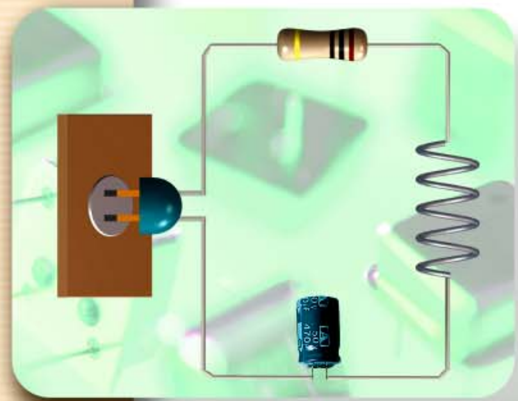
CH 9 基本交流電路

基本交流電路是由電阻、電容、電感等基本元件所組成的串並聯交流電路，本章將先介紹純電阻、純電容及純電感等基本元件所組成的交流電路，然後再討論電阻／電容串並聯交流電路、電阻／電感串並聯交流電路及電阻／電感／電容串並聯交流電路的各種電路特性。

學習目標

- 瞭解純電阻、純電容、純電感等基本元件的交流電路特性
- 學習電阻／電容串聯交流電路
- 學習電阻／電感串聯交流電路
- 學習電阻／電感／電容串聯交流電路
- 學習電阻／電容並聯交流電路
- 學習電阻／電感並聯交流電路
- 學習電阻／電感／電容並聯交流電路



本章目錄

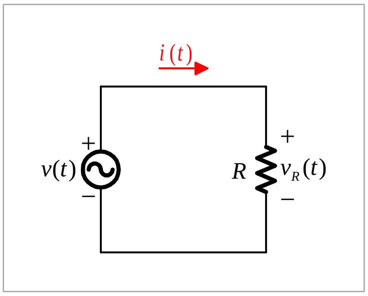
9-1　基本元件組成之交流電路

由一交流電源分別與單一個電阻器、電容器或電感器所組成之純電阻、純電容與純電感交流電路，可算是最基本的交流電路。本節將討論這些基本交流電路的電壓、電流、阻抗、與相角等基本特性。

9-1.1　純電阻交流電路

圖 9-1 所示爲一純電阻交流電路，是由交流電壓源 $v(t)$ 連接一個電阻器 R，其電路的總電流爲 $i(t)$。假設所提供的正弦波交流電壓爲：

$$v(t) = V_m \sin \omega t$$



▲ 圖 9-1　純電阻交流電路

則交流電壓源 $v(t)$ 以相量式表示爲：

$$\overline{V} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}\angle 0^\circ = V\angle 0^\circ$$

純電阻交流電路的電壓、電流、相角、阻抗等電路特性分述如下：

電壓

根據克希荷夫電壓定律（KVL）可知，電阻器上的電壓降 $v_R(t)$ 與交流電源的電壓相等，即：

Σ 重要公式

$$v_R(t) = v(t) = V_m \sin \omega t \quad 〔\text{V, 伏特}〕 \tag{9-1-1a}$$

電壓 $v_R(t)$ 以相量式表示爲：

Σ 重要公式

$$\overline{V_R} = \overline{V} = V\angle 0^\circ \quad 〔\text{V, 伏特}〕 \tag{9-1-1b}$$

電流

由於電阻爲物質本身的特性，並不會受到交流電源頻率的影響，因此可直接利用歐姆定律計算純電阻交流電路之電壓、電流與電阻的關係。由歐姆定律可知電路的電流 $i(t)$ 爲：

Σ 重要公式

$$i(t) = \frac{v_R(t)}{R} = \frac{V_m \sin\omega t}{R} = I_m \sin\omega t \quad 〔A, 安培〕 \tag{9-1-2a}$$

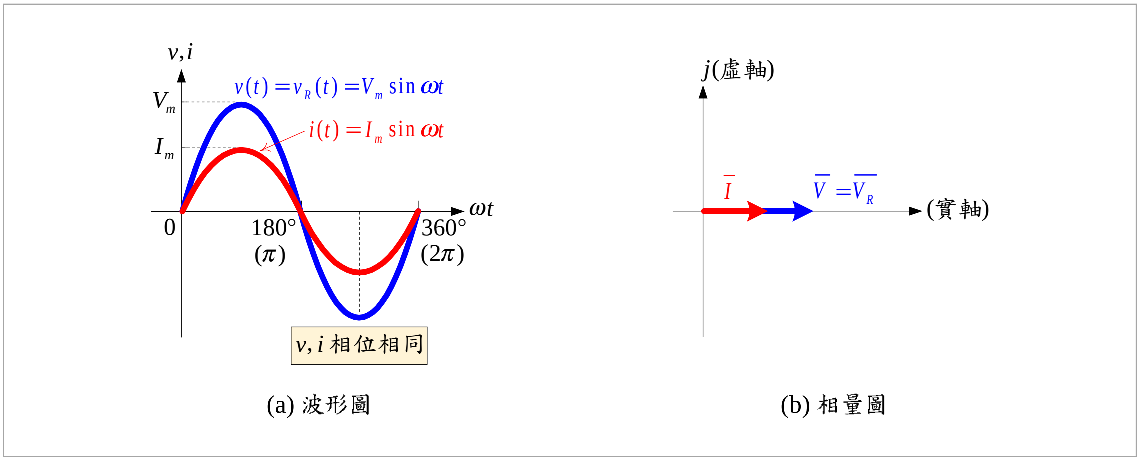
電流 $i(t)$ 以相量式表示爲：

Σ 重要公式

$$\overline{I} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}\angle 0° = I\angle 0° = \frac{V}{R}\angle 0° \quad 〔A, 安培〕 \tag{9-1-2b}$$

相角

由(9-1-1)式及(9-1-2)式可繪出電路之電壓與電流的波形圖，如圖 9-2(a)所示，從圖中可看出：在純電阻交流電路中，交流電壓源 $v(t)$（或電阻器 R 電壓 $v_R(t)$）與電路電流的相位相同（同相），電壓與電流同步變化，兩者不存在相位差。其相量圖則如圖 9-2(b)所示。



▲ **圖 9-2　純電阻交流電路電壓與電流的相位關係**　電壓 $v(t)$與電流 $i(t)$的相位相同。

所以，純電阻交流電路之電流對電壓的相角爲：

$$\theta = 0^\circ \quad 〔度〕 \qquad (9\text{-}1\text{-}3)$$

阻抗

直流電路中的負載只有電阻，而交流電路中的負載，則通常除了電阻之外還包括有電容及電感。所以交流電路中電流所受到的阻力，除了電阻所造成的電阻值 R 外，當然還包括電容及電感所造成的影響，統稱爲**阻抗**（impedance，記爲 Z）。

當中電容及電感所造成的阻力合稱爲**電抗**（reactance，記爲 X），其電容所造成的阻力稱爲**容抗**（capacitive reactance，記爲 X_C），而電感所造成的阻力則稱爲**感抗**（inductive reactance，記爲 X_L）。

交流電路的阻抗，通常會以複數來表示，定義爲：$\overline{Z} = \dfrac{\overline{V}}{\overline{I}}$。所以純電阻交流電路的阻抗 $\overline{Z}$ 爲電阻值 R，是一個實數，以相量式表示爲：

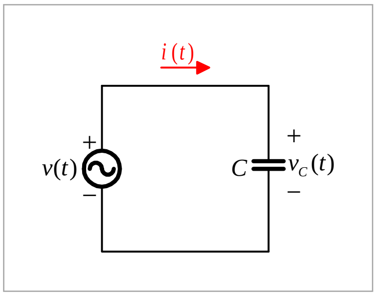
Σ 重要公式

$$\overline{Z} = \overline{R} = \frac{\overline{V}}{\overline{I}} = \frac{V\angle 0^\circ}{I\angle 0^\circ} = \frac{V}{I}\angle 0^\circ \quad 〔\Omega, 歐姆〕 \qquad (9\text{-}1\text{-}4)$$
$$= R\angle 0^\circ = R$$

註：直流電路之歐姆定律為 $V = IR$；交流電路之歐姆定律 $\overline{V} = \overline{I}\,\overline{Z}$。

9-1.2 純電容交流電路

圖 9-3 所示爲一純電容交流電路，是由交流電壓源 $v(t)$ 連接一個電容器 C，其電路的總電流爲 $i(t)$。同樣假設提供的正弦波交流電壓 $v(t) = V_m \sin\omega t$，則純電容交流電路的電壓、電流、相角、阻抗等電路特性分述如下：



▲ 圖 9-3 純電容交流電路

電壓

電容器上的電壓降 $v_C(t)$ 與交流電源的電壓相等（滿足 KVL），即：

Σ 重要公式

$$v_C(t) = v(t) = V_m \sin \omega t \quad 〔\text{V, 伏特}〕 \qquad (9\text{-}1\text{-}5a)$$

