

MO NI DIAN ZI JI SHU SHI YAN

模拟电子技术实验

主编 关惠铭

地震出版社

模拟电子技术实验

主编 关惠铭

地震出版社

图书在版编目(CIP数据)

模拟电子技术实验/关惠铭主编. —北京:地震出版社, 2004.9

ISBN 7-5028-2568-1

I. 模… II. 关… III. 模拟电路-电子技术-实验-高等学校-教材 IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 092988 号

地震版 XT200400240

模拟电子技术实验

主 编 关惠铭

责任编辑: 周为莺

责任校对: 庞娅萍

出版发行: **地震出版社**

北京民族学院南路9号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 河南新丰印刷有限公司

版(印)次: 2004年9月第一版 2004年9月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 375千字

印张: 14.625

印数: 0001~2200

书号: ISBN 7-5028-2568-1/TN·5 (3195)

定价: 26.50元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

前 言

《模拟电子技术实验》可作为高等工科院校《模拟电子技术》、《电工技术》、《电工电子学》等课程的实验用书。

本书以《模拟电子技术》(康华光主编)和《电工学》(秦曾煌主编)为基础,针对 DZX-2 电子学实验装置的使用要求,同时参考了部分兄弟院校的实验讲义,力图使其更能符合实验教学的要求。

本书分电子技术实验基础知识与模拟电子技术实验两部分。共有实验 22 个,在进行实验教学中可根据实际情况选择。

本书由关惠铭主编。其中电子技术实验基础知识部分的第一、二章由米启超编写;第三、四、五章由任琦梅编写;第六、七章及实验一至三由关惠铭编写;实验四至十三由赵红梅编写;实验十四至二十二由董燕飞编写。

葛喜斌先生对全书进行了审核并提出宝贵意见,在此表示感谢。

编 者
2004 年 7 月

目 录

第一部分 电子实验基础知识

第 1 章 电阻元件的识别、检测与应用·····	(3)
1.1 电阻器及其应用·····	(3)
1.2 万用表及其应用·····	(15)
1.3 直流稳压电源及其应用·····	(21)
1.4 接插件及开关·····	(23)
第 2 章 电容元件的识别、检测与应用·····	(28)
2.1 电容器及其应用·····	(28)
2.2 示波器及其应用·····	(33)
2.3 低频信号发生器·····	(50)
第 3 章 电感元件的识别、检测与应用·····	(55)
3.1 电感器及其应用·····	(55)
3.2 Q 表及其应用·····	(65)
第 4 章 二极管特性及其应用·····	(72)
4.1 晶体二极管及其应用·····	(72)
4.2 晶体管特性图示仪及其应用·····	(79)
第 5 章 晶体三极管特性及其应用·····	(83)
5.1 晶体三极管及其应用·····	(83)
5.2 应用晶体管特性图示仪测试三极管特性曲线·····	(92)
第 6 章 电路的频率特性测试·····	(94)
6.1 电路的频率特性介绍·····	(94)
6.2 扫频仪及其应用·····	(96)
第 7 章 稳压电源的制作与电路分析·····	(103)
7.1 稳压电路工作原理介绍·····	(103)
7.2 电子线路图读图基本知识介绍·····	(107)

7.3 焊接技术·····	(109)
7.4 调试与诊断技术·····	(117)

第二部分 模拟电子技术实验

实验一 常用电子仪器的使用·····	(123)
实验二 晶体管共射极单管放大器·····	(128)
实验三 场效应管放大器·····	(136)
实验四 负反馈放大器·····	(141)
实验五 射极跟随器·····	(146)
实验六 差动放大器·····	(150)
实验七 集成运算放大器指标测试·····	(154)
实验八 集成运算放大器的基本应用 (I) 模拟运算电路·····	(161)
实验九 集成运算放大器的基本应用 (II) 信号处理——电压比较器·····	(167)
实验十 集成运算放大器的基本应用 (III) 波形发生器·····	(171)
实验十一 集成运算放大器的基本应用 (IV) 信号处理——有源滤波器·····	(177)
实验十二 低频功率放大器 (I) OTL 功率放大器·····	(183)
实验十三 低频功率放大器 (II) 集成功率放大器·····	(188)
实验十四 RC 正弦波振荡器 ·····	(193)
实验十五 LC 正弦波振荡器 ·····	(197)
实验十六 函数信号发生器的组装与调试·····	(200)
实验十七 电压-频率转换电路 ·····	(203)
实验十八 直流稳压电源 (I) ——并联型稳压管稳压电源·····	(205)
实验十九 直流稳压电源 (II) ——串联型晶体管稳压电源·····	(209)
实验二十 直流稳压电源 (III) ——集成稳压器·····	(215)
实验二十一 晶闸管可控整流电路·····	(221)
实验二十二 应用实验——控温电路·····	(225)

