

<http://www.phei.com.cn>

# 电子电路 原理 分析与仿真

许自图 编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

# 电子电路原理分析与仿真

许自图 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书内容包括电路分析基础、模拟电子线路（线性和非线性）、脉冲与数字电路几部分。对电子电路原理的讲解，依照由表及里、由浅入深的次序安排章次，使读者更容易入门，也使对内容有不同要求的学生容易取材学习。在书上着重将电路原理分析透彻，在平台上提供专题电路，使读者可随时做“虚拟实验”，使观察的电路更接近实际工作特性，为读者以“理论分析和仿真观察”结合的模式自学提供良好条件。

本书的编写目标是电子信息科学技术类学生的专业基础教材。以电子工程专业本科为例，可安排 140 学时的授课，要求学生以 1:2 的时间自学。

本书可作为电子技术类专业的基础教材，也可作为相关人员的阅读参考书。实际上，需要电子技术基础的各层次的理工类学生，都可发现本教材是很有裨益的。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

## 图书在版编目（CIP）数据

电子电路原理分析与仿真/许自图编著. —北京：电子工业出版社，2006.10

ISBN 7-121-03245-7

I. 电… II. 许… III. ①电子电路—电路分析—高等学校—教学参考资料 ②电子电路—计算机仿真—实验—高等学校—教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 116844 号

责任编辑：雷洪勤

印 刷：北京东光印刷厂

装 订：三河市金马印装有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：35.5 字数：906 千字

印 次：2006 年 10 月第 1 次印刷

印 数：5 000 册 定价：53.00 元（含光盘 1 张）

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系电话：（010）68279077；邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlls@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

## 前 言

在现代人类生活、生产和科学研究中，电子技术有着非常广泛深远的影响。以半导体为基本要素的微电子电路，是电子技术的重要组成部分。广大理工类学生都需要电子电路的基础知识。

本书和《电子电路教学平台》(光盘)紧密结合，力图创造一个自学的条件，使读者可以用阅读书本和随时对电路进行仿真观察相结合的模式进行学习，以较短时间踏上从事实际电子技术工作的第一级台阶。本教材对传统上安排在几门课程中的内容进行了整合，安排上注意前后呼应，使理论基础的体系更加明晰，融会贯通。提供的《电子电路仿真平台》，利用计算机的强大计算功能，对电路进行数值计算，不仅能验算用纸和笔做近似理论推算得到的结果，更能观察不能用简单化模型近似计算、而电路中实际存在的现象和特性，这就使学到的知识更接近实际，而且培养了用计算机研究问题的能力。配合书本的内容，提供了 370 多个专题电路，为教学提供了极大的方便。

有关电子电路基础的课程，一般安排在几门课程中进行，相关书本很多，名字也略有不同。具有代表性的如：电路分析基础，电子线路(线性部分)，电子线路(非线性部分)，脉冲和数字电路。流行的教科书的内容体现了基础教学的要求，本教材的内容也必须在公认的范围之内。但在内容编排上，本教材有几个比较突出的特点。

在电路分析基础部分，讲基本理论概念和分析方法时，引导读者着重关注对要计算的问题和计算出的结果的意义的理解。在内容安排上，以尽可能简单的电路结构讲述基本概念和分析方法，而以电子电路中要用到的电路结构为例子，在综合的分析中加深对基本理论的理解，又为后面的学习做准备。除了讲解用纸和笔可以演算的问题外，对于像频率响应特性、线性和非线性、傅里叶频谱等重要概念，也要通过仿真观察建立起来。

在对电子电路原理的讲述上，突出模型化、层次化的分析方法，以由表及里、由浅到深的次序安排内容，使读者更容易入门，也使对内容有不同要求的学生容易取材学习。

在进入半导体电子电路之前，就以模型化方法讲解负反馈放大电路理论。在当今以集成电路为主要部件的现代电子技术中，对于一般使用、维修、设计电子设备的工程技术人员，完整的电路系统的组成和分析更为重要，对反馈的理解和应用非常重要。

在有了放大电路和负反馈的模型化理论基础之后，就以集成运算放大器的应用电路为例，讲解了许多实现具体功能的电路系统。这种将集成组件当做“黑箱”，在不了解它的内部结构而知道它的外部特性的情况下，分析用它加上外部元件后组成的电路系统所实现的功能的方法，在目前的实际工作中有普遍的意义。

