

# 1

## 指针式万用表的分析与调试

### 【项目导读】

本项目通过指针式万用表的分析与调试来学习电路及电路基本元件、直流简单电路参数的计算、万用表的原理与使用等知识，其中涉及的电路基本概念和电路的分析、计算、测试方法是后续项目乃至电路分析与测试的基础。

### 任务一 元器件的识别与测量

#### 【任务描述】

在现代电气化、信息化的社会里，电得到了广泛的应用，在万用表、收音机、电视机、录像机、DVD机、音响设备、计算机、手机、通信系统和电力网中可以看到各种各样的电路。那么，在这些电路中所包含的基本元器件都有哪些？又是如何测量与识别的？

#### 【任务分析】

电阻、电感和电容是我们日常生产生活中最为常见的元器件，也是万用表中主要的元器件，本次任务我们主要掌握利用万用表对这三种元器件进行测量和识别的技能。

#### 【任务目标】

- 了解电阻、电感和电容的定义、特点等。
- 掌握电阻、电感和电容的作用。
- 理解电阻、电感和电容的测量、识别与选择。

- 掌握万用表的使用方法。

【相关知识】

一、电阻元件

1. 电阻元件的图形、文字符号

电阻元件是具有一定电阻值的元器件，在电路中用于控制电流、电压和放大的信号等。电路图中常用电阻元件的符号如图 1-1 所示。

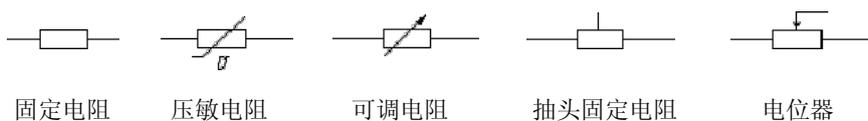


图 1-1 电阻的图形符号

电阻的单位是欧姆 ( $\Omega$ )，简称欧。常用的单位还有千欧 ( $k\Omega$ )、兆欧 ( $M\Omega$ )。

电阻元件是从实际电阻器抽象出来的理想化模型，是代表电路中消耗电能这一物理现象的理想二端元件。如电灯泡、电炉、电烙铁等这类实际电阻器，当忽略其电感等作用时，可将它们抽象为仅具有消耗电能作用的电阻元件。

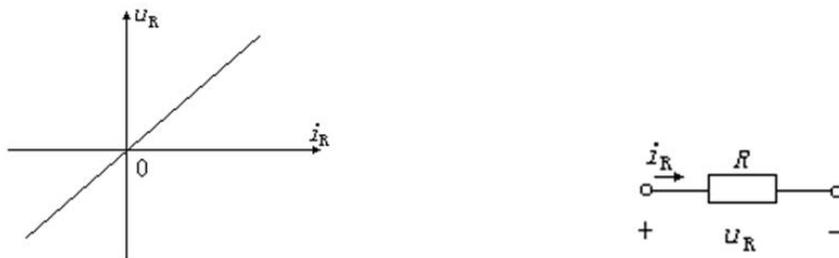
电阻元件的倒数称为电导，用字母  $G$  表示，即：

$$G = \frac{1}{R}$$

电导的单位为西门子，简称西，通常用符号  $s$  表示。

2. 电阻元件的特性

当电流  $i$  通过电阻元件  $R$  时， $R$  两端将产生电压  $u$ ，电流  $i$  与电压  $u$  之间的关系曲线称为电阻元件的伏安特性曲线，如图 1-2 所示。如果这条曲线是通过坐标原点的一条直线（如图 1-2 (a) 所示），则称为线性电阻元件，简称电阻元件。线性电阻元件在电路图中用图 1-2 (b) 所示的图形符号表示。



(a) 线性电阻元件的伏安特性曲线

(b) 图形符号

图 1-2 线性电阻元件的伏安特性曲线及图形符号

在工程上还有许多电阻元件，其伏安特性曲线是一条过原点的曲线，这样的电阻元件称为非线性电阻元件。如图 1-3 所示是二极管的伏安特性曲线，所以二极管是一个非线性电阻元件。

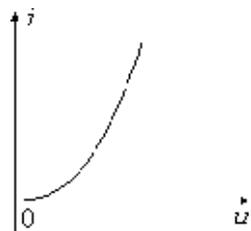


图 1-3 二极管的伏安特性曲线

严格地说，实际电路器件的电阻都是非线性的。如常用的白炽灯，只有在一定的工作范围内才能把白炽灯近似看成线性电阻，而超过此范围就成了非线性电阻。

本书中所有的电阻元件，除非特别指明，都是指线性电阻元件。

### 3. 欧姆定律

欧姆定律是电路分析中的重要定律之一，它说明线性电阻元件的端电压  $u$  与通过它的电流  $i$  成正比，反映了电阻元件的特性。

当电压、电流的参考方向为关联参考方向时，欧姆定律可用下式表示：

$$i = \frac{u}{R}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

当选定电压与电流为非关联参考方向时，上面两式前需要加“-”号。

无论电压、电流为关联参考方向还是非关联参考方向，电阻元件的功率为：

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

上式表明，电阻元件吸收的功率恒为正值，而与电压、电流的参考方向无关。因此，电阻元件又称为耗能元件。

例 1-1 如图 1-4 所示，应用欧姆定律求电阻  $R$ 。

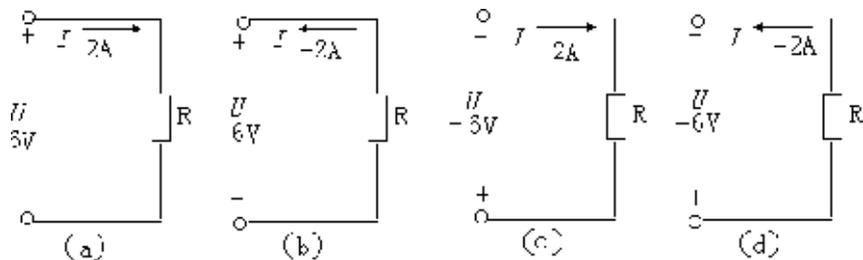


图 1-4 例 1-1 的电路图

解：(a)  $R = \frac{U}{I} = \frac{6}{2} \Omega = 3 \Omega$

$$(b) R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-2} \Omega = 3\Omega$$

$$(c) R = -\frac{U}{I} = -\frac{-6}{2} \Omega = 3\Omega$$

$$(d) R = \frac{U}{I} = \frac{-6}{-2} \Omega = 3\Omega$$

4. 电阻器常见类型及命名方法

电阻器常见类型如表 1-1 所示。

表 1-1 电阻器常见类型

材料		分类			
第二部分用字母表示		第三部分用数字表示			
T	碳膜	1	普通	D	多圈
H	合成膜	2	普通	R	耐热
S	有机实芯	3	超高频	G	高功率
N	无机实芯	4	高阻	J	精密
J	金属膜	5	高温	T	可调
Y	氧化膜	6	无	X	小型
C	沉淀膜	7	精密	L	测量用
I	玻璃釉膜	8	高压	W	微调
X	线绕	9	特殊	8	特种函数

电阻器命名方法：根据我国部颁标准 ST153-73 规定，国内电阻器和电位器的型号组成部分如图 1-5 所示。

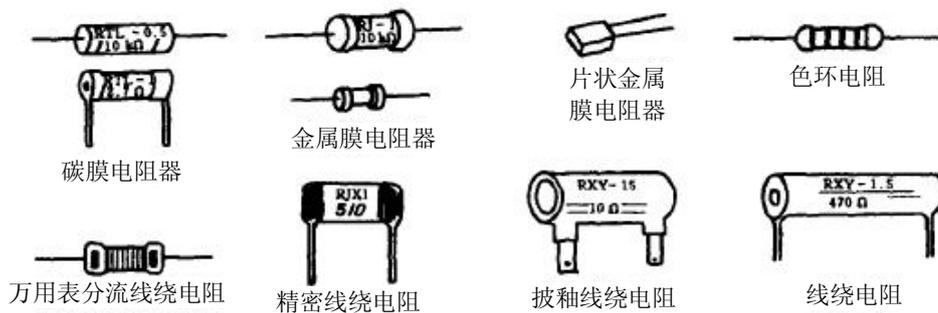


图 1-5 常用电阻元件



图 1-5 常用电阻元件 (续图)

