



“十三五”普通高等教育本科规划教材
21世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

电子工艺实习

(第2版)

主 编 | 周春阳

副主编 | 梁 杰 王 蓉 崔 箫 张 倩



电子课件



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

电子工艺实习

(第 2 版)

主 编 周春阳
副主编 梁 杰 王 蓉
 崔 箫 张 倩



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是编者在多年教学实践的基础上,根据电气类、电子信息类和自动化类专业电子工艺实习(电子实训)和电子CAD等课程需要而编写的。全书内容包括电子元器件、焊接技术、印制电路板的设计与制作、电子产品装配调试、电子产品的整机结构和技术文件、电路设计与制板(Altium Designer 16)、电子实习课题和安全用电共8章,较系统地介绍了电子工艺和电子CAD的基本常识。

本书的编写注重内容的实用性,通俗易懂,有助于读者掌握电子产品生产操作的基本技能,可作为高校培养应用型、技能型、操作型人才的教学用书。

本书适合作为高等院校电气类、电子信息类和自动化类等专业的教材,也可作为电子工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子工艺实习/周春阳主编. —2版. —北京:北京大学出版社,2019.3

21世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

ISBN 978-7-301-30080-0

I. ①电… II. ①周… III. ①电子技术—实习—高等学校—教材 IV. ①TN-45

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第264235号

- 书 名** 电子工艺实习 (第2版)
DIANZI GONGYI SHIXI (DI-ER BAN)
- 著作责任者** 周春阳 主编
- 策划编辑** 程志强
- 责任编辑** 李娉婷
- 标准书号** ISBN 978-7-301-30080-0
- 出版发行** 北京大学出版社
- 地 址** 北京市海淀区成府路205号 100871
- 网 址** <http://www.pup.cn> 新浪微博:@北京大学出版社
- 电子信箱** pup_6@163.com
- 电 话** 邮购部 010-62752015 发行部 010-62750672 编辑部 010-62750667
- 印 刷 者** 河北滦县鑫华书刊印刷厂
- 经 销 者** 新华书店
- 787毫米×1092毫米 16开本 13.5印张 306千字
- 2006年5月第1版
- 2019年3月第2版 2019年3月第1次印刷
- 定 价** 35.00元

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

举报电话:010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话:010-62756370

第 2 版前言

电子技术是一门实践性很强的学科。当前，随着电子信息产业的迅速发展，新知识、新技术、新工艺、新器件不断更新，对工程技术人员的综合技能要求也越来越高。电子工艺实习是高等院校电类工科专业的一门重要的实践课程。工程院校的教育特点是加强实践环节教学，培养学生深入了解工程观念，提高学生实践动手能力，弥补从基础理论到工程实践之间的不足。

本书是编者根据多年实践教学经验，结合工程院校加强实践环节教学的特点而编写的，是一本集电子工艺基础知识和电子 CAD 于一体的实践教材。

本书的主要特点是重视基础知识、基本技能的培养和训练，突出内容的实用性和实践性，注重培养和提高学生独立分析问题与解决问题的能力。本书以电子元器件、焊接技术、印制电路板的设计与制作、电子产品装配调试、电子产品的整机结构和技术文件、电路设计与制板（Altium Designer 16）为主线来编写，使读者了解掌握电子产品的整个设计及生产制作的全过程。本书第 7 章结合具体实习实例帮助学生进一步熟悉和掌握所学的知识 and 技能，同时体会电子产品生产制造的全过程，从而提高对电子产品整机装配调试及故障排除的能力。电子 CAD 采用 Altium Designer 16 软件，通过对 Altium Designer 16 软件的学习，学生利用计算机进行电子电路辅助设计的能力得到提高。

在具体教学安排上，本书应以自学为主，讲授为辅，结合实际，边干边学。在教学组织上不局限于单一的教学模式，而采用集中讲授、上机操作、实际训练制作等多种形式相结合的教学模式。

本书由沈阳工程学院周春阳老师担任主编，梁杰老师、王蓉老师、崔箫老师、张倩老师担任副主编。其中周春阳老师编写第 1 章和第 6 章；张倩老师编写第 2 章；梁杰老师编写第 3 章；王蓉老师编写第 4 章和第 5 章；崔箫老师编写第 7 章和第 8 章。全书由周春阳老师负责统稿工作，沈阳工程学院尹常永副教授担任主审。在本书的编写过程中，编者得到郝波教授、杜士鹏副教授、秦宏副教授等的大力帮助，在此表示衷心感谢！

