



普通高等教育“十二五”规划教材

电子电路设计与实践

DIANZI DIANLU SHEJI YU SHIJIAN

周文良 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育“十二五”规划教材

电子电路设计与实践

周文良 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书属于电子电路设计与应用类教材,共分为5个部分:第一部分对电子电路设计的内涵作简单描述;第二部分介绍常用电子元器件;第三部分则介绍电子电路的具体实现过程;第四部分是本书的重要成分,主要介绍常用电子电路设计,其中包括电源电路的设计、放大与控制电路的设计、数字电路设计、综合应用性设计;最后为附录部分,在这个部分中采用最简形式给出电子电路设计所需的常用基础知识资料和常用元器件型号、参数以及部分数字集成电路功能索引等资料,供读者设计电路时查阅和参考。

本书可作为工科院校和相关院校的工科电气类、自控类、电子类、计算机类以及非电类各相关专业的技能实训、工艺实习、课程设计等实践教学的教材,也可以作为电子产品开发与设计工作人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子电路设计与实践/周文良著. —北京:国防工业出版社,2011.1
ISBN 978-7-118-07155-9

I. ①电... II. ①周... III. ①电子电路—电路设计
IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 008062 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 430 千字

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

序

电子电路设计,是一个含义极其宽泛的词汇,它是电子技术原理与应用的综合体。即便是对于现代电子技术来说,其含义也绝非通常的模拟电子技术和数字电子技术可以囊括的。可以说,电子电路设计是电路、电子、电气、检测、控制等多学科的一个综合载体。作者此次撰写的《电子电路设计与实践》一书,就是很好的例证。

还需说明的是:电子电路设计必须要有针对性。就是说,电子电路设计必须要有实用价值,解决实际生产生活问题,完成指定的功能。只有具备了一定功能的电子电路设计,才有实际价值和实际意义,否则电子电路设计将成为一个空洞的名词。

《电子电路设计与实践》一书所涉及的内容,其中的单元电路设计以及单元电路的综合性应用,均属作者自行设计和实践过的,并且具有明确的实际功能,这一点是十分难能可贵的。如作者使用自己设计的正交变压器设计的开关电源电路中,不仅具有很好的理论参考价值,同时因为其设计方案的实施效果好,又有真实的一手实验数据作为参考,而使其具有很高的实用价值。再如,作者在计算机远程操作与控制系统中设计的智能锁控制器电路,也属于实用电路。该电路设计精巧,原理严密,在系统的实际使用中因其稳定的性能,收到了很好的效果。此外还有工艺数字钟电路的设计,也独具特色,尽管电路原理简单,但毕竟是完整的系统设计,是可以工作的裸机,当然就具有了实用价值。甚至可以说,这种结构设计具有创新性。此外在电源电路设计、控制与放大等多种电路的设计中,都明显地具备了如上特色。

在作者的设计里,还有与研究相关联的内容,如大功率负载板的设计,可以很好地解决在电源电路的研究工作中,需要大功率负载的问题。这种设计,不仅具有取材容易、原理简单、业余工艺条件下容易实现的特点,而且还具有相当高的实用价值。

还有一些内容,非常适合确定为学生实践教学的素材,如收音机电路、双限电压比较器电路、分立元件自激多谐振荡器电路、楼道灯电路、电子开关电路等。并且针对学生的不同学习阶段,以及不同专业侧重点不同的特点,来选择不同性质内容。

正是由于《电子电路设计与实践》内容宽泛,并且含有不同层次,尤其是具有很强的针对性和实用性,因此该书作为大学生电子设计的参考用书,也是非常适合的。

最后需要指出,《电子电路设计与实践》还罗列了电子电路设计所需要的全部材料,如电路符号、常用元件的型号与参数、集成电路的功能索引等。尽管各个部分内容没有做到尽善尽美和包罗万象,但已经基本包含了常用资料,可以满足通常意义的电子电路设计的要求。

