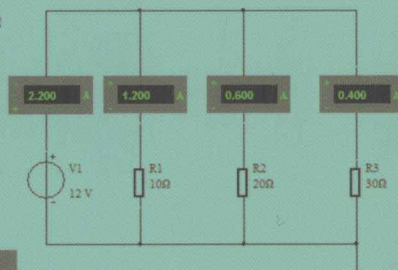
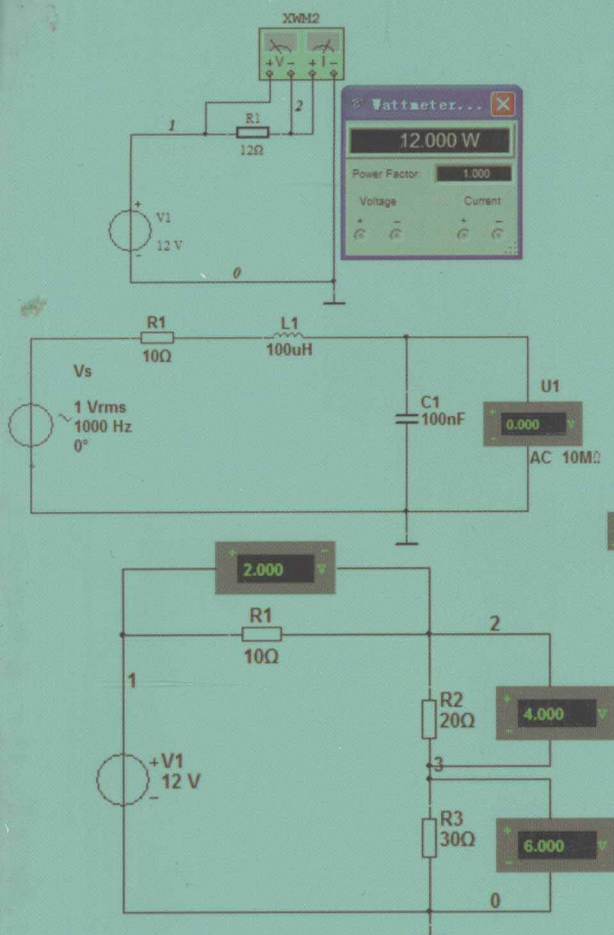




复旦卓越

普通高等教育21世纪规划教材

电类、信息类



电路基础

徐进 朱汉敏 主编

复旦卓越·普通高等教育 21 世纪规划教材·电类、信息类

电 路 基 础

主 编 徐 进 朱汉敏

副主编 杨 卫 朱晶波 曹 菁

復旦大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/徐进,朱汉敏主编. —上海:复旦大学出版社,2012.8
(复旦卓越·普通高等教育21世纪规划教材·电子类)
ISBN 978-7-309-08964-6

I. 电… II. 徐… III. 电路理论-高等职业教育-教材 IV. TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第106549号

电路基础

徐进 朱汉敏 主编
责任编辑/张志军

复旦大学出版社有限公司出版发行
上海市国权路579号 邮编:200433
网址:fupnet@fudanpress.com http://www.fudanpress.com
门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853
外埠邮购:86-21-65109143
大丰市科星印刷有限责任公司

开本 787×1092 1/16 印张 18.75 字数 355千字
2012年8月第1版第1次印刷

ISBN 978-7-309-08964-6/T·44
定价:32.00元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。
版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本书充分考虑高职层次教学基础的实际情况,按照循序渐进、理论联系实际、便于自学的原则编写,本着高职教学“必需、够用”的原则,进行了教学内容的整合和取舍,删除不必要的理论和推导,增加实用性和应用性,注重理论联系实际,培养学生的实践应用能力;力求叙述简练,概念清晰,通俗易懂。

全书共分 10 章,包括电路的基本概念和基本定律、电路的等效变换、直流电阻电路的分析方法和基本定理、正弦交流电的稳态分析、三相交流电路、谐振电路、互感电路与理想变压器、一阶动态电路的分析、二端口网络、电子仿真软件 Multisim 10。

针对高职学生的特点,适当淡化数学分析电路的技巧,重点引导学生掌握分析电路的方法,为此在每一章中引入了计算机辅助分析与仿真测量,从而方便学生理解电路的基本概念和基本定律。通过示例培养学生利用计算机仿真技术分析电路的能力,既有利于理论教学中的重、难点的理解和掌握,又让学生在大学就初步了解了计算机仿真技术,为他们在后续课程的学习奠定了基础。