例如 RJ71 型精密金属膜电阻器如图 1-6 和图 1-7 所示。

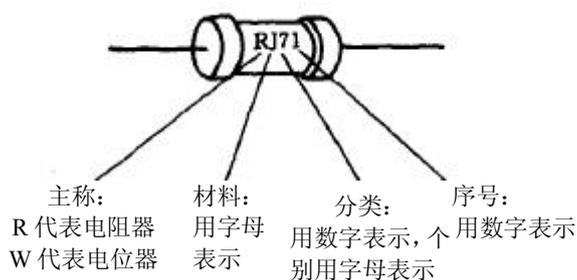


图 1-6 电阻器的命名方法

### 5. 电阻器的标志方法

电阻器上面有标称阻值, 此值就是电阻的标称值。阻值的范围很广, 从小到大皆有。电阻阻值的标志方法有 3 种: 直标法、文字符号法和色标法。所谓直标法是指在电阻表面直接标

志出产品主要参数及技术性能的标志方法。文字符号法一般用阿拉伯数字和文字符号标出。而色标法是指用不同颜色代表不同标称值与偏差，一般用色环形式标出，很显然色标比前两种标志法在实际电路板上更易于读取，因为它不受元件安装方向的限制。



图 1-7 电阻的识读

(1) 直标法。

如图 1-8 所示，直标法电阻阻值用数字与文字直接标出：电阻值为  $5.1\text{k}\Omega$ ，偏差  $\pm 5\%$ 。若没有偏差等级则表示偏差为  $20\%$ 。

注意其电阻值的单位应符合以下规定：欧姆 ( $\Omega$ )、千欧 ( $\text{k}\Omega$ )、兆欧 ( $\text{M}\Omega$ )。

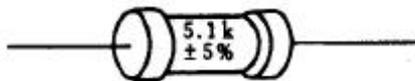


图 1-8 电阻的直标法

(2) 文字符号法。

用文字、数字、数字符号有规律地组合在一起标志在产品表面上，表示电阻阻值，如图 1-9 所示（阻值为  $4.7\text{k}\Omega$ ）。



图 1-9 文字符号法

(3) 色标法。

前面已经讲到，所谓色标法是指用不同颜色的色环来表示元件不同参数的方法。在电阻上不同的色环代表不同的标称阻值和允许偏差，如表 1-2 所示。

表 1-2 不同颜色所表示的数值和允许偏差

颜色	有效数字	乘数	允许偏差%
银色		$10^{-2}$	$\pm 10$
金色		$10^{-1}$	$\pm 5$
黑色	0	$10^0$	
棕色	1	$10^1$	$\pm 1$
红色	2	$10^2$	$\pm 2$
橙色	3	$10^3$	
黄色	4	$10^4$	
绿色	5	$10^5$	$\pm 0.5$
蓝色	6	$10^6$	$\pm 0.25$
紫色	7	$10^7$	$\pm 0.1$
灰色	8	$10^8$	
白色	9	$10^9$	$+50/-20$
无色			$\pm 20$

常见的色环有四条和五条表示法（如图 1-10 所示），色环靠电阻哪一端近就由哪一端开始数环。

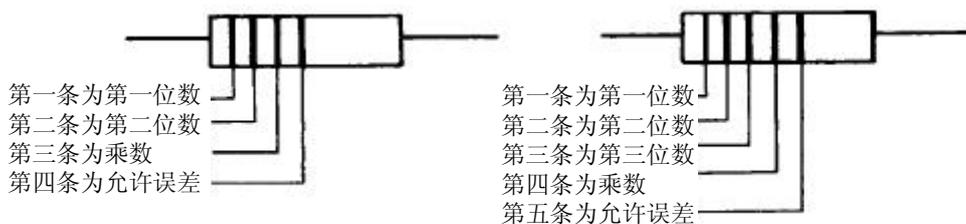


图 1-10 电阻的色标法

普通电阻器通常为四条色环，其中第一、二条色环表示的数即为两位有效数，第三条色环为乘数即 $\times 10^x$ ，而此色环表示的数是以 10 为底的指数，第四条色环则表示电阻的允许偏差。

例如色环电阻的色环标志为：红色/紫色/橙色/金色，如图 1-11 所示，即标称阻值为： $27 \times 10^3 = 27000\Omega = 27\text{k}\Omega$ ，允许偏差为： $\pm 5\%$ 。

精密电阻器通常为五条色环，其中第一、二、三条色环表示的数即为三位有效数，第四条色环即为乘数即 $\times 10^x$ ，而此色环表示的数是以 10 为底的指数，第五条色环则表示电阻的允许偏差。

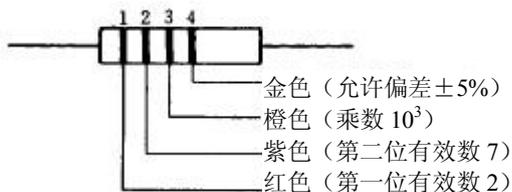


图 1-11 四环电阻的识读

例如色环电阻的色环标志为：棕色/紫色/绿色/银色/棕色，如图 1-12 所示，即标称阻值为： $175 \times 10^{-2} = 1.75\Omega$ ，允许偏差为： $\pm 1\%$ 。

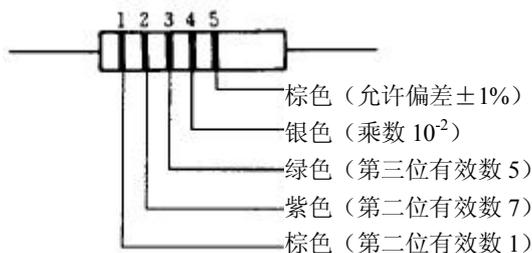


图 1-12 五环电阻的识读

### 6. 一般电阻的质量判别

电阻阻值变化或内部损坏情况可用万用表  $\Omega$  挡测量来核对，但要注意以下两点：

(1) 若电阻内部或引脚有毛病。测量时用表笔拨动电阻引脚，指针摆动范围很大，说明此电阻内部有接触不良现象或引脚松动。

(2) 热敏电阻的检查。常温下阻值应接近其标称值，然后用热的电烙铁靠近它，观察其值有无变化。若有，说明电阻基本正常；否则，此电阻性能不好。

### 7. 电位器的简单挑选

电位器的种类很多，常见的是碳膜电位器，其结构简单、阻值范围大，有带开关和不带开关之分，广泛地用在收音机、电视机、扩音机等电路中。电位器阻值的变化有以下 3 种规律：

- X 型为直线式，其阻值按旋转角度均匀变化。
- Z 型为指数式，其阻值按旋转角度依指数规律变化，此类电位器多用在音量调节电路中，因人耳对声音响度的反应接近指数关系。
- D 型为对数式，其阻值按旋转角度依对数关系变化。

关于电位器的简单挑选，以带开关电位器为例。

(1) 利用万用表  $R \times 1$  挡测量电位器开关，看开关是否正常，如图 1-13 所示。

将图中旋钮拨到“开”时，万用表指针偏转，即“通”；将图中开关拨到“关”时，如万用表指针不动，即“断”，则说明此开关正常。

(2) 用万用表  $\Omega$  挡测量电位器两端焊片 (图 1-14 中的 1、3 端), 其阻值应与标称值相同。

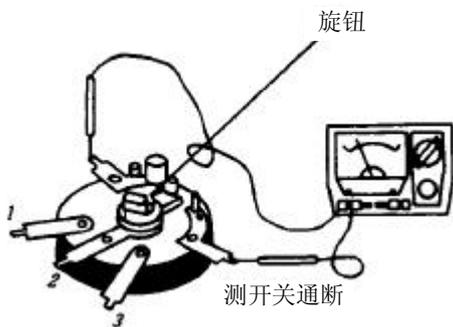


图 1-13 用万用表测电位器开关



图 1-14 测量电位器的标称阻值

(3) 将表笔接中心抽头 (图 1-15 中的 2 端) 及电位器的任一端 (图 1-15 中的 1 端或 3 端), 缓缓旋动电位器轴柄, 如表针徐徐变动而无跌落现象, 则说明此电位器正常。



