

电路基础教程

陈娟◎主编

清华大学出版社



The background of the cover features a stylized circuit board pattern. White lines representing traces and circular pads are set against a dark gray background. The pattern is more dense in the upper right and lower right corners, with some lines extending towards the center. There are two large white rectangular areas: one in the middle left and one in the lower left, which appear to be redactions or placeholders.

电路基础教程

| 陈 娟◎主 编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书依照教育部高等学校电子信息科学与工程类专业基础课程教学指导分委员会制定的《电路分析基础课程教学基本要求(修订稿)》，按理论教学 72 学时进行编写，全书共 8 章，内容包括集中参数电路的分析基础、电阻电路的方程分析法、线性叠加与等效变换、动态电路的时域分析、正弦稳态电路的相量分析法、正弦稳态功率和三相电路、电路的频率特性、互感电路和双口网络。

本书力求思路清晰、重点突出，内容精简、实用，叙述详尽、透彻，并配有大量的例题、思考题和习题，便于读者自学。

本书可作为普通高等院校电气信息类各专业学生的教材或教学参考书，也可供相关工程技术人员参考。

本书所有知识点均配有教学微课视频，读者可以扫描二维码随时观看。与本书配套出版的《电路基础教程同步练习册》，按作业形式设计，题型、知识点覆盖面广，可供读者练习。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电路基础教程/陈娟主编. —北京：清华大学出版社，2018
ISBN 978-7-302-49762-2

I. ①电… II. ①陈… III. ①电路理论-教材 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 037212 号

责任编辑：邓 艳
封面设计：刘 超
版式设计：魏 远
责任校对：马子杰
责任印制：杨 艳

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者：三河市金元印装有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：23 字 数：555 千字

版 次：2018 年 12 月第 1 版 印 次：2018 年 12 月第 1 次印刷

定 价：69.80 元

产品编号：076964-01

前言

电路课程是高等学校电气信息类各专业的第一门专业基础课，是学习模拟电子技术、数字电子技术、信号与系统、电力电子技术、通信电子线路、电机与拖动、工厂供电等课程的先修课程，因此电路课程在专业课程的学习过程中具有特殊重要的地位。

本书是根据教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会制定的《电路分析基础课程教学基本要求（修订稿）》编写的教材。全书共 8 章，内容可划分为 3 个部分：第 1~3 章为直流稳态电路的分析，第 4 章为动态电路的时域分析，第 5~8 章为正弦稳态电路的分析。

考虑到应用型本科人才的培养特点，本书编写过程中努力突出以下几点。

（1）教材结构上力求凸现课程的总思路、总方法，便于学生把握课程的重点。如“电阻电路的方程分析法”“线性叠加与等效变换”“正弦稳态电路的相量分析法”等章节标题，就是努力体现电路分析中的思路与方法。

（2）内容编排上努力做到“简明、实用”。对教学可选内容进行了大幅度删减，对教学基本内容则尽量讲透讲深，并将部分理论叙述的内容转移到例题、习题中，寓教于“练”，便于读者学习掌握。

（3）注重理论与实际相结合。例题、习题中涵盖了大量工程应用电路，努力体现电路课程的工程背景。每章末配有适量的 Multisim 仿真实例，便于读者理论联系实践，培养实际操作能力与计算机应用能力。

（4）注重知识点强化的过程性设计。每节设有“思考与练习”帮助读者及时检验学习效果，每章设有“本章目标”“本章小结”帮助读者整理知识点、把握重点。与本书配套出版的《电路基础教程同步练习册》，按作业形式设计，涵盖填空题、选择题、计算题等题型，有利于强化基本概念、增强基本题型的训练，努力解决电路课程听懂容易做题难的问题。

