

普通高等教育



“十五”

规划教材

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

模拟信号处理

李启炎 李维波 编著



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

TN911.71

5

普通高等教育



“十五”

规划教材

PUTONG
GAODENG JIAOYU
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

模拟信号处理

编著 李启炎 李维波
主审 丁天怀



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十五”规划教材。

本书内容大体上可分为三部分。第一部分（第一章至第八章）系统介绍模拟信号处理单元电路的分析、设计、构建及参数选取方法，包括基本概念、典型电路的分析技巧、典型芯片的功能特性介绍与使用方法等重要内容；第二部分（第九章和第十章）系统介绍 Pspice 和 MATLAB 两种计算机仿真软件的使用方法和设计技巧，包括它们的主要分析功能、可视建模仿真功能和文字处理功能、重要工具箱以及模块库、电路元器件的选取方法、模块电路的构建与设计技术、仿真参数的设置方法，并基于第一部分的某些典型电路，运用 Pspice 和 MATLAB 这两种仿真软件，进行仿真分析和介绍，力求使讲述的内容紧密联系实际且具有较强的实用性。第三部分（第十一章）简单介绍提高测控设备和装置的抗干扰性能的基本概念和重要措施。

本书可作为工科学生学习模拟信号处理的教材，也可供相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟信号处理/李启炎, 李维波编著. —北京: 中国电力出版社, 2005

普通高等教育“十五”规划教材

ISBN 7-5083-3554-6

I. 模... II. ①李...②李... III. 模拟信号-信号处理-高等学校-教材 IV. TN911.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 092200 号

中国电力出版社出版、发行

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

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 9 月第一版 2005 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 22.125 印张 514 千字

印数 0001—3000 册 定价 33.00 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)

序

由中国电力教育协会组织的普通高等教育“十五”规划教材，经过各方的努力与协作，现在陆续出版发行了。这些教材既是有关高等院校教学改革成果的体现，也是各位专家教授丰富的教学经验的结晶。这些教材的出版，必将对培养和造就我国 21 世纪高级专门人才发挥十分重要的作用。

自 1978 年以来，原水利电力部、原能源部、原电力工业部相继规划了一至四轮统编教材，共计出版了各类教材 1000 余种。这些教材在改革开放以来的社会主义经济建设中，为深化教育教学改革，全面推进素质教育，为培养一批批优秀的专业人才，提供了重要保证。原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会在此间的教材建设工作中，发挥了极其重要的历史性作用。

特别需要指出的是，“九五”期间出版的很多高等学校教材，经过多年的教学实践检验，现在已经成为广泛使用的精品教材。这批教材的出版，对于高等教育教材建设起到了很好的指导和推动作用。同时，我们也应该看到，现用教材中有不少内容陈旧，未能反映当前科技发展的最新成果，不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要，而且一些课程的教材可供选择的品种太少。此外，随着电力体制的改革和电力工业的快速发展，对于高级专门人才的需求格局和素质要求也发生了很大变化，新的学科门类也在不断发展。所有这些，都要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进，开拓创新，要求我们尽快出版一批内容新、体系新、方法新、手段新，在内容质量上、出版质量上有突破的高水平教材。

根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神，“十五”期间普通高等教育教材建设的工作任务就是通过多层次的教材建设，逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系。为此，中国电力教育协会在充分发挥各有关高校学科优势的基础上，组织制订了反映电力行业特点的“十五”教材规划。“十五”规划教材包括修订教材和新编教材。对于原能源部、电力工业部组织原全国高等学校电力、热动、水电类专业教学指导委员会编写出版的第一至四轮全国统编教材、“九五”国家重点教材和其他已出版的各类教材，根据教学需要进行修订。对于新编教材，要求体现电力及相关行业发展对人才素质的要求，反映相关专业科技发展的最新成就和教学内容、课程体系的改革成果，在教材内容和编写体系的选择上不仅要有本学科（专业）的特色，而且注意体现素质教育和创新能力与实践能力的培养，为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。考虑到各校办学特色和培养目标不同，同一门课程可以有多本教材供选择使用。上述教材经中国电力教育协会电气工程学科教学委员会、能源动力工程学科教学委员会、电力经济管理学科教学委员会的有关专家评审，推

荐作为高等学校教材。

在“十五”教材规划的组织实施过程中，得到了教育部、国家经贸委、国家电力公司、中国电力企业联合会、有关高等院校和广大教师的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务，不可能一蹴而就，需要不断完善。因此，在教材的使用过程中，请大家随时提出宝贵的意见和建议，以便今后修订或增补。（联系方式：100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416237）

