



城乡建设电视中专教材

建筑应用电工

鹿岫岚 编

中国建筑工业出版社



城乡建设电视中专教材

建筑应用电工

鹿岫岚 编

中国建筑工业出版社

本书为中央广播电视大学城乡建设电视中专“建筑施工与管理”、“乡镇建设”专业《建筑应用电工》课程的教学用书。内容包括单相、三相交流电路，变压器，异步电动机及其控制，供电，电气照明，建筑防雷与安全用电以及本课程的实验。

本书也可供类似专业中专学生及具有初中以上文化程度的技术人员参考。

* * *

责任编辑：刘家屿

城乡建设电视中专教材
建筑应用电工
鹿岫岚 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：11 字数：268 千字

1987年7月第一版 1987年7月第一次印刷

印数：1—53,280册 定价：1.50元

统一书号：15040·5217

前 言

本教材是根据城乡建设电视中专建筑施工与管理、乡镇建设专业教学计划的要求及《建筑应用电工》教学大纲编写的。

全书共分八章，内容包括单相交流电路、三相交流电路、变压器、异步电动机及其控制、供电、电气照明、建筑防雷与安全用电以及本课程的实验指导书。

本教材的编写内容力求结合专业特点，注意理论联系实际、通俗易懂、简明扼要，以便于学生学习。

山西省建筑工程学校万恒祥对本教材作了详细的审阅，并提出了宝贵的修改意见，编者谨致衷心感谢。

书中插图由哈尔滨电工学院段铁群绘制。

由于编者水平有限，加之时间仓促，不当之处，恳请读者给予批评指正。

编者

1986年7月

目 录

第一章 单相交流电路	1
第一节 概述	1
第二节 正弦交变电动势的产生	2
第三节 正弦交流电的特征	3
第四节 交流电的有效值	6
第五节 正弦交流电的旋转矢量表示法 正弦交流电的相加和相减	7
第六节 交流电路	11
第七节 纯电阻电路	12
第八节 纯电感电路	14
第九节 纯电容电路	18
第十节 电阻与电感的串联电路	20
第十一节 线圈与电容器的并联电路	26
第十二节 提高功率因数的意义和方法	29
小结	31
习题	33
第二章 三相交流电路	34
第一节 概述	34
第二节 三相对称电动势的产生	34
第三节 三相电源的相线与零线	35
第四节 三相负载的星形连接	37
第五节 三相负载的三角形连接	44
小结	47
习题	48
第三章 变压器	50
第一节 概述	50
第二节 变压器的基本构造	50
第三节 变压器的铭牌	52
第四节 单相变压器的工作原理	54
第五节 三相变压器	58
第六节 自耦变压器	59
第七节 互感器	60
第八节 电焊变压器	62
小结	63
习题	64
第四章 异步电动机及其控制	65
第一节 概述	65
第二节 异步电动机的基本构造	65
第三节 旋转磁场	67

第四节	异步电动机的工作原理	70
第五节	异步电动机的电磁转矩	72
第六节	异步电动机的机械特性	74
第七节	异步电动机的铭牌及主要技术数据	75
第八节	异步电动机的起动	80
第九节	异步电动机的反转、调速和制动	83
第十节	单相异步电动机	86
第十一节	电动机的控制和保护电器	88
第十二节	鼠笼式异步电动机直接起动、点动、正反转的控制线路	92
第十三节	限位控制线路	96
第十四节	两台电动机联锁的控制线路	97
小结		98
习题		99
第五章	供电	101
第一节	电能的产生、输送和分配	101
第二节	变电所	102
第三节	低压配电线路	104
第四节	负荷计算	106
第五节	变压器的选择	109
第六节	导线的选择	110
第七节	熔断器的选择	116
第八节	施工现场临时供电	119
小结		120
习题		121
第六章	电气照明	122
第一节	电气照明基本概念	122
第二节	照明器	125
第三节	电气照明计算	129
第四节	照明供电线路	135
第五节	电气照明识图	136
第六节	照明线路的敷设	142
小结		145
习题		145
第七章	建筑防雷与安全用电	146
第一节	雷电的危害	146
第二节	建筑物的防雷分类	146
第三节	建筑物的防雷措施	147
第四节	防雷装置	149
第五节	建筑防雷平面图	151
第六节	电流对人体的危害	151
第七节	电气设备的接地与接零	153
第八节	安全用电常识	157
小结		157

习题	158
第八章 实验指导书	159
实验一 具有电阻和电感的线圈参数测定	159
实验二 电感性负载与电容器并联的交流电路	163
实验三 三相负载的星形连接	164
实验四 三相负载的三角形连接	165
实验五 单相变压器的空载和负载实验	166
实验六 异步电动机的起动控制线路	168

