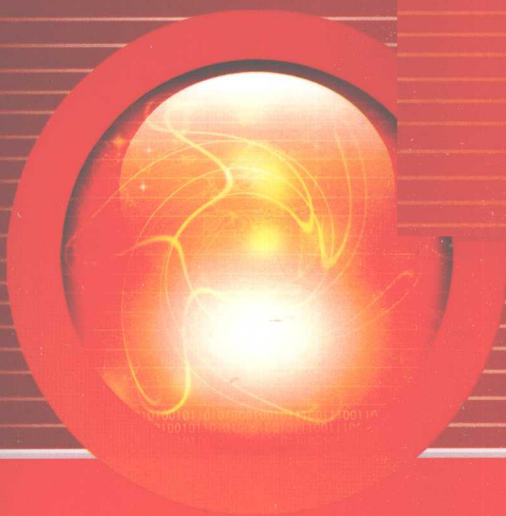


高职高专机电类专业规划教材
高职高专项目式课程改革教材

模拟电子技术及应用

钱金法 颜云华◎编



www.cmpedu.com

赠电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高职高专机电类专业规划教材
高职高专项目式课程改革教材

模拟电子技术及应用

钱金法 颜云华 编

章彬宏 主审

目录

第一章 绪论	1	1.1 模拟电子技术的发展概况	1
1.2 模拟电子线路的主要性能指标	2	1.2.1 电压放大倍数	2
1.2.2 输入电阻	3	1.2.3 输出电阻	3
1.2.4 非线性失真	4	1.2.5 频率特性	4
1.2.6 噪声和干扰	5	1.2.7 温度稳定性	5
1.2.8 功耗	6	1.2.9 集成化	6
1.2.10 可靠性	7	1.2.11 绿色化	7
1.2.12 智能化	8	1.2.13 模块化	8
1.2.14 微型化	9	1.2.15 低功耗化	9
1.2.16 高集成化	10	1.2.17 高可靠性	10
1.2.18 高抗干扰性	11	1.2.19 高稳定性	11
1.2.20 高兼容性	12	1.2.21 高可维护性	12
1.2.22 高可测试性	13	1.2.23 高可移植性	13
1.2.24 高可互换性	14	1.2.25 高可升级性	14
1.2.26 高可扩展性	15	1.2.27 高可配置性	15
1.2.28 高可重构性	16	1.2.29 高可定制性	16
1.2.30 高可集成性	17	1.2.31 高可兼容性	17
1.2.32 高可互操作性	18	1.2.33 高可移植性	18
1.2.34 高可维护性	19	1.2.35 高可测试性	19
1.2.36 高可移植性	20	1.2.37 高可配置性	20
1.2.38 高可重构性	21	1.2.39 高可定制性	21
1.2.40 高可集成性	22	1.2.41 高可兼容性	22
1.2.42 高可互操作性	23	1.2.43 高可移植性	23
1.2.44 高可维护性	24	1.2.45 高可测试性	24
1.2.46 高可移植性	25	1.2.47 高可配置性	25
1.2.48 高可重构性	26	1.2.49 高可定制性	26
1.2.50 高可集成性	27	1.2.51 高可兼容性	27
1.2.52 高可互操作性	28	1.2.53 高可移植性	28
1.2.54 高可维护性	29	1.2.55 高可测试性	29
1.2.56 高可移植性	30	1.2.57 高可配置性	30
1.2.58 高可重构性	31	1.2.59 高可定制性	31
1.2.60 高可集成性	32	1.2.61 高可兼容性	32
1.2.62 高可互操作性	33	1.2.63 高可移植性	33
1.2.64 高可维护性	34	1.2.65 高可测试性	34
1.2.66 高可移植性	35	1.2.67 高可配置性	35
1.2.68 高可重构性	36	1.2.69 高可定制性	36
1.2.70 高可集成性	37	1.2.71 高可兼容性	37
1.2.72 高可互操作性	38	1.2.73 高可移植性	38
1.2.74 高可维护性	39	1.2.75 高可测试性	39
1.2.76 高可移植性	40	1.2.77 高可配置性	40
1.2.78 高可重构性	41	1.2.79 高可定制性	41
1.2.80 高可集成性	42	1.2.81 高可兼容性	42
1.2.82 高可互操作性	43	1.2.83 高可移植性	43
1.2.84 高可维护性	44	1.2.85 高可测试性	44
1.2.86 高可移植性	45	1.2.87 高可配置性	45
1.2.88 高可重构性	46	1.2.89 高可定制性	46
1.2.90 高可集成性	47	1.2.91 高可兼容性	47
1.2.92 高可互操作性	48	1.2.93 高可移植性	48
1.2.94 高可维护性	49	1.2.95 高可测试性	49
1.2.96 高可移植性	50	1.2.97 高可配置性	50
1.2.98 高可重构性	51	1.2.99 高可定制性	51
1.2.100 高可集成性	52	1.2.101 高可兼容性	52



机械工业出版社

本书通过具体项目的实施来完成对学生知识和能力的培养。全书知识体系安排由浅入深,能力要求逐渐提高,让学生在“做中学、学中做”,更好地理解理论知识,提高实践技能。将每个项目的内容编排成学习目标、工作任务、理论知识、技能训练、拓展知识和项目练习等六部分,便于老师安排教学及学生自学。在理论教学上以“够用”为原则,教材中理论知识的介绍以简明、扼要为重点,重点介绍核心知识及基本理论,部分知识安排在“拓展知识”中,供学生课外自学。