由于编者水平和经验有限，书中难免存在不妥之处，敬请各位读者批评指正。

编者

2018 年 10 月

目 录

第 1 章 电子元器件	1	本章小结	108
1.1 电阻器	1		
1.2 电位器	4		
1.3 电容器	8		
1.4 电感器	14		
1.5 开关和插接件	17		
1.6 半导体分立器件	18		
1.7 半导体集成电路	32		
1.8 表面安装元器件	35		
1.9 传感器	39		
1.10 LED 数码管和 LCD 液晶 显示器	43		
本章小结	53		
第 2 章 焊接技术	54		
2.1 安装焊接工具	54		
2.2 焊接材料	59		
2.3 手工焊接技术	62		
2.4 电子工业生产中的焊接	69		
2.5 表面安装技术	74		
本章小结	81		
第 3 章 印制电路板的设计与制作	82		
3.1 印制电路板的设计资料	83		
3.2 印制电路板的设计	87		
3.3 印制电路板的制作	95		
本章小结	98		
第 4 章 电子产品装配调试	99		
4.1 电子产品装配工艺	99		
4.2 电子产品调试工艺	103		
4.3 整机故障检测方法	105		
第 5 章 电子产品的整机结构和技术 文件	109		
5.1 电子产品的整机结构	109		
5.2 电子产品的技术文件	115		
本章小结	118		
第 6 章 电路设计与制板 (Altium Designer 16)	119		
6.1 Protel 软件概述	119		
6.2 电路原理图的设计	125		
6.3 电路原理图元器件库的制作	140		
6.4 印制电路板元器件库的设计	146		
6.5 印制电路板的设计	153		
本章小结	170		
第 7 章 电子实习课题	171		
7.1 直流稳压/充电电源的制作	171		
7.2 HT-7610B 红外传感器控制灯 电路	177		
7.3 S205-2T 调频/调幅集成电路 贴片收音机的组装	182		
7.4 机器狗的制作	195		
本章小结	198		
第 8 章 安全用电	199		
8.1 人身安全	199		
8.2 防止触电	201		
本章小结	204		
参考文献	205		

第1章

电子元器件

1.1 电 阻 器

1.1.1 概述

电子在物体内做定向运动时遇到的阻力称为电阻。具有一定电阻值的元器件称为电阻器，习惯上简称电阻。电阻是在电子电路中应用最多的元件之一，常用于对电压、电流的控制和传送。电阻通常按如下方法分类。

电阻按照制造工艺或材料可分为：合金型电阻（线绕电阻、精密合金箔电阻）、薄膜型电阻（碳膜电阻、金属膜电阻、化学沉淀膜电阻及金属氧化膜电阻等）、合成型电阻（合成膜电阻、实芯电阻）。

电阻按照使用范围及用途可分为：普通型电阻（允许误差为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ ）、精密型电阻（允许误差为 $\pm 2\% \sim \pm 0.001\%$ ）电阻、高频型电阻（也称无感电阻）、高压型电阻（额定电压可达 35kV ）、高阻型电阻（阻值在 $10\text{M}\Omega$ 以上，最高可达 $10^{14}\Omega$ ）、敏感型电阻（阻值对温度、光照、压力、气体等敏感）、集成电阻（也称电阻排）。

1.1.2 电阻的主要参数

电阻的参数主要包括标称阻值、允许误差和额定功率。

1. 标称阻值和允许误差

电阻的标称阻值和允许误差一般都标在电阻的表面。通常所说的电阻值即电阻的标称阻值。电阻的单位是欧 [姆]，用字母 Ω 表示，为识别和计算方便，也常以千欧 ($\text{k}\Omega$) 和兆欧 ($\text{M}\Omega$) 为单位。

$$1\text{M}\Omega = 10^3 \text{k}\Omega = 10^6 \Omega$$

电阻的标称阻值往往和它的实际值不完全相符。实际值和标称阻值的偏差，除以标称阻值所得的百分数，为电阻的允许误差，它反映了电阻的精度。不同的精度有一个相应的允许误差，电阻的标称阻值按误差等级分类，国家标准规定有 E24、E12、E6 系列，其误差分别为 I 级 ($\pm 5\%$)、II 级 ($\pm 10\%$)、III 级 ($\pm 20\%$)，见表 1-1。



表 1-1 E24、E12、E6 系列的具体规定

系列值电阻	精 度	误差等级	标 称 值
E24	$\pm 5\%$	I	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	$\pm 10\%$	II	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	$\pm 20\%$	III	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8

