# 电路理论

## ——周期性非正弦稳态电路

主讲人：刘旭

电气与电子工程学院

# 本章学习内容

15.2 周期性函数的傅里叶级数

15.3 平均功率和有效值

15.4 周期性非正弦稳态电路分析

讲授学时：2

# 本章学习目标与难点

**目标**

1. 计算周期函数的傅里叶级数
2. 利用傅里叶级数和叠加定理**计算周期性非正弦稳态响应**
3. 计算与估算周期性非正弦电量的有效值和电路的平均功率

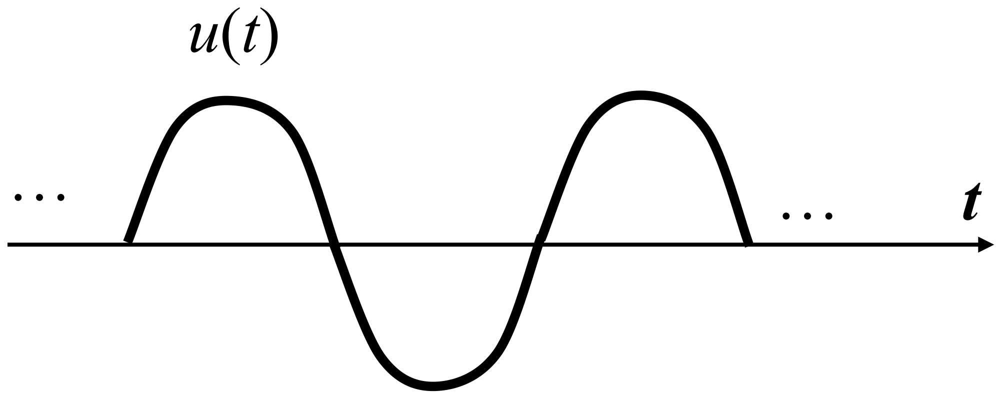
**难点**

周期性非正弦电流电路的计算

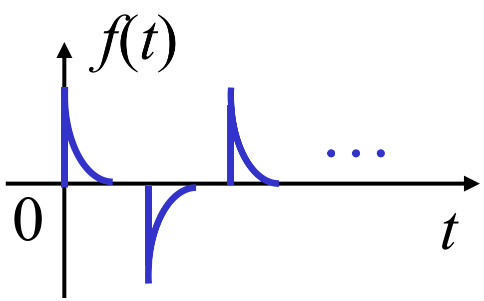
# 15.2 周期性函数的傅里叶级数

## 1. 常见的周期非正弦激励信号

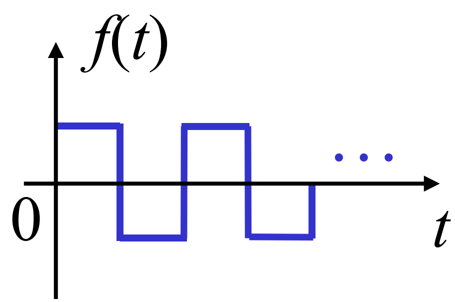
（1）发电机发出的电压波形，不可能是完全正弦的。



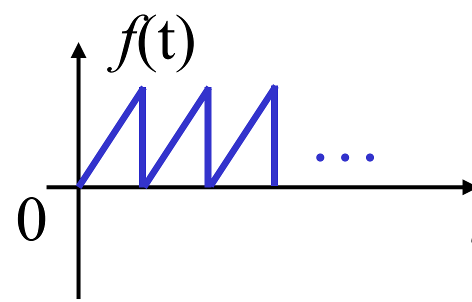

（2）大量脉冲信号均为周期性非正弦信号。




尖脉冲




方波

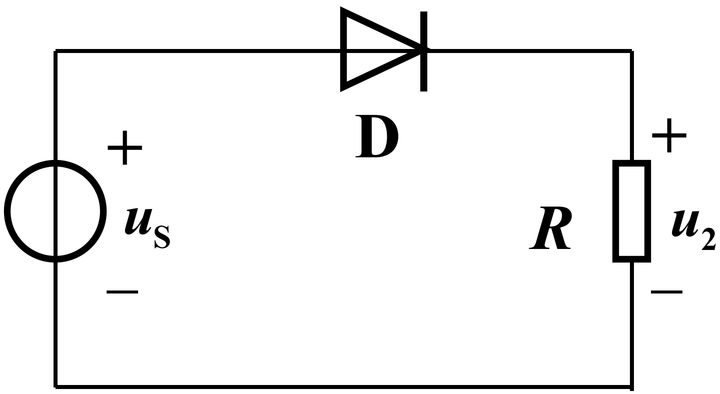


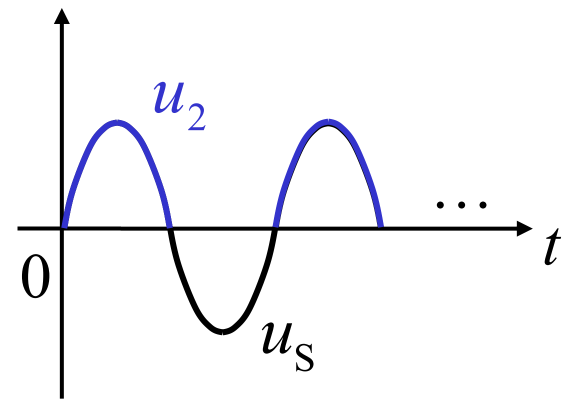

锯齿波

# 15.2 周期性函数的傅里叶级数

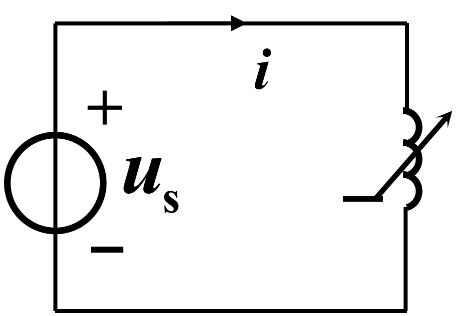
（3）当电路中存在非线性元件时也会产生非正弦电压、电流。

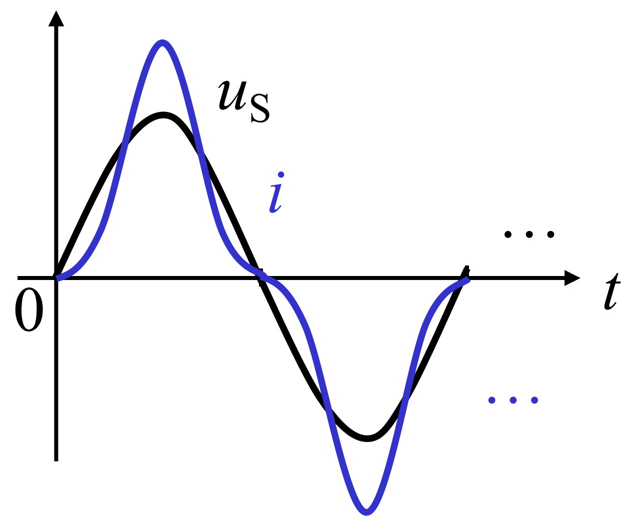
二极管整流电路




非线性电感电路



# 15.2 周期性函数的傅里叶级数

## 2. 周期函数的谐波分析——傅里叶级数

周期性非正弦函数$f(t)$:

$$f(t)=f(t+kT) \quad k=0, 1, 2, 3, \cdots（k\text{为正整数}）$$

若满足狄利克雷条件（Dirichlel conditions）：

1）$f(t)$处处单值；

2）$f(t)$在一个周期内只有有限个不连续点；

3）$f(t)$在一个周期内只有有限个极值点；

4）对任意$t_0$，积分$\int_0^T |f(t)| \mathrm{d}t<\infty$。

则可以分解为无穷多项不同频率的正弦函数之和。

**傅里叶级数**

# 15.2 周期性函数的傅里叶级数

周期函数傅里叶级数展开式为

$$f(t) = a_0 + (a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t) + (a_2 \cos 2\omega t + b_2 \sin 2\omega t) + \cdots$$

$$= a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t]$$

傅里叶系数：课本P45-P46有推导过程

$$a_0 = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)\mathrm{d}t$$ 即$f(t)$在一周期内平均值

$$a_k = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos k\omega t\,\mathrm{d}t = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(t)\cos k\omega t\,\mathrm{d}(\omega t)$$

$$b_k = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin k\omega t\,\mathrm{d}t = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} f(t)\sin k\omega t\,\mathrm{d}(\omega t)$$

# 15.2 周期性函数的傅里叶级数

将同频率余弦项与正弦项合并，$f(t)$还可表示成下式

$$f(t)=a_0+A_1\cos(\omega t+\phi_1)+A_2\cos(2\omega t+\phi_2)$$

$$+\cdots+A_k\cos(k\omega t+\phi_k)+\ldots\ldots$$

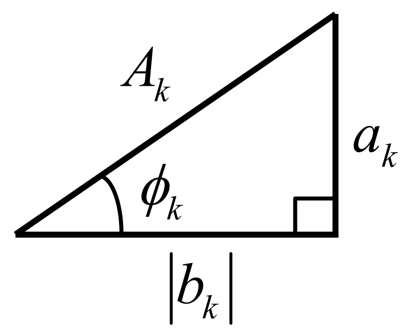
$$=a_0+\sum_{k=1}^{\infty}A_k\cos(k\omega t+\phi_k)$$

直流分量

交流分量（谐波）

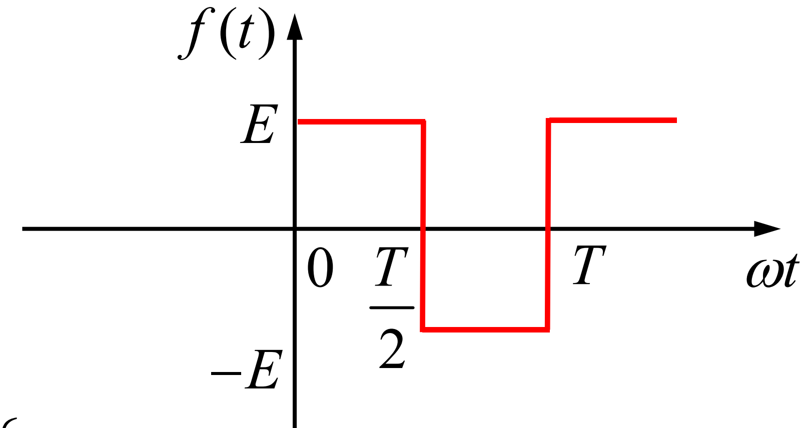
$$a_k=A_k\cos\phi_k \qquad b_k=-A_k\sin\phi_k$$

$$A_k=\sqrt{a_k^2+b_k^2} \qquad \phi_k=-\arctan\frac{b_k}{a_k}$$



# 15.2 周期性函数的傅里叶级数

**例15-1** 求周期函数$f(t)$的傅里叶级数展开式。




**解**

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

一个周期内的表达式

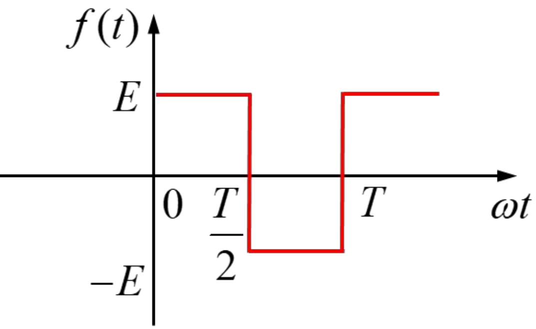
$$f(t)=a_0+\sum_{k=1}^{\infty}[a_k\cos k\omega t+b_k\sin k\omega t]$$

$$\begin{cases} a_0=\frac{1}{T}\int_0^T f(t)\mathrm{d}t \\ a_k=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos k\omega t\,\mathrm{d}t \\ b_k=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin k\omega t\,\mathrm{d}t \end{cases}$$

# 15.2 周期性函数的傅里叶级数

求傅里叶系数：$a_0=\dfrac{1}{T}\int_0^T f(t)\mathrm{d}t=\dfrac{1}{T}\left[\int_0^{\frac{T}{2}}E\mathrm{d}t+\int_{\frac{T}{2}}^{T}-E\mathrm{d}t\right]$

$$=\frac{1}{T}\left[E(\frac{T}{2}-0)+(-E)(T-\frac{T}{2})\right]=0$$




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

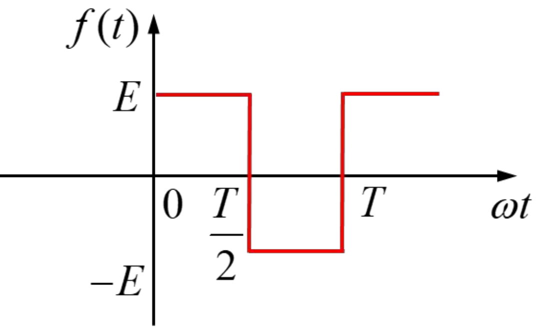
$$=\frac{1}{\pi}\left[\int_0^{\pi}E\cos k\omega t\,\mathrm{d}(\omega t)+\int_{\pi}^{2\pi}(-E)\cos k\omega t\,\mathrm{d}(\omega t)\right]$$

$$=\frac{1}{\pi}\left[\frac{E}{k}\sin k\omega t\Big|_0^{\pi}+\frac{-E}{k}\sin k\omega t\Big|_{\pi}^{2\pi}\right]$$

$$=\frac{E}{k\pi}[\sin k\pi-\sin 0-(\sin 2k\pi-\sin k\pi)]=0$$

# 15.2 周期性函数的傅里叶级数

求傅里叶系数： $b_k=\dfrac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(t)\times\sin k\omega t\ \mathrm{d}(\omega t)$




$$=\frac{1}{\pi}\left[\int_0^{\pi} E\sin k\omega t\,\mathrm{d}(\omega t)+\int_{\pi}^{2\pi}(-E)\sin k\omega t\,\mathrm{d}(\omega t)\right]$$

