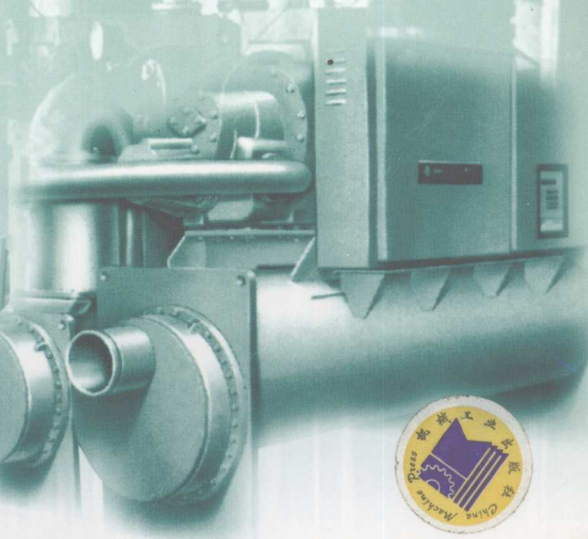
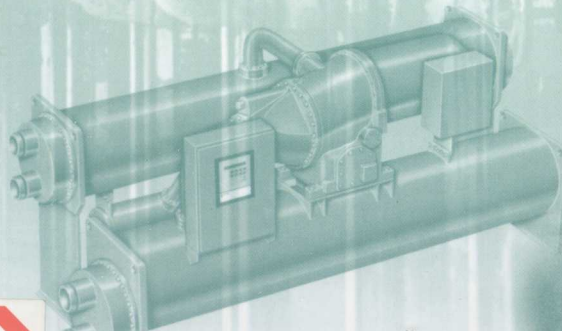
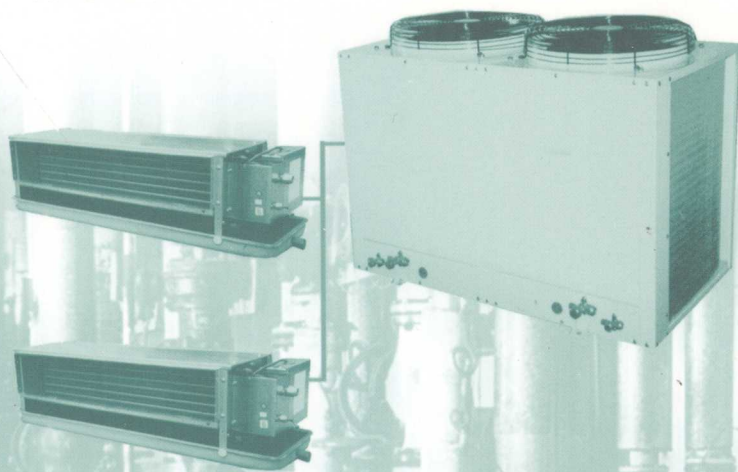


21世纪供热通风与空调工程系列规划教材

建筑电气工程

主编 谢社初 刘玲
主审 孙景芝



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪供热通风与空调工程系列规划教材

建筑电气工程

主 编 谢社初 刘 玲
参 编 吴云祥 李 文 裴 涛
主 审 孙景芝



机械工业出版社

本书是高职、高专供热通风与空调工程系列规划教材之一。全书共分为七章,内容包括电工与电子技术基础、建筑电气与照明技术、电机与拖动控制三大部分。第一部分简要地、有针对性地介绍了电工基础与电子技术基础理论;第二部分主要介绍民用建筑供电配电、常用电气设备和导线的选择、民用建筑电气照明设计、智能建筑弱电系统和消防报警系统、民用建筑防雷与接地等知识;第三部分介绍了变压器与电动机、常用建筑设备的电气控制技术。本书体现了课程改革的精神,内容结构合理,注重应用,实用性强。

本书可作为高职高专供热通风与空调、给水排水专业以及其他相关专业教材,也可作为从事建筑电气工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑电气工程/谢社初,刘玲主编. —北京:机械工业出版社,2005.1

(21世纪供热通风与空调工程系列规划教材)

ISBN 7-111-15447-9

I. 建… II. ①谢…②刘… III. 房屋建筑设备:电气设备—建筑安装工程—高等学校—教材 IV. TU85

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第120784号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:李俊玲 版式设计:张世琴 责任校对:张晓蓉

