



电工技术新起点丛书

# 电机修理入门

- 突出快速入门
- 注重学以致用
- 轻松掌握一技之长

乔长君 © 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

电工技术新起点丛书

# 电机修理入门

乔长君 编著

国防

7001

## 内 容 简 介

本书主要介绍电机修理基本知识,电机常用材料与工具仪表,单相电机修理,三相低压电机修理,直流电机修理,高压电机修理,电机试验等内容。附录中列出了新型电机的主要技术数据,供修理人员参考。

本书文字叙述简明扼要、通俗易懂,突出实用性、先进性,可供电机修理初学者和电气工程技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电机修理入门 / 乔长君编著. —北京: 国防工业出版社, 2011. 9  
(电工技术新起点丛书)  
ISBN 978-7-118-07455-0

I. ①电... II. ①乔... III. ①电机-维修-基本知识 IV. ①TM307

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 178475 号

※

国防工业出版社出版发行  
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)  
天利华印刷装订有限公司印刷  
新华书店经售

\*

开本 880 × 1230 1/32 印张 12 字数 392 千字  
2011 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 26.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 前 言

随着城乡一体化进程的不断加快,大批农村劳动力涌入城市,开始了择业、就业、开创美好新生活的步伐。学什么、做什么,怎样才能快捷掌握一门技术,并快速应用于生产实践,成为当务之急。为适应新形势的需要,在仔细调查研究基础上,我们精心组织编写了《电工技术新起点》丛书。

本丛书在编写时充分考虑了电工技术知识性、实践性和专业性都比较强的特点,选择了近年来中小型企业电工紧缺岗位从业人员必备的几个技能重点,以一个无专业基础的人零起步学习电工技术的角度,将初学电工的必备知识和技能进行归类、整理和提炼,用通俗的语言、大量的图片来讲解,剔除了一些实用性不强的理论阐述,以使初学者通过直观、快捷的方式学习电工技术,为今后进一步学习打下良好基础。

本丛书注重实际操作,突出实践,图文表相结合。其中涉及的器件或实际操作方法,大部分是根据实际情况现场拍摄的实物实景图或标准图改绘的线条图,方便读者的想象和理解。所有的一切都希望能帮助读者快速学习新知识,快速掌握新技术,学以致用。

本丛书旨在满足农村劳动力进城就业和社会上广大新工人学习和掌握电工基础知识和基本操作技能的需要,尽快提高操作人员的技术素质,从而增强企业的竞争力,促进农村劳动力转移、新生劳动力和转岗就业人员实现就业。

本丛书暂定为《电机修理入门》、《维修电工入门》、《安装电工入门》、《水电工入门》、《农电工操作技能入门》、《弧焊机维修入门》、《电工识图入门》。以后还将根据读者需要陆续出版其它图书。

本书是《电机修理入门》。

本书从电机修理基本知识入手,介绍了电机常用材料与工具仪表,单相电机、三相低压电机、直流电机、高压电机修理,电机试验等内容。在编写过

程中充分考虑到企业生产发展和技术更新的需要,介绍了一些新知识、新技术、新工艺、新规范,不仅使初学者快速掌握电机修理的核心技术,也为广大技术工人更新知识和提高技能提供很好的教材。

本书在内容上力求简明扼要,贴近实际,充分考虑到电机修理人员必备的技能,具有以下特点:

(1)理论起点低,知识阐述简明扼要,语言浅显易懂,特别适合文化基础偏低的人员阅读学习。

(2)本书从企业生产实际和培训新工人的需要出发,突出介绍了交、直流电机检修的每一个环节的基本操作技能、操作方法。

(3)采用大量图片,这些图片都来自检修实践,直观生动,方便学习。

另外,附录中收集的电机绕组技术数据都是最新的电机核心技术资料,具有很强的实用性。

参加本书编写的有乔长君、片照民、贾建平、周盛荣、李本胜、朱家敏、郭健、王迎杰、王岩。在本书编写过程中,得到了西安电机制造总厂刘晔同志的大力支持,并提出了许多宝贵意见,在此深表谢意。

