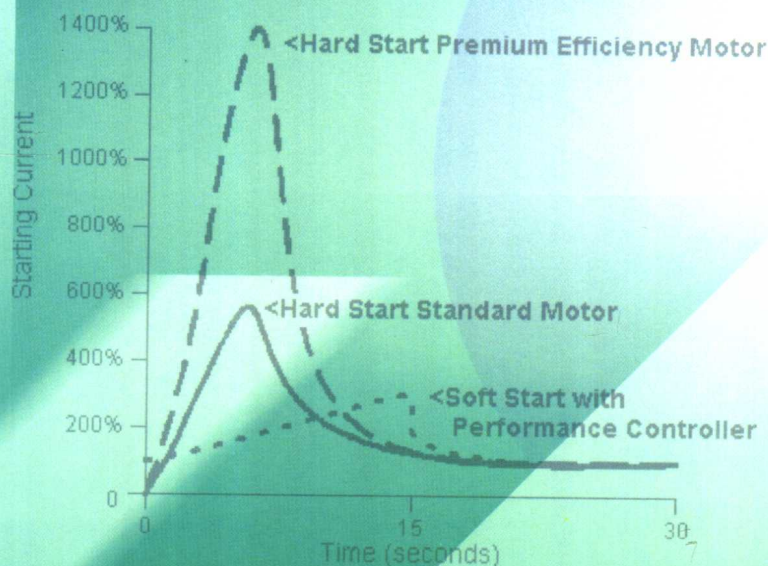




教育部职业教育与成人教育司推荐教材
五年制高等职业教育电类专业教学用书

电工基础

李福民 主编 何露霞 副主编



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

电 工 基 础

李福民 主 编

何露霞 副主编

陈后金 雷雪芳 主 审

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 6 • 北 京

内 容 简 介

本书共十章。内容包括: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、含耦合电感的电路以及磁路和变压器、双口网络、均匀传输线等,各章均有小结与习题。本书还配有覆盖全书的课件光盘,图文并茂、形象生动,并以网页链接的方式选择教学内容,便于学生自学。

本书为高职院校电类及相关专业的教材,也可供从事电子技术的教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/李福民主编. —北京:中国铁道出版社,
2006.3

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 7-113-06706-9

I. 电… II. 李… 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(2006)第 019162 号

书 名:电工基础

作 者:李福民 主编

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:方 军

封面设计:冯龙彬

印 刷:河北省遵化市胶印厂

开 本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:442 千

版 本:2006年7月第1版 2006年7月第1次印刷

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 7-113-06706-9/TP·1614

定 价:28.00 元(含光盘)

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话(010)51873134 发行部电话(010)51873124

前言

本书是高职高专电工基础和电路基础课程的教学用书,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》为指导编写的,本教材是教育部职业教育开发编写计划的教材。

针对高等职业技术教育的培养目标和学生的实际,教材本着“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,注重理论联系实际,注重知识的应用,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原理,尽可能减少烦琐的数学论证和推导。为方便教学,教材编者制作了覆盖全书的电子课件,与本书一并发行课件以网页链接的形式拉近了教材内容与读者之间的距离,Flash 动画的运用使抽象的结论变得形象有趣、生动易懂。

鉴于强、弱电各专业所需的电工、电路基础知识大同小异,而且随着生产技术的发展,专业间的相互渗透和相互依存有增无己,为有利于培养高职学生的全面素质和综合职业能力,本书淡化了强电和弱电的专业界限,兼顾了强、弱电不同专业的需要。

本书共十章,分为两大模块,第一至第四章为基础模块,包含电类各专业必须的电路基础知识;第五至第十章为选用模块,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内容,另外,“双口网络”及“均匀传输线”内容放入课件中讲解,供教学参考选用。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”3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”2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》(见课件中的附录)供各校选用。

为配合学生使用,本书附有配套课件同时出版。

本书由武汉铁路职业技术学院李福民主编,并编写第六、七、八、九、十、十二各章及附录(见课件中);苏州机电高等职业技术学校何露霞担任副主编,并编写第四、十一章(见课件中),及承担全书课件的制作;北京铁路电气化学校金玉萍编

