



高等学校“十二五”精品规划教材
高等教育改革项目研究成果

电工与电子技术基础

(第2版)

辛永哲 刘晓惠 侯晓音 主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电工与电子技术基础

(第2版)

主 编	辛永哲	刘晓惠	侯晓音
主 审	曲丽萍		
副主编	赵 莹	杜艳丽	赵虎成
参 编	杨利媛	苑广军	关海爽
	胡冬梅	郭淑清	齐华春

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本教材在新的教育理念指导下,力求概念准确、内容新颖、语言流畅、可读性强,将电工技术与电子技术相互贯通。本着“精选内容,打好基础,加强实验,培养能力”的精神,把教材的重点放在基本概念、基本理论和基本分析方法以及电工元器件的外部特性和使用知识等方面,考虑各专业的特点,适当提高了起点,图形符号和文字代号全部采用新的国家标准。

全书共分10章,内容包括电工技术和电子技术两大部分。电工技术包括电路、电机及其控制两部分。电子技术包括模拟电子电路。电路介绍基本电路元件、电路的基本定律和分析计算方法。电机及其控制介绍变压器、电动机、低压电器和继电接触控制电路。电子技术介绍电子元器件、运算放大器、二极管整流电路和三极管放大电路等。

本教材适于作高等学校非电类专业少学时电工学课程本科教材,也可作高职、高专院校的教材,还可供工程技术人员和一般读者自学。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术基础 / 辛永哲, 刘晓惠, 侯晓音主编. —2版. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 8837 - 8

I. ①电… II. ①辛…②刘…③侯… 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 (2014) 第 026253 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 16.25

字 数 / 360 千字

版 次 / 2014 年 1 月第 2 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

定 价 / 32.00 元

责任编辑 / 李志敏

文案编辑 / 李志敏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

本教材是按照教育部高等学校电子电气基础课程教学指导委员会“电工学教学基本要求”修订的。在总结第1版《电工与电子技术基础》（高等学校“十二五”精品规划教材，高等教育课程改革项目研究成果）存在问题的基础上，根据教学需要和使用该教材院校的反馈意见，改正了第1版中的疏漏之处，并提供了各章习题答案。

“电工与电子技术（电工学）”是非电类工程专业的技术基础课，是理论性、专业性和应用性较强的课程。本教材结合高等学校非电类专业的课程设置和特点，注重电工与电子技术的基本概念、基本定律、分析和计算方法。简明、易懂，学以致用，具有基础性和普遍适用性，更好地适应现代宽口径人才培养的需要和教学要求。教材主要内容包括：电路的基本概念和定律、电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、电路的暂态分析、变压器与异步电动机、异步电动机的继电接触控制、半导体二极管和直流稳压电源、半导体三极管和基本放大电路以及集成运算放大器的应用。通过本教材的学习，可以获得电工与电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能，熟悉常用仪表的使用和基本的实验方法。了解电气技术和其他科技领域的相互联系和相互促进的关系，提高分析问题和解决问题的能力，为今后的学习和工作奠定理论和实践基础。