中国电力教育协会

前言

模拟信号在各种生产过程及测控现场都会遇到,并且常常非常微弱。而一些重要的测控装置和二次仪表,正是基于对这些微弱模拟信号的合适拾取、准确处理和灵活变换处理,获得最直接、最易处理的信号,方可完成如测量、控制和显示等不同功能。而且由于这些测控设备和装置,大多工作在环境较为恶劣的生产环境中,如何拾取、处理和变换模拟信号,是关系到这些测控设备能否正常工作的一个重要问题。要较好地解决这个问题,就需要了解有关模拟信号的拾取、处理和变换的基本知识,掌握典型模拟信号变换和处理电路的设计技术、构造依据和分析方法,熟悉完成模拟信号的处理和变换的典型器件的工作性能、特点和使用技巧,这也正是作者编写本书的目的。

本书力求从模拟信号处理的应用角度进行编写,即更多的不是关心各个单元电路的内部工作细节,而是将它们作为电路的一个基本器件,从外部特性去分析和介绍。因此,本书既介绍了一些常用电子元器件、典型模拟信号处理变换电路、芯片的选用、设计和使用方法以及重要的抗干扰措施;也讲解了一些基本电工概念,纠正了一些不正确的观点;还讲述了典型电路的计算机仿真技术,用 Pspice 和 MATLAB 两种重要的计算机仿真软件,对电路仿真方法、仿真电路的构建技巧、仿真参数的选择依据等重要内容进行分析。使初学者能够快速完成各个单元电路的分析、仿真和筛选,包括电气参数的优选和整个功能电路的设计、配合以及全部电路的连接与调试。

本书第二章至第七章和第十一章由李启炎编写,第一章、第二章第5节、第三章第4节、第四章第5节、第五章第3节、第六章的第7节和第8节、第七章的第7、8和9节、第八章至第十章由李维波编写。全书由李维波统稿。书稿经清华大学丁天怀教授审阅,并提出了许多宝贵的修改意见。本书分别得到国家自然科学基金(批准号:60274037)和华中科技大学优秀博士论文基金资助,还得到了中国电力出版社的大力支持。在此对在编写本书中给予帮助的同志、所引参考书目的作者、上述基金和中国电力出版社,一并表示最诚挚的谢意和深深的敬意!

由于作者水平及条件有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳切希望读者和同行给予批评指正。

编 者

目 录

序

前言

第一章 预备知识	1
§ 1-1 基本电子元件	1
§ 1-2 重要术语	13
第二章 集成运算放大器基础知识	16
§ 2-1 概述	16
§ 2-2 理想运放及其等效模型	18
§ 2-3 运放的特性参数与分类	28
§ 2-4 运放稳定工作的条件和相位补偿	34
§ 2-5 运放使用要点	43
习题与思考题	45
第三章 模拟信号线性放大电路	47
§ 3-1 运放的基本放大电路	47
§ 3-2 基本放大电路的误差分析与计算	58
§ 3-3 仪用放大器	63
§ 3-4 斩波稳零放大器	66
§ 3-5 典型电路分析举例	73
习题与思考题	79
第四章 模拟信号运算器	82
§ 4-1 模拟加法器和减法器	82
§ 4-2 模拟积分器和微分器	84
§ 4-3 对数和指数运算器	93
§ 4-4 模拟乘法器和除法器	96
§ 4-5 典型例题讲析	98
习题与思考题	110
第五章 模拟信号变换器	112
§ 5-1 模拟信号线性变换	112
§ 5-2 模拟信号非线性变换	129
§ 5-3 典型应用电路举例	143
习题与思考题	147
第六章 模拟信号有源滤波器	150
§ 6-1 概述	150

