



普通高等教育“十二五”规划教材



电工技术

(高等学校分层教学A)

罗映红 陶彩霞 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

电 工 技 术

(高等学校分层教学A)

主编 罗映红 陶彩霞
编写 李若琼
主审 王建华



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

本套书为甘肃省电工学省级精品课程配套分层教学系列教材,力求做到针对不同基础和不同发展需求的学生,学习不同的课程内容,真正做到因材施教。整套教材共分四本,本书为《电工技术(高等学校分层教学A)》。本书面向各专业A层(提高层)学生,在B层次教材基础上拔高要求,注重启迪思维、开拓能力,培养学生较高的科学素质,目标是培养开拓型的工程技术人才和研究型人才。

本书共分10章,内容包括电路的基本概念与基本定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相正弦交流电路、线性电路动态过程的时域分析、变压器、交流电动机、继电接触器控制系统、可编程控制器、工业企业供电与安全用电等。

本套书为高等院校理工科非电专业分层教学编写,也可作为高等院校理工科各非电类专业一般电工学教材使用,并可供有关科技、工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/罗映红,陶彩霞主编. —北京:中国电力出版社,2011.4

普通高等教育“十二五”规划教材. 高等学校分层教学A
ISBN 978-7-5123-1687-4

I. ①电… II. ①罗…②陶… III. ①电工技术—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第088343号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011年6月第一版 2011年6月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 16.5印张 396千字
定价 28.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

电子电气基础课程教材编审委员会

主任委员	王志功	东南大学		
副主任委员	张晓林	北京航空航天大学	胡敏强	东南大学
	王泽忠	华北电力大学	戈宝军	哈尔滨理工大学
	马西奎	西安交通大学	刘新元	北京大学
	孟 桥	东南大学		
秘书长	李兆春	中国电力出版社		
委 员	(按姓氏笔画排列)			
	于守谦	北京航空航天大学	公茂法	山东科技大学
	王 殊	华中科技大学	王万良	浙江工业大学
	王小海	浙江大学	王建华	西安交通大学
	王松林	西安电子科技大学	邓建国	西安交通大学
	付家才	黑龙江科技学院	刘润华	中国石油大学(华东)
	刘耀年	东北电力大学	朱承高	上海交通大学
	宋建成	太原理工大学	张正平	贵州大学
	张彦斌	西安交通大学	李 承	华中科技大学
	李 青	中国计量学院	李 琳	华北电力大学
	李守成	北京交通大学	李国丽	合肥工业大学
	李哲英	北京联合大学	李晓明	太原理工大学
	李晶皎	东北大学	杨 平	上海电力学院
	陈后金	北京交通大学	陈庆伟	南京理工大学
	陈意军	湖南工程学院	陈新华	山东科技大学
	宗 伟	华北电力大学	范蟠果	西北工业大学
	段哲民	西北工业大学	段渝龙	贵州大学
	胡虔生	东南大学	赵旦峰	哈尔滨工程大学
	赵荣祥	浙江大学	唐庆玉	清华大学
	徐淑华	青岛大学	袁建生	清华大学
	郭陈江	西北工业大学	高会生	华北电力大学
	崔 翔	华北电力大学	梁贵书	华北电力大学
	曾孝平	重庆大学	曾建唐	北京石油化工学院
	韩 璞	华北电力大学	韩学军	东北电力大学
	雷银照	北京航空航天大学		

序

进入 21 世纪,“985 工程”和“211 工程”的实施,推动了高水平大学和重点学科的建设,在高校中汇聚了一大批高层次人才,产生了一批具有国际先进水平的学术和科学技术研究成果。然而高校规模的超高速增大,导致不少学校的专业设置、师资队伍、教材资源和教学实验条件不能迅速适应发展需要,教学质量问题日益突现。高校教材,作为教学改革成果和教学经验的结晶,其质量问题自然备受关注。

需要指出的是,很多高等学校教材经过多年的教学实践检验,已经成为广泛使用的精品教材。同时,我们也应该看到,现用的教材中有不少内容陈旧、未能反映当前科技发展的最新成果,不能满足按新的专业目录修订的教学计划和课程设置的需要。这就要求我们的高等教育教材建设必须与时俱进、开拓创新,在内容质量和出版质量上均有新的突破。

