

职业技能培训教程

ZHIYEJINENGPEIXUNJIAOCHENG

电 工

DIAN

GONG

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编



中国石油大学出版社

CHINA PETROLEUM UNIVERSITY PRESS

职业技能培训教程

电 工

中国石油天然气集团公司人事服务中心 编

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

职业技能培训教程

电工/中国石油天然气集团公司人事服务中心编.

东营:中国石油大学出版社,2007.3

ISBN 978-7-5636-2211-5

I. 电... II. 中... III. 电工-技术培训-教材

IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 030655 号

中国石油天然气集团公司人事培训中心

丛 书 名: 职业技能培训教程

书 名: 电工

作 者: 中国石油天然气集团公司人事服务中心

责任编辑: 张萌萌 邵 云(电话 0546-8391282)

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: sanbianshao@126.com

排 版 者: 中国石油大学出版社排版中心

印 刷 者: 青岛华信印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546-8392565, 8399580)

开 本: 185×260 印张: 24.75 字数: 633 千字

版 次: 2007 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

职业技能培训教程

编审委员会

主任：孙祖岭

副主任：刘志华 孙金瑜 徐新福

委员：向守源 任一村 职丽枫 朱长根 郭向东
李钟磬 史殿华 马 富 关昱华 郭学柱
李爱民 刘文玉 熊术学 齐爱国 刘振勇
王家夫 刘瑞善 丁传峰 乔庆恩 申 泽
刘晓华 蔡激扬 阿不都·热西提 郭 建
王阳福 郑兴华 赵忠文 刘孝祖 时万兴
王 成 商桂秋 赵 华 杨诗华 刘怀忠
杨静芬 纪安德 杨明亮 刘绍胜 姚 斌
何 明 范积田 胡友斌 多明轩 李 明
蔡新江

前 言

为提高石油工人队伍素质,满足职工培训、鉴定的需要,中国石油天然气集团公司人事服务中心继组织编写了第一批 44 个石油天然气特有工种的培训教程与鉴定试题集之后,又组织编写了第二、三批 106 个工种的职业技能鉴定试题集,并分别由石油工业出版社和中国石油大学出版社出版。根据企业组织工人进行培训和职工学习技术的需要,我们在第二、三批题库的基础上,又组织编写了第二批 32 个工种的工人培训教材。

本批教材只编写基础理论知识与相关专业知识部分,内容、范围与题库基本一致,不分级别,与已编写出版的第二、三批题库配套使用,便于组织工人进行鉴定前培训。由于在公开出版发行的习题集中,只选取了题库中的部分试题,因此本批教材对工人学习技术,提高知识技能将起到应有的作用。

《电工》由中国石油第一建设公司组织编写,中国石油第一建设公司职培中心卫天海任主编,中油一建技术发展部王智广、杜英侠任副主编。中油一建职培中心卫天海、廉明编写了第一章,王勇、卫炜编写了第二章,方素娟编写了第三、四、五、六章,兰州石化公司李平参与编写了第六章,王智广编写了第七、八、九章,杜英侠、王良月编写了第十、十一、十二章。中油一建人力资源部史玉峰,中油一建职培中心王健对教材进行了初步审查,并提出改进意见。最后经中国石油天然气集团公司组织专家进行了终审,参加审定的专家有大港油田窦培哲,大庆油田田庆书,兰州石化公司李平。在此表示衷心感谢!

由于篇幅所限加之编者水平有限,内容取舍有不当及有错误和疏漏之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

作 者
2006 年 10 月

目 录

第一章 电工基础	(1)
第一节 直流电路	(1)
第二节 电磁和电磁感应	(7)
第三节 单相正弦交流电路	(15)
第四节 三相正弦交流电路	(25)
第二章 电子电路知识	(31)
第一节 半导体元件及其特性	(31)
第二节 放大电路	(40)
第三节 负反馈放大器与集成运算放大器	(47)
第四节 功率放大器	(50)
第五节 直流稳压电源	(51)
第六节 正弦波振荡器	(58)
第七节 晶闸管及其应用	(60)
第八节 数字电路的基本知识	(67)
第三章 变压器	(75)
第一节 变压器的工作原理及种类、用途	(75)
第二节 变压器的结构、性能及参数	(78)
第三节 变压器的运行	(88)
第四章 电动机	(101)
第一节 单相异步电动机	(101)
第二节 三相异步电动机	(105)
第三节 直流电动机	(112)
第四节 同步电动机	(116)
第五节 发电机	(118)
第六节 变频调速电动机	(123)
第七节 特殊电动机	(127)
第八节 机电设备知识	(129)
第五章 低压控制电器	(132)
第一节 低压开关电器	(132)
第二节 保护电器	(137)
第六章 电力拖动知识	(147)
第一节 异步电动机的启动	(147)
第二节 绕线式电动机的启动	(152)
第三节 双速异步电动机的控制与调速	(158)
第四节 直流电动机的启动、调速和反转	(160)

