

E L E C T R I C I A N

低压电气 设备操作

◎ 刘光源 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

低压电气设备操作

刘光源 主编



Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书共分9章,内容包括电工基础知识、常用电工测量仪表及电子技术基础、照明装置的安装和常见故障检修、变压器、三相异步电动机和直流电动机、常用低压电器的选用和安装、电动机控制线路、低压电气设备检修方法及举例。本书附有电工鉴定应知题和实践操作模拟试卷及答案,以供读者自学参考使用。

本书内容新颖,通俗易懂,突出电工工艺和操作技能,可供广大电气工人及电气技术人员使用,也可作为中职业院校的培训教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

低压电气设备操作/刘光源主编. —北京:电子工业出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-121-23535-1

I. ① 低… II. ① 刘… III. ① 低电压-电气设备-中等专业学校-教材 IV. ① TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 127689 号

策划编辑:富 军

责任编辑:张 京

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:北京季蜂印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 ·印张:18.75 字数:563.2 千字

版 次:2014 年 8 月第 1 版

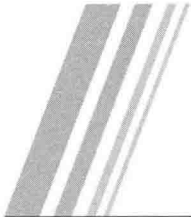
印 次:2014 年 8 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。



前 言

本书以电工的基本操作技能和维修为主，可操作性强，可使广大上岗、转岗和在岗的电气工人及中职校学生用较短的时间掌握电工工艺和操作技能。

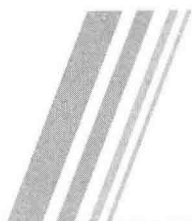
本书详细介绍了电工基础知识；常用电工测量仪表的使用；中小型交、直流电动机的工作原理、拆装和维修方法；照明装置的安装和维修方法；常用低压电器安装、使用和维修；常用低压电气设备的操作。

本书中所用的技术标准、电气图形符号（GB/T 4728—2005—2008）均为最新国家标准，内容丰富，实用性强。

本书由刘光源主编，参加编写的还有应桂聪、周家宝、黄敏、刘琼、费文祥、许定芳、张佩连、潘慧珍、许黎丽、应国聪、陈月华、许玉萍、刘峰。

由于本人学识和技术水平有限，书中难免有不足及疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者



目 录

第一章 电工基础知识	1
第一节 直流电路	1
第二节 磁与电磁	9
第三节 交流电路	12
习题一	22
第二章 常用电工测量仪表及电子技术基础	31
第一节 常用电工测量仪表	31
第二节 电子技术基础	42
习题二	54
第三章 照明装置的安装和常见故障检修	57
第一节 照明装置及 RCD 的安装接线	57
第二节 配电板的安装方法	91
第三节 室内线路的竣工检查及验收	98
习题三	102
第四章 变压器	105
第一节 变压器的工作原理	105
第二节 小型控制变压器及互感器	107
第三节 电力变压器	117
习题四	120
第五章 三相异步电动机	123
第一节 三相异步电动机的结构和型号	123
第二节 三相异步电动机的旋转磁场及工作原理	126
第三节 三相异步电动机的运行特性和启动	129
第四节 三相异步电动机的选用	134
第五节 电动机的安装、校正及接线	135

第六节 三相异步电动机的拆装、常见故障及修理	138
第七节 单相异步电动机的拆装和检修	151
习题五	158
第六章 直流电动机	162
第一节 直流电动机的结构和工作原理	162
第二节 直流电动机的励磁方式和出线端标志	167
第三节 直流电动机的启动、停机和火花等级的鉴别	168
第四节 直流电动机的维护及常见故障处理	169
习题六	174
第七章 常用低压电器的选用和安装	177
第一节 低压开关	177
第二节 熔断器	179
第三节 接触器	181
第四节 继电器	183
第五节 主令电器	189
习题七	191
第八章 电动机控制线路	194
第一节 三相笼形异步电动机的全压启动	194
第二节 三相笼形异步电动机的降压启动	197
第三节 三相异步电动机的制动	202
第四节 双速电动机的控制	208
第五节 三相绕线式异步电动机的控制	210
习题八	213
第九章 低压电气设备检修方法及举例	217
第一节 低压电气设备的检修方法	217
第二节 低压电气设备检修举例	223
习题九	254
附录 A 模拟试卷	256
鉴定应知题模拟试卷 (A)	256
鉴定应知题模拟试卷 (B)	260
鉴定应知题模拟试卷 (C)	264
鉴定应知题模拟试卷 (D)	269
鉴定实践操作模拟试卷 (A)	274
鉴定实践操作模拟试卷 (B)	275
鉴定实践操作模拟试卷 (C)	277
鉴定实践操作模拟试卷 (D)	279

