

商品学分论

(电工产品)



43

中国物资出版社

99
P76-43
13
2:6

市场营销丛书

商品学分论

(电工产品)

XAK08/17

中国物资出版社

C

176308

(京)新登字 090 号

责任编辑:梁立华

商品学分论

(电工产品)

汤家梁 蔡燕农 主编

出版发行 中国物资出版社

经 销 全国各地新华书店

印 刷 新蕾印刷厂

开 本 787×1092 毫米 1/32 印张: 11.75

字数: 260 千字

出版日期 1994 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印 数 1—6000 册

社 址 北京市西城区月坛北街 25 号 邮编: 100834

ISBN 7-5047-1117-9/TM. 0021

定价: 8.80 元



编写说明

国内贸易部中等专业学校商贸系列推荐教材，是适应社会主义市场经济发展的新形势，按照建立社会主义现代企业制度和“建立大市场、搞活大流通、发展大贸易”要求，结合我国财税、金融体制等改革情况，由国内贸易部教育司推荐有关专家、教授和长期在教学第一线任教的教师编写的。经审定，可作为国内贸易部系统职工培训大专教材，也可作各类中等专业学校、技校的专业基础课教材。

《商品学分论》(电工产品)是商贸系列推荐教材之一，由汤家梁(安徽省物资学校)、蔡燕农(国内贸易部)主编，阮文勤(福建省物资学校)、康殿川(四川省物资学校)任副主编，参加本书编写工作的还有：李瑞华(北京物资管理学校)、罗承权(安徽省物资学校)、刘敏(吉林省物资学校)、陈菊秀(湖北省物资学校)、胡增慧(上海市物资学校)、于明歧(山东省物资学校)。全书由蔡燕农总纂定稿，国内贸易部机电总公司高级工程师周孝政审阅。

在编写过程中得到了机电公司领导、学校领导和教师的大力支持，在此一并致谢。由于编写时间仓促，水平有限，缺点疏漏在所难免，请广大读者提出宝贵意见，以便进一步修订完善。

《商品学分论》编写组

1994年8月

目 录

第一章 电工基础知识

第一节	正弦交流电的基本概念	(1)
第二节	单一参数的交流电路	(14)
第三节	三相交流电路	(31)
第四节	铁磁性材料	(39)

第二章 变压器 (59)

第一节	概述	(59)
第二节	变压器的工作原理	(60)
第三节	电力变压器的基本结构	(64)
第四节	电力变压器的铭牌值	(70)
第五节	其他用途的变压器	(84)
第六节	变压器的技术管理	(96)

第三章 电机 (104)

第一节	电机的分类	(104)
第二节	直流电机	(107)
第三节	三相异步电动机	(116)
第四节	同步电机	(132)
第五节	微电机	(136)
第六节	电机的型号与系列	(143)
第七节	电机的技术管理	(149)

第四章 低压电器 (159)

第一节	概述	(159)
第二节	低压配电器	(171)
第三节	低压控制电器	(184)
第四节	低压电器的技术管理知识	(203)

第五章 高压电器 (211)

	第一节	高压电器的概述.....	(211)
	第二节	高压电器主要产品介绍.....	(214)
	第三节	成套电器简介.....	(232)
	第四节	高压电器的管理.....	(237)
第六章		绝缘材料与电瓷产品.....	(241)
	第一节	概述.....	(241)
	第二节	绝缘材料的主要性能.....	(245)
	第三节	常用绝缘材料简介.....	(248)
	第四节	绝缘材料的选用及保管.....	(251)
	第五节	电瓷产品.....	(255)
第七章		电线电缆.....	(269)
	第一节	概述.....	(269)
	第二节	电线.....	(275)
	第三节	电缆.....	(291)
	第四节	电线电缆的管理.....	(299)
第八章		电工仪表.....	(311)
	第一节	概述.....	(311)
	第二节	指示仪表的结构和原理.....	(314)
	第三节	指示式仪表的型号.....	(324)
	第四节	常用指示式仪表简介.....	(330)
	第五节	示波器.....	(344)
	第六节	电桥.....	(351)
	第七节	数字显示仪表.....	(358)
	第八节	电工仪表的技术管理.....	(364)