根据教育部高教司 2003 年 8 月 28 日发出的〔2003〕141 号文件,在教育部组织下,历经数年,2006~2010 年教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会按照教育部的要求,致力于制定专业规范或教学质量标准,组织师资培训、教学研讨和信息交流等工作,并且重视与出版社合作,编著、审核和推荐高水平电子电气基础课程教材。

“电工学”、“电路”、“信号系统”、“电子线路”、“电磁场”、“自动控制原理”、“电机学”等电子电气基础课程是许多理工院校的先修课程,也是电子科学与技术、电气工程及其自动化等专业学科的基石,在科学研究领域和产业应用中发挥着极其重要的作用。此类教材的编写,应提倡新颖的立意,“适用、先进”的编写原则和“通俗、精炼”的编写风格,以百花齐放的形式和较高的编写质量来满足不同学科、不同层次师生的教学要求。

本电子电气基础课程教材编审委员会即是基于此目的而设立的,希望能够鼓励更多的优秀教师参与其中,为高质量教材的编写和出版贡献出聪明才智和知识经验。



2009 年 10 月于东南大学



前言

在高等教育大众化进程中，高等教育资源及质量受到数量扩张的严重冲击，学生的学习态度、学习能力、学习效果的分化越来越显著，个性化趋势日渐明显。同时，社会的飞速发展对大学生素质的要求呈现出多元化、多层次的趋势。因此，对高校本科生进行分层次教学改革势在必行。

高校分层教学就是要改变忽视学生的个性差异、忽视学生对教学方法和教学内容的不同需求的现状，面向全体学生，使得不同的人学习不同的课程内容、得到不同的发展要求。

以人为本，树立科学发展观，在教育教学内容和方法上因材施教是教学改革的重点，并对高校教学改革与发展将具有巨大的推动作用。该套教材正是在这样的前提下组织编写的。整套教材共分四本：《电工技术（高等学校分层教学A）》、《电工技术（高等学校分层教学B）》、《电子技术（高等学校分层教学A）》、《电子技术（高等学校分层教学B）》。本册为《电工技术（高等学校分层教学A）》。

对各专业B层学生的教学按理工科类本科专业基础课程教学基本要求，注重专业课程的基础知识和基本技能的培养，使学生系统地掌握基本知识和基本技能，并同时进行一定的思维训练。教师除了注重激发学生的学习兴趣与学习积极性外，还要指导学生形成良好的学习习惯和有效的学习方法，为其创造提高学习质量的条件，使其能利用所学知识解决一些基本问题，能够把所学方法迁移到专业课以及以后的工作中，为后继课程的学习及成为具有较高素质的应用型工程技术人才打下良好的基础。因此B层教材在编写时突出了以下特点：①保证基础，加强概念，培养思路；②精选内容，主次分明，详略得当；③面向工程应用，联系实际，理论与实践并重；④问题分析深入浅出，文字叙述通俗易懂，图文并茂，例题与习题尽可能贴近工程实际应用，便于自学；⑤理论知识以够用为目的，重点加强工程实际应用。

对各专业A层的教学注重启迪思维、开拓能力，着重培养学生较高的科研素质。在满足B层次要求的基础上，尽可能培养学生的自学、探索与创新的意识与能力，使这一层次的学生具有持久的学习动力与自觉的钻研习惯，灵活运用所学知识和方法解决较复杂的问题，为未来的研究工作奠定基础。A层教材的主要培养目标是开拓型的工程技术人才和研究型人才。因此A层教材在B层教材基础上拔高要求，突出以下几个方面：①注重启迪思维、开拓能力，培养学生较高的科学素质；②精选传统内容，引进新技术与新方法，增加了相关知识延伸与应用；③问题分析深入浅出，详略得当，着重培养学生的自学、探索与创新的意识与能力；④以培养学生运用所学知识和方法解决复杂问题的能力为主，为未来的研究工作奠定基础。

本书的第6、7章由陶彩霞编写，第3、4、5、8、9、10章，1~5章的电路仿真部分及附录D由李若琼编写，第1、2章由罗映红编写，本书由罗映红、陶彩霞主编，罗映红负责全套书的策划、组织、统稿和定稿。在教材编写过程中，参考了大量优秀教材，受益匪浅；同时，兰州交通大学自动化与电气工程学院电工学教研室全体老师们对此书的编写给予了大

