



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电路基础 (第二版)

程隆贵 主 编
姚 伟 王俊伟 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
职业教育电力技术类专业教学用书

电路基础

(第二版)

主 编 程隆贵
副主编 姚 伟 王俊伟
编 写 朱卫萍 贺 芳
主 审 王玉彬 林春英 于洲春



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

全书共分十章,内容包括电路的基本概念与基本定律、电路元件和二端网络的等效、线性电路的一般分析方法和定理、正弦交流电路、耦合电感与双口网络、三相正弦交流电路、非正弦周期性交流电路、线性动态电路的时域分析、线性动态电路的复频域分析、磁路与铁心线圈。为了增加本书的趣味性,各章选编了与教材内容相关的科普知识。为了体现教学的简明和实用,书中各节都配有例题和思考题,各章均有小结、习题及实训内容,书后附有习题参考答案。

本书可作为高职高专与成人教育的电路课程教材,也可作为电力行业培训教材,同时还可供相关工程技术人员的技术考核与技能鉴定参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电路基础/程隆贵主编. —2版. —北京:中国电力出版社, 2011.4

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

ISBN 978-7-5123-1572-3

I. ①电… II. ①程… III. ①电路理论—成人高等教育—教材
IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 059875 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 8 月第一版

2011 年 7 月第二版 2011 年 7 月北京第七次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.25 印张 452 千字

定价 31.50 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，第一版被评为 2005～2007 年度电力行业精品教材。尽管本书第一版已得到广大师生和读者的认可，但书中仍存在不足之处，故本书作了如下修订：

（1）对内容中的错误进行了纠正，对个别概念的阐述作了修改。

（2）对书中的习题进行了修改删补，尽量贴近职业技能鉴定的题库，参考答案做了进一步核对。

（3）对书中的实训内容进行了增补和位置调换，做到与内容相结合。

本版书中第一、八、十章由武汉电力职业技术学院程隆贵修订，第二、六章由保定电力职业技术学院王俊伟修订，第三章由保定电力职业技术学院贺芳修订，第四、五章由山西电力职业技术学院姚伟修订，第七、九章由武汉电力职业技术学院朱卫萍修订。本书由程隆贵任主编并统稿，姚伟、王俊伟任副主编。本次再版仍由王玉彬、林春英、于洲春担任主审，他们在审阅了修改稿后，提出了许多宝贵意见，在此深表感谢。

限于编者水平，书中错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2011 年 4 月

第一版前言

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐教材，是根据教育部审定的电力技术类专业主干课程的教学大纲编写而成的，并列入教育部《2004～2007年职业教育教材开发编写计划》。本书经中国电力教育协会和中国电力出版社组织专家评审，又列为全国电力职业教育规划教材，作为职业教育电力技术类专业教学用书。

本书体现了职业教育的性质、任务和培养目标；符合职业教育的课程教学基本要求和有关岗位资格和技术等级要求；具有思想性、科学性、适合国情的先进性和教学适应性；符合职业教育的特点和规律，具有明显的职业教育特色；符合国家有关部门颁发的技术质量标准。本书既可以作为学历教育教学用书，也可作为职业资格和岗位技能培训教材。

本教材是参照教育部高教司最新组织制定的该课程教学基本要求，并结合我国高职高专教育的现状和发展趋势，按照“三教统筹、综合发展”和坚持以就业为导向、以能力为本位的思路编写。可作为目前高等职业技术学院，高等专科学校和成人高等学校电气、机电一体化和电子类各专业开设的“电工基础”、“电路与磁路”、“电路”、“电路理论”和“电路基础”等课程的教材，也可作为电气类技术工人岗位培训、农村劳动力转移培训和农村实用技术培训的教材，亦可供有关工程技术人员参考。

“电路基础”课程是高等职业技术学院、高等专科学校和成人高等学校电气、机电一体化和电子类各专业重要的技术基础课程。其作用和任务是：通过本课程的教学，使学生获得必备的电工技术基础理论、基本知识和基本技能，初步具备知识综合和应用的能力，为学习后续课程和从事专业技术工作打下一定的基础。因此本教材的编写具有如下特点：

