



项目 2

万用表的原理与使用

知识目标

- 熟悉万用表的面板布置，识别标识符号。
- 掌握万用表的操作规范。
- 掌握常见电子元件的检测方法。

能力目标

- 能够正确使用万用表。
- 能够检测电阻、电容、二极管、三极管等元件。
- 能够正确记录与分析测量结果。
- 能够撰写操作报告。



任务 2.1 测量电阻



任务描述

在智能电子产品设计制作、调试维修的过程中,经常会涉及到电阻器件的识别与检测。例如,在图 2-1 所示电路板中,局部元件被烧坏断裂,需要更换元件。那么,如何识别与检测电路板上的这类元件呢?

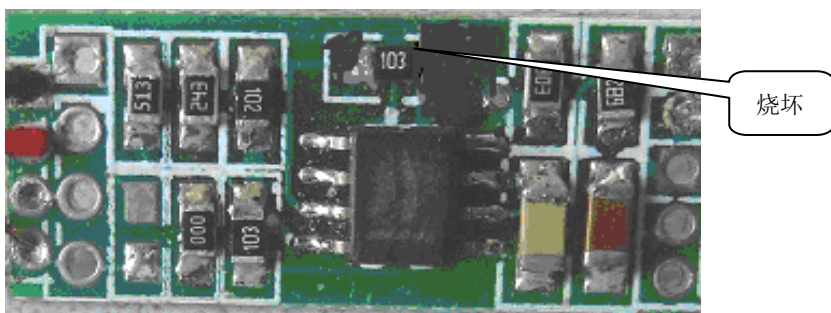


图 2-1 电路板中的元件被烧坏待换



任务要求

针对图 2-1 所示的电路板,识别待换电子元件的类型,分析其标称值大小,选择检测仪器,并确定检测方案。



任务分析

图 2-1 中,烧坏待换的电子元件是贴片电阻,检测贴片电阻的方法有伏安法、电桥法和万用表。固定贴片电阻的检测,主要是检测其实际阻值与标称值是否相符,贴片电位器的检测主要是检测电位器的标称阻值以及电刷与电阻体的接触情况。



知识储备

2.1.1 万用表

万用表是一种多功能、多量程的测量仪表,广泛应用于电器维修、信号测量等场合,是最常用的测量仪器之一。万用表曾经也被称为“三用表”,这是因为当时的万用表只具有测量电阻、电压、电流三项功能。随着科学技术的发展,现在的万用表功能越来越多,例如附加了测量电容量、电感量、频率、温度、半导体参数、逻辑电位、电平等功能,成了名副其实的“万用表”。

灵敏度、准确度和分辨率是万用表的主要性能指标。万用表的灵敏度通常又以直流电压的灵敏度最为重要，灵敏度越高，测量的准确性越好，但相对价格也越贵，体积越大。准确度表明了万用表的测量值与被测信号实际值的接近程度，是特定使用环境下仪表的最大允许误差。分辨率反映了万用表测量结果的好坏，通过万用表的分辨率，就可以知道该表是否能观测到被测信号的微小变化。万用表根据相应的分类，又有具体的性能指标。

万用表按其测量原理和测量结果显示方式的不同，可以分为模拟式和数字式两类。图 2-2(a)所示为模拟式万用表，它以磁电式测量机构作为核心，将被测模拟量转换为电流信号，电流信号驱动表头指针偏转，从而可在表头刻度盘直接读数，因此模拟式万用表也称指针式万用表。图2-2(b)所示为数字式万用表，它以数字电压表作为核心，通过 A/D 转换器将被测模拟量转换为数字量，再由电子计数器实现计数，测量结果用数字形式直接显示在译码管显示器上。



(a) 模拟式万用表



(b) 数字式万用表

图 2-2 万用表实物

你知道吗

模拟式万用表价格相对便宜，但是，由于它是通过指针在表盘上摆动的大小来指示被测量的数值，因此读数不是很方便，并且容易造成较大误差。电子爱好者更倾向于选用操作更方便、功能更齐全的数字式万用表。但是，在某些测试场合下，模拟式万用表又有其不可比拟的优势。在大电流、高电压的模拟电路测量中，适合采用模拟式万用表，例如对电视机、音响设备的测试等。在低电压小电流的数字电路测量中，适合采用数字式万用表，例如对笔记本电脑、数码相机、手机等电器的故障检修等。具体选用什么类型的万用表并不是绝对的，要根据实际需要做出选择。

2.1.2 数字式万用表

数字式万用表需要将被测模拟量转换为直流数字电压信号，再进行处理和显示。与模拟式万用表相比，数字式万用表具有较快的测量速度、较高的准确度和分辨率、较高的输入阻抗和抗干扰能力，以及自动调零、自动识别极性等优点。随着数字化技术的发展，数字式万用表的性能越来越好，功能也越来越多。

1. 数字式万用表的结构原理

数字式万用表主要基于一块数字式直流电压表头，其系统框图如图 2-3 所示。



图 2-3 数字式直流电压表头的系统框图

数字式万用表可实现对电阻、电压和电流等量的测量。而将这些被测的电压、电流等模拟信号以数字信号形式来显示，又必须有一个“量化的过程”，假设最小量化单位为 Δ ，则数字信号的大小一定是 Δ 的整数倍数，这个整数就可以用二进制数形式来表示。但是，为了能更直观地读出数值，通常需要数码变换后将信号大小用数码管或液晶屏显示出来。数字式万用表的核心电路是模数(A/D)转换电路和译码/显示电路。A/D 转换一般又分为量化和编码两个步骤，通常，数字式万用表采用专用的 A/D 转换译码驱动集成电路。

如果被测信号为直流电压，则在数字电压表表头的前面加上一级分压电路，可以扩展直流电压测量的量程。如图 2-4 所示， U_0 为电压表头的量程，一般为 200mV， r_0 为其内阻，一般可达十几 $M\Omega$ ， R_1 、 R_2 为分压电阻。对该电路进行分析，由于 $r_0 \gg R_2$ ，所以可得到电压表头量程 U_0 与输入电压 U_i 的分压比为：

$$\frac{U_0}{U_i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2-1)$$

根据式(2-1)，经过换算即可得到 $U_i = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \times U_0 = \frac{9k\Omega + 1k\Omega}{1k\Omega} \times 200mV = 2V$ ，即 2V 为扩展后的量程。

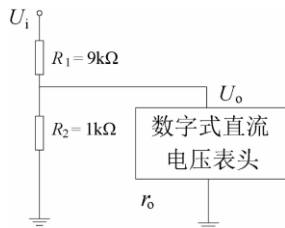


图 2-4 分压电路的原理

图 2-5 为实际使用中多量程分压器的原理图，由上往下五个量程挡位的分压比分别为 1、0.1、0.01、0.001、0.0001，对应的量程挡位分别为 200mV、2V、20V、200V 和 2000V。例如，根据式(2-1)，2000V 量程挡位的分压比为：

$$\frac{R_5}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \approx \frac{1k\Omega}{1M\Omega} = 0.0001$$



小贴士

尽管上述最高量程挡位的理论量程是 2000V，但是，鉴于对数字式万用表耐压和安全性考虑，规定最高电压量为 1000V。

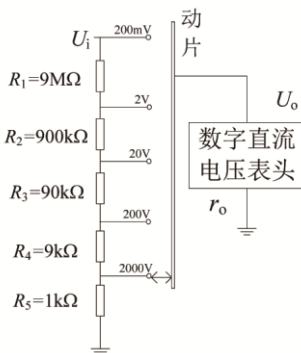


图 2-5 多量程分压器原理

2. 数字式万用表的主要技术指标

与模拟式万用表的表盘直接标注方式不同，数字式万用表的性能参数通常是在相应的手册中标定出来的。数字式万用表的主要技术指标有测量最高电压、量程选择方式、数字显示形式及响应时间、测量精度、输入阻抗和零电流参数、串/共模抑制比等。

1) 测量最高电压

测量最高电压是指电压输入端子和地之间的最高电压，通常为 1000V。

2) 量程选择方式

数字式万用表的量程选择方式通常有手动和自动两种。如果选择了具有自动更换量程功能的仪表，测量时，只要选择相应的测量类型，而不需要关注测量信号的具体测量范围，这样就极大地提高了测量精度，同时也减小了测量工作者的精力损耗。

3) 数字显示形式及响应时间

数字式万用表的显示形式不仅仅局限于数字，还可以显示图表、文字或符号，常用的数字式万用表多以数字形式显示。显示位数以及响应时间是表征数字式万用表性能的最基本参数，一般而言，响应时间越短越好。根据最大显示，数字式万用表又分为 $3\frac{1}{2}$ 位表、 $4\frac{1}{2}$ 位表、 $3\frac{3}{4}$ 位表等。



小贴士

显示位数是表征数字式万用表性能的一个最基本的参数，通常用 1 位整数加分数的形式来表示数字式万用表的显示位数，并用这种数值形式来命名数字式万用表。能完整显示 0~9 这十个数字的位称为“整位数”，如果某个位不能完整显示这十个数字，则称为半位。例如，最大显示数值为 9999 的某数字式万用表，四个显示位都能够完整显示 0~9 所有数字，则该表有四个完整位，并且称它为 4 位数字式万用表；而最大显示数值为 3999 的称为 $3\frac{3}{4}$ 位数字式万用表，因为 3999 的整位数为 3，同时左边第一位(即半位)可以显示的数字为 0~3，共四个数字，但所显示的最大数字是 3，所以用数字 4 作为分数部分的分母，用能显示的最



大数字3作为分数部分的分子,即称为 $3\frac{3}{4}$ 位数字电压表。

4) 测量精准度

在数字式万用表的使用手册中,会根据具体的测量对象,例如电阻、交/直流电压、交/直流电流、温度、频率等,给出相应的基本测量精度。数字式万用表允许的最大误差不仅要看它的准确度,更要看它的精度,如果测量误差能控制在1%左右,也就足够满足正常使用了。

5) 输入阻抗和零电流参数

数字式万用表的输入阻抗过低和零电流过高,都会引起测量误差,实际测量时要参考信号源内阻的大小。信号源阻抗高时应选择输入阻抗高、零电流低的仪器,以使影响可以减小到忽略不计的程度。

3. 典型仪表的技术指标

以UT58E型数字式万用表为例,其最大显示值为19999,即这是一个 $4\frac{1}{2}$ 位仪表,相应的使用手册给出该万用表使用环境温度为 $23^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$,相对温度小于75%。具体技术指标还包括如下几个方面。

(1) 测量直流电压的技术指标如表2-1所示。

表2-1 UT58E型数字式万用表测量直流电压的技术指标

量 程	分 辨 率	准确度: $\pm(\%\text{读数}+\text{字数})$
200mV	0.01mV	$\pm(0.05\%+5)$
2V	0.0001V	$\pm(0.1\%+3)$
20V	0.001V	
200V	0.01V	
1000V	0.1V	$\pm(0.15\%+5)$

(2) 测量交流电压的技术指标如表2-2所示。

表2-2 UT58E型数字式万用表测量交流电压的技术指标

量 程	分 辨 率	准确度: $\pm(\%\text{读数}+\text{字数})$
2V	0.0001V	$\pm(0.5\%+10)$
20V	0.001V	
200V	0.01V	
1000V	0.1V	$\pm(1\%+10)$

输入阻抗: 所有量程为 $2\text{M}\Omega$ 。

频率范围: $40\sim 400\text{Hz}$ 。

过载保护: 所有量程为 $1000\text{V}_{\text{RMS}}$ 。

显示: 正弦波有效值(平均值响应)。

(3) 测量直流电流的技术指标如表2-3所示。

表 2-3 UT58E 型数字式万用表测量直流电流的技术指标

量 程	分 辨 率	准确度: $\pm$ (%读数+字数)
2mA	0.0001mA	$\pm(0.5\%+5)$
200mA	0.01mA	$\pm(0.8\%+5)$
20A	0.001A	$\pm(2\%+10)$

