

建筑电气专业系列教材

建筑电工学 (上册)

苏 刚 王秀丽 主编



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

2008

建筑电工学

上册

主编 苏 刚 王秀丽



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是一本具有鲜明建筑类非电专业特色的电工学教材,专业性强,行业特色突出,符合目前电工学相关课程的教改思路。

本书上册为电工技术基础,下册为电子技术基础。在电工技术基础部分,主要介绍了电路理论的基本知识;电气设备与控制部分的内容包括变压器、常用低压电器和异步电动机及典型控制,PLC 控制技术,结合建筑特点,介绍了三相变压器和建筑设备控制等内容;建筑电气应用部分介绍了建筑供配电、安全用电、建筑防雷、建筑识图(强电、弱电)等基本知识。每章后面附有适量习题,便于学生自学。

本书适合于建筑类本科院校的电工学课程。

图书在版编目(CIP)数据

建筑电工学.上册/苏刚主编.——天津:天津大学出版社,
2008.8

ISBN 978-7-5618-2762-8

I.建… II.苏… III.建筑工程—电工 IV.TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 130939 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
短信网址 发送“天大”至 916088
印 刷 天津泰宇印务有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 12.5
字 数 312 千
版 次 2008 年 8 月第 1 版
印 次 2008 年 8 月第 1 次
印 数 1—5 000
定 价 22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

本书是根据电工学课程教学的基本要求并结合建筑类院校的特点编写的学科基础课教材。书中对电工技术的基础理论、基本知识和基本技能作了比较全面的阐述,同时结合建筑特点,对常用低压电器、异步电动机及其典型控制电路、三相变压器和建筑设备控制等内容进行了介绍;另外,详细阐述了建筑电气的基本知识。

本书力求让读者了解电工技术在建筑中的应用,内容力求少而精,以实用为原则,为学习后续课程以及从事与本专业有关的工程技术等工作打下基础。

根据作者的教学经验,本书在内容安排上具有如下特点:

1. 电工技术基础部分主要介绍了电路中的基本电量和电路的分析方法。
2. 变压器及电动机部分介绍了变压器的结构及单相、三相变压器的工作原理,同时重点介绍了三相异步电动机的工作原理、机械特性,并对其启动、调速和制动等内容作了介绍。
3. 电气控制部分阐述了低压电器的基本知识及 PLC 的工作原理,结合建筑专业的特点,介绍了典型的电机及建筑设备继电器控制和 PLC 控制。
4. 建筑电气部分介绍了建筑供配电、安全用电、建筑防雷、建筑识图(强电、弱电)的基本知识,使得建筑类非电专业的读者能够对建筑电气有所了解,对本专业的施工和设计起到很好的协调作用,增强了本书的实用性。
5. 模拟电子部分主要介绍了基本放大电路、集成运算放大器和直流稳压电源等内容。
6. 数字电子部分主要介绍了门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路及模拟量和数字量的转换等内容。

书中编写了一定数量的例题和习题。这些题目主要是针对教学内容的重点和难点给出,具有一定的典型性、示范性和启发性,能更好地引导学生掌握本课程的主要理论和基本概念,培养学生解决工程中实际问题的能力。

本书上册由苏刚主编,负责全书的策划、组织和统稿工作,并编写第 5、6、7、8、9 章和附录部分;王秀丽编写第 1、2、3、4 章;下册由黄民德主编,负责全书的策划、组织和统稿工作,并编写第 10、16 章,陈伟芬编写第 14、15 章,顾贵芬编写第 11、12、13 章。

在编写中,天津城市建设学院设计院季中工程师提供了宝贵的资料;王英红、范文、陈建伟、潘雷、彭桂力、刘炳潮、于归飞、吴景海等老师及顾铭同学给予了大力支持,对此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中出现缺点和错误在所难免,希望广大读者批评指正。

