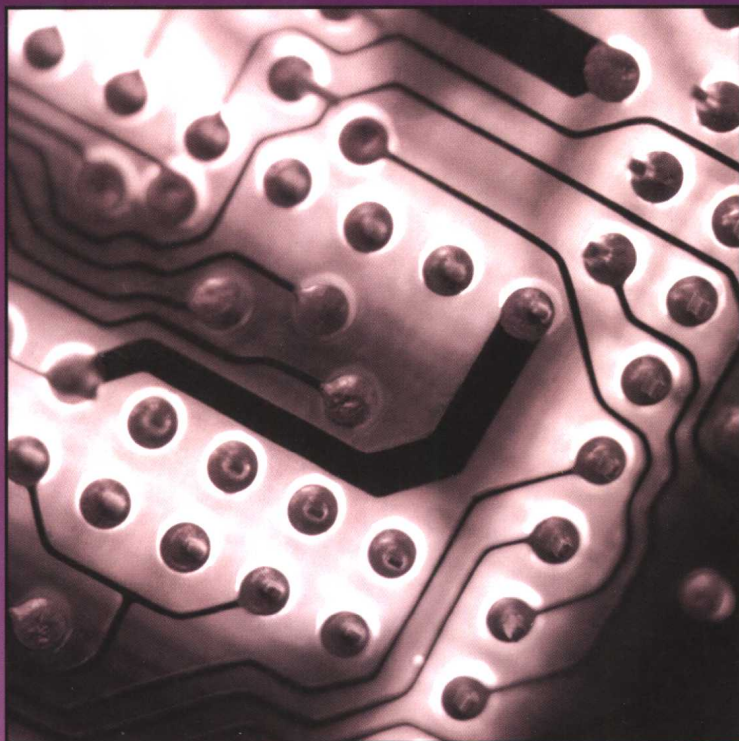


电子设计与 实战指导



高有堂 翟天嵩 朱清慧 等编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

内 容 简 介

本书是一部实践性较强的电子技术设计类学习和指导用书, 目的在于帮助广大读者在巩固电子技术基础的同时, 进一步提高现代电子电路设计的实战能力。

全书共分 11 章, 两大部分。第一部分为电子设计篇, 介绍电子线路的经典分析和设计方法, 重点突出硬件电路的设计与实现。第二部分为电子设计实战指导篇, 通过总结、分析近年来参加全国电子设计竞赛的大赛题目征集和实际科研工程应用实例, 使读者熟悉、掌握实际问题的设计思路与实现方法。另外, 本书还紧密结合电子设计中常用的必备工具软件, 如 Protel、PSpice、MultiSIM 等, 在分析和设计电路的同时深入浅出地介绍以上软件的使用方法和技巧。

本书可作为高等院校计算机、电子类各专业高年级学生的学习指导用书, 以及电子设计类竞赛辅导用书, 也可供从事电子设计的工程技术人员学习参考。

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

电子设计与实战指导/高有堂, 翟天嵩, 朱清慧等编著. 北京: 电子工业出版社, 2007.4
ISBN 978-7-121-03962-1

I. 电… II. ①高…②翟…③朱… III. 电子电路—电路设计—高等学校—教学参考资料 IV.TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 030074 号

责任编辑: 高买花 特约编辑: 陈宁辉

印 刷: 北京牛山世兴印刷厂
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: 28.25 字数: 723 千字

印 次: 2007 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 48.00 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, 联系电话: (010) 68279077; 邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@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

本书作者根据多年教学和科研实践的体会,从实际应用的角度出发,以培养能力为目标,通过丰富的、有代表性的设计实例,介绍了电子设计的一般方法和先进的电子设计思路 and 手段,有较强的实用性。另外作者把近几年指导全国电子设计竞赛的体会、方法和经验融入到书中,增强了本书的实践指导价值,若想了解全国电子大赛详情可登录 www.nuedc.com.cn。

本书的特点是知识点系统、全面,但又简洁、重点突出,读者不需花费太多时间便可直奔主题;同时,本书又具有鲜明的时代特点,书中集合了时下流行的设计工具及器件,结合丰富翔实的例子,使读者不必去翻阅大量的资料便可获益匪浅。