过载保护: 200mA 以下为 0.5A/250V 熔丝。20A 挡量程无熔丝, 测量时间要求不大于 10s, 间隔时间不小于 15min。

测量电压降: 满量程为 200mV。

(4) 测量交流电流的技术指标如表 2-4 所示。

表 2-4 UT58E 型数字式万用表测量交流电流的技术指标

量 程	分 辨 率	准确度: $\pm$ (%读数+字数)
20mA	0.001mA	$\pm(0.8\%+10)$
200mA	0.01mA	$\pm(1.2\%+10)$
20A	0.001A	$\pm(2.5\%+10)$

过载保护: 200mA 以下为 0.5A/250V 熔丝。

测量电压降: 满量程为 200mV。

频率范围: 40~400Hz。

显示: 正弦波有效值(平均值响应)。

(5) 测量电阻的技术指标如表 2-5 所示。

表 2-5 UT58E 型数字式万用表测量电阻的技术指标

量 程	分 辨 率	准确度: $\pm$ (%读数+字数)
200 Ω	0.01 Ω	$\pm(0.5\%+10)$
2k Ω	0.0001k Ω	$\pm(0.3\%+1)$
20k Ω	0.001k Ω	
2M Ω	0.0001M Ω	—
200M Ω	0.01M Ω	$\pm[5\%(\text{读数}-1000)+10]$

过载保护: 所有量程为 250V_{RMS}。

(6) 测试电容的技术指标如表 2-6 所示。

表 2-6 UT58E 型数字式万用表测试电容的技术指标

量 程	分 辨 率	准确度: $\pm$ (%读数+字数)
2nF	0.0001nF	$\pm(3\%+40)$
2nF	0.001nF	$\pm(4\%+10)$
20 μ F	0.0001 μ F	
2 μ F	0.001 μ F	

过载保护: $250V_{RMS}$ 。

(7) 测量频率的技术指标如表 2-7 所示。

表 2-7 UT58E 型数字式万用表测量频率的技术指标

量 程	分 辨 率	准 确 度	输入保护	灵 敏 度
20kHz	1Hz	$\pm(1.5\%+5)$	$250V_{RMS}$	$\leq 200mV$

4. 使用注意事项

1) 使用前的准备工作

在使用数字式万用表进行测量之前, 必须首先熟悉各个量程选择开关的作用以及表笔插孔功能, 然后按下电源开关, 观察显示屏是否正常, 如果有电池缺电标志, 应该更换电池。



你知道吗

数字式万用表量程选择开关上的每个挡位都是这个挡的最大量程值。对于表笔插孔, 当测量大于 $200mA$ 、小于规定的最大电流量值(例如, UT58 系列规定 $20A_{MAX}$) 的交、直流电流时, 红表笔插入 A 插孔; 当测量小于 $200mA$ 的交、直流电流时, 红表笔插入 mA 插孔; 黑表笔始终插入接地公共端 COM 插孔; 当测量交/直流电压、电阻、二极管导通压降以及进行短路检测时, 红表笔插入 V/ Ω 插孔。

2) 使用后的注意事项

测量完毕, 应将量程开关拨到最高交流电压挡, 并关闭电源; 若长期不用, 则应取出电池, 以免漏电。



你知道吗

模拟式万用表内部一般需要两块电池, 即普通 5 号电池($1.5V$)和层叠电池($9V$)。其中的 $9V$ 电池用来测量 $10k\Omega$ 以上的电阻和判别小电容的漏电情况。模拟式万用表的黑表笔相对红表笔来说是正端。数字式万用表则常用一块 $6V$ 或 $9V$ 的电池。在电阻挡, 模拟式万用表的表笔输出电流相对数字式万用表来说要大得多, 用 $R \times 1\Omega$ 挡位就可以使扬声器发出响亮的“哒”声, 用 $R \times 10k\Omega$ 挡位, 甚至可以点亮发光二极管。

5. 具体量的测量

1) 电阻的测量

将黑表笔插入 COM 插孔, 红表笔插入 V/ Ω 插孔。将量程选择开关旋转至相应的电阻量程上, 将红、黑表笔跨接在被测电阻上。

(1) 如果被测电阻值超过所选量程的最大值, 则会显示“1”, 表明超过量程范围, 须将量程选择开关转高一挡。当被测电阻值超过 $1M\Omega$ 以上时, 读数需几秒钟才能稳定, 这在测量高电阻时是正常的。

(2) 输入端开路时, 会显示过载情形。

(3) 测量在线电阻时, 要在确认被测电路所有电源已关断且所有电容都已完全放电之

后,才可进行测量。

(4) 在电阻量程输入电压是绝对禁止的,虽然仪表在该挡位上有电压防护功能。

2) 直流电压的测量

(1) 将黑表笔插入 COM 插孔,红表笔插入 V/ Ω 插孔。

(2) 将量程选择开关旋转至 DCV 量程,然后将测试表笔跨接在被测电路上,红表笔所接点的电压与极性将显示在屏幕上。



小贴士

输入电压切勿超过 1000V,如超过,则有损坏仪表电路的危险;测量高压电路时,人体千万注意避免触及高压电路。

3) 交流电压的测量

(1) 将黑表笔插入 COM 插孔,红表笔插入 V/ Ω 插孔。

(2) 将量程选择开关旋转至 ACV 挡位,然后将测试表笔跨接在被测电路上。



小贴士

输入电压切勿超过 700V,如超过,则有损坏仪表电路的危险;测量高压电路时,人体千万注意避免触及高压电路。

4) 直流电流的测量

(1) 将黑表笔插入 COM 插孔,红表笔插入 mA 插孔(最大为 200mA)或 10A 插孔(最大为 10A)。

(2) 将量程选择开关旋转至 DCA 挡位,然后将测试表笔串入被测电路中,则所测电路的电流值与极性将显示在屏幕上。



小贴士

最大输入电流超过 200mA 或 10A 时,过大的电流会导致保险丝熔断,在测量时,仪表如无读数,应检查相应的保险丝。

5) 交流电流的测量

(1) 将黑表笔插入 COM 插孔,红表笔插入 mA 插孔(最大为 200mA)或 10A 插孔(最大为 10A)。

(2) 将量程选择开关旋转至 ACA 挡位,然后将测试表笔串入被测电路中。



小贴士

最大输入电流超过 200mA 或 10A 时,过大的电流会导致保险丝熔断,在测量时,如果仪表没有读数,应检查相应的保险丝。

6) 检测电路的通断

将黑表笔插入 COM 插孔,红表笔插入 V/ Ω 插孔,量程开关旋转至蜂鸣器挡位,让表笔

触及被测电路,若蜂鸣器发出叫声,则说明电路是通的;反之则不通。



共同练：数字式万用表测量电阻的实际操作

1) 操作目的

- (1) 熟悉数字式万用表的表盘标识。
- (2) 掌握数字式万用表测量电阻的方法。

2) 操作设备与仪器

散装电阻(直接标注法标注)两个,数字式万用表一块。

3) 知识储备

使用数字式万用表进行测量时,如果表头显示屏仅在最高位显示数字“1”,其他位均消失,表示溢出符号,说明超量程,这时应该选择更高的量程。当被测量大小不清楚时,应该先选用最大量程,然后再逐渐减小量程,来精确测量。

使用数字式万用表测量电阻时,红表笔应该插入 V/Ω 插孔。根据被测电阻的大小,选择合适的电阻测量量程。将红、黑表笔分别接触电阻两端,观察读数即可。

测量 10Ω 以下的小电阻时,必须先短接两表笔,测出表笔及连线的电阻,然后在测量中减去这一数值,以减小测量误差。

4) 操作步骤

- (1) 进一步明确数字式万用表各个标志符号的含义以及各个量程选择开关的作用。
- (2) 确保红表笔插入 V/Ω 插孔,黑表笔插入 COM 插孔。将量程选择开关拨至需要的量程挡位上。
- (3) 将红、黑表笔分别接触电阻器的两个引脚,观察读数,测量结果记录于表 2-8 中。
- (4) 数字式万用表使用完毕后,将量程开关拨到最高交流电压挡,并关闭电源。

表 2-8 数字式万用表测量电阻

被测对象	标称值	测量值	绝对误差	测量值相对误差
电阻 1				
电阻 2				

5) 操作总结

- (1) 整理实验数据,分析产生测量误差的原因。
- (2) 思考并回答:如何尽量减小测量过程中产生的测量误差?
- (3) 撰写操作报告。

2.1.3 模拟式万用表

模拟式万用表将被测量转换为直流电流信号,通过驱动表头指针偏转实现读数。它可以直接对电压、电流等模拟量进行测量。该仪表通过指针在表盘上摆动的大小,来指示被测量的数值,因此读取精度较差。但是指针摆动的过程比较直观,摆动速度和幅度能比较

客观地反映被测量的大小。例如可以用模拟式万用表较直观地观测电视机数据总线(SDL)在传送数据时的轻微抖动。



你知道吗

数字式万用表读数直接,但它是瞬时取样的仪表,通常每 0.3s 取一次样来显示测量结果,有时每次取样结果只是十分相近,并不完全相同。模拟式万用表能够较为客观地反映被测量的测量过程。因此,模拟式万用表是维修电视机、音响等电器设备时必备的仪表。

1. 模拟式万用表的表盘标记

不同类型的模拟式万用表具有不同的技术特性。根据国家标准的规定,每块万用表应有测量对象单位、准确度等级、工作原理系列、使用条件组别、工作位置、绝缘强度试验电压和各类仪表的标志。为了便于选择和使用万用表,通常把这些技术特性用不同的符号标识在万用表的刻度盘上。

图 2-6(b)所示为 MF30 型模拟式万用表表头,标记符号被标注在了表头的左下角和右下角。使用仪表时,必须首先看清各种标记,以确定该仪表是否符合测量要求。

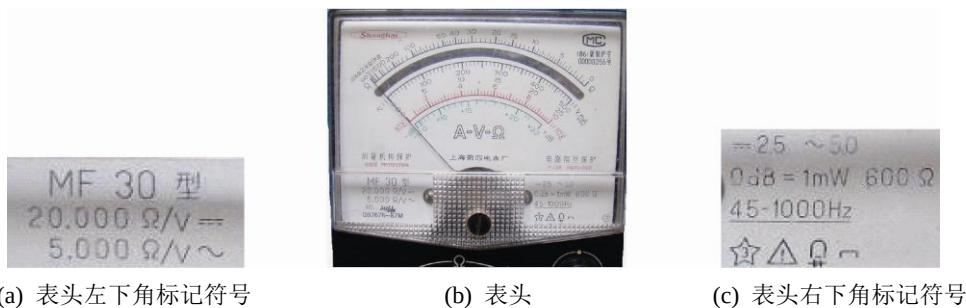


图 2-6 MF30 型模拟式万用表表头

图 2-6(a)为表头左下角的标记符号,表示了该万用表的电压灵敏度。“20,000Ω/V=”为直流电压灵敏度,表示该表直流电压量程输入内阻为直流每伏特 20kΩ;“5,000Ω/V~”为交流电压灵敏度,表示该表交流电压量程输入内阻为交流每伏特 5kΩ。模拟式万用表电压灵敏度间接地反映指针偏转满度时所需能量的大小。例如,“20,000Ω/V=”表示万用表指针偏转满度时,表头内带动指针偏转的线圈需要的直流电流值为 50mA,即 $1V \div 20k\Omega = 50mA$ 。

图 2-6(c)为表头右下角的标记符号。其中的第一行以标度尺长度的满度相对误差形式来表示该表各大量程的精度等级。“==2.5”表示该表测量直流量时的仪表等级为 2.5 级,即直流量程满度相对误差为 $\pm 2.5\%$;“~5.0”表示该表测量交流量时的仪表等级为 5.0 级,即交流量程满度相对误差为 $\pm 5.0\%$ 。第二行表示了该表 dB 标度线上 0dB 点的交流电压换算标准。我国规定 1mW 的功率在 600Ω 负载上所产生的交流电压值(0.775V)为 0dB,所以表达式为“0dB=1mW 600Ω”。第三行“45-1000Hz”表示该表的工作频率范围,如果使用超过这项指标,测量的数值将不准确。第四行的标记符号“☆”表示该表的绝缘强度试验电压,即对该表的导电部分与绝缘部分进行了 1min 的加载 3kV 交流电压的绝缘强度试验;“Δ”表示该表环境工作温度为 0~40℃;“⏏”表示该表表头的结构是整流式磁电系结构;