2. 额定功率

当电流通过电阻的时候,电阻便会发热。功率越大,电阻的散热量就越大。如果是电阻发热的功率过大,电阻就会烧坏。电阻在正常大气压及额定温度下,长期连续工作并能满足规定的性能要求时,所允许耗散的最大功率,叫作电阻的额定功率。在电路图中,电阻的额定功率通用符号如图 1.1 所示。



图 1.1 电阻的额定功率通用符号

1.1.3 电阻的标识方法

电阻常用的标识方法有直标法、文字符号法、色标法和数码表示法。

1. 直标法

直标法是用阿拉伯数字和单位符号在电阻表面直接标出标称阻值,其允许误差用百分数表示,如图 1.2(a) 所示。

2. 文字符号法

文字符号法是用阿拉伯数字和文字符号两者的有规律的组合来表示标称阻值,如图 1.2(b) 所示,其允许误差也用百分数表示(表 1-2)。

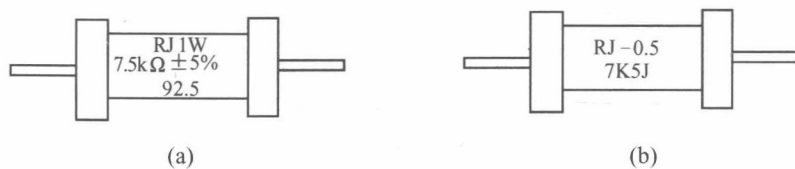


图 1.2 电阻的直标法和文字符号法



表 1-2 文字符号表示的允许误差

文字符号	允许误差	文字符号	允许误差
B	$\pm 0.1\%$	J	$\pm 5\%$
C	$\pm 0.25\%$	K	$\pm 10\%$
D	$\pm 0.5\%$	M	$\pm 20\%$
F	$\pm 1\%$	N	$\pm 30\%$
G	$\pm 2\%$		