总之,从《电子电路设计与实践》的全部内容来看,其中既有必要的原理说明,又

有详细的工艺过程及实验效果记录;在内容的编排上,既有简单的基础设计,又有渗入相关学科的综合型设计;既有传统经典的电路设计,也有现行的和近代的新型电路设计;在典型电路设计中,既保持了原来电路的基本功能,还综合了新功能和新的用法,使人耳目一新。

《电子电路设计与实践》在内容定位上,主要是实用电子电路的设计与应用,其读者群应该含有电子电路设计与研发人员、高校相关专业的师生以及电子爱好者等,其性质类别当属工程技术门类。从专业角度讲,该书内容充实,涵盖内容与门类广泛,并且其中的设计有简有繁,由浅到深,可以适合于不同层次读者。有鉴于此,与其说该书的内容是电子电路设计,还不如说该书是作者多年从事电子电路设计工作的真实记录和实际经验的积累,是作为一个勤奋耕耘于该领域的工作者所作大量工作的真实写照。

从全书的内容上看,该书可作为高校电子电气及其相关专业的电子设计与工程训练的指导教材,同时它对相关专业的学科竞赛,尤其是指导大学生电子设计竞赛和相关的电子电路设计工作,具有极高的参考价值。

孟祥存

2010年4月

前 言

时值信息时代,科学技术的飞速发展,大力推动生产力的发展并创造巨大经济价值,同时,也丰富和改善着人们的生活。在电子电气与信息技术领域,知识与技术也在迅速地膨胀着,学科专业不断拓宽和深化,分专业、分层次、分类别的从业人员大军,每时每刻地走向各自的不同工作岗位。作者从教多年,经历基础课、专业基础课、专业课的理论与实践教学,并多次参加人才培养方案的制定工作,对各个层次与专业的人才培养规格小有了解。

专就电子电路设计这个内容而言,作者认为它对于电子技术、电子技术应用、自动化与自动控制、电气以及电气工程及其相关专业的师生来说,关系紧密且意义重大。本书所涉及的内容,主要是定位在实践应用上,它基本属于工程技术范畴。尽管其内容没有高深理论的表述,甚至可以说很少有学术价值。但对于本书的内容而言,仍然期望对如上各相关专业的高校师生具有很好的参考和帮助的价值。果能如此的话,作者将甚感荣幸和欣慰。

本书共分为7章,第1章简单叙述电子电路设计;第2章介绍一些常用电子元件;第3章介绍焊接和电路板的设计;第4章、第5章、第6章、第7章则主要介绍常用电子电路设计,它包括了电源电路设计、放大电路与控制电路设计、数字电路设计以及综合电路应用设计;书后有附录部分,以最简形式给出主要的常用基础知识和信息备忘,它包括国家标准、常用元器件型号参数等。

按照本书的基本定位,在取材方面遵循的原则是:首先,考虑一定要面向电子技术的实际应用;其次,在内容的编排上注意了从基本到综合、从简易到复杂、从单一的电子技术扩展到控制与检测的渐进化的次序;第三,为使本书更具实用价值,力求采用作者实践过的实例作为表述内容,并附有大量实物照片;第四,为了使读者实现最高的学习效率,全部内容都力求成为从原理、工艺到型号参数等资料作一体化表述,或者直接获得或者从本书间接获得相关的设计与应用信息,而不需要读者另外查阅其他资料,这也是本书的一个鲜明的特点。

本书在文稿的整理和定稿的过程中,得到孟祥萍教授的细致审阅和指导,并对全书内容的系统性、科学性叙述方面给出了极富价值的建议,无疑对本书的质量提高,起到了至关重要的作用,在此表示诚挚的谢意。另外本书在创作、整合、修改的过程中,得到国防工业出版社张永生编辑、长春工程学院谷树忠教授以及其他同行的提示和帮助,在此也一并表示感谢。

由于著者水平有限,加上时间仓促,书中定有一些疏漏、欠妥和错误之处,敬请读者批评指正。如有问题,请与张永生编辑联系,电子邮箱:zhangyongsheng100@163.com。