第一章 电工基础知识

第一节 正弦交流电的基本概念

一、正弦交流电的概述

大小和方向随时间作周期性变化的电动势、电压和电流分别称为交变电动势、交变电压和交变电流，统称交流电。随时间按正弦规律变化的电动势、电压、电流分别叫做正弦电动势、正弦电压、正弦电流，统称为正弦交流电，在这种交流电作用下的电路称为交流电路。

交流电获得了广泛的应用是由于它在生产、输送和分配方面比直流电优越得多。首先在交流电路中，可以应用变压器将电压升高或降低。输电时将电压升高，能将电能输送很远而损失很小；用电时再将电压降低，既能保证用电安全，又能降低对设备绝缘性能的要求，减小用电设备的造价。第二、交流发电机、电动机的结构比直流电机简单，造价便宜；而正弦交流电更具有其特点：电机和变压器等各种电器在正弦电的作用下具有较好的性能（如损耗小、不会产生高频磁场的影响等）；同时当同一电路中有几个频率相同的正弦交流电作用时，其合成的仍为正弦交流电，这样可以作三相交流电输送。

交流电在某一瞬间的数值称为交流电的瞬时值，记为 e ， u ， i 。交流电的瞬时值中的最大绝对值叫做交流电的最大值，

记为 E_m 、 U_m 、 I_m 。交流电变化完成一个循环用的时间，叫做周期，用字母 T 表示，单位为秒。如图 1—1 所示。交流电在一秒钟内的变化的周数，叫做频率，用字母 f 表示，单位是赫兹 (Hz)，显然周期和频率互为倒数。

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

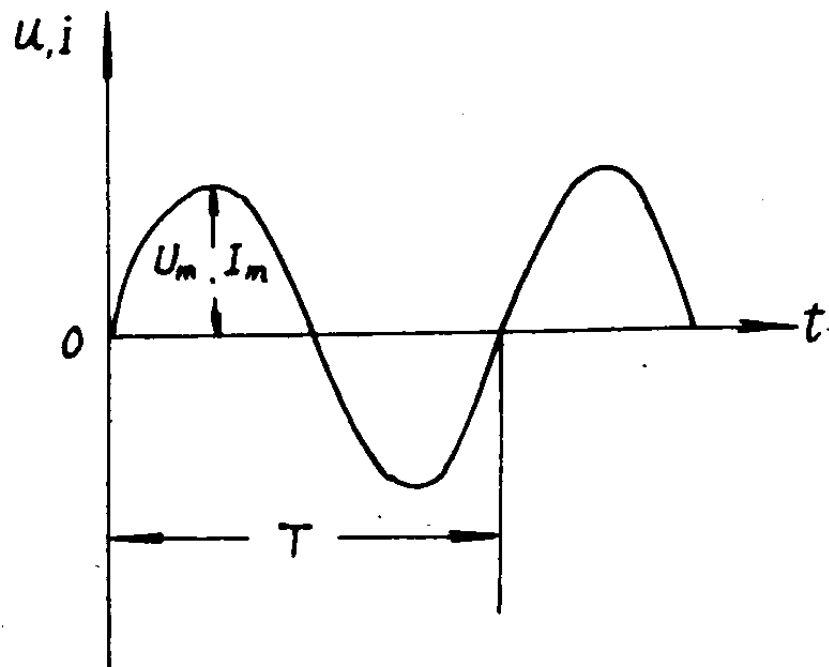


图 1—1 正弦交流电波形图

我国工业供电频率 $f = 50\text{Hz}$ ，故周期

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

二、正弦交流电动势的产生与发电机频率、转速

(一) 正弦交流电动势的产生

图 1—2 画出了单相交流发电机的原理图。设有一对固定磁极 N、S 和一个可以转动的线圈 $abcd$ ，它的两端 a 、 d 分别与集电环 A、B 相接，集电环与电刷 C、D 保持滑动接触。当转子以角速度 ω 逆时针旋转时，导体 ab 、 cd 旋转时切割磁力线，所感应的电动势为

