

电路高手之路

竞赛中学电路

► 全国大学生电子设计竞赛备战必读 ◀

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

林 凌 李 刚 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电路高手之路

竞赛中学电路

林 凌 李 刚 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书针对全国大学生电子设计竞赛这一特殊的学习形式编写而成,以期尽可能地为备战竞赛的读者准备所需的、全面的资料,特别是包含了一般课程中难以覆盖的,需要综合、交叉多门课程的知识。本书内容具体包括基本电子元器件、传感器与接口电路、晶体三极管与场效应管及其应用电路、运算放大器及其应用电路、声光显示器与执行器、电源与DC/DC电路、无线与红外通信、测量与误差、自动控制技术与电路。书后还附有历届竞赛题集锦,可供读者参考。

本书不仅可以作为备战电子设计竞赛的参考书,也可以作为电子电气类大学生开展课外科技活动,提高实践能力和综合素质的学习材料。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

竞赛中学电路 / 林凌, 李刚编著. —北京: 电子工业出版社, 2012. 8

(电路高手之路)

ISBN 978-7-121-17829-0

I. ①竞… II. ①林… ②李… III. ①电子电路-电路设计 IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 181407 号

策划编辑: 张 榕

责任编辑: 谭丽莎

印 刷: 三河市双峰印刷装订有限公司

装 订:

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: 787×1092 1/16 印张: 23 字数: 589 千字

印 次: 2012 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 55.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,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。

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。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

近年来,各种各样的有关电子设计的竞赛风起云涌,它们不仅受到有关教育主管部门的重视,也得到各所高校的大力支持,更受到广大电子类大学生们的欢迎——电子设计竞赛的挑战性和趣味性,极大地鼓舞了大学生们的“忘我投入”的热情。每一次(场)电子设计竞赛不仅诞生了众多竞赛的优胜者,更重要的是他们必定成为若干年后的卓越电子工程师和电子科学家。

毋庸讳言,目前的大学电子教学还存在这样或那样的问题,主要的根源和结果都是“应试教育”,这就需要进行变革,特别是大学生自己应该从认识到行动,有关部门应该从政策、规章制度到具体教学安排进行长期、痛苦的变革。而目前各种电子设计竞赛的兴起,就是一种新的学习方法和途径。对于大学教学,虽然竞赛永远是一种补充形式,但可以起着难以估量的作用:有兴趣、有挑战的学习,其效果必定是最高、最好的。

基于上述认识,为了帮助大学生们更有效地准备竞赛,从而获得优异的竞赛成绩;更重要的是使他们对电子技术产生兴趣,具备学习的基础和能力,了解实践是学习电子科学与技术必不可少的手段和方法,以期成为一个电路高手,我们特编写了此书。

本书特点:浓缩知识和方法,包含必要的基础知识和核心知识,使读者能够举一反三,迅速地扩充知识和能力。

鉴于本书的特殊性,我们大量引用了有关资料,包括全国大学生电子设计竞赛官网上的资料、竞赛赞助商的一些资料、竞赛优胜者的设计报告等。借此机会,我们向这些人士和机构、赞助商表示由衷的感谢。

本书由林凌、李刚编著,参加编写的还有曾锐利、李晓霞、王焱、王蒙军、王慧泉、赵喆、吴红杰、周梅、刘近贞,在此向他们表示感谢。

最后,编著者向张榕编辑和电子工业出版社的同志们致以衷心的感谢,不仅要感谢他们对本书的出版付出的努力和心血,更要感谢他们长期以来对我们的支持和帮助。

编 著 者
于北洋园

目 录

第1单元 基本电子元器件	1
1.1 电阻(器)	2
1.1.1 电阻的主要参数	2
1.1.2 电阻的类别及其符号	2
1.1.3 电阻的标准系列值与容许误差	3
1.1.4 电阻阻值的识别方法	5
1.1.5 电阻的特殊问题	7
1.2 电容(器)	8
1.2.1 电容的主要参数	9
1.2.2 电容的种类与符号	10
1.2.3 电容的标称值与容许误差	13
1.2.4 电容的特殊问题	14
1.3 电感(器)	14
1.3.1 电感的主要参数	15
1.3.2 电感的主要类型	15
1.3.3 电感的参数识别和使用注意	16
1.4 二极管	17
1.4.1 二极管的主要参数	18
1.4.2 常用二极管的型号与应用	18
1.4.3 应用二极管的注意事项	18
第2单元 传感器与接口电路	20
2.1 传感器简介	20
2.2 按接口特性的传感器分类	20
2.3 温度传感器的接口电路	24
2.3.1 热敏电阻的测温电路	24
2.3.2 二极管的测温电路	27
2.3.3 集成温度传感器的测温电路	28
2.4 声音与超声传感器的接口电路	28
2.5 光敏与红外传感器的接口电路	32

