

最新统一编写电力行业岗位及职业技能鉴定培训教材

配电线路

(初、中、高级工及技师、高级技师适用)



知识

技能

题库

《配电线路》编委会 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

最新统一编写电力行业岗位及职业技能鉴定培训教材

配 电 线 路

(初、中、高级工及技师、高级技师适用)

《配电线路》编委会 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范·配电线路》、职业技能鉴定指导书及配电线路工岗位规范编写。主要是为提高配电线路专业人员的业务素质,配合职业技能鉴定和专业岗位培训的开展,落实学习型企业的创建,依据配电线路相关的规程规范,参考相关的设计、施工、运行与检修书籍,并结合实际工作需要和设计、施工、运行经验而编写的。

全书共分十三章和附录,主要包括:基础知识与相关知识,配电线路与生产安全,配电线路路径与测量,基础,杆塔,导线、绝缘线和电缆,变压器,高压电器,绝缘子和金具,接地装置,配电网和配电线路防护管理,低压配电网和电能计量及无功补偿,配电线路专业考核题库及其答案,附录等。

本书可供配电线路的设计、施工、运行和检修人员以及配电线路初级、中级、高级工和技师、高级技师培训和学习,也可供其他相关技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

配电线路/《配电线路》编委会编著. —北京:中国水利水电出版社, 2009

最新统一编写电力行业岗位及职业技能鉴定培训教材:
初、中、高级工及技师、高级技师适用

ISBN 978-7-5084-6130-4

I. 配… II. 配… III. 配电线路—技术培训—教材
IV. TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 193579 号

书 名	最新统一编写电力行业岗位及职业技能鉴定培训教材 配电线路 (初、中、高级工及技师、高级技师适用)
作 者	《配电线路》编委会 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales @ waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 40 印张 1354 千字
版 次	2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	79.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《配电线路》编委会名单

主 任 马保恒

副 主 任 赵 宁 王向东 王英杰 尹怀更

编 委 靳新建 王文琪 程国华 刘丙勋 李秀贤
赵玉汉 刘连生 刘东风 赵中秋 于俊现
谭俊岭 李尚荣 刘会云 王文彬 梁俊红
郭建明 周延根 宋彦泽 张朝锋 孙胜博
张灵军 徐克猛 周辛国 牛华芳

主 编 王玉贵

副 主 编 尹怀更 李勇军 陈笑宇 郑 威 魏 杰
赵军宪

编写人员 王奎洵 吕万辉 王忠民 赵建周 刁发良
胡士锋 王桂荣 谢 峰 秦喜辰 张继涛
徐信阳 牛志刚 杨景艳 乔可辰 张志秋
史长行 姜东升 宋旭之 田 杰 温 宁
乔自谦 史乃明 郭春生 高庆东 吉金东
李耀照 吕学彬 马计敏 朱英杰 焦现峰
李立国 刘立强 李 炜 郝宗强 王力杰

前言

为提高配电线路专业人员的业务素质,为配合职业技能鉴定和专业培训的开展,为落实学习型企业的创建而编写本书。

本书中的一些技术标准和施工工艺以及运行维护的要求主要依据 DL/T 5220—2005《10kV 及以下架空配电线路设计技术规程》、DL/T 601—1996《架空绝缘配电线路设计技术规程》、DL/T 5221—2005《城市电力电缆线路设计技术规定》、GB 50173—1992《电气装置安装工程 35kV 及以下架空电力线路施工及验收规范》、DL/T 602—1996《架空绝缘配电线路施工及验收规程》、SD 292—1988《架空配电线路及设备运行规程(试行)》、DL/T 499—2001《农村低压电力技术规程》、《国家电网公司电力安全生产工作规程》(电力线路部分)等有关规程规定。本书结合实际工作的需要和设计、施工、运行经验,并以进网电工培训教材、事故案例通报、电工作业、输配电线路运行和检修、输配电线路培训教材、农村供电所人员上岗培训教材等方面的书籍为主要参考资料进行编写。

本书共分十三章和附录,考虑实际工作和职业技能鉴定的需要,重点包括:第二章配电线路与生产安全,第五章杆塔,第六章导线、绝缘线和电缆,第七章变压器。其中第二章第二节电气知识与人身安全、第三节配电线路工作的有关安全规定是以技术和安全规定以及案例分析来防范人身事故;第五章、第六章、第七章、第八章的故障处理及分析是结合配电线路实际运行中易发生的故障进行技术分析和提出防范对策;第六章第三节应力及弧垂计算举例和自练是供技师或高级技师在实际工作中参考应用的;第三、四、八、九章中的重点知识介绍和绘图是供技师或高级工在实际工作中参考用的;其他章节基本涵盖了配电线路专业初级、中级、高级工和技师、高级技师的知识和技能要求。