编者

2008 年 5 月

目 录

(15)	.....	器阻变阻单	4.1
(18)	.....	器阻变阻三	2.1
(28)	.....	器阻变阻替	0.4
(48)	.....	.....	.....
(99)	.....	.....	.....
第1章 直流电路 (1)			
1.1	电路的作用和组成	.....	(1)
1.2	电路的基本物理量	.....	(2)
1.3	电压和电流的参考方向	.....	(3)
1.4	欧姆定律	.....	(4)
1.5	电源的状态	.....	(5)
1.6	基尔霍夫定律	.....	(8)
1.7	电阻的串并联	.....	(10)
1.8	电压源与电流源的等效变换	.....	(12)
1.9	支路电流法	.....	(17)
1.10	节点电压法	.....	(18)
1.11	叠加原理	.....	(18)
1.12	等效电源定理	.....	(20)
1.13	电位的计算	.....	(23)
习 题 (24)			
第2章 正弦交流电路 (27)			
2.1	正弦交流电的基本概念	.....	(27)
2.2	正弦量的相量表示法	.....	(30)
2.3	电阻元件、电感元件与电容元件	.....	(32)
2.4	单一参数交流电路	.....	(35)
2.5	电阻、电感与电容元件串联的交流电路	.....	(41)
2.6	阻抗的串联与并联	.....	(45)
2.7	电路的谐振	.....	(47)
2.8	功率因数的提高	.....	(50)
习 题 (52)			
第3章 三相交流电路 (56)			
3.1	三相电源	.....	(56)
3.2	三相负载	.....	(58)
3.3	三相功率	.....	(62)
习 题 (64)			
第4章 磁路和变压器 (66)			
4.1	磁路	.....	(66)
4.2	交流铁芯线圈	.....	(70)
4.3	电磁铁	.....	(72)

4.4 单相变压器	(74)
4.5 三相变压器	(81)
4.6 特殊变压器	(86)
习 题	(88)
第5章 三相异步电动机	(90)
5.1 电机概述	(90)
5.2 三相异步电动机的构造	(91)
5.3 三相异步电动机的工作原理	(92)
5.4 三相异步电动机的转矩与机械特性	(98)
5.5 三相异步电动机的启动	(101)
5.6 三相异步电动机的调速	(105)
5.7 三相异步电动机的制动	(107)
5.8 三相异步电动机的铭牌数据	(108)
5.9 三相异步电动机的选择	(111)
习 题	(114)
第6章 继电器接触器控制系统	(116)
6.1 常用控制电器	(116)
6.2 笼型电动机直接启动的控制线路	(121)
6.3 笼型电动机正反转的控制线路	(122)
6.4 行程控制	(123)
6.5 时间控制	(123)
6.6 典型控制电路举例	(126)
习 题	(129)
第7章 可编程序控制器及其应用	(132)
7.1 可编程控制器的基本概念	(132)
7.2 可编程控制器的基本指令	(136)
7.3 可编程序控制器应用举例	(143)
习 题	(145)
第8章 建筑供电与用电安全	(147)
8.1 电力系统概述	(147)
8.2 低压配电系统	(151)
8.3 安全用电	(156)
8.4 建筑防雷	(162)
习 题	(166)
第9章 建筑电气施工图	(167)
9.1 电气照明施工图	(167)
9.2 建筑弱电实例分析	(181)
附 录	(187)

第1章 直流电路

本章是在物理学的基础上,从工程技术的角度出发,以直流电路为分析对象,着重讨论电路的基本知识、基本定律以及电路的分析和计算方法。这些内容不仅适用于直流电路,在一定程度上也适用于交流电路,而且还是今后分析电子电路的重要基础。

1.1 电路的作用和组成

简单地讲,电路就是电流流通的路径,是导体及一些元器件为完成一定功能、按一定方式组合后的总称。

电路的作用大致有两种:一是实现能量的输送和转换;二是实现信号的传递和处理。

常见的各种照明电路和动力电路就是用来输送和转换能量的。例如,图 1.1.1 所示简单照明电路中,电池把化学能转换成电能供给照明灯,照明灯再把电能转换成光能作照明之用。对这类电路一般要求它具有较小的能量损耗和较高的效率。

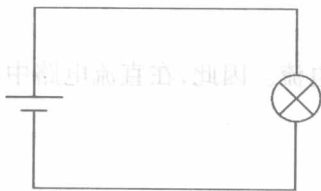


图 1.1.1 简单照明电路

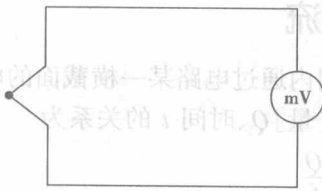


图 1.1.2 简单测温电路

在电子技术和非电量测量中,会遇到另一类以传递信号和处理信号为主要目的的电路。例如,图 1.1.2 所示简单测温电路中,热电偶将温差转换成电信号(电动势),然后通过毫伏表将温差转换成的电信号测量出来。在这一类电路中,虽然也有能量的输送和转换问题,但数量很小,一般所关注的是如何准确地传递和处理信号等问题。