第一章 单相交流电路

第一节 概 述

在现代的工农业生产和日常生活中使用的电源大多数是交流电，这是因为交流电比直流电具有许多明显的优点，例如对交流电可以利用变压器方便地将电压升高或降低。在进行远距离输电时变换为较高电压，可以节省输电线路的有色金属，经济地输送电能；用户在用电时变换为较低电压，能够节省电气设备的投资费用，保证安全，从而解决了输电和用电时对电压的不同要求。此外，异步电动机的构造简单，价格便宜，运行可靠，维护方便，应用极为广泛，这种电动机，必须由交流电源供电。照明、动力、电热等用电设备绝大多数也采用交流电源。因此，现代电力系统普遍采用交流电。即使是某些非用直流电源不可的工业，如电解、电镀、城市交通电车，也是利用整流设备将交流电转变为直流电。

在直流电路中，电动势、电压和电流的大小、方向都不随时间的改变变化；而在交流电路中，电动势、电压和电流（统称交流电）的大小、方向都随时间作周期性变化。工程上用的交流电，其大小和方向随时间按正弦规律变化，叫做正弦交流电，如图1-1(b)所示。由于交流电的方向随时间而不断改变，在实际电路中，必须选定其中的一个方向为交流电的正方向，图1-1(a)电路中箭头所指的方向就是我们规定的正方向。当电路中交流电的实际方向与所规定的正方向一致时，它为正值；相反时就为负值。所以，有了规定的正方向，再根据交流电在某一瞬时是正值还是负值，就可以知道它在这个瞬时的实际方向。

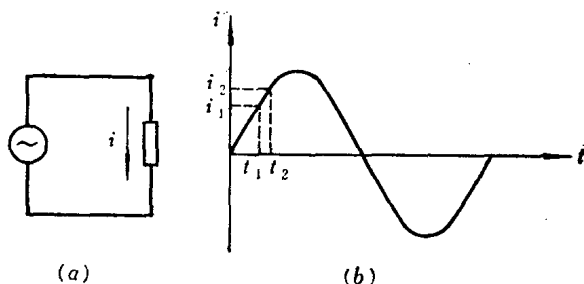


图 1-1 正弦交流电的正方向及其波形

交流电在任一瞬时的数值，称为瞬时值，用英文小写字母表示，如电流用 i 、电压用 u 、电动势用 e 等。在波形图上任一点的纵坐标值，表示与横坐标对应时刻的瞬时值，例如在 t_1 时刻的交变电流的瞬时值为 i_1 ，在 t_2 时刻的瞬时值为 i_2 等。

交流电的最大瞬时值，称为最大值，用有下标 m 的大写英文字母表示，如交变电流、电压、电动势的最大值用 I_m 、 U_m 、 E_m 表示。对于给定的交流电，它的最大值是常数，在一个周期内出现两次，即正最大值和负最大值。

交流电每变化一周所用的时间叫周期，用字母 T 表示，其单位是秒 (s)。

一秒钟内交流电变化的次数叫频率，用字母 f 表示。其单位是赫兹 (Hz)。

由上述定义可知，频率与周期互为倒数，即

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{或} \quad T = \frac{1}{f} \quad (1-1)$$

我国发电厂发出的交流电,频率为50Hz,这一频率为我国的工业标准频率,简称工频。所以一般的电力变压器、交流电动机、照明等电气设备,都是按取用50Hz的交流电来进行设计制造的。但还有一些设备,需要频率较高的交流电,例如高频加热所用的频率可达 10^6 Hz,无线电工程上使用的频率约为 $10^6 \sim 3 \times 10^{10}$ Hz。

例如,频率为50Hz的交流电,其周期为:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50/\text{s}} = 0.02 \text{ s}$$

第二节 正弦交变电动势的产生

正弦交变电动势,是由交流发电机产生的。交流发电机的主要构造如图1-2所示,在静止磁场的N极与S极之间放置一个可以转动的圆柱形铁芯,在铁芯上固定着线圈,铁芯和线圈合称发电机的电枢。线圈的两端分别接到两个滑环上,滑环固定在转轴上,并与转轴绝缘。滑环之间也互相绝缘,每一个滑环都和一个静止的电刷接触,当电枢旋转时,利用滑环与电刷的滑动接触,将线圈与外电路的负载相连接。

当电枢被原动机拖动而旋转时,电枢上的线圈边 ab 和 $a'b'$ 分别切割磁力线而产生感应电动势,它们的方向可用右手定则来判断,当线圈按逆时针方向转到如图1-2所示位置时, ab 边中感应电动势的方向为由 b 至 a , $a'b'$ 边中为由 a' 到 b' ,整个线圈中感应电动势的方向为由电刷A指向电刷B;当线圈继续转过 180° 时,由于 ab 边中的感应电动势方向为由 a 至 b , $a'b'$ 边中感应电动势的方向为由 b' 至 a' ,所以整个线圈中电动势的方向为由电刷B指向电刷A。当电枢持续不停的旋转时,线圈中便产生交变电动势。

