

高等职业教育电子技术技能培养规划教材
Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

电路 应用基础

王雪瑜 主编 山炳强 马艳 副主编



The Basis of Circuit Application

降低理论难度，内容通俗易懂
反映先进技术，贴近学科前沿
提供丰富资源，培养实用技能



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

电路 应用基础

王雪瑜 主编 山炳强 马艳 副主编

The Basis of
Circuit Application

人民邮电出版社

北京

人民邮电出版社

样书

专用章

图书在版编目 (CIP) 数据

电路应用基础 / 王雪瑜主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2009. 11

高等职业教育电子技术技能培养规划教材
ISBN 978-7-115-20237-6

I. ①电… II. ①王… III. ①电路—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第177103号

内 容 提 要

本书以现代电路基础的基本知识、基本理论为主线, 以应用为目的, 在保证科学性的前提下, 从工程观点考虑, 删繁就简, 使理论分析重点突出、概念清楚、实用性强。

全书共 10 章, 分别介绍电路的基本概念和定律、电路的分析方法、正弦交流电路的基本概念、正弦交流电路的分析、互感耦合电路、三相正弦交流电路、非正弦周期电路、线性电路过渡过程的时域分析、二端口网络、非线性电阻电路的相关知识。

本书可作为高职高专院校电气、自动化、电子、通信、机电一体化等专业的教材, 也可供其他技术人员参考使用。

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

电路应用基础

- ◆ 主 编 王雪瑜
副 主 编 山炳强 马 艳
责任编辑 赵慧君
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.75
字数: 309 千字
印数: 1—3 000 册
- 2009 年 11 月第 1 版
2009 年 11 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-20237-6

定价: 23.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223
反盗版热线: (010) 67171154

前 言

高职高专教育培养的人才面向生产、管理第一线，是技术型人才，基础课程的教学应以必需、够用为原则，以掌握概念、强化应用为教学重点，注重岗位能力的培养。本书在编写的过程中按照“保证基础知识，突出基本概念，注重技能训练，强调理论联系实际，加强实践性教学环节”的原则，力求避免复杂的数学推导和计算。

本书针对高职高专学生的学习特点，从工程应用的角度出发，在内容的选择和讲解方面，以当前高等职业院校学生就业技能实际需求，以及学生对相关知识的实际接受能力为依据，努力体现针对性和实用性，以适应当前职业教育发展的需要。与目前教材市场上的其他同类教材相比，本书具有以下特点。

① 注重基础。电路基础是高等职业院校电类和近电类相关专业的一门重要技术基础课程，因此本书注重基本概念的介绍和基本技能的训练，充分体现“宽基础，重技能”的职业教育特色。

② 素材丰富。本教材针对主要的知识点和较难理解的内容，提供了丰富多彩的动画演示、视频录像及虚拟实验，这样不但可以提高课堂教学效果，而且能有效激发学生的学习兴趣。另外，为方便教师教学，本书还提供了相应的电子课件以及习题答案，教师可登录人民邮电出版社教学服务与资源网（<http://www.ptpedu.com.cn>）下载。

教师在讲授本书内容时，可根据本校具体的教学计划和教学条件等实际情况，对书中内容有针对性地进行选择，对相应的学时进行适当的增减。以下是建议的学时分配表。

建议学时分配表

内 容	讲 授 课 时
第1章 电路的基本概念和定律	6
第2章 电路的分析方法	14
第3章 正弦交流电路的基本概念	4
第4章 正弦交流电路的分析	10
第5章 互感耦合电路	4
第6章 三相正弦交流电路	6
第7章 非正弦周期电路	4
第8章 线性电路过渡过程的时域分析	8
第9章 二端口网络	4
第10章 非线性电阻电路	4
附录	2
总学时	66