本教材适用于“电工与电子技术（电工学）”（或类似）课程的授课，可作为高等学校非电类工程专业本科、专科和高职、高专院校的教材或教学参考书。

在教材的修订过程中，得到了北华大学汽车与建筑工程学院、电气信息工程学院许多同志的帮助，也得到广大教师和读者的支持与关怀，在此表示衷心地感谢。

由于编者水平所限，书中不妥之处在所难免，诚挚地希望广大教师和学生给予批评指导，以便改进与提高。

编 者

目 录

绪论	1
第 1 章 电路的基本概念和定律	3
1.1 电路和电路模型	3
1.2 电流和电压的参考方向	4
1.3 基尔霍夫定律	6
1.4 电阻、电感和电容元件	8
1.5 电路中的电位和功率	10
习题	12
第 2 章 电路的分析方法	16
2.1 电阻的串联和并联	16
2.2 电压源与电流源及其等效变换	17
2.3 支路电流法	20
2.4 叠加原理	21
2.5 戴维宁定理	22
习题	25
第 3 章 正弦交流电路	29
3.1 正弦交流电的三要素	29
3.2 正弦量的相量表示法	32
3.3 电阻元件的交流电路	36
3.4 电感元件的交流电路	38
3.5 电容元件的交流电路	41
3.6 电阻、电感和电容元件串联的交流电路	44
3.7 正弦交流电路的计算	50
3.8 RLC 电路的谐振	55
3.9 功率因数的提高	60
习题	63
第 4 章 三相交流电路	67
4.1 三相交流电源	67



4.2 星形连接的三相电路分析	69
4.3 三角形连接的三相电路分析	74
4.4 三相交流电路的功率	77
习题	78
第5章 电路的暂态分析	81
5.1 换路定则	81
5.2 RC 电路的暂态分析	83
5.3 一阶电路暂态分析的三要素法	90
5.4 微分电路和积分电路	94
5.5 RL 电路的暂态分析	97
习题	104
第6章 变压器与异步电动机	109
6.1 变压器	109
6.2 三相异步电动机的基本结构和工作原理	117
6.3 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	123
6.4 三相异步电动机的铭牌	126
6.5 三相异步电动机的启动、反转、调速和制动	128
6.6 三相异步电动机的缺相运行	135
习题	136
第7章 异步电动机的继电接触控制	138
7.1 常用低压控制电器	138
7.2 电气控制的基本控制电路及保护电路	142
7.3 行程控制	146
7.4 时间控制	148
习题	152
第8章 半导体二极管和直流稳压电源	153
8.1 半导体的导电机理	153
8.2 PN 结及其单向导电性	154
8.3 半导体二极管	156
8.4 整流电路	159
8.5 滤波电路	164
8.6 硅稳压管和简单稳压电路	167
8.7 串联型稳压电路	170
8.8 集成稳压电路	170
习题	172



第 9 章 半导体三极管和基本放大电路	175
9.1 半导体三极管	175
9.2 交流放大电路的基本工作原理	181
9.3 放大电路的图解分析法	186
9.4 交流放大电路的微变等效电路分析方法	190
9.5 分压偏置共射放大电路	193
9.6 共集放大电路——射极输出器	195
9.7 阻容耦合多级放大电路	198
9.8 放大电路中的负反馈	201
9.9 直流放大电路	206
习题	213
第 10 章 集成运算放大器的应用	218
10.1 集成运算放大器简介	218
10.2 集成运算放大器的线性应用	223
10.3 集成运算放大器的非线性应用	230
习题	233
附录: 习题答案	239
参考文献	249

绪 论

电工与电子技术是研究电磁理论、电磁现象在工程技术上应用的一门科学，其研究范围十分广泛，涉及的内容很多，其与其他学科的结合或向其他学科的渗透，促进了这些学科发展，并开拓出学科的新领域。

由于电能具有便于转换、输送、分配和控制等突出的优点，因此在工农业生产、交通运输、科学实验、国防建设、医疗卫生和人民的日常生活中得到了广泛的应用。各个技术领域都与电有着密切的联系，许多工程技术问题，如物理量的测量、数据的运算与处理等，都广泛地采用电子技术。同时，生产的需要又将推动测量技术、计算技术及自动控制技术迅速发展，电测技术的应用日益增多。目前，在房屋建筑、水利水电工程、桥梁、隧道等施工中，经常使用的起重机、皮带运输机以及搅拌机都是用电动机来驱动的，作为工程技术人员必须能正确选择和使用这些设备；在建筑设计中还应全面地考虑配电系统的布局、照明的配置、建筑防雷、电梯以及空调等；此外，在进行工程结构的设计和研究中，验证设计理论、选定设计方案和鉴定工程质量等都离不开电工与电子技术的相关知识。

