

 高职高专教材

E
L
E
C
T
R
I
C
I
A
N

电工基础

编著 李福民
姚建永
审校 郭建明

人民邮电出版社

POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

高 职 高 专 教 材

电 工 基 础

编 著 李福民 姚建永

审 校 郭建明

人 民 邮 电 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工基础/李福民, 姚建永编著. —北京: 人民邮电出版社, 2003.2

高职高专教材

ISBN 7-115-11076-X

I. 电 ... II. ①李 ... ②姚 ... 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 (2002) 第 100680 号

内 容 提 要

本书是依据教育部制订的《高职高专教育基础课程教学基本要求》, 兼顾强、弱电不同专业的需要而编写的高职《电工基础》、《电路基础》课程的教材, 内容主要包括电路的基本概念和基本定律、直流电路、电容元件和电感元件、正弦交流电路、三相电路、非正弦周期电流电路、谐振电路、动态电路的过渡过程、含耦合电感的电路、磁路和变压器, 每一章后附有“本章小结”和习题, 书后附录中还编入了综合练习指导“万用表的组装”。

本教材供初中后五年制或高中后三年制高等职业院校电工、电子类各专业使用, 也可供有关工程技术人员参考。

高职高专教材

电 工 基 础

◆ 编 著 李福民 姚建永

审 校 郭建明

责任编辑 姚予疆

◆ 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>

读者热线 010-67129264

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 20.75

字数: 507 千字

2003 年 2 月第 1 版

印数: 6 001-11 000 册

2004 年 1 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-115-11076-X/TN · 2031

定价: 28.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

前 言

本书是以教育部制订的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育人才培养目标及规格》两个文件为指导编写的高职高专《电工基础》、《电路基础》课程的教材，供招收初中毕业生的五年制或招收高中毕业生的三年制高等职业技术学院电工、电子类各专业使用。

针对高等职业技术教育的培养目标和学生的实际，本书本着“必需、够用”的原则，在内容编排上充分考虑了理论深度的适当，以及与相关课程（如《电子技术基础》等）的分工和衔接，力求避免理论上过深或过浅、内容上过繁或过简，以及例题的实用性不强等弊病。在叙述上注重通过具体的例子阐明结论，减少烦琐的数学论证和推导。

鉴于强、弱电各专业所需的电工、电路基础知识大同小异，同时考虑到随着生产技术的发展专业间的相互渗透和相互依存，为有利于培养高职学生的全面素质和综合职业能力，本书打破了强电和弱电的专业界限，兼顾了强、弱电不同专业的需要。全书共 10 章，分为两大模块，前 4 章为基础模块，包含电类各专业必须的电路基础知识；后 6 章为选用模块，供强、弱电各专业根据不同的培养目标和专业要求选用全部或其中部分章节。例如，本书对三相电路和谐振电路都作了较详细的阐述，如果学时较少，“三相电路”一章弱电专业可以只讲授“三相电源”、“三相负载”和“三相电路的功率”三节；“谐振电路”一章强电专业可以只讲授“串联谐振”和“并联谐振”两节，其余内容则留给学生自学。此外，为满足实践教学的需要，本书编者还选择 MF-50 型万用表编写了综合练习指导书《万用表的组装》（见附录 IV）供各校选用。

本书由武汉铁路职业技术学院李福民编写各章及附录的内容，武汉职业技术学院姚建永选编全部习题，武汉铁路职业技术学院郭建明主审。

限于编者水平，书中难免会有疏漏乃至错误之处，欢迎广大师生和其他读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律	1
§ 1-1 电路、电路模型	1
§ 1-2 电流、电压及其参考方向	3
§ 1-3 电功率和电能	5
§ 1-4 基尔霍夫定律	8
§ 1-5 电阻元件	10
§ 1-6 电压源和电流源	14
§ 1-7 用电位的概念分析电路	19
第 2 章 直流电路	29
§ 2-1 电阻的串联、并联和混联	29
§ 2-2 Y 形与 Δ 形电阻网络的等效互换	36
§ 2-3 含源串、并、混联单口网络的等效化简	39
§ 2-4 网孔电流法	43
§ 2-5 节点电位法	48
§ 2-6 叠加定理	53
§ 2-7 戴维南定理	55
§ 2-8 受控源	59
§ 2-9 非线性电阻电路	64
第 3 章 电容元件和电感元件	75
§ 3-1 电容器及其充放电现象	75
§ 3-2 电容元件的 VCR	78
§ 3-3 电容器的联接	80
§ 3-4 磁场的基本物理量	83
§ 3-5 电感元件的 VCR	86
第 4 章 正弦交流电路	93
§ 4-1 正弦交流电的三要素	93
§ 4-2 正弦量的有效值和平均值	98
§ 4-3 正弦量的相量表示法	100
§ 4-4 基尔霍夫定律的相量形式	104
§ 4-5 电阻元件 VCR 的相量形式	105