全书共 11 章,分两部分,第一部分为电子设计篇,包括 1~6 章;第二部分为实战指导篇,包括 7~11 章。

第 1 章 经典电子设计,包括模拟电路基础、模拟电路设计方法和模拟电路实例分析,还简要介绍仿真软件 PSpice 的应用。

第 2 章 数字电子设计,包括数字电路基础、数字电路设计方法和数字电路设计实例,同时介绍仿真软件 MultiSIM 的应用。

第 3 章 硬件基础与设计,重点介绍各类传感器及 PCB 设计方法,把电子设计和 EDA 软件 ProtelDXP 深入其中,简明易懂。

第 4 章 提高电路设计效率的常用方法,主要讲授 EAB 单元的结构分析及设计实例。

第 5 章 可编程 PAC 设计技术,对 ispPAC 模拟器件及 PAC-Designer 软件的分析与应用进行介绍,同时分析 ispPAC 模拟电路的部分设计应用实例。

第 6 章 可编程 PLD 设计技术,主要以 Altera 器件、Quartus II 软件及 VHDL 编程实例为主进行详细介绍。

第 7 章和第 8 章 对 51 MCU、PIC MCU 及凌阳 MCU 电路设计进行详细描述。

第 9 章 数字系统设计,介绍数字系统设计过程中竞争与冒险及下载和配置等常见问题的处理方法。

第 10 章 电子设计竞赛指导,对全国电子设计竞赛的题型、方向、论文及成绩评定等内容进行详细的介绍,使读者对此有一个全面的了解。

第 11 章 实际工程项目电路设计,以程控交换实验系统设计为例,对其设计思路、方法、调试等进行系统的介绍。

参加本书编写工作的有高有堂(第 11 章)、翟天嵩(第 7 章)、田思(第 5、10 章)、朱清慧(第 6 章)、乔建良(第 3 章)、徐源(第 8 章)、丁欢(第 2 章、第 9 章)、刘贵明(第 1 章、第 4 章)。高有堂、翟天嵩同志为主编,负责全书的策划、组织和定稿。

衷心期望本书能够对读者在参与电子设计竞赛、从事实际科研项目等方面提供较大的帮助,同时也真诚欢迎读者对本书的疏漏和错误给予批评和指正。

编著者

2006 年 12 月

目 录

第一部分 电子设计篇

第 1 章	经典电子设计	(3)
1.1	模拟电路基础	(3)
1.1.1	电阻和电容的使用方法	(3)
1.1.2	晶体管和二极管的使用方法	(9)
1.1.3	运算放大器的使用方法	(12)
1.2	模拟电路设计方法	(16)
1.2.1	布线技术	(16)
1.2.2	印制电路板电路的抗干扰措施	(17)
1.2.3	电路仿真软件	(18)
1.3	模拟电路实例分析	(24)
1.3.1	电源电路的设计	(24)
1.3.2	低频功率放大器的设计	(26)
1.3.3	有源滤波器的设计	(29)
1.3.4	一种简易的无线耳麦的制作	(31)
1.3.5	臭氧发生器电路设计	(32)
第 2 章	数字电子设计	(37)
2.1	数字电路基础	(37)
2.1.1	常用数字 IC-74 系列芯片的种类与特征	(37)
2.1.2	TTL 与 CMOS	(37)
2.2	数字电路设计方法	(39)
2.2.1	常用的中规模组合集成电路	(39)
2.2.2	数字电路的设计步骤	(44)
2.2.3	数字系统的设计方法	(47)
2.2.4	电路仿真软件 MultiSIM	(49)
2.3	数字电路实例分析	(53)
2.3.1	数字钟电路的设计	(53)
2.3.2	数字电容测试仪	(56)
第 3 章	硬件基础与设计	(70)
3.1	常用传感器件	(70)
3.1.1	温度传感器	(70)
3.1.2	应变片力传感器	(71)
3.1.3	磁敏传感器	(73)

