

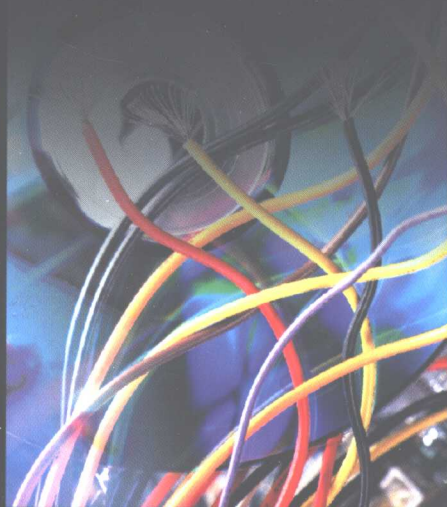
高等学校教材

电路与电子技术

太原理工大学电工基础教学部 编

李晓明 主编

陈惠英 田慕琴 副主编



高等教育出版社

高等学校教材

电路与电子技术

太原理工大学电工基础教学部 编

李晓明 主编

陈惠英 田慕琴 副主编

高等教育出版社

内容简介

本书是根据教育部面向 21 世纪电工电子技术课程教改方案,结合山西省教育厅 21 世纪初高等教育重点教改项目——“非电类理工科专业电工电子课程模块教学改革的研究与实践”而编写的模块教材。

本书内容包括电路分析基础、模拟电子技术、数字电子技术、计算机仿真 EWB 等共 13 章,并以 EWB 为教学实验平台,与课堂教学互动,极大地增强了学生学习的积极性,提高了学生的分析能力与设计能力。

本书适用于高等学校理工科部分非电类专业和计算机专业,也可作为高职高专及成人教育相应专业的教材,还可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子技术/李晓明主编. —北京:高等教育出版社,2004.7

ISBN 7-04-014527-8

I. 电... II. 李... III. ①电路理论 - 高等学校 - 教材②电子技术 - 高等学校 - 教材 IV. ①TM13②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 034801 号

策划编辑 金春英 责任编辑 李葛平 封面设计 于文燕 责任绘图 朱 静
版式设计 胡志萍 责任校对 杨雪莲 责任印制 孔 源

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京市卫顺印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 29.75
字 数 550 000

版 次 2004 年 7 月 第 1 版
印 次 2004 年 7 月 第 1 次印刷
定 价 33.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

21 世纪是科学技术飞速发展的时代,也是竞争激烈的时代。为了使当代大学生更好地适应这一新的时代,我们根据教育部面向 21 世纪电工电子技术课程教改要求与中国高等学校电工学研究会于 2003 年 8 月大连理事会修订的电工学课程教学基本要求,结合我们主持的山西省教育厅重点教改项目——“21 世纪初非电类专业电工学课程模块教学的改革与实践”,在我们已经使用数年的电工电子技术系列讲义的基础上,经过多次试用与反复修改,终以教材形式面诸于世。

本书是理工科计算机、管理、化工等机非电类专业本科适用的电工电子技术系列教材之一,也是我们教改项目中的模块教材之一,同时也是兄弟理工类院校与职业技术类院校相应专业择用的教材。参考学时为 90~110 学时。

本教材的基本特点是:传统内容精练,删减力度较大;突出了电路常用元器件,大大精简了分立元件电子电路内容,集成模拟电子技术与集成数字电子技术内容大大加强;电工电子新技术内容与现代分析手段大量引入;突出电气技能与素质培养方面的内容;在工业企业中的应用实例明显增多。

本教材突出电气技能与素质培养,特别将电子电路 EWB 软件的应用单独列为一章,并将每章内容的 EWB 分析要点着意指明,以便于使用本教材的读者初步熟悉现代电路分析手段,提高电路设计与分析能力。

