

高等学校电子信息类教材

电子设计与实践

Electronic Design and Practice

◎ 刘霞 侯传教 孟涛 杨智敏 编著

◎ 王忠江 张震强 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

教育部规划教材 高等院校教材

电子设计与实践

Electronic Design and Practice

（第2版）

王 健 主编

电子工业出版社
ELECTRONICS PUBLISHING

高等学校电子信息类教材

电子设计与实践

Electronic Design and Practice

刘 霞 侯传教 孟 涛 杨智敏 编著

王忠江 张震强 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

“电子设计与实践”是一门理论性和实践性都很强的课程。本书以实际电路的设计和应用为主线,详细阐述现代电子产品开发的全过程,目的在于提高读者的动手操作能力和工程设计能力,为后续专业课程的学习打下良好的基础。全书共分7章,内容包括:电子设计与装调的技术基础和基本方法,基本单元电路设计与实践,单片机技术基础及电路设计,基于可编程逻辑器件的数字系统设计,Protel 2004 电路设计,以及Multisim 9 电路仿真。

本书内容新颖、适应教学、实践性强、启发创新,是高校电工、电子类专业本、专科学生课程设计的必备教材,亦可供从事电子设计工作的工程技术人员参考。

本书配有教学课件(电子版),任课教师可从华信教育资源网(教育网: www.huaxin.edu.cn 或公网: www.hxedu.com.cn)上免费注册后下载。

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

电子设计与实践/刘霞等编著. —北京:电子工业出版社,2009.4

高等学校电子信息类教材

ISBN 978-7-121-08453-9

I. 电… II. 刘… III. 电子电路—电路设计—高等学校—教材 IV. TN702

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第032005号

责任编辑:张来盛 zhangls@phei.com.cn 特约编辑:邢淑琴

印 刷:北京市海淀区四季青印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

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:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:468千字

印 次:2009年4月第1次印刷

印 数:4000册 定价:35.00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。

质量投诉请发邮件至 zltz@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

本书是一本理论性和实践性都很强的课程设计教材。“电子设计与实践”是在学生掌握电子技术基础课程的电路基本理论和实验基础上开设的一门综合性、设计性课程，其目的在于将理论与实际有机地联系起来，巩固所学的理论知识，加强学生实践基本技能的综合训练。本书从提高学生动手操作能力和工程设计能力的角度出发，使学生经历现代电子产品开发的全过程，为后续专业课程的学习打下良好的基础。

全书共分7章。第1章介绍电子元器件的选择，装配工具及焊接工艺，以及印制电路板的设计与制作。第2章介绍电子电路设计的基本方法，电子电路组装与调试，干扰与抑制技术，电路故障与诊断，常见技术指标与测试，“电子设计”报告及电子设计所需参考资料的选取。第3章介绍单级晶体管放大电路，差分放大电路，积分运算电路，有源滤波器设计，直流稳压电源，信号产生电路，多功能数字钟，传感器及其应用电路，电机功率驱动电路的设计与实践。第4章介绍 MCS-51 系列单片机的结构和指令，单片机应用系统的设计与软硬件开发系统，单片机设计及应用实例，如 MCS-51 最小应用系统、计数器、定时器，以及简易数字电压表的设计等。第5章介绍基于可编程逻辑器件的数字系统设计。第6章介绍 Protel 2004 电路设计与 PCB 设计的基础知识。第7章介绍 Multisim 9 的基本操作以及 Multisim 9 的电路仿真分析。

本书以“保证基础，体现先进，联系实际，引导创新”为指导思想，紧紧围绕实际电路的设计和应用为主线，以传统电子设计方法为基础，引入新器件、新方法、新工具，引入单片机及可编程技术基础，引入 EDA 技术，融入应用工具软件，教辅相结合；具有内容先进、适应教学、实践性强、启发创新等特色；既是高校电工、电子类专业本、专科学生课程设计的必备教材，亦可供从事电子设计工作的工程技术人员参考。