(1) 教材结构采用模块化。本教材由电路的基本概念与基本定律、电路元件和二端网络的等效、直流电路、正弦交流电路、耦合电感与双口网络、三相交流电路、非正弦周期性交流电路、线性动态电路的时域分析、线性动态电路的复频域分析和磁路与铁心线圈等十个模块组成。各模块教学目标明确，具有较强的针对性和可组合性。

(2) 教材内容注重实用性。本教材强调基础理论教学要以“必需、够用”为度，根据技术领域和职业岗位群的需要确定教学内容，力求做到基本概念清楚，理论能应用于实际，并注意新技术的应用，不强调学科理论体系的完整性，但强调教材内容的可读性。

(3) 教材内容的兼顾性。由于高等职业技术学院和成人高等学校的部分生源是中等职业学校毕业生和有实践经验的人员，使高等专科学校、高等职业学校及成人高等学校生源的文化基础和实践能力存在一定的差异。还有电气类技术工人岗位培训、农村劳动力转移培训和农村实用技术培训对教材的内容需求不尽相同。因此，教材内容的编写应兼顾不同的读者对知识点的需要，坚决遵照“宽、浅、用、新、能、活”的“六字原则”。

(4) 教材内容深、广度的选择性。由于高职高专电气、机电一体化和电子类专业电工技术课程的教学基本要求有一定的差异,因此教材的编写力求同时满足这些专业的不同需要,各校可根据专业教学的需要进行选择。教材中标有“*”的内容,可供对电工技术课程有较高要求的专业选用。教材中没有标“*”的内容,亦可根据不同对象进行筛选,配套习题具有很强的适用性。

(5) 文字叙述简明扼要。为了强调以掌握概念、强化应用、训练技能和培养能力为教学重点,对定律、定理等一般只作必要的说明,尽量减少数理论证,适量增加例题、思考题与习题,以利加强理论的应用和能力的培养。各章后的科普常识将以精炼的语言介绍与所学内容相适应的实际知识和尽可能地介绍新材料、新工艺、新技术。

书中第一、八、十章由武汉电力职业技术学院程隆贵编写,第二、六章由保定电力职业技术学院王俊伟编写,第三章由保定电力职业技术学院贺芳编写,第四、五章由山西电力职业技术学院姚伟编写,第七、九章由武汉电力职业技术学院朱卫萍编写。全书由程隆贵主编统稿,姚伟、王俊伟任副主编。本书由王玉彬、林春英、于洲春担任主审。他们并提出了许多宝贵意见,在此深表感谢。

限于编者水平,书中错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2006 年 6 月

目 录

前言

第一版前言

第一章 电路的基本概念与基本定律	1
第一节 电路与电路模型	1
第二节 电路的基本物理量	3
第三节 基尔霍夫定律	8
科普知识一	10
本章小结	11
习题	12
实训一 学习万用表和直流稳压电源的使用	13
实训二 基尔霍夫定律的应用	15
第二章 电路元件和二端网络的等效	17
第一节 电阻元件及其串并联	17
第二节 电感元件	23
第三节 电容元件及其串并联	26
第四节 电阻的星形连接和三角形连接及其等效变换	32
第五节 独立电源及其等效变换	35
第六节 受控源及含受控源的简单电路分析	42
第七节 电路的工作状态和电位分析	45
科普知识二	48
本章小结	50
习题	51
实训三 电位、电压的测定	54
第三章 线性电路的一般分析方法和定理	56
第一节 支路法	56
第二节 网孔法	58
第三节 节点法	62
第四节 叠加定理	65
第五节 等效电源定理	67
第六节 最大功率传输定理	70
第七节 图论的基本知识	72

