



21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国高职高专
电子信息系列实用规划教材

电路分析与仿真 教程与实训

主 编 刘辉珞
副主编 张秀国 刘文革 夏志华

内容特点:

- 结合电路仿真软件Multisim, 不仅解决了学生对电路分析的扩展运用能力, 同时又提高了学生对计算机技术的应用能力。
- 重点突出、内容实用、通俗易懂, 做到理论、实训、习题练习三合一, 形成老师易教、学生易学的独特风格。



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

电路分析与仿真

第2版

主 编 王 毅 副主编 王 毅 王 毅 王 毅

本书可作为高等院校电气工程及其自动化专业及相关专业的教材，也可供从事电气工程及其自动化工作的工程技术人员参考。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化专业及相关专业的教材，也可供从事电气工程及其自动化工作的工程技术人员参考。

清华大学出版社

21 世纪全国高职高专电子信息系列实用规划教材

主 编 刘 辉 珞
副 主 编 张 秀 国 刘 文 革 夏 志 华
参 编 王 英 梁 嵩 尹 一 帆



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

电路分析与仿真是高职高专各电类专业的一门十分重要的专业基础课。本书是为满足高职高专应用型人才培养目标的教学需求,依据技能型人才培养的教学特点而编写的。

全书共分8章,内容包括:电路的基本概念和基本定律、直流电路的基本分析方法、动态电路的基本分析、正弦交流电路的分析、互感与理想变压器电路、Multisim 2001 电路仿真系统基础、电路分析中常用的虚拟仪表与分析方法、Multisim 2001 在电路分析中的应用。

本书配有10个实训,重在加强学生的技能训练,培养学生分析和解决实际问题的能力。另外,通过仿真软件的介绍和应用,使电路分析实训在常规实训室硬件条件制约的情况下,也能够用仿真软件进行模拟实训。每章后都附有习题,并在书末附有部分习题解答。全书重点突出、内容实用、通俗易懂,做到理论、实训、习题练习三合一,形成老师易教、学生易学的独特风格。学生通过学习,可掌握电路分析与仿真的基本知识、掌握 Multisim 2001 在电路分析中的应用。

本书可作为高职高专计算机专业、电子技术专业及电子技术相关专业学生的教材,还可作为教师、电类专业技术人员以及广大电子爱好者有价值的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析与仿真教程与实训/刘辉珞主编. —北京:北京大学出版社, 2007.2

(21 世纪全国高职高专电子信息系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-11566-4

I. 电… II. 刘… III. ①电路分析—高等学校:技术学校—教材②电路—计算机仿真—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TM133②TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 009958 号

书 名: 电路分析与仿真教程与实训

著作责任者: 刘辉珞 主编

责任编辑: 郭穗娟

标准书号: ISBN 978-7-301-11566-4/TM·0012

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.25 印张 282 千字

2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 20.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前言

电路分析与仿真课程是三年制或二年制高职高专院校计算机应用、电子信息技术、通信技术、自动控制等专业的一门专业基础课程。本书是为满足高职高专“实用型”和“技能型”人才培养目标的教学需求,依据应用型人才培养的教学特点而编写的。本书力求理论教学与实训相结合,并将电路仿真软件 Multisim 引入高职高专的教材中,这不仅解决了学生对电路分析的扩展运用能力,同时又提高了学生对计算机技术的应用能力,还能够解决电路分析实训在常规实训室硬件条件制约的情况下而满足教学的实际需求。结合电路分析与仿真教程与实训课程的特点,在多年教学实践的基础上,编者确立了编写本教材的指导思想,即理论够用、内容适用、实训重用的原则,为教师和学生提供了一本易教易学,以便读者自学,又适合当前高职高专教材改革思路的教科书。