電壓 $v_C(t)$ 以相量式表示為：

Σ 重要公式

$$\overline{V_C} = \overline{V} = V\angle 0° \quad 〔\text{V, 伏特}〕 \qquad (9\text{-}1\text{-}5b)$$

電流

由電流及電容的定義可推導（詳見※知識充電之內容）得知：

Σ 重要公式

$$i(t) = \omega C V_m \sin(\omega t + 90°) = I_m \sin(\omega t + 90°) \quad 〔\text{A, 安培}〕 \qquad (9\text{-}1\text{-}6a)$$

電流 $i(t)$ 以相量式表示為：

Σ 重要公式

$$\overline{I} = \overline{\frac{I_m}{\sqrt{2}}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}\angle 90° = I\angle 90° \qquad (9\text{-}1\text{-}6b)$$

註：在相量表示法中，習慣上是以交流量的有效值來表示其大小。

※知識充電

由電流及電容的定義可知：

$$i(t) = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta\left(C \cdot v_C(t)\right)}{\Delta t} = C\frac{\Delta v_C(t)}{\Delta t}$$

當時間間隔 $\Delta t \to 0$ 時，上式可改寫成：

$$i(t) = \lim_{\Delta t \to 0} C\frac{\Delta v_C(t)}{\Delta t} = C\frac{dv_C(t)}{dt}$$

上式是一數學上的微分運算式，表示電流 $i(t)$ 與電容電壓 $v_C(t)$ 的變化率成正比，將 (9-1-5a)式代入上式計算後，可得電流 $i(t)$ 為：

$$i(t) = C\frac{dv_C(t)}{dt} = C\frac{d}{dt}(V_m \sin\omega t) = \omega CV_m \cos\omega t$$
$$= \omega CV_m \sin(\omega t + 90°) = I_m \sin(\omega t + 90°)$$

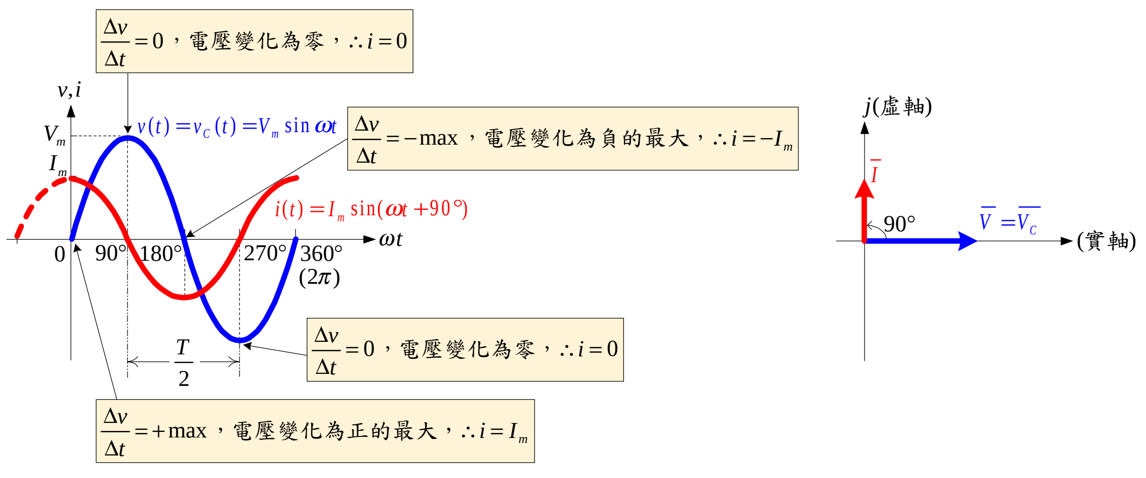
由上式可得知電流 $I_m = \omega CV_m$ 。

註 1：正弦函數的微分公式為：$\frac{d}{dx}\sin ax = a\cos ax = a\sin(ax + 90°)$

註 2：同學們可以先不用瞭解微分的計算過程，而從電壓 $v(t)$ 的波形變化中，亦可推得電流 $i(t)$（$= C\frac{\Delta v}{\Delta t}$）的波形圖，如圖 9-4 所示。

相角

由(9-1-5)式及(9-1-6)式可繪出電路之電壓與電流的波形圖，如圖 9-4(a)所示，從圖中可看出：**在純電容交流電路中，電路電流 $i(t)$ 的相位超前電源電壓 $v(t)$（即電容器 C 電壓 $v_C(t)$）的相位 90°；或電源電壓 $v(t)$（即電容器 C 電壓 $v_C(t)$）的相位滯後電路電流 $i(t)$ 的相位 90°**。其相量圖則如圖 11-4(b)所示。



(a) 波形圖　　(b) 相量圖

▲ 圖 9-4　**純電容交流電路電壓與電流的相位關係**　電流 $i(t)$的相位超前電壓 $v(t)$的相位 90°。

所以，純電容交流電路之電流對電壓的相角為：

Σ 重要公式

$$\theta = 90^\circ \quad 〔度〕 \qquad (9\text{-}1\text{-}7)$$

阻抗

利用歐姆定律可得知，純電容交流電路的阻抗 $\overline{Z}$ 是一個純虛數，以相量式表示為：

Σ 重要公式

$$\overline{Z} = \overline{X_C} = \frac{\overline{V}}{\overline{I}} = \frac{V\angle 0^\circ}{I\angle 90^\circ} = \frac{V}{I}\angle -90^\circ \quad 〔\Omega, 歐姆〕 \qquad (9\text{-}1\text{-}8)$$
$$= X_C\angle -90^\circ = -jX_C$$

上式中，**電容抗 X_C 代表電容器在電流流動時所產生的阻力特性**，單位為歐姆。由(9-1-6)之電流關係式可得：

Σ 重要公式

$$X_C = \frac{V}{I} = \frac{V_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad 〔\Omega, 歐姆〕 \qquad (9\text{-}1\text{-}9)$$

由上式中可知，容抗和電源頻率成反比，也與電容值的大小成反比，亦即**頻率愈高或電容量愈大，其容抗愈小；頻率愈低或電容量愈小，其容抗愈大**。當頻率極大時，容抗約為零，電容器視為短路；當頻率為零時（即直流電的情況），容抗為無窮大，電容器視為斷路。

※知識充電

由圖 9-4(a)之波形圖可知：電壓由正 V_m 變化到負 V_m，其經過的時間為 $\frac{T}{2}$。因此平均電壓的變動率為：

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{V_m-(-V_m)}{\frac{T}{2}} = \frac{4V_m}{T} = 4fV_m$$

所以電路的平均電流（ I_{av} ）為：

$$I_{av} = C\frac{\Delta v}{\Delta t} = C(4fV_m) = 4fCV_m$$

由於正弦波電流的最大值為 $I_m = \frac{\pi}{2}I_{av}$ ，即：

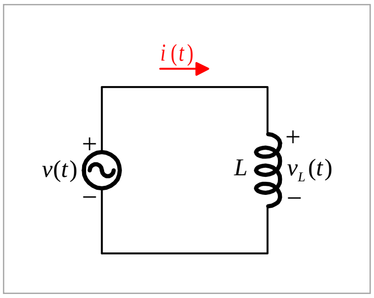
$$I_m = \frac{\pi}{2}I_{av} = \frac{\pi}{2}(4fCV_m) = 2\pi fCV_m$$

可得電容抗 X_C 為：

$$X_C = \frac{V}{I} = \frac{\sqrt{2}V}{\sqrt{2}I} = \frac{V_m}{I_m} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C} \quad 〔\Omega,\ \text{歐姆}〕$$

9-1.3 純電感交流電路

圖 9-5 所示爲一純電感交流電路，是由交流電壓源 $v(t)$ 連接一個電感器 L ，其電路的總電流爲 $i(t)$ 。同樣假設提供的正弦波交流電壓 $v(t) = V_m \sin\omega t$ ，則純電感交流電路的電壓、電流、相角、阻抗等電路特性分述如下：



▲ 圖 9-5 純電感交流電路

電壓

電感器上的電壓降 $v_L(t)$ 與交流電源的電壓相等（滿足 KVL），即：

Σ 重要公式

$$v_L(t) = v(t) = V_m \sin\omega t \quad 〔\text{V, 伏特}〕 \tag{9-1-10a}$$

電壓 $v_L(t)$ 以相量式表示爲：

Σ 重要公式

$$\overline{V_L} = \overline{V} = V\angle 0° \quad 〔\text{V, 伏特}〕 \tag{9-1-10b}$$

電流

由數學上的推導（詳見※知識充電之內容）可得知電流 $i(t)$ 爲：

Σ 重要公式

$$i(t)=\frac{V_m}{\omega L}\sin(\omega t-90^\circ)=I_m\sin(\omega t-90^\circ)\quad〔\text{A, 安培}〕\quad(9\text{-}1\text{-}11a)$$