本书的构思、初稿、统稿、定稿、协调由主编全面负责,第三、四、五章以陈笑宇为主编写,第六、七、八章以魏杰为主编写,第一、九、十、十一章以李勇军为主编写,第十二、十三章以赵军宪为主编写,王奎淘参与了第二、五、六、八、十、十二章部分内容的编写。本书在编写过程中,得到河北省电力公司、邢台供电公司有关领导,以及电力系统同行们的大力帮助和热情指导,

在此向他们表示衷心感谢。

提供资料并参加本书部分编写工作的还有：张强、王卫东、石威杰、贺和平、潘利杰、张娜、石宝香、李新歌、尹建华、苏跃华、刘海龙、李小方、李爱丽、王志玲、李自雄、陈海龙、韩国民、刘力侨、任翠兰、张洋、李翱翔、孙雅欣、李景、赵振国、任芳、吴爽、李勇高、杜涛涛、李启明、郭会霞、霍胜木、李青丽、谢成康、马荣花、张贺丽、薛金梅、李荣芳、孙洋洋、余小冬、丁爱荣、王文举、徐文华、李键、孙运生、王敏州、杨国伟、刘红军、白春东、魏健良、周凤春、董小玫、吕会勤、孙金力、孙建华、孙志红、孙东生、王惊、李丽丽等。

由于编写时间仓促，编者水平有限，实践经验不足，收集资料不全，疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正并提出宝贵意见。

作者

2009年3月

目 录

前言

第一章 基础知识与相关知识	1
第一节 直流电路	1
第二节 电磁基本知识	6
第三节 单相交流电路	8
第四节 三相交流电路	15
第五节 有关力学的基本知识	19
第六节 架空电力线路专业术语释义	23
第七节 气象条件的应用	30
第八节 常用电气图形符号及文字符号	34
复习思考题与习题	38
第二章 配电线路与生产安全	42
第一节 以人为本 安全第一	42
第二节 电气知识与人身安全	46
第三节 配电线路工作的有关安全规定	76
复习思考题与习题	106
第三章 配电线路路径与测量	111
第一节 路径选择	111
第二节 经纬仪测量	115
第三节 配电线路的设计勘测	120
第四节 配电线路的施工勘测	130
复习思考题与习题	133
第四章 基础	138
第一节 基础类型及构造	138
第二节 基础受力及计算	147
第三节 基础施工和运行	155
复习思考题与习题	167
第五章 杆塔	170
第一节 杆塔的分类及选用	170
第二节 杆塔荷载与简单计算	181
第三节 杆塔施工	186
第四节 杆塔的故障及巡视	197
复习思考题与习题	200
第六章 导线、绝缘线和电缆	205

第一节	导线的种类和选用	205
第二节	架空配电线路导线的物理特性和力学计算	215
第三节	架空导线电气和力学计算举例	221
第四节	导线架设	244
第五节	导线和电缆运行	260
	复习思考题与习题	268
第七章	变压器	275
第一节	变压器结构与工作	275
第二节	变压器的空载运行	294
第三节	变压器的有载运行	297
第四节	变压器运行维护	300
第五节	互感器	314
	复习思考题与习题	318
第八章	高压电器	321
第一节	高压电器基本理论和灭弧方法	321
第二节	高压断路器	325
第三节	隔离开关	334
第四节	熔断器	337
第五节	避雷器	343
第六节	更换断路器及熔断器和避雷器作业指导	346
第七节	高压电器托架制造和安装示意图	349
	复习思考题与习题	352
第九章	绝缘子和金具	355
第一节	绝缘子	355
第二节	金具	369
	复习思考题与习题	390
第十章	接地装置	393
第一节	雷电	393
第二节	接地装置	396
第三节	接地电阻	403
第四节	中性点与接地方式	412
	复习思考题与习题	414
第十一章	配电网和配电线路防护管理	418
第一节	配电网	418
第二节	配电线路防护	420
第三节	配电线路管理	426
	复习思考题与习题	433
第十二章	低压配电网和电能计量及无功补偿	436
第一节	低压配电网概述	436
第二节	低压配电线路	439
第三节	接户线和进户线及室内外配线	447
第四节	低压配电装置	453
第五节	电能计量装置	458

第六节 无功功率补偿	472
复习思考题与习题	486
第十三章 配电线路专业考核题库及其答案	490
第一节 理论与技能考核题	490
第二节 理论与技能考核题参考答案	513
附录一 10kV 及以下架空配电线路设计技术规程 (DL/T 5220—2005) (摘要)	563
附录二 电气装置安装工程 35kV 及以下架空电力线路施工及验收规范 (GB 50173—1992)	577
附录三 架空绝缘配电线路设计技术规程 (DL/T 601—1996)	589
附录四 架空绝缘配电线路施工及验收规程 (DL/T 602—1996)	601
附录五 架空配电线路及设备运行规程 (试行) (SD 292—1988)	616
附录六 电力线路防护规程 (水利电力部 [79] 水电规字第 6 号)	629

