

Electric Power Technology

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI (高职高专教育)



DIANGONG JISHU

电工技术

(上册)

解建宝 主 编
刘佩芬 李建兴 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

教育部《中等职业学校电工、电子线路课程教学大纲》



电工技术

（上册）

主编 王 强 副主编 王 强
主审 王 强 副主审 王 强

中国电力出版社
CHINA ELECTRICITY PRESS

普通高等教育“十一五”规划教材 (高职高专教育)
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANGONG JISHU
电工技术
(上册)

主 编	解建宝		
副主编	刘佩芬	李建兴	
编 写	吴安岚	智贵连	魏晓军
	王 锦	徐益敏	林创利
	陈延枫	陈 莅	王 艳
	王锁川	贺军荪	
主 审	张 明	齐 强	



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材（高职高专教育）。

全书分上、下两册。上册共十二章，内容包括恒稳直流电路，电磁和电磁感应，恒稳单相正弦交流电路，恒稳三相正弦交流电路，动态电路，半导体整流、滤波稳压电路，半导体放大电路，数字电子电路介绍，电力变压器，异步电动机，同步电机，常用电工仪表及测量。下册共七章，内容包括电力系统基本知识，电气设备与配电装置，电气主接线，防雷与接地，二次接线部分，电气设备的运行，安全用电。

本书可作为高职高专院校非电类专业教材，亦可作为成人教育教材和相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

电工技术. 上册/解建宝主编. —北京：中国电力出版社，2008

普通高等教育“十一五”规划教材. 高职高专教育

ISBN 978 - 7 - 5083 - 7862 - 6

I. 电… II. 解… III. 电工技术-高等学校：技术学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 145659 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 2 月第一版 2009 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 341 千字

定价 22.80 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

本书是按照教育部对高职高专教育人才培养工作的指导思想,结合陕西 21 世纪初高等教育教学改革工程研究课题《高职高专教育电工课程教学内容体系改革、建设的研究与实践》,在广泛汲取与借鉴近年来高职高专教学经验的基础上编写的。

本书主要针对高职高专热动力类非电专业少课时《电工学》的要求编写,在内容体系上比以前的《电工学》有较大的改变,主要包括两个部分:

电工技术部分:

(1) 要求掌握电路的基本概念,增加了电磁场的基本知识,删除了受控源、复杂交流电路、二阶电路的响应、非正弦周期电流电路的计算及交流铁心线圈的等效电路等内容;

(2) 增加了电力变压器的原理、特性、运行的内容;

(3) 删去控制电机、直流发电机和可编程控制器内容,加强对异步电动机、同步电机原理特性讲解;

(4) 强化了现场电量测量方式的基本概念;

(5) 增加了电力系统基本知识、发电厂电气设备及运行方面的内容;

(6) 适当加强安全用电方面的知识。

电子技术部分:

(1) 在放大电路部分删去或精简了一些分立元件电路,加强了运算放大器的分析和应用;

(2) 加强了晶闸管的应用,例如结合电动机的变频调速,增加晶闸管逆变器内容;

(3) 在数字电路部分,由小规模集成电路入门,以中规模集成电路为重点,结合应用引入大规模集成电路;

(4) 增加“存储器和可编程逻辑器件”一章,侧重其应用;

(5) 加强应用,特别注意将多种元器件或单元电路组成实用系统,使学生了解它们之间的联系,建立完整概念;

(6) 此外,还编入功率场效应管、集成功率放大电路、晶闸管交流调压、卡诺图、数据分配器和数据选择器、环形计数器、环形分配器、CMOS 触发器。

本书由电工学教改小组共同编写,解建宝主编,刘佩芬、李建兴副主编。全书分上、下册,上册编写人员为第一章由吴安岚编写,第二章由魏晓军编写,第三、四章由智贵连编写,第五、十二章由李建兴编写,第六、七、八章由王锦编写,第九、十、十一章由徐益敏编写。下册编写人员为第一章由刘佩芬、陈延枫共同编写,第二章由林创利编写,第三章由刘佩芬、贺军荪共同编写,第四、五章由陈莅编写,第六章由解建宝、王艳共同编写,第七章由解建宝、王锁川共同编写,全书由解建宝、陈延枫统稿。