电工与电子技术是高等学校为大学本、专科非电工程专业学生开设的一门技术基础课，为学生提供电工与电子技术理论知识和实际工作技能。本教材理论体系完整，各部分内容有机地联系在一起，包括电工技术和电子技术两大部分。电工技术包括电路理论、电机与继电接触控制两部分内容。电子技术包括模拟电子电路。电路理论主要讲述基本电路元件的性质、电路的基本定律和基本分析计算方法。即对直流电路、正弦交流电路、三相电路和暂态电路进行分析和计算，这是整个课程的理论基础。电机和控制主要讲述常用的变压器、电动机和低压电器的基本工作原理、外部特性、使用方法及继电接触控制电路。即对直接启停控制、正反转控制、顺序控制、行程控制和时间控制电路的结构、原理和应用等进行详细的讨论。电子技术讲述有关的电子元器件、运算放大器的性能和电子电路基本环节的工作原理及其应用。即对二极管整流滤波稳压电路、三极管交流和直流放大电路、射极输出器、运算放大器的线性、非线性应用等电路的结构、原理及应用进行分析研究。每章都选用了典型的例题和习题。

通过本课程的学习，使学生掌握电工技术和电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能，为学习后续课程以及从事与本专业有关的工程技术工作打好必要的基础。因此，所有非电专业的工程技术人员和科研人员都必须掌握一定的电工与电子技术方面的知识，以便掌握与此相关的先进技术，适应经济社会和科学技术的发展。

在本课程的学习过程中，教材内容、演算习题及进行实验是三个主要教学环节，都要给予充分的重视。同时，要注意培养自学能力，这样才能掌握课程内容，并为将来在工作中进一步的学习打好基础。

要想学好电工与电子技术课程，课堂教学是获取知识最快、最有效的学习途径。因此，应认真听课，积极思考，注意各部分内容之间的联系，深入钻研，主动学习，努力培养自学能力，以建立完整的系统概念，从而理解电路的基本理论、工作原理，学会电路的基本分析



方法,了解基本电路的实际应用。

习题是培养学生分析问题和解决问题能力的重要手段,也是学生检查自学情况的一面镜子,演算习题是学会分析方法和计算方法的必要途径,是深入理解基本理论、培养分析和解决实际问题能力的关键所在。因此,要通过认真做习题,参加测验、考试进行反复练习运用;要独立解题,并验证计算结果,以便加深对知识的理解。

电工与电子技术是实践性极强的课程,实验是培养学生基本技能的主要环节,在教学过程中占有重要的地位。通过实验验证和巩固所学理论,训练科学的实验技能,发现和创造新的实用电路,培养严谨求实的科学作风。学校应保证实验学时并创造较好的实验条件,使学生有充分实践的机会。同时,教师通过演示、实物教学等环节,加深学生对物理概念的理解。学生在学习过程中要注意理论联系实际,对教材中有关实际应用方面的内容,要认真思考,以培养分析解决实际问题的能力,重视实验课。实验前要充分预习和认真准备,自觉地学习电工仪表、电子仪器等设备的使用方法和测取分析实验数据,以培养实验技术和动手能力。实验中要积极思考,亲自动手,严肃、认真地完成实验的每一个步骤。实验后要对实验现象和实验数据认真整理分析,及时编写出完整的实验报告。

第 1 章

电路的基本概念和定律

电工与电子技术的应用离不开电路。电路是后续内容——变压器、电机与控制电路、电子电路的基础。本章主要内容为电路的组成与状态、电压和电流的参考方向、基尔霍夫定律、电阻及电感和电容元件以及电路中电位和功率的概念和计算等，这些内容都是分析与计算电路的基础。

1.1 电路和电路模型

一、电路的组成与作用

电路是电流的通路，是为某种需要由某些电工设备或元件按一定方式组合起来的。电路中的这些电工设备或元件称为实际的电路元件。例如，发电机、变压器、电动机、电灯和晶体管等都是实际电路中执行某一功能的元件。