力支持；中国电力出版社的有关编辑及工作人员为此书的顺利出版也付出了积极的努力。在此，一并致以诚挚的谢意。

本书由西安交通大学王建华教授主审。王建华教授以严谨的科学态度、高度负责的精神对本书作了认真的审阅，并提出了许多宝贵意见和修改建议。在此，谨向他由衷地表示感谢和敬意。

最后，感谢使用本书的各高校同行和读者。虽然我们精心组织，认真编写，但书中难免有不妥和错误之处，恳请广大读者给予批评指正。

编者

2011年3月



目 录

序

前言

第1章 电路的基本概念与基本定律	1
1.1 电路与电路模型	1
1.2 电路的基本物理量及其参考方向	2
1.3 基尔霍夫定律	5
1.4 无源电路元件	7
1.5 有源电路元件	13
1.6 电路的基本工作状态和电气设备的额定值	21
1.7 用 Multisim 对电路进行仿真——基尔霍夫定律的验证	25
本章小结	26
习题	26
第2章 电路的分析方法	31
2.1 支路电流法	31
2.2 节点电压法	32
2.3 回路电流法	35
2.4 叠加原理	37
2.5 等效电源定理	40
2.6 含受控源电路的分析与计算	44
2.7 非线性电阻电路的分析与计算	47
2.8 用 Multisim 对电路进行仿真——叠加原理和戴维南定理的验证	49
本章小结	52
习题	53
第3章 正弦交流电路	58
3.1 正弦量的基本概念	58
3.2 正弦量的相量表示法	61
3.3 单一参数的交流电路	64
3.4 电阻、电感与电容元件的串并联交流电路	72
3.5 复阻抗的混联电路	77
3.6 交流电路的功率	81
3.7 电路中的谐振	85
3.8 用 Multisim 对电路进行仿真——正弦稳态电路分析	89
本章小结	92
习题	94

第4章 三相正弦交流电路	100
4.1 对称三相正弦交流电源	100
4.2 三相正弦交流电路的计算	102
4.3 三相电路的功率	107
4.4 用 Multisim 对电路进行仿真——三相电路的分析	108
本章小结	110
习题	111
第5章 线性电路动态过程的时域分析	114
5.1 一阶电路的暂态分析	114
5.2 RC 串联电路对矩形波电压的响应	122
5.3 一阶电路对正弦交流激励的响应	124
5.4 一阶电路暂态过程的仿真分析	126
本章小结	129
习题	130
第6章 变压器	134
6.1 变压器的结构及工作原理	134
6.2 三相变压器	141
6.3 其他用途变压器	144
本章小结	148
习题	148
第7章 交流电动机	151
7.1 三相异步电动机的构造	151
7.2 三相异步电动机的铭牌数据	153
7.3 三相异步电动机的转动原理	155
7.4 三相异步电动机的电磁转矩	159
7.5 三相异步电动机的机械特性	162
7.6 三相异步电动机的起动	165
7.7 三相异步电动机的调速	170
7.8 三相异步电动机的制动	171
7.9 单相异步电动机	173
* 7.10 同步电动机	175
* 7.11 直线异步电动机	176
本章小结	179
习题	180
第8章 继电器接触器控制系统	183
8.1 常用控制电器	183
8.2 三相异步电动机的基本控制线路	187
8.3 行程控制	192
8.4 时间控制	194

8.5 速度控制	195
8.6 应用举例	197
本章小结	198
习题	199
第 9 章 可编程控制器	203
9.1 PLC 的基本组成及工作原理	203
9.2 PLC 的编程语言	206
9.3 PLC 基本指令	207
9.4 可编程控制器的应用举例	211
本章小结	214
习题	214
第 10 章 工业企业供电与安全用电	216
10.1 电力系统	216
10.2 安全用电	218
10.3 电器防火和防爆	223
10.4 静电防护	223
10.5 雷电防护	224
10.6 节约用电	225
本章小结	226
习题	227
部分习题参考答案	228
附录 A 电阻器和电容器的命名方法及性能参数	234
附录 B Y 系列三相异步电动机技术数据及型号说明	237
附录 C 常用低压控制电器的电气图形、文字符号及技术数据	239
附录 D Multisim10 软件使用简介	243
参考文献	250