$$e = BLV$$

对一定的发电机来说，导体长度 L 、转子线圈切割磁力线的速度 V 为常数，且 V 垂直于 B 。因此，要使电动势成为正弦波，发电机气隙中的磁通密度 B 应按正弦规律分布，即在磁极中部磁力线最密， B 值最大，以 B_m 表示，磁极中性面 OO' 磁力线最稀， B 近似为零，即

$$B=B_m\sin\alpha$$

式中 α 为线圈平面与中性面 OO' 的夹角
得

$$e=BLV\sin\alpha=E_m\sin\alpha$$

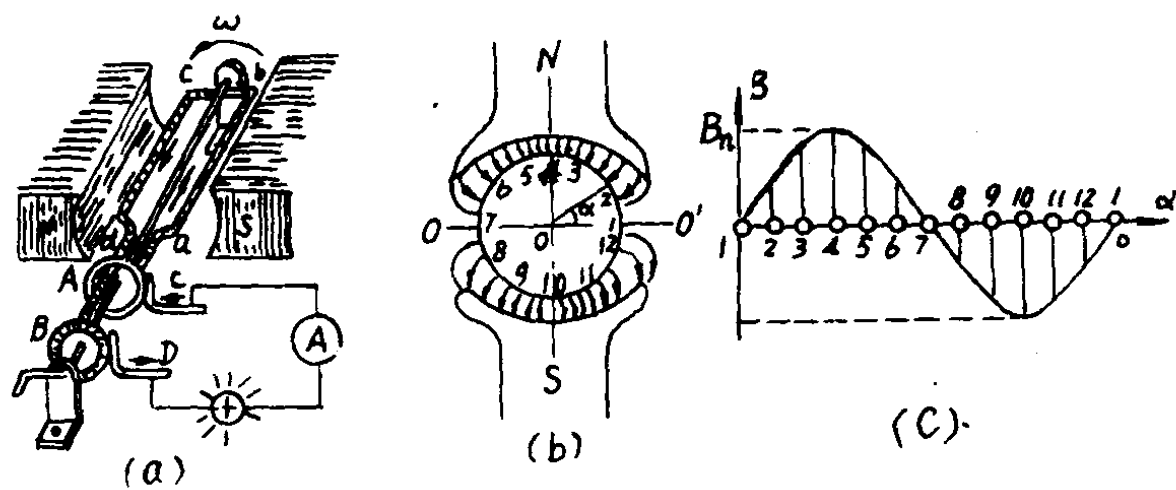


图 1-2 单相发电机结构原理图

从曲线上看，感应电动势的大小和方向也是随着线圈转动中所处的位置不同而不同，也就是随着线圈转过的角度而变化，因此在线圈两端就可获得一个按正弦规律变化的电动势。

上面所讨论的交流电机只有两个磁极，即一对磁极 ($P=1$) 的最简单发电机，电动势中的 α 既是线圈转过的实际角 (机械角)，又是电动势变化角 (电角)，即对一对磁极来讲，电角就等于机械角，即电枢线圈变化一周，电动势变化一周。但对 2 对磁极 ($P=2$)，3 对磁极 ($P=3$)，4 对磁极 ($P=4$)

来说电角与机械角有什么关系呢?图 1—3 为四极发电机示意图 ($P=2$), 分析可知电枢线圈转一周, 电动势变化 2 周, 磁极为 P 对时, 线圈转一周, 电动势变化 P 周。电动势里的 α 角代表电角大小。

在实际中, 为了研究问题方便, 把电动势随电角 α 变化关系转换成电动势随时间变化的关系。为此引入电角速度概念。电角速度 (或称角频率), 即交流电在单位时间内变化的电角度, 用 ω 表示, $\omega = \frac{\alpha}{t}$ 或 $\alpha = \omega t$