本书由刘霞拟订编写大纲和目录，具体编写分工如下：刘霞编写第4章、第6章和第7章，侯传教编写第2章和第5章，孟涛编写第3章，刘霞、杨智敏和侯传教共同编写第1章，任晓燕、魏青梅参与部分章节的编写工作。全书由刘霞统稿。

空军工程大学电讯工程学院王忠江副教授、陕西科技大学电气与信息工程学院张震强高级工程师对本书进行了审阅，提出了很多宝贵意见，并对本书的编写工作给予了大力支持，在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中，参考了大量的国内外著作和资料，并引用了其中的一些资料，难以一一列举，在此向有关作者表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，错误和不足在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 电子设计与装调技术基础	(1)
1.1 电子元器件的选择	(1)
1.1.1 电阻器	(1)
1.1.2 电容器	(7)
1.1.3 电感器	(10)
1.1.4 开关及接插元件	(12)
1.1.5 半导体分立器件	(13)
1.1.6 集成电路	(15)
1.1.7 传感器	(18)
1.1.8 继电器	(19)
1.1.9 表面贴装元件	(20)
1.2 装配与焊接	(23)
1.2.1 装配工具	(23)
1.2.2 焊接材料	(25)
1.2.3 焊接工艺和方法	(26)
1.3 印制电路板的设计与制作	(33)
1.3.1 印制电路板的结构布局设计	(33)
1.3.2 印制电路板上的元器件布线原则	(35)
1.3.3 印制导线和焊盘	(37)
1.3.4 印制电路板设计	(38)
1.3.5 印制电路板的制作	(39)
1.3.6 印制电路板的检验	(42)
第 2 章 电子设计与装调基本方法	(44)
2.1 概述	(44)
2.1.1 电子系统与电路设计	(44)
2.1.2 电路设计原则	(45)
2.1.3 设计电路时应注意的事项	(45)
2.1.4 电子设计与装调的主要内容与要求	(46)
2.2 电子电路设计的基本方法	(46)
2.2.1 电子电路设计的一般流程	(46)
2.2.2 设计任务的提出	(47)
2.2.3 总体方案的选择	(48)
2.2.4 硬件单元电路的设计与选择	(49)
2.2.5 硬件电路中元器件参数计算与选择	(51)

2.2.6	硬件单元电路的计算机仿真	(53)
2.2.7	软件设计与调试	(53)
2.2.8	画出总体电路草图	(53)
2.2.9	总体电路实验	(54)
2.2.10	绘制正式的总体电路图	(55)
2.2.11	结构设计	(55)
2.2.12	设计文件	(55)
2.3	电子电路组装与调试	(55)
2.3.1	电路组装与调试概述	(55)
2.3.2	元器件的预处理	(56)
2.3.3	电路板布局	(57)
2.3.4	电路的焊接	(58)
2.3.5	电路调试准备	(59)
2.3.6	电路静态调试	(59)
2.3.7	电路动态调试	(59)
2.4	干扰与抑制技术	(59)
2.4.1	干扰的产生及传播	(60)
2.4.2	干扰的抑制	(60)
2.5	故障与诊断	(63)
2.5.1	电子电路故障产生的原因	(63)
2.5.2	常见的电子电路故障现象及其原因	(63)
2.5.3	电子电路故障诊断与排除	(64)
2.6	常见技术指标与测试	(67)
2.6.1	电子电路基本参数测量	(67)
2.6.2	电压波形参数测量	(69)
2.6.3	放大器基本性能指标的测量	(71)
2.6.4	高频电子系统的技术指标及测试	(75)
2.7	电子设计报告及电子设计所需参考资料的选取	(77)
2.7.1	电子设计报告的要求	(77)
2.7.2	电子设计报告的格式	(78)
2.7.3	电子设计所需参考资料的选取	(78)
第3章	基本单元电路设计与实践	(80)
3.1	单级晶体管放大电路	(80)
3.1.1	设计任务与要求	(80)
3.1.2	电路基本原理	(81)
3.1.3	设计指导	(81)
3.1.4	实验与调试	(83)
3.2	差分放大电路	(84)
3.2.1	设计任务与要求	(84)