封面设计:姚毅 责任印制:石冉

保定市印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年2月第1版第1次印刷

1000mm×1400mm B5·12.125印张·468千字

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

前 言

现代建筑的最大特点是高科技、多学科、多技术的综合集成。建筑电气是现代建筑中一个不可缺少的专业学科，与建筑其他各专业学科联系密切。本书在编写时，为体现教学改革和课程改革精神，在内容的组合和选取方面作了较大的调整，主要表现在：

(1) 课程内容的综合性强。本书将过去的电工与电子技术基础、建筑电气与照明技术、电机原理与拖动控制等几门课程的内容进行了有机的组合，形成了一个较完整的体系，为教学组织和学生的学习提供了方便。

(2) 本书的内容体现了职业教育的特点，强调理论的应用性，理论知识以必需、够用为度，尽量避免过广过深，注重技能训练，紧密联系实际，充分体现以能力为本位的职业教育观念。

(3) 注重反映电气技术领域的新知识、新技术、新产品，注意贯彻最新的国家标准和设计规范。

全书共七章，按 100~110 学时讲授，每章末有复习题供读者复习巩固之用。

本书由谢社初、刘玲任主编。各章节编写者为：第一章第一~七节由湖南城建职业技术学院吴云祥编写；第一章第八~十一节由湖南城建职业技术学院李文编写；第二、五章由沈阳建筑职业技术学院裴涛编写；第三、四章由湖南城建职业技术学院谢社初编写；第六、七章由新疆建设职业技术学院刘玲编写。

本书由黑龙江建筑职业技术学院孙景芝主审。主审认真审阅了全书并提出了许多宝贵的意见和建议，谨此致谢！

本书在编写过程中，得到了湖南城建职业技术学院、新疆建设职业技术学院、沈阳建筑职业技术学院、机械工业出版社等单位领导的关心和大力支持，谨在此表示衷心的感谢！

在本书编写过程中参考了大量的资料和书刊，并引用了部分材料，除在参考文献中列出外，在此谨向这些书刊资料的作者表示衷心的感谢！

由于编写者水平有限和时间仓促，书中难免有错漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 建筑电气电工基础	1
第一节 电路的基本概念	1
第二节 电路的基本定律	5
第三节 电路的基本连接方式	8
第四节 电路的工作状态	12
第五节 正弦交流电	15
第六节 交流电路	22
第七节 三相交流电路	36
第八节 半导体二极管和晶体管	45
第九节 基本放大电路	53
第十节 晶闸管及其整流电路	67
第十一节 集成运算放大电路	71
实验一 串联、并联电路实验	75
实验二 荧光灯电路实验	76
实验三 三相负载的连接实验	77
实验四 半导体二极管、晶体管测试实验	78
实验五 基本共射放大电路	79
习题与思考题	80
第二章 变压器与电动机	86
第一节 变压器	86
第二节 异步电动机	96
第三节 直流电机	104
实验 三相异步电动机极性与接线测试实验	118
习题与思考题	119
第三章 民用建筑供配电	120
第一节 电力系统基本概念	120
第二节 电力负荷的计算	132
第三节 电线、电缆的选择及敷设	147
第四节 常用低压电器及其选择	172
习题与思考题	187
第四章 民用建筑电气照明技术	189
第一节 照明种类和照度标准	189

第二节 电光源和灯具的选择、布置、安装及照明节能	201
第三节 照明供配电与照明设计	238
习题与思考题	253
第五章 建筑设备电气控制	254
第一节 常用低压控制电器种类及使用	254
第二节 电机控制电路的基本环节	258
第三节 楼宇常用设备电气控制实例	271
习题与思考题	339
第六章 智能建筑弱电系统	340
第一节 智能建筑弱电系统概述	340
第二节 火灾自动报警与自动灭火系统	348
习题与思考题	354
第七章 建筑物防雷与接地	355
第一节 建筑物防雷	355
第二节 接地和接零	360
第三节 安全用电	367
习题与思考题	372
附录 电气工程图形符号	373
参考文献	379

第一章 建筑电气电工基础

第一节 电路的基本概念

电流流过的路径叫电路，它是为了完成某种功能，将一些电器元件（电阻器、线圈、电容器等）、电气设备（发电机、电动机、电灯等）、电子器件（晶体管、集成电路等）按一定方式连接起来形成的系统。电路的种类繁多，用途各异。但就其功能来说，可以概括为以下两个方面。

1) 实现电能的输送、分配和转换。如电力系统中（图 1-1），发电机将机械能转换成电能，再通过升压和降压变压器，输配电线路将电能输送到用户负载，负载又将电能转换成机械能、光能、热能等其他形式的能（如电动机、电灯、电饭煲等）。