故有
$$e = E_m \sin \omega t$$

又因电动势交变一周其电角改变 2π 弧度, 所需时间 T , 所以电角速度与频率关系为

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

$\therefore e = E_m \sin 2\pi f t$

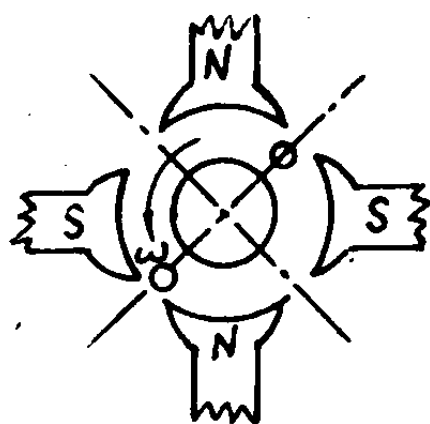


图 1—3 四极发电机示意图

对某一发电机而言, E_m 和 ω (或 f) 都是常数, 所以发电机产生的交变电动势大小是时间 t 的函数。

(二) 发电机的频率与转速、磁极对数关系

设发电机每分钟转速为 n , 则每秒钟转 $n/60$ 转, 而当发电机的磁极对数为 P 时, 电枢变化一周, 电动势变化 P 周, 在一秒钟内电枢线圈变化了 $n/60$ 周, 所以在一秒钟内电动势变化的周数 (即为频率) 为

$$f = \frac{n}{60} \cdot P$$

从上式可以看出交流电动势的频率只和转速 n 和磁极对

数 P 有关。由汽轮机拖动的发电机转速都较高，所以磁极对数一般比较少，如一对极或 2 对极。由水轮机拖动的发电机，其转速较低，每分钟只几转到几十转，它的磁极对数较多，有几十对。从而能保证发出频率为 50Hz 的工频电流。

实际上绝大多数发电机不是旋转电枢（线圈）的，而是采用旋转磁极的，产生感应电动势的电枢线圈倒是固定不动的。这是由于发电机的电枢电压、电流都比产生磁极的励磁电流大得多，从而电枢线圈的体积和重量也比励磁线圈大得多；同时发电机的转子都有相当高的转速，因此发电机采用旋转磁极式时，电枢线圈的绝缘问题、机械强度问题以及将较高的电压和较大电流引到外部电路的问题，都比较容易处理。所以不论是水轮发电机还是汽轮发电机几乎都采用旋转磁极式的。