写第一、三、五章;广州铁路职业技术学院何雪利编写第二章。

本书由教育部推荐专家北京交通大学陈后金和西安铁路职业技术学院雷雪芳主审。苏州机电高等职业技术学校李春英、北京铁路电气化学校乔建铎、西安铁路职业技术学院刘军、内江铁路机械学校唐枚参加了本书的审稿工作,对本书的编写提出了有益的意见和建议。

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 者

2005年9月

目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律

第一节	实际电路和电路模型	1
第二节	电流、电压及其参考方向	3
第三节	电功率、电能	5
第四节	基尔霍夫定律	8
第五节	电阻元件	12
第六节	电压源、电流源	16
第七节	用电位的概念分析电路	21
本章小结		24
习题一		26

第二章 直流电路

第一节	电阻的串联、并联和混联	31
第二节	Y形与 Δ 形电阻网络的等效互换	38
第三节	含源串、并、混联单口网络的等效化简	40
第四节	支路电流法和网孔电流法	45
第五节	节点电位法	50
第六节	叠加定理	54
第七节	戴维南定理	56
第八节	受控源	60
第九节	非线性电阻电路	65
本章小结		67
习题二		69

第三章 电容元件、电感元件

第一节	电容器和电容元件	76
第二节	电容元件的 VCR 和储能	79
第三节	电容器的连接	82
第四节	磁场的基本物理量	85
第五节	电感元件的 VCR	88
本章小结		93

习题三	94
-----	----

第四章 正弦交流电路

第一节 正弦交流电的三要素	96
第二节 正弦量的有效值和平均值	101
第三节 正弦量的相量表示法	102
第四节 两类约束的相量形式	105
第五节 R 、 L 、 C 串联电路及复阻抗	110
第六节 G 、 C 、 L 并联电路及复导纳	115
第七节 正弦交流电路的计算	118
第八节 正弦稳态电路的功率	122
第九节 功率因数的提高	128
第十节 交流负载获得最大功率的条件	130
第十一节 交流电路中的实际器件	132
本章小结	134
习题四	137

第五章 三相电路

第一节 三相电源、相电压和线电压	142
第二节 三相负载、相电流和线电流	146
第三节 三相电路的功率	150
第四节 用单相法分析对称三相电路	153
第五节 不对称 Y 形电路的分析	157
第六节 不对称三相正弦量的对称分量	162
本章小结	165
习题五	166

第六章 非正弦周期电流电路

第一节 非正弦周期量的傅里叶级数表达式	168
第二节 非正弦周期波的频谱	172
第三节 非正弦周期量的有效值和平均值	173
第四节 非正弦周期电流电路的计算	176
第五节 非正弦周期电流电路的功率	179
第六节 对称三相电路中的高次谐波	180
本章小结	183
习题六	184

第七章 谐振电路

第一节 串联谐振	186
第二节 串联谐振电路的频率特性	190

第三节 串联谐振电路的通频带	192
第四节 并联谐振	194
第五节 并联谐振电路的谐振曲线和通频带	198
第六节 复杂并联谐振电路	202
本章小结	204
习题七	205

第八章 动态电路的过渡过程

第一节 换路定律	207
第二节 一阶电路的全响应	210
第三节 一阶电路的三要素法	216
第四节 微分电路和积分电路	220
第五节 二阶电路的过渡过程	222
本章小结	227
习题八	229

第九章 含耦合电感的电路

第一节 互感 互感电压	232
第二节 耦合电感的 VCR	234
第三节 耦合电感的串联和并联	237
第四节 耦合电感的 T 形去耦等效电路	240
本章小结	243
习题九	245

第十章 磁路、变压器

第一节 铁磁物质的磁性能	247
第二节 全电流定律	250
第三节 磁路及磁路定律	251
第四节 恒定磁通磁路的计算	253
第五节 交流铁心线圈	256
第六节 电磁铁	259
第七节 理想变压器	261
第八节 实际变压器	265
本章小结	267
习题十	269
附录 复数及其四则运算	271
参考文献	276



第一章 电路的基本概念和基本定律

《电工基础》是电气信息类专业的一门重要技术基础课程。

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。

第一节 实际电路和电路模型

一、实际电路

电路即电流通过的路径。实际电路都是为完成某一特定功能,由一些电气设备或器件按一定方式用导线连接而成的。人们在日常生活、生产和科学实验中会用到各种各样的电路。如:照明电路;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。