为方便读者自主学习，本书编者录制了全部知识点的微课视频，读者可以通过扫描二维码随时观看。

本书由同济大学浙江学院电子与信息工程系组织策划和编写，陈娟任主编并负责统稿，陈欢参编第 1、2、3 章，钱鑫洪参编第 4 章，李鹏参编第 5、6 章，干为勤参编第 7、8 章，赵岚负责 Multisim 仿真部分的编写工作。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 集中参数电路的分析基础	1
1.1 集中参数电路	1
1.1.1 实际电路与电路模型	1
1.1.2 集中参数电路	2
思考与练习	3
1.2 电路变量	3
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 电位的概念	6
1.2.4 电功率	7
思考与练习	9
1.3 基尔霍夫定律	9
1.3.1 基尔霍夫电流电律 (KCL)	10
1.3.2 基尔霍夫电压电律 (KVL)	12
思考与练习	13
1.4 电阻元件	14
1.4.1 二端电阻元件的定义	15
1.4.2 线性电阻的伏安关系	16
1.4.3 电阻元件的功率	17
思考与练习	18
1.5 独立电源	18
1.5.1 电压源	19
1.5.2 电流源	21
1.5.3 实际电源的两种模型及其等效变换	23
思考与练习	26
1.6 受控电源	27
1.6.1 受控源模型	27
1.6.2 含受控源电路的分析	29
思考与练习	31
1.7 应用实例	31
1.7.1 电压表扩大量程电路	31

1.7.2 电流表扩大量程电路	32
1.8 Multisim 仿真: 基尔霍夫定律的验证	33
1.8.1 KCL 的验证	33
1.8.2 KVL 的验证	34
本章小结	35
习题 1	36
第 2 章 电阻电路的方程分析法	42
2.1 两类约束与电路方程	42
思考与练习	44
2.2 支路电流法	44
思考与练习	46
2.3 网孔电流法	46
2.3.1 网孔 KVL 方程的列写	47
2.3.2 电路中含有电流源支路的处理方法	49
2.3.3 电路中含有受控源的处理方法	50
思考与练习	51
2.4 节点电压法	52
2.4.1 独立节点 KCL 方程的列写	53
2.4.2 电路中含有电压源支路的处理方法	55
2.4.3 电路中含有受控源的处理方法	56
2.4.4 弥尔曼定理	57
思考与练习	58
2.5 含运算放大器电路的节点分析	59
思考与练习	64
2.6 电路的对偶性	65
2.7 Multisim 仿真: 含运算放大器的电路	65
2.7.1 反相比例运算电路	65
2.7.2 同相比例运算电路	66
2.7.3 减法运算电路	68
本章小结	68
习题 2	69
第 3 章 线性叠加与等效变换	73
3.1 线性电路的比例性	73
思考与练习	75
3.2 叠加定理	75
思考与练习	79

3.3 单口网络等效的概念	79
3.3.1 单口网络等效的概念	79
3.3.2 单口网络的伏安关系	80
思考与练习	82
3.4 不含独立源单口的等效	82
3.4.1 电阻的串联与并联	83
3.4.2 电阻星形联结与三角形联结的等效变换	87
3.4.3 含受控源单口的等效电阻	90
思考与练习	92
3.5 含独立源单口的等效	93
3.5.1 理想电源的串联与并联	93
3.5.2 实际电源的串联与并联	95
思考与练习	97
3.6 替代定理	98
思考与练习	100
3.7 等效电源定理	101
3.7.1 戴维宁定理	101
3.7.2 诺顿定理	106
3.7.3 等效电阻的计算	108
思考与练习	111
3.8 最大功率传输定理	111
思考与练习	113
3.9 Multisim 仿真: 电路定理的验证	114
3.9.1 叠加定理	114
3.9.2 戴维宁定理	115
本章小结	117
习题 3	117
第 4 章 动态电路的时域分析	128
4.1 电容元件	128
4.1.1 电容元件的定义	128
4.1.2 电容元件的伏安关系	129
4.1.3 电容的储能	132
思考与练习	133
4.2 电感元件	134
4.2.1 电感元件的定义	134
4.2.2 电感元件的伏安关系	135
4.2.3 电感的储能	136

