零点起步

技术工人维修技能速成丛书

王艳春 程美玲 主编

万用表使用与维修速成图解



凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

零点起步——技术工人维修技能速成丛书

万用表使用与维修速成图解

王艳春　程美玲　主编

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

内 容 简 介

本书是为无线电爱好者或从事家电维修的技术人员编写的，主要介绍了目前广泛使用的、较典型的指针式和数字式万用表的基本知识、使用方法以及常见故障的检修与调试。全书是结合多年教学实践和实际家电维修经验编写而成的，内容实用、原理分析深入浅出、通俗易懂，使广大无线电爱好者或从事家电维修的技术人员一看就懂，一学就会，达到速成的目的。

本书适合广大电子爱好者学习，也可供家用电器以及电子设备等行业的维修人员阅读、参考。

Forword 前 言

万用表具有用途多、量程广、使用方便等优点，是电子测量中最常用的工具。掌握万用表的使用方法与维修知识是电子技术的一项基本技能。本书就是为那些想尽快掌握万用表使用与维修的无线电爱好者或从事家电维修的技术人员编写的。

本书主要介绍目前广泛使用的、较典型的指针式和数字式万用表的基本知识、使用方法以及常见故障的检修与调试。全书是结合多年教学实践和实际家电维修经验编写而成的，内容实用、原理分析深入浅出、通俗易懂，使广大无线电爱好者或从事家电维修的技术人员一看就懂，一学就会，达到速成的目的。本书适合广大电子爱好者学习，也可供家用电器以及电子设备等行业的维修人员阅读、参考。

本书主要由程美玲高级工程师主编，参加编写的还有徐峰、余莉、高霞、郭永清、黄伟民、励凌峰、陈玲玲、王亚龙、李茵、崔俊、金英等同志。该书在编写过程中参考了大量的图书出版物和相关内部培训资料，在此向原作者和单位表示最诚挚的谢意。

限于作者水平，书中难免有错误和不当之处，恳请读者给予不吝指正。我们诚挚地希望本书能为广大无线电爱好者及家用电器维修朋友带来更多的帮助。

作 者

目　录

第一章　万用表使用基础知识 …… 1
第一节　万用表的基本构成和工作原理 …… 3
一、指针式万用表的基本构成和工作原理 …… 3
二、数字式万用表的基本构成和工作原理 …… 10
第二节　万用表的选择和使用方法 …… 19
一、指针式万用表的选择 …… 19
二、数字式万用表的选择 …… 30
三、指针式万用表的使用方法和注意事项 …… 33
四、数字式万用表的使用方法和注意事项 …… 37
第三节　万用表中的测量电路 …… 53
一、指针式万用表中的电压、电流测量电路 …… 55
二、数字式万用表中的电压、电流测量电路 …… 60
三、指针式万用表中的电阻测量电路 …… 66
四、数字式万用表中的电阻测量电路 …… 67
第四节　万用表的技术性能与测量误差 …… 71
一、万用表的技术性能 …… 71
二、万用表常用标志符号 …… 78
三、万用表的测量误差及其计算 …… 80

第二章　万用表的基本功能与应用 …… 87
第一节　万用表检测基本元器件 …… 87
一、万用表检测电阻和电位器 …… 87
二、万用表检测电感 …… 90

三、万用表检测电容 …… 91
四、万用表检测二极管 …… 93
五、万用表检测晶体管 …… 95
六、万用表检测晶闸管 …… 102
第二节 万用表检修常用仪器仪表 …… 106
一、万用表检修仪器仪表 …… 107
二、万用表检修数字电压表 …… 110
三、万用表检修低频信号发生器 …… 114
四、万用表检修电子示波器 …… 118
五、万用表检修晶体管测试仪 …… 120
六、万用表检修万用表 …… 130
第三节 万用表检修家用电器 …… 135
一、万用表检修照明电路 …… 135
二、万用表检修吊扇 …… 141
三、万用表检修电视机 …… 143
四、万用表检修自动电热开水器 …… 153
五、万用表检修计算机显示器 …… 156
六、万用表检修洗衣机 …… 164
七、万用表检修电饭煲 …… 168
八、万用表检修电热水器 …… 169

第三章 万用表的功能扩展与使用技巧 …… 171
第一节 万用表测量电阻的应急使用技巧 …… 171
一、利用“差值法”测量电阻的工作原理 …… 171
二、测量注意事项 …… 172
第二节 万用表的测量功能扩展与使用技巧 …… 173
一、万用表测量温度 …… 173
二、万用表测量频率和转速 …… 176
三、万用表在线测量电阻 …… 185
四、万用表测量晶体管放大系数 …… 189

五、万用表测量相位差 …… 190
第三节　万用表的检测功能扩展与使用技巧 …… 195
一、万用表检测扬声器 …… 195
二、万用表检测磁头 …… 198
三、万用表检测显像管 …… 199
四、万用表检测继电器 …… 201

第四章　万用表的检修与维护 …… 205
第一节　万用表的检修方法 …… 205
一、指针式万用表的检修方法 …… 205
二、数字式万用表的检修方法 …… 212
第二节　万用表的常见故障及维修 …… 226
一、指针式万用表的常见故障及维修 …… 226
二、数字式万用表的常见故障及维修 …… 233

附录一　常用指针式万用表表头灵敏度和内阻 …… 242
附录二　常用数字式万用表主要技术指标 …… 245
附录三　常用指针式万用表主要技术指标 …… 261

第一章

万用表使用基础知识

万用表是一种使用广泛的仪表，它具有多用途、多量程、售价低、使用和携带方便等优点，不仅为电工和电子专业人员及家电维修人员所必备，也是广大电子爱好者最常用的测量工具。

万用表可以分为指针式和数字式两类。指针式万用表具有显示直观、显示易于反映信号变化倾向和信号与满度值之差等优点，其测量结果一般表现为指针沿刻度尺的位移，所以它属于模拟指示电测量仪表；数字式万用表则在准确度、分辨力、测量速度和耐负载能力等方面具有极大的优越性。目前，指针式和数字式万用表均有多种型号面市，能充分满足广大用户不同的需求。相对而言，指针式万用表售价较低，普及性好，故目前仍使用极广。

万用表的外形如图 1－1 和图 1－2 所示。其基本结构由三个部分组成：指示部分、测量电路和转换开关。

指示部分亦称“表头”或“测量机构”，是万用表的最重要部件，仪表的灵敏度和准确度等重要技术性能都取决于表头的性能。

测量电路的作用是将各种不同的被测电学量及温度转换成能够为测量机构所接受的直流电流或直流电压。一般来讲，万用表的测量电路是由多量程直流电流表、多量程直流电压表、多量程交流电压表、多量程交流电流表和多量程欧姆表等若干个电路组合而成。在某些万用表中，还附加有电容、电感、晶体管直流放大倍数和温度等测量电路。

万用表中的转换开关是万用表的重要部件之一，由许多固定触点和活动触点组合而成，这些触点的作用是选择测量线路和改变测量范

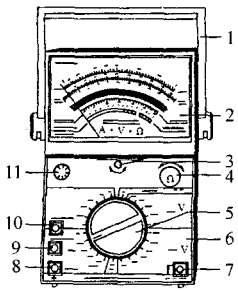


图 1-1　指针式万用表的外形

1—塑料提手；2—标度盘；3—零位调整器；4—欧姆调零旋钮；5—转换开关；6—指示牌；7—“－”插孔；8—“＋”插孔；9—高压测量插孔；10—5 A 插孔；11—h_{FE}测量插座

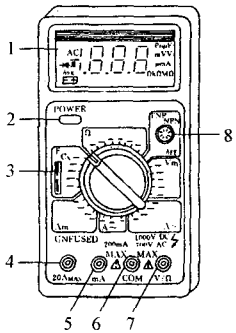


图 1-2　数字式万用表的外形

1—液晶显示器；2—仪表电源开关；3—电容测量插座；4—无熔丝最大值 20 A 测量插孔；5—最大值 200 mA 测量插孔；6—公共插孔；7—电压、电阻测量插孔；8—h_{FE}测量插座

围。转换开关的定位准确，触点接触良好可靠，步进轻松和绝缘性能好等是其最基本的要求。

转换开关的形式多种多样，如图 1-3 所示。所谓“刀”，就是指可

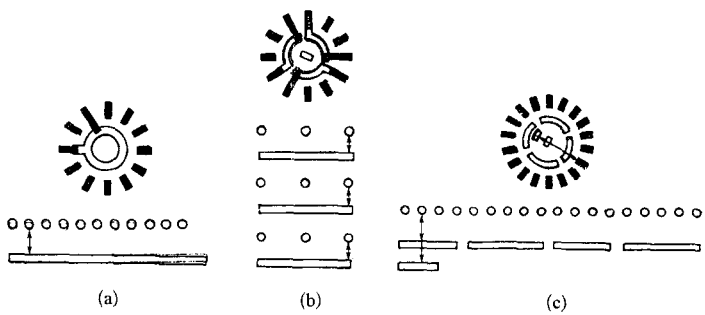


图 1-3　万用表中转换开关结构形式和符号图例

(a) 单刀 11 挡转换开关；(b) 3 刀 3 挡转换开关；(c) 单刀单层 18 挡转换开关

转动的开关滑片。图 1－3 分别画出了这几种转换开关的符号，图中箭头和小圆圈分别表示“刀”和“挡”（固定触点），有时“刀”也用粗黑线表示，这类符号经常出现在万用表的线路图中。

第一节　万用表的基本构成和工作原理

一、指针式万用表的基本构成和工作原理

（一）指针式万用表的基本构成

指针式万用表在结构上主要由三个部分组成，即测量机构（又称表头）、测量线路和转换开关。

1. 表头

万用表通常用高灵敏度的磁电式直流微安表作表头，表头刻度盘上刻有多种电量和多种量程的刻度。表头是万用表的关键部件。灵敏度、准确度等级、阻尼及升降差等大部分万用表的性能都取决于表头的性能。

灵敏度是万用表的重要指标之一，常用万用表表头满刻度电流为十几至几百微安，表头的满刻度电流越小，其灵敏度越高，表头特性就越好，同时功率损耗也越小，对被测电路的影响就越小。

2. 测量线路

测量线路的主要作用是把被测的电量转变成测量机构能接受的电量，如将被测的直流大电流通过分流电阻变换成表头能够接受的微弱电流，将被测的直流高压电压通过分压电阻变换成表头能够接受的低电压，将被测的交流电流（电压）通过整流器变换为表头能够接受的直流电流（电压）等。测量线路主要由各种类型、各种规格的电阻元件（如绕线电阻、金属膜电阻、碳膜电阻、电位器等）组成，此外还包括整流器件（如二极管）。

测量线路是万用表实现多种电量、多量程变换的电路。测量线路的改进，可使仪表的功能增多、操作方便、体积减小。

3. 转换开关

转换开关用来切换不同的测量线路，实现多种电量和多种量程的

选择。一般指针式万用表中均采用机械式转换开关，它由动触点和静触点组成，动触点又称为“刀”，静触点又称为“掷”，因而机械式转换开关又称为刀掷转换开关。

静触点固定在测量电路板上，动触点装在转轴上，当转换开关旋转时，转轴带动动触点随之旋转，当动触点与某一挡位静触点接触时，就接通了该挡的测量电路，实现了对不同测量电路的切换。对转换开关的要求是转动灵活、接触良好。

（二）测量原理

1. 直流电流的测量

万用表直流电流测量电路用磁电系微安表头并联一些分流电阻构成多量程，一般采用闭路式分流器，如图 1－4 所示。万用表测量直流电流时，转换开关拨到直流电流挡，测量电路与表头就构成了一个直流电流表，被测电流 I_X 的一部分或大部分将通过分流电阻 R_1，而小部分电流通过表头，从而扩大了直流电流挡的量程。分流电流的大小与分流电阻的大小成反比，改变分流电阻的大小即可改变仪表的测量范围。

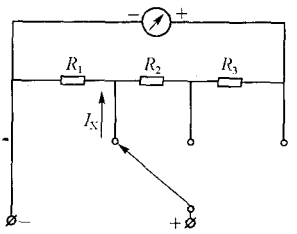


图 1－4　闭路式分流器

2. 直流电压的测量

在指针式万用表中，电压测量电路与电流测量电路所使用的表头是同一个磁电系微安表头。表头压降一般在十几至上百毫伏之间，如不加任何附加电阻，直接测量就只能作毫伏表用，这种电路虽然简单，但误差大，量程小，在实际应用中受到限制。

为扩大电压挡的测量范围，可采用在表头电路中串联附加电阻的方法，附加电阻也叫做分压电阻。高准确度万用表中的分压电阻一般采用线绕电阻，在准确度较低的万用表中，一般采用金属膜电阻或碳膜电阻。

电压挡的测量电路通常有三种方式，如图 1－5 所示。第一种是单用式（独立串联电阻结构），每一量程的串联电阻都是独立的，互不影响，调整误差时比较方便。当某一电阻损坏时，不影响其他电路；第二种是共用式（公用串联电阻结构），采用锰铜线绕电阻，多个量程共用几个电阻，较

为经济;第三种是单用、共用混合式,这种连接方式集中了前两者的优点。

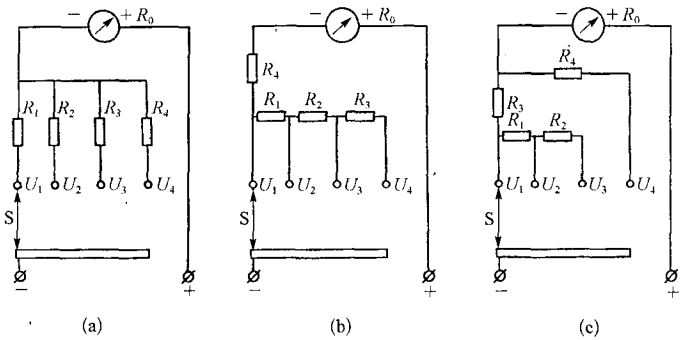


图 1-5　多量程电压电路

(a) 单用式;(b) 共用式;(c) 混合式

3. 交流电流的测量

由于磁电系表头只允许测量直流电流或直流电压,如需测量交流电量,则须采用整流装置。指针式万用表中最常用的是二极管整流电路,但并不是所有万用表均能测量交流电流,有的万用表中不设交流测量电路,如 MF47 型指针式万用表中就没有交流电流测量挡,而在一些数字式万用表中交流电流挡较为常见。

如果被测电流较小,则可直接对被测电流进行整流,由电流表指示,如图 1-6 所示。

要测量较大的交流电流时,应先分流,再对进入表头的电流进行整流,如图 1-7 所示,形成多量程的交流电流测量。整流的方法有两种:一种是半波整流电路,另一种是全波桥式整流电路。有的指针式万用表也采用电流互感器来扩大量程,如图 1-8 所示。采用电流互感器的电路,功率损耗小,可获得最佳的工作电压,电流互感器的一次绕组中引出不同抽头,即可改变量程。抽头的原则是保持总的磁动势(NI^2)不变,即测大电流时,对应的匝数少,始终保持 N 与 I^2 的乘积为定值,电流互感器二次绕组测量电路的工作状态始终保持不变。

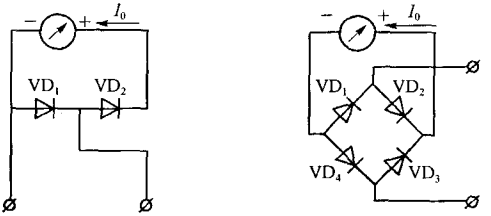


图 1-6　测量较小交流电流的电路

(a) 半波整流;(b) 全波桥式整流

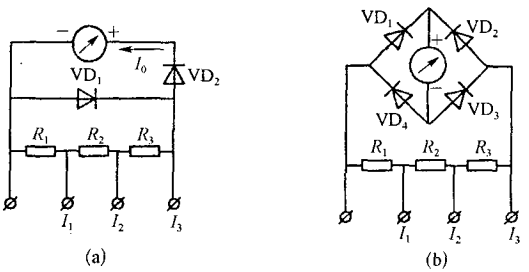


图 1-7　测量较大交流电流的电路

(a) 半波整流;(b) 全波桥式整流

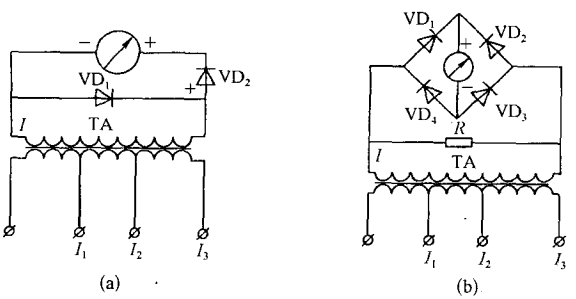


图 1-8　配电流互感器测量交流电流的电路

(a) 半波整流;(b) 全波桥式整流

4. 交流电压的测量

在测量交流电压时，测量电路必须有整流装置，把交流变为直流。整流器件可以采用锗或硅二极管，也可以采用氧化铜整流。整流器件的反向电阻越大，正向电阻越小，整流器件质量也就越好。交流电压测量整流电路有两种：一种是半波整流电路，另一种是全波桥式整流电路。

(1) 半波整流电路

半波整流如图 1－9 所示。当被测电压为正半周时，a 端为正，b 端为负，此时二极管 VD_1 正向导通，VD_2 反向截止，被测的交流电压通过分压电阻 R_3、R_2、R_1，经 VD_1 流过表头和分流电阻 R_C，到达 b 端与被测电路构成闭合回路。

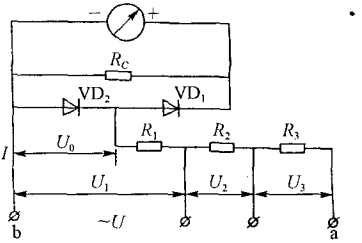


图 1－9　测量交流电压的半波整流电路

当被测电压为负半周时，a 端为负，b 端为正，VD_2 正向导通，VD_1 反向截止，被测电流直接从 VD_2 流入分压电阻 R_1、R_2、R_3 到达 a 点，并不经过表头和分流电阻 R_C。这样在交流电压的一个周期内，表头中通过的是经过半波整流后的直流电流，这是一种方向不变而大小却不断变化的周期性脉动电流。

(2) 全波桥式整流电路

全波桥式整流电路如图 1－10 所示。电路采用四个整流器件 VD_1、VD_2、VD_3、VD_4，构成全波桥式整流电路。当被测电压为正半周时，a 端为正，b 端为负。VD_1、VD_4 正向导通，VD_2、VD_3 反向截止，被测电流经开关 S、分压电阻 R_3、R_2、R_1 及 VD_4 流过表头和分流电阻 R_C，再经 VD_1 到达 b 点，构成回路。被测电压负

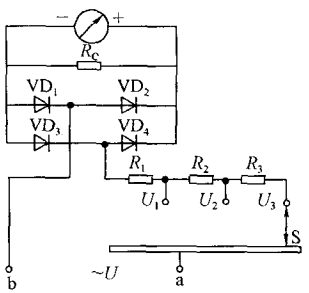


图 1－10　测量交流电压的全波桥式整流电路

半周时，a 端为负，b 端为正。VD_2、VD_3 正向导通，VD_1、VD_4 反向截止，被测电流经 VD_2 流过表头和分流电阻 R_C，再经 VD_3 流过 R_1、R_2、R_3 到达 a 端，构成回路。

在全波桥式整流电路中，正半周和负半周均有电流通过表头，但流过表头的电流是经全波整流后较为连续的脉动电流。

5. 电阻的测量

万用表的电阻挡实际上是一个多量程的串联式欧姆表。

(1) 电阻挡的测量电路

万用表的电阻挡测量电路如图 1-11 所示，电路采用干电池作为电源，电源、表头和固定电阻串联。流过被测电阻的电流为

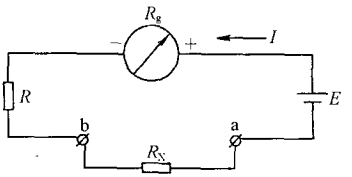


图 1-11 万用表电阻挡测量原理图

$$I = E/(R_g + R + R_X) \qquad (1-1)$$

式中 E——电池电压；

R——固定电阻；

R_X——被测电阻。

因为表头与固定电阻及电源串联，所以流过表头的电流与流过被测电阻 R_X 的电流是同一电流，因此，表头指针偏转角的大小与被测电阻 R_X 的大小有相对应的关系。由于流过表头的电流与被测电阻不是线性关系，所以电阻挡标度尺的刻度是非均匀的，当被测电阻 R_X 较大时，电路中的工作电流小，指针偏转角也小；当被测电阻 R_X 为零时，电路中的工作电流是满偏电流，指针满刻度偏转；当被测电阻 R_X 为无穷大时，电路中的工作电流近似为零，指针的偏转角度也近似为零(这时指针指在交流电压标度尺的零位上)，所以电阻挡的标度尺是反向刻度的，如图 1-12 所示。

(2) 分压式欧姆调零器

一般万用表电阻挡中使用一节 1.5 V 的干电池作为电源，有的万用表在高倍率电阻挡的电路中还采用 9 V 或 15 V 的积层电池作为电

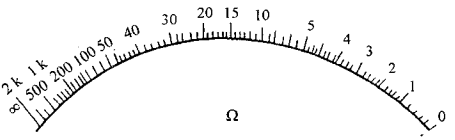


图 1-12　电阻挡标度尺

源电压。如果电池电压不产生变化，那么，当被测电阻 R_X 为零时，流过表头的电流就是满偏电流。但是在实际测量过程中，由于电压消耗或其他原因，会造成电池电压降低，从而引起流过表头的电流下降，不再是满偏电流，如果不进行调整，测量数据就会因电流减小而生产误差。为了减小这种误差，万用表中都采用了分压式欧姆调零电路，如图 1-13 所示。

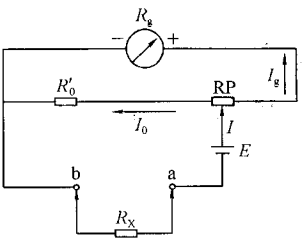


图 1-13　分压式欧姆调零电路

图中 R_X 为被测电阻，RP 为可调电位器，R_g 为表头内阻，I_g 为表头电流，I_0 为补偿电流。当电池电压稳定为 1.5 V 时，流过表头的电流 I_g 为满偏电流；电池电压下降时，由于电阻值不变，引起总电流 I 下降，造成表头电流 I_g 和补偿电流 I_0 下降。因此，在使用万用表电阻挡之前要进行欧姆调零。方法是将红黑两表笔短接，调整电位器 RP 的阻值，使滑片向右滑动，增大 I_0 支路的电阻，减小电流 I_0；同时减小表头支路的电阻，增大流过表头的电流 I_g，使表头电流达到满刻度，减小了测量误差。反之，如果指针超过满刻度也可以反向调整 RP 的阻值，使指针重新指在满刻度上。

(3) 欧姆中心值

欧姆中心值是指当万用表指针在标度尺的中心位置时所指示的值。

由图 1-11 可知 $I = E/(R_g + R + R_X)$，其中 R_g 为表头支路的等效电阻。当被测电阻 $R_X = 0$ 时，电路的电流为 $I_g = E/(R_g + R)$，为满偏

电流。当被测电阻 R_X 与表的总内阻相等时，即 $R_X = R_g + R$ 时，电路中的电流为 $I = E/(R_g + R + R_X) = E/[2(R_g + R)] = I_g/2$。这时，电路中的工作电流正好等于表头满刻度偏转电流 I_g 的一半，指针正好指示在欧姆刻度线的中心位置，因而，此时万用表的指示值被称为欧姆中心值。

万用表电阻挡的欧姆中心值具有以下几点意义：

① 万用表欧姆中心值等于该量程的总内阻，例如，MF47 型指针式万用表的欧姆中心值为 16.5 Ω，当选用 $R\times1$ 挡时，该量程总内阻为 16.5 Ω。

② 确定了万用表电阻挡的有效测量范围。万用表电阻挡刻度线不均匀，当指针指在近似零位或指针指在无穷大位置时，无法得到准确的读数，虽然万用表欧姆挡标尺刻度为 0～∞，但是实际有效的测量范围只是靠近欧姆中心值的一小段范围内，一般为 0.1～10 倍的欧姆中心值为有效测量范围。例如，MF47 型指针式万用表的欧姆中心值为 16.5 Ω，如选用 $R\times1$ 挡去测量一个 300 Ω 的电阻，则指针指示在 500～200 Ω 之间，无法得到准确的数据。

③ 确定了欧姆中心值，就可以按十进制扩大量限，使 $R\times1$、$R\times10$、$R\times100$、$R\times1$ k 各个量程共用一条刻度线，读数方便。

二、数字式万用表的基本构成和工作原理

（一）数字式万用表的基本构成

1. 普通数字式万用表的基本构成

普通数字式万用表的基本构成如图 1-14 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、测量项目及量程选择开关、LCD(或 LED)显示器，此外还包括蜂鸣器振荡电路、驱动电路、检测线路通断电路、低电压指示电路、小数点及标志符驱动电路。

数字式万用表常见的功能转换器主要包括电流/电压(I/U)转换器、交流/直流(AC/DC)转换器、电阻/电压(Ω/U)转换器、电阻阈值转

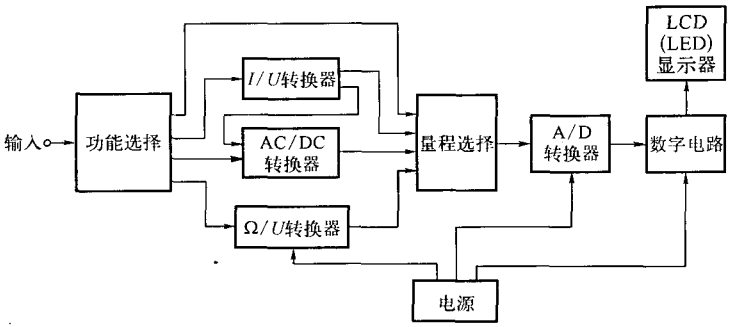


图 1－14　普通数字式万用表的基本构成

换器(蜂鸣器挡)、电导/电压(G/U)转换器、电容量/电压(C/U)转换器、二极管正向压降/电压(U_F/U)转换器、晶体管电流放大系数/电压(h_{FE}/U)转换器和温度电压(T/U)转换器。

2. *单片数字式万用表的基本构成*

单片数字式万用表的基本构成如图 1－15 所示。单片 DMM 专用

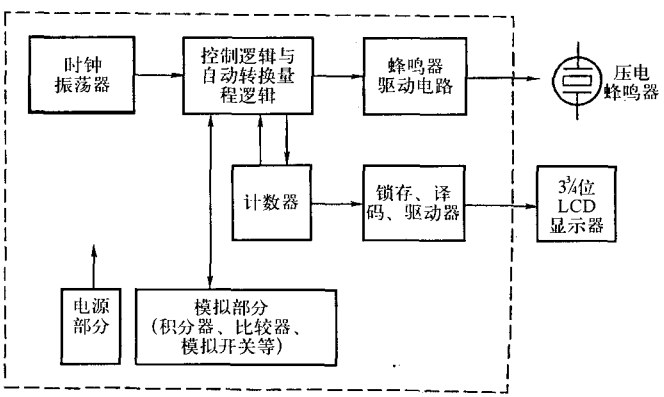


图 1－15　单片数字式万用表的基本构成

IC的典型产品有UJN9207(3½位)、TSC815(3½位)和ICL7139(3¾位)。除电流挡采用手动转换量程方式,其余各挡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),此外还包括电压挡的分压电阻、电阻挡的标准电阻、电流挡的分流电阻、AC/DC转换器、量程选择开关以及电源。

与普通数字式万用表相比,单片数字式万用表的外围电路大为简化,性能指标明显提高,给维修、调试工作提供了方便。

3. 智能数字式万用表的基本构成

智能数字式万用表是带微处理器(μP)或单片机(μC)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RS-232或IEEE-488标准接口与计算机相连,易实现遥控、自动测试及实时控制功能。

图1-16示出由美国Fluke公司生产的8840A型5½位数字式万用表的电路框图。基本信号流程是:输入信号经过标定处理后送到跟踪/保持(T/H)电路,再由A/D转换器转换成数字量,最后通过微型计算机连接显示器和键盘。直流标定电路构成仪器的前级,它具有以下三个功能:第一,对输入量进行检测,在选择DCV、DCmA、Ω功能时,由它产生一个等效的直流电压,在AC输入时改由真有效值转换器转换成直流电压,测电阻时先由欧姆电流源提供测试电流,然后在被测电阻上形成直流电压,直流电流输入由一个精密分流器转换成直流电压;第二,直流标定电路将量程范围内的等效直流电压调整到A/D转换器的输入量程(±2 V)范围以内;第三,提供输入保护。

由跟踪/保持电路对又标定的直流电压进行采样,在每个A/D转换周期给A/D转换器传送一个恒定电压。跟踪/保持电路还可对某些附加量程进行标定。

该仪器受微型计算机(即单片机μC)控制,利用μC读取从键盘输入并对各种功能和量程进行组态,然后触发A/D转换器,计算出每个

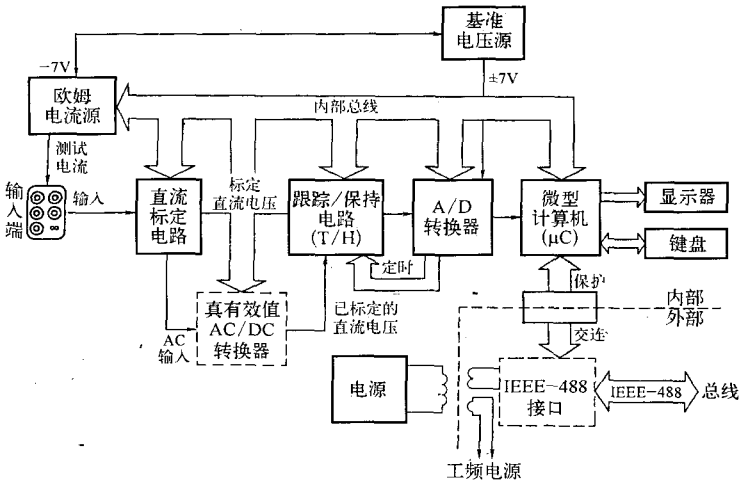


图 1-16　8840A 型 5½位数字式万用表的电路框图

A/D 转换周期的值，对 A/D 进行平均采样，再控制显示并通过保护交联电路和 IEEE-488 接口与外部交换信息。显示器采用荧光数码管(VFD)。

保护交联电路允许 μC 与 IEEE-488 接口之间进行串行异步通信，此时两者是电气隔离的。电源部分可为仪表的各单元电路提供多路稳压电源。基准电压源则为 A/D 转换器和欧姆电流源提供精密的基准电压。

(二) 数字式万用表的工作原理

1. *数字式万用表的方框图*

数字式万用表与普通万用表的主要差别有两点：第一，数字式万用表测量的是电压，而普通万用表测量的是电流；第二，在数字式万用表中，用模/数转换显示逻辑，以显示等三块独立的逻辑组件来代替普通万用表简单的表头。

图 1-17 所示的是一种简单数字式万用表。方框图中，功能选择

开关把各种输入信号通过三种功能变换，按规定路线输送到量程选择开关，再把限定的直流电压加到模/数(A/D)转换器。

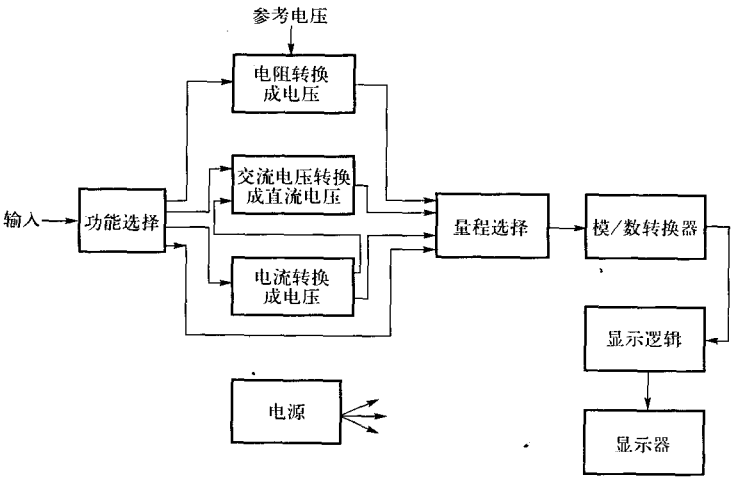


图 1-17　数字式万用表的基本框图

2. 电阻/电压变换

图 1-18 的电路是一种典型的电阻/电压变换电路，除了电阻以外，电路中还使用了两个独立的放大器。放大器 U_{102} 的作用是将 1 V 电压加到待测量电压上的自举放大器，U_{101} 是模/数转器的一部分，由脉冲参考电流加到斜坡发生器(运算放大器 U_{101})来确定加到未知电阻上的电压 E。这个电压通过 U_{102} 和它的反馈电路、定标电阻 R_3 和未知电阻 R_X 引到积分器的第二个输入端。换句话说，未知电阻决定模/数转换器的斜坡高度，正如加上一个未知电压一样。

图 1-18 中电路元件的作用是比较容易理解的。对于下方的三个电阻满意量程，在 U_{101} 输入端的最大电压是 200 mV，对于上边的三个电阻满度量程，电压就是 2 V。对于较低的两个电阻量程(200～2 000 Ω)，量程选择开关连接了由二极管组成的输入保护电路，以便当输入电压

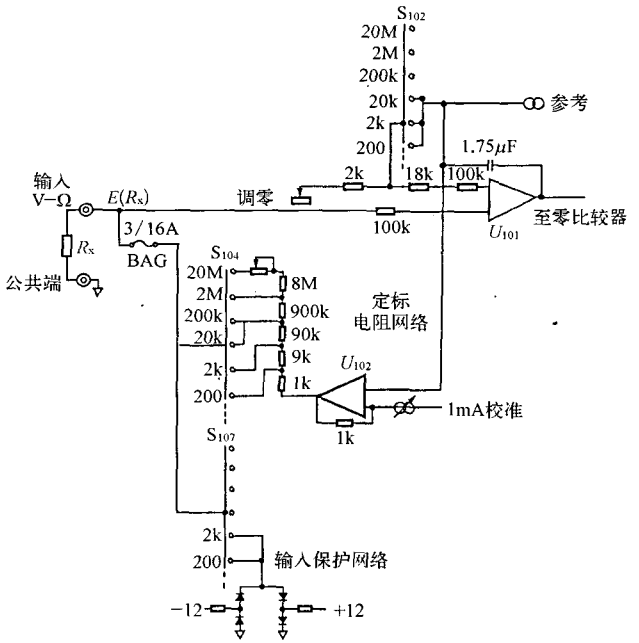


图 1-18　典型的电阻/电压变换电路

太高时可以分流到地。

3. 电流/电压转换

为了把电流转换为电压指示，只要测量被测电流在已知电阻上的电压降就可以了。

图 1-19 表示一种实际的电流变换电路，由许多精密电阻构成从 2 A 到 200 μA 各挡量程，图中的二极管作为输入保护电路，防止过高的输入电压。必须注意，在电流/电压变换电路中，用两根不同的引线把电压连接到模/数转换器的直流输入端和交流输入端，面板前面的控制开关确定这个输出电压是加到交流变换器，还是直接加到模/数转换器。

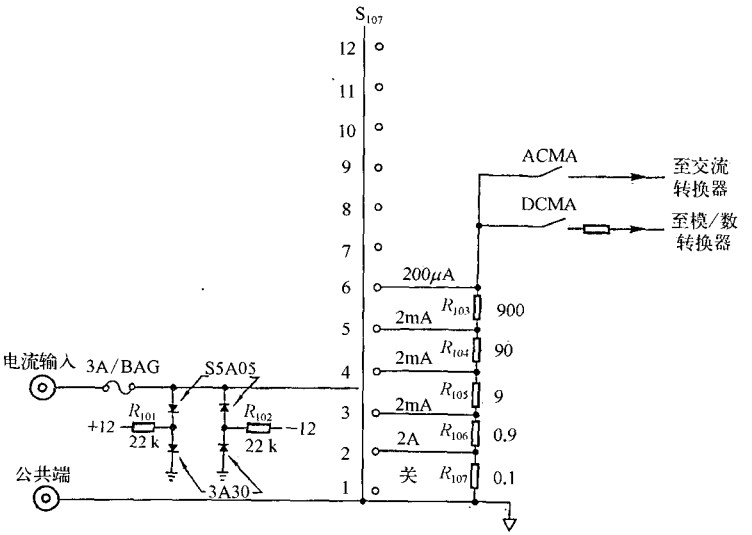


图 1-19　典型的电流/电压变换电路

4. 交流/直流变换

图 1-20 是一种典型的交流/直流变换电路，半波整流二极管 A 后面是两节 π 型滤波器，整流器前有一个运算放大器，场效应晶体管缓冲放大器和一些频率校正网络，图最左边的 ACV-ACA 开关用来保护输入电容，防止偶然出现的直流高压。根据所选择的交流量程，接入适当的 RC 网络以提供高达 20 kHz 平坦的频率响应。两个反偏的二极管保护场效应管缓冲放大器，这一级放大器的增益为 1，它提供高输入阻抗，运算放大器提供 1.11 的增益，恰好是正弦波平均值与有效值的变换比。这个放大器还具有很灵敏的半波整流作用，在输入波形的正半周，在 B 点，正弦波产生负半波整流，其中的一部分又反馈到输入端，在输入负半周时，在 A 点产生正半波整流输出，然后通过滤波器。交流电压通过场效应管缓冲放大器和频率校正网络输入到运算放大器，而交流电流则加到 ACMA 输入端，并通过耦合电容和电阻器再加到运算

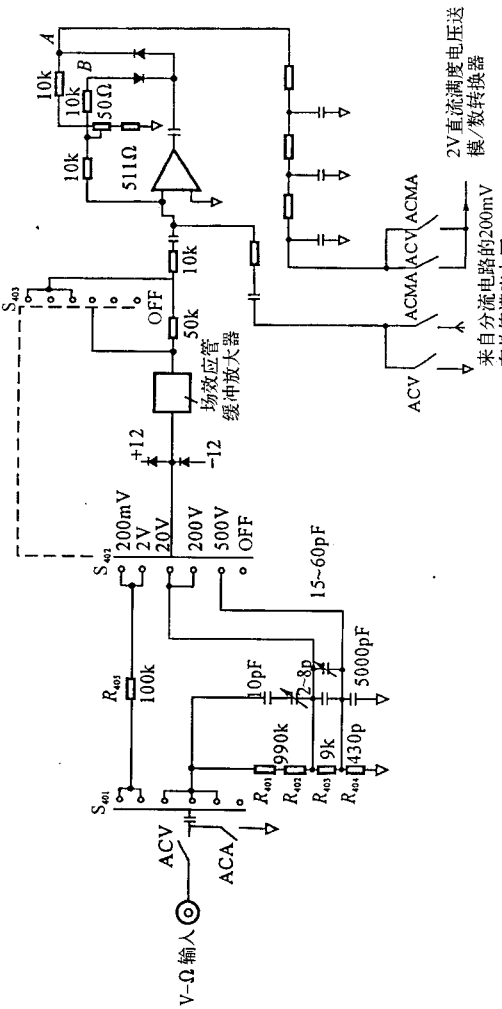


图 1－20　交流/直流交换电路

放大器。必须注意，当 ACV 开关加上电压时，输入到运算放大器的 ACMA 开关则短路通地，反之亦然。这就保证了干扰信号不能进入到运算放大器，只有交流电压或交流电流才加得进去。在交流电压或交流电流的量程选择好之后，滤波器的输出才能加到 D/A 转换器的输入端。

5. *数字计时和控制电路*

万用表的数字控制电路如图 1－21 所示。“时钟”把时钟脉冲供给三个十分频计数器和一个八分频计数器，因此，记下的时钟脉冲总数为 8 000。当计数到 8 000 时，控制逻辑激发相加或相减参考电流源，并提供电流作为斜坡第二部分的基准，在斜坡第二部分的时间内，在三个十进制计数器中累积计算，最后显示的是被测量的电压。当零检测器确定斜坡第二部分已经达到零线时，它就输出一个信号给控制部分，然后使三个十分频计数器的数据输出到存储器和驱动电路，最后进行显示。

图 1－21 所示的是 3½位数字式万用表，半位数是数字“1”，它只有当三个分频计数器的计数大于 999 时才被点亮。模拟输出是取连续变

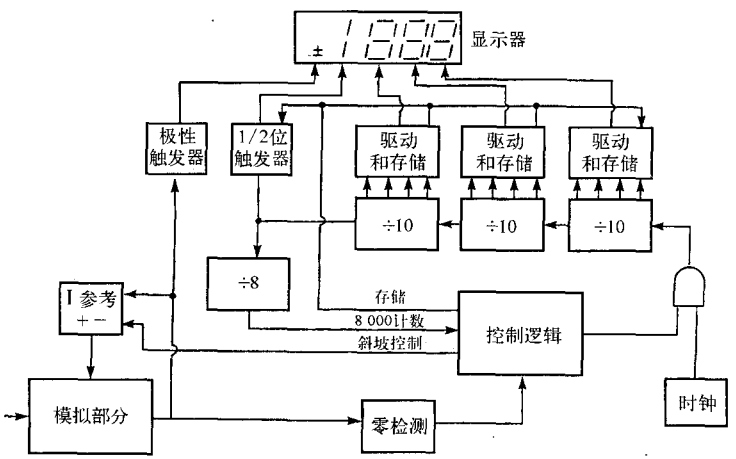


图 1－21　典型的显示和逻辑部分

量的离散值，看到的不是正脉冲就是负脉冲，根据极性指示，使极性触发器置位，它依次地确定参考电流对于下一个斜坡应该供给正的还是负的，同时，极性触发器也控制(±)号的显示。大多数 3½ 位数字式万用表，时钟频率是 40 kHz 即每一次测量周期为 200 ms。

6. 精度

数字式万用表与普通万用表相比，一个突出的优点是精度高。数字式万用表实际测量的是直流电压，交流电压、电流和电阻量程都必须采用某些特殊电路将它们转变为由模/数转换器控制的直流电压。这些转换电路的存在使精度有所降低，但是通过选用精密的电阻器和超稳定电路可以把精度的降低保持在最低限度。一般说来，数字式万用表测量电流、电阻和交流的精度总比直流电压挡要差一些。

影响最后显示精度的因素还有时钟频率和分辨率，此外精密性和稳定性对精度也有一定的影响。

第二节　万用表的选择和使用方法

一、指针式万用表的选择

指针式万用表的英文缩写是 VOM(Volt-ohm Meter，即“伏欧表”)，在本部分中以下简称万用表。其主要特点是准确度较高，测量项目较多，操作简单，价格低廉，携带方便，目前仍是国内最普及、最常用的一种电测仪表。

1. 准确度

万用表的精度一般用准确度表示，它反映了仪表基本误差的大小，准确度愈高，测量误差愈小。根据我国制定的国家标准“电测量指示仪表通用技术条件(GB776—1976)”，仪表的准确度分七个等级：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。近年来随着仪表工业的迅速发展，我国已能制造 0.05 级的指示仪表。

准确度等级反映了仪表基本误差的大小。基本误差亦称固有误

差，常用相对误差 γ_m 来表示。例如，2.5 级准确度即表示基本误差为 ±2.5%。两者的对应关系见表 1-1。国产 MF18 型万用表测量直流电压(DCV)、直流电流(DCA)和电阻(Ω)的准确度都是 1.0 级，可供实验室使用。目前仍被广泛使用的 500 型万用表则属于 2.5 级仪表。需要指出，受分压器、分流器、整流器等电路的影响，同一块万用表各挡的基本误差也不尽相同。

表 1-1　准确度等级与基本误差的关系

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差 γ_m(%)	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

万用表的基本误差有两种表示方法。对于直流和交流电压挡、电流挡，是以刻度尺工作部分上限的百分数表示的，这些挡的刻度呈线性或接近于线性。例如，设电压挡的满刻度(即满量程)为 U_M，将基本误差折合成绝对误差就是

$$\Delta = \gamma_m U_M \tag{1-2}$$

对于电阻挡，因刻度呈非线性，故改用刻度尺总弧长的百分数来表示基本误差。但需指出，万用表说明书或表盘上注明的电阻挡基本误差值，仅对欧姆刻度尺的中心位置(即欧姆中心)适用，其余刻度处的基本误差均大于此值。

万用表的基本误差范围见表 1-2，具体数值可从万用表的表盘上查出。

表 1-2　万用表的基本误差范围

测量项目	符 号	基本误差(%)	测量项目	符 号	基本误差(%)
直流电压	DCV	±1.0～±2.5	交流电流	ACA	±1.5～±5.0
直流电流	DCA	±1.0～±2.5	电　阻	Ω	±1.5～±5.0
交流电压	ACV	±1.5～±5.0	电　平	DB	±2.5～±5.0

万用表的基本误差 γ_m 只能反映仪表满刻度时的相对误差。当被测电压 $U<U_M$ 时，可改用下式计算最大允许测量误差：

$$\gamma_M = \frac{U_M}{U} \cdot \gamma_m \qquad (1-3)$$

举例说明：设 $U_M=100$ V，$\gamma_m=\pm 2.5\%$，代入式(1-2)求出绝对误差 $\Delta=\pm 2.5$ V，这表明该挡存在 ± 2.5 V 的固有误差。当被测电压 $U_M=50$ V 时，由式(1-3)求出最大允许测量误差 $\gamma_m=\pm 5\%$。表 1-3 给出了最大允许测量误差与被测电压的对应关系(γ_m 和 U_M 均为定值)。若对 γ_m 取绝对值，即可绘出该电压挡的误差曲线，如图 1-22 所示。由图可见，被测电压愈接近 U_M(对应于指针偏转接近于满刻度)，测量误差愈小。当 $U=U_M$ 时(对应于指针大约偏转 90°)，测量误差为最小值，等于基本误差。因此在测量电压或电流时应合理地选择量程，尽量使指针偏转到满刻度位置，以减小测量误差。

表 1-3　最大允许测量误差与被测电压的关系

被测电压 U/V	100	80	60	40	20	10	5
最大允许测量误差 γ_m(%)	±2.5	±3.1	±4.2	±6.25	±12.5	±25	±50

国产 MF18 型万用表测量直流电压、直流电流和电阻的准确度均为 1.0 级，测量交流电压、交流电流的准确度为 1.5 级，500 型万用表的 DCV、ACV 和 Ω 挡的准确度均为 2.5 级，ACV 挡为 5.0 级。

2. *灵敏度*

万用表的灵敏度可分为表头灵敏度和电压灵敏度(含直流电压灵敏度和交流电压灵敏度)两个指标。

(1) 表头灵敏度

万用表所用表头的满量程值 I_g(即

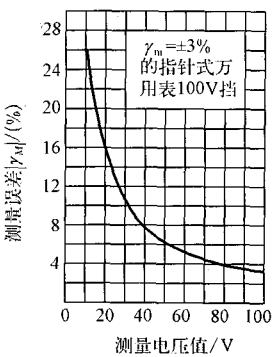


图 1-22　电压挡的误差曲线

满度电流),称作表头灵敏度。I_g一般为 9.2～200 μA,I_g愈小,说明表头灵敏度愈高。高灵敏度表头一般小于 10 μA,中灵敏度表头通常为 30～100 μA,超过 100 μA 就属于低灵敏度表头。

表头灵敏度是设计万用表电路的依据,同时也决定着万用表的电压灵敏度。与表头灵敏度相关的两个参数分别为表头的内阻和线性度。表头的内阻是指针动圈与上、下两组游丝的电阻之和。线性度是指通过表头的电流与指针偏转角度的一致程度,它也是绘制表盘刻度的依据。

万用表大多选用磁电式表头。过去的表头属于外磁式,并且靠宝石轴尖支撑动圈,体积较大,抗震性差。某些新型万用表的表头已改成内磁式张丝结构,其优点是磁能利用率高,能减小表头的体积,而用张丝代替轴尖和游丝,还可消除摩擦误差,提高抗冲击、抗震动性,能使表头使用寿命超过 100 万次。

(2) 电压灵敏度

万用表的电压灵敏度 S_V等于电压挡的等效内阻 R_V与满量程电压 U_M的比值,有公式

$$S_V = \frac{R_V}{U_M} \tag{1-4}$$

其单位是 Ω/V 或 kΩ/V,简称每伏欧姆数,该数值一般标在仪表盘上。直流电压灵敏度是万用表的主要技术指标,交流电压灵敏度受整流电路的影响,一般低于直流电压灵敏度。例如,500 型万用表的直流电压灵敏度为 20 kΩ/V,交流电压灵敏度则降低到 4 kΩ/V。电压灵敏度愈高,万用表的内阻(即仪表输入电阻)愈高,可以测量内阻的信号电压就越高。

电压灵敏度取决于表头灵敏度和灵敏度调整电路。如果不加灵敏度调整电路,万用表所能达到的最高电压灵敏度(S_{VH})等于表头灵敏度的倒数:

$$S_{VH} = 1/I_g \tag{1-5}$$

例如,用 50 μA 表头制成的万用表,最高电压灵敏度 $S_{VH} = 1/(50\times10^{-6}\ \text{A}) = 20\ \text{k}\Omega/\text{V}$。若采用 10 μA 表头,$S_{VH}$就能达到

100 kΩ/V。

实际上表头灵敏度总会存在一定的误差，而且 I_g 也不一定是整数值，需要对表头灵敏度进行调整。调整电路包括分压电阻和分流电阻。因此，万用表的实际电压灵敏度 $S_V \leqslant S_{VH}$。用于电子测量的万用表，应具有较高的电压灵敏度，以获得较高的等效内阻。主要用于电工测量的万用表，对电压灵敏度要求不高，但必须能测量交流电流。

知道万用表的电压灵敏度之后，利用下式很容易求出各电压挡的等效内阻 R_V：

$$R_V = S_V U_M \tag{1-6}$$

这种计算等效内阻的方法非常简单，不必考虑万用表的内部结构和电压挡的实际电路，以及 R_V 值究竟是由哪些电阻串联、并联而成的。当满量程值一定时，R_V 与 S_V 成正比。

进行电子测量时，选择高灵敏度的万用表有以下三个显著优点：

① 万用表测电压时与被测电路相并联，会产生分流作用。而电压灵敏度愈高，万用表的内阻（即仪表输入电阻）亦愈高。从被测电路上吸取的电流愈小，对被测电路工作状态的影响愈小，这样可减小测量高内阻电源电压时产生的误差。做电工测量时，因被测电源（如交流电源）的内阻很低。故可忽略万用表的分流作用，可选择低灵敏度的万用表。

② 电压灵敏度愈高，测电压时万用表所消耗的电功率 P_V 愈小。设被测电压为 U，有关系式

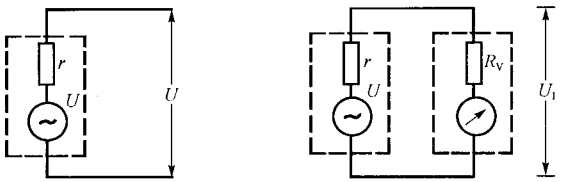
$$P_V = \frac{U^2}{R_V} = \frac{U^2}{S_V U_M} \tag{1-7}$$

③ 便于设计高阻挡。因为电压灵敏度高，就意味着表头灵敏度高，很小的测试电流即可使指针作满刻度偏转，实现电阻挡的欧姆调零，在高阻挡也能采用较低的电池电压。

利用图 1-23 可分析万用表测量电压时的误差。设被测电压为 U，其内阻（或等效内阻）为 r。(b)图右边的虚线框内是电压挡的等效电路，其内阻为 R_V，Ⓐ表示内阻为零的指示计（下同）。将万用表并联

在被测电路上，设万用表读数为U_1，有关系式

$$U_1 = \frac{R_V}{r+R_V} \cdot U \tag{1-8}$$



(a)　　(b)

图 1-23　万用表测量电压时的电路

(a) 被测电压源的等效电路；(b) 测量电压时的等效电路

相对测量误差为

$$\gamma_V = \frac{U_1 - U}{U} \cdot 100\% = \frac{\frac{R_V}{r+R_V} \cdot U - U}{U} \cdot 100\%$$

$$= -\frac{r}{r+R_V} \cdot 100\% = -\frac{1}{1+\frac{R_V}{r}} \cdot 100\% \tag{1-9}$$

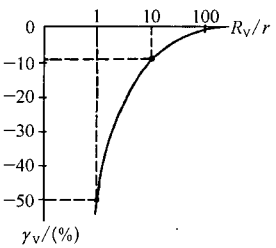


图 1-24　测量电压时相对误差曲线

式(1-9)中的$\gamma_V<0$，表明$U_1<U$，即测量值比实际电压值偏低。随着比值R_V/r的增大，相对误差的绝对值$|\gamma_V|$会减小。图 1-24 所示的相对误差曲线分别给出$R_V/r=1$、10、100 这三种情况下的γ_V值。由图可见，当被测电源电压的内阻较低，满足$R_V \geqslant 100r$之条件时，$|\gamma_V|<1\%$，测量误差可忽略不计。但是当被测电路的内阻很高，可以同R_V相比时，会产生很大的测量误

差。由此可得出以下三条结论：

① 若两块万用表所选择的量程相同而电压灵敏度不同，那么用它们分别测量同一个高内阻电源电压时，电压灵敏度高的那块表测量误差较小。

② 对同一块万用表而言，电压量程愈高，内阻愈大，所引起的测量误差就愈小。

举例说明。假定万用表直流电压灵敏度为 20 kΩ/V，被测直流电压 $U=10$ V，内阻 $r=200$ kΩ。第一次测量选择 10 V 挡，$R_V=200$ kΩ。代入式(1-8)得到 $U_1=U/2=5$ V，再由式(1-9)求出 $\gamma_V=-50\%$。第二次测量改用 50 V 挡，该挡内阻达 1 MΩ，由此可求出 $U_1=8.33$ V，$\gamma_V=-16.7\%$。

这表明，为了减小测量高内阻电源电压的误差，有时宁可选择较高的电压量程，以增大万用表的内电阻。当然量程也不宜选得过高，以免在测量低电压时因指针偏转角度太小而增加读数误差。对于低内阻的电源电压(例如 220 V 交流电源)，可选用电压灵敏度较低的万用表进行测量。换言之，高灵敏万用表适合于电子测量，而低灵敏度万用表适合于电工测量。

③ 当万用表电压挡的内阻比被测电源的内阻大 100 倍以上时，就不必考虑万用表对被测电源的分流作用。

3. **电流挡的内阻**

理想情况下，电流表的内阻 R_1 应等于零，但实际上却做不到。由于 R_1 的存在，使用万用表测量电流时必然有一定的电压降，从而产生测量误差。

利用图 1-25 可以分析万用表测量电流时产生的误差。设电源电压为 E，其内阻可忽略不计，R_L 为负载电阻，(b)图中的虚线框内为直流电流表的等效电路，其内阻为 R_1，⊘表示内阻为零的指标计，⊕和⊖分别表示万用表的正、负极插孔(下同)。被测电流为

$$I=\frac{E}{R_L} \tag{1-10}$$

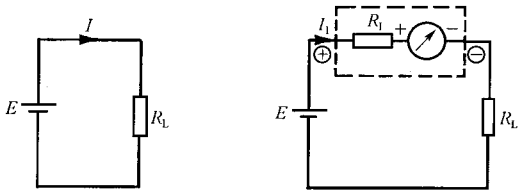


图 1-25　万用表测量电流时的电路

(a) 被测电流源的等效电路;(b) 测量电流时的等效电路

接上电流表后电流变成 I_1,有关系式

$$I_1 = \frac{E}{R_L + R_I} \tag{1-11}$$

相对误差

$$\gamma_I = \frac{I_1 - I}{I} \cdot 100\% = \frac{\dfrac{E}{R_L + R_I} - \dfrac{E}{R_L}}{\dfrac{E}{R_L}} \cdot 100\%$$

$$= -\frac{1}{1 + \dfrac{R_L}{R_I}} \cdot 100\% \tag{1-12}$$

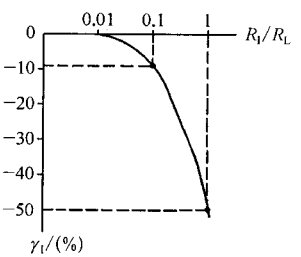


图 1-26　万用表测量电流时的相对误差曲线

式(1-12)中的 $\gamma_I < 0$,表示 $I_1 < I$,即测量值比实际电流值偏低,而且 R_I 值愈小,相对误差的绝对值 $|\gamma_I|$ 也愈小。图 1-26 所示的误差曲线上分别给出 $R_I/R_L = 0.01, 0.1, 1$ 这三种情况下的相对误差值。由图可见,当电流接的内阻很小,能满足 $R_I \leqslant 0.01R_L$ 之条件时,$|\gamma_I| < 1\%$,该项误差可忽略不计,但是当 R_I 与 R_L 比较接近

时，就会产生很大的测量误差。

进一步分析可知，电流挡的内阻愈小，测量电流时万用表所消耗的电功率 P_I 也愈低，有关系式

$$P_I = I^2 R_I \tag{1-13}$$

显然，当被测电流一定时，P_I 与 R_I 成正比。R_I 值取决于电流挡的分流电阻值和表头的内阻。从中亦可得出三条结论：

① 在电流挡的量程 I_M 相同的情况下，万用表的内阻 R_I 愈小，其满度压降 U_M 就愈低，测量电流的误差也愈小，例如，500 型万用表在 500 mA 挡的内阻是 1.5 Ω，满度压降为 $U_M = I_M R_I = 500 \times 10^{-3} \times 1.5 = 0.75$ V 而经过改进以后的 MF30 型新产品，在 500 mA 挡的内阻为 0.6 Ω，满度压降减小到 0.3 V，只相当于 500 型的 2/5，可减小测量误差。

通常设计新型万用表时，电流挡的满度压降应低于 0.5 V。对同一块万用表而言，各电流挡的满度压降值可以不相同。

② 对于同一块万用表，电流量程越大，内阻越小，测量误差也越小。

举例说明，用一节干电池做电源，$E = 1.5$ V，其内阻可忽略不计。设负载电阻 $R_L = 15$ Ω，负载上的电流 $I = 100$ mA。若万用表 100 mA 挡的内阻 $R_I = 4$ Ω，那么串入电路中测得的电流只有 78.9 mA，相对误差 $\gamma_I = -21\%$；如果改用 1 A 挡测量，该挡内阻为 0.4 Ω，此时测量值为 97.4 mA，相对误差降至 −2.6%。

因此，为了减小测量电流的误差，有时宁可选择较高的电流量程。当然量程也不宜选得过高，以免在测量小电流时读数误差明显增大。

③ 当电流挡内阻约为被测电路总电阻的 1%时，不必考虑万用表压降对测量的影响。

最后需要指出，若电源内阻 r 不容忽略，式(1-12)应改为

$$\gamma_I = -\frac{1}{1+\dfrac{r+R_L}{R_I}} \tag{1-14}$$

4. *测量功能*

普通万用表大多只能测量电压、电流和电阻，因此亦称 V—A—Ω 三

用表。近年来问世的新型万用表增加了许多新颖实用的测试功能，例如，测量电容、电感、晶体管参数、电池容量、音频功率、直流高压和交流高压，检查线路通断(蜂鸣器挡)等。有的万用表还设计了信号发生器，给维修人员提供了方便。表1-4给出了万用表的测量功能及测量范围，其中，电阻挡为有效量程，括弧内的数值是少数万用表所能达到的指标。

表1-4 指针式万用表的测量功能及测量范围

基本功能	测量范围
直流电压/DCV	0～500 V(0～2.5 kV，0～25 kV)
交流电压/ACV	0～500 V(0～2.5 kV)
直流电流/DCA	0～500 mA(0～5 A，0～10 A)
交流电流/ACA	(0～5 A，0～10 A)
电阻/Ω	0～20 MΩ(0～200 MΩ)
音频电平/dB	−20～0～+56 dB
扩展功能	**测量范围**
电容/C	1 000 pF～0.3 μF(0～10 000 μF)
电感/L	0～1 H(20～1 000 H)
晶体管/h_{FE}	0～200(0～300，0～500)
音频功率/P	(0.1～12 W，扬声器阻抗为8 Ω)
电池负载电压/BATT	(0.9～1.5 V，电池负载为12 Ω)
蜂鸣器/BZ	(当被测线路电阻小于30 Ω时蜂鸣器发声，如KT7244型万用表)
交流大电流测量功能/ACA	6 A/15 A/60 A/150 A/300 A(例如，7010型万用表)

5. 频率特性

万用表的工作频率较低，频率范围窄，便携式万用表一般为 45～2 000 Hz，袖珍式仪表大多为 45～1 000 Hz。虽然有些万用表（例如 MF10 型）的说明书中规定可以扩展频率范围，但基本误差亦随之增大。

6. 外观与操作

万用表的外观设计也很重要。目前常见的万用表有便携式、袖珍式、超薄袖珍式（例如国产 7003 型）、折叠式、指针/数字双显示（如 7032 型）等多种类型。

选择大刻度盘的万用表，有助于减小读数误差。有些万用表的刻度盘上带反射镜，能减小视差。新型万用表的表笔和插口都增加了防触电保护措施，插口改成隐埋式，表面无金属裸露部分。

从使用角度看，所有的开关、旋钮均应转动灵活、接触良好，操作力求简便。大多数万用表只用一只转换开关，操作比较方便。也有些万用表将功能开关与量程开关分别设置，或把两者组合设置，通过适当的配合来选择测量项目及量程。由上海第四电表厂生产的 MF64、MF368 A/B 型万用表都增加了正、负极性转换开关，在测量负电压时可避免出现指针反打现象。

7. 过载保护装置

新型万用表采用了多种保护措施，除用保险管做线路保护之外，还增加了表头过载保护电路，能大大减少因误操作引起的事故。

由硅二极管构成的表头保护电路如图 1－27 所示。VD_1、VD_2 为两只 1N4148 型玻封开关二极管，其代用型号为 2CK43、2CK44、2CK70、2CKT1、2CK72、2CK83 等。VD_1、VD_2 反极性与表头并联，表头的满度压降一般低于 0.15 V。从硅二极管的伏安特性上可以看出，当正向电压在 0～0.15 V 时，正、反向电流都

