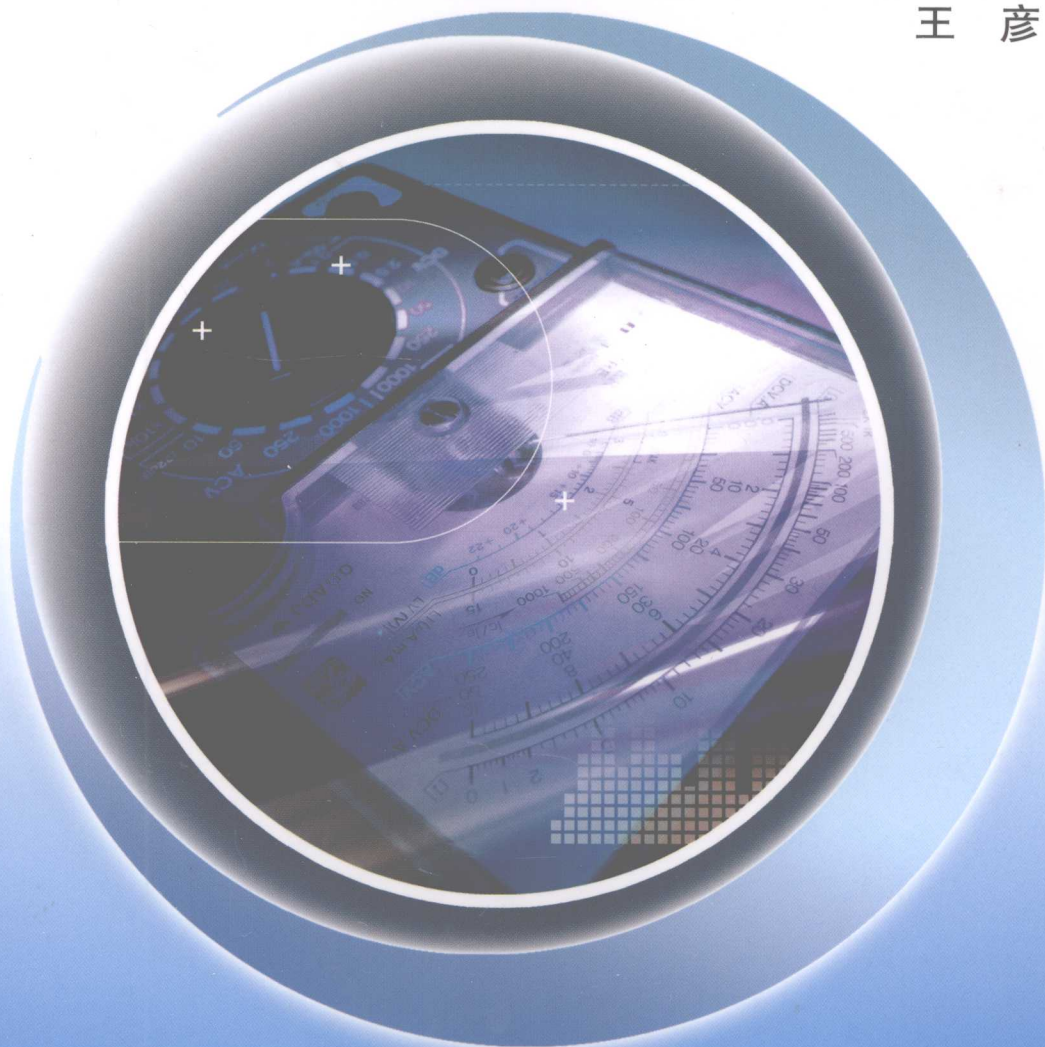


电工基础

DIANGONG JICHU 主编 李福民

王 彦



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高职高专教材

电工基础

李福民 王彦 主编

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

电工基础 / 李福民, 王彦主编. —北京: 人民邮电出版社,
2008.10
高职高专教材
ISBN 978-7-115-18559-4

I. 电… II. ①李…②王… III. 电工学—高等学校: 技
术学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 111346 号

内 容 提 要

本书是以教育部《关于以就业为导向, 深化高等职业教育改革的若干意见》(教高[2004]1号)和教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)文件的精神为指导编写的高职高专“电工基础”或“电路基础”课程的教材, 内容主要包括直流电路、正弦交流电路、三相电路、变压器和电动机、动态电路的过渡过程和非正弦周期电流电路, 每章后均附有“本章小结”和习题, 书后附录中编入了“复数及其四则运算”。本书在内容的编排上遵循“必需、够用”和“实用”的原则, 着力体现对职业能力的培养。