附录 B 模拟试卷答案	282
鉴定应知题模拟试卷 (A) 答案	282
鉴定应知题模拟试卷 (B) 答案	282
鉴定应知题模拟试卷 (C) 答案	282
鉴定应知题模拟试卷 (D) 答案	283
鉴定实践操作模拟试卷 (A) 答案	283
鉴定实践操作模拟试卷 (B) 答案	285
鉴定实践操作模拟试卷 (C) 答案	286
鉴定实践操作模拟试卷 (D) 答案	288

第一章

电工基础知识

第一节

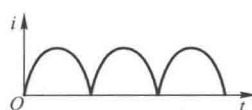
直流电路



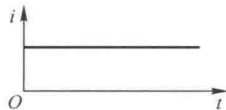
一、直流电

电流在导线中流动, 如果其方向不发生变化, 就称为直流电流。

如果直流电流的方向不发生变化, 但电流的大小随时间发生变化, 则称为脉动直流电。脉动直流电可以通过晶体二极管进行半波或全波整流产生, 其波形如图 1-1 (a) 所示。电流的方向和电流的大小都不发生变化, 称为恒定的直流电流, 其波形如图 1-2 (b) 所示。通常所说的直流电是指恒定直流电。干电池、蓄电池是指恒定直流源。



(a) 脉动直流电波形



(b) 恒定的直流电波形

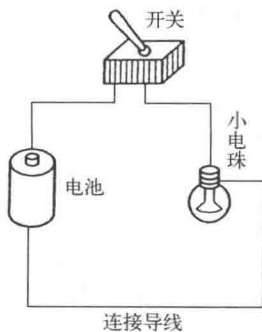
图 1-1 直流电波形



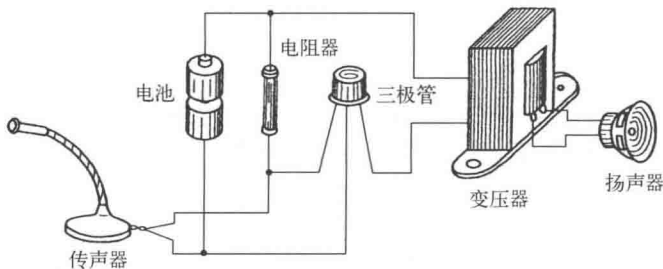
二、电路

1. 电路的概念

将电气元器件用导线连接起来构成电流通路的整体称为电路, 如图 1-2 所示。



(a) 手电筒电路



(b) 扩音器电路

图 1-2 直流电路

图 1-2 (a) 是手电筒电路, 组成此电路的目的是传输和转换能量。首先将电池的化学能转换成电能传输出去, 然后在小电珠上将电能转换成光能。

图 1-2 (b) 是简单的晶体管扩音器电路, 组成此电路的目的是传输和转换信号。首先通过传声器 (话筒) 将声音信号转换成电信号传输出去, 然后通过扬声器将电信号转换成更大的声音信号。

2. 电路的组成

一般电路都是由电源、负载、开关和连接导线四个基本部分组成的。

(1) 电源。电源是把其他形式的能量转换成电能的设备。例如, 蓄电池把化学能转换为电能; 发电机把机械能转换为电能; 光电池把光能转换为电能等。

(2) 负载。负载是把电能转换为其他形式能量的元器件或设备。例如, 电动机把电能转换为机械能; 小电珠把电能转换为光能和热能; 扬声器把电能转换为声能; 电炉把电能转换为热能等。

(3) 开关。开关是控制电路接通或断开的器件。

(4) 连接导线。连接导线在电路中起着输送和分配电能的作用。



三、电路的基本物理量

1. 电流

(1) 电流的符号: 电流用字母 I 表示。

(2) 电流的大小:

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

式中, U ——电压, 单位为伏特, 简称伏 (V);

I ——电流, 单位为安培, 简称安 (A);

R ——电阻, 单位为欧姆, 简称欧 (Ω)。

(3) 电流的单位换算如下:

$$1 \text{ 千安 (kA)} = 10^3 \text{ 安 (A)} \quad 1 \text{ 安 (A)} = 10^3 \text{ 毫安 (mA)} \quad 1 \text{ 毫安 (mA)} = 10^3 \text{ 微安 (}\mu\text{A)}$$