第一部分

电子实验基础知识

第 1 章 电阻元件的识别、检测与应用

电阻器是在电子线路、各种电子电器设备中应用最多的电子元件。无论是在家用电器、电器仪表还是在各类电子应用设备中，都会用到各种不同规格、型号的电阻。电阻一般用来降低电压、分配电压、稳定和调节电流、限流、分配电流、滤波、阻抗匹配及为其他器件提供必要的工作条件等。这里将介绍电阻元件的识别与检测及常用仪器仪表的使用方法。

1.1 电阻器及其应用

1.1.1 电阻器的分类

常用的电阻器种类很多，一般分为固定电阻器和可变电阻器两大类。固定电阻器是指电阻器的阻值固定不变，而可变电阻器的阻值可根据需要在一定范围内进行调节。

1. 固定电阻器

固定电阻器（简称电阻）可根据制作材料和工艺的不同，分为碳膜、金属膜和线绕等不同类型。

(1) 碳膜电阻器（RT）。碳膜电阻器是在磁棒或瓷管上按一定工艺要求先涂一层碳质电阻膜，然后在两端装上帽盖，焊上引线，并在表面加涂保护漆，最后印上技术参数。碳膜电阻器稳定性好，电压的改变对阻值影响小。其阻值范围大，可以制作成几欧姆的低值电阻，也可以制作成几十兆欧的高值电阻。而且碳膜电阻制作成本低，价格便宜，因此是目前使用得最多的一种电阻器，常在精度要求不高的收音机、录音机中得到广泛使用。

(2) 金属膜电阻器（RJ）。金属膜电阻器的外形和碳膜电阻器的相似，只是在磁棒或瓷管表面用真空蒸发或烧渗法制成金属膜，如镍铬合金膜和金铂合金膜等。金属膜电阻器体积更小，除具有碳膜电阻器的特征外，它比碳膜电阻器的精度更高，稳定性更好，噪音更低，阻值范围更宽，最明显的是其耐热性能超过碳膜电阻器。由于制作成本高，价格较贵。因此这类电阻器主要用于精密仪器仪表和高档的家用电器中，如音响设备、录像机等。

(3) 线绕电阻器。线绕电阻器是用电阻系数较大的锰铜或镍铬合金电阻丝绕在陶瓷管上制成的。在它的外层涂有耐热的绝缘层，其两端有引线或安装金属脚，可分为固定式和可调式两种。线绕电阻器的特点是精度高，噪音小，功率大，一般可承受 3~100W 的额定功率。

它的最大特点是耐高温，可以在 150°C 的高温下正常工作。但由于其体积大，阻值不高（在 $1\text{M}\Omega$ 以下），不适合 2MHz 以上的高频电路，因此只适用于在需要大功率电阻的电路中作分压电阻、泄放电阻或滤波电阻使用。此外，精密的线绕电阻也用于电阻箱、测量仪器（如万用表）等电器设备和小型电讯仪器仪表中。由于线绕电阻器的电感较大，因而不能在高频电路中使用。

(4) 热敏电阻器。热敏电阻器是用热敏半导体材料经一定烧结工艺制成的。这种电阻器受热时，阻值会随着温度的变化而变化。热敏电阻器有正、负温度型之分，用户在使用时应注意这一点。正温度型电阻器（用字母 PTC 表示）随着温度的升高，阻值增大；负温度型电阻器（用字母 NTC 表示）随着温度的升高，阻值反而下降。根据这一特性，热敏电阻器在控制电路中可用于控制电流的大小和通断，常作为测温、控温、补偿、保护等电路中的感温元件。

