

供用电工人技师培训教材

孙成宝 主编

变 电 检 修

刘贵先 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

供用电工人技师培训教材

孙成宝 主编

变 电 检 修

刘贵先 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《供用电工人技师培训教材》是根据国家标准、电力行业标准、国家职业技能鉴定规范(电力行业)等标准规范中对职业技师(高级技师)人员的要求而编制的岗位技能培训、职业技能鉴定的成套教材,是严格紧扣和结合国家职业技师人员应具备的必备知识、技能要求和鉴定内容进行编写的,同时与《全国供用电工人技能培训教材(初、中、高)》相衔接,强调以技能为核心,知识为技能服务、满足技能需要的原则,叙述技能要求时多采用范例说明的形式,旨在为全国供用电企业生产人员提供一套技师岗位技能培训和职业技能鉴定的教材。

本分册是《供用电工人技师培训教材》之一,共十章,主要内容包括对变电检修工人、技师的知识要求和技能要求两大部分。本书第一章扼要地叙述了电工原理、电力系统继电保护、过电压、接地及防污闪等基础知识。其余各章分别对变电所的主变压器、有载分接开关、互感器、油断路器、SF₆断路器、真空断路器、隔离开关、母线、电力电缆等主设备的工作原理、基本结构及检修、调试方法做了系统地介绍。本书的实用性很强,能使变电检修技师较全面地掌握各项专业技能,指导变电设备检修工作。

本套教材是全国供用电企业生产人员技师人员岗位技能培训和职业技能鉴定的指定教材,本分册是变电检修技师人员培训教材,也可作为变电检修高级工、高级技师、技术人员和管理干部等的参考教材。



图书在版编目(CIP)数据

变电检修/孙成宝主编;刘贵先编. —北京:中国电力出版社, 2003

供用电工人技师培训教材

ISBN 7-5083-1618-5

I. 变... II. ①孙... ②刘... III. 变电所-检修-技术培训-教材 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 056255 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://www.cepp.com.cn)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 12 月第一版 2003 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 21.25 印张 521 千字

印数 0001—3000 册 定价 34.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)



《供用电工人技师培训教材》

前 言

大力开展职工岗位技能培训和职业技能鉴定，提高供用电人员的岗位能力和生产技能，是当前电力企业教育培训的重点，也是提高劳动生产率和工作效率的重要手段。而岗位培训和技能考核的教材建设，是搞好培训、做好鉴定、提高素质、直接为生产人员服务的一项重要基础工作。

随着电力事业的发展，电力系统容量的增加，高压甚至超高压供电不断增多，新型供用电技术和设备不断涌现，对供用电人员提出更高要求。为了适应电力生产安全经济运行，提高供用电人员的技术素质和管理水平，由中国电力出版社组织、孙成宝主编的《供用电工人技师培训教材》，是供用电人员培训工作中的一件大事。

《供用电工人技师培训教材》具有的特点是：首先，本套教材的编写依据，是部颁《国家职业技能鉴定规范》、《电力工人技术等级标准》、《关于电力工人培训教材建设意见》以及有关电力生产岗位规范和新颁国家标准、电力行业标准。其二，严格与《全国供用电工人技能培训教材》（初级工、中级工、高级工）相衔接，内容两相呼应。其三，强调以技能为核心，知识为技能服务、满足技能需要的原则，叙述技能要求时多采用范例说明的形式，因此不仅适用于具有高中及以上文化程度的供用电工人高级工、技师或高级技师人员的培训，而且对现场工程技术人员也有参考价值。其四，本套教材编写、出版力量强，组织全国供电企业 30 多位专家和技术人员，他们有相当丰富的工作经验和专业理论水平。另外，作为全国首批认定的 15 家全国优秀出版社之一的中国电力出版社，领导亲自挂帅，组织 20 位编辑班子，精心策划，统一指导，精雕细刻，质量一流。

本套教材突出电力行业岗位培训和职业技能考核特点，针对性、适应性强，是全国供用电人员岗位技能培训和职业技能鉴定的理想教材。它的出版发行，必将对我国供用电人员培训与鉴定工作的有效开展和素质提高，产生积极的影响。

由于编写时间紧迫，编写人员水平有限，对本套教材疏误之处，恳请广大读者批评指正。

主 编

2003 年 5 月



《供用电工人技师培训教材》

编者的话

变电设备检修是供电企业主要工种之一，随着改革开放不断地深入和发展，供电企业需要一支具有一定理论基础知识和安装、调试、检修专业技能过硬的队伍。为适应供电企业当前形势的需要，并以《国家职业技能鉴定规范 变电检修工 [11-055]》为依据，特编写此书。