本书力求文字简明、概念清晰、条理清楚、讲解到位、插图规范，使之易教易学。各章



均配有适量的习题，供学生课后复习、巩固。

本书由王雪瑜主编，山炳强、马艳副主编。参加本书编写工作的还有沈精虎、黄业清、宋一兵、谭雪松、向先波、冯辉、郭英文、计晓明、田晓芳、董彩霞、郝庆文、滕玲。

本书在编写过程中，得到了青岛大学国家级电工电子实验教学示范中心主任徐淑华教授的大力支持。

由于编者水平和经验有限，书中难免存在错误和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2009年7月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和定律	1	变换	26
1.1 电路和电路模型	1	2.3.2 电流源串、并联电路的等效 变换	26
1.1.1 电路	1	2.4 电压源与电流源的等效变换	27
1.1.2 电路模型	2	2.4.1 实际电源的等效变换	27
1.1.3 电路的工作状态	3	2.4.2 电压源、电流源等效变换的 方法分析电路	29
1.2 电路的基本物理量	4	2.5 支路电流分析法	31
1.2.1 电流	4	2.5.1 支路电流分析法	31
1.2.2 电位	5	2.5.2 支路电流分析法的计算 步骤	31
1.2.3 电压	6	2.6 网孔电流分析法	32
1.2.4 电动势	7	2.6.1 网孔方程	32
1.2.5 电流与电压的关联参考方向	8	2.6.2 网孔电流分析法的计算 步骤	33
1.2.6 电功与电功率	8	2.6.3 含有电流源支路时的求解 方法	34
1.3 独立电源	10	2.6.4 回路电流分析法	35
1.3.1 独立电压源	10	2.7 节点电压分析法	35
1.3.2 独立电流源	11	2.7.1 节点方程	36
1.3.3 最大功率传输定理	12	2.7.2 节点电压分析法的计算 步骤	37
1.4 受控源及其分类	13	2.7.3 含有电压源支路时的求解 方法	38
1.4.1 受控源	13	2.8 叠加定理、齐性定理与替代定理	40
1.4.2 受控源的分类	13	2.8.1 叠加定理	40
1.5 基尔霍夫定律	14	2.8.2 齐性定理	41
1.5.1 电路的基本名词	14	2.8.3 替代定理	42
1.5.2 基尔霍夫电流定律	15	2.9 戴维宁定理与诺顿定理	43
1.5.3 基尔霍夫电压定律	16	2.9.1 二端网络	43
1.6 电路中的电位分析	17	2.9.2 戴维宁定理	43
小结	18	2.9.3 诺顿定理	45
习题	19	2.10 含受控源电路的分析	46
第 2 章 电路的分析方法	21	2.10.1 受控源的控制特性	47
2.1 电阻的串、并联等效变换	21		
2.1.1 电阻的串联电路	21		
2.1.2 电阻的并联电路	22		
2.1.3 电阻的混联电路	23		
2.2 电阻的星形-三角形等效变换	24		
2.3 电源串、并联电路的等效变换	26		
2.3.1 电压源串、并联电路的等效			



2.10.2 含有受控源电路的分析	主要依据	86
方法	4.5.2 用相量图求解正弦交流电路的	86
小结	方法	86
习题	4.6 复杂正弦交流电路	88
第3章 正弦交流电路的基本概念	4.6.1 阻抗与导纳的等效互换	88
3.1 正弦量的三要素	4.6.2 阻抗串、并联电路的计算	88
3.1.1 幅值与有效值	4.6.3 复杂电路的计算	91
3.1.2 周期与角频率	4.7 正弦电路中的功率	92
3.1.3 相位、初相位与相位差	4.7.1 瞬时功率	92
3.2 正弦交流电阻电路	4.7.2 有功功率	93
3.2.1 电阻元件上电压与电流的	4.7.3 无功功率	93
关系	4.7.4 视在功率	94
3.2.2 电阻元件的功率	4.7.5 复功率	96
3.3 电感元件与正弦交流电感电路	4.7.6 功率因数的提高	97
3.3.1 电感元件	4.8 串联谐振电路	99
3.3.2 正弦交流电感电路	4.8.1 谐振现象与谐振条件	99
3.4 电容元件与正弦交流电容电路	4.8.2 串联谐振时电路的特点	100
3.4.1 电容元件	4.8.3 串联谐振电路的品质因数	101
3.4.2 正弦交流电容电路	4.9 并联谐振电路	102
小结	4.9.1 谐振条件	102
习题	4.9.2 并联谐振时电路的特点	102
第4章 正弦交流电路的分析	4.9.3 并联谐振电路的品质因数	103
4.1 相量法	4.9.4 电感线圈与电容器并联谐振	104
4.1.1 复数概述	电路	104
4.1.2 正弦量的复数表示法	小结	104
4.1.3 基尔霍夫定律的相量表示	习题	105
4.2 阻抗和导纳	第5章 互感耦合电路	108
4.2.1 阻抗	5.1 互感	108
4.2.2 导纳	5.1.1 互感系数	108
4.3 RLC 串联电路的分析	5.1.2 互感电压	109
4.3.1 RL 串联电路	5.1.3 互感线圈的同名端	110
4.3.2 RC 串联电路	5.1.4 互感的等效受控电源电路	111
4.3.3 RLC 串联电路的相量形式	5.2 互感电路的计算	111
4.4 RLC 并联电路的分析	5.2.1 互感串联电路	112
4.4.1 RL 并联电路	5.2.2 互感并联电路	113
4.4.2 RC 并联电路	5.2.3 互感消去法	114
4.4.3 RLC 并联电路的分析	5.3 变压器电路	116
4.5 正弦交流电路的相量图求解法	5.3.1 空心变压器	116
4.5.1 用相量图分析正弦交流电路的	5.3.2 理想变压器	118



