

高职高专机电类专业“十二五”规划教材

电工基础及测量

王兵利 主 编
解建军 主 审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高职高专机电类专业“十二五”规划教材

电工基础及测量

主 编 王兵利
副主编 徐浩铭
参 编 赵 媛 刘鑫尚
主 审 解建军

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本教材共 12 章,分为电工基础、电工测量、电工基础及测量实验实训三部分。主要包括:电路元件和电路定律,直流电阻电路的分析,动态电路的时域分析,正弦交流电路,非正弦周期电流电路,谐振电路与互感电路,三相正弦交流电路,电工仪表与测量的基本知识,电工工具及电气测量仪器仪表的使用,安全用电及防护,电工基础及测量实验,电工基础及测量实训。

本教材针对高职高专的特点,注重基础知识的应用,侧重于提高学生的实际操作能力。

本教材可作为高职高专院校机电类专业或相近专业的教材,也可以作为相关工作人员的培训用书和参考书。

★本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础及测量/王兵利主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2011.8

高职高专机电类专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2635-2

I. ①电… II. ①王… III. ①电工学-高等职业教育-教材 ②电气测量-高等职业教育-教材 IV. ①TM1 ②TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 147801 号

策 划 秦志峰

责任编辑 秦志峰 陈 青

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201407 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfx5@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 15.5

字 数 360 千字

印 数 1~3000 册

定 价 23.00 元

ISBN 978-7-5606-2635-2/TM·0077

XDUP 2927001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

本教材是根据教育部关于高职高专教育基础课程教学基本要求和高职高专教育专业人才培养目标及规划的要求,以培养应用型、高技能人才为目标,以最新的国家标准、技术规范为依据,以培养学生的专业能力为落脚点,结合编者多年的电力系统从业经验和教学实践经验编写而成的。本课程主要介绍电工基础知识、电工测量知识、电工实验实训等有关内容。

近几年我国高职教育得到空前的发展和壮大,本书考虑到高职院校的特点并结合编者在实际课程教学方面的经验,力求做到以精练为原则,注重深度和广度的结合以及知识的内在联系和相互之间的逻辑关系,避免繁琐的数学分析,加强物理概念的阐述,使叙述深入浅出,通俗易懂。

本教材分为以下三个部分:

第一部分为电工基础,包括七章内容:电路元件和电路定律;直流电阻电路的分析;动态电路的时域分析;正弦交流电路;非正弦周期电流电路;谐振电路与互感电路;三相正弦交流电路。

第二部分为电工测量,包括三章内容:电工仪表与测量的基本知识;电工工具及电气测量仪器仪表的使用;安全用电及防护。

第三部分为电工基础及测量实验实训,包括两章内容:电工基础及测量实验;电工基础及测量实训。

本教材第1章由赵媛编写,第2章由刘鑫尚编写,第3、8、9、10、12章由徐浩铭编写,第4、5、6、7、11章由王兵利编写,全书由王兵利、徐浩铭统稿。杨凌职业技术学院解建军教授审阅了全稿,在此谨表谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在不当之处,敬请广大师生提出宝贵意见和建议。

编 者

2011年5月

目 录

第 1 章 电路元件和电路定律	1
1.1 电路、理想元件和电路模型	1
1.1.1 电路	1
1.1.2 理想电路元件	2
1.1.3 电路模型	2
1.2 电流、电压及其参考方向	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	5
1.2.4 电动势	6
1.3 电功率和电能	6
1.3.1 电功率	6
1.3.2 电能	7
1.4 电阻元件	8
1.4.1 电阻元件的概念	8
1.4.2 电阻元件的串联和并联	9
1.4.3 电阻的星形连接与三角形连接的等效变换	12
1.5 电感元件和电容元件	15
1.5.1 电感元件	15
1.5.2 电容元件	17
1.5.3 电感元件、电容元件的串联和并联	18
1.6 电压源、电流源和受控源	20
1.6.1 电压源	21
1.6.2 电流源	21
1.6.3 实际电压源、电流源的模型及其等效变换	22
1.6.4 受控源	24
1.7 基尔霍夫定律	25
1.7.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	26
1.7.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	26
习题	28
第 2 章 直流电阻电路的分析	32
2.1 支路电流法	32
2.2 网孔电流法	33
2.3 节点电压法	35