由于编者水平有限,不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

作者

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第1章 电机修理基本知识</b> .....    | 1  |
| 1.1 常用基本知识 .....             | 1  |
| 1.1.1 电工学基本知识 .....          | 1  |
| 1.1.2 绕组基本知识 .....           | 9  |
| 1.1.3 电机修理常用名词术语.....        | 12 |
| 1.2 直流电机基本知识.....            | 13 |
| 1.2.1 分类和用途 .....            | 13 |
| 1.2.2 结构 .....               | 15 |
| 1.2.3 铭牌.....                | 17 |
| 1.2.4 直流电机工作原理.....          | 18 |
| 1.2.5 两用电动机工作原理.....         | 19 |
| 1.3 感应电机基本知识.....            | 21 |
| 1.3.1 分类和用途 .....            | 21 |
| 1.3.2 交流感应电机的结构.....         | 29 |
| 1.3.3 铭牌.....                | 31 |
| 1.3.4 三相交流感应电动机工作原理.....     | 32 |
| 1.3.5 单相感应电动机的结构与工作原理.....   | 32 |
| 1.4 同步电机基本知识.....            | 35 |
| 1.4.1 分类和用途 .....            | 35 |
| 1.4.2 同步电机结构.....            | 38 |
| 1.4.3 铭牌.....                | 40 |
| 1.4.4 三相同步电机工作原理.....        | 41 |
| <b>第2章 电机常用材料与工具仪表</b> ..... | 44 |
| 2.1 常用电线电缆.....              | 44 |

|            |                    |            |
|------------|--------------------|------------|
| 2.1.1      | 绕组线                | 44         |
| 2.1.2      | J系列电动机和电器引出线       | 46         |
| 2.2        | 常用绝缘材料             | 54         |
| 2.2.1      | 绝缘材料的型号编制方法        | 54         |
| 2.2.2      | 常用油漆               | 55         |
| 2.2.3      | 电动机常用薄膜、胶粘带和柔软复合材料 | 61         |
| 2.2.4      | 浸渍纤维材料             | 66         |
| 2.2.5      | 电动机常用层压制品          | 69         |
| 2.2.6      | 云母及云母制品            | 72         |
| 2.3        | 常用电刷               | 78         |
| 2.4        | 常用工具和量具            | 81         |
| 2.4.1      | 通用工具               | 81         |
| 2.4.2      | 专用工具               | 89         |
| 2.4.3      | 常用量具               | 92         |
| 2.5        | 常用仪表和仪器            | 94         |
| 2.5.1      | 常用仪表               | 94         |
| 2.5.2      | 常用仪器               | 98         |
| <b>第3章</b> | <b>单相电机修理</b>      | <b>102</b> |
| 3.1        | 单相电机常见故障及处理方法      | 102        |
| 3.1.1      | 单相电机常见故障及处理方法      | 102        |
| 3.1.2      | 单相感应电机故障及处理方法      | 104        |
| 3.1.3      | 电容器故障查找            | 108        |
| 3.1.4      | 两用电机故障修理           | 108        |
| 3.2        | 单相感应电机的机械检修        | 109        |
| 3.2.1      | 普通单相感应电机的机械检修      | 109        |
| 3.2.2      | 潜水电泵的机械检修          | 112        |
| 3.3        | 单相感应电机绕组重绕         | 117        |
| 3.3.1      | 电机绕组拆除             | 117        |
| 3.3.2      | 线圈制作               | 120        |
| 3.3.3      | 嵌线与接线              | 126        |