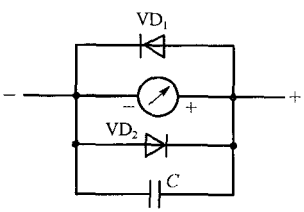


图 1－27　由硅二极管构成的表头保护电路

截止，仅当正向电压超过正向导通电压(约 0.6～0.7 V)时才导通。如果正向电流继续增大，硅二极管的压降就基本稳定在正向导通电压上。图中的 VD_1 起保护表头的作用，即使误码拨电流挡去测电压，也不至于烧坏表头，因为表头上还串联着限流电阻，当硅二极管导通时，电压主要降落在限流电阻上，故一般不会烧表头，但可能烧毁分流电阻或限流电阻。

VD_2 的作用是当两支表笔位置插反了而又发生过载时能起到保护表头的作用。电容器 C 能滤除由输入端引入的高频干扰，容量可选 0.022 μF。有时为了滤除低频干扰，还可再并联一只 4.7～47 μF 的电解电容，以消除指针的抖动现象。

由于锗二极管的导通压降为 0.15～0.2 V，与表头的满度压降很接近，而且它的反向漏电流较大，因此不宜采用。

需要注意的是，即使增加了保护电路，仍有过载的可能性，操作人员必须小心谨慎，避免因误操作而使仪表损坏。

二、数字式万用表的选择

人们在选用数字式万用表进行测量时往往忽略以下问题：一是由于仪表的精度、分辨率不够，凭估测判断，往往导致人为的误差增大；二是由于各种万用表测试方法不尽相同，在不同信号和非正弦波标准信号测试中万用表往往会导致误差；三是操作上的安全性、可靠性和保护性考虑不足。由于万用表本身的保护性较差，实际测试中测试人员不能有丝毫马虎，必须采取一定的安全措施，以防发生意外事故。如何挑选适合自己工作中需要的数字式万用表呢(在本部分中以下简称万用表)？一般应从以下几个方面来考虑：

1. 选择万用表的显示位数和准确度

显示位数和准确度是万用表的两个最基本也是最重要的指标。两者之间关系紧密，一般来讲万用表显示位数越高其准确度也就越高，反之相反。显示位数有两种方式，即计数显示和位数显示。计数显示是万用表显示位数范围的实际表达，只不过由于人们习惯与传统叫法上的方便，一般用位数显示表达。例如，3000 位计数显示，表示万用表最

高显示值可到 3 999，而 1000 位计数显示只能到 1 999，在测量 220 V 交流电压时，可明显看到 3000 位显示比 1000 位后多 1 个小数位显示，这样在分辨率上高一个数量级。在测量、调试高灵敏的微小电信号中，高灵敏度的万用表将会发挥更大的作用。

2. 选择万用表的测量方法和交流频响

一般来讲，万用表的测量方法主要对交流信号测量而言，我们知道交流信号有很多种类型和各种复杂情况，并且伴随交流信号频率的改变，会出现各种频率响应，影响万用表的测量。万用表对交流信号的测量，一般有两种方法，即平均值和真有效值测量。平均值测量一般是对纯正弦波而言，它采用估算平均的方法测量交流信号，而对非正弦波信号将会出现较大的误差，同时，如果正弦波信号出现谐波干扰时，其测量误差也会有很大改变；而真有效值测量是用波形的瞬时峰值再乘以 0.707 来计算电流与电压，保证在失真和噪声系统中的精确读数。这样如果需要检测普通的数字数据信号，用平均值万用表测量就不会达到真实的测量效果。同时交流信号的频响也至关重要，有的可高达 100 kHz。

3. 选择万用表的功能和测量范围

不同型号的万用表，生产厂家都会设计不同的功能和测量范围。一般来讲，普通的万用表都能测试交、直流电压，交、直流电流，电阻、线路通断等，但是有的万用表为了降低成本，不设置交流电流测试功能。在此基础上，有的万用表考虑使用方便，增加了些其他一些功能，例如二极管测试挡、晶体三极管放大倍数(h_{FE})测试挡、电容、频率、温度测试挡等。现在由于电子技术的发展，有些厂家在传统参数和元器件测试的基础上，增加了更先进的功能，例如占空比测试，dBm 值测试、最大、最小值记录保持功能等。总之，万用表的功能将随着测试的需要，生产厂家将会创造更多、更优越的功能，但是在追求万用表功能的基础上，也不能忽视其测量范围。

4. 选择的万用表稳定性和安全性

和大多数仪器一样，万用表自身也有测量稳定性，其测量结果的准确性与其使用时间、环境温度、湿度等相关。如果万用表的稳定性差，

在使用一段时间后，有时就会出现测量同一信号时，其结果自相矛盾，即测量结果不一致的现象。

万用表的安全性非常重要，有些万用表设置了比较完善的保护功能，如插错表笔线时，会自动产生蜂鸣报警、短路保护等。所以对于万用表的选购，不要盲目贪图便宜，要实用、好用才行。

5. *根据需要选用多功能的万用表*

很多万用表增加了如下更实用的功能：

(1) 温度测量

在电子维修时，检验电子元器件的发热程度，如焊接拔取元器件时，测量温度可防止损伤元器件。

(2) 同时测量交流和直流分量

若所碰到的信号并非是很纯的交流或直流信号，这时就需要观测波形的总真有效值(包括交流和直流部分)，以便分析电路的功耗量，检查被损坏的元器件。

(3) dBm 和毫伏值测量

所谓 dBm 值测量，即低电平测量——dB 值测量。dB 一般用公式 $dB=20\log U$ 来表达。如果改变参考电压，通过测试比较，可以测量相对值，可用来分析电压放大器的电压增值。

(4) 尖峰保持

利用万用表真有效值测量，此功能可以测量宽度大于 0.25 ms 非规则交流信号的瞬时峰值电压，并且自动保持，有利于寻找元器件和设备破坏的原因。

(5) Δ 相对值测定

利用此功能，可以进行相对值测定，即测试电压或电流与参考电压或电流的差值，电压相对模大可以清除读数中的杂散电容产生的影响。

总而言之，在选择万用表时，要根据实际工作需要出发，在保证测量准确度、测量范围满足要求的前提下，尽可能有较多的功能，以便今后可以扩展使用。另外还应了解其安全性能及性能价格比等因素。

三、指针式万用表的使用方法和注意事项

1. 指针式万用表的使用方法

指针式万用表(以下简称万用表)使用时分别将两支测量表笔的一端,按红接正(+)黑接负(−)的要求插到测量端,然后确认一下表指针是否在0位,指针应与刻度盘左侧的端线对齐,如果不一致则要进行0位调整。这是对表的机械调整。万用表在进行电流和电压测量之前要先估计一下电流和电压的范围,先设在较大的挡位(最大量程),然后再调到合适的挡位,以避免过大的电流将万用表烧坏。

(1) 直流电压的测量

在调试或检修电子产品时,常常需要测量电路中的直流电流,用来判断晶体管放大器工作是否正常,也需要测量晶体管放大器中偏置电阻上的直流电压。这时要先将测量范围切换开关置于直流电压挡,并选择适当的测量范围。直流电压的测量实例如图1-28所示,图为测量集电极负载电阻上的压降。将万用表的正端(红色表笔)接到电压高的一端,负端(黑色表笔)接到电压低的一端。如果极性接反,表针会向反方向偏摆,有可能引起万用表故障,这是需要注意的。

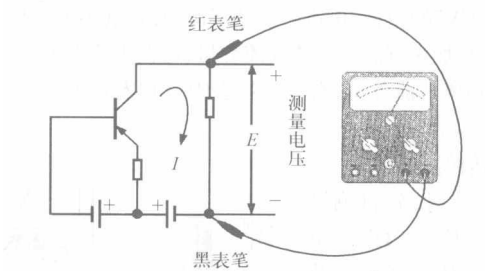


图1-28　直流电压的测量实例

(2) 直流电流的测量

测量电压时,不需切断电路,而测量电路的直流电流则需要切断被测部位的电路,将万用表串接在电路之中。直流电流的测量实例如图1-29所示。

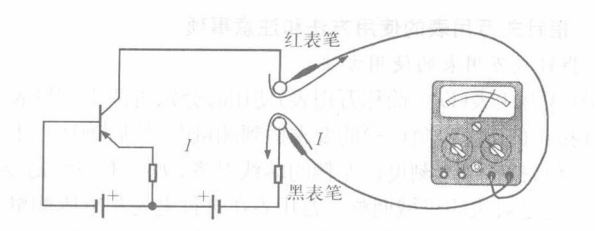


图 1-29　直流电流的测量实例

测量时，将测量范围切换开关旋至“DCV mA”的位置，根据测量值再进一步选择测量范围。测量时，表笔的极性与测量直流电压时相同。另外，电流的测量也可以不切断电路，通过测量电阻上的电压值，根据欧姆定律进行计算，求出电流值。即：

$$I = U/R \tag{1-15}$$

(3) 交流电压的测量

电源变压器抽头电压的测量，显示器灯丝电压的测量以及交流220 V电压的测量都属于交流电压的测量范围。这种情况将测量范围切换开关旋至“ACV”的位置，再进一步选择测量范围(表笔的极性任意)。

如果测量叠加在直流电压的交流分量，可在表笔上串接一只0.1 μF的电容，以便隔离直流分量，有些万用表中设有内置电容。一般不能测50 kHz以上的交流信号。

(4) 电阻值的测量

测量电阻值时，先将测量范围切换开关旋至“Ω”的位置，再根据电阻值选择测量范围。测量电阻时先将两表笔短路，使表针指在0 Ω处，再进行实际电阻值的测量(表笔极性任意)。电阻值的测量实例如图1-30所示。

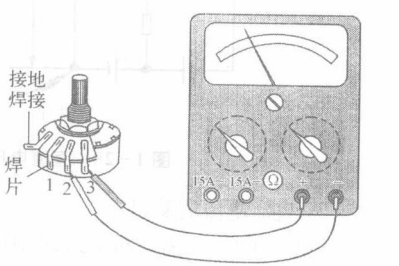


图 1-30　电阻值的测量实例

当测量具有大电容电路中的电阻值时，电容上的充电电荷必须放掉以后再测量。

(5) 低频输出电压的测量

低频输出电压的测量实例如图 1－31 所示。将万用表测量范围切换开关旋至交流电压位置(ACV)，表刻度上的 AC 10 V 对应的是＋22 dB，AC 1.5 V 对应刻度盘的＋5 dB，AC 0.775 V 对应刻度的 0 dB。如果测量范围超过＋22 dB，表针会超过满刻度，此时与测量交流电压值的操作一样，先调大测量范围，再根据加算表求出 dB 值。

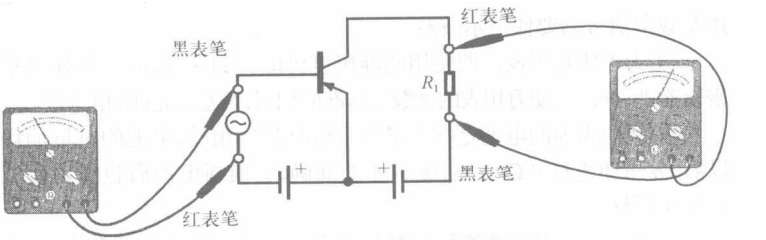


图 1－31　低频输出电压的测量实例

在测量中万用表与放大器阻抗应匹配，使用阻抗 600 Ω，其输出 1 mW 为 0 dB。对于阻抗不统一的放大器，分别测得输入 dB 与输出 dB 值，根据加减法算出增益(或衰减量)。例如，放大器的输入幅度为 5 dB，测得输出幅度为 20 dB，放大器的增益可直接算出为 20－5＝15 dB。

(6) 二极管的检测

二极管的判别主要通过对其正向阻抗和反向阻抗的测量值进行比较来判断。正常时二极管反向阻抗很高，通常高于 100 kΩ；正向阻抗很低，小于 1 kΩ。二极管的检测示意图如图 1－32 所示。

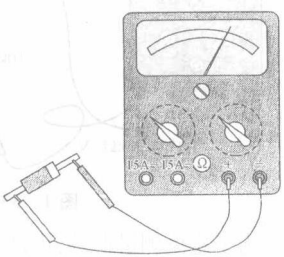


图 1－32　二极管的检测示意图

2. *指针式万用表使用注意事项*

① 被测电路的电压和电流的大

小不能预测大致范围时，必须将万用表调到最大量程，先测大约的值，然后再切换到相应的测量范围进行准确的测量。这样既能避免损坏万用表，又可减小测量误差。

② 万用表的表头是动圈式电流表，表针摆动是由线圈的磁场驱动的，因而测量时要避开强磁场环境，以免造成测量误差。

③ 万用表的频率响应范围比较窄，正常测量的信号频率超过3 000 Hz以上误差会渐渐变大，使用时要注意这一点。

④ 如果测量的电压或电流的波形不是正弦波，或是失真较大，又有直流分量，测量误差往往比较大。如果要测量脉冲信号、锯齿波信号用及数字信号则要使用示波器。

⑤ 为了使万用表长期使用的准确度仍能得到保证，应定期使用精密仪器进行校正，使万用表的读数与基准值相同，误差在允许的范围之内。

⑥ 万用表内的电池是在测量电阻值时起作用的，电池的电量消耗以后，要重新进行0 Ω调整，测量才能准确，更换新电池后也要重新进行0 Ω调整。

⑦ 在晶体管电路的检测工作中，必须注意到万用表内阻的影响，因为测量范围在低量程，如果内阻小就会对被测电路产生影响。例如测量晶体管的基极电压时，万用表内阻的影响如图1－33所示。由于万用表的内阻较小，相当于一个电阻并联到基极电阻上，不能测得准确的值。

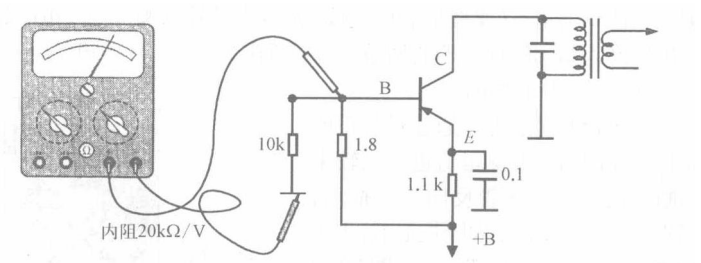


图1－33　万用表内阻的影响

为了避免测量误差，可以先测基极和地之间的电压，然后再测量发射极与地之间的电压，再由两者的差求出基极和发射极之间的电压，这

样可以减小测量误差。

⑧ 测量晶体管的阻抗时要注意万用表检测端的电压极性。万用表检测端的极性如图 1－34 所示，万用表内设有电池，万用表的端子正极(红色表笔)实际上与内部电池的负极相连，负极(黑色表笔)与电池的正极相连。

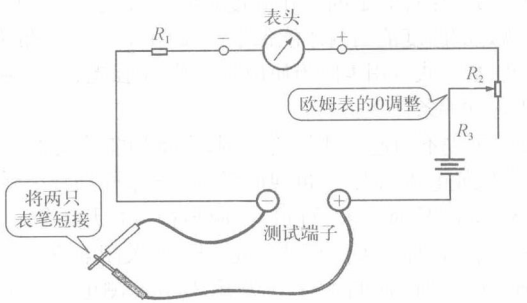


图 1－34　万用表检测端的极性

例如，当测量 NPN 晶体管基极与发射极之间的正向阻抗时，要使万用表负端(黑笔)接基极(B)，正端(红笔)接发射极(E)。测量基极与集电极之间的反向阻抗时，红笔接基极(B)，黑笔接集电极(C)。测量 PNP 晶体管时则相反。晶体管内阻的测量方法如图 1－35 所示。

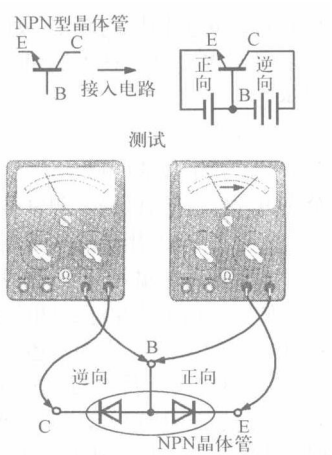


图 1－35　晶体管内阻的测量方法

四、数字式万用表的使用方法和注意事项

1. 数字式万用表的使用方法

数字式万用表的常规使用方法与保养知识介绍如下：

① 不允许在恶劣环境下使用数字式万用表。如果在高温(超过+40℃)、强阳光、高湿度(相对湿度>80%)、寒冷(低于0℃)的环境下使用和保存数字式万用表,将可能损坏液晶显示器和其他元器件。因为液晶材料是介于固态和液态之间的一种晶状物质,当温度超过规定值时会发生液化;而当温度低于0℃时则会发生固化,这些变化都会降低其使用寿命。尽管规定的工作温度范围一般是0～40℃,但准确度指标只在规定的温度范围内才能保证的,超出此范围将带来温度附加误差。因此,数字式万用表应当使用在干燥、无强光、无强磁场、环境温度适宜、无振动的条件下。

② 如果事先不知道被测量的范围,应将功能开关置于最大量程,估计被测电压或电流的大小,再视情况逐渐把量程挡减小到合适位置。当显示器显示在"1"时,表示过量程,应该把量程开关置于更大一挡。测量完毕应当将量程开关拨到最高电压挡,并关闭电源。

③ 测量电压时,应将数字式万用表与被测电路并联。将黑色表笔插入"COM"插孔,红色表笔插入V/Ω插孔。将功能开关置于"DCV"(测直流电压时)或"ACV"(测交流电压时)。数字式万用表具有自动转换极性的功能,如果误用交流电压挡去测量直流电压,或者误用直流电压挡去测量交流电压,将显示"000"或在低位上出现跳数。

另外,当测交流电压时,应当用黑表笔(接模拟地COM)去接触被测电压的低电位端(例如信号发生器的公共地端或机壳)消除仪表对地分布电容的影响,以减少测量误差。

④ 数字式万用表的输入阻抗很高,当两根表笔开路时,外界干扰信号会从输入端窜入,显示出没有变化规律的数字,这属于正常现象。干扰信号包括由荧光灯、电机等产生的50 Hz干扰,以及空间电磁场干扰、电火花干扰等。因为上述干扰属于高内阻的信号,所以当被测电压的内阻较低时,干扰信号就被短路掉了,不会影响到测量准确度。但是,如果被测电压很低,内阻又超过1 MΩ,那就会引入外界干扰。必要时可把表笔改成屏蔽线并接通大地,可以消除从表笔线感应进去的干扰信号。

⑤ 袖珍式 3½位数字式万用表的频率特性较差。造成频率特性较差的主要原因是 AC/DC 转换器的频率范围比较窄，其次是仪表的输入电容 C 较大，电容 C 的大小与交流电压挡有关。

数字式万用表的电路比较复杂，很难用简单方法改善频率特性。实验表明在 20 V 挡的输入端并联一只电容以起消振作用(或并联一只电阻以产生阻尼作用)，虽然可以消除高频端的电压谐振现象，但是却增大了仪表的输入电容(或者降低了输入阻抗)，反而会引起更大的测量误差。因此，若必须测量几千赫以上的交流信号，可利用频率特性曲线对测量值加以修正。

⑥ 对于 3½位数字式万用表的直流电压挡，最大允许输入电压为 1 000 V，而交流电压挡最大允许输入电压 750 V 或者 700 V(交流有效值)。当被测电压高于 100 V 时，必须使用专门的高压测试棒，因为普通表笔棒的绝缘性能较差，使用不安全。

⑦ 数字式万用表 AC/DC 转换器实际反映的是正弦电压的平均值，而正弦电压有效值与平均值存在确定关系，所以通过调整电路即可直接显示出有效值。但是当被测正弦电压的非线性失真大于 5%时，测量误差会明显增大。

数字式万用表不能直接测量方波、矩形波、三角波、锯齿波等非正弦电压。但对于周期性变化的非正弦电压，只要能确定其变化规律，可采用相应的方法测量出电压的有效值和峰值。

⑧ 测量电流时，应把数字式万用表串联到被测电路中，如果电源内阻和负载电阻都很小，应尽量选择较大的电流量程，以降低分流电阻值，减小分流电阻上的压降，提高测量准确度。测直流电流时，不必考虑正、负极性，仪表可自动显示极性。

⑨ 严禁在测高压(220 V 以上)或大电流(0.5 A 以上)时拨动量程开关，以防止产生电弧烧毁开关触点。

⑩ 在电阻挡以及检测二极管、检查线路通断时，红表笔接 V/Ω 插孔，带正电；黑表笔接模拟地 COM 插孔，带负电。这与指针式万用表正好相反。测量晶体管、电解电容等有极性的元器件时，必须注意两表笔的极性。

⑪ 测量焊接在线路上的元器件时，应当考虑与之并联的其他电阻的影响，必要时可焊下被测元件的一端再进行测量。对于晶体三极管则需焊开两个电极才能作全面检测。

测量电阻时，两手应持表笔的绝缘杆，不得碰触表笔金属端或元件引出端，以免引起测量误差。尤其在测量几兆欧以上的大电阻时，不能形成人体等效电阻与被测电阻并联。

⑫ 严禁在被测电路带电的情况下测量电阻，也不允许测量电池的内阻。因为这相当于在仪表输入端外加了一个测试电压，不仅使测试结果失去意义，还容易引起过载，甚至损坏仪表。

检查电器设备上的电解电容时，应切断设备上的电源，并用一根导线把电解电容的正、负极短路一下，防止电容上积存的电荷经过数字式万用表泄放，损坏仪表。有的操作者习惯用表笔线代替导线对电容器进行短路放电，这很容易将表笔的芯线烧断。

⑬ 如果将电源开关旋转到“ON”位置而液晶显示器上不显示任何数字时，应检查叠层电池是否失效，若显示低电压指示符号，需要换新电池。换新电池时，正、负极性不得安装反（插反了会装不上电池插头），否则仪表不能正常工作，还极易损坏集成电路。

⑭ 为了延长电池的使用寿命，每次用完时应将电源开关换至“OFF”位置。长期不用，要取电池，防止因电池漏出电解液而腐蚀印制电路板。

⑮ 表盖里面贴有喷铝纸屏蔽层，请勿揭下。不得随意打开仪表外壳拆卸线路，以免造成人为故障或改变出厂时调好的性能指标，屏蔽层与“COM”的引线不得拆断。

⑯ 当需要更换熔断器的熔丝时，必须与原来的规格一致。数字式万用表常用的熔丝管有 0.5 A、0.2 A、0.3 A 三种规格。

⑰ 液晶显示器必须采用交流驱动，不能用直流电压驱动。严禁使用电池或者万用表电阻挡检查液晶显示器的好坏。

⑱ 校准。万用表应定期（每隔半年或一年）校准，校准时应选用同类或精度更高的数字仪表，例如用 4½ 位的表校 3½ 位的表，按先校直流挡、然后校交流挡、最后校电容挡的顺序进行。

2. 数字式万用表的使用注意事项

数字式万用表属于精密仪表，使用或存放仪表时应倍加爱惜。数字式万用表的使用注意事项，主要包括使用前的注意事项、测量时的注意事项以及其他注意事项。

(1) 使用前的注意事项

① 使用之前，应仔细阅读数字式万用表的说明书，熟悉电源开关、功能及量程转换开关、功能键(如读数保持键、峰值保持键、交流/直流选择键、真有效值功能键、相对值功能键、存储键)、输入插孔、专用插口(例如晶体管插口 h_{FE}，电容器插座 CAP 或 C_X，测温传感器插座 TEMP)、旋钮(如手动调零电容挡的零位调节旋钮“ZERO ADJ”，自动调零电容挡无此旋钮)、仪表附件(如测温探头、高压探头、高频探头)的作用。此外，还应了解仪表的极限参数，出现过载显示、极性显示、低电压指示、其他标志符显示以及声光报警的特征，掌握小数点位置的变化规律。测量前，需要仔细检查表笔绝缘棒有无裂痕，表笔线的绝缘层是否破损，表笔位置是否插对，以确保操作人员的安全。

② 数字式万用表的准确度指标仅在标准条件下才有效，通常环境温度为(23±5)℃(即 18～28℃)，相对湿度 RH<80%。数字式万用表的使用条件一般为 0～40℃，RH<85%。

③ 只有在装好电池和保险管并且盖好电池盖之后，才允许进行测量。

④ 刚开始测量时仪表会出现跳数现象，应等显示值稳定后再读数。

⑤ 尽管数字式万用表内部有比较完善的保护措施，仍要尽量避免出现操作上的误动作，例如用电流挡去测电压，用电阻挡去测电压或电流，用电容挡去测带电的电容器等，以免损坏仪表。

⑥ 测量之前必须明确准备测量什么和怎样去测量，然后选择相应的测量项目及合适的量程。

特别需要提醒操作人员注意，每一次拿起表笔准备测量时，务必再核对一下测量项目及量程开关是否拨对了位置，输入插孔(或专用插

口)是否选对。对于自动转换量程式数字式万用表,也要注意不得按错功能键,输入插孔亦不要搞错。

⑦ 禁止在高温、阳光直射、潮湿、寒冷、灰尘多的环境下使用或存放数字式万用表,以免损坏液晶显示器(LCD)和其他元器件。液晶屏长期处于高温环境下,表面会发黑,造成永久性损坏。潮湿环境则容易造成集成电路、印制板的漏电,使测量误差明显增大,甚至引发其他短路故障。

应当在清洁、干燥、环境温度适宜、无外界强电磁场干扰、没有震动和冲击的条件下使用仪表。

⑧ 由于液晶显示器本身不发光,只能反射外界的光线,因此不便于夜间观察读数。某些新型数字式万用表增加了背光源,当环境亮度较暗时只要开启背光源,读数就清晰可见。

⑨ DT840D、DT1000 型数字式万用表具有自动关机功能,当仪表停止使用或停留在某一挡位的时间超过 15 分钟时,能自动切断主电源,使仪表进入低功耗的备用状态。此时仪表不能继续测量,必须按动两次电源开关,才可恢复正常。

对于这类仪表,使用过程中若发生 LCD 突然消隐,就证明仪表进入备用状态,而并非出现了故障。

⑩ 假如事先无法估计被测电压(或电流)的大小,应先拨至最高电压量程试测一次,再根据情况选择合适的量程。

⑪ 测量完毕,应将量程开关拨至最高电压挡,防止下次开始测量时不慎损坏仪表。

⑫ 倘若仅最高显示数字“1”,其他位均消隐,证明仪表已发生过载,应选择更高的量程。

⑬ DT840、DT845、DT860、DT860B、DT860C、DT860D、DT870、DT910、DT950、DT960T、3211B、VC97、Fluke83、Fluke85、Fluke87 型数字式万用表均可自动转换量程,有的还能选择手动量程方式。此类仪表的自动化程度较高,但测量时间较长。当被测电量较小时,一般是从最高量程开始测量,然后逐渐降低量程,直到合适为止,这会增加等待时间。也有的数字式万用表(DT860B、DT960T)是从最低量程开始测

量的，在测量大电量时等待时间较长。

⑭ 新型数字式万用表大多带读数保持键(HOLD)，按下此键即可将现在的读数保持下来，供读取数值或记录用。做连续测量时不需要使用此键，否则仪表不能正常采样并刷新显示值。刚开机时若固定显示某一数值且不随被测量发生变化，就是误按下 HOLD 键所造成的。松开此键即可转入正常测量状态。

读数保持端的工作特点与仪表所采用的 A/D 转换器有关，见表 1-5。给 A/D 转换器设计读数保持电路时，必须注意其读数保持端是采用正逻辑(接高电平时有效)，还是负逻辑(接低电平时有效)。此外，不同芯片厂家对读数保持端规定的符号亦不同，常见符号有 HOLD、HLDR、DH(DATA HOLD 的缩写，又称数据保持)、H。ICL7129 的第 22 脚定义为 $\overline{L}$/H(锁存/保持)端，ICL7135 的第 26 脚定名为 R/$\overline{H}$(运行/保持)端，后者的保持功能为负逻辑。

表 1-5　常见 A/D 转换器读数保持端的特点

A/D 转换器型号	读数保持端符号	引脚序号	备　　注
ICL7116 ICL7117	HOLD①	第 1 脚	接高电平时读数保持
NJU9207	DH	第 24 脚	接高电平时读数保持
TSC818A	$\overline{\text{HOLD}}$	第 57 脚	接低电平时读数保持
TSC815	$\overline{\text{HOLD}}$	第 57 脚	接低电平时读数保持
ICL7139　ICL7149	HOLD	第 20 脚	接高电平时读数保持
MC14433	DU	第 9 脚	接低电平时读数保持
ICL7129	$\overline{L}$/H	第 22 脚	接高电平时读数保持
ICL7135	R/$\overline{H}$	第 25 脚	接低电平时读数保持

注：① 亦可采用 HLDR(显示保持)符号。

⑮ 使用 Fluke87 型 4½位数字式万用表时需要注意，当表笔已插入电流输入插孔而功能选择开关未置于电流挡时，仪表会发出报警声，可避免因误用电流挡去测电压而损坏仪表。

⑯ DT970、VC90A、VC91A 型 3¾位数字式万用表增加了峰值保持键(PK HOLD)。注意，这里的“峰值”应理解成最大值，即仪表可以保持并且显示的最大读数值，但不能检测变化的峰值电压，因此它与真正的峰值量仪还有区别。欲测量快速变化的模拟信号峰值电压，需增加峰值检测器。

⑰ 国产 VC92、TSC960A 型数字式万用表具有语音报数功能，操作者可专心致志地进行测量，不必观察显示器，读数就自动用汉语普通话清晰准确地播报出来，可省去边测量、边读数的麻烦。除扬声器之外，仪表还带耳机(附件)，即使在嘈杂的工作环境中，也不影响报数的清晰度。

(2) 测量时的注意事项

① 测量电压时，数字式万用表应与被测电路相并联。数字式万用表具有自动转换并显示极性之功能，测直流电压时可不必考虑表笔的接法。

② 在输入插孔旁边注明危险标记的数字，代表该插孔输入电压(或电流)的极限值。一旦超出就有可能损坏仪表，甚至危及操作者的安全。

③ 3½位和 4½手持式数字式万用表的最高输入电压，直流挡一般为 1 000 V，交流挡为 700 V 或 750 V(有效值)。需要说明两点：第一，数字式万用表的量程开关一般只能承受 1 000 V 的直流高压，又交流电压而言，700 V 有效值电压的峰值为 989.8 V，已接近 1 000 V；第二，当被测交流电压上叠加有直流分量时，二者电压之和不得超过所用 ACV 挡的最高输入电压值。必要时可在外部增加隔直电容，使直流分量不能进入仪表。

④ 测量高压时必须注意安全。当电压超过几百伏时建议采用单手操作方式，先把黑表笔固定在被测电路的公共端，再用一只手握住红表笔棒去接触测试点，这样不仅安全，而且能使操作者注意力集中。测

量 1 000 V 以上的高压时必须使用高压探头。高压探头亦分直流、交流两种，内部均有电压衰减器，可将被测高压衰减到原来的 1/10 或 1/100，然后送至数字式万用表。高压探头的端部最好能带弯钩或鳄鱼夹，以便于固定。普通表笔棒及引线的绝缘性能较差，不能承受 1 000 V 以上的高压。

⑤ 如果误用交流电压挡去测直流电压，或者误用直流电压挡测交流电压，仪表将显示“000”，或在低位上发生跳数现象。

⑥ 数字式万用表电压挡的输入电阻很高，一般为 10 MΩ。当两支表笔开路时外界干扰信号很容易从输入端引入，使仪表在低位上出现没有变化规律的数字，这属于正常现象。干扰源包括正在工作的电风扇、电冰箱、空调机、电视机、电子游戏机、荧光灯以及空间电磁场、电火花。上述干扰均属于高内阻信号，只要被测电压源的内阻较低，干扰信号即被短路掉，并不影响仪表的测量准确度。但是，当被测电压很低，其内阻又超过 1 MΩ 时，仪表仍会引入外界干扰。必要时可将表笔线改成屏蔽线，并将金属屏蔽层与模拟地(COM)一同接大地，即可消除由表笔引线所感应的干扰信号。

⑦ 测交流电压时，应当用黑表笔接触被测电压的低电位端(例如被测信号源的公共地端，220 V 交流电源的零线端等)，以消除仪表输入端对地(COM)分布电容的影响，减小测量误差。

⑧ 手持式数字式万用表大多采用平均值响应的 AC/DC 转换器。电路实际反映的是正弦电压的平均值，只是由于正弦电压的有效值、平均值二者存在确定的关系，通过调整线性整流放大器的输出电压幅度，才可使仪表直接显示出电压有效值。但当被测正弦电压的失真度超过 5%时，测量误差会明显增大。

⑨ 平均值响应的数字式万用表不能直接测量方波、矩形波、三角波、锯齿波、梯形波、阶梯波、半波或全波整流波等非正弦电压。但对于周期性变化的非正弦电压，只要能确定其变化规律，仍可测出电压有效值与峰值。

⑩ 使用真有效值数字式万用表可以测量各种波形的有效值电压，而不必考虑其波形参数及失真大小。根据真有效值 AC/DC 转

换器是否加隔直电容来划分，又有 AC 和(AV＋DC)两种方式。前者只能测量交流，后者则包含直流分量。因此，当被测交流电压中包含直流分量时，两者的读数会不相等。使用此类仪表时务必注意这一点。

⑪ 手持式数字式万用表的频率特性较差，在规定准确度指标内，交流电压的频率上限一般为 400 Hz(少数仪表可达 500 Hz 或 1 kHz 以上)。当频率超过此值时测量误差会明显增大。但是利用特制的高频探头可显著改善数字式万用表的频率特性，将工作频率提高到几十兆赫，甚至 100 MHz。

⑫ 尽管数字式万用表直流电压挡的输入电阻较高(一般为 10 MΩ)，但在测量场效应管的输入电压或电子管的栅极电压时，仍需考虑仪表输入电阻对被测高内阻信号的分流作用，以及由此引起的测量误差。

⑬ 3½位和 4½位数字式万用表的最低电压挡一般为 200 mV，电压分辨力为 0.1 mV 或 0.01 mV。欲测量几十微伏至几百微伏的微弱电压信号，最好选用带 20 mV 挡的数字式万用表，亦可给仪表增加一级精密电压放大器。

⑭ 有些新型数字式万用表增加了测量电平的功能，且读数按线性变化，显示非常直观。

⑮ 由 AD637 和 AD737 构成的真有效值仪表，具有备用(亦标休眠)模式，可将仪表的功耗降至最低。

⑯ 为了有效地抑制电源干扰，4½位以上的中、高档数字式万用表可选用锁相时钟。

⑰ 测量电流时应将数字式万用表串联到被测电路中。当被测电流源的内阻很低时，尽量选择较高的电流量程以减小分流电阻上的压降，可提高测量准确度。测量直流电流时不必考虑表笔的接法，数字式万用表能自动判定并显示出被测电流的极性。

⑱ 当输入电流超过 200 mA 而仪表未设置 2 A 挡时，应将红表笔插在“10 A”或“20 A”插孔上。该插孔一般未加保护装置(Fluke20、Fluke70、Fluke80 系列数字式万用表除外)，要求测量大电流的时间

不得超过 10～15 s,以免锰铜丝分流电阻发热后电阻值改变,影响读数的准确性。

⑲ 禁止在测量高压(100 V 以上)或在电流(0.5 A 以上)时转动量程开关,以免产生电弧,将转换开关的触点烧毁。

⑳ 部分新型数字式万用表专门设置了相对值测量键(REL △),按下此键后 LCD 上应显示"—MEM",表示仪表已进入相对值测量模式,仪表兼有数据存储、自动完成减法运算两种功能。数据存储范围是 N≤99,对应于满量程的 5%。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,再从以后每次测量值中自动扣除。

该项功能适用于进行电阻比对、元器件筛选及探头电阻的自动补偿,还可测量电压或电流的相对值。当被测电阻低于存储值时,仪表将显示负阻值。

㉑ 利用数字式万用表的逻辑测试挡(LOGIC),可代替 LP-1 型逻辑测试笔测量逻辑电平,快速检查 TTL、CMOS 数字电路的故障。检测低电平时,LCD 显示低电平标志符(▽或 LOW);检测高电平显示高电平标志符(△或 HIGH)。

利用该挡还可大致评估脉冲信号的占空比。举例说明,假定被测信号为占空比等于 50%的方波,则▽符号与△同时出现,且二者液晶段的颜色同样深。若占空比大于 50%,则▽符号浅,△符号深;反之亦然。

㉒ 在调试开关电源、交流电机变频调速器时,经常需要测量占空比。数字式万用表配以适当的外围电路,即可准确测量脉冲占空比。

㉓ 在测量电阻以及检测二极管、检查线路通断时,红表笔应接 V/Ω 插孔(或 mA/V/Ω 插孔,视具体仪表而定)。此时红表笔带正电,黑表笔接 COM 插孔而带负电,这与指针式万用表电阻挡的极性恰好相反。检测电解电容器、二极管、晶体管、发光二极管、稳压管等有极性的元器件时,必须注意表笔的极性。

㉔ 二极管挡可以测量硅管或锗管的正向压降 U_F 值。其测量原理是将被测二极管的正向压降值转换成仪表的输入电压 U_{IN}。极少数仪

表(例如DT1000型)的说明书中所讲的测量二极管功能,实际上是指测量二极管正向电阻R_F值。这一点应加以区分。

㉕ 利用蜂鸣器挡可以快速检查线路的通断。当被测线路电阻小于发声阈值电阻时,蜂鸣器即可发出音频振荡声。但说明书中所规定的发声阈值电阻仅为大致范围,允许有一定的偏差,应以实测值为准。改变电压比较器的参考电压,可以调整蜂鸣器的发声阈值。

㉖ 使用20 MΩ电阻挡测量大电阻时,显示值一般需要经过几秒钟才能趋势于稳定,这属于正常现象,应等显示值稳定之后再读数。

㉗ 国产DT890C+、VC9801A/9802A/9804A/9805A型3½位数字式万用表以及VC9806A/9807A型4½位数字式万用表,都增加了200 MΩ高阻挡。该挡存在1 MΩ和固有零点误差,对于3½位数字式万用表是10个字,对于4½位数字式万用表则是100个字。测量高阻时必须从读数中扣除初始值,才为实际值。

㉘ 用200 Ω电阻挡测量低阻时,应首先将两支表笔短路,测出两根表笔引线的电阻值,一般为0.1～0.3 Ω,视仪表而定。每次测量完毕需把测量结果减去此值,才是实际值。对于2 kΩ～20 MΩ挡,表笔引线电阻强忽略不计,因此不需要修正。

㉙ 测量电阻、特别是低电阻时,测度插头与插座之间必须接触良好,否则会引起测量误差或导致读数不稳定。

㉚ 测量在线电阻时应考虑与之并联的其他元器件的影响。

㉛ 一些新型数字式万用表增加了低功率法测电阻挡,其符号为"LOΩ"或"LOW OHM"。该挡的开路电压低于0.3 V,可忽略硅管对被测电路的并联作用。低功率电阻挡适合测量在线电阻值。

㉜ 各电阻挡的开路电压、满量程测试电压、适短路电流(即最大测试电流)不尽相同,短路电流的数值随量程的升高而减小。表1-6列出了DT890A型数字式万用表各电阻挡的测试条件。某些数字式万用表的开路电压还与量程有关。由于测试电压和测试电流不相同,在用不同电阻挡测同一只非线性元器件(例如热敏电阻、半导体二极管)时,所测出的电阻值会有差异,这属于正常现象。

表 1-6　DT890A 型数字式万用表各电阻挡的测试条件

量　程	V/Ω 与 COM 插孔之间的开始电压/V	满量程时被测电阻上的压降/V	短路输入插孔时的电流值/mA
200 Ω	0.65	0.08	0.44
2 kΩ	0.65	0.30	0.27
20 kΩ	0.65	0.42	0.06
200 kΩ	0.65	0.43	0.007
2 MΩ	0.65	0.43	0.001
20 MΩ	0.65	0.43	0.000 1

㉝ 数字式万用表电阻挡所提供的测试电流很小，在测量二极管、晶体管等非线性元器件的正向电阻时，要比指针式万用表电阻挡的测量值高出几倍甚至几十倍，这属于正常现象。建议用数字式万用表的二极管挡去测量 PN 结的正、反向压降，以判定二极管的单向导电性。

㉞ 测量电阻时，不要用手触及表笔的金属端或元器件的引线，以免引入人体电阻，影响测量结果。

㉟ 严禁在被测线路带电的情况下测量电阻，也不允许直接测量电池的内阻。因为这相当于给仪表输入端接上一个外部测试电压 E′，不仅使测量结果失去意义，还容易损坏仪表。

㊱ 电导挡开路时，显示值应为“000”（对应于电阻值为无穷大）。测量电缆线或印制板的绝缘电阻时，不要用手触及测试点。此外，仪表输入插孔与表壳之间应保持干燥、清洁，否则插孔之间的漏电阻会影响测量结果。

㊲ 数字式万用表通常仅设置一个电导挡，其满量程为 200 nS，分辨力为 0.1 nS，对应的电阻测量范围是 5～10 000 MΩ。少数仪表还增

加 2 μS 电导挡，分辨力为 1 nS，对应的电阻值范围是 0.5～1 000 MΩ。使用电导挡测量超高阻的优点是量程宽，抗干扰能力强，显示稳定，测试电压低，不会损坏被测元器件。其不足之处是不能直接读出被测电阻值，还需要进行换算。

㊳ 早期数字式万用表（如 DT890、DT890A）的电容挡需手动调零，测量前应首先调整“ZERO ADJ”旋钮，使显示值为零，消除零点误差。在更换电容挡时亦应预先调整好零点。

新型数字式万用表采用容抗法测电容，实现了自动调零。使用这类仪表时不必考虑电容挡的零点误差。在测量电容时即使读数不回零，但只要插上电容器仪表就能快速回零。

㊴ 测量有极性的电解电容器时，电容插座的极性应与被测电容器的极性保持一致。

㊵ 测量之前必须将电容器短路放电，以免损坏仪表。

㊶ 数字式万用表一般不设置电感挡，但是借用电容挡也可以测电感量。

㊷ 利用频率挡测量频率时，被测信号允许范围是 50 mV～10 V（有效值）。频率挡的输入阻抗较高，不接信号时也可能有一定读数，但这并不是影响正常测量。

㊸ 使用 h_{FE} 插口测量小功率晶体管的电流放大系数时，管子的三个电极和所选择的挡位（PNP 挡、NPN 挡）均不得搞错。因测度电压较低，h_{FE} 插口测量提供的基极电流又很少（一般 $I_B=10\ \mu A$），被测管工作在低电压、小电流条件下，因此测量结果仅供参考。

㊹ 设计 h_{FE} 挡时未考虑晶体管穿透电流 I_{CEO} 的影响，如果测量 3 AX31、3 AX81 等穿透电流较大的锗管，测量值会比用晶体管测试仪测出的典型值偏高 20%～30%。利用复测法能够消除 h_{FE} 挡的测量误差。

㊺ 利用 h_{FE} 插口检查发光二极管（或 LED 数码管某一笔段）的质量好坏时，测量时间应尽量短。LED 正常发光时的正向电流 I_F 大约为 10 mA，测量时间过长会降低 9 V 叠层电池的使用寿命。

㊻ 在应急情况下，亦可用 h_{FE} 挡估测电阻。

㊼ 数字式万用表的测温挡(TEMP)一般需配镍铬-镍铝或镍铬-镍硅热电偶,分辨力为 1℃,测量准确度为±0.5%～±3%。测温范围取决于热电偶的型号。新型数字式万用表采用了冷端温度补偿电路,利用内置 PN 结温度传感器还可以测量室温,配热电偶测温时不需要对显示值进行修正。

(3) 其他使用注意事项

① 由于欧美国家大多采用 60 Hz 交流电,因此进口数字式万用表抗 60 Hz 干扰的能力强,而对 50 Hz 的抑制能力较差。必要时可改变 A/D 转换器的时钟频率 f_0,使正向积分时间 T_1 恰好等于 20 ms(即 50 Hz 的周期)的整倍数。

② 3½位(或 4½位)液晶显示数字式万用表,大多采用 ICL7106(或 ICL7129)型单片 A/D 转换器,其内部基准电压源的稳定性较差。必要时可采用外部基准电压源。

③ 数字式万用表的最大显示值与满量程值相差一个字。例如 4½位数字式万用表 2 V 挡的最大显示值是 1.999 9 V,满量程则为 2.000 0 V。但在满量程时仪表已开始溢出。

④ 如果开机后液晶屏不显示任何数字,应首先检查是否忘记装 9 V 叠层电池或者电池已失效,还需检查电池引线有无断线。若显示低电压指示符,表示应更换新电池了。装新电池时正、负极性不得插反,否则会扣不上电池插头。更换新电池前,应关闭电源。

⑤ 长期不使用仪表时应取出电池,以免电池渗出电解液将印制板腐蚀。叠层电池不宜长期存放。

⑥ 不得随意打开仪表拆卸线路,以免造成人为故障或改变出厂时已经调试好的技术指标。

⑦ 有的数字式万用表在后盖上贴有屏蔽层,请勿揭下或拆掉引线;有些仪表装有金属屏蔽罩或者屏蔽胶罩,检修仪表后应注意紧固螺钉或摆正压簧的位置,以免引入外界电磁干扰而影响屏蔽效果。

⑧ 数字式万用表常用的保险管(含快速保险管)一般有五种规格:0.2 A、0.3 A、0.5 A、1 A、2 A。10 A(或 20 A)插孔不带保险。更换保

险管时必须与原来的规格一致。

⑨ 不得用指针式万用表的电阻挡或者用外部电池来检查液晶显示器(LCD)的质量好坏。LCD只能由交流方波电压来驱动,不允许加直流电压。

⑩ 不得用数字式万用表的直流电压挡检查自身9 V叠层电池的电压。以ICL7106为例,其电位分布情况是在U_+～U_-接9 V电池E,U_+～COM有+2.8 V的基准电压源,而TEST端电位约等于电源电压的一半。或选U_-为参考端,令$U_-=0$ V,则$U_+=9$ V,$U_{COM}\approx U_+-2.8$ V=6.2 V,$U_{TEST}\approx 4.5$ V。显然,如果把黑表笔(COM)接U_-,就会破坏上述电位的正常分布情况,导致仪表不工作,显示也不正常。

⑪ 台式智能数字式万用表可由多种交流电源供电。例如,美国Fluke公司生产的8840A型5½位数字式万用表,可选用交流100 V或120 V、220 V、240 V电源,允许电压波动±10%,电网频率为50 Hz或60 Hz、400 Hz。国内用户应将电源开关拨至220 V、50 Hz位置。

⑫ 高档智能数字式万用表的测量速率可以选择。以8 840 A为例,其测量速率分慢速(S)、中速(M)、快速(F)三挡,典型值依次为2.5、20、100次/s。在快速读数方式下仪表的位数降成4½位,测量速率却大力提高。

⑬ 清洗表壳、晶体管插口或电容器插座时,可用无水酒精棉球擦去污垢,严禁使用汽油、丙酮等有机溶剂。

⑭ 为保证数字式万用表的技术指标,每隔半年或一年应对仪表进行一次检定。所使用的标准源及标准仪表的准确度应比被校表高一个等级,例如用4½位数字式万用表去校准3½位数字式万用表。标准源及标准仪表必须在检定合格的有效期之内。

⑮ 数字式万用表发生故障后应参照实际电路进行检修,或送交有经验的人员修理。修理完毕,需要对数字式万用表重新检定。

第三节　万用表中的测量电路

MF9 型万用表较为普通，它所具有测量范围如表 1－7 所示：

表 1－7　MF9 型万用表技术特性

特性 / 功能	测量范围	灵敏度	基本误差
直流电流(DC)	0～50 μA～0.5 mA～5 mA～50 mA～500 mA	—	±2.5%
直流电压(DC)	0～0.5 V～2.5 V～10 V～50 V～250 V～500 V	20 kΩ/V	±2.5%
交流电压(DC)	0～10 V～50 V～250 V～500 V	4 kΩ/V	±4%
电　阻	$R\times1$、$R\times10$、$R\times1$ k、$R\times10$ k (0～40 MΩ)	—	—
音频电平	−10～22 dB	—	—

MF9 型万用表的整机电路如图 1－36 所示。

当转换开关处于不同的挡时，可以构成不同的测量电路。MF9 型万用表所使用的转换开关是具有特殊结构的单层三刀十八掷印制电路板转换开关，其结构示意图如图 1－37 所示。

它的外缘有 18 个固定的印制触点，图 1－37(a)中用 1～18 的数字标出，开关中间有两排圆弧状的固定连接片，图中用 A、B、C、D、E 表示。在转换开关的转轴上装有一块一端分成三片的活动触点，相当于三“刀”的作用图中 a、b、c 标出；图 1－37(b)所示是这个转换开关的平面展开图。在 MF9 型万用表各电路中的转换开关就是与这个转换开关相对应的。

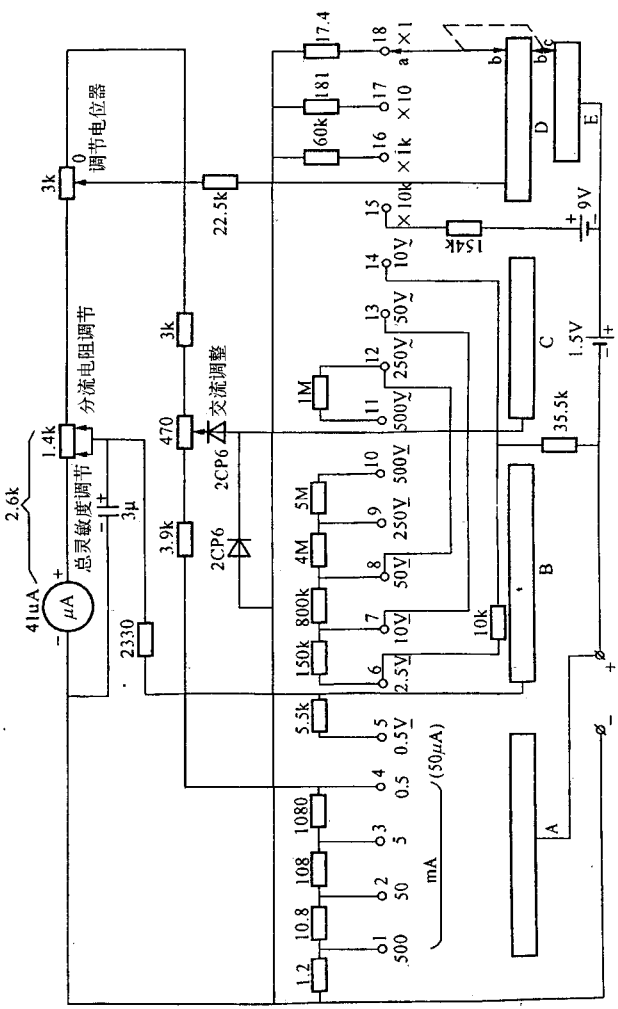


图 1-36 MF9 型万用表整机电路

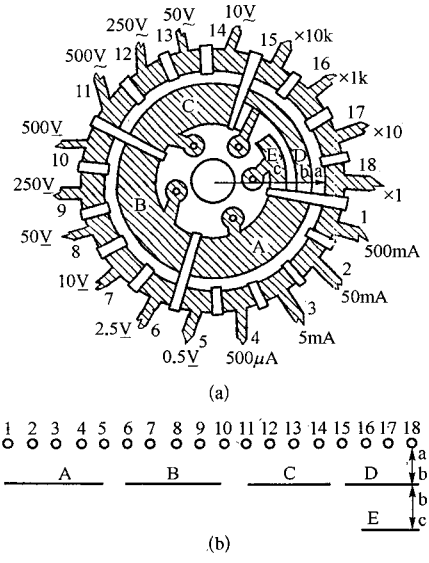


图 1－37　MF9 型万用表所使用的转换开关示意图

(a) 转换开关(印制电路板)；(b) 平面展开图

一、指针式万用表中的电压、电流测量电路

1. 指针式万用表中的直流电流测量电路

以 MF9 型万用表测量直流电流的电路分析。从 MF9 型万用表总电路图中分解出的测量直流电流的电路如图 1－38 所示。从图中可以看出，利用转换开关的活动连接片“a”刀、“b”刀分别将固定触点 1、2、3、4、5 接到金属片 A 上，可以得到五个不同的测量直流电流的量限。0.5～500 mA 的四个电流量限采用的是闭路式分流器电路，而最小的电流量程 0.05 mA 挡除把 0.5～500 mA 挡的元件作为表头的分流支路外，另单独配用了分流电路以实现分流。例如，当转换开关接通 0.05 mA 触点时，R_1～R_9 与表头电阻 R_P、R_{10}、R_{11} 并联构成分流器，此

时分流电阻最大，所以电流就最小。当转换开关接通 0.5 mA 的触点时，R_1～R_4 与表头电阻 R_5～R_9、R_P 并联构成分流器，由于表头并联的分流电阻相对减小，所以量限就变大。当转换开关接到“3”位置时，转换开关“A”的活动连接片“a”刀、“b”刀的“3”接通了 5 mA 的电流挡，分流电阻 R_1～R_3 构成了 5 mA 电流挡的分流器，与表头电阻 R_4～R_9、R_P 并联，此时分流电阻又相对减小，所以电流挡量程增大。其他量程挡读者可自己分析。

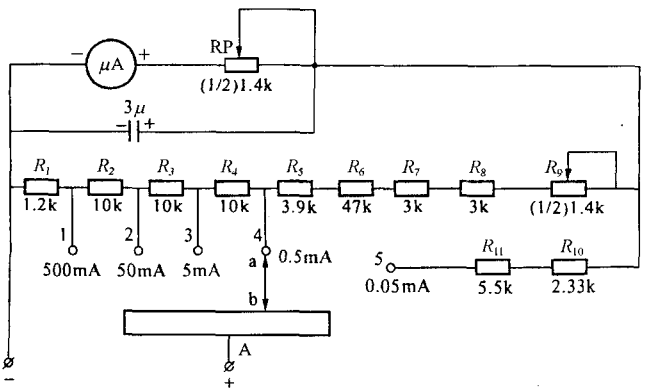


图 1－38　MF9 型万用表直流电流测量电路

总之，万用表的电流挡是多个电阻与表头并联，构成多量程电流表，量限越大，则分流电阻就越小，串到表头支路的电阻个数就越多。

2. 指针式万用表中的直流电压测量电路

以 MF9 型万用表测量直流电压的电路为例。将转换开关置于直流电压“－”挡位，就可以构成图 1－39 所示的直流电压测量电路。从 MF9 型万用表测量直流电压的电路可以看出，利用转换开关的活动连接片“a”刀、“b”刀分别将固定触点 5、6、7、8、9、10 接到金属片 A 或 B 上，相应地得到六个不同的测量直流电压的量限。只有最低电压挡 0.5 V 是单独配用附加电阻，其他各挡则采用共用附加电阻的电路。在这个电路中，表头仍保持与电流挡所用的各分流电阻并联，然后串接

附加电阻，这就相当于一个灵敏度较低而内阻较小的表头与附加电阻串联，其好处是可以使得直流电压挡与交流电压挡共用一个附加电阻元件。电路分析如下：

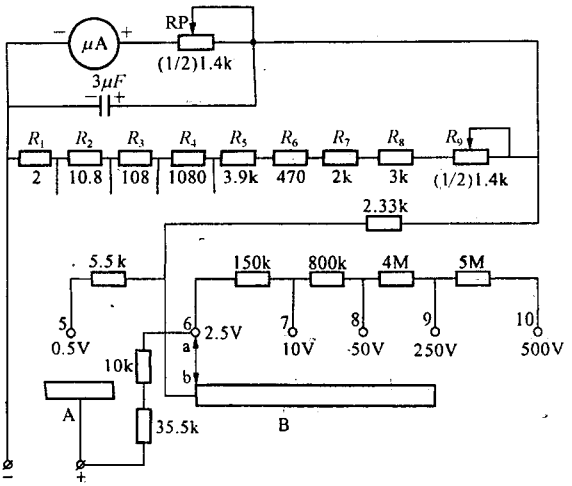


图 1－39　MF9 型万用表测量直流电压的电路

① 当转换开关 A 的活动连接片“a”刀、“b”刀与触点“5”连接时，此时与表头串联的附加电阻只有 5.5 kΩ。路径是：从“＋”开始→A→a→b→5.5 kΩ→2.33 kΩ→$\frac{1.4}{2}$ kΩ→μA→“－”。因只串联一个 5.5 kΩ 的分压电阻，所以量程最小，只能测量 0.5 V 及以下的直流电压。

② 当转换开关 B 的活动连接片“a”刀、“b”刀与固定触点“6”连接时，此时与表头串联的附加电阻路径是：从“＋”开始→经 35.5 kΩ→a→b→2.33 kΩ→$\frac{1.4}{2}$ kΩ→μA→电源“－”。由于串联的附加电阻比较小，因此量程比较小，接通的是 2.5 V 直流电压挡。

③ 当活动连接片“a”、“b”与触点“7”连接时，表头串联的附加电阻

路径是：从转换开关 A 的“+”开始→经 35.5 kΩ→10 kΩ→150 kΩ→“7”→a→b→2.33 kΩ→$\frac{1.4}{2}$ kΩ→μA→“−”。因串联的附加电阻比 2.5 V 挡增加了一个 150 kΩ 的电阻，所以量程增大为 10 V 挡。

④ 当滑动刀“a”和“b”接通了固定触点“8”时，表头串联的电阻是：35.5 kΩ→10 kΩ→150 kΩ→800 kΩ→“8”→a→b→B→2.33 kΩ→$\frac{1.4}{2}$ kΩ→μA→“−”。由于表头串联的附加电阻比 10 V 挡又增加了一个 800 kΩ 的电阻，所以量程增大为 50 V。相应地，读者可以自己分析 250 V 挡和 500 V 挡。

总之，多量程电压挡是靠改变与表头支路串联的附加电阻的阻值而达到改变其量程的目的，串联的附加电阻个数越多(阻值越大)，则量程也就越大。

3. 指针式万用表中的交流电压测量电路

以 MF9 型万用表测量交流电压的电路为例。将转换开关置于交流电压“～”挡位，就可以组成如图 1－40 所示测量交流电压的电路。由 VD_2 组成半波整流电路，采用的整流元件是 2CP6 或 2CP11 硅二极管。VD_1 起保护作用，它为反向电压提供泄放回路，以防止将 VD_2 反

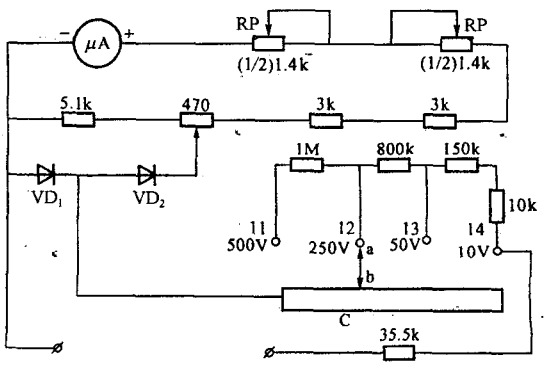


图 1－40　MF9 型万用表测量交流电压的电路

向击穿。因二极管具有单向导电特性，即电流只能沿着一个方向通过，该方向就叫整流器件的正方向。正方向所具有的电阻叫正向电阻，二极管的正向电阻越小越好。

该电路仍然保留着用于直流电流挡的分流电阻，它共有四个交流电压量程。通过转换开关的“a”刀、“b”刀可以分别得到四个不同的测量交流电压的量程。

值得注意的是，测量交流电压挡的附加电阻大部分是共用直流电压挡的附加电阻，从图 1－36 所示的总电路中可以看出，交流 250 V 挡的附加电阻就是直流电压 50 V 挡的附加电阻。可见，交流电压挡内阻的每伏欧姆数比直流的要低 5 倍，这是因为采用了整流电路之后，半波整流使效率较低的缘故。电路中与表头相并联的 3 μF 电解电容，是用来平滑整流后的脉动电压的，可使万用表在测量低于 10 Hz 的低频电压时指针不至于抖动。电路分析如下：

① 当转换开关 C 的活动连接片“a”和“b”接通 10 V 交流电压挡时，交流电流流经 35.5 kΩ 的附加电阻→“a”→“b”→经 VD_2 整流为直流送给磁电式表头。

② 当转换开关 C 的活动连接片“a”和“b”接通 50 V 交流电压挡时，交流信号经 35.5 kΩ＋10 kΩ＋150 kΩ 附加电阻→“a”→“b”→经 VD_2 整流为直流送给磁电式表头。

③ 当转换开关 C 的活动连接片“a”和“b”接通 250 V 交流电压挡时，交流信号经 35.5 kΩ＋10 kΩ＋150 kΩ＋800 kΩ 附加电阻→“a”→“b”→经 VD_2 整流为直流送给磁电式表头。

④ 当转换开关 C 的活动连接片“a”和“b”接通 500 V 交流电压挡时，交流信号经 35.5 kΩ＋10 kΩ＋150 kΩ＋800 kΩ＋1 MΩ 附加电阻→“a”→“b”→经 VD_2 整流为直流送给磁电式表头。

通过以上分析得知，交流电压挡测量高低不同的电压时，也是以串联不同的附加电阻来实现的，电压越高，串联的附加电阻就越大。本电路采用闭路式，即高量程挡共用了低量程挡的附加电阻。另外，为了使电路尽可能简化，交流电压的附加电阻也共用了直流电压的附加电阻。

4. 指针式万用表中的交流电流测量电路

指针式万用表中的交流电流测量电路，也必须采用整流和分流的方法。分流的方式通常有两种：一种是先分流后整流，采用这种分流方式时流过整流元件的电流较小；另一种方式是先整流后分流，于是被测电流全部通过整流元件，使交流电流表的量程受整流元件容许电流的限制，因而这种方式采用较少。

常用的整流交流电流表电路如图 1－41 所示。这种电路的两端电压将随量程变化而变化，同时由于带有整流元件，使得交流电流表的内阻增加，这是电阻分流器电路的缺点。在某些指针式万用表中，采用电流互感器的方法来扩大交流电流测量量程，便可克服上述缺点。