§ 6-2 有源滤波器的特性	153
§ 6-3 二阶有源滤波器电路	158
§ 6-4 低通滤波器	160
§ 6-5 高通滤波器	166
§ 6-6 移相滤波器	171
§ 6-7 八阶开关电容滤波器 MAX29X 介绍	175
§ 6-8 实用滤波器分析举例	177
习题与思考题	180
第七章 模拟电压比较器	181
§ 7-1 模拟电压比较器及其特性	181
§ 7-2 过零电压比较器	182
§ 7-3 电平检测器	188
§ 7-4 回差电压比较器	190
§ 7-5 窗口电压比较器	194
§ 7-6 动态校零型电压比较器	197
§ 7-7 典型电压比较器芯片	198
§ 7-8 例题讲析	202
§ 7-9 集成函数发生器 ICL8038 简介	203
习题与思考题	205
第八章 模拟电路用电源设计	207
§ 8-1 电源的分类与基本设计步骤	207
§ 8-2 稳压电源的重要技术指标	208
§ 8-3 整流滤波电路设计	210
§ 8-4 稳压电路设计	219
习题与思考题	234
第九章 模拟信号的 Pspice 仿真	236
§ 9-1 Pspice 软件快速入门	236
§ 9-2 Pspice 软件在典型模拟电路设计中的应用	254
§ 9-3 Pspice 软件在典型模拟信号处理中的应用	268
§ 9-4 应用举例	275
习题与思考题	281
第十章 模拟信号的 MATLAB 仿真	283
§ 10-1 MATLAB 软件快速入门	283
§ 10-2 MATLAB 软件在典型电路仿真中的应用	293
§ 10-3 MATLAB 软件在典型模拟信号处理与控制中的应用	314
§ 10-4 应用举例	321
习题与思考题	328
第十一章 抗干扰设计	329

§ 11-1 干扰的来源与分类	329
§ 11-2 干扰的传播途径	332
§ 11-3 抗干扰措施	334
附录 巴特沃斯和切比雪夫低通滤波器设计数据表	342
参考文献	344

第一章 预 备 知 识

对初学者来说,要快速学习好电子技术,最重要的还是要实践,而要顺利进行电子技术的实践,首先就是要面对电子元器件和一些基本电工概念,它们往往是初学者不可回避但是又不易掌握的基础知识。所以本书以电子元器件和一些基本电工概念作为开篇,让初学者能够结合实物图片,认识它们,了解它们的基本特点和作用,记住它们的符号,理解它们的种类(包括它们的标称值),为深入研究它们在各个单元电路的工作原理和作用以及关键信号在其中的变化规律奠定理论基础。

§1-1 基本电子元件

一、电阻器

1. 简介

电阻在电路中用“ R ”加数字表示,如: $R7$ 表示编号为7的电阻。电阻在电路中的主要作用为分流、限流、分压、偏置等。

衡量电阻器的两个最基本的参数是阻值和功率。阻值用来表示电阻器对电流阻碍作用的大小,用 Ω 表示。除基本单位外,还有 $k\Omega$ 和 $M\Omega$,其换算方法是: $1M\Omega = 1000k\Omega = 1000000\Omega$ 。功率用来表示电阻器能承受最大电流的能力,用瓦特表示,有 $1/16W$, $1/8W$, $1/4W$, $1/2W$, $1W$, $2W$ 等多种,超过这一最大值,电阻器就会烧坏。

(1) 根据电阻器的制作材料不同分为:

1) 水泥电阻,大电流用电阻,制作成本低,功率大,热噪声大,阻值不够精确,无寄生电感,工作不稳定;

2) 碳膜电阻,一般用电阻;

3) 金属膜电阻,体积小,工作稳定,噪声小,精度高;

4) 线绕电阻,制作成本高,功率大,热噪声小,阻值精确,有寄生电感,工作稳定。

(2) 根据其阻值是否可变可分为:

固定电阻、微调电阻、可调电阻、电位器等。

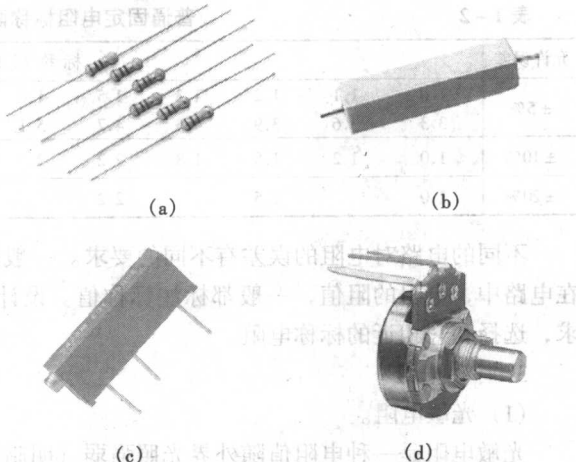


图 1-1 电阻的常见实物图

(a) 碳膜电阻; (b) 水泥电阻;