第八节 割集分析法	73
科普知识三	76
本章小结	76
习题	77
实训四 叠加定理的应用	81
实训五 戴维南定理的应用	83
第四章 正弦交流电路	86
第一节 正弦量的基本概念	86
第二节 正弦量的相量表示法	90
第三节 正弦交流电路中的 R 、 L 、 C 元件	94
第四节 RLC 串并联电路	99
第五节 正弦交流电路中的功率	105
第六节 功率因数的提高	108
第七节 复功率及最大功率的传输	110
第八节 复杂正弦交流电路的计算	112
第九节 串联谐振电路	116
第十节 并联谐振电路	120
科普知识四	122
本章小结	124
习题	125
实训六 用三表法测量电感线圈参数	129
实训七 正弦稳态交流电路的功率因数提高	130
第五章 耦合电感与双口网络	133
第一节 耦合电感元件	133
第二节 具有互感的正弦交流电路	137
第三节 空心变压器	141
第四节 理想变压器	143
第五节 双口网络	144
科普知识五	147
本章小结	147
习题	148
实训八 互感电路观测	150
第六章 三相正弦交流电路	153
第一节 对称三相电源及其连接方式	153
第二节 三相负载的连接	156
第三节 对称三相电路的分析	160
第四节 简单不对称三相电路的分析	163
第五节 三相电路的功率	167

第六节 不对称三相的对称分量法·····	171
科普知识六·····	177
本章小结·····	177
习题·····	180
实训九 三相负载作星形连接交流电路电压、电流的测量·····	181
实训十 三相负载作三角形连接交流电路电压、电流的测量·····	183
实训十一 三相电路功率的测量·····	185
第七章 非正弦周期性交流电路 ·····	188
第一节 非正弦周期量的产生和分解·····	188
第二节 非正弦周期量的有效值和平均值·····	193
第三节 非正弦周期电流电路的平均功率·····	195
第四节 非正弦周期电流电路的计算·····	197
第五节 对称三相电路中的高次谐波·····	200
科普知识七·····	204
本章小结·····	206
习题·····	207
第八章 线性动态电路的时域分析 ·····	209
第一节 电路的暂态过程·····	209
第二节 换路定则与电路的初始值·····	210
第三节 一阶电路的零输入响应·····	213
第四节 一阶电路的零状态响应·····	217
第五节 一阶电路的全响应及三要素法·····	221
第六节 二阶电路的零输入响应·····	230
科普知识八·····	236
本章小结·····	237
习题·····	238
实训十二 RC 一阶电路的响应测试 ·····	240
第九章 线性动态电路的复频域分析 ·····	243
第一节 拉普拉斯变换·····	243
第二节 拉普拉斯反变换·····	245
第三节 R 、 L 、 C 元件的运算电路 ·····	248
第四节 线性动态电路的复频域分析·····	250
科普知识九·····	254
本章小结·····	254
习题·····	255
实训十三 二阶动态电路响应的研究·····	256
第十章 磁路与铁心线圈 ·····	258
第一节 磁场·····	258

第二节 铁磁物质的磁化·····	260
第三节 磁路的基本定律及其应用·····	264
第四节 交流铁心线圈·····	268
第五节 电磁铁·····	273
科普知识十·····	275
本章小结·····	275
习题·····	277
实训十四 铁磁材料的磁滞回线和基本磁化曲线·····	278
习题答案·····	281
参考文献·····	287

电路的基本概念与基本定律

电路理论是把电路模型作为研究对象，以此来介绍分析与计算电路的方法。本章主要讨论电路模型的概念，电路中电流、电压的参考方向，二端元件吸收、发出功率的计算方法及其性质的判断以及集总参数电路的基本定律——基尔霍夫定律的概念及应用等。这些内容都是分析与计算电路的基础。

第一节 电路与电路模型

一、电路的作用和组成

电路是由若干个电气设备或器件按一定的方式连接起来而构成的电流通路。

当今社会，具有各种各样功能的电路已经遍及各个领域。电路的不断更新不仅促进了电力、电信工业的发展，也促使了各行各业及人文生活等各种事业的日新月异。

电路的类型是多种多样的，不同的电路其作用也是各不相同的。但就其基本功能而言，可分为两大类：一类是电能的产生、传输与转换电路；另一类是电信号的产生、传递和处理电路。

