

职业高中试用教材

高等教育出版社

电工基础

下册 周绍敏 编



ZHIYE GAOZHONG SHIYONG JIAOCAI

内 容 提 要

全书分上、下两册出版。上册内容有电路的基本概念和基本定律、直流电路的分析、磁路和电磁感应现象；下册包括正弦交流电路的基本概念、矢量法和符号法、变压器、三相正弦交流电路、非正弦周期电路和过渡过程。每章末均有适量的习题。书后还附有学生实验，供选用。

本书从职业中学的实际出发，内容安排由浅入深，通俗易懂。本书可作为职业中学（招收初中毕业生）电子专业的试用教材，也可作为成人职业教育的培训教材。

职业高中试用教材

电 工 基 础

下 册

周绍敏 编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张6.25 字数134,000

1987年2月第1版 1987年2月第1次印刷

印数 00,001—42 150

书号 15010·0815 定价 0.82 元

目 录

第七章 正弦交流电的基本概念	1
第一节 交流电的产生	1
第二节 表征交流电的物理量	5
第三节 正弦交流电的表示法	10
第八章 正弦交流电路	17
第一节 纯电阻电路	17
第二节 纯电感电路	18
第三节 纯电容电路	22
第四节 电阻、电感、电容的串联电路	25
第五节 电阻、电感、电容的并联电路	33
*第六节 电感与电容的并联电路	37
第七节 交流电路的功率	40
第八节 交流电路中的实际元件	47
第九章 符号法	53
第一节 复数的概念	53
第二节 复数的四则运算	56
第三节 正弦量的复数表示法	58
第四节 复数形式的欧姆定律	62
第五节 阻抗的联接	64
*第六节 复杂正弦交流电路的一般解法	67
第十章 振荡电路和谐振	73
第一节 电磁振荡	73
第二节 串联谐振	78

第三节	谐振电路的选择性	82
第四节	并联谐振	85
第十一章	变压器	93
第一节	变压器的构造	93
第二节	变压器的工作原理	95
第三节	理想变压器	101
第四节	变压器的功率和效率	104
第五节	特殊变压器	106
*第六节	变压器的检验与联结	110
*第七节	小功率电源变压器的设计	115
第十二章	三相正弦交流电路	122
第一节	三相交流电的产生	122
第二节	三相电源的联接	124
第三节	三相负载的联接	123
第四节	三相电路的功率	136
第五节	三相异步电动机的基本原理	139
第六节	接地和接零	143
第十三章	非正弦周期电路	147
第一节	非正弦周期量的产生	147
第二节	非正弦周期量的谐波分析	148
第三节	波形与谐波成分的关系	151
*第四节	非正弦周期电路的计算	153
第五节	非正弦周期量的有效值和平均功率	158
第十四章	过渡过程	161
第一节	什么是过渡过程	161
第二节	RC 电路中的过渡过程	163
第三节	RL 电路中的过渡过程	170
附 录	学生实验	176

第七章 正弦交流电的基本概念

第一节 交流电的产生

交流电的产生

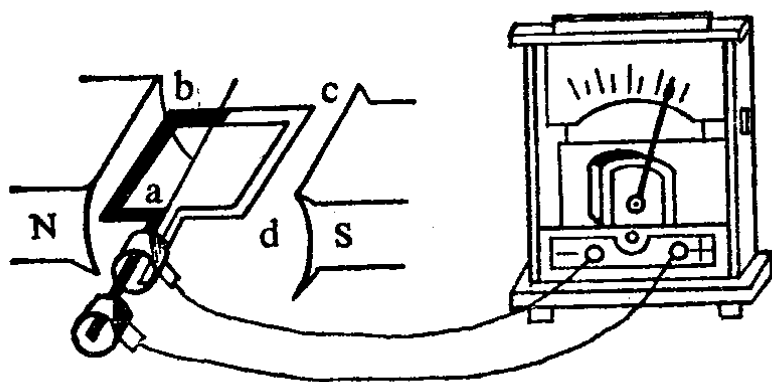


图 7-1

照图 7-1 那样使矩形线圈 $abcd$ 在匀强磁场中匀速转动，观察电流表的指针，可以看到，指针随着线圈的转动而摆动，并且线圈每转一周，指针左右摆动一次。这表明转动的线圈里产生了感生电流，并且感生电流的强度和方向都在随时间作周期性变化。这种强度和方向都随时间作周期性变化的电流叫做交流电。

