



普通高等教育“十三五”规划教材
电子信息科学与工程类专业 规划教材

电子元器件应用基础

◆ 王水平 周佳社 王新怀 等编著

Electronic Information
Science and Engineering



 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子信息科学与工程专业规划教材

电子元器件应用基础

王水平 周佳社 王新怀
李 丹 张 宁 王冠林 编著
任 冲 王冠林 张 宁



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从应用的角度出发,对三种最基本的电子元器件:电阻、电感和电容进行了讲述,其中主要是以它们的组成材料和生成过程来说明其电特性方面的差异,以及在实际应用中如何解决温度、压力和湿度等环境因素所带来的影响。全书共分4章。第1章电阻,讲述电阻的一般常识、种类和应用;第2章电感,以变压器为主,分别讲述了低频变压器和高频变压器的应用设计和加工工艺,以及组成变压器的磁性材料、漆包线、骨架、绝缘介质等;第3章电容,以介质为主分别讲述了不同介质电容器的特性和应用,最后还讲述了安规电容;第4章介绍R、L、C在接地、隔离、屏蔽和电磁兼容(EMC)中的应用。另外,在各章节中还分别加进去了一些相应的国家标准。

本书具有较强的实用性和可操作性,可供从事电子技术应用、设计、开发、生产、调试工作的工程技术人员阅读,也可供高等学校电力电子技术专业的师生参考。另外,还可作为《开关电源原理与应用设计》一书的辅助参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子元器件应用基础 / 王水平等编著. —北京:电子工业出版社, 2016. 7
ISBN 978-7-121-29278-1

I. ①电… II. ①王… III. ①电子元件—高等学校—教材②电子器件—高等学校—教材 IV. ①TN6
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 152081 号

策划编辑:陈晓莉

责任编辑:陈晓莉

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:19.25 字数:518 千字

版 次:2016 年 7 月第 1 版

印 次:2016 年 7 月第 1 次印刷

定 价:45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888,(010)88258888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254540,chenxl@phei.com.cn。

前 言

一个小战斗的凯旋,一场大战役的胜利,靠的是什么,靠的是精兵良将。而在当今电子信息化时代,小到一个收音机,大到一套城市的交通、安防、定位、照明等信息化指挥和管理中心中的精兵良将或者马前卒却是电阻(R)、电感(L)和电容(C)。

由于本书的读者对象为电子工程技术人员,电子材料、仪器仪表、家电维修人员,大专院校、职校师生等,因此作者在编写的过程中力图做到章节的划分更趋合理,组成这些元器件材料、介质、封装形式的叙述更加简洁明了,变压器的设计计算更加详细准确,在不同应用领域中典型应用电路的举例更具有先进性、实用性、通用性和广泛性。作者在查阅了大量电子元器件方面的论文、资料和书籍的基础上,特别是生产厂家的产品手册和相关国家标准,集多年来从事电子元器件教学、科研、设计和开发的经验,紧紧围绕电子元器件使用者所希望的实用、通用、明了、简洁和多快好省的要求来编写了本书。

近几年来,随着微电子学和技术工艺、光刻技术、磁性材料学以及陶瓷烧结加工工艺与其他边沿技术科学的不断改进和飞速发展,R、L、C电子元器件从性能和封装形式上都有了突破性的进展,并且由此也产生出了许多能够提高人们生活水平和改善人们工作条件的新产品,如电动自行车、无级变速汽车、变频空调、逆变焊机、快速充电器、电力机车、电力冶炼设备、掌上计算机、触摸屏手机,等等。R、L、C电子元器件以其独有的性能稳定、体积小、重量轻、封装形式多样化、品种类型齐全等特点已经渗透到了与电有关的各个领域。在这些领域中,由于电阻式(如热敏电阻、光敏电阻、力敏电阻和磁敏电阻等)、电感式(如电流互感器和电压互感器等)和电容式(如电容式触摸屏和开关电容功率变换器(电荷泵)等)传感器的性能和封装形式比原来有了突破性的改进,才使得物联网得以实现。另外,体积越来越小的标贴式和微带式R、L、C电子元器件的出现,使许多电子产品采用电池供电成为可能,使许多电子产品小型化和微型化后变为便携式产品成为可能。因此,R、L、C电子元器件成为各种电子设备和系统高效率、低功耗、低成本、小型化和安全可靠运行的关键,同时R、L、C电子元器件技术目前已成为各种学科中备受人们关注的热门学科。