2.4	叠加定理	39
2.5	戴维南定理	40
2.5.1	戴维南定理概述	41
2.5.2	最大功率传输	43
	习题	43
第3章	动态电路的时域分析	46
3.1	动态电路的方程及其初始条件	46
3.1.1	动态电路的过渡过程	46
3.1.2	换路定则	47
3.1.3	初始值的计算	48
3.2	一阶电路的零输入响应	48
3.2.1	RC 电路的零输入响应	49
3.2.2	RL 电路的零输入响应	50
3.3	一阶电路的零状态响应	52
3.3.1	RC 电路的零状态响应	52
3.3.2	RL 电路的零状态响应	53
3.3.3	响应函数的参考波形	54
3.4	一阶电路的全响应	55
	习题	61
第4章	正弦交流电路	63
4.1	正弦量的基本概念及其相量表示法	63
4.1.1	正弦量的三要素	63
4.1.2	相位差	65
4.1.3	有效值	66
4.1.4	复数	67
4.1.5	正弦量的相量表示法	67
4.2	正弦交流电路中的电阻、电感、电容	68
4.2.1	电阻元件	68
4.2.2	电感元件	70
4.2.3	电容元件	72
4.3	电路定律的相量形式	74
4.3.1	基尔霍夫定律的相量形式	74
4.3.2	电路元件 R 、 L 、 C 的电压、电流关系的相量形式	75
4.4	阻抗和导纳	76
4.4.1	阻抗	76
4.4.2	导纳	77
4.4.3	阻抗的串联和并联	78
4.5	RLC 串联、并联电路	78
4.5.1	RLC 串联电路	78
4.5.2	RLC 并联电路	80
4.6	正弦交流电路中的相量分析	82
4.7	正弦交流电路中的功率	83
4.7.1	瞬时功率	83

4.7.2 有功功率、无功功率、视在功率和功率因数	84
4.7.3 复功率	84
4.7.4 最大功率传输	85
4.7.5 功率因数的提高	86
习题	87
第5章 非正弦周期电流电路	91
5.1 非正弦周期电流电路	91
5.1.1 非正弦周期信号	91
5.1.2 非正弦周期函数分解为傅里叶级数	92
5.2 非正弦周期电流电路的有效值、平均值和平均功率	95
5.2.1 有效值	95
5.2.2 平均值	95
5.2.3 平均功率	96
5.3 非正弦周期电流电路的计算	97
习题	99
第6章 谐振电路与互感电路	101
6.1 谐振电路	101
6.1.1 串联谐振	101
6.1.2 并联谐振	104
6.2 互感电路	105
6.2.1 互感及互感电压	105
6.2.2 同名端	107
6.2.3 互感线圈的串联、并联	109
6.3 磁路	112
6.3.1 磁场的基本物理量	112
6.3.2 铁磁性材料	113
6.3.3 磁路及磁路欧姆定律	115
6.4 理想变压器及其电路的计算	116
习题	118
第7章 三相正弦交流电路	121
7.1 三相交流电压	121
7.2 三相电源的连接	122
7.3 三相负载的连接	124
7.4 对称三相电路的分析计算	128
7.5 不对称三相电路的分析计算	131
7.6 三相电路的功率	134
7.7 三相电流和电压的对称分量	135
习题	138
第8章 电工仪表与测量的基本知识	141
8.1 电工测量的基本知识	141
8.1.1 电工测量的意义	141
8.1.2 测量的基本概念	142