为了照顾公共专业基础课程安排的需要，在有关电子电路内容的章次安排上，相对集中地体现出模拟(侧重一般基础)、模拟(侧重非线性应用电路)和脉冲与数字电路几部分。但在讲解时界限并不截然分明。例如，在讲解半导体器件时，突出说明它们本质上是非线性的，根据不同的目标而侧重应用器件的某方面特性，例如应用器件的“放大”特性做成放大电路，而信号放大一般是“非线性”的，只在一定条件下可近似为“线性放大”，利用器件的“开关”特性又可做成数字逻辑门电路。在讲解以模拟概念为主的电路时，如涉及到数字电路也不回避；在讲解数字电路时，也分析其中要用模拟概念说明的问题。这种安排，有利于读者对知识的融会贯通。

利用计算机计算电路，称为“电路仿真”，或者说对电路做“软实验”。提供的《电子电路仿真平台》，实际上是一个“软实验室”，它的核心是对电路进行计算的程序，对半导体器件用足够准确的数学模型描述，依据电路理论建立方程，用有效的计算方法求解。使用者就像在一张实验台上工作，在台面上画出电路，然后就可以“看”到电路中各处的电流、电压，可以看数值如同用电表测量一般，可以看波形如同用示波器观察一般，还可以得到用实际仪器不容易得到的表现电路特性的曲线，使对电路的了解更具体、仔细、深入。

要强调的是，利用本教材，要培养的两方面能力都是很重要的：第一，对电路抓住主要矛盾，采用合理的简单化近似模型，用纸和笔做数学推演，得出反映电路主要特性的公式；第二，在仿真平台上观察电路的工作情况，特别是观察电路中许多接近实际的具体特性，并加以理解。那些不是用简化近似可以说明的现象和特性，恰恰是实际电路制作中技术人员要解决的问题。这两方面是相辅相成的。

书本上将知识编排在一定的章节中，但实际的电路涉及到的知识往往是综合的。在学过若干内容后，做归纳、对比、综合性的总结是必要的。在光盘上，有作者对十几个重点、难点问题，结合仿真观察做口头讲解的材料，可以用影音播放工具观看。读者除了学习具体内容外，也应领悟学习的方法。阅读书本，可以对细节静静思考，自己在草稿纸上写写画画，在书本上圈圈点点。听讲解，则容易综观全局，提纲挈领，建立对一个主题的全面认识。宏微交替，学深学广。

需要特别说明的是，电子电路中元器件的连接方式是重要的，但元件值、器件参数也非常重要。书本主要进行理论讲解和数学推演，目的是得到描写电路特性的物理量和元器件参数之间的关系式，对电路元件用的是其字母记号，因此印出的电路图，往往没有具体标出元器件参数，只是一种示意图，或者说纲图。在平台上的专题电路，则必须是可以“运行”的电路，有具体的元器件参数，那才是“完全的”电路。

一个性能良好的电子设备，甚至是其中的一块“功能电路”，都有许多具体的技术细节，是许多基础知识的综合体现。作为给初学者讲解原理的入门书，电路要尽可能小和简单，不一定是实际用的完整的电路。本书只着重在电路原理分析上，工程实际上的知识有待读者在应用电子学书籍和科技文献中学习，尤其是在自己动手做的过程中积累经验。

学习基础课，除了学习具体的学科知识外，更重要的是学习获取知识的方法，学习创新的能力。但愿本书和平台结合的模式，能给读者独立思考、锻炼自己能力的空间，打好日后学新创新的基础。

张齐治和王健先生对《电子电路仿真平台》的研制工作给予了很大帮助，谨向他们表示诚挚的感谢。

许自图

2006年6月于广州

# 目 录

第 1 章 电路基本定律和电阻电路分析 .....	(1)
1.1 电路基本定律的初步概念 .....	(1)
1.1.1 电路模型与电路变量 .....	(1)
1.1.2 电阻元件与欧姆定律 .....	(2)
1.1.3 电源及其与负载组成的最简单电路 .....	(4)
1.1.4 网络的基本定律 .....	(8)
1.1.5 求解电路的基本方法 .....	(10)
1.1.6 受控源 .....	(15)
1.1.7 线性电路的叠加定理 .....	(20)
1.2 等效替换相关定理和应用 .....	(21)
1.2.1 网络分解和等效替换的初步概念 .....	(21)
1.2.2 单口网络伏安关系与等效 .....	(22)
1.2.3 单口网络的置换定理 .....	(26)
1.2.4 $\pi$ 形(三角形)和 T形(星形)网络等效替换 .....	(27)
1.2.5 等效电源定理:戴文宁定理和诺顿定理 .....	(29)
1.2.6 电源移位原理 .....	(31)
1.2.7 互易定理 .....	(32)
1.3 含非线性电阻(二极管)电路解法 .....	(34)
1.4 正弦交流电(单相和三相) .....	(37)
1.4.1 正弦交流电的有效值 .....	(37)
1.4.2 三相交流电 .....	(38)
1.5 信号的数学描述 .....	(39)
1.5.1 简谐信号 .....	(39)
1.5.2 梯形脉冲信号 .....	(41)
第 2 章 动态电路分析 .....	(42)
2.1 动态元件 .....	(42)
2.1.1 电容的特性 .....	(42)
2.1.2 电感的特性 .....	(45)
2.2 一阶电路 .....	(48)
2.2.1 RC 电路的零输入响应 .....	(48)
2.2.2 RC 电路的非零起始态阶跃响应三要素法 .....	(51)
2.2.3 矩形波脉冲串通过 RC 电路的响应 .....	(53)
2.2.4 脉冲分压器(换路法则特例) .....	(55)
2.2.5 正弦波激励下 RC 电路的响应 .....	(57)
2.2.6 RL 电路 .....	(60)

