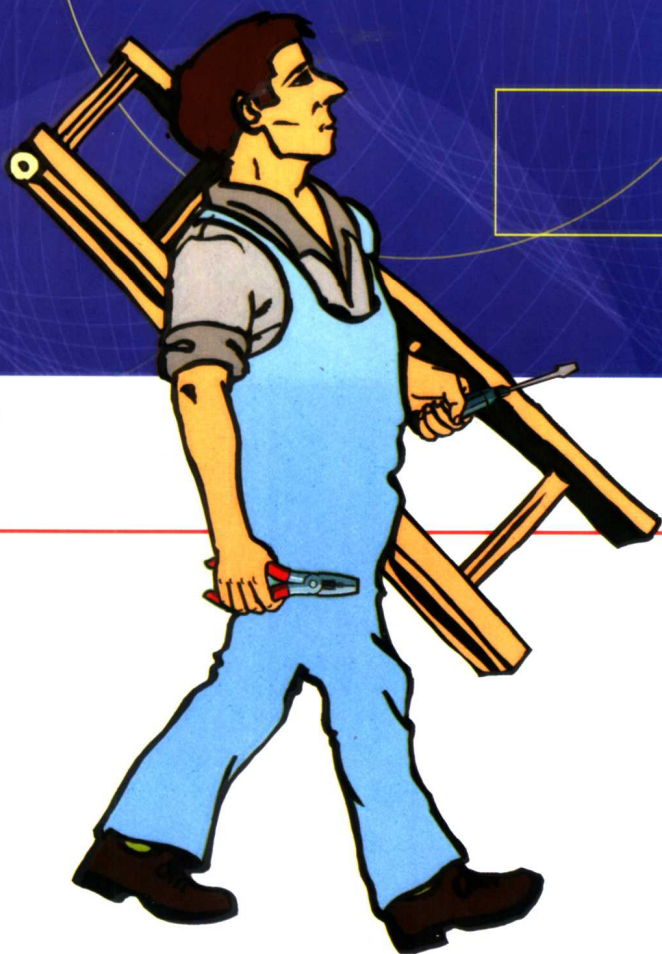


职业技能上岗培训教材

维修电工

(中级)

张朝英 主编
肖学东 主审



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

职业技能上岗培训教材

维修电工(中级)

张朝英 主编
肖学东 主审

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

维修电工. 中级/张朝英主编. —北京: 人民邮电出版社, 2004.1

职业技能上岗培训教材

ISBN 7-115-11531-1

I. 维 ... II. 张 ... III. 电工 - 维修 - 技术培训 - 教材 IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 076426 号

内 容 提 要

本书为中级维修电工的上岗培训技能鉴定教材, 其内容按照《维修电工国家职业标准》的规定编写。内容包括基础知识、晶闸管交流技术、直流电动机及特种电机、常用生产机械电气控制线路等。

本书的特点是将理论知识与技能训练融为一体, 标准新、针对性和实用性强。本书特别适用于参加职业等级鉴定、上岗培训的人员, 同时也可供技工学校、广大维修电工人员参考和自学之用。

职业技能上岗培训教材 维 修 电 工 (中 级)

◆ 主 编 张朝英
主 审 肖学东
责任编辑 张 鹏

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67129264
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京朝阳展望印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 8.5

字数: 201 千字

2004 年 1 月第 1 版

印数: 1-5 000 册

2004 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-11531-1/TN · 2143

定价: 12.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

维修电工职业技能上岗培训教材

编 委 会

主 任： 王杰恩 吕晓春

副 主 任： 胡本进 孙国旗 沙岩玉 王晓丹

委 员： 王宗贵 张朝英 朱学忠 巩华荣 李树岭
赵桂珍 姚予疆 唐素荣

执行委员： 李树岭 赵桂珍

丛 书 前 言

中华人民共和国劳动和社会保障部于2002年5月颁发了《维修电工国家职业标准》。该标准以从事机械设备和电气、系统线路及器件等的安装、调试与维护、修理人员为对象，共设初级、中级、高级、技师和高级技师等5个等级。

为了贯彻和实施这个标准，人民邮电出版社组织了高等职业院校和相关行业的技术专家和考评人员编写了这套《维修电工职业技能上岗培训教材》。这套教材共分两册，即《维修电工(初级)》和《维修电工(中级)》。每册书的内容严格按照《维修电工国家职业标准》限定的范围，并且根据初级和中级等级的知识要求和专业技能的要求来编写。