下面我们来研究交流电的变化规律。

图 7-2 中标 a 的小圆圈表示线圈 ab 边的横截面，标 d 的小圆圈表示线圈 cd 边的横截面。假定线圈平面从跟磁力线垂直的平面（这个面叫做中性面）开始，沿逆时针方向匀

速转动，角速度是 ω （弧度/秒）。经过时间 t 后，线圈转过的角度是 ωt 。这时，ab 边的线速度 v 的方向跟磁力线方向间的夹角也等于 ωt 。设 ab 边的长度是 l ，磁场的磁感应强度

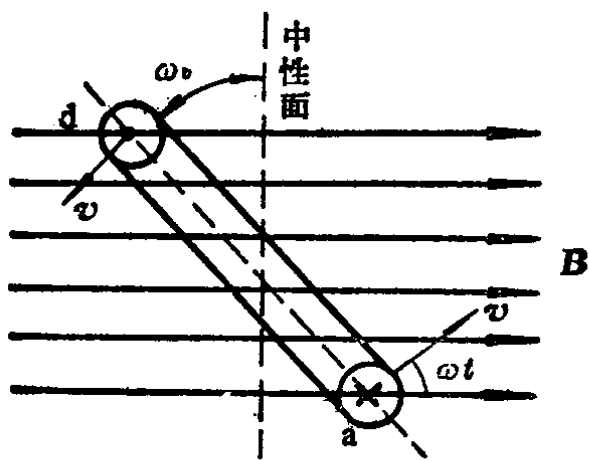


图 7-2

是 B ，那么 ab 边中的感生电动势 $e_{ab} = Blv \sin \omega t$ ，cd 边中的感生电动势跟 ab 边中的大小相同，而且又是串联在一起，所以这一瞬间整个线圈中的感生电动势 e 可用下式表示

$$e = 2Blv \sin \omega t$$

当线圈平面转到跟磁力线平行的位置时，ab 边和 cd 边的线速度方向都跟磁力线垂直，即 ab 边和 cd 边都垂直切割磁力线，由于 $\omega t = \frac{\pi}{2}$ ， $\sin \omega t = 1$ ，所以这时的感生电动势最大，用 E_m 来表示，即 $E_m = 2Blv$ ，代入上式得到

$$e = E_m \sin \omega t$$

式中 e 叫做电动势的瞬时值， E_m 叫做电动势的最大值。由上式可知在匀强磁场中匀速转动的线圈里产生的感生电动势是按正弦规律变化的。

如果把线圈和电阻组成闭合电路，则电路中就有感生电

流。用 R 表示整个闭合电路的电阻，用 i 表示电路中的感生电流，那么

$$i = \frac{e}{R} = \frac{E_m}{R} \sin \omega t$$

式中 $\frac{E_m}{R}$ 是电流的最大值，用 I_m 表示，则电流强度的瞬时值可用下式表示

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

可见感生电流也是按正弦规律变化的。这种按正弦规律变化的交流电叫正弦交流电。

交流电的图象

交流电的变化规律还可以用图象直观地表示出来。

从 $e = E_m \sin \omega t$ 和 $i = I_m \sin \omega t$ 两式中可知，正弦交流电的感生电动势 e 和感生电流 i 都是时间 t （或角度 ωt ）的正弦函数，它们的图象必然是正弦曲线。图 7-3(b)、(c) 分别表示出 e 和 i 的图象。图中的时间 t 是从线圈平面转过中性面的瞬间开始计量的，在这一瞬间（即 $t=0$ ）， ab 、 cd 边都不切割磁力线，所以线圈中不产生感生电动势，电路中没有电流，图 7-3(a) 表示出对应于 e ， i 等于零或正、负最大值时的线圈位置。

