

电工电子实验系列教材

电工学实验教程

DIANGONGXUE SHIYAN JIAOCHENG 李兆宁 韩 征◎主编

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

电工学实验教程

主编 李兆宁 韩 征
编委 于广新 孟凡宇 吴恩铭
马红岩

内 容 简 介

本书主要讲解电工学基础实验、综合设计性实验及仿真实验。共分四章,第一章为电工学实验基础知识;第二章为常用电工电子测量仪器、仪表;第三章为电工学实验;第四章为 Multisim 12 仿真实验。

全书内容由浅入深,以循序渐进的方式展开,实用性较强,可作为普通高等院校非电类专业实验教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工学实验教程 / 李兆宁, 韩征主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 2015. 10

ISBN 978 - 7 - 5661 - 1152 - 4

I. 电… II. ①李… ②韩… III. 电工实验 - 高等学校 - 教材 IV. TM - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 258697 号

选题策划 张植朴

责任编辑 张玮琪

封面设计 语墨弘源

出版发行 哈尔滨工程大学出版社

地 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号

邮政编码 150001

发行电话 0451 - 82519328

传 真 0451 - 82519699

经 销 新华书店

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787mm × 960mm 1/16

印 张 12

字 数 263 千字

版 次 2015 年 11 月第 1 版

印 次 2015 年 11 月第 1 次印刷

定 价 26.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

电工学课程是本专科非电类专业开设的一门实践性很强的技术基础课,而电工学实验课程的教学是整个教学过程中的重要组成部分。

本书基于理论与实践并重的思想,在内容的安排上注重对学生基本实践技能的训练。旨在通过实验,使学生掌握连接电路、电工测量、故障排除等实验技巧,掌握常用电工仪器仪表的基本原理、使用方法及数据的处理和各种故障现象的观察、分析方法;培养学生用基本理论分析问题、解决问题的能力和严肃认真的科学态度、踏实细致的实验作风;开发学生的创新与动手能力。

本书是根据电工学实验教学大纲的要求,结合中国民航大学基础实验中心的电工学实验设备编写而成。本书除含有基础验证性实验外,大部分实验的安排由浅入深、由易到难,从验证性的实验逐渐到综合性、设计性的实验,要求学生尽可能多而重复地应用万用表、直流电源、信号发生器和示波器,使之在后续的课程实验乃至未来的工程实践中能够得心应手地应用这些仪器仪表。

随着电子技术的高速发展和计算机技术的普遍应用,计算机辅助设计和电子虚拟仿真软件已经成为电工电子技术教学环节中不可或缺的一种先进的工具和手段,本书在最后一章介绍了已被广泛应用于国内外其他高校的电子电路仿真软件 Multisim。

本书内容共分为四章,第一章介绍电工学实验的基础知识,第二章介绍常用电工电子测量仪器、仪表的使用方法,第三章介绍电工学实验和综合设计性实验,第四章介绍 Multisim 12 软件的使用方法和基于该软件的电工学实验仿真方法。

本书由中国民航大学基础实验中心李兆宁、韩征担任主编,其中强电实验由于广新编写;仿真部分由韩征编写;孟凡宇、吴恩铭、马红岩等参与编写。前三章由尤晓明审稿;仿真部分由常美华审稿。

在本书的编写过程中,参考了相关院校的部分实验内容,在此表示感谢;同时得到了中国民航大学基础实验中心领导和同仁的支持,在此表示感谢。由于编者水平有限,书中难免存在错漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 8 月

