

实用电子技术

(原书第六版)

[美] Ian Sinclair John Dunton 著 •
陶国彬 张秀艳 刘红梅 译 •

TN/93

2008

实用电子技术

(原书第六版)

[美] Ian Sinclair John Dunton 著

陶国彬 张秀艳 刘红梅 译



中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第080773号

科学出版社

元 24 定 价

北 京

图字: 01-2008-3193 号

内 容 简 介

本书全面介绍常用的电子技术知识,通过浅显易懂的阐述和具有现实意义的实践指导,介绍了进行电子系统设计和开发所必需的理论基础和应工工具。本书重点介绍大量电子元器件和电子设备部件的结构原理、关键参数和适用场合,同时也对电子元器件的发展历史、最新行业动态以及相关技术标准进行适当介绍。本书语言简练,结构严谨,图表绘制规范。

本书可供电子行业从业人员以及广大电子爱好者阅读,也可作为高校电子类相关专业师生的参考书。

Copyright © 1980, 1988, 1992, 1994, 2000, 2007, Ian Sinclair and John Dunton. Published by ELSEVIER LTD. All rights reserved

This sixth edition of **Practical Electronics Handbook** by Ian Sinclair & John Dunton is published by arrangement with ELSEVIER LTD, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB

The right of Ian Sinclair and John Dunton to be identified as the author of this work has been asserted in accordance with the Copyright, Designs and Patents Act 1988

本书中文简体版由科学出版社翻译出版,未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

图书在版编目(CIP)数据

实用电子技术/(美)Ian Sinclair, John Dunton 著;陶国彬,张秀艳,刘红梅译. —北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-022231-2

I. 实… II. ①I…②J…③陶…④张…⑤刘… III. 电子技术 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 080773 号

责任编辑:岳亚东 张启男 / 责任制作:魏 瑾

责任印制:赵德静 / 封面设计:璩 佳

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 8 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008 年 8 月第一次印刷 印张: 20 3/4

印数: 1—4 000 字数: 415 000

定 价: 45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

前 言

元件数据手册几乎就是元件技术参数的堆砌,基本上没有关于元件的应用说明。许多数据手册中,在紧凑的页面内罗列了大量信息,使用户很难找到真正想要的东西。新产品投放市场的速度不断加快,由于纸制的数据手册出版费用较高,制造商更乐于通过电子邮件或网站下载的方式来发布电子稿的数据手册。在本书中,作者对前几版的内容进行大幅度的修改,加入大量全新的内容,使之能够满足专业人士和普通电子爱好者的需要。本书将数据手册和应用说明进行了有机的结合,这是在任何制造商网站上无法找到的。

虽然本书并不是为电子技术初学者而准备的入门指南,但初学者可以从本书前几章中的简要说明中了解电子技术的基本原理。电子电路设计者和维护工程师可以从本书中找到大量值得借鉴的辅助参考资料。对于专业设计工程师而言,通常需要查阅许多书籍或资料才能找到的常用技术资料,在本书中都可以找到。

本书采用适当篇幅,简明扼要地说明了电子技术中大部分常用的理论和相关信息。另外,除简单的实用电子技术知识之外,本书还探讨了广泛应用于现代电子技术领域的各种先进技术供读者学习研究。

作 者

数学约定

大于 100 或小于 0.01 的数通常表示成标准形 $A \times 10^n$, 其中 A 为小于 10 的实数, 称为尾数, n 为整数, 称为指数。 n 为正数时, 表示该数大于 1, n 为负数时, 表示该数小于 1。 要将一实数转化为标准形, 将小数位进行移位直到小数点左端部分介于 1~10, 并记录小数点移位的次数, 该值为 n 。 如果小数点向左移位, 则 n 的符号为正, 如果小数点向右移位, 则 n 的符号为负。

例如: $1200 = 1.2 \times 10^3$; $0.0012 = 1.2 \times 10^{-3}$ 。

将标准形转化为一般实数形式时, 若 n 为正数, 则将小数点向右移位 n 次, 若 n 为负数, 则将小数点向左移位 n 次。

例如: $5.6 \times 10^{-4} = 0.00056$; $6.8 \times 10^5 = 680\,000$ 。

请注意: 在上面的例子中, 使用空格代替常用的逗号来分隔三位数字组 (移位)。 这是一种常用的工程表示方法, 在某些语言中用逗号来表示小数点, 这种方法可以有效防止发生混淆。 可以通过计算器上的 EXP 或 EE 键输入标准形的实数, 详见计算器制造商提供的使用说明。