本教材既可以作为高职高专院校电子信息类和电子、电气类各专业的教材,也可供相关电类工程技术人员参考。

前 言

电路分析基础是电类专业的一门重要的专业基础课。教学实践表明,学生对技术基础课程掌握的优劣,直接影响对其后续专业课程的掌握。因此,引导学生明确电路理论的基本概念,培养科学的思维能力,提高分析问题和解决问题的能力是本书编写的宗旨。

多年来,在对不同专业的电路分析基础课程的教学,先后使用过多种教材和讲义,在教学实践中,通过不断地对教材内容进行调整、提炼和更新,逐步形成了有一定特色的讲稿,经过试用修改而形成了本书。

在编写中,充分考虑了教材的教学适用性。在内容安排上,既遵循电路理论本身的系统和结构,也注意适应学生的认识规律,并合理、有序地组织教材的编写内容,使各章、节中心明确、层次清楚、概念准确、论述简明。对概念、定理、定律、方法等不仅注重正确地表述其内容,更注重其物理意义和科学道理,注重具体概念的应用场合、应用条件及在不同的情况下的变通处理。

本书的重要特点之一是,引入 Multisim 仿真技术作为有效的教学手段。针对本课程概念多、理论性强、比较抽象的特点,以及教学中的现状和存在的问题,引入了 Multisim 仿真技术,改革了传统的教学模式。即将 Multisim 仿真技术融入到课堂教学中,通过仿真演示,使课堂教学和仿真技术相结合,使学生加深对课堂内容的理解和掌握,实现理论与实践教学的一体化。实践证明,这种“教学做一体化”的教学模式大大调动了学生的学习积极性和主动性,对于帮助树立理论联系实际的工程观点,提高分析问题、解决问题的能力和自主探究精神,都起着非常重要的作用。

本书包括电路的基本概念和基本定律、电路的等效变换、直流电阻电路的分析方法和基本定理、正弦交流电的稳态分析、三相交流电路、谐振电路、互感电路与理想变压器、一阶动态电路的分析、二端口网络、电子仿真软件 Multisim 10 共 10 章内容。在具体使用过程中可以根据专业需要取舍。



教材由苏州经贸职业技术学院徐进、朱汉敏担任主编,江苏广播电视大学张家港学院杨卫、长春职业技术学院朱晶波、江苏信息职业技术学院曹菁担任副主编;具体分工如下:徐进编写第1章、第3章以及全书统稿工作;朱汉敏编写第2章、第4章;杨卫编写第5章、第10章;朱晶波编写第6章、第7章;曹菁编写第8章、第9章。

本书从内容安排到具体论述,汇集了从事电路理论教学的同仁们多年来教学实践的经验,是各位老师辛勤劳动的结晶,在此一并表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中难免有不少错误和不妥之处,殷切希望广大读者批评指正。

编者

2012年5月

目 录

第1章 电路的基本概念和基本定律	1	1.8.3 基尔霍夫电流定律仿真验证	23
1.1 电路和电路模型	1	1.8.4 受控源的仿真计算	24
1.1.1 电路的概念	1	1.8.5 电路功率的测量	25
1.1.2 理想元件和电路模型	2	本章小结	26
1.2 电流和电压的参考方向	3	习题1	26
1.2.1 电流及其参考方向	3		
1.2.2 电压及其参考方向	4		
1.2.3 电流电压的关联参考方向	5	第2章 电路的等效变换	31
1.2.4 电位的概念及其分析计算	6	2.1 电路等效变换的概念	31
1.3 电功率和能量	7	2.2 无源电阻电路的等效变换	32
1.3.1 电功率	7	2.2.1 串联和并联	32
1.3.2 电能	9	2.2.2 Y形与△形连接和等效变换	35
1.4 电路元件	10	2.3 有源电路的等效变换	37
1.4.1 电阻元件	10	2.3.1 电压源的串联和电流源的并联	37
1.4.2 电感元件	11	2.3.2 实际电源模型的等效变换	39
1.4.3 电容元件	12	2.3.3 受控源的串、并联及等效变换	41
1.5 电压源和电流源	13	2.4 输入电阻的计算	42
1.6 受控源	16	2.5 Multisim 10在电阻等效电路中的应用	44
1.7 基尔霍夫定律	17	2.5.1 串联电路测试	44
1.7.1 常用电路术语	17	2.5.2 并联电路测试	45
1.7.2 基尔霍夫电流定律	18	2.5.3 无源单端口网络等效电阻仿真计算	45
1.7.3 基尔霍夫电压定律	18	2.5.4 输入电阻仿真计算	47
1.8 Multisim 10在电路分析的初步使用	20	本章小结	47
1.8.1 欧姆定律仿真验证	20		
1.8.2 基尔霍夫电压定律仿真验证	22		