作者

目 录

第 1 章 电子电路设计	1
1.1 电子电路设计的含义	1
1.2 电子电路设计的目的	1
1.3 电子电路设计的内容步骤	1
1.4 电子电路的创新设计	2
1.5 电子电路设计的几个关键点	2
第 2 章 电子元器件简介	4
2.1 电阻器	4
2.1.1 电阻器的主要技术指标	4
2.1.2 电阻器的标志内容及认识	5
2.1.3 几种常用电阻器的特点及应用	7
2.1.4 电阻器的合理选用与质量判别	8
2.2 电位器	8
2.2.1 电位器的主要技术指标	8
2.2.2 电位器的类别	9
2.3 电容器	10
2.3.1 电容器的主要技术参数	10
2.3.2 容量值的标志方法	10
2.3.3 几种常见的电容器及其质量判别	11
2.4 电感器	11
2.5 变压器	12
2.5.1 收音机中频变压器	12
2.5.2 脉冲变压器和开关变压器	13
2.5.3 音频变压器	13
2.5.4 工频变压器	13
2.6 开关及接插元件简介	15
2.6.1 常用接插件	15
2.6.2 开关	17
2.7 继电器	19
2.7.1 电磁式继电器	19

2.7.2	干簧继电器	21
2.7.3	固态继电器	22
2.8	散热器	25
2.8.1	散热器的材料、型号及主要参数	25
2.8.2	散热器安装注意事项	25
2.9	半导体分立器件	26
2.9.1	半导体器件的命名方法	26
2.9.2	二极管	30
2.9.3	稳压二极管	31
2.9.4	晶体三极管	32
2.9.5	场效应管	36
2.9.6	光电器件	37
2.10	半导体集成电路	41
2.10.1	基本结构与类别	41
2.10.2	型号、命名、封装	41
2.10.3	使用与注意事项	45
第3章	电子电路的工艺过程	46
3.1	焊接技术	46
3.1.1	焊接工具	46
3.1.2	焊料与焊剂	51
3.1.3	焊接工艺	52
3.1.4	典型焊接方法及工艺	57
3.2	印制电路板的设计	65
3.2.1	印制电路板设计前的准备	66
3.2.2	板材的准备	66
3.2.3	印制板对外连接方式的选择	66
3.2.4	印制电路板的分布设计	67
3.2.5	元器件的安装与布局	70
3.2.6	焊盘及印制导线	71
3.2.7	草图的绘制	74
3.2.8	底图的形成	75
3.3	印制电路板的制作	76
3.3.1	印制板制作过程	77
3.3.2	业余印制板制作过程	78
第4章	直流稳压电源电路的设计	83
4.1	基本电源电路设计	83
4.1.1	通用型直流稳压电源组成原理	83

4.1.2	线性调整式直流稳压电源的设计	85
4.1.3	三端集成稳压器工作原理	90
4.2	电子变压器与电子镇流器	94
4.2.1	隔离式 50W 自激电子变压器电路	94
4.2.2	他激式电子变压器	96
4.2.3	日光灯电子镇流器	98
4.3	开关电源的设计	99
4.3.1	简易开关电源设计	100
4.3.2	UC3842 原理与应用	101
4.3.3	TOP224 三端开关电源	103
4.3.4	TL494 的原理与应用	106
4.3.5	有源功率因数补偿电路的设计	109
4.4	实用电路应用与设计举例	111
4.4.1	三端集成稳压器应用设计	112
4.4.2	分立元件大电流直流稳压电源设计	122
第 5 章	常见模拟电路的应用设计	123
5.1	放大电路的设计	123
5.1.1	基本放大电路简介	123
5.1.2	助听器电路设计	127
5.1.3	音频功率放大	129
5.1.4	语音收发电路设计	133
5.2	无线电接收电路设计	139
5.2.1	无线电的基本概念	139
5.2.2	简易收音机电路	141
5.2.3	超外差式收音机	146
5.2.4	调频收音机电路	150
5.2.5	业余无线电频率及其接收	156
5.3	无线电发射电路设计	161
5.3.1	调频无线话筒电路实验	161
5.3.2	无线对讲电路	163
5.4	电子开关及其应用电路	167
5.4.1	调功控制电路	167
5.4.2	节能开关电路	169
5.5	敏感电路及其应用	173
5.5.1	电压检测电路	173
5.5.2	电流检测电路	175
第 6 章	常见数字电路的设计	178
6.1	数字电路设计的基本描述	178

