电路与电子技术基础

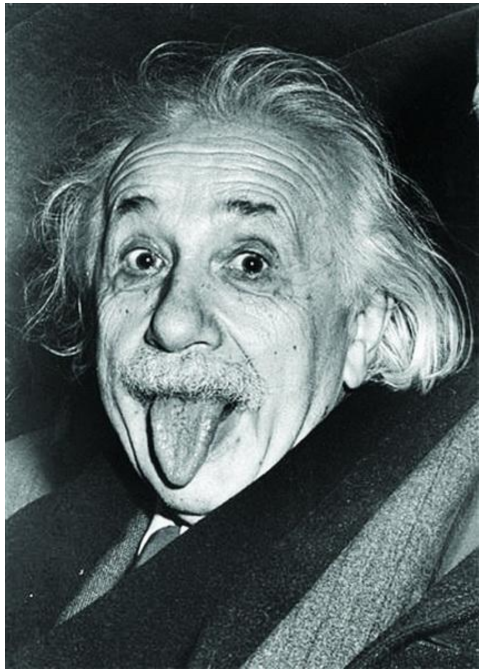
第二章 正弦交流电路

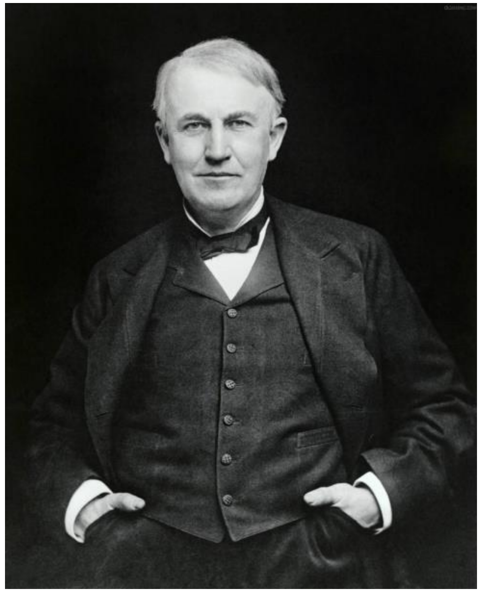
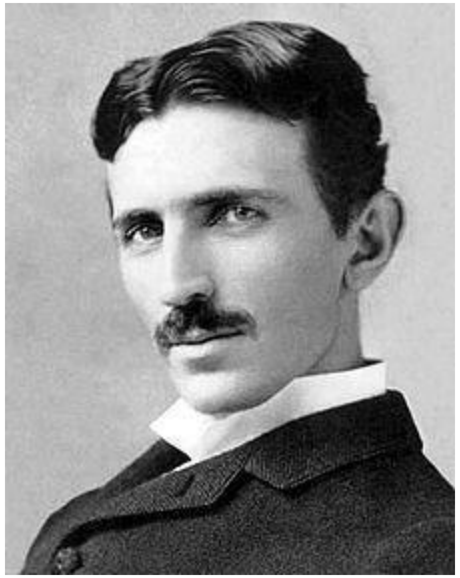
宋雪萌

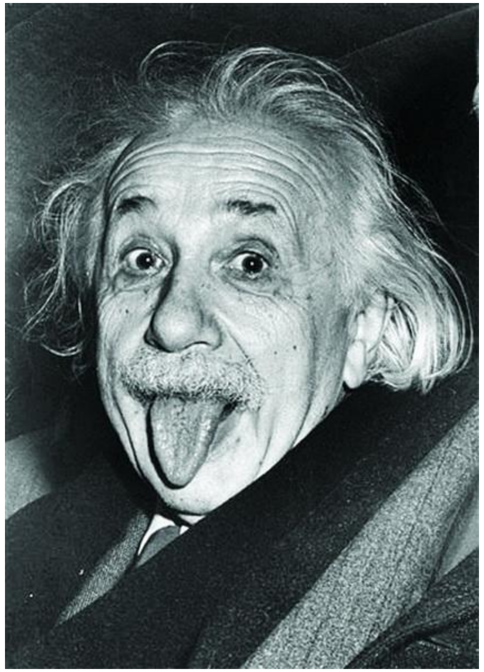
songxuemeng@sdu.edu.cn

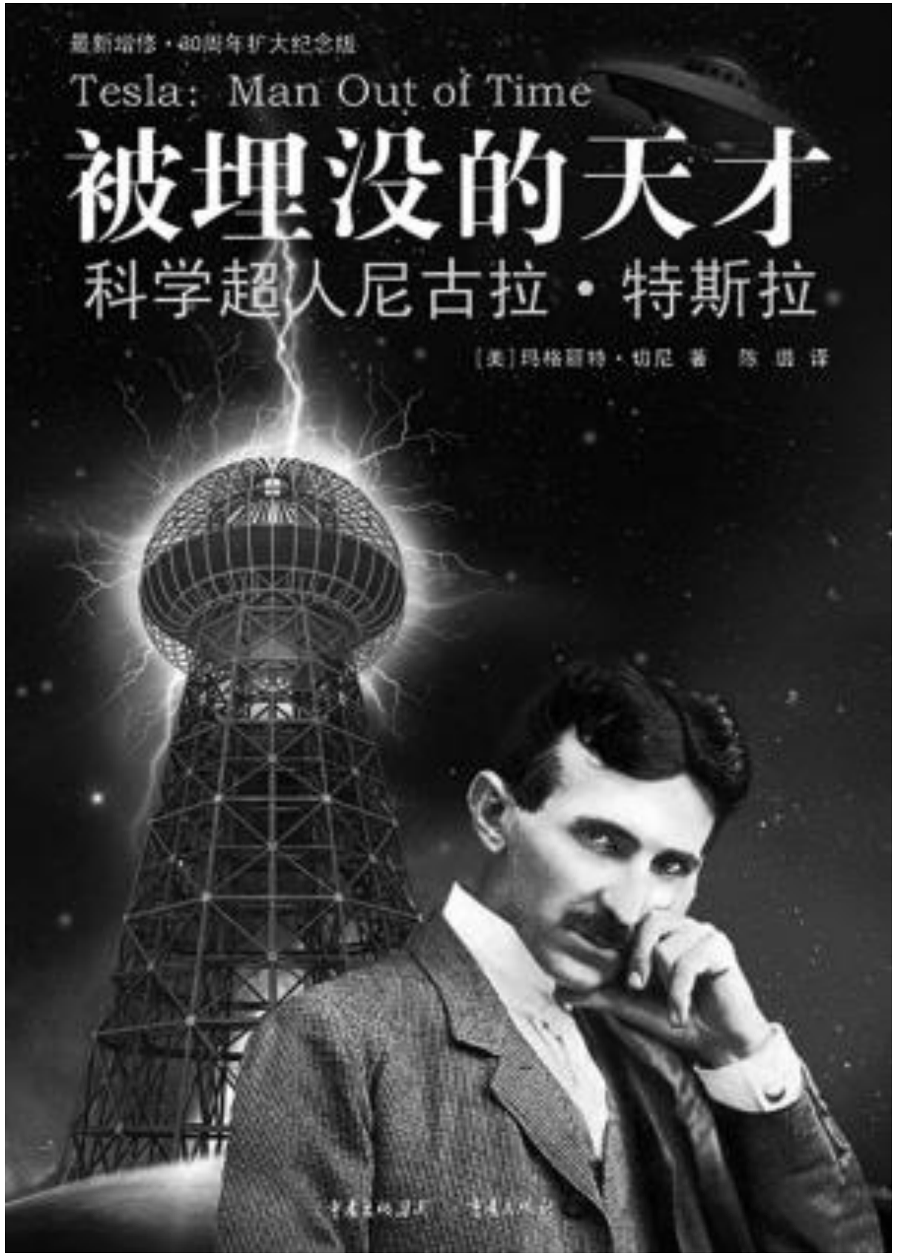
本章目录

- 正弦交流电的基本概念
- 正弦量的相量表示及复数运算
- 正弦交流电路中的电阻元件
- 正弦交流电路中的电感元件
- 正弦交流电路中的电容元件
- 实际电路器件
- **R, L, C**串并联电路及复阻抗

