

地方电力系统的运行 操作和调度管理



水电系统职工培训教材

王辑样 编著

湖南科学技术出版社

地方电力系统的运行操作和调度管理

王得礼 编

责任编辑: 古 华

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙市展览馆路8号)

湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷厂印刷

1989年1版第1次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 19 字数: 298,000

印数: 1—8,000

ISBN 7-5357-0598-7

TM·6 定价: 5.90元

邮科89—33

内 容 提 要

本书全面论述了地方电力系统的运行维护、操作调整、调度管理、一次和二次接线、继电保护和自动装置、事故处理、电能计量及安全技术等方面的基本知识。内容紧密联系实际，由浅入深，通俗易懂，针对性较强。适合于地方电力系统的发电厂、变电所、调度室具有初中以上文化的运行检修和调度人员以及供电部门的电气人员作培训和自学用书，亦可供从事地方电力系统工作的技术人员参考。

前 言

为适应地方电力生产不断发展的需要,提高地方电力系统电气人员的业务技术和管理水平,保证安全、经济、优质的发供电,作者根据多年从事地方电力系统技术工作的实践经验并在讲授多期技术培训班的基础上,编写了此书,供从事地方电力生产的电气职工培训和自学之用。

本书全面介绍了地方电力系统的运行维护、操作调整、调度管理等方面的基本知识。全书共分十三章:交流电路;电力系统及其调度管理;电力系统中性点接地方式;主接线和电气设备的运行;二次接线图;电力系统的继电保护;发电厂和变电所的自动装置;倒闸操作;电力系统周波和电压的调整;控制和信号回路;电气事故处理;电能计量;电气安全技术。

本书的编写和出版,得到了广西水电厅地方电力局领导和有关同志的大力支持、帮助和指导,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

1988年4月于广西大学

目 录

第一章 交流电路.....(1)	第五章 二次接线图(71)
第一节 交流电的基本概念.....(1)	第一节 图形符号、文字符号和回路标号.....(71)
第二节 交流电的矢量表示法.....(2)	第二节 归总式原理图.....(76)
第三节 单相交流电路.....(4)	第三节 展开式原理图.....(77)
第四节 三相交流电路.....(10)	第四节 安装接线图.....(78)
第二章 电力系统及其调度管理.....(14)	第六章 电力系统的继电保护.....(85)
第一节 电力系统概述.....(14)	第一节 继电保护的基本知识.....(85)
第二节 电力网的损耗.....(18)	第二节 输电线路的继电保护.....(88)
第三节 调度管理的任务.....(21)	第三节 电力变压器的继电保护.....(105)
第四节 调度管理制度.....(22)	第四节 同步发电机的继电保护.....(114)
第五节 系统运行方式的编制.....(23)	第七章 发电厂和变电所的自动装置.....(121)
第六节 电力系统的经济运行.....(24)	第一节 输电线路的自动重合闸(ZCH).....(121)
第三章 电力系统中性点的接地方式.....(27)	第二节 备用电源自动投入(BZT).....(126)
第一节 中性点不接地系统.....(27)	第三节 低周自动减负荷和低压低周解列.....(128)
第二节 中性点经消弧线圈接地系统.....(30)	第四节 发电机的自动灭磁.....(130)
第三节 中性点直接接地系统.....(33)	第五节 继电强行励磁和强行减磁.....(131)
第四节 小接地电流系统接地故障处理.....(33)	第六节 自动调节励磁装置.....(133)
第四章 主接线和电气设备的运行.....(40)	第七节 自动调速器.....(143)
第一节 电气主接线.....(40)	第八节 水轮发电机组的自动操作.....(147)
第二节 同步发电机的运行.....(44)	第九节 继电保护和自动装置的运行管理.....(152)
第三节 电力变压器的运行.....(52)	
第四节 断路器和隔离开关的运行.....(60)	
第五节 互感器的运行.....(62)	
第六节 电力电容器的运行.....(69)	

第八章 倒闸操作.....(154)	第五节 断路器的事故处理.....(212)
第一节 倒闸操作综述.....(154)	第六节 其它电气设备的事故处理(213)
第二节 电气设备的操作.....(156)	第十二章 电能计量.....(216)
第三节 并列和解列操作.....(159)	第一节 有功电能的测量.....(216)
第四节 倒闸操作票.....(163)	第二节 无功电能的测量.....(221)
第五节 防止电气误操作装置.....(169)	第三节 三相有功和无功电度表的 联合接线.....(223)
第九章 电力系统周波和电压的 调整(171)	第四节 电能计量装置的接线检查(225)
第一节 电力系统的周波调整.....(171)	第十三章 电气安全技术 (234)
第二节 电力系统的电压调整.....(173)	第一节 触电伤害事故.....(234)
第十章 控制和信号回路 (180)	第二节 电气设备的安全技术要求(237)
第一节 断路器的控制回路.....(180)	第三节 电气安全工作的组织技术 措施.....(239)
第二节 灭磁开关的控制回路.....(186)	第四节 触电紧急救护.....(242)
第三节 信号装置.....(188)	附录一 发电厂(变电所)工作票(246)
第四节 二次回路故障的查找.....(194)	附录二 电力线路工作票(248)
第十一章 电气事故处理 (198)	
第一节 概述.....(198)	
第二节 电力系统事故处理.....(199)	
第三节 发电机事故处理.....(201)	
第四节 变压器事故处理.....(209)	