本书还配有教学用课件,课件主要由李建兴、贺军荪、张秦文制作,徐益敏、林创利同志提供了大量素材,在此一并表示感谢。

本书先由电工学教改小组的编者互相审阅,并请宋宝利、朱雅清同志审阅了电子、电机

部分的六章内容。全书由西安电力高等专科学校组织专家审核、审定。

本书从编写大纲的审定、初稿的形成、组织审核、定稿，一直得到牛鼎铭教授的支持和关心，同时也得到西安电力高等专科学校单位领导的大力支持。西安电力高等专科学校电力工程系为本书的编写做了大量的工作，在此向所有关心、支持和参与本书编写的领导和专家表示衷心的感谢。

由于编者能力有限，见解不多，有些内容属初次引入，难免不够妥善，甚至会有错误之处。希望读者，特别是使用本书的教师和同学积极提出批评和改进意见，以便今后修订提高。

编 者

2005 年 12 月

目 录

前言

第一章 恒稳直流电路	1
第一节 电路的基本物理量.....	1
第二节 电阻的串并联.....	5
第三节 基尔霍夫定律.....	7
第四节 实际电流源与实际电压源	11
第五节 支路电流法	16
第六节 叠加原理	17
第七节 戴维南定理	19
本章小结	21
习题与思考题	21
第二章 电磁和电磁感应	24
第一节 磁铁和磁场	24
第二节 磁场的基本物理量	26
第三节 电磁感应	29
第四节 自感、互感和涡流	33
本章小结	35
习题与思考题	36
第三章 恒稳单相正弦交流电路	37
第一节 正弦交流电的基本概念	37
第二节 单一元件的交流电路	41
第三节 正弦交流电路的一般分析方法	44
第四节 正弦电路的功率	50
本章小结	52
习题与思考题	53
第四章 恒稳三相正弦交流电路	55
第一节 三相电源	55
第二节 星形连接的三相负载电路	58
第三节 三角形连接的三相负载电路	61
第四节 三相电路的功率	63
本章小结	64
习题与思考题	65
第五章 动态电路	67
第一节 换路定则及暂态过程初始值的确定	67

第二节 一阶电路的暂态响应	70
第三节 一阶电路暂态分析的三要素法	76
本章小结	78
习题与思考题	79
第六章 半导体整流、滤波稳压电路	80
第一节 半导体二极管	80
第二节 单相整流滤波电路	85
第三节 晶闸管及单相可控整流电路	90
本章小结	96
习题与思考题	96
第七章 半导体放大电路	98
第一节 半导体三极管	98
第二节 基本放大电路	101
第三节 集成运算放大器	110
第四节 放大电路中的负反馈	118
第五节 集成稳压器	122
本章小结	125
习题与思考题	126
第八章 数字电子电路介绍	128
第一节 逻辑代数基础	128
第二节 常见集成数字电路	136
本章小结	149
习题与思考题	150
第九章 电力变压器	152
第一节 变压器的基本原理和结构	152
第二节 三相变压器的极性和连接组别	156
第三节 特殊变压器	159
本章小结	161
习题与思考题	161
第十章 异步电动机	163
第一节 三相异步电动机的基本结构	163
第二节 异步电动机的工作原理	165
第三节 异步电动机的特性	167
第四节 三相异步电动机的起动	170
* 第五节 单相异步电动机	174
本章小结	176
习题与思考题	176
第十一章 同步电机	178
第一节 同步发电机的基本结构和工作原理	178

第二节 单独运行的同步发电机的工作特性·····	181
第三节 同步发电机的并联运行及功率调节·····	183
* 第四节 同步电动机·····	188
本章小结·····	189
习题与思考题·····	190
第十二章 常用电工仪表及测量 ·····	191
第一节 电工仪表的一般知识·····	191
第二节 电量的测量·····	200
本章小结·····	215
习题与思考题·····	216
参考文献 ·····	217