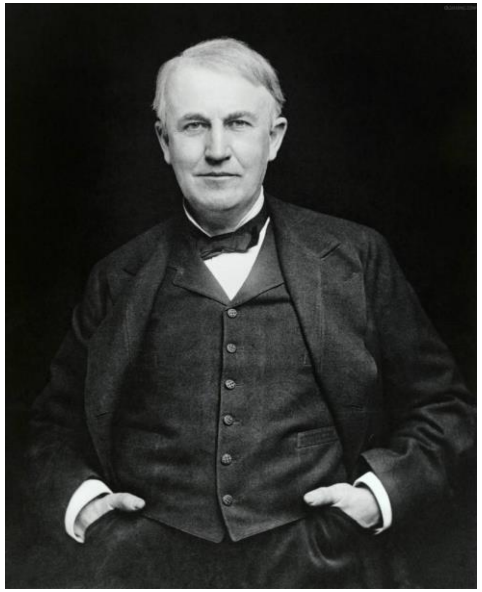


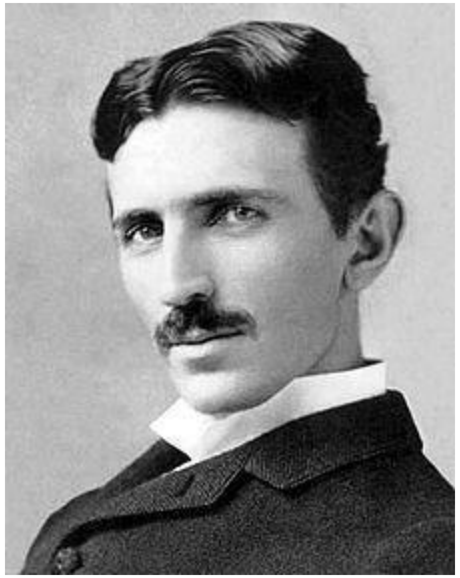



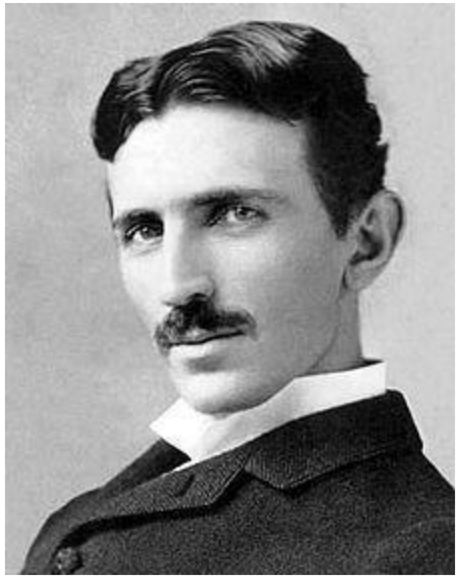




Tesla: Man Out of Time
被埋没的天才
科学超人尼古拉・特斯拉
[美]玛格丽特・切尼 著



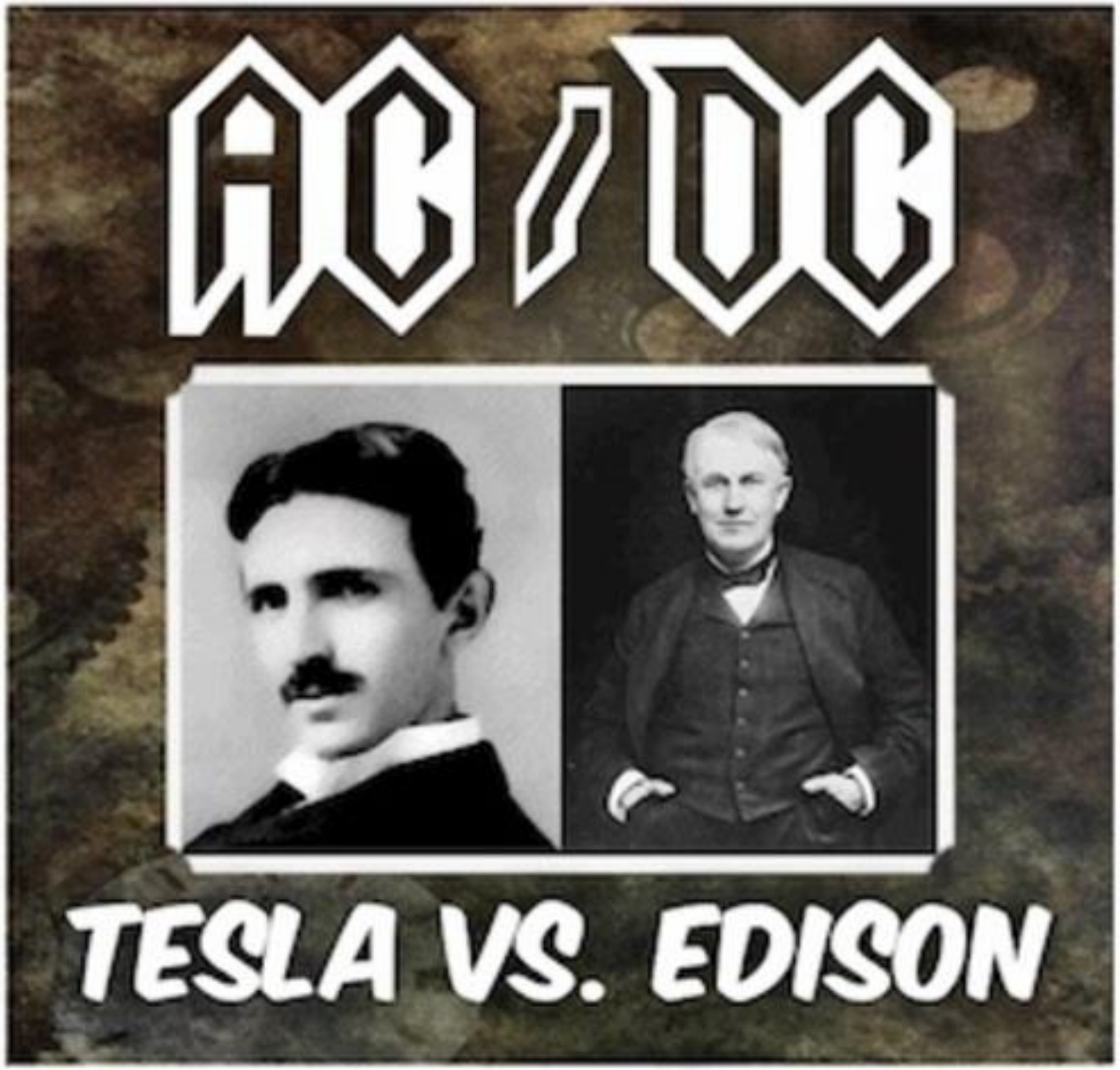




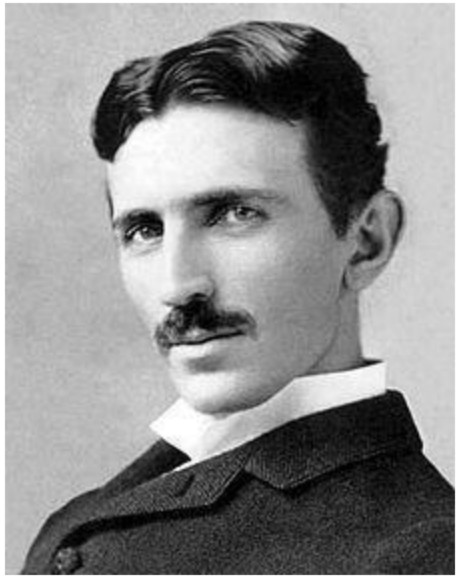
- 尼古拉.特斯拉（**Nikola Tesla**，1856~1943年）
- 美籍塞尔维亚人。

- 主要成就：
  - 交流电系统
  - X射线
  - 雷达
  - 人造闪电
  - 特斯拉线圈
  - …

电流大战 ~1888年



- 交流电胜出。
- 放弃交流电专利（免费发明，造福大家）。



Nikola Tesla，1856~1943

塞尔维亚货币

特斯拉电动车致敬

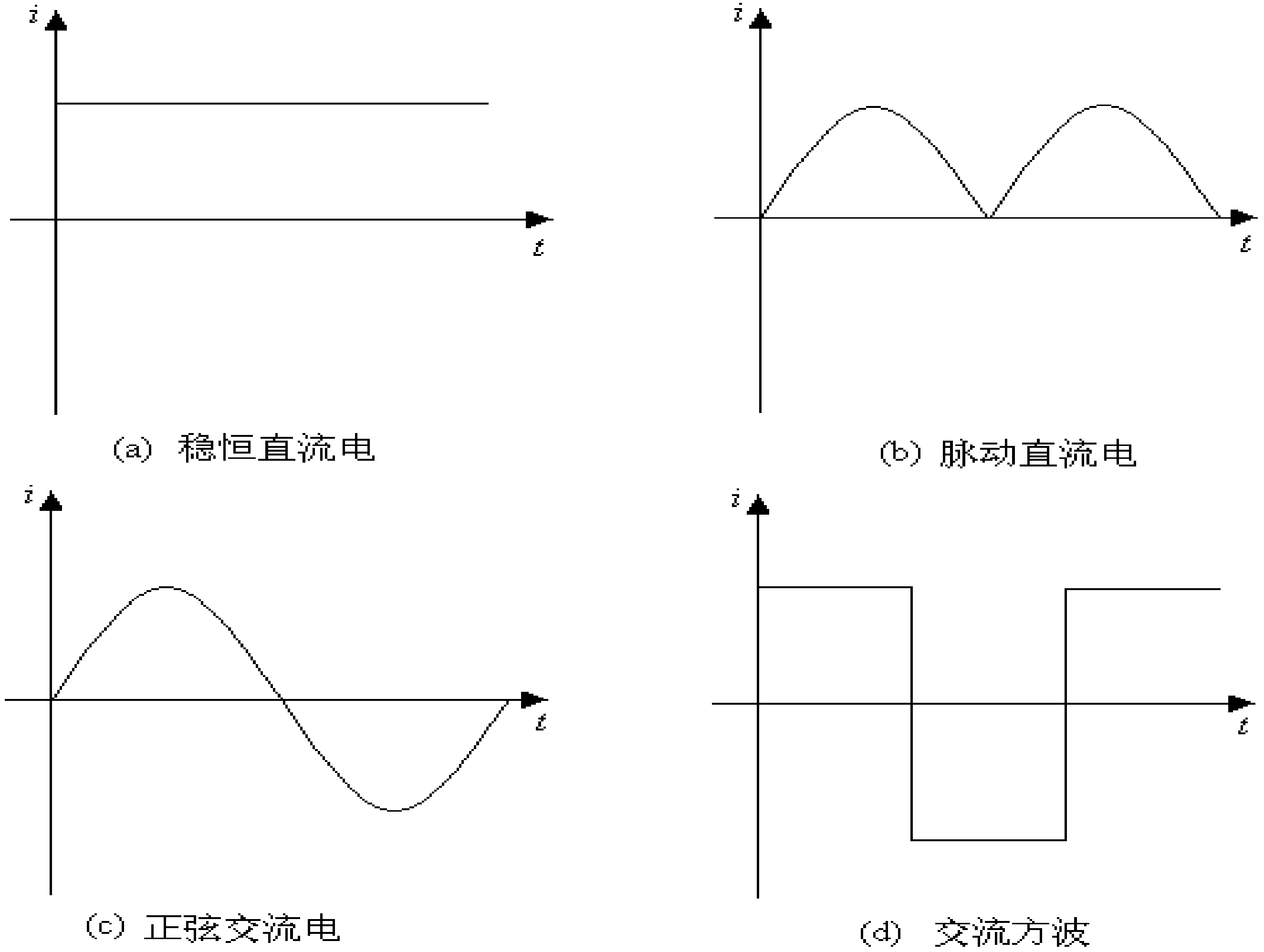
交流电路概述

正弦交流电是随时间按照正弦函数规律变化的电压和电流。
由于交流电的大小和方向都是随时间不断变化的每一瞬间电压（电动势）和电流的数值都不相同。一般表示为 **i(t), u(t)或i, u.**

交流电与直流电的区别：

- 直流电的方向不随时间变化；
- 交流电的方向、大小都随时间作周期性变化，并且在一周期内的平均值为零。

交流电路概述



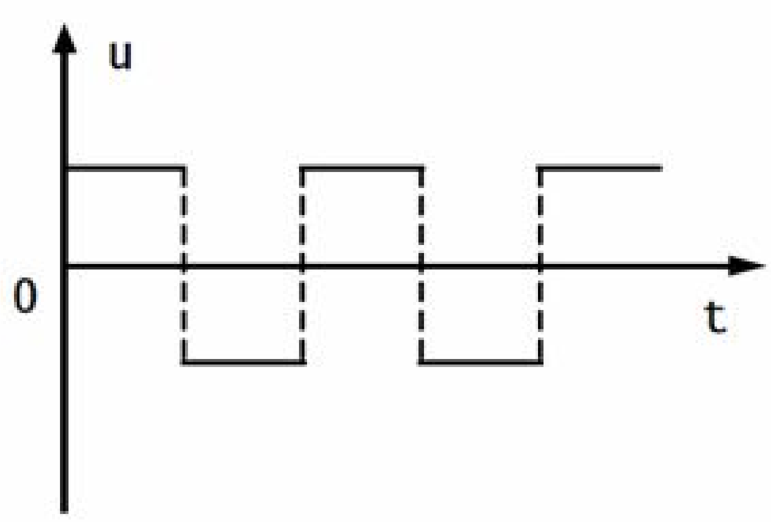
直流电和交流电的电波波形图

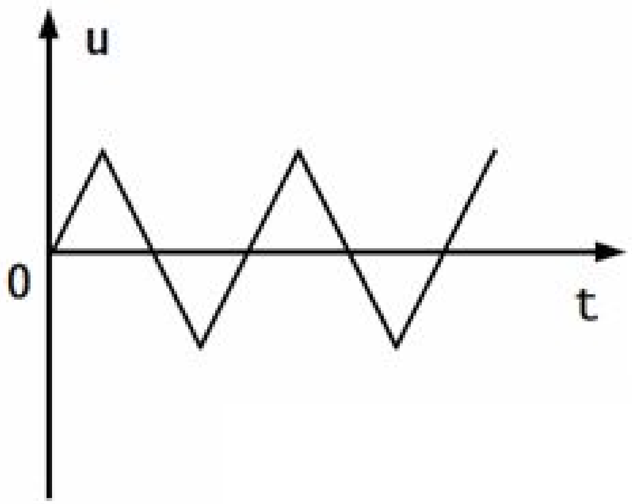
交流电优点

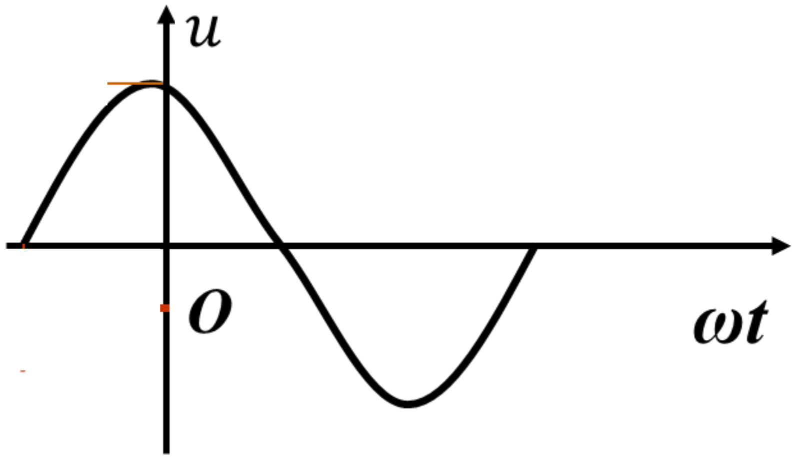
主要表现：

- 利用建立在电磁感应原理基础上的交流发电机可以很经济方便地把机械能（水能、风能）、化学能（石油）等其他形式的能转化为电能；
- 交流电源和交流变电站与同功率的直流电源和直流换流站相比，造价大为低廉；
- 交流电可以方便地通过变压器升压和降压，这给配送电能带来极大的方便。
- 可以通过整流装置，将交流电变直流电。