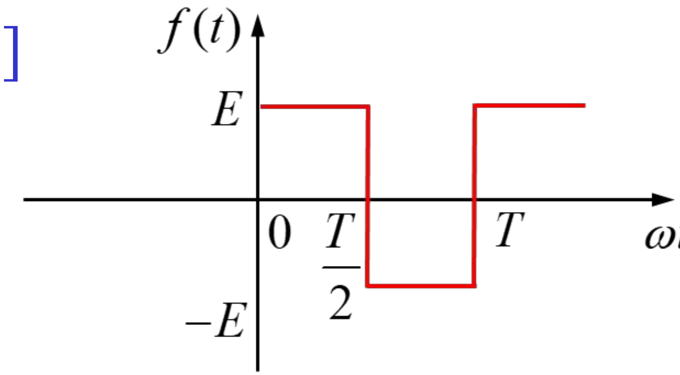
$$=\frac{E}{k\pi}\left[-\cos k\omega t\Big|_0^{\pi}+\cos k\omega t\Big|_{\pi}^{2\pi}\right]$$

$$=\frac{E}{k\pi}\left[-(\cos k\pi-\cos 0^{\circ})+\cos 2k\pi-\cos k\pi\right]$$

$$=\frac{2E}{k\pi}(1-\cos k\pi)\quad=\begin{cases}\dfrac{4E}{k\pi}, & k\text{为奇数}\\ 0, & k\text{为偶数}\end{cases}$$

# 15.2 周期性函数的傅里叶级数

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




傅里叶系数：$a_0=\dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T f(t)\mathrm{d}t=0$

$$a_k=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi}f(t)\cos k\omega t\,\mathrm{d}(\omega t)=0$$

$$b_k=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi}f(t)\times\sin k\omega t\ \mathrm{d}(\omega t)=\begin{cases}\dfrac{4E}{k\pi}, & k\text{为奇数}\\ 0, & k\text{为偶数}\end{cases}$$

则 $f(t)=\dfrac{4E}{\pi}\sin\omega t+\dfrac{4E}{3\pi}\sin 3\omega t+\dfrac{4E}{5\pi}\sin 5\omega t+\cdots$

$$=\frac{4E}{\pi}(\sin\omega t+\frac{1}{3}\sin 3\omega t+\frac{1}{5}\sin 5\omega t+\cdots)$$

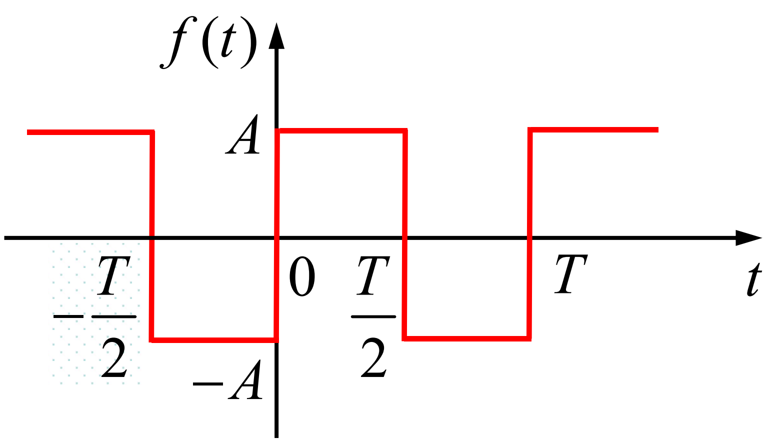
# 15.3 对称性对傅里叶级数的影响

1. 根据函数奇偶性来判断

奇函数： $f(t) = -f(-t)$

正弦函数就是奇函数

奇函数的傅里叶级数展开式**只包含正弦函数项**，不包含余弦函数和常数项。




$$f(t) = \frac{4A}{\pi}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{2k-1}\sin\left(2k-1\right)\omega t$$

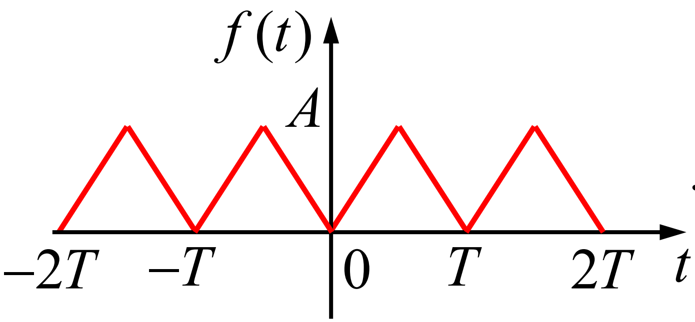
# 15.3 对称性对傅里叶级数的影响

## 1. 根据函数奇偶性来判断

偶函数：$f(t) = f(-t)$

余弦函数就是偶函数

偶函数的傅里叶级数展开式**只包含余弦函数项**，不包含正弦函数，**可能含有常数项**。




$$f(t) = \frac{A}{2} - \frac{4A}{\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)^2} \cos\left(2k-1\right)\omega t$$

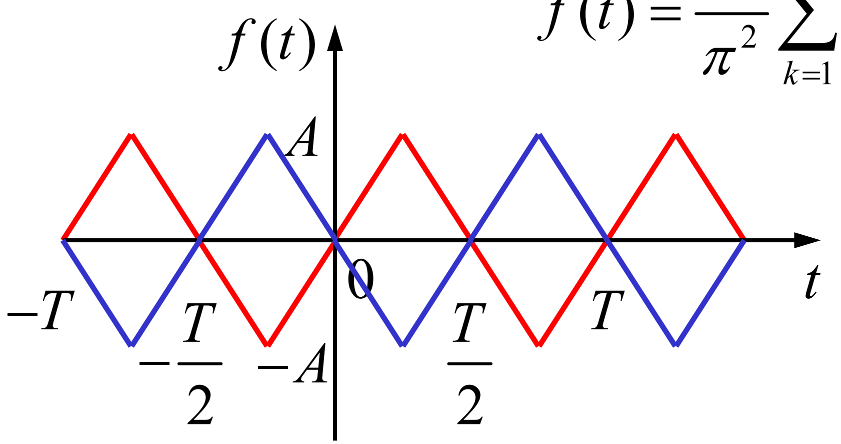
# 15.3 对称性对傅里叶级数的影响

2. 根据半波对称性来判断

半波对称：$f(t) = -f(t \pm \frac{T}{2})$

半波对称函数的傅里叶级数展开式**只包含奇次函数项**，不包含偶次函数项和常数项。

$$f(t) = \frac{8A}{\pi^2}\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{(2k-1)^2}\sin\frac{(2k-1)\pi}{2}\sin(2k-1)\omega t$$