第一章 恒 稳 直 流 电 路

第一节 电路的基本物理量

电气元器件按照一定的方式组合起来构成电荷流通的路径，称为电路，也称网络。按功能不同电路可以分为两类：一类的功能是传输、分配和使用电能，例如由发电机、变压器、输电线、电动机等主要设备构成的电力网；另一类的功能是转换、控制、储存和处理电信号，例如电视机中，输入的是微弱的视频音频载波信号，通过调谐器、放大器、显像管等电子器件，输出了放大的图像声音信号。随着电荷的流通，电路中进行着电能和其他形式能量的相互转换。

电荷在导体、电气元件中定向移动形成电流。导体因为由原子、分子等微粒组成，对电荷在其中定向移动会产生阻力，该阻力称为电阻，图形符号为“”，用符号 R 表示，单位为欧姆 (Ω)，其大小可以用欧姆表进行测量。一定温度下，导体的电阻与其长度成正比，与其截面积成反比，还与导体的材料有关，其大小为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——导体材料的电阻率， $\Omega \cdot \text{m}$ ；

L ——导体的长度， m ；

S ——导体的截面积， m^2 。

电路图中连接各元器件的导线很短，一般看成理想导线，忽略它的电阻。

不但导体有电阻，其他元器件也有电阻。有些元器件的电阻在不同工作状态及环境下电阻值相差很大，称为可变电阻或非线性电阻，如热敏电阻、光敏电阻、压敏电阻，其特性在工程实践中用途很大。

电阻和其他元器件在电路上要消耗电能，与电能的传输、消耗有关的物理量有电流、电压、功率、电能等。

一、电流

电流是一种物理现象，也是电流强度的简称，用符号 i 表示，单位为安培 (A)，其大小等于穿过导体横截面的电荷量与所需时间之比： $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ ，每秒内穿过导体横截面的电荷为 1C 时，电流就为 1A。电流的大小可以用电流表进行测量。

本章述及的电流大小和方向均不随时间变化，被称为直流 (DC) 电流，常用大写字母 I 表示。

习惯上将正电荷的移动方向规定为电流的实际方向。在分析较复杂的电路时，往往事先难以判定某路径中电流的实际方向，可任意假定某一方向作为电流的参考方向，用箭头或双下标表示，如图 1-1 所示。规定了电流的参考方向以后，电流就是一个代数量了。若某电流参考方向与实际方向一致，则该电流为正值，即 $I > 0$ ；若两者方向相反，则该电流为负值，即 $I < 0$ 。未事先在电路图中假定电流的参考方向，计算电流的正负是没有意义的。

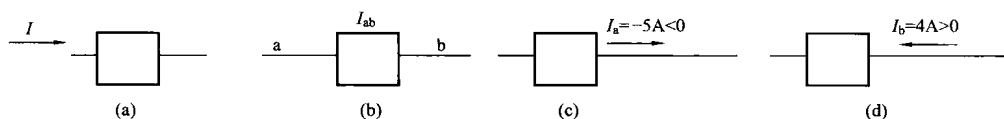


图 1-1 电流的参考方向

在图 1-1 中, 图 1-1 (a) 表示电流的参考方向向右; 图 1-1 (b) 表示电流的参考方向由 a 点流向 b 点; 图 1-1 (c) 表示电流的实际方向向左; 图 1-1 (d) 表示电流的实际方向向右。

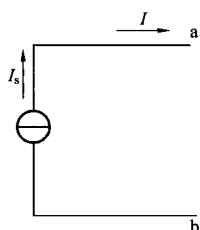


图 1-2 理想电流源 品质优良的光电池在一定工作范围内其性能接近于理想电流源。

为了讨论方便, 人们设想出一种性能理想化的用于输出电流的电流源, 称为“理想电流源”, 其图形符号如图 1-2 所示。理想电流源是一个二端元件 (有两个端子与外电路相接), 无论在它的输出端 ab 端外接什么样的元器件, 它的输出电流 I 恒等于它的确定的电流值 I_s 。

二、电位、电压、电动势

1. 电位

如图 1-3 (a) 所示, 人用力推动小车向前运动要对小车做功, 功的大小为 $W = FS$ 。同理如图 1-3 (b) 所示, 电场力 f 推动正电荷从 a 点移动到 o 点, 也要对正电荷做功, 功的大小为 $W = fL$ 。

