



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子学实验教程

DIANGONG DIANZIXUE SHIYAN JIAOCHENG

贾爱民 张伯尧 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电工电子学实验教程

贾爱民 张伯尧 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP)数据

电工电子学实验教程 / 贾爱民, 张伯尧主编. —杭州:
浙江大学出版社, 2009. 7

ISBN 978-7-308-06864-2

I. 电… II. ①贾…②张… III. ①电工技术—实验—高等学校—教材②电子技术—实验—高等学校—教材

IV. TM-33 TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009)第 103986 号

电工电子学实验教程

贾爱民 张伯尧 主编

责任编辑 杜希武

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13.5

字 数 295 千

版 印 次 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-06864-2

定 价 29.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88925591

《电工电子学实验教程》作为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,既是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《电工电子学》(浙江大学,叶挺秀、张伯尧主编,高等教育出版社出版,2008年11月第1版)的配套实验教学用书,又是工科非电类专业学生学习电工电子系列课程的一本实验教材。

本教材主要分成两篇。第一篇是电工电学实验基础,本篇分为3章。第1章主要介绍电工电子学实验中常用的一些元器件、各种实验装置和实验设备及其使用;第2章主要介绍电工电子学实验常用的仪器仪表及其使用,包括万用表、直流稳压电源、数字函数信号发生器、交流毫伏表、示波器等的使用;第3章主要介绍电工电子学实验方法,包括电工电子学实验常见故障的分析与处理、电工电子学实验报告的编写和要求、电工电子学实验守则和注意事项。第二篇主要是电工电子学实验项目,内容涉及电路、模拟电子技术、数字电子技术、变压器、电动机及其继电器接触控制、可编程序控制器等,共选编实验27个,其中综合性大型实验2个。根据专业及学时的不同,可对实验内容进行不同的组合,以满足不同专业、不同学时对电工电子学实验教学的需要。

本教材充分考虑了电工电子学实验的基本要求,并力求适应现代实验技能培养的需求,编写力求理论联系实际,使学生受到电工电子学的基本技能训练,以培养学生分析问题和解决问题的能力。其中第一篇、附录由黄海龙执笔,第二篇中的实验一至实验三、实验五至实验六由王玉芬执笔,实验四、实验七、实验十二至实验十四、实验十七至实验十八由张伯尧执笔,实验八至实验十一、实验十五至实验十六由贾爱民执笔,实验十九至实验二十七由潘丽萍执笔,最后由贾爱民和张伯尧统稿。

本教材由浙江大学叶挺秀教授主审,叶教授在审稿当中极为严谨,提出了很多宝贵的意见,使编者受益匪浅,在此深表谢意。

本教材得到了浙江大学电气工程学院电工电子基础教学和实验中心的领导和同仁的支持,也得到了浙江大学出版社的大力支持,在此深表感谢。限于编者的水平和时间,书中不妥和错误之处,恳请批评指正。

编者

2008年12月

第一篇 电工电子学实验基础

第 1 章 电工电子学实验常用元器件和实验装置	2
1.1 常用元器件	2
1.1.1 电阻器	2
1.1.2 电容器	7
1.1.3 半导体器件	10
1.1.4 常用集成电路	12
1.2 DG-X 型现代电工、电子综合实验系统	17
1.2.1 各部件功能介绍	18
1.2.2 使用说明	20
1.3 GDS-2 高级电工系统实验装置	22
1.3.1 功能简介	22
1.3.2 使用说明	25
1.4 MDZ-2 模拟电子技术实验箱	27
1.4.1 概述	27
1.4.2 使用说明	27
1.5 SDZ-2 数字电子技术实验箱	29
1.5.1 概述	29
1.5.2 使用说明	29
1.6 MicroLogix 可编程控制器	32
1.6.1 Micrologix1000 可编程控制器及实验板	32
1.6.2 Micrologix1200 可编程控制器及实验板	34
1.6.3 Micrologix 系列可编程控制器文件组织和指令	35
第 2 章 电工电子学实验常用仪器仪表及其使用	41
2.1 万用表	41
2.1.1 万用表的分类	41
2.1.2 MS8200G 数字万用表	42
2.2 直流稳压电源	46
2.2.1 直流稳压电源的分类	46
2.2.2 HY3003D-3 型可调式直流稳压稳流电源	47
2.3 函数信号发生器	49