本书共分4章。第1章电阻(R),主要讲述电阻的一般常识(其中包括命名法、阻值辨认法、封装形式等)、种类和应用,特别是不同种类电阻的优缺点,以及在应用中如何发挥其优点避免其缺点,最后还给出了各种电阻在不同用途中的典型应用实例。以同样的手法,第2章和第3章分别讲述了电感(L)和电容(C)。在对电感进行讲述中,主要以变压器为主,分别讲述了低频变压器和高压变压器,以及组成变压器的磁性材料、漆包线、骨架、绝缘介质、加工工艺等。在讲述电容中,主要以介质为主,分别讲述了不同介质电容器的特性和应用,最后还讲述了安规电容。第4章讲述R、L、C元件在接地、隔离、屏蔽和电磁兼容(EMC)中的应用,在电源单元电器中的PCB布线技术。同时在每一章中都分别加进去了一些相应的国家标准。另

外,为了使读者在阅读本书以后有所巩固、提高和加深,在每一章节的最后还加进去了一些由本节内容提炼而成的练习思考题。

本书第1章由王水平和张宁完成,第2章由刘宏伟和周佳社完成,第3章由张栋和李丹完成,第4章由王新怀、王冠林和白冲共同完成,全书由王水平和张栋统一统稿。

在本书的编写过程中,作者参阅了大量的国内外有关材料学、微电子学和电子元器件学等方面的论文、专著和资料,特别是国内一些电子元器件生产厂家的产品手册,其中在取得生产厂家的授权后还引用了部分元器件的技术参数及测试曲线图,在此对这些论文、专著、资料和产品手册的作者和编者深表谢意。此外,在本书定稿之前,中国电源学会常务理事、西安市电源学会理事长侯振义教授和中国电源学会常务理事、中国电源学会特种电源专业委员会主任委员史平均高级工程师分别对本书进行了认真详细的审读,提出了许多改进性的修改意见,使得本书更加完善,在此也表示诚挚的谢意。

由于作者的文字组织能力和专业技术水平有限,因此书中的不足之处在所难免,恳请广大读者提出宝贵的批评意见。

编著者
2016年6月

目 录

第 1 章 电阻(R)	1
1.1 电阻的阻抗特性	1
1.1.1 电阻的低频阻抗特性	1
1.1.2 电阻的高频阻抗特性	1
1.1.3 电阻的串并联	1
1.1.4 习题 1	2
1.2 电阻的命名	2
1.2.1 电阻的命名	2
1.2.2 电位器的命名标准	3
1.2.3 敏感电阻的命名标准	4
1.2.4 习题 2	5
1.3 电阻的重要参数	5
1.3.1 电阻的表示	5
1.3.2 电位器的表示符号	9
1.3.3 敏感电阻的表示符号	9
1.3.4 习题 3	11
1.4 电阻的分类	11
1.4.1 固定电阻的分类	11
1.4.2 电位器(可变电阻)分类	17
1.4.3 敏感电阻分类	22
1.4.4 习题 4	29
1.5 电阻的作用	29
1.5.1 电阻的作用	29
1.5.2 电位器(可变电阻)的作用	35
1.5.3 敏感电阻的作用	36
1.5.4 习题 5	48
第 2 章 电感和变压器	49
2.1 电感	49
2.1.1 自感的基本概念	49
2.1.2 自感电感的阻抗特性	50
2.1.3 电感的分类	51
2.1.4 电感的表示符号	51
2.1.5 电感量的表示方法	52
2.1.6 电感的串并联	54
2.1.7 电抗器	55

2.1.8	电感的作用	55
2.1.9	电感的几个重要参数	74
2.1.10	磁珠	75
2.1.11	习题 6	81
2.2	共模电感和差模电感	82
2.2.1	共模电感	82
2.2.2	差模电感	86
2.2.3	共差模合成电感	91
2.2.4	习题 7	92
2.3	变压器	93
2.3.1	耦合变压器	93
2.3.2	线型变压器	99
2.3.3	脉冲变压器	107
2.3.4	中周	108
2.3.5	高频变压器	108
2.3.6	互感器	154
2.3.7	习题 8	166
第 3 章	电容(C)	167
3.1	电容的阻抗特性	167
3.1.1	电容的物理特性	167
3.1.2	电容的能量特性	171
3.1.3	电容的种类	172
3.1.4	电容的技术指标	173
3.1.5	习题 9	174
3.2	无机电容	174
3.2.1	纸介质电容	174
3.2.2	陶瓷电容	177
3.2.3	云母电容	180
3.2.4	玻璃釉电容	190
3.2.5	习题 10	190
3.3	有机电容	191
3.3.1	聚丙烯薄膜电容(CBB)	191
3.3.2	聚苯乙烯电容(CB)	224
3.3.3	聚四氟乙烯电容(CBF)	232
3.3.4	涤纶电容(CL)	233
3.3.5	聚碳酸酯薄膜电容(CS)	234
3.3.6	习题 11	236
3.4	电解电容	236
3.4.1	铝电解电容	236
3.4.2	钽电解电容	247