第一章 交流电路

第一节 交流电的基本概念

一、直流和交流

在用电领域中，有直流电和交流电，两者的区别是：直流电的方向不随时间而变，而交流电的大小和方向则是随时间不断变化的。一般使用的交流电都是按正弦规律变化的，称为正弦交流电。

目前，交流电的使用比直流电要广泛得多，这是因为它在生产、输送和使用方面比直流电优越。由于半导体技术的发展，在需要直流电的场合，往往也将交流电通过整流设备变成直流，只有在特殊情况下，才使用蓄电池等直流电源。同样，也可以将直流电通过逆变设备转换成交流电。

在发电厂和变电所中，发电机发出的、变压器变换的、电力线路输送的，都是交流电，只有同步发电机的励磁和发电厂、变电所的操作电源采用直流电。

二、交流电的周期和频率

交流电从零→正最大值→零→负最大值→零的变化叫做一周，如图1—1所示。交流电变化一周所需的时间叫做周期 T ，单位是秒。

一秒钟内交流电变化的周数叫做频率 f (周波)，单位是周/秒，也叫赫芝(Hz)，我国采用的交流电标准频率为50周/秒。

频率和周期是互为倒数的关系，即：

$$T = \frac{1}{f}, \quad f = \frac{1}{T}$$

当频率为50周/秒时， $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02$ (秒)。

一秒钟内交流电所经历的电角度叫做角频率 ω ，单位是弧度/秒。

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

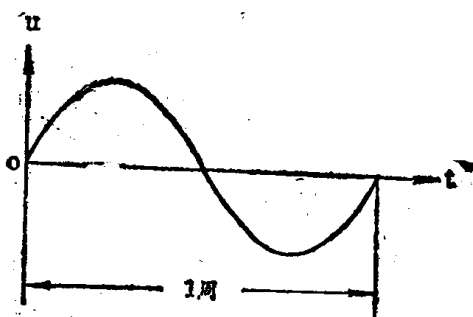


图1—1 交流电变化的波形图

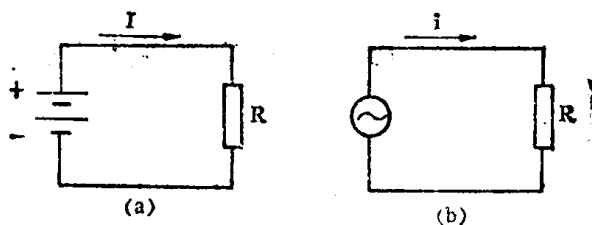
当采用正弦函数式或波形图表示交流电时，常用 ωt 来表示角度的变化。

三、交流电的瞬时值、最大值和有效值

交流电任一瞬间所具有的数值叫做瞬时值。用英文小写字母 i 、 u 、 e 分别表示电流、电压、电势的瞬时值。

交流电最大的瞬时值叫做最大值。用符号 I_m 、 U_m 、 E_m 分别表示电流、电压、电势的最大值。

交流电的大小和方向是不断变化的，我们平常所说的 220 伏、380 伏、5 安实际上都是说的有效值。



(a) 直流电路；(b) 交流电路

图1—2 直流和交流的等效电路

在图1—2中，数值相同的电阻分别接上直流电源和交流电源，如果电阻产生的热量相同，这时，从发热的效果来看，交流电流 i 和直流电流 I 是等效的。一个交流电流 i 和一个直流电流 I 所产生的热效应相同，则 I 就是 i 的有效值。用字母 I 、 U 、 E 分别表示电流、电压、电势的有效值。

实验证明，有效值和最大值的关系是：

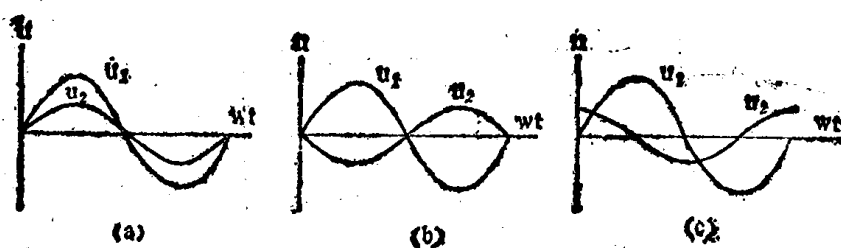
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m \quad \text{或} \quad I_m = \sqrt{2} I = 1.41 I$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m \quad \text{或} \quad U_m = \sqrt{2} U = 1.41 U$$