“□”表示该仪表标度盘应该水平放置,在使用该表进行测量时,应该按照规定的水平放置方式使用;否则,测量就会出现附加误差。

2. 模拟式万用表的结构原理

模拟式万用表要实现对多种电量、多个量程的测量,就需要通过测量线路将被测量转换成磁电式表头所能够接受的直流电流。万用表的功能越多,其测量线路就越复杂。通常情况下,模拟式万用表由表头、测量线路和转换开关组成。

1) 表头

表头是一个灵敏度较高的磁电式直流电流表,决定了万用表的主要性能。表头上一般有4条刻度线,从上到下依次排列,如图2-7所示。由上往下,第一条刻度线右侧标有“ Ω ”,表示测量电阻时,从这条刻度线上读数。该刻度线起始刻度在右侧,且刻度先疏后密。第二条刻度线的左侧标有“ $\sim$ ”,右侧标有“V.mA”,表示测量直流电流以及测量除了10V交流电压以外的交、直流电压时,从这条刻度线上读数。该刻度线起始刻度在左侧,且刻度均匀。第三条刻度线标有“10V”,表示测量10V以下交流电压时,从此刻度线上读数。第四条刻度线标有“dB”,表示测量音频电平时,从该刻度线上读数。

2) 测量线路

测量线路将电压、电流、电阻等不同的被测量及其不同的量程,经过分压、分流、整流等方式,统一转换到适合表头测量的微小直流电流,并送入到表头中,进而实现测量。图2-8所示为模拟式万用表的内部结构实物图,从中可以看出,模拟式万用表测量线路中,较多的元件是电阻。



图 2-7 模拟式万用表表头的刻度线



图 2-8 模拟式万用表的内部结构实物图

3) 转换开关

转换开关实现了对各种不同测量线路的选择,从而可以满足对不同种类及不同测量要求的选择。

各种万用表的功能略有不同,但是,一般的模拟式万用表都具备测量电压、电流、电阻等基本功能,其工作原理如图2-9所示。

图2-9中,A连接模拟式万用表的红表笔,B连接黑表笔;M为磁电式机构驱动的电流表; I_0 为表头满度偏转电流,一般为几百毫安; r_0 为表头等效内阻,一般为几百欧。如果把量程选择开关指向直流电流范围,电流表M与分流电阻 R_0 、 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 并联连接,进而实现了2.5mA、5mA和25mA三个直流电流量程挡位,此时,只要在表头刻度盘第二条刻度线上读取直流电流的测量结果即可。同样,如果量程选择开关指向直流电压范围,

电流表 M 与分压电阻 R_5 、 R_6 、 R_7 串联连接,进而实现了 $5V$ 、 $15V$ 和 $50V$ 三个直流电压量程挡位,此时,在表头电压刻度线上指示的是被测直流电压的测量结果。在测量直流电压的电路中接入由二极管 VD_1 、 VD_2 和电阻 R_8 、 R_9 构成的整流电路,就可以测量交流电压了。测量电阻的原理与测量电压相似,只是在测量时还需要加入电动势为 $1.2\sim 1.5V$ 的电池,便可实现 $R\times 1$ 、 $R\times 10$ 和 $R\times 100$ 三个电阻量程挡位。

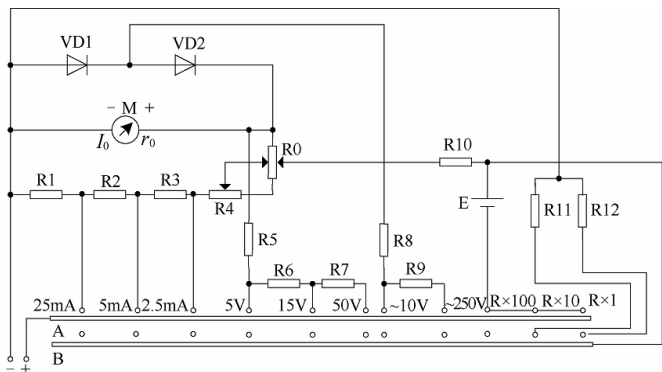


图 2-9 模拟式万用表的原理图



你知道吗

在使用模拟式万用表进行测量前,必须熟悉表盘上每个标志符号的含义以及每个量程选择开关的作用。在明确了待测内容和所要采取的测量方法后,将量程选择开关拨至合适的量程挡位,切不可弄错挡位。例如,要测量电流时,如果误将量程选择开关拨在电压或电阻挡位,易导致表头烧坏。在进行测量前,还要观察一下表盘指针是否指示零位置。如果指示不到零位置,需要调节表头中部的螺丝,使指针归零。一切就绪后,将红表笔插入万用表面板上的正极插口,黑表笔插入负极插口。

3. 表盘标记基本量的测量

1) 测量电阻

先选择合适的倍率挡位,再将红、黑表笔短路,观察指针是否在右边的“0”刻度线上,如果不在“0”刻度线上,旋转欧姆调零旋钮,使指针指到“0”刻度线上,再用红黑表笔去测量未知电阻。从“ Ω ”刻度线上读取测量结果。被测电阻的大小等于“表盘读数 $\times$ 倍率”。测量电阻时,强调如下几个方面。

(1) 应避免带电测量,如果被测电阻在某个电路中,则需先断开被测电阻的电源及连接导线后再进行测量,否则将会损坏仪表,或者影响测量结果的准确性。

(2) 应根据被测电阻的估计值选择量程合适的挡位,尽量使指针指在刻度盘的中间位置,不宜偏向两端。测量过程中每变换一次量程挡位,就应重新进行一次欧姆调零。

(3) 测量过程中,测试表笔应与被测电阻接触良好,以减少接触电阻的影响;手不得触及表笔的金属部分,以防止将人体电阻与被测电阻并联,引起不必要的测量误差。

2) 测量电压

把红黑表笔插到对应的插孔内,根据被测电压的估计值将波段开关旋转至电压相应的



量程挡位上,再将表笔跨接在被测电路两端,指针应位于大于 $2/3$ 的刻度位置,否则改换量程。如果不能估计被测量的大小,波段开关就应旋转至最大量程的位置上。然后从对应的刻度尺上读出被测电压的大小,注意不要读错。测量过程中要注意以下几点。

(1) 表笔应与被测电路并联。

(2) 测量直流电压时,应分清被测电压的极性。如果无法区分正负极,则应先将一支表笔触牢,另一支表笔轻轻碰触,此时如果指针反向偏转,则应调换表笔进行测量。

(3) 测量中应与带电体保持安全距离,手不得触及表笔的金属部分,防止触电。同时还应防止短路和表笔脱落。测量高电压(500~2500V)时应带绝缘手套,站在绝缘垫上进行测量,并使用高压测试表笔。

(4) 测量直流电压时,要注意表内阻对被测电路的影响,否则将产生较大的测量误差。

3) 测量电流

把红黑表笔插到对应的插孔内,将波段开关旋转至“A”位置,根据被测电流的估计值选择合适的电流量程,再将表笔串联在被测电路中,指针应位于大于 $2/3$ 的刻度位置,否则改换量程。然后从相应的刻度尺上读取测量结果。



小贴士

在测量电流时,千万不要将表笔跨接在电源两端,否则可能会损坏万用表,因为测量电流时万用表的内阻很小,容易因过流而烧毁;测量中也不能带电换挡,测量较大电流时应断开电源再撤表笔;测试完毕后应将转换开关置于空挡或者电压最高挡位。



延伸练: 模拟式万用表测量电阻的实际操作

1) 操作目的

- (1) 熟悉模拟式万用表的表盘标识。
- (2) 掌握模拟式万用表测量电阻的方法。

2) 操作设备与仪器

散装电阻(直接标注法标注)两个,模拟式万用表一块。

3) 知识储备

用模拟式万用表测量电阻时,必须遵循如下操作步骤。

(1) 选择合适的倍率挡位。模拟式万用表电阻挡的刻度线右侧为零,左侧为无穷大,中间刻度是不均匀的,倍率挡的选择应使表盘指针停留在刻度线较稀疏的位置,一般应使指针指示在刻度尺的 $1/2$ 左右的位置。

(2) 电气调零。测量电阻之前,首先将两个表笔短接,如果此时的表盘指针没有指示在电阻刻度线的零位置,则需要调节“欧姆电气调零”旋钮,使指针能够指示在零位上。如果指针不能调到零位置,则说明电池电压不足,或仪表内部有问题。



小贴士

测量电阻时,为了保证测量准确度,每换一次量程挡位,都要重新进行电气调零。

(3) 计算测量阻值。

被测电阻的电阻值 = 表头的读数 × 所选量程挡位的对应倍率

例如, 用 $R \times 1k$ 挡位测量某电阻, 表头指针指示值为 20.5, 那么被测电阻的电阻值为 $20.5 \times 1k\Omega = 20.5k\Omega$ 。

4) 操作步骤

(1) 熟悉表盘上各个标志符号的含义以及各个量程选择开关的作用。

在明确了要测量的内容以及要采取的测量方法后, 将量程选择开关拨至需要的量程挡位上, 切不可弄错挡位。

(2) 机械调零。观察一下表盘指针是否指示零位置。如果指示不到零位置, 需要调节表头中部的螺丝, 使指针归零。

(3) 正确连接表笔。红表笔应插入标有“+”的插孔, 黑表笔插入标有“-”的插孔。



小贴士

测直流电流和直流电压时, 红表笔连接被测电压、电流的正极, 黑表笔接负极。用欧姆挡“ Ω ”判断二极管的极性时, 注意“+”插孔是接表内电池的负极, “-”插孔是接表内电池的正极。

(4) 电气调零。将红、黑两表笔短接, 调节“欧姆调零”旋钮, 使指针指示在欧姆刻度线右侧的零位置。如果调不到零位置, 则说明该万用表内部电池电压不足, 需要更换新电池。测量大电阻时, 两手不能同时接触电阻, 防止人体电阻与被测电阻并联造成测量误差。每变换一次量程, 都要重新调零。如果以上方法不能调零, 则有可能是该万用表的绕线电阻已经烧断, 需要拆开万用表进行维修校正。

(5) 将红、黑表笔分别接触电阻器的两个引脚, 观察表头指针的指示值, 结合所选量程挡位, 将测量结果记录于表 2-9 中。

表 2-9 模拟式万用表测量电阻

被测对象	标 称 值	测 量 值	绝对误差	测量值相对误差
电阻 1				
电阻 2				



小贴士

模拟式万用表电阻挡有 $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1k$ 、 $R \times 10k$ 五个挡位, 分别说明刻度的指示值要再乘上该倍频数, 才能得到实际的电阻值。

(6) 模拟式万用表使用完毕后, 应将其转换开关置于交流电压最大挡位。

5) 操作总结

(1) 整理实验数据, 分析产生测量误差的原因。

(2) 思考并回答: 如何尽量减小测量过程中产生的测量误差?