電流 $i(t)$ 以相量式表示爲：

Σ 重要公式

$$\bar{I}=\frac{\overline{I_m}}{\sqrt{2}}=\frac{I_m}{\sqrt{2}}\angle-90^\circ=I\angle-90^\circ\quad〔\text{A, 安培}〕\quad(9\text{-}1\text{-}11b)$$

註： 在相量表示法中，習慣是以交流量的有效值來表示其大小。

※知識充電

由法拉第感應定律可知電感器的感應電動勢為：

$$v_L(t)=\frac{\Delta(N\phi)}{\Delta t}=\frac{\Delta\big(L\cdot i(t)\big)}{\Delta t}=L\frac{\Delta i(t)}{\Delta t}$$

當時間間隔 $\Delta t\to 0$ 時，上式可改寫成：

$$v_L(t)=\lim_{\Delta t\to 0}L\frac{\Delta i(t)}{\Delta t}=L\frac{di(t)}{dt}$$

上式表示電感電壓 $v_L(t)$ 與電流 $i(t)$ 的變化率成正比，將(9-1-10a)式代入上式並作積分運算後，可得電流 $i(t)$ 為：

$$\begin{aligned}i(t)&=\frac{1}{L}\int v_L(t)dt=\frac{1}{L}\int V_m\sin\omega t\,dt=\frac{V_m}{\omega L}(-\cos\omega t)\\&=\frac{V_m}{\omega L}\sin(\omega t-90^\circ)=I_m\sin(\omega t-90^\circ)\end{aligned}$$

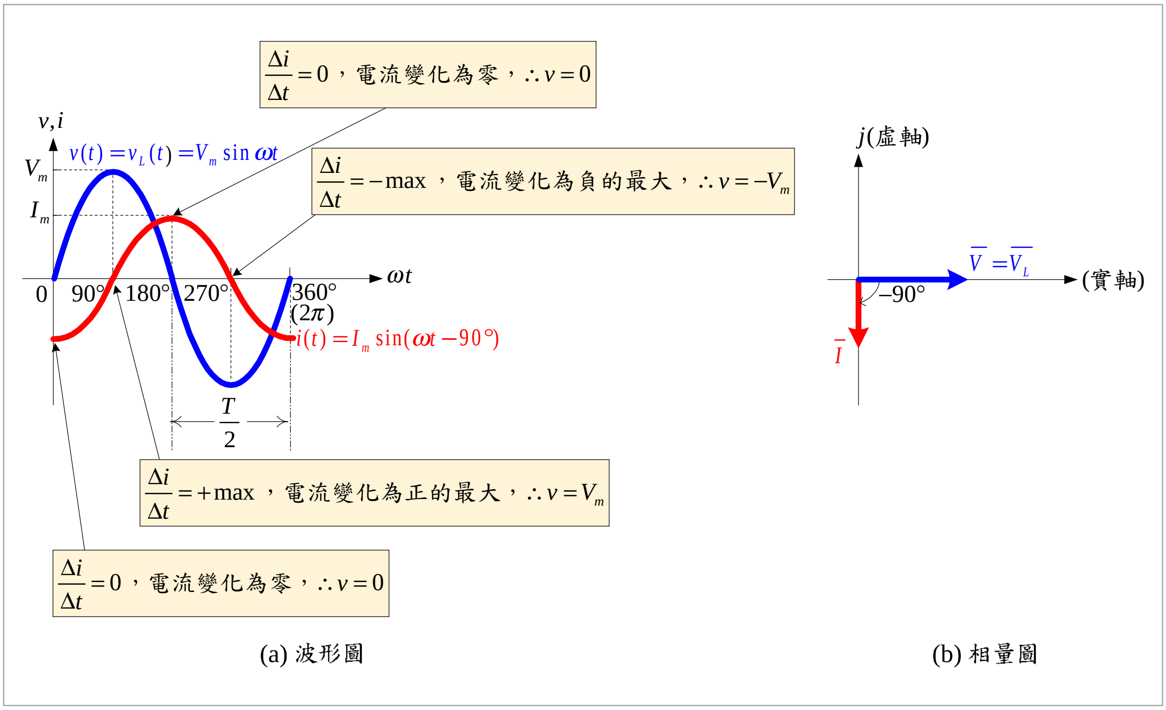
由上式可得知電流 $I_m=\dfrac{V_m}{\omega L}$ 。

註 1：正弦函數的積分公式為： $\int(\sin ax)dx=-\frac{1}{a}\cos ax=\frac{1}{a}\sin(ax-90^\circ)$

註 2：同學們可以先不用瞭解積分的計算過程，亦可從 $v=L\frac{\Delta i}{\Delta t}$ 的關係中，推得電壓 $v(t)$ 與電流 $i(t)$ 波形的相對變化，如圖 9 - 6 所示。

相角

由(9-1-10)式及(9-1-11)式可繪出電路之電壓與電流的波形圖，如圖 9-6(a)所示，從圖中可看出：在純電感交流電路中，電路電流 $i(t)$ 的相位滯後電源電壓 $v(t)$（即電感器 L 電壓 $v_L(t)$）的相位 90°；或電源電壓 $v(t)$（即電感器 L 電壓 $v_L(t)$）的相位超前電路電流 $i(t)$ 的相位 90°。其相量圖則如圖 9-6(b)所示。



▲ 圖 9-6 純電感交流電路電壓與電流的相位關係 電流 $i(t)$ 的相位滯後電壓 $v(t)$ 的相位 90°。

所以，純電感交流電路之電流對電壓的相角爲：

Σ 重要公式

$$\theta = -90° \quad 〔度〕 \qquad (9\text{-}1\text{-}12)$$

阻抗

利用歐姆定律可得知，純電感交流電路的阻抗 $\overline{Z}$ 是一個純虛數，以相量式表示爲：

Σ 重要公式

$$\overline{Z} = \overline{X_L} = \frac{\overline{V}}{\overline{I}} = \frac{V\angle 0^\circ}{I\angle -90^\circ} = \frac{V}{I}\angle 90^\circ \quad〔\Omega, 歐姆〕 \qquad (9\text{-}1\text{-}13)$$
$$= X_L\angle 90^\circ = +jX_L$$

上式中，**電感抗 X_L 代表電感器在電流流動時所產生的阻力特性**，單位爲歐姆。由(9-1-11)之電流關係式可得：

Σ 重要公式

$$X_L = \frac{V}{I} = \frac{V_m}{I_m} = \omega L = 2\pi f L \quad〔\Omega, 歐姆〕 \qquad (9\text{-}1\text{-}14)$$

由上式中可知，感抗和電源頻率成正比，也與電感值的大小成正比，亦即**頻率愈高或電感量愈大，其感抗愈大；頻率愈低或電感量愈小，其感抗愈小**。當頻率爲無窮大時，感抗爲無窮大，電感器視爲斷路；當頻率爲零時（即直流電的情況），感抗亦爲零，電感器視爲短路。

※知識充電

由圖 9-6(a)之波形圖可知：電流由正 I_m 變化到負 I_m，其經過的時間為 $\frac{T}{2}$。因此平均電流的變動率為：

$$\frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{I_m-(-I_m)}{\frac{T}{2}} = \frac{4I_m}{T} = 4fI_m$$