第1章 电路的基本概念与基本定律

电路是电工技术和电子技术的基础。本章从电路模型入手,通过电阻电路介绍电路的基本物理量、电路的基本定律、电路的工作状态,以及电压和电流的参考方向等,这些内容都是分析与计算各类电路的基础。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的组成与作用

电路即电流的通路,它是为了满足某种用途,由某些电气设备或器件按一定的方式相互连接组成的。

电路一般包括电源、负载和中间环节三个组成部分。电源是将非电能量转换为电能量的供电设备,例如电池、发电机和信号源等。负载是将电能转换为非电能量的用电设备,例如电动机、照明灯、信号灯和电炉等。负载的大小用负载取用的功率大小来衡量。中间环节则起着沟通电路、输送电能与电信号的作用。中间环节包括导线、开关和熔断器等一些实现对电路连接、控制、测量及保护的装置与设备。

电路的作用一般分为两类。一类是实现电能的传输和转换,如电力系统,发电机产生的电能通过输电线路输送到各用户,供给动力、电热、电解、电镀和照明用电,如图1-1(a)所示。由于这类电路电压较高,电流、功率较大,常称为“强电”电路。另一类是用于进行电信号的传递和处理,如收音机和电视机,它们的接收天线(信号源)把载有语音、图像信息的电磁波接收后转换为相应的电信号,而后通过电路把信号传递和处理(调谐、变频、检波、放大等),送到扬声器和显像管(负载),还原为原始信息,如图1-1(b)所示。这类电路通常电压较低,电流、功率较小,常称为“弱电”电路。

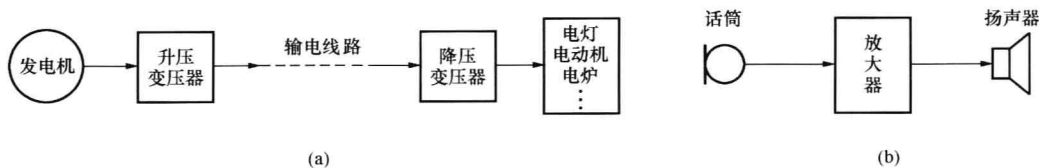


图1-1 电路示意图

(a) 电力系统示意简图; (b) 扩音机电路

不论是电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压或电流称为激励,其主要作用为推动电路工作;激励在电路各部分产生的电压和电流称为响应。所谓电路分析,就是在已知电路结构和元件参数的条件下,讨论激励与响应之间的关系。

1.1.2 电路元件与电路模型

各种实际电路都是由电阻器、电容器、电感线圈、变压器、晶体管、发电机、电池等实际电气器件组成的。这些实际电气器件的物理特性一般是比较复杂的。一种实际电气器件往

往同时具有几种物理特性。例如，一个实际的电感线圈，当有电流通过时，不仅会产生磁场，形成磁场，而且还会消耗电能，即线圈不仅具有电感性质，而且具有电阻性质。不仅如此，电感线圈的匝与匝之间还存在分布电容，具有电容性质。

为了便于对实际电路进行分析和计算，将实际元件理想化或称模型化，即在一定的条件下突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，把它近似地看作理想电路元件。由一些理想电路元件所组成的电路，就是实际电路的电路模型，它是对实际电路电磁性质的科学抽象与概括。

理想电路元件（以下简称电路元件）分为有源元件和无源元件两类。基本的有源元件有电压源和电流源 [如图 1-2 (a)、(b) 所示]，基本的无源元件有电阻元件 R 、电感元件 L 、电容元件 C [如图 1-2 (c)、(d)、(e) 所示]。这些理想电路元件具有单一的物理特性和严格的数学定义。实际电气器件消耗电能的物理特性用电阻元件来表征，实际电气器件存储磁场能的物理特性用电感元件来表征；实际电气器件存储电场能的物理特性用电容元件来表征等。这样，根据不同的工作条件，可以把一个实际电气器件用一个理想电路元件或几个理想电路元件的组合来模拟，从而把一个由实际电气器件连接成的实际电路转化为一个由理想电路元件组合而成的电路模型。建立实际电路的电路模型是分析研究电路问题的常用方法。