式为其表示, 第五项为配电线路工(第2版) 第一章

(S-1)

第一章 基础知识与相关知识

配电线路专业人员除掌握本专业的理论和技能外, 还应与专业相关的知识有所了解。本章主要内容包括直流电路、磁场及电磁感应、正弦交流电路、三相交流电路、力学的基础知识, 同时还包括了架空电力线路专业术语释义、气象条件的应用等基础知识。

第一节 直流电路

电气元件相互连接的整体, 构成了电流可以流通的路径, 称为电路, 如图 1-1 所示。从图 1-1 可以看出电路由电源、负载、连接导线及开关四个基本部分组成。

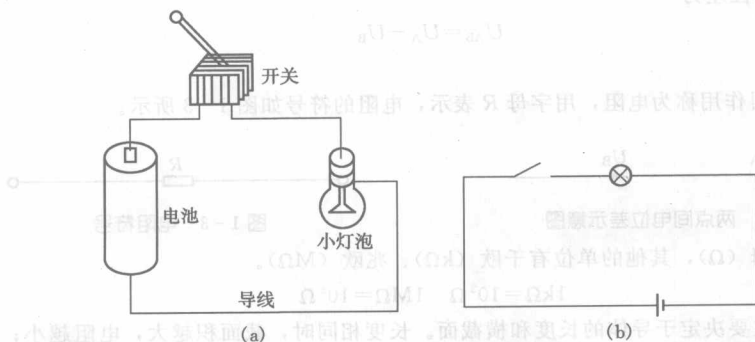


图 1-1 电路示意图

(a) 实物图; (b) 电路图

一、电路的基本物理量

1. 电流

当导体内的自由电子受到电场力的作用后, 电子就以一定方向移动。在这种情况下, 导体内的任何截面(在任一瞬间), 将有电量通过, 这种电荷的定向运动形成电流。在不同的导电物质中, 人们习惯把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向, 即电流从电源正极(+)通过负载流向负极(-)。如果通过导体横截面上电流的大小和方向不随时间变化而变化, 这种电流叫直流电流。

衡量电流的大小、强弱的物理量称为电流强度。单位时间内通过导体横截面的电量称为电流强度。

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

(1-1)

式中 I ——电流强度;

Q ——表示电量, 库伦 (C);

t ——表示时间, 秒 (s)。

电流的单位为安培, 用符号 A 表示, 其他的单位有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA)。

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}, 1\text{A} = 10^3\text{mA}, 1\text{mA} = 10^3\mu\text{A}$$

2. 电动势、电压

电动势表征电源中外力(非静电力或电源力)将化学能、机械能、电磁能等非电形式的能量, 转变为电能时做功的能力。能量转化的过程在电源内部表现为, 正电荷在外力作用下从电源负极移动到正极的过程。

电动势的大小等于外力克服电场力把单位正电荷在电源内部从正极移动到负极所作的功。在电源中,

以作用在正电荷上的电源力方向作为电动势的实际方向。它通常从电源的负极指向正极,其表达式为

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-2)$$

式中 E ——电动势,伏特(V);

W ——表示外力(非静电力)移动电荷所作的功;

Q ——被移动的电荷量,库伦(C)。

电源的电动势 E 是一个定值,与外电路的负载大小无关。

若将电源接于电路中,则该电源支路两端的电位差就叫电源端电压,用符号 U 表示,单位为伏特(V)。电压其他的单位有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)。

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} \quad 1\text{V} = 10^3\text{mV} \quad 1\text{mV} = 10^3\mu\text{V}$$

若选电路中某点为参考点,则在该电路中任意一点到参考点之间的电势差数值,称为该点的电位,符号用 V 。工程上常选电气设备的外壳,或大地作为参考点。

任意两点间的电位之差称为电位差,即为两点间的电压,如图1-2所示。因此,电位的单位与电压的单位都是伏(V)。

U_A 、 U_B 两点间电位差为

$$U_{AB} = U_A - U_B \quad (1-3)$$

3. 电阻

导体对电流的阻碍作用称为电阻,用字母 R 表示,电阻的符号如图1-3所示。



图 1-2 两点间电位差示意图



图 1-3 电阻符号

电阻的单位是欧姆(Ω),其他的单位有千欧(k Ω)、兆欧(M Ω)。

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

同一物质的电阻主要决定于导体的长度和横截面。长度相同时,截面积越大,电阻越小;截面积相同时,导体越长,则电阻越大。所以电阻与导体的长度 L 成正比,与导体的截面积 S 成反比。用公式表示为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-4)$$