实数的标准形常用于公式计算中, 但在标识元件值时, 通常采用表 I 中所列的前缀。 使用前缀就可以避免书写很小的小数或非常大的实数。

一种由标准形派生出来的类似的表示形式允许尾数部分使用 1~999 的整数, 如 147×10^{-4} 。 使用 0.1~1 的小数作为尾数很少被使用, 如 0.147×10^7 。

表 I 10 的幂与前缀

前 缀	缩 写	10 的幂	乘 数
吉[咖]	G		1 000 000 000
兆	M		1 000 000
千	k		1000
毫	m		1/1000
微	μ		1/1 000 000
纳[诺]	n		1/1 000 000 000
皮[可]	p		1/1 000 000 000 000

注: $1000\text{pF} = 1\text{nF}$, $1000\text{nF} = 1\mu\text{F}$, 依此类推。 在计算机中, 符号 K 表示 1024 而不是 1000, M 表示 1 048 576, 这些数值为 2 的幂数。 例: $1\text{k}\Omega = 1000\Omega$ (有时写成 1kO , 见 7.8 节), $1\text{nF} = 0.001\mu\text{F}$, $1000\text{pF} = 10^{-9}\text{F}$, $4.5\text{MHz} = 4500\text{kHz} = 4.5 \times 10^6\text{Hz}$ 。

本书中使用的全部公式都给出了各种常用形式,读者不必进行公式变换。比如,欧姆定律给出了3种常用形式: $V=IR$, $R=V/I$ 和 $I=V/R$ 。公式中所采用的单位如无特殊标注,一般使用基本单位(安[培],欧[姆],伏[特])。

例如,算式 $X=1/(2\pi fC)$ 表示电容的电抗,单位为欧[姆](Ω), C 的单位为法[拉](F), f 的单位为赫[兹](Hz)。如果公式中各物理量的单位为 μF 和 kHz,比如, $0.1\mu\text{F}$ 和 15kHz 在代入公式时,应写成 0.1×10^{-6} 和 15×10^3 。另外,如果 f 的单位为 kHz, C 的单位为 nF,算式 $X=1/(2\pi fC)$ 中的 X 的单位就变为 $\text{M}\Omega$ 。

在所有的算式中,乘法常用“点”来表示,如 $f\cdot C$ 。也可以直接写成 $2\pi fC$ 。若算式中有括号,则应首先计算括号内的部分算式;若算式中使用多重括号,则最里边括号内的算式首先计算,然后计算外边括号的算式。除括号外,计算的优先级是“先乘除,后加减”。例如:

$$2(3+5)=2\times 8=16$$

$$2+(3\times 5)=2+15=17$$

等式变换或恒等变形时必须遵循以下基本规则:在等式各端进行恒等运算时,等式本身不能发生改变。

例如,对等式 $y=(5ax+b)/c$ 进行变换,写出 x 的表达式。

求解过程中,对等式两端不断进行变换直到写出 x 的表达式,具体步骤如下:

① 等式两端同时乘以 c ,得到 $cy=5ax+b$

② 等式两端减去 b ,得到 $cy-b=5a$

③ 等式两端除以 $5a$,结果为 $\frac{cy-b}{5a}=x$

最终,等式变换的结果为 $x=\frac{cy-b}{5a}$ 。

表 10-1 常用单位换算表

单位	换算关系	单位	换算关系
1000 000 000 1		Q	[欧]
000 000 1		M	[兆]
000 000 1		k	[千]
000 000 1		m	[毫]
000 000 1		μ	[微]
000 000 1		n	[纳]
000 000 1		p	[皮]

5.3	光电二极管	67
5.4	三极管	70
5.5	负反馈	82
第 6 章	线性集成电路	93
6.1	概 述	93
6.2	运算放大器 741	94
6.3	运算放大电路的一般注意事项	97
6.4	新型运算放大器	98
6.5	其他运算放大电路	99
6.6	电流差动放大电路	100
6.7	其他集成线性放大电路	101
6.8	锁相环	103
6.9	波形发生器	104
6.10	有源开关电容滤波器	106
6.11	集成稳压器	107
6.12	可调稳压器电路	109
6.13	555 定时器	110
第 7 章	常见线性电路	112
7.1	概 述	112
7.2	分立式晶体管电路	112
7.3	音频电路	116
7.4	简单有源滤波器	117
7.5	音频输出级电路	118
7.6	D 类放大器	121
7.7	宽带电压放大电路	123
7.8	正弦波及其他波形振荡器电路	124
7.9	其他晶体振荡器	125
7.10	无稳态、单稳态和双稳态振荡器电路	127
7.11	射频电路	129
7.12	调制电路	131
7.13	光电路	133
7.14	线性电源电路	133
7.15	开关电源	135
第 8 章	传感器和转换器	138
8.1	介 绍	138

