

◎ 高等学校教材

电工电子技术

◎ 焦 阳 主 编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

内 容 简 介

本书是参照国家教委电工学课程教学指导小组于2004年制定的“电工学(电工技术、电子技术)课程教学基本要求”,并参照编者主编的《电子技术(电工学Ⅱ)》一书,在系统地总结作者多年教改和教学经验的基础上编写的。

全书分电工技术和电子技术两大部分,共15章。其内容包括:电路的基本概念和分析方法、正弦交流电路、一阶电路的过渡过程、变压器、电动机、电动机的控制系统、半导体器件、放大电路基础、集成运算放大器、正弦波振荡电路、直流稳压电源、数字电路、半导体存储器与可编程逻辑器件、数-模和模-数转换、电工电子EDA仿真技术。部分章节穿插有例题,各章均有适当数量的习题,并附有答案。

本书内容简明扼要、深浅适度、重点突出、联系实际,并有一定的知识面,可作为高等院校非电类专业本科的电工学教材,也可供其他读者阅读。

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

电工电子技术/焦阳主编. —北京:电子工业出版社,2006.8

高等学校教材

ISBN 7-121-03095-0

I. 电… II. 焦… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第096468号

责任编辑:魏永昌 特约编辑:李云霞

印 刷:北京市通州大中印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:20.5 字数:530千字

印 次:2006年8月第1次印刷

印 数:7000册 定价:28.00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,联系电话:(010)68279077;邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可,复制或销售或通过信息网络传播本作品的行为;歪曲、篡改、剽窃本作品的行为,均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人应承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序,保护权利人的合法权益,我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为,本社将奖励举报有功人员,并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话:(010)88254396;(010)88258888

传 真:(010)88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址:北京市万寿路173信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编:100036

前 言

本书是根据国家教委电工学课程教学指导小组于2004年制定的“电工学(电工技术、电子技术)课程教学基本要求”编写的,可作为非电类专业本科电工学课程的基本教材。

电工学是研究电工技术和电子技术的理论和应用的技术基础课。为了适应非电类专业对电工学课程应涉及面广、内容精练、知识新颖的要求,克服学时少、内容多的矛盾,本书对内容进行了精选,特别注重精练内容,从系统的角度对基本理论进行阐述,重视外部特性的研究,力求结构化、积木式,以便于选用,扩大了对不同专业的覆盖面。本书还突出了思维方法的训练,注重应用研究,以利于培养学生分析和解决实际问题的能力。

本教材主要有以下特点:

第一,对于基础内容,本着少而精原则,力求概念准确、清楚,阐述简明扼要;定理推导从简,突出方法应用。

第二,减少了模拟电子技术内容,加强了数字电子技术内容。如删减了分立元件组成放大器的定量计算,重点介绍放大器的基本概念和性能指标;增加了由中规模集成电路构成的组合逻辑电路的分析与设计等内容。

第三,本教材各章最后都介绍了与本章内容相关的实际应用典型实例,将电工电子技术应用到工业生产和日常生活中,有利于激发学生学习该课程的兴趣和积极性,并能解决一些实际问题。

第四,引入反映学科前沿和时代特征的内容,如PLD、EDA技术。让学生了解电工、电子学的最新发展和应用。

第五,编写组成员多年教学经验的积累和现用自编教材多年来的教学体会被纳入该教材。

本书由河北科技大学信息科学与工程学院教师编写,全书共15章,具体编写分工为:第1、5章由赵桂英编写;第2、10章由马献果编写;第3、9、14章由孙玉杰编写;第4、6章及附录由郝战存编写;第7、8章由齐宝林编写;第11章、第12章12.1~12.5节由张敏编写;第12章12.6~12.10节、第13章、第15章由焦阳编写,全书由焦阳统稿。

本书在编写过程中,得到了河北科技大学有关领导和教师的支持和帮助,特别是信息科学与工程学院的领导和教师;主审沙占友教授、王德奎副教授对全书的审定提出了许多有建设性的修改意见;参加审稿的还有李景缺副教授。在此,谨向所有帮助过我们的同志一并表示诚挚的感谢。