目 录

第一章 电工学实验基础知识	1
1.1 电工学实验须知	1
1.2 测量误差及测量结果的处理	3
1.3 常见故障分析与检查	5
1.4 常用电子元器件的识别与简单测试	6
第二章 常用电工电子测量仪器、仪表	31
2.1 VC9805A ⁺ 型万用表	31
2.2 TPE-SWDII 型直流稳压电源	35
2.3 函数信号发生器	37
2.4 交流毫伏表	44
2.5 示波器	48
第三章 电工实验	60
3.1(实验1) 直流电路中电位的测量	60
3.2(实验2) 叠加定理	62
3.3(实验3) 戴维南定理	64
3.4(实验4) 一阶过渡过程	69
3.5(实验5) 正弦交流电路中的电阻、电容、电感	75
3.6(实验6) 串联谐振电路研究	78
3.7(实验7) 日光灯功率因数的提高	83
3.8(实验8) 三相电路负载实验	87
3.9(实验9) 三相异步电动机的正反转控制实验	91
3.10(实验10) 单级放大电路	94
3.11(实验11) 集成运算放大器及应用(1)	100
3.12(实验12) 集成运算放大器及应用(2)	109
3.13(实验13) 整流、滤波及稳压电路	111
3.14(实验14) 集成稳压电路	116
3.15(实验15) 门电路逻辑功能电路测试	124
3.16(实验16) 组合逻辑电路	127
3.17(实验17) 集成计数器	132

3.18(实验18) 电阻温度计	135
3.19(实验19) 延时开关的设计	136
第四章 Multisim 12 仿真实验	138
4.1 Multisim 12 简介	138
4.2 Multisim 12 仿真实验	154
参考文献	185

第一章 电工学实验基础知识

1.1 电工学实验须知

1.1.1 实验课目的和要求

电工学课程是本专科非电类专业开设的一门实践性很强的技术基础课,电工学实验是与之相配套的实验课程,是整个教学过程的重要组成部分。实验目的不仅是要帮助学生巩固和加深理解电工学课程的基本理论知识,更重要的是训练学生的基本实验技能,使学生学会独立进行实验,培养其用基本理论知识分析和解决实际问题的能力,树立严肃认真的科学态度和踏实细致的实验作风。

- (1)能正确选择和使用常用的电工仪表、电子仪器;
- (2)能独立按照实验电路图正确接线和查线;
- (3)初步掌握常用电子元器件使用的基本知识;
- (4)能准确读取实验数据,观察实验现象,测绘波形和曲线;
- (5)学会查找和排除简单的故障;
- (6)能整理分析实验数据,独立写出内容完整、条理清楚、整洁的实验报告;
- (7)掌握一般的安全用电常识,遵守操作规程。

1.1.2 实验课的具体要求

1. 课前预习

每次实验前,应充分做好预习准备,复习并掌握与实验相关的理论知识,认真阅读实验教程,明确实验目的,了解实验仪器和设备的使用方法,熟悉实验电路和内容,知道实验的操作程序以及注意事项。每次实验之前要写出预习报告。

- (1)班级和姓名;
- (2)实验名称;
- (3)实验目的;
- (4)实验设备;
- (5)实验原理;

- (6) 实验步骤;
- (7) 实验电路图;
- (8) 数据表格。

2. 实验进行(操作)

- (1) 进入实验室后要自觉遵守实验室的规则。
- (2) 按照实验教程清点仪器设备,并熟悉其性能和使用方法,按照实验内容合理布置实验现场,既要整齐易于接线,又要便于观察操作和读取数据。
- (3) 按照实验方案连接实验电路,根据电路的结构特点,采取合理的接线步骤,一般按照“先串联后并联、先接主电路后接辅助电路”的顺序进行。
- (4) 接线完毕后,要认真复查,并养成自查的良好习惯,特别是强电实验,须经教师检查同意,方可接通电源进行实验。
- (5) 认真记录实验数据、实验波形,并分析是否正确。如果实验过程中发生故障,要记录排除故障的方法。
- (6) 实验完毕,记录的实验数据及波形应交教师审阅,经教师同意后才能拆除线路,并做好仪器设备和导线的整理以及周围环境的清洁工作,方可离开实验室。
- (7) 实验过程中如果发生故障,应立即切断电源,保护现场,并报告教师。

3. 课后总结

实验报告是实验工作的全面总结,是教师考核学生实验成绩的主要依据。做完实验后,应及时地撰写实验报告,要求语言通顺、分析合理、书写整洁,实验报告在预习报告后面写出具体内容。

