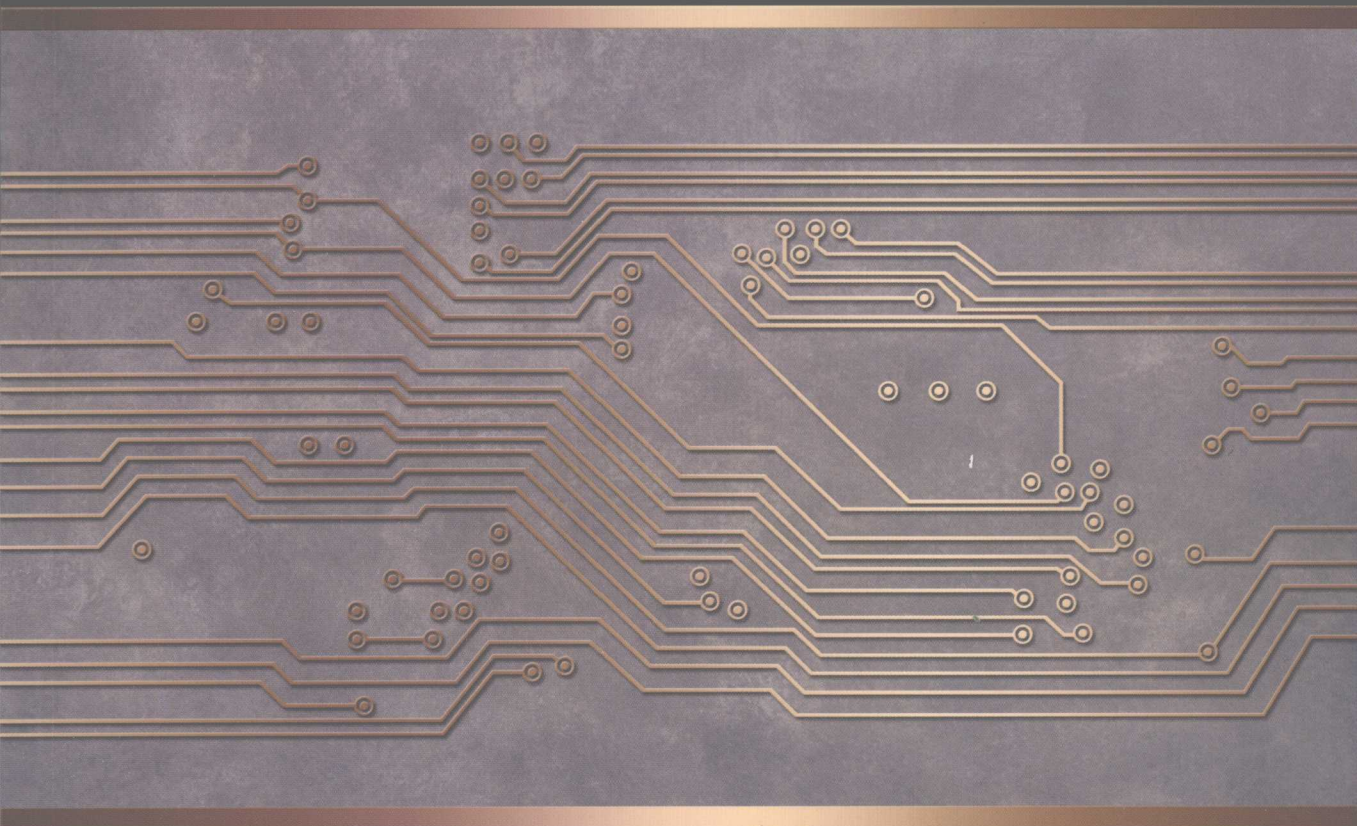


新编电气与电子信息类规划教材·电子电气基础课程

# 电路与模拟电子技术

张虹 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

新编电气与电子信息类规划教材·电子电气基础课程

# 电路与模拟电子技术

张 虹 主编

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是根据国家教育部制定的电路与电子技术课程教学要求,由多位资深的学科带头人审定内容结构,并结合作者多年的一线教学经验编写而成的。本书分为电路分析和模拟电子技术两部分内容。电路分析部分包括:电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相电路、动态电路的过渡过程、磁路与变压器;模拟电子技术部分包括:半导体二极管及其应用、半导体三极管及放大电路、集成运算放大电路及其应用、信号发生电路、功率放大电路、直流稳压电源。在每章内容的后面,都针对性地附有相关实验,本书共编入14个实验题目。此外,为了培养学生理论联系实际的能力,本书在附录部分还编写了5个实训题目。

本书讲解全面,实例典型,侧重应用,适合作为高等学校应用型本科及高职院校计算机、电气、电子、通信等专业的教科书,也可作为非电类专业相关课程教材,对于专业技术人员,也是一本很好的参考书。

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

电路与模拟电子技术/张虹主编. —北京:电子工业出版社,2008.7

新编电气与电子信息类规划教材·电子电气基础课程

ISBN 978-7-121-06560-6

I. 电… II. 张… III. ①电路理论—高等学校—教材 ②模拟电路—电子技术—高等学校—教材  
IV. TM13 TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 083432 号