(c) 10 圈可变电阻; (d) 3/4 圈可变电阻

图 1-1 表示以上电阻的常见实物

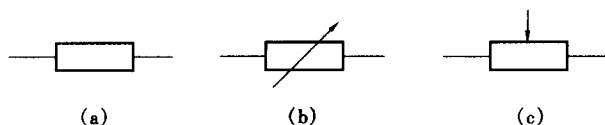


图 1-2 电阻的常见电路图形符号

(a) 固定阻值; (b) 可变电阻; (c) 电位器

图, 图 1-2 表示电阻的常见电路图形符号。电位器, 电子设备上的音量电位器就是可变电阻。一般认为电位器都是可以被手动调节的, 而可变电阻一般都较小, 装在电路板上不经常调节。可变电阻有 3 个引

脚, 其中两个引脚之间的电阻值固定, 并将该电阻值称为这个可变电阻的阻值。第 3 个引脚与其他任两个引脚间的电阻值可以随着轴臂的旋转而改变。这样, 可以调节电路中的电压或电流, 达到调节的效果。其外形如图 1-1 (c) 和图 1-1 (d) 所示, 其电路图形符号如图 1-2 (c) 所示。

2. 电阻的标称值和允许误差

大多数电阻上, 都标有电阻的数值, 这就是电阻的标称阻值。电阻的标称阻值, 往往和它的实际阻值不完全相符。有的阻值大一些, 有的阻值小一些。电阻的实际阻值和标称阻值的偏差除以标称阻值所得的百分数, 叫做电阻的误差。表 1-1 是常用电阻允许误差的等级。

表 1-1 常用电阻允许误差的等级

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

国家规定出一系列的阻值作为产品的标准。不同误差等级的电阻有不同数目的标称值。误差越小的电阻, 标称值越多。表 1-2 是普通电阻的标称阻值系列。表中的标称值可以乘以 10、100、1000 (或 1k)、1000000 (或 1M)、10M 等。比如 1.0 这个标称值, 就对应有 1 Ω 、10 Ω 、100 Ω 、1000 Ω (即 1k Ω)、10k Ω 、100k Ω 、1000k Ω (即 1M Ω)、10M Ω 。

表 1-2 普通固定电阻标称阻值系列

允许误差	标 称 阻 值 系 列											
$\pm 5\%$	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
$\pm 10\%$	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
$\pm 20\%$	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8						

不同的电路对电阻的误差有不同的要求。一般电子电路, 采用 I 级或者 II 级就可以了。在电路中, 电阻的阻值, 一般都标注标称值。设计结果如果不是标称值, 可以根据电路要求, 选择和它相近的标称电阻。

3. 特种电阻

(1) 光敏电阻。

光敏电阻是一种电阻值随外界光照强弱 (明暗) 变化而变化的元件, 光越强阻值越小, 光越弱阻值越大, 其实物图如图 1-3 所示。如果把光敏电阻的两个引脚接在万用表的表笔上, 用指针式万用表的 $R \times 1k$ 档测量在不同的光照下光敏电阻的阻值: 将光敏电阻从较暗的抽屉里移到阳光或灯光下, 万用表读数将会发生变化。在完全黑暗处, 光敏电阻的阻值可

达几兆欧以上(万用表指示电阻为无穷大,即指针不动),而在较强光线下,阻值可降到几千欧甚至 $1\text{k}\Omega$ 以下。

利用这一特性,可以制作各种光控的小电路。事实上,街边的路灯大多是用光控开关自动控制的,其中一个重要的元器件就是光敏电阻(或者是光敏三极管,它是一种功能相似的带放大作用的半导体元件)。光敏电阻是在陶瓷基座上沉积一层硫化镉(CdS)膜后制成的,实际上也是一种半导体元件。声控楼道灯在白天不会点亮,也是因为光敏电阻在起作用。我们可以用它制作电子报晓鸡,清晨天亮时喔喔叫。

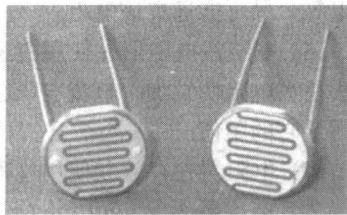


图 1-3 典型光敏电阻实物图

(2) 热敏电阻。

热敏电阻是一个特殊的半导体器件,它的电阻值随着表面温度的变化而变化。它原本是为了使电子设备在不同的环境温度下正常工作而使用的,叫做温度补偿。新型的电脑主板都有 CPU 测温、超温报警功能,就是利用了热敏电阻。热敏电阻的实物图如图 1-4 所示。