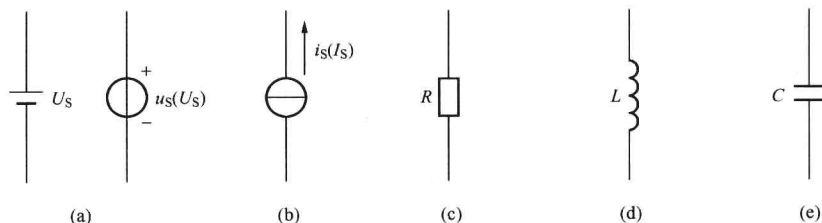


图 1-2 理想电路元件模型

(a) 电压源；(b) 电流源；(c) 电阻元件 R ；(d) 电感元件 L ；(e) 电容元件 C

【思考与讨论】

1. 电路一般由哪几部分组成？它们分别在电路中起什么作用？
2. 某负载为一可变电阻器，由电压一定的蓄电池供电，当负载电阻增加时，该负载是增加了还是减小了？
3. 手电筒的实物图如图 1-3 所示。请对应画出接线原理图和电路图（电路模型）。

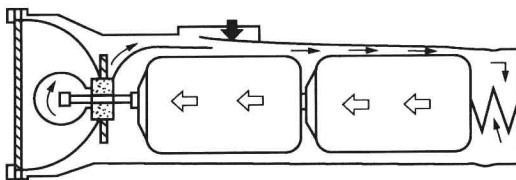


图 1-3 手电筒的实物图

1.2 电路的基本物理量及其参考方向

1.2.1 电流

单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度，用以衡量电流的大小。电流强度常简称为电流，用符号 i 表示，即

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

式中： q 为电荷量，C（库仑）； t 为时间，s（秒）； i 为电流，A（安培）。

如果电流的大小和方向都不随时间变化，则称为直流电流（Direct Current, DC），用大写字母 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化，则称为交流电流（Alternating Current, AC），用小写字母 i 表示。

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向为电流的实际方向。电流的实际方向是客观存在的。

1.2.2 电位、电压和电动势

1. 电位

电位在数值上等于电场力把单位正电荷从电场中某点移到无限远处所做的功。电场无限远处的点认为其电位为零，作为衡量电场中各点电位的参考点。工程上常选与大地相连的部件（如机壳等）作为参考点，没有与大地相连部分的电路，常选电路的公共结点为参考点，并称为地；在电路分析中，可选电路中一点作为各点电位的参考点，用接地符号“ $\perp$ ”标出，电路中的电位记为 V 。

2. 电压

电压是衡量电场力移动电荷时做功大小的物理量，电路中 a 、 b 两点间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从电场中的 a 点移到 b 点所做的功。电压用字母 $u(U)$ 表示， a 、 b 两点间的电压记作 $u_{ab}(U_{ab})$ ，下标 a 、 b 表明电压方向由 $a \rightarrow b$ 。

电压和电位的单位都是 V（伏特，简称伏）。根据电压与电位的定义可知， a 、 b 两点间的电压等于 a 、 b 两点间的电位之差，即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-2)$$

若以 b 为参考点， a 、 b 两点间的电压等于 a 点的电位。

需要注意的是：

(1) 若 $V_a > V_b$ ，则 $U_{ab} > 0$ ；反之， $U_{ab} < 0$ ，即电压的方向为电位降低的方向。

(2) 电位是相对的，电压是绝对的，即电路中各点的电位是相对参考点而言的，参考点选得不同，各点电位值也不同，但是任两点间的电位差不会变，它与参考点的选择无关。

(3) 电位值与电压值都与计算时所选的路径无关。

在电子电路中，为了作图的简便和图面的清晰，常利用电位的概念简化电路，即把供给电路能量的直流电源的一端接“地”，另一端用等于电源电压值的电位表示。例如图 1-4 (a) 可简化为图 1-4 (b)。