策划编辑:孙延真

责任编辑:谭海平 特约编辑:张荣琴

印 刷:北京季峰印刷有限公司

装 订:三河市万和装订厂

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:20 字数:512千字

印 次:2008年7月第1次印刷

定 价:29.00元

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,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@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

本书是依据教育部最新制定的《高等学校电路电子技术课程教学基本要求》编写的,适合作为高等学校应用型本科及高职院校计算机、电气、电子、通信等专业的教科书,也可作为非电类专业的相关课程教材,对于专业技术人员,也是一本很好的参考书。

在 21 世纪,不同学科领域的技术相互融合,并不断开拓出新的学科领域。因此,面对新世纪的挑战,电路电子技术课程必须不断地进行深入改革。课程改革的关键之一在于教材。众所周知,《电路分析》和《模拟电子技术》是计算机学科各专业不可缺少的硬件基础课,是《数字电路与数字逻辑》、《微机原理与接口技术》、《计算机组成原理》、《单片机原理与应用》等后续课程的先导课程。但是,随着教学内容的改革与深化,学时数在不断压缩,受总学时数的限制,计算机学科中的有些专业不可能同时开设这两门课程。因此,我们将这两门课程整合成一体,称为《电路与模拟电子技术》。此外,该书也适用于电类及非电类的相关专业使用。

本书是作者在总结多年教学经验的基础上,参考了已出版的同类优秀教材,根据教学改革的要求,精选了传统内容,并适当提高教材起点而编写的。电路分析部分注重了对电路分析思路的把握,加强了知识的实用性;模拟电子技术部分在精讲基础理论的同时,加强了对新器件、新技术、新应用的介绍,尤其加强了对集成运放应用电路的介绍。此外,电路与模拟电子技术是一门实践性很强的课程,它的任务是让学生学习和掌握电路与电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,培养学生分析问题和解决问题的综合能力。因此,必须加强各种形式的实践环节。本书在各章后面都编入了相应的实验,在此基础上,在教材的最后附录部分又编写了几个典型的实训题目,以培养学生理论联系实际、分析解决实际问题的能力。

本书主要面对 64~100 学时(含实验实训)的电路电子技术课程编写。编写过程中力求文字简明、概念清晰、条理清楚、讲解到位、通俗易懂、例题经典、习题丰富、理论联系实际,真正做到教师易教,学生易学。

本书由张虹主编并执笔,由陈修道老师担任主审。此外,在大纲的论证及教材编写过程中,管金华、张星慧、李耀明、张元国、高寒、张建华、刘晓亮、栾学德、陈光军、李厚荣、周金玲、王立梅、杨洁、于钦庆、杜德等老师提出了许多宝贵意见并给予了很大帮助,在此一并表示感谢。

由于编写时间仓促,加之水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请各方面的读者予以批评指正,以便今后不断改进。

编者

2008 年 4 月

# 目 录

<b>第 1 章 电路的基本概念和基本定律</b> .....	(1)
1.1 电路和电路模型 .....	(1)
1.1.1 电路 .....	(1)
1.1.2 电路模型 .....	(1)
1.1.3 集总参数电路 .....	(2)
1.1.4 计量单位制 .....	(3)
1.2 电路的基本物理量 .....	(3)
1.2.1 电流 .....	(4)
1.2.2 电压 .....	(5)
1.2.3 电功率 .....	(7)
1.3 电阻元件 .....	(7)
1.3.1 电阻元件的电压电流关系 .....	(7)
1.3.2 电阻元件的功率 .....	(8)
1.3.3 电阻元件与电阻器 .....	(9)
1.4 电压源和电流源 .....	(11)
1.4.1 电压源 .....	(11)
1.4.2 电流源 .....	(12)
1.5 受控源 .....	(13)
1.6 基尔霍夫定律 .....	(14)
1.6.1 基尔霍夫电流定律 .....	(14)
1.6.2 基尔霍夫电压定律 .....	(15)
本章小结 .....	(17)
习题 1 .....	(17)
实验 1 电路元件伏安特性的测量 .....	(18)
<b>第 2 章 电路的分析方法</b> .....	(22)
2.1 支路电流法 .....	(22)
2.2 等效变换法 .....	(25)
2.2.1 基本概念 .....	(25)
2.2.2 无源二端网络的等效变换 .....	(25)
2.2.3 电压源与电流源的等效变换 .....	(31)
2.3 结点电压法 .....	(34)
2.3.1 结点电压及结点电压方程 .....	(34)
2.3.2 结点法应用举例 .....	(35)
2.4 网孔电流法 .....	(37)
2.4.1 网孔电流及网孔电流方程 .....	(37)