6.1.1	关于数字电路的基本概念	178
6.1.2	数字电路实际应用设计与开发的工作流程	178
6.1.3	数字电路设计的基本方法	179
6.2	常用单元电路设计	181
6.2.1	基本门电路及其应用	181
6.2.2	二极管矩阵电路原理及其应用设计	182
6.2.3	常见组合逻辑电路设计	186
6.2.4	7 段译码及显示电路	190
6.2.5	秒波发生器电路	192
6.2.6	触发器的基本应用设计	194
6.2.7	计数器应用设计	195
6.3	实用数字电路设计	205
6.3.1	简易彩灯控制器电路	205
6.3.2	10 路单选开关电路设计	211
6.3.3	工艺数字计时钟设计	213
6.3.4	数字定时器电路设计	216
第 7 章	综合应用设计实例	220
7.1	自激多谐振荡电路设计与应用	220
7.1.1	双极型三极管自激多谐振荡电路	220
7.1.2	基本门自激多谐振荡电路	223
7.1.3	NE555 自激多谐振荡电路	224
7.1.4	使用了运放的自激多谐振荡电路	224
7.2	小功率 DC - DC 变换器设计	225
7.2.1	简易升压 DC - DC 变换器电路	225
7.2.2	给万用表加装 DC - DC 变换器	226
7.2.3	小功率 DC - DC 变换器电路	226
7.2.4	简易多路输出开关电源设计	228
7.3	大功率负载板设计	229
7.3.1	设计目标	229
7.3.2	设计过程	229
7.3.3	实验室条件下的一种实现方法	231
7.4	频率合成器设计与应用	233
7.4.1	锁相环电路结构及其专门元件	233
7.4.2	简易数字信号发生电路	234
7.4.3	模拟正弦波信号发生器实验电路	236
7.5	正交变压器综合应用	240
7.5.1	正交变压器(Orthorhombic Transformer)的一种实现方法	240
7.5.2	正交变压器的应用	241

7.6 温度的检测与控制	245
7.6.1 温度敏感器件.....	245
7.6.2 简易温度控制电路.....	245
7.6.3 实际设计举例.....	246
7.7 计算机防误的远程操作与控制	248
7.7.1 系统组成及其描述.....	248
7.7.2 系统硬件组成与相关电路设计	250
附录	254
附录1 常用电气图形符号表	254
附录2 电子技术常用计量单位及符号	256
附录3 电子、电气技术常用辅助文字符号新旧对照表	258
附录4 倍数与分数单位词头	258
附录5 常用二极管型号与参数	259
附录6 常用双极型三极管、场效应管型号与参数	262
附录7 常用集成运算放大器基本参数与引脚分布	277
附录8 常用数字集成电路功能索引	282
参考文献	287
后记	288

第1章 电子电路设计

1.1 电子电路设计的含义

电子电路属于电路的一种,它是采用电子元件根据电路功能或性能要求并遵循一定的电路原理和规律设计制作的。正是由于具有一定的功能,电子电路通常被用在电子仪器或者相应的产品上。反过来,设计开发能完成一定功能的电子产品,必须要经历电子电路设计与制作的过程。电子电路设计本身包含原理设计和工艺实现两个部分。本书为了叙述方便并考虑到读者容易领会和掌握,人为地分成两个部分介绍。在电子电路实现的过程中,必然包含着设计与工艺这两个部分内容,也就是说电子电路设计和电子电路实现工艺二者是密不可分的。工艺是设计的具体实现,初期的原理设计对工艺具有指导意义。

一项电子电路设计是设计思想的具体实现;它不是一项符合设计要求的工艺过程,而是使用了一定的工艺手段实现了具有指定功能的实际电路。这样看来,电子电路设计甚至包含设计开发与定型制造的工作。下文叙述的电子电路设计,都是属于这种情况。