为了获得正弦交变电动势,把磁极作成适当的形状,可以使空气隙中的磁感应强度沿电枢表面按正弦规律分布。

如图1-3所示,在两极之间分界面 OO' 的位置(称为中性面)磁感应强度 $B=0$,在磁极中线处,磁感应强度为最大值,用 B_m 表示。电枢表面任一点的磁感应强度可以用下式表示

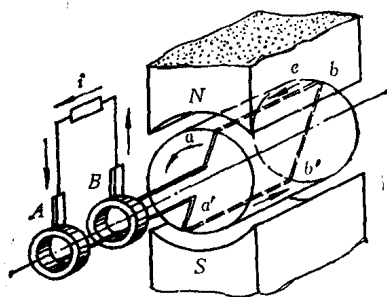


图 1-2 简单的交流发电机

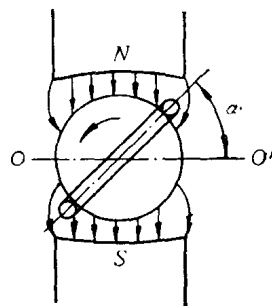


图 1-3 气隙中磁场分布情况

$$B = B_m \sin \alpha$$

式中 α 是电枢圆周上任一点和电枢轴心所构成的平面与中性面之间的夹角。

当电枢被原动机（内燃机、水轮机、汽轮机等）拖动，在磁场中作等速旋转时，电枢线圈的有效边切割磁力线产生感应电动势，由于磁力线总是垂直地进入或穿出铁芯的表面，因此线圈在旋转时，线圈边总是垂直切割磁力线，所以线圈每一有效边中所产生的感

应电动势的大小为

$$e' = Blv$$

式中 l ——有效边的长度；

v ——线圈运动的线速度；

B ——有效边所在位置上磁场的磁感应强度。

由于有效边长度 l 和运动速度 v 为定值，因而感应电动势的大小就决定于磁感应强度的大小。而磁感应强度 B 沿电枢表面按正弦规律分布，所以线圈每一有效边中感应电动势为

$$e' = Blv = B_m l v \sin \alpha$$

每一匝线圈是由两个有效边相串联的，所以整匝线圈的总电动势为 $e = 2e'$ ，如果线圈具有 N 匝，则两电刷间的电动势为

$$e = N \cdot 2e' = N \cdot 2B_m l v \sin \alpha$$

当 $\alpha = 90^\circ$ ，式中 $\sin \alpha = 1$ ，这时线圈正经过磁极中心线的位置，所产生电动势达最大值 E_m ，亦即

$$E_m = N \cdot 2B_m l v$$

于是

$$e = E_m \sin \alpha \quad (1-2)$$

式 (1-2) 表示线圈转到任意位置时，所产生感应电动势的瞬时值。由此可见，在交流发电机的两电刷间，可以得到正弦交变电动势，其波形如图 1-4 所示。

如果电枢以 ω 为角速度在磁场中旋转，经过时间 t ，则线圈转过的角度为 ωt ，若开始计算时间 ($t = 0$) 时，线圈平面与中性面之间已经有夹角为 ψ ，这时线圈平面与中性面之间的夹角则为

$$\alpha = \omega t + \psi$$

将这关系代入式 (1-2) 得

$$e = E_m \sin(\omega t + \psi) \quad (1-3)$$

式 (1-3) 表示发电机电枢线圈中所产生的感应电动势与时间的函数关系，它直接表示出当时间 t 变化时线圈中感应电动势的大小和方向按正弦规律变化，其波形见图 1-5。

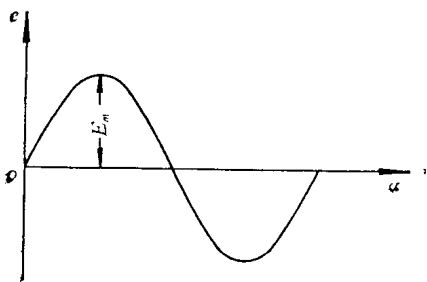


图 1-4 正弦交变电动势的波形

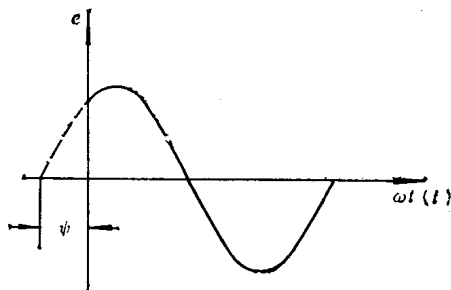


图 1-5 $e = E_m \sin(\omega t + \psi)$ 的波形

第三节 正弦交流电的特征

在物理课中曾学过直流电源，只要电动势的大小和方向确定，这个直流电动势就是被

确定的。而在交流发电机中，由式(1-3)可知， E_m 、 ω 、 ψ 三个量必须有确定的数值，这个交流电动势才是一个确定的正弦量，并据此才可求出不同时刻正弦电动势的瞬时值。因此，最大值、角频率和初相位被称为正弦交流电的三要素。