电路的结构形式和所能完成的任务虽然是多种多样的，但都包含电源、负载和中间环节三个部分。最简单的电路如图 1-1 所示的手电筒电路。

电源是将其他形式的能量转换为电能的供电装置。例如蓄电池、发电机和信号源等。电源或信号源的电压或电流常称为激励。

负载是将电能转换为其他形式能量的用电设备。例如电动机、电炉和电灯等。负载上的电压或电流称为响应。负载的大小通常用负载取用功率的大小来衡量。

中间环节是连接电源和负载的部分，它起传递、分配和控制电能或电信号的作用。如图 1-1 所示的手电筒电路模型中，开关和连接导线是中间环节。

电路按其作用的不同，大致可分为两类。一类电路用于实现电能的传输和转换。例如，照明电路将电能由电源传输至照明灯，并转换为光能；动力电路将电能由电源传输至电动机，并转换为机械能。这类电路电流和功率较大，电压高，常称为“强电”电路。另一类电路用于进行电信号的传递和处理。如收音机和电视机电路。这类电路电流和功率较小，电压低，常称为“弱电”电路。

二、电路的状态

电路在不同的工作条件下，会处于不同的状态。电路的状态有以下三种：

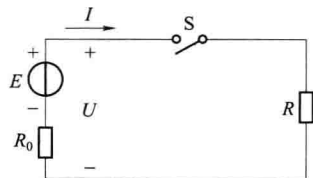


图 1-1 手电筒的电路模型



1. 通路

当电源与负载接通,例如,图1-1中的开关闭合时,电路中便有了电流及电能的传输和转换,电路的这一状态称为通路,电源这时的状态称为有载工作状态。电路处于通路状态时,电源产生的电功率应该等于电路各部分消耗的电功率之和,即功率平衡。

各种电气设备在工作时,其电压、电流及功率等都有一个额定值。额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值。电气设备或元件的额定值常标在铭牌上或写在产品目录中,使用时应充分考虑额定数据。通常当实际值都等于额定值时,电气设备的工作状态称为额定状态。当实际功率或电流大于额定值时称为过载。当实际功率或电流小于额定值时称为欠载。

2. 开路

在图1-1所示的电路中,当开关断开时,电路处于开路状态,电源的状态称为空载。电路中的电流为零,电源不输出电能。

3. 短路

图1-1所示的电路,当两根导线由于绝缘损坏而接通时,就处于短路状态。此时电流不再流过负载,而直接经短路连接点流回电源,电流数值很大。短路通常会产生严重事故,应当尽量避免。有时由于某种需要,可以将电路中的某一段短路,常称为短接或工作短路。

三、电路模型

实际电路是由一些按需要起不同作用的实际电路元件或器件组成。为了便于对实际电路进行分析和数学描述,将实际元件理想化,把它们近似地看做理想电路元件。由一些理想电路元件所组成的电路称为实际电路的电路模型。

理想电路元件(有时简称为电路元件)是对实际元件在一定条件下进行科学抽象而得到的,实际上是一种数学模型。理想电路元件主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。电阻元件是表征电路中消耗电能的理想元件。电感元件是表征电路中储存磁场能量的理想元件。电容元件是表征电路中储存电场能量的理想元件。电源元件是表征电路中产生电能的理想元件。例如,一个线圈,如果忽略其电阻和电容的性质,则称为电感元件。本书所研究的电路都是电路模型,简称电路。

1.2

电流和电压的参考方向

一、电流及其参考方向

电荷量对时间的变化率称为电流强度,简称电流,即

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



式中, 电荷 q 的单位为库仑 (C); 时间 t 的单位为秒 (s); 电流 i 的单位为安培 (A)。

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。

如果电流的大小和方向都不随时间变化, 则称为直流电流, 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, 用小写字母 i 表示。