8.2	应变和压力传感器	139
8.3	方向和运动传感器	140
8.4	可见光、紫外线和红外线传感器	143
8.5	温度传感器	145
8.6	声音传感器	148
第9章	数字逻辑电路	150
9.1	介 绍	150
9.2	逻辑器件种类	153
9.3	其他逻辑器件	155
9.4	组合逻辑	156
9.5	数制基础	157
9.6	时序逻辑	157
9.7	计数器和除法器	161
第10章	可编程器件	164
10.1	存储器	164
10.2	只读存储器(ROM)	165
10.3	可编程只读存储器	166
10.4	易失性存储器	167
10.5	可编程逻辑器件	169
10.6	复杂可编程逻辑器件	170
10.7	现场可编程门阵列	171
10.8	硬件描述语言	171
10.9	其他可编程器件	172
10.10	存储器的其他应用	172
10.11	实用网站	174
第11章	微处理器和微控制器	175
11.1	介 绍	175
11.2	2 进制存储程序计算机	176
11.3	微处理器系统	179
11.4	上电复位和程序执行	181
11.5	编 程	181
11.6	ARM 处理器	182
11.7	微处理器硬件开发	183
11.8	微控制器制造商	185

第 12 章 微处理器接口	187
12.1 输出电路	187
12.2 输入电路	193
第 13 章 数据转换器	196
13.1 介 绍	196
13.2 数-模转换器	197
13.3 模-数转换器	201
13.4 模-数转换器的基准电压	208
13.5 常用网站	211
第 14 章 数字数据传输	213
14.1 介 绍	213
14.2 并行传输	214
14.3 IEEE1284 Centronics 打印机接口	214
14.4 IEEE-488 总线	217
14.5 串行传输	219
14.6 EIA/TIA232E 串行接口	219
14.7 RS-422/RS-485	224
14.8 无线连接	225
14.9 常用网站	230
第 15 章 微控制器应用	231
15.1 介 绍	231
15.2 设 置	232
15.3 时 钟	232
15.4 I/O 端口设置	235
15.5 集成外围部件	237
15.6 中 断	242
15.7 常用网站	246
第 16 章 数字信号处理	247
16.1 介 绍	247
16.2 低通和高通滤波器	247
16.3 有限长冲激响应(FIR)滤波器	250
16.4 带通滤波器和陷波滤波器(带阻滤波器)	253
16.5 无限长冲激响应(IIR)滤波器	253
16.6 其他应用	254



16.7	设计工具	254
16.8	推荐阅读文献	254
第 17 章	计算机辅助电路设计	255
17.1	介 绍	255
17.2	原理图捕捉	256
17.3	元件库	257
17.4	连接线	259
17.6	网络别名	260
17.7	虚拟接线	260
17.8	网络列表	261
17.9	打 印	264
17.10	仿 真	265
17.11	分 析	265
17.12	直流分析	266
17.13	温度扫描	267
17.14	交流分析	268
17.15	暂态分析	269
17.16	PCB 布局	273
17.17	设计规则	275
17.18	常用网站	279
第 18 章	连接器、样机和机械结构	280
18.1	硬 件	280
18.2	视频连接器	284
18.3	音频连接器	284
18.4	控制旋钮与开关	287
18.5	机箱和壳体	289
18.6	搭建电路	292
第 19 章	电路测试与故障诊断	301
19.1	介 绍	301
19.2	测试设备	301
19.3	测 试	308
19.4	推荐阅读文献	308
第 20 章	附 录	309
20.1	标准量度导线规格表	309



X

第1章

电 阻

1.1 无源元件

无源元件工作时不需要外加电源,但其本身消耗能量,虽然有些情况下,耗能很小可以忽略。无源元件输出的能量永远小于输入的能量。与之相反,有源器件工作时需要外接电源(一般为直流电源)有源器件输出信号能量可以大于输入信号能量。典型的无源元件有电阻、电容器和电感器。典型的有源器件有三极管和集成电路芯片。

