20V，200V，700V(真有效值)

DCA：20mA，200mA，20A

ACA：20mA，200mA，20A(真有效值)

Ω：200Ω，2kΩ，20kΩ，200kΩ，2MΩ，20MΩ

C_x：20nF，200nF，2μF，20μF

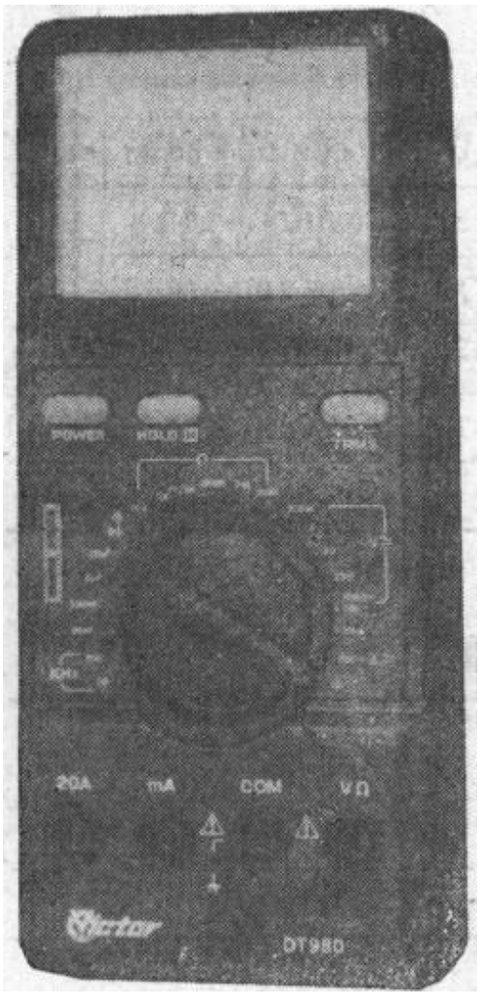


图 3.8.1 DT980型4½位数字万用表外形

f：20kHz，200kHz

二极管及蜂鸣器档

DT980型数字万用表的测量速率约为2次/s，标准温度范围是23±5℃，允许工作温度范围是0～40℃。采用一节9V电池供电，典型功耗约40mW，外形尺寸为190×85×40(mm)，重0.35kg（包括电池）。其外形如图3.8.1所示。盖内装有屏蔽胶罩。

(2) 测量范围与准确度指标

详见表3.8.1和表3.8.2。需要说明的是交流电压档的频率范围为40～400Hz，显示为真有效值，被测电压的波峰因数 $K_p=0\sim5$①。20A插孔未加保险装置，每次测量20A大电流的时间不得超过15s。电容档的测试频率约400Hz。

二、DT980型数字万用表的电路分析

DT980型4½位真有效值数字万用表的总电路如图3.8.2所示(见附图)。图中，S_1是电源开关，S_2($S_{2a}\sim S_{2f}$)为量程选择开关。SB_2为AC/DC测量功能选择键，按键的下边注有“TRMS”(真有效值)，按下此键测量的是交流真有效值。SB_1是读数保持键(HOLD H)。电路中共使用10片集成电路：IC_1(ICL7129)，

① 严格讲，K_p应小于2，当$K_p=5$时，相对误差可达±6%($C_{AV}=33\mu F$)，详见图3.5.5.

表 3.8.1 DT980的测量范围与准确度指标

测量功能	测量范围	准确度	最高分辨力
DCV	0～1000V	±(0.05%RDG+3字)～±(0.1%RDG+5字)	10μV
ACV(TRMS)	0～700V	±(0.8%RDG+20字)～±(1.0%RDG+50字)	10μV
DCA	0～20A	±(0.5%RDG+2字)～±(2.0%RDG+10字)	1μA
ACA(TRMS)	0～20A	±(1.0%RDG+20字)～±(2.0%RDG+20字)	1μA
Ω	0～20MΩ	±(0.1%RDG+2字)～±(0.3%RDG+10字)	0.01Ω
C_x	0～20μF	±(2.0%RDG+10字)～±(2.5%RDG+30字)	1pF
f	0～200kHz	±(0.5%RDG+5字)～±(1.0%RDG+10字)	1Hz

表 3.8.2 二极管及蜂鸣器档测试条件

量程	测试功能	测试条件
二极管	测量二极管的正向压降V_F	开路电压约3.2V，$I_F \approx 1mA$
蜂鸣器	当R_x<30Ω时蜂鸣器发声	开路电压约3.2V

IC_2、IC_3(两片TL062)，IC_4、IC_8(两片CD4011)，IC_5(ICM7555)，IC_6、IC_7（两片LM358)，IC_9（AD736)，IC_{10}(ICL8069)。下面分析其工作原理。

1. $4^1/_2$位A/D转换器

DT980亦采用ICL7129 型4½位 A/D 转换器，其工作原理详见§2.9，下面仅介绍外围电路。

IC_8(ICL8069) 为1.2V能隙基准电压源，经R_{37}、RP_5、R_{36}分压后获得基准电压。调整精密多圈电位器RP_5可使V_{REF}=1.0000V。R_2、C_1组成高频阻容滤波器，可滤除输入端的干扰。缓冲器IC_{2b}(½TL062) 接在COM端（28脚）与仪表的模拟电路公共地(COM插孔)之间，以提高COM端带负载的能力。C_2为基准电容。

C_3、R_6分别是积分电容与积分电阻。C_{25}为电源滤波电容。IC_{2A}构成一级电平转换器，调整电位器RP_1可以设定19脚（V_{DISP}）用来驱动LCD的电压幅值。按下读数保持键SB_1时，读数被保持下来，同时在LCD上显示出"H"标志符。

时钟振荡器的阻容元件为R_7、C_4，实取$R_7=91k\Omega$，$C_4=56$ pF，代入式(2.3.9)中得到$f_0\approx100kHz$。f_1基本上是50Hz的整倍数，可提高抑制50Hz交流电网干扰的能力。

RANGE为量程选择端。该端开路时选择200mV基本量程，接高电平则选2V基本量程。除电阻档及二极管档选2V量程，其余各档均是在200mV量程基础上扩展而成的。

2. 电压测量电路

直流和交流电压档公用一套分压器，分压电阻RN_1～RN_6采用相对误差小于±0.4%的精密电阻。

交流电压档采用AD736型真有效值AC/DC转换器。被测交流电压经过分压器衰减，再经R_{28}加至AD736的输入端V_{IN}（2脚）。AD736的V_O端（6脚）输出的真有效值直流电压，经过R_2接至ICL7129的IN_+端，作为A/D转换器的模拟输入电压。C_{23}是"平均电容"，典型值可取33μF。C_{24}是输出端滤波电容。该电路采用单端输入方式，电路接法基本同图3.5.7(b)，现将AD736的1脚与8脚(COM)短接，并去掉了原来1脚上的输入耦合电容，这是AD736作单端输入的典型应用电路。

还需要指出，在交流电压测量电路中未使用隔直电容器，因此选用的是AC+DC方式。当被测交流电压含有直流分量时，显示值即为真有效值电压（V_{TRMS}）与直流分量（V_{DC}）之和。如果只想测量交流电压的真有效值，可在红表笔前串一只0.1μF/450V的电容。

3. 电流测量电路

分流器由R_{21}、R_{22}和R_{23}组成。其中R_{21}是9Ω金属膜电阻，误差为±0.5%，R_{22}为线绕电阻。R_{23}是锰铜丝电阻，可在15s内承

受20A的大电流。被测电流在分流电阻上的压降即作为仪表的输入电压，满量程压降为200mV。FU为0.2A、250V的熔丝管，作过流保护。D_5、D_6是作过压保护的双向限幅二极管。

4. 电阻测量电路

采用比例法测量电阻。被测电阻R_x接于V/Ω插孔与COM插孔之间，R_x经过热敏电阻PTC与标准电阻RN_1～RN_6、R_{20}相串联。R_x上的压降作为仪表的输入电压，标准电阻上的压降则充当基准电压。PTC是正温度系数热敏电阻，倘若不慎用电阻档去测220V交流电压，T_1的发射结被反向击穿，起到过压保护作用。与此同时PTC受热后阻值迅速增大，从而限制了通过T_1的反向击穿电流，防止T_1因电流过大而从软击穿状态转入硬击穿，造成损坏。

5. 电容测量电路

电路由IC_6、IC_7两片LM358双运放组成。其中IC_{6a}构成文氏桥振荡器，产生400Hz正弦波信号。IC_{6b}是缓冲放大器，IC_{7a}为电压放大器。IC_{7b}是有源带通滤波器，输出的400Hz正弦波信号幅度与被测电容量成正比。再经过IC_{3b}(1/2TL062)作半波线性整流，获得平均值电压，以此作为ICL7129的输入电压。被测电容器插在C_x插座上，RP_4是电容档的校准电位器。D_8为整流二极管，作半波整流。D_7仅在负半周导通，起到保护作用。C_8、C_{10}为隔直电容，C_{11}是滤波电容。IC_{7a}的负反馈电阻由R_{45}、R_{12}～R_{14}构成，具体阻值视电容档而定。例如，在20nF档的反馈电阻是$R_{45}+R_{12}+R_{13}+R_{14}=100k\Omega$；在20μF档时，$R_{12}$～$R_{14}$被$S_{2a}$所短路，反馈电阻为$R_{45}$(100Ω)。

6. 频率测量电路

频率测量电路由IC_4(CD4011)、IC_5(ICM7555)构成。被测频率信号先经过IC_4放大和削波整形，变成矩形波，再由CMOS单定时器ICM7555进行f/V转换。下面分析f/V转换的原理。

ICM7555属于CMOS单定时器，亦称时基集成电路。一般采

用DIP-8封装形式，电源电压范围是3～18V。8脚(V_{DD})接正电源V_+，1脚(V_{SS})接模拟地COM。2脚($\overline{TR}$)为触发端。7555采用负逻辑，当$\overline{TR}=1$时，3脚(OUT)输出低电平；$\overline{TR}=0$时，OUT=1。4脚($\bar{R}$)是复位端，$\bar{R}=0$时复位，为保证f/V转换能够持续进行，现将$\bar{R}$端接V_+。5脚(CO)为控制电压端，悬空不用。6脚(TH)为阈值端。7脚(D)是放电端，当OUT=1时D端开路，OUT=0时外部定时电容C(C_{19})经内部放电管对地放电。6脚与7脚短接后接定时电阻R。对于20kHz档，$R=R_{10}+RP_2$，对200kHz档而言，$R=R_{11}+RP_3$。RP_2、RP_3是用来校准频率的电位器。

ICM7555作单稳态触发器使用，触发脉冲为低电平有效。7555内部有两个比较器和一个RS触发器。当2脚输入电平负向跳变到$1/3\cdot V_+$时，RS触发器翻转，OUT=1。此时V_+经过R对C进行充电。当$V_C=2/3\cdot V_+$时，RS触发器再次翻转，OUT=0。这样每触发一次端$\overline{TR}$，就输出一个正向脉冲。设高电平脉冲宽度为t，有公式

$$t=-RC\ln 1/3=1.1RC(s) \qquad (3.8)$$

从3脚输出的脉冲列再经过R_{54}、C_{20}和R_{16}、C_{21}作两级滤波，即得到平均值电压$\bar{V}_0$。因为输出脉冲宽度固定等于1.1RC，所以触发频率（即被测频率f）愈高，在单位时间内产生的脉冲数愈多，由此获得的$\bar{V}_0$值也就愈高。这表明$\bar{V}_0$与f严格成正比，这也就是利用ICM7555实现f/V转换的原理。

不难看出，通过改变定时电阻的阻值，也可影响输出脉冲宽度t，从而改变$\bar{V}_0$值。由此可设计多量程数字频率表。DT980设计了两个频率档，量程分别为20kHz、200kHz。与DT930F_+相比，增加了200kHz档。

测频率时，被测频率信号加在V/Ω插孔与COM插孔之间，信号电压应为50mV～10V（有效值），超过10V时仍可读数，但测量误差可能增大。C_{17}是隔直电容。R_{48}、R_{51}为偏置电阻，可将反相器F_1的工作点偏置在(V_+-COM)/2上。R_{50}为限流电阻，C_{22}

是加速电容，避免测高频时波形失真。D_{13}、D_{14}采用1N4148型玻封开关二极管，起双向限幅保护作用。F_2的输出信号经C_{18}加至ICM7555的2脚上。R_{52}、R_{53}也是偏置电阻。因频率信号经多级整形，沿口很陡，故耦合电容C_{18}取10pF。

6．二极管测量及蜂鸣器电路

电路主要由IC_{3a}(1/2TL062)和IC_3(CD4011)组成。被测二极管接于V/Ω插孔与COM插孔之间，开路电压约3.2V，测试电流约1mA。仪表能直接显示出二极管正向导通压降V_F值，硅管约0.55～0.7V，锗管约0.15～0.3V。该档还可用来检查线路的通断。当被测线路电阻R_x＜30Ω时，电压比较器IC_{3a}输出高电平，将2输入端与非门A打开，由反相器B、C和阻容件R_{24}、C_5组成的阻容振荡器起振，产生大约2kHz的音频信号，再经过反相器D驱动压电陶瓷蜂鸣器(BZ)发声，以此表明被测线路接通。A～D合用一片CD4011型2输入端四与非门，其中B～D的两个输入端短接，均作反相器使用。

7．标志符显示驱动

DT980能显示各种标志符。图3.8.2最右边的一排字母就是液晶屏上各种标志符的驱动端。量程确定之后，小数点下边的数字即表示满量程值。例如选择20V交流电压档时，LCD的最左边出样“AC”符号，最右边显示符号“V”，与此同时千位后面的小数点发光，该小数点下方出现数字“20”，表示满量程为20V(AC)。这种显示方式新颖独特，使读数更为简便、直观。

当9V叠层电池的电压降至7.5V以下时，显示器出现低电压指示符。

三、DT980改进型数字万用表的电路分析

92年投放市场的DT980改进型数字万用表的总电路如图3.8.3所示（见附图）。为进一步提高仪表的性能指标，并使之功能趋于完善，在电路上作了下述改动：

(1) 增加了自动关机功能

新增加的自动关机电路主要包括储能电容C_6(47μF)、电压比较器IC_{1a}(1/2TL062)、推动管T_5(9014)、开关管T_4(9015)。这部分电路的工作原理与DT1000型数字万用表相同，电路分析详见§3.9。

(2) 增加了按键开关SB_3，使得测量交流时有两种耦合方式可供选择，一种为AC(隔断直流分量)，另一种为AC+DC(包含直流分量)。

(3) 提高了频率档的电压灵敏度

原DT980的频率档未加电压放大器，电压灵敏度较低。新设计的测频电路中增加了两级电压放大器IC_{4a}和IC_{4b}(合用一片TL062)，放大整形后的频率信号再送缓冲器IC_{3}(CD4011)。因此测量频率信号的灵敏度可达50mV(RMS)。

(4) 适当简化了ICL7129的外围电路

DT980改进型对ICL7129的V_{DISP}端外围电路作了适当简化，去掉了IC_2。

(5) 降低了200Ω电阻档的整机工作电流，从原来的大于10mA，降至6mA。不仅减小了功耗，测量准确度也相应地提高到±(0.1%RDG+5字)。

其他电路未作改动，仅部分元器件的序号略有变化。

§3.9 DT1000型$4^1/_2$位数字万用表的电路分析

DT1000是一种新型4½位数字万用表。下面介绍其性能特点及工作原理。

一、性能特点

1. 主要特点

(1) DT1000属于高准确度、高分辨力、多功能型4½位数字万用表，直流电压基本准确度为±0.05%、最高分辨力达10μV，温度系数为60ppm/℃，可作为0.1级标准仪表使用。

(2) 该表共设置31个量程，可用以测量直流和交流电压、直流和交流电流、电阻、电容、频率、晶体管hFE值以及二极管正向压降V_F，还增设了200MΩ高阻档。

(3) 采用CMOS单片4½位A/D转换器，以多路扫描方式驱动超大屏幕液晶显示器，字高达25mm，最大显示值为±19999。LCD上还能显示各种标志符，包括AC、hFE、二极管符号、负极性、低电压指示、读数保持符号(回)，以及各种单位符号。

(4) 具有读数保持(HOLD)、自动关断电源(AUTO OFF POWER)功能。当仪表停止使用或停于某一档位的时间超过15分钟时，能自动切断电源，此时仪表大约只消耗7.5μA的电流。在断电之前，显示器上首先出现低电压指示符号，然后读数将出现闪动，以此提醒操作者即将断电。断电后重新启动时，需重复按动两次电源开关。

2. 技术指标

(1) 量程，共31个量程

DCV：200mV，2V，20V，200V，1000V

ACV：2V，20V，200V，700V(正弦波有效值，平均值响应)

DCA：2mA，20mA，200mA，20A

ACA：20mA，200mA，20A（正弦波有效值，平均值响应）

Ω　：200Ω，2kΩ，20kΩ，200kΩ，2MΩ，20MΩ，200MΩ

C_x　：2000pF，20nF，200nF，2μF，20μF

f　：10Hz～20kHz

hFE　：NPN,PNP

二极管档

DT1000使用9V叠层电池，典型功耗约40mW。测量速率约

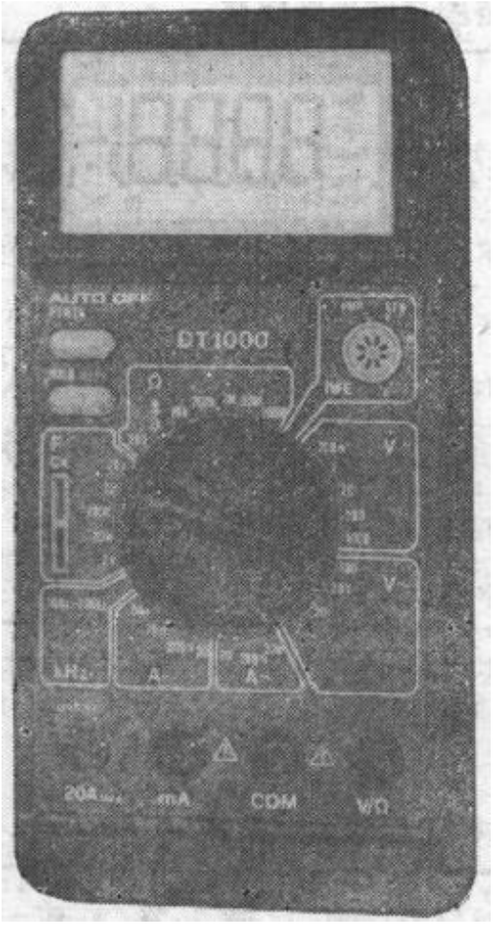


图 3.9.1 DT1000型数字万用表外形

2次/秒。标准工作环境为23±5℃，相对湿度≤75%。使用环境为0～40℃ RH≤85%①。储存条件是－10～50℃，RH≤90%。外形尺寸是172×88×36(mm)，重量0.34kg(包括9V电池)。

DT1000型数字万用表的外形如图3.9.1所示。

(2) 技术指标

DT1000的测量范围及准确度指标参见表3.9.1和表3.9.2。交流档的频率范围为40～400Hz。电容档的测试信号为400Hz正弦波电压。20A档未加保护装置，测20A电流的时间不得超过15s。

二、DT1000型$4^1/_2$位数字万用表的电路分析

DT1000型4½位数字万用表的总电路如图3.9.2所示(见附图)。图中，S_1是电源开关，S_2(S_{2a}～S_{2f})是量程选择开关，SB为读数保持键(HOLD)。电路中共使用8片集成电路：IC_1(ICL7129)，IC_2、IC_3、IC_6(3片TL062)，IC_4(CD4011)，IC_5(ICM7555)，IC_7(LM358)，IC_8(ICL8069C)。下面分析整机工作原理。

1. $4^1/_2$位A/D转换器

DT1000型也采用ICL7129型4½位单片A/D转换器，其工作原理详见§2.9。这里只介绍其外围电路。

① RH是英文Relative Humidity(相对湿度)的缩写。

表 3.9.1 DT1000的测量范围与准确度指标

测量功能	测量范围	准确度	最高分辨力
DCV	0～1000V	±(0.05%RDG+3字)～±(0.1%RDG+5字)	10μV
ACV(RMS)	0～700V	±(0.6%RDG+5字)～±(0.8%RDG+15字)	100μV
DCA	0～20A	±(0.5%RDG+2字)～±(2.0%RDG+10字	0.1μA
ACA(RMS)	0～20A	±(0.8%RDG+10字)～±(2.5%RDG+10字)	1μA
Ω	0～200MΩ	±(0.15%RDG+1字)～±(0.5%RDG+1字)*	0.01Ω
C_x	0～20μF	±(2.0%RDG+10字)～±(2.5%RDG+20字)	0.1pF
f	10Hz～20kHz	±(1.0%RDG+5字)	1Hz

* 200MΩ 档的准确度为±(5%(RDG－100字)+10字)。该档在表笔短路时将显示1.00MΩ，属正常现象。实际测量时应减去此值。

表 3.9.2 hFE档及二极管档的测试条件

量程	测试功能	测试条件
hFE	测量晶体管的hFE(0～1000)	V_{CE}≈3.2V I_B≈10μA
二极管	测量二极管的正向压降V_F	开路电压约3.2V，I_F≈1mA

由IC_5(ICL8069C) 提供1.2V基准电压源，其电压温度系数为50ppm/℃。1.2V经过R_{31}、RP_1、R_{33}分压后得到1.0000V的基准电压V_{REF}。其中，RP_1为1kΩ精密多圈电位器。R_{30}、R_{32}是限流电阻。R_2、C_2分别是积分电阻和积分电容。模拟输入端的高频滤波器由R_4与C_4组成。C_3是基准电容。鉴于COM端的驱动能力较差，特增加一级缓冲器IC_{3b}。使仪表的模拟地与 ICL7129 的 COM 端隔离开来。R_1、C_1为时钟振荡器的外围元件，现取$R_1=75k\Omega$，$C_1=56pF$，根据式(2.3.9)计算出时钟频率$f_0\approx120kHz$，因此仪表的测量速率约为 2 次/秒。R_5、C_{21}是基准电压输入端的高频滤波器。

第39、38、21、20脚依次为小数点DP_1～DP_4的驱动端，分别引到S_{2f}的相应触点上，即可依照选定的量程来自动设定小数点位置。量程选择端RANGE(37脚)仅在电阻档接高电平V_+，选择2V基本量程；对其他档而言，RANGE端均开路，选200mV为基本量程。

ANND（3脚）接至S_{2e}上，用来驱动LCD上面的各种标志符。仅当测交流电压或电流时才能显示"AC"。按下SB时，显示读数保持标志符$\boxed{\text{H}}$。V_{DISP}端经R_3接GND。各标志符驱动端还分别接有R_1'～R_{12}'偏置电阻(片状电阻)，图中未画。

2．自动关机电路

自动关机电路由电源开关S_1、电解电容器C_{20}(47μF)、电压比较器IC_{3a}(½TL062)、NPN型晶体管T_3(9013)、PNP型晶体管T_4（9015）组成。其中，R_{58}和C_{20}在电路中起到定时作用。运放IC_{3a}接成比较器。T_3为推动管，T_4起开关作用。当S_1拨于OFF位置时，9V电池E向C_{20}充电，使$V_{C20}=E$。S_1拨至ON位置时，C_{20}的正极经过C点接IC_{3a}的第3脚，而电池E的正极则经过V点加到T_4的发射极上。由图可见，IC_{3a}的第3脚与第2脚分别为同相输入端、反向输入端。令二者电压分别为V_3、V_2。初始状态下，$V_3=E=9V$，$V_2=ER_{59}/(R_{60}+R_{59})=9\times200k/(1M+200k)=1.5V$。由于$V_3>V_2$，所以$IC_{3a}$的输出为高电平，使得$T_3$、$T_4$均导通。$T_4$导通之后就使芯片的电源接通，V端经过$T_4$接至$V_+$端，使所有芯片均正常工作。$C_{19}$是电源的滤波电容。

随着C_{20}不断向R_{58}(10MΩ)放电，导致V_3逐渐降低，当$V_3<1.5V$时，IC_{3a}翻转，输出为低电平，迫使T_3、T_4截止，V_+的线路被切断；仪表停止工作。设自动关机电路的供电时间为t，有公式

$$V_{C20}(t)=Ee^{-t/R_{58}C_{20}} \tag{3.9.1}$$

将$V_{C20}(t)=V_2=1.5V$，$E=9V$，$R_{58}=10M\Omega$，$C_{20}=47\mu F$代入式

(3.9.1)中计算出$t = 842s \approx 14min$。

自动关机之后，仪表消耗电流极小，因为E的负载只有R_{60}与R_{59}。泄漏电流I_0由下式确定：

$$I_0 = \frac{E}{R_{60} + R_{59}} \qquad (3.9.2)$$

典型情况下$E = 9V$，再根据$R_{60} \approx 1M\Omega$，$R_{59} = 200k\Omega$，容易算出$I_0 = 7.5\mu A$。

ICL7129的第7脚(LOW BATT)为低电压指示驱动端，当$E < 7.2V$(典型值)时，能驱动液晶屏上显示出低电压标志符。需要说明的是，在临近自动关机之时，LCD上会首先出现低电压指示符，然后读数开始闪烁并迅速消失。这可作为自动关机动作的预警信号，提醒操作人员注意。上述闪烁现象是由于V_+已降到ICL7129的临界电压(6V)，芯片处于间断工作状态所致，这段时间很短，一般不超过几秒钟。

2. 功能转换电路分析

直流和交流电压档的分压器由0.05级精密网络电阻$R_6 \sim R_{11}$组成，这些电阻兼作电阻档的标准电阻。直流及交流电流档的分流器则由$R_{12} \sim R_{15}$构成。其中，$R_6 \sim R_{13}$均采用误差为±0.5%的金属膜电阻。R_{14}为0.99Ω线绕电阻，R_{15}选用0.01Ω锰铜丝电阻。分压器的总阻值为10MΩ，分流器的总阻值是100Ω。

该表200MΩ高阻档的电路与DT890C+基本相同，这里不再赘述。

电容测量电路由IC_6(TL062)、IC_7(LM358)和IC_{2a}(½TL062)组成。这部分电路与DT890C+也大致相同，工作原理详见§3.2。

频率测量电路主要包括IC_{2b}(½TL062)、IC_4(²/₄CD4011)、IC_5(ICM7555)。这部分电路与DT980大致相同，分析从略。

有关h_{FE}的测量电路与DT840D基本相同，参见§3.2。

DT1000与DT980相比，增加了h_{FE}档，但去掉了蜂鸣器档，测交流时采用平均值响应的AC/DC转换器。

§3.10 DM8145、VC8145型 $4^1/_2$位台式数字万用表的电路分析

DM8145、VC8145均属于4 ½位台式数字万用表，它们具有高准确度、高分辨力、多功能等优点，可供科研单位及高等院校实验室使用。下面介绍其性能特点及工作原理。

一、DM8145性能简介

1. 主要特点

(1) 采用ICL7135型CMOS单片4 ½位双积分式A/D转换器，选用0.36英寸绿色共阳极LED数码管，显示清晰，亮度高，克服了LCD显示器夜间不便于观察之缺点。