本书可供高职高专电工电子类专业作为教材使用, 也可供相关工程技术人员参考。

高职高专教材

电工基础

-
- ◆ 主 编 李福民 王 彦
责任编辑 刘 朋
执行编辑 蔡华斌
 - ◆ 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>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.75
字数: 365 千字
印数: 1—3 000 册
- 2008 年 10 月第 1 版
2008 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18559-4/TN

定价: 24.00 元

读者服务热线: (010)67129258 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

本书是高职高专“电工基础”或“电路基础”课程的教材,是在高职院校“加大课程建设与改革的力度,增强学生的职业能力”的大环境下,以教育部《关于以就业为导向,深化高等职业教育改革的若干意见》(教高[2004]1号)和教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)文件的精神为指导编写的。

本书参考了劳动和社会保障部组织编写的职业技能鉴定教材《维修电工》中所提出的知识要求,克服了以往同类教材理论偏深,实践结合不够的缺点,在内容的编排上遵循“必需、够用”和“实用”的原则,突出应用,删繁就简,着力体现对职业能力的培养。本书既突破了传统的理论阐述体系,又不失理论应有的严谨和循序渐进。为提高学生学习的积极主动性,本书选编了部分实践性强而又不难掌握的内容,如电动机的基本控制等,便于教师通过项目驱动的方式开展教学。

全书共6章,可分为两大部分。前2章为基础部分,内容包括电类各专业必需的电路基础知识;后4章为选学部分,供强、弱电各专业根据不同的培养目标和专业要求选用。此外,附录部分编入了“复数及其四则运算”以供学习时参考。

本书由李福民和王彦主编。王彦负责拟定提纲及组织编写,其中王彦编写第2章,孙晓云编写第3章1、2节和第5章,陈华琳编写第6章,其余各章节及附录由李福民编写。全书由李福民统编定稿。

由于编者水平所限,书中难免会有疏漏乃至错误之处,欢迎广大师生批评指正。

编 者

目 录

第1章 直流电路	1
1.1 电路的功能和组成、电路模型	1
1.1.1 电路的功能和组成	1
1.1.2 电路模型	2
思考练习题	3
1.2 电路的基本物理量	4
1.2.1 电流及其参考方向	4
1.2.2 电压及其参考方向、电位	5
1.2.3 电功率	6
1.2.4 电能及其计量	8
1.2.5 电流、电压、功率和电能的测量	8
思考练习题	9
1.3 基尔霍夫定律和欧姆定律	10
1.3.1 基尔霍夫定律	10
1.3.2 电阻元件、欧姆定律	14
思考练习题	17
1.4 实际电源的两种模型及其等效互换	18
1.4.1 电压源	18
1.4.2 电流源	19
1.4.3 实际电源的两种模型及其等效互换	21
1.4.4 电子电路图中表示电源的方法	23
思考练习题	24
1.5 电阻的串联、并联和混联	24
1.5.1 电阻的串联及其分压	25
1.5.2 电阻的并联及其分流	26
1.5.3 电阻的混联	27
1.5.4 Y形与 Δ 形电阻网络的等效互换	30
思考练习题	32
1.6 网络方程法	33
1.6.1 支路电流法	33
1.6.2 节点电位法	34
思考练习题	36
1.7 网络定理	37
1.7.1 叠加定理	37
1.7.2 戴维南定理	38
思考练习题	40
本章小结	40
习题一	43
第2章 正弦交流电路	50
2.1 正弦电压与电流	50
2.1.1 正弦交流电的产生	50
2.1.2 正弦量的三要素	51

2.1.3	同频率正弦量的相位差	53
2.1.4	正弦量的有效值和平均值	54
	思考练习题	56
2.2	正弦量的相量表示法	56
2.2.1	正弦量的相量表示法	56
2.2.2	用相量法求同频率正弦量的代数和	58
	思考练习题	59
2.3	电容元件和电感元件	59
2.3.1	电容器和电容元件	59
2.3.2	电感器和电感元件	62
	思考练习题	67
2.4	两类约束的相量形式	67
2.4.1	基尔霍夫定律的相量形式	67
2.4.2	电阻元件 VCR 的相量形式	67
2.4.3	电感元件 VCR 的相量形式	69
2.4.4	电容元件 VCR 的相量形式	71
	思考练习题	73
2.5	复阻抗和复导纳	73
2.5.1	复阻抗和 R, L, C 串联电路	73
2.5.2	复导纳和 G, C, L 并联电路	76
	思考练习题	80
2.6	正弦交流电路的计算	80
	思考练习题	84
2.7	正弦交流电路的功率	84
2.7.1	线形无源单口网络的瞬时功率	85
2.7.2	平均功率、无功功率、视在功率和功率因数	86
2.7.3	复功率、功率三角形	88
2.7.4	电压和电流的分解	88
	思考练习题	90
2.8	功率因数的提高和阻抗匹配	90
2.8.1	功率因数的提高	90
2.8.2	阻抗匹配	92
	思考练习题	93
2.9	交流电路中的实际器件	94
2.9.1	空心线圈	94
2.9.2	电容器	95
2.9.3	电阻器、趋表效应	96
	思考练习题	97
	本章小结	97
	习题二	101
第3章	三相电路	106
3.1	三相电源	106
3.1.1	对称三相正弦量	106
3.1.2	三相电源的 Y 形连接	107
3.1.3	三相电源的 Δ 形连接	109
	思考练习题	110
3.2	三相负载	110
3.2.1	三相负载的 Y 形连接	110

