

高等学校教材

GAODENG
XUEXIAO
JIAOCAI

电路与电子技术实验教程

主 编 高玉良
编 写 余仕求 付润江 李克举

副主编 熊俊俏
主 审 武洪涛



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

高等学校教材

电路与电子技术实验教程

主 编 高玉良
副主编 熊俊俏
编 写 余仕求 付润江 李克举
主 审 武洪涛



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>



内 容 提 要

本书是参照教育部颁布的有关电路与电子技术基础课程教学的基本要求,结合目前电路与电子技术基础课程教学的实际情况及电子技术特别是集成电路的发展状况编写的,全书共七章和五个附录,覆盖了电路与电子技术基础课程的基本内容,也反映了电子技术的发展趋势。

本书第一、二、三、四章介绍电子电路实验的基础知识和电子设计自动化软件 EWB,包括电子元器件识别与使用、电子测量基本知识、电子电路组装调试与故障检测技术等内容;第五章为电路实验,侧重于基本实验技能特别是仪器使用的训练;第六章为模拟电路实验,侧重于电子实验基本技能的训练;第七章为数字电路实验,在基本实验内容的基础上,安排了相当数量的设计性实验内容,同时引入了数字可编程逻辑器件应用的实验,以满足不同层次的教学要求;附录部分包括常用电子仪器简介、半导体器件选编、EDA 基础、全国大学生电子设计竞赛试题选编等内容。

本书可作为工科各专业电路与电子技术课程的实验教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路与电子技术实验教程/高玉良主编. —北京: 中国电力出版社, 2006

ISBN 7 - 5083 - 4451 - 0

I. 电... II. 高... III. ①电路 - 实验 - 高等学校 - 教材②电子技术 - 实验 - 高等学校 - 教材 IV. TM13 - 33
②TN01 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 076852 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044http://www. cepp. com. cn)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 9 月第一版 2006 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 14.25 印张 347 千字

印数 0001—3000 册 定价 20.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)



前 言

本书是参照教育部颁布的有关电路与电子技术基础课程教学的基本要求，结合目前电路与电子技术基础课程教学的实际情况及电子技术特别是集成电路的发展状况编写的。

本书前四章介绍电子电路实验的基础知识和电子设计自动化软件 EWB，要求学生结合实验，阅读掌握；第五章为八个电路实验，侧重于基本实验技能特别是仪器使用的训练，教师还要安排一个单元的时间进行 EWB 基本操作的教学；第六章为十个模拟电路实验，侧重于电子实验基本技能的训练。实验中计算机仿真的内容由学生自己安排时间在实验前上机练习，教师可安排一个单元的时间对 EWB 中的高级分析和仪器使用进行教学；第七章为十个数字电路实验，除实验一外，每个实验都包含基本的和设计性的实验内容，以满足不同层次的教学要求，实验八为数字可编程逻辑器件应用实验，由于要占用较多的学时，非独立设课的实验课对此可不作要求；附录介绍的常用电子仪器，要求学生结合实验，掌握其基本的使用方法，收集的常用电子元器件的型号、特性参数、引脚排列等，也要求学生有所了解。

由于本书中实验内容较多，教师应在实验前让学生明确具体的实验内容，做好实验预习。

本书由高玉良、熊俊俏、余仕求、付润江、李克举合作编写，熊俊俏编写了第七章实验五、六、七、八和附录 C，付润江编写了第五章实验一、四、五、八，余仕求编写了第五章实验六、七，李克举编写了附录 A，其余部分由高玉良编写，全书由高玉良统稿。武洪涛审阅了全书，指出了初稿中存在的一些错误，提出了许多具体的修改意见。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，殷切希望使用本书的教师和同学们批评、指正，提出改进意见。

编 者

2006.3.6



目 录

前言

第一章 常用电子元器件的识别、测试与使用	1
第一节 电阻器、电容器、电感器.....	1
第二节 半导体二极管、三极管的识别与简单测试.....	8
第三节 集成电路的识别	12
第二章 电子测量基础知识	15
第一节 概述	15
第二节 电压的测量	18
第三节 频率、相位差的测量	20
第三章 电子电路的组装调试与故障检测技术	23
第一节 电子电路的组装	23
第二节 电子电路的调试	24
第三节 检查故障的一般方法	25
第四节 电子电路的干扰及抑制	28
第四章 EWB 及其应用	32
第一节 EWB 简介	32
第二节 EWB 软件菜单	35
第三节 EWB 的虚拟仪器	38
第四节 EWB 应用举例	40
第五章 电路实验	44
实验一 戴维南定理的验证	44
实验二 常用电子仪器的使用	47
实验三 叠加定理的验证	50
实验四 一阶电路的响应	52
实验五 二阶电路的响应	56
实验六 功率因数的提高	59
实验七 三相电路中电压电流的关系	62
实验八 双口网络的测定	65
第六章 模拟电路实验	68
实验一 单管电压放大器	68
实验二 结型场效应管共源放大电路	72
实验三 多级放大电路与负反馈	75