(3) 撰写操作报告。



2.1.4 电阻

电阻, 全称为电阻器, 英文缩写为 R , 是电气、电子设备中用得最多的基本元件之一。电阻为线性元件, 即电阻两端的电压与流过电阻的电流成正比, 它在电路中主要起到分压、分流、偏置、滤波和阻抗匹配的作用。



你知道吗

按照安装方式的不同, 常用电子元件又可以分为直插式和贴片式两种类型。例如传统的直插式电阻, 这种元件体积较大, 电路板必须钻孔才能安置元件, 完成钻孔后, 插入元件, 再过锡炉或喷锡(也可以手工焊接), 成本较高。直插式无源器件体积普遍要比贴片式大一些, 而且直插式器件在制作 PCB 时需要打孔, 焊接工艺跟贴片式也有差别, 较为麻烦。相对而言, 体积较小的表面贴片式元件 SMD, 不需要在印制电路板上钻孔, 用钢膜将半熔状锡膏倒入电路板, 再把 SMD 元件放上, 即可焊接在电路板上了。

电阻的阻值表征了该电阻在电路中对电流阻碍作用的大小。电阻的基本单位为欧[姆], 用符号 Ω 表示。除了欧[姆]这个单位外, 电阻的倍率单位还有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)、吉欧($G\Omega$)等。其换算关系为: $1k\Omega=1000\Omega$, $1M\Omega=1000k\Omega=10^6\Omega$, $1G\Omega=1000M\Omega=10^9\Omega$ 。



小贴士

1Ω 是多少呢? 假设有一段导线, 如果在其两端加上 $1V$ 的电压时, 流过的电流为 $1A$, 那么, 这段导线的电阻就是 1Ω 。

1. 电阻的分类

1) 按阻值特性分类

按照阻值特性的不同, 可以将电阻分为固定电阻、可调电阻和特种电阻三种类型。固定电阻的阻值不能调节, 例如色环电阻、直接标称阻值 $510k\Omega$ 的水泥电阻等。可调电阻的阻值可以调节, 例如用于收音机音量调节的可调电阻。如果可调电阻主要应用于电压分配, 则该可调电阻又称为电位器。特种电阻是指具有特殊用途的电阻, 例如光敏电阻、压敏电阻、热敏电阻等。

2) 按制造材料分类

按照制造材料的不同, 可以将电阻分为碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻、水泥电阻等类型。

(1) 碳膜电阻。气态碳氢化合物在高温和真空中分解, 碳沉积在瓷棒或者瓷管上, 形成一层结晶碳膜。改变碳膜厚度或者用刻槽的方法变更碳膜的长度, 可以得到不同的阻值。碳膜电阻制作工艺简单, 成本低, 但是其稳定性较差、噪声大、误差大。

(2) 金属膜电阻。在真空中加热合金, 合金蒸发使瓷棒表面形成一层导电金属膜。刻槽和改变金属膜厚度可以控制阻值。金属膜电阻具有体积小、精度高、稳定性较好、噪声小、电感量小等优点, 但是成本较高。

(3) 线绕电阻。线绕电阻是用电阻丝绕在绝缘骨架上构成的。电阻丝一般采用具有一定电阻率的镍铬、锰铜等合金制成。绝缘骨架是由陶瓷、塑料、涂覆绝缘层的金属等材料制成管形、扁形等各种形状。电阻丝在骨架上根据需要可以绕制一层，也可绕制多层，或采用无感绕法等。这种电阻具有成本低、阻值范围宽、功率大等优点，但有寄生电感，体积大、性能较差，不易用作阻值较大的电阻。

(4) 水泥电阻。把电阻体放入方形瓷器框内，用特殊不燃性耐热水泥充填密封而成。水泥电阻具有功率高、稳定性好、易于散热等优点，但有寄生电感，体积较大，不易用作阻值较大的电阻。



小贴士

一般依据背景颜色可以区分电阻的种类，淡绿、浅蓝、浅棕等浅色多为碳膜电阻；红色、棕色多为金属膜电阻；深绿、灰色表示线绕电阻。

2. 电阻的型号命名方法

除敏感电阻以外，国产电阻的型号由四部分组成，如表 2-10 所示。

第一部分为主称，用字母表示，表示产品的名字。如 R 表示电阻，W 表示电位器。第二部分表示电阻体用什么材料组成，通常用字母表示。第三部分表示产品属于什么类型，一般用数字表示，个别类型用字母表示。第四部分用数字表示同类产品中的不同品种，以区分产品的外形尺寸和性能指标等。

表 2-10 常用电阻元件型号的命名法

第一部分：主称		第二部分：材料		第三部分：特征分类			第四部分：序号
符 号	意 义	符 号	意 义	符 号	意 义		
					电 阻 器	电 位 器	
R	电阻器	T	碳膜	1	普通	普通	对主称、材料相同，仅性能指标、尺寸大小有差别，但基本不影响互换使用的产品，给予同一序号；若性能指标、尺寸大小明显影响互换使用时，则在序号后面用大写字母作为区别代号
W	电位器	H	合成膜	2	普通	普通	
		S	有机实芯	3	超高频	—	
		N	无机实芯	4	高阻	—	
		J	金属膜	5	高温	—	
		Y	氧化膜	6	—	—	
		C	沉积膜	7	精密	精密	
		I	玻璃釉膜	8	高压	特殊函数	
		P	硼碳膜	9	特殊	特殊	
		U	硅碳膜	G	高功率	—	
		X	线绕	T	可调	—	
		M	压敏	W	—	微调	
		G	光敏	D	—	多圈	
		R	热敏	B	温度补偿用	—	



续表

第一部分：主称		第二部分：材料		第三部分：特征分类			第四部分：序号
符 号	意 义	符 号	意 义	符 号	意 义		
					电 阻 器	电 位 器	
				C	温度测量用	—	
				P	旁热式	—	
				W	稳压式	—	
				Z	正温度系数	—	

例如，RT11 表示普通碳膜电阻，WH5-1 表示普通合成膜电位器。

3. 电阻的参数

电阻的参数主要有标称值、允许误差、额定功率以及其他辅助参数。

1) 标称值

标记在电阻上的电阻值称为电阻的标称值，该值并不是随意标记的，是在规定的温度(常温)、湿度等条件下测量的电阻值。

2) 允许误差

每只电阻的实际阻值不可能与标称阻值绝对相等，两者之间会存在一定的偏差，将该偏差的允许范围称为电阻的允许偏差，又称为允许误差。允许误差越小，精度越高，稳定性越好，成本也就越高。

电阻的允许误差常用值有 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.25\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 、 $\pm 30\%$ 等。电阻的允许误差不是随意给定的，例如不可能出现 $\pm 6\%$ 的误差。



小贴士

一般情况下，电阻实测值的误差都在其允许误差范围内，如果某电阻实测值的所得误差超过其允许误差，则该电阻是不合格的。

电阻的允许误差在标注时通常用英文字母标注，如表 2-11 所示。

表 2-11 用英文字母标注允许误差

字 母	允许误差	字 母	允许误差
B	$\pm 0.1\%$	J	$\pm 5\%$
C	$\pm 0.25\%$	K	$\pm 10\%$
D	$\pm 0.5\%$	M	$\pm 20\%$
F	$\pm 1\%$	N	$\pm 30\%$
G	$\pm 2\%$		



小贴士

表 2-11 中的字母无须都记住，只须记住常用的 F、J 和 K 所代表的允许误差即可。

电阻阻值大小的定义与其允许误差有关,即允许误差为 $\pm 5\%$ 的电阻取值为 1.0、1.1、1.2、1.3、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.7、3.0、3.3、3.9、4.7、5.2、6.8、8.2,允许误差为 $\pm 10\%$ 的电阻取值为 1.0、1.2、1.5、1.8、2.2、2.7、3.3、3.9、4.7、5.2、6.8、8.2,允许误差为 $\pm 20\%$ 的电阻取值为 1.0、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8。



小贴士

电阻的标称值为所对应取值的 $10n$ 倍数,即取值单位可以是 Ω 、 $k\Omega$ 或 $M\Omega$ 等。考虑到允许误差的范围,电阻标称值取自允许误差范围内的数是没有必要的。例如,一个标称值为 $3.3k\Omega$ 的电阻,已知允许误差为 $\pm 10\%$,则其测量值范围为 $2.97\sim 3.63k\Omega$,由此,电阻标称值取作 $3.5k\Omega$ 是没必要的。

3) 额定功率

当电流通过电阻时,电阻会发热,负荷功率越大,发热就越厉害。在一定条件下,电阻可以长时间承受的最大功率,即不被烧坏的功率,称为额定功率。额定功率通常有 $1/8W$ 、 $1/4W$ 、 $1/2W$ 、 $1W$ 、 $2W$ 、 $3W$ 、 $5W$ 、 $10W$ 、 $20W$ 等。



小贴士

$2W$ 以上的电阻的功率直接用数字印在电阻表面, $2W$ 以下的电阻以自身体积大小来表征功率。

在电路图中,非线绕电阻额定功率的符号表示方式如图 2-10 所示。

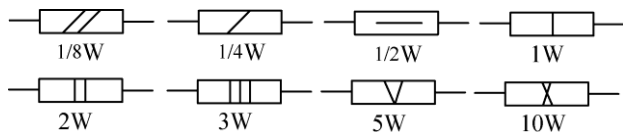


图 2-10 非线绕电阻额定功率的符号表示方式



小贴士

$1\sim 10W$ 标注方式实际上是 1、2、3、5、10 的大写罗马字母形式。

4) 其他参数

电阻的其他参数还有额定电压、最高工作电压、温度系数等。

(1) 额定电压。由阻值和额定功率换算出的电压。

(2) 最高工作电压。允许的最大连续工作电压。在低气压工作时,最高工作电压较低。

(3) 温度系数。温度每变化 $1^\circ C$ 所引起的电阻值的相对变化。温度系数越小,电阻的稳定性越好。阻值随温度升高而增大的为正温度系数;反之为负温度系数。

(4) 老化系数。电阻在额定功率长期负荷下,阻值相对变化的百分数。它是表示电阻寿命长短的参数。

(5) 电压系数。在规定的电压范围内,电压每变化 $1V$,电阻的相对变化量。

(6) 噪声。产生于电阻中的一种不规则的电压起伏,包括热噪声和电流噪声两部分。其

中,热噪声是指由于导体内部不规则的电子自由运动,使导体任意两点的电压不规则变化。

4. 电阻的标称值和允许误差的标注方法

电阻标称值和允许误差的标注方法主要有直标法、文字符号法和色标法。

1) 直标法

将电阻的主要参数和技术性能用数字或字母直接标注在电阻体上。一般用于功率较大的电阻。例如,在电阻体上直接标注“4.7k”,表示标称值为 $4.7\text{k}\Omega$ 的电阻。直接标注方法通常省略 Ω 。

2) 文字符号法

将数字与特殊符号有规律地组合起来,表示电阻的阻值和误差。常见符号有M、K、R,其中R表示 Ω ,K表示 $\text{k}\Omega$,M表示 $\text{M}\Omega$,符号前面的数字表示整数,符号后面的数字表示小数。例如,0.1 Ω 可以标注为 $\Omega 1$ 或0R1;3.3 Ω 可以标注为3 $\Omega 3$ 或3R3;4K7表示 $4.7\text{k}\Omega$ 。

3) 色标法

用不同颜色的色环来表示电阻的阻值及误差等级,一般适用于小功率电阻。其中有四环和五环之分,四环电阻比五环电阻的误差要大,一般用于普通电子产品上;而五环电阻一般都是金属膜电阻,主要用于精密设备或仪器上。当电阻为四环时,最后一环必为金色或银色,前2位为有效数字,第3位为乘方数,第4位为偏差。当电阻为五环时,最后一环与前面四环距离较大,前3位为有效数字,第4位为乘方数,第5位为偏差。电阻色环的含义如表2-12所示。

表 2-12 电阻色环的含义

颜色	银	金	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白
有效数字	—	—	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
倍率	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9
允许误差	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$	—	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	—	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.1\%$	—	—	—



小贴士

三个色环的电阻也是四色环电阻,只是其第四色环为无色,实际上没有三色环电阻的说法。

确定色环电阻的第一环是识别阻值的关键。对于四环电阻,表示误差的色环只有金色或银色,因此色环中的金色或银色环一定是第四环。对于五环电阻,有两种识别方法;其一是可以从阻值范围判断,因为一般电阻范围是 $0\Omega\sim 10\text{M}\Omega$,如果读出的阻值超过这个范围,可能就是第一环选错了。其二是从误差色环的颜色来判断。表示误差的色环颜色有银、金、黄、蓝、绿、红、棕。如果靠近电阻端头的色环不是误差颜色,则可确定其为第一环。

4) 数字标注法

一般适用于贴片电阻的标注。数字标注法通常用3位数字表示,前2位表示有效值,第3位表示有效值后加零的个数,单位为 Ω 。允许误差通常采用文字符号表示。 $0\sim 10\Omega$ 带小数点电阻值表示为XRX或RXX。例如,471表示 470Ω ,105表示 $1\text{M}\Omega$,2R2表示 2.2Ω 。