2.3.1	信号发生器电路构成和工作原理	49
2.3.2	XJ1631 型数字显示函数信号发生器	50
2.4	交流毫伏表	54
2.4.1	交流毫伏表的组成	54
2.4.2	DF2172B 型交流毫伏表	55
2.5	示波器	56
2.5.1	示波器的分类	56
2.5.2	XJ4318A 型二踪示波器	57
第3章	电工电子学实验的完成	64
3.1	电工电子学实验目的和实验管理	64
3.1.1	实验目的及要求	64
3.1.2	实验管理及实验守则	64
3.2	电工电子学实验方法	66
3.2.1	实验的操作规程	66
3.2.2	实验操作技术	68
3.3	电工电子学实验常见故障的分析与处理	72
3.3.1	实验常见故障	72
3.3.2	故障排除方法	73
3.4	电工电子学实验报告的编写	76

第二篇 电工电子学实验项目

实验一	基本电工仪表的使用	79
实验二	单相交流电路	83
实验三	三相交流电路	87
实验四	常用电子仪器的使用	91
实验五	电路频率特性的研究	96
实验六	一阶 RC 电路时域特性的研究	100
实验七	单管电压放大电路	104
实验八	门电路、触发器及其应用	108
实验九	计数、译码和显示	112
实验十	移位寄存器及其应用	116
实验十一	数据选择器和数据分配器	121
实验十二	集成运算放大器应用(一) ——模拟信号运算电路	125
实验十三	集成运算放大器应用(二) ——波形发生及脉宽调制	129
实验十四	正弦波振荡电路	133

实验十五	集成定时器及其应用	135
实验十六	A/D 和 D/A 转换	140
实验十七	扩音机电路	145
实验十八	直流稳压电源	153
实验十九	单相变压器	157
实验二十	三相异步电动机的直接起动和正反转控制和顺序控制	161
实验二十一	三相异步电动机的时间控制和行程控制	166
实验二十二	可编程控制器基本指令和相关软件的使用	169
实验二十三	可编程控制器应用(之一)	181
实验二十四	可编程控制器应用(之二)	184
实验二十五	综合实验(一)	
	——低压直流电动机转速控制、测量和显示	187
实验二十六	综合实验(二)	
	——数字式频率计	195
实验二十七	综合实验(三)	
	——温度监测控制电路	203

第一篇 电工电子学实验基础

为了顺利地完 成电工电子实验,必须了解电工电子学实验中相关的实验装置和使用方法,必须了解常用的仪器仪表和常用的元器件,必须了解实验的操作技术和常见故障排除方法。本篇将介绍上述内容,为实验者提供相关的实验基础知识。

电工电子学实验常用元器件 和实验装置

1.1 常用元器件

元器件是组成一个实际电路的基本元素,例如在电子电路里常包含有电阻器(简称电阻)、电感器(简称电感)、电容器(简称电容)、二极管、三极管、场效应管及集成运算放大器等元件。在电气控制电路里常包含有按钮、断路器(开关)、熔断器、指示灯、继电器、接触器、电表等元件。

元器件也可以分为有源和无源两大类。无源元器件是指没有电压、电流或功率放大能力的元器件,最常用的有电阻器、电感器、电容器、二极管等。有源元器件是指具有电压、电流或功率放大能力的元器件,例如三极管、场效应管及运算放大器等。

1.1.1 电阻器

从电阻器的结构来分,一般分为固定电阻器和可变电阻器(电位器)两大类。

1. 固定电阻器和可变电阻器的型号命名法(表 1.1)

表 1.1 电阻器和电位器的型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字或字母表示分类		用数字表示序号
符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义	
R	电阻器	T	炭膜	1	普通	
W	电位器	P	硼炭膜	2	普通	
		U	硅炭膜	3	超高频	
		H	合成膜	4	高阻	
		I	玻璃膜	5	高温	
		J	金属膜(泊)	6		
		Y	氧化膜	7	精密	
		S	有机实芯	8	高压或特殊函数	
		N	无机实芯	9	特殊	
		X	线绕	G	高功率	
		R	热敏	T	可调	
		G	光敏	X	小型	
		M	压敏	L	测量用	
				W	微调	
				D	多圈	

