

第10章 非正弦周期电流电路和信号的频谱

§ 10- 1 非正弦周期信号

§ 10- 2 周期函数分解为傅立叶级数

§ 10- 3 有效值、平均值和平均功率

§ 10- 4 非正弦周期电流电路的计算

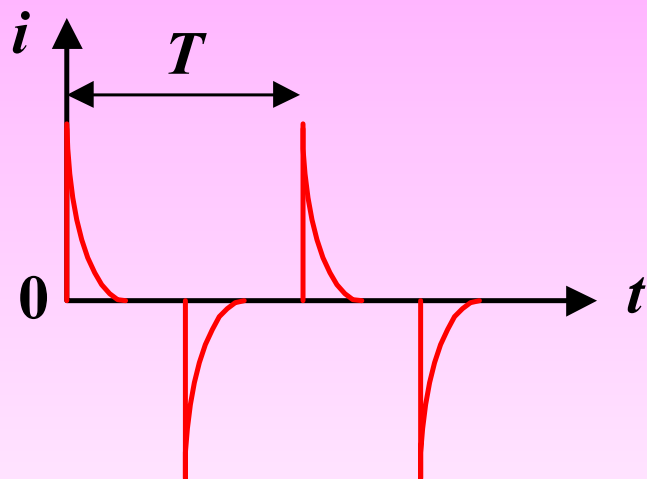
§ 10-1 非正弦周期信号

在一个线性电路中有一个正弦电源作用或多个同频率电源同时作用时，电路各部分的稳态电压、电流都是同频的正弦量。

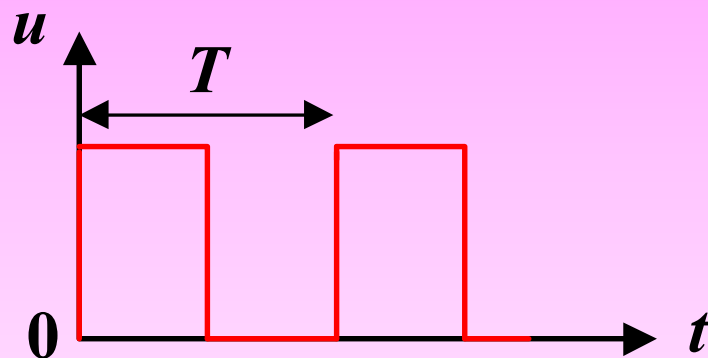
非正弦规律变动的电源和信号：

- 1、实际交流发动机发出的电压波形，严格讲是非正弦周期波。
- 2、通信工程方面传输的各种信号，如收音机、电视机收到的信号电压或电流，它们的波形都是非正弦的。
- 3、在自动控制、电子计算机等技术领域中用到的脉冲信号都是非正弦波。
- 4、如果电路存在非线性元件，即使在正弦电源作用下，电路中也将产生非正弦周期的电压和电流。

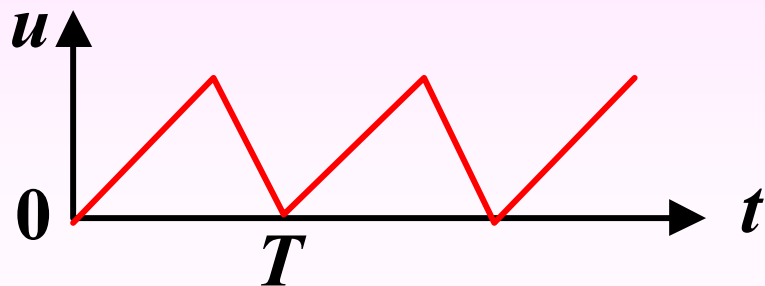
非正弦电流分为：**周期**、**非周期**两种。



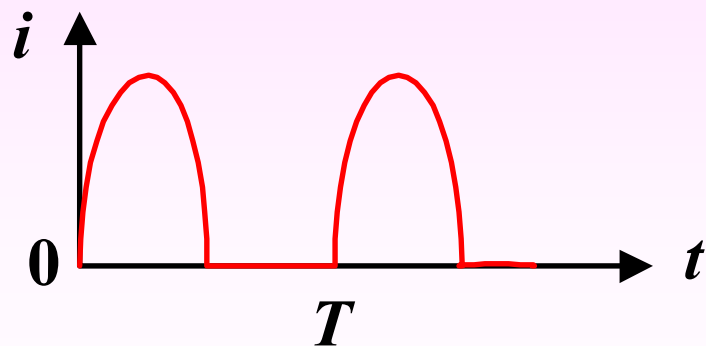
脉冲波形



方波电压波形



锯齿波



半波整流波形

§ 10 - 2 周期函数分解为傅立叶级数

周期电流、电压、信号用一个周期函数表示为：

$$f(t) = f(t + kT)$$

T 为周期函数 $f(t)$ 的周期， $k=0, 1, 2, \dots$ 。

一、傅立叶级数展开

如果 $f(t)$ 满足狄里赫利条件，它就能展开成一个收敛的傅立叶级数，即：

$$f(t) = f(t + kT)$$

$$\begin{aligned} f(t) &= a_0 + [a_1 \cos(\omega_1 t) + b_1 \sin(\omega_1 t)] \\ &\quad + [a_2 \cos(2\omega_1 t) + b_2 \sin(2\omega_1 t)] + \dots \\ &\quad + [a_k \cos(k\omega_1 t) + b_k \sin(k\omega_1 t)] + \dots \\ &= a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\omega_1 t) + b_k \sin(k\omega_1 t)] \end{aligned}$$

另一种形式:

$$\begin{aligned} f(t) &= A_0 + A_{1m} \cos(\omega_1 t + \psi_1) + A_{2m} \cos(2\omega_1 t + \psi_2) \\ &\quad + \dots + A_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_k) + \dots \\ &= A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_k) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f(t) &= A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_k) \\
 &= a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\omega_1 t) + b_k \sin(k\omega_1 t)]
 \end{aligned}$$

两种形式系数之间有如下关系：

$$A_0 = a_0$$

$$a_k = A_{km} \cos \psi_k$$

$$A_{km} = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$$

$$b_k = -A_{km} \sin \psi_k$$

$$\psi_k = \arctan \frac{-b_k}{a_k}$$

$$f(t) = A_0 + A_{1m} \cos(\omega_1 t + \psi_1) + A_{2m} \cos(2\omega_1 t + \psi_2) \\ + \dots + A_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_k) + \dots$$

A_0 为周期函数 $f(t)$ 的恒定分量（或直流分量）。

第二项 $A_{1m} \cos(\omega_1 t + \psi_1)$ 为一次谐波（或基波分量）。

其周期或频率与原周期函数 $f(t)$ 相同。

其它各项统称为高次谐波，即2次、3次……谐波。

将一个周期函数展开或分解为一系列谐波之和的傅立叶级数称为**谐波分析**。

$$f(t) = f(t + kT)$$

各项系数可按下列公式计算：

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) dt$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(k\omega_1 t) dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos(k\omega_1 t) dt$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos(k\omega_1 t) d(\omega_1 t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cos(k\omega_1 t) d(\omega_1 t)$$

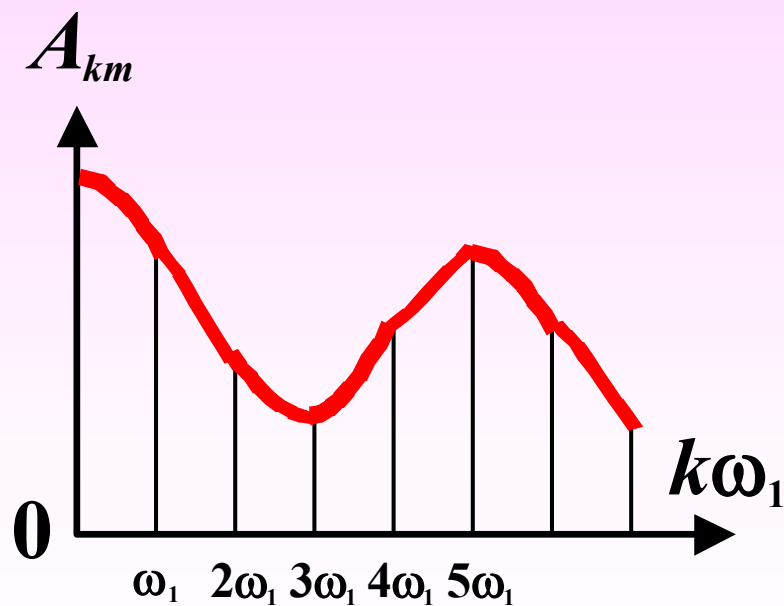
$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(k\omega_1 t) dt = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin(k\omega_1 t) dt$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sin(k\omega_1 t) d(\omega_1 t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \sin(k\omega_1 t) d(\omega_1 t)$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

二、频谱（图）

$f(t)$ 周期函数分解为傅氏级数后包含那些频率分量以及各分量所占“比重”用长度与各次谐波振幅大小相对应的线段，按频率的高低顺序把它们依次排列起来，得到的图形，称为 $f(t)$ 的频谱（图）。