3.2.2	电路基本原理与设计指导	(84)
3.2.3	实验与调试	(86)
3.3	积分运算电路	(87)
3.3.1	设计任务与要求	(87)
3.3.2	电路基本原理	(88)
3.3.3	设计过程指导	(88)
3.3.4	实验与调试	(90)
3.4	有源滤波器设计	(90)
3.4.1	设计任务与要求	(91)
3.4.2	电路原理与设计指导	(91)
3.4.3	实验与调试	(94)
3.5	直流稳压电源	(95)
3.5.1	设计任务和要求	(95)
3.5.2	直流稳压电源的工作原理及技术指标要求	(95)
3.5.3	设计过程指导	(96)
3.5.4	实验与调试	(98)
3.5.5	任务知识拓展	(99)
3.6	信号产生电路	(101)
3.6.1	设计任务和要求	(101)
3.6.2	电路基本原理	(101)
3.6.3	设计过程指导	(102)
3.6.4	实验与调试	(107)
3.7	多功能数字钟	(107)
3.7.1	设计任务与要求	(107)
3.7.2	电路原理	(108)
3.7.3	调试要点	(110)
3.8	传感器及其应用电路	(110)
3.8.1	温度传感器及其应用	(111)
3.8.2	速度传感器及其应用	(113)
3.8.3	金属传感器	(115)
3.8.4	超声波传感器	(116)
3.9	电机功率驱动电路	(119)
3.9.1	直流电机驱动接口电路	(119)
3.9.2	步进电机及其驱动电路	(123)
第 4 章	单片机技术基础及应用	(126)
4.1	单片机微处理器概述	(126)
4.1.1	单片机的发展	(126)
4.1.2	单片机的特点及应用	(127)
4.1.3	常用单片机的类型	(128)

4.2	MCS-51 系列单片机的结构	(129)
4.2.1	内部结构框图	(129)
4.2.2	8051 引脚功能	(130)
4.2.3	存储器配置	(132)
4.2.4	CPU 时序及时钟电路	(136)
4.2.5	复位电路	(137)
4.2.6	地址译码	(138)
4.3	MCS-51 的指令集	(141)
4.4	单片机应用系统的设计与开发	(144)
4.4.1	应用系统的设计	(145)
4.4.2	单片机软硬件开发系统	(147)
4.5	单片机应用与实践	(149)
4.5.1	MCS-51 最小应用系统	(149)
4.5.2	输入/输出端口的应用	(150)
4.5.3	计数器	(152)
4.5.4	定时器	(154)
4.5.5	外部中断	(155)
4.5.6	键盘显示器的应用	(157)
4.5.7	简易数字电压表的设计	(160)
第 5 章	基于可编程逻辑器件的数字系统设计	(170)
5.1	PLD 概述	(170)
5.1.1	EDA 技术及发展	(170)
5.1.2	基于 PLD 的电子系统设计方法	(171)
5.1.3	数字系统的设计方式	(172)
5.2	可编程逻辑器件简介	(173)
5.2.1	CPLD/FPGA 基本概念	(173)
5.2.2	CPLD/FPGA 的基本结构	(173)
5.2.3	Altera 的 ACEX1K30 简介	(175)
5.3	PLD 开发软件 Quartus II 的使用	(180)
5.3.1	Quartus II 概述	(180)
5.3.2	基于 Quartus II 的原理图设计方法	(181)
5.3.3	编译	(185)
5.3.4	定时分析	(185)
5.3.5	电路模拟仿真	(186)
5.3.6	引脚锁定和编程下载	(187)
5.3.7	基于 Quartus II 的 VHDL 设计方法	(189)
5.4	VHDL 基础	(190)
5.4.1	VHDL 概述	(190)
5.4.2	VHDL 语言的基本结构	(190)