电阻器是实验电路中最常用的元件。按照其制作材料,实验室里经常采用的电阻器有线绕电阻器、碳质电阻器、碳膜电阻器、金属膜电阻器和金属氧化膜电阻器等。

2. 电阻器的主要特性指标

(1) 额定功率

额定功率按线绕电阻器和非线绕电阻器分为两类,见表 1.2

表 1.2 电阻器额定功率系列(W)

线绕电阻器	0.05、0.125、0.25、0.7、1、2、4、8、10、16、25、50、75、100、150、250、500
非线绕电阻器	0.05、0.125、0.25、0.5、1、2、5、10、25、50、100

(2) 标称电阻阻值

电阻器的标称电阻阻值应符合表 1.3 所列数值(或表中所列数值再乘以 10^n ,其中 n 为正整数或负整数)。

表 1.3 电阻器的标称电阻阻值

允许偏差			允许偏差		
±5%	±10%	±20%	±5%	±10%	±20%
E24	E12	E6	E24	E12	E6
1.0	1.0	1.0	3.3	3.3	3.3
1.1			3.6		
1.2	1.2		3.9	3.9	
1.3			4.3		
1.5	1.5	1.5	4.7	4.7	4.7
1.6			5.1		
1.8	1.8		5.6	5.6	
2.0			6.2		
2.2	2.2	2.2	6.8	6.8	6.8
2.4			7.5		
2.7	2.7		8.2	8.2	
3.0			9.1		

电阻器的阻值和允许偏差一般都用数字标印在电阻器上,但体积很小的电阻器和一些合成电阻器,其阻值和误差常以色环表示,如图 1.1.1 所示。常用的方法是采用四色环色标法来表示。在电阻器体上靠近其中一个引脚端画有四道色环:第一、第二色环分别表示第一、第二两位数字,第三色环表示阻值倍率(即乘以 10 的方次),第四色环表示阻值的允许偏差,表 1.4 列出了色环所代表的数字大小。

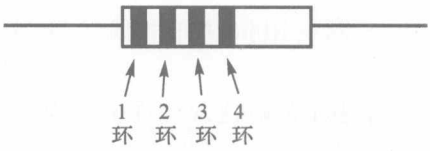


图 1.1.1 电阻器阻值的色环表示法

精密电阻器也有采用五色环色标法来标注其阻值。当采用五色环色标法来表示电阻器阻

值时,则第一、第二、第三色环分别表示阻值数值,第四条色环表示阻值倍率,第五色环表示阻值允许偏差。

表 1.4.1 四色环电阻器中色环代表的数值

色别	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	无色
对应数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
误差		±1%	±2%			±0.5%	±0.25%	±0.1%		±50%	±5%	±10%	±20%

表 1.4.2 五色环色标法所表示的电阻标称值及精度 (阻值单位:欧姆)

符号	第一环	第二环	第三环	第四环	第五环
颜色	第一位数	第二位数	第三位数	应乘倍数	允许偏差
黑	—	0	0	$\times 100=1$	—
棕	1	1	1	$\times 101=10$	±1%
红	2	2	2	$\times 102=100$	±2%
橙	3	3	3	$\times 103=1000$	—
黄	4	4	4	$\times 104=10000$	—
绿	5	5	5	$\times 105=100000$	±0.5%
蓝	6	6	6	$\times 106=1000000$	±0.25%
紫	7	7	7	$\times 107=10000000$	±0.1%
灰	8	8	8	$\times 108=100000000$	—
白	9	9	9	$\times 109=1000000000$	±50%
金	—	—	—	$\times 10^{-1}=0.1$	±5%
银	—	—	—	$\times 10^{-2}=0.01$	±10%
无色	—	—	—	—	±20%

外形

电阻色环表示法



例如某电阻器的第一色环是红色、第二色环是绿色、第三色环是黄色、第四色环为银色,则该电阻器的阻值是 $2(\text{红色})5(\text{绿色})\times 104(\text{黄色})=250000\Omega=250\text{k}\Omega$,允许偏差是 10%(银色)。