幅度频谱

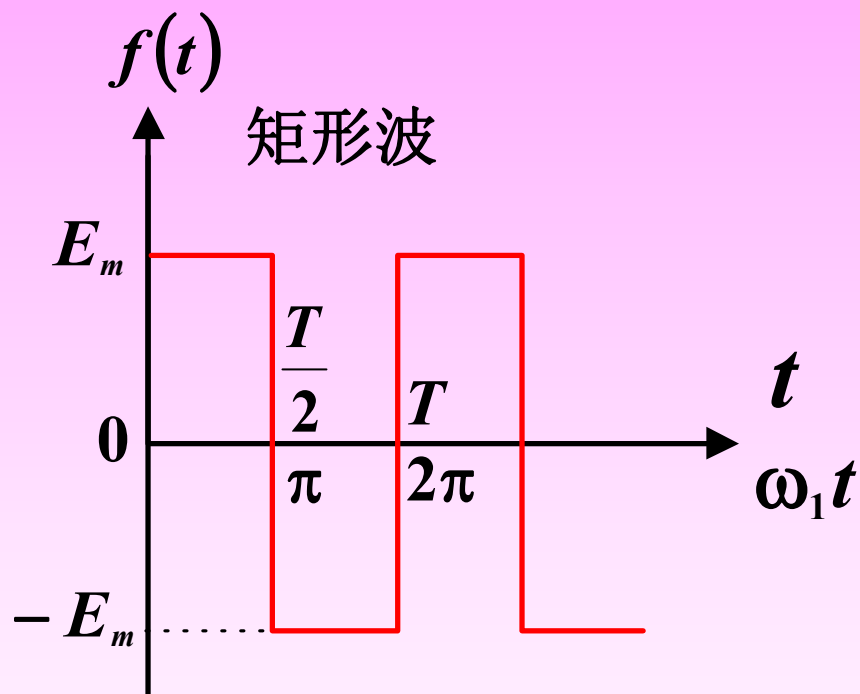
这种频谱只表示谐波分量的振幅，称为幅度频谱。

各谐波的角频率是 ω_1 的整数倍，这种频谱是离散的，有时又称为线频谱。

例：求周期性矩形信号 $f(t)$ 的傅立叶级数展开式及其频谱。

解：

$$\begin{cases} f(t) = E_m & 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ f(t) = -E_m & \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases}$$



$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = 0$$

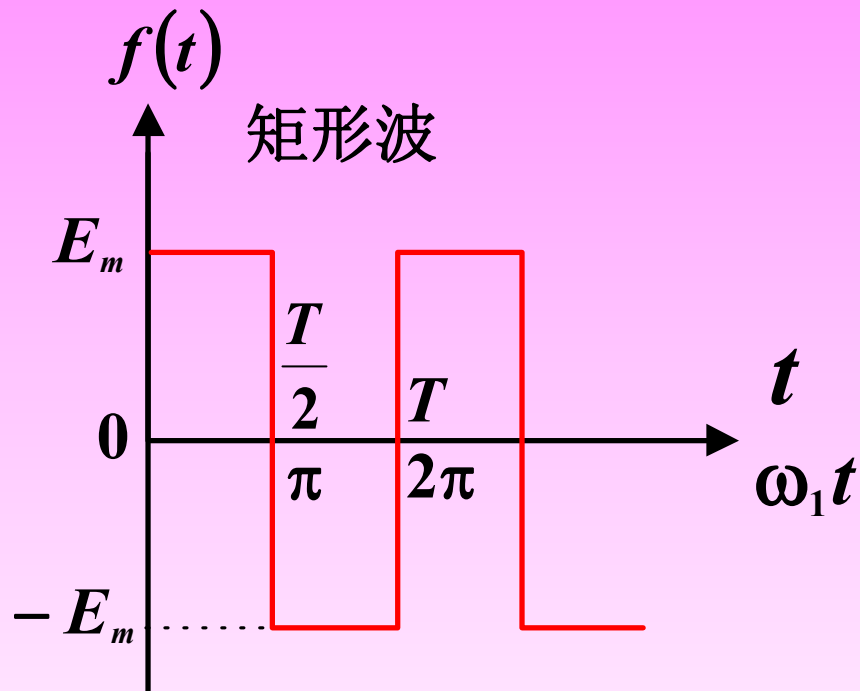
$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos(k\omega_1 t) d(\omega_1 t)$$

$$= \frac{1}{\pi} \left[\int_0^{\pi} E_m \cos(k\omega_1 t) d(\omega_1 t) - \int_{\pi}^{2\pi} E_m \cos(k\omega_1 t) d(\omega_1 t) \right]$$

$$a_k = \frac{2E_m}{\pi} \int_0^{\pi} \cos(k\omega_1 t) d(\omega_1 t)$$

$$= 0$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sin(k\omega_1 t) d(\omega_1 t)$$



$$= \frac{1}{\pi} \left[\int_0^{\pi} E_m \sin(k\omega_1 t) d(\omega_1 t) - \int_{\pi}^{2\pi} E_m \sin(k\omega_1 t) d(\omega_1 t) \right]$$