四、交流电的相位和相位差

交流电某一数值出现的时刻，以角度来表示，叫做相位。在起始时刻 ($t = 0$)，交流电所具有的相位叫初相位。

两个同频率的交流电对应值在相位上的差别叫做相位差。图1—3表示两个交流电不同相位差的情况。



(a) 同相位；(b) 反相位；(c) u_2 超前 $u_1 90^\circ$

图1—3 交流电的相位差

一个交流电的最大值、角频率和初相位已定，其变化规律就完全确定了，这三个基本量叫做交流电的三要素。

第二节 交流电的矢量表示法

表示交流电的变化规律，可以用正弦函数表达式或正弦波形图，还可以用矢量表示法，它是分析交流电路的重要方法。

一、矢量（向量）的概念

有些物理量，只有数值的大小，如时间、长度、电阻等，称为标量。有些物理量，既有大小，又有方向，如力、速度、电磁场等，称为矢量。显然，交流电也是矢量，但由于它的大小和方向是随时间周期性变化的，因而不能用一个固定矢量来表示，必须采用旋转矢量。

有一个交流正弦电压 $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ ， φ 是其初相角。在图1—4的直角坐标中，通过原点 O 取长度为 U_m 的矢量 OA ，在计时开始时，矢量 OA 和横坐标轴之间的夹角为初相角 φ ， OA 以角频率 ω 逆时针旋转。在时间 t 时，其和横坐标轴的夹角是 $(\omega t + \varphi)$ 。在任何时刻，旋转矢量 OA 在纵坐标轴的投影，就是电压的瞬时值， OA 旋转一周，交流正好完成一个正弦波形的变化，如图1—4所示。

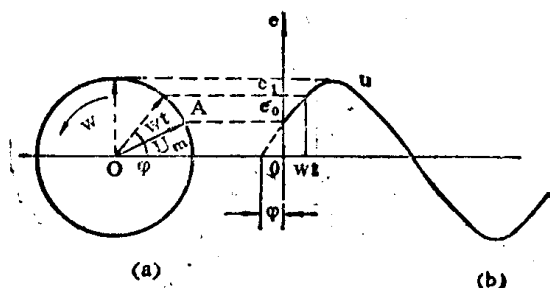


图1—4 用旋转矢量表示交流电

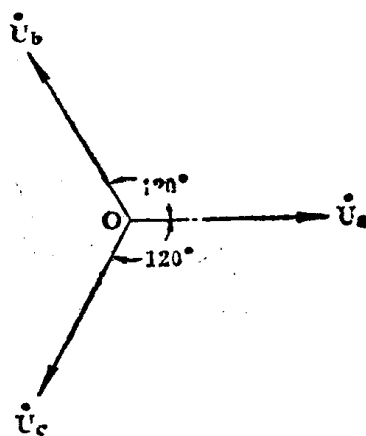


图1—5 三相交流电的矢量图

二、矢量图

用矢量表示交流电的目的在于了解多个交流电量之间的相位关系和它们之间的合成。为此要画出矢量图，画矢量图时应注意：

(1) 在一个矢量图上只能画同一频率的矢量。由于频率相同，各矢量的相对位置总是保持不变的，因而不需要在图上标出角频率 ω 、矢量旋转方向和直角坐标轴。

(2) 参考矢量的位置可以任意选定。一般选初相角为零的交流量为参考矢量，其它矢量的位置则由它们和参考矢量之间的相位差来确定。

(3) 用矢量的长度表示交流电的有效值。例如三相交流电压为：

$$u_a = \sqrt{2} U_A \sin \omega t$$

$$u_b = \sqrt{2} U_B \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_c = \sqrt{2} U_C \sin(\omega t + 120^\circ)$$

它们之间的相位差为 120° ，如图1—5所示。

三、矢量的加减

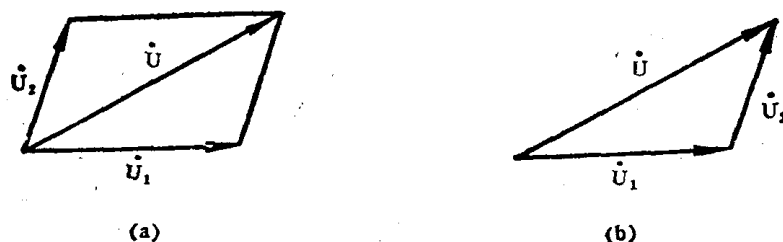
1. 矢量相加

平行四边形法：两个矢量 $\vec{U}_1$ 、 $\vec{U}_2$ 相加，把两个矢量的始端（不带箭头端）放在一起，并以矢量 $\vec{U}_1$ 、 $\vec{U}_2$ 为邻边作一平行四边形，则从始端引出的对角线所表示的矢量 $\vec{U}$ ，就是 $\vec{U}_1$ 、 $\vec{U}_2$ 的矢量和，如图1—6(a)所示。

三角形法：两个矢量 $\vec{U}_1$ 、 $\vec{U}_2$ 相加，把矢量 $\vec{U}_2$ 的始端放到矢量 $\vec{U}_1$ 的末端上，则从 $\vec{U}_1$ 的始端到 $\vec{U}_2$ 的末端所引的矢量 $\vec{U}$ ，就是 $\vec{U}_1$ 、 $\vec{U}_2$ 的矢量和，如图1—6(b)所示。