8.1.3 测量方法的分类	142
8.2 电工仪表的分类及表面标志	145
8.2.1 电工仪表的分类	145
8.2.2 电工仪表的表面标志	146
8.2.3 电工仪表的型号	147
8.3 电工仪表的组成及其作用	148
8.3.1 电测量指示仪表的组成	148
8.3.2 测量机构的组成和原理	149
8.4 电工仪表的误差及准确度等级	151
8.4.1 仪表的误差及其分类	151
8.4.2 仪表误差的表示方法	152
8.4.3 电测量指示仪表的准确度	154
8.5 电工仪表的主要技术要求	155
8.6 电测量仪表的选择与使用	158
8.6.1 电测量仪表的选择原则	158
8.6.2 电测量仪表的正确使用	159
8.7 测量误差及其消除办法	159
8.8 有效数字及测量结果的表示	162
8.8.1 有效数字的处理	163
8.8.2 测量结果的表示	165
习题	165
第9章 电工工具及电气测量仪器仪表的使用	167
9.1 常用的电工工具及其使用	167
9.2 常用电气测量仪器仪表的使用	173
9.2.1 电压测量仪表	173
9.2.2 电流测量仪表	174
9.2.3 钳形电流表与兆欧表	174
9.2.4 直流单臂与双臂电桥	176
9.2.5 功率表和电能测量仪表	178
9.2.6 万用表	180
9.2.7 示波器	183
习题	189
第10章 安全用电及防护	190
10.1 用电人身安全及急救	190
10.1.1 人体触电的原因和形式	190
10.1.2 触电急救方法	191
10.2 设备安全与保护	193
10.2.1 安全电压	193
10.2.2 接地和接零	193
10.2.3 接地装置	197
10.2.4 电气防火与防爆	199
习题	200
第11章 电工基础及测量实验	201

11.1	概述	201
11.2	叠加定理、基尔霍夫定律与电位的验证	203
11.3	戴维南定理的验证及最大功率传输条件的测定	206
11.4	感性负载日光灯功率因数的提高	208
11.5	串联谐振	210
11.6	三相负载的连接及测量	212
11.7	自感线圈参数的测定	216
11.8	互感线圈同名端的判定及参数的测定	217
第 12 章	电工基础及测量实训	221
12.1	直流电压表、电流表的安装	221
12.2	电路故障的检查与排除	224
12.3	万用表的组装	227
12.4	日光灯的安装	234
参考文献		237

第1章 电路元件和电路定律

学习目标

通过本章的学习、训练，学生应熟练掌握电路的基本物理量、电路基本元件及其电压电流关系、基尔霍夫定律。

本章知识点

- 电压、电流及其参考方向；直流电路中功率的计算；电阻、电容、电感的概念及其串、并联；基尔霍夫定律及其应用。
- 电位的概念及其计算；电压源、电流源的伏安特性及其两种实际模型之间的等效变换。
- 受控源的概念和简单的受控源电阻电路的分析。

本章重点和难点

- 电压、电流及其参考方向，电路元件的性质及应用。
- 电压源、电流源实际模型之间的等效变换。
- 基尔霍夫定律及其应用。

本章介绍了电路和电路模型，电路的主要物理量，电流、电压参考方向的概念，着重阐述了电阻元件、电压源、电流源的元件特性和反映元器件连接特性的基本定律——基尔霍夫定律。

1.1 电路、理想元件和电路模型

1.1.1 电路

为了完成某种功能，将实际的电气设备与元件按照一定的方式组合连接成的整体称为电路。复杂的电路呈网状，又称网络。电路和网络这两个术语在本学科是通用的，本书将不加区分地引用。

电路中提供电能或信号的元件，称为电源。电路中吸收电能或输出信号的元件，称为负载。由于电路中的电压、电流是在电源的作用下产生的，因此电源又称为激励；由激励而在电路中产生的电压、电流称为响应。有时，根据激励与响应之间的因果关系，把激励称为输入，响应称为输出。电路是电流的流通路径，在电源和负载之间引导和控制电流的导线和开关等是传输控制元件。如图1-1(a)所示，干电池即为电源，小灯泡即为负载，导