组成电路的元器件及其连接方式虽然多种多样,但都包含有电源、负载和连接导线等三个基本部分。电源是将非电形态的能量转换为电能的供电设备,例如蓄电池、发电机和信号源等。其中蓄电池将化学能转换成电能,发电机将机械能转换成电能,而信号源则将非电量转换成电信号。负载是将电能转换成非电形态能量的用电设备,例如电动机、照明灯和电炉等。其中电动机将电能转换成机械能,照明灯将电能转换成光能,而电炉则将电能转换成热能。导线起着沟通电路和输送电能的作用。

除以上三个基本部分以外,实际电路还常根据实际工作的需要增添一些辅助设备,如接通和断开电路用的控制电器(如刀开关)和保障安全用电的保护装置(如熔断器)等。

当电路中的电流是不随时间变化的直流电流时,这种电路称为直流电路。当电路中的电流是随时间按正弦规律变化的交流电流时,这种电路称为正弦交流电路。由于国家标准规定

不随时间变化的物理量用大写字母表示,随时间变化的物理量用小写字母表示,因此,电流、电压和电动势等物理量在直流电路中用 I 、 U 、 E 等表示,在交流电路用 i 、 u 、 e 等表示。

电路有时又称电网络,简称网络。如果电路的某一部分只有两个端钮与外部连接(图 1.1.3),则可将这一部分电路视为一个整体,称为二端网络;此外还有三端网络、四端网络等。内部不含电源的网络称为无源网络,含有电源的网络称为有源网络。

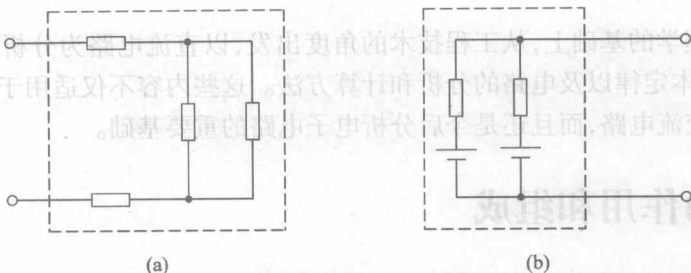


图 1.1.3 二端网络

(a) 无源二端网络; (b) 有源二端网络

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

单位时间内通过电路某一横截面的电荷[量]称为电流。因此,在直流电路中电流用 I 表示,它与电荷[量] Q 、时间 t 的关系为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2.1)$$

式中: Q 的单位为库[仑](C); t 的单位为秒(s); I 的单位为安[培](A)。随时间变化的电流用 i 表示,它等于电荷[量] q 对时间 t 的变化率,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.2)$$

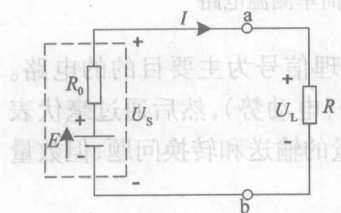


图 1.2.1 电路的基本物理量

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向,如图 1.2.1 所示。从电源来看,电源本身的电流通路称为内电路(图 1.2.1 虚线框中的电路),电源以外的电流通路称为外电路(图 1.2.1 虚线框外的电路)。在内电路中电流由电源负极流向正极,在外电路中电流由电源的正极流向负极。

1.2.2 电压

电场力将单位正电荷从电路的某一点移至另一点时所消耗的电能,即转换成非电形态能量的电能称为这两点间的电压。在直流电路中电压用字母 U 表示,单位是伏[特](V)。在图 1.2.1 所示电路中, U_s 是电源两端的电压, U_L 是负载两端的电压。

电压的实际方向规定为由高电位指向低电位的方向,即电位降的方向,故电压有时又称电压降。在电路图中,用“+”和“-”表示电压的极性。“+”端为高电位端,“-”端为低电位端。

1.2.3 电动势

电源中的局外力(即非电场力)将单位正电荷从电源的负极移至电源的正极所转换而来的电能称为电源的电动势。在直流电路中用字母 E 表示,单位也是伏[特](V)。

电动势的实际方向规定由电源负极指向电源正极的方向,即电位升的方向。它与电源电压的实际方向是相反的,如图 1.2.1 中箭头所示。

本书中各物理量的单位都是采用国际单位制(SI),如前述的 A、V 等。但是在实际应用时,有时会感到这些基本单位太大或太小,使用不便。在这种情况下,可以改用如 mV(毫伏)、mA(毫安)、kV(千伏)等辅助单位。辅助单位是在基本单位前面加上相应词头构成的。这些词头的含义见附录 A。