3. 色标法

色标法是用不同颜色的色带或色点在电阻表面标出标称阻值和允许误差。

色标法常见的有四环色标法和五环色标法，如图 1.3 所示。

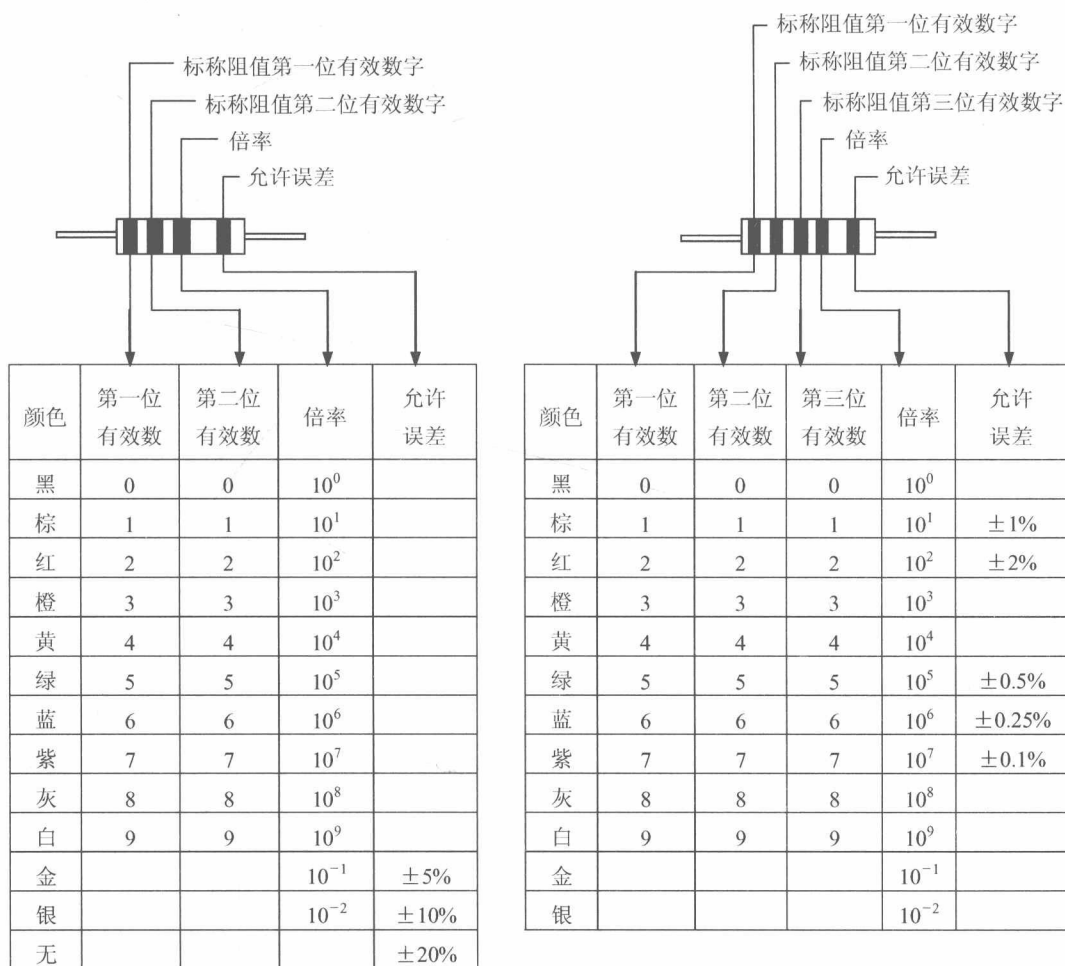


图 1.3 电阻标称阻值与误差的色标法



例如, 四环电阻的色标分别是红、黑、橙、金, 其阻值是 $20\Omega \times 10^3 = 20\text{k}\Omega$, 允许误差是 $\pm 5\%$; 如五环电阻的色标分别是绿、蓝、黑、红、棕, 其阻值是 $560\Omega \times 10^2 = 56\text{k}\Omega$, 允许误差是 $\pm 1\%$ 。

4. 数码表示法

数码表示法常见于集成电阻和贴片电阻等。例如, 在集成电阻表面标出 503, 代表其阻值是 $50\Omega \times 10^3 = 50\text{k}\Omega$ 。

1.1.4 电阻阻值的测量

测量电阻阻值时一般采用万用表的欧姆挡来进行。测量前, 应将万用表调零。无论使用指针式万用表还是数字式万用表测量电阻值, 都必须注意以下三点。

(1) 选挡要合适, 即挡值要略大于被测电阻的标称阻值。如果没有标称值, 可以先用较高挡试测, 然后逐步逼近正确挡位。

(2) 测量时不可用两手同时抓住被测电阻两端引出线, 因为那样会把人体电阻和被测电阻并联起来, 使测量结果偏小。

(3) 若测量电路中某个电阻的阻值, 必须将电阻的一端从电路中断开, 以防电路中的其他元器件影响测量结果。

电阻质量的判别方法如下。

(1) 观察电阻引线有无折断及外壳烧焦现象。

(2) 用万用表欧姆挡测量电阻值, 合格的电阻值应稳定在允许的误差范围内, 如超出误差范围或阻值不稳定, 则不能选用。

1.2 电 位 器

1.2.1 概述

电位器是一种可调电阻。电位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阻值发生变化。在电路中, 常用电位器来调节电阻值或电压值。电位器的常用符号如图 1.4 所示。

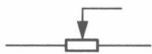


图 1.4 电位器的常用符号

电位器的种类繁多, 用途各异, 可按用途、材料、结构特点、阻值变化规律、驱动机构的运动方式等因素对电位器进行分类。常见的电位器分类见表 1-3。



表 1-3 常见的电位器分类

分类形式		举 例	
材 料	合金型	线 绕	线绕电位器 (WX)
		金属膜	金属箔电位器 (WB)
	薄膜型		金属膜电位器 (WJ), 金属氧化膜电位器 (WY)
			复合膜电位器 (WH), 碳膜电位器 (WT)
	合成型	有 机	有机实芯电位器 (WS)
		无 机	无机实芯电位器, 金属玻璃釉电位器 (WI)
导电塑料		直滑式 (LP), 旋转式 (CP) (非部标)	
用 途		普通, 精密, 微调, 功率, 高频, 高压, 耐热	
阻值变化规律	线 性	线性电位器 (X)	
	非线性	对数式 (D), 指数式 (Z), 正余弦式	
结构特点		单圈, 多圈, 单联, 多联, 有止挡, 无止挡, 带推拉开关, 锁紧式	
调节方式		旋转式, 直滑式	

1.2.2 电位器的主要参数

描述电位器技术指标的参数很多,但对于一般电子产品来说,最重要的是以下几种基本参数:标称阻值、额定功率、滑动噪声、分辨力、阻值变化规律、电位器的轴长和轴端结构等。

1. 标称阻值

电位器的标称阻值是指标在电位器上的阻值,其系列与电阻的标称阻值系列相同。根据不同的精确等级,实际阻值与标称阻值的允许偏差范围为 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$,精确电位器的精度可达到 $\pm 0.1\%$ 。