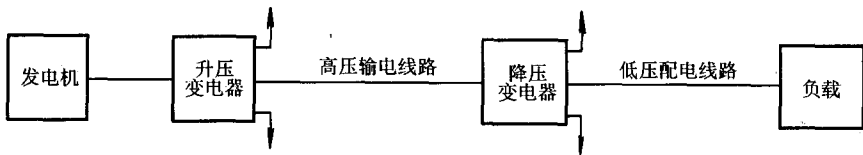


图 1-1 电力系统示意图

2) 实现信息的传递、转换和处理。如电话、电视、广播（图 1-2）等系统。这类电路的作用是将输入信号（如声音、图像信号）进行处理，放大后送到负载，负载将信号还原成声音、图像信号。

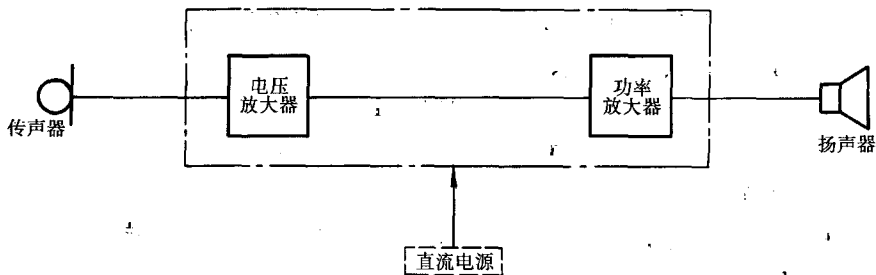


图 1-2 广播系统示意图

一、电路的组成

实际电路简繁不一，但都是由电源、负载和中间环节三个基本部分组成。简单电路和复杂电路最大的区别是中间环节的复杂程度。图 1-3 所示是一个最简单的电路，电源为干电池，负载是一个小灯泡，中间环节为开关和连接导线（如手电筒电路）。但对于住宅中的照明电路，中间环节就复杂很多，除了开关和导线外，还有保护电器（如熔断器）和计量仪表（如电能表），导线的连接也复杂得多。

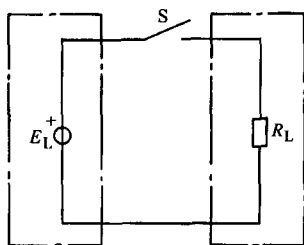


图 1-3 最简单的电路

一般情况下，电源和负载都是指理想电路元件。若无特殊说明，电源是泛指，既可以是一般电源，

也可以是信号源。负载也是泛指，既可以是一般用电设备，也可以是传递信号的装置。连接导线的作用是将电源和负载连成通路，以达到输送电能和传递信号的目的。常用的导线有铜质和铝质两种，它们都有一定的电阻。当连接导线较短时，其电阻比负载电阻小很多，往往忽略不计，予以理想化。

二、电路中常用的物理量

电路中有许多物理量，其中电源电动势，电路中的电位和电压，电流和电功率是常用物理量。为了计算的需要，在此先给出它们的单位及换算关系。

在国际单位制中，电流的单位为安培（A），简称安，较大的单位有千安（kA），较小的单位有毫安（mA）、微安（ μA ），其换算关系为

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

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

电位、电压和电动势的单位为伏特（V），简称伏，较大的单位有千伏（kV），较小的单位有毫伏（mV）、微伏（ μV ），其换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} \quad 1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

或
$$1\text{V} = 10^{-3}\text{kV} \quad 1\mu\text{V} = 10^{-3}\text{mV} = 10^{-6}\text{V}$$

电功率的单位为瓦特（W），简称瓦，较大的单位有千瓦（kW），较小的单位有毫瓦（mW），其换算关系为

$$1\text{kW} = 10^3\text{W} = 10^6\text{mW}$$

或
$$1\text{mW} = 10^{-3}\text{W} = 10^{-6}\text{kW}$$

1. 电动势

在电源内部，为了衡量非电场力对电荷做功的能力，引入电动势这一物理量。其定义为电源电动势在数值上等于非电场力把单位正电荷从电源的低电位端经电源内部移到高电位端所作的功，表示为

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-1)$$

电动势的实际方向由电源的负极指向正极，即电位升高的方向。

2. 电位和电压

电位在物理学中称为电势，电位的极性和大小与所选取的参考点有关，电路中某一点的电位等于该点与参考点之间的电压。参考点在电路中可以任选取，用“接地”（ \perp ）符号表示，但并不一定真与大地相接。