2. 电压

(1) 电压的符号: 电压用字母 U 表示。

(2) 电压的大小:

$$U = IR$$

(3) 电压的单位换算如下:

$$1 \text{ 千伏 (kV)} = 10^3 \text{ 伏 (V)} \quad 1 \text{ 伏 (V)} = 10^3 \text{ 毫伏 (mV)} \quad 1 \text{ 毫伏 (mV)} = 10^3 \text{ 微伏 (}\mu\text{V)}$$

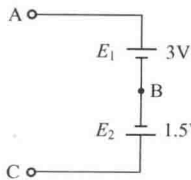
(4) 电压的方向: 由高电位指向低电位, 即从 “+” 极指向 “-” 极, 如图 1-4 (a) 所示。

3. 电位

电路中某点的电位是该点与电路中零电位之间的电压 (电位差)。

(1) 零电位: 一般把大地作为零电位 (也称参考点)。

(2) 接地符号: $\perp$ 或 $\frac{\perp}{\text{}} \circ$ 。



(3) 电位符号: V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D 或 U_A 、 U_B 、 U_C 、 U_D 。

(4) 电位单位: 伏 (V)。

例 1: 在图 1-3 所示的电位电路图中, 分别求 A 点和 B 点接地时 U_A 、 U_B 、 U_C 和 U_{AB} 、 U_{AC} 。

解: (1) A 点接地:

$$U_A = 0V$$

$$U_B = -3V \text{ (电源电动势两端电位高、低看正、负极, 正极比负极高电}$$

动势的一个数值)

$$U_C = -1.5V$$

$$U_{AB} = U_A - U_B = 0 - (-3) = 3V$$

$$U_{AC} = U_A - U_C = 0 - (-1.5) = 1.5V$$

(2) B 点接地:

图 1-3 求电位电路图

$$U_B = 0V$$

$$U_A = 3V$$

$$U_C = 1.5V$$

$$U_{AB} = U_A - U_B = 3 - 0 = 3V$$

$$U_{AC} = U_A - U_C = 3 - 1.5 = 1.5V$$

结论：电位的高、低与选择的零电位（参考点的位置）无关，而电位差（电压）的高、低与选择的零电位有关。

4. 电动势

(1) 电动势的符号： E 。

(2) 电动势的单位：伏（V）。

(3) 电动势的方向：由低电位指向高电位即“ $-$ ”极指向“ $+$ ”极，如图1-4（b）所示。

5. 电阻

1) 电阻的分类

按照制作材料不同，电阻可分为碳膜电阻、金属膜电阻、金属氧化膜电阻、玻璃釉膜电阻、合金碳膜电阻、绕线电阻等；按照用途不同，除了普通电阻外，还分为热敏电阻、光敏电阻等；按照结构的特点，电阻又可分为固定电阻、可变电阻和电位器等。电阻在电路中用字母“ R ”表示，常见电阻的外形及图形符号如图1-5所示。

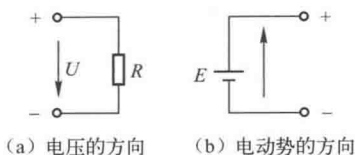


图1-4 电压和电动势的方向

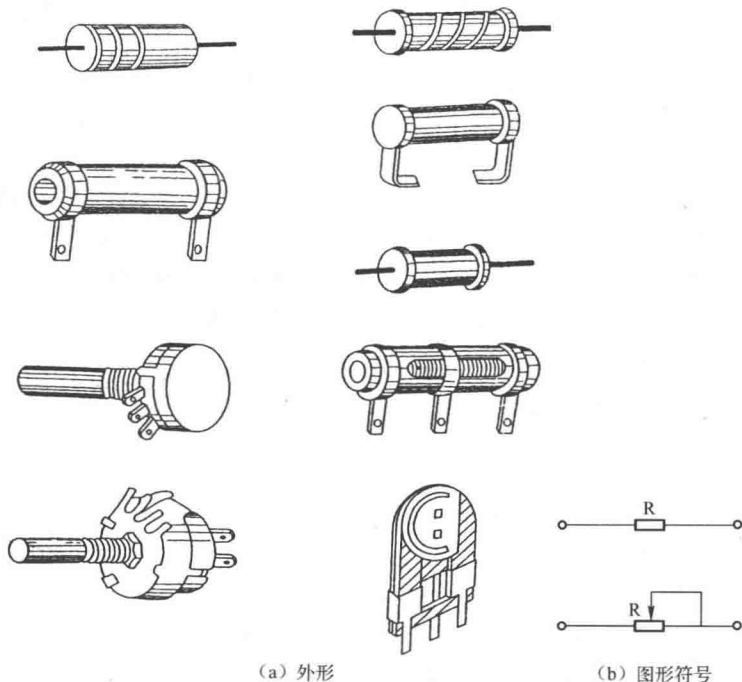


图1-5 电阻

2) 电阻的大小

实践证明，金属导体的电阻与导体的长度成正比，与导体的截面面积成反比，而且与金属导体材料有关，其计算公式为

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

式中， R ——导体的电阻；

L ——导体的长度 (m);