$$= \frac{2E_m}{\pi} \int_0^{\pi} \sin(k\omega_1 t) d(\omega_1 t)$$

$$K \text{ 为偶数时: } b_k = 0$$

$$= \frac{2E_m}{k\pi} [1 - \cos(k\pi)]$$

$$K \text{ 为奇数时: } b_k = \frac{4E_m}{k\pi}$$

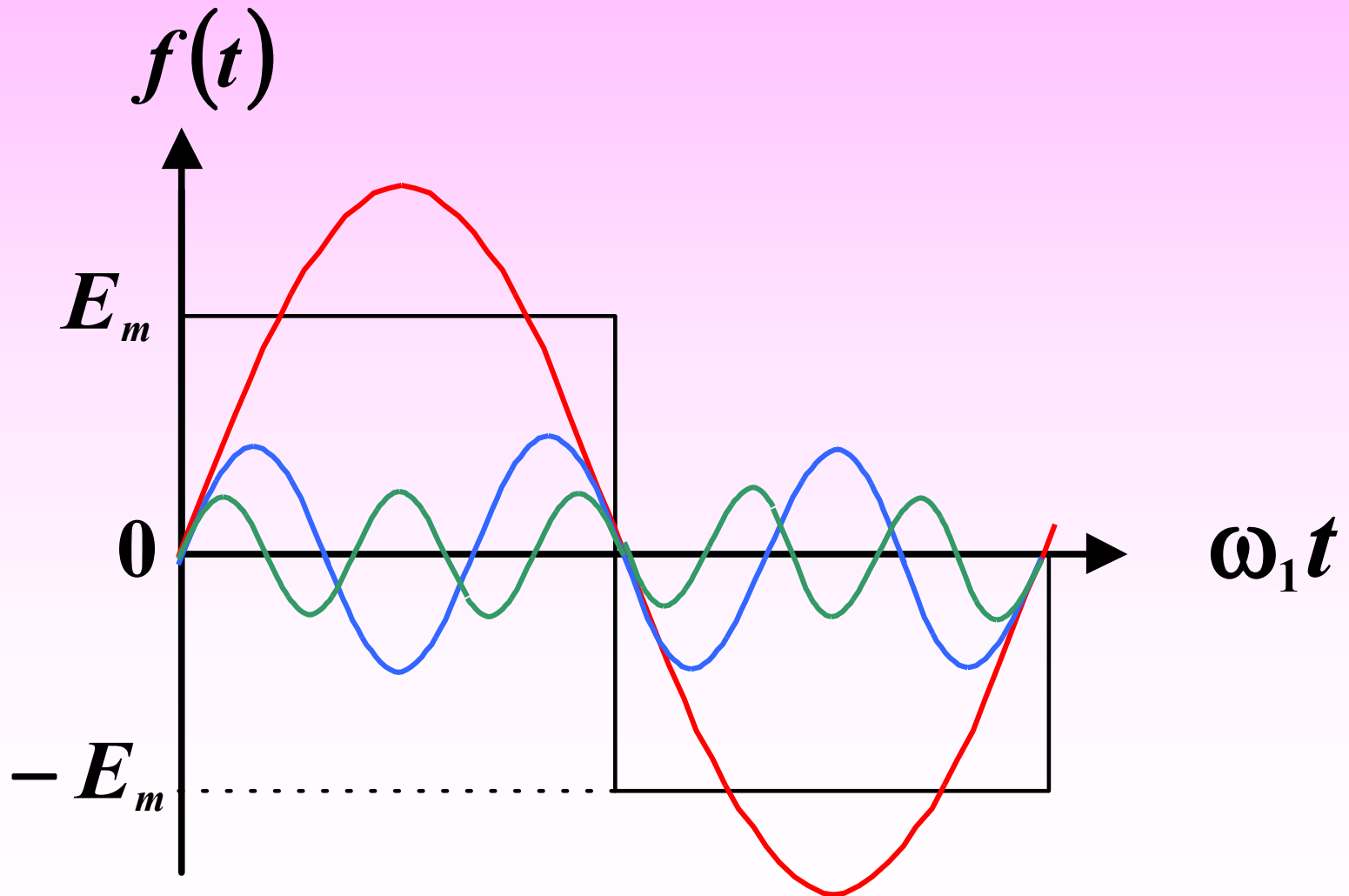
$$a_0 = 0 \qquad a_k = 0$$

$$b_k = \frac{4E_m}{k\pi} \quad (k \text{ 为奇数})$$

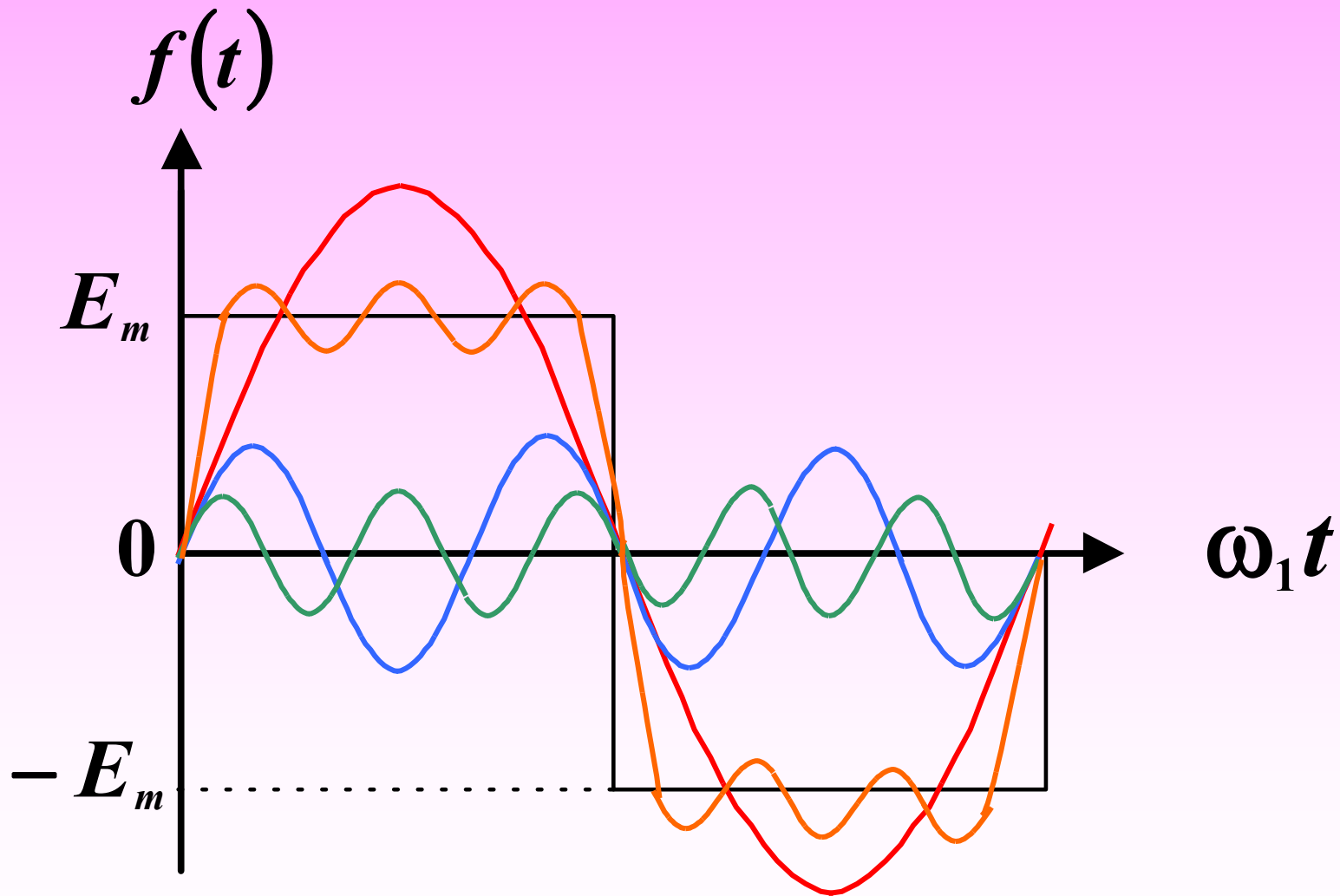
$$f(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\omega_1 t) + b_k \sin(k\omega_1 t)]$$

$$= \frac{4E_m}{\pi} \left[\sin(\omega_1 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_1 t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_1 t) + \dots \right]$$

$$f(t) = \frac{4E_m}{\pi} \left[\sin(\omega_1 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_1 t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_1 t) + \dots \right]$$



$$f(t) = \frac{4E_m}{\pi} \left[\sin(\omega_1 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_1 t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_1 t) \right]$$

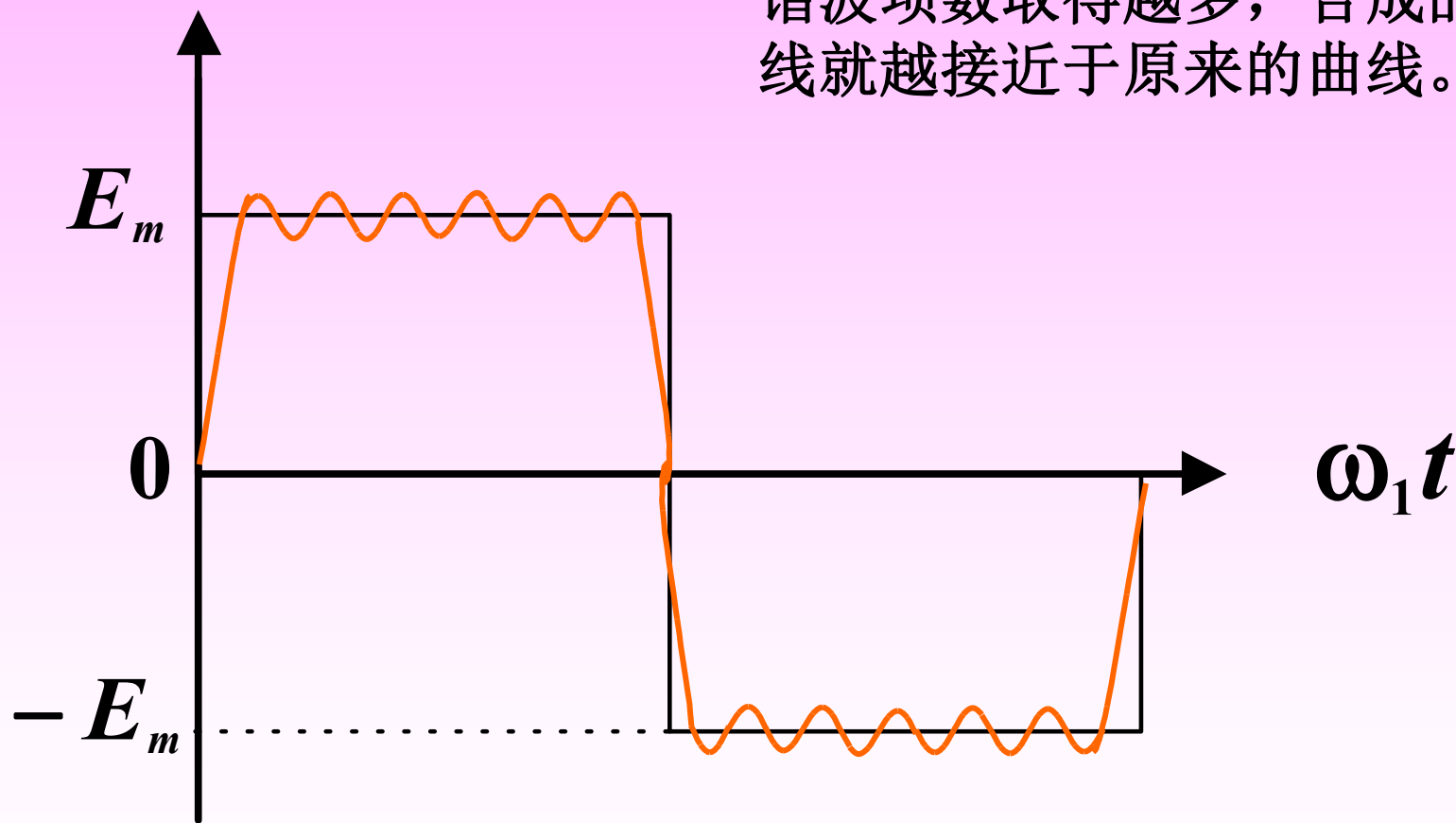


取展开式中前三项，即取到5次谐波时画出的合成曲线。

$$f(t) = \frac{4E_m}{\pi} \left[\sin(\omega_1 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_1 t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_1 t) + \dots + \frac{1}{11} \sin(11\omega_1 t) \right]$$

$f(t)$

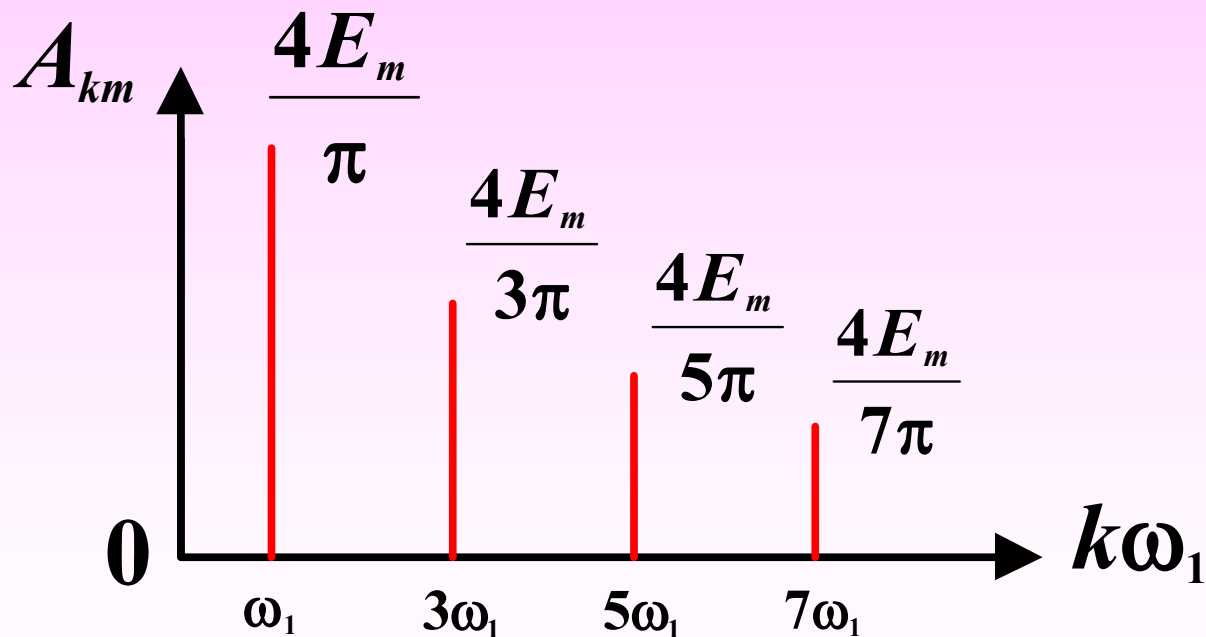
谐波项数取得越多，合成的曲线就越接近于原来的曲线。



取到11次谐波时画出的合成曲线。

$$f(t) = \frac{4E_m}{\pi} \left[\sin(\omega_1 t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega_1 t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega_1 t) + \dots \right]$$