在图 1-4a 的电路中，如果选 d 点为参考点，即 $U_d = 0V$ ，则 a、b 两点的电位为

$$U_a = E_1 = 100V \quad U_b = E_2 = -50V$$

利用电位的概念，可将图 1-4a 简化为图 1-4b 所示电路。不画出电源号，只标出各端的电位值即可。

如果选 a 点为参考点，即 $U_a = 0V$ ，如图 1-4c 所示，则 d、b 两点的电位为 $U_d = -E_1 = -100V$ $U_b = -E_2 + (-E_1) = -50V + (-100)V = -150V$ 根据需要也可以选取 c 点或 b 点为参考点。

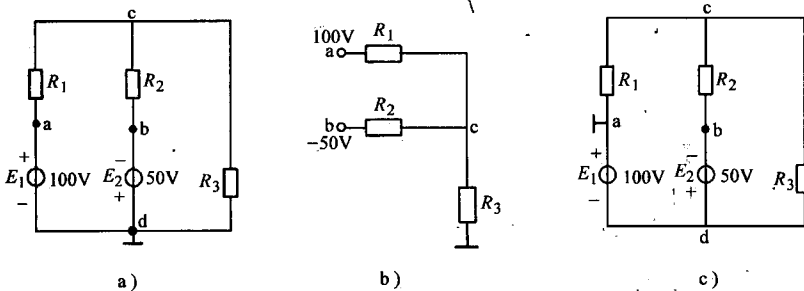


图 1-4 电位与参考点

显然参考点选取不同，电路中各点相应的电位也不同。参考点一经选定，则电路中各点的电位便确定，所以电路中某点电位的高低是相对参考点而言的。

电路中任意两点之间的电位之差叫电位差，又称电压或电压降。

在图 1-4a 中，a、b 两点之间的电压为

$$U_{ab} = U_a - U_b = 100V - (-50)V = 150V \quad (\text{d 点作为参考点})$$

在图 1-4c 中，a、b 两点间的电压为

$$U_{ab} = U_a - U_b = 0V - (-150)V = 150V \quad (\text{a 点作为参考点})$$

由此可见，电路中两点间的电压值不会因选取不同的参考点而改变，它是一个绝对量。电压的实际方向是电位降低的方向，即由高电位指向低电位。

电位虽然是对参考点而言的，实质上还是两点间的电压，只是将参考点的电

位指定为零而已。电位的实际方向是电路中某点指向参考点的方向。

3. 电流

电荷作定向运动形成电流，计量电流大小的物理量叫电流。电流的定义为单位时间内通过导体横截面的电量 Q 。

根据国家标准，不随时间变化的恒定物理量用大写字母表示，则电流 I 为

$$I = \frac{Q}{T} \quad (1-2)$$

而随时间变化的物理量用小写字母表示，则电流为

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (1-3)$$

i 称为瞬时值。

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向，即由电源正极性端流出，回到负极性端。

4. 电功率

一个元件的电功率等于该元件两端的电压与通过该元件电流的乘积。元件上的电功率有发出的，也有吸收的。在图 1-5 电路中，元件 R 上的电压 U_2 与电流 I 实际方向相同，乘积大于零，说明元件 R 是消耗电功率（吸收电功率）的。而电源元件两端电压 U_1 与电流 I 的实际方向相反，其乘积小于零，说明电源是发出功率的。