本书共分 8 章,第 1 章是电路的基本概念和基本定律,主要内容包括:电路、电路的组成及功能、电路的基本物理量、基尔霍夫定律、电路的等效、理想电源及其等效变换、受控电源;第 2 章是直流电路的基本分析方法,主要内容包括:几种常用的分析直流电路的方法:支路电流法、节点电压法、叠加定理、戴维南定理和诺顿定理、最大功率传输定理;第 3 章介绍动态电路的基本分析,主要内容包括:电感元件和电容元件、动态元件的特性、动态过程及换路定律、一阶动态电路的零输入响应、零状态响应、全响应和三要素分析法;第 4 章介绍正弦交流电路的分析,主要内容包括:正弦交流电路的基本概念、正弦交流电路的表示方法、相量的概念、单相交流电路的分析和计算方法、功率因数的概念;第 5 章讲述互感与理想变压器电路,介绍互感的电压与电流关系、互感的去耦等效、含互感电路的分析、理想变压器的变压与变流及变阻抗、含理想变压器电路的分析;第 6 章为 Multisim 2001 电路仿真系统基础,介绍 Multisim 2001 的用户界面, Multisim 2001 的基本操作、包括用户界面的设置、元器件的选取、线路的连接、文本的添加、电路图的绘制、仿真电路的后处理与结果输出;第 7 章是电路分析中常用的虚拟仪表与分析方法,主要介绍 Multisim 2001 中与电路分析有关的电压表与电流表等虚拟指示仪表的使用方法,数字万用表、双踪示波器、函数信号发生器、瓦特表等虚拟仪器的使用方法;第 8 章是 Multisim 2001 在电路分析中的应用,主要介绍电路分析中基本定律/定理的仿真验证,电阻电路、一阶动态电路、单相正弦电路的仿真分析方法。本书注重介绍电路分析的基础知识和常规实训外,还对 Multisim 2001 电路仿真系统的操作和实训应用作了详细介绍。每章后面附有习题并在书末给出了大部分习题的解答。

本书配有 10 个实训,重在加强学生的技能训练,培养学生分析和解决实际问题的能力。本书还有一个最大的特点就是实训的应用范围比较广,一些实训硬件条件不够理想的院校,在开不出该门课程常规实训的情况下,通过本书对仿真软件的介绍和应用,可以使得电路分析实训不受常规实训室硬件条件的制约,也能够用仿真软件进行模拟实训。编者由实际问题入手,通过技能训练融入相关基本理论知识,按照理论与实践相结合的方式编写教材。教师可根据实际需求,对实训内容适当增减。

本书参考教学时间为 72~90 学时(含实训), 具体安排如下: 第 1 章 12~14 学时; 第 2 章 10~12 学时; 第 3 章 12~16 学时; 第 4 章 12~14 学时; 第 5 章 12~16 学时; 第 6 章 6~8 学时; 第 7 章 4~6 学时; 第 8 章 4~6 学时。也可以只安排前 1~5 章的教学内容作为常规教学; 而后 6~8 章可视具体情况作为补充教学内容, 教师可根据具体情况对学时数进行适当增减。

本书由珠海城市职业技术学院的刘辉珞担任主编, 负责总体策划及统稿。刘辉珞编写第 1~4 章(包括这 4 章的习题、题解和实训), 珠海城市职业技术学院张秀国编写第 5~8 章(包括这 4 章的习题、题解和实训)。

参与本书编写的还有广州铁路职业技术学院的刘文革、河北保定职业技术学院的夏志华、武汉工业职业技术学院的王英和梁嵩、太原大学机电系的尹一帆, 在此一并表示感谢。

本书在编写过程中, 得到了北京大学出版社第六编辑部林章波主任、郭穗娟编辑和相关领导的大力支持和指导, 在此表示由衷的感谢; 也向为本书出版作出贡献的朋友表示感谢。