所以電感器平均感應電動勢（V_{av}）為：

$$V_{av} = L\frac{\Delta i}{\Delta t} = L(4fI_m) = 4fLI_m$$

由於正弦波電壓的最大值為 $V_m = \frac{\pi}{2}V_{av}$，即：

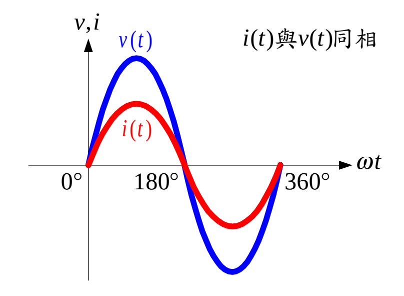
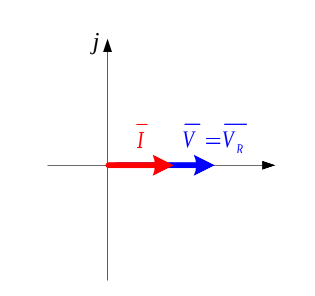
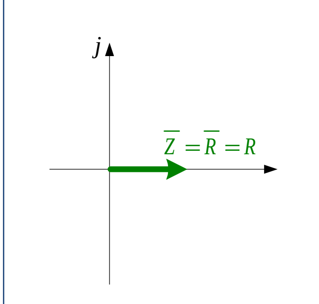
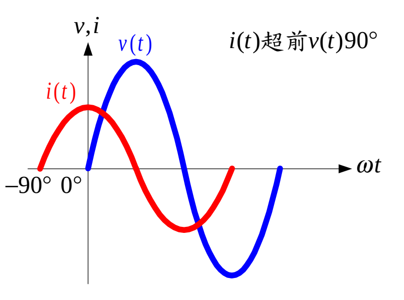
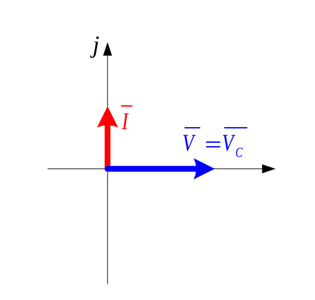
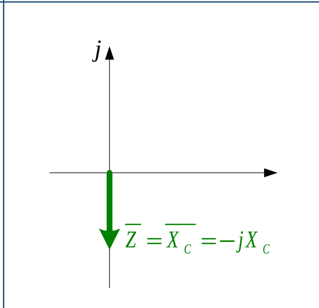
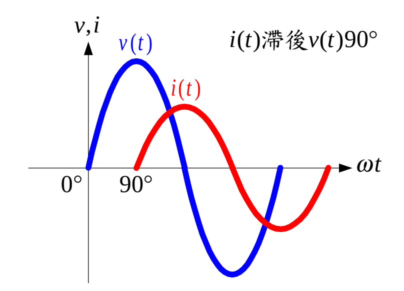
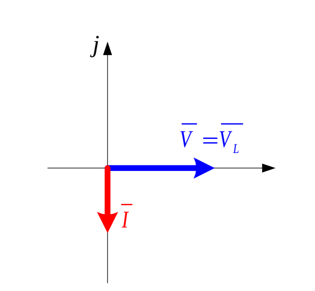
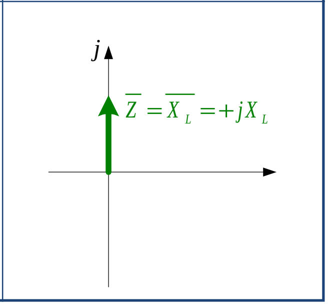
$$V_m = \frac{\pi}{2}V_{av} = \frac{\pi}{2}(4fLI_m) = 2\pi fLI_m$$

可得電感抗 X_L 為：$X_L = \frac{V}{I} = \frac{\sqrt{2}V}{\sqrt{2}I} = \frac{V_m}{I_m} = 2\pi fL = \omega L \quad〔\Omega, 歐姆〕$

※9-1.4　基本元件之交流電路總結

茲將三種基本元件之交流電路作一總整理，其相位關係、相量圖、及阻抗圖如表 9-1 所示。

▼ 表 9-1　基本交流電路之相位關係、相量圖、及阻抗圖

	相位關係	相量圖	阻抗圖
純電阻電路			
純電容電路			
純電感電路			

純電阻交流電路總結

1. 阻抗：$\overline{Z}=\overline{R}=R\angle 0^\circ=R$，其中 $Z=R$，阻抗單位為歐姆（Ω）。

2. 若已知 $v(t)=V_m\sin(\omega t+\alpha)$，其 $\overline{V}=V\angle\theta_v=V\angle\alpha$，則

$$\overline{I}=I\angle\theta_i=\frac{\overline{V}}{\overline{Z}}=\frac{\overline{V}}{\overline{R}}=\frac{V\angle\alpha}{R}=\frac{V}{R}\angle\alpha\text{，其中 }I=\frac{V}{R}\text{。}$$

3. 若已知 $i(t)=I_m\sin(\omega t+\beta)$，其 $\bar{I} = I\angle\theta_i = I\angle\beta$，則

$\bar{V} = V\angle\theta_v = \bar{I}\cdot\bar{Z} = \bar{I}\cdot\bar{R} = (I\angle\beta)\cdot R = IR\angle\beta$，其中 $V=IR$。

4. 相角：$\theta = \theta_i-\theta_v = \alpha-\alpha = \beta-\beta = 0°$，即電流 $\bar{I}$ 與電壓 $\bar{V}$ 同相。

純電容交流電路總結

1. 阻抗：$\bar{Z} = \overline{X_C} = X_C\angle-90° = -jX_C$，

其中 $Z = X_C = \dfrac{1}{\omega C} = \dfrac{1}{2\pi fC}$。

2. 若已知 $v(t)=V_m\sin(\omega t+\alpha)$，其 $\bar{V} = V\angle\theta_v = V\angle\alpha$，則

$\bar{I} = I\angle\theta_i = \dfrac{\bar{V}}{\bar{Z}} = \dfrac{\bar{V}}{\overline{X_C}} = \dfrac{V\angle\alpha}{X_C\angle-90°} = \dfrac{V}{X_C}\angle(\alpha+90°)$，

其中 $I=\dfrac{V}{X_C}$。

3. 若已知 $i(t)=I_m\sin(\omega t+\beta)$，其 $\bar{I} = I\angle\theta_i = I\angle\beta$，則

$\bar{V} = V\angle\theta_v = \bar{I}\cdot\bar{Z} = \bar{I}\cdot\overline{X_C} = (I\angle\beta)\cdot(X_C\angle-90°) = IX_C\angle(\beta-90°)$，

其中 $V=IX_C$。

4. 相角：$\theta = \theta_i-\theta_v = (\alpha+90°)-\alpha = \beta-(\beta-90°) = 90°$，即電流 $\bar{I}$ 超前電壓 $\bar{V}$ 相位 90°（以電壓 $\bar{V}$ 的相位爲基準）。

純電感交流電路總結

1. 阻抗：$\bar{Z} = \overline{X_L} = X_L\angle 90° = +jX_L$，

其中 $Z = X_L = \omega L = 2\pi fL$。

2. 若已知 $v(t)=V_m\sin(\omega t+\alpha)$，其 $\bar{V} = V\angle\theta_v = V\angle\alpha$，則

$\bar{I} = I\angle\theta_i = \dfrac{\bar{V}}{\bar{Z}} = \dfrac{\bar{V}}{\overline{X_L}} = \dfrac{V\angle\alpha}{X_L\angle 90°} = \dfrac{V}{X_L}\angle(\alpha-90°)$，

其中 $I=\dfrac{V}{X_L}$。

3. 若已知 $i(t) = I_m \sin(\omega t + \beta)$，其 $\overline{I} = I\angle\theta_i = I\angle\beta$，則

$\overline{V} = V\angle\theta_v = \overline{I}\cdot\overline{Z} = \overline{I}\cdot\overline{X_L} = (I\angle\beta)\cdot(X_L\angle 90^\circ) = IX_L\angle(\beta+90^\circ)$，

其中 $V = IX_L$。

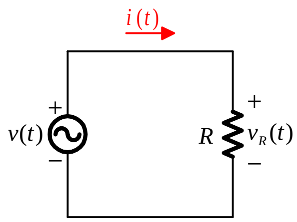
4. 相角：$\theta = \theta_i - \theta_v = (\alpha - 90^\circ) - \alpha = \beta - (\beta + 90^\circ) = -90^\circ$，即電流 $\overline{I}$ **滯後**電壓 $\overline{V}$ 相位 90°（以電壓 $\overline{V}$ 的相位爲基準）。

範例 9-1

如右圖所示之純電阻交流電路，若 $v(t) = 100\sqrt{2}\sin(314t + 60^\circ)\text{V}$，$R = 50\Omega$，試求

(1)阻抗 $\overline{Z}$、Z　　(2)電阻器電壓 $\overline{V_R}$、V_R

(3)電流 $\overline{I}$、I　　(4)電壓與電流之相量圖為何？



【解】(1) $\overline{Z} = \overline{R} = R\angle 0^\circ = 50\angle 0^\circ\ \Omega$

$Z = R = 50\ \Omega$

(2) $v(t) = 100\sqrt{2}\sin(314t + 60^\circ)\text{ V} \Rightarrow V_m = 100\sqrt{2}\text{ V}$

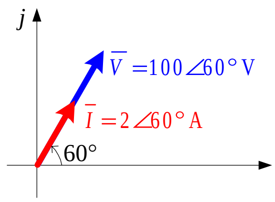
$$\overline{V_R} = \overline{V} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}\angle\theta_v = \frac{100\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\angle 60^\circ = 100\angle 60^\circ\text{ V}$$

$V_R = 100\text{ V}$

(3) $$\overline{I} = \frac{\overline{V}}{\overline{Z}} = \frac{\overline{V}}{\overline{R}} = \frac{100\angle 60^\circ}{50} = 2\angle 60^\circ\text{ A}$$