1.3 电压和电流的参考方向

图 1.2.1 是最简单的直流电阻电路,其中 E 、 U_s 和 R_0 分别为电源的电动势、端电压和内阻, R 为负载电阻。电路中电流为 I 。电流 I 、电压 U 和电动势 E 是电路的基本物理量,在分析电路时必须要在电路图上用箭头或“+”、“-”标出它们的方向或极性(如图中所示),才能正确列出电路方程。

关于电压和电流的方向,有实际方向和参考方向之分,要加以区别。

1.3.1 电流的参考方向

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向为电流的方向(实际方向)。电流的方向是客观存在的。但在分析较为复杂的直流电路时,往往难于事先判断某支路中电流的实际方向;对交流电路,实际方向是随

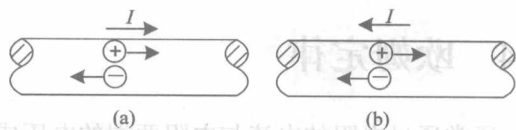


图 1.3.1 电流的参考方向

(a)正值;(b)负值

时间不断变化的。因此,在这些情况下分析与计算电路时,常可任意选定某一方向作为电流的参考方向,或称为正方向。所选的电流参考方向并不一定与电流实际方向一致。当电流的实际方向与参考方向一致时,则电流为正值(图 1.3.1(a));反之,当电流的实际方向与其参考方向相反时,则电流为负值(图 1.3.1(b))。因此,在参考方向选定之后,电流之值才有正负之分。

1.3.2 电压的参考方向

电压和电动势都是标量,但在分析电路时,和电流一样,也说它们具有方向。电压的方向规定为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即为电位降低的方向。电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位(“-”极性)端指向高电位(“+”极性)端,即为电位升高的方向。

在电路图上所标的电流、电压和电动势的方向,一般都是参考方向,它们是正值还是负值,视选定的参考方向而定。例如,图 1.3.2 中电压 U 的参考方向与实际方向一致,故为正值;而

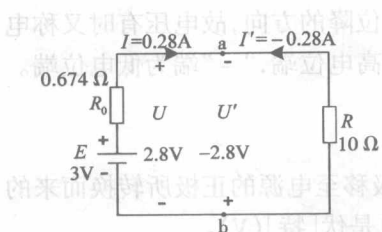


图 1.3.2 电压和电流的参考方向

U' 的参考方向与实际方向相反,故为负值。两者可写为 $U = -U'$; 电流亦然, $I = -I'$ 。

电压的参考方向除用极性“+”、“-”表示外,也可用双下标表示。例如 a、b 两点间的电压 U_{ab} , 它的参考方向是由 a 指向 b, 也就是说 a 点的参考极性为“+”, b 点的参考极性为“-”。如果参考方向选为由 b 指向 a, 则为 U_{ba} , $U_{ab} = -U_{ba}$ 。电流的参考方向也可用双下标表示。

1.3.3 关联参考方向

在选定的参考方向下, 电压和电流都是代数量。今后在电路图中所画的电压和电流的方向都是参考方向。

原则上参考方向是可以任意选择的, 但是在分析某一个电路元件的电压与电流的关系时, 需要将它们联系起来选择, 这样设定的参考方向称为关联参考方向。今后在单独分析电源或负载的电压与电流的关系时用图 1.3.3 关联参考方向。其中电源电流的参考方向是由电压参考方向所假定的低电位经电源流向高电位。负载电流的参考方向是由电压参考方向所假定的高电位经负载流向低电位。符合这种规定的参考方向称为参考方向一致。

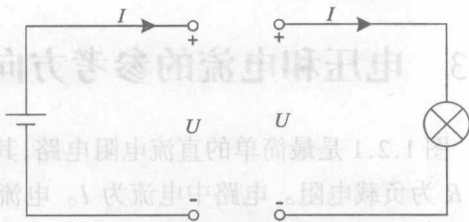


图 1.3.3 关联参考方向

1.4 欧姆定律

通常通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 这就是欧姆定律。它是分析电路的基本定律之一。对图 1.4.1(a) 的电路, 欧姆定律可用下式表示