依据电路与电子技术的发展趋势及其在工业企业的应用特点,并兼顾计算机专业的教学需求,本教材电路分析基础内容有电路基本分析法、交流电路、电路过渡过程等;模拟电子技术内容为常用半导体器件、基本放大电路、集成运放、电源变换等;数字电子技术内容为基础知识、组合逻辑电路、时序逻辑电路、555 电路、A/D 与 D/A 转换等;最后一章为 EWB 仿真技术简介。

为了有效减少课堂教学时数,增加课内信息量,提高教学效率,并以提高学生电气技能素质与新技术、新手段的应用能力为目标,使用本教材必须建立 EWB 机辅分析教学平台,结合教学方法及教学手段的改革,并与实践教学环节相配合,方能更有效地发挥其效能。

本教材由太原理工大学电工基础教学部组织编写,李晓明教授任主编,陈惠英、田慕琴任副主编。第 1、2、3、6、12 章由陈惠英编写,第 4、8、9、10、11 章由田慕琴编写,王建平编写了第 5、7、13 章及附录。

本教材由华南理工大学集成电路中心殷瑞祥教授审阅,提出许多宝贵的意

见和修改建议,我们根据提出的意见和建议进行了认真的修改。在本教材编写过程中,渠云田教授对本书提出许多宝贵的意见和修改建议,太原理工大学电工基础教学部使用本教材讲义的所有教师给予了极大的关心和支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,书中缺陷和疏漏在所难免,恳请使用本教材的教师和读者批评指正。

编 者

2004 年 1 月

目 录

第 1 章 电路基本分析法	(1)
1.1 电路的基本概念	(1)
1.1.1 电路的组成和基本功能	(1)
1.1.2 电路模型和理想电路元件	(1)
1.1.3 电路中电流、电压的正方向	(2)
1.1.4 电路的基本工作状态	(4)
1.1.5 电路中的电位	(6)
1.2 电路中的常用元件	(7)
1.2.1 无源电路元件	(7)
1.2.2 有源电路元件	(11)
1.3 基尔霍夫定律	(15)
1.3.1 基尔霍夫电流定律	(16)
1.3.2 基尔霍夫电压定律	(17)
1.4 电路分析方法	(18)
1.4.1 支路电流法	(18)
1.4.2 弥尔曼定理	(19)
1.4.3 叠加定理	(21)
1.4.4 等效电源定理	(23)
1.5 含受控源电路的分析	(29)
习题	(31)
第 2 章 交流电路	(37)
2.1 正弦交流电的基本概念	(37)
2.1.1 周期、频率和角频率	(37)
2.1.2 瞬时值、幅值和有效值	(38)
2.1.3 相位、初相位和相位差	(39)
2.2 正弦量的相量计算法	(40)
2.2.1 复数的几种表示形式	(41)
2.2.2 复数的四则运算	(41)
2.2.3 正弦量的相量表示	(42)
2.2.4 KCL、KVL 的相量形式	(43)

2.3 单一参数的正弦交流电路	(44)
2.3.1 线性电阻元件交流电路	(44)
2.3.2 线性电感元件交流电路	(46)
2.3.3 线性电容元件交流电路	(48)
2.4 电阻、电感与电容串联交流电路	(50)
2.4.1 电压电流的关系	(50)
2.4.2 端口上电压电流的关系	(51)
2.4.3 电路的功率	(52)
2.5 阻抗的串并联电路	(54)
2.5.1 阻抗串联电路	(54)
2.5.2 阻抗并联电路	(55)
2.5.3 混联交流电路的计算	(56)
2.6 功率因数的提高	(58)
2.6.1 提高功率因数的意义	(58)
2.6.2 提高功率因数的方法	(58)
2.7 交流电路的频率特性	(59)
2.7.1 RC 电路的频率特性	(60)
2.7.2 LC 谐振电路	(63)
*2.8 非正弦周期电流电路的分析	(67)
2.8.1 非正弦周期信号的分解	(68)
2.8.2 非正弦周期信号的有效值和平均功率的计算	(68)
2.8.3 非正弦周期信号的分析与计算	(70)
2.9 三相交流电路	(71)
2.9.1 三相交流电源	(71)
2.9.2 三相负载的连接	(73)
2.9.3 三相负载的功率	(79)
*2.10 安全用电技术简介	(81)
2.10.1 安全用电常识	(81)
2.10.2 触电的预防措施与相关的安全技术	(81)
2.10.3 电气火灾及防火措施	(83)
习题	(84)
第3章 电路的过渡过程	(91)
3.1 换路定则及电压和电流初始值的确定	(91)
3.2 RC 电路的过渡过程	(93)
3.2.1 电容的放电过程	(94)

