

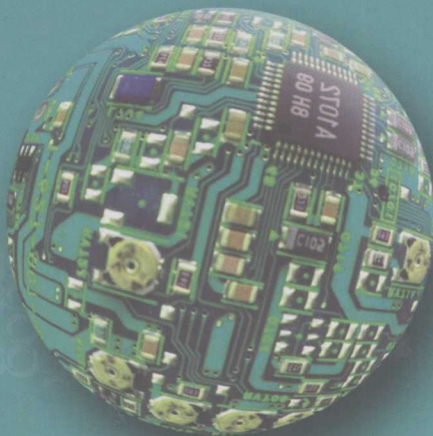


电子信息类专业实验与设计系列教材

现代电子工艺 实习教程

◎ 殷小贡 黄松 蔡苗 编著

**XIANDAI DIANZI GONGYI
SHIXI JIAOCHENG**



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

电子信息类专业实验与设计系列教材

现代电子工艺实习教程

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

现代电子工艺实习教程/殷小贡 黄 松 蔡 苗 编著. —武汉:华中科技大学出版社, 2009 年 8 月

ISBN 978-7-5609-5580-3

I. 现… II. ①殷… ②黄… ③蔡… III. 电子技术-实习-高等学校-教材
IV. TN01-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 133918 号

现代电子工艺实习教程

殷小贡 黄 松 蔡 苗 编著

策划编辑:谢燕群

封面设计:刘 卉

责任编辑:田 密

责任校对:刘 竣

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉星明图文制作有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:710mm×1000mm 1/16

印张:17.25

字数:335 000

版次:2009 年 8 月第 1 版

印次:2009 年 8 月第 1 次印刷

定价:27.80 元

ISBN 978-7-5609-5580-3/TN·152

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前 言

随着大规模集成电路的出现,国内外大量的电子产品都已广泛采用表面贴装技术(surface mounted technology,SMT)进行生产,SMT 成为目前电子安装行业中最主流的一种技术和工艺。运用 SMT 可以实现电子产品的高性能、高可靠、高集成、微型化、轻型化等特点,不仅比传统的手工焊接工艺优越,而且还是衡量电子制造技术先进与否的标志。

出于培养具有创新、实践能力的高素质人才的目的,电子工艺实习课程必须突破传统的实习模式,跟上时代发展的脚步,拉近学校与企业的距离,使学生能够很直观地跟踪学习先进的电子制造技术,在较短的时间内了解 SMT 的生产特点,熟悉 SMT 的基本工作过程,掌握 SMT 的基本操作技能;使学生能够自主研究、设计、独立完成一个产品的制作,全面提高学生的综合素质。

本书在介绍电子工艺基本知识的基础上,重点介绍以表面贴装技术为代表的现代电子安装工艺技术。全书分四篇,包括基础篇、现代工艺篇、设备篇和实训项目篇,对分立和表贴电子元器件、印制电路板设计与制作、传统焊接技术、回流焊接技术、波峰焊接技术、电子产品的装配与调试、典型的 SMT 教学实验设备以及安全用电常识等,均做了比较全面的介绍。实训项目篇中编写了 4 个切实可行的实训项目,作为学生实训的基本项目。书末还附有 Protel 99 SE 菜单命令和元器件库内常用元器件及其 PCB 封装,方便学生设计 PCB 板时使用。本书可作为高等学校或职业技术学院理工类,特别是信息类专业的电工实习和电子工艺实训教材,也可作为有关公司、企业的职业培训、岗前培训的培训教材。

本书由殷小贡、黄松、蔡苗编著。蔡苗编写基础篇和实训项目篇第 14 章;黄松编写现代工艺篇和实训项目篇第 12、13 章;殷小贡编写设备篇和实训项目篇第 15 章,并负责全书的修改和定稿。林福长参与了部分内容的编写工作。

在本书的编写过程中,得到了华中科技大学武昌分校、电工电子教学基地有关老师的大力支持和帮助,在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限,时间仓促,书中错漏在所难免,恳请使用本教材的读者不吝指教。