5. 排电阻

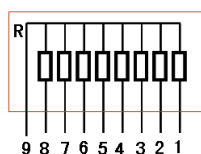
排电阻,也称为集成电阻或电阻网络,简称排阻,包含若干个参数完全相同的电阻,文字符号为 RP。排电阻一般应用在数字电路中,例如作为单片机输入与输出端口的上拉或下拉电阻。排电阻比分立电阻体积小,安装方便,但价格也稍贵。若线路中排电阻被损坏,完全可以由相应个数的分立电阻替代。排电阻以其体积小、安装方便、装配密度高等优点,被广泛应用于手机、电视机、显示器、计算机主板以及小家电中。



你知道吗

上拉电阻的“上拉”是相对于“下拉”来说的,上拉的作用可以简单地理解为用来给信号线提供一个驱动电压,即用来抵消线路中内阻对信号的损耗,进而使信号传输得更稳定,传输距离更远。

(1) 排电阻的结构。根据引脚布局的不同,可以将排电阻分为 A 结构和 B 结构两类。其中, A 结构排电阻引脚分布在同一侧,而 B 结构排电阻引脚分布在对立的两侧。图 2-11(a)和图 2-11(b)所示为 A 结构排电阻的内部结构图和实物图。A 结构排电阻的引脚数目通常是奇数,并且在左端有一个用白色圆点表示的公共端,常见的 A 结构排电阻有 4、6、8、10 个电阻连成一排,其相应的引脚有 5 个、7 个、9 个和 11 个。B 结构排阻的引脚数目总是偶数,并且没有公共端,常见的有 4 个电阻连成一排的,共 8 个引脚。



(a) 内部结构图



(b) 实物图

图 2-11 A 结构排电阻



你知道吗

直插式排电阻多为 A 结构类型,在排电阻内,若干个参数完全相同的电阻的一个引脚都连到一起,作为公共引脚,其余引脚正常引出。所以,如果一个排电阻是由 n 个电阻构成的,那么它就有 $n+1$ 个引脚。一般来说,最左边的那个是公共引脚,它在排电阻上一般用一个色点标记出来。

(2) 排电阻的阻值识别。排电阻的阻值与内部电路结构可以从型号上识别出来,通常,用 3 位有效数字标示。在 3 位数字中,从左至右的第 1、第 2 位为有效数字,第 3 位表示前 2 位数字乘以 10 的 N 次幂,阻值单位为 Ω 。如果阻值中有小数点,则用“R”表示,并占用 1 位有效数字位。例如,标示为“103”的排电阻的阻值为 $10 \times 10^3 \Omega = 10\text{k}\Omega$;若标示为“222”,则其阻值为 $22 \times 10^2 \Omega = 2.2\text{k}\Omega$ 。值得一提的是,标示为“0”或“000”的排电阻阻值为 0Ω ,这种排电阻实际上是跳线,即短路线。



探究讨论

假设某个排电阻标示为“220”，则其标称阻值是 22Ω ，还是 220Ω ？

一些精密的排电阻通常采用 4 位数字加 1 个英文字母的标示方法，有时只有 4 位数字。前 3 位数字分别表示阻值的百位、十位、个位数字，第 4 位数字表示前面 3 位数字乘以 10 的 N 次幂，阻值单位为 Ω 。数字后面的字母代表允许误差，可参考表 2-11 给出的用英文字母表示的允许误差值。例如，标示为“1357”的排电阻的阻值为 $135 \times 10^7 \Omega = 1350 \text{M}\Omega$ 。

以图 2-11(b)所示的型号标示“A102J”为例，该排电阻是 A 结构类型，标称阻值为 $1\text{k}\Omega$ 。其中的前 2 位数字“10”，表示有效数字 10；第 3 位数字“2”表示有效数字后边加“0”的个数，102 即 $10 \times 10^2 \Omega = 1000 \Omega$ ，即 $1\text{k}\Omega$ 。字母 J 表示允许误差为 $\pm 5\%$ 。该排电阻是 8 个电阻的集成，共 9 个引脚，其中最左边的一个引脚为公共引脚，由色点标出。用万用表测量时，将一支表笔固定接触在公共引脚上，然后用另一支表笔依次测量其他各引脚的电阻值，应该相等，即为 $1\text{k}\Omega$ 左右。如果将一支表笔接触除公共端以外的任意一个引脚，而另一个表笔接触除公共端以外的另外一个引脚，则测量值为 $2\text{k}\Omega$ 左右，即两个电阻的串联。



小贴士

对于不知引脚排列顺序的排电阻，可先将万用表的红表笔任意接该排电阻的一个引脚，然后用黑表笔去测试其他引脚，如果所得值相同，则说明红表笔所接的是被测量排电阻的公共引脚。



共同练：色环电阻的识读与检测的实际操作

1) 操作目的

- (1) 掌握色环电阻的识读方法。
- (2) 掌握以数字式万用表测量电阻的方法。

2) 操作设备与仪器

散装色环电阻三个，数字式万用表一块。

3) 知识储备

(1) 四色环电阻读取示例。

在四色环电阻的四个色环中，前 2 位为有效数字，第 3 位为乘方数，第 4 位为偏差。一般情况下，四色环电阻最后一环为金色或银色，由此可以确定 4 个色环的排序。以图 2-12 所示的四色环电阻为例，识别各色环颜色为图示颜色。可以确定，金色色环为第四色环，相应地，紫色色环为第一色环，绿色色环为第二色环，橙色色环为第三色环。

参考表 2-12 所示的电阻色环含义，前三个色环得到色环顺序对应数字“753”，即得到该电阻的阻值为 $75 \times 10^3 \Omega$ ，即为 $75\text{k}\Omega$ ，并且该电阻的允许误差为 $\pm 5\%$ 。

进一步地，由 $75\text{k}\Omega \times 5\% = 3.75\text{k}\Omega$ 和 $75\text{k}\Omega \pm 3.75\text{k}\Omega$ 计算得出，该电阻的测量值范围在 $71.25 \sim 78.75\text{k}\Omega$ 之间。

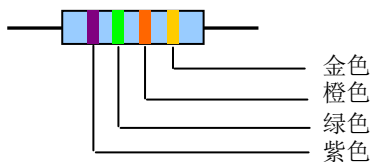


图 2-12 四色环电阻示例

(2) 五色环电阻读取示例。

当电阻为五个色环时，五色环的前 3 位为有效数字，第 4 位为乘方数，第 5 位为偏差。尤其对于偏差环与第一环(有效数字环)有相同颜色的五色环电阻，如果读反，识读结果将完全错误。因此，争取识读五色环电阻的第一环很关键。经验如下。

- ① 偏差环距其他环较远。
- ② 偏差环较宽。
- ③ 第一环距端部较近。
- ④ 有效数字环没有金色、银色。如果从某端环数起第一色环、第二色环有金色或银色，则另一端环是第一环。
- ⑤ 偏差环没有橙色、紫色、灰色和白色。如果某端环是橙色，或者是紫色，或者是灰色或白色，则一定是第一环。

⑥ 试读。一般成品电阻的阻值不大于 $22\text{M}\Omega$ ，如果试读大于 $22\text{M}\Omega$ ，说明读反。

⑦ 试测。如果用上述方法还不能识别，可进行试测，但前提是电阻必须是完好的。

以图 2-13 所示的五色环电阻为例，识别各色环颜色为图示颜色。目测色环之间的间距，初步确定，左侧棕色色环为第一色环，两个黑色色环依次为第二、第三色环，橙色色环为第四色环，右侧棕色色环为第五色环。

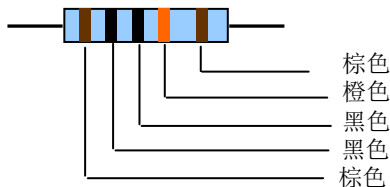


图 2-13 五色环电阻示例

参考表 2-12 所示的电阻色环含义，前四个色环得到色环顺序对应数字“1003”，即得到该电阻的阻值为 $100 \times 10^3 \Omega$ ，即为 $100\text{k}\Omega$ ，并且该电阻的允许误差为 $\pm 1\%$ 。

进一步地，由 $100\text{k}\Omega \times 1\% = 1\text{k}\Omega$ 和 $100\text{k}\Omega \pm 1\text{k}\Omega$ 计算得出，该电阻的测量值范围在 $99 \sim 101\text{k}\Omega$ 之间。

4) 操作步骤

- (1) 进一步明确数字式万用表各个标志符号的含义以及各个量程选择开关的作用。
- (2) 确保红表笔插入 V/Ω 插孔，黑表笔插入 COM 插孔。将量程选择开关拨至需要的量程挡位上。
- (3) 结合表 2-12，识读色环电阻标称值，并将识读结果记录于表 2-13 中。

- (4) 用红、黑表笔分别接触电阻的两个引脚，观察读数，将测量结果记录于表 2-13 中。
 (5) 数字式万用表使用完毕后，将量程开关拨到最高交流电压挡，并关闭电源。

表 2-13 用数字式万用表测量色环电阻

被测对象	标称值	测量值	测量值范围	绝对误差	测量值相对误差
电阻 1					
电阻 2					
电阻 3					

5) 操作总结

- (1) 整理实验数据，分析产生测量误差的原因。
 (2) 思考并回答：如何尽量减小测量过程中产生的测量误差？
 (3) 撰写操作报告。

2.1.5 贴片式电阻

从早期“身材魁梧”的大哥大发展到现在以 iPhone 为代表的手机，从早期 12 英寸射线管的电视机发展到现在 60 英寸的 LED 液晶电视，集成电路使电子产品的体积越来越小，而性价比越来越高。如今，人们可以用电话与远方的亲友进行视频聊天；在回家的途中就可以用手机遥控家中的热水器、微波炉；自动导航仪可以指引自己驾车回家。以前这些看似科幻小说的情节，现在正一步步走进我们的生活。新科技引领新生活。这其中，贴片式元件及集成电路技术起到了举足轻重的作用。

SMT 是表面贴装技术 Surface Mounted Technology 的缩写，它从引脚直插式封装技术发展而来，主要优点是降低了 PCB 电路板设计的难度，同时，也大大降低了 PCB 板的尺寸。

SMT 元件是表面贴装技术元件，包括表面贴装元件 SMC(Surface Mounted Component)和表面贴装器件 SMD(Surface Mounted Device)。常用的电阻、电容、电感、二极管等电子元件都有贴片封装形式的。现在的电子产品正在向小而精的方向发展，众多的电子产品都使用贴片器件来减小产品的整体体积。



你知道吗

贴片元件个头小，容易集成。但是，贴片元件还不能完全取代传统的直插元件，就像电脑主板那样，还能看到直插大电容等器件。因为贴片元件的耐高压、大电流能力较弱，而且贴片无极电容容量很小，还不能完全代替直插大电容。鉴于目前技术水平的限制，有些较大功率的或高电压下工作的电感、三极管等，大容量、高耐压的电解电容等，暂时还不能制造为贴片式。有些元件即使也有贴片式的，也仅仅是引脚贴片，个头还是小不了的。

按照不同的分类依据，贴片电阻可以分为多种类型。例如，按照生产工艺的不同，可分为薄膜贴片电阻、厚膜贴片电阻和 MELF 电阻三类；按照外形的不同，可分为矩形、圆柱形；按照封装方式的不同，可分为 0201、0402、0603、0805、1206、1210、1812、2010、

2512 等;按照功率的不同,可分为 1/20W、1/16W、1/10W、1/8W、1/4W、1/2W、1W。



小贴士

通常将贴片式元件的长与宽组合在一起表示贴片元件体积的大小,并且通用单位为英寸(in)。常用贴片式元件的规格有:0402,表示该元件长 0.04in,宽 0.02in;0603,表示该元件长 0.06in,宽 0.03in;0805,表示该元件长 0.08in,宽 0.05in;1206,表示该元件长 0.12in,宽 0.06in;1210,表示该元件长 0.12in,宽 0.1in。



探究讨论

我们知道 1in 相当于 2.54cm,对于 0603 封装形式的贴片电阻,若将其外形尺寸换算为厘米(cm)形式,应该是多少呢?

