

实用电子技术丛书

模拟电路应用设计

胡圣尧 关 静 编著

实用电子技术丛书

模拟电路应用设计

胡圣尧 关静 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书从理论设计出发,结合实际应用,介绍模拟电路设计的常见分立器件及其常见电路设计。本书共 11 章,内容包括常用电子器件、常用半导体器件、集成运放的应用、分立元件电路设计案例、滤波器的设计与应用、RC 方波振荡电路设计、信号产生与处理电路电源的设计、印制电路板的设计、常用电子测量仪器的原理和应用、基本电路主要参数的测量。本书中的设计步骤和设计方法对那些刚刚从事硬件电路设计的学生和硬件工程师能起到抛砖引玉的作用,在某些实际工程设计中,有一定的参考价值。

本书既可供电路设计及研发人员阅读,亦可作为工科院校电子、通信等专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路应用设计/胡圣尧,关静编著. —北京:科学出版社,2009

(实用电子技术丛书)

ISBN 978-7-03-025122-0

I. 模… II. ①胡… ②关… III. 模拟电路-电路设计 IV. TN710.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 132182 号

责任编辑:杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:李 力

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>

北京天时彩色印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月 第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009 年 8 月第一次印刷 印张: 14

印数: 1—5 000 字数: 266 000

定 价: 34.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

模拟电路设计是现在许多电路设计工作中比较重要的一部分,也是令许多工程师比较头疼的。在现在的教育模式下,许多学生和初级工程师在学习完模拟电子技术等课程之后,虽然也进行了一些实验、实践训练,但是仍然不能进行一些模拟电路工程设计。这里面有很多的原因:一方面,这些人刚刚学完理论知识,没有实际设计经验,当面对模拟电路设计时,往往是无所适从,不知从何入手,以前所学习的理论就统统模糊了;另外一方面,这些正在学习或刚毕业的学生不熟悉整个产品的流程,不了解从产品的概念到产品的中间环节,不懂得实验品和产品是两个不同的东西。尽管实验品和产品具有相同的功能和几乎相同的原理电路,它们之间,对一个用户来说可能是区别不大,但是对一个硬件电路工程师来说,却有很大的区别。比如,产品的可靠性、稳定性、耐用性和易用性、易加工性、性价比等方面,都是硬件电路工程师在进行电路设计时,必须要考虑的问题。

本书在编写过程中充分考虑到上述问题,既介绍理论推导,又加入实践工程经验。本书共 11 章,第 1、2 章分别介绍各种常用器件及其特性参数,比如同样阻值的电阻,由于其他特性参数的不同,只能用在不同的场合;第 3 章主要是介绍常见的运放特性和基本运放电路;第 4 章介绍使用三极管等分立器件的一些应用电路;第 5 章介绍滤波器的设计及计算方法;第 6 章介绍 RC 方波振荡电路设计;第 7 章主要介绍电压信号和电流信号的转换;第 8 章介绍电源的设计与制作,以及如何利用常见器件进行扩流和调压;第 9 章介绍制作印制电路板需要考虑的各种因素;第 10 章介绍常用电子测量仪器的使用;第 11 章介绍各类电路参数的测量。本书第 1、7、8、9 章由胡圣尧编写,第 2、4、6 章由关静编写,第 5 章由吴雪芬编写,第 3 章由于海平编写,第 10 章由许清泉编写,第 11 章由葛中芹编写,胡圣尧对全书进行了统稿。