习题 2	48	形式	86
第3章 直流电阻电路的分析方法和基本定理	53	4.3.2 电感元件伏安关系的相量形式	87
3.1 支路电流法	53	4.3.3 电容元件伏安关系的相量形式	89
3.2 网孔电流法	55	4.4 基尔霍夫基本定律相量表示	90
3.3 节点电压法	57	4.5 复阻抗与复导纳及等效变换	91
3.4 叠加原理	60	4.5.1 复阻抗与复导纳的概念	91
3.4.1 叠加原理	60	4.5.2 RLC 电路的阻抗计算	92
3.4.2 齐性定理	61	4.5.3 复阻抗的串并联计算	94
3.5 戴维南定理与诺顿定理	62	4.6 相量法分析正弦交流电路	95
3.5.1 戴维南定理	63	4.6.1 复阻抗混联电路分析计算	96
3.5.2 诺顿定理	64	4.6.2 网孔电流法和节点电压法分析正弦电路	96
3.6 最大功率传输定理	67	4.6.3 戴维南定理分析正弦电路	97
3.7 Multisim 10 在直流电阻电路中的分析应用	68	4.6.4 叠加原理分析正弦电路	98
3.7.1 支路电流法仿真	68	4.6.5 相量图法分析正弦电路	98
3.7.2 节点电压法仿真	70	4.7 正弦交流电路的功率	99
3.7.3 叠加原理仿真分析	71	4.7.1 瞬时功率	99
3.7.4 戴维南定理仿真分析	72	4.7.2 有功功率和功率因数	100
本章小结	73	4.7.3 无功功率	100
习题 3	74	4.7.4 视在功率	101
第4章 正弦交流电路稳态分析	79	4.7.5 电阻、电感、电容电路的功率	101
4.1 正弦交流电	79	4.7.6 功率因数的提高	102
4.1.1 正弦交流电的基本概念	79	4.7.7 最大功率传输	103
4.1.2 正弦量的三要素	80	4.8 Multisim 10 在正弦电路中的分析应用	104
4.1.3 有效值	80	4.8.1 验证正弦电路的基尔霍夫电流定律	104
4.1.4 正弦量间的相位差	82	4.8.2 验证正弦电路的基尔霍夫电压定律	105
4.2 正弦交流电的相量表示	82	4.8.3 验证正弦电路的欧姆定律	105
4.2.1 相量的基本概念	83		
4.2.2 相量法	83		
4.2.3 相量的几何意义	84		
4.3 单一元件伏安关系的相量表示	86		
4.3.1 电阻元件伏安关系的相量			

