

现代建筑电气技术

喻建华 主编

(陈旭平 副主编)



前 言

随着科学技术的进步,社会已经进入信息化、智能化的崭新阶段。建筑电气的内涵愈来愈丰富、愈来愈充实。一个以自动控制技术、信息技术、计算机技术为基础的应用领域,得以迅猛发展,发生了巨大的变化。新的技术、新的设备不断出现,令人目不暇接。近年来国家先后颁布了一系列的标准、规范,对从事建筑电气技术工作的技术人员提出了更高的要求。本书重点介绍工程中常用的照明设备、控制设备、供配电技术、施工现场供电、建筑弱电基本知识、防雷及安全用电等,并对智能建筑自动化系统进行了简介,对建筑电气施工图的识读列举了大量的实例。本书系统的讲述了建筑电气基本知识并介绍了一些新材料、新技术和新工艺,范围宽、内容丰富,可作为高职高专学校有关专业的教材或参考书。也可供从事建筑电气工程技术的人员参考。可与施工管理、电气工程概预算等课程的教材配套。本书力求深入浅出,理论联系实际,文字简练,图文并茂。具有思想性、科学性、实用性和先进性的特点。

本书全部采用最新国际符号、新设备符号和新技术规程。

全书共分八章;由机电系喻建华、吉桂兰、张海仕编写,并得到了机电系的全体教师的有力协助。~~由于水平所限~~,加之时间仓促书中的错误和不足一定不少,恳请~~使用本教材的~~全体教师及学生提出宝贵意见,对此我们表示衷心感谢。

山西建筑职业技术学院机电系

2003年6月

目 录

前 言

第一章 电磁学基本知识

第一节 电路的基本概念	(1)
第二节 电路的基本定律	(8)
第三节 磁和磁场	(13)
第四节 磁路基本概念	(17)
第五节 电磁感应	(20)
本章小结	(25)

第二章 交流电路

第一节 交流电的基本概念	(31)
第二节 交流电的相量表示	(36)
第三节 单一参数的交流电路	(40)
第四节 提高功率因数的意义和方法	(50)
第五节 三相交流电路	(56)
第六节 三相交流电路功率计算	(64)
本章小结	(66)

第三章 低压电气线路及常用低压电气设备

第一节 常用低压控制电器	(72)
第二节 配电导线与保护装置的选择	(76)
第三节 电力负荷的计算	(83)
第四节 变压器	(88)
第五节 三相异步电动机	(97)
本章小结	(105)

第四章 建筑电气照明技术

第一节 基本知识	(109)
第二节 建筑电气照明装置	(115)
第三节 建筑电气照明设计基础	(126)

第四节 常用照明装置的安装	(135)
第五节 应急照明的设置	(140)
本章小结	(144)
第五章 建筑防雷与安全用电	
第一节 建筑防雷	(146)
第二节 安全用电	(155)
第三节 接地电阻的测量	(162)
第四节 等电位联结	(165)
第五节 漏电保护器	(169)
本章小结	(175)
第六章 建筑弱电系统	
第一节 有线电视系统	(177)
第二节 建筑电话通信系统	(191)
第三节 建筑电气消防系统	(197)
第四节 保安系统	(210)
本章小结	(216)
第七章 智能建筑简介	
第一节 智能建筑概述	(218)
第二节 综合布线系统	(221)
第三节 智能建筑的 3A 系统	(229)
第八章 建筑电气施工图的识读	
第一节 概述	(235)
第二节 照明工程施工图	(240)
第三节 防雷接地平面图读图示例	(246)
第四节 建筑电气控制电路读图示例	(249)
第五节 建筑弱电电气施工图	(252)
第六节 住宅智能化系统	(256)
本章小结	(262)

第一章 电磁学基本知识

本章主要介绍电路和磁路的一些基本概念,说明电路的本质含义以及电路模型的实际用处,介绍了电路的几个基本物理量和电路参数,比较完善地讲述了电路的关联参考方向的概念,最后简单介绍了电路的基本定律及磁路的基本定律。通过本章的学习,使同学们学会电路及磁路的一般分析方法,学会利用电路及磁路的一些简单原理分析电气元件的工作原理,为以后的学习和工作打下一个良好的基础。