交流电形式

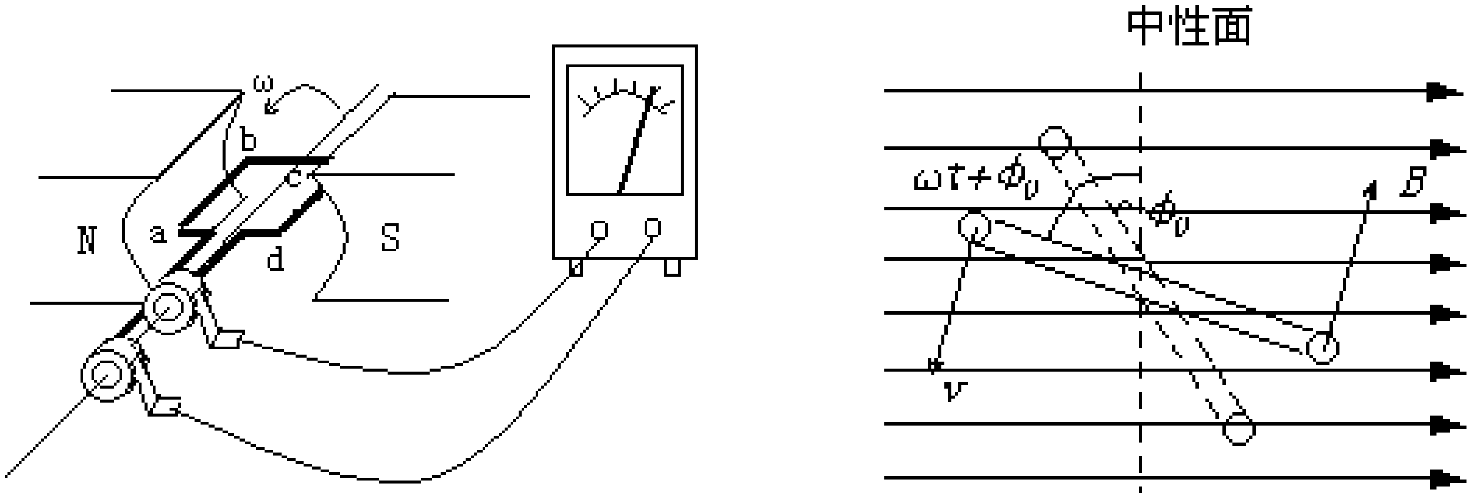






除正弦波形外的交流电不是导体切割磁力线产生的，而是电容充放电、开关晶体管工作时产生的。

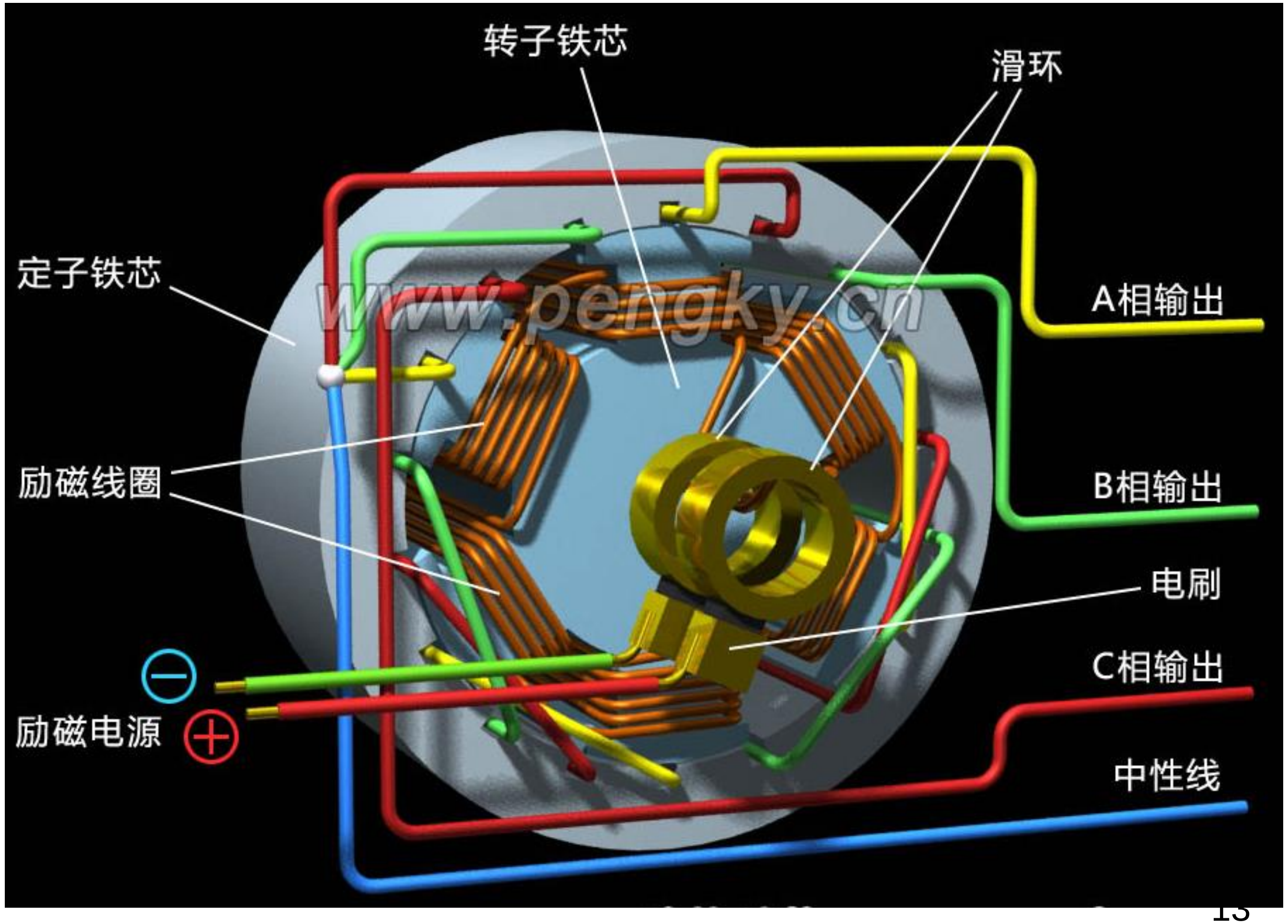
正弦交流电产生



交流发电机结构与原理示意图

正弦交流电产生

交流发电机：多对磁极按一定的角度均匀分布在一个圆周上。频率由磁极对数m和转速n所决定：f=mn/60



- 频率提高，可使发电机、变压器的耗材减少，重量轻，成本低；但可能造成感抗增加，使损耗增加；
- 频率过低，使耗材增加，成本提高，灯光闪烁明显；
- 一般采用50或60Hz，但飞机上的交流电是400Hz（减轻设备的重量）。

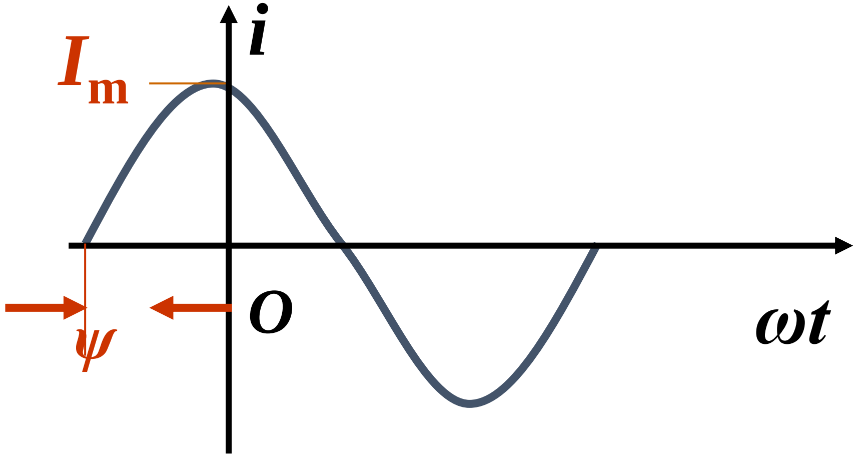
正弦交流电标准

- 全球民用交流电标准电压标准： 110V/60Hz 和220V/50Hz。
- 220V/50Hz：中国、英国、德国、法国、意大利、澳大利亚、印度、新加坡、西班牙、希腊等约120个国家和地区。
- 110V/60Hz：美国、加拿大、日本、我国台湾省等国家地区。
- 两者兼有：古巴、沙特、印尼、越南等。

正弦交流电表示

工业中常见的是随时间按正弦规律变化的正弦交流电。
正弦电压和电流等物理量，常统称为正弦量。

频率、幅值和初相位就称为确定正弦量的三要素。



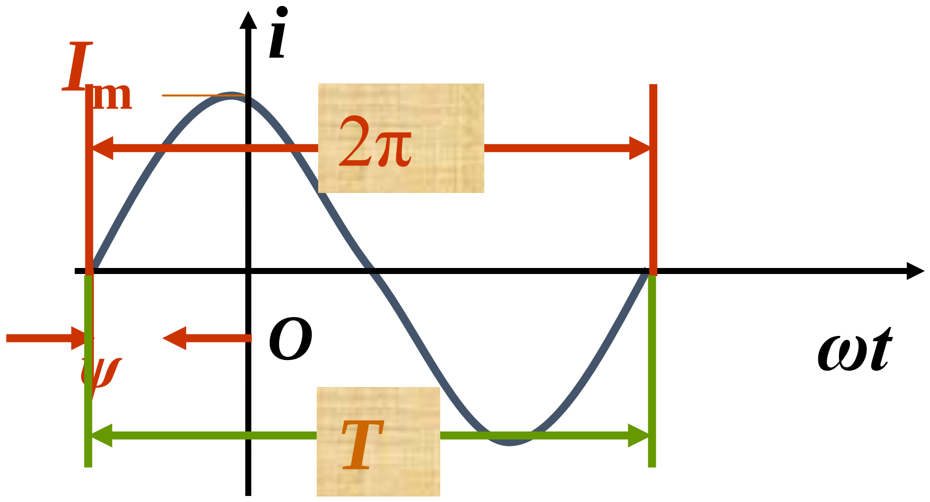
$$i = I_m \sin(\omega t + \psi)$$

瞬时值 最大值 角频率 初相位

正弦交流电表示

工业中常见的是随时间按正弦规律变化的正弦交流电。
正弦电压和电流等物理量，常统称为正弦量。

频率、幅值和初相位就称为确定正弦量的三要素。 $i = I_m \sin(\omega t + \psi)$



周期 T：变化一周所需要的时间（s）。

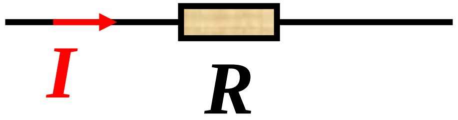
频率 f：1sec内变化的周数（Hz）。$f = \dfrac{1}{T}$

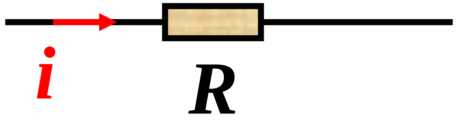
角频率ω：正弦量 1s 内变化的弧度数。

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \ \text{(rad/s)}$$

交流电瞬时值、最大值、有效值（变化大小）

一个直流电流与一个交流电流分别通过阻值相等的电阻，如果通电的时间相等，在电阻上产生的热量也相等，那么直流电的数值就叫做交流电的有效值。





$$W_d = RI^2T \quad = \quad W_a = \int_0^T R i^2 dt$$

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

正弦电量的有效值： $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$

交流电瞬时值、最大值、有效值（变化大小）

- 交流电路中需要考虑最大值。例如电容器，半导体二极管等器件都有一定的耐压值，所加电压超过这个值器件会损坏。
- 一般电工仪表所测量的正弦量的值就是有效值，如电压表测得市电电压220V，就是指电压的有效值为220V，其最大值约为310V。