|            |                       |            |
|------------|-----------------------|------------|
| 3.3.4      | 浸漆与干燥 .....           | 130        |
| 3.4        | 两用电机电枢绕组重绕 .....      | 134        |
| 3.5        | 单相吊扇定子线圈重绕 .....      | 139        |
| 3.5.1      | 绕组拆除 .....            | 139        |
| 3.5.2      | 线圈缠绕 .....            | 140        |
| <b>第4章</b> | <b>三相低压电机修理</b> ..... | <b>142</b> |
| 4.1        | 三相低压电机常见故障及处理方法 ..... | 142        |
| 4.1.1      | 三相异步电机常见故障及处理方法 ..... | 142        |
| 4.1.2      | 绕组故障检修 .....          | 147        |
| 4.1.3      | 三相交流电机的机械检修 .....     | 148        |
| 4.2        | 三相电机散嵌型绕组重绕 .....     | 153        |
| 4.2.1      | 绕组拆除 .....            | 153        |
| 4.2.2      | 槽绝缘制作 .....           | 161        |
| 4.2.3      | 线圈制作 .....            | 167        |
| 4.2.4      | 嵌线 .....              | 168        |
| 4.2.5      | 接线 .....              | 173        |
| 4.2.6      | 浸漆 .....              | 173        |
| <b>第5章</b> | <b>直流电机修理</b> .....   | <b>177</b> |
| 5.1        | 直流电机常见故障及处理方法 .....   | 177        |
| 5.1.1      | 常见故障及处理方法 .....       | 177        |
| 5.1.2      | 直流电机故障查找方法 .....      | 181        |
| 5.1.3      | 直流电机故障修理方法 .....      | 183        |
| 5.2        | 定子线圈重绕 .....          | 192        |
| 5.2.1      | 励磁线圈重绕 .....          | 192        |
| 5.2.2      | 换向线圈重绕 .....          | 196        |
| 5.3        | 电枢绕组重绕 .....          | 201        |
| 5.3.1      | 绕组拆除 .....            | 201        |
| 5.3.2      | 线圈制作 .....            | 205        |
| 5.3.3      | 嵌线 .....              | 211        |
| <b>第6章</b> | <b>高压电机修理</b> .....   | <b>214</b> |



|            |                                  |            |
|------------|----------------------------------|------------|
| 6.1        | 高压电机常见故障及处理方法 .....              | 214        |
| 6.1.1      | 三相高压电机常见故障及处理方法 .....            | 214        |
| 6.1.2      | 高压电机定子绕组故障及处理方法 .....            | 215        |
| 6.1.3      | 高压电机机械修理 .....                   | 218        |
| 6.2        | 插入线棒式绕线电机修复线圈绝缘 .....            | 228        |
| 6.2.1      | 线圈拆除 .....                       | 228        |
| 6.2.2      | 恢复绝缘 .....                       | 232        |
| 6.2.3      | 嵌线 .....                         | 234        |
| 6.2.4      | 焊接、绑扎无纬带及浸漆 .....                | 237        |
| 6.3        | 三相高压电动机成形绕组重绕 .....              | 238        |
| 6.3.1      | 线圈制作 .....                       | 238        |
| 6.3.2      | 嵌线与接线 .....                      | 247        |
| <b>第7章</b> | <b>电机试验</b> .....                | <b>250</b> |
| 7.1        | 电机试验项目、周期和要求 .....               | 250        |
| 7.1.1      | 直流电机试验项目、周期和要求 .....             | 250        |
| 7.1.2      | 交流电机试验项目、周期和要求 .....             | 251        |
| 7.2        | 试验方法 .....                       | 254        |
| 7.2.1      | 直流电阻测量 .....                     | 254        |
| 7.2.2      | 泄漏电流试验 .....                     | 256        |
| 7.2.3      | 介质损耗测量 .....                     | 257        |
| 7.2.4      | 工频交流耐压试验 .....                   | 259        |
| 7.2.5      | 交流异步电机空转试验 .....                 | 262        |
| 7.2.6      | 交流异步电机空载试验 .....                 | 263        |
| 7.2.7      | 交流异步电机短路试验 .....                 | 264        |
| 7.2.8      | 直流电机空载试验 .....                   | 265        |
| <b>附录</b>  | <b>.....</b>                     | <b>267</b> |
| 附表1        | Y系列(IP44)三相异步电动机的主要技术数据 .....    | 267        |
| 附表2        | Y系列(IP23)三相异步电动机的主要技术数据 .....    | 274        |
| 附表3        | Y2系列(IP54)三相异步电动机的主要技术数据 .....   | 278        |
| 附表4        | Y2-E系列(IP54)三相异步电动机的主要技术数据 ..... | 287        |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 附表 5  | YX 系列高效率三相异步电动机的主要技术数据 .....                | 292 |
| 附表 6  | YR 系列(IP44)绕线式三相异步电动机的主要技术 .....            | 296 |
| 附表 7  | YR 系列(IP23)三相异步电动机的主要技术数据 .....             | 300 |
| 附表 8  | YZR 系列(IP44)绕线式三相异步电动机的主要<br>技术数据 .....     | 303 |
| 附表 9  | YZR2 系列绕线式三相异步电动机的主要技术数据 .....              | 306 |
| 附表 10 | YD 系列变极多速异步电动机的主要技术数据 .....                 | 311 |
| 附表 11 | YLJ 系列(IP21)三相实心钢转子电动机主要<br>技术数据 .....      | 318 |
| 附表 12 | YEP 系列(IP44)旁磁制动电动机的主要技术数据 .....            | 320 |
| 附表 13 | YQS 系列井用潜水电机的主要技术数据 .....                   | 321 |
| 附表 14 | YQS2 系列井用潜水电机的主要技术数据 .....                  | 323 |
| 附表 15 | YQSY 系列充油式井用潜水电机的主要技术数据 .....               | 325 |
| 附表 16 | 三相潜水电泵电动机的主要技术数据 .....                      | 327 |
| 附表 17 | YLB 系列立式深井泵用三相异步电动机的主要<br>技术数据 .....        | 330 |
| 附表 18 | YB2 系列低压隔爆型电动机的主要技术数据 .....                 | 332 |
| 附表 19 | YA 系列低压增安型电动机的主要技术数据 .....                  | 336 |
| 附表 20 | Y 系列中型高压三相异步电机技术数据<br>(6kV、大直径) .....       | 340 |
| 附表 21 | Y 系列中型高压三相异步电机技术数据<br>(6kV、小直径) .....       | 343 |
| 附表 22 | YR 系列中型高压绕线转子三相异步电机技术<br>数据表(6kV、大直径) ..... | 346 |
| 附表 23 | YB 系列高压隔爆型电动机的主要技术数据 .....                  | 348 |
| 附表 24 | TSWN、TSN 系列小容量水轮发电机的主要技术数据 .....            | 350 |
| 附表 25 | Z3 系列直流电动机技术数据 .....                        | 353 |
| 附表 26 | Z4 系列直流电动机的主要技术数据 .....                     | 366 |
| 参考文献  | .....                                       | 372 |