2. 矢量相减

将要减去的矢量变为反矢量，然后利用平行四边形或三角形法相加即可，如图1—7所示。



(a) 平行四边形法；(b) 三角形法

图1—6 矢量的加法

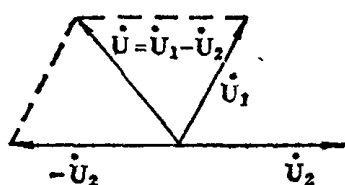


图1—7 矢量的减法

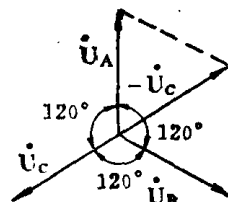


图1—8 三相对称交流电的矢量和

例如，有三个电压 $\dot{U}_A$ 、 $\dot{U}_B$ 、 $\dot{U}_C$ ，它们的有效值相等，相位互差 120° ，它们矢量和的求法如图1—8所示，显然：

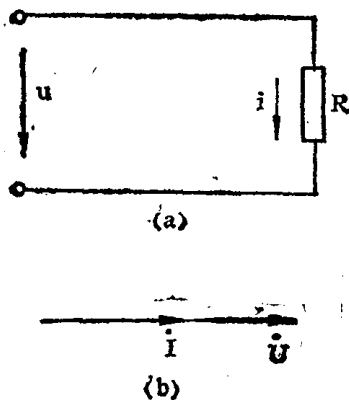
$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$$

第三节 单相交流电路

交流电源总是要和负载联系起来组成交流电路的，负载及其连接的导线可以用电阻、电感、电容的适当组合来表示，本节分析单相交流电路的各种情况。

一、纯电阻电路

电感和电容都很小而可以忽略的电路，如电炉、白炽灯等电路，称为纯电阻电路，如图1—9(a)所示。



(a) 电路图；(b) 矢量图

图1—9 纯电阻电路图

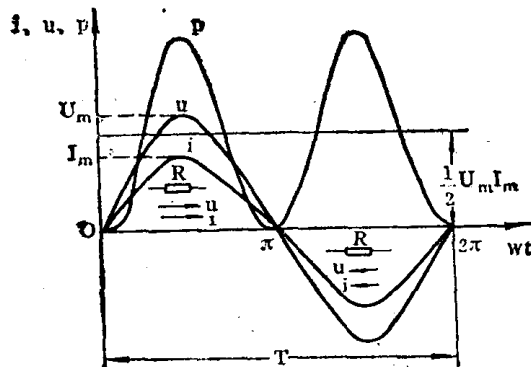


图1—10 纯电阻电路的功率

1. 电压和电流的关系

设电源电压的瞬时值为

$$u = U_m \sin \omega t$$

根据欧姆定律, 电流的瞬时值为

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

电流的最大值为

$$I_m = \frac{U_m}{R}$$

则

$$\sqrt{2} I = \frac{\sqrt{2} U}{R}$$

故

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

可以看出: (1) 电压和电流的有效值符合欧姆定律; (2) 电压和电流同相位, 即相位差为零。如图1—9(b)所示。

2. 电功率

电压和电流的乘积称为电功率, 可以分为瞬时功率和平均功率。

(1) 瞬时功率: 任一瞬时所消耗的功率叫瞬时功率 p 。

$$\begin{aligned} p &= ui = U_m \sin \omega t \times I_m \sin \omega t = U_m I_m \sin^2 \omega t \\ &= \frac{U_m I_m}{2} (1 - \cos 2\omega t) = UI (1 - \cos 2\omega t) \end{aligned}$$

由上式可见, 瞬时功率也是按正弦规律变化的, 变化的频率是电压、电流频率的两倍, 如图1—10所示, 不论电流的方向如何, 瞬时功率都是正值, 即电阻上总是要消耗电能的。

(2) 平均功率: 瞬时功率的平均值, 叫平均功率 P , 可以证明:

$$P = \frac{1}{2} U_m I_m = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

平均功率又称为有功功率, 单位是瓦(W)或千瓦(KW)。在电气设备铭牌上所标的功率就是有功功率。

二、纯电感电路

电路中电阻和电容的作用很小而可以忽略的电路, 称为纯电感电路, 如图1—11所示。例如, 日光灯镇流器线圈、继电器线圈、电抗器等, 都可当作纯电感元件。

1. 电流和电压的关系

当线圈接于交流电路时, 由于电流是变化的, 将在线圈中产生自感电势, 以反抗电流的变化。电感线圈这种阻碍交流电流通过的作用可用感抗 X_L 表示, 它和线圈电感 L 的关系为