3.2.2 三相负载的 Δ 形连接	113
3.2.3 三相负载的功率	114
思考练习题	116
3.3 三相电力系统简介	116
3.3.1 发电、输电概述	116
3.3.2 工厂企业配电	117
3.3.3 导线截面的选择	118
3.3.4 接地和接零	119
思考练习题	121
本章小结	121
习题三	122
第4章 变压器和电动机	124
4.1 磁路	124
4.1.1 铁磁物质的磁性能	124
4.1.2 安培环路定律	125
4.1.3 磁路定律	126
思考练习题	129
4.2 交流铁芯线圈和变压器	129
4.2.1 交流铁芯线圈	129
4.2.2 变压器	132
思考练习题	138
4.3 耦合电感和空心变压器	139
4.3.1 互感系数和耦合系数	139
4.3.2 耦合电感的串联和并联	140
4.3.3 耦合电感的T形去耦等效电路	142
4.3.4 空心变压器	143
思考练习题	144
4.4 异步电动机	145
4.4.1 三相异步电动机	145
4.4.2 单相异步电动机简介	151
思考练习题	152
4.5 常用低压电器	152
4.5.1 低压开关	152
4.5.2 主令电器	155
4.5.3 熔断器	156
4.5.4 接触器	157
4.5.5 继电器	158
思考练习题	161
4.6 电动机的基本控制电路	161
4.6.1 三相鼠笼式异步电动机的全压启动控制	161
4.6.2 三相鼠笼式异步电动机的降压启动控制	167
4.6.3 三相鼠笼式异步电动机的反接制动控制	168
4.6.4 三相鼠笼式双速异步电动机的调速控制	169
思考练习题	170
本章小结	170
习题四	174
第5章 动态电路的过渡过程	177
5.1 换路定律和初始值的计算	177

5.1.1 过渡过程的概念	177
5.1.2 换路定律	177
5.1.3 初始值的计算	178
思考练习题	179
5.2 一阶电路的全响应	180
5.2.1 直流激励下 RC 电路的全响应	180
5.2.2 直流激励下 RL 电路的全响应	183
5.2.3 一阶电路的零输入响应和零状态响应	185
思考练习题	186
5.3 一阶电路的三要素法	186
思考练习题	188
5.4 RC 电路充、放电的应用	188
5.4.1 微分电路	188
5.4.2 积分电路	189
5.4.3 阻容耦合电路	190
思考练习题	191
本章小结	191
习题五	192
第6章 非正弦周期电流电路	196
6.1 非正弦周期量	196
6.1.1 周期函数(信号)的傅立叶级数表示式	196
6.1.2 非正弦周期波的频谱	199
6.1.3 非正弦周期量的有效值和平均值	200
思考练习题	202
6.2 非正弦周期电流电路的计算	203
6.2.1 谐波分析法	203
6.2.2 非正弦周期电流电路的功率	204
思考练习题	206
6.3 谐振电路	206
6.3.1 串联谐振电路	206
6.3.2 并联谐振电路	212
思考练习题	216
本章小结	216
习题六	218
附录 复数及其四则运算	221
参考文献	227

第1章 直流电路

“电工基础”是电类各专业共同的一门重要的技术基础课。

电能，由于它易于转换、易于输送和易于控制，其生产和使用都比其他形式的能量来得方便，因而得到了极广泛的应用。在现阶段，无论作为能源，还是作为信号的载体，电能的地位都是其他形式的能量难以取代的。

电能的应用离不开各种形式的电路。实际电路种类繁多，功能各异，但有共同的基本规律。本课程的主要任务就是要使学生掌握电路的基本规律，学会分析计算电路的基本方法，为进一步学习后续课程及将来从事电类专业的实际工作奠定基础。

1.1 电路的功能和组成、电路模型

1.1.1 电路的功能和组成

电路即电流通过的路径。实际电路都是为完成某一特定任务，由一些电气设备或器件按一定方式用导线连接而成的。人们在生活、生产和科学实验中会用到各种各样的电路。如照明电路；电动机的控制电路；收音机、电视机中将微弱的电信号加以放大的电路；计算机的存储电路等。图 1.1.1 (a) 为手电筒实际电路的示意图，它由两节干电池、一只小灯泡、一个开关和连接导线组成。