- (1) 认真整理和处理实验原始数据,用坐标纸描绘曲线和波形。
- (2) 记录实验中发现的问题、现象及故障分析,说明排除故障的方法。
- (3) 分析实验结果,完成实验教程中的思考题。
- (4) 实验收获和心得体会,以及对改进实验的建议。

1. 1. 3 实验室安全用电及注意事项

人体电阻通常为 $1 \sim 100 \text{ k}\Omega$,在出汗或潮湿环境中会降到几百欧。大量实验证明,人体接触 36 V 以下的电压时,流过人体的电流不超过 50 mA (超过 100 mA 的电流流过心脏或中枢神经系统时,会在短时间内使人的心脏停止跳动)。因此规定在一般工作环境中,安全电压为 36 V ;在空气潮湿、地面导电的环境中,安全电压为 24 V ;在空气潮湿、有导电粉尘的环境中,安全电压为 12 V ;在恶劣环境中的安全电压为 6 V 。

为了做好实验,确保人身和设备的安全,在实验中一定不要麻痹大意,必须严格遵守安全操作规程。

(1)严格遵守“先接线后通电,先断电后拆线”的操作顺序,即无论是接线、改线,还是拆线都必须在切断电源的情况下进行。

(2)不准擅自接通电源。接线完毕后,要认真复查;接通电源后,应先通知同组同学。

(3)在通电情况下,不允许人体触及不绝缘的金属导线或连接点等裸露的带电部位。

(4)实验中随时注意有无异常现象,如电路中电流过大、设备过热、有异味等,应立即切断电源,报告教师检查。

(5)实验室内的仪器设备不能任意搬动调换,非本次实验所用的仪器设备不能动用。

总之,实验中应认真细致,反应灵敏,要保持实验室和谐宁静的气氛。

1.2 测量误差及测量结果的处理

1.2.1 测量误差

测量就是用实验的方法将被测量与标准量进行比较的过程。在测量过程中,由于测量仪表的准确度、测量方法不当或测量条件发生变化以及实验者本身等各种因素,都会使测量结果偏离被测量的真值,这种差异称为误差。测量误差按其性质和特点可分为系统误差、随机误差和疏忽误差三类。

(1) 系统误差

在一定的条件下,即在测量条件不变或多次测量同一个量时,误差的绝对值和符号保持不变;或在条件变化时,按一定规律变化的误差称为系统误差。在实验过程中,仪器仪表制造、安装或使用方法不正确,测量方法不完善,依据的理论不充分或操作技能等因素均可引起系统误差。针对上述产生的原因,可以通过分析研究,采取一定措施来减小和消除系统误差。

(2) 随机误差

在相同的条件下,多次重复测量同一个量时,在尽量消除一切明显的系统误差后,每次测量结果仍会出现大小、符号都不确定的误差,称为随机误差。测量中的随机误差通常是由对测量值影响较微小的、相互独立的多种因素,如温度、湿度、磁场的

综合影响造成的。对于随机误差,可采用多次测量取其算术平均值的方法来消除。

(3) 疏忽误差

在一定的测量条件下,测量结果明显的偏离真值,这种测量值中所含的误差就是疏忽误差。产生疏忽误差的原因主要是由于实验者的疏忽、测量条件突然发生变化、测量方法不当等造成的。为了避免疏忽误差,在测量过程中应做到认真仔细、避免不当测量。

1.2.2 误差的表示方法

(1) 绝对误差

测量的仪表值 A_x 与被测量真实值(简称真值) A_0 之差称为绝对误差 Δ , 即 $\Delta = A_x - A_0$ 。绝对误差有大小、符号和单位。

(2) 相对误差

绝对误差 Δ 与被测量真值 A_0 之比的百分数,称为相对误差 γ , 即 $\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$ 。

相对误差只有大小、符号,而无单位。

(3) 引用误差

绝对误差 Δ 与仪表量程上限(简称量程) A_m 之比的百分数,称为引用误差 γ_n , 即 $\gamma_n = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$ 。

举例说明,用电压表测量某两点之间的电压,测得结果为 4.8 V, 而真值为 5 V, 量程上限为 20 V, 那么

绝对误差

$$\Delta = A_x - A_0 = 4.8 - 5 = -0.2 \text{ V}$$

相对误差

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% = \frac{-0.2}{5} \times 100\% = -4\%$$