3.2.2 电容的充电过程	(96)
3.3 一阶电路的三要素法	(98)
3.4 RL 电路的过渡过程	(102)
3.5 微分电路与积分电路	(104)
3.5.1 微分电路	(104)
3.5.2 积分电路	(106)
习题	(107)
第4章 常用半导体器件	(111)
4.1 半导体的导电特性	(111)
4.1.1 本征半导体	(111)
4.1.2 掺杂半导体	(112)
4.1.3 PN 结及其单向导电性	(112)
4.2 半导体二极管	(114)
4.2.1 二极管的结构和伏安特性	(114)
4.2.2 二极管的主要参数	(115)
4.2.3 二极管的应用举例	(116)
4.2.4 稳压二极管	(118)
4.3 半导体三极管	(120)
4.3.1 三极管的结构及类型	(120)
4.3.2 三极管的电流分配和放大作用	(121)
4.3.3 三极管的特性曲线	(122)
4.3.4 三极管的主要参数	(125)
4.3.5 复合三极管	(127)
4.4 场效应晶体管	(128)
4.4.1 增强型 MOS 管	(129)
4.4.2 耗尽型 MOS 管	(131)
4.4.3 场效应晶体管的主要参数	(132)
4.4.4 各种场效应晶体管特性的比较	(133)
4.5 晶闸管	(134)
4.5.1 晶闸管的结构与符号	(135)
4.5.2 晶闸管的工作原理	(135)
4.5.3 晶闸管的伏安特性	(136)
4.5.4 晶闸管的主要参数	(137)
4.5.5 晶闸管的保护	(138)
习题	(140)

第 5 章 基本放大电路	(145)
5.1 放大电路概述	(145)
5.1.1 放大电路的作用和组成	(145)
5.1.2 放大电路的主要性能指标	(146)
5.1.3 直流通路与交流通路	(148)
5.2 放大电路的分析	(150)
5.2.1 静态分析	(150)
5.2.2 动态分析	(151)
5.2.3 典型放大电路的分析	(158)
5.3 多级放大电路	(163)
5.3.1 阻容耦合放大电路	(163)
5.3.2 直接耦合放大电路	(164)
5.4 功率放大电路	(166)
5.4.1 功率放大器概述	(167)
5.4.2 互补对称功率放大电路	(168)
5.4.3 集成功率放大器	(172)
5.5 场效应管放大电路	(174)
5.5.1 共源极放大电路	(174)
5.5.2 源极输出器	(177)
习题	(178)
第 6 章 集成运算放大器	(183)
6.1 差分放大电路	(183)
6.1.1 零点漂移的抑制	(183)
6.1.2 差分放大电路的工作原理	(184)
6.1.3 差分放大电路的 4 种输入 - 输出方式	(185)
6.2 集成运算放大器概述	(186)
6.2.1 集成运放的结构与符号	(187)
6.2.2 集成运放的主要技术指标	(189)
6.2.3 集成运放的理想化条件与分析依据	(190)
6.3 放大电路中的反馈	(192)
6.3.1 反馈的基本概念	(192)
6.3.2 反馈的分类	(193)
6.3.3 反馈的判断	(194)
6.3.4 负反馈对放大电路性能的影响	(199)
6.4 集成运放在信号运算方面的应用	(201)