从图 7-3 可以看出，线圈平面每经过中性面一次，感生电动势和感生电流的方向就改变一次，因此线圈转动一周，感生电动势和感生电流的方向改变两次，并且线圈转过一周， e 和 i 的大小和方向都恢复到开始时的情况，在以后的转动中， e 和 i 将周期性地重复以前的变化。

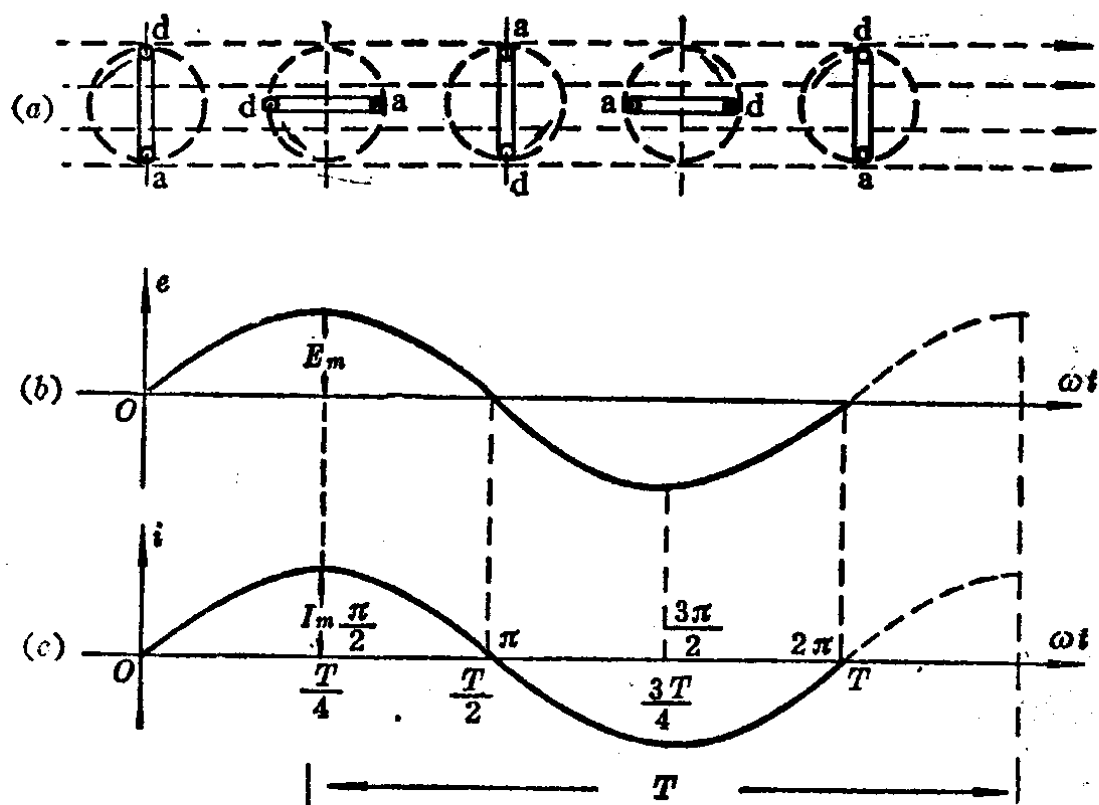


图 7-3

交流发电机

图 7-1 中所示的在磁场中旋转的线圈，实际上就是一个交流发电机模型。

发电机的基本组成部份是产生感生电动势的线圈（通常叫电枢）和产生磁场的磁极。电枢转动、磁极不动的发电机叫旋转电枢式发电机。磁极转动，而电枢不动，线圈依然切割磁力线，电枢同样会产生感生电动势，这种发电机叫旋转磁极式发电机。不论哪种发电机，转动的部份都叫转子，不动的部分都叫定子。