由于作者水平有限,书中难免会有错误和不妥之处,殷切希望使用本教材的师生以及其他读者给予批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 电路的基本概念和分析方法	(1)
1.1 电路的基本物理量及其正方向	(1)
1.1.1 电路与电路模型	(1)
1.1.2 电流和电压的方向	(2)
1.1.3 电功率	(3)
1.2 电阻元件与电源元件	(4)
1.2.1 电阻元件	(4)
1.2.2 电源元件	(5)
1.2.3 两种电源模型的等效互换	(6)
1.3 电路的基本定律	(8)
1.3.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	(8)
1.3.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	(9)
1.3.3 电路中电位的概念	(10)
1.4 电路的两种基本分析方法	(10)
1.4.1 支路电流法	(10)
1.4.2 节点电压法	(11)
1.5 线性电路的两个重要定理	(13)
1.5.1 叠加定理	(13)
1.5.2 戴维南定理	(15)
本章小结	(17)
习题	(17)
第 2 章 正弦交流电路	(21)
2.1 正弦量	(21)
2.1.1 正弦量的三要素	(21)
2.1.2 正弦量的有效值	(22)
2.1.3 相位差	(23)
2.2 正弦量的相量表示法	(24)
2.3 电路定律和元件 R 、 L 、 C 电压-电流关系的相量形式	(26)
2.3.1 电路定律的相量形式	(26)
2.3.2 元件电压-电流关系的相量形式	(26)
2.4 RLC 串联交流电路	(30)
2.5 阻抗的串联与并联	(33)
2.5.1 复数阻抗的串联电路	(33)
2.5.2 复数阻抗的并联电路	(33)
2.6 交流电路的功率及功率因数的提高	(34)

2.6.1	功率	(34)
2.6.2	功率因数的提高	(37)
2.7	交流电路中的谐振	(38)
2.7.1	串联谐振	(38)
2.7.2	并联谐振	(41)
2.8	三相电路	(42)
2.8.1	三相电源	(42)
2.8.2	三相负载的连接	(44)
2.9	安全用电常识	(47)
2.9.1	触电	(47)
2.9.2	防止触电的几种安全措施	(47)
2.9.3	静电防护	(48)
2.9.4	防火与防爆	(48)
	本章小结	(49)
	习题	(50)
第3章	一阶电路的过渡过程	(54)
3.1	换路定律及初始值的确定	(54)
3.1.1	换路定律	(54)
3.1.2	电压和电流初始值的确定	(54)
3.2	一阶电路过渡过程的分析方法	(55)
3.2.1	经典法	(56)
3.2.2	三要素法	(57)
3.3	矩形脉冲激励下的 RC 电路	(63)
3.3.1	RC 微分电路	(63)
3.3.2	RC 积分电路	(64)
	本章小结	(65)
	习题	(65)
第4章	变压器	(69)
4.1	变压器的基本结构与工作原理	(69)
4.1.1	变压器的基本结构	(69)
4.1.2	变压器的工作原理	(70)
4.2	变压器的外特性、效率与极性	(73)
4.2.1	变压器的外特性	(73)
4.2.2	变压器的损耗与效率	(74)
4.2.3	变压器绕组的极性及其测定	(74)
4.3	其他类型的变压器	(75)
4.3.1	三相变压器	(75)
4.3.2	特种变压器	(76)
	本章小结	(78)
	习题	(79)