在分析较复杂的直流电路时, 某支路中电流的实际方向往往难以事先判断; 对交流电路, 电流的实际方向随时间变化, 在电路图上也无法用一个箭头来表示它的实际方向。为此可以预先假定一个电流方向, 称为电流的参考方向 (也称为正方向), 并在电路图中用箭头表示。然后根据所假定的电流参考方向列写电路方程求解。如果计算结果为正, 则表示电流的实际方向和参考方向相同; 如果计算结果为负, 则表示电流的实际方向和参考方向相反。因此, 在参考方向选定之后, 电流之值才有正负之分。

二、电压及其参考方向

电路中两点之间的电压代表单位正电荷从起点移到终点时电场力所做的功, 其值等于两点电位之差。电场力做正功时, 电位要降低, 因此电压的方向是由高电位点指向低电位点, 即指向电位降低的方向 [图 1-2 (a)]。

电源电动势表征电源中外力 (又称非静电力) 做功的能力, 它的大小等于外力克服电场力把单位正电荷从负极移到正极所做的功, 它的方向规定为在电源内部由负极指向正极 [图 1-2 (a)], 也就是指向电位升高的方向。

如前所述, 在进行电路分析时, 必须先假定电流的参考方向。同样, 对于电压或电动势也必须事先假定参考方向 (也称参考极性), 电压的参考方向采用箭头或 “+” “-” 极性表示, 从 “+” 端指向 “-” 端, 也可用双下标字母表示。例如, a 、 b 两点间的电压 U_{ab} , 它的参考方向是由 a 指向 b , 也就是说 a 点的参考极性为 “+”, b 点的参考极性为 “-”。如果参考方向选为由 b 指向 a , 则为 U_{ba} , $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

因为电源的极性都是已知的, 表明电源中电动势 E 的方向是从 “-” 极指向 “+” 极, 电源两端电压 U 的方向是从 “+” 极指向 “-” 极, 所以不再另标注箭头 [图 1-2 (b)]。

图 1-2 (a) 中标注的电动势和电压的方向, 虽然箭头方向相反, 但都是设上端为 “+” 极, 下端为 “-” 极, 故有

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

按照电动势和电压的定义, 它们的单位都是伏特 (V)。

电流参考方向和电压参考方向可以分别假定。在分析电路时常假定电流参考方向与电压参考方向一致, 称为关联参考方向。例如, 一个电阻元件 R , 当设定其电流 I 和电压 U 取关联参考方向时, 端电压可用欧姆定律表示为

$$U = RI \quad (1-3)$$

若假定电流参考方向与电压参考方向相反, 称为非关联参考方向。当设定电阻 R 的电流 I 和电压 U 取非关联参考方向时, 端电压可用欧姆定律表示为

$$U = -RI \quad (1-4)$$

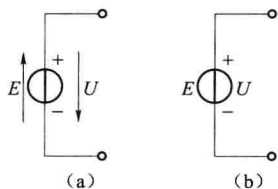


图 1-2 电压和电动势的表示方法



1.3 基尔霍夫定律

分析与计算电路的基本定律,除了欧姆定律外,还有基尔霍夫电流定律和电压定律。它们分别说明了电路中各部分电流之间和各部分电压之间的相互关系。在叙述定律的内容之前,先介绍几个名词。

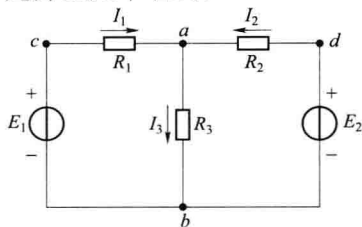


图 1-3 电路举例

结点: 电路中三条或三条以上支路相连接的点。例如,图 1-3 所示电路中共有两个结点: a 和 b 。

支路: 连接两个结点之间的电路。一条支路中流过同一个电流,称为支路电流。在图 1-3 中共有 3 条支路: acb , ab 和 adb 。

回路: 电路中任一闭合路径。例如,图 1-3 中共有三个回路: $abca$, $adba$ 和 $adbca$ 。

网孔 (单孔回路): 没有被支路穿过的回路。网孔是回路的一种特殊情况。图 1-3 中共有两个网孔: $abca$ 和 $adba$ 。

一、基尔霍夫电流定律 (KCL)