3.1.4	压电式传感器	(75)
3.1.5	光纤传感器	(76)
3.1.6	光敏传感器	(77)
3.1.7	湿敏传感器	(79)
3.1.8	气体传感器	(80)
3.1.9	智能传感器	(82)
3.2	PCB 设计方法	(82)
3.2.1	PCB 设计软件	(82)
3.2.2	原理图的设计	(85)
3.2.3	PCB 板设计	(95)
3.2.4	DRC 检查	(98)
3.2.5	报表生成	(99)
3.3	PCBLIB 的使用	(102)
3.3.1	印制电路板元件库与封装	(102)
3.3.2	手工创建新的元件封装	(103)
3.3.3	利用向导创建元件封装	(108)
3.3.4	元件库管理器	(111)
第 4 章	提高电路设计效率的常用方法	(114)
4.1	引言	(114)
4.2	EAB 单元的使用	(114)
4.2.1	EAB 单元结构分析	(115)
4.2.2	EAB 设计应用	(117)
4.3	芯片速度的优化	(119)
4.3.1	修改底层布局	(119)
4.3.2	合理使用 CPLD 资源	(119)
4.3.3	通过软件配置提高系统速度	(121)
4.4	使用 LPM 宏单元库	(123)
4.5	提高设计效率的综合应用	(125)
4.5.1	编程过程中语法设计效率的提高	(125)
4.5.2	编程过程中数据类型应用与端口定义	(130)
第 5 章	可编程 PAC 设计技术	(132)
5.1	ispPAC 简介	(132)
5.2	在系统可编程模拟电路的结构	(132)
5.2.1	ispPAC10 器件	(132)
5.2.2	ispPAC20 器件	(134)
5.3	PAC 的其他电路	(144)
5.3.1	PAC 的接口电路	(144)
5.3.2	VREF _{OUT} 缓冲电路	(145)

5.4	ispPAC 的增益调整	(145)
5.4.1	通用增益设置	(146)
5.4.2	分数增益的设置法	(148)
5.4.3	整数比增益设置法	(149)
5.5	滤波器设计	(149)
5.6	PAC-Designer 软件及开发实例	(152)
5.6.1	PAC-Designer 软件的安装	(152)
5.6.2	PAC-Designer 软件的使用方法	(152)
第 6 章	可编程 PLD 设计技术	(162)
6.1	Altera 新型器件	(162)
6.1.1	MAXII 器件	(162)
6.1.2	Cyclone II 器件	(170)
6.2	Quartus II 5.0 设计与实现	(178)
6.2.1	模为 60 的计数器设计与实现	(179)
6.2.2	时钟电路的设计与实现	(182)
6.2.3	状态机电路设计与实现	(185)
6.2.4	半整数分频器的设计	(188)
6.2.5	UART 数据接收发送电路设计与实现	(192)
6.2.6	CPLD 器件在人机接口中的设计与实现	(202)

第二部分 实战指导篇

第 7 章	MCU 电路设计	(215)
7.1	51 MCU 电路设计	(215)
7.1.1	电源部分	(215)
7.1.2	LCD 接口电路	(215)
7.1.3	常用器件接口电路	(226)
7.2	PIC MCU 电路设计	(248)
7.2.1	电源电路	(249)
7.2.2	时钟电路	(249)
7.2.3	复位电路	(252)
7.2.4	看门狗电路 (WDT)	(253)
7.2.5	LCD 液晶接口	(253)
7.2.6	常用器件接口	(258)
7.2.7	键盘接口	(267)
7.2.8	A/D 转换电路	(275)
第 8 章	凌阳 16 位单片机设计	(281)
8.1	凌阳 16 位单片机简介	(281)

8.2	SPCE061A 简介	(282)
8.2.1	SPCE061A 单片机硬件结构	(289)
8.2.2	SPCE061A 片内存储器结构	(293)
8.2.3	SPCE061A 的输入/输出接口	(297)
8.2.4	时钟电路	(308)
8.2.5	PLL 锁相环 (Phase Lock Loop)	(308)
8.2.6	系统时钟	(308)
8.2.7	时间基准信号	(310)
8.2.8	Timer 定时器/计数器	(312)
8.2.9	睡眠与唤醒	(316)
8.2.10	模/数转换器 ADC	(318)
8.2.11	DAC 方式音频输出	(326)
8.2.12	低电压监测/低电压复位 (LVD/LVR)	(329)
8.2.13	串行设备输入/输出口 (SIO)	(330)
8.2.14	通用异步串行接口 UART	(334)
8.2.15	保密设定和看门狗计数器 (WatchDog)	(338)
8.2.16	“61 板”介绍	(338)
第 9 章	数字系统设计	(342)
9.1	数字系统板的抗干扰设计	(342)
9.1.1	系统板电源与地线的设计	(342)
9.1.2	系统板元器件的分配原则	(343)
9.2	毛刺现象的产生及消除	(344)
9.2.1	毛刺现象的产生	(344)
9.2.2	毛刺现象的消除	(345)
9.3	系统下载/配置电路的设计与实现	(347)
9.3.1	下载/配置电路的设计	(347)
9.3.2	下载/配置电路的焊接	(349)
9.3.3	下载/配置电路的调试	(350)
第 10 章	电子设计与竞赛指导	(354)
10.1	电子电路设计方案的选择	(354)
10.1.1	试题分析	(354)
10.1.2	方案选择	(355)
10.2	历届电子设计竞赛题分析	(356)
10.2.1	历届电子设计竞赛题目	(356)
10.2.2	竞赛题目归类	(357)
10.3	典型竞赛题目设计	(358)
10.3.1	自动往返电动小汽车设计	(358)
10.3.2	系统整体方案的论证	(359)