第 5 章 电动机	(81)
5.1 三相异步电动机的结构	(81)
5.1.1 定子	(81)
5.1.2 转子	(81)
5.2 三相异步电动机的工作原理	(82)
5.2.1 旋转磁场	(82)
5.2.2 工作原理	(85)
5.3 三相异步电动机的机械特性	(86)
5.3.1 电磁转矩	(86)
5.3.2 机械特性	(86)
5.4 三相电动机的铭牌	(88)
5.5 三相异步电动机的使用	(89)
5.5.1 三相异步电动机的起动	(89)
5.5.2 三相异步电动机的调速	(91)
5.5.3 三相异步电动机的制动	(92)
5.6 单相异步电动机	(93)
5.6.1 电容分相式异步电动机	(93)
5.6.2 单相异步电动机应用实例	(94)
5.6.3 单相罩极式异步电动机	(95)
5.7 直流电动机	(95)
5.7.1 直流电动机的基本结构及励磁方式	(95)
5.7.2 直流电动机的工作原理及运行分析	(97)
5.7.3 直流电动机的起动和调速	(98)
5.8 电动机的选择	(100)
5.8.1 电动机的种类和形式的选择	(100)
5.8.2 电动机电压和转速的选择	(100)
5.8.3 电动机功率的选择	(100)
本章小结	(101)
习题	(102)
第 6 章 电动机的控制系统	(104)
6.1 常用低压电器	(104)
6.1.1 常用控制电器	(104)
6.1.2 电气图形符号和文字符号	(107)
6.2 继电器控制的基本环节	(107)
6.2.1 基本控制环节	(107)
6.2.2 基本保护环节	(110)
6.2.3 基本控制原则	(110)
6.3 继电器控制电路综合举例	(113)
6.3.1 笼型电动机 Y- Δ 起动的控制电路	(113)
6.3.2 加热炉自动上料控制电路	(114)

6.4	可编程控制器	(115)
6.4.1	PLC 的组成	(115)
6.4.2	PLC 的基本工作过程	(116)
6.4.3	PLC 与继电器控制的异同	(117)
6.4.4	PLC 的特点	(118)
6.4.5	PLC 的指令系统	(118)
6.5	编程的基本原则与技巧	(121)
6.5.1	编程的基本原则	(121)
6.5.2	编程技巧	(122)
6.5.3	PLC 应用控制系统的设计	(123)
	本章小结	(125)
	习题	(125)
第 7 章	半导体器件	(127)
7.1	半导体的基础知识	(127)
7.1.1	半导体的导电特性	(127)
7.1.2	PN 结	(128)
7.2	半导体二极管	(129)
7.2.1	二极管的基本结构	(129)
7.2.2	二极管的伏安特性	(130)
7.2.3	二极管的主要参数	(130)
7.2.4	二极管应用举例	(131)
7.2.5	常用的特殊二极管	(132)
7.3	半导体三极管	(133)
7.3.1	三极管的基本结构	(133)
7.3.2	三极管的工作原理	(134)
7.3.3	三极管的特性曲线	(136)
7.3.4	三极管的主要参数	(137)
7.4	场效应管	(138)
7.4.1	场效应管的分类、结构、符号和特性曲线	(138)
7.4.2	场效应管的主要参数和使用特点	(139)
	本章小结	(140)
	习题	(141)
第 8 章	放大电路基础	(143)
8.1	放大电路概述	(143)
8.1.1	放大的概念	(143)
8.1.2	放大电路的主要性能指标	(143)
8.2	单管共发射极放大电路	(145)
8.2.1	放大电路的组成	(145)
8.2.2	电路的工作情况	(145)
8.2.3	放大电路静态工作点的稳定	(148)

8.3	射极输出器	(150)
8.3.1	电路的组成	(150)
8.3.2	射极输出器的特点及用途	(150)
8.4	多级放大电路	(151)
8.4.1	多级放大电路的耦合方式	(152)
8.4.2	多级放大电路的主要性能指标	(153)
8.5	放大电路中的负反馈	(153)
8.5.1	反馈的概念	(153)
8.5.2	反馈的分类及判断	(154)
8.5.3	负反馈对放大电路性能的影响	(156)
8.6	差动放大电路	(157)
8.6.1	差动放大电路的组成	(157)
8.6.2	差动放大电路的工作原理	(158)
8.6.3	典型的差动放大电路	(159)
8.6.4	恒流源差动放大电路	(159)
8.7	功率放大电路	(160)
8.7.1	功率放大电路的特点和工作状态	(160)
8.7.2	乙类互补对称功率放大电路	(161)
8.7.3	甲乙类互补对称功率放大电路	(161)
	本章小结	(162)
	习题	(163)
第9章	集成运算放大器	(165)
9.1	集成运算放大器简介	(165)
9.1.1	集成运算放大器的基本组成	(165)
9.1.2	集成运算放大器的主要参数	(166)
9.1.3	集成运算放大器的电压传输特性	(166)
9.1.4	理想运算放大器	(167)
9.2	集成运算放大器的线性应用	(168)
9.2.1	比例运算电路	(168)
9.2.2	反相加法运算电路	(169)
9.2.3	减法运算电路	(170)
9.2.4	积分运算电路	(171)
9.2.5	微分运算电路	(172)
9.3	集成运算放大器的非线性应用	(173)
9.3.1	电压比较器	(173)
9.3.2	非正弦信号发生器	(175)
9.4	集成运算放大器应用举例	(176)
9.4.1	仪用放大器	(176)
9.4.2	电压、电流的测量	(177)
9.4.3	监控报警电路	(178)