3.4.3	钽电解电容	250
3.4.4	习题 12	254
3.5	超级电容	255
3.5.1	超级电容的原理及结构	255
3.5.2	超级电容技术参数	256
3.5.3	国内外状况	258
3.5.4	习题 13	259
3.6	安规电容	259
3.6.1	Y 型安规电容	259
3.6.2	X 型安规电容	260
3.6.3	Y 型、X 型电容的作用	261
3.6.4	习题 14	261
3.7	电容的应用	261
3.7.1	滤波作用	261
3.7.2	耦合、退耦作用	261
3.7.3	旁路作用	263
3.7.4	谐振作用	263
3.7.5	定时作用	263
3.7.6	预加重作用	264
3.7.7	自举升压作用	264
3.7.8	补偿电容	265
3.7.9	反馈电容	265
3.7.10	缓冲电容	267
3.7.11	钳位电容	267
3.7.12	习题 15	267
第 4 章	RLC 在接地、隔离、屏蔽和 EMC 中的应用	268
4.1	RLC 在接地技术中的应用	268
4.2	RLC 在隔离与耦合技术中的应用	270
4.2.1	光电耦合技术	270
4.2.2	变压器磁耦合技术	271
4.2.3	光电与磁混合耦合技术	273
4.2.4	直接耦合技术	274
4.3	RLC 在屏蔽技术中的应用	276
4.3.1	软屏蔽技术	276
4.3.2	硬屏蔽技术	281
4.4	RLC 在电源单元电路中的 PCB 布线技术	284
4.4.1	PCB 布线的设计流程、参数设置	284
4.4.2	元器件布局	284
4.4.3	PCB 设计原则	285
4.4.4	散热问题的解决	285

4.4.5	接地极的设计	287
4.4.6	PCB漏电流的考虑	289
4.4.7	电源单元电路中几种基本电路的布线方法	289
4.5	RLC在电磁兼容(EMC)中的应用	290
4.5.1	EMC的定义、抑制方法、评定指标及研究范畴	290
4.5.2	EMC的标准体系与国际组织	292
4.5.3	国内EMC标准体系	294
4.5.3	我国已经制定并颁布的相关民用标准	295
4.5.4	电快速瞬态脉冲群干扰及产生机理	296
4.5.5	军用电子设备EMC性的要求	298
4.6	习题 16	298
参考文献		299

第 1 章 电阻(R)

1.1 电阻的阻抗特性

1.1.1 电阻的低频阻抗特性

电阻在低频和直流电路中,它的阻抗特性呈现纯阻性阻抗,可由下式表示出来:

$$R=k \quad (1-1)$$

式中, k 为常数。其阻抗频率特性曲线如图 1-1 所示。

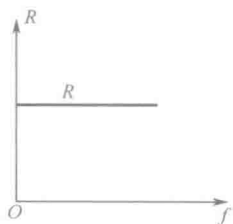


图 1-1 电阻在低频或直流电路中的阻抗频率特性曲线

1.1.2 电阻的高频阻抗特性

电阻的高频等效电路如图 1-2 所示,其中电感 L_R 是电阻两端的引线和电阻膜刻槽阻带等所引起的寄生电感,电路 C_R 是由于实际引线结构和电阻膜刻槽阻带所引起的电荷分离效应而导致的分布电容, R_0 为电阻的理论阻抗。根据电阻的等效电路,可以很方便地计算出整个电阻的阻抗为:

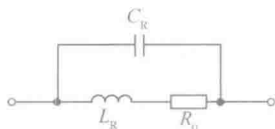


图 1-2 电阻的高频等效电路图

$$Z = \frac{j\omega L_R + R_0}{1 + j\omega C_R(j\omega L_R + R_0)} \quad (1-2)$$

电阻的阻抗绝对值与频率之间的关系曲线如图 1-3 所示。结合式(1-2),从曲线中可以看出,低频时电阻的阻抗是 R_0 ,当频率升高并超过一定值时,寄生电容的影响就占主导地位,它就会引起电阻阻抗的下降。当频率继续升高时,由于寄生电感的影响,总的阻抗上升,寄生电感在很高的频率下代表一个开路线或无穷大的阻抗。一般情况下,非线绕电阻的高频分布参数较小, L_R 为 $0.01 \sim 0.09 \mu\text{H}$, C_R 为 $0.1 \sim 5 \text{pF}$ 。线绕电阻的高频分布参数较大, L_R 为几十 μH , C_R 为几十 pF 。

1.1.3 电阻的串并联

(1) 电阻的串联

图 1-4 所示为两只电阻或多个电阻的串联电路,其总的等效电阻值和功率的计算如下。

对于图(a),即是两只电阻串联:

$$R=R_1+R_2 \quad (1-3)$$

$$W=W_1+W_2 \quad (1-4)$$

式中的 R_1 和 R_2 , W_1 和 W_2 分别为电阻 R_1 和 R_2 的阻值和功率。

对于图(b),即多只电阻串联:

$$R=R_1+R_2+\dots+R_n \quad (1-5)$$

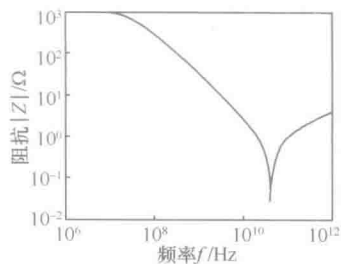


图 1-3 一个典型 $1\text{k}\Omega$ 电阻阻抗绝对值与频率之间的关系曲线

$$W = W_1 + W_2 + \dots + W_n \quad (1-6)$$

式中的 $R_1, R_2, \dots, R_n; W_1, W_2, \dots, W_n$ 分别为电阻 R_1, R_2, \dots, R_n 的阻值和功率。

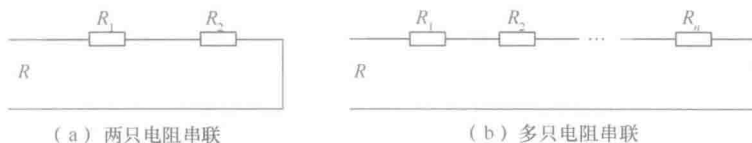


图 1-4 电阻的串联电路图

(2) 电阻的并联

图 1-5 为两只电阻或多个电阻的并联电路,其总的等效电阻的阻值和功率的计算如下。

对于图(a),即两只电阻并联:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-7)$$

$$W = W_1 + W_2 \quad (1-8)$$

对于图(b),即多只电阻并联:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} \quad (1-9)$$

$$W = W_1 + W_2 + \dots + W_n \quad (1-10)$$

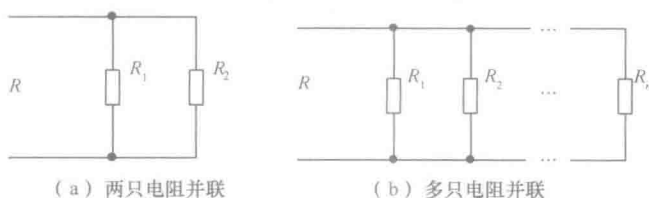


图 1-5 电阻的并联电路图

(3) 电阻的串并联讨论

从电阻串、并联的计算公式就可以看出,电阻串联后其等效阻值变大(相加),电阻并联后其等效阻值变小,但是不论是串联还是并联其等效功率均为相加而变大。

1.1.4 习题 1

(1) 使用欧姆定理分别推导电阻串联和并联时总功率增加的结论,即推导式(1-6)和式(1-10)。

(2) 结合一电路现象,分别说明电阻在不同频段范围所呈现的阻抗特性不同,然后总结出电阻在使用时应注意的问题是什么?