本书在出版前已经过三轮教学实践,经不同专业试用,教学效果显著。全书分为五部分,共14个项目,主要内容包括:电子工艺基础训练、常用放大电路的装配与调试、信号发生器的设计与制作、直流稳压电源的装配与调试及综合项目,计划总学时数为96学时。在教学内容安排上充分考虑了模拟电子技术传统教学的知识体系、能力体系和学生的认知规律,任课教师也可根据专业和学生的特点灵活取舍有关内容。

本书易教易学,适用于高职高专电气类及电子信息类专业模拟电子技术课程教学。

为方便教学,本书备有免费电子课件,凡选用本书作为授课教材的老师均可来电索取,咨询电话:010-88379375。E-mail: cmpgaozhi@sina.com。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术及应用/钱金法,颜云华编. —北京:机械工业出版社,2010.2

高职高专机电类专业规划教材. 高职高专项目式课程改革教材

ISBN 978-7-111-28913-5

I. 模… II. ①钱…②颜… III. 模拟电路—电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第006690号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:于宁 责任编辑:曹雪伟 版式设计:霍永明
封面设计:陈沛 责任校对:程俊巧 责任印制:乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2010年2月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·11.25印张·276千字
0 001—4 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-28913-5
定价:20.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

网络服务

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

前 言

为了培养适合社会需要的高等技术应用型人才,2005年2月以来,我们在数控技术应用专业成功实施高职高专项目课程模式改革的基础上,启动了电气自动化技术专业课程模式改革系列工程。在行业专家、课程专家的指导下,我们从职业岗位工作任务分析着手,通过课程分析和知识、能力、素质分析,打破了传统的高职高专学科性课程模式,构建了“以工作任务为中心、以项目课程为主体”的高职高专电气自动化技术专业课程体系,编写了电工技术、模拟电子技术及应用、数字电子技术及应用、供配电技术、组态控制实用技术、可编程控制器应用技术、电机控制与应用技术等7门项目课程教材。本系列教材的主要特点是:在结构设计上,每本教材由若干项目组成,项目内设模块,项目和模块按照由易到难的顺序递进;在内容选择上,围绕职业岗位(群)需求和职业能力,以工作任务为中心,以技术实践知识为焦点,以技术理论知识为背景,以拓展知识为延伸,形成了体现高职高专教育特点和优势,符合高职高专学生认知特点和学习规律的教材内容体系。

为了提高学生的学习兴趣,本书以实用知识和能力培养为主线,采用项目式结构,通过具体项目的实施来完成对学生知识和能力的培养。全书知识体系安排由浅入深,能力要求逐渐提高,让学生在学中做、做中学,更好地理解理论知识,提高实践技能。将每个项目的内容编排成学习目标、工作任务、理论知识、技能训练、拓展知识和项目练习等六部分,便于老师安排教学及学生自学。在理论教学上以“够用”为原则,教材中理论知识的介绍以简明、扼要为特点,重点介绍核心知识及基本理论,部分知识安排在“拓展知识”中供学生课外自学。

本书在出版前已经过三轮教学实践,不同专业试用,教学效果显著。全书分为五部分,共14个项目,主要内容包括:电子工艺基础训练、常用放大电路的装配与调试、信号发生器设计与制作、直流稳压电源的装配与调试及综合项目,计划96学时。在教学内容安排上充分考虑了模拟电子技术传统教学的知识体系、能力体系和学生的认知规律,任课教师也可根据专业、学生的特点灵活取舍有关内容。

本书由常州机电职业技术学院钱金法老师和颜云华老师编写(其中颜云华老师编写第三、四篇,其余由钱金法老师编写),并由钱金法老师统稿。

本书由常州机电职业技术学院章彬宏老师审稿。

由于编者水平有限,书中错误难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	项目一 RC 振荡器的装配与调试	106
	项目二 LC 振荡器的装配与调试	112
第一篇 电子工艺基础训练	第四篇 直流稳压电源的装配与调试	119
项目一 常用元件的识别与检测	项目一 单相整流滤波电路的装配与调试	119
项目二 半导体器件性能检测	项目二 直流稳压电源的设计与制作	127
项目三 多谐振荡器的制作	第五篇 综合项目	138
第二篇 常用放大电路的装配与测试	项目 可燃气体探测报警控制器的设计与制作	138
项目一 分压式电压放大电路的装配与测试	附录	141
项目二 负反馈放大电路的装配与测试	附录 A 半导体器件的命名	141
项目三 场效应晶体管放大电路的装配与测试	附录 B EWB 电路仿真软件的使用	144
项目四 差动放大电路的装配与测试	附录 C 常用电子仪器简介	165
项目五 集成运算放大器的应用	参考文献	175
项目六 功率放大器的装配与调试		
第三篇 信号发生器的设计与制作		
106		

第一篇 电子工艺基础训练

学习目标

终极目标:

- 1) 会识别、检测、选用各类常用电子元器件。
- 2) 会操作、使用常用电子仪器。
- 3) 会焊接、测试等电子基本操作。

促成目标:

- 1) 熟悉常用电子元器件的符号、种类、标称方法及主要参数。
- 2) 能根据电子工艺要求进行电子焊接和装配。
- 3) 会根据被测对象合理选用相应电子仪器及仪表。
- 4) 会初步设计 PCB 板。

项目一 常用元件的识别与检测

一、学习目标

终极目标:

- 1) 会根据外形识别电阻、电容、电感等常用元件。
- 2) 会用万用表检测元件的性能。

促成目标:

- 1) 熟悉常用元件的符号、种类及主要参数。
- 2) 能根据元件标称识读元件基本参数。
- 3) 能用万用表判别元件的性能。
- 4) 能根据要求选用元件。

二、工作任务

- 1) 识别各种电阻器, 读出其参数, 并用万用表进行性能检测, 指出其适用场合。
- 2) 识别各种电容器, 读出其参数, 并用万用表进行性能检测, 指出其适用场合。
- 3) 识别各种电感器, 读出其参数, 并用万用表进行性能检测, 指出其适用场合。