图 1-15 测量电位器内部质量

## 二、电感元件

### 1. 电感基本知识

#### (1) 电感的概念。

电感器 (电感线圈) 和变压器均是用绝缘导线 (如漆包线、绕包线等) 绕制而成的电磁感应元件, 也是电子电路中常用的元器件之一, 相关产品如共膜滤波器等。

电感器是用漆包线、纱包线或塑皮线等在绝缘骨架或磁心、铁心上绕制成的一组串联的同轴线匝, 它在电路中用字母 L 表示。

#### (2) 电感器的主要构造。

电感器一般由骨架、绕组、屏蔽罩、封装材料、磁心或铁心等组成, 如图 1-16 所示。

1) 骨架。骨架泛指绕制线圈的支架。一些体积较大的固定式电感器或可调式电感器 (如振荡线圈、阻流圈等) 大多是将漆包线 (或纱包线) 环绕在骨架上, 再将磁心或铜心、铁心等装入骨架的内腔, 以提高其电感量。

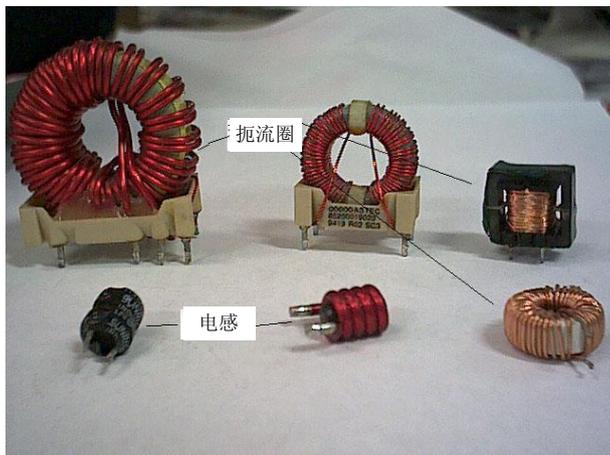


图 1-16 电感器

骨架通常是采用塑料、胶木、陶瓷制成，根据实际需要可以制成不同的形状。

小型电感器（如色码电感器）一般不使用骨架，而是直接将漆包线绕在磁心上。

空心电感器（也称脱胎线圈或空心线圈，多用于高频电路中）不用磁心、骨架和屏蔽罩等，而是先在模具上绕好后再脱去模具，并将线圈各圈之间拉开一定的距离。

2) 绕组。绕组是指具有规定功能的一组线圈，它是电感器的基本组成部分。

绕组有单层和多层之分。单层绕组又有密绕（绕制时导线一圈挨一圈）和间绕（绕制时每圈导线之间均隔一定的距离）两种形式；多层绕组有分层平绕、乱绕、蜂房式绕等多种。

3) 磁心与磁棒。磁心与磁棒一般采用镍锌铁氧体（NX 系列）或锰锌铁氧体（MX 系列）等材料，它有工字形、柱形、帽形、E 形、罐形等多种形状。

4) 铁心。铁心材料主要有硅钢片、坡莫合金等，其外形多为 E 形。

5) 屏蔽罩。为避免有些电感器在工作时产生的磁场影响其他电路及元器件正常工作，就为其增加了金属屏蔽罩（如半导体收音机的振荡线圈等）。采用屏蔽罩的电感器会增加线圈的损耗，使  $Q$  值降低。

6) 封装材料。有些电感器（如色码电感器、色环电感器等）绕制好后，用封装材料将线圈和磁心等密封起来。封装材料采用塑料或环氧树脂等。

(3) 电感器的主要参数。

电感器的主要参数有电感量、允许偏差、品质因数、分布电容、额定电流等。

1) 电感量。

电感量也称自感系数，是表示电感器产生自感应能力的一个物理量。

电感器电感量的大小主要取决于线圈的圈数（匝数）、绕制方式、有无磁心及磁心的材料等。通常，线圈圈数越多、绕制的线圈越密集，电感量就越大。有磁心的线圈比无磁心的线圈电感量大；磁心导磁率越大的线圈，电感量也越大。

在国际单位制里,电感量的基本单位是亨利(简称亨),用字母H表示。常用的单位还有毫亨(mH)和微亨( $\mu\text{H}$ ),它们之间的关系如下:

$$1\text{H}=1000\text{mH}$$

$$1\text{mH}=1000\mu\text{H}$$

2) 允许偏差。

允许偏差是指电感器上标称的电感量与实际电感的允许误差值。

一般用于振荡或滤波等电路中的电感器要求精度较高,允许偏差为 $\pm 0.2\% \sim \pm 0.5\%$ ;而用于耦合、高频阻流等线圈的精度要求不高,允许偏差为 $\pm 10\% \sim 15\%$ 。

3) 品质因数。

品质因数也称 $Q$ 值或优值,是衡量电感器质量的主要参数。它是指电感器在某一频率的交流电压下工作时所呈现的感抗与其等效损耗电阻之比。电感器的 $Q$ 值越高,其损耗越小,效率越高。

电感器品质因数的高低与线圈导线的直流电阻、线圈骨架的介质损耗及铁心、屏蔽罩等引起的损耗等有关。

4) 分布电容。

分布电容是指线圈的匝与匝之间、线圈与磁心之间存在的电容。电感器的分布电容越小,其稳定性越好。

5) 额定电流。

额定电流是指电感器正常工作时允许通过的最大电流值。若工作电流超过额定电流,则电感器会因发热而使性能参数发生改变,甚至还会因过流而烧毁。

(4) 电感器的连接(无耦合)。

1)  $n$ 个电感器相串联,类似于电阻的串联,即总电感量为这 $n$ 个电感器电感量的和。

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

2)  $n$ 个电感器相并联,类似于电阻的并联,即总电感量的倒数为这 $n$ 个电感器电感量倒数的和。

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

(5) 电感两端的电压。

$$u = L \times \frac{di}{dt}$$

式中表示了电流对时间的变化率,也就是电流的频率,所以电感两端的电压与通过电感的电流的频率和电感值成正比。

通过电感器的信号频率越高、电感值越大,电感两端的电压就越高。

2. 电感元件的分类和功能应用

电感器的主要作用是对交流信号进行隔离、滤波或与电容器、电阻器等组成谐振电路。

### (1) 电感器的分类。

#### 1) 按结构分类。

电感器按其结构的不同可分为线绕式电感器和非线绕式电感器(多层片状、印刷电感等),还可以分为固定式电感器和可调式电感器。

按贴装方式分有贴片式电感器、插件式电感器。同时对电感器有外部屏蔽的称为屏蔽电感器,线圈裸露的一般称为非屏蔽电感器。

固定式电感器又分为空心电感器、磁心电感器、铁心电感器等,根据其结构外形和引脚方式还可以分为立式同向引脚电感器、卧式轴向引脚电感器、大中型电感器、小巧玲珑型电感器和片状电感器等。

可调式电感器又分为磁心可调电感器、铜心可调电感器、滑动接点可调电感器、串联互感可调电感器和多抽头可调电感器。

#### 2) 按工作频率分类。

电感器按工作频率可分为高频电感器、中频电感器和低频电感器。高频电感器技术上差距较大,许多厂商的产品不成熟,常用比较可信的主要是捷比信高频电感器。

空心电感器、磁心电感器和铜心电感器一般为中频或高频电感器,而铁心电感器多数为低频电感器。

#### 3) 按用途分类。

电感器按用途可分为振荡电感器、校正电感器、显像管偏转电感器、阻流电感器、滤波电感器、隔离电感器、被偿电感器,同时对需要通过大电流等情况会使用到捷比信功率电感器。

振荡电感器又分为电视机行振荡线圈、东西枕形校正线圈等。

显像管偏转电感器分为行偏转线圈和场偏转线圈。

阻流电感器(又称阻流圈)分为高频阻流圈、低频阻流圈、电子镇流器用阻流圈、电视机行频阻流圈和电视机场频阻流圈等。

滤波电感器分为电源(工频)滤波电感器和低频滤波电感器等。

### (2) 电感器的主要用途。

1) 贴片线圈的用途:广泛使用在共模滤波器、多频变压器、阻抗变压器、平衡及不平衡转换变压器、抑制电子设备 EMI 噪音、个人电脑及外围设备的 USB 线路、液晶显示面板、低压微分信号、汽车遥控式钥匙等。