$f(t)$ 的频谱



§ 10-3 有效值、平均值和平均功率

一、有效值

任一周期电流 i 的有效值 I 定义为：

$$I \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

假设一非正弦周期电流 i 的傅立叶级数展开为：

$$i = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_k)$$

$$i = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_k)$$

此电流 i 的有效值 I 为：

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left[I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_k) \right]^2 dt}$$

i 的展开式平方后将含有下列各项：

$$\frac{1}{T} \int_0^T I_0^2 dt = I_0^2$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T I_{km}^2 \cos^2(k\omega_1 t + \psi_k) dt = I_k^2$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T 2I_0 \cos(k\omega_1 t + \psi_k) dt = 0$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T 2I_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_k) I_{qm} \cos(q\omega_1 t + \psi_q) dt = 0$$

$$k \neq q$$

电流 i 的有效值 I 为:

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}$$

$$= \sqrt{I_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} I_k^2}$$

即非正弦周期电流的有效值等于恒定分量的平方与各次谐波有效值的平方之和的平方根。

二、平均值

任一周期电流 i 的平均值定义为：

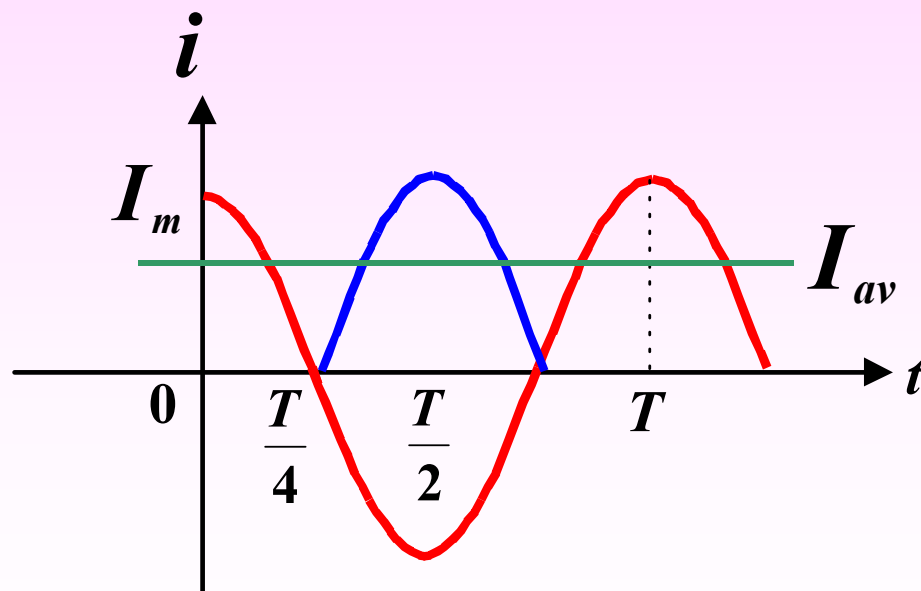
$$I_{av} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{T} \int_0^T |i| dt$$

非正弦周期电流 的平均值等于此电流绝对值的平均值。

正弦电流的平均值为：

$$i = I_m \cos(\omega t)$$

$$\begin{aligned} I_{av} &\stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{T} \int_0^T |i| dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T |I_m \cos(\omega t)| dt \\ &= \frac{4I_m}{T} \int_0^{\frac{T}{4}} \cos(\omega t) dt \\ &= 0.673 I_m = 0.898 I \end{aligned}$$



同一非正弦周期电流，当用不同类型的仪表进行测量时，将会得到不同的结果。

磁电系仪表（直流仪表）： 由于磁电系仪表的偏转角

$$\alpha \propto \frac{1}{T} \int_0^T i dt \quad \text{测得的结果为电流的恒定分量。}$$

电磁系仪表： 由于电磁系仪表的偏转角 $\alpha \propto \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt$

测得的结果为**电流的有效值**。

全波整流仪表： 由于偏转角 $\alpha \propto \frac{1}{T} \int_0^T |i| dt$

测得的结果为**电流的平均值**。

注意：测量非正弦周期电流和电压时，要注意选择合适的仪表，并注意不同类型仪表读数的含义。

三、平均功率

一端口的电压和电流为：（ u i 取关联参考方向）

$$u = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_{uk})$$

$$i = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_{ik})$$

一端口的瞬时功率为：

$$p = ui = \left[U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_{uk}) \right] \times \left[I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_{ik}) \right]$$

平均功率（有功功率）仍定义为：

$$P \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{T} \int_0^T p \, dt$$

非正弦电流电路的功率为：

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \left[U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_{uk}) \right] \times \left[I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_{ik}) \right] dt$$

不同频率的正弦电压与电流乘积的上述积分为零（即不产生平均功率）。同频率的正弦电压与电流的乘积的上述积分不为零。

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T \left[U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_{uk}) \right] \times \left[I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \cos(k\omega_1 t + \psi_{ik}) \right] dt$$

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots + U_k I_k \cos \varphi_k + \dots$$

式中： $U_k = \frac{U_{km}}{\sqrt{2}}, I_k = \frac{I_{km}}{\sqrt{2}}, \varphi_k = \psi_{uk} - \psi_{ik}, k = 1, 2, 3, \dots$

平均功率等于恒定分量构成的功率和各次谐波平均功率的代数和。

§ 10-4 非正弦周期电流电路的计算

非正弦周期电流电路的计算步骤：

- 1、把给定的非正弦周期电流或电压分解为傅立叶级数，高次谐波取到哪一项为止，要根据所需准确度而定。
- 2、分别求出电源电压或电流的恒定分量及各次谐波分量单独作用时的响应。

对恒定分量（ $\omega = 0$ ），求解时电容看作开路，电感看作短路。

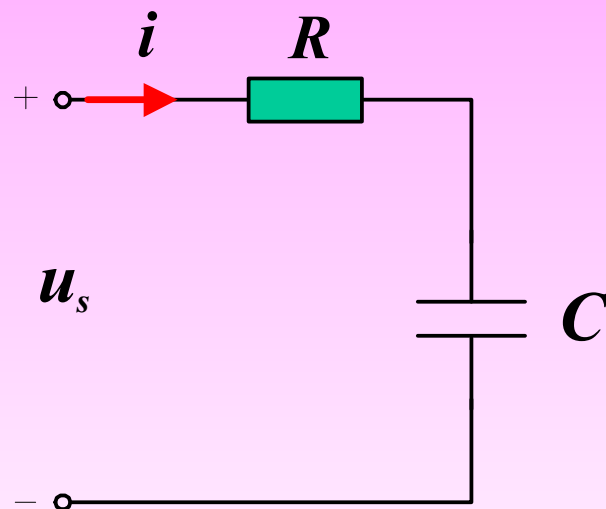
对各次谐波，采用相量法求解，但要注意感抗、容抗与频率的关系，并把计算结果换为时域形式。

3、应用叠加定理，把步骤2计算出的结果进行叠加，从而求得所需响应。

例： $R = 3\Omega$, $\frac{1}{\omega_1 C} = 9.45\Omega$,

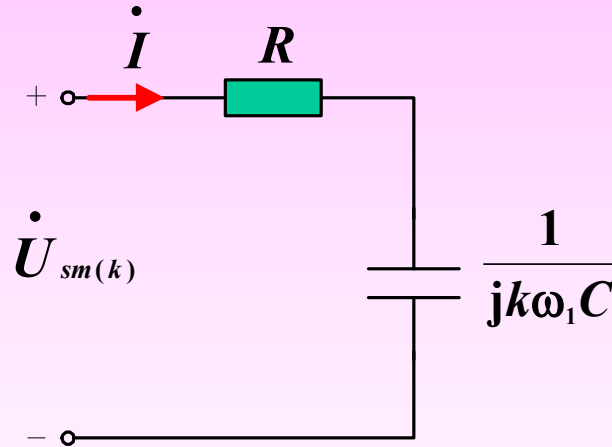
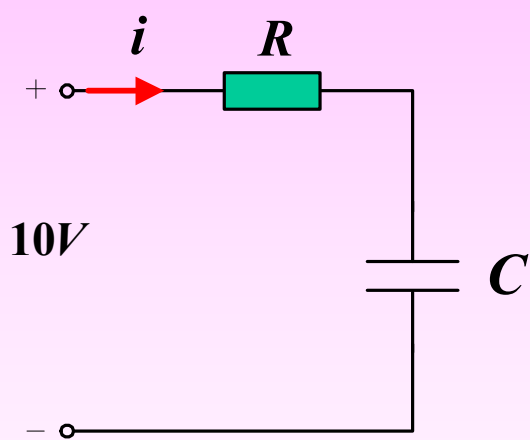
$$u_s = [10 + 141.4 \cos(\omega_1 t) + 47.13 \cos(3\omega_1 t) + 28.28 \cos(5\omega_1 t) + 20.20 \cos(7\omega_1 t) + 15.71 \cos(9\omega_1 t) + \dots] \text{ V} .$$