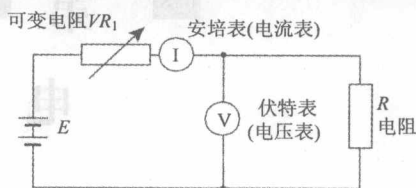
无论是有源器件还是无源元件,使用时都需要进行电路连接。现代电子电路中,最主要的机械和电气连接形式有两种:一种是传统方式,通过电极引线穿过印制电路板上的过孔进行连接(见第18章)。另一种是较为现代的表面安装器件(SMD)方式,可以直接焊接在印制电路板的铜迹上。无源元件和有源器件都可以使用上述连接和安装形式。

SMD使用表面接头来代替引线,由于接头很短,极大地降低了引线电感。这些接头直接焊接在电路板的焊盘上,所以经常可以看到在印制电路板的元件面和背面同时布线。绝大多数的SMD印制电路板是双面的,所以在其两面可以同时布线和放置元件。多层板也是十分常见的,特别是在移动电话(4~6层)和计算机主板中。

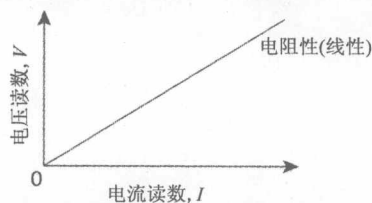
SMD技术的应用使得制造商生产的元器件尺寸更小,散热更容易,连接的机械强度更高,连接电阻的自感效应更低。某些元器件的尺寸非常小,以至于无法在元器件上标记型号和元器件值。这对于自动装配机来说不存在任何问题,只需将元器件卷(或元器件带)插入到装配机的正确位置,但当手工更换元器件时,则需要相当大的耐心,在焊接前这些元器件应该始终保存在包装袋中。SMD的机器装配伴随着自动焊接过程,在这个过程中,通常使用焊锡膏来固定元器件位置,通过在印制电路板上吹热氮加热来焊接。SMD一般采用带状或卷状包装。

1.2 电阻

导电物质的电阻的测量单位为欧[姆](Ω),定义为物质两端的电压(单位为伏[特])与流过物质的电流(单位为安[培])的比值。安[培]通常用英文字母 A 表示。在物质(电阻)电压和电流曲线中,电阻值等于曲线的斜率。对于金属物质而言,常温下,电压电流关系曲线为直线,这说明该物质呈电阻性,符合欧姆定律(图 1.1)。

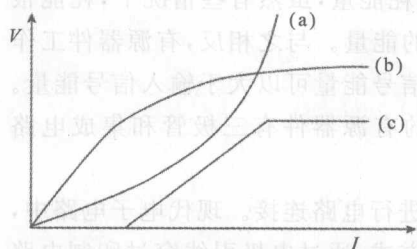


(a) 用于检验电阻元件特性的电路



(b) 电路中线性电阻的电流电压曲线

图 1.1



(a) 电灯泡; (b) 负温度系数热敏电阻; (c) 二极管

图 1.2 三种元件非线性曲线
色环或印值方式标识。

非电阻性(非线性)元件的伏安特性为曲线或不通过原点,非线性一般是由温度变化(比如灯泡和热敏电阻)、电压效应(比如热电偶和电池)、电压对电导率的影响(比如二极管)产生,典型的非线性元件的伏安特性曲线参见图 1.2。

具有电阻性的物质的电阻值为常数(随温度变化很小),可以用来制作电阻元件。根据 BS1852:1970 规范(见后面内容),电阻值使用

1.3 电阻率

导电物质的电阻由物质的外形尺寸和电阻率决定,由绕线框上拉出的导线(直径均匀)的电阻还与其长度有关。比如,3m 长导线电阻是 1m 长导线电阻的 3 倍。相同材料等长度导线,直径不同则电阻有差异,电阻与导线直径平方的乘积保持不变。比如,给定长度的导线电阻值为 12Ω ,直径为 0.3mm,相同材料相同长度直径为 0.4mm 导线的电阻为

$$R \times 0.4^2 = 12 \times 0.3^2$$

$$R = \frac{12 \times 0.3^2}{0.4^2} = \frac{12 \times 0.09}{0.16} = 6.75(\Omega)$$