(2) 准确度高，直流电压基本量程的准确度达±0.03%，主要指标优于4½位袖珍式数字万用表。

(3) 分辨力高。测量电压、电流或电阻时的最高分辨力分别为10μV、10nA、0.01Ω。

(4) 测量交流电压及电流时，采用真有效值(TRMS)AC/DC转换器，能够准确测定各种波形的真有效值。

(5) 具有DCV、ACV、DCA、ACA、Ω五种基本测试功能①，共设置28个量程。

(6) 能显示μV、mV、V、μA、mA、A、Ω、kΩ、MΩ等单位符号。超量程时显示器消隐。

(7) 采用220V、50Hz交流电源供电。

2. 技术指标

(1) 量程 共28个量程

DCV：200mV，2V，20V，200V，1000V

① 当按下2kΩ量程键时，还可以测量二极管。

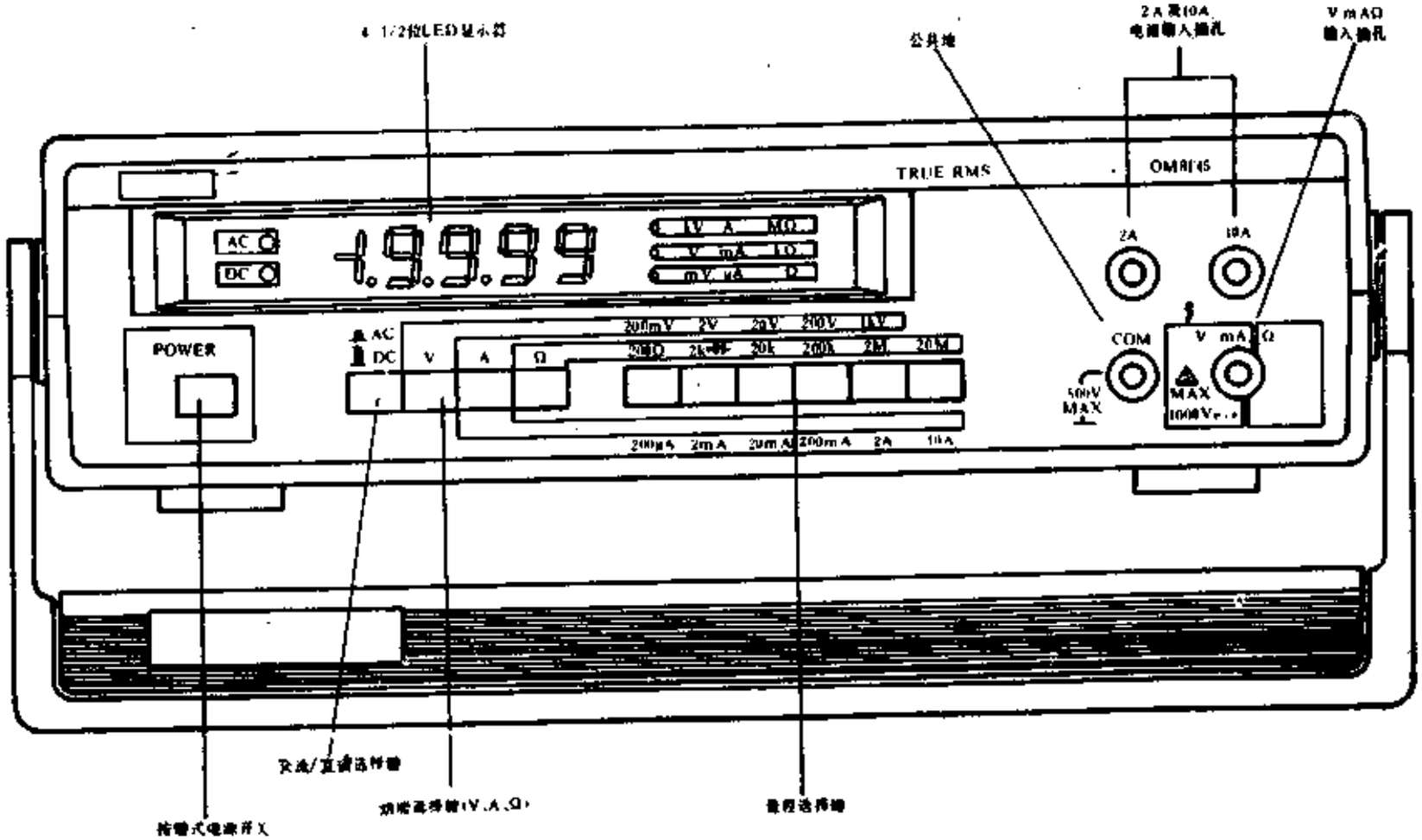


图 3.10.1 DM8145型数字万用表的面板布置

ACV：200mV，2V，20V，200V，700V（真有效值）

DCA：200μA，2mA，20mA，200mA，2A，10A

ACA：200μA，2mA，20mA，200mA，2A，10A(真有效值)

Ω：200Ω，2kΩ，20kΩ，200kΩ，2MΩ，20MΩ

DM8145的面板布置如图3.10.1所示。其电源电压范围是200～240V，47～63Hz。标准工作温度为23±5℃。使用环境为0～40℃，RH＜80%（40℃）。外形尺寸是260×65×280（mm），重2kg。

（2）技术指标

表 3.10 DM8145的测量范围与准确度指标

测量功能	测量范围	准确度	最高分辨力
DCV	0～1000V	±(0.03%RDG+4字)	10μV
ACV(TRMS)	0～700V	±(0.5%RDG+15字)	10μV
DCA	0～10A	±(0.2%RDG+4字)～±(0.4%RDG+6字)	10nA
ACA(TRMS)	0～10A	±(0.5%RDG+15字)	10nA
Ω	0～20MΩ	±(0.1%RDG+2字)～±(0.2%RDG+2字)	0.01Ω

DM8145的测量范围及准确度指标见表3.10。交流200mV和2V档的频率范围是45Hz～10kHz，20V～700V档为45～400Hz。该仪表测量速率为3次/秒。

二、DM8145型台式数字万用表的电路分析

DM8145型4½位台式数字万用表的总电路如图3.10.2所示(见附图)。整机原理框图见图3.10.3。主要包括Ω/V转换器、分压器、分流器、量程及功能控制器、真有效值AC/DC转换器(TRMS)、A/D转换器、LED显示器、四路直流稳压电源。下面介绍整机电路的工作原理。

1. 所用集成电路的分类

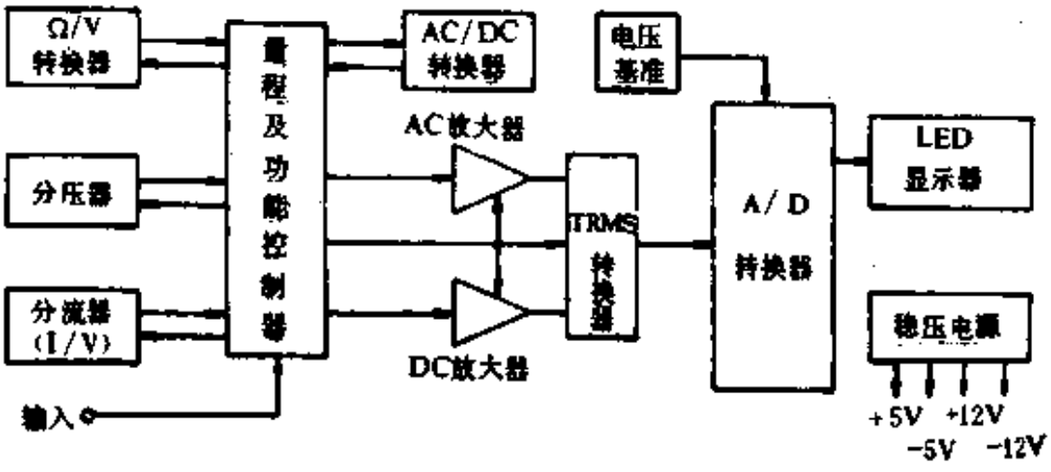


图 3.10.3 DM8145的原理框图

电路中共使用13片集成电路，大体可分成7类：

(1) A/D转换器：IC_1(ICL7135)

(2) 译码驱动器：IC_2(74LS247)

(3) 时基电路：IC_3(NE555)

(4) 能带间隙式基准电压源：IC_4(LM399或ICL8069B)

(5) 运算放大器：

自动校零斩波式精密运算放大器：IC_5(ICL7650)

单运放：IC_6(LF411)；IC_8(LF412)

双运放：IC_7(LM358)

(6) 真有效值AC/DC转换器：IC_9(AD637)

(7) 三端固定式集成稳压器

IC_{10}、IC_{11}(两片7805)，输出 + 5V

IC_{12}(7812)，输出 + 12V

IC_{13}(7912)，输出 - 12V

图3.10.2中，SB_1是按键式电源开关，SB_2为VAΩ功能选择键，SB_3是AC/DC测量方式选择键，SB_4是量程选择键。

2. 4½位A/D转换器

该表采用ICL7135型CMOS单片4½位双积分式A/D转换器。

有关ICL7135的工作原理详见本书§2.8。下面仅分析其外围电路。

时钟电路由IC_3（ME555）构成。RP_{22}为20kΩ电位器，调整$RP_{22}=15k\Omega$，并选定$R_{20}=4.7k\Omega$，$C_5=300pF$，代入式(2.8.5)中计算出时钟频率$f_0\approx120kHz$。因此，仪表的测量速率为120kHz/40002≈3次/秒。

IC_4(LM399）提供6.95V基准电压源，再经过R_{50}、RP_{14}、R_{26}分压后获得基准电压$V_{REF}=1.0000V$。RP_{14}为精密多圈电位器，R_{27}是IC_4的限流电阻。LM399是采用次表面隐埋技术制成的齐纳稳压管，具有温度漂移小、噪声电压低、动态电阻小等优良特性。内部带恒温槽，能把芯片温度自动调节到90℃，只要环境温度$T_A<90℃$，就能消除温度变化对基准电压的影响。正因为如此，LM399的电压温度系数可低至1ppm/℃，这是其他基准电压源难以达到的指标。LM399的工作电流范围是0.5～10mA，基准电压的典型值为6.95V。取$R_{27}=6.8k\Omega$时，工作电流$I_4=(12V-6.95V)/6.8k\approx0.7mA$。LM399的输入电压小于30V。需要指出，LM399为四端器件，而ICL8069为二端器件。

输入端高频滤波器由R_{28}、C_1组成。C_2、R_{30}分别为积分电容和积分电阻。R_{32}为补偿电阻，用来改善积分器的频率响应。为满足精密测量需要，利用二极管D_1与电阻R_{31}消除ICL7135的翻转误差。C_3、C_4分别是自动调零电容及基准电容。

该表选用共阳极LED显示器。低功耗肖特基TTL电路74LS247（负逻辑）作段译码驱动器。ICL7135输出的BCD码分别接至74LS247的数据输入端A～D，译成7段码a～g，再经过限流电阻R_{36}～R_{42}接LED数码管的相应笔段。位扫描驱动器由NPN型晶体管T_1～T_5组成，晶体管集电极接+5V。当扫到某位时，相应晶体管导通，该位数码管即可发光。只要位扫描信号的频率足够高，由于人眼的“视觉暂留”现象，就观察不到闪烁现象。采用动态扫描显示方式不仅能显著降低显示器的功耗，还能减少LED显示器的

外部引线数量，便于设计与安装印制电路。

最高位是符号管。当$V_{IN}>0$时，POL=1，T_7截止，g段不发光。$V_{IN}<0$时，POL=0，T_7导通，g段因施以低电平驱动信号而发光，显示出负极性符号。C_{20}是IC_2的电源退耦电容。

当扫到最高位时$D_5=1$，T_6导通，74LS247的无效零输入控制端RBI=0，若该位数据出现零，便自动消隐。

标志符显示电路由SB_{3b}、SB_{4b}、发光二极管LED_1～LED_8、隔离二极管D_2～D_{13}构成。当选中测试功能及量程之后，相对应标志符上的发光二极管即发光。

2．功能转换电路

R_1～R_5、RP_1～RP_3组成分压器，兼作电阻档的标准电阻。C_{31}～C_{36}、C_{12}、C_{13}为高频补偿电容，用以改善分压器的频率特性，实现无失真衰减，从而扩展交流档的频率范围。R_6～R_{10}、R_{12}为分流电阻。RP_8～RP_{13}分别为6个电流档的校正电位器。RP_4～RP_7是电阻档的校准电位器。FU_1～FU_3，D_{14}～D_{17}为过流或保压保护元件。

鉴于V、A、Ω转换器的输出电压均按200mV满度设计的，而ICL7135的基本量程为2V，因此必须放大10倍。现用IC_5作同相放大器。ICL7650属于第四代运放，具有高准确度、低漂移、自动校零等优点。通常用±5V电源供电。其输入失调电压仅相当于通用型运放F007或μA741的千分之一。实取$R_{15}=9k\Omega$，$R_{16}+RP_{17}=1k\Omega$，电压增益

$$K_V=\left(1+\frac{R_{15}}{R_{16}+RP_{17}}\right)=\left(1+\frac{9k}{1k}\right)=10倍$$

电路中C_7、C_8为记忆电容，用来消除ICL7650的失调电压。R_{14}、C_6可滤除高频干扰。C_{30}、C_{31}为±5V电源的退耦电容。

由AD637(IC_6)组成的真有效值AC/DC转换电路如图3.10.4所示。AD637是采用双列直插式封装，共有14个管脚(DIP-14)。其主要特点是：真有效值AC/DC的转换误差≤±0.1%；当输入

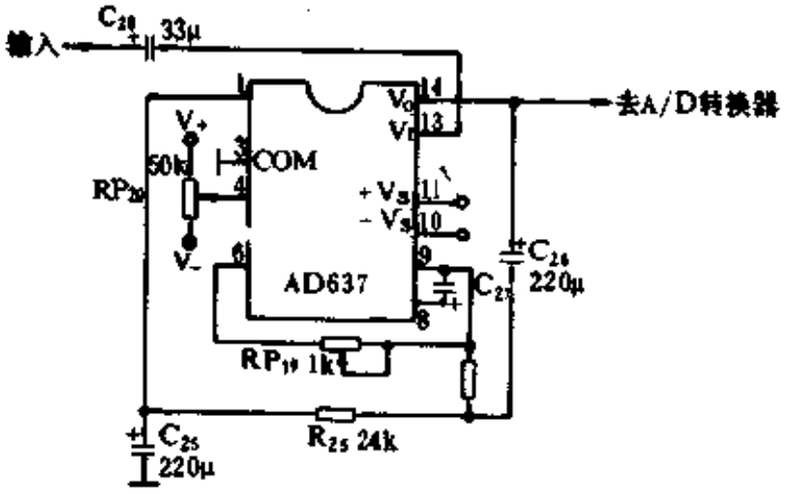


图 3.10.4 由AD637构成的真有效值AC/DC转换电路

电压大于100mV时，最高工作频率可达500kHz；工作电流为2.5 mA，静态电流仅350μA。它能将任何波形准确地转换成真有效值，$V_{TRMS}=\sqrt{\overline{u^2}}$。当波峰因数$K_p>7$时，转换误差仍小于1%。此外，AD637还能将输入电压转换成电平(dB)，DM8145未用此功能。电路中，AD637的13脚为输入端，14脚是带缓冲器的输出端。11脚、10脚分别接+12V和-12V电源。参考逻辑电平和参考电压分别取自RP_{20}、RP_{19}。C_{27}是平均电容。输出端滤波器由C_{26}、R_{25}、C_{25}构成。9脚是未加缓冲器的输出端，R_{24}为该端的负载。

电阻测量采用恒流源法。恒流源电路包括IC_7、IC_8、IC_{11}。RP_{15}用来调基准电压，V_{REF}经跟随器IC_{7b}接自举电路IC_{7a}，再通过IC_8向被测电阻提供恒定的电流I_0，有关系式$V_{IN}=I_0R_x$，从而实现了Ω/V转换。

IC_{10}(7805)、IC_{12}(7812)、IC_{13}(7912)三端稳压器分别可提供+5V、+12V和-12V稳压输出。恒流源所需要的+5V电源则由IC_{11}提供。晶体管T_9和T_{10}是-5V稳压电源，该电压接ICL7135的第1脚(V_-)，+5V电源经过取样电路(RP_{21}、R_{62}、R_{63})、比较器T_{10}，驱动调整管T_9。

三、VC8145型台式数字万用表简介

VC8145是DM8145的改进型，其外形如图3.10.5所示。VC8145主要作了下述改进：

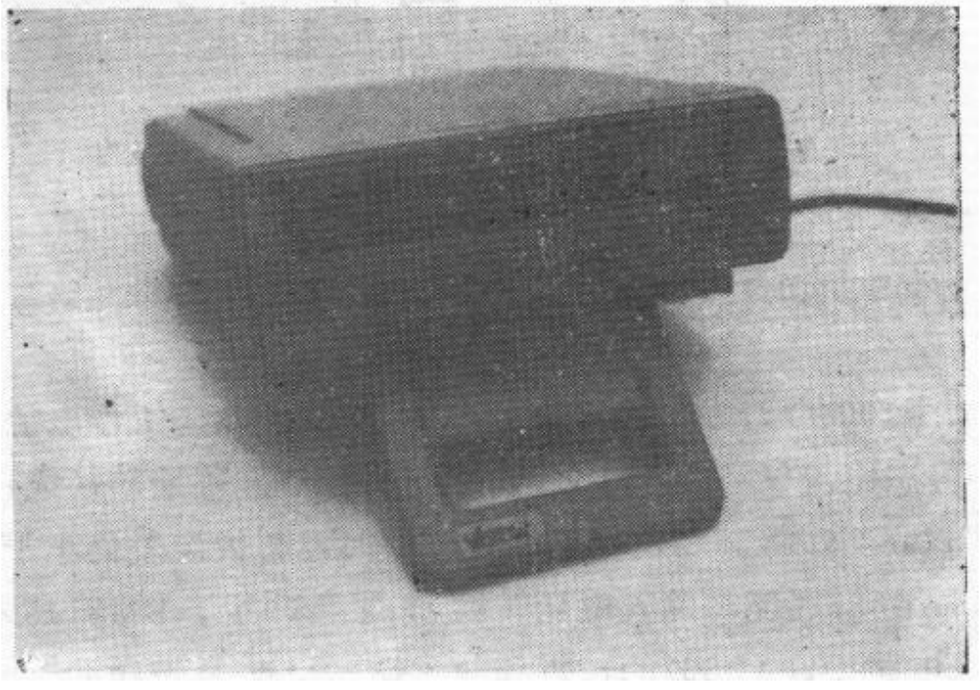


图 3.10.5 VC8145型台式数字万用表的外形

（1）进一步拓宽了测量交流电压的频率响应；

（2）电阻测量采用精密恒流源电路，提高了电阻档的线性度，也降低了调试的难度；

（3）交流与直流测量电路公用一套放大器，既简化了电路设计，又减少了可调元件。

（4）改用并联式分压器，将200mV与2V量程的输入阻抗提高到1000MΩ以上。

第四章　新型智能仪器

为加速我国仪器仪表工业的发展，赶超世界先进水平，深圳胜利仪器有限公司最近与国外合作，相继开发出一批具有国际先进水平的新型智能仪器。本章仅从中选取有代表性的产品加以介绍。

§4.1　智能仪器概述

自从70年代初微处理器问世之后，就被迅速应用于电子仪器中，在70年代中期就出现了智能仪器。所谓智能仪器，就是本身带微处理器的电子仪器。它是以微机(目前主要是单片机)为核心，并辅以其他外围电路而构成的。智能仪器的出现是电子测量技术与计算机技术相结合的丰硕成果，它也打破了仪器与计算机的界限。进入90年代以来，智能仪器在国内外获得迅速发展，各种带微处理器的数字电压表DVM、数字万用表DMM、频率计数器、函数发生器、数字存储示波器、逻辑分析仪等等，如雨后春笋蓬勃发展，为电子仪器的生产和应用领域开辟了崭新的局面。

智能仪器通常具有以下特点：

(1) 性能优良，测试功能强。不仅能实现自动测试（含自动量程），还具有自动校准(AUTO-CAL)、自动调零或调平衡等功能。有的还能自动编程，进行数据处理及故障自检。

(2) 采用RS-232或IEEE-488标准接口，可配计算机、打印机。

(3) 可靠性好，平均故障间隔时间(MTBF)可达几年甚至十几年。

（4）具有很高的性价比。今后随着带微处理器的单片高准确度A/D转换器的推广应用，其成本将呈不断下降之趋势。

（5）体积小，重量轻、耗电省、造型美观。

胜利牌智能仪器主要有VC8235型3¾位数字/模拟条图双显示智能数字万用表，VC8345型4¾位三重显示的智能数字万用表，VC8055型5½位智能数字电压表，VC8255型5½位智能数字万用表，此外还有VC3200型多功能可逆频率计数器等。以上均为台式表。

袖珍式智能仪器主要有DT900型3¾位双显示（数字/模拟条图）智能数字万用表，DT990型4¾位真有效值双显示智能数字万用表。

§4.2 VC8235、DT900型3¾位双显示智能数字万用表

VC8235与DT900型均属于3¾位数字/模拟条图双显示智能数字万用表，二者的电路相同，区别只是VC8235为台式表，DT900则为袖珍式表并增加了温度档。下面介绍其主要特点、技术指标及工作原理。

一、VC8235的主要特点

（1）采用CPU（中央控制器），具有自动关机功能。掉电后存储器中数据能继续保留。

（2）选用3¾位超大屏幕LCD和42段能够快速反应的LCD条图。最大显示值为±3999（仅对频率档为9999），字高22mm，并能显示各种标志符（含工程单位）。

（3）测量速率（即显示刷新速率DUR①）：数字显示为2次/秒，

① DUR是英文Display Update Rate（显示刷新速率）的缩写。

条图显示达20次/秒。后者反应速度很快，能观察被测模拟电量迅速变化的情况。

(4) 具有数据保持（DATA HOLD）、数据存储（DATA MEMORY或MEM）、最小值/最大值（MIN/MAX）保持、相对值测量（EME）等功能。

(5) 能够全自动转换量程，超量程时显示"4"000（千位上的4呈闪烁状态）。能自动测量电容（1pF～40μF，共分5档），自动测量频率（0.01Hz～1MHz，分5档）；亦可手动量程。

(6) 多功能。仪器共设置35个量程，可测量DCV、ACV、DCA、ACA、Ω、C、f，检查线路通断、二极管。

(7) 附加RS-232接口，采用红外线发射-接收式光电耦合器，输出为TTL电平。

(8) 在LCD背面装有场致发光器件（EL）作背光源，使LCD显示清晰，也便于夜间观察。

(9) 采用220V交流供电。

VC8235型3 ¾ 位双显示智能数字万用表的外形及前面板，分别如图4.2.1、图4.2.2所示。面板左上方为3 ¾ 位数字及42

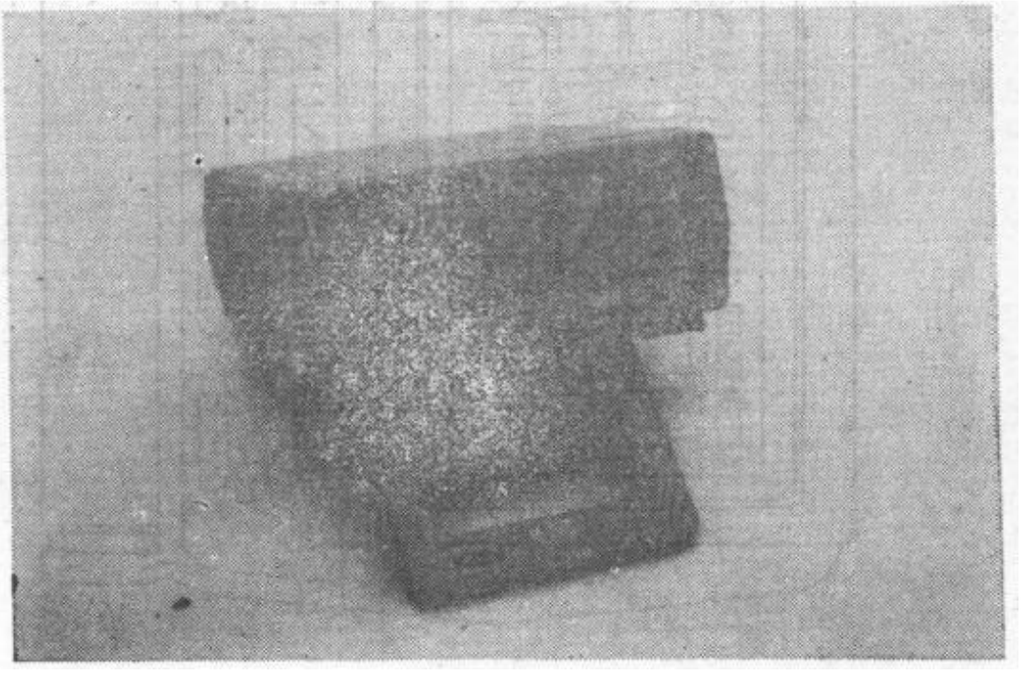


图 4.2.1 VC8235型智能数字万用表的外形

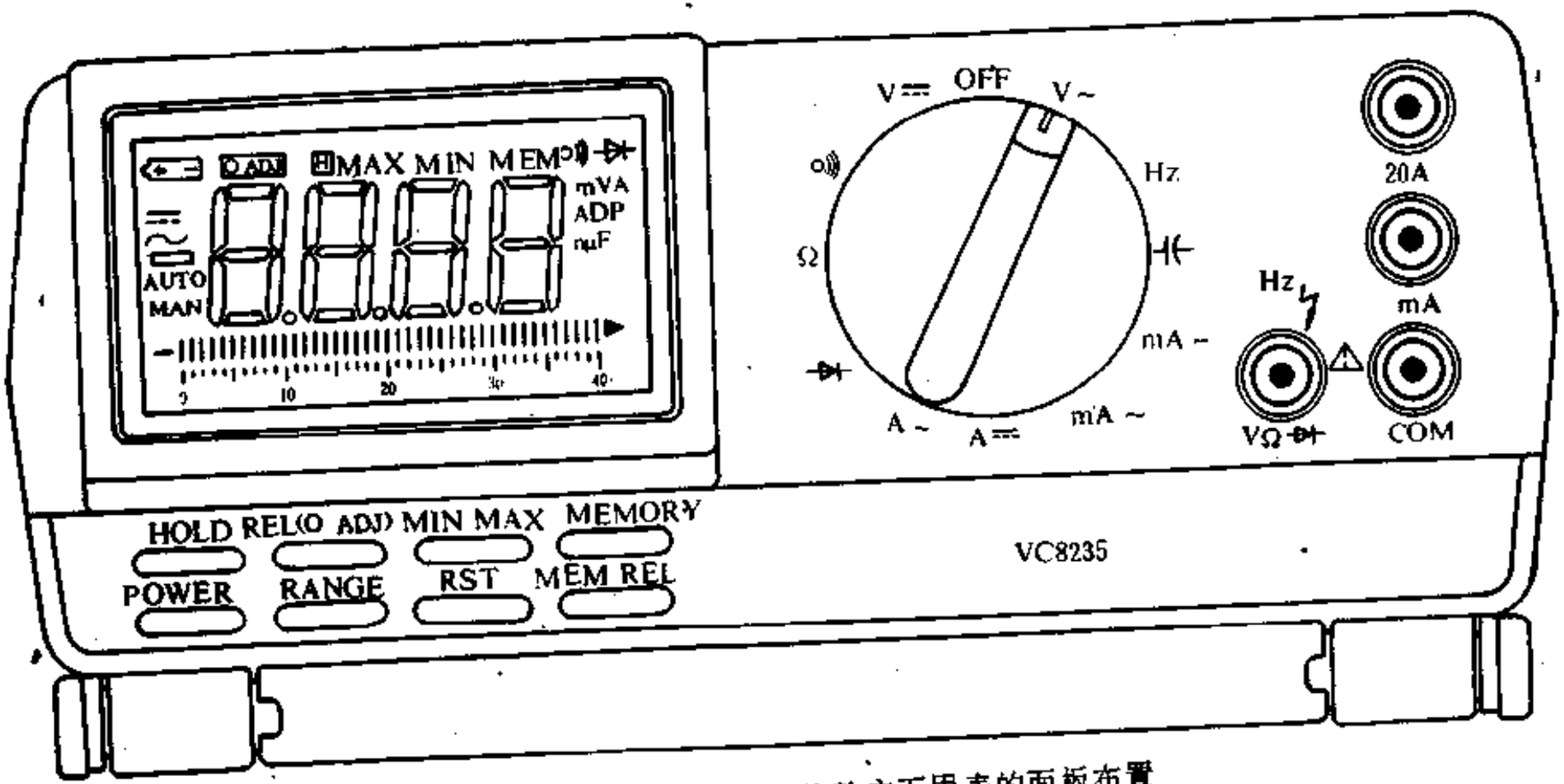


图 4.2.2 VC8235型双显示智能数字万用表的面板布置

段(含零段和溢出段▶)条图LCD显示器。中间为功能转换开关，右边是4个全保护式输入插孔。左下方设有8个操作键，各键的功能如下：

HOLD——数据保持；

REL(0 ADJ)——相对值测量(或零位调整)；

MIN/MAX——最小值/最大值存储；

MEMORY——数据存储(内设一个存储器)；

POWER——电源开关；

RANGE——手动量程；

RST——复位；

MEM RCL——读存储数据，无论何种测量状态，只要按下此键就中断测量，显示存储内容。

VC8235的电源包括220V、50Hz的主电源，附加可反复充电的蓄电池。外形尺寸为240(D)×220(W)×110(H)①(mm)。重量约2kg。工作温度是0～40℃(RH=20%～80%)，存放温度为－20～＋70℃(RH=20%～90%)。

