

# 民用建筑

# 电气技术与设计

主 编 胡 乃 定  
副 主 编 胡 国 文 曹 子 容

清华大学出版社

# 民用建筑电气技术与设计

主 编 胡乃定  
副主编 胡国文 曹子容  
参 编 周绍良 王长勇 秦大为 胡乃定  
周仁才 胡国文 包允方 曹子容

清 华 大 学 出 版 社

## 内 容 提 要

本书是高等工业专科学校和职业大学工业与民用建筑专业的教科书。内容分为电路基础、电子技术基础和民用建筑电气技术与设计两大部分,其后一部分主要包括民用建筑供电、民用建筑常用电气设备和导线的选择、民用建筑电气照明设计、民用建筑防雷与接地、民用建筑的弱电系统和消防报警系统以及民用建筑总体电气设计等内容。本书体现了教学改革的精神,具有学以致用、拓宽专业面的特点,使《电工学》的有关理论直接与民用建筑的电气技术与设计相结合,侧重于应用,实用性强。

本书除了作为工民建专业的教科书以外,还可用作相近专业的选修教材,以及有关专业人员的培训教材和参考书。

(京)新登字 158 号

### 民用建筑电气技术与设计

主编 胡乃定

☆

清华大学出版社出版

北京,清华园

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 22.75 字数: 552 千字

1993 年 3 月第 1 版 2001 年 2 月第 9 次印刷

印数: 43001~44500

ISBN 7-302-01090-0/TM·13

定价: 22.00 元

## 前 言

本书是为高等工业专科学校教学改革而编写的,是电气技术在民用建筑中的应用;既是对工业与民用建筑专业拓宽专业面,又使非电类专业的《电工学》更具有应用的针对性,充分体现学以致用用的原则。书中既有普通《电工学》的基本理论,又有建筑电气技术与设计的内容,而且侧重于设计和应用,因此把《电工学》中与设计和应用关系不大的内容进行了大胆的删减,体现了理论紧紧为应用服务的思想。在设计为主的前提下,也兼顾了电气施工和管理,使全书的理论、设计和施工形成一体。本书除了主要阐述常用的民用建筑电气设计之外,还简要介绍了弱电系统和消防报警系统等新技术。考虑到本书主要是土建类专业学习电气技术,所以有关电专业的内容的选取以必需、够用、通俗易懂为度,尽量避免过广过深。为应用着想,书中附有较为丰富的参考资料。带有“\*”号的部分是有关的加深加宽的内容,仅供学有余力的读者参阅,不作为讲授和考核的要求。

本书主要作为高等工业专科学校、职业大学的工业与民用建筑专业教学用书,它是一门介于技术基础课和专业课之间的交叉课程,是跨土建类和电类两大学科的一门综合课,这是从教材方面入手培养学生综合应用知识能力的一种尝试。通过本教材的教学,将使工民建专业的学生同时具有一定的应用电气技术知识于本专业的能力,可以从事一般民用建筑的电气设计和施工管理工作,这对毕业以后主要在中小型建筑企业工作的学生来说是有益的。本教材对于其它相近专业,如电气技术专业和技术师范院校的有关专业也可用作选修教材,业余大专的工民建专业亦可作为教学用书,还可用作土建等类技术人员的培训教材和参考书。

全书建议按70课时讲授,实验和课程设计需另行安排时间。每章之末均有小结、思考题和习题,供读者复习巩固之用。

书中的图形、符号都是按照GB4728等新国标编写的,同时考虑到标准的新旧交替,在书中有关地方和书末附有新旧图形、符号对照表。书中还收集采用了部分新的电气设备、新的电气材料和元器件,尽量避免采用过时的、淘汰的产品。

全书共十一章。第一章、第二章由盐城工专周绍良和王长勇编写;第三章由盐城工专秦大为编写;第四章和前言由盐城工专胡乃定编写;第五章、第十章由盐城工专周仁才编写;第六章、第七章和附录由盐城工专胡国文编写并承担全书图形、符号标准化的审查;第八章、第九章由东南大学建筑设计研究院包允方编写;第十一章由东南大学建

筑设计研究院曹子容编写。胡乃定为全书主编，副主编为胡国文，曹子容。

在本书编写过程中，得到清华大学宗孔德、韩英铎教授很多帮助，提出了许多宝贵的修改意见。还得到江苏省教育委员会高校教学处的领导以及清华大学建筑设计研究院的刘明奎老师、东南大学建筑设计研究院的刘正义老师、盐城工专电气工程系的有关老师、盐城师专物理系等单位有关同志的支持和帮助，在此一并致以衷心的感谢！