实验四	功率放大电路	79
实验五	差分放大电路	82
实验六	集成运算放大器的参数测试	85
实验七	基本运算电路	89
实验八	文氏电桥振荡器	92
实验九	有源滤波器设计	95
实验十	直流稳压电源设计	99
第七章	数字电路实验	102
实验一	集成门电路测试	102
实验二	组合逻辑电路	107
实验三	时序逻辑电路	113
实验四	多路抢答器设计	119
实验五	数/模转换器及应用	121
实验六	模/数转换器及应用	127
实验七	存储器及应用	132
实验八	七段 LED 显示译码器的设计	136
实验九	555 定时器及应用	140
实验十	集成单稳态触发器及应用	143
附录 A	常用电子仪器简介	147
A.1	双踪示波器	147
A.2	函数发生器	158
A.3	交流毫伏表	161
A.4	半导体管特性图示仪	162
A.5	可跟踪直流稳定电流	166
附录 B	半导体器件简编	168
B.1	常用半导体分立元件	168
B.2	常用模拟集成电路	173
B.3	数字集成电路	178
附录 C	可编程逻辑器件应用初步	192
C.1	ABEL - HDL 语言简介	192
C.2	可编程逻辑器件开发简介	201
附录 D	电子电路实验报告的撰写	212
附录 E	全国大学生电子设计竞赛试题选编	214
参考文献	221



第一章 常用电子元器件的识别、测试与使用

电子元器件是电子产品的重要组成部分，对于工程技术人员来说，全面了解各类电子元器件的结构和特点，正确选择、合理应用它们，是成功研制电子产品的重要条件之一。

电子电路中常用的元器件主要是电阻器、电容器、电感器和各种半导体器件（如二极管、三极管、集成电路等）。为了正确地选择和使用这些元器件，必须掌握它们的性能、结构与主要参数等有关知识。

第一节 电阻器、电容器、电感器

一、电阻器和电位器

1. 电阻器

电阻器是电路元件中应用最广泛的一种，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。电阻器的主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压，其次还可作为分流器、分压器和消耗电能的负载等。

电阻器主要分为薄膜电阻和线绕电阻两大类。薄膜电阻又可分为碳膜电阻和金属膜电阻两类。实验所用的电阻为碳膜电阻。

2. 电位器

电位器是一种具有三个接头的可变电阻器，它靠内部的一个活动触头（电刷）在电阻体上滑动，获得与转角或位移成一定关系的电阻值。实验用简易电位器的动点与中间引脚相连。在电路中，电位器除作可变电阻外，还可作分压器使用，电位器及其接线图如图 1-1 所示。

3. 电阻器和电位器的型号命名法

电阻器和电位器的型号命名法详见表 1-1。

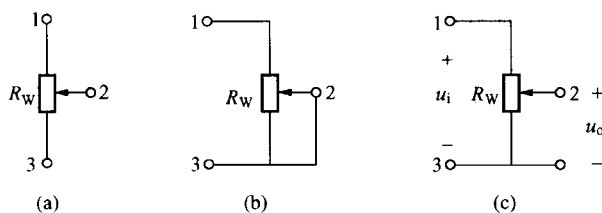


图 1-1 电位器及其接线图

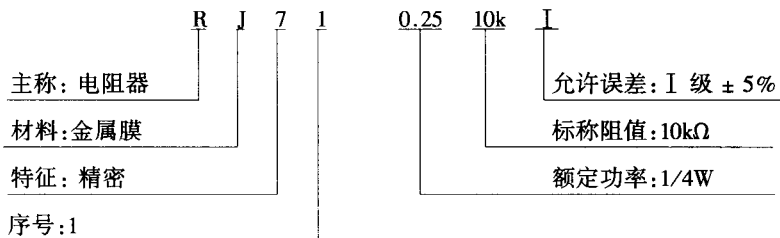
(a) 符号；(b) 作可变电阻的接线图；(c) 作分压器的接线图

表 1-1

电阻器和电位器的型号命名法

第一部分 主称		第二部分 材料		第三部分 特征		第四部分 序号
用字母表示		用字母表示		用数字或字母表示		用数字表示
符 号	意 义	符 号	意 义	符 号	意 义	
R	电阻器	T	碳膜	1, 2	普通	包括： 额定功率 阻值 允许误差 精度等级
W	电位器	P	硼碳膜	3	超高频	
		U	硅碳膜	4	高阻	
		C	沉积膜	5	高温	
		H	合成膜	7	精密	
		I	玻璃釉膜	8	电阻器—高压 电位器—特殊函数	
		J	金属膜（箔）			
		Y	氧化膜	9	特殊	
		S	有机实芯	G	高功率	
		N	无机实芯	T	可调	
		X	线绕	X	小型	
		R	热敏	L	测量用	
		G	光敏	W	微调	
		M	压敏	D	多圈	