二、技术指标

VC8235的技术指标见表4.2.1～表4.2.5。

DT900型3¾位袖珍式智能数字万用表的面板布置如图4.2.3所示。其性能特点及技术指标同VC8235。

三、VC8235、DT900的测试功能及原理框图

VC8235和DT900在不同测试功能下的显示特点，分别如图4.2.4～图4.2.11所示。需要说明的是，除20A档、二极管及蜂鸣器档只能采用手动量程方式之外，其余档均有自动量程/手动量

① D、W、H分别表示长、宽、高。

表 4.2.1 直流和交流电压档技术指标

测量功能	量　程	准　确　度	输入电阻	分 辨 力
DCV	400mV	±(0.5%RDG+1字)	>1000MΩ	100μV
	4V		11MΩ	1mV
	40V		10MΩ	10mV
	400V		10MΩ	100mV
	1000V	±(0.8%RDG+3字)	10MΩ	1V
ACV(RMS)	400mV	±(0.8%RDG+3字)	1000MΩ	100μV
	4V		11MΩ	1mV
	40V		10MΩ	10mV
	400V		10MΩ	100mV
	700V	±(1.0%RDG+5字)	10MΩ	1V

表 4.2.2 直流和交流电流档技术指标

测量功能	量　程	准　确　度	满度压降	分 辨 力
DCA	40mA	±(0.8%RDG+1字)	400mV	10μA
	400mA	±(1.0%RDG+3字)	4V	100μA
	20A	±(1.2%RDG+10字)	200mV	10mA
ACA(RMS)	40mA	±(1.0%RDG+1字)	400mV	10μA
	400mA	±(1.2%RDG+5字)	4V	100μA
	20A	±(2.0%RDG+15字)	200mV	10mA

表 4.2.3 电阻档技术指标

测量功能	量　程	准　确　度	开路电压	分辨力
Ω	400Ω	±(0.8%RDG+2字)	<400mV	0.1Ω
	4kΩ	±(0.8%RDG+1字)		1Ω
	40kΩ			10Ω
	400kΩ			100Ω
	4MΩ			1kΩ
	40MΩ	±(1.2%RDG+5字)		10kΩ

表 4.2.4 电容档和频率档技术指标

测量功能	量　程	准　确　度	分辨力
C	4nF	±(2.5%RDG+5字)	1pF
	40nF		10pF
	400nF		100pF
	4μF		1nF
	40μF		10nF
f	99.99Hz	±(0.3%RDG+3字)	0.01Hz
	999.9Hz		0.1Hz
	9.999kHz		1Hz
	99.99kHz		10Hz
	999.9kHz		100Hz

表 4.2.5 蜂鸣器档及二极管档测试条件

测试功能	说　明	测试条件
蜂鸣器档	若被测线路电阻小于40Ω，则蜂鸣器发声	
二极管档	测量二极管正向压降V_F	测试电流$I_F \approx 1mA$，开路电压2.9V

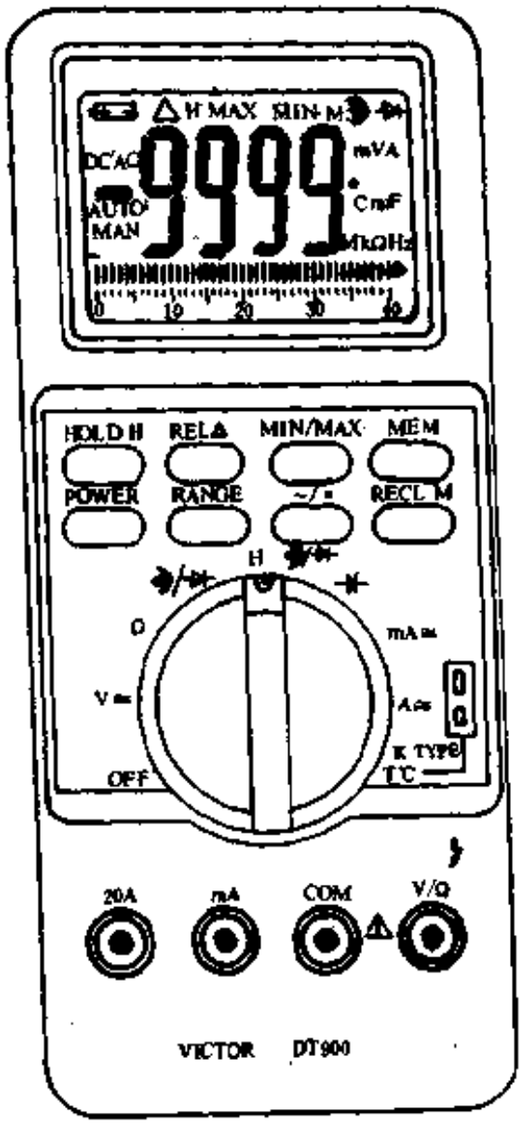


图 4.2.3 DT900型袖珍式双显示智能数字万用表的面板布置

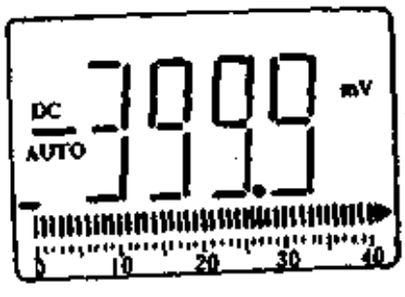


图 4.2.4 测量直流电压（自动方式）

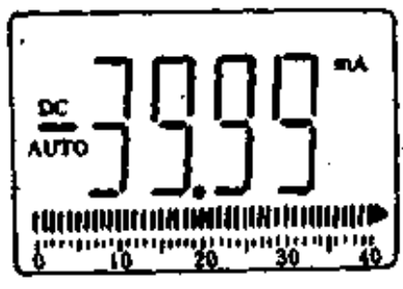


图 4.2.5 测量直流电流（自动方式）

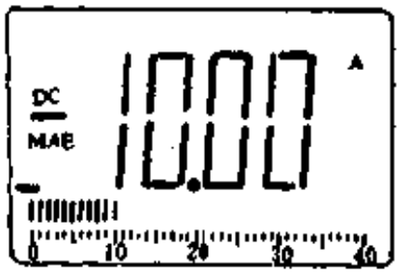


图 4.2.6 测量直流电流(手动方式)

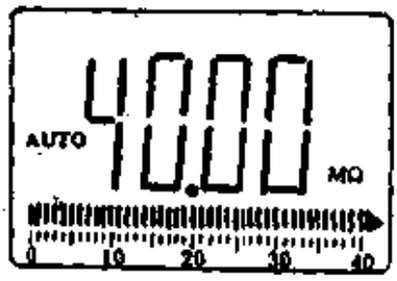


图 4.2.7 测量电阻(自动方式)

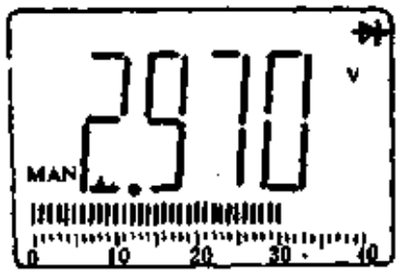


图 4.2.8 测量二极管正向压降(手动方式)

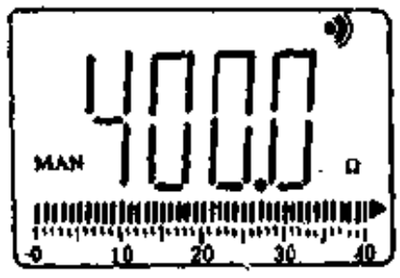


图 4.2.9 检查线路通断(手动方式)



图 4.2.10 测量频率(手动方式)



图 4.2.11 测量电容(自动方式)

程两种方式可供选择。开机后仪表首先转入自动量程方式(AUTO)。仅当按下RANGE键时才转入手动方式(MAN),每按一次RANGE键，量程就增加一档。若从手动方式再转回自动方式，只需按住键保持1秒钟即可。

DT900增加了测温档，使用内置温度传感器可以测量0～40℃的常温，外接K型热电偶则能测－50～400℃温度。

下面介绍几个特殊键的操作功能

1．数据保持键(HOLD)

当按下此键时，将最后一次读数值保持下来。若再按下

MIN/MAX键，就从数据保持方式转入最小值/最大值记录方式。

在最大、最小值记录方式中，按下HOLD键会停止读数记录，再次按HOLD键又恢复记录(先前记录的数据不会丢失)。

2．最小值/最大值记录方式键(MIN/MAX)

按下此键会进入最小值/最大值记录方式，接着显示出当前输入量的最小值、最大值，与此同时，LCD上出现相应的标志符。在该方式下，最小及最大读数值存入存储器中。当记录下新的最小值和最大值时，读数才更新。如果一直按住此键，LCD就循环显示最小值、最大值和当前的读数值，数值的意义可通过标志符来识别。出现过载时就停止记录，LCD显示过载符号。

在最小值/最大值记录方式下，模拟条图还指示出当前值。按下HOLD键时停止记录，条图显示也回零；当记录停止时，所存储的读数不会删除，还能重新显示。再按动一下HOLD键，又重新开始记录和条图显示。

VC8235和DT900都有自动关机功能。若在大约30分钟之内没有操作，则蜂鸣器响1秒钟，然后自动关机，关机后存储器中数据仍然保留。再按电源键时又可重新开机。

VC8235及DT900的原理框图如图4.2.12所示。仪器采用一片带微处理器的超大规模集成电路。芯片内部主要包括：4位CPU、双A/D转换器、A/D时序控制器、AC/DC转换器、输入电路、输出电路。

与其他类型的单片A/D转换器所不同的是，该芯片有两个独立的A/D转换器，一个是低速、高分辨率A/D转换器，用来控制3 $\frac{3}{4}$位液晶数字显示器中的内容，其测量速率为2次/s；另一个则是高速A/D转换器，专用以控制41段液晶模拟条图的显示状态，其测量速率达20次/s。设计两套A/D转换器并各有分工，能充分发挥双显示仪表的优势，一方面低速、高分辨率A/D转换器能保证数字显示值稳定且测量准确度高，另一方面高速A/D转换器使条图迅速反应被测量的变化。此外，由于条图的反应时间快，从

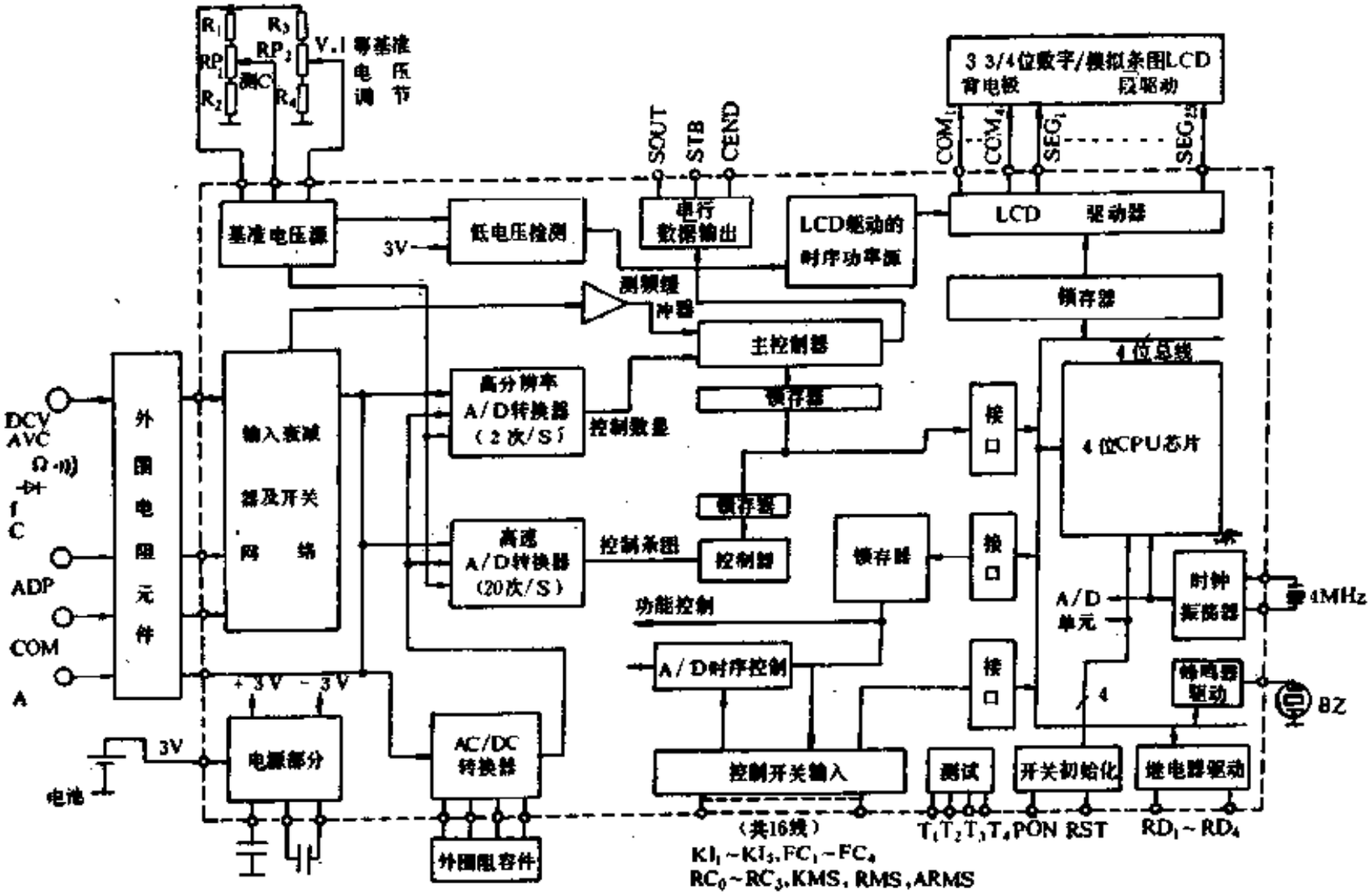


图.4.2.12 VC8235和DT900的原理框图

中获取的超量程、欠量程信号更具有即时性，这有助于提高整机的测量速率，缩短测量过程。

输入电路包括外围电阻元件，输入衰减器及模拟开关网络，控制开关输入，以及开机初始化、测试模式的控制电路。

输出电路由4部分组成：（1）3 ¾位数字/模拟条图LCD的驱动电路；（2）串行数据输出；（3）蜂鸣器驱动信号；（4）继电器驱动信号。继电器一般选脉冲式继电器。此外，芯片内部还有测频缓冲器、低电压检测电路、时钟振荡器（需外接4MHz石英晶体）、锁存器、多种接口电路。

电源部分可将3V电池电压转换成±3V的双路对称输出。基准电压共有两路，图4.2.12中的电位器RP_1用以校准电容档的基准电压，RP_2则用于校准电压档、电流档等的基准电压。

仪器在进行频率测量及电容测量时，充分发挥了CPU快速运算的功能。频率测量的原理是，首先测出输入信号的周期T，然后通过CPU作倒数运算，求出被测频率f，运算公式为$f=1/T$。其优点是在测量极低频率（例如1.39Hz）时，也能得到与测高频时相等的精确度，称之为等精度测量。

电容测量的原理是，测量已知电流通过一个标准电阻R_0给被测电容C_x充电到一固定电压所需要的时间t。显然t与C_x成正比。利用CPU可以选择量程来改变标准电阻。仪器从1pF～40μF共设5个量程。在4nF量程时应考虑测试导线的分布电容（可达200pF，即0.2nF，甚至更大）。此时可按下REL(0 ADT)键，利用相对值测量方式来消除之。

§4.3 VC8345型4 3/4位三重显示智能数字万用表

VC8345属于4¾位三重显示、可编程智能数字万用表。该表可同时显示三种不同的参数值（例如典型值、最大值、最小

值），给测量工作带来极大便利。它在设计上充分发挥微处理器的优势，增加了可编程等许多测试功能，是一种设计新颖、功能齐全的智能仪器。下面介绍其性能特点和技术指标。

一、主要特点

（1）仪表采用CPU控制。

（2）选用三重显示 $4\frac{3}{4}$ 位超大屏幕LCD，屏幕尺寸为40×75（mm）。屏幕被划分为三个区域，中下部为主显示，左上部为第2显示，右上部为第3显示①，最大显示值为 $\pm 44999 \times 3$。表4.3.1列出三重显示的功能。显示组合方式有两种，可任选其一，但每次均可同时显示三种参数值。

表 4.3.1 三重显示的功能

显示组合	测量功能	主显示	第2显示	第3显示
方式1	一般电量	基本读数	最大值(MAX)	最小值(MIN)
方式2	ACV(RMS)	交流电压的有效值V	最大值(MAX)或最小值(MIN)	交流电压的频率值f

举例说明：设被测频率为 $f = 37.54^{+0.21Hz}_{-0.52Hz}$，则主显示值为37.54Hz，第2显示值是37.75Hz，第3显示值为37.02Hz。

（4）自动或手动量程。三重显示速率均为2次/秒。

（5）不仅具有数据保持、数据存储、最大值/最小值保持、相对值测量的功能，还增加了可编程功能，以及分贝（功率电平 dB_m）测量、数据输出（COMM）功能。其中，可编程功能可用来设定测量范围的上限值（UP ∧）和下限值（DWN ∨）。当测量值超出设定范围时，蜂鸣器会发声。

（6）液晶屏上还增加了REL（相对值测量）、SET(置数)、

① 主显示字高为18mm，第2、第3显示字高为8mm。

COM（数据输出）、dB_m（功率电平）等标志符，使整个操作及读数过程一目了然。

VC8345能够测量功率电平（dB_m）或电压电平（dB，简称电平）。交流电压的功率电平是以在600Ω负载上承受1mW的功率作为0dB_m的，即

$$1mW/600\Omega = 0dBm$$

令显示值为N，则

$$N(dB_m) = 20\lg\frac{V_{IN}}{0.775} \qquad (4.3)$$

式中，V_{IN}表示被测交流电压(V)。测量范围是$-60.00dB_m$～$+62.21dB_m$，对应于$V_{IN}=0.77mV$～1000V。

当按下REL△键时进入相对值测量方式，单位变成dB。

VC8345的其他性能与VC8235基本相同。二者的外形尺寸、重量、工作环境、交流电源电压亦相同。

VC8345型4 ½位三重显示智能数字万用表的面板如图4.3.1所示。共有10个操作键，各键的功能介绍如下：

HOLD H——数据保持；

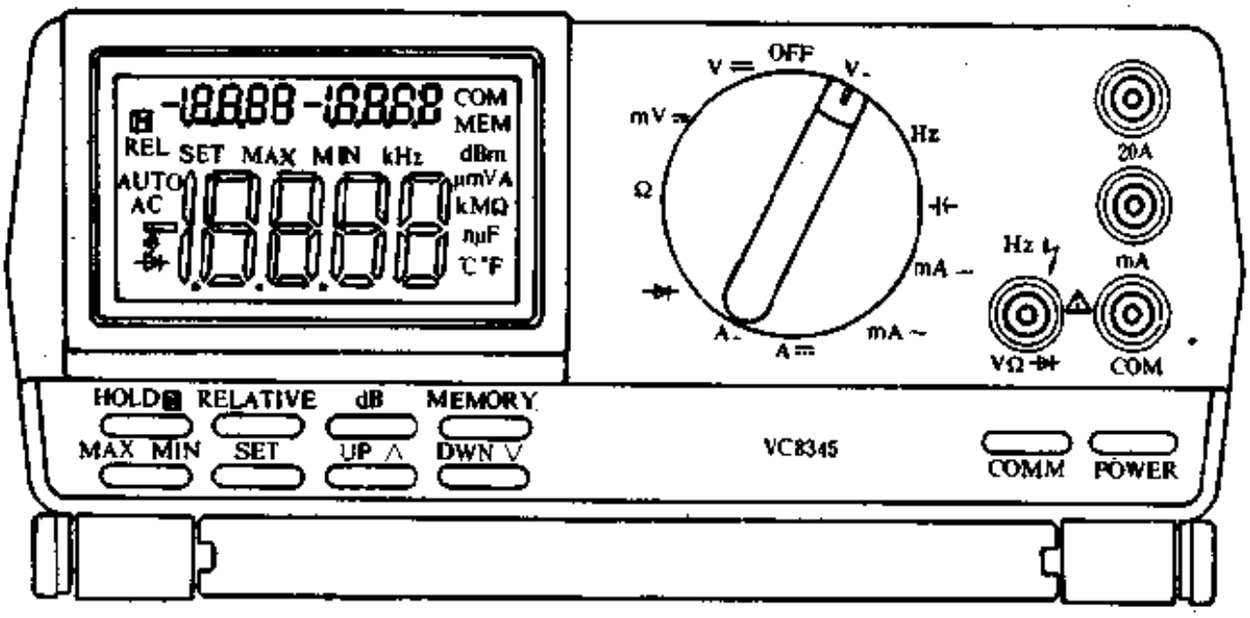


图 4.3.1 VC8345型4 ½位三重显示智能数字万用表的面板布置

RELATIVE——相对值测量；

dB_m——功率电平；

MEMORY——数据存储；

MAX/MIN——最大值/最小值存储，或预置最大值和最小值；

SET——预置。与MAX/MIN或dB键配合使用，可以设定最大值、最小值或0dB_m值；

UP ∧——设定测量范围的上限；

DWN ∨——设定测量范围的下限；

COMM——通过RS-232接口向外输出数据；

POWER——电源开关。

二、技术指标

VC8345 的技术指标详见表4.3.2～表4.3.5。其蜂鸣器档为

表 4.3.2 直流和交流电压档技术指标

测量功能	量程	准确度	输入电阻	分辨力
DCV	450mV	±(0.05%RDG+1字)	>1000MΩ	10μV
	4.5V		11MΩ	100μV
	45V		10MΩ	1mV
	450V		10MΩ	10mV
	1000V	±(0.1%RDG+10字)	10MΩ	100mV
ACV(RMS)	450mV	±(0.5%RDG+3字)	1000MΩ	10μV
	4.5V		11MΩ	100μV
	45V		10MΩ	1mV
	450V		10MΩ	10mV
	700V	±(1.0%RDG+5字)	10MΩ	100mV

＜45Ω时发声。频率档和二极管档的指标与VC8235相同，不再赘述。

表 4.3.3 直流和交流电流档技术指标

测量功能	量　程	准　确　度	满度压降	分 辨 力
DCA	450μA	±(0.8%RDG+10字)	45mV	10nA
	4500μA	±(0.8%RDG+1字)	450mV	100nA
	45mA	±(1.0%RDG+15字)	45mV	1μA
	450mA	±(1.0%RDG+3字)	450mA	10μA
	4.5A	±(1.2%RDG+30字)	45mV	100μA
	20A	±(1.2%RDG+10字)	200mV	1mA
ACA(RMS)	450μA	±(1.0%RDG+10字)	45mV	10nA
	4500μA	±(1.0%RDG+1字)	450mV	100nA
	45mA	±(1.2%RDG+15字)	45mV	1μA
	450mA	±(1.2%RDG+5字)	450mV	10μA
	4.5A	±(2.0%RDG+50字)	45mV	100μA
	20A	±(2.0%RDG+15字)	200mV	1mA

表 4.3.4 电阻档技术指标

测量功能	量　程	准　确　度	开路电压	分 辨 力
Ω	450Ω	±(0.5%RDG+2字)	＜3V	0.01Ω
	4.5kΩ	±(0.2%RDG+1字)		0.1Ω
	45kΩ			1Ω
	450kΩ			10Ω
	4.5MΩ			100Ω
	45MΩ	±(0.5%RDG+5字)		1kΩ

表 4.3.5 电容档技术指标

测量功能	量　程	准　确　度	分辨力
C	45nF	±(2.5%RDG+15字)	1pF
	450nF		10pF
	4.5μF		100pF

三、测试功能及原理框图

VC8345是由4位微型计算机、积分式A/D转换器构成的智能数字万用表。基本测试功能是由功能转换开关来选择的。运算功能和存储功能则需按动下述一个键或两个相互配合的键才能实现：HOLD，MAX/MIN，UP∧，DWN∨，MEMORY，RELATIVE，SET。

VC8345的部分功能与VC8235相同或相近，下面仅介绍新增加的测试功能：

1．最大值/最小值记录方式(MAX/MIN)

按下MAX/MIN键时最大读数和最小读数存入存储器中，分别由第2和第3显示器同时显示，主显示器显示出即时（现时）读数。因此该方式比VC8235的依次轮流显示要更加直观。若记录过载，则最大值变成OL。若持续按下此键达1秒钟，则仪器退出此方式，并且删除已记录的读数。

2．最大值/最小值的设定方式

VC8345增加了可编程功能，MAX/MIN的设定方式如下：

(1) 用手动方式选择某一量程；

(2) 按SET（预置）键；

(3) 按UP∧键或DWN∨键，分别设定MAX、MIN值；持续按UP∧或DWN∨键，可以快速设定；

(4) 按EMEORY键，存储设定值；

(5) 正常测量时，若显示值$N>$MAX，或者$N<$MIN，则仪器发出连续的2kHz声响。

3. 禁止自动关机

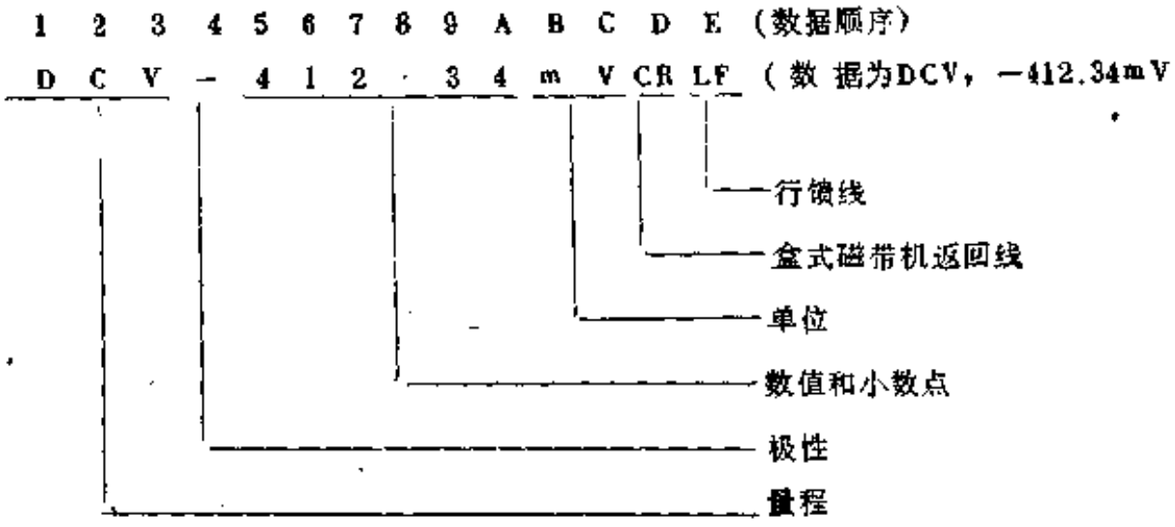
开机后若在大约30分钟时间未进行任何操作，仪器就自动关机。但是采用下述方式之一，即可禁止自动关机：