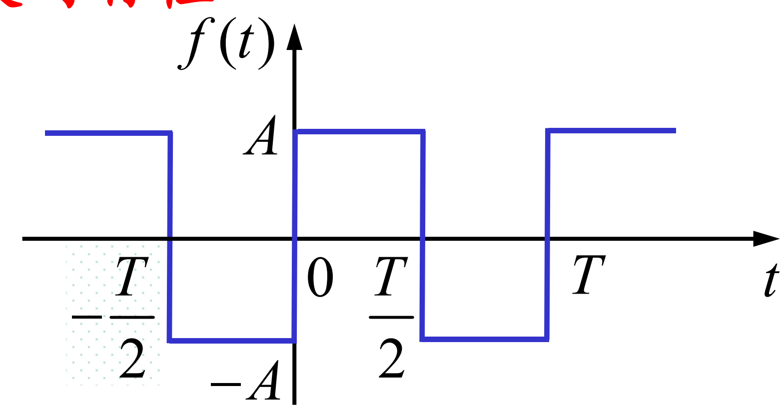


# 15.3 对称性对傅里叶级数的影响

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

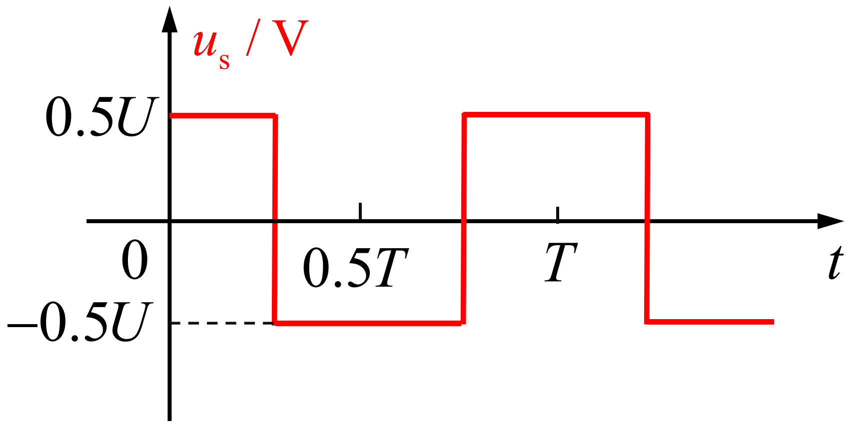
偶函数　　偶函数　　奇函数

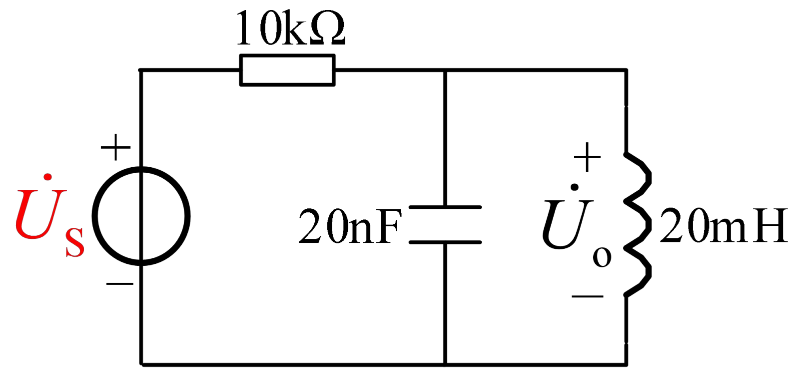
- 奇函数的傅里叶级数展开式**只包含奇函数项（正弦函数项）**
- 偶函数的傅里叶级数展开式**只包含偶函数项（常数项、余弦函数项）**
- 平移纵轴（改变时间起点），可以改变函数的奇偶性，但**不能改变半波对称性**



# 15.3 对称性对傅里叶级数的影响

**例15-3** 已知：$T$=0.2π ms，写出$u_s$的傅里叶级数（保留前四个非零项），判断$u_o$中第几次谐波占主要部分。



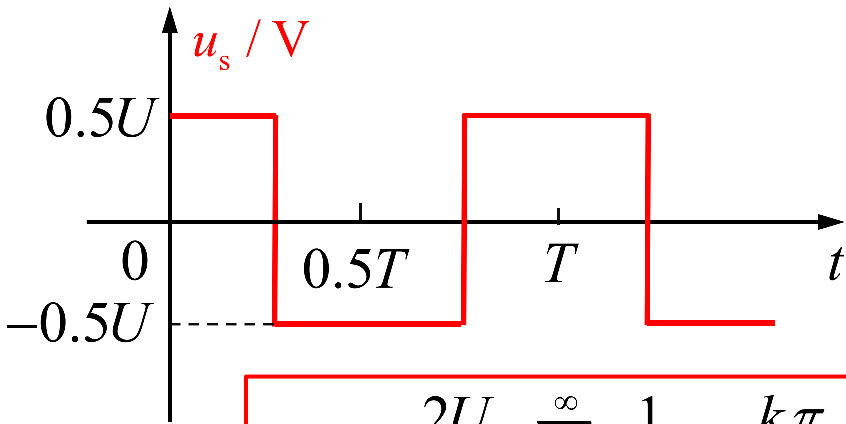

**解** $u_s(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty}[a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t]$

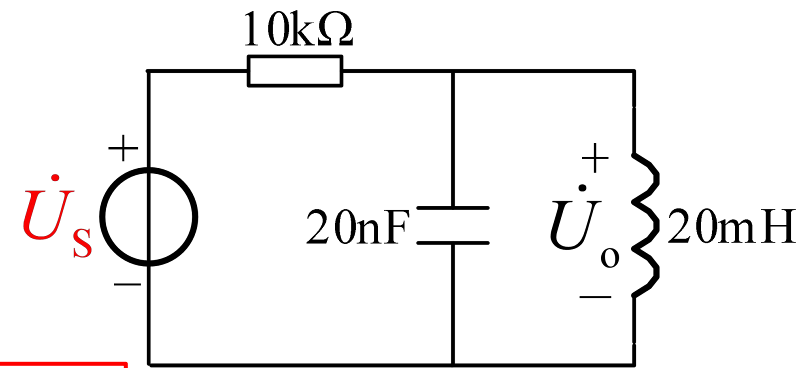
$$\boxed{u_s(t) = \frac{2U}{\pi}\sum_{k=1,3,\cdots}^{\infty}\frac{1}{k}\sin\frac{k\pi}{2}\cos k\omega t}$$