第一节 电路的基本概念

一、电路和电路模型

(一)电路的组成

随着人类科技水平的提高,电气应用已经成了生活中必不可少的一部分,所以正确认识和分析电路成了生活中重要的一环。电路是由若干个电气元件按一定方式联接而构成;通俗地说,它就是电流的路径。一个完整的电路由电源、负载和中间环节三部分组成。

电源是提供电能的装置,即将其它形式的能量(非电能)转化为电能的装置。一般非电能有机械能、化学能、热能、太阳能和原子能等;而常见电源有电池、发电机和整流电源等。

负载也称用电设备,是消耗电能的装置,它将电能转化为其它形式的能量。例如:电灯将电能转化为光能和热能,电动机将电能转化成机械能,而电炉将电能转化成热能等。

中间环节是联接电源和负载的部分;它起传输、分配、保护和控制的作用;主要有导线、保护和计量装置、开关等。

(二)电路的作用

其一,在电力系统中,电路起传输、分配和转换电能的作用。电力系统就是典型例子,发电厂的发电机把机械能、热能和原子能等非电能转化成电能,通过变压器、输电线输送到用电单位,在那里通过用电设备将电能转化为光能、机械能、热能等。其二,电路有信号处理的作用。通过电路把施加的信号变换成所需要的输出,比如电视机、收音机通过调谐电路接收到无线电信号,由于无线电信号很微弱,所以必须通过放大电路进行放大,成为我们所需的信号。

(三)电路模型

实际电路是一些实际电气元件根据需要按一定的方式联接而组成。因为电与磁的不可分割性,电气元件的电磁性质较为复杂,为了方便分析和计算,我们只突出电气元件主要的电磁性质,而忽略其次要性质,用理想电气元件来代替,也就是电路的理想化分析;如电阻,我们突出它的消耗电能的性质,而忽略电阻的其它电磁性质。我们把用一些理想电气元件组成的电路称为电路模型;理想电气元件主要有电阻元件、电感元件、电容元件和理想电源等。图1-1所示为一简单手电筒电路模型,其中 E 表示电池的电动势, R_0 表示

电池的内阻, R_L 表示小灯泡的等效电阻。

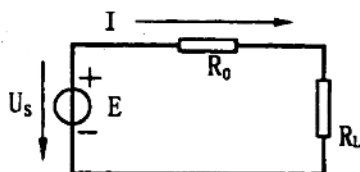


图 1-1 手电筒电路的电路模型

二、电路的基本物理量及电路参数

(一) 电流

在电场力作用下带电粒子定向移动形成电流。电流的强弱用电流强度来表示, 符号为 I , 一般我们用电流来表示电流强度, 电流强度在数值上等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷电量的代数和。根据定义有

$$i = \frac{dq}{dt}$$

常见的电流有两种, 把大小和方向不随时间变化的电流, 称为恒定电流, 简称直流, 用大写字母 I 表示, 其数学表达式为:

$$I = \frac{Q}{t}$$

其中 Q ——在 t 时间内通过导体横截面的电量, 单位为库仑(C);

I ——电路的电流强度, 单位为安培(A)。

国际单位制中, 电流强度的单位为安培, 在表示比较大或较小的电流时, 也用千安(KA)、毫安(mA)、微安(μA)。它们的数学换算关系为:

$$1KA = 10^3 A = 10^6 mA = 10^9 \mu A$$

把大小和方向随时间做正弦规律变化的电流, 称为正弦交流电流, 用 i 表示, 其数学表达式为:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

一般规定正电荷流动方向就是电流的实际方向。在外电路中, 电流从电源的高电位端流向低电位端; 而在电源内部, 电流从电源的低电位端流向高电位端。但在复杂电路或交流电路中, 电流方向就很难直观准确地表示出来, 由于这些原因, 人们引入电流参考方向。选取任意一个方向作为电流的方向, 称之为电流的参考方向。电流的参考方向在电路用箭头表示; 也可以用双下标 I_{AB} 表示, 其参考方向是由 A 指向 B。假设电路中某一电流的参考方向已经选定, 如果求得电流为正值, 就说明电流的实际方向与参考方向一致; 若求得此电流为负值, 就说明电流的实际方向与参考方向相反。如果用实线表示电流的参考方向, 用虚线表示电流的实际方向。如图 1-2 所示:

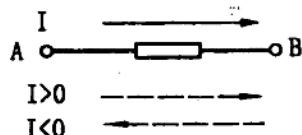


图 1-2 电路元件的电流方向

(二)电压

在图 1-3 所示电路中,正电荷从高电位端流向低电位端必然要受到电场力的作用,也就是说电场力对正电荷做了功。电压就是反映电场力做功能力的物理量。电压的大小反映电场力做功能力的强弱,用 U_{AB} 表示。

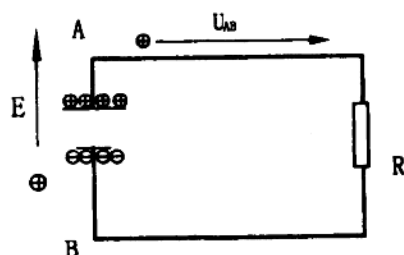


图 1-3 电压定义的原理图

那么有

$$U_{AB} = \frac{W}{q}$$

其中: U_{AB} ——从 A 点到 B 点的电压;单位为 V;
 W ——电场力所做的功;单位为焦耳(J);
 q ——电荷的电量;单位为库仑(C)。

在国际单位制中,电压的单位为伏特(V),当计量比较大或较小电压时,可以用千伏(KV)、毫伏(mV)、微伏(μV)。它们的数学换算关系是:

$$1KV = 10^3 V = 10^6 mV = 10^9 \mu V$$

在复杂电路或交流电路中,电压的方向也很难确定,我们也必须假设一个方向,称为电压参考方向,这样当计算结果为正值时,说明实际方向与参考方向相同;反之,实际方向与参考方向相反。电压的参考方向一般在电路中用箭头或正负极符号表示,也可以用双下标表示,比如 U_{AB} ,其参考方向是由 A 指向 B。如果用实线表示电压的参考方向,用虚线表示电压的实际方向。如图 1-4 所示:

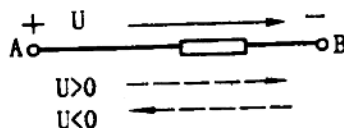


图 1-4 电路元件的电压方向

一个元件或一段电路上既有电压的参考方向,也有电流的参考方向,如果这两个参考方向一致,称之为关联参考方向,反之,称为非关联参考方向。在以后的电路计算中,在没有特别强调的情况下,一般默认电流和电压参考方向是在关联参考方向下。如图 1-5 所示:

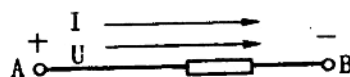


图 1-5 电路元件的关联参考方向

(三) 电动势

在图 1-3 所示电路中, 在电场力的作用下, 正电荷源源不断地从电源的高电位端移动到低电位端, 必然会使电源电场逐步减弱, 从而使电流慢慢减小, 最后完全消失。所以要维持恒定电流, 必须保持恒定的电场, 就要求电源内部的非电场力源源不断把正电荷从电源的低电位端移动到高电位端。电动势就是反映电源内部电源力(即非电场力)做功能力的物理量, 它的大小反映电源力做功能力的大小, 用 E 表示。如果为直流电源, 那么有

$$E = \frac{W}{Q}$$

式中: W ——电源力所做的功; 单位为焦耳(J);

Q ——电源力移动的电荷的电量; 单位为库仑(C)。

显然, 电动势的单位也为伏特(V)。根据电动势的定义, 可以知道电动势的方向是从低电位端指向高电位端, 这同时也反映了电源力移动正电荷的方向; 而电压的方向是从高电位端指向低电位端, 反映了电场力移动电荷的方向; 所以虽然它们的单位相同, 但是它们的本质却是完全不同的。根据做功类型的不同, 把电源外部的电路称为外电路, 而把电源内部的电路称为内电路, 合称为全电路。

(四) 电位

在电子电路中, 为了便于分析, 一般取电路中某一点作为参考点, 认为这个点的电位为零, 那么其它点到参考点的电压就是该点的电位, 某一点的电位在数值上等于电场力将单位正电荷从该点移动到参考点所做的功。

例 1-1 如图 1-6 所示电路, 已知电动势 $E = 10V$; 电阻 $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 6\Omega$ 。试求:

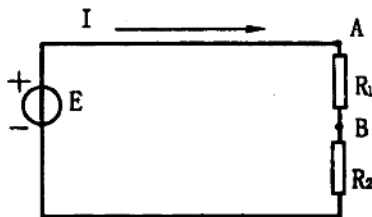


图 1-6 电路电位计算电路图

- (1)、以 C 为参考点, 试求 A、B、C 点电位及 AB、BC 两点间的电压;
- (2)、以 B 为参考点, 试求 A、B、C 点电位及 AB、BC 两点间的电压。

解: (1)、 $I = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{10}{4 + 6} = 1A$

$$V_C = 0$$

$$V_B = U_{BC} = IR_2 = 1 \times 6 = 6V$$

$$V_A = U_{AC} = 1 \times (4 + 6) = 10V$$

$$U_{AB} = IR_1 = 1 \times 4 = 4V$$

$$U_{BC} = IR_2 = 1 \times 6 = 6V$$

(2) 如果以 B 点为参考点, 显然电路的电流不变, 即 $I = 1A$

$$V_C = U_{CB} = -IR_2 = -6V$$

$$V_B = 0$$

$$V_A = U_{AB} = IR_1 = 4V$$

$$U_{AB} = 4V$$

$$U_{BC} = 6V$$

从例题中可以看出,在同一个电路只可以选一个参考点,参考点的改变不会改变两点之间的电压,而只会改变电路中各点的电位。

(五)电功率与电能

电场力利用电能对电荷做功,把在单位时间内电气元件吸收或释放的电能称为电功率。在直流电路中,电功率为常数,即:

$$P = \frac{W}{t}$$

式中: W ——电气元件在 t 时间内吸收或释放的电能,单位为 J ;

P ——电气元件的电功率,单位为瓦特(W)。

由电压的定义可知

$$W = U_{AB}Q$$

由电流的定义可知

$$Q = It$$

所以有

$$P = \frac{U_{AB}Q}{t} = \frac{U_{AB}It}{t} = U_{AB}I$$

例 1-2 求例 1-1 中电源电动势和两电阻的功率,并求所有功率之和;图 1-6 中 U_S 表示电源的电压。

解:在电气元件的关联参考方向下,电阻吸收的功率

$$P_1 = I^2 R_1 = 1^2 \times 4 = 4W$$

$$P_2 = I^2 R_2 = 1^2 \times 6 = 6W$$

电源的功率

$$P_S = -U_S I = -10 \times 1 = -10W$$

所有功率之和

$$P_1 + P_2 + P_S = 4 + 6 - 10 = 0W$$

显然,在电流和电压参考方向相同的情况下,即关联参考方向下:

如果 $P > 0$,那么说明在这段电路中电压和电流的实际方向相同,电荷在电场力作用下移动,电气元件吸收或存储电能;

如果 $P < 0$,那么说明在这段电路中电压和电流的实际方向相反,电荷在电源力作用下移动,电气元件在释放电能。

而且可以看出,在同一个电路中电源提供的功率和负载消耗功率是平衡的。

如已知负载功率为 P ,那么负载在 t 时间内消耗电能为

$$W = Pt$$

在我国,电能的单位为千瓦时(KWh),也称“度”。

(六)电阻

电阻是反映导体对电流阻碍作用的电路元件参数。为了分析方便,一般认为电阻是一个常量。欧姆经过实验得出:“对于横截面均匀的金属导体,导体的电阻与导体的长度成正比,与导体的截面积成反比,而且与材料的导电性能有关”。其计算式为

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中: ρ ——导体的电阻率,单位为欧姆·米($\Omega \cdot m$);

l ——导体的长度,单位为米(m);

S ——导体的横截面的面积,单位为平方米(m^2)。

实际上电阻受温度影响很大,如白炽灯的冷态电阻比热态电阻小的多。根据电阻的伏安特性曲线,电阻分为线性电阻和非线性电阻。

三、电路的三种状态

(一)开路状态

电路的开关打开或者电路的其中某个地方事故断开时,称为开路,也称断路;分为正常开路和事故断路。如图1-7所示,其特点是:

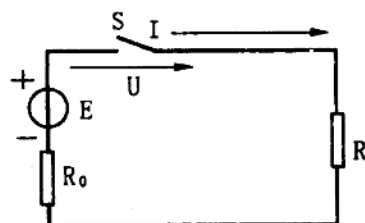


图1-7 电路的开路状态

电路中的电流 $I = 0$

负载消耗功率 $P = 0$

开路端的电压 $U = E$

(二)短路状态

在电路中;电源两端由于某种原因没有经过任何负载而直接相连,被称为短路。如图1-8所示。

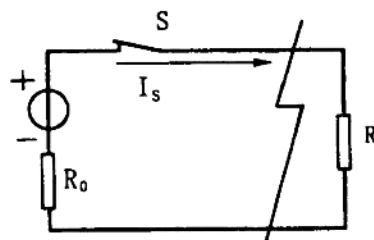


图1-8 电路的短路状态

由于电源的内阻 R_0 很小,所以短路电流很大,根据电流的热效应,在短时间内产生

大量的热量,则会损坏电气设备。所以应经常检查用电设备和线路的绝缘情况,以防短路事故的发生;一般在电路中接入熔断器或低压断路器进行保护。但也有时利用短路电流产生的高温进行金属焊接等。这种电路的特点为:

$$\text{短路电流} \quad I_s = \frac{E}{R_0}$$

$$\text{负载上电压} \quad U = 0$$

$$\text{负载消耗功率} \quad P = 0$$

$$\text{电源内阻消耗功率} \quad P_i = I_s^2 R_0$$

(三)额定工作状态

用电设备都有额定电流、额定电压以及额定功率,它是生产厂家为了产品正常工作而给定的允许工作限额。用电设备在其额定值状态下工作称为电路的额定工作状态。额定电流是指用电设备长期工作所允许通过最大电流,用 I_N 表示,主要考虑电气设备的耐热性能。如电流过大,则会使绝缘老化,减小设备的使用寿命,严重时损坏设备。额定电压是指电气元件长期工作其两端所能承受的电压,用 U_N 表示。如电压太低,用电设备不能正常工作,对电动机来说,如果长时间欠压运行会影响电动机的寿命,严重时损坏电动机;而电压过高,则可能损坏电气设备。

我们应合理地选用用电设备,尽可能让所选用电设备工作在额定状态。如果电气设备长时间超载(即超过用电设备的额定功率)运行,必然会影响设备的寿命,严重时损坏设备;如果轻载运行,会降低用电设备的利用率,对电动机或变压器来说,还会降低功率因素。如图 1-9 所示,其中 1、2 表示两负载, R_0 表示内阻,由于内阻 R_0 的不同使负载两端的电压和负载的功率不同,如用 R 表示 R_1 与 R_2 的等效负载,则有

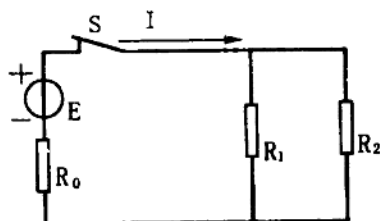


图 1-9 一般电路的电路模型

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

第二节 电路的基本定律

一、欧姆定律

欧姆定律指出：“通过导体的电流 I 与加在导体两端的电压 U 成正比，与导体的电阻 R 成反比”。它是一个实验定律，主要反映电阻元件的电压与电流的约束关系。

欧姆定律表达式为

$$I = \frac{U}{R}$$

注意：使用上式时，必须是线性电阻（即电阻的大小是恒定的），而且是在电阻的电压与电流的关联参考方向下。

如在非关联参考方向下，欧姆定律表达式应为

$$I = -\frac{U}{R}$$

例 1-3 现有两只 220V、40W 和 220V、100W 的白炽灯，将它们并联接于 220V 电源上，哪个灯亮，为什么？如果两只灯串联接到 220V 电源上，结果如何？

解：两只白炽灯并联时，它们都在额定状态下工作，因为 220V、100W 的灯的功率大，所以 220V、60W 的灯亮。

$$40W \text{ 灯的电阻 } R_1 = \frac{U^2}{P_1} = \frac{220^2}{40} = 1210\Omega$$

$$100W \text{ 灯的电阻 } R_2 = \frac{U^2}{P_2} = \frac{220^2}{100} = 484\Omega$$

当两只白炽灯串联时，电路的电流相等，由串联电路的分压关系可知，加在 40W 白炽灯的电压为

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U = \frac{1210}{1210 + 484} \times 220 = 157V$$