基尔霍夫电流定律内容如下:在任一瞬时,流向某一结点的电流之和应该等于由该结点流出的电流之和。

以图 1-3 电路为例,对结点 a 可以写出

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1-5)$$

应当注意,图 1-3 电路中所标电流方向都是任意假定的参考方向,各电流的数值都是有正负之分的代数量。

基尔霍夫电流定律所反映的是电流的连续性。电荷在电路中流动,不会消失,也不会堆积 (否则将改变电路中电荷分布、电场和电压的状态)。因此,任一瞬间,流入结点的电荷等于流出结点的电荷,也就是流入和流出结点的电流相等。

可将 (1-5) 式改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即基尔霍夫电流定律也可以表述为:在任一瞬时,一个结点上电流的代数和恒等于 0,一般数学表达式写作:

$$\sum I = 0 \quad (1-6)$$

式中,如果规定参考方向指向结点的电流取正号,则离开结点的电流就取负号。按照基尔霍夫电流定律写出的电流关系式称为结点电流方程式。

基尔霍夫电流定律不仅适用于结点,也适用于包围部分电路的任一假设的闭合面,这种闭合面称为广义结点。

即在任一瞬时,通过任一闭合面的电流的代数和也恒等于 0, $\sum I = 0$ 。

例如,在图 1-4 所示的晶体三极管中,对虚线所示的闭合面来说,三个电极的电流的代



数和应等于零,即

$$I_B + I_C - I_E = 0$$

二、基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律说明电路中任何一个回路各部分电压之间的相互关系。例如,对图 1-5 所示的回路(即为图 1-3 所示电路的一个回路),图中电源电动势、电流和各段电压的参考方向均已标出。由于电位的单值性,若从 a 点出发,按照虚线所示方向循行一周又回到 a 点,电位是不会发生变化的。即在这个方向上的电位降之和应该等于电位升之和。根据电压的参考方向可列出

$$U_1 + U_4 = U_2 + U_3$$

或将上式改写为

$$U_1 - U_2 - U_3 + U_4 = 0$$

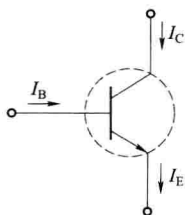


图 1-4 广义结点

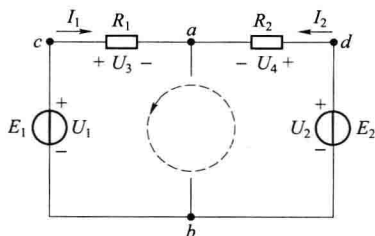


图 1-5 回路

即基尔霍夫电压定律内容如下:在任一瞬时,沿任一回路循行方向(顺时针方向或逆时针方向)回路中各段电压的代数和恒等于 0。如果规定沿回路循行方向电位降取正号,则电位升就取负号。一般数学表达式写作:

$$\sum U = 0 \quad (1-7)$$

如果各支路是由电阻和电源构成,运用欧姆定律可以把基尔霍夫电压定律加以改写。如对图 1-5 所示的回路,可以写成:

$$-E_1 + E_2 = -R_1 I_1 + R_2 I_2$$

移项得

$$E_1 - E_2 - R_1 I_1 + R_2 I_2 = 0$$

即

$$\sum (RI) = \sum E \quad (1-8)$$

式(1-8)为基尔霍夫电压定律在电阻电路中的另一种表达式,即在任一回路循行方向上,回路中电阻上电压降的代数和等于电动势的代数和。电流的参考方向与所选回路循行方向一致者取正号,相反者取负号。电动势的参考方向与所选回路循行方向一致者取正号,相反者取负号。

基尔霍夫电压定律不仅适用于电路中任一闭合的回路,还可以应用于不闭合的电路或某一段电路。例如,在图 1-6 所示电路中,将 a 、 b 两点间的电压作为电阻电压降考虑,按图