注意：

1）通常所说的交流电的电流、电压、电动势的值，如不作特殊说明都是指有效值。

2）在选择电器的耐压时，必须考压的最大值。

交流电瞬时值、最大值、有效值（变化大小）

- 交流电路中需要考虑最大值。例如电容器，半导体二极管等器件都有一定的耐压值，所加电压超过这个值器件会损坏。
- 一般电工仪表所测量的正弦量的值就是有效值，如电压表测得市电电压220V，就是指电压的有效值为220V，其最大值约为310V。

e、i、u $\Rightarrow$ 瞬时值

E_m、I_m、U_m $\Rightarrow$ 最大值

E、I、U $\Rightarrow$ 有效值

交流电相位、初相位、相位差（变化进程）

i = 10 sin（314 t +30°）A　　　　u = 311sin（314 t − 60°）V

相位：$\omega t + \varphi$是时间的函数，表示正弦量的变化进程，确定正弦量瞬时值的大小和方向。

初相位：t=0时的相位。

交流电相位、初相位、相位差（变化进程）

$i = 10\sin(314t + 30^\circ)$ A　　　　$u = 311\sin(314t - 60^\circ)$ V

相位：$\omega t + \varphi$是时间的函数，表示正弦量的变化进程，确定正弦量瞬时值的大小和方向。

初相位：t=0时的相位，　$\psi_i = 30^\circ$，$\psi_u = -60^\circ$

交流电相位、初相位、相位差（变化进程）

$i=\ 10\sin(314t+30^\circ)$ A　　　$u=311\sin(314t-60^\circ)$ V

相位：$wt+\varphi$是时间的函数，表示正弦量的变化进程，确定正弦量瞬时值的大小和方向。

初相位：t=0时的相位，　$\psi_i=30^\circ$，$\psi_u=-60^\circ$

相位差：两个正弦量的相位之差，同频率的正弦电量的相位差等于其初相位之差，通常以φ表示。

$\varphi\ =\psi_u-\psi_i=-60^\circ-30^\circ=-90^\circ$（一般取$-180^\circ\leqslant\varphi\leqslant180^\circ$）

注意：　在线性电路中（线性电路是指构成电路的电阻、电感和电容等元器件的参数都不随电流或电压而变化），正弦交流电源（称为激励）在电路各部分所产生的电流和电压（称为响应）都是与电源同频率的正弦量。

交流电相位、初相位、相位差（变化进程）

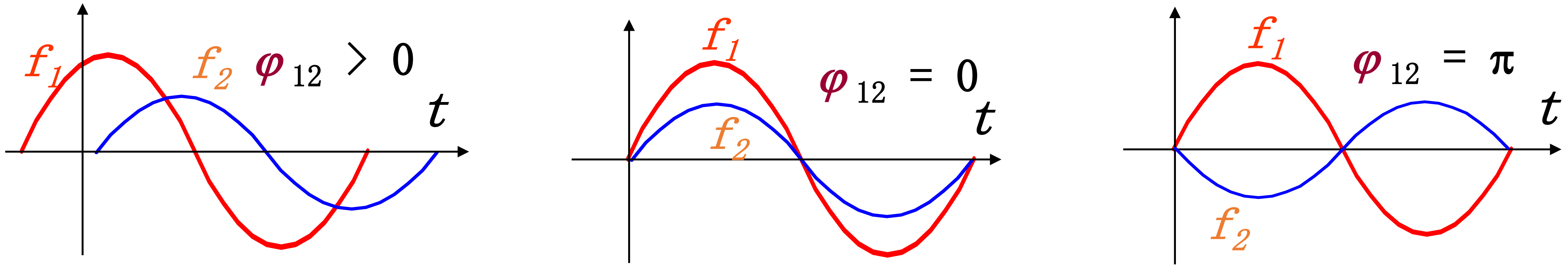
设正弦信号 $f_1(t)= A_1 \sin(\omega t+\varphi_1)$ ，$f_2(t)= A_2 \sin(\omega t+\varphi_2)$

则两信号的相位差为 $\varphi_{12} = (\omega t+\varphi_1) - (\omega t+\varphi_2)= \varphi_1 - \varphi_2$

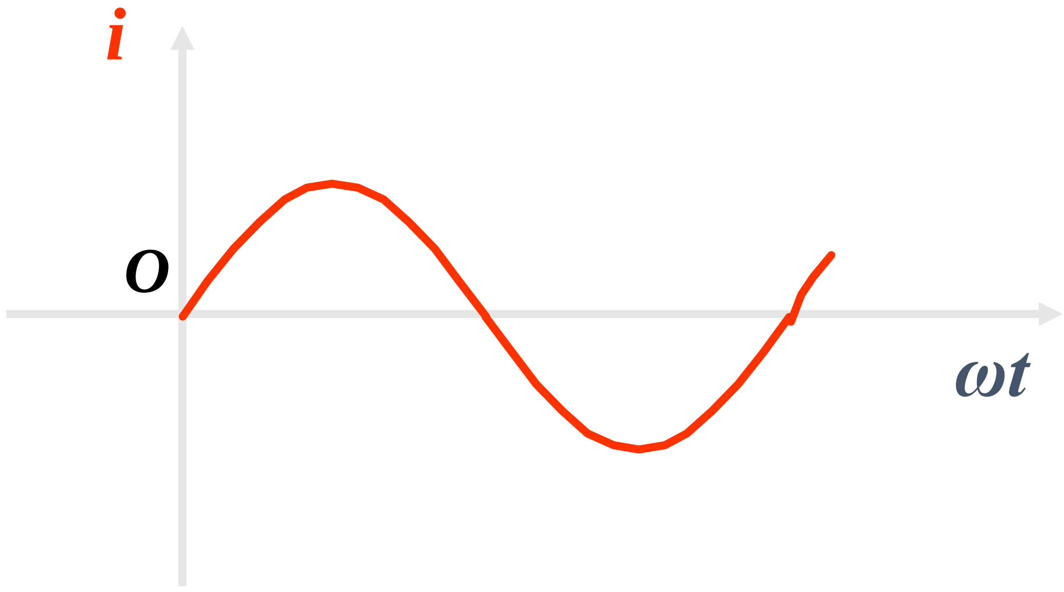
相位关系：

$\varphi_{12} > 0$ $\varphi_1 > \varphi_2$ 称f_1超前f_2 $\varphi_{12} < 0$ $\varphi_1 < \varphi_2$ 称f_2超前f_1

$\varphi_{12} = 0$ $\varphi_1 = \varphi_2$ 称f_1与f_2 同相 $\varphi_{12} = \pi$ 称f_1与f_2 反相



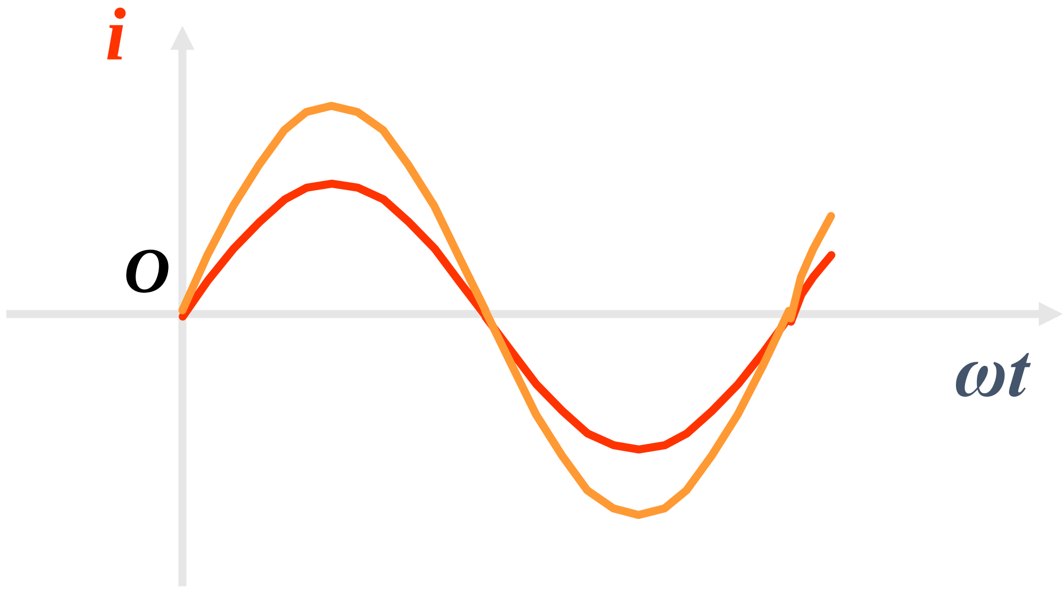
交流电相位、初相位、相位差（变化进程）



设两个正弦信号分别为电压u和电流i。

(通常是同一元件（网络）两端的电压和流过它的电流。)

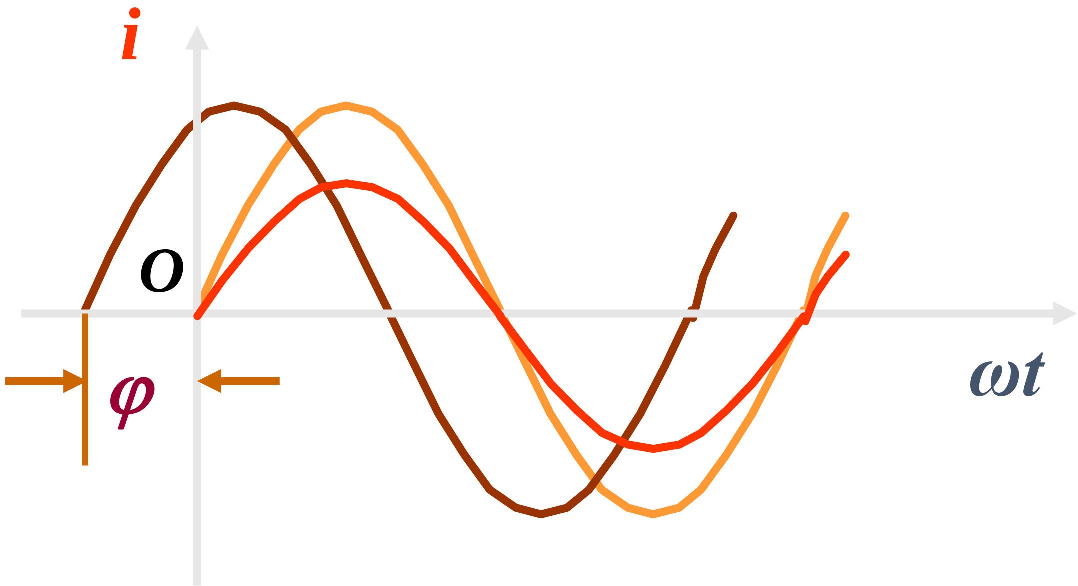
交流电相位、初相位、相位差（变化进程）



设两个正弦信号分别为电压u和电流i。
(通常是同一元件（网络）两端的电压和流过它的电流。）

- $\varphi = 0^{\circ}$ ：　　u 与 i 同相位。

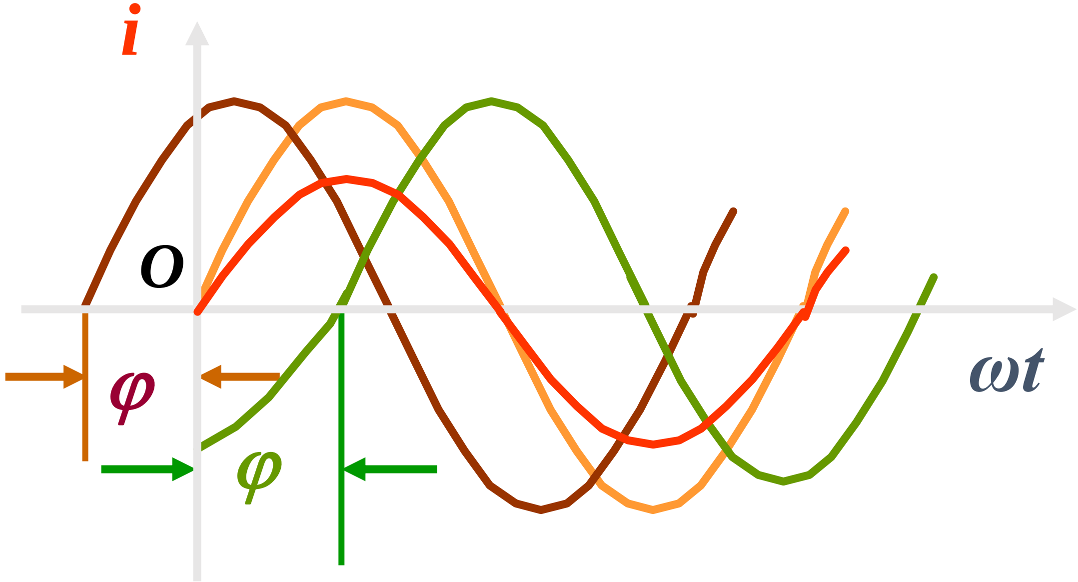
交流电相位、初相位、相位差（变化进程）



设两个正弦信号分别为电压u和电流i。
(通常是同一元件（网络）两端的电压和流过它的电流。)