引用误差

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% = \frac{-0.2}{20} \times 100\% = -1\%$$

1.2.3 测量结果的处理和分析

测量结果的处理就是对测量数据进行整理、计算、分析,从而去粗取精,去伪存真,最终的测量结果通常用数字或曲线图形表示。

(1) 实验中有较大误差的数据应剔除

在多个测试数据中,常常有一些数据明显地不符合实际结果,产生这种结果一般有两个方面的原因:一是实验者和测量条件方面的原因,如由于实验中的粗心引起的

读错、记错或算错数据,使用了有故障的仪器设备等;另一方面的原因是由测量规律所决定的,在测量中总会有较大的随机误差出现。后者一般是不能避免的,测量中含有明显较大误差的数据应剔除。

(2)有效数字及舍入

通常规定测量数据所含误差的大小不得超过末位单位数字的一半。按此规律表示的测量数据,即近似值,从它左边第一个非零数字起,到右边最后一位数字为止,称为有效数字。有效数字的末位是欠准数字,而除末位外的其他各位数字是准确数字。

根据所需的有效数字的位数,对测量数据进行舍入。

①当要舍去的最高位上的数字大于或等于5时,所取有效数字的末位数上应进1;

②当要舍去的最高位上的数字小于5时,所取有效数字的末位数不变。

(3)算术平均值

一般在剔除疏忽误差,尽可能减小测量值误差的同时,用多次测量的方法取算术平均值作为测量结果即可。

1.3 常见故障分析与检查

在正常的情况下,连接好实验线路,就可以开始实验测量工作了,但是常常会出现一些各种各样的故障,必须首先排除故障,以保证实验的顺利进行。

1.3.1 常见故障

(1)测试设备故障

测试设备有可能不正常,测试棒或探头损坏。

(2)电路元器件故障

电阻、电容、电感、二极管、三极管等特性不良或损坏。

(3)接触不良故障

连接线接触不良,电位器滑动电接触不良,连线是断线。

(4)人为故障

接线错误,二极管或电解电容极性接反等。

1.3.2 几种常见的检查故障方法

(1)断电检查法

在不接通电源的情况下,用直观的方法和使用万用表电阻挡,对照实验电路图,

对每个元器件及连线逐一进行检查,有无断线、短路、接触不良、元器件的损坏,根据被检查的电阻大小找出故障点。查找故障一般应首先采取此方法,没有问题时,再接通电源检查,以免扩大故障范围。

(2) 通电检查法

在电路通电的情况下,用万用表的电压挡,对照实验电路图,测量电路中有关的各点电位,或两点之间的电压,并与正常值进行比较来判断故障。一般而言,测得的电压结果是反映电路工作状态是否正常的重要依据,电压偏离正常值较大的地方,往往是故障所在的部位。

(3) 部位替代法

用规格相同、性能良好的元器件或电路,代替被怀疑有故障而又不便测量的元器件或电路,从中发现和判断故障。

(4) 波形观察法

利用示波器观察信号通路的各测试点,根据波形的有无、正确与否来判断故障。

以上介绍的是比较常用的检修方法,在使用时要根据实际情况灵活选择,相互配合,组合使用才能找到故障点。

1.4 常用电子元器件的识别与简单测试

电子元器件是电子电路中具有独立电气性能的基本单元,特别是一些通用电子元器件,是组成各类电子线路的基础。熟悉和掌握各类元器件的性能、特点、使用范围以及检测方法,对电子线路的分析、设计、制造及排故有着十分重要的作用。本节简单介绍常用电子元器件的识别和测试方法,以便读者了解这方面的知识,用于今后设计、制作和调试电子线路时选用元器件。如需对各类元器件的性能、指标等进行深入了解,可查阅相关手册。