# 第1章 电机修理基本知识

## 1.1 常用基本知识

### 1.1.1 电工学基本知识

#### 1. 电子与电荷

电荷是物质固有的一种特性,它既不能创生,也不能消灭,只能转移,自然界不存在脱离物质而单独存在的电荷。自然界中只存在正、负两种电荷。正常情况下,物体所带正电荷和负电荷的数量相等,对外界表现为不带电,只有当由于某种原因使得负电荷多于(或少于)正电荷时,这个物体才表现为带电。

两个带电荷的物体之间总是存在相互作用力,同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引。电量用来衡量物体携带电荷的多少,用字母  $Q$  表示,单位用电子电荷数目来表示,但实际使用时这个单位太小,采用库仑(C)作为电量的单位。1 库仑 =  $6.25 \times 10^{18}$  个电子电荷。

#### 2. 电流

单位时间内通过导体截面积的电量称为电流,用字母  $I$  表示,  $I = Q/t$ , 单位为安培(A)。规定正电荷移动的方向为电流的正方向。

大小和方向都不随时间变化的电流叫做恒定电流,也叫做直流电流,也称直流电。大小和方向都随时间变化的电流叫做交流电流,也称交流电。

单位横截面积上通过的电流大小称为电流密度,用  $J$  表示,  $J = I/S$ , 单位为安培/米<sup>2</sup> ( $A/m^2$ )。

#### 3. 电场

带电体周围存在着一种特殊的物理场叫做电场。

电荷在电场中要受到电场力的作用而发生运动,因此,可以认为电荷在电场中具有电位能。单位正电荷在电场中某点所具有的电位能叫做这一点

的电位,单位为伏特(V)。

电场中任意两点之间的电位之差叫做电位差,也叫做电压,用字母  $U$  表示,单位是伏特(V)。

#### 4. 电动势

电动势等于电源力将单位正电荷从电源负极移动到电源正极所做的功,用字母  $E$  表示,单位是伏特(V)。

#### 5. 磁现象

凡具有吸引铁、镍、钴等物质的性质称为磁性。

具有磁性的物质叫做磁体。

在磁体的两端各有一个磁性最强的区域,称为磁极,并且同一磁体的两个磁极有着不同的性质,即磁南极(S极)和磁北极(N极)。在磁极之间具有“同性相斥,异性相吸”的特性。