由于本书编写匆忙,书中难免有一些错误,欢迎读者批评与指正。我们的电子邮箱是:husy@czu.cn。

编 者

目 录

第 1 章 常用电子器件	1
1.1 电 阻	1
1.1.1 固定电阻	2
1.1.2 可变电阻	7
1.1.3 特种电阻	11
1.2 电 容	13
1.2.1 电容的基本概念	13
1.2.2 电容的分类及特点	14
1.2.3 电容的作用	16
1.3 电 感	18
1.3.1 电感的定义	18
1.3.2 电感的主要特性参数	19
1.3.3 常用电感线圈	20
1.3.4 电感在电路中的作用	21
1.3.5 电感的型号、规格及命名	21
1.3.6 电感在电路中的应用	24
1.3.7 电感的使用	24
1.3.8 常见的磁心磁环	25
第 2 章 常用半导体器件	27
2.1 二极管的工作原理及工作参数	27
2.1.1 二极管的内部结构	27
2.1.2 二极管的导电特性	27
2.1.3 二极管的主要参数	28
2.1.4 二极管的性能测试	28
2.2 二极管的类型	29
2.2.1 根据构造分类	29
2.2.2 根据用途分类	31
2.2.3 根据特性分类	33
2.3 半导体三极管的基本结构	34

2.3.1	三极管内部结构	34
2.3.2	三极管的电流放大作用	36
2.3.3	三极管的共射特性曲线	38
2.3.4	三极管的主要参数	40
第3章	集成运放的应用基础	43
3.1	集成运放概述	43
3.1.1	集成运放的基本构成	43
3.1.2	集成运放的表示符号及端口	44
3.2	集成运放的主要参数	45
3.2.1	集成运放的主要直流参数	45
3.2.2	集成运放的主要交流参数	47
3.3	集成运放的分类	49
3.4	运算放大器的基本应用	51
3.4.1	运算放大器的基本电路	51
3.4.2	运算放大器的典型应用电路	52
第4章	分立元件电路设计案例	55
4.1	分立元件有线对讲机	55
4.1.1	概 述	55
4.1.2	设计步骤	56
4.1.3	调 试	61
4.2	正弦波信号源电路的设计	62
4.2.1	概 述	62
4.2.2	设计步骤	63
4.2.3	调 试	65
4.3	可控硅充电器的设计	65
4.3.1	概 述	65
4.3.2	设计步骤	66
4.3.3	调试方法、步骤	70
4.4	无线调频对讲机的设计	70
4.4.1	概 述	70
4.4.2	设计步骤	71
4.4.3	调整方法、步骤	74
第5章	滤波器的设计与应用	75
5.1	概 述	75
5.2	滤波器的原理及分析	76

5.2.1	有源低通滤波器(LPF)	76
5.2.2	有源高通滤波器(HPF)	80
5.2.3	有源带通滤波器(BPF)和带阻滤波器(BEF)	81
5.3	滤波器的设计	81
5.3.1	滤波器的结构	82
5.3.2	滤波器电路的具体设计	83
5.3.3	电路分析与设计	83
5.3.4	电压-电流变换电路	86
第6章	RC方波振荡电路设计	89
6.1	施密特 IC 构成的振荡电路	89
6.1.1	施密特反相器的特点	89
6.1.2	振荡工作原理	89
6.1.3	振荡频率的计算方法	90
6.2	CMOS反相器构成的振荡电路	93
6.2.1	振荡原因	94
6.2.2	限流电阻的选用	96
6.2.3	1kHz 振荡频率的设计实例	96
6.2.4	最高振荡频率	97
6.3	使用运算放大器的方波振荡电路	97
6.3.1	振荡工作原理	98
6.3.2	振荡频率的计算	98
6.3.3	输出限幅的设计方法	99
6.3.4	RC 时间常数	100
6.4	使用专用 IC 555 的振荡电路	101
6.4.1	555 的工作原理	102
6.4.2	定时常数的确定	103
6.4.3	555 外围电路元器件的选用	104
第7章	信号产生与处理电路	105
7.1	V/I 转换电路	105
7.1.1	0~10V/4~20mA 的 V/I 转换电路	105
7.1.2	0~5V/0~10mA 的 V/I 转换电路	106
7.1.3	0~10V/0~10mA 的 V/I 转换电路	107
7.1.4	1~5V/4~20mA 的 V/I 转换电路	108
7.2	I/V 转换电路	108
7.2.1	0~10mA/0~5V 的 I/V 转换电路	108
7.2.2	由运放组成的 0~10mA/0~5V 的 I/V 转换电路	109