求： 电流*i*和电阻吸收的平均功率 。



$$u_s = [10 + 141.4 \cos(\omega_1 t) + 47.13 \cos(3\omega_1 t) + 28.28 \cos(5\omega_1 t) + 20.20 \cos(7\omega_1 t) + 15.71 \cos(9\omega_1 t) + \dots] \text{ V}。$$

解： 直流分量 $U_0 = 10\text{V}$ $I_0 = 0$ $P_0 = 0$



其它各次谐波：

$$\dot{I}_{m(k)} = \frac{\dot{U}_{sm(k)}}{R - j \frac{1}{k\omega_1 C}}$$

$$k=1, \quad \dot{U}_{sm(1)} = 141.4 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\dot{I}_{m(1)} = \frac{141.4 \angle 0^\circ}{3 - j9.45} = 14.26 \angle 72.39^\circ \text{ A}$$

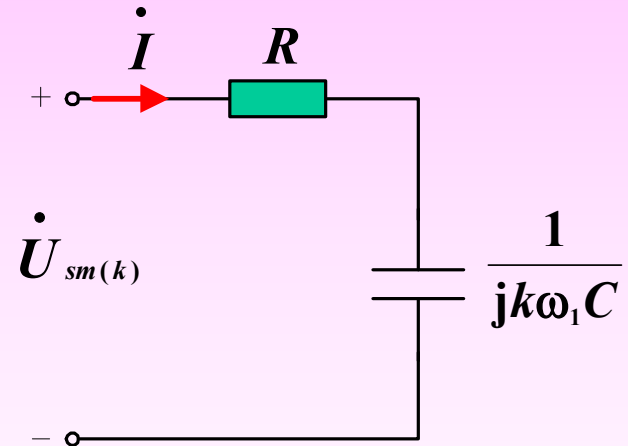
$$P_{(1)} = \frac{1}{2} R I_{m(1)}^2 = 305.02 \text{ W}$$

$$k=3, \quad \dot{U}_{sm(3)} = 47.13 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\dot{I}_{m(3)} = \frac{47.13 \angle 0^\circ}{3 - j3.15} = 10.83 \angle 46.4^\circ \text{ A}$$

$$P_{(3)} = \frac{1}{2} R I_{m(3)}^2 = 175.93 \text{ W}$$

$$\dot{I}_{m(k)} = \frac{\dot{U}_{sm(k)}}{R - j \frac{1}{k\omega_1 C}}$$



$$R = 3\Omega, \quad \frac{1}{\omega_1 C} = 9.45\Omega$$

$$k=5, \dot{U}_{sm(5)} = 28.28 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\dot{I}_{m(5)} = 7.98 \angle 32.21^\circ \text{ A} \quad P_{(5)} = 95.52 \text{ W}$$

$$k=7, \dot{U}_{sm(7)} = 20.20 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\dot{I}_{m(7)} = 6.14 \angle 24.23^\circ \text{ A} \quad P_{(7)} = 56.55 \text{ W}$$

$$k=9, \dot{U}_{sm(9)} = 15.71 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\dot{I}_{m(9)} = 4.94 \angle 19.29^\circ \text{ A} \quad P_{(9)} = 36.60 \text{ W}$$

$$I_0 = 0$$

$$\dot{I}_{m(1)} = 14.26 \angle 72.39^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{m(3)} = 10.83 \angle 46.4^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{m(5)} = 7.98 \angle 32.21^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{m(7)} = 6.14 \angle 24.23^\circ \text{ A}$$

$$\dot{I}_{m(9)} = 4.94 \angle 19.29^\circ \text{ A}$$

应用叠加定理，把计算出的结果按时域形式叠加为：

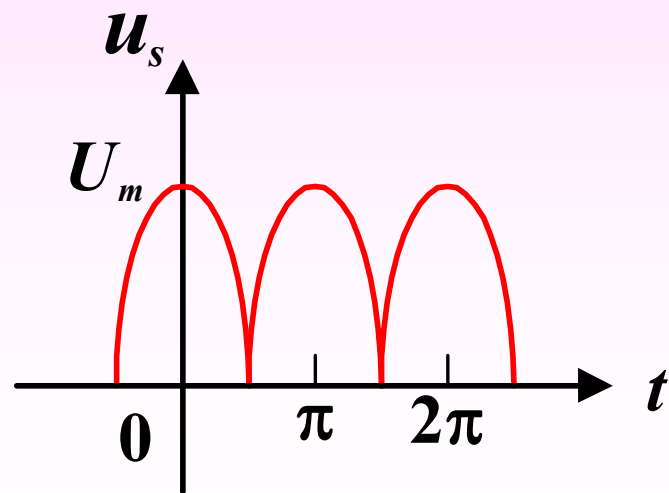
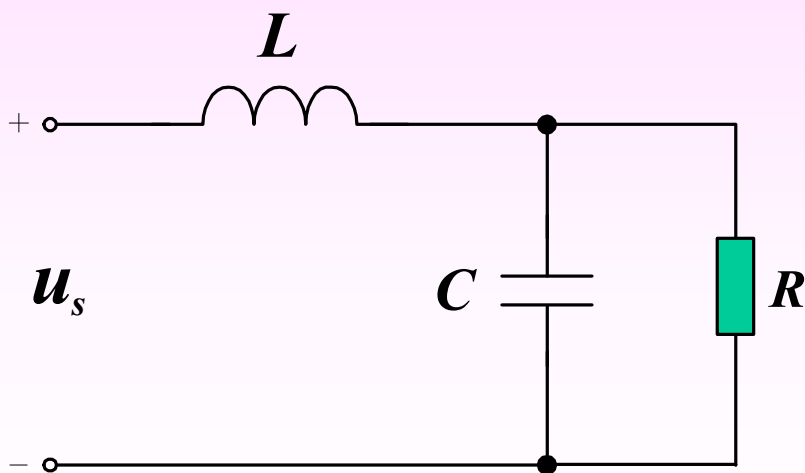
$$\begin{aligned} i = & [14.26 \cos(\omega_1 t + 72.39^\circ) + 10.83 \cos(3\omega_1 t + 46.4^\circ) \\ & + 7.98 \cos(5\omega_1 t + 32.21^\circ) + 6.14 \cos(7\omega_1 t + 24.23^\circ) \\ & + 4.94 \cos(9\omega_1 t + 19.29^\circ) + \dots] \text{ A} \end{aligned}$$

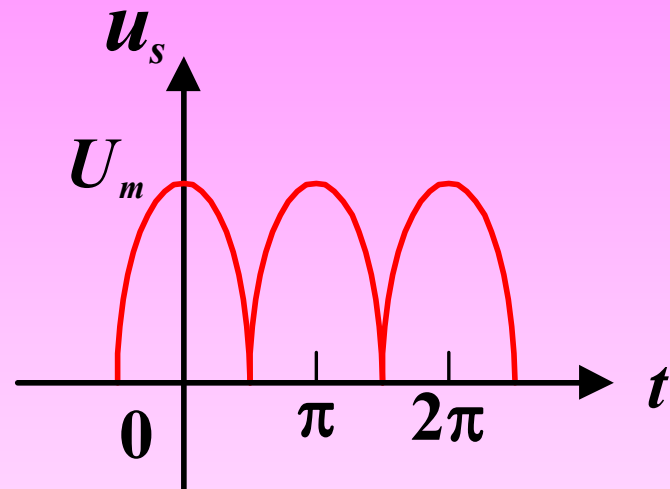
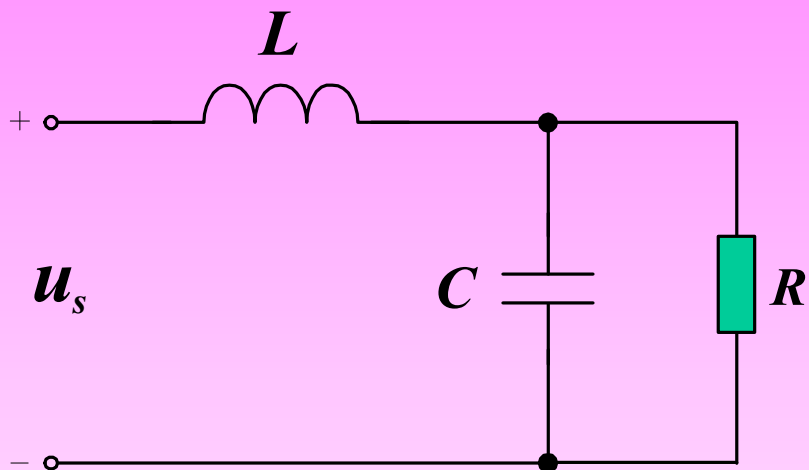
$$P = P_0 + P_{(1)} + P_{(2)} + \dots + P_{(9)} = 669.8 \text{ W}$$