#### 6. 磁场与磁力线

磁体之间相互吸引或排斥的力称为磁力。磁体周围存在磁力作用的区域称为磁场。

为了直观、形象地描述磁场的方向和强弱而引出磁力线的概念,并规定:在磁体的外部磁力线由N极指向S极,在磁体的内部磁力线由S极指向N极,使磁力线在磁体内外形成一条条闭合的曲线。曲线上任何一点的切线方向表示该点的磁力线方向,也就是小磁针在磁力作用下静止时N极所指的方向。通常用磁力线方向来表示磁场方向。用磁力线的疏密程度表示磁场的强弱。磁力线越密,磁场越强;磁力线越疏,磁场越弱。

垂直穿过磁场中某一截面的磁力线条数叫做磁通,用字母  $\Phi$  表示,单位韦伯(Wb)。反映了磁场中这一截面上磁场的强弱。

单位面积垂直穿过的磁力线条数,称为磁通密度,也叫做磁感应强度,用字母  $B$  表示, $B = \Phi/S$ ,单位特[斯拉](T)。

磁感应强度不仅有大小,而且有方向。磁感应强度的方向就是磁场的方向,也就是小磁针N极在该点的指向。

磁导率是用来表示物质磁性的物理量,衡量物质的导磁能力,用字母  $\mu$  表示,单位亨利/米(H/m)。真空磁导率  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m。

任何一种物质的磁导率与真空的磁导率的比值称为该物质的相对磁导率,用字母  $\mu_r$  表示,无量纲。

磁场中磁感应强度的大小不仅与产生磁场的电流有关,还与磁场中的介质有关,为了便于计算,通常用磁场强度来表示磁场。磁场强度用字母  $H$

表示,  $H = B/\mu$ , 单位安培/米(A/m)。磁场强度的大小与磁场中的介质无关, 方向与所在点的磁感应强度方向一致。

## 7. 电流的磁场

在电流的周围存在着磁场, 这种现象称为电流的磁效应。

直导线周围的磁场方向由右手安培定则判定: 用右手握住通电导体, 让拇指指向电流方向, 则弯曲四指的指向就是直导线周围的磁场方向, 如图 1-1 所示。

螺旋管内部的磁场方向由右手螺旋定则判定: 用右手握住通电线圈, 让弯曲四指指向线圈电流方向, 则拇指所指方向就是线圈内部的磁场方向, 如图 1-2 所示。

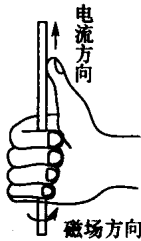


图 1-1 安培定则

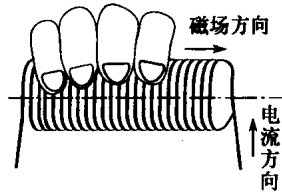


图 1-2 右手螺旋定则

## 8. 电磁感应

当穿过闭合回路所包围面积中的磁通量发生变化时, 回路中就会产生电流, 这种现象叫做电磁感应现象。回路中产生的电流叫做感应电流。另一种现象: 当闭合回路中的一段导线在磁场中运动, 并切割磁力线时, 导体中也会产生电流。

直线导体与磁场相对运动而产生的感应电动势  $e$  与导体切割磁力线速度  $v$ 、导体长度  $L$  和导体所处的磁感应强度  $B$  有关, 若导体运动方向与磁力线之间的夹角为  $\alpha$ , 则感应电动势为

$$e = BLv\sin\alpha$$

直线导体感应电动势的方向可用右手定则判定: 伸开右手, 让拇指与其余四指垂直并在一个平面内, 使磁力线穿过掌心, 拇指指向切割磁力线的运动方向, 四指所指的方向就是感应电动势的方向, 如图 1-3 所示。