**偶函数** $\rightarrow b_k = 0 \quad a_0 = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)dt = 0$

$$a_k = \frac{2}{T}\int_0^T u_s(t)\cos k\omega t\,\mathrm{d}t = \frac{2U}{k\pi}\sin\frac{k\pi}{2},\ k = 1,3,5,\cdots$$

# 15.3 对称性对傅里叶级数的影响




$$\boxed{u_s(t)=\frac{2U}{\pi}\sum_{k=1,3,\cdots}^{\infty}\frac{1}{k}\sin\frac{k\pi}{2}\cos k\omega t}$$

取$u_s$前四项： **5次谐波占主要部分**

$$u_s(t)\approx\frac{2U}{\pi}\cos\omega t-\frac{2U}{3\pi}\cos3\omega t+\frac{2U}{5\pi}\cos5\omega t-\frac{2U}{7\pi}\cos7\omega t\ \text{V}$$

$\dot{U}_{ok}\to\max\quad\dot{I}_{ok}\to\min$ ⇨ 并联谐振

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}=5\times10^4\,\text{rad/s}=5\omega\qquad\omega=\frac{2\pi}{T}=10^4\,\text{rad/s}$$

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

## 1. 非正弦周期电压、电流的有效值

设 $u = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \sqrt{2} U_k \cos(k\omega t + \phi_k)$

根据有效值定义： $U = \sqrt{\dfrac{1}{T}\int_0^T u^2 \mathrm{d}t}$

将 $u$ 代入，得

$$U = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \left[ U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \sqrt{2} U_k \cos(k\omega t + \phi_k) \right]^2 \mathrm{d}t}$$

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

$$U=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T\left[U_0+\sum_{k=1}^{\infty}\sqrt{2}U_k\cos(k\omega t+\phi_k)\right]^2\mathrm{d}t}$$

上式积分号中 $u^2$项展开后有四种类型：

（1） $\frac{1}{T}\int_0^T U_0^2\mathrm{d}t=U_0^2$ 直流分量平方

（2） $\frac{1}{T}\int_0^T U_0\times\sqrt{2}U_k\cos(k\omega t+\phi_k)\,\mathrm{d}t=0$ 直流分量与各次谐波乘积

（3） $\frac{1}{T}\int_0^T\left[\sqrt{2}U_k\cos\left(k\omega t+\phi_k\right)\right]^2\mathrm{d}t=U_k^2$ 各次谐波分量平方

（4） $\frac{1}{T}\int_0^T\sqrt{2}U_k\cos\left(k\omega t+\phi_k\right)\times\sqrt{2}U_m\cos\left(m\omega t+\phi_m\right)\mathrm{d}t=0$

不同频率各次谐波两两相乘

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

由此可得 $U=\sqrt{U_0^2+\sum_{k=1}^{\infty}U_k^2}=\sqrt{U_0^2+U_1^2+U_2^2+\cdots}$

同理: 非正弦周期电流

$$i=I_0+\sum_{k=1}^{\infty}\sqrt{2}I_k\cos(k\omega t+\phi_k)$$

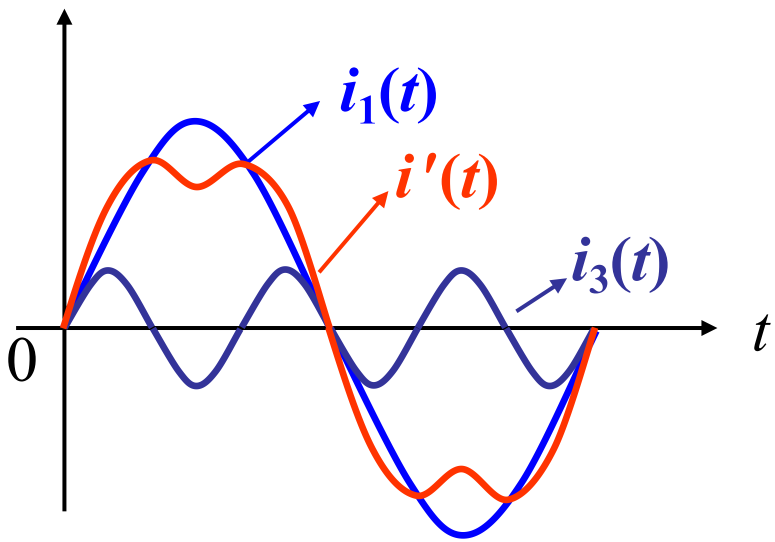
其有效值

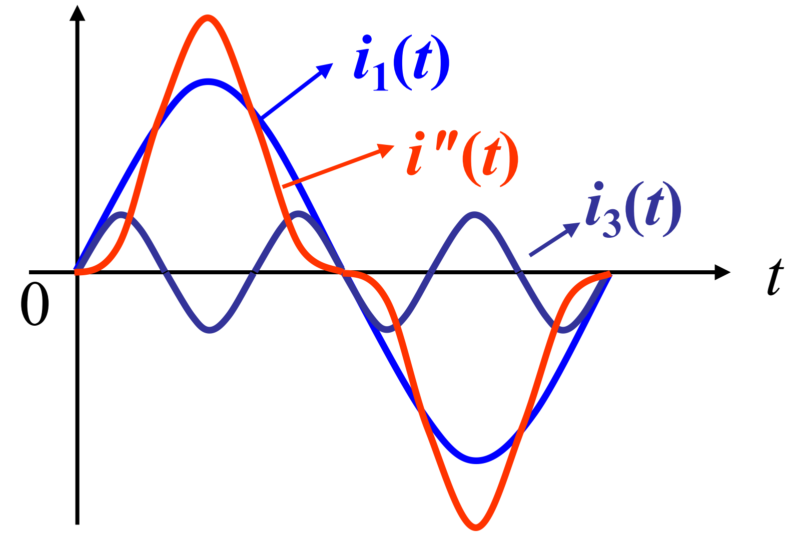
$$I=\sqrt{I_0^2+\sum_{k=1}^{\infty}I_k^2}=\sqrt{I_0^2+I_1^2+I_2^2+\cdots}$$

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

**注意：**

- 周期性非正弦电流（或电压）有效值与最大值一般无 $\sqrt{2}$ 倍关系。
- 有效值相同的周期性非正弦电压（或电流）其波形不一定相同。




$$i'(t) = i_1(t) + i_3(t) \quad \neq \quad i''(t) = i_1(t) - i_3(t)$$

$$I' = \sqrt{I_1^2 + I_3^2} \quad = \quad I'' = \sqrt{I_1^2 + I_3^2}$$

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

## 2. 周期性非正弦电流电路的平均功率

平均功率定义公式与正弦稳态电路相同。

瞬时功率 $p = ui$

平均功率 $P = \dfrac{1}{T}\int_0^T p\mathrm{d}t = \dfrac{1}{T}\int_0^T ui\mathrm{d}t$