S ——导体的截面面积 (mm^2);

ρ ——电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)。

几种常用材料在 20°C 时的电阻率如表 1-1 所示。

表 1-1 部分材料的电阻率

用 途	材料名称	电阻率 ρ (20°C) / ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	用 途	材料名称	电阻率 ρ (20°C) / ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
制作导线	银	0.0165	制作电阻	锰铜	0.42
	铜	0.0175		康铜	0.42
	铝	0.0283		镍铬铜	1.0

3) 电阻的参数

(1) 电阻的标称阻值和误差。在电阻上标注的阻值叫作标称阻值，它的单位是欧姆，简称欧，用符号“ Ω ”表示。较大的电阻值可用千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$) 表示。它们之间的关系是

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$$

$$1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

电阻的实际阻值与标称值之差称为误差。它表示某一电阻标称阻值的精度。一般电阻的误差分为三个等级，即一级误差范围为标称阻值的 $\pm 5\%$ ；二级误差范围为 $\pm 10\%$ ；三级误差范围为 $\pm 20\%$ 。除此之外，精度较高的电阻其误差为 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 等。

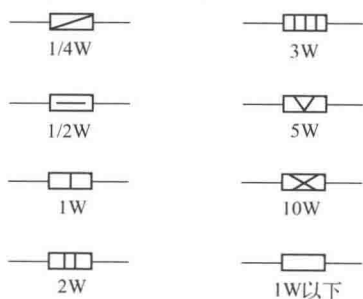


图 1-6 常用电阻额定功率的表示方法

(2) 电阻的额定功率。电阻在正常工作时允许消耗的最大功率叫作电阻的额定功率。电阻的额定功率与它所用的材料和体积有关。一般来说，线绕电阻的额定功率较大，体积大的电阻的额定功率也较大。在使用过程中电阻实际消耗的功率超过其额定功率，就会使电阻的温度升高而引起阻值的变化，严重时可使电阻烧毁。为了保证安全可靠，通常所用电阻的额定功率应比实际消耗的功率大 $100\% \sim 200\%$ ，电阻额定功率的标称值有 $1/8\text{W}$ 、 $1/4\text{W}$ 、 $1/2\text{W}$ 、 1W 、 2W 、 5W 和 10W 等。常用电阻额定功率的表示方法如图 1-6 所示。

例 2：有一根长为 1000m 、截面面积为 2mm^2 的铜导线，求该铜导线的电阻 R 。

$$\text{解：} R = \rho \frac{L}{S} = 0.0175 \times \frac{1000}{2} = 8.75 (\Omega)$$

4) 电阻的测量

(1) 一般电阻：用万用表的电阻挡测量。

(2) 大电阻：用兆欧表（又称绝缘电阻表）测量。

(3) 小电阻：用电桥测量。

① 1Ω 以上电阻：用单臂电桥（又称惠斯通电桥）测量。

② 1Ω 以下电阻：用双臂电桥（又称凯尔文电桥）测量。



四、欧姆定律

1. 部分电路欧姆定律

如图 1-7 所示，电阻 R 连接到电路中，电压 U 作用在电阻两端，就有电流 I 流过电阻。并且这时的电压、电流、电阻的数值存在确定的相互关系。德国科学家欧姆首先发现了这一规律，因而称为欧姆定律。欧姆定律表达为：电流与电压成正比，与电阻成反比。其数学表达式为

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

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

例 3: 已知一灯泡的电阻是 220Ω , 电源电压为 220V , 流过灯泡的电流是多少?