10.3.3	单元电路的方案论证和设计	(360)
10.3.4	理论计算	(362)
10.3.5	测试与数据	(362)
10.3.6	结果分析	(363)
10.4	竞赛论文撰写	(363)
10.4.1	设计报告的评分标准	(363)
10.4.2	设计报告的格式、内容及注意事项	(364)
第 11 章	实际工程项目设计——程控交换实验系统的设计	(368)
11.1	总体设计	(368)
11.2	系统原理及组成	(370)
11.2.1	电路组成	(370)
11.2.2	控制系统	(371)
11.2.3	实际系统电路设计规划	(374)
11.3	硬件单元电路设计	(375)
11.3.1	系统用集成电路介绍	(375)
11.3.2	用户接口电路设计	(375)
11.3.3	外线及中继接口电路	(380)
11.3.4	振铃插入与振铃解脱电路	(383)
11.3.5	PCM 编译码电路	(384)
11.3.6	DTMF 编译码电路	(387)
11.3.7	信号音及铃流产生电路	(395)
11.3.8	可编程开关阵列	(398)
11.3.9	键盘及显示电路	(401)
11.3.10	控制电路	(402)
11.4	软件设计	(405)
11.4.1	控制模块一软件设计	(405)
11.4.2	控制模块二软件设计	(410)
11.5	系统实现	(415)
11.5.1	所需仪器仪表和软件	(415)
11.5.2	元件明细	(415)
11.5.3	软件和硬件调试	(420)
附录 A	常用运算放大器	(423)
附录 B	“PIC 单片机控制 LCD 显示”程序	(425)
参考文献		(441)

第一部分

电子设计篇



经典电子设计



数字电子设计



硬件基础与设计



提高电路设计效率的常用方法



可编程 PAC 设计技术



可编程 PLD 设计技术

第 1 章 经典电子设计

1.1 模拟电路基础

1.1.1 电阻和电容的使用方法

在经典电子设计中，电阻和电容是必不可少的无源器件。虽然对电路的性能起着决定作用的是有源器件，但是如果无源器件选择不当，也会使有源器件的性能无法正常发挥。因此，为使有源器件百分之百地发挥其固有性能，无源器件也有着举足轻重的作用。

电阻是电路中应用最广泛的一种元件，在电子设备中约占元件总数的 30% 以上，其质量的好坏对电路工作的稳定性有极大影响。其主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压，另外，还可作为分流器、分压器和负载使用。

1. 电阻的使用方法

1) 电阻种类与使用

对于一般的电阻，根据其材料种类可以分成下列 5 种。

- 碳膜电阻（碳电阻）；
- 碳体电阻（体电阻）；
- 金属膜电阻；
- 金属氧化膜电阻；
- 绕线电阻。

这些电阻的外形分别如图 1.1～图 1.5 所示，电阻的种类及其特性汇总如表 1.1 所示。

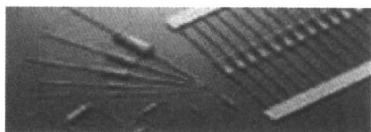


图 1.1 碳膜电阻

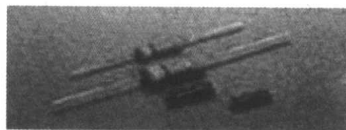


图 1.2 碳体电阻

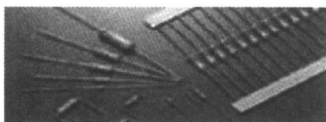


图 1.3 金属膜电阻

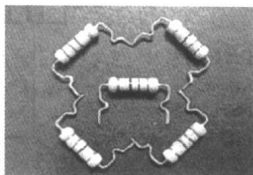


图 1.4 金属氧化膜电阻

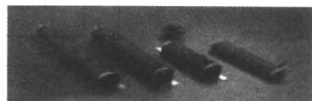


图 1.5 绕线电阻

现在使用的主流产品是碳膜电阻。这是由于碳膜电阻价格便宜，并且特性较好的缘故。但是，碳膜电阻精度不是很高，所以在诸如滤波器等具有时间常数的电路中，需要高精度的部分就需要采用金属膜电阻。另外，即使在精度方面没有特殊要求，但需要处理微弱信号的电路中，从减小电流噪声这方面来考虑，也应采用金属膜电阻。