编著者

2009 年仲夏于武昌

目 录

1 基 础 篇

第 1 章 电子元器件及其测量	(2)
1.1 RLC 元器件	(2)
1.2 半导体分立器件	(19)
1.3 常用电气元器件	(24)
1.4 光电器件	(27)
思考题	(33)
第 2 章 印制电路板的设计与制作	(34)
2.1 印制电路板概述	(34)
2.2 印制电路板的设计原则	(35)
2.3 Protel 99SE CAD 软件的功能和应用	(41)
2.4 Protel 99SE 设计印制电路板	(54)
2.5 印制电路板的制作	(67)
思考题	(70)
第 3 章 焊接技术	(71)
3.1 焊接的机理	(71)
3.2 常用焊接工具	(71)
3.3 手工焊接和拆焊	(73)
3.4 焊接质量分析	(76)
3.5 焊接工艺技能训练	(77)
思考题	(80)
第 4 章 电子产品的装配与调试	(81)
4.1 电子产品结构设计	(81)
4.2 电子产品装配工艺	(81)
4.3 电子产品的调试与检验	(88)
思考题	(93)
第 5 章 安全用电常识	(94)
5.1 安全用电	(94)
5.2 触电的防护	(96)

思考题.....	(101)
----------	-------

2 现代工艺篇

第 6 章 新型电子元器件	(104)
6.1 表面贴装 RLC 元器件.....	(104)
6.2 表面贴装晶体管	(117)
6.3 新型 IC 元器件	(120)
思考题.....	(126)
第 7 章 现代焊接技术	(127)
7.1 表面贴装技术	(127)
7.2 表面贴装工艺及概念	(130)
7.3 回流焊接技术	(133)
7.4 波峰焊接技术	(138)
7.5 人工贴片焊接与返修技术	(145)
7.6 焊接质量分析	(148)
思考题.....	(149)

3 设 备 篇

第 8 章 贴片丝印机	(152)
8.1 T1200D 高精度半自动丝印机概述	(152)
8.2 丝印机工作原理	(154)
8.3 丝印机系统组成及操作面板	(155)
8.4 机器的操作和维护	(160)
8.5 丝印质量分析	(165)
思考题.....	(168)
第 9 章 贴片 IC 定位系统	(169)
9.1 BGA300 SMT 视频对位系统概述	(169)
9.2 设备结构及系统安装	(170)
9.3 系统操作及维护	(172)
9.4 贴装质量分析	(174)
思考题.....	(177)
第 10 章 回流焊机	(178)
10.1 T300 全热风回流焊机概述	(178)
10.2 回流焊机工作原理.....	(179)
10.3 机器的结构和功能.....	(180)
10.4 机器的操作及维护.....	(183)

10.5 焊接质量分析.....	(185)
思考题.....	(190)
第 11 章 波峰焊机	(192)
11.1 TB680 波峰焊机概述	(192)
11.2 TB680 波峰焊机工作原理	(193)
11.3 机器的组成结构及人机界面.....	(194)
11.4 波峰焊机的操作及维护.....	(200)
思考题.....	(202)
4 实训项目篇	
第 12 章 贴片 ICFM 袖珍收音机	(204)
12.1 FM 收音机电路原理	(204)
12.2 安装及工艺要求.....	(206)
12.3 调试与总装.....	(209)
思考题.....	(211)
第 13 章 FLASH U 盘	(212)
13.1 U 盘电路原理	(212)
13.2 安装及工艺要求.....	(214)
13.3 U 盘的识别与驱动	(216)
思考题.....	(219)
第 14 章 MP3 播放器	(220)
14.1 MP3 电路原理	(220)
14.2 安装及工艺要求.....	(225)
14.3 调试与检验.....	(228)
思考题.....	(229)
第 15 章 数显多功能全波段收音机	(230)
15.1 全波段收音机电路原理.....	(230)
15.2 安装及工艺要求.....	(232)
15.3 调试.....	(235)
思考题.....	(236)
附录 A Protel 99SE 菜单命令与快捷键	(237)
A.1 原理图菜单命令及常用命令快捷键	(237)
A.2 印制电路板图菜单命令及常用命令快捷键	(242)
附录 B Protel 元器件库内常用元器件列表	(250)
附录 C Protel 常用元器件 PCB 封装列表	(263)
参考文献	(267)