(1) 在持续按下RELATIVE键的同时，去打开电源；

(2) 测量时按下MAX/MIN键。

4. 与PC机联网

VC8345的数据输出经过RS-232接口送至PC机。数据传输速度为1200波特。每个字符包括1个起始位，8个数据位(ASCII码)和2个停止位。数据输出格式如下：



VC8345的原理框图如图4.3.2所示。仪器采用MAX134型A/D转换器，配4位单片微型计算机μPD753XX。MAX134是美国最大集成产品公司（MAXIM）生产的A/D转换器，主要用于$4\frac{3}{4}$位～$3\frac{3}{4}$位智能数字万用表、数据采集系统、数据记录器和测量标度尺中。此A/D转换器的最大读数可达±40000($4\frac{3}{4}$位)，亦可减小到±4000（对应于$3\frac{3}{4}$位）。A/D转换时间为50ms，测量速率为20次/秒。VC8345将最大读数扩展为±45000。

MAX134的特点是只能同微型计算机一起使用，以它作为微机的模拟终端而工作的。MAX134不具备任何驱动显示能力，因

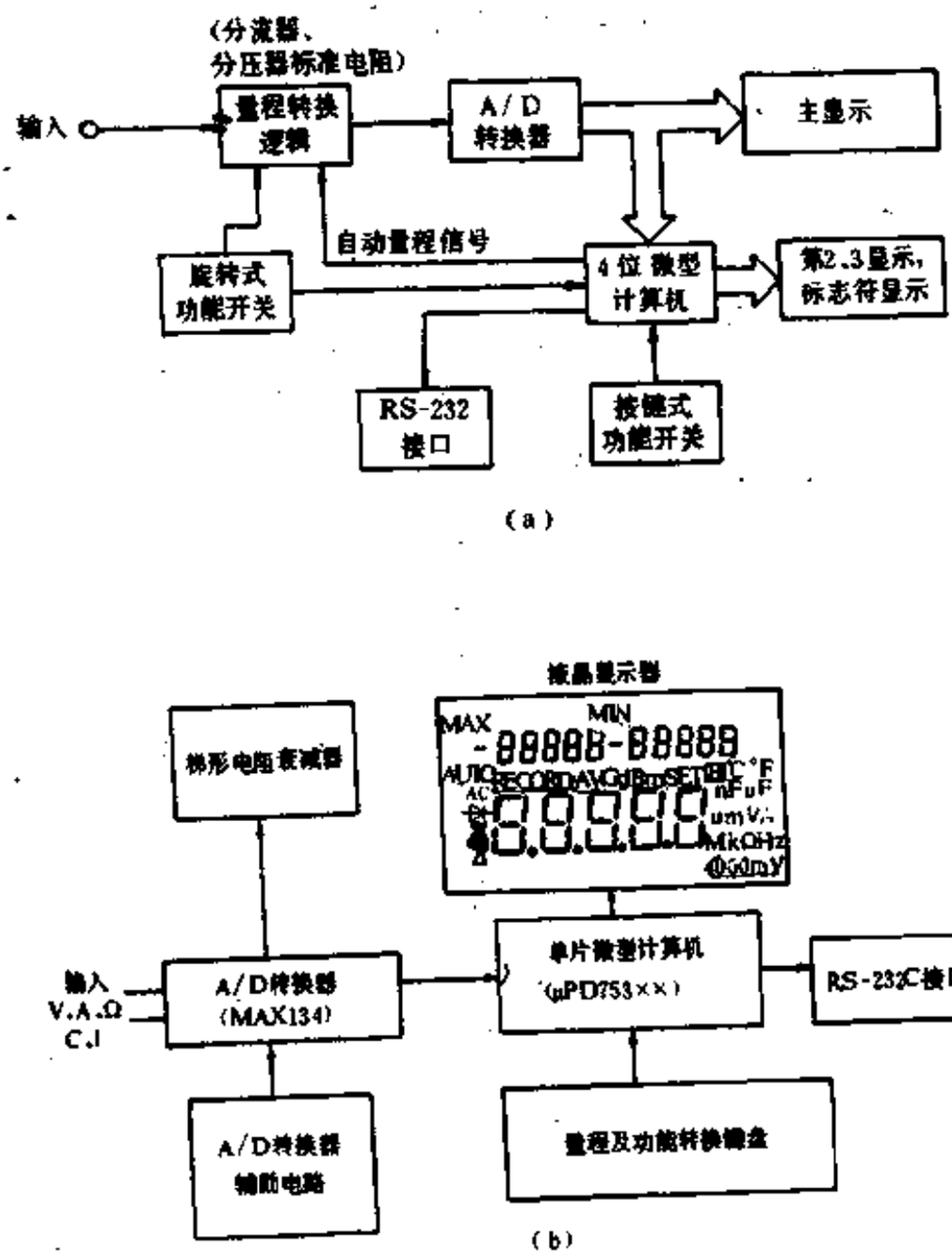


图 4.3.2 VC8345的原理框图

此仪器的测试及显示功能完全受微机控制。MAX133设有3根独立的地址线和1根4位双向数据总线，可以同4位、8位或16位的微机联网。使用MAX134时还需配辅助电路，例如梯形电阻 衰减器、压电蜂鸣器驱动电路、有源滤波器；低电压检测器、模拟及数字电路的电源等。该芯片能提供所有的时序控制逻辑和计数功能，外部微机不必对MAX134执行任何实时或复杂 的 控制。MAX134芯片内部有5个按数量级衰减的转换范围，通过外部电阻来实现。它还有一个附加的模式选择电路，用以测量电压、电 流、AC/DC、

电阻等。衰减器及模式选择电路是由微机通过写入MAX134的控制位来进行控制的。

MAX采用"余数倍增"的A/D转换方式。它还是有一个抑制干扰的标准模式，能有效地抑制50Hz或60Hz电源干扰。对于50Hz以上的干扰能再增加40dB的抑制能力。二阶有源滤波器也是由微机来启动的。此外，通过在MAX134中建立一个控制位，微型计算机还能对所要抑制的干扰频率进行选择。

VC8345采用1/3偏置的时分割法来驱动LCD，方波驱动信号的占空比为0.25%。

§4.4 VC8055型5 1/2位智能数字电压表

一、VC8055的性能简介

VC8055属于5½位智能数字电压表，最大显示值为±199999。该仪器具有最大值（MAX）、最小值（MIN）、平均值（AV）的计算功能，并设有RS-232C标准接口。测量直流电压的范围是200mV～1000V，共分5档。在2V挡的基本准确度达±0.005%，测量速率大于20次/s。

VC8055采用国际上最新型的HI7159带微处理器单片5½位A/D转换器，不仅使外围电路大为简化，而且大大提高了仪器的性价比，降低了成本。

二、HI7159型带微处理器单片5 1/2位A/D转换器的工作原理

HI7159是美国哈里斯（HARRIS）公司①于90年代初研制的

① 美国英特西尔(Intersil)公司、无线电公司(RCA)、黄金电子公司(GE)现已并入HARRIS公司，总称HARRIS公司。

单片 5½ 位 A/D转换器，芯片内部带有微处理器，属于单片智能化A/D转换器，它标志着国际90年代的单片A/D集成电路已达到新的技术水平。

1. HI7159的性能特点

（1）采用改进后的多重积分技术、自动数字调零技术以及该公司的专利（低噪声BIMOS工艺制造），使其具有独特的线性及低噪声特性，实现了高准确度（±0.005%）和高分辨力(10μV)的技术指标。

（2）有 5½位、4½位两种模式可供选择。选择 5½位模式时，具有高分辨率之特点，最大计数值为 ±19999，测量速率为15 次/s①。选择 4½位模式时，能实现高速A/D转换，最大计数值为±19999，在非补偿方式下能实现60 次/s的转换速率。

（3）具有两个串行口和一个并行口，很容易同微处理器或微型计算机相连。

（4）串行方式下有4种常用的波特率可供选择，依次为300、1200、9600、19200。

（5）差动模拟输入和差动基准输入。

（6）在不使用外围精密元件的情况下，即可实现高分辨力、高准确度的指标。利用数字调零技术可以消除温度零漂。

HI7159可构成各种智能仪器、自动测试及过程控制系统。

2. 管脚功能

HI7159采用DIP-28封装形式，管脚排列如图4.4.1所示。各管脚的功能如下：

V_{CC}——模拟和数字部分的+5V电源；

INTOUT——积分器输出端；

INTIN——积分器输入端；

① 若微处理器只定期进行误差转换与储存，则测量速率可提高到30次/s。

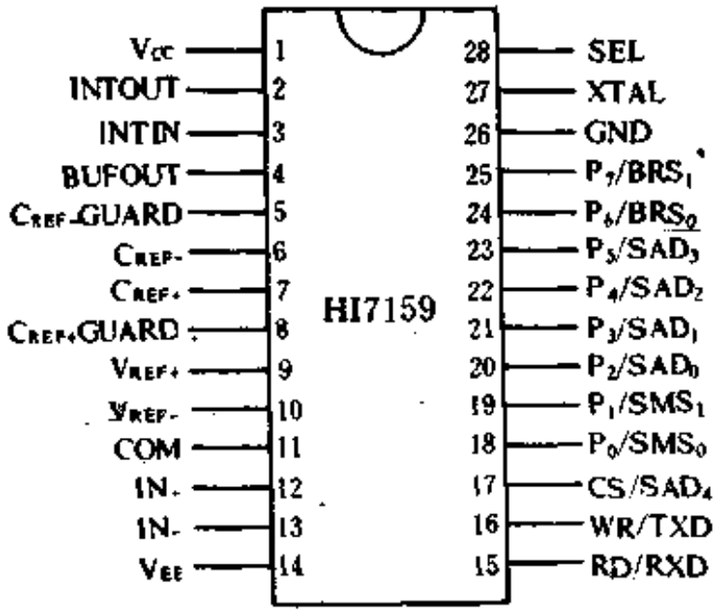


图 4.4.1 HI7159的管脚排列

BUFOUT——输入高电压端（IN_+）的缓冲器输出端；

C_{REF-}GUARD——基准电容保护环的负输出端；

C_{REF+}GUARD——基准电容保护环的正输出端；

C_{REF+}、C_{REF-}——基准电容的正、负端；

V_{REF+}、V_{REF-}——基准电压的正、负输入端；

COM——模拟地；

GND——数字地；

IN_+、IN_-——分别为模拟输入电压的正、负端；

V_{EE}——模拟部分的－5V电源；

$\overline{RD}$/RXD——并行读/串行接收端；

$\overline{WR}$/TXD——并行写/串行传输端；

$\overline{CS}/SAD_4$——并行 片选/串行1片选/串行2的片地 址位（第4位）；

P_0/SMS_0——并行I/O接口（P_0）/串行方式选择端；

P_1/SMS_1——并行I/O接口（P_1）/串行 方 式选 择端（参见表4.4.1）；

P_2/SAD_0——并行I/O接口（P_2）/串行地址位（第0位）；

表 4.4.1 串行方式选择

方　　式	SMS_0	SMS_1
串行方式1	0	1
串行方式2	1	0
备　用	0	0
备　用	1	1

P_3/SAD_1——并行I/O接口（P_3）/串行地址位（第1位）；

P_4/SAD_2——并行I/O接口（P_4）/串行地址位（第2位）；

P_5/SAD_3——并行I/O接口（P_5）/串行地址位（第3位）；

P_6/BRS_0——并行I/O接口（P_6）/串行波特率选择；

P_7/BRS_1——并行I/O接口（P_7）/串行波特率选择（参见表4.4.2）；

表 4.4.2 串行波特率选择

波特率	BRS_0	BRS_1
300	0	0
1200	0	1
9600	1	0
19200	1	1

XTAL——振荡器输出端，外接石英晶体JT，JT的另一端接V_{CC}；

SEL——并行或串行方式选择，SEL=1（高电平）时选择并行方式，SEL=0(低电平)时选择串行方式1、2。

3. 工作原理

HI7159的功能框图如图4.4.2所示。芯片内部主要包括缓冲器、积分器、比较器、模拟开关、控制选择及寄存器、模拟中央机、总线接口单元、通用异步接收发送器、I/O接口。外围元件

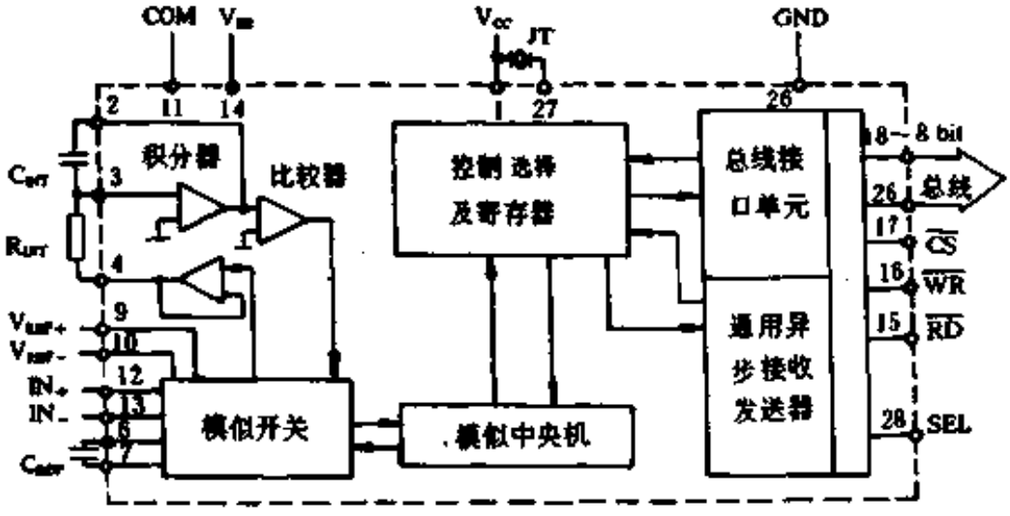


图 4.4.2 HI7159的功能框图

有积分电阻R_{INT}、积分电容C_{INT}、石英晶体JT等。

为达到5½位的高准确度指标，HI7159采用逐次累加式多重积分原理，在积分时产生一个比电源电压范围更宽的积分器等效摆幅电压，再利用连续积分对积分电容上残存的电压（即过零过冲电压，参见§2.9）进行计算，以达到5½位的精确度。

在5½位方式下，每个A/D转换周期中包含1次正向积分和4次反向积分，可划分成12个阶段：零积分AZ、正向积分INT、反向积分DE_1、复位RESET、10倍乘、反向积分DE_2、复位、10倍乘、反向积分DE_3、复位、10倍乘、反向积分DE_4。同双积分式相比，HI7159增加了三个反向积分阶段（DE_2、DE_3、DE_4），并且是将DE_1的过零过冲电压放大10倍之后再开始DE_2阶段。同理，DE_2的过零过冲电压亦被放大10倍，才开始DE_3阶段，依此类推。其工作特点是，在DE_1期间计入3½位的数值，测量准确度达到3½位；在DE_2期间，对放大10倍以后的过零过冲电压进行反向积分，再把误差从3½位结果中去掉，就获得4½位的准确度。同理，在DE_3、DE_4期间，准确度分别可达5½位和6½位。最后将6½位的准确度四舍五入变成5½位，并传送给寄存器，用户通过三种通讯方式之一可得到此数。

采用±5V电源时，积分器等效摆幅电压可达到3±12V甚至更大的变化范围，相当于双积分式积分器摆幅电压的4倍，这就为提高HI7159的准确度创造了条件。设晶振频率为f_0，因为4重积分是分别进行的，所以频率为$f_0/40000$整数倍的共模干扰信号被抑制掉。选择4½位模式时只进行两次反向积分，所以共模抑制的最低频率为$f_0/10000$。

(1) 通讯方式

HI7159向外部微机传送数据以及接收指令时有3种通讯方式：并联微机（并行），串行不寻址（串行方式1），串行寻址(串行方式2)。通讯方式的选择见表4.4.3。

表 4.4.3 通讯方式的选择

通讯方式	SEL (28脚)	SMS_0 (18脚)	SMS_1 (19脚)
并行	V_{cc}	数据线	数据线
串行1	GND	GND	V_{cc}
串行2	GND	V_{cc}	GND

并行通讯方式是将SEL（28脚）接高电平后选择的。此时18～25脚作为8位二进制数据位P_0～P_7，15、16、17脚依次为读($\overline{RD}$)、写($\overline{WR}$)和片选（CS)。并行方式允许直接挂微机的数据总线。

串行方式1是将SEL和SMS_0端接低电平，SMS_1则接高电平。此时有4种波特率可供选择。该方式下，15脚变成串行接收端(RXD)，16脚为发送端（TXD)、17脚仍为片选，20～23脚均接高电平。

串行方式2是将SEL、SMS_1端接低电平，SMS_0端接高电平。此时由20～23脚、17脚确定32个不同的地址。该方式允许将多片HI7159接在同一对串行线上，每片对应于一个地址。

（2）对HI7159读数

对HI7159进行读数时需送两类字，即把命令字和请求字送给A/D转换器。命令字用以设置转换器的参数以及对转换器进行初始化，这些参数包括转换的连续性（单次或连续）、分辨率（5½位或4½位），转换类型（补偿式、非补偿式或仅测误差）。$D_0 = 0$表示这是命令字且须重新开始转换。请求字则是请求转换器的状态或转换结果。

（3）单次转换方式

其特征是完成一次A/D转换后即停止转换。读数过程如图4.4.3所示。主要包括初始化转换器，等待转换完毕，读取结果。由于不再进行转换，所以可在任何时候以任何速率读数，这是对HI7159读数的最简单方法。

（4）连续转换方式

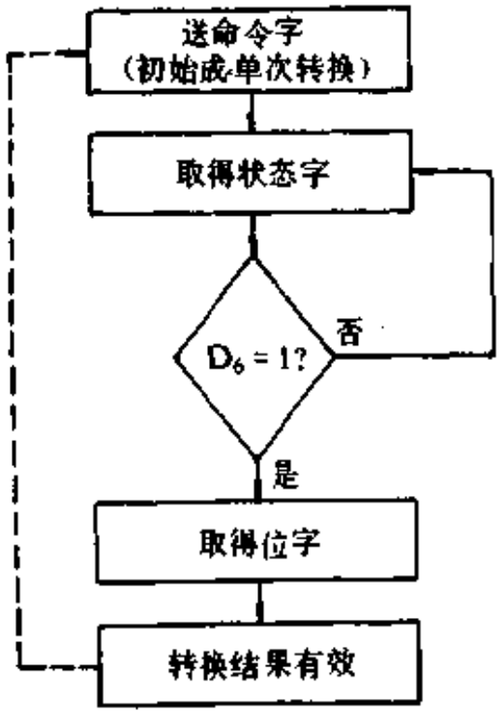


图 4.4.3 在单次转换方式下对HI7159读数

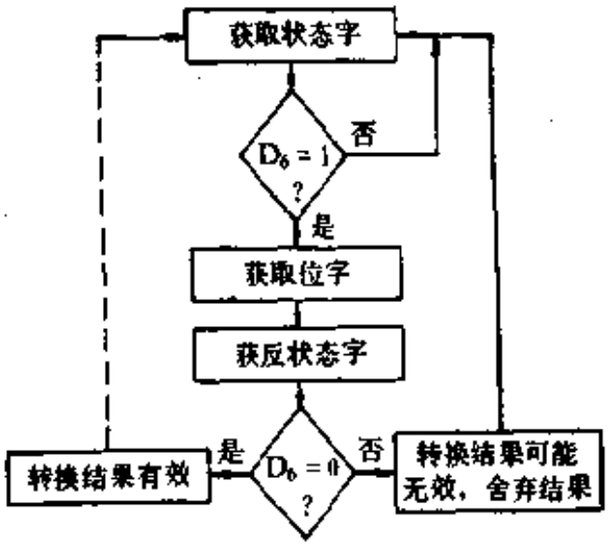


图 4.4.4 在连续转换方式下对HI7159读数

其特点是一旦命令字送给HI7159，将它初始化成连续转换方式，输出数据寄存器就在每次转换后不断更新。为避免在读数过

程中数据被刷新，在数据从转换器读出前后，必须读出状态字以确保在读数期间转换结果没有被刷新，见图4.4.4。

（5）晶体振荡器

晶体频率选2.4576Hz，可准确提供通讯速率 依次为19200、9600、1200和300波特。此时积分周期为16.28ms。

三、VC8055的电路分析

VC8055型5½位智能数字电压表的整机框图如图4.4.5所示。主要包括HI7159型5½位A/D转 换器、 MC68HC05C4微处理器、衰减器、电压量程选择、输入缓冲级、低通滤波器、基准电压、LCD显示组件，RS-232C接口，操作键和过压报 警器。

VC8055 型 DVM 的模拟电路部分如图 4.4.6 所示(见附图，数字电路略)，共使用 6 片 IC。其中，由 HI7159 进行 5½位 A/D 转

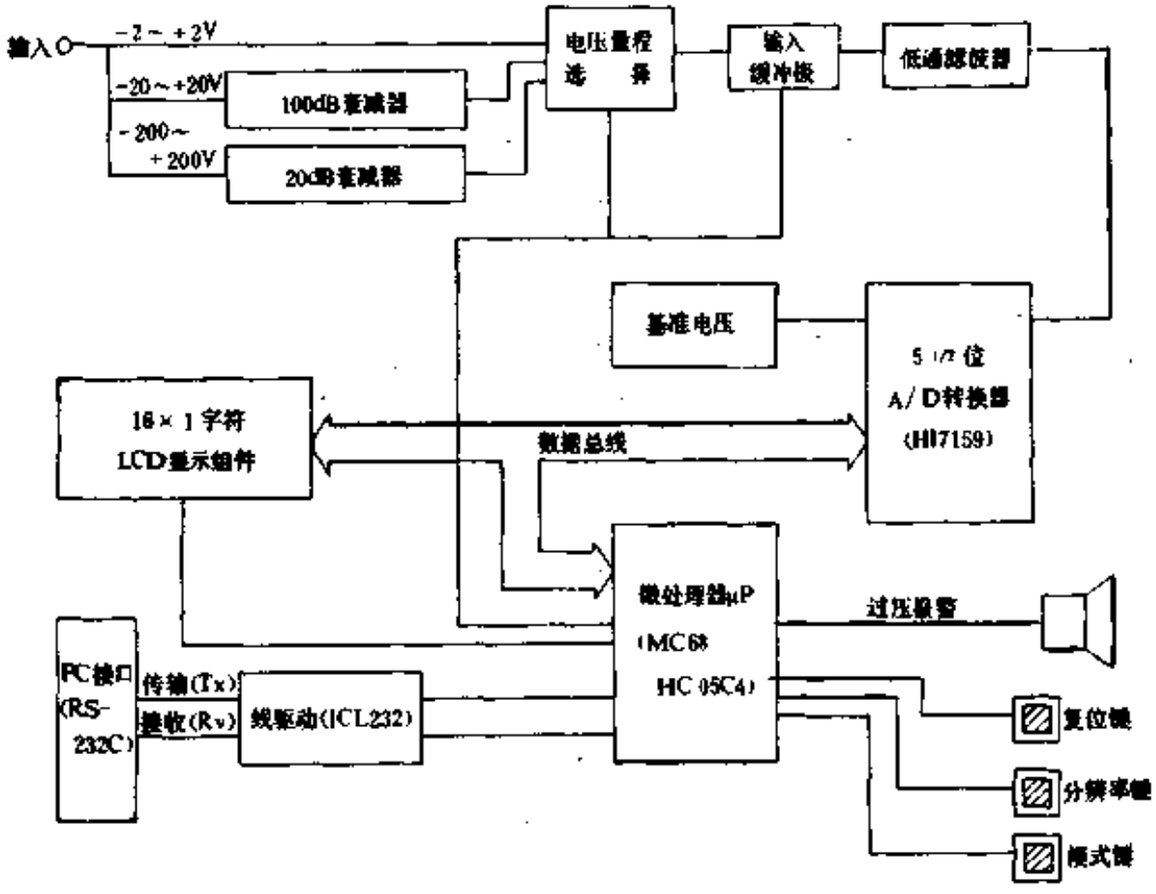


图 4.4.5 VC8055的整机框图

换，IC7652S是稳定削波器。MC1403A用以提供基准电压，调整电位器RP可使V_{REF} = 1.0000V。HI7159所需±5V电压分别由三端集成稳压器78L05、79L05提供。另一片78L05则向RS-232接口提供+5V电压。R_6、C_4分别为积分电阻与积分电容。C_5是基准电容。为避免分布电容引起基准电容器上电荷的损失，现利用HI7159第5脚与第8脚所提供的两个保护环对C_5进行隔离，图中两个虚线框分别代表保护环。模拟输入引线需采用屏蔽线。T_1、T_2是过压保护管。S是倍率选择开关。L为模拟地与数字地之间的退耦电感。C_6和C_7是±5V电源的退耦电容。D_1～D_3均系整流二极管。

§4.5 VC8255型5 1/2位智能数字万用表

VC8255是5½位高准确度、高分辨力、多功能、自动量程式智能数字万用表。它除测量DCV、ACV、DCA、ACA、Ω之外，还具有测量频率、摄氏及华氏温度之功能，测量交流时显示的是真有效值（TRMS）。备有RS-232接口，可外接微型计算机、打印机或CRT阴极射线示波器。该仪器仅用5个按键开关即可完成全部操作，由于采用“闭壳校准”方式，使校准过程大为简化。根据菜单，仅用简单指令即可实现各种输出控制功能。测直流电压时最高准确度达±0.0015%，分辨力为0.1μV。该仪器价格低廉，具有很高的性价比。

VC8255的面板布置图如图4.5.1所示。

一、主要特点与技术指标

1. 性能特点

（1）采用逐次累加式A/D转换（SSI）、数字调零、数字滤波等先进技术，消除零漂及非线性，从而实现了高准确度、高分辨

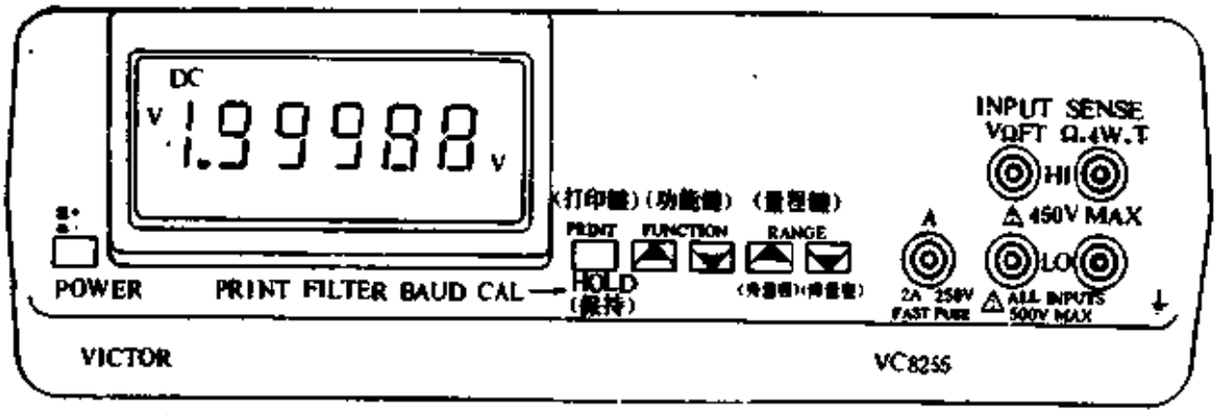


图 4.5.1 VC8255的面板布置

力指标。测量直流电压时准确度可达±0.0015%，分辨力是0.1μV。测量速度为3次/s。SSI转换器是对电荷平衡式A/D转换器的重大改进，其核心是利用微处理器算法将零漂和非线性减至最低限度，不仅能减少仪器的元器件，还降低了对外围关键元器件精确度的要求。测量ACV及ACA时显示真有效值，允许最大波峰因数$K_{PM}=5.0$，可测低占空比的窄脉冲。