1.4.1 电阻器和电位器的识别与简单测试

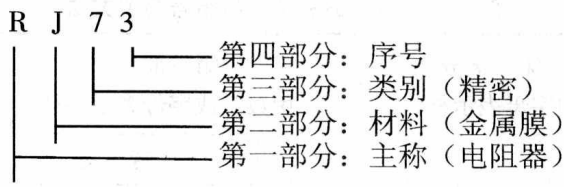
在电子线路中,电阻器是使用最多的元件。电阻器的作用是调节电路的电压、电流、分压、分流、限流、偏置和作为耗能的负载。按结构不同,电阻器分为固定式和可变式两大类,固定式电阻器一般称为电阻,可变式电阻器称为电位器。通常所说的电阻器,在没有特别说明的情况下指的是固定电阻器。

1. 电阻器和电位器的型号命名方法

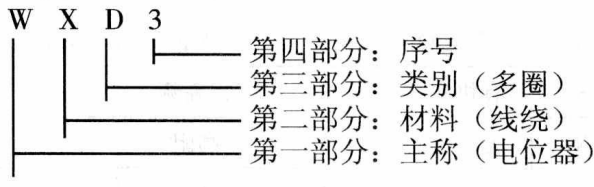
表 1-1 电阻器和电位器型号命名方法

第一部分 用字母表示主称		第二部分 用字母表示材料		第三部分 用数字或字母表示特征			第四部分 用数字表示序号
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	有机实心	3	超高频	—	
		N	无机实心	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	—	
				C	温度测量用	—	
				P	旁热式	—	
				W	稳压式	—	
				Z	正温度系数	—	

例 1-1 ①精密金属膜电阻器



②多圈线绕电位器



2. 电阻器的主要技术指标和标志方法

(1) 额定功率

电阻器在电路中长时间连续工作不损坏,或不显著改变其性能所允许消耗的最大功率称为电阻器的额定功率。电阻器的额定功率并不是电阻器在电路中工作时一定要消耗的功率,而是电阻器在电路工作中所允许消耗的最大功率。不同类型的电阻具有不同系列的额定功率,如表 1-2 所示。

表 1-2 电阻器的功率等级

名 称	额定功率/W					
实芯电阻器	0.25	0.5	1	2	5	—
线绕电阻器	0.5	1	2	6	10	15
	25	35	50	75	100	150
薄膜电阻器	0.025	0.05	0.125	0.25	0.5	1
	2	5	10	25	50	100

(2) 标称阻值(标称值)及允许误差

标志在电阻器上的电阻值称为标称值。电阻器的实际阻值对于标称值的最大偏差阻值称为电阻器的允许误差,它表示产品的精度。通用电阻器的标称值系列和允许误差等级如表 1-3 所示。

表 1-3 标称值系列及允许误差等级

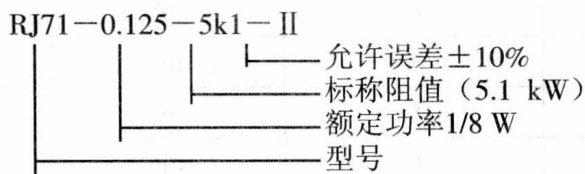
系列	允许误差	电阻标称值系列							
E24	$\pm 5\%$ (I 级)	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0
		2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3
		4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
E12	$\pm 10\%$ (II 级)	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	—	—
		3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2	—	—
E6	$\pm 20\%$ (III 级)	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8	8.2	—

注:表中数值再乘以 10^n , 其中 n 为正整数或负整数。

一般电子元件的标志反映出它们的种类、材料及主要电气参数。电阻器常用的标志方法有文字符号直标法和色标法两种。

(1) 文字符号直标法

将阿拉伯数字和文字符号有规律地组合来表示标称阻值, 额定功率、允许误差等级等。符号前面的数字表示整数阻值, 后面的数字依次表示第一位小数阻值和第二位小数阻值, 如 1R5 表示 $1.5\ \Omega$, 2K7 表示 $2.7\ \text{k}\Omega$ 。



由标号可知, 它是精密金属膜电阻器, 额定功率为 $1/8\ \text{W}$, 标称阻值为 $5.1\ \text{k}\Omega$, 允许误差为 $\pm 10\%$ 。

