

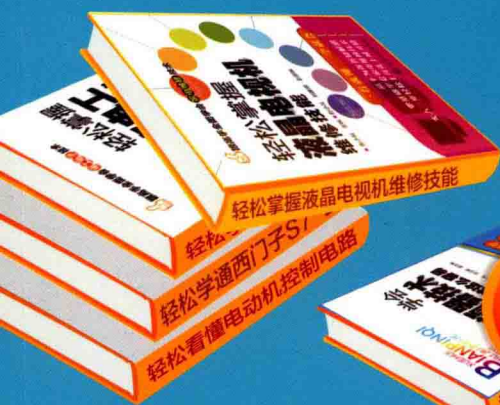


跟高手全面学会 **电工电子** 技术

轻松掌握 低压电工 技能

张伯虎 主 编

贾永翠 卢 斌 副主编



一看就懂 一学就会

高手为你答疑解惑

零基础学会电工电子技术

先人一步轻松上岗走上成才路



化学工业出版社



跟高手全面学会 **电工电子** 技术

轻松掌握 低压电工 技能

张伯虎 主 编
贾永翠 卢 斌 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书结合笔者多年电工工作经验和低压电工上岗的基本要求,由浅入深,全面介绍了电工的基本知识和常用电器的安装维护技巧。主要包括电工常用材料、室内外配电线路、变压器与互感器、低压配电技术、低压配电屏、常用低压电器、三相异步电动机常见故障及排除方法、直流电动机常见故障及处理方法、异步电动机控制线路、直流电动机控制线路、机床电气控制线路、电焊机原理与维修、低压电器防火防爆及防雷防静电技术、安全用电技术、弱电工程技术等,可帮助读者轻松掌握低压电工各项技能。

本书可供广大电工阅读,也可供电工上岗考核学习使用,还可供相关工程技术人员、职业技能培训学校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

轻松掌握低压电工技能/张伯虎主编. —北京:
化学工业出版社, 2014. 5

(跟高手全面学会电工电子技术)

ISBN 978-7-122-20158-4

I. ①轻… II. ①张… III. ①低电压-电工技术-基
本知识 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 055834 号

责任编辑: 刘丽宏
责任校对: 边 涛

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13¼ 字数 354 千字 2015 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

前言

随着科学技术的日新月异，电工电子技术不断融合，电工、电子技术已成为日常生活和工业、科技不可或缺的一部分，只要涉及用电的地方，就有电工、电子技术存在。同时大量新工艺、新技术的电子电气产品不断涌现，不仅带动了电子电气工业生产、维修等行业的发展，也为社会创造了许多就业机会。

“家有万贯，不如一技在身”。很多人非常想学好电工电子技术，但由于种种原因，常常望而却步。为了让初学者能轻松掌握电工或电子技术，快速上岗，胜任工作，让有技术基础的人员能全面学会电工电子技术，争当技术能手、高手，我们组织电工电子领域有丰富实践经验的技术高手编撰了这套《跟高手全面学会电工电子技术》丛书（以下简称《丛书》）。

《丛书》基础起点低，语言通俗易懂，力求用图、表说话，分册涵盖了从电工基础识图、高低压电工到电子技术、电气维修等相关实用技术内容，主要包括《轻松掌握家装电工技能》、《轻松掌握汽车维修电工技能》、《轻松掌握维修电工技能》、《轻松掌握高压电工技能》、《轻松掌握低压电工技能》、《轻松掌握电动机维修技能》、《轻松看懂电动机控制电路》、《轻松看懂电子电路图》、《轻松掌握电子元器件识别、检测与应用》、《轻松掌握电梯安装与维修技能》，帮助读者轻松、快速、高效掌握电工电子相关知识和技能。

本书为《轻松掌握低压电工技能》分册。

本书从实用角度出发，全面介绍了低压电工常用的基本知识和各项操作技能。全书以图文并茂的形式，由浅入深地对低压电器元器件、三相异步电动机常用典型拖动控制线路与常见故障及排除方法、直流电动机常见故障及处理方法、机床电气控制线路进行了详细介绍，对电焊机维修、低压电器防火防爆及防雷防静电技术、安全用电技术、弱电工程技术结合实际进行了详细说明，以解决电工实际工作中遇到的问题。

全书基础起点低，语言通俗易懂，以帮助读者轻松掌握低压电工基础知识和操作要领。可供广大电工阅读，也可供电工上岗考核学习使用，还可供相关工程技术人员、职业技能培训学校相关专业师生参考。