思考与练习	137
4.3 动态电路的过渡过程	137
4.3.1 动态电路的基本概念	137
4.3.2 动态电路方程的建立	139
4.3.3 初始值的确定	140
4.3.4 稳态值的确定	143
思考与练习	144
4.4 一阶电路的零输入响应	145
4.4.1 RC 电路的零输入响应	146
4.4.2 GL 电路的零输入响应	148
思考与练习	152
4.5 一阶电路的零状态响应	153
4.5.1 RC 电路的零状态响应	153
4.5.2 GL 电路的零状态响应	155
思考与练习	157
4.6 一阶电路的全响应和三要素法	158
4.6.1 一阶电路的全响应	158
4.6.2 三要素法求直流激励下的一阶电路	159
思考与练习	164
4.7 阶跃函数与阶跃响应	165
4.7.1 阶跃函数的定义	165
4.7.2 阶跃函数的作用	166
4.7.3 阶跃响应	167
思考与练习	168
4.8 二阶电路的暂态分析	169
4.8.1 二阶电路方程的建立	169
4.8.2 RLC 串联电路的零输入响应	170
4.8.3 直流 RLC 串联电路的全响应	173
思考与练习	175
4.9 应用举例	175
4.9.1 积分电路	175
4.9.2 微分电路	176
4.10 Multisim 仿真: 动态电路的过渡过程	177
4.10.1 一阶 RC 电路的过渡过程	177
4.10.2 二阶电路的过渡过程	179
本章小结	180
习题 4	181

第 5 章 正弦稳态电路的相量分析法	187
5.1 正弦量的基本概念	187
5.1.1 周期、频率和角频率	188
5.1.2 瞬时值、振幅和有效值	188
5.1.3 相位与相位差	189
思考与练习	191
5.2 正弦量的相量表示	192
5.2.1 复数的复习	192
5.2.2 正弦量的复数表示法	194
思考与练习	198
5.3 基尔霍夫定律的相量形式	198
5.3.1 KCL 的相量形式	198
5.3.2 KVL 的相量形式	200
思考与练习	201
5.4 基本元件 VCR 的相量形式	201
5.4.1 电阻元件	201
5.4.2 电感元件	202
5.4.3 电容元件	204
思考与练习	207
5.5 阻抗与导纳	208
5.5.1 基本元件 VCR 的统一形式——阻抗与导纳	208
5.5.2 无源单口的等效阻抗与导纳	209
思考与练习	215
5.6 正弦稳态电路的相量分析法	217
5.6.1 简单正弦电路的分析	217
5.6.2 复杂正弦电路的分析	220
思考与练习	224
5.7 应用举例	225
5.7.1 RC 移相电路	225
5.7.2 日光灯电路分析	226
5.8 Multisim 仿真: 交流稳态电路的测试	228
5.8.1 正弦交流串联电路	228
5.8.2 正弦交流并联电路	229
本章小结	230
习题 5	231
第 6 章 正弦稳态功率和三相电路	237
6.1 正弦稳态电路的功率	237

6.1.1	瞬时功率和平均功率	237
6.1.2	无功功率和视在功率	239
6.1.3	功率因数的提高	242
6.1.4	复功率	243
	思考与练习	245
6.2	最大功率传递定理	245
	思考与练习	247
6.3	三相电路的基本概念	247
6.3.1	对称三相电压	248
6.3.2	三相电源的联结方式	249
6.3.3	对称三相负载及其联结方式	251
	思考与练习	252
6.4	三相电路的计算	252
	思考与练习	257
6.5	三相电路的功率及其测量	258
6.5.1	三相电路的总功率	258
6.5.2	对称三相电路的瞬时功率	259
6.5.3	三相电路的功率测量	260
	思考与练习	261
6.6	应用举例：关于相序测定电路的分析和计算	261
6.7	Multisim 仿真：功率因数提高和三相电路	263
6.7.1	功率因数的提高	263
6.7.2	三相负载星形联结	263
6.7.3	三相负载三角形联结	265
	本章小结	266
	习题 6	266
第 7 章	电路的频率特性	271
7.1	正弦稳态的网络函数	271
7.1.1	网络函数的定义	271
7.1.2	网络函数的频率特性	272
	思考与练习	277
7.2	多频激励的电路	278
7.2.1	多频正弦激励的电路响应	278
7.2.2	非正弦周期信号激励的电路响应	279
7.2.3	平均功率的叠加	281
	思考与练习	283
7.3	RLC 串联谐振电路	283