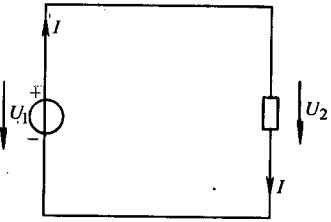


图 1-5 电路功率计算

在通常进行电路分析时，电压和电流均采用参考方向，这时可按下面两点确定元件的功率。

1) 由 U 、 I 的参考方向确定公式的符号。

①当 U 、 I 选相同方向时

$$P = UI \quad (\text{或 } p = ui) \quad (1-4)$$

②当 U 、 I 选相反方向时

$$P = -UI \quad (\text{或 } p = -ui) \quad (1-5)$$

式中， P 为功率 (W)； U 为电压 (V)； I 为电流 (A)。

2) 将已知电压 U (u) 和电流 I (i) 的数值及符号代入式 (1-4) 或式 (1-5) 中得到计算结果 P 。

若计算结果 $P > 0$ ，表明该元件是吸收（或消耗）功率的元件；若计算结果 $P < 0$ ，则该元

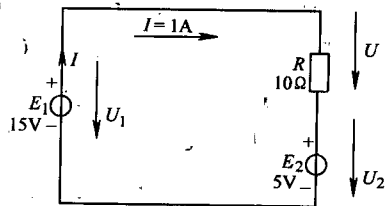


图 1-6 例题 1-1 图

件是发出功率的元件。

【例 1-1】 求图 1-6 中各元件的功率。

【解】 电源 E_1 的功率为

$$P_{E_1} = -U_1 I = (-15 \times 1) \text{ W} = -15 \text{ W} < 0$$

电源 E_2 的功率为

$$P_{E_2} = U_2 I = (5 \times 1) \text{ W} = 5 \text{ W} > 0$$

电阻 R 的功率为

$$U = 1 \times 10 \text{ V} = 10 \text{ V}$$

$$P_R = UI = (1 \times 10) \text{ W} = 10 \text{ W} > 0$$

结果表明：电源 E_1 发出 15W 功率，电源 E_2 消耗功率 5W，电阻 R 消耗功率 10W，功率平衡。

5. 电流、电压和电动势的参考方向

所谓参考方向，顾名思义，就是任意选定一个方向作为参考。当电流的参考方向与实际方向一致时，电流为正值 ($I > 0$)；当电流的参考方向与实际方向相反时，电流为负值 ($I < 0$)，如图 1-7 所示。

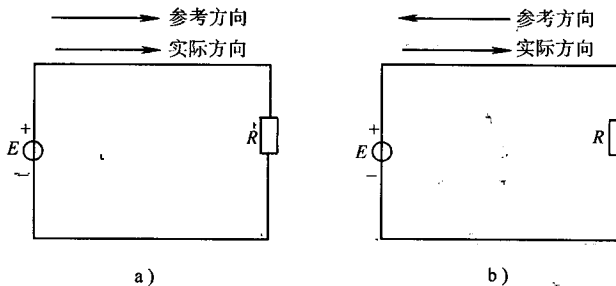


图 1-7 电流的参考方向

a) 参考方向与实际方向一致 ($I > 0$) b) 参考方向与实际方向相反 ($I < 0$)

采用了电流的参考方向后，就可根据电流数值的正负知道它的实际方向。

电源电动势、负载电压的参考方向也可以任意选定，电源电动势的参考方向一般可选取与实际方向一致，负载电压的参考方向一般选取与电流的参考方向一致。

第二节 电路的基本定律

欧姆定律和基尔霍夫定律是电路的基本定律，是电路分析计算的基础和依据。

一、欧姆定律

1. 一般电路的欧姆定律

如图 1-8 所示电路, 设一个电阻 R 上的电压为 U , 流过的电流为 I , 则各量之间的关系为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

或

$$U = IR$$

上式反映了一般电路中三者的关系, 称为一般电路的欧姆定律。

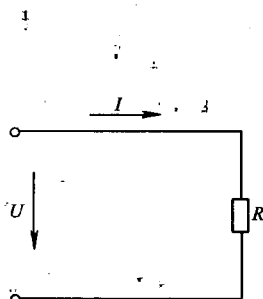


图 1-8 一般电路图

【例 1-2】 应用在空调机上的整流电路, 输出电压为 200V, 测得输出电流为 0.5A, 求负载的等效电阻为多少?

【解】 已知 $U = 200\text{V}$, $I = 0.5\text{A}$, 根据式 (1-6) 得

$$R = \frac{U}{I} = \frac{200\text{V}}{0.5\text{A}} = 400\Omega$$

负载的等效电阻为 400Ω 。

2. 全电路欧姆定律

全电路欧姆定律应用于计算闭合电路, 如图 1-9 所示, 电动势 E 、电流 I 、电阻 R 和 r 的关系为

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1-7)$$

或 $E = I(R + r) = IR + Ir = U_R + U_r$

上式表明, 电源电动势等于负载两端电压与电源内阻上的电压之和。

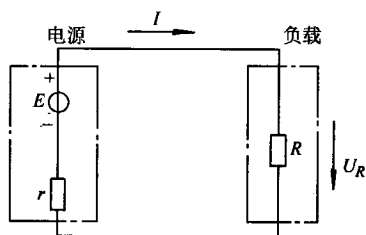


图 1-9 全电路图

【例 1-3】 在图 1-9 中, $E = 12\text{V}$, $R = 9.5\Omega$, $r = 0.5\Omega$, 求回路电流 I , 负载电压 U_R 和内阻电压 U_r 。