7.2.3	简单的 4~20mA/1~5V 的 I/V 转换电路	109
7.2.4	LM324 组成的 4~20mA/0~5V 的 I/V 转换电路	110
7.2.5	OP07 组成的 4~20mA/0~5V 的 I/V 转换电路	111
7.3	二线制交流电流变送器的设计	113
7.3.1	二线制交流电流变送器概述	113
7.3.2	二线制交流电流变送器的元器件选择与电路设计	114
第 8 章	电源的设计	123
8.1	三端集成稳压器的电源	123
8.1.1	三端集成稳压器概述	123
8.1.2	提高三端集成稳压器的输出电压	124
8.1.3	连续调整三端集成稳压器的输出电压	125
8.1.4	三端集成稳压器的扩流	126
8.1.5	W317 集成稳压器	126
8.2	基于 DC/DC 芯片的电源设计	127
8.2.1	LDO 器件原理	127
8.2.2	LDO 器件外围器件的选用	128
8.2.3	LDO 器件的典型调压电路	129
8.2.4	固定调压器的典型电路	129
8.2.5	可调压输出的最佳负载调整	130
8.2.6	保护二极管	130
8.3	PWM 开关电源的设计	131
8.3.1	AC/DC 转换器芯片 THX202H 介绍	131
8.3.2	THX202H 的器件选择及注意事项	132
8.3.3	THX202H 的典型应用电路	134
8.4	电容降压式电源	136
8.4.1	几种阻容降压方案介绍	136
8.4.2	器件选择	137
8.4.3	设计举例	137
第 9 章	印制电路板的设计	139
9.1	印制电路板的初步设计	139
9.1.1	印制电路的材质	139
9.1.2	印制板的尺寸	140
9.1.3	板的厚度	141
9.2	印制板的排版布局	141
9.2.1	元器件体的安全距离	142
9.2.2	按照信号流的走向布局	142

9.2.3	优先确定特殊元器件的位置	142
9.2.4	一般元器件的布局	144
9.3	布 线	144
9.3.1	印制板导线的宽度	144
9.3.2	印制板的间距、走向和形状	147
9.4	数字电路和模拟电路混合的 PCB 设计	153
第 10 章	常用电子测量仪器的原理和应用	159
10.1	万用表的原理与使用	159
10.1.1	概述	159
10.1.2	模拟式万用表(MF-47)	160
10.1.3	数字式万用表	167
10.2	电压表的原理与使用	170
10.2.1	概述	170
10.2.2	DA-16 电压表	170
10.2.3	DA-22B 电压表	174
10.3	信号发生器的原理与使用	176
10.3.1	低频信号发生器	177
10.3.2	函数信号发生器	177
10.4	示波器的原理与使用	179
10.4.1	示波器的基本组成原理	180
10.4.2	通用示波器	183
10.4.3	通用示波器的电路原理简述	185
10.4.4	通用示波器的使用注意事项	189
第 11 章	基本电路主要参数的测量	191
11.1	基本放大电路静态的测量	191
11.1.1	晶体管单级放大电路	191
11.1.2	场效应管单级放大电路	193
11.1.3	晶体管多级放大电路	193
11.1.4	差分放大电路	194
11.1.5	集成运算放大器	195
11.2	基本放大电路动态的测量	196
11.2.1	电压放大倍数的测量	197
11.2.2	差分放大器放大倍数的测量	197
11.2.3	功率放大倍数的测量	199
11.2.4	基本放大器输入阻抗的测量	199
11.2.5	放大器输出阻抗的测量	203