电力系统是产生、传输与转换电能的最典型的例子，图 1-1 所示为简单电力系统的基本结构示意图。



图 1-1 简单电力系统基本结构示意图

系统中的发电机是电源。电源是产生电能的装置，它把其他形式的能转换为电能。发电厂中的发电机都是将机械能转换为电能。各类电池是小型电源，它将化学能转换为电能。

电动机、电灯等是负载。负载是消耗电能的装置，它将电能转换为其他形式的能。电动机将电能转换为机械能，电灯将电能转换为光能。

变压器、输电线路等是中间环节。中间环节是用来传输、分配和控制电能的设备。

图 1-2 所示为扩音机结构框图，说明了电信号的产生、传递和处理的过程。话筒是信号源，它将语言和音乐（也可称为信息）转换为电信号。线路、放大器等是中间环节，对电信号进行传递、控制和处理。喇叭是负载，它将电信号转换成语言和音乐。常见的例子有电

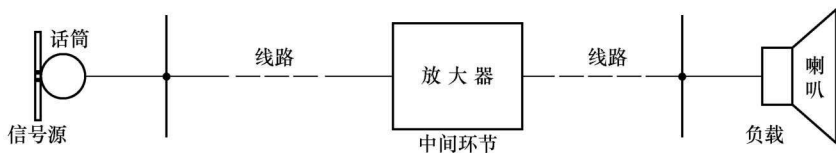


图 1-2 扩音机结构框图

视机、微型计算机、手机等。

无论是简单电路还是复杂电路(又称网络)都是由电源(信号源)、负载和中间环节等三部分组成。

二、电路模型

应该指出,本书所讲的电路都是指电路模型,而不是指实际电路。实际电路是由实际的器件和实际的连接导线组成的。实际的器件,即使是那些最简单的元件,其物理过程也是十分复杂的,很难用一个简单的数学表达式来表达它的性能。例如,电阻元件的特性是符合欧姆定律的。但是一个实际的电阻元件,其性质并不完全符合欧姆定律,它的端钮电压、电流关系还与其电感效应有关,甚至与其电容效应有关;此外,其端钮电压、电流关系还与温度有关等。因此很难用一个简单的数学表达式来表达。为了简化分析,必须抓住其主要性质,忽略其次要性质,使之能用一个尽可能简单的数学式来表达。在电路分析中,一个电阻元件,其性质常常就只用欧姆定律来表征。这样,经过简化的元件称为理想元件或元件模型。本书所涉及的理想元件有电阻元件、电压源元件、电流源元件、电容元件、电感元件和耦合电感元件等,每种元件都将有自己的数学形式的定义。实际的连接导线也是很复杂的,它不但有电阻,也有电感和电容效应,但在多数情况下可以看成一个既无电感、电容,又无电阻的导线,即理想导线。由理想元件和理想导线组成的电路称为实际电路的电路模型,简称电路。电路分析中,各种理想元件采用统一的图形符号来表示。

图 1-3 (a)、(b)、(c) 分别为电路的三种基本元件(电阻、电感和电容)的图形符号。每种元件都只能表征实际电路的一种特性,如电阻元件是一种只表示消耗电能(电能转变为其他形式能量)的元件,电感元件是反映电路元件周围存在磁场并储存磁场能量的元件,电容元件是反映电路及其附近存在着电场而且可以储存电场能量的元件。在一定条件下,用这些元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件,作为它的模型,这个过程称为建模。建模的准确性直接关系到理论与实际的差别。本书不讨论电路的具体建模过程,着重介绍已知电路模型的分析计算方法。

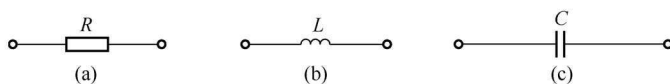


图 1-3 基本元件图形符号

(a) 电阻; (b) 电感; (c) 电容

电路理论中引用的元件主要有电阻、电感、电容、理想电压源、理想电流源,这些元件都具有两个端钮,称为二端元件。这些元件又称为集总参数元件,由集总参数元件组成的电路称为集总参数电路。

当实际电路中电流或电压的最高工作频率所对应的电磁波波长 λ 远大于电路最大几何尺寸 d 时,电路器件的端电流和端电压具有确定的值,称这种电路为集总参数电路。如我国电力系统的频率为 50Hz,对应的波长为 6000km,工作在这一频率下的电路,相当大的范围内都可以当作集总参数电路。当 λ 不能满足远大于 d 时,应当按分布参数电路处理,如实际中两平行导线的电阻、电感和电容都是沿线分布的,本书不予讨论。