1.2 电子电路设计的目的

电子电路设计的根本目的,就是要实现指定的或者是预期的功能。作为一个电子电路,它一定要实现某种功能,否则就不称其为电路,或者没有实际意义。

对于现有的电子元件,需要了解它的电特性,学习和掌握它的电路规律,并进行应用。而对于由若干器件有机组合的电路,就一定先要按期望功能进行原理设计和工艺实施,才会得到指定的特性和功能。这是两种不同的过程。

通过如上过程得到的电路,如果完成了预期功能,则电路设计就是成功的,否则就是失败的。检验设计成功与否,是设计目的是否达到的唯一标志。

1.3 电子电路设计的内容步骤

在具备了一定的电子电路知识的基础上,就可以进行一些简单应用电路设计了。具体地说,已经熟练地掌握了基本电子电路原理和一些元器件的知识,包括一些常用单元电路和功能电路、单元电路的级联与组合知识、常用电源电路的设计、电路图制图的一些规范和国标要求等基本知识以后,就可以从事电子电路设计工作了。

进行电子电路设计的中心任务是按功能要求设计出能完成该功能的电路,或者说设计完备的电路,使其能够完成预期的功能。一般地说,电子电路设计的内容或步骤为:

(1) 先分析所要实现的功能,并对其功能进行归类整合,明确输入变量、输出变量和中间变量。

(2) 提出电路的功能要求,明确各功能块的功能及其相互间的连接关系,并作框图设计。

(3) 确定或者设计各单元电路,确定其中的主要器件,给出单元电路图。

(4) 整合各单元电路,规范设计统一的供电电路即电源电路,并做好级联的设计。

(5) 设计详尽电路全图,确定全部元件并给出需用元件清单。

(6) 根据元件和电路设计印制电路板图,并给出相应的元件分布图、接线图等。如果是整机的,一般还要提供整机结构图。

(7) 实现工艺比较复杂以及有特殊工艺要求的,需要给出工艺要求说明,或者给出工艺设计报告。

(8) 进行业余设计或者属于单体实验开发类的电路设计时,还要经过调试与测试,并给出实验与测试的结果。

(9) 写出设计说明书或者设计报告。

在上面叙述中,(1)~(5)属于原理设计,(6)~(8)基本属于工艺过程,最后一条属常规要求,是设计者必须要完成的,这也是设计者唯一能够留存的设计资料,它一定是详实、具体和规范的,可作技术交流的依据。

1.4 电子电路的创新设计

电子电路创新设计,可以是设计者自己发现的新电路,也可以是设计者使用已有的电路进行复合功能的设计,这都是创新设计。使用了新器件的电路设计也属于创新设计。

1.5 电子电路设计的几个关键点

在进行电子电路设计时,为了保证其电气性能和功能顺利实现,一定要按照工作流程的各个环节严格进行,并且在保证设计质量的前提下还要照顾到其他相关细节,真正使最后实现的系统能有效而稳定的工作。实际设计时应把握好如下几点。

1. 设计的针对性

不论是模拟电路设计还是数字电路设计,总是要针对具体的实际问题来进行的。这就要针对现场问题(有时也可以是命题),分清条件和结果。一般把条件当做输入,结果当做输出,实际的输入就是一系列的输入或者条件,而输出就是一系列的结果或中间变量,它们可以驱动与调节被控对象,或者显示一种结果。

2. 设计的电路性质和范畴

在弄清需要解决的问题及输入输出变量后,还要深入分析变量间的依存关系,各典型控制环节的电路性质,从而确定其中常见电路属于模拟、数字、综合3类电路中的哪一类。按照电路的特性和范畴进行设计,实际上这不仅对某类电路设计而言是必要的,对其他任何复合电路的设计也都一样是必要的。

3. 框图

进行单一功能要求的电路设计相当于设计一个模块或设计一个单元电路。这样的设计比较简单。但实际的设计中多数情况是具有复合功能要求的电路设计,进行这类设计时,往往要很多单元或模块的组合,设计相对复杂。这时就要明确设计的最终目的,设计中涉及的各种变量,各个模块的先后次序的组合关系,有必要画出可表达系统原理的框图。之后,再进行系统中各个单元的设计。