又例如:三环的颜色为黄、紫、黑表示的阻值及允许偏差为 $47\times 100(1\pm 20\%)\Omega=47(1\pm 20\%)\Omega$ (即偏差环为无色)

四环的颜色为红、绿、黄、银表示的阻值及允许偏差为 $25\times 104(1\pm 10\%)\Omega=250000\Omega=250(1\pm 10\%)\text{k}\Omega$

四环的颜色为红、紫、橙、金表示的阻值及允许偏差为 $27\times 103(1\pm 5\%)\Omega=27(1\pm 5\%)\text{k}\Omega$

五环的颜色为棕、紫、绿、金、银表示的阻值及允许偏差为 $175\times 10^{-1}(1\pm 10\%)\Omega=17.5(1\pm 10\%)\Omega$

3. 常用的固定电阻器及其特点

(1) 薄膜电阻器

薄膜电阻器是在圆柱形陶瓷或硬玻璃基体上,用沉积、真空溅射或蒸发的方法涂覆一层薄

导电层,便形成了薄膜电阻器。薄膜电阻器导电层的厚度一般在 $0.001\sim 20\ \mu\text{m}$ 之间。在电阻膜上刻螺纹槽以调整电阻值,然后在两端装上帽盖,焊上引线,并在表面加涂保护漆,最后在漆膜表面印上标记。

①碳膜电阻(型号 RT) 碳膜电阻器稳定性好,电压的改变对阻值影响小,阻值范围宽(几十欧至几十兆欧),频率特性好,噪声小,具有负温度系数,体积比金属膜电阻稍大,但制作成本低,价格便宜,适用于数字电路、精度要求不高和无特殊要求的一般电路。它是目前使用最多的一种电阻器。

②金属膜电阻(型号 RJ) 金属膜电阻器和碳膜电阻器外形相似,它除了具有碳膜电阻器的特征外,比碳膜电阻器的精度更高,稳定性更好,使用温度范围广,温度系数小,噪声低,体积小,阻值范围宽。它最明显的特点是耐热性、稳定性和频率特性都较好。主要用于对稳定性要求较高或高频精密电路中。

③金属氧化膜电阻(型号 RY) 金属氧化膜电阻器的外形及性能均与金属膜电阻器相同,氧化膜电阻器具有极好的脉冲、高频和过负荷性,机械性能好,坚硬,耐磨,且制造工艺简单,成本较低。但阻值范围窄,温度系数比金属膜电阻大。在精度要求不太高时可以代替金属膜电阻器使用。主要用于功率消耗较大的电路中。

(2)线绕电阻器(RX)

线绕电阻器是用电阻系数较大的锰钢或镍铬合金电阻丝绕制在陶瓷管等骨架上制成的,它的外层涂有耐热的绝缘层,两端有引线或装有金属引脚。线绕电阻器外形尺寸大。

线绕电阻器的特点是精度高、稳定性好、噪声低、功率大,一般可承受 $3\sim 100\ \text{W}$ 的额定功率,而且温度系数小、耐高温,可以在 150°C 高温下正常工作。但由于它体积大,阻值不高($10\ \text{M}\Omega$ 以下),因此适用于大功率电路中。此外,精密的线绕电阻器可用于标准电阻箱、测量仪器等场合。由于线绕电阻器的固有电感较大,频率特性较差,因而不适宜在高频电路中使用。主要用于高精度、低频、低噪声要求的电路中。

有一种陶瓷绝缘功率型线绕电阻器,俗称水泥电阻器,是将线绕电阻体装在陶瓷绝缘壳中,其型号标识也为 RX。水泥电阻器的额定功率在 $2\ \text{W}$ 以上,最大功率可达 $200\ \text{W}$ 。阻值范围 $0.15\ \Omega$ 至几百千欧,精度等级 $\pm 5\%\sim 20\%$ 。由于水泥电阻器采用工业高频电子陶瓷外壳,所以具有优良的阻燃、防爆特性和绝缘性能(绝缘电阻达 $100\ \text{M}\Omega$),同时它具有散热性好、功率大、引脚很长可避免发热时对印刷电路板的影响等特点。水泥电阻器具有多种外形和安装方式,可直接安装在印制电路板上,也可利用金属支架独立安装焊接。