5.4.3	VHDL 语言元素	(192)
5.4.4	VHDL 基本描述语句	(193)
5.5	CPLD/FPGA 设计实践	(193)
5.5.1	基本电路设计	(194)
5.5.2	数字系统设计	(197)
第 6 章	Protel 2004 电路设计	(207)
6.1	Protel 2004 的基础知识	(207)
6.1.1	Protel 概述	(207)
6.1.2	Protel 2004 的系统组成	(207)
6.1.3	Protel 2004 常用的编辑器	(208)
6.1.4	Protel 2004 的基本界面	(208)
6.2	用 Protel 2004 绘制电路原理图	(214)
6.2.1	进入原理图编辑器	(215)
6.2.2	设置原理图编辑器的参数	(217)
6.2.3	绘制电路原理图	(219)
6.2.4	绘制原理图符号	(225)
6.2.5	建立层次式原理图	(225)
6.3	原理图的后处理	(227)
6.3.1	原理图的编译	(227)
6.3.2	生成各种报表	(229)
6.4	PCB 的基本知识	(230)
6.4.1	印制电路板的分类	(230)
6.4.2	PCB 的元件封装	(231)
6.4.3	铜膜导线	(231)
6.4.4	设计 PCB 的流程	(231)
6.5	用 Protel 2004 设计印制电路板	(232)
6.5.1	准备原理图和 SPICE netlist	(233)
6.5.2	进入 PCB 编辑器	(233)
6.5.3	设置 PCB 编辑器的参数	(234)
6.5.4	绘制 PCB 图	(236)
6.5.5	PCB 的加工	(244)
第 7 章	Multisim 9 电路仿真	(250)
7.1	概述	(250)
7.2	Multisim 9 基本界面	(251)
7.2.1	主窗口界面	(251)
7.2.2	菜单栏	(252)
7.2.3	标准工具栏	(255)
7.2.4	元件工具栏	(255)
7.2.5	虚拟仪表栏	(256)

- 7.2.6 设计工具箱 (257)
- 7.2.7 活动电路标签 (257)
- 7.2.8 状态栏 (257)
- 7.2.9 电路窗口 (257)
- 7.2.10 电子数据表 (257)
- 7.3 Multisim 9 的基本操作 (259)
 - 7.3.1 创建电路图 (260)
 - 7.3.2 添加文本 (271)
 - 7.3.3 添加仪表 (274)
- 7.4 Multisim 9 电路的仿真分析 (275)
 - 7.4.1 基本分析方法 (275)
 - 7.4.2 电路仿真与分析 (276)
- 参考文献 (283)

第1章 电子设计与装调技术基础

1.1 电子元器件的选择

任何电子电路都是由电子元器件组成。电子元器件一般分为有源元器件和无源元器件两大类。有源元器件是指器件工作时，其输出不仅依靠输入信号，还要依靠电源，即它在电路中起到能量转换的作用。例如，晶体管、集成电路等就是最常用的有源元器件。无源元器件一般又可以分为耗能元件、储能元件和结构元件三种。电阻器是典型的耗能元件；储存电能的电容器和储存磁能的电感器属于储能元件；接插件和开关等属于结构元件。这些元器件各有特点，在电路中起着不同的作用。通常，称有源元器件为“器件”，称无源元器件为“元件”。为了能正确地选择和使用这些元器件，必须了解它们的结构与主要性能参数。

1.1.1 电阻器

物质对电流通过的阻碍作用称为电阻（resistance）。利用这种阻碍作用做成的元件称为电阻器（resistor），简称电阻。电阻是电子产品中使用最多的基本元件，一般约占到元件总数的30%以上，其质量的好坏对电路工作的稳定性有极大影响。电阻主要用于稳定、调节、控制电压或电流的大小，在电路中起到限流、降压、偏置、取样、调节时间常数、抑制寄生振荡等作用。