4. 供电与耦合

进行各单元电路设计时,尽量采用同一电源(单、双电源,电源电压)需要隔离的要进行隔离设计。各单元的耦合,要兼顾输入阻抗和输出能力、正负逻辑、电平的统一协调等因素,确保实际功能的实现。在保证电路功能可靠实现的前提下,尽量采用节电设计和绿色设计。

5. 应用性设计

进行系统和单元设计后,虽然实现了基本功能,但距离实际应用还有一段距离,为使系统更具实用性,则要进行应用设计。就应用性设计而言,应该包括:人机界面的设计,与现行技术系统的可兼容性设计,冗余性能的预留,操控的普适化设计等。

6. 可靠性与优化设计

可靠性的全称叫可靠性技术,它符合统计规律。从电子电路的设计制造到形成产品以及投入使用的次序上看,可靠性可以分为先天的和后天的。可靠性的先天因素,与开发设计、生产制造、老化试验与测试等因素有关;可靠性的后天因素,则和使用环境、操作者有关。电路的优化设计与可靠性设计是在开发定型产品时要考虑的,在电路或者产品设计初期就应采取科学有效的办法,最大限度地提高电路的先天可靠性,这就要求设计者和制造者在开发性设计、系统化设计、工艺制造的流程化设计中予以适当考虑,使产品的可靠性得到提高,尤其是可以避免出现先天不足的遗憾甚至导致产品设计制造失败的情况发生。

第 2 章 电子元器件简介

电子元器件是构成电子电路的基本单元,熟悉各类电子元器件的性能、特点和用途,对电子线路的设计和后期的调试测试、维修、器件代换等都至关重要。本章将对常用的电子元器件,按其类别、性能、选用等进行简单介绍。了解了电子元器件的相关知识,能快速读图、识图、分析图,才能学习到典型的应用环节;只有深刻地掌握了电子元器件的特性和规律,才能在设计电子电路和研发电子产品中,正确地选用和使用电子元器件。

加强对器件的了解和学习,是进行电子电路设计的必由之路。除平时注意学习以外,还要多关注新品种、新器件及器件性能的更新。此外读者还须经常查阅有关期刊、手册和资料,调研有关生产厂家、电子元器件商店,及时了解最新器件发展动态,不断丰富自己的电子元器件知识,对于提高自己的设计能力是大有益处的。

电子元器件是构成电子电路的最基本单元,通常包含有电阻、电容、电感、晶体管、集成电路、开关、扬声器、继电器、指示灯、变压器等。下面分别介绍构成电子电路常用元器件的基本性能、特点、在电路中的作用以及设计电子电路时的选用常识,供读者参考。

2.1 电 阻 器

电阻器,也可简称为电阻。电阻器是电子电路中应用最多的元件之一,电阻器的种类很多。

按结构形式分为固定电阻器、可变电阻器(电位器)。按材料可分为:合金型、薄膜型。按用途可分为普通型(允许误差为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等)和精密型(允许误差为 $\pm 2\% \sim \pm 0.001\%$)。

2.1.1 电阻器的主要技术指标

1. 额定功率

电阻器(以下简称为电阻)在电路中长时间连续工作不损坏,或其性能无显著改变所允许消耗的最大功率称电阻器的额定功率。不同类型的电阻有不同系列的额定功率,如表 2-1 所列。

表 2-1 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	3	
线绕电阻器	0.25	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

阻值是电阻的主要参数之一,根据需要的不同,而选用不同阻值的电阻。常用的标称电阻值系列(也叫做系列值),如表 2-2 所列。E24、E12 和 E6 系列也适用于电位器和电容器。

表 2-2 标称值系列

标称值系列	精度	电阻器、电位器、电容器标称值 ^①							
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0
E24	±5%	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	±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	±20%	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8	8.2	—

①表中数值再乘以 10ⁿ,其中 n 为正整数或负整数

3. 精度

实际阻值与标称阻值的相对误差称为电阻的精度,也称相对误差。普通电阻的精度可分为 ±5%, ±10%, ±20% 等;精密电阻的精度可分为 ±2%, ±1%, ±0.5%, …, ±0.001% 等 10 多种。在电子产品设计中,可根据电路的不同要求选用不同精度的电阻。