实际电路的形式和作用多种多样，但总的来说其功能可分为两大类：一类是实现电能的输送、分配和转换；另一类则是把电作为信号的载体，以实现信号的传输、处理或存储。电话线路、收音机电路、计算机电路等，都是后一类电路的例子。电力系统则属于前一类电路：发电机将各种非电能（如水流能、风能、核能、燃料的化学能等）转换成电能，并利用变压器和输电线输送到工矿企业、城市和农村，再通过各种用电设备，将电能转换成热、光或机械能等其他形式的能量为人类服务。

电路中提供电能（电信号）的设备或器件称为**电源（信号源）**；而把电能转换成其他形式能量的设备或器件称为**负载**^①。此外，要实现电能（电信号）从电源（信号源）向负载的可控传输，连接电源（信号源）和负载的**中间环节**也是不可少的。例如：手电筒电路中，干电池是电源，小灯泡是负载；而中间环节则由开关和连接导线组成。

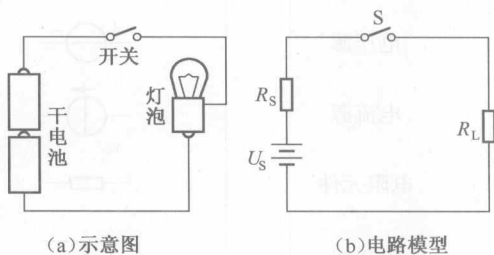


图 1.1.1 手电筒电路

① 本书中黑体字标注的名词均为电工基础理论中的概念术语。

对于图 1.1.1 所示的手电筒电路,合上开关,即有电流通过小灯泡,使其正常发光,电路的这种状态称为**有载状态**;如果卸下小灯泡,即使合上开关,电路中也不会有电流,这种状态称为**开路**;若此时用导线代替灯泡使电路接通,则电路中的电流会远远大于正常电流,电池很快被耗尽,这种情况称为**短路**。实际电路一旦发生短路,则可能导致电源设备的烧毁。所以,实际电路切忌短路^②。

电源(信号源)对电路的作用有时也称为**激励**;而由电源(信号源)在电路中产生的所有电压、电流都可相应地称为**响应**。

1.1.2 电路模型

组成实际电路的设备或器件种类繁多。任一设备或器件的电磁性质都不是单一的。以白炽灯为例:首先,其灯丝由钨制成,当有电流通过时,电场力须克服钨丝对电流的阻碍作用而做功,因此要消耗电能,并将电能转换成热和光。这是它的主要电磁性质。其次,由于电流产生磁场,因此灯丝工作时还能够储存磁场能量。所以白炽灯至少具有两种电磁性质。在分析电路时,对实际设备或器件的所有性质如果不分主次同时加以考虑,将使分析工作变得复杂,甚至难以下手。

为简单起见,电路理论上定义了为数不多的几种**理想元件**,这些理想元件都是某些实际器件的理想化,它们都只具有单一的电磁性质。如电阻元件是实际电阻器的理想化,它只代表消耗电能;电感元件是实际线圈的理想化,代表储存磁场能量;电容元件是实际电容器的理想化,代表储存电场能量。理想元件也简称为**元件**。上述几种元件都只有二个接线端(也叫**端子**),称为**二端元件**;有的元件有两个以上的接线端,称为**多端元件**。所有元件都有相应的图形符号。表 1.1 所列为常用元、器件的图形符号^③。

表 1.1 常用的元、器件及仪表的图形符号

名 称	符 号	名 称	符 号
直流电压源、电池		可变电容	
电压源		理想导线	
电流源		互相连接的导线	
电阻元件		交叉但不相连接的导线	
电位器		开关	
可变电阻		熔断器	
电灯		电流表	

② 本书中标有下划线的文字意为提醒读者注意。

③ 本书中表示导线的互相连接一律在连接处加一个黑圆点(见表 1.1);新的规定中,导线的互相连接若画成丁字形不再加黑圆点,但画成十字形仍需加黑圆点。

续表

名 称	符 号	名 称	符 号
电感元件		电压表	
铁芯电感		功率表	
电容元件		接地	

对各种实际设备或器件，都可在一定条件下忽略其次要性质，用理想元件（或其组合）去代表它们的主要电磁性质，而得到实际设备或器件的模型。如白炽灯泡的主要电磁性质是消耗电能，用一个电阻元件就可以代表；各种电阻器、电烙铁、电热设备和照明灯具等，主要电磁性质也都是消耗电能，都可以用相应的电阻元件来代表。上述设备或器件一般都只用一种理想元件作为模型；有些设备或器件，如实际电源等，须同时考虑的电磁性质往往不止一种，其模型则须用两种或两种以上的理想元件组合而成。连接导线一般耗能极少，可用完全不耗能的理想导线作为模型。