本套教材打破了以往教材理论知识与技能操作相分离的传统，吸取了最新的职业培训“一体化”教材的编写理念，将理论与实践技能融为一体。既突出了考核、鉴定的针对性和实用性，又兼顾了实践中的典型事例和新技术、新材料，符合就业人员上岗培训、鉴定和就业工作的需要。

本套教材不仅适合作为上岗培训、职业鉴定教材，同时也可供职业学校、技工学校师生和技术人员学习参考和自学。

由于时间仓促，不足之处在所难免，欢迎使用单位和个人提出宝贵意见和建议。

维修电工职业技能上岗培训教材编委会

前 言

中国加入 WTO 后，企业对就业上岗人员的技能素质要求越来越高，使得岗前培训愈发朝气蓬勃。为了进一步完善国家职业标准体系，中华人民共和国劳动和社会保障部 2002 年 5 月颁布了最新的《维修电工国家职业标准》。针对这一新情况和原有相关培训教材的不足，为了满足岗前培训的需要，我们依据最新颁布的《维修电工国家职业标准》，组织一批有经验的专家和教师编写了中级维修电工上岗培训教材。

本书的内容紧扣《维修电工国家职业标准》规定的范围、知识和技能要求，由浅入深、通俗易懂地阐述了中级维修电工上岗考核鉴定的基础知识、专业知识和操作技能等相关内容。教材打破了以往教材理论知识与技能操作相分离的传统，吸取了最新的职业培训“一体化”教材的编写理念，将理论与实践技能融为一体，既突出了考核、鉴定的针对性和实用性，又兼顾了实践中的典型事例和新技术、新材料，符合就业人员上岗培训、鉴定和就业工作的需要。

本书编写分工如下：张朝英、董小宁编写第 1 章，陈立成、李菊、王玲编写第 2 章，王世桥、高学民、蒋家响编写第 3 章，赵冰、邵笑梅编写第 4 章，肖学东、王宗贵审稿。

本教材不仅适合作为上岗培训、职业鉴定教材，同时也可供职业学校、技工学校师生和技术人员学习参考和自学。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 基础知识	1
1.1 电工基础知识	1
1.1.1 复杂直流电路的计算	1
1.1.2 单相正弦交流电路	5
1.1.3 三相交流电路	13
1.2 常用电子仪器仪表	16
1.2.1 示波器	16
1.2.2 晶体管特性图示仪	18
1.2.3 直流电桥	18
1.3 明暗电线及电器元件的选用知识	20
1.3.1 明暗电线的选用知识	20
1.3.2 电器元件的选用知识	21
1.4 质量管理知识	23
1.4.1 企业的质量方针与要求	23
1.4.2 岗位的质量保证措施与责任	24
练习题	27
第 2 章 晶闸管变流技术	28
2.1 晶闸管可控整流电路	28
2.1.1 晶闸管	28
2.1.2 可控整流电路	30
2.2 电子线路的焊接与测试	35
2.2.1 烙铁钎焊知识	35
2.2.2 晶闸管调速器电路的焊接与测试	40
2.2.3 晶闸管调功器电路的焊接与测试	43
练习题	47
第 3 章 直流电动机及特种电机	48
3.1 直流电动机	48
3.1.1 直流电动机的构造与原理	48
3.1.2 直流电动机的使用	60
3.1.3 电机的拆装与检修	61
3.2 特种电机	70
3.2.1 同步电机	70

3.2.2 测速发电机	72
3.2.3 伺服电动机	73
3.2.4 电磁调速异步电动机	74
3.2.5 交磁电机扩大机	76
3.2.6 电磁调速异步电动机、交磁扩大机及同步电动机的检修	77
练习题	81
第4章 常用生产机械电气控制线路	83
4.1 较复杂机械的电气读图、测绘及配线安装知识	83
4.1.1 电气读图与测绘	83
4.1.2 较复杂机械设备主电路与控制电路配电板的配线与安装	85
4.1.3 工业机械电气设备维修的一般要求和方法	92
4.2 X62W 万能铣床控制线路的安装、调试与检修	96
4.2.1 控制线路分析	96
4.2.2 X62W 万能铣床电气线路的安装、调试与检修	100
4.3 M7130 平面磨床控制线路的安装、调试与检修	103
4.3.1 控制线路分析	103
4.3.2 M7130 平面磨床电器控制电路的安装、调试与检修	106
4.4 MGB1420 磨床控制线路的安装、调试与检修	110
4.4.1 磨床电路分析	110
4.4.2 磨床电路的安装和调试	114
4.4.3 磨床电路常见故障及排除方法	114
练习题	116
附录	117
模拟试题一	117
模拟试题二	123