式中 R ——导体电阻, Ω ;

ρ ——导体电阻率(电阻系数), $\Omega \cdot \text{m}$;

L ——导体的长度,m;

S ——导体的横截面积, mm^2 。

各种导电材料的电阻率 ρ 是不同的,常用的材料的电阻率,见表1-1。

表 1-1

20℃条件下常用材料的电阻率

材料名称	电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)	材料名称	电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)
银	1.65×10^{-8}	康铜	5.0×10^{-8}
铜	1.75×10^{-8}	锌	5.9×10^{-8}
铝	2.83×10^{-8}	锡	1.14×10^{-7}
钨	5.3×10^{-8}		

【例 1-1】 求 2km 长、截面积为 25mm^2 的铝线在 20℃ 的电阻。

解:按式(1-4),查表1-1得铝线在 20℃ 的电阻率 $\rho = 2.83 \times 10^{-8}$,则有

$$R = \rho \frac{L}{S} = 2.83 \times 10^{-8} \times \frac{2000}{25 \times 10^{-6}} = 2.26(\Omega)$$

导体的电阻大小常与温度有关,但对不同的导体电阻的影响是不同的。一般情况下,导体的电阻随温度的升高而增加,某些材料如碳素物质的电阻随温度的升高而较低,还有一些导体如康铜、锰铜等,它们

的阻值几乎不随温度变化。

为了便于比较,一般取导体电阻为 1Ω ,当温度变化为 1°C 时,它的电阻变化数值作为比较标准,这个变化的数值叫做电阻的温度系数,一般用字母“ a_r ”表示,单位为 $(1/^\circ\text{C})$ 。当温度由 t_1 变化到 t_2 时,电阻的数值可用式 1-5 计算。

$$\begin{aligned} R_2 &= R_1 + R_1 a_r \times (t_2 - t_1) \\ R_2 &= R_1 [1 + a_r (t_2 - t_1)] \end{aligned} \quad (1-5)$$

【例 1-2】一铜线在 $+20^\circ\text{C}$ 时,测得电阻为 100Ω ,过了一段时间后测得电阻为 120Ω ,问这时温度是多少? (已知铜的电阻温度系数 $a_r = 0.004/^\circ\text{C}$)

解: 因为

$$R_2 = R_1 + R_1 a_r (t_2 - t_1)$$

则

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \times a_r} + t_1 = \frac{120 - 100}{100 \times 0.004} = 50(^\circ\text{C})$$

二、欧姆定律

1. 部分欧姆定律

部分欧姆定律用来分析通过电阻的电流与端电压的关系,见图 1-4,其表达式为

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

式中 I ——通过电阻的电流, A;

U ——加在电阻两端的电压, V;

R ——电阻, Ω 。

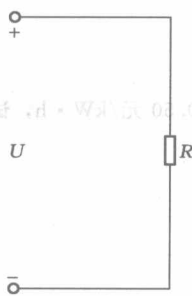


图 1-4 部分欧姆

定律电路图

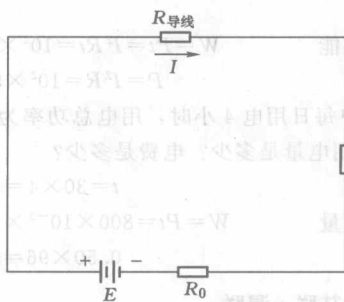


图 1-5 闭合电路

2. 全欧姆定律

图 1-5 闭合电路中,除了负载电阻、电源内部电阻外还有导线电阻,回路中电流强度 I 与电动势 E 成正比,与外电路的电阻和 ($R_{\text{总}} = R_{\text{负载}} + R_0 + R_{\text{导线}}$) 成反比。

在回路中电流 I 与电源电动势及总电阻 R 的关系式可以用下式表达

$$I = \frac{E}{R_{\text{总}}} \quad (1-7)$$

式 (1-7) 表明,在闭合回路中,电流的大小与电源的电动势成正比,与整个电路的电阻成反比。这就是全欧姆定律。

三、电功和电功率

1. 电功

电路中消耗了多少电能,电流就做了多少功,电流的功简称为电功。表达式为

$$W = IUt \quad (1-8)$$

式中 W ——电功,焦耳 (J);

I ——电流强度,安培 (A);