本书由张伯虎主编，贾永翠、卢斌任副主编，参加本书编写的还有陈正富、赵学超、时更新、曹祥、王桂英、王可山、张晓红、冯家银，全书由张伯虎审核。

由于水平所限，书中不足之处难免，敬请广大同行批评指正。

编者

目录 <<<—

第一章 电工入门	1
第一节 电工基础知识	1
一、电磁基础	1
二、交流电	4
三、电工常用物理量	8
第二节 电工定律	12
一、欧姆定律	12
二、右手螺旋定则	12
三、左手定则	13
四、右手定则	14
五、正弦波交流电的周期、频率和角频率	14
第三节 常用电气符号及识图	15
一、电气常用文字符号及图形符号新旧标准对照表	15
二、电气图的组成	19
三、电气图的基本表示方法	20
四、看电气图的基本要求	24
五、看图的一般步骤	25
第四节 电工常用工具	25
第五节 电工常用仪器	30
一、万用表	30
二、钳形电流表	35
三、兆欧表	36
第六节 电工常用材料	37
一、常用导电材料	37
二、电热材料	38
三、保护材料	38
四、常用绝缘材料	38
五、常用磁性材料	39
第二章 室内外配电线路	41
第一节 室外配电线路的敷设	41
一、架空线的敷设	41

二、架设室外线路的一般要求	44
三、登杆	45
第二节 电缆线路的敷设	45
一、电力电缆分类及检查	45
二、室内敷设	46
三、室外敷设	46
第三节 室内配线与灯具安装	48
一、配线	48
二、照明灯具安装	59
三、照明电路故障的检修	65
第三章 变压器与互感器	67
第一节 变压器的用途和工作原理	67
一、变压器的用途和种类	67
二、变压器的工作原理	68
第二节 电力变压器的结构及铭牌	68
一、电力变压器的结构	69
二、电力变压器的型号与铭牌	72
第三节 常用变压器	74
一、三相变压器	74
二、自耦变压器	75
三、多绕组变压器	76
第四节 电焊变压器与互感器	77
一、电焊变压器	77
二、互感器	78
三、电流互感器	79
第四章 低压配电技术	81
第一节 低压配电屏	81
一、低压配电屏的用途	81
二、低压配电屏的结构特点	81
三、低压配电屏的安装及投入运行前的检查	82
四、低压配电屏巡视检查	82
五、低压配电装置运行维护	83
六、小型变电所的配电系统及配电线路连接方式	83
第二节 常用低压电器	84
一、熔断器	84
二、断路器	86
三、开启式开关熔断器组	87
四、封闭式开关熔断器组	88
五、组合开关	88
六、交流接触器	89
七、热继电器	90

八、中间继电器	91
九、按钮	92
十、万能转换开关	93
十一、行程开关	93
十二、凸轮控制器	95
第三节 低压电力网功率补偿——电容器	97
一、电力电容器补偿原理与计算	97
二、电力电容器的安装与接线	98
三、电容器安全运行	99
第四节 电工计量仪表在配电屏及日常生活中的接线技术	100
一、电度表的原理	100
二、单相电度表的接线	101
三、单相电度表与漏电保护器的安装	101
四、三相四线制交流电度表的安装与接线	102
五、三相三线制交流电度表的安装与接线	102
六、间接式三相三线制交流电度表的安装及接线	103
七、间接式三相四线制交流电度表的安装及接线	103
八、配电屏上功率表和功率因数表测量线路的方法	104
第五章 电动机及应用	106
第一节 三相异步电动机的构造与铭牌	106
一、三相异步电动机的构造	106
二、三相异步电动机的铭牌	107
三、三相异步电动机的工作原理	109
第二节 异步电动机的常见故障及排除方法	111
第三节 直流电动机的分类及工作原理	112
一、直流电动机的结构	112
二、直流电动机的分类及型号	114
三、直流电动机的铭牌	115
四、直流电动机的工作原理	116
五、直流电动机的接线	118
第四节 直流电动机的常见故障及处理方法	119
第六章 典型电动机电气控制线路识图	122
第一节 异步电动机控制线路	122
一、手动正转控制	122
二、具有自锁的正转控制	123
三、具有过载保护的三正转控制	123
四、接触器联锁的正反转控制	124
五、按钮联锁的正反转控制	125
六、按钮和接触器复合联锁的正反转控制	126
七、电动机串联电阻减压启动	126
八、星(Y)-三角(Δ)减压启动	127