旋转电枢式发电机，转子产生的电流必须经过裸露着的滑环和电刷引到外电路，如果电压很高，就容易发生火花放

电,有可能烧毁电机。同时,电枢可能占有的空间受到很大限制,它的线圈匝数不可能很多,产生的感生电动势也不能很高。这种发电机提供的电压一般不超过 500 伏特。旋转磁极式发电机克服了上述缺点,能够提供几千到几万伏特的电压,输出功率可达几十万千瓦。所以大多数发电机都是旋转磁极式的。

第二节 表征交流电的物理量

直流电的电压、电流是稳恒的,都不随时间而改变,要描述直流电,只用电压和电流强度这两个物理量就够了。交流电则不然,它的电压、电流的大小、方向都随时间作周期性的变化,比直流电复杂,因此要描述交流电,需要的物理量就比较多。下面就来讨论表征交流电特点的物理量。

交流电的有效值和平均值

交流电的瞬时值是随时间而变化的,没有一个恒定的数值。交流电的最大值虽然恒定,但是不适合用来表示交流电产生的效果。因此,在实际工作中常用交流电的有效值来表示交流电的大小。

交流电的有效值是根据电流的热效应来规定的。让交流电和直流电通过同样阻值的电阻,如果它们在同一时间内产生的热量相等,就把这一直流电的数值叫做这一交流电的有效值。例如,在同一时间内,某一交流电通过一段电阻产生的热量,跟 3 安培的直流电通过阻值相同的另一电阻产生的热量相等,那么这一交流电的电流强度的有效值就是 3 安培。

通常用 E 、 U 、 I 来分别表示交流电的电动势、电压和电流

强度的有效值。实验和计算指出，按正弦规律变化的交流电的有效值和最大值之间存在着如下的关系：

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 E_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

我们通常说照明电路的电压是 220 伏特，便是指有效值。各种使用交流电的电气设备上所标的额定电压和额定电流的数值、一般交流电流表和交流电压表测量的数值，也都是有效值。我们以后说的交流电的数值，凡没有特别说明的都是指有效值。

在进行交流电计算时，除有效值外有时还用平均值。所谓平均值是交流电流在半周期内通过导线横截面电量的平均值，由于正弦交流电正、负半周期是对称的，在一个周期内的平均值为零。所以，交流电的平均值是指半个周期的平均值。平均值用符号 I_{pj} 、 U_{pj} 、 E_{pj} 表示。

由数学计算可知平均值和最大值有如下的关系：

$$E_{pj} = \frac{2}{\pi} E_m = 0.637 E_m$$

$$U_{pj} = \frac{2}{\pi} U_m = 0.637 U_m$$

$$I_{pj} = \frac{2}{\pi} I_m = 0.637 I_m$$

交流电的周期、频率和角频率

交流电跟别的周期性过程一样，是用周期或频率来表示变化的快慢的。在图 7-1 所示的实验里，线圈匀速转动一周，电动势、电流都按正弦规律变化一周。我们把交流电完成一次周期性变化所需的时间，叫做交流电的周期。周期通常用 T 表示，单位是秒。交流电在 1 秒钟内完成周期性变化的次数叫做交流电的频率，频率通常用 f 表示，单位是赫兹 (Hz)，或每秒。

根据定义，周期和频率的关系是

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

或

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

我国工农业生产和生活用的交流电，周期是 0.02 秒，频率是 50 赫，电流方向每秒钟改变 100 次。

交流电变化的快慢，除了用周期和频率表示外，还可以用角频率表示。交流电每秒钟所变化的角度，叫做交流电的角频率，用 ω 表示，单位是弧度/秒 (rad/s)。因为交流电变化一周所需要的时间是 T ，经历一周为 2π 弧度。所以角频率与周期、频率的关系是