实际电路的形式和功能多种多样,但总的来说可根据其作用分为两大类: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。电力系统是前一类电路的典型例子:发电机将其他形式的能量转换成电能,通过变压器和输电线输送到工厂、城市和农村,再利用各种用电设备,将电能转换成热、光或机械能等形式的能量为人类服务。后一类电路的例子则有电话线路、收音机电路、计算机电路等等。

电路中提供电能(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则称为**负载**。如手电筒电路中,干电池是电源,小灯泡是负载。电源(信号源)对电路的作用也称为**激励**;电路中由于电源(信号源)的作用而产生的所有电压、电流都称为**响应**。

二、电路模型

组成实际电路的设备或器件种类繁多。对任一设备或器件来说,其电磁性质都不是单一

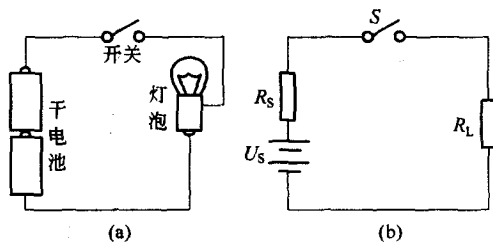


图 1-1-1 手电筒电路

(a)示意图;(b)电路模型。

的。以白炽灯为例,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,因此它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,将使分析工作异常复杂而难以下手。

为简单起见,对各种实际设备或器件,可以在一定条件下忽略它们的次要性质,只考虑其主要电磁性质,用具有单一电磁性质的理想元件或其组合去代表它,这就是实际设备或器件的模型。电路理论上定义了为数不多的几种理想元件,它们也是某些实际器件的理想化。如:电阻元件只消耗电能,是实际电阻器的理想化;电感元件只储存磁场能量,是实际线圈的理想化;电容元件只储存电场能量,是实际电容器的理想化。理想元件也简称为元件,其中具有二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。各种理想元件都有相应的图形符号,用它们可以组成各种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,它的模型仅用一个理想电阻元件就可以了;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,都可以用电阻元件作为它们的模型。上述这些设备或器件可以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。

如果实际电路中的各种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。

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	
铁芯电感		功率表	
电容元件		接地	

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、器件或仪表的图形符号。



思考与练习题

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 什么是理想元件？什么是电路模型？

1-1-3 本课程为什么借助于电路模型(而不是各种实际电路)来阐述电路的基本规律和基本分析方法？

第二节 电流、电压及其参考方向

电路的作用,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,有必要先了解电路的这几个基本物理量。本节先介绍电流和电压。

一、电流及其参考方向

电荷的有规则的运动称为电流。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荷量。用 i 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荷量。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(Direct current),简称为直流,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 内通过导体某一截面的电荷量。

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(Alternate current),简称为交流,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)¹ 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 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, $1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ 等等。

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

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。

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^{12}	tera	太	T	10^{-1}	deci	分	d
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;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向,可用虚线箭头表示(见图 1-2-1)。当电流的实际方向与参考方向(正方向)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

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 点时电场力所作的功,用 u_{ab} 表示 a、b 两点间的电压,则

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

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 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:

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

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

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,也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 U_{ab} 与相反。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,如图 1-2-2 所示。

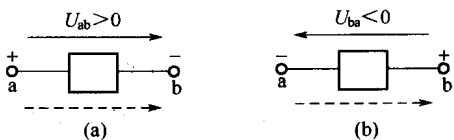


图 1-2-2 电压的参考方向

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。

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,并用符号 φ 表示。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,参考点是电路中各点电位公共的参考负极。

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,如图 1-2-3 所示。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。

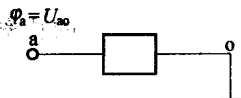


图 1-2-3 电路图中电位的表示

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。



思考与练习题

- 1-2-1 什么是电流强度? 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? 什么是关联参考方向?
- 1-2-3 什么是电位?