由于新材料、新设备、新工艺不断地出现，在编写过程中，既要突出重点，又要注意知识的全面性和新颖性。本书比较系统地叙述了变电检修技师应具备的基础理论知识和变压器、有载分接开关、互感器、油断路器、SF₆断路器、真空断路器、隔离开关、母线、电力电缆等设备的工作原理和基本结构。根据国家有关标准、规程、验收规范及厂家使用说明书，比较全面地讲解了这些设备的安装、调试、检修的方法和步骤。结合本单位和兄弟单位在运行中遇到的实际问题，有针对性的介绍了判断、分析和处理这些问题的实用办法。

在本书组稿时，李培乐同志提出了建设性意见，在此致以真诚的感谢。

由于本人水平有限，对书中存在的不妥之处，欢迎读者和同行们提出宝贵意见。

编者

2003.6.30



《供用电工人技师培训教材》

目 录

前言

编者的话

第一章 变电检修技师必备基础知识	1
第一节 电工和电子基础知识	1
第二节 电力系统继电保护概述	14
第三节 二次接线图的基本知识	24
第四节 过电压、接地及防污闪	32
复习题	36
第二章 电力变压器的检修	39
第一节 变压器的工作原理及主要技术参数	39
第二节 变压器本体的基本结构	42
第三节 电力变压器的检修	50
第四节 变压器的整体组装及验收	63
第五节 变压器常见故障及处理	67
复习题	72
第三章 有载分接开关的检修	74
第一节 有载分接开关的基本结构和工作原理	74
第二节 有载分接开关的运行维护、现场试验及故障处理	87
第三节 ZY型有载分接开关的检修	94
第四节 CV型有载分接开关的检修	99
复习题	104
第四章 互感器的检修	105
第一节 互感器的基本结构和工作原理	105

00A18/08

第二节	互感器的运行维护及故障处理	113
第三节	互感器的解体检修	120
	复习题	132
第五章	油断路器的检修	133
第一节	高压断路器概述	133
第二节	SW4- $\frac{110}{220}$ 型少油断路器及其操动机构的结构和工作原理	139
第三节	SW6- $\frac{110}{220}$ 型少油断路器及其操动机构的结构和工作原理	145
第四节	SW4- $\frac{110}{220}$ 型少油断路器及其操动机构的检修	156
第五节	SW6- $\frac{110}{220}$ 型少油断路器及其操动机构的检修	170
	复习题	182
第六章	SF₆断路器的检修	183
第一节	SF ₆ 气体的性能	183
第二节	SF ₆ 断路器解体检修的工艺要求	186
第三节	LW6系列断路器及其操动机构的结构和工作原理	194
第四节	LW6系列断路器的检修	210
第五节	GIS组合电器	213
	复习题	215
第七章	真空断路器的检修	217
第一节	真空断路器概述	217
第二节	真空灭弧室的结构	220
第三节	真空断路器的安装调试与维修	224
第四节	ZN12-10型真空断路器的检修	226
第五节	ZN28-10型真空断路器及CD17型操动机构的检修	233
	复习题	237
第八章	隔离开关的检修	238
第一节	隔离开关的基本结构和用途	238
第二节	隔离开关的安装与调整	245
第三节	隔离开关的检修及故障处理	248
	复习题	251
第九章	母线的检修	252
第一节	母线的类型及截面的选择	252

第二节	母线的安装	254
第三节	母线常见故障及母线检修	263
	复习题	267
第十章	电力电缆检修	269
第一节	电力电缆的基本结构	269
第二节	电缆的敷设	276
第三节	10kV 交联聚乙烯绝缘电缆热缩终端头、中间接头的制作	280
	复习题	286
附录 A	变压器大修程序方框图	288
附录 B	主变压器大修报告	289
附录 C	SW6—$\frac{110}{220}$(I)型高压少油断路器配 CY3 (CY3-III) 型液压操动机构大修报告	297
附录 D	SW4—$\frac{110}{220}$II型高压少油断路器配 CT6-X (CT6—XG) 型弹簧操动机构大修报告	306
附录 E	6~10kV 真空断路器安装、大修报告	312
附录 F	LW6 型 SF₆ 断路器大修报告	315
附录 G	电气常用新旧图形符号对照表	319
	参考文献	332