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

交流电的相和相差

交流电瞬时值的表达式中，正弦符号后面相当于角度的量叫做交流电的相又叫做相位、位相或周相。相主要用来比

较交流电的变化步调。

图 7-1 所示的实验, 如果计量时间不是从线圈平面跟中性面重合的瞬间开始, 而是从线圈平面跟中性面已有一夹角 ϕ 开始 (图 7-4), 那么经过时间 t 线圈平面跟中性面间的角度是 $\omega t + \phi$, 这时的感生电动势 $e = E_m \sin(\omega t + \phi)$ 。我们把 $t = 0$ 时的相叫做初相。

两个频率相同的交流电, 它们的相如果相同——同相, 它们的波形如图 7-6(a) 所示, 变化步调就一致, 总是同时达到正的 (或负的) 最大值, 同时为零。

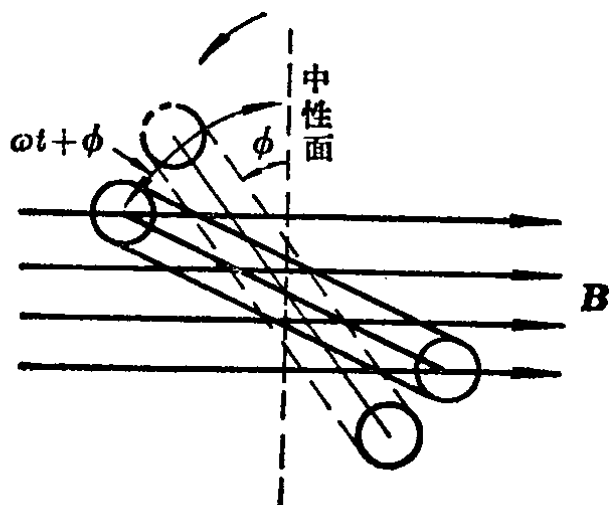


图 7-4

多数情况下, 两个交流电的相不等, 变化步调不一致。例如, 有两个相同的线圈 1 和 2, 在同一匀强磁场中以相同的角速度 ω 匀速转动, 但是它们的初相不同, 分别为 ϕ_1 和 ϕ_2 , $\phi_1 > \phi_2$, 那么它们分别产生的感生电动势 $e_1 = E_m \sin(\omega t + \phi_1)$, $e_2 = E_m \sin(\omega t + \phi_2)$ 的变化步调就不一致, e_1 的变化比 e_2 早一些 (或者说 e_2 的变化比 e_1 迟一些), 即 e_1 达到的最大值、零、负的最大值的时刻总比 e_2 早一些, 如图 7-5 所示。