2. 额定功率

电位器的额定功率是指两个固定端之间允许耗散的功率。一般电位器的额定功率系列为 0.063W 、 0.125W 、 0.25W 、 0.5W 、 0.75W 、 1W 、 2W 、 3W ;线绕电位器的额定功率比较大,有 0.5W 、 0.75W 、 1W 、 1.6W 、 3W 、 5W 、 10W 、 16W 、 25W 、 40W 、 63W 、 100W 。

3. 滑动噪声

当电刷在电阻体上滑动时,电位器中心端与固定端的电压出现无规则的起伏,这种现象称为电位器的滑动噪声。滑动噪声是由材料电阻率分布的不均匀性及电刷滑动的无规律变化引起的。



4. 分辨力

对输出量可实现的最精细的调节能力称为电位器的分辨力。线绕电位器的分辨力较差。

5. 阻值变化规律

调整电位器的滑动端,其电阻值按照一定规律变化。常见电位器的阻值变化规律有线性变化(X型——适用于分压、偏流的调整)、指数变化(Z型——适用于音量控制)和对数变化(D型——适用于音调控制和黑白电视机的黑白对比度调整)。

6. 电位器的轴长与轴端结构

电位器的轴长是指从安装基准面到轴端的尺寸。轴长尺寸系列有6mm、10mm、12.5mm、16mm、25mm、30mm、40mm、50mm、63mm、80mm;轴的直径系列有2mm、3mm、4mm、6mm、8mm、10mm。

1.2.3 几种常用的电位器

1. 线绕电位器(型号:WX)

线绕电位器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。线绕电位器的精度可达 $\pm 0.1\%$,额定功率可达100W以上。线绕电位器有单圈、多圈、多连等几种结构。

线绕电位器根据用途划分可分为普通型线绕电位器、精密型线绕电位器、微调型线绕电位器;根据阻值变化规律可分为线性线绕电位器、非线性线绕电位器(如对数或指数函数)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)

在绝缘基体上涂敷一层合成碳膜,经加温聚合后形成碳膜片,再与其他零件组合而成的电位器称为合成碳膜电位器。合成碳膜电位器的阻值变化规律有线性和非线性两种,轴端结构有带锁紧和不带锁紧两种。

合成碳膜电位器的阻值变化连续,分辨力高,阻值范围宽($100\Omega\sim 5M\Omega$);对温度和湿度的适应性差,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0.125W、0.5W、1W、2W,精度一般为 $\pm 20\%$ 。

3. 有机实芯电位器(型号:WS)

有机实芯电位器为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,在基座上形成的实芯电阻体。轴端结构有带锁紧和不带锁紧两种。

有机实芯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、转动转矩大。有机实芯电位器多用于对可靠性要求较高的电子仪器中。阻





值范围是 $47\Omega\sim 4.7\text{M}\Omega$ ，功率多为 $0.25\sim 2\text{W}$ ，精度有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 几种。

4. 多圈电位器

多圈电位器属于精密电位器，调整阻值时必须使转轴旋转多圈（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、有机实芯型等，调节方式可分成螺旋（指针）式、螺杆式等不同形式。

5. 双连或多连电位器

双连或多连电位器是为了满足某些电路统调的需要，将相同规格的电位器装在同一轴上，这就是同轴双连或多连电位器。使用这类电位器可以节省空间，美化和板面的布置。

6. 开关电位器

开关电位器是在电位器上附带有开关装置。开关和电位器虽同轴相连，但又彼此独立，互不影响，因此在电路中可省去一个独立的电源开关。

1.2.4 电位器的合理选用

电位器规格品种很多，在选用时，不仅要根据具体电路的使用条件（电阻值及功率要求）来确定，还要考虑调节、操作及成本方面的要求。下面给出的是针对不同用途而推荐电位器选用类型。

- (1) 普通电子仪器：合成碳膜电位器或有机实芯电位器。
- (2) 大功率低频电路、高温情况：线绕电位器或金属玻璃釉电位器。
- (3) 高精度电路：线绕电位器、导电塑料电位器或精密合成碳膜电位器。
- (4) 高分辨力电路：各类非线绕电位器或多圈式微调电位器。
- (5) 高频、高稳定性电路：薄膜电位器。
- (6) 调节后无须再动情况：轴端锁紧式电位器。
- (7) 几个电路同步调节情况：多连电位器。
- (8) 精密、微量调节电路：带慢轴调节机构的微调电位器。
- (9) 要求电压均匀变化：直线式电位器。
- (10) 音量控制电位器：指数式电位器。