U ——电压,伏特 (V);

t ——时间, 秒 (s)。

但实际工作中, 电能的单位常用千瓦·时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) 来表示。

1 度 = $1 \text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 (\text{J})$

利用欧姆定律, 式 (1-6) 还可以表示为

$$W = I^2 R t \quad (1-9)$$

$$W = \frac{U^2}{R} t \quad (1-10)$$

2. 电功率

单位时间内电流所做的功叫电功率, 简称电功, 用 P 表示, 表达式为

$$P = \frac{w}{t} \quad (1-11)$$

根据式 (1-8) 得

$$P = \frac{IUt}{t} = IU \quad (1-12)$$

根据式 (1-9) 得两个电功率公式即

$$P = I^2 R \quad (1-13)$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (1-14)$$

功率 P 的单位是瓦特 (W), 如电流每秒钟内做 1 焦耳的功, 其功率就是 1 瓦特。

【例 1-3】 在一电路中, 电阻为 5Ω , 通过的电流为 10A , 求经过 15s 后, 电阻消耗的电能和功率是多少?

解: 电阻消耗的电能 $W = Pt = I^2 R t = 10^2 \times 5 \times 15 = 7500 (\text{J})$

功率 $P = I^2 R = 10^2 \times 5 = 500 (\text{W})$

【例 1-4】 某用户每日用电 4 小时, 用电总功率为 800W , 电费为 0.50 元/ $\text{kW} \cdot \text{h}$, 试计算该用户当月 (按 30 天计算) 的用电量是多少? 电费是多少?

解: 每月用电时间 $t = 30 \times 4 = 120 (\text{h})$

当月总的用电量 $W = Pt = 800 \times 10^{-3} \times 120 = 96 (\text{kW} \cdot \text{h})$

当月电费 $0.50 \times 96 = 48 (\text{元})$

四、电阻的串联、并联、混联

1. 电阻的串联

将若干个电阻首尾相互依次连接起来, 使电流只有一条通路的连接方式, 叫电阻的串联, 见图 1-6。

串联电路具有以下特点:

(1) 电路两端的总电压等于各电阻两端电压之和。

$$U_1 + U_2 + U_3 = U \quad (1-15)$$

(2) 串联电路中流过各电阻的电流相等。

$$I_1 = I_2 = I_3 = I \quad (1-16)$$

(3) 串联电路的等效电阻 (即总电阻) 等于各串联电阻

之和。

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (1-17)$$

(4) 各电阻上分配的电压与电阻值的大小成正比, 即

$$U_1 = \frac{R_1}{R_{\text{总}}} U_{\text{总}} \quad U_2 = \frac{R_2}{R_{\text{总}}} U_{\text{总}} \quad (1-18)$$

【例 1-5】 有一电路, 有 3 个电阻串联, $R_1 = 6\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, $R_3 = 14\Omega$, 电流 $I = 10\text{A}$, 求电路总电阻 R 和电路端电压 U , 及 R_1 、 R_2 、 R_3 各电阻上的电压。

解:

$$R_{\text{总}} = R_1 + R_2 + R_3 = 6 + 10 + 14 = 30 (\Omega)$$

电路端电压

$$U = IR = 10 \times 30 = 300 (\text{V})$$

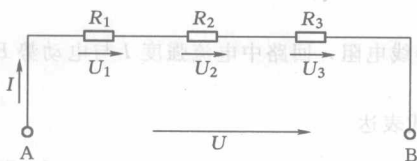


图 1-6 电阻串联示意图

电阻 R_1 上的电压

$$U_1 = IR_1 = 10 \times 6 = 60(\Omega)$$

电阻 R_2 上的电压

$$U_2 = IR_2 = 10 \times 10 = 100(\Omega)$$

电阻 R_3 上的电压

$$U_3 = IR_3 = 10 \times 14 = 140(\Omega)$$

2. 电阻的并联

两个或两个以上的电阻并列接在电路中相同的两点之间，这样的连接方式叫做电阻的并联，如图 1-7 所示。

并联电路具有以下特点。

(1) 并联电路中各电阻两端的电压相等，且等于电路两端的电压，即

$$U = U_1 = U_2 \quad (1-19)$$

(2) 并联电路中的总电流等于各电阻中的电流之和，即

$$I = I_1 + I_2 \quad (1-20)$$

(3) 并联电路中的等效电阻（即总电阻）的倒数，等于各并联电阻的倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1-21)$$

(4) 并联电路中，各支路分配的电流与各支路电阻值成反比，即

$$I_1 = \frac{R}{R_1} I, \quad I_2 = \frac{R}{R_2} I \quad (1-22)$$

【例 1-6】 如图 1-8 所示两电阻并联电路中，电路电流 $I = 50\text{A}$ ，电阻 $R_1 = 10\Omega$ ，电阻 $R_2 = 5\Omega$ ，求 I_1 、 I_2 分别为多少？

解：并联电路的总电阻为

$$\begin{aligned} \frac{1}{R} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 R_2} \\ R &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \times 5}{10 + 5} = 3.33(\Omega) \end{aligned}$$