1. 矩形贴片电阻

矩形贴片电阻是一种外观上非常单一的元件,一般为表面黑色、底面白色、表面有丝印标识元件值的长方形,如图 2-14 所示。这类电阻的体积一般很小。矩形贴片电阻又有厚膜贴片电阻和薄膜贴片电阻两种类型,目前常用的是厚膜贴片电阻。



图 2-14 矩形贴片电阻的外形

1) 矩形贴片电阻的命名方式

矩形贴片电阻的命名没有统一的规定。例如,代号为 EC3216 的贴片电阻中,EC 表示矩形贴片电阻,32 表示电阻的长度为 3.2mm,16 表示电阻的宽度为 1.6mm。

2) 矩形贴片电阻的阻值标示方法

矩形贴片电阻的阻值一般直接标注在电阻的表面,黑底白字,如图 2-14 所示。美国电子工业协会(EIA)对电阻元件的规格进行了定义,其中电阻标称值和电阻误差范围规定了七个类别,即 E-3、E-6、E-12、E-24、E-48、E-96、E-192,其中首选 E-24 和 E-96。

(1) E-24 标示方法。E-24 有 2 位有效数字,精度在 $\pm 2\%$ (G)、 $\pm 5\%$ (J)、 $\pm 10\%$ (K)。

① 常用电阻的标注。前 2 位有效数字是有效数值,第 3 位是有效数值后面 0 的个数,单位为 Ω 。例如,在图 2-14 中,“470”表示 $47 \times 10\Omega$,即为 470Ω ;“101”则表示 $10 \times 10\Omega$,即为 100Ω 。

② 小于 10Ω 的电阻标注。用 R 代表单位为 Ω 的电阻小数点,用 m 代表单位为 $m\Omega$ 的电阻小数点。例如,“1R0”表示 1.0Ω ;“R20”表示 0.20Ω ;“2R49”表示 2.49Ω ;“4m7”表示 $4.7m\Omega$ 。



探究讨论

“R006”表示的电阻阻值是多少呢?

(2) E-96 标示方法。E-96 标示法有 3 位有效数字, 精度为 $\pm 1\%$ (F)。

① 常用电阻的标注。前 3 位有效数字是有效数值, 第 4 位是有效数值后面 0 的个数, 单位为 Ω , 例如, “4700” 为 470Ω ; “1003” 为 $100k\Omega$; “2204” 表示 $220 \times 10000\Omega$, 即为 $2.2M\Omega$ 。

② 小于 10Ω 的电阻标注。也是用 R 代表单位为 Ω 的电阻小数点, 用 m 代表单位为 $m\Omega$ 的电阻小数点。例如, “4m70” 表示 $4.70m\Omega$ 。



探究讨论

已知某贴片电阻的电阻丝印为 “0100”, 则该电阻的标称值为 10Ω , 还是 100Ω ? 表示的电阻阻值是多少呢?

③ E-96 Multiplier Code 标注法。E-96 Multiplier Code 标注法是用 2 位数字后面加 1 个字母的表示方法。该方法中, 前 2 位数字表示电阻值的有效数值, 所加字母表示有效数值后面应乘以 10 的幂次, 单位为 Ω 。其标识意义如表 2-14 和表 2-15 所示。具体数值需要从 Multiplier Code 表中查找, 例如 “02C” 表示 $102 \times 10^2\Omega = 10.2k\Omega$; “33F” 表示 $215 \times 10^5\Omega$, 即 $21.5M\Omega$ 。

表 2-14 Multiplier Code 底数代码表

代码	含义	代码	含义	代码	含义	代码	含义	代码	含义
1	100	21	162	41	261	61	422	81	681
2	102	22	165	42	267	62	432	82	698
3	105	23	169	43	274	63	442	83	715
4	107	24	174	44	280	64	453	84	732
5	110	25	178	45	287	65	464	85	750
6	113	26	182	46	294	66	475	86	768
7	115	27	187	47	301	67	487	87	787
8	118	28	191	48	309	68	499	88	806
9	121	29	196	49	316	69	511	89	825
10	124	30	200	50	324	70	523	90	845
11	127	31	205	51	332	71	536	91	866
12	130	32	210	52	340	72	549	92	887
13	133	33	215	53	348	73	562	93	909
14	137	34	221	54	357	74	576	94	921
15	140	35	226	55	365	75	590	95	935
16	143	36	232	56	374	76	604	96	956
17	147	37	237	57	383	77	619	97	973
18	150	38	243	58	392	78	634	98	985
19	154	39	249	59	402	79	649	99	998
20	158	40	255	60	412	80	665		

表 2-15 Multiplier Code 指数代码表

代码	含义	代码	含义	代码	含义	代码	含义	代码	含义	代码	含义
A	10^0	C	10^2	E	10^4	G	10^6	X	10^{-1}	Z	10^{-3}
B	10^1	D	10^3	F	10^5	H	10^7	Y	10^{-2}		

3) 矩形贴片电阻允许误差的表示方法

通常，矩形贴片电阻的允许误差用字母来表示，字母的含义完全与普通电阻的允许误差表示意义相同，即如表 2-11 所示。通常，普通贴片电阻的允许误差为 $\pm 5\%$ 或者 $\pm 10\%$ ，高精度贴片电阻的允许误差为 $\pm 1\%$ 或者 $\pm 0.5\%$ 。

2. 圆柱形贴片电阻

圆柱形贴片电阻由通孔电阻去掉引线演变而来，其外形如图 2-15 所示，可分为碳膜和金属膜两类。圆柱形贴片电阻的额定功率有 1/10W、1/8W 和 1/4W 三种，对应的体积大小分别为 $\phi 1.0\text{mm} \times 2.0\text{mm}$ 、 $\phi 1.5\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ 、 $\phi 2.2\text{mm} \times 5.9\text{mm}$ 。圆柱形贴片电阻的标注方法采用色环标注法，并且与普通电阻的色环意义相同(如表 2-12 所示)。



图 2-15 圆柱形贴片电阻的外形

与矩形贴片电阻相比，圆柱形贴片电阻的高频特性较差，但是，其噪声和三次谐波失真度较小。也正因为如此，矩形贴片电阻一般用于电子调谐器和移动通信等频率较高的产品中，圆柱形贴片电阻多用于音响设备。



小贴士

贴片式电阻尺寸小，有利于减小电气设备的体积，做到小型化、微型化。但是直插式电阻的耐压值和功率都会比贴片式电阻大一些。因此，在某些电路板上，有些是使用贴片式电阻，有些却仍然使用直插式电阻。

3. 贴片电位器

贴片电位器主要采用玻璃釉作为电阻体材料，具有高频特性好、阻值范围宽等优点，使用频率可超过 100MHz，阻值可在 $10\Omega \sim 2\text{M}\Omega$ 范围内变化，其外形如图 2-16 所示。



图 2-16 贴片电位器的外形



技能驿站

1. 目的

- (1) 了解电路板上常用电子元件的类型。
- (2) 掌握贴片电阻的识读与检测方法。
- (3) 巩固关于以数字式万用表测量电阻的方法的知识。

2. 设备与仪器

包含有贴片电阻等元件的电路板一块，数字式万用表一块。

3. 内容及步骤

- (1) 按照电路板上的器件标号，识别电阻元件。
- (2) 用数字式万用表检测贴片电阻的阻值。首先将万用表的两个表笔与待测电阻的两个电极相连，即可测出实际的电阻值。如果测量电阻值为零或者无穷大，则说明所测贴片电阻可能已经损坏。将识读与检测结果记录于表 2-16 中。

表 2-16 电路板常用贴片电阻的识读与检测

被测对象	器件类型	名称标记	标称值	允许误差	测量值
电阻 1					
电阻 2					
电阻 3					
电阻 4					

注：“器件类型”填写直插式/贴片式；“名称标记”填写器件体上的标记符号，没有的可不写；“允许误差”如果无法读取可以不填。

以万用表检测贴片电阻时，手不要触及表笔和电阻的导电部分，表笔要与贴片电阻端电极充分接触，不要带电测量。在线电阻测量有一定的测量误差。如果用模拟式万用表检测，则要进行调零，并且挡位要正确。

4. 总结

- (1) 整理测量数据，分析产生测量误差的原因。
- (2) 思考并回答如下问题。
 - ① 直插式电阻和贴片式电阻在外观、标称值和测量方法上有什么区别？
 - ② 总结贴片电阻的开路测量方法。
- (3) 撰写任务报告。

任务 2.2 测量电容



任务描述

图 2-17 所示的电子元件是电气、电子设备中用得最多的基本元件之一。

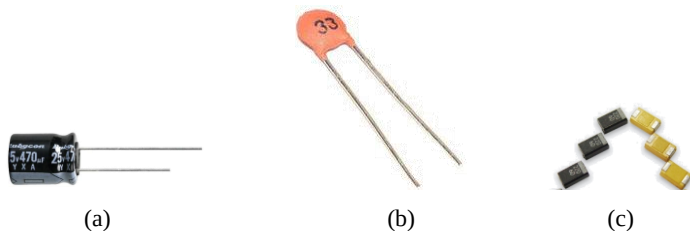


图 2-17 电子元件示例

根据经验,可以看出,图 2-17(a)所示为电解电容,并且它的相关参数可以从器件体上的文字信息“……470 μ F……”中识读出。但图 2-17(b)所示的是什么器件呢?器件体上的“33”又有什么含义?图 2-17(c)所示的器件体上有的没有任何信息,那么它又是什么器件呢?



任务要求

识别图 2-17 所示电子元件的类型,分析它们的标称值大小,选择检测仪器,确定检测方案。



任务分析

要检测图 2-17 所示的电子元件,可供选择的电子测量仪器中首推的是数字式万用表。



知识储备

电容,全称为电容器,是一种能储存电荷的容器,文字符号为 C。电容的特性主要是通交流、隔直流、阻低频、通高频。

跟电阻一样,电容也是电气、电子设备中用得最多的基本元件之一。

电容是由两片金属板紧密靠近,中间用绝缘材料隔开而组成的元件。两片金属称为极板,中间的物质称为介质。

电容的容量值表征了该电容储存电荷能力的大小。规定把电容外加 1V 直流电压时所储存的电荷量称为该电容的电容量。

电容的基本单位为法[拉],用符号 F 表示。除了法拉这个单位外,电容的倍率单位还有微法(μ F)、纳法(nF)和皮法(pF)等,它们的换算关系为: $1\text{F} = 10^6\mu\text{F} = 10^9\text{nF} = 10^{12}\text{pF}$ 。



小贴士

实际应用中的电容容量往往比 F 小很多, 因此 F 是一个不常用的单位, 常用的电容单位有 μF 和 pF 。



自己练

一个标称容量值为 $100\mu\text{F}$ 的电容, 若换算为 pF 单位, 结果是多少?