11.3	基本放大电路失真度	204
11.4	基本放大电路的幅频特性与相频特性测量	205
11.4.1	基本放大电路的幅频特性	205
11.4.2	放大器的相频特性	207
11.5	振荡电路的测量	207
11.5.1	正弦波振荡电路调整与测量的基本方法	208
11.5.2	RC 桥式振荡电路的调整与测量	209
11.5.3	非正弦波产生电路的调整与测量	210

第 1 章

常用电子器件

1.1 电 阻

电阻是电气、电子设备中用得最多的基本元件之一，主要用于控制和调节电路中的电流和电压，或用作消耗电能的负载。

电阻有不同的分类方法：按材料分，有碳膜电阻、水泥电阻、金属膜电阻和线绕电阻等不同类型；按功率分，有 $\frac{1}{16}$ W、 $\frac{1}{8}$ W、 $\frac{1}{4}$ W、 $\frac{1}{2}$ W、1W、2W 等额定功率的电阻；按电阻值的精度分，有精度为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等的普通电阻，还有精度为 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 和 $\pm 2\%$ 等的精密电阻。电阻的类别可以通过外观的标记识别。

电阻的种类有很多，通常分为三大类：固定电阻，可变电阻，特种电阻。在电子产品中，以固定电阻应用最多，而固定电阻按其制造材料又可分为好多类，但常用的有 RT 型碳膜电阻、RJ 型金属膜电阻、RX 型线绕电阻，还有近年来开始广泛应用的贴片电阻。型号命名很有规律，第一个字母 R 代表电阻；第二个字母的意义是：T—碳膜，J—金属，X—线绕，这些符号是汉语拼音的第一个字母。在国产老式的电子产品中，常可以看到外表涂覆绿漆的电阻，那就是 RT 型的。而红颜色的电阻，是 RJ 型的。金属膜电阻虽然精度高、温度特性好，但制造成本也高，而碳膜电阻特别价廉，一般能满足民用产品要求。

电阻当然也有功率之分。常见的是 $\frac{1}{8}$ W 的色环碳膜电阻，它是电子产品和电子制作中用得最多的。在一些微型产品中，会用到 $\frac{1}{16}$ W 的电阻，它的个头小多了。

1.1.1 固定电阻

1. 分类及特性

固定电阻的表示符号如图 1.1 所示。

按照固定电阻材质可分为：碳质电阻、线绕电阻、薄膜电阻、金属玻璃釉电阻、贴片电阻。下面分别进行介绍。

1) 实心碳质电阻

用碳质颗粒状导电物质、填料和黏合剂混合制成一个实体的电阻(图 1.2)。

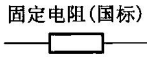


图 1.1 固定电阻国际符号

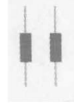


图 1.2 实心碳质电阻

特点：价格低廉，但其阻值误差、噪声电压都大，稳定性差，目前较少用。

2) 线绕电阻

用高阻合金线绕在绝缘骨架上制成，外面涂有耐热的釉绝缘层或绝缘漆(图 1.3)。线绕电阻具有较低的温度系数，阻值精度高，稳定性好，耐热，耐腐蚀，主要作精密大功率电阻使用，缺点是高频性能差，时间常数大。

3) 薄膜电阻

用蒸发的方法将一定电阻率材料蒸镀于绝缘材料表面制成。主要分类如下：

(1) 碳膜电阻。将结晶碳沉积在陶瓷棒骨架上制成(图 1.4)。碳膜电阻成本低、性能稳定、阻值范围宽、温度系数和电压系数低，是目前应用最广泛的电阻。

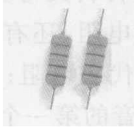


图 1.3 线绕电阻



图 1.4 碳膜电阻

(2) 金属膜电阻。用真空蒸发的方法将合金材料蒸镀于陶瓷棒骨架表面制成(图 1.5)。金属膜电阻比碳膜电阻的精度高，稳定性好，噪声及温度系数小。在仪器仪表及通信设备中大量采用。