2.4.2	网孔法应用举例	(38)
2.5	网络定理分析法	(39)
2.5.1	叠加定理	(39)
2.5.2	戴维南定理和诺顿定理	(41)
2.5.3	最大功率传输定理	(45)
2.5.4	替代定理	(47)
2.6	含受控源电路的分析方法	(48)
2.7	电路的对偶性	(52)
	本章小结	(52)
	习题 2	(53)
	实验 2 电路基本定律及定理的验证	(58)
<b>第 3 章</b>	<b>正弦交流电路</b>	(60)
3.1	正弦稳态交流电路的基本概念	(60)
3.1.1	正弦量的瞬时值	(60)
3.1.2	正弦量的三要素	(60)
3.1.3	相位差	(62)
3.1.4	正弦量的有效值	(63)
3.2	正弦量的相量表示	(64)
3.2.1	复数的表示形式及运算规则	(64)
3.2.2	相量表示	(66)
3.3	单一参数正弦交流电路的分析	(68)
3.3.1	纯电阻电路	(68)
3.3.2	纯电感电路	(69)
3.3.3	纯电容电路	(71)
3.3.4	电感与电容的连接	(73)
3.4	基尔霍夫定律的相量形式	(74)
3.4.1	基尔霍夫电流定律的相量形式	(74)
3.4.2	基尔霍夫电压定律的相量形式	(75)
3.5	RLC 串联电路的分析、复阻抗串联和并联	(76)
3.5.1	RLC 串联电路的分析	(76)
3.5.2	复阻抗的串联和并联	(77)
3.6	正弦交流电路的功率	(79)
3.6.1	瞬时功率和平均功率	(79)
3.6.2	复功率、视在功率和无功功率	(80)
3.7	功率因数的提高	(81)
3.8	相量法分析正弦交流电路	(81)
3.9	谐振电路	(82)
3.9.1	RLC 串联谐振电路	(82)
3.9.2	RLC 并联谐振电路	(84)
	本章小结	(86)

习题 3 .....	(86)
实验 3 单相正弦交流电路 .....	(90)
<b>第 4 章 三相交流电路 .....</b>	<b>(92)</b>
4.1 三相电源 .....	(92)
4.1.1 对称三相电源 .....	(92)
4.1.2 三相电源的连接 .....	(93)
4.1.3 三相电源和负载的连接 .....	(94)
4.2 三相电路的计算 .....	(95)
4.3 三相电路的功率 .....	(98)
本章小结 .....	(99)
习题 4 .....	(99)
实验 4 三相交流电路 .....	(101)
<b>第 5 章 动态电路的过渡过程 .....</b>	<b>(104)</b>
5.1 过渡过程及换路定律 .....	(104)
5.1.1 过渡过程 .....	(104)
5.1.2 换路定律 .....	(104)
5.2 一阶 RC 电路的过渡过程 .....	(106)
5.2.1 RC 电路的零输入响应 .....	(106)
5.2.2 RC 电路的零状态响应 .....	(109)
5.3 一阶 RL 电路的过渡过程 .....	(110)
5.3.1 RL 电路的零输入响应 .....	(110)
5.3.2 RL 电路的零状态响应 .....	(111)
5.4 一阶电路的全响应 .....	(112)
5.4.1 一阶电路的全响应 .....	(112)
5.4.2 一阶电路的三要素法 .....	(112)
本章小结 .....	(115)
习题 5 .....	(115)
实验 5 电路的过渡过程 .....	(117)
<b>第 6 章 磁路与变压器 .....</b>	<b>(119)</b>
6.1 磁场和铁磁性物质 .....	(119)
6.1.1 磁场的几个基本物理量 .....	(119)
6.1.2 铁磁性物质的性质 .....	(120)
6.2 交流铁心线圈 .....	(121)
6.3 变压器 .....	(122)
6.3.1 变压器的用途、分类和基本结构 .....	(122)
6.3.2 变压器的工作原理 .....	(123)
6.4 互感现象及同名端 .....	(126)
本章小结 .....	(127)
习题 6 .....	(127)

<b>第 7 章 半导体二极管及其应用</b> .....	(129)
7.1 半导体的特性和 PN 结 .....	(129)
7.1.1 半导体的特性 .....	(129)
7.1.2 PN 结 .....	(130)
7.2 半导体二极管 .....	(132)
7.2.1 二极管的结构和型号 .....	(132)
7.2.2 二极管的伏安特性 .....	(133)
7.2.3 二极管的主要参数 .....	(134)
7.3 特殊二极管 .....	(134)
7.3.1 稳压二极管 .....	(134)
7.3.2 发光二极管 .....	(136)
7.3.3 光电二极管 .....	(136)
7.3.4 变容二极管 .....	(137)
7.4 二极管的应用 .....	(137)
7.4.1 整流电路 .....	(137)
7.4.2 限幅电路 .....	(138)
7.4.3 检波电路 .....	(139)
7.4.4 续流保护电路 .....	(139)
7.4.5 开关电路 .....	(139)
本章小结 .....	(140)
习题 7 .....	(140)
<b>第 8 章 半导体三极管及放大电路</b> .....	(143)
8.1 半导体三极管 .....	(143)
8.1.1 三极管的结构、外形及型号 .....	(143)
8.1.2 三极管的电流放大原理 .....	(144)
8.1.3 三极管的共射特性曲线 .....	(146)
8.1.4 三极管的主要参数 .....	(147)
8.1.5 PNP 型三极管 .....	(148)
8.2 场效应管 .....	(148)
8.2.1 结型场效应管 .....	(148)
8.2.2 绝缘栅型场效应管 .....	(150)
8.2.3 场效应管和三极管的比较 .....	(152)
8.3 基本放大电路的组成及性能指标 .....	(153)
8.3.1 基本放大电路的组成 .....	(153)
8.3.2 放大电路的主要性能指标 .....	(154)
8.4 基本放大电路的工作原理及分析方法 .....	(155)
8.4.1 基本放大电路的工作原理 .....	(155)
8.4.2 基本放大电路的分析 .....	(157)
8.5 放大电路静态工作点的稳定 .....	(163)
8.5.1 温度对静态工作点的影响 .....	(163)