【解】 根据式 (1-7), 得

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{12\text{V}}{9.5\Omega + 0.5\Omega} = 1.2\text{A}$$

$$U_R = IR = 1.2\text{A} \times 9.5\Omega = 11.4\text{V}$$

$$U_r = Ir = 1.2\text{A} \times 0.5\Omega = 0.6\text{V}$$

二、基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律两部分内容。在具体介绍定律之前, 先解释几个有关名词。

(1) 支路 二端元件或二端元件串联组成的不分支的欧姆电路为支路, 在图 1-10 中, 三条支路分别为 abd 、 acd 和 ad , 前两条为有源支路, ad 为无源支路。

(2) 节点 三条及三条以上支路的连接点称为节点, 在图 1-10 中, a、d 为节点。

(3) 回路 由支路构成的闭合路径称为回路, 在图 1-10 中, 有 abda、acda 和 abdca 三个回路。

(4) 网孔 中间没有其他支路的回路称为网孔, 在图 1-10 中, 有 abdca 和 acda 两个网孔。

(一) 基尔霍夫电流定律 (KCL)

KCL 是用来确定连接在同一节点各支路电流间关系的定律。

该定律指出, 任一瞬间, 流入电路任一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。可记作

$$\sum I_I = \sum I_O \quad (1-8)$$

KCL 是电路中电荷守恒的一种反映, 它表示了电流的连续性, 即在任一瞬间, 电路中任一节点均无电荷的堆积或消失。

在图 1-10 中, 由式 (1-8) 得

$$\text{节点 a} \quad I_1 + I_2 = I_3$$

$$\text{节点 b} \quad I_3 = I_1 + I_2$$

显然两个电流方程是一致的。对于 N 个节点的电路, 可以依据 KCL 列出 $N-1$ 个电流方程。在应用 KCL 时, 表达式中电流要有确定的方向。首先必须对各支路电流设定参考方向。对于每一节点, 在设定参考方向时, 不论流进节点的电流有多少个, 必须有一个电流是流出的。反之, 不论从节点流出的电流有多少个, 必须有一个电流是流进的。然后按式 (1-8) 列出电流方程。

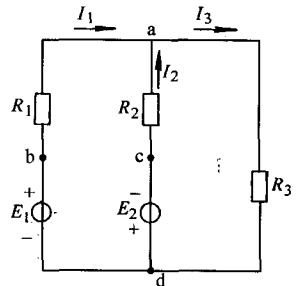


图 1-10 节点电流的关系

(二) 基尔霍夫电压定律 (KVL)

KVL 是用来确定闭合回路中各元件上电压关系的定律。在一个回路中, 各点电位有高有低, 各元件上有电位升高和电位降落。然而在任一瞬间, 电路的任一回路按一定方向沿回路绕行一周, 各部分电压的代数和恒等于零, 这就是基尔霍夫电压定律。其表达式为

$$\sum U = 0 \quad (1-9)$$

$$\text{或} \quad \sum U_S = \sum U_d$$

此方程称为回路的电压平衡方程。在列方程时先给回路假定一个顺时针 (或逆时针) 绕行参考方向, 凡电压正方向与绕行方向一致的取正号, 相反

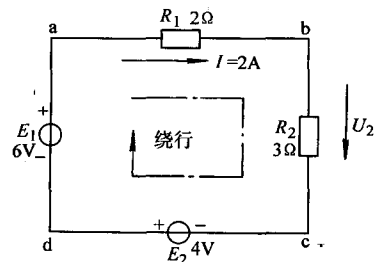


图 1-11 网孔中电位升、降关系

取负号。在图 1-11 中, 以 a 为起点, 按顺时针绕行一周, 电流经过 R_1 到 b 点, 电位下降 $U_1 = IR_1 = 2A \times 2\Omega = 4V$; 再经过 R_2 到 c 点, 电位下降 $U_2 = IR_2 = 2A \times 3\Omega = 6V$, 共下降 $U_d = 4V + 6V = 10V$ 。由 c 点到 d 点, 电位升高 $U_s = E_2 = 4V$; 由 d 点回到 a 点, 电位升高 $U_s = E_1 = 6V$, 共升高 $U_s = (4+6)V = 10V$ 。所以沿回路 abcda 绕行一周电位降之和等于电位升之和, 即电压的代数和等于零。