(5) 光敏电阻器。光敏电阻器是利用硫化镉或硫化铋等具有光电效应的半导体材料制成的电阻器。光敏电阻器的阻值受外界光线强弱的影响：当外界光线增强时，阻值逐渐减小；当外界光线减弱时，阻值逐渐增大。如用硫化镉制成的光敏电阻，在无光线照射时，阻值为 $1.5\text{M}\Omega$ ；而在有光线照射时，其阻值明显减小；在强光线照射时，其阻值可小至 $1\text{k}\Omega$ 。根据光敏电阻这一特点，它常被用于电视接收机的自动亮度控制电路和光电自动控制器、照度计、电子照相机、光电开关和光报警器等电路中。

(6) 压敏电阻器。压敏电阻器是用氧化锌作为主要材料制成的半导体陶瓷器件，是对电压变化非常敏感的非线性电阻器。在一定温度和一定电压范围内，当外界电压增大时，阻值减小；当外界电压减小时，其阻值反而增大，因此，压敏电阻能使电路中的电压始终保持稳定，在电子线路中可用于开关电路、过压保护、消噪电路、灭火花电路和吸收回路中。

2. 可变电阻器

可变电阻器是指其阻值在规定的范围内可任意调节的电阻器，它可分为半可调电阻器和电位器两类。

(1) 半可调电阻器。半可调电阻器是指电阻值虽然可以调节，但在使用时经常固定在某一阻值上的电阻器。这种电阻器一经装配，其阻值就固定在某一数值上，如晶体管应用电路中的偏流电阻。在电路中，如果需作偏置电流的调整，只要微调其阻值即可。半可调电阻器中，功率较小的大多属于碳膜电阻器，功率较大的则多属于线绕电阻器，它常在收音机中作电源滤波和调整偏流用。

(2) 电位器。电位器是通过旋转轴来调节阻值的可变电阻器。普通电位器由外壳、旋转轴、电阻片和三个引出端子组成。当转动旋转轴时，电位器的接触簧片紧贴着电阻片转动，使两个引出端的阻值随着轴的转动而变化。由于电位器的阻值具有可调性，因此常用作分压器和变阻器，如收录机的音量调节及电视机的亮度与对比度调节等都用电位器来控制。电位器的种类很多，常见的有膜式电位器、实心式电位器、绕线式电位器等三大类。

此外，还有其他特殊类型的电阻，如气敏电阻、湿敏电阻等，它们的分类、特点和应用将在其他课程中介绍。常用电阻器如图 1.1 所示。

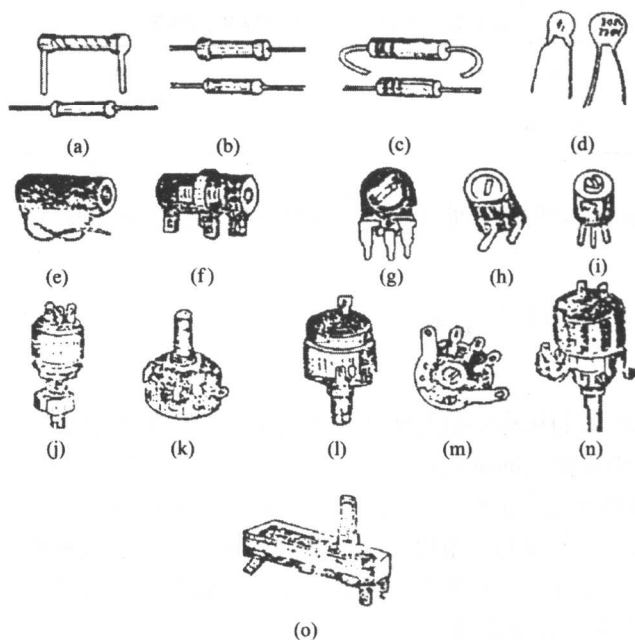


图 1.1 常用电阻器外形图

(a) 碳膜电阻；(b) 金属膜电阻；(c) 碳质电阻；(d) 片状热敏电阻；(e) 线绕电阻；(f) 滑动线绕电阻；
(g)、(h)、(i) 微调可变电阻；(j)、(k)、(l)、(m)、(n)、(o) 各种电位器