1

基 础 篇

本篇介绍电子工艺的基础知识,包括电子元器件及其测量、印制电路板设计与制作、焊接技术、电子产品的装配与调试、安全用电常识等 5 章,在印制电路板的设计中,重点介绍了 Protel 99 SE CAD 软件的功能及利用 Protel 99 SE 设计印制电路板的具体方法。

本篇是全书的基础,也是电子工艺实习的传统内容。

第 1 章 电子元器件及其测量

电子元器件是一个品种众多、数量庞大的电子基础产品,任何一个电子装置、设备和家用电器产品都是由多种若干个电子元器件组装而成的。了解、熟悉电子元器件的种类、结构、性能以及如何正确选用电子元器件,是学习、掌握电子工程知识的基本功之一。

1.1 RLC 元器件

电子产品中电阻器、电容器、电感器的应用非常广泛,往往能占一个电子产品元器件数的 50% 以上,人们称其为基础元器件。

1.1.1 电阻器

电阻器在电路中主要用来控制电压和电流,即起降压、分压、限流、分流等作用。电阻器的种类很多,随着电子技术的发展,新型电阻器件日益增多。

电阻器通常分为固定电阻器和可调电阻器两大类。

1. 固定电阻器的型号命名及各部分符号含义

根据国家标准的规定,固定电阻器的型号由四个部分组成:

- (1) 主称,用字母 R 表示;
- (2) 材料,用字母表示;
- (3) 特征分类,用数字或字母表示;
- (4) 序号,用数字表示,以区别外形尺寸和性能指标。

对材料和特征相同,仅尺寸、性能指标略有差异,但基本不影响互换的产品,可用同一序号表示;对材料、特征相同,但尺寸、性能指标有明显差异,会影响互换的产品,仍可用同一序号表示,但必须在序号后加一个字母作为区别代号。

固定电阻器型号中各种符号的含义如表 1-1 所示。

2. 固定电阻器的主要参数

固定电阻器的主要参数有标称阻值、允许误差和额定功率等。

表 1-1 固定电阻器型号组成及各部分符号含义

主 称		材 料		特 征 分 类			序 号	
符号	含义	符号	含义	符号	含义			
					电阻器	电位器		
R	电 阻 器	T	碳膜	1	普通	普通 普通 精密 精密 特种 特种	数字表示	
		H	合成碳膜	2	普通			
		S	有机实心	3	超高频			
		N	无机实心	4	高阻			
		J	金属膜	5	高温			
W	电 位 器	Y	氧化膜	6				
		C	沉积膜	7	精密			
		I	玻璃釉膜	8	高压			
		P	硼碳膜	9	特殊			
		U	硅碳膜	G	高功率			
		X	线绕	T	可调			

1) 标称阻值

为了便于工厂批量生产和使用电阻,国家有关标准规定按一定的误差范围,用统一规定的一些阻值对电阻值进行标定,这些阻值称为标称阻值,详见表 1-2。

表 1-2 电阻器标称阻值系列

等 级 I	等 级 II	等 级 III
E24	E12	E6
允许误差±5%	允许误差±10%	允许误差±20%
1.0,1.1,1.2,1.3,1.4, 1.5,1.6,1.8,2.0,2.2, 3.9,4.3,5.1,5.6,6.2, 6.8,7.5,8.2,9.1	1.0,1.2,1.5,1.8, 2.2,2.7,3.3,3.9, 4.7,5.6,6.8,8.2	1.0,1.5,2.2,3.3, 4.7,6.8