变电检修技师必备基础知识

第一节 电工和电子基础知识

一、直流电路

(一) 基本定律

1. 导体电阻和欧姆定律

(1) 导体电阻的计算。所谓电阻表示在电场力的作用下, 电流在导体中流动时所受的阻力。同一材料导体的电阻和导体的截面积成反比, 和导体的长度成正比, 即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-1)$$

式中 l ——导体长度, m;

S ——导体截面积, mm^2 ;

ρ ——电阻率, $(\Omega \cdot \text{mm}^2) / \text{m}$ 。

导体的电阻率不仅与材料有关, 而且与温度有关, 在 20°C 时铜和铝的电阻率分别是 0.0175 和 0.0283, 铜和铝的温度系数在 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 时是 0.004。因此, 知道导体在某一温度下的电阻便可以计算出温度变化时的电阻, 即

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

(2) 欧姆定律。在一段电路中, 流过电路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。这是线性电路的基本定律, 即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-2)$$

式中 I ——电流, A;

U ——电压, V;

R ——电阻, Ω 。

全电路欧姆定律, 它表示在有源电路中, 电源电动势 (E)、电源内电阻 (r) 和负载电阻 (R) 之间的关系, 即

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1-3)$$

2. 基尔霍夫第一定律

(1) 节点。两条以上电路汇合的交点, 称为节点。

(2) 基尔霍夫第一定律。在电路的任一节点上, 流入 (或流出) 节点的电流的代数和恒等于零。即

$$\Sigma I = 0 \quad (1-4)$$

3. 基尔霍夫第二定律



(1) 回路。在电路图中，任何一个闭合的电路叫做回路。

(2) 基尔霍夫第二定律。从回路任意一点出发，沿回路循环一周，电位升的和等于电位降的和。在有电源的回路中，电动势（电位升）的代数和等于电阻上的电压降（电位降）的代数和，即

$$\Sigma E = \Sigma IR \quad (1-5)$$

(二) 直流电路的计算

1. 电阻的串联和并联的计算及电路中电位、电功率的计算

(1) 电阻的串联。把几个电阻首尾依次连接起来，流过同一电流，这种电阻的连接方式，叫做电阻的串联，在串联电路中总电阻的阻值等于相串联的各电阻阻值之和。在串联电路中，每个电阻上的电压与电阻的大小成正比。每个电阻上的电压为总电压乘以该电阻阻值与总电阻阻值的比值，即

$$U_1 = \frac{R_1}{R} U \quad (1-6)$$

(2) 电阻的并联。几个电阻一齐接在两个节点之间，每个电阻两端承受同一个电压，这种连接方式叫做电阻的并联。在并联电路中，并联总电阻的倒数，等于各并联电阻的倒数的和。假若有三个电阻并联，总电阻 R 和三个电阻的关系，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-7)$$

在做计算时，切不可误算为总电阻是各个电阻倒数的和。假若有两个电阻并联，每个电阻支路上的电流与总电流的关系，即

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$
$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (1-8)$$

若为多个支路电阻并联，在已知各支路电阻值和总电流，求某一支路的电流值时，应将其余支路的总电阻按式 (1-7) 求出，再按式 (1-8) 求出该支路的电流。

(3) 电路中某一点电位的计算。在电路中选择一点作为零电位的基准点。要计算某点的电位，从这一点通过一定的路径，绕到基准点，该点的电位就是所选路径上全部电压的代数和。绕行中遇到电源，从正极到负极则加上电源电压值，反之则减去电源电压值。若遇到电阻，绕行方向与电流方向相同则加上 IR 值，反之则减去 IR 值。

(4) 电功率。电源的功率等于电源的电动势和电流的乘积。负载的功率等于负载两端的电压和通过负载的电流的乘积，即

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-9)$$

2. 复杂直流电路的计算

凡是不能应用串、并联方法简化为无分支电路的直流电路，叫做复杂直流电路。以下介绍常用的计算复杂直流电路的方法。

(1) 支路电流法。复杂直流电路的计算是在已知各支路的电阻及电源电压时求各支路电流。若电路有 m 个支路，根据基尔霍夫第一定律和第二定律，一定可以列出由 m 个独立方程组成的方程组，求解方程组就可以把各支路电流求出。