若 $u = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{\mathrm{m}k} \cos(k\omega t + \phi_{ku})$ $\quad i = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{\mathrm{m}k} \cos(k\omega t + \phi_{ki})$

则

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T \left[U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{\mathrm{m}k} \cos(k\omega t + \phi_{ku})\right]\left[I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{\mathrm{m}k} \cos(k\omega t + \phi_{ki})\right]\mathrm{d}t$$

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T\left[U_0+\sum_{k=1}^{\infty}U_{mk}\cos(k\omega t+\phi_{ku})\right]\left[I_0+\sum_{k=1}^{\infty}I_{mk}\cos(k\omega t+\phi_{ki})\right]\mathrm{d}t$$

*ui* 相乘之积分也可分为四种类型：

（1）$\frac{1}{T}\int_0^T U_0 I_0 \mathrm{d}t = U_0 I_0 = P_0$ 直流分量乘积之积分

（2）$\frac{1}{T}\int_0^T U_0\times\sum_{k=1}^{\infty}I_{mk}\cos(k\omega t+\phi_{ki})\mathrm{d}t=0$

$\frac{1}{T}\int_0^T I_0\times\sum_{k=1}^{\infty}U_{mk}\cos(k\omega t+\phi_{ku})\mathrm{d}t=0$

直流分量与各次谐波分量乘积之和的积分

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T\left[U_0+\sum_{k=1}^{\infty}U_{\mathrm{m}k}\cos(k\omega t+\phi_{ku})\right]\left[I_0+\sum_{k=1}^{\infty}I_{\mathrm{m}k}\cos(k\omega t+\phi_{ki})\right]\mathrm{d}t$$

*ui* 相乘之积分也可分为四种类型：

$$(3)\ \frac{1}{T}\int_0^T\sum_{k=1}^{\infty}U_{\mathrm{m}k}\cos(k\omega t+\phi_{ku})I_{\mathrm{m}k}\cos(k\omega t+\phi_{ki})\mathrm{d}t$$

$$=\sum_{k=1}^{\infty}U_kI_k\cos\varphi_k=\sum_{k=1}^{\infty}P_k$$

同频电压、电流分量乘积之和的积分

其中 $U_k=\frac{1}{\sqrt{2}}U_{\mathrm{m}k}$ $I_k=\frac{1}{\sqrt{2}}I_{\mathrm{m}k}$ $\varphi_k=\phi_{ku}-\phi_{ki}$

$$(4)\ \frac{1}{T}\int_0^T\sum_{p=1}^{\infty}U_{\mathrm{m}p}\cos(p\omega t+\phi_{pu})\sum_{q=1}^{\infty}I_{\mathrm{m}q}\cos(q\omega t+\phi_{qi})\mathrm{d}t=0$$

$$(p\neq q)$$

不同频电压、电流分量乘积之和的积分

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T\left[U_0+\sum_{k=1}^{\infty}U_{mk}\cos(k\omega t+\phi_{ku})\right]\left[I_0+\sum_{k=1}^{\infty}I_{mk}\cos(k\omega t+\phi_{ki})\right]\mathrm{d}t$$

*ui* 相乘之积分也可分为四种类型：

（1）$\frac{1}{T}\int_0^T U_0 I_0 \mathrm{d}t = P_0$

（2）$\frac{1}{T}\int_0^T U_0\times\sum_{k=1}^{\infty}I_{mk}\cos(k\omega t+\phi_{ki})\mathrm{d}t=0$

$\frac{1}{T}\int_0^T I_0\times\sum_{k=1}^{\infty}U_{mk}\cos(k\omega t+\phi_{ku})\mathrm{d}t=0$

（3）$\frac{1}{T}\int_0^T\sum_{k=1}^{\infty}U_{mk}\cos(k\omega t+\phi_{ku})I_{mk}\cos(k\omega t+\phi_{ki})\mathrm{d}t=\sum_{k=1}^{\infty}P_k$

（4）$\frac{1}{T}\int_0^T\sum_{p=1}^{\infty}U_{mp}\cos(p\omega t+\phi_{pu})\sum_{q=1}^{\infty}I_{mq}\cos(q\omega t+\phi_{qi})\mathrm{d}t=0 \quad (p\neq q)$

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T\left[U_0+\sum_{k=1}^{\infty}U_{\mathrm{m}k}\sin(k\omega t+\phi_{ku})\right]\left[I_0+\sum_{k=1}^{\infty}I_{\mathrm{m}k}\sin(k\omega t+\phi_{ki})\right]\mathrm{d}t$$

则平均功率 $P=\dfrac{1}{T}\displaystyle\int_0^T uidt$

$$=U_0I_0+U_1I_1\cos\varphi_1+U_2I_2.\cos\varphi_2+\cdots$$

$$=P_0+\sum_{k=1}^{\infty}P_k$$

直流分量产生的功率

各次谐波产生的平均功率和

要记住！

$$\boxed{U=\sqrt{U_0^2+\sum_{k=1}^{\infty}U_k^2}\qquad I=\sqrt{I_0^2+\sum_{k=1}^{\infty}I_k^2}\qquad P=P_0+\sum_{k=1}^{\infty}P_k}$$

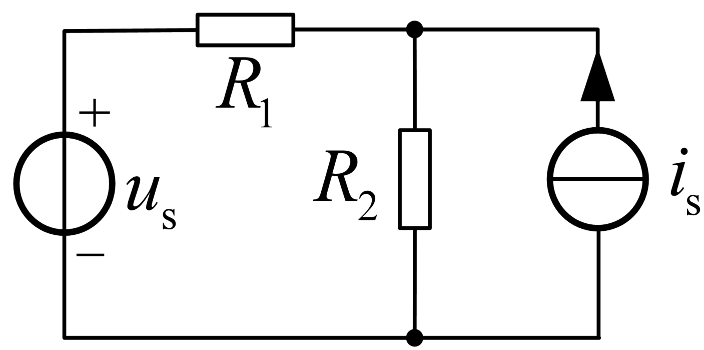
# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