通过本例可以看出，对于电路中的 u_s ，它的各次谐波的振幅与 k 成反比衰减，而电路输入阻抗的虚部也与 k 成反比减小，所以各次谐波的电流振幅衰减非常缓慢。

例：

$L = 5H$ ， $C = 10\mu F$ ，负载电阻 $R = 2k\Omega$ ， u_s 为正弦全波整流。
设 $\omega_1 = 314rad/s$ ， $U_m = 157V$ 。求负载两端的各谐波分量。

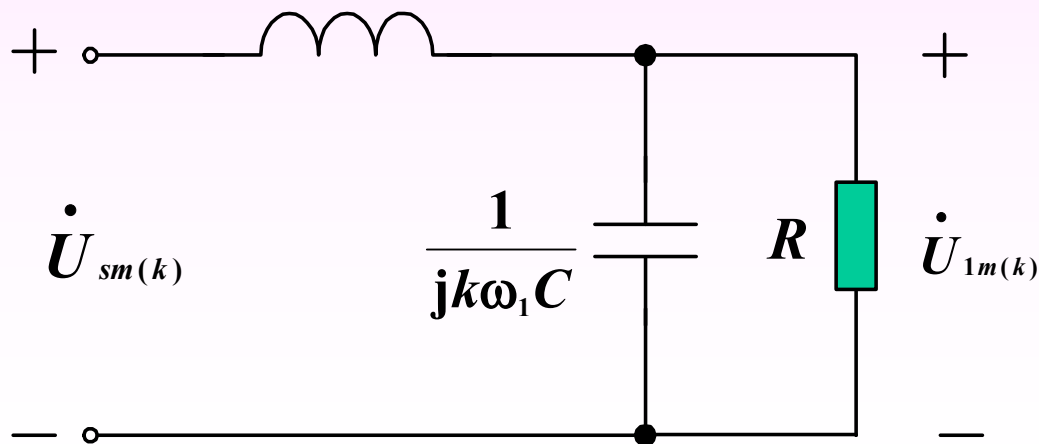


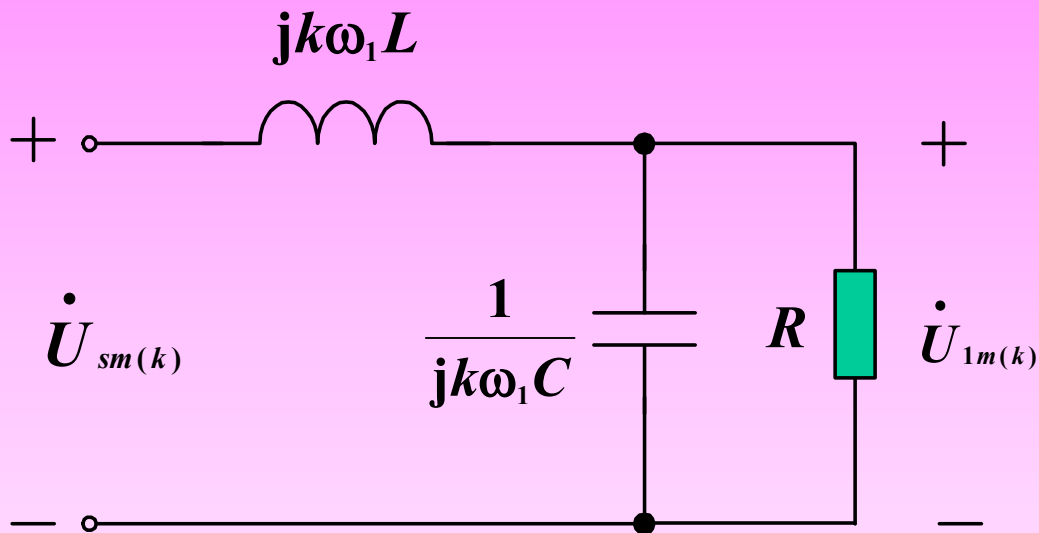


解: u_s 分解为傅立叶级数, 得:

$$u_s = \frac{4}{\pi} \times 157 \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \cos(2\omega_1 t) - \frac{1}{15} \cos(4\omega_1 t) + \dots \right] \text{ V}$$

$\text{j}k\omega_1 L$





列结点方程：

$$\left[\frac{1}{jk\omega_1 L} + \frac{1}{R} + jk\omega_1 C \right] \dot{U}_{1m(k)} = \frac{1}{jk\omega_1 L} \dot{U}_{sm(k)}$$

$$\dot{U}_{1m(k)} = \frac{\dot{U}_{sm(k)}}{\left(\frac{1}{R} + jk\omega_1 C \right) jk\omega_1 L + 1}$$

$$u_s = \frac{4}{\pi} \times 157 \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \cos(2\omega_1 t) - \frac{1}{15} \cos(4\omega_1 t) + \dots \right] \text{ V}$$

$$k=0, \quad \text{直流分量 } U_0 = 100\text{V} \qquad \dot{U}_{1m(k)} = \frac{\dot{U}_{sm(k)}}{\left(\frac{1}{R} + \text{j}k\omega_1 C \right) \text{j}k\omega_1 L + 1}$$

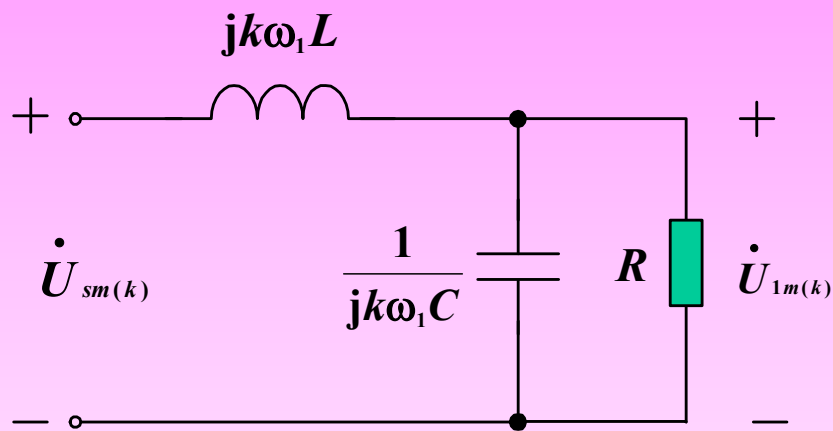
$$k=2, \quad \dot{U}_{sm(2)} = 66.66 \angle 0^\circ \text{ V} \qquad L = 5\text{H}, \quad C = 10\mu\text{H},$$

$$R = 2\text{k}\Omega, \quad \omega_1 = 314\text{rad/s}.$$

$$U_{1m(2)} = 3.53\text{V}$$

$$k=4, \quad \dot{U}_{sm(4)} = -13.33 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$U_{1m(4)} = 0.171\text{V}$$



$$k=0, \text{ 直流分量 } U_0 = 100V$$

$$k=2, U_{1m(2)} = 3.53V$$

$$k=4, U_{1m(4)} = 0.171V$$

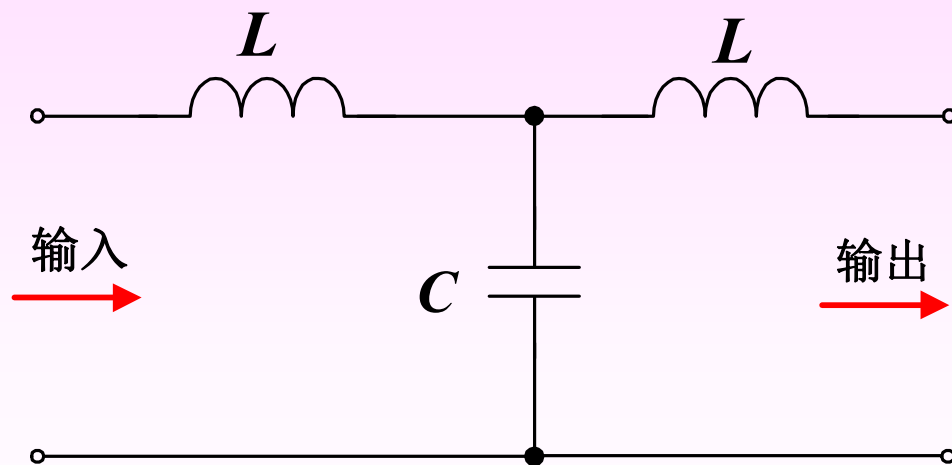
电感对高频电流的抑制作用，电容对高频电流的分流作用，使得输入电压中的2次和4次谐波分量大大削弱，而负载两端的电压接近直流电压。但还有 3.5% 的2次谐波。

滤波电路：

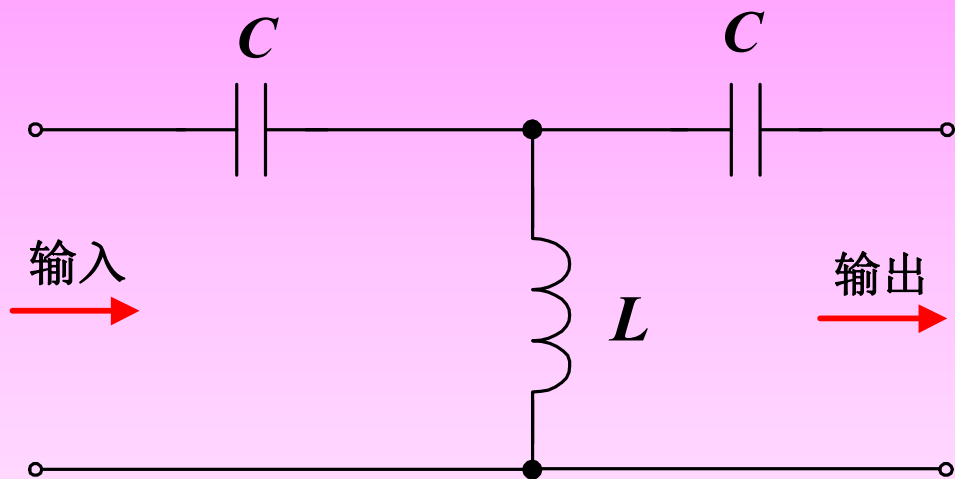
感抗和容抗对各次谐波的反应不同，这种性质在工程中广泛应用。

接在输入电路和输出电路之间，让某些需要的频率分量通过而抑制某些不需要的分量。

电感 L 对高频电流有抑制作用，而电容 C 对高频电流起分流作用，输出端中的高频电流分量被大大削弱，低频电流则能顺利通过。



低通滤波电路



高通滤波电路

电感 L 对低频分量有分流作用，而电容 C 对低频分量有抑制作用。

总结:

- 1、本章讨论的非正弦周期电流电路是指**非正弦周期信号作用于线性电路的稳定状态**，电路中的激励和响应是周期量，但不是正弦量。
- 2、非正弦周期电流电路的分析方法：（基于正弦交流电路的相量法和叠加定理），称为谐波分析法。
 - 1）、把给定的非正弦周期信号分解为傅立叶级数，高次谐波取到哪一项为止，要根据所需准确度而定。
 - 2）、采用相量法分别计算各次谐波单独作用时的响应。
 - 3）、应用叠加定理，把计算出的结果在时域内进行叠加，从而求得所需响应。

注意:

1、电感和电容元件对不同频率的谐波分量表现出不同的感抗和容抗值，如基波频率为 ω ，对 k 次谐波有：

$$X_{L(k)} = k\omega L = kX_{L(1)} \quad X_{C(k)} = \frac{1}{k\omega C} = \frac{1}{k} X_{C(1)}$$

对直流分量，电容看作开路，电感看作短路。

2、求最终响应时，一定是在时域中叠加各次谐波的响应，若把不同次谐波正弦量的相量进行加减是没有意义的。

3、非正弦周期电压、电流和平均功率与各次谐波有效值的关系：

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}$$

$$U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots}$$

$$P = P_0 + P_1 + P_2 + \dots$$

$$= U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots$$

不同频率的电压电流不构成平均功率。

1、已知某非正弦电压

$$u = [2 + 4\sqrt{2}\cos(\omega t + 30^\circ) + 3\sqrt{2}\cos(3\omega t + 10^\circ)]\text{V}$$

则 u 的电流有效值为（ ）。

A. 5.3V

B. 7.35V

C. 9V

D. 10.46V

2、滤波是利用电感、电容对不同次谐波的反应不同而组成。对于电感、电容来讲，（ ）。

- a. 电感L在高频时感抗大，电容C在高频时容抗小。
- b. 电感L在高频时感抗小，电容C在高频时容抗大。
- c. 电感L在低频时感抗大，电容C在低频时容抗小。
- D. 电感L在低频时感抗小，电容C在低频时容抗大。

3、若 $i = i_1 + i_2$, 且

$$i_1 = 10 \cos(\omega t) \text{mA},$$

$$i_2 = 10 \cos(\omega t + 90^\circ) \text{mA},$$

则*i*的电流有效值为 ()。

A. 14.14mA

B. 10.6mA

C. 10mA

D. 20mA

若 $i_2 = 5 \cos(\omega t + 90^\circ) +$

$$10 \cos(2\omega t + 90^\circ) \text{mA},$$

则*i*的电流有效值为 ()。

4、若

$$u = [20\sqrt{2}\cos(\omega t + 30^\circ) + 10\sqrt{2}\cos(2\omega t + 45^\circ)]\text{V}$$

产生的电流*i*为

$$i = [4\sqrt{2}\cos(\omega t^\circ) +$$

$$3\sqrt{2}\cos(2\omega t + 45^\circ)]\text{V}$$

则电路吸收的有功P为

A. 110W

B. 220W

C. 99.3W

D. 69.3W

5、已知某电路在 $u_s = 20\cos(\omega t + 30^\circ)$

下的感抗 $X_L = \omega L = 4\Omega$, 容抗 $X_C = \frac{1}{\omega C} = 12\Omega$,

此电路在 $u_s = 5\cos(3\omega t + 60^\circ)$

下的感抗和容抗分别为 ()。

A. $X_L = 2\Omega, X_C = 36\Omega$

B. $X_L = 12\Omega, X_C = 4\Omega$

C. $X_L = 16\Omega, X_C = 12\Omega$

D. $X_L = 16\Omega, X_C = 4\Omega$

6、在进行非正弦周期电流电路计算时，
当在直流分量单独作用下，电容元件相
当于（ ），电感元件相当于
（ ）。

7、已知R、L串联电路在 $f_1=150\text{Hz}$ 时，等效阻
抗 $Z_1=3+j12\Omega$ ，那么当外加输入电源频率为
 $f_2=200\text{Hz}$ 时，该RL串联电路的等效阻抗 Z_2 为
（ ）。

8、已知RLC串联电路， $R=5\Omega$ ， $L=2H$ ， $C=1F$ ，
电路中电流

$$i = 6 + 8\sqrt{2} \cos(\omega t + 30^\circ) A$$

该RLC串联电路吸收的有功功率为（ ）。

9、已知电源电压

$$u = 12 + 16\sqrt{2} \cos(100t + 45^\circ) V$$

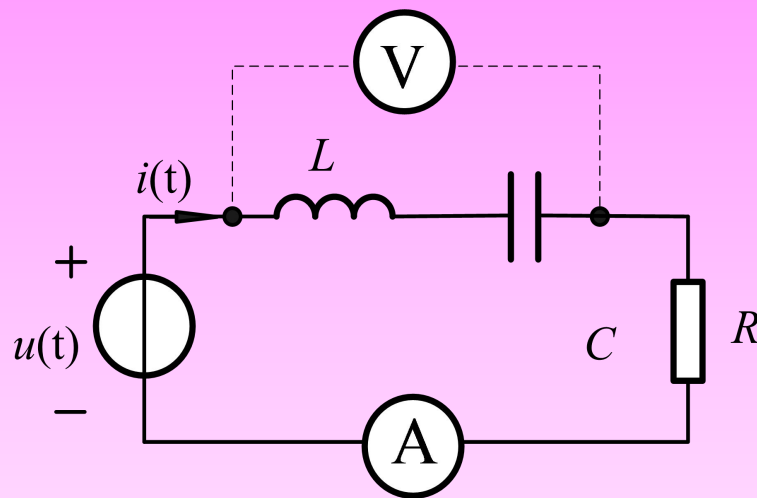
作用在RL串联电路上，通过计算可知该电路电流为

$$i = 3 + 4 \cos(100t) A$$

计算电阻R和电感L的参数。

10、电路如图所示，

$$u = 10 + 5\sqrt{2} \cos 3\omega t V$$

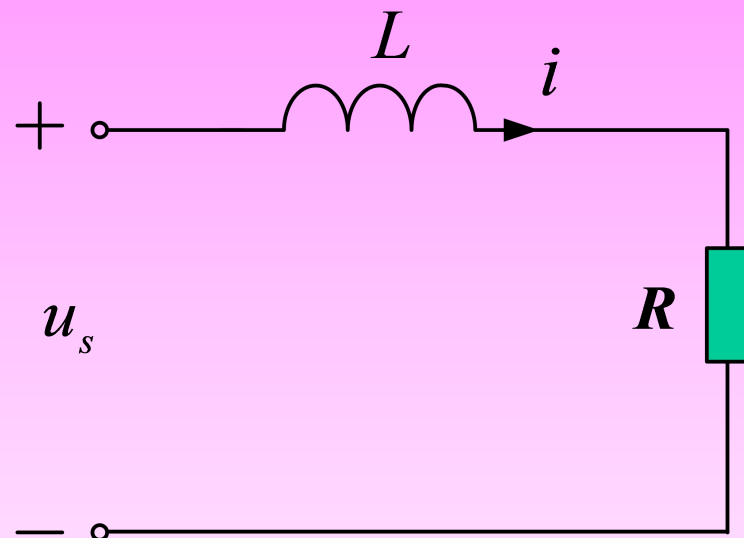


已知 $R=\omega L=5\Omega$ ，容抗 $1/\omega C=45\Omega$ ，电压表、
电流表均测有效值，计算电压表、电流
表的读数。

11、已知某电路

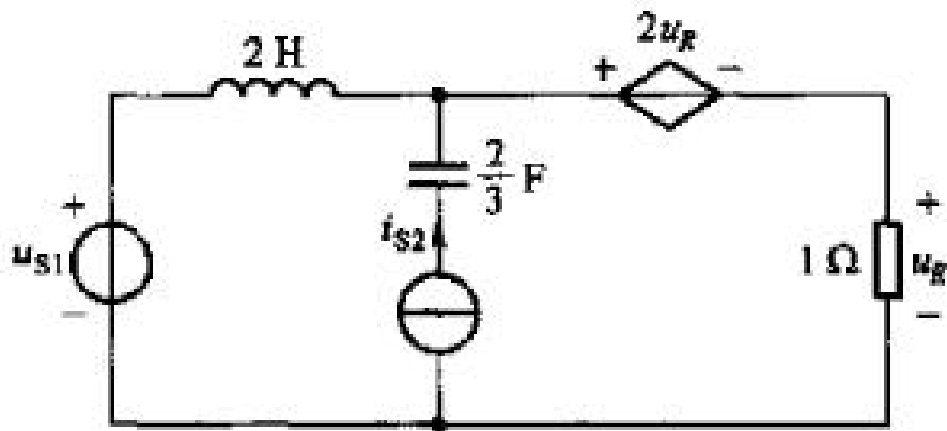
$$R = 3\Omega, \omega L = 3\Omega,$$

$$u_s = [3 + 12\sqrt{2} \cos(\omega_1 t) + 10\sqrt{2} \cos(3\omega_1 t)] \text{ V}$$