1.2.5 电位器的质量判别方法

用万用表欧姆挡测量电位器两个固定端的电阻，并与标称值核对阻值：如果万用表指针不动或比标称值大得多，表明电位器已坏；如表针跳动，表明电位器内部接触不好。再测滑动端与固定端的阻值变化情况：移动滑动端，如阻值从最小到最大连续变化，而且最小值很小，最大值接近标称值，说明电位器质量较好；如阻值间断或不连续，说明电位器滑动端接触不好，则不能选用。

1.3 电 容 器

1.3.1 概述

电容器是电子仪器设备中一种必不可少的基础元件,它的基本结构是在两个相互靠近的导体之间敷一层不导电的绝缘材料(介质)。电容器是一种储能元件,储存电荷的能力用电容量来表示,基本单位是法[拉],以F表示。由于法的单位太大,因而电容量的常用单位是微法(μF)和皮法(pF)。电容器在电路中具有隔断直流电、通过交流电的特点,因此,多用于电路级间耦合、滤波、去耦、旁路和信号调谐等方面。在电路中,电容器的常用符号如图1.5所示。



图 1.5 电容器符号

电容器的种类很多,分类方法各不相同。

电容器按结构不同可分为固定电容器、可变电容器、半可变电容器。

电容器按介质材料不同可分为气体介质电容器、液体介质电容器(如油浸电容器)、无机固体介质电容器(如云母电容器)、陶瓷电容器、电解质电容器(按电解质的不同形式可分为液式和干式两种)。

电容器按极性不同可分为有极性电容器和无极性电容器。

电容器按阳极材料不同可分为铝电解电容器、钽电解电容器、铌电解电容器。

1.3.2 电容器的主要技术参数

1. 标称容量和精度

容量是电容器的基本参数,数值标在电容体上,不同类别的电容器有不同系列的标称值。常用的标称系列与电阻的标称系列相同。

应注意,某些电容器的体积过小,常常在标注容量时不标单位符号只标数值,这就需要根据电容器的材料、外形尺寸、耐压等因素加以判断,以读出真实容量值。

电容器的容量精度等级较低,一般分为三级,即 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$,或写成I级、II级、III级。有的电解电容器的容量误差可能大于 20% 。

2. 额定直流工作电压(耐压)

电容器的耐压是表示电容器接入电路后,能长期连续可靠地工作而不被击穿时所承受的最大直流电压。电容器使用时的电压绝对不允许超过这个耐压值,如有超过,电容器就会损坏或被击穿。如果电压超过耐压值很多,电容器则可能会爆裂。



电容器用于交流电路时其最大值不能超过额定直流工作电压。

3. 损耗角正切

电容器介质的绝缘性能取决于材料及厚度，绝缘电阻越大，漏电流越小。漏电流的存在，将使电容器消耗一定的电能，这种损耗称为电容器的介质损耗（有功功率）。图 1.6 中的 δ 角是由于电容损耗而引起的相移，此角即为电容器的损耗角。电容器的损耗，相当于在理想电容上并联一个等效电阻，如图 1.7 所示， I_R 相当于漏电流，此时电容上存储的无功功率为 $P_0 = U \cdot I_C = U \cdot I \cdot \cos\delta$ ，损耗的有功功率为 $P = U \cdot I_R = U \cdot I \cdot \sin\delta$ 。由此可见，只用损耗的有功功率来衡量电容器的优劣是不准确的，因为功率的损耗不仅与电容器本身质量有关，还与加在电容器上的电压及电流有关，同时只看损耗功率，而不看存储功率也不足以衡量电容器的质量。为确切反应电容器的损耗特性，应该用损耗功率与存储功率之比 ($\tan\delta$) 来反映其质量。 $\tan\delta$ 称为电容器损耗角的正切值，它真实地反映了电容器的质量优劣。