- $\varphi = 0^\circ$ ： u 与 i 同相位;
- $0^\circ < \varphi < 180^\circ$ ： u 超前于 i ;

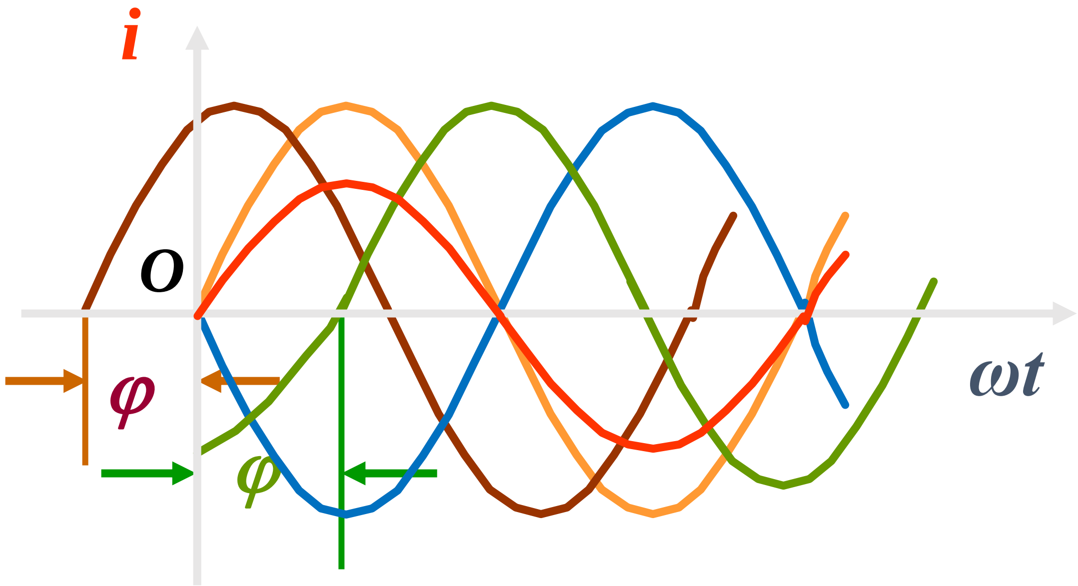
交流电相位、初相位、相位差（变化进程）



设两个正弦信号分别为电压u和电流i。
(通常是同一元件（网络）两端的电压和流过它的电流。)

- $\varphi = 0^\circ$ ：　　u 与 i 同相位;
- $0^\circ < \varphi < 180^\circ$ ：　u 超前于 i；
- $-180^\circ < \varphi < 0^\circ$ ：u 滞后于 i；

交流电相位、初相位、相位差（变化进程）



设两个正弦信号分别为电压u和电流i。
(通常是同一元件（网络）两端的电压和流过它的电流。)

- $\varphi = 0^\circ$： u 与 i 同相位;
- $0^\circ < \varphi < 180^\circ$： u 超前于 i；
- $-180^\circ < \varphi < 0^\circ$： u 滞后于 i；
- $\varphi = \pm 180^\circ$： u 与 i 反相（相位相反）。

例 已知某正弦电压在 $t=0$ 时为$110\sqrt{2}$ V，初相角为30°，求其有效值。

例 已知某正弦电压在 $t=0$ 时为$110\sqrt{2}$ V，初相角为30°，求其有效值。

解：此正弦电压表达式为 $u = U_\mathrm{m}\sin(\omega t + 30°)$

则 $u(0) = U_\mathrm{m}\sin 30°$

$$U_\mathrm{m} = \frac{u(0)}{\sin 30°} = \frac{110\sqrt{2}}{0.5}\mathrm{V} = 220\sqrt{2}\mathrm{V}$$

$$U = \frac{U_\mathrm{m}}{\sqrt{2}} = \frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\mathrm{V} = 220\mathrm{V}$$

例 用交流电压表测得某工频电源变压器的输出电压为**50**伏，此变压器输出电压的最大值是多少？按初相位为**0**写出其瞬时值表达式。工频电源是正弦交流电，角频率ω＝314 弧度/秒

例 用交流电压表测得某工频电源变压器的输出电压为50伏，此变压器输出电压的最大值是多少？按初相位为0写出其瞬时值表达式。工频电源是正弦交流电，角频率ω＝314 弧度/秒

解： 已知 输出电压的有效值 U＝50伏

所以 输出电压的最大值 Um＝ $50\sqrt{2}$伏

输出电压的瞬时值:

u＝Um sin(ω t)＝70.7sin(314t) 伏

相关数学知识：复数及复数运算

1. 复数及其表达形式

1）代数形式

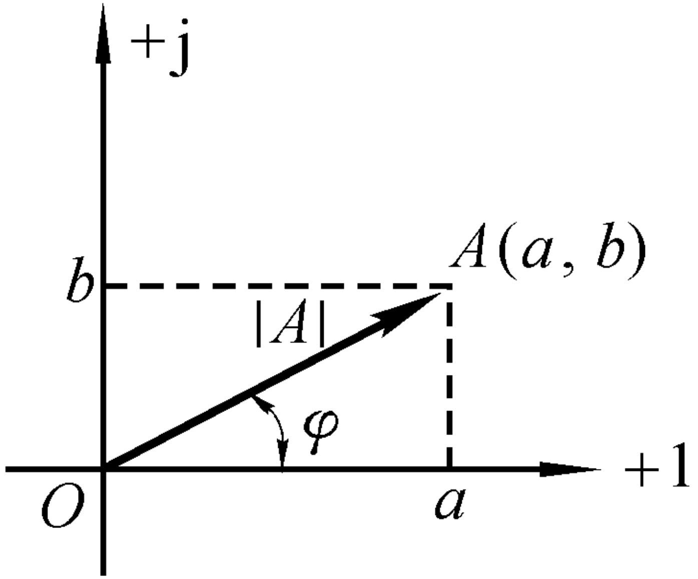
一个复数A是由实部和虚部组成

$$A = a + jb$$

式中 $j = \sqrt{-1}$ **称为虚数单位。**

一个复数A在复平面上的表示如图所示。可以用下式表示

$$\mathrm{Re}[A] = a, \qquad \mathrm{Im}[A] = b$$



复平面上的复数表示

相关数学知识：复数及复数运算

1. 复数及其表达形式

1）代数形式

一个复数A是由实部和虚部组成

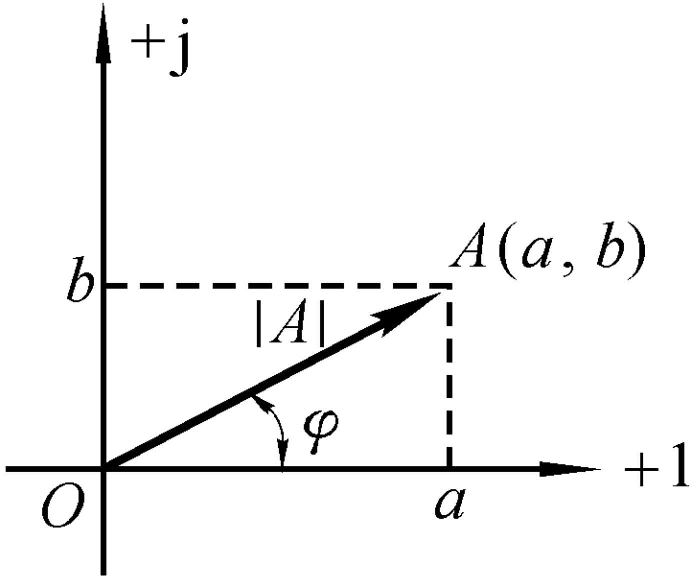
$$A = a + jb$$

复数A的模是 $|A| = \sqrt{a^2 + b^2}$

复数A与实轴的夹角(幅角) $\varphi = \tan^{-1}\dfrac{b}{a}$

依三角函数可以得到投影a、b和模的关系如下

$$\begin{cases} a = |A|\cos\varphi \\ b = |A|\sin\varphi \end{cases}$$



复平面上的复数表示

相关数学知识：复数及复数运算

1. 复数及其表达形式

2）三角函数形式

复数三角函数形式为

$$A=|A|\cos\varphi+j|A|\sin\varphi=|A|(\cos\varphi+j\sin\varphi)$$

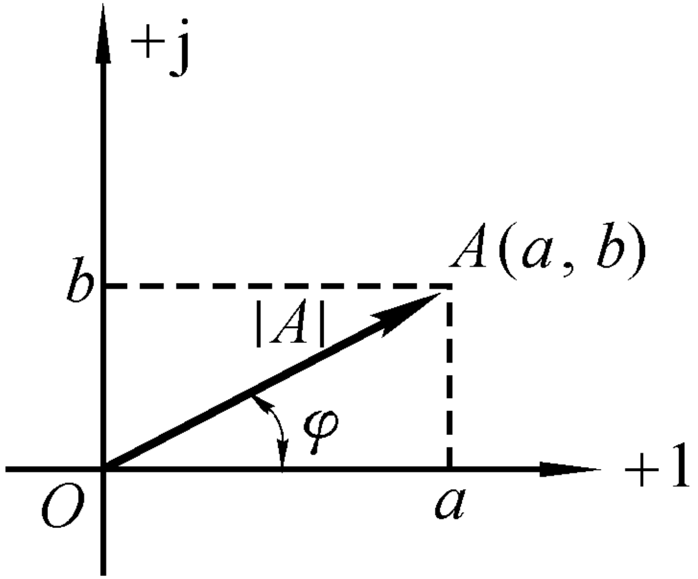
3）指数形式

复数的指数形式为

$$A=|A|e^{j\varphi}$$

4）极坐标形式

复数的极坐标形式为 $A=|A|\angle\varphi$



复平面上的复数表示

相关数学知识：复数及复数运算

例 写出下列复数的直角坐标形式。

（1）$5\angle 48^\circ$ （2）$1\angle 90^\circ$ （3）$5.5\angle -90^\circ$

相关数学知识：复数及复数运算

例 写出下列复数的直角坐标形式。

（1）$5\angle 48^\circ$　　（2）$1\angle 90^\circ$　　（3）$5.5\angle -90^\circ$

解：（1）$5\angle 48^\circ = 5\cos 48^\circ + j5\sin 48^\circ = 3.35 + j3.72$

（2）$1\angle 90^\circ = \cos 90^\circ + j\sin 90^\circ = j$

（3）$5.5\angle -90^\circ = 5.5\cos(-90^\circ) + j5.5\sin(-90^\circ)$

$$= -j5.5$$

相关数学知识：复数及复数运算

2. 复数运算

设有两个复数

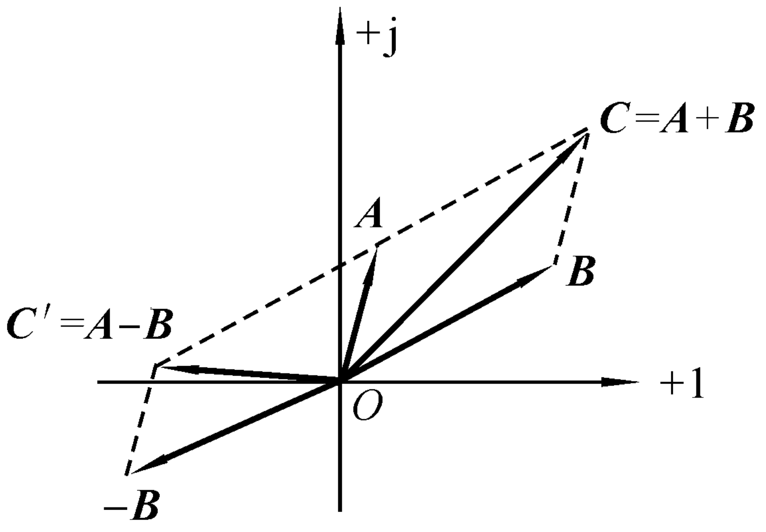
$$A = a_1 + ja_2 = a\angle\varphi_a = ae^{j\varphi_a}$$