电阻器的图形符号如图1.1所示。

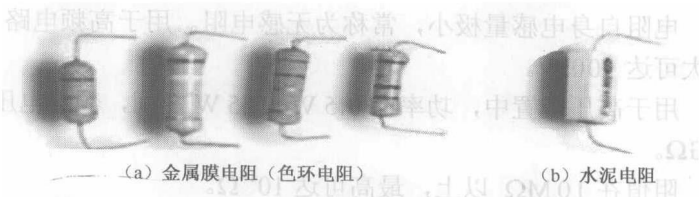


图 1.1 电阻器的图形符号

1. 电阻器的命名方法及分类

根据国家标准 GB 2470—81 的规定，电阻器的型号由主称、材料、分类、序号和区别代码构成。其中，主称用字母表示，R 表示一般电阻，W 表示电位器，M 表示敏感电阻；电阻器的材料、分类代号及其意义见表 1.1。

表 1.1 电阻器的材料、分类代号及其意义

材 料		分 类					
字母代号	意 义	数字代号	意 义		字母代号	意 义	
			电阻器	电位器		电阻器	电位器
T	碳膜	1	普通	普通	G	高功率	
H	合成膜	2	普通	普通	T	可调	
S	有机实心	3	超高频		W		微调

续表

材 料		分 类					
字母代号	意 义	数字代号	意 义		字母代号	意 义	
			电阻器	电位器		电阻器	电位器
N	无机实心	4	高阻		D		多圈
J	金属膜	5	高温		说明：新型产品的分类根据发展情况予以补充		
Y	氧化膜	6					
C	化学沉积膜	7	精密	精密			
I	玻璃釉膜	8	高压	函数			
X	线绕	9	特殊	特殊			

从表 1.1 可知，电阻器按照制造工艺或材料，电阻器可分类如下。

(1) 合金型：用块状电阻合金拉制成合金线或碾压成合金箔制成的电阻，如线绕电阻、精密合金箔电阻等。

(2) 薄膜型：在玻璃或陶瓷基体上沉积一层电阻薄膜，膜的厚度一般在几微米以下，薄膜材料有碳膜、金属膜、化学沉积膜及金属氧化膜等。

(3) 合成型：电阻体由导电颗粒和化学黏合剂混合而成，可以制成薄膜或实心两种类型，常见有合成膜电阻和实心电阻。

电阻器按照使用范围及用途可分类如下。

(1) 普通型：指能适应一般技术要求的电阻，额定功率范围为 $0.05\text{ W}\sim 2\text{ W}$ ，阻值为 $1\ \Omega\sim 22\ \Omega$ ，允许偏差 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等。

(2) 精密型：有较高精密度及稳定性，功率一般不大于 2 W ，标称值在 $0.01\ \Omega\sim 20\ \text{M}\Omega$ 之间，精度在 $\pm 2\%\sim \pm 0.001\%$ 之间。

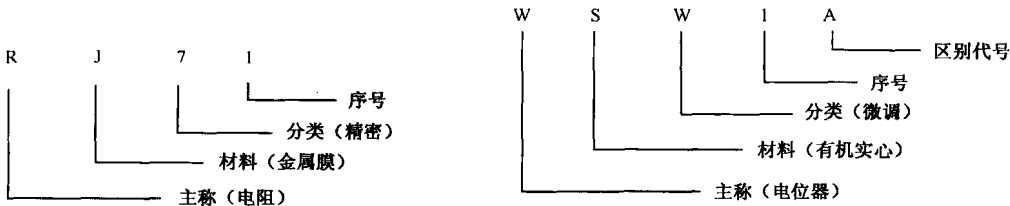
(3) 高频型：电阻自身电感量极小，常称为无感电阻。用于高频电路，阻值小于 $1\ \text{k}\Omega$ ，功率范围宽，最大可达 100 W 。