解: 根据欧姆定律:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{220} = 1(\text{A})$$

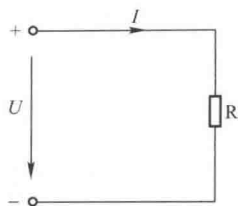


图 1-7 部分电路

欧姆定律电路图

2. 全电路欧姆定律

电源与负载电阻 R 通过导线连接成一个闭合的回路, 就构成全电路。在电源内部, 可以分为电源电动势 E 和电源内部电阻 r 两部分, 如图 1-8 所示。电源的内部电阻 r 一般比外部的负载电阻 R 的值要小得多。

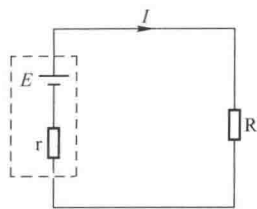


图 1-8 全电路欧姆定律电路图

全电路欧姆定律的数学表达式为

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

式中: E ——电源电动势 (V);

I ——电流 (A);

R ——负载电阻 (Ω);

r ——电源内部电阻 (Ω)。

3. 电路的三种工作状态

电路通常有通路、开路、短路三种状态, 如图 1-9 所示。

(1) 通路: 通路是指正常工作状态下的闭合电路。例如图 1-9 中开关 SA 置于“3”的位置。

电路通路时, 电路中电流:

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

外电路电压:

$$U = E - Ir$$

(2) 断路: 断路又称开路。断路是指负载与电源之间断开, 电源不能向负载提供电能。例如图 1-9 中开关 SA 置于“2”的位置。

电路断路时, 电路中电流:

$$I = 0$$

外电路电压:

$$U = E$$

(3) 短路: 短路是指电源两端直接被导线连接。例如图 1-9 中开关 SA 置于“1”位置。电源提供的电流全部从该导线中流过, 而不流经负载。短路时, 导线中流过的电流会比正常通路时流过的电流大许多倍, 如果未装设熔断器进行短路保护, 则会烧毁导线或电源。

电路短路时, 电路中电流

$$I = \frac{E}{r}$$

由于 r 一般很小, 所以短路电流很大。

外电路电压:

$$U = 0$$

例 4: 已知图 1-9 中 $E = 20\text{V}$, $R = 9.8\Omega$, $r = 0.2\Omega$ 。求: 开关 SA 在 1、2、3 位置时电流表

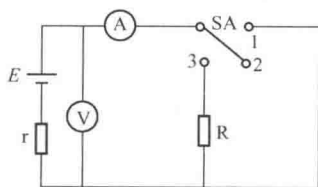


图 1-9 电路的三种工作状态

和电压表的读数。

解: (1) 开关 SA 在 1 位置——短路:

$$I = \frac{E}{r} = 20/0.2 = 100(\text{A}) \quad U = 0$$

(2) 开关 SA 在 2 位置——断路:

$$I = 0 \quad U = E = 20\text{V}$$

(3) 开关 SA 在 3 位置——通路:

$$I = \frac{E}{R+r} = 20/(9.8+0.2) = 2(\text{A}) \quad U = E - Ir = 20 - 2 \times 0.2 = 19.6(\text{V})$$



五、电阻的串并联

1. 电阻串联

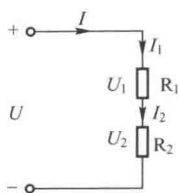


图 1-10 电阻的串联电路

电阻的串联电路如图 1-10 所示。

(1) 串联电路中流过每个电阻的电流都相等:

$$I = I_1 = I_2$$

(2) 串联电路两端的总电压等于各电阻上电压之和:

$$U = U_1 + U_2$$

(3) 串联电路总电阻等于各串联电阻之和:

$$R_{\text{总}} = R_1 + R_2$$

(4) 分压公式推导:

$$U_2 = I_2 R_2 = IR_2 = \frac{U}{R} R_2 = \frac{U}{R_1 + R_2} R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$$

例 5: 已知在电阻串联电路中 $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 6\Omega$, $U = 20\text{V}$ 。求: $R_{\text{总}}$ 、 I 、 U_1 、 U_2 。

解: $R_{\text{总}} = R_1 + R_2 = 4 + 6 = 10(\Omega)$ $I = U/R_{\text{总}} = 20/10 = 2(\text{A})$

$$U_1 = I_1 \times R_1 = 2 \times 4 = 8(\text{V}) \quad U_2 = I_2 \times R_2 = 2 \times 6 = 12(\text{V})$$

例 6: 已知在电阻串联电路中 $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $U = 60\text{V}$ 。求: U_2 。