2) 固定电感线圈包括:环型线圈、扼流线圈、共模线圈、铁氧体磁珠、功率电感,有贴片型与引脚型可供选择。广泛使用在网络、电信、计算机、交流电源和外围设备上。

3) 闭磁路大电流表面贴装功率电感的特点及用途:理想的 DC-AC 转换电感器,大功率高饱和电感器,直流电阻小,适合于大电流,带装或卷轮包装,以便自动表面安装,应用于录放影机电源供应器、液晶电视机、手提电脑、办公自动化设备、移动通信设备、直流/交流转换器等。

4) 射频电感的用途:广泛使用在移动电话、VCO/TCXO 电路和射频收发器模组、全球定

位系统、无线网络、蓝牙模组、通信设备、液晶电视、摄影机、笔记本电脑、喷墨打印机、影印机、显示监视器、游戏机、彩色电视、录放影机、光盘机、数码相机、汽车电子产品等中。

### 3. 电感元件的测量

用一般万用表只能判断其通断，不能测其电感量。一般线圈的直流电阻很小，若  $R$  为  $\infty$ ，则表明线圈内部或引出线断路；若是局部短路，则不易辨别其短路处。

判断方法：用万用表的  $\Omega$  处，两表笔并接于被测电感的两端，若  $R$  为  $\infty$ ，则表明线圈内部或引出线断路。当阻值小于  $70\Omega$  时，蜂鸣器会发出声音。

### 4. 电感器的参数标注方法

#### (1) 直标法。

电感器一般都采用直标法，就是将标称电感量用数字直接标注在电感器的外壳上，同时还用字母表示电感器的额定电流、允许误差。采用这种数字与符号直接表示其参数的，就称为小型固定电感。

例如电感器外壳上标有 C、II、 $470\mu\text{H}$ ，表示电感器的电感量为  $470\mu\text{H}$ ，最大工作电流为  $300\text{mA}$ ，允许误差为  $\pm 10\%$ 。

电感器外壳上标有  $220\mu\text{H}$ 、II、D，表示电感器的电感量为  $220\mu\text{H}$ ，最大工作电流为  $700\text{mA}$ ，允许误差为  $\pm 10\%$ 。

LG2-C- $2\mu\text{H}$ -I 表示为高频立式电感器，额定电流为  $300\text{mA}$ ，电感量为  $2.2\mu\text{H}$ ，误差值为  $\pm 5\%$ 。

#### (2) 色标法。

在电感器的外壳上，标注方法同电阻的标注方法一样。第一个色环表示第一位有效数字，第二个色环表示第二位有效数字，第三个色环表示倍乘数，第四个色环表示允许误差。

例如某电感器的色环依次为蓝色、绿色、红色、银色，表明此电感器的电感量为  $6500\mu\text{H}$ ，允许误差为  $\pm 10\%$ 。

## 三、电容元件

### 1. 电容基本知识

#### (1) 电容的概念。

从物理学上讲，电容是一种静态电荷存储介质（就像一只水桶一样，你可以把电荷充存进去，在没有放电回路的情况下，刨除介质漏电自放电效应/电解电容比较明显，可能电荷会永久存在，这是它的特征），它的用途较广，它是电子、电力领域中不可缺少的电子元件，主要用于电源滤波、信号滤波、信号耦合、谐振、隔直流等电路中。电容的符号是  $C$ 。

电容是表征电容器容纳电荷的本领的物理量。我们把电容器的两极板间的电势差增加  $1\text{V}$  所需的电量叫做电容器的电容。

#### (2) 电容的单位。

在国际单位制里，电容的单位是法拉，简称法，符号是  $\text{F}$ ，常用的电容单位有毫法 ( $\text{mF}$ )、

微法 ( $\mu\text{F}$ )、纳法 ( $\text{nF}$ ) 和皮法 ( $\text{pF}$ ) (皮法又称微微法) 等, 换算关系如下:

$$1\text{F}=1000\text{mF}=1000000\mu\text{F}$$

$$1\mu\text{F}=1000\text{nF}=1000000\text{pF}$$

(3) 电容器的连接。

1)  $n$  个电容器相并联, 类似于电阻的串联, 即总电容量为这  $n$  个电容器电容量的和。

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

2)  $n$  个电容器相串联, 类似于电阻的并联, 即总电容量的倒数为这  $n$  个电容器电容量倒数的和。

$$C = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

(4) 流过电容的电流。

简单地讲, 电容器就是两块金属极板中间填充介质, 然后分别自两块极板引出两根引线作为电容器对外的两根管脚, 这就是一个电容器的基本结构。但是, 我们不能认为电容器两个极板间就是断路, 流过电容器的电流与加在电容器两端电压之间的关系为:

$$i = C \frac{du}{dt}$$

式中,  $\frac{du}{dt}$  表示的是电压对时间的变化率, 也就是电压的频率,  $C$  为电容量。所以, 流过电容的电流与加在电容两端电压的频率和电容的电容量成正比。加在电容两端的电压频率越高、电容量越大, 流过电容的电流就越大。

## 2. 电容器的分类和功能应用

(1) 电容器的分类。

常见的电容器按外形和制作材料分类可分为: 贴片电容、钽电解电容、铝电解电容、OS 固体电容、无极电解电容、瓷片电容、云母电容、聚丙烯电容。如图 1-17 所示是几种常用的电容。

国产电容器的型号一般由四部分组成 (不适用于压敏、可变、真空电容器), 依次分别代表名称、材料、分类和序号。

第一部分: 名称, 用字母表示, 电容器用  $C$ 。

第二部分: 材料, 用字母表示。

第三部分: 分类, 一般用数字表示, 个别用字母表示。

第四部分: 序号, 用数字表示。

用字母表示产品的材料: A—钽电解、B—聚苯乙烯等非极性薄膜、C—高频陶瓷、D—铝电解、E—其他材料电解、G—合金电解、H—复合介质、I—玻璃釉、J—金属化纸、L—涤纶等极性有机薄膜、N—铌电解、O—玻璃膜、Q—漆膜、T—低频陶瓷、V—云母纸、Y—云母、Z—纸介。



瓷片电容



电解电容



云母电容



独石电容



图 1-17 各种类型的电容

## (2) 电容功能分类。

### 1) 名称：聚酯（涤纶）电容

符号：CL

电容量：40pF~4μF

额定电压：63~630V

主要特点：小体积、大容量、耐热耐湿、稳定性差

应用：对稳定性和损耗要求不高的低频电路

### 2) 名称：聚苯乙烯电容

符号：CB

电容量：10pF~1μF

额定电压：100V~30kV

主要特点：稳定、低损耗、体积较大

应用：对稳定性和损耗要求较高的电路

### 3) 名称：聚丙烯电容

符号：CBB

电容量：1000pF~10μF

额定电压：63~2000V

主要特点：性能与聚苯相似但体积小、稳定性略差

应用：代替大部分聚苯或云母电容，用于要求较高的电路

4) 名称: 云母电容

符号: CY

电容量:  $10\text{pF}\sim 0.1\mu\text{F}$

额定电压:  $100\text{V}\sim 7\text{kV}$

主要特点: 高稳定性、高可靠性、温度系数小

应用: 高频振荡、脉冲等要求较高的电路

5) 名称: 高频瓷介电容

符号: CC

电容量:  $1\text{pF}\sim 6800\text{pF}$

额定电压:  $63\sim 500\text{V}$

主要特点: 高频损耗小、稳定性好

应用: 高频电路

6) 名称: 低频瓷介电容

符号: CT

电容量:  $10\text{pF}\sim 4.7\mu\text{F}$

额定电压:  $50\sim 100\text{V}$

主要特点: 体积小、价廉、损耗大、稳定性差

应用: 要求不高的低频电路

7) 名称: 玻璃釉电容

符号: CI

电容量:  $10\text{pF}\sim 0.1\mu\text{F}$

额定电压:  $63\sim 400\text{V}$

主要特点: 稳定性较好、损耗小、耐高温 ( $200^{\circ}\text{C}$ )