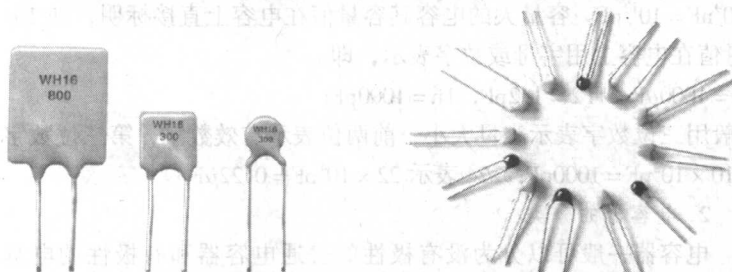


图 1-4 典型热敏电阻实物图

4. 选择电阻器的

基本方法

选择电阻器的基本方法为:

(1) 熟悉电路,掌握电路对电阻元件的技术要求;

(2) 优先选用通用电阻器的标称值系列;

列;

- (3) 选用电阻器的额定功率必须大于实际承受功率的两倍(特殊场合还需更多倍数);
- (4) 在高增益前置放大器电路中,应选用噪声、电动势小的电阻器;
- (5) 根据电路工作频率,正确选择电阻器的种类;
- (6) 根据电路对温度稳定性的要求,选择温度系数不同的电阻器;
- (7) 根据安装位置、工作环境等选用电阻器。

5. 电阻器的使用常识

(1) 阻值是否与标称值相符。

(2) 额定功率是否比承受功率大 1 倍以上。

(3) 电阻器在安装前,应将引线刮光镀锡,以保证焊接可靠,不产生虚焊、假焊。对于高增益前置放大电路,更应注意焊接质量,否则会引起噪声的增加。在高频电路中,电阻器的引线不宜过长,以减小分布参数对电路的影响;小型电阻器的引线不应剪得过短,焊接时应用尖嘴钳或镊子夹住引线根部,以免焊接时,热量传入电阻内部,使电阻器变值。

(4) 装配电阻器材时,应使它的标志部分向上,以便在调试和维修中查对。

(5) 额定功率在 10W 以上的线绕电阻器, 安装时必须焊接在特制的支架上, 同时周围应留出一定的散热空间。还要注意将其它元件 (特别是对温度敏感的元件, 如晶体管、热敏电阻等) 尽可能远离该电阻。

(6) 非绕线电阻器在使用前经过老化处理, 可以提高它的工作稳定性。老化处理的具体方法是在电阻两端加一直流电压, 使电阻器承受的功率为额定功率的 1.5 倍, 加电 5min 后, 再测量它的阻值。

(7) 电阻器在存放和使用过程中, 都要保持漆膜的完整。

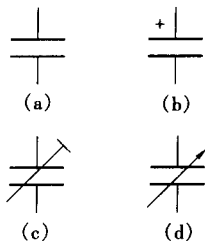
二、电容器

1. 简介

电容在电路中一般用 “C” 加数字表示 (如 C18 表示编号为 18 的电容)。电容是由两片金属膜紧靠, 中间用绝缘材料隔开而组成的元件。电容的特性主要是隔直流通交流。电容容量的大小就是表示能贮存电能的大小, 电容对交流信号的阻碍作用称为容抗, 它与交流信号的频率和电容量有关。容抗 $X_C = 1/(2\pi fC)$, f 表示交流信号的频率, C 表示电容容量。电容的基本单位用 F 表示, 其它单位还有: mF (毫法)、 μF (微法)、nF (纳法)、pF (皮法)。其中: $1\text{F} = 10^3\text{mF} = 10^6\mu\text{F} = 10^9\text{nF} = 10^{12}\text{pF}$ 。容量大的电容其容量值在电容上直接标明, 如 $10\mu\text{F}/16\text{V}$ 。容量小的电容其容量值在电容上用字母或数字表示, 即

(1) 字母表示法: $1\text{m} = 1000\mu\text{F}$, $1\text{P} = 1.2\text{pF}$, $1\text{n} = 1000\text{pF}$;

(2) 数字表示法: 一般用三位数字表示容量大小, 前两位表示有效数字, 第三位数字是 10 的倍率。如: 102 表示 $10 \times 10^2\text{pF} = 1000\text{pF}$, 224 表示 $22 \times 10^4\text{pF} = 0.22\mu\text{F}$ 。



2. 电容器的分类

电容器一般可以分为没有极性的普通电容器和有极性的电解电容。普通电容器分为固定电容器和可调电容器 (包括微调电容器和可变电容器)。所谓固定电容器, 指一经制成后, 其电容量不能再改变的电容器, 反之, 就是可调电容器。电容的电路图形符号如图 1-5 所示。