线和开关即为传输控制元件。

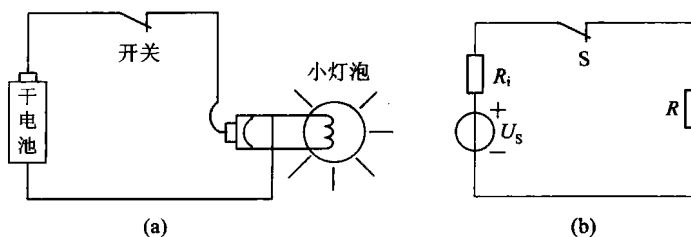


图 1-1 电路模型及电路

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的。电路的主要功能有两类：一是进行能量的传输、分配和转换，如电力系统电路，可将发电机发出的电能经过输电线传输到各个用电设备，再经用电设备转换成热能、光能、机械能等；二是实现信号的传递和处理，如电视机电路，可将接收到的信号经过处理后再转换成图像和声音。

1.1.2 理想电路元件

为了便于对复杂各异的实际电路进行分析和综合，我们有必要在满足实际工程需要和假设条件下，抓住实际电路中发生的主要现象和表现出来的主要矛盾，将实际电路中发生的物理过程或物理现象理想化，这就得到了理想电路元件，简称理想元件。

理想元件是电路元件理想化的模型，简称为电路元件。电阻元件是一种只表示消耗电能的元件，简称电阻。电感元件是表示其周围空间存在着磁场而可以储存磁场能量的元件，简称电感。电容元件是表示其周围空间存在着电场而可以储存电场能量的元件，简称电容。

对具有两个引出端的元件，称为二端元件；对具有两个以上引出端的元件，称为多端元件。

1.1.3 电路模型

实际电路可以用一个或若干个理想电路元件经理想导体连接起来模拟，这便构成了电路模型。用理想电路元件或它们的组合模拟实际元件就是建立其模型，简称建模。建模时必须考虑工作条件，并按不同准确度的要求把给定工作情况下的主要物理现象和功能反映出来。

例如，一个线圈的建模：在直流情况下它在电路中仅反映为导线内电流引起的能量的消耗，因此，它的模型就是一个电阻元件；在电流变化的情况下（包括交变电流），线圈电流产生的磁场会引起感应电压，故电路模型除电阻元件外还应包含一个与之串联的电感元件；当电流变化很快时（包括高频电流），则还应计及线圈导体表面的电荷作用，即电容效应，所以其模型中还需要包含电容元件。

可见，在不同的工作条件下，同一实际元件可能采用不同的模型。模型取得恰当，对电路进行分析计算的结果就与实际情况接近；模型取得不恰当，则会造成很大误差甚至导致错误的结果。如果模型取得太复杂则会造成分析困难，而取得太简单则可能无法反映真实的物理现象。如图 1-1(b)所示，将干电池简化为理想电源 U_s 和内阻 R_i ，小灯泡简化为电阻 R ，基本符合实际电路的物理现象和满足准确度的要求。

本书所涉及电路均指由理想电路元件构成的电路模型。

1.2 电流、电压及其参考方向

1.2.1 电流及其参考方向

带电粒子(电子、离子等)的定向运动,称为电流。电流的量值(大小)等于单位时间内穿过导体横截面的电荷量,用符号 i 表示,即

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

式中, Δq 为极短时间 Δt 内通过导体横截面的电荷量。

我们规定,电流的方向为正电荷的运动方向。

当电流的量值和方向都不随时间变化时,称为直流电流。直流电流常用英文大写字母 I 表示。对于直流,式(1-1)可表示为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

量值和方向随着时间按周期性变化的电流,称为交流电流,常用英文小写字母 i 表示。

在国际单位制(SI)中,电流的 SI 主单位是安[培],符号为 A。常用电流的十进制倍数和分数单位有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)等。它们之间的换算关系是