电能的传输和转换,或者信号的传递和处理,都要通过电流、电压和电功率来实现,因此,要对电路进行分析和计算,应先讨论电路的这几个基本物理量。

思考题

- 1-1-1 电路理论研究的对象是什么?
- 1-1-2 什么叫电路? 电路的作用是什么? 电路由哪几部分组成?
- 1-1-3 什么是实际电路的电路模型?
- 1-1-4 实际电路与电路模型有何不同?

第二节 电路的基本物理量

电路的基本物理量有电流、电压和电功率。

一、电流及其参考方向

电流是由电荷的定向移动形成的, 其大小用电流强度表示, 电流强度的定义是单位时间内通过导体横截面的电荷量。或者说, 电流 i 的大小就是电荷量 q 对时间 t 的变化率, 即

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

当电流 i 等于常数 (也就是任何时刻通过导体横截面的电荷量是恒定的) 时, 称该电流为恒定电流, 通常称为直流电流, 常用 I 表示。式 (1-1) 可写为

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

大写字母 I 表示直流电流; 小写字母 i 既可表示直流电流也可表示随时间 t 变化的交流电流, 是表示电流的一般符号。

在国际单位制中, 电流的单位为 A (安培)。1A 的电流就是每 1s (秒) 通过导体横截面的电荷量为 1C (库仑)。此外, 电流单位还常用 kA (千安)、mA (毫安) 和 μ A (微安) 等表示。它们之间的关系是

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

SI 单位换算见表 1-1。

表 1-1

SI 单位换算表

因数	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
名称	吉	兆	千	百	十	分	厘	毫	微	纳	皮
符号	G	M	k	h	da	d	c	m	μ	n	p

电流在电路中流动是有方向的, 习惯上规定正电荷移动的方向为电流的正方向, 并称为电流的实际方向。

通常, 在计算稍为复杂的电路时, 电流的方向很难断定, 因此, 在分析计算电路时, 常可任意选定 (标明) 电流的方向, 称为参考方向, 用箭头表示。如图 1-4 (a) 所示, 二端元件中电流 i 的流向为 a 到 b, 是 i 的参考方向。而电流 i 的实际流向, 即实际方向是否也为 a 到 b, 在图 1-4 (a) 中是看不出来的, 应由 i 的参考方向和 i 的数值是正还是负来进行判断才能得到。

当电流 i 的实际方向与参考方向相同, i 为正值; 当电流 i 的实际方向与参考方向相反, i 为负值。由此可知, 图 1-4 (b) 中电流 i 的实际方向 (真实流向) 为 a 到 b, 图 1-4 (c) 中电流 i 的实际方向为 b 到 a, 图 1-4 (a) 中电流 i 的实际方向无法得知, 因为缺少电流数值正负这个条件。

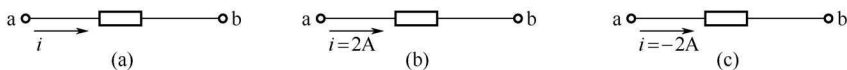


图 1-4 电流方向

应当指出, 在电路分析计算中, 没有规定参考方向的电流数值的含义是不完整、不正确的。为了确切地表示电流, 必须标明其参考方向。在电路中能看到的电流方向是 i 的参考方向, 而 i 的实际方向应由 i 的参考方向和 i 的数值是正还是负来判断得知。