小结	121	8.1.3 初始值计算	152
习题	121	8.2 一阶电路的零输入响应	154
第 6 章 三相正弦交流电路	124	8.2.1 RC 电路的零输入响应	154
6.1 三相电源	124	8.2.2 RL 电路的零输入响应	155
6.1.1 三相电源的产生	124	8.3 一阶电路的零状态响应	158
6.1.2 三相绕组的连接	126	8.3.1 RC 电路的零状态响应	158
6.2 三相负载	128	8.3.2 RL 电路的零状态响应	159
6.2.1 三相负载的星形连接	128	8.4 一阶电路的全响应	160
6.2.2 三相负载的三角形连接	130	8.4.1 RC 电路的全响应	160
6.3 对称三相电路的分析	131	8.4.2 RL 电路的全响应	161
6.4 不对称三相电路的分析	134	8.4.3 分析一阶电路全响应的 三要素法	161
6.5 三相电路的功率	135	小结	165
6.5.1 三相电路的有功功率	135	习题	167
6.5.2 三相电路的无功功率	135	第 9 章 二端口网络	169
6.5.3 三相电路的视在功率	136	9.1 二端口网络的概念	169
6.5.4 三相负载的功率因数	136	9.2 二端口网络的方程和参数	170
小结	137	9.2.1 导纳参数方程	170
习题	138	9.2.2 阻抗参数方程	171
第 7 章 非正弦周期电路	139	9.2.3 传输参数方程	172
7.1 非正弦周期信号的基本概念	139	9.2.4 混合参数方程	173
7.1.1 非正弦周期信号	139	9.3 无源二端口网络的等效电路	175
7.1.2 非正弦周期信号的产生	139	9.3.1 T 形等效电路	175
7.2 非正弦周期信号的谐波分析	140	9.3.2 π 形等效电路	175
7.2.1 非正弦周期信号的傅里叶 分解	140	小结	176
7.2.2 几种对称的周期函数 信号	141	习题	176
7.3 有效值、平均值和平均功率	144	第 10 章 非线性电阻电路	178
7.3.1 有效值	144	10.1 非线性电阻元件	178
7.3.2 平均值	145	10.2 非线性电阻电路的图解法	180
7.3.3 平均功率	145	10.2.1 非线性电阻的串联	180
7.4 非正弦周期电路的分析	147	10.2.2 非线性电阻的并联	181
小结	149	10.2.3 简单非线性电路的图解 分析法	182
习题	149	10.3 小信号分析法	183
第 8 章 线性电路过渡过程的时域分析	151	小结	184
8.1 换路定律	151	习题	185
8.1.1 过渡过程的基本概念	151	附录 Multisim 2001 使用简介	186
8.1.2 换路定律	151	参考文献	196

第 1 章 电路的基本概念和定律

本章介绍了电路模型的概念，电路的工作状态，电流、电压参考方向及电路中电动势、电位的概念，还介绍了电阻、电容、电感、独立电源和受控源等电路元件和电路的最大功率传输定理。

不同的电路元件的变量之间有一定的约束关系。基尔霍夫定律是集总参数总和的基本定律，包括基尔霍夫电流定律（KCL）和基尔霍夫电压定律（KVL）。

本章学习要求

- 理解什么是电路、电路的功能，理解实际电路、电路模型的基本概念。掌握电路中的基本物理量的概念及其意义。
- 掌握电流、电压参考方向及电流与电压“关联方向”的意义和应用；掌握电功率的基本概念；会判断元件是吸收还是发出了功率；会计算元件吸收或发出的功率。
- 了解线性电阻元件、线性电感元件、线性电容元件的定义；掌握它们的伏安关系方程，会计算它们吸收或发出的功率。
- 掌握理想电源和受控源的定义和性质。
- 掌握 KCL 和 KVL 的物理意义和数学表达式。

1.1 电路和电路模型

人们在生活和工作中时常会遇到一些实际电路，实际电路由元器件构成，具有传输电能、处理信号、测量、控制和计算等功能。本节将介绍电路、电路模型以及电路的工作状态。

1.1.1 电路

电流流通的路径称为电路。电路类型多种多样，结构形式也各不相同。但从大的方面来看，电路一般都是由电源、负载和中间环节等 3 个部分按照一定方式连接起来的电流路径，如图 1-1 所示。