$I = 2\text{ A}$

(4) $\overline{V}$、$\overline{I}$ 之相量圖如右圖所示

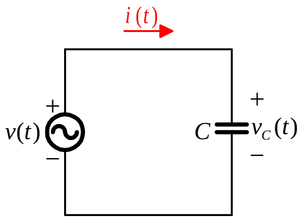


馬上練習 有一純電阻交流電路，交流電壓 $v(t) = 30\sin\omega t\text{ V}$，電阻 $R = 5\Omega$，試求出電流的正弦表示式及相量式，並繪出電壓與電流的相量圖。

【答】$i(t) = 6\sin\omega t\text{ A}$，$\overline{I} = 3\sqrt{2}\angle 0^\circ\text{ A}$。

範例 9-2

如右圖所示之純電容交流電路，若
$i(t)=3\sqrt{2}\sin(100t+45°)\text{A}$ ， $C=400\mu\text{F}$ ，試求
(1)阻抗 $\overline{Z}$ 、 Z　　(2)電流 $\overline{I}$ 、 I
(3)電容器電壓 $\overline{V_C}$ 、 V_C　　(4)電壓與電流之相量圖為何？



【解】(1) $i(t) = 3\sqrt{2}\sin(100t+45°)\text{ A} \Rightarrow \omega = 100\text{ rad/s}$

$$Z = X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{100\times(400\times10^{-6})} = 25\,\Omega$$

$$\overline{Z} = \overline{X_C} = X_C\angle-90° = 25\angle-90°\,\Omega$$

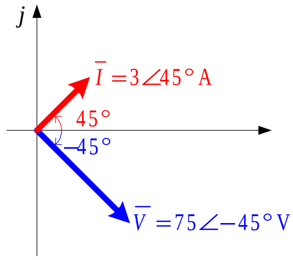
(2) $i(t) = 3\sqrt{2}\sin(100t+45°)\text{ A} \Rightarrow I_m = 3\sqrt{2}\text{ A}$

$$\overline{I} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}\angle\theta_i = \frac{3\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\angle45° = 3\angle45°\text{ A}$$

$$I = 3\text{ A}$$

(3) $\overline{V_C} = \overline{V} = \overline{I}\cdot\overline{X_C} = (3\angle45°)\cdot(25\angle-90°)$
$= 75\angle-45°\text{ V}$

(4) $\overline{V}$ 、 $\overline{I}$ 之相量圖如右圖所示

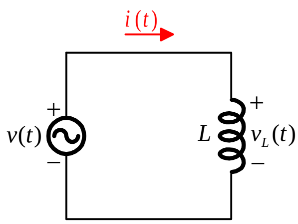


馬上練習　有一純電容交流電路，交流電壓 $v(t)=30\sin(1000t+30°)\text{V}$ ，電容 $C=10\mu\text{F}$，試求出電流的正弦表示式及相量式，並繪出電壓與電流的相量圖。

【答】 $i(t) = 0.3\sin(1000t+120°)\text{ A}$, $\overline{I} = \dfrac{3\sqrt{2}}{20}\angle120°\text{ A}$ 。

範例 9-3

如右圖所示之純電感交流電路，若
$v(t)=120\sqrt{2}\sin(100t+30°)\text{V}$ ， $L=0.4\text{H}$ ，試求
(1)阻抗 $\overline{Z}$ 、 Z　　(2)電感器電壓 $\overline{V_L}$ 、 V_L
(3)電流 $\overline{I}$ 、 I　　(4)電壓與電流之相量圖為何？



【解】(1) $v(t) = 120\sqrt{2}\sin(100t+30°)\text{ V} \Rightarrow \omega = 100\text{ rad/s}$

$Z = X_L = \omega L = 100\times 0.4 = 40\ \Omega$

$\overline{Z} = \overline{X_L} = X_L\angle 90° = 40\angle 90°\ \Omega$

(2) $v(t) = 120\sqrt{2}\sin(100t+30°)\text{ V} \Rightarrow V_m = 120\sqrt{2}\text{ V}$

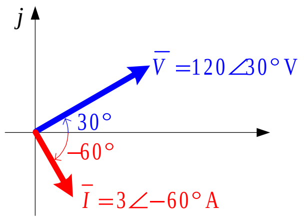
$\overline{V_L} = \overline{V} = \dfrac{V_m}{\sqrt{2}}\angle\theta_v = \dfrac{120\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\angle 30° = 120\angle 30°\text{ V}$

$V_L = 120\text{ V}$

(3) $\overline{I} = \dfrac{\overline{V}}{\overline{Z}} = \dfrac{\overline{V}}{\overline{X_L}} = \dfrac{120\angle 30°}{40\angle 90°} = 3\angle -60°\text{ A}$

$I = 3\text{ A}$

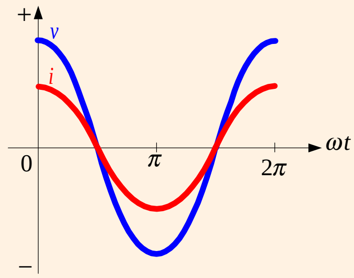
(4) $\overline{V}$、$\overline{I}$ 之相量圖如右圖所示



馬上練習 有一純電感交流電路，電流 $i(t) = 0.3\sin(1000t+30°)\text{A}$，電感 $L = 100\text{mH}$，試求出交流電壓的正弦表示式及相量式，並繪出電壓與電流的相量圖。

【答】$v(t) = 30\sin(1000t+120°)\text{ V}$, $\overline{V} = 15\sqrt{2}\angle 120°\text{ V}$。

單元評量

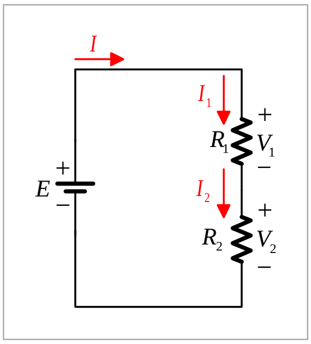


1. 如右圖所示之電壓 v 及電流 i 從 $0\sim 2\pi$ 角的波形變化，則該電路為純 ＿＿＿＿＿ 電路。
2. 一純電容電路，接於 $100\sqrt{2}\sin 100t\text{ V}$ 之交流電源時，取用 2A 電流，則其電容為 ＿＿＿＿＿ 微法拉（μF）。
3. 有一電容器，其電容量為 $100\,\mu\text{F}$，在電容器兩端的電壓為 $v_C(t) = 100\cos 100t\text{ V}$，則流經電容之電流 $i(t) =$ ＿＿＿＿＿＿＿＿ A。
4. 有一線圈電感為 0.1H，接於 $100\sqrt{2}\sin 100t\text{ V}$ 之電源，此線圈之感抗 $X_L =$ ＿＿＿＿＿ Ω，其流過之電流 $I =$ ＿＿＿＿＿ A。
5. 有交流電源 $v(t) = 10\cos 10t\text{ V}$ 加於一電感器，其電感值為 0.1H，則流經電感器的電流 $i(t) =$ ＿＿＿＿＿＿＿＿ A。

9-2　電阻／電容串聯電路

基本知識

有關交流串聯電路電路的解法，可以利用基本電學 I 第 3 章中串聯電路的觀念來解析，說明如下：



▲ 圖 9-7　直流串聯電路

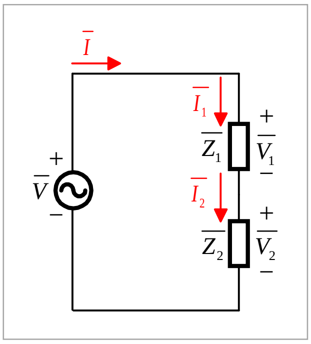
1. 直流串聯電路（如圖 9-7 所示）：

   電流：$I = I_1 = I_2$　　（安培）

   電壓：$E = V_1 + V_2$　　（伏特）

   由上式可知：$IR = I_1R_1 + I_2R_2 = IR_1 + IR_2$，

   即　電阻：$R = R_1 + R_2$　　（歐姆）



▲ 圖 9-8　交流串聯電路

2. 交流串聯電路（如圖 9-8 所示）：

   電流：$\overline{I} = \overline{I_1} = \overline{I_2}$　　（安培）

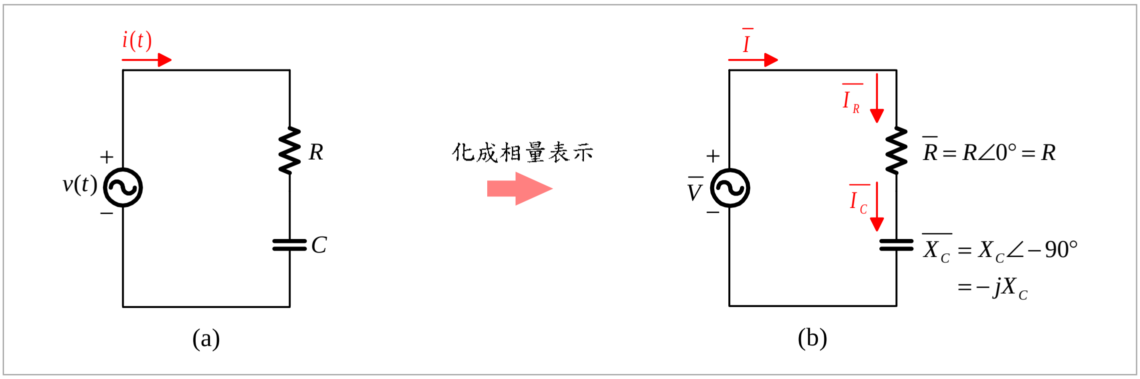
   電壓：$\overline{V} = \overline{V_1} + \overline{V_2}$　　（伏特）