三、理论知识

(一) 电阻器

电阻器是一个二端元件, 在电路中具有降压和限流的作用, 电阻在电路中是一个耗能元件, 能够将电能转换为热能。电子电路中常用的小功率固定电阻器如图 1-1-1 所示。

1. 电阻器的主要参数

电阻器的主要参数有阻值、额定功率、允许偏差(精度)、温度系数、噪声系数等。

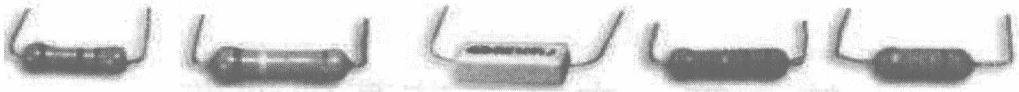


图 1-1-1 常用的小功率固定电阻器

(1) 阻值 通常将电阻器简称为电阻，其阻值大小是一个反映对电流阻碍作用大小的物理量，用符号 R 表示，单位为欧姆 (Ω)，在实际应用中，还常用千欧 ($k\Omega$) 和兆欧 ($M\Omega$) 来表示。兆欧 ($M\Omega$)、千欧 ($k\Omega$) 与欧姆 (Ω) 之间的换算关系是

$$1M\Omega = 1000k\Omega \quad 1k\Omega = 1000\Omega$$

(2) 额定功率 额定功率是指电阻器在交流或直流电路中，在特定条件下（在一定大气压下和产品标准所规定的温度下）长期工作时允许消耗的最大功率。

电阻器的额定功率值也有标称值，一般分为 $1/8W$ 、 $1/4W$ 、 $1/2W$ 、 $1W$ 、 $2W$ 、 $3W$ 、 $4W$ 、 $5W$ 、 $10W$ 等，其中 $1/8W$ 和 $1/4W$ 的电阻器较为常用。

在电阻功率有要求的情况下，电路图中电阻器的额定功率应作出标注，可直接在电路图中标出该电阻器的功率值（如 $\times W$ ），或用图 1-1-2 所示符号表示。

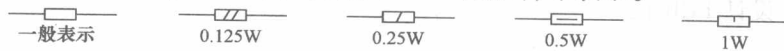


图 1-1-2 带负荷功率的电阻符号

(3) 允许偏差（精度）一只电阻器的实际阻值不可能与标称阻值绝对相等，两者之间会存在一定的偏差，将该偏差允许范围称为电阻器的允许偏差。

允许偏差小的电阻器，其阻值精度较高，但其生产成本相对较高，价格也贵。目前主要采用 E 数列规格，如 E6、E12、E24 等，对于不同系列的电阻器，其允许偏差也不同，如 E6、E12、E24 对应的允许偏差为 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 。误差标志与允许偏差见表 1-1-1。

表 1-1-1 误差标志与允许偏差

系 列	E24	E12	E6	系 列	E24	E12	E6
误差标志	J	K	M	误差标志	J	K	M
允许偏差	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	允许偏差	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
特性标称数值	1.0	1.0	1.0	特性标称数值	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		

(4) 温度系数 电阻器的温度系数定义为温度每变化 1°C 时, 电阻器阻值的相对变化量(用于描述电阻器的热稳定性), 即

$$\alpha_t = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)}$$

式中, α_t 为电阻器的温度系数($1/^{\circ}\text{C}$); R_1 、 R_2 分别为温度 t_1 和 t_2 时的电阻值。

(5) 电阻器的噪声 电阻器的热噪声是产生于电阻器中的一种不规则的电压起伏, 噪声包括热噪声和电流噪声两种。任何电阻器都有热噪声, 降低电阻器的工作温度, 可以减小热噪声。电流噪声与电阻器内的微观结构有关, 合金型电阻器无电流噪声, 薄膜型较小, 合成型最大。

2. 电阻器的标称

(1) 直标法 电阻器的参数直接标在电阻器上的标称方法称为直标法, 如图 1-1-3 所示。

图 1-1-3 所示电阻标称表示该电阻器为金属膜电阻, 额定功率为 1W , 阻值为 $2.7\text{k}\Omega$, 允许偏差为 $\pm 5\%$ 。直标法中符号可替小数点, 如 $\Omega 33$ —— 0.33Ω , $3\text{k}3$ —— 3.3k 。

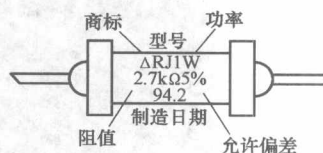


图 1-1-3 电阻器标称

(2) 色标法 以颜色组合来表示电阻的阻值和精度, 标在电阻器上的标称方法称为色标法。颜色与阻值的对应关系见表 1-1-2。

表 1-1-2 颜色与阻值的对应关系

色	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银
数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-1	-2

1) 四码色环电阻的识别。对于码色环电阻前三个色环用于表示阻值, 最后一位表示精度(金为 $\pm 5\%$, 银为 $\pm 10\%$, 无色为 $\pm 20\%$), 举例说明如图 1-1-4 所示。

图 1-1-4 所示电阻阻值为 $24 \times 10^3 = 24000\Omega = 24\text{k}\Omega$, 精度为: $\pm 10\%$ 。

2) 五码色环电阻的识别。对于码色环电阻, 前四个色环用于表示阻值, 最后一位表示精度(红为 $\pm 2\%$, 棕为 $\pm 1\%$, 绿为 $\pm 0.5\%$, 蓝为 $\pm 0.25\%$, 紫 $\pm 0.1\%$), 举例说明如图 1-1-5 所示。