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

式中 X_L —感抗, 欧; f —频率, 周/秒;
 L —线圈的电感, 亨; π —常数(约为3.14)。

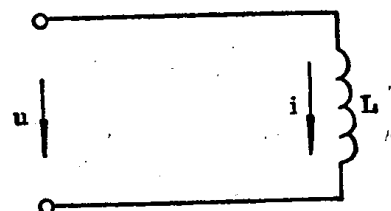


图1—11 纯电感电路

由于电感线圈有阻止线圈电流变化的作用, 所以在纯电感电路中, 电流的变化在相位上

要落后电压 90° ，或者说电压超前电流 90° 。如图1—12的波形图和矢量图所示。

纯电感电路的电压、电流、感抗也符合欧姆定律，即，

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2\pi fL}$$

2. 电功率

设电流的瞬时值为：

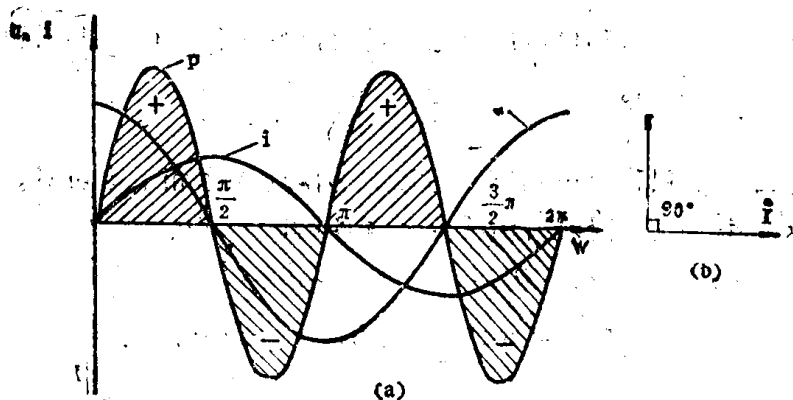
$$i = I_m \sin \omega t$$

则电压的瞬时值为：

$$u = U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

瞬时功率为：

$$\begin{aligned} p &= ui = U_m \sin(\omega t + 90^\circ) \times I_m \sin \omega t \\ &= UI \sin 2\omega t \end{aligned}$$



(a) 波形图；

(b) 矢量图

图1—12 纯电感电路的波形图和矢量图

图1—12示出了瞬时功率 p 变化的波形。在 $0 \sim 90^\circ$ 期间，随着电流的上升，线圈开始贮存能量，由于电流和电压同方向，瞬时功率 p 为正值，表示线圈从电源吸取功率，将电能转换成磁能。在 $90^\circ \sim 180^\circ$ 期间，电流开始减小，而电压改变了方向，瞬时功率 p 变为负值，表示线圈向电源输送功率，将磁能又转换成电能，以后不断重复上述过程。

由此可见，纯电感电路的电功率有以下几个特点：

- (1) 瞬时功率按正弦规律变化，其变化频率为电源频率的两倍；
- (2) 电路的平均功率为零；
- (3) 在电路中，只有能量的转换，而没有能量的消耗。

3. 无功功率

在纯电感电路中，瞬时功率的最大值，叫做无功功率 Q ，它表示线圈和电源之间能量转换的规模，无功功率用下式表示

$$Q = UI = I^2 X_L = \frac{U^2}{X_L}$$

无功功率的单位是乏 (VAR) 或千乏 (KVAR)。

无功并非无用之功，可以将它理解为建立交变磁场所需要的能量。如变压器、电动机都是靠建立磁场来转换和传递能量的，因而需要无功功率。

三、电阻和电感串联的电路

在交流电路中，多数负载是既有电阻又有电感的。一个线圈的电阻和电感彼此是不能分开的，当线圈的电阻不能忽略时，就是一个具有电阻和电感的电路，为了便于分析，往往把电阻和电感分开，成为电阻和电感串联的电路，如图1—13所示。

1. 电路分析

图1—13中，在电源电压 u 的作用下，产生电流 i 通过电阻 R 和电感 L ，在其上分别产生电压 u_R 和 u_L ，显然 $u = u_R + u_L$ ，可以用它们的有效值画成矢量图，如图1—14(a)所示。以电流矢量 $\dot{I}$ 为参考矢量，并把它画在横轴正方向上，电阻上的电压降 $\dot{U}_R$ 与 $\dot{I}$ 同相，电感上的电压降 $\dot{U}_L$ 超前电流 $\dot{I}$ 的角度为 90° ， $\dot{U}_R$ 和 $\dot{U}_L$ 的合成矢量就是电源电压 $\dot{U}$ 。从矢量图可以看出， $\dot{U}_R$ 、 $\dot{U}_L$ 、 $\dot{U}$ 三个矢量组成的是直角三角形，称为电压三角形。