(2) 可采用2线制或4线制接线法测量电阻。后者能消除引线电阻产生的误差，准确度达±0.002%，分辨力为1mΩ。

(3) 配上RTD测温探头能精确测量摄氏及华氏温度，准确度分别为±0.3℃、±0.5°F，分辨力依次为0.1℃、0.1°F。

(4) 能测量0～25MHz的信号频率，能响应低至200mV的阶跃信号电压。

(5) 操作简便、直观。面板上只设5个操作键，自动/手动量程均可。利用功能键"△"和"▽"，可以快速选择测试功能和量程。

(6) 采用"闭壳"(closed-case)校准方式，校准仪器时不必打开机壳或者调节电位器，只需借助于前面板上的键和一个参考标准源即可进行校准，每年校准一次。

(7) 采用光电隔离的RS-232接口，可配微型计算机、打印机。根据菜单(亦称目录单)可以很方便地控制打印输出和驱动计算机、CRT示波器。使用简单的指令实现遥控。在与IBM或

Macintosh微型计算机连用时，还可将数据与测量时间存储下来，以便分析结果。

（8）选用高对比度的液晶显示器，字高13mm，可在周围光线的极限亮度以下正常使用。LCD上有多种标志符（M、k、m、V、A、Ω、Hz、℃、°F、低电压指示、AUTO、REM、UNCAL）。

（9）交流、直流两种供电方式。交流电源电压范围为176～264V（或88～132V），47～63Hz，最大功耗为4W。使用内部可充电式6V镍镉电池可连续工作10h，并有低电压报警功能。

（10）高可靠性及稳定性，全密封结构，抗振动性能符合国际电工委员会（IEC）标准。

VC8255的工作温度与储存温度分别为0～50℃，－25～70℃。环境温度≤95%RH（40℃）。可在海拔3000m(折合10000英尺)以下使用。振动加速度最大为1.6g(10～15Hz)。外形尺寸为

表 4.5 VC8255的主要技术指标

测量功能	量程	最高准确度	最高分辨力	备注
DCV	20mV，200mV，2V、20V，200V，450V	±(0.0015%RDG+2字)	0.1μV	20mV档只能手动量程
ACV (TRMS)	200mV，2V，20V，200V，450V	±(0.25%RDG+100字)	1μV	20～50kHz K,≤5.0
DCA	200mA，2A	±(0.05%RDG+5字)	1μA	所有量程的分流器均为0.1Ω
ACA (TRMS)	200mA，2A	±(0.5%RDG+100字)	1μA	20～50kHz K,≤5.0
Ω	200Ω，2kΩ，20kΩ，200kΩ，2MΩ，20MΩ	±(0.002%RDG+2字)	1mΩ	采用4线制接法
T	－200～＋250℃	±0.3℃	0.1℃	采用4线制铂温度传感器
	－328～＋482°F	±0.5°F	0.1°F	
f	200kHz，2MHz，20MHz，25MHz	±(0.005%RDG+2字)	1Hz	电压灵敏度为200mV$_{rms}$

216×254×76(mm)，重1.6kg（含镍镉电池）。

2．技术指标

VC8255的主要技术指标见表4.5。

二、工作原理简介

VC8255的简化框图如图4.5.2所示。全部功能选择及测量过程均受微处理器控制，并通过RS-232接口与外围设备通讯。

仪器有5个输入插孔。测量V、Ω（2线制接法）、f、T时，信号从HI插孔、LO插孔输入。采用4线制接法测量温度时，信号需从HI、LO、SENSE插孔输入。电流信号是从A插孔输入。快速熔丝管与A插孔相串联，分流器直接装在熔丝管与LO插孔之间，以减小引路电阻。

输入信号在微处理器的控制下送至继电器矩阵。微处理器控制相应的继电器动作，使测量通道接通，可选择不同的测试功

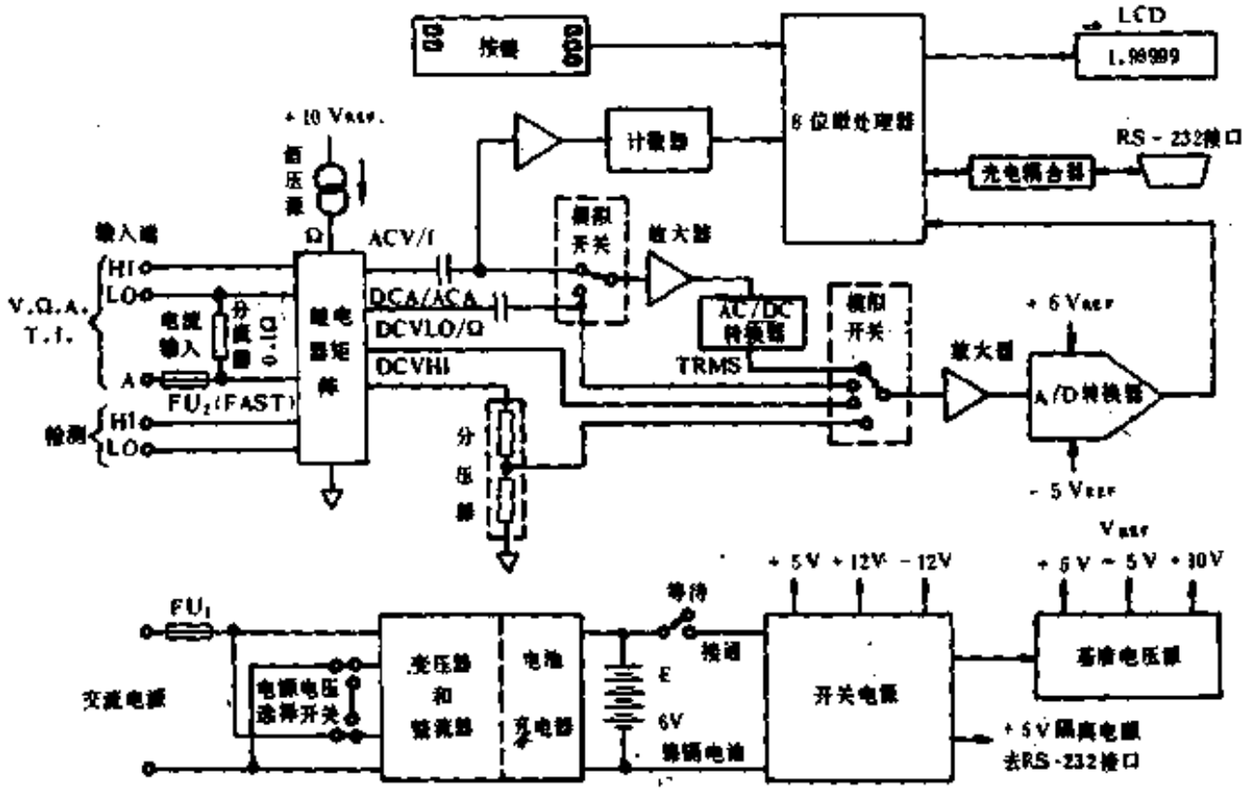


图 4.5.2　VC8255的局化框图

能。除频率信号之外，所有输入信号均经过放大器和A/D转换器。放大器将输入信号的电平放大到A/D转换器规定的输入范围之内。交流电压及电流信号尚需经过AC/DC真有效值转换器，转变成直流电压。对频率测量而言，输入信号是加到计数器上，并由微处理器读出结果。

A／D转换采用由微处理器控制的电荷平衡式转换技术，亦称逐次累加积分法（SSI），由此可获得高准确度的转换结果。送至微处理器的数据与被测信号成正比。

8位微处理器是该仪器的控制中枢。它具有1k容量的保持校准信息存储器、32k的程序存储器和8k的中间结果存储器。微处理器通过其内部的输入寄存器来读出前面板按键数据和计数器输出的频率测量结果。输入寄存器还用以控制继电器矩阵、模数转换以及5½位LCD显示。

微处理器与RS-232接口的通讯，由光电耦合器进行隔离及电平转换。光电耦合器允许仪器在浮置状况下与参考地之间通讯。

交流供电时，220V交流电压经变压器与整流器，送至开关电源中获得±5V、±12V四路稳压输出，其中一路+5V电源供RS-232接口使用。基准电压源则提供±5V、+10V的基准电压V_{REF}。仪器内设电池充电器，平时可对6V镍镉电池充电，以作备用。

手动量程时分别按下△键、▽键，可以升高或降低量程（参见图4.5.1）。利用PRINT键选定打印机。利用功能键(FUNCTION △、▽）可选择不同的测试功能，见图4.5.3。图中f、T分别代表频率测量和温度测量。Ω(4W)表示用4线法测电阻，Ω表示用2线法测电阻。W是Wire（导线）的缩写。PRINT键也是数据保持键，可依次显示打印(PRINT)、数字滤波器①(FILTER、)波特率(BAUD)、校准(CAL)。HI、LO插孔间的最大输入电压为450V

① 当噪声大时，数字滤波器能起到滤波作用。

（DC或AC　RMS），各插孔对地电压最大可承受500V（DC或AC RMS）。

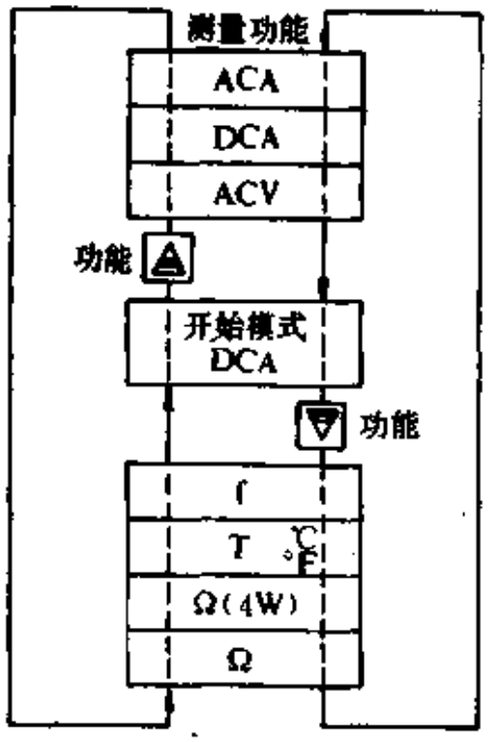


图 4.5.3　操作流程图

§4.6　DT990型$4^{3}/_{4}$位袖珍式双显示真有效值智能数字万用表简介

DT990型$4^{3}/_{4}$位真有效值双显示智能数字万用表，是最新推出的高准确度、多功能的高档袖珍式仪表，它标志着袖珍数字万用表已发展到$4^{3}/_{4}$的水平，可代替同类台式数字万用表。其外形如图4.6.1所示。

该仪表具有以下显著特点：

（1）采用4位单片微型计算机控制，配有RS-232C接口，COMM为数据输出功能键。

（2）$4^{3}/_{4}$位数显的最大读数为±39999。高速42段（含零段和溢出段）模拟条图可适时反应被测模拟电量的迅速变化。测量速率达20次／s。能自动转换量程。

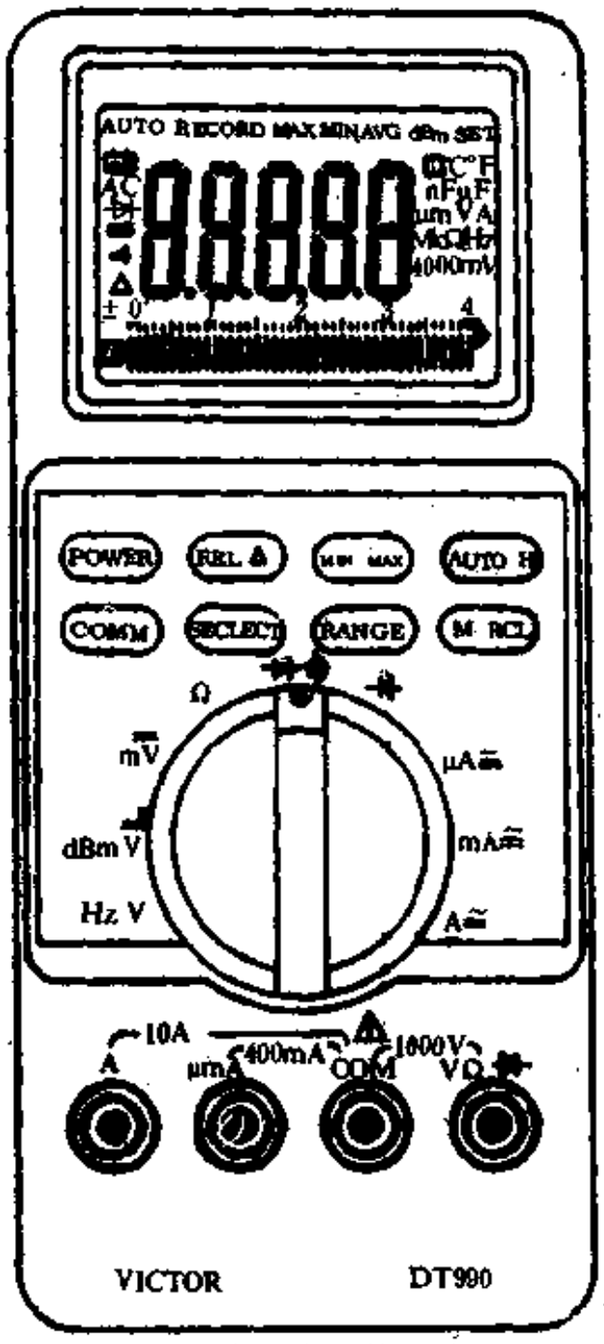


图 4.6.1 DT990型4½位真有效值智能数字万用表的外形

(3) 直流电压基本量程的准确度达 ±0.05%。

(4) 交流真有效值测量，频率响应为20kHz。

(5) 利用MIN MAX键可同时记录并显示出被测量的最小值(MIN)、最大值（MAX）和平均值（AVG)。

(6) 自动数据保持（AUTO H）并存入存储器中。按下MRCL键可以读出已存储的数据。

(7) 具有相对值测量功能（REL △)。

(8) 在交流电压档按下SELECT键，即可读取频率值。按下RANGE键则能改变电阻衰减比，以控制输入灵敏度。

(9) 在电流档按下SELECT 键，可选 择交 流／直 流测 量功能。

(10) 能测量功率电平(dB_m) 和电压电平 (dB)。在电压档按下SELECT键时，显示dB_m值。若仍选电压档，依次按下REL △键和SELECT键，则显示dB值。实际上，按下REL △键时，就是把上一次读数规定为0dB。

(11) 由微机控制的智能化的自动关机功能。

DT990的原理框图如图4.6.2所示。仪表内部包含μPD753XX型8位微型计算机，MAX134型A／D转换器。外围电路 主要有电阻衰减网络、积分器和有源滤波器、量程及功能转 换开 关、RS-232接口。

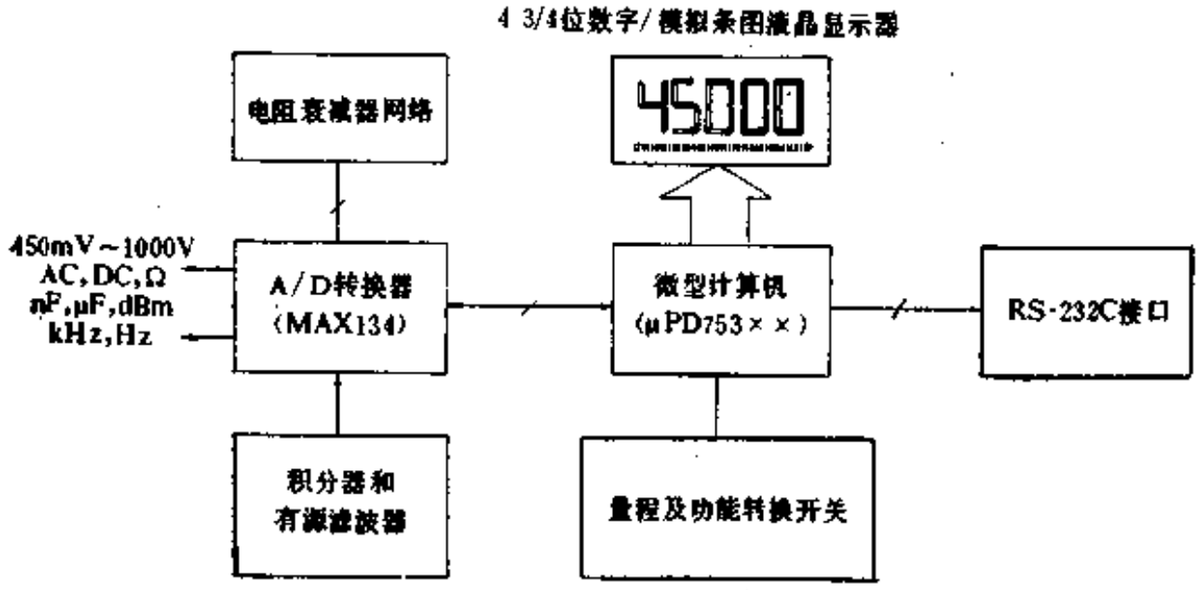


图 4.6.2 DT990的原理框图

第五章　数字万用表的调试与维修

对于测试人员来说，学会正确使用数字万用表只是工作的前提条件，熟悉仪表的原理则是工作的基础，而掌握调试与维修技术是工作的可靠保证。本章专门介绍数字万用表的调试与维修技术。

§5.1　数字万用表调试概述

数字万用表属于精密测量仪表。其测量准确度不仅取决于电路设计、元器件质量与安装工艺，还与调试方法及所用调试仪器有密切关系。检修后的数字万用表也只有经过认真地调试，才能达到规定的技术指标。下面重点介绍标准测试条件和调试需用的标准源。

一、标准测试条件

调试数字万用表应在标准测试条件下进行。目前各国规定的标准测试条件不尽相同，大致如下：

(1) 温度：20±1℃，或23±1℃，25±1℃，23±5℃。袖珍式数字万用表一般规定为23±5℃。

(2) 相对湿度：通常为45%～75%，少数表为40%～80%。

(3) 工作位置：按规定方式或通常使用方式放置。

(4) 电源电压：不超出规定电源电压的±1%。

(5) 环境条件：无外界磁场、电场、震动或冲击的影响。

我国曾于1975年颁布电子测量仪器部颁标准（SJ943-75），对标准（基准）条件的具体规定见表5.1.1。

表 5.1.1 SJ943-75 规定的标准条件

影 响 量	标准数值或范围	公 差
环境温度	20℃	±2%(或±1℃)
相对湿度	45～75%	
大气压强	650～800mmHg*	
交流供电频率	50Hz	±1%
交流供电电压	220V	±2%
交流供电波形	正弦波	失真度 $\beta=0.05$
直流供电电压	额定值	±1%
直流供电电压纹波		$\Delta U/U_o \leqslant 0.1\%$
外界磁场干扰	应避免	
通风	良 好	
阳光照射	避免直射	
工作位置	按制造厂规定	±1°

* 1mmHg=133.3Pa

对数字万用表而言，可参照说明书规定的标准条件。通常受实际情况所限制，完全按标准条件测试数字万用表会有一定困难，但也应尽量接近于标准测试条件。

二、环境条件

环境条件是指仪表的额定工作条件。若在规定环境条件之外使用仪表，将带来附加误差，甚至造成仪表的永久性损坏。

环境条件一般视各国实际情况而定。我国ZBY095-082"直流数字电压表技术条件"的标准中，对A、B、C三个组别仪表的额定工作条件分别作了规定，见表5.1.2。仪表对大气压强也有要求，这是因为气压低、空气就稀薄，仪表的散热条件变差，使用功率易超出额定值。因此，在高山、高原地区应适当减少仪表

表 5.1.2 我国对直流数字电压表额定工作条件之规定

仪表组别	A	B	C
环境温度(℃)	+5～+40	−10～+40	−25～+55
相对湿度(%)	20～80	10～90	5～95
大气压强(kPa)	70.0～106.0	53.3～106.0	53.3～106.0
阳光照射	无直接照射	无直接照射	≤+55℃*
周围空气流速(m/s)	0～0.5	0～0.5	0～5

* 指环境温度与太阳热幅射的综合效应不使表面温度超过+55℃。

(或仪器)的连续开机时间或采用强迫风冷。

三、标准源

标准源亦称标准仪器或标准测试设备。我国电量标准也是按照"国家标准计量局⟶一级计量站⟶二级计量站⟶…"的顺序逐级往下传递的。由于计量单位的级别不同，所用标准源的技术指标亦不同。标准源的种类很多，例如直流电压标准源、直流电流标准源、交流电压标准源、交流电流标准源、电阻标准源等。目前标准源正从单一的标准仪器发展成为智能化标准测试系统。国外生产标准源的厂家有日本横河(YOKOGAWA)公司，美国福鲁克(Fluke)公司等。国内生产的DCV、ACV、Ω标准源的准确度指标也已分别达到0.001%、0.04%、0.001%。

1. 对标准源的基本要求

(1) 标准源的综合误差应小于被校表允许误差的1/3～1/5。

(2) 标准源的调节细度应小于被校表分辨力的1/5～1/10。

(3) 交流标准源的频率范围应能覆盖被校表交流档的工作频率范围。

(4) 整个测试系统应有良好的屏蔽、接地措施。对地电阻应小于0.3Ω。校验高级数字万用表时宜在屏蔽室内进行。

（5）所用标准源应定期送交计量部门，检定合格后方能使用。

2．标准源典型产品性能简介

检验3½～4½位数字万用表常用的标准源型号及主要性能指标，见表5.1.3，可供参考。此外，还需要数字频率计、标准高阻箱、标准温度计、4½位～5½位标准数字万用表、低频标准信号源等，限于篇幅，不一一列举。

表 5.1.3 常用标准源型号及主要性能

型号	名称	主要性能指标	生产厂家
YEW2554	直流标准源	0～±119.99V(±0.05%) 0～±119.99mA(±0.05%)	日本横河公司(YOKOGAWA)
YJ87	直流标准源	0～±119.99V(±0.05%) 0～±119.99mA(±0.05%)	上海电表厂
YEW2558	交流标准源	0～1000V(±0.08%) 0～50A(±0.08%) 40～500Hz	日本横河公司
SB868	多功能校准仪	0～1000V±(0.2%) 0～10A(±0.2%)	上海电表厂
ZX54	实验室电阻箱	0.01Ω～111.111kΩ，0.01级	上海电工仪表厂
ZX21	标准电阻箱	0.1Ω～99999.9Ω，0.1级	上海中华元件厂
RX7/0	标准电容箱	100pF～1μF，0.5级	上海沪光仪器厂
DO30-C	数字式三用表校验仪	0～1000V，0～10A	山东潍坊无线电八厂

§5.2 检验规范

为确保产品质量，厂家根据国家标准（例如GB6593电子测量仪器质量检验规则）和本企业标准制定了出厂检验规范。检验项目包括外观（结构）、电气特性。根据产品不符合技术标准的

程度，将产品缺陷分为三种类型：致命缺陷（容易对产品使用、维修和保管人员构成危险或不安全因素的缺陷）；重缺陷（不构成致命缺陷，但易于造成故障或大大降低产品预定实用性的缺陷）；轻缺陷（只对产品的实用性能有轻微影响或几乎没有影响的缺陷）。

一、数字万用表的缺陷实例

下面列举的数字万用表的缺陷实例，可对读者选购和维修数字万用表提供帮助。括弧内注明的是故障轻重程度。

1．外观

（1）壳体开裂、烂、变形（重）。

（2）壳松，有明显凸凹痕、划伤、污垢。

（3）透明片、透镜液晶罩或液晶框架上有裂纹、划伤、松动、污垢。

（4）显示器漏液，表面有裂纹（重）。

（5）显示器上有静电吸附物，有扎点、黑点。

（6）显示器表面呈现光学干涉现象造出的彩色花纹，或因装配不良导致受压变色。

（7）后支架、电池盒盖过松或过紧。

（8）后支架、电池盒盖、按钮等部件漏装或脱落（重）。

（9）输入插座或插片松、歪、不高不平，金属部分露出保护层或生锈（重）。

（10）面板、薄膜贴面有划伤、污垢、粘贴不齐、翘起。

（11）面板、薄膜贴面上的标志、字迹模糊（重）。

（12）钳头开裂，不能开启、闭合（仅对数字钳形表而言）（重）。

（13）后盖上的防滑胶条或胶粒漏装、脱落、高低不平。

（14）表内有导电杂物（重）；表内有非导电杂物（轻）。

（15）缺少附件（如表笔、探头），使仪表无法使用（重）。

（16）无说明书、合格证、保修卡、防潮剂。

(17) 电池夹扣表面损坏。

2. 显示部分

(1) 不显示或显示模糊（重）。

(2) 字形缺划、增加笔划、全显示（重）。

(3) 不显示小数点、单位符号或功能符号（重）。

3. 功能开关、按键部分

(1) 功能失效，达不到规定作用（重）。

(2) 有卡滞、打滑或松动，若不影响使用，属于手感不好（轻）。

(3) 量程开关相对于面板刻度的错位超过间隔距离的1/3（重）；小于间隔距离的1/3（轻）。

(4) 按键装偏、影响使用（重）；不影响使用（轻）。

4. 致命缺陷类

(1) 机内冒烟，有烧焦味。

(2) 高压漏电，打火。

5. 电气特性类

(1) 不回零或达不到回零要求(重)。

(2) 输入电量时不指示，或准确度超差(重)。

(3) 不能自动显示极性(重)。

(4) 过载时不显示"1"、"0L"等过载符号(重)。

(5) 输入量小于满量程时，显示过载符号(重)。

(6) 读数不稳定，或读数速度慢(重)。

(7) 自动量程转换不起作用(重)。

(8) 分辨力不够(重)。

(9) 在标准环境条件下不能满足准确度的要求(重)。

(10) 在规定频率范围内不能满足准确度要求(重)。

(11) 烧断熔丝管后，仅需更换熔丝管(轻)；尚需打开表壳检修电路(重)。

(12) 正常供电时也显示"LO BAT"等低电压指示符号

(轻)。

(13) 电池电压低于规定下限时，不显示低电压符号(重)。

(14) 仪表静态功耗大于额定值(轻)。

(15) 机芯装配或接触不良，造成工作不正常(重)。

(16) 发光二极管不亮、常亮或闪烁不定(重)。

(17) 蜂鸣器常响、不响或不符合规定发声要求(重)。

(18) 蜂鸣器声音小或发出怪异声音(轻)。

(19) 电阻档开路时不显示"1"或其他规定符号(重)。

(20) 频率档灵敏度低(轻)。

(21) 方波输出波形不正常(轻)。

(22) 聚光灯散光，导致转速超差；或聚光灯不亮使功能失效(重)。

(23) 自动关断电源不起作用(重)。

需要指出，上述故障实例是针对各种数字万用表及专用数字仪表而言的。例如，第5.(16) 项故障适用于DT890A型，该表面板上有LED发光二极管；第5.(21) 项适用于DT810型，该表能输出50Hz、$3V_{p-p}$方波信号。第5.(22) 项适用于DM6234P型5位数字式光电转速表；第5.(23) 项对于DT840D型、DT1000型均适用。