6.4.1 比例运算电路	(201)
6.4.2 减法运算与差分电路	(203)
6.4.3 求和运算电路	(205)
6.4.4 积分电路与微分电路	(207)
6.5 集成运放在信号处理方面的应用	(210)
6.5.1 运放外接非线性元件的应用	(210)
6.5.2 有源滤波器	(212)
6.5.3 电压比较器	(216)
6.6 集成运放在波形产生方面的应用	(220)
6.6.1 非正弦波产生器	(220)
6.6.2 正弦波振荡电路	(223)
*6.7 常用集成运放简介	(226)
6.7.1 常用集成运放芯片	(226)
6.7.2 常用集成比较器芯片	(228)
6.7.3 函数发生器芯片	(230)
习题	(231)
第7章 电源变换电路	(239)
7.1 整流电路	(239)
7.1.1 二极管整流电路	(239)
7.1.2 滤波电路	(242)
7.1.3 晶闸管可控整流电路	(245)
7.2 直流稳压电路	(251)
7.2.1 线性稳压电源	(251)
7.2.2 开关稳压电源	(259)
*7.2.3 直流调压电路(斩波器)	(262)
*7.3 交流调压电路	(264)
7.3.1 单相交流调压电路	(264)
7.3.2 双向晶闸管	(265)
7.3.3 双向晶闸管应用电路实例	(265)
*7.4 无源逆变电路	(266)
7.4.1 逆变的概念	(266)
7.4.2 电压型单相桥式逆变电路	(267)
习题	(268)
第8章 数字电路基础	(273)
8.1 数制及编码	(273)

8.1.1 几种常用的数制及其转换	(273)
8.1.2 编码	(277)
8.2 逻辑代数基础	(279)
8.2.1 逻辑代数基本运算	(279)
8.2.2 逻辑代数的运算法则和基本定理	(280)
8.3 逻辑函数的表达	(282)
8.3.1 逻辑函数的常用表达式	(282)
8.3.2 逻辑函数的标准表达式	(282)
8.3.3 逻辑函数的化简	(284)
习题	(290)
第9章 门电路和组合逻辑电路	(292)
9.1 分立元件门电路	(292)
9.1.1 基本逻辑门电路	(292)
9.1.2 复合逻辑门	(293)
9.2 TTL 集成门电路	(295)
9.2.1 TTL 与非门电路	(295)
9.2.2 其他类型的 TTL 集成门电路	(300)
9.3 CMOS 逻辑门	(303)
9.3.1 CMOS 反相器	(303)
9.3.2 其他类型的 CMOS 门电路	(305)
9.3.3 集成 CMOS 逻辑门系列和参数简介	(308)
9.4 组合逻辑电路的分析与设计	(311)
9.4.1 组合逻辑电路的分析	(311)
9.4.2 组合逻辑电路的设计	(313)
9.5 加法器	(315)
9.5.1 1 位加法器	(315)
9.5.2 多位加法器	(317)
9.6 编码器	(318)
9.6.1 普通编码器	(318)
9.6.2 优先编码器	(319)
9.7 译码器	(323)
9.7.1 二进制译码器	(323)
9.7.2 二~十进制译码器	(326)
9.7.3 显示译码器	(326)
9.8 数据选择器	(330)