(2) 叠加原理。在线性电路中计算电压和电流时，若有多个电源作用，可以在每个电源



下求解，然后将其叠加起来。在计算某一电源作用下的电流和电压时，要将其余电源的电动势短路，但它的内电阻仍保留在该支路中。

(3) 戴维南定理。在复杂的直流电路中，若计算某一支路电流时，将该支路两端其余部分看成一个有源二端网络，即相当于一个电源，这个等效电源的电动势就是有源二端网络的开路电压，等效电源的内阻等于有源二端网络中各电动势都被短路后（电动势等于零）所得的不含有电源的二端网络的等效电阻。

(4) 电桥电路。在电桥电路中，若电桥平衡时，电桥相对臂电阻的乘积相等。利用这一特点可以进行待测电阻的测量。

(5) 星形网络与三角形网络间的等效互换。在复杂的电路中常遇到由三个电阻组成的有三个节点的闭合回路，如图 1-1 所示，一般用符号 \triangle 表示，叫做三角形网络，另一种由三个电阻连接在同一节点上的星形网络，用符号 Y 表示。若将 Y 形网络变换成 \triangle 形网络，

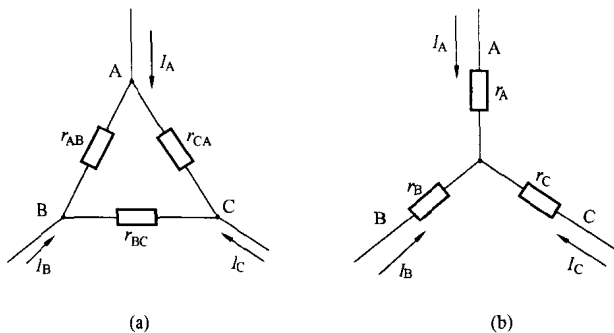


图 1-1 电阻的三角形和星形连接

(a) 三角形连接；(b) 星形连接

或将 \triangle 形网络变换成 Y 形网络，有时可以使复杂的网络变成简单的电路，使计算大大简化。等效变换的公式是：

1) 从三角形接法求等效的星形接法

$$\left. \begin{aligned} r_A &= \frac{r_{AB} r_{CA}}{r_{AB} + r_{BC} + r_{CA}} \\ r_B &= \frac{r_{BC} r_{AB}}{r_{AB} + r_{BC} + r_{CA}} \\ r_C &= \frac{r_{CA} r_{BC}}{r_{AB} + r_{BC} + r_{CA}} \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

2) 从星形接法求等效三角形接法

$$\left. \begin{aligned} r_{AB} &= r_A + r_B + \frac{r_A r_B}{r_C} \\ r_{BC} &= r_B + r_C + \frac{r_B r_C}{r_A} \\ r_{CA} &= r_C + r_A + \frac{r_C r_A}{r_B} \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

二、电磁和电磁感应

(一) 电磁

1. 载流线圈所产生的磁场

众所周知，电流周围是有磁场的，通电直导线周围磁场的方向是用右手定则来判定的。若将导线绕成线圈，磁力线的方向如图 1-2 所示。磁力线是闭合曲线，在磁体外部是从 N 极指向 S 极，在磁体内部是从 S 极指向 N 极。磁力线是互不相交的，磁力线密的地方磁场强度大。



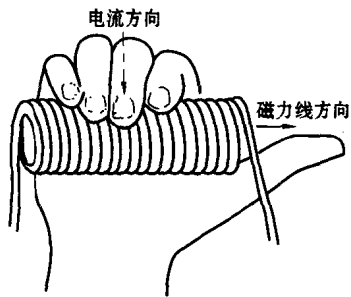


图 1-2 线圈的右手定则——卷曲四指的方向表示电流方向，拇指所指的方向表示磁力线方向

2. 平行载流导体间电磁力的方向

由于载流导体周围是有磁场的，而磁场的方向是遵循右手定则的，很容易判断出两平行导体间的电磁力方向，电流方向相同时是互相吸引的，电流方向相反时是互相排斥的。

(二) 电磁感应和电感

1. 电磁感应

流动的电荷周围产生磁场，就是所谓“电生磁”。而变动的磁场在导体中引起电动势，这叫做电磁感应。由电磁感应产生的电动势叫做感应电动势。感应电动势产生的电流叫感应电流。