   由上式可知：$\overline{I}\,\overline{Z} = \overline{I_1}\,\overline{Z_1} + \overline{I_2}\,\overline{Z_2} = \overline{I}\,\overline{Z_1} + \overline{I}\,\overline{Z_2}$，

   即　阻抗：$\overline{Z} = \overline{Z_1} + \overline{Z_2}$　　（歐姆）

在上述的比較說明中，要特別注意的是：解直流電路時，是利用數字直接計算；而解交流電路時，務必要以相量式（即向量運算方式）求解。

阻抗



▲ 圖 9-9　*R-C* 串聯交流電路

圖 9-9 所示為一 *R-C* 串聯交流電路，圖中電容器 *C* 的容抗為 $X_C = \dfrac{1}{\omega C} = \dfrac{1}{2\pi fC}$（歐姆）。根據前述，*R-C* 串聯交流電路的阻抗 $\overline{Z}$，即為電阻器的電阻 $\overline{R}$ 與電容器的容抗 $\overline{X_C}$ 之相量和，以數學式表示為：

Σ 重要公式

$$\overline{Z} = \overline{R} + \overline{X_C} = R\angle 0° + X_C\angle -90° = R - jX_C$$
$$= \sqrt{R^2 + X_C^2}\angle -\tan^{-1}\frac{X_C}{R} = Z\angle\theta_Z$$
〔Ω, 歐姆〕

我們稱 θ_Z 為電路的阻抗角，而 *R-C* 串聯交流電路的阻抗大小可表示為：

Σ 重要公式

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi fC}\right)^2}$$ 〔Ω, 歐姆〕

電流

由串聯電路之電流特性知：串聯電路之總電流與流過各元件之電流相同。因此 *R-C* 串聯交流電路的電流可表示成：

Σ 重要公式

$$\overline{I} = \overline{I_R} = \overline{I_C}$$ 〔A, 安培〕　（即 $I = I_R = I_C$）

電壓

若電路中的電流 $\overline{I} = I\angle\theta_i$，則電阻器兩端的電壓為：

$$\overline{V_R} = \overline{I}\cdot\overline{R} = (I\angle\theta_i)\cdot(R\angle 0°) = IR\angle\theta_i = \overline{I}\cdot R\angle 0°$$ （$\overline{V_R}$ 與 $\overline{I}$ 相位相同）

而電容器兩端的電壓為：

$$\overline{V_C} = \overline{I}\cdot\overline{X_C} = (I\angle\theta_i)\cdot(X_C\angle -90°) = IX_C\angle(\theta_i - 90°) = \overline{I}\cdot X_C\angle -90°$$

（$\overline{V_C}$ 滯後 $\overline{I}$ 相位 90°）

由串聯電路之電壓特性（根據克希荷夫電壓定律）知：串聯電路的電源電壓等於各元件之電壓和。在直流電路中，我們只要簡單求取各元件電壓的算數和即可；而在交流電路中，則須考慮各元件電壓的相位關係，即 R-C 串聯交流電路之電壓 $\overline{V}$ 爲 $\overline{V_R}$ 與 $\overline{V_C}$ 的相量和，其中 $\overline{V_C}$ 相位滯後 $\overline{V_R}$ 相位 90°。以數學式表示爲：

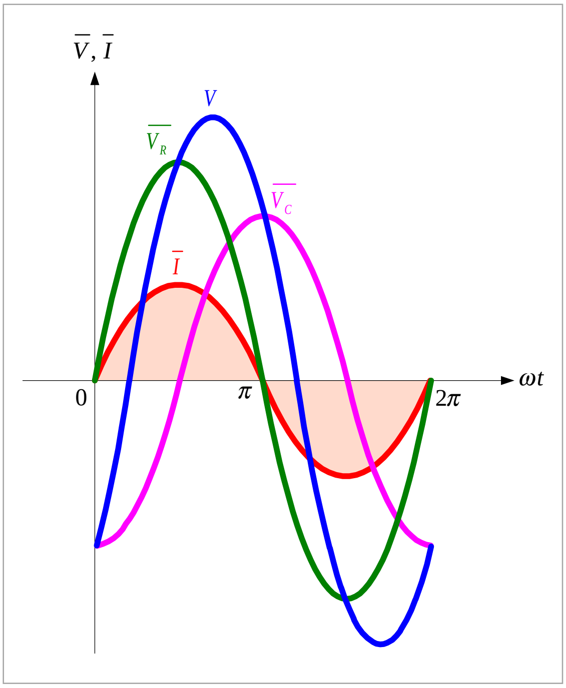
Σ 重要公式

$$\overline{V}=\overline{V_R}+\overline{V_C}=\overline{I}\cdot R+\overline{I}\cdot(-jX_C)=\overline{I}\cdot(R-jX_C)=\overline{I}\cdot\overline{Z}=\overline{I}\cdot Z\angle\theta_Z \text{〔V, 伏特〕}$$

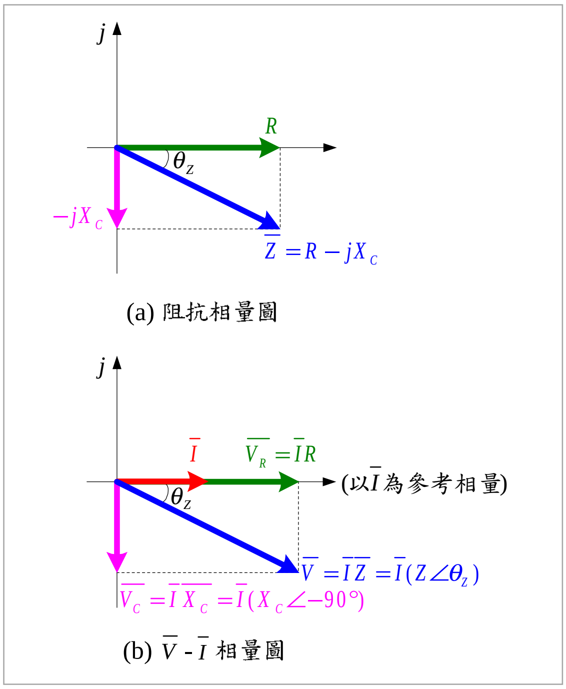
$$\text{（即 } V=IZ \quad V_R=IR \quad V_C=IX_C \quad \theta_Z=-\tan^{-1}\frac{X_C}{R}\text{）}$$

※相量圖

在 R-C 串聯交流電路中，電阻 R 的端電壓 $\overline{V_R}$ 與電流 $\overline{I}$ 的相位相同；電容 C 的端電壓 $\overline{V_C}$ 相位滯後電流 $\overline{I}$ 相位 90°。其波形如圖 9-10 所示。



▲ 圖 9-10　R-C 串聯交流電路的波形圖



▲ 圖 9-11　R-C 串聯交流電路的相量圖

由於在交流串聯電路中，流經每個元件的電流皆相同，因此將電路的相量圖以電流的相位為參考原點。圖 9-11 所示即爲 R-C 串聯交流電路的相量圖。

相角

由圖 9-11 的相量圖，可以求得電路之電壓對電流的相角（即阻抗角）θ_Z 爲：

Σ 重要公式

$$\theta_Z = -\tan^{-1}\frac{V_C}{V_R} = -\tan^{-1}\frac{IX_C}{IR} = -\tan^{-1}\frac{X_C}{R} = -\tan^{-1}\frac{1}{\omega CR}\ 〔°, 度〕$$

上式中 θ_Z 爲負，代表電壓 $\overline{V}$ 相對於電流 $\overline{I}$ 的相角位於第四象限，即表示電壓 $\overline{V}$ 相位滯後電流 $\overline{I}$ 相位 $|\theta_Z|$（即 $\tan^{-1}\frac{X_C}{R}$）角度，其中 $-90° < \theta_Z < 0°$。若電流 $\overline{I} = I\angle 0°$，則電壓 $\overline{V}$ 可表示成：$\overline{V} = V\angle\theta_Z = V\angle -|\theta_Z|$。