2.2.7	数值计算中动态元件的等效模型 .....	(63)
2.3	二阶电路简介 .....	(65)
<b>第3章</b>	<b>正弦稳态分析 .....</b>	<b>(68)</b>
3.1	相量法基本概念 .....	(68)
3.1.1	简谐波的复数表示 .....	(68)
3.1.2	微积分方程向复代数方程的转换 .....	(69)
3.1.3	相量 .....	(70)
3.1.4	广义欧姆定律 阻抗与导纳 .....	(71)
3.1.5	相量法下的电路定律和定理 .....	(72)
3.1.6	相量法计算示例 .....	(73)
3.2	正弦稳态功率和能量 .....	(76)
3.2.1	基本元件的功率和能量 .....	(76)
3.2.2	单口网络的功率 功率因数 .....	(77)
3.2.3	复功率 .....	(79)
3.2.4	感性负载的功率因数及提高方法 .....	(79)
3.2.5	正弦稳态下的电源与负载之间的功率传输问题 .....	(81)
3.3	网络函数与频率响应特性分析 .....	(84)
3.3.1	网络函数的基本概念 .....	(84)
3.3.2	一阶 RC 串联电路的频率响应特性 .....	(86)
3.3.3	一阶 RL 串联电路的频率响应特性 .....	(89)
3.3.4	一阶 RL 并联电路和 RC 并联电路的频率响应特性 .....	(90)
3.3.5	互易定理的应用 .....	(92)
3.4	正弦稳态的叠加 .....	(93)
3.4.1	多个同频率正弦源的叠加作用 .....	(93)
3.4.2	多个不同频率正弦源的叠加作用 .....	(96)
3.4.3	正弦稳态下平均功率的叠加 .....	(97)
3.5	周期性信号通过常参量线性电路的分析 .....	(99)
3.5.1	周期性非正弦信号的傅里叶级数分解 .....	(99)
3.5.2	傅里叶频谱分析 .....	(100)
3.5.3	线性电路稳态分析一般步骤 .....	(101)
3.5.4	相量法的局限性 .....	(102)
<b>第4章</b>	<b>LC 谐振和耦合电路 .....</b>	<b>(103)</b>
4.1	LC 串联谐振电路 .....	(103)
4.2	LC 并联谐振电路 .....	(109)
4.2.1	LCR 并联电路的动态特性 .....	(109)
4.2.2	LCR 并联电路的频率响应特性 .....	(112)
4.2.3	实际的 LCR 并联电路 (有损电感的等效处理) .....	(113)
4.2.4	选频阻抗变换网络初步认识 .....	(115)
4.2.5	电源与负载部分接入的 LCR 并联谐振电路 .....	(117)