如果实际电路中的所有设备和器件都用理想元件组成的模型来代表，实际电路也就可以画成由各种理想元件（包括理想导线）的图形符号组成的电路图，这就是实际电路的模型，简称为**电路模型**。图 1.1.1 (b) 即为图 1.1.1 (a) 所示手电筒电路的模型。

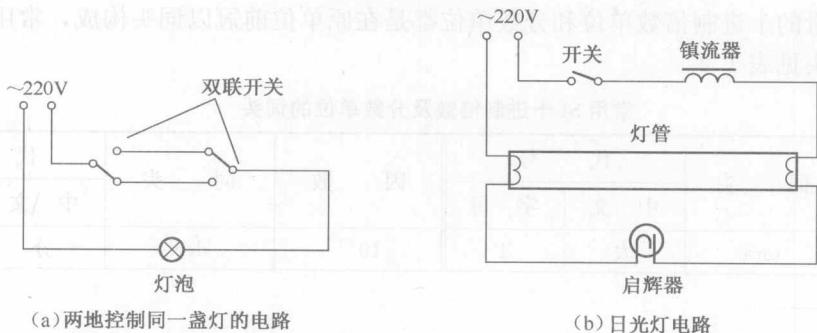
本课程主要借助于由理想元件组成的电路模型，来阐述电路的基本规律和基本分析方法。今后所说的电路主要是指这种电路模型。



思考练习题

1.1.1 实际电路的功能可分为哪两大类？何谓电源、负载？何谓激励、响应？

1.1.2 图题 1.1.2 所示为照明电路的两个例子，其中图题 1.1.2 (a) 是两地控制同一盏灯的电路，图题 1.1.2 (b) 为日光灯电路； $\sim 220\text{V}$ 指电路所接电源为 220V 交流电源。请指出两个电路的中间环节分别由哪些器件组成？



图题 1.1.2

1.1.3 什么是理想元件？什么是电路模型？它们对电路分析有何意义？

1.2 电路的基本物理量

电路的功能，无论是能量的输送和分配，还是信号的传输和处理，都要通过电流、电压和功率来实现。电流、电压和功率是电路的几个基本物理量。

1.2.1 电流及其参考方向

电荷的有规则运动称为**电流**。金属导体中的电流是电子的有规则运动，电解液中的电流则是正、负两种离子向两个相反方向的有规则运动。电流的方向规定为正电荷运动的方向。

电流的大小用电流强度来衡量。通过导体横截面的电荷与通过这些电荷所用时间的比叫做**电流强度**，用 i 表示。如果 dt 时间内通过导体横截面的电荷量为 dq ，则电流强度

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

显然，电流强度在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。

电流强度常简称为电流。方向不随时间改变的电流叫做**直流电流**；大小和方向都不随时间改变的电流叫做**稳恒电流**。通常所说的直流电流是指稳恒电流（Direct Current），英文缩写为 DC。直流电流强度常用大写字母 I 表示

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2.2)$$

其中， q 为时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

大小和方向（或其中之一）随时间作周期性变化的电流称为**周期电流**。若周期电流在一个周期内的数学平均值等于零，则称为**交变电流**，也称为**交流电流**（Alternate Current），英文缩写为 AC。通常所说的交流电流多指正弦电流，它随时间按正弦规律变化。

国际单位制（SI）^④ 中，电流强度的单位为安 [培]，符号为 A，中文符号为安。其十进制倍数单位千安（kA）和分数单位毫安（mA）、微安（ μA ）等，也是常用的电流单位，它们与安培的关系分别为

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

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

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

各种物理量的十进制倍数单位和分数单位都是在原单位前冠以词头构成，常用的倍数及分数单位的词头见表 1.2。

表 1.2 常用 SI 十进制倍数及分数单位的词头

因 数	词 头	代 号		因 数	词 头	代 号	
		中 文	字 母			中 文	字 母
10^{12}	tera	太	T	10^{-1}	deci	分	d

④ 国际单位制（SI）是我国法定计量单位的基础。SI 基本单位有 7 个，其中，长度单位为米（m），质量单位为千克（kg），时间单位为秒（s），电流单位为安培（A）等。其他物理量的单位可根据该物理量的定义由基本单位导出。如电荷量的单位库仑（C）即是导出单位， $1\text{C}=1\text{A}\cdot\text{s}$ ；力的单位牛顿（N）也是导出单位， $1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m/s}$ ；等等。