二、机芯的检验规程

机芯亦称表芯，它是数字万用表的核心。机芯的检验规程如下：

1. 外观要求

(1) 元件插放整齐，焊点高度一致。

(2) 显示器装配正确，液晶罩表面无划伤、毛刺，内部无灰尘等。

2. 功能检查

（1）显示正常、不缺笔划，不连笔划，亦无阴影。

（2）开关灵活，档位准确，有力度感。

（3）功能齐全：

①当输入端开路时，在直流电压200mV档和2V档可能有数字出现，但短路表笔后显示应为零。200mV档开路显示应在10个字以下，输入感应信号（例如用手触摸表笔尖）时，仪表应有反应。

②交流档在短路时应显示零。

③直流电流、交流电流及晶体管档在开路时应显示零。

④2000pF电容档开路时显示数字应在10个字以下，其余电容档均显示零。将Cx插座短路时，各电容档均应显示“1”（指千位显示1，下同）。

⑤各电阻档在开路时应显示“1”，将表笔短路时除200Ω档可显示3个字以下①，其他各档均应显示零。

⑥200MΩ高阻档开路时显示“1”，短路后显示9～10个字。

⑦蜂鸣器档开路时显示“1”；短路后能发出正常的响声，并且显示为零。

⑧温度档开路时应显示室温。

⑨电导档开路时应显示零。

⑩频率档开路时应显示零或接近于零。

说明：④、⑥、⑧、⑨、⑩项属于特殊量程，视仪表型号而定。

§5.3 袖珍式数字万用表的调试内容概述

调试袖珍式数字万用表的主要内容如下：（1）DCV档的调

① 即输入引线（含表笔线）的电阻值。

试；（2）ACV档的调试；（3）DCA档的调试；（4）ACA档的调试；（5）Ω档的调试；（6）二极管及蜂鸣器档的调试；（7）hFE档的调试；（8）电池低电压指示的调试；（9）测量整机功耗。

对于DT890C+、DT930F+、DT970、DT1000等多功能数字万用表，可视具体情况增加下述内容：（10）电容档的调试；（11）频率档的调试；（12）温度档的调试；（13）逻辑电平测试档的调试。

下面介绍数字万用表的一般调试方法。

1．直流电压档(DCV)的调试

（1）将被校表拨至DCV200mV量程，按照图5.3.1所示电路接好线。

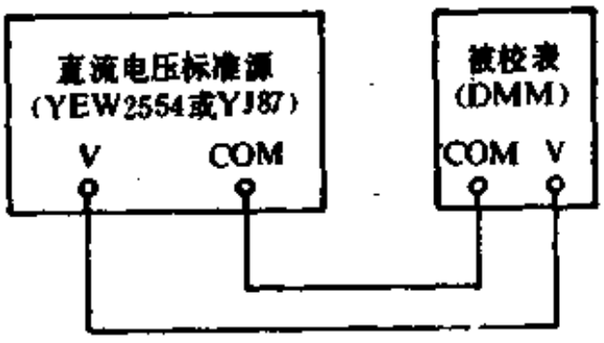


图 5.3.1 直流电压档的调试电路

（2）输入100.0mV的标准信号，调节基准电压调整电位器，使被校表显示值在规定范围之内。

（3）依次输入20.0mV、190.0mV的标准信号，观察被校表显示值应不超出规定范围。

（4）输入－100.0mV的标准信号，要求与输入＋100.0mV标准信号的显示差值不超过±1个字。此项误差亦称作颠倒误差。

（5）依次将量程开关拨至2V、20V、200V、1000V量程，分别输入1.000V、10.00V、100.0V、1000V标准信号，观察显示值应在规定误差范围之内。

2．交流电压档(ACV)的调试

(1) 将被校表拨至ACV2V量程，按图5.3.2所示同交流标准源连接。

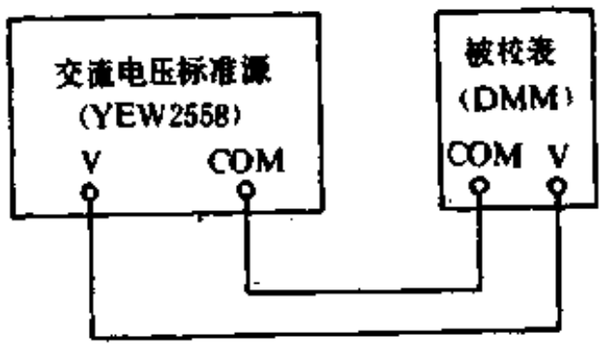


图 5.3.2 交流电压档的调试电路

(2) 使交流标准源输出60Hz、1V(RMS)的信号，调节AC/DC转换电路中的电位器，使被校表读数在规定范围内；再依次输入0.200V，1.900V的交流信号，显示值均应在规定范围之内。

(3) 依次将量程开关拨至200mV、20V、200V、700V档，分别输入100.0mV、10.00V、100.0V、700V交流信号，显示值均应在规定范围内。

(4) 交流标准源的信号频率分别选50Hz、400Hz，重复上述步骤，显示值应在规定范围内。

3．直流电流档(DCA)的调试

(1) 将被校表拨至DCA200μA档，按图5.3.3接好电路。

(2) 在200μA、2mA、20mA、200mA档，分别输入100.0μA、1.000mA、10.00mA、100.0mA的信号电流，显示值均应在规定范围之内。

注意：200mA档读数若偏高，待调整好2A档后再进行测试。

(3) 将被校表拨于DCA20A档，并与直流电流源①、监测表

① 鉴于直流电流标准源最大只能输出10A电流，因此现改用普通直流电流源，并选一块准确度较高的DMM作监测表。

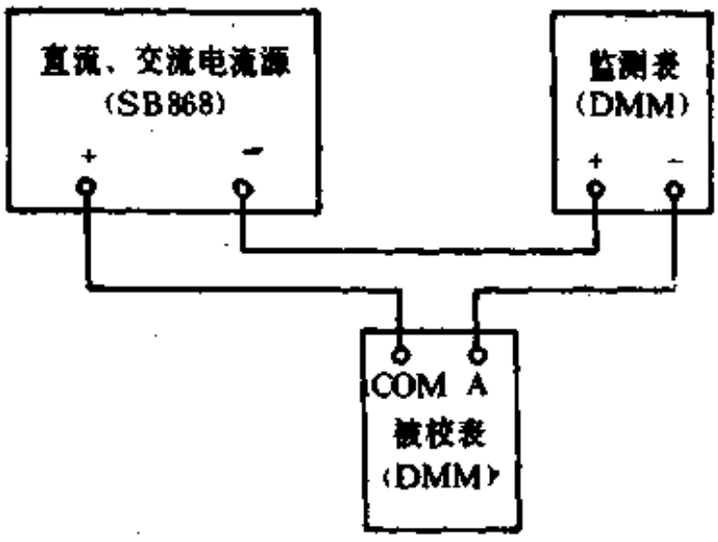


图 5.3.3 直流电流档的调试电路

接好线。由直流电流源输出5A的电流，观察并记下被校表的读数，然后关掉电流源。

若显示值为上偏差，则在锰铜丝电阻上加锡，通过增加横截面积来减小分流电阻值。反之则刮锡。

重复上述步骤，直至显示值在误差范围内(必须在锰铜丝电阻恢复正常温度以后才能进行测试)。然后使电流源输出为10A、20A，显示值均应符合规定范围；如超差，则继续在锰铜丝电阻上吃锡或刮锡。

(4) DCA2A档的调试方法同DCA20A档。区别只是用一根裸导线，一端焊在线绕电阻的根部，另一端焊在线绕电阻的合适位置上，即可改变显示值，直到在允许范围之内。

4. 交流电流档(ACA)的调试

(1) 将交流电流源的输出信号频率调至60Hz。

(2) 在ACA200μA档、2mA档、20mA档、200mA档及20A档，分别输入100μA、1mA、10mA、100mA和10A(RMS)的交流电流，显示值应在规定范围之内。调整ACA2A档及20A档分流电阻的方法与DCA2A、20A档相同。

5. 电阻档(Ω)的调试

(1) 按照图5.3.4所示将被校表与标准电池连接好。

（2）将被校表依次拨至200Ω、2kΩ、20kΩ、200kΩ、2MΩ、20MΩ档，分别测量100.0Ω、1.000kΩ、10.00kΩ、100.0kΩ、1.000MΩ、10.00MΩ的标准电阻，显示值应在规定范围之内。

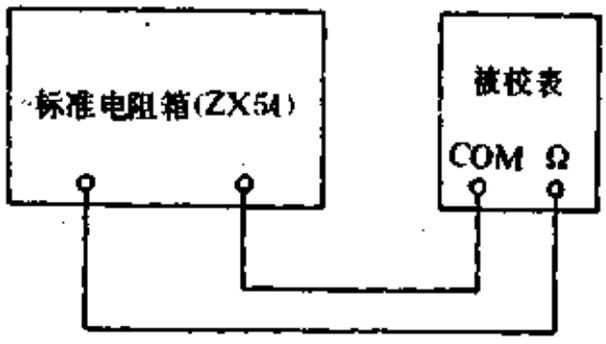


图 5.3.4 电阻档的调试电路

6. 二极管及蜂鸣器档的调试

（1）被校表选择二极管档，将二极管正极接VΩ插孔，负极接COM插孔，显示值应为二极管正向压降的近似值。若将二极管的极性反接，则仪表溢出，应显示"1"。对于DT970型数字万用表，应显示该档测试电压值(约2.8V)。

（2）仿照图5.4.4接上标准电阻箱，当被测电阻低于规定值(例如30Ω、70Ω)时，蜂鸣器应发声。

7. hFE档的调试

（1）将被校表拨至hFE档。

（2）准备NPN型、PNP型晶体管各一只。

（3）依次将两只晶体管插入相应的插孔中，仪表应显示被测管hFE的近似值。

8. 电池低电压指示的调试

（1）当被测表的电池电压$E<7.5$V时，应出现低电压指示符号。

（2）当$E>8.0$V时，不应出现低电压指示符。

9. 测量整机功耗

按照图5.3.5接好电路，测量整机工作电流不得超过规定值(通常为4.5mA)。该数值乘以电池电压(通常为9V，仅3210型数字

钳流表为3V)，就是整机功耗。

10. 电容档的调试

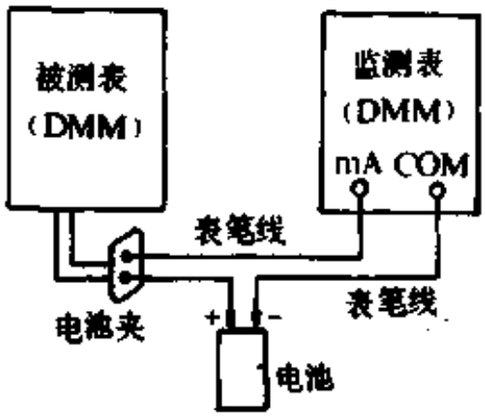


图 5.3.5 测量整机工作电流

(1) 将被校表拨至200nF电容档，把100.0nF的标准电容插入C_x插口中，调节相对应的电位器使显示值在规定范围内。

(2) 用2000pF、20nF、2μF、20μF档分别测量1000pF、10.00nF、1.000μF、10.00μF的标准电容，显示值均应在规定范围内。

11. 频率档的调试

(1) 将被校表拨至20kHz档，输入19kHz、50mV(RMS)的标准交流信号。调整相应的电位器，使显示值在规定范围之内。

(2) 依次输入10kHz、1kHz、100Hz、10Hz的标准频率信号，显示值均应符合要求。

12. 电导档(nS)的调试

(1) 将被校表拨至nS档，然后测量100MΩ的标准电阻。

(2) 调节相应的电位器，使显示值符合要求。

13. 温度档(T)的调试

(1) 调试设备

①保温桶(用以盛放冰水混合物)1个

②0～40℃、－10～＋10℃的0.2级标准水银温度计各一支(分别用以测量室温和冰点温度)

③电热杯(产生沸水)1个

④测温探头(K型热电偶)1个

⑤0.05级毫伏信号源1台

(2) 调试步骤

①将测温探头与被校表在相同环境温度(室温)下放置20分钟以上。

②将被校表拨至温度档，把测温探头的热端置于冰中混合物中，与插入其中的水银温度计的水银泡处于同一高度且二者尽量靠近，探头的冷端则插入被测表的K型插座上(注意插座的"+"、"-"极性)。

③调节电位器RP_1(对DT970型数字万用表而言，下同)，使被校表的显示值为000～001℃，然后对RP_1点胶固定。

④将探头热端插入沸水(100℃)中，调节RP_5使被校表显示沸点温度99～100℃。

⑤从被校表上拔掉测温探头，仪表显示所在环境的温度T_A，误差应在规定范围内。环境温度以置于该环境下20分钟的水银温度计的读数T_A为准。

⑥将毫伏信号源的输出接被校表的K型插座中(注意正、负极性)。依次输出12.21mV、29.13mV和41.27mV，分别校准300℃、700℃和1000℃的显示值。若被校表出现超差，则微调RP_5，直至显示值在规定范围内。

注意事项：在海拔较高的地区，水的沸点低于100℃，误差范围应作相应修正。另外，在300℃、700℃、1000℃下的仪表显示值均应再加上T_A值，方为实际测量值。

14. 逻辑测试档(LOGIC)的调试

(1) 将被校表拨至逻辑测试档(LOGIC)。将可调直流电压源的输出端接至被校表的VΩ插孔与COM插孔之间。

(2) 调节可调直流电压源的输出电压V_o，当V_o低于规定的阈值电压时，被校表应显示"▼"符号，同时蜂鸣器发声；当V_o高于阈值电压时应显示"▲"符号，此时蜂鸣器不发声。对DT970型数字万用表而言，规定的阈值电压为1.9V。

§5.4 DT840D型数字万用表的调试方法

DT840D型数字万用表的调试步骤及调试指标见表5.4。

表 5.4. DT840D型数字万用表调试一览表

测量功能	量　程	输入量	准确度	显示值允许范围
DCV	200mV	100.0mV	±(0.5%RDG+1字)	99.4～100.6
		20.0mV		19.8～20.2
		190.0mV		189.0～191.0
	2V	1.000V		0.994～1.006
	20V	10.00V		9.94～10.06
	200V	100.0V		99.4～100.6
	1000V	1000V	±(0.8%RDG+2字)	990～1010
DCA	200μA	100.0μA	±(0.5%RDG+1字)	99.4～100.6
	2mA	1.000mA		0.994～1.006
	20mA	10.00mA		9.94～10.06
	200mA	100.0mA	±(1.2%RDG+1字)	98.7～101.3
	2A	1.000A		0.987～1.013
	20A	5.00A	±(2.0%RDG+5字)	4.85～5.15
ACV	200mA	100.0mV	±(1.2%RDG+3字)	98.5～101.5
	2V	1.000V	±(0.8%RDG+3字)	0.985～1.011
		0.200V		0.196～0.204
		1.900V		1.882～1.918
	20V	10.00V		9.89～10.11
	200V	100.0V		98.9～101.1

续表

测量功能	量　程	输入量	准确度	显示值允许范围
ACV	700V	700V	±(1.2%RDG+3字)	689～711
ACA	200μA	100.0μA	±(1.8%RDG+3字)	97.9～102.1
	2mA	1.000mA	±(1.2%RDG+3字)	0.985～1.015
	20mA	10.00mA		9.85～10.15
	200mA	100.0mA	±(2.0%RDG+3字)	97.7～102.3
	2A	1.000A		0.977～1.023
	20A	10.00A	±(3.0%RDG+7字)	9.63～10.37
Ω	200Ω	100.0Ω	±(0.8%RDG+3字)	98.9～101.1
	2kΩ	1.000kΩ	±(0.8%RDG+1字)	0.991～1.009
	20kΩ	10.00kΩ		9.91～10.09
	200kΩ	100.0kΩ		99.1～100.9
	2MΩ	1.000MΩ		0.991～1.009
	20MΩ	10.00MΩ	±(1.0%RDG+2字)	9.88～10.12

§5.5 DT890C+型数字万用表的调试方法

DT890C+型数字万用表的调试步骤与调试指标详见表5.5。

表 5.5 DT890C+型数字万用表调试一览表

测量功能	量　程	输入量	准确度	误差范围
DCV	200mV	100.0mV	±(0.5%RDG+1字)	99.4～100.6
		20.0mV		19.8～20.2
		190.0mV		189.0～191.0

续表

测量功能	量　程	输入量	准确度	误差范围
DCV	2V	1.000V		0.994～1.006
	20V	10.00V		9.94～10.06
	200V	100.0V		99.4～100.6
	1000V	1000V	±(0.8%RDG+2字)	990～1010
DCA	2mA	1.000mA	±(0.8%RDG+1字)	0.991～1.009
	20mA	10.00mA		9.91～10.09
	200mA	100.0mA	±(1.2%RDG+1字)	98.7～101.3
	20A	5.00A	±(2.0%RDG+5字)	4.85～5.15
ACV	2V	1.000V	±(0.8%RDG+3字)	0.989～1.011
		0.200V		0.196～0.204
		1.900V		1.882～1.918
	20V	10.00V		9.89～10.11
	200V	100.0V		98.9～101.1
	700V	700V	±(1.2%RDG+3字)	689～711
ACA	200mA	100.0mA	±(2.0%RDG+3字)	97.7～102.3
	20A	10.00A	±(3.0%RDG+7字)	9.63～10.37
Ω	200Ω	100.0Ω	±(0.8%RDG+3字)	98.9～101.1
	2kΩ	1.000kΩ	±(0.8%RDG+1字)	0.991～1.009
	20kΩ	10.00kΩ		9.91～10.09
	200kΩ	100.0kΩ		99.1～100.9
	2MΩ	1.000MΩ		0.991～1.009
	20MΩ	10.00MΩ	±(1.0%RDG+2字)	9.83～10.12
	200MΩ	100.0MΩ	±(5%RDG+10字)	95.0～107.0
C	2000pF	1000pF		972～1028

续表

测量功能	量　程	输入量	准确度	显示值允许范围
C	20nF	10.00nF	±(2.5%RDG+3字)	9.72~10.28
	200nF	100.0nF		97.2~102.8
	2μF	1.000μF		0.972~1.028
	20μF	10.00μF		9.72~10.28
T	−40~400℃	0℃	±(0.75%RDG+3字)	−004~004
		100℃		096~104
		T_A		(T_A-3)℃~(T_A+3)℃
		300℃		$(295+T_A)$℃~$(305+T_A)$℃
	400~1000℃	700℃	±(1.5%RDG+15字)	$(675+T_A)$℃~$(725+T_A)$℃
		1000℃		$(970+T_A)$℃~$(1030+T_A)$℃

§5.6　3211B笔式数字万用表的调试方法

1. 调试方法

(1) 调节时钟频率

将标准频率计(例如CN3165型)的探针插入IC_2(ICM7555)的第2脚，调节RP_2使频率计读数为100.0kHz。

(2) 调整基准电压

将转换开关拨至DCV档，输出100mV标准电压信号，调节RP_1使读数在规定范围之内。

（3）检测直流电压档

依次输入100V、380V直流电压，观察显示器，读数均应在允许范围内。

（4）检测交流电压档

将转换开关拨至ACV档，输入50Hz、100V信号，读数应在误差范围内，如有偏差可以微调RP_2。然后分别输入50Hz、200V和380V电压，若超出误差范围，再微调RP_2。

（5）检测电阻档

将转换开关拨于Ω档，分别测量100Ω、1kΩ、10kΩ、100kΩ、1MΩ标准电阻，观察读数是否在规定范围内。

在LOΩ档时，若被测电阻小于1kΩ，则蜂鸣器应发声。

2. 调试指标

3211B的调试指标见表5.6。

表 5.6 3211B笔式数字万用表的调试指标

测量功能	输入值	准确度	显示值允许范围
DCV	100.0mV	±(1.0%RDG+10字)	93.0～102.0
	100.0V		98.0～102.0
	380.0V		375.2～384.8
ACV	100.0V	±(2.5%RDG+10字)	96.5～103.5
	200.0V		194.0～206.0
	380.0V		369.5～390.5
LOΩ	100Ω	±(1.0%RDG+9字)	90～110
	1.000kΩ		0.990～1.010
	10.00kΩ		9.90～10.10
	100.0kΩ		99.0～101.0
HIΩ	1.000MΩ	±(1.0%RDG+9字)	0.990～1.010

§5.7 3210型数字钳流表的调试方法

1. 调试仪器

(1) 2558型交流标准源1台

(2) 40匝电流线圈(自制)1个

2. 环境条件

23±5℃，RH<80%

3. 调试步骤

(1) 将电源开关拨于ON位置。

(2) 量程开关置于200A档。

(3) 使3210钳流表钳住电流线圈，并使线圈位于钳头中央。

(4) 由标准源输出50Hz、2.5A的电流信号，40匝电流线圈在钳头中央产生的总电流为2.5A×40=100.0A。调节RP_1，使读数符合规定范围。

(5) 检查线性度。分别使标准源输出50Hz、0.5A和50Hz、4.9A的电流信号，显示值均应在规定范围内，如超差，应重新调整RP_1。

(6) 将量程开关拨至20A档。

(7) 由标准源输出50Hz、0.25A的电流信号，调整RP_2使读数符合要求。

(8) 检查线性度。利用标准源分别输出50Hz、0.047A和50Hz、0.48A的电流信号，仪表显示值均应在规定范围之内。如有超差，重新调整RP_2。

(9) 按下保持开关，读数应能保持住。

4. 调试指标

调试指标见表5.7。

表 5.7 3210型数字钳流表的调试指标

2558输出电流	线圈上的电流	准 确 度	显示值允许范围
0.047A	1.88A	±(1.5%RDG+10字)	1.75～2.01
0.25A	10A		9.75～10.25
0.48A	19.2A		18.81～19.59
0.50A	20A		18.7～21.3
2.5A	100A		97.5～102.5
4.9A	196A		192.1～199.9

§5.8 DT960T型数字万用表的调试方法

调试方法详见表5.8。

表 5.8 DT960T型数字万用表的调试一览表

测量功能	量 程	输 入 量	准 确 度	显示值允许范围
DCA	200mV	100.0mV	±(0.5%RDG+2字)	99.3～100.7
		190.0mV		188.9～191.1
	2V	1.000V	±(0.7%RDG+1字)	0.992～1.008
	20V	10.00V		9.92～10.08
	200V	100.0V		99.2～100.8
	1000V	500V	±(0.8%RDG+1字)	495～505
DCA	30mA	10.00mA	±(1.0%RDG+2字)	9.88～10.12
	300mA	100.0mA		98.8～101.2
	20A	10.00A	±(2.0%RDG+5字)	9.75～10.25

续表

测量功能	量　程	输 入 量	准 确 度	显示值允许范围
ACV	2V	1.000V	±(0.8%RDG+3字)	0.989～10.11
	20V	10.00V		9.89～10.11
	200V	100.0V		98.9～101.1
	700V	400V	±(1.0%RDG+5字)	391～409
ACA	30mA	10.00mA	±(1.8%RDG+3字)	9.79～10.21
	300mA	100.0mA		97.9～102.1
	20A	10.00A	±(3.0%RDG+5字)	9.65～10.35
HIΩ	200Ω	100.0Ω	±(0.8%RDG+2字)	99.0～101.0
	2kΩ	1.000kΩ	±(0.8%RDG+1字)	0.991～1.009
	20kΩ	10.00kΩ		9.91～10.09
	200kΩ	100.0kΩ		99.1～100.9
	2MΩ	1.000MΩ	±(1.2%RDG+2字)	0.988～1.014
	30MΩ	10.00MΩ	±(2.0%RDG+5字)	9.75～10.25
LOΩ	2kΩ	1.000kΩ	±(1.0%RDG+3字)	0.987～1.013
	20kΩ	10.00kΩ		9.87～10.13
	200kΩ	100.0kΩ		98.7～101.3
	2MΩ	1.000MΩ	±(1.5%RDG+5字)	0.980～1.020
	20MΩ	10.00MΩ	±(2.5%RDG+5字)	9.70～10.30
f*	20kHz	2.00kHz	±(0.5%RDG+1字)	1.98～2.02
		20.00kHz		19.89～20.11
		200Hz		0.19～0.21

* 调试频率档时先不加输入信号，并将引线短路，使仪表回零。然后输入50mV(RMS)的频率信号。

§5.9 DT970型数字万用表的调试方法

调试方法详见表5.9。

表 5.9 DT970型数字万用表的调试一览表

测量功能	量　程	输入量	准确度	显示值允许范围
DCV	400mV	100.0mV	±(0.5%RDG+1字)	99.4～100.6
		300.0mV		298.4～301.6
	4V	1.000V		0.994～1.006
	40V	10.00V		9.94～10.06
	400V	100.0V		99.4～100.6
	1000V	1000V	±(0.8%RDG+2字)	990～1010
DCA	400mA	100.0mA	±(1.0%RDG+1字)	98.9～101.1
	20A	5.00A	±(2.0%RDG+5字)	4.85～5.15
		10.00A		9.75～10.25
		20.00A		19.55～20.55
ACA	400mA	100.0mA	±(1.8%RDG+3字)	97.9～102.1
	20A	10.00A	±(3.0%RDG+7字)	9.63～10.37
		20.00A		19.33～20.67
ACV	400mV	100.0mV	±(1.0%RDG+3字)	98.7～101.3
	4V	1.000V	±(0.8%RDG+3字)	0.989～1.011
		2.000V		1.981～2.019
		3.000V		2.973～3.027
	40V	10.00V		9.89～10.11
	400V	100.0V		98.9～101.1

续表

测量功能	量　程	输 入 量	准 确 度	显示值允许范围
	750V	700V	±(1.2%RDG+5字)	687～713
Ω	400Ω	100.0Ω	±(0.8%RDG+3字)	98.9～101.1
	4kΩ	1.000kΩ	±(0.8%RDG+1字)	0.991～1.009
	40kΩ	10.00kΩ		9.91～10.09
	400kΩ	100.0kΩ		99.1～100.9
	4MΩ	1.000MΩ	±(0.8%RDG+2字)	0.990～1.010
	40MΩ	10.00MΩ	±(0.8%RDG+3字)	9.89～10.11
C	4nF	1.000nF	±(2.5%RDG+3字)	0.972～1.028
	40nF	10.00nF		9.72～10.28
	400nF	100.0nF		97.2～102.8
	4μF	1.000μF		0.972～1.028
f	4kHz	1.000kHz	±(0.1%RDG+1字)	0.998～1.002
	40kHz	10.00kHz		9.98～1.002
	400kHz	100.0kHz		99.8～100.2
	4000kHz	1000kHz		998～1002
T	−50～400℃	0℃	±(0.5%RDG+3字)	−004～004℃
		100℃		096～104℃
		T_A		(T_A-3)℃～(T_A+3)℃
		300℃		$(296+T_A)$℃～$(304+T_A)$℃
	400～1000℃	700℃	±(1.5%RDG+10字)	$(680+T_A)$℃～$(720+T_A)$℃
		1000℃		$(975+T_A)$℃～$(1025+T_A)$℃

调试说明：

（1）调试频率档时，标准源的输出电压应大于500mV（RMS），频率由低逐渐升高。被校表的显示值应在规定范围内，并且仪表能自动转换量程。

（2）测量整机工作电流时不得大于7mA。

（3）DT970的逻辑电平测试档的阈值电压为1.9V。当输入直流电压低于1.9V时应显示“▼”符号，并伴有蜂鸣器响声；当输入电压高于1.9V时应显示应显示“▲”符号，蜂鸣器不发声。

§5.10 DT930F$_+$型数字万用表的调试方法

调试方法详见表5.10。

表 5.10 DT930F$_+$型数字万用表调试一览表

测量功能	量程	输入量	准确度	显示值允许范围
DCV	200mV	100.00mV	±(0.2%RDG+5字)	99.83～100.12
		20.00mV		19.96～20.04
		190.00mV		189.79～190.21
	2V	1.0000V		0.9988～1.0012
	20V	10.000V		9.988～10.012
	200V	100.00V		99.88～100.12
	1000V	1000.0V	±(0.2%RDG+5字)	997.5～1002.5
DCA	200μA	100.00μA	±(0.5%RDG+2字)	99.48～100.52
	2mA	1.0000mA		0.9948～1.0052
	20mA	10.000mA		9.948～10.052
	200mA	100.00mA	±(0.75%RDG+5字)	99.20～100.80