两个交流电的相之差叫做相差。图 7-5 中 e_1 与 e_2 的相差为

$$(\omega t + \phi_1) - (\omega t + \phi_2) = \phi_1 - \phi_2 = \Delta\phi$$

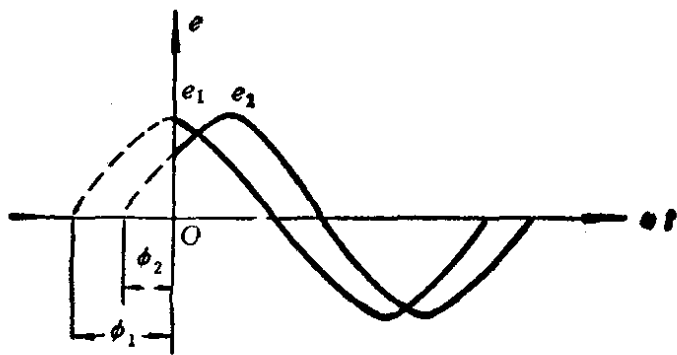
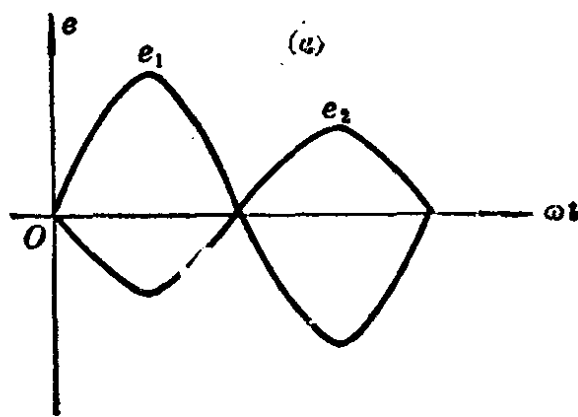
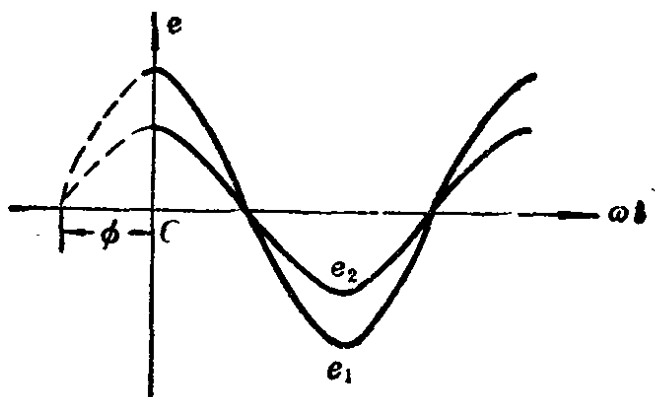


图 7-5



(b)

图 7-6

可见同频率交流电的相差等于它们的初相之差。在 $\phi_1 > \phi_2$ (即 $\Delta\phi > 0$) 的情况下, e_1 的变化比 e_2 早, 我们就说 e_1 的

相比 e_2 超前 $\Delta\phi$, 或者说 e_2 的相比 e_1 落后 $\Delta\phi$ 。反之, 在 $\phi_1 < \phi_2$ (即 $\Delta\phi < 0$) 的情况下, e_1 的变化比 e_2 迟, 则说 e_1 的相比 e_2 落后 $\Delta\phi$, 或 e_2 的相比 e_1 超前 $\Delta\phi$ 。

如果两个交流电的相差是 180° , 这种情况称作反相, 它们的波形如图 7-6(b) 所示。

根据以上的分析可见, 如果有效值、频率和初相确定后, 则可确定正弦交流电随时间变化的情况。故把有效值、频率和初相这三个量称为正弦交流电的三要素。

第三节 正弦交流电的表示法

正弦交流电可以用解析式、正弦曲线、矢量和复数表示。前两种方法已在前面介绍过, 这里只作简要归纳。复数表示法将在第九章中介绍。

解析式表示法

上述的正弦交流电的电动势、电压和电流的表示式就是交流电的解析式。即:

$$e = E_m \sin(\omega t + \phi_e)$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \phi_u)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \phi_i)$$

如果知道了交流电的有效值(或最大值)、频率和初相, 就可以写出解析式, 便可算出交流电任何瞬间的瞬时值。

例如已知某正弦交流电压的最大值 $U_m = 310$ 伏, 频率 $f = 50$ 赫, 初相 $\phi = 30^\circ$ 则它的解析式为

$$u = U_m \sin(\omega t + \phi) = 310 \sin(100\pi t + 30^\circ) \text{ 伏}$$

$t = 0.01$ 秒瞬时的电压瞬时值为

$$u = 310 \sin(100\pi \times 0.01 + 30^\circ) = 310 \sin 210^\circ \\ = -155 \text{ 伏}$$

曲线表示法

正弦交流电还可与解析式相对应的图形，即正弦曲线来表示，如图 7-7 所示。图中的横坐标表示时间 t 或角度 ωt ，纵坐标表示随时间变化的电动势、电压和电流的瞬时值，在波形上可以反映出最大值，初相和周期等。