九、电动机电磁抱闸制动控制线路	129
十、有变压器的全波整流能耗制动线路	129
第二节 直流电动机控制线路	130
一、直流电动机的启动	130
二、直流电动机的正反转	132
三、直流电动机的制动	133
四、直流电动机的调速	135
第七章 机床电气控制线路识图与故障检修	136
第一节 车床电气控制电路	136
一、主电路分析	137
二、控制电路分析	137
三、CA6140 常见故障分析	137
第二节 M7130 型卧轴矩台面磨床电气控制电路	138
一、M7130 型卧轴矩台平面磨床	138
二、M7130 型卧轴矩台平面磨床主电路	138
三、M7130 型卧轴矩台平面磨床控制电路分析	139
四、M7130 型卧轴矩台平面磨床其他电路分析	139
五、M7130 型卧轴矩台平面磨床故障分析	140
第三节 钻床电气控制电路	140
一、识图要点	141
二、电气控制线路分析	141
三、Z3040 型摇臂钻床的电气元件	142
第四节 齿轮机床电气控制电路	143
一、主电路分析	143
二、控制电路	144
三、Y3150 型齿轮机床故障	144
第五节 16t 桥式天车控制电路	144
一、16t 桥式天车的外形结构	144
二、16t 桥式天车原理	144
三、16t 桥式天车控制电路原理	146
四、16t 桥式天车常见故障分析	148
第六节 塔式起重机控制电路	148
一、主电路分析	148
二、控制电路分析	149
第七节 搅拌机电气控制电路	152
一、主电路分析	152
二、控制电路	153
第八章 电焊机及维修	154
第一节 普通电焊机的原理与维修	154
一、动铁芯式焊机的技术参数及构造	154
二、动铁芯式焊机的构造	154

三、动铁芯式焊机的工作原理	155
第二节 同体式动铁芯交流电焊机	155
一、同体式动铁芯交流电焊机的构造	155
二、同体式动铁芯交流电焊机的工作原理	155
三、同体式动铁芯焊机的保养与维修	156
第三节 整流式直流弧焊机的分析与维修	157
一、整流式直流弧焊机的结构与原理	157
二、常见故障检修	158
第四节 逆变焊机的工作原理及电路分析	158
一、焊机逆变电路整机原理	158
二、各电路分析	160
第五节 CO ₂ 保护焊机的原理与维修	164
一、拉丝式 CO ₂ 气体保护焊机的原理与维修	164
二、典型推丝式 CO ₂ 气体保护焊机的结构分析	166
第六节 氩弧焊机分析与维修	167
一、手工直流钨极氩弧焊机电气分析	168
二、手工交流钨极氩弧焊机	169
第七节 点焊机的结构与维修	171
一、简易点焊机的结构原理分析	171
二、气动式点焊机的电路分析	171
三、焊机的故障维修	179
第八节 电焊机焊接节电装置	180
一、简易手动节电器	180
二、电子控制自动节电器	181
第九章 低压电器防火、防爆、防雷及防静电技术	183
第一节 防爆电气设备和防爆电气线路	183
一、防爆电气设备	183
二、防爆电气设备的选用	183
三、防爆电气线路	184
第二节 电气防火防爆技术	184
一、消除或减少爆炸性混合物	184
二、隔离和间距	185
三、消除引燃源	185
四、保护接地	185
五、电气灭火	185
第三节 防雷装置	186
一、接闪器	186
二、避雷器	186
三、引下线	187
四、接地装置	187
第四节 防雷措施	187
一、架空线路的防雷措施	187

二、变、配电所的防雷措施	188
三、建筑物的防雷措施	188
四、人身防雷措施	189
第十章 安全用电技术	190
第一节 触电救护	190
一、触电急救的要点	190
二、解救触电者脱离电源的方法	190
三、现场救护	191
四、抢救触电者生命的心肺复苏法	192
五、现场救护中的注意事项	193
第二节 直接接触触电的防护	194
一、安全电压	194
二、绝缘防护与屏护	195
三、漏电保护	197
第三节 间接接触触电的防护	199
参考文献	201

电工入门

第一节 电工基础知识

一、电磁基础

1. 磁场和磁力线

如果把一块条形磁铁移近一堆铁屑，它就会吸附上很多铁屑。这些被吸附的铁屑大部分集中在磁铁的两端，中间很少或者完全没有。这个现象说明，磁铁两端对铁屑的吸力最大，这两端就叫做磁极。

用细线把条形磁铁悬挂起来，使它能在水平位置自由转动，当它静止时，总是有一个磁极指南，另一个磁极指北。通常，把指南的一端叫做南极，用字母 S 表示，指北的一端叫做北极，用字母 N 表示。实验证明，同性磁极互相排斥，异性磁极互相吸引。因此，只要用一个小指南针就可以辨别任何磁铁的南、北极。当指南针移近磁铁的一端时，如果指南针的 S 极被吸引，那么磁铁的这一端就是 N 极，另一端就是 S 极。