(4) 高压型：用于高压装置中，功率在 $0.5\text{ W}\sim 15\text{ W}$ 之间，额定电压可达 35 kV 以上，标称阻值可达 $1\ \text{G}\Omega$ 。

(5) 高阻型：阻值在 $10\ \text{M}\Omega$ 以上，最高可达 $10^{14}\ \Omega$ 。

(6) 集成电阻：这是一种电阻网络，具有体积小、规整化、精密度高等特点，特别适用于电子仪器仪表及计算机产品中。

例如，RJ71 型精密金属膜电阻器和 WSW1A 型微调有机实心电位器的含义如下：

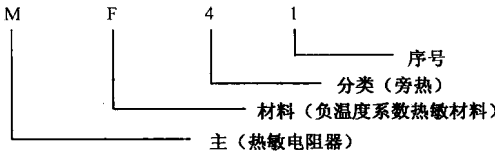


对于敏感电阻，其材料的分类及意义见表 1.2。

表 1.2 敏感电阻材料的分类及意义

材 料		分 类			
字母代号	意 义	数字代号	意 义		
			温度	光敏	压敏
F	负温度系数热敏材料	1	普通		碳化硅
Z	正温度系数热敏材料	2	稳压		氧化锌
G	光敏材料	3	微波		氧化锌
Y	压敏材料	4	旁热	可见光	
S	湿敏材料	5	测温	可见光	
C	磁敏材料	6	微波	可见光	
L	力敏材料	7	测量		
Q	气敏材料	8			

例如，MF41 旁热式热敏电阻器的含义如下：



2. 电阻器的主要参数

电阻器的参数很多，有额定功率、标称阻值、允许误差（精度等级）、温度系数、非线性度、电阻温度系数、噪声系数等。选用时必须根据电路的要求考虑相关的特性参数。通常情况下考虑标称阻值、允许误差和额定功率三项，对于特殊要求的才考虑温度系数和热稳定性、最大工作电压、噪声和高频特性（电阻器工作在高频激励源情况下，有寄生电容和寄生电感的效应）等参数。

1) 额定功率

电阻器属于耗能元件，根据规定，电阻在电路中长时间连续工作不损坏，或不显著改变其性能所允许消耗的最大功率，称为电阻器的额定功率。电阻器的额定功率并不是电阻器在电路中工作时一定要消耗的功率，而是电阻器在电路中工作时，允许消耗功率的限额。电阻器的额定功率系列见表 1.3。

表 1.3 电阻器的额定功率系列 (单位: W)

线绕电阻器的额定功率系列	0.05, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 10, 16, 25, 40, 50, 75, 100, 150, 250, 500
非线绕电阻器的额定功率系列	0.05, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100

从表 1.3 知，电阻器的额定功率有 19 系列，实际中应用较多的是 0.125 W, 0.25 W, 0.5 W, 1 W, 2 W。

2) 标称阻值

阻值是电阻器的主要参数之一，不同类型的电阻器，阻值范围不同；不同精度等级的电阻器，其数值系列也不相同。根据部颁标准，常用电阻的标称阻值系列见表 1.4。在设计电路

时，应该尽可能选用阻值符合标称系列的电阻。电阻器的标称阻值，用文字符号或色环标志在电阻的表面上。

表 1.4 标称阻值系列

允许误差	系列代号	标称阻值系列
±5%	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
±10%	E12	1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2
±20%	E6	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

3) 阻值精度（允许偏差）

实际阻值与标称阻值的相对误差为电阻精度。允许相对误差的范围叫做允许偏差（简称允差，也称为精度等级）。普通电阻的允许偏差可分为±5%、±10%、±20%等，精密电阻的允许偏差可分为±2%、±1%、±0.5%直到±0.001%等十多个等级。在电子产品设计中，应该根据电路的不同要求，选用不同精度的电阻。