§ 4-6 电感元件 VCR 的相量形式	108
§ 4-7 电容元件 VCR 的相量形式	111
§ 4-8 R 、 L 、 C 串联电路和复阻抗	115
§ 4-9 G 、 C 、 L 并联电路和复导纳	119
§ 4-10 正弦交流电路的计算	124
§ 4-11 正弦交流电路的功率	128
§ 4-12 功率因数的提高	132
§ 4-13 交流负载获得最大功率的条件	134
§ 4-14 交流电路中的实际器件	136
第 5 章 三相电路	147
§ 5-1 三相电源、相电压和线电压	147
§ 5-2 三相负载、相电流和线电流	151
§ 5-3 三相电路的功率	155
§ 5-4 对称三相电路的计算	158
§ 5-5 不对称 Y 形电路的计算	162
§ 5-6 不对称三相正弦量的对称分量	167
第 6 章 非正弦周期电流电路	174
§ 6-1 非正弦周期量的傅里叶级数表达式	174
§ 6-2 非正弦周期波的频谱	178
§ 6-3 非正弦周期量的有效值和平均值	180
§ 6-4 非正弦周期电流电路的计算	182
§ 6-5 非正弦周期电流电路的功率	185
§ 6-6 对称三相电路中的高次谐波	186
第 7 章 谐振电路	192
§ 7-1 串联谐振	192
§ 7-2 串联谐振电路的频率特性	196
§ 7-3 串联谐振电路的通频带	199
§ 7-4 并联谐振	201
§ 7-5 并联谐振电路的频率特性和通频带	205
§ 7-6 复杂的并联谐振电路	209
第 8 章 动态电路的过渡过程	215
§ 8-1 换路定律	215
§ 8-2 一阶电路的零输入响应	218
§ 8-3 直流激励下一阶电路的零状态响应	223
§ 8-4 一阶电路的全响应	229

§ 8-5 一阶电路的三要素法	231
§ 8-6 微分电路和积分电路	236
§ 8-7 二阶电路的过渡过程	238
第 9 章 含耦合电感的电路	248
§ 9-1 互感和互感电压	248
§ 9-2 耦合电感的 VCR	250
§ 9-3 耦合电感的串联和并联	253
§ 9-4 耦合电感的 T 形去耦等效电路	257
第 10 章 磁路和变压器	263
§ 10-1 铁磁物质的磁性能	263
§ 10-2 全电流定律	266
§ 10-3 磁路及磁路定律	267
§ 10-4 恒定磁通磁路的计算	270
§ 10-5 交流铁心线圈	273
§ 10-6 电磁铁	276
§ 10-7 理想变压器	278
§ 10-8 实际变压器	282
附录	289
附录 I 复数及其四则运算	289
附录 II 电阻器	295
附录 III 电容器	300
附录 IV 万用表的组装 (综合练习指导)	305
参考文献	324

第1章 电路的基本概念和基本定律

《电工基础》是电类各专业共同的一门重要技术基础课。

电能，由于它易于转换、易于输送，也易于控制，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，无论是作为能源，还是作为信号的载体，电能的地位都是其他形式的能量无法替代的。

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，但它们都有着共同的基本规律。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、电路模型

一、电路

人们在日常生活、生产和科学实验中，常常会遇到各种各样的电路。例如照明电路，收音机、电视机中将微弱的电信号加以放大的电路，机车上的各种动力控制和信号控制电路等。实验室里进行实验也要用到各种各样的电路。电路是由一些电气设备或器件按一定方式组合起来，以实现某一特定功能的电流的通路。图 1-1-1 所示为一只手电筒的电路，它由两节干电池、一只灯泡、一个开关和联接导线组成。