4.3	互感耦合电路 .....	(120)
4.3.1	耦合电感的基本模型 .....	(120)
4.3.2	理想变压器 .....	(123)
4.3.3	同名端相连的耦合电感的 T 形去耦等效模型 .....	(125)
4.3.4	自耦变压器的去耦等效模型 .....	(126)
4.4	双调谐电路 .....	(128)
4.4.1	互感耦合双调谐电路 .....	(128)
4.4.2	电容耦合双调谐电路 .....	(134)
<b>第 5 章</b>	<b>线性双口网络 .....</b>	<b>(136)</b>
5.1	双口网络与组合方式概述 .....	(136)
5.2	无独立源双口网络 .....	(137)
5.2.1	网络参量与方程 .....	(137)
5.2.2	互易双口网络的等效网络 .....	(143)
5.2.3	非互易双口网络的等效网络 .....	(146)
5.3	有源双口网络 .....	(147)
5.4	双口网络的互联 .....	(148)
5.5	双口网络理论应用实例 .....	(151)
5.5.1	典型无源网络的参量与关系 .....	(151)
5.5.2	RC 滤波器 .....	(152)
5.5.3	有源电感模型 (利用回转器) .....	(158)
5.5.4	互感器 (变压器) 模型 .....	(160)
<b>第 6 章</b>	<b>放大器与负反馈的模型化分析 .....</b>	<b>(164)</b>
6.1	线性放大器的模型化分析 .....	(164)
6.1.1	放大器的基本性能指标概述 .....	(164)
6.1.2	放大器的双口网络分析法 .....	(165)
6.1.3	放大器的四种类型 .....	(168)
6.2	负反馈放大器的类型和基本性能指标 .....	(169)
6.2.1	电压串联负反馈放大器 .....	(169)
6.2.2	电压并联负反馈放大器 .....	(175)
6.2.3	电流串联负反馈放大器 .....	(176)
6.2.4	电流并联负反馈放大器 .....	(178)
6.2.5	负反馈放大电路的一般化模型 .....	(179)
6.3	放大器频率响应特性及负反馈的影响 .....	(180)
6.3.1	放大器频率响应特性 .....	(180)
6.3.2	负反馈对放大器频率响应特性的影响 .....	(182)
6.4	放大器的非线性失真及负反馈的影响 .....	(185)
6.4.1	晶体管放大电路的初步模型化认识 .....	(185)
6.4.2	负反馈对放大器非线性失真的改善作用 .....	(188)
6.5	深度负反馈放大电路的近似分析方法 .....	(190)



<b>第 7 章 运算放大器特性和应用电路初识</b> .....	(193)
7.1 运放的简单模型和宏模型近似 .....	(193)
7.2 运放主要特性认识 .....	(196)
7.2.1 运放的开环增益和频率响应特性 .....	(196)
7.2.2 运放的转换速率 .....	(197)
7.3 同相放大电路 .....	(198)
7.4 反相放大电路 .....	(200)
7.5 电压跟随器和应用例子(采样-保持电路) .....	(202)
7.6 比例求和电路(加法器) .....	(204)
7.7 减法器和差动放大电路 .....	(204)
7.8 电流变电压电路 .....	(207)
7.9 电压变电流电路和压控电流源 .....	(207)
7.10 积分电路 .....	(208)
7.10.1 反相积分电路 .....	(208)
7.10.2 同相积分电路 .....	(210)
7.10.3 差动积分电路 .....	(210)
7.10.4 超低频范围中工作的积分电路 .....	(210)
7.11 微分电路 .....	(211)
7.12 一阶有源滤波器 .....	(212)
7.12.1 一阶低通有源滤波器 .....	(212)
7.12.2 一阶高通有源滤波器 .....	(213)
7.13 二阶低通有源滤波器 .....	(213)
7.14 文氏电桥正弦波发生器 .....	(218)
7.15 用运放做比较器 .....	(223)
7.16 用运放接成施密特触发器 .....	(224)
7.17 矩形波和锯齿波信号发生器 .....	(225)
<b>第 8 章 半导体器件特性和模型</b> .....	(228)
8.1 二极管 .....	(228)
8.1.1 PN 结的微观结构概念和二极管基本特性 .....	(228)
8.1.2 二极管的单向导电性及应用例子 .....	(231)
8.1.3 稳压二极管 .....	(234)
8.1.4 二极管电容特性及变容二极管 .....	(236)
8.2 双极型晶体管(BJT) .....	(238)
8.2.1 双极型晶体管的微观结构概念和全局模型 .....	(238)
8.2.2 BJT 特性认识 .....	(240)
8.2.3 BJT 放大状态的简单模型 .....	(244)
8.2.4 BJT 开关特性认识 .....	(248)
8.2.5 复合管 .....	(249)
8.2.6 肖特基晶体管 .....	(250)