磁铁、运动的带电体或载有电流导线的周围空间都有磁力的作用，这种空间称为磁场。在电工学中，为了使磁场形象化，人们常用磁力线来描述磁场的形状和强弱。通常规定，在磁铁的内部，磁力线的方向总是从 N 极出发回到 S 极；而在磁铁的外部，磁力线则由 S 极回到 N 极。如果两段磁铁的异性磁极靠得比较近，磁力线就从一段磁铁的 N 极出发进入靠得近的另一段磁铁的 S 极，形成闭合回路，如图 1-1 (b) 所示。如果两段磁铁的同性磁极靠得比较近，磁力线将形成如图 1-1 (c) 所示的闭合回路。所以，磁力线总是闭合的，不能中断。

通常，用磁力线的疏密表明磁场的强弱。在磁场强的地方，磁力线比较密；在磁场弱的地方，磁力线比较疏；在磁场均匀的地方，磁力线均匀且互相平行。以上说明了磁力线的条数与磁场强弱程度成正比。

磁力线的方向即为磁针 N 极受磁场力作用的方向。由于在磁场中任意一点磁针只能受到一个磁场力的作用，所以磁力线互不相交。将一根长直导线通入直流电，并把小磁针放在通电导线的附近，当导线中的电流方向改变时，则小磁针所指示的磁力线的方向也随着改变。

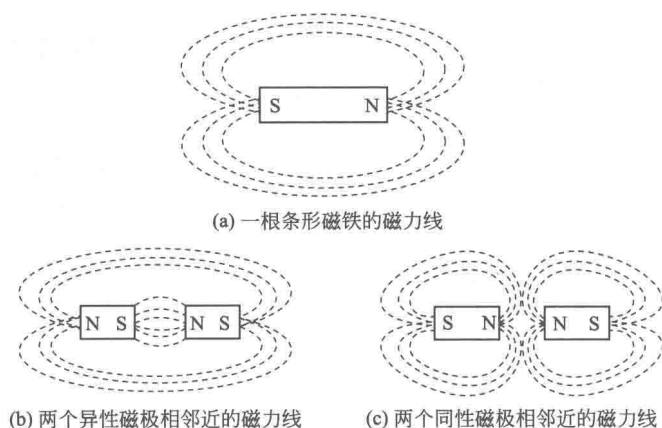


图 1-1 磁力线的特性

这表明通电导线周围有磁场存在。如果导线中的电流方向一定，则磁力线的方向也一定。电流与磁力线方向之间的关系如图 1-2 所示。判定磁力线方向的方法是：以右手握住导线，拇指指向电流方向，其余四指指的就是磁力线的方向，如图 1-3 所示。

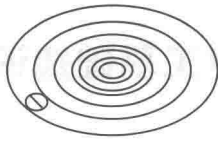
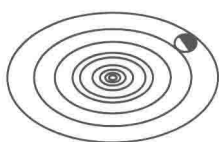
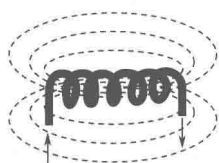


图 1-2 导线中的电流方向和导线周围磁力线的方向



图 1-3 磁力线方向与电流方向的关系

使导线弯成管状绳圈，当通电时，也会产生磁场，其磁力线的分布情况如图 1-4 (a) 所示，管状线圈磁力线的方向也同样可以用右手定则来判定：用右手四指握住线圈，使四指指向电流方向，则大拇指所指的便是磁力线方向，如图 1-4 (b) 所示。



(a) 通电线圈的磁场



(b) 右手螺旋定则示意图

图 1-4 通电线圈的磁场方向

从物理意义上讲，管状线圈内通过的电流越大，线圈匝数越多，所产生的磁场越强。也就是说，磁场的强弱取决于通过的电流 (I) 和线圈匝数 (N)。电流和线圈匝数的乘积 (IN) 称为磁动势

(简称磁势)，磁动势的单位是安培匝数 (简称安匝)。

2. 磁通和磁通密度

在电工学中，为了对磁场进行定量分析，引用了磁通这个物理量。

在磁场内任意取定一块面积，该面积内有一定数量的磁力线通过，垂直通过这块面积的磁力线总数叫做这块面积的磁通量。磁通量用符号 Φ 表示，单位为韦伯 (简称韦，符号是 Wb)。

磁通量有时不能完全说明问题，因为磁通量是通过某一面积的磁力线总和，不能说明这一面积上磁力线分布的疏密情况，所以可用单位面积的磁力线数来表示。单位面积的磁通量叫做磁通密度，也称磁感应强度，用符号 B 表示。如果用 S 表示磁通所通过的垂直面积，那么磁通密度可以表示为

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-1)$$

式中 Φ ——磁通量， Wb ；

S ——磁通所通过的垂直面积, m^2 ;