2.6	压力传感器的接口电路	33
2.6.1	电桥测量电路	33
2.6.2	恒流源与恒压源的实现	34
2.6.3	仪器放大器	35
2.6.4	集成桥路传感器的接口电路	36
2.7	磁敏传感器的接口电路	44
2.7.1	检测交变磁场的线圈	44
2.7.2	霍尔线性集成电路	44
2.7.3	霍尔开关集成电路	44
第3单元	晶体三极管与场效应管及其应用电路	46
3.1	晶体三极管	46
3.1.1	晶体三极管的主要参数	46
3.1.2	常用晶体三极管的型号	47
3.1.3	应用晶体三极管的注意事项	47
3.2	晶体三极管的典型应用电路	48
3.2.1	晶体三极管低频放大电路	48
3.2.2	晶体三极管高频放大电路	49
3.2.3	晶体三极管高频振荡与变频电路	50
3.2.4	晶体三极管功率放大电路	52
3.2.5	晶体三极管开关驱动电路	53
3.3	场效应管	54
3.3.1	场效应管的主要参数	54
3.3.2	场效应管的种类与型号	55
3.3.3	应用场效应管的注意事项	56
3.4	场效应管的典型应用电路	57
3.4.1	场效应管线性放大电路	57
3.4.2	场效应管振荡与变频电路	58
3.4.3	场效应管开关电路	59
第4单元	运算放大器及其应用电路	61
4.1	运算放大器	61
4.1.1	运算放大器的主要参数	61
4.1.2	应用运算放大器的注意事项	69
4.2	放大电路	70
4.2.1	同相放大器	70
4.2.2	反相放大器	70
4.2.3	差动放大器与仪器放大器	71
4.2.4	可变增益放大器	72

4.2.5	隔离放大器	73
4.3	滤波电路	74
4.3.1	低通滤波器	76
4.3.2	高通滤波器	77
4.3.3	带通滤波器	77
4.3.4	带阻滤波器	78
4.4	信号转换与处理电路	79
4.4.1	电压/电流转换与电流/电压转换电路	80
4.4.2	电压/频率转换与频率/电压转换电路	83
4.4.3	波形转换电路	87
4.5	运算电路	88
4.5.1	加、减运算电路	88
4.5.2	积分、微分运算电路	89
4.5.3	对数、指数运算电路	92
4.5.4	峰值、谷值运算电路	94
4.5.5	绝对值、有效值与均值运算电路	94
4.5.6	PID 电路	96
4.6	比较器	102
4.6.1	比较器的输入电路	103
4.6.2	比较器的反馈电路	104
4.6.3	比较器的输出钳位	105
4.7	振荡电路	106
4.7.1	正弦波振荡器	107
4.7.2	方波(多谐)振荡器	108
4.7.3	多种波形的产生与转换	109
第5单元	声光显示器与执行器	111
5.1	显示器	111
5.1.1	LED 显示器	111
5.1.2	LCD 显示器	115
5.2	发声器件	118
5.2.1	扬声器	119
5.2.2	压电陶瓷	120
5.2.3	蜂鸣器	121
5.3	电动机	123
5.3.1	直流电动机	123
5.3.2	步进电动机	131
5.4	舵机	137
5.5	电磁阀、气泵与液泵	140