$$B = b_1 + jb_2 = b\angle\varphi_b = be^{j\varphi_b}$$

1）加、减法运算

$$C = A + B = (a_1 + b_1) + j(a_2 + b_2)$$
$$C' = A - B = (a_1 - b_1) + j(a_2 - b_2)$$

复数与复平面上的有向线段（矢量）相对应，复数的加减与表示复数的有向线段的加减相互对应。



相关数学知识：复数及复数运算

2. 复数运算

设有两个复数　$A = a_1 + ja_2 = a\angle\varphi_a = ae^{j\varphi_a}$

$B = b_1 + jb_2 = b\angle\varphi_b = be^{j\varphi_b}$

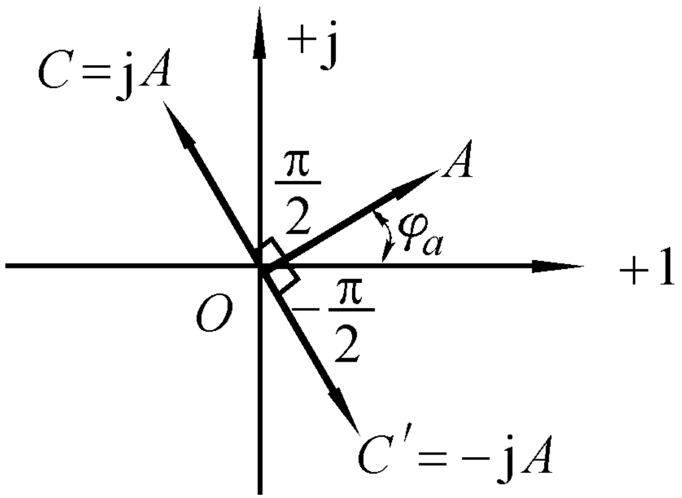
2）乘、除法运算

$$C = A \cdot B = ab\angle\varphi_a + \varphi_b = abe^{j(\varphi_a + \varphi_b)}$$

$$C' = \frac{A}{B} = \frac{ae^{j\varphi_a}}{be^{j\varphi_b}} = \frac{a}{b}\angle\varphi_a - \varphi_b$$

3）旋转因子

根据欧拉公式有　$e^{j\frac{\pi}{2}} = \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) + j\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = j$



相关数学知识：复数及复数运算

注意：

相量的加减只能用代数形式运算；

相量的乘除可以用代数形式或极坐标形式。

因此，经常需要进行代数形式与极坐标形式的转换。

例. 如图所示: 已知复数$A=10\angle 45°$,求它的代数形式;

已知复数$B=8-j6$,求它的极坐标形式，并在复平面上画出复数$A+B$。

例. 如图所示: 已知复数A=10∠45°,求它的代数形式;

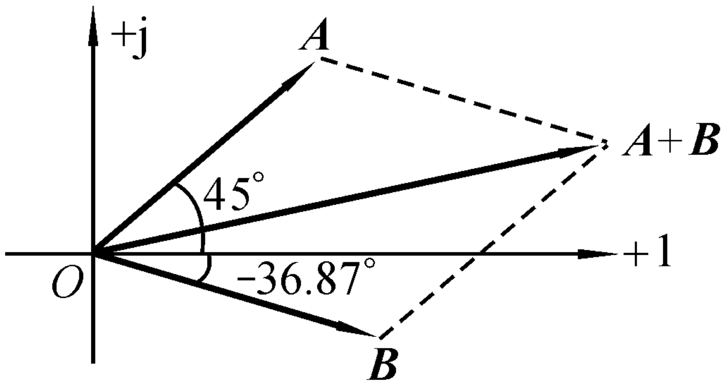
已知复数B=8-j6,求它的极坐标形式，并在复平面上画出复数A+B。

解：1)求A的代数形式。

复数A的实部 $a = 10 \times \cos 45^\circ = 5\sqrt{2}$

复数A的虚部 $b = 10 \times \sin 45^\circ = 5\sqrt{2}$

复数A的代数形式 $A = 5\sqrt{2} + j5\sqrt{2}$



2)求B的极坐标形式。

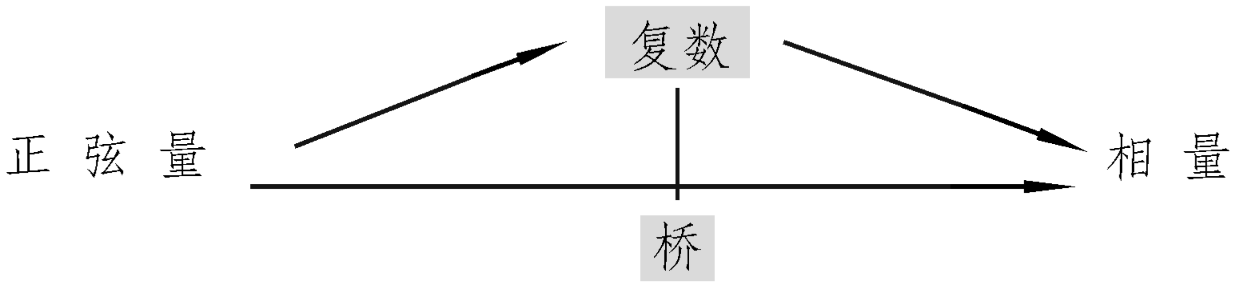
复数B的模 $|B| = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10$

复数B的幅角 $\varphi = \tan^{-1}(-\dfrac{6}{8}) = -36.87^\circ$

复数B极坐标形式 $B = 10\angle -36.87^\circ$

A+B如图所示。

正弦量的相量表示



1. 分析示意图

设有一正弦量$i=I_m\sin(\omega t+\varphi_i)$，从该正弦量出发，最终推导出与它对应的相量，中间要用到复数作为过渡的桥梁。

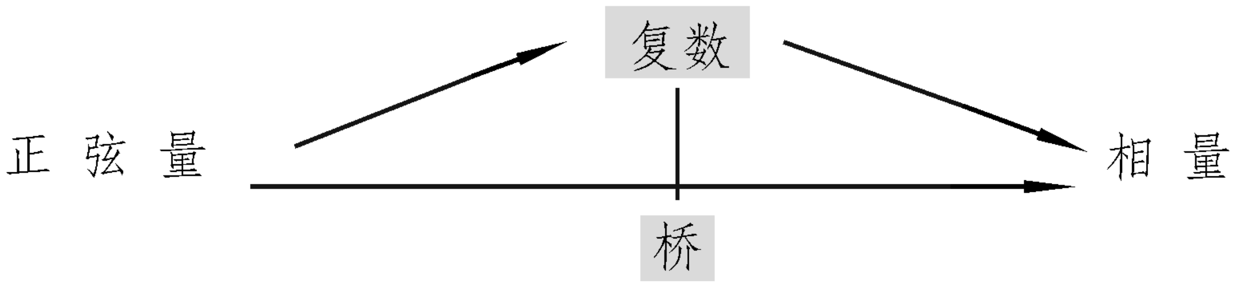
1）用复数表示相量的数学变换式

——对应

$$\sqrt{2}I\sin(\omega t+\varphi_i) \Longleftrightarrow \sqrt{2}Ie^{j(\omega t+\varphi_i)}=C$$

正弦量　　**数学变换**　　**复数**

正弦量的相量表示



1. 分析示意图

设有一正弦量$i=I_m\sin(\omega t+\varphi_i)$，从该正弦量出发，最终推导出与它对应的相量，中间要用到复数作为过渡的桥梁。

1）用复数表示相量的数学变换式

一一对应

$$\sqrt{2}I\sin(\omega t+\varphi_i) \Longleftrightarrow \sqrt{2}Ie^{j(\omega t+\varphi_i)}=C$$

数学变换

正弦量 **复数**

2）由复数→相量。

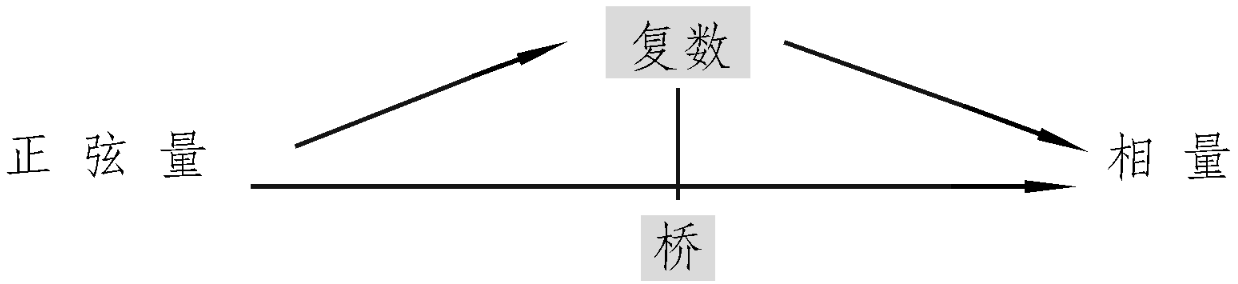
一一对应

$$C=\sqrt{2}Ie^{j(\omega t+\varphi_i)} \Longleftrightarrow \dot{I}=Ie^{j\varphi_i}$$

数学记法

复数 **相量**

正弦量的相量表示



1. 分析示意图

设有一正弦量$i=I_m\sin(\omega t+\varphi_i)$，从该正弦量出发，最终推导出与它对应的相量，中间要用到复数作为过渡的桥梁。

3）由正弦量→相量

一一对应

$$\sqrt{2}I\sin(\omega t+\varphi_i) \Longleftrightarrow \dot{I}=Ie^{j\varphi_i}$$

正弦量 $\uparrow$ 　　　　**相量** $\uparrow$

正弦量的相量表示

例：写出下列已知正弦量 $i = 10\sqrt{2}\sin(\omega t + 30^{\circ})$**所对应的相量形式；写出下列已知电压相量** $\dot{U} = 60\angle 60^{\circ}$ **所相应的正弦量。**

正弦量的相量表示

例：写出下列已知正弦量 $i = 10\sqrt{2}\sin(\omega t + 30^{\circ})$ **所对应的相量形式；写出下列已知电压相量** $\dot{U} = 60\angle 60^{\circ}$ **所相应的正弦量。**