8.2.7	晶闸管 .....	(251)
8.2.8	晶体三极管接成二极管 .....	(253)
8.3	金属-氧化物-半导体场效应管 (MOSFET) .....	(254)
8.3.1	金属-氧化物-半导体场效应管的微观结构概念和全局模型 .....	(254)
8.3.2	MOS 管特性和简单模型 .....	(256)
8.3.3	MOS 管放大特性认识 .....	(260)
8.3.4	MOS 管开关特性认识 .....	(261)
8.4	结型场效应管 (JFET) .....	(265)
8.4.1	结型场效应管的微观结构概念和全局模型 .....	(265)
8.4.2	JFET 特性和简单模型 .....	(266)
8.4.3	JFET 应用举例 .....	(269)
8.5	金属-半导体场效应管 (MESFET) 简介 .....	(271)
<b>第 9 章</b>	<b>晶体管放大电路基础 .....</b>	<b>(273)</b>
9.1	双极型晶体管放大电路基本组态 .....	(273)
9.1.1	共发射极放大电路 .....	(273)
9.1.2	NPN 共集放大电路 (射极电压跟随器) .....	(289)
9.1.3	NPN 共基放大电路 (电流跟随器) .....	(290)
9.2	场效应管放大电路基本组态 .....	(292)
9.2.1	共源放大电路 .....	(292)
9.2.2	共漏放大电路 (电压跟随器) .....	(293)
9.2.3	NMS 共栅放大电路 (电流跟随器) .....	(295)
9.3	双管组合放大电路 .....	(295)
9.3.1	共射-共基组合放大电路 .....	(296)
9.3.2	共集-共射组合放大电路 .....	(297)
9.3.3	共集-共基组合放大电路 .....	(297)
9.4	阻容耦合多级放大电路 .....	(298)
9.4.1	放大电路级联时的阻抗匹配问题 .....	(298)
9.4.2	电压串联负反馈放大电路 .....	(299)
9.4.3	电流并联负反馈放大电路 .....	(300)
9.5	互补推挽功率输出电路 .....	(301)
9.5.1	乙类互补推挽功率输出电路 .....	(302)
9.5.2	甲乙类互补推挽功率输出电路 .....	(306)
9.5.3	单电源供电互补推挽功率输出电路 .....	(309)
9.5.4	丁类互补推挽功率输出电路 .....	(312)
9.6	镜像电流源电路 .....	(316)
9.6.1	基本镜像电流源 .....	(316)
9.6.2	比例电流源及应用实例 .....	(320)
9.6.3	微电流源 (Widlar 电流源) .....	(321)
9.6.4	威尔逊 (Wilson) 电流源 .....	(323)

9.6.5	级联电流源 .....	(324)
9.6.6	以镜像电流锁定参考管发射结电压的电流源 .....	(325)
9.6.7	自举参考电流的电流源 .....	(326)
9.7	差分放大电路 .....	(327)
9.7.1	源极电流源耦合差分放大电路 .....	(327)
9.7.2	射极电流源耦合差分对 .....	(333)
9.7.3	射极下有负反馈电阻的电流源耦合差分放大电路 .....	(339)
9.7.4	集电极活性负载、射极电流源耦合差分放大电路 .....	(341)
9.7.5	用高增益差分放大电路接成负反馈放大电路例子 .....	(342)
<b>第 10 章</b>	<b>集成放大电路简介 .....</b>	<b>(344)</b>
10.1	宽带放大器 (LM733) .....	(344)
10.2	集成运算放大器 .....	(345)
10.2.1	741 型运算放大器内部原理电路 .....	(345)
10.2.2	运算放大器宏模型 .....	(347)
<b>第 11 章</b>	<b>滤波器 .....</b>	<b>(350)</b>
11.1	滤波器基本知识 .....	(350)
11.1.1	电路频率响应对信号的影响 .....	(350)
11.1.2	滤波器类型 .....	(352)
11.1.3	频率变换 .....	(354)
11.2	一阶有源滤波器 .....	(355)
11.2.1	一阶低通有源滤波器的设计 .....	(355)
11.2.2	一阶高通有源滤波器的设计 .....	(356)
11.2.3	理想积分滤波器 .....	(357)
11.3	二阶有源滤波器 .....	(358)
11.3.1	二阶低通有源滤波器的设计 .....	(358)
11.3.2	二阶高通有源滤波器 .....	(360)
11.3.3	双二次型多通道有源滤波器 .....	(361)
11.3.4	全通滤波器 .....	(363)
11.3.5	无限增益多反馈环型滤波器 .....	(364)
11.3.6	元件参数对滤波特性的影响 .....	(365)
11.3.7	滤波器电路形式和参数选择多样性示例 .....	(368)
11.4	$n$ 阶有源滤波器 .....	(369)
11.4.1	最大平直型 (伯特沃斯型) 有源滤波器 .....	(369)
11.4.2	纹波型 (契比谢夫型) 有源滤波器 .....	(372)
11.4.3	线性相位型 (贝塞尔型) 有源滤波器 .....	(375)
11.5	用有源 RC 电路仿效 LCR 滤波器 .....	(376)
11.5.1	LCR 滤波器 .....	(376)
11.5.2	用有源 RC 电路实现“仿效电感元件” .....	(380)
11.5.3	用有源 RC 电路实现“仿效负电阻元件” .....	(382)