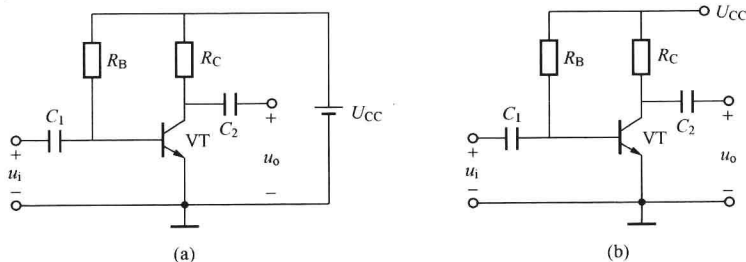


图 1-4 利用电位的概念简化电路

(a) 原电路；(b) 简化电路

3. 电动势

电动势是衡量电源内局外力克服电场力移动电荷时做功的物理量,它在数值上等于局外力把单位正电荷在电源内部由低电位端移到高电位端所做的功。电动势用字母 $e(E)$ 表示,单位与电压相同,方向为电位升高的方向,与电压方向相反。

1.2.3 电压与电流的参考方向

在进行电路的分析与计算时,需要知道电压与电流的方向。在简单直流电路中,可以根据电源的极性判别出电压和电流的实际方向,但在复杂直流电路中,电压和电流的实际方向往往是无法预知的,而且可能是待求的;而在交流电路中,电压和电流的实际方向是随时间不断变化的。因此,在这些情况下,需要给它们假定一个方向作为电路分析与计算时的参考。这些假定的方向称为参考方向或正方向。在参考方向下,电压与电流都是代数量。当电压、电流的参考方向与实际方向一致时,则解得的电压、电流值为正;否则为负。分析电路前应先标出各电压与电流的参考方向,如图 1-5 所示。参考方向一经选定不得再更改,以免与其代数值不符。

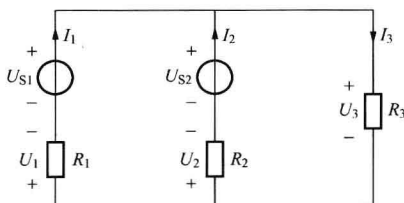


图 1-5 电压、电流的参考方向

原则上电压与电流的参考方向可以任意假定,但为了方便分析电路,在假定电路元件的电压、电流参考方向时,通常将两者的参考方向取为一致,并称为关联参考方向或关联正方向。在采用了关联正方向后,在电路元件上只标出电流(或电压)一个正方向就可以了。但对电源的电压和电流的参考方向,一般习惯于取非关联参考方向。

1.2.4 电功率

功率是电路分析中常用到的另一个物理量。我们知道在电路接通后,电路中同时进行着电能与非电能的转换,根据能量守恒定律,电源供出的电能等于负载消耗或吸收电能的总和。

负载消耗或吸收的电能即电场力移动电荷所做的功,用字母 W 表示,即

$$W = \int_0^q u dq = \int_0^t ui dt \quad (1-3)$$

式中: t 为电流通过负载的时间。

功率是单位时间内消耗的电能,用字母 $p(P)$ 表示,即

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1-4)$$

在直流情况下

$$W = UI t \quad (1-5)$$

$$P = UI \quad (1-6)$$

在国际单位制中,电功率的单位为 W (瓦特,简称瓦);电能的单位为 J (焦耳)。工程上用 $kW \cdot h$ (千瓦·时) 作为电能的单位,它们之间的换算关系为

$$1kW \cdot h = 1000W \times 3600s = 3.6 \times 10^6 J$$

以上各式为元件电压、电流参考方向一致时消耗电功率的表达式;当元件电压、电流参考方向不一致时,电功率的表达式前要加“ $-$ ”号,即

$$P = -UI \quad (1-7)$$

无论是上述哪种情况,如结果为 $P > 0$,表示该元件(或该段电路)吸收功率,即消耗

电能（或吸收电能）；如结果为 $P < 0$ ，则表示输出功率，即送出电能。

我们还可直观地根据电压和电流的实际方向来确定某一电路元件是电源还是负载。

如 U 和 I 的实际方向相反，电流从电压实际极性的高电位端流出，则表明是产生功率，此元件为电源。

如 U 和 I 的实际方向相同，电流从电压实际极性的高电位端流入，则表明是消耗功率，此元件为负载。

【思考与讨论】

1. 有一元件接于某电路的 a、b 两点之间，已知 $U_{ab} = -5\text{V}$ ，试问 a、b 两点哪点电位高？
2. U_{ab} 是否表示 a 端的电位高于 b 端的电位？
3. 在图 1-6 中，方框代表电源或负载。已知 $U = 5\text{V}$ ， $I = -1\text{A}$ ，试问哪些方框是电源，哪些是负载？