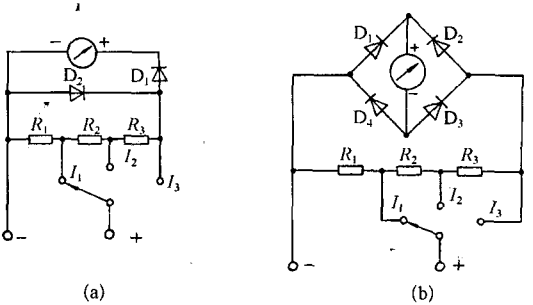


图 1－41　整流式交流电流测量电路

(a) 半波整流式；(b) 全波整流式

关于整流式交流电流测量电路的计算，可以参考直流电流分流器的计算方法，但必须注意对于不同的整流方式，其平均值与有效值之比是不同的。

二、数字式万用表中的电压、电流测量电路

1. 数字式万用表中的直流电流测量电路

直流电流测量电路共设 7 挡：20 μA、200 μA、2 mA、20 mA、200 mA、2 A 和 20 A，其中 20 A 挡专用一个输入插孔。测量电路如图 1－42 所示。二极管 D_1、D_2 起双向限幅过压保护作用，选用 1N4148 (1 A/

400 V)硅塑封整流二极管。当输入电压低于硅二极管的正向导通压降时，二极管截止，对测量毫无影响。一旦输入电压大于 0.6～0.7 V 时，二极管就立刻导通，从而限制了仪表的输入电压。FU 为 2 A/250 V 快速熔丝管，起过流保护作用。

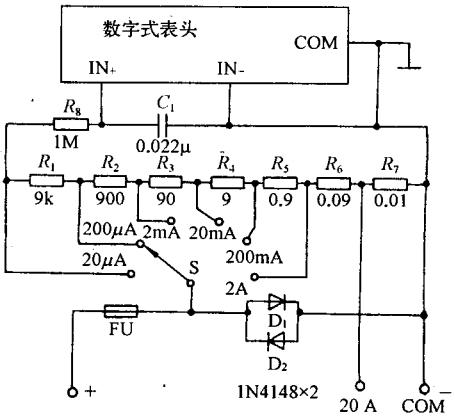


图 1-42　多量程直流电流测量电路

R_1～R_7 组成分流器，总电阻为 10 kΩ。其中，R_1～R_4 选用精密金属膜电阻(误差为±0.5%)，R_5 和 R_6 采用精密线绕电阻。因为 20 A 插孔的工作电流很大，所以分流电阻 R_7 使用一根锰铜丝电阻(温度系数小)，其冷态电阻为 0.01 Ω，我们可以算出其满量程时的耗散功率为 4 W。由于 20 A 挡未加保护装置，为避免损坏锰铜丝电阻，建议用该挡测量最大输入电流(20 A)时的时间应不超过 15 s 为宜。

设 I_m 为量程电流，U_{IN} 为数字式表头输入电压满量程值，则各挡分流电阻(取样电阻)的阻值可以根据下述公式计算：

$$R_0 = U_{IN}/I_m$$

20 A 挡：

$$R_7 = \frac{U_{IN}}{I_7} = \frac{0.2}{20} = 0.01\ \Omega$$

2 A 挡：

$$R_6 = \frac{U_{IN}}{I_6} - R_7 = \frac{0.2}{20} - 0.01 = 0.09\ \Omega$$

200 mA 挡：

$$R_5 = \frac{U_{IN}}{I_5} - (R_7 + R_6) = \frac{0.2}{0.2} - 0.1 = 0.9\ \Omega$$

20 mA 挡：

$$R_4 = \frac{U_{IN}}{I_4} - (R_7 + R_6 + R_5) = \frac{0.2}{0.02} - 1 = 9\ \Omega$$

2 mA 挡：

$$R_3 = \frac{U_{IN}}{I_3} - (R_7 + R_6 + R_5 + R_4) = \frac{0.2}{0.002} - 10 = 90\ \Omega$$

200 μA 挡：

$$R_2 = \frac{U_{IN}}{I_2} - (R_7 + R_6 + R_5 + R_4 + R_3)$$

$$= \frac{0.2}{0.000\,2} - 100 = 900\ \Omega$$

20 μA 挡：

$$R_1 = \frac{U_{IN}}{I_1} - (R_7 + R_6 + R_5 + R_4 + R_3 + R_2)$$

$$= \frac{0.2}{0.000\,02} - 1\,000 = 9\ \text{k}\Omega$$

2. 数字式万用表中的直流电压测量电路

数字式万用表的直流电压挡(DCV)一般用 200 mV、2 V、20 V、200 V 及 1000 V 5 挡，基本量程设计为 200 mV。直流电压测量电路如图 1-43 所示。由 R_1～R_5 构成精密电阻分压器，总电阻为 10 MΩ，可将 0～1 000 V 的被测直流电压一律衰减到 200 mV 以下，再送至 200 mV 基本表进行测量。R_1～R_5 均采用误差为±0.5%的金属膜电阻。

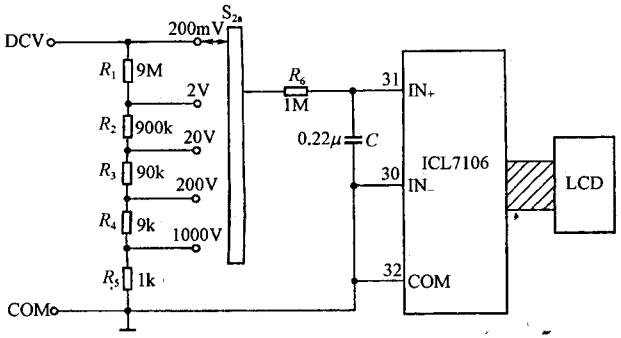


图 1-43　直流电压测量电路

需要说明以下几点：

① 各电压挡的输入电阻均为 10 MΩ，这是考虑到 ICL7106 型单片 3½位 A/D 转换器的输入电阻 $r_{IN}=10^2\Omega=10\ 000$ MΩ(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 $R_{IN}=0.001r_{IN}=10$ MΩ，使 $r_{IN}\gg R_{IN}$，因此可完全忽略 r_{IN}对信号的分流作用。

②.为了节省数字式万用表中的元件，在测量交流电压时也可借用直流电压挡的精密电阻分压器。此外，上述分压电阻还兼作电阻挡的标准电路。考虑到直流电压只有 5 挡，而电阻共有 6 挡(200 Ω、20 kΩ、200 kΩ、2 MΩ、20 MΩ)，R_5实际上由 100 Ω 和 900 Ω 电阻串联而成，其中的 100 Ω 电阻可用为 200 Ω 电阻挡的标准电阻(电阻挡的标准电阻值应等于该电阻量程的一半)。

③ 由于 R_1的电阻值很高，为便于校准电阻值，经常采用两只配对电阻串联成 9 MΩ；也有的数字式万用表是用一只高阻值固定电阻和一只低阻值的可调电阻串联成 R_1的。

④ 为了滤除输入端的高频噪声，某些数字式万用表在直流电压挡的分压器上还并联一只几十皮法的小电容。

3. *数字式万用表中的交流电压测量电路*

平均值响应的 AC/DC 转换器是由运算放大器和二极管组成的半

波(或全波)线性整流电路,它具有线性好、准确度高、电路简单、成本低廉等优点。由于它是按照正弦波平均值与有效值的关系而定义的,因此所构成的仪表仅适合于测量不失真的正弦波电压。线性全波整流式AC/DC转换器的电路如图1-44所示,交流电压满量程为200 mV(有效值)。现利用单运放TL06(IC_2)与二极管VD_1、VD_2组成平均值响应的线性整流电路,能消除二极管在小信号整流时所引起的非线性电压,使输出的平均值电压$\overline{U}_O$与AC/DC转换器的输入电压U_{IN}(有效值)呈线性关系,适合测量40～400 Hz的正弦波,测量准确度优于1%。当频率超过400 Hz时,测量误差会增大。电路中的R_1是TL061同相输入端电阻,R_2和R_3为负反馈电阻,可将IC_2偏置在线性放大区。为提高AC/DC转换器的输入阻抗,IC_2接成同相放大器,C_1、C_2为隔直电容。

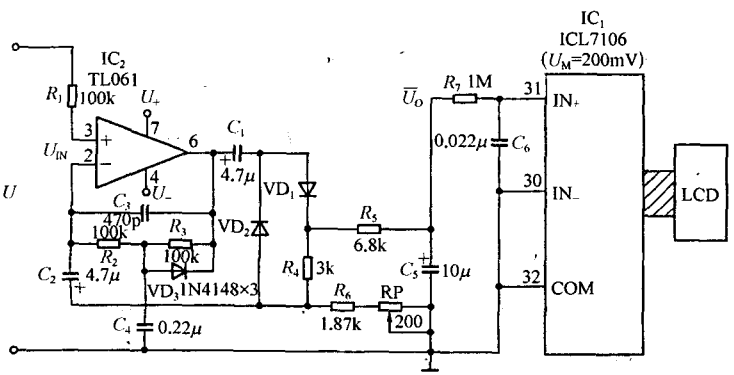


图1-44 AC/DC转换器的电路

需要指出,该电路属于输出不对称式线性全波整流电路,在正、负半周时的等效电路及整流输出波形分别如图1-45(a)、(b)、(c)所示。正半周时电压放大倍数$K_V>2.22$(半波整流时正弦波的有效值与平均值的关系为$U_{RMS}=2.22\overline{U}_O$);负半周时$K_V=1$,它相当于电压跟随器。具体来讲,在正半周时$VD_1$导通,$VD_2$截止,$IC_2$输出电流的途径是:$C_1\rightarrow VD_1\rightarrow R_4\rightarrow R_6\rightarrow RP\rightarrow COM$(地),并经过$R_5$对$C_5$充电。此时

$$K_V = 1 + \frac{R_4}{R_6 + R_P'} \tag{1-16}$$

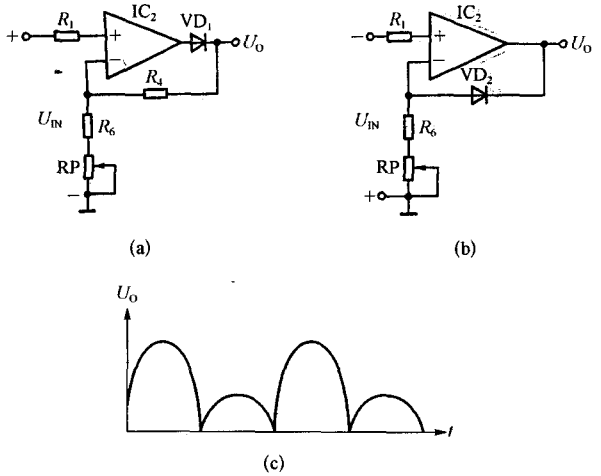


图 1-45　等效电路及输出波形

(a) 正半周时的等效电路；(b) 负半周时的等效电路；
(c) 整流输出波形

式(1-16)中的 R_P 代表电位器 RP 的电阻值。将 $R_4 = 3\ k\Omega$、$R_6 = 1.87\ k\Omega$、$R_P = 0 \sim 200\ \Omega$ 代入上式得到 $K_V = 2.60 \sim 2.45 > 2.22$。负半周时 VD_2 导通，VD_1 截止，电流途径变成：COM→RP→R_6→VD_2→C_1→IC_2，此时 $K_V = 1$。

由 R_5 和 C_5 组成的平滑滤波器可滤除交流纹波，高频干扰信号则被由 R_7、C_6 构成的高频滤波器所滤掉，从而获得了稳定的平均值电压，再通过 3½位单片 A/D 转换器 IC_1(ICL7106)完成数/模转换，驱动 LCD 显示出测试结果。图中的阴影区表示连接 A/D 转换器与 LCD 的导电橡胶条，该电路能消除整流管的非线性误差。RP 是校准交流电压的电位器，调整 RP 可使仪表直接显示出被测电压的有效值。C_3 是运放的频率补偿电容，R_2 和 C_4 还向 VD_3 提供偏压，以减小 TL061 对小信号放

大时的波形失真。TL061 的电源取自 IC_1 内部的+2.8 V 基准电压源。上述 AC/DC 转换器适配各种 3½位～4½位单片 A/D 转换器，并可将 LCD 改成 LED 显示器。

三、指针式万用表中的电阻测量电路

万用表的电阻测量电路，实质上是一个多量程的电阻表。电阻表的基本测量原理如图 1-46 所示。

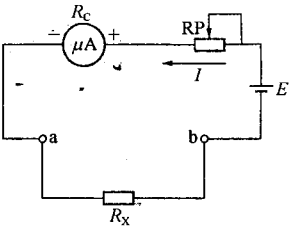


图 1-46　电阻表基本原理

根据欧姆定律可得流过表头的电流为

$$I = \frac{E}{(R_C + R_P + R_X)} \tag{1-17}$$

式中　R_C——表头内阻；

R_P——调零电位器电阻；

E——表内电池端电压；

R_X——被测电阻。

当表内电池电压 E、表头内阻 R_C 和调零电位器电阻 R_P 一定时，表头电流 I 与被测电阻 R_X 之间存在一定的对应关系，即不同的被测电阻 R_X 就会有不同的表头电流 I。如果表头的刻度线直接按电阻值刻度，就可以直接读出电阻值的大小，所以测电阻值实际上仍是测电流值。

① 当 $R_X=0$ 时，表头电流 I 最大，调节调零电位器 R_P 为 R_P'，使流过表头的电流 I 等于满偏电流 $I = \dfrac{E}{R_C + R_P'}$，也就是说，当调节调零电位器之后，电阻由原来的 R_P 调整到 R_P'，所以表头电流 I 就等于满偏电流 $I_C = \dfrac{E}{R_C + R_P'}$，则指针达到电流满刻度位置，此处正对应着电阻为“0”刻度位置。

② 当 $R_X=\infty$ 时，表头电流 $I=0$，因此表头的机械零点位置正。

③ 当 R_X 为 0～∞之间的任意值时，表头指针将指示在电流满刻度（电阻 0 刻度处）与机械零位（电阻∞刻度处）之间的相应位置上。由于

流过表头的电流 I 与被测电阻 R_X 之间不成比例，所以电阻刻度线的分度是不均匀的，如图 1－47 所示。

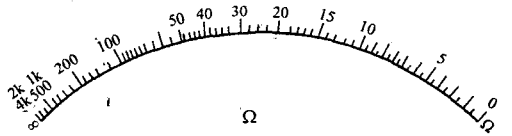


图 1－47　电阻表的刻度线

④ 当 $R_X=R_C+R_P'$ 时（R_C+R_P' 为电阻表的总内阻），$I=\dfrac{E}{2R_C+R_P'}=\dfrac{I_C}{2}$。这时，表头指针正处于刻度线的几何中心位置，所指示的值称为欧姆中心值。可见，电阻刻度线几何中心所标的阻值（欧姆中心值）应等于电阻表的总内阻阻值。

电阻表的欧姆中心值确定了电阻表的有效测量范围。虽然电阻表刻度线的刻度具有从 0～∞的范围，但是由于电阻表的刻度线刻度不均匀，使得实用的测量范围只在 0.1～10 倍欧姆中心值之间。如果被测电阻超出该范围太大，则无法得到准确的测量结果。为使万用表能在较大范围内准确测量电阻值，万用表电阻测量电路都采用多量程的电阻表，为了共用一条电阻刻度线，可将欧姆中心值按 10 的倍率扩大，以扩大电阻测量的量程。例如，$R\times1$ 挡的欧姆中心值为 50 Ω，那么其他挡的欧姆中心值就取 500 Ω、5 kΩ 等，从而构成 $R\times1$、$R\times10$、$R\times100$ 等倍率挡的电阻表。

四、数字式万用表中的电阻测量电路

以 3½ 位数字式万用表中的电阻测量电路为例。

1. 200 Ω 至 20 MΩ 挡测量电路

图 1－48 所示的电路是采用比例法测量电阻，该电路共设 6 挡：200 Ω、2 kΩ、20 kΩ、200 kΩ、2 MΩ、20 MΩ。R_X 为被测电阻，R_5～R_{10} 为标准电阻。被测电阻 R_X 经过正温度系数（PTC）热敏电阻 R_4 与标准电

阻串联。由 ICL7106 提供的基准电压为 E_0(典型值 2.8 V),通过 R_3、D_1分压,利用 D_1 正向导通压降(约 0.65 V)作为测试电压。根据 ICL7106 集成块的模/数转换成比例读数的特性,即只当 R_X 两端电压等于标准电阻两端的电压时,亦即 U_{IN} 等于 U_{RFE} 时,数字式表头显示为 1 000,这里 U_{RFE} 是 V_{RFE+} 端与 V_{RFE-} 端之间的电压。现以 2 kΩ 挡为例,该挡的标准电阻为:$R_6+R_5=900\ \Omega+100\ \Omega=1\ k\Omega$

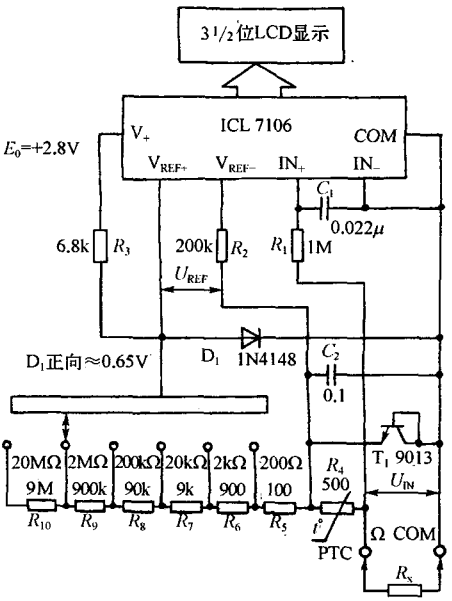


图 1-48 多量程电阻测量电路

显然当被测电阻 R_X 恰好为 1 kΩ 时,显示值就是 1 000,因为该挡的单位是"kΩ",所以将小数点定在千位上即得到 1.000(kΩ)。如果 R_X 为 500 Ω,那么 R_X 两端的电压等于标准电阻(1 000 Ω)两端电压的一半,所以数字式表头显示为 0.500(kΩ)。

上述比例法测电阻的原理可用下式表示:

$$R_X = \frac{U_{RX}}{U_{RO}} \times K = \frac{U_{IN}}{U_{REF}} \times K \qquad (1-18)$$

式中　R_X——被测电阻；

U_{RX}——R_X两端电压，近似等于U_{IN}；

U_{RO}——标准电阻两端电压，近似等于U_{REF}；

K——电阻测量挡的倍率。

各挡K值可通过仪表小数点移位和显示单位改变而事设定，无需像指针式万用表那样应由测量者临时倍乘。各挡的K值可以参考表1-8。

表1-8　多量程电阻测量电路中电阻测量挡的倍率

电阻测量挡	200 Ω	2 kΩ	20 kΩ	200 kΩ	2 MΩ	20 MΩ
K值	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7

过压保护电路由正温度系数热敏电阻R_4(PTC,500 Ω)、晶体管T_1(9013型)以及电容C_2和电阻R_1、R_2构成。T_1的基极与集电极短接，利用其发射极反向击穿电压代替稳压管。因此，若误用电阻挡去检测220 V交流电压，则交流电压经过R_4将晶体管T_1发射结反向击穿，此时电压被限幅于6 V左右，可保护集成电路ICL7016免受损坏。同时，正温度系数热敏电阻R_4随着电流的增加而发热，其阻值迅速增大，从而限制了晶体管T_4的反向击穿电流不超过许可范围。由于上述击穿属于软击穿状态，不会损坏T_4。所以一旦解除误操作以后，T_4能恢复正常。另外，电阻R_1和R_2分别为集成电路的IN_+端和V_{REF+}端起限流保护作用。为了消除T_4被反向击穿时产生的噪声电压，在T_4的发射极和集电极之间并联了一只0.1 μF的电容C_2。

2. 200 MΩ挡电阻测量电路

当被测电阻高于20 MΩ时，通常认为不宜采用比例法测量。这是因为随着仪表输入电阻的提高，很容易引入干扰信号使显示数字乱跳而无法测量，即使没有干扰问题，采用比例法测高电阻时也必须等待较长时间读数才能趋于稳定。

200 MΩ挡测量电路如图1-49所示。

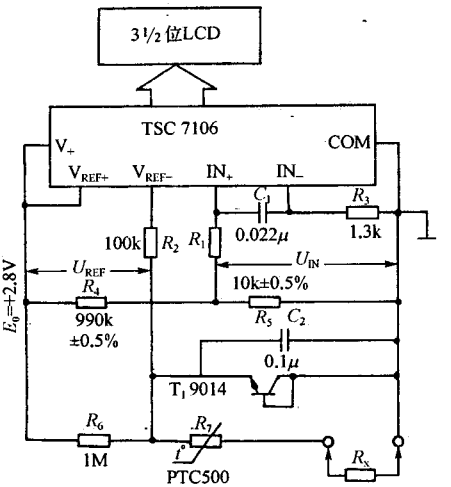


图 1-49　200 MΩ 挡测量电路

被测电阻 R_X 与基准电压的电路相串联，于是基准电压 U_{REF} 值(即 V_{REF+} 与 V_{RFE+} 端之间的电压)将随 R_X 变化而变化，而在 TSC7106 的 IN_+ 输入端与 COM(地)端之间，与固定电压 U_{IN} 相接，因此从被测电阻 R_X 上引入的干扰信号不会输至 IN_+ 端或 IN_- 端，从而避免了显示数字乱跳现象。

从图 1-49 可见，因为基准电源 E_0(+2.8 V)经电阻 R_6、R_7、R_X 至"地"(COM)，所以基准电压 U_{REF} 即为 R_6 两端的电压：

$$U_{REF} = \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_X} E_0 \qquad (1-19)$$

由于在高阻挡测量时，一般情况下 R_X 的阻值比 R_6 和 R_7 高很多，所以上式可化简为：

$$U_{REF} = \frac{R_6}{R_X} E_0 \qquad (1-20)$$

再看由 R_4 和 R_5 组成的分压器，则：

$$U_{IN} = \frac{R_5}{R_4 + R_5} E_0 \tag{1-21}$$

显然，从上述两式可解得：

$$R_X = \frac{R_6 (R_4 + R_5)}{R_5} \cdot \frac{U_{IN}}{U_{REF}} \tag{1-22}$$

现在把 $R_4 = 990\ k\Omega$、$R_5 = 10\ k\Omega$、$R_6 = 1\ M\Omega$ 代入上式得：

$$R_X = \frac{1 \times 10^6 \times (990 \times 10^3 + 10 \times 10^3)}{10 \times 10^3} \cdot \frac{U_{IN}}{U_{REF}}$$

$$= 100 \times \frac{U_{IN}}{U_{REF}}\ M\Omega$$

这就是 200 MΩ 挡测量电阻的原理。

根据 TSC7106 的特性，当 $U_{REF} = U_{IN}$ 时，表头的显示数字应为 1 000。而从上式可知，这时 R_X 为 100 MΩ。因此，只要把小数点定在十位上，显示值即为 100.0 MΩ。因为表头的最大显示数为 1 999，所以当 R_X 大于等于 200 MΩ 时，将使示值产生溢出，因此本挡只能测量 200 MΩ 以下的高阻。

需要指出的是，200 MΩ 挡测量准确度低于其他电阻挡，其主要原因是前述关系式在 $R_X \gg R_6 + R_7$ 较高这一假设条件下得出的，故当 R_X 的阻值较低时，这一关系式不再成立。因此，该挡列为扩展挡。

第四节　万用表的技术性能与测量误差

一、万用表的技术性能

（一）指针式万用表的技术性能

表 1-9 列出了四种常见万用表的主要技术指标及性能特点，可供读者参考，表中括号里的数字表示挡数。

表 1-9　四种万用表的主要技术指标及性能特点

万用表型号		500 A	MF10/A/B	MF30	MF64
特　点		增设 DΩ 挡	高灵敏度	袖珍式	高灵敏度
量　程		25	28	21	30
直流电压 DCV		2.5～25 000 V(6)	0.5～500 V(8)	1～500 V(5)	0.25～2 500 V(9)
交流电压 ACV		10～2 500 V(5)	10～500 V(4)	10～500 V(3)	10～2 500 V(6)
直流电流 DCA		50 μA～5 A(6)	10 μA～1 A(7)	50 μA～500 mA(5)	50 μA～5 A(6)
电　阻		DΩ,R×1～R×10 kΩ(6)	R×1～R×100 kΩ(8)	R×1～R×10 kΩ(5)	R×1～R×10 kΩ(5)
音频电平		−10～+22	−10～+56(4)	−10～+56(3)	−20～+22 dB
电　感 L		—	—	—	20～1 000 H
电　容 C		—	—	—	0.001～0.3 μF
晶体管 h_{FE}		—	—	—	0～300
电压灵敏度	直　流	20 kΩ/V	100 kΩ/V	20 kΩ/V	20 kΩ/V
	交　流	4 kΩ/V	20 kΩ/V	5 kΩ/V	4 kΩ/V
准确度	直流电压	±2.5%	±2.5%	±2.5%	±2.5%
	交流电压	±5%	±4%	±5%	±5%
	电　阻	±2.5%	±2.5%	±2.5%	±2.5%
体　积		178 mm×173 mm×84 mm	220 mm×145 mm×85 mm	132 mm×92 mm×46 mm	165 mm×112 mm×49 mm
质　量		2 kg	1.5 kg	0.45 kg(不包括电池)	0.42 kg(不包括电池)

（二）数字式万用表技术性能

1. M3900 型数字式万用表技术性能

(1) M3900 型数字式万用表的用途和特点

M3900 型是 3½位数字式万用表，它结构紧固，用 9 V 叠层电池驱动，设有 30 个量程，可用于测量交直流电压和电流、电阻、二极管，以及带声响的通断测试和晶体管 h_{FE} 测试，具有自动调零、极性选择和过量程显示功能，并对各量程提供过载保护(10 A 挡除外)。

仪表适合在气温 0～40℃、相对湿度≤75%的环境中工作，保证准确度的测试温度为(23±5)℃。

(2) M3900 型数字式万用表主要技术性能(见表 1－10 至表 1－13)

表 1－10 直流电压和交流电压测量

测量项目	量 程	分辨力	准 确 度	输入电阻
直流电压 (DCV)	200 mV	100 μV	±(0.5%读数+1字)	10 MΩ
	2 V	1 mV		
	20 V	10 mV		
	200 V	100 mV		
	1 000 V	1 V		
交流电压 (ACV)	200 mV	100 μV	±(1.2%读数+3字)	10 MΩ
	2 V 20 V 200 V	1 mV 10 mV 100 mV	±(0.8%读数+3字)	
	700 V	1 V	±(1.2%读数+3字)	

注：交流电压为有效值读数，频率范围 40～200 Hz。

表 1-11 直流电流和交流电流测量

测量项目	量 程	分辨力	准 确 度	输入电阻
直流电流(DCA)	200 μA	0.1 μV	±(0.5%读数+1字)	200 mV
	20 mA	1 μV		
	2 mA	10 μV		
	200 mA 2 A	100 μV 1 mA	±(1.2%读数+1字)	
	20 A	10 mA	±(2.0%读数+5字)	
交流电流(ACA)	200 μA	0.1 μA	±(1.2%读数+3字)	200 mV
	2 mA	1 μA	±(1.0%读数+3字)	
	20 mA	10 μA		
	200 mA	100 μA	±(1.8%读数+3字)	
	2 A	1 mA		
	20 A	10 mA	±(3.0%读数+7字)	

注：(1) 20 A量程挡无保护装置。

(2) 交流电流读数为有效值，频率范围 40～200 Hz。

表 1-12 电 阻 量

量 程	分辨力	准 确 度	开路电压
200 Ω	0.1 Ω	±(0.8%读数+3字)	小于 700 mV
2 kΩ	1 Ω	±(0.8%读数+1字)	
20 kΩ	10 Ω		
200 kΩ	100 Ω		
2 MΩ	1 kΩ		
20 MΩ	10 kΩ	±(1.0%读数+1字)	

表 1-13　其他测试功能

测量项目	测试电压和电流	说　明
二极管及通断测试	正向电流约 1 mA 反向电压约 2.8 V	显示正向压降，单位 mV 当 R_X<30 Ω 时蜂鸣器发声
晶体管的 h_{FE}	I_B约 10 μA V_{CE}约 2.8 V	h_{FE}测量范围 0～1 000 显示读出近似值

2. DT890C+型数字式万用表

(1) DT8900C+型数字式万用表用途和特点

DT890C+是 DT890C 的增强型，属于高可靠性、多功能、大显示型 3½位数字式万用表。它设有 33 个量程，适于测量交直流电压和电流、电阻、电容、温度、二极管、带声响通断测试以及晶体管 h_{FE}测试。仪表还增加了 200 MΩ 高阻挡。

仪表具有自动调零、极性选择、基本量程过载保护和过量程显示功能。仪表不插入热电偶时可显示常温，若插上 K 型镍铬-镍铝或镍铬-镍硅热电偶，测温范围可达－40℃至＋1 000℃。仪表采用 9 V 叠层电池供电，功耗约 40 mW，适合在气温 0～40℃、相对湿度≤75%的环境中工作，但仅在(23±5)℃温度范围内保证准确度。外形尺寸为 172 mm×88 mm×36 mm，重量 340 g(包括电池)。

(2) DT890C+型数字式万用表主要技术性能(见表 1-14 至表 1-18)

表 1-14　直流电压和交流电压测量

测量项目	量　程	分辨力	准　确　度	输入电阻
直流电压(DCV)	200 mV	100 μV	±(0.5%读数＋1 字)	10 MΩ
	2 V	1 mV		
	20V	10 mV		

（续 表）

测量项目	量 程	分辨力	准 确 度	输入电阻
直流电压（DCV）	200 V	100 mV	±(0.5%读数+1字)	10 MΩ
	1 000 V	1 V	±(0.8%读数+1字)	
交流电压（ACV）	2 V	1 mV	±(0.8%读数+3字)	10 MΩ
	20 V	10 mV		
	200 V	100 mV		
	700 V	1 V	±(1.2%读数+3字)	

注：交流电压读数为有效值，频率范围 40～400 Hz。

表 1-15 直流电流和交流电流测量

测量项目	量 程	分辨力	准 确 度	输入电阻
直流电流（DCA）	2 mA	1 μV	±(0.8%读数+1字)	200 mV
	20 mA	10 μV		
	200 mA	100 μA	±(1.2%读数+1字)	
	20 A	10 mA	±(2%读数+5字)	
交流电流（ACA）	2 mA	1 μA	±(1.0%读数+3字)	200 mV
	20 mA	10 μA		
	200 mA	100 μA	±(1.8%读数+3字)	
	20 A	10 mA	±(3%读数+7字)	

注：(1) 交流电流读数为有效值，频率范围 40～400 Hz。
(2) 20 A 挡未加过载保护装置。

表 1-16　电 阻 测 量

量　程	分 辨 力	准　确　度	开路电压
200 Ω	0.1 Ω	±(0.8%读数+3 字)	小于 700 mV
2 kΩ	1 Ω	±(0.8%读数+1 字)	
20 kΩ	10 Ω		
200 kΩ	100 Ω		
2 MΩ	1 kΩ		
20 MΩ	10 kΩ	±(1%读数+2 字)	
200 MΩ	100 kΩ	±(5%读数+10 字)	2.8 V

表 1-17　温度测量和电容测量

测量项目	量　程	分辨力	准　确　度	说　明
温　度	−40～40℃	1℃	±(0.75%读数+3 字)	外接 K 型配套热电偶
	400～1 000℃		±(1.5%读数+15 字)	
电　容	2 000 pF	1 pF	±(2.5%读数+3 字)	测试信号频率 400 Hz
	20 nF	10 pF		
	200 nF	100 pF		
	2 μF	1 nF		
	20 μF	10 nF		

表 1-18　二极管、晶体管和通断检测

测量项目	测试电压和电流	说　　明
二极管	正向电流约 1 mA，反向电压约 2.8 V	显示读数为正向压降
通断测试	开路电压约 2.8 V	线路电阻小于 30 Ω 时蜂鸣器发声
h_{FE}	I_B 约 10 μA，V_{CE} 约 2.8 V	测量范围 0～1 000，显示 h_{FE} 近似值

二、万用表常用标志符号

万用表常用标志符号见表 1-19。

表 1-19　万用表常用标志符号

标志符号	意　　义
	磁电系测量机构
	测量线路带有整流器
	刻度盘水平放置使用
	刻度盘垂直放置使用
	绝缘试验电压为 6 kV
	高电压，注意安全
	以表尺长度百分数表示的准确度级别指数为 1.5

（续　表）

标志符号	意　　义
1.5	以示值百分数表示的准确度级别指数为 1.5
| 1.5 |	以量程百分数表示的准确度级别指数为 1.5
— 或 ⎓	被测量为直流
~	被测量为交流
≂	被测量为直流与交流
	Ⅲ级防外电场
	Ⅲ级防外磁场
A—V—Ω	测量对象包括电流、电压、电阻
	零点调节器
20 kΩ/V	表示直流电压灵敏度为 20 kΩ/V，有的也以 20 000 Ω/V D. C 表示
4 kΩ/V	表示交流电压灵敏度为 4 kΩ/V
45…55…1 000 Hz	使用频率范围 45～1 000 Hz　标准频度范围 45～55 Hz
dB—1 mW 600 Ω	在 600 Ω 负载电阻上功耗 1 mW，定义为零分贝(dB)
	注意
+	正端
—	负端

（续 表）

标志符号	意　　义
	公用端
COM	公用端
	接地端
A	电流端
mA	被测电流适合 mA 挡的接入端
20 A	专用端(如 20 A)
	低压指示符,说明电池电压低于 7.5 V,应换新电池
LO BAT	
	具有声响的通断测试
	
	二极管检测

三、万用表的测量误差及其计算

偏离真值的测量结果就产生了误差。误差的正负表明偏离真值的方向。

$$\text{误差}=\text{给出值}-\text{真值} \tag{1-23}$$

如果式(1-23)中的给出值是指仪表的示值,则可得到仪表的示值

误差表达式：

示值误差＝示值(被检表读数)－真值(标准表读数)　(1－24)

如果式(1－24)中的给出值是用测量方法获得的测量结果，则可得到测量误差的表达式：

测量误差＝测量结果(被测量)－真值(客观存在的真值)　(1－25)

通过比较式(1－23)和式(1－24)可以看出，如果给式(1－23)中的给出值为不同的对象时，式(1－23)中误差定义的内容将发生变化。因此，在进行误差计算时应明确所要表达的对象。

(一) 指针式万用表的误差及其计算

1. 线性刻度基本误差的引入

如果要想知道仪表某刻度点测得值的准确程度，可用相对误差的百分数表示：

$$\gamma = \frac{A - A_b}{A_b} \times 100\% \qquad (1-26)$$

式中　A——被检表示值；

A_b——标准表示值。

相对误差的计算对多量程和连续分度的仪表是不方便的，为了减少计算和划分准确度等级的麻烦，一律取该仪表的测量范围或量程的上限为分母，以示值误差为分子再乘以百分数：

$$\gamma_m = \frac{A - A_o}{A_m} \times 100\% \qquad (1-27)$$

γ_m称为基本误差，指针式万用表中许多量程的准确度等级就是用 γ_m确定的。

2. 非线性刻度基本误差的计算

(1) 计算方法

指针式万用表的欧姆刻度尺是非线性的，其基本误差用弧长的百

分数表示，计算方法如下：

① 已知弧长时，用下式计算

$$\gamma_t = \frac{\Delta l}{l_x} = \frac{l_j - l_b}{l_x} \times 100\% \qquad (1-28)$$

式中 l_x——被测仪表的标度尺长度；

l_j——测得弧长值；

l_b——标准弧长值。

② 已知电阻值时，用下式计算

$$\gamma_R = -R_Z\left(\frac{1}{R_Z + R_j} - \frac{1}{R_Z + R_b}\right) \times 100\% \qquad (1-29)$$

因为

$$l_j = \frac{R_Z}{R_Z + R_j} \times l_x$$

$$l_b = \frac{R_Z}{R_Z + R_b} \times l_x$$

所以

$$\gamma_R = -\frac{\frac{R_Z}{R_Z + R_j} l_x - \frac{R_Z}{R_Z + R_b} l_x}{l_x} \times 100\%$$

$$= -\left(\frac{R_Z}{R_Z + R_j} - \frac{R_Z}{R_Z + R_b}\right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{R_Z}{R_Z + R_b} - \frac{R_Z}{R_Z + R_j}\right) \times 100\%$$

式中 R_Z——欧姆表中心阻值，它等于表盘中心标度电阻值乘以倍率；

R_b——被测电阻的标准电阻值；

R_j——被测电阻的测得值。

(2) 计算示例

有一块 MF50 型万用表，经检定结果如表 1-20 所示。问 2.5 mA 挡的基本误差是多少？$R\times100$ 挡的基本误差是多少？

表 1-20　MF50 型万用表检定结果列表

型　　号	MF50 型	出 厂 号	10123
等　　级	−2.5～5.0 Ω	检定日期	2005.2.14
直流电流/mA		直流电压/V	
被检表	标准表	被检表	标准表
2.50	2.53	2.50	2.53
25.00	25.20	10.00	10.13
250.00	252.00	50.00	50.54
		250.00	251.60
		1 000.00	1 002.9
交流电压/V		电阻量程/Ω	
被检表	标准表	被检表	标准表
10.00	10.12	10.00	10.50
50.00	50.40	100.00	108.00
250.00	253.00	1 k	1.05 k
1 000.00	1 018.70	10.00 k	10.38 k
		100.00 k	102.00 k

解：2.5 mA 挡的基本误差是

$$\gamma_{2.5\,\mathrm{mA}}=\frac{2.5-2.53}{2.5}\times 100\%=-1.2\%$$

$R\times 100$ 挡的基本误差是

$$\gamma_{100}=\left(\frac{100}{100+100}-\frac{100}{100+108}\right)\times 100\%$$

$$\approx(0.5-0.48)\times 100\%=2.0\%$$

（二）数字式万用表的误差与计算

数字式万用表与指针式万用表的误差既有相同点，又有不同点，相同点是它们都具有模拟误差；不同点是数字式万用表具有数字化误差，指针式万用表则没有。

1. 模拟误差

数字式万用表的模拟误差与一般指针式万用表误差的性质相同，它的极性和大小不变，因此，可以进行修正。

(1) 零点误差

零点误差也称作零位误差，如图 1-50(a)所示，它是由输入放大器或比较器等电路的漂移引起的。

(2) 变换常数误差

变换常数误差是曲线的斜率变化引起的误差，如图 1-50(b)所示，它可以通过满量程调整来修正。

(3) 线性误差

线性误差是表示偏离直线程度的误差，如图 1-50(c)所示，它的输

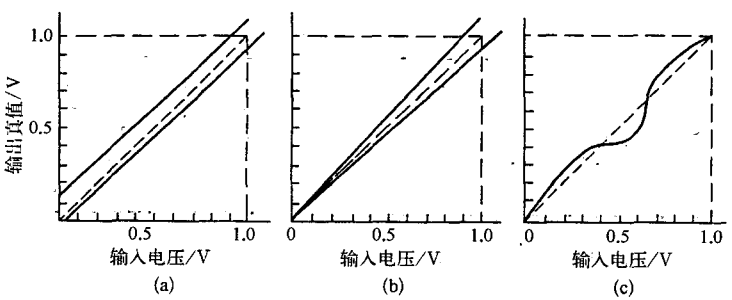


图 1-50　数字式万用表的模拟误差分析

(a) 零点误差；(b) 变换常数误差；(c) 线性误差

出表现为非线性。

2. 数字化误差

数字化误差是数字式万用表的固有误差，它由以下几种误差构成：

(1) 分辨率误差

分辨率误差是模拟量变换成数字量时所产生的量化误差，误差的大小等于仪表的最小分辨率，这种误差无法消除。

(2) 转换误差

转换误差表示在量化单位内，实际在那一点(模拟量输入点)向下一个数字转换时的误差。该转换点的位置有时在波形周期的中央，有时在某一端，这是引起误差的原因。

(3) 无感误差

无感误差多半是由于模/数(A/D)变换器的灵敏度太低而引起的，其表现为：即使输入量增大，显示值也不能按设计要求变化一个字。

(4) 滞后误差

滞后误差是在输入量增加或减小时，显示值变化跟不上而引起的误差。由于数字化误差的极性、大小是变化不定的，因此不能修正。

模拟误差和数字化误差组合在一起，就成为数字式万用表的误差。

3. 数字式万用表的误差计算

(1) 计算方法

数字式万用表的误差表达式如下

$$\gamma_{允许} = \pm (m\% \times \gamma_d + N_d) \qquad (1-30)$$

式中　m——仪表分辨力，它与测量功能及量程有关；

γ_d——表示读数；

N_d——由数字化处理引起的误差反映在末位数字上的变化量。

(2) 计算实例

已知一块数字式万用表的交流电压 750 V 挡的精确度为±3 个字，分辨率为 1.0%，求该挡 300 V 示值点的允许误差是多少？

解：$\gamma_{允许} = \pm 1.0\% \times 300\ V \pm 3.0\ V = \pm 6\ V$，即在 750 V 挡 300 V 示值点上的允许误差为±6 V。

至此，我们已能根据万用表的使用说明书，确定各示值点或各量程的允许误差了。有了这个基础，就有了判别仪表是否合格的依据。当用标准仪器对数字式万用表进行检定后，再用式(1－30)进行计算。只要示值误差不大于万用表的允许误差，就认为该表合格，否则，被检表就不合格。

第二章

万用表的基本功能与应用

第一节　万用表检测基本元器件

一、万用表检测电阻和电位器

1. 选择量程

指针式万用表的欧姆标尺是非均匀刻度的，只有当指针偏转位于标尺的中心值附近时，才能保证仪表应有的准确度。具体地讲：测量几欧至几十欧时，选用 $R\times1$ 挡；测量几十欧至几百欧时，选用 $R\times10$ 挡；测量几百欧至几千欧时，选用 $R\times100$ 挡；测量几千欧至几十千欧时，选用 $R\times1$ k 挡；测量几十千欧至几百千欧时，选用 $R\times10$ k 挡，等等。显然对于不设高阻挡的万用表，对于几百千欧的电阻只得在 $R\times1$ k 挡进行测量，误差就会相当大。

对于数字式万用表而言，被测电阻小于 200 Ω 时，则用 200 Ω 挡测量；被测电阻在 200 Ω～2 kΩ 之间时，用 2 kΩ 挡测量。多数数字式万用表，其电阻挡的量程比较宽，可达 20 MΩ。

2. 零点调整

指针式万用表在测量之前，应先进行零点调整（简称“调零”），即把 2 支表笔（测试棒）相互短接后调节仪表上的调零旋钮，使指针位于欧姆标尺的零刻度线上，见图 2-1。调零是在测量电阻之前必不可少的一个步骤，且每当换一个量程时都必须重新调零。若出现无法调到零位的现象，往往是由于表笔接触不良或表内电池电压偏低，或调零电位

器磨损等原因引起的。

用数字式万用表测量电阻时，虽然无需调零，但在测量之前需对仪表作一次零欧测试检查。即把 2 支表笔相互短接后，仪表显示应为“0”；表笔为开路时，仪表显示应为“1”（超量程指示）。在测量低值电阻时应记录零点偏差值，用以修正测量结果。

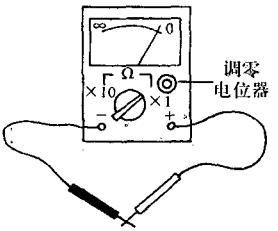


图 2－1　指针式万用表电阻挡调零示意图

3. 测量方法

测量时手不要同时触及被测电阻的两端，以免人体电阻的并联作用影响测量结果。当进行高阻值测量时，这一点更值得注意。

对于只有几欧的低阻值测量，要特别注意电阻引线与表笔接触是否良好，必要时应刮去电阻引线上的氧化层。测试时间不要太长，以减少内置电池的耗电。使用数字式万用表测量低值电阻时，应注意零点偏差值，需对测量结果加以修正。例如在 200 Ω 挡，两表笔短接时显示值为 0.3 Ω，测量电阻时显示值为 4.7 Ω，则被测电阻阻值应为 4.4 Ω。

4. 读数

某些指针式万用表的表盘内设有一弧形的反射镜，这是专业测量者便于获得准确的读数而设置的。观测读数时，双眼应位于仪表指针的正上方（仪表为水平放置），稍许移动双眼位置，当看到指针与其镜中的像重合时即可读数。如果指针指在 2 条刻度线之间，那么除应读出刻度线所表示的阻值外，还应估读出刻度间的数值，对于图 2－2 所示的指示值，应读为 8.7 Ω 乘以 10 等于 87 Ω。

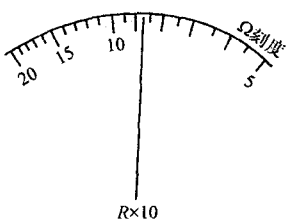


图 2－2　指针式万用表指示值的读数

5. 测量条件

对敏感器件电阻的测量必须注意测量条件。例如用指针式万用表测量热敏电阻的阻值时，往往由于测量电流较大，使热敏电阻发热引起

阻值改变，空气流动时阻值更不稳定。因此，要精确测量热敏电阻的阻值，应使用电桥测量。又如，对于光敏电阻阻值的测定，应注意记录光照的条件，否则测量结果无法重复，就失去意义。

6. 连续性观测

在检测电位器时，不仅要测定两固定端片间的电阻，还要测定中心滑片端与电阻体之间的接触情况是否良好，需要作连续性观测。

(1) 操作方法

万用表仍置于电阻挡，将一支表笔接电位器中心焊片，另一支表笔与其余两端焊片的任一个相接，然后手握电位器转柄，缓慢地从一个极端位置转到另一个极端位置，则其电阻值应从零连续变化到最大值，或从最大值连续变化到零，此最大值等于两固定端片之间的阻值。

(2) 判断方法

如果电位器滑动端与电阻体之间的接触是良好的，那么在整个转动过程中不应出现表针有任何跳动的现象，否则说明电位器有接触不良的毛病，不宜使用。除此以外，还可以根据表针偏转的情况来判断是对数式电位器还是直线式电位器。当转动均匀时，如果表针的偏转也是均匀的，表明它是直线式电位器；当转动均匀时，如果表针的偏转开始时较快(或较慢)，将要结束时较慢(或较快)，则表明它是反对数式或对数式电位器。另外，一只好的电位器，在转动过程中手感是平滑的，无跳跃感，也不应有过松过紧现象。

对于带开关的电位器，还应对开关进行检测。开关断开时，开关两端之间的阻值应为无穷大；开关接通时，开关两端之间的阻值应等于零。

7. 注意事项

应当注意被测元件的允许偏差，避免得出错误的评判。

属于不同系列的电阻，其允许误差是不同的。例如，常用 E24 系列电阻，其允许偏差为±5%；而 E6 系列电阻的允许偏差为±20%；至于 E192 系列精密电阻，规定允许偏差±1%或者更小。一般都将允许偏差印在标称阻值的后面，如"10 kΩ 5%"表示实测阻值在 9.5～10.5 kΩ 范围都是合格的。"470 kΩ±20%"则表明许可 9 kΩ 的绝对误差。如

果电阻值采用色标法表示，则用最后一个色环(或点)的颜色来表示允许偏差，棕色、金色、银色分别表示±1%、±5%、±10%。

二、万用表检测电感

电感元件(电感器)的主要技术参数是电感量 L 和品质因数 Q，一般需要用专门的测量仪器进行检测。

如果万用表有电感量测量功能，那么可直接从万用表中直接读出被测电感器的电感量。如果被测电感器的电感量太小，可在万用表的"+"与"*"插孔之间并接一只电阻器，以便于读数。例如，MF30 型万用表，原电感测量范围在 20～1 000 H，当并接一只 1.1 kΩ 电阻器后，测量范围变为 0.5～20 H。如果万用表无电感量检测功能，那么只能对电感器是否开路或短路进行判断或对品质因数有个大致的推测。

1. 电感器开路或短路的检测

选择万用表的欧姆 $R\times1$ k 挡，检测电感器两端(引脚)的电阻值。具体电阻值的大小与绕组匝数有关，匝数越多电阻值越大。最好与同型号的电感器相比较，才能准确判断出其电阻值是否正常，是否有局部短路现象。如果检测时，万用表指示值为 0 或无穷大，则说明该电感器内部已短路或开路损坏。

2. 品质因数 Q 的推测

品质因数 Q 大小的推测，可根据以下几种情况进行：

① 在电感量相同的情况下，直流电阻越小，Q 值越高。即所用导线的直径越粗，Q 值越高。若采用多股线绕制时，导线的股数越多(一般不超过 13 股)，Q 值越高。

② 电感器骨架(或铁心)所用材料的耗损越小，其 Q 值越高。比如高硅硅钢片做铁心时，其 Q 值较用普通硅钢片做铁心时要高。

③ 电感器的分布电容和漏磁越小，其 Q 值越高。比如蜂房式绕法的线圈，其 Q 值较平绕时要高，比乱绕时也高。

④ 电感器无屏蔽罩，安装位置周围无金属构件时，其 Q 值也较高；相反，则 Q 值较低。屏蔽罩或金属构件离线圈越近，其 Q 值降低得越厉害。

⑤ 有磁心的比无磁心的高频电感器 Q 值要高，且磁心的损耗越小，Q 值也越高。

三、万用表检测电容

传统的数字仪表采用脉宽调制法测量电容，其缺点是电路本身不能自动调零，每次测量之前都需要手动调零，从而延长了测量时间。采用容抗法可圆满解决上述问题，实现电容挡的自动调零。

容抗法测量电容的原理是首先用 400 Hz 正弦波信号将被测电容量 C_x 变成容抗 X_C，然后进行 C/U 转换，把 X_C 转换变成交流信号电压，再经过 AC/DC 转换器取出平均值电压 $\overline{U}_O$，送至 3½位或者 4½位 A/D 转换器。$\overline{U}_O$ 与 C_x 成正比，只要适当调节电路参数，即可直读电容量。容抗法测量电容的优点是能自动调零，缩短了测量时间。

5 量程数字电容表的电路如图 2－3 所示，5 个量程分别为 2 000 pF、20 nF、200 nF、2 μF、20 μF，测量准确度为±2.5%。分辨力则取决于所配单片 A/D 转换器的位数。例如，配 ICL7106(3½位)时最高分辨力为 1 pF；配 ICL7129(4½位)时可达 0.1 pF。电路由 IC_1(IC_{1a}、IC_{1b})、IC_2(IC_{2a}、IC_{2b})组成，选用 TL062、LM358 型双运放各一片。IC_{1a} 和 R_1、C_1、R_2、C_2 构成文氏桥振荡器，振荡频率为

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} \tag{2-1}$$

取 $R_1=R_2=39.2\ \text{k}\Omega$，$C_1=C_2=0.01\ \mu\text{F}$，代入式(2－1)中得到 $f\approx 400$ Hz，输出波形为正弦波。IC_{1b} 是缓冲放在器，RP 为电容表的校准电位器。IC_{2a} 为电压放大器，其特点是负反馈电阻($R_7\sim R_{11}$)的阻值依电容量程而定，并且以被测电容的容抗 X_C 作为运放的输入电阻。IC_{2a} 的电压增益与 X_C 成反比，输出电压与 C_x 成正比，从而实现了 C/U 转换。二阶有源带通滤波器由 IC_{2b}、$R_{12}\sim R_{14}$、C_3 和 C_4 构成，其中心频率

$$f_0=\frac{1}{2\pi C_3}\sqrt{\frac{1}{R_{14}}\left(\frac{1}{R_{12}}+\frac{1}{R_{13}}\right)} \tag{2-2}$$

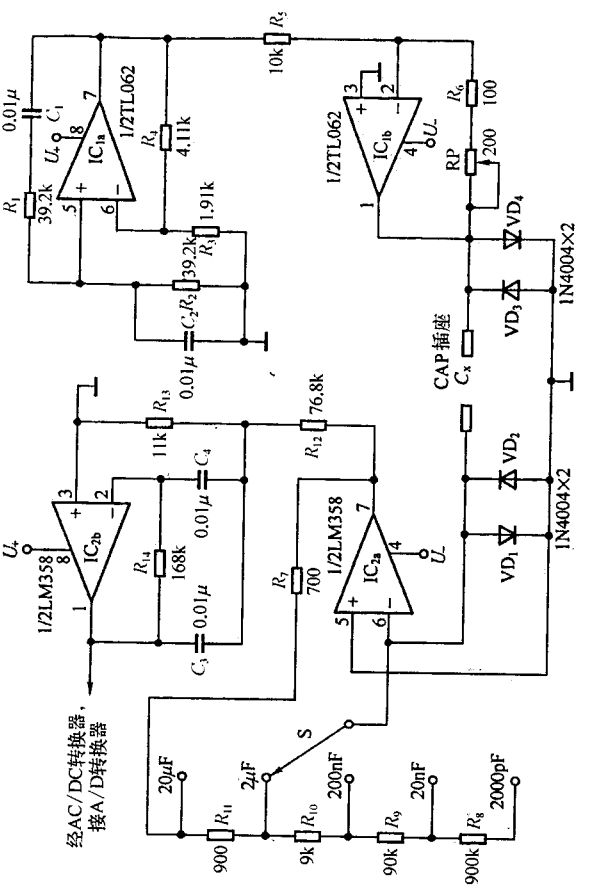


图 2-3 5量程数字电容表

将 $C_3=0.01\ \mu F$、$R_{14}=168\ k\Omega$、$R_{12}=76.8\ k\Omega$、$R_{13}=11\ k\Omega$ 一并代入式(2-2)中，得到 $f_0\approx400\ Hz$。有源带通滤波器只让 400 Hz 信号通过，能滤除其他频率的杂波干扰，使 IC_{2b} 的输出电压为 400 Hz 的正弦波，再经过 AC/DC 转换器获得平均值电压 $\overline{U}_O$，送至 A/D 转换器。这就是容抗法测量电容器的原理。综上所述，测量电容器的过程可归纳为：文氏桥振荡器→*C/U* 转换器→AC/DC 转换器→A/D 转换器。

需要指出，$R_7\sim R_{11}$ 为 IC_{2a} 的负反馈电阻 R_f 值依量程而定。例如在 2 000 pF 挡，$R_f=R_7+R_8+R_9+R_{10}+R_{11}=1\ M\Omega$；而在 20 nF 挡，$R_f'=R_7+R_9+R_{10}+R_{11}=100\ k\Omega$，即 $R_f'/R_f=1/10$。其余电容挡以此类推。这是因为当 C_x 增加到 10 倍(从 2 000 pF 增至 20 nF)时，必须将 R_f 值减小到原来的 1/10，才能保证电容挡的总增益不变，使 A/D 转换器始终工作在 200 mV 基本量程(对应于 2 000 pF 基本电容挡)。这样既实现了电容量程的扩展，又简化了电路设计。电路中的 RP 仅供校准用，一经调好后就不再变动。$VD_1\sim VD_4$ 为过压保护二极管，防止因误测带电的电容器而损坏仪表。

四、万用表检测二极管

1. 普通二极管的检测

普通二极管具有单向导电的特性，可用万用表判断它的极性，也可检测二极管是否已损坏，下面逐一介绍其检测方法。

(1) 二极管极性的检测

判断二极管的极性，首先是将万用表置于欧姆挡 $R\times100$ 或 $R\times1\ k$ 上，红、黑两只表笔分别接触二极管的两端(即两引脚)，观察万用表的读数，然后再将红、黑两只表笔对调观察万用表的读数。两次测量中，电阻值较小的那次测量中，黑表笔所接触的那端为二极管的正极，红表笔所接触的即为二极管的负极。

(2) 单向导电性能的检测

一般情况下，二极管的正、反向电阻值相差的越悬殊，说明它的单向导电性能越好。因此通过测量二极管正、反向电阻值，可判断二极管导电性能的优劣。对于硅管，正向电阻值约为 1 kΩ，反向电阻值约

为 300 kΩ。

如果在检测时，二极管正、反向电阻值均较小或接近于 0，则说明该二极管已被击穿短路或漏电损坏；如果在检测时，二极管正、反方向电阻值均趋于无穷大，则说明该二极管已开路损坏。

(3) 反向击穿电压值的检测

按图 2-4 接线，其中万用表选择合适的直流电压挡，将被测二极管的正极与兆欧表和万用表的黑表笔相连接，被测二极管的负极与兆欧表和万用表的红表笔相连接。

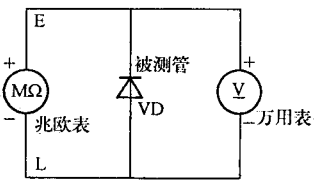


图 2-4 反向击穿电压值的检测电路

摇动兆欧表由慢渐快，转速控制在 20 rad/s 左右，等二极管两端电压较稳定不再升高时(万用表读数不再上升)，此时万用表所测的电压值就是该二极管反向击穿电压的值。

2. 稳压管的检测

在检测稳压管时，主要检测内容就是其极性和稳压值。

(1) 稳压管极性的检测

对于稳压管极性的检测，可参照前面对普通二极管的极性检测方法进行检测，这里不再一一赘述。

(2) 稳压管稳压值的检测

稳压管稳压值可用下面种方法进行检测。

① 方法一：如同检测普通二极管反向击穿电压值一样按图 2-5(a)接线。此时应选用 1 000 V 以下的兆欧表，而万用表的电压挡应视稳压管的稳压值而定，然后均匀转动兆欧表的手柄，等万用表指针稳定后，再读取万用表的电压值，此值即为该稳压管的稳压值。

② 方法二：将兆欧表换成一台 0～30 V 连续可调的直流稳电源，并串联一支 1.5 kΩ 的限流电阻，按图 2-5(b)连接。如果稳压管的稳压值在 13 V 以下时，将稳压电源调到 15 V。如果稳压管的稳压值在 15 V 以上时，将稳压电源调到 20 V 以上。此时万用表读取的电压值即

为该稳压管的稳压值。

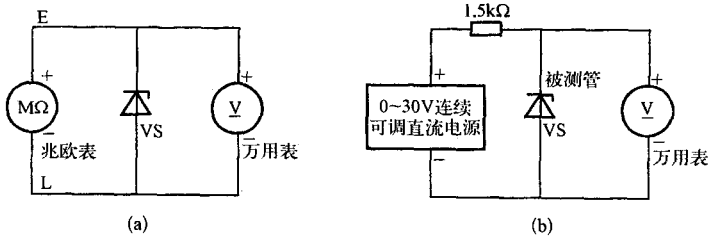


图 2-5　稳压管稳压值的检测电路

(a) 方法一;(b) 方法二

(3) 稳压管与普通二极管的鉴别

当一些稳压值较小的稳压标志不清或脱落时,可用下面方法鉴别出来:首先将二极管的正负极性判断出来,再用 500 型万用表的欧姆 $R\times10$ k 挡,黑表笔接二极管的负极,红表笔接二极管的正极。如果此时反向电阻值变得很小(与 $R\times1$ k 挡测量时相比较),则说明该管为稳压管。若测得反向电阻值很大,则说明该管为普通二极管。

五、万用表检测晶体管

(一) 万用表检测普通晶体管

普通晶体管内部存在两种电荷极性相反的载流子(电子与空穴),故称之为双极型晶体管。目前,国内外生产的晶体管型号已达上万种,封装形式及管脚排列差异很大。假如晶体管上的标记已模糊不清,无法根据型号查阅手册来确定电极位置,或者标记虽清楚而手册上却查不到,那么可借助于万用表的电阻挡迅速判定电极,进而还能准确测量出晶体管的 h_{FE} 值。

1. 判定晶体管电极的方法

(1) 判定基极

无论 PNP 管还是 NPN 管,均可看成是由两只二极管反极性串联而成的。图 2-6(a)、(b)分别代表 NPN 管和 PNP 管。其中,B 为基

极、E为发射极、C为集电极。利用基极对发射极、集电极具有对称性的结构特点，可以迅速判定基极。具体方法是用一只表笔碰触某个电极，再拿另一只表笔依次碰触其他两个电极，若测出的电阻值都很小（或者都很大，但交换表笔后又都很小），即可判定第一只表笔接的是基极；若两次测出的电阻值一大一小，相差很多，说明第一只表笔接的不是基极，应更换其他电极重测。

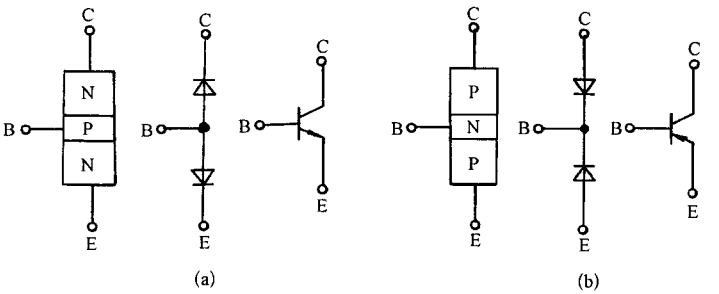


图 2-6　晶体管结构示意图

(a) NPN管；(b) PNP管

(2) 判定NPN管或PNP管

若已知黑表笔接的是基极，而红表笔依次接触另外两个电极时测出的电阻都较小，则属于NPN管；若两次测出的电阻值都比较大，即为PNP管。

(3) 判定发射极和集电极

确定基极之后，再测量E、C极间电阻，然后交换表笔重测一次，两次电阻值应不相等。其中电阻较小的一次为正常接法。正常接法时对NPN管而言，红表笔接E接，黑表笔接的是C极；对于PNP管，黑表笔接E接，红表笔接的是C极。判别理由如下：按正常接法时，E、C之间通过的电流较大，测出的电阻值就较小。由于管子内部结构并不完全对称，因此表笔接反了测出的电阻值就较大。

上述方法是通过比较C-E极间正-反向电阻的差异来识别E、C电极的，但此法并不完全可靠，若两次测出的电阻值非常接近，就容易

造成误判断，更可靠的方法是根据不同接法下管子的放大能力来作出判断，参见下文。

2. 准确测量晶体管的 h_{FE}

晶体管的共发射极直流电流放大系数用 h_{FE} 表示。采用下述方法，仅用一块万用表就能迅速、准确地测量小功能晶体管的 h_{FE} 值，而且能消除被测晶体管穿透电流 I_{CEO}、发射结正向导通压降 U_{BE} 和万用表内部电池电压 E 的影响。与专用晶体管测试仪相比，其测量误差低于5%，完全能满足常规测量的需要。