感应电动势的方向用发电机右手定则来判定，即平摊右手，拇指和四指垂直，使磁力线垂直穿过手心，拇指的方向表示导线运动的方向，其余四指就是感应电动势的方向。感应电动势大小用下式计算，即

$$e = Blv \times 10^{-4} \quad (1-12)$$

式中 e ——感应电动势，V；

l ——导体的有效长度，cm；

B ——磁感应强度，T；

v ——导体在垂直于磁力线方向上的运动速度，m/s。

2. 法拉第电磁感应定律及楞次定律

(1) 楞次定律：线圈中感应电动势的方向总是企图使它产生的感应电流引起的磁通反抗原有磁通的变化。

(2) 法拉第电磁感应定律：

$$e = - \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

式中的负号表示感应电动势所产生的感应电流反抗磁通的变化，式中表示的关系叫做电磁感应定律。它不仅表示感应电动势的大小，而且包含感应电动势的方向，只有在磁通的正方向和感应电动势的正方向之间符合右螺旋关系，才有意义。

3. 自感和互感

(1) 自感：由于线圈中电流变化在本线圈引起的自感电动势数值为 $e_L = -L \frac{di}{dt}$ ，其中 L 为自感系数，又叫电感，它与线圈的结构有关（匝数、尺寸、有无铁芯、铁芯的形状和磁性质等），式中的负号表示自感电动势反抗电流的变化。

(2) 互感：若穿过某一线圈的磁链是由另一线圈中电流产生，则称为互感磁链。由于互感产生的电动势叫做互感电动势。互感电动势的大小与互感磁通的变化率成正比，和该线圈的匝数成正比。

三、正弦交流电路

1. 正弦交流电的三要素

随时间按正弦规律变化的电压和电流称为正弦交流电，用函数表示电流的一般形式是：



$i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$, 其中 I_m 是电流的最大值, ω 是角频率, φ 为初相位。初相位是正弦曲线由负值向正值变化时所通过的零点与坐标原点 0 之间的角度。零点在纵轴左侧时, 初相位是正值, 在右侧时为负值, 如图 1-3 所示。两个同频率的正弦量在相位上的差别叫做相位差, 其值为初相位之差。

正弦量的有效值为最大值的 0.707 倍 (即 $1/\sqrt{2}$), 平均值为最大值的 0.637 倍 (即 $2/\pi$)。

2. 电阻、电感、电容元件在交流电路中的作用

(1) 电阻。在交流电路中, 电阻两端的电压与流过该电阻的电流在相位上是相同的, 电压和电流用有效值表示时, 计算电功率的公式与直流电路完全相同。

(2) 电感元件。由电磁感应定律知道, 在直流电路中, 正常情况下是没有电感的, 在交流电路中会产生自感电动势, 而且与电流的变化率成正比。所以在正弦交流电路中, 电感元件的自感电动势滞后电流 90° , 而电感元件上的电压超前电流 90° 。电感元件对电流的阻碍作用用感抗表示, 即 $x_L = \omega L$ 。电压和电流的有效值和感抗的数值关系是

$$I_L = \frac{U}{x_L} = \frac{U}{\omega L} \quad (1-13)$$

电感元件在交流电路中, 是没有能量消耗的, 只有电感元件与电源之间的能量转换, 用无功功率来表示其转换的规模, 即

$$Q_L = UI = I^2 x_L = \frac{U^2}{x_L} = \frac{U^2}{\omega L} \quad (1-14)$$

(3) 电容元件。电容元件在交流电路中以充放电的形式与电源之间进行能量转换。电容元件的容抗 $x_C = \frac{1}{\omega C}$ 。电容元件上的电流超前电压 90° , 数值关系是

$$I_C = \frac{U}{x_C} = \omega CU \quad (1-15)$$

电容元件在交流电路中, 没有能量的消耗, 只有和电源之间的能量转换, 用无功功率来表示其转换的规模, 即

$$Q_C = UI = I^2 x_C = \frac{U^2}{x_C} = \omega CU^2 \quad (1-16)$$

3. 正弦交流电路的符号法

符号法是用复数分析和计算正弦交流电路的一种方法。在频率一定时, 正弦交流电主要由有效值和初相位来确定。复数的模表示有效值, 幅角表示初相位。

(1) 电压、电流的复数表示方法。例如电压 $u = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \varphi)$ 的复数表达式为: $\dot{U} = U e^{j\varphi}$, 电流 $i = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi)$ 的复数表达式为: $\dot{I} = I e^{j\varphi}$ 。