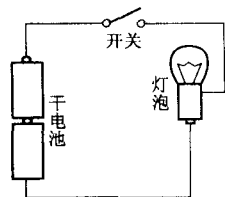


图 1-1-1 手电筒电路的示意图

电路中供给电能的设备或器件称为电源，而使用电能的设备或器件则称为负载。如手电筒电路中，干电池是电源，灯泡是负载。有时把电源对电路的作用称为激励，而把由于电源的作用在电路中产生的电压、电流都称为响应。

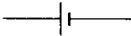
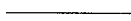
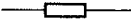
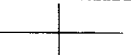
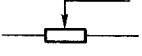
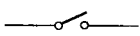
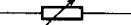
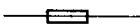
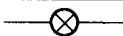
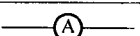
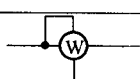
二、电路模型

组成实际电路的各种设备或器件，其电磁性能一般比较复杂。但各种设备或器件的功能通常是由其中一、两种主要电磁性能决定的。如果抓住它们的主要电磁性能，忽略那些次要的性质，把它们加以理想化，实际设备或器件即可用一个代表其主要电磁性能模型来表征。如白炽灯泡的功能是把电能转换成灯丝的内能，使灯丝的温度升高到白炽而发光，其主要的电磁性能是消耗电能。因此，可以用一个代表消耗电能的理想电阻元件作为白炽灯泡的模型。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。

为了组成各种实际设备和器件的模型，电路理论上定义了为数不多的几种理想元件，简称为元件。其中，具有两个端子的元件称为二端元件；有的元件有两个以上的端子，称为多

端元件。这些元件也都是一些实际器件的理想化的模型，如电阻元件是实际电阻器的理想化，电感元件是实际线圈的理想化，电容元件是实际电容器的理想化。反过来，这些元件又可用以组成其他各种设备或器件的模型。有些设备或器件只须用一种理想元件作为模型，如白炽灯的模型只要一个电阻元件就可以了；有些设备或器件，如实际电源等，其模型须用两种或两种以上的理想元件组合而成。如果把实际电路中的各种设备和器件都用理想元件组成的模型来表征，实际电路也就可以画成由各种理想元件(包括理想导线)的图形符号联接而成的电路图，这就是实际电路的模型，简称为电路模型。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。

表 1-1-1 所列为电路图中常用的元、器件及仪表的图形符号。

表 1-1-1 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	
电感元件		电 压 表	
铁心电感		功 率 表	
电容元件		接 地	

思考练习题

- 1-1-1 什么是电源？什么是负载？什么是激励，什么是响应？
- 1-1-2 什么是电路模型？本课程为什么借助于电路模型(而不是通过各种实际电路)来阐述电路的基本规律和基本分析方法？

§ 1-2 电流、电压及其参考方向

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,都要通过电压、电流和功率来实现。在分析和计算电路之前,必须先了解电路的这几个基本物理量。本节介绍电流和电压。

一、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。电流强度在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电量。若用 i 来表示电流强度,则

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

其中 dq 为时间 dt 内通过导体横截面的电量。电流强度常简称为电流。

大小和方向都不随时间变化的电流叫做稳恒电流,简称为直流(Direct Current,英文缩写为 DC)。直流的电流强度常用大写字母 I 表示为

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

其中 q 为时间 t 内通过导体某一横截面的电荷量。

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,简称为交流(Alternate Current,英文缩写为 AC)。通常所说的交流多指正弦电流,它随时间按正弦规律变化。

国际单位制(SI)*中,电流强度的单位为安培,简称安(A)。其十进制倍数和分数单位千安(kA)、毫安(mA)和微安(μ A)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或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 1-2-1。

在分析、计算电路时,电流的实际方向不一定都能事先判断。特别是交流电路中电流的实际方向随时间不断地改变,很难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

* 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, $1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ 等。

向，则以虚线箭头表示(见图 1-2-1)。规定：当电流的实际方向与参考方向(正方向)一致时，电流值为正；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。