第五节	三相异步电动机的制动	(163)
第六节	电动机的软启动	(166)
第七节	可编程序控制器	(171)
第七章	变配电设备	(175)
第一节	高压电器	(175)
第二节	电力系统基本知识	(176)
第三节	高压隔离开关	(189)
第四节	高压负荷开关	(193)
第五节	高压断路器	(195)
第六节	高压熔断器	(199)
第七节	避雷装置	(201)
第八节	互感器知识	(209)
第九节	二次保护回路	(214)
第八章	变配电设备安装及运行维护	(230)
第一节	变压器安装	(230)
第二节	变压器的运行维护	(234)
第三节	互感器的安装	(239)
第四节	隔离开关的安装及运行维护	(240)
第五节	成套配电柜的安装工艺	(243)
第六节	母线施工	(245)
第七节	断路器的安装	(250)
第八节	接地装置和避雷器的施工及维护	(252)
第九节	一般停送电的操作方法	(260)
第九章	电力线路	(263)
第一节	架空线路	(263)
第二节	架空线路的施工与运行维护	(278)
第三节	电缆线路	(282)
第四节	电缆线路的施工与运行维护	(287)
第十章	电气仪表与测量	(298)
第一节	电气测量仪表的一般知识	(298)
第二节	常用仪表的工作原理及使用	(301)
第三节	数字仪表	(312)
第四节	常用电子仪器	(318)
第十一章	电气试验	(326)
第一节	概述	(326)
第二节	电气设备的基本试验	(327)
第三节	工频耐压试验	(334)
第四节	变压器试验	(339)
第五节	避雷器试验	(346)
第六节	接地装置试验	(348)

第七节	绝缘油试验	(349)
第八节	电缆试验与故障寻测	(352)
第十二章	电气安全技术	(357)
第一节	触电危害与急救	(357)
第二节	接地和接零	(360)
第三节	防雷和防静电	(363)
第四节	保证安全的措施	(366)
第五节	电气安全用具	(368)
附录	国家有关电气的标准与规范	(373)
参考文献		(386)

第一章 电工基础

第一节 直流电路

一、电路及基本物理量

(一) 电路的概念

电流经过的路径称为电路。电路一般包括四个部分,即电源、负载、连接导线与控制设备。电源是电路中的能源所在,它将各种其他形式的能量转换为电能,并输给电路。负载为用电设备,如电灯、电机、电炉等,它将电能转换为其他形式的能量。连接导线的作用是传输电能。控制设备用来实现电路接通、断开和保护功能。

电路有三种状态:通路、开路和短路。通路是负载在额定状态下运行,属电路正常工作状态。开路是指电路未接通或闭合电路中的某一部分发生了断开,运行中设备停止工作,出现异常,开路状态电流为零,开路电压等于电源电动势。短路状态是电流不经负载,而通过导线直接接通,短路为电路非正常状态,短路电流 $I_{\text{短}}$ 为电源电动势除以电源内阻和线路电阻之和,电流较大,其后果是导致电器设备过热、烧毁或引起火灾。

用国家统一规定的图形文字符号表示电器设备或元件,并按电路实物构成关系画出的图形叫电路图。

(二) 电路基本物理量

1. 电量与电流

(1) 电量

带电粒子(如质子和电子)所带电荷的多少叫电量,用符号 q 或 Q 来表示。电量的单位是“库仑”,它的代号是 C,1 库仑等于 6.24×10^{18} 个电子所具有的电量。

(2) 电流

电荷在电场的作用下作定向移动形成电流,正电荷移动的方向规定为电流方向。电流是在电场作用下单位时间内通过某一导体截面的电量,用字母 I 表示,即:

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

电流 I 的单位是安培,用字母 A 表示。电荷量 $Q(q)$ 的单位是库仑,用字母 C 表示。时间 t 的单位是秒,用 s 表示。

电流分为直流和交流两类。凡大小和方向都不随时间变化的电流,称为稳恒电流,简称直流(DC);凡大小和方向都随时间变化的电流,称为交变电流,简称交流(AC)。

2. 电压与电位

(1) 电压

电压是衡量电场力做功能力的物理量。电场力把单位电荷从 A 点移动到 B 点所做的功定义为 A 点到 B 点间的电压,用 U_{AB} 表示,即:

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}$$

式中, W_{AB} 表示电场力将电量为 Q 的电荷从 A 点移动到 B 点所做的功。功的单位为焦耳, 简称焦, 字母符号是 J ; 电压的单位为伏特, 简称伏, 字母符号是 V 。

规定电场力移动正电荷的方向为电压的方向。

(2) 电位

在电路中任意选一点 O 作为参考点, 通常把参考点电位定为零。

电路中某一点 A 到参考点的电压就叫做 A 点的电位, 用 φ_A 来表示, 即:

$$\varphi_A = U_{AO}$$

电位的单位和电压一样, 为伏(V)。

若已知 A, B 两点的电位分别为 φ_A, φ_B , 则 A, B 两点的电压为:

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

上式表明电路中 A, B 两点间的电压等于 A 点和 B 点的电位差。因此, 电压也叫做电位差。

电路中各点的电位值与参考点的选择有关, 当所选的参考点变动时, 各点的电位值将随之变动。

3. 电动势

在电源的内部电路中, 电源力将单位正电荷从电源的负极(B)移动到电源的正极(A)所做的功, 称为电源的电动势, 用 E 表示, 即:

$$E = \frac{W_{BA}}{Q}$$

式中, W_{BA} 表示电源力将正电荷 Q 从 B 移动到 A 所做的功; 电动势与电压有相同的单位即伏(V)。

电动势的方向规定为在电源的内部由负极指向正极, 是从低电位指向高电位。电动势只存在于电源的内部电路中, 而电压是对外部电路而言, 两者的方向是不同的。

4. 电功、电功率、电流的热效应

(1) 电功

在电场力的作用下, 电流流过负载将电能转换成其他形式的能(热、光、机械能等), 称电流做功, 简称电功, 也称电能。它以通过电路的电荷量 Q 和所加的电压 U 的乘积来计算, 表达式为:

$$W = Q \cdot U = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2 t}{R}$$

电功的单位是焦耳, 简称焦, 用字母 J 表示。

1 度电相当于 1 千瓦(小)时的电功, 即 $1 \text{ 度} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。

(2) 电功率

电功率 P 表示单位时间内电流所做的功, 计算公式是:

$$P = \frac{W}{t} = U \cdot I = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

电功率的单位是瓦特, 用符号 W 表示。

(3) 电流的热效应

电流通过具有电阻 R 的导体会发热, 在时间 t 内所产生的热量 Q 为:

$$Q = 0.24 I^2 Rt$$

上式又称为焦耳-楞次定律。式中热量 Q 的单位是卡, 用符号“cal”表示。

5. 电阻、电容

(1) 电阻

电阻表示导体对电流的阻力,也是用来衡量一个器件不可逆的消耗功率的能力。均匀截面导体的电阻与其长度 l 成正比,与截面积 S 成反比,计算公式为:

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

式中 l ——导体的长度, m ;

S ——导体的截面积, mm^2 ;

R ——导体的电阻, Ω ;

ρ ——材料的电阻率, $\Omega \cdot mm^2/m$ 。

(2) 电容器和电容

电容器是一种储存电荷的电器元件。在单位电压作用下电容器所能储存的电荷量称为该电容器的电容。其表达式为:

$$C = \frac{q}{U}$$

电容的符号是 C ,单位是法拉,用符号 F 表示。电容为常量的电容器是线性元件。

电容串联后各电容中的电量相同,各电容上的电压分配与电容值成反比,其等效电容 C_{se} 为:

$$\frac{1}{C_{se}} = \sum \frac{1}{C}$$

电容并联后的总电量是各电器上的电量之和,各电容上的电压相同,其等效电容 C_{pe} 为:

$$C_{pe} = \sum C$$

电容器两端电压为 U ,电容为 C ,则电容器中储藏的电场能量为:

$$A_e = \frac{1}{2} CU^2$$

二、欧姆定律

(一) 部分电路欧姆定律

当在电阻两端加上电压时,电阻中就有电流流过。流过电阻的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比,与电阻 R 成反比。这一结论称为部分电路欧姆定律。用公式表示为:

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

也可以写成:

$$U = IR$$

从图 1-1-1 中可以看出,电阻两端的电压方向是由高电位指向低电位,并且电位是逐点降低的。

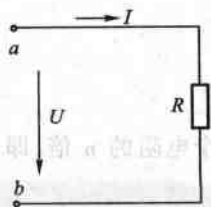


图 1-1-1 不含电源的部分电路

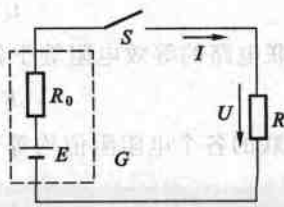


图 1-1-2 含有电源的闭合电路

(二) 全电路欧姆定律

全电路是指含有电源的闭合电路,如图 1-1-2 所示。图中的虚线框内代表一个电源,用字母 G 表示。电源的内部一般都是有电阻的,此电阻称为内电阻(以下简称内阻),用 R_0 表示。流过电路的电流 I 为:

$$I = E / (R + R_0)$$

上式表明:在一个闭合电路中,电流与电源的电动势成正比,与电路中的内阻与外电阻之和成反比。这个规律称为全电路欧姆定律。

(三) 电源的外特性

全电路欧姆定律写成 $U = E - IR_0$ 的形式,则此式可以看成是电源的端电压 U 与输出电流 I 之间的关系。如果用纵坐标表示电源的端电压 U ,横坐标表示电源的输出电流 I ,则电压与电流的关系曲线称为电源的外特性曲线。当电源的内阻 R_0 为常数时,外特性曲线为一向下倾斜的直线,如图 1-1-3 所示。

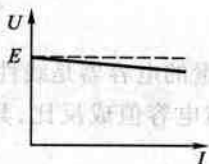


图 1-1-3 电源的外特性曲线

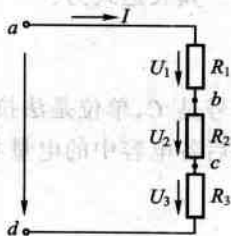


图 1-1-4 三个电阻串联的电路

当 $I = 0$ 时,即电源空载,此时 $U = E$,电源端电压最大。随着输出电流 I 的增大,电源端电压按直线规律下降。

电源端电压的高低不但与负载有密切关系,而且与电源的内阻大小有关。在负载电流不变的情况下,内阻减小,电源内压降减小,端电压升高;内阻增大,内压降增大,端电压降低。当内阻为零时,也就是在理想状态(电源为理想电源)下,端电压不再随电流变化,如图 1-1-3 中的虚线所示。

三、电阻串联电路

若两个或两个以上的电阻按顺序一个接一个的连成一串,使电流只有一条通路的连接方式称为电阻的串联。图 1-1-4 所示为 R_1, R_2, R_3 三个电阻的串联。

电阻的串联有以下几个特点:

(1) 串联电路中各处的电流都相等,即:

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \cdots = I_n$$

(2) 电路两端的总电压等于各电阻两端的电压之和,即:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n$$

(3) 串联电路的等效电阻等于各串联电阻阻值之和,即:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$$

如果串联的各个电阻阻值均等于 R_0 ,则等效电阻就是单个电阻的 n 倍,即:

$$R = nR_0$$

(4) 串联电路各电阻上的电压分配与各内阻的阻值成正比,即:

$$U_i = \frac{R_i}{R} U$$

其中, R_i 为串联电路中的任一电阻, U_i 为 R_i 两端的电压, R 为串联电路的等效电阻。

上式表明, R_i 越大, 该电阻上的电压也越大。此式常称为分压公式, R_i/R 称为分压比。

(5) 串联电路的总功率 P 等于各串联电阻所消耗的功率之和, 即:

$$P = P_1 + P_2 + \cdots + P_n$$

(6) 在串联电路中各个电阻所消耗的功率与阻值成正比, 即:

$$P_1 : P_2 : \cdots : P_n = R_1 : R_2 : \cdots : R_n$$

四、电阻并联电路

将两个或两个以上的电阻一端连在一起, 另一端也连在一起, 使每一电阻两端都承受相同的电压作用, 电阻的这种连接方式叫做并联。图 1-1-5 为三个电阻的并联电路。