7.3.1 谐振条件	284
7.3.2 谐振电路的特点	284
7.3.3 选频特性	286
思考与练习	289
7.4 GCL 并联谐振电路	290
7.4.1 谐振条件	290
7.4.2 谐振电路的特点	291
7.4.3 选频特性	291
思考与练习	293
7.5 Multisim 仿真: RLC 串联电路的频率特性	294
本章小结	295
习题 7	296
第 8 章 互感电路和双口网络	299
8.1 耦合电感的伏安关系	299
8.1.1 自感与互感、耦合系数	299
8.1.2 耦合电感的同名端	301
8.1.3 耦合电感的 VCR	302
思考与练习	308
8.2 耦合电感的去耦等效	308
思考与练习	311
8.3 理想变压器	311
8.3.1 理想变压器的 VCR	312
8.3.2 理想变压器的阻抗变换	314
思考与练习	316
8.4 双口网络及其参数方程	317
8.4.1 阻抗参数方程及 Z 参数	318
8.4.2 导纳参数方程及 Y 参数	321
8.4.3 混合参数方程及 H 参数	322
8.4.4 传输参数方程及 A 参数	324
思考与练习	326
8.5 互易双口的等效电路	326
8.5.1 双口网络的 T 形等效电路	327
8.5.2 双口网络的 Π 形等效电路	327
思考与练习	329
8.6 含双口网络电路的分析举例	329
8.7 Multisim 仿真: 耦合电感和理想变压器的测量	331
8.7.1 耦合电感参数的测量	331

8.7.2 理想变压器的测量.....	333
本章小结.....	335
习题 8.....	335
附录 A NI Multisim 12 软件简介.....	339
A.1 启动 Multisim	340
A.2 运行 Multisim	340
A.2.1 菜单栏.....	340
A.2.2 元件栏.....	341
A.2.3 仪器栏.....	342
A.2.4 仿真开关栏.....	342
A.3 构建电路	342
A.3.1 放置和编辑元件	342
A.3.2 连线.....	343
A.3.3 元件参数设置.....	343
A.4 仿真分析	344
附录 B 部分习题参考答案.....	345
参考文献.....	353

第 1 章 集中参数电路的分析基础

本章目标

1. 建立电路模型的概念，理解集中假设是本课程的前提条件。
2. 掌握电流、电压的参考方向概念，能够正确计算电功率。
3. 熟练掌握基尔霍夫定律 KCL、KVL 及其应用。
4. 掌握电阻、独立电源和受控电源等基本元件的定义及伏安关系。

1.1 集中参数电路

1.1.1 实际电路与电路模型

扫码看视频



集中参数电路

电路(circuit)是由若干电工设备或器件按一定方式组合起来的、构成电流通路的整体。一般由电源、负载及中间环节 3 部分组成。

电源(source)是将其他形式的能量转换成电能(或电信号)的装置,如发电机、电池等;负载(load)是用电设备的统称,是将电能转换成其他形式能量的装置,如电动机、电灯等;中间环节指联结电源和负载的部分,它起着传输、控制和分配电能的作用,如输电线、开关等。

实际电路种类繁多,有的可以延伸数千公里,有的只有几毫米平方。但就其功能来说可分两类:一类功能是实现电能的输送和变换,例如电力系统、照明系统;另一类功能是实现信号的传递和处理,例如手机、计算机电路。

无论具体电路的功能如何,随着电磁波的传播(表现为电路中的电压、电流),都进行着从其他形式的能量转换成电能、电能的传输和分配以及又把电能转换成所需要的其他形式能量的过程。其中,电源是电路中产生电压、电流的动力,通常称电源的电压、电流为激励(excitation),它推动了电路工作。由激励产生的电压或电流称为电路的响应(response)。已知激励求给定电路的响应,称为电路分析(circuit analysis),已知响应求实现指定激励的电路,称为电路综合或设计(circuit synthesis)。电路分析是电路综合的基础,电路课程的主要任务就是电路分析。