示例：RJ71-0.25-10kI 型电阻器



由此可见，这是精密金属膜电阻器，其额定功率为 $0.25W$ ，标称电阻值为 $10k\Omega$ ，允许误差为 $\pm 5\%$ 。

4. 线性电阻器和电位器的主要性能指标

(1) 额定功率。正常条件下指电阻器允许消耗的最大功率。当超过额定功率时，电阻器的阻值将发生变化，甚至发热烧毁。为保证安全使用，一般选其额定功率比它在电路中消耗的功率高 $1.5 \sim 2$ 倍。

额定功率分 19 个等级，常用的有 $\frac{1}{20} W$, $\frac{1}{8} W$, $\frac{1}{4} W$, $\frac{1}{2} W$, $1W$, $2W$, $3W$, $4W$, $5W$, …，实验中应用较多的有 $\frac{1}{8} W$, $\frac{1}{4} W$, $\frac{1}{2} W$, $1W$, $2W$ 。线绕电位器应用较多的有 $2W$, $3W$, $5W$, $10W$ 等。

(2) 标称阻值。标称阻值是产品标志的“名义”阻值，标称阻值系列见表 1-2。任何固定电阻器的阻值都应符合表中所列数值乘以 $10^n \Omega$ ，其中 n 为整数。

表 1-2

标 称 阻 值

系列代号	标 称 阻 值 系 列	允许误差
E24	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	±5%
E12	1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2	±10%
E6	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8	±20%

(3) 允许误差。允许误差是指电阻器和电位器的实际阻值对于标称阻值的最大允许偏差范围，它表示产品的精度。电阻器允许误差等级见表 1-3。线绕电位器的允许误差一般小于 ±10%，非线性绕电位器的允许误差一般小于 ±20%。

表 1-3

电阻器允许误差等级

级 别	005	01	02	I	II	III
允许误差	±0.5%	±1%	±2%	±5%	±10%	±20%

电阻器的阻值和误差，一般常用数字标印在电阻上，但对于实芯碳膜电阻器和微型电阻器，则用色环或色点来表示，如图 1-2 所示。色环阻值的识别方法为：将四个靠得比较紧的色环置于左边，第一、二、三个色环表示阻值的第一、二、三位数，第四个色环表示三位数后零的个数，第五个色环表示阻值的允许误差。若是四色环电阻，则第一、第二个色环表示阻值的第一、二位数，第三个色环表示二位数后零的个数，第四个色环表示阻值的允许误差。各种颜色代表的意义见表 1-4。

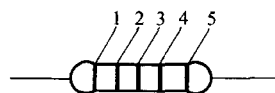


图 1-2 阻值与误差的色环标记

表 1-4

色 环 颜 色 的 意 义

颜色 数值	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	底色
代表数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	—	—	—
倍数数	×1	×10	×10 ²	×10 ³	×10 ⁴	×10 ⁵	×10 ⁶	×10 ⁷	—	—	×10 ⁻¹	×10 ⁻²	—
误 差	—	±1%	±2%	—	—	±0.5%	±0.25%	±0.1%	—	—	±5%	±10%	±20%

例如，第一、二、三、四、五色环分别为绿、棕、黑、棕、金色，则该电阻的阻值为 $R = 510 \times 10^1 = 5.1\text{k}\Omega$ ，误差为 ±5%。

(4) 最高工作电压。最高工作电压是由电阻器、电位器最大电流密度、电阻体击穿及其结构等因素所规定的工作电压限度。对阻值较大的电阻器，当工作电压过高时，虽功率不超过规定值，但内部会发生电弧火花放电，导致电阻变质损坏。一般 1/8W 碳膜电阻器和金属膜电阻器的最高工作电压分别不能超过 150V 和 200V。

5. 选用电阻器常识

(1) 根据电子设备的技术指标和电路的具体要求选用电阻的型号和误差等级，不要片面采用高精度电阻，以免增加成本。

(2) 选择电阻时必须考虑电路中的信号频率，因为一个电阻可等效成一个 R 、 L 、 C 二

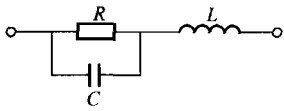


图 1-3 电阻器的等效电路

端线性网络，如图 1-3 所示。不同类型的电阻， R 、 L 、 C 三个参数的大小有很大差异，如线绕电阻本身就是个线圈，所以不能用于高频电路。

(3) 电阻的额定功率要比其在电路中实际消耗的功率大 1.5 至 2 倍，以提高设备可靠性。

(4) 电阻装接前应进行测量、核对，尤其是在装配精密电子设备时，电阻必须经过老化处理，以提高其稳定性。用万用表测量电阻时要注意两点：一是测量时不能用双手同时捏住电阻和测试笔；二是用模拟表测量时，变换量程挡后要重新调零；用数字表测量小电阻时，应在测量结果中扣除表笔短接时的显示值。