2.2.1 电容的分类

根据容量值的特点, 电容分为可变电容、微变电容和固定电容三种类型。顾名思义, 可变电容的电容值可以在比较大的范围内进行调节, 多用于耦合及调谐电路中, 常见的有双联电容、陶瓷电容等。微变电容也称为半可变电容, 其电容量可在某一小范围内调节, 并可在调整后固定于某个电容值。固定电容的电容量是固定的, 无法调节; 根据介质的不同, 又可将其分为陶瓷电容、云母电容、纸介电容、薄膜电容和电解电容等几种。



小贴士

一般 $1\mu\text{F}$ 以上的电容均为电解电容, 而 $1\mu\text{F}$ 以下的电容多为瓷片电容, 当然, 也有其他电容, 如独石电容、涤纶电容、小容量的云母电容等。

1. 陶瓷电容

陶瓷电容是用高介电常数的钛酸钡-氧化钛陶瓷挤压成圆管、圆片或圆盘作为介质, 并用烧渗法将银镀在陶瓷上作为电极制成。图 2-17(b)所示即为陶瓷电容。陶瓷电容又可以分为高频瓷介质和低频瓷介质两种。高频瓷介质电容适用于无线电、电子设备的高频电路。低频瓷介质电容限于在工作频率较低的回路中作旁路或隔直流用, 或应用于对稳定性和损耗要求不高的场合。

2. 云母电容

就结构而言, 云母电容又可分为箔片式和被银式。被银式电容的电极由直接在云母片上用真空蒸发法或烧渗法镀上的银层构成, 由于消除了空气间隙, 温度系数大为下降, 电容稳定性也比箔片式电容高。云母电容广泛应用于高频电路, 也可用作标准电容。

3. 纸介电容

纸介电容一般是用两条铝箔作为电极, 中间以厚度为 $0.008 \sim 0.012\text{mm}$ 的电容器纸隔开重叠卷绕而成。其制造工艺简单, 价格便宜, 能得到较大的电容量, 因此在无线电和电子设备中应用广泛。以往的纸介电容仅用地蜡、石蜡或氯化二苯基等浸渍封闭, 为非密封型, 容易老化, 稳定性较差。电容器芯置于金属或陶瓷管内加以密封的纸质电容质量较好, 外界气候条件的影响极小, 可在相对湿度达 $95\% \sim 98\%$ 的场合中正常使用。纸质电容是中频

电容器，一般应用在低频电路内，通常不能在高于 3MHz 的频率上使用。

金属化纸介电容的电极是用真空蒸发法，直接将金属蒸发，附着于电容器纸上，体积仅为普通纸质电容的 1/4 左右。它具有“自恢复”作用，即在击穿后能“自愈”，是纸质电容的改进型。

油浸电容的耐压比普通纸质电容高，稳定性也好，适用于高压电路。

4. 薄膜电容

薄膜电容的结构与纸质电容相似，采用聚脂、聚苯乙烯等低损耗塑材作为介质。

聚苯乙烯电容性能优良，介电吸收作用极微而放电迅速，可用作低频电路中的耦合电容，同时还适用于 RC 时间常数电路。

耐高温薄膜电容有涤纶电容、聚四氟乙烯电容和聚碳酸脂电容。涤纶电容也称为聚脂电容，其电性能优于金属化纸介电容，在电路中主要用作旁路和隔直流等，以代替纸介电容。聚碳酸脂电容的电性能优于涤纶电容，可长期工作于 120~130℃。

聚丙烯电容的电性能与聚苯乙烯电容相似，而单位体积电容量较大，能耐 100℃ 以上高温，但温度稳定性则稍差。

5. 电解电容

电解电容是用薄的氧化膜作为介质的电容器。图 2-17(a)所示即为电解电容。因为氧化膜有单向导电性质，所以电解电容具有极性。



小贴士

电解电容有个铝壳，里面充满了电解质，并引出两个电极，作为正(+)、负(-)极，正极引脚长，负极引脚短，且在外壳标有负极性，所以很容易区分。电解电容在电路中的极性不能接错，如果接错，会造成电解电容击穿。

常见的电解电容又有铝电解电容和固体钽电解电容两种类型。

1) 铝电解电容

铝电解电容用浸有糊状电解质的吸水纸夹在两条铝箔中间卷绕而成。普通铝电解电容通常用作低频旁路、耦合和电源滤波，不适于在高频和低温下使用，也不适于在 25kHz 以上频率的电路中使用。

2) 固体钽电解电容

固体钽电解电容是用烧结的钽块作为正极，其电解质使用固体二氧化锰。这种电容的温度特性、频率特性和可靠性均优于普通电解电容，特别是具有漏电流极小、储存性良好、寿命长、体积小等优点。钽电解电容在单位体积下能得到最大的电容电压乘积，适用于超小型、高可靠性的电子线路。

2.2.2 电容的参数

电容的主要参数有标称容量、允许误差和额定工作电压，辅助参数有漏电流、绝缘电

阻等。

1. 标称容量

电容的标称容量是标示在电容上的“名义”电容量，其标示方法通常有四种。

1) 直标法

直标法是指直接标明电容的容量和单位。例如 16V 220 μ F、470 μ F 25V 等。有些电容采用 R 表示小数点，例如用 R47 μ F 表示 0.47 μ F。如果是“零点零几”，又常常把整数位的零省去，例如 01 μ F 表示 0.01 μ F。



小贴士

对于体积较小的电容，通常采用只标数字不标单位的表示方法。例如，普通电容上标有“75”，则表示该电容的容量值为 75pF，而对于电解电容，“47”表示 47 μ F。

2) 字母表示法

字母表示法是国际电工委(IEC)推荐的一种标注方法，它常用 2~4 位数字附带 1 个字母的形式来表示。字母表示数值的量级，其中 p 表征 10^{-12} F；n 表征 10^{-9} F； μ 表征 10^{-6} F；m 表征 10^{-3} F。

字母所在位置表示了小数点的位置。例如 1p2 表征 1.2pF；1m 表征 1mF=1000 μ F；330n 表征 330nF=0.33 μ F；1p0 表征 1pF。

3) 数标法

数标法通常采用 3 位数字表示容量大小，前 2 位表示有效数字，第 3 位数字是倍率，数码表示的容量单位为 pF。例如 102 表示 10×10^2 pF，等于 0.001 μ F；224 表示 22×10^4 pF，等于 0.22 μ F；229 表示 22×10^{-1} pF，即 2.2pF。



小贴士

数标法中的第 3 位数字如果是 9，则表示 10^{-1} 数量级。

4) 色标法

电容的色标法与电阻的色环标注方法基本相同，读码方向从顶部向引脚方向读。一般由三条色环组成，第一、第二条表示有效数字，第三条表示倍率，单位为 pF。



小贴士

对于色标法标注的电容，如果某条色环宽度为其他颜色的两倍，则表示是相同颜色的两个色环。

2. 允许误差

电容的允许误差通常有百分数表示、分级表示和字母表示三种形式。

1) 百分数表示

直接用“%”标出误差。

2) 分级表示

将电容器允许误差分为三级，即 I 级为 $\pm 5\%$ 、II 级为 $\pm 10\%$ 、III 级为 $\pm 20\%$ 。



小贴士

铝电解电容的允许误差可能大于 III 级。

3) 字母表示

与电阻允许误差的表示方法相同，用字母表示电容的允许误差，详见表 2-12 电阻色环的含义。例如，104K 表示 $0.1\mu\text{F} \pm 10\%$ 。

3. 额定工作电压

电容的额定工作电压，是指电容在规定的工作温度范围内长期可靠工作所能承受的最高直流电压，又称为电容的耐压值。该值通常为击穿电压的一半。常用电容的工作电压有以下几种系列：1.6V、4V、6.3V、10V、16V、25V、32V*、40V、50V、63V、100V、125V*、160V、250V、300V*、400V、450V*、500V、1000V 等，其中的 32V、125V、300V 和 450V 只限于电解电容使用。耐压值一般直接标在电容上，但有些电解电容在正极根部用色点来表示耐压等级，通常 6.3V 用棕色，10V 用红色，16V 用灰色。



小贴士

电容在使用时不允许超过其耐压值，否则就有可能损坏或击穿电容，甚至发生器件爆裂。

4. 漏电流

电容的介质材料不是绝对绝缘体，它在一定的工作温度及电压条件下，也会有电流流过，此电流即为漏电流。一般电解电容的漏电流较大。

5. 绝缘电阻

绝缘电阻也称漏电阻，是电容两极板之间的电阻。漏电阻越低，漏电流越大，介质耗能越大，电容的性能就越差，寿命也越短。一般电容的绝缘电阻在 $10^8 \sim 10^{10}\Omega$ 之间。



小贴士

电容最重要的两个参数是耐压和电容量。容量大的电容往往用于滤波和存储电荷，其容量值在电容上直接标明，如 $10\mu\text{F}/16\text{V}$ 。容量小的电容通常在高频电路中使用，如收音机、发射机和振荡器中，其容量值在电容上用字母表示，或者用数标表示。

2.2.3 贴片电容

常用的贴片电容一般都是叠层结构的陶瓷电容，它具有比容大、内部电感小、损耗小、高频特性好、内电极与介质材料共烧结、耐潮湿性好、可靠性高等优点。



按照加工工艺的不同,可将贴片电容分为 NPO 系列、X 系列、Y 系列和 Z 系列。

NPO 系列的贴片电容带有温度系数,常见的有 N80、N150、N220、N470、N750 等类型,该系列的电容容量较小,允许误差也比较小,一般在 5% 以下。

常见的 X 系列的贴片电容有 X7R,它的允许误差一般在 10% 以下。

常见的 Y 系列贴片电容有 Y5V,它的允许误差比较大,在 20% 以上,最大允许误差可达到 80%。

Z5V 和 Z5U 是较常见的 Z 系列贴片电容,它的允许误差也在 20% 以上。

如图 2-18 所示,有的贴片电容无极性、无丝印,例如贴片瓷片电容。有的贴片电容有极性,丝印上标明了电容值和耐压值,例如贴片钽电解电容。

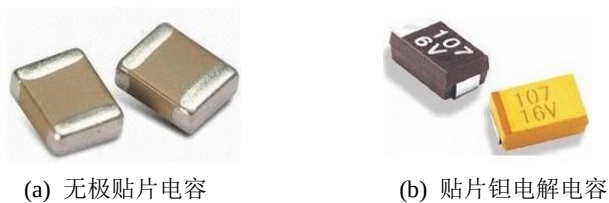


图 2-18 贴片电容的外形

1. 矩形贴片电容

贴片电容也有矩形和圆柱形两种外形,其中,图 2-18 所示的矩形贴片电容应用最多,占各种贴片电容的 80% 以上。

矩形贴片电容容量的表示方法以及允许误差的表示方法与贴片电阻相似,只是单位为 pF。采用数字法表示容量的,前 2 位数字表示有效数字,第 3 位表示倍率,单位为 pF。例如,151 表示 150pF,1P5 表示 1.5pF。



小贴士

数字标示的贴片电容,有的会有一个“n”,n 的意思是 1000,并且 n 所处的位置与容量有关。例如,标示为 10n 的电容的容量为 10000pF,标示为 4n7 的电容的容量为 4700pF,也即 4.7nF。

2. 贴片电解电容

贴片电解电容又分为铝电解电容和钽电解电容两类。

铝电解电容的外观及参数与普通铝电解电容相似,只是其引脚形式有变化。贴片铝电解电容体积较大,价格也较便宜,适用于消费类电子产品。

贴片钽电解电容体积较小,价格较贵,响应速度快,适合在需要高速运算的电路中使用。钽电解电容还有多种封装,使用最广泛的是端帽型树脂封装,标志直接丝印在元件上,有横标端为正极。

容量标称系列值与普通电容类似,最高容量为 330 μ F,其耐压值在 4~50V 之间。

如图 2-18(b)所示,其中的 107 表示 10×10^7 pF,即为 100 μ F,两个电容的耐压值分别为 6V 和 16V。

3. 绝缘电阻贴片电容与贴片电阻的区别方法

1) 看颜色

贴片电容多为灰色、黄色、青灰色，电解电容也有红色的。而贴片电阻多为白底黑面，有的为藏蓝色表面。

2) 看标识

贴片电容在电路中的文字符号为 C，贴片电阻在电路中的文字符号为 R。

3) 测量法

一般贴片电容的阻值很大，而贴片电阻具有相对应的电阻。贴片电容具有一定的充放电特性，而贴片电阻在测量时不会出现使模拟式万用表指针“来回”摆动的充放电现象。

4. 电容的检测方法

1) 模拟式万用表检测直插式电容

用模拟式万用表并不能测出电容的容量以及电容所能承受的耐压值等确切参数，但却可以用模拟式万用表的电阻挡粗略地判断电容质量的好坏。其判断方法又分为电解电容的检测和非电解电容的检测两种情况。

(1) 电解电容的检测。电解电容的容量较一般的电容大得多，所以检测时，应针对不同容量值选用合适的量程。一般情况下，容量值在 $47\mu\text{F}$ 以下的电解电容可以采用 $R\times 1\text{k}$ 挡进行检测，当容量值大于 $47\mu\text{F}$ 时，采用 $R\times 10\text{k}$ 挡进行测量。具体操作方法是，将模拟式万用表的红表笔接电解电容的负极，黑表笔接正极，在表笔刚刚接触到电容引脚的瞬间，万用表指针随即向右大幅度偏转，紧接着指针逐渐向左回转，直到停在某一位置。此时的阻值便是电解电容的漏电阻。实践表明，电解电容的漏电阻一般应在几百 $\text{k}\Omega$ 以上。测试过程中，如果正向、反向表盘指针均不摆动，即不表现充电现象，则说明该电解电容器的容量消失或内部断路；如果指针有摆动，但所测阻值很小或为零，则说明该电解电容漏电较大，或者已被击穿。