选用电阻器的标称阻值应符合表 1-2 中所列数值之一,或表中所列数值再乘以 10^n ,其中 n 为正整数,电阻单位为欧姆,用 Ω 表示。

2) 允许误差

在实际生产中,因工艺原因,加工出来电阻器的电阻值很难做到与标称阻值完全一致,所以每个电阻器的实际电阻值不一定正好等于其标称阻值。为了方便生产管理和使用,允许有一定的偏差,称该偏差为允许误差。允许误差可用下式计算:

$$\Delta = \frac{R_{\text{实}} - R_{\text{标}}}{R_{\text{标}}} \times 100\%$$

式中: $R_{\text{实}}$ 为电阻器的实际电阻值; $R_{\text{标}}$ 为电阻器的标称电阻值; Δ 为电阻器的允许误差。

3) 额定功率

电阻器的额定功率通常是指在正常的气候条件下(在一定的大气压和产品标准所规定的温度下), 电阻器长时间连续工作所能承受的最大功率。通常选择额定功率大于实际功率的 1.5~2 倍以上。

电阻器消耗的电功率, 可以用电阻器上通过的电流和该电阻器上的两端电压来计算, 即

$$P = I \cdot U = I^2 \cdot R = U^2 / R$$

对于同一类电阻器, 电阻器的额定功率标称值的大小取决于它的外形尺寸, 所以可以根据电阻器的外形尺寸来判断其额定功率的大小。电阻器额定功率标称值通常有 1/8 W、1/4 W、1/2 W、1 W、2 W、3 W、4 W、5 W、10 W 等。表 1-3 列出了一些电阻器的外形尺寸与额定功率之间的关系。

表 1-3 常用电阻器的外形尺寸与额定功率的关系

额定功率/W		1/8	1/4	1/2	1	2
碳膜电阻器 RT	长度/mm	11.0	18.5	28.0	30.5	48.5
	直径/mm	3.9	5.5	5.5	7.2	9.5
金属膜电阻器 RJ	长度/mm	6~7	8.0	10.5	13.0	18.5
	直径/mm	2~2.2	2.6	4.2	6.6	8.6
合成碳电阻器 RH	长度/mm	12.0	15.0	25.0	28.0	46.0
	直径/mm	2.5	4.5	4.5	6.0	8.0

3. 固定电阻器阻值的表示方法

1) 直标法

直标法是将电阻器的类别、标称阻值、允许偏差及额定功率等主要参数直接标识在电阻器表面上的标识方法, 如图 1-1 所示。这种方式常用于体积较大的电阻器。

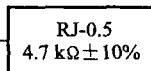


图 1-1 电阻器阻值的直标法

2) 文字符号法

该方法在单位符号前面标出电阻器阻值的整数, 后面标出电阻器阻值的第一位小数值。例如, 电阻器上数字符号 5k1 表示电阻值为 5.1 kΩ; 1M5 表示电阻值为 1.5 MΩ; 5R1 表示电阻值为 5.1 Ω; R33 表示电阻值为 0.33 Ω。

3) 数字表示法

该方法用3位数字表示电阻器的电阻值,前两位数字表示电阻值的有效数字,第三位数字表示有效数字后面零的个数,阻值单位一律为 Ω 。例如,103表示阻值为10 000 Ω ,即10 k Ω ;181表示阻值为180 Ω ;154表示阻值为150 000 Ω ,即150 k Ω ;470表示阻值为47 Ω 。

4) 色标法

对于小型电阻器,国际上用的色标法大多数采用四色环和五色环表示电阻,色环印在电阻器的表面上,表示其阻值与误差。四色环的标法中,前两环表示电阻值的有效数字,第三环表示有效数后面零的个数,第四环表示允许误差。若为五色环电阻器,则前三环表示有效数字。

色标法中不同颜色所表示的含义如表1-4所示。

表 1-4 色标法中各种颜色所表示的含义

颜 色	有 效 数 字	乘 数	允许误差/%	工作电压/V
棕	1	10^1	± 1	—
红	2	10^2	± 2	—
橙	3	10^3	—	—4
黄	4	10^4	—	6.3
绿	5	10^5	± 0.5	10
蓝	6	10^6	± 0.25	16
紫	7	10^7	± 0.1	25
灰	8	10^8	—	32
白	9	10^9	—	40
黑	0	10^0	—	50
金		10^{-1}	± 5	63
银		10^{-2}	± 10	—
无色			± 20	—

例 1-1 四色环电阻器的色环颜色及标称阻值如图 1-2 所示,其阻值是多少?