二、电容器

电容器是一种储能元件，在电路中用于调谐、滤波、耦合、旁路等，具有阻止直流通过、允许交流通过的特征。常用的平行板电容器的容量表示式为 $C = \epsilon \frac{S}{d}$ 。

1. 电容器的分类

(1) 按其结构，可分为以下三种：

1) 固定电容器。电容器容量是固定不可调的，我们称之为固定电容器。

2) 半可变电容器（微调电容器）。电容器容量可在小范围内变化，其可变容量为十几至几十皮法（ pF ），最高达 100pF （以陶瓷为介质时），适用于整机调整后电容量不需经常改变的场合，常以空气、云母或陶瓷作为介质。

3) 可变电容器。电容器容量可在一定范围内连续变化。常有“单联”、“双联”之分，它们由若干片形状相同的金属片并接成一组定片和一组动片，动片可以通过转轴转动，以改变动片插入定片的面积，从而改变电容量。一般以空气作介质，也有用有机薄膜作介质的。

电容器在电路中的符号表示如图 1-4 所示。

(2) 按电容器介质材料，可分为以下几种：

1) 电解电容器。以铝、钽、铌、钛等金属氧化膜作介质的电容器，应用最广的是铝电解电容器。它容量大，体积小，耐压高（但耐压越高，体积也就越大），一般在 500V 以下，常用于交流旁路和滤波。缺点是容量误差大，且随频率而变动，绝缘电阻低。

电解电容有正、负极之分，一般电容器外壳上都标有“+”或“-”记号，如无标记则引线长的为“+”端，引线短的为“-”端，使用时必须注意不要接反，若接反，电解作用会反向进行，氧化膜很快变薄，漏电流急剧增加，如果所加的直流电压过大，则电容器很快发热，引起爆炸。

由于铝电解电容器具有不少缺点，在要求较高的地方常用钽、铌或钛电容器。它们比铝电解电容器的漏电流小，体积小，但成本高。

2) 云母电容器。以云母片作介质的电容器。其特点是高频性能稳定，损耗小，漏电流小，耐压高（几百伏至几千伏），但容量小（几十皮法至几万皮法）。

3) 瓷介电容器。以高介电常数、低损耗的陶瓷材料为介质，故其体积小，损耗小，温

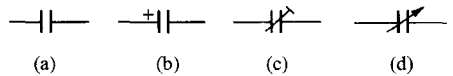


图 1-4 电容器的符号表示

(a) 固定电容；(b) 电解电容；(c) 半可变电容器；(d) 可变电容器

度系数小，可工作在超高频范围，但耐压较低（一般为 60 ~ 70V），容量较小（一般为 1 ~ 1000pF）。为克服容量小的缺点，现有采用了铁电陶瓷和独石电容器，它们的容量分别可达 680pF ~ 0.047 μ F 和 0.01 至几微法，但其温度系数大，损耗大，容量误差大。

4) 玻璃釉电容器。以玻璃釉作介质，它具有瓷介电容器的优点，且体积比同容量的瓷介电容器小。其容量范围为 4.7pF ~ 4 μ F。另外，其介电常数在很宽的频率范围内保持不变，还可应用在 125℃ 高温下。

5) 纸介电容器。纸介电容器的电极用铝箔或锡箔做成，绝缘介质是浸蜡的纸，相叠后卷成圆柱体，外包防潮物质，有时外壳采用密封的铁壳以提高防潮性。大容量的电容器常在铁壳里灌满电容器油或变压器油，以提高耐压强度，被称为油浸纸介电容器。

纸介电容器的优点是在一定体积内可以得到较大的电容量，且结构简单，价格低廉。但介质损耗大，稳定性不高，主要用于低频电路的旁路和隔直电容。其容量一般为 100pF ~ 10 μ F。

新发展的纸介电容器用蒸发的方法使金属附着于纸上作为电极，因此体积大大缩小，称为金属化纸介电容器，其性能与纸介电容器相仿。它有一个最大特点：被高电压击穿后，有自愈作用，即电压恢复正常后仍能工作。

6) 有机薄膜电容器。用聚苯乙烯、聚四氟乙烯或涤纶等有机薄膜代替纸介质做成的各种电容器。与纸介电容器相比，它的优点是体积小，耐压高，损耗小，绝缘电阻大，稳定性好，但温度系数大。