(2) 阻抗的复数表达方法。若用大写字母 Z 表示复数阻抗, 即

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R + j(x_L - x_C) = R + jx = Z e^{j\varphi} \quad (1-17)$$

(3) 阻抗三角形。式 (1-17) 若用图形表示, 则见图 1-4。

(4) R 、 L 、 C 串联电路的功率三角形如图 1-5 所示。

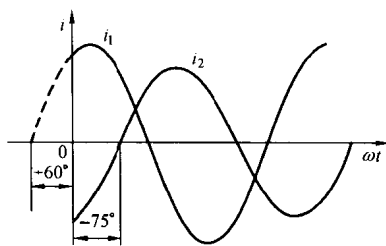


图 1-3 初相位的正负



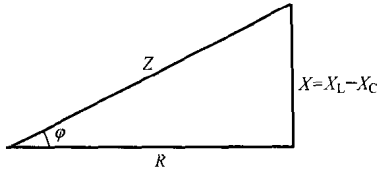


图 1-4 R、L、C 串联电路的阻抗三角形

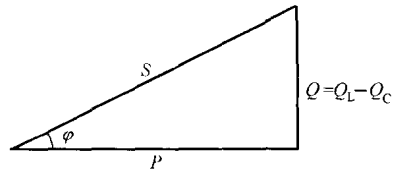


图 1-5 R、L、C 串联电路的功率三角形

4. 负荷的功率因数

由图 1-4 和图 1-5 可以看出，消耗在电阻上的功率为有功功率，而在电抗上的功率为无功功率，总功率称视在功率，我们把有功功率和视在功率的比值称为功率因数，即

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1-18)$$

由于功率因数低会增加输电线路的损耗，使电源设备的容量不能充分利用，因此在实际工作中，往往在感性负载上加并联电容以提高功率因数。若已知负荷的有功功率 P 和原功率因数 $\cos \varphi_1$ ，则需要并联电容量是

$$C = \frac{P}{2\pi f U^2} (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi) \quad (1-19)$$

式中 P ——负荷的有功功率，W；

f ——频率，Hz；

U ——电压，V；

φ_1 ——并联前，负荷的阻抗角；

φ ——并联后，整体的阻抗角；

C ——并联的电容，F。

在电力系统中，往往是已知负荷的有功功率和功率因数，如果将此功率因数提高到某一数值，就需要计算并联补偿电容的容量，即

$$Q_C = P (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi) \quad (1-20)$$

式中 P ——负荷的有功功率，W；

Q_C ——并联补偿电容的容量，var。

四、三相交流电路

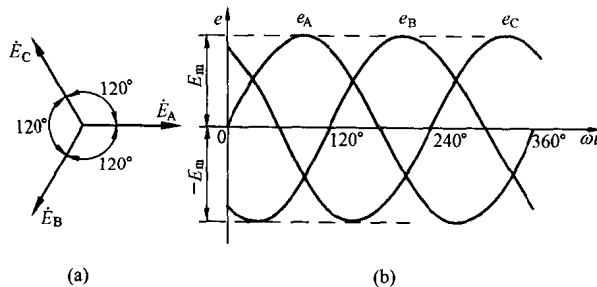


图 1-6 对称三相电动势的相量图和波形图

(a) 相量图；(b) 波形图

(一) 对称三相交流电路

1. 电源和负荷的对称三相电路

(1) 对称的三相电动势。三个最大值相等，角频率相同，彼此间的相位差是 120° 的电动势，称对称三相电动势，其波形图和相量图如图 1-6 所示。

(2) 对称的三相负荷。三相负荷的阻抗值相等，三相阻抗角相同的三相负荷叫做三相对称负荷。即 $x_A = x_B = x_C$ ， $R_A = R_B = R_C$ 。



2. 三相电路的基本连接方式

(1) 三相电源的星形连接。将三个绕组的末端 X、Y、Z 连接在一起，由 A、B、C 三个始端引出连接，这种连接方式叫星形连接。每个绕组始端和末端之间的电压，叫做相电压，各绕组始端与始端之间的电压叫线电压。线电压等于相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，线电压超前相应相电压 30° ，星形连接如图 1-7 所示，相位关系如图 1-8 所示。