第6单元 电源与DC/DC电路	142
6.1 线性稳压电源	144
6.1.1 变压器与整流、滤波	144
6.1.2 晶体三极管线性稳压电源	146
6.1.3 运算放大器线性稳压电源	147
6.1.4 集成电路线性稳压电源	148
6.2 开关稳压电源	151
6.2.1 拓扑结构	152
6.2.2 电路实例	153
6.2.3 制作与测试	159
第7单元 无线与红外通信	164
7.1 通信系统基础	164
7.2 基本调制原理	166
7.2.1 正弦波的幅度调制及解调	166
7.2.2 正弦波的角度调制及解调	169
7.2.3 脉冲调制及解调	174
7.2.4 脉冲编码调制 (PCM)	176
7.3 多路复用技术	179
7.3.1 频分法多路复用技术	179
7.3.2 时分法多路复用技术	181
7.4 无线通信电路实例	182
7.4.1 语音无线收发电路	183
7.4.2 控制无线收发电路	186
7.4.3 数字无线收发电路	190
7.4.4 集成无线收发单片机	193
7.5 红外通信电路实例	204
7.5.1 红外遥控器	204
7.5.2 红外数据传输	205
第8单元 测量与误差	210
8.1 测量与误差的基础知识	210
8.1.1 测量的分类	210
8.1.2 电子测量的内容	210
8.1.3 测量误差	211
8.1.4 误差处理的原则	212
8.1.5 测量中的精度评定	212
8.1.6 误差的传递、分析与综合	213

8.2	电能量信号的测量	215
8.2.1	阻抗的影响	215
8.2.2	频率的影响	224
8.2.3	波形的影响	226
8.2.4	动态测量	227
8.3	元件和电路参数的测量	229
8.3.1	晶体三极管的测量	230
8.3.2	运算放大器的测量	238
8.3.3	数字集成电路的测量	246
8.4	电信号特性的测量	248
8.4.1	频率和周期的测量	249
8.4.2	时间间隔的数字测量	252
8.4.3	相位差的数字测量	254
8.4.4	正弦波非线性失真的测量	255
第9单元	自动控制技术与电路	258
9.1	自动控制的基础知识	258
9.2	自动控制系统中的电路	259
9.2.1	自动控制系统中的测量电路	260
9.2.2	微处理器的选择	260
9.2.3	功率驱动电路	261
9.3	控制策略和算法	262
9.3.1	开关控制	262
9.3.2	连续控制和PID算法	263
9.3.3	PID参数的整定	264
9.3.4	典型PID参数整定中常见的问题	265
9.3.5	非典型PID控制策略	265
9.4	开关功率MOS管及其应用电路	267
9.4.1	MOS管的基础知识	267
9.4.2	N沟道增强型MOS管的应用形式	270
9.4.3	N沟道增强型MOS管的驱动	271
9.5	自动控制系统实例	274
9.5.1	蓄电池自动快速充电系统	274
9.5.2	太阳能最大功率跟踪逆变器	276
9.5.3	无刷直流电动机数字控制系统	280
附录1:	第一届(1994年)全国大学生电子设计竞赛题目	283
附录2:	第二届(1995年)全国大学生电子设计竞赛题目	285
附录3:	第三届(1997年)全国大学生电子设计竞赛题目	289
附录4:	第四届(1999年)全国大学生电子设计竞赛题目	293

附录 5: 第五届 (2001 年) 全国大学生电子设计竞赛题目	298
附录 6: 第六届 (2003 年) 全国大学生电子设计竞赛题目	304
附录 7: 第七届 (2005 年) 全国大学生电子设计竞赛题目	312
附录 8: 第八届 (2007 年) 全国大学生电子设计竞赛题目	320
附录 9: 2009 年全国大学生电子设计竞赛试题	333
附录 10: 2011 年全国大学生电子设计竞赛试题	347

第1单元 基本电子元器件

基本电子元器件，顾名思义，就是构成电路的最基本、最常用的“砖块”，必须对它们的性能、参数和型号有足够的了解，才可能建造符合预期的建筑——电子应用系统。限于篇幅，本书尽量聚焦关于电子元器件的基本而又必需的知识，也包括在教科书上限于系统性等原因很少介绍的知识，更重要的是一些在实际电路应用中所必需的知识。

在本书中，黑体字的概念或内容需要读者给予特别注意。

对于电子元器件和电路的参数，有以下几类必须引起注意。

(1) 绝对极限值：绝对不允许电子元器件或电路工作在超过这些参数（如电子元器件的耐压值、最大功率耗散值等）的条件下，否则将导致电子元器件或电路的损毁。例如，二极管 1N4001 的耐压为 50V，当其承受的反向电压超过 50V 时将击穿并损毁。又如，标注为 $100\mu\text{F}/16\text{V}$ 的电容器在其承受的电压超过 16V 时，漏电（指漏电流，一般简称漏电）急剧增加，使其极可能击穿并损毁。