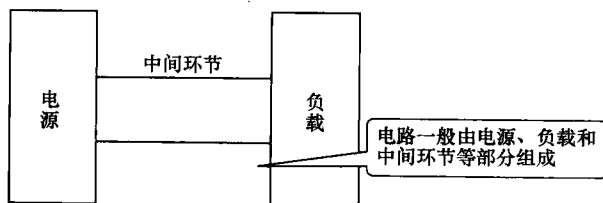


图 1-1 电路的组成



1. 电源

电源是电路中提供电能或将其他形式的能量转化为电能的装置。例如，发电机能把机械能转换成电能，干电池能把化学能转换成电能。含有直流电源的电路叫直流电路，含有交流电源的电路叫交流电路。

2. 负载

负载是各种用电设备的总称，它将电能或电信号转化为需要的其他形式的能量或信号。例如，电灯能将电能转变为光能，电动机能将电能转变为机械能，电视机能将电磁波信号转变为视听信号等。

3. 中间环节

连接电源和负载的部分统称为中间环节，它起着传输、控制和分配电能的作用。中间环节包括导线和控制元件等。导线是连接电源、负载和其他元器件的金属连接线，常用的有铜导线、铝导线等。控制元件对电路进行控制，如开关、熔断器等。

在实际应用中，电路实现的功能是多种多样的，但总的来说可概括为以下两方面。

① 一是进行电能的产生、传输、分配与转换，如图 1-2 所示的电力系统输电电路示意图。其中，发电机是电源，家用电器和工业用电器等是负载，而变压器和输电线等则是中间环节。

② 二是信号的产生、传递、变换与处理，如图 1-3 所示的扩音机示意图以及收音机、电视机电路等。其中，话筒是输出信号的设备，称为信号源，相当于电源，但与上述的发电机、电池等电源不同，信号源输出的电压或电流信号是取决于其所加信息的。扬声器是负载，放大器等则是中间环节。

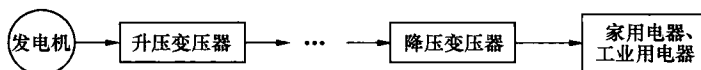


图 1-2 电力系统输电电路示意图

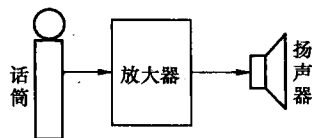


图 1-3 扩音机示意图

在电路的上述两个功能中，前者的主要研究对象是“电功率”和“电能”；后者的主要研究对象是“电信号”，即电压信号和电流信号。

1.1.2 电路模型

实际应用中的电路是根据要求将元器件按照一定的方式连接而构成的。图 1-4 (a) 所示为手电筒实际电路，该电路可分为 3 个环节：干电池（作为电源）、导线和开关（作为传输和控制）、灯泡（作为负载）。

如果对图 1-4 (a) 所示电路进行电路的分析和计算是很不方便的，故通常人们采用一些简单的理想元器件来代替实际部件，这样一个实际电路就可以由若干个理想元器件的组合来模拟，这样的电路称为实际电路的电路模型。

将实际电路中各个部件用其模型符号来表示，这样画出的图称为实际电路的电路模型图，也称电路原理图，图 1-4 (b) 即为手电筒电路模型图。

建立电路模型的意义十分重要，运用电路模型可以大大简化电路的分析，电路模型图中常用的元器件符号如表 1-1 所示。

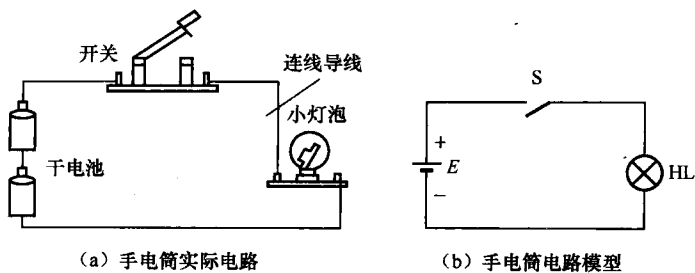


图 1-4 电路示意图

表 1-1 电路图常用的元器件符号

名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号
电池		E	电阻		R	电容器		C
电压源		U_s	可调电阻		R	可变电容		C
电流源		I_s	电位器		R_P	空心线圈		L
发电机			开关		S	铁芯线圈		L
电流表			电灯		HL	接地接机壳		GND
电压表			熔断器 (保险丝)		FU	导线交叉点 { 连接 交叉点 不连接		