4. 温度系数

构成电阻的材料电阻率都随温度变化而变化,电阻的阻值同样如此。在衡量电阻温度稳定性时,使用温度系数为

$$\alpha_r = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} (1/^\circ\text{C})$$

式中: R_1 为 t_1 时的阻值; R_2 为 t_2 时的阻值。

金属膜、合成膜等电阻,具有较小的正温度系数,碳膜电阻具有负温度系数。适当地控制材料及加工工艺,可以制成温度稳定性高的电阻。

5. 非线性

流过电阻中的电流与加在两端的电压不成正比例变化的,称为非线性。一般金属型电阻线性度很好,非金属电阻线性度稍差。

6. 噪声

噪声为产生在电阻中的一种不规则电压起伏,它包括热噪声和电流噪声两种。任何电阻都有热噪声,降低电阻的工作温度可以减少热噪声;电流噪声与电阻内的微观结构有关,合金型无电流噪声,薄膜型较小,合成型最大。

2.1.2 电阻器的标志内容及认识

电阻器有多项技术指标,但由于电阻本体的表面积有限和对参数要求的程度不同,一般只标阻值、精度、材料、功率等项。电阻参数的标志方法通常用文字、符号直标或色带(色环)标出。

1. 文字符号直标

(1) 标称阻值。阻值单位： Ω (欧)， $k\Omega$ (千欧， $1k\Omega = 10^3\Omega$)， $M\Omega$ (兆欧， $1M\Omega = 10^6\Omega$)， $G\Omega$ (吉欧， $1G\Omega = 10^9\Omega$)， $T\Omega$ (太欧， $1T\Omega = 10^{12}\Omega$)。

遇有小数时，常以 Ω , k , M 取代小数点，如： 0.1Ω 标为 01 ， 3.6Ω 标为 $3\Omega 6$ ， $3.3k\Omega$ 标为 $3k3$ ， $2.7M\Omega$ 标为 $2M7$ 。

(2) 精度。普通电阻精度分为 $\pm 5\%$ ， $\pm 10\%$ ， $\pm 20\%$ 3 种，在电阻标称值后，标明 I (J)、II (K)、III (M) 符号。精密电阻的精密等级，可用不同符号标明，如表 2-3 所列。

表 2-3 精密电阻的精密等级

%	± 0.5	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20
符号	D	F	G	J	K	M

(3) 功率。通常 $2W$ 以下的电阻不标出功率，通过外形尺寸即可判定； $2W$ 以上功率的电阻在电阻表面上以数值标出。

(4) 材料。 $2W$ 以下的小功率电阻，电阻材料通常也不标出。对于普通碳膜和金属膜电阻，通过外表颜色也可以判定。通常碳膜电阻涂绿色或棕色，金属膜电阻涂红色或棕色，表面标态符号含义如表 2-4 所列。

表 2-4 电阻材料及符号

符号	T	J	X	H	Y	C	S	I	N
材料	碳膜	金属膜	线绕	合成膜	氧化膜	沉积膜	有机实芯	玻璃釉膜	无机实芯

2. 色码标志法

小功率电阻多数情况下使用色标法，特别是 $0.5W$ 以下的碳膜和金属膜电阻更普遍。色标的颜色含义如表 2-5 所列。色标电阻 (色环电阻)：可分为三环、四环、五环 3 种标法，含义如图 2-1 所示。

表 2-5 色标的基本含义

色别	第一环	第二环	第三环	第四环	第五环
	第一位数	第二位数	第三位数	应乘倍数	精度
棕	1	1	1	10	$F \pm 1\%$
红	2	2	2	10^2	$G \pm 2\%$
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	$D \pm 0.5\%$
蓝	6	6	6	10^6	$C \pm 0.2\%$
紫	7	7	7	10^7	$B \pm 0.1\%$
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	
黑	0	0	0	10^0	$K \pm 10\%$
金				10^{-1}	$J \pm 5\%$
银				10^{-2}	$K \pm 10\%$