续表

因 数	词 头	代 号		因 数	词 头	代 号	
		中 文	字 母			中 文	字 母
10^9	giga	吉	G	10^{-2}	centi	厘	c
10^6	mega	兆	M	10^{-3}	milli	毫	m
10^3	kilo	千	k	10^{-6}	micro	微	μ
10^2	hecto	百	h	10^{-9}	nano	纳	n
10^1	deca	十	da	10^{-12}	pico	皮	p

在分析、计算电路时，电流的实际方向不一定都能事先判断；而交流电流的实际方向则随时间不断地改变，不可能也没有必要在电路图中标示其实际方向。为了分析、计算的需要，对电路中的电流须预先假定它们的方向，这个预先假定的电流方向称为电流的参考方向（或标定方向、正方向）。在电路图中用实线箭头表示电流的参考方向；若需要标出电流的实际方向，可用虚线箭头表示（参看图 1.2.1）。当电流的实际方向与参考方向一致时，电流的值为正；若实际方向与参考方向相反，则电流值为负。电流值的正、负结合参考方向才能也足以说明电流的实际方向。离开参考方向来谈电流的正、负是没有意义的。

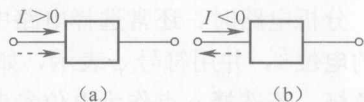


图 1.2.1 电流的参考方向和实际方向

1.2.2 电压及其参考方向、电位

电荷从电路中的 a 点移动到 b 点时电场力所做的功与该电荷的比叫做 a、b 两点间的电压，用 u_{ab} 表示。如果电场力把电荷 q 从 a 点移到 b 点所做的功为 $d\omega_{ab}$ ，则电压

$$u_{ab} = \frac{d\omega_{ab}}{dq} \quad (1.2.3)$$

显然，电压 u_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功。

电压的实际方向规定为正电荷在电场力作用下移动的方向。

直流电压常用大写字母 U 表示，如 a、b 两点间的直流电压

$$U_{ab} = \frac{\omega_{ab}}{q} \quad (1.2.4)$$

其中， ω_{ab} 为电场力把正电荷 q 从 a 点移到 b 点所做的功。

电压的 SI 单位为伏 [特]，符号为 V，中文符号为伏。若电场力将 1 库仑 (C) 的电荷从 a 点移至 b 点所作的功为 1 焦耳 (J)，则 a、b 两点间的电压即为 1 伏 (V)。千伏 (kV) 和毫伏 (mV) 也是常用的电压单位，它们与伏特 (V) 的关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

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

我国规定：安全电压一般为 36V；但在环境潮湿或触电几率较大的情况下（如金属容器或管道内施焊、检修等），安全电压为 12V。超过安全电压，即有触电危险。

与电流类似，分析、计算电路时，也要预先假定电压的参考方向。电压的参考方向可以用实线箭头表示，也可以用“+”、“-”号表示（见图 1.2.2），所以电压的参考方向也称

为参考极性。用“+”、“-”号表示电压的参考方向时，“+”称为参考正极，“-”称为参考负极，电压的参考方向为从“+”指向“-”。此外，还常用双下标来表示电压的参考方向，如 U_{ab} 表示电压的参考方向从a指向b；而 U_{ba} 则与 U_{ab} 相反，表示参考方向从b指向a。显然， $U_{ab} = -U_{ba}$ 。若需要标出电压的实际方向，也可以采用虚线箭头表示，见图1.2.2。

电压值的正、负也是相对于参考方向而言的。电压为正值，说明电压的实际方向与参考方向一致；若为负值，表示实际方向和参考方向相反，如图1.2.2所示。离开参考方向来谈电压的正、负同样是没有意义的。

对于某一段电路或某个二端元件来说，电压和电流的参考方向原则上可以分别任意假定。但为了分析、计算的方便，往往选择二者的参考方向一致，并把它们称为关联参考方向，或者说参考方向关联。当选择电压、电流的参考方向关联时，在电路图中可以只标出二者之一的参考方向；反之，若某一段电路或某个二端元件只标示了一个参考方向，则应该被认为是电压、电流的关联参考方向。

分析电路时，还常选择电路中的某一点作为参考点，而把各点对于参考点的电压叫做该点的电位^⑤，并用符号 φ 表示，如图1.2.3所示。参考点可看作是电路中各点电位公共的参考负极。若选择o点作为电位参考点，则电路中某一点a的电位

$$\varphi_a = U_{ao}$$

显然，参考点的电位等于零，因此参考点又称为零电位点。

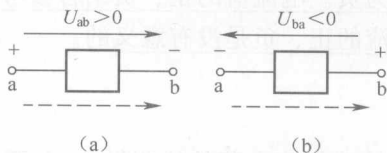


图 1.2.2 电压的参考方向和实际方向

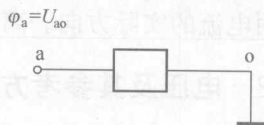


图 1.2.3 电位的表示

电力工程上常以大地作为参考点，所以参考点也称为“地”。电子电路中则通常把电源和输入、输出信号的公共端作为参考点，虽然没有真的接地，习惯上也叫做“地”。检修电子电路时，常用电压表测量各点的电位值，以诊断故障。