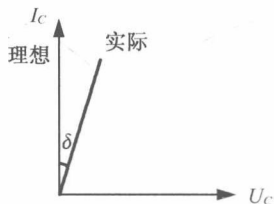


图 1.6 电容器的介质损耗

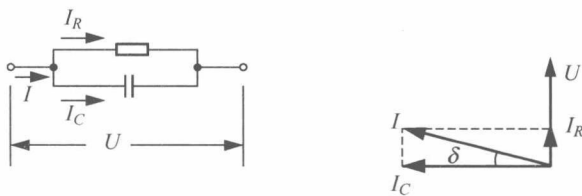


图 1.7 电容器等效电路

1.3.3 电容器的命名方法和标识方法

1. 电容器的命名方法

根据国家标准，电容器型号的命名由四部分内容组成，其中第三部分（特征）作为补充，说明电容器的某些特征，如无说明，则只需三部分，即两个字母一个数字，大多数电容器的型号由三部分内容组成，如图 1.8 所示。

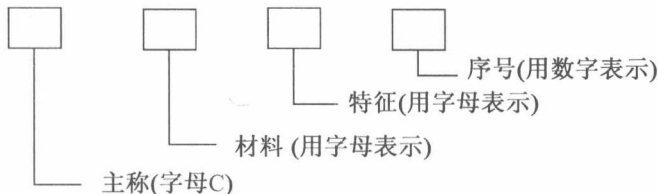


图 1.8 电容器的命名格式

电容器的标识格式中用字母表示产品的材料，见表 1-4。

电容器的标识格式中用数字表示产品的分类，见表 1-5。

例如：CC224——瓷片电容器， $0.22\mu\text{F}$ 。



表 1-4 用字母表示产品的材料

字 母	电容器介质材料	字 母	电容器介质材料
A	钽电解	L	涤纶
B	聚苯乙烯	N	钽电解
C	高频陶瓷	O	玻璃膜
D	铝电解	Q	漆膜
E	其他材料电解	ST	低频陶瓷
H	纸膜复合	Y	云母
I	玻璃釉	Z	纸
J	金属化纸质	BB	聚丙烯

表 1-5 用数字表示产品的分类

数 字	瓷片电容器	云母电容器	有机电容器	电解电容器
1	圆形	非密封	非密封	箔式
2	管形	非密封	非密封	箔式
3	叠片	密封	密封	烧结粉、非固体
4	独石	密封	密封	烧结粉、固体
5	穿心	穿心		
7				无极性
8	高压	高压	高压	
9			特殊	特殊

2. 电容器的标识方法

(1) 直标法

容量单位：F（法[拉]）、mF（毫法）、 μF （微法）、nF（纳法）、pF（皮法）。

$$1\text{F} = 10^3\text{mF} = 10^6\mu\text{F} = 10^9\text{nF} = 10^{12}\text{pF}$$

例如：4n7——4.7nF 或 4700pF；

0.33——0.33 μF ；

3300——3300pF；

473——0.047 μF 。

没标识单位的读法是：对于普通电容器标识数字为整数的，容量单位为 pF；标识数字为小数的，容量单位为 μF 。对于电解电容器，省略不标出的单位是 μF 。

电容器误差表示方法也有多种，如不注意就会产生误会。

① 直接表示。例如： $10 \pm 0.5\text{pF}$ ，误差就是 $\pm 0.5\text{pF}$ 。

② 字母表示。D = $\pm 0.5\%$ ，F = $\pm 1\%$ ，G = $\pm 2\%$ ，J = $\pm 5\%$ ，K = $\pm 10\%$ ，M = $\pm 20\%$ ，N = $\pm 30\%$ 。例如：224K 表示电容值为 0.22 μF ，相对误差为 $\pm 10\%$ ，不要误认为是 $224 \times 10^3\text{pF}$ 。

(2) 数码表示法

数码表示法一般用三位数字来表示容量的大小，单位为 pF。前两位为有效数字，后



一位表示倍率，即乘以 10^i ， i 为第三位数字，若第三位为数字 9，则乘 10^{-1} 。

例如：222—— $22 \times 10^2 = 2200 \text{ pF}$ ；

479—— $47 \times 10^{-1} \text{ pF}$ 。

(3) 色码表示法

色码表示法与电阻器的色环标志法类似，颜色涂在电容器的一端或顶端向引脚排列。色码一般只有三种颜色，前两环为有效数字，第三环为倍率，单位为 pF 。

例如：红红橙—— $22 \times 10^3 \text{ pF}$ 。

1.3.4 几种常见的电容器

1. 电解电容器

电解电容器是目前用得较多的大容量电容器，它体积小、耐压高（一般耐压越高体积也就越大），其介质为正极金属片表面上形成的一层氧化膜，负极为液体、半液体或胶状的电解液。因其有正负极之分，故只能工作在直流状态下，如果极用反，将使漏电流剧增。在此情况下，电容器将会急剧变热而损坏，甚至会引起爆炸。一般厂家会在所生产的电容器的表面上标出正极或负极，新买来的电容器引脚长的一端为正极。