金属氧化膜电阻和绕线电阻可以在功率较大的场合使用，其中金属氧化膜电阻主要用于中功率场合，绕线电阻适合大功率场合。有效地利用其各自的特点，在高频电路和恶劣环境下，使用金属氧化膜电阻；在需要解决电流噪声问题的电路中，或者在有浪涌电压，以及在要求低电阻的地方使用绕线电阻。

除了表 1.1 中所列出的电阻之外，还有电阻阵列，它是将许多电阻封装在一个管壳内。在外形方面，有 SIP（Single Inline Package）和 DIP（Dual Inline Package）两种封装。其特点是相对误差小，温度系数也几乎相同。

表 1.1 电阻的种类及其特性

种类	电阻值/ Ω		容许损耗/W		精度/%		温度系数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)		特征	
	min	max	min	max	min	max	min	max	优点	缺点
碳膜电阻	1	10M	1/8	2	± 1	± 5	± 1000		便宜；易买到	精度不够高；会燃烧；抗浪涌能力差
碳体电阻 (体电阻)	2.2	22M	1/8	2	± 5	± 20	± 1000		便宜；高电阻；抗浪涌能力强	精度不高；电流噪声大
金属膜电阻	0.2	10M	1/8	2	± 0.05	± 5	± 5	± 350	高精度；温度特性好；随时间变化小；电流噪声小	价格高；抗浪涌能力差
金属氧化膜电阻	0.2	500k	1/4	10	± 2	± 10	± 350		耐环境性好	抗浪涌能力差；不能得到高电阻
绕线电阻	0.01	250k	1/2	600	± 0.05	± 10	± 50	± 350	电流噪声最小；抗浪涌能力强	高频特性不好；不能得到高电阻

2) 色码的读法

色码是表示电阻阻值的一种有效的方法，现在生产的电阻几乎都用色码表示阻值。色码的表示方法如图 1.6 所示。

一般情况下，在电阻上有 4 条色带，如图 1.6 (a) 所示，其中仅有 1 条比其他的间隔要宽些，将它放在右边，从左开始读出颜色。最左边前 2 条的颜色表示 1~9 的数，第 3 条表示指数部分数值，用该颜色决定是几十欧姆还是几百欧姆，最右边的颜色表示误差。

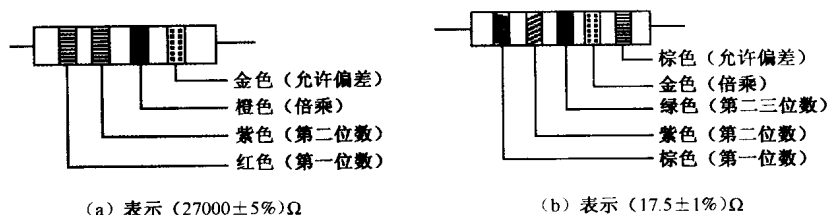


图 1.6 电阻的色码读法

例如：有一电阻，从左边开始色带分别为“红、紫、橙、金”。其中，第1条为红色，表示“2”；第2条为紫色，表示“7”；第3条为橙色，表示 10^3 ；第4条为金色，表示误差为 $\pm 5\%$ 。由此可知，该电阻的阻值为 $27\text{k}\Omega$ ，误差为 $\pm 5\%$ 。

通常，我们组装电子电路时所使用的电阻误差几乎都是 $\pm 5\%$ ，仅在需要高精度特殊要求时才选用 $\pm 1\%$ 或 $\pm 2\%$ ，甚至更小误差的电阻。对于碳膜电阻，以往还存在误差为 10% 的电阻，但目前已基本没有了。

高精度电阻色带不是4条，而是有5条，如图1.6(b)所示。此时，第1~3条表示数字，第4条表示指数部分，第5条表示误差，读法基本上与4条色带的相同。

3) 电阻的标称值

在进行电路设计时，需要各种数值的电阻，而电阻的标称值实际上仅为有限的几种。

电阻标称值系列及容许误差如表1.2所示。表中所列数值再乘以 10^n （其中 n 为正数或负数，单位为 Ω ）即构成实际电阻的标称阻值。

表 1.2 电阻标称值系列及容许误差

电阻值 ($\times 10^n \Omega$)	E24 系列	E12 系列	E6 系列	电阻值 ($\times 10^n \Omega$)	E24 系列	E12 系列	E6 系列
	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$		$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
1.0	✓	✓	✓	3.3	✓	✓	✓
1.1	✓			3.6	✓		
1.2	✓	✓		3.9	✓	✓	
1.3	✓			4.3	✓		
1.5	✓	✓	✓	4.7	✓	✓	✓
1.6	✓			5.1	✓		
1.8	✓	✓		5.6	✓	✓	
2.0	✓			6.2	✓		
2.2	✓	✓	✓	6.8	✓	✓	✓
2.4	✓			7.5	✓		
2.7	✓	✓		8.2	✓	✓	
3.0	✓			9.1	✓		