本章小结	(178)
习题	(178)
第 10 章 正弦波振荡电路	(183)
10.1 自激振荡	(183)
10.1.1 自激振荡的条件	(183)
10.1.2 起振过程和稳幅	(183)
10.1.3 正弦波振荡电路的组成	(184)
10.1.4 正弦波振荡电路的分类	(185)
10.2 RC 振荡电路	(185)
10.3 LC 振荡电路	(186)
10.3.1 变压器反馈式 LC 振荡电路	(186)
10.3.2 三点式振荡电路	(187)
10.4 晶体振荡电路	(189)
10.4.1 石英晶体的基本知识	(189)
10.4.2 石英晶体正弦波振荡电路	(190)
本章小结	(191)
习题	(191)
第 11 章 直流稳压电源	(194)
11.1 整流电路	(194)
11.1.1 单相半波整流电路	(194)
11.1.2 单相桥式整流电路	(196)
11.2 滤波电路	(198)
11.2.1 电容滤波电路(C 滤波器)	(199)
11.2.2 电感电容滤波电路(LC 滤波器)	(201)
11.2.3 π 形滤波电路	(201)
11.3 稳压电路	(202)
11.3.1 稳压管稳压电路	(202)
11.3.2 串联型稳压电路	(203)
11.3.3 集成稳压器	(205)
本章小结	(207)
习题	(207)
第 12 章 数字电路	(210)
12.1 数字信号与数字电路	(210)
12.1.1 数字信号	(210)
12.1.2 数字电路	(210)
12.2 分立元件门电路	(211)
12.2.1 二极管与门电路	(211)
12.2.2 二极管或门电路	(213)
12.2.3 晶体管非门电路	(214)
12.3 集成门电路	(215)

12.3.1	TTL 与非门电路	(215)
12.3.2	CMOS 或非门电路	(218)
12.3.3	其他逻辑功能的门电路	(219)
12.4	逻辑代数的运算规则	(220)
12.4.1	基本运算定律	(221)
12.4.2	常用公式	(222)
12.5	逻辑函数及其化简	(222)
12.5.1	逻辑函数的建立及表示方法	(222)
12.5.2	逻辑函数的公式化简法	(225)
12.6	组合逻辑电路	(226)
12.6.1	组合逻辑电路的分析与设计	(226)
12.6.2	加法器	(228)
12.6.3	编码器	(229)
12.6.4	译码器	(231)
12.7	触发器	(236)
12.7.1	基本 RS 触发器	(237)
12.7.2	同步 RS 触发器	(238)
12.7.3	JK 触发器	(239)
12.7.4	D 触发器	(241)
12.8	时序逻辑电路	(242)
12.8.1	寄存器	(243)
12.8.2	计数器	(245)
12.9	555 定时器及应用	(250)
12.9.1	555 定时器	(250)
12.9.2	555 定时器的典型应用	(251)
12.10	数字电路应用举例	(254)
12.10.1	电子密码锁电路	(254)
12.10.2	三人抢答器	(254)
12.10.3	数字显示电子钟	(255)
	本章小结	(256)
	习题	(257)
第 13 章	半导体存储器与可编程逻辑器件	(262)
13.1	半导体存储器	(262)
13.1.1	概述	(262)
13.1.2	只读存储器 (ROM)	(262)
13.1.3	随机存储器 (RAM)	(265)
13.2	可编程逻辑器件 (PLD)	(266)
13.2.1	概述	(266)
13.2.2	PLD 的两种基本类型	(268)
13.2.3	PLD 器件应用举例	(273)