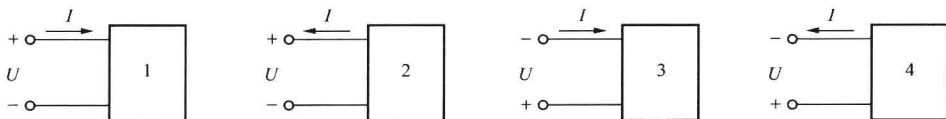


图 1-6 思考与讨论 3 图

4. 举例说明电流的作用与效应。

1.3 基尔霍夫定律

分析与计算电路的基本定律除了欧姆定律以外，还有基尔霍夫定律。基尔霍夫定律分为电流定律和电压定律。在讨论基尔霍夫两个定律之前，要先介绍几个名词。

节点：三条或三条以上、含有电路元件的电路分支的连接点。如图 1-7 所示电路中的 a、b 两点。

支路：两个节点之间的每一条分支电路。支路中通过的电流是同一电流。在图 1-7 所示的电路中有 adb、acb、aeb 三条支路。

回路：电路中任一闭合路径称为回路。如图 1-7 中有 adbca、aebda 和 aebca 三个回路。

网孔：未被其他回路分割的单孔眼回路。如图 1-7 中有 adbca、adbea 两个网孔。

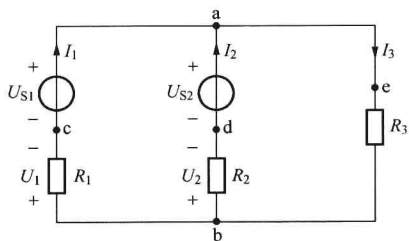


图 1-7 基尔霍夫定律

1.3.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)

基尔霍夫电流定律说明了任何一电路中连接在同一个节点上的各支路电流间的关系。由于电流的连续性，流入任一节点的电流之和必定等于流出该节点的电流之和。例如对图 1-7 所示电路的节点 a 来说

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或将其改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0$$

这就是说, 如果流入节点的电流取正, 流出节点的电流取负, 那么任何节点上电流的代数和就等于零。这一结论不仅适用于直流电流, 而且适用于交流电流。因此基尔霍夫电流定律可表述为: 在任何电路的任何一个节点上, 同一瞬间电流的代数和等于零, 即

$$\sum i = 0 \quad (1-8)$$

基尔霍夫电流定律不仅适用于电路中任一个节点, 而且可以推广应用于电路中任何一个假想的闭合面。一个闭合面可看作一个广义的节点。

如图 1-8 所示的电路中, 对虚线包围部分分别有

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$I_B + I_C = I_E$$

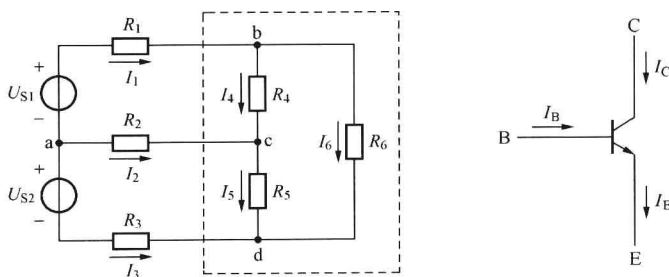


图 1-8 广义节点

1.3.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律说明了电路中任一回路中各部分电压之间的相互关系。由于电路中任意一点的瞬时电位具有单值性, 所以在任一时刻, 沿电路的任一闭合回路循环一周, 回路中各部分电压的代数和等于零, 即