应用: 脉冲、耦合、旁路等电路

8) 名称: 铝电解电容

符号: CD

电容量:  $0.47\mu\text{F}\sim 10000\mu\text{F}$

额定电压:  $6.3\sim 450\text{V}$

主要特点: 体积小、容量大、损耗大、漏电大

应用: 电源滤波、低频耦合、去耦、旁路等

9) 名称: 钽电解电容

符号: CA

电容量:  $0.1\mu\text{F}\sim 1000\mu\text{F}$

额定电压:  $6.3\sim 125\text{V}$

主要特点: 损耗、漏电小于铝电解电容

应用：在要求高的电路中代替铝电解电容

10) 名称：独石电容

容量范围：0.5pF~1MF

耐压：二倍额定电压

应用范围：广泛应用于电子精密仪器，各种小型电子设备作谐振、耦合、滤波、旁路

主要特点：电容量大、体积小、可靠性高、电容量稳定、耐高温、耐湿性好等

缺点：温度系数很高、温漂很高

### 3. 电容器的测量

(1) 用指针式万用表判断固定电容器。

将指针式万用表的功能开关置于电阻挡，两表笔分别并接到电容器的两只管脚，如图 1-18 所示。

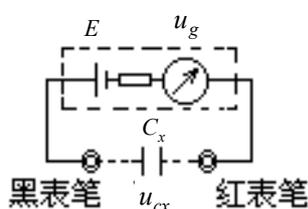


图 1-18 固定电容器测量

对于小容量的电容器（小于  $0.01\mu\text{F}$ ），用高阻挡（10k 或 1k 挡），即使这样，几乎看不到表针摆动；对于大容量的电容器（大于  $0.01\mu\text{F}$ ），用低阻挡，当表笔刚接触被测电容的两管脚的瞬间，指针突然先向右摆过一个明显的角度，然后又慢慢向左摆回到阻值为  $\infty$  处。

(2) 用指针式万用表判断可变电容器。

可变电容器有瓷片微调电容器、拉线电容器、调谐电容器等。瓷片微调电容器和调谐电容器是靠改变动片和定片的相对面积或位置来改变电容量；拉线电容器是靠改变拉线的圈数来改变电容量。

由于可变电容器一般容量都很小。若用指针式万用表判断，只能用高阻挡判别它是否碰片，方法是将两表笔并接在电容器的两管脚上，慢慢旋转动片，指针不动为好；若摆动则为碰片，是坏的。

用指针式万用表判断小电容器可采用图 1-19 所示的电路，可看到指针的摆动。

### 4. 电容器的参数标注方法

电容的识别方法与电阻的识别方法基本相同，分直标法、色标法和数标法 3 种。

容量大的电容其容量值在电容上直接标明，如  $10\mu\text{F}/16\text{V}$ 。

容量小的电容其容量值在电容上用字母或数字表示。

字母表示法：1P2=1.2PF

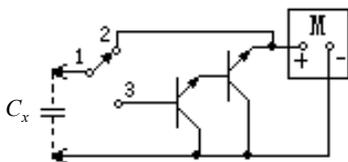


图 1-19 可变电容器测量

数字表示法：三位数字的表示法也称电容量的数码表示法。三位数字的前两位数字为标称容量的有效数字，第三位数字表示有效数字后面 0 的个数，它们的单位都是 pF。

例如 102 表示标称容量为 1000pF，221 表示标称容量为 220pF，224 表示标称容量为  $22 \times 10^4$ pF。

在这种表示法中有一个特殊情况就是，当第三位数字用 9 表示时，是用有效数字乘上  $10^{-1}$  来表示容量大小。

例如 229 表示标称容量为  $22 \times 10^{-1}$ pF=2.2pF。

#### 5. 电容器的选用原则、参数和具体应用

##### (1) 一般选用原则。

低频中使用的范围较宽，如可以使用高频特性比较差的；但是在高频电路中就有了很大的限制，一旦选择不当会影响电路的整体工作状态。

一般的电路里用的有电解电容、瓷片电容，但是在高频中就要使用云母等价格较贵的电容，不可以使用涤纶电容和电解电容，因为它们在高频情况下会形成电感，以致影响电路的工作精度。

##### (2) 电容的参数、具体应用。

很多电子产品中，电容器都是必不可少的电子元器件，它在电子设备中充当整流器的平滑滤波、电源和退耦、交流信号的旁路、交直流电路的交流耦合等。由于电容器的类型和结构种类比较多，因此使用者不仅需要了解各类电容器的性能指标和一般特性，而且还必须了解在给定用途下各种元件的优缺点、机械或环境的限制条件等。下面介绍电容器的主要参数及应用，可供选择电容器种类时用。

##### 1) 标称电容量 (CR)：电容器产品标出的电容量值。

云母和陶瓷介质电容器的电容量较低（大约在 5000pF 以下）；纸、塑料和一些陶瓷介质形式的电容量居中（大约在  $0.005\mu\text{F} \sim 10\mu\text{F}$ ）；通常电解电容器的容量较大。这是一个粗略的分类法。

2) 额定电压 (UR)：在下限类别温度和额定温度之间的任一温度下，可以连续施加在电容器上的最大直流电压或最大交流电压的有效值或脉冲电压的峰值。

电容器应用在高压场合时，必须注意电晕的影响。电晕是由于在介质/电极层之间存在空隙而产生的，它除了可以产生损坏设备的寄生信号外，还会导致电容器介质击穿。在交流或脉动条件下，电晕特别容易发生。对于所有的电容器，在使用中应保证直流电压与交流峰值电压

之和不超过直流电压额定值。

3) 损耗角正切 ( $\text{tg}\delta$ ): 在规定频率的正弦电压下, 电容器的损耗功率除以电容器的无功功率。在应用中应注意选择这个参数, 避免自身发热过大, 以减少设备的失效性。

4) 电容器的温度特性: 通常是以  $20^{\circ}\text{C}$  基准温度的电容量与有关温度的电容量的百分比表示。

5) 使用寿命: 电容器的使用寿命随温度的增加而减少, 主要原因是温度加速化学反应而使介质随时间退化。

6) 绝缘电阻: 由于温升引起电子活动增加, 因此温度升高将使绝缘电阻降低。

### **【任务实施】**

学习准备: 在电工实验室进行学习, 碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻、电位器每人各 1 只, 不同阻值色环电阻板每人 1 个, 各种电感、电容若干, 500 型万用表、数字表各 1 块。

根据讲解要求学生能熟练使用万用表对各种电阻、电感和电容进行测量和判别。课后要求学生完成实验报告。

## **任务二 指针式万用表电路的分析**

### **【任务描述】**

万用表是一种多用途、多量程的综合性电工测量仪表, 可以测量直流电压、直流电流、交流电压、电阻和音频电平等电量。万用表具有用途广泛、量程较多、操作简单、携带方便等优点, 它是从事电子电器安装、调试和维修的必备仪表。那么, 指针式万用表的结构和性能是怎样的? 其测量原理是什么? 其实际电路如何?