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

在复杂电路的分析中,电路中电流的实际方向很难预先判断出来,有时,电流的实际方向还会不断改变。因此,很难在电路中标明电流的实际方向。为此,在分析与计算电路时,可任意规定某一方向作为电流的参考方向或正方向,并用箭头表示在电路图上。

规定了参考方向以后,电流就是一个代数量了,若电流的实际方向与参考方向一致(如图 1-2(a)所示),则电流为正值;若两者相反(如图 1-2(b)所示),则电流为负值。这样就可以利用电流的参考方向和正、负值来判断电流的实际方向。应当注意,在未规定电流参考方向的情况下,电流的正、负是没有意义的。

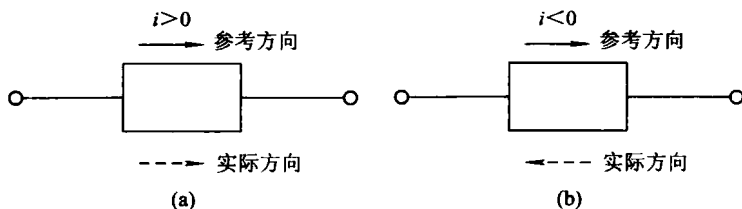


图 1-2 电流参考方向箭头表示法

电流的参考方向除用箭头在电路图上表示外,还可用双下标表示,如对某一电流,用 i_{AB} 表示其参考方向为 A 指向 B(如图 1-3(a)所示);用 i_{BA} 表示其参考方向为 B 指向 A(如图 1-3(b)所示)。显然,若两者电流大小相同,则相差一个负号,即

$$i_{AB} = -i_{BA}$$

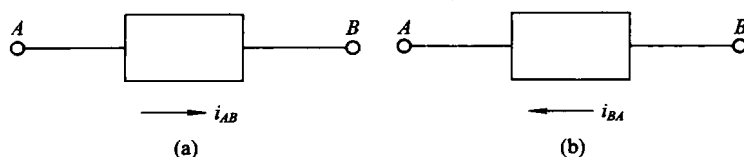


图 1-3 电流参考方向的下标法

1.2.2 电压及其参考方向

当导体中存在电场时,电荷在电场力的作用下运动,电场力对运动电荷做功,运动电荷的电能将减少,电能转化为其他形式的能量。电路中 A 、 B 两点间的电压是单位正电荷在电场力的作用下由 A 点移动到 B 点所减少的电能,即

$$u_{AB} = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W_{AB}}{\Delta q} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1-3)$$

式中, Δq 为由 A 点移动到 B 点的电荷量, ΔW_{AB} 为移动过程中电荷所减少的电能。

电压的实际方向是使正电荷电能减少的方向。

当电压的量值和方向都不随时间变化时,称为直流电压。直流电压常用英文大写字母 U 表示。对于直流电压,式(1-3)可表示为

$$U = \frac{W_{AB}}{q} \quad (1-4)$$

量值和方向随着时间按周期性变化的电压,称为交流电压,常用英文小写字母 u 表示。

电压的 SI 单位是伏[特],符号为 V。常用的电压的十进制倍数和分数单位有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等。它们之间的换算关系是

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

与电流类似,在电路分析中也要规定电压的参考方向,通常用以下三种方式表示:

(1) 采用正(+)、负(-)极性表示,称为参考极性,如图 1-4(a)所示。这时,从正极性端指向负极性端的方向就是电压的参考方向。

(2) 采用实线箭头表示,如图 1-4(b)所示。

(3) 采用双下标表示,如 u_{AB} 表示电压的参考方向由 A 点指向 B 点。

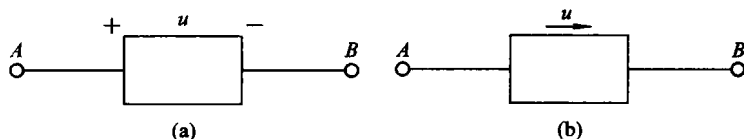


图 1-4 电压的参考方向

一个元件的电流或电压的参考方向可以独立地任意指定。如果指定流过元件的电流的参考方向是从标以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,则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向,如图 1-5(a)所示;当两者不一致时,称为非关联参考方向,如图 1-5(b)所示。