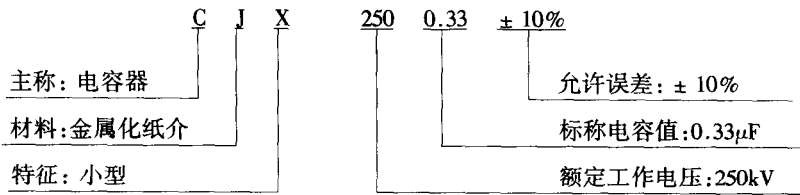
2. 电容器型号命名法

电容器的型号命名法见表 1-5。

表 1-5 电容器型号命名法

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		用字母表示特征		用字母或数字表示序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
C	电容器	C	瓷介	T	铁电	包括品种、尺寸代号、温度特征、直流工作电压、标称值、允许误差、标准代号等
		I	玻璃釉	W	微调	
		O	玻璃膜	J	金属化	
		Y	云母	X	小型	
		V	云母纸	S	独石	
		Z	纸介	D	低压	
		J	金属化纸介	M	密封	
		B	聚苯乙烯	Y	高压	
		F	聚四氟乙烯	C	穿心式	
		L	涤纶			
		S	聚碳酸酯			
		Q	漆脂			
		H	纸膜复合			
		D	铝电解			
		A	钽电解			
		G	金属电解			
N	铌电解					
T	钛电解					
M	压敏					
E	其他材料电解					

示例：CJX - 250 - 0.33 - ± 10% 电容器



3. 电容器的主要性能指标

(1) 电容量。电容量是指电容器加上电压后，贮存电荷的能力。常用单位是：法（F）、微法（ μF ）和皮法（pF）。皮法也称微微法。三者的关系为

$$1\text{pF} = 10^{-6}\mu\text{F} = 10^{-12}\text{F}$$

一般电容器上都直接写出其容量，也有用数字来标志容量的。如有的电容器上只标出“332”三位数值，左起两位数给出电容量的第一、二位数字，而第三位数字则表示附加上零的个数，以 pF 为单位，因此“332”即表示该电容器的电容量为 3300pF。

(2) 标称电容量。标称电容量是标志在电容器上的“名义”电容量。我国固定式电容器标称电容量系列为 E24、E12、E6。电解电容的标称容量系列为 E6（以 μF 为单位）。

(3) 允许误差。允许误差是实际电容量对于标称电容量的最大允许偏差范围。固定电容器的允许误差分 8 级，如表 1-6 所示。

表 1-6 电容器允许误差等级

级别	01	02	I	II	III	IV	V	VI
允许误差	±1%	±2%	±5%	±10%	±20%	+20% ~ -30%	+50% ~ -20%	+100% ~ -10%

(4) 额定工作电压。额定工作电压是电容器在规定的工作温度范围内，长期、可靠地工作所能承受的最高电压。常用固定式电容器的直流工作电压系列为：6.3、10、16、25、40、63、100、160、250V 和 400V。

(5) 绝缘电阻。绝缘电阻是加在其上的直流电压与通过它的漏电流的比值。绝缘电阻一般在 5000M Ω 以上，优质电容器可达 T Ω ($10^{12}\Omega$ ，称为太欧) 级。

(6) 介质损耗。理想的电容器应没有能量损耗。但实际上电容器在电场的作用下，总有一部分电能转换为热能，所损耗的能量称为电容器的损耗，它包括金属极板的损耗和介质损耗两部分。小功率电容器主要是介质损耗。

4. 电容器质量的简单测试

利用模拟万用表的欧姆挡可以测出电解电容器的优劣，辨别其漏电、容量衰减或失效的大致情况。具体方法是：选用“R \times 1k”或“R \times 100”挡，将黑表笔接电容器的正极，红表笔接电容器的负极，若表针摆动大，且返回慢，返回接近 ∞ ，说明该电容器正常，且电容量大；若表针摆动虽大，但返回时，表针显示的 Ω 值较小，说明该电容器漏电流较大；若表针摆动很大，接近于 0 Ω ，且不返回，说明该电容器已击穿；若表针不摆动，则说明该电容器已开路，失效。

该方法也适用于辨别其他类型的电容器。但如果电容器容量较小，应选择万用表的“R \times 10k”挡测量，另外，如果需要对电容器再一次测量时，必须将其放电后方能进行。

5. 选用电容器常识

(1) 技术要求不同的电路应选用不同类型的电容器, 谐振回路中要用介质损耗小的电容器, 如高频陶瓷电容器; 隔直、耦合电容可选用纸介、涤纶、电解等电容器; 电源滤波一般用电解电容器; 旁路可选用涤纶、纸介、陶瓷和电解电容器。

(2) 当现有的电容器和电路要求的容量或耐压不符时, 可采用串、并联的方法。要注意的是工作电压不同的电容器并联时, 耐压由最低的那只决定; 容量不同的电容器串联时, 容量最小的那只承受的电压最高。