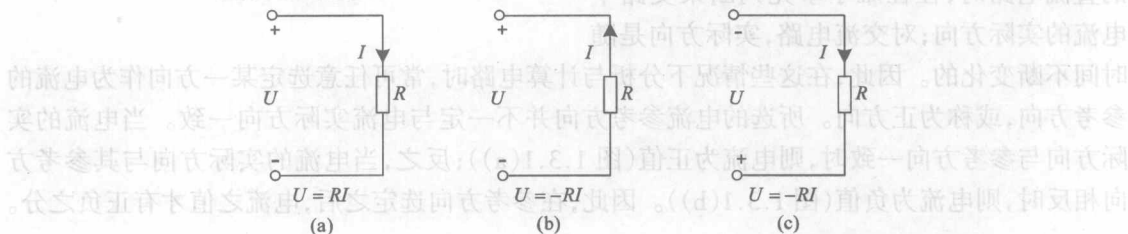


图 1.4.1 欧姆定律

(a) 电压与电流参考方向相同; (b) 电压与电流参考方向相反;

(c) 电压与电流参考方向相反

$$\frac{U}{I} = R \quad (1.4.1)$$

式中: R 即为该段电路的电阻。

由上式可见, 当所加电压 U 一定时, 电阻 R 愈大, 则电流 I 愈小。显然, 电阻具有对电流

起阻碍作用的物理性质。

在国际单位制中,电阻的单位是欧[姆](Ω)。当电路两端的电压为 1 V,通过的电流为 1 A 时,则该段电路的电阻为 1 Ω 。计量大电阻时,则以千欧(k Ω)或兆欧(M Ω)为单位。

根据在电路图上所选电压和电流的参考方向不同,在欧姆定律的表示式中可带有正号或负号。当电压和电流的参考方向一致时(图 1.4.1(a)),则得

$$U = RI \quad (1.4.2)$$

当两者的参考方向相反时(图 1.4.1(b)和图 1.4.1(c)),则得

$$U = -RI \quad (1.4.3)$$

这里应注意,一个式子中有两套正负号,上两式中的正负号是根据电压和电流的参考方向得出的。此外,电压和电流本身还有正值和负值之分。

1.5 电源的状态

电源在不同的工作条件下会处于不同的状态,并具有不同的特点。电源的状态主要有三种,分别是有载状态、开路状态和短路状态。今以直流电路为例,分别讨论电源三种状态下的电流、电压和功率。

1.5.1 电源的有载状态

将图 1.5.1 中开关合上,接通电源与负载,就是电源有载工作状态。下面分别讨论以下几个问题。

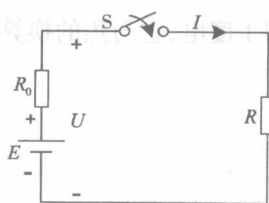


图 1.5.1 电源有载工作

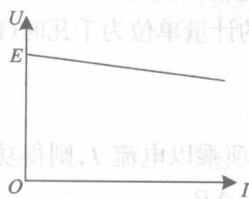


图 1.5.2 电源的外特性曲线

1. 电压和电流

应用欧姆定律可列出电路中的电流

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1.5.1)$$

和负载电阻两端的电压

$$U = IR$$

并由上两式可以得出

$$U = E - R_0 I \quad (1.5.2)$$

由上式可见,电源端电压小于电动势,两者之差为电流通过电源内阻产生的电压降 $R_0 I$ 。电流愈大,则电源端电压下降得愈多。表示电源端电压 U 与输出电流 I 之间关系的曲线,称电源的外特性曲线,如图 1.5.2 所示,其斜率与电源内阻有关。电源内阻一般很小。当 $R_0 \ll$

R 时,则

$$U \approx E$$

上式表明当电流(负载)变动时,电源端电压的变动不大,这说明它带负载能力强。

2. 功率与功率平衡

(1) 功率

单位时间内所转换的电能称为电功率,简称功率。在直流电路中用字母 P 表示。在国际单位制中,功率的单位是瓦[特](W)或千瓦(kW)。1 s 内转换 1 J 的能量,则功率为 1 W。

根据电压和电动势的定义,电源产生的电功率为

$$P_E = EI \quad (1.5.3)$$

电源输出的电功率为

$$P = UI \quad (1.5.4)$$

负载消耗(取用)的电功率为

$$P_L = U_L I \quad (1.5.5)$$

负载的大小通常用负载取用功率的大小说明。

此外,在图 1.5.1 所示电路中,电流通过电源内电阻 R_0 时还会产生功率损耗 $R_0 I^2$ 。

(2) 电能

在时间 t 内转换的电功率称为电能。在直流电路中电能用 W 表示,它与功率和时间的关系为

$$W = Pt \quad (1.5.6)$$

电能的单位是焦[耳](J)。

工程上电能的计量单位为千瓦时(kW·h)。1 千瓦时即 1 度电,它与焦的换算关系为 $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。