1.1.2 电阻器的型号及命名

电阻器的型号很多，根据国家标准（GB2470—81）规定，国产电阻器的型号由四个部分组成。

第一部分用字母表示产品名称，如用 R 表示电阻，W 表示电位器。

第二部分用字母表示产品制作材料，如用 T 表示碳膜，用 J 表示金属膜，用 X 表示线绕等，如表 1-1 所示。

表 1-1 电阻器材料与字母对照表

符号	H	I	J	N	S	T	X	Y
材料	合成膜	玻璃 釉膜	金属膜	无机 实心	有机 实心	碳膜	线绕	氧化膜

第三部分用数字或字母表示产品分类，如表 1-2 和表 1-3 所示。

表 1-2 电阻产品分类与数字对照表

数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9
产品分类	普通	普通	超高频	高阻	高温	—	精密	高压	特殊

表 1-3 电阻产品分类与字母对照表

字母	G	T	W	D
产品分类	高功率	可调	—	—

第四部分用数字表示产品序列号。例如 RJ7—1 为精密金属膜电阻，RXT—2 为可调线绕电阻。

1.1.3 电阻器的主要性能指标

1. 允许偏差

允许偏差是指电阻器的标称阻值与实际阻值之差。在电阻器的生产过程中，由于技术原因实际电阻值与标称电阻值之间难免存在偏差，因而规定了一个允许偏差参数，也称为精度。常用电阻器的允许偏差分别为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ ，对应的精度等级分别为 I、II、III 级。我国电阻器的标称阻值有 E6、E12、E24、E48、E96、E192 几种系列，其中 E6、E12、E24 比较常用，如表 1-4 所示。标称值不连续分布，若将表中各数乘 10^n 可得到不同阻值的电阻器，如 1.1×10^3 为 $1.1\text{k}\Omega$ 电阻器。

电位器的允许偏差、精度等级系列和标称阻值系列与电阻器相同，其差别是电位器的标称阻值是指电位器的最大值。

表 1-4 电阻器参数表

系列	允许偏差	标 称 值												精度等级
E24	$\pm 5\%$	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	I
		3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1	
E12	$\pm 10\%$	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2	II
E6	$\pm 20\%$	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8	III						

2. 额定功率 P

额定功率 P 是指在一定条件下，电阻器能长期连续负荷而不改变性能的允许功率。额定功率的大小也称为瓦 (W) 数的大小，如 $\frac{1}{8}\text{W}$ 、 $\frac{1}{4}\text{W}$ 、 $\frac{1}{2}\text{W}$ 、 1W 、 2W 、 3W 、 5W 、 10W 、 20W ，一般用数字印在电阻器的表面上。如果无此标示，可由电阻器的体积大致判断其额定功率的大小。如 $\frac{1}{8}\text{W}$ 电阻器的外形尺寸长为 8mm 、直径为 2.5mm ； $\frac{1}{4}\text{W}$ 电阻器的外形尺寸长为 12mm 、直径为 2.5mm 。

电位器额定功率的意义与电阻器相同。

1.1.4 电阻器的识别方法

电阻器的主要参数（标称阻值和允许误差）可标在电阻器上，以供识别。

1. 国内电阻器的标志法

在选用和正确识别电阻器的型号与规格时，一般可以从电阻器的表面数值直接读出它的

阻值和精度，有时也可以从电阻器上印制的不同色环来判断它的阻值与精度。固定电阻器的常用标志方法有以下三种。

(1) 直接标志法。直接标志法是指将电阻器的主要参数和技术性能指标直接印制在电阻器表面上。它适用于体积较大（大功率）的电阻。使用时，可从电阻器表面直接读出它的电阻值及允许误差，如图 1.2 所示。