加在 100W 白炽灯的电压为

$$U_2 = U - U_1 = 220 - 157 = 63V$$

显然，当两只灯串联时，220V、40W 的功率大，所以 220V、40W 的灯亮

二、基尔霍夫定律

一般分析简单电路或者单电源的电路时，完全可以通过电阻的等效和欧姆定律来解决，但在多电源或者复杂电路时，我们必须运用新的方法来解决。基尔霍夫定律提供了很好的工具。为此，我们必须先掌握几个相关的专业术语。

支路：电路中的一个分支称为一条支路，它的特点是每一条支路流过同一电流。如图 1-10 有 BAD 、 BD 、 BCD 三条支路。

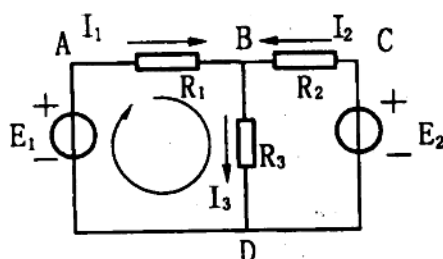


图 1-10 简单网络电路

节点: 电路中三条或者三条以上的支路相汇集的点称为节点。图 1-10 中, B、D 为电路中的两个节点。

回路: 在复杂电路中, 由两条或两条以上支路组成的闭合的电路称为回路。图 1-10 中, ABCDA、ABDA、BCDB 为三个回路。

(一) 基尔霍夫电流定律(KCL)

基尔霍夫电流定律也称节点电流定律, 它是一个实验定律, 其内容是: “在任一瞬间, 对电路的任一节点, 流入该节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。”如果用 I_I 表示流入节点的电流, 用 I_O 表示流出节点的电流。

其数学表达式为:

$$\sum I_I = \sum I_O$$

也可写为

$$\sum I_I - \sum I_O = 0$$

根据上式, 如果规定流入节点的电流为正, 流出的节点的电流为负; 这个定律内容是: 在任一时刻, 对电路中的任一节点, 所有电流的代数和为零。

数学表达式为:

$$\sum I = 0$$

根据基尔霍夫电流定律, 对图 1-10 的节点 B 可以列出方程

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

例 1-4 如图 1-11 所示电路是网络电路的一部分, 已知电流 $I_1 = 2A$, $I_2 = 4A$, $I_3 = 7A$; 试求图中的电流 I_4 。

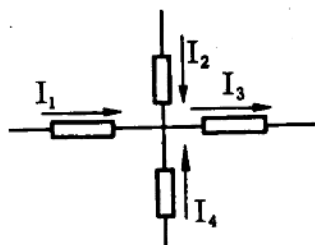


图 1-11 节点电流计算电路图

解: 根据基尔霍夫电流定律有

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

代入数值可得

$$2 + 4 - 7 + I_4 = 0$$

$$I_4 = 1A$$

基尔霍夫电流定律不仅适用于节点,也用于电路中任一闭合面。如图 1-12 所示,对封闭面 S,根据基尔霍夫电流定律,列出三个节点电流方程如下:

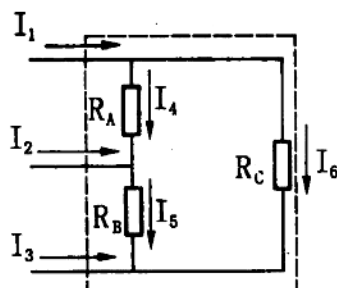


图 1-12 节点电流定律推广电路图

节点 A: $I_1 - I_4 - I_6 = 0$

节点 B: $I_2 + I_4 - I_5 = 0$

节点 C: $I_3 + I_5 + I_6 = 0$

以上三式相加有

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

可见,对电路中的任一闭合面,流入这个闭合面的电流等于流出这个闭合面的电流。这反映了电流的连续性,根据电流的本质定义,说明基尔霍夫电流定律是电荷守恒的体现。

例 1-5 如图 1-13 所示电路是网络电路的一部分,已知电流 $I_1 = 2A$, $I_2 = 3A$, $I_3 = 4A$, $I_4 = 6A$, $I_5 = 11A$,试求图中的电流 I_6 。