实际电路器件在工作中表现出较为复杂的电磁性质。例如白炽灯在通电工作时,能把电能转换成光能和热能,具有消耗电能的电阻特性,但其空间还有电场能量和磁场能量,具有一定的电容性和电感性;电池工作时除将化学能转变为电能产生电动势外,在它的内阻上也消耗一部分电能因而又具有一定的电阻特性。

为了便于对实际电路进行数学描述和分析,需将实际元件理想化,即在一定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(idea circuit element)。例如,理想电阻元件只表征消耗电能的性质,理想电感元件只表征储存和释放磁场能量的特性,理想电容元件只表征储存和释放电场能量的特性。

因此,理想电路元件是具有某种确定的电磁性质的假想元件,它有精确的数学定义。由理想元件组成的电路,就称为电路模型(circuit model)。

例如在如图 1-1 所示的手电筒电路中,干电池是把化学能转换为电能的元件,可理想化为电压源 U_S 和内阻 R_S 串联的组合模型,灯珠是电路中用电的负载,可理想化为电阻元件 R_L ,而筒体和开关是联结干电池和灯的中间环节,其电阻可忽略不计,认为是理想的导线和开关。

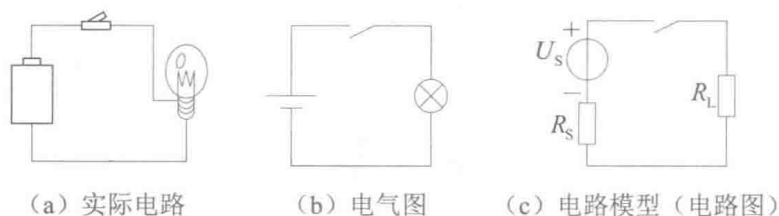


图 1-1 手电筒电路

应当指出,用理想元件的组合来模拟实际电路,只能在一定条件下近似地反映实际器件中所发生的电磁过程。根据工作条件及要求精确度的不同,同一器件可能用不同的电路元件组合来模拟。

1.1.2 集中参数电路

实际电路器件在工作时所发生的电磁现象是交织在一起的,在空间上无法将它们分离,而且这些电磁现象连续分布在电路器件中。为了便于分析,可根据实际电路的几何尺寸(d)与其工作信号波长(λ)的关系,将电路分为集中参数电路和分布参数电路。

集中参数电路(lumped circuit)是指实际电路的几何尺寸(d)远远小于电路工作信号波长(λ),以至在分析电路时可以忽略元件和电路本身几何尺寸的电路。满足集中化条件的电路中,某一电磁现象是集中在一个元件中发生的。例如电能损耗、磁场储能和电场储能是分别集中在电阻元件、电感元件和电容元件中进行的。其特点是电路中任意两个端点间的电压和流入任一器件端钮的电流是完全确定的,与器件的几何尺寸及空间位置无关。

不满足集中化条件的电路称为**分布参数电路(distributed circuit)**,其特点是电路中的电压和电流不仅是时间的函数,也与器件的几何尺寸及空间位置有关,一般要用电磁场理论加以分析。

例如,一段 2m 长的馈线,在工频 50Hz 时,如果馈线周围介质是空气,电磁波的速度(光速)为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$,电磁波波长 $\lambda = v/f = 6 \times 10^6 \text{ m}$,可视为集中参数电路;若将此馈线作为电视机天线的引线,电视信号频率一般在 50MHz 以上,若以 $f = 50 \text{ MHz}$ 计算,波长 $\lambda = 6 \text{ m}$,信号的波长与馈线的长度可比拟,不能满足集中化条件,应视为分布参数电路。