正弦量对应的相量是 $i = 10\sqrt{2}\sin(\omega t + 30^{\circ}) \rightarrow \dot{I} = 10\angle 30^{\circ}$

相量 $\dot{U}$ **对应的正弦量是** $\dot{U} = 60\angle 60^{\circ} \rightarrow u = 60\sqrt{2}\sin(\omega t + 60^{\circ})$

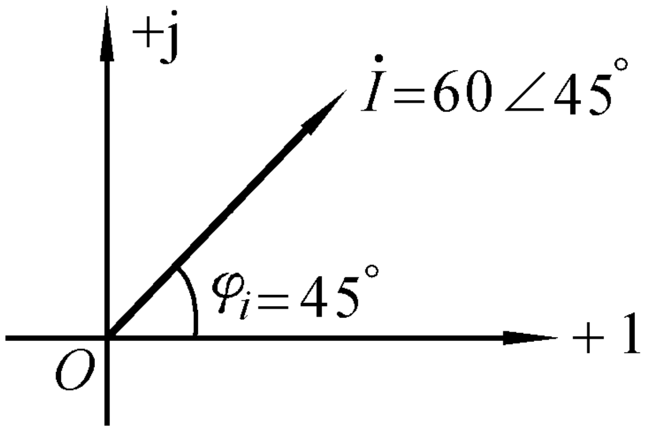
正弦量的相量表示

2. 相量图及旋转相量

因为相量是一种特殊的复数，相量和复数一样，可在复平面上用矢量表示，这种相量在复平面上的几何表示图称为相量图。

按照正弦量的大小和相位关系用初始位置的有向线段画出的若干个相量的图形。

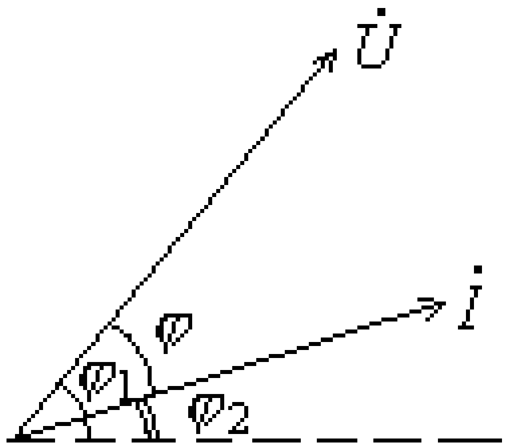
如正弦电流 $i = 60\sqrt{2}\sin(\omega t + 45^\circ)$ A，**它对应的电流相量是** $\dot{I} = 60\angle 45^\circ A$，**其相量图如图所示。**



正弦量的相量表示

2. 相量图及旋转相量

- 同频率的正弦量所代表的相量可以画在同一复平面上。
- 按照平行四边形法则进行向量相加，从而完成正弦量的加减。



电压和电流的相量图

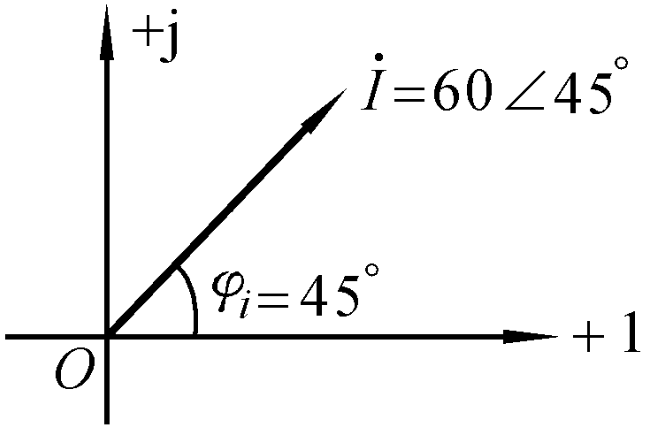
直观

表示各正弦量之间的相位关系。

正弦量的相量表示

2. 相量图及旋转相量

如正弦电流 $i = 60\sqrt{2}\sin(\omega t + 45^{\circ})$ A**，它对应的电流相量是** $\dot{I} = 60\angle 45^{\circ}\,A$**，其相量图如图所示。**

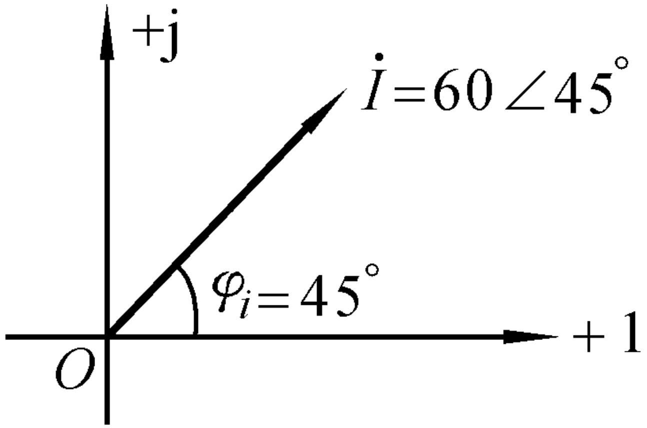


正弦量的相量表示

2. 相量图及旋转相量

如正弦电流 $i = 60\sqrt{2}\sin(\omega t + 45^\circ)$ A，**它对应的电流相量是** $\dot{I} = 60\angle 45^\circ A$，**其相量图如图所示。**

进一步将复数 $C = \sqrt{2} I e^{j(\omega t + \varphi_i)}$ **写成** $C = \sqrt{2} I \cdot e^{j\varphi_i} \cdot e^{j\omega t} = \sqrt{2} \dot{I} e^{j\omega t} = A \cdot B$

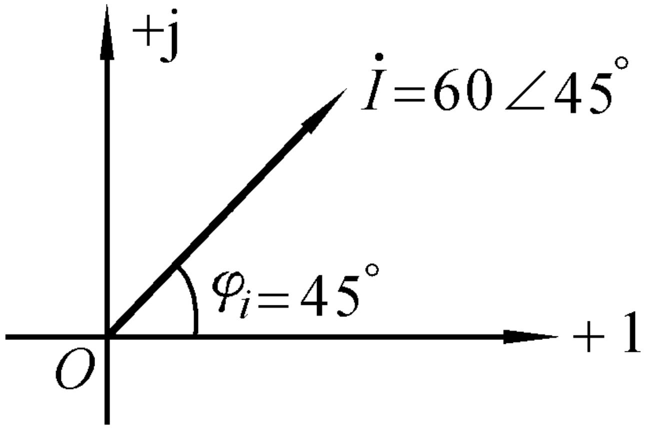


正弦量的相量表示

2. 相量图及旋转相量

如正弦电流 $i = 60\sqrt{2}\sin(\omega t + 45^\circ)$ A，**它对应的电流相量是** $\dot{I} = 60\angle 45^\circ A$，**其相量图如图所示。**

进一步将复数 $C = \sqrt{2}Ie^{j(\omega t+\varphi_i)}$ **写成** $C = \sqrt{2}I \cdot e^{j\varphi_i} \cdot e^{j\omega t} = \sqrt{2}\dot{I}e^{j\omega t} = A \cdot B$



其中 $A = \sqrt{2}\dot{I}$ **（相量），**

$B = e^{j\omega t}$ **（旋转因子）**

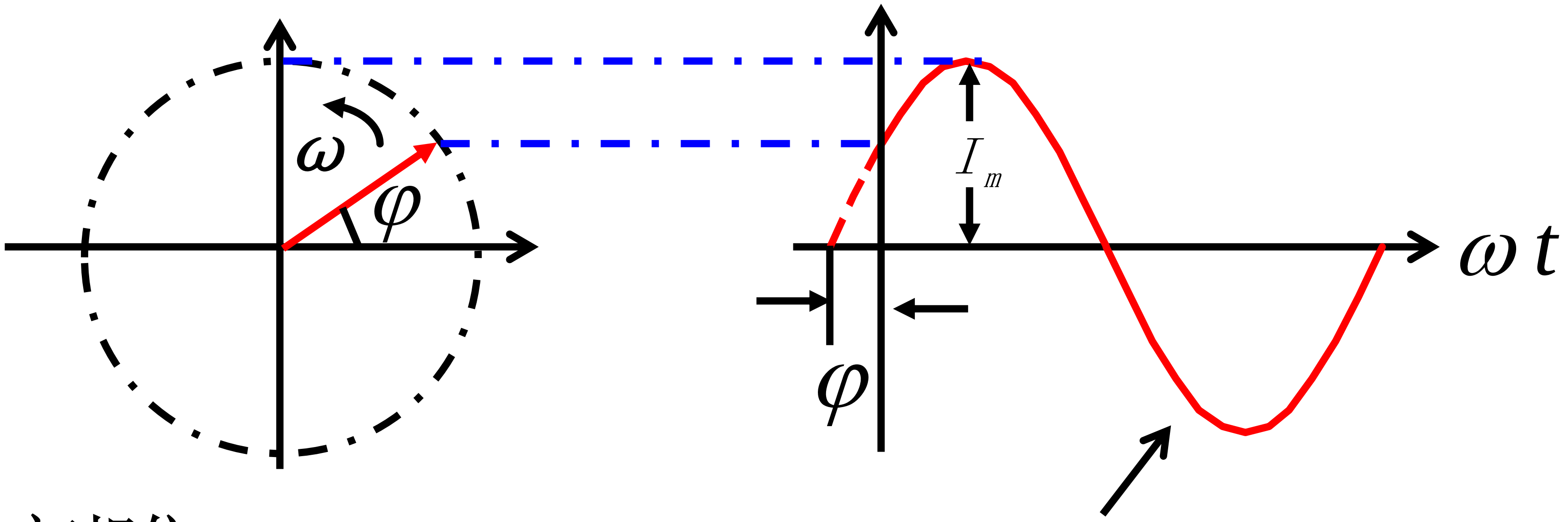
不改变A的模，但使A的幅角成为时间的线性函数，即可使向量A围绕原点旋转。

正弦量的相量表示

复数C称为旋转相量。这一旋转相量在虚轴上的投影是一个正弦量，即

$$i = I_m[C] = I_m[\sqrt{2}\dot{I}e^{j\omega t}]$$

几何意义



矢量长度：I_m

矢量与横轴夹角 ＝ 初相位 φ

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

矢量以角速度 ω 按逆时针方向旋转

正弦量的相量表示

3. 相量的运算

（1）加减法运算

例如，正弦电压 $u_1=\sqrt{2}U_1\sin(\omega t+\varphi_1)$和$u_2=\sqrt{2}U_2\sin(\omega t+\varphi_2)$，

求它们的和电压 $u=u_1+u_2$

正弦量的相量表示

3. 相量的运算

（1）加减法运算

例如，正弦电压 $u_1=\sqrt{2}U_1\sin(\omega t+\varphi_1)$和$u_2=\sqrt{2}U_2\sin(\omega t+\varphi_2)$,

求它们的和电压 $u=u_1+u_2$

将正弦电压*u₁*、*u₂*用对应的复数的虚部来表示，得

$$u_1=\sqrt{2}U_1\sin(\omega t+\varphi_1)=I_m\left[\sqrt{2}\dot{U}_1e^{j\omega t}\right] \qquad u_2=\sqrt{2}U_2\sin(\omega t+\varphi_2)=I_m\left[\sqrt{2}\dot{U}_2e^{j\omega t}\right]$$

那么 $$u=u_1+u_2=I_m\left[\sqrt{2}(\dot{U}_1+\dot{U}_2)e^{j\omega t}\right]$$

令 $$u=I_m\left[\sqrt{2}\dot{U}e^{j\omega t}\right] \qquad I_m\left[\sqrt{2}\dot{U}e^{j\omega t}\right]=I_m\left[\sqrt{2}(\dot{U}_1+\dot{U}_2)e^{j\omega t}\right]$$