由于编者水平有限, 疏漏之处在所难免, 恳请广大专家和读者对本书提出批评与建议。

编 者

2006 年 11 月

目 录

第1章 电路的基本概念和基本定律..... 1	2.2.1 弥尔曼定理分析法..... 24
1.1 电路..... 1	2.2.2 多节点的电路电压法..... 27
1.1.1 电路的组成及功能..... 1	2.3 叠加定理及应用注意事项..... 28
1.1.2 电路模型..... 2	2.3.1 叠加定理..... 28
1.2 电路的基本物理量..... 3	2.3.2 应用注意事项..... 30
1.2.1 电流..... 3	2.4 戴维南定理和诺顿定理..... 30
1.2.2 电压..... 3	2.4.1 戴维南定理..... 30
1.2.3 电功率..... 4	2.4.2 诺顿定理..... 31
1.3 欧姆定律与单环路中变量分析..... 5	2.5 最大功率传输定理..... 32
1.3.1 欧姆定律..... 5	2.5.1 负载获得最大功率的条件..... 32
1.3.2 单环路中变量的分析..... 6	2.5.2 最大功率传输定理..... 33
1.4 基尔霍夫定律..... 6	2.6 本章小结..... 33
1.4.1 基尔霍夫电流定律(KCL)..... 7	2.7 习题..... 34
1.4.2 基尔霍夫电压定律(KVL)..... 7	2.8 实训三 验证戴维南定理..... 36
1.5 电路的等效变换..... 9	2.9 实训四 叠加定理的验证..... 37
1.5.1 电阻的串联..... 9	第3章 动态电路的基本分析..... 39
1.5.2 电阻的并联..... 10	3.1 电感元件、电容元件与换路定律..... 39
1.6 电源及等效变换..... 12	3.1.1 电感元件与电感的换路定律..... 39
1.6.1 电压源..... 12	3.1.2 电容元件与电容的换路定律..... 41
1.6.2 电流源..... 13	3.2 电容及电感的串、并联..... 43
1.6.3 实际电源模型..... 13	3.2.1 电容的串、并联..... 43
1.6.4 实际电压源与电流源的等效变换..... 14	3.2.2 电感的串、并联..... 44
1.6.5 受控电源..... 15	3.3 一阶电路的暂态分析..... 47
1.7 本章小结..... 16	3.3.1 基本术语..... 47
1.8 习题..... 17	3.3.2 一阶动态电路的零输入响应..... 47
1.9 实训一 电位和电压的测量..... 19	3.3.3 一阶动态电路的零状态响应..... 51
1.10 实训二 基尔霍夫定律的验证..... 20	3.3.4 一阶动态电路的全响应..... 53
第2章 直流电路的基本分析方法..... 23	3.3.5 一阶动态电路的三要素分析法..... 55
2.1 电路的支路电流法..... 23	
2.1.1 支路电流法..... 23	
2.1.2 支路电流法的解题步骤..... 24	
2.2 节点电压法..... 24	

3.4 本章小结	56	5.3 变压器	89
3.5 习题	57	5.3.1 空芯变压器	89
3.6 实训五 验证一阶电路零输入响应、 零状态响应	59	5.3.2 理想变压器	92
第4章 正弦交流电路的分析	62	5.4 本章小结	95
4.1 正弦交流电的基本概念	62	5.5 习题	95
4.1.1 正弦量的三要素	62	5.6 实训七 直流法判别互感线圈的 同名端	97
4.1.2 正弦量的相位差	63	第6章 Multisim 2001 电路仿真 系统基础	99
4.1.3 正弦量的有效值	64	6.1 Multisim 2001 的用户界面	99
4.2 正弦交流电的相量和复阻抗	65	6.1.1 概述	99
4.2.1 相量	65	6.1.2 菜单栏	100
4.2.2 复阻抗	66	6.1.3 常用工具栏	106
4.3 单一元件的正弦交流电路及 平均功率	67	6.2 Multisim 2001 电路仿真举例	108
4.3.1 电阻元件电路	67	6.2.1 创建电路文件	109
4.3.2 电感元件电路	68	6.2.2 定制用户界面	109
4.3.3 电容元件电路	70	6.2.3 放置元器件	111
4.4 RLC 元件串联的交流电路 及功率关系	71	6.2.4 连接电路	112
4.4.1 RLC 元件串联电路中电压 与电流的关系	71	6.2.5 编辑电路图	113
4.4.2 功率的术语及其关系	73	6.2.6 仿真分析	114
4.4.3 功率因数的提高	74	6.3 Multisim 2001 的基本操作	115
4.5 本章小结	75	6.3.1 电路界面的设置	116
4.6 习题	76	6.3.2 元器件的选取	120
4.7 实训六 日光灯电路及功率因数 的改善	77	6.3.3 线路的连接	122
第5章 互感与理想变压器电路	79	6.3.4 文本的添加	123
5.1 互感	79	6.3.5 打印输出	125
5.1.1 互感与互感系数	79	6.3.6 帮助信息的使用	127
5.1.2 耦合系数	80	6.4 本章小结	128
5.1.3 互感的电压、电流关系	81	6.5 习题	128
5.1.4 同名端及其判别	82	6.6 实训八 测定电阻元件的伏安特性	128
5.2 互感的去耦等效	84	第7章 电路分析中常用的虚拟仪表 与分析方法	132
5.2.1 互感的串联等效	84	7.1 指示仪表	132
5.2.2 互感的并联等效	86	7.2 虚拟仪器	133
5.2.3 互感的 T 形等效	86	7.2.1 数字万用表	133
		7.2.2 函数信号发生器	135
		7.2.3 双踪示波器	137