**注意：**

- $k$次谐波电压只能产生$k$次谐波电流，因此同频率电压电流相乘才形成平均功率。
- 在直流电路中，功率不能直接叠加；周期性非正弦稳态电路中，不同频率电源的平均功率可以叠加。叠加时需注意电流、电压的三角函数、符号相同。

$$P=(U'+U'')(I'+I'')$$

$$=U'I'+\underbrace{U'I''+U''I'}_{\neq 0}+U''I''$$



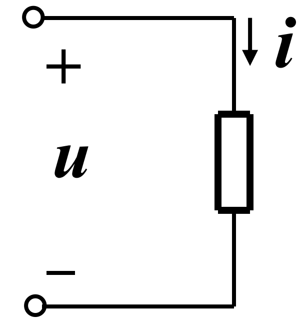

$$\frac{1}{T}\int_0^T\sum_{p=1}^{\infty}U_{mp}\cos(p\omega t+\phi_{pu})\sum_{q=1}^{\infty}I_{mq}\cos(q\omega t+\phi_{qi})\mathrm{d}t=0$$

$$\Rightarrow\quad P=P_0+\sum_{k=1}^{\infty}P_k$$

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

**例15-4** 已知：$u = 2 + 10\sin\omega t + 5\sin 2\omega t + 2\sin 3\omega t$

$$i = 1 + 2\sin(\omega t - 30^\circ) + \sin(2\omega t - 60^\circ)$$




求：电路吸收的平均功率和电压、电流的有效值。

**解**

$$P = P_0 + P_1 + P_2 + P_3$$

$$= 2\times 1 + \frac{10\times 2}{2}\cos 30^\circ + \frac{1\times 5}{2}\cos 60^\circ + 0$$

$$= 2 + 8.66 + 1.25 = 11.9\ \text{W}$$

$$U = \sqrt{2^2 + \frac{10^2}{2} + \frac{5^2}{2} + \frac{2^2}{2}} = 8.28\ \text{V}$$

$$I = \sqrt{1^2 + \frac{2^2}{2} + \frac{1^2}{2}} = 1.87\ \text{A}$$

$$P = P_0 + \sum_{k=1}^{\infty} P_k$$

$$U = \sqrt{U_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k^2}$$

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

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

## 3. 周期性非正弦电流电路的计算（重要，必考!!!）

采用谐波分析法，其步骤如下：

A. 将周期性非正弦电源**分解为傅里叶级数**，根据要求取有限项，如无要求，一般取前三或前五项即可；

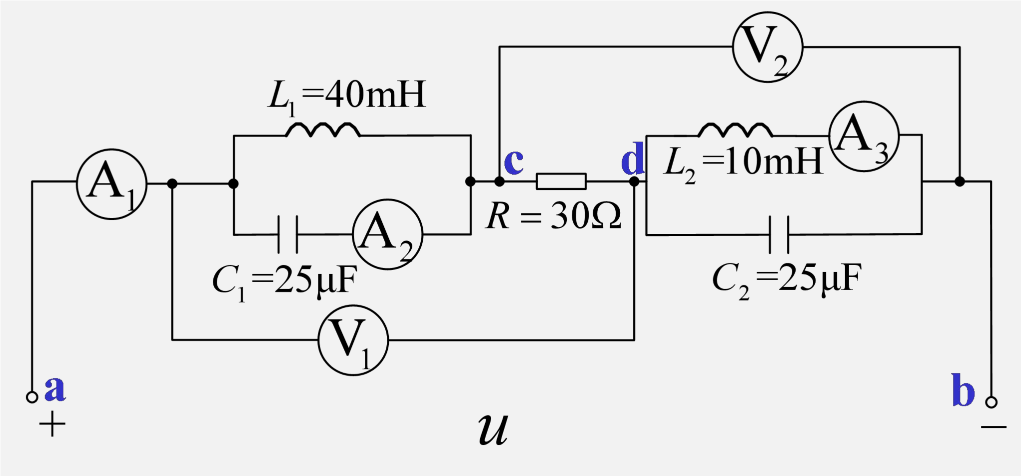
B. 根据叠加定理，分别**计算直流分量和各次谐波激励单独作用时产生的响应**；

- 直流分量单独作用相当于解直流电路（$L$短路、$C$开路）；
- 各次谐波单独作用时均为正弦稳态电路，可采用相量法计算(**要注意电感和电容的阻抗随频率$\omega$的变化而变化**);