(1) 测量原理

准确测量晶体管 h_{FE} 值的电路，如图 2-7 所示。图中被测管为 NPN 管，对于 PNP 管应调换表笔位置。万用表拨至 $R\times100$（或 $R\times10$）挡。首先按(a)图所示在基极和集电极之间接固定偏置电阻 R_B，亦可用电阻箱或电位器代替。为便于计算，现取

$$R_B = mR_0 \qquad (2-3)$$

式中　R_0——万用表电阻挡的欧姆中心值；

m——正整数，通常取 10 的倍数，例如 40、50 等。

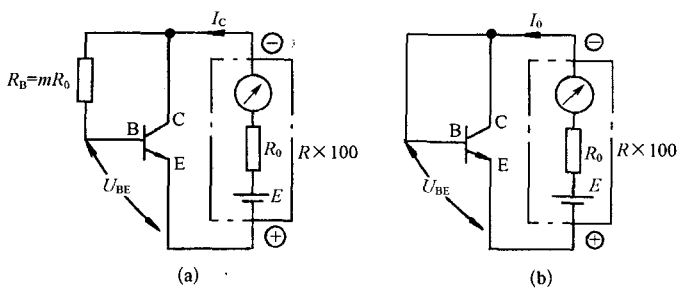


图 2-7　准确测量晶体管 h_{FE} 值的电路

(a) 测量步骤 1；(b) 测量步骤 2

在按照(a)图所示电路测量负载电流时，因 $I_B \ll I_C$，通过万用表的电流 $I=I_C+I_B\approx I_C$，故测出的电流就是集电极电流 I_C。有公式

$$I_C = \frac{E - U_{CE}}{R_0} \tag{2-4}$$

其中 $U_{CE} = U_{CB} + U_{BE} = I_B R_B + U_{BE}$

即 $U_{CE} = I_B m R_0 + U_{BE}$

代入式(2-4)中得到

$$I_C = \frac{E - I_B m R_0 - U_{BE}}{R_0} \tag{2-5}$$

然后按照(b)图接法将基极与集电极短接，仍采用测量负载电流法测出电流为 I_0，有关系式

$$I_0 = \frac{E - U_{BE}}{R_0}$$

从中解出 U_{BE} $U_{BE} = E - I_0 R_0$

将 U_{BE} 代入式(2-5)中得到

$$I_C = \frac{E - I_B m R_0 - (E - I_0 R_0)}{R_0} = I_0 - m I_B \tag{2-6}$$

再由式(2-6)求出

$$I_B = \frac{I_0 - I_C}{m}$$

最后推导出计算 h_{FE} 的准确公式

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_C}{\frac{I_0 - I_C}{m}} = \frac{m I_C}{I_0 - I_C} \tag{2-7}$$

实际上并不需要测出 I_C 与 I_0 的具体数值。很容易得到

$$h_{FE} = \frac{m U_{N1}}{U_{N2} - U_{N1}} \tag{2-8}$$

由式(2-8)可见，h_{FE} 与 I_{CEO}、U_{BE}、E 值均无关，仅与 U_{N2}、U_{N1} 的数值有关(m 值预先已确定)。因此该方法不仅简便易行，而且测量准确度

很高。

(2) 测量实例

① 测量一只 JE9013H 型 NPN 硅管，型号中的尾缀 H 表示 h_{FE} 的允许范围是 144～202。将 500 型万用表拨至 $R\times100$ 挡，该挡 $R_0=1\ k\Omega$。现取 $m=40$，故 $R_B=mR_0=40\times1\ k\Omega=40\ k\Omega$。按照(a)图所示方法测得 $U_{N1}=10\ V$，再把 R_B 短路时测出 $U_{N2}=12.2\ V$，代入式(2-8)中计算出另用 HS—450E 型晶体管图示仪测得 $h_{FE}=183$。与晶体管图示仪相比较，用万用表测量 h_{FE} 的相对误差 $\gamma=\dfrac{182-183}{183}=-0.55\%$。

② 被测管是 3 AX81A 型 PNP 锗管。这种管子的穿透电流较大，需用 $R\times10$ 挡测量。选择 MF30 型万用表 $R\times10$ 挡时，$R_0=250\ \Omega$，取 $R_B=mR_0=40\times250\ \Omega=10\ k\Omega$。先后测出 $U_{N1}=29\ V$，$U_{N2}=43\ V$，代入式(2-8)中算出 $h_{FE}=82.9$。另一台 JS—6B 型晶体管测试仪测出 $h_{FE}=87$(JS—6B 实际测量的交流放大系数 β 值，并且测试条件为 $I_C=3\ mA$，$U_{CE}=6\ V$)。由此求出相对误差 $\gamma=\dfrac{82.9-87}{87}=-4.7\%$。

(3) 测量注意事项

① m 值取 40～50 为宜。若 m 值过大，I_C 就很少，测量的 h_{FE} 值将明显偏低；若 m 值太小，也会测量误差增大。

② 对小功率硅晶体管而言，应选择 $R\times100$ 挡。该挡的满度电流一般为几毫安至几十毫安，测量时可提供几毫安的集电极电流，这与管子作正常放大时的 I_C 值比较接近，测出的 h_{FE} 值更具有典型性。对于穿透电流较大的锗管，应选择 $R\times10$ 挡，以减小测量误差。U_{N1}、U_{N2} 值须用同一电阻挡分别测出。由于 U_{N1}、U_{N2} 值比较接近，应尽量减小读数误差。

③ 由于万用表 $R\times100$ 挡和 $R\times10$ 挡的电池电压较低(仅为 1.5 V)，管子在低压下工作，因此用式(2-8)中算出 h_{FE} 值要比专用仪器测出的结果略偏低些，这属于正常现象。

④ 若将晶体管的 E、C 极接反了，h_{FE} 值就显著降低，例如从几十倍降至几倍，由此可准确判定 E、C 极。

（二）万用表检测场效应晶体管

场效应晶体管(FET)属于电压控制型半导体器件，它具有输入阻抗高、噪声小、功耗低、无二次击穿现象、安全工作区宽等优点。常见的场效应晶体管分两种：① 结型场效应晶体管(JFET)，它有两个 PN 结；② MOS 场效应晶体管，即金属-氧化物-半导体场效应晶体管(MOSFET)。下面重点介绍用万用表检测结型场效应晶体管的方法。

1. 判定结型场效应晶体管的电极

(1) 检测原理

单栅结型场效应晶体管的构造及符号如图 2-8 所示，三个电极分别为栅极 G、源极 S、漏极 D。国产 N 沟道管典型产品有 3DJ2、3DJ4、3DJ6、3DJ7，P 沟道管有 CS1～CS4，利用万用表 $R\times100$ 挡可以判定其电极。

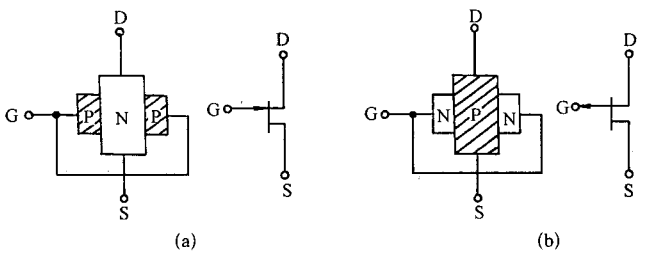


图 2-8　单栅结型场效应晶体管的构造及符号

(a) N 沟道管；(b) P 沟道管

由图 2-8 可见，在 G-S、G-D 之间各有一个硅 PN 结，栅极对源极和漏极呈对称结构。根据这一点很容易识别栅极。用万用表黑表笔碰触管子的一个电极，再拿红表笔依次碰触另外两个电极。若两次测出的电阻值都很小(几百欧至几千欧)，说明测的均是正向电阻，且压降 $U_F\approx0.65$ V，被测管属于 N 沟道场效应晶体管，此时黑表笔接的是栅极。若两次测出的电阻值都很大，说明均为反向电阻，被测管属于 P 沟道场效应晶体管，黑表笔接的也是栅极。由于源极和漏极在结构上是对称的，一般用万用表很难区分，且在多数情况下即使把两者接反了管

子照样能工作。若必须区分 S、D 极，可采用其他方法，通过测量放大能力来加以识别。按正常接法 JFET 的放大能力较强，S、D 极接反了放大能力略有降低。

(2) 检测实例

选择 500 型万用表 $R\times100$ 挡判定 3DJ6G 结型场效应晶体管的电极。为叙述方便，现按照管子的底视图，从管壳突起处顺时针方向给三个管脚编上序号①、②、③，全部测量数据见表 2-1。由表可见，当黑表笔接③时两次测出的都是正向电阻，由此判定③为栅极，且两个 PN 结的正向压降都是 0.675 V。其余两脚分别是源极和漏极，可互换使用，一般不必再区分了。对 3DJ6G 而言，①脚是源极，②脚是漏极。

表 2-1　测 量 数 据

红表笔接管脚	黑表笔接管脚	电阻值/Ω	U'_N/V	U_F/V	说　明
①	③	840	22.5	0.675	$U_F=0.03\,U'_N$
②	③	840	22.5	0.675	
①	②	2.02 k	—	—	
②	①	2.02 k	—	—	

2. *估测结型场效应晶体管的放大能力*

以 N 沟道管为例，将万用表拨至 $R\times100$ 挡，红表笔接源极 S，黑表笔接漏极 D，全场效应管加上电源电压，这时指针示出 D-S 极间电阻值。然后用手捏住栅极 G，将人体感应的 50 Hz 交流电作为输入信号加到栅极上。由于管子的放大作用，U_{DS} 和 I_S 都发生变化，这反映到 D-S 极间电阻的变化上，可观察到指针有较大幅度的偏转，例如从几百欧变成几千欧，或者阻值明显变小，若指针偏转很小，说明管子的放大能力弱；指针不动，证明管子已损坏。

MOS 场效应晶体管均属于绝缘栅型，具有很高的输入电阻，栅极与其他管脚的电阻都是无穷大，由此可判定栅极。但在测量时特别要

防止人体感应电压将管子损坏，必要时可给人体接一根地线。

六、万用表检测晶闸管

（一）万用表检测单向晶闸管

1. 极性的检测

目前国内常见的晶闸管主要有螺栓型、平板型和封装（金属或塑料）型，外形区别很大，可从外观上直接判别出其电极来，也可以用万用表对晶闸管的极性进行检测，具体方法如下。

选择万用表的欧姆 $R\times1$ k 挡，测量晶闸管任意两引脚之间的正、反向电阻，如果在测量过程中某两引脚间正、反向电阻值均趋于无穷大，则说明该两引脚一个是阳极 A，一个是阴极 K，那么另一引脚（两表笔未接触）就是门极 G。然后再用黑表笔接触门极 G 不动，红表笔依次接触另外两极（阳极 A 和阴极 K），其中测得电阻值较小的那次，红表笔接触的是阴极 K，电阻值较大的那次，红表笔接触的是阳极 A。

2. 性能的检测

（1）质量的检测

晶闸管内部共有三个 PN 结，只有这三个 PN 结的特性都良好时，晶闸管才能正常工作。因此，可用万用表检测每个 PN 结正、反向电阻值的方法，来判断晶闸管的好坏。

选择万用表欧姆 $R\times1$ k 挡，按表 2-2 中的内容进行检测。

表 2-2　晶闸管质量检测表

检测内容	正　向	反　向	说　　明
阳极 A 与阴极 K	∞	∞	质量良好
门极 G 与阴极 K	小于 2 kΩ	大于 80 kΩ	
阳极 A 与门极 G	几千欧或∞	几千欧或∞	
阳极 A 与阴极 K	很小或 0	很小或 0	内部击穿短路或漏电

（续　表）

检测内容	正　向	反　向	说　　明
门极 G 与阴极 K	很大或很小		G、K 极间开路或短路
	正、反向相等		G、K 极失去单向导电性
阳极 A 与门极 G	正、反向不相等		G、A 极间反向串联的两个 PN 结中的一个击穿短路

(2) 触发能力的检测

可采用以下两种方法对晶闸管触发能力进行检测：

① 方法一：用万用表直接检测。

如果是工作电流在 5 A 以下的小功率晶闸管，可选择万用表的欧姆 $R\times1$ 挡，红表笔接阴极 K，黑表笔接阳极 A，电阻值应为无穷在。此时用一条导线将门极 G 与阳极 A 相连，如图 2-9 所示。

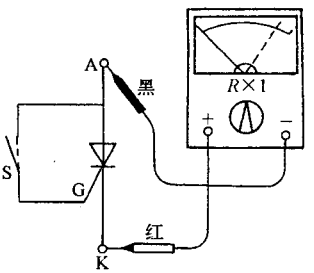


图 2-9　晶闸管触发能力检测电路(方法一)

即相当于给门极 G 加上一个正向触发电压，如果万用表指示的电阻值由无穷大变到几欧姆至几十欧姆范围内，则说明该晶闸管因正向触发而导通。然后，再断开门极 G 与阳极 A 连接的导线，如果万用表指示的电阻值仍保持在几欧姆至几十欧姆范围内没有变化，则说明该晶闸管触发性能良好。

如果是工作电流在 5 A 以上的中、大型功率晶闸管，因万用表 $R\times1$ 挡提供的电流偏低(通态压降 U_T、维持电流 I_H 及门极触发电压 U_G 均相对较大)，晶闸管不能完全导通，所以在黑表笔上串接一只 200 Ω 的可调电阻器和 1 节 1.5 V 干电池(如果晶闸管工作电流大于 100 A，应改用 3 节 1.5 V 干电池串联)，如图 2-10 所示。然后，再按上述方法进

行检测。

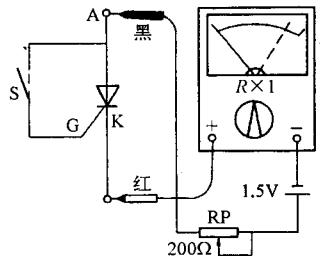


图 2-10 中、大型功率晶闸管检测电路

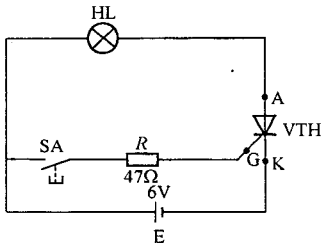


图 2-11 晶闸管触发能力检测电路(方法二)

② 方法二：检测线路如图 2-11 所示。HL 为 6.3 V 小灯泡(可用手电筒上的小灯泡)，E 为电源(可用 4 节 1.5 V 干电池串联或 6 V 直流稳压电源)。

当开关 SA 断开时，晶闸管处于阻断状态，小灯泡不亮，如果此时小灯泡亮了，则说明该晶闸管已击穿或漏电损坏。

将开关 SA 迅速闭合一下，晶闸管被触发而导通，此时小灯泡应很亮，再断开开关 SA，小灯泡仍很明亮，则说明该晶部管触发性能良好；如果断开开关 SA 后，小灯泡不很亮，则说明该晶闸管性能不良，导通压降大，可用万用表直接测量此时的管压降(一般正常时导通压降在 1 V 左右)；如果断开开关 SA 后，小灯泡随即熄灭，则说明该晶闸管触发性能不良或控制极损坏。

(二) 万用表检测双向晶闸管

1. 极性的检测

图 2-12 是几种常见双向晶闸管的引脚排列图，供使用时参考。

选择万用表的表欧姆 $R\times1$ 或 $R\times10$ 挡，分别检测双向晶闸管任意两引脚间的正、反电阻值。如果，某一引脚与其他引脚的正、反向电阻值均趋于无穷大，则此引脚即为主电极 T2，另外两个引脚为主电极 T1 和门极 G。然后，再用万用表检测另外这两引脚(T1 和 G 极)之间

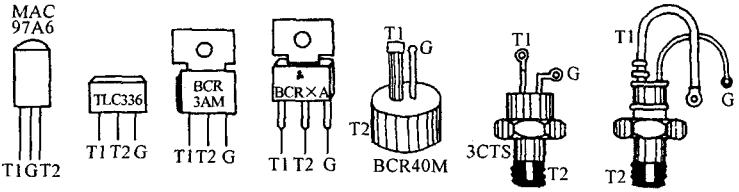


图 2-12　几种常见双向晶闸管引脚排列图

的正、反向电阻值。在电阻值较小的那次检测中黑表笔所接触的引脚是主电极 T1，红表笔接触的引脚即是门极 G(电阻值相对较大的那次检测中黑表笔所接触的引脚是门极 G，红表笔接触的引脚是主电极 T1)。

2. 性能的检测

(1) 质量的检测

首先，选择万用表的欧姆 $R\times1$ 或 $R\times10$ 挡，检测双向晶闸管的主电极 T1 与主电极 T2 之间、主电极 T2 与门极 G 之间的正、反向电阻值，均应趋于无穷大。如果电阻值均很小或为 0，则说明该晶闸管电极已击穿或漏电短路。

其次，再检测主电极 T1 与门极 G 之间的正、反向电阻值。如果正、反向电阻值在几十欧姆范围内，则说明该晶闸管性能良好；如果正、反向电阻值均趋于无穷大，则说明该晶闸管已开路损坏。

(2) 触发能力的检测

① 对于工作电流在 8 A 以下的小功率双向晶闸管，可选择万用表的欧姆 $R\times1$ 挡，红表笔接触主电极 T1，黑表笔接触主电极 T2，电阻值应为无穷大。此时用一条导线将主电极 T2 与门极 G 相连，相当于给门极 G 加上一个正极性触发电压，如果万用表指示的电阻值由无穷大变为十几欧姆，则说明该晶闸管已被触发导通，导通方向是 T2—T1。然后，再将红、黑两表笔对调(红表笔接触 T2，黑表笔接触 T1)电阻值也应为无穷大，再用导线将主电极 T2 与门极 G 相连，给门极 G 加一个负极性触发电压，此时电阻值应由无穷大变为十几欧姆，说明该晶闸管

已被触发导通，导通方向是 T1—T2。

如果在晶体管被触发导通后，断开门极 G，而 T2、T1 极间电阻值由低阻值变为无穷大，则说明该晶闸管性能不良或已损坏。如果给门极 G 加上正（或负）极性触发信号后，晶闸管 T1、T2 极间正、反向电阻值仍趋于无穷大（不导通），则说明该晶闸管无触发能力，已损坏。

② 而对于工作电流在 8 A 以上的中、大型功率双向晶闸管，选择万用表 $R\times1$ 挡后，在红或黑表笔上串联 1～3 节 1.5 V 干电池后，再按上述方法进行检测即可。

③ 如果要检测耐压在 400 V 以上的双向晶闸管，可利用图 2－13 的电路来进行检测，图中灯泡为 60 W/220 V，电源为市电（单相交流电 220 V）。

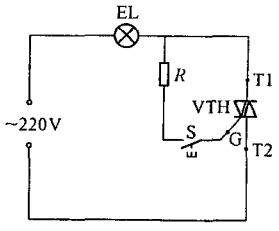


图 2－13　耐压 400 V 以上双向晶闸管检测电路图

当接通电源后，双向晶闸管处于截止状态，灯泡不亮。如果此时灯泡正常发光或微亮，则说明该被测晶闸管 T1、T2 极间已击穿短路或漏电损坏。将 S 开关迅速闭合一下，灯泡应正常发光。如果灯泡不亮，说明该被测晶闸管内部已开路损坏。断开开关 S 后，灯泡仍正常发光，说明该被测晶闸管性能良好；如果灯泡又熄灭了，说明该被测晶闸管触发性能不良。

第二节　万用表检修常用仪器仪表

在测试、检修种类繁多的仪器仪表过程中，有许多仪器仪表检修的方法可供选用。虽然检修仪器仪表的方法有多种，但是，在种类繁多的仪器仪表检修、测试中，通常采用的检修、测度方法是相同的。下面介绍仪器仪表的检修、测试方法，供读者在仪器仪表的检修、测试工作中参考。

一、万用表检修仪器仪表

（一）仪器仪表的检修步骤

1. 查找故障

（1）查找故障步骤

查找故障应遵循“化整为零，重点突破”的原则，即首先应该定性确定可能发生故障的大致范围，然后再进一步仔细查找，按以下步骤查找故障。

①“望”。先对被检修的仪器仪表的外观进行检查，查看损坏的部位，有无机械损伤、电气损伤、零件丢失等现象。

②“闻”。主动听取仪器仪表使用人员介绍发生故障时所观察到的异常现象等，这是在检修仪器仪表时应掌握的最基本资料。

③“问”。仪器仪表检修人员还有哪些没有了解清楚的质疑点或认为是关键性的问题，如操作者是否有误动作等，可再询问现场人员。

④“切”。分析故障原因。

（2）查找故障注意事项

① 检修较复杂仪器仪表，应参照电路图并对照实物进行。若有印制电路板及元件布置图，就更为方便；如果图纸资料已遗失或者仪器仪表出厂时未带电路图，应进行实际测绘。可以绘制出整机电路，也可只绘制有故障部分的电路。

② 在检修过程中，如果还没确定仪器仪表损坏的原因，不得接通电源。

③ 查找仪器仪表故障时，应先从电源查起。尤其出现整机不工作、指示灯不亮现象时，首先应怀疑电源部分。但不可忽视由于电源插头松动、断线、熔断器烧坏、电源开关接触不良等原因，也会造成整机不工作等现象。如果没有发现以上现象，应打开机壳，观察电源变压器有无被烧痕迹。值得注意的是，仪器仪表中有一路电源出问题，也可能导致全机不工作。

2. 排除故障

待故障原因分析清楚后，检修仪器仪表，排除故障。排除故障要力求彻底，不留隐患。

仪器仪表检修结束后，先不要装外壳，应再通电检查一次，认为确已检修无误后再装机。条件允许时应按原技术条件对仪器仪表进行绝缘和耐压试验，但大修后必须进行绝缘和耐压试验，最后填好仪器仪表检修卡片。

仪器仪表只有将日常维护保养、定期检验结合起来，才能确保仪器仪表的各项技术指标，延长仪器仪表的使用寿命。

（二）仪器仪表的检修方法

1. 直观检查法

仪器仪表检修的直观检查法和后文指针式万用表的维护检修的直观检查法相类似，这里不再赘述。由于直观检查法简便易行，通常被广泛地穿插运用在仪器仪表检修的各个步骤之中，特别是在初步检查确定仪器仪表整机故障症状和缩小故障范围，找出仪器仪表局部故障元件位置过程中。但是直观法也存在局限性，因为有时所感觉到的只是故障表面现象及其后果，并不是发生故障的根本原因，何况有些元器件的损坏变质（如管子衰老）或虚焊，从外表是看不出迹象的。

2. 元件替换法

在检修过程中，对于可疑的元器件、部件及插件，都可用同类质量良好的产品进行替换试用。替换的目的仅在于缩小故障的范围，减少怀疑对象，而不一定就能立刻查明故障原因，但它却为进一步确定故障根源创造了条件。

3. 交流短路法

交流短路法又称电容旁路法，是一种利用一定电容量和耐压的电容器，对被检修仪器仪表的某一部位进行旁路检查的方法。对于检查电源干扰、噪声、纹波、自激振荡等故障，此法具有简便迅速的优点。但应用时须注意两点：① 若在短路某一级时，故障消失或明显减小，则说明故障位于短路点之前，而故障无明显变化，便是在短路点之后；② 如果欲短路两点之间的直流电位不等，相差几伏以上，就不能直接短路，必须经过一个适当大的电容后再短路，即只可短路掉交流信号。

4. 分割检修法

分割检修法又叫电路分割法，是把仪器仪表内与故障相关的电路，合理地一部分一部分地分割开，以便确定故障所在电路范围的一种故障检查的方法。此方法是在不影响其他电路正常工作的前提下，把可疑部分从整机或单元电路中断开。只要故障消失，就证明故障在被断开的电路中，通过分割检查，肯定一部分，否定一部分，来缩小故障范围。

5. 参数检查法

参数检查法是通过检查各级工作点的电压或电流值，其与仪器仪表说明书提供的参考数据(或自己过去测出的典型数据)相比较，判断出故障位置。一般来讲，检测数据和参考数据基本相符即可，即5%～10%以内的误差是可接受的。

6. 测量元件法

当故障范围已缩小到某个或几个元件时，可对其进行在线测量或脱离线路的测量。例如用万用表电阻挡可查出电阻内部的短路、断路、电容的短路，通过观察较大电容量电容器的充电情况，还可判断其电容量是否明显减小，甚至消失。当然，在测量印制电路板上的元器件时，必须考虑与之并联或串联的其他元器件的影响。

7. 波形观察法

波形观察法是一种仪器仪表的动态测试检查法，通过观察被检修仪器仪表的故障部位或相关部位的波形、幅度、脉冲宽度、周期等，以判断电路是否正常工作。此方法是可以定量检查出故障大小的一种重要检修方法。

8. 信号追踪法

用一台信号发生器向被检测仪器注入幅度和频率都适宜的电压信号，然后由前一级往后一级，逐级追踪输入信号的去向，最好同时用一台示波器监视波形。若信号在某一级中断、不放大或开始出现严重失真、自激振荡等现象，则故障大致就在此级。此法常用来检查放大器、示波器，其优点是迅速直观，故障不易遗漏，并且可用来检查数字电路。

9. 软故障处置法

所谓软故障是相对于硬故障而言的。硬故障是指容易查明的显性故障，例如元器件彻底损坏、断线、漏焊、搭锡、电池渗出电解液、液晶显示器破裂或表面发黑等。而软故障则属于隐性故障，故障现象时隐时现，仪器时好时坏，一时难以发现其变化规律的隐性故障。此类故障最复杂，也最令人感到头痛。常见原因有焊点松脱，插件松动，波段开关接触不良，元器件的工作参数接近临界值，元器件性能不稳但未坏。此外，也可能由于外界因素造成的，例如环境温度过高或过低，电网电压

不稳定，也都会影响仪器的正常工作。

对于仪器本身的软故障有两种处置方法：一是人为地促使软故障变成永久故障，例如让仪器长时间工作使某些将坏还没有坏的元器件烧坏而暴露出来、振动仪器、按压可疑的印制电路板、拨动可疑的引线或元器件，同时观察故障有无变化；二是对可疑的部位进行仔细普查，如印制电路板是否松动、有无裂纹或搭锡的地方、元器件是否虚焊等，对表面光亮而又可能虚焊的焊点也不应放过，必要时应重焊。

10. 应急检修法

在现场测试过程中，仪器仪表突然发生故障而又不希望中断测量，可采用应急检修法。其前提条件是检修时间必须短暂，并且不能改变仪器的基本性能指标。在检修(或处理)方法上，可以灵活变通，大多采用零部件或元器件替换法，以充分利用测试现场所具备的条件。例如，两台供测温比率计使用的 10 V 供电装置中突然有一台损坏，可用剩下的一台供电装置同时给比率计供电，考虑到 10 V 供电装置的输出功率留有较大余量，这样并不影响测量准确度；假定数字频率计的十位数码管突然损坏，可把测量时暂时不用的高位数码管拨下换下，也不会影响测量；若某个仪器开关损坏，可临时将开关短路，使电路接通。

需要注意，应急检修法只是权宜之计，测试完毕应及时将仪器仪表修理好并恢复原状。

二、万用表检修数字电压表

数字电压表的英文缩写为 DVM。目前，配 3½ 位液晶显示器的数字电压表 DVM(含数字面板表 DPM)，普遍采用 ICL7106 型单片 A/D 转换器，其同类产品还有 TS7106、TC7106、CC7106、CH7106，它们的内部电路相同，可互相代换。下面介绍 3½ 位数字电压表的电路原理与检修方法。

(一) 3½ 位数字电压表的电路原理

由 ICL7106 构成的 3½ 位数字电压表电路如图 2-14 所示，该仪表的基本量程 $U_M=200$ mV，但通过外部精密电阻分压器可扩展成多量程数字电压表。R_1、C_1 分别为振荡电阻和振荡电容，R_2 与 RP 构成基准

电压分压器，RP 宜采用精密多圈电位器，调整 RP 使基准电压 $U_{REF}=U_M/2=100.0$ mV，满量程电压 U_M 就设定为 200 mV，两者呈 1∶2 的电容和自动调零电容。R_3、C_3 组成模拟输入的阻容滤波器，能抑制外界高频干扰，C_2、C_4 分别为基准电容和自动调零电容，R_4、C_5 依次为积分电阻与积分电容，仪表采用 9 V 叠层电池，配 3½位液晶显示器(LCD)，测量速率约为 2.5 次/s。

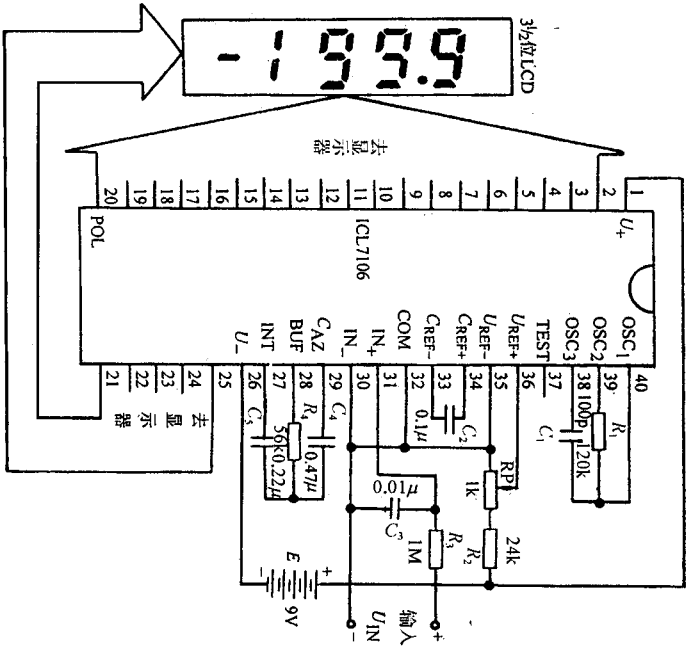


图 2-14　3½位数字电压表电路

(二) 数字电压表的检修方法

1. ICL7106 型单片 A/D 转换器的功能检查

功能检查的目的在于判断 ICL7106 的质量好坏，进而区分数字电

压表的故障范围是在A/D转换器，还是在外围电路。以200 mA量程的数字电压表为例，功能检查可分以下四步进行(电路参见图2-15)：

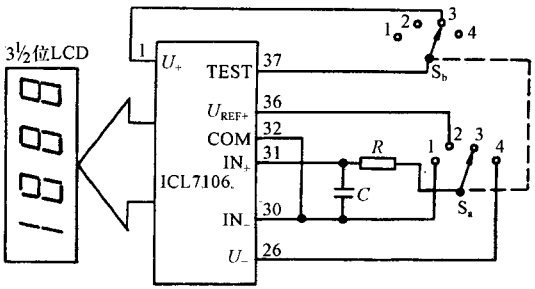


图2-15 ICL7106功能检查电路

(1) 检查零输入时的显示值

将ICL7106的模拟输入端IN_+、IN_-短接，使输入电压$U_{IN}=0$ V，仪表应显示“00.0”。

(2) 检查比例读数

将U_{REF+}与IN_+短接，用基准电压代替输入电压，即$U_{IN}=U_{REF}=100.0$ mV，仪表应显示“100.0”。此步骤称为“比例读数”检查，它表示$U_{IN}/U_{REF}=1$时仪表显示值。

(3) 检查全显示笔段

将测试端(TEST)接电源正端(N_+)，令内部数字地变成高电平，全部数字电路注停止工作。因每个笔段上都加有直流电压驱动信号(正常显示时应当加上交流方波进行驱动!)故仪表应显示全部笔段“1 888”(此时小数点驱动电路不工作)。为避免降低液晶显示器的使用寿命，检查时间应控制在1 min之内。

(4) 检查负号及溢出显示

将IN_+端接U_-，使$U_{IN}<0$ V，且$|U_{IN}|>200$ mV，仪表应显示“−1”。

2. *数字电压表常见故障及检修方法*

数字电压表常见故障及检修方法如表2-3所示。

表 2-3　数字电压表常见故障及检修方法

故障现象	故障分析及检修
(1) 开机后无任何显示	① 电池电量耗尽，应更换新电池 ② 液晶显示器漏液，表面有裂纹，或严重衰老后表面呈黑色。均需更换显示器 ③ ICL7106 损坏。可对其进行功能检查，确认损坏后再更换芯片 ④ 因仪表内部进水、潮气太多，或电池漏液，造成 ICL7106 引脚与印制电路严重漏电。可用无水酒精棉球揩净水渍及污垢，再放到暖气片上或灯泡附近烘干
(2) 显示字形暗淡	① 电池电量不足 ② 液晶显示器衰老
(3) 显示笔段残缺不全	① 液晶显示器侧面的引线断裂。可用消尖的 4H 铅笔在断裂处划几次，利用导电的石墨线接通断脚 ② 显示器局部损坏，某些段不能显示；显示器与导电橡胶条接触不良
(4) 显示笔段杂乱无章	① 附近存在强电磁干扰，造成个位和十位跳数。应尽量远离干扰源并采取屏蔽措施 ② 由于印制板漏电，造成 A/D 转换器的相邻管脚短路，使不该显示的笔段也获得驱动信号
(5) 多量程数字电压表不能测量或测量误差明显增大	① 分压电阻开路 ② 量程转换开关接触不良 ③ 仅个别挡测量误差增大，通常是该挡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金属膜电阻代替之 ④ 若全部电压挡按相同的比例超差，通常是基准电压调整电位器的滑动触头改变位置，必须重新调整基准电压值，再用石蜡将调整部位封死 ⑤ 因积分电容器漏电而造成漂移，影响了仪表的稳定性。积分电容宜采用漏电小、介质损耗低的聚苯乙烯或聚丙烯电容器

三、万用表检修低频信号发生器

低频信号发生器能发出 20 Hz～200 kHz 的正弦波信号，它包含了音频(20 Hz～20 kHz)和超音频(20～200 kHz)。典型产品有 XFD6 型低频信号发生器，该仪器价格低，性能稳定，可靠性好。下面介绍其电路原理与检修方法。

(一) XFD6 型低频信号发生器的电路原理

XFD6 型低频信号发生器设有 4 个频段：20～200 Hz、200 Hz～2 kHz、2～20 kHz、20～200 kHz。输出电压有效值分 0～20 V(高阻抗输出)、0～1 V(低阻抗输出)两种，均连续可调。输出衰减分 4 挡：×1、×0.1、×0.01、×0.001，频率误差为±2%，频率响应则为 20 Hz～200 kHz±1dB。XFD6 型低频信号发生器的框图和总电路分别如图 2-16、图 2-17 所示。电路主要包括文氏桥振荡器(含文氏桥的 4 个桥臂及正、负反馈网络)、功率放大器、阴极输出器、输出指示器和电源。

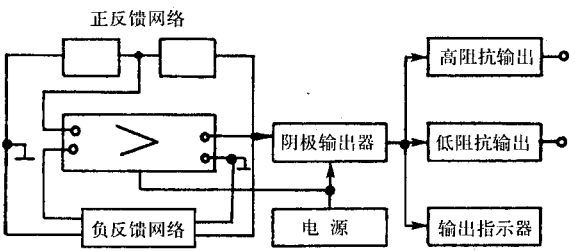


图 2-16 XFD6 型低频信号发生器的框图

1. 文氏桥振荡器

文氏桥振荡器具有选频特性好、输出失真小、操作简便、调节范围宽等优点。文氏电桥由振荡管(V_1，6J8P)和 4 个桥臂构成，以 20～200 Hz 频段为例，这 4 个桥臂分别是：R_1 串联 C_{1A}，R_5 并联 C_{1B}，(R_9+R_{10})，R_{12}。振荡频率由下式确定

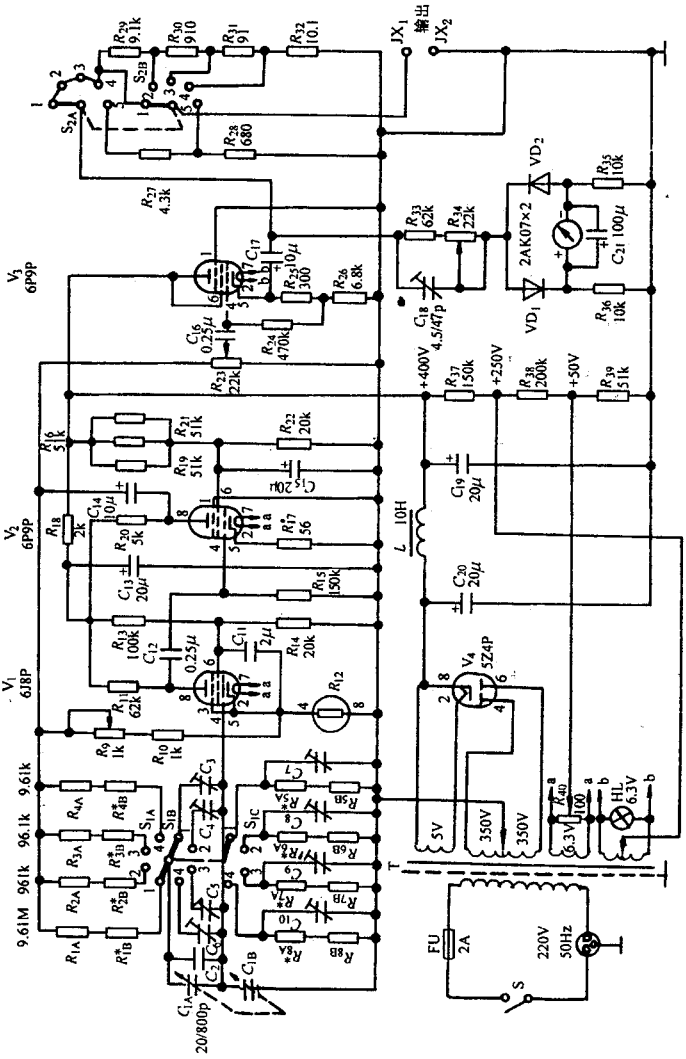


图 2－17　XFD6 型低频信号发生器的总电路

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_5C_{1A}C_{1B}}} \tag{2-9}$$

输出为正弦波。通过调节双连电容器 C_{1A}、C_{1B}，即可改变振荡频率。为解决振荡频率的稳幅问题，负反馈电阻 R_{12} 采用钨丝灯泡，其冷态电阻值很小，引入的反馈量也很小；起振后钨丝发热，电阻值急剧增大，负反馈量随之增大，使电路能维持等幅振荡。

2. 功率放大器

振荡管 V_1 产生的正弦波信号送入 V_2(6P9P)进行功率放大。V_2 的输出经 C_{14} 隔掉直流分量后分成三路：第一路给 V_1 的栅极提供正反馈电压；第二路经 R_9、R_{10} 接 R_{12}，构成电压负反馈电路；第三路经 R_{23}、C_{16} 耦合到阴极输出器 V_3 的栅极。

3. 阴极输出器

为提高输出能力，由 V_3(6P9P)和 R_{29}～R_{32} 组成阴极输出器，改变 S_2 的位置可选择不同的衰减比。

4. 输出指示器

由 VD_1、VD_2、R_{35}、R_{36} 构成桥式检波电路，配 82C1 型 100 μA 微安表。C_{21} 用来滤除检波后的脉动成分，防止指针抖动，C_{18} 为频率补偿电容，R_{34} 用来调整表头满度值及线性度。

5. 电源

220 V 交流电首先经电源变压器 T 升压，然后经整流管 V_4(5Z4P)全波整流和 π 型滤波，获得+400 V 直流高压，作为阳极电压。再通过 R_{37}～R_{39} 分压后得到+250 V、+50 V 两路电压，分别给两组灯丝提供正电位，使灯丝对阴极呈高电位，可抑制灯丝上的 50 Hz 干扰。

(二) XFD6 型低频信号发生器常见故障检修

用 500 型万用表实际测量各级电子管的工作电压值见表 2-4，可供检修时参考，下面介绍常见故障的检修方法。

1. 频率不准

若个别频段的频率不准，应检查该挡桥路的调整电阻与补偿电容是否变值。若四个频段的频率都不准，需重点检查交流电源电压是否

表 2-4　各级电子管对地的电压值

电子管序号	电子管型号	阳极电压 U_a/V	控制栅压 U_{g1}/V	帘栅压 U_{g2}/V	阴极电压 U_k/V
V_1	6J8P	250	0	50	1
V_2	6P9P	175	0	140	2.2
V_3	6P9P	400	2.7	400	200

偏高或偏低，公用桥臂元件 C_1、(R_9+R_{10})是否变值，钨丝灯泡 R_{12} 是否发红(正常情况下灯丝不红)。

2. 停振

若用示波器观察不到 V_1 产生的振荡波形，即是停振。造成停振的原因有：R_{12} 损坏或接触不良，V_1 衰老，电桥开路，双连电容器 C_1 碰片。此外，当 R_9 阻值调得太小，负反馈量过大时，也无法起振。若振荡器工作正常而输出端无输出，应重点检查波段开关 S_2 是否断线或接触不良，当 S_2 接触不良时，会造成某一挡的输出信号大幅度降低。

3. 频率不稳定

由于未采用稳定电源，因此当电网电压波动较大时会直接影响频率的稳定性。此外，双连电容器受到外界震动，容量不断变化；振荡管衰老后跨导和内阻不稳定；负载发生大幅度变化，也都是可造成频率不稳的原因，必要时可更换振荡管 V_1，但管子须预先进行老化处理，使之性能趋于稳定。

4. 非线性失真

首先确定是哪一级产生的失真。当桥路失真大时，可调整 V_2 的阴极负反馈电阻 R_{17}，增大 R_{17}，可减小失真；当因振荡幅度过高，使管子进入特性曲线的弯曲部分而引起失真时，可适当调整 R_9，减小 R_9，能增加负反馈量，降低振荡幅度，使管子工作在线性区。但 R_9 调得过小，有可能造成电路停振；当输出正弦波有截幅失真时，应检查钨丝灯泡是否发

红，必要时重新调整 V_1 的工作点。

5. 输出波形中有 50 Hz 调制现象

可能的原因是滤波电容 C_{19}、C_{20}、C_{13} 的容量减小，滤波不净；6.3 V 绕组的平衡电位器 R_{40} 开路，另一 6.3 V 绕组的中心抽头断开；还可能是电源变压器的漏磁较大、接地点焊接不良、振荡器未装屏蔽罩等原因。

6. 输出指示器调不到零点，高频段指示偏低

在 1 kHz 振荡频率下调整电位器 R_{34}，可达到满度并改善线性度。在 200 Hz 振荡频率下调整 C_{18}（4.5/47 pF），能改善频率响应。

7. 分压器的衰减比不对

分压电阻变值，仪器的衰减比误差规定为±5%。×1 挡要求负载阻抗不低于 10 kΩ，其余三挡不低于 100 kΩ。

四、万用表检修电子示波器

电子示波器亦称阴极射线示波器，简称示波器。示波器作为一种常用电子测量仪器，已广泛用于生产、科研、国防和教育领域。下面以 SB—10 型示波器为例，介绍用万用表检修示波器的方法。

（一）SB—10 型示波器的电路原理

国产 SB—10 型示波器的总电路如图 2-18 所示。电路主要包括以下 6 部分。

1. 示波管及外部控制电路

它采用 13SJ37 型静电偏转式单枪示波管（V_{18}）。外部控制电路主要包括辉度调节电位器 RP_7、聚焦电位器 RP_9、辅助聚焦电位器 RP_8，此外还有 X 轴位置、Y 轴位置调节电位器、回扫线消隐电路。

2. Y 轴放大器

包括 Y 轴衰减器，阴极输出器 V_1，宽频带电压放大器 V_2、V_3，倒相平衡输出放大器 V_4～V_7。

3. X 轴放大器

包括 X 轴衰减器，X 轴放大器 V_{11}，倒相平衡输出放大器 V_{12}、V_{13}。

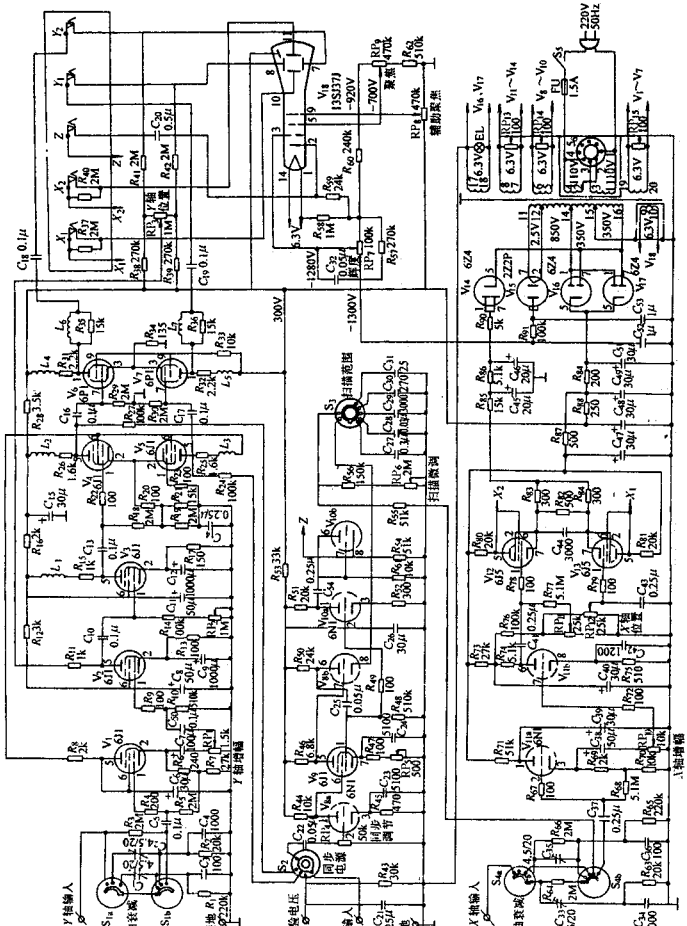


图 2－18　SB—10 型示波器的总电路

4. 扫描发生器

扫描发生器亦称锯齿波振荡器，由双三极管 V_{10}（V_{10A}、V_{10B}）、电容器 C_{27}～C_{31} 等组成。本仪器的扫描频率范围是 10 Hz～500 kHz，具有“扫描粗调”和“扫描微调”两种调节方式。

5. 同步放大器

所谓“同步”，是指用输入信号控制扫描频率，确保能显示出稳定的波形。同步放大器由电子管 V_8 和 V_9 构成。

6. 电源

220 V 交流电依次经过电源变压器、整流滤波后，获得所需直流高压（－1 300 V）、阳极电压（＋300 V）、多路输出的 6.3 V 灯丝电压，供整机电使用。

（二）SB—10 型示波器的常见故障及检修方法

用 500 型万用表和 DYF—5 型电子管复用表实测各级电子管的工作电压值见表 2－5。各电子管对地的电阻值见表 2－6，可供检修时参考。SB—10 型示波器的常见故障及检修方法见表 2－7。

五、万用表检修晶体管测试仪

晶体管测试仪适合于在电路试验、整机生产和维修工作中对晶体管进行测试、比对和筛选。JS—6B 型晶体管测试仪能测量小功率晶体管的多科参数，包括其发射极、交流电流放大系数 β 值，集电极反向截止电流 I_{CBO}，集电极与发射极之间的穿透电流 I_{CEO}，集电极电流 I_C，共发射极输入阻抗 h_{ie}。此外，该仪器还能代替万用表测量交、直流电压、直流电流和电阻。其附加用途是还可作为 1 kHz 正弦波信号发生器，灵敏度为 5 mV 的晶体管交流电压表，以及 1.5 V、6 V、12 V 直流电源。它具有用途广、价格低、操作简便等优点。

（一）JS—6B 型晶体管测试仪的电路原理

JS—6B 型晶体管测试仪的框图和总电路分别如图 2－19、图 2－20 所示。电路主要包括 1 kHz 正弦波发生器、恒流分压电路、放大器、检波器、指示器、万用表测量电路（AVO）和电源。

表 2-5　各电子管对地的电压值

电子管序号 / 电压值 / V　电子管型号		1脚	2脚	3脚	4脚	5脚	6脚	7脚	8脚	9脚	10脚	11脚	备注
V_1	6J1	11	23	—	—	135	135	23	—	—	—	—	—
V_2	6J1	—	0.87	—	—	0.87	95	0.87	—	—	—	—	—
V_3	6J1	—	1.4	—	—	110	115	14	—	—	—	—	—
V_4	6J1	18	27.5	—	—	140	150	27.5	—	—	—	—	—
V_5	6J1	17.5	27.5	—	—	140	150	27.5	—	—	—	—	—
V_6	6P1	215	235	11.5	—	—	215	0.05	—	—	—	—	—
V_7	6P1	210	235	11.5	—	—	210	0.05	—	—	—	—	—
V_8	6N1	80	—	0.85	—	—	105	80	—	—	—	—	—
V_9	6J1	−0.13	1.3	—	—	80	80	1.3	—	—	—	—	—
V_{10}	6N1	7.5	−0.13	0.04	—	—	−0.05	−0.05	—	—	—	—	—
V_{11}	6N1	220	3.6	28	—	—	155	0	—	—	—	—	—
V_{12}	6J5	7	16	—	—	225	225	16	—	—	—	—	—
V_{13}	6J5	10.6	16	—	—	225	225	16	—	—	—	—	—
V_{14}	6Z4	−287	—	—	—	(340)	—	−287	—	—	—	—	屏帽 −1 400

（续 表）

电子管型号 \ 电压值/V \ 电子管序号		1脚	2脚	3脚	4脚	5脚	6脚	7脚	8脚	9脚	10脚	11脚	备注
V_{15}	2Z2P	330	1 180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V_{16}	6Z4	(330)	—	—	—	370	—	(330)	—	—	—	—	—
V_{17}	6Z4	(330)	—	—	—	370	—	(330)	—	—	—	—	—
V_{18}	13SJ37J	−1 180	−1 300	−1 280	—	−800	—	190	195	237	225	225	加速极300

注：括弧内数据为交流电压值。电子管的栅极输入电阻很高，须用DYF—5型电子管复用表测量栅极电压。

表 2-6 各电子管各电极对地的电阻值

电子管型号 \ 电阻值/Ω \ 电子管序号		1脚	2脚	3脚	4脚	5脚	6脚	7脚	8脚	9脚	10脚	11脚	备注
V_1	6JI	1.7 M	2.9 k	—	—	9 k	90 k	2.9 k	—	—	—	—	—
V_2	6J1	520 k	90	—	—	100 k	95 k	90	—	—	—	—	—
V_3	6J1	340 k	150	—	—	93 k	90 k	150	—	—	—	—	—
V_4	6J1	1.7 M	1.6 k	—	—	93 k	93 k	1.6 k	—	—	—	—	—
V_5	6J1	1.7 M	1.6 k	—	—	93 k	93 k	1.6 k	—	—	—	—	—

（续 表）

电子管型号	电子管序号 / 电阻值/Ω	1脚	2脚	3脚	4脚	5脚	6脚	7脚	8脚	9脚	10脚	11脚	备注
V_6	6P1	90 k	100 k	135	—	—	90 k	1.7 M	350	100 k	—	—	—
V_7	6P1	90 k	100 k	135	—	—	90 k	1.7 M	150	100 k	—	—	—
V_8	6N1	130 k	0	470	—	—	125 k	130 k	47 M	—	—	—	—
V_9	6J1	540 k	470	—	—	130 k	130 k	470	—	—	—	—	—
V_{10}	6N1	130 k	540 k	260	—	—	10 k	10 k	50 k	—	—	—	—
V_{11}	6N1	135 k	4.8 M	12.5 k	—	—	80 k	10 k	520	—	—	—	—
V_{12}	6J5	5 M	9 M	—	—	100 k	100 k	9 M	—	—	—	—	—
V_{13}	6J5	10 k	9 M	—	—	100 k	100 k	9 M	—	—	—	—	—
V_{14}	6Z4	9 k	—	—	—	100	—	9 M	—	—	—	—	屏帽 1.4 M
V_{15}	2Z2P	—	1.6 k	—	—	—	—	1.6M	—	—	—	—	—
V_{16}	6Z4	100	—	—	—	100 k	—	100	—	—	—	—	—
V_{17}	6Z4	100	—	—	—	100 k	—	100	—	—	—	—	—
V_{18}	13SJ37J	2.3 M	1.3 M	1.3 M	—	800 k	—	2 M	2 M	125 k	125 k	125 k	加速极 23 M

表 2-7 SB—10 型示波器常见故障及检修方法

故障现象	故障分析及检修
(1) 开机后无光点	① 示波管损坏，包括灯丝断、管子漏气、严重衰老。应更换新示波管 ② 无高压。高压电源出现故障，整流管损坏 ③ 示波管的栅极电压 $U_{gk}<-100$ V，使电子束完全截止 ④ 将 X 轴、Y 轴偏转板分别短路，若出现光点，说明 X 轴或 Y 轴放大器发生故障；若仍无光点，应检查示波管各级电压值或更换示波管 ⑤ 倒相平衡输出级有一只管子损坏时，会使光点偏向一侧，甚至移出屏幕
(2) 光点暗淡	① 示波管衰老 ② 电源电压低落 ③ 第三阳极的高压帽脱开
(3) 辉度不能调节	① 示波管灯丝与阴极之间严重漏电 ② 栅极电位升高，使辉度调节电位器失去控制作用
(4) 不能聚焦或聚焦不好	① 聚焦电位器损坏。聚焦电压不正常 ② 滤波不好，脉动太大，聚焦成长条形 ③ 电源变压器的漏磁进入示波管，使电子束发生偏转，光点变成斜长的小环。可给电源变压器加屏蔽，或使漏磁通与电子束方向平行
(5) 在水平或垂直方向不能放大或放大倍数减小	① 把信号分别注入 X 轴和 Y 轴放大器，用另一台示波器逐级追踪信号，查出故障位置。也可用手指尖碰输入插孔，利用人体感应的 50 Hz 交流电压来代替信号发生器，观察屏幕上能否出现亮线 ② 拿万用表测量可疑处电子管的静态工作点，检查在调节移位电位器时，其滑动触头上的电位是否发生变化。若根本不移位，还应检查偏转板是否断线

（续 表）

故障现象	故障分析及检修
(6) 无扫描线	首先确定故障位置，具体方法是关掉扫描后，从 X 轴放大器输入交流信号或者人体感应电压，若出现水平线，则故障发生在扫描发生器。若没有水平线，可把 220 V 交流电压直接加到水平偏转板上，如有了水平线，说明 X 轴放大器有问题；否则须检查示波管 ① 扫描发生器中的双三极管 V_{10}（V_{10A}、V_{10B}）损坏，扫描电容器 C_{27}～C_{31} 击穿 ② 扫描开关接触不良 ③ 扫描微调电位器断线时，会造成扫描线时有时无，且扫描电压幅度很低 ④ 仅在某一挡不扫描，可能是该挡转换开关接触不良，扫描电容器漏电 ⑤ 仅在高频扫描挡停振，是 V_{10} 衰老所致
(7) 扫描波形失真	① 因锯齿波幅度过高或 X 轴放大器增益变大而产生截幅失真 ② 扫描电容器严重漏电，使振荡频率不稳定 ③ 锯齿波被 50 Hz 交流电所调制。将灯丝线尽量远离扫描管的栅极。必要时还可给扫描管的阳极电源增加一级滤波器，以减小纹波
(8) 扫描线拉不开	原因是扫描电压过低。应检查扫描管是否衰老。若只发生在某一挡，可能是扫描电容器漏电
(9) 屏幕上出现回扫线	① 电容器 C_{32} 开路 ② 回扫负脉冲的幅度太低，要求其峰—峰值为 30 V

（续 表）

故障现象	故障分析及检修
(10) 同步调节不起作用	① 同步开关接触不良 ② 存在交流干扰
(11) 水平放大器有明显失真	① 扫描发生器的输出电容器 C_{37} 漏电 ② 水平偏转板的插座接触不良

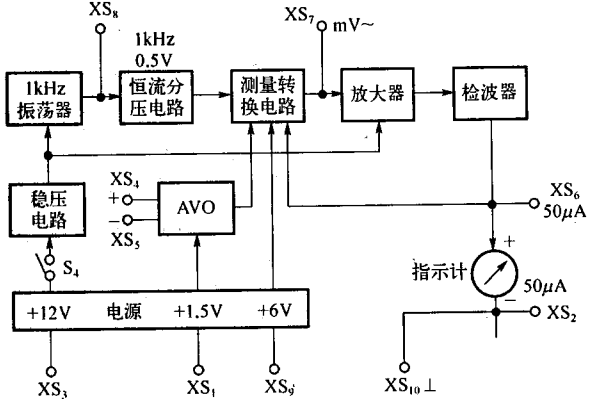


图 2－19 JS—6B 型晶体管测试仪的框图

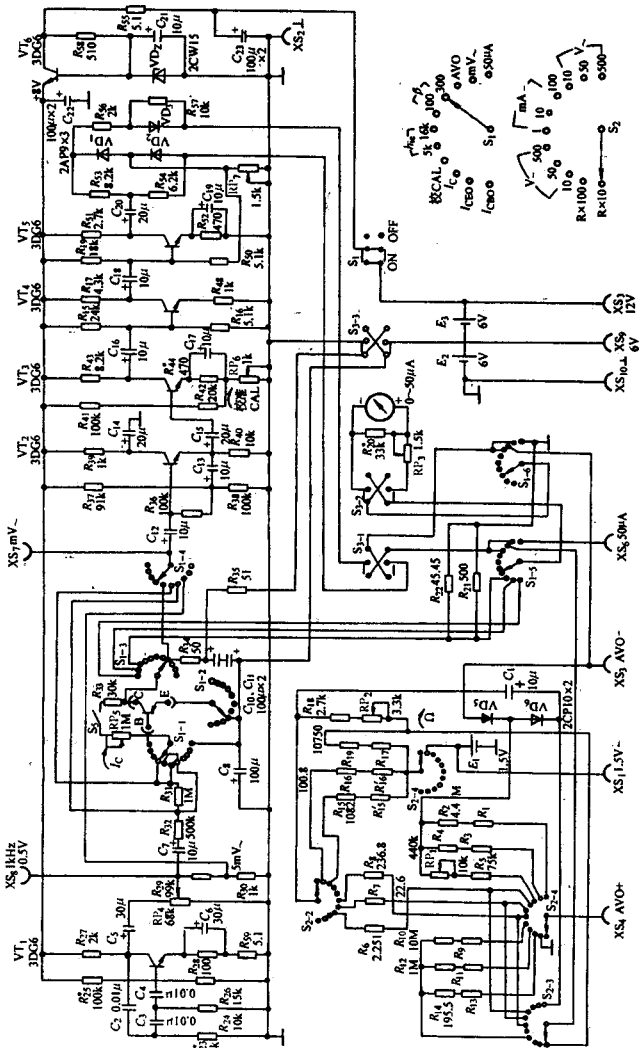


图 2－20　JS—6B 型晶体管测试仪的总电路

由晶体管 VT_1、电容器 C_2～C_4、电阻 R_{23}、R_{24} 和 R_{25} 组成三节 RC 网络移相式振荡器。过恒流电路，送给被测管一定的信号电源。将 S_1 拨至“mV～”挡时，由 VT_2～VT_5 组成一个 0～5 mV 的交流毫伏表，用来测量晶体管的共发射极输入阻抗 h_{ie} 和交流电流放大系数 β。VT_3～VT_5 构成三级阻容耦合式放大器，VD_1～VD_3 为检波二极管。由微安表以及 RP_3、R_{20} 构成满度电流为 50 μA、内阻为 4.5 kΩ 的指示计，调节 RP_3 可使放大器在输入 5 mV 交流信号时，指示计恰好满度。

仪器的电源共有三组：E_1 采用一节 1.5 V 的一号电池，供 AVO 挡测电阻用，E_2、E_3 为两节 6 V 叠层电池，E_2 给被测管提供偏置电源。此外，由 E_2 和 E_3 串联而成的 12 V 电源，还通过稳压器获得 8 V 稳定电压，供给振荡器和放大器使用。稳压器电路中包含调整管 VT_6、稳压管 VD_Z，它属于串联调整式稳压电路。

测量晶体管交流电流放大系数 β 时，需将被测管接成共发射电路，并且把 0.5 V、1 kHz 的正弦信号加到基极—发射极之间。设计的基极交流输入电流 $i_B=0.5\ V/R_{32}=0.5\ V/500\ k\Omega=1\ \mu A$。设输出信号电压为 U_O，集电极信号电流 $i_C=U_O/R_{34}=U_O/50\ \Omega$，将 i_C 除以 i_B，就得到了 β 值。鉴于晶体管毫伏表满量程电压 $U_M=U_O=5$ mV，因此测量 β 值的范围是 0～100。若在 R_{32} 上串联电阻 R_{31}，测量 β 值的范围就扩展到 0～300。

测量晶体管共发射极输入阻抗 h_{ie} 时，h_{ie} 就与 R_{32} 构成分压器，分压器的输出电压即被测管的输入信号电压。h_{ie} 设有两挡：0～5 kΩ 挡，0～16 kΩ 挡。测量集电极反向截止电流 I_{CBO} 时，需将发射极开路。而测量穿透电流 I_{CEO} 时，必须把基极开路。测量小功率晶体管集电极电流 I_C 的范围是 0～5 mA。

（二）JS－6B 型晶体管测试仪的检修方法

1. 检修注意事项

① 测量晶体管参数时如果指针偏转不正常，读数普遍减小，I_C 也调不到 5 mA 满度位置，应检查 6 V 叠层电池的电压，必要时更换新电池。发现电阻挡不能调零，说明 1.5 V 电池电量不足，电压降低而内阻增大，也需要换新电池。

② 定期校准 1 kHz 振荡器输出信号，应保持在 0.5 V 上，否则测量

β参数的准确度无法保证，调整 RP_4 可实现上述要求。

③ 使用“5 mV～”挡测量时，应在仪器外部串联一只隔直电容器。禁止用手去触摸“5 mV～”插孔和测量引线，因为人体感应到的 50 Hz 交流信号很强，大大超过 5 mV，会造成指针强烈打表。该晶体管毫伏表的频率响应约为几百至 100 kHz，测量线最好采用屏蔽线，以防止引入外界干扰。

④ 测晶体管参数时，要依照被测管是 PNP 型还是 NPN 型，将 S_3 拨至相应位置，否则测量无效。

⑤ 该仪器当作万用表使用时，必须将 S_3 拨至“PNP”位置，否则测量电路不通。

⑥ 测 I_{CEO} 时发现指针打表，是由于被测管 C－E 极间短路，并非仪器出现故障。

⑦ 仪器面板上的“1 kHz”插孔与地之间可输出 1 000 Hz、0.5 V 的正弦波电压，可作为音频信号发生器使用。

2. 常见故障的检修

表 2－8 给出了实测的各级晶体管直流工作电压值，可供检修时参考，表中的电压值是用 MF10 型万用表测得的。测量时将工作选择开关 S_1 置于“I_C”，再把“I_C”调节电位器 RP_5 关掉。