第1章 基础知识

1.1 电工基础知识

1.1.1 复杂直流电路的计算

凡是不能用串、并联特点将电路简化为一个单回路的电路都称为复杂电路。

有关复杂电路的几个名词：

支路——由一个或几个元件首尾相接构成的一段无分支电路。

节点——三条或三条以上支路的连接点叫做节点。

回路——电路中任意一条闭合路径称为回路。

网孔——内部不含支路的回路称为网孔。

一、基尔霍夫定律

1. 基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律也称节点电流定律。其内容为对于电路中的任意一个节点，流入节点的电流之和等于流出节点的电流之和，其表达式为

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad \text{或} \quad \sum I = 0 \quad (1-1-1)$$

如图 1-1-1 所示，根据基尔霍夫第一定律可列出：

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$$

或

$$I_1 + I_3 - I_2 - I_4 - I_5 = 0$$

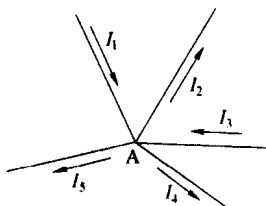


图 1-1-1 节点电流

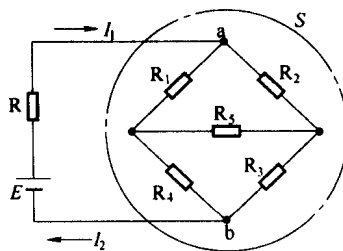


图 1-1-2 流入流出闭合曲面的电流相等

基尔霍夫第一定律不仅适用于节点，也可推广应用于任意假定的封闭面。如图 1-1-2 所示，可得：

$$I_1 = I_2$$

2. 基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律又称回路电压定律，其内容为对于电路中的任一回路，沿回路绕行方向的各段电压的代数和恒为零，或者对于电路中的任一回路，沿回路绕行方向，各电阻上电压的代数和恒等于电动势的代数和，其表达式为

$$\sum U = 0 \quad \text{或} \quad \sum IR = \sum E \quad (1-1-2)$$

正负号的取法：对于 $\sum U$ ，沿回路绕行方向，电位降落的压降取正，反之取负；对于 $\sum IR$ ，与回路绕行方向相同的电流在电阻上产生的压降取正，反之取负；对于 $\sum E$ ，与回路绕行方向相同的电动势取正，反之取负。

如图 1-1-3 所示，应用基尔霍夫第二定律可列出回路 abcdea 的电压方程式为

$$I_3 R_3 + E_2 - I_2 R_2 + I_1 R_1 - E_1 = 0$$

或

$$I_3 R_3 - I_2 R_2 + I_1 R_1 = E_1 - E_2$$

二、支路电流法

所谓支路电流法，就是以各支路电流作为未知量，应用基尔霍夫定律列出方程式，联立求解各支路电流的方法。如某电路具有 n 条支路， m 个节点，则可以列出 $m - 1$ 个节点电流方程， $n - (m - 1)$ 个回路电压方程。如图 1-1-4 所示，电路有 3 条支路，3 个未知量，需要列 3 个方程式，才能求出 3 个支路电流。

应用支路电流法解题的具体步骤如下：

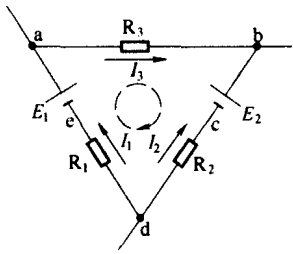


图 1-1-3 回路电压

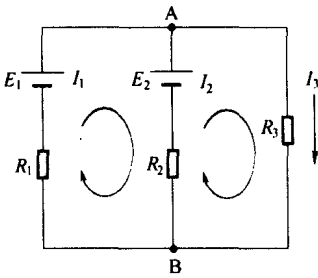


图 1-1-4 应用支路电流法求解的电路

- (1) 首先假设各支路电流方向和回路的绕行方向。
- (2) 根据基尔霍夫第一定律列出独立节点电流方程。
- (3) 根据基尔霍夫第二定律列出独立回路电压方程。
- (4) 求解方程组。