本书只研究集中参数电路,为叙述方便起见,以下简称为电路。集中假设是电路理论

的基本假设，以后所述的电路基本定律、定理等，均是在这一假设的前提下才能成立的。

思考与练习

- 1-1-1 实际电路与电路模型之间的区别与联系是什么？
- 1-1-2 下列实际电路能否视为集中参数电路？（1）千公里以上的输电线路，工频 50Hz；（2）某音频电路，音频信号频率范围 20Hz~25kHz；（3）某微波电路，工作频率范围 0.3~3000GHz（注：1G=10⁹）。
- [（1）不能；（2）能；（3）不能]

1.2 电路变量

电路的特性是由电流、电压和电功率等物理量来描述的。电路分析的基本任务是计算电路中的电流、电压和电功率。

1.2.1 电流及其参考方向



电流（current）通常指电荷定向运动的物理现象。电流的大小用电流强度来表示，电流强度指单位时间 Δt 内流过导体横截面的电荷量 Δq ，习惯上简称为电流，用符号 i 表示，其瞬时值为

$$i(t)=\lim_{\Delta t\rightarrow 0}\frac{\Delta q}{\Delta t}=\frac{dq}{dt}\tag{1-1}$$

一般情况下，电流的大小或方向是随时间变化的，称为时变电流，用小写字母 i 表示。当电流大小和方向做周期性变化且平均值为零时，称为交流电流（alternating current，ac 或 AC）。如果电流的大小和方向恒定不变，则称为恒定电流或直流电流（direct current，dc 或 DC），用大写字母 I 表示。

在国际单位制（International System of Unit，SI）中，电流的单位是安培（ampere），简称安（A），1 安培=1 库仑/秒。此外还常用千安（kA）、毫安（mA）或微安（ μA ）等单位，它们的换算关系为：1kA=10³A，1mA=10⁻³A，1 μ A=10⁻⁶A。

表 1-1 列出了一些常用的国际单位制（SI）词头，用以表示这些单位被一个以 10 为底的正次幂或负次幂相乘后所得的 SI 单位的倍数单位。

表 1-1 部分国际单位制词头

因数	10 ¹²	10 ⁹	10 ⁶	10 ³	10 ⁻³	10 ⁻⁶	10 ⁻⁹	10 ⁻¹²
名称	太	吉	兆	千	毫	微	纳	皮
符号	T	G	M	k	m	μ	n	p

习惯上把正电荷移动的方向规定为电流方向（实际方向）。在简单直流电路中，电流的实际方向可由电源的极性确定，在复杂电路中，往往事先难以判断电流的实际方向，而且时变电流的实际方向有可能随时间不断变动，难以在电路图上标出适合于任何时刻的电流实际方向。为了电路分析和计算的需要，引入了参考方向的概念。

所谓参考方向（reference direction），也叫作电流的正方向，是指在分析电路前任意假定的一个电流方向，用箭头标在电路图上。我们规定，若电流实际方向与参考方向相同，电流取正值；若电流实际方向与参考方向相反，电流取负值。根据电流的参考方向以及电流量值的正负，就能确定电流的实际方向。电流参考方向与实际方向的关系如图 1-2 所示。

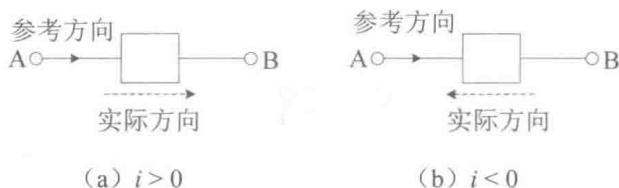


图 1-2 电流参考方向与实际方向的关系

电流的参考方向也可用双下标表示，例如 i_{AB} 表示其参考方向是由 A 流向 B。显然，当对同一电流规定相反的参考方向时，相应的电流表达式相差一个负号，即 $i_{AB} = -i_{BA}$ 。

需要强调的是，电流的实际方向是客观存在的，与参考方向的选择无关。参考方向是任意假定的，是电路计算的唯一依据。参考方向一经选定，整个分析过程中就不能随意更改，而电流的真实方向则由最终计算结果的正负来判断。