$$\sum u = 0 \quad (1-9)$$

对直流电路有

$$\sum U = 0 \quad (1-10)$$

其中与回路循行方向一致的电压前取正号, 不一致的电压前取负号。

例如对图 1-7 所示电路的 adbca 回路, 从 a 点出发, 以顺时针方向 (或逆时针方向) 沿回路循环一周可列出

$$U_{S2} + U_1 - U_{S1} - U_2 = 0$$

基尔霍夫电压定律不仅适用于电路中任一闭合回路。而且还可推广应用于任何一个假想

闭合的一段电路, 例如在图 1-9 所示电路中, c、f 间无支路连通, 开口处虽无电流, 但有电压。可将 bcfb 看作假想的回路 (广义回路), 根据 KVL 列出回路电压方程

$$U_{cf} - U_{S2} + R_2 I_2 = 0$$

由此可得 c、f 间的电压为

$$U_{cf} = U_{S2} - R_2 I_2$$

应该指出的是, 在应用基尔霍夫定律时, 要在电路图

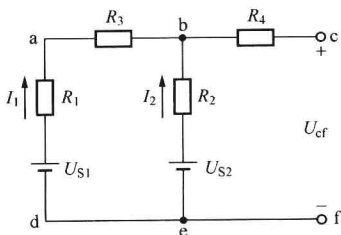


图 1-9 广义回路

上标出各支路电流和各部分电压的参考方向,因为所列方程中各项前的正负号是由它们的参考方向决定的,参考方向选得相反,则会相差一个负号。另外基尔霍夫定律是电路的结构约束,与电路元件性质无关。

【思考与讨论】

1. 在图 1-10 所示电路中,有几个节点?几条支路?几个网孔?几个回路?列出各节点的 KCL 方程和网孔的 KVL 方程。
2. 试分析得出图 1-11 所示电路中 I 的值。
3. 在图 1-8 (a) 中, I_1 、 I_2 、 I_3 这三个电流有无可能都是正值?

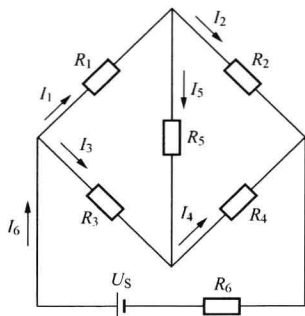


图 1-10 思考与讨论 1 图

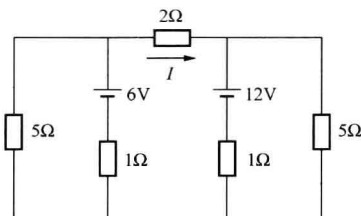


图 1-11 思考与讨论 2 图

1.4 无源电路元件

电阻元件、电感元件和电容元件都是组成电路模型的理想无源元件。电阻元件只突出其耗电能的性质;电感元件只突出其产生磁场且储存磁场能量的性质;电容元件只突出其产生电场且储存电场能量的性质。电阻元件是耗能元件;后两者是储能元件。在今后所讨论的各种电路中,除了电阻元件外,还有电感元件和电容元件。电路元件都有相应的参数来表征。

电路所具有的参数不同,其性质就不同,其中能量转换关系也不同。这种不同反映在电压与电流的关系上。因此,在分析各种具有不同参数的电路前,要先了解不同参数元件电压与电流的一般关系以及能量转换关系。

1.4.1 电阻元件

电气设备中不可逆地将电能转换成热能、光能或其他形式能量的特征可用“电阻”这个理想电路元件来表征。例如电灯、电炉等都可以用电阻来代替。

电阻的图形符号如图 1-12 (a) 所示。当电流通过它时将受到阻力,沿电流方向产生电压降,如图 1-12 (a) 所示。电压降与电流之间的关系遵从欧姆定律。在关联参考方向下,其表达式为

$$u = Ri \quad (1-11)$$

式中: R 是表示电阻元件阻碍电流变化这一物理性质的参数。电阻的单位是 Ω (欧姆)。

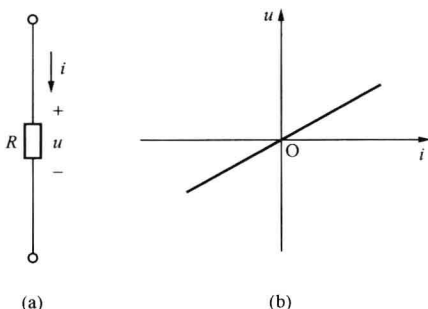


图 1-12 电阻元件
(a) 图形符号; (b) 伏安特性