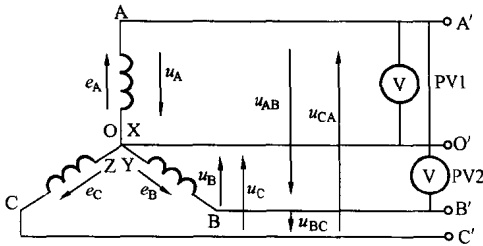


图 1-7 三相电源的星形连接

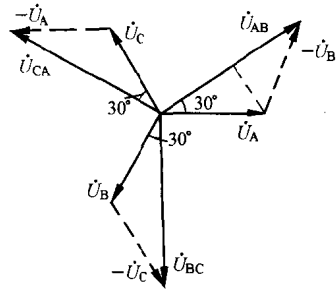


图 1-8 电源星形连接时，相电压和线电压的相量图

(2) 三相电源的三角形连接。把一个绕组的末端和另一个绕组的始端顺次序连接，连接成一个闭合回路，再从三个连接点引出三根导线，这种连接方式叫做三角形连接，可以看出线电压就是相电压。

(3) 负荷的星形连接。负荷连接成星形时，其线电压就是电源的线电压。在对称三相电路中，可以简化为单相电路进行计算。

(4) 负荷的三角形连接。若负荷是对称的，则线电流为相电流的 $\sqrt{3}$ 倍，线电流在相位上滞后相应相电流 30° 。接线图如图 1-9 所示，相量图如图 1-10 所示。

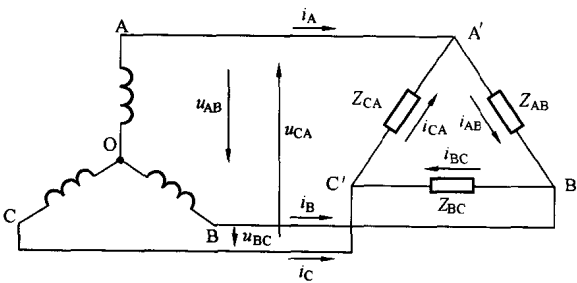


图 1-9 对称负荷为三角形连接的三相三线制电路

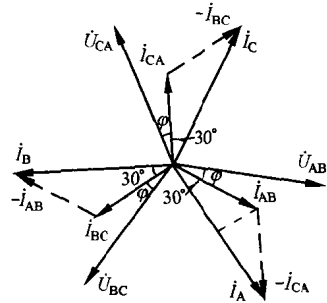


图 1-10 对称负荷三角形连接时，三相电压和电流的相量图

3. 三相功率的计算

在对称三相电路中，不论负荷接成星形还是三角形，计算功率的公式完全相同，即

$$P = \sqrt{3} U_x I_x \cos \varphi \quad (1-21)$$

$$Q = \sqrt{3} U_x I_x \sin \varphi \quad (1-22)$$

$$S = \sqrt{3} U_x I_x \quad (1-23)$$



式中 P ——有功功率, W;

Q ——无功功率, var;

S ——视在功率, VA;

U_x ——线电压, V;

I_x ——线电流, A;

$\cos \varphi$ ——一相负荷的功率因数。

(二) 不对称三相交流电路

所谓不对称三相交流电路, 一种是三相负荷的数值或性质不同。另一种是在电力系统发生故障, 例如发生单相接地或两相短路等, 这时即使三相负荷是对称的, 三相电路的计算也不能简化成单相电路的计算。可以用对称分量法进行计算, 任意一组三相不对称相量都可以分解为三组对称的相量。一组叫正序分量, 一组叫负序分量, 另一组叫零序分量, 如图 1-11 所示。