中选取的回路方向, 由式 (1-8) 可列出

$$RI - U = -E$$

例 1-1 在图 1-7 所示的回路中, 已知 $E_1 = 20 \text{ V}$, $E_2 = 10 \text{ V}$, $U_{ab} = 4 \text{ V}$, $U_{cd} = -6 \text{ V}$, $U_{ef} = 5 \text{ V}$, 试求 U_{cd} 和 U_{ad} 。

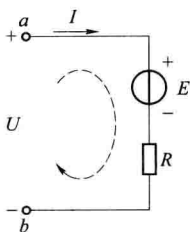


图 1-6 基尔霍夫电压定律推广到一段电路

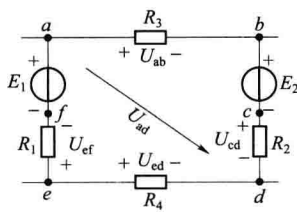


图 1-7 例 1-1 的电路

解: 由回路 $abcdefa$, 根据基尔霍夫电压定律可列出

$$U_{ab} + U_{cd} - U_{ed} + U_{ef} = E_1 - E_2$$

求得

$$\begin{aligned} U_{ed} &= U_{ab} + U_{cd} + U_{ef} - E_1 + E_2 \\ &= 4 + (-6) + 5 - 20 + 10 = -7 \text{ (V)} \end{aligned}$$

由假想的回路 $abcd a$, 根据基尔霍夫电压定律可列出

$$U_{ab} + U_{cd} - U_{ad} = -E_2$$

求得

$$U_{ad} = U_{ab} + U_{cd} + E_2 = 4 + (-6) + 10 = 8 \text{ (V)}$$

1.4 电阻、电感和电容元件

理想电路元件包括电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件。其中电阻元件、电感元件和电容元件为无源元件, 电源元件为有源元件。本节讨论无源元件。

一、电阻元件

电阻元件简称为电阻, 是实际电阻器的理想化模型。当某一用电器只存在电能的消耗而没有电场能量和磁场能量储存时, 可用电阻元件来代替。电阻元件的电路符号如图 1-8 所示。习惯上流经电阻的电流 i 和端电压 u 选取关联参考方向。电阻元件上电压和电流之间的关系称为伏安特性。如果电阻元件的伏安特性曲线在 $u-i$ 平面上是一条通过坐标原点的直线, 则该电阻元件称为线性电阻。

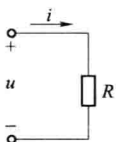


图 1-8 电阻元件

线性电阻两端的电压 u 和流过的电流 i 之间的关系服从欧姆定律

$$u = Ri \quad (1-9)$$

式中, R 为元件的电阻, 其电阻值是常数, 不随电压和电流变化, 单位为欧姆 (Ω)。



金属导体的电阻与导体的尺寸及导体材料的导电性能有关, 即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-10)$$

式中, ρ 称为电阻率, 是表示材料对电流起阻碍作用的物理量。

电流通过电阻要产生热效应, 表明电阻元件里发生了电能变换为热能的物理过程。电阻中能量的转换是不可逆的, 电阻是耗能元件。

二、电感元件

电感元件简称为电感, 是实际电感器 [用导线绕制的线圈, 如图 1-9 (a) 所示] 的理想化模型。当有电流 i 通过线圈时, 其周围将产生磁场。电感元件是用来表征电路中储存磁场能量这一物理性质的理想元件, 其电路符号如图 1-9 (b) 所示。流经电感的电流 i 和端电压 u 习惯上选取关联参考方向。