电阻率用于衡量物质本身对电阻值的影响(与物质物理尺寸无关)。物质的电阻率等于导电物质电阻值乘以其横截面积(假设面积均匀),再除以导电材料长度。

电阻率的公式如下：

$$\rho = \frac{RA}{L}$$

其中, ρ 为电阻率; R 为电阻值; A 为横截面积; L 为长度。当 R 的单位为 Ω ; A 的单位为 m^2 ; L 的单位为 m ; 则 ρ (希腊字母为 rhp) 的单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ (不是 Ω/m)。因为多数导线的横截面积为圆形, 所以 A 可表示为 πr^2 或 $\frac{1}{4}(\pi d^2)$, 其中 d 为导线直径。

1.3.1 电阻率计算

因为常用导电材料的电阻率可通过查表得知, 在求取已知长度和直径导线的电阻值时, 常用下面公式形式:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

其中, ρ 的单位为 $\Omega \cdot \text{m}$; L 的单位为 m 。 A 的单位为 m^2 。上式也可写成:

$$R = 1.27 \times 10^{-3} \frac{\rho L}{d^2}$$

其中, ρ 的单位为 $\text{n}\Omega \cdot \text{m}$; L 的单位为 m ; d (直径) 的单位为 mm 。表 1.1 给出了各种天然金属和合金的电阻率, 单位为 $\Omega \cdot \text{nm}$ 。在某些应用中, 使用电导率来取代电阻率。电导率的符号为 σ (希腊字母 sigma), 定义为电阻率的倒数, 即 $\rho = \frac{1}{\sigma}$ 。电导率的单位为 s/m 。可以由电阻率的公式 (使用基本单位制) 推导得到电导率的公式:

$$R = \frac{L}{\sigma A} \text{ 或 } L = RA\sigma$$

各种导电材料的电导率参见表 1.1。

表 1.1 0℃ 时导电材料的电阻率和电导率值

纯金属			合 金		
金 属	电阻率	电导率	金 属	电阻率	电导率
铝	27.7	37	碳钢(均值)	180	5.6
铜	17	58	黄铜	60	16.7
金	23	43	康铜(铜镍合金)	450	2.2
铁	105	9.5	镍铁合金	100	10
镍	78	12.8	铜镍锰合金	430	2.3
铂	106	9.4	镍铬合金	1105	0.9
银	16	62.5	银镍合金	272	3.7
锡	115	8.7	铜镍合金	473	2.1
钨	55	18.2	科瓦铁镍钴合金	483	2.0
锌	62	16	磷青铜	93	10.7
			18/8 不锈钢	897.6	1.11

注: 电阻率的单位为 $\text{n}\Omega \cdot \text{m}$, 电导率的单位为 $\text{MS} \cdot \text{m}$ 。

利用上述公式计算电阻值,参见下例。

【例 1.1】 计算直径为 0.6mm,长度为 6.5m,电阻率为 $430\text{n}\Omega \cdot \text{m}$ 导线的电阻。

利用公式 $R = \frac{\rho L}{A}$ 。其中, $\rho = 4.30 \times 10^{-9}$, $L = 6.5\text{m}$, $A = \frac{1}{4}(\pi d^2) = \frac{1}{4}\pi(0.6 \times 10^{-3})^2$ (记住 $1\text{mm} = 10^{-3}\text{m}$), $A = 2.83 \times 10^{-7}\text{m}^2$, 所以

$$R = \frac{430 \times 10^{-9} \times 6.5}{2.83 \times 10^{-7}} = 9.85(\Omega) \approx 10(\Omega)$$

由第二个公式可得

$$R = 1.27 \times 10^{-3} \frac{\rho L}{d^2} = \frac{1.27 \times 10^{-3} \times 4.30 \times 6.5}{0.36} = 9.88(\Omega) \approx 10(\Omega)$$

【例 1.2】 计算给定阻值导线的长度,进行公式变换得

$$L = \frac{RA}{\rho}$$

其中, R 的单位为 Ω ; A 的单位为 m^2 ; ρ 的单位为 $\Omega \cdot \text{m}$; L 的单位为 m 。

公式的另一种形式为

$$L = 785.4 \times \frac{Rd^2}{\rho}$$

其中, R 的单位为 Ω ; d 的单位为 mm ; ρ 的单位为 $\text{n}\Omega \cdot \text{m}$ 。

【例 1.3】 计算给定长度 L 和阻值 R 的导线的直径,要求 L 的单位为 m , ρ 的单位为 $\text{n}\Omega \cdot \text{m}$, d 的单位为 mm 。