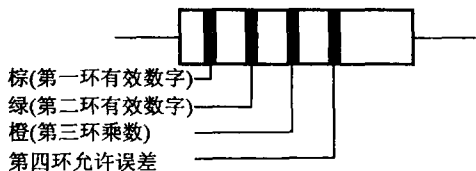


图 1-2 例 1-1 四色环电阻器

答 阻值 $R = 15 \times 10^3 \Omega = 15\,000 \Omega = 15\text{ k}\Omega$ 。

例 1-2 五色环电阻器的色环颜色及标称阻值如图 1-3 所示,其阻值是多少?

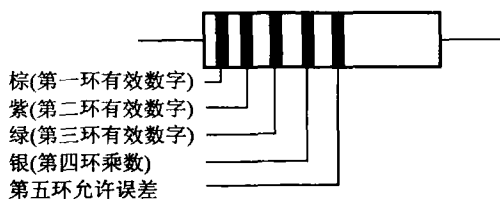


图 1-3 例 1-2 五色环电阻器

答 阻值 $R = 175 \times 10^{-2} \Omega = 1.75 \Omega$ 。

4. 固定电阻器的测量与选用

1) 电阻器的测量

(1)用指针式万用表测量时,将万用表的功能选择开关转到电阻挡,先调零。将两根表笔短接,调节“0 Ω ”电位器,使表头指针满度,指向“0”位,然后再进行测量。注意在测量中每次变换量程,都必须重新调零后再使用(凡使用欧姆挡测量,均先调零)。使用数字万用表时要记录表笔短接时的电阻值,再测量,并计算出实际的电阻值。

(2)将两表笔(不分正负)分别与电阻器的两端相接即可测出其实际电阻值。为了提高测量精度,应根据被测电阻器标称阻值的大小来选择量程。例如,50 Ω 以下的电阻器使用 $R \times 1$ 挡;1~500 $\text{k}\Omega$ 的电阻器应用 $R \times 1\text{ k}$ 挡。根据电阻器的误差等级不同,读数与标称阻值之间分别允许有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 的误差。如不相符,超出误差范围,则说明该电阻器阻值改变了。如果测得的结果为0,则说明该电阻器已经短路;如果测得的结果为无穷大,则表示该电阻器断路了,不能使用。

在测量电阻时应注意:

(1)测量电阻,特别是测量高阻值电阻,如1~20 $\text{M}\Omega$ 的电阻时,手不要触及表笔和电阻器的部分,因为人体具有一定电阻,影响测量结果;

(2)待测的电阻器必须从电路中拆焊下来,至少要焊开一个头再进行测量,以免电路中的其他元器件对测量产生影响,造成测量误差;

(3)色环电阻器的阻值虽然能以色环来确定,但在使用时最好还是先用万用表测量一下其实际阻值。

2) 选用固定电阻器的基本原则

(1)优先选用通用型电阻器。通用型电阻器种类很多,如碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、实心电阻器、线绕电阻器等。这类电阻器的阻值范围宽,精度有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 三级,功率为0.1~10 W。它们品种多、规格全、来源充足、价格便宜,有利于生产和维修。

(2)所用电阻器的额定功率必须大于其实际承受功率的2倍,才能保证电阻器正

常工作而不致烧坏。例如,电路中某电阻器实际承受功率为 0.5 W ,则应选用额定功率为 1 W 以上的电阻器。

(3)在高增益前置放大电路中,应选用噪声小的电阻器,以减小噪声对有用信号的干扰。例如,可选用金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、碳膜电阻器。实心电阻器噪声较大,一般不宜在前置放大电路中使用。