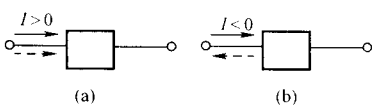


图 1-2-1 电流的参考方向

表 1-2-1 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
10^9	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

二、电压及其参考方向

电路中 a、b 两点间的电压，在数值上等于单位正电荷从 a 点移动到 b 点时电场力所做的功，用 u_{ab} 表示 a、b 两点间的电压，即

$$u_{ab} = \frac{dw_{ab}}{dq} \tag{1-2-3}$$

其中 dw_{ab} 为电场力把正电荷 dq 从电路中的 a 点移动到 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

$$U_{ab} = \frac{w_{ab}}{q} \tag{1-2-4}$$

其中 w_{ab} 为电场力把正电荷 q 从电路中的 a 点移动到 b 点所做的功。

电压的单位为伏特，简称伏(V)。若电场力将 1 库仑(C)的电荷从 a 点移至 b 点所做的功为 1 焦耳(J)，则 a、b 两点间的电压即为 1 伏特(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：

$$\begin{aligned} 1\text{kV} &= 10^3\text{V} \\ 1\text{mV} &= 10^{-3}\text{V} \end{aligned}$$

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，(参看图 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} 则表示参考方向从 b 指向 a，即与 U_{ab} 相反。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。

分析电路时，还常选择电路中的某一点作为一些电压公共的参考负极，而把各点对这一点的电压叫做该点的电位，并用符号 φ 表示。这一点（即公共的参考负极）称为电位参考点。若选择 o 点作为电位参考点，则电路中 a 点的电位即为

$$\varphi_a = U_{ao}$$

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。

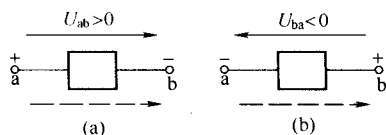


图 1-2-2 电压的参考方向



图 1-2-3 电位的表示

对于某一段电路或某一个二端元件来说，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，即应该被认为是电压、电流的关联参考方向。

思考练习题

- 1-2-1 电流强度是怎样定义的？什么是电流的参考方向？为什么计算电流时要有参考方向？
 1-2-2 什么是电压？电压的参考方向有几种表示方法？什么是电位？
 1-2-3 什么是关联参考方向？

§ 1-3 电功率和电能

一、电功率

电功率也是分析电路时常用到的物理量之一。假定电路中 a、b 两点间的电压为 u_{ab} ，在时间 dt 内，将正电荷 dq 从电路中的 a 点移至 b 点电场力所作的功为 dW_{ab} ，则根据式(1-2-3)有

$$dW_{ab} = u_{ab} dq$$

单位时间内电场力做的功，即电功率

$$p = \frac{dW_{ab}}{dt} = \frac{u_{ab} dq}{dt} = u_{ab} i \quad (1-3-1)$$

上式中

$$i = \frac{dq}{dt}$$

为电路中从 a 点流向 b 点的电流。电功率也常简称为功率。

显然,按上述假定,电流 i 的方向(即正电荷移动的方向)与电压 u_{ab} 的方向相同。由于电场力做功时,电能转换成了其他形式的能,也就是说,电能被消耗了,或者说被电路吸收了,因此,式(1-3-1)中的 p 表示(a、b 间的)电路吸收的功率。可见,当选择电压、电流的参考方向相同(即关联)时,电路吸收的功率等于电路两端的电压与通过它的电流的乘积,即

$$p = ui \quad (1-3-2)$$

若电压 u 与电流 i 的参考方向相反(即非关联),可另设其电压为 u' ,如图 1-3-1 所示, u' 的参考方向与原来 u 的参考方向相反,而与电流 i 的参考方向关联,故

$$p = u'i$$

而

$$u' = -u$$

所以电路吸收的功率

$$p = -ui \quad (1-3-3)$$

式(1-3-3)表明:电压 u 与电流 i 的参考方向非关联时,电路吸收的功率等于电压与电流乘积的相反值。

式(1-3-2)、(1-3-3)可合并写作

$$p = \pm ui \quad (1-3-4)$$

用式(1-3-4)计算电路吸收的功率时,若电压、电流的参考方向关联,则等式右边取正号;否则取负号。计算出的功率值若为正,即 $p > 0$,说明电路确实是吸收功率或消耗电能;功率值若为负,即 $p < 0$,则说明电路是输出功率或释放电能。

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(1-3-4)可写成

$$P = \pm UI$$

功率的 SI 单位为瓦特,简称瓦(W), $1\text{W} = 1\text{V} \cdot \text{A}$ 。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:

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

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

例 1-3-1 图 1-3-2 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功率还是输出功率?