4.8.4 仿真测定交流电路的参数	106	特性	140
4.8.5 正弦交流量的相位差仿真测量	108	6.1.4 串联谐振电路的通频带	142
本章小结	110	6.2 并联谐振	143
习题 4	111	6.2.1 并联谐振的条件	144
第5章 三相交流电路	118	6.2.2 并联谐振的特征	144
5.1 三相电路	118	6.2.3 RLC 并联谐振的频率特性	147
5.1.1 三相电源	118	6.2.4 RLC 并联谐振电路的通频带	148
5.1.2 三相电路	119	6.2.5 实际电感电容并联谐振电路	148
5.1.3 线电压(电流)与相电压(电流)的关系	120	6.3 Multisim 10 在谐振电路中的应用	151
5.2 对称三相电路的计算	121	本章小结	154
5.3 不对称三相电路	123	习题 6	155
5.4 三相电路的功率	125	第7章 互感电路与理想变压器	158
5.5 Multisim 10 在三相电路中的应用	127	7.1 耦合电感	158
5.5.1 三相对称电源的仿真模型设计	128	7.2 含耦合电感电路的计算	161
5.5.2 三相四线制 Y 形对称负载测量电路	129	7.2.1 耦合电感的串联	162
5.5.3 三相四线制 Y 形非对称负载工作方式的仿真测量	130	7.2.2 耦合电感的并联	163
5.5.4 三相三线制 Y 形非对称负载工作方式的仿真测量	131	7.3 空心变压器	166
5.5.5 三相电路的功率仿真测量	131	7.4 理想变压器	167
本章小结	132	7.4.1 理想变压器的性质	167
习题 5	133	7.4.2 理想变压器的实现条件	170
第6章 谐振电路	136	7.5 Multisim 10 在互感电路中的仿真应用	170
6.1 串联谐振	136	7.5.1 互感耦合回路同名端测试电路	170
6.1.1 串联谐振的条件	136	7.5.2 理想变压器的仿真测试图	171
6.1.2 串联谐振的特征	137	本章小结	173
6.1.3 RLC 串联谐振的频率特性	140	习题 7	174
第8章 一阶动态电路分析	176		
8.1 线性电路的动态方程及其初始			

条件	176	9.7.2 互易定理的仿真验证	218
8.2 电路变量的初始值	178	9.7.3 替代定理的仿真验证	219
8.3 一阶电路的零输入响应	180	9.7.4 二端口电路的 Z 参数仿真 分析	220
8.3.1 RC 电路的零输入响应	181	本章小结	221
8.3.2 RL 电路的零输入响应	183	习题 9	222
8.4 一阶电路的零状态响应	185		
8.4.1 RC 电路在直流电源激励下 的零状态响应	185	第 10 章 电子仿真软件 Multisim 10 ...	227
8.4.2 RL 电路在正弦电源激励下 的零状态响应	187	10.1 NI Multisim 10 系统简介	227
8.5 一阶电路的全响应	188	10.2 NI Multisim 10 的基本界面 ...	228
8.6 Multisim 10 在一阶电路中的 应用	192	10.2.1 Multisim 的主窗口	228
8.6.1 电容器充放电仿真	192	10.2.2 Multisim 菜单栏	229
8.6.2 零输入响应仿真验证	193	10.2.3 Multisim 工具栏	235
8.6.3 零状态响应仿真验证	194	10.2.4 Multisim 的元器件库 ...	235
8.6.4 一阶全响应仿真验证	195	10.2.5 Multisim 仪器仪表库 ...	238
本章小结	195	10.3 Multisim 的基本操作	239
习题 8	196	10.3.1 文件(File)基本操作	239
第 9 章 二端口网络	201	10.3.2 编辑的基本操作	240
9.1 二端口网络的基本概念	201	10.3.3 创建子电路	241
9.2 二端口网络的常用定理	202	10.3.4 输入注释	242
9.2.1 特勒根定理	202	10.3.5 编辑图纸标题栏	242
9.2.2 互易定理	203	10.4 电路创建的基础	244
9.2.3 替代定理	205	10.4.1 元器件的操作	244
9.3 二端口网络的参数	205	10.4.2 电路图选项的设置	246
9.3.1 Y 参数	206	10.4.3 导线的操作	250
9.3.2 Z 参数	209	10.4.4 输入/输出端	251
9.3.3 T 参数	210	10.5 仪器仪表的使用	251
9.3.4 H 参数	212	10.5.1 仪器仪表的基本操作	251
9.4 二端口的等效电路	214	10.5.2 数字多用表	252
9.5 二端口的转移函数	215	10.5.3 瓦特表	252
9.6 二端口的连接	216	10.5.4 示波器	252
9.7 Multisim 10 在二端口网络中的 应用	217	10.5.5 波特图仪	254
9.7.1 特勒定理的仿真验证	217	10.5.6 电压表	255
		10.5.7 电流表	256
		10.6 仿真分析方法	256
		本章小结	257
		参考文献	258

第 1 章

电路的基本概念和基本定律



知识要点

1. 了解电路和电路模型的概念；
2. 了解电路的各种工作状态、额定值及功率平衡的意义；
3. 理解电流源和电压源模型及其等效变换；
4. 理解电流、电压和电功率，理解和掌握电路基本元件的特性；
5. 能熟练分析与计算电路中各点的电位，会应用基尔霍夫定律分析电路；
6. 初步学会利用 Multisim 10 验证欧姆定律和基尔霍夫定律并进行简单的电路计算。

随着科学技术的飞速发展，现代电子设备种类日益繁多，规模和结构更是日新月异，但无论怎样设计，几乎都是由各种基本电路组成的。所以，学习电路的基础知识，掌握分析电路的规律与方法，是学习电路学的重要内容，也是进一步学习电机、电器和电子技术的基础。本章重点阐明有关电路的基本概念、基本元件特性和基尔霍夫定律。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的概念

从日常生活和生产实践可以体会到，用电时一般要用导线、开关等将电源、用电设备或用电器连接起来，构成一个电流流通的闭合路径。这就是所谓电路。

电路的形式多种多样，但本质上，其组成都有电源、负载、中间环节 3 个最基本的部分。例如在图 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，灯泡把电能转换成光能。凡是将化学能、机械能等非电能转换成电能的供电设备，称为电源，如干电池、蓄电池和发电机等；白炽灯的主要电磁性能是消耗电能，可用一个电阻元件表示。诸如此类，各种电气设备和电器件及实际电路均有各自的模型，如图 1-2 所示。电路基础理论中所研究的对象就是这种电路模型，习惯上称为电路。大规模的电路又称为电网络，简称为网络。



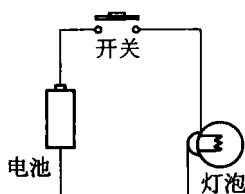


图 1-1 手电筒电路

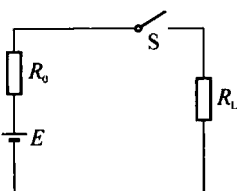


图 1-2 手电筒电路模型

电路的作用主要有两个方面:其一实现电能的传输和转换(如电力工程,包括发电、输电、配电、电力拖动、电热、电气照明,以及交直流电之间的整流和逆变等);其二进行信号的传递与处理(如信息工程,包括语言、文字、音乐、图像的广播和接收、生产过程中的自动调节、各种输入数据的数值处理、信号的存储等)。电路的作用不同,对其提出的技术要求也不同,前者较多地侧重于传输效率的提高,后者多侧重于信号在传递过程中的保真、运算的速度和抗干扰能力等。

电路的电磁性能可以用电流、电压、电荷和磁通等物理量来表示。电路中每个元件所反映的电压和电流之间的关系可以用参数来表示,这种元件称为集中参数元件。由这些集中参数元件组成的电路,称为集中参数电路,或集总参数电路。大部分电路都是集中参数电路。但也有一些电路在对其进行分析和计算时,需要分析研究沿电路各处的电压和电流的分布规律,考虑参数的分布性。例如,远距离的输电线和电视馈线等,这种电路称为分布参数电路。电路基础理论研究的电路是集总参数电路。

1.1.2 理想元件和电路模型

实际电路器件理想化而得到的只具有某种单一电磁性质的元件,称为理想电路元件,简称为电路元件。每一种电路元件体现某种基本现象,具有某种确定的电磁性质和精确的数学定义。常用的有表示将电能转换为热能的电阻元件、表示电场性质的电容元件、表示磁场性质的电感元件及电压源元件和电流源元件等,其电路符号如图 1-3 所示。

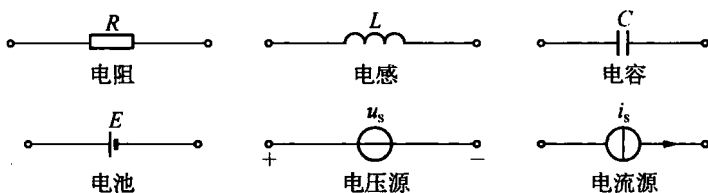


图 1-3 理想电路元件的符号

电路的作用虽然只有两个方面,但是实际电路的类型以及工作时发生的物理现象则千差万别。不可能也没有必要去探讨每一个实际电路,只需找出它们的普遍规律。为此,把实际电路的元件理想化,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。由

理想元件组成的电路就是实际电路的电路模型,它是对实际电路物理性质的高度抽象和概括。

例如,手电筒电路的电路模型如图 1-2 所示。灯泡看成电阻元件 R_L ,干电池看成电压源 E (或 U_S)和电阻元件(内阻) R_0 串联。可见电路模型就是实际电路的科学抽象。采用电路模型来分析电路,不仅计算过程大为简化,而且能更清晰地反映电路的物理实质。

1.2 电流和电压的参考方向

电路中的变量是电流和电压。无论是电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,都是这两个量变化的结果,因此,弄清电流与电压及其参考方向,对进一步掌握电路的分析与计算是十分重要的。

1.2.1 电流及其参考方向

1. 电流

电荷的定向移动形成电流。电流的大小用电流强度来衡量,电流强度亦简称为电流。其定义为:单位时间内通过导体横截面的电荷量,用公式表示为

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

其中, i 为随时间变化的电流, dq 为 dt 时间内通过导体横截面的电量。

在国际制单位中,电流的单位为安培,简称安(A)。实际应用中,大电流用千安培(kA)表示,小电流用毫安培(mA)或者微安培(μ A)表示。它们的换算关系是

$$10^{-3} \text{ kA} = 1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}.$$

在外电场的作用下,正电荷将沿着电场方向运动,而负电荷将逆着电场方向运动(在金属导体内是自由电子在电场力的作用下作定向移动),习惯上规定:正电荷运动的方向为电流的正方向。

如果电流的大小和方向都不随时间变化,则这种电流称为恒定电流,简称直流(direct current,缩写为 DC),可用符号 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化,则这种电流称为交变电流,简称交流(alternating current,缩写为 AC),可用符号 $i(t)$ 来表示。

2. 电流的参考方向

在简单电路中,电流从电源正极流出,经过负载,回到电源负极。在分析复杂电路时,一般难于判断出电流的实际方向,而列方程、进行定量计算时需要对电流有一个约定的方向。对于交流电流,电流的方向随时间改变,无法用一个固定的方向表示,因此引入电流的参考方向:

(1) 参考方向的指定方法 从两种可能的流动方向中任意指定一种作为电流的参考方向。

(2) 参考方向标注方法 箭头标注或双下标标注。

(3) 指定参考方向后电流的表示方法 用代数量来表示,并规定:当实际方向与参考方向一致时,电流代数量符号为“+”,反之符号为“-”。

参考方向可以任意设定,如用一个箭头表示某电流的假定正方向,当电流的实际方向与参考方向一致时,电流的数值为正值(即 $i > 0$),如图 1-4(a)所示;当电流的实际方向与参考方向相反时,电流的数值为负值(即 $i < 0$),如图 1-4(b)所示。电流参考方向指定后,电流 i 代表数量;若没指定电流参考方向,则电流 i 的正值和负值毫无意义。所以在分析电路时要预先指定电流的参考方向。

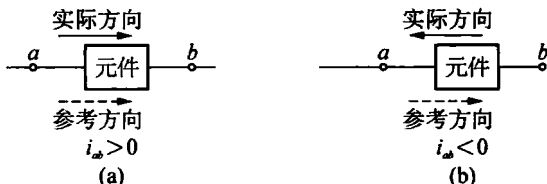


图 1-4 电流及其参考方向

1.2.2 电压及其参考方向

1. 电压

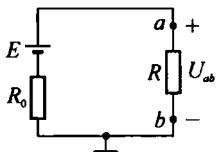


图 1-5 定义电压示意图

在如图 1-5 所示电路中,在电场力的作用下,正电荷要从电源正极 a 经过导线和负载流向负极 b (实际上是带负电的电子由负极 b 经负载流向正极 a),形成电流,而电场力对电荷做功。

电场力把单位正电荷从 a 点经外电路(电源以外的电路)移送到 b 点所作的功,叫做 a, b 两点之间的电压,记作 U_{ab} 。因此,电压是衡量电场力做功本领大小的物理量。

若电场力将正电荷 dq 从 a 点经外电路移送到 b 点所作的功是 $d\omega$,则 a, b 两点间的电压为

$$u_{ab} = \frac{d\omega}{dq} \quad (1-2)$$

在国际制单位中,电压的单位为伏特,简称伏(V)。在实际应用中,大电压用千伏(kV)表示,小电压用毫伏(mV)或者微伏(μV)表示。它们的换算关系是

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

电压的方向规定为从高电位指向低电位,在电路图中可用箭头表示。若电压的大小和极性均不随时间变动,这样的电压称为恒定的电压或直流电压,可用符号 U 表示。若电压的大小和极性均随时间变化,则称为交变电压或交流电压,用符号 $u(t)$ 表示。



2. 电压的参考方向

在比较复杂的电路中,往往不能事先知道电路中任意两点间的电压,为了分析和计算的方便,与电流的方向规定类似,在分析计算电路之前必须对电压标以极性(正、负号),或标以方向(箭头),这种标法是假定的参考方向,如图1-6所示。如果采用双下标标记,电压的参考方向意味着从前一个下标指向后一个下标,图1-6所示元件的两端电压记作 u_{ab} ;若电压参考方向选 b 点指向 a 点,则应写成 u_{ba} ,两者仅差一个负号,即 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

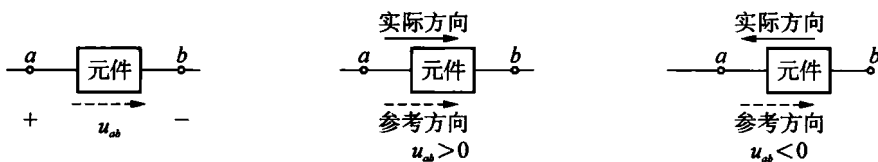


图1-6 电压参考方向的表示方法

在实际电路中,两点间电压的实际方向通常难以判断或时刻改变,同样为分析方便,引入电压的参考方向:

- ① 电压参考方向的指定方法 从两种可能方向中任意指定一种作为参考方向。
- ② 电压参考方向的标注方法 有箭头标注法、双下标标注法、“+”“-”极性标注法3种。
- ③ 指定参考方向后电压的表示方法 同样采用代数量表示,并规定:若实际方向与参考方向一致,则符号取“+”;反之,则符号取“-”。

在分析电路时,先按选定的电压参考方向分析、计算,再由计算结果中电压值的正、负来判断电压的实际方向与任意选定的电压参考方向是否一致。若电压值为正,则实际方向与参考方向相同;若电压值为负,则实际方向与参考方向相反。

1.2.3 电流电压的关联参考方向

电路中任意一段电路或一个元件,其电流参考方向和电压参考方向的指定互不相关,可以独立地加以任意指定。如果一段电路或一个元件的电流与电压具有相同的参考方向,则这种方向称为关联参考方向,如图1-7所示;否则,为非关联参考方向。

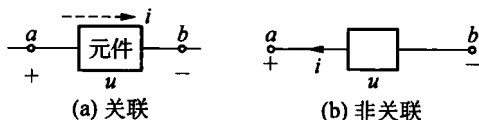


图1-7 电流电压关联参考方向

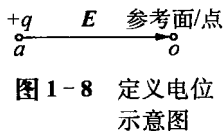
需要指出的是:

- (1) 在分析电路前必须选定电压和电流的参考方向。
- (2) 参考方向一经选定,必须在图中相应位置标注(包括方向和符号),在计算过程中不

得任意改变。

(3) 参考方向不同时,其表达式相差一负号,但实际方向不变。

1.2.4 电位的概念及其分析计算



为了分析问题方便,常在电路中指定一点作为参考点,假定该点的电位是零,用符号“ $\perp$ ”表示,如图 1-8 所示。在生产实践中,把地球作为零电位点,凡是机壳接地的设备,机壳电位即为零电位。有些设备或装置,机壳并不接地,而是把许多元件的公共点作为零电位点。

在电场中,将单位正电荷从指定点 a 移至参考点 o 时电场力所做的功称为 a 点电位,记为 u_a ,即 $u_a = dW(t)/dq$ 。可见,电场中同一点 a 的电位 u_a 随参考点的不同而不同。因此在计算电位时,首先必须在电场中指定参考点。

电路中其他各点相对于参考点的电压即是各点的电位。任意两点间的电压等于这两点的电位之差。我们可以用电位的高低来衡量电路中某点电场能量的大小。

电路中各点电位的高低是相对的,参考点不同,各点电位的高低也不同,但是电路中任意两点之间的电压与参考点的选择无关。电路中,凡是比参考点电位高的各点电位是正电位,比参考点电位低的各点电位是负电位。

【例 1-1】 如图 1-9 所示电路,若已知 2 s 内有 4 C 正电荷均匀的由 a 点经 b 点移动至 c 点,且知由 a 点移动至 b 点电场力做功 8 J,由 b 点移动到 c 点电场力做功为 12 J。

(1) 标出电路中电流参考方向并求出其值,若以 b 点作参考点,求电位 U_a, U_b, U_c , 电压 U_{ab}, U_{bc} 。

(2) 标出参考方向与(1)相反时的电流方向并求出其值,若以 c 点作参考点,再求电位 U_a, U_b, U_c , 电压 U_{ab}, U_{bc} 。

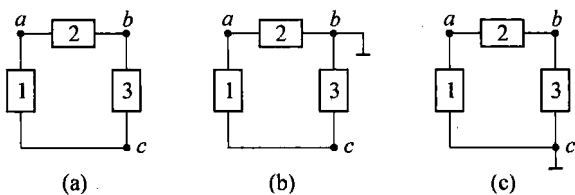


图 1-9 例 1-1 电路

解: (1) $U_b = 0, U_a = W_{ab}/q = 2 \text{ V}, U_c = -3 \text{ V}, U_{ab} = U_a - U_b = 2 \text{ V}, U_{bc} = 3 \text{ V}$ 。

(2) $U_c = 0, U_a = (8 + 12)/4 = 5(\text{V}), U_b = 3 \text{ V}, U_{ab} = 2 \text{ V}, U_{bc} = 3 \text{ V}$ 。

【例 1-2】 求图 1-10 中 a 点的电位。

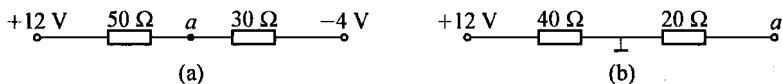


图 1-10 例 1-2 图



解: (1) 在图 1-10(a) 中,

$$U_a = -4 + \frac{30}{50+30} \times (12+4) = 2(\text{V}).$$

(2) 在图 1-10(b) 中, 因 $20\ \Omega$ 电阻中电流为零, 故

$$U_a = 0.$$

【例 1-3】 电路如图 1-11 所示, 求开关 S 断开和闭合时 a, b 两点的电位 U_a, U_b 。

解: 设电路中电流为 I , 方向如图所示。当开关 S 断开时,

$$I = \frac{20 - (-20)}{2+3+2} \text{ A} = \frac{40}{7} \text{ A}.$$

因为 $20 - U_a = 2I$, 所以

$$U_a = 20 - 2I = 20 - 2 \times \frac{40}{7} = \frac{60}{7}(\text{V}).$$

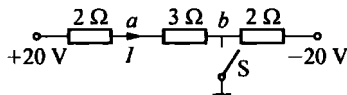


图 1-11 例 1-3 图

同理 $U_b = 20 - (2+3)I = 20 - 5 \times \frac{40}{7} = -\frac{60}{7}(\text{V})$ 。

当开关 S 闭合时,

$$I = \frac{20-0}{2+3} = 4(\text{A}), \quad U_a = 3I = 3 \times 4 = 12(\text{V}), \quad U_b = 0.$$

1.3 电功率和能量

1.3.1 电功率

在电路中电荷流动时, 总是伴随着电能和其他形式能量的相互转换。电荷在电路的某些部分(如电源处)得到电能, 而在另外一些部分(如电阻元件处)失去电能。正电荷从电路元件电压的“+”极端, 经元件移到电压“-”极端, 是从高电位点移向低电位点, 是电场力对电荷做功的结果, 这时, 电荷失去电能, 元件吸收能量, 或者称元件消耗电能。相反地, 正电荷从电路元件电压“-”极端, 经元件到电压的“+”极端, 是外力(化学力、电磁力等)对电荷做功, 这时电荷获得电能, 元件发出电能, 或者称元件提供电能。

若某一个电路元件两端的电压为 $u(t)$, 在 dt 时间内从电压“+”极端到“-”极端流过元件的电量为 dq , 那么由(1-2)式和(1-1)式可得电场力所作的功, 即元件所吸收的电能为

$$dw(t) = u(t)i(t)dt. \quad (1-3)$$

电能对时间的导数是电功率, 电功率用 $p(t)$ 来表示, 于是该元件吸收的电功率为