续表

测量功能	量　程	输 入 量	准 确 度	显示值允许范围
DCA	10A	5.000A	±(2.0%RDG+10字)	4.890～5.110
ACV	2V	1.0000V	±(0.8%RDG+15字)	0.9905～1.0095
		0.2000V		0.1969～0.2031
		1.9000V		1.8333～1.9167
	20V	10.000V		9.905～10.095
	200V	100.00V		99.05～100.95
	700V	700.0V	±(1.0%RDG+15字)	691.5～708.5
ACA	2mA	1.0000mA	±(0.8%RDG+10字)	0.9910～1.0090
	20mA	10.000mA		9.910～10.090
	200mA	100.00mA		99.10～100.90
	10A	5.000A	±(2.0%RDG+10字)	4.890～5.110
Ω	200Ω	100.00Ω	±(0.5%RDG+5字)	99.45～100.55
	2kΩ	1.0000kΩ	±(0.5%RDG+1字)	0.9949～1.0051
	20kΩ	10.000kΩ		9.949～10.051
	200kΩ	100.00kΩ		99.49～100.51
	2MΩ	1.0000MΩ		0.9949～1.0051
	20MΩ	10.000MΩ	±(1.0%RDG+5字)	9.895～10.105
G	nS	100MΩ (10.0nS)	±(1.0%RDG+2字)	9.7～10.3
C	2000pF	1000.0pF	±(2.5%RDG+3字)	972.0～1028.0
	20nF	10.000nF		9.720～1.0280
	200nF	100.00nF		97.20～102.80
	2μF	1.0000μF		0.9720～1.0280
	20μF	10.000μF		9.720～10.280

续表

测量功能	量　　程	输 入 量	准 确 度	显示值允许范围
f	20kHz	10.000kHz	±(1.0%RDG+5字)	9.9895～10.105
		19.000kHz		19.805～19.195
		1.000kHz		0.985～1.085
		100Hz		0.094～0.106

§ 5.11 DT980型数字万用表的调试方法

DT980的调试方法见表5.11。

表 5.11 DT980型数字万用表调试一览表

测量功能	量　　程	输 入 量	准 确 度	显示值允许范围
DCV	200mV	100.00mV	±(0.05%RDG+3字)	99.92～100.08
		20.00mV		19.96～20.04
		190.00mV		189.88～190.12
	2V	1.0000V		0.9992～1.0008
	20V	10.000V		9.992～10.008
	200V	100.00V		99.92～100.08
	1000V	1000.0V	±(1.0%RDG+5字)	998.5～1001.5
DCA	20mA	10.000mA	±(0.5%RDG+2字)	9.948～10.052
	200mA	100.00mA	±(0.8%RDG+5字)	99.15～100.85
	20A	5.000A	±(2.0%RDG+10字)	4.890～5.110
		10.000A		9.790～10.210

续表

测量功能	量　程	输入量	准确度	显示值允许范围
ACV	200mV	100.00mV	±(0.8%RDG+20字)	99.00～101.00
	2V	1.0000V		0.9900～1.0100
	20V	10.000V		9.900～10.100
	200V	100.00V		99.00～101.00
	700V	700.0V	±(1.0%RDG+50字)	688.0～712.0
ACA	20mA	10.000mA	±(1.0%RDG+20字)	9.880～10.120
	200mA	100.00mA		98.80～101.20
	20A	10.000A	±(2.0%RDG+20字)	9.780～10.220
Ω	200Ω	100.00Ω	±(0.1%RDG+5字)	99.85～100.15
	2kΩ	1.0000kΩ	±(0.1%RDG+2字)	0.9988～1.0012
	20kΩ	10.000kΩ		9.983～10.012
	200kΩ	100.00kΩ		99.83～100.12
	2MΩ	1.0000MΩ		0.9983～1.0012
	20MΩ	10.000MΩ	±(0.3%RDG+10字)	9.960～10.040
C	20nF	10.000nF	±(2.0%RDG+10字)	79.90～102.10
	200nF	100.00nF		97.90～102.10
	2μF	1.0000μF		0.9790～1.0210
	20μF	10.000μF	±(2.5%RDG+30字)	9.720～10.280

§5.12　DT1000型数字万用表的调试方法

DT1000型数字万用表的调试方法见表5.12。

表 5.12 DT1000型数字万用表调试一览表

测量功能	量　程	输入量	准确度	显示值允许范围
DCV	200mV	100.00mV	±(0.05%RDG+3字)	99.92～100.08
		20.00mV		19.96～20.04
		190.00mV		189.88～190.12
	2V	1.0000V		0.9992～1.0008
	20V	10.000V		9.992～10.008
	200V	100.00V		99.92～100.08
	1000V	1000.0V	±(0.1%RDG+5字)	998.5～1001.5
DCA	2mA	1.0000mA	±(0.5%RDG+2字)	0.9948～1.0052
	20mA	10.000mA		9.948～10.052
	200mA	100.00mA	±(0.75%RDG+5字)	99.20～100.80
	20A	5.000A	±(2.0%RDG+10字)	4.890～5.110
		10.000A		9.790～10.210
ACV	2V	1.0000V	±(0.6%RDG+5字)	0.9935～1.0065
		0.2000V		0.1983～0.2017
		1.9000V		1.8881～1.9119
	20V	10.000V	±(0.6%RDG+10字)	9.930～10.070
	200V	100.00V		99.30～100.70
	700V	700.0V	±(0.8%RDG+15字)	692.9～707.1
ACA	20mA	10.000mA	±(0.8%RDG+10字)	19.33～20.67
	200mA	100.00mA	±(1.2%RDG+10字)	97.90～102.10
	20A	10.000A	±(2.5%RDG+10字)	9.63～10.37

续表

测量功能	量　程	输入量	准确度	显示值允许范围
Ω	200Ω	100.00Ω	±(0.15%RDG+5字)	99.80～100.20
	2kΩ	1.0000kΩ	±(0.15%RDG+1字)	0.9984～1.0016
	20kΩ	10.000kΩ		9.984～10.016
	200kΩ	100.00kΩ		99.84～100.16
	2MΩ	1.0000MΩ		0.9984～1.0016
	20MΩ	10.000MΩ	±(0.5%RDG+1字)	9.949～10.051
	200MΩ	100.00MΩ	±(5%RDG+10字)	95.90～106.10
C	2000pF	1000.0pF	±(2.0%RDG+10字)	979.0～1021.0
	20nF	10.000nF		9.790～10.210
	200nF	100.00nF		97.90～102.10
	2μF	1.0000μF		0.9790～1.0210
	20μF	10.000μF	±(2.5%RDG+20字)	9.730～10.270
f	20kHz	100Hz	±(1%RDG+5字)	0.094～0.106
		1.000kHz		0.985～1.015
		10.000kHz		9.890～10.105
		18.000kHz		17.815～18.185

§5.13　DM8145型4 1/2位台式数字万用表的调试方法及故障检修

一、测试仪器

DCV标准源：100mV～1000V，准确度为±0.005%。

ACV标准源：100mV～700V，±0.02%，45Hz～10kHz

示波器：双通道，带宽5MHz

数字万用表：5½位DMM

二、调试方法

调试之前，仪表应预热30分钟。调试程序见表5.13。

三、故障检修流程图

DM8145的功能故障检修流程图及电源故障检修流程图分别如图5.13.1、图5.13.2所示。

表 5.13 DM8145的调试程序

步骤	功能	量程	输入标准值	调整	显示值
1	DCV	200mV	0	RP_{25}	0.00
2	DCV	2V	±1V	RP_{14}	±1.0000
3	DCV	20mV	+100mV	RP_{17}	+100.00
4	DCV	20V	+10V	RP_1	+10.000
5	DCV	200V	+100V	RP_2	+100.00
6	DCV	1000V	+1000V	RP_3	+1000.0
7	ACV	2V	0	RP_{20}	00.00
8	ACV	2V	1V 100Hz	RP_{16}	1.0000
9	ACV	200mV	100mV 100Hz	RP_{18}	100.00
10	ACV	700V	700V 10kHz	C_{34}	700.0，若C_{34}调整范围不够，还可调整C_{11}
11	ACV	200mV	100V 10kHz	C_{12}	100.00
12	ACV	20V	10V 10kHz		10.000
13	ACV	20V	10V 10kHz	C_{13}	
14	ACV	700V	700V 10kHz	C_{34}	700.0
15	ACV	重复第11～14项，在输入10V、10kHz时使显示值在9.985～10.015之间			

续表

步骤	功　能	量　程	输入标准值	调整	显　示　值
16	Ω	200Ω	0	RP_{14}	00.00
17	Ω	20MΩ	10MΩ	RP_{15}	10.000
18	Ω	20MΩ	10kΩ		
19	Ω	20MΩ	100kΩ	RP_{16}	
20	Ω	20MΩ	10MΩ	RP_{15}	10.000
21	Ω	重复第19、20项步骤，使输入100kΩ时显示值在0.098～0.102之间			
22	Ω	2MΩ	1MΩ	RP_4	1.0000
23	Ω	200kΩ	100kΩ	RP_5	100.00
24	Ω	20kΩ	10kΩ	RP_6	10.000
25	Ω	2kΩ	1kΩ	RP_7	1.0000
26	DCA	200mA	100mA	RP_{11}	100.00
27	DCA	20mA	10mA	RP_{10}	10.000
28	DCA	2mA	1mA	RP_9	1.0000
29	DCA	200μA	100μA	RP_8	100.00
30	DCA	2A	1A	RP_{13}	1.0000
31	DCA	10A	10A	RP_{12}	10.000

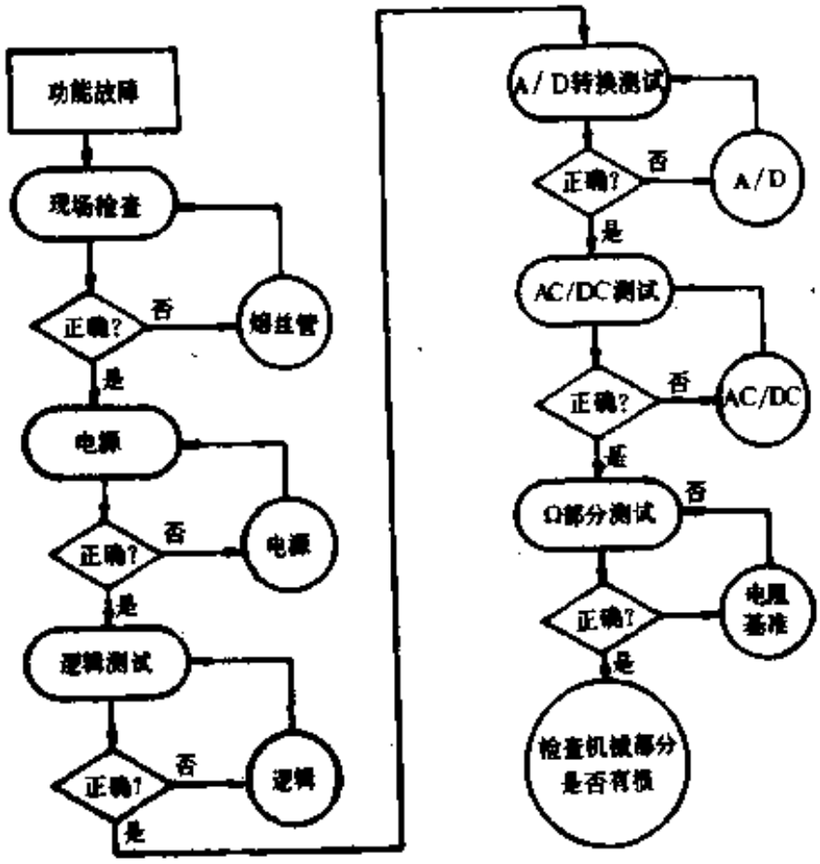


图 5.13.1 DM8145功能故障检修流程图

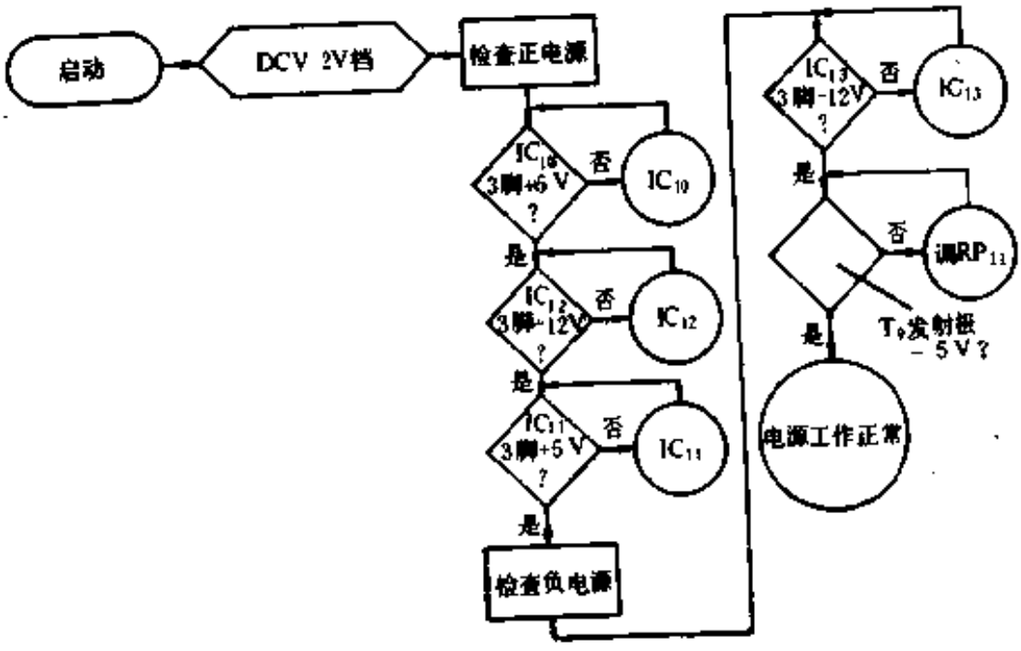


图 5.13.2 DM8145电源故障检修流程图

§5.14 袖珍式数字万用表常见故障分析

袖珍式数字万用表的销量多，用户广，使用次数频繁，因此在数字仪器仪表中的维修量较大。尽管其型号繁多，故障现象及原因也不尽相同，但大致可以归纳成21类。下面对各种常见故障作详细分析，供读者在维修仪表时参考。

一、开机后不显示

(1) 电池耗尽；

(2) 电池插头锈蚀，接触不良；

(3) 电池引线断开；

(4) 液晶显示器损坏

若LCD严重老化，则表面呈黑色。如果LCD衰老并且电池电压又偏低时，显示的字形就非常暗，不易观察到，亦应报废。

(5) 仪表受潮后芯片不能正常工作。

由于表内进水、潮气过大，或电池漏液等原因，可造成A/D转换芯片的管脚漏电等故障。对漏电严重的仪表，可先用电吹风机烘干（不要烘液晶屏！），再拿无水酒精棉球揩净印制板上漏电处的污渍。

(6) TSC7106、ICL7139、ICL7129等A/D转换芯片损坏；

(7) V_+～V_-之间有短路故障。

例如，当电池两端的滤波电容击穿短路时，可导致9V电池电压大幅度迭落，仪表无法工作。此时可在电池夹与电池之间串一块毫安表，测量整机工作电流，正常值一般在4.5mA以下，若超过7mA，则肯定有短路故障。

(8) 双显示数字万用表的特殊故障

DT960、DT960T均属于数字/液晶模拟条图双显示数字万用

表，它们都采用TSC818A和TSC818D作A/D转换器。主要故障如下：

①数字及模拟条图均不显示，而电源电压正常。可能是TSC818A、TSC818D损坏。

③数字显示正常，但不显示模拟条图，一般是TSC818D损坏。但也可能是TSC818A的数据输出端(28脚)与TSC818D的数据输入端(12脚)之间的印制导线开路或管脚接触不良。

(9) 其他原因

DT840D、DT1000等数字万用表均有自动关机功能。仪表连续工作大约15分钟后自行断电。断电后需按动两次电源键，才能重新启动。这属于正常现象。

二、LCD显示不正常

(1) 显示暗淡

原因可能是电池电量不足，LCD衰老。

(2) 显示笔段残缺

原因包括LCD局部损坏，某些段不能显示；液晶电极与导电橡胶棍接触不良；液晶电极中有开路的。

(3) 显示笔段杂乱无章

原因可能是印制板漏电，造成A/D转换器的相邻驱动管脚之间短路，使不该显示的段也获得驱动信号。还可能是导电橡胶带错位或局部接触不良。

(4) 仪表严重跳数

①附近存在强电磁场干扰，造成个位和十位跳数，应采取屏蔽措施。

②液晶电极接触不良。

(5) 标志符乱显示

①标志符(含单位符号)驱动端的偏置电阻开路或漏装，引入外界干扰而造成的。偏置电阻一般采用1～2MΩ的表面安装的

排阻，其作用是防止不显示的标志符电极开路。在测量220V或380V交流电时，上述故障尤为明显。

③量程开关接触不良或错位，使所在档位的标志符不能同步显示。

(6) 小数点显示不正常

①量程开关中用来切换小数点位置的触点接触不良。

②LCD上有的小数点损坏，或电极接触不良，造成不显示。

③小数点驱动端的偏置电阻开路，其阻值一般选470kΩ～2MΩ，每个小数点对应一只偏置电阻。

④驱动小数点显示的异或门(CD4070)或者异或非门(CD4077)损坏；

⑤对于自动量程的数字万用表，例如3211B、DT960、DT960T、DT950/DT860B，若小数点不显示，可能是单片DMM芯片损坏，所对应的芯片有ICL7139(3211B)、TSC818A(DT960、DT960T)、TSC815(DT950/DT860B)。

三、仪表不能测量

(1) 表笔引线断芯

(2) 量程转换开关接触不良或卡死

(3) 输入插孔松动或接触不良

(4) 输入电路中有开路之处

(5) 特殊故障

DT930F、DT980、DT1000、3211B、3210等仪表均具有读数保持功能。按下HOLD键时仪表进入保持状态，显示值就不能被刷新。这属于正常现象，并非仪表出现故障。只要抬起此键，即可转入正常测量。因此，在使用这类仪表时首先应检查此键是否在上次关机前已经按下。

四、直流电压档故障分析

(1) 不能测量

①分压电阻开路。

②量程转换开关接触不良、卡死或错位。

③A/D转换器模拟输入端的限流电阻开路。

(2) 测量误差明显增大

①仅个别电压档的误差增大，通常是量程开关在该档位时接触不良，或该档的分压电阻的阻值改变。更换分压电阻时必须用相同准确度的精密电阻来代替之。

②全部电压档按相同比例出现超差。通常是基准电压调整电位器的触头改变位置，必须重新调准基准电压值，然后用腊封死。

(3) 仪表稳定性差，不回零

①印制板漏电。

②积分电容焊接不良，也会影响工作的稳定性。

③积分电容漏电，造成漂移。

④A/D转换器性能不佳，例如当7106的内部基准电压源稳压特性差时，已调好的V_{REF}值会不断变化。

五、直流电流档故障分析

(1) 20A（或10A）以下的电流档均不能测量

①熔丝管烧断。更换时必须采用同种规格的熔丝管，有条件的尽量选用快速熔丝管。

②过压保护二极管击穿短路。此时用另一块表的电阻档测量mA插孔至COM插口的电阻值接近于零。应更换相同型号的二极管。

③量程转换开关接触不良，印制板烧损。此故障大多因误用电流档去测220V交流电压而造成的。

(2) 20A（或10A）大电流档不能测量

该档未加熔丝管保护装置，通常是锰铜丝分流电阻烧断。

(3) 个别电流档误差增大

主要原因是分流电阻值改变，但亦可能是量程开关接触电阻过大所致。更换新的分流电阻时，其阻值误差通常为±0.5%。2A档的线绕电阻可自行绕制，20A档的锰铜丝电阻亦可自制，线径应与原来规格相同，并且焊好后还需对阻值进行精细地调整，务必符合电路要求。特别要注意这两个电阻的焊接质量，不能虚焊，焊点的接触电阻愈小愈好。焊接之后需等电阻降至室温，再测量阻值。

六、交流电压档故障分析

(1) 不能测量

①量程开关接触不良。

②平均值响应的AC/DC转换器（一般采用TL062）损坏。

③真有效值AC/DC转换器（一般选用AD736）损坏。对于DT980而言，还可能是AD736输入端保护管T_2、T_3击穿短路。

(2) 读数误差较大

①分压电阻的阻值改变，此时DCV和Ω测量的误差也会增大。

②平均值响应AC/DC转换器中的校准电位器松动，改变位置。

③TL062性能不佳，失调电压增大。

④DT960、DT960T、DT1000均采用真有效值(TRMS)AC/DC转换器，没有调整电位器。假如测量误差明显偏高或偏低，而分压电阻正常，则可能是AD736输入端的印制线路漏电，或者是AD736性能不佳。

需要指出，DT980具有AC+DC测量功能，采用该模式测量时显示值中包含被测交流电压的直流分量，因此读数偏高亦属于正

常现象。倘若不需要反映直流分量，则可在输入端串一只0.1μF、450V隔直电容。92年生产的DT980改进型已在电路上作了改进，面板上增设“～（AC）、～+⎓（AC+DC）”选择开关，表内又增加了C_{21}（10μF、25V电解电容）进行隔直。选择AC+DC方式时，C_{21}被开关短路，给操作者带来了方便。

（3）仪表跳数严重

①仪表内部的屏蔽层或屏蔽罩对模拟地开路，起不到屏蔽作用。

早期的数字万用表（例如DT830），在后盖内侧贴一张金属箔，然后经引线接至大印制板的COM端。若引线断开，即可出现上述故障。少数表（例如DT860）采用金属屏蔽罩。为减轻重量和降低成本，新型数字万用改用屏蔽胶罩代替金属屏蔽，并在印制板的公共地上装一个压紧式小弹簧，合上后盖即把弹簧压紧，与屏蔽层接通。若小弹簧折断或歪斜，就无法与屏蔽层接通。也有的表（例如DT960～DT1000），直接把屏蔽胶罩固定在印制板上。若固定螺钉锈蚀，对模拟地的接触电阻过大，也容易引入干扰，致使仪表跳数。

②AC/DC转换器的滤波电容开路或容量减，滤波不净，使仪表跳数。

③周围环境存在强电磁场干扰或电火花干扰。测量时应尽量远离日光灯、电风扇、窗式空调机、电动机、鼓风机等电气设备。

④仪表抗50Hz交流电干扰的能力差。此时重点检查时钟频率f_0是否偏移过大，例如从100kHz升至约110kHz。必要时可更换振荡电阻或振荡电容，调整时钟频率。3211B采用一片ICM7555提供100kHz时钟频率。发现频率超差，可微调RP_2（20kΩ）。

进口袖珍式数字万用表的时钟频率大多按抑制60Hz干扰而设计的，这类表抗50Hz干扰的能力较差，可参照上文调整时钟频率。

七、交流电流档故障分析

（1）分流电阻开路或阻值改变

交流电流档与直流电流档公用一套分流电阻，假若DCA档的分流器出现故障，势必会影响到ACA档；

（2）量程开关接触不良。

八、电阻档故障分析

（1）不能测量电阻

①曾误用电阻档测量220V交流电压，而将量程开关和印制板烧损。

②电阻档的过压保护元件损坏。一般情况下是晶体管9013（接成二极管使用）击穿短路。有时正温度系数热敏电阻（PTC）也会开路损坏。

③基准电压电路断开，此时Ω插孔对COM插孔之间测不到电阻档的测试电压。

④电阻档的标准电阻开路。

⑤电阻档总显示"1"。一般是提供测试电压的二极管击穿短路而造成的。

（2）读数误差明显增大或读数不稳定

①标准电阻的阻值改变。

②量程开关的接触电阻过大，对低阻档的影响尤为显著。

③印制板受潮漏电后，20MΩ档标准电阻的阻值减小，使测量误差增大。

更换10MΩ标准电阻时不得使用焊油或酸性度过大的焊锡丝，否则会造成严重漏电，并且腐蚀电路。

④200Ω档读数偏低，应检查积分电容是否漏电。使用200Ω档测量低阻时，需扣除表笔引线的电阻，接触电阻应尽量减小。

⑤基准电容漏电。

⑥使用20MΩ（对于DT970型则为40MΩ）测量几兆欧至十几兆欧电阻时，容易引入外界干扰而跳数。必要时可将两根表笔线互相绞合并尽量靠近，以减小干扰。

九、200MΩ高阻档故障分析

DT890C+、DT890D、DT1000型数字万用表均设有200MΩ高阻档，电路也基本相同。该档电路比较特殊，工作原理详见本书§3.2。下面以DT890C+为例，介绍200MΩ档的常见故障。

（1）不能测量

①R_{42}开路或短路，使TSC7106得不到基准电压。

②热敏电阻PTC开路后，被测高阻R_x无法接入测量电路中。

③保护管T_4击穿短路。

④C_{18}严重漏电。

⑤R_2或R_3开路。

（2）测量误差明显增大

200MΩ档属于参考档，测量误差在±5%以内属正常现象。将表笔短接时，仪表显示10个字（对于3½位DMM）或100个字（对于4½位DMM）亦属正常情况。超出上述范围，才能视为故障。

①Ω插孔与COM插孔之间轻微漏电时，对低阻档影响不大，却能使该档读数明显偏低。

②R_{42}阻值改变。

③分压电阻R_{49}（990kΩ）、R_{50}（10kΩ）的阻值改变。更换时需要选配，误差不得超过±0.5%。

（3）仪表严重跳数

①附近存在电磁场干扰，或者用手误触到被测高阻的引出端。

②R_{46}开路，造成IN_端对地悬空。当R_{46}开路时，温度档亦

不能工作。

十、蜂鸣器及二极管档故障分析

(1) 当被测线路接通时蜂鸣器不发声

现以DT980型为例，故障原因主要有以下几种：

①电压比较器IC_3。($\frac{1}{2}$TL062) 损坏，或者R_{16}开路。

②IC_8 (CD4011) 损坏。

③音频振荡器中的R_{24}、C_5虚焊，

④压电蜂鸣器受震动后断裂，引线脱开。

⑤开机后蜂鸣器总响，是由于电压比较器的参考电压调得不准。

⑥在3211B、DT960、DT960T、DT970型数字万用表中，蜂鸣器直接由驱动器驱动。若蜂鸣器不能正常发声，可能是ICL7139、TSC818A或TSC820损坏。

(2) 不能测量二极管正向压降

以DT960T为例，原因可能是

①量程开关接触不良。

②该档保护电路中的D_6或D_7击穿短路，限流电阻R_{33}烧毁。一般是误用该档测量高压而造成的。

十一、hFE档故障分析

现以DT840D为例，常见故障为

(1) 不能测量

①hFE插口内污垢太多，使被测晶体管接触不良。

②晶体管的管脚插错位置，或未插到底。

③使用hFE插口时，量程开关未拨于hFE档。

④hFE插口的基极偏置电阻R_{19}或R_{20} (均为220kΩ) 虚焊，加不上基极电压。

(2) 测量误差明显增大

hFE档只适于估测小功率晶体管的电流放大系数，不宜检测大功率晶体管。这是因为该档的集电极电源电压仅2.8～3.5V（视A/D转换器而定），基极电流只有10μA的缘故。该档读数仅供参考。若误差过大，原因可能是