1. 最大值(幅值)

前面已讲过，正弦交流电在变化过程中所达到的最大瞬时值，叫最大值或幅值。如果两正弦交变电动势的最大值不同，那么，这两个正弦量是不相同的。

2. 角频率(电角速度)

在导出式(1-3)时， α 角虽然曾表示为线圈所在位置与中性面之间的空间角度，但 α 角实质上又表示正弦交变电动势在变化中所对应的角度(叫电角度)，也就是说，如果电动势变化 $\frac{1}{4}$ 周期，那么在式(1-3)中，我们就说经历的电角度 α 是 90° ($\frac{1}{4}\pi$)。电动势每变化一周，其经历的电角度 α 就是 360° (2π 弧度)。

图1-3所示是只有一对磁极的发电机，当电枢在磁场中旋转一周(空间角度为 360° 或 2π 弧度)时，线圈中的交变电动势也变化一周(电角度 ωt 为 360° 或 2π 弧度)，只有在这种情况下，电枢旋转的空间角度才和正弦交变电动势的电角度相等。

图1-6是磁极对数 $p = 2$ 的交流发电机，当电枢旋转半周(空间角为 180° 或 π 弧度)时，线圈已经过一对磁极，线圈中产生的正弦交变电动势已经完成了一周变化，即电角度经过 360° 或 2π 弧度，这时电角度为空间角度的二倍。

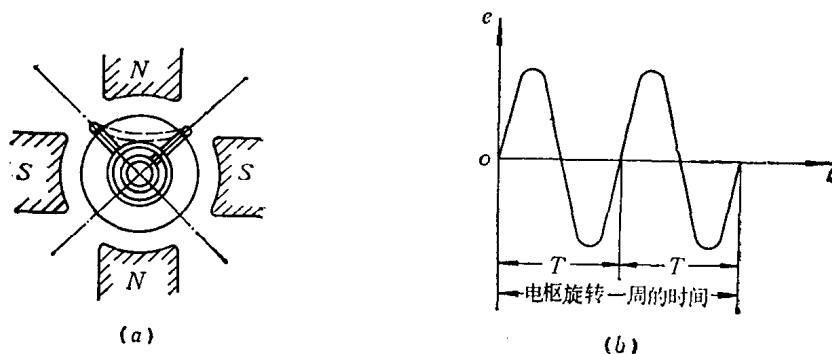


图 1-6 四极交流发电机及其电动势的波形

对于具有 p 对磁极的交流发电机，正弦交变电动势的电角度则为电枢旋转的空间角的 p 倍。

式(1-3)中的 ω 为电角度与时间的比，叫做电角速度或角频率。由于电动势每变化一周，其电角度为 2π 弧度，经过的时间为一个周期 T ，所以电角速度与周期、频率间的关系为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1-4)$$

角频率越大，频率越高，则此正弦量变化越快。

3. 初相(初相位)

由式(1-3)可知，正弦交流电的瞬时值由最大值及正弦函数 $\sin(\omega t + \psi)$ 的乘积来确定。角度 $(\omega t + \psi)$ 称为相位角或相位。当 $t = 0$ 时的相位角为 ψ ，这时的相位角称为初相位或初相。它用来确定正弦交流电开始时($t = 0$)瞬时值的大小。初相角也是电角

度, 如 $p = 2$ 的交流发电机, 若在开始时 ($t = 0$) 线圈与中性面的夹角为空间角 45° , 电角度则是 90° , 线圈这时正处在 N 极的中心线处, 所以正弦交变电动势在 $t = 0$ 时的瞬时值为最大值, 即

$$e = E_m \sin(\omega \times 0 + 90^\circ) = E_m$$

两个同频率正弦交流电的初相不同时, 则它们不能同时达到最大值 (或零值)。如图 1-7 所示, $e_1 = E_{1m} \sin(\omega t + \psi_1)$, $e_2 = E_{2m} \sin(\omega t + \psi_2)$, 由于这两正弦量的初相不同, 所以 e_1 较 e_2 先达最大值 (或零值)。

两个同频率正弦交流电相位的差, 叫做它们的相位差, 用字母 φ 表示。即

$$\varphi = (\omega t + \psi_1) - (\omega t + \psi_2) = \psi_1 - \psi_2 \quad (1-5)$$