图 1-1-4 四码色环电阻举例



图 1-1-5 五码色环电阻举例

图 1-1-5 所示电阻阻值为 $240 \times 10^1 = 2400\Omega = 2.4\text{k}\Omega$, 精度为 $\pm 1\%$ 。

3. 电阻器的种类

(1) 固定电阻器 电阻值不能调节的电阻器称为固定电阻器, 电路符号如图 1-1-6 所示。

常见固定电阻器有以下几种:

1) 线绕电阻器: 额定功率高, 温度系数小, 稳定性及精确度

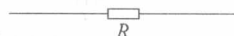


图 1-1-6 固定电阻器的一般符号

高，常用于电力设备控制。

- 2) 金属膜电阻器：稳定性及精确度高，应用于精密仪器、高频电路、高级音响等。
- 3) 合金膜电阻器：温度系数特低，稳定性及精确度高。
- 4) 氧化金属膜电阻器：稳定性佳，温度系数小，精确度高，适用于高温下工作。
- 5) 碳膜电阻器：稳定性佳，价廉，广泛适用于普通电子设备中。
- 6) 水泥电阻：耐高温，耐湿，大功率场合常用。

(2) 可变电阻器 可变电阻器统称为电位器，一般情况下，能够频繁调节使用的可变电阻器称为电位器，而用于电路参数调整并在调整后加以固定的可变电阻器称为微调电阻。

1) 电位器：电位器调整电阻方式有转动、滑动等方式，常见电位器及符号如图 1-1-7 所示。

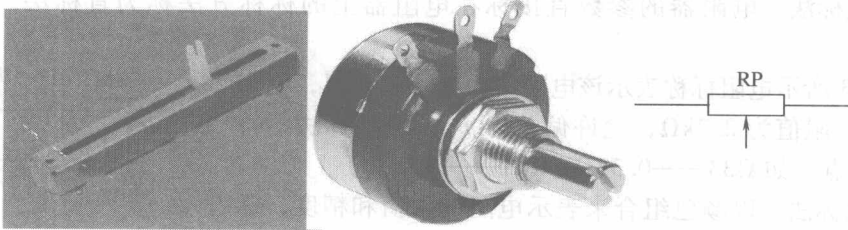


图 1-1-7 电位器及符号

2) 微调电阻：常见的电阻调整方式为转动方式，调整后即予以固定，常见微调电阻及符号如图 1-1-8 所示。

(3) 其他电阻器

1) 热敏电阻器：阻值随温度的变化而变化的电阻器，若阻值随温度的升高而减小，称负温度系数热敏电阻器（NTC）；若阻值随温度的升高而增大，称正温度系数热敏电阻器（PTC），如图 1-1-9 所示。

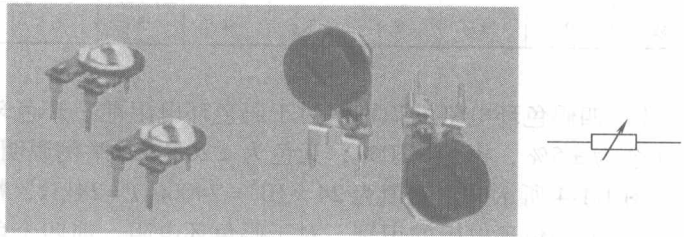


图 1-1-8 微调电阻及符号

2) 光敏电阻器：阻值随光线强弱改变而改变的电阻器，如图 1-1-10 所示。

3) 可熔断电阻器：阻值固定，具有和熔断器一样的功能，如图 1-1-11 所示。

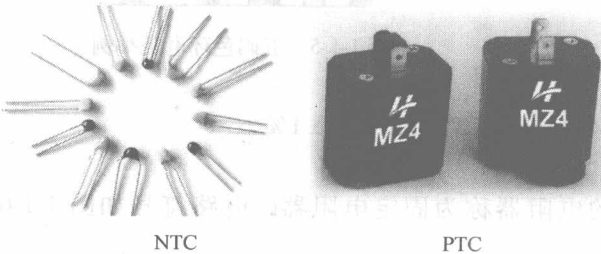


图 1-1-9 热敏电阻器

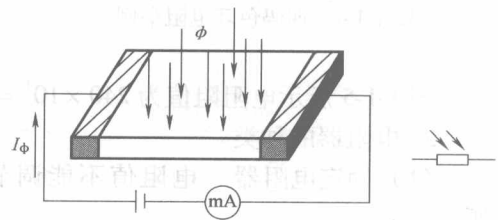


图 1-1-10 光敏电阻器测试电路及符号

图 1-1-11 可熔电阻器

4. 电阻器的检测与选用

(1) 电阻器的检测 一般可用万用表进行简单的检测（主要是阻值大小），检测时应注意以下几点：

- 1) 选择合适的电阻档位，并注意调零。
- 2) 对阻值较大的电阻，测量时人体不要同时触及电阻的两端，以免人体电阻对测量产生影响。
- 3) 对电位器可边旋转（或滑动）边用万用表监控，观察其电阻变化是否平滑。
- 4) 对热敏电阻这样的受环境因素影响的电阻，可人为改变环境因素，观察其电阻的变化。

(2) 电阻器的选用 电阻器的选用主要考虑以下一些因素：

- 1) 一般电子设备中可考虑性能稳定而价格低廉的碳膜电阻。
- 2) 在要求较高的场合，可选择金属膜电阻，金属膜电阻性能稳定，精确度高、噪声小。
- 3) 功率消耗大的情况下，注意电阻耗散功率的选择，要兼顾环境因素，应留有较大的余量，以长期工作不烫手为宜，一般可选用线绕电阻、水泥电阻、被釉电阻等。
- 4) 若电阻承受电压较高时，应考虑采用高电压电阻，它在尺寸大小上有相应要求。
- 5) 电阻在使用时，为了达到合适的阻值、合适的功率等要求，可以进行串联、并联或混联。