### **【任务分析】**

万用表又称多用表、三用表或复用表, 除了上面提到的一般测量功能外, 有些万用表还可以测量交流电流、电容量、电感量、晶体管的共发射极直流放大系数  $h_{FE}$  等电参数。随着数字显示电路的发展, 数字式万用表已经大量出现。

本次任务重点学习指针式万用表, 将在学习万用表的基本构造和测量原理的基础上进一步以 MF9 型万用表为例对其实际电路进行分析。

### **【任务目标】**

- 了解指针式万用表的结构和性能。
- 掌握指针式万用表的一般测量原理。
- 学会对 MF9 型万用表实际电路进行分析。

## 【相关知识】

### 一、万用表的构造

万用表由表头、测量电路、转换开关 3 个主要部分组成。

#### 1. 表头

表头是一只高灵敏度的磁电式直流电流表，作用是指示被测量的数据。表盘具有多条刻线，标有各种不同的单位和量程，以适应各种不同测量的需要。表头是万用表的测量指示机构，经过表头外电路将各种不同的测量转换为表头所需要的直流电流形式，最后由表头指示出来。

#### 2. 测量电路

为了适应测量各种不同项目和选择不同量程的需要，万用表都有一套测量电路。测量电路由电阻、半导体元件及电池组成。它将各种不同的被测电量、不同的量程经过一系列的处理，如整流、分流等，而统一变成一定量限的直流电流后送入表头。它实际上是由多量程的直流电流表、直流电压表、整流式交流电压表和欧姆表等的测量电路组合而成，通过转换开关来选择所需的测量项目和量程。测量种类和量程越多的万用表其测量电路越复杂。

#### 3. 转换开关

转换开关的作用是选择各种不同测量的电路，以满足不同种类和不同量程的测量要求。转换开关为多刀多掷标准开关或专用开关。通过转换开关的变换组合，万用表可变为各种量程不同的直流电压表、直流电流表、直流电阻表、交流电压表等各种不同的电工测量仪表。

### 二、万用表的电路原理

万用表的表头是一个高灵敏度的磁电式直流电流表，给它并联上不同阻值的电阻组成分流电路，就能实现不同量程的直流电流的测量；串联上不同阻值的分压电阻，就能实现不同量程的直流电压的测量。下面主要介绍万用表的电阻挡和交流电压挡。

#### 1. 电阻挡

给万用表的磁电系表头配上适当的电路可以构成测量电阻的欧姆表。

因为要测量的量是电阻，是无源的，所以为把无源的被测电阻转化为通入测量机构的电流，测量电路中除了要有电阻之外，还要有电源。图 1-20 所示是欧姆挡测量电阻的简单原理图。

根据全电路欧姆定律，当电源电压给定时，电流与回路中的电阻成反比，则有：

$$I = \frac{E}{R_0 + R_x}$$

式中,  $R_0$  为  $R$ 、 $R_1$ 、 $R_i$  组合后的等效电阻。

$R_x=0$  时,  $I$  最大;  $R_x \rightarrow \infty$  时,  $I=0$ 。可见欧姆表的刻度与电压表、电流表的刻度不同: 测大电阻时指针偏转小, 测小电阻时指针偏转大, 而且刻度是不均匀的。

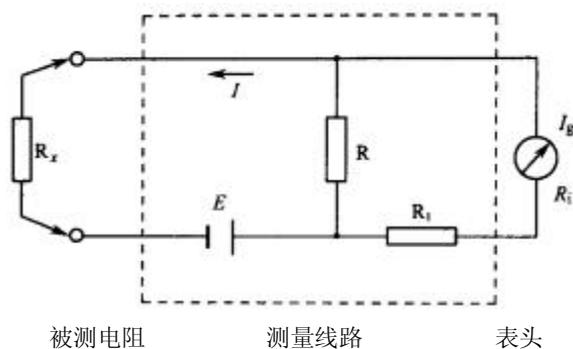


图 1-20 欧姆表测量电阻的简单原理示意图

欧姆表的总电阻  $R_0$  称为中值电阻。因为, 当  $R_x=0$  时  $I=E/R_0$ , 这时分配到测量机构中的电流是  $I_g$ ; 若  $R_x=R_0$ , 则这时分配到测量机构中的电流按比例减小为  $I_g/2$ , 仪表指针的偏转为满偏转的一半, 指针指在刻度盘的正中, 刻在这里的电阻应等于  $R_0$  的数值, 所以  $R_0$  叫做欧姆表的中值电阻。

由此可见, 在刻度盘右半段上刻度的电阻范围是  $0 \sim R_0$  的数值; 左半段是  $R_0 \sim \infty$  的数值。左段的电阻值分布甚密, 不易读数。所以, 用欧姆表测量电阻时, 要使指针偏转到容易读数的中段, 这就要根据所测电阻的数量级, 像改变电流量程那样, 去改变欧姆表中值电阻  $R_0$  的倍率, 在图 1-21 所示的电路中, 将开关扳到不同位置可把中值电阻的倍率提高 10 倍、100 倍。

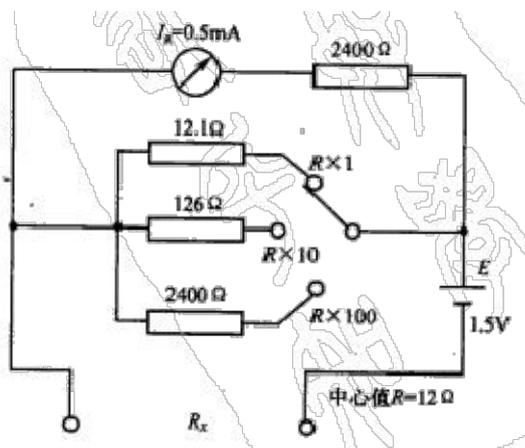


图 1-21 欧姆表的中值电阻

$$I = \frac{E}{R_0 - R_x} = \frac{E}{2R_0} = \frac{1}{2} I_g$$

思考：图 1-22 表示欧姆挡的刻度盘，其中间刻度为 10，测 300Ω 的电阻，应放到哪一档（R×1、R×10、R×100），并在图中大致画出指针的位置。

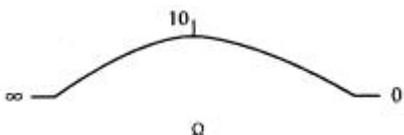


图 1-22 欧姆表刻度盘

此外，由于测量电阻电路中所用电池的电压不是固定不变的，这会影响通过表头的电流大小。实际的万用表上还装有“调零电位器”。当  $R_x$  等于 0 时，只要电池的电压在容许的范围内，总可以调节“调零电位器”使电表的指针在 0Ω 上，以减少电池电压变动的影响。

## 2. 交流电压挡

万用表中的表头是磁电系的，指针只能在直流电作用下发生偏转。为了能用万用表测量交流电，必须把被测交流电整流，使之按一定的关系转换为直流电，再输入表头。如图 1-23 所示的电路是半波整流式的，交流电只有半个周期通过表头，因此在表头中流过的电流为单向脉动电流。

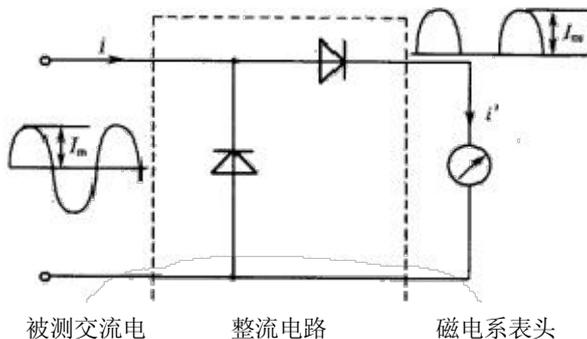


图 1-23 交流挡测量交流电压示意图

由于表头可动部分的偏转角度与表头中的单向脉动电流的平均值成正比，而单向脉动电流的平均值又与交流电压的有效值成正比，所以指针的偏转角度可以指示出交流电压有效值的大小，标尺正是按交流电压的有效值刻度的。

实际的万用表就是把前述测量交直流电压、电流、电阻的电路组合到一起，通过转换开关来实现被测量种类、量程的转换，并从相应的刻度尺上得到所测的读数。

## 【任务实施】

MF9 型万用表是较为通用的一种万用表，它的技术特性如表 1-4 所示。

表 1-4 MF9 型万用表技术特性

功能 \ 特性	测量范围	灵敏度	基本误差%
直流电流 (A)	0~50 $\mu$ A~0.5mA~5 mA~50 mA~500 mA		$\pm 2.5$
直流电压 (V)	0~0.5V~2.5V~10V~50 V~250V~500 V	20k $\Omega$ /V	$\pm 2.5$
交流电压 (V)	0~10V~50V~250V~500 V	40k $\Omega$ /V	$\pm 4$
电阻 ( $\Omega$ )	R $\times 1$ 、R $\times 10$ 、R $\times 1K$ 、R $\times 10K$ (0~400M $\Omega$ )		
音频电平 (dB)	-10~+56dB		