电阻并联电路具有以下一些特点:

(1) 电路中各支路两端的电压相等, 且等于电路两端的电压, 即:

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \cdots = U_n$$

(2) 电路中的总电流等于各支路电流之和, 即:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n$$

(3) 并联电路的总电阻(等效电阻)的倒数, 等于各并联电阻的倒数之和, 即:

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

若并联电路中的 n 个电阻均为 R_0 , 则等效电阻为:

$$R = R_0/n$$

(4) 在电阻并联电路中, 任一支路分配的电流与该支路的电阻值成反比, 即:

$$I_i = \frac{R}{R_i} I$$

式中, $R = R_1 // R_2 // \cdots // R_n$ 。

上式中, R_i 越大, 它所分配到的电流越小。此式称为分流公式, R/R_i 称为分流比。

(5) 并联电路的总功率等于各并联电路所消耗的功率之和, 即:

$$P = P_1 + P_2 + \cdots + P_n$$

(6) 在并联电路中, 各个电阻消耗的功率与它的阻值成反比, 即:

$$P_1 : P_2 : \cdots : P_n = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

五、电阻混联电路

电路中既有电阻的串联, 又有电阻的并联, 这种连接方式叫做电阻的混联。混联电路的计算按串、并联电路的分析方法及特点, 按串联与并联的计算方法, 一步一步地把电路简化, 就可以求出总的等效电阻。

混联电路计算的一般步骤如下:

(1) 把串联的电阻和并联的电阻分别用等效电阻代替, 逐步简化电路, 最终求出电路的总的等效电阻。

(2) 由总等效电阻和电路的端电压计算电路的总电流。

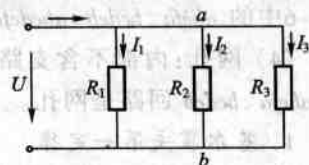


图 1-1-5 三个电阻的并联电路

(3) 根据电阻串联的分压关系和电阻并联的分流关系, 求出各电阻上的电压、电流及功率。

六、基尔霍夫定律

无法用串、并联关系进行简化的电路称为复杂电路。复杂电路不能直接用欧姆定律来求解, 可用基尔霍夫定律来分析。

下面简要介绍有关复杂电路的几个名词。

(1) 支路: 由一个或几个元件串联构成的一段无分支电路。在同一支路内, 流过所有元件的电流相等。

(2) 节点: 三条或三条以上支路的连接点叫做节点。图 1-1-6 中 b 点和 e 点都是节点。

(3) 回路: 电路中任意一个闭合路径称为回路。如图 1-1-6 中的 $abefa$ 、 $bcdeb$ 、 $abcdefa$ 都是回路。

(4) 网孔: 内部不含支路的回路称为网孔。图 1-1-6 中只有 $abefa$ 、 $bcdeb$ 回路是网孔。

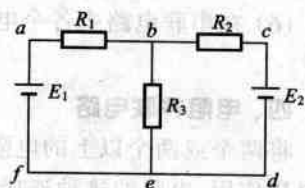


图 1-1-6 三条支路构成的电路

1. 基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律也称节点电流定律(KCL)。此定律说明了连接在同一节点上的几条支路中电流之间的关系, 其内容是: 电路中任意一个节点上, 流入节点的电流之和等于流出该节点的电流之和, 即:

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

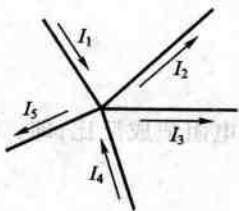


图 1-1-7 基尔霍夫第一定律

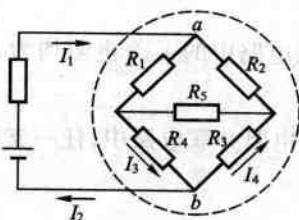


图 1-1-8 基尔霍夫第一定律推广

如图 1-1-7 所示, 有五条支路汇聚于 A 点, 其中 I_1 和 I_4 是流入节点的, I_2 、 I_3 和 I_5 是流出节点的, 于是可得:

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5$$

或

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

如果我们规定流入节点的电流为正, 流出节点的电流为负, 那么, 基尔霍夫第一定律的内容也可叙述为: 电路中任意一个节点上, 电流的代数和恒等于零, 即:

$$\sum I = 0$$

基尔霍夫第一定律不仅适用于节点, 也可推广应用于任意假定的封闭面。如图 1-1-8 所示的电路, 假定一个封闭面 S 把电阻 $R_1 \sim R_5$ 所构成的电路全部包围起来。则流进封闭面 S 的电流应等于从封闭面流出的电流, 故得

$$I_1 = I_2$$

在分析与计算复杂电路时, 计算前不知道每一支路中电流的实际方向, 这时可以任意假设

各个支路中的电流方向,并且标在电路图中。若计算结果中,某一支路的电流为正值,表明该支路电流的实际方向与参考方向相同;若某一支路的电流为负值,表明该支路电流的实际方向与参考方向相反。

2. 基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律也称回路电压定律(KVL)。此定律说明了回路中各部分电压之间的相互关系。其内容是:对于电路中的任一回路,沿回路绕行方向各段电压的代数和等于零,其表达式为:

$$\sum U = 0$$

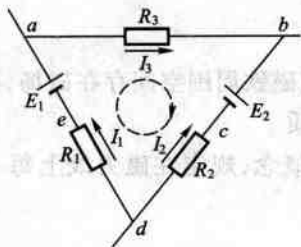


图 1-1-9 基尔霍夫第二定律

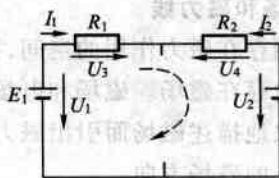


图 1-1-10 根据基尔霍夫第二定律列方程

如图 1-1-9 所示,回路 $abcdea$ 表示复杂电路中的其中一个回路(其余回路未画出)。

运用上式时,关键是确定各元件上电压的正、负号。如图 1-1-10 所示,首先依次标出各元件上的电压 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 的参考方向,然后对于每一个回路规定一个绕行方向,并用虚线与箭头表示。如果电压的参考方向与回路绕行方向一致,则取正号,如图中的 U_2 、 U_3 ;如果电压的参考方向与回路绕行方向相反,则取负号,如图中的 U_1 、 U_4 。正负确定后,便可根据基尔霍夫第二定律列出方程:

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

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

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

写成一般形式,可表示成:

$$\sum IR = \sum E$$

上式是基尔霍夫第二定律的另一种数学表达形式,它表明回路中电阻元件上电压降的代数和等于回路电动势的代数和。式中电压、电动势正负号的确定与上述基本相同,但电动势的方向应是从低电位指向高电位。如图 1-1-10 中,因为 E_1 的方向与回路绕行方向相同,取正号; E_2 的方向与回路绕行方向相反,取负号。

第二节 电磁和电磁感应

在实际工程中使用的许多电气设备,如电机、变压器、电磁铁、电工仪表等,存在着电与磁的相互作用和相互转化,都应用到电与磁的基本原理。要对他们进行全面的分析,必须同时从电路和磁路两个方面去考虑问题。因此,研究电与磁之间的关系,掌握磁路的基本理论和分析方法是十分必要的。

一、磁的基本知识

(一) 磁体和磁极

具有磁性的物体叫磁体。磁体分天然磁体和人造磁体两种,人造磁体的形状常见的有条形、蹄形和针形等。

磁体两端磁性最强的区域叫磁极。无论怎样分割磁体,它总是保持两个磁极。指北的一端叫北极,用 N 表示;指南的一端叫南极,用 S 表示。

磁极间也存在相互作用力,同极互相排斥,异极互相吸引。这种作用力叫磁力。这种作用力和机械力不同,它不是通过物体对物体的接触才能够产生,而是通过一定的空间距离即可起作用。