(二) 电容器

电容器是电子设备中大量使用的电子元件之一，广泛应用于隔直、耦合、旁路、滤波、调谐、能量转换等方面。

在直流电路中，电容器相当于开路，即电容具有隔直作用；在交流电路中，电容可一直工作在充放电状态，使电路中一直有电流通过，故认为交流电可以通过电容器。但电容器对交流电也产生阻碍作用，其阻力的大小（称为容抗）受交流电频率和电容器电容的影响，相同电容的电容器对于不同频率的交流电呈现不同的容抗，频率越高，容抗越小。

1. 电容器的主要参数

(1) 标称容量 标称容量是指标注在电容器上的电容量。电容量的基本单位是法拉（简称法），用字母“F”表示。比法拉小的单位还有微法（ μF ）、纳法（nF）、皮法（pF），它们之间的换算关系是：

$$1\text{F} = 1000000\mu\text{F}$$

$$1\mu\text{F} = 1000\text{nF}$$

$$1\text{nF} = 1000\text{pF}$$

- (2) 允许偏差 允许偏差是指电容器的标称容量与实际电容之间的允许最大偏差范围。
- (3) 额定电压 额定电压也称电容器的耐压值，是指电容器在规定的温度范围内，能



够连续正常工作时所能承受的最高电压。在实际应用时，电容器的工作电压应低于电容器上标注的额定电压值，否则会造成电容器因过电压击穿而损坏。

(4) 漏电流 电容器的介质材料不是绝对绝缘体，也会有电流通过，此电流即为漏电流。

(5) 绝缘电阻 绝缘电阻也称漏电阻，它与电容器的漏电流成反比。漏电流越大，绝缘电阻越小。绝缘电阻越大，表明电容器的漏电流越小，质量也越好。

(6) 损耗因数 损耗因数也称电容器的损耗角正切值，用来表示电容器能量损耗的大小。该值越小，说明电容器的质量越好。

(7) 温度系数 温度系数是指在一定温度范围内，温度每变化 1°C 时，电容器容量的相对变化值。温度系数越小，电容器的性能越好。

(8) 频率特性 频率特性是指电容器对各种不同的频率所表现出的性能（即电容容抗等电参数随着电路工作频率的变化而变化的特性）。

2. 电容器的标称

国产电容的型号一般有四个部分组成，如CBB12，代表非封闭型丙烯电容器。C为第一部分，用字母C表示电容器；BB为第二部分，用字母表示介质材料，BB表示丙烯；1为第三部分，用数字（个别用字母）表示分类；2为第四部分，用字母表示产品序列（外形和性能不同）。表1-1-3为国产电容型号中第二部分字母表示的意义。表1-1-4为国产电容型号中第三部分数字（字母）表示的意义。

表 1-1-3 第二部分字母表示的意义

字 母	电容器介质材料	字 母	电容器介质材料
A	钽电解	L (LS 等)	聚酯等极性有机薄膜（常在 B 后再加一个字母以区分具体材料）
B (BB, BF)	聚苯乙烯等非极性薄膜（常在 B 后再加一个字母以区分具体材料）	N	钨电解
C	高频陶瓷	O	玻璃膜
D	铝电解（普通电解）	Q	漆膜
E	其他材料电解	S	低频陶瓷
G	合金电解	V	云母纸
H	纸膜电解	Y	云母
I	玻璃釉	Z	纸质
J	金属化纸介		

表 1-1-4 第三部分数字（字母）表示的意义

数字及字母	瓷介电容器	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	管型	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	

(续)

数字及字母	瓷介电容器	云母电容器	有机电容器	电解电容器
5	穿心		穿心	
6	支柱型等			
7				无极性
8	高压	高压	高压	高压
9			特殊	特殊
G	高功率			
T	叠片式			
W	微调电容			

电容器的标称方法主要有直标法、文字法、数码法和色标法:

(1) 直标法 主要参考表 1-1-3 和表 1-1-4。

(2) 文字法 用数字和字母组合表示, 如 10p 代表 10pF, 4.7p 表示 4.7pF。其特点是省略 F, 小数点部分用 p、n、 μ 表示。

(3) 数码法 用三位数表示, 第一、第二位为有效数字位, 第三位为倍率, 表示有效数字后的零的个数, 电容的单位是 pF, 如 203 表示 $20 \times 1000\text{pF}$, 102 表示 $10 \times 100\text{pF}$ 。

文字法、数码法中的允许偏差和工作温度的字符代表意义见表 1-1-5 和表 1-1-6。

表 1-1-5 允许偏差

字母	允许偏差	字母	允许偏差
B	$\pm 0.1\%$	C	$\pm 0.25\%$
F	$\pm 1\%$	G	$\pm 2\%$
J	$\pm 5\%$	M	$\pm 20\%$
K	$\pm 10\%$	N	$\pm 30\%$
不标注	+ 不确定 ~ -20%		

表 1-1-6 工作温度 (负温度用字母表示, 正温度用数字表示)

符号	A	B	C	D	E	0	1	2	3	4	5	6	7
温度/ $^{\circ}\text{C}$	-10	-25	-40	-55	-65	+55	+70	+85	+100	+125	+155	+200	+250

例: 一个电容标志是 682JC4, 表示电容的容量是 $6800(1 \pm 5\%)\text{pF}$, 工作温度范围是 $-40 \sim 125^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 色标法 标称方法及识读方法与电阻相似, 其中距离其他环较远的那环代表电容特性或工作电压。各颜色代表的意思见表 1-1-7。