R_1 支路的电流

$$I_1 = \frac{IR}{R_1} = \frac{50 \times 3.33}{10} = 16.65(\text{A})$$

R_2 支路的电流

$$I_2 = \frac{IR}{R_2} = \frac{50 \times 3.33}{5} = 3.33(\text{A})$$

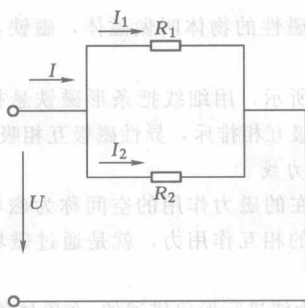


图 1-8

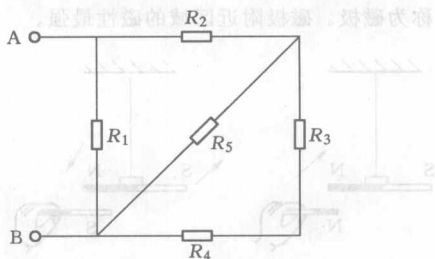


图 1-9 电阻混联示意图

3. 电阻的混联

在一个电路中，既有电阻的串联，又有电阻的并联，这种连接方式称为电阻的混联，如图 1-9 所示。图 1-9 电路图可以等效为图 1-10。

其等效电阻可写成

$$R = [R_2 + (R_3 + R_4) // R_5] // R_1$$

分析混联电路，关键在于分清各电阻的串、并联连接，然后采用逐步合并的方法。

【例 1-7】 某一混联电路如图 1-11 所示， $R_1 = 10\Omega$ ， $R_2 = 5\Omega$ ， $R_3 = 4\Omega$ ， $R_4 = 6\Omega$ ， $U = 200\text{V}$ ，试求

总电阻 R , 总电流 I , 分支电流 I_1 和 I_2 。

解: 串联总电阻

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 9(\Omega)$$

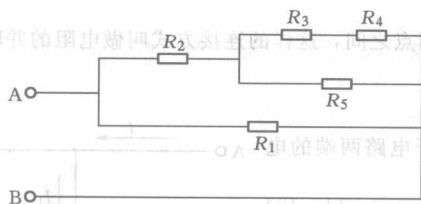


图 1-10 等效电路图

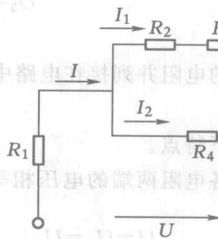


图 1-11

并联总电阻

$$R_{\text{并}} = \frac{R_{23} \times R_4}{R_{23} + R_4} = \frac{9 \times 6}{9 + 6} = 3.6(\Omega)$$

电路总电阻

$$R = R_1 + R_{\text{并}} = 10 + 3.6 = 13.6(\Omega)$$

根据欧姆定律得电路的总电流为

$$I = \frac{U}{R} = \frac{200}{13.6} = 14.71(\text{A})$$

电阻电压 U_{R_1} 、 U_{R_4} 为

$$U_{R_1} = IR_1 = 14.71 \times 10 = 147.1(\Omega)$$

$$U_{R_4} = U - U_{R_1} = 200 - 147.1 = 52.9(\Omega)$$

各分路电流为

$$I_2 = \frac{U_{R_4}}{R_4} = \frac{52.9}{6} = 8.82(\text{A})$$

$$I_1 = I - I_2 = 14.71 - 8.82 = 5.89(\text{A})$$

第二节 电磁基本知识

一、电流的磁场

1. 磁的性质

人们把具有吸引铁、镍、钴等物质的性质称为磁性。具有磁性的物体叫做磁体，磁铁具有 N 极和 S 极，称为磁极。磁极附近区域的磁性最强。

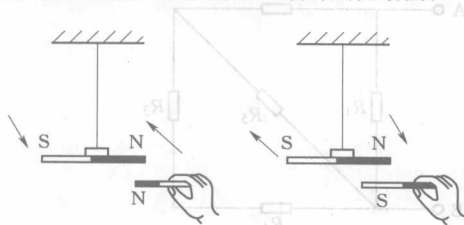


图 1-12 同性相斥，异性相吸

如图 1-12 所示，用细线把条形磁铁悬挂起来进行实验，可知同性磁极互相排斥，异性磁极互相吸引。

2. 磁场和磁力线

磁体周围存在的磁力作用的空间称为磁场。互不接触的磁体之间具有的相互作用力，就是通过磁场这一特殊物质进行传递的。

磁场是用磁力线进行形象描述的，在磁体外部，磁力线由 N 极指向 S 极；在磁体内部，磁力线由 S 极指向 N 极。这样磁力线在磁体内外形成一条闭合曲线，在曲线上任何一点切线方向就是磁针在磁力作用下 N 极所指的方向。