(3) 功率平衡

式(1.5.2)各项乘以电流 I , 则得功率平衡式

$$P = P_E - \Delta P \quad (1.5.7)$$

式中: $P_E = EI$, 是电源产生的功率; $\Delta P = R_0 I^2$, 是电源内阻上损耗的功率; $P = UI$, 是电源输出的功率。

3. 电源与负载的判别

分析电路, 还要判别哪个电路元件是电源(或起电源作用), 哪个元件是负载(或起负载作用)。

根据电压和电流的实际方向可确定某一元件是电源还是负载: 如果 U 和 I 的实际方向相反, 电流从“+”端流出, 发出功率, 那么这个元件是电源; 如果 U 和 I 的实际方向相同, 电流从“+”端流入, 取用功率, 那么这个元件就是负载。

4. 额定值与实际值

在电气设备工作时, 电压、电流和功率都有一定的限额, 这些限额是用来表示它们的正常工作条件和工作能力的, 称为电气设备的额定值。额定值通常在铭牌上标出, 也可从产品目录中找到, 使用时必须遵守这些规定。如果实际值超过额定值, 会引起电气设备损坏或降低使用寿命; 如果低于额定值, 一些电气设备也会损坏或降低使用寿命, 还有一些电气设备不能发挥



正常的功能。通常,当实际值都等于额定值时,电气设备的工作状态称为额定状态。当实际功率或电流大于额定值时称为过载状态,小于额定值时称为欠载状态。

1.5.2 开路状态

当某一部分电路与电源断开,该部分电路中没有电流,亦无能量的输送和转换,这部分电路所处的状态称为开路状态。例如在图 1.5.3 中,当开关 S 断开时,电源则处于开路(空载)状态。开路是外电路的电阻对电源来说等于无穷大,因此电路中电流为零。这时电源的端电压(称为开路电压或空载电压 U_0)等于电源电动势,电源不输出电能。

开路的一般特点如图 1.5.4 所示,开路处的电流等于零,开路处的电压应视电路情况而定。

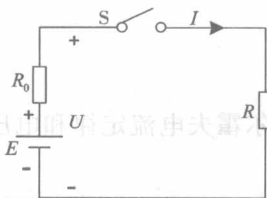


图 1.5.3 开路

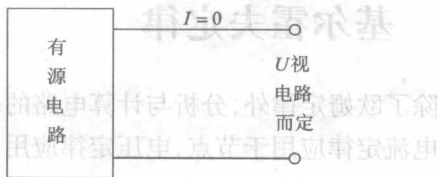


图 1.5.4 开路的特点

电源开路时的特征可用下式表示：

$$I = 0$$

$$U = U_0 = E$$

$$P = 0$$



(1.5.8)

1.5.3 短路状态

当一部分电路的两端用电阻可以忽略不计的导线或开关连接起来,使得该部分电路中的电流全部被导线或开关所旁路,这一部分电路所处的状态称为短路或短接。例如,在图 1.5.5 中,电源则被短路。电源短路时,外电路的电阻可视为零,电流有捷径可通,不再流过负载。因为在电流回路中仅有很小的电源内阻 R_0 ,所以这时电流很大,此电流称为短路电流 I_s 。短路电流可能使电源遭受机械的与热的损伤或毁坏。短路时电源所产生的电能全被内阻所消耗。

由于电源短路时外电路的电阻为零,所以电源的端电压也为零。这时电源的电动势全部降在内阻上。短路的一般特点如图 1.5.6 所示,短路处的电压等于零,短路处的电流 I_s 视电路而定。

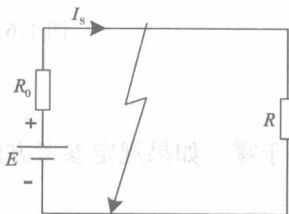


图 1.5.5 电源短路



图 1.5.6 短路的特点

如上所述,电源短路时的特征可用下式表示:

$$\left. \begin{aligned} U &= 0 \\ I &= I_s = \frac{E}{R_0} \\ P_E &= \Delta P = R_0 I^2 \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.5.2)$$

电源短路时,电流比正常工作电流大得多,时间稍长,便会使供电系统中的设备烧毁和引起火灾。因此,工作中应尽一切可能避免发生短路事故。在电路中必须接入熔断器等短路保护装置,以便在电源短路时能迅速将电源与短路部分断开。