(2) 额定值：指电子元器件或电路正常工作时应该给定的工作条件值或可以达到的性能参数值。例如，74HC 系列中小规模数字集成电路的额定电压为 5V，工作电压范围为 2~6V，高于 6V 意味着超过其极限电压，可能导致其烧毁；低于 2V 意味着它完全不能工作；接近 2V 或 6V 意味着其性能下降或可靠性下降。又如，一个 10W 的节能灯是指其工作在额定电压为交流 220V 的条件下时，额定的功耗（耗散功率）为 10W，如果电压低于或高于 220V，则其功耗也会低于或高于 10W。

(3) 典型值、最大值与最小值：典型值是指“合格”的电子元器件的某项参数的最大可能值，最大值和最小值构成其最大范围。在选取电子元器件时，应该根据设计要求核实其参数，使其在最差的情况下（参数值最大或最小）也能够满足工作要求。例如，某厂商生产的 LM324 的开环增益的典型值、最大值与最小值分别为 80dB、100dB 与 25dB。

当设计要求很严格，而该参数所标明的最大值或最小值有可能超出所需要的范围时，需要更换更高性能型号的电子器件，或在该型号的电子器件中筛选出满足要求的产品。

有时，也会用不低于（即大于）和不高于（即不小于）的方式表明电子元器件的某些参数。这是在某些电子元器件的数据手册简单介绍它们的特性时，用以突出说明其某项参数“优秀”的常见手法，在一些新产品或高端产品中尤为常见。例如，某型号运放的失调电压不大于 $10\mu\text{V}$ ，共模抑制比（CMRR）不低于 140dB。

为了保持各章篇幅的大致平衡，本章只介绍电阻、电容、电感和二极管等，晶体三极管、运放和其他电子元器件将放到后续的章节中进行介绍。



1.1 电阻 (器)

电阻 (或电阻器, 以下统一用电阻表示) 可以说是电路中最基本和最常用的元器件。其主要作用是限流、平移电平、提供直流通路及与电容一起构成滤波器等。

通用电阻的种类很多, 包括通用型碳膜电阻、金属膜电阻、金属氧化膜电阻、金属玻璃釉电阻、线绕电阻、有机实芯电阻及无机实芯电阻等。其中, 前两种电阻最常用。

1.1.1 电阻的主要参数

电阻的主要参数如下。

(1) 标称阻值: 电阻上面所标示的阻值。

(2) 容许误差: 标称阻值与实际阻值的差值跟标称阻值之比的百分数称为阻值偏差 (也即容许误差), 它表示电阻的精度。容许误差与精度等级的对应关系为: $\pm 0.5\%$ 对应 0.05、 $\pm 1\%$ 对应 0.1 (或 00)、 $\pm 2\%$ 对应 0.2 (或 0)、 $\pm 5\%$ 对应 I 级、 $\pm 10\%$ 对应 II 级、 $\pm 20\%$ 对应 III 级。

(3) 额定功率 (最大耗散功率): 在正常的大气压力 (90 ~ 106.6 kPa) 及环境温度为 $-55^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ 的条件下, 电阻长期工作所允许耗散的最大功率。

线绕电阻的额定功率系列为 (单位为 W) 1/20, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 10, 16, 25, 40, 50, 75, 100, 150, 250, 500; 非线绕电阻的额定功率系列为 (单位为 W) 1/20, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100。

(4) 额定电压: 由阻值和额定功率换算出的电压。

(5) 最高工作电压: 允许的最大连续工作电压。当电阻在低气压下工作时, 最高工作电压较低。

(6) 温度系数: 温度每变化 1°C 所引起的电阻值的相对变化量。温度系数越小, 电阻的稳定性越好。若电阻阻值随温度升高而增大, 则其温度系数为正温度系数, 反之为负温度系数。

(7) 老化系数: 电阻在长时间额定功率的负荷下, 阻值相对变化的百分数。它是表示电阻寿命长短的参数。

(8) 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。

(9) 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。由于导体内部不规则的电子自由运动, 会使导体任意两点的电压产生不规则的变化, 该不规则的电压即为热噪声。

1.1.2 电阻的类别及其符号

为了区别不同种类的电阻, 常用几个拉丁字母来表示电阻的类别, 其中第一个字母表示主称, 第二个字母表示导体材料, 第三个字母表示形状性能等。在图 1-1 中, 上图所示是碳膜电阻, 下图所示是精密金属膜电阻。表 1-1 列出了电阻的类别及其符号。表 1-2 列出了常用电阻的技术特性。