※ R-C 串聯交流電路總結

1. 阻抗：$\overline{Z} = \overline{R} + \overline{X_C} = R - jX_C = \sqrt{R^2 + X_C^2}\angle -\tan^{-1}\frac{X_C}{R} = Z\angle\theta_Z$，其中 $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$，$-90° < \theta_Z < 0°$。
2. 若已知 $\overline{V} = V\angle\theta_v$，則 $\overline{I} = \frac{\overline{V}}{\overline{Z}} = \frac{V\angle\theta_v}{Z\angle\theta_Z} = \frac{V}{Z}\angle(\theta_v - \theta_Z)$，其中 $I = \frac{V}{Z}$。
3. 若已知 $\overline{I} = I\angle\theta_i$，則 $\overline{V} = \overline{I}\cdot\overline{Z} = (I\angle\theta_i)\cdot(Z\angle\theta_Z) = IZ\angle(\theta_i + \theta_Z)$，其中 $V = IZ$。
4. $\overline{V_R} = \overline{I}\cdot\overline{R} = \overline{I}\cdot R$，其中 $V_R = IR$。
5. $\overline{V_C} = \overline{I}\cdot\overline{X_C} = \overline{I}\cdot(-jX_C) = \overline{I}\cdot X_C\angle -90°$，其中 $V_C = IX_C$。
6. $\overline{V} = \overline{V_R} + \overline{V_C} = \overline{I}\cdot\overline{Z}$，其中 $V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2} = IZ$（$\because \overline{V_R}$ 與 $\overline{V_C}$ 相差 $90°$）。
7. 相角：若已知 $\overline{V} = V\angle\theta_v$、$\overline{I} = I\angle\theta_i$，則電路之相角（阻抗角）$\theta_Z = \theta_v - \theta_i = -\tan^{-1}\frac{X_C}{R} = -\tan^{-1}\frac{V_C}{V_R}$（交流串聯電路以電流 $\overline{I}$ 爲基準，則 $-90° < \theta_Z < 0°$，θ_Z 爲負，即電壓 $\overline{V}$ 滯後電流 $\overline{I}$ $|\theta_Z|$ 角度）。

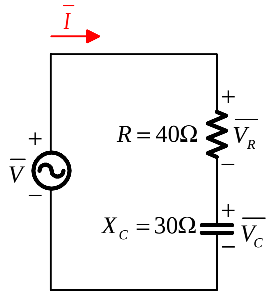
範例 9-4

如右圖所示之 R-C 串聯交流電路，若
$v(t)=100\sqrt{2}\sin 377t\ \mathrm{V}$，$R=40\Omega$，$X_C=30\Omega$，試求

(1)總阻抗 $\overline{Z}$、Z　　(2)總電流 $\overline{I}$、I

(3)電阻器電壓 $\overline{V_R}$、V_R　　(4)電容器電壓 $\overline{V_C}$、V_C

(5)相角 θ_Z 及相量圖為何？



【解】(1) $\overline{Z}=\overline{R}+\overline{X_C}=R-jX_C=40-j30$

$$=\sqrt{40^2+30^2}\angle-\tan^{-1}\frac{30}{40}=50\angle-37^\circ\ \Omega \qquad Z=50\ \Omega$$

(2) $$\overline{V}=\frac{V_m}{\sqrt{2}}\angle\theta_v=\frac{100\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\angle 0^\circ=100\angle 0^\circ\ \mathrm{V}$$

$$\overline{I}=\frac{\overline{V}}{\overline{Z}}=\frac{100\angle 0^\circ}{50\angle-37^\circ}=2\angle 37^\circ\ \mathrm{A} \qquad I=2\ \mathrm{A}$$

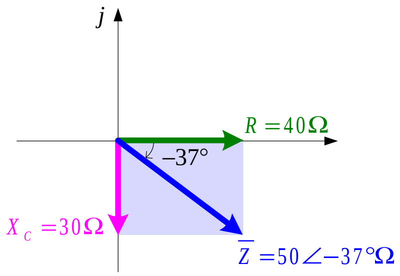
(3) $$\overline{V_R}=\overline{I}\cdot R=(2\angle 37^\circ)\cdot(40)=80\angle 37^\circ\ \mathrm{V} \qquad V_R=80\ \mathrm{V}$$

(4) $$\overline{V_C}=\overline{I}\cdot\overline{X_C}=(2\angle 37^\circ)\cdot(30\angle-90^\circ)=60\angle-53^\circ\ \mathrm{V} \qquad V_C=60\ \mathrm{V}$$

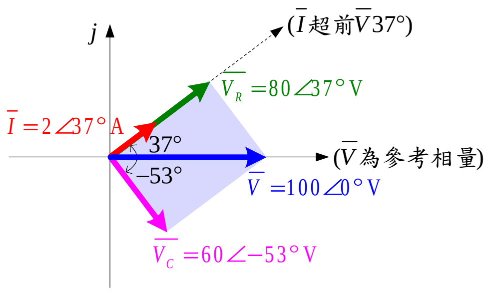
(5) $$\theta_Z=-\tan^{-1}\frac{X_C}{R}=-\tan^{-1}\frac{30}{40}=-37^\circ$$

或 $\theta_Z=\theta_v-\theta_i=0^\circ-37^\circ=-37^\circ$

電路之相量圖如下圖所示



(a) 阻抗圖



(b) $\overline{V}$-$\overline{I}$ 相量圖

馬上練習 有一 R-C 串聯交流電路，若電流 $i(t)=2\sqrt{2}\sin(5000t+53°)\text{A}$ ， $R=15\Omega$ ， $C=10\mu\text{F}$，試求電路的 $\overline{Z}$ 、$\overline{V_R}$ 、$\overline{V_C}$ 、$\overline{V}$ 及 θ_Z 為多少？

【答】$\overline{Z}=25\angle-53°\ \Omega$, $\overline{V_R}=30\angle 53°\ \text{V}$, $\overline{V_C}=40\angle-37°\ \text{V}$,
$\overline{V}=50\angle 0°\ \text{V}$, $\theta_Z=-53°$ 。

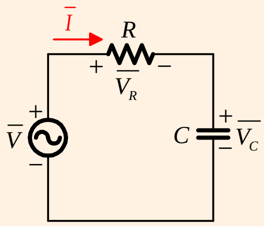
單元評量

1. 有一 R-C 串聯交流電路，若電阻電壓降 $V_R=15\text{V}$ ，電容電壓降 $V_C=20\text{V}$ ，電阻為 80Ω ，容抗為 60Ω ，試求此電路的外加電壓為 ________ V 與總阻抗值為 ________ Ω 。

2. 有一 R-C 串聯交流電路，若外加電壓 $V=50\text{V}$ 之交流電源時，電阻端電壓 $V_R=30\text{V}$ ，總阻抗 $Z=250\Omega$ ，電阻值 $R=150\Omega$ ，試求此電路的
$V_C=$ ________ V ， $X_C=$ ________ Ω 。

3. 有一 R-C 串聯交流電路，若 $R=30\Omega$ ， $C=10\mu\text{F}$ ， $v(t)=50\sqrt{2}\cos 2500t\ \text{V}$ ，試求電路的 $\overline{Z}=$ ________ Ω ，$\overline{I}=$ ________ A ，$\overline{V_R}=$ ________ V ，$\overline{V_C}=$ ________ V 。

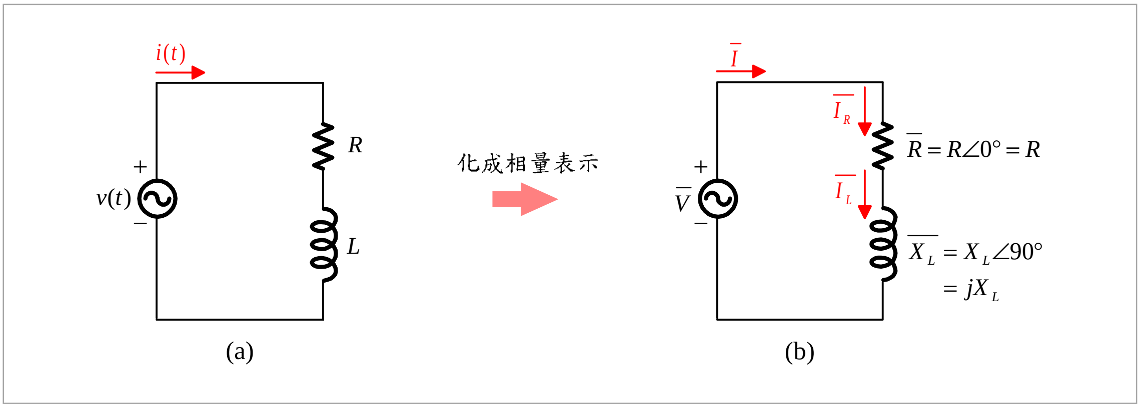
4. 如右下圖所示電路，則此電路的相位關係為何？（請填入超前、等於或滯後）
   (1) 電流 $\overline{I}$ 相位 ________ 電壓 $\overline{V}$ 相位
   (2) 電壓 $\overline{V_C}$ 相位 ________ 電壓 $\overline{V_R}$ 相位
   (3) 電壓 $\overline{V_R}$ 相位 ________ 電壓 $\overline{V}$ 相位
   (4) 電壓 $\overline{V_C}$ 相位 ________ 電壓 $\overline{V}$ 相位
   (5) 電壓 $\overline{V_R}$ 相位 ________ 電流 $\overline{I}$ 相位
   (6) 電壓 $\overline{V_C}$ 相位 ________ 電流 $\overline{I}$ 相位