电路模型反映了电路的主要性能而忽略了它的次要性能，因此，电路模型只是实际电路的近似，是实际电路的理想化模型。

1.1.3 电路的工作状态

电路有 3 种状态，如图 1-5 所示。

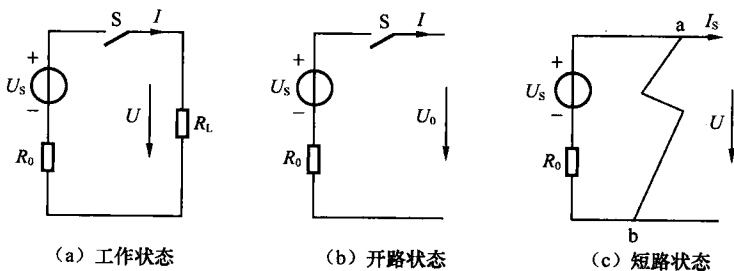


图 1-5 电路的状态

1. 工作状态

电路的工作状态也称为有载状态或通路、闭路等。在图 1-5 (a) 所示电路中，当开关 S



闭合时, 电源与负载接成闭合回路, 电源处于有载工作状态, 电路中有电流流过。

2. 开路状态

电路的开路状态也称为断路状态。在图 1-5 (b) 所示电路中, 当开关 S 断开或电路中某处断开时, 电路处于开路状态, 被切断的电路中没有电流流过。

3. 短路状态

在图 1-5 (c) 所示电路中, 当 a、b 两点接通时, 电源被短路, 此时电源的两个极性端直接相连。电源被短路时会产生很大的电流, 有可能造成严重后果, 如导致电源因大电流而发热损坏, 或引起电气设备的机械损伤等, 因此要绝对避免电源被短路。电路中可以出现短路, 有时还可以利用短路现象解决一些实际问题, 但是电源是绝对不允许短路的, 一定要避免电源短路。

1.2 电路的基本物理量

电流、电位、电压、电动势、电功、电功率等是电路的基本物理量, 只有真正理解和掌握它们, 才能正确地分析电路。在电路分析中, 还要在电路图中标出电路基本物理量的方向, 才能正确地列写方程, 求解电路。

1.2.1 电流

电荷的定向运动形成电流。电流有大小之分, 引入电流强度来描述。单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度, 简称电流, 用字母 I 来表示。如在 t 秒内通过导体横截面的是大小和方向均不随时间变化的电量 Q , 则电流 I 就可用下式表示

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

通常不随时间变化的物理量用大写字母来表示, 随时间变化的物理量用小写字母来表示。所以, 式 (1-1) 就是不随时间变化的电流强度的表达式。随时间变化的电流强度的表达式为

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad (1-2)$$

式中, $dq(t)$ 为 dt 时间内通过导体横截面的电量, $i(t)$ 为电流强度。

在国际单位制中, 电流强度的单位为安培, 简称安 (A)。常用的电流单位还有千安 (kA)、毫安 (mA) 和微安 (μ A)。

注意

为了简便, 以后如果没有特别说明, 则以时间为变量的函数将省略变量 t , 即把式 (1-2) 中的 $q(t)$ 、 $i(t)$ 简写成 q 、 i 。

电流不仅有大小, 而且还有方向。一般规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。在分析电路时, 通常要知道电流的方向, 但有时某段电路中电流的方向往往难以判断, 此时可先任意假定电流的参考方向, 然后列方程求解。当求出的电流为正值时 ($I > 0$), 就认为电流的实际方向与参考方向一致, 如图 1-6 (a) 所示; 反之, 当求出的电流为负值时 ($I < 0$), 就认为电流的实际方向与参考方向相反, 如图 1-6 (b) 所示。



参考方向是电路中一个非常重要的概念,在使用参考方向时应注意以下3点。

① 电流的实际方向是客观存在的,而参考方向则是根据分析计算的需要任意选取的,参考方向一经选定后,在全部分析计算过程中就必须以此为据,不能随意变动。

② 同一电流,如果参考方向的选择不同,就会得到数值相等而符号相反的电流值。因此,电流值的正负只有在选定了参考方向后才有意义。

③ 电路中的基本公式和结论,都是在一定的参考方向下得出的。因此,在应用这些公式和结论时,必须注意参考方向的选择。

【例 1-1】 请说明图 1-7 所示的电流实际方向。

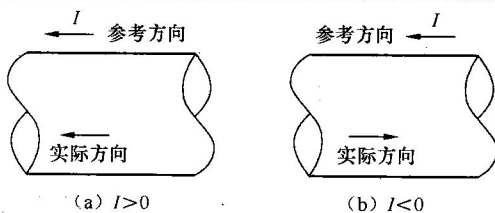


图 1-6 电流的正负

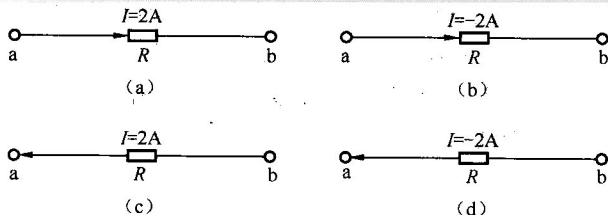


图 1-7 例 1-1 用图

解:

① 图 1-7 (a) 所示电流参考方向为由 a 到 b, $I = 2\text{A} > 0$, 为正值, 说明电流的实际方向和参考方向相同, 即从 a 到 b。

② 图 1-7 (b) 所示电流参考方向为由 a 到 b, $I = -2\text{A} < 0$, 为负值, 说明电流的实际方向和参考方向相反, 即从 b 到 a。

③ 图 1-7 (c) 所示电流参考方向为由 b 到 a, $I = 2\text{A} > 0$, 为正值, 说明电流的实际方向和参考方向相同, 即从 b 到 a。

④ 图 1-7 (d) 所示电流参考方向为由 b 到 a, $I = -2\text{A} < 0$, 为负值, 说明电流的实际方向和参考方向相反, 即从 a 到 b。

1.2.2 电位

电场力把单位正电荷从电场中的某一点沿任意路径移动到无穷远处 (此处的电场强度为零), 电场力所做的功称为此点的电位。电位的单位是伏特, 简称伏 (V)。电位的文字符号由字母 V 带单下标表示, 如 V_a , 即表示 a 点的电位。

在分析电路时, 通常把参考点的电位规定为零, 也称零电位, 一般选大地为参考点, 即大地的电位为零电位。在电子仪器和设备中又常把金属外壳或电路的公共接点的电位规定为零电位。零电位的符号可以用 “ $\perp$ ” 表示接大地, “ $\perp$ ” 或 “ $\perp$ ” 表示接机壳或公共接点。

电路中任意两点 (如 A 和 B 两点) 之间的电位差与这两点电位的关系为

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-3)$$

由图 1-8 可知, 电位具有相对性, 即电路中某点的电位值随参考点位置的改变而改变; 而电位差具有绝对性, 即任意两点之间的电位差值与电路中参考点的位置选取无关。

由等式 $U_{AB} = V_A - V_B$, 可知 $U_{AB} = -U_{BA}$ 。如果 $U_{AB} > 0$, 则 $V_A > V_B$, 说明 A 点电位高于 B 点电位; 反之, 如果 $U_{AB} < 0$, 说明 A 点电位低于 B 点电位。

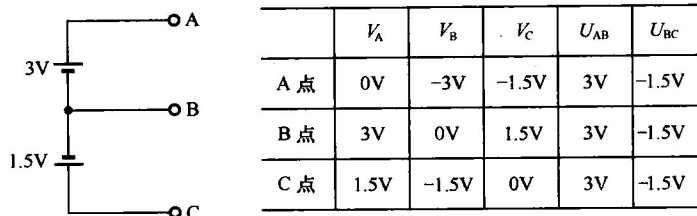


图 1-8 电位与电位差

1.2.3 电压

电压也是衡量电场力做功本领大小的物理量。

如图 1-9 所示，在电场中若电场力 F 将点电荷 Q 从 A 点移动到 B 点，电场力所做的功为 W_{AB} ，则功 W_{AB} 与电荷 Q 的比值就称为该两点之间的电压，用带双下标的符号 U_{AB} 表示，其数学表达式为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-4)$$

随时间变化的电压表达式为

$$u_{AB} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1-5)$$

电压又称电位差，电压也常写成电位差的形式，如式 (1-3)。

在国际单位制中，电压的单位为伏特，简称伏 (V)。常用的电压单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV) 和微伏 (μV)。

电压和电流一样，不仅有大小，而且有方向，即有正负极性。对于负载来说，规定电流流进端为电压的正端，用“+”表示；电流流出端为电压的负端，用“-”表示。电压的方向是由“+”指向“-”，如图 1-10 (a) 所示。电压的方向在电路图中还可以用箭头表示，如图 1-10 (b) 所示。

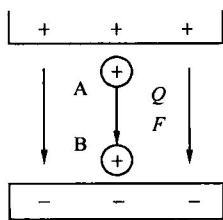


图 1-9 电场力做功

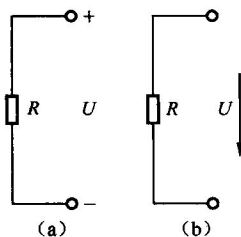


图 1-10 电压的方向

在分析电路时，经常会遇到电压方向改变的问题，这给分析带来困难，这就要先规定电压参考方向（参考极性），即电压降低的方向。在电路图中用“+”、“-”标出电压的参考方向，若 U_{AB} 为正值，则 A 点电位高于 B 点电位；反之， U_{AB} 为负值，则 B 点电位高于 A 点电位。