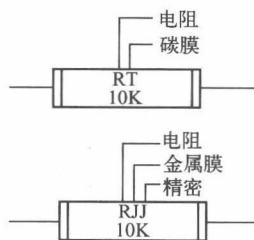


图 1-1 电阻的类别及其符号

表 1-1 电阻的类别及其符号

顺 序	类 别	名 称	简 称	符 号
第一个字母	主称	电阻器 电位器	阻 位	R W
第二个字母	导体材料	碳膜 金属膜 金属氧化膜 线绕	碳 金 氧 线	T J Y X
第三个字母	形状性能等	大小 精密 测量 高功率	小 精 量 高	X J L G

表 1-2 常用电阻的技术特性

电阻类别	额定功率 (W)	标称阻值范围 (Ω)	温度系数 ($1/^{\circ}\text{C}$)	噪声电势 ($\mu\text{V}/\text{V}$)	运用频率
RT 型 碳膜电阻	0.05 0.125 0.25 0.5 1.2	$10 \sim 100 \times 10^3$ $5.1 \sim 510 \times 10^3$ $5.1 \sim 910 \times 10^3$ $5.1 \sim 2 \times 10^6$ $5.1 \sim 5.1 \times 10^6$	$-(6 \sim 20) \times 10^{-4}$	1 ~ 5	< 10MHz
RU 型 硅碳膜电阻	0.125 0.25 0.5 1.2	$5.1 \sim 510 \times 10^3$ $10 \sim 1 \times 10^6$ $10 \sim 10 \times 10^6$	$\pm (7 \sim 12) \times 10^{-4}$	1 ~ 5	< 10MHz
RJ 型 金属膜电阻	0.125 0.25 0.5 1.2	$30 \sim 510 \times 10^3$ $30 \sim 1 \times 10^6$ $30 \sim 5.1 \times 10^6$ $30 \sim 10 \times 10^6$	$\pm (6 \sim 10) \times 10^{-4}$	1 ~ 4	< 10MHz
RXYC 型 线绕电阻	2.5 ~ 100	$5.1 \sim 56 \times 10^6$			低频
WTH 型 碳膜电位器	0.5 ~ 2	$470 \sim 4.7 \times 10^6$	5 ~ 10	5 ~ 10	1MHz
WX 型 线绕电位器	1 ~ 3	$10 \sim 20 \times 10^3$			< 低频

1.1.3 电阻的标准系列值与容许误差

表 1-3 和表 1-4 给出了我国 6 种电阻的标准阻值系列。

表 1-3 E192、E96、E48 精密电阻的标准阻值系列

E192/E96/E48	E192	E192/E96	E192	E192/E96/E48	E192	E192/E96	E192
100	101	102	104	105	106	107	109
110	111	113	114	115	117	118	120
121	123	124	126	127	129	130	132
133	135	137	138	140	142	143	145

续表

E192/E96/E48	E192	E192/E96	E192	E192/E96/E48	E192	E192/E96	E192
147	149	450	152	154	156	158	160
162	164	165	167	169	172	174	176
178	180	182	184	187	189	191	193
215	218	221	223	226	229	232	234
237	240	243	246	249	252	255	258
261	264	267	271	274	277	280	284
287	291	294	298	301	305	309	312
316	320	324	328	332	336	340	344
348	352	357	361	365	370	374	379
383	388	392	397	402	407	412	417
422	427	432	437	442	448	453	459
464	470	475	481	487	493	499	515
511	517	523	530	536	543	549	556
562	569	576	583	590	597	604	612
619	626	634	642	649	657	667	673
681	690	695	706	715	723	732	741
750	759	769	777	787	96	806	816
825	835	845	856	866	876	887	898
909	920	931	942	953	965	976	988

表 1-4 E24、E12、E6 通用电阻的标准阻值系列

E24/E12/E6	E24	E24/E12	E24
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

注：表头一栏有电阻阻值系列号的，本列数据适用于该系列电阻的标称值。表中数值乘以 10^n （ n 为整数，可正可负）即可得到阻值。

1) 精密电阻的允许误差系列

应用中，精密电阻的容许误差是不能随便取用的，有以下容许误差系列可供选择参考：
 $\pm 2\%$ ， $\pm 1\%$ ， $\pm 0.5\%$ ， $\pm 0.2\%$ ， $\pm 0.1\%$ ， $\pm 0.05\%$ ， $\pm 0.02\%$ ， $\pm 0.01\%$ ， $\pm 0.005\%$ ， $\pm 0.002\%$ ， $\pm 0.001\%$ 。