11.6	开关电容滤波器	(384)
11.6.1	基本概念	(384)
11.6.2	开关电容电路单元	(386)
<b>第 12 章</b>	<b>直流电源</b>	<b>(390)</b>
12.1	整流滤波电路	(390)
12.2	稳压二极管稳压电路	(394)
12.3	串联型稳压电源	(396)
12.3.1	串联型稳压电源的基本电路	(396)
12.3.2	限流保护型直流稳压电源	(399)
12.3.3	截流保护型直流稳压电源	(400)
12.4	开关稳压电源	(401)
12.4.1	开关换能电路	(402)
12.4.2	开关稳压电源简介	(407)
<b>第 13 章</b>	<b>丙类谐振功率输出电路</b>	<b>(412)</b>
13.1	集电极谐振负载放大电路	(412)
13.2	丙类功率输出电路阻抗匹配问题	(416)
13.3	丙类谐振功率输出电路的直流馈电	(418)
13.4	相关电路举例: 倍频器和调幅电路	(419)
<b>第 14 章</b>	<b>幅度调制、解调与混频</b>	<b>(421)</b>
14.1	频谱搬移的数学原理	(421)
14.1.1	单音调幅	(421)
14.1.2	复杂音调幅	(423)
14.1.3	调幅波解调 同步检波	(424)
14.1.4	混频	(425)
14.1.5	用晶体管的非线性特性实现电压信号相乘作用的数学原理	(426)
14.2	乘法器及其在调幅电路中的应用	(428)
14.2.1	二象限乘法单元电路	(428)
14.2.2	四象限乘法单元 (Gilbert 单元) 电路	(429)
14.2.3	扩展输入信号线性范围的四象限乘法单元	(431)
14.2.4	集成乘法器 XFC1596 及接成调幅电路	(433)
14.2.5	集成乘法器 BG314 及接成调幅电路	(434)
14.3	幅度检波电路	(436)
14.3.1	用乘法器实现同步检波	(436)
14.3.2	包络检波电路	(437)
14.3.3	同步包络检波电路	(440)
14.4	混频器	(441)
<b>第 15 章</b>	<b>正弦波振荡器</b>	<b>(444)</b>
15.1	RC 正弦波振荡器	(444)

15.1.1	文氏电桥正弦波振荡器	(444)
15.1.2	移相正弦波振荡器	(445)
15.1.3	积分式正弦波振荡器	(447)
15.2	LC 正弦波振荡器	(449)
15.2.1	电容三点式正弦波振荡器	(449)
15.2.2	三点式 LC 正弦波振荡器工作条件研究	(455)
15.2.3	电感三点式正弦波振荡器 (哈特莱电路)	(457)
15.2.4	变压器耦合 LC 正弦波振荡器 (用差分对管)	(458)
15.2.5	差分对管 LC 正弦波振荡器 (索尼振荡器)	(459)
15.3	石英晶体振荡器	(460)
15.3.1	石英晶体选频特性认识	(460)
15.3.2	并联型晶体振荡器	(462)
15.3.3	串联型晶体振荡器	(463)
15.4	正弦波振荡器的其他课题	(463)
15.4.1	正弦波振荡器的受迫振荡 频率占据或牵引	(463)
15.4.2	振荡器工作稳定性的影响因素和应对措施	(464)
15.4.3	负阻正弦波振荡器	(466)
<b>第 16 章</b>	<b>角度调制与解调</b>	<b>(468)</b>
16.1	角度调制与解调的理论基础	(468)
16.1.1	信号的数学描述	(468)
16.1.2	调角信号的基本特性	(470)
16.1.3	调频信号通过线性网络的响应	(476)
16.2	常用的基于 LC 谐振的单元电路	(478)
16.2.1	LC 并联谐振电路	(478)
16.2.2	频幅转换电路	(480)
16.2.3	频相转换电路	(481)
16.2.4	用变容管的 LC 并联谐振电路	(483)
16.3	直接调频电路	(487)
16.3.1	调频正弦波振荡电路	(487)
16.3.2	调频多谐振荡器	(490)
16.4	调相和间接调频电路	(491)
16.4.1	矢量合成法 (相乘调幅合成法)	(491)
16.4.2	可变移相法	(492)
16.4.3	可变时延法 (脉冲调相)	(494)
16.5	鉴频和鉴相电路	(496)
16.5.1	斜率鉴频	(496)
16.5.2	脉冲计数式鉴频	(498)
16.5.3	乘积型鉴相和相位鉴频	(499)