(3)合成电阻器

合成型电阻是将导电材料(如石墨或碳墨)与非导电材料按不同比例合成不同电阻率的材料,再制成电阻。尽管它的电性能较差,但可靠性很高,仍在一些特殊领域内使用。

①实芯电阻器(型号 RS) 有机实芯电阻器不使用绝缘瓷棒和引线帽,而是实芯的,引线从内部引出。实芯电阻器具有成本低、价格便宜、过负载能力强、有很高的可靠性等特点,但其固有噪声高,分布电容及分布电感影响大,电压和温度稳定性差,相同功率下体积与金属膜电阻相当。

②高阻合成膜电阻(型号 RH) 阻值范围在 $10\sim 106\ \text{M}\Omega$ 之间。整个电阻体密封在玻璃管内,以提高阻值的稳定性。

③金属玻璃釉电阻(型号 RI) 这类电阻具有较高的耐热性和耐潮性,常制成小型化片状。

(4) 敏感电阻

根据不同材料和制作工艺,通常有热敏、压敏、光敏、温敏、磁敏、气敏、力敏等不同类型的电阻(传感器),广泛用于检测技术和自动化技术等领域。

4. 可变电阻器

可变电阻器也称为电位器,它是在一定的范围内阻值连续可变的一种电阻器,主要用于阻值需要经常变动的电路中。

(1) 电位器的阻值变化规律

电位器在旋转时,阻值变化规律有三种不同形式,阻值变化特性曲线如图 1.1.2 所示。X 为直线式,阻值随旋转角度均匀变化,适用于分压、调节电流。Z 为指数式,阻值随旋转角度依指数关系变化,普遍用在音量调节电路中。D 为对数式,阻值随旋转角度依对数关系变化,用于电路的特殊调节。

(2) 常用电位器的类型

① 线绕电位器

线绕电位器是利用电阻合金丝在绝缘骨架上绕制而成的,常用作精密电位器和大功率电位器,精度可达 0.1%,功率可达 100W 以上。线绕电位器结构可做成单圈、多圈、多连等。根据用途可制成普通型、精密型、微调型等。线绕电位器精度易于控制,温度系数小,噪声低,但由于有有线圈结构,电感大,高频特性不好。

② 合成碳膜电位器

在绝缘基体上涂覆一层合成碳膜,再与其他零件组合而成。这类电位器阻值分辨率高,阻值变化连续,阻值范围宽($100\Omega \sim 5\text{ M}\Omega$);功率一般有 0.125 W、0.5 W、1 W、2 W 等;精度较差,一般为 $\pm 20\%$;耐温、耐潮性能差,使用寿命较短。但由于成本低,因而广泛用于家用电器产品中。

③ 有机实芯电位器

由导体与有机填料和热固性树脂配制成电阻粉,在基座上通过热压形成实芯电阻体。阻值范围可在 $47 \sim 4.7\text{ M}\Omega$ 之间,功率多在 0.25 ~ 2W 之间,精度误差有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等几种。这类电阻结构简单,体积小,寿命长,可靠性高。缺点是噪声大,启动力矩大,因此这种电位器多用于对可靠性要求较高的电子仪器中。

④ 多圈电位器

阻值调整精度高,最多可达 40 圈。在阻值需要大范围内进行微量调整时,可选用多圈电位器。多圈电位器有线绕型、块金膜型及有机实芯型等。

⑤ 导电塑料电位器

电阻体由炭黑、石墨、超细金属粉与磷苯二甲酸二丙烯酸酯塑料和黏结剂塑压而成。这种电位器耐磨性好,接触可靠,分辨力高,寿命可达线绕电位器的 100 倍,但频率特性不如碳膜电位器,而且韧性差。