7.2.4 瓦特表.....	141	8.3 一阶动态电路	160
7.2.5 波特图示仪.....	141	8.3.1 电容器充、放电	160
7.3 分析方法	144	8.3.2 零输入响应	160
7.3.1 直流工作点分析.....	144	8.3.3 零状态响应	161
7.3.2 瞬态分析.....	147	8.3.4 全响应	162
7.4 本章小结	149	8.4 正弦电路的稳态分析	163
7.5 习题	149	8.4.1 正弦电路的基尔霍夫 电流定律	163
7.6 实训九 测量正弦电路参数	150	8.4.2 正弦电路的基尔霍夫 电压定律	163
第 8 章 Multisim 2001 在电路分析中 的应用	153	8.4.3 正弦电路的欧姆定律	164
8.1 电路的基本定律	153	8.5 本章小结	164
8.1.1 欧姆定律.....	153	8.6 习题	165
8.1.2 基尔霍夫电压定律.....	153	8.7 实训十 观察动态电路 的变化过程	167
8.1.3 基尔霍夫电流定律.....	154	附录 1 部分习题参考答案	169
8.2 直流电阻电路的分析	155	附录 2 模拟试卷及参考答案.....	178
8.2.1 网孔电流分析.....	155	参考文献	187
8.2.2 节点电位分析.....	156		
8.2.3 叠加定理.....	156		
8.2.4 戴维南定理.....	157		
8.2.5 诺顿定理.....	159		

第1章 电路的基本概念和基本定律

教学提示：本章主要介绍电路：电路的组成与功能；电路的基本物理量；基尔霍夫定律；电路的等效；理想电源及其等效变换；受控电源。

教学要求：初步掌握电路的组成与功能；理解电路的基本物理量：电流、电压、电功率；掌握基尔霍夫定律、电路的等效在电路中的应用；掌握电源及其等效变换的方法；理解受控电源的原理。

1.1 电 路

人们在现实生活中越来越多地使用电路，我们所讲的电路都是由实际电路抽象而来的，由理想电路元件构成了电路模型，作为研究电路的基础。那么什么是电路呢？简言之，电路就是电流流过各种元部件所流经的路径。

1.1.1 电路的组成及功能

在日常生活中，人们最常见的电路，如电灯、收音机、电视机、计算机、电风扇等各种电路，它们是由各种电路基本元部件(如电阻器、电容器、电感器、二极管、三极管、变压器、指示器等)组成的总体。现实世界中的电路形式是各种各样的，有的甚至是非常复杂的，但不论电路多么复杂，它们都是由三个基本部分组成，即电源、负载和中间环节。

(1) 电源：它是向电路提供电能的装置，其作用是可以将其他形式的能量，如化学能、光能、热能、机械能等非电能转换为电能。

(2) 负载：它是电路中的用电器，各种负载进行能量转换的形式各有不同，如电灯是将电能转变成热能和光能。

(3) 中间环节：它是利用各种元部件将电源和负载连接起来构成闭合电路，并对整个电路起着传输和分配能量、控制、保护和测量的作用。

这里介绍一个最简单的电路——手电筒电路，如图 1.1 所示。它由电源(电池)、负载(灯泡)和中间环节(导线、开关)三部分组成。

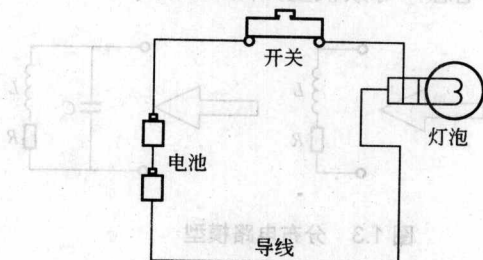


图 1.1 手电筒电路

当开关闭合时, 电流从电源的正极通过导线流过灯泡中的灯丝, 并回到电源负极。当灯丝有电流流过时, 就将电能变成了热能和光能。日常生活中, 人们熟悉的用电器, 如电视机、电风扇、冰箱等都是利用电能转换成人们所需要的各种其他能量。