设一发电机的转速为 250 转/分，要发出 $f=50\text{Hz}$ 工频电流，故发电机的磁极对数

$$P = \frac{60f}{n} = \frac{60 \times 50}{250} = 12 \text{ (对)}$$

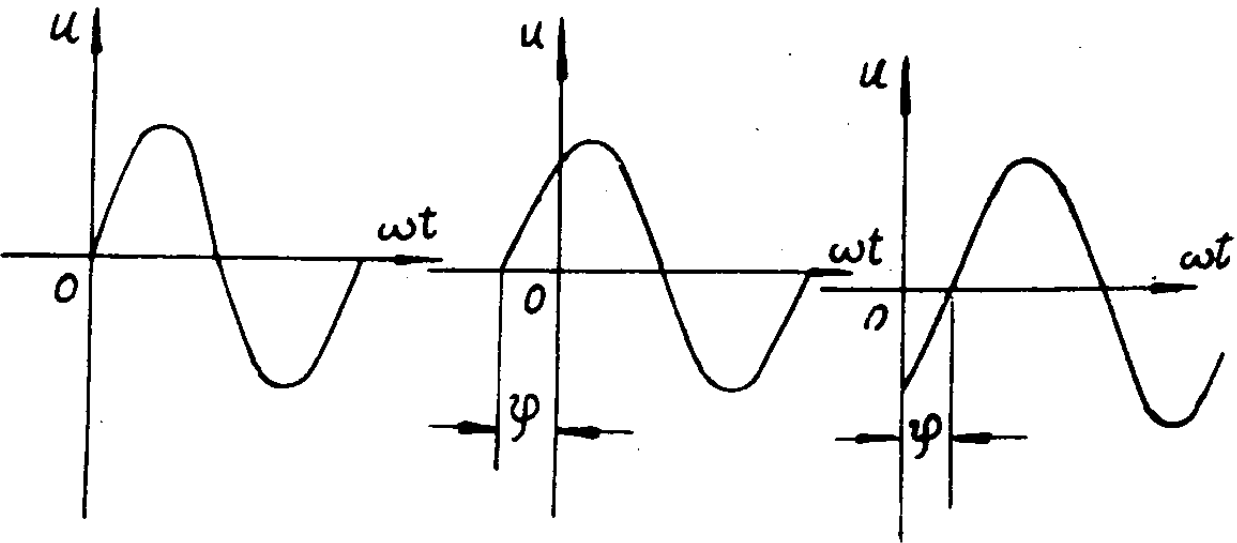
三、相位和相位差

我们前面讨论交流发电机的电动势时选定了开始记时瞬间 ($t=0$) 电枢线圈平面正好处在中性面上，故有 $e = E_m \sin \omega t$ ，如在记时瞬间线圈与中性面有一夹角 ϕ (电角) 时，很显然有 $e_1 = E_m \sin (\omega t + \phi)$ ，式中 $(\omega t + \phi)$ 为电角度，它是时间 t 的函数，反映了正弦电动势在变化进程中的角度，我们称之为相位角或相位，不同的相位对应着不同的电动势的瞬时值。当 $t=0$ 时的相位叫初相位，简称初相。

初相大小与时间的起点选择有关，它可正，可负，可为 0。当 $t=0$ 时，函数值为正，则初相为正，反之函数值为负，

则初相为负，函数值为 0，初相为 0。如图 1-4 所示。

由交流电的瞬时值解析式 $e = E_m \sin (\omega t + \varphi) = E_m \sin (2\pi f t + \varphi)$ 知，要确定这个正弦量，就必须知道它的最大值（振幅）、频率和初相这三个量。最大值确定了振幅的大小、频率确定了变化的快慢、初相确定了起始状态。因此在电工学中，把这三个量称为正弦交流电的三要素。



(1) 初相为 0 (2) 初相为正 (3) 初相为负

图 1-4 不同初相的电压波形图

例 1-1 已知电压的最大值 $U_m = 310\text{V}$ ，频率 $f = 50\text{Hz}$ ，初相位 $\varphi_u = 30^\circ$ ，写出该电压瞬时值解析式。

解：设电压电解析式为 $u = U_m \sin (2\pi f t + \varphi_u)$

代入已知条件得 $u = 310 \sin (314 t + \varphi_u) \text{ V}$

两个同频率正弦量的相位之差叫做相位差，常用符号 φ 表示。

对任意两个频率相同的交流电流

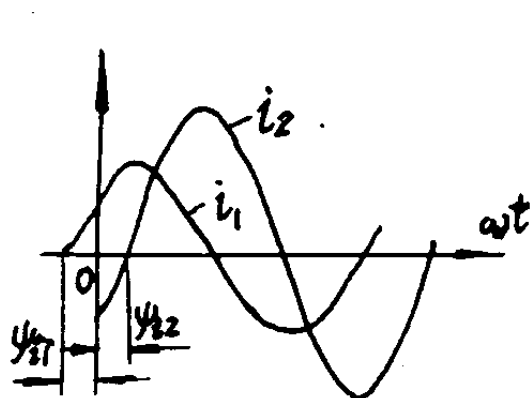
$$i_1 = I_{1m} \sin (\omega t + \varphi_{i1}),$$