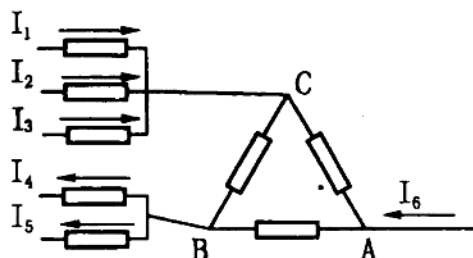


图 1-13 基尔霍夫电流定律应用举例电路图

解:根据基尔霍夫电流定律有

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 + I_6 = 0$$

代入数值可得

$$2 + 3 + 4 - 6 - 11 + I_6 = 0$$

$$I_6 = 8A$$

(二)基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律也称回路电压定律,是一个实验定律,内容指出:“在任一时刻,沿

电路任一闭合回路,所有支路电压的代数和恒等于零。”根据电压的本质含义和定律内容可以看出,基尔霍夫电压定律是能量守恒的体现。

其数学表达式为:

$$\sum U = 0$$

为了计算方便,一般把负载放在等式的左边,把电源放在等式的右边。

那么其数学表达式为:

$$\sum IR = \sum E$$

根据基尔霍夫电压定律,对图 1-10 中的 ABDA 回路可列出

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1$$

用此公式时,必须先选定回路的绕行方向。凡是电流的参考方向与绕行方向相同的,取正值;反之,则取负值。同样,电动势的实际方向与绕行方向相同的,取正值;反之,则取负值。

例 1-6 如图 1-14 所示为一电路的其中一部分,已知电源电动势 $E_1 = 16V$, $E_2 = 4V$;电阻 $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 2\Omega$, $R_4 = 10\Omega$;电流 $I_1 = 1A$, $I_2 = 4A$, $I_3 = 3A$,试求图中的电流 I_4 。

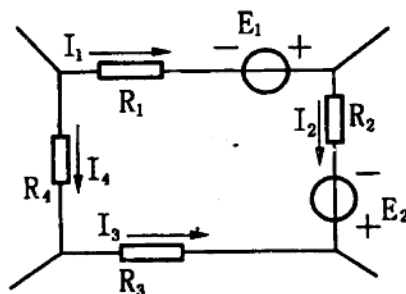


图 1-14 基尔霍夫电压定律应用举例电路图

解:根据基尔霍夫电压定律有

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4 = E_1 + E_2$$

代入数值可得

$$1 \times 3 + 4 \times 5 - 3 \times 2 - 10 I_4 = 16 + 4$$

$$I_4 = -0.3A$$

基尔霍夫电压定律不仅用于闭合回路,也适用于电路的虚拟回路,我们可以理解为:“在任何时刻,沿电路的部分支路和二端口的虚拟回路,所有电压的代数和为零。”

如图 1-15 所示,已知二端口的电压为 U ,根据基尔霍夫电压定律有

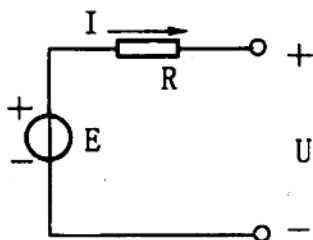


图 1-15 基尔霍夫电压定律推广电路图

$$IR + U = E$$

(三)使用基尔霍夫定律时注意事项

- 1、使用基尔霍夫定律时,必须首先在电路中标出电压和电流的参考方向。
- 2、根据节点电流定律可以列出节点电流方程,相互独立的电流方程个数应为 $(n - 1)$,其中 n 为电路的节点数。
- 3、在平面电路中,根据回路电压定律可以列出回路的电压方程,相互独立的电压方程个数应为电路的网孔数。
- 4、验证:列出的总方程数应该等于所设的支路电流的个数。

例 1-7 图 1-16 所示电路中,已知电源电动势 $E_1 = 18\text{V}$, $E_2 = 6\text{V}$;电阻 $R_1 = 6\Omega$, $R_2 = R_3 = 3\Omega$ 。试用基尔霍夫电流和电压定律求图中的电流 I_1, I_2, I_3 。