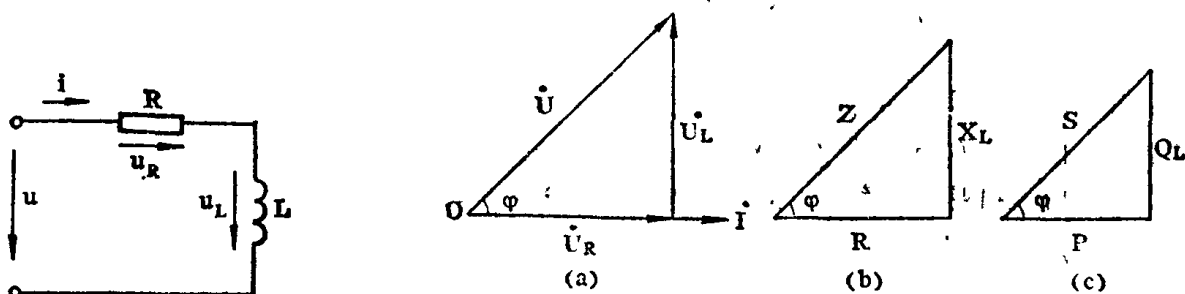


图1—13 电阻和电感串联的电路图

(a) 电压三角形；(b) 阻抗三角形；(c) 功率三角形

图1—14 电压三角形、阻抗三角形和功率三角形

合成电压的有效值为：

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} = I\sqrt{R^2 + X_L^2} = IZ$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}; \quad X_L = \omega L$$

Z 是由电路的电阻和电抗所决定的一个物理量，称为电路的阻抗，其单位也是欧。

电压三角形每边除以电流有效值 I ，可以得到以 Z 、 R 、 X_L 为主边的三角形，称为阻抗三角形，如图1—14(b)所示。在阻抗三角形中， Z 、 R 、 X_L 虽然保持直角三角形关系，但它们不是矢量，而是标量。

由图1—14(a)可以看出，电压 $\dot{U}$ 比电流 $\dot{I}$ 超前一个 φ 角， φ 角的大小可以求出，

$$\text{由于} \quad \cos\varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z}$$

$$\text{故} \quad \varphi = \cos^{-1} \frac{U_R}{U} = \cos^{-1} \frac{R}{Z}$$

$$\text{或} \quad \tan\varphi = \frac{U_L}{U_R} = \frac{X_L}{R}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{U_L}{U_R} = \tan^{-1} \frac{X_L}{R}$$

由此可见，电压和电流相角差 φ 的大小，是由负载的电阻和感抗所决定的。

2. 电路的功率

(1) 有功功率

在 R 、 L 串联的电路中，只有电阻消耗功率。根据电压三角形可得：

$$U_R = U \cos \varphi$$

有功功率为: $P = U_R I = UI \cos \varphi$

(2) 无功功率

电感不消耗有功功率,但它要与电源之间进行能量的交换,能量交换的规模用无功功率表示。由电压三角形可得:

$$U_L = U \sin \varphi$$

无功功率为: $Q = U_L I = UI \sin \varphi$

(3) 视在功率

将图1—14(a)的电压三角形各边同乘以电流有效值 I ,就得到一个与电压三角形相似的功率三角形,如图1—14(c)所示。两直角边分别是有功功率 P 和无功功率 Q ,斜边为电压和电流有效值的乘积,称为视在功率 S ,即:

$$S = UI$$

由功率三角形得: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

其单位为伏安(VA)或千伏安(kVA)。

有功功率和视在功率的比值,称为功率因数,即:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

功率因数是交流电路的重要参数之一。功率因数越高,表示负载有功功率占的比例越大,无功功率占的比例越小,电源被利用的程度越高。

由此可见,在既有电阻又有电感的交流电路中,电源要供给两部分功率:一部分是用于作功而消耗掉的有功功率;另一部分用于能量交换的无功功率。

四、纯电容电路

纯电容交流电路如图1—15所示。在交流电源的作用下,电容器不断地充、放电,从而在电路中产生了交变电流。

纯电容电路的电流、电压、功率的波形图如图1—16(a)所示,图1—16(b)为电流、电压的矢量图。纯电容电路有以下特点:

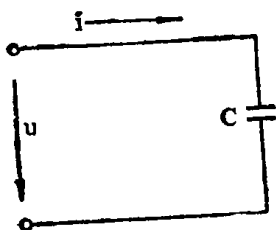
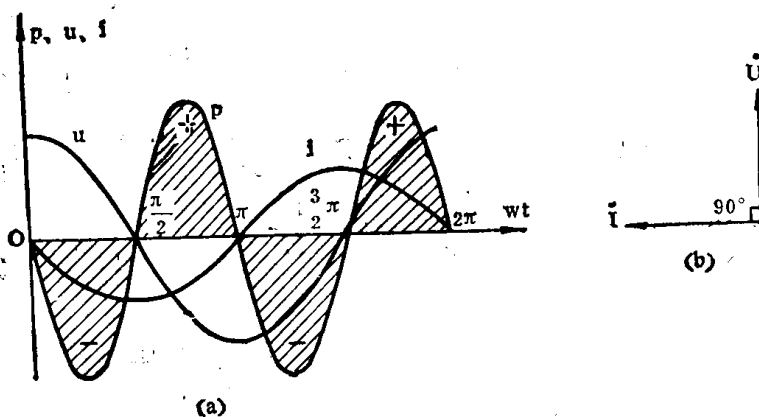