电容一般按电介质来分类, 主要有:

(1) 纸介电容器, 容积比率大, 工作电场强度高, 绝缘不良, 可用于直流或脉动电路。

(2) 涤纶电容器, 电参数随温度变化较大, 可用于直流和脉动电路。

(3) 聚苯乙烯电容器, 滤波器、振荡器用, 温度系数小, 漏电流小。

(4) 聚丙烯电容器, 滤波器、振荡器用, 温度系数小, 漏电流小。

(5) 聚四氟乙烯电容器, 滤波器、振荡器用, 温度系数小, 漏电流小。

(6) 聚酰亚胺薄膜电容器, 滤波器、振荡器用, 温度系数小, 漏电流小。

(7) 聚碳酸酯薄膜电容器, 滤波器、振荡器用, 温度系数小, 漏电流小。

(8) 漆膜电容器, 电容量与频率特性好, 在 100 ~ 1000Hz 范围内容量几乎没有什么变

图 1-5 电容的常见电路图形符号

(a) 固定电容器 (无极性); (b) 固定电容器 (有极性); (c) 微调电容; (d) 可调电容

化, 常用在低电压、大容量、小体积、高可靠的电子设备中。

(9) 云母电容器, 具有优良的电气特性, 绝缘强度高, 损耗小, 而且温度、频率特性温稳定, 不易老化, 电容精度容易达到 $\pm 1\% \sim \pm 5\%$, 甚至更高, 常用于高频电路中, 并可做成标准电容器; 独石云母电容器具有体积小、电容量大、性能稳定、电感小和高频性能好等特点; 云母电容器的耐热性能好, 但抗潮湿性能差。

(10) 瓷介电容器, 高频滤波用, 温度系数大。

(11) 玻璃釉电容器, 容量对温度的稳定性及频率的稳定性比一般瓷介电容器强, 比云母电容器差, 但是耐潮湿, 抗振性能好, 可用于海上环境使用。

3. 电容的标称值和允许误差

电容器上标有的电容数是电容器的标称容量。电容器的标称容量和它的实际容量会有误差。常用固定电容允许误差的等级见表 1-3。常用固定电容的标称容量系列见表 1-4。

表 1-3 常用固定电容允许误差的等级

允许误差	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	(+20% - 30%)	(+50% - 20%)	(+100% - 10%)
级 别	02	I	II	III	IV	V	VI

表 1-4 常用固定电容的标称容量系列

电容类别	允许误差	容量范围	标称容量系列
纸介电容、金属化纸介电容、 纸膜介质电容、有机薄膜介质 电容	$\pm 5\%$ $\pm 10\%$ $\pm 20\%$	100pF ~ 1 μ F 1 μ F ~ 100 μ F	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8 1 2 4 6 8 10 15 20 30 50 60 80 100
高频有机薄膜介质电容、瓷 介电容、玻璃釉电容、云母电 容	$\pm 5\%$ $\pm 10\%$	容量单位 μ F 容量单位 μ F	1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 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 1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
铝、钽、铌、钽电解电容	$\pm 20\%$ $\pm 10\%$ $\pm 20\%$ +50/-20% +100/-10%	容量单位 μ F 容量单位 μ F 倍率为 $10^1 - 10^4$	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8 1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8 容量单位 μ F

4. 典型电容介绍

(1) 电解电容器。

电解电容器一般有正、负极之分, 即具有极性, 因此在电路中使用时正、负极不能接错。它一般用于低频, 容量大, 漏电流大, 应该与瓷片电容并联使用。现在已经可以制造无极性的或用于交流电路的电解电容器, 称为双极性电解电容或无极性电解电容。在外加电压的作用下, 由于某种原因而引起局部损坏的电容, 具有自行修补的作用, 这种现象叫做电解电容的自愈。

电解电容一般只能在 $-20^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$ 的范围内使用。特性受温度、频率的影响很大。一般经常使用的都是铝电解电容。铝电解电容的型号一般是 CDXX, 容量、耐压、正负极都标记在外壳上。有时也用引线的长短来表示, 长线为正, 短线为负。铝电解电容器的损耗较