8.5.2 静态工作点稳定电路 .....	(163)
8.6 共集电极放大电路 .....	(165)
8.6.1 共集电极电路的分析 .....	(165)
8.6.2 共集电极电路的特点和应用 .....	(167)
8.6.3 基本放大电路3种组态的性能比较 .....	(167)
8.7 场效应管放大电路 .....	(168)
8.7.1 静态分析 .....	(169)
8.7.2 动态分析 .....	(169)
8.8 多级放大电路 .....	(171)
8.8.1 多级放大电路的耦合方式 .....	(171)
8.8.2 多级放大电路的动态分析 .....	(172)
本章小结 .....	(173)
习题8 .....	(173)
实验6 常用电子元件的识别 .....	(178)
实验7 晶体管单管放大器 .....	(182)
<b>第9章 集成运算放大电路及其应用</b> .....	(186)
9.1 集成电路概述 .....	(186)
9.1.1 集成电路及其发展 .....	(186)
9.1.2 集成电路的特点及分类 .....	(186)
9.1.3 集成电路制造工艺简介 .....	(187)
9.2 集成运算放大器的基本组成及功能 .....	(188)
9.2.1 偏置电路——电流源 .....	(188)
9.2.2 输入级——差动放大电路 .....	(189)
9.3 理想运算放大器 .....	(195)
9.3.1 理想运算放大器的技术指标 .....	(195)
9.3.2 理想运算放大器的两种工作状态 .....	(195)
9.4 放大电路中的反馈 .....	(197)
9.4.1 反馈的基本概念及判别方法 .....	(197)
9.4.2 负反馈对放大电路性能的影响 .....	(201)
9.5 集成运算放大器的线性应用 .....	(203)
9.5.1 运算电路 .....	(203)
9.5.2 有源滤波器 .....	(210)
9.6 集成运算放大器的非线性应用 .....	(214)
9.6.1 电压比较器概述 .....	(214)
9.6.2 单门限电压比较器 .....	(215)
9.6.3 滞回电压比较器 .....	(216)
9.6.4 双限电压比较器 .....	(217)
本章小结 .....	(218)
习题9 .....	(219)
实验8 两级放大电路及放大电路中的负反馈 .....	(222)

实验 9 比例、求和运算电路 .....	(225)
实验 10 积分、微分电路 .....	(229)
实验 11 电压比较器 .....	(231)
<b>第 10 章 信号发生电路 .....</b>	<b>(234)</b>
10.1 正弦波振荡电路 .....	(234)
10.1.1 正弦波振荡电路的基础知识 .....	(234)
10.1.2 RC 正弦波振荡电路 .....	(236)
10.1.3 LC 正弦波振荡电路 .....	(238)
10.1.4 石英晶体正弦波振荡电路 .....	(241)
10.2 非正弦波振荡电路 .....	(243)
10.2.1 矩形波发生电路 .....	(243)
10.2.2 三角波发生电路 .....	(244)
10.2.3 锯齿波发生电路 .....	(245)
10.3 集成函数信号发生器 8038 简介 .....	(245)
本章小结 .....	(247)
习题 10 .....	(247)
实验 12 RC 正弦波振荡器 .....	(249)
实验 13 LC 选频放大与 LC 正弦波振荡实验 .....	(250)
实验 14 波形发生电路 .....	(252)
<b>第 11 章 功率放大电路 .....</b>	<b>(254)</b>
11.1 功率放大电路的特点和分类 .....	(254)
11.1.1 功率放大电路的特点 .....	(254)
11.1.2 功率放大电路的分类 .....	(254)
11.2 乙类双电源互补对称功率放大电路(OCL 电路) .....	(256)
11.2.1 电路组成及工作原理 .....	(256)
11.2.2 功率和效率的估算 .....	(256)
11.3 OCL 甲乙类互补对称功率放大电路 .....	(258)
11.3.1 交越失真及其消除 .....	(258)
11.3.2 由复合管组成的 OCL 互补对称功率放大电路 .....	(259)
11.4 单电源互补对称功率放大电路(OTL 电路) .....	(260)
11.4.1 电路组成及工作原理 .....	(260)
11.4.2 功率和效率的估算 .....	(261)
11.5 实用功率放大电路举例 .....	(261)
11.5.1 OCL 高保真功率放大电路 .....	(261)
11.5.2 OTL 音频功率放大电路 .....	(262)
11.6 集成功率放大器介绍 .....	(263)
11.6.1 TDA2030A 音频集成功率放大器简介 .....	(263)
11.6.2 TDA2030A 集成功放的典型应用 .....	(264)
本章小结 .....	(265)
习题 11 .....	(265)