【例 1-1】 已知图 1-5 (a) 中电流 i 的方向为 a 到 b, 试标明它的参考方向, 并说明图 1-5 (b) 中电流 i 的实际方向。

解 (1) 图 1-5 (a) 中电流 i 的参考方向由 a 指向 b, 如图 1-6 所示。

(2) 图 1-5 (b) 中电流 i 的实际方向为由 b 流向 a。

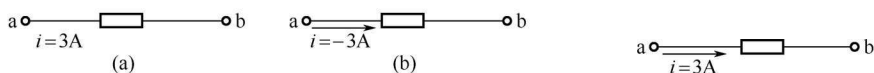


图 1-5 [例 1-1] 电路图

图 1-6 [例 1-1] 解图

二、电压、电位、电动势及其参考极性

1. 电压及其参考极性

众所周知, 水从高处流向低处会做功。水电厂就是利用水坝高处的水流经水轮机时, 推动叶轮转动而做功发电的。反之, 人们若将坝下的水搬运至坝上, 就必须克服水的重力而做功, 这样, 所做的功便转变为水增加的势能。

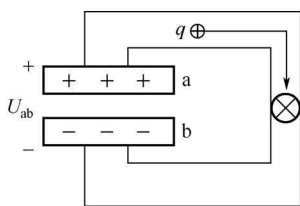


图 1-7 极板间的电压

电荷在电场中运动也要做功。图 1-7 所示为两块带电的极板 a 和 b, 极板 a 带正电, 极板 b 带负电, 因此在两极板 a、b 之间存在电场, 其方向由 a 指向 b。若用连接线和灯泡将 a、b 两极板连接起来, 则在电场力的作用下, 正电荷就会从 a 极板经连接线和灯泡移动到 b 极板 (实际上是自由电子由 b 极板移动到 a 极板), 如同水在重力作用下移动而做功一样, 正电荷在电场力的作用下移动时也要做功, 它所释放的能量就是灯泡发

热发光的能源。为了衡量电场力对电荷做功的能力, 引入电压这一物理量。

单位正电荷在电场力作用下由 a 点经任意路径移至 b 点时所释放的能量称为 a、b 两点间的电压, 用 u_{ab} 表示, 即

$$u_{ab} = \frac{d\omega}{dq} \quad (1-3)$$

式 (1-3) 中 $d\omega$ 、 dq 为定值时, 称为直流电压, 用 U_{ab} 表示。

在国际单位制中, 电压的单位是 V (伏特), 1V 就是 1C 的电荷量释放了 1J 的能量。工程中电压的单位也常用 kV (千伏)、mV (毫伏) 和 μV (微伏) 表示。

应用式 (1-3) 时, 正电荷的电荷量用正值, 负电荷的电荷量用负值; 电荷失去的能量用正值, 电荷获得的能量用负值。

【例 1-2】 有 3C 的负电荷由电路的 a 点移至 b 点时减少了 36J 的能量, 试求 a 、 b 两点间电压 U_{ab} 。

解 由式 (1-3) 得

$$u_{ab} = \frac{d\omega}{dq} = \frac{36}{-3} = -12(\text{V})$$

若正电荷由 a 点移至 b 点时释放 (失去) 能量, 则 a 点为高电位点, b 点为低电位点。反之, 若正电荷由 a 点移至 b 点时获得 (吸收) 能量, 则 a 点为低电位点, b 点为高电位点。习惯上规定: 由高电位点到低电位点的指向为电压的实际方向。因此, 电压也可称为电位降或电压降。

在电路的分析计算中, 也需要选取电压的参考方向。电压的参考方向可以用实线箭头表示, 如图 1-8 (a) 所示, 也可以用正 (+)、负 (-) 极性表示, 如图 1-8 (b) 所示。电压的参考极性 (方向) 可任意选取 (标明), 同电流一样, 电压的实际极性 (方向) 应由电压

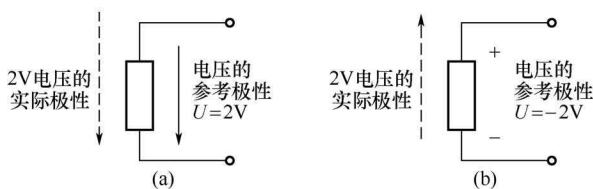


图 1-8 电压的极性

的参考极性 (方向) 和电压数值的正负断定。当电压的实际极性 (方向) 与参考极性 (方向) 一致时, 电压为正值, 如图 1-8 (a) 所示; 反之, 电压为负值, 如图 1-8 (b) 所示。