由于我们水平有限，时间短促，书中缺点错误在所难免，恳切希望使用本书的广大师生、读者、朋友批评指正，以便今后进一步修改提高。

编 者

1991年10月

# 目 录

## 第一章 电路基础

|                            |      |
|----------------------------|------|
| § 1-1 电路的基本概念 .....        | (1)  |
| § 1-2 电路的基本定律和基本分析方法 ..... | (6)  |
| § 1-3 正弦交流电的基本概念 .....     | (15) |
| § 1-4 单相交流电路 .....         | (22) |
| § 1-5 三相交流电路 .....         | (32) |
| 本章小结 .....                 | (41) |
| 思考题与习题 .....               | (43) |

## 第二章 电子技术基础

|                            |      |
|----------------------------|------|
| § 2-1 晶体二极管及整流电路 .....     | (48) |
| § 2-2 稳压管及简单直流稳压电路 .....   | (57) |
| § 2-3 晶体三极管及其放大电路 .....    | (59) |
| § 2-4 直流放大电路与集成运算放大器 ..... | (72) |
| § 2-5 可控硅及其整流电路 .....      | (77) |
| 本章小结 .....                 | (88) |
| 思考题与习题 .....               | (89) |

## 第三章 民用建筑常用电气设备

|                        |       |
|------------------------|-------|
| § 3-1 电力变压器 .....      | (92)  |
| § 3-2 几种特殊用途的变压器 ..... | (98)  |
| § 3-3 异步电动机 .....      | (102) |
| § 3-4 继电接触控制 .....     | (116) |
| § 3-5 电梯 .....         | (125) |
| § 3-6 常用照明电光源 .....    | (129) |
| § 3-7 常用电气仪表的使用 .....  | (134) |
| 本章小结 .....             | (136) |
| 思考题与习题 .....           | (137) |

## 第四章 民用建筑供电

|                        |       |
|------------------------|-------|
| § 4-1 电力系统基本概念 .....   | (139) |
| § 4-2 变电所和配电所 .....    | (144) |
| § 4-3 电力负荷的计算 .....    | (163) |
| § 4-4 短路电流 .....       | (174) |
| § 4-5 自备电源和事故照明 .....  | (176) |
| 本章小结 .....             | (177) |
| 思考题与习题 .....           | (179) |
| 附注：低压短路电流的简化计算方法 ..... | (180) |

## 第五章 民用建筑的配电线路及其敷设

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| § 5-1 民用建筑低压配电系统的配电要求和配电方式 .....    | (186) |
| § 5-2 民用建筑供电线路 .....                | (189) |
| § 5-3 低压架空线路的结构与敷设 .....            | (190) |
| § 5-4 电缆线路的结构与敷设 .....              | (194) |
| § 5-5 室内低压线路的结构和敷设 .....            | (196) |
| § 5-6 高层民用建筑供配电 .....               | (198) |
| 本章小结 .....                          | (201) |
| 思考题与习题 .....                        | (201) |
| <b>第六章 民用建筑低压供配电线路的导线和常用低压电器的选择</b> |       |
| § 6-1 概述 .....                      | (202) |
| § 6-2 电线、电缆的型号和截面的选择 .....          | (205) |
| § 6-3 常用低压电器及其选择 .....              | (211) |
| § 6-4 常用配电箱及其选择 .....               | (227) |
| 本章小结 .....                          | (231) |
| 思考题与习题 .....                        | (232) |
| <b>第七章 民用建筑电气照明技术与设计</b>            |       |
| § 7-1 照明技术的基本概念 .....               | (234) |
| § 7-2 民用建筑的照明种类和照度标准 .....          | (237) |
| § 7-3 电光源和灯具的选择、布置、安装及照明节能 .....    | (239) |
| § 7-4 照度计算 .....                    | (245) |
| § 7-5 民用建筑照明供电与照明设计 .....           | (253) |
| 本章小结 .....                          | (259) |
| 思考题与习题 .....                        | (260) |
| <b>第八章 民用建筑弱电系统与设计</b>              |       |
| § 8-1 概述 .....                      | (261) |
| § 8-2 民用建筑电讯系统与设计 .....             | (262) |
| § 8-3 有线广播系统 .....                  | (268) |
| § 8-4 共用天线电视系统 .....                | (269) |
| § 8-5 防盗与保安系统及其应用 .....             | (274) |
| 本章小结 .....                          | (280) |
| 思考题与习题 .....                        | (281) |
| <b>第九章 民用建筑消防系统及其电气控制</b>           |       |
| § 9-1 概述 .....                      | (282) |
| § 9-2 消防给水系统及其电气控制 .....            | (284) |
| § 9-3 防排烟系统及其电气控制 .....             | (288) |
| § 9-4 消防监控系统 .....                  | (291) |
| § 9-5 火灾自动报警系统 .....                | (291) |
| § 9-6 自动喷水灭火系统 .....                | (294) |
| § 9-7 卤代烷、二氧化碳气体自动灭火系统及其电气控制 .....  | (300) |
| 本章小结 .....                          | (302) |
| 思考题与习题 .....                        | (302) |