【例 1-2】 元件 R 上电压参考方向如图 1-11 所示，请说明电压的实际方向。

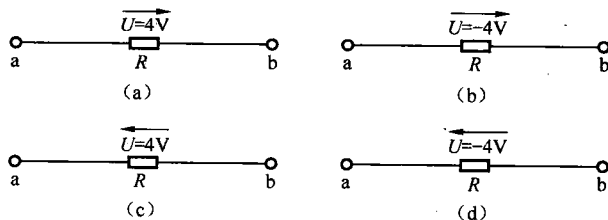


图 1-11 例 1-2 用图

解:

① 图 1-11 (a) 中, 因 $U=4\text{V}>0$, 为正值, 说明电压的实际方向和参考方向相同, 即电压的方向为从 a 到 b 。

② 图 1-11 (b) 中, 因 $U=-4\text{V}<0$, 为负值, 说明电压的实际方向和参考方向相反, 即电压的方向为从 b 到 a 。

③ 图 1-11 (c) 中, 因 $U=4\text{V}>0$, 为正值, 说明电压的实际方向和参考方向相同, 即电压的方向为从 b 到 a 。

④ 图 1-11 (d) 中, 因 $U=-4\text{V}<0$, 为负值, 说明电压的实际方向和参考方向相反, 即电压的方向为从 a 到 b 。

1.2.4 电动势

在图 1-12 中, 正电荷在电场力的作用下, 从高电位 A 极板经过负载 (灯泡) 向低电位 B 极板移动, 形成电流 I 。正电荷由 A 移到 B 时, 就要与 B 极板上的负电荷中和, 使两极板上的电荷逐渐减少, 两极板间的电场也逐步减小, 相应的电流也将逐渐减小直至中断。为了使电路中的电流能够持续不断, 在 A、B 两极板之间必须有一种非电场力, 可以将正电荷从低电位的 B 极板通过电源内部推向高电位的 A 极板, 使 A、B 两电极间始终维持一定的电位差, 电源就是靠非电场力来完成这个任务的电路元件。

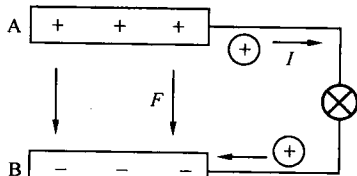


图 1-12 正电荷在电场力作用下移动

日常所用的电源, 如电池, 其内部化学反应所产生的非电场力可将正电荷从低电位电极, 通过电源内部推向高电位电极, 在电源内部建立电场, 使电源的正、负两极维持一定的电位差。

非电场力在电源内部不断地把正电荷从低电位点移向高电位点就要克服电场力做功, 电源的电动势就是表征电源内部非电场力对电荷做功能力大小的物理量, 用符号 E 来表示。

综上所述, 电源的电动势在数值上等于非电场力把单位正电荷从电源的低电位 B 经电源内部移到高电位 A 时所做的功, 用公式表示为

$$E_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-6)$$

式中, W_{AB} 是非电场力所做的功, Q 是电源内部由非电场力所移动的电量。

比较式 (1-4) 与式 (1-6) 可见, 电动势与电压具有相同的量纲, 所以电动势的单位也为伏 (V)。虽然电动势和电压的单位相同, 但两者的物理概念却不同。

电位、电压、电动势是 3 个既有联系, 又有区别的物理量。理解电位是理解电压、电动势的基础。电位、电压、电动势的单位都是伏 (V)。

电位是相对的, 它的大小与参考点的选择有关。电压是绝对的, 它的大小与参考点的选



择无关。电压的方向从正极指向负极，即从高电位指向低电位。电动势的方向从负极指向正极，即从低电位指向高电位。电压存在于内、外电路，电动势存在于内电路。

在外电路，电场力做功，正电荷从高电位移向低电位，即从电源的正极移向负极。在内电路，电源力做功，正电荷从低电位移向高电位，即从电源的负极移向正极。如此循环往复，内、外电路上不断有电流流动。

1.2.5 电流与电压的关联参考方向

如果指定流过元件的电流的参考方向是从电压正极性的一端指向负极性的一端，即两者的参考方向一致，则把电压和电流的这种参考方向称为关联参考方向，简称关联方向，如图 1-13 (a) 所示；当两者不一致时，称为非关联参考方向，简称非关联方向，如图 1-13 (b) 所示。