电压的参考方向还可以用双下角标来表示, U_{ab} 表示电压的参考方向由 a 点指向 b 点, U_{ba} 表示电压的参考方向由 b 点指向 a 点。若 $U_{ab}=2\text{V}$, 则 $U_{ba}=-2\text{V}$, 可见

$$U_{ab} = -U_{ba} \quad (1-4)$$

电路中电流的参考方向可以任意选取, 电压的参考方向也可任意选取。当在一个元件上将电流和电压的参考方向取得一致, 称为关联参考方向; 取得相反, 称为非关联参考方向。对于负载上的电流和电压的参考方向, 常取关联参考方向。

2. 电位及其参考方向

在电路中, 两点之间的电压也称为两点之间的电位差, 即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

式中: V_a 为 a 点的电位; V_b 为 b 点的电位。

电路中某点的电位就是该点对参考点 (零电位点) 的电压。若取电路中的 o 点为参考点, 则 a 点的电位 $V_a = U_{ao}$, b 点的电位 $V_b = U_{bo}$ 。

参考点的电位为零。某点的电位为正值, 表示该点电位高于参考点电位。某点电位为负值, 表示该点电位低于参考点。参考点在电路中以接地符号 “ $\perp$ ” 标明。

【例 1-3】 图 1-9 所示二端元件中, 若 $U=-8\text{V}$, 试问 a 、 b 两点哪点电位高?

解 由图 1-9 中所示电压的参考极性, $U = U_{ab} = V_a - V_b = -8\text{V}$, 说明 $V_a < V_b$, 即 b 点电位高。

【例 1-4】 在图 1-10 所示的部分电路中, 试求 a 、 b 两点的电位和电压 U_{ab} 。

解 $V_a = U_{a0} = 3\text{V}$, $V_b = U_{b0} = -1\text{V}$, $U_{ab} = V_a - V_b = 3 - (-1) = 4(\text{V})$ 。

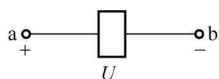


图 1-9 [例 1-3] 电路

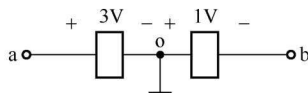


图 1-10 [例 1-4] 电路

3. 电动势及其参考方向

如上所述, 电场力总是将正电荷从高电位端 (正极) 推向低电位端 (负极), 形成电流。一个电路要维持电流的连续性, 其中应有能把其他形式的能量转换为电能的电源。电压是电场力做功, 将电能转换成其他形式的能。电源是电源力做功, 电源力把正电荷从电源的低电位端经电源的内部移到高电位端, 将其他形式的能转换成电能。这样一来就维持了一个电路中电流的连续性。用电动势来衡量电源力对电荷做功的能力, 用 e 或 E 表示。 e 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端经电源的内部移到高电位端所做的功。因此, 电动势的实际方向是电源的低电位端指向高电位端的方向, 即电位升的方向。显然, 在国际单位制中电动势的单位也是 V (伏特)。

同样可以任意指定电动势的参考方向 (或参考极性), 由其数值的正负来确定实际方向。电动势 e 与其端电压 u 的关系为: 参考方向 (或参考极性) 相反时, $u = e$; 参考方向 (参考极性) 相同时, $u = -e$ 。

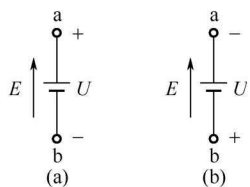


图 1-11 [例 1-5] 电路

【例 1-5】 如图 1-11 所示的理想干电池, 现用电压表测得 ab 端电压为 1.5V, 试求图 1-11 (a)、(b) 所示的电压和电动势的数值。

解 理想干电池的图形符号, 给出了端电压的实际极性, 长线为正, 短线为负。

(a) $U = 1.5\text{V}$, $E = U = 1.5\text{V}$;