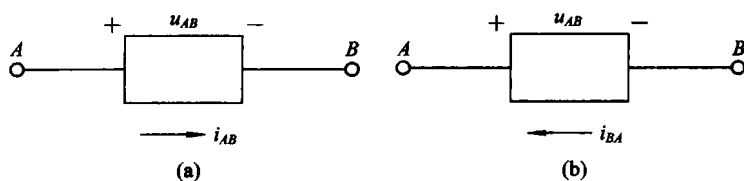


图 1-5 电流和电压的参考方向

1.2.3 电位

为了方便地分析电路，常在电路中任意选定一点作为参考点，则某点的电位就是由该点到参考点的电压。也就是说，如果参考点为 O ，则 A 点的电位为

$$V_A = U_{AO}$$

至于参考点本身的电位，则是参考点对参考点的电压，显然为零，即 $V_O = 0$ ，所以参考点又叫零电位点。

如果已知 A 、 B 两点的电位分别为 V_A 、 V_B ，则此两点间的电压为

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = V_A - V_B \quad (1-5)$$

即两点间的电压等于这两点的电位之差，又叫电位差。

电位是相对的，参考点选择不同，同一点的电位就不同；电压是绝对的，与参考点的选择无关。至于如何选择参考点，则要视分析计算问题的方便而定。电子电路中需选各有关部分的公共线作为参考点，常用符号“ $\perp$ ”表示。

例 1-1 如图 1-6 所示电路，以 O 为参考点，试求 V_A 、 V_B 、 U_{AB} 的大小。若选 B 点为参考点，则 V_A 、 V_B 、 U_{AB} 的大小又为多少？

解 (1) 以 O 为参考点，如图 1-6(a) 所示，则 $V_O = 0$ ，根据 3 V 电源的电压方向， A 点比 O 点电位高，电位为正； B 点比 O 点电位低，电位为负。则 A 、 B 两点的电位分别为

$$V_A = V_A - V_O = U_{AO} = 1 \text{ V}$$

$$V_B = V_B - V_O = U_{BO} = -2 \text{ V}$$

$$U_{AB} = V_A - V_B = 1 - (-2) = 3 \text{ V}$$

(2) 以 B 为参考点，如图 1-6(b) 所示，则 $V_B = 0$ ，根据 3 V 电源的电压方向， A 点比 B 点高，电位为正。 A 点的电位为

$$V_A = V_A - V_B = U_{AB} = 3 \text{ V}$$

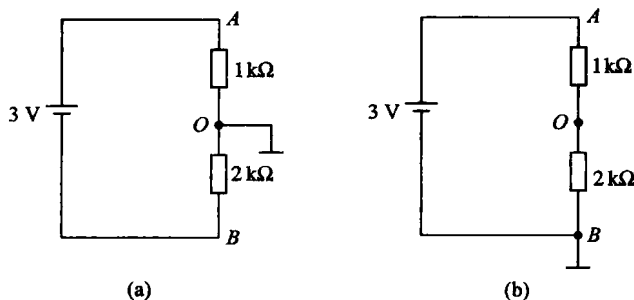


图 1-6 例 1-1 图

1.2.4 电动势

高中物理曾经讲过,在电场力的作用下,电源中的正电荷不断地从正极通过导线和用电设备移动到负极。移动过程中电能被用电设备消耗,电场逐渐减弱,最后消失,导线中的电流也逐渐减小为零。为了维持持续不断的电流,就必须保持正极与负极间有一定的电位差,即保持一定的电场。这就必然要借助外力来克服电场力把正电荷不断地从负极移动到正极。这种外力我们称之为电源力。电源就是能产生这种力的装置。例如,在发电机中,当导线在磁场中运动时,磁场能转换为电源力;在电池中,化学能转换为电源力。