1.2 电阻的命名

1.2.1 电阻的命名

我国电阻的命名标准由 4 部分组成(敏感电阻除外),第一部分为主称,用字母 R/W 表示,R 表示电阻,W 表示电位器。第二部分为材料,用字母表示电阻体材料。第三部分为类型,用数字表示,个别类型用字母表示。第四部分为序号,用数字表示同类产品不同品种,以区别产品的外形尺寸和性能指标,其对应关系见表 1-1。

例如:

RJ75 (精密金属膜电阻)

R—电阻(第一部分)

J—金属膜(第二部分)

7—精密(第三部分)

5—序号(第四部分)

RX28(阻燃型线绕电阻)

R—电阻(第一部分)

X—线绕(第二部分)

2—阻燃型(第三部分)

8—序号(第四部分)

RT10 (普通碳膜电阻)

R—电阻(第一部分)

T—碳膜(第二部分)

1—普通型(第三部分)

0—序号(第四部分)

RJ90-B0.5(0.5W 不燃型金属膜熔断电阻)

R—电阻(第一部分)

J—金属膜(第二部分)

9—熔断型(第三部分)

0-B0.5—不燃性、额定功率为 0.5W(第三部分)

表 1-1 国产电阻的型号组成对应关系

第一部分		第二部分	第三部分	第四部分	
R 表示固定电阻	W 表示电位器	M 表示敏感电阻	T 表示碳膜电阻	1 表示普通型电阻	第四部分为序号,用数字表示,表示同类产品不同品种,以区别产品的外形尺寸和性能指标等。用个位数字表示,或无数字表示
			H 表示合成膜电阻	2 表示普通型电阻	
			S 表示有机实心电阻	3 表示超高频电阻	
			N 表示无机实心电阻	4 表示高阻抗电阻	
			J 表示金属膜电阻	5 表示高温电阻	
			Y 表示氮化膜电阻	6 表示精密电阻	
			C 表示沉积膜电阻	7 表示精密电阻	
			I 表示玻璃釉膜电阻	8 表示高压电阻	
			X 表示线绕电阻	9 表示特殊电阻	
			F 表示复合膜电阻	G 表示大功率电阻	
			U 表示硅碳膜电阻	T 表示可调电阻	
O 表示玻璃膜电阻					

1.2.2 电位器的命名标准

电位器是具有三个引出端、阻值可按某种变化规律调节的电阻元件。电位器通常由电阻体和可移动的电刷组成。当电刷沿电阻体移动时,在输出端即获得与位移量成一定关系的电阻值。电位器既可作三端元件使用,也可作二端元件使用,后者可视为一可变电阻。我国电位器的命名标准由 4 部分组成,如图 1-6 所示。第一部分为主称,用字母 W 表示。第二部分为电位器体材料代号,用字母表示电阻体材料,具体规定见表 1-2。第三部分为分类代号,一般用字母表示,具体规定见表 1-3。第四部分为序号,用数字表示同类产品不同品种,以区别产品的外形尺寸和性能指标等。

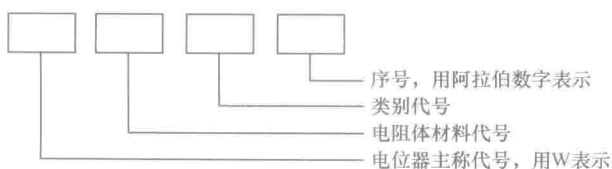


图 1-6 电位器的命名标准示意图

例 1:WXD2 型多圈线绕电位器 例 2:WIW101 型玻璃釉螺杆菌驱动预调电位器



表 1-2 电位器体材料代号含义表

代号	H	S	N	I	X	J	Y	D	F
材料	合成碳膜	有机实心	无机实心	玻璃釉膜	线绕	金属膜	氧化膜	导电塑料	复合膜

表 1-3 电位器分类代号含义表

代号	类别	代号	类别	代号	类别	代号	类别
G	高压类	D	多圈旋转精密类	W	螺杆菌驱动预调类	Z	直滑式低功率类
H	组合类	M	直滑式精密类	Y	旋转预调类	P	旋转功率类
B	片式类	X	旋转式低功率类	J	单圈旋转预调类	T	特殊类

1.2.3 敏感电阻的命名标准

敏感电阻是指电阻件的阻抗特性对温度、电压、湿度、光照、气体、磁场、压力等的作用呈现一定的敏感规律。敏感电阻的符号是在普通电阻的符号中加一斜线并在旁边加注敏感电阻的类别,如 T/V 就表示是压敏电阻。根据我国的规定,敏感电阻的命名由 4 部分组成。第一部分为主称,用 M 表示敏感元件;第二部分为类别,用字母表示,其表示内容见表 1-4;第三部分为用途和特征,用数字或字母表示,其表示内容见表 1-5 和表 1-6;第四部分为产品的序列号,用数字表示。