解:(a) 电压、电流的参考方向关联,元件吸收的功率

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

元件实际是吸收功率。

(b) 电压、电流的参考方向非关联,元件吸收的功率

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

元件实际是输出功率。

(c) 电压、电流的参考方向关联,元件吸收的功率

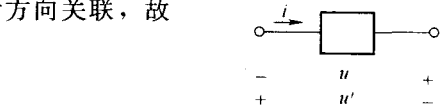


图 1-3-1 u 与 i 的参考方向非关联

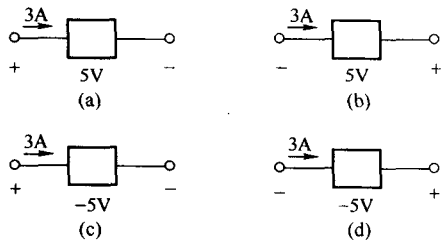


图 1-3-2 例 1-3-1 附图

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

元件实际是输出功率。

(d) 电压、电流的参考方向非关联，元件吸收的功率

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

元件实际是吸收功率。

二、电能及其计量

若 p 为电路吸收的功率，则根据式(1-3-1)，电路在时间 dt 内消耗的电能

$$dw = p dt = u i dt$$

若通电时间 $\Delta t = t - t_0$ ，则在此时间内电路消耗的电能总共为

$$w = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u i dt \quad (1-3-5)$$

直流电路中，电压、电流和功率均为恒定值，根据式(1-3-5)，电路消耗的电能则为

$$w = P(t - t_0) = UI(t - t_0) \quad (1-3-6)$$

当选择 $t_0 = 0$ 时，上式即为

$$w = Pt = UIt \quad (1-3-7)$$

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小时($\text{kW} \cdot \text{h}$)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 千瓦小时，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 1-3-2 教室里有 40W 的日光灯 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？

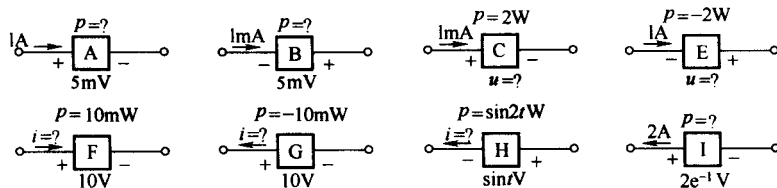
解： $w = Pt = 46 \times 8 \times 10^{-3} \times 4 \times 30 = 44.16(\text{kW} \cdot \text{h})$

即每月要用 44.16 度电。

思考练习题

1-3-1 如果 P 表示电路吸收的功率，那么用公式 $P = \pm UI$ 进行计算时，如何选择公式中的正、负号？如果算出的 P 为负值又说明什么？

1-3-2 试求图题 1-3-2 中各元件的未知电压、电流或功率。



图题 1-3-2

§ 1-4 基尔霍夫定律

各种元件联接成电路以后,其电压、电流将受到两类约束。一类是元件的特性对其本身电压、电流形成的约束;另一类则是由元件的相互联接带来的约束,这后一类约束就是本节要介绍的基尔霍夫定律。

图 1-4-1 表示由 5 个元件联接而成的电路,其中每个方框代表一个元件。下面就图 1-4-1 介绍几个有关电路的名词。

节点: 3 个或 3 个以上元件的联接点称为节点。如图 1-4-1 中的 a 点和 b 点即是两个节点。

支路: 联接于两个节点之间的一段电路称为支路。例如,图 1-4-1 所示电路中 acb、adb 和 aeb 都是支路。

平面电路: 电路通过整理,能够画在同一平面上,各支路间无立体交叉,这样的电路称为平面电路。图 1-4-1 所示电路即是平面电路。

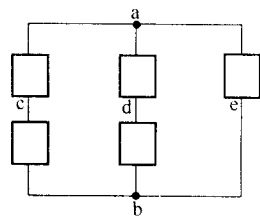


图 1-4-1 电路

回路: 电路中的任一闭合路径称为回路。如图 1-4-1 电路中的 acbda、adbea 和 acbea 都是回路,这个电路一共有 3 个回路。显然,电路至少要有 1 个回路。只有 1 个回路的电路叫做单回路电路。