电动势是用来衡量电源将非电能转化为电能本领的物理量。电动势的定义为:在电源的内部,电源力把单位正电荷从电源的负极移动到正极所做的功称为电动势,用字母 E 表示。

如果电源力把电荷量为 q 的电荷从电源的负极经电源内部移动到电源正极所做的功为 W , 则电动势可表示为

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-6)$$

电源内部电源力的方向由负极指向正极,因此电源电动势的方向规定为:由电源负极经电源内部指向电源正极。所以,电动势的方向与其端电压 U 的方向相反。

1.3 电功率和电能

在电路的分析和计算中,能量和功率的计算是十分重要的。这是因为电路在工作状况下总伴随有电能与其他形式能量的相互交换;另一方面,电气设备、电路部件本身有功率的限制,在使用时要注意其电流值或电压值是否超过额定值,过载会使设备或部件损坏,严重的甚至不能正常工作。

1.3.1 电功率

电功率与电压和电流密切相关。当正电荷从元件上电压的“+”极经元件运动到电压的“-”极时,与此电压相应的电场力要对电荷做功,这时,元件吸收能量;反之,正电荷从电压的“-”极经元件运动到电压的“+”极时,与此电压相应的电场力做负功,元件向外释放能量。

单位时间内,电路元件传递转换电能的速率称为电功率,简称功率,用 p 或 P 表示。习惯上,把发出或接收电能说成发出或接收功率。

由功率的定义,取电流、电压为关联参考方向,则

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} \quad (1-7)$$

而 $u = \frac{dw}{dq}$, $i = \frac{dq}{dt}$, 代入式(1-7)得:

$$p = u \cdot i \quad (1-8)$$

即在电流、电压关联参考方向下,任意一支路的功率等于其电压与电流的乘积。

若电流、电压非关联参考方向,任意一支路的功率为

$$p = -u \cdot i \quad (1-9)$$

即在电流、电压非关联参考方向下,任意一支路的功率等于其电压与电流的乘积的负值。

当根据式(1-8)、式(1-9)计算电路中的功率 p 为正值时,表示支路实际接收功率;反之,当 p 为负值时,表示支路实际发出功率。

在直流情况下,式(1-8)可表示为

$$P = UI \quad (1-10)$$

国际单位制(SI)中,功率的单位为瓦[特],简称瓦,符号为 W,常用的有千瓦(kW)、兆瓦(MW)和毫瓦(mW)等。它们之间的换算关系是

$$10^{-6} \text{ MW} = 10^{-3} \text{ kW} = 1 \text{ W} = 10^3 \text{ mW}$$

1.3.2 电能

电路通电后,电路元件传递转换能量的大小,称为电能。根据式(1-7),从 t_0 到 t 时间段内,电路吸收(消耗)的电能为

$$W = \int_{t_0}^t p \, dt \quad (1-11)$$

直流电路中,电能为

$$W = P(t - t_0) \quad (1-12)$$

电能的 SI 主单位是焦[耳],符号为 J,在实际生活中还采用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)作为电能的单位,简称为度。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1 \times 10^3 \times 3600 = 3.6 \times 10^6 \text{ J} = 1 \text{ 度}$$

能量转换与守恒定律是自然界的基本规律之一,电路当然遵循这一规律。一个电路中,每一瞬间,接收电能的各元件功率的总和等于发出电能的各元件功率的总和;或者说,所有元件接收的功率的总和为零。这个结论叫做电路的功率平衡。

例 1-2 图 1-7 所示为直流电路, $U_1 = 4 \text{ V}$, $U_2 = -8 \text{ V}$, $U_3 = 6 \text{ V}$, $I = 4 \text{ A}$, 求各元件接收或发出的功率 P_1 、 P_2 和 P_3 , 并求整个电路的功率 P 。