B ——磁通密度, T 。

当面积 S 与磁通 Φ 不垂直时, 磁通密度可表示为

$$B = \frac{\Phi}{S \cos \alpha} \quad (1-2)$$

式中 α ——与面积 S 垂直的有效面积的夹角。

磁通密度的大小实际反映了磁场的强弱。磁场内某一处的磁通密度越大, 说明该处磁力线分布越密, 磁场也越强。反之, 则磁场越弱。

3. 磁场对载流导体的作用力

通电导体的周围存在着磁场, 若把通电导体放在磁场中, 它将会受到一定的作用力而运动。实验表明, 当导体与磁场的方向垂直时, 磁场对通电导体的作用力与通电导体中的电流、磁通密度及磁场中的导体长度成正比, 即

$$F = BIL \quad (1-3)$$

式中 F ——导体所受到的作用力, N ;

B ——磁通密度, T ;

L ——导体的有效长度, m ;

I ——通过导体中的电流, A 。

如果通电导体与磁场的方向成角度 α , 此时导体所受的作用力为

$$F = BIL \sin \alpha \quad (1-4)$$

导体所受作用力的方向与通电导体中的电流方向有关。导体受力的方向可以用左手定则判定。如图 1-5 所示, 平伸左手, 拇指与其余四指垂直, 让磁力线垂直进入手掌, 用四指指向电流的方向, 拇指所指的方向就是载流导体受作用力的方向。

异步电动机就是利用磁场对电流的作用这一基本原理制成的。电动机的转子之所以能够转动, 就是因为电动机气隙中的磁场与转子绕组中的电流相互作用的结果。

4. 电磁感应

将一根导线放在均匀磁场中, 导线与一个检流计接成闭合回路, 如图 1-6 所示。当导线在磁场中沿着与磁力线垂直的方向向下移动时, 就可看到检流计的指针向左偏转, 这说明导线中出现了电流或导线中产生了感应电动势。如果导线自下而上移动, 可以看到检流计的指针向右偏转, 说明导线中也产生了感应电动势。如果导线不动, 而让磁场上下移动, 就会发现磁场向上移动与导线向下移动的结果相同, 磁场向下移动与导线向上移动的结果相同。这个现象说明, 变动的磁场能够在导体中引起电动势, 这种现象叫做电磁感应。变动的磁场即指导体切割磁力线, 或者说导体与磁场之间有相对运动。对于线圈来说, 只要穿过线圈中的磁通量发生变化, 线圈中就会产生感应电动势。此时, 如果电路接通, 线圈内将产生感应电流。

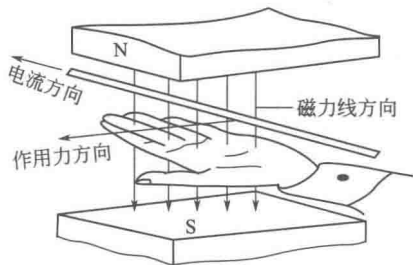


图 1-5 左手定则

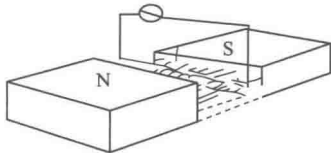


图 1-6 导线切割磁力线产生电动势

由电磁感应定律可知,当导线在均匀磁场(即磁场中各点的磁感应强度相等)中沿着磁力线垂直的方向运动时,所产生感应电动势的大小,与导线的有效长度 l 、导线的运动速度 u 和磁通密度 B 成正比,即

$$e = Blu \quad (1-5)$$

式中, e 为感应电动势,单位是V; B 的单位是T; l 的单位是m; u 的单位是m/s。

当导线的运动方向与磁力线方向间的夹角为 α 时,垂直于磁场的速度分量为 $u \sin \alpha$,此时感应电动势为

$$e = Blu \sin \alpha \quad (1-6)$$

线圈的感应电动势与单位时间内线圈中的磁通变化量和线圈的匝数成正比,即

$$e = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (1-7)$$

式中 e ——感应电动势, V;

N ——线圈匝数;

$\Delta \Phi$ ——线圈中磁通的变化量, Wb;

Δt ——磁通变化 $\Delta \Phi$ 所需的时间, s。

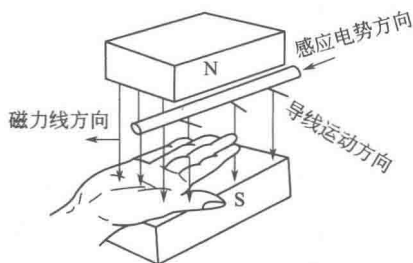


图 1-7 右手定则

“—”表示感应电动势所产生的感应电流反抗磁通的变化(磁通的正方向与感应电动势正方向之间要符合右螺旋关系)。

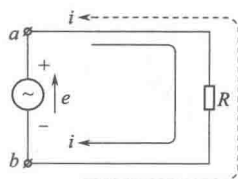
电磁感应在导线中产生的感应电动势的方向可以用右手定则来判定,如图 1-7 所示。平伸右手,手掌朝向磁场的N极,使磁力线穿过手心,拇指指向导线运动的方向或指向磁场运动的反方向,其余四指指的就是感应电动势的方向,导线中感应电动势的方向也就是感应电流的方向。