例 1-1-1 如图 1-1-4 所示，已知 $E_1 = 7\text{V}$ ， $E_2 = 6.2\text{V}$ ， $R_1 = R_2 = 0.2\Omega$ ， $R_3 = 3.2\Omega$ ，求各支路的电流。

解：根据图中标出的电流方向和回路的绕行方向，可列出方程组为

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 - E_2 \\ I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2 \end{cases} \quad \begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ 0.2 I_1 - 0.2 I_2 = 7 - 6.2 \\ 0.2 I_2 + 3.2 I_3 = 6.2 \end{cases}$$

解方程组得：

$$\begin{cases} I_1 = 3 \text{ (A)} \\ I_2 = -1 \text{ (A)} \\ I_3 = 2 \text{ (A)} \end{cases}$$

注意：电流为负值，说明该支路电流的实际方向与参考方向相反。

三、节点电压法

在复杂电路的计算中，有时会遇到这样的电路，其支路较多而节点较少。对于这样的电路，用节点电压法计算各支路的电流就比较简单。

节点电压法是以两个节点之间的电压为未知量，先求出节点电压，然后根据欧姆定律求出各支路电流的方法。

应用节点电压法解题的具体步骤如下：

(1) 选定节点电压的正方向。

(2) 根据公式求出节点电压。节点电压 U 等于各支路电动势除以电阻的代数和与各支路电阻的倒数之和的比值，其计算公式为

$$U = \frac{\sum (E/R)}{\sum (1/R)} \quad (1-1-3)$$

(3) 根据欧姆定律求出各支路电流，各支路电流的计算公式为

$$I_n = \frac{E_n - U}{R_n} \quad (1-1-4)$$

注意：公式(1-1-3)和(1-1-4)中的电阻均取正值；电动势指向假定的高电位节点取正值，反之取负值。

例 1-1-2 用节点电压法求图 1-1-4 中各支路的电流。

$$\text{解：因为 } U_{AB} = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{\frac{7}{0.2} + \frac{6.2}{0.2}}{\frac{1}{0.2} + \frac{1}{0.2} + \frac{1}{3.2}} = \frac{35 + 31}{5 + 5 + 0.31} = 6.4 \text{ (V)}$$

所以各支路电流为

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{E_1 - U_{AB}}{R_1} = \frac{7 - 6.4}{0.2} = 3 \text{ (A)} \\ I_2 &= \frac{E_2 - U_{AB}}{R_2} = \frac{6.2 - 6.4}{0.2} = -1 \text{ (A)} \\ I_3 &= \frac{U_{AB}}{R_3} = \frac{6.4}{3.2} = 2 \text{ (A)} \end{aligned}$$

四、戴维南定理

对于复杂电路，有时不要求出所有支路的电流，只需求出某一支路的电流即可，此时

采用戴维南定理计算就比较方便。

任何具有两个出线端的电路都称为二端网络，含有电源的二端网络称为有源二端网络。戴维南定理指出：任何一个有源二端网络对外都可以用一个等效电压源来代替，这个等效电压源的电动势等于该网络的开路电压，其内阻等于该网络的入端电阻（即网络中各个电压源的电动势短接，各个电流源开路时，两出线端间的等效电阻）。

应用戴维南定理解题的具体步骤如下：

(1) 把电路分成待求支路和有源二端网络两部分。

(2) 求出有源二端网络的开路电压（即等效电压源的电动势），并求出等效电压源的等效内阻。

(3) 画出有源二端网络的等效电路，再接入待求支路，求出该支路的电流。

例 1-1-3 如图 1-1-5 (a) 所示，已知 $E_1 = 10\text{V}$, $E_2 = 4\text{V}$, $R_1 = R_2 = R_6 = 2\Omega$, $R_3 = 1\Omega$, $R_4 = 10\Omega$, $R_5 = 8\Omega$ 。求通过 R_3 的电流。

解：① 首先移开 R_3 ，如图 1-1-5 (b) 所示，求开路电压 U_{AB} 。

如图所示，
$$I = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 - 4}{2 + 2} = 1.5 \text{ (A)}$$

则
$$E = U_{AB} = IR_2 + E_2 = 1.5 \times 2 + 4 = 7 \text{ (V)}$$

② 如图 1-1-5 (c) 所示，把电压源电动势短接，然后求等效内阻 r 。

$$r = R_{AB} = R_1 // R_2 + R_4 // (R_5 + R_6) = 1 + 5 = 6 \text{ (}\Omega\text{)}$$

③ 画出等效电路，如图 1-1-5 (d) 所示，则通过 R_3 的电流 I_3 为

$$I_3 = \frac{E}{R_3 + r} = \frac{7}{6 + 1} = 1 \text{ (A)}$$

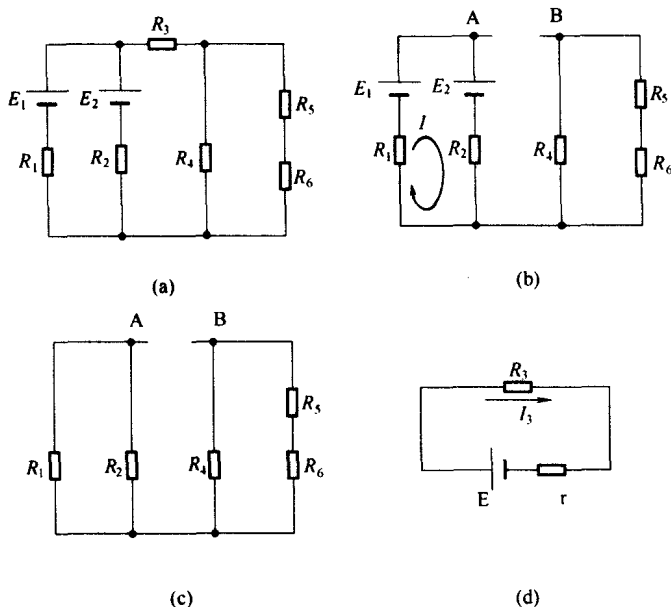


图 1-1-5 应用戴维南定理求解的电路

五、电压源、电流源的等效变换

掌握电压源与电流源的概念以及它们之间的等效变换, 能使某些复杂电路的分析计算大为简化。

1. 电压源和电流源的概念

用一个恒定的电动势 E 与内阻 r_0 串联所表示的电源称为电压源, 当内阻等于零, 输出电压恒定时, 这样的电压源称为理想电压源。用一个恒定的电流 I_s 与内阻 r_s 并联所表示的电源称为电流源, 当内阻为无穷大, 输出电流恒定时, 这样的电流源称为理想电流源。

2. 电压源与电流源的等效变换

一个电源既可以用电压源表示, 也可以用电流源表示, 它们之间可以进行等效变换。变换后, 电源对外电路来说是等效的, 其方法如下:

- ① 电压源若用电流源等效代替, 则电流源 $I_s = \frac{E}{r_0}$, 其内阻与电压源内阻相同(即 $r_s = r_0$)。
- ② 电流源若用电压源等效代替, 则电压源 $E = I_s \cdot r_s$, 其内阻与电流源内阻相同(即 $r_0 = r_s$)。

例 1-1-4 如图 1-1-6 (a) 所示, 已知 $E_1 = 12\text{V}$, $E_2 = 6\text{V}$, $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 6\Omega$, $R_3 = 10\Omega$, 求电阻 R_3 上的电流。

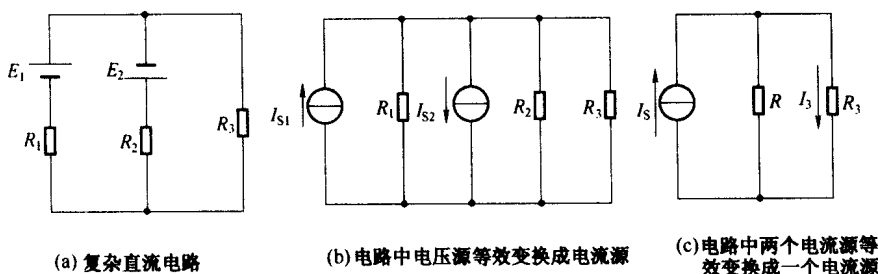


图 1-1-6 应用电源等效变换求解的电路

解: ① 先将电路中的两个电压源等效变换成两个电流源, 如图 1-1-6 (b) 所示, 其中

$$I_{s1} = \frac{E_1}{R_1} = \frac{12}{3} = 4 \text{ (A)} \quad I_{s2} = \frac{E_2}{R_2} = \frac{6}{6} = 1 \text{ (A)}$$

② 将这两个电流源合并为一个等效电流源, 如图 1-1-6 (c) 所示, 其中

$$I_s = I_{s1} - I_{s2} = 3 \text{ (A)} \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2 \text{ (}\Omega\text{)}$$

③ 求得 R_3 上的电流为: $I_3 = \frac{R}{R_3 + R} I_s = \frac{2}{10 + 2} \times 3 = 0.5 \text{ (A)}$

1.1.2 单相正弦交流电路

一、单相交流电路的分析计算

1. 纯电阻电路

交流电路中如果只有线性电阻, 这种电路叫做纯电阻电路。

如图 1-1-7 (a) 所示, 设加在电阻两端的电压 $u_R = U_{Rm} \sin \omega t$, 因交流电流与电压的瞬时值符合欧姆定律, 则:

$$i = u_R / R = \frac{U_{Rm}}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t \quad (1-1-5)$$

由此可见, 纯电阻电路中电阻两端的电压与电流同相位。即电压与电流的相位差

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i = 0$$

纯电阻电路的电压与电流的矢量图如图 1-1-7 (b) 所示。

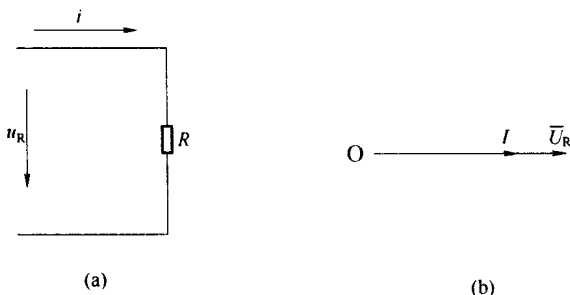


图 1-1-7 纯电阻电路

注意: 其中 φ 也叫做电路的阻抗角, 其大小等于电路中总电压与电流的相位差。阻抗角有正有负, 正表示电压超前电流一个 φ 角, 负表示电压落后电流一个 φ 角。

由式(1-1-5)可以看出电压与电流的大小关系为:

$$I_m = \frac{U_{Rm}}{R} \quad \text{或} \quad I = \frac{U_R}{R} \quad (1-1-6)$$

我们把电压的瞬时值与电流的瞬时值的乘积称为瞬时功率, 用小写字母 p 表示。

$$\begin{aligned} p &= U_{Rm} \sin \omega t I_m \sin \omega t = U_{Rm} I_m \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} U_{Rm} I_m (1 - \cos 2\omega t) \\ &= U_R I - U_R I \cos 2\omega t \end{aligned}$$

由上式可以看出, 瞬时功率在一个周期内的平均值不为零, 故电阻是消耗电能的, 因此我们称电阻为耗能元件。我们把瞬时功率在一个周期内的平均值称为平均功率, 也称为有功功率, 用大写字母 P 表示。由数学计算导出:

$$P = U_R I = I^2 R = \frac{U_R^2}{R} \quad (1-1-7)$$

2. 纯电感电路

如图 1-1-8 (a) 所示, 在交流电路中, 如果负载只有电感线圈, 而且线圈的电阻和分布电容可以忽略不计时, 这样的电路称为纯电感电路。

当交流电通过线圈时, 线圈中将产生自感电动势来阻碍电流的变化。根据电压与电动势的关系和法拉第电磁感应定律, 得出

$$u_L = -e_L = -\left(-L \frac{\Delta i}{\Delta t}\right) = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

设电流为 $i = I_m \sin \omega t$, 代入上式经数学计算可得出:

$$u_L = \omega L I_m \sin (\omega t + 90^\circ) = U_{Lm} \sin (\omega t + 90^\circ) \quad (1-1-8)$$

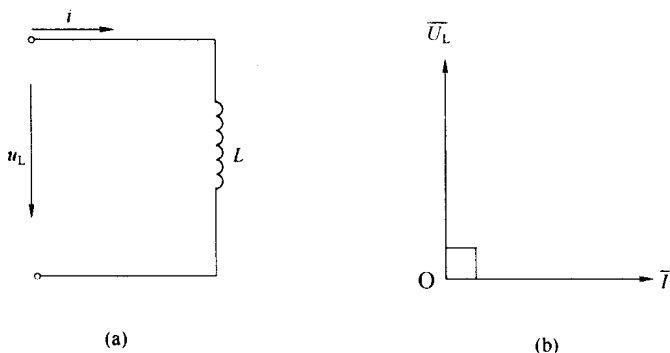


图 1-1-8 纯电感电路

由此可看出, 纯电感电路两端的电压超前其电流 90° 的相位角, 即阻抗角

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i = 90^\circ$$

纯电感电路的电压与电流的矢量图如图 1-1-8 (b) 所示。

由式(1-1-8)可看出, 电压与电流的大小关系为:

$$U_{Lm} = \omega L I_m = X_L I_m \quad \text{或} \quad U_L = \omega L I = X_L I \quad (1-1-9)$$

式(1-1-9)中的 $X_L = \omega L = 2\pi fL$ 称为感抗, 表示电感线圈对交流电的阻碍作用, 单位是欧姆(Ω)。由 $X_L = 2\pi fL$ 可知, 频率越高, 感抗越大; 频率越低, 感抗越小, 故电感线圈具有“隔交通直”的作用。

由纯电感电路的瞬时功率为

$$\begin{aligned} p &= u_L i = U_{Lm} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) I_m \sin \omega t = U_{Lm} I_m \sin \omega t \cos \omega t \\ &= \frac{1}{2} U_{Lm} I_m \sin 2\omega t = U_L I \sin 2\omega t \end{aligned}$$

可以看出电感元件的瞬时功率在一个周期内的平均功率为零, 即纯电感元件在交流电路中不消耗电能, 是一个储能元件。虽然纯电感元件不消耗电能, 但纯电感元件与电源之间在不断地进行周期性的能量交换。为了反映电感线圈与电源之间能量交换的规模, 我们把电感元件瞬时功率的最大值, 叫做电感元件的无功功率, 用 Q_L 表示。

$$Q_L = U_L I = I^2 X_L = \frac{U_L^2}{X_L} \quad (1-1-10)$$

为了与有功功率相区别, 无功功率用乏 (Var) 做单位。

3. 纯电容电路

如图 1-1-9 (a) 所示, 在交流电路中, 如果负载只有电容器, 而且电容器的绝缘电阻很大, 介质损耗和分布电容均可忽略不计时, 这样的电路就叫做纯电容电路。

电容器接在交流电路中, 由于外加电压不断变化, 电路中出现持续的充、放电电流, 且电容器两端的电压随着极板上电荷的积累和释放而变化。

理论证明, 电容器充放电的电流与电容器的电容量和电容器两端电压的变化率成正比, 即:

$$i = C \frac{\Delta u}{\Delta t}$$

设: $u_C = U_{Cm} \sin \omega t$, 代入上式, 经数学计算可得出:

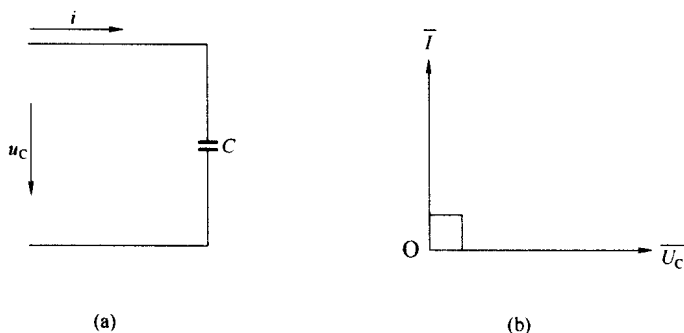


图 1-1-9 纯电容电路

$$i = \omega C U_{Cm} \sin(\omega t + 90^\circ) = I_m \sin(\omega t + 90^\circ) \quad (1-1-11)$$

由此可以看出纯电容电路电压落后其电流 90° 的相位角，即阻抗角

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i = -90^\circ$$

纯电容电路的电压与电流的矢量图如图 1-1-9 (b) 所示。

由式(1-1-11)可看出电压与电流的大小关系为：

$$I_m = \omega C U_{Cm} = \frac{U_{Cm}}{X_C} \quad \text{或} \quad I = \omega C U_C = \frac{U_C}{X_C} \quad (1-1-12)$$

式(1-1-12)中的 $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$ 称作容抗，表示电容器对电流的阻碍作用，单位是欧姆 (Ω)。显然频率越高，电容器的容抗越小；频率越低，电容器的容抗越大，电容器具有“隔直通交”的作用。

纯电容电路的瞬时功率为

$$\begin{aligned} p &= u_C i = U_{Cm} \sin \omega t I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = U_{Cm} I_m \sin \omega t \cos \omega t \\ &= \frac{1}{2} U_{Cm} I_m \sin 2\omega t = U_C I \sin 2\omega t \end{aligned}$$

可以看出，电容元件的瞬时功率在一个周期内的平均功率为零。即纯电容元件和纯电感元件一样不消耗电能，也是一个储能元件。电容元件与电源之间也在不断地进行周期性的能量交换。为了反映电容元件与电源之间能量交换的规模，我们把电容元件瞬时功率的最大值，叫做电容元件的无功功率，用 Q_C 表示，即：

$$Q_C = U_C I = I^2 X_C = \frac{U_C^2}{X_C} \quad (1-1-13)$$

电容的无功功率单位也是乏 (Var)。

4. RL 串联电路

如图 1-1-10 (a) 所示为电阻与电感串联的电路，称为 RL 串联电路。当设电流的初相角为零时，其电压与电流的矢量图如图 1-1-10 (b) 所示。

由矢量图 1-1-10 (b) 可列出：

$$\left. \begin{aligned} U &= \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = I \sqrt{R^2 + X_L^2} = IZ \\ \varphi &= \arctan \frac{U_L}{U_R} = \arctan \frac{X_L}{R} \end{aligned} \right\} \quad (1-1-14)$$

式中的 $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ 称为 R - L 串联电路的阻抗, 单位是欧姆(Ω)。

由图 1-1-10 (c) 可看出, 电压 $\bar{U}_R$ 、 $\bar{U}_L$ 和 $\bar{U}$ 组成三角形, 称为电压三角形。将电压三角形的三个边都除以电流 I , 可得阻抗三角形, 如图 1-1-10 (d) 所示。

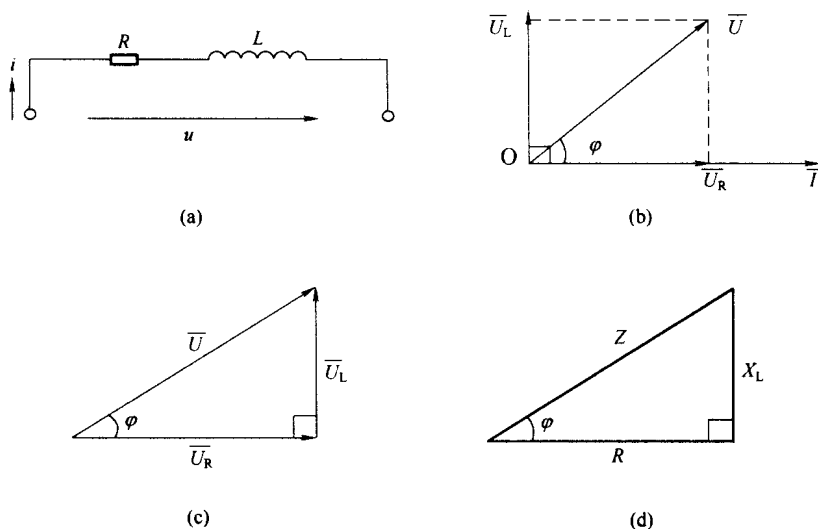


图 1-1-10 RL 串联电路

由式(1-1-14)可以看出, RL 串联电路两端的总电压与电流的大小关系为

$$I_m = \frac{U_m}{Z} \quad \text{或} \quad I = \frac{U}{Z}$$

且电压在相位上超前电流一个 φ 角: $\varphi = \arctan \frac{X_L}{R}$ 。

例 1-1-5 已知 $i = 10\sqrt{2}\sin(314t - 30^\circ)A$, $R = 6\Omega$, $L = 25.5\text{mH}$, 求电压的瞬时值表达式, 并画出电压、电流的矢量图。

解: ① 由已知条件可知:

$$I = 10(A)$$

$$X_L = \omega L = 314 \times 25.5 \times 10^{-3} = 8(\Omega)$$

阻抗

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = 10(\Omega)$$

根据欧姆定律:

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

则: $U = IZ = 10 \times 10 = 100(V)$

② 阻抗角为:

$$\varphi = \arccos \frac{R}{Z} = \arccos \frac{6}{10} = 53^\circ$$

$$\varphi_u = \varphi + \varphi_i = 53^\circ - 30^\circ = 23^\circ$$

③ 电压的瞬时值表达式为: $u = 100\sqrt{2}\sin(\omega t + 23^\circ)$

④ 电流、电压的矢量图, 如图 1-1-11 所示。

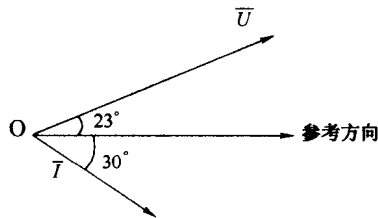


图 1-1-11 电压电流矢量图