(3) 金属氧化膜电阻。在绝缘棒上沉积一层金属氧化物(图 1.6)。由于其本身即是氧化物，所以高温下稳定，耐热冲击，负载能力强。

(4) 合成膜电阻。将导电合成物悬浮液涂敷在基体上而得，因此也叫漆膜电阻(图 1.7)。由于其导电层呈现颗粒状结构，所以其噪声大，精度低，主要用它制造高压、高阻、小型电阻。



图 1.5 金属膜电阻

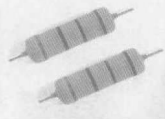


图 1.6 金属氧化膜电阻

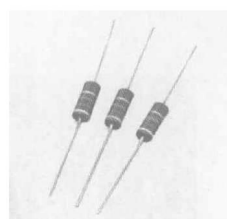


图 1.7 合成膜电阻

4) 金属玻璃釉电阻

将金属粉和玻璃釉粉混合,采用丝网印刷法印在基板上(图 1.8)。耐潮湿、高温,温度系数小,主要应用于厚膜电路。

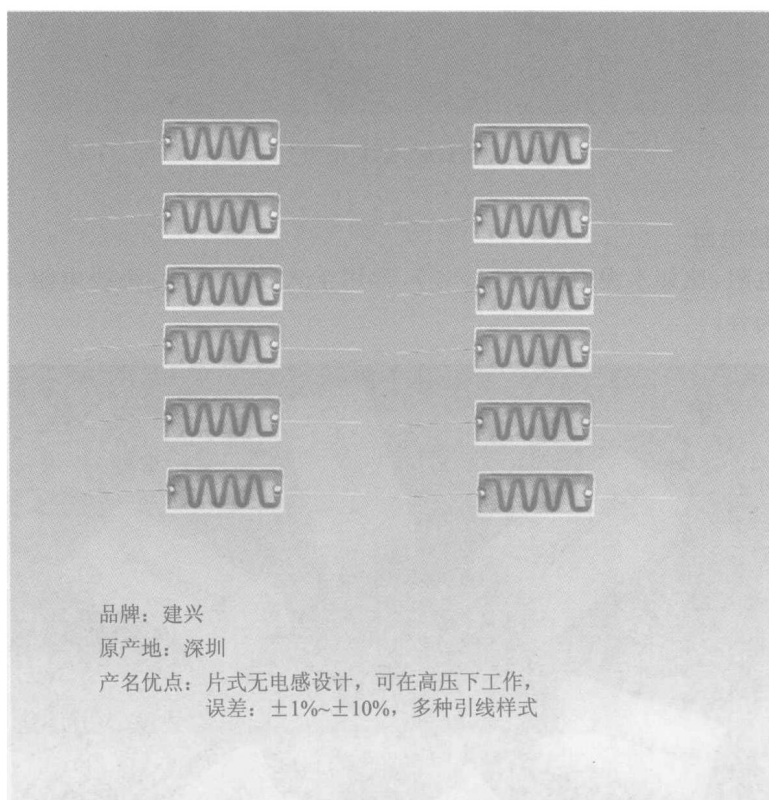


图 1.8 金属玻璃釉电阻

5) 贴片电阻

贴片电阻是金属玻璃釉电阻的一种形式,其电阻体是高可靠的钉系列玻璃釉材料经过高温烧结而成,电极采用银钯合金浆料(图 1.9)。体积小、精度高、稳定性好,因为其为片状元件,所以高频性能好。