铝电解电容器（CD）是一种目前使用最广泛的通用型电解电容器，它适用于电源滤波和音频旁路。铝电解电容器的绝缘电阻小，漏电损耗大，容量为 $0.33 \sim 4700 \mu\text{F}$ ，额定工作电压一般为 $6.3 \sim 500 \text{ V}$ 。钽电解电容器（CA）采用金属钽（粉剂或溶液）作为电解质。钽电解电容器于 1956 年由美国贝尔实验室首先研制成功。钽电解电容器性能稳定，具有绝缘电阻大、漏电小、寿命长、长期存放性能稳定、温度及频率特性好等优点，但它的成本较高、额定工作电压低（最高只有 160 V ），所以这种电容器主要用于一些电性能要求较高的电路，如积分电路、计时电路、延时开关电路等。

2. 云母电容器

云母电容器（CY）用云母片做介质，其特点是高频性能稳定，耐压高（几百伏至几千伏），漏电流小，但容量小，体积大。

3. 瓷质电容器

瓷质电容器（CC）采用高介电常数、低损耗的陶瓷材料做介质，其特点是体积小、损耗小、绝缘电阻大、漏电流小、性能稳定，可工作在超高频段，但耐压低，机械强度较差。

4. 玻璃釉电容器

玻璃釉电容器（CI）具有瓷质电容器的优点，但比同容量的瓷质电容器体积小，工作频带较宽，可在 125°C 下工作。

5. 纸介电容器

纸介电容器（CZ）的电极用铝箔、锡箔做成，绝缘介质是浸醋的纸，锡箔或铝箔与纸相



叠后卷成圆柱体, 外包防潮物质。其特点是体积小、容量大, 但性能不稳定, 高频性能差。

6. 聚苯乙烯电容器

聚苯乙烯电容器(CB)是一种有机薄膜电容器, 以聚苯乙烯为介质, 用铝箔或直接在聚苯乙烯薄膜上蒸上一层金属膜为电极。其特点是绝缘电阻大、耐压高、漏电流小、精度高, 但耐热性差, 焊接时, 过热会损坏电容器。

7. 独石电容器

独石电容器是以钛酸钡为主的陶瓷材料烧结而成的一种瓷介质电容器。其特点是体积小、耐高温、绝缘性能好、成本低, 多用于小型和超小型电子设备中。

8. 可变电容器

可变电容器种类很多, 按结构可分为单联可变电容器(一组定片, 一组动片)、双联可变电容器(二组动片, 二组定片)、三联可变电容器、四联可变电容器等; 按介质可分为空气介质电容器、薄膜介质电容器等。空气介质电容器使用寿命长, 但体积大。一般单连可变电容器用于直放式收音机的调谐电路, 双连可变电容器用于超外差式收音机。薄膜介质电容器在动片和定片之间以云母或塑料片做介质, 体积小, 质量轻。

9. 半可调电容器

半可调电容器又称微调电容器, 在电路中主要用于补偿和校正, 其调节范围为几十皮法。常用的半可调电容器有有机薄膜介质半可调电容器、瓷介质半可调电容器、拉线半可调电容器和云母半可调电容器等。

1.3.5 电容器的合理选用和质量判断

1. 电容器的合理选用

电容器种类繁多, 性能指标各异, 选用时应考虑如下因素。

(1) 电容器额定电压

不同类型的电容器有不同的电压系列, 所选电容器必须在其系列之内。此外, 所选电容器的电压一般应使其额定值高于线路施加在电容器两端电压的 $1\sim 2$ 倍, 选用电解电容器时例外。特别是液体电解电容器, 限于自身结构特点, 其额定电压的确定一般不能高于实际电压的 1 倍以上。一般应使线路中的实际电压相当于被选电容器耐压的 $50\%\sim 70\%$, 这样才能充分发挥电解电容器的作用。不论选用何种电容器, 都不得使电容器耐压低于线路中的实际电压, 否则电容器将会被击穿。同时也不必过分提高额定电压, 否则不仅提高了成本, 而且增大了体积。

(2) 标称容量及精度等级

各类电容器均有其标称值系列及精度等级。电容器在不同的电路中作用有所不同, 某些