(b) $U = -1.5\text{V}$, $E = -U = 1.5\text{V}$ 。

三、电功率和电能

电功率简称功率, 是电路分析计算中一个基本物理量。一个二端元件的功率情况, 有吸收功率和发出功率之分。它所吸收或发出的功率定义为单位时间内二端元件吸收或发出的电能, 用 p 或 P 表示。大写字母 P 表示不随时间变化的功率, 如直流电路的功率; 小写字母 p 既可表示不随时间变化又可表示随时间变化的功率, 即

$$p = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-6)$$

式 (1-6) 表明电功率是传送或转换电能的速率, 在国际单位制中 $d\omega$ 的单位是 J, dt 的单位是 s, p 的单位是 W (瓦特)。常用功率的单位有 kW (千瓦)、MW (兆瓦) 和 mW (毫瓦)。

功率 p 的计算, 一般不用式 (1-6) 计算, 而是通过其端钮的电压和电流来求出。将式 (1-6) 分式上下同乘以 dq , 得计算公式为

$$p = \frac{d\omega dq}{dt dq} = \frac{d\omega}{dq} \frac{dq}{dt} = ui$$

当设 u 与 i 为关联参考方向时 [见图 1-12 (a)], 则

$$p = ui \quad (1-7)$$

当设 u 与 i 为非关联参考方向时 [见图 1-12 (b)], 则

$$p = -ui \quad (1-8)$$

一个二端元件是吸收功率还是发出功率, 就看由式 (1-7) 和式 (1-8) 计算得 p 的值是正还是负。若 $p > 0$, 则二端元件吸收功率, 属负载; 若 $p < 0$, 则二端元件发出功率, 属电源。对于一个完整的电路而言, 发出功率的和与吸收功率的和总是相等的, 这称作电路的功率平衡。

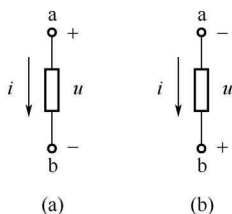


图 1-12 功率计算

【例 1-6】 求图 1-13 所示各二端元件的功率, 并说明其性质。

解 (a) $p = ui = 3 \times 1 = 3(\text{W})$ (吸收功率, 属负载)

(b) $p = -ui = -3 \times 2 = -6(\text{W})$ (发出功率, 属电源)

(c) $p = -ui = -(-3) \times 2 = 6(\text{W})$ (吸收功率, 属负载)

(d) $p = ui = 3 \times (-2) = -6(\text{W})$ (发出功率, 属电源)

(e) $p = -ui = -3 \times (-2) = 6(\text{W})$ (吸收功率, 属负载)

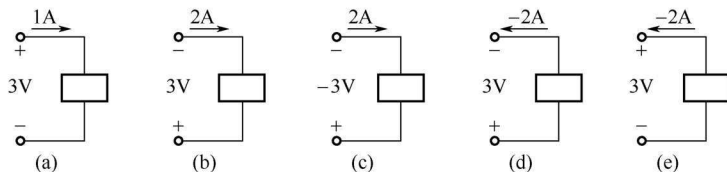


图 1-13 [例 1-6] 电路

电能量简称电能, 也是电路分析中一个重要的物理量, 其大小应为电功率对时间的累加, 即

$$w = \int p(\tau) d\tau \quad (1-9)$$

若一个电路元件吸收的功率 P 为常数, 则该元件在时间 t 内吸收的电能为

$$W = Pt \quad (1-10)$$

由 $P = UI$ 得

$$W = UI t \quad (1-11)$$

电能的单位是 J, $1\text{J} = 1\text{W} \times 1\text{s}$, 也就是功率为 1W 的用电器在 1s 内消耗 (吸收) 1J 电能。在电力电路中, 常用 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ (千瓦·时) 作为电能的单位, 表示 1kW 的用电设备使用 1h 所消耗的电能。

思考题

1-2-1 电压、电位、电位差、电动势有何区别与关系?

1-2-2 参考方向是否可以不标明? 标明参考方向后能否在计算时又更改?

1-2-3 当元件电流、电压选择关联参考方向时, 什么情况下元件吸收功率? 什么情况下元件发出功率? 什么情况下元件属于电源? 什么情况下元件属于负载?

1-2-4 有两个电源, 一个电源发出的电能为 $200\text{kW} \cdot \text{h}$, 另一个电源发出的电能为 $800\text{kW} \cdot \text{h}$ 。是否可以认为前一个电源的功率小, 后一个电源的功率大?