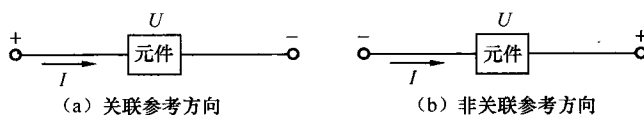


图 1-13 电流、电压参考方向

1.2.6 电功与电功率

1. 电功

电流流过负载时，负载会将电能转换成其他形式的能量（如磁能、热能、机械能等），我们将这一过程称为电流做功，简称电功，用字母 W 表示。

根据公式： $I = \frac{Q}{t}$ 、 $U = \frac{W}{Q}$ 、 $I = \frac{U}{R}$ ，可得到电功的表达式为

$$W = UQ = IUt = I^2 R t = \frac{U^2 t}{R} \quad (1-7)$$

式中， W 为电功，单位是焦耳，简称焦 (J)。

随时间变化的电功的表达式为

$$w = uq = iut = i^2 R t = \frac{u^2 t}{R} \quad (1-8)$$

在实际工作中，电气设备用电量的常用单位是千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$)。1 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 就是常说的 1 度电，它表示功率为 1 kW 的电气设备在 1h 内所消耗的电能。度与焦耳的换算关系为：1 度 = $3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

2. 电功率

电流在单位时间内所做的功称为电功率，简称功率，用字母 P 表示，其数学表达式为

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-9)$$

式中， P 是电功率，单位是瓦特，简称瓦 (W)。在实际工作中，电功率的常用单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW) 等。

随时间变化的电功率表达式为

$$P = \frac{dw}{dt} \quad (1-10)$$



根据式 (1-7) 和式 (1-8), 可得到电功率的常见计算公式

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-11)$$

$$p = iu = i^2 R = \frac{u^2}{R} \quad (1-12)$$

由式 (1-11) 和式 (1-12) 可知:

① 当负载电阻一定时, 电功率与电流的平方或电压的平方成正比;

② 流过负载的电流一定时, 电功率与电阻值成正比, 由于串联电路流过的电流处处相等, 则串联电阻的功率与各电阻的阻值成正比;

③ 加在负载两端的电压一定时, 电功率与电阻值成反比。

电气设备铭牌上的电功率是它的额定功率。各种电气设备的电压、电流及功率等都有一个额定值。例如一盏电灯的电压是 220V, 功率是 60W, 这就是它的额定值。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容许值。电气设备或元器件的额定值通常标在铭牌上或写在说明书中, 在使用时应当充分考虑额定数据。例如一把电烙铁, 标有 220V/45W, 这是额定值, 使用时不能接到 380V 的电源上。

在实际使用时, 电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值, 这是一个重要的概念。通常负载都是并联运行的, 负载增加时, 负载所用的总电流和总功率都增加, 即电源输出的功率和电流都相应增加。也就是电源输出的功率和电流取决于负载的大小, 负载需要多少功率和电流, 电源就提供多少, 所以电源通常不一定处在额定工作状态, 但是一般不应超过额定值。

3. 电路的功率

若元件上的电压 U 、电流 I 方向为关联方向, 用“吸收功率”来表示, 则电路元件吸收的功率为

$$P_{\text{吸}} = UI$$

当 $P_{\text{吸}} > 0$ 时, 说明该电路元件实际是吸收功率; 当 $P_{\text{吸}} < 0$ 时, 说明该电路元件实际是发出功率。

若元件上的电压 U 、电流 I 方向为非关联方向, 用“发出功率”来表示, 则电路元件发出的功率为

$$P_{\text{出}} = UI$$

当 $P_{\text{出}} > 0$ 时, 说明该电路元件实际是发出功率; 当 $P_{\text{出}} < 0$ 时, 说明该电路元件实际是吸收功率。

【例 1-3】 在图 1-14 (a) 所示电路中, 方框代表电源或负载, 电流和电压的参考方向如图 1-14 所示。通过测量得知: $U_1 = 20\text{V}$, $U_2 = 20\text{V}$, $U_3 = -100\text{V}$, $U_4 = 120\text{V}$, $I_1 = -10\text{A}$, $I_2 = 20\text{A}$, $I_3 = -10\text{A}$ 。

① 标出各电流、电压的实际方向和极性。

② 判断哪几个方框是电源, 哪几个方框是负载。

解:

根据电流、电压的参考方向与实际方向一致时其值为正, 相反时其值为负, 得各电流、电压的实际方向如图 1-14 (b) 所示。