电场力把单位正电荷从电场中的某点移到参考点 o 所做的功称为该点的电位, 用符号 V 表示, 单位为伏特 (V)。参考点 o 的电位假设为零, 一般电系统中以大地作为零电位参考点, 用符号 “ $\frac{1}{\text{地}}$ ” 来表示, 高于参考点的电位是正电位, 低于参考点的电位是负电位。电路中某点的电位是个相对量, 因为电位参考点 o 可以任意选取, 参考点发生变化, 电路中各点的电位也要随之变化。

2. 电压

图 1-3 (b) 中电场力 f 将单位正电荷从 a 点和 b 点分别移到参考点 o 所做的功是不一样的, 其中有

$$W_{ao} = V_{ao} = fL_{ao}$$

$$W_{bo} = V_{bo} = fL_{bo}$$

因为

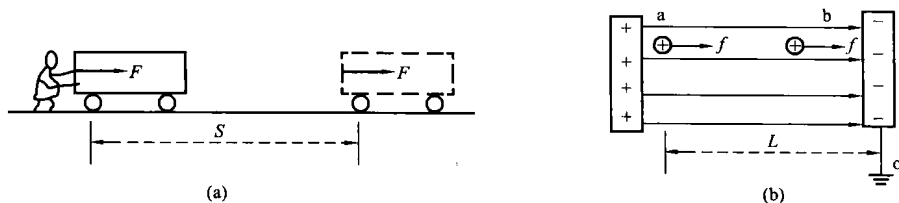
$$L_{ao} > L_{bo}$$

所以

$$V_{ao} > V_{bo}$$

由此可知, a 点的电位高于 b 点的电位。

电路中任意两点间的电位之差定义为这两点间的电压, 用符号 U 表示, 单位为伏特 (V)。图 1-3 (b) 中有

图 1-3 电场中电场力 f 对电荷做功

$$U_{ab} = V_{ao} - V_{bo} \quad (1-2)$$

可以简单地理解为电压是电路中电荷之所以会产生移动的原因。导体中的正电荷在电位差的作用下向低电位点移动，类似于水管中的水在水压差的作用下向低水压处流动。同一电路中，电位参考点发生变化，任意两点间的电压不变。电压的大小可以用电压表进行测量。

电位也可以用电压来定义，电路中 a 点的电位 V_a 就是该点与参考点之间的电压 u_{ao} 。

本章述及的电压其大小和方向均不随时间变化，被称为直流电压，常用大写字母 U 表示。

电压的实际极性是高电位点为正极、低电位点为负极，电压实际方向是电位降低的方向。在分析较复杂的电路时，可任意假定参考极性（设某一点极性为正、另一点极性为负）或用双下标和箭头表示电压的参考方向，如图 1-4 所示。规定了电压的参考方向以后，电压就是一个代数量了。若某电压参考方向与实际方向一致，则该电压为正值， $U > 0$ ；若两者方向相反，则该电压为负值， $U < 0$ 。未事先在电路图中假定电压的参考极性，计算电压的正负是没有意义的。

图 1-4 (a)、(b)、(c) 均表示电压的参考方向向右；图 1-4 (d)、(e) 均表示电压实际方向向左。

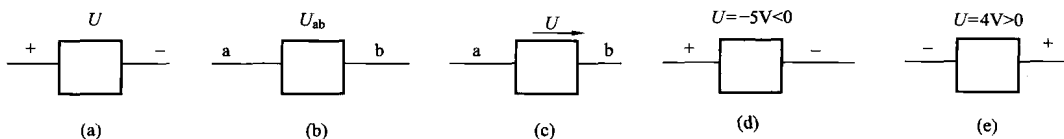


图 1-4 电压的参考方向

为了讨论方便，人们设想出一种性能理想化的用于输出电压的电压源，称为“理想电压源”，其图形符号如图 1-5 (a) 所示，直流情况下也可以用图 1-5 (b) 中的电池来表示。理想电压源是一个二端元件，无论在它的输出端 ab 端外接什么样的元器件，它的输出电压 U 恒等于它的确定电压值 U_s 。品质优良的干电池或电子稳压电源在一定工作范围内其性能接近理想电压源。