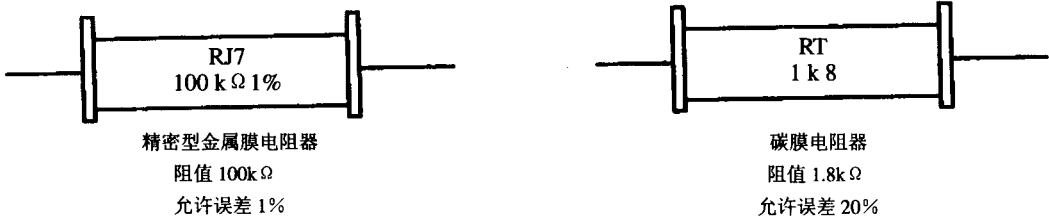


图 1.2 直接标志示意图

(2) 文字符号法。文字符号法是用字母和数字符号有规律的组合来表示标称电阻值。其规律是：符号位（K、M、G）表示电阻值的数量级别，如标识为 5K7 中的 K 表示电阻值的单位为 kΩ（千欧），符号前面的数字表示电阻值整数部分的大小，符号位后面的数字表示小数点后面的数值，即该电阻的阻值为 5.7kΩ。

文字符号标志法一般在大功率电阻器上应用较多，具有识读方便、直观的特点，但对字母和数字含义不了解的人员，在识读时会有一定困难，因此此法不常采用。

(3) 色码带标志法。色码带标志法在家用电器和音像设备中的电阻器上应用极为广泛。部分进口电阻器及常使用的碳膜电阻器均采用这种标志方法。

用色码带标志的电阻器上有 3 个或 3 个以上的色码带（也称色环）。最靠近电阻器一端的第一条色码带的颜色表示第一位数字；第二条色码带的颜色表示第二位数字；第三条色码带的颜色表示乘数；第四条色码带的颜色表示允许误差。如果有五条色码带，其中第一、第二、第三条色码带表示第一、第二、第三位数，第四条表示乘数，第五条表示允许误差，如图 1.3 所示。

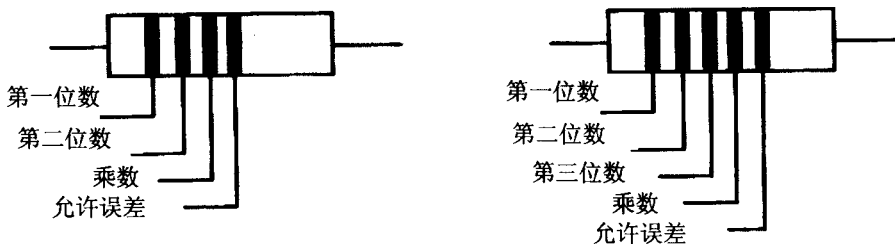


图 1.3 色码带标志示意图

在识读时，一定要看清最靠近电阻器一端的第一条色码带，否则会引起误读。四条色码带的电阻器色标符号规定见表 1-5。

表 1-5 电阻器色标符号规定

颜色	第一色码环	第二色码环	第三色码环 (倍乘)	第四色码环 (允许偏差)
黑	0	0	$\times 10^0$	—
棕	1	1	$\times 10^1$	—
红	2	2	$\times 10^2$	—
橙	3	3	$\times 10^3$	—
黄	4	4	$\times 10^4$	—
绿	5	5	$\times 10^5$	—
蓝	6	6	$\times 10^6$	—
紫	7	7	$\times 10^7$	—
灰	8	8	$\times 10^8$	—
白	9	9	$\times 10^9$	—
金	—	—	$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
银	—	—	$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
本色	—	—	—	$\pm 20\%$

例 1 某一电阻器最靠近某一端的色码带按顺序排列分别为红、紫、橙、金色。查阅表 1-5 可知该电阻器的阻值为 $27k\Omega$ (千欧), 允许误差为 $\pm 5\%$ 。

例 2 某一电阻器最靠近某一端的色码带按顺序排列分别为棕、黑、红、银色。查阅表 1-5 可知该电阻器的阻值为 $1k\Omega$ (千欧), 允许误差为 $\pm 10\%$ 。

2. 进口电阻器的标志法

进口电阻器的标志方法与国产电阻器的标志方法大致相同, 也采用直标法和色码带标志两种方法。其中, 色码带标志法与国产电阻器相同, 可查阅表 1-5。而直接标志法依据电阻器的型号、规格的不同共分六项内容, 每项都是采用字母或数字按一定顺序的组合来表示特定的含义。如第一项由 2 个字母组成, 表示电阻器的种类; 第二项用数字表示外型结构; 第三项用 1~2 个字母表示特性; 第四项用数字和字母组成, 表示功率。如表 1-6 所示。第五项为标称阻值, 第六项表示阻值的允许误差, 所用字母及含义与国产电阻器相同。