本章小结	(276)
习题	(277)
第 14 章 数-模和模-数转换	(278)
14.1 概述	(278)
14.2 数-模转换器	(278)
14.3 模-数转换器	(281)
本章小结	(284)
习题	(285)
第 15 章 电工电子 EDA 仿真技术	(286)
15.1 概述	(286)
15.2 EWB 仿真软件	(286)
15.2.1 EWB 简介	(286)
15.2.2 EWB 的基本界面	(287)
15.2.3 EWB 的元器件库	(288)
15.2.4 EWB 的测试仪器	(289)
15.2.5 电路仿真的分析工具	(291)
15.2.6 EWB 的基本操作方法	(292)
本章小结	(297)
附录	(298)
附录 A 常用电机、电器、电源的图形符号与文字符号	(298)
附录 B 异步电动机常用型号说明	(299)
附录 C CJ10 系列交流接触器技术数据	(300)
附录 D JR-15 系列热继电器技术数据	(301)
附录 E RL ₁ 和 RC ₁ 型熔断器的技术数据	(301)
附录 F 常用半导体器件、集成电路和数字电路一些元件的新旧图形符号对照表	(302)
附录 G 半导体分立器件型号命名法	(303)
附录 H 部分半导体器件型号和参数	(304)
附录 I 半导体集成电路型号命名法	(307)
附录 J 部分半导体集成电路型号和参数	(307)
部分习题答案	(310)
主要参考文献	(315)

第 1 章 电路的基本概念和分析方法

本章讨论电路中电压和电流所受到的两类约束,介绍线性电阻网络的基本分析方法和定理。两类约束中的一类约束,是来自电路中元件的本身性质,即元件的伏安关系;另一类约束来自电路元件的相互连接方式,即基尔霍夫定律。此外,本章还介绍了电压、电流正方向的概念与电路中电位的概念。这些概念、方法和定理不仅适用于直流电路,也适用于交流电路及其他线性电路,因此本章内容是后续章节的重要基础。

1.1 电路的基本物理量及其正方向

1.1.1 电路与电路模型

1. 电路的组成和作用

电路是电流的通路,由各种电气设备和元器件按一定方式连接而成。在现代生活和生产实践中,功能不同的电路种类繁多,但电路的结构都可看作由三部分组成,即电源、负载和中间环节。电源是提供电能的装置,可以将其他形式的能量转换成电能,如电池把化学能转换为电能,发电机把机械能转换为电能等;负载是取用电能的装置,它将电能转换为其他形式的能量,如电炉将电能转换为热能,灯泡将电能转换为光能,电动机将电能转换为机械能等;中间环节是连接电源和负载的部分,它还有控制和保护电路等作用。

根据实际电路的作用,可以将其划分为两大类。其中一类为电能的产生、传输和转换,如发电、供电系统、电力拖动、电气照明等,这类电路常称为电力电路。

另一类电路主要是实现信号的传递和处理,这类电路常称为电子电路。如各种电信号的产生、放大、整形、数字信号的运算、存储等。

2. 电路模型

实际电路常应用的电气装置或元器件,如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管,以及电阻、电感和电容器等,它们的电磁性质较为复杂。如电池与白炽灯连接的电路,通有电流时,不仅会消耗电能(具有电阻性质),还会产生磁场(具有电感性质),若导线之间存在分布电容,则还具有电容性质。各种性质交织在一起,其表现程度也不相同。

分析实际电路时,为了避免将问题复杂化,在工程设计允许的情况下,可以忽略次要因素,突出主要电磁特性,将实际元件理想化和近似化,用足以表征其主要特性的单一理想电路元件或其组合来代替。理想电路元件有电阻元件、电感元件、电容元件、电压源和电流源,其电路符号如图 1.1 所示。