对于有 M 个网孔的电路, 可以依据 KVL 列出 M 个电压方程。

(三) 基尔霍夫定律的应用

对于简单的电路, 可以应用欧姆定律来求解, 对于较复杂的电路, 则可以应用基尔霍夫定律来求解。解题步骤为:

- 1) 标出各条支路电流的参考方向。
- 2) 对于 N 个节点的电流应用 KCL 列出 $N-1$ 个电流方程。
- 3) 标出每个网孔的绕行方向。
- 4) 对于 M 个网孔, 应用 KVL 列出 M 个电压方程。
- 5) 联立电流方程和电压方程, 求解各支路电流。

【例 1-4】 电路如图 1-12 所示, 已知 $E_1 = 80V$, $E_2 = 40V$, $R_1 = R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 10\Omega$ 。求各支路电流。

【解】 电流的参考方向及网孔的绕行方向如图所示, 列出电流方程和电压方程为

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ E_1 + I_2 R_2 + E_2 = I_1 R_1 \\ E_2 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = 0 \end{cases}$$

将题中给出的数值代入

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ 80 + 40 + 5I_2 = 5I_1 \\ 40 + 5I_2 + 10I_3 = 0 \end{cases}$$

解之得 $I_1 = 12.8A$ $I_2 = -11.2A$ $I_3 = 1.6A$
 I_2 为负值, 说明它的实际方向与参考方向相反。

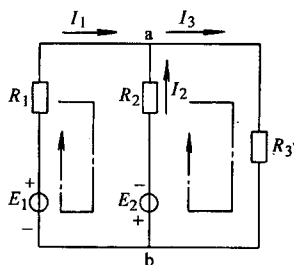


图 1-12 例题 1-4 图

第三节 电路的基本连接方式

负载的连接方式很多, 最基本的是串联和并联, 下面以电阻性负载为例, 简要分析串联和并联的特点以及与电压和电流的关系。

一、电阻的串联及其分压作用

电路中由两个或多个电阻一个接一个地顺序相连, 通过这些电阻的电流相同, 这样的联接方式称为电阻的串联。图 1-13a 为 R_1 和 R_2 串联电路, 其等效

电阻为

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-10)$$

在图示电流、电压参考方向情况下，电路电流为

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} \quad (1-11)$$

由基尔霍夫电压定律可以写出

$$U = U_1 + U_2 \quad (1-12)$$

式 (1-12) 表明了串联电阻

R_1 和 R_2 的分压作用，其中

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad (1-13)$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1-14)$$

式 (1-13) 和式 (1-14) 是两个电阻串联时的分压公式，表明各电阻上的电压分配与各电阻的大小成正比。

R_1 和 R_2 消耗的功率分别为

$$P_1 = U_1 I = I^2 R_1 \quad (1-15)$$

$$P_2 = U_2 I = I^2 R_2 \quad (1-16)$$

总的消耗功率为

$$P = UI = U_1 I + U_2 I = P_1 + P_2 \quad (1-17)$$

式 (1-15) 和式 (1-16) 表明各电阻消耗的功率与电阻的大小成正比。

以上分析可以归纳为

- 1) 总电阻等于各分电阻之和。
- 2) 流过各个电阻的电流相同。
- 3) 串联电路有分压作用，且电阻愈大分的电压愈高，总电压等于各电阻分电压之和。

4) 串联电路消耗的总功率等于各电阻消耗的功率之和，且电阻值愈大消耗的功率也愈大。

【例 1-5】 电路如图 1-14 所示。已知 $R_1 = 10\Omega$ ， $R_2 = 20\Omega$ ， $R_3 = 30\Omega$ ， $U = 120\text{V}$ ，求各个电阻上的电压和消耗的功率及电路总的消耗功率。

【解】 电路的总电阻

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 10\Omega + 20\Omega + 30\Omega = 60\Omega$$

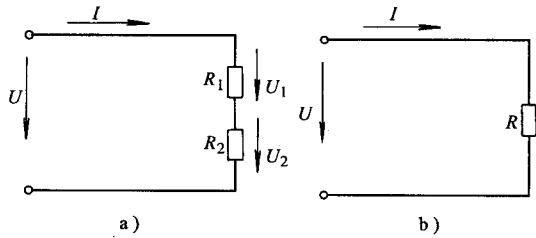


图 1-13 电阻串联及等效电路

a) 电阻的串联 b) 等效电路

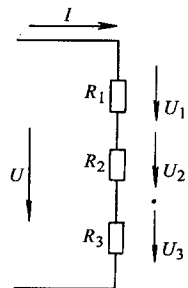


图 1-14 例
题 1-5 图

电路流过的电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{120\text{V}}{60\Omega} = 2\text{A}$$