小贴士

对于极性不清的电解电容，也可以利用上述方法来判别极性。即先任意测一下漏电阻，然后交换两个表笔测出另外一个阻值，两次测量中阻值较大的那一次，黑表笔接的是正极，红表笔接的是负极。

(2) 非电解电容的检测。用模拟式万用表检测 10pF 以下的小容量电容时，由于其容量较小，只能定性地判断它是否漏电、内部是否短路或击穿等。测量时，可用模拟式万用表的 $R\times 10\text{k}$ 挡，将模拟式万用表的两支表笔分别任意连接电容器的两个引脚。正常情况下，阻值应该无穷大。如果测出的阻值为零，则说明该电容器漏电损坏，或已击穿。对于 10pF 以上的电容器，可以用 $R\times 10\text{k}$ 挡测试，根据指针摆动的幅度大小，可以估计出其容量值。

2) 数字式万用表检测直插式电容

将数字式万用表的量程选择开关旋转到相应的电容量程上，将被测电容插入电容插孔，即可在显示屏上读取该电容的容量值。这里要特别说明一点，如果所选数字式万用表没有专用的电容插孔，此时需要将数字式万用表的红表笔插入 mA 插孔，黑表笔插孔不变，用

两个表笔分别接触电容两端,观察读数即可。一般数字式万用表上都有 CX 标记,用以进行电容测量。

使用数字式万用表的二极管测试挡,可以检查未曾使用过的电解电容的质量,具体操作方法如下。

(1) 将电解电容两端串上阻值较大的电阻,保持 1s 左右,对电解电容器放电。

(2) 将数字式万用表拨到二极管测试挡位“ $\rightarrow$ ”,红表笔接电容的正极,黑表笔接电容的负极,此时应能听到一阵短促的蜂鸣音(或者能看到万用表的指示灯短暂亮),随即声音停止,同时显示溢出符号“1”。

电源刚开始对电容充电时,充电电流较大,相当于通路,所以蜂鸣器发声。随着电容两端电压不断升高,充电电流迅速减小,蜂鸣器停止发声。如果蜂鸣器一直响,说明电解电容内部短路。电容的容量越大,蜂鸣器响的时间就越长。测量 100~2200 μ F 的电解电容时,响声持续时间约为零点几秒至几秒。如果被测电容已经充好电,测量时就听不到响声。

3) 贴片电容的检测方法

与贴片电阻不同,贴片电容上面没有量值,因此不可以直接读出容量值,需要使用电容表、Q 表、C 电桥等测量仪表进行测量。

(1) 万用表检测贴片电容。

① 贴片电容质量的判断。将数字式万用表拨到二极管测试挡,两支表笔直接接触贴片电容两端,如果贴片电容质量好,数字式万用表读数为无穷大,即显示溢出。如果数字式万用表的读数为零,则表示该电容已被击穿短路。贴片电容漏电时,无法用数字式万用表检测,只能用替代法判断其好坏。

② 贴片电解电容极性的检测。电解电容的极性可以通过外壳极性标识来识别。如果不能识别,可以使用模拟式万用表的欧姆挡检测查找。检测依据是模拟式万用表内部的电池被用作电源,电解电容反向漏电流比正向漏电流大。首先把模拟式万用表拨到 R $\times$ 10k 挡,然后分别两次对调测量电容器两端的阻值,当表针稳定时,比较两次测量的读数大小。在取值较大的那次测量中,模拟式万用表的黑色表笔接的是贴片电解电容的正极,红色表笔接的是贴片电解电容的负极。



小贴士

贴片电容的容量可以通过电容测试仪、万用表来判断。另外,对于一些贴片电容的容量,可以通过观察颜色来判断,即同一厂家的电容,颜色越深,其容量越大。

(2) 贴片电容的损坏故障及检测方法。

贴片电容的常见损坏故障有断开、裂缝、短路等现象。导致损坏的原因,往往在于容量值发生变化,或者耐压值不够。

如果用示波器检测到通道中电容两侧的信号相差太大,则应更换电容。将模拟式万用表拨到欧姆挡,并把两支表笔分别放在电容两端,电容的电阻值应该很大,假若电阻阻值很小或者为 0,则说明电容已被击穿,需要更换。

5. 电容的选用和使用

1) 电容的选用原则

电容的选用涉及的问题很多, 在选好了型号和容量值后, 首先还是考虑耐压的问题。

(1) 选择型号。根据电路要求, 纸介电容、电解电容、涤纶电容等一般用于低频耦合、旁路、去耦等, 并且电气性能要求较低。在中频电路中, 可选用 $0.01\sim 0.1\mu\text{F}$ 的纸介电容、金属化纸介电容、有机薄膜电容、陶瓷电容。高频电路中应该选用高频陶瓷或云母电容。如果在高温环境下工作, 应该选用玻璃釉电容。在电源滤波和退耦电路中, 首先应该选用电解电容。

(2) 确定容量值和允许误差。大多数情况下, 对于电容的容量值要求并不严格, 只要与规定的标称值大致相同即可。对于电容允许误差的选择, 在低频耦合、去耦、电源滤波等电路中, 可选用 5%、10%、20%、30% 的允许误差值, 但是在振荡回路、延时电路、音调控制电路中, 精度要求相对高些。在各种滤波电路中, 应该选择允许误差小于 5% 的高精度电容。

(3) 选择耐压值。电路中的工作电压升高有时会发生波动, 因此, 为了保证电容能够正常工作, 应该选择电容的耐压值大于实际工作电压。因此, 电容的额定电压应高于其实际工作电压, 以确保电容不被击穿损坏。对于一般电路, 应使电容耐压值高于实际工作电压的 10% ~ 20%, 波动大的电路应选更大的余量(1.5~2 倍)。但耐压值不是越大越好, 除了考虑经济因素(耐压越高, 体积越大, 价格越高)外, 对电解电容而言, 高耐压电容用于低压电路时, 额定容量会减小。



你知道吗

可用两只以上相同耐压值的电容并联代替一只电容, 例如 $C=C_1+C_2+C_3$ 。同时, 也可用两只以上的电容串联代替一只电容。如果串联电容容量相等, 则承受的电压也相等, 并且各只电容的耐压值相加应该等于或大于原来电容的耐压值。串联各电容容量不相等时, 容量大的电容承受的电压小, 其原因是串联时各电容的充电电流相等。

2) 电容使用的经验与误区

在电子线路中, 如果不能确定线路的极性, 建议使用无极电解电容。

通过电解电容的波纹电流不能超过其允许范围, 如果超过了规定值, 则需要选用耐大纹波电流的电容。同时, 电容的工作电压不能超过其额定电压。

焊接电容时, 电烙铁应与电容的塑料外壳应保持一定的距离, 以防止过热, 造成塑料套管破裂, 并且焊接时间不应超过 10s, 焊接温度不应超过 260°C 。

电容在使用过程中, 往往存在以下四方面的认识误区。

(1) “电容容量越大越好。”很多人在电容的替换中往往爱用大容量的电容。虽然电容越大, 为电路提供的电流补偿的能力越强, 然而, 且不说电容容量的增大会在体积变大、增加成本的同时影响空气流动和散热, 关键在于, 电容上存在寄生电感, 电容放电回路会在某个频点上发生谐振。在谐振点, 电容的阻抗小, 因此放电回路的阻抗最小, 补充能量的效果也最好。但当频率超过谐振点时, 放电回路的阻抗开始增加, 电容提供电流的能力便开始下降。电容的容量越大, 谐振频率越低, 电容能有效补偿电流的频率范围也越小。

从保证电容提供高频电流的能力的角度来说,“电容越大越好”的观点是错误的,一般的电路设计中都有一个参考值。

(2) “等容量的电容,并联的小电容越多越好。”耐压值、耐温值、容值、等效电阻(ESR)等是电容的几个重要参数,对于 ESR 自然是越低越好。ESR 与电容的容量、频率、电压、温度等都有关系。当电压固定时,容量越大,ESR 越低。在板卡设计中采用多个小电容并联多是出于 PCB 空间的限制,这样有人就认为,并联越多的小电阻,ESR 越低,效果越好。理论上是如此,但是,还要考虑到电容引脚焊点的阻抗。采用多个小电容并联,效果并不一定突出。

(3) “ESR 越低,效果越好。”对于供电电路的输入电容,容量要大一点。相对于容量的要求,对于 ESR 的要求可以适当降低。因为输入电容主要是耐压,其次是吸收 MOSFET 的开关脉冲。对于输出电容,耐压的要求和容量可以适当地降低一点,ESR 的要求则高一点,因为这里要保证的是足够的电流通过量。这里要注意的是,ESR 并不是越低越好,低 ESR 电容会引起开关电路振荡。而消振电路较为复杂,同时会导致成本增加。在板卡设计中,一般有一个参考值,以参考值作为元件选用参数,可避免因消振电路而导致成本增加。

(4) “好电容代表高品质。”唯电容论曾经盛极一时,一些厂商和媒体也刻意地把这个事情做成一个卖点。在板卡设计中,电路设计水平是关键。与有些厂商可以用两相供电做出比采用四相供电更稳定的产品一样,一味地采用高价电容,不一定能做出好产品。衡量一个产品,一定要全方位多角度地去考虑,切不可把电容的作用有意无意地夸大。



技能驿站

1. 目的

- (1) 了解常用电容器的类型。
- (2) 掌握直插式和贴片式电容的识读与检测方法。
- (3) 巩固数字式万用表测量电阻的方法。

2. 设备与仪器

散装直插式和贴片式电容若干,包含贴片电容的电路板一块,数字式万用表一块。

3. 内容及步骤

1) 数字式万用表检测直插式电容

将量程选择开关旋转到相应的电容量程上,被测电容器插入电容器插孔,即可在显示屏上读取该电容的容量值。这里要特别说明一点,如果所选数字式万用表没有专用的电容插孔,此时需要将万用表的红表笔插入 mA 插孔,黑表笔插孔不变,用两个表笔分别接触电容两端,观察读数即可。一般数字式万用表上都有 CX 标记,用以进行电容测量。

2) 数字式万用表定性检测贴片电容

将数字式万用表拨到二极管测试挡,两表笔直接接触贴片电容两端,好的贴片电容,万用表读数为无穷大,即显示溢出。如果万用表读数为零,则表示该电容已击穿短路。贴片电容漏电时无法用万用表检测,只能用替代法判断好坏。

将上述两个步骤的识读与检测结果记录于表 2-17 中。

表 2-17 电容的识读与检测

被测对象	器件类型	名称标记	标称值	允许误差	测量值	绝对误差	测量值相对误差
电容 1		222					
电容 2		104					
电容 3		331					
电容 4		681					
电容 5							

注：“器件类型”填写直插式/贴片式；“名称标记”填写器件体上的标记符号，表格中给出了范例，没有的可以不填写；“允许误差”项，如果无法读取，可以不填写；“测量值”项，如果无法测量，可以不填写。

4. 总结

- (1) 整理测量数据，分析产生测量误差的原因。
- (2) 思考并回答如下问题。
 - ① 直插式元件和贴片式元件在外观、标称值和测量方法上有什么区别？
 - ② 如何识别贴片电容和贴片电阻？
- (3) 撰写任务报告。

任务 2.3 测量半导体器件

 任务描述

图 2-19 所示为 11W 台灯镇流器的典型电路板，识读电路板上的元件，试着说明图中相应元件的类型、名称，以及功能。

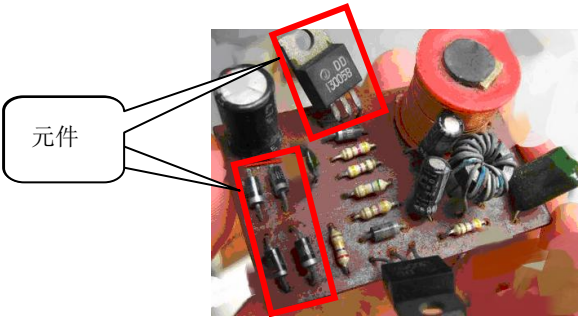


图 2-19 元件识读电路板示例