线圈中磁通变化而产生的感应电动势  $e$  的大小与穿过线圈的磁通变化率有关, 若线圈的匝数为  $N$ , 则感应电动势为

$$e = \left| N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$$

线圈中感应电动势的方向由楞次定律判定:感应电流产生的磁通总是阻碍原磁通的变化。也就是说,当线圈中的磁通增大时,感应电流产生的磁通与原磁通方向相反;当线圈中的磁通减少时,感应电流产生的磁通与原磁通方向相同。

### 9. 磁场对电流的作用

处在磁场中的通电导体会受到力的作用,这种作用称为电磁力,可表示为

$$F = BIL\sin\alpha$$

电磁力的方向由左手定则判定:伸开左手,让拇指与其余四指垂直并在同一平面内,使磁力线穿过手心,四指指向电流方向,拇指所指方向就是通电导体所受到的电磁力的方向,如图 1-4 所示。

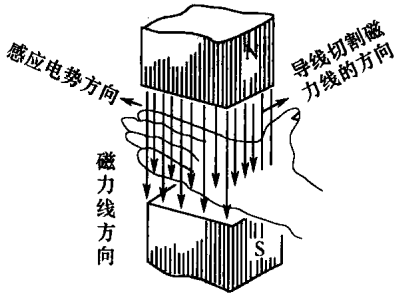


图 1-3 右手定则

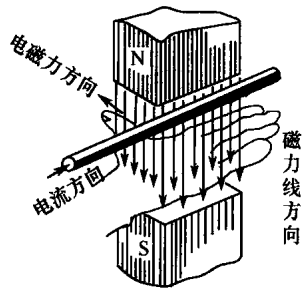


图 1-4 左手定则

### 10. 电路

电流通过的路径称为电路。一个完整的电路由电源、负载、输电导线和控制设备组成。对电源来讲,负载、输电导线和控制设备等称为外电路。电源内部的一段称为内电路。

电路分为通路、断(开)路和短路三种工作状态。

### 11. 正方向

习惯上,规定正电荷运动的方向(即负电荷运动的反方向)为电流的方向。但在分析较为复杂的电路时往往难于事先判断某支路中电流的实际方向,为此,常任意假定一个方向作为电流的正方向(或称为参考方向)。当电流的实际方向与其正方向一致时,则电流为正值;当电流的实际方向与其正方向相反时,则电流为负值。

在电路图中电流的正方向一般用箭头表示,也可用双下标表示,例如, $I_{ab}$ 表示电流的正方向由 a 点指向 b 点。

电压、电动势和电流一样,也同样具有方向性。电压方向规定:由高电位端指向低电位端,也就是电位降低的方向。电源内部电动势方向规定:由低电位端指向高电位端,也就是电位升高的方向。在电路分析中,电压、电动势的正方向也是可以任意规定的,其正方向的表示方法与电流的正方向表示方法完全相同。

## 12. 电阻及其连接

导体能导电,同时对电流有阻力,这种阻碍电流通过的能力称为电阻,用字母  $R$  或  $r$  表示,单位为欧[姆]( $\Omega$ )。

当温度一定时,导体的电阻不仅与其长度和横截面积有关,而且与导体材料自身的电阻率有关。电阻率是衡量物体导电性能好坏的一个物理量,用字母  $\rho$  表示,单位为欧姆·米( $\Omega \cdot \text{m}$ )。其数值是指导体的长度为 1m、截面积为  $1\text{mm}^2$  的均匀导体在温度为  $20^\circ\text{C}$  时所具有的电阻值。由此可见

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

表示物质的电阻率随温度而变化的物理量,称为电阻的温度系数。其数值等于温度每升高  $1^\circ\text{C}$  时,电阻率的变化量与原来的电阻率的比值,用字母  $\alpha$  表示,单位为  $1/^\circ\text{C}$ 。

### 1) 电阻串联

将两个或两个以上的电阻元件顺序地连接在一起,构成一条无分支的电路,称为串联电阻电路,如图 1-5 所示。

串联电阻电路有以下特点:

(1) 串联电阻电路中的等效电阻等于各个串联电阻之和,即

$$R = R_1 + R_2$$

(2) 串联电阻电路中流过每个电阻的电流都相等,并且等于总电流,即

$$I = I_1 = I_2$$

(3) 串联电阻电路的总电压等于各个串联电阻两端电压之和,即

$$U = U_1 + U_2$$

(4) 串联电阻电路中的各个电阻上所分配的电压与各自的电阻值成正比,即

$$\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$$

## 2) 电阻并联

将两个或两个以上的电阻元件都连接在两个共同端点之间,构成一条多分支的电路,称为并联电阻电路,如图 1-6 所示。

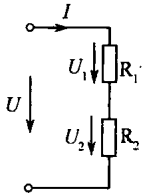


图 1-5 串联电阻电路

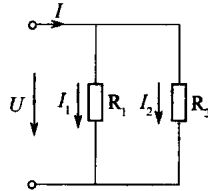


图 1-6 并联电阻电路

并联电阻电路有以下特点:

(1) 并联电阻电路中各个电阻两端的电压都相等,并且等于总电压,即

$$U = U_1 = U_2$$

(2) 并联电阻电路的总电流等于各个并联电阻两端电流之和,即

$$I = I_1 + I_2$$

(3) 并联电阻电路中的等效电阻的倒数等于各个并联电阻的倒数之和,即

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

(4) 并联电阻电路中的各个电阻上所分配的电流与各自的电阻值成反比,即

$$IR = I_1 R_1 = I_2 R_2$$

## 13. 欧姆定律

在一段电路中,流过该段的电流与电路两端的电压成正比,与该段电路的电阻成反比,可表示为

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

欧姆定律是电路中不含电源的情况,在实际工作中有时电源  $E$  的内电阻  $r_0$  不可忽略,这时欧姆定律写为

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

这个公式称为全电路欧姆定律。

## 14. 单相交流电

交流电的大小和方向都是随时间变化的,按正弦规律变化的交流电称



为正弦交流电。通常所说的交流电都是指正弦交流电。

交流电流在 1s 内电流方向改变的次数称为频率,用字母  $f$  表示,单位为赫兹 (Hz)。我国工频交流电的频率为 50Hz。

如果某一交流电流通过一个纯电阻,在一个周期内所发出的热量与某一直流电流在同一电阻内所发出的热量相等时(也就是两者发热效应等效),则这个直流电流的数值就是该交流电流的有效值,用大写字母表示。

电压、电流、电动势在一个周期内的最大瞬时值叫做最大值或振幅,用大写字母表示,下标为  $m$ 。最大值是有效值的 $\sqrt{2}$ 倍。

正弦交流电可以用正弦函数表示,例如,交流电压可表示为

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

式中: $\omega$  为圆频率, $\omega = 2\pi f$ ;  $\varphi$  为初相角。

频率为基波频率倍数的正弦波叫做谐波。非正弦波可以看作一系列谐波之和。

## 15. 电感

当交流电流流过线圈时,交变的电流将在线圈中产生变化的磁场,这一变化的磁场同时又在线圈自身产生感应电动势,这一现象叫做自感现象。

穿过线圈的磁通与产生磁通的电流之间的比值,叫做线圈的自感,用字母  $L$  表示,单位为亨利(H)。

当两个线圈相互靠近,其中一个线圈的电流变化,引起穿过另一个线圈所包围的磁通变化,而产生感应电动势的现象,叫做互感现象。由第一个线圈的电流而产生而与第二个线圈相关联的磁通同该电流的比值,叫做第一个线圈对第二个线圈的互感,用字母  $M$  表示,单位为亨利(H)。

通常把自感和互感统称为电感。

当电感线圈两端加上交流电压时,就有交流电流通过,电感线圈中将产生自感电动势,从而阻碍电流的变化,所以,电感线圈中交流电流的变化总是滞后交流电压的变化。电感阻碍交流电流通过的这种作用称为感抗,用字母  $X_L$  表示, $X_L = 2\pi fL$ ,单位为[欧姆]( $\Omega$ )。

交流负载中只有电感的交流电路称为纯电感电路。纯电感电路中,加在电感上的交流电压超前流过电感的电流  $90^\circ$ ,并且它们之间的关系在数值上也满足欧姆定律。