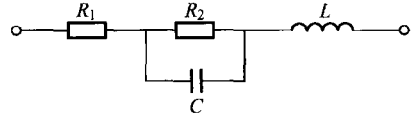


图 1-5 电容器的等效电路

(3) 选择电容器时必须考虑电路中的信号频率, 因为一个电容器可等效成一个 RLC 二端线性网络, 如图 1-5 所示。

不同类型的电容器, 其等效参数的差异很大。等效电感大的电容器 (如电解电容器) 不适合用于耦合、旁路高频信号; 等效电阻大的电容器不适合用于 Q 值要求高的振荡回路中。为满足从低频到高频滤波旁路的要求, 在实际电路中, 常将一个大量容的电解电容器与一个小容量的适合于高频的电容器并联使用。

(4) 电容器在装接前需进行测量, 并观察其漏电是否严重, 装接时要注意耐压是否满足要求, 电解电容器的正、负极不能接反。

三、电感器

电感器也是一种储能元件, 在电路中用于调谐、滤波、耦合等, 具有阻止交流通过、允许直流通过的特征。

电感器一般由线圈构成。为了增加电感量 L , 提高品质因数 Q 和减小体积, 通常在线圈中加入软磁性材料的磁芯。与电阻器、电容器不同, 多数电感器为非标准件, 一般根据电路的不同要求具体设计。

1. 电感器的分类

根据电感器的电感量是否可调, 电感器分为固定、可变和微调电感器三类。

可变电感器的电感量可利用磁芯在线圈内移动而在较大的范围内调节。它与固定电容器配合使用于谐振电路中, 起调谐作用。

微调电感器可以满足整机调试的需要和补偿电感器生产中的分散性, 调好后, 一般不再变动。

根据电感器的结构可分为单层线圈、多层线圈、带磁芯、铁芯和磁芯有间隙的电感器等几类。

除此之外, 还有一些小型电感器, 如平面电感器和集成电感器等, 可满足电子设备小型化的需要。

2. 电感器的主要性能指标

(1) 电感量 L 。电感量是指电感器通过变化电流时产生感应电动势的能力, 其大小与磁导率 μ 、线圈单位长度中的匝数 n 及体积 V 有关。当线圈的长度远大于直径时, 电感量

$$L = \mu n^2 V$$

电感量的常用单位为 H (亨利)、mH (毫亨)、 μ H (微亨)。

不同用途的电感器, 其电感量的允许误差不同, 如用于滤波电路和谐振电路的电感器,

其允许误差就小；而一般的耦合线圈、扼流圈等，其允许误差就大。

(2) 品质因数 Q 。品质因数反映电感器传输能量的效率。它等于线圈在某一频率时的感抗与其电阻的比值。 Q 值越大，传输能量的本领越大，即损耗越小。一般线圈的 Q 值在 50~300 之间。 Q 的计算公式如下

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

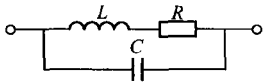


图 1-6 电感器的等效电路

(3) 额定电流。额定电流主要对高频电感器和大功率调谐电感器而言。通过电感器的电流超过额定值时，电感器将发热，严重时烧坏。

3. 选用电感器的常识

(1) 选择电感器时，首先应明确其使用频率范围，因为一个电感器可等效成一个 RLC 二端线性网络，如图 1-6 所示。铁芯线圈只能用于低频，一般铁氧体线圈、空芯线圈可用于高频；其次要弄清线圈的电感量和内阻。

(2) 由于电感器是磁感应元件，安装电路时要注意电感性元件之间的相对位置，一般应使相互靠近的电感线圈的轴线相互垂直，以尽量减少耦合。

第二节 半导体二极管、三极管的识别与简单测试

半导体二极管和三极管是组成分立元件电路的核心器件。二极管具有单向导电性，可用于整流、检波、稳压、混频电路中。三极管对信号具有放大作用和控制作用。它们的管壳上都印有规格和型号。其型号命名法见表 1-7。

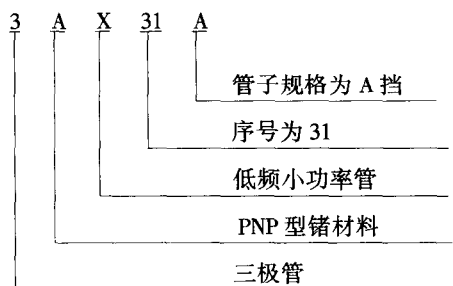
表 1-7 半导体器件型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
用数字表示器件的电极数		用字母表示器件的材料和极性		用字母表示器件的类别		用数字表示器件的序号	用字母表示器件的规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义	意义
2	二极管	A	N 型锗材料	P	普通管	反映了极限参数、直流参数和交流参数的差别	反映了承受反向击穿电压的程度。如规格号为 A、B、C、D……其中 A 承受的反向击穿电压最低，B 次之……
		B	P 型锗材料	V	微波管		
		C	N 型硅材料	W	稳压管		
		D	P 型硅材料	C	参量管		
3	三极管	A	PNP 型锗材料	Z	整流管		
		B	NPN 型锗材料	L	整流堆		
		C	PNP 型硅材料	S	隧道管		
		D	NPN 型硅材料	N	阻尼管		
		E	化合物材料	U	光电器件		
				K	开关管		
				X	低频小功率管 ($f_a < 3\text{MHz}$, $P_{CM} < 1\text{W}$)		
				G	高频小功率管 ($f_a \geq 3\text{MHz}$, $P_{CM} < 1\text{W}$)		