(4)根据电路对温度稳定性的要求选择电阻器。由于电阻器在电路中的作用不同,所以对它们的温度稳定性的要求也就不同,例如,在退耦电路中的电阻器,即使阻值有所变化,对电路工作影响也不大,因而对电阻器的温度稳定性要求不高;应用在稳压电源中作电压取样的电阻器,其阻值的变化会引起输出电压的变化,因而要求选用温度稳定性较高的电阻器。

(5)根据安装位置选用电阻器。由于制作电阻器的材料和工艺不同,因此相同功率的电阻器,其体积并不相同。例如,相同功率的金属膜电阻器的体积是碳膜电阻器的 $1/2$ 左右,因此适合于安装在元器件比较紧凑的电路中;相反,在元器件安装位置比较宽松的场合,选用碳膜电阻器就相对经济些。

5. 电位器

电位器是一种连续可调的电子元件,它靠电刷在电阻体上滑动,以获得与电刷位移成一定关系的电阻值。电位器用作分压器时,它是一个四端电子元件,其电路原理图如图 1-4 所示。作为变阻器使用时,它是一个二端电子元件,其电路原理图如图 1-5 所示。电位器在电路中常用字母“RP”表示。

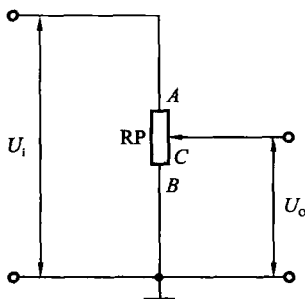


图 1-4 分压器原理图

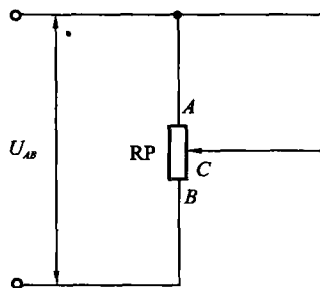


图 1-5 变阻器原理图

1) 电位器型号的组成及其含义

电位器一般采用直标法,将其型号、类别、标称阻值和允许误差用字母和数字直接标在电位器表面上,如图 1-6 所示。

2) 电位器的图形符号

电位器的符号如图 1-7 所示,外形有多种,如图 1-8 所示。

3) 电位器的主要参数

电位器的主要参数有标称阻值、额定功率、分辨率、滑动噪声、阻值变化规律、耐

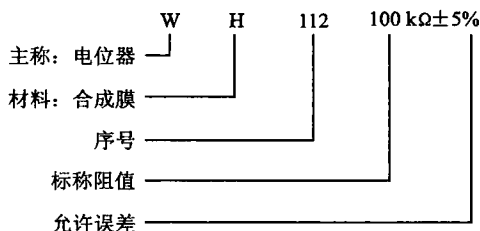


图 1-6 电位器示例

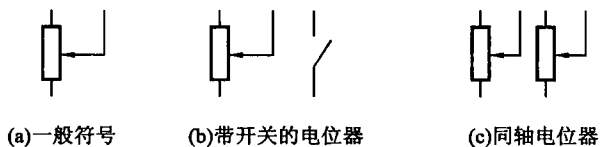


图 1-7 电位器符号图

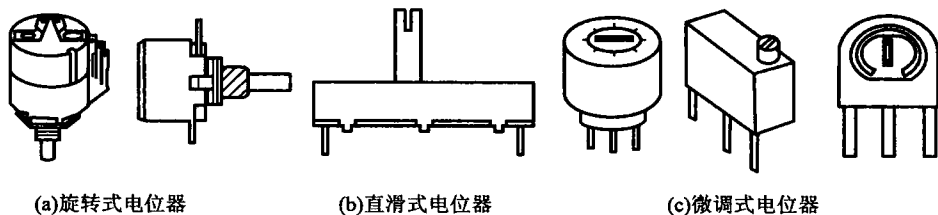


图 1-8 电位器外形图

磨性、零位电阻、温度系数等。

(1) 标称阻值。

电位器上标注的阻值称为标称阻值。电位器标称阻值系列采用 E12 和 E6 系列。非线性绕电位器可有 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 及 $\pm 5\%$ 的允许误差；线绕电位器可有 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 2\%$ 及 $\pm 1\%$ 的允许误差。