电位参考点的图形符号为“⊥”。电路图中表示电位不必用箭头或“+”、“-”号，但须画出电位参考点，见图1.2.3。电位的值也有正、负之分。正如计算电压时必须预先选定参考方向一样，计算电位时必须预先选定参考点。离开参考点来谈电位值的正、负也是没有意义的。

1.2.3 电功率

电功率也是电路的基本物理量之一。电场力在电路中移送电荷做的功与做这些功所用时间的比叫做电功率，简称为功率，用 p 表示。电场力做了多少功，电路就要消耗多少电能，因此，电功率也常说成是电路消耗（或吸收）的功率。

假定电路中a、b两点间的电压为 u_{ab} ，在时间 dt 内电场力把正电荷 dq 从a点移至b点所做的功为 dW_{ab} ，根据式(1.2.3)有

⑤ 电位的物理意义与电势相同。

$$dw_{ab} = u_{ab} dq$$

则电路吸收的功率

$$p = \frac{dw_{ab}}{dt} = \frac{u_{ab} dq}{dt} = u_{ab} i_{ab} \quad (1.2.5)$$

上式中

$$i_{ab} = \frac{dq}{dt}$$

为电路中从 a 点流向 b 点的电流。注意到上述假定实际上为电压、电流选择了关联参考方向，所以，在关联参考方向下，电路吸收的功率等于电压与电流的乘积。

若参考方向非关联，如图 1.2.4 中的 u 和 i ，可另设电压为 u' ，使 u' 的参考方向与 u 相反，而与电流 i 的参考方向关联（见图 1.2.4），则由式 (1.2.5) 有

$$p = u' i$$

而

$$u' = -u$$

所以电路吸收的功率

$$p = -ui \quad (1.2.6)$$

式 (1.2.5) 和式 (1.2.6) 可合并写作

$$p = \pm ui \quad (1.2.7)$$

上式中的“±”号当电压、电流的参考方向关联时为“+”；否则为“-”。算出的功率值 $p > 0$ ，说明电路确实吸收功率，消耗电能；若 $p < 0$ ，则电路实际是输出功率，释放电能。

直流电路中，电压、电流都是恒定值，电路吸收的功率也是恒定的，常用大写字母 P 表示，则式 (1.2.7) 可写成

$$P = \pm UI \quad (1.2.8)$$

功率的 SI 单位为瓦 [特]，符号为 W，中文符号为瓦， $1W = 1V \cdot A$ 。瓦 (W) 的十进制倍数单位千瓦 (kW) 和分数单位毫瓦 (mW) 也是常用的功率单位，它们与瓦 (W) 的关系为

$$1kW = 10^3 W$$

$$1mW = 10^{-3} W$$

例 1.2.1 图 1.2.5 中，用方框代表某一电路元件，其电压、电流如图所示，求各图中元件吸收的功率，并说明该元件实际上是吸收还是输出功率？

解：① 图 1.2.5 (a) 中，电压、电流的参考方向关联，元件吸收的功率

$$P = UI = 5 \times 3 = 15(W)$$

元件实际是吸收功率。

② 图 1.2.5 (b) 中，参考方向非关联，元件吸收的功率

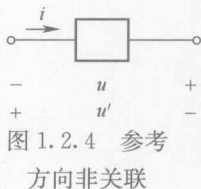
$$P = -UI = -5 \times 3 = -15(W)$$

元件实际上输出功率。

③ 图 1.2.5 (c) 中，参考方向关联，元件吸收的功率

$$P = UI = (-5) \times 3 = -15(W)$$

元件实际是输出功率。



④ 图 1.2.5 (d) 中, 参考方向非关联, 元件吸收的功率

$$P = -UI = -(-5) \times 3 = 15(\text{W})$$

元件实际上吸收功率。

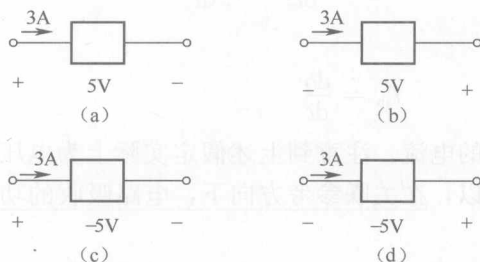


图 1.2.5 例 1.2.1 图

1.2.4 电能及其计量

若 p 为电路吸收的功率, 则根据式 (1.2.5), 电路在时间 dt 内消耗的电能

$$dw = p dt = ui dt$$

若通电时间 $\Delta t = t - t_0$, 则时间 Δt 内电路消耗的电能总共为

$$w = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t ui dt \quad (1.2.9)$$