## 第十章 民用建筑的防雷与接地

|                        |       |
|------------------------|-------|
| § 10-1 民用建筑的防雷保护 ..... | (303) |
| § 10-2 接地和接零 .....     | (309) |
| 本章小结 .....             | (316) |
| 思考题与习题 .....           | (317) |

## 第十一章 民用建筑的总体电气设计

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| § 11-1 概述 .....                      | (318) |
| § 11-2 电气设计程序 .....                  | (321) |
| § 11-3 电气设计的具体步骤 .....               | (322) |
| § 11-4 建筑电气设计施工图绘制 .....             | (328) |
| § 11-5 电气设计施工图预算简介 .....             | (331) |
| 本章小结 .....                           | (334) |
| 思考题与习题 .....                         | (334) |
| 附录一 常用电力变压器、电动机及交流接触器主要技术数据 .....    | (335) |
| 附录二 电梯用电量及计算数据 .....                 | (337) |
| 附录三 常用照明电光源技术参数 .....                | (339) |
| 附录四 常用绝缘导线允许载流量表 .....               | (341) |
| 附录五 常用自动开关技术数据 .....                 | (343) |
| 附录六 建筑电气平面图常用图形符号及文字符号(新旧国标对照) ..... | (345) |
| 主要参考书目 .....                         | (355) |

# 第一章 电路基础

本章介绍电路的基本概念、基本定律和基本分析方法,以及正弦交流电路的基本概念、单相正弦交流电路和三相正弦交流电路等内容。通过本章的学习,掌握必要的电工基本理论和基本知识,为后续内容的学习打下基础,为搞好民用建筑的电气设计提供必要的基础知识。

## § 1-1 电路的基本概念

### 一、电路的组成与功用

#### 1. 电路的组成

电流的通路称电路。电路通常由电源、负载以及连接电源和负载的中间环节三部分组成,其形式是多种多样的。图 1-1(a)是一个最简单的电路,它由一节电池、一只灯泡、一个开关,及连接导线组成。当开关  $Q$  闭合时,电路中就有电流通过,灯泡发光。

电源是提供电路中所需电能的装置,它可将其它形式的能量转换为电能。电源有电池、发电机、整流电源等。

负载是电路中消耗电能的器件或设备,是将电能转换为其它形式能量的装置,如电灯、电动机、电镀槽、扬声器等。

中间环节是传送、分配和控制电能的部分,主要包括将电源与负载连接成闭合回路的导线、熔断器、开关等。

一般把电源内部的电流通路称为内电路,把负载和中间环节构成的电流通路称为外电路。

#### 2. 电路的功用

电路的功用主要有两个:一是实现电能的传送和转换。如发电厂的发电机把热能或原子能转换为电能,通过输电线路输送到建筑工地,再转换为机械能(如搅拌机、打夯机等)、热能(如烘干机、加热器等)、光能(工地照明)。二是实现信息的处理与传递。例如:钢筋混凝土构件受压时要发生形变,可以把一种特制的敏感元件(电阻应变片)粘贴在构件的有关部位,当构件发生形变时,敏感元件可以把感受到的变形,变成某种相应的电信号传送给测量仪表,由该仪表测出的电量间接地反映出构件有关部位的受力情况。

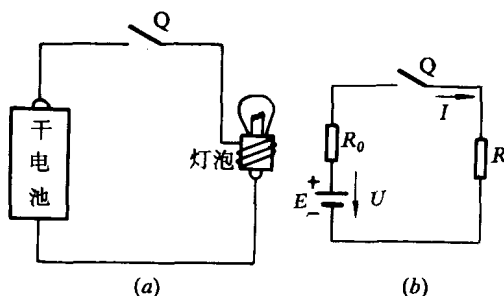


图 1-1 简单照明电路及其电路模型

## 二、电路模型

在电工技术中,组成电路的实际元器件种类繁多,它们的电磁性质也比较复杂。为了分析问题的方便,人们将实际的电路元器件进行科学的抽象,在一定的条件下将其近似地看成理想的电路元件(或理想元件的组合)。理想的电路元件具有单一的电或磁的性质,可以用简单的数学式子描述。与实际电路相对应,由理想元件所组成的电路就是电路模型。用一些规定的图形符号表示各种理想的电路元件,即可画出相应的电路模型。对于图 1-1(a)所示的简单照明电路,其电路模型如图 1-1(b)所示。

## 三、电路的基本物理量

### 1. 电流

电路中带电粒子(电子或离子)作定向运动叫做电流。电流的方向被规定为正电荷的运动方向。为了衡量电流的大小,引进了电流强度这个物理量,在工程中简称电流。电流强度是指在单位时间内通过导体某横截面积的电荷量。若在极短时间  $dt$  内通过导体横截面的电荷量为  $dq$ ,则通过该导体的电流为