磁力线可以用实验方法显示出来，如果在条形磁铁上放一块玻璃或板条，当撒上一些铁屑并轻敲时，铁屑便会有规则地排列线条形状。同时在磁极附近磁力线最密，表示磁场最强；磁体中间磁力线较稀，则磁场较弱。因此，可以用磁力线根数的多少和疏密程度来描绘磁场的强弱。

二、电流产生磁场

把电流产生磁场的现象称为电流的磁效应。通电导线（或线圈）周围磁场（磁力线）的方向，可用右手螺旋定则来判断。

(1) 通有电流的直导线，其周围的磁场可以用同心圆环的磁力线来表示。电流越大，线圆环越密，磁场越强。磁场的方向可以用右手螺旋定则来描述：用右手握直导线，大拇指伸直，指向电流的方向，则其余四指弯曲所指方向即为磁场的方向，如图 1-13 所示。

单根通电导线产生磁场的方向也可以用图 1-14 的平面图来表示。图 1-14 中 $\otimes$ 表示电流的方向从拇指内指向纸内， $\odot$ 表示电流的方向从拇指内指向读者。导线周围的磁力线呈圆环状，其方向如箭头所示。如电流方向改变，则磁场方向也改变。



图 1-13 右手螺旋定则

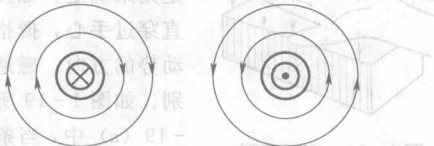


图 1-14 单相通电导线磁场方向表示

(2) 对于通有电流的线圈产生磁场的方向也可用右手螺旋定则来描述。这时将右手大拇指伸直，其余四指沿着电流方向围绕线圈，大拇指所指即为线圈内部轴向的磁场方向，也就是线圈内部通有电流的线圈沿轴向的磁力线方向，如图 1-15 所示。

通有电流的线圈的磁场强弱，与线圈匝数和线圈内电流的大小有关。电流大磁场强。匝数越多，磁场也越强。

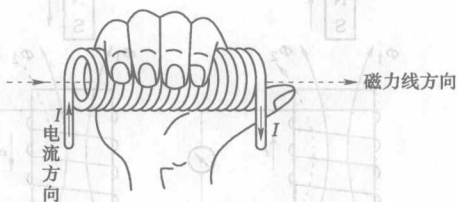


图 1-15 右手螺旋定则确定通电线圈的磁场方向

三、磁场对电流的作用——电动机原理

将通电导体置于磁场中，电流方向如图 1-16 所示，则导体受到箭头所指方向的力，称为电磁力。

通电导体在磁场中受力的方向，可以应用左手定则来确定。如图 1-16 所示，将左手平伸，拇指与四指垂直并在一个平面上，使掌心迎着磁力线，磁力线垂直穿过手心，四指指向电流方向，则拇指所指的方向就是导线受力的方向为电磁力方向。电动机和测量电流电压用的磁电式仪表，就是应用这个原理制成的。

图 1-17 是直流电动机工作原理。从图 1-17 (a) 中可知，直流电源的正极接电刷 A，负极接电刷 B，电流经换向片 1，线圈 abcd，换向片 2 和电刷 B 回到负极。这时 ab 边和 cd 边导线中的电流分别受到电磁力的作用，线圈向逆时针方向旋转。当线圈转到磁极中性面时，此时电刷与换向片的绝缘物接触，线圈中电流等于零，电磁力也等于零。由于机械转动的惯性作用，线圈很快离开中性面，电刷也离开换向片中间绝缘物，于是换向片 1 转到电刷 B 处，线圈 ab 边转到 S 极下时图 1-17 (b)，线圈电流通过直流电动机工作电源正极经电刷 A、换向片 2、线圈 dcba、换向片 1、电刷 B 流出，线圈仍按逆时针方向旋转。