<b>第 12 章 直流稳压电源</b> .....	(267)
12.1 直流稳压电源的组成 .....	(267)
12.2 整流电路 .....	(268)
12.2.1 单相半波整流电路 .....	(268)
12.2.2 单相全波整流电路 .....	(268)
12.2.3 单相桥式整流电路 .....	(269)
12.2.4 整流电路的主要参数 .....	(270)
12.3 滤波电路 .....	(272)
12.3.1 电容滤波电路 .....	(272)
12.3.2 电感滤波电路 .....	(273)
12.4 稳压管稳压电路 .....	(274)
12.4.1 电路组成及稳压原理 .....	(274)
12.4.2 限流电阻的选择 .....	(275)
12.5 串联型直流稳压电路 .....	(275)
12.5.1 电路组成及工作原理 .....	(275)
12.5.2 集成稳压电路 .....	(276)
本章小结 .....	(278)
习题 12 .....	(278)
实验 15 整流、滤波及串联型稳压电源 .....	(281)
<b>附录 综合实训</b> .....	(285)
实训 1 荧光灯的安装及功率因数的提高 .....	(285)
实训 2 小容量变压器的设计 .....	(287)
实训 3 无触点自动充电器的设计 .....	(290)
实训 4 温度控制电路的设计 .....	(292)
实训 5 数字逻辑信号测试器的设计 .....	(293)
<b>习题参考答案</b> .....	(297)
<b>参考文献</b> .....	(306)

# 第 1 章 电路的基本概念和基本定律

本章主要介绍电路的基础知识,包括电路的基本概念、基本物理量、常用元件以及电路中的基本定律——基尔霍夫定律。

## 1.1 电路和电路模型

### 1.1.1 电路

电路在日常生活、生产和科学研究工作中得到了广泛应用。小到手电筒,大到计算机、通信系统和电力网络,都可以看到各种各样的电路。可以说,只要用电的物体,其内部都含有电路,只是电路的结构各异,特性和功能也不相同。电路的一种功能是实现电能的传输和转换,例如电力网络将电能从发电厂输送到各个工厂、广大农村和千家万户,供各种电气设备使用;电路的另一种功能是实现电信号的传输、处理和存储,例如电视接收天线将接收到的含有声音和图像信息的高频电视信号,通过高频传输线送到电视机中,这些信号经过选择、变频、放大和检波等处理,恢复出原来的声音和图像信号,在扬声器上发出声音并在显像管屏幕上呈现图像。

那么,什么是电路呢?所有的实际电路是由电气设备和元器件按照一定的方式连接起来、为电流的流通提供路径的总体,也称为网络。在实际电路中,电能或电信号的发生器称为电源,用电设备称为负载。电压和电流是在电源的作用下产生的,电源又称为激励源,简称激励。由激励而在电路中产生的电压和电流称为响应。有时,根据激励和响应之间的因果关系,把激励称为输入,响应称为输出。手电筒电路就是一个最简单的实用电路。这个电路是由一个电源(干电池)、一个负载(小灯泡)、一个开关和连接导线组成的,如图 1.1(a)所示。

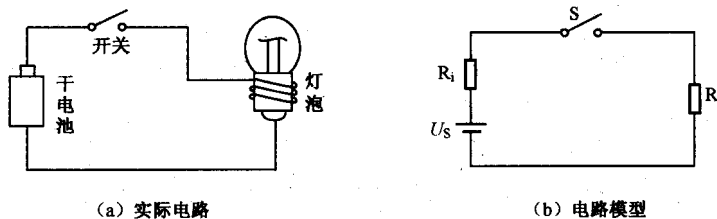


图 1.1 手电筒电路

### 1.1.2 电路模型

为了便于对实际电路进行分析,通常将实际电路器件理想化(或称模型化),即在一定条件下,突出其主要的电磁性质,忽略其次要因素,将其近似地视为理想电路元件,并用规定的图形符号表示。例如我们用电阻元件来表征具有消耗电能特征的各种实际元件,那么在电源频率不十分高的电路中,所有电阻器、电炉、电灯等实际电路元器件,都可以用电阻元件这个理想化的模型来近似表示。同样,在一定条件下,电感线圈忽略其电阻,就可以用电感元件来近似地

表示;电容器忽略其漏电,就可以用电容元件近似地表示。此外还有电压源、电流源两种理想电源元件。以上这些理想元件分别可以简称为电阻、电感、电容和电源,它们都具有两个端钮,因而称为二端元件;其中,电阻、电感、电容又称为无源元件<sup>①</sup>。

由理想元件组成的电路,称为实际电路的电路模型。图 1.1(b)即为图 1.1(a)所示实际电路的电路模型;又如图 1.2(a)所示为一个最简单的晶体管放大电路,其电路模型如图 1.2(b)所示。今后如未加特殊说明,所说的电路均指电路模型。