二、交流电

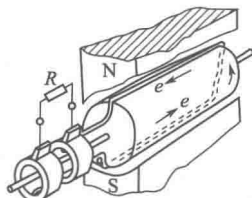
1. 交流电的工作原理

如图 1-8 (a) 所示是一个简单的交流电路。当交流电源的出线端 a 为正极, b 为负极时,电流就从 a 端流出,经过电阻 R 流回 b 端,如图中实线箭头所示。当出线端 a 变为负极, b 变为正极,电流就由 b 端流出,经过 R 流回 a 端,如图中虚线箭头所示。交流电不仅方向随时间作周期性的变化,其大小也随时间连续变化,在每一瞬间都会有不同的数值。所以,在交流电路中,采用小写字母 i 、 u 、 e 、 p 等表示交流电的瞬时值。

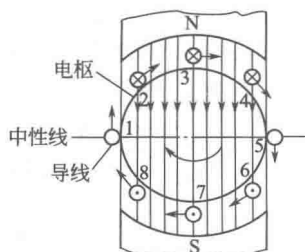
交流发电机也是利用电磁感应原理进行工作的,其结构如图 1-8 (b) 所示。在N极和S极两个磁极之间有一个装在轴上的圆柱形铁芯,它可以在磁极之间转动,俗称转子。转子铁芯槽内嵌放着线圈(图中只画出了其中的一匝)。为使大家便于理解,我们把图 1-8 (b) 简化成图 1-8 (c) 的形式。



(a) 简单交流电路



(b)



(c) 交流电的产生

图 1-8 交流电的工作原理

设转子以均匀的角速度 ω (其定义后面给出) 逆时针方向旋转, 则导体 A 也随转子一起旋转。导体转到位置 1 时, 切割不到磁力线, 导体中不产生感应电动势。转到位置 2 时, 将因切割磁力线产生感应电动势, 用右手定则可以判定其方向是由里向外的。转到位置 5 时, 不切割磁力线, 没有感应电动势产生。转到位置 6 时又将切割磁力线而产生感应电动势, 用右手定则可以判定其方向是从外向里的。这样, 导体 A 随转子旋转一周时, 导体中感应电动势的方向交变一次, 即转到 N 极下是一个方向, 转到 S 极下变为另一个方向, 此即为产生交流电的基本原理。

2. 正弦波交流电的周期、频率和角频率

正弦交流电的瞬时值每经过一定的时间会重复一次, 在交流电变化的过程中, 由某一瞬时值经过一个循环后变化到同样方向和大小的瞬时值, 叫做变化一周。我们把交流电变化一周表示为 360° 或 2π 弧度, 称为电角度。

如图 1-9 所示, 交流电变化一周所需用的时间叫周期, 用字母 T 表示, 以秒作单位。周期越短, 交流电变化越快。在 1s 内变化的周期数, 叫做交流电的频率, 用字母 f 来表示。

每秒钟变化一周, 定为 1 赫兹 (Hz)。我国电力网供给的交流电是 50Hz, 则周期为 0.02s。

则周期与频率的关系为

$$T = \frac{1}{f} \quad f = \frac{1}{T}$$

进行正弦交流电路的计算时, 常采用角频率 ω 这个参数。角频率 ω 与频率 f 的差别就是它不用每秒钟变化的周期数而用每秒钟所经历的角度来表示交流电变化的快慢。交流电变化一周可表示为 360° , 也就是 2π 弧度。因此角频率 ω 与频率 f 、周期 T 的关系为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

式中, ω 的单位为弧度/秒, 常写成 rad/s。50Hz 相当于 314rad/s。

3. 三相交流电的工作原理

我国发电厂和电力网生产、输送和分配的交流电都是三相交流电。这是因为三相交流电具有许多优点。在发电设备方面, 三相交流发电机比同样尺寸的单相交流发电机输出功率大; 在输电方面, 三相供电制也较单相供电制节省材料; 从用电的角度来看, 生产中广泛使用的三相交流电动机与直流电动机及其他类型的交流电动机相比, 有性能优良、结构简单、价格低廉等优点。