总而言之, 虽然实际电路种类繁多, 但从本质上来说, 都是由电源、负载和中间环节三部分组成, 因此又称为组成电路的三要素。

1.1.2 电路模型

实际中的电路种类很多, 较复杂的电路中有成千上万个元器件, 所以用实物画出的电路元器件让人们直观就认出来是什么肯定是不现实的, 例如图 1.1 所描述的手电筒电路是最简单的电路, 虽然人们一眼就能认出哪个是电池、哪个是开关、哪个是灯泡, 但画起来很烦, 就不要说更复杂的电路了, 所以人们把组成电路的实际元器件加以理想化。采用足以反映实物主要性质的一些符号来近似代替所用的元器件, 这些符号就称为元件的模型, 用这些符号画出的电路图就称为电路模型。这里给出电路中最基本的三种元器件, 理想电阻、电容、电感的元件模型, 分别如图 1.2(a)、(b)、(c)所示。

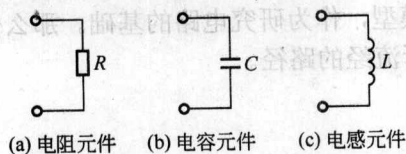


图 1.2 理想化电路元件模型

关于理想化, 这里还要强调一下: 所谓“理想”, 是指对某一个元件仅仅是近似它的主要功能, 而有些影响在某种条件下是可以忽略不计的, 例如一个电感元件是用漆包铜线绕制而成, 那么用的这一段铜线就会存在一些电阻, 而所绕的电感元件的线圈之间也会存在一些分布电容, 在理想电感中把存在的微量电阻和电容都忽略不计了。所以说, 真正理想电路元件在实际中并不存在, 但又源于实际电路中, 这种只抓主要矛盾的方法在电路分析中起到重要作用。这里所介绍的各种电路模型, 只适用于低频电路中, 这些电路的各电路元件基本上都是“集中参数元件”(存在的微量电阻、电容可忽略不计), 而高频电路中, 有时还必须考虑电感元件中存在的电阻和电容的影响(这种现象在其他电路元件中也存在), 则可用“分布电路模型”来描述电路, 将一个理想的电感 L 串一个理想电阻 R 或者再加一个理想电容 C 来等效实际电感, 等效模型如图 1.3 所示。

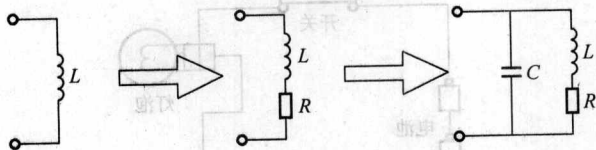


图 1.3 分布电路模型

有了电路模型的概念, 可以将图 1.1 所示的手电筒电路, 用一个手电筒的电路模型来表示, 如图 1.4 所示。

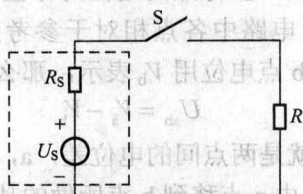


图 1.4 手电筒电路的电路模型

图中, R 表示灯泡; S 表示开关; U_s 表示电池两端电压; R_s 表示电池的内阻。在实际使用手电筒的过程中, 当手电筒用过一段时间, 电池的内阻 R_s 会增大, 电压 U_s 会减小, 流过负载灯泡 R 的电流会减少, 所以灯泡不会太亮甚至不亮。

1.2 电路的基本物理量

在电路分析中, 电流、电压和电功率是电路的基本物理量, 这三个物理量在电路中起到至关重要的作用。

1.2.1 电流

电荷有规则的定向移动形成了电流, 它有大小和方向, 在直流电路中, 电流的大小和方向不随时间变化; 在交流电路中, 电流的大小和方向是按正弦规律变化。电流的大小称电流强度, 即单位时间内通过导体横截面的电荷量, 电流强度表示式为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

在直流电路中, 电流的大小和方向不随时间变化, 电流强度表示式为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2)$$