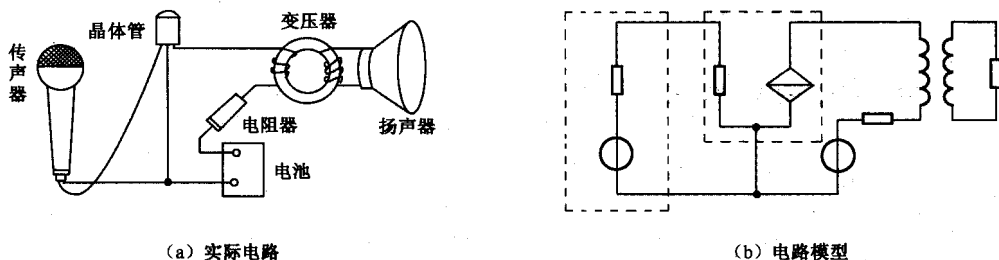


图 1.2 晶体管放大电路

以上用理想电路元件或它们的组合模拟实际器件的过程称为建模。建模时必须考虑工作条件,并按不同精确度的要求把给定工作情况下的主要物理现象及功能反映出来。例如,在直流情况下,一个线圈的模型可以是一个电阻元件;在较低频率下,就要用电阻元件和电感元件的串联组合模拟;在较高频率下,还应考虑导体表面的电荷作用,即电容效应,为此其模型还需要包含电容元件。可见,在不同的条件下,同一实际器件可能采用不同模型。模型取得恰当,对电路的分析和计算结果就与实际情况接近;模型取得不恰当,则会造成很大误差,有时甚至导致自相矛盾的结果。如果模型取得太复杂,就会造成分析的困难;反之,如果取得太简单,就不足以反映所求解的真实情况。可见建模问题需要专门研究,绝不能草率定论。

### 1.1.3 集总参数电路

可以认为理想电路元件的电磁过程都是集中在元件内部进行的,即在任何时刻,从具有两个端钮的理想元件的某一端钮流入的电流,恒等于该时刻从另一端钮流出的电流,并且元件两端钮间的电压值也是完全确定的,与器件的几何尺寸和空间位置无关。凡端钮处电流和端钮间电压满足上述情况的电路元件称为集总参数元件(Lumped parameter element),由集总参数元件构成的电路称为集总参数电路。

用集总参数电路来近似实际电路是有条件的,这个条件就是实际电路元件的几何尺寸( $d$ )与电路工作频率所对应的波长( $\lambda$ )相比,满足  $d \ll \lambda$ 。例如,我国电力用电的频率为 50Hz,对应的波长为 6000km,对以此为工作频率的实验室设备来说,由于其尺寸与这一波长相比可以忽略不计,因而用集总概念是完全可以的。反之,不满足  $d \ll \lambda$  条件的另一类电路称为分布(Distributed)参数电路,其特点是电路中的电压和电流不仅是时间的函数,也与器件的几何尺寸和空间位置有关,由波导和传输线组成的电路是分布参数电路的典型例子。例如,对于电视天线及其传输线来说,其工作频率为  $10^8$  Hz 的数量级,譬如 10 频道,其工作频率约为

<sup>①</sup> 电路中有两类元件:有源元件和无源元件。有源元件能产生或者控制能量而无源元件不能。电阻、电容、电感等均为无源元件,发电机、电池、运算放大器、三极管、场效应管等为有源元件。

200MHz,相应的工作波长为 1.5m,这时的传输线就是分布参数电路。

本书只讨论集总参数电路,为叙述方便起见,今后常简称为电路。

### 1.1.4 计量单位制

计量单位制是一个通用的计量单位的规定,不论国家与地区,只要涉及某个物理量的测量,就要以规定的单位来表示,这样大家都能明白和接受。本书采用的是国际单位制(SI)。国际单位制是在 1960 年国际度量会议上所确定的通用计量单位制。SI 有 6 个基本单位,如表 1.1 所列这 6 个基本单位、符号及所表示物理量的名称。由基本单位可导出其他物理量的单位,例如,电荷量的单位是库仑(C), $1C=1A \cdot s$ ,力的单位是牛顿(N), $1N=1kg \cdot m/s^2$ 。有些物理量的导出单位也可以用具有专门名称的 SI 制导出单位表示,如功率的单位是瓦特(W), $1W=1J/s$ ,电压的单位是伏特(V), $1V=1W/A$  等。以上均可参考国标 GB3100—86。

表 1.1 国际单位制的 6 个基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克	kg
时间	秒	s
电流	安培	A
热力学温度	开尔文	K
发光强度	坎德拉	cd

国际单位制的一个优点是可以用以 10 的幂次方为基础的前缀(或称词头)与基本单位联系起来表示很大或很小的量。表 1.2 所列国际单位制的前缀及其符号。

表 1.2 国际单位制前缀及其符号

所乘的 10 次幂	前缀	符号	所乘的 10 次幂	前缀	符号
$10^{18}$	艾[可萨]	E	$10^{-1}$	分	d
$10^{15}$	拍[它]	P	$10^{-2}$	厘	c
$10^{12}$	太[拉]	T	$10^{-3}$	毫	m
$10^9$	吉[咖]	G	$10^{-6}$	微	$\mu$
$10^6$	兆	M	$10^{-9}$	纳[诺]	n
$10^3$	千	k	$10^{-12}$	皮[可]	p
$10^2$	百	h	$10^{-15}$	飞[母托]	f
$10^1$	十	da	$10^{-18}$	阿[托]	a