当电子爱好者使用时，不必特别介意选用的是E24系列还是E12系列。但是， 10Ω 以下或者 $100\text{k}\Omega$ 以上的电阻，多数还是选用E12系列的电阻，因为它们在市场上易于买到。专业人士选用电阻时，有时也采用种类是E24系列4倍之多的E96系列或其他专门订购的电阻。

在电子电路的设计中，与电阻的绝对值相比，更重要的是电阻的比值。所以，应该掌握一些电阻的比值关系的组合，一般来说E24系列大致是够用的，若还不能满足需要，将几个电阻进行串联或并联，也可得到希望的电阻值。

4) 额定功率

在电阻的两端加上电压，或者有电流流过电阻，则一定会消耗功率。电阻消耗的功率 P 可用下面公式表示：

$$P = U^2 / R = I^2 R \text{ (W)}$$

其中, u 为电阻两端的电压, 单位为 V (伏特); i 为电阻上通过的电流, 单位为 A (安培); R 为电阻值, 单位为 Ω (欧姆)。消耗的功率都被转变为热量散发到大气中。

如果在电阻上加上交流信号, 当然也会在电阻上消耗功率。此时上式 u 的单位为有效值, i 的单位也为有效值, 同样可以进行计算。

如果在电阻上加有直流电压 U 与交流电压 $u = \sqrt{2}A \sin \omega t$ 。这样, 电阻的消耗功率 P 为:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt = \frac{u^2}{R} + \frac{A^2}{R}$$

也就是说, 消耗功率为直流电压所造成的功率消耗与交流电压所带来的功率消耗之和。

这些消耗的功率散发到大气中, 同时使电阻发热。所造成的温度上升是由消耗功率与电阻所具有的热阻之积来决定的。该热阻与电阻的额定功率有很大关系, 额定功率越大, 热阻就越小。即对于相同的消耗功率, 额定功率大的电阻温度上升较小。

由于消耗功率超过额定功率是绝对不允许的, 因此消耗功率必须控制在 1/2 的额定功率以下。否则, 如果消耗功率与额定功率大致相同, 则温度上升增大, 易造成接触烧伤, 电阻的寿命和可靠性都会下降, 对环境的影响也就会变大。

5) 可变电阻与半固定电阻

可变电阻与半固定电阻都是阻值能够从 0 到规定的阻值之间连续可调的电阻。其外形如图 1.7 所示, 当然还存在其他一些形状。它共有三个端头, 即一个滑动端和两个固定端。

按照电阻的种类, 半固定电阻可以分为以下 3 种。

- 碳膜型半固定电阻;
- 金属陶瓷型半固定电阻;
- 绕线型半固定电阻。

碳膜型半固定电阻价格是最便宜的, 但是在特性方面要比其他的差一些, 特别是温度系数随阻变化值而变化。另外, 还有一类碳体型的半固定电阻, 它与碳膜型特性比较相近。

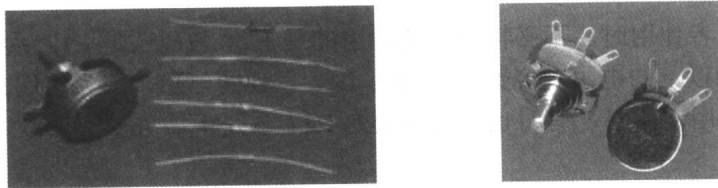


图 1.7 可变电阻与半固定电阻

金属陶瓷型半固定电阻是电阻体采用金属陶瓷系列的电阻, 温度系数为 $\pm(100 \sim 300) \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。除了单旋转型之外, 还有旋转 10~20 转的多次旋转型, 所以能够精细地设定电阻, 成为模拟电路微调用的主流电阻。

绕线型半固定电阻价格最贵, 但温度特性最好 ($\pm 20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), 所以适于用在对温度要求较高的场合。但是由于其结构的原因, 分辨率差, 不能进行精细地设定。