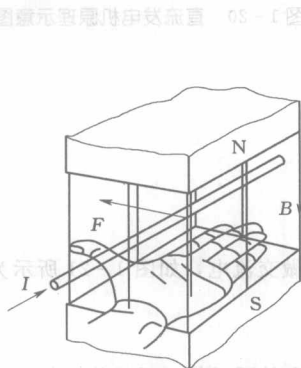


图 1-16 左手定则

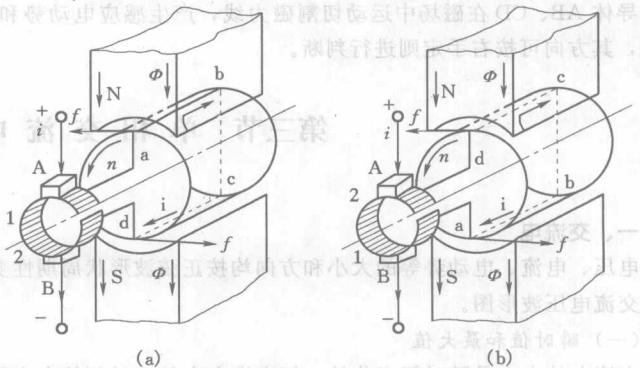


图 1-17 直流电动机工作原理

(a) 导体 ab 处于 N 极下；(b) 导体 ab 处于 S 极下

四、电磁感应定律——发电机原理

实验证明,当导体与磁力线之间有相对切割运动时,这个导体中就有电动势产生。当导体放在变化的磁场中时,导体中就有电动势产生。以上现象称为电磁感应现象。由电磁感应现象所产生的电动势叫做感应电动势,由感应电动势所产生的电流叫做感应电流。

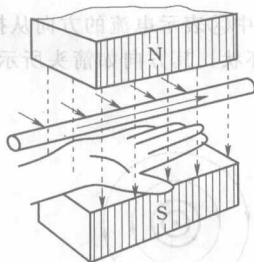


图 1-18 右手定则

导体与磁力线间做相对切割运动时,所产生的感应电动势的方向可用右手定则来确定。如图 1-18 所示,伸平右手,拇指与其余四指垂直,让磁力线垂直穿过手心,拇指的指向代表导线运动的方向,则其余四指的指向就是感应电动势的方向。磁通变化时,闭合导线中感应电动势的方向可用楞次定律来判别。如图 1-19 所做的实验,对磁通变化时感应电动势方向进行判别,在图 1-19 (a) 中,当条形磁铁自线圈中拔出时,磁通中 Φ_1 减小,检流计指针向右偏转,说明感应电流由检流计的正端流入,负端流出。此时感应电流产生的磁

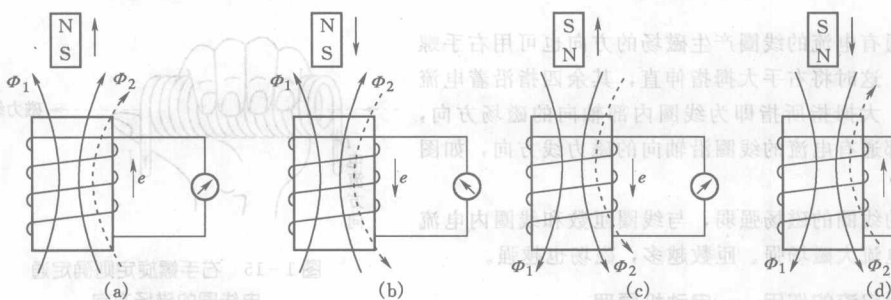


图 1-19 磁通变化与感应电动势关系

通 Φ_2 与 Φ_1 方向相同。在图 1-19 (b) 中,当条形磁铁插入线圈时,磁通 Φ_1 增加,检流计指针向左偏转,说明感应电流由检流计的负端流入,正端流出,此时感应电流产生的磁通 Φ_2 与 Φ_1 的方向相反。若磁极方向改变,如图 1-19 (c) 和 (d) 所示,感应电流和磁通的方向也随着发生变化。综合上述情况可知:由线圈中的感应电流所产生的磁通,其方向总是力图阻碍原有磁力线的变化。这个规律就称为楞次定律。

发电机就是利用电磁感应原理制成的。图 1-20 为一直流发电机的原理图。磁场固定不动,线圈在外力作用下按顺时针方向旋转,此时,导体 AB、CD 在磁场中运动切割磁力线,产生感应电动势和感应电流,其方向可按右手定则进行判断。

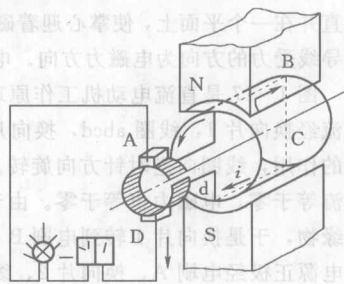


图 1-20 直流发电机原理示意图

第三节 单相交流电路

一、交流电

电压、电流、电动势等的大小和方向均按正弦波形状周期性变化的叫做交流电,如图 1-21 所示为一正弦交流电压波形图。

(一) 瞬时值和最大值

交流电的大小是随时间变化的,把交流电在某一时刻的大小称为交流电的瞬时值。瞬时值一般用小写字母 e 、 u 、 i 来表示。

最大的瞬时值称为最大值,最大值也称为振幅或峰值。在公式 $e = E_m \sin \omega t$ 中,由 $\sin \omega t$ 的最大值等于