在图 1-9 (a) 中, 设线圈的匝数为 N , 电流 i 通过线圈时产生的磁通为 Φ , 两者的乘积

$$\Psi = N\Phi \quad (1-11)$$

称为磁链, 即与线圈各匝相链的磁通总和。它与电流的比值

$$L = \frac{\Psi}{i} \quad (1-12)$$

称为线圈的电感, 也称为自感。如果 L 是一个与磁通和电流无关的常数, 则称为线性电感。磁链和磁通的单位为韦伯 (Wb), 电感的单位为亨利 (H)。

线圈的电感与线圈的尺寸、匝数以及附近介质的导磁性能等有关。即

$$L = \mu \frac{SN^2}{l} \quad (1-13)$$

式中, μ 称为介质的磁导率 (H/m)。

当线圈中的电流 i 变化时, 磁通 Φ 和磁链 Ψ 随之变化, 将会在线圈中产生自感电动势 e_L 。

图 1-9 (a) 中, 各个物理量的参考方向是这样选定的: 电源电压 u 的参考方向任意设定 (设上端为高电位, 下端为低电位, 即由上指向下), 电流与电压取关联参考方向, 磁通 Φ 的参考方向根据电流的参考方向用右螺旋定则确定, 规定自感电动势 e_L 的参考方向与磁通的参考方向之间符合右螺旋定则。

根据电磁感应定律, 自感电动势

$$e_L = -\frac{d\Psi}{dt} = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1-14)$$

将磁链 $\Psi = Li$ 代入式 (1-14), 得

$$e_L = -L \frac{di}{dt} \quad (1-15)$$

在图 1-9 (b) 中, 按照图中规定的参考方向根据基尔霍夫电压定律可写出:

$$u = -e_L$$

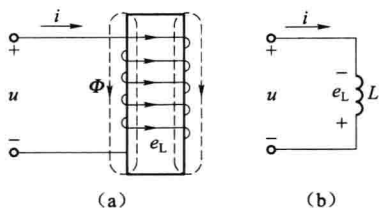


图 1-9 电感元件及其符号

(a) 实际电感器; (b) 电感器电路符号



即

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-16)$$

式(1-16)说明, 电感元件的端电压 u 与电流 i 的导数成正比。当把电感 L 接到直流电路中时, 因 $di/dt=0$, 所以电感的端电压为 0, 即电感元件对直流电路相当于短路。

电感不消耗能量, 是储能元件。当流过电感的电流为 i 时, 它储存的磁场能量为

$$W_L = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1-17)$$

三、电容元件

电容元件简称为电容, 是实际电容器的理想化模型。当电容元件两端加电压 u 时, 它的极板(由绝缘材料隔开的两个金属导体)上会储存等量异号的电荷量 q , 介质内出现电场, 储存电场能量。电容元件是用来表征电路中储存电场能量这一物理性质的理想元件, 其电路符号如图 1-10 所示。流经电容的电流 i 和端电压 u 习惯上选取关联参考方向。 q 与 u 的比值

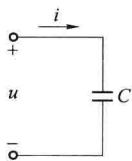


图 1-10 电容元件

$$C = \frac{q}{u} \quad (1-18)$$

称为电容, 代表一个电容器储存电荷的能力。如果 C 是一个与电荷量和电压无关的常数, 则称为线性电容。电容的单位是法拉(F)。由于法拉的单位太大, 工程上常采用微法(μF)或皮法(pF)。 $1 \mu\text{F}=10^{-6} \text{F}$, $1 \text{pF}=10^{-12} \text{F}$ 。

电容器的电容与极板的尺寸及其间介质的介电常数有关, 即

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \quad (1-19)$$

式中, ϵ 称为介质的介电常数(F/m)。

当电容电压 u 随时间变化时, 极板上的电荷量 q 也随之变化, 在电路中电流

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-20)$$

式(1-20)表明电容电流正比于电容电压的变化率。当把电容接到直流电路中时, 因 $du/dt=0$, 所以电容的电流为 0, 即电容元件对直流电路相当于开路。

电容不消耗能量, 是储能元件。当电容两端的电压为 u 时, 它储存的电场能量为

$$W_C = \frac{1}{2} Cu^2 \quad (1-21)$$

1.5 电路中的电位和功率

一、电位

在分析电子电路时, 通常要应用电位这个概念。例如, 在讨论晶体管的工作状态时, 要