网孔: 平面电路中,如果回路的内部没有包围别的支路,这样的回路叫做网孔。如图 1-4-1 中的回路 acbda 和 adbea 都是网孔,而回路 acbea 则不是网孔。

网络: 网络一词原指含支路较多的电路,现在实际已成了电路的代名词。

一、基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(Kirchhoff's Current Law, 英文缩写为 KCL)反映了电路中任一节点所联接的各支路电流间的约束关系。KCL 指出:任一瞬间,流入电路中任一节点的电流之和恒等于流出该节点的电流之和。

例如对图 1-4-2 所示的节点,在图示的参考方向下,根据 KCL 有

$$I_1 + I_3 + I_4 = I_2 + I_5$$

上式可写作

$$I_1 + I_3 + I_4 - I_2 - I_5 = 0$$

其中,流出节点的电流 I_1 、 I_3 和 I_4 前面的符号为“+”,而流入节点的电流 I_2 、 I_5 前面的符号为“-”。所以 KCL 又可表述为:任一瞬间,电路中任一节点所联各支路电流的代数和恒等于零,即

$$\sum i = 0 \text{ 或 } \sum I = 0 (\text{直流}) \quad (1-4-1)$$

式(1-4-1)即 KCL 的数学形式,称为 KCL 方程,或节点电流方程。

应当指出:KCL 方程中各电流变量前的正、负号取决于各电流的参考方向对该节点的关系(流出还是流入);而各电流值的正负则是反映该电流的实际方向同参考方向的关系(相同还是相反)。二者不可混为一谈。此外,方程并未涉及任何具体的元件,可见,KCL 只和

电路的联接有关,而不管电路是由什么元件组成的。

例 1-4-1 图 1-4-2 中,已知 $I_1=2\text{A}$, $I_2=-1.5\text{A}$, $I_3=-5\text{A}$, $I_5=3\text{A}$, 求 I_4 。

解: 由 KCL 可得:

$$\begin{aligned} I_4 &= -I_1 - I_3 + I_2 + I_5 \\ &= -2 - (-5) + (-1.5) + 3 \\ &= 4.5(\text{A}) \end{aligned}$$

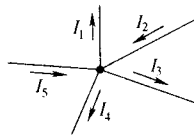


图 1-4-2 某电路中的一个节点

KCL 不仅适用于电路中的任一节点,而且适用于包围电路任一部分的封闭面。

图 1-4-3 所示为电子电路中的基本器件——晶体三极管的电路符号,三极管工作时其三个极的电流分别为 i_B 、 i_C 和 i_E 。用一假想的封闭面把晶体管包围起来,则根据 KCL 有

$$i_E = i_B + i_C$$

或

$$i_E - i_B - i_C = 0$$

图 1-4-4 表示两个网络之间只有一根导线相连。用一个假想的封闭面把其中的一个网络包围起来,则根据 KCL 可知通过这根导线的电流

$$i = 0$$

即导线中没有电流通过。

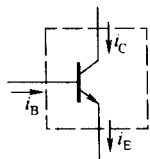


图 1-4-3 晶体三极管的电流

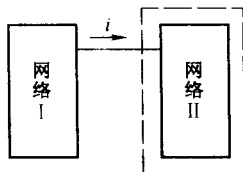


图 1-4-4 二网络只有一根导线相连

二、基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律(Kirchhoffs Voltage Law, 英文缩写为 KVL)反映了电路中组成任一回路的各元件(或各支路)电压之间的约束关系。KVL 指出:任一时刻,沿电路中任一回路的所有电压的代数和恒等于零。即

$$\sum u = 0 \text{ 或 } \sum U = 0(\text{直流}) \quad (1-4-2)$$

式(1-4-2)为 KVL 的数学形式,称为 KVL 方程,或回路电压方程。

列回路电压方程时,首先要选定一个沿回路绕行的方向(顺时针或逆时针)。凡是参考方向与回路绕行方向一致的电压,前面取“+”号;而参考方向与回路绕行方向相反的电压,前面取“-”号。