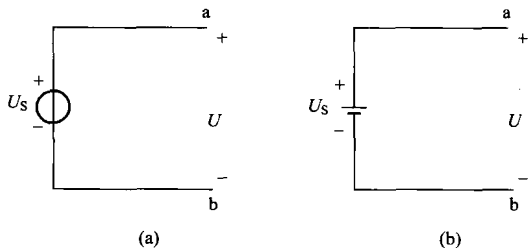


图 1-5 理想电压源

3. 电动势

观察图 1-6，如果 U_s 为正值， I 也为正值且顺时针流动，在电阻中正电荷从高电位点 a 向低电位点 b 移动。为了形成连续的电流，在电源中正电荷必须从低电位点回到高电位点，这就要求在电源中有一个电源力作用在正电荷上，使之逆着电场力的方向移动回到 a 点，并把其他形式的能量转换成电能。例如在发电机中，当导体在磁场中旋转而切割磁力线时，导体内便出现这种电源力；在电池中，化学力充当了这种电源力。电源中的电源力克服电场力做功，使正电荷的电能增加。这如同循环水系统中，为了形成连续的水流，在水泵中必须有一个力将水逆着水的重力方向提升到高处的水泵出水口处，水在提升的过程中消耗了水泵的机械能使其的势能增加。

电动势表明了电源内电源力将单位正电荷从电源的负极移动至正极时所做的功,其数值等于正电荷电能的增加量。电动势用符号 E 表示,单位为伏特 (V)。电动势 E 的实际方向是从电源的负极指向正极,即电源力的方向,与电源电压的实际方向刚好相反。

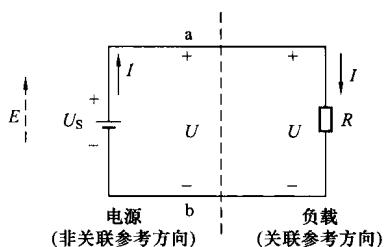


图 1-6 关联参考方向的图示

图 1-6 中,右侧 R 的电流参考方向从电压的参考正极流向参考负极,这种电压、电流指向一致的参考方向称为关联参考方向;而流过电压源 U_s 的电流参考方向是从电压的参考负极流向参考正极,称为非关联参考方向。

为了方便起见,负载的电流、电压参考方向一般选为关联参考方向;电源的电流、电压参考方向一般选为非关联参考方向。

三、功率

电气元件在单位时间内输出或消耗的电能为电功率,简称为功率。功率用符号 P 表示,单位为瓦特 (W),计算公式为 $P=UI$ 。功率可用功率表进行测量。

在计算功率时须注意判别功率的性质,判别方法如表 1-1 所示。应该注意到有处于负载地位的电源存在,如正在被充电的电池。

同一个电路中,负载吸收的功率之和等于电源输出的功率之和,这样才符合能量守恒定律。如图 1-6 所示,电压源输出的功率等于电阻吸收或消耗的功率。

表 1-1

元件吸收功率与输出功率的判别

假定的参考方向	图 形	功率的计算值	功率的性质
电压、电流关联参考方向时,假设元件吸收功率		$P=UI>0$	该元件吸收功率
		$P=UI<0$	该元件输出功率
电压、电流非关联参考方向时,假设元件输出功率		$P=UI>0$	该元件输出功率
		$P=UI<0$	该元件吸收功率

四、电能

电路元件在一段时间内消耗或输出的能量为电能,用符号 W 表示,单位为焦耳 (J)。电能可用电能表进行测量。

电能计算公式为

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

式中,电压的单位为伏特 (V),电流单位为安培 (A),时间单位为秒 (s),功率单位为瓦

特 (W), 能量的单位是焦耳 (J)。由于焦耳 (J) 这个单位在计量电能时显得过小, 因此在电力生产及供应中, 运用公式 $W = Pt$ 时, 时间单位选为小时 (h), 功率单位选为千瓦 (kW), 于是电能的单位选为 $\text{kW} \cdot \text{h}$, $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 即 1 度电。