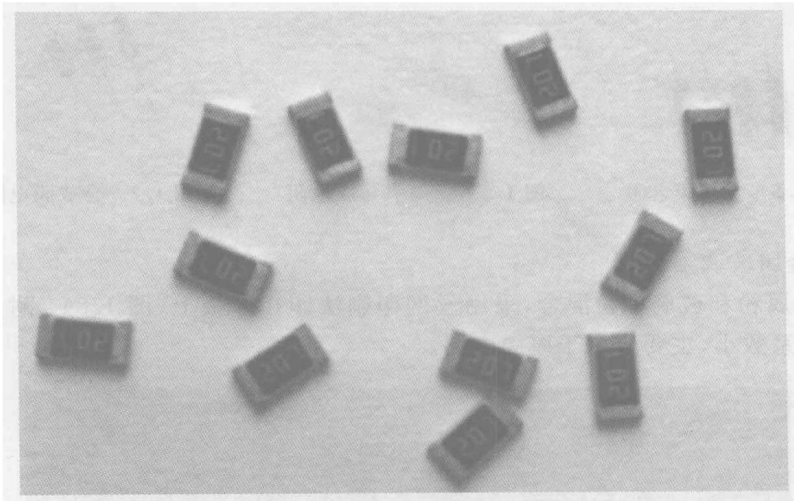


图 1.9 贴片电阻

6) 其他电阻

其他电阻,比如水泥电阻(图 1.10),常用于大功率场合;跳线电阻,常用于需要跳线的场合。

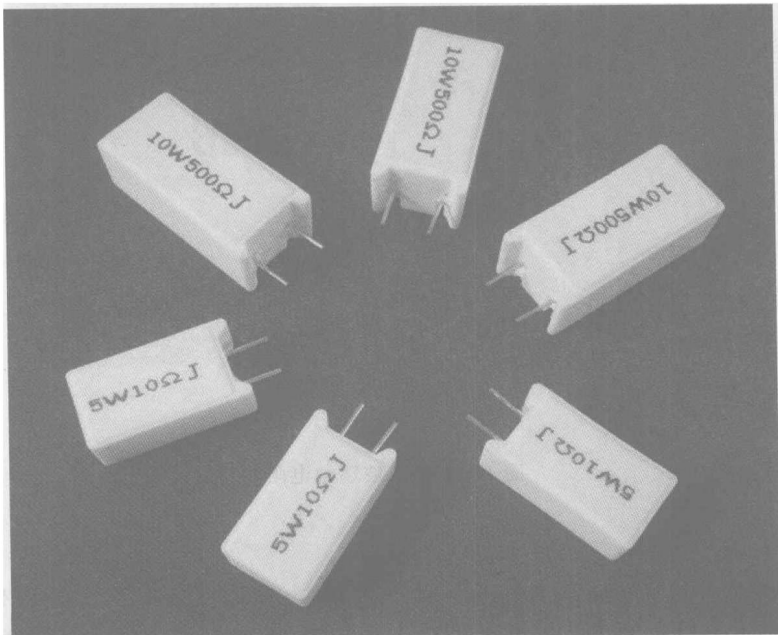


图 1.10 水泥电阻

2. 电阻型号命名方法

电阻的型号命名方法根据 GB2471-81, 见表 1.1。

表 1.1 电阻型号的命名方法

第一部分:主称		第二部分:材料		第三部分:特征			第四部分:序号
符号	意义	符号	意义	符号	电阻	电位器	
R W	电阻 电位器	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区别, 但基本不影响互换使用的产品, 给同一序号; 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
		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	硼酸膜	9	特殊	特殊	
		U	硅酸膜	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	—	—	—			

3. 电阻值的标识

按部颁标准规定, 电阻值的标称值应为表 1.2 所列数字的 10^n 倍, 其中, n 为正整数、负整数或零。

表 1.2 电阻(电位器、电容器)标称系列及误差表

系列	允许误差	电阻的标称值
E24	I 级($\pm 5\%$)	1.0、1.1、1.2、1.3、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.7、3.0、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	II 级($\pm 10\%$)	1.0、1.2、1.5、1.8、2.2、2.7、3.3、3.9、4.7、5.6、6.8、8.2
E6	III 级($\pm 20\%$)	1.0、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8