续表

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	第五部分
用数字表示器件的电极数		用字母表示器件的材料和极性		用字母表示器件的类别		用数字表示器件的序号	用字母表示器件的规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	意义	意义
				D	低频大功率管 ($f_a < 3\text{MHz}$, $P_{CM} \geq 1\text{W}$)		
				A	高频大功率管 ($f_a \geq 3\text{MHz}$, $P_{CM} \geq 1\text{W}$)		
				T	半导体闸流管		
				Y	体效应器件		
				B	雪崩管		
				J	阶跃恢复管		
				CS	场效应器件		
				BT	半导体特殊器件		
				FH	复合管		
				PIN	PIN管		
				JG	激光器件		

示例:



该管为 PNP 型低频小功率锗管。

一、半导体二极管

1. 普通二极管的识别与简单测试

普通二极管一般有玻璃封装和塑料封装两种，它们的外壳上均印有型号和标记。标记箭头所指方向为阴极。有的二极管上只有一个色点，有色点的一端为阳极。

若遇到型号标记不清时，可以借助万用表作简单判别。我们知道，数字万用表正端 (+) 红表笔接表内电池的正极，而负端 (-) 黑表笔接表内电池的负极（模拟万用表与此相反）。根据 PN 结正向导通电阻值小、反向截止电阻值大的原理来简单确定二极管的好坏和极性。具体做法如下：

数字万用表用二极管挡测量：将红、黑两表笔接触二极管的两端，记下读数后交换表笔，若两次读数一次为“1.”、一次为几百，则表明二极管是好的，读数为几百的那次测量中红表笔所接的是二极管的阳极，读数为二极管的正向压降；若两次读数均为几百或几千，则表明该二极管已失去单向导电性；若两次读数均为“1.”，则说明该二极管已开路。

模拟万用表用欧姆挡测量：万用表置“ $R \times 100$ ”或“ $R \times 1k$ ”处，将红、黑两表笔接触二极管两端，表头有一指示；将红、黑两表笔反过来再次接触二极管两端，表头又将有一指

示。若两次指示的阻值相差很大，说明该二极管单向导电性好，并且阻值大（几百千欧以上）的那次红笔所接的是二极管的阳极；若两次指示的阻值相差很小，说明该二极管已失去单向导电性；若两次指示的阻值均很大，则说明该二极管已开路。

二极管所用半导体材料分为锗和硅，硅管的正向导通电压为 $0.6 \sim 0.7\text{V}$ ，锗管的正向导通电压为 $0.1 \sim 0.3\text{V}$ ，只要测出二极管的正向导通压降，即可判定该二极管的材料。

2. 特殊二极管的识别与简单测试

特殊二极管的种类较多，有发光二极管（LED）、稳压二极管、光电二极管、变容二极管等，符号如图 1-7 所示，在此我们只介绍两种常用的特殊二极管。

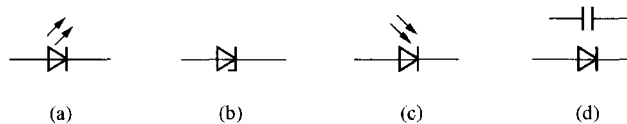


图 1-7 特殊二极管符号

(a) 发光二极管；(b) 稳压二极管；(c) 光电二极管；(d) 变容二极管

(1) 发光二极管（LED）。发光二极管通常是用砷化镓、磷化镓等材料制成的一种器件。在数字电路实验中，常用作逻辑显示器。发光二极管正向工作电压在 $1.5 \sim 2.5\text{V}$ ，允许通过的电流为 $2 \sim 30\text{mA}$ ，电流的大小决定发光的亮度。电压、电流的大小依器件型号不同而稍有差异。若与 TTL 组件相连接使用时，一般需串接一个 330Ω 的限流电阻，以防止器件损坏。发光二极管出厂时，阳极的引脚较长，阴极的引脚较短。

(2) 稳压二极管（见图 1-8）。稳压二极管有玻璃、塑料封装和金属外壳封装两种。前者外形与普通二极管相似，如 2CW7；后者外形与小功率三极管相似，但内部为双稳压二极管，其本身具有温度补偿作用，如 2CW231。