普通的碳膜电位器用量最大,在单圈式电位器中已基本取代了成本较高的线绕式电位器。

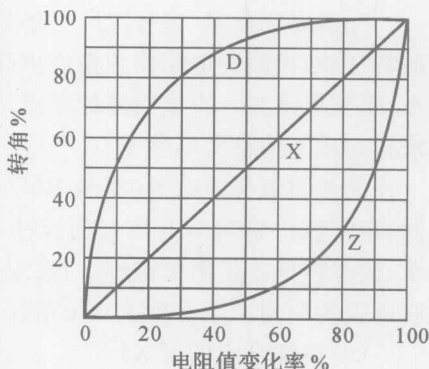


图 1.1.2 电位器的阻值变化特性曲线

1.1.2 电容器

电容器按其极性可分为无极性电容器和有极性电容器;按结构可分为固定电容器、可变电容器和微调电容器;按电介质可分为有机介质电容器、无机介质电容器、电解电容器、液体介质电容器、气体介质电容器等。

1. 电容器的型号命名法

电容器的型号命名法与电阻器一样,也是分四个部分,即主称、材料、分类和序号。如表 1.5 所示。表中没有列序号部,使用时请注意。

表 1.5 电容器的型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字表示分类		用数字表示
符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义	序 号
C	电容器	C	高频瓷	1	圆片(瓷介)	
		T	低频瓷		非密封(云母)	
		I	玻璃釉		箔式(电解)	
		O	玻璃膜	2	管型(瓷介)	
		Y	云母		非密封(云母)	
		V	云母纸		箔式(电解)	
		Z	纸介	3	迭片式(瓷片)	
		J	金属化纸		密封(云母)	
		B	聚苯乙烯		烧结粉固体 (电解)	
		L	涤纶(聚酯薄膜)	4	密封(云母)	
		Q	漆膜		烧结粉固体 (电解)	
		H	复合介质			
		D	铝电解	5	穿心式(瓷介)	
		A	钽电解	6	支柱式(瓷介)	
		N	铌电解	7	无极性(电解)	
		G	合金电解	8	高压	
		E	其他材料电解	9	高功率	
		F	聚四氟乙烯			
		LS	聚碳酸酯			
		CT	独石电容			
		CBB	聚丙烯			

2. 电容器的主要特性指标

(1) 标称容量值及偏差

电容器是一种储能元件,它在介质两边储存一定量的电荷。储存电荷的能力称为电容量。电容的品种比电阻多,不同类型的电容有不同系列的标称值。某些电容的体积过小,在标称数值时无法标上单位符号,这就需要根据电容器的材料、外形尺寸、耐压等数据加以判断。一般电容器的精度误差较大,在 5% 以上,最大的可达 10%~100%。

纸介电容器、金属化纸介电容器、纸膜复合介质电容器及低频(极性)有机薄介质电容器的标称容量应符合表 1.6 的规定。(标称容量 $\leq 1\mu\text{F}$ 者为表 1.6 所列数值再乘以 $10n$,其中 n 为正整数或负整数)

表 1.6 电容器的标称容量值

允 许 偏 差		±5%	±10%	±20%
容 量 范 围	100pF~1μF	1~100μF		
标 称 容 量 系 列	1.0	1	20	
	3.3	2	30	
	1.5	4	50	
	4.7	6	60	
	2.2	8	80	
	6.8	10	100	
			15	

高频(无极性)有机薄膜介质电容器和瓷介电容器、玻璃釉电容器、云母电容器等无机介质电容器的标称容量应符合表 1.7 所列数值之一(或表中所列数值再乘以 $10n$, 其中 n 为正整数或负整数)。

表 1.7 高频薄膜电容、瓷介电容、玻璃釉电容、云母电容的标称容量

允许偏差			允许偏差		
±5%	±10%	±20%	±5%	±10%	±20%
E24	E12	E6	E24	E12	E6
1.0	1.0	1.0	3.3	3.3	3.3
1.1			3.6		
1.2	1.2		3.9	3.9	
1.3			4.3		
1.5	1.5	1.5	4.7	4.7	4.7
1.6			5.1		
1.8	1.8		5.6	5.6	
2.0			6.2		
2.2	2.2	2.2	6.8	6.8	6.8
2.4			7.5		
2.7	2.7		8.2	8.2	
3.0			9.1		

钽、铝等电解电容器的标称容量应符合表 1.8 所列数值之一(或表中所列数值再乘以 $10n$, 其中 n 为正整数或负整数)。

表 1.8 电解电容的标称容量

标称容量 μF	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8
允许偏差	±10%	±20%	±50%~20%	±100%~10%	