式 (1-5) 说明两个同频率正弦交流电的相位差, 等于它们的初相之差。

相位差实质上是反映两个同频率正弦量到达最大值 (或零值) 在时间上的先后, 如图 1-7 中的 e_1 较 e_2 先达到最大值 (或零值), 那么我们就说 e_1 导前于 e_2 , 或者说 e_2 滞后于 e_1 。如果两个正弦交流电同时达到最大值 (或零值), 则说这两个正弦量同相位或同相, 它们的相位差 $\varphi = 0$ 。

同频率的正弦量 (如电流、电压、电动势) 之间的相位关系都可以相互进行比较, 但不同频率的正弦量之间不能比较。

例 1-1 已知电压 $u = 100 \sin 314t$, 电流 $i = 15 \sin(314t + 30^\circ)$, 试求这两个正弦变量的最大值、角频率、周期、频率、初相、 $t = 0$ 时的瞬时值及它们的相位关系, 并绘出它们的波形图。

解: 1. 求正弦交流电的三要素

最大值 $U_m = 100 \text{ V}, I_m = 15 \text{ A}$

周期 $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{6.28}{314/\text{s}} = 0.02 \text{ s}$

频率 $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{6.28} = 50 \text{ Hz}$

初相 $\psi_u = 0 \quad \psi_i = 30^\circ$

2. 相位差

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 0 - 30^\circ = -30^\circ$$

i 较 u 导前 30°

3. u 与 i 的波形 (图 1-8)

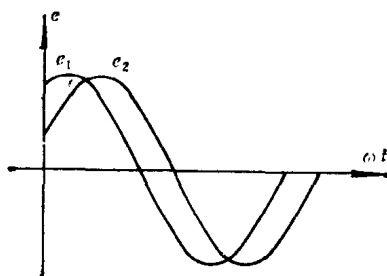


图 1-7 两个初相不同的电动势

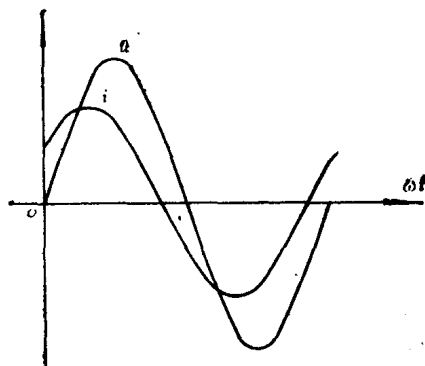


图 1-8 例 1-1 的图

例 1-2 已知正弦交变电压的频率为50Hz, 最大值为100V, 初相位为 $\frac{\pi}{3}$ 。写出电压瞬时值方程式, 画波形图, 并求出当 $t_1 = 0.01\text{s}$ 时的电压瞬时值。

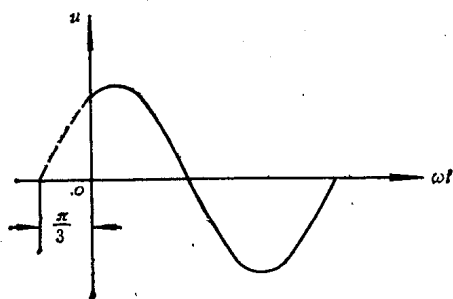


图 1-9 例1-2的图

解: 1. 角频率 $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 100\pi = 314\text{Hz}$
电压的瞬时值方程为

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi) = 100 \sin\left(314t + \frac{\pi}{3}\right)$$

2. 其波形图如图1-9所示

3. 当 $t_1 = 0.01\text{s}$ 时的电压瞬时值

$$\begin{aligned} u &= 100 \sin\left(100\pi \times 0.01 + \frac{\pi}{3}\right) = 100 \sin 240^\circ \\ &= -86.6\text{V} \end{aligned}$$

第四节 交流电的有效值

一、有效值的意义

交流电的瞬时值是随时间变化的, 用瞬时值来反映交流电在电路中产生的效果很不方便。同时, 用最大值也不能确切地反映出交流电的大小, 显然这样会夸大交流电的做功效果, 因为它只是最大的瞬时值, 在大部分时间都小于最大值, 因此, 工程上常采用有效值。

交流电的有效值是根据其热效应来确定的。

如果一个交变电流 i 通过一个电阻, 在一周期的时间内所产生的热量和某一直流电流通过同一电阻, 在相等的时间内所产生的热量相等, 则此直流值就定为该交流电的有效值。

例如, 某交变电流通过一个电阻经过0.02s所产生的热量, 与另一直流电流通过这个电阻, 经过0.02s所产生的热量相等, 那么, 如果这个直流电流是10A, 则此交变电流的有效值也定为10A。这就是说, 交变电流的有效值, 等于与它热效应相当的直流值。

交流电的有效值用英文大写字母表示, 如用 I 、 U 、 E 分别表示电流、电压、电动势的有效值。

二、有效值与最大值的关系

据上述概念可知, 交流电的有效值显然小于其最大值, 其关系可以推导如下:

当交变电流 i 通过电阻 R 时, 根据焦耳-楞次定律在 dt 时间内所产生的热量为:

$$dQ = i^2 R dt$$

它在一周期的时间内所产生的热量为:

$$Q = \int_0^T i^2 R dt = R \int_0^T i^2 dt$$

直流电流 I 通过电阻 R 时, 在时间为 T 秒内产生的热量为:

$$Q = I^2 RT$$

根据有效值的定义

$$I^2 RT = R \int_0^T i^2 dt$$

整理上式可得到交变电流的有效值为

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

若交变电流的瞬时值方程式为

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

则

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} = I_m \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt}$$

根据三角函数公式

$$\sin^2 \omega t = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega t)$$

代入上式得

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m \quad (1-6)$$

由此可得出结论, 正弦交变电流的有效值等于其最大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍。

正弦交变电压和电动势的有效值与最大值之间的关系为

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m \quad (1-7)$$

在工程计算与实际应用中, 电流、电压和电动势的数值通常指有效值, 如在电机和电器的铭牌、仪表的刻度上标的都是有效值, 我们通常所说交流电源的电压值, 也是指有效值。后面用到的电动势、电压和电流等量, 不特别说明时, 都是指有效值。

例 1-3 已知交流电路中的电流 $i = I_m \sin(314t + 30^\circ)$ 在 $t = 0$ 时的瞬时值 $i = 0.5\text{A}$, 求接在电路中电流表的读数。

解: 因为 $i = I_m \sin(314t + 30^\circ)$

将 $t = 0$ 时的已知条件代入

则

$$0.5 = I_m \sin 30^\circ$$

可求出其最大值

$$I_m = \frac{0.5}{\sin 30^\circ} = \frac{0.5}{0.5} = 1\text{A}$$

电流表的读数为有效值, 故

$$I = 0.707 I_m = 0.707 \times 1 = 0.707\text{A}$$

第五节 正弦交流电的旋转矢量表示法

正弦交流电的相加和相减

一、旋转矢量表示法

由于交流电路中的电流、电压、电动势等量是随时间按正弦规律变化的, 因此不能象

直流电路那样用简单的代数方法进行计算。例如，已知 $i_1 = 4\sin(314t + 60^\circ)$, $i_2 = 3\sin(314t - 30^\circ)$ ，现要求计算 $i = i_1 + i_2$ 。如果用 $i = 4\sin(314t + 60^\circ) + 3\sin(314t - 30^\circ)$ 来计算，则要进行很复杂的三角函数运算。如果先作出 i_1 与 i_2 的波形图，然后逐点叠加描绘 $i_1 + i_2$ 的波形图，虽然比较直观，但是做起来也很麻烦。若用旋转矢量来表示正弦交流电，则使正弦量的加减计算变成矢量的加减，在计算时就比较容易了。

对于一个正弦交变电动势 $e = E_m \sin(\omega t + \psi)$ ，用旋转矢量表示的方法如下：

过直角坐标的原点 O 作一矢量 E_m ，如图1-10(a)所示，用矢量的长度表示电动势的最大值 E_m ，矢量与横轴之间的夹角表示电动势的初相位 ψ ，并且这个旋转矢量是以电角频率 ω 绕原点作逆时针方向旋转（为了图面简洁， ω 也可以不在图上标出）。

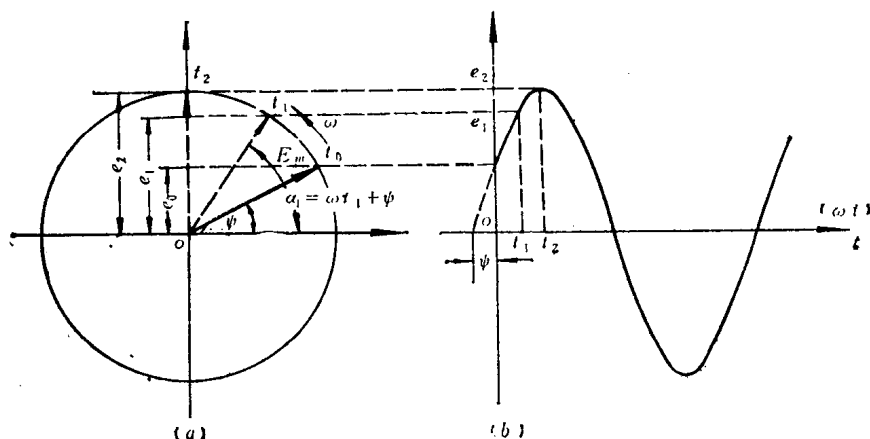


图 1-10 正弦交流电的旋转矢量表示法

旋转矢量于任一时刻在纵轴上的投影，就等于正弦变量在这个时刻的瞬时值。如图1-10(b)所示，当 $t = 0$ 时，旋转矢量在纵轴上的投影 $e_0 = E_m \sin \psi$ 为起始时刻的瞬时值。经过时间 t_1 后，旋转矢量与纵轴的夹角为 $(\omega t_1 + \psi)$ ，它在纵轴上的投影 $e_1 = E_m \sin(\omega t_1 + \psi)$ ，就是该时刻的瞬时值。由此可知，旋转矢量可用以表示正弦交变量。