表 1-4 敏感电阻主称和类别代号含义表

主称(第一部分)		类别(第二部分)		主称(第一部分)		类别(第二部分)	
符号	含义	符号	含义	符号	含义	符号	含义
M	敏感电阻	Z	正温度系数热敏电阻	M	敏感	Q	气敏电阻
		F	负温度系数热敏电阻			G	光敏电阻
		Y	压敏电阻			C	磁敏电阻
		S	湿敏电阻			L	力敏电阻

表 1-5 敏感电阻用途和特征的数字含义表

种类	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
负温度系数热敏电阻	特殊	普通	稳压	微波测量	旁热式	测温	控温	—	线性	—
正温度系数热敏电阻	—	普通	限流	—	延迟	测温	控温	消磁	—	恒温
光敏电阻	特殊	紫外光	紫外光	紫外光	可见光	可见光	可见光	红外光	红外光	红外光
力敏电阻	—	硅应变计	硅应变计	硅堆	—	—	—	—	—	—

表 1-6 敏感电阻用途和特征的符号含义表

种类	W	G	P	N	K	L	H	E	B	C	S	Q	Y
压敏电阻	稳压	高压保护	高频	高能	高可靠型	防雷	灭弧	消噪	补偿	消磁	—	—	—
湿敏电阻	—	—	—	—	—	控湿	—	—	—	测湿	—	—	—
气敏电阻	—	—	—	—	—	可燃性	—	—	—	—	—	—	烟敏
磁敏电阻	电位器	—	—	—	—	—	—	电阻	—	—	—	—	—

1.2.4 习题 2

- (1) 熟记表 1-1 中的内容,分别说出 RJ75、RT10、RX28、RJ90-B0.5 这四种电阻是什么电阻? 以及个字母和数字所代表的含义。
- (2) 熟记表 1-2 和表 1-3 中的内容,分别说出 WXD2 型电位器和 WIW101 型电位器这两种电位器是什么电位器? 以及个字母和数字所代表的含义。
- (3) 熟记表 1-4~表 1-6 中的内容,分别举例说明各种敏感电阻表示符号中字母和数字所代表的物理含义。

1.3 电阻的重要参数

1.3.1 电阻的表示

1. 电阻的表示符号

我国以及国外电阻在电路图中的标准表示符号分别如图 1-7(a)和(b)所示。在电路图中所出现的电阻一般均注明图中所示的一些信息,至于是什么材料的电阻就应该根据实际用途和价格等因素来确定。

2. 电阻阻值的表示

(1) 标称值及误差

电阻的阻值大小是按 E6、E12、E24、E48、E96、E116、E192 系列规范分度的。所谓 E12 分度规范就是把阻值分为 12 档, E24 分度规范就是把阻值分为 24 档, 等等, 各分度规范阻值及误差范围见表 1-7。

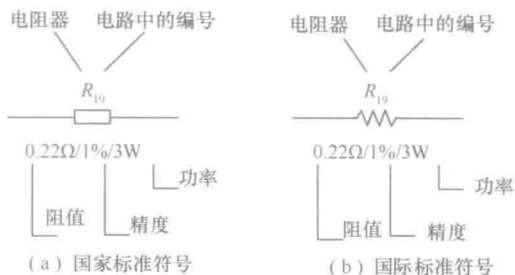


图 1-7 电阻的标准表示符号

表 1-7 电阻各分度规范阻值及误差范围表

系列	阻值计算及有效数字	误差	精度级别
E6	$10^{\frac{n}{6}}$ ($n=0, \dots, 5$); 2 位	20%	低精度电阻
E12	$10^{\frac{n}{12}}$ ($n=0, \dots, 11$); 2 位	10%	低精度电阻
E24	$10^{\frac{n}{24}}$ ($n=0, \dots, 23$); 2 位	5%	普通精度电阻
E48	$10^{\frac{n}{48}}$ ($n=0, \dots, 47$); 3 位	1%、2%	半精密电阻
E96	$10^{\frac{n}{96}}$ ($n=0, \dots, 95$); 3 位	0.5%、1%	精密电阻
E116	$10^{\frac{n}{116}}$ ($n=0, \dots, 115$); 3 位	0.2%、0.5%、1%	高精密电阻
E192	$10^{\frac{n}{192}}$ ($n=0, \dots, 191$); 3 位	0.1%、0.25%、0.5%	超高精密电阻

标准电阻阻值误差分为:0.05%、0.1%、0.2%、0.25%、0.5%、1%、2%、5%、10%、20%。

各系列标称值如下:

① E6 系列标称值(20%)