(二) 磁场和磁力线

磁体周围存在磁力作用的空间,我们称为磁场。不仅磁铁周围空间存在磁场,而且载流导体周围空间也存在磁场。磁场和电场都是一种特殊的物质。

为了形象地描述磁场而引出磁力线(磁感应线)这一概念,规定在磁力线上每一点的切线方向表示该点的磁场方向。

磁力线有以下几个特征:

- (1) 磁力线是一系列的互不相交的闭合曲线。在磁体的外部由 N 极指向 S 极,在磁体的内部由 S 极指向 N 极。
- (2) 磁力线上任一点的切线方向,就是该点的磁场方向。
- (3) 磁力线的疏密程度反映了磁场的强弱。磁力线越密表示磁场越强,磁力线越疏表示磁场越弱。

(三) 电流的磁场

电流是产生磁场的根本原因;即使是永久磁铁的磁场也是由分子电流产生的,所谓的分子电流指的是由原子内的电子绕原子核高速旋转和电子自旋形成的。

(1) 通电直导线周围的磁场

通电直导线周围磁场的磁力线是一些以导线为轴的同心圆,这些同心圆都在与导线垂直的平面上。

磁力线的方向与电流方向之间的关系可用安培定则(又称右手螺旋定则)来判断,用右手握住通电直导线,让拇指指向电流方向,则四指环绕的方向就是磁力线的方向,如图 1-2-1(a)所示。



图 1-2-1 电流产生的磁场

a—直线电流产生的磁场;b—环形电流产生的磁场

(2) 环形电流产生的磁场

通电螺线管的磁力线是一些穿过横截面的闭合曲线,它的方向与电流之间的关系也可用安培定则来判定,用右手握住螺线管,弯曲的四指指向线圈电流方向,则拇指指向就是螺线管内的磁场方向,如图 1-2-1(b)所示。

二、磁场的基本物理量

(一) 磁通(Φ)

磁力线的多少和疏密程度可以描述磁场在空间的分布状况,但这只能作为定性分析。磁通这一物理量的引入可以定量的分析磁场在一定面积上的分布情况。

通过与磁场方向垂直的某一面积上的磁力线总数,叫做该面积的磁通量,简称磁通,用字母 Φ 表示。它的单位是韦伯,简称韦,用字母 Wb 表示。

由于磁力线是连续不断的闭合曲线或延伸至无限远处,因此在磁场中任取一个闭合曲面,则穿入该闭合曲面的磁力线数(磁通量)必等于穿出该曲面的磁力线数(磁通量)。这一结论称为磁通的连续性原理。

(二) 磁感应强度(磁通密度)

与磁场方向垂直的单位面积上的磁通称为磁感应强度,也有叫磁通密度的,以符号“ B ”表示。

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

磁感应强度的单位是韦/米²(Wb/m²)时,称为特斯拉(T);当它的单位是麦克斯韦/厘米²(Mx/cm²)时,称为高斯(Gs),它们之间的关系是:

$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ Gs}$$

B 越大,表示该处的磁力线越密,磁场越强;反之,则磁场越弱。

(三) 磁导率(μ)

如果用插有铁棒的通电线圈去吸引铁屑,然后把通电线圈中的铁棒换成铜棒再去吸引铁屑,便会发现在两种情况下吸引力的大小会不同,前者要比后者大的多。这表明不同的介质对磁场的影响不同,影响的程度与介质的导磁性能有关。

磁导率就是一个用来表示介质的导磁性能的物理量,用字母 μ 表示,其单位是亨利/米,用符号 H/m 表示,由实验测得真空的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 。

自然界中大多数物质对磁场的影响甚微,只有少数物质对磁场有明显的影响。为了比较介质对磁场的影响,即导磁性能,人们引入了相对磁导率这一概念。任一物质的磁导率与真空中的磁导率的比值称为相对磁导率,用 μ_r 表示,即:

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

式中 μ_r ——相对磁导率;

μ ——任一物质的磁导率, H/m;

μ_0 ——真空的磁导率, $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 。

上式表明在其他条件相同的情况下,介质的磁感应强度是真空中多少倍。相对磁导率只是一个比值,没有单位。

根据磁导率的大小不同,可以把物质分为三类:

- (1) 相对磁导率 μ_r 略大于 1 的物质称为顺磁物质,如空气、铝、锡等。
- (2) 相对磁导率 μ_r 略小于 1 的物质叫做反磁物质,如氢、铜、银等。