解: $U_2 = R_2/(R_1 + R_2) \times U = 5/(10 + 5) \times 60 = 20(\text{V})$

2. 电阻并联

电阻的并联电路如图 1-11 所示。

(1) 并联电路中各电阻两端的电压都相等:

$$U = U_1 = U_2$$

(2) 并联电路的总电流等于流过各电阻的电流之和:

$$I = I_1 + I_2$$

(3) 并联电路总电阻的倒数等于各并联电阻倒数之和:

$$\frac{1}{R_{\text{总}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \frac{1}{R_{\text{总}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_2}{R_1 R_2} + \frac{R_1}{R_1 R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \quad R_{\text{总}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

(4) 分流公式推导:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

例 7: 已知在电阻并联电路中 $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 6\Omega$, $U = 12\text{V}$ 。求: $R_{\text{总}}$ 、 I 、 I_1 、 I_2 。

解: $1/R_{\text{总}} = 1/R_1 + 1/R_2 = 1/3 + 1/6 = 3/6(\Omega)$ $R_{\text{总}} = 6/3 = 2(\Omega)$

$$I = U/R_{\text{总}} = 12/2 = 6(\text{A}) \quad I_1 = U_1/R_1 = 12/3 = 4(\text{A}) \quad I_2 = U_2/R_2 = 12/6 = 2(\text{A})$$

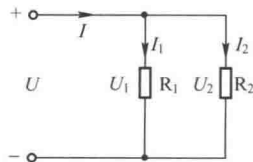


图 1-11 电阻的并联电路

例 8: 已知在电阻并联电路中 $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 6\Omega$, $I = 18\text{A}$ 。求: I_2 。

解: $I_2 = R_1 / (R_1 + R_2) \times I = 3 / (3 + 6) \times 18 = 6(\text{A})$



六、电功率和电能

1. 电功率

电功率是电流在单位时间内所做的功, 也是在单位时间内所消耗的电能。

(1) 电功率的符号: 电功率用字母 P 表示。

(2) 电功率的大小: $P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$ 。

(3) 电功率的单位: 电功率的单位为“瓦特”, 简称“瓦”, 用字母 W 表示。

$$1 \text{ 千瓦 (kW)} = 10^3 \text{ 瓦 (W)}$$

家用电器上标注的 40W 、 75W 、 100W 等都是电功率的数值。

电功率的大小与时间无关, 如 100W 的灯泡, 用电 10 小时后, 灯泡的功率仍为 100W 。

2. 电功 (又称电能)

(1) 电功的符号: 电功的符号用字母 W 表示。

(2) 电功的大小: $W = IUt = Pt$ 。可见电功的大小与功率和时间成正比。

(3) 电功的单位。电功的单位为千瓦·小时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$), 俗称“度”。

一般家庭中安装的电能表 (俗称小火表) 就是专门记录电能 (电功) 消耗的仪表。

例 9: 两只 40W 的白炽灯、两只 40W 的荧光灯 (镇流器 8W), 用电 10h 后消耗的电能是多少?

解: $W = Pt = [40 \times 2 + (40 + 8) \times 2] \times 10 = 1760 (\text{W} \cdot \text{h}) = 1.76 (\text{kW} \cdot \text{h})$

例 10: 两只 40W 的白炽灯、3 只 40W 的荧光灯 (镇流器 8W), 两只 30W 的荧光灯 (镇流器 6W), 150W 吊扇两只, 100W 家用冰箱 1 只, 平均每天用电 5h , 1 个月 (按 30 天计) 耗电多少?

解: $W = Pt = [40 \times 2 + (40 + 8) \times 3 + (30 + 6) \times 2 + 150 \times 2 + 100] \times 5 \times 30 = 696 \times 5 \times 30 = 104400 (\text{W} \cdot \text{h}) = 104.4 (\text{kW} \cdot \text{h})$