表 1-1-7 颜色代表的意义

颜色	有效数字	倍率	允许误差 (%)	工作电压/V
银	/	10^{-2}	± 10	/
金	/	10^{-1}	± 5	/
黑	0	10^0	/	4
棕	1	10^1	± 1	6.3
红	2	10^2	± 2	10
橙	3	10^3	/	16
黄	4	10^4	/	25
绿	5	10^5	± 0.5	32
蓝	6	10^6	± 0.25	40
紫	7	10^7	± 0.1	50
灰	8	10^8	/	63
白	9	10^9	$-20 \sim +50$	/
无色	/	/	± 20	/

3. 电容器的种类

电容器按其电容的变化情况可分为可变电容器和固定电容器，也可按介质进行分类。

(1) 可变电容器 一般由动片、定片以及旋轴组成，以薄膜或空气作为介质。工作原理：当转动旋轴时，改变了动片和定片的相对位置，即可调节容量，当动片全部旋出后，容量最小。图 1-1-12 为常见可变电容器及符号。

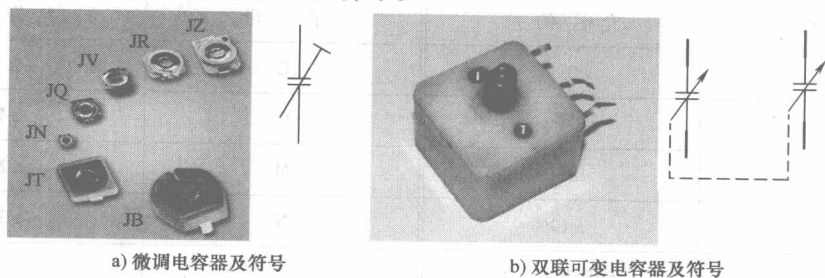


图 1-1-12 可变电容器及符号

(2) 几种常用的固定电容器

1) 纸介电容器。

①结构：其电极用铝箔或锡箔，绝缘介质是浸蜡的纸，相叠后制成圆柱形，外包防潮物质。

②优点：在一定体积里可得到较大的容量，构造简单，价格低廉。

③缺点：稳定性不高，介质损耗大，固定电感也大。

④用途：低频电路的旁路和隔直电容。

⑤容量：一般 $100\text{pF} \sim 10\mu\text{F}$ 。

金属化纸介电容是用蒸发的方法将金属附着在纸上制作而成的，体积较小。纸介电容允

许偏差分为三级： $\pm 5\%$ ， $\pm 10\%$ ， $\pm 20\%$ 。图 1-1-13 所示为常见金属化纸介电容器。

2) 陶瓷电容。

①结构：介质是高介电常数和低损耗的陶瓷材料，做成管形或圆片形，两面喷上银层，然后烧成银质薄膜，外表涂漆，外形多为圆状和管状，有高频瓷介电容和低频瓷介电容两类。

②优点：介质损耗和固定电感小，可工作在高频范围，且体积小，稳定性好。

③电量：在 10000pF 以内。

④工作电压有 63V、160V、250V、500V 等。

⑤用途：高频电路和低频电路。

图 1-1-14 为常见的陶瓷电容。

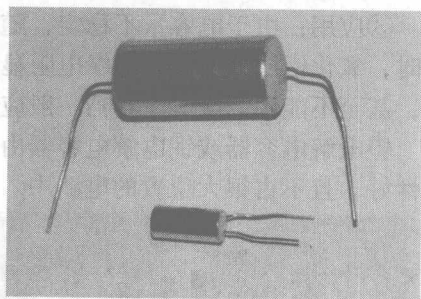


图 1-1-13 金属化纸介电容器

3) 云母电容器。结构及特点：以云母为介质，具有很高的绝缘性，在高频下的损耗也很小，漏电流小，固定电感小，性能很稳定，电容量比较小（从几十皮法到几万皮法）。误差分为四级： $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。常见云母电容器如图 1-1-15 所示。

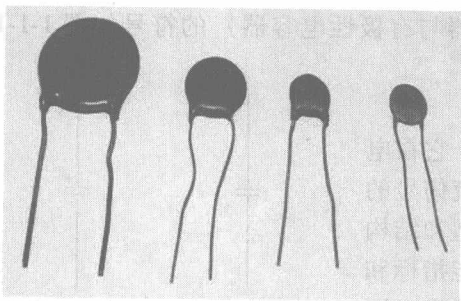


图 1-1-14 陶瓷电容

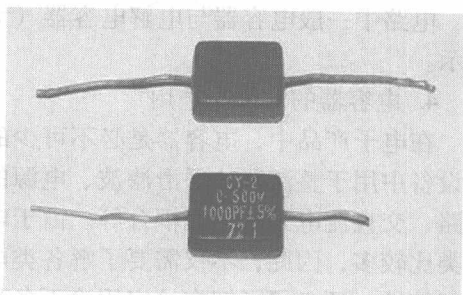


图 1-1-15 云母电容器

4) 聚苯乙烯电容器、聚丙烯薄膜电容器。聚苯乙烯电容器和聚丙烯薄膜电容器具有工作温度高，损耗小，耐压高，绝缘电阻大，而且在很大频率范围内性能稳定，用途广泛等特点。图 1-1-16 所示为常用的聚苯乙烯电容器。