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

上式表示电流是随时间变化的,即为时间的函数,用小写字母  $i$  或符号  $i(t)$  表示。

如果电流的大小和方向都不随时间变化,即  $dq/dt$  为常数,则称为恒定电流,简称直流,用大写字母  $I$  表示,式(1-1)可改写为

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

式中, $q$  是在时间  $t$  内通过导体截面  $S$  的电量。在国际单位制(SI)中,电流强度的单位为安培(A),简称安。在每秒种内通过导体横截面的电量为一库仑(C)时,则电流为一安培。计量微小的电流时,以毫安(mA)或微安( $\mu$ A)为单位。

$$1 \text{ 安(A)} = 10^3 \text{ 毫安(mA)}$$

$$1 \text{ 安(A)} = 10^6 \text{ 微安}(\mu\text{A})$$

$$1 \text{ 毫安(mA)} = 10^3 \text{ 微安}(\mu\text{A})$$

### 2. 电压与电位

电压是衡量电场力对电荷作功能力的物理量。电荷在电场中能作定向运动的原因是由于电场力对这些电荷做了功。如图 1-2 所示,电路中任意两点  $a$  和  $b$  之间的电压  $U_{ab}$ ,在数值上等于电场力将单位正电荷  $q$  从  $a$  点移动到  $b$  点所做的功  $W$ ,即

$$U_{ab} = \frac{W}{q} \quad (1-3)$$

在国际单位制中,电荷的单位是库仑(C),功的单位是焦耳(J),电压的单位则为伏特(V),简称伏。当电场力

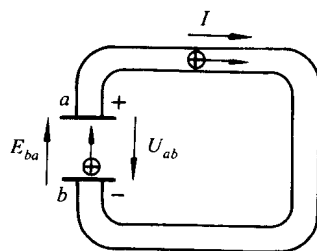


图 1-2 电荷的回路

把一库仑的电量从一点移到另一点所做的功为一焦耳时,则该两点间的电压为一伏特。计算微小电压时,则以毫伏(mV)或微伏( $\mu\text{V}$ )为单位,1 伏(V) $=10^3$  毫伏(mV),1 毫伏(mV) $=10^3$  微伏( $\mu\text{V}$ )。计量高电压时,则以千伏(kV)为单位,1 千伏(kV) $=10^3$  伏(V)。

通常,当电压随时间变化时,则为时间的函数,此时用小写字母  $u$  或符号  $u(t)$  表示。若电压的大小和方向与时间无关,则称为直流电压,用大写字母  $U$  表示。

电位也叫电势,它是指电场中或电路中某一点  $a$  相对于某一参考点的电位,以符号  $U$  表示。它实际是指从该点到事先就确定好的参考点之间的电压,在数值上等于电场力将单位正电荷从点  $a$  沿任意路径移动到参考点所做的功。参考点的电位通常规定为零。这样,就可以用电位这一物理量描述电场中某一点的性质。但是必须明确,所谓电场(或电路)中某一点的电位,必定意味着已选定了零电位的参考点。两点间的电压也称两点间的电位差,如  $U_{ab}=U_a-U_b$ 。电位的单位也是伏特(V)。

需要指出的是:电压有方向性,电压的正方向规定为从高电位指向低电位。

### 3. 电动势

电动势是描述电源内部做功本领的物理量,如图 1-2 所示,电动势在数值上等于电源的非静电力将单位正电荷  $q$  从其负极(低电位端) $b$  移动到正极(高电位端) $a$  所做的功  $W$ 。电动势以符号  $E$  表示,则

$$E_{ba} = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

电动势的单位与电压相同,为伏特(V);但其方向规定为从电源的低电位端(负极)指向高电位端(正极),是电位升高的方向,这一点正好与电压相反,必须加以区别。

如果电动势的大小和方向随时间变化,即为时间的函数,则用小写字母  $e$  或  $e(t)$  表示。如果电动势的大小和方向与时间无关,即为常数,则此电动势称为直流电动势,以大写字母  $E$  表示。

规定了电压和电动势的正方向以后,电路中电流的方向也相应定了。在内电路,电流总是从低电位(负极)流向高电位(正极);在外电路,电流总是从高电位(正极)流向低电位(负极)。

在电路,特别是电子线路的分析中,常常需要计算电位。在进行电位计算时,首先必须选择好参考点,即零电位点。所谓计算电路中某一点的电位,就是计算该点与参考点之间的电位差。但必须注意,电路中某一参考点的选择是任意的,而计算电路中任意两点之间的电位之差,与参考点的选择是无关的。但是一旦电路中的某参考点选定后,就不可再变动。下面我们通过一个实例来说明电位的计算方法,同时也加深对电位的理解。

**例 1-1** 如图 1-3 所示,  $A$  点电位  $U_A = -12\text{V}$ , 电流  $I = -2\text{A}$ , 电动势  $E_1 = 5\text{V}$ ,  $E_2 = 3\text{V}$ 。

求:

- (1)  $B$ 、 $C$ 、 $D$  各点的电位;
- (2)  $C$ 、 $B$  两点之间的电压及电阻  $R$ ;
- (3) 若选  $A$  点为参考点时,仍有电流  $I = -2\text{A}$ , 问  $C$  和  $B$  两点之间的电压为多少伏。

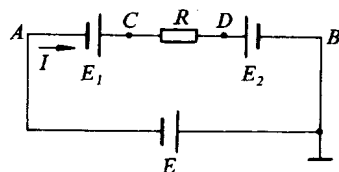


图 1-3

解

(1) 各点电位即该点对参考点而言的电压。参考点常以接地符号“⊥”表示。电力系统中,“⊥”常指接大地;电子电路中,接地符号“⊥”常指接公共线,一般与底板、机壳相连。从图中可知: $E=12(\text{V})$ 各点电位为

$$U_B = 0$$

$$U_D = U_{DB} = E_2 = 3\text{V}$$

$$U_C = U_{CB} = U_{AB} - U_{AC} = U_A - U_{AC}$$

$$= -12 - (-E_1) = -12 - (-5) = -7\text{V}$$

(2)  $C$  和  $B$  两点之间的电压,即两点之间的电位差,为

$$U_{CB} = U_C - U_B = -7 - 0 = -7\text{V}$$

$$\text{电阻 } R = \frac{U_{CB}}{I} = \frac{U_C - U_B}{I} = \frac{-7 - 3}{-2} = 5\Omega$$

(3) 当选择  $A$  点为参考点时有

$$U_C = U_A + U_{CA} = 0 + 5 = 5\text{V}$$

$$U_B = U_{CA} + U_{DC} + U_{BD} = E_1 + (-IR) + (-E_2)$$

$$= 5 + 2 \times 5 - 3 = 12\text{V}$$

$$U_{CB} = U_C - U_B = 5 - 12 = -7\text{V}$$

计算结果与(2)中一样。所以电路中任意两点之间的电位差(即电压),与参考点的选择无关,但参考点必须按照正确的方法来选择。

#### 四、电流和电压的正方向(参考方向)

在分析实际电路时,电流(或电压)的方向往往事先是不知道的,或者由于电流的实际方向时刻在变化(如交流电路),因而很难在电路图上用一个箭头标出电流的实际方向,于是引出了电流的正方向,或称参考方向的概念。

电流的正方向是任意假定的,在电路计算前预先用箭头表示出电流的正方向。如计算结果所得电流的正值,表明电流的实际方向和所假定的正方向是一致的;如计算所得电流为负值,表明电流的实际方向和正方向恰好相反,如图 1-4 所示。由此可见,在正方向选定后,电流实际值有正、负之分。今后,除特殊说明外,本书电路图上电流的方向都是指正方向(即参考方向),所选的正方向并不一定要和实际方向一致。

同样,电压也常用正方向表示,其正方向的选取方法和电流一样,也是可以任意的,不一定与实际方向一致;不同的

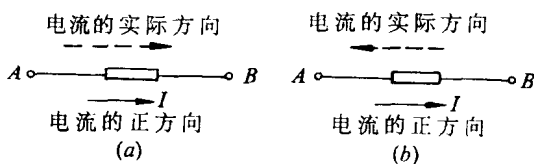


图 1-4 电流的正方向与实际方向  
(a)  $I > 0$ ; (b)  $I < 0$

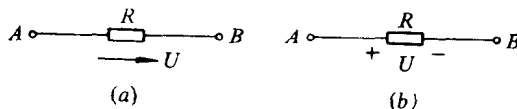


图 1-5 电压方向的两种表示法  
(a) 箭头表示法; (b) 极性表示法

是电压的正方向除了可用箭头表示外,还可以用极性来表示。图 1-5 中(a)和(b)都是表示电压的正方向,只是表示方式不同而已。

此外,电压常用双下标表示,如图 1-5 中的  $U$  即  $A、B$  两点间的电压  $U_{AB}$ 。但电流很少用双下标表示,因为电路图上两点之间可能有几条电路并联,所以不好用同一的双下标符号表示这几条电路的电流。

和电流、电压的情况一样,对于电动势也要规定参考方向,既可用箭头表示,也可用一对“+”、“-”号表示。但要注意,当用箭头表示时,电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端,即为电位升高的方向,而电压的方向规定为由高电位端指向低电位端,即电位降低的方向。

对一段电路或一个电阻元件而言,其电压的正方向和电流的正方向原则上是可以独立地进行任意选定。图 1-6(a)中电压和电流两个量的正方向选得一致,称之为关联正方向;反之,图 1-6(b)中电压正方向和电流正方向相反,称之为非关联正方向。

但在分析电路时,为了方便起见,通常采用关联正方向,即电流的正方向与电压的正方向一致,如图 1-6(a)所示。当采用关联正方向时,电路图中只要标出电流或电压的一个正方向就够了。这是因为在负载的外电路中,电流总是从高电位流向低电位,而电压的方向也总是从高电位指向低电位的。