表 2－8　各级晶体管直流工作电压

管子序号和型号 ＼ 被测电压参数 ／ 电压值/V		发射极电压 U_E	基极电压 U_B	集电极电压 U_C
VT_1	3DG6	1.3	1.9	4.0
VT_2	3DG6	2.0	2.6	7.2
VT_3	3DG6	0.35	1.0	3.9
VT_4	3DG6	0.53	1.2	5.1
VT_5	3DG6	0.53	1.2	2.0
VT_6	3DG6	8.0	8.6	12.0

JS—6B型晶体管测试仪的常见故障及检修方法见表2-9。

表2-9 JS—6B型晶体管测试仪常见故障及检修方法

故障现象	故障分析及检修
(1) 振荡器停振	原因可能是电池电量不足，使+8 V稳压输出降低过多；振荡管损坏；移相电容器C_2～C_4中有开路损坏的。发现没有0.5 V、1 kHz信号输出时，应重点检查RP_4的触头是否脱开
(2) 振荡频率误差太大	检查VT_1性能是否变坏。当移相电容器的容量和移相电阻的阻值发生变化时，振荡频率会出现偏差。可用一台标准频率计接于"1 kHz"与地插孔之间进行监测，调整R_{23}使振荡频率为1 000 kHz±100 kHz，频率愈接近1 kHz愈好
(3) 各种晶体管参数均不能测量	① 波段开关S_1接触不良，使振荡器输出的信号加不到放大器上 ② 波段开关S_3接触不良，造成微安表无指示 ③ 交流放大器或检波器损坏 ④ 50 μA电流表的线圈被烧毁
(4) 指针明显抖动	由于仪器内部的振荡频率较高，检波电压一般不会影响指针发生抖动。但是当外界50 Hz低频干扰窜入机内时，就有可能造成指针抖动。必要时可在表头两端并联一只100 μF的电解电容器来滤除低频干扰

六、万用表检修万用表

万用表有六种形式，即指针式万用表、运放指针式万用表、数字式万用表、液晶模拟指针式万用表(简称模拟式万用表)、双功式万用表(指针式和数字式合二为一)和示波式万用表。

指针式万用表由磁电式表头与直流分流、分压和整流电路等组成；

运放指针式万用表是在指针式万用表的基础上，由变换器、集成运算放大器与表头组成，它彻底摆脱了仪表性能完全取决于表头满偏转电流的限制，使测量中流经表头的电流远低于表头满偏转电流时，仍然获得准确读数，同时也提高了电压测量灵敏度；数字式万用表摆脱了表头的束缚，采用大规模集成电路与多种变换器共同组合构成，其电压灵敏度远远高于普通万用表和运放指针式万用表，其测量电流的电压远远小于指针式万用表；模拟式万用表是用液晶仿制指针的运动方式来显示测试结果的一种仪表；双功式万用表集指针式万用表与数字式万用表于一身；示波式万用表集双通道数字存储示波器、函数发生器、数字式万用表为一体，示波频响为 DC～50 MHz，可存储若干个波形，产生若干种测试信号，同时进行多种电量的测量。由于它们各有优势，至今仍各自占领一定的用户份额。不同形式的万用表既有差异又有共性，由于篇幅所限，本书仅介绍运放指针式万用表和数字式万用表的个别检修实例，以供读者检修万用表时参考。

（一）运放指针式万用表的检修

(1) 故障表现

MF63 型万用表在所有量程，表头指针都极大偏转，不能测量。

MF63 型万用表的电路原理如图 2－21。

(2) 检查与处理

将项目选择开关拨至 Ω、DC、AC 各挡依次查看，无输入时表头指针都指向极大位置。放大器调零失去作用。

分别在断开负载和接入负载两种情况下，用万用表检测被检表内集成运算放大器的工作电源，结果如下：

① 断开负载：

电池 E_1 的端电压 $U_1=5.41$ V，放电电流 $I_{放}=300\ \mu A$

电池 E_2 的端电压 $U_2=6.24$ V，放电电流 $I_{放}=19.8$ mA

② 接入负载：

电池 E_1 的端电压 $U_1=1.24$ V，工作电流 $I_1=63\ \mu A$

电池 E_2 的端电压 $U_2=3.82$ V，工作电流 $I_2=395\ \mu A$

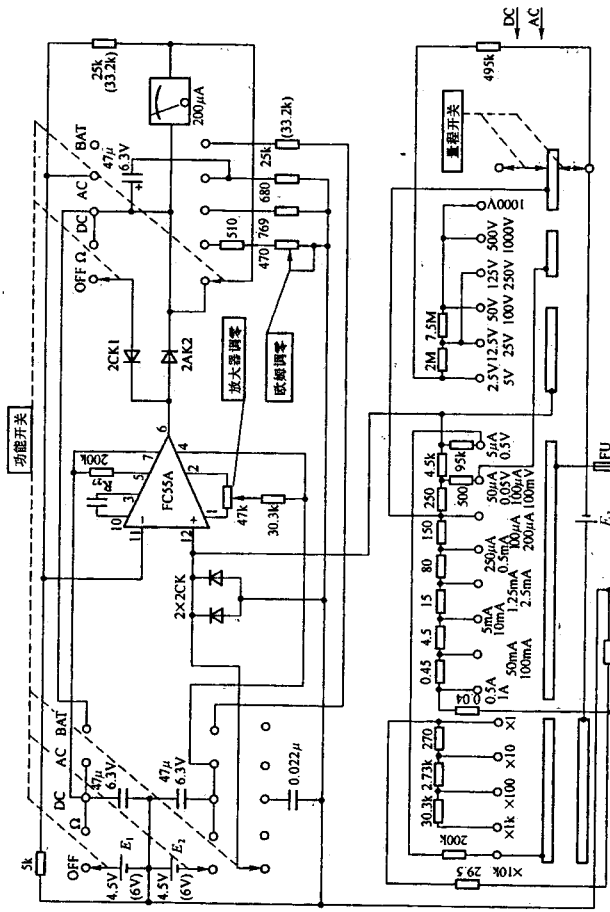


图 2-21 MF63 型万用表电路原理图

③ 测量结果表明，被检表内附电池已不能继续使用。更换电池，并测量一下新电池的在路工作参数：

电池 E_1 的端电压 $U_1=5.5$ V，工作电流 $I_1=386$ μA

电池 E_2 的端电压 $U_2=6.6$ V，工作电流 $I_2=417$ μA

④ 电池更换后故障有所减轻，但表头指针仍有较大偏转，不能调到零位。开始觉得集成运算放大器 FC55 A 问题严重，苦于手头没有集成电路可供更换，因此把注意力放在电池上，试图从中发现点什么。于是将换上的两节新电池对调，即将 E_1 接到 E_2 的位置上，将 E_2 接到 E_1 的位置上。再测量两节电池对调后接入负载的供电参数，得到：

电池 E_1 的端电压 $U_1=6.5$ V，工作电流 $I_1=402$ μA

电池 E_2 的端电压 $U_2=6.48$ V，工作电流 $I_2=404$ μA

此时放大器已能正常调零。

这次试验不仅避免了一次集成电路的更换，更重要的是启发我们在处理正、负电源工作条件的电路故障时，不仅要考虑用电电路的故障和电池本身的故障，还应考虑供电电源内阻与用电负载阻抗的匹配问题。

（二）数字式万用表的检修

(1) 故障表现

DT890A 型数字式万用表量程开关拨至每个挡位时，蜂鸣器都发出同样的蜂鸣声，发光二极管点亮。只要电源开关不关掉，蜂鸣器就一直在响。

(2) 检查与处理

① 用万用表检测被检表的内附电池。

空载时电池端电压 $U_{OP}=9.34$ V

空载时电池端电压 $U_L=8.93$ V

带载时电路的工作电流 $I_L=3.00$ mA

② 初步确定电路工作电流超过正常值。

③ 拆开 DT890A－2 板，取下开关盘，清除污染物，接通电源，复测结果故障没有消除，也没有减轻。在被检表电路带电的情况下，用万用表直流电压挡测试被检表的 TL062CP 芯片各脚工作电压，分别为：④脚为－6.10 V，⑤脚为＋0.036 V，⑥脚为＋6.08 V，⑦脚为＋2.02 V，⑧脚为＋2.81 V。

④ 割断 TL062CP 芯片的④脚负电源通路，测得 $I_L=2.52$ mA，蜂鸣器继续鸣叫；又割断 TL062CP 芯片，通电试验，各挡不再发出蜂鸣声，测得 I_L 为 0.78 mA。断电子表 3 s 后，蜂鸣器发出微弱的蜂鸣声并随即停止。

⑤ 拆除 TL062CP 芯片，加一只 8 脚集成芯片插座，换一块好的 TL062CP 集成电路。通电试验，各挡不先发出蜂鸣声，发光二极管不再发光，蜂鸣电路恢复正常。这时将被检表拨至“⏚ ▶|—”挡，用万用表的直流电流挡测得被检表工作状态下的负载电流为 1.18 mA。

(3) 分析

DT890A 型数字式万用表的蜂鸣电路如图 2－22 所示。

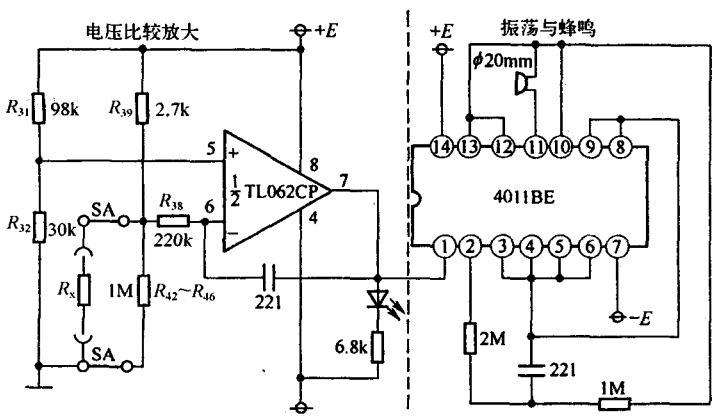


图 2－22　DT890A 型数字式万用表蜂鸣电路

在正常情况下，电压比较放大由 TL062CP 芯片中的一级放大器承担。⑤号同相端的参考电压由 R_{31}、R_{32} 分压提供，以“COM”为参考点，分压值高于 0 V，本例为 0.035 V。R_{39}、R_{42}～R_{46} 分压后的 TL062CP 芯片的⑥脚提供＋2.75 V 的电压。送入放大器的实际电压为

$$U'_6 = U_6 - U_5 = 2.75 - 0.035 = 2.715(\text{V})$$

U_6 经反相放大后，从⑦脚输出低电平，$U_7 = -5.6$ V。当被测对象 R_x 为 0～40 Ω 时，U_6 为 0～0.04 V，实际上被放大的电压信号是同相端输入电压。放大器输出电压 U_7 在 1.74～2.2 V 范围内，门控振荡器得到高电平起振，压电陶瓷片得到音频电压发出声响。当 R_x 为 41～199 Ω 时，U_6 为 0.04～0.20 V，经反相放大后放大器输出低电平，U_7 在 −5.43～−3.56 V。

在故障情况下，从检查得到的数据中推敲，TL062CP 芯片的⑥脚电位十分接近④脚的电位。当用万用表的电阻挡在路检测 TL062CP 的⑥脚与④脚之间的电阻时，无论将表笔怎样放置，正、负向电阻都相等，因而它们之间的电位很接近。检测④、⑥脚之间的等效电阻，为快速确定蜂鸣叫不息故障提供了有意义的论据。当 TL062CP 芯片损坏后，⑦脚的输出电位将不受⑥脚的控制。由于⑦脚一直是高电平，振荡器一直振荡，蜂鸣器也就一直不停地鸣叫，因此量程开关与蜂鸣毫无关系。

第三节　万用表检修家用电器

一、万用表检修照明电路

常见的照明电路有荧光灯（俗称日光灯）、调光灯、白炽灯、碘钨灯、高压水银灯、高压钠灯电路等。故障较多、修理有一定难度的是荧光灯电路和调光灯电路。白炽灯、碘钨灯、高压水银灯、高压钠灯等电路结构简单，检修容易。这里主要介绍荧光灯、调光灯、应急灯的修理方法。

（一）荧光灯的检修

荧光灯电路的主要元件有灯管、灯管插座、启辉器、镇流器及导线等，

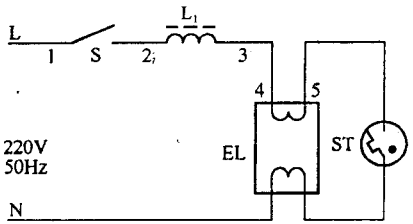


图 2-23 荧光灯原理接线图

两线镇流器荧光灯的原理接线如图 2-23 所示。

当其中某个部件发生故障时，都可能导致灯管不正常发光或不亮，这时应对线路和故障部件进行修理或更换，方能恢复照明。下面以三个检修实例来说明一下荧光灯的检修方法。

1. 检修实例 1

(1) 故障表现

灯管不亮。

(2) 检查与处理

用万用表交流电压 250 V 挡，测得 L 与 N 的电压为 220 V；接通开关，测得 2 与 N 之间的电压为 220 V，表明电源和开关都正常。测得 3 与 N 之间的电压为 220 V，证明镇流器是通的；又测量 5 与 N 之间的电压，有几伏不稳定的指示。取下启辉器，再测量 5 与 N 之间的电压，结果没有明显的变化。根据测量结果初步判断是荧光管损坏。摘下荧光灯管，用万用表 $R\times1$ 挡测灯丝电阻，为无穷大(20 W 的灯丝电阻正常值为 4 Ω 左右)。换一支新灯管，故障被排除。

2. 检修实例 2

(1) 故障表现

灯管不启辉。

四线头镇流器荧光灯原理接线如图 2-24 所示。

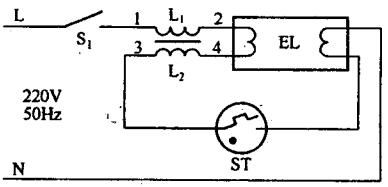


图 2-24 四线头镇流器荧光灯原理接线图

(2) 检查与处理

开始怀疑启辉器有问题，更换启辉器后故障仍然存在。用万用表交流电压 250 V 挡测得 L 与 N 之间的电压为 220 V，接通电源开关后测得 1 与 N 之间的电压为 220 V，表明电源开关是好的。2 与 N 之间的电压为 220 V，4 与 N 之间

的电压也是 220 V，表明镇流器初级、荧光灯管正常。再测量 3 与 N 之间的电压，表上无指示，判定断点在 3 与 N 之间。断开电源开关，取下启辉器，用万用表测得 3 与 4 之间的电阻为无穷大，确定是镇流器次级绕组断路。更换镇流器后，照明恢复正常。

3. 检修实例 3

(1) 故障表现

混联照明线路如图 2－25 所示。出现的故障有：① SB_2 接通，EL_2 亮，EL_1 不亮；② SB_1、SB_2 均接通，EL_2 亮，EL_1 不亮，吊扇工作正常；③ SB_1 接通，SB_2 断开，吊扇能正常工作，EL_1、EL_2 中有一支能发出滚动的波浪形弱光，另一支灯管则不亮。

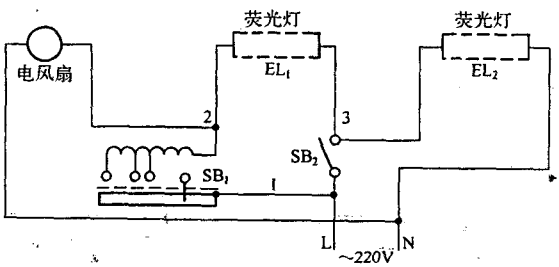


图 2－25　混联照明线路示意图

(2) 检查与处理

用万用表交流电压 250 V 挡，测得 L 与 N 间的电压为 220 V。关掉 SB_1，接通 SB_2，测量 3 与 N 之间的电压为 220 V，EL_2 点亮，这说明 EL_2 回路正常。断开 SB_2，接通 SB_1，用万用表测得 1 与 N 之间的电压为 220 V。接通 SB_1，测得 2 与 N 之间的电压为 220 V，电风扇正常旋转，说明电风扇在额定电压下工作。在断开 SB_2，接通 SB_1 的条件下，测得 2 与 3 之间、3 与 N 之间的电压均为 110 V，因此可知 EL_1 与 EL_2 这时处于串联状态。因为两盏荧光灯的功率相同，所以端电压也相等，它们同时处于欠压状态而不能启辉发光。由于 EL_1 并联在 SB_2 的两端，当 SB_1、SB_2 同时闭合时，SB_2 将 EL_1 的火线端与零线端短接，EL_1 失去工作

条件，这就是 SB_1、SB_2 同时工作时 EL_1 不能点亮的原因。

处理这种电路故障有多种方法：

① 拆除 EL_1。

② 将 EL_1 连接到 SB_1 的那根导线接线端改接到 N，使 EL_1 与 EL_2 并联，共用 SB_2 开关。

③ 将 EL_1 连接到 EL_2 的那根导线接线端改接到 N，使 EL_1 与吊扇并联，共用 SB_1 开关。

④ EL_1 单独设开关。

（二）调光灯的检修

调光灯除了开关、灯座、灯头外，比普通台灯多一块装着电子元件的线路板，它是用来调节灯光亮度的调光器。调光灯的牌号很多，但核心组件“调光器”的电路大致相同，这里以 BT487 型台灯为例，介绍怎样用万用表对它进行修理。

调光灯电路和元件安装位置如图 2－26 所示。

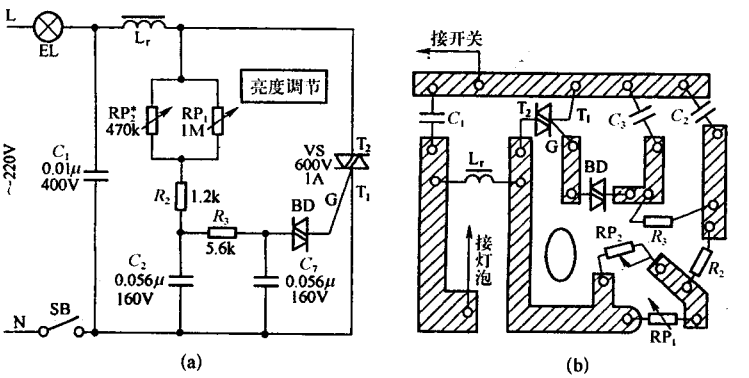


图 2－26　BT487 调光灯电路

(a) 原理图；(b) 安装图

电路中灯泡 EL 与线圈 L_r、双向晶闸管 VS 和开关 SB 相串联，接在 220 V 交流电网上。触发二极管 BD 接在 VS 的控制极 G 上。前面

电路送来的触发信号通过双向二极管 BD 加到 T_2 的 G 极时，就能改变晶闸管 T_2 的导通时间，调节灯的亮度。电位器 RP_1 用来调节触发信号，也就是亮度调节旋钮。

下面以一检修实例来说明调火灯的检修方法。

(1) 故障表现

调光灯不亮。

(2) 检查与处理

首先检查灯泡、插头、电线等，它们都正常，最后确定对调光器进行检查。

拆开调光器，将台灯接上电源，并将调光旋钮旋到中间位置，用万用表的交流电压挡(≥250 V)测量晶闸管 VS 的 T_1、T_2 两极间的电压，读数是 220 V，说明晶闸管完全没有导通。将台灯退出电源，将晶闸管解焊，经检查是晶闸管触发极断路。换一只新的晶闸管，电路正常工作。

有时会遇到晶闸管是好的，应接着检查电容 C_2、C_3 是否击穿，其方法是：取一台调压器并调到“0”位，将台灯电源线接在调压器的次级，用一根导线将 C_2 的上端与地短接，RP_2 保持不动，将 RP_1 调至电阻最大值。接通调压器电源，将调压器输出电压调至 22 V，测量 R_2 的端电压并将其记录下来。断电，取消 C_2 的试验短路线，将该线改接到 C_3 两端。接通电源，用万用表交流电压挡测量 R_3 的端电压。切断试验短路线，再分别测量故障状态下 C_2、C_3 的端电压并记下。

(3) 分析

若 C_2 的端电压较正常值高，可能是电容 C_2 的容抗增大；若 C_2 的端电压较正常值低，可能是电容 C_2 的容抗减小，即有漏电流存在；当 C_2 的端电压等于试验电压时，可能是电容 C_2 内部短路。以上三种情况均以各个电阻正常为前提，不可误解。

(三) 应急灯的检修

由于某种原因电网停电时，为了不影响生活或工作，可使用应急灯。应急灯已是频繁停电地区的居民或工厂值班人员的必备照明工具。应急灯通常由充电电路、电灯及闪烁电路、荧光灯电路、报警电路等组成，其典型电路如图 2-27 所示。

下面以两个检修实例来说明应急灯的检修方法。

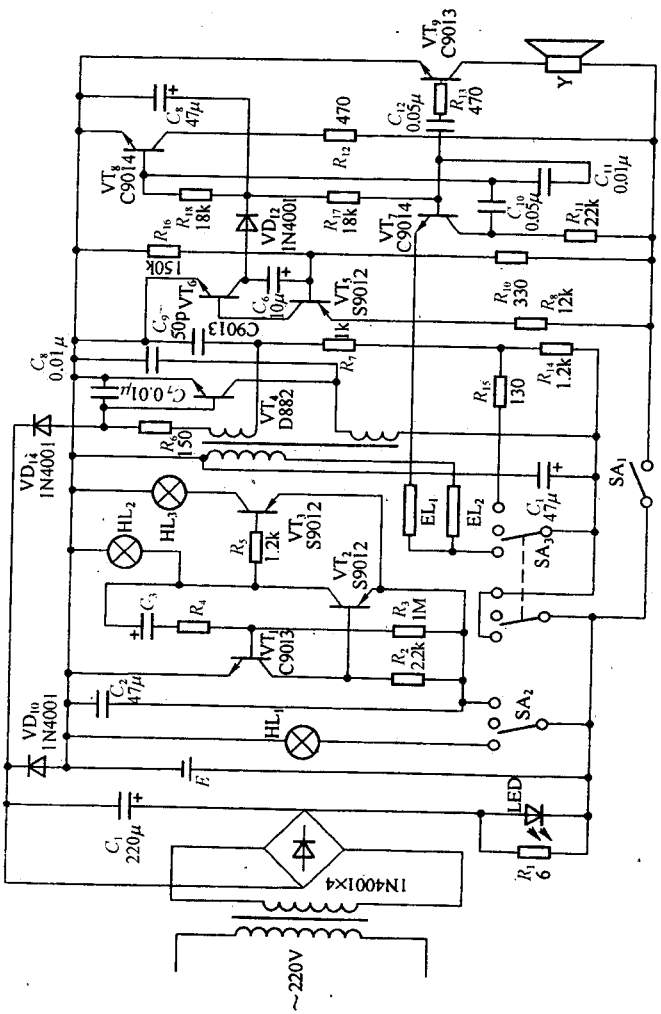


图 2-27 ROBO 型应急灯电路图

1. 检修实例 1

(1) 故障表现

灯管 EL_1、EL_2不能点亮。

(2) 检查与处理

因 HL_1、HL_2、HL_3及扬声器都能正常工作，开机测充电电池 E 的输出电压，负载 HL_1 点亮时，E 的端电压为 5.8 V，正常。通电检查荧光灯部分，用万用表直流电压挡测量 VT_4 的集电极电压，约等于 0 V。焊下 VT_4，用万用表电阻挡测量 c－e 极间电阻，确定 VT_4 已击穿。用正品晶体管代换后，故障被排除。

2. 检修实例 2

(1) 故障表现

当 SA_2 选择位置“2”时，HL_3 长亮，HL_2 不亮。

(2) 检查与处理

HL_3 亮，HL_2 不亮，说明 VT_2 没有工作，用万用表直流电压挡测得晶体管 VT_2 的基极电压为 5.5 V，VT_1 的基极电压为 0.2 V，说明 VT_1 没有导通，是异常表现。在正常情况下，电池的＋6 V 电压经 R_3、R_4 给 C_3 充电，VT_1 基极电压逐渐上升。当上升到 0.6 V 左右时，VT_1 导通，将 VT_2 的基极电压下拉至 0.7 V 左右，VT_2 导通，点亮 HL_2。VT_2 导通，使 VT_3 的基极电压上升至高电位，于是 VT_3 截止，HL_3 熄灭。C_3 通过 R_4、VT_1 的 b－e 结放电，引起 VT_1 的基极电压不断下降。当降至 0.4 V 左右时，VT_1 截止，HL_2 熄灭，HL_3 点亮。然后 C_3 又重复上述过程，从而形成 VT_2、VT_3 交替点亮 HL_2 和 HL_3。有两种情况可导致 VT_1 基极电压异常，即 C_3 短路和 R_3 开路。焊下 C_3 测量，有充电现象且阻值为无穷大，说明 C_3 是好的；焊下 R_3，测得其阻值是无穷大(正常值为 1 MΩ)。由于电阻器 R_3 开路，造成 C_3 不能被充电，VT_1 基极为低电位，VT_1 不导通，从而引起 HL_3 常亮、HL_2 不亮的故障。换上一只 1 MΩ 的电阻(R_3)，故障被排除。

二、万用表检修吊扇

吊扇是家用电器之一，它的电机采用封闭式外转子结构。这种电

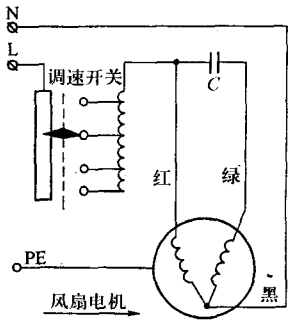


图 2-28 吊扇基本电路

机的主轴是不转动的，转子与上、下端盖固定形成一个整体，上端盖起着径向定位和限制转子的作用。工作时，转子围绕着定子转，并带动与它固定在一起的上、下端盖一起旋转，装在盖子上的扇叶也转动起来。吊扇的基本电路如图 2-28 所示。

吊扇除了机械故障外，由于电路不良引起的故障有：不能启动，启动很慢，或转速不正常等。在不能启动的故障中，供电回路是否正常供电十分重要，开关接触不良、接线端子氧化等都会造成断路。对于新装的吊扇，如果不能启动，应按接线图检查接线是否有误。下面以两个检修实例来说明一下吊扇的检修方法。

1. 检修实例 1

(1) 故障表现

接通电源后，吊扇不转动。

(2) 检查与处理

首先检查启动电容。选用万用表 $R\times1$ k 挡，表笔分别接电容两端，正常时表针应向右偏转一定的角度后，逐渐退回“∞”位置。如果表针不摆动，或偏转角度很小，或一直偏转到“0 Ω”处不再摆动，则表明电容器已坏。为了验证判断是否准确，也可用手辅助推动电扇叶片旋转，当电扇能启动并正常旋转时，表明的确是电容器损坏。更换相同规格的电容器，故障即可排除。

2. 检修实例 2

(1) 故障表现

电源开关、电容器都是好的，接通电源后吊扇不旋转。

(2) 检查与处理

用万用表依次测量两个绕组出线端电阻值，其中电阻值小的主绕组，因为它的线径较粗，匝数较少。副绕组(也称启动绕组)线径较细，

匝数较多，其电阻值较大。经测量发现副绕组的阻值为无穷大，于是拆开扇头，顺着线端仔细查找。发现断点后，重新接好，并做好绝缘处理。复原装配，通电试验，吊扇进入正常工作。

若发现绕组损坏严重，就将损坏的绕组拆除，重新绕嵌定子绕组。常见吊扇的绕组数据如表 2－10 所示，数据误差为±10%。

表 2－10　常用吊扇电机定子主、副绕组参数

风扇规格/mm	900	1 200	1 400
主绕组电阻值/Ω	200	185	100
副绕组电阻值/Ω	225	480	260

3. 检修实例 3

(1) 故障表现

吊扇转动无力，改变调速器挡位，转速也不正常。

(2) 检查与处理

根据故障表现，有可能是启动电容容量有所下降，首先用万用表电阻 $R\times1$ k 挡测量启动电容，电容是好的。用手轻轻推动吊扇，旋转自如。再用万用表电阻挡测量定子绕组的电阻，正常时 1 400 mm 规格的吊扇的电机主绕组的电阻值为 100 Ω，副绕组的电阻值约为 260 Ω。测试结果为主绕组的电阻值。经进一步检查发现，是绕组受撞使匝间短路。由于伤痕在外，小心将受伤处挑开，擦干净，涂上绝缘漆，用电吹风吹干。复原装配，通电运行正常。

检修吊扇的方法同样可以用来检修抽油烟机和洗衣机的电机及其他类似电路。

三、万用表检修电视机

(一) 万用表检修黑白电视机

黑白电视机的电路比较复杂、元器件种类繁多。目前，早期的电子管黑白电视机以及后来的晶体管黑白电视机已被淘汰。鉴于近年来市

场上销售的均为集成电路黑白电视机，因此下面只介绍这种电视机的检修。

集成电路黑白电视的流行机型有以下 3 种：由 μPC1366C、μPC1353C、μPC1031HZ 组成的 μPC 三片机；由 TA7611AP、TA7176AP、TA7609AP 组成的 TA 三片机；由 TDA4500 组成的 TDA 单片机。其中，以 μPC 三片机最为流行。下面介绍的维修实例均针对 μPC 三片机。

1. 检修黑白电视机的一般要求

掌握万用表的使用方法并积累了维修其他家用电器的经验之后，再了解一些黑白电视机的工作原理，就可以检修黑白电视机了。在检修过程中，除掌握黑白电视机的基本原理和结构之外，还应熟悉电视机各单元电路的工作原理、工作状态和信号流程。若能记住一些典型电路的框图，再结合故障机的电路原理图，就能更迅速地查明并排除故障。

2. 检修黑白电视机的基本方法

(1) 检修黑白电视机的基本要点

① 打开机壳，直观检查有无明显的脱焊或烧焦的元器件。

② 加上电源，根据观察到的现象进行分析，结合电路原理图判断出故障的大致范围。

③ 用万用表测试该范围内有关部位的电压，对可疑的元器件进行更换。必要时可重复第②步，进一步确定故障位置。

④ 排除故障后，给黑白电视机加上电源，进行长时间的观察，确信正常后检修工作即结束。

(2) 检修黑白电视的步骤

① 检修光栅故障，重点检查电源及扫描部分。

② 检修图像故障，重点检查信号通道部分。

③ 检修伴音故障。

以上介绍的是检修黑白电视机的一般方法，在对故障机进行检修之前，一定要先弄清其结构类型及所用集成电路的型号；然后查阅资料，了解有关集成电路的功能、各引脚及相关外围元器件的作用。如能

找到同型号的正常机进行对比测试，检修效果会更好。

3. 黑白电视机故障检修实例

下面以 μPC 三片机为例，介绍 10 个典型故障的检修实例。

(1) 无光栅，无伴音，灯丝也不亮

这属于最典型的电源故障。在确认电源线及电源开关完好的情况下，先用万用表检测 0.5 A 电源进线熔丝管是否熔断，如果熔断了，就要检查电源变压器线圈是否短路、整流二极管是否损坏、滤波电解电容器是否漏电或被击穿。若 0.5 A 熔丝管并未熔断，还要检测一下熔丝管与弹簧卡子是否接触不良。若 2 A 熔丝管熔断，故障大多出现在稳压电路，其原因一般是电源整流管及推动管损坏或者负载发生短路。如果是负载短路，须断开负载后单独检查电源。

(2) 伴音中有嗡嗡的杂音

此故障也是由电源造成的。有伴音就表明电源有输出，但其输出电压低、输出纹波大。故障原因是滤波电解电容器损坏或电源推动管或取样管损坏或稳压二极管被击穿或稳压管性能不良。用测电压法可迅速查出故障元器件。

(3) 显像管的灯丝很亮，电源输出电压不可调节

显像管的灯丝很亮，表明电源输出电压过高，应先断开负载，以防止显像管受损。其故障原因可能是电压调整电位器损坏或电源调整管的 C－E 结被击穿。用测量电阻法，可迅速找出故障元器件。

(4) 有伴音，但无光栅

伴音正常，说明电源工作正常，故障必定出在显像管电路或扫描电路中。首先查看显像管的灯丝是否亮，若不亮，则检测灯丝回路，可能是灯丝烧断或元器件开路；若灯丝亮，再测量显像管各管脚的电压值。在用万用表测量第 2 脚(阴极)电压的同时，转动亮度电位器，此时测得的电压值应在 30～70 V 范围内变化。正常工作时第 5 脚(调制极)电压应接近 0 V，第 6 脚(加速极)电压应为 110 V。其故障原因大多是亮度电位器损坏，造成显像管阴极无电压，强迫电子束截止，使屏幕无光栅。此外，当加速极的引线断开时，电子束就发射不到屏幕上，也可能造成屏幕上无光栅。若灯丝回路正常，就要检查行扫描及行输出电路。

(5) 屏幕上只有一条垂直亮线

屏幕上出现一条垂直亮线,说明电源、场扫描及高压电路工作基本正常,故障必定出在行偏转电路上。原因可能是行偏转线圈或行线性线圈开路,S校正电容器损坏或者虚焊。

(6) 屏幕上只有一条水平亮线

这是场扫描电路容易发生的一种故障。屏幕上有一条水平亮线,说明电源及行扫描电路的工作基本正常,故障应在出场扫描及场输出电路中。原因之一是场扫描集成电路 μPC1031 损坏,其特征是用万用表检测第 1 脚时测不到输出电压,只要外围元器件没有问题,即可判定 μP1031 型集成电路损坏;原因之二是场输出耦合电容器虚焊或无容量;原因之三是场幅电位器损坏或接触不良,场锯齿波形成电容器损坏或虚焊;原因之四是场振荡器中的定时电容器损坏。

(7) 有光栅,有伴音,但无图像

有光栅说明扫描电路工作正常,有伴音则证明公共通道工作正常;若屏幕上无回扫线,说明视频放大电路工作也正常;若屏幕上无噪波点,故障就出在预视频放大电路中,可检测从 μPC1366C 的第 3 脚输出的图像信号是否加到视频放大管的基极上,其故障原因是此信号线断线或虚焊;若屏幕上有噪波点,故障就发生在高频头或 AGC 电路中,其原因可能是高频头内部的高频放大管损坏或 AGC 电路失调。

(8) 有图像,无伴音

图像正常而没有伴音,说明故障发生在伴音通道中,首先用万用表检测 μP1353C 各管脚的电压值,并与电路原理图上所标明的典型值加以比较,然后对电压不正常管脚的外围元器件进行检查,以判断伴音集成电路是否损坏。故障原因可能是 μPC1353C 损坏,扬声器中的音圈断路,耦合电容器损坏,音量电位器损坏。

(9) 有光栅,无图像,无伴音

首先将高频头拨至空挡,观察屏幕上有无噪波点。若无噪波点,即可排除因 AGC 失控,中频放大增益太高,而造成接收强信号时通道发生阻塞的可能性,其故障原因是 μPC1366C 损坏;若拨至空挡后有噪波点,并且在接收强信号时无图、无声、无噪波点,接收弱信号时图像对比

度过浓且发生行扭曲或同步不良现象，原因大多是中频放大 AGC 不起作用。

(10) 有图像和伴音，但存在满屏的回扫线

显像管出现满屏的回扫线，故障大多发生在视频放大电路，常见的原因是视频放大管损坏，100 V 中压滤波电容器失效，显像管内部极间短路，消隐线虚焊等。

(二) 万用表检修彩色电视机

掌握了黑白电视机维修技术之后，利用万用表即可维修彩色电视机的一些常见故障。彩色电视机维修并不十分困难，所积累的黑白电视机的维修经验对于维修彩色电视机照样有用。在检修彩色电视机之前，只要了解其基本工作原理，能看懂电路原理图及信号流程，对解决一般性故障就足够了。当然对于一些复杂的故障，尤其是软故障，不精通理论，不完整地看懂电路原理图，就很难排除。但对于初修者而言，所遇到疑难故障所占比例很小，多数情况下还是一些典型故障。

早期的彩色电视机大多是由我国从日本引进生产线所生产的，主流机型有日立 HA 四片机、东芝 TA 四片机、TA 两片机、松下 AN 五片机等，这些彩色电视机的集成度较低，可调元器件也多，现正处于故障高峰期。随着集成电路技术的飞速发展，目前大屏幕彩色电视机的功能越来越多，电路均采用 I^2C 总线控制，集成度高，外围元器件大量减少，尤其是省去了许多供内部调整用的可调元器件，使整机可靠性大为提高，故障率显著降低，但这种新型彩色电视机刚面市不久，故障高峰期尚未到来。因此对业余维修人员来说，当前主要面对的还是维修中、小屏幕的彩色电视机。

1. 检修彩色电视机的基本方法

彩色电视机的故障五花八门，究其原因不外乎有以下两种：一种是内部元器件损坏或者参数改变而引起的；另一种是由于外部原因造成的。检查方法大致如下：

① 对用户送修的电视机，首先询问故障发生的过程，是否请别人修理过，曾更换过哪些元器件。

② 打开机壳，观察机内有无明显烧焦的元器件。若有，则先对照

电路原理图找出该元器件，分析烧坏的原因。

③ 接通电源，根据光栅、图像、伴音等方面的情况，确定故障的大致部位。

④ 在所确定的范围内找出故障电路，通过测试来找到损坏的元器件。

⑤ 尽可能用相同型号的元器件进行更换，更换元器件后必须试机。

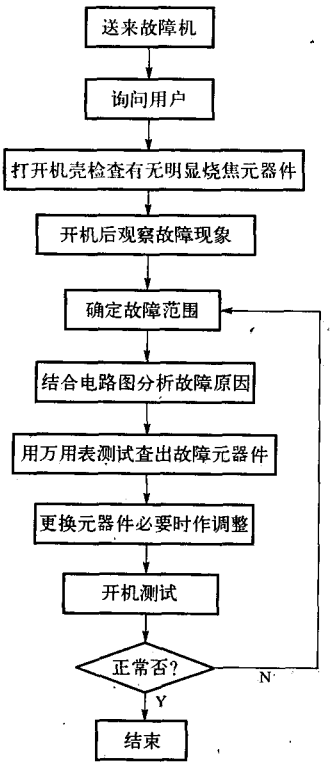


图 2-29　检修彩色电视机故障的流程图

在检修前开机观察故障现象是检修工作的关键，这有助于确定故障的大致范围。然后，在此范围内先根据电路原理图分析产生故障的原因，再利用所积累的经验和测试手段找出故障元器件。更换元器件时假如找不到原型号，应查阅有关资料找出代用品，但应注意它们的管脚排列顺序可能不完全相同。更换元器件后，就可以开机试验了。根据开机后的现象，有时还需对所更换的元器件做相应的调整，尤其是更换可调电阻之后这一步是必不可少的。若试机正常，则维修工作结束，否则重复以上步骤。

检修彩色电视机故障的流程图如图 2-29。

以上介绍的是维修的一般步骤，就像医生给病人治病一样，同一种疾病对不同病人的症状会有差异；况且同一个药方，对于不同患者的疗效也不尽相同。因此书上介绍的任何关于维修的“标准”验方不可能包治百病。

2. 检修彩色电视机故障的步骤

仅从效果上看,彩色电视机比黑白电视机增加了色彩,因此黑白电视的维修检测步骤对彩色电视机也是基本适用的,只不过彩色电视机的电路及功能更加复杂,对遥控式彩色电视机而言,还增加了发射接收与控制电路。检修彩色电视机可遵循以下步骤进行:

① 检修遥控电路。

② 检修电源。

③ 检修光栅故障。

④ 检修黑白图像故障。

⑤ 检修彩色图像故障。

⑥ 检修伴音故障。

鉴于在遥控式彩色电视机中使用了中央处理器(CPU),其输出为数字信号,控制电路与其他电路之间需通过 A/D 转换器来联系,因此彩色电视机维修人员应学习一些数字电路方面的知识。彩色电视机电源大多采用开关式稳压电源,与黑白电视机电源相比,其电路较复杂,故障率也较高。光栅部分的检修大体上同黑白机,黑白图像主要检查亮度通道;涉及彩色的故障主要检查色度通道;伴音出现故障应检查伴音通道。

总之,检修彩色电视机大致应按上述步骤进行,尤其对出现"三无(无光栅、无图像、无伴音)"故障的彩色电视机,这是一种最佳检修方案,且适合任何故障机。当然,并非对每台故障机都要按部就班地检修一遍,有时故障机仅某一部分发生故障,修好后就没必要执行其他步骤。此外,彩色电视机都具有功能完善的保护电路,在对故障原因分析透彻之前,切勿轻易断开保护电路。否则,一旦不是保护电路本身发生故障,就很有可能使故障范围进一步扩大而追悔莫及。请维修人员切记这一点。

3. 万用表检修彩色电视机

(1) 万用表的选择

彩色电视机电路原理图上所标注的电压值,绝大多数是用指针式万用表测得的。因此,维修彩色电视机一般采用指针式万用表,并且不

要使用简易型万用表，后者电压挡的内阻很低，所测出的电压值误差太大。由于许多维修资料中所给出的集成电路及晶体管的电阻值及在线电阻值，均以500型万用表测得，所以测量集成电路及晶体管电阻时推荐使用500型指针式万用表，另外测量有交流分量的直流电压时，也宜采用指针式万用表。数字式万用表的读数直观、测量准确度高、功能齐全，在维修彩色电视机过程中若配合使用数字式万用表，有时会更加方便。测量高内阻的直流电压时，推荐使用数字式万用表。

(2) 检修彩色电视机的方法

当彩色电视机出现损坏性故障时，内部元器件的损坏或存在虚焊、接触不良现象，均会导致相关电路的工作状态发生变化，并且会反映到电流、电压的变化上来。在没有专门检修仪器的情况下，用万用表测量电路(尤其是关键测试点)的工作状态，就能排除一些常见故障。

① 电阻测量法。电阻测量法是在电视机关机状态下，通过测量元器件电阻值来判断故障的方法。当怀疑某个电阻损坏时，用万用表电阻挡在线测量该电阻阻值，如果测得的电阻值比它的标称值大很多，说明该电阻已烧断。对集成电路的在线电阻值进行测量，也是常用方法之一，只不过电视机电路原理图上未给出电阻值，只能与手册中给出的数值相比较，也可同以前积累的经验值加以比较。电阻测量法在检修开路和短路性故障时最有效，但对于集成电路、晶体管、电容器、电感器和变压器，只能定性地测量。

② 电压测量法。电压测量法是在电视机开机状态下，通过测量电路中元器件的工作电压并与正常值进行比较来判断故障的方法。这种方法在检修过程中最常用，也最方便。通过测量电路中各元器件的工作电压值并与电路原理图上标注的典型值进行比较，就能找出故障元器件。用电压测量法时要充分了解被测点与其他电路之间的牵连关系，进行分析推理，最终找出故障元器件，切不可头痛医头，脚痛医脚。

③ 电流测量法。电流测量法是通过测量电路中某点流过的工作电流来判断故障的一种方法。由于测电流必须把万用表串入电路中，有时需割断印制板上敷铜线，使用起来很不方便，因此直接测量电流很少用，而是用电压测量法间接地测量电流。间接测量法是通过测量电

路中某已知电阻上的电压来间接地求出电流值，所以在彩色电视机维修中大多都用电压测量法。

4. *彩色电视机故障检修实例*

彩色电视机故障多种多样，同其他家电相比电路更加复杂，元器件繁多。用万用表这种简单测试工具检修一些常见的典型故障十分有效。在检修前了解本机的关键测试点，再判断出故障大致范围后，用万用表对此范围内的关键点进行测试，就能迅速地排除故障。下面介绍用万用表检修彩色电视机的 10 个典型实例。

(1) 由电源电路造成的"三无"故障

电源电路的典型故障是熔丝管熔断。与黑白电视机不同的是彩色电视机都采用开关电源，220 V 交流电经过整流、滤波、脉宽调制、稳压后得到稳定的直流电压。因此，当滤波电路、消磁电路、整流二极管及旁路电容器、滤波电解电容器、功率开关管或电源厚膜电路等损坏时，都会烧毁熔丝管。如果熔断后的熔丝管内部没变黑，可用同规格的熔丝管换上试机。开机后观察一段时间若正常，说明是偶然损坏。如果熔断后的熔丝管内部变黑，证明电源电路中有短路故障，此时不急于更换熔丝管，而应当先用测量电阻法找出短路元器件来。常见易损件有消磁电阻、开关管、整流二极管及其旁路电容。此外，由开关电源引起的"三无"故障还容易损坏的元器件有启动电路中的电阻和电容器，保护电路中的元器件等。此检修方法适用于任何型号的彩色电视机。

(2) 彩色电视机光栅上出现黑色横条干扰

故障现象：光栅上有两个黑色横条向上或向下缓慢移动。

此故障是由纹波电压引起的。从光栅上出现两个横条可知，干扰纹波的频率应为 100 Hz，这是由于 220 V 交流电经桥式整流后滤波不净而造成的。用万用表直流电压挡测桥式整流器的输出电压，如电压降低很大(正常值为 310 V)，应将整流桥输出端的滤波电容器焊下来，用万用表的电阻挡检查其容量明显地减小，更换相同规格的电容器后故障即可排除。

(3) 行扫描电路故障引起的无光栅

在 TA 两片机中，开机时首先由主电源经启动电阻降压后，给

TA7698提供行振荡电源，使电路起振：待行扫描电路稳定工作之后，再由行输出级产生的低压供给行振荡电源。对于这样一个闭环系统，任何一个环节出现故障，电路都不能正常工作。最容易出现故障的元器件是行启动电阻及行推动管上的偏置电阻，用电阻法或电压法可查出故障电阻。此方法适用于任何电路形式的彩色电视机。

(4) 屏幕上只有一条水平亮线

此故障是由场扫描电路工作失常而引起的。场扫描电路由场振荡、场推动、场输出等部分组成，任何部分出现故障都会使屏幕上出现水平一条亮线。故障原因主是包括机内的"维修开关"接触不良、场供电回路的熔断电阻器熔断、场输出厚膜电路损坏、场输出耦合电容器失效、场反馈电阻开路。利用测量电阻法或电压法，均可排除此类故障。

(5) 屏幕上只有一条垂直亮线

此故障范围极窄，也属典型故障之一。有垂直亮线说明行扫描电路工作基本正常，问题出在行负载电路。最常见的原因有S校正电容、枕形失真校正变压器或线性补偿电感虚焊，偏转线圈接插件接触不良。用测量电阻法可排除此类故障。

(6) 图像模糊不清

屏幕上呈现的图像模糊不清，或者需要开机很长时间图像才能变得清晰。在显像管未衰老的情况下，此类故障是由于聚焦不良造成的。聚焦电路故障的范围很小，可首先调节聚焦电位器，若故障能够排除，说明其接触不良；若仍不能排除故障，可用测量电压法检测聚焦极的电压值，正常时应为4～8 kV。若测得聚焦电压很低或不可调，说明显像管的管座漏电。更换管座故障即可排除。

(7) 无彩色

此故障现象很典型，也是较难检修的一种故障。彩色电视机从接收信号直到送给显像管，其间整个信号通道都必须正常工作，屏幕上才能呈现逼真的彩色画面，因此无彩色的原因很多，情况也很复杂。

在彩色电视机中，因为产生黑白图像的亮度通道和还原彩色图像的色度通道是分开的，所以无彩色时应重点检查色度通道。色度通道包括色度放大、ACC电路、消色器、副载波振荡器和色同步电路。其中

任何一部分电路发生故障都会导致无彩色。最常见的原因有加到解码器的色度信号太弱，无行逆程脉冲输入，压控振荡器停振，解码器本身损坏等。

(8) 无黑白图像，但有彩色

这是典型的亮度信号丢失现象。检修此类故障时，应仔细观察故障现象。若彩色图像十分暗淡，且无黑白轮廓，说明只有色度信号加到显像管，而亮度信号完全丢失。由此可以判断在亮度通道中有的元器件已开路，用测量电阻法可迅速找出开路的元器件。故障原因包括维修开关接触不良、元器件虚焊、接插件接触不良等。若光栅亮度并不受影响，说明丢失的是亮度信号的交流成分，故障出在亮度通道的交流放大部分，用测量电压法能够检测出不良元器件，更换之故障即可排除。

(9) 屏幕呈现单色，且亮度高，有回扫线

屏幕上出现单色(红色、绿色或蓝色)，说明该电子枪发射的电子束很强，其阴极电压很低；而其他两个电子枪处于截止状态，消隐信号无法加上，使之出现回扫线。在显像管不存在质量问题的前提下，最常见的原因是视放管的 C－E 结击穿、放电管击穿、电阻开路。用测量电阻法即可找出故障元器件。

(10) 无伴音或伴音失真

伴音故障的检修较为容易，无伴音时应重点检查供电回路及扬声器。造成伴音失真的原因包括伴音鉴频回路失谐，伴音功放电路中有一只晶体管不工作，反馈电阻开路等。用测量电阻法或电压法即可排除故障。

四、万用表检修自动电热开水器

自动电热开水器由两部分组成，即水路系统和加热控制电路。本段主要介绍自动电热开水器的工作原理和检修方法。

(一) 自动电热开水器的工作原理

1. 水路工作原理

自动电热开水器水路结构如图 2－30 所示。

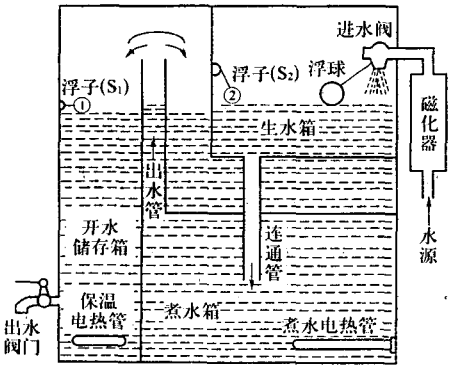


图 2-30　自动电热开水器水路结构

自动电热开水器水路包括磁化器、生水箱、进水阀、浮球、浮子 S_1、生水进水管、煮水管、煮水电热管、开水出水管、熟水箱、浮子 S_2、保温电热管、出水阀门等。

水路工作方式是：加水→磁化器→进水阀→生水箱→水位上升→进水阀关闭→浮子 S_2 动作。电热管得电加热→水开→沸水被蒸汽压入储水箱→浮子 S_1 动作→电热管断电，停止加热。

开水储存箱水满时，浮子 S_1 动作，保温电热管工作，保持开水温度供饮用。当生水箱水位下降，浮球下降时，进水阀开通加水，重复上述过程。如此往复，保证开水供给。

2. *电路工作原理*

自动电热开水器电路如图 2-31 所示。

自动电热开水器电路包括主电路、控制电路和信号指示电路。主电路由自动空气开关 QS，交流接触器 KM_1 的触头、KM_2 的触头，加热器 EH_1～EH_4 等组成。控制电路由冷水控制微动开关 S_2、热水控制微动开关 S_1，交流接触器线圈 KM_1、KM_2，温控开关 ST_1、ST_2，温度选择开关 SB 等组成。信号指示电路由电阻器和信号灯 HL 等组成。

电路得电，HL 信号灯点亮。当生水箱水位达到设定水位时，水位

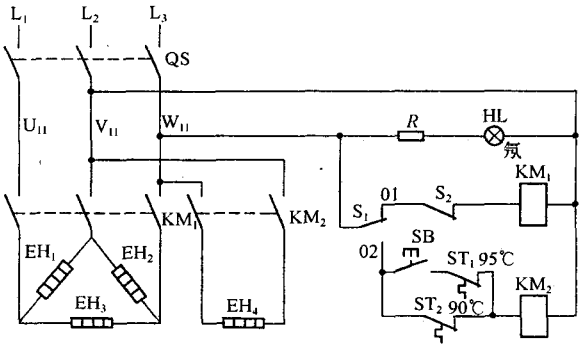


图 2-31　自动电热开水器电路

控制开关 S_2 闭合，接触器线圈得电动作，主触头闭合，加热器得电加热，开水进入储水箱。如果开水储量不足，则保温电热管 EH_4 不工作。如果开水储量达到设定值，S_1 动作，W_{11}-02 接通，接触器 KM_1 的线圈失电复位，其主触头断开 EH_1～EH_3 加热器电源，加热器停止工作。与此同时，交流接触器 KM_2 的线圈得电动作，KM_2 的触头闭合，EH_4 得电投入保温。在保温过程中，开水的温度受热敏开关 ST_1 或 ST_2 控制。低于 ST_1 或 ST_2 的设定温度时，开关自动通电加热；高于设定温度时，ST_1 或 ST_2 自动断电，停止加热。

当水箱缺水时，微动开关 S_2 自动断开，保证加热器在无水或水量不足的情况下停止工作。当开水储量不足时，微型开关 S_1 自动断开，保温加热器也不会参与工作。

（二）自动电热开水器的检修

下面介绍两个检修实例来说明自动电热开水器的检修方法。

1. 检修示例 1

(1) 故障表现

合上电源开关，接触器一吸合，自动空气开关就跳闸。

(2) 检修与处理

接触器触头闭合，带漏电保护的自动空气开关跳闸，与负载直接相

关。断开电源，用万用表的 $R\times1$ k 挡测试 EH_1、EH_2 和 EH_3 与机壳的绝缘电阻。正常情况下各电热管的引脚与外壳的绝缘电阻应为无穷大。如果测出某电热管的引脚与外壳间的绝缘电阻值为零，则表示该电热管已击穿短路。如果看到管壁有裂缝，它就是故障点。当有水从缝隙中进入管内与电热丝接触时，会引起漏电，当漏电电流达到自动漏电保护空气开关的整定值时，电源开关便动作，对电路实施安全保护。如果三只加热器中只有一只管子坏了，由于它们是一体化结构，必须同时更换。所换加热管采用的规格应与原产品规格相同。安装时，要做好防漏水措施。

2. 检修示例 2

(1) 故障表现

供应的开水水温低。

(2) 检查与处理

开水储存箱有开水供应，表明开水加热电路工作正常。开水水温低，表明是保温电路可能出故障了。重点检查交流接触器 KM_2、加热器 EH_4 以及 EH_4 的接插件。如果交流接触器 KM_2 的触头正常，可用万用表 $R\times1$ k 挡测试 EH_4。在正常情况下，6 kW、9 kW 两种规格的开水器的保温电热管的电阻值为 72 Ω，1.2 kW 的电开水器保温电热管的电阻值为 48 Ω。如果测试的电阻值很大，则说明被检查的电热管已烧坏。更换相同型号的电热管后，开水器就能正常供水。

五、万用表检修计算机显示器

显示器是微型计算机不可缺少的外部设备，在电路结构上彩色显示器与电视机有很大的相似性，但它们输入的信号和使用的条件不同。高分辨率多频彩色显示器，在其电路中运用了许多独特的技术，以达到高清晰度和高稳定性的效果。

(一) 彩色显示器的基本工作原理及其与彩色电视机的差别

图 2-32 是双频彩色显示器的典型原理框图。

由图可见，主机显示卡送来的行、场同步信号先要经过由 74LS86 组成的同步信号电平转换和极性调整电路，得到统一极性和电平的行、

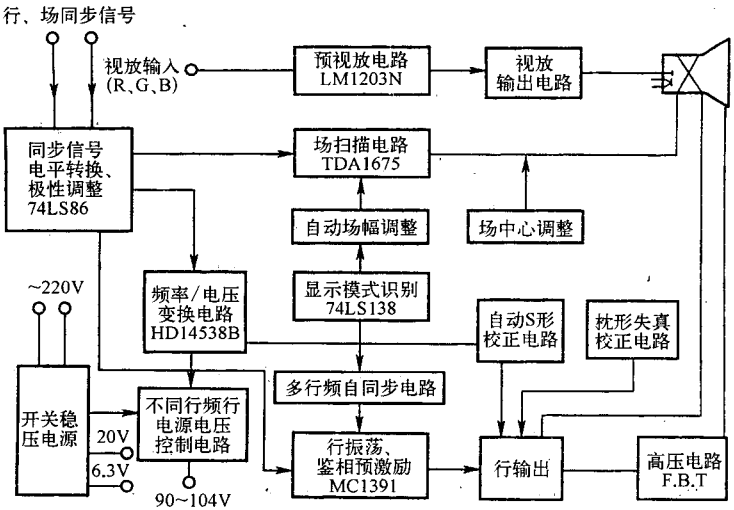


图 2-32　双频彩色显示器的典型原理框图

场同步信号，再去触发行、场扫描电路。整形后的行同步信号还要送到由单稳态触发器组成的频率/电压变换电路，经频率/电压变换电路HD14538B变换后，得到一个随行频率的不同而不同的控制电平，去控制行输出电路的电源电压的大小和行S形校正电容量的大小。

场扫描电路从振荡级到输出级，由单片场扫描集成电路TDA1675以及不可缺少的一些外接元器件组成。场输出级电路中还有场中心调节电路，场锯齿波电压送到枕形失真校正电路。该显示器的枕形失真校正电路能根据不同的显示模式来自动调节校正量的大小。SVGA和多频显示器同电视机相比，有一个主要的差别在于：显示器的场幅随不同的显示模式能自动进行调整。彩色显示器中常用的场扫描集成电路还有TDA1170等。

行扫描电路除激励级和输出级外，其他部分以行扫描集成电路MC1391为主组成。MC1391内部有行振荡、鉴相器(AFC)、行预激励

电路等。其中行振荡级外接定时电阻的大小受模式识别电路控制，因此，在 VGA 方式 31.5 kHz 行频和 SVGA 方式 35.5 kHz 行频下，都能自动同步。而多频彩色显示器的行同步范围一般可达 15～40 kHz。显示器常用的行扫描集成电路还有 HA11235、TDA1180、TDA2595 等。

彩色显示器行激励和行输出电路从原理上讲与彩色电视机基本相同。它同彩色电视机有所区别的是：显示器行偏转回路还加有行中心调整电路。另外，其 S 形校正电容的电容量也随不同的行频作相应的改变。它同电视机的最大区别是：为了使显示器在两种行频下高压能保持稳定，采取了根据行频的变化来改变行电源电压的办法。在多频彩色显示器中，行的电源电压范围根据不同的行频可在 45～135 V 范围内变动。

行输出变压器输出的逆程脉冲除要送到 AFC 电路、消隐电路、X 射线保护电路等外，还要去同步开关电源的开关频率。视放电压、调节亮度的栅极负压也是由行输出电路提供的。输入的 R、G、B 三个模拟视频信号，先经宽带预视放集成电路 LM1203N 组成的预视放电路放大，再送到后级由共基电路构成的视频输出级放大后去激励显像管。LM1203N 是彩色显示器常用的 R、G、B 宽带放大器，内部有黑电平钳位电路和对比度控制电路。彩色显示器常用的预视放集成电路还有日本三菱公司生产的 M51387P。视频放大部分包含有暗平衡和亮平衡控制电路，用来调节显示器的白平衡。与电视机的通过调节视放电压来调节亮度的方法不同，现在的彩色显示器中多采用调节栅极电压的方法来改变亮度。行、场消隐信号也是送到栅极后通过控制栅极电压来实现行、场消隐的。

在彩色显示器中，都采用了变压器式开关电源，由光电耦合器（如 4N35）和可调稳压集成电路 TL431 来组成取样电路和反馈电路。由于使用了光电耦合器，能够有效地隔离电源初、次级，使主电路与交流电源隔离。在彩色显示器的开关电源中，开关变压器次级行的供电电压有两组，受频率/电压变换电路所得到的控制电平控制。当行频较高时，由较高的那组电压供电；当行频较低时，由较低的那组电压供电。在多频彩色显示器中，由于行的电源电压变化范围很宽，一般是单独为

行设立一个电源来供电。

（二）彩色显示器的修理

下面介绍四个检修实例来说明彩色显示器的检修方法。

1. 检修实例 1

(1) 故障表现

AST(VGA)彩色显示器屏幕上有一条水平亮线。

(2) 检查与处理

从电路构成原理看，行扫描电路及显像管电路的工作是正常的，故障只发生场扫描电路。场扫描电路的检查步骤可采取由前向后检查的方法，即场振荡级→场推动级→场输出级→偏转线圈电路。

具体检查时，首先判断场振荡级是否起振，是否有锯齿波电压输出。如果确定了场振荡级工作正常，再继续检查场推动级及场输出级。如果各级电路工作都正常而仍无垂直转信号，则说明故障发生在偏转线圈的电路上。

① 打开显示器后厢盖，给显示器通电，将亮度调至最暗，防止电子束集中射在荧光屏的一个区域上，使这一部分荧光屏受到损坏。

② 检查场输出电路。用示波器检查 U_{601}（DTA1675 A）的⑫脚电压波形（见图 2－33），结果正常，基本上说明 U_{601} 没有损坏，故障被圈定在场偏转线圈电路。

③ 检查场偏转线圈电路。在断电的情况下，用万用表电阻挡测量场偏转线圈插座接点到 U_{601} 的①脚和 R_{613} 的一端，没有断路。测量 C_{616}、VR_{601}、VR_{102}，未见异常。怀疑场偏转线圈有问题。拔下场偏转线圈插头，用万用表电阻挡直接从插头上测量场偏转线圈，电阻值为无穷大，表明电路断路。前面已测量过场偏转线圈本身是好的，所以这个断路点在偏转线圈与电路板之间。继续检查下去，发现有一条线在包皮内部断开，换线后给显示器加电，机器恢复正常。

2. 检修实例 2

(1) 故障表现

AST 彩色显示器开机后，光栅发红并且有回扫线，约 20 s 后，光栅消失。过一会儿再开机，故障重复出现。

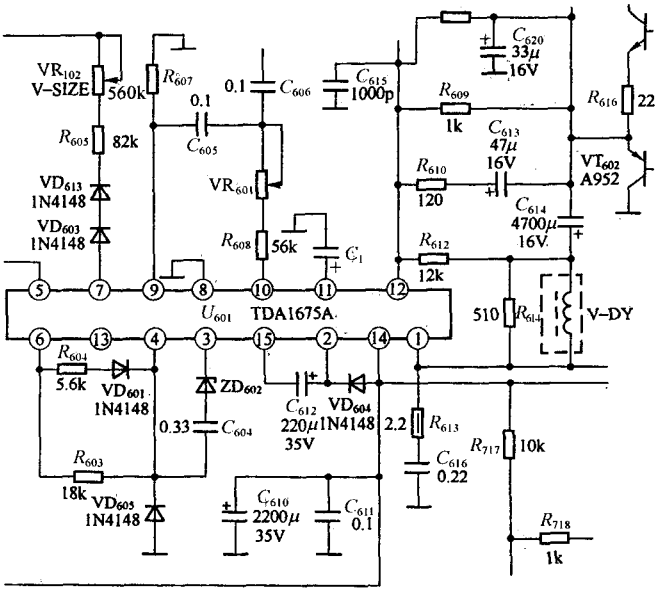


图 2-33　AST 彩色显示器场扫描电路

(2) 检查与处理

显像管出现红色光栅，说明其红色枪阴极电压太低。由于阴极电位低，使显像管电子束电流过大，使保护电路动作而自动关机。根据以上分析，故障应该在显像管电路或视放输出电路上。AST 彩色显示器视频电路如图 2-34 所示。

① 检查显像管是否损坏。拔下显像管管座，用万用表电阻挡测量显像管灯丝与阴极间电阻值，正常时应为无穷大，实测电阻确为无穷大，表明灯丝与阴极没有碰在一起。在拔下显像管的条件下，接通显示器电源，测量红、绿、蓝三个阴极电压，其红阴极电压约为 18 V，绿、蓝两个阴极的电压正常。从测量结果来看，一是证明了显像管灯丝阴极没有相碰；二是显像管红阴极电压太低，说明故障在视放输出电路或显像

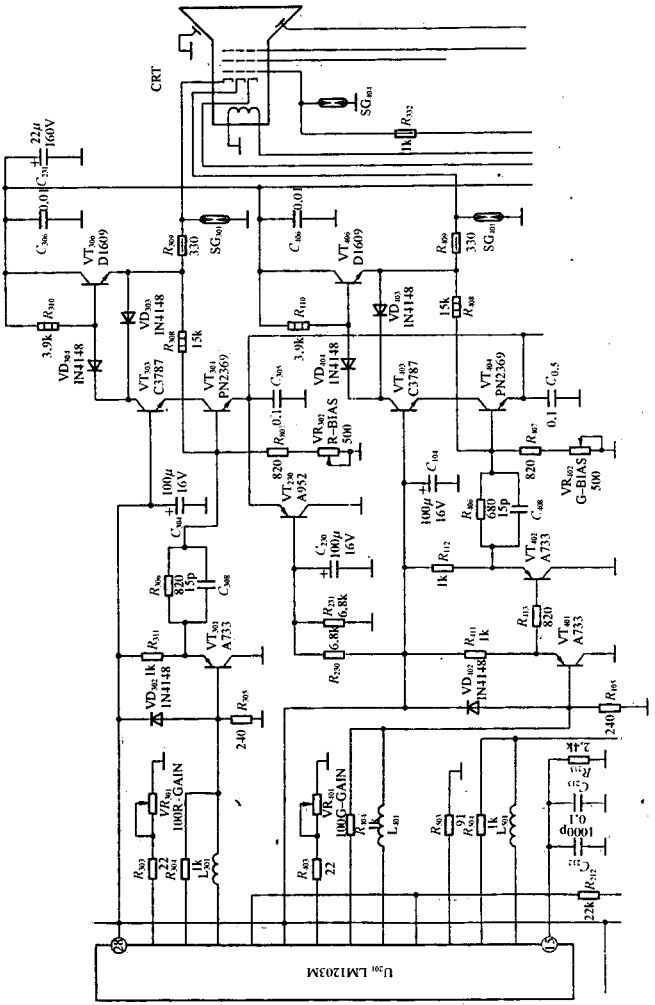


图 2-34　AST 彩色显示器视频电路

管外围电路。

② 检测视放输出电路，对红色输出电路中的 R_{303}、R_{311}、R_{306}、VR_{301}、C_{231}、C_{304}、VT_{303}、VT_{304}、VT_{306}等进行检测，都没有发现异常。检测显像管电路，检查结果是栅极、加速极供电情况也正常。重新拔下显像管管座，用万用表测量红阴极到地的电阻，只有 4.8 kΩ 左右，正常值应为无穷大，说明 SG301 已损坏。更换 SG301 放电器后，显示器恢复正常。如果一时无法获得好的放电器，也可以暂时不用，待有了之后再补上。

3. 检修实例 3

(1) 故障表现

一台 GW—500 型显示器接通工作电源后有光栅，但出现偏色。

(2) 检查与处理

GW—500 型显示器视频信号处理与视放末级电路如图 2－35 所示。当通道或视频放大电路有故障时，会致使图像信号通道的视频信号不能加至显像管的相应阴极，从而造成显示屏缺少某种颜色。通常有以下几种原因。

① 信号线使用的屏蔽线芯较细，易折断或接触不良。

② 通道部分电路损坏，使主机送出的某一种信号不能传输，或因通道电路损坏，使通道译码出错，失去某一颜色。

③ 视频驱动电路中某只晶体管损坏，致使图像信号在传输过程中丢失，造成缺色显示。

④ 视放输出级中某一电路损坏，使相应的色彩信号无法输出。

本故障表现是缺少红色。与红色相关的器件有电阻器 R_{714}、R_{715}、R_{801}～R_{805}、R_{807}～R_{809}，电位器 VR_{801}，电容器 C_{802}、C_{803}、C_{810}、C_{811}，二极管 VD_{801}、VD_{802}、VD_{807}，晶体管 VT_{801}～VT_{803}等。首先检查 10 芯接插件 JC_4，未发现故障；再检查电位器 VR_{801}，正常；然后用万用表的“DT”挡，检查晶体管 VT_{801}～VT_{802}，当检查到 VT_{803}时，其 c－e 极间电压降只有 0.08 V。进一步用万用表电阻挡复测 VT_{803}的集电极与发射极极间电阻，只有 20 多欧姆。于是，更换晶体管 VT_{803}，通电试机，故障不复存在。

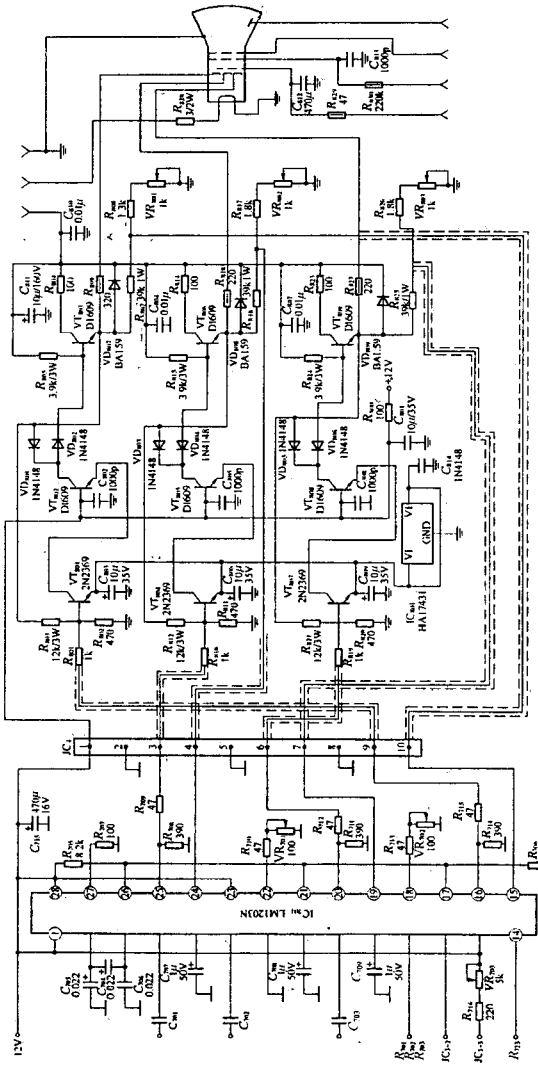


图 2-35　GW—500 型显示器视频信号处理与视放末级电路

4. 检修实例 4

(1) 故障表现

GW—300 型显示器,开机时电源指示灯不亮,屏幕无光栅。

(2) 检查与处理

GW—300 型显示器的电源电路如图 2-36 所示,它是调频调宽型开关稳压电源,只有单独的一路直流 113 V 电压输出到主板,供给行、场输出级电路,所有电路所需其他电压均取自行输出变压器的各个绕组。根据这种情况,先将电源 113 V 输出插头 X_{304} 拔掉,断开负载,接上 100 W 灯泡来区别是开关电源还是负载引起的故障。考虑到熔丝 F_{301}、F_{302} 烧掉后换上普通 2 A 熔丝可能耐不住开机时的消磁大电流而再烧掉,先将消磁线圈的插头 X_{303} 拔掉,这样还可以排除部分消磁电阻损坏引起的故障,以便集中考虑电源和负载问题。开机前先用万用表测得 C_{310} 两端的电压为 300 V,说明从交流输入到整流滤波这一部分正常。检查其他电路元器件无误,再开机并检测 113 V 直流输出电压,发现高达 200 V 左右,调整 RP_{321} 电位器作用不大,有时还出现响声,C_{614}、C_{615} 电解电容被重新击穿,这说明问题就在开关电源。为此将 220 V 交流输出端先接一自耦变压器,将电压降低到约 100 V 再开机,检测 113 V 输出电压,仍近 200 V。此时开关电源电路已经工作,并能带负载,只是输出电压太高并失控。经用万用表测量判断:N_{301} 厚膜电路部分没有工作,不能控制 VT_{301} 的通断,电路处于该参数条件下的一种自激振荡状态,使输出电压过高。检查并代换 N_{301} 模块后仍不能排除故障。焊下并仔细检查 RP_{321} 电位器,发现固定脚有开路现象,活动脚也接触不良。换上新电位器后,故障排除,113 V 输出电压正常并可调整。

六、万用表检修洗衣机

洗衣机是家用电器中普及率很高的家电产品,按自动化程度来分,洗衣机可分为普通型、半自动化型和自动化型洗衣机。目前使用最普及的是普通双缸波轮式洗衣机,它的结构主要由洗涤、甩干两个缸组成,各由一个定时器控制。洗涤定时器有正转、停、反转三挡。洗衣机在使用中出现一些问题是难免的,检修洗衣机时一般过程是:通过

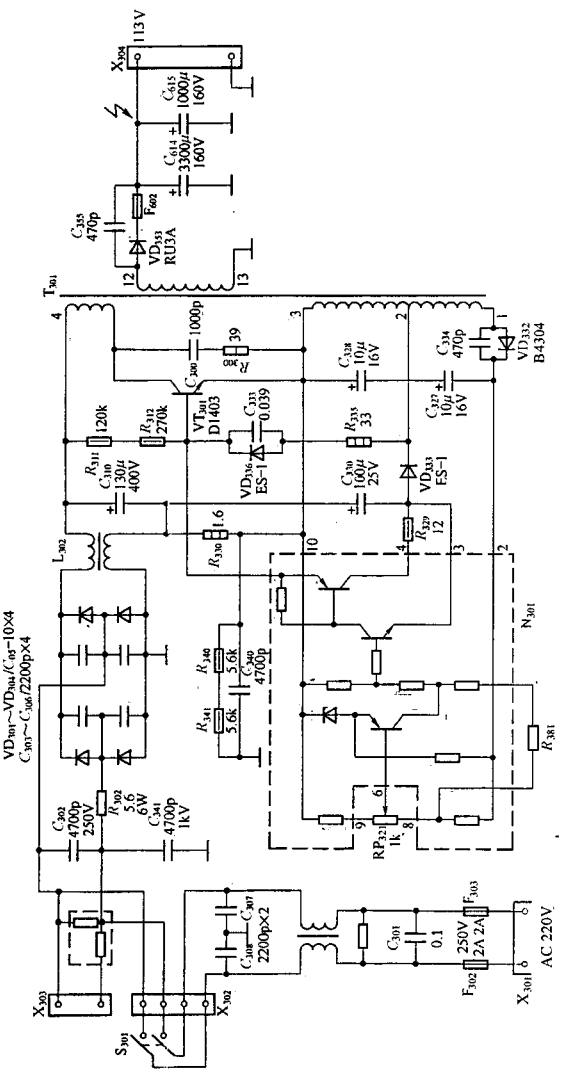


图 2-36　GW—300 型显示器电源电路图

观察故障现象，分析和判断故障的部位和原因，再通过检查对判断的结果进行验证，最后对故障部分元器件加以修复或更换。

在洗涤过程中，经常会遇到洗衣机不能启动运转的故障。发生这种故障有机械方面的原因，也有电路方面的原因。双缸洗衣机不能启动运转有以下三种情况：

(1) 洗涤部分和脱水部分都不能运转

洗涤部分和脱水部分的电路是并联的，这两部分都不能运转，可能是电源有故障或共同电路部分出现故障。检查步骤如下。

① 首先要检查电源插头。具体方法是：用万用表交流电压挡检查电源插头，如果没电，可能是停电或电源的熔断器熔断；如果情况正常，就要进一步检查洗衣机共同的电路部分。

② 检查共同电路部分时先检查洗衣机的熔断器是否熔断，如果熔断器正常，则再检查电路，如图 2-37 所示。可能是插头松动或芯线折断，也可能是内部接线接头松动，导致接触不良。

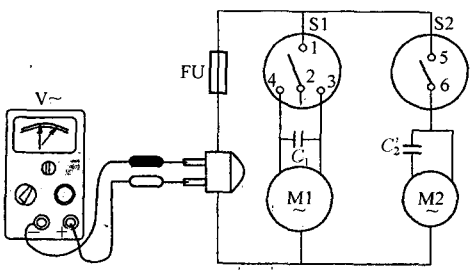


图 2-37　万用表检查洗衣机故障

(2) 洗涤部分不能启动运转故障的检查步骤

① 检查电动机情况。具体方法：接通电源，按下选择按键开关，仔细听电动机的声音，如果能听到电动机发出的嗡嗡声，说明电路是通的，要进一步检查电动机和启动电容器情况；如果定时器运转过程中，听不到电动机有任何声音，可用万用表的交流电压挡测量洗涤电动机两绕组的电压，如果是零，说明电路不通，要进一步检查洗涤定时器和

按键开关。

② 检查洗涤定时器。如果洗涤电动机运转，可先检查洗涤定时器的主开关触点。旋转洗涤定时器按钮 S1 到 3～5 min 处，此时触点 1 与 2 接通，3 与 4 接通，电动机 M1 处于正转状态。将万用表的量程转换开关旋转至 $R\times10$ 挡，测量主触点两根引出线，正常时，电阻应为几十欧。再把 3 与 4 断开，即电动机断电停止运行，应能听到接触器的动、静触点断开的“咔”声，此时万用表指示在“∞”Ω。再把触点 3 与 5 接通，电动机 M1 处于反转状态，反转接通时，同样能听到跟正转相同的“咔”声，电阻值也在几十欧。当把 3 与 5 触点断开时，万用表指示也应在“∞”Ω。这样，用万用表分别检查洗衣机的每一挡（强洗、中洗、弱洗）的通路电阻和开路电阻。

③ 检查按键开关。用万用表的电阻挡检查按键开关，将一支表笔接按键开关的公共引出线，另一支表笔分别碰接依次按下的强洗、中洗、弱洗各按键的引出线。在正常情况下应该是导通的。如果都不导通，可能是公共引线脱焊或折断，如果有一根引线不导通，可能是某个触点接触不良，也可能是哪根引出线脱焊或折断。

④ 检查洗涤电动机定子绕组。洗涤电动机定子有主绕组或副绕组，其中任何一个绕组短路或断路都会使电动机不能启动运转。遇到这种情况时，可用万用表的电阻挡测量两绕组的阻值，如果两绕组阻值相关非常大，阻值小的绕组可能短路；如果有一个绕阻值为无穷大，说明这个绕组有断路现象。

⑤ 检查启动电容器。如果洗涤电动机两绕组无故障，转轴转动也灵活，电动机还是不能启动，就可能是电容器短路、断路或电容器电容量变小。可用万用表来检查电容器是否出现故障。具体方法是：将万用表的量程转换开关旋转至 $R\times1$ k 或 $R\times10$ k 挡，先把电容器的一端与电路断开，两表笔接触电容器性能良好，可正常工作。如果两支表笔接触电容器两根引线时，万用表指针不摆动，说明电容器失效或内部断路。如单指针摆动很小或摆动很大但不返回，都说明电容器性能不良。指针摆动很小，说明电容器电容量衰减；指针虽然摆动，但摆动后不返回，则说明电容器内部有击穿短路。

电容器发生断路、短路和电容量衰减时，都应更换同型号、同规格的新电容器。

(3) 脱水部分不能启动运转故障的检查步骤

① 首先要检查刹车机构。如果合上脱水桶上盖后，刹车块能够尽快脱离刹车盘，脱水电动机能够自动转动，说明刹车机构能正常工作，此时，应检查桶盖开关和脱水定时器。

② 检查桶盖开关。合上脱水桶外盖后，可用万用表的电阻挡测量桶盖开关是否导通。如果两个表笔分别接触桶盖开关的两根引出线而不导通，说明桶盖开关接触不良；如果两根引出线导通，说明桶盖开关正常。应再检查脱水定时器。

③ 检查脱水定时器。旋转脱水定时器按钮，用万用表的电阻挡测量脱水定时器的两根引出线，如果不导通，可能是引出线脱焊或折断；如果导通，说明脱水定时器正常，可继续检查电动机定子绕组和启动电容器情况，其方法与检查洗涤电动机的方法相同。

七、万用表检修电饭煲

图 2－38 所示为电子保温式电饭煲的电路原理图。电子元器件和

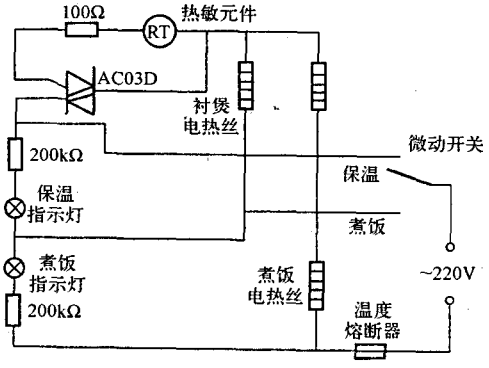


图 2－38　电子保温式电饭煲的电路原理图

指示灯均装在一声印制电路板上，感温元件控制晶闸管的导通与关断，再通过晶闸管控制电热器具电路的通断，从而实现自动恒温加热的目的。

检测电饭煲具体操作方法如下：

① 首先检查电饭煲的加热。将万用表的量程转换开关旋转至 $R\times 10$ 挡，两表笔接触电饭煲电源插头两脚，阻值应在 50～90 Ω 之间，否则应更换。

② 检查电饭煲的绝缘情况。将万用表的量程转换开关旋转至 $R\times 1$ k 或 $R\times 10$ k 电阻挡，两表笔分别接触电饭煲的带电部位和外壳，测试其绝缘电阻，此时指针应指示在无穷大“∞”位置；否则说明绝缘性能降低，应继续查找原因。

八、万用表检修电热水器

电热水器是用电加热的方法获得饮水、用水的电热器具。常用的电热水器主要有电热开水瓶、电热饮水机、电热淋浴器等，它们的工作原理相似，电热开水瓶电路如图 2－39 所示。

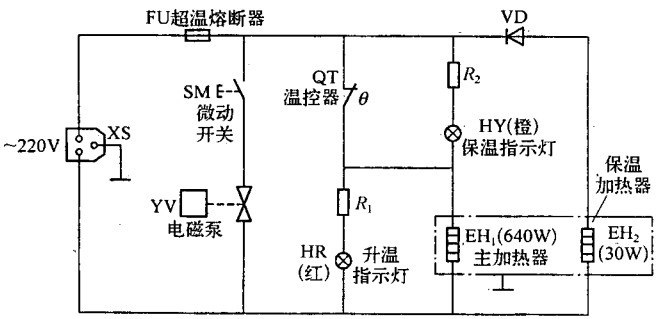


图 2－39　电热开水瓶电路

电热饮水、淋浴器具应能保证使用者正常并安全地使用。因此，对电热设备需要进行定期或不定期的检查。测试方法概述如下。

(1) 若主加热器不发热时,应注意检查的几方面

① 检查接线连接情况,如有松脱则予以重新接好。

② 用万用表 $R\times1$ k 挡,将两表笔分别接触温控器动断触点的接触电阻,此时,指示值应为"0"。若为无穷大,则表明温控器已损坏,应更换同型号的温控器。

③ 用万用表 $R\times1$ 挡测主加热器,正常时直流电阻 $R=68\sim79\ \Omega$,如果相差很大,则应更换新加热器。

(2) 若保温加热器不发热时,应注意检查的几方面

① 检查各接头连接情况,如果松动,予以重新接好。

② 用万用表电阻挡测试二极管正反向电阻,如果二极管的正反向电阻都为无穷大,则表明已经损坏。

③ 用万用表 $R\times1$ 挡测量保温加热器,正常时电阻值应在 726～847 Ω 之间,如果相差很大,则应更换。

(3) 若电磁泵不泵气时,应注意检查的几方面

① 支架变形、损坏应更换支架。

② 微动开关损坏应更换。

③ 用万用表电阻挡测量电磁泵线圈电阻,正常时电阻应为 1.8～2.2 kΩ,如果为无穷大,则应更换新电磁泵。

(4) 如果能发热但指示灯不亮时,应注意检查的几方面

① 检查连接情况,有松动时则应连接好。

② 用万用表测降压电阻 R_1 和 R_2,如果为无穷大,则应更换新电阻(阻值为 120～150 kΩ)。

(5) 测试电热开水瓶的绝缘电阻

具体操作是:将万用表转换开关旋转至 $R\times10$ k 挡,两表笔分别接触电热开水瓶的导电部位和外壳,正常时指针应不动;否则表明绝缘性能降低。

第三章

万用表的功能扩展与使用技巧

第一节　万用表测量电阻的应急使用技巧

指针式万用表 $R\times1$、$R\times10$ 挡的工作电流较大，当电池电压降低、内阻增大时，这两挡就无法调零，尤其是 $R\times1$ 挡受电池影响最大。$R\times10$ 挡采用叠层电池供电，而叠层电池储存的电量有限，使用一段时间后也会调不到欧姆零点。一旦出现上述情况，操作者希望继续测量而手头既无新电池可以更换，又无其他万用表能够替代时，作为一种应急措施，可以采用“差值法”测量电阻。

一、利用“差值法”测量电阻的工作原理

所谓“差值法”就是从测量值中减去欧姆调零时的初始值，得到被测电阻的实际值。具体方法如下：首先把两支表笔短路，调整欧姆调零电位器使指针尽量接近于欧姆零点，并记下电阻初始值 R_1；然后接上被测电阻 R_X，再记下读数 R_2。被测电阻的近似值就由下式确定：

$$R_X \approx R_2 - R_1 \qquad (3-1)$$

前面曾分析过，欧姆表对被测电阻而言可视为线性电流表。这表明当电池电压降低时，对应于阻值已确定的电阻 R_X，在测量过程中指

针偏转角度 $\Delta\alpha$ 可近似认为不变，所改变的只是欧姆零点的位置。式(3-1)中的(R_2-R_1)差值，就反映出 $\Delta\alpha$ 不变的性质。

通过下述实验可以验证差值法测量电阻的准确程度。选择两个低阻值 1/8 W 碳膜电阻，阻值分别为 11 Ω、27 Ω。鉴于数字式万用表的准确度较高，可作标准表使用。现选用一块 DT860 型 3½位数字式万用表，该表电阻挡的准确度达±(0.75%RDG+3 个字)，RDG 为读数值。分别测出两只电阻的阻值：$R_{X1}=11.6\ \Omega$，$R_{X2}=27.0\ \Omega$，以此作为准确值。

选择一块 MF64 型指针式万用表，其 $R\times1$ 挡(该挡能够调零)，实测两个电阻值分别为 12 Ω、26 Ω。全部测量数据及误差计算情况见表 3-1。不难看出，对于被测电阻 $R_{X1}=11.6\ \Omega$ 的情况，MF64 型万用表 $R\times1$ 挡在修正前的测量值竟为 29.5 Ω，误差高达+154.3%！测量结果已失去意义。而采用差值法修正后，$R'_X=11.0\ \Omega$，误差仅为−5.2%，已具有实际意义。由此可见，差值法不失为一种应急测量方法，在特殊情况下用此法估测电阻值还是有参考价值的。

表 3-1　测量数据及误差比较

准确值 R_X/Ω	万用表型号	电阻挡	测量值 R_2/Ω	修正前的测量误差(%)	初始电阻值 R_1/Ω	用差值法计算结果 R'_X/Ω	相对误差 γ(%)
11.6	MF64	$R\times1$	29.5	+154.3	18.5	11.0	−5.2
	DY—1	$R\times1$	12	—	0	—	+3.4
27.0	MF64	$R\times1$	43	+59.2	18.5	24.5	−9.3
	DY—1	$R\times1$	26	—	0	—	−3.7

二、测量注意事项

① 若将表笔短路时指针向左偏转角度过大(超过 45°)，说明电池电压已从 1.5 V 降到 0.75 V 以下，此时 $R_1>R_0$(欧姆中心值)，就不能

用差值法了。由于测量已没有意义，因此必须换新电池。

② 当电池电量明显不足时，每次使用 $R\times1$ 挡的测量时间应尽量缩短，以免在测量过程中电池电压继续下降，导致测量误差进一步增大。

第二节　万用表的测量功能扩展与使用技巧

一、万用表测量温度

下面介绍一种能对热电偶自动进行温度补偿的新颖测温电桥电路，它不仅能对冷端温度进行自动补偿，还利用内置硅晶体管发射结（或硅二极管）作半导体温度传感器来测量室温。由它构成的数字温度计电路简单，成本低廉，准确度高，便于调试。其测温准确度可达±1%，分辨力为1℃。国产DT830C+型3½位数字式万用表就是采用这种测温电路。

（一）测温电桥的工作原理

测温电桥的电路如图3-1所示。四个桥臂分别由VT，R_1、R_2、R_3、RP_{1a}、RP_{1b}及R_4组成。RP_1选用100 Ω电位器，这里以RP_{1a}和RP_{1b}分别表示a端至触头、触头至b端之间的电阻。VT选2N3904（或JE9013）型NPN晶体管，将其集电结短接后代替二极管，对K型热电偶的冷端温度进行补偿，VT的发射结还起到温度传感器的作用。由R_1、R_2组成分压器，其分压比为

$$K=\frac{R_2}{R_1+R_2} \tag{3-2}$$

K型热电偶接在A、B两点，测温电桥的输出电压就作为ICL7106型单片A/D转换器的输入电压U_{IN}。U_{IN}采用差分输入方式，IN端经桥臂电阻（$RP_{1a}+R_4$）接模拟地。测温电桥的供桥电压取自ICL7106内部+2.8 V基准电压源E_0。K型热电偶具有正的电压温度系数，$\alpha_{TK}=$

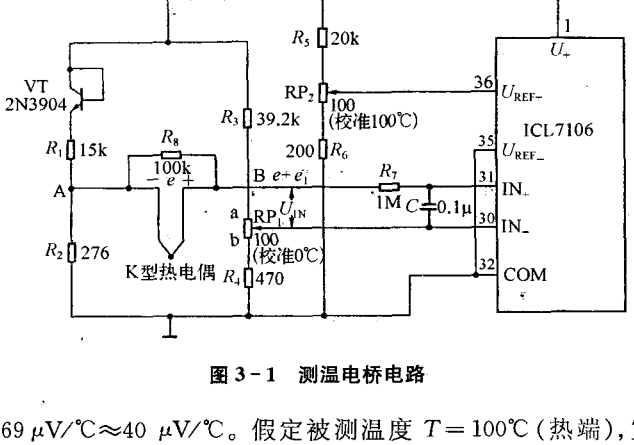


图 3-1　测温电桥电路

41.269 μV/℃≈40 μV/℃。假定被测温度 T=100℃(热端),室温 T_A=20℃(冷端),此时热电势 $e=\alpha_{TK}\cdot(T-T_A)$=40 μV/℃×80℃=3.2 mV。这恰好对应于 80℃的毫伏值,极性如图 3-1 所示,与热电偶的极性一致。这表明,测量 100℃温度时登记表仅显示 80℃,比实际被测温度低 20℃,而 20℃就对应于 0.8 mV(准确值是 0.798 mV)。若将 e 视为电源,只要给它串联一个附加 0.8 mV 热电势 e_1,使($e+e_1$)恰好等于 100℃所对应的热电势(4.095 mV,近似取 4 mV),则仪表可显示 100℃。实际上只需把 A 点电位降低 e_1 值,就相当于串入反极性的附加电势 e_1,使 B 点电位提升到($e+e_1$),同样能直读温度值。这就是对冷端温度进行补偿的原理。下面介绍具体电路的工作原理。

众所周知,硅晶体管发射结(即 PN 结)的正向导通压降 U_{BE} 与温度 T 成正比,且电压温度系数 α_{TBE} 为负值,通常 $\alpha_{TBE}=-(2.0\sim2.5)$ mV/℃。但具体到某只管子,α_{TBE} 值则为定值。假定 2N3904 的 $\alpha_{TBE}=-2.4$ mV/℃,现以 A 为参考点,当 T_A=20℃时,VT 发射结正向电压的变化量 $\Delta U_{BE}=\alpha_{TBE}\cdot T_A=-2.4$ mV/℃×20℃=−48 mV。ΔU_{BE} 经过 R_1、R_2 分压,迫使 A 点电位降低,有关系式

$$\Delta U_A = K\Delta U_{BE} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \Delta U_{BE} \qquad (3-3)$$

将 $R_1 = 15\ k\Omega$、$R_2 = 276\ \Omega$、$\Delta U_{BE} \approx -48\ mV$ 代入式(3-3)中，计算出 $\Delta U_{BE} \approx -0.8\ mV$。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均可对 K 型热电偶的冷端温度进行补偿。

该电路具有以下四个显著特点：

① 利用硅管发射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。

② 鉴于 $|\ \alpha_{TBE}\ | \gg \alpha_{TK}$，需借助分压器使 $|\ \alpha_{TBE} \cdot K\ | = \alpha_{TK}$，从而实现了温度自动全补偿。

③ 插上热电偶之后仪表显示的是被测温度 T；未插热电偶时，由 R_8 将桥路的输出端接通，仪表显示常温 T_A（即室温），测量室温的范围是 0～40℃。热电偶测温范围则取决于其型号，例如选用 TP03 微型热电偶时为 −50～1 300℃。

④ 该数字温度表在 −40～400℃时的准确度为 ±0.75%，在 400～1 000℃时的准确度为 ±1.5%，分辨力是 1℃。

（二）注意事项

① 温度测量中的“归一化”并非 0.1 mV/℃，而是 1 个字/℃。该仪表的基准电压 $U_{REF} \approx 40\ mV$。RP_2 为校准 100℃的电位器，用它来调整 U_{REF}，使仪表对应于 $T = 100$℃时应显示 100 个字，此时不必关注 U_{REF} 值。RP_1 是校准 0℃的电位器。

② 尽管硅晶体管的 α_{TBE} 存在一定的偏差，桥臂电阻也有误差，但这些均可在用 RP_1 校准 0℃时予以消除。需要注意的是热电势信号很弱，应选用电噪声很小的金属膜电阻作桥臂电阻。

（三）调试方法

① 首先将测温探头与被校表在相同温度（室温）下放置 20 min，然后用标准水银温度计测出该环境温度 T_A。

② 再把测温探头与标准水银温度计一同置于冰水混合物中。调整电位器 RP_1，使被校表的显示值为(000～001)℃。

③ 把探头热端插入 100℃沸水中，调节电位器 RP_2 改变基准电压值，使被校显示 99～100℃。在海拔较高的地区，水的沸点会低于100℃，此时只要仪表显示值与标准水银温度计所指示的沸点温度相符（允许±1℃），即认为合格。

④ 拔掉测温探头，仪表应显示所处环境温度 T_A 值，允许有±1℃的误差。

⑤ 将标准毫伏信号源的输出接被校表的热电偶插座中。依次输出 3.207 mV、29.128 mV 和 41.269 mV，分别校准 300℃、700℃和 1 000℃ 的显示值。若被校表出现偏差，则微调 RP_2，直至显示值符合要求。调试完毕，将 RP_1 和 RP_2 用胶或石蜡封固。

二、万用表测量频率和转速

目前，有的新型指针式万用表增加了测量频率的功能。为此，必须将被测频率转换成直流电压信号 U，完成频率/电压（f/U）转换。利用特殊电路还可完成转速/电压（n/U）转换。下面介绍几种适配万用表的测量频率及转速的电路。

（一）模拟式市电频率计电路

1. 工作原理

图 3-2 是模拟式市电频率计的电路，测频范围是 10～100 Hz，可用来监测 50 Hz 市电频率。图中 VD_Z 采用 2CW367 型（国外对应型号为 1N6020B、BZ148）玻封稳压二极管，其稳定电压 $U_Z=68$ V（典型值）。R 为稳压管的限流电阻，要使稳定电流 $I_Z\approx2$ mA。C_1 起隔直及降压作用，VD_1、VD_2 为检波二极管，C_2 为滤波电容。该电路利用稳压管将 220 V 正弦波电压变成 50 Hz 矩形波。在正半周，当 $U>U_Z$ 时，VD_Z 正向导通，B 点电位等于零伏。经 C_1 隔断直流后得到正向脉冲（负向脉冲被 VD_1 所短路），再经过 VD_2、C_2 获得直流电压，推动 100 μA 电流表的指针偏转。A、B、P、Q 四点的时序波形如图 3-3 所示。RP 为频率校准电位器。将标准数字频率计（例如 E312 型）或模拟式工频频率表（如 D65—Hz 型）作为标准仪器，进行校准后即可在 100 μA 表头上绘制频率刻度。

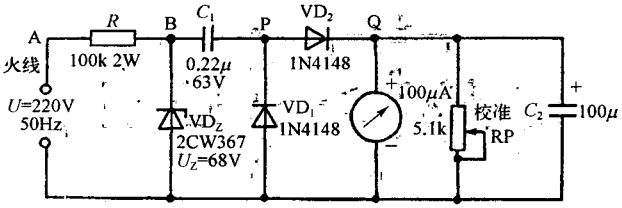


图 3－2　模拟市电频率计的电路

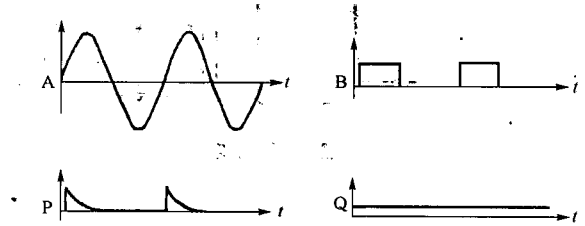


图 3－3　时序波形图

2. 注意事项

该电路未与电网隔离，必须注意电源的火线与零线位置不得接反。正确接法是电流表的负极应接电源零线。

（二）测量频率的电路

1. 工作原理

将满量程为 200 mV 的直流毫伏表配上频率/电压（f/U）转换器，即可测量频率。测量范围是 10 Hz～20 kHz，测量准确度可达±2%，被测频率信号有效值为 50 mV～10 V。

其测量原理是首先利用 f/U 转换器把被测频率信号转换成直流电压，然后送至 2.5 V 挡。测量电路如图 3－4 所示，主要包括运算放大器 TL061（IC_1），CMOS 六反相器 CD4069（IC_2，仅用反相器 F_1、F_2），CMOS 定时器 ICM7555（IC_3）。其中，IC_1 作电压放大器，IC_2 起到整形与缓冲的作用，IC_3 构成 f/U 转换器。输入频率信号 U_{IN} 经限流电阻 R_1

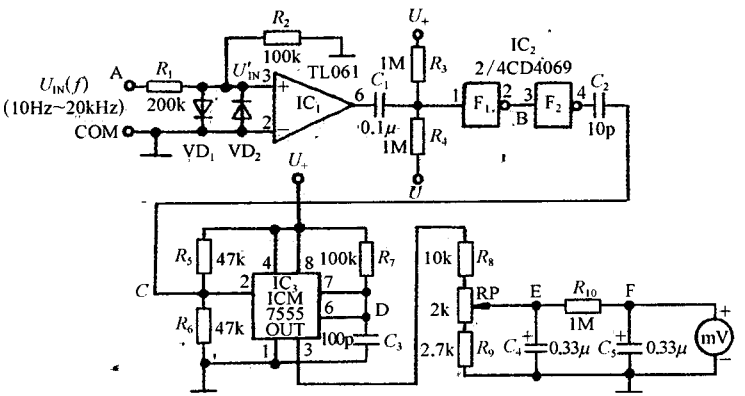


图 3-4　测量频率的电路

加至 IC_1 的同相输入端，利用 IC_1 作开环电压放大。VD_1 和 VD_2 为输入级双向限幅二极管，可将 U'_{IN} 限制在 0.7 V 左右，起到保护作用。C_1 为隔直电容。R_3 和 R_4 是偏置电阻，可将反相器 F_1 的工作点偏置在电源电压的中点：$(U_+ - U_-)/2 = E/2 \approx 4.5$ V。F_1、F_2 起到整形作用，使放大后的信号变成沿口陡峭的矩形脉冲，以便于进行 f/U 转换。F_2 的输出信号经 C_2 耦合到 ICM7555 的第 2 脚。R_5、R_6 也是偏置电阻，因 IC_3 的电源取自 ICL7106 的 U_+ 与 U_{COM} 之间，故其第 2 脚的工作点是 $(U_+ - U_{COM})/2 = E/2 = 1.4$ V。考虑到经多级放大整形后频率信号的沿口很陡，耦合电容 C_2 仅为 10 pF，目的是减小时间常数。若 C_2 的容量过大，则读数趋于稳定的时间将大为延长。为保证 f/U 转换能持续进行，ICM7555 的复位端接 U_+，使电路总不复位。控制电压端（第 5 脚）悬空不用。R_7 为定时电阻，C_3 是定时电容。ICM7555 在这里作单稳态触发器使用，触发脉冲为低电平有效。ICM7555 内含两上比较器和一个 RS 触发器。当第 2 脚输入电平从负向跳变到 $U_+/3$ 时，RS 触发器翻转，OUT=1，此时 U_+ 通过 R_7 对 C_3 充电。当 $U_{C3} = 2/3U_+$ 时，RS 触发器再次翻转，OUT=1 这样每触发一次第 2 脚，就从第 3 脚输出一个正向脉

冲。设高电平脉冲宽度为 $t(s)$，有公式

$$t_1 = -R_7C_3\ln 1/3 = 1.1R_7C_3 \qquad (3-4)$$

从第 3 脚输出的脉冲序列通过 R_8、RP 和 R_9 分压，再经过 C_4、R_{10}、C_5 滤波，获得平均值电压。因 t 是固定的，故触发频率 f 愈高，在单位时间内产生的脉冲数也愈多，由此获得 $\overline{U}_0$ 愈大。这表明 $\overline{U}_0$ 与 f 严格成正比，这就是利用 ICM7555 实现 f/U 转换的原理。RP 为校准电位器，调整它可使仪表直接显示出频率值。用该仪表实测 XFD—6 型低频信号发生器输出的 800 Hz、0.9 V(RMS)正弦波信号，毫伏表的读数值为 80。因频率表的 1 个字代表 10 Hz，故 80 就对应于输入频率 $f=800$ Hz。利用示波器观察图 3-4 中各工作点的波形如图 3-5 所示。

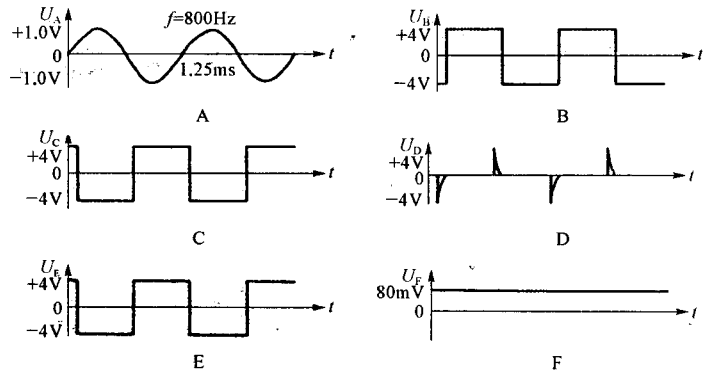


图 3-5　各工作点的波形

2. **注意事项**

① 由式(3-4)不难看出，通过改变定时电阻即可调节脉宽 t_1，从而改变 $\overline{U}_0$ 值。由此可设计成多量程频率表。欲设计 20 kHz、200 kHz 两个频率挡，需使用两套定时电阻，分别由固定电阻和电位器串联而成，以便于单独调节。

② ICM7555 亦可用国产型号 5G7555 代替。VD_1、VD_2 采用

IN4148 硅开关二极管。R_1～R_6、R_{10}选碳膜电阻。R_7～R_9使用误差为±1%的金属膜电阻。C_1～C_3选用瓷片电容、C_4和C_5可选用涤纶电容。

（三）测量频率和转速的电路

LM2907、LM2917 是美国 NSC 公司生产的两种集成频率(转速)/电压转换器，可将转速(或频率、转数)转换成电压，只需接少量的外围元件即可构成模拟式频率计或转速表。此外，还可构成汽车超速报警指示器、发动机转速控制器等。

1. LM2907/2917 的性能特点

① 内部包含比较器、充电泵、放大器等电路，能将频率(转速)信号转换成直流电压信号。LM2917 与 LM2907 的区别是在内部 U_{CC} 端与 GND 之间增加了一只 7.6 V 稳压管，利用稳压管可提高电源的稳定性。

② 比较器的滞后电压为 30 mV，利用滞后特性可抑制外界噪声干扰。

③ 其输出电压与被测频率成正比，线性度达±0.3%。

④ 价格低廉，外围电路简单，使用灵活。

⑤ 电源电压的典型值为+12 V，最高不得超过+28 V。电大工作电流为 28 mA。工作温度范围是－40℃～＋85℃。

2. LM2907/2917 的工作原理

LM2907、LM2917 有两种封装形式，一种是 DIP—8，另一种是 DIP—14，其引脚排列及内部电路框图如图 3－6 所示。U_{CC}、GND 端分别接电源和地。F 为转速(或频率)信号输入端。C_1、R_1/C_2为充电泵的外部阻容元件端，其中的 C_1 端接定时电容；R_1/C_2为晶体管集电极引出端。

以 LM2917 为例，内部主要包括 5 部分：① 输入比较器 A_1；② 充电泵；③ 放大器 A_2；④ 输出级(集电极开路的晶体管 VT)，最大可输出 50 mA 的电流；⑤ 7.6 V 稳压管。

由 LM2917 构成的频率/电压(f/U)转换电路如图 3－7 所示。被测频率信号 f 经过电位器 RP 接 LM2917 的第 1 脚。由 RP 构成输入分压器，调节 RP 滑动触头的位置可改变输入频率信号的幅度。＋12 V 电源

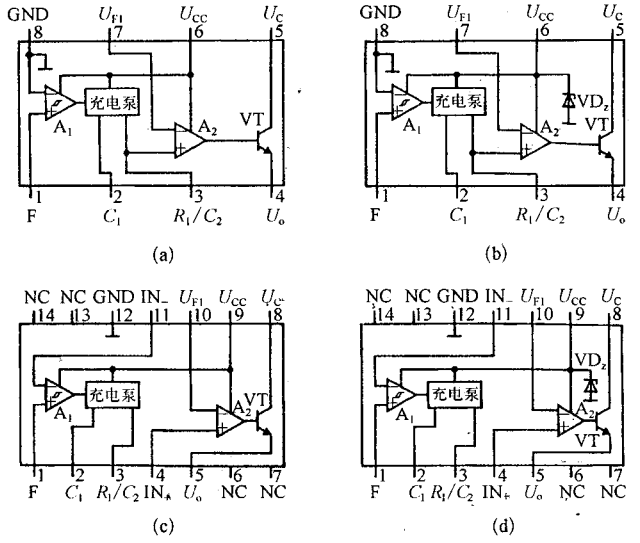


图 3-6　LM2907/2917 的引脚排列及内部电路框图

(a) LM2907(DIP—8 封装);(b) LM2917(DIP—8 封装)
(c) LM2907(DIP—14 封装);(d) LM2917(DIP—14 封装)

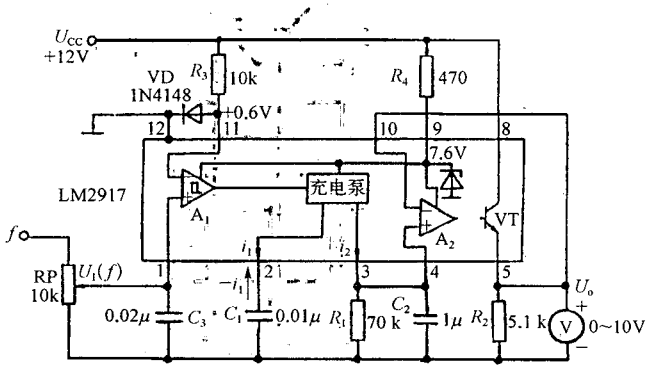


图 3-7　由 LM2917 构成的频率/电压(f/U)转换电路

经过 R_3、二极管 VD 分压后，向比较器 A_1 的反相输入端提供+0.6 V 的参考电压。R_2 是输出电压的负载电阻，R_2 的取值范围是 4.3～10 kΩ。0～10 V 直流电压表并联在 R_2 两端，用来指示被测频率值。R_4 是内部稳压管的限流电阻，取 R_4=470 Ω 时，稳定电流 $I_Z=\dfrac{U_{CC}-U_Z}{R_4}=\dfrac{12-7.6}{470}\approx 9.4$ mA

该转换器输出电压的计算公式为

$$U_O = f U_{CC} \tau = f U_{CC} R_1 C_1 \qquad (3-5)$$

式中，τ 表示充电泵的时间常数：$\tau=R_1C_1$。由式(3-5)可见，U_O除与 f 有关之外，还与电源电压U_{CC}、充电泵时间常数 τ 关。一旦 U_{CC}、τ 值确定后，U_O只取决于 f，这就是利用 LM2917 测量频率的原理。

图 3-8 示出 LM2917 的工作波形。(a)图为输入信号电压 $U_I(f)$ 的波形，(b)图是比较器 A_1 的输出波形。每当输入信号过零(0 V)时，比较器要经过 30 ms 的滞后时间才改变输出状态，这样可避免因外界干扰而造成的误动作。比较器每改变一次输出状态，充电泵就从第 3 脚输出一个电流脉冲。因此，只要在第 3 脚接上电容滤波器，取出脉冲

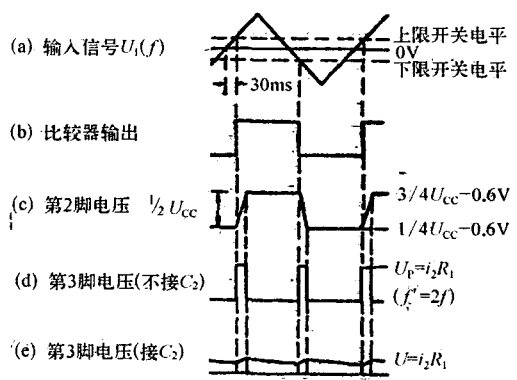


图 3-8　LM2917 的工作波形

的平均电压值，就实现了 f/U 转换。

当 A_1 输出高电平时打开电流源 i_1，对 C_1 进行充电。当充到 $3/4\,U_{CC}-0.6$ V（上限电平）时，电流源关闭。当 A_1 的输出变成低电平时，又打开电流源 i_1，对 C_1 反方向充电，使 C_1 上的电平下降到 $0.5\,U_{CC}-0.6$ V（上限电平）为止。因此 C_1 上的电压幅度应为

$$\left(\frac{3}{4}U_{CC}-0.6\text{ V}\right)-\left(\frac{1}{2}U_{CC}-0.6\text{ V}\right)=\frac{1}{4}U_{CC} \qquad (3-6)$$

先假定第 3 脚不接滤波电容 C_2，而是直接经过 R_1 接地。此时从第 3 脚上可输出脉冲列，其幅度 $U_P=i_2R_2$，频率 f' 则是信号频率 f 的两倍。

加上 C_2 后能对脉冲列起到平滑作用，从中取出平均值电流，并且在 R_1 上形成平均值电压 $\overline{U}=\overline{i_2}R_1$。(e)图中对 $\overline{U}$ 做了放大，以便能看清时序关系。实际上只要 C_2 足够大，$\overline{U}$ 就变成直流电压了。由于 $\overline{U}$ 和 f 成正比，而 $f'=2f$，所以 $\overline{U}$ 也就与 f' 成正比，从而完成了 f/U 转换。

实选 $U_{CC}=+12$ V，$R_1=70$ kΩ，$C_1=0.01$ μF，代入式中得到

$$U_O=f\times 12\times 70\text{ k}\Omega\times 0.01\ \mu\text{F}=0.0084\,f \qquad (3-7)$$

若 $R_1=83.3$ kΩ，则有公式

$$U_O=0.01\,f \qquad (3-8)$$

式(3-8)中 f 的单位为 Hz，U_O 的单位为 V。

3. LM2907/2917 的应用

(1) 测量频率

采用图 3-6 所示电路，利用 XFD—6 型低频信号发生器提供被测频率，频率范围是 20 Hz～1 kHz，输出正弦波的有效值为 3 V。LM2917 的输出电压可用万用表的直流 25 V 挡测出。测量数据见表 3-2。实验表明，该 f/U 转换器的非线性误差小于±3%，能满足常规测量的需要。

表 3-2 f/U 转换器的测量数据

输入频率 f/Hz	输出电压 U_O/V	非线性误差 γ(%)	输入频率 f/Hz	输出电压 U_O/V	非线性误差 γ(%)
20	0.11	0	500	2.69	−2.2
50	0.27	−1.8	600	3.23	−2.1
100	0.54	−1.8	700	3.77	−2.1
200	1.08	−1.8	800	4.28	−1.8
300	1.63	−1.2	900	4.82	−2.6
400	2.16	−1.8	1 000	5.43	−2.6

需要指出，如果被测对象是包含直流分量的脉冲信号，就应在 LM2917 的输入端增加一只隔直电容。

(2) 测量转速

由 LM2907 构成的转速表电路如图 3-9 所示。利用磁阻式转速传感器获取转速信号。齿盘就固定在旋转轴上，在齿盘上加工有 60 个等间隔的齿。传感器内部包含永久磁铁和感应线圈，它与齿盘的间隙大约调整到 1 mm。当齿盘旋转时，间隙处的磁阻就发生变化，线圈上

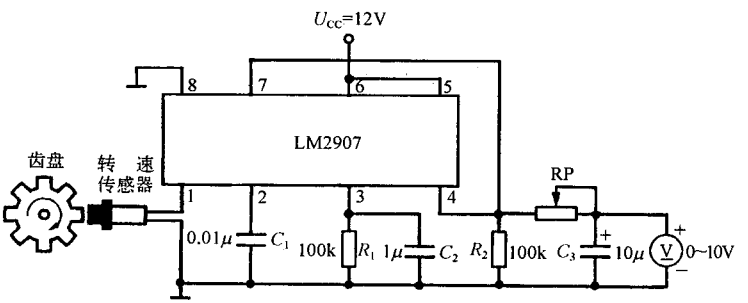


图 3-9 由 LM2907 构成的转速表电路

可感应出电脉冲信号。齿盘每旋转一周，传感器就发出 60 个电脉冲。f 经过 A_1 后，利用充电泵完成 f/U 转换。C_1、R_2 和 C_2 是充电泵的外部元件，R_2 是输出电阻，RP 是频率校准电位器，C_3 是滤波电容。

磁阻式传感器可用输入阻抗为 800 Ω 的耳塞改装而成，若在每个齿上镶嵌一块永久磁铁，就变成了磁电式传感器。此外还可采用光电式、霍尔元件式转速传感器。

上述电路是将 R_1、C_1 固定，只改变输入信号的频率。除此之外，还可以固定输入频率而改变时间常数 $\tau=R_1C_1$，使输出电压 U_O 与 τ 值成正比。这可分下面两种情况加以讨论：

① 利用被测电容器 C_X 来代替 C_1。当固定 R_1、改变 C_X 时，有关系式 $U_O \propto C_X$。利用此原理可构成多量程模拟式电容表。

② 利用被测电阻 R_X 来代替 R_1。当固定 C_1、改变 R_1 时，有关系式 $U_O \propto R_1$。由此还可构成多量程线性欧姆表，仍用 10 V 直流电压表作为指示计。

③ 输出电路的设计。LM2907/2917 适配多种类型的负载，构成不同的输出电路。图 3-10 示出了 6 种输出电路。(a)图是配发光二极管(LED)构成超速报警电路。R_1 为 LED 的限流电阻，U_{CC} 经过 R_2 和 R_3 分压后为 A_2 提供参考电压 U_1，它代表最高转速 n_{max}。设转速 n 所对应的信号电压为 U_S，当 $U_S>U_1$ 即 $n>n_{max}$ 时，A_2 就输出高电平，使 VT 导通，LED 发光，以此表示被测转速已超过最高转速。(b)图比(a)图增加了电阻 R_4，能使 LED 滞后熄灭。(c)图则是将 LED 接在输出级晶体管的发射极与地之间。(d)图为电压跟随器电路，其输出电压 $U_O=U_S$。(e)图是由 LM2907/2917 构成的电压/电流(U/f)转换器，有关系式

$$I = U_S/R \tag{3-9}$$

(f)图为积分输出电路。

三、万用表在线测量电阻

(一) 在线测量电阻的工作原理

在线测量电阻 R_X 的基本原理是，无论电路多么复杂，总可以把与

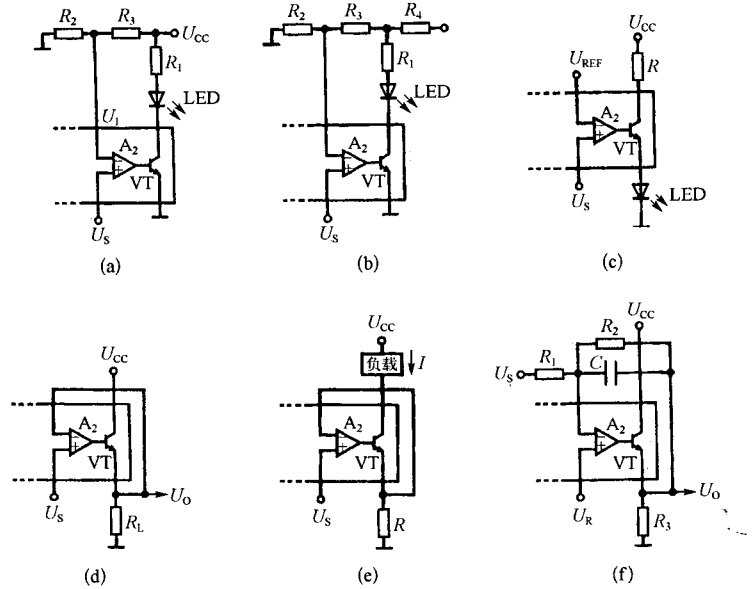


图 3-10　LM2907/2917 的 6 种输出电路

(a) 超速报警指示电路;(b) 具有滞后作用的超速报警指示电路;
(c) 接地负载;(d) 电压跟随器;(e) U/I 转换器;(f) 积分电路

R_X相并联的元件等效为两只互相串联的电阻 R_1 和 R_2,由此构成三角形电阻网络。基本原理如图 3-11 所示。只要使 R_1(或 R_2,下同)两端呈等电位,此时 $U_{R_1}=0$,则 R_1 相当于开路,R_2 变成运放的负载电阻,R_1 和 R_2 就不起分流作用,这样即可直接测量 R_X 的阻值。E 为测试电压,I_S 为测试电流。设流过 R_X、R_1 的电流分别为 I_X、I_1,运算放大器 A 的输入偏置电流为 I_{IB}。根据基尔霍夫定律可知

$$I_S = I_X + I_1 + I_{IB} \tag{3-10}$$

因 I_{IB}很少,可忽略不计;又根据"虚地"原理,$U_{cd}=I_1R_1=0$,故 $I_1\approx 0$,

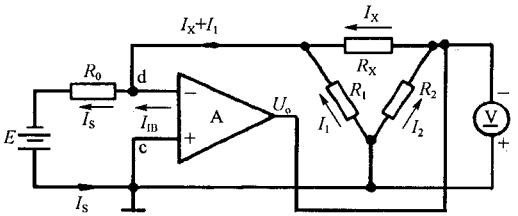


图 3-11　在线测量电阻的基本原理

亦可忽略不计。由此得到

$$I_S = I_X \tag{3-11}$$

再考虑到 c 点接地，d 点为虚地，因此

$$I_S = E/R_0 \tag{3-12}$$

进而推导出

$$U_X = I_X R_X = I_S R_X = \frac{E}{R_0} \cdot R_X \tag{3-13}$$

显然，只要用直流电压表测出 R_X 两端的压降 U_X，就能求出 R_X 值。此外，考虑到 d 点为虚地，因此直流电电压表可直接连到负载电阻 R_2 两端(即 U_O 与地之间)。这就是在线测量电阻的基本原理。

需要指出，式(3-10)中的 I_{IB} 还有正、负之分。运算放大器输入级偏流的方向，视其内部电路结构而定。以 PNP 型差分对管为输入级的运入(例如 LM358、LM324)，其 I_{IB} 是流出的(参见图 3-11)，现记作 $+I_{IB}$。而采用 NPN 型差分对管为输入级的运放(例如 μA741)，其 I_{IB} 却是流入的，需用 $-I_{IB}$ 来表示。但无论 I_{IB} 的电流方向如何，其数值都很小(一般仅为 5～80 mA)，因此在式(3-11)中总可以忽略不计。

(二) 在线电阻测量仪的电路设计

在线电阻测量仪的电路如图 3-12 所示。4 个电阻量程分别为 200 Ω、2 kΩ、20 kΩ、200 kΩ，测试电流分别是 10 mA、1 mA、100 μA、

10 μA。虚线框内表示被测电阻网络。R_{01}～R_{04}是量程设定电阻，S为量程开关。A_1和A_2合用一片LM358型双运放。为提高输出能力，A_2接成缓冲器，其输出端接2.5 V量程的直流电压表。所选测试电压E=3 V。以200 Ω挡为例，$I_S=E/R_{01}$=3 V/300 Ω=10 mA=0.01 A，U_X=0.01R_X(V)，即R_X=100U_X(单位取Ω)。显然，只要将直流电压表的读数乘以100，即为在线电阻值。该仪表的200 Ω挡测量范围是0.1～200.0 Ω。

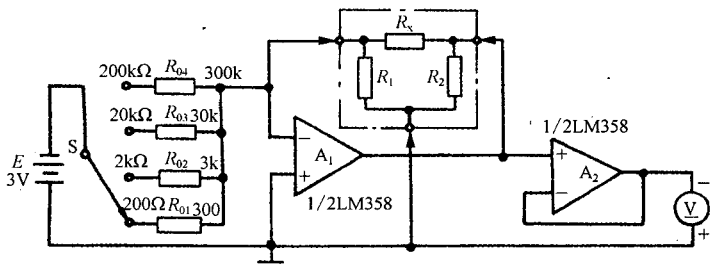


图3-12　在线电阻测量仪的电路

假如不要求直读电阻值，R_{01}亦可取150 Ω，使I_S=20 mA。因U_X=0.02R_X(V)，故R_X=100U_X/2(Ω)。此时应将读数除以2，才是实际电阻值，因此测量上限降至100.0 Ω。

在线测量电阻的误差是由运放的输入偏流I_{IB}和R_1上的电流I_1所引起的。I_1的形成是由于$U_{cd}\neq 0$，U_{cd}与运放失调电压U_{IO}和开环电压增益A_{VD}有关。因此所用运放的U_{IO}要尽量低，而A_{VD}要足够大。这里选择LM358型高增益运放，其U_{IO}=±2 mV(典型值)，A_{VD}=100 dB(折合10^5倍)，能满足常规要求。

(三) 在线电阻测量仪的应用实例

利用该仪表的2 kΩ挡先后实测4只在线电阻的阻值，然后分别焊下电阻的一脚，用VC890D型数字式万用表测量其离线电阻的准确值，测量数据见表3-3。由表可见，测量低阻时误差会增加，但一般不超过±5%。若采用ICL7650或LF412/LF412A型低失调电压的高增益运

放,则误差可低于±1%。

表 3-3　测量在线电阻的数据

测量在线电阻值/Ω	1 788	1 420	1 044	169
被测电阻的准确值/Ω	1 784	1 419	1 050	176
测量误差 γ(%)	−0.2	−0.07	+0.5	+4.1

四、万用表测量晶体管放大系数

晶体管电流放大系数近似等于集电极电流 I_C 与基极电流 I_B 之比,有公式

$$h_{FE} \approx I_C / I_B \tag{3-14}$$

测量晶体管 h_{FE} 的电路如图 3-13 所示,测量范围是 0～1 000(倍)。现以 NPN 管为例(见图 3-13(b)),由 R_1 和 RP 组成的偏置电路,可提供大约 10 μA 的基极电流。通过晶体管放大后得到的发射极电流 I_E,在取样电阻 R_0 上形成压降,作为仪表输入电压 U_{IN}。因 $I_E \approx I_C$,故

$$U_{IN} = I_E R_0 = I_C = h_{FE} I_B R_0 \tag{3-15}$$

将 $I_B = 10\ \mu A$,$R_0 = 10\ \Omega$ 代入式(3-15)中得到

$$U_{IN} \doteq 0.1 h_{FE}(mV) \tag{3-16}$$

即

$$h_{FE} = 10\ U_{IN} \tag{3-17}$$

显然,选择 200 mV 数字电压表,将 U_{IN} 的单位取 0.1 mV,再令小数点消隐后即可直读 h_{FE} 值。由于 E_0 可提供的电流有限,规定 $I_C \leqslant 10$ mA,$h_{FE} = 0 \sim 1\ 000$。

设计 PNP 管的 h_{FE} 测量电路时,需改变 E_0 的极性,并将 R_2 移至集电极电路中,见图 3-13(a)。

带 h_{FE} 插口的测量电路如图 3-14 所示。其特点是利用一个 8 芯 h_{FE} 插座来分别测量 PNP、NPN 管的 h_{FE}。为简化电路,基极偏置电路