例如图 1-4-5 所示的回路中,若各元件的电压分别为 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{dc} 、 U_{de} 、 U_{fe} 和 U_{fa} ,则在图示的顺时针绕行方向下,由 KVL 有

$$U_{ab} + U_{bc} - U_{dc} + U_{de} - U_{fe} + U_{fa} = 0$$

KVL 不仅适用于任意闭合回路,也适用于非闭合的假想回路。例如,若把图 1-4-5 所示的闭合回路从 b、e 两点分成不封闭的两部分,则可以假想 b、e 两点间的电压分别与左上、右下两个部分都形成回路。选定顺时针绕行方向后,对 b、e 左上部的假想回路有

$$U_{bc} - U_{fe} + U_{fa} + U_{ab} = 0$$

即

$$U_{be} = -U_{ab} - U_{fa} + U_{fe}$$

而对右下部的假想回路有

$$U_{bc} - U_{dc} + U_{de} - U_{be} = 0$$

即

$$U_{be} = U_{bc} - U_{dc} + U_{de}$$

结果表明：电路中 b、e 两点间的电压 U_{be} 等于 b、e 间的两条不同路径上所有电压的代数和。

一般情况下，电路中 b、e 两点间的电压 U_{be} ，等于从 b 点（参考“+”极）到 e 点（参考“-”极）任一路径上所有电压的代数和。其中 b、e 可以是某个元件或某条支路的两端，也可以是电路中的任意两点。若要计算电路中任意两点间的电压，可以直接应用这一结论，而不一定要按照式(1-4-2)列方程求解。

应当指出：KVL 方程中各电压变量前的正、负号取决于该电压的参考方向同绕行方向的关系（一致还是不一致）；而各电压值的正负则是反映该电压的实际方向同参考方向的关系（相同还是相反）。二者也不可混为一谈。此外，方程并未涉及任何具体的元件，可见，KVL 也只和电路的联接有关，而不管电路是由什么元件组成的。

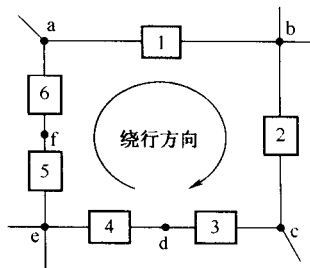


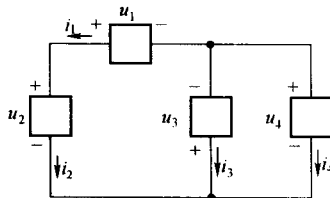
图 1-4-5 电路中的一个回路

思考练习题

1-4-1 试说明 KCL、KVL 方程中两套正、负号的涵义。

1-4-2 怎样计算电路中任意两点间的电压？

1-4-3 图题 1-4-3 所示电路中， $i_1 = 2\text{A}$ 、 $i_3 = -3\text{A}$ 、 $u_1 = 10\text{V}$ 、 $u_4 = 5\text{V}$ ，计算各二端元件吸收的功率。



图题 1-4-3

§ 1-5 电阻元件

一、电阻元件及其 VCR

电阻元件是用来模拟电路中消耗电能这一物理现象的理想二端元件。只要有电流通过电阻元件，电场力就会对电流（即正电荷的移动）做功，元件两端沿电流的方向就一定要有电压。电阻元件的电压和电流实际方向总是一致的，并且二者总是同时增大、同时减小，同时存在、同时消失。因此，电阻元件也称为即时元件。电阻元件的图形符号如图 1-5-1 所示。

电阻元件电压和电流的关系（Voltage Current Relationship，简称为 VCR）可用以电流为横坐标、电压为纵坐标的直角坐标平面上的曲线来表示。如果 VCR 曲线是一条过原点的直线，如图 1-5-2 所示，这样的电阻元件称为线性电阻元件。今后所说的电阻元件，除非特别指明，都是指的线性电阻元件。显然，线性电阻元件的电压与电流成正比，在关联方向下可