电阻的阻值和允许偏差的标注方法有直标法、色标法和文字符号法。

1) 直标法

将电阻的阻值和误差直接用数字和字母印在电阻上(无误差标示为允许误差 $\pm 20\%$)。也有厂家采用习惯标记法,如:

- 3Ω3 I 表示电阻值为 3.3Ω、允许误差为 $\pm 5\%$
- 1k8 III 表示电阻值为 1.8kΩ、允许误差为 $\pm 20\%$
- 5M1 II 表示电阻值为 5.1MΩ、允许误差为 $\pm 10\%$

2) 色标法

将不同颜色的色环涂在电阻(或电容)上来表示电阻(电容)的标称值及允许误差,各种颜色所对应的数值见表 1.3。固定电阻色环标志读数识别规则如图 1.11 所示。

表 1.3 电阻色标符号意义

颜色	有效数字第一位数	有效数字第二位数	倍乘数	允许误差
棕	1	1	10^1	± 1
红	2	2	10^2	± 2
橙	3	3	10^3	—
黄	4	4	10^4	—
绿	5	5	10^5	± 0.5
蓝	6	6	10^6	± 0.2
紫	7	7	10^7	± 0.1
灰	8	8	10^8	—
白	9	9	10^9	—
黑	0	0	10^0	—
金	—	—	10^{-1}	± 5
银	—	—	10^{-2}	± 10
无色	—	—	—	± 20

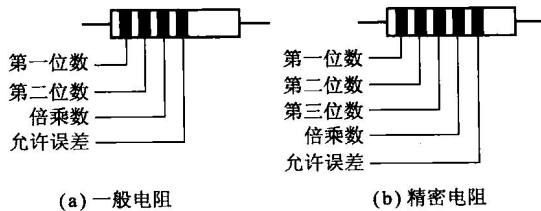


图 1.11 固定电阻色环标志读数识别规则

3) 文字符号法

例如:3M3K 3M3 表示 $3.3\text{M}\Omega$,K 表示允许偏差为 $\pm 10\%$ 。允许偏差与字母的对应关系见表 1.4。

表 1.4 电阻(电容)偏差标志符号表

允许偏差	标志符号	允许偏差	标志符号	允许偏差	标志符号
± 0.001	E	± 0.05	W	± 2	G
± 0.002	Z	± 0.1	B	± 5	J
± 0.005	Y	± 0.2	C	± 10	K
± 0.01	H	± 0.5	D	± 20	M
± 0.02	U	± 1	F	± 30	N

4. 电阻额定功率的识别

电阻的额定功率指电阻在直流或交流电路中,长期连续工作所允许消耗的最大功率。有两种标志方法:2W 以上的电阻,直接用数字印在电阻体上;2W 以下的电阻,以自身体积大小来表示功率。在电路图上表示电阻功率时,采用图 1.12 所示符号。

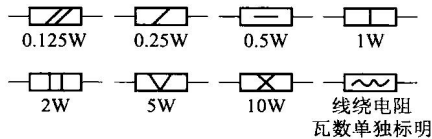


图 1.12 电阻额定功率电路符号

1.1.2 可变电阻

1. 可变电阻概述

可变电阻的符号如图 1.13 所示。可变电阻一般称为电位器,从形状上分有圆柱形、长方体形等多种形状;从结构上分有直滑式、旋转式、带开关式、带紧锁装置式、多连式、多圈式、微调式和无接触式等多种形式;从材料上分有碳膜、合成膜、有机导体、金属玻璃釉和合金电阻丝等多种电阻体材料。碳膜电位器是较常用的一种。电位器在旋转时,其相应的阻值依旋转角度而变化,变化规律有三种不同形式,参见图 1.14。

(1)X 型为直线型,其阻值按角度均匀变化。它适于作分压、调节电流等用,如在电视机中作场频调整。

(2)Z 型为指数型,其阻值按旋转角度依指数关系变化,它普遍使用在音量调节电路里。由于人耳对声音响度的听觉特性是接近于对数关系的,在音量从零开