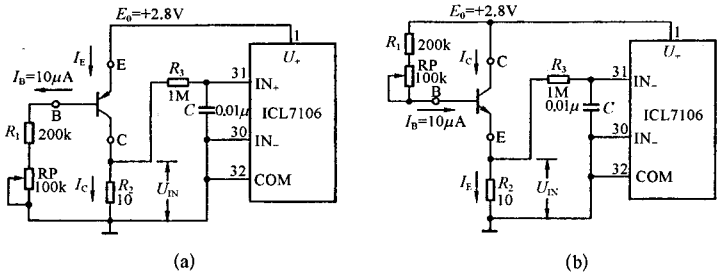


图 3－13　测量晶体管 h_{FE} 的电路

(a) 测量 PNP 管；(b) 测量 NPN 管

由固定电阻 R_1 和 R_2 组成，R_3 为取样电阻。为便于插入被测管，h_{FE} 插座上有 4 个 E 孔，每一侧的两个 E 孔在内部互相连通，可任选其一。

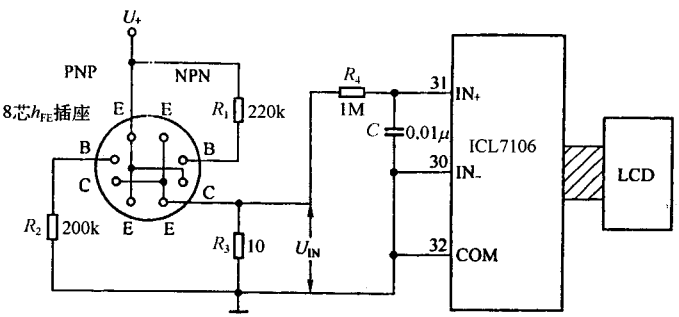


图 3－14　带 h_{FE} 插口的测量电路

五、万用表测量相位差

在检修或调试电子仪器(例如检查放大器的相移)时，经常需要测量相位差另外在电工测量中也需要判断三相交流电的相序。测量相位差时通常要用相序。测量相位差时通常要用相位表、数字式相位差计或者双线示波器。下面介绍仅用一块万用表测量两个正弦电压相位差

的方法，其理论上的测量误差小于±5°。

（一）测量相位差的工作原理

相位差用 $\Delta\phi$ 表示。对于两个频率相同的波形才能比较相位差。假定一个正弦交流电压 u_1 比另一正弦交流电压 u_2 提前到达峰值，则称 u_1 的相位超前，u_2 的相位滞后。u_1、u_2 可分别表示成

$$u_1 = \sqrt{2}U_1\sin(\omega t + \phi_1) \tag{3-18}$$

$$u_2 = \sqrt{2}U_2\sin(\omega t + \phi_2) \tag{3-19}$$

式中　ϕ_1、ϕ_2 ——分别为 u_1、u_2 的初相位；

U_1、U_2——分别为 u_1、u_2 的有效值电压。

根据矢量法及余弦定理，可推导出二者合成波形 u 的有效值表达式

$$U^2 = U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2\cos(\phi_2 - \phi_1) \tag{3-20}$$

当 $U_1 = U_2$ 并且令 $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ 时，上式简化成

$$U^2 = 2U_1^2(1 - \cos\Delta\phi) \tag{3-21}$$

即　$$\Delta\phi = \arccos\left(1 - \frac{U^2}{2U_1^2}\right) = \arccos\left(1 - 0.5 \times \left(\frac{U_1}{2U_1^2}\right)^2\right) \tag{3-22}$$

式(3-22)提供了测量相位差的理论依据。现对此式讨论如下：

① 当 $U=0$ 时，$\cos\Delta\phi = 1$，又即 $\Delta\phi = 0°$，u_1 与 u_2 同相。

② 当 $U = \sqrt{2}U_1$ 时，$\cos\Delta\phi = 0$，$\Delta\phi = 90°$，u_1 与 u_2 相差 90°。

③ 当 $U = 2U_1$ 时，$\cos\Delta\phi = -1$，$\Delta\phi = 180°$，u_1 与 u_2 反相。

④ $\Delta\phi = 360°$ 的情况与 $\Delta\phi = 0°$ 相同。

⑤ 利用星形接法的三相交流电源，很容易验证此式。因为相电压 $U_1 = U_2 = 220$ V，而线电压 $U = 380$ V，代入式(3-22)得到 $\Delta\phi = \arccos\left(1 - 0.5 \times \left(\frac{380}{220}\right)^2\right) = \arccos\left(-\frac{1}{2}\right) = 120°$。

测量相位差的电路如图 3-15 所示。u_1、u_2 分别加在 A—B、B—C

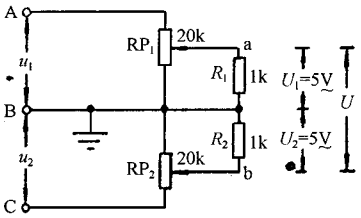


图 3-15　测量相位差的电路

之间，B 点为公共地端。RP_1、RP_2 组成两个分压器，R_1、R_2 是两个负载电阻。分别调整 RP_1、RP_2 使 R_1、R_2 上的电压有效值均为 5 V(可用万用表 10 V挡监测)。因为 RP_1、RP_2、R_1 和 R_2 均为纯电阻，所以 U_1 与 u_1、U_2 与 u_2 同相位，只要测出 a、b 两点的总电压 U，就能确定相位差的大小。

根据式(3-22)计算出 $\Delta\phi$ 与 U 的对应关系，见表 3-4。需要说明，表 3-4 要求两个正弦电压 U_1、U_2 均为 5 V，此时式(3-21)可简化成

$$U=\sqrt{2U_1^2(1-\cos\Delta\phi)}=\sqrt{2\times5^2\times2\times\left(\frac{1-\cos\Delta\phi}{2}\right)}$$

$$=10\sin\frac{\Delta\phi}{2} \qquad (3-23)$$

利用表 3-4，只需测出总电压 U(有效值)，即可迅速查出所对应的 $\Delta\phi$ 值。根据表中所提供数据而绘出 $\Delta\phi-U$ 曲线如图 3-16 所示。还可以在万用表刻度盘上专门绘制一条相位差刻度线，使用起来就更加方便。

表 3-4　Δ/ϕ 与 U 的对照表

Δ/ϕ(°)		U/V	Δ/ϕ(°)		U/V
0	360	0	30	330	2.59
5	355	0.44	35	325	3.00
10	350	0.87	40	320	3.42
15	345	1.31	45	315	3.83
20	340	1.74	50	310	4.23
25	335	2.16	55	305	4.62

（续　表）

Δ/φ(°)		U/V	Δ/φ(°)		U/V
60	300	5.00	125	235	8.87
65	295	5.37	130	230	9.06
70	290	5.74	135	225	9.24
75	285	6.09	140	220	9.40
80	280	6.43	145	215	9.54
85	275	6.76	150	210	9.66
90	270	7.07	155	205	9.76
95	265	7.37	160	200	9.85
100	260	7.68	165	195	9.91
105	255	7.93	170	19	9.96
110	250	8.19	175	185	8.99
115	245	8.43	180	180	10.00
120	240	8.66	—	—	—

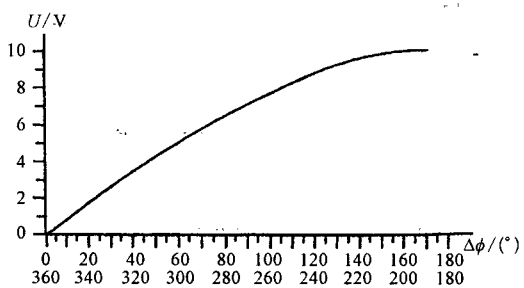


图 3-16　Δφ—U 曲线

从表 3－4 中不难发现，相位差 0°与 360°所对应的 U 值相等；相位差 5°与 355°也对应于同一个 U 值。推而广之，在 $0°\leqslant\Delta\phi\leqslant180°$ 时，$\Delta\phi$ 与 $(360°-\Delta\phi)$ 两个相位差对应于同一个 U 值。这表明根据此表可判定 0°～180°或者 180°～360°的相位差。

但从表 3－4 中只能查出 $\Delta\phi$ 的大小，无法确定 u_1 和 u_2 哪个相位超前，哪个相位滞后，然而在多数情况下，只要测出相位差就可以了。

若必须确定 u_1 与 u_2 谁超前，谁滞后，方法也很简单。在 R_1 上串联一只容量适合的电容器，以产生附加的相位差 $\Delta\phi'$，如图 3－17(a)所示。在 R_1 上串联电容 C 以后，电压 U_1' 的相位比 u_1 滞后。选择 $C=3.18\ \mu F$（可用 1 μF 与 2.2 μF 的电容器并联成 3.2 μF 代替），对于 50 Hz 交流电，其容抗为 $X_C=\dfrac{1}{2\pi fC}=\dfrac{1}{2\times3.14\times50\times3.18\times10^{-6}}=1\ k\Omega$。显然，$X_C=R_1$。由(b)图可见，$U_1'$ 与 U_{R1}（即 U_1）的相位滞后 45°。再调节 RP_1 使 $U_1'=5$ V（有效值），然后测量出 U 值，看它比不加 C 时增大还是减小了，由此即可判定 u_1 和 u_2 谁超前，谁滞后。

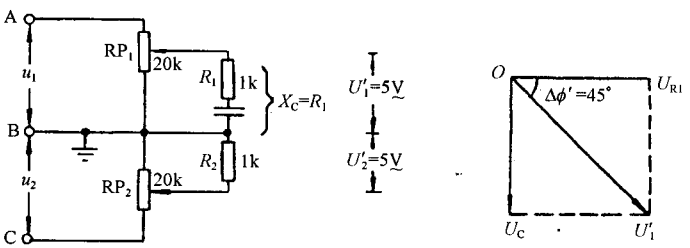


图 3－17　区分相位超前或滞后的方法

(a) 电路；(b) 矢量图

假如已知 $5°<\Delta\phi<45°$，可适当增大 C 的容量，使附加相位差 $\Delta\phi'$ 减小些。当 $\Delta\phi<5°$ 时，受万用表读数误差的限制，就无法测量准确，所以此法测相位差的误差规定为 ±5°。若使用 3½ 位数字式万用表，就能

分辨出±1°的相位差。

（二）注意事项

① 若 u_1、u_2 的有效值均低于 5 V，只要能调成 $U_1=U_2\geqslant 1$ V（有效值），仍可查表求出 $\Delta\phi$ 值，但预先应乘一个比例系数。设 $U_1=U_2<5$ V，且 $U_1=U_2=5\ \text{V}/m$，m 为比例系数。那么只要将测出的 U 值乘以 m，即为表中的总电压 U 值。

万用表的整流二极管在 1 V 以下的非线性失真较大，当 U_1、U_2 低于 1 V 时，测量误差会明显增大。倘若 u_1、u_2 中有一个电压较低，现假定是 $1\ \text{V}\leqslant U_2<5$ V，而 $U_1\geqslant 5$ V，可只调节 RP_1 使 U_1 减小到 U_2 的数值。这时 U_1、U_2 的电压值不是整数也可以。若 u_1、u_2 的有效值均低于 1 V，应各加一级电压放大器，分别放在到 5 V 以上。要求放大器本身的相移必须很小。

② 该方法只适于测量两个正弦电压的相位差，上述公式对非正弦电压不成立。

③ 受万用表频率特性所限制，u_1、u_2 的频率不宜超过 5 kHz。尽管当频率为 2 kHz 左右时测出的 U_1、U_2、U 值均会降低，但由于式（3-22）中的 $\Delta\phi$ 仅与 U/U_1 的比值有关，因此当 U_1、U_2 和 U 同时降低时并不影响 $\Delta\phi$ 值。但是当 $f>5$ kHz 以后，10 $\underset{\sim}{\text{V}}$ 挡的指针偏转太小，读数误差会增大。

第三节　万用表的检测功能扩展与使用技巧

一、万用表检测扬声器

（一）质量检测

首先选择万用表的欧姆 $R\times 1$ 挡，将一支表笔接触扬声器的任意一端，然后用另一支表笔去触碰扬声器的另一端，如果听到扬声器发出“喀喀”声，同时万用表的指针在摆动，则说明该扬声器的质量良好。如果扬声器不发声，且万用表指示值为无穷大，则说明该扬声器的音圈已

烧断或引线已开路损坏。如果扬声器不发声，但万用表指示值基本正常，则说明该扬声器振动系统有问题。

（二）性能检测

1. 扬声器阻抗的检测

如果扬声器的标记不清或脱落，可采取下列两种方法对扬声器的阻抗进行检测。

① 方法一：作一般性能检测时，可选择万用表的欧姆 $R\times1$ 挡，红、黑两支表笔分别接触扬声器的两端，测量出扬声器音圈的直流电阻值，把这个电阻值再乘以 1.17，即近似等于该扬声器的标称阻抗值。

例如：扬声器音圈的直流电阻值约为 6.5～7.2 Ω 时，那么该扬声器的阻抗值应是 8 Ω。

② 方法二：可采用图 3－18 的电路来检测扬声器的阻抗值。图中万用表选择合适的交流电压挡，电位器采用无感或碳膜电位器，R_1 的大小应与扬声器的阻抗（粗测）接近，音频信号发生器选择 400 Hz 或 1 000 Hz。调整电位器 RP，使万用表的电压指示值在开关 S 拨在 1 和 2 两位置时相等。那么，此时扬声器的阻抗值就等于电位器此时的实际电阻值。

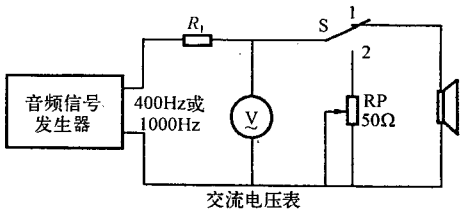


图 3－18　扬声器阻抗值检测电路

2. 扬声器相位的检测

扬声器的相位，也就是扬声器正、负极性，是指当一直流电流进入扬声器时，纸盆向前运动，则电流流入端即为正极。由于这种规定是任意的，因此扬声器的正、负极性是相对的，对于使用单只扬声器，其正、

负极性毫无实际意义。在多只扬声器并联使用时，应将各只扬声器的正极与正极相连，负极与负极相连，使各个扬声器同相位工作(串联使用时，应正、负依次相连)。

扬声器相位的检测可采用以下三种方法进行：

① 方法一：选择万用表的欧姆 $R\times1$ 挡，红表笔接触扬声器的任意一端，然后用黑表笔去触碰另一端，同时仔细观察扬声器纸盆的运动方向。如果此时扬声器的纸盆向前运动，则说明黑表笔接触的一端为扬声器的正极；如果此时扬声器的纸盆向后运动，那么红表笔接触的即是扬声器的正极。

② 方法二：选择万用表的直流电流 50 mA 或 250 mA 挡，将红、黑两表笔并接在扬声器两接线端上，双手按住纸盆迅速一压(用力不要太大，以免损坏纸盆)，若万用表指针向右摆动，则说明黑表笔接触的一端为扬声器的正极，反之红表笔接触的一端为扬声器的正极。

③ 方法三：找一节 1.5 V(5 号)干电池，将其负极用导线与扬声器的任意一端相连，然后用正极去触碰扬声器的另一端，同时观察扬声器的纸盆运动方向。如果纸盆向前运动，那么电池正极接触的这一端即为扬声器的正极；如果纸盆向后运动，那么电池负极接触的那一端是扬声器的正极。

3. 高、中、低音扬声器的直观检测

要检测扬声器的有效频率范围，需用专门仪器进行检测，这里介绍的是直观粗略检测法。

一般来说，扬声器的口径越大，纸盆边越软，低频特性越好；相反，纸盆越硬而轻，高音特性越好。对于直径大于 200 mm(8 in)的扬声器，适合于放送低音(橡皮边和布边扬声器低音特性较好)，直径在 165～200 mm(6.8～8 in)的扬声器，适合于放送中音，对于一些小口径(小于 130 mm)的扬声器，是专为袖珍半导体收音机制作的，其电—声转换效率高，但音质较差，且频率范围也窄。

4. 功率的检测

扬声器的功率可根据其口径的大小大致推断出来，表 3-5 中提供的数据，仅供检测时参考。

表 3-5 扬声器功率的检测数据表

口径(圆)/mm	φ40	φ50	φ55	φ65	φ80	φ90	φ100	φ130	φ165	φ200
口径(椭圆)/mm²	—	40×60	—	50×80	65×100	80×130	—	100×160	120×190	160×200
功率/W	0.05	0.1	0.1	0.25	0.4	0.5	0.5	1	2	3

上述检测是指一般纸盒扬声器,对于橡皮边和布边扬声器不适用,它们的功率要比同口径的扬声器大得多。

二、万用表检测磁头

(一) 音频磁头的检测

录放机音频磁头的检测,可选择万用表的欧姆挡,测量其线圈的直流电阻值,根据测出的直流电阻值,来估测它的某些参数。如:额定阻抗、电感量、录音电流及放音灵敏度等,具体检测值可参考表 3-6 中提供的数据。

表 3-6 音频磁头检测数据表

电阻值	额定阻抗	电感量	放音灵敏度	录音电流	说明
90～160 Ω	300 Ω	60 mH	大于 100 μV	小于 125 μA	性能良好
160～240 Ω	800 Ω	125 mH	大于 200 μV	小于 80 μA	
240～500 Ω	2 kΩ	300 mH	大于 300 μV	小于 45 μA	
∞	—	—	—	—	线圈开路损坏

(二) 直流抹音和交流抹音磁头的判断

用万用表测其线圈的直流电阻即可,直流抹音磁头线圈的直流电阻值约为几百欧姆,而交流抹音磁头线圈的直流电阻值只有几欧姆。

(三) 视频磁头的检测

首先用万用表的欧姆挡检测磁头线圈的直流电阻值,判断是否正

常或是否断路、短路；其次检测磁头线圈与磁鼓之间的绝缘电阻值是否为无穷大(正常值应为无穷大)；最后再用放大镜仔细观察磁鼓各磁头的磁尖是否已断裂或磨损。

三、万用表检测显像管

(一) 显像管灯丝的检测

如果给显像管的灯丝加上正常的工作电压 6.3 V 时，灯丝不亮，显像管无光栅，这时就要检测显像管的灯丝，看是否是显像管的灯丝出了问题。此时应去掉工作电压后，选择万用表的欧姆 $R\times1$ 挡，红、黑两表笔分别接触显像管灯丝的两个引脚，正常电阻值应在 1～10 Ω 范围内。如果电阻值较大或趋于无穷大，则说明该显像管灯丝接触不良或已开路损坏。

(二) 显像管是否衰老的检测

首先将显像管的管座取下来，单独为显像管灯丝加上正常的工作电压 6.3 V，持续(预热)几分钟后，选择万用表的欧姆 $R\times1$ k 挡，黑表笔接触栅极不动，红表笔去接触某一阴极。如果此时电阻值在 5～10 kΩ 范围内，则说明该显像管已轻度衰老，但还可继续使用。如果电阻值大于 10 kΩ，则说明该显像管严重衰老无法继续使用。

(三) 显像管断极的检测

当显像管加速极断极后，将出现无光栅现象。此时应拔下显像管的管座，将阴极与栅极之间短接，给灯丝加上正常的工作电压 6.3 V 后，选择万用表的欧姆 $R\times10$ kΩ 挡，检测加速极与阴极之间的电阻值。如果电阻值在 400 kΩ 左右时，可断定加速极无质量问题，这时需要检测其他元件或线路；如果电阻值趋于无穷大，则说明该显像管加速极已开路损坏。

当显像管某一栅极开路后，将出现亮度失控，有回扫亮线等现象。此时应拔下显像管的管座，给灯丝加上正常的工作电压 6.3 V，(预热)几分钟后，检测栅极与各阴极之间电阻值。如果电阻值趋于无穷大，则说明该显像管加速极已开路损坏；如果电阻值正常，那么要考虑是不是亮度控制电路出问题了。

当显像管的内部某个阴极开路后，将会出现缺少该阴极所对应的基色。此时，可能过检测阴极与栅极之间的电阻值来进行判断。如果电阻值趋于无穷大，则说明该显像管阴极内部已开路损坏。

（四）显像管漏电或碰极的检测

一般情况下，显像管的加速极与阴极或栅极之间很少出现漏电或碰极现象，而常见的是阴极与灯丝或与栅极之间较容易出现漏电或碰极现象。下面介绍它们的检测方法。

① 如果刚开机时显像管工作正常，而工作一段时间后，显像管显示单色光（红、蓝或绿），如表 3－7 所示的问题。特别严重时还会出现亮度失控或满屏回扫亮线的现象，说明某阴极与灯丝之间存在严重漏电现象。

表 3－7　显像管漏电所显示的问题

显示单色光颜色	红　色	蓝　色	绿　色
说明灯丝与该极间漏电	红阴极	蓝阴极	绿阴极

这时应将显像管的管座拔下，选择万用表的欧姆 $R\times1$ k 挡，检测灯丝与阴极之间的电阻值。

② 如果冷机时灯丝与某阴极电阻值趋于无穷大，而热机时有一定电阻值（电阻值大小与漏电程度有关），则说明该阴极与灯丝之间有漏电现象。正常情况下阴极与灯丝之间冷、热机电阻值均应趋于无穷大。

③ 如果开面后出现亮度失控，显像管满屏回扫亮线，且光栅为某一基色光，则说明灯丝与某阴极之间存在碰极现象。这时测量冷、热机状态下，灯丝与某阴极（可根据光栅颜色判断是红或蓝、绿阴极）之间电阻值，如果电阻值均为 0，则说明该极与灯丝之间有碰极现象。

④ 如果开机后出现亮度失控，有回扫亮线且呈现单基色光栅，则说明某阴极与栅极之间存在漏电或碰极现象。这时，应选择万用表的欧姆 $R\times10$ k 挡，检测栅极与某阴极（视光栅颜色而定）之间电阻值，如果有一定的电阻值或电阻值为 0，则说明栅极与这个阴极存在漏电或碰极现象（正常情况下电阻值均应趋于无穷大）。

四、万用表检测继电器

（一）电磁式继电器的检测

在继电器的使用当中，最常用的是电磁式继电器，而电磁式继电器应从以下几个方面去进行检测：

1. 触点的检测

首先选择万用表的欧姆 $R\times1$ 挡，检测继电器各个常闭触点间的电阻值，均应为 0。其次，检测各个常开触点间的电阻值，均应趋于无穷大。然后，用手将衔铁用力按下，再次用万用表检测各触点间的电阻值。此时，各常闭触点间的电阻值均应趋于无穷大，而各常开触点间的电阻值均应为 0，否则说明某触点已氧化或被烧蚀。

2. 电磁丝圈的检测

在正常情况下，一般继电器电磁线圈的电阻值应在 25 Ω～2 kΩ 范围内，额定电压越高，线圈的电阻值相应越大，根据这一特点，可选择万用表合适的欧姆挡，对电磁线圈的电阻值进行检测，表 3－8 为 JZC—21F 型直流电磁继电器电磁线圈的电阻值及其他参数，可供检测时参考。

表 3－8　JZC—21F 型直流电磁继电器检测参数表

规格代号	额定电压(DC)/V	线圈电阻值/(1±10%)Ω	吸合电压/V	释放电压/V	接点负载
003	3	25	2.25	0.36	直流 28 V(3 A)或交流 120 V(3 A)、220 V(1.5 A)
005	5	70	2.75	0.6	
006	6	100	4.5	0.72	
009	9	225	6.75	1.08	
012	12	400	9	1.44	
024	24	1 600	18	2.88	
048	48	6 400	36	5.76	

如果检测出电磁线圈的电阻值趋于无穷大，则说明该线圈已开路损坏。如果电阻低于正常值较多，则说明该线圈内部有短路现象。

3. 吸合电压与释放电压的估测

找一台电流为 2 A，电压为 0～30 V 连续可调的直流稳压电源，将被测继电器电磁线圈接在稳压电源的输出端。接通电源从低到高调节稳压电源输出的端电压（用万用表直流电压 50 V 挡进行检测），当听到被测继电器有触点吸合动作声音时，此时万用表上显示的电压值，即为该继电器的吸合电压值（额定工作电压一般是吸合电压的 1.3～1.5 倍）。然后，再将稳定电源输给端的电压逐渐降低，当听到继电器有触点释放动作的声音时，此时万用表显示的电压值，即为该继电器的释放电压值（释放电压一般是吸合电压的 10%～50%）。

4. 吸合电流与释放电流的估测

首先找一台 0～30 V 连续可调的直流稳压电源及一只 10 兆欧线绕电位器，选择万用表直流毫安的合适挡（或毫安表），按图 3-19 接线并将电位器的电阻值调到最大。

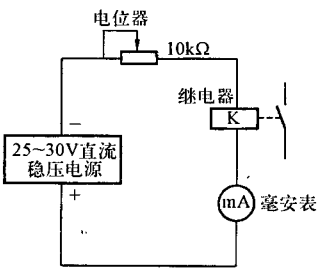


图 3-19　吸合电流与释放电流检测电路

接通电源后，逐渐调节电位器使其电阻值逐渐减小，当调到某一电阻值听到继电器有触点吸合动作声音时，此时万用表（或毫安表）的读数即为该继电器的吸合电流值（一般继电器的工作电流是吸合电流的 2 倍）。再逐渐调节电位器，使其电阻值增加。当听到有接触器触点释放的声音时，此时万用表（或毫安表）的读数即为继电器的释放电流值。

在断电的情况下，用万用表的欧姆挡检测继电器电磁线圈的直流电阻值，用直流电阻值乘以该继电器的工作电流值，即是该继电器的工作电压值。

（二）固态继电器的检测

选择万用表的欧姆 $R\times10$ k 挡，检测被测继电器各引脚间的正、反

向电阻值。如果某两引脚间正向电阻值较小，而反向电阻值较大时，这两只引脚就是输入端，那么另外两只引脚即为输出端。在电阻值较小的那次检测中黑表笔所接触的是正(+)输入端，而红表笔所接触的为负(−)输入端。

如果检测出某两引脚间的正、反向电阻值均为0，则说明该被测继电器内部已击穿损坏；如果检测出各引脚间的正、反向电阻值均趋于无穷大，则说明该被测继电器内部已开路损坏。

(三) 干簧式继电器的检测

首先选择万用表的欧姆$R\times1$挡，红、黑两表笔分别接触干簧式继电器的两端，并将其靠近一块永久磁铁(或半导体收音机的喇叭)，此时万用表的读数应为0。再将该干簧式继电器远离永久磁铁(或半导体收音机的喇叭)，如果此时万用表的读数趋于无穷大，则说明该干簧式继电器性能良好(即其触点在磁场作用下能正常的闭合与断开)；如果在靠近和远离磁场时，其触点不能正常的闭合与断开，则说明该干簧式继电器已损坏。

(四) 磁保持湿簧式继电器的检测

1. 触点的检测

选择万用表的欧姆$R\times1$挡，检测磁保持湿簧式继电器触点(衔铁片)引脚与两组静触点引脚间的电阻值。

如果动触点引脚与某一静触点引脚间电阻值为0，而与另一个静触点引脚间电阻值趋于无穷大，则说明该被测磁保持湿簧式继电器触点的性能良好；如果检测出动触点与两静触点间的电阻值均趋于无穷大或均为0，则说明该被测保持湿簧式继电器内部触点已损坏、接触不良或短路损坏。

2. 励磁线圈的检测

选择万用表的欧姆$R\times1$挡，检测励磁线圈两端的电阻值。如果电阻值为无穷大，则说明该励磁线圈已开路损坏；如果有一定的电阻值，则说明该励磁线圈有可能是好的，但也可能有局部短路故障，须做进一步的检测。

找一台6～24 V的直流稳压电源(具体电压值根据被测继电器本

身的工作电压值而定)和一只 10 kΩ 以下的电阻器,按图 3-20 接线。

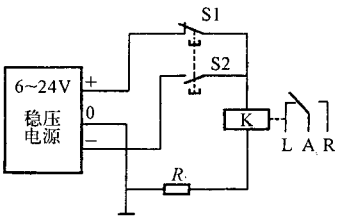


图 3-20　励磁线圈检测电路

此时,将励磁线圈的某一端接电源正极(或负极),用励磁线圈的另一端去碰接电源负极(或正极),即给励磁线圈加一个正(或负)脉冲电压,同时观察湿簧式继电器的衔铁片(动触点)是否有动作,如果有动作,则说明该励磁线圈性能良好;如果没有动作,则说明该励磁线圈已损坏。

第四章

万用表的检修与维护

第一节　万用表的检修方法

一、指针式万用表的检修方法

（一）指针式万用表的检修步骤

(1) 将万用表置于电阻挡，观察表头指针指示是否正常

① 如果表头指示不正常，则应检查接线和内置电池是否正常，必要时可换新电池。

② 如果表头指示正常，可将万用表置于直流电流挡检查指示值是否正确。

③ 如果接线和内置电池均正常，但表头指示仍不正常，则应检查转换开关是否正常，若有故障应加以修复。

④ 如果测量接线、内置电池和转换开关均正常，但表头指示仍不正常，则应拆卸表头查出故障并加以修复。

(2) 将万用表置于直流电流挡，检查指示值是否正确

如果指示值不正确，应对分流电阻或转换开关加以修理，使指示值正确为止。

(3) 将万用表置于直流电压挡，检查指示值是否正确

如果指示值不正确，应对分压电阻或转换开关加以修理，使指示值正确为止。

(4) 将万用表置于交流电压挡，检查指示值是否正确

如果指示值不正确，应对分压电阻或转换开关加以修理，使指示值正确为止。

(5) 将万用表置于电阻挡及其他功能挡，检查指示值是否正确

如果指示值不正确，则应修复相关部分，使指示值正确为止。

(6) 经过修理后的万用表，再按上述程序重新检查一遍

若工作正常，指示值也正确，则说明调试修理完毕。

(二) 指针式万用表的检修方法

1. 直观检查

(1) 外观检查

检修万用表，首先要进行外观检查。外观检查内容一般包括：

① 表壳有无损坏，标志是否清楚。新生产的万用表还应具有计量器具制造许可证[MC]标志。

② 仪表的接线柱、插孔、转换开关旋钮是否松动或断裂。转换开关手感分挡状态是否清楚，有无不正常的摩擦声及感觉，分挡指示是否准确无误。

③ 表面玻璃有无破碎，电表指针是否平直，机械调零是否完好。迅速摆动万用表时，表针摆动是否自如并且有明显的阻尼作用。

④ 粗略检查电阻挡，并检查指针有无卡针、擦碰表盘现象。可先将转换开关拨到 $R\times1$ 挡，两表笔互相短接后调节欧姆调零电位器，观察指针偏转情况。在此检查过程中，也可判断调零电位器接触是否良好，内置电池的电压是否充足。

(2) 直观检查

直观检查是指在外观检查的基础上，通过进一步的观察来找出故障所在。直观检查内容一般包括：

① 观察接线有无断路。如连线有无断开，有无脱焊、虚焊，印刷电路铜箔是否翘起或断裂，熔丝是否烧断，开关有无破碎，电阻是否烧毁，有无电池漏液腐蚀而引起断路或接触不良，等等。

② 观察接线有无短路。如有无搭锡短路，有无元件或紧固螺钉松动脱落相碰引起短路，有无因漆包线烧坏引起短路，等等。

③ 观察元件有无严重过载。如有否闻到烧焦的臭味，有无烧焦的

元器件，熔丝是否烧断，转换开关触点有无烧蚀，等等。

2. 通电检查

当外观和直观的检查方法不能确定万用表故障所在的时候，或仪表经过修理需要重新检定的时候，都必须采用通电检测。

集交直流电流、电压和电阻于一体的数字式三用表校验仪（如DO3OB型、DO3OC型）是检定指针式万用表的标准设备。在业余条件下，采用一块合格的3½位数字式万用表作标准表，可用来检测指针式万用表，其准确度是足够的，能够帮助我们找出指针式万用表的故障所在。当然，检测时还需备用直流和交流稳压电源，可调自耦变压器、滑线电阻、电阻箱等设备。

现以U—201型万用表为例（电路见图4－1），说明如何进行通电检查。

（1）直流电流挡的检查

U—201型万用表直流电流包括50 μA、0.5 mA、5 mA、50 mA、500 mA 5个量程。检查时可按图4－2所示电路进行。图中R_1、R_2、R_3分别为粗调、中调、细调滑线电阻，A_0为标准万用表，A_X为被检万用表（置于直流电流挡）。

检测时先从最小量程开始，对带数字的刻度从零递增至满偏值，并一一记下对比读数，然后递减至零也都一一记下读数。这样既可检查指针式表头直线性好坏，又可检查指针回零情况被检表相对标准表的误差，只要误差不超出直流电流挡的允许误差，则说明被检表的表头和仪表内部电路都是好的。若误差较大，就需要拆下表头，对其灵敏度和内阻进行单独测量，经过调试修理合格后才重新装上，然后重新检测。如果发现某一挡偏差超标较多，说明该挡分流电阻有问题。

（2）直流电压挡的检查

检查直流电压挡按图4－3所示接线，图中R_1、R_2、R_3分别为粗调、中调、细调滑线电阻器或电位器，V_0为标准电压表，V_X为被检万用表（置于直流电压挡）。检测包括0.25 V、2.5 V、10 V、50 V、250 V、500 V共6个量程。先从低电压0.25 V量程开始，逐个对比检测并记录读

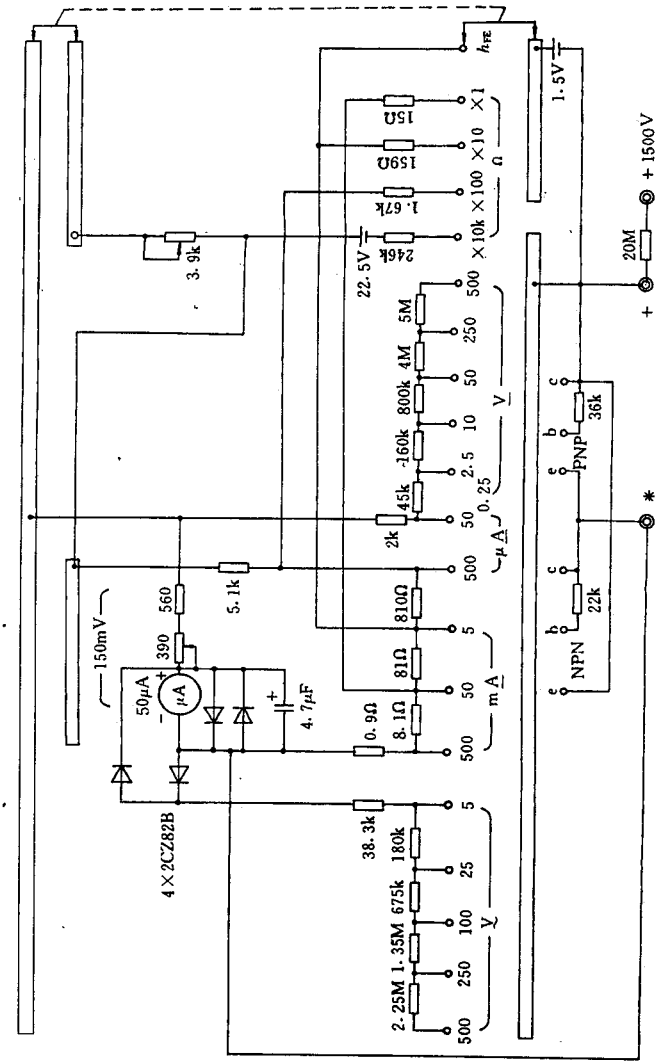


图 4-1 U—201 型万用表电路

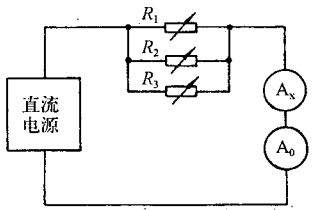


图 4-2　直流电流挡比较法检测电路

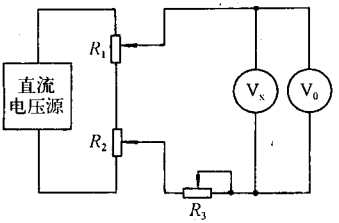


图 4-3　直流电压挡比较法检测电路

数。根据被检表与标准表读数对比的误差大小，可以判断仪表内部线路的附加电阻是否有问题。

在业余条件下，可以 DT390 型数字式万用表作为“标准表”，根据其特性参数，可以算出读数为 0.25 V、2.5 V、10 V、50 V、250 V、500 V 时准确度分别为 0.9%、0.6%、0.7%、1.6%、1.2%，比指针式万用表的准确度 2.5%高 2 级以上。

(3) 交流电压挡的检查

检查交流电压挡时可按图 4-4 所示接线。图中，T_1 为可调自耦变压器，T_2 为隔离变压器，其抽头式的次级绕组便于选择输出电压，保证调节精度。如果自耦变压器的调节范围不够宽，则应用升压隔离变压器。V_x 为被检万用表(置于直流电压挡)，V_0 为标准交流电压表。

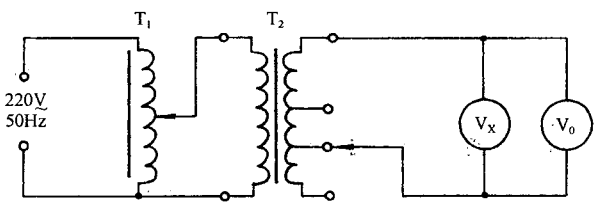


图 4-4　交流电压挡比较法检测电路

对交流电压挡的检查，分 5 V、25 V、100 V、250 V、500 V 共 5 个量程，先从低量程(5 V)开始，指针由零逐步地偏转到满度值，逐

个作对比检测，记录数据。根据记录数据与标准表作比较，两次读数之差如果不超出允许误差，说明整流元件是完好无损的。如果误差较大，甚至指针不偏转说明整流元件损坏或电压回路中的串联电阻有问题。

(4) 电阻挡的检查

检查电阻挡时可按图 4-5 所示接线，首先将万用表置于 $R\times1$ 挡，两表笔互相短接后看指针偏转是否到达"0 Ω"刻度附近，通过调节调零电位器使指针恰好位于零位。同样对 $R\times10$、$R\times100$、$R\times10$ k 挡进行检查。如果指针都能调节到零位，说明万用表的内置电池电压是充足的，否则应更换内置 22.5 V(15F20 型)的叠层电池。如果 $R\times1$ 挡调不到零位，而其余各挡均能调到零位，则应更换内置 1.5 V(R6 型)的电池。

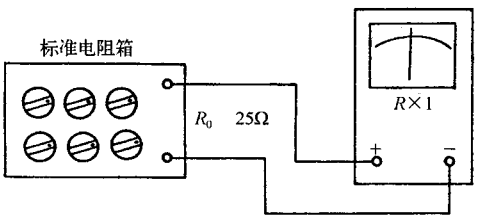


图 4-5 电阻挡比较法检测电路

(三) 指针式万用表的检定设备

为了保证仪表测量结果准确可靠，经过修理的万用表应重新进行检定。

1. 指针式万用表检定设备的要求

① 作为检定的标准表，其基本误差不应超过被检表级别指数的 1/4。量程应尽量保持相同，其量程差不得大于满量的 25%。

② 检定中所用的电源设备应符合标准条件要求外，其稳定性应满足如下要求：在半分钟内直流电源的不稳定值应小于被检表级别指数的 1/10，在半分钟内交流电源的不稳定值应小于被检表级别指

数的 1/5。

③ 与电源设备配套的电流、电压调节设备应保证用于检定万用表各量程时，能够从零位或初始值平稳调节至测量上限，其调节细度不应低于被检仪表级别指数的 1/10。

2. 三用表校验仪主要技术指标

早期的三用表校验仪(DO30 型、DO30A 型)是以 1.5 级指针式仪表作为标准表，目前的三用表校验仪如 DO30B 型、DO30C 型分别采取以 3½位数字面板表和 4½位数字面板表作为标准表。

(1) DO30B 型三用表校验仪主要技术指标

① 直流电流。输出范围为 0～50～500 μA；0～5～50～500 mA；0～5 A。输出电压极限为 1～5 A。准确度为读数的±0.15%±2 字±0.01%/℃。

② 直流电压。输出范围为 0～5～50～500～1 000 V。输出电流极限 10 mA。准确度为读数的±0.15%±2 字±0.01%/℃。

③ 交流电流。输出范围为 0～50～500 μA；0～5～50～500 mA；0～5 A。输出电压极限 0～5 A。准确度为读数的±0.5%±2 字±0.03%/℃。

④ 交流电压。输出 50～60 Hz 交流电压范围为 0～5～50～500～1 000 V，电流极限 10 mA，准确度为读数的±0.3%±2 字±0.03%/℃。输出 400 Hz 交流电压范围为 0～5～50～500 V，电流极限 10 mA，准确度为读数的±1%±2 字±0.03%/℃。

⑤ 中值电阻。阻值有 10 Ω、50 Ω、100 Ω、500 Ω、1 kΩ、5 kΩ、10 kΩ、50 kΩ、100 kΩ、500 kΩ、1 MΩ。功率为 0.25 W。准确度为读数的±0.3%±10 mΩ。

⑥ 交流输出波形失真≤1%。直流输出纹波≤1%。稳定度 0.2%/5 min。

⑦ 适用条件。电源电压 220 V±10%，工作温度 20±2℃，相对湿度<80%。

(2) DO30C 型三用表校验仪主要技术指标

① 直流电压。输出范围为 0～5～50～500～1 000 V，输出电流极

限值 20 μA。准确度为读数的±0.15%±2 字±0.01%/℃。

② 直流电流。输出范围为 0～50～500 μA;0～5～50～500 mA;0～5 A。输出电压极限 1～5 A。准确度为读数的±0.15%±2 字±0.01%/℃。

③ 交流电压。输出 50～60 Hz 交流电压范围为 0～5～50～500～1 000 V,电流极限 20 mA,准确度为读数的±0.4%±2 字±0.03%/℃。输出 4 000 Hz 交流电压范围为 0～5～50～500～1 000 V,电流极限 20 mA,准确度为读数的±1%±2 字±0.03%/℃。

④ 交流电流。输出范围为 0～50～500 μA;0～5～50～500 mA;0～5 A。输出电压极限 1～5 A。准确度为读数的±0.4%±2 字±0.03%/℃。

⑤ 大电流输出。交、直流 10 A,电压极限值 1 V,准确度 1%。

⑥ 中值电阻。阻值有 2 Ω、10 Ω、20 Ω、100 Ω、200 Ω、1 kΩ、2 kΩ、10 kΩ、20 kΩ、100 kΩ 可以任意组合。功率为 0.25 W。准确度为读数的±0.3%±0.01 Ω,2 Ω 的准确度为 0.5%。

⑦ 交流输出波形失真≤1%。直流输出纹波≤1%。稳定度 0.2%/5 min。

⑧ 适用条件。电源电压 220 V±10%,工作温度 20±2℃,相对湿度<80%。

二、数字式万用表的检修方法

(一) 数字式万用表检修的步骤

(1) 寻找故障

寻找故障应遵循“先外后里,先易后难,化整为零,重点突破”的原则,首先大致确定可能出现故障的范围,然后进一步仔细查找。寻找故障有“望、闻、问、切”四个步骤。

① “望”。对数字式万用表进行外观检查,查看损坏情况,如有无机械损伤、电气损伤、零件丢失等。

② “闻”。听取使用人员介绍发生故障时所看到的异常现象等。

③ “问”。若需进一步了解万用表出现的异常状况或使用人员的

操作步骤，可询问使用人员。

④ “切”。分析故障原因。

排除故障要力求彻底，不留隐患，不能存有侥幸心理。有的数字式万用表稍受震动或用手拍打一下机壳就不能正常工作了，大多属于接触不良，对于此类故障不可轻易放过，否则数字式万用表在使用中会时好时坏，贻误工作。

(2) 排除故障

待故障原因分析完毕，应“对症下药”，使万用表恢复正常。修理完毕后，应再检查一次，确保万用表能正常使用为止。

(二) 数字式万用表检修的方法

1. 直观检查

数字式万用表的检修首先可以通过直观检查的方法初步确定故障原因，和指针式万用表的直观检查方法相类似，这里不再赘述。

由于直观检查法属于主观判断，难免存在一定的局限性，导致某些故障原因难以直观诊断，这时就需要采用通电检查方法。

2. 通电检查

(1) 测电压法

检查各级工作电压。例如测量 ICL7106 的 U_+—COM 端之间的电压(+2.8 V)、基准电压 U_{REF}(100.0 mV)等，再与正常值进行比较。为保证测量基准电压的准确度，建议采用高准确度的 4½ 位数字式万用表进行测量。

(2) 测电流法

测量整机工作电流时，可首先将另一块数字式万用表拨至 200 mA DC 挡，然后串联在 9 V 叠层电池上，这样就不必打开表壳了。若预先测出电池的路端电压(注意不是开路电压!)，就很容易算出整机功耗。但需注意，某些数字式万用表为了提高密封性，将电池装在机壳内。

(3) 波形法

用电子示波器观察电路中各关键点的电压波形、幅度、周期(频率)等。以 ICL7106 为例，主要包括下述内容：

① 观察时钟振荡器波形，从 ICL7106 第 38 脚(OSC_3)上应能输出方波电压，频率约 40 kHz(对应于测量速度 2.5 次/s)。允许振荡频率略有偏差，但频率稳定性必须好。若振荡器无输出，说明 ICL7106 内部振荡电路损坏，也可能是外部阻容振荡元件开路。

② 观察第 21 脚(BP)的波形，应为 50 Hz 方波，否则是内部的分频器损坏。

③ 利用双线示波器同时观察相位驱动器输出波形与背电极波形。当该输出端呈显示状态时，二者的波形的相位正好相反，即相位差为 180°。

④ 观察蜂鸣器驱动信号波形，频率一般为 1～2.5 kHz，因仪表型号而异。多数情况下为 2 kHz 方波。

⑤ 观察电容挡文氏桥振荡器的输出波形，应为 400 Jz 正弦波。

(4) 信号追踪法

此方法适用于检查 AC/DC 转换电路、f/U 转换电路、C/U 转换电路等。例如发现不能测频率时，可由一台音频信号发生器向被检仪表注入幅度和频率都适宜的电压信号，然后从前往后逐级追踪输入信号的去向，同时用示波器观察波形的变化情况，即可迅速判定故障位置。以 DT930F+型数字式万用表 20 kHz 挡为例，当输入 100 mV(RMS)、10 kHz 正弦波信号时，通过 IC_{3b}(½TL062)放大后应能输出放大整形后的频率信号，再经过 IC_4(3/4CD4011)进一步整形，从 C_{21} 输出的应为沿口陡峭的矩形脉冲。最后通过 IC_5(ICM7555)作 f/U 转换，滤波后变成直流电压。如果信号从哪一级中断或者波形出现严重失真，就说明前级出现故障。DT930F+型数字式万用表频率挡的单元电路参见图。

(5) 断路法

在不影响其他部分正常工作的前提下，将可疑部分从单元电路中断开。只要故障消失，就证明故障在被断开部分。

(6) 测量元件法

当故障已缩小到某个或某几个元件时，可对其进行在线测量或脱离线路的测量。例如用另一块数字式万用表可检查出电阻是否短路、

断路或阻值改变，电容是否击穿等。测量在线电阻时必须考虑与之并联的其他元件的影响，必要时可焊下被测电阻的一端再测。鉴于数字式万用表中的晶体管和二极管大多采用硅管，最好能使用数字式万用表的低功率挡(LΩ Ω)测量在线电阻，避免硅管导通后影响测量的准确性。

检查分压电阻及分流电阻时，须采用准确度较高的 4½ 位数字式万用表或用电桥来测量电阻值。

(7) 干扰法

将数字式万用表拨至低量程交流电压挡(200 mV 或 2 V 挡)。用手捏住表笔尖，利用人体感应电压作为干扰信号，此时液晶屏应出现跳数现象，否则说明输入电路开路。

(8) 应急检修法

数字式万用表的应急检修法和前述的仪器仪表中的应急检修法相类似，可以参考前文所述。

(9) 替换法

对于可疑的元器件、部件及插件，均可用同类型质量良好的产品进行替换。替换的目的仅在于缩小故障范围，减少怀疑对象，不一定就能立即查明故障原因，但它为进一步确定故障根源创造了条件。

(10) 软故障查寻法

对软故障有两种处理方法，第一种是检查可疑部位，如印制板有无松动、翘曲，插头松动，元器件虚焊或固定不牢，量程转换开关是否接触不良；第二种方法是人为地促使软故障转换成硬故障。例如摇晃仪表，拍打机壳，拨动元器件及引线，同时观察故障有无变化，以确定故障位置。必要时还可连续开机，将要坏的元器件及早损坏，把故障暴露出来。

(三) 数字式万用表检修的基本设备

检修数字式万用表应具备必要的工具，如电烙铁、扳手、钳子、镊子、平口形螺丝刀和十字形螺丝刀等，还需配备几件基本的检测仪器仪表，以便迅速寻找故障位置和测定元器件的好坏。最基本的设备是万

用表、示波器和繁用电源。

1. 万用表

万用表主要用于测量电路工作状态及其主要参数和判定元器件的好坏。指针式万用表的准确度比较低，对电路的主要参数只能进行粗略检测。因此，一般应具备 3½位数字式万用表，以使检修时作为比对使用。最好配备一只袖珍式 4½位数字式万用表，则不仅可用于检测元器件，还可以准确检测电路的主要参数。它对 3½位的数字式万用表而言，就起到了“标准表”的作用。

2. 示波器

示波器主要用于观察各个单元电路的输入、输出电压波形，各种指令信号的脉冲波形，振荡电路输出波形，以及它们的周期和振幅等。起码要配备一台频带宽度不小于 5 MHz 的示波器，例如国产 XJ4210 型。最好能配备频带宽度 20 MHz 左右的双踪示波器，例如国产 XJ4372 型。它们的主要技术指标如表 4－1 所示。当然，其他可选用的示波器还有许多种型号。

表 4－1　XJ4210 型、XJ4312 型便携式示波器主要技术指标

参数名称 \ 技术指标 \ 型号		XJ4210 型	XJ4312 型(双踪)
垂直偏转系统	频带宽度	DC～5 MHz(－3 dB)	DC～20 MHz(－3 dB)
	偏转因素	0.01～5 V/div±5%	5 mV～5 V/div
	上升时间		≤18 ns
	工作方式	Y	Y_1，Y_2，交替，断续，Y_1+Y_2，X—Y
	输入阻抗	1 MΩ//50 pF	1 MΩ//25 pF
	最大输入电压	250 V[DC+AC(P—P)]	400 V[DC+AC(P—P)]

（续　表）

参数名称 \ 型号 技术指标		XJ4210 型	XJ4312 型(双踪)
水平偏转系统	扫描时间因数	0.2 μs～0.1 s/div	0.2 μs～0.5 s/div
	扫描扩展	×2，最高扫速 100 μs/div	×2/10，最高扫描 20 ns/div
	触发源	内，外，TV	Ch_1，Ch_2，电源，外接
	触发灵敏度	内：1 div，外：0.5 V(P—P)	内：1div，外：0.2 V(P—P)
校准信号		方波，2 V(P—P)≤±2%	方波，1 V(P—P)≤±2%
外形尺寸		100 mm×240 mm×300 mm	150 mm×280 mm×370 mm
重　量		2.5 kg	7.5 kg

3. 繁用电源

在检修或调试数字式万用表的过程中，往往需要输入定量的电压信号，检修后更需要对它的每项功能和每个量程做初步试验。因此，配备一台可输出交流电压、电流和直流电压、电流的电源，将对检修工作的顺利进行起着十分重要的作用。

如果能配备一台准确度等级指数比被检修的数字式万用表的准确度等级指数至少小 2 个等级的繁用电源，那么它就可以作为标准仪表使用。当然，业余修理一般都不具备这一条件，只能以同等精度的仪表作比对参考。

几种常用的国产标准源的主要技术指标如表 4－2 所示。

表 4－2　常用国产标准源主要的技术指标

名　称	型　号	主　要　技　术　指　标
多功能校准器	5101B	0～1 100 V，DC(±0.01%) 0～1 100 V，AC(±0.05%) 0～20 A，DC 或 AC(±0.05%) 0～10 MΩ(±0.005%)

（续 表）

名 称	型 号	主 要 技 术 指 标
直流标准源	YJ87	0～±119.99 V(±0.05%) 0～±119.99 mA(±0.05%)
多功能校准仪	SB868	0～1 000 V(±0.2%) 0～10 A,DC 或 AC(±0.2%)
数字三用表校验仪	DO30C	0～1 000 V,DC(±0.17%),AC(±0.42%) 0～5 A,DC(±0.17%),AC(±0.42%) 0～10 A,DC 或 AC(±1%)
实验室电阻箱	ZX54	0.01 Ω～111.111 kΩ(0.01 级)
标准电阻箱	ZX21	0.01～99 999.9 Ω(0.1 级)
标准高箱	ZX73	0～20 MΩ(0.5 级) 20～2 000 MΩ(1.0 级)
标准电容箱	RX710	100 pF～1 μF(0.5 级)

（四）数字式万用表的调试

下面对手持式 3½位、4½位数字式万用表的调试方法做一综述。

1. 数字式万用表的调试程序

调试数字式万用表时必须按照规定程序进行。概括讲，应遵循以下五个原则：

① 先调零点，后调功能。即首先做零点调整，然后转入功能调试。

② 先直流，后交流。首先调试直流挡，再调交流挡。

③ 先电压，后电流。先调试电压挡，再检查电流挡。

④ 先低挡，后高挡。一般从最低量程 200 mV DC 挡开始调试(该挡为直流的基准挡)，然后逐渐升高量程。交流则以 2 V AC 挡作为基准挡，因此应先调整 2 V AC 挡，再依次调整 200 mV、20 V、200 V、700 V(或 750 V)挡。

⑤ 先基本挡，后附加挡。二极管挡，h_{FE}挡、蜂鸣器挡均属于附加挡，它们是在基本挡的基础上扩展而成的。一般讲，只要调好基本挡，附加挡的调试工作就很容易完成。

2. *数字式万用表的调试方法*

手持式数字式万用表的调试内容主要有21项，具体如下：① 零点调整；② DCV挡的调试；③ ACV挡的调试；④ DCA挡的调试；⑤ ACA挡的调试；⑥ Ω挡的调试；⑦ 200 MΩ高阻挡的调试；⑧ 电容挡的调试；⑨ 频率挡的调试；⑩ 温度挡的调试；⑪ 电导挡的调试；⑫ 逻辑电平调试挡的调试；⑬ 信号发生器挡的调试；⑭ 二极管及蜂鸣器挡的调试；⑮ h_{FE}挡的调试；⑯ 电池低电压指示电路的调试；⑰ 测量整机功耗；⑱ 检查数字式万用表的线性度；⑲ 检查读数保持功能；⑳ 检查相对值测量功能；㉑ 检测自动关机功能。

具体调试内容还应视数字式万用表的型号而定。例如，DT810型设置了信号发生器挡。VC9801 A＋、DT9802、DT890C＋、DT930F＋、DT1000型都设计了电容挡，许多数字式万用表还有频率挡。VC9805A＋、VC9808A＋、EDM82B、83B型增加了电感挡。DT830C、DM6018、VC9805A＋、VC9808A＋设置了温度挡。DT930F＋、DT940C、DT9802、GY5605都具有电导挡，DT890C＋、DT890D、VC9801 A＋、VC9802 A＋、VC9804A＋、VC9805A＋、VC9808A＋型均增加了200 MΩ高阻挡。DT970、DT9802型具有逻辑电平测试功能。VC980型具有相对值测量功能。VC90～VC93型还带语音报数功能。

下面介绍数字式万用表的一般调试方法。

(1) 零点调整

① 当输入端开路时，在直流200 mV挡和2 V挡可能有数字出现，这是感应外部电压而造成的，但短路表笔后显示值应为零。200 mV挡开路显示应在10个字以下，输入感应信号(例如用手触摸表笔尖)时，数字式万用表应有反应。

② 交流挡在短路时应显示零。

③ 直流及交流电流挡，晶体管h_{FE}挡在开路时应显示零。

④ 2 000 pF电容挡开路时显示数字应在10个字之内，其余电容挡

均显示零。将 C_x 插座短路时，各电容挡均应显示“1”(仅千位显示 1，其余位消隐，下同)。

⑤ 各电阻挡在开路时应显示“1”，将表笔短路时仅 200 Ω 挡可显示 3 个字以下，这是输入引线(含表笔线)的电阻值。其他各挡开路时均应显示零。

⑥ 200 MΩ 高阻挡开路时显示“1”，短路后应显示 10 个字(3½位 DMM)，或 100 个字(4½位 DMM)，所对应的电阻值均为 1 MΩ。

⑦ 蜂鸣器挡开路时显示“1”，短路后能发出正常的响声并显示零。

⑧ 温度挡开路时应显示室温。

⑨ 电导挡开路时应显示零。

⑩ 频率挡开路时应显示零或接近于零。

说明：第④、⑥、⑧、⑨、⑩项属于特殊量程，视数字式万用表型号而定。

(2) 直流电压挡(DCV)的调试

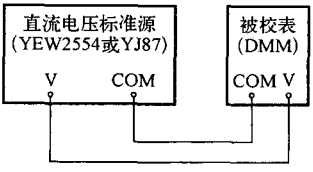


图 4-6 直流电压挡的调试电路

① 将被校表拨至 200 mVDC 量程，按图 4-6 所示电路接好线。

② 输入 100.0 mV(对 3½位 DMM 而言，下同)的标准信号，调节基准电压调整电位器，使被校表的显示值在规定范围之内。

③ 依次输入 20.0 mV、190.0 mV 的标准信号，观察被校表显示值应不超出规定范围。

④ 输入−100.0 mV 的标准信号，要求与输入+100.0 mV 标准信号的显示差值不得超过±1 个字。此项误差亦称颠倒误差。

⑤ 依次将量程开关拨至 2 V、20 V、200 V、1 000 V 量程，分别输入 1.000 V、10.00 V、100.0 V、1 000 V 标准信号，观察显示值应在规定误差之内。

(3) 交流电压挡(ACV)的调试

① 将被校表拨至 2 VAC 量程，按照图 4-7 所示与交流标准源相

连接。

② 使交流标准源输出 50 Hz、1 V(RMS)的信号，调节 AC/DC 转换电路中的校准电位器，使被校表读数在规定范围内；再依次输入 0.200 V、1.900 V 的交流信号，显示值均应在规定范围之内。

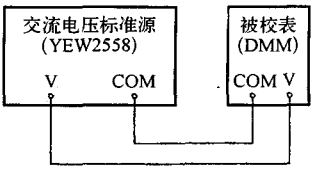


图 4-7　交流电压挡的调试电路

③ 依次将量程开关拨至 200 mV、20 V、200 V、700 V 挡，分别输入 100.0 mV、10.00 V、100.0 V、700 V 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 60 Hz、400 Hz，重复上述步骤，显示值在规定范围内。

(4) 直流电压挡(DCA)的调试

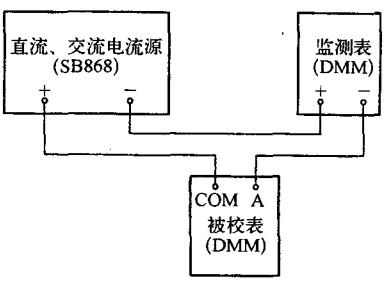


图 4-8　直流电流挡的调试电路

① 将被测表拨至 200 μA DC 挡，按图 4-8 接好电路。

② 在 200 μA、2 mA、20 mA、200 mA 挡，分别输入 100.0 μA、1.000 mA、10.00 mA、100.0 mA 的信号电流，显示值均应在规定范围之内。

注意：200 mA 挡的读数若偏高，等调整好 2 A 挡后再进行测试。

③ 将被校表拨至 20 A DC 挡(或 10A DC 挡)，并且与直流电流源、监测表接好线。由直流电流源输出 10 A(或 5 A)的电流，观察并记录被校表的读数，然后关闭电流源。

若显示值为上偏差，则在锰铜丝电阻上涂一层锡，通过增加横截面积来减小分流电阻值。若为下偏差时则刮掉一层锡以增大电阻值。

重复上述步骤，直至显示值在误差范围之内。注意，每次测量

都应当在锰铜丝电阻恢复到正常温度(室温)以后才能进行。然后使电流源输出 10 A、20 A(对于 10 A 挡则为 5 A、10 A)的电流,显示值均应符合规定范围,如果超差,就继续在锰铜比电阻上涂锡或刮锡。

④ 2 A DC 挡的调试方法与 20 A DC 挡基本相同,区别是要用一根裸导线,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,直到允许范围之内。

(5) 交流电流挡(ACA)的调试

① 将交流电流源的输出信号频率调至 50 Hz。

② 在交流 200 μA 挡、2 mA 挡、20 mA 挡、200 mA 挡、2 A 挡及 20 A 挡,分别输入 100.0 μA、1.000 mA、10.00 mA、100.0 mA、1.000 A 和 10.00 A(RMS)的交流电流,显示值应在规定范围之内。调整 2 A AC 挡分流电阻的方法,与 2 A DC 挡完全相同。

(6) 电阻挡(Ω)的调试

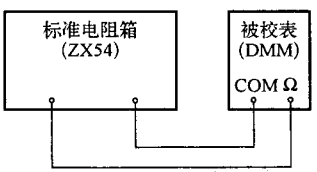


图 4-9 电阻挡的调试电路

① 按照图 4-9 所示将被校表与标准电阻箱连接好。

② 将被校表依次拨至 200 Ω、2 kΩ、20 kΩ、200 kΩ、2 MΩ、20 MΩ 挡,分别测量 100.0 Ω、1.000 kΩ、10.00 kΩ、100.0 kΩ、1.000 MΩ、10.00 MΩ 的标准电阻,显示值应在规定范围之内。

(7) 200 MΩ 高阻挡的调试

① 将被校表的量程转换开关拨至 200 MΩ 挡,测量 100 MΩ 的标准电阻,数字式万用表读数应符合要求。假如没有 100 MΩ 标准电阻,亦可用 ZX73 型标准高阻箱代替。

② 对于显示位数及型号不同的数字式万用表,所规定的误差范围也不相同。例如,DT890C+型 3½位数字式万用表的 200 MΩ 挡,显示值应在 94.0～106.0 范围内。DT1000 型 4½位数字式万用表的 200 MΩ 挡,显示值需在 95.90～105.10 范围之内。

(8) 电容挡的调试

① 将被校表拨至 200 nF 电容挡，把 100.0 nF(即 0.100 μF)的标准电容插入 C_X 插座上，调节相应的电位器使显示值在规定范围之内。

② 用 2000 pF、20 nF、2 μF、20 μF 挡分别测量 100 pF、10.00 nF(即 0.010 μF)、1.000 μF、10.00 μF 的标准电容，显示值应在规定范围内。