$$i_2 = I_{2m} \sin (\omega t + \varphi_{i2})$$

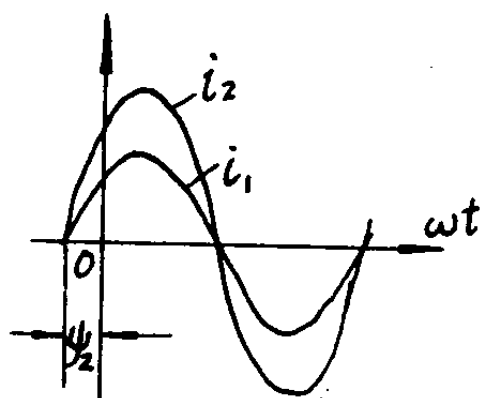
它们之间的相位差为

$$\varphi = (\omega t + \psi_{i1}) - (\omega t + \psi_{i2}) = \psi_{i1} - \psi_{i2}$$

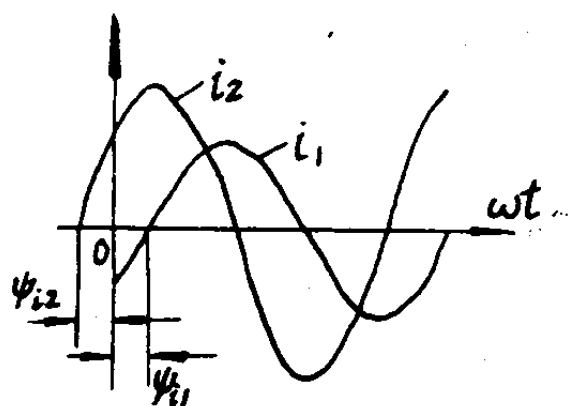
上式表明两个同频率正弦量的相位差就是初相之差，它是不随时间变化的常数。如图 1-5 所示。



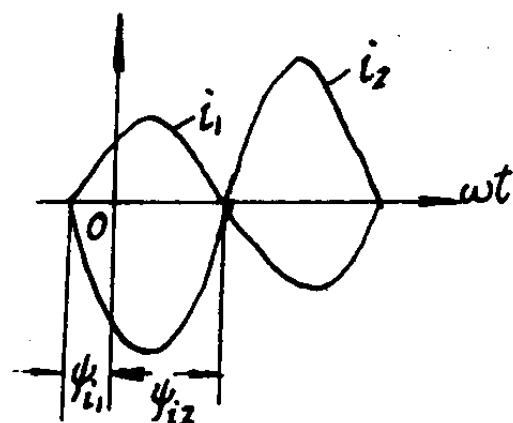
(a)



(b)



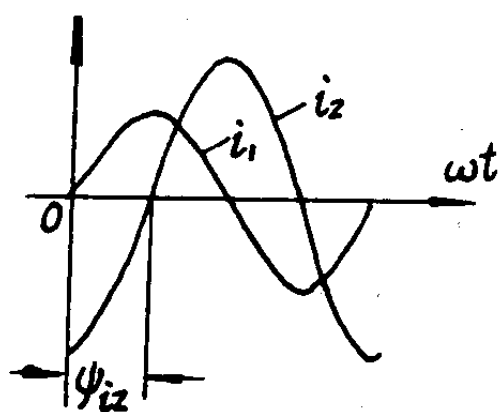
(c)



(d)

相位差反映了两个同频率正弦交流电的相位关系。

当 $\varphi = \psi_{i1} - \psi_{i2} > 0$ 时， i_1 和 i_2 的波形图如图 1-5 (a) 所示， i_1 比 i_2 先经过零点和正的最大值，即 i_1 的变化速度领先于 i_2



(e)

图 1-5 两同频率正弦量的相位差

的变化速度。在这种情况下，我们就说在相位上 i_1 超前于 i_2 一个 φ 角。

当 $\varphi = \psi_{i_1} - \psi_{i_2} = 0$ 时，波形图 1-5 (b) 所示。 i_1 和 i_2 变化状态相同，同时经过零点，也同时到达最大值，即两者步调一致，我们称 i_1 和 i_2 同相位，或者说同相。