1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

② E12 系列标称值(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

③ E24 系列标称值(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

3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1

④ E48 系列标称值(1%)

10.0 10.5 11.0 11.5 12.1 12.7 13.3 14.0 14.7 15.4 16.2 16.9

17.8 18.7 19.6 20.5 21.5 22.6 23.7 24.9 26.1 27.4 28.7 30.1

31.6 33.2 34.8 36.5 38.3 40.2 42.2 44.2 46.4 48.7 51.1 53.6

56.2 59.0 61.9 64.9 68.1 71.5 75.0 78.7 82.5 86.6 90.9 95.3

⑤ E96 系列标称值(1%)

10.0 10.2 10.5 10.7 11.0 11.3 11.5 11.8 12.1 12.4 12.7 13.0

13.3 13.7 14.0 14.3 14.7 15.0 15.4 15.8 16.2 16.5 16.9 17.4

17.8 18.2 18.7 19.1 19.6 20.0 20.5 21.0 21.5 22.1 22.6 23.2

23.7 24.3 24.9 25.5 26.1 26.7 27.4 28.0 28.7 29.4 30.1 30.9

31.6 32.4 33.2 34.0 34.8 35.7 36.5 37.4 38.3 39.2 40.2 41.2

42.2 43.2 44.2 45.3 46.4 47.5 48.7 49.9 51.1 52.3 53.6 54.9

56.2 57.6 59.0 60.4 61.9 63.4 64.9 66.5 68.1 69.8 71.5 73.2

75.0 76.8 78.7 80.6 82.5 84.5 86.6 88.7 90.9 93.1 95.3 97.6

⑥ E116 系列标称值(0.1%、0.2%、0.5%)

10.0 10.2 10.5 10.7 11.0 11.3 11.5 11.8 12.0 12.1 12.4 12.7 13.0

13.3 13.7 14.0 14.3 14.7 15.0 15.4 15.8 16.0 16.2 16.5 16.9 17.4

17.8 18.0 18.2 18.7 19.1 19.6 20.0 20.5 21.0 21.5 22.0 22.1 22.6

23.2 23.7 24.0 24.3 24.7 24.9 25.5 26.1 26.7 27.0 27.4 28.0 28.7

29.4 30.0 30.1 30.9 31.6 32.4 33.0 33.2 34.0 34.8 35.7 36.0 36.5

37.4 38.3 39.0 39.2 40.2 41.2 42.2 43.0 43.2 44.2 45.3 46.4 47.0

47.5 48.7 49.9 51.0 51.1 52.3 53.6 54.9 56.0 56.2 57.6 59.0 60.4

61.9 62.0 63.4 64.9 66.5 68.0 68.1 69.8 71.5 73.2 75.0 75.5 76.8

78.7 80.6 82.0 82.5 84.5 86.6 88.7 90.9 91.0 93.1 95.3 97.6

⑦ E192 系列标称值(0.1%、0.2%、0.5%)

10.0 10.1 10.2 10.4 10.5 10.6 10.7 10.9 11.0 11.1 11.3 11.4

11.5 11.7 11.8 12.0 12.1 12.3 12.4 12.6 12.7 12.9 13.0 13.2

13.3 13.5 13.7 13.8 14.0 14.2 14.3 14.5 14.7 14.9 15.0 15.2

15.4 15.6 15.8 16.0 16.2 16.4 16.5 16.7 16.9 17.2 17.4 17.6

17.8 18.0 18.2 18.4 18.7 18.9 19.1 19.3 19.6 19.8 20.0 20.3

20.5 20.8 21.0 21.3 21.5 21.8 22.1 22.3 22.6 22.9 23.2 23.4

23.7 24.0 24.3 24.6 24.9 25.2 25.5 25.8 26.1 26.4 26.7 27.1

27.4 27.7 28.0 28.4 28.7 29.1 29.4 29.8 30.1 30.5 30.9 31.2

31.6 32.0 32.4 32.8 33.2 33.6 34.0 34.4 34.8 35.2 35.7 36.1

36.5 37.0 37.4 37.9 38.3 38.8 39.2 39.7 40.2 40.7 41.2 41.7
 48.7 49.3 49.9 50.5 51.1 51.7 52.3 53.0 53.6 54.2 54.9 55.6
 56.2 56.9 57.6 58.3 59.0 59.7 60.4 61.2 61.9 62.6 63.4 64.2
 64.9 65.7 66.5 67.3 68.1 69.0 69.8 70.6 71.5 72.3 73.2 74.1
 75.0 75.9 76.8 77.7 78.7 79.6 80.6 81.6 82.5 83.5 84.5 85.6
 86.6 87.6 88.7 89.8 90.9 92.0 93.1 94.2 95.3 96.5 97.6 98.8