用方由于实际困难无法按上述容许误差系列订购精密电阻时，一般需要规定电阻的有效位数，如规定 0.1% 精度以下的电阻标称值的位数不得超过 4 位。

2) 通用电阻的容许误差系列

E24 通用电阻为 $\pm 5\%$ ，E12 通用电阻为 $\pm 10\%$ ，E6 通用电阻为 $\pm 20\%$ 。

3) 系列标称值来源

电阻的系列标称值是通过等比数列的计算得到的, 使一个电阻阻值为 A , 系列公比为 r , 经 E 个等比级数得到 $10A$ 的电阻值, 则首、末项的关系为

$$Ar^E = 10A, \Rightarrow r = 10^{1/E}$$

分别取 $E = 6, 12, 24, 48, 96, 192$, 可得到我国 6 种电阻系列标称值的公比 r , 如表 1-5 所示。

表 1-5 电阻系列标称值的公比 r

$E =$	6	12	24	48	96	192
$r =$	1.468	1.212	1.100	1.049	1.024	1.012

以 E12 系列为例, 对有关数值加以圆整后即可得到其标准值, 如表 1-6 所示。

表 1-6 E12 系列的标准值

计算值	1.212	1.47	1.78	2.16	2.65	3.29	3.85	4.67	5.64	6.84	8.21	10
圆整后的标准值	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2	10

国标 SJ418-73, SJ619-73 规定了用不同 r 值计算出以上 6 个数值系列的经合理圆整后的确定值。

总之, 电阻的系列值的设计使得任何两相邻阻值在符合该系列的精度要求的情况下, 其数值相互衔接, 也即较小标称值的电阻中符合精度要求的实际最大值与较大标称值的电阻中符合精度要求的实际最小值相等。这样一来, 就可以以最少的数列 (标称值) 覆盖所有电阻了。

4) 电阻的额定功耗系列

国标 SJ617-73 规定的电阻的额定功耗系列为 (单位为 W): 0.05, 0.63, 0.1, 0.125, 0.5, 1, 2, 4, 8, 10, 16, 25, 40, 50, 75, 100, 150, 250, 500。

1.1.4 电阻阻值的识别方法

在电路中, 电阻用字母 R 表示, 它的图形符号和常见外形分别如图 1-2 和图 1-3 所示。电阻在电路中的主要作用为分流、限流、分压、偏置等。

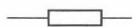


图 1-2 电阻的图形符号

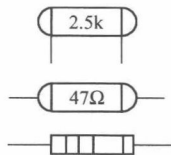


图 1-3 电阻的常见外形

国产的电阻一般都标有阻值, 如 47Ω 、 $5.1k$ 、 $2.2M$ 等。在国外的产品或电路图中, 常把 4.7Ω 标为 “4Ω7” (后面不标单位)。有些电阻阻值的后面还标有误差等级, 如 $4.3k\Omega I$ 、 $10\Omega II$ 、 $47k\Omega III$, 其中 “I、II、III” 表示误差分别为 “ $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ ”。

电阻的单位为欧姆 (Ω), 其倍率单位有千欧 ($k\Omega$), 兆欧 ($M\Omega$) 等。其换算方法是: 1 兆欧 = 1000 千欧 = 1000000 欧。

电阻的参数标注方法有 3 种，即直标法、色标法和数标法。

(1) 数标法主要用于贴片电阻等小体积的电阻，如 472 表示 $47 \times 100\Omega$ （即 4.7k），104 表示 100k。

(2) 色标法使用最多，常见的有四色环电阻、五色环电阻（精密电阻器）。快速识读色环电阻的关键是先读第三环，确定范围（如棕表示几百几十欧，红表示几点几千欧，橙表示几十几千欧，以此类推），再看前两环。

(3) 顾名思义，直标法就是把阻值直接印刷在电阻上面。

1. 四色环电阻的识别

所谓四色环电阻，就是一个电阻上最多有四条色环表示阻值，如图 1-4 所示。每一种颜色代表的数字或特性参数如表 1-7 所示。

表 1-7 四色环电阻的识别

色别 环数	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银	无色
第一环	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			
第二环	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			
第三环	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	1	10^{-1}	10^{-2}	
第四环											$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