(2) 色标法

色标法是将电阻器的类别及主要技术参数的数值用颜色(色环或色点)标注在它的外表面上。普通电阻(色环电阻)器为四色环, 第一、二环表示有效数字, 第三环表示倍率, 第四环表示允许误差且与前三环距离较大; 精密电阻器为五色环, 第一、二、三环表示有效数字, 第四环表示倍率, 第五环表示允许误差, 也与前四环距离较大。电阻器色标示例见图 1-1, 色环代表的含义见表 1-4。

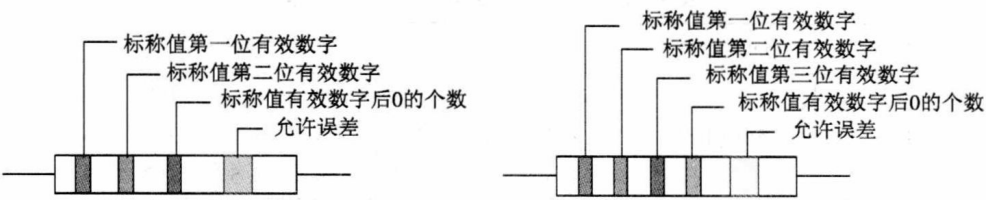


图 1-1 电阻器色标示例

表 1-4 色环颜色代表含义

颜色	所代表的有效数字	乘数	允许偏差
黑	0	10^0	—
棕	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	10^3	—
黄	4	10^4	—
绿	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	10^6	$\pm 0.2\%$
紫	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	10^8	—
白	9	10^9	—
金	—	10^{-1}	$\pm 5\%$
银	—	10^{-2}	$\pm 10\%$
无色	—	—	$\pm 20\%$

3. 电位器的主要技术指标

(1) 额定功率

电位器的两个固定端上允许耗散的最大功率为电位器的额定功率。使用中应注意额定功率不等于中心抽头与固定端的功率。

(2) 标称阻值

标在产品上的名义阻值,其系列与电阻的系列类似。

(3) 允许误差等级

实测阻值与标称阻值误差范围根据不同精度等级可允许 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、

$\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 的误差。精密电位器的精度可达 $\pm 0.1\%$ 。

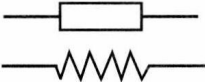
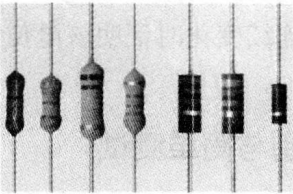
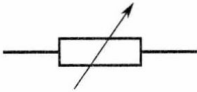
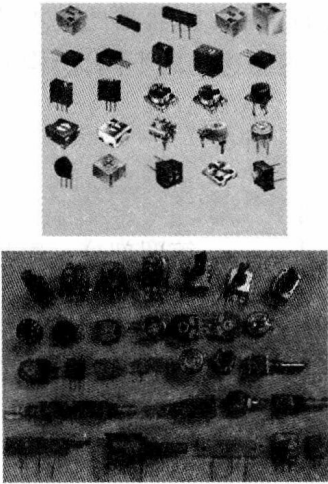
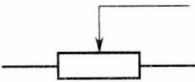
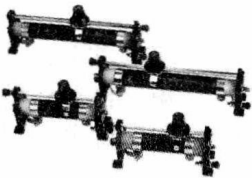
(4) 阻值变化规律

阻值变化规律指阻值随滑动片触点旋转角度(或滑动行程)之间的变化关系,这种变化关系可以是任何函数形式,常用的有直线式、对数式和反转对数式(指数式)。

在使用中,直线式电位器适合于作分压器;反转对数式(指数式)电位器适合于作收音机、录音机、电唱机、电视机中的音量控制器。维修时若找不到同类品,可用直线式代替,但不宜用对数式代替。对数式电位器只适合于作音调控制等。

4. 部分电阻器和电位器图形符号及实物图

表 1-5 部分电阻器图形符号及实物图

图形符号	符号表示	实物例图	名称与说明
	R		电阻器一般符号
	W		电位器
	W		滑动变阻器