<b>第 17 章 逻辑门电路和触发器</b> .....	(505)
17.1 MOSFET 逻辑门电路 .....	(505)
17.1.1 CMOS 非门 .....	(505)
17.1.2 CMOS 与非门 .....	(509)
17.1.3 CMOS 与门 .....	(510)
17.1.4 CMOS 或非门 .....	(510)
17.1.5 CMOS 或门 .....	(511)
17.1.6 CMOS 异或门及同或门 .....	(511)
17.1.7 CMOS 传输门(压控开关) .....	(513)
17.1.8 CMOS 三态门 .....	(513)
17.1.9 BiCMOS 非门 .....	(514)
17.1.10 NMS 非门 .....	(515)
17.1.11 SDFL 或非门—MESFET 门电路的等效模型示例 .....	(516)
17.2 BJT 逻辑门电路 .....	(517)
17.2.1 经典 TTL 非门 .....	(517)
17.2.2 LSTTL 或非门 .....	(518)
17.2.3 带施密特触发的 DTL 与非门 .....	(519)
17.2.4 射极耦合“或/或非”互补输出门 .....	(519)
17.2.5 门电路组成控制系统的例子 .....	(520)
17.3 触发器(锁存器) .....	(521)
17.3.1 CMOS-D 锁存器(二进制数存储单元) .....	(522)
17.3.2 RS 触发器(用 CMOS 或非门组成) .....	(524)
17.3.3 RS 触发器(用 CMOS 与非门组成) .....	(525)
17.3.4 “集-基耦合”双稳态触发器(二进一计数单元) .....	(526)
<b>第 18 章 脉冲产生、整形和信号变换电路</b> .....	(529)
18.1 比较器 .....	(529)
18.2 施密特触发器 .....	(530)
18.2.1 用比较器接成施密特触发器 .....	(530)
18.2.2 施密特触发器(射极耦合电路) .....	(531)
18.2.3 施密特触发器(用非门组成) .....	(534)
18.2.4 施密特触发器(用 TTL 门电路组成) .....	(534)
18.3 单稳态电路(用 CMOS 或非门组成) .....	(535)
18.4 多谐振荡器 .....	(537)
18.4.1 多谐振荡器(用 CMOS 非门组成) .....	(537)
18.4.2 多谐振荡器(用石英晶体和 CMOS 非门组成) .....	(538)
18.5 555 定时器特性和应用实例 .....	(539)
18.5.1 555 定时器电路结构和特性认识 .....	(539)
18.5.2 555 定时器应用电路实例 .....	(541)

18.6 A/D 和 D/A 信号变换电路 .....	(544)
18.6.1 电压-频率变换电路 (恒流源复位式) .....	(545)
18.6.2 倒 T 形电阻网络 D/A 变换电路 .....	(548)
附录 光盘《电子电路教学平台》内容索引 .....	(550)

# 第 1 章 电路基本定律和电阻电路分析

## 1.1 电路基本定律的初步概念

### 1.1.1 电路模型与电路变量

每个人家里都使用着许多电器，例如照明用的灯泡，常说“灯泡通过电线接到电网上”，这是最直观的“电路”，再深一点说，“电网”将发电厂生产的“电”传到灯泡，灯泡将“电”变成“光”。看起来这么简单一件事，细想下去问题就不少：灯泡怎么将电变成光？说灯泡是“40W”的，是什么意思？说“电网上的电压是 220V”，又是什么意思呢？大家可能已经想起来了，这些是中学“物理”课中已经学过的关于“电”的知识。的确如此，“电路分析”就是要在已有的物理基础上，专门讨论对“电路”进行分析计算的理论概念和方法。

将一节电池和一个灯泡用导线连接起来，就是最简单的电路的例子。在图 1.1.1-1 中，用形象的符号表示电池、灯泡，这是电路实物连接的示意图。在分析电路时，用“抽象”的电路图。用电路的术语说，电池就是电压源，灯泡就是负载。

日常说一节电池的电压是 1.5V，指的是电池的电动势或开路电压，用记号  $E$  表示；灯泡将电能变成光能，是一种换能器，它在电路中的作用用一个电阻元件代替，用记号  $R$  表示。像电池这种能给电路提供能量的元件，称为电源；像电阻这样消耗电能（将电能转变为别的形式的能）的元件称为负载。像电池这样能提供恒定电压值的电源称为直流电压源。这样用约定的电路图符“电压源”（目前用“电池”）和“电阻”画的电路图就如图 1.1.1-2 所示。图上多了一个“地”（“O”以下的粗横线表示），这是分析电路时需要的一个“参考点”，它的电位规定为零，注意：并不是真的一定要将该点接到实际的地线上。