本节所讲到的电流、电压、功率、电阻的单位分别为 A、V、W、 Ω 。在工程中, 有时觉得它们太大或太小, 因此计算中还可以用它们的十进制倍数单位和分数单位。各级单位之间都是 1000 倍的关系, 其换算关系如下。

$$\begin{aligned} 1\text{kA} &= 10^3\text{A}; 1\text{A} = 1000\text{mA} = 10^6\mu\text{A} \\ 1\text{kV} &= 1000\text{V}; 1\text{V} = 1000\text{mV} = 10^6\mu\text{V} \\ 1\text{MW} &= 1000\text{kW}; 1\text{kW} = 1000\text{W}; 1\text{W} = 1000\text{mW} = 10^6\mu\text{W} \\ 1\text{M}\Omega &= 1000\text{k}\Omega; 1\text{k}\Omega = 1000\Omega; 1\Omega = 1000\text{m}\Omega = 10^6\mu\Omega \end{aligned}$$

第二节 电阻 的 串 并 联

一、欧姆定律与电阻吸收的功率

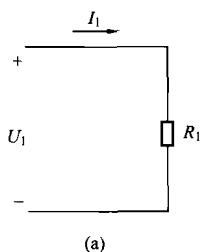
电阻元件上电流、电压的实际方向是一致的, 因此在关联参考方向和非关联参考方向下欧姆定律有两种形式, 如图 1-7 所示。非关联参考方向下, U_2 与 I_2 一个为正值时、另一个必为负值, 那么比值 $\frac{U_2}{I_2}$ 前必须加一个负号, 才能使 R_2 的值为正值。

电阻元件始终吸收功率, 其值为

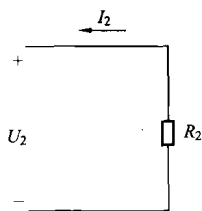
$$P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad (1-4)$$

二、电阻的串联及分压公式

数只电阻首尾相连, 其间没有分叉路径, 流过同一电流时称为电阻串联, 如图 1-8 所示。串联电阻的总电压等于各个分电压之和, 即



(a)



(b)

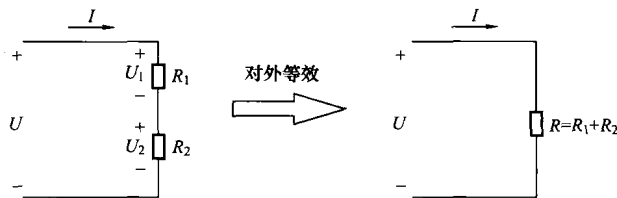


图 1-8 电阻的串联

图 1-7 欧姆定律的两种不同形式

(a) 关联参考方向下: $R_1 = \frac{U_1}{I_1}$;

(b) 非关联参考方向下: $R_2 = -\frac{U_2}{I_2}$

$$\left. \begin{aligned} U &= U_1 + U_2 = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2) \\ R &= \frac{U}{I} = R_1 + R_2 = \sum R_k \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

式中 R ——该串联电路对外的等效电阻值, 该值大于每一只分电阻值。

电阻串联电路中经常要用到已知总电压求分电压的分压公式:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} U = \frac{R_K}{\sum R_K} U \\ U_2 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} U = \frac{R_K}{\sum R_K} U \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

式(1-6)可以推广应用到三个及以上电阻的串联电路中。

电阻串联电路中电压分配和功率分配还有以下规律:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (1-7)$$

即两个串联电阻间的电压之比等于其功率之比等于其电阻值之比,电阻值越大者所分配的电压和功率越大。

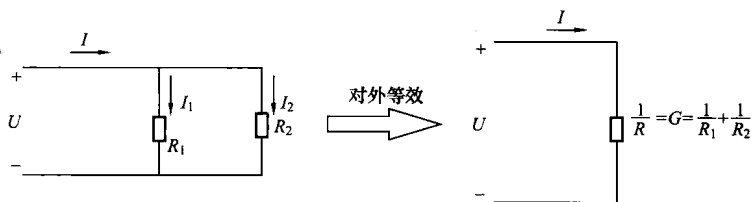


图 1-9 电阻的并联

三、电阻的并联及分流公式

数只电阻的一端连在一起,另一端也连在一起,所加同一电压时称为电阻并联,如图1-9所示。并联电阻的总电流等于各支路分电流之和,即

$$\left. \begin{aligned} I &= I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \\ G &= \frac{1}{R} = \frac{I}{U} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = G_1 + G_2 = \sum G_K \\ R &= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