直流电路中, 电压、电流和功率均为恒定值, 则根据式 (1.2.9), 电路消耗的电能

$$W = P(t - t_0) = UI(t - t_0)$$

当选择 $t_0 = 0$ 时, 上式即

$$W = Pt = UIt \quad (1.2.10)$$

电能的单位即功或能量的单位, 在 SI 中为焦 [耳] (J)

$$1\text{J} = 1\text{W} \cdot \text{s}$$

实际用于电能计量的电度表是以千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) 为单位的。功率为 1 千瓦的用电器工作 1 小时, 所消耗的电能即为 1 千瓦时, 也叫做 1 度电。1 度电换算成焦耳为

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

例 1.2.2 教室里有 40W 日光灯 8 只, 每只耗电功率为 46W (包括镇流器耗电), 每天用电 4 小时, 一月按 30 天计算, 每月要用多少度电?

解:

$$\begin{aligned} W &= Pt = 46 \times 8 \times 10^{-3} \times 4 \times 30 \\ &= 44.16(\text{kW} \cdot \text{h}) \end{aligned}$$

即每月约用 44.2 度电。

1.2.5 电流、电压、功率和电能的测量

电路中的电流、电压、功率和电能可分别用电流表、电压表、功率表和电度表来测量或计量。图 1.2.6~图 1.2.8 所示分别为直流电流表和电压表、功率表以及单相电度表的接法。图中的矩形框表示待测元件或电路, 虚线箭头表示电流或电压的实际方向。

直流电流表的连接应使待测电流从表的正极流入电流表; 直流电压表的连接则应使表的

极性与待测电压的极性一致,也是使电流从表的正极流入电压表。直流电流表和电压表的接法如图 1.2.6 所示。

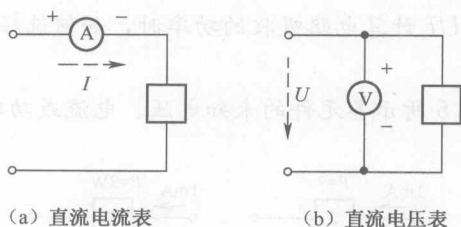


图 1.2.6 直流电流表和电压表的接法

功率表的测量机构有两个线圈,一个是不可动的电流线圈,另一个是可动的电压线圈。连接时电流线圈的接法与电流表相同,电压线圈的接法则与电压表相同。此外还须注意:电流应该从有相同标记的端子分别流入两个线圈,如图 1.2.7 (a) 和图 1.2.7 (b) 所示;而图 1.2.7 (c) 和图 1.2.7 (d) 的接法是错误的。连接正确时,功率表指针的偏转角正比于电压与电流的乘积。

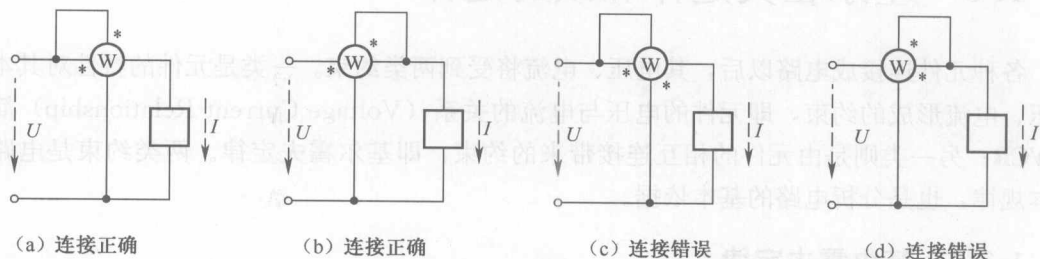


图 1.2.7 功率表的接法

单相电度表的测量机构也有一个电流线圈和一个电压线圈。表的下方有接线盒,也叫端子盒,外部线路通过盒内的接线端子与表内的两个线圈相连,如图 1.2.8 所示。

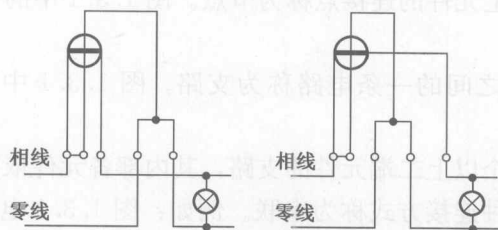


图 1.2.8 电度表的接线图



思考练习题

1.2.1 什么是电流强度?什么是参考方向?为什么计算电流时要有参考方向?