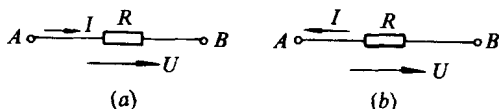


图 1-6 关联正方向和非关联正方向

(a)关联正方向;(b)非关联正方向

## 五、电路的工作状态

负载、开路和短路是电路的三种工作状态。

### 1. 负载状态

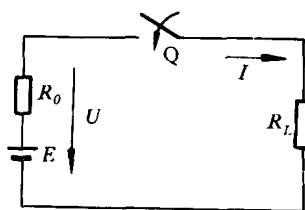


图 1-7 负载状态

负载状态是电源与负载接通成闭合的回路,如图 1-7 中的刀开关  $Q$  合上时的工作状态。这时由于电源电动势  $E$  的作用,在电路中将通过电流  $I$ , (方向见图 1-7)。电路在通路状态时,其特征可用下列各式表示:

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L}$$

$$U = IR_L = E - IR_0;$$

$$P = UI = EI - I^2 R_0$$

式中  $EI$  为电源产生的功率,  $UI$  为外电路消耗的功率,  $I^2 R_0$  是电源内阻消耗的功率。即负载吸收的功率( $UI$ )等于电源产生的电功率( $EI$ )减去电源内部的功率消耗( $I^2 R_0$ )。功率方程式说明了电路在负载状态下的能量转换情况,是符合能量守恒定律的。

电路中的电源和用电设备的电压、电流、功率等参数都有规定的值,通常称为额定值,下标常用  $N$  表示,如  $U_N$ 、 $I_N$ 、 $P_N$  等。使用时不能超过额定值,否则将会烧坏电源或用电设备。对应于额定值时的状态叫额定负载状态,相对于此状态的情况还有欠载或过载状态。

### 2. 开路状态

如图 1-7 中的刀开关 Q 断开时的状态叫开路状态。开路状态相当于电路负载电阻为无穷大,电路中的电流等于零,此时电源不向负载供给电功率,这种情况称为电源空载。电源空载时的端电压  $U_{oc}$  称为断路或开路电压。开路时的电压就等于其电源的电动势,即:  $U_{oc} = E$ 。

### 3. 短路状态

当电源的两端  $a$  和  $b$  未经负载、直接由导线接通成闭合回路的状态为短路状态,如图

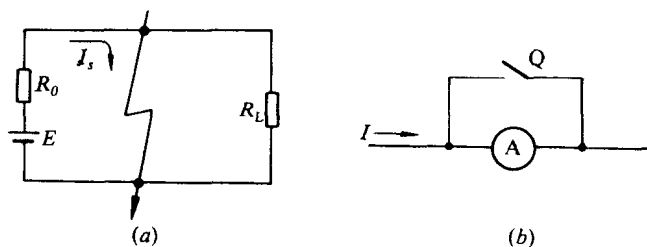


图 1-8 电路的短路  
(a)电源短路;(b)电路短接

1-8(a)所示。电源短路时,外电路电阻极小(导线电阻近似为零),电动势几乎全部降落在内阻  $R_0$  上,而内阻  $R_0$  是很小的,所以短路电流  $I_s$  将很大。这时电源输出电压为零,电源所产生的电能全部消耗在内阻上,电源将遭受机械与热损伤乃至毁坏。

如上所述,电源短路时的关系式有:

$I = I_s = E/R_0$ ;  $U = 0$ ;  $P_R = I_s^2 R_0$  (电源自身消耗功率);  $P = 0$  (电源对外输出功率)。

电源短路是一种严重事故,必须设法避免。电源短路往往是由于绝缘损坏,或接线错误,操作不慎等造成。为了防止短路造成的严重后果,通常在电源出口处的电路中接入熔断器或自动断路器,以便在发生短路时,能迅速将故障电路切除。

短路也可能发生在负载端或线路的任何处,所有短路事故都应该避免。但有时为了某种需要,人为地将电路中的某一段或某一个元件两端短路起来,如图 1-8(b)所示。当刀开关 Q 闭合时,电流通过旁路刀开关 Q 而不经电流表,即相当于表计退出。我们把这种短路称为有用短路。为了区分“事故短路”与“有用短路”,通常把后者称为“短接”。