式中 R ——该并联电路对外的等效电阻值,该值小于每一个分电阻;

$G = \frac{1}{R}$ ——该并联电路对外的等效电导值,电导等于电阻的倒数,单位为西门子(S, $S = 1/\Omega$),其大小等于该电路的电流与电压之比。

两只电阻并联的电路中经常要用到已知总电流求分电流的分流公式,注意以下两个公式不能推广应用到三个电阻的并联分流中。

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{1}{R_1} \times I \times \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = I \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{1}{R_2} \times I \times \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = I \times \frac{R_1}{R_1 + R_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

电阻并联电路中电流分配和功率分配还有以下规律:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{1/R_1}{1/R_2} \quad (1-10)$$

即两个并联电阻间的电流之比等于其功率之比等于其电导值之比,电导值越大者(即电阻值越小者)所分配的电流和功率越大。

【例 1-1】 求图 1-10、图 1-11 两电路中的等效电阻。

解：求等效电阻，一般从局部开始，将局部可以串联合并或并联合并的支路先行化简。图 1-10 (a) 电路中有三个 12Ω 电阻并联在一起，并联后的电阻值为 4Ω ，然后画出图 1-10 (b)，得

$$R_{ab} = \frac{8 \times (4 + 4)}{8 + (4 + 4)} = 4\Omega$$

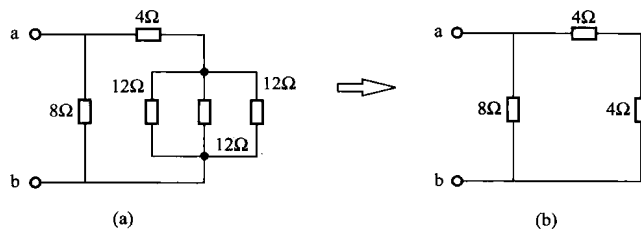


图 1-10 【例 1-1】附图 1

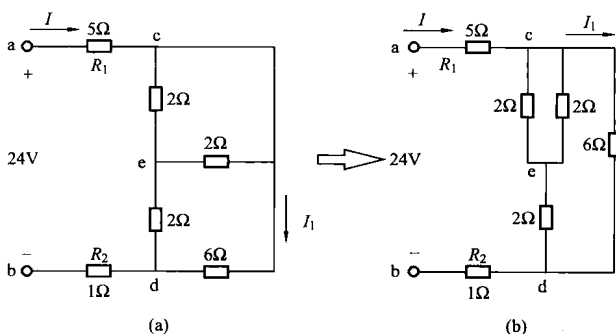


图 1-11 【例 1-1】附图 2

【例 1-2】 求图 1-11 (a) 电路中的 I 、 I_1 、 U_{cd} 。

解：图 1-11 (a) 所示电路看来复杂，看不清元件的连接方式，可以在不改变元件间连接关系的情况下将电路改画，得到图 1-11 (b)，其串并联方式一目了然，得到

$$R_{ab} = R_1 + R_{cd} + R_2 = 5 + \frac{3 \times 6}{3 + 6} + 1 = 8\Omega$$

化简以后的电路进行分流、分压计算十分方便

$$I = \frac{U_{ab}}{R_{ab}} = \frac{24}{8} = 3A$$

应用分流公式，有

$$I_1 = \frac{I}{6 + R_{cd}} R_{cd} = \frac{3}{6 + 3} 3 = 1A$$

应用分压公式，有

$$U_{cd} = \frac{U_{ab}}{R_1 + R_2 + R_{cd}} R_{cd} = \frac{24}{8} \times 2 = 6V$$

第三节 基 尔 霍 夫 定 律

一、几个名词术语

支路：把电路中几个元件首尾相连组成的没有分叉，流过同一电流的分支称为支路，图 1-12 中共有五条支路 ab 、 bc 、 ad 、 cd 、 bed 。

节点：是指三条和三条以上支路的连接点。图 1-12 中共有三个节点： a 、 b 、 d ； c 与 a 在一根理想导线两端，两点同电位，应看成是同一节点。

回路：电路中从一个节点出发不重复地经过若干支路和节点，再回到原出发节点所经过的闭合路径称为回路。图 1-12 中共有七个回路： $abca$ 、 $acda$ 、 $bedcb$ 、 $abeda$ 、 $abcda$ 、 $acbeda$ 、 $abedca$ ，其中前三个回路的中间没有包括其他支路，又被称为网孔，网孔是一种特殊的回