在式(1.1)中, 用 i 表示随时间变化的电流, 用 dq 表示在 dt 时间内通过导体横截面的电荷量; 在式(1.2)中, 用 I 表示直流电流, 用 Q 表示在时间 t 内通过导体横截面的电荷量; 电荷量 q 的单位是库[仑](C), 时间单位为秒(s), 电流强度单位是安[培](A)。对于很小的电流可用毫安(mA)、微安(μ A)甚至用纳安(nA), 它们之间的换算关系为

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

1.2.2 电压

电压实际上是电路中两点之间的电位差。在介绍电压之前, 有必要先介绍一下电位, 那么什么是电位? 在进行电路分析时, 引入电位的概念可以使得分析电路简单化, 如果将各点的电位标于电路图上, 有利于对电路的分析。电位是一种由电路中的位置所确定的势能, 首先要确定能计算电位的起点即零参考点, 并将以参考点的电位定为零值。电器设备中常把汇集到金属机壳、金属底板等公共点, 作为电路参考点, 常用电器符号“ $\perp$ ”表示, 称作接地。这里指的接地并不一定与真的大地连接, 而仅仅是作为电路的一个基准, 以便

用来确定其他各点电位的值。比如,参考点的电位为零值,电路中某一点的电位值就是这一点与参考点两点间的电位差。电路中各点相对于参考点的电位用 V 表示,单位为伏[特](V),如 a 点电位用 V_a 表示, b 点电位用 V_b 表示,那么电压与电位的关系为

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

即电路中任意两点间电压,就是两点间的电位差, a 、 b 两点间电压 U_{ab} 在数值上等于随时间变化的电压 U ,把电荷 dq 由 a 点移到 b 点所做的功。其表示式为

$$U = \frac{dW}{dq} \quad (1.3)$$

电压的单位为伏[特](V),简称伏,与电位的单位一样。电压与电位的区别是电压与参考点的选取无关,而电路中任意的电位大小与参考点的选择有关。当选择不同的参考点,则同一点的电位值会发生变化。

对于电压单位在不同的场合下有不同的表示,大的电压单位用千伏(kV),很小的电压单位用毫伏(mV)或更小的电压单位可用微伏(μ V)表示。它们之间的换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

1.2.3 电功率

电功率:电路中单位时间内电流做的功,电功率用 P 表示为

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1.4)$$

式(1.4)中电功 W 的单位是焦[耳](J),时间 t 的单位是秒(s),电功率的单位是瓦[特](W),简称瓦。1 瓦功率就是在 1 秒钟内做功 1 焦[耳],即 $1\text{W} = 1\text{J/s}$ 。日常生活中的一只 220V、60W 的白炽灯,如果在它两端加上 220V 电压时,可在 1 秒钟内做功 60 焦[耳],将其电能转换为热能和光能。式(1.4)也说明,用电器的电功率就等于用电器两端的电压与用电器上所有通过的电流的乘积。

对于大功率用电场合,可用千瓦(kW)表示,对于小的功率可用毫瓦(mW)表示,它们之间的转换关系为

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

$$1\text{W} = 10^3\text{mW}$$

为了计算一段电路所产生功率,这里有一个电流、电压的参考方向的概念。在电压、电流参考方向一致的情况下,关联参考方向如图 1.5(a)所示,这段电路所产生的功率等于这段电路上电压与电流的乘积,即

$$P = UI \quad (1.5)$$

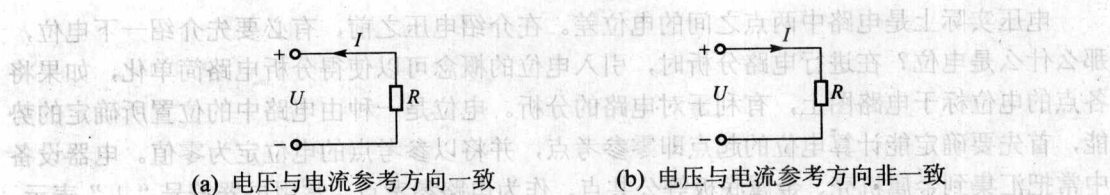


图 1.5 电压、电流参考方向

若这段电路上电压、电流参考方向非一致(非关联参考方向),如图 1.5(b)所示,则这段电路产生的功率为

$$P = -UI \quad (1.6)$$

为了计算方便,在设定参考方向时,要尽量将电路元件两端电压与电流的参考方向设定为一致。

在电路分析中,电功率有正、负之分;凡是计算的功率结果 $P > 0$, 该电路元件就是吸收功率;若 $P < 0$, 则电路元件(如电源)是产生功率。

【例 1.1】 某段电路,如图 1.6 所示,已知电源 $U_s = 12\text{V}$, 电路中的电流 $I = 2\text{A}$, 试计算出电阻功率和电源功率。