识别时：第一环代表阻值的第一位数字；第二环代表阻值的第二位数字；第三环代表倍率，即把由第一、第二位数字组成的数乘以这个倍率，即为电阻的阻值；第四环代表阻值的误差范围。例如，有一个色环为棕、橙、黄、银的电阻，其阻值如图 1-5 所示。又如，一个色环为绿、棕、金、金的电阻，其阻值如图 1-6 所示。

从上两例和表 1-7 中可以看到，黑、金、银既表示 0、5%、10%，又表示 1、0.1、0.01。初学者应记住，只有当第三环出现黑、金、银时，此三色才表示 1、0.1、0.01。再如，一个色环为棕、黑、黑、银的电阻，其阻值如图 1-7 所示。

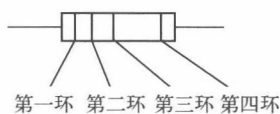


图 1-4 四色环电阻的标识

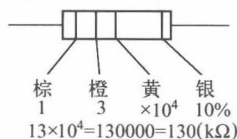


图 1-5 四色环电阻举例之一

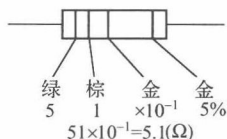


图 1-6 四色环电阻举例之二

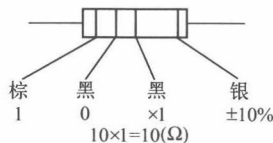


图 1-7 四色环电阻举例之三

2. 五色环电阻的识别

五色环电阻是国外的一些产品，用五色环来表示其特性参数，如图 1-8 与表 1-8 所示。表中，第一、第二、第三环分别代表阻值的第一、第二、第三位数字，第四环代表倍率，第

五环代表阻值的误差范围。这和四色环电阻类似。

表 1-8 五色环电阻的识别

色别 环数	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银	无色
第一环	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			
第二环	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			
第三环	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			
第四环	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6				1	10^{-1}	10^{-2}	
第五环	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$			$\pm 0.5\%$						$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 20\%$

例如，一个色环为橙、棕、绿、红、金的电阻，其阻值如图 1-9 所示。对于阻值小于 10Ω 的电阻，常在前四环中省去一环，如一个色环为黄、紫、银、绿的电阻，其阻值如图 1-10 所示。

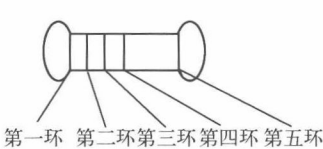


图 1-8 五色环电阻举例之一

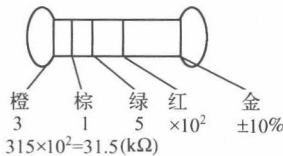


图 1-9 五色环电阻举例之二

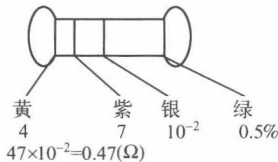


图 1-10 五色环电阻举例之三

1.1.5 电阻的特殊问题

在选用电阻时需要注意以下两个常见的但又具有特殊性的问题。

1. 精度与标称值

在刚开始设计和制作电路时，许多同学往往存在以下误区。

(1) 购买或查找按照理论计算出阻值的电阻。前面已经介绍过，电阻是按照系列值生产出来的，因此并不能生产出具有任意计算出来的阻值的电阻。如果需要具有比较精确的阻值的电阻，可以从最接近的系列值中去筛选，也可通过电阻的串联或并联来解决，还可采用可变电阻器来得到所需阻值的电阻。

(2) 忽视阻值的误差，或同一标称值电阻阻值的离散性。当计算出来的阻值正好与某个标称值相同时，或仅仅根据电阻的标称值使用时，往往出现电路的性能与设计性能大相径庭的现象。其原因是有的电阻系列的误差可以高达 10%，在制作一些要求较高的电路时往往得到很差的性能。例如，制作仪器放大器时，如果需要阻值匹配的电阻的实际值相差 10%，这就意味着电路的共模抑制比最多只能达到 20dB。

(3) 忽略了电阻的稳定性，特别是其阻值的温度漂移（简称温漂）。如果需要准确阻值的电阻，除了需要用电阻（欧姆）表去筛选外，还需要从精密电阻中去筛选。从精密电阻中去筛选有两个含义：一是精密电阻的精度更高，意味着其系列值更多，误差更小，更容易筛选到所需阻值的电阻；二是精密电阻的温漂很小，稳定性很高，选定后的电阻阻值变化很小。一般来说，需要精度较高的电阻时可以采用精密金属膜电阻。