电阻的精度等级可以用符号标明，见表 1.5。

表 1.5 电阻的精度等级符号

精度等级/%	±0.001	±0.002	±0.005	±0.01	±0.02	±0.05	±0.1
符 号	E	X	Y	H	U	W	B
精度等级/%	±0.2	±0.5	±1	±2	±5	±10	±20
符 号	C	D	F	G	J	K	M

4) 温度系数

所有材料的电阻率都会随温度变化，电阻的阻值同样如此。在衡量电阻器的温度稳定性时，使用温度系数：

$$\alpha_r = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \tag{1.1}$$

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。适当控制材料及加工工艺，可以制成温度稳定性很高的电阻。

一般情况下，应该采用温度系数较小的电阻；而在某些特殊情况下，则需要使用温度系数大的热敏电阻器，这种电阻器的阻值随着环境和工作电路的温度而敏感地变化。它有两种类型，一种是正温度系数型，另一种是负温度系数型。热敏电阻一般在电路中用做温度补偿或测量调节元件。

5) 非线性

通过电阻的电流与加在其两端的电压不成正比关系时，叫做电阻的非线性。电阻的非线性用电压系数表示，即在规定的范围内，电压每改变 1 V，电阻值的平均相对变化量：

$$K = \frac{R_2 - R_1}{R_1(U_2 - U_1)} \times 100\% \tag{1.2}$$

式中， U_1 为额定电压， U_2 为测试电压； R_1 、 R_2 分别是在 U_1 、 U_2 条件下测得的电阻值。

一般情况下，金属型电阻线性度很好，非金属型电阻常会出现非线性。

6) 极限电压

电阻两端电压加高到一定值时,电阻会发生电击穿使其损坏,这个电压值叫做电阻的极限电压。极限电压是由电阻的最大电流密度、电阻体击穿及其结构等因素所规定的工作电压限度。对阻值较大的电阻器,当工作电压过高时,虽然功率不超过规定值,但内部会发生电弧火花放电,导致电阻变质损坏。一般 $1/8\text{ W}$ 碳膜电阻器或金属膜电阻器的最高工作电压分别不能超过 150 V 或 200 V 。

3. 电位器(可调电阻器)

电位器是一种可调电阻器,对外有三个引出端,其中两个为固定端,另一个是滑动端(也称中心抽头)。滑动端可以在固定端之间的电阻体上做机械运动,使其与固定端之间的电阻发生变化。在电路中,常用电位器来调节电阻值或电位。电位器的种类很多,可从不同的角度进行分类,介绍电位器的手册也往往是各厂家根据生产的品种而编排的,规格、型号的命名及代号也有所不同。因此,在产品设计中必须根据电路特点及要求,查阅产品手册,了解性能,合理选用。几种常用电位器如下。

1) 线绕电位器(型号: WX)

结构:用合金电阻线在绝缘骨架上绕制成电阻体,中心抽头的簧片在电阻丝上滑动。可制成精度达 $\pm 0.1\%$ 的精密线绕电位器和额定功率达 100 W 以上的大功率线绕电位器。线绕电位器有单圈、多圈、多联等几种结构。

特点:根据用途,可制成普通型、精密型、微调型线绕电位器;根据阻值变化规律,有线性、非线性(例如对数或指数函数)的两种。线性电位器的精度易于控制,稳定性好,电阻的温度系数小,噪声小,耐压高,但阻值范围较窄,一般在几欧到几十千欧之间。

2) 合成碳膜电位器(型号: WTH)

结构:在绝缘基体上涂覆一层合成碳膜,经加温聚合后形成碳膜片,再与其他零件组合而成。阻值变化规律有线性和非线性的两种,轴端结构分为带锁紧与不带锁紧的两种。

特点:这类电位器的阻值变化连续,分辨率高,阻值范围宽($100\ \Omega \sim 5\text{ M}\Omega$);对温度和湿度的适应性较差,使用寿命较短。但由于成本低,因而广泛用于收音机、电视机等家用电器产品中。额定功率有 0.125 W 、 0.5 W 、 1 W 、 2 W 等,精度一般为 $\pm 20\%$ 。