## 1.2 电路的基本物理量

在电路理论中,电路的基本物理量有 4 个:电流、电压、电荷和磁通,其中最常用的是电流和电压。电路的基本复合物理量为电功率和电能。电路分析的基本任务是计算电路中的电流、电压和功率。

## 1.2.1 电流

### 1. 电流的基础知识

电荷的定向运动形成电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向。电流的大小用电流强度来衡量,电流强度指单位时间内通过导体横截面积的电荷量,电流强度简称电流,其数学表达式为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中, $i$ 表示电流强度,单位是安[培],用A表示,在计量微小电流时,通常用毫安(mA)或微安( $\mu$ A)作为单位; $dq$ 为微小电荷量,单位是库[仑],用C表示; $dt$ 为微小的时间间隔,单位是秒,用s表示。

按照电流的大小和方向是否随时间变化,分为恒定电流(简称直流DC)和时变电流,分别用符号 $I$ 和 $i$ 表示。我们平时所说的交流(AC)是时变电流的特例,它满足两个特点,一是周期性变化,二是一个周期内电流的平均值等于零。

以后我们对其他物理量一般也用大写字母代表恒定量,用小写字母代表变动的量。

### 2. 电流的参考方向

在分析电路时往往不能事先确定电流的实际方向,而且由于时变电流的实际方向又随时间不断变化,因此在电路中很难标明电流的实际方向。为此,我们引入电流的“参考方向”这一概念。

参考方向的选择具有任意性。在电路中通常用实线箭头或双字母下标表示,实线箭头可以画在线外,也可以画在线上。为了区别,电流的实际方向通常用虚线箭头表示,如图1.3所示。而且规定:若电流的实际方向与所选的参考方向一致,则电流为正值,即 $i > 0$ ;若电流的实际方向与所选的参考方向相反,则电流为负值,即 $i < 0$ ,如图1.3所示。显然,电流成为了一个具有正、负的代数量。

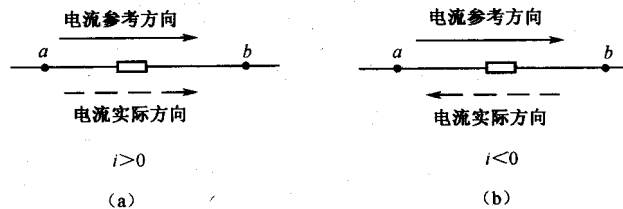


图 1.3 电流的参考方向与实际方向

图1.3(a)所示电流参考方向为从 $a$ 到 $b$ ,用双下标法表示为 $i_{ab}$ ;图(b)中为从 $b$ 到 $a$ ,表示为 $i_{ba}$ 。可见,对于同一电流,参考方向选择不同,其数值互为相反数,即

$$i_{ab} = -i_{ba} \quad (1-2)$$

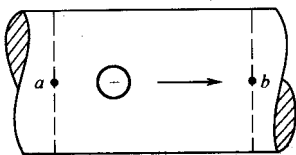


图 1.4 例 1.1 图

**例 1.1** 导线中通过一直流电流,已知在1s内从 $a$ 到 $b$ 通过导体横截面的为1C(库仑)的自由电子的电量,如图1.4所示。问导线中的电流 $I$ 是多少?

**解:**引入参考方向概念后,分析本题若单从 $I = \frac{q}{t}$ 这一式子出发,从而得出 $I = 1A$ 的结论是不大确切的。为此分析本题时,

首先要为电流规定参考方向。

(1) 选定电流参考方向由  $a \rightarrow b$ , 自由电子是从  $a$  运动到  $b$ , 即电流实际方向是由  $b \rightarrow a$ , 可见电流实际方向与参考方向相反, 电流为负值,  $I_{ab} = -1A$ 。

(2) 选定电流参考方向由  $b \rightarrow a$ , 电流实际方向与参考方向相同,  $I_{ba} = 1A$ 。

## 1.2.2 电压

### 1. 电压的基础知识

电路分析中另一个基本物理量是电压。直流电压用大写字母  $U$  表示, 交流电压用小写字母  $u$  表示, 单位为伏[特], 用  $V$  表示。为了便于计量, 还可以用毫伏(mV)、微伏( $\mu V$ )和千伏(kV)等作为单位。在数值上, 电路中任意  $a$ 、 $b$  两点之间的电压等于电场力由  $a$  点移动单位正电荷到  $b$  点所做的功, 即

$$U_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

式中,  $dW$  是电场力所做的功, 单位是焦耳(J)。

### 2. 电位

在电路中任选一点作为参考点, 则其他各点到参考点的电压称做该点的电位, 用符号  $V$  表示。例如, 电路中  $a$ 、 $b$  两点的电位分别表示为  $V_a$  和  $V_b$ , 并且  $a$ 、 $b$  两点间的电压与该两点电位有以下关系:

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

可见, 两点间电压就是该两点的电位之差。电位与电压既有联系又有区别。其主要区别在于: 电路中任意两点间的电压, 其数值是绝对的, 与该两点间的路径无关; 而电路中某一点的电位是相对的, 其值取决于参考点的选择。在电子技术中, 通常用求解电位的方法判断半导体器件, 如二极管、三极管的工作状态。