1.6 基尔霍夫定律

除了欧姆定律外,分析与计算电路的基本定律还有基尔霍夫电流定律和电压定律。基尔霍夫电流定律应用于节点,电压定律应用于回路。

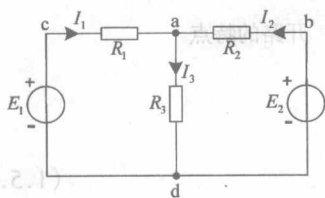


图 1.6.1 电路举例

电路中的每一分支称为支路,一条支路流过同一个电流,称为支路电流。在图 1.6.1 中共有三条支路。

电路中三条或三条以上的支路相连接的点称为节点。在图 1.6.1 所示电路中共有两个节点:a 和 d。

回路是由一条或多条支路所组成的闭合电路。图 1.6.1 中共有三个回路,即 abdca、adca 和 abda。

网孔是指未被其他支路分割的单孔回路,如图 1.6.1 中的 adca 和 abda。

1.6.1 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律是用来确定连接在同一节点上的各支路电流间关系的。由于电流的连续性,电路中任何一点(包括节点在内)均不能堆积电荷。因此,在任一瞬时,流向某一节点的电流之和应该等于由该节点流出的电流之和。

在图 1.6.1 所示的电路中,对节点 a(图 1.6.2)可以写出

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1.6.1)$$

或将上式改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0 \quad (1.6.2)$$

上式说明,在任一瞬间,一个节点上的电流代数和恒等于零。如果规定参考方向流入节点的电流取正号,则流出节点的就取负号。

根据计算结果,有些支路的电流可能是负值,这是由于选定的电流参考方向与实际方向相反所致。

图 1.6.2 节点

基尔霍夫电流定律通常应用于节点,也可以把它推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面。例如,图 1.6.3 是一个三角形电路,可以把它看成一个闭合面,它有三个节点。应用电流定律可列出

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

上列三式相加,使得

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

或

$$\sum I = 0$$

可见,在任一瞬时,通过任一闭合面电流的代数和也恒等于零。

【例 1.6.1】在图 1.6.4 中 $I_1 = 2 \text{ A}$, $I_2 = -3 \text{ A}$, $I_3 = -2 \text{ A}$, 试求

$$I_4。$$

【解】由基尔霍夫电流定律可列出

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

$$\text{得 } I_4 = 3 \text{ A。}$$

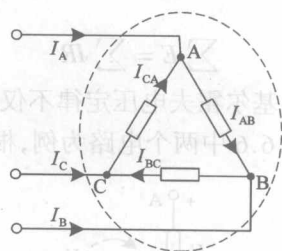


图 1.6.3 基尔霍夫电流定律的推广应用

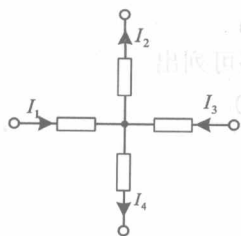


图 1.6.4 例 1.6.1 的电路

1.6.2 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律是用来确定回路中各段电压间关系的。如果从回路中任意一点出发,以顺时针方向或逆时针方向沿回路循行一周,则在这个方向上的电位降之和应该等于电位升之和。回到原来的出发点时,该点的电位是不会发生变化的。此即电路中任意一点的瞬时电位具有单值性的结果。

今以图 1.6.5 回路(即为图 1.6.1 所示电路的一个回路)为例,图中电源电动势、电流和各段电压的参考方向均已标出。按照虚线所示方向循行一周,根据电压的参考方向可列出

$$U_1 + U_4 = U_2 + U_3$$

或将上式改写为

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

即

$$\sum U = 0$$

(1.6.3)

上式说明,在任一瞬时,沿任一回路循行(顺时针方向或逆时针方向)时,回路中各段电压的代数和恒等于零。如果规定电位降取正号,则电位升就取负号。

上式也可改写为

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

或

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

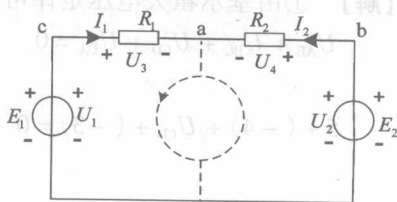
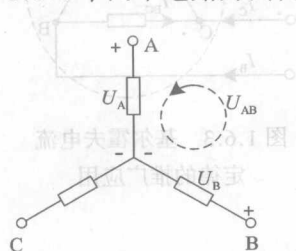