3. 电位器的标志法

电位器一般采用直标法, 把材料性能、额定功率和标称阻值直接印制在电位器的外壳上, 也有用冲压方法直接冲压的。标志内容分四个部分: 第一部分为主称, 用字母 W 表示; 第二部分为导体材料, 用字母表示; 第三部分为性能形状, 用字母表示; 第四部分为序号, 用数字表示。其后用数字及单位直接标明电位器的额定功率和标称阻值及电位器阻值变化特性。电位器各部分字母的意义如表 1-7 所示。

例如, “WH137, $4.7k\Omega$ ” 表示合成膜电位器, 阻值为 $4.7k\Omega$ 。“WS $\times 1-150\Omega X$ ” 表示小型实心电位器, 阻值为 150Ω 。进口电位器的标志也采用直标法。常用电阻、电位器的图形表示符号如图 1.4 所示。

表 1-6 进口电阻器标志法中代号的意义

位置	代号	意义
第一项	RD	碳膜电阻
	RC	碳质电阻
	RS	金属氧化膜电阻
	RW	线绕电阻
	RK	金属化电阻
	RB	精密线绕电阻
	RN	金属膜电阻
第二项	05	圆柱型, 非金属套, 引线方向相反, 与轴平行
	03	圆柱型, 无包装, 引线方向相反, 与轴平行
	13	圆柱型, 无包装, 引线方向相反, 与轴垂直
	14	圆柱型, 非金属外装, 引线方向相反, 与轴平行
	16	圆柱型, 非金属外装, 引线方向相反, 与轴垂直
	21	圆柱型, 非金属套, 接线片引出, 方向相反, 与轴平行
	23	圆柱型, 非金属套, 接线片引出, 方向相同, 与轴垂直
	24	圆柱型, 无包装, 接线片引出, 方向相同, 与轴垂直
26	圆柱型, 无金属外装, 接线片引出, 方向相同, 与轴垂直	
第三项	Y	一般型 (适用 RD、RS、RK)
	GF	一般型 (适用 RC)
	J	一般型 (适用 RW)
	S	绝缘型
	H	高频率型
	P	耐脉冲型
	NL	防温型 低噪音型
第四项	2B	$\frac{1}{3}W$
	2E	$\frac{1}{4}W$
	2H	$\frac{1}{2}W$
	3A	1W
	3D	2W

表 1-7 电位器各部分字母的含义

第一部分 (主称)		第二部分 (导体材料)		第三部分 (性能形状)		第四部分 (序号)
字母	意义	字母	意义	字母	意义	
W	电位器	T	碳 膜	G	高功率	数字
		J	金属膜	R	耐 热	
		H	合成膜	W	微 调	
		Y	氧化膜	J	精 密	
		S	实 心	X	小 型	
		X	线 绕			
		D	导电塑料			