第三节 电功率、电能

一、电功率

电功率常简称为功率,也是分析电路时常遇到的物理量之一。假定电路中 a、b 两点间的电压为 u_{ab} ,在时间 dt 内,电场力把正电荷 dq 从电路中的 a 点移至 b 点所做的功为 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

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

上式中

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

为电路中从 a 点流向 b 点的电流。

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,或者说被电路吸收了。因此,式(1-3-1)中的 p 表示 a、b 两点间的电路吸收的功率,它等于电压 u_{ab} 与电流 i_{ab} 的乘积。这里,电压 u_{ab} 和电流 i_{ab} 具有相同的双下标,说明它们的参考方向是关联的。可见:当选择电压、电流的参考方向关联时,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。

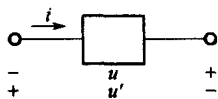


图 1-3-1 u 与 i 的参考方向非关联

若电压 u 与电流 i 的参考方向非关联,如图 1-3-1 所示,可另设其电压为 u' , 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,则由式(1-3-1)有

$$p = u' i$$

而

$$u' = -u$$

所以电路吸收的功率

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

式(1-3-2)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(1-3-1)、式(1-3-2)两式可合并写为

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

用式(1-3-3)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;否则,即 $p < 0$ 时,电路实际上是输出功率,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(1-3-3)可写成

$$P = \pm UI$$

功率的 SI 单位为瓦[特],符号为 W,中文符号为瓦, $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$ 。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。

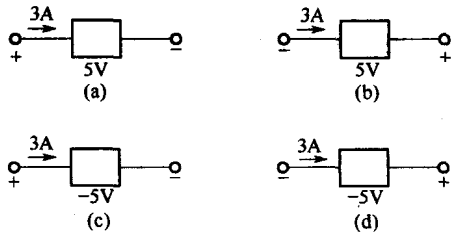


图 1-3-2 【例 1-3-1】附图

(c) 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

$$w = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t u i dt \quad (1-3-4)$$

直流电路中, 电压、电流、功率均为恒定值, 根据式(1-3-4), 电路消耗的电能则为

$$W = P(t - t_0) = UI(t - t_0) \quad (1-3-5)$$

当选择 $t_0 = 0$ 时, 上式即

$$W = Pt = UI t \quad (1-3-6)$$

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 kW 的用电器工作 1 h , 所消耗的电能即为 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$, 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 40 W 日光灯 8 只, 每只耗电功率为 46 W (包括镇流器耗电), 每天用电 4 h , 一月按 30 天计算, 每月要用多少度电?

[解] $W = Pt = 46 \times 8 \times 10^{-3} \times 4 \times 30 = 44.16 \text{ kW} \cdot \text{h}$

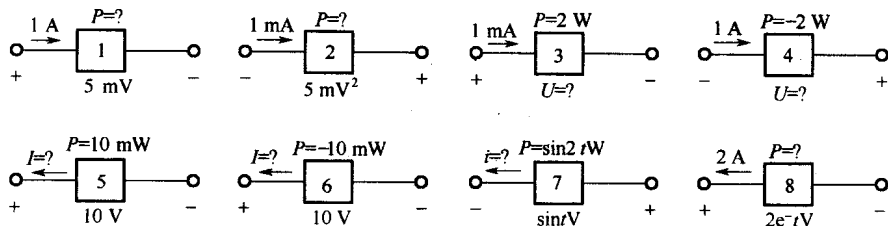
即每月要用 44.16 度电。



思考与练习题

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 所示各元件的未知电压、电流或功率。



图题 1-3-2

第四节 基尔霍夫定律

各种元件连接成电路以后,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连接带来的约束。这后一类约束就是本节要介绍的基尔霍夫定律,它是分析和计算电路的基本依据之一。

图 1-4-1 表示由 5 个元件连接而成的电路,其中每个方框代表一个元件。下面就图 1-4-1 介绍有关电路的几个名词。

节点:3 个或 3 个以上元件的连接点称为节点。图 1-4-1 所示电路中的 a 点和 b 点即是两个节点。

支路:相邻的两个节点之间的一段电路称为支路。图 1-4-1 所示电路中的 acb、adb 和 aeb 都是支路。

串联:含有两个或两个以上二端元件的支路,其内部各元件依次“首尾”相联,每个连接点都只连接两个元件,这种连接方式称为串联。例如:图 1-4-1 所示电路的 acb 支路中,元件 1 和元件 2 是串联;adb 支路中,元件 3 和元件 4 也是串联。