图 1-6 电解电容器和钽电解电容的实物图

(a) 电解电容器; (b) 钽电解电容

大, 温度、频率特性差, 限制了在交流电路中的应用。电解电容器的实物如图 1-6 (a) 所示。

(2) 钽电解电容器。

钽电解电容是用金属钽作电极、氧化钽作介质的电容器。特点是: 漏电流小, 化学稳定性高, 额定耐压高, 耐高温性能好, 机械强度高, 体积小。

常用 CA 标志, 其容量从 $0.47\mu\text{F}$ 到 $1000\mu\text{F}$, 额定耐压主要有 6.3V、10V、16V、63V 几种。性能优于铝电解电容, 但价格比较贵。其他的电解电容还有铌电解电容、钛电解电容、钽-铌电解电容, 性能更优, 体积更小。钽电解电容的实物如图 1-6 (b) 所示。图 1-7 表示常见塑料电容的实物图。

(3) 微型电容器。

1) 片状陶瓷电容器: 即表贴电容器, 高频滤波用, 温度系数大。容量范围为 $1\text{pF} \sim 4700\text{pF}$, 耐压为 25V、50V。封装安装尺寸和表贴电阻一样。

2) 片状钽电容器: 体积小、容量大。焊接时温度限制在 280°C 以下, 时间小于 10S。其容量范围为 $0.1\mu\text{F} \sim 100\mu\text{F}$, 直流工作电压为 4~50V, 常用的耐压为 16V、35V 等。

3) 双电层电解电容: 介于电池和电容之间, 具有超大容量, 容量范围为 $0.1 \sim 6.8\text{F}$, 被称为超级电容器。一般只能用于直流或低频条件下, 直流耐压为 5V, 经常作为储能元件使用。

4) 半导体电容器。

(4) 微调电容器和可变电容器。

微调电容器也叫半可调电容器, 其容量在 $5 \sim 45\text{pF}$ 之间。其种类很多, 常见的有下列几种。

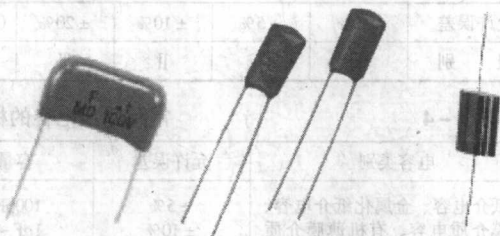


图 1-7 常见塑料电容器的实物图

1) 瓷介微调电容器: 特点是耐磨、寿命长, 它的实物如图 1-8 所示。

2) 管型微调电容器: 又称为拉线微调电容器, 一次性使用, 常用于收音机。

3) 云母微调电容器: 高频用, 温度系数小, 体积小, 常用于收音机中。

4) 筒型微调电容器: 结构复杂, 精度高。

5) 薄膜介质微调电容器: 和云母微调电容器结构相同, 只是介质不同, 体积更小, 有双联产品。

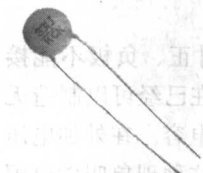


图 1-8 瓷片电容器的常见实物图

6) 短波专用微调电容器: 专门用于收音机的短波频段, 变化范围小, 只有 2.2pF , 但寿命长, 为 10000 次以上。

三、晶体二极管

1. 简介

晶体二极管在电路中常用“VD”加数字表示, 为了与三极管相区别, 常用“VD”加数字表示, 如: VD3 表示编号为 3 的二极管。二极管的主要特性是单向导电性, 也就是在正向电压的作用下, 导通电阻很小; 而在反向电压作用下导通电阻极大或无穷大。正因为二极管具有上述特性, 电路中常把它用在整流、开关、隔离、稳压、极性保护、编码控制、调频调制和静噪等功能电路中。

晶体二极管按作用可分为: 整流二极管 (如 1N4004)、隔离二极管 (如 1N4148)、肖特基二极管 (如 BAT85)、发光二极管、稳压二极管等。图 1-9