MF9 型万用表的整机电路如图 1-24 所示。首先介绍 MF9 型万用表所使用的转换开关，然后给出 MF9 型万用表总的原理图，并从中分析出测量电流、电压和电阻的各部分电路图。掌握了各部分的电路图，也就读懂了整机电路图。

### 1. MF9 型万用表所使用的转换开关

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 1-25 所示。它的外缘有 18 个固定的印制触点，图 1-25 (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，图中用 a、b、c 标出。图 1-25 (b) 所示是这个转换开关的平面展开图。在 MF9 型万用表的各电路中的转换开关就是与这个转换开关相对应的。

### 2. MF9 型万用表测量直流电路的电路分析

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 1-26 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 5 个不同的测量直流电流的量限。0.5~500mA 的 4 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 0.05mA 挡除把 0.5~500mA 挡的元件作为表头的分流支路外，另外单独配用了分流电阻以实现分流。

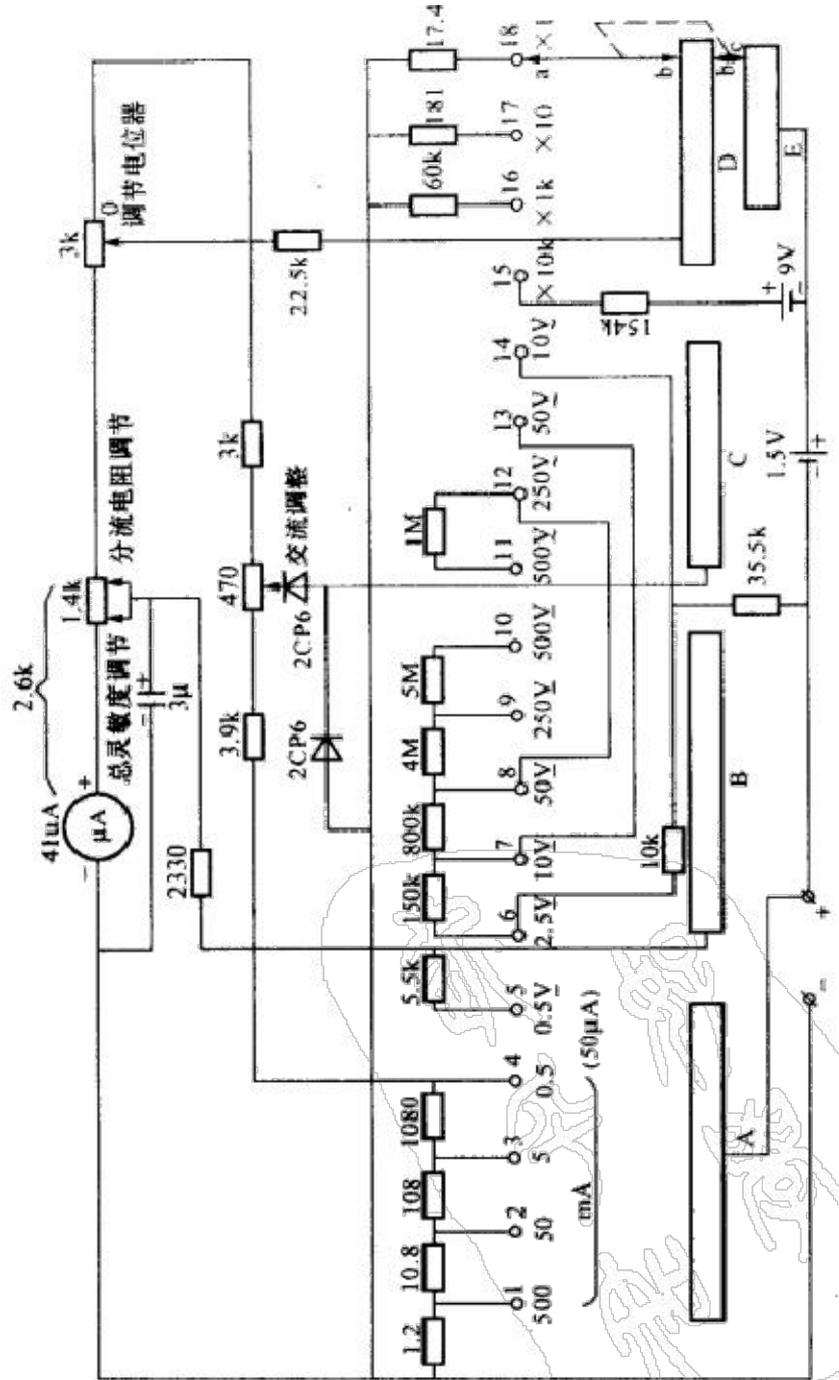
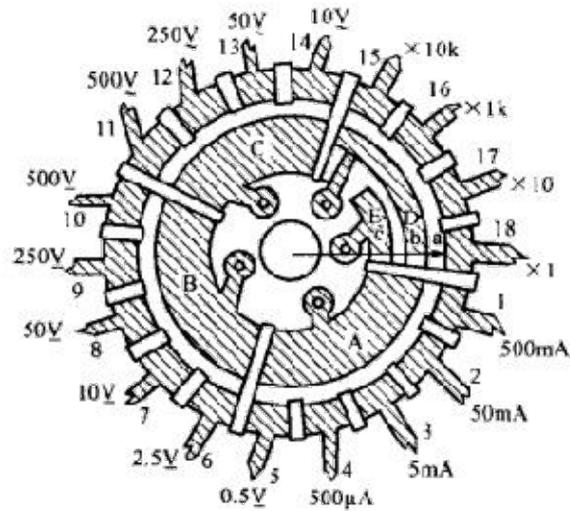
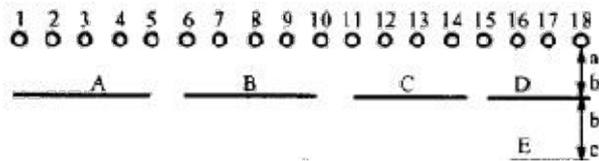


图 1-24 MF9 型万用表的整机电路



(a) 转换开关 (印制电路板)



(b) 平面展开图

图 1-25 MF9 型万用表转换开关示意图

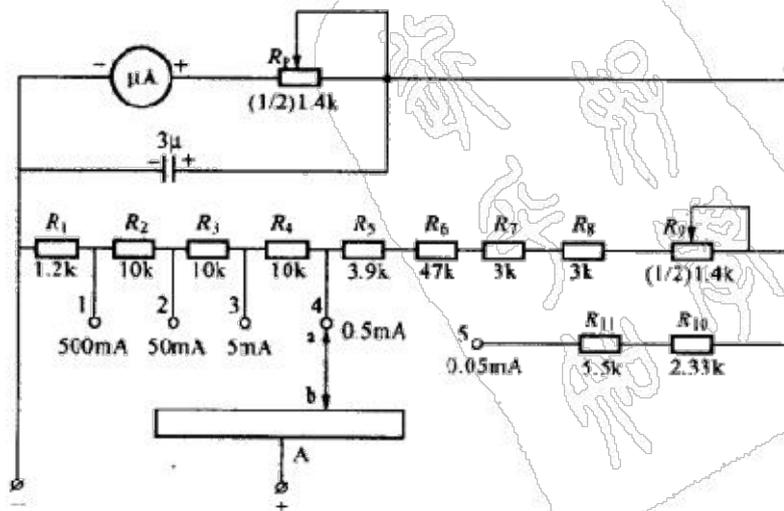


图 1-26 MF9 型万用表直流电流测量电路

例如，当转换开关接通 0.05mA 的触点时， $R_1 \sim R_9$  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 0.5mA 的触点时， $R_1 \sim R_9$  与表头电阻  $R_5 \sim R_9$ 、 $R_p$  并联构成分流器，由于与表头并联的分流电阻相对减小，所以量程就变大；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 5mA 的电流挡，分流电阻  $R_1 \sim R_3$  构成了 5mA 电流挡的分流器，与表头电阻  $R_4 \sim R_9$ 、 $R_p$  并联，此时分流电阻又相对减小，所以电流挡量程增大。