①R_{28}或R_{29}的阻值改变。

②被测晶体管的E、C电极接反。

③采样电阻R_{27}（10Ω）变值。

十二、电池低电压指示电路的故障分析

仍以DT840D为例。

（1）开机后总显示低电压指示符号

①电池电量不足，低于7.5V。

②低电压检测电路中的晶体管T_2损坏。

（2）电池电压低于7.5V时仍不显示低电压符号

①分压电阻R_{41}、R_{42}的阻值改变。

②晶体管的hFE值明显降低。

普通晶体管的hFE值相差很大，从几十倍到几百倍不等。在更换T_2时需调整R_{41}的阻值，适当增大R_{41}（例如从680kΩ增加到1MΩ，甚至1.2MΩ），可提高阈值电压。DT840D的新产品已选用1MΩ电阻。

③T_2的E、C电极接反，其放大系数明显降低，也会影响低电压指示的阈值电压。

十三、电容档故障分析

DT890C+、DT930F+、DT970、DT1000等数字万用表的电容测量电路基本相同，下面以DT890C+为例，介绍该档的典型故障。

（1）不能测量电容

①量程开关接触不良。

②电容插口的V形簧片失去弹性，造成接触不良。

③IC_{2a}(1/2LM358)损坏，文氏桥振荡器停振。此时用示波器观察不到400Hz正弦波信号。电路正常时，用数字万用表2VAC档测量IC_{2a}的输出端(7脚)，大约为1.6V。

同理，当IC_{2b}、IC_{3a}、IC_{3b}损坏时也不能测量电容。

(4) 电容插口上的保护二极管D_9～D_{12}之中，有击穿短路的。

⑤IC_{3b}(1/2TL062)损坏，不能进行AC/DC转换。此时ACV、ACA档亦不能测量。

(2) 仪表乱跳数

①有源带通滤波器中的R_{18}、R_{19}、C_{10}、C_{11}变值，改变了选频特征。

②IC_{3b}性能不佳，使AC/DC转换器的工作频率上限低于400Hz。

③对于DT970而言，在进行电容测量时还必须将该表置于交流测量模式，LCD必须显示"AC"符号。否则仪表将乱跳数，无法测量。

(3) 测量误差明显增大

①电容档校准电位器RP_1(200Ω)的触头松动，接触不良或位置改变。

②LM358性能不佳。

③反馈电阻R_{27}～R_{30}接触不良或阻值改变。

注意：在测量电容之前必须对电容器进行放电，否则仪表不能读数，也容易损坏内部电路。在未插入被测电容时，仪表读数应接近于零。若有几个字的初始读数，可不予理会。一旦插上电容，初始几个字将为测量值代替，并不影响测量的准确度。

十四、频率档故障分析

DT930F.～DT1000型均设有频率档，该档的电路大致相同。现以DT1000型为例，对其频率档的常见故障予以分析。

(1) 不能测量频率

①被测频率信号太弱。频率档的电压灵敏度最高可达50mV(RMS)，但为提高信噪比，输入信号选0.5～10V(RMS)为宜①。若被测信号电压太高，应在输入端增加一级RC网络，进行不失真的衰减[2]。

②保护二极管D_1或D_2击穿短路。R_{37}焊接不良。

③电压放大器IC_{2b}(1/2TL062)损坏。

④缓冲、整形器IC_4(DC4011)损坏。

⑤f/V转换器IC_5(ICM7555)损坏。

⑥电位器RP_4的触头松动，使信号无法输出。

(2) 测量误差增大，读数不稳定

①外界干扰信号太强，表笔线应改用屏蔽线，屏蔽层接COM端，以减小干扰。作为应急措施，亦可将两根表笔线相合绞起来，减小外界干扰。

②IC_2、IC_4、IC_5之中有的集成电路性能不佳。

③滤波电容C_{13}、C_{14}漏电或容量减小，滤波不净。

需要指出的是，DT960、DT906T均采用测频模块，模块属于印制板插入式，板上装有三片超小型IC、分别为062、4011B和ICM7555。外围元件全面采用表面安装电阻和电容。上述器件国内目前很难买到，损坏后只能送厂家更换模块。

十五、温度档故障分析

DT890C+、DT970均设有温度档，它们的电路完全相同。下面以DT890C+为例，分析该档的常见故障。

(1) 不能测量温度

①量程开关接触不良。

②K型热电偶损坏。

① DT970选用TSC820型带频率计数器的A/D转换器，频率档基本不需要外围电路，但信号太低时，就不能触发计数器工作。

③热电偶插座松动，接触不良。

④未插入热电偶时不能测量室温，可能是硅二极管D_6(IN4148）短路或者开路。

⑤R_{66}、R_{51}的上端未加上供桥电压。

⑥其他桥臂电阻出现故障。

⑦RP_5的触头松脱，接触不良，使TSC7106得不到基准电压。

（2）误差增大，示值不稳定

①周围的干扰信号太强。

②电位器RP_2(校准0℃用)或RP_3(校准100℃用）的触头位置改变。应重新校准。

十六、逻辑测试档故障分析

仅DT970有此功能档，其常见故障如下：

不能测试逻辑电平

①量程开关S_{4b}接触不良，致使TSC820的18脚(LOGIC)未接通V_+，无法进入逻辑测试模式。

②输入限流电阻R_{31}(1MΩ)因虚焊而开路。

③IC_5(74HC14)损坏。IC_5中包含施密特整形器Z_1～Z_3。当Z_1损坏时，不显示高电平符号▲；当Z_2、Z_3损坏时，不能显示低电平符号▼。

④检测低电平信号时蜂鸣器能正常发声，但LCD上未出现▼符号。可能是TSC820的驱动端与该标志符接触不良。

十七、电导档故障分析

仅DT930F.具有电导档。该档出现故障的主要原因是量程转换开关接触不良，不能正常切换档位所致。

十八、读数保持电路故障分析

DT930F.、DT980、DT1000型具有读数保持功能。其主要

故障如下：

（1）读数保持按键(HOLD)损坏。

一般属于按键位置偏斜、按不下去，或按下后又抬不起来。可用什绵锉修理键孔。若系弹簧损坏，应更换新键。

（2）ICL7129局部损坏，无法实现保持功能。

十九、峰值保持电路故障分析

DT970具有峰值保持功能(PK HOLD)，主要故障如下：

（1）峰值保持按键损坏。

（2）TSC820局部损坏，无法实现峰值保持功能。

二十、相对值测量电路故障分析

DT960和DT960T均设有此功能，若按下SB_1时不能进入相对值测量模式，原因大致为

（1）按键开关SB_1损坏，使TSC818A的EME端无法接通GND(低电平)。

（2）TSC818A局部损坏。

二十一、自动关机电路故障分析

DT840D、DT1000以及92年生产的DT970改进型、DT980改进型，都增加了自动关机电路，而且电路的工作原理完全相同。现以DT1000为例，对这部分电路的故障分析如下：

（1）仪表刚通电不久(远小于规定的15分钟)即自动关机

①9V电池电量不足。

②储能电容C_{20}严重漏电，使存储电量很快就泄放完毕。

③印制板受潮，使R_{60}(1MΩ)、R_{59}(200kΩ)的阻值下降，也可使C_{20}上的电荷较快地泄放掉。

（2）开机后就不能自动关机

一般是T_4击穿短路，起不到开关作用而造成的。此时电池正

极直接经过V点与V_+连通；

（3）开机后仪表不工作，芯片上均测不到电压

①电压比较器IC_{3-a}(1/2TL062)损坏。

②推动管T_3击穿开路。

③开关管T_4开路。

若想延长仪表每次连续工作的时间，可适当增大C_{20}的容量，反之亦然。例如取$C_{20}=100\mu F$时，连续工作时间大约为30分钟。但是增大C_{20}容量之后，9V叠层电池的使用寿命会相应缩短些。这是由于电池瞬间放电电流过大所致。此外，C_{20}最好选用漏电小、介质损耗的钽电容。

附录一　本书主要符号表

1. 仪　　表

DMM　数字万用表
DVM　数字电压表
DPM. 数字面板表
VOM　伏欧表（即指针式万用表）

2. 电　　源

POWER　电源、电源开关(键)
ON（OFF）　通（断）
AUTO　OFF　POWER　自动关断电源
←、BATT、LO　BAT　低电压指示符号
▽　OPEN　按箭头方向打开电池盒盖
V_+、V_{DD}、V_{CC}、$+V_S$　电源的正端
V_-、V_{SS}、$-V_S$　电源的负端
V_{EE}　负电源
TM　电源变压器
FU、FUSE　熔丝管（保险管）
FAST　FUSE　快速熔丝管

3. 插孔、插座

COM　模拟电路的公共地插孔，接黑表笔
VΩ、V/Ω　测电压或电阻的输入插孔，接红表笔
f/V/Ω　测量频率、电压、电阻的输入插孔，接红表笔

VΩmA 测量电压、电阻、电流的输入插孔，接红表笔

mA、A 测量电流的输入插孔，接红表笔

hFE 测量晶体管共发射极电流放大系数的插口

CAP、Cx 测量电容的输入插座

℃，K，K TYPE 测量温度的输入插座（外接K型热电偶）

Hz 测量频率的输入插孔

4. 测 量 档

RANGE 量程键

AUTO、Autorange 自动转换量程

AUTO-MAN range 自动/手动转换量程

RH 量程保持

AC/DC、≃ 交流、直流选择键

DCV 直流电压档

ACV 交流电压档

DCA 直流电流档

ACA 交流电流档

TRMS、TRUE RMS 真有效值功能键

Ω、OHM、Ohm 电阻档

LOΩ、LOW Ω 低功率法测量电阻的功能键

nS 电导档

•)))、((O))、月 蜂鸣器档

•)))→|、月→ 蜂鸣器及二极管档

CAP、Cx 电容档

F、f、FREQ、kHz 频率档

T、TEMP 温度档

hFE NPN PNP 测量NPN（或PNP）型晶体管hFE值的功能档

DH、DATA HOLD、HOLD、⊟、HLDR 读数（或数据、显示值）保持开关

PK HOLD 峰值保持键

REL、REL △ 相对值测量键

FUNCTION 动能键

MEM 存储键

MEM ORY 数据存储键

MEM RCL 读存储数据键

PRINT 打印键

RST 复位键

MIN MAX, Min/Max Mode 最小值/最大值存储（或记忆方式）键

dB_m 分贝（功率电平）测量键

COMM, COM 输出数据键

UP ∧或△、DWN ∨或▽, 设定测量范围的上、下限功能键

SET 预置键

ADJ 调整旋钮

CAL 校准

5. 显 示 器

LCD 液晶显示器，液晶屏

LCD Bargvaph 液晶条图

n 液晶条图的显示段数

LED 发光二极管，半导体数码管

EL 场致发光器件（作为LCD的背光源）

N 显示值

RDG 读数值

FS、f.s、RNG 满度值（满量程）

1 溢出符号，超量程时仅最高位显示1

OR、OVER、OVER RANGE 超量程

OL 过载（即超量程）

UR、UNDER RANGE 欠量程

H 读数保持标志符

△ 相对值测量标志符

MIN，MAX，TYP 分别代表最小值、最大值和典型值

- 负极性显示标志符

AC 交流测量标志符

RMS、rms 有效值（均方根值）

TRMS、TEV 真有效值

AV、av、AVG 平均值

PK、PEAK 峰值

DUR 显示刷新速率，测量速率

6. 集成电路、A/D转换器

IC 集成电路

ASIC 用户特制集成电路

LSI 大规模集成电路

VLSI 超大规模集成电路

ULSI 甚大规模集成电路

CMOS 互补型金属-氧化物-半导体集成电路

TTL 晶体管-晶体管逻辑集成电路

A/D 模拟量/数字量转换

ADC 模拟/数字转换器

DIP 双列直插式封装

SIP 单列直插式封装

PLCC 扁平封装

DIGIT 位

LSD 最低位

MSD 最高位

LSB 字

SEG 段

a～g 7段笔段驱动端

b_4,c_4 千位b、c段的驱动端(1/2位)

POL 负极性驱动端

DP、D.P、dP 小数点驱动端

BP、B.P LCD 背面公共电极（简称背电极）的驱动端

OA 运算放大器

BUF 缓冲器

IR 积分器

COMP 比较器

CF 滤波器

F 反相器

AZ 自动调零

ZI 零积分

INT 正向积分（信号积分）

DE 反向积分（解积分）

COM、AGND 模拟地

GND、DGND 数字地（逻辑地）

TEST 测试端

V_{DISP} 设置LCD最大驱动电平V_P的引出端

ANNUNC、ANND、ANNUNCIATOR DRIVE 标志符 驱动端

CONT 连续测量标志符驱动端

BZ、B(OUT) 蜂鸣器驱动端

OSC、XT、CL 时钟端

NC 空脚

E_0 基准电压源

V_{REF} 基准电压

V_{IN} 输入模拟电压(被测电压)

IN_+、IN_- 模拟电压的正、负输入端

V_{REF+}、V_{REF-} 基准电压的正、负输入端

C_{REF} 基准电容端

GUARD 保护环

C_{AZ} 自动调零电容端

f_0 晶振频率、时钟频率

T_0 时钟周期

f_{CP} 计数频率

T_{CP} 计时脉冲的周期

T_1 正向积分时间

T_2 反向积分时间

T 完成一次A/D转换所需时间

τ 时间常数（s）

7. 其　他

V_{IN}、V_I 输入电压

VO 输出电压

V_{INT} 积分器输出电压

R_{IN} 仪表输入电阻

r_{IN} A/D 转换器输入电阻

C_{IN} 仪表输入电容

T 晶体管

D 半导体二极管

D_Z 稳压二极管

SCR 晶闸管

V、V_{RMS}、V(RMS) 交流电压有效值（平均值响应）

V_{TRMS}、V(TRMS) 交流电压真有效值

V_{av} 交流电压平均值

V_P 电压峰值

V_{P-P} 电压峰-峰值

K_f 波形因数

K_P 波峰因数

t、PD 脉冲宽度（s）

D、DF 占空比（%）

γ 相对误差（%）

β 失真度（%）

PTC 正温度系数热敏电阻器

R_T 热敏电阻

SG 火花放电器

VSR 压敏电阻器

TVS 瞬态电压抑制器

SMT 表面安装技术

SMD 表面安装元件

BZ 蜂鸣器

SMR、SMRR 串模抑制比

CMR、CMRR 共模抑制比

TP 测试点

PCB、P.C.B 印制板

MTBF 平均故障间隔时间

RH 相对湿度（%）

D. W. H. 长、宽、高

⚠ 注意！使用人员应参照说明书操作

⚡ 危险！此处可能出现高压

附录二　本书所用集成电路中外型号对照

附表　集成电路型号国内外型号对照表

名　　称	国外型号	国内型号
3½位A/D转换器	ICL7106　TSC7103	CC7106　CH7106
	ICL7136	CH7136
	ICL7107　TSC7107	CC7107　CH7107
	ICL7137	
	UJN9207BD	
	TSC818A　TSC818D	
	TSC820	
	MC14433　TSC14433	5G14433　CH14433
单片3½位DMM专用芯片	ICL7139	
	ICL7149	
4½位A/D转换器	ICL7135	CH7135
	ICL7129	
5½位A/D转换器	HI7159	
2输入端四与非门	CD4011　MC14011	CC4011　CH4011
6反相高速施密特触发器	74HC14	CC74HC14
BCD-7段译码驱动器	74LS247	
单定时器	ICM7555	CC7555　5G7555
	NE555	5G555　FX555

续表

名　　称	国外型号	国内型号
单运放	TL061　TL081	F073
	LF411	CF411
	LF412	CF412
斩波自稳零式精密运放	ICL7650	5G7650　CH7650
双运放	TL062　LM158	FX158　DG158
	LM358　CA358	CF358
基准电压源	ICL8069	
	MC1403	5G1403　CH1403
	LM399	CJ399　SW399
真有效值AC/DC转换器	AD736	
	AD637	
	BB4341	TD4341
模拟开关模块	406003（CD4011×1，CD4066×2）	1片CC4011与2片CC4066组合
调频模块	406004（TL062×1，CD4011×1，ICM7555×1）	FX158、CC4011 CC7555各1片进行组合
三端固定式集成稳压器	7805(78L05)	CW7805(CW78L05)
	7812	CW7812
	7912	CW7912
	79L05	CW79L05

附录三　胜利仪器有限公司简介

深圳胜利仪器有限公司是专门开发、生产和经营数字仪器仪表的中外合资企业，经过10年的发展，现已成为国内最具规模的数字仪器仪表生产企业。该公司在国内各地设有6条生产线和3个生产基地，并在全国范围内建立二十多个销售及服务网点。主要产品为胜利牌（VICTOR）DT、DM、VC三大系列六十余种产品，销量及市场占有率居全国之冠，产品还远销美国、西德、英国、意大利、阿根廷、东南亚等20多个国家和地区，为国内最大的数字仪器仪表出口厂家。

胜利仪器有限公司依靠自己雄厚的技术开发实力，积极吸收国外先进技术，不断推出各种具有90年代先进水平的新型产品，现已形成具有自己风格特色的、完整的数字仪器仪表系列。同时，由于采用国外先进的技术标准并建立了严格的质量检验与管理体系，使产品质量得到充分保证。现已通过UL等国际安全标准。分布于全国各地的经营维修网点，为广大用户提供优质完善的服务。胜利仪器仪表以其"系列完整、品质卓越、服务优良"而享誉中外。

胜利仪器有限公司除将自己的产品投向市场、服务于社会之外，还致力于介绍和引进国外最新产品和技术。作为国外一些著名仪器公司的国内代理，向社会各界提供它们的各种先进产品。同时，作为中国电子仪器行业协会成员单位，被指定为全国仪器仪表综合配套及技术服务的定点单位，为仪器仪表行业承担各种配套服务，提供国内外信息技术咨询业务。

附录四　胜利牌数字仪器仪表产品一览表

序号	国内型号	出口产品型号	名　　称	产品开发时间	主要功能及特点**
1	DT890		数字万用表	1989年前	$3^1/_2$位LCD显示，V.A.Ω.C
2	DT890A*		数字万用表		$3^1/_2$位LCD显示，V.A.Ω.C
3	DT910		数字万用表		$3^1/_4$位LCD，V.A.Ω，自动量程
4	DM6013A*		数字电容表		$3^1/_2$位LCD，0.1PF～20000μF
5	DM6014		数字钳型表		$3^1/_4$位LCD，V.A.Ω，0～600A
6	DM6015*		数字钳型表		$3^1/_2$位LCD，V.A.Ω，保持.400A
7	DM6016		数字万用表		$3^1/_2$位LCD，V.A.Ω.C
8	DM6017		数字万用表		$4^1/_2$位LCD，V.A.Ω
9	DM6018		数字万用表		$3^1/_2$位LCD，V.A.Ω.C.T
10	DM6022A		数字万用表		$3^1/_2$位LCD，V.A.Ω.20Ω档
11	DM6266*		数字钳形表		$3^1/_2$位LCD，V.A.Ω.1000A.保持
12	DM6260		数字钳形表		$3^1/_2$位LCD，V.A.Ω.1000A.保持
13	DM6261*		DM6266附件		配DM6266，测绝缘电阻，2000MΩ/500V
14	DM6243*		数字电感电容表		$3^1/_2$位LCD，1pF～200μF.1μH～20H
15	DT830		数字万用表	1989年	$3^1/_2$位LCD，V.A.Ω
16	3211B*		笔式数字万用表		$3^1/_4$位LCD，V.Ω.保持.单位显示
17	DT860B		数字万用表		$3^1/_2$位LCD，V.A.Ω，自动量程，保持
18	DT890B*		数字万用表		$3^1/_2$位LCD，V.A.Ω.C，200MΩ
19	DT950		数字万用表		$3^1/_2$位LCD，数字/模拟条图双显示，V.A.Ω.C

续表

序号	国内型号	出口产品型号	名　　称	产品开发时间	主要功能及特点
20	DT930F.*		数字万用表		4'/₂位LCD，大显示，V.A.Ω.C.f.nS，保持，高准确度(±0.05%)
21	DM8145		数字万用表		4'/₂位LED，台式，V.A.Ω，真有效值
22	3500*		彩色信号发生器		彩色调制，1000MHz频率计
23	DT830A*	CM3900	数字万用表	1990年	3'/₂位LCD大显示、V.A.Ω
24	DT810*	CM2500	数字万用表		3'/₂位LCD大显示，V.A.Ω，50Hz方波输出
25	DT930FG*		数字万用表		4'/₂位LCD大显示，V.A.Ω.C，f.nS，保持，准确度±0.1%
26	DT940C*		数字万用表		3'/₂位LCD大显示，V.A.Ω.C.T
27	DT960	CM3300	数字万用表		3'/₂位LCD超大显示，数字/模拟条图双显示，自动量程，V.A.Ω.f，读数保持，相对值测量，单位显示
28	DT960T*	CM3310	数字万用表	1991年	3'/₂位LCD超大显示，数字/模拟条图双显示，自动量程，V.A.Ω.f，真有效值，读数保持，相对值测量，单位显示，防水，防潮
29	DT970*	CM3400	数字万用表		3'/₄位LCD超大显示，V.A.Ω.C.T.f，逻辑电平测试，峰值保持，单位显示，自动关机***
30	DT980*	CM4400	数字万用表		4'/₂位LCD超大显示，V.A.Ω.C.f，真有效值，读数保持，单位显示，自动关机***，高准确度(±0.05%)
31	DT1000*	CM4200	数字万用表		4'/₂位LCD超大显示，V.A.Ω.C.f，读数保持，单位显示，自动关机，高准确度(±0.05%)，200MΩ档
32	DT840D*	CM3900A	数字万用表		3'/₂位LCD大显示，V.A.Ω，单位显示，自动关机
33	DT890D*	CM3900	数字万用表		3'/₂位LCD大显示，V.A.Ω.C，单位显示，200MΩ档

续表

序号	国内型号	出口产品型号	名　　称	产品开发时间	主要功能及特点
34	DT890C,*	CM3920	数字万用表		3½位LCD大显示，V，A，Ω，C，T，单位显示，200MΩ档
35	DM6801*		数字温度表		3½位LCD，−50～1300℃
36	DM6902*		数字温度表		3½位LCD，−50～750℃
37	DM6234P*		光电转速表		5位LCD，0～99999r/min，有记忆功能，最大值，最小值，最后一次转速值
38	DT830B	CM2300	数字万用表	1992年（新产品）	3½位LCD大显示，V，A，Ω，测量电池在额定负载（1.5V电池为37Ω，9V电池为360Ω）下的放电电流，超小型
39	DT830C	CM2400	数字万用表		3½位LCD大显示，V，A，Ω，T，超小型
40	DT830D		数字万用表		3½位LCD大显示，V，A，Ω，超小型
41	DT860D	CM2600	数字万用表		3½位LCD大显示，V，A，Ω，自动量程，AC/DC自动转换
42	VC3165		智能数字频率计		DC～1000MHz，自校准，等精确度
43	VC3010		通用数字频率计		DC～100MHz
44	VC8045		数字万用表		4½位LCD超大屏幕显示，V，A，Ω，f，频响10kHz，台式
45	VC8145	CM8145	数字万用表		4½位LED，台式，V，A，Ω，频响20kHz
46	VC8245		数字万用表		4½位LED，台式，双显示（带频率显示），分辨力达1μV
47	VC8235	CM8235	智能数字万用表		3¾位LCD超大屏幕，台式，数字/模拟条图双显示，带CPU，自动量程，V，A，Ω，C，f，数据保持，存储，最小值/最大值保持，等精度测量频率，相对值测量
48	VC8345	CM8345	智能数字万用表		4¾位LCD超大屏幕，三重显示，带CPU，自动量程，比VC8235增加了可编程功能、分贝测量、数据输出

续表

序号	国内型号	出口产品型号	名　　称	产品开发时间	主要功能及特点
49	VC8055		智能数字电压表		5'/₂位LCD，带CPU
50	VC8255		智能数字万用表		5'/₂位LCD，带CPU，自动量程，V.A.Ω.f.T(℃，℉)，高准确度(±0.004%)20～60kHz频响，测频达25MHz，输入电阻大于10GΩ，真有效值，快速测量，自动校准，储存，遥控
51	VC3200		多功能可逆频率计数器		DC～2000MHz，可逆计数100MHz
52	3210		数字钳型表		3'/₂LCD，袖珍式，20A，200A，保持，单位显示
53	DM6015A		数字钳型表		3'/₂位LCD，V.Ω.200A、600A，保持
54	DM6055		数字钳型表		3'/₂位LCDV，.Ω、200A、600A
55	DM6056		交直流钳形表		3'/₂位LCD，V.A.Ω
56	DT870		数字万用表		3'/₄位LCD，自动量程，V.A.Ω
57	DT880		数字万用表		3'/₄位LCD，数字/模拟条图双显示，V.A.Ω.C.f，电容档自动量程
58	DT900		智能数字万用表		3'/₄位LCD超大屏幕，袖珍式，数字/模拟条图双显，其余特点同VC8235
59	DT990		智能数字万用表		4'/₄位LCD超大屏幕，袖珍式，数字/模拟条图双显示，带CPU

* 现在继续生产的新品。

** 未包括测量二极管、晶体管、检查线路通断(蜂鸣器档)等附加功能。LCD字高18mm称为大显示，字高25mm称作超大显示。

*** 92年产品新增加的功能。

参 考 文 献

〔1〕沙占友，实用数字化测量技术，国防工业出版社，1991.

〔2〕沙占友，内燃机测试仪器的原理与维修，国防工业出版社，1985.

〔3〕沙占友，沙占为，数字万用表的原理、使用与维修 电子工业出版社，1988.

〔4〕沙占友编译，数字万用表业余制作与检修指南，人民邮电出版社，1992.

〔5〕沙占友，万用表测量技巧，电子工业出版社，1992.

〔6〕沙占友，万用表妙用100例，电子工业出版社，1984.

〔7〕Intersil公司产品样本，1990.

〔8〕Teledyne公司产品样本，1988.

〔9〕新日本无线公司（JRC）产品样本.

〔10〕HARRIS公司产品资料，1990.

〔11〕Motorla公司产品样本.

〔12〕AD公司产品样本.

〔13〕RCA公司产品样本.

〔14〕Fluke公司产品样本.1990.

〔15〕Solartron公司产品样本.

〔16〕Datron公司产品样本.

〔17〕吉住司，デイヅタルマルチメータ技術，オーム社，1985.

〔18〕沙占友，集成电路发展的新趋向，集成电路通讯，1991，№3.

〔19〕沙占友，新型数字万用表概述，无线电，1990，№2.

〔20〕沙占友，ICL7129型单片4½位A/D转换器原理与应用，电子技术应用，1991，№5.

〔21〕沙占友，ADD3701型3½位A/D转换器及其应用，电子技术，1991，№5.

〔22〕沙占友，基准电压源的应用，集成电路应用，1991，№4.

〔23〕沙占友，数字式多用电阻测量仪设计原理，仪表技术，1991，№4.

〔24〕沙占友、高俊岭，高分辨率液晶条图A/D转换器ICL7182，电子技术应

用，1992.
〔25〕沙占友，3½位自动量程数字万用表芯片ICL7149，电子技术，1992，№3.
〔26〕沙占友、高俊岭、李学芝，能源自动检测系统的设计，河北机电学院学报，1992，№1.
〔27〕沙占友、李学芝，高精度数字式流量自动测量控制仪，自动化与仪表，1991，№1.
〔28〕沙占友，大屏幕智能显示屏概述，电测与仪表，1991，№5.
〔29〕沙占友，数字/模拟条图双显示数字万用表的设计，电测与仪表，1992，№5.
〔30〕沙占友，电子仪器检修的常用方法，仪表技术，1984，№3.
〔31〕沙占友，电源噪声滤波器的原理与应用，自动化仪表，1991，№9.
〔32〕沙占友、高俊岭，一种高性价比5½位数字电压表的设计，电测与仪表№1992，№4.

[General Information]
书名=胜利牌数字仪器仪表原理与检修指南
作者=BEXP
SS号=
加密地址=
页数=353
下载位置=http://202.118.180.121/ebook/sjy01/diskdv/dv09/25/!00001.pdg

封面
书名
版权
目录
正文