由这些理想元件构成的电路,称为实际电路的电路模型。如考虑电池的内阻时,将电池用理想电压源 U_s 和理想电阻 R_0 的串联来模拟,电路模型如图 1.2 所示。我们研究的对象是电路模型,而不是实际电路。

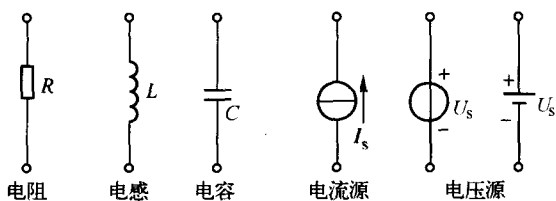


图 1.1 理想电路元件符号

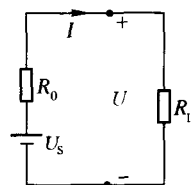


图 1.2 电路模型

1.1.2 电流和电压的方向

1. 电流

电流的大小是用单位时间内通过导体横截面的电荷量来表示的,即

$$i = \frac{dq}{dt}$$

习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的实际方向。有些电路容易判断出电流的实际方向,对于复杂电路就不容易判断。为了分析电路方便,引入了正方向(或称参考方向)的概念,电流正方向是任意选定的,一旦选定了正方向,电流就成为代数量了。若电流的实际方向和所选的电流正方向一致,则此电流为正值;若实际方向与电流正方向相反,则电流为负值。

今后电路图上所标注的电流方向均为正方向。根据电流 I 的正方向及其数值的正负,可确定电流的实际方向。电流的国际标准单位为安培(A)。

如图 1.3 所示,电路元件中流过的电流为 2A,实际方向由 a 流向 b,则 $I_1 = 2A$,见图(a), $I_2 = -2A$,见图(b)。若电流的大小和方向不随时间变化,则这种电流叫做恒定电流,简称直流(常用 dc 或 DC 表示)。如果电流的大小和方向都随时间周期性变化,则称为交变电流,简称交流(常用 ac 或 AC 表示)。

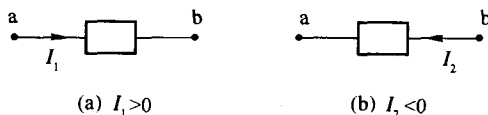


图 1.3 电流的正方向

2. 电压

电压是对电路中两点而言的,a、b 两点间的电压为电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功,即

$$U = \frac{dW}{dq}$$

习惯上规定电压的实际方向是从高电位指向低电位,即电位下降的方向,电压表示两点之间的电位差。电压的正方向也是任意选定的,当实际方向与正方向一致时,电压为正值;当实际方向与正方向相反时,电压为负值。

在电路图中,电压的正方向可以用箭头来表示,也可以用“+”和“-”极性来表示,如图 1.4 所示。还可以用双下标表示,如 U_{ab} 表示电压正方向是由 a 指向 b。 $U_{ab} = 3V$ 时,说明电压实际方向与正方向相同,即 a 点电位高于 b 点电位。电路图上所标出的电压或电流的方向都是正方向。为了分析简便,常把同一电路元件或支路上的电压和电流的正方向选取的一致,称为关联正方向。当采用关联正方向后,在电路元件或支路上只标出电压(或电流)一个正方向就

可以了。

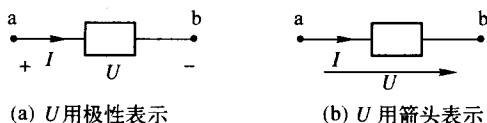


图 1.4 电压的正方向

电源的电动势 E 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的负极经电源内部移动到电源正极所做的功。

电动势 E 的实际方向规定为电源负极指向电源正极, 即电位升的方向。电动势的实际方向与电压的实际方向相反。电动势的正方向是任意选定电位升的方向。

电压与电动势的单位都是伏特(V)。

1.1.3 电功率

电路中的电路元件在单位时间内发出或吸收的电能为电功率, 简称功率, 用 P 表示。

$$P = \frac{dW}{dt} = UI \quad (1.1.1)$$

根据电压和电流的实际方向可确定某一电路元件是电源还是负载。电源输出电功率时, U 和 I 实际方向相反; 负载吸收电功率时, U 和 I 实际方向相同, 见图 1.2。