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

### 3. MF9 型万用表测量直流电压的电路

将转换开关置于直流电压“—”挡位，就可以构成图 1-27 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，相应可以得到 6 个不同的测量直流电压的量限。只有最低电压挡 0.5V 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，可以使直流电压挡与交流电压挡共用一个附加电阻元件。

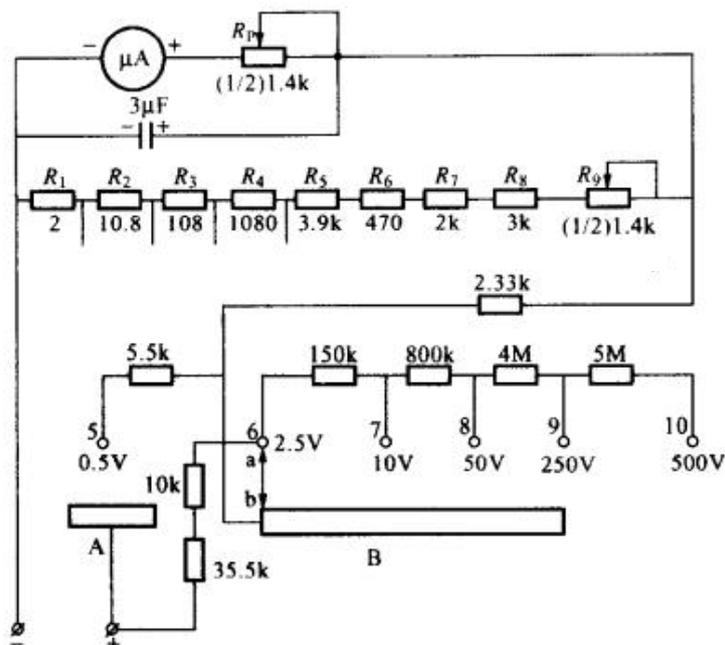


图 1-27 MF9 型万用表测量直流电压的电路

例如，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  $5.5\text{k}\Omega$ 。路径是：“+” $\rightarrow$ A $\rightarrow$ a $\rightarrow$ b $\rightarrow 5.5\text{k}\Omega \rightarrow 2.33\text{k}\Omega \rightarrow \frac{1.4}{2}\text{k}\Omega \rightarrow \mu\text{A} \rightarrow$ “-”。因为只串联一个  $5.5\text{k}\Omega$  的分压电阻，所以量程最小，只能测量  $0.5\text{V}$  及以下的直流电压。

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：“+” $\rightarrow 35.5\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega \rightarrow$ a $\rightarrow$ b $\rightarrow 2.33\text{k}\Omega \rightarrow \frac{1.4}{2}\text{k}\Omega \rightarrow \mu\text{A} \rightarrow$ 电源 $\rightarrow$ “-”。由于串联的附加电阻比较小，因此量程比较小，接通的是  $2.5\text{V}$  直流电压挡。

同学们可以自己分析  $10\text{V}$  挡、 $50\text{V}$  挡、 $250\text{V}$  挡和  $500\text{V}$  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），量程就越大。

#### 4. MF9 型万用表测量交流电压的电路

将转换开关置于交流电压“~”挡位，就可以组成如图 1-28 所示测量交流电压的电路。由 VD2 组成半波整流电路，采用的整流元件是 2CP6 或 2CP11 硅二极管。VD1 起保护作用，它为反向电压提供泄放回路，以防止将 VD2 反向击穿。

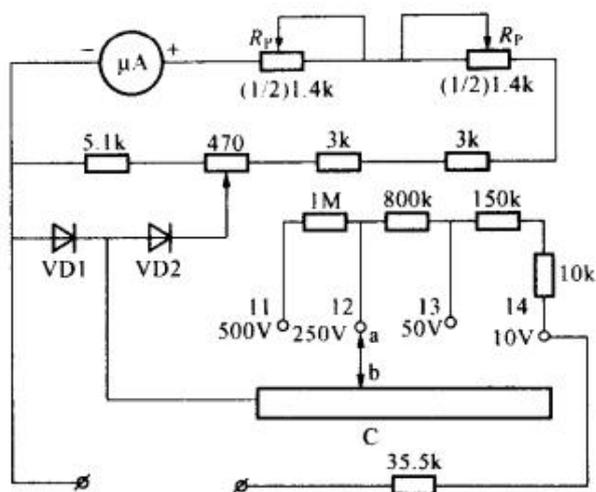


图 1-28 MF9 型万用表测量交流电压的电路

该电路仍然保留着用于直流电流挡的分流电阻，它共有 4 个交流电压量程。通过转换开关的 a 刀、b 刀可以分别得到 4 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 1-28 所示的总电路中可以看出，交流  $250\text{V}$  挡的附加电阻就是直流电压  $50\text{V}$  挡的附加电阻。可见，交流电压挡内阻的每伏欧姆数是直流时的  $1/5$ ，这是因为采用了整流电路之后，半波整流使效率较低缘故。

电路中与表头相并联的  $3\mu\text{F}$  的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 10Hz 的低频电压时指针不至于抖动。

下面给出电路分析。

当转换开关 C 的活动连接片 a 和 b 接通 10V 交流电压挡时，交流电流流经  $35.5\text{k}\Omega$  的附加电阻  $\rightarrow a \rightarrow b \rightarrow$  经 VD2 整流为直流送给磁电式表头。

当转换开关 C 的活动连接片 a 和 b 接通 50V 交流电压挡时，交流信号经  $35.5\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega + 150\text{k}\Omega$  附加电阻  $\rightarrow a \rightarrow b \rightarrow$  经 VD2 整流为直流送给磁电式表头。

当转换开关 C 的活动连接片 a 和 b 接通 250V、500V 交流电压挡时，交流信号的流通情况由同学们自己分析。

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。

### 5. MF9 型万用表测量电阻的电路

将转换开关置于  $\Omega$  挡位，就构成了如图 1-29 所示的电阻测量电路。电路中  $3\text{k}\Omega$  电位器为欧姆调零电位器， $22.5\text{k}\Omega$  电阻为表头的限流电阻。该表共有 4 个电阻挡，每一挡的测量电路都是通过转换开关切换构成的，活动连接片 a 刀、b 刀、c 刀分别将固定触点 16、17、18、15 接到金属片 D 和 E 上，就相应得到  $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 1\text{k}$ 、 $R \times 10\text{k}$  四个测量电阻的倍率挡。各挡的欧姆中心值分别为  $18\Omega$ 、 $180\Omega$ 、 $18\text{k}\Omega$  和  $180\text{k}\Omega$ 。

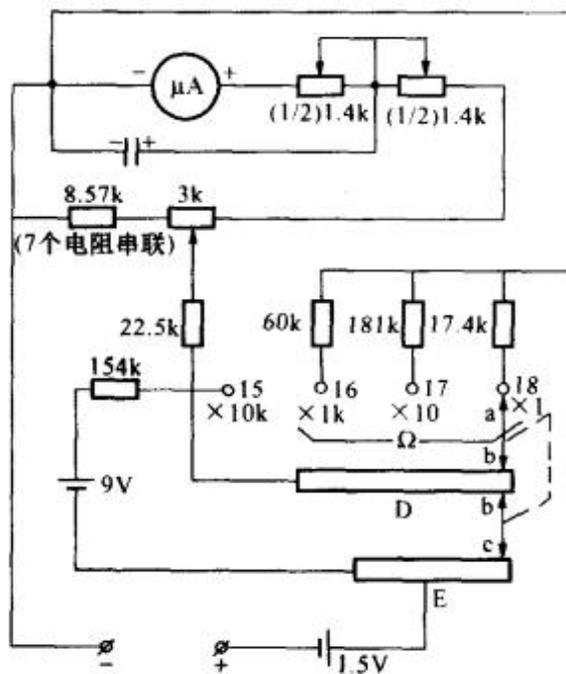


图 1-29 MF9 型万用表测量电阻的电路