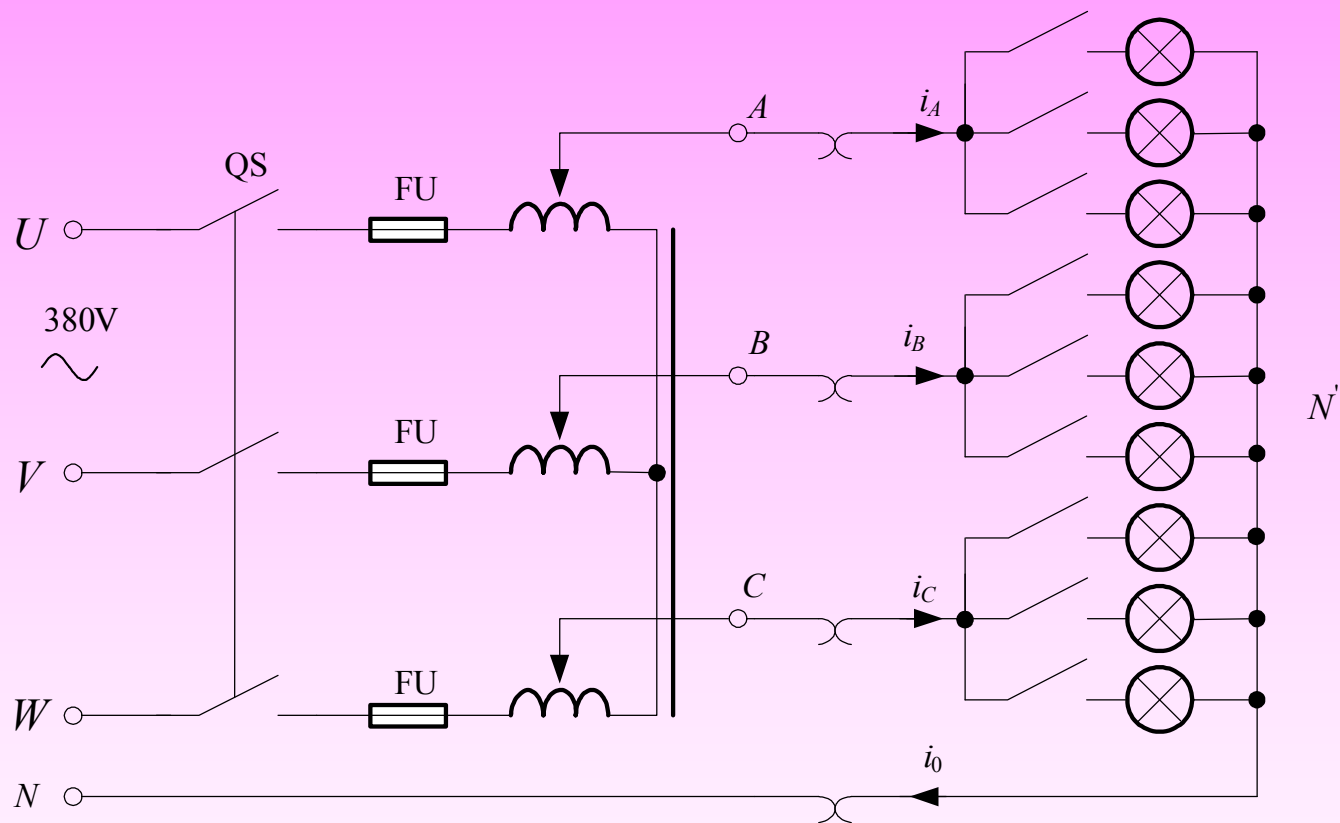


求： 电流 i 和电阻吸收的平均功率。

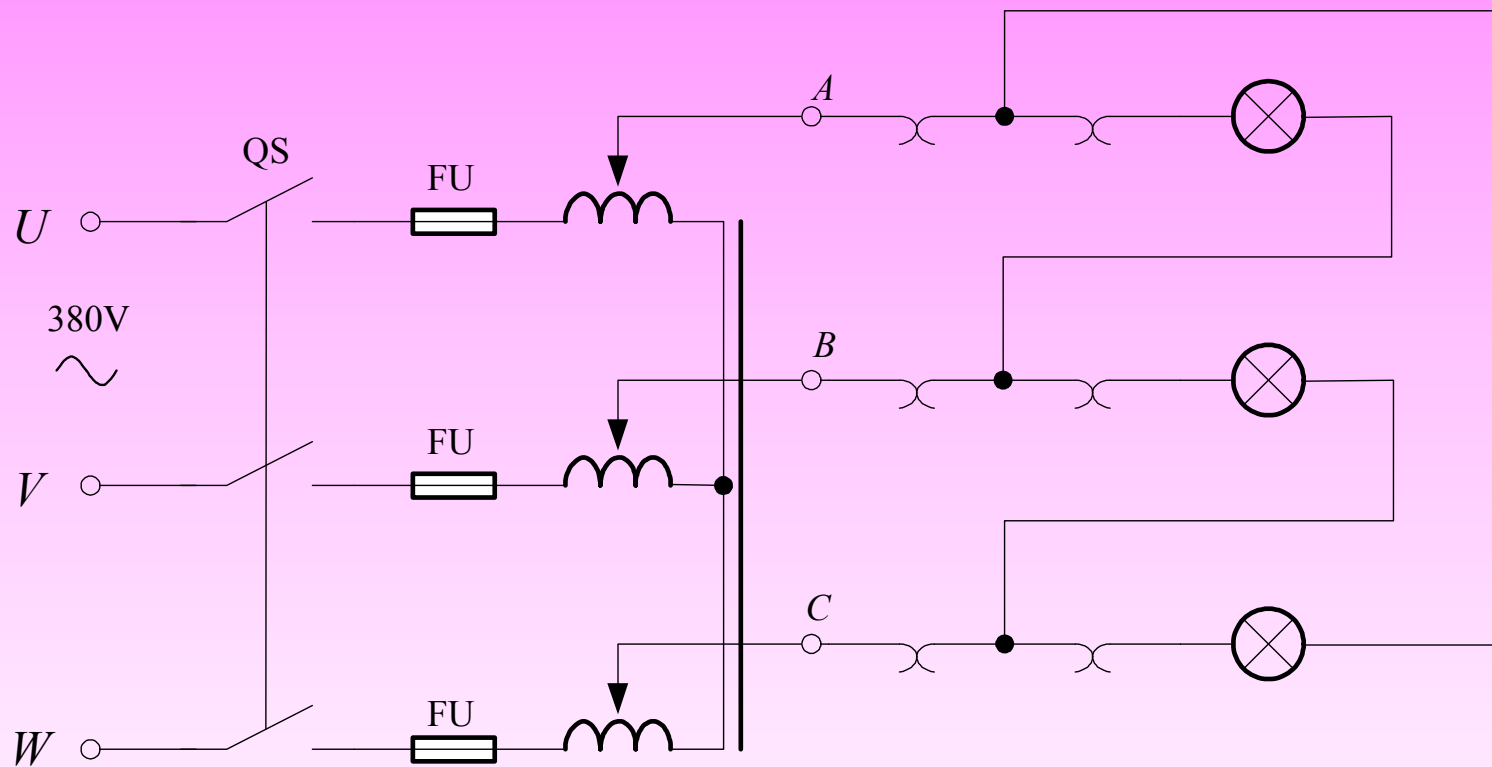
12、电路如图， $u_{s1} = 1.5 + 5\sqrt{2} \sin(2t + 90^\circ) V$ ，
电流源电流 $i_{s2} = 2 \sin 1.5t A$ ，求 u_R 及 u_{s1} 发出的功率。



题 13 - 11 图



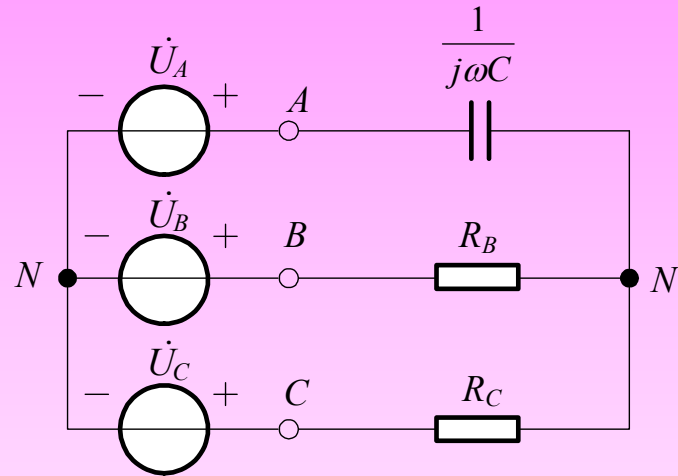
三相负载星形联结实验线路图



三相负载三角形联结实验线路图

[illegible]

[illegible]



取220V、15W白炽灯两只，电容器（0.47 μ F/450V)一只.

经三相调压器接入线电压220V的三相交流电源，观察两只灯泡的明亮状态，判断三相交流电源的相序。