概括地说, 三相交流电是三个单相交流电的组合, 这三个单相交流电的最大值相等, 频率相同, 只是在相位上相差 120° 。

如图 1-10 (a) 所示是三相交流发电机的示意图。发电机的定子绕组分为三组, 每组为一相, 各相绕组在空间位置上彼此相差 120° , 对称地嵌放在定子铁芯内侧的线槽内。显然, 它们的始端 (A、B、C) 和它们的末端 (X、Y、Z) 在空间位置上彼此相差 120° 。转子上装置着 N、S 两个磁极, 当转子以角速度 ω 顺时针方向旋转时, 由于三相的绕组在铁芯中放置的位置彼此相隔 120° , 所以一旦磁极转到正对 A-X 绕组时, A 相电动势达到最大值 E_m , 而 B 相绕组需要等转子磁极转 $1/3$ 周 (即 120°) 后, 其中的电动势才达到最大值, 也就是 A 相电动势超前 B 相电动势 120° 。同理, B 相电动势超前 C 相电动势 120° , C 相电动势又超前 A 相电动势 120° 。很显然, 三相电动势的频率相同, 最大值相等, 仅初相角不同。假设 A 相电动势的初相角为 0° , 则 B 相为 -120° , C 相为 120° 。用三角函数式表示为

$$e_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin (\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C = E_m \sin (\omega t + 120^\circ)$$

图 1-10 (b) 是三相交流电的矢量图。

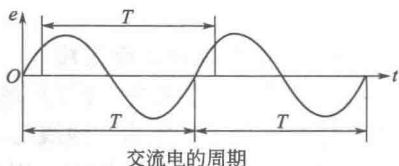


图 1-9 交流电的周期

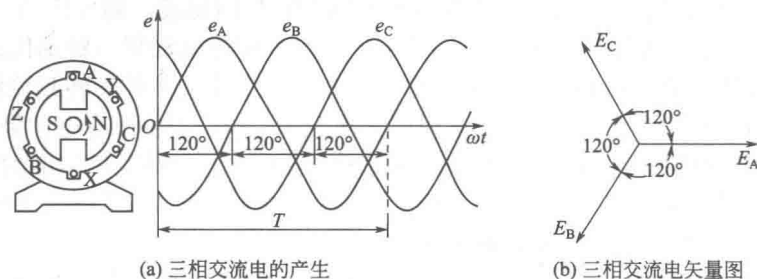


图 1-10 三相交流电的工作原理

4. 三相四线制供电线路

如果我们注意观察一下工厂的低压配电线路, 就会发现三相供电线路有四根线, 其中三根线是“火线”, 另一根线为“地线”。在三相供电线路中, A、B、C 三相绕组的末端 X、Y、Z 接在一起称为中性点 (用 O 表示), 以 O 点引出一根公共导线作为从负载流回电源的公用回线, 叫中性线或零线, 其余的三根线叫相线。这样的供电线路叫三相四线制供电线路, 如图 1-11 (a) 所示。

在应用中我们只要观察一下低压架空线就会发现, 一般情况下中性线都比相线要细或与相线一般粗, 这又怎么解释呢? 下面我们就来分析一下中性线上的电流到底有多大。

假设三个相是对称的, 各相负载完全相同, 三相电流的有效值也相等, 我们用三角函数表示每相电流如下:

$$i_A = I_m \sin \omega t$$

$$i_B = I_m \sin (\omega t - 120^\circ)$$

$$i_C = I_m \sin (\omega t + 120^\circ)$$

三个相波形图如图 1-11 (b) 所示, 任取 a、b、c、d 四个瞬间, 不论哪个瞬间, 三相电流的瞬时值之和等于零。这就意味着, 在三相负载平衡时, 中性线上的电流等于零, 因此某些三相对称负载可以省去中性线。在实际应用中, 三相供电线路的负载不可能对称, 仍需加中性线, 但中性线电流总是小于每一相的电流。

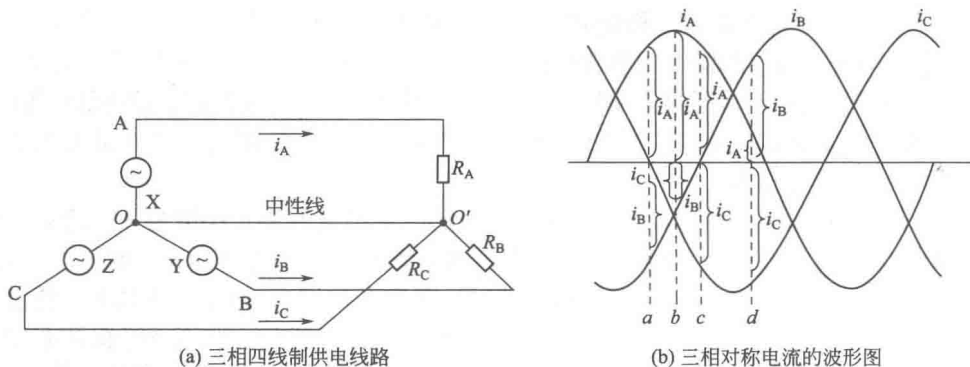


图 1-11 三相四线制供电线路

5. 星形接法

在三相四线制供电线路中, 我们常取两种电压。三相异步电动机需接 380V 的电压, 而照明则需接 220V 的电压。电网是怎样提供两种电压的呢? 图 1-12 (a) 是三相交流发电机绕组的星形接法。一般规定, 发电机每相绕组两端的电压 (也就是相线与中性线间的电压) 称为相电压, 用 U_A 、 U_B 、 U_C 表示。两相始端之间的电压 (也就是相线与相线之间的电压) 称为线电压, 用 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 表示。注意线电压 U_{AB} 下脚字母的顺序表示线电压的正方向是从 A 相到 B 相, 书写时不能颠倒。

线电压和相电压之间的关系是什么呢?从图 1-12 (b) 的矢量图可以看出:线电压 U_{AB} 之间存在着相位差,所以 U_{AB} 包含着 A 相和 B 相两相电压,但由于 U_A 和 U_B 之间存在着相位差,所以 U_{AB} 等于 U_A 与 U_B 的矢量和。又因为 U_A 和 U_B 是反向串联的,所以 U_{AB} 就等于 U_A 加上负的 U_B 。利用矢量图可以推出线电压和相电压的关系为:

$$\frac{1}{2}U_{AB} = U_A \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}U_A$$

即

$$U_{AB} = \sqrt{3}U_A$$

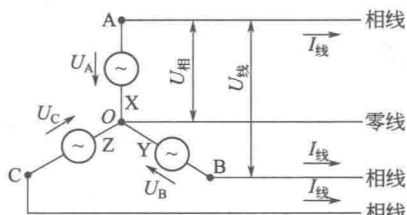
写成一般公式

$$U_{\text{线}} = \sqrt{3}U_{\text{相}}$$

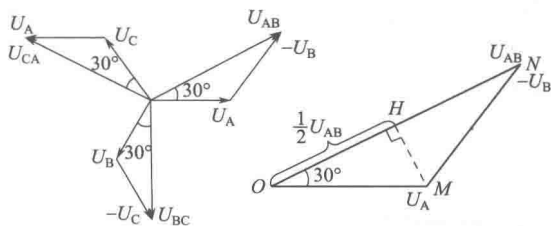
由上面分析可以得出以下结论:发电机三相绕组作星形连接时,线电压的有效值等于相电压有效值的 $\sqrt{3}$ 倍,在相位上线电压较它对应的相电压超前 30° 。

平时说的 220V 就是相电压,而星形接法的线电压则为 380V,如图 1-12 (c) 所示。

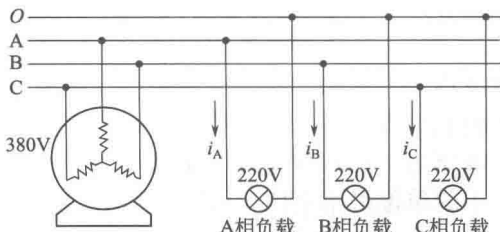
三相电源每相绕组或每相负载中的电流叫相电流;而由电源向负载每一相供电的线路上的电流叫线电流。显然,在星形接法中,相电流等于线电流。



(a) 三相交流发电机绕组的星形接法



(b) 相电压与线电压的矢量图



(c) 三相负载和单相负载的连接

图 1-12 星形接法

6. 三角形接法

很多三相平衡负载,如三相异步电动机等,常接成三角形,如图 1-13 (a) 所示。

所谓三角形接法,就是把各相负载的首尾端分别接在三根相线的每两根相线之间,接入顺序是: A 相负载的末端 X 接 B 相负载的始端 B; B 相末端 Y 接 C 相负载的始端 C'; C 相负载的末端 Z' 接 A 相负载的始端 A',然后把三个连接点分别接到电源的三根相线上。图 1-13 (a) 中的②是一台接成三角形的电动机在电源线上的接法。可以看出,负载作三角形连接时,线电压等于相电压,但相电流并不等于线电流。从图 1-13 (a) 中可以看出,线电流 I_A 等于相电流 I_{AB} 与 $(-I_{CA})$ 的矢量和。

线电流与相电流的关系可以绘成矢量图,如图 1-13 (b) 所示,可以看出

$$I_A = \sqrt{3}I_{AB}$$

写成一般公式

$$I_{\text{线}} = \sqrt{3}I_{\text{相}}$$