稳压二极管在电路中是反向连接的，在使用时要串接限流电阻，它能使稳压管所接电路两端的电压稳定在一个规定的电压范围内，我们称为稳压值。确定稳压二极管稳压值的方法有三种：①根据稳压管的型号查阅手册得知；②在晶体管测试仪上测出其伏安性曲线获得；③通过一简单的实验电路测得，实验电路如图 1-9 所示。我们改变直流电源电压 U ，使之由零开始缓慢增加，同时稳压管两端用直流电压表监视。当 U 增加到一定值，稳压管反向

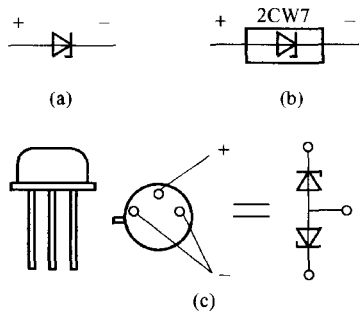


图 1-8 稳压二极管

(a) 符号；(b) 塑料封装；
(c) 金属外壳封装

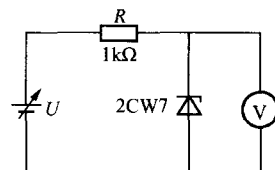


图 1-9 测试稳压二极管
稳压值的实验电路

击穿，直流电压表指示某电压值。这时再增加直流电源电压 U ，稳压管两端电压基本上不再变化，电压表所指示的电压值就是该稳压管的稳压值。

二、半导体三极管

1. 三极管的分类

半导体三极管又称双极型晶体管，其种类非常多，按结构工艺分有 PNP 型和 NPN 型，按制造材料分，有锗管和硅管，按工作频率分，有低频管、高频管和微波管，按允许耗散的功率分，有小功率管和大功率管，一般小功率管的额定功耗在 1W 以下，而大功率管的额定功耗可达几十瓦以上。

2. 三极管的识别与简单测试

三极管主要有 NPN 型和 PNP 型两大类，可以根据命名法从三极管管壳上的符号辨别出它的型号和类型。例如，三极管管壳上印的是 3DG6，表明它是 NPN 型高频小功率硅三极管。如印的是 3AX31，则表明它是 PNP 型低频小功率锗三极管。同时，我们还可以根据管壳上色点的颜色来判断出管子的电流放大系数 β 值的大致范围。以 3DG6 为例，若色点为黄色，表示 β 值在 30~60 之间；绿色表示 β 值在 50~110 之间；蓝色表示 β 值在 90~160 之间；白色表示 β 值在 140~200 之间。但有的厂家并非按此规定，使用时要注意。

当从管壳上知道三极管的类型和型号以及 β 值后，还应进一步辨别它们的三个电极。

对于小功率三极管来说，有金属外壳封装和塑料外壳封装两种。

金属外壳封装的三极管如果管壳上带有定位销，那么，将管底朝上，从定位销起，按顺时针方向，三根电极依次为 e、b、c。如果管壳上无定位销，且三根电极在半圆内，将有三根电极的半圆置于上方，按顺时针方向，三根电极依次为 e、b、c，如图 1-10 (a) 所示。

塑料外壳封装的三极管，面对平面，三根电极置于下方，从左到右，三根电极依次为 e、b、c，如图 1-10 (b) 所示。

对于大功率三极管，外形一般分为 F 型和 G 型两种，如图 1-11 所示。F 型管从外形上只能看到两根电极。将管脚朝上，两根电极置于左侧，则上为 e，下为 b，底座为 c。G 型管的三根电极一般在管壳的顶部，将管脚朝下，三根电极置于左方，从最下电极起，顺时针方向，依次为 e、b、c。

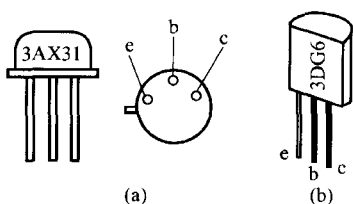


图 1-10 半导体三极管电极的识别
(a) 金属外壳封装；(b) 塑料外壳封装

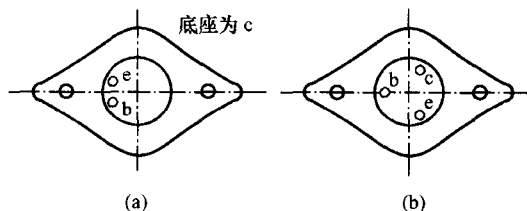


图 1-11 F 型和 G 型大功率管管脚的识别
(a) F 型大功率管；(b) G 型大功率管

三极管的管脚必须正确确认，否则接入电路后不但不能正常工作，还可能烧坏管子。

利用万用表即可对三极管进行简单测试。首先根据上述管脚识别方法确认 e、b、c 三个管脚，再根据 b、e 间的电压降的大小和极性确定三极管的材料和类型：b、e 导通时，若