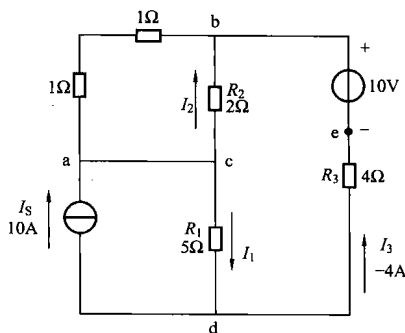


图 1-12 支点、节点、回路

路, 可以平铺画在纸面上。

二、基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律 (KCL) 指出, 电路中任一节点, 在任一瞬间, 流入节点的电流总和等于流出该节点的电流总和。也就是说电荷在节点处, 不会消失, 也不会堆积。这类似于一段具有分支的水管, 在分支点处流入分支点的水流量总和等于流出该分支点的水流量总和。

例如在图 1-12 中, 流入节点 d 的电流为 I_1 , 流出节点 d 的电流为 I_3 、 I_5 , 得到的 KCL 表达式为

$$I_1 = I_3 + I_5$$

由于

$$I_3 = -4\text{A}, I_5 = 10\text{A}$$

故得

$$I_1 = I_3 + I_5 = (-4) + 10 = 6\text{A}$$

若将式 $I_1 = I_3 + I_5$ 进行移项, 可得到节点 d 的另一种 KCL 表达形式:

$$I_1 - I_3 - I_5 = 0$$

上式表明: 在任一瞬间, 任一个节点上电流的代数和等于零。该表达形式可写为

$$\sum I = 0 \quad (1-11)$$

KCL 通常应用于节点, 但对包围几个节点的闭合面也是适用的。

【例 1-3】 图 1-13 所示电路中, 已知 $I_1 = 1\text{A}$, $I_2 = 2\text{A}$, $I_3 = -3\text{A}$, $I_4 = -1\text{A}$, $I_5 = 2\text{A}$, 求其余各支路电流。

解: 设流进左节点的电流为正, 流出的为负, 可得左侧节点的 KCL 方程:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_7 = 0$$

所以

$$\begin{aligned} I_7 &= I_1 + I_2 + I_3 - I_4 \\ &= 1 + 2 + (-3) - (-1) = 1\text{A} \end{aligned}$$

穿过图 1-13 中包围了左右两个节点的封闭面的有六条支路。由于电荷在封闭面内, 也不会消失、不会堆积, 因此这六条支路电流的代数和也应等于零, 此处封闭面相当于一个放大的节点。可得

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 + I_3 - I_4 + I_5 + I_6 &= 0 \\ I_6 &= -I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5 \\ &= -1 - 2 - (-3) + (-1) - 2 \\ &= -3\text{A} \end{aligned}$$

图 1-14 所示的电路, 如果开关 S 没有闭合, 虚线封闭面仅切割到一条支路, 根据

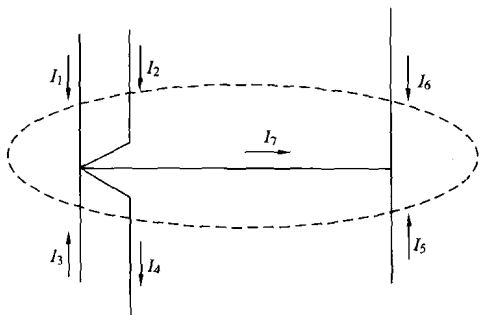


图 1-13 【例 1-3】附图

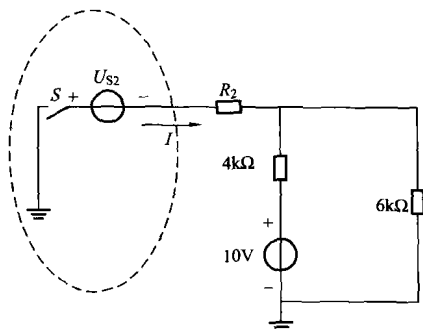


图 1-14 没有形成回路的支路电流为零