图 1.6.5 回路

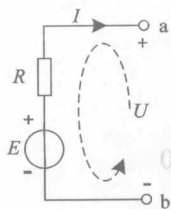
即

$$\sum E = \sum IR \quad (1.6.4)$$

基尔霍夫电压定律不仅应用于闭合回路,也可以把它推广应用于回路的部分电路。今以图 1.6.6 中两个电路为例,根据基尔霍夫电压定律列出式子。



(a)



(b)

对图 1.6.6(a) 电路(各支路的元件是任意的)可列出

$$\sum U = U_A - U_B - U_{AB} = 0$$

或

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

对图 1.6.6(b) 电路可列出

$$E - U - RI = 0$$

或

$$U = E - RI$$

这也就是一段有源(有电源)电路的欧姆定律的表示式。

应该指出,图 1.6.1 所举的是直流电阻电路,但是基尔霍夫两个定律具有普遍性,它们适用于由各种不同元件构成的电路,也适用于任何瞬时变化的电流和电压。

列方程时,不论是应用基尔霍夫定律或欧姆定律,首先都要在电路图上标出电流、电压或电动势的参考方向,因为所列方程中各项前的正负号是由它们的参考方向决定的。如果参考方向与实际方向相反,则会相差一个负号。

【例 1.6.2】有一闭合回路如图 1.6.7 所示,各支路的元件是任意的,但已知: $U_{AB} = 5 \text{ V}$, $U_{BC} = -4 \text{ V}$, $U_{DA} = -3 \text{ V}$ 。试求 U_{CD} 和 U_{CA} 。

【解】①由基尔霍夫电压定律可列出

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = 0$$

即

$$5 + (-4) + U_{CD} + (-3) = 0$$

得

$$U_{CD} = 2 \text{ V}$$

② ABCA 不是闭合回路,也可应用基尔霍夫电压定律列出

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CA} = 0$$

即

$$5 + (-4) + U_{CA} = 0$$

得

$$U_{CA} = -1 \text{ V}$$

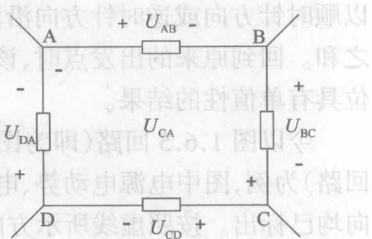


图 1.6.7 例 1.6.2 的电路

1.7 电阻的串并联

在电路中,电阻的连接形式是多种多样的,其中最简单和最常用的是串联与并联。

1.7.1 电阻的串联

如果电路中有两个或更多个电阻一个接一个地顺序相连,并且在这些电阻中通过同一电流,这样的连接法就称为电阻的串联。图 1.7.1(a)是两个电阻的串联电路。

两个串联电阻可用一个等效电阻 R 代替(图 1.7.1(b)),等效的条件是在同一电压 U 的作用下电流 I 保持不变。等效电阻等于各个串联电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2 \quad (1.7.1)$$

两个串联电阻上的电压分别为

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \\ U_2 &= IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \end{aligned} \right\} \quad (1.7.2)$$

可见,串联电阻上电压与电阻成正比,式(1.7.2)称为分压公式。当其中某个电阻较其他电阻小很多时,在它两端的电压也较其他电阻上的电压低很多,因此,这个电阻的分压作用可忽略不计。

电阻串联的应用很多。譬如,在负载的额定电压低于电源电压的情况下,通常需要与负载串联一个电阻,以降落一部分电压。有时为了限制负载中通过过大的电流,也可以用一个限流电阻与负载串联。如果需要调节电路中的电流,也可以在电路中串联一个变阻器进行调节。另外,改变串联电阻的大小以得到不同的输出电压,这也是常见的。

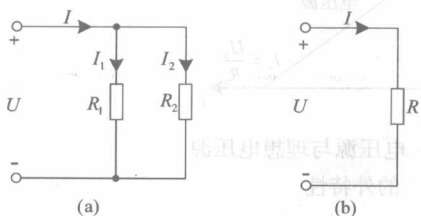


图 1.7.2 电阻的并联

(a)电阻的并联;(b)等效电路

1.7.2 电阻的并联

如果电路中有两个或更多个电阻连接在两个公共的节点之间,则这样的连接法就称为电阻的并联。此时,各个并联支路(电阻)承受同一电压。图 1.7.2(a)是两个电阻并联的电路。

两个并联电阻也可用一个等效电阻来代替(图 1.7.2(b))。等效电阻的倒数等于各个并联电阻的倒数之和,即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

或

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

两个并联电阻上的电流分别为

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R_1} = \frac{RI}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{U}{R_2} = \frac{RI}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \right\} \quad (1.7.4)$$