今后如未说明, 通常选接地点作为参考点, 并且参考点的电位为零。

引入电位概念后, 两点间电压的实际方向即由高电位点指向低电位点。显然电压就是指电压降。

电路中电位相同的点称为等电位点。在如图 1.5 所示的电路中,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三点电位分别为

$$V_a = 6 \times \frac{1}{3+1} = 1.5V$$

$$V_b = 6 \times \frac{3}{9+3} = 1.5V$$

$$V_c = 6 \times \frac{2}{2+2} = 3V$$

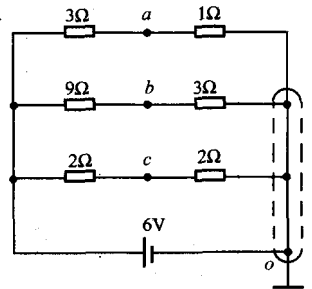


图 1.5 等电位点

式中,  $a$ 、 $b$  两点电位相等, 是等电位点。等电位点的特点是: 各点之间虽然没有直接相连, 但其电位相等, 两点间电压等于零。若用导线或电阻将等电位点连接起来, 导线和电阻元件中没有电流通过, 不会影响电路的工作状态。

$b$ 、 $c$  两点电位不等, 这时若用导线将两点连接,  $b$ 、 $c$  两点强迫电位相等, 导线中有电流通过, 也即改变了电路原有工作状态。

另外, 导线上的各点均为等电位点。图中虚线所包围的结点都是等电位点。



### 3. 电压的参考方向

电压的参考方向(也称参考极性)的选择同样具有任意性,在电路中可以用“+”、“-”号表示,也可用双字母下标或实线箭头表示,如图 1.6 所示。电压正、负值的规定与电流一样,此处不再赘述。

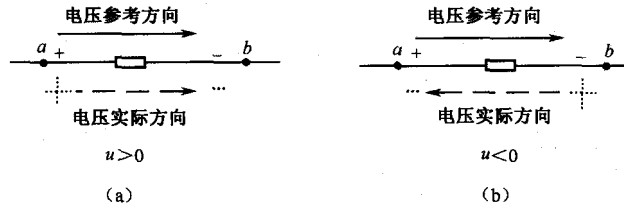


图 1.6 电压的参考方向与实际方向

注意:今后在求电压、电流时,必须先规定好参考方向,否则求出的值无意义。

### 4. 电压、电流的关联参考方向

通常,对于一个元件或在一段电路中,电流参考方向和电压参考方向都是可以任意选定的,彼此独立无关。但为了分析方便,习惯上将某一元件或某段电路的电压和电流的参考方向选得一致,即选定电流从标注电压“+”极性端流入而从标注“-”极性端流出,这样选定的电压和电流的参考方向称为关联参考方向,简称关联方向,如图 1.7(a)和(b)所示。否则,称非关联方向,如图 1.7(c)和(d)所示。

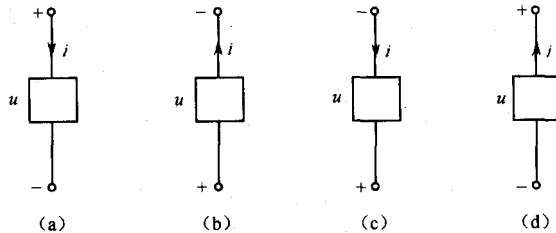


图 1.7 二端元件电压、电流的参考方向

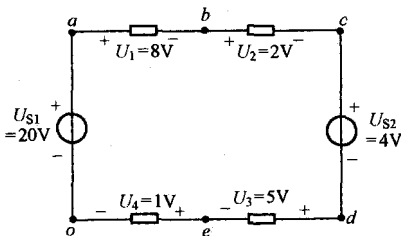


图 1.8 例 1.2 电路

**例 1.2** 图 1.8 所示电路中,  $o$  点为参考点,各元件上电压分别为  $U_{S1}=20\text{V}$ ,  $U_{S2}=4\text{V}$ ,  $U_1=8\text{V}$ ,  $U_2=2\text{V}$ ,  $U_3=5\text{V}$ ,  $U_4=1\text{V}$ 。试求  $U_{ac}$ 、 $U_{bd}$ 、 $U_{be}$  和  $U_{ae}$ 。

**解:**选  $o$  点为参考点,所以  $o$  点电位  $V_o=0$ 。其他各点到参考点的电位分别为

$$V_a = U_{S1} = 20\text{V}$$

$$V_b = -U_1 + U_{S1} = -8 + 20 = 12\text{V}$$

$$V_c = -U_2 - U_1 + U_{S1} = -2 - 8 + 20 = 10\text{V}$$

$$V_d = U_3 + U_4 = 5 + 1 = 6\text{V}$$

$$V_e = U_4 = 1\text{V}$$

根据式(1-4),求出两点间电压分别为

$$U_{ac} = V_a - V_c = 20 - 10 = 10\text{V}$$

$$U_{bd} = V_b - V_d = 12 - 6 = 6\text{V}$$