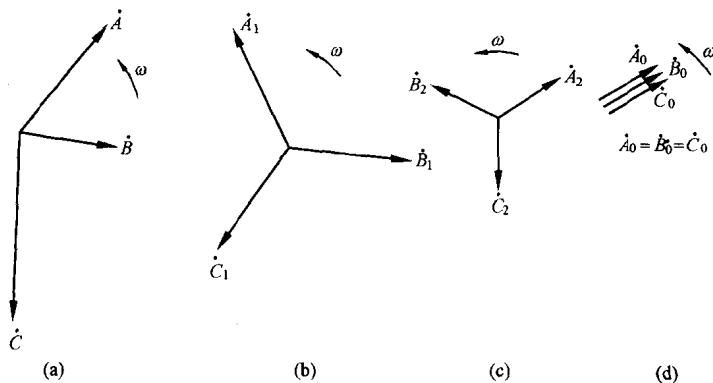


图 1-11 把不对称的三个相量分解为三组对称相量

(a) 三相不对称相量; (b) 正序分量; (c) 负序分量; (d) 零序分量

(1) 求 A 相零序分量。在画相量图时, 将三个不对称相量相加, 取其 $\frac{1}{3}$ 就是零序分量, 如图 1-12 所示。其计算公式为

$$\dot{A}_0 = \frac{1}{3}(\dot{A} + \dot{B} + \dot{C}) \quad (1-24)$$

(2) 求 A 相正序分量。画出相量 \dot{A} , 然后将 \dot{B} 相量逆时针旋转 120° , 将相量 \dot{C} 顺时针旋转 120° , 将三个相量相加, 取其 $\frac{1}{3}$, 如图 1-13 所示。其计算公式为

$$\dot{A}_1 = \frac{1}{3}(\dot{A} + \alpha \dot{B} + \alpha^2 \dot{C}) \quad (1-25)$$

(3) 求 A 相负序分量。画出相量 \dot{A} , 将相量 \dot{B} 顺时针旋转 120° , 将相量 \dot{C} 逆时针旋转 120° , 三个相量相加, 取其 $\frac{1}{3}$, 如图 1-14 所示, 计算公式为

$$\dot{A}_2 = \frac{1}{3}(\dot{A} + \alpha^2 \dot{B} + \alpha \dot{C}) \quad (1-26)$$



式 (1-26) 中 α 表示将相量逆时针旋转 120° , α^2 表示将相量顺时针旋转 120° 。A 相的各序分量求出后, 根据相序关系, B 相和 C 相的各序分量即可求出。

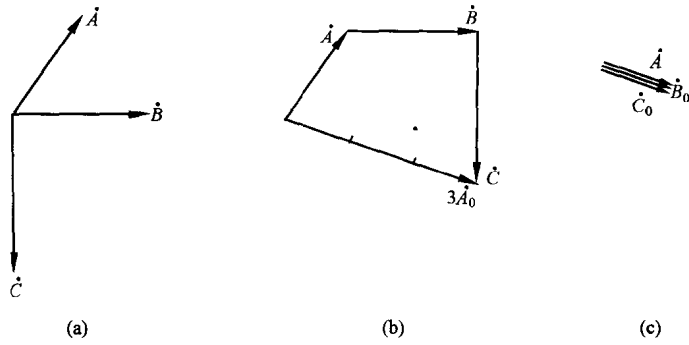


图 1-12 零序分量的求法
(a) 三相不对称相量; (b) 不对称相量求和; (c) 零序分量

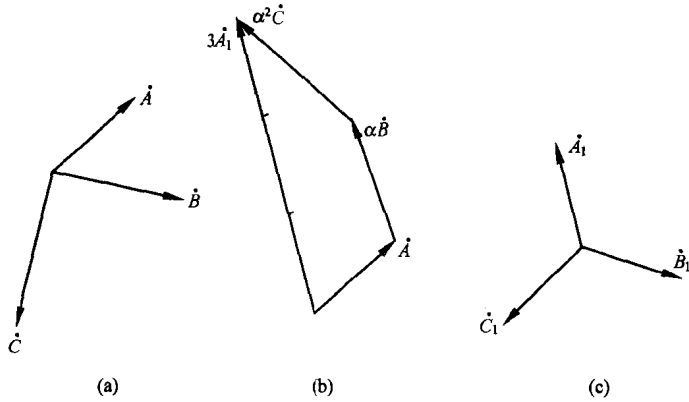


图 1-13 正序分量的求法
(a) 三相不对称相量; (b) 求 A 相正序分量; (c) 正序分量

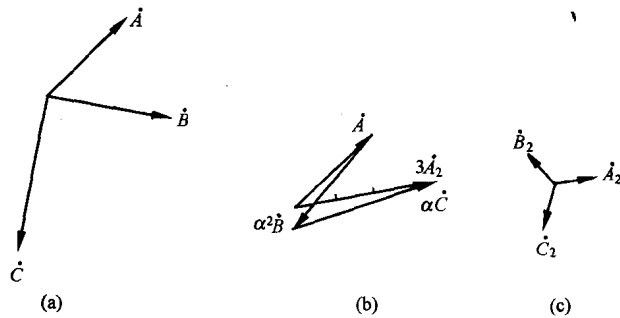


图 1-14 负序分量求法
(a) 三相不对称相量; (b) 求 A 相负序分量; (c) 负序分量