当 $\varphi = \psi_{i_1} - \psi_{i_2} < 0$ 时，波形如图 1-5 (c) 所示，我们称在相位上 i_1 滞后于 i_2 一个 φ 角，或者说 i_2 超前于 i_1 一个 φ 角。

当 $\varphi = \psi_{i_1} - \psi_{i_2} = 180^\circ$ 时，波形如图 1-5 (d) 所示。在这种情况下， i_1 和 i_2 两者的变化状态完全相反，其中一个处于增大的过程，另一个则在减小；一个达到正的最大值时，另一个则为负的最大值。此种情况，即为 i_1 和 i_2 相位相反，或称 i_1 和 i_2 反相。

当 $\varphi = \psi_{i_1} - \psi_{i_2} = \frac{\pi}{2}$ 时，波形如图 1-5 (e) 所示。 i_1 的绝对值达到最大值时， i_2 正好处于零值点；当 i_1 处于零值点时， i_2 的绝对值达到最大值。我们就说此时 i_1 和 i_2 处于正交状态。

还要着重指出的是：相位差的概念仅适用于同频率的正弦量之间。若频率不同，两正弦量的相位差是时间的函数。

例 1-2：设有两个同频的正弦电流 $i_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \frac{3}{4}\pi)$ A， $i_2 = I_{2m} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$ A，试问哪个电流滞后？滞后的角度是多少？

解：根据公式可算得：

$$\varphi = \psi_{i_1} - \psi_{i_2} = \frac{3}{4}\pi - (-\frac{\pi}{2}) = \frac{5}{4}\pi \text{ (rad)}$$

根据 $\varphi > 0$ ，表明 i_1 超前 i_2 $\frac{5}{4}\pi$ (rad)。如图 1-6 所示。由

于不允许相位差大于 π ，如果出现这种情况，则应将超前改为滞后，滞后改为超前。超前的角度为：

$$2\pi - \varphi = 2\pi - \frac{5}{4}\pi = \frac{3}{4}\pi \text{ (rad)}$$

即： i_2 超前于 i_1 $\frac{3}{4}\pi$ (rad)。

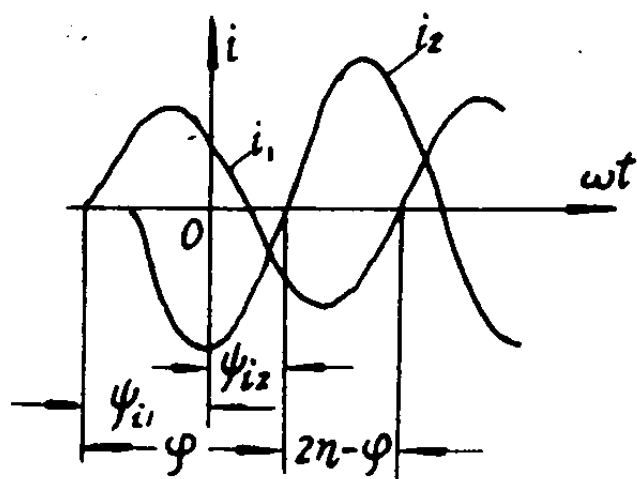


图 1—6 例题 1—2 图例

四、交流电的有效值

由于交流电的大小和方向都随时间不断变化，瞬时值、最大值是指交流电某一特定时刻的数值，不能反映交流电的大小和做功的真实效果。为了衡量交流电做功的能力，我们常用直流电与之比较，即用在发热做功方面与交流电等效的直流电数值，来表示交流电的大小，并且得到与直流电尽可能一致的计算公式。于是我们就把在发热做功方面与交流电等效的直流电的数值叫做“交流电的有效值”。