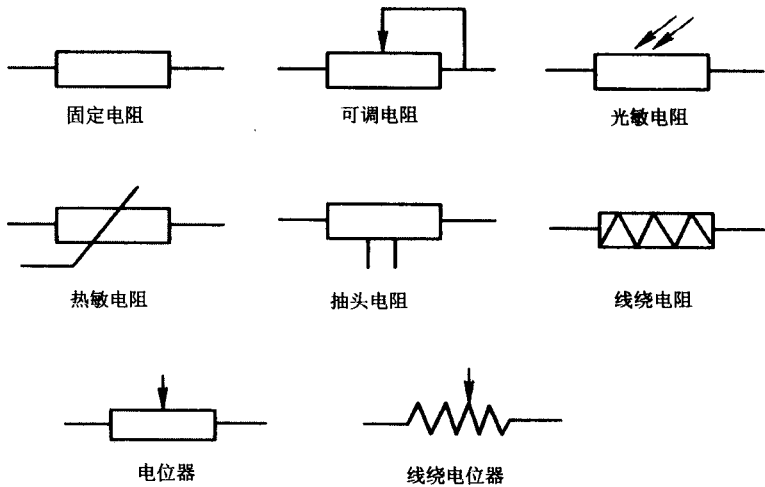


图 1.4 电阻器、电位器的图形表示符号

1.1.5 电阻器的测量与代换

1. 电阻器的静态测量

用万用表（指针式或数字式）测量电阻器是测量阻值和判别其质量好坏的最简易方法。即使电阻器表面的阻值模糊不清，也可以用万用表进行测量，其测量方法如下：

(1) 检查电池。测量前，应先观察万用表电池的电压是否符合要求。以 MF-500 型万用表为例，将档位旋钮置于电阻档，再将倍率档旋钮置于 $R \times 1$ 档，然后把两表棒金属部分短接，观察指针是否能到零位。如调整电阻档调零旋钮后，指针仍不到零位，则说明电压已不足，需更换电池，如图 1.5 所示。

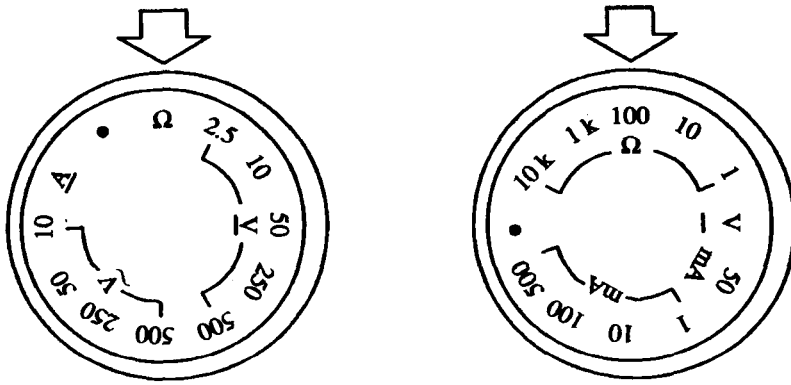


图 1.5 MF-500 型万用表档位选择示意图

(2) 检查表针。检查在万用表两表棒未短接时，指针是否在零位（万用表左边的零位置）。如不在零位，可旋转机械调零旋钮，将指针调至零位，这种方法一般称为机械调零，其具体操作如图 1.6 所示。

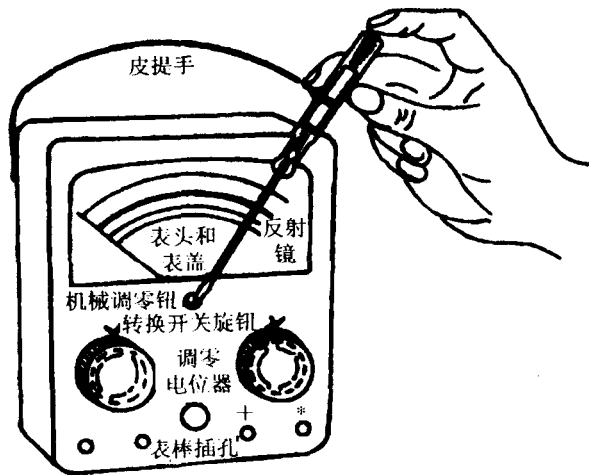


图 1.6 万用表机械调零示意图

(3) 选择倍率档。测量某一电阻器的阻值时，先把转换开关旋钮旋到电阻档（即标有符号“Ω”处），然后再依据电阻器的阻值正确选择倍率档，如图 1.7 所示。读数时，当万用表指针指在标度尺的中心部分附近时读数才较准确。如某一电阻器的阻值为 900Ω ，则正确的倍率档为 $R \times 100$ 。电阻器的阻值是万用表上刻度数值与倍率的乘积，如测得某一电阻器在万用表上刻度数值为 9.8 而倍率档所指读数为 100，则该电阻器的阻值为 980Ω 。若用数字式万用表，可直接读出电阻值。

(4) 电阻档调零。在测量电阻之前还必须进行电阻档调零。方法是：把万用表两表棒短接，看指针是否在表盘右边的零位。如有偏差，可用手转动电阻档调零旋钮，将指针调到零位。否则，测得的读数将不准确。要注意，在测量电阻时，每换一次倍率档后，都必须重新