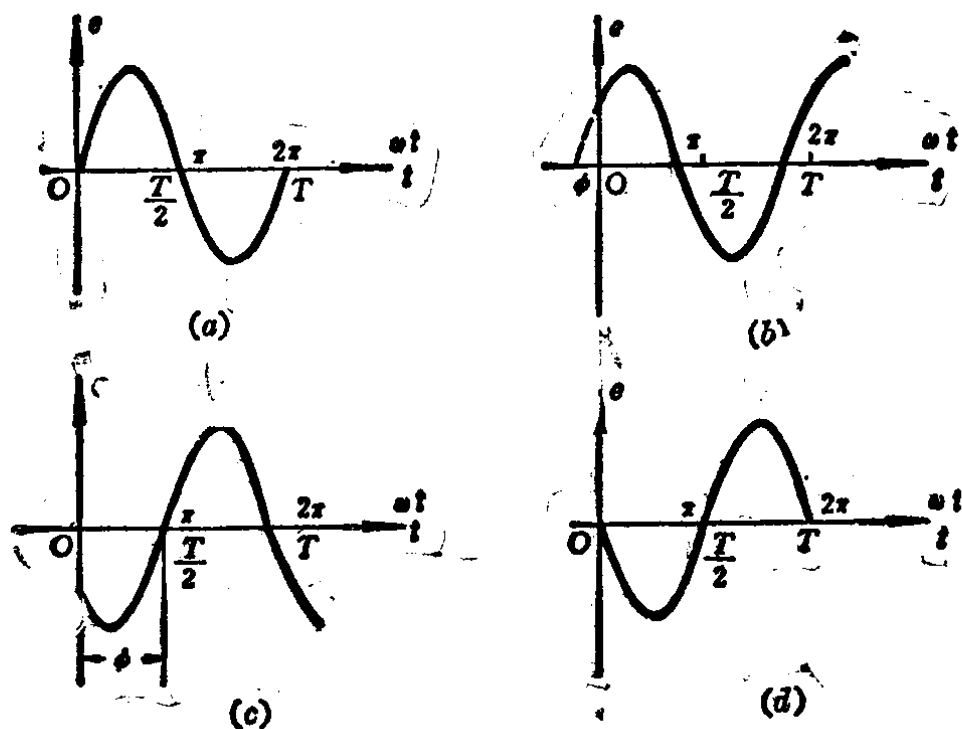


图 7-7

图 7-7(a) 正弦曲线的初相为零；图 7-7(b) 的初相在 $0 \sim \pi$ 之间；图 7-7(c) 的初相在 $-\pi \sim 0$ 之间；图 7-7(d) 的初相为 $\pm\pi$ 。

由图 7-7 可看出，如果初相是正值，曲线的起点就在坐标原点的左边；如果初相是负值，则起点在原点的右边。

有时为了比较正弦量的相位关系，也可以把它们的曲线画在同一坐标系内，图 7-8 画出了两个正弦量 u, i 的曲线，但由于它们的单位不同，故纵坐标上电压、电流可分别按照不同的比例表示。