公式如下:

$$d = 3.57 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{\rho L}{R}}$$

1.3.2 电阻结构

制造电阻的常用材料为合金、金属、金属氧化物薄膜或者碳(固体或薄膜结构),绕线电阻由金属导线在陶瓷支架上绕制而成。为降低元件的自感值,必须按图 1.3 所示方法绕制,一半绕线正向缠绕,而另一半反向缠绕。

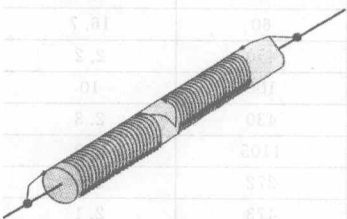


图 1.3 绕线电阻的无感线圈
(构成电阻导线的两部分按相反方向绕制,使磁场相互抵消)

绕线电阻多用于阻值要求很低且阻值精确度要求较高的场合中(比如电表分流电阻)。20k Ω 以上阻值的绕线电阻使用的绕线很细,不可避免地会因为腐蚀而使阻值发生变化,尤其是在高温高湿的条件下。因此除非具有较好的防护措施,否则在海洋和热带区域很少使用高阻值的绕线电阻。

碳质电阻曾经一度是电子线路中应用的主要电阻类型,但现在很少应用了。它由石墨和黏土混合而成,其电阻率取决于混合物中石墨的比例。在不改变元件

物理尺寸的前提下,可以通过调整混合物中相应成分的比例来改变电阻率,从而改变电阻阻值。但这种电阻阻值误差较高(见后面内容),这是因为通过混合比例来控制电阻率的难度较大,并且经过热处理后碳棒的最终尺寸不容易把握。除考虑成本因素外,不建议在设计中使用碳质电阻。

金属膜、碳膜和金属氧化物膜电阻是今天使用的主要电阻类型。通过将金属(在真空或惰性气体中)或金属氧化物(在氧化性气体中)蒸发到陶棒上制造而成。这种类型电阻的阻值控制方法有两种:①控制膜层的厚度;②控制膜层上切割的螺旋状痕迹的宽度。这类电阻价格比绕线电阻低得多,阻值误差比碳质电阻低得多。这类电阻的制造成本与碳质电阻基本相同。图 1.4 所示为典型固定电阻的外形。图 1.4(a)、图 1.4(b)、图 1.4(c)为碳膜电阻,图 1.4(d)绕线电阻。该图由 Alan Winstanley 提供。

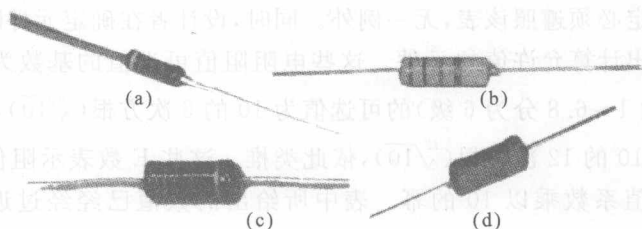


图 1.4 典型电阻

可变电阻和电位计的制造工艺与固定电阻相同,当元件的两个固定端和一个滑动连接端都连接电路时,我们称它为电位计,当元件的滑动连接端和其中一个固定端连接到电路中,我们称它为可变电阻。通常,可变电阻和电位计都是绕线式电阻,操作者可以通过顺时针旋转转轴来控制阻值的增加。调节器是一种小型的电位计,通常在设备调试时进行设定,不需要用户经常改变,图 1.5 所示为各种电位计和调节器。

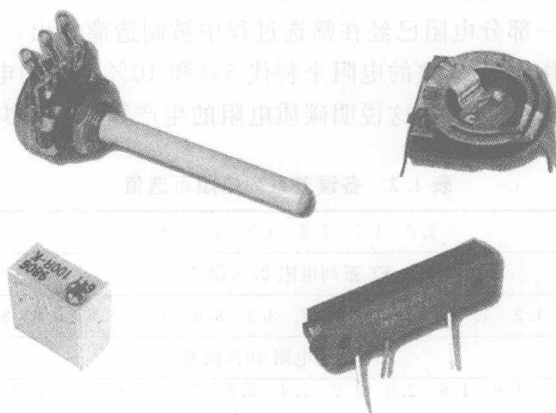


图 1.5 典型的电位计和调节器(该图由 Alan Winstanley 提供)