## § 1-2 电路的基本定律和基本分析方法

### 一、欧姆定律

流过电阻的电流与该电阻两端的电压成正比,这就是欧姆定律。它是电路的最基本定律,应用时常分为下述几种形式。

#### 1. 一段无源电路的欧姆定律

闭合回路中的一段电路,如果不含电动势而仅含有电阻,那么这段电路被称为一段电阻电路或一段无源电路,如图 1-9 所示。

根据在电路图所选的电压和电流正方向的不同,欧姆定律的表达式中可带有正号或负号。当电压和电流的正方向一致时,如图 1-9(a)所示,则有

$$U = IR \quad (1-5)$$

当两者的正方向选得相反时,如图 1-9(b)所示,则有

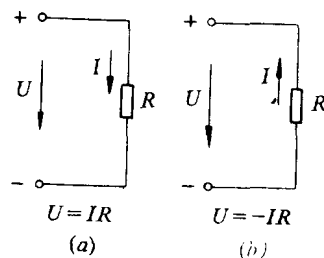


图 1-9 一段无源电路

$$U = -IR$$

需要注意的是,一个式子中有两套不同意义的正负号。一种是根据电压和电流的正方向确定的,如上两式中的正负号;另一种是根据电压和电流本身有正值和负值之分而确定的正负号。如图 1-9 中“+”和“-”表示电压的实际极性,即实际上“+”端电位高,“-”端电位低,因此在图 1-9(a)中的  $U$  和  $I$  均为正值,而在图 1-9(b)中的  $U$  为正值, $I$  为负值。所以在应用欧姆定律进行电路计算时,要注意两套正负号。首先按电压和电流的正方向列出式子,确定电压和电流符号前的正、负号,然后把电压和电流本身的正值或负值代进去,详见例 1-2。

## 2. 一段有源电路的欧姆定律

一段含有电源的电路称为一段有源电路,如图 1-10 所示,其各电量的正方向如图中所示。根据电位的概念,由图(a)可得: $U = U_{ao} + U_{ob} = E - IR$ ,则  $I = (E - U)/R$ 。同理,由(b)图可得: $U = E + IR$ ,则  $I = (-E + U)/R$ 。根据这两种情况,可将一段有源电路的欧姆定律写成下列一般形式:

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

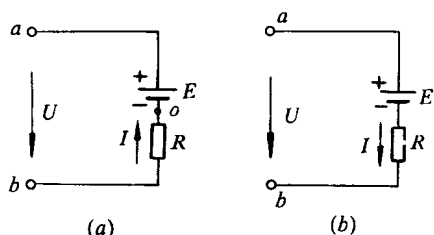


图 1-10 一段有源电路

式中, $U$  是一段有源电路的端电压; $E$  是电路内的电动势; $R$  是电路内的电阻(包括电源内阻)。电动势  $E$  和电压  $U$  前面正、负号确定的原则是:当电动势的正方向和电压的正方向分别与电流的正方向一致时(图 1-10b)取正号,相反时(图 1-10a)则取负号。

## 3. 全电路欧姆定律

图 1-11 是最简单的闭合回路, $R$  是负载电阻, $R_0$  是电源内阻。根据一段电路欧姆定律可知: $U = IR = E - IR_0$  则有

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1-7)$$

这就是全电路欧姆定律。通常电动势  $E$  及其内阻  $R_0$  可视为常数。因此,负载电阻  $R$  是影响电流大小的唯一因素。因为电源有内阻,所以当电流较大时,电源端电压  $U = (E - IR_0)$  有所降低。

**例 1-2** 计算图 1-12 中电阻  $R$  值。已知  $U_{ab} = -12V$ (通过本例掌握电路计算过程中两套正负号的用法)。

**解:** 根据一段有源电路的欧姆定律一般表达式(1-6)可得

$$\begin{aligned} R &= \frac{+E_1 - E_2 + U_{ab}}{I} \\ &= \frac{5 - 3 - 12}{-2} \\ &= 5\Omega \end{aligned}$$

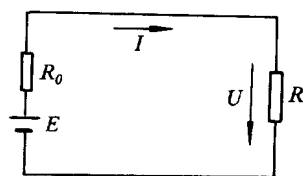


图 1-11 单回路电路

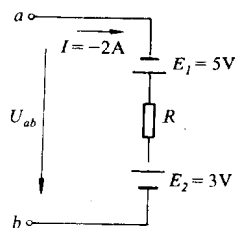


图 1-12 例 1-2 电路

## 二、克希荷夫定律

分析与计算电路常用的基本定律,除了欧姆定律外,还有克希荷夫定律。这个定律分成两个部分:克希荷夫电流定律和克希荷夫电压定律。在阐述克希荷夫定律之前,先介绍一下与定律有关的几个名词。

(1)支路 电路中的每一分支称为支路,一个支路流过一电流。在图 1-13 中共有三个支路。

(2)节点 电路中三条或三条以上支路相联接的点称为节点。在图 1-13 中共有两个节点: $a$  和  $b$ 。

(3)回路 回路是由一条或多条支路所组成的闭合回路。图 1-13 中共有三个回路: $a d b c a$ 、 $a b c a$  和  $a b d a$ 。

### 1. 克希荷夫电流定律(节点电流定律)

它应用于电路中的节点,描述了联接在同一节点上的各支路电流间的关系。该定律指出:在任一瞬间,流入一个节点的电流之和等于从这个节点流出的电流之和。以图 1-13 所示的电路为例,对节点  $a$  可以写出  $I_1 + I_2 = I_3$ , 改写后得即