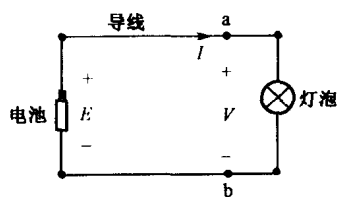


图 1.1.1-1 电路的简单例子

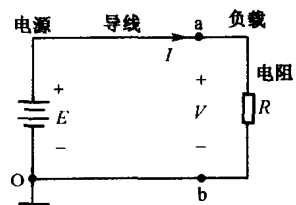


图 1.1.1-2 电路的基本组成

现代的电子电路大多是以半导体器件组成的。图 1.1.1-3 是最简单的用 NPN 型晶体三极管接成的放大电路的原理图，C、B、E 三点以内的图符是约定的代表 NPN 管的记号，可用 Q 表示这类器件的记号。显而易见，这类器件有三个端子（常称为电极）。

为了使 NPN 管发挥作用，必须将它通过阻值大小合适的电阻  $R_c$ 、 $R_b$  接到直流供电电源  $V_{CC}$  上。输入信号源  $v_s$  通过电阻  $R_s$  和电容  $C_1$  接到 NPN 管的一个电极上。这个电路看起来很小，东西也不多，但要分析它的工作原理，则需要许多知识，这正是电子电路原理课程要讲解的问题。



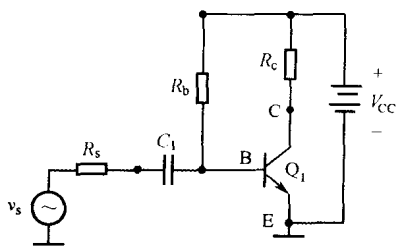


图 1.1.1-3 晶体三极管放大电路

在电路理论中，将电路看做是将**装置**用导线连接成的**网络**。“网络”这个术语现在用的场合很多，我们这里特定指的是**电路网络**。**装置**分为两大类：**电源**和**元件**。

通常说的**电源**，是指能驱动载流子（例如电子）运动的实际装置，例如化学电池、交直流发电机等，就是给电路提供能源的装置。根据电源设备的特性，提炼出**理想电源**的模型，按其属性可分为**电压源**和**电流源**两种。电路理论中电源泛指各种驱动载流子（电子或空穴）运动状态变化的原因。读者在电磁学知识中已初步了解电容和电感的充电和放电过程，发现在没有外接电源的条件下，具有初始电荷的电容或具有初始电流的电感也能使电路中有电流，这种现象说明具有**初值的电容或电感也具有电源的效应**（后面会讲解）。

基本的电路元件是电阻器、电容器、电感器，它们有两个与外部电路连接的端子，叫做**二端元件**。认识元件在电路中的作用，需要以它们的物理属性为依据。为了使讲解集中在电路分析基本理论方法上，对涉及物理基础的内容不多讲，为了便于读者回顾有关内容，笔者专门写了一个简要的“**电路的电磁学知识基础**”（放在光盘中文件夹“扩充学习资料”内）。而像 NPN 管这样的装置常称为**器件**，它的主要作用是“控制”作用，例如，集电极 C 与发射极 E 之间的电流受流入基极 B 的电流的控制，这类作用要用一类抽象的“元件”（统称为受控源）来描述。

描述电路特性的基本物理量，常称为**电路变量**，是**电流、电压和功率**。电流和电压的乘积就是功率。

电路分析是对抽象的**电路模型**进行的，任何元件、器件的特性都由其特有的电流电压关系（常称为伏安关系）表征。而电路所包括的基本构件只是：电阻、电容、电感，独立电压源，独立电流源，受控源（具体分为四类，后述）。

给定电路结构，求解有关的电压、电流，叫做电路分析（或网络分析）；给定技术指标，设计出符合要求的网络，叫做网络综合，或电路设计。

下面先以只有电源与电阻元件组成的纯电阻电路建立电路规律的基本概念。对这样的电路应用中学物理程度的知识也能求解。这里要引入新的概念和方法，以便将来推广。要注意在“熟悉的旧问题”中领会新思路。

## 1.1.2 电阻元件与欧姆定律

最简单的元件是**电阻器**，它是吸收电路传输的**场能**，使其**转化为其他形式能量**的装置。电阻器的**参量**是**电阻值**，时常将电阻用字母  $R$  表示，它既代表**电阻器**，又代表其**参量**。

最早是通过了解导体的导电性认识电阻的。描述电阻特性的是**欧姆定律**：**在任何时刻，电阻两端的电压  $v$  与流过电阻  $R$  的电流  $i$  成正比**。电流的方向由电位高的一端流向电位低的一