应该注意，旋转矢量不同于空间矢量，如力、电场强度等矢量是在空间具有一定方向的，而旋转矢量是随时间而改变方向，所以可用来表示一个随时间按正弦规律变化的量，如交变电流、电压和电动势等。

在实际应用旋转矢量对交流电路进行分析计算时，常将几个同频率的正弦交变量画在同一矢量图中，由于所有的矢量都以同一角速度旋转，所以它们的相对位置保持不变，亦即各矢量之间的夹角始终等于它们的相位差。如果在所讨论的问题中，不需要表明各正弦交变量的初相角，而只需要考虑各正弦量的相位差，那么在作矢量图时，第一个矢量的初相位可任意选定（叫参考矢量），而其它各个矢量与参考矢量的夹角，依据这个矢量与参考矢量的相位差来确定，如果它比参考矢量的相位超前，则从参考矢量开始按逆时针方向转过相位差角，画这个矢量；如果它比参考矢量的相位滞后，则按顺时针方向转过相位差角来画。在这种情况下，坐标轴可以省略。

在画矢量图时，矢量的长度也可以表示有效值，这样用以解决实际问题是很方便的。

例 1-4 试用矢量图表示下列两个正弦交变量：

$$i = 10\sin(314t + 30^\circ)$$

$$u = 100\sin(314t - 60^\circ)$$

解：1. 方法一：

用矢量的长度分别表示最大值 $I_m = 10\text{A}$ ， $U_m = 100\text{V}$ （画图时，电压、电流可分别选定比例尺）， I_m 与横轴夹角为正 30° ， $\bar{U}_m$ 与横轴夹角为负 60° ，见图 1-11 (a)。

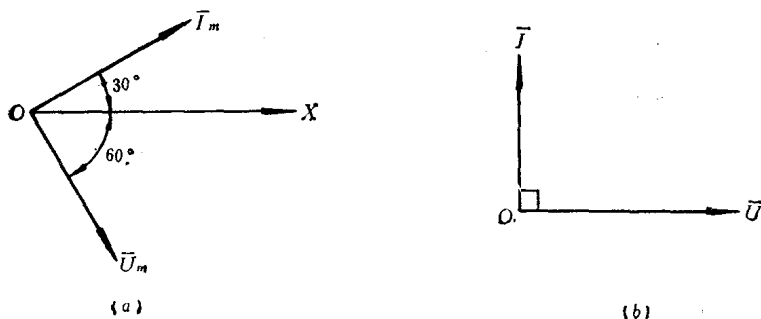


图 1-11 例1-4的图

2. 方法二：

任意取一个正弦量为参考矢量（如取 $\bar{U}$ 为参考矢量）画在任意位置（如画在水平位置），再根据 i 与 u 的相位差作出 i 的旋转矢量，由于它们的相位差为

$$\varphi = 30^\circ - (-60^\circ) = 90^\circ$$

即 i 较 u 超前 90° 。所以由参考矢量（ $\bar{U}$ ）按逆时针方向转过 90° 画 I ，见图 1-11 (b)，图中矢量的长度用有效值表示。

二、正弦交流电的相加和相减

在交流电路的计算中，常遇到两个或两个以上同频率的电流或者电压相加、相减的问题，利用矢量图进行计算比较简便。

1. 正弦交流电相加

在三角学中我们知道，正弦函数相加的结果，仍然是一个正弦函数。正弦交流电相加就是要求确定合成正弦量的三要素。例如，有两个同频率的电流，分别为

$$i_1 = I_{1m}\sin(\omega t + \psi_1)$$

$$i_2 = I_{2m}\sin(\omega t + \psi_2)$$

求 $i = i_1 + i_2$ 。

i_1 及 i_2 是两个相同频率的正弦交变电流，合成电流 i 也是具有相同频率的正弦交变电流，其瞬时值方程式可写为 $i = I_m\sin(\omega t + \psi)$ ，合成电流 i 的角频率与 i_1 、 i_2 的角频率 ω 相同，见图 1-12 (a)。