如果某一电路元件上的电压和电流采用关联正方向:

$P > 0$ 时电路元件吸收电功率, 是负载;

$P < 0$ 时电路元件输出电功率, 是电源。

例 1.1 如图 1.5 所示电路, 5 个元件代表电源或负载。电流和电压的正方向如图 1.5 (a) 所示。通过测量可知: $I_1 = -4\text{A}$, $I_2 = 6\text{A}$, $I_3 = 10\text{A}$, $U_1 = 140\text{V}$, $U_2 = -90\text{V}$, $U_3 = 60\text{V}$, $U_4 = -80\text{V}$, $U_5 = 30\text{V}$ 。

- (1) 试标出电压和电流的实际方向。
- (2) 计算各元件的功率。
- (3) 判断哪些元件是电源? 哪些元件是负载?

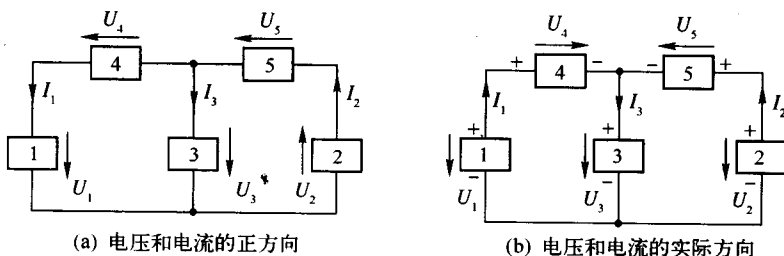


图 1.5 例 1.1 图

解 (1) 电压和电流的实际方向如图 1.5(b) 所示。

(2) 图 1.5(a) 中 5 个电路元件上的电压和电流都是关联正方向。

$$P_1 = U_1 I_1 = 140 \times (-4) = -560(\text{W})$$

$$P_2 = U_2 I_2 = (-90) \times 6 = -540(\text{W})$$

$$P_3 = U_3 I_3 = 60 \times 10 = 600(\text{W})$$

$$P_4 = U_4 I_1 = (-80) \times (-4) = 320(\text{W})$$

$$P_5 = U_5 I_2 = 30 \times 6 = 180(\text{W})$$

(3) P_1 、 P_2 为负值,是电源输出功率; P_3 、 P_4 、 P_5 为正值,是负载吸收功率。

电路中 $P_1 + P_2 = P_3 + P_4 + P_5$,电源发出的功率等于负载吸收的功率,所以功率是平衡的。

1.2 电阻元件与电源元件

电路中的电阻元件将电能转换为热能,是一种耗能元件。电源元件是电路中提供能量的元件,它在电路中起“激励”作用,给电路提供电压,产生电流,由激励引起的电流和电压称为“响应”。

1.2.1 电阻元件

实际的电阻元件,如电灯泡、电阻炉、电烙铁等,当忽略其电感等作用时,可以认为是只具有消耗电能特性的电阻元件。习惯上把电阻元件简称为电阻,“电阻”既表示电路元件,又表示元件的参数。电阻的单位为欧姆(Ω)、千欧($\text{k}\Omega$)或兆欧($\text{M}\Omega$)。电阻上通过的电流和两端所加电压的实际方向是一致的。

当电阻两端的电压和电流采取关联正方向时,电阻两端的电压为

$$U = IR \quad (1.2.1)$$

当电阻的电压和电流采取非关联正方向时,则得

$$U = -IR \quad (1.2.2)$$

当电流和电压的正方向选取得不一致时,电压和电流必有一个为正值,另一个为负值。为了使等式成立,因此,式(1.2.2)中要有负号。

若通过电阻元件的电流和两端电压遵循欧姆定律,则这个元件就是线性电阻, R 为常数。线性电阻的电压、电流关系曲线是一条直线,简称伏安特性(见图 1.6)曲线。

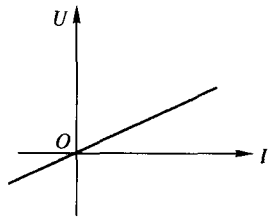


图 1.6 线性电阻的伏安特性曲线

这条直线的斜率就等于线性电阻的电阻值。若元件的电阻 R 不是常数,电压 U 与电流 I 不成正比,元件的伏安特性是一条曲线,这样的电阻称为非线性电阻。如晶体管、白炽灯灯丝等都是非线性电阻。电阻元件总是吸收功率(P 总是正值),所以电阻元件是耗能元件。可以证明,无论电阻两端电压与通过的电流为关联正方向与否,电阻元件吸收的电功率都为