根据上述定义，我们以电流为例来进一步说明交流电的有效值与最大值之间的等量关系。如图 1—7 所示。

设交流电流 i 通过电阻 R ，则在 dt 时间内产生的热量为：

$$dQ = 0.24i^2 R dt$$

在一个周期内产生的热量则为：

$$Q_A = \int_0^T dQ = \int_0^T 0.24i^2 R dt$$

某一直流 I 通过同样电阻 R 在相同的时间内所产生的热量为：

$$Q_D = 0.24 I^2 R T$$

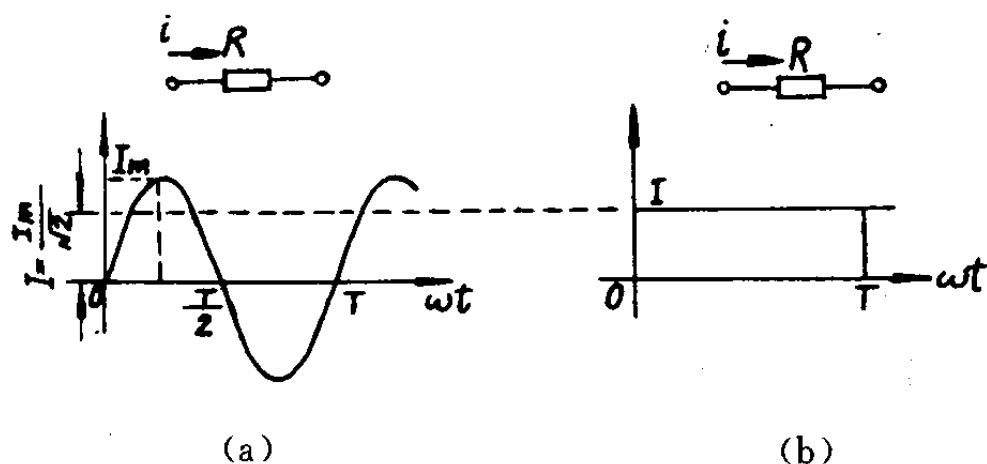


图 1-7 有效值的概念

根据有效值的定义，这两个电流产生的热量应该相等。
即：

$$Q_D = Q_A$$

所以
$$0.24 I^2 R T = \int_0^T 0.24 i^2 R dt$$

将上式整理后即得交流电流有效值表达式为：

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

将正弦交流 $i = I_m \sin(\omega t + \phi_i)$ 代入上式，经过整理，则得：

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

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

$$\Phi = \frac{\Phi_m}{\sqrt{2}} = 0.707 \Phi_m$$

由此可见，正弦交流电的有效值是其最大值的 $1/\sqrt{2}$ 倍，亦即 0.707 倍，它与频率及初相位无关。交流电的有效值用不带下标的大写英文字母表示。

我们平常所说交流电量的 5A、10A、220V、380V 等，都是指有效值而言。

还必须指出：

(1) 所有交流用电设备铭牌上标出的电压、电流数值都是指有效值。

(2) 平时所用的交流电压表、电流表所测出的数值也是有效值。

(3) 有效值只有大小不同，而无方向正负之说。

(4) 只有正弦交流电的最大值和有效值之间才有 $\sqrt{2}$ 倍的关系。其它非正弦交流电最大值与有效值不存在 $\sqrt{2}$ 倍的关系。

例 1-3：车间里动力电压为 380V，照明电压为 220V，求它们的最大值是多少？

解：根据电压公式得 $U_m = \sqrt{2} U$ 。

则动力电压最大值 $U_m = \sqrt{2} 380V = 537V$

照明电压最大值 $U_m = \sqrt{2} 220V = 311V$

例 1-4：已知某正弦电量当 $t=0$ 时的瞬时值 $i(0) = 15A$ ，其初相角为 30° ，试求其有效值是多少？

解：根据瞬时值表达式：

$$i = I_m \sin(\omega t + 30^\circ) A$$

首先求出 I_m

$$\text{当 } t=0, i = I_m \sin 30^\circ (A)$$

$$I_m = \frac{i}{\sin 30^\circ} = 30A$$

则该交流电的有效值为：

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{30A}{\sqrt{2}} = 21.2A$$