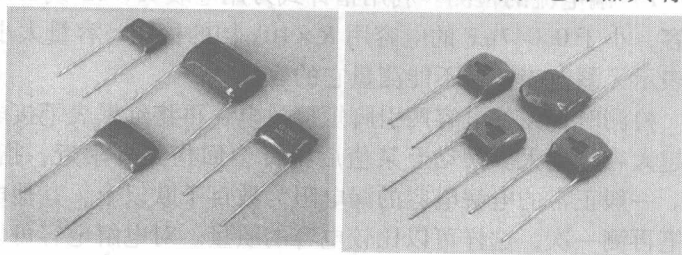


图 1-1-16 聚苯乙烯电容器

5) 电解电容器：

①结构：是以铝、钽、铌、钛等金属氧化膜作为介质，应

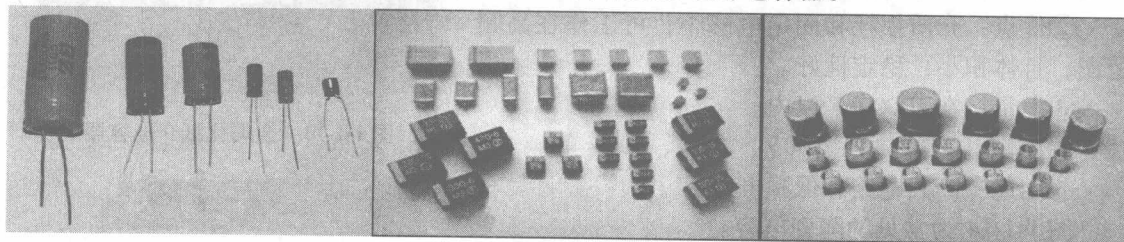
用比较多的是铝电解电容器。在铝质圆筒内装入两条绕成卷的铝箔带组成两极，两卷之间填满糊状的电介质（或浸过电解液的纸），再经过直流电压电解处理，使一个电极的铝箔形成一层氧化铝作介质绝缘体。

②特点：电解电容器具有极性，当极性接反时，电解向反方向进行，氧化铝变薄，漏电流剧增，如果加在两端的直流电压不是很小，电容器将会因发热过度而爆炸。电解电容器的

外壳上有极性标识,其引脚也长短不同,长的引脚为正极。

③应用:由于电容量不稳定,随时间和温度变化剧烈,且绝缘电阻低,损耗大,久置不用时,氧化铝层会变薄,绝缘电阻显著减小,耐压也变低。而且电解液易挥发,使电容量变小,甚至不能用。电解电容器一般应用于低频电路中。

钽电解电容器或铌电解电容器由于稳定性好、漏电流小,体积小,可应用于要求电容稳定性好,且不占很大位置的电路中。图 1-1-17 为常见的电解电容器。



a) 立式电解电容

b) 贴片式钽电解

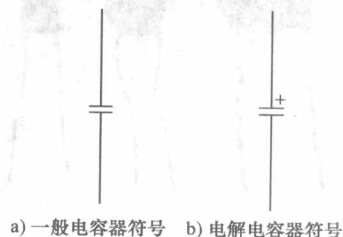
c) 贴片式铝电解

图 1-1-17 电解电容器

电路中一般电容器与电解电容器(无极性电容器与有极性电容器)的符号如图 1-1-18 所示。

4. 电容器的检测与选用

在电子产品中,电容器是必不可少的电子元件,它在电子设备中用于整流器的平滑滤波、电源的退耦、交流信号的旁路、交直流电路的交流耦合等。由于电容器的类型和结构种类比较多,因此,不仅需要了解各类电容器的性能指标和一般特性,还必须了解在给定用途下各种元件的优缺点,同时,也必须学会基本的测试方法。



a) 一般电容器符号 b) 电解电容器符号

图 1-1-18 电容器的符号

(1) 电容器的检测

1) 漏电流的检测。利用指针式万用电表 $R \times 1k$ 或 $R \times 100$ 档检测容量大于 $0.047\mu F$ 的电容,小于 $0.047\mu F$ 的电容用 $R \times 10k$ 档的检测,容量太小时万用表无反应,此时指针指示 ∞ 表示无漏电流,但不能测量它的容量。

检测时,先将电容两引脚短接放电,再将红黑表笔接电容两端,观察表针摆动角度,摆幅越大容量越大。摆动至某值后指针会回指到 ∞ 附近,指针越接近 ∞ ,说明电容漏电流越小。一般正常的电解电容的漏电阻为数百千欧以上,其他电容为 ∞ 。测量一次后,最好交换表笔再测一次,这样可以比较电容的质量。对电解电容可以判断正负极性:两次测量中表针指示漏电小的那次黑表笔所连接的那端为正极性。**注意:**有的电解电容的反相漏电阻只有数千欧或数十千欧,但正向漏电阻正常,这些电容质量较差或储存时间较长,最好不用。

对于不知道极性的电解电容可用万用表的电阻档测量其极性。只有电解电容的正极接电源正(电阻档时的黑表笔),负极接电源负(电阻档时的红表笔)时,电解电容的漏电流才小(漏电阻大)。反之,则电解电容的漏电流增加(漏电阻减小)。测量时,先假定某极为正极,让其与万用表的黑表笔相接,另一电极与万用表的红表笔相接,记下表针停止的刻度(表针靠左阻值大),然后将电容器放电(即两根引脚碰一下),两只表笔对调,重新进行测

量。两次测量中，表针最后停留的位置相对靠左（阻值大）的那次，黑表笔接的就是电解电容的正极。测量时最好选用 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 档。

2) 电容器容量的检测。利用数字式万用电表可直接测量电容器的容量。利用指针式万用电表测量电容器的电容量，一般只能估测，具体方法如下：

首先，将万用表置于欧姆档并调零；其次，将待测电容两端短路，将电容所储存的电荷放掉；再次，将万用表的两表笔接电容的两根引脚（对于电解电容，红表笔接负端，黑表笔接正端），此时，表针摆到最大角度（设此角度对应电阻为 R ），然后逐渐的回到测量前的位置，即电阻为 ∞ 处（若万用电表指针不能回到 ∞ 处，说明待测电容已经漏电损坏）。用同一电阻档测量时，一定电容的容器，其 R 值也一定，而且待测电容容量越大， R 值越小，即 R 与电容量近似成反比。（ $R = H/C$ ），式中的 H 值是一个恒量，对不同的指针式万用电表， H 值的数值是不同的。