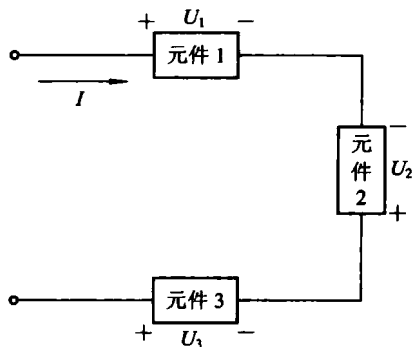


图 1-7 例 1-2 图

解 元件 1 的电压、电流为关联参考方向,故

$$P_1 = U_1 I = 4 \times 4 = 16 \text{ W} > 0 \quad (\text{接收功率为 } 16 \text{ W})$$

元件 2 和元件 3 的电压、电流为非关联参考方向,故

$$P_2 = -U_2 I = -(-8) \times 4 = 32 \text{ W} > 0 \quad (\text{接收功率为 } 32 \text{ W})$$

$$P_3 = -U_3 I = -6 \times 4 = -24 \text{ W} < 0 \quad (\text{发出功率为 } 24 \text{ W})$$

整个电路的功率 P 为

$$P = 16 + 32 - 24 = 24 \text{ W}$$

提示：整个电路的功率 $P = 24 \text{ W}$ 是由端口电源发出的功率，同时也是整个电路接收的功率，从而功率平衡。

1.4 电阻元件

1.4.1 电阻元件的概念

电阻元件是一个二端元件(电流流入端、电流流出端)，它的电流和电压的方向总是一致的，电流和电压的大小成代数关系。

电流和电压的大小成正比的电阻元件叫线性电阻元件。元件的电流与电压的关系曲线叫做元件的伏安特性曲线。线性电阻元件的伏安特性为通过坐标原点的直线，这个关系称为欧姆定律。在电流和电压的关联参考方向下，线性电阻元件的伏安特性如图 1-8 所示，欧姆定律的表达式为

$$u = iR \quad (1-13)$$

式(1-13)中， R 是元件的电阻，它是一个反映电路中电能消耗的电路参数，是一个正实常数。式中电压单位用 V 表示，电流单位用 A 表示时，电阻的单位是欧[姆]，符号为 Ω 。电阻的十进制倍数单位有千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$)等，它们之间的换算关系是

$$10^{-6} \text{ M}\Omega = 10^{-3} \text{ k}\Omega = 1 \Omega$$

电流和电压的大小不成正比的电阻元件叫非线性电阻元件。本书只讨论线性电阻电路。

令 $G = \frac{1}{R}$ ，则式(1-13)变为

$$i = uG \quad (1-14)$$

式中， G 称为电阻元件的电导，单位是西[门子]，符号为 S。

任何时刻电阻元件都不可能发出电能，它所接收的全部电能都转化成其他形式的能。所以线性电阻元件是耗能元件。在电流、电压为关联参考方向下，任何瞬间线性电阻元件接收的功率为

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} = Gu^2 \quad (1-15)$$

如果电阻元件把接收的电能转换成热能，则从 t_0 到 t 时间内，电阻元件的热[量] Q ，也就是这段时间内接受的电能 W 为

$$Q = W = \int_{t_0}^t p \, dt = \int_{t_0}^t Ri^2 \, dt = \int_{t_0}^t \frac{u^2}{R} \, dt \quad (1-16)$$

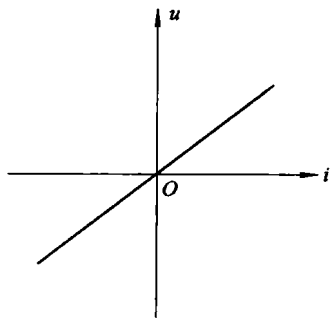


图 1-8 线性电阻的伏安特性曲线