3) 有机实心电位器(型号: WS)

结构:由导电材料与有机填料、热固性树脂配制成电阻粉,经过热压,在基座上形成实心电阻体。轴端尺寸与形状分为多种规格,有带锁紧和不带锁紧的两种。

特点:这类电位器的优点是结构简单、耐高温、体积小、寿命长、可靠性高;缺点是耐压稍低、噪声较大、转动力矩大。有机实心电位器多用于对可靠性要求较高的电子仪器中。阻值范围为 $47\ \Omega \sim 4.7\text{ M}\Omega$,功率多在 $0.25\text{ W} \sim 2\text{ W}$ 之间,精度有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等几种。

4) 多圈电位器

多圈电位器属于精密电位器,调整阻值需使转轴旋转多圈(可多达 40 圈),因而精度高,当阻值需要在大范围内进行微量调整时,可选用多圈电位器。多圈电位器的种类也很多,有线绕型、块金属膜型、有机实心型等;调节方式也可分成螺旋(指针)式、螺杆式等不同形式。

5) 导电塑料电位器

导电塑料电位器的电阻体由碳黑、石墨、超细金属粉与磷苯二甲酸、二烯丙酯塑料和胶粘剂塑压而成。这种电位器的耐磨性好，接触可靠，分辨力强，其寿命可达线绕电位器的一百倍，但耐潮性较差。

除了上述各种接触式电位器以外，还有非接触式（如光敏、磁敏）电位器。非接触式电位器没有电刷与电阻体之间的机械性接触，因此克服了接触电阻不稳定、滑动噪声及断线等缺陷。

4. 电阻器的正确选用与质量判别

1) 电阻器的正确选用

在选用电阻时，不仅要求其各项参数符合电路的使用条件，还要考虑外形尺寸和价格等多方面的因素。一般来说，电阻器应该选用标称阻值系列，允许偏差多为±5%，额定功率大约为在电路中的实际功耗的1.5~2倍以上。

在研制电子产品时，要仔细分析电路的具体要求。在那些稳定性、耐热性、可靠性要求比较高的电路中，应该选用金属膜或金属氧化膜电阻；如果要求功率大、耐热性能好，工作频率又不高，则可选用线绕电阻；对于无特殊要求的一般电路，可使用碳膜电阻，以便降低成本。表 1.6 对各种电阻的特性进行了比较，可以在选用时参考。

表 1.6 电阻的特性及选用

性 能	合成碳膜	合成碳 (实心)	热分解 碳膜	金属 氧化膜	金属膜	金属 玻璃釉	块金属膜	电阻 合金线
阻值范围	中~很高	中~高	中~高	低~中	低~高	中~很高	低~中	低~高
温度系数	尚可	尚可	中	良	优	良~优	极优	优~极优
非线性、噪声	尚可	尚可	良	良~优	优	中	极优	极优
高频、快速响应	良	尚可	优	优	极优	良	极优	极优
比功率	低	中	中	中~高	中~高	高	中	中~高
脉冲负荷	良	优	良	优	中	良	良	良~优
储存稳定性	中	中	良	良	良~优	良~优	优	优
工作稳定性	中	良	良	良	优	良~优	极优	极优
耐潮性	中	中	良	良	良~优	良~优	良~优	良~优
可靠性		优	中	良~优	良~优	良~优	良~优	
通用		△	△	△				△
高可靠		△		△	△	△	△	
半精密			△	△	△	△		
精密					△	△	△	△
高精密							△	△
中功率				△		△		△
大功率				△				△
高频、快速响应			△	△	△		△	
高频大功率			△	△				
高压、高阻	△					△		
贴片式					△	△		
电阻网络	△				△	△		