图1—15 纯电容电路



(a) 波形图; (b) 矢量图

图1—16 纯电容电路的波形图和矢量图

(1) 在相位上,电流超前电压 90° 。

(2) 电流和电压有效值的关系为:

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

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

C —电容, 单位为法, 1法 = 10^6 微法。

X_C 称为容抗, 表示电容器对交流电的阻碍作用。

(3) 瞬时功率的变化频率也是电源频率的两倍, 平均功率为零, 瞬时功率的最大值称为电容电路的无功功率, 其值为:

$$Q = UI = I^2 X_C = \frac{U^2}{X_C}$$

(4) 瞬时功率的相位和纯电感电路正好相反(对照图1—12), 即电感吸收能量时, 电容正好放出能量, 因此电容器可以补偿电感电路的无功功率。

五、电阻、电感与电容串联的电路

图1—17表示了电阻、电感与电容串联的交流电路。

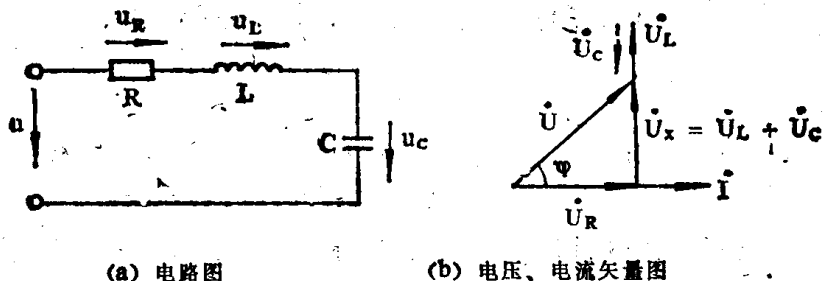


图1—17 电阻、电感和电容串联的电路

1. 总电压和电流的关系

串联电路中, 总电压的瞬时值等于各部分电压瞬时值之和, 即:

$$u = u_R + u_L + u_C$$

或用矢量表示, 即:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C$$

现以电流 I 作参考矢量, 作出如图1—17(b)所示的矢量图。从图中可以看出, $\dot{U}$ 、 $\dot{U}_R$ 、 $\dot{U}_X$ ($\dot{U}_X = \dot{U}_L + \dot{U}_C$) 也可以组成一直角三角形。可以得知:

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = IZ$$

其中 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$

称为该电路的总阻抗, 单位为欧, 它由电阻 R 和电抗 X 两部分组成。电抗部分为:

$$X = X_L - X_C = 2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}$$

2. 串联电路的各种情况

在 R 、 L 、 C 串联电路中, 根据感抗和容抗的大小不同, 有如下三种情况,

(1) 当 $X_L > X_C$ 时, $\dot{U}_L > \dot{U}_C$, 电路是感性的。

(2) 当 $X_L < X_C$ 时, $\dot{U}_L < \dot{U}_C$, 电路是容性的。

(3) 当 $X_L = X_C$ 时, $\dot{U}_L = \dot{U}_C$, 电流和电压同相位。电路的这种情况称为串联谐振, 又叫电压谐振。这时电路总阻抗 $Z = R$, 电路中的电流达到最大值。若 $R \ll X_L$ (或 X_C), 则在线圈

两端和电容器两端将出现高电压，此电压可能超过电源电压许多倍，威胁元件的绝缘，故在电力系统中要尽量避免发生串联谐振。

第四节 三相交流电路

一、三相交流电势的产生

工业上最普遍应用的是三相交流电，它是由三相交流发电机产生的，图1—18(a)为三相交流发电机的示意图。在发电机定子槽中放着三个完全相同的、彼此相隔 120° 的独立绕组A—X、B—Y、C—Z。