2. 电容的使用方法

1) 电容的种类与使用

与电阻一样，电容也分为很多种类。典型的电容外形如图 1.8 所示。

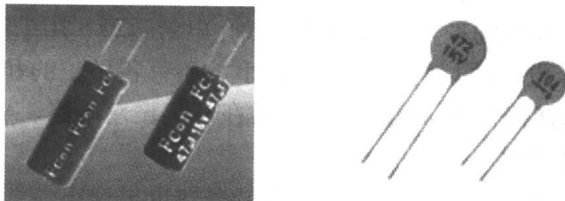


图 1.8 电容

电容大致可以分成以下几种。

- 铝电解电容；
- 钽电解电容；
- 薄膜电容；
- 镀金属薄膜电容；
- 陶瓷电容；
- 其他电容器。

铝电解电容：通常所说的电解电容指的就是铝电解电容。它体积小、容量大，但是频率特性和温度特性不够好；漏电流、介质损耗因数（ $\tan\delta$ ）和介质损耗等性能比其他电容要差。铝电解电容的最大用途是，以其大的容量用于电源的滤波，同时，也用在其他需要较大电容量的地方。一般情况下，需要 $0.1\sim 1\mu\text{F}$ 以上电容量的地方采用电解电容，在该值以下采用其他电容。由于其高频性能差，所以在信号频率超过 100kHz 的场合使用是不合适的。另外，由于漏电流大，不适于 S/H 电路、时间常数电路和积分电路。其次，在耐压为 50V 或 100V 的电解电容上，加上 1V 或 2V 的电压来使用，耐压与实际所加电压相分离，这种使用方法会给电容带来不好的影响，所以应避免为好。

钽电解电容：也简单地称为钽电容，它具有体积小、漏电流小、介质损耗小、频率及温度特性好、寿命长、可靠性高、稳定性好等优点，适用于计算机、汽车、家用电器、通信、军事等领域。

薄膜电容：将绝缘薄膜从两侧用电极箔片夹起来，卷成圆筒状，就是薄膜电容。根据绝缘膜种类可划分为：聚酯电容、聚苯乙烯电容、聚丙烯电容和聚碳酸酯电容等。薄膜电容的优点是介质损耗因数和介质吸收小，绝缘电阻高。只要容量符合，在大部分的模拟电路中都能使用。其中，聚苯乙烯电容随温度变化较小，在精度要求较高的地方常常会采用这种电容。

镀金属薄膜电容：在薄膜电容中，绝缘膜两侧有电极箔片，去掉该电极箔片，在薄膜上镀上铝等金属作为电极，就成为镀金属薄膜电容。比起薄膜电容来，能够达到大容量且体积小。在性能方面，除了绝缘电阻外几乎与薄膜电容相同。而最大的差别是这种

电容有自复作用。所谓自复作用，就是当发生电极微小部分短路时，因金属电极的熔融蒸发而使得电容的机能得到恢复。它的用途与薄膜电容相同，只是在需要获得大容量而又希望达到小型化时使用。但是，要控制在两端加很低的电压、串接高电阻、通过过大的交流电流的使用方法，以及在调谐电路中的作用。

陶瓷电容：是介质使用陶瓷的电容，具有频率特性最好、绝缘电阻高、耐热性好及不易老化等优点。按照其介质的种类可以分为：低介电常数型（用于温度补偿）、高介电常数型和半导体型。低介电常数型的温度系数较小，还有各种正的和负的温度系数，在用于温度补偿时，必须选择符合要求的电容。常常在石英振荡电路、A/D 变换电路和 V/F 变换电路中作为积分电容使用。

由于高介电常数型和半导体型的误差大，温度特性也呈现出非线性，所以在高精度的电路中不能使用。其主要用途是作为高频电路中旁路电容和噪声限制器等。近来，叠层型电容器流行起来，其体积小，容值高达 $100\mu\text{F}$ 。

其他电容器：除上述电容器外，还有绝缘层使用纸质的纸质电容；介质使用云母的云母电容；使用电偶极层原理的电偶极层电容等。尤其是电偶极层电容的容值可达到 1F 以上，可作为存储器后备系统，在近几年使用量大增。