表示晶体二极管的常见电路图形符号形式, 图 1-10 表示检波和整流二极管的常见实物图。

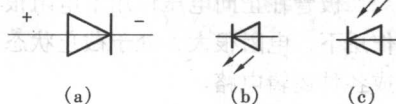


图 1-9 晶体二极管的
常见电路图形符号

(a) 检波和整流二极管; (b) 发光
二极管; (c) 光电二极管

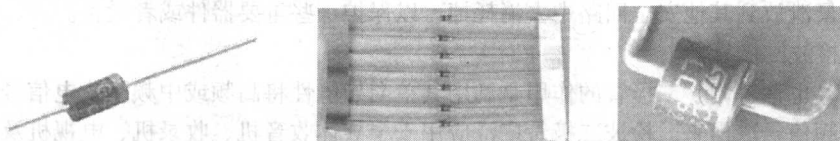


图 1-10 晶体二极管的几种典型实物图

2. 识别方法

二极管的识别很简单, 小功率二极管的 N 极 (负极), 在二极管外表大多用一种色圈标出来, 有些二极管用二极管专用符号来表示 P 极 (正极) 或 N 极 (负极), 也有采用符号标志为“P”、“N”来确定二极管极性的。发光二极管的正负极可从引脚长短来识别, 长脚为正, 短脚为负。用数字式万用表的二极管测试档去测二极管时, 红表笔接二极管的正极, 黑表笔接二极管的负极, 此时测得的值是二极管的正向压降值, 这与指针式万用表的表笔接法刚好相反, 此时测得的值是正向导通的电阻值。

3. 二极管的作用

(1) 整流二极管。

利用二极管单向导电性, 可以把方向交替变化的交流电变换成单一方向的脉动直流电。常用的整流二极管, 除有硅管和锗管之分外, 还可分为高频整流二极管、低频整流二极管, 中、小功率整流二极管及大功率整流二极管。整流二极管有金属封装、塑料封装、玻璃封装及表面封装等多种形式。常用的国产低频 (普通) 整流二极管有 2CP1~4 系列、2CZ11~13 系列、2DP3~5 系列、2CZ55~60 系列和 2CZ80~86 系列, 高频整流二极管有 2CZ20/21 系列、2CP6 系列、2CP10~20 系列、2CG 系列、2DG 系列及 2DZ2 系列。常用的进口低频整流二极管有 1S 系列、RM 系列、1N40×× 系列、1N53×× 系列和 1N54×× 系列, 高频整流二极管

有 EU 系列、RU 系列、RGP 系列等。常用 1N4000 系列二极管耐压比较如表 1-5 所示。

表 1-5 常用的 1N4000 系列二极管耐压比较 (电流均为 1A 时)

型号	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007
耐压/V	50	100	200	400	600	800	1000

(2) 开关元件。

二极管在正向电压作用下电阻很小,处于导通状态,相当于一只接通的开关;在反向电压作用下,电阻很大,处于截止状态,如同一只断开的开关。利用二极管的开关特性,可以组成各种逻辑电路。

(3) 限幅元件。

二极管正向导通后,它的正向压降基本保持不变(硅管为 0.7V 左右,锗管为 0.3V 左右)。利用这一特性,在电路中作为限幅元件,可以把信号幅度限制在一定范围内,如在集成运算放大器的两个输入端经常正反各并联一个二极管,对运算放大器进行保护。

(4) 续流二极管。

在开关电源的电感和继电器等感性负载中,经常利用二极管充当续流元件,将感性负载中的能量泄放到其他安全回路中去消耗掉,以保护一些重要器件或者设备。

(5) 检波二极管。

检波(也称解调)二极管的作用是利用其单向导电性将高频或中频无线电信号中的低频信号或音频信号取出来。检波二极管广泛应用于半导体收音机、收录机、电视机及通信等设备的小信号电路中,其工作频率较高,处理信号幅度较弱。常用的国产检波二极管有 2AP 系列锗玻璃封装二极管,常用的进口检波二极管有 1N34/A、1N60 等。

4. 稳压二极管

稳压二极管在电路中常用“ZD”加数字表示,如:ZD5 表示编号为 5 的稳压管。稳压二极管的稳压原理是,稳压二极管击穿后,其两端的电压基本保持不变。这样,当把稳压管接入电路以后,若由于电源电压发生波动,或其他原因造成电路中各点电压变动时,负载两端的电压将基本保持不变。稳压二极管的故障主要表现在开路、短路和稳压值不稳定。在这 3 种故障中,前一种故障表现出电源电压升高,后两种故障表现为电源电压变低到 0 伏或输出不稳定。常用稳压二极管的型号及稳压值如表 1-6 所示。

表 1-6 常用稳压二极管的型号及稳压值

型 号	1N4728	1N4729	1N4730	1N4732	1N4733	1N4734	1N4735	1N4744	1N4750	1N4751	1N4761
稳压值/V	3.3	3.6	3.9	4.7	5.1	5.6	6.2	15	27	30	75

四、晶体三极管

1. 简介

晶体三极管在电路中常用“VT”(国内常用“Q”,在 Pspice 中多用“Q”表示)加数字表示,如:VT21 表示编号为 21 的三极管。

(1) 它的特点:晶体三极管(简称三极管)内部含有 2 个 PN 结,并且具有放大作用和