我国和国外的许多厂家,也有用简单的数字和符号表示电容器容量,例如 3300nF , n 表示“纳”,即“ 10^{-9} ”次,则电容量是 $3300 \times 10^{-9}(\text{F})$,即为 $3.3\mu\text{F}$ 。有些厂家为了方便,直接用数字表示电容器的容量。

例如:102(表示 $10 \times 10^2 = 1000\text{pF}$)、103(表示 $10 \times 10^3 = 10000\text{pF} = 0.01\mu\text{F}$)、104(表示 $10 \times 10^4 = 100000\text{pF} = 0.1\mu\text{F}$)等。以上表示方法不同于标准中所规定的,使用者在选择时要注意。

(2)额定电压

额定电压是指在规定温度范围内,电容器在电路中长期可靠地工作所允许加的最高直流

电压。如果电容器工作在交流电路中,则交流电压的峰值不得超过额定电压,否则电容器中介质会被击穿造成电容器的损坏。额定电压的数值通常都在电容器上标出。

(3) 绝缘电阻

绝缘电阻是指电容器两极之间的电阻,也称漏电阻。一般电容器的绝缘电阻在 $10^8 \sim 10^{10} \Omega$ 之间,电容量越大绝缘电阻越小,所以不能单凭所测绝缘电阻值的大小来衡量电容器的绝缘性能。绝缘性能的优劣通常用绝缘电阻与电容量的乘积来衡量,称为电容器的时间常数。电解电容器的绝缘电阻较小,一般采用漏电流来表示其绝缘程度。

(4) 稳定性

电容器的主要参数,如容量、绝缘电阻等受温度、湿度、气压、振动等外界环境的影响而发生变化,变化的大小用稳定性来衡量。如云母瓷介电容温度系数为 $10^{-4}/^\circ\text{C}$ 数量级,铝电解电容的温度系数最大,可达 $10^{-2}/^\circ\text{C}$ 。除瓷介电容外,其他产品温度系数多为正值。湿度对纸介电容的影响较大,对瓷介电容的影响很小。

3. 有机介质电容器

除传统的纸介、金属化纸介电容器及涤纶、聚苯乙烯等电容器外,由于现代高分子合成化合物技术的不断发展,新的薄膜介质电容器不断出现,如聚丙烯等产品。

① 纸介电容器(型号 CZ) 纸介电容器是生产历史最悠久的电容器之一,它的特点是容量和工作电压范围很宽(36 V~30 kV),工艺简单,成本低。但电容量精度不易控制,体积大,损耗较大,频率特性及其温度稳定性较差,只适合用于直流或低频电路中。

② 金属化纸介电容器(型号 CJ) 金属化纸介电容器的特点是有自愈作用,比同类纸介电容器容量大,即同等耐压容量条件下的金属化纸介电容器体积比纸介电容器小 3~5 倍,其余性能与纸介电容器相同。

现在,纸介电容器在国外已被淘汰,国内也较少见到。

③ 有机薄膜电容器 有机薄膜电容器的介质材料是有机薄膜。有机薄膜只是一个统称,具体有涤纶、聚丙烯等多种。这种电容无论在体积上还是在电参数上都要比纸介电容器优越得多,但一般不耐高温。有机薄膜电容器一般具有体积小、自愈性好等特点。所谓自愈性,指的是由于某种原因介质被电压放电击穿,电容器短路发热会使薄膜重新融化,自动修复损伤。

涤纶电容器(型号 CL):也称聚酯电容器,其电容量和电压范围很宽,既有小型低压电容器,又有高压大容量电容器。其容量大,耐热性好(可长期在 $120 \sim 130^\circ\text{C}$ 温度下工作)。但介质损耗较大,频率特性及其温度稳定性差。在极性有机介质电容器中,聚酯电容器应用最广。

聚丙烯电容器(型号 CBB):在所有低价高分子介质材料中,电气性能最好的要属聚丙烯,因此聚丙烯电容在薄膜类电容中一般是最好的。由于聚丙烯电容的优良特性,特别是没有吸附效应,在一些 A/D 转换电路中特别指定要用聚丙烯产品。采用特殊的卷绕工艺可以生产无感(无电感效应)的聚丙烯电容,广泛用于要求精密的场合。使用聚丙烯电容的场合有:彩电中的信号处理通道,运算放大器中作为积分、微分、滤波器电容以及有时在取样—保持电路中的取样—保持电容等。