合成电流 i 的最大值 I_m 及初相位 ψ 可由矢量图求得，其作法见图 1-12 (b)：

(1) 在同一直角坐标系中画代表 i_1 和 i_2 的矢量 $\overline{OA}$ 、 $\overline{OB}$ 。

(2) 以 $\overline{OA}$ 、 $\overline{OB}$ 为两邻边作平行四边形 $OACB$ ，并作对角 $\overline{OC}$ 。由于旋转矢量 $\overline{OC}$ 于任何时刻在纵轴上的投影总是等于矢量 $\overline{OA}$ 与 $\overline{OB}$ 在纵轴上的投影之和，所以 $\overline{OC}$ 就是代表合成电流 i 的旋转矢量。

计算时，可先把 I_{1m} 和 I_{2m} 分解为水平分量和垂直分量，然后分别求水平分量及垂直分量的和，最后求出合成正弦量的最大值和初相。

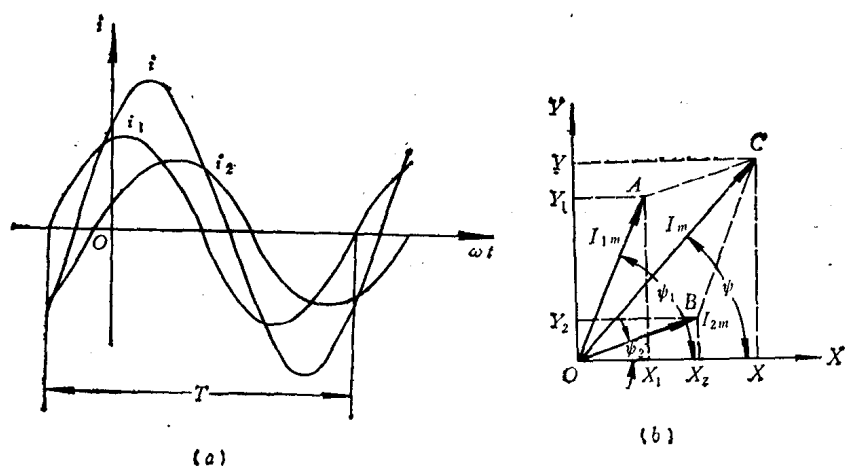


图 1-12 两个正弦交变量相加

(3) 求解合成正弦量的最大值和初相:

$$\begin{aligned}
 I_m &= \sqrt{OX^2 + OY^2} = \sqrt{(OX_1 + OX_2)^2 + (OY_1 + OY_2)^2} \\
 &= \sqrt{(I_{1m} \cos \psi_1 + I_{2m} \cos \psi_2)^2 + (I_{1m} \sin \psi_1 + I_{2m} \sin \psi_2)^2} \\
 \psi &= \arctg \frac{OY}{OX} = \arctg \frac{I_{1m} \sin \psi_1 + I_{2m} \sin \psi_2}{I_{1m} \cos \psi_1 + I_{2m} \cos \psi_2} \quad (1-8)
 \end{aligned}$$

在计算实际问题时, 其相位差有时为特殊角, 计算过程可采用更简便的方法。

例 1-5 设已知 $i_1 = 4 \sin(314t + 60^\circ) \text{ A}$, $i_2 = 3 \sin(314t - 30^\circ) \text{ A}$ 。求 $i = i_1 + i_2$ 。

解: 方法一:

先画出代表 i_1 和 i_2 的矢量 $\bar{I}_{1m}$ 、 $\bar{I}_{2m}$, 如图 1-13(a)。

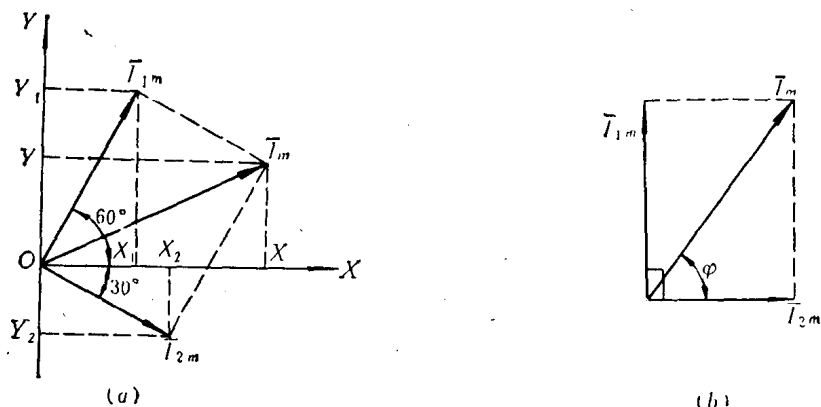


图 1-13 例1-5的图

水平分量的和为

$$\begin{aligned}
 OX &= OX_1 + OX_2 = I_{1m} \cos \psi_1 + I_{2m} \cos \psi_2 \\
 &= 4 \times \frac{1}{2} + 3 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 4.60
 \end{aligned}$$

垂直分量的和为

$$OY = OY_1 + OY_2 = I_{1m} \sin \psi_1 + I_{2m} \sin \psi_2$$