各个电阻上的分电压分别为

$$U_1 = IR_1 = 2\text{A} \times 10\Omega = 20\text{V}$$

$$U_2 = IR_2 = 2\text{A} \times 20\Omega = 40\text{V}$$

$$U_3 = IR_3 = 2\text{A} \times 30\Omega = 60\text{V}$$

各个电阻消耗的功率分别为

$$P_1 = U_1 I = 20\text{V} \times 2\text{A} = 40\text{W}$$

$$P_2 = U_2 I = 40\text{V} \times 2\text{A} = 80\text{W}$$

$$P_3 = U_3 I = 60\text{V} \times 2\text{A} = 120\text{W}$$

电路消耗的总功率

$$P = UI = 120\text{V} \times 2\text{A} = 240\text{W}$$

串联方式有很多应用，例如，电源电压若高于负载额定电压时，可给负载串联一个适当电阻，以降低部分电压，使负载仍能正常工作。又如，当电压表的量程小于被测电路电压时，可与电压表串联一个适当分压电阻，电压表就能测量被测电路了。

二、电阻的并联及其分流作用

由两个或多个电阻首端与首端连接，尾端与尾端连接，构成两个节点，每个电阻两端承受同一电压，这样的连接方式称为电阻的并联。图 1-15a 为 R_1 和 R_2 并联电路，其等效电阻的倒数等于各个电阻倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-18)$$

或
$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-19)$$

每个电阻两端电压相同，等于电源电压，即

$$U = U_1 = U_2$$

由基尔霍夫电流定律可以写出

$$I = I_1 + I_2 \quad (1-20)$$

式 (1-20) 表明了并联电阻 R_1 和 R_2 的分流作用。其中

$$I = \frac{U}{R} = U \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \quad (1-21)$$

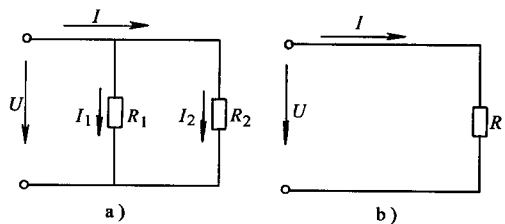


图 1-15 电阻的并联及等效电路

a) 电阻的并联 b) 等效电路图

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (1-22)$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-23)$$

式 (1-22) 和式 (1-23) 是两个电阻并联时的分流公式, 表明各电阻的电流分配与各电阻大小成反比。

R_1 和 R_2 消耗的功率分别为

$$P_1 = UI_1 = \frac{U^2}{R_1} \quad (1-24)$$

$$P_2 = UI_2 = \frac{U^2}{R_2} \quad (1-25)$$

总的消耗功率为

$$P = UI = UI_1 + UI_2 = P_1 + P_2 \quad (1-26)$$

式 (1-24) 和 (1-25) 表明各电阻消耗的功率与电阻的大小成反比。

以上分析可归纳为

1) 并联电路总电阻的倒数等于各个并联电阻的倒数之和。

2) 并联电路各电阻两端电压相等, 且等于电源电压。

3) 并联电路有分流作用, 各电阻的电流分配与电阻大小成反比, 总电流等于各分电流之和。

4) 并联电路消耗的总功率等于各电阻消耗的功率之和, 且并联的电阻值愈小, 消耗的功率愈大。

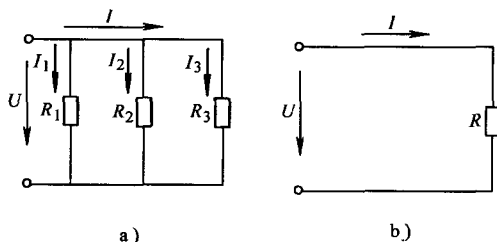


图 1-16 例 1-6 图

a) 电阻的并联 b) 等效电路

【例 1-6】 电路如图 1-16 所示, 已知 $R_1 = 12\Omega$, $R_2 = 30\Omega$, $R_3 = 20\Omega$, $U = 24V$ 。求通过各电阻的电流和消耗功率及电路消耗的总功率。

【解】 电路的总电阻

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{12\Omega} + \frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{30\Omega} = \frac{1}{6\Omega}$$

$$R = 6\Omega$$

电路的总电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24V}{6\Omega} = 4A$$

每个电阻通过的电流分别为