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$\sum I = 0$$

(1-8)

由式(1-8)得出了节点电流定律的又一表述,即在任一瞬间,一个节点上电流的代数和恒等于零。这一结论体现了电流连续性原理。如果规定流进节点的电流取正号,则流出节点的电流取负号。

**例 1-3** 在图 1-14 中,已知: $I_1 = 2\text{A}$ ,  $I_2 = -3\text{A}$ ,  $I_3 = -2\text{A}$ , 求  $I_4$ 。

**解:** 设流向节点的电流为正,流出节点的电流为负,根据克希荷夫电流定律得

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

$$2 - (-3) + (-2) - I_4 = 0$$

$$I_4 = 3\text{A}$$

由本例可见两套正负号的用法,式中  $I$  前的正负号是由克希荷夫电流定律根据电流的正方向确定的,而括号内数字前的正负号则是表示电流本身数值的正负,

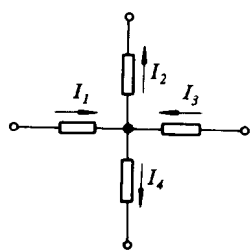


图 1-14 例 1-3 的电路

这两者切不可混淆。

克希荷夫电流定律也可以推广到电路中的任意封闭面,可把封闭面称为广义节点。广义节点电流定律指出:在任一瞬时,通过任一封闭面的电流的代数和恒等于零。如图 1-15 所示的电路,封闭面将  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  包围在里面。根据广义节点电流定律可得

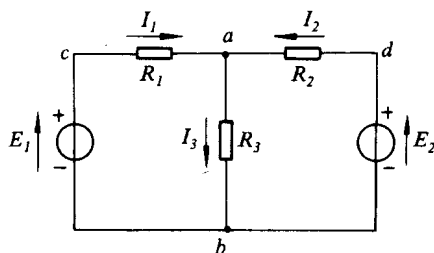


图 1-13 电路举例

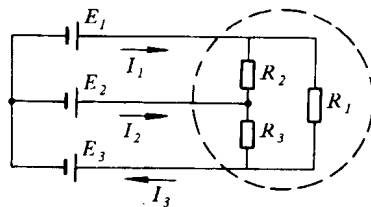


图 1-15 广义节点

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

## 2. 克希荷夫电压定律

克希荷夫电压定律也称回路电压定律,它应用于回路,可用它来确定回路中各段电压之间的关系。

该定律指出:从回路中任一点出发以顺时针方向或逆时针方向沿回路绕行一周,则在这个方向上的电位升之和应该等于电位降之和。以图 1-16 所示电路为例可写出

$$U_1 + U_4 = U_2 + U_3$$

改写后得

$$U_1 - U_2 - U_3 + U_4 = 0$$

即

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

图 1-16 电阻电路回路

由式(1-9)得出了回路电压定律的又一表述:即在任一瞬间,沿任一回路绕行方向(顺时针方向或逆时针方向),回路中各段电压的代数和恒等于零。电压的正负号作如下规定:当电位升的方向与绕行方向一致时,为正;反之取负号。

图 1-16 的回路是由电源电动势和电阻所构成的,也可写成

$$E_1 - E_2 - I_1 R_1 + I_2 R_2 = 0$$

或

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$$

即

$$\sum E = \sum IR \quad (1-10)$$

这是克希荷夫电压定律在电阻电路中的另一种表达式,就是在任一回路绕行方向上,回路中电动势的代数和恒等于电阻上电压降的代数和。电动势和电流的正负号确定原则为:凡是电动势的正方向与所选回路绕行方向一致者,取为正号,相反则取为负号;凡是电流的正方向与回路绕行方向一致者,它在电阻上所产生的电压降取正号,相反则取负号。

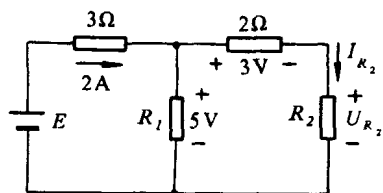


图 1-17 例 1-4 的电路

**例 1-4** 图 1-17 所示电路中各已知量标于图中,求  $U_{R2}$ 、 $I_{R2}$ 、 $R_2$ 、 $R_1$  和电动势  $E$ 。

**解:** (1)  $I_{R2}$  为通过  $2\Omega$  电阻的电流,在此电阻上的电压已知为  $3V$ 。由欧姆定律得

$$I_{R2} = \frac{3}{2} = 1.5A$$

(2)  $R_1$ 、 $R_2$  和  $2\Omega$  电阻为一闭合回路,由克希荷夫电压定律得

$$U_{R2} - 5 + 3 = 0$$

$\therefore$

$$U_{R2} = 2V$$

(3) 由欧姆定律得