9.8.1 4选1数据选择器	(330)
9.8.2 8选1数据选择器	(331)
9.8.3 用数据选择器实现逻辑函数	(332)
9.9 组合逻辑电路的竞争-冒险	(333)
习题	(335)
第10章 触发器与时序逻辑电路	(339)
10.1 触发器	(339)
10.1.1 基本RS触发器	(339)
10.1.2 可控触发器	(340)
10.1.3 主从触发器	(343)
10.1.4 边沿触发器	(343)
10.1.5 常用集成触发器及触发器的触发方式	(344)
10.2 时序逻辑电路	(346)
10.3 计数器	(350)
10.3.1 二进制计数器	(350)
10.3.2 十进制计数器	(354)
10.3.3 集成计数器	(355)
10.4 寄存器	(363)
10.4.1 数码寄存器	(363)
10.4.2 移位寄存器	(365)
习题	(369)
第11章 脉冲波形的产生与整形	(374)
11.1 555定时器	(374)
11.1.1 电路的组成	(374)
11.1.2 功能	(374)
11.2 施密特触发器	(375)
11.2.1 用555定时器构成的施密特触发器	(376)
11.2.2 施密特触发器的应用	(378)
11.2.3 集成施密特触发器	(379)
11.3 单稳态触发器	(379)
11.3.1 用555定时器构成的单稳态触发器	(380)
11.3.2 单稳态触发器的应用	(383)
11.3.3 集成单稳态触发器	(384)
11.4 多谐振荡器	(384)
11.4.1 用555定时器构成的多谐振荡器	(384)

11.4.2 多谐振振荡器的应用	(387)
习题	(390)
第12章 数模和模数转换技术	(391)
12.1 数模转换技术	(391)
12.1.1 权电阻 D/A 转换	(392)
12.1.2 $R/2R$ 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	(394)
12.1.3 $R/2R$ T 形电阻网络 D/A 转换器	(397)
12.1.4 D/A 转换器的技术指标	(398)
12.1.5 D/A 转换器 DAC0808	(399)
12.2 模数转换技术	(400)
12.2.1 并行 A/D 转换器	(400)
12.2.2 双积分 A/D 转换器	(402)
12.2.3 逐次比较式 A/D 转换器	(405)
12.2.4 A/D 转换器 ADC0804	(406)
12.2.5 A/D 转换器的技术指标	(407)
习题	(407)
第13章 EWB 电子电路仿真技术简介	(410)
13.1 EWB 的特点	(410)
13.2 EWB 软件的安装和使用	(411)
13.3 电子电路的仿真方法和步骤	(412)
13.4 电路原理图的输入方法	(413)
13.5 EWB 的主窗口	(415)
13.6 EWB 的元器件	(417)
13.7 EWB 的虚拟仪器	(422)
13.8 EWB 的分析方法	(429)
13.9 EWB 在教学中的应用举例	(436)
附录	(448)
附录1 电阻器、电容器及其标称值	(448)
附录2 半导体分立器件型号命名法	(450)
附录3 部分半导体器件型号和参数	(451)
附录4 半导体集成电路型号命名法	(455)
附录5 部分半导体集成电路的型号和主要参数	(458)
参考文献	(460)

第1章 电路基本分析法

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成和基本功能

由导线、开关将电源和用电设备连接起来组成的闭合路径叫做电路。复杂的电路呈网状,称为网络。电路的形式多种多样,但从电路的结构来看,其组成都有电源、负载、中间环节三个最基本的部分。如图1-1所示的手电筒电路中,电池把化学能转换成电能供给灯泡,称为电源。灯泡把电能转换成热能或光能作照明之用,称为负载。连接电源和负载的部分,称为中间环节。

电路的基本功能可概括为两个方面:一是实现电能的传输和转换,如日常的照明用电就是利用灯泡将电能转换为光能和热能,完成电能的传输和转换;二是对信号的传递与处理,如语言、文字、音乐、图像的接收和处理。

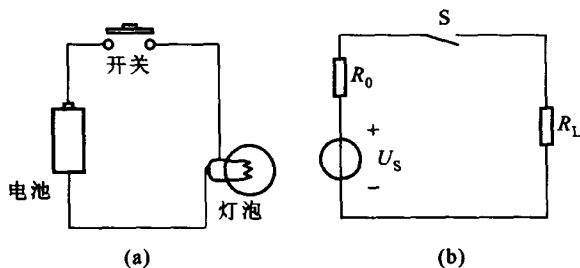


图1-1 手电筒电路及其电路模型

(a) 实际电路 (b) 电路模型

1.1.2 电路模型和理想电路元件

实际的电器设备和元器件在工作时,其物理过程是非常复杂的,很难用简单的数学表达式来描述。为了研究电路的一般规律,常常需要将实际的电路元件理想化,忽略其次要的因素,用反映它们主要物理性质的理想元件来代替。这种由理想元件组成的电路称为电路模型,它是对实际电路物理性质的高度抽象和概括。