2) 电容值的表示方法

电容器的电容值除了用直接表示电容值的方法之外，还可以使用许多其他的方法。容量大的电解电容通常是直接用电容值表示，但对于 $1\mu\text{F}$ 以下的电容，大多采用其他表示法。较为通用的容值代码表示方法为 3 位代码“ XXY ”表示法，前 2 位数字表示乘系数，后 1 位表示乘指数，单位为 pF 。一般前 2 位的取值范围参照 E6 和 E12 系列，后 1 位数字表示乘指数 10^n 。当 $Y=9$ 时，对应前述 $n=-1$ ；当 $Y=8$ 时，对应前述 $n=-2$ ；当 $Y=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ 时， Y 就等于 n 。例如： 0.5pF 容值代码表示为 508； 68pF 容值代码表示为 680； 1pF 容值代码表示为 109； 120pF 容值代码表示为 121； 4.7pF 容值代码表示为 479； 2200pF 容值代码表示为 222； 10pF 容值代码表示为 100； 100000pF 容值代码表示为 104 ($0.1\mu\text{F}$)； $47\mu\text{F}$ 容值代码表示为 476； $330\mu\text{F}$ 容值代码表示为 337。

在 100pF 挡的电容也有直接表示容量的。例如， 470pF 可表示成“471”，也可表示成“470”。在表示比 100pF 小的容量值时，不用 3 位数字表示，而直接表示容量值，例如， 47pF 表示为“47”， 1pF 表示为“1”。

电解电容也是直接表示容量值的。电容的标称值见表 1.2 中的 E12 系列。

3) 电容的耐压

关于电容的耐压，大家比较熟悉的是电解电容的耐压，然而，其他电容也存在耐压问题。另外，铝电解电容是有极性的，所加的直流电压的极性绝对不允许相反，同时，耐压值虽说是瞬时值，但也决不允许超出。

钽电解电容与铝电解电容一样，也有极性与耐压的指标，并且对极性错误与超耐压的抵抗能力比铝电解电容更差。因此，在使用时，要更加慎重。

薄膜电容和陶瓷电容没有极性，但有耐压指标。薄膜电容和镀金属膜电容，由于耐压值是从 50V 开始的，所以当加上超过 50V 的电压时，就要对实际所用电容的耐压值进行确认之后再使用。

在使用陶瓷电容时,从表 1.3 中可知,按其种类不同,最低耐压值有所差异。容量在 1000pF 以下时,可以认为至少有 50V;在 1000pF 以上时,必须对耐压仔细核对之后再使用。

表 1.3 各种电容的特性

项目 种类	静电容量/F	耐压/V	精度/%	使用温度/℃		介质损耗因数 ($\tan\delta$) (max)	绝缘电阻/ M Ω (min)
				(min)	(max)		
铝电解电容	0.1~680000 μ	4~450	+20, $\begin{cases} +50 \\ -10 \end{cases}$, $\begin{cases} +30 \\ -10 \end{cases}$	-55~-25	85~125	0.08~2.0	0.01CV~0.03CV
钽电解电容	0.1~470 μ	2~100	± 10 , ± 20	-55	85~125	0.03~0.1	0.005CV~0.07CV
薄膜电容	聚酯电容	470p~0.68 μ	± 5 , ± 10	-55~-40	85~125	0.006~0.01	30000
	聚苯乙烯电容	300p~0.22 μ	± 0.25 , ± 0.5 , ± 1 , ± 2	-40~-10	70~85	0.001	100000
	聚丙烯电容	100p~0.47 μ	± 1 , ± 2 , ± 5 , ± 10 , ± 20	-40~-25	85	0.001	100000
镀金属薄膜电容	聚酯电容	0.01~15 μ	± 5 , ± 10 , ± 20	-40	85~105	0.007~0.01	9000~30000
	聚丙烯电容	0.001~1 μ	± 3 , ± 5 , ± 10	-40~-25	70~85	0.001	30000~100000
陶瓷电容(叠层型除外)	低介电常数型	1~1000p	± 5 , ± 10	-55~-25	85~125	0.005~0.01	10000
	高介电常数型	100p~0.01 μ	+10, +20, $\begin{cases} +80 \\ -20 \end{cases}$, $\begin{cases} +100 \\ -0 \end{cases}$	-55~-25	85~125	0.025	10000
	半导体型	0.001~0.47 μ	+10, +20, $\begin{cases} +80 \\ -20 \end{cases}$	-25	85	0.05~0.07	1~1000

1.1.2 晶体管和二极管的使用方法

1. 晶体管的使用方法

1) 晶体管的种类

晶体管的种类有几千种以上,由于不同用途,其特性和形状各异。按用途大致可分成以下几种:通用晶体管、低频小信号放大晶体管、低频功率放大晶体管、高频小信号放大晶体管、高频功率放大晶体管、小信号开关晶体管和功率开关晶体管等。