用指针式万用表测量时需注意：

①为提高测量精度，可把电容器按容量分为三段，分别用三个不同的电阻档测量，如小于 $10\mu\text{F}$ 的可用 $R \times 10k$ 档测量，大于 $100\mu\text{F}$ 的用 $R \times 100$ 档测量， $10 \sim 100\mu\text{F}$ 的用 $R \times 1k$ 档测量。

②在测量前应将电容器放电，小容量低电压电容器可直接短接放电，大容量电容器尤其是高电压电容器充足电后，不能短路放电，避免把电容引脚周围的铝箔烧掉，应用大功率电阻放电。

(2) 电容器的选用

1) 对于要求不高的低频电路和直流电路，最好用价格低廉的纸介或金属化纸介电容器，也可以选用低频磁介电容（CT）。

2) 对于要求较高的高频和音频电路，可选塑料薄膜电容（CB，CL）。

3) 在高频电路中，一般选用高频磁介（CC）、云母或穿心磁介电容。

4) 电源滤波、退耦或旁路等需要大电容的电路，一般用铝电解电容。

5) 钽（或铌）电解电容的性能稳定可靠，但价格较高，一般用在要求较高的定时、延时电路中。

6) 对于电视机的输出级和电源级等存在高电压的电路，一般选用高压磁介或其他专用型高电压电容。在风扇等交流电路中，通常用专用型交流电容。

7) 对于可变和微调电容，如果体积没有影响，应选用空气型电容。使用时应将动片接地。

8) 电解电容要分清正负极性。

9) 为了达到容量、耐压、滤波效果等要求，可将电容器进行串联、并联等使用。

(三) 电感器

电感器是用绝缘导线（如漆包线、纱包线等）绕制而成的电磁感应元件，也是电子电路中常用的元件之一。

电感器的作用：电感器在电路中有限制交流通过，让直流电顺利通过的作用。可用于对交流信号进行隔离、滤波或与电容器等组成谐振电路。

1. 电感器的主要参数

电感器的主要参数有电感量、允许偏差、品质因数、分布电容及额定电流等。

(1) 电感量 电感量也称自感系数,是表示电感器产生自感应能力的一个物理量。电感器电感量的大小,主要取决于线圈的圈数(匝数)、绕制方式、有无磁心及磁心的材料等。通常,线圈圈数越多、绕制的线圈越密集,电感量就越大。有磁心的线圈比无磁心的线圈电感量大;磁心导磁率越大的线圈,电感量就越大。

电感量的基本单位是亨利(简称亨),用字母“H”表示。常用的单位还有毫亨(mH)和微亨(μH),它们之间的关系是:

$$1\text{H} = 1000\text{mH}$$

$$1\text{mH} = 1000\mu\text{H}$$

(2) 允许偏差 允许偏差是指电感器上标称的电感量与实际电感量的允许误差值。

用于振荡或滤波等电路中的电感器要求精度较高,允许偏差为 $\pm 0.2\% \sim \pm 0.5\%$;而用于耦合、高频阻流等电路中的电感器的精度要求不高,允许偏差为 $\pm 10\% \sim \pm 15\%$ 。

(3) 品质因数 品质因数也称 Q 值或优值,是衡量电感器质量的主要参数。它是指电感器在某一频率的交流电压下工作时,所呈现的感抗与其等效损耗电阻之比。电感器的 Q 值越高,其损耗越小,效率越高。

电感器品质因数的高低与线圈导线的直流电阻、线圈骨架的介质损耗及铁心、屏蔽罩等引起的损耗有关。

(4) 分布电容 分布电容是指线圈的匝与匝之间、线圈与磁心之间存在的电容。电感器的分布电容越小,其稳定性越好。

(5) 额定电流 额定电流是指电感器在正常工作时允许通过的最大电流值。若工作电流超过额定电流,则电感器就会因发热而使性能参数发生改变,甚至还会因过电流而烧毁。

2. 电感器的标称方法

直标法:将电感量等主要参数直接标称在电感器上。

色标法:与电阻器标称方法基本相同。

3. 电感器的种类

(1) 按结构分类 电感器按其结构的不同可分为线绕式电感器和非线绕式电感器(多层片状、印刷电感器等),还可分为固定式电感器和可调式电感器。

固定式电感器又分为空心电感器、磁心电感器、铁心电感器等,根据其外形结构和引脚方式还可为立式电感器、卧式电感器、大中型电感器、片状电感器等。

可调式电感器又分为磁心可调电感器、铜心可调电感器、滑动触点可调电感器、串联互感可调电感器和多抽头可

调电感器。图 1-1-19 为几种常用电感器的电路图形符号。

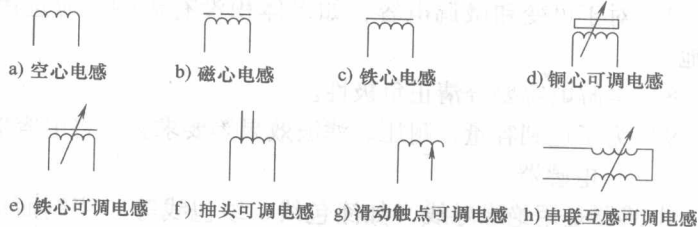


图 1-1-19 常用电感器符号

(2) 按工作频率分类 电感器按工作频率可分为高频电感器、中频电感器和低频电感器。空心电感器、磁心电感器和铜心电感器一般为中频或高频电感器,而铁心电感器多数为低频电感器。