并联:两个以上的二端元件(或支路)连接在同一对节点之间,这些元件(或支路)的连接方式称为并联。图 1-4-1 所示电路中,acb、adb 和 aeb 3 条支路连接在同一对节点 a 和 b 之间,它们的连接就是并联。

平面电路:电路通过整理,能够画在同一个平面上,各支路间无立体交叉¹,这样的电路称为平面电路。图 1-4-1 所示就是一个平面电路。

回路:电路中的任一闭合路径称为回路。如图 1-4-1 所示电路中,acbda、adbea 和 acbea,都是回路,这个电路一共有 3 个回路。显然,电路至少要有有一个回路。只有一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 所示电路中,回路 acbda 和 adbea 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,现在已成了电路的代名词。

二端网络:如果将图 1-4-1 所示电路沿图中的虚线分成两部分,则每一部分均有两个端子与其余部分连接,故称它们为二端网络。

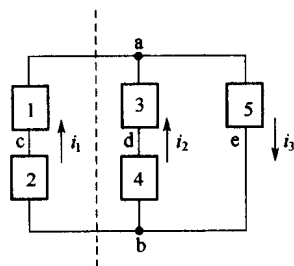


图 1-4-1 由 5 个元件连接而成的电路

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,它反映了电路中任一节点所连接的各支路电流间的约束关系。KCL 指出:任一时刻,流出(或流入)电路中任一节点的各支路电流的代数和等于零,即

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

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

列节点电流方程时,应先标出有关各支路电流的参考方向。通常,当支路电流的参考方向背离节点时,方程中该支路电流前取“+”号;否则取“-”号。例如,图 1-4-1 所示电路中,节点

¹ 立体交叉——导线交叉处不是连接点。

a 的 KCL 方程为

$$-i_1 - i_2 + i_3 = 0$$

[例 1-4-1] 图 1-4-2 所示为某电路中的一个节点,若已知电流 $I_1 = 2 \text{ A}$ 、 $I_2 = -1.5 \text{ A}$ 、 $I_3 = -5 \text{ A}$ 、 $I_5 = 3 \text{ A}$,求 I_4 。

[解] 根据各支路电流的参考方向,由 KCL 列出方程

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

故有

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

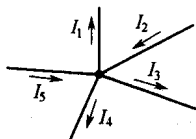


图 1-4-2 某电路中的一个节点

通过上例不难看出,KCL 方程中有两套正、负号:其一是方程中各电流变量前面的正、负号,它取决于各电流的参考方向对该节点的关系(“流出”还是“流入”);其二是各电流本身值的正、负,它反映了电流的实际方向与参考方向的关系(相同还是相反?)。二者不应混淆。此外,方程并未涉及任何具体的元件,可见,KCL 与组成电路的元件个性无关。

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假想封闭面,即:任一时刻,流出(或流入)包围电路任一部分的封闭面的电流的代数和恒等于零。

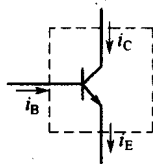


图 1-4-3 晶体管的电路符号

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

$$i_E - i_B - i_C = 0$$

所以

$$i_E = i_B + i_C$$

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(图中的虚线所示)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。

显然,根据 KCL,当几个二端元件串联时,这些元件通过的电流相同,这是串联的基本特点。例如:图 1-4-1 电路中元件 1 和元件 2 串联,通过的电流都是 i_1 ;而元件 3 和元件 4 串联,通过的电流都是 i_2 。

此外,根据 KCL,一个二端网络与外电路连接以后,从其一个端子流入的电流必等于从另一个端子流出的电流,这样的一对端子称为一个端口。一个二端网络只有一个端口,所以也称为单端口网络,简称为单口。其端口的二个端子间的电压称为端口电压(或端电压);从某个端子流入或流出的电流称为端口电流。一个二端元件就是一个最简单的单口。

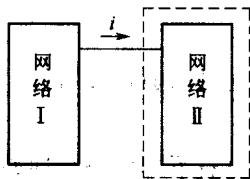


图 1-4-4 二网络只有一导线相联

二、基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律(Kirchhoff's Voltage Law),英文缩写为 KVL,它反映了电路中连接成回路的各元件(或各支路)电压之间的约束关系。KVL 指出:任一时刻,沿电路中任一回路所