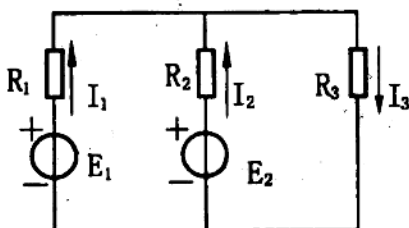


图 1-16 网络电路实例电路图

解:根据基尔霍夫电流定律,对节点 A 有

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

根据基尔霍夫电压定律有

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

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2$$

代入数值可得

$$6I_1 - 3I_2 = 18 - 6$$

$$3I_2 + 3I_3 = 6$$

$$I_1 = 2\text{A} \quad I_2 = 0\text{A} \quad I_3 = 2\text{A}$$

本节介绍欧姆定律和基尔霍夫定律,欧姆定律阐述了电路元件的自身约束关系。而基尔霍夫电流定律给出了电路元件外联接的电流约束关系;基尔霍夫电压定律给出了电路元件外联接的电压约束关系。电路元件的自身约束与外部约束是解决一切电路问题的基础。

第三节 磁和磁场

电场和磁场是统一存在的整体,是同一个物质的两个不同的侧面,在变压器和电动机的分析和研究中必然要考虑到电与磁的转化,所以有必要了解磁和磁场的一些基本概念。

一、磁介质的磁化和磁导率

(一)磁介质的磁化

有些物质放在磁场中会显示出磁性能,产生附加磁场,这种现象称为物质的磁化,把这种能够被磁化的物质,称为磁介质。磁介质按其性能可以分成三大类:反磁性物质、顺磁性物质和铁磁性物质。

反磁性物质在没有外磁场作用时,每个分子中所有运动电子的磁效应互相抵消,即每个分子都没有磁性,所以对外界也不显磁性。当有外磁场作用的时候,分子中每个电子都会受到洛伦兹力作用,因此电子的运动状态要发生改变。实验表明,这种受洛伦兹力作用以后的电子运动所产生的附加磁场的方向总是与外磁场的方向相反,这种结构的物质,称为反磁性物质。例如金、银、铜等都是反磁性物质。

顺磁性物质在没有外磁场作用时,每个分子都呈现磁性,形成磁偶极子,就像一个小磁铁。由于分子的热运动不规则,使得各分子的等效小磁铁排列杂乱无章,其磁性相互抵消,所以整个物体对外不显磁性。但当有外磁场作用的时候,首先,受洛伦兹力作用的电子运动所产生的附加磁场出现;其次,在外磁场的作用下分子电流的磁偶极子有转到与外磁场方向相同的趋势,它加强了外磁场。在顺磁性物质中,由于在总体上加强作用大于削弱作用,所以磁场会增强。顺磁性物质在外磁场的作用下呈现的磁性也是很弱的,所以当外磁场消失以后,顺磁性物质也就失去磁性。例如铝、镁、钙等都是顺磁性物质。

铁磁性物质是由许多磁性很强的小磁畴(铁磁性物质中,分子内电子自旋的作用形成的小磁化区)组成,在没有外磁场时,由于磁畴的排列杂乱无章,所以磁性相互抵消,对外不显磁性;而在外加磁场的作用下,磁畴沿着磁场方向排列整齐,形成很强的附加磁场,从而使原磁场加强。铁就是典型的铁磁性物质,铁磁性物质分为三种:硬磁材料,主要有碳钢、钴钢等,适宜于制造永久磁铁;软磁材料,主要有铸铁、铸钢、硅钢等,适用于制造电机和变压器的铁芯;矩磁材料,主要有一些铁合金,适用于制造计算机中的记忆铁芯等。

(二)磁导率

前面只是定性分析磁介质的性质,为了定量分析,我们引入一个新的物理量——磁导率,它是反映磁介质导磁性质的物理量。用 μ 表示,单位为亨/米(H/m)。真空的磁导率用 μ_0 来表示,经实验测定

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

很显然 μ_0 为一常数,为了简单表示磁介质的性质,把其它磁介质的磁导率与真空的磁导率的比值称为相对磁导率。用 μ_r 来表示。那么,

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

综上所述,可知: