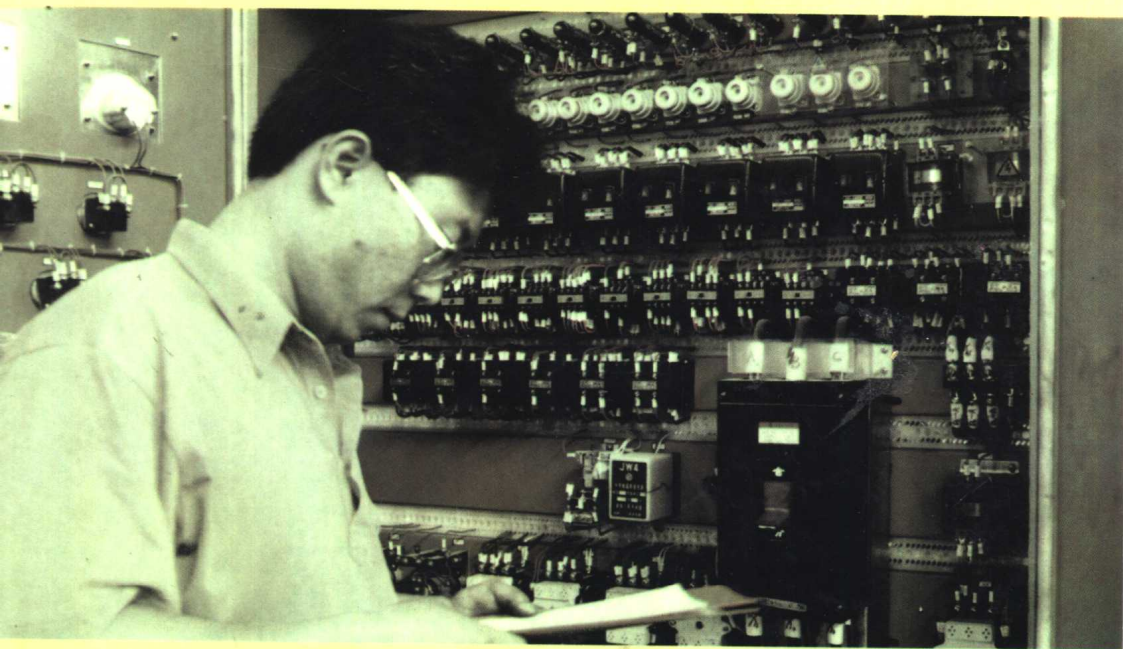


机械工业技师考评培训教材

电工与电子基础

机械工业技师考评培训教材编审委员会 编



★ 机械行业首套技师培训教材

★ 按照技师考评要求编写

★ 集教材与试题库于一体



机械工业出版社
China Machine Press

机械工业技师考评培训教材

电工与电子基础

机械工业技师考评培训教材编审委员会 编

本书主要内容有电路和磁路、测量仪表及电子电路、变压器与电机、电力拖动及控制基础、工厂变配电技术、安全用电、科学管理和提高劳动生产率。

本书特点是以培养技师为出发点，理论与实践相结合，减少繁琐的数学推导，增强物理概念清晰的图解分析，缩减课时，力求少而精，其次，书中有联系实际的试题及答案，便于复习提高。

本书适用于电工、维修电工、电机修理工等技师的培训，可作为技师培训的教材及电气工程技术人员参考资料。

本书的图形符号、文字符号、量和单位及相关标准均采用国家最新标准。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工与电子基础/机械工业技师考评培训教材编审委员会编. —北京: 机械工业出版社, 2001.4

ISBN 7-111-08734-8

I. 电… II. 机… III. ①电工技术-技术培训-教材②电子技术-技术培训-教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 04544 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 边 萌 版式设计: 张世琴 责任校对: 孙志筠

封面设计: 王 芬 责任印制: 路 琳

北京市机械工业出版社印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

890mm×1240mm A5·11.125 印张·326 千字

0 001—5 000 册

定价 20.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

机械工业技师考评培训教材

编审委员会名单

主任：郝广发 苏泽民

副主任：施 斌 李超群

委员：(按姓氏笔画排序)马登云 边 萌 王兆山
王听讲 朱 华 朱为国 刘亚琴 江学卫
何月秋 张乐福 余茂祚 卓 炜 季连海
荆宏智 姜明龙 徐从顺

技术顾问：杨溥泉

本书主编：董桂桥

参 编：颜勇军 程 媛 宋卫红

主 审：刘德贵

前 言

技师是技术工人队伍中具有高级技能的人才，是生产第一线的一支重要力量，他们对提高产品质量、提高产品的市场竞争力起着非常重要的作用。积极稳妥地开展技师评聘工作，对于鼓励广大技术工人钻研业务、提高技能水平、推动企业生产技术进步以及稳定技术工人队伍有积极的促进作用。

为适应经济发展和技术进步的客观需要，进一步完善技师评聘制度，以加快高级技能人才的培养，拓宽技能人才成长通道，促进更多的高级技能人才脱颖而出，1999年，劳动和社会保障部发出了《关于开展技师考评社会化管理试点工作的通知》，《通知》中提出了如下指导意见：扩大技师考评的对象及职业范围，完善技师考评的依据及内容，改进技师考评方式方法，实行技师资格认定与聘任分开等，并在全国部分省市开始技师考评社会化管理试点。

为配合技师评聘工作的开展，满足机械行业对工人技师培训和考评的需要，加快技师培训教材建设，我们经过到上海、江苏、四川等地进行广泛的调研，并结合《通知》精神，确立了教材编写的总体思路；组织了一批由工程技术人员、教师、技师、高级技师组成的编写队伍，编写了这套《机械工业技师考评培训教材》。全套教材共22种，包括四种基础课教材和车工、钳工、机修钳工、工具钳工、铣工、磨工、焊工、铸造工、锻造工、热处理工、电工、维修电工、冷作工、涂装工、汽车维修工、摩托车调试修理工、制冷设备维修工、电机修理工等18个专业工种教材。

基础课教材以原机械工业部、劳动部联合颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》相关工种高级工“知识要求”中的“基本知识”和“相关知识”为主编写；专业工种教材则以本工种高级工“知识要求”中的“专业知识”为主编写，在此基础

上，加强了工艺分析方面内容的比重，并增加了新知识、新工艺、新技术、新方法等方面的内容，以适合新形势的需要。

每本书的内容包括两大部分：第一部分为培训教材，第二部分为试题库，试题库后还附有考核试卷样例。教材部分内容精炼、实用，有针对性和通用性，主要介绍应重点培训和复习的内容，不强求内容的系统性；试题部分出题准确、题意明确，有典型性、代表性、通用性和实用性，试题题型有是非题、选择题、计算题和简答题等，并附有答案。书末还附有技师论文写作与答辩要点。

全套教材汲取了有关教材的优点，略去了低起点的内容，同时采用了最新国家标准和法定计量单位。全套教材既适合考前短期培训用，又可作为考前复习和自测使用，也可供技师考评及职业技能鉴定部门在命题时参考。

由于我们是首次尝试编写技师培训教材，因此教材中难免存在不足和错误，诚恳地希望专家和广大读者批评指正。

机械工业技师考评培训教材编审委员会

目 录

前言

第一章 电路和磁路	1
第一节 复杂直流电路的计算	1
第二节 交流电路的计算	6
第三节 提高功率因数的意义及方法	11
第四节 磁路与磁路定律	14
第五节 磁路的计算	18
第六节 自感、互感与涡流	22
第二章 测量仪表及电子电路	28
第一节 通用示波器	28
第二节 模拟电路知识	38
第三节 晶闸管电路及其应用	49
第四节 数字电路知识	55
第五节 电子电路图的识图与分析方法	65
第六节 逻辑电路图的分析与应用	72
第三章 变压器与电机	76
第一节 变压器交流耐压试验	76
第二节 小型变压器的设计	80
第三节 变压器的常见故障分析	87
第四节 电动机绕组的展开图	93
第五节 直流电机的换向	101
第六节 直流电机常见故障分析	107
第七节 特种电动机	113
第四章 电力拖动及控制基础	120
第一节 常用低压电器	120

第二节	电动机调速及应用知识	125
第三节	异步电动机的控制	133
第四节	电工识图知识	143
第五节	可编程序控制器的应用	153
第六节	微机控制原理及应用	167
第五章	工厂变配电技术	193
第一节	变配电所的高压设备	193
第二节	负荷曲线及计算负荷的确定	198
第三节	工厂供电系统电气接线图分析	211
第四节	短路电流的计算	224
第六章	安全用电	234
第一节	照明工程图及导线截面的选择	234
第二节	动力工程图及电力线路的运行维护	244
第三节	电气火灾的灭火常识	250
第四节	防雷设备的应用	254
第五节	防雷和接地平面图识读与分析	259
第七章	科学管理提高劳动生产率	265
第一节	电气设备复杂系数计算	265
第二节	科学管理是提高劳动生产率的捷径	275

试题库

一、是非题	试题 (279)	答案 (320)
二、选择题	试题 (289)	答案 (320)
三、计算题	试题 (307)	答案 (321)
四、简答题	试题 (312)	答案 (333)
五、作图题	试题 (315)	答案 (341)

第一章 电路和磁路

第一节 复杂直流电路的计算

不能用电阻串、并联规则进行简化的直流电路叫复杂直流电路。计算复杂直流电路的方法很多，本节介绍最常用的支路电流法、戴维南定理、电压源和电流源及其等效变换。

一、支路电流法

支路电流法就是以支路电流为未知量，应用基尔霍夫定律列出所需的节点电流方程和回路电压方程，然后求得各支路电流。其步骤如下：

(1) 确定支路数，并标出各支路电流的参考方向。

(2) 应用基尔霍夫电流定律，列出节点电流方程。如果电路中有 n 个节点，只能列出 $(n-1)$ 个独立的节点方程。

(3) 假设回路绕行方向，应用基尔霍夫电压定律列出不足的方程式。如果电路中有 m 条支路，就列出 $[m - (n-1)]$ 个电压方程式。

(4) 解联立方程，求解各支路电流。

例 1-1 图 1-1 所示电路中，已知 $E_1 = 12\text{V}$ ， $E_2 = 6\text{V}$ ， $R_1 = R_2 = 1\Omega$ ， $R_3 = 4\Omega$ ，求各支路电流。

解 (1) 电路中有三条支路，假设各支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的参考方向如图 1-1 所示。

(2) 列节点电流方程。电路中有 G、C 两个节点 ($n=2$)，列 $(n-1)$ 个即 1 个节点电流方程。对节点 G 有

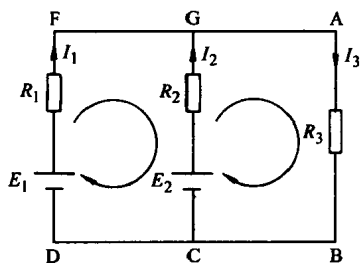


图 1-1 例 1-1 附图

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

(3) 列回路电压方程。电路中有三条支路 ($m=3$)，需列三个方程。现已列出一个节点电流方程，尚缺 $[m - (n - 1)]$ 个即二个方程，可列两个回路电压方程。对于 FGCD 回路，假设回路绕行方向为顺时针方向，则

$$-I_2 R_2 + E_2 - E_1 + I_1 R_1 = 0 \quad (2)$$

对于 GABCG 回路，假设回路绕行方向为顺时针方向，则

$$I_3 R_3 - E_2 + I_2 R_2 = 0 \quad (3)$$

(4) 将已知数代入方程 (1)、(2)、(3)，解联立方程

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ -I_2 + 6 - 12 + I_1 = 0 \\ 4I_3 - 6 + I_2 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$(5)$$

可得： $I_1 = 4\text{A}$ ， $I_2 = -2\text{A}$ ， $I_3 = 2\text{A}$ 。

计算是否正确，可将计算值代入任一方程中进行验算。例如，将 I_1 、 I_2 、 I_3 的值代入方程 (1)，得 $4 + (-2) - 2 = 0$ ，即计算正确。

图中 I_1 、 I_3 的计算值为正，表示该支路电流的实际方向与假设的参考方向相同； I_2 为负值，表示该支路电流的实际方向与假设的参考方向相反。

二、戴维南定理

在有些情况下，我们并不需要知道全部支路电流，而只需计算某个元件上的电流。对这种情况，若用戴维南定理则比较方便。

根据电路理论，较复杂的电路称为网络，只有二个输出端的网络叫二端网络；含有电源的网络，叫有源二端网络；不含电源的网络叫无源网络。戴维南定理为：任何线性有源二端网络都可用一个具有电动势 E_0 和内电阻 R_0 串联的等效电压源来代替。其中 E_0 为该有源二端网络的开路电压； R_0 为该有源二端网络断开电源（电压源 E 短路，电流源 I_s 开路）后，从二端看进去的等效电阻，又称二端网络的输入电阻。

下面通过例题来说明戴维南定理的应用。

例 1-2 如图 1-2a 所示电路, 已知: $E_1 = 12\text{V}$, $E_2 = 6\text{V}$, $R_1 = R_2 = 1\Omega$, $R_3 = 4\Omega$, 用戴维南定理求 R_3 中的电流。

解 用戴维南定理求某支路电流的步骤如下:

- (1) 将被求支路分离, 成为一个有源二端网络, 如图 1-2b 所示。
- (2) 求有源二端网络的开路电压 E_0 。

首先求图 1-2b 中的电流

$$I' = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2} = \frac{12 - 6}{1 + 1} \text{A} = 3\text{A}$$

$$E_0 = U_{AB} = E_2 + I'R_2 = (6 + 3 \times 1)\text{V} = 9\text{V}$$

- (3) 求二端网络的等效电阻。如图 1-2c 所示, 电源 E_1 和 E_2 短路

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1 \times 1}{1 + 1} \Omega = 0.5\Omega$$

- (4) 被求支路接入由 E_0 和 R_0 串联的电源两端, 求如图 1-2d 所示支路电流。

$$I_3 = \frac{E_0}{R_3 + R_0} = \frac{9}{4 + 0.5} \text{A} = 2\text{A}$$

计算结果与支路电流法求解值相同。

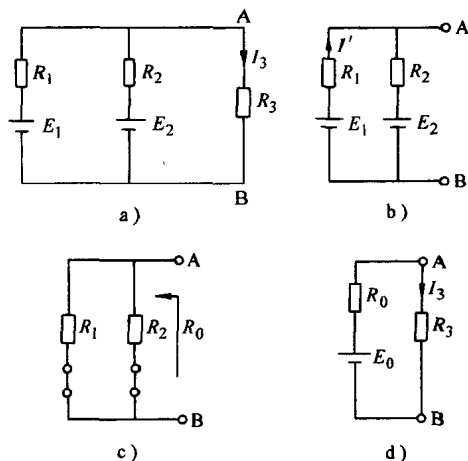


图 1-2 例 1-2 附图

三、电压源和电流源及其等效变换

实际的电源（如发电机、电池）工作时，总有一定的电压和电流输出，如图 1-3a 所示。对负载而言，电源可看成是电压的提供者，也可看成是电流的提供者，所以电源常用两种等效电路来表示——电压源和电流源。

1. 电压源 一般用一个恒定电动势 E 和内电阻 R_0 串联组合来表示一个电源，如图 1-3b 所示。用这种方式表示的电源称为电压源。 $R_0 = 0$ 时称之为理想电压源，理想电压源实际并不存在。

2. 电流源 也可以用一个恒定电流 I_s 和内阻 R'_0 并联表示一个电源，如图 1-3c 所示，这种方式表示的电源称为电流源。若内阻 R'_0 为 ∞ 时称之为理想电流源，理想电流源实际并不存在。

3. 电压源和电流源的等效变换 一个电源可用电压源表示，也可用电流源表示，它们之间可以进行等效变换，变换方法如下。

(1) 已知电压源，若要用电流源表示，则电流源的电流 $I_s = E / R_0$ ，并联内电阻 $R'_0 = R_0$ 。

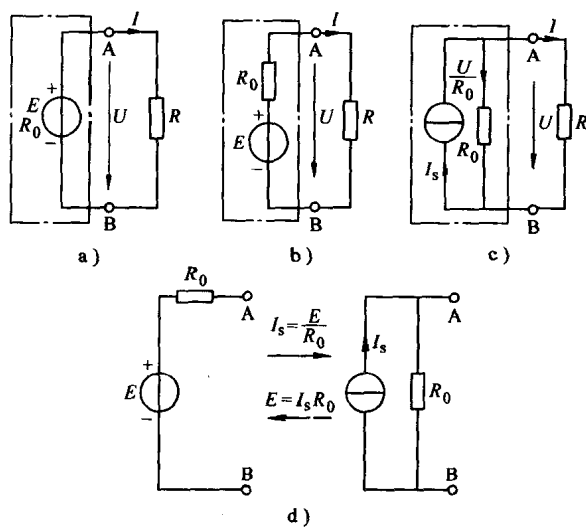


图 1-3 电源

a) 实际电源 b) 电压源 c) 电流源 d) 电压源和电流源的等效变换

(2) 已知电流源, 若要用电压源表示, 则电压源的电动势 $E = I_s R'_0$, 串联内电阻 $R_0 = R'_0$ 。

电压源和电流源的等效变换如图 1-3d 所示。

4. 需要注意的事项

(1) 电源的等效变换是对电源以外的负载而言, 电源内部是不等效的。

(2) 在变换时, 应保持电压源的 E 和电流源的 I_s 方向一致。

(3) 理想的电压源和电流源不能等效变换。

运用电压源和电流源的等效变换, 可以分析和计算复杂直流电路。

例 1-3 试用电源等效变换方法计算例 1-2 中 R_3 支路的电流。

解 图 1-4a 电路中, 因两个电压源支路并联, 分别将电压源变换成电流源, 如图 1-4b 所示, 即

$$I_{s1} = \frac{E_1}{R_1} = \frac{12}{1} \text{A} = 12 \text{A} \quad (I_{s1} \text{ 与 } R_1 \text{ 并联, } I_{s1} \text{ 方向如图 1-4a 所示})$$

$$I_{s2} = \frac{E_2}{R_2} = \frac{6}{1} \text{A} = 6 \text{A} \quad (I_{s2} \text{ 与 } R_2 \text{ 并联, } I_{s2} \text{ 方向如图 1-4b 所示})$$

将两个并联的电流源合并, 如图 1-4c 所示, 即

$$I_s = I_{s1} + I_{s2} = 12 \text{A} + 6 \text{A} = 18 \text{A}$$

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1 \times 1}{1 + 1} \Omega = 0.5 \Omega$$

合并的电流源与负载电阻 R_3 串联, 可将电流源变换成电压源, 如图 1-4d 所示, 即

$$E = I_s R_0 = 18 \times 0.5 \text{V} = 9 \text{V}$$

R_0 仍为 0.5Ω

R_3 中的电流为

$$I_3 = \frac{E}{R_0 + R_3} = \frac{9}{4 + 0.5} \text{A} = 2 \text{A}$$

这与其他方法求解相同。

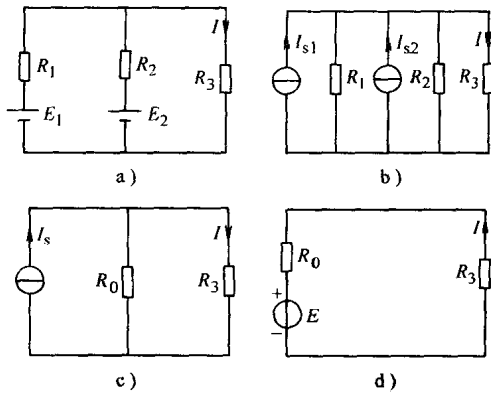


图 1-4 例 1-3 附图

第二节 交流电路的计算

一、单相交流电路

1. 用相量图分析交流电路 交流电路的解法有许多种,考虑到相量图对研究交流电路的重要意义及今后的应用,通过下面的一个例子,说明用相量图分析交流电路的方法。

例 1-4 已知: $R = 30\Omega$, $L = 382\text{mH}$, $C = 40\mu\text{F}$, 组成串联电路, 接在 $U = 100\text{V}$, $f = 50\text{Hz}$ 的电源两端, 求 $|Z|$ 、 I 、 U_R 、 U_L 、 U_C , 并画出相量图。

$$\text{解} \quad X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 50 \times 382 \times 10^{-3} \Omega = 120\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 40 \times 10^{-6}} \Omega = 80\Omega$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{30^2 + (120 - 80)^2} \Omega = 50\Omega$$

$$I = \frac{U}{|Z|} = \frac{100}{50} \text{A} = 2\text{A}$$

$$U_R = IR = 2 \times 30\text{V} = 60\text{V}$$

$$U_L = IX_L = 2 \times 120\text{V} = 240\text{V}$$

$$U_C = IX_C = 2 \times 80\text{V} = 160\text{V}$$

由此可见, $U \neq U_R + U_L + U_C$, 而应为相量之和, 相量图如图 1-5 所示。元件上的电压比总电压大。

2. 用符号法分析交流电路 用符号法来求解正弦交流电路最大的优点是电压、电流的大小及其初相角能一次求出, 用一个表达式表示, 而且可以将相量的几何运算变为代数运算, 使计算大为简化。下面通过实例说明符号法分析交流电路的方法。

例 1-5 图 1-6a 为一个电阻和一个电容的串联电路, 已知 $u = 6\sqrt{2}\sin(\omega t - 76.8^\circ)$ V, $R = 4\Omega$, $X_C = 3\Omega$ 。求 i 并画 \dot{I} 、 \dot{U} 的相量图。

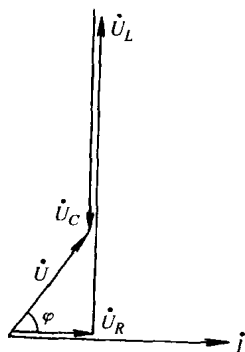


图 1-5 例 1-4 相量图

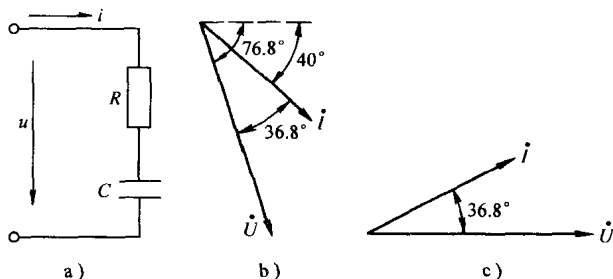


图 1-6 例 1-5 附图

$$\text{解 } \dot{U} = 6e^{-j76.8^\circ} \text{V}$$

$$Z = R - jX_C = (4 - j3)\Omega = 5e^{-j36.8^\circ}\Omega$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{6e^{-j76.8^\circ}}{5e^{-j36.8^\circ}} \text{A} = 1.2e^{-j40^\circ} \text{A}$$

$$\text{因而 } i = 1.2\sqrt{2}\sin(\omega t - 40^\circ) \text{A}$$

电压、电流的相量图如图 1-6b 所示。在相量图中, 最重要的是电压、电流之间的相位关系, 至于初相并不一定要表示出来。如果不画初相, 那么相量图可以简化为图 1-6c。

例 1-6 如图 1-7 所示电路中, 已知: $Z_1 = 15 + j15\Omega$, $Z_2 = 10 + j8\Omega$, $Z_3 =$

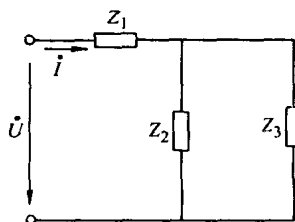


图 1-7 例 1-6 附图

$20 - j40\Omega$, $\dot{U} = 220/\underline{40^\circ}\text{V}$, 试求电流 i 。

解 复阻抗 Z_2 、 Z_3 所对应的复导纳为

$$Y_2 = \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{10 + j8}\text{S} = \frac{1}{12.8/\underline{38.66^\circ}}\text{S} = 0.078/\underline{-38.66^\circ}\text{S} = 0.06 - j0.05\text{S}$$

$$Y_3 = \frac{1}{Z_3} = \frac{1}{20 - j40}\text{S} = \frac{1}{44.72/\underline{-63.43^\circ}}\text{S} = 0.022/\underline{63.43^\circ}\text{S} = 0.01 + j0.02\text{S}$$

Y_2 、 Y_3 并联后的总复导纳为

$$Y_{23} = Y_2 + Y_3 = (0.06 + 0.01) - j(5 - 2)\text{S} = 0.07 - j3\text{S}$$

复导纳 Y_{23} 的等值复阻抗为

$$\begin{aligned} Z_{23} &= \frac{1}{Y_{23}} = \frac{1}{0.07 - j3}\Omega = \frac{1}{0.076/\underline{-23.2^\circ}}\Omega = 13.1/\underline{23.2^\circ}\Omega \\ &= 12.04 + j5.16\Omega \end{aligned}$$

电路的总阻抗为

$$\begin{aligned} Z &= Z_1 + Z_{23} = (15 + 12.05) + j(15 + 5.16)\Omega \\ &= 27.04 + j20.16\Omega = 33.73/\underline{36.7^\circ}\Omega \end{aligned}$$

所以电路的电流为

$$\dot{i} = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{220/\underline{40^\circ}}{33.73/\underline{36.7^\circ}}\text{A} = 6.52/\underline{3.3^\circ}\text{A}$$

根据电压与电流的初相角可知, 电路为感性电路。

二、三相交流电路

1. 三相对称负载的计算 在对称三相电路中, 各负载的数值和性质是相同的, 因而计算起来比较方便。因为负载对称, 只需计算其中一相。下面举例说明计算方法。

例 1-7 三相交流异步电动机每相阻抗为 10Ω , 额定相电压为 380V , 功率因数为 0.6 。电源的线电压为 380V 。(1) 分别计算电动机接成 Y 形和 Δ 形时的线电流和功率, 并进行比较; (2) 正常工作时, 应采用哪种接法。

解 (1) 三相电动机 Y 形联结时

$$U_\phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}}\text{V} = 220\text{V}$$

$$I_\phi = \frac{U_\phi}{|Z|} = \frac{220}{10}\text{A} = 22\text{A}, \quad I_L = I_\phi = 22\text{A}$$

$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi_\phi = 1.73 \times 380 \times 22 \times 0.6 \text{W} \approx 8.7 \text{kW}$$

(2) 三相电动机 Δ 形联结时

$$U_\phi = U_L = 380 \text{V}, I_\phi = \frac{U_\phi}{|Z|} = \frac{380}{10} \text{A} = 38 \text{A}$$

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi = 1.73 \times 38 \text{A} \approx 65.8 \text{A}$$

$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi_\phi = 1.73 \times 380 \times 65.8 \times 0.6 \text{W} \approx 26 \text{kW}$$

由此可见, 在相同的电源线电压下, 同一负载作 Δ 形联结时的线电流和功率是 Y 形联结时的 3 倍。

由于电动机的额定电压等于电源的线电压, 电动机正常工作时应接成 Δ 形。为了减小电动机起动电流, 在起动时接成 Y 形, 起动完毕正常运行时改接成 Δ 形。

2. 不对称三相电路的简单计算 不对称三相电路的计算问题在实际工作中经常遇到。有些对称三相电路, 在某些特殊情况下(例如断路、短路等)也会变为不对称电路, 因此了解不对称三相电路的计算方法十分必要。下面举例说明计算方法。

例 1-8 三相电源的线电压为 380V, 负载是额定电压为 220V 的电灯组, 已知三相的电阻分别为 $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 5\Omega$, $R_3 = 20\Omega$ 。①三相负载采用什么联结方式? ②求相电流、线电流和中线电流。③当一相负载短路而使熔丝熔断时, 试分析中线联通和中线断开时, 对其他两相的影响。

解 (1) 因为线电压为 380V, 而负载额定电压为 220V, 是线电压的 $1/\sqrt{3}$ 倍, 所以负载采用 Y 形联结。由于三相负载不对称, 需用中线, 采用如图 1-8a 所示的三相四线制。

(2) 负载 Y 形联结时, 每相负载的相电压

$$U_\phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} \text{V} = 220 \text{V}$$

各相电流为

$$I'_1 = I'_2 = \frac{U_\phi}{R_1} = \frac{220}{5} \text{A} = 44 \text{A}$$

$$I'_3 = \frac{U_\phi}{R_3} = \frac{220}{20} \text{A} = 11 \text{A}$$