用于构成电路的元器件或设备统称为实际电路元件。从能量转换角度看,

有电能的产生、电能的消耗以及电场能量和磁场能量的储存。用来表征上述物理性质的理想电路元件有理想电压源 U_s 、理想电流源 I_s 、电阻元件 R 、电容元件 C 、电感元件 L ，图 1-2 是它们的图形符号。

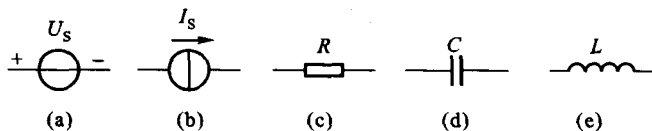


图 1-2 理想电路元件符号

(a)理想电压源 (b)理想电流源 (c)电阻元件 (d)电容元件 (e)电感元件

1.1.3 电路中电流、电压的正方向

1. 电流、电压的实际方向

带电粒子的有秩序的运动形成电流。衡量电流大小的物理量是电流强度，简称电流。电流在数值上等于单位时间内流过导体某截面的电荷量，用符号 i 表示。电路中电流的正方向是指正电荷流动的方向。

电压表明单位正电荷在电场力作用下转移时减少的电能，体现为电位的降低，用符号 u 表示。所以电压的正方向是指电位降低的方向。

2. 电流、电压的参考方向

在分析许多具体问题时，往往不能预先确定某段电路上电流、电压的实际方向。为了便于分析，电路中引入了参考方向的概念。电流、电压的参考方向是为分析电路任意设定的，图 1-3 电路中箭头所示方向就是电流和电压的参考方向。电路中的电流和电压的参考方向可能与实际方向一致，也可能相反，但

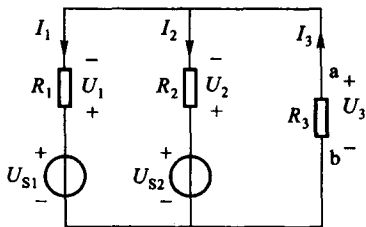


图 1-3 电流、电压的参考方向

不论属于哪一种情况，都不会影响电路分析的正确性。显然，在未标明参考方向的前提下，讨论电流或电压的正、负值是没有意义的。

参考方向除了用箭头标示外，还可以用双下标表示。如图 1-3 中电流 I_3 和电压 U_3 也可以写为 I_{ba} 和 U_{ab} 。电压也可以用参考极性“+”、“-”表示。

当一个元件或一段电路上的电流、电压参考方向一致时，称为关联参考方向。如图 1-4(a) 中电流、电压采用了关联参考方向，这时端电压为

$$U = RI \quad (1-1)$$

若采用非关联参考方向，如图 1-4(b) 所示，则电阻 R 两端的电压为

$$U = -RI \quad (1-2)$$

3. 元件性质的判别

我们知道,电功率是电流通过负载时电场力在单位时间内对电荷所做的功。一个元件上的电功率等于该元件两端的电压与通过该元件电流的乘积,即 $p = ui$,在直流的情况下 $P = UI$ 。

在分析电路时,对功率计算公式做如下规定:

(1) 当电流、电压取关联的参考方向时,如图 1-4(a) 所示。

$$P = UI \quad (1-3)$$

(2) 当电流、电压取非关联参考方向时,如图 1-4(b) 所示。

$$P = -UI \quad (1-4)$$

把电流 I 和电压 U 数值的正负号如实代入公式,当计算结果 $P > 0$ 时,表示元件吸收功率,该元件为负载性;反之,当 $P < 0$ 时,表示元件发出功率,该元件为电源性。