七、基尔霍夫定律

例 11: 简单直流电路——能用欧姆定律及电阻串并联进行简化计算的直流电路称简单直流电路, 如图 1-12 所示。

例 12: 复杂直流电路——不能用欧姆定律及电阻串并联进行简化计算的直流电路称复杂直流电路, 如图 1-13 所示。

例 13: 有 4 个节点和 6 条支路的电路如图 1-14 所示。

例 11

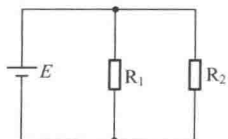


图 1-12 示例电路

例 12

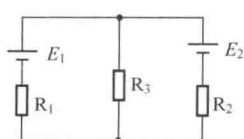


图 1-13 示例电路

例 13

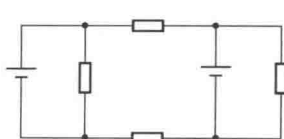


图 1-14 示例电路

(1) 节点: 三条或三条以上支路所汇成的交点叫节点。如例 12 有两个节点, 例 13 有 4 个节点。

(2) 支路: 由一个或几个相互串联的元件构成的电路叫支路。如例 12 有 3 条支路, 例 13 有 6 条支路。

(3) 回路: 电路中任一闭合路径叫回路。如例 12 有 3 个回路, 例 13 有 6 个回路。

(4) 网孔: 最简单的不可再分割的回路叫网孔。如例 12 有两个网孔, 例 13 有 3 个网孔。

例 14: 图 1-15 所示的电路有几个节点、几条支路、几个回路、几个网孔?

答: 有 4 个节点、6 条支路、7 个回路、3 个网孔。

例 15: 图 1-16 所示的电路有几个节点、几条支路、几个回路、几个网孔?

答: 有 3 个节点、5 条支路、6 个回路、3 个网孔。

1. 基尔霍夫第一定律 (又称节点电流定律)

在任一瞬间, 流进某一节点的电流之和恒等于流出该节点的电流之和。对于如图 1-17 所示的电路, 有

$$\sum I_{\text{进}} = \sum I_{\text{出}} \quad I_1 + I_2 = I_3 \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

故 $\sum I = 0$, 即流进节点电流的代数和等于零。

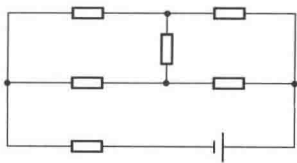


图 1-15 示例电路

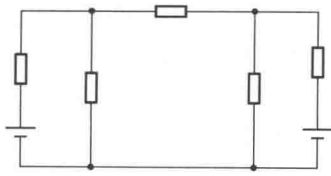


图 1-16 示例电路

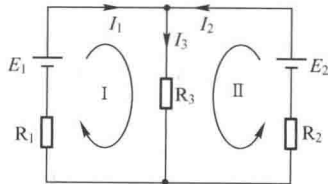


图 1-17 示例电路

2. 基尔霍夫第二定律 (又称回路电压定律)

在任一闭合回路中, 电阻上电压降代数和恒等于电动势代数和:

$$\sum IR = \sum E$$

如果回路中无电动势, 则 $\sum IR = 0$ 。

如图 1-17 所示, 在回路 I 中, 有

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1$$

在回路 II 中, 有

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2$$

例 16: 已知图 1-17 所示的电路中, $E_1 = 18\text{V}$, $E_2 = 9\text{V}$, $R_1 = R_2 = 1\Omega$, $R_3 = 4\Omega$ 。

求: 各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 。

解: (1) 假设三个支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的方向。

(2) 假设回路 I 和 II 的方向。

(3) 列方程:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 R_1 + I_3 R_3 = E_1$$

$$I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2$$

(4) 代入已知数:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad \text{①}$$

$$I_1 + 4I_3 = 18 \quad \text{②}$$

$$I_2 + 4I_3 = 9 \quad \text{③}$$

(5) 解方程。

式② - 式③得:

$$I_1 - I_2 = 9 \quad \text{④}$$

式① $\times 4$ + 式②得:

$$4I_1 + 4I_2 + I_1 = 18$$

$$5I_1 + 4I_2 = 18 \quad \text{⑤}$$

式④ $\times 4$ + 式⑤得:

$$9I_1 = 36 + 18 = 54$$

$$I_1 = 6 \text{ (实际方向与假设方向相同)}$$

将 $I_1 = 6$ 代入式②得:

$$4I_3 = 18 - 6 = 12$$

$$I_3 = 3 \text{ (实际方向与假设方向相同)}$$

将 $I_3 = 3$ 代入式③得:

$$I_2 = 9 - 4 \times 3 = -3 \text{ (A) (实际方向与假设方向相反)}$$

解得: $I_1 = 6\text{A}$, $I_2 = -3\text{A}$, $I_3 = 3\text{A}$ 。

第二节 磁与电磁



一、磁与磁场

1. 磁的基本知识

磁针指北的一端叫北极,用 N 表示;指南的一端叫南极,用 S 表示。任何磁体都具有两个磁极。而且无论怎样把磁体分割总保持有两个异性磁极,即 S 极和 N 极。

磁极间存在着相互的作用力,即同极性相排斥、异性相吸引。

2. 磁感应线

磁体的周围存在磁场,磁场的强弱和方向用磁感应线来表示,磁感应线的特点如下。

(1) 磁感应线是互不交叉的闭合曲线;在磁体外部由 N 极指向 S 极,在磁体内部由 S 极指向 N 极,如图 1-18 所示。

(2) 磁感应线上任意一点的切线方向就是该点的磁场方向,即小磁针 N 极的指向。

(3) 磁感应线越密,磁场越强;磁感应线越疏,磁场越弱。磁感应线均匀分布而又相互平行的区域称为均匀磁场;反之则称为非均匀磁场。

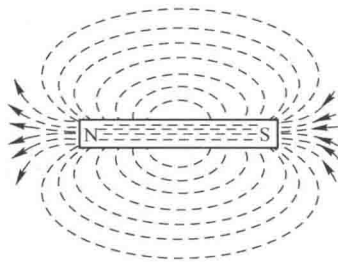


图 1-18 磁感应线



二、电流的磁场

通电导体周围存在磁场的现象称为电流的磁效应。导体中电流越大,它产生的磁场就越强。

电流与其产生磁场的方向可用安培定则(又称右手螺旋定则)来判断。

(1) 直导体电流产生的磁场的方向可用右手螺旋定则来判断,如图 1-19 所示。

右手大拇指的指向表示电流的方向,弯曲四指的指向即为磁场方向。

(2) 环形导体(线圈)电流产生的磁场如图 1-20 所示。



图 1-19 直导体电流产生的磁场



图 1-20 环形导体(线圈)电流产生的磁场

右手弯曲的四指表示电流的方向,大拇指的指向即为磁场方向,且指向 N 极。



三、磁场的基本物理量

1. 磁通

通过与磁场方向垂直的某一面积上的磁感应线总数叫作通过该面积 S 的磁通量, 简称磁通。用字母 Φ 表示, 其单位为韦伯, 简称韦, 用字母 Wb 表示。当面积一定时, 通过单位面积的磁通越多, 磁场就越强。例如变压器、电动机、电磁铁等就是通过尽可能地减少漏磁通、增强一定铁芯截面面积下的磁场强度来提高其工作效率的。

在均匀磁场中, 磁通可表示为

$$\Phi = BS$$

式中, B ——磁感应强度。

2. 磁感应强度

磁感应强度是描述磁场中各点的磁场强弱和方向的物理量。磁感应强度的定义为: 在磁场中垂直于磁场方向的通电导线, 所受电磁力 F 与电流 I 和导线有效长度 L 的乘积 IL 的比值即为该处的磁感应强度, 用 B 表示, 即

$$B = \frac{F}{IL}$$

同时, B 也可用下式表示

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

磁感应强度的单位为特斯拉, 简称特, 用字母 T 表示。

一般永久磁铁的磁感应强度是 $0.4 \sim 0.7 \text{T}$; 电动机和变压器的铁芯中的磁感应强度可达 $0.8 \sim 1.4 \text{T}$ 。



四、磁场对通电直导体的作用

1. 通电直导体在磁场中产生电磁力的大小

通电直导体在磁场中会产生电磁力, 电磁力 F 的大小为

$$F = BIL \sin \alpha$$

式中, F ——电磁力, 单位为 N ;

B ——磁感应强度, 单位为 T ;

I ——导体中的电流, 单位为 A ;

L ——导体在磁场中的有效长度, 单位为 m ;

α ——导体与磁感应线的夹角。

当通电直导体与磁感应线垂直, 即 $\alpha = 90^\circ$ 时, $\sin 90^\circ = 1$, 此时直导体受到的电磁力最大。

当通电直导体与磁感应线平行, 即 $\alpha = 0^\circ$ 时, $\sin 0^\circ = 0$, 此时直导体受到的电磁力为零。

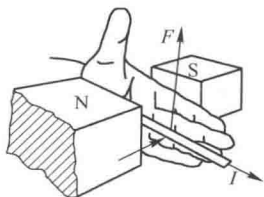


图 1-21 左手电动机定则

2. 通电直导体在磁场中产生电磁力的方向

通电直导体在磁场中产生电磁力的方向可用左手电动机定则来判断。如图 1-21 所示, 平伸左手, 使大拇指垂直其余四指, 手心正对磁场的 N 极, 四指指向表示电流方向, 则大拇指的指向就是通电直导体在磁场中产生电磁力的方向。



五、电磁感应

当导体周围的磁场发生变化时, 导体中将产生感应电动势或电流, 这种现象称为电磁感应。由