一般情况下，电路图中标明的均为参考方向，在未指定参考方向的情况下，电流值的正或负是没有任何意义的。

测量实际电路中的电流时，必须将电流表串联在待测支路中，当测量直流电路时，电流的实际方向应从电流表的“+”端（红表棒）流入、“-”端（黑表棒）流出。

1.2.2 电压及其参考方向

电路中，A 点至 B 点间的电压（voltage），定义为电场力将单位正电荷从 A 点移动至 B 点所做的功，用 u_{AB} 表示，即

$$u_{AB}(t) = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

式中， dW 表示电场力将正电荷 dq 从 A 点移动至 B 点所做的功，电压的国际单位是焦耳（J）/ 库仑（C）= 伏特（V），此外还常用千伏（kV）、毫伏（mV）、微伏（ μV ）等单位。

如果电场力移动正电荷做正功，例如图 1-3 所示电路中，从 A 点经灯泡至 B 点， $dW > 0$ ，表示电场力的方向与正电荷运动方向一致，正电荷的势能减少，正电荷失去的能量被该段电路（灯泡）吸收，A 点为高电位点（正极），B 点为低电位点（负极）。

如果电场力移动正电荷做负功，例如图 1-3 所示电路中，从 B 点经电源内部至 A 点，

扫码看视频



电压及其参考方向

$dW < 0$, 表示电场力的方向与正电荷运动方向相反, 正电荷的势能增加, 正电荷得到的能量由该段电路 (电源) 释放, B 点为低电位 (负极), A 点为高电位 (正极)。

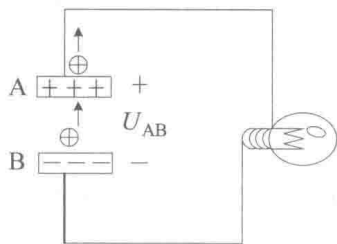


图 1-3 电压定义示意图

同样, 我们把大小或方向随时间变化的电压称为时变电压, 用小写字母 u 表示。如果电压的大小和方向做周期性变化且平均值为零, 则称为交流电压 (alternating voltage)。如果电压的大小和方向均不随时间变化, 则称为恒定电压或直流电压 (direct voltage), 用大写字母 U 表示。

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点, 是电位下降 (potential drop) 的方向。和电流类似, 复杂电路中两点间的电压事先很难预测, 必须先选定一个参考方向, 并由参考方向和电压的正负值来反映该电压的实际方向。当电压的参考方向与实际方向一致时, 电压为正 ($u > 0$); 当电压的参考方向与实际方向相反时, 电压为负 ($u < 0$)。

电压的参考方向可用箭头表示, 也可用正 (+)、负 (-) 极性表示, 或用双下标表示, 如图 1-4 所示。

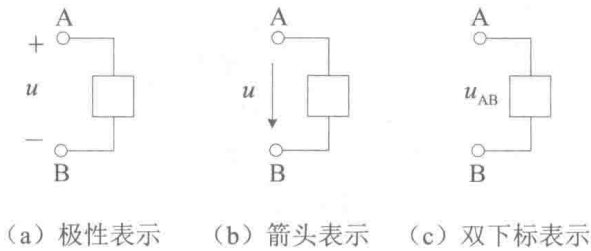


图 1-4 电压参考方向表示方法

测量实际电路中的电压时, 必须将电压表并联在待测元件两端, 当测量直流电路时, 电压表的“+”端 (红表棒) 应与被测元件实际极性的高电位端相连接、“-”端 (黑表棒) 应与被测元件实际极性的低电位端相连接。

一个元件上的电压或电流的参考方向可以独立地任意选定, 但为了方便, 经常假定电流由元件的高电位端 (正极) 流向低电位端 (负极), 即选择电压与电流的参考方向一致, 这种情况称为关联参考方向 (associated reference direction)。反之则称电压和电流对该元件是非关联的。例如图 1-5 所示电路中, 电压 u 与电流 i 对元件 B 是关联参考方向, 但对元件 A 是非关联参考方向。

在关联参考方向的前提下, 电路图上只需标出电压参考方向或电流参考方向中的任意一种, 如图 1-6 所示。除非特别指定, 电路分析中一般均取关联参考方向。