(2) 额定功率。

在正常大气压及额定温度下，能保证电位器连续正常工作的允许功率称为额定功率。常用电位器的额定功率有 0.1 W、0.25 W、0.5 W、1 W、1.6 W、2 W、3 W、5 W、10 W、16 W、25 W 等。

(3) 分辨率。

电位器对输出量可实现的最精细的调节能力称为分辨率。非线性绕电位器的分辨率高于线绕电位器分辨率。

(4) 滑动噪声。

电位器的电刷在电阻体上转动(或滑动)时，电位器中心与固定端的电压会出现无规则的起伏现象，称为电位器的滑动噪声。滑动噪声是由电阻体的电阻率分布不均匀和电刷转动时接触电阻的不规则变化等因素引起的。

(5) 电位器阻值变化规律。

电位器的阻值变化规律指的是电位器旋转角度(或滑动行程)与阻值之间的关系。其变化规律有对数式(用 D 表示)、直线式(用 X 表示)和指数式(用 Z 表示)三种。

(6) 电位器耐磨性。

电位器旋转或滑动的次数用周数表示(有止挡的电位器,电刷往返一次为一周;无止挡的电位器,电刷从始端至末端为一周),如 WXD3-13 型多圈线绕电位器耐磨 5 000 周。

(7) 零位电阻。

零位电阻是指电刷处于电阻始端或末端时,电刷与始端或末端之间的电阻值。其数值与电位器的材料、电阻体的阻值、结构等因素有关,零位电阻值一般不会是零,常为几欧姆至十几欧姆。

1.1.2 电容器

电容器的种类很多,结构也有所不同,但电容器的基本结构是一样的。最简单的电容器由中间夹有电介质的两块金属板构成。电容器是一种储能元器件,在电路中主要起耦合、旁路、滤波等作用。

1. 电容器的型号

国标中电容器的型号由四部分组成:

- (1) 用字母 C 表示电容器;
- (2) 用字母表示介质材料;
- (3) 用字母和阿拉伯数字表示结构类型和特征;
- (4) 用数字表示序号。

电容器型号中符号的含义如表 1-5 所示,其中(3)中数字的含义见表 1-6。

表 1-5 电容器型号中符号的含义

第一部分	第二部分		第三部分		第四部分
主称	符号	含义	符号	含义	序号
电容器 C	C	高频瓷	G	高功率	
	T、S	低频瓷	W	微调	
	I	玻璃釉	T	叠片	
			1		
	O	玻璃膜	2		
	Y	云母	3		
	Z	纸介质	4		
	J	金属化纸介质	5		

续表

第一部分	第二部分		第三部分		第四部分
主称	符号	含义	符号	含义	序号
电容器 C	B(BB、BF)	聚苯乙烯等非极性有机薄膜 (聚丙烯、聚四氟乙烯)	6		数字
	L(LS)	聚酯等有极性有机薄膜 (聚碳酸酯)	7		
	Q	漆膜	8		
	H	纸膜复合介质	9		
	D	铝电解电容			
	A	钽电解电容			
	N	铌电解电容			
	G	合金电解电容			
	VX	云母纸			
	E	其他材料电解电容			

表 1-6 电容器型号标注中第三部分数字的含义

类 别	瓷 片 电 容	云 母 电 容	有 机 电 容	电 解 电 容
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,非固体
4	独石	密封	密封	烧结,固体
5	穿心		穿心	
6	支柱等			
7				无极性
8	高压	高压	高压	
9			特殊	特殊

2. 电容器的主要参数

电容器的主要参数有标称容量、允许误差、额定工作电压、漏电流等。

1) 标称容量与允许误差

国家规定的标称容量采用 IEC 标准系列,主要采用 E6、E12 和 E24 系列。E48、E192 系列适用于精密电容器。电容器容量不可能与标称容量完全一致,若两者的偏差在所规定的允许范围内,即称为允许误差。E24 系列固定电容器的标称容量及允许误差值如表 1-7 所示。