聚四氟乙烯电容器(型号 CF):其性能最为优异,但由于聚四氟乙烯成膜工艺复杂,成本高,因此只适合在高温的场合下使用。

聚碳酸酯电容器(型号 CS):对于电容的充放电特性有要求的取样—保持电路中,特别推荐使用聚碳酸酯电容。

4. 无机介质电容器

①瓷介电容器(型号 CC) 瓷介电容器以陶瓷作为介质,结构简单,价格低廉,体积小,容量范围大(几皮法至几微法),广泛用于各种电子设备中。陶瓷电容器按特性主要分为高频、低频及半导体瓷介电容器。高频陶瓷电容器介质损耗小,绝缘电阻高,主要用于谐振回路;低频陶瓷电容器损耗较大,电容量随温度呈非线性变化,主要用于对损耗和电容量稳定性要求不高的电路中;半导体瓷介电容器很少使用。

②云母电容器(型号 CY) 云母电容器是以云母作为介质,绝缘强度高,损耗小,温度、频率特性稳定,容量精度高。一般容量范围为 $4.7 \sim 4700 \text{ pF}$,最高精度可达 $\pm 0.01\% \sim 0.03\%$,常用于高频电路,并可作为标准电容器。由于天然云母稀少,有些云母电容器用合成云母和云母纸作为介质。近年来云母电容器已逐渐被陶瓷和有机薄膜电容器所代替。

③玻璃膜电容器(型号 CO) 玻璃膜电容器以玻璃作为介质构成电容器,它具有良好的防潮性和抗震性,能在 200°C 高温下长期稳定工作。其稳定性介于云母电容器与瓷介电容器之间,体积只有云母电容器的几十分之一,且成本低。

5. 电解电容器

电解电容器以金属氧化膜为介质,以金属和电解质作为电容器的两极。金属为正极,电解质为负极。电解电容器体积小,容量大,但耐压较低,频率特性差,介质损耗较大,温度特性也较差。常见的电解电容器主要有铝电解和钽电解电容器两种。

①铝电解电容器(型号 CD) 以铝为正极的电解电容器,容量一般为 $0.33 \sim 10000 \mu\text{F}$,所以应用普遍。通常铝电解电容器是有极性的,不能用于交流回路。但在结构上和工艺上采取特殊措施之后可以做成无极性铝电解电容器以适应交流电路的需要。近年来电解电容器的新产品层出不穷,如开关电源滤波用的高额电解电容器、音响系统的无极性电解电容器、闪光灯的耐快充快放电储能电解电容器等。

②钽电解电容器(型号 CA) 以钽金属为正极的电解电容器。由于钽和氧化钽化学稳定性很高,所以漏电流很小,贮存性好,可靠性高。它的温度特性、频率特性、介质损耗都优于普通铝电解电容器,体积也远小于铝电解电容器。这种电容器主要用于一些电性能要求较高的电路中,如积分电路、计时电路、延时开关电路等。钽电容器也分为有极性和无极性两种。除液体钽电容器外,近年来又发展了超小型固体钽电容器。

由于国标制定时间较早,后来出现的独石电容器沿用瓷介电容器的 CT 表示,为 CT4、CC4 系列。聚丙烯电容器沿用 CBB 系列,最后的 B 字为“丙”字的汉语拼音字头。

1.1.3 半导体器件

半导体器件是电子电路中最基本的电子器件,也是集成电路的基础。而二极管和三极管是组成分立元件电子电路的核心器件。

1. 半导体器件的分类

半导体器件种类很多,分类方式也有多种,通常有如下分类:

(1) 晶体二极管

可分为整流二极管、检波二极管、稳压二极管、恒流二极管、开关二极管、微波二极管、肖特基二极管 SBD、变容二极管、发光二极管、光电二极管、隧道二极管等。

(2) 晶体三极管(双极晶体管)

按材料可分锗管和硅管,其中锗管有高频小功率管、低频大功率管;硅管有低频大功率管、