(2) 阻值表示方法

① 色环阻值表示法:

色环阻值表示法多用于直插式轴向封装电阻,有四环和五环表示法,如图 1-8 所示。



图 1-8 电阻的色环阻值表示法示意图

② 数码阻值表示法:

用 3 位(对于普通精度)或 4 位(对于高精度)数码表示电阻的阻值,单位为 Ω 。例如:102(3 位)或 1001(4 位)的电阻则表示的阻值就为 $10\ 00\Omega$ 或 $100\ 0\Omega$,即均为 $1k\Omega$;101 或 1000 的电阻则表示的阻值就为 $10\ 0\Omega$ 或 $100\ \Omega$,即均为 100Ω ;105 或 1004 的电阻则表示的阻值就为 $10\ 0000\Omega$ 或 $100\ 0000\Omega$,即均为 $1M\Omega$ 。数码阻值表示法多用于 SMC 贴片封装的电阻中。

③ 文字符号阻值表示法:

文字符号阻值表示法是用数字表示电阻阻值的有效数字,用字母 R 表示 Ω 、k 表示 $k\Omega$ 、M

表示 $M\Omega$ ，并且规定整数部分位于单位符号前，小数部分放在单位符号后。例如： 0.51Ω 的电阻可表示为 $R51$ ； 5.1Ω 的电阻可表示为 $5R1$ ； $5.1k\Omega$ 的电阻可表示为 $5k1$ ； $5.1M\Omega$ 的电阻可表示为 $5M1$ 。

④ 直标法：

在电阻体上直接标出电阻的阻值、误差、功率和耐温。这种阻值表示法经常出现在早期生产的电阻上，近来所生产的大功率电阻基本上还沿用这种方法，如图 1-9 所示。

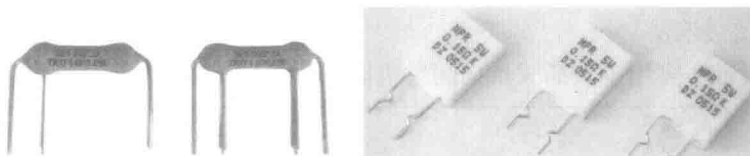


图 1-9 直标法标明的电阻图示

3. 电阻的主要参数

(1) 误差

电阻的实际值与标称值之间的差别就定义为电阻的误差。实际上误差与标称值之间并没有直接的关系，但却存在着电阻阻值越大误差越大的关系。

(2) 额定功率值

在正常大气压下 ($650\sim 800\text{mmHg}$) 和额定温度 ($T_c=25^\circ\text{C}$) 下，长期连续工作并能满足各项性能要求所允许的最大功率。电阻的额定功率采用标准化的额定功率系列值，其内容为： 0.05 W ($1/16\text{ W}$)、 0.125 W ($1/8\text{ W}$)、 0.25 W ($1/4\text{ W}$)、 0.5 W ($1/2\text{ W}$)、 1 W 、 2 W 、 5 W 、 10 W 、 25 W 、 50 W 、 100 W ，等等。

(3) 额定电压值

由阻值和功率换算得到的电压，再考虑到电冲击和电击穿上升到一定值后，受最大工作电压的限制。

(4) 最大工作电压

由于电阻尺寸结构的限制所允许的最大连续工作电压，实际上就是电冲击或电击穿电压。

(5) 温度系数

在某一规定环境温度范围内，温度改变一度时电阻值的变化量，可用下式表示：

$$T. C. P(\text{ppm}/^\circ\text{C}) = \frac{R - R_0}{R_0} \times \frac{1}{T - T_0} \times 10^6 \quad (1-11)$$

式中温度 T_0 所对应的阻值为 R_0 ，温度 T 所对应的阻值为 R 。

(6) 绝缘电阻

在正常大气压下，电阻的引线与电阻壳体之间的绝缘电阻。

(7) 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，热噪声是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。在非线绕电阻中，还有电流噪声。由于电流噪声和电阻两端的工作电压成正比，因此衡量电流噪声的指标为 $\mu\text{V}/\text{V}$ 。

(8) 稳定性

在指定的时间内，受到环境、负荷等因素的影响，保持其初始阻值的能力被定义为电阻的稳定性。