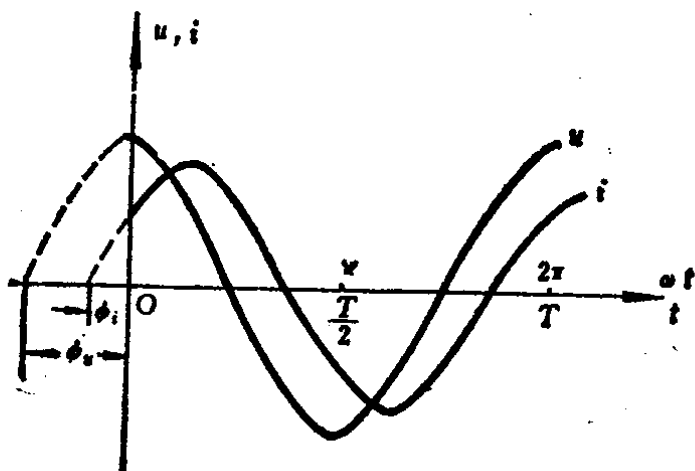


图 7-8

矢量表示法

正弦交流电也可用旋转矢量表示。现以正弦电动势 $e = E_m \sin(\omega t + \phi)$ 为例，在平面直角坐标系中，从原点作一矢量 E_m ，使其长度等于正弦交流电动势的振幅 E_m ，矢量与横轴 OX 的夹角等于正弦交流电动势的初相角 ϕ ，矢量以角速度 ω 逆时针方向旋转，如图 7-9(a) 所示。这样，旋转矢量在任一瞬间与横轴 OX 的夹角就是正弦交流电动势的相位 $(\omega t + \phi)$ ，而旋转矢量在纵轴上的投影就是对应瞬时的正弦交流电动势的瞬时值。例如，当 $t = t_0 = 0$ 时，旋转矢量在纵轴上的投影为 e_0 ，相当于图 7-9(b) 中电动势波形的起点 a；当 $t = t_1$ 时，矢量与横轴的夹角为 $(\omega t_1 + \phi)$ ，此时矢量在纵轴上的投影为 e_1 ，相当于波形的 b 点；如果矢量继续旋转下去，就可得出电动势

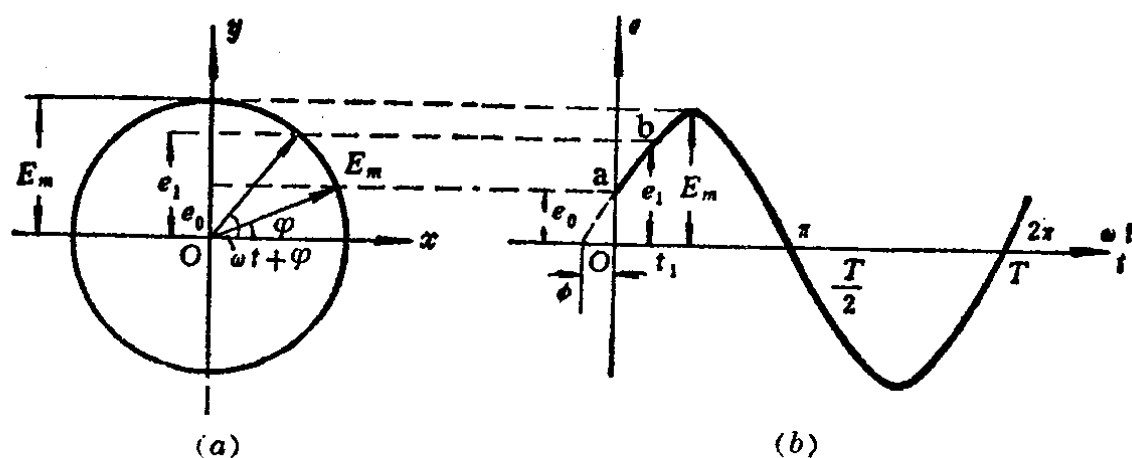


图 7-9

e 的波形。

由此可见，一个正弦量可以用一个旋转矢量表示。通常规定逆时针方向的角度为正，顺时针方向的角度为负；矢量以角速度 ω 沿逆时针方向旋转。显然，对于这样的矢量不可能也没有必要把它的每一瞬间的位置都画出来，只画出它的起始位置即可。因此一个正弦量只要它的振幅及初相确定后，表示它的矢量完全可以确定。

需要指出的是，这种旋转矢量只是用来表示正弦量的一种方法，并不是一种物理量；它的矢量特性是人为给它规定的，它所表示的正弦量，实际上并不是矢量，而是代数量。

同频率的几个正弦量的矢量，可以画在同一图上，这样的图叫做矢量图。例如有三个同频率的正弦量为

$$e = 60 \sin(\omega t + 60^\circ) (\text{伏})$$

$$u = 30 \sin(\omega t + 30^\circ) (\text{伏})$$

$$i = 5 \sin(\omega t - 30^\circ) (\text{安})$$

它们的矢量图，如图 7-10 所示。

在同一矢量图中，由于各个矢量的频率相同，即这些量都以同一角速度 ω 旋转，它们之间的相对位置是一定的，也就是