上式对任何时间都成立，则有 $\dot{U}=\dot{U}_1+\dot{U}_2$

正弦量的相量表示

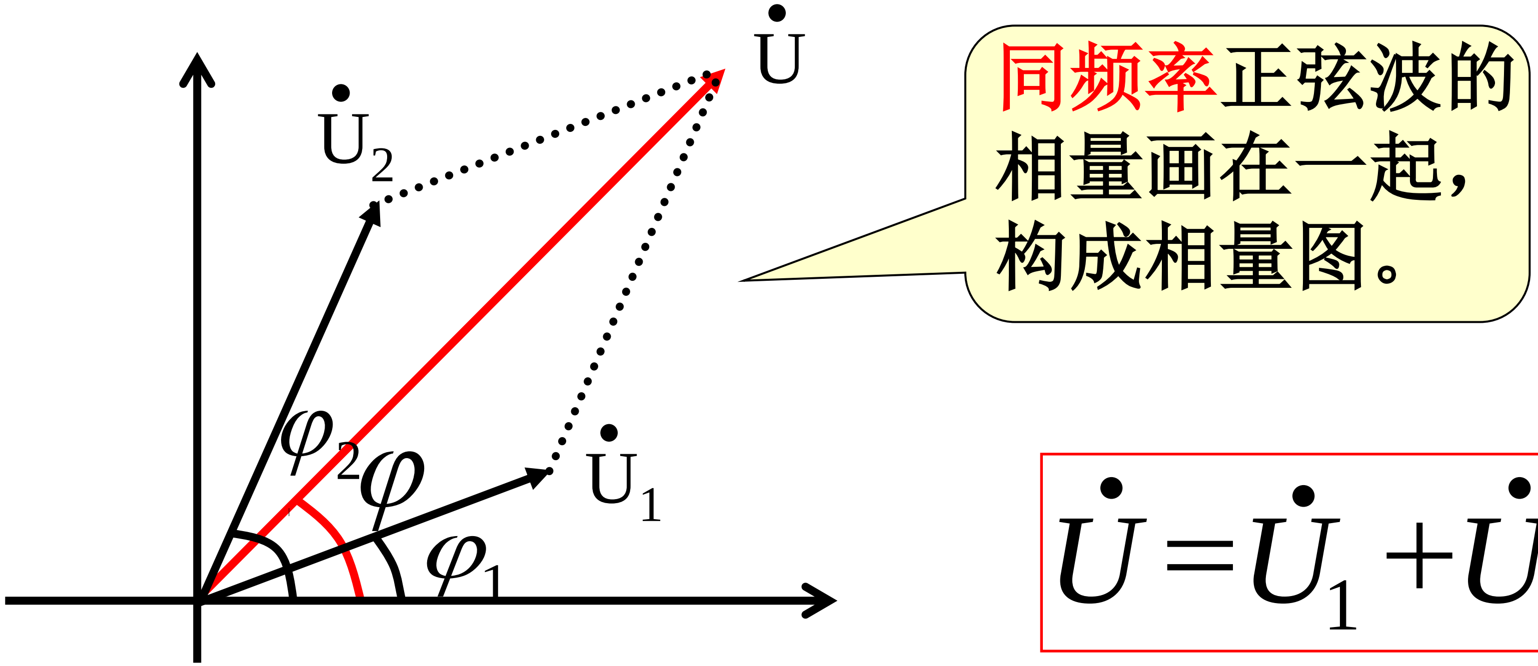
3. 相量的运算

（1）加减法运算

平行四边形法则

$$u_1=\sqrt{2}U_1\sin(\omega t+\varphi_1)\qquad u_2=\sqrt{2}U_2\sin(\omega t+\varphi_2)$$

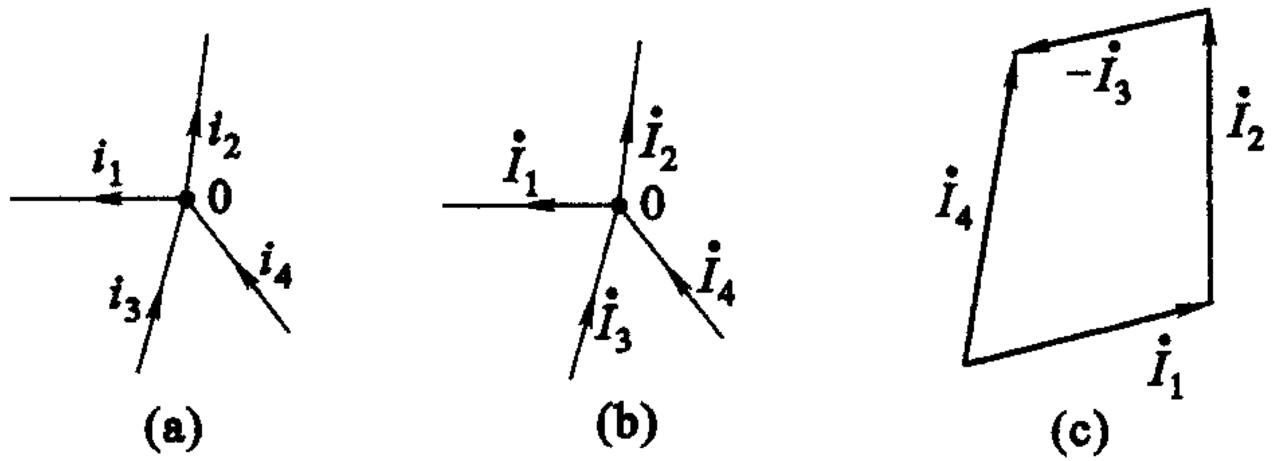
$$u=u_1+u_2=\sqrt{2}U\sin(\omega t+\varphi)$$



$$\boxed{\dot{U}=\dot{U}_1+\dot{U}_2}$$

基尔霍夫电流定律的相量形式

KCL：正弦交流电路中，连接在电路任一节点的各支路电流的相量的代数和为零，即 $\sum \dot{I} = 0$ 流出电流的相量取正号，反之取负号。



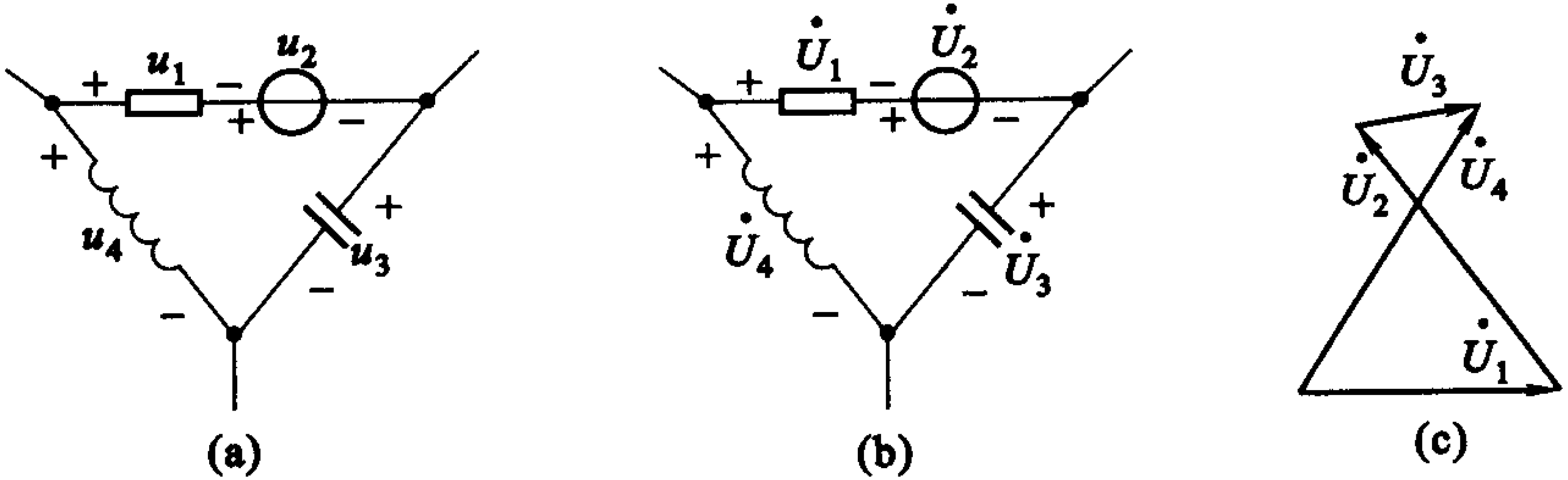
闭合多边形

KCL的相量形式

如右图，节点0的KCL相量表达式为 $\dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 - \dot{I}_4 = 0$

基尔霍夫电压定律的相量形式

KVL：正弦交流电路中，任一回路的各支路电压相量代数和为零, 即 $\sum \dot{U} = 0$



KVL的相量形式

回路的电压方程为： $u_1 + u_2 + u_3 - u_4 = 0$

其KVL相量表达式为： $\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 - \dot{U}_4 = 0$

正弦量的相量表示

3. 相量的运算

（2）微分、积分运算

有一正弦电压 $u = \sqrt{2}U\sin(\omega t + \varphi_u)$

对u求导之后得 $du/dt = \sqrt{2}U\omega\cos(\omega t + \varphi_u) = \sqrt{2}U\omega\sin(\omega t + \varphi_u + \frac{\pi}{2})$

du/dt **对应的相量为** $U\omega e^{j(\varphi_u + \frac{\pi}{2})} = U\omega e^{j\varphi_u}e^{j\frac{\pi}{2}} = j\omega\dot{U}$

例如：由电容元件的伏安特性可知 $i_c = C\dfrac{du_c}{dt}$

$\dfrac{du_c}{dt}$ **的相量是** u_c **的相量** $\dot{U}_c$ **乘以** $j\omega$ **。故有**

$$\dot{I}_c = j\omega C\dot{U}_c$$

正弦量的相量表示

3. 相量的运算

（2）微分、积分运算

有一正弦电压 $u = \sqrt{2}U\sin(\omega t + \varphi_u)$

对u积分之后得 $\int u_c dt = -\frac{1}{\omega}\sqrt{2}U\cos(\omega t + \varphi_u) = \frac{1}{\omega}\sqrt{2}U\sin(\omega t + \varphi_u - \frac{\pi}{2})$

$\int u_c dt$ **对应的相量为** $\frac{1}{\omega}Ue^{j(\varphi_u - \frac{\pi}{2})} = \frac{1}{\omega}Ue^{j\varphi_u}e^{-j\frac{\pi}{2}} = -j\frac{1}{\omega}\dot{U} = \frac{\dot{U}}{j\omega}$

例如：由电容元件的伏安特性可知 $u_c = \frac{1}{C}\int i_c dt$

故有 $\dot{U}_c = \frac{1}{j\omega C}\dot{I}_c$

电路分析的相量法

- 同频率的正弦量可用相量表示，对正弦量瞬时值成立的定理公式等，对相量同样成立，如基尔霍夫定律，叠加原理，戴维南定理等。
- 用相量表示正弦量，用复数运算完成相量的计算，就是电路分析的相量法。

电路分析的相量法

- 同频率的正弦量可用相量表示，对正弦量瞬时值成立的定理公式等，对相量同样成立，如基尔霍夫定律，叠加原理，戴维南定理等。
- 用相量表示正弦量，用复数运算完成相量的计算，就是电路分析的相量法。

相量法优点

（1）把时域问题变为复数问题；

（2）把微积分方程的运算变为复数方程运算；

（3）可以把直流电路的分析方法直接用于交流电路。

相量法注意

1. 只有正弦量才能用相量表示，非正弦量不可以。

2. 只有同频率的正弦量才能画在一张相量图上，不同频率不行。

3. 一般取直角坐标轴的水平正方向为参考方向，逆时针转动的角度为正，反之为负。

4. 用相量表示正弦交流电后，它们的加减运算可按平行四边形法则进行。

本章目录

- 正弦交流电的基本概念
- 正弦量的相量表示及复数运算
- 正弦交流电路中的电阻元件
- 正弦交流电路中的电感元件
- 正弦交流电路中的电容元件
- 实际电路器件
- **R, L, C**串并联电路及复阻抗