



# DIANGONG SHIYONG SHOUCE

《电工实用手册》编委会 组织编写



# 电工 实用手册



化学工业出版社



# 电工 实用手册

《电工实用手册》编委会 组织编写



化学工业出版社

·北京·

本手册内容主要涉及了电工基础、电工仪器仪表及测量、电动机、变压器、低压电器、电气控制线路、现代照明、安全用电等。本手册系统介绍了有关的最新国家标准、最必要的电工知识、最实用的产品资料、最有效的维护技术，具有简明实用的鲜明特色。

本手册取材新颖、内容丰富、简明实用，主要供广大电工及电气技术人员使用，同时对大中专院校相关专业的师生也有较高的参考价值。

### 图书在版编目（CIP）数据

电工实用手册/《电工实用手册》编委会组织编写.

北京：化学工业出版社，2013.9

ISBN 978-7-122-18074-2

I . ①电… II . ①电… III. ①电工技术-技术手册  
IV. ①TM-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 173069 号

---

责任编辑：李军亮

责任校对：王素芹

文字编辑：孙科

装帧设计：尹琳琳

---

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 刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装 订：三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 33 1/4 字数 900 千字 2014 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：98.00 元

版权所有 违者必究

# 《电工实用手册》编委会

主任 邱立功

副主任 徐 峰 戴胡斌

委员（按姓氏笔画排序）

王文荻	王立刚	王亚龙	王吉华	王晓蒙	马建民	卢小虎
艾春平	任志俊	刘 璐	刘述芳	刘春玲	许佩霞	余 莉
励凌峰	吴红梅	张 旭	张能武	张道霞	李 苗	杨光明
苏本杰	邱立功	陈忠民	陈玲玲	周宇辉	周明建	周斌兴
范荣国	金 英	施亚青	唐亚鸣	唐艳玲	徐 峰	徐 森
郭永清	崔 俊	黄 芸	程美玲	谢长忠	韩靖玉	楚宜民
薛国祥	戴胡斌					

## FORWORD

## 前言



随着国民经济和现代科学技术的迅猛发展，我国电气工程从设计、制造、运行到控制技术都发生了深刻的变革，一大批新原理、新材料、新结构、新工艺、新技术、新性能的产品得到广泛开发和应用，新的应用和新的需求同时也推动着电工技术本身的迅速发展。面对新的形势，广大从事电气工程技术工作的人员迫切需要知识更新，特别是学习和掌握与新的应用领域有关的新技能。为此，我们组织编写了本手册。

本手册编委会邀请有关专家和教授就各自擅长的领域分工编写，编写时综合考虑实际需要和篇幅容量，在取材上，遵循实用和精炼；在形式上，力求做到图文并茂、通俗易懂。手册系统地介绍了有关的最新国家标准、最必要的电工知识、最实用的产品资料、最有效的维护技术。本手册具有公式数据可靠、资料技术翔实、方法理论实用的特点。

本手册从简明、实用的角度出发，详细介绍了电工基础、电工仪器仪表及测量、电工材料、电动机、变压器、低压电器、电气控制线路、现代照明、安全用电等内容。本手册取材新颖、内容丰富、简明实用，主要供广大电工及电气技术人员使用，同时对技能培训和专业院校师生也有较高的参考价值。

由于编者水平有限，不妥之处，热忱欢迎读者批评指正。

《电工实用手册》编委会



## 目录

CONTENTS



## 第一章 电工基础

第一节 电工基础知识 .....	1
一、电的基本知识 .....	1
二、直流电路 .....	2
三、电与磁 .....	3
四、交流电路 .....	5
五、电压源和电流源 .....	10
六、电路的工作状态 .....	11
第二节 电工常用计算公式及基本定律 .....	13
一、直流电路常用计算公式 .....	13
二、电磁感应定律 .....	16
三、交流电路常用计算公式 .....	17
第三节 电工常用计量单位 .....	20
一、国际单位制单位 .....	20
二、我国法定计量单位 .....	20

三、常用物理量及其单位换算 .....	21
四、常用物理量数据 .....	26
第四节 电工常用图形符号及文字符号 .....	27
一、常用基本文字符号 .....	27
二、常用辅助文字符号 .....	29
三、电气图常用图形符号 .....	30
第五节 常用电工材料 .....	33
一、导电材料 .....	33
二、绝缘材料 .....	36
三、磁性材料 .....	43
第六节 常用电子元件和半导体器件 .....	47
一、常用电子元件 .....	47
二、半导体分立器件 .....	59



## 第二章 常用电工仪器仪表

第一节 常用电工仪表的基本知识 .....	78
一、电工仪表的分类 .....	78
二、电工仪表的准确度等级 .....	78
三、电工仪表的表面符号及其意义 .....	78
四、常用仪表的结构及工作原理 .....	80
五、电工仪表的型号表示方法 .....	81
六、电工仪表的使用与保管 .....	83
第二节 常用电工测量 .....	84
一、电流和电压的测量 .....	84
二、电阻的测量 .....	92
三、功率的测量 .....	95
四、电能的测量 .....	99

五、相位和频率的测量 .....	102
第三节 常用电子测量仪器 .....	107
一、万用表 .....	107
二、电子交流电压表 .....	111
三、阻抗测量 .....	114
四、LCR 参数测量 .....	116
五、示波器 .....	124
六、信号发生器 .....	127
七、数字式频率计 .....	129
八、耐压泄漏测试仪 .....	130
九、接地电阻测试仪 .....	133



## 第三章 电动机

第一节 概述 .....	134	二、直流电机的结构原理 .....	161
一、电动机的分类及型号 .....	134	三、直流电机主要技术数据 .....	163
二、电动机的基本结构型式 .....	135	四、直流电机的维护与保养 .....	168
三、电动机的功率等级 .....	136	五、直流电机常见故障处理 .....	170
四、电动机常用计算公式 .....	137	六、直流电机拆装和试验 .....	173
第二节 三相异步电动机 .....	137	七、直流电机的正确选用 .....	174
一、三相异步电动机的分类及型号 .....	137	第四节 微电动机 .....	175
二、三相异步电动机的主要技术性能 .....	140	一、驱动微电动机 .....	175
三、三相异步电动机的结构原理 .....	141	二、控制微电动机 .....	187
四、三相异步电动机的转矩特性 .....	145	第五节 专用电动机 .....	193
五、三相异步电动机的工作特性 .....	148	一、电动工具用电动机 .....	193
六、三相异步电动机参数的测定 .....	149	二、电扇用电动机 .....	202
七、三相异步电动机的选择与使用 .....	151	三、电冰箱用电动机 .....	204
八、三相异步电动机的维护与保养 .....	155	四、空调器用电动机 .....	208
九、三相异步电动机常见故障处理 .....	156	五、洗衣机用电动机 .....	213
第三节 直流电机 .....	159	六、吸尘器用电动机 .....	215
一、直流电机分类与型号 .....	159	七、电吹风机用电动机 .....	217



## 第四章 变压器

第一节 概述 .....	220	三、常用小型变压器简介 .....	258
一、变压器分类及型号 .....	220	四、小型变压器的检测 .....	263
二、变压器主要技术参数 .....	221	第四节 特殊用途变压器 .....	266
三、变压器基本结构原理 .....	226	一、自耦变压器 .....	266
四、变压器的极性和连接组别 .....	230	二、整流变压器 .....	267
第二节 电力变压器 .....	232	三、盐浴炉变压器 .....	269
一、电力变压器结构组成 .....	232	四、试验变压器 .....	271
二、变压器允许运行方式 .....	236	五、电抗器 .....	272
三、常用电力变压器主要技术数据 .....	238	六、电压互感器 .....	273
四、电力变压器的正确选择 .....	242	七、电流互感器 .....	275
五、变压器常见故障及处理方法 .....	244	八、控制变压器 .....	277
第三节 小型变压器 .....	245	九、接触调压器 .....	280
一、小型变压器基本结构 .....	245	十、感应调压器 .....	280
二、小型单相变压器的制作 .....	247		



## 第五章 低压电器

第一节 概述 .....	286	一、刀开关 .....	289
一、低压电器的分类及用途 .....	286	二、转换开关 .....	295
二、低压电器的产品型号 .....	287	三、熔断器 .....	296
第二节 常用低压电器 .....	289	四、断路器 .....	300

五、接触器	305
六、启动器	308
七、继电器	311
八、主令电器	317
九、频敏变阻器	323

十、控制器	324
第三节 低压电器常见故障的检修	326
一、低压电器的维护与保养	326
二、低压电器常见故障的修理	326
三、低压电器的常见故障及处理方法	330



## 第六章 变配电及供电系统

第一节 电力负荷及其计算	333
一、按需要系数法确定计算负荷	334
二、按二项式系数法确定计算负荷	335
三、单相用电设备组计算负荷的确定	336
四、工业企业总计算负荷的确定	337
五、家庭用电负荷的计算	338
第二节 短路电流及其计算	339
一、短路的形式	339
二、无限容量系统三相短路电流的计算	339
三、两相短路电流的计算	343
第三节 变配电及一次系统	343
一、变配电所的类型及所址选择	343
二、电气设备中的电弧问题及对触头的要求	344
三、高压一次设备及其选择	345
第四节 电力变压器及其选择	358
一、概述	358
二、电力变压器的结构及型号	359
三、变电所主变压器台数和容量的选择	360
四、电力变压器的并列运行条件	361
第五节 工厂变配电所的主接线图	361
一、概述	361
二、高压配电所的主接线图	362
三、车间和小型工厂变电所的主接	

线图	364
四、工厂总降压变电所的主接线图	367
第六节 工厂变配电所及其一次系统的运行维护	370
一、变配电所的总体布置	370
二、变配电所的结构	371
三、变配电所的电气安装图	378
四、工厂变配电所一次系统的运行维护	379
第七节 工厂电力线路	383
一、工厂电力线路及其接线方式	383
二、架空配电路	384
三、电缆线路	387
四、户内配电线	393
五、导线及电缆的选择	397
六、工厂电力线路的运行维护	399
第八节 供电系统过流保护	401
一、过流保护的任务及要求	401
二、常用的保护继电器	402
三、操作电源	408
第九节 二次回路的接线及接线图	412
一、概述	412
二、二次回路的接线要求	412
三、二次回路接线图的绘制要求	413
四、二次回路接线图的绘制方法	414



## 第七章 电气控制线路

第一节 常用电动机控制电路	418
一、三相异步电动机的运行与控制	418
二、直流电动机的运行与控制	422
第二节 常用电气控制电路	429
一、启动控制电路	429
二、步进、步退控制电路	431
三、自动往返控制电路	432
四、具有联锁作用的控制电路	432

五、点动控制电路	432
六、过电流保护控制电路	433
七、制动控制电路	434
第三节 常用机械控制线路	436
一、C620-1 普通车床控制线路	436
二、Y3150 滚齿机控制线路	436
三、M7130 卧轴矩台平面磨床控制线路	437



## 第八章 现代照明

---

第一节 照明基础知识 .....	441	第三节 电气装置和照明灯具 .....	466
一、照明技术有关概念 .....	441	一、灯具的种类 .....	466
二、物体的光照性能及有关参数 .....	442	二、常用灯座的主要技术参数 .....	467
第二节 照明电光源 .....	443	三、常用开关的外形结构、规格和 用途 .....	467
一、电光源的分类及主要技术特性 .....	443	四、照明供电线路控制、保护与检修 .....	471
二、照明电光源技术参数及规格 .....	445	五、照明供电与配电 .....	477
三、常用照明电光源的选用 .....	464		



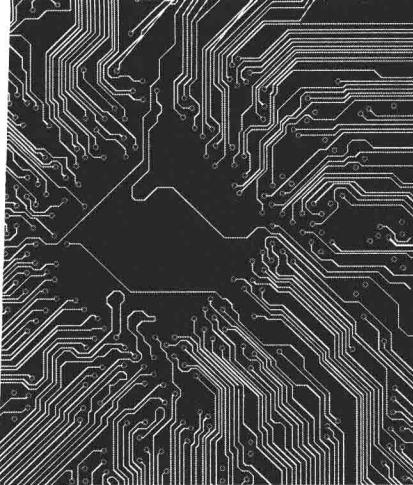
## 第九章 安全用电与节约用电

---

第一节 电气安全基础知识 .....	483	三、触电急救 .....	492
一、绝缘 .....	483	第三节 接地接零与防雷保护 .....	493
二、屏护、间距与安全标志 .....	485	一、接地接零 .....	493
三、安全用电知识 .....	487	二、防雷保护 .....	503
第二节 触电预防及急救 .....	489	第四节 节约用电 .....	514
一、电流对人体的作用 .....	489	一、节约用电的一般措施 .....	514
二、触电方式 .....	489	二、节约用电的几种方法 .....	516



## 参考文献



# 第一 章 电工基础

◀◀

## ● 第一节 电工基础知识

### 一、电的基本知识

#### 1. 电流

电荷有规则定向运行，称为电流。正电荷运动的方向为电流的方向。电流的大小用单位时间内通过导体截面的电荷量的多少来度量，如果在 1s 内，穿过导体截面的电荷量为 1C，则称导体中通过的电流为 1 安培，简称安，以符号 A 表示。电流的量符号为  $I$ 。

电流倍数单位有千安 (kA)，分数单位有毫安 (mA)、微安 ( $\mu$ A)。

$$1\text{kA}=1000\text{A} \quad 1\text{A}=1000\text{mA} \quad 1\text{mA}=1000\mu\text{A}$$

如果电流的大小和方向都不随时间变化，则称为直流电流。

如果电流的大小和方向都随时间变化，则称为交变电流，简称为交流电。人们平常用的市电是一种大小和方向按正弦规律变化的交流电。

#### 2. 电路

电流所经过的路径叫做电路。电路由电源、负载、导线三个基本部分组成，如图 1-1 所示。

(1) 电源 是将其他形式的能量转变为电能的装置。如发电机把机械能转变为电能，而干电池则是把化学能转变为电能。电源是提供电能的装置。

(2) 负载 是将电能转变为其他形式能量的装置。如电动机把电能转变为机械能，而电炉则是把电能转变为热能。负载是消耗电能的装置。

(3) 导线 是连接电源和负载使其成为闭合回路的装置。这样，电荷才能在电源作用下，通过导线→负载→导线回到电源，进行定向运动形成电流。

在电路中还安装开关、熔断器等电器，这些电器所起的作用和导线是相同的，是一段可操作的导线，可以在需要的时候方便地切断或接通电路。

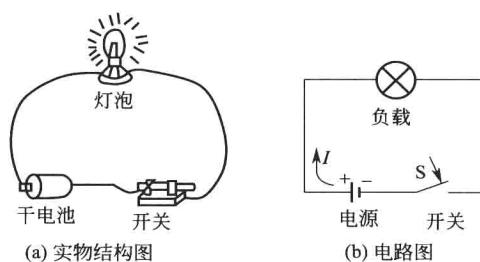


图 1-1 电路

### 3. 电位和电压

在静电场和电路中，单位正电荷在电场力的作用下，从无穷远（即零电位）移到某点电场力所做的功，称为该点的电位。

如果电路两点间电位不同，这两个电位的差值叫做电路两点的电压。电压的单位是伏特，简称伏，用符号 V 表示，电压的量符号为 U。

电压的倍数单位有千伏 (kV)，分数单位有毫伏 (mV)、微伏 ( $\mu$ V)。

### 4. 电动势

电荷在电路中运动，动力来源于电源。电源的负极是低电位，正极是高电位，电源把电荷从低电位通过电源内部搬运到高电位。反映电源搬运电荷能力的物理量，叫电源的电动势。电动势的单位也是伏，与电压和电位的单位相同。电动势的量符号是 E。

### 5. 电阻

电阻是电荷在物体中运动所受到的阻力，是物质本身具有的导电特性。自然界的物质按其导电特性分为容易导电的导体，如各类金属；不容易导电的绝缘体，如木材、橡胶、塑料；介于两者之间的半导体，如硅、锗。

电阻的单位为欧姆，简称欧，符号为  $\Omega$ 。电阻的量符号为 R。

电阻的倍数单位有千欧 (k $\Omega$ )、兆欧 (M $\Omega$ )。

$$1\text{k}\Omega = 1000\Omega \quad 1\text{M}\Omega = 1000000\Omega$$

一般情况下，金属导体的电阻值随温度升高而增大。

## 二、直流电路

### 1. 欧姆定律

(1) 部分电路欧姆定律 部分电路是指不含电源的一段电路，如图 1-2 所示。

部分电路欧姆定律的数学表示式为

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

也可变形为

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

(2) 全电路欧姆定律 全电路是指含有电源的闭合电路，如图 1-3 所示。

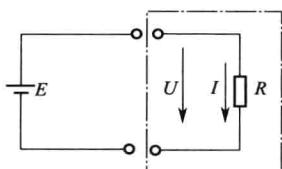


图 1-2 部分电路

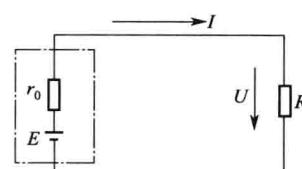


图 1-3 全电路

全电路欧姆定律的数学表示式为

$$I = \frac{E}{r_0 + R}$$

式中  $r_0$ ——电源的内阻。

### 2. 电路的连接

(1) 串联电路 把两个或两个以上电阻首尾相连接成一串，中间没有分支，称为电阻的串联电路，如图 1-4 所示。



串联电路的特点如下。

① 串联电路中通过各电阻的电流为同一电流。即  $I=I_1=I_2$

② 串联电路的总电阻等于各串联电阻之和。即  $R=R_1+R_2$

③ 串联电路两端的总电压等于各串联电阻上各电压之和。即  $U=U_1+U_2$

④ 各串联电阻上的电压的大小与各电阻值的大小成正比，大电阻上的电压高，而小电阻上的电压低。

(2) 并联电路 把两个或两个以上电阻的首端接在一起，尾端接在一起，然后接在电路的两个端点上，称为电阻的并联电路，如图 1-5 所示。

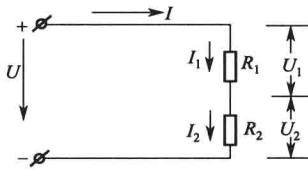


图 1-4 串联电路

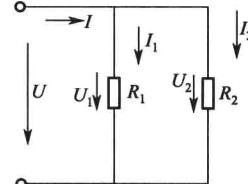


图 1-5 并联电路

并联电路的特点如下。

① 并联电路中各电阻上所加的电压相等。即  $U=U_1=U_2$

② 并联电路中的总电流等于各电阻上电流之和。即  $I=I_1+I_2$

③ 并联电路总电阻的倒数等于各并联电阻的倒数之和。即  $1/R=1/R_1+1/R_2$

④ 各并联电阻上电流的大小，与各电阻值的大小成反比。

(3) 混联电路 当几个电阻间的连接关系既有串联又有并联时，叫做混联电路，如图 1-6 所示。在分析和计算混联电路时，要两个两个电阻进行分析，看其是否有串、并联关系，有则进行合并化简，最后可化简为只有两个电阻的串联或并联电路。图 1-6 所示电路的化简过程如图 1-7 所示。

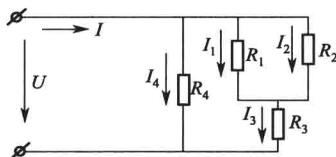


图 1-6 混联电路

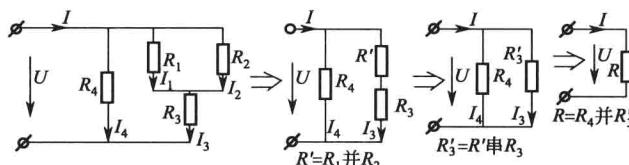


图 1-7 电路简化过程

### 3. 电能与电功率

(1) 电功率 负载在电路中消耗电能，一个负载在单位时间内所消耗的电能，叫做电功率。电功率的单位是瓦特，简称瓦，符号为 W。电功率的量符号为 P。电功率可表示为

$$P=UI \quad P=I^2R \quad P=\frac{U^2}{R}$$

(2) 电能 负载工作一段时间所消耗的电能量叫电能。电能的单位是  $\text{kW} \cdot \text{h}$  (千瓦时)， $1\text{kW} \cdot \text{h}$  电能就是平常所说的 1 度电。

## 三、电与磁

### 1. 磁场

(1) 磁场的方向 地球上有些物体具有吸引铁及铁类合金的性质，如永久磁铁、吸铁

石。这种性质叫做磁性，具有磁性的物体称为磁体。磁体上有两个磁性最强的端部，称为磁极。通常称为磁南极（S 极）和磁北极（N 极）。

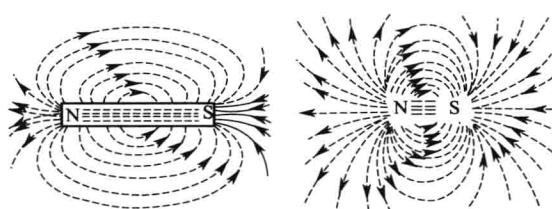


图 1-8 磁力线

磁极间的作用力叫磁力，磁体周围磁力作用的空间范围叫做磁场。磁极间磁场的方向是从 N 极指向 S 极。

(2) 磁力线 为了形象地描述磁场的强弱和方向，科学家虚构出一组曲线，叫磁力线，如图 1-8 所示。

磁力线是一组不相交的闭合曲线，在磁体外面从 N 极指向 S 极，在磁体内部从 S 极指向 N 极，表示了磁场的方向。

磁力线的疏密程度表示磁场的强弱。

(3) 电流产生的磁场 在电流的周围有磁场存在，电流越大，磁场越强，称为电磁场。电流和磁场的方向用右手螺旋定则来确定。

右手螺旋定则：右手握拳，拇指伸直，四指表示弯曲量的方向，而拇指表示直线量的方向。

直导体中电流产生的磁场如图 1-9 所示；线圈中电流产生的磁场如图 1-10 所示。

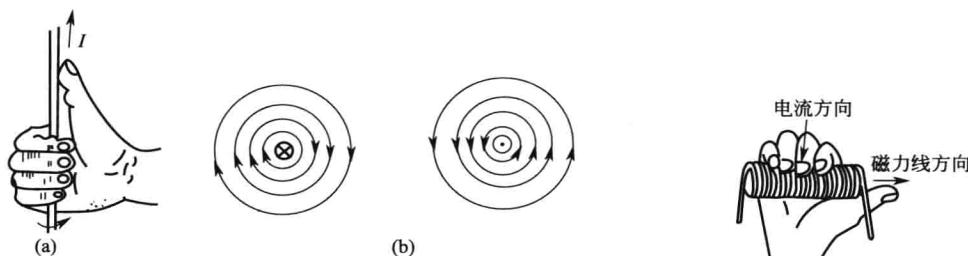


图 1-9 通电直导体的磁场

图 1-10 通电线圈的磁场

## 2. 电磁力

(1) 磁场对电流的作用力 一根通电的直导体放在磁场中，会受到力的作用而移动，这种力叫电磁力。电磁力的大小与磁场强度、电流大小、磁场内导体的有效长度成正比。电磁力的方向用左手定则确定，如图 1-11 所示。

左手定则：左手伸开，四指并拢，拇指与四指垂直，并在同一平面，掌心迎向磁力线，四指指向电流方向，则拇指表示电磁力方向。

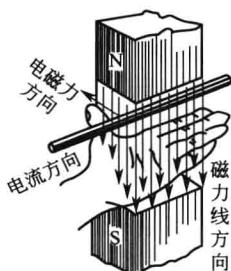


图 1-11 左手定则

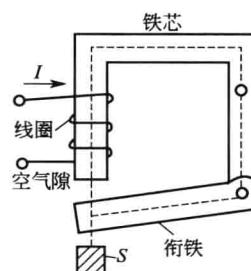


图 1-12 电磁铁



(2) 电磁铁的吸力 电磁铁对衔铁的吸力，是磁场对被磁化了的物体的吸力，称为磁吸力。如果磁极端面的磁通分布是均匀的，穿过衔铁的面积和电磁铁磁极面积基本相等，空气隙又比较小（见图 1-12），则衔铁所受磁吸力  $F(N)$  为

$$F = 10 \left( \frac{B}{0.5} \right)^2 S$$

式中  $S$ ——电磁铁磁极面积， $\text{cm}^2$ ；

$B$ ——电磁铁磁感应强度， $\text{T}$ 。

### 3. 电磁感应

如果磁场发生变化，磁场中的导体中会产生电动势，成为电源，这种电动势叫做感生电动势，这种现象叫做电磁感应。如果这根导体与外部构成闭合回路，就会有电流流动，这个电流叫感生电流。

(1) 直导体切割磁力线 如图 1-13 所示，导体向拇指方向运动，切割磁力线。此时导体中产生的感生电动势的大小与磁场强度、导体运行速度、导体切割磁力线的有效长度成正比。它的方向用右手定则来确定。

右手定则：右手伸开，四指并拢，拇指与四指垂直，并在同一平面，掌心迎向磁力线，拇指指向导体运动方向，四指表示感生电动势方向，指端为“+”极。

(2) 线圈中磁通发生变化 线圈中的磁场，一般是由线圈接上电源后，线圈中的电流产生的。如果电流发生变化，线圈中的磁能就要发生变化，这时线圈两端就要产生感生电动势，这种现象叫做自感。每个线圈都可以产生自感现象，因此，线圈叫做电磁器件。

自感电动势的方向：当线圈中磁通增加时，自感电动势的方向与线圈所接电源的方向相反。当线圈中磁通减少时，自感电动势的方向与线圈所接电源的方向相同。

如果两个线圈放在一起，一个线圈通电，它产生的磁场就成为另一个线圈中的磁场，如通电线圈的磁场发生变化，不通电线圈中的磁场随之变化，不通电线圈中也会产生感生电动势，这个现象叫做互感。互感是变压器工作的基本原理。

## 四、交流电路

### 1. 正弦交流电的表示

(1) 正弦交流电的三要素 正弦交流电的大小、方向是随时间作周期性变化的。因此，要确定交流电某一时刻的瞬时值，必须通过交流电的最大值、频率及初相位三个量才能确定。通常，称这三个量为正弦交流电的三要素。

① 最大值：正弦交流电大小在不同时刻是不同的，其中最大的瞬时值，叫做正弦交流电的最大值。正弦交流电流、电压、电动势的最大值分别用  $I_m$ 、 $U_m$ 、 $E_m$  表示。

② 频率：交流电在 1s 内完成周期循环变化的次数，称为交流电的频率。频率的量符号为  $f$ ，单位是赫兹，简称赫，用符号  $\text{Hz}$  表示。

③ 初相位：交流电的初相位，是由交流发电机开始发电时线圈所处的位置决定的。由于交流电量按一定周期循环变化，当需要知道某一时刻交流电的瞬时值时，可以用这一时刻距开始发电的时间计算出来。

只有在比较两个同频率交流电的情况时，才需要考虑初相位。如果两个交流电的起始位置不同，它们间的差值称相位差。在任何时刻两个同频率交流电间的相位差相同。

(2) 交流电的有效值 交流电的大小、方向时刻在变化，为了便于分析、计算和测量，



图 1-13 右手定则



常用交流电的有效值来表示它的大小。如果在同一个电阻中分别通以直流电流和交流电流，通电时间完全相同，而电阻在两段时间产生热量相等，从发热的效果看，这两个电流是等效的。于是把这个直流电流的大小叫做该交流电的有效值，并用  $I$ 、 $U$ 、 $E$  分别表示交流电流、电压、电动势的有效值。

交流电有效值与最大值的关系如下：

$$I = I_m / \sqrt{2} = 0.707 I_m \text{ 或 } I_m = \sqrt{2} I = 1.414 I$$

$$U = U_m / \sqrt{2} = 0.707 U_m \text{ 或 } U_m = \sqrt{2} U = 1.414 U$$

$$E = E_m / \sqrt{2} = 0.707 E_m \text{ 或 } E_m = \sqrt{2} E = 1.414 E$$

平时所说的交流电的大小，电气仪表上所显示的交流电的量值（没有说明时），均为交流电的有效值。各种交流电器铭牌上所标的额定值也均为交流电的有效值。

注意：在考虑导线及电气设备的耐压时，要考虑交流电的最大值。

## 2. 单一参数单相正弦交流电路

(1) 纯电阻电路 交流电流流过电阻，与直流电流流过电阻时一样。电压与电流频率相同，相位也相同。电压、电流间的大小关系符合欧姆定律。

$$I_R = \frac{U_R}{R}$$

电流流过电阻时所消耗的功率称为有功功率，计算公式与直流电路相同

$$P = U_R I_R = I_R^2 R = \frac{U_R^2}{R}$$

(2) 纯电感电路 大多数电气设备都有线圈，线圈在交流电路中会产生感生电动势来阻碍电流变化。因此，在纯电感电路中，电流的相位要比电压的相位滞后  $90^\circ$ 。

线圈对电流的阻碍作用称感抗，用  $X_L$  表示，单位也是  $\Omega$ 。感抗的大小为

$$X_L = 2\pi f L$$

式中  $f$ ——频率，Hz；

$L$ ——电感，H。

电路中电压有效值、电流有效值与感抗的数量关系也满足欧姆定律

$$I_L = \frac{U_L}{X_L}$$

线圈产生电动势的过程，实际是一个电源的电能转换成磁能，磁能又转换成电能返还给电源的过程，在这个过程中线圈只与电源交换能量，而不消耗能量。此时电压  $U_L$  和电流  $I_L$  的乘积，称做无功功率，用  $Q_L$  表示，单位是 var (乏)。

$$Q_L = U_L I_L = I_L^2 X_L = \frac{U_L^2}{X_L}$$

无功功率表示一个线圈转换电能能力的大小。

(3) 纯电容电路 电容器是储存电荷的一种容器。用绝缘物隔开的两个导体就构成一个最简单的电容器。两个导体间相对面积越大，电容器的容量就越大。衡量存电荷能力大小的物理量称为电容量，符号为  $C$ ，单位是“法拉”，简称法，以符号 F 表示。电容的分数单位有  $\mu F$  (微法)、 $pF$  (皮法)。

$$1F = 1000000\mu F \quad 1\mu F = 1000000pF$$

电容器接在直流电路中，电荷会跑到电容器上储存起来，这个过程需要一定时间，称为充电过程。把存有电荷的电容器两端接在电路上，电荷会释放掉，这个过程也需要一定时间，称为放电过程。充、放电过程完成后，连接电容的电路就不再有电流流动，这称为电容器的隔直流电的作用 (电容器是用绝缘物质隔开的两个导体，电荷不会从一个导体上跑到另



一个导体上)。

当电容器接在交流电路中时, 电容器将随交流电流的方向的改变而不断地进行充电、放电, 电路中就会有不断的交流电流, 这称为电容器的通交流电的作用(实际电荷并没有流过电容器, 而是在一端极板后就从电路返回到另一边极板, 如此往返, 电路中就有了电流)。

电容的不断充、放电也会阻碍电路中交流电流的流动, 称为容抗, 符号为  $X_C$ , 单位也是  $\Omega$ 。

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

电容两极间的电压有效值  $U_C$ 、电路中的电流有效值  $I_C$  与容抗  $X_C$  间的关系与符合欧姆定律

$$I_C = \frac{U_C}{X_C}$$

由于电容器充、放电的作用, 使电路中电压的相位落后于电流  $90^\circ$ 。

电容器的充、放电过程, 实际是一个从电源获得电能储存起来, 再释放返还给电源的过程, 同样, 这个过程是不消耗能量的。此时电压  $U_C$  与电流  $I_C$  的乘积, 也是无功功率, 为了与电感上的无功功率区别, 用  $Q_C$  表示:

$$Q_C = U_C I_C = I_C^2 X_C = \frac{U_C^2}{X_C}$$

无功功率表示电容器与电源交换能量的能力。

### 3. 实际单相正弦交流电路

纯电阻电路、纯电感电路、纯电容电路是为了便于分析问题而理想化的电路, 实际的交流电路往往是三种电路交织在一起。

(1) 电阻与电感串联电路 任何线圈都具有直流电阻, 这样的线圈接入交流电路, 相当于一个电阻与一个电感串联的电路, 如图 1-14 所示。

这样的串联电路具有如下特点。

① 流过两个串联元件的电流是同一个电流  $I$ 。

② 电路两端的总电压的有效值, 等于两个元件上电压有效值的平方和的平方根, 即

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

③ 由于是电阻与电感(感抗)的串联, 电路对电流的阻碍能力称为阻抗, 符号为  $Z$ 。

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

④ 两个元件上所分得的电压有效值, 与元件的阻抗成正比:

$$U_R = IR$$

$$U_L = IX_L$$

电源的总功率中应包括电阻的有功功率和电感的无功功率, 这个总功率称为视在功率, 符号为  $S$ , 单位是  $V \cdot A$  (伏安)。视在功率与有功功率和无功功率的大小关系是

$$S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$$

有功功率占视在功率中的比例称为功率因数, 符号为  $\cos\varphi$ 。

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z}$$

$\cos\varphi$  的值从 0 到 1, 值越大说明有功功率占视在功率的份额越大, 也说明电能的利用率

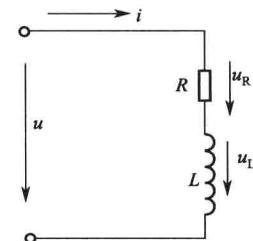


图 1-14 电阻与电感串联电路

越高。由于无功功率只是与电源交换能量，而不是将电能转换为其他可用能量，但交换能量的电流在电路中流动，会在电路的电阻上转化为热能而消耗一部分电能，因此，无功功率越小越好。

(2) 功率因数的提高 电感性电路中电流的相位滞后于电压，角度在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。其中电阻的成分越大，电流滞后于电压的角度越小， $\cos\varphi$ 值越大；电阻的成分越小，电流滞后于电压的角度越大， $\cos\varphi$ 值越小。由于电感的无功功率占有电源的容量，并在线路上消耗一定的能量，在生产中，希望电感的无功功率越小越好。电容在电路中，流过电容的电流比电压超前 $90^\circ$ ，恰好与电感电路中电流电压的相位关系相反，也就是说两者与电源交换能量的时间不同。电感从电源吸取能量转变为磁能时，正好是电容将其储备的电能返还电源的时候，如果把这两个元件接在一起，电感所需能量可由电容提供一部分，而电容充电时所需电能也恰好能由电感提供，一部分无功电能将在电容与电感之间转换，而不再通过电源。对电源来讲，负担电感的部分能量将减少，意味着电路的功率因数 $\cos\varphi$ 提高。

如果把电容与线圈串联，线圈两端的电压就不再是原来所加的电压。为了使线圈接电容前后所加电压相同，必须把电容与线圈相并联，如图 1-15 所示。

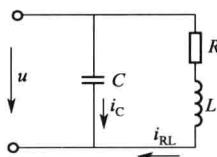


图 1-15 电容与线

所以，实际生产中提高功率因数的方法，是在电感性电路两端并联一个合适的电容。

#### 4. 三相交流电路

(1) 三相交流电 把三个大小相等、频率相同、初相位相差 $120^\circ$ 的单相交流电合在一起就组成一个三相交流电。

图 1-15 电容与线

圈并联电路 实际的三相交流电是由三相发电机产生的，在发电机中有三个相

同的绕组按空间相差 $120^\circ$ 均匀分布。这样，发电机旋转就可以产生满足上述条件的三个单相交流电，由于初位相差 $120^\circ$ ，在各条导线中流过的电流存在一个时间差，这样，就不需要六条导线供电，而只需要在发电机内部把三个绕组按一定方式连接起来，用三条或四条导线供电。发电机每个绕组发出的单相交流电叫做三相交流电中的一相，因此，实际使用的单相交流电，都是三相交流发电机所提供三相交流电中的一组。

(2) 电源的三角形连接 发电机三相绕组分别称为 U、V、W，把一个绕组的尾端与另一个绕组的首端接在一起，另一个绕组的尾端再与下一个绕组的首端接在一起，三个绕组接成一圈，以每个接点接出一条线称为电源的三角形连接，如图 1-16 所示。

(3) 电源的星形连接 把三个绕组的尾端接在一起，从三个首端引出三条线，再把尾端的公共点引出一条线，这称为电源的星形连接，如图 1-17 所示。

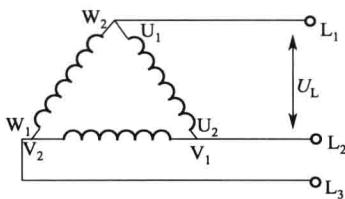


图 1-16 电源的三角形连接

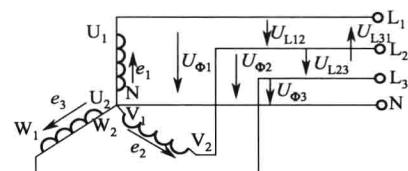


图 1-17 电源的星形连接

(4) 三相三线制 电源三角形连接（见图 1-16）共有三条线，电源星形连接，如果不接中线也是三条线，这样的供电方式叫做三相三线制。

三相三线制供电只有三条线，只有一种线电压，线电压有 $U_{L12}$ 、 $U_{L23}$ 、 $U_{L31}$ 三个，同样三个线电压大小相同，相位相差 $120^\circ$ ，使用时不能混淆。