C. 将计算结果**以瞬时值形式相加**（**各次谐波激励所产生的相量形式响应不能进行相加**，因其频率不同）。

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

**例15-5** 已知$u$=30+120cos1000$t$+60cos(2000$t$+π/4) V。求电路中各表读数。




**解** (1) $u_0$=30V作用

$L_1$、$L_2$短路；

$C_1$、$C_2$开路。

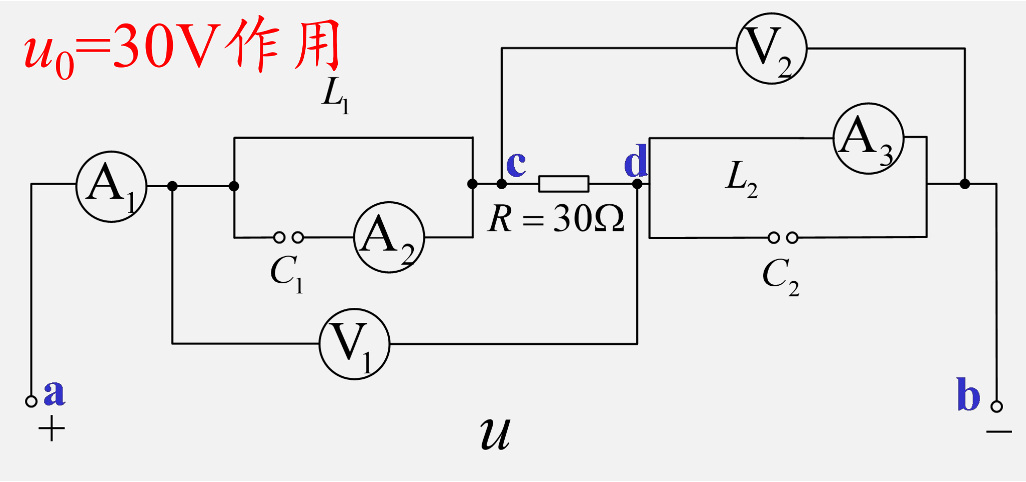
$A_1$、 $A_3$读数：

$$i_0 = i_{L20} = u_0/R = 1\text{ A}$$

$A_2$读数： $i_{C10} = 0$

$V_1$、$V_2$读数：

$$u_{ad0} = u_{cb0} = u_0 = 30\text{ V}$$



# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

(2) $u_1$=120cos1000$t$ V作用

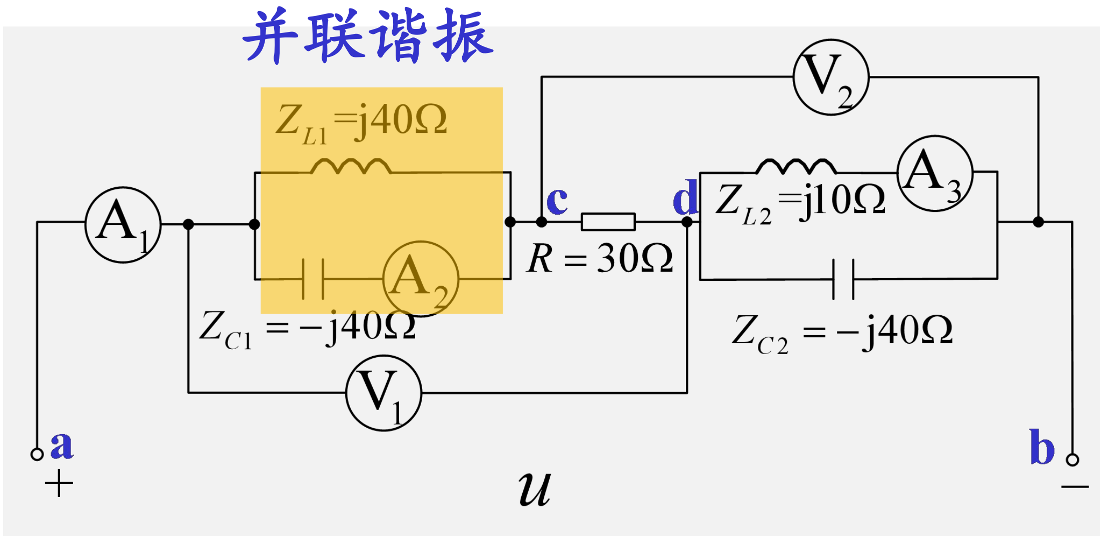
$\dot{U}_1 = 120\angle 0^\circ$ V

$j\omega L_1 = j40\Omega$

$j\omega L_2 = j10\Omega$

$-j\dfrac{1}{\omega C_1} = -j40\Omega$

$-j\dfrac{1}{\omega C_2} = -j40\Omega$




$\dot{I}_1 = \dot{I}_{L21} = 0 \qquad \dot{U}_{cb1} = 0$

$\dot{U}_{ad1} = \dot{U}_1 = 120\angle 0^\circ$ V

$\dot{I}_{C11} = j\omega C_1 \dot{U}_1 = \dfrac{120\angle 0^\circ}{-j40} = 3\angle 90^\circ$ A

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

(3) $u_2$=60cos(2000$t$+π/4) V作用

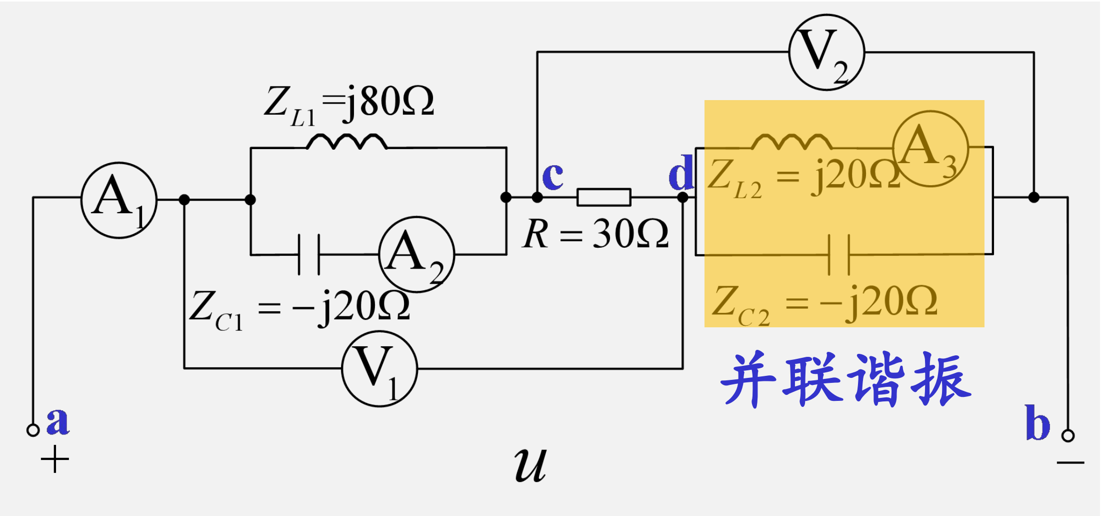
$$\dot{U}_2 = 60\angle 45°\ \mathrm{V}$$

$$\mathrm{j}\omega L_1 = \mathrm{j}80\Omega$$

$$\mathrm{j}\omega L_2 = \mathrm{j}20\Omega$$

$$-\mathrm{j}\frac{1}{\omega C_1} = -\mathrm{j}20\Omega$$

$$-\mathrm{j}\frac{1}{\omega C_2} = -\mathrm{j}20\Omega$$




$$\dot{I}_2 = \dot{I}_{C12} = 0 \qquad \dot{U}_{\mathrm{ad}2} = 0$$

$$\dot{U}_{\mathrm{cb}2} = \dot{U}_2 = 60\angle 45°\ \mathrm{V}$$

$$\dot{I}_{L22} = \frac{\dot{U}_2}{\mathrm{j}\omega L_2} = \frac{60\angle 45°}{\mathrm{j}20} = 3\angle -45°\ \mathrm{A}$$

# 15.4 周期性非正弦稳态电路分析

所求电压、电流的瞬时值为：**此步不可省略！**

表$A_1$：$i = i_0 + i_1 + i_2 = 1\ \text{A}$

表$A_2$：$i_{C1} = i_{C10} + i_{C11} + i_{C12} = 3\cos(1000t + 90°)\ \text{A}$

表$A_3$：$i_{L2} = i_{L20} + i_{L21} + i_{L22} = 1 + 3\cos(2000t - 45°)\ \text{A}$

表$V_1$：$u_{\text{ad}} = u_{\text{ad0}} + u_{\text{ad1}} + u_{\text{ad2}} = 30 + 120\cos 1000t\ \text{V}$

表$V_2$：$u_{\text{cb}} = u_{\text{cb0}} + u_{\text{cb1}} + u_{\text{cb2}} = 30 + 60\cos(2000t + 45°)\ \text{V}$

**电压表、电流表读数为有效值！**

表$A_1$的读数：$1\ \text{A}$

表$V_1$的读数：$\sqrt{30^2 + \left(120/\sqrt{2}\right)^2} = 90\ \text{V}$

表$A_2$的读数：$3/\sqrt{2} = 2.12\ \text{A}$

表$V_2$的读数：$\sqrt{30^2 + \left(60/\sqrt{2}\right)^2} = 52\ \text{V}$

表$A_3$的读数：$\sqrt{1^2 + \left(3/\sqrt{2}\right)^2} = 2.35\ \text{A}$

# 课后作业

- 15.4节：15-8，15-14
- 综合：15-21

谢谢聆听！！

刘旭 2023-5-29