(9) 频率挡的调试

① 将被校表拨至 20 kHz 挡，输入 19 khz、50 mV(RMS)的标准频率信号。调整相应的电位器，使显示值在规定范围之内。

② 依次输入 10 kHz、1 kHz、100 Hz、10 Hz 的标准频率信号，显示值均应符合要求。

(10) 温度挡的调试

调试设备：

① 保温桶一个，用以盛放冰水混合物。

② 0～40℃、－10～＋10℃的 0.2 级标准水银温度计各一支，分别用来测量室温和冰点温度。

③ 电热杯一个，用于产生沸水。

④ K 型热电偶测温探头一支。

⑤ 0.05 级直流标准毫伏信号源一台。

调试步骤：

① 将测温探头与被校表在同一环境温度(室温)下放置 20 min 以上。

② 把被校表拨至温度挡(T 或 TEMP)，将测温探头置于冰水混合物中，与插入其中的水银温度计的水银泡处于同一高度且两者尽量靠近，探头的冷端则插入被校表的 K 型热电偶插座上(注意插座的正、负极性)。

③ 调节相应的电位器，使被校表的显示值为 000～001℃。调好零点后将此电位器用胶封固。

④ 把探头的热端插入沸水(100℃)中，调节另一只电位器来改变基准电压值，使被校表显示 99～100℃。

⑤ 从被校表上拔掉测温探头，数字式万用表应显示所处环境的温度 T_A，误差应在规定范围之内。

需要说明两点：第一，此步骤仅适合于具有内置半导体(PN 结)温度传感器的数字式万用表；第二，环境温度应以置于该环境下 20 min 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 型热电偶插座中(注意正、负极性)。依次输出 12.21 mV、29.13 mV 和 41.27 mV 的信号，分别校准 300℃、700℃和 1 000℃时的显示值。若被校表出现超差，应微调所对应的电位器，直至显示值符合要求。

注意事项：在海拔较高的地区，水的沸点低于 100℃，误差范围需作相应修正。换言之，只要数字式万用表显示值与标准水银温度计指示出的沸点相符(允许相差±1℃)，即认为合格。此外，对没有冷端温度补偿的温度挡而言，在 300℃、700℃、1 000℃时的显示值均应再加上 T_A 值，才为实际测量值。

(11) 电导挡(nS)的调试

① 将被校表拨到 nS 挡，然后测量 100 MΩ 的标准电阻。

② 调节相应的电位器使显示值符合要求。

以上是对 200 nS(或 100 nS)电导挡而言，若数字式万用表还设置 2 μS 挡，则标准电阻应换成 10 MΩ。

(12) 逻辑测试挡的调试

① 将被校表拨至逻辑测试挡(LOGIC)。将可调式直流稳压电源的输出端分别接至被校表的 V·Ω 插孔与 COM 插孔之间。

② 调节稳压电源的输出电压 U_O，当 U_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 U_O 高于阈值电压时应显示“▲”符号，此时蜂鸣器不发声。对于 DT970 型数字式万用表而言，规定的阈值电压为 1.9 V。

(13) 信号发生器挡的调试

DT810 型数字式万用表专门设置了 50 Hz 方波信号发生器挡，调试该挡时需用一台示波器，观察能否输出近似为 50 Hz、3 V(峰-峰值)得注意的方波电压。因该挡为附加挡，故对输出方波频率及电压的幅

度不作严格要求，允许有一定偏差。

(14) 二极管及蜂鸣器挡的调试

① 被校表拨至二极管挡，将二极管的正极接 V·Ω 插孔，负极接 COM 插孔，显示值应为二极管的正向压降。若将二极管的极性接反了，则数字式万用表溢出，应显示“1”。

② 仿照图 4-9 接上标准电阻箱，将被校表置于蜂鸣挡。当被测电阻低于数字式万用表规定值(例如 20 Ω、30 Ω 或 70 Ω，一般允许±10 Ω)时，蜂鸣器应能发声。

(15) h_{FE}挡的调试

① 将被校表拨至 h_{FE}挡。

② 准备 NPN 型、PNP 型晶体管各一只。

③ 依次把两只晶体管插入相应插孔中，数字式万用表应显示被测管的 h_{FE}值。

(16) 电池电压指示的调试

① 当被测表的电池电压 $E<7$ V 时，应显示低电压指示符。

② 当 $E>7.5$ V 时，不应出现低电压指示符。

假如低电压指示的阈值电压偏差较大，可适当调整有关电阻或更换所对应的晶体管。

(17) 测量整机功耗

按照图 4-10 接好电路，测量整机工作电流不得超过规定值(通常为几毫安)。该数值乘以电池电压(一般为 9 V 左右，应以实测值为准)，就是整机功耗。3½位、4½位手持式数字式万用表的典型功耗约为 40 mW，少数仪表可达 70 mW。笔式数字式万用表的典型功耗约为 20 mW。

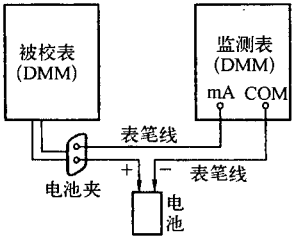


图 4-10　测量整机工作电流

(18) 检查数字式万用表的线性度

将量程开关拨至 200 mV DC 挡，利用直流电压源依次产生下述标

准电压：0.1、0.2、…、1、2、…、10 mV、10、20、…、100 mV、199.9 mV，分别作为输入电压，检查该挡的线性度。

200 mV为基本量程，该挡调试好后一般不再检查其余直流电压挡。

(19) 检查读数保持功能

新型数字式万用表大多具有读数保持(或数据保持)功能。按下HOLD键，所显示的读数应能保持下来，直到释放此键才能刷新显示值。

(20) 检查相对值测量功能

某些数字式万用表能够测量电压、电流或电阻的相对值。按下REL △键即将本次显示值存储下来，再从以后的每次测量值中自动扣除掉。

(21) 检测自动关机功能

设置此项功能的数字式万用表在开机后，一旦停止操作的时间超过某一设定值(通常为15 min左右)，数字式万用表即自动关机，进入备用模式。利用秒表可测出这段时间。

第二节　万用表的常见故障及维修

一、指针式万用表的常见故障及维修

(一) 指针式万用表的常见故障及其分析

指针式万用表常见故障及其分析列于表4-3中。

表4-3　指针式万用表常见故障及其分析

故障位置	故障现象	故障原因
表头	摇动表头，表针摆动不正常，不动或无阻尼	① 表针支撑部位卡住 ② 游丝绞住 ③ 机械平衡不好 ④ 表头断线或分流电阻断

（续　表）

故障位置	故障现象	故障原因
直流电流挡	(1) 表针无指示	① 表头被短路 ② 表头线圈脱焊或动圈断路 ③ 表头串联电阻损坏或脱焊 ④ 分挡开关没接通
	(2) 各量限的误差有正也有负	① 表头本身特性改变 ② 分流电阻某一挡焊接不良，阻值增大。此时一般先正误差后负误差 ③ 分流电阻某一挡因烧坏而短路。此时一般先负误差后正误差。正负误差转换的那一挡分流电阻就是故障所在
	(3) 各挡量程值偏高	① 与表头串联的电阻值变小 ② 分流电阻值偏高 ③ 表头灵敏度偏高
	(3) 各挡量程值偏低	① 表头串联电阻值增大 ② 表头灵敏度偏低
直流电压挡	(1) 表针无指示	① 电压部分开关公用接点脱焊 ② 最小量限档倍增电阻断线或损坏
	(2) 某量限挡不工作，而其他挡工作	① 转换开关接触不好或烧坏触点 ② 转换开关触点接线与附加电阻断线或脱焊
	(3) 小量程误差大，随量程增大误差变小	常见故障是小量程倍增电阻故障，如变值、短路等
	(4) 量程显著不准确，该挡以前正常，该挡以后各挡随量程增大，误差反而变小	常见故障是该挡倍增电阻有故障，如变值、短路等
	(5) 检查至某一挡后，各挡都不通	开始出现不通时的那一个量程的倍增电阻脱焊或断线

（续 表）

故障位置	故障现象	故障原因
交流电压挡	(1) 指针轻微摆动或指示极小	整流器击穿
	(2) 误差偏低50%左右	全波整流器中，有一片被击穿
	(3) 各挡指示值偏低同一误差率	整流器性能不佳，反向电阻减小
电阻挡	(1) 表针无指示	① 转换开关公共触点引线断 ② 调零电位器中心焊点引线断 ③ 电池用完或引线断
	(2) 正负表笔短路时，表针调不到零欧姆	① 电池容量不足 ② 串联电阻值增大 ③ 转换开关接触电阻增大
	(3) 调零时表针跳跃不稳	① 调零电位器阻值变大 ② 调零电位器接触不良
	(4) 个别量限误差大	该挡分流电阻变值或烧坏
	(5) 个别量程不工作	① 该量程转换开关接触不良 ② 该量程的串联电阻开路 ③ 该量程与表头部分并联的专用电阻烧断

（二）指针式万用表的常见故障维修

指针式万用表的常见故障主要包括两个方面，一是表头机械故障，另一方面是电路电气故障，现分述如下。

1. 表头机械故障的检查与检修

表头机械故障和维修方法见表4－4。

表 4-4　指针式万用表表头机械故障及维修

故障现象	故障产生原因	维修方法
(1) 不回零变差大	① 轴尖磨损变秃 ② 轴尖在轴尖座中松动 ③ 轴承锥孔磨损 ④ 轴承或轴承螺钉松动 ⑤ 游丝太脏、粘圈 ⑥ 游丝焊片与螺钉有摩擦 ⑦ 可动部分平衡不好	① 磨轴尖或更换轴尖 ② 调整 ③ 更换宝石轴承 ④ 修理调整 ⑤ 酒精清洗、调修 ⑥ 调整修理 ⑦ 调整平衡
(2) 电路通但无指示	① 游丝焊片与支架没有绝缘好，使进出线短路 ② 游丝和支架接触，使动圈短路 ③ 有分流支路的测量电路，表头断路而支路完好	① 加强绝缘性能 ② 拨开接触点 ③ 检查断路点，重新焊接
(3) 电路通但指示小	① 动圈局部短路 ② 分流电阻局部短路 ③ 游丝与支架绝缘不好，部分电流通过支架分流	① 修理或重绕动圈 ② 更换分注电阻 ③ 加强绝缘性能
(4) 电路不通无指示	① 电气测量电路断路 ② 游丝烧断或开焊 ③ 动圈断路 ④ 与动圈串联的附加电阻开路	① 检查断路点，重新焊好 ② 更换游丝或重焊 ③ 更换动圈 ④ 更换附加电阻
(5) 电路通但指示不稳定	① 转换开关脏污，接触不良 ② 电路有虚焊 ③ 测量电路中有短路或碰线 ④ 动圈氧化、虚焊	① 清洗开关 ② 查找虚焊点，重焊 ③ 分开电路，涂绝缘漆 ④ 重焊动圈线头
(6) 误差大	① 永久磁铁失磁 ② 可动部分平衡不好 ③ 线路接触不良 ④ 电阻的阻值改变	① 充磁 ② 调整平衡 ③ 检查线路，排除不良 ④ 用同阻值电阻进行更换

（续 表）

故障现象	故障产生原因	维修方法
(7) 可动部分卡滞不灵活	① 磁气隙中有铁屑 ② 磁气隙中有纤维或尘埃 ③ 轴尖轴承间隙过小	① 用钢针拨出铁屑 ② 用球压空气吹出纤维毛或尘埃 ③ 调整轴尖轴向位置

2. 电路电气故障的检查与维修

(1) 直流电压挡测量电路常见故障的检查与维修

直流电压挡测量电路常见故障的检查与维修见表 4－5。

表 4－5 指针式万用表直流电压挡测量电路常见故障与维修

故障现象	故障原因	维修方法
(1) 某量程误差偏大	该量程的附加电阻阻值变化	重新调整或更换该附加电阻
(2) 某量程无指示，其他量程工作正常	① 转换开关触点接触不良 ② 连接线脱焊 ③ 该挡的附加电阻烧坏或脱焊	① 清洗转换开关的触点 ② 重新焊好连接线 ③ 更换附加电阻或重新焊好
(3) 仪表通电时无指示	① 转换开关电压回路部分公共触点接触不良或断线 ② 附加电阻断路 ③ 熔丝管熔断	① 清洗触点，焊好断线 ② 更换电阻 ③ 更换熔丝管
(4) 某量程无指示	该量程附加线绕电阻断线	更换线绕电阻

(2) 直流电流挡测量电路常见故障的检查与维修

直流电流挡测量电路常见故障的检查与维修见表 4－6。

表 4-6　指针式万用表直流电流挡测量电路常见故障维修

故障现象	故障原因	维修方法
(1) 各挡均无指示	① 二极管击穿 ② 线绕电阻有断线 ③ 转换开关接触不良 ④ 熔丝管熔断	① 更换二极管 ② 重焊或更换线绕电阻 ③ 用汽油清洗触点或调整触点使其紧密闭合 ④ 更换熔丝管
(2) 各挡指示值误差均为正	① 与表头串联的公共电阻短路或阻值变小 ② 与表头并联的分流电阻有断路	① 更换电阻 ② 将断线处焊好
(3) 各量程误差不一致，相差很大	① 某挡分流电阻值变大或接触不良(某挡分流电阻阻值变小或接触不良) ② 转换开关接触不良	① 重新焊接电阻或更换相同的新电阻 ② 清除触点上的污垢，使其接触良好
(4) 刚通电时误差良好，时间一久误差缓慢增大	① 分流电阻功率不足 ② 分流电阻焊接不良	① 更换电阻 ② 重新焊好

(3) 交流电压挡测量电路常见故障的检查与维修

交流电压挡测量电路常见故障的检查与维修见表 4-7。

表 4-7　指针式万用表交流电压挡测量电路常见故障与维修

故障现象	故障原因	维修方法
(1) 仪表误差大，有时可达 −50%	全波整流有一只整流二极管击穿	更换同规格的二极管

（续 表）

故障现象	故障原因	维修方法
(2) 通电时仪表读数很小或指针只有轻微摆动	① 整流二极管工作不正常 ② 转换开关接触不良	① 检查二极管，性质不良应予更换 ② 清洗或调整转换开关
(3) 低量程时误差大，量程增大时误差减小	低量程挡的附加电阻阻值变大	调整该挡附加电阻阻值或进行更换
(4) 某量程挡不通，其他量程正常	① 转换开关与该挡接触不良或烧坏 ② 转换开关与该挡附加电阻脱焊	① 调整转换开关或更换 ② 重新焊好断点

(4) 电阻挡测量电路常见故障的检查与维修

电阻挡测量电路常见故障的检查与维修见表 4－8。

表 4－8 指针式万用表电阻挡测量电路常见故障与维修

故障现象	故障原因	维修方法
(1) 当红黑表笔短接时，指针调不到零位	① 电池电压过低 ② 转换开关接触不良	① 更换新电池 ② 清洗或调整转换开关
(2) 转动欧姆调零电位器时，指针跳跃不定	欧姆调零电位器磨损严重或过脏，接触不良	清洗电位器或更换
(3) 当红黑表笔短接时，指针不动	① 表内无电池 ② 电源线断路 ③ 转换开关公共触点断开	① 装上电池 ② 将断线焊好 ③ 将触点压紧，使其接触良好

（续　表）

故障现象	故障原因	维修方法
(4) 个别量程误差偏大	① 该量程分流电阻阻值变化或烧坏 ② 该量程转换开关接触不良	① 更换分流电阻 ② 清洗转换开关触点并压紧接触点

以上只是给出了指针式万用表常见的一些故障，并没有涵盖所有的故障，目的是给读者提供一个万用表常见故障的检查与维修思路。在实际工作中，万用表型号、规格众多，故障产生的原因也会因电路的差别而不同。有时可能几种故障同时存在，这时应按照相应的测量电路，结合实际电路进行综合分析，参照上述分析和检查方法逐点排除。

二、数字式万用表的常见故障及维修

（一）数字式万用表的检修注意事项

数字式万用表的线路比较复杂，元器件数量和品种也比较多，检修前必须理解仪表电路原理，并看懂安装图、原理图与元器件实物之间的联系，要防止对元器件的检测不当引发新的故障。

(1) 仔细了解故障产生的有关情况和仪表修理历史

一般来讲，正常地使用数字式万用表很少发生故障。故障多数是由于使用者的误操作，仪表在运输中受到剧烈震动，温度和湿度很不符合仪表的范围等原因而引起的。了解故障有关情况对分析故障和寻找故障部位有重要作用，特别是对故障产生时仪表所处工作情况的详细了解更有必要。

除此以外，应当了解该仪表是否曾经过修理，曾发生过什么故障，更换过哪些元器件，线路有否被改动等等。这对迅速判定故障部位也相当有利。

(2) 对故障现象基本上有把握之后再进行拆卸检查

当我们发现数字式万用表存在故障时，切忌盲目拆卸。应当认真细致地观察故障现象，必要时需改变量程转换开关，在不同工作状态下全面了解故障特征，以便做到对故障现象基本上有把握，然后再进行拆卸检查。

(3) 善于合理使用检修工具

① 注意焊接前应断开数字式万用表的电源，以免因带电焊接损坏线路中的集成电路。

② 为避免电烙铁漏电损坏 CMOS 器件，电烙铁应有可靠的接地线。最好是电烙铁烧热之后拔掉电源，利用其余热进行焊接。

③ 凡由交流电网供电的测试仪表，必须有良好的接地。

④ 使用示波器时，探头的地端应与线路的公共地端相接，严防与非地端接触，以免造成短路故障。

(4) 根据故障现象循序查找故障位置

① 直观检查。认真细致地观察是否有腐蚀、脱焊、断线或导线与元件之间相碰短路等现象。应排除此类机械性故障之后才进行下一步检查。

② 直觉检查。万用表通电后用手触摸元件，检查有无过热现象。例如电源线过热，说明肯定有短路故障，问题主要是在电源回路中，另外，通过手的触觉也可用来检查有无松动、假焊或开路状态的元件。

③ 通过仪表测量检查。应把电路大致分为电源部分、模拟电路部分、数字电路部分、显示部分等，再根据故障现象由大至小、由部分电路至具体元器件的工作点，以及输入输出波形等逐点测试寻找，将测量值与正常值进行比较，直至最后找到具体的故障点为止。

④ 用替换法检查。对可疑的元器件进行更换，可以缩小故障范围。更换前必须代替元件进行严格的测量，符合质量指标的元件才可代入。另外，还应检测电源电压是否正常，负载有否短路，以免再次损坏替换的元器件。

(二) 数字式万用表的常见故障及维修

数字式万用表的常见故障分析及维修列于表 4－9 中。

表 4-9 数字式万用表的常见故障及维修

序号	检修部位	故障现象	重点检修部位及处理方法
1	显示屏	(1) 打开电源开关后无显示	① 检查 9 V 叠层电池的引线是否失效损坏，电压是否太低；检查电池扣是否插好，有无接触不良或锈蚀现象 ② 检查 9 V 叠层电池的引线是否断路，与印制板连接处的焊点是否脱焊。 ③ 检查电源开关是否损坏或接触不良 ④ 检查 A/D 转换器(例如 ICL7106)引脚是否接触不良；管座焊点是否脱焊。另外，当与 A/D 转换器相连的印制电路板的敷铜板断裂时，也会引起不显示数字的故障，应根据具体电路进行仔细地检查，接通 A/D 转换器电路 ⑤ 检查液晶显示器背电极是否有接触不良的现象 ⑥ 检查液晶器老化时，通常表现为表面发黑 排除故障的方法是修复叠层电池供电电路，处理接触不良短路或漏电故障，更换损坏的液晶显示器等部件
		(2) 显示笔画不全	① 检查液晶显示器是否局部损坏 ② 检查 A/D 转换器是否损坏，这可通过用示波器观察相应引脚的信号波形进行鉴别判断 ③ 检查 A/D 转换器与显示器笔画之间的引线是否断路 排除故障的方法是更换损坏的部件电路
		(3) 不显示小数点，即故障表现为仅小数点不能显示，而其他笔段均能正常显示	① 检查转换开关是否有接触不良的现象 ② 检查控制小数点显示的或非门电路是否损坏 排除故障的方法是更换损坏部件

（续 表）

序号	检修部位	故障现象	重点检修部位及处理方法
1	显示屏	(4) 将两支表笔短路时显示器不为零，而且还跳字	① 分别检查两支表笔引线是否断路 ② 检查仪表测量输入端是否断路或锈蚀引起接触不良 ③ 检查内置 9 V 叠层电池的电压是否太低 ④ 检查仪表使用场地的周围是否存在较强的干扰源 排除故障的方法是修复断路或接触不良部位，消除干扰信号或采取屏蔽措施，更换新电池
		(5) 低电压指示符号显示不正常	当换上新电池后，低电压符仍显示，或者在旧电池电压降至 7 V 时，低压指示符仍不显示。此类故障大多是由控制低压指示符的“异或非”电路损坏，或是与其输入端相接的三极管损坏，电阻严重变值、脱焊等原因引起的 排除故障的方法是更换损坏元件
2	直流电压挡和直流电流挡	(1) 直流电压挡失效	① 检查转换开关是否接触不良或开路 ② 检查直流电压输入回路所串联的电阻是否开路失效 排除故障的方法是修整转换开关触点，更换或接通串联电路
		(2) 直流电压测量显示值误差增大	造成这种故障的原因主要有两个：一是分压电阻的阻值变大或变小，偏离了标称值；二是转换开关有串挡现象。因而应重点对这两个部位进行检查： ① 检查分压电阻的阻值是否与标称值相符 ② 检查转换开关是否有串挡现象 排除故障的方法是清理或更换分压电阻，修复转换开关及其触点

（续 表）

序号	检修部位	故障现象	重点检修部位及处理方法
2	直流电压挡和直流电流挡	(3) 直流电流挡失效	出现此故障时，应重点检查如下几个部位： ① 检查表内熔断管是否烧断 ② 检查限幅二极管是否击穿短路 ③ 检查转换开关是否接触不良 针对上述不同情况，通过更换同规格熔断管、二极管，清洗或更换转换开关，即可排除故障
		(4) 直流电流测量显示误差增大	出现这种现象时，应重点检查以下两个部位： ① 检查分流电阻的阻值是否变值 ② 检查转换开关是否有串挡现象 针对这两种情况，经更换同规格的分流电阻或修复转换开关，即可排除故障
3	交流电压挡	(1) 交流电压挡失效	交流电压挡失效时，应重点检查以下几个部位： (1) 检查转换开关是否接触不良 (2) 检查交流电压测量电路中的集成运算放大器是否损坏 (3) 检查整流输出端的串联电阻是否有脱焊开路、阻值变大的现象 (4) 检查整流输出端滤波电容是否击穿短路 排除故障的方法是清洗修复转换开关、重焊、更换元器件

（续 表）

序号	检修部位	故障现象	重点检修部位及处理方法
3	交流电压挡	(2) 交流电压测量显示值跳字无法读数	出现这种故障需做如下检查： ① 检查后盖板屏蔽层的接地(COM端)引线是否断线或脱落 ② 检查整流输出端的滤波电容是否脱焊开路或电容量消失 ③ 检查交流电压测量电路的集成运算放大器是否损坏、性能变差。当该集成电路失调电压增大时，会引起严重跳字现象 ④ 检查交流电压测量电路中的可调电阻是否损坏。当该可调电阻的活动触点接触不良时，会出现时通时断的故障，最终造成乱跳字而不能读数 排除故障的方法是恢复屏蔽层接地，接通或更换滤波电容器，更换损坏的运算放大器或要调电阻
		(3) 交流电压测量显示值误差增大	出现此故障需做如下检查： ① 检查交流电压测量线路中的可调电阻是否变值 ② 检查 AC/DC 变换器电路中的整流元件是否损坏或性能变差 查明故障元件后，可进行更换、更新调整可调电阻
4	电阻挡	(1) 电阻挡失效	对此种故障需做如下几项检查： ① 检查转换开关是否接触不良，这是引起电阻挡失效的常见原因 ② 检查热敏电阻是否开路失效或阻值变大 ③ 检查标准电阻是否开路失效或阻值变大 ④ 检查过压保护晶体管 C－E 脚之间并联的电容(0.1 μF)是否击穿短路或严重漏电 ⑤ 检查与基准电压输出串联的电阻是否断路或脱焊 排除故障的方法是修复或更换转换开关、热敏电阻、标准电阻、过压保护电容器及基准电压输出电路串联的电阻

（续 表）

序号	检修部位	故障现象	重点检修部位及处理方法
4	电阻挡	(2) 电阻温量显示值误差增大	出现这种故障需做如下几项检查： ① 检查标准电阻的阻值是否变值· ② 检查测量输入电路部分是否有接触不良的现象 ③ 检查测量转换开关是否接触不良 排除故障的方法是更换标准电阻、修理接触不良触点
5	二极管挡及蜂鸣器挡	(1) 二极管挡失效	出现此故障需要做如下几项检查： ① 检查保护电路中的二极管及电阻是否损坏 ② 检查热敏电阻是否损坏 ③ 检查分压电阻是否脱焊开路或失效 ④ 检查转换开关是否接触不良 排除故障的方法是更换损坏的二极管、热敏电阻，更换或修复分压电阻、转换开关
		(2) 测量二极管时所显示的正向压降不正确	如果被测二极管良好，而仪表所显示值比正常值大很多，则说明二极管挡出现了较大的测量误差。产生这一故障的原因一般是由于分压电阻超差变值、引脚与电路板焊点接触不良所致。应着重检查分压电阻是否失效，引脚焊点是否有虚焊现象 排除故障的方法是更换分压电阻，重焊虚焊点

（续 表）

序号	检修部位	故障现象	重点检修部位及处理方法
5	二极管挡及蜂鸣器挡	(3) 两表笔短接时蜂鸣器无声	对此种故障，应重点做如下检查： ① 检查压电蜂鸣器片是否有脱焊或损坏现象 ② 检查 200 Ω 电阻挡是否有故障（对蜂鸣器挡与 200 Ω 电阻挡合用一个挡的数字式万用表而言） ③ 检查蜂鸣器振荡电路中是否有损坏的元件或有脱焊现象 ④ 检查构成蜂鸣振荡器的集成电路是否损坏 ⑤ 检查电压比较器（运算放大器）正向输入端所并联电阻是否有短路现象 排除故障的方法是更换损坏点元件，重焊脱焊点，处理电路短路点
6	h_{FE}挡	(1) h_{FE}挡失效	出现此种故障通常应做如下检查： ① 检查 h_{FE}插孔内部接线是否有断路现象 ② 检查 h_{FE}插孔内是否有接触不良的现象。若 h_{FE}插孔内部积聚灰尘，久而久之便形成一层氧化膜，最终便造成接触不良故障 排除故障的方法是清除 h_{FE}插孔内的异物或接通内部断路点
		(2) 测量 h_{FE}显示结果不正常	产生此故障的原因通常是由于设定基极电流的电阻（其一端接基极，另一端接电源）变值而引起的 排除此故障时，应根据仪表电路图所标参数更换合格的电阻，或者重新调整，使基极电流等于 10 μA

（续 表）

序号	检修部位	故障现象	重点检修部位及处理方法
7	自动关机电路	(1) 仪表不能自动关机	故障原因主要有以下几点： ① 电解电容 C_1 开路或电容量消失 ② 单运入 TL061 损坏或性能不良 ③ 电源开关或量程开关接触不良，有脱焊现象 ④ 晶体管 VT1、VT2 损坏或性能不良 排除故障的方法是更换损坏的部件，修理接触不良的开关触点
		(2) 自动关机电路的供电时间过短(远小于 15 min)	① 电解电容器 C_1 严重漏电或电容量减小 ② 电阻 R_1 阻值变小。该电阻阻值变小后，会使 C_1 上的电荷很快放掉 ③ 安装电阻 R_1(10 MΩ)处的印制板存在漏电，使其放电时间大为缩短 排除故障的方法是更换性能不良元件或消除漏电现象
		(3) 自动关机电路的连续时间过长(远大于 15 min)	这种故障大多是 R_1 阻值变大或接触不良造成的。当 R_1 阻值变大或接触不良时，C_1 的电荷只能缓慢的泄放，故连续供电时间大为延长 排除故障的方法是更换或重焊电阻 R_1

附录一

常用指针式万用表表头灵敏度和内阻

附表 1　常用指针式万用表表头灵敏度和内阻

型　号	灵敏度/μA	内阻/Ω	型　号	灵敏度/μA	内阻/Ω
MF6T	62	1 850	MF20	45	330
MF7	63	1 800	MF24	35	1 500
MF8	240	200	MF25	72.5	1 400
MF9	41	2 500	MF26	70	1 500
MF10	9.15～9.30	3 350	MF27－1	157	680
MF11	85	900	MF28	157	680
MF12	45	600	MF30	40.6	2 500
MF14	160	110	MF30(新型)	37.5	1 800
MF15	176.5	268	MF35	45	400
MF16	157	680	MF37－T	40	600
MF16－1	160	130	MF40	130	1 000
MF18	45	330	MF41	42	1 650
MF19	39.5	2 200	MF47	50	1 700

（续　表）

型　　号	灵敏度/μA	内阻/Ω	型　　号	灵敏度/μA	内阻/Ω
MF50	83.3	1 100	MF95	40	2 200
MF50－1	83.3	1 000	MF96C_X	17.85	3 335
MF52	148	840	MF96VP	18	2 000
MF63	200	300	MF99	127	1 300
MF64	41.4	2 000	MF104	9.2	2 100
MF66	150	600	MF105－1	40	1 280
MF72	80.6	1 000	MF107	40	2 500
MF75－1	300	600	MF113TB	39.5	2 418
MF75－2	153	770	MF115	30	1 800
MF78	50	1 700	MF121	50	2 100
MF79	50	1 700	MF122	150	700
MF81	230	310	MF124	47	2 300
MF82	67.5	1 800	MF126	37.5	2 500
MF85	113	1 000	MF140	42	2 400
MF90	80	1 200	MF368	40.4	2 000
MF91b	150	625	JO－410	37.5	2 400
MF92	40	2 000	JO－411	150	600
MF92－1	40	25	U－10	150	600
MF93	124	1 150.7	U－101	100	800
MF94	40	2 100	U－20	75	2 000

（续 表）

型 号	灵敏度/μA	内阻/Ω	型 号	灵敏度/μA	内阻/Ω
U－201	50	1 700	500 A	42	2 200
DY1	45	1 900	500HA	41.3	3 072
108－1	62	1 850	500(之一)	40	2 800
108－T	65	850	500(之二)	40	2 600
108－T－1	60	2 200	500(之三)	40	2 800
108－T－1（热带型）	65	1 500	500(之四)	40	2 500
			500－F(之五)	40	2 500
500	42	2 000	500－2	40	2 200

附录二

常用数字式万用表主要技术指标

附表 2　M3800(DT380)型数字式万用表主要技术指标

测量项目	量　程	分辨力	准确度
DCV	200 mV	0.1 mV	±(0.5%读数+1字)
	2 V	1 mV	
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	1 000 V	1 V	
ACV (40～1 000 Hz)	200 mV	0.1 mV	±(1.2%读数+3字)
	2 V	1 mV	±(0.8%读数+3字)
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	700 V	1 V	±(1.2%读数+3字)

（续 表）

测量项目	量 程	分辨力	准确度
DCA	200 μA	0.1 μA	±(0.5%读数+1字)
	2 mA	1 μA	
	20 mA	10 μA	
	200 mA	100 μA	±(1.2%读数+1字)
	2 A	1 mA	
	10 A,20 μA	10 mA,10 nA	±(2%读数+5字)
ACA (40～1 000 Hz)	200 μA	0.1 μA	±(1.0%读数+3字)
	2 mA	1 μA	
	20 mA	10 μA	
	200 mA	100 μA	±(1.8%读数+3字)
	2 A	1 mA	
	10 A,20 μA	10 mA,10 nA	±(3%读数+7字)
Ω	200 Ω	0.1 Ω	±(0.5%读数+3字)
	2 kΩ	1 Ω	±(0.5%读数+1字)
	20 kΩ	10 Ω	
	200 kΩ	100 Ω	
	2 MΩ	1 kΩ	
	20 MΩ	10 kΩ	±(1%读数+2字)

（续　表）

测量项目	量　程	分辨力	准确度
h_{FE}	0～1 000	I_B=10 μA,V_{CE}=2.8 V	
通、断	＜30 Ω时发声,开路电路为2.8 V		

注：(1) 3½位LCD显示。
(2) 自动显示极性,短路自动调零。
(3) 超量程显示“1”。
(4) 供电电源为9 V叠层电池,功耗约200 mW。
(5) 电源电压不足显示“LOBAT”。
(6) 快速熔丝2 A/250 V。

附表3　M3900(DT390)型数字式万用表主要技术指标

测量项目	量　程	分辨力	准确度
DCV	200 mV	100μV	±(0.5%读数+1字)
	2 V	1 mV	
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	1 000 V	1 V	±(0.8%读数+2字)
ACV (40～400 Hz)	200 mV	100μV	±(1.2%读数+3字)
	2 V	1 mV	±(0.8%读数+3字)
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	700 V	1 V	±(1.2%读数+3字)

（续 表）

测量项目	量 程	分辨力	准确度
DCA	200 μA	0.1 μA	±(0.8%读数+3字)
	2 mA	1 μA	±(0.5%读数+1字)
	20 mA	10 μA	
	200 mA	100 μA	±(1.2%读数+1字)
	2 A	1 mA	
	10 A,20 μA	10 mA,10 nA	±(2%读数+5字)
ACA (40～400 Hz)	200 μA	0.1 μA	±(1.8%读数+3字)
	2 mA	1 μA	±(1.0%读数+3字)
	20 mA	10 μA	
	200 mA	100 μA	±(1.8%读数+3字)
	2 A	1 mA	
	10 A,20 μA	10 mA,10 nA	±(3%读数+7字)
Ω	200 Ω	0.1 Ω	±(0.8%读数+3字)
	2 kΩ	1 Ω	±(0.8%读数+1字)
	20 kΩ	10 Ω	
	200 kΩ	100 Ω	
	2 MΩ	1 kΩ	
	20 MΩ	10 kΩ	±(1%读数+2字)

（续　表）

测量项目	量　程	分辨力	准确度
h_{FE}	0～1 000	$I_B \approx 10\ \mu A, V_{CE} \approx 2.8\ V$	
二极管	显示正向压降近似值，正向直流电流约 1 mA，反向直流电压近似为 2.8 V		
通、断	如果电阻＜ 30 Ω，内置蜂鸣器发声，开路电路≈2.8 V		

注：(1) 3½位 LCD 显示，仪表电源为 9 V 叠电池。
(2) 环境温度 23±5℃、相对湿度＜75%条件下保证准确度指标。
(3) DCV、ACV 挡输入阻抗 10 MΩ。
(4) DCA、ACA 挡测量压降 200 mV。
(5) 过载保护：DCV 挡最高为 1 000 V 直流或交流峰峰值，200 mV 挡为 220 V 交流有效值；ACV 挡为 750 V 有效值或 1 000 V 峰值，交流 200 mV 挡误测 300 V 有效值，时间不得大于 15 s；DCA、ACA 挡熔丝为 2 A/250 V，10 A 挡无保险。
(6) Ω 挡开路电压＜700 mV，过载保护 200 V(DC、AC 有效值)。

附表 4　PF72 型数字式万用表主要技术指标

测量项目	量　程	分辨力	准确度
DCV	200 mV	0.1 mV	±(0.3%读数+2 字)
	2 V	1 mV	
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	1 000 V	1 V	
DCA	2 mA	1 μA	±(0.4%读数+3 字)
	20 mA	10 μA	±(0.5%读数+3 字)
	200 mA	100 μA	±(0.7%读数+3 字)
	2 A	1 mA	±(1.5%读数+3 字)

（续 表）

测量项目	量 程	分辨力	准确度
ACV (45～1 000 Hz)	200 mV	0.1 mV	±(0.5%读数+5字)
	2 V	1 mV	
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	1 000 V	1 V	±(0.8%读数+5字)
ACA (45～1 000 Hz)	2 mA	1 μA	±(1.8%读数+4字)
	20 mA	10 μA	
	200 mA	100 μA	
	2 A	1 mA	
Ω	200 Ω	0.1 Ω	±(0.3%读数+4字)
	2 kΩ	1 Ω	
	20 kΩ	10 Ω	
	200 kΩ	100 Ω	
	2 000 kΩ	1 kΩ	
	20 MΩ	10 kΩ	±(0.6%读数+5字)

注：(1) 便携式，3½位 LCD 显示。
(2) 输入阻抗 10 MΩ。
(3) 自动显示极性。
(4) 超量程显示“1”。
(5) 电源 2 号电池 4 节(6 V)或交流转换器，功耗约 200 mW。
(6) 电压不足显示“0000”。
(7) DCA、ACA 挡仪表最大电压降 200 mV。
(8) Ω 挡最小量程至最大量程，测量电流分别为 10 mA、1 mA、0.1 mA、10 μA、1 μA、0.1 μA。

附表 5　IM2215 型数字式万用表主要技术指标

测量项目	量　程	分辨力	准确度
DCV	200 mV	100μV	±(0.35%读数+1字)
	2 V	1 mV	
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	1 000 V	1 V	
DCA	2 mA	1 μA	±(0.75%读数+1字)
	20 mA	10 μA	
	200 mA	100 μA	
	2 A	1 mA	
ACV (50 Hz)	200 mV	100μV	±(0.6%读数+1字)
	2 V	1 mV	
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	750 V	1 V	
ACA (50 Hz)	2 mA	1 μA	±(1.5%读数+3字)
	20 mA	10 μA	
	200 mA	100 μA	
	2 A	1 mA	

（续 表）

测量项目	量 程	分辨力	准确度
Ω	200 Ω	0.1 Ω	±(0.3%读数+3字)
	2 kΩ	1 Ω	±(0.25%读数+1字)
	20 kΩ	10 Ω	
	200 kΩ	100 Ω	
	2 000 kΩ	1 kΩ	
	20 MΩ	10 kΩ	±(2%读数+1字)

注：(1) 3½位 LCD 显示。
(2) 自动显示极性。
(3) 自动调零。
(4) 超量程显示“1”。
(5) 电源 9 V 叠层电池 1 节。
(6) 具有过载保护。
(7) 输入阻抗≥10 MΩ，电流挡及电阻挡压降 0.25～0.7 V。
(8) 电压测量采用实验室标准，准确度可达 0.1%。

附表 6 DM1000 型数字式万用表主要技术指标

测量项目	量 程	分辨力	准确度
DCV	200 mV	0.1 mV	±(0.8%读数+1字)
	2 V	1 mV	
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	1 000 V	1 V	

（续　表）

测量项目	量　程	分辨力	准确度
DCA	200 μA	0.1 μA	±(1.0%读数+2字)
	2 mA	1 μA	
	20 mA	10 μA	
	200 mA	100 μA	
	2 A	1 mA	±(1.2%读数+1字)
	20 A	10 mA	
ACV (45～400 Hz)	200 mV	0.1 mV	±(1.0%读数+5字)
	2 V	1 mV	
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	750 V	1 V	±(1.2%读数+10字)
ACA (45～400 Hz)	200 μA	0.1 μA	±(2%读数+5字)
	2 mA	1 μA	
	20 mA	10 μA	
	200 mA	100 μA	
	2 A	1 mA	
	20 A	10 mA	

（续 表）

测量项目	量 程	分辨力	准确度
Ω	200 Ω	0.1 Ω	±(1.2%读数+2字)
	2 kΩ	1 Ω	±(1.0%读数+2字)
	20 kΩ	10 Ω	
	200 kΩ	100 Ω	
	2 000 kΩ	1 kΩ	
	20 MΩ	10 kΩ	±(2%读数+2字)

注：(1) 3½位 LCD 显示。
(2) 自动调零，自动极性显示。
(3) 超量程显示“1”。
(4) 电源不足表示“←”或“LOBAT”。
(5) 电源 9 V 叠层电池 1 节。
(6) h_{FE}测量范围 0～1 000，I_B=10 μA，U_{CE}=2.8 V。
(7) 输入阻抗 10 MΩ(DCV)，5M(ACV)。
(8) 电阻挡开路电压 1.2 V。
(9) 电流挡电压降 300～500 mV。

附表 7 DT860 型数字式万用表主要技术指标

测量项目	量 程	分辨力	准确度
DCV	200 mV	0.1 mV	±(0.5%读数+1字)
	2 V	1 mV	
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	1 000 V	1 V	±(1.0%读数+2字)

（续　表）

测量项目	量　程	分辨力	准确度
ACV (45～500 Hz)	200 mV	0.1 mV	±(1.0%读数+2字)
	2 V	1 mV	
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	750 V	1 V	±(2.0%读数+5字)
DCA	2 mA	0.1 μA	±(0.5%读数+1字)
	20 mA	1 μA	
	200 mA	10 μA	
	10 A	1 mA	±(2.0%读数+5字)
ACA (45～500 Hz)	2 mA	0.1 μA	±(1.0%读数+2字)
	20 mA	1 μA	
	200 mA	10 μA	
	10 A	1 mA	±(2.0%读数+5字)
Ω	200 Ω	0.1 Ω	±(0.5%读数+2字)
	2 kΩ	1 Ω	
	20 kΩ	10 Ω	
	200 kΩ	100 Ω	
	2 MΩ	1 kΩ	
	20 MΩ	10 kΩ	

（续 表）

测量项目	量 程	分辨力	准确度
h_{FE}	0～1 000	I_B=10 μA,U_{CE}=2.8 V	

注：(1) 3½位 LCD 显示。
(2) 自动显示极性。
(3) 自动调整零位。
(4) 超量程显示“1”。
(5) 全量程过载保护。
(6) 输入阻抗 10 MΩ,电流挡电压降 200 mV。
(7) 电源 9 V 叠层电池 1 节。
(8) 电源电压不足显示“LOBAT”或“←”。
(9) 导通发声＜30 Ω。

附表 8 DT890 系列数字式万用表主要技术指标(DT890、DT890 A、DT890B、DT890C 型共同部分)

测量项目	量 程	分辨力	准确度
DCV	200 mV	0.1 mV	±(0.5%读数+1字)
	2 V	1 mV	
	20 V	10 mV	
	200 V	0.1 V	
	1 000 V	1 V	±(0.8%读数+2字)
DCA	200 μA	0.1 μA	±(0.8%读数+1字)
	2 mA	1 μA	
	20 mA	10 μA	
	200 mA	0.1 mA	±(1.2%读数+1字)
	10 A	10 mA	±(2%读数+5字)

（续　表）

测量项目	量　程	分辨力	准确度
ACV (40～200 Hz)	200 mV	0.1 mV	±(0.8%读数+3字)
	2 V	1 mV	
	20 V	10 mV	
	200 V	100 mV	
	700 V	1 V	±(1.2%读数+3字)
ACA (40～200 Hz)	2 mA	1 μA	±(1.0%读数+3字)
	20 mA	10 μA	
	200 mA	100 μA	±(1.8%读数+3字)
	10 A	10 mA	±(3%读数+7字)
C	2 000 pF	1 pF	±(2.5%读数+3字)
	20 nF	10 pF	
	200 nF	100 pF	
	2 μF	1 nF	
	20 μF	10 nF	
Ω	200 Ω	0.1 Ω	±(0.8%读数+3字)
	2 kΩ	1 Ω	±(0.8%读数+1字)
	20 kΩ	10 Ω	
	200 kΩ	100 Ω	

（续 表）

测量项目	量 程	分辨力	准确度
Ω	2 000 kΩ	1 kΩ	±(0.8%读数+1字)
	20 MΩ	10 kΩ	±(1%读数+2字)

注：(1) 3½位 LCD 显示。
(2) 自动显示极性。
(3) 超量显示“1”，表笔短路后自动调零。
(4) 电源 9 V 叠层电池 1 节。
(5) 电源电压不足显示“LOBAT”、“BAT”或“←”。
(6) 通、断测试时，电阻小于 30 Ω 蜂鸣器发声。
(7) 输入阻抗 10 MΩ，电阻测量开路电压<700 mV。
(8) DT890B 型具有全功能自动调零及全保护功能。
(9) DT890C 型具有测温功能并具有 200 MΩ 挡。
(10) 电容测试信号频率为 400 Hz 。
(11) 10 A 挡未加保护。

附表 9 DT930F+型数字式万用表主要技术指标

测量项目	量 程	分辨力	准确度
DCV	200 mV	0.01 mV	±(0.05%读数+2字)
	2 V	0.1 mV	
	20 V	1 mV	
	200 V	10 mV	
	1 000 V	0.1 V	±(0.1%读数+5字)
ACV (40～400 Hz)	2 V	0.1 mV	±(0.8%读数+10字)
	20 V	1 mV	
	200 V	10 mV	
	700 V	0.1 V	±(1%读数+15字)

（续　表）

测量项目	量　程	分辨力	准确度
DCA	200 μA	0.01 μA	±(0.5%读数+2字)
	2 mA	0.1 μA	
	20 mA	1 μA	
	200 mA	10 μA	±(0.75%读数+5字)
	10 A	1 mA	±(2.0%读数+10字)
ACA (40～400 Hz)	2 mA	0.1 μA	±(0.8%读数+10字)
	20 mA	1 μA	
	200 mA	10 μA	
	10 A	1 mA	±(2.0%读数+10字)
C	2 000 pF	0.11 pF	±(2.0%读数+10字)
	20 nF	1 pF	
	200 nF	10 pF	
	2 μF	0.1 nF	
	20 μF	1 nF	
Ω	200 Ω	0.01 Ω	±(0.5%读数+5字)
	2 kΩ	0.1 Ω	±(0.5%读数+1字)
	20 kΩ	1 Ω	
	200 kΩ	10 Ω	±(0.5%读数+2字)
	2 MΩ	100 Ω	
	20 MΩ	1 kΩ	±(1.0%读数+2字)

（续 表）

测量项目	量 程	分辨力	准确度
h_{FE}	0～1 000	1	I_B=10 μA,U_{CE}=2.8 V
音频频率	10 Hz～20 kHz	1 Hz	±(0.5%读数+5字)

注：(1) 4½位 LCD 显示。
(2) 工作条件：环境温度(23±5)℃、相对湿度小于 75%。
(3) 超量程显示"1"。
(4) 自动显示极性。
(5) 测量端短路自动调零。
(6) 电源 9 V 叠层电池 1 节。
(7) 电源电压偏低显示"LOBAT"或"BAT"。
(8) 具有读数保持键"DATAHOLD"。
(9) DT390FG 的 DCV 挡准确度±(0.1%读数+2字)，DT930F+的 DCV 挡准确度±(0.04%读数+2字)。
(10) 输入阻抗 10 MΩ。
(11) 电流测量电压降 200 mV。
(12) 电容测试电压峰值 3 V。
(13) 电阻测试电压低于 700 mV。
(14) 频率测试电压有效值 120 mV。
(15) 10 A 挡满载通电时间应小于 15 s。

附录三

常用指针式万用表主要技术指标

附表 10　常用指针式万用表的型号和主要技术性能

型　号	测量项目	测　量　范　围	灵敏度及电压降	基本误差(%)
500	直流电压	0～2.5～10～50～250～500 V	20 kΩ/V	±2.5
		2 500 V	4 kΩ/V	±5.0
	交流电压	0～10～50～250～500 V	4 kΩ/V	±5.0
		2 500 V	4 kΩ/V	±5.0

（续 表）

型 号	测量项目	测 量 范 围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
500	直流电流	0～50 μA～1 mA～10～100～500 mA	4 kΩ/V	±2.5
	电 阻	中心值：10 Ω、100 Ω、1 kΩ、10 kΩ、100 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×1 k、×10 k 范围：0～2～20～200 kΩ～2 MΩ～20 MΩ	0.75 V	±2.5
	音频电平	−10～+22 dB		
MF10	直流电流	0～10～50～100 μA～1 mA～10～100 mA～1 A	0.5 V	±2.5
	直流电压	0～0.5～1～2.5～10～50～100 V 0～250～500 V	100 kΩ/V 20 kΩ/V	±2.5
	交流电压	0～10～50～250～500 V	20 kΩ/V	±5.0
	电 阻	中心值：13 Ω、130 Ω、1.3 kΩ、13 kΩ、130 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×1 k、×10 k 范围：0～2 kΩ～20 MΩ		±2.5
	音频电平	−10～+56 dB		

（续 表）

型 号	测量项目	测 量 范 围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
MF14	直流电流	0～1～2.5～10～25～100～250 mA～1 A～5A	0.48 V	±1.5
	直流电压	0～2.5～10～25～100～250～500～1 000 V	1 kΩ/V	±1.5
	交流电流	0～2.5～10～25～100～250 mA～1 A～5A	1.2 V	±2.5
	交流电压	0～2.5 V	100 Ω/V	±2.5
		0～10～25～100～250～500～1 000 V	400 Ω/V	
	电 阻	中心值：75 Ω、750 Ω、7.5 kΩ、75 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×1 k 范围：0～10～100 kΩ～1 MΩ～10 MΩ		±1.5
MF16（新）	直流电流	0～0.5～10～100 mA	0.55 V	±2.5
	直流电压	0～0.5～10～50～250～500 V	2 kΩ/V	±2.5
	交流电压	0～10～50～250～500 V	2 kΩ/V	±5.0
	电 阻	中心值：60 Ω、6 kΩ 倍数：×10、×1 k 范围：0～10 kΩ～1 MΩ	—	±2.5

（续 表）

型 号	测量项目	测 量 范 围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
MF16（新）	音频电平	−10～+56 dB		
	电 容	0.000 1～0.03 μF		
MF18	直流电流	0～60 μA～1.5 mA～7.5～15～75～300～1 500 mA	0.3 V	±1.0
	直流电压	0～150 mV～1.5 V～7.5～15～75～300～600 V	20 kΩ/V	±1.0
	交流电流	0～1.5～7.5～15～75～300～1 500 mA	1.5 V	±1.5
	交流电压	0～7.5～15 V	133 kΩ/V	±1.5
		0～75～300～600 V	2 kΩ/V	
	电 阻	中心值：12 Ω、120 Ω、1.2 kΩ、12 kΩ、120 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×1 k、×10 k 范围：0～2～200 kΩ～2 MΩ～20 MΩ		±1.0
MF27－1	直流电流	0～1～10～100 mA	0.55 V	±5.0
	直流电压	0～2.5～10～50～250～500 V	20 kΩ/V	±5.0

（续　表）

型　号	测量项目	测　量　范　围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
MF27－1	交流电压	0～2.5～10～50～250～500 V	20 kΩ/V	±5.0
	电　阻	中心值：60 Ω、6 kΩ 倍数：×10、×1 k 范围：0～10 kΩ～1 MΩ		±5.0
	音频电平	−10～+56 dB		
	电　容	0.000 1～0.03 μF		
MF30	直流电流	0～50～500 μA～5 mA～50～500 mA	0.3 V	±2.5
	直流电压	0～1～5～25A	20 kΩ/V	±2.5
		0～100～500 V	5 kΩ/V	
	交流电压	0～10～100～500 V	5 kΩ/V	±5.0
	电　阻	中心值：25 Ω、250 Ω、2.5 kΩ、25 kΩ、250 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×1 k、×10 k 范围：0～4～40～400 kΩ～4 MΩ～40 MΩ		±2.5

（续 表）

型 号	测量项目	测 量 范 围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
MF30	音频电平	−10～+22～+42～+56 dB		
	电 容	500 pF～0.03 μF(100 V～)0.07～0.5 μF(10～)		
	电 感	20～100 H(R_V=50 kΩ)(10 V～) 0.5～20H(R_V=1 kΩ)(10 V～) R_V——交流电压挡总内阻		
MF35	直流电流	0～50～250 μA～1 mA～5～25～100 mA～1 A～5 A	0.3 V	±1.0
	直流电压	0～75 mV～1 V～2.5～25 V	20 kΩ/V	±1.5
		0～100～500～1 000 V		±1.0
	交流电压	0～2.5～10 V	400 Ω/V	±2.5
		0～50～250～500～1 000 V	2 kΩ/V	±1.5
	交流电流	0～2.5 mA		±2.5
		25～250 mA～1 A～5A		±1.5

（续 表）

型 号	测量项目	测 量 范 围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
MF35	电 阻	中心值：15 Ω、150 Ω、1.5 kΩ、15 kΩ、150 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×1 k、×10 k		±1.0
		低阻(D·Ω)挡中心值：2.4 Ω		±1.5
	音频电平	−10～+50 dB		
MF47	直流电流	0～0.05～0.5～5～50～500 mA～5A	0.3 V	±2.5
	直流电压	0～0.25～1～2.5～10～50～250～500 V	20 kΩ/V	±2.5
		0～1 000～2 500 V		±5.0
	交流电压	0～10～50～250～500～1 000～2 500 V	4 kΩ/V	±5.0
	电 阻	中心值：22 Ω、220 Ω、2.2 kΩ、22 kΩ、220 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×1 k、×10 k		±2.5
	音频电平	−10～+22 dB		
	晶体管直流放大倍数	h_{FE}：0～300		

（续 表）

型 号	测量项目	测 量 范 围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
MF47	电 容	0.001～0.3 μF		
	电 感	20～100 H	-	
MF95	直流电流	0～50～500 μA 0～5～50～500 mA～5A	0.25 V	±2.5
	直流电压	0～0.25 V	20 kΩ/V	±5.0
		0～2.5～10～25～50～250～500 V	25 kΩ/V	±2.5
	交流电压	0～5～25～100～250～500 V	9 kΩ/V	±5.0
	交流电流	0～250～500 mA～2.5A		±5.0
	电 阻	中心值：25 Ω、250 Ω、2.5 kΩ、25 kΩ、250 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×1 k、×10 k 范围：0～2～20～200 kΩ～2 MΩ～20 MΩ		±2.5
	音频电平	−10～+16～+30～+42～+50～+56 dB		

（续 表）

型 号	测量项目	测 量 范 围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
MF95	晶体管直流放大倍数	h_{FE}：0～500		
	电 容	0～0.05 μF		
MF126	直流电流	0～50～500 μA 0～2.5～25～250 mA～1 A		±3.0
	直流电压	0～250 mV 0～2.5～10～50～250～1 000 V	20 kΩ/V	±3.0
	交流电压	0～10～25～50～250～500 V	9 kΩ/V	±5.0
	电 阻	中心值：25 Ω、250 Ω、25 kΩ、250 kΩ 倍数：×1、×10、×1 k、×10 k 范围：0～2～20 kΩ～2 MΩ～20 MΩ		±3.0
	电 容	0～0.05 μF		
	音频电平	−10～+22 dB		
	晶体管直流放大倍数	h_{FE}：0～250		

（续 表）

型 号	测量项目	测 量 范 围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
MF368	直流电流	0～50 μA	0.15 V	±2.5
		0～2.5～25～250 mA～2.5A	0.6 V	
	直流电压	0～0.5 V	20 kΩ/V	±5.0
		0～2.5～10～50～250 V		±2.5
		0～500 V	9 kΩ/V	±2.5
		0～1 500 V		±5.0
	交流电压	0～2.5～10～50～250～500～1 500 V	9 kΩ/V	±5.0
	电 阻	中心值：18 Ω、180 Ω、1.8 kΩ、18 kΩ、180 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×1 k、×10 k 范围：0～2～20～200 kΩ～2 MΩ～20 MΩ		±2.5
	音频电平	−10～+22 dB		
	晶体管直流放大倍数	h_{FE}：0～1 000		

（续　表）

型　号	测量项目	测　量　范　围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
U－10	直流电流	0～0.5 mA	1.287 V	±2.5
		0～2.5～25～250 mA	0.375 V	
	直流电压	0～0.5 V	2 kΩ/V	±5.0
		0～2.5～5～25～250～500 V		±2.5
	交流电压	0～5～25～100～250～500 V	2 kΩ/V	±5.0
	电　阻	倍数：×1、×10、×100、×1 k 范围：0～5～50～500 kΩ～5 MΩ		±2.5
	电　容	0～0.0001～0.03 μF 0.05～1 μF		
	音频电平	－10～＋56 dB		
U－20	直流电流	0～0.1～5～50～500 mA	0.75 V	±2.5
	直流电压	0～0.5 V	10 kΩ/V	±5.0

（续 表）

型 号	测量项目	测 量 范 围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
U-20	直流电压	0～2.5～10～50～250～500 V	10 kΩ/V	±2.5
	交流电压	0～10～50～250～500 V	4.5 kΩ/V	±5.0
	电 阻	中心值：25 Ω、250 Ω、2.5 kΩ、25 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×1 k 范围：0～2～20～200 kΩ～2 MΩ		±2.5
	晶体管直流放大倍数	h_{FE}：0～500		
U-201	直流电流	0～0.05～0.5～5～50～500 mA	0.45 V	±2.5
	直流电压	0～0.25 V	20 kΩ/V	±5.0
		0～2.5～10～50～250～500～1 500 V		±2.5
	交流电压	0～5～25～100～250～500 V	9 kΩ/V	±5.0
	电 阻	中心值：25 Ω、250 Ω、2.5 kΩ、25 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×10 k 范围：0～2～20～200～20 000 kΩ		±2.5

（续　表）

型　号	测量项目	测　量　范　围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
U－201	音频电平	－10～＋56 dB(5 挡)		
	电　容	0～0.05 μF		
	电　感	20～1 000 H		
	晶体管直流放大倍数	h_{FE}：0～300		
JO411	直流电流	0～1～10～100 mA	0.72 V	±2.5
	直流电压	0～2.5～10～50～250～500 V	5 kΩ/V	±2.5
	交流电压	0～2.5～10～50～250～500 V	2.5 kΩ/V	±5.0
	电　阻	中心值：15 Ω、150 Ω、1.5 kΩ、15 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×10 k 范围：0～1～10～100 kΩ～1 MΩ		±2.5
500 HA	直流电流	0～0.05～1～10～100～500 mA	0.75 V	±2.5
		0～5A	0.3 V	

（续 表）

型 号	测量项目	测 量 范 围	灵敏度及电压降	基本误差（%）
500 HA	直流电压	0～2.5～10～50～250～500 V	20 kΩ/V	±2.5
		0～2 500 V	4 kΩ/V	±5.0
	交流电压	0～10～50～250～500 V 0～2 500 V	4 kΩ/V	±5.0
	交流电流	0～5 A	1.0 V	±5.0
	电 阻	中心值：10 Ω、100 Ω、1 kΩ、10 kΩ、100 kΩ 倍数：×1、×10、×100、×1 k、×10 k 范围：0～2～20～200 kΩ～2 MΩ～20 MΩ		±2.5
	音频电平	−10～+22 dB		

参考文献

1. 萧淑霞编. 万用表使用自学通. 北京:中国电力出版社,2006
2. 沙占友,沙莎著. 万用表功能扩展与应用. 北京:电子工业出版社,2005
3. 沙占友,沙江著. 数字万用表功能扩展与应用. 北京:人民邮电出版社,2005
4. 沙占友,沙江著. 数字万用表检测方法与应用. 北京:人民邮电出版社,2004
5. 沙占友主编. 新型万用表的使用技巧. 北京:机械工业出版社,2001
6. 沙占友主编. 新型数字万用表原理与应用. 北京:机械工业出版社,2006
7. 〈日〉熊谷文宏著. 图解电气电子测量. 北京:科学出版社,2000
8. 林向淮,张文升主编. 电工常用仪器仪表的原理与使用. 北京:机械工业出版社,2005
9. 吴国忠,丁振荣,楼正国编著. 常用电子仪器的原理,使用及维修. 浙江大学出版社,2006
10. 韩广兴等编著. 常用仪表使用方法与应用实例. 北京:电子工业出版社,2005
11. 李保宏编著. 万用表使用技巧. 北京:人民邮电出版社,2006
12. 吴桂秀编著. 万用表使用维修入门. 杭州:浙江科学技术出版社,2002
13. 刘燕军编著. 万怎样用万用表检测电子元件. 北京:中国电力出版社,2004

[General Information]
书名=万用表使用与维修速成图解
作者=王艳春，程美玲主编
页数=275
SS号=12013767
出版日期=2008.3
出版社=凤凰出版传媒集团

书名
前言
目录
第一章万用表使用基础知识
第一节万用表的基本构成和工作原理
一、指针式万用表的基本构成和工作原理
二、数字式万用表的基本构成和工作原理
第二节万用表的选择和使用方法
一、指针式万用表的选择
二、数字式万用表的选择
三、指针式万用表的使用方法和注意事项
四、数字式万用表的使用方法和注意事项
第三节万用表中的测量电路
一、指针式万用表中的电压、电流测量电路
二、数字式万用表中的电压、电流测量电路
三、指针式万用表中的电阻测量电路
四、数字式万用表中的电阻测量电路
第四节万用表的技术性能与测量误差
一、万用表的技术性能
二、万用表常用标志符号
三、万用表的测量误差及其计算

第二章万用表的基本功能与应用
第一节万用表检测基本元器件
一、万用表检测电阻和电位器
二、万用表检测电感
三、万用表检测电容
四、万用表检测二极管
五、万用表检测晶体管
六、万用表检测晶闸管
第二节万用表检修常用仪器仪表
一、万用表检修仪器仪表
二、万用表检修数字电压表
三、万用表检修低频信号发生器
四、万用表检修电子示波器
五、万用表检修晶体管测试仪
六、万用表检修万用表
第三节万用表检修家用电器
一、万用表检修照明电路
二、万用表检修吊扇
三、万用表检修电视机
四、万用表检修自动电热开水器
五、万用表检修计算机显示器
六、万用表检修洗衣机
七、万用表检修电饭煲
八、万用表检修电热水器
第三章万用表的功能扩展与使用技巧
第一节万用表测量电阻的应急使用技巧
一、利用“差值法”测量电阻的工作原理

二、测量注意事项
第二节万用表的测量功能扩展与使用技巧
一、万用表测量温度
二、万用表测量频率和转速
三、万用表在线测量电阻
四、万用表测量晶体管放大系数
五、万用表测量相位差
第三节万用表的检测功能扩展与使用技巧
一、万用表检测扬声器
二、万用表检测磁头
三、万用表检测显像管
四、万用表检测继电器
第四章万用表的检修与维护
第一节万用表的检修方法
一、指针式万用表的检修方法
二、数字式万用表的检修方法
第二节万用表的常见故障及维修
一、指针式万用表的常见故障及维修
二、数字式万用表的常见故障及维修
附录一常用指针式万用表表头灵敏度和内阻
附录二常用数字式万用表主要技术指标
附录三常用指针式万用表主要技术指标