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R} = U^2 G \quad (1.2.3)$$

式中, $G=1/R$,称为电导,单位为西门子,简称西(S)。

实际电路中常用电阻器来实现限流、分压和分流作用。在选用电阻器时,应注意工作电流、电压和功率不要超过它们的限额值,这个限额值称为额定值。按照额定值使用元件及电气设备,可以安全可靠地工作,充分发挥其效能,并且保证正常的使用寿命。额定值常用 I_N 、 U_N 、 P_N 等表示,这些额定值常标记在设备的铭牌上。电气设备和器件工作在额定状态时,称为满载或满负荷状态。电流和功率低于额定值的工作状态叫轻载状态;高于额定值的工作状态叫过载状态,这种工作状态是不允许的。

1.2.2 电源元件

理想电源元件是从实际电源抽象得到的电路模型,包括理想电压源和理想电流源。理想电压源简称为电压源,理想电流源简称为电流源。

1. 电压源

电压源的端电压是定值 U_s ,或是时间函数 $u_s(t)$,与通过它的电流无关。流过电压源的电流是由 U_s 和与之相连接的外电路来确定的。

图 1.7 为直流电压源的伏安特性曲线,它是一条平行于横轴的直线。图 1.8 为直流电压源的电路符号。流过电压源的电流取决于 U_s 和外电路,不由本身确定。

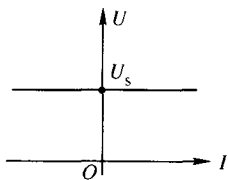


图 1.7 电压源的伏安特性曲线

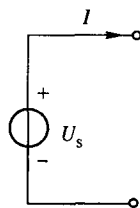
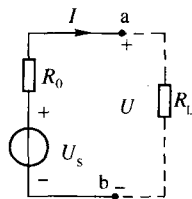
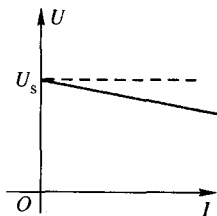


图 1.8 电压源电路符号

实际电源都含有内阻,考虑内阻时,常把它用电压源与内阻 R_0 串联组合来模拟,称为电压源模型,如图 1.9(a)所示。



(a) 电压源模型



(b) 伏安特性曲线

图 1.9 电压源模型及伏安特性曲线

电源有载时电流为

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L} \quad \text{或} \quad U = U_s - IR_0 \quad (1.2.4)$$

当电源内阻 $R_0 = 0$ 时,端电压 $U = U_s$;内阻 R_0 增大时,电源端电压 U 就会降低。电源的伏安特性曲线如图 1.9(b)所示。电路的这种工作状态称为有载工作状态。电路有载工作时,由于电源内阻 R_0 的存在,当电路电流增大时电源端电压会降低。若电路不接负载电阻 R_L (或由 a 点断开),如图 1.10(a)所示,电路这种状态称为空载状态,或开路状态。此时电路的电流 $I=0$,电源端电压 $U_{oc}=U_s$,电源不输出电能, $P=0$ 。

当电源的两输出端由于某种原因相接触时,电源被直接短路,如图 1.10(b)所示,出现短路状态。此时,负载上的端电压 $U=0$,输出电流 $I=0$ 。电源中通过的电流 $I_{sc}=U_s/R_0$, I_{sc} 称为短路电流。由于电源内阻很小,因此短路电流 I_{sc} 很大,这将使电源的温度迅速上升,可能导致烧毁电源及其他电气设备,甚至引起火灾。为避免因电源短路出现严重事故,实用电路中必须有短路保护装置,最常用的是熔断器。