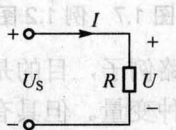


图 1.6 某段电路

解: 由图 1.6 所示,电压 U 与电流 I 参考方向关联,则

$$P_R = UI = 12 \times 2 = 24\text{W}$$

$P > 0$, 表明电阻 R 吸收功率 24W。

电源 U_s 与电流 I 参考方向非关联,则

$$P_s = -U \cdot I = -12 \times 2 = -24\text{W}$$

$P < 0$, 表明电源 U_s 产生功率 24W。显然,同一电路中,吸收功率的总和与产生功率的总和相等。

1.3 欧姆定律与单环路中变量分析

本节介绍用欧姆定律来分析简单电路,并对单环路中的电路变量进行分析。

1.3.1 欧姆定律

欧姆定律是电路的重要基本定律,它指出在电路中,当假设电阻上的电压正方向与流过电阻的电流正方向一致时,欧姆定律表示其值为电阻与电流的乘积,即

$$U = IR \quad (1.7)$$

若 I 、 U 参考方向为非关联时其值为

$$U = -IR \quad (1.8)$$

电阻 R 的单位为欧[姆](Ω),简称欧,对于大阻值的电阻可用千欧($\text{k}\Omega$)或兆欧($\text{M}\Omega$)为单位表示,它们之间的转换关系为

$$1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

1.3.2 单环路中变量的分析

【例 1.2】在图 1.7 中, $U=12\text{V}$, $I=2\text{A}$, 电阻上的电压与电流的参考方向一致, 根据欧姆定律求出电阻 R 。

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12}{2} = 6\Omega$$



图 1.7 例 1.2 图

在这里举一个人们熟知的简单电路例子, 目的是说明这种电路中只有一个环路, 用欧姆定律可以方便地分析求出电路的各种变量。但具有多个环路的电路求电路变量就不能简单采用欧姆定律去分析和计算了。有必要推出能分析多个环路电路的基本定律——基尔霍夫定律。

1.4 基尔霍夫定律

德国科学家基尔霍夫提出了基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL), 这两个定律是分析电路的重要基本定律。在介绍两个基本定律之前, 先介绍电路图中几个有关的术语。

1. 支路

电路中任意两节点之间的一段无分支的局部电路。如图 1.8 所示的电路中, adc、ac、abc 都是支路。该电路中共有三条支路。

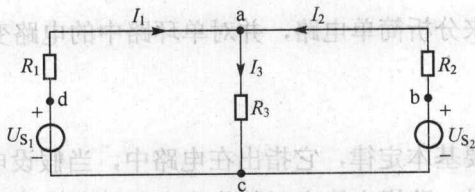


图 1.8 电路图

2. 节点

电路中 3 条或 3 条以上的支路的交点称为节点, 如图 1.8 所示的电路中, a 点和 c 点都是节点。该电路中有两个节点。要注意的是 b、d 两点并不是节点。

3. 回路

电路中任何一个闭合的路径称为回路。如图 1.8 所示的电路中, acda、abca、abcda 都是回路。该电路中共有 3 个回路。

4. 网孔

电路中不含有其他支路的回路称为网孔, 图 1.8 所示的电路中, $acda$ 、 $abca$ 都是网孔。该电路中共有两个网孔。

1.4.1 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律(KCL)指出: 对于电路中的任一节点, 在任一时刻, 流入节点的电流总和恒等于流出节点的电流总和。用数学式子表示为

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1.9)$$

图 1.8 中所示的节点 a , 有

$$I_1 + I_2 = I_3$$

若将流入节点的电流取正, 流出节点的电流取负, 则图 1.8 中所示的节点 a 可表示为

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

用数学式子表示为

$$\sum I = 0 \quad (1.10)$$

在应用 KCL 分析电路列出电流方程式时要强调几点:

(1) 必须先给出电路中各支路和电流参考方向。

(2) 可约定流入节点的电流为正, 流出节点的电流为负。然后写出电流方程式。

【例 1.3】 如图 1.9 所示的电路中, 已知: $I_1=1\text{A}$, $I_2=2\text{A}$, $I_5=1\text{A}$, $I_6=-1\text{A}$, 试求出电阻 R_3 上电流 I_3 及 I_4 的值。

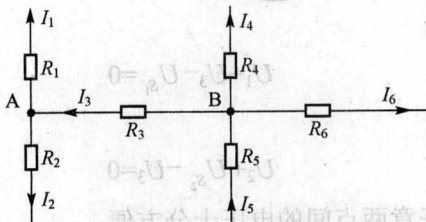


图 1.9 例 1.3 电路示意图

解: 由图 1.9 可知, 该电路有 A、B 两个节点。根据 KCL, 式(1.10)有

A 点: $I_3 - I_1 - I_2 = 0$, 则 $I_3 = I_1 + I_2 = 1 + 2 = 3\text{A}$

B 点: $I_5 - I_3 - I_4 - I_6 = 0$, 则 $I_4 = I_5 - I_3 - I_6 = 1 - 3 - (-1) = -1\text{A}$

所求得结果 $I_3=3\text{A}$, 为正号说明 I_3 的参考方向与实际方向相同; $I_4=-1\text{A}$, 为负号说明 I_4 的参考方向与实际方向相反, 它的实际方向应由节点 B 流入。

1.4.2 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律(KVL)指出: 对于电路中的任一回路, 在任一时刻, 沿任意绕行方向绕行一周, 回路中各段电压的电压降总和恒等于各段电压升的总和。用数学式子表示为

$$\sum I_{\text{降}} = \sum I_{\text{升}} \quad (1.11)$$

如图 1.10 所示的电路,按 ABCDA 顺时针方向绕行一周,其中各段电压的参考方向均已标出,此时沿绕行方向确定环路电阻两端电压的正负符号(电压降取正,电压升取负)。如果标出的流经电阻的电流方向与绕行方向一致时,该电阻上的电压取正值,反之取负值。如果电源标出的方向与绕行方向一致则取负值,反之取正值。以图中参考方向为例,元件上电压降分别是 U_1 、 U_2 、 U_{s_2} , 元件上电压升只有 U_{s_1} , 即

$$U_1 + U_2 + U_{s_2} = U_{s_1}$$

或写成

$$U_1 + U_2 + U_{s_2} - U_{s_1} = 0$$

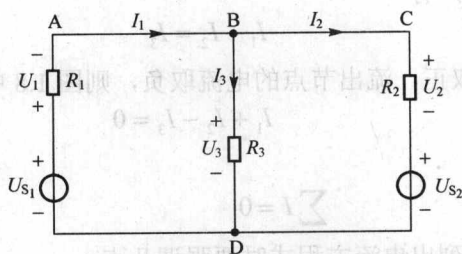


图 1.10 电路图示例

由此, KVL 还可以表述为: 对于电路中的任一回路, 在任一时刻, 沿任意方向绕行一周, 回路中各段电压的代数和等于零。用数学式子表示为

$$\sum U = 0 \quad (1.12)$$

对电路 ABDA 回路, 有

$$U_1 + U_3 - U_{s_1} = 0$$

对电路 BCDB 回路, 有

$$U_2 + U_{s_2} - U_3 = 0$$

用 KVL 求复杂电路中任意两点间的电压十分方便。

【例 1.4】 图 1.11 所示的电路中, 已知: $R_1=100\Omega$, $R_2=30\Omega$, $R_3=90\Omega$ 。 $U_s=12V$ 。利用 KVL 求解电压 U_1 、 U_2 的值。

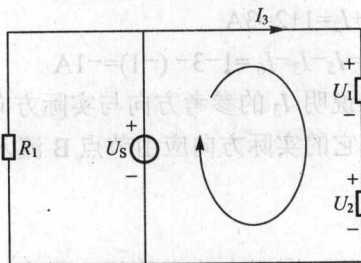


图 1.11 电路示意图

解: 先求出支路电流 I_3 , 在电路的右回路。假设一个如实线的参考绕行方向, 然后对该回