在实际应用中,电路基本物理量的单位常使用其国际单位制(SI)的主单位。但有时感到这些单位太小或太大,不方便,因此常在这些单位前面加上词头,用来表示这些单位乘以 10^n (见表 1-1) 后所得到的辅助单位。

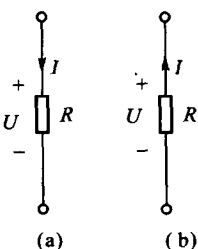


图 1-4 参考方向的关联性

(a) 关联参考方向

(b) 非关联参考方向

表 1-1 SI 词头

因数	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}
符号	p	n	μ	m	k	M	G	T
读法	皮	纳	微	毫	千	兆	吉	太

例 1-1 计算图 1-5 电路中各元件的功率,并说明元件的性质。

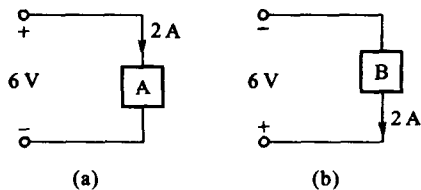


图 1-5 例 1-1 的电路图

解: 图 1-5(a) 所示电路的电压与电流为关联参考方向,所以

$$P = UI = 6 \times 2 \text{ W} = 12 \text{ W}$$

计算结果 $P > 0$, 元件 A 吸收 12 W 的功率,为负载性。

图 1-5(b) 所示电路的电压与电流为非关联参考方向, 所以

$$P = -UI = -6 \times 2 \text{ W} = -12 \text{ W}$$

计算结果 $P < 0$, 元件 B 产生 12 W 的功率, 为电源性。

1.1.4 电路的基本工作状态

一个实际电路有有载、开路和短路三种基本工作状态。现以图 1-6 所示电路为例, 分别讨论每一种状态的特点。

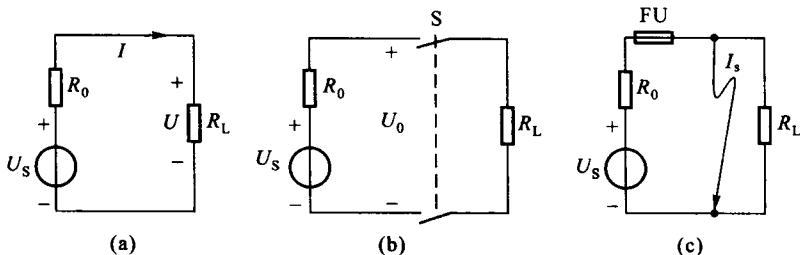


图 1-6 电路的三种工作状态

(a) 有载 (b) 开路 (c) 短路

1. 有载状态

在图 1-6(a) 中, 当电源与负载接通时, 电路为有载状态。电路中的电流

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L} \quad (1-5)$$

式中, R_L 为负载电阻; R_0 为电源的内阻, 通常 R_0 很小。负载两端的电压也就是电源的输出电压:

$$U = U_s - IR_0 \quad (1-6)$$

有载时的功率平衡关系为

$$P_{R_L} = P_{U_s} - P_{R_0} = U_s I - I^2 R_0 = UI \quad (1-7)$$

式中, $U_s I$ 为电源产生的功率; UI 为负载消耗的功率; $I^2 R_0$ 为电源内部损耗的功率。这时电源产生的电功率等于负载消耗的功率与电源内部损耗的功率之和。由此可见, 电源输出的电流和功率取决于负载的大小。

2. 开路

在图 1-6(b) 中, 打开开关的电路称为开路。此时电路中电流为零, 电源产生的功率和输出的功率都为零。处于开路状态下电源两端的电压称为开路电压, 用 U_0 表示, 其值等于电源的端电压 U_s , 即

$$U_0 = U_s \quad (1-8)$$

3. 短路

在图 1-6(c) 中, 若电源两端被直接连在一起, 造成电源短路, 称电路处于