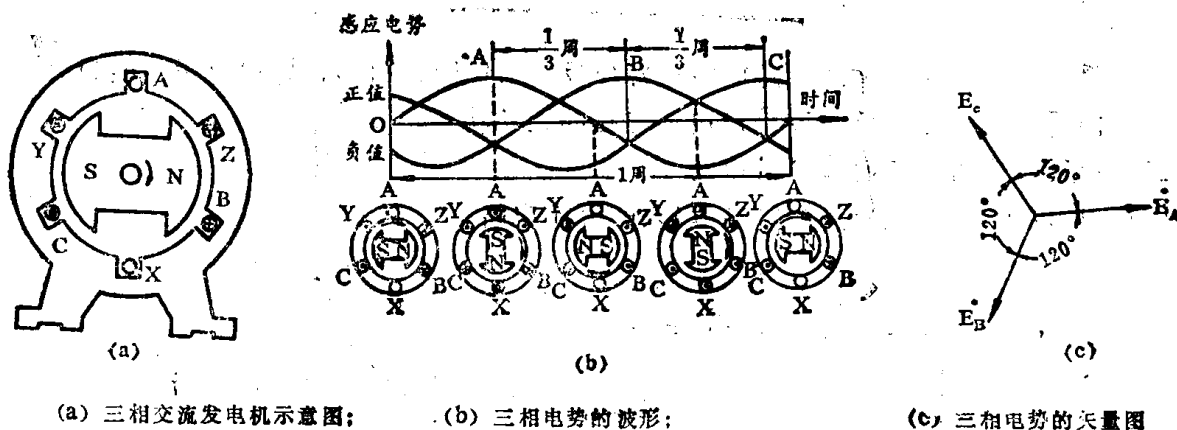


图1—18 三相对称电势的产生

A、B、C表示各相绕组的首端，X、Y、Z表示各相绕组的尾端。当原动机带动转子磁场按顺时针方向匀速转动时，就会在三相绕组中产生感应电势 e_A 、 e_B 、 e_C 。以图1—18(a)中转子所处的位置作为计时的起点，则A相电势首先从零上升到正的最大值。经过 $1/3$ 周(120°)，由B相电势上升到正的最大值。再经过 $1/3$ 周，由C相电势上升到正的最大值，它们的变化规律和相互关系，如图1—18(b)所示。可见三相电势有以下特点：

- (1) 各电势的波形都按正弦规律变化；
- (2) 它们的频率和最大值都相等；
- (3) 三个电势的相位彼此相差 120° 。

三相电势的频率相同、最大值相等、相位互差 120° ，称为对称三相电势，其三角函数的表达式为

$$e_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

图1—18(b)、(c)表示了对称三相电势的波形图和矢量图。可以看出，任何瞬时，对称三相电势的代数和都等于零。

二、三相电源绕组的连接

三相电源绕组有星形和三角形接法两种。

1. 星(Y)形连接

三相绕组的三个尾端X、Y、Z接在一起而由三个首端A、B、C引出的接线，称为星形接线，如图1—19所示。三个尾端所连成的一点O叫中点。只引出三条相线的输电方式，称为三相三线制；除了引出三条相线外，还从中点引出中线的输电方式，称为三相四线制；前者用

于高压输电系统，后者用于低压配电系统。

星形连接时，相线和中线之间的电压，称为相电压，各相电压的瞬时值和有效值分别用 u_A 、 u_B 、 u_C 和 U_A 、 U_B 、 U_C 表示，电源在开路情况下，相电压和相电势的大小相等但方向相反。任意两条相线之间的电压，称为线电压，线电压的瞬时值和有效值分别用 u_{AB} 、 u_{BC} 、 u_{CA} 和 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 表示。相电势、相电压和线电压的正方向如图1—19的各箭头所示。

由于线电压和相电压都是同频率的正弦量，因而可以用矢量来表示和计算，即，

$$\begin{cases} \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B \\ \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C \\ \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A \end{cases}$$

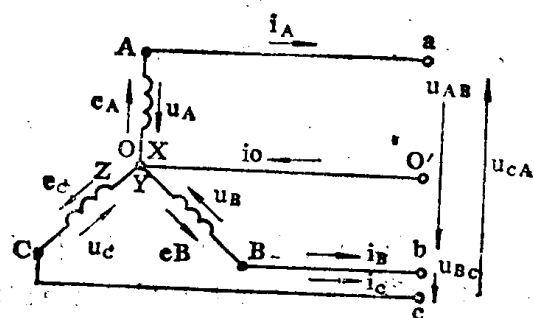


图1—19 三相绕组的星形连接

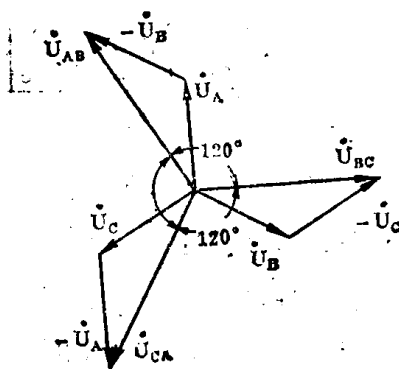


图1—20 星形连接的电压矢量图

对于对称三相电源，可以画出图1—20的矢量图，其特点是：

- (1) 线电压(U_l)有效值等于相电压(U_ϕ)有效值的 $\sqrt{3}$ 倍，即，

$$U_l = \sqrt{3} U_\phi \approx 1.73 U_\phi$$

- (2) 线电压比相应的相电压相位超前 30° ，三个线电压和三个相电压分别是对称的，即：

$$\dot{U}_A + \dot{U}_B + \dot{U}_C = 0$$

$$\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0$$

- (3) 在星形连接时，相电流和线电流相等，即，

$$I_l = I_\phi$$

流过各相绕组的电流称为相电流，流过各引出相线的电流称为线电流。

2. 三角形(Δ)连接

把一相绕组的尾端和另一相绕组的首端依次连接起来，构成一个闭合回路，并从三个连结点引出的接线，称为三角形接线。如图1—21所示。这种接线的特点是：

- (1) 线电压和相电压相等，即：

$$\begin{cases} \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A \\ \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B \\ \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C \end{cases}$$

或写成 $U_l = U_\phi$

- (2) 线电流比相应的相电流相位落后 30° ，线电流有效值等于相电流有效值的 $\sqrt{3}$ 倍，即：

$$I_l = \sqrt{3} I_\phi$$