5. 承上題所示電路，若電路之電流 $i(t)=\sin 100t\ \text{A}$ ， $R=2\Omega$ ， $C=5\text{mF}$ ，試求此電路之電源電壓 $v(t)=$ ____________ V 。

9-3　電阻／電感串聯電路

阻抗



▲ 圖 9-12　*R-L* 串聯交流電路

圖 9-12 所示爲一 *R-L* 串聯交流電路，圖中電感器 L 的感抗爲 $X_L = \omega L = 2\pi f L$（歐姆）。根據前述，*R-L* 串聯交流電路的阻抗 $\bar{Z}$，即爲電阻 $\bar{R}$ 與感抗 $\bar{X}_L$ 之相量和，以數學式表示爲：

Σ 重要公式

$$\bar{Z} = \bar{R} + \bar{X}_L = R\angle 0° + X_L\angle 90° = R + jX_L$$
$$= \sqrt{R^2 + X_L^2}\angle \tan^{-1}\frac{X_L}{R} = Z\angle\theta_Z \quad 〔\Omega，歐姆〕$$

因此 *R-L* 串聯交流電路的阻抗大小可表示爲：

Σ 重要公式

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{R^2 + (2\pi f L)^2} \quad 〔\Omega，歐姆〕$$

電流

由串聯電路之電流特性知：串聯電路之總電流與流過各元件之電流相同。因此 *R-L* 串聯交流電路的電流可表示成：

Σ 重要公式

$$\overline{I} = \overline{I_R} = \overline{I_L} \quad 〔\mathrm{A}, 安培〕$$ （即 $I = I_R = I_L$ ）

電壓

若電路中的電流 $\overline{I} = I\angle\theta_i$，則電阻器兩端的電壓爲：

$$\overline{V_R} = \overline{I}\cdot\overline{R} = (I\angle\theta_i)\cdot(R\angle 0°) = IR\angle\theta_i = \overline{I}\cdot R\angle 0°$$ （$\overline{V_R}$ 與 $\overline{I}$ 相位相同）

而電感器兩端的電壓爲：

$$\overline{V_L} = \overline{I}\cdot\overline{X_L} = (I\angle\theta_i)\cdot(X_L\angle 90°) = IX_L\angle(\theta_i + 90°) = \overline{I}\cdot X_L\angle 90°$$

（$\overline{V_L}$ 超前 $\overline{I}$ 相位 90° ）

由串聯電路之電壓特性（根據克希荷夫電壓定律）知：串聯電路的電源電壓等於各元件之電壓和。即 *R-L* 串聯交流電路之電壓 $\overline{V}$ 爲 $\overline{V_R}$ 與 $\overline{V_L}$ 的相量和，其中 $\overline{V_L}$ 相位超前 $\overline{V_R}$ 相位 90°。以數學式表示爲：

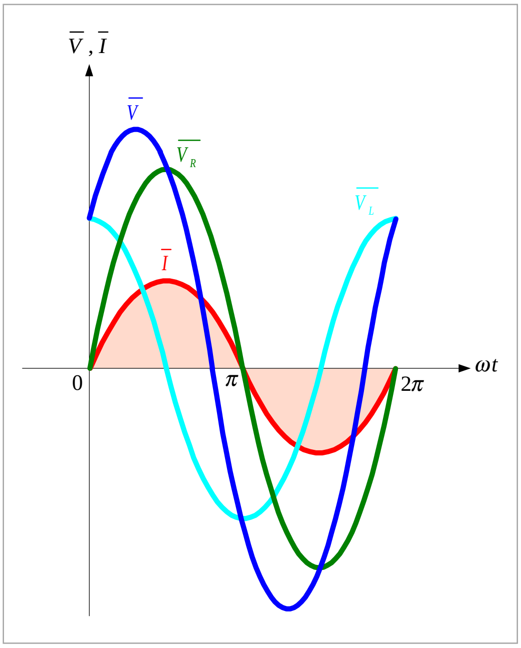
Σ 重要公式

$$\overline{V} = \overline{V_R} + \overline{V_L} = \overline{I}\cdot R + \overline{I}\cdot(jX_L) = \overline{I}\cdot(R + jX_L) = \overline{I}\cdot\overline{Z} = \overline{I}\cdot Z\angle\theta_Z \ 〔\mathrm{V}, 伏特〕$$

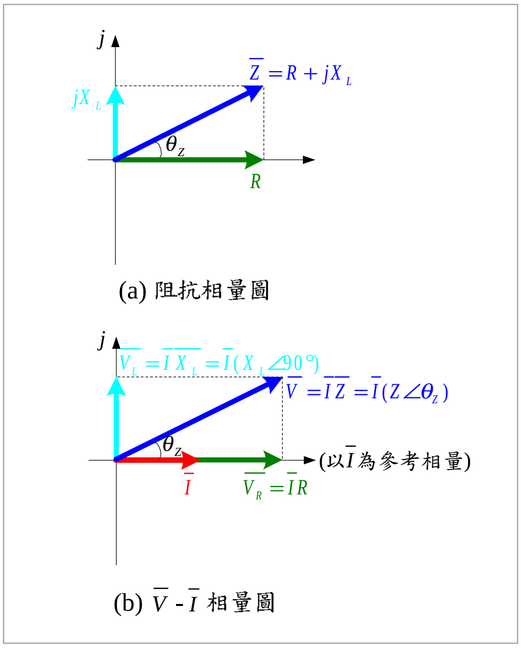
（即 $V = IZ$　$V_R = IR$　$V_L = IX_L$　$\theta_Z = +\tan^{-1}\dfrac{X_L}{R}$ ）

※相量圖

在 *R-L* 串聯交流電路中，電阻 R 的端電壓 $\overline{V_R}$ 與電流 $\overline{I}$ 的相位相同；電感 L 的端電壓 $\overline{V_L}$ 相位超前電流 $\overline{I}$ 相位 90°。其波形如圖 9-13 所示。



▲ 圖 9-13　*R-L* 串聯交流電路的波形圖



▲ 圖 9-14　*R-L* 串聯交流電路的相量圖

在交流串聯電路中，流經每個元件的電流皆相同，因此將電路的相量圖以電流的相位為參考原點。圖 9-14 所示即爲 *R-L* 串聯交流電路的相量圖。

相角

由圖 9-14 的相量圖，可以求得電路之電壓對電流的相角（即阻抗角）θ_Z 爲：

Σ 重要公式

$$\theta_Z = +\tan^{-1}\frac{V_L}{V_R} = +\tan^{-1}\frac{IX_L}{IR} = +\tan^{-1}\frac{X_L}{R} = +\tan^{-1}\frac{\omega L}{R} \quad 〔°, 度〕$$

上式中 θ_Z 爲正，代表電壓 $\overline{V}$ 相對於電流 $\overline{I}$ 的相角位於第一象限，即表示電壓 $\overline{V}$ 相位超前電流 $\overline{I}$ 相位 θ_Z 角度，其中 $0° < \theta_Z < 90°$。若電流 $\overline{I} = I\angle 0°$，則電壓 $\overline{V}$ 可表示成：$\overline{V} = V\angle\theta_Z$。

※ R-L 串聯交流電路總結

1. 阻抗：$\overline{Z} = \overline{R}+\overline{X_L} = R+jX_L = \sqrt{R^2+X_L^2}\angle\tan^{-1}\dfrac{X_L}{R} = Z\angle\theta_Z$，

   其中 $Z=\sqrt{R^2+X_L^2}$，$0°<\theta_Z<90°$。

2. 若已知 $\overline{V}=V\angle\theta_v$，則 $\overline{I} = \dfrac{\overline{V}}{\overline{Z}} = \dfrac{V\angle\theta_v}{Z\angle\theta_Z} = \dfrac{V}{Z}\angle(\theta_v-\theta_Z)$，其中 $I=\dfrac{V}{Z}$。

3. 若已知 $\overline{I}=I\angle\theta_i$，則 $\overline{V} = \overline{I}\cdot\overline{Z} = (I\angle\theta_i)\cdot(Z\angle\theta_Z) = IZ\angle(\theta_i+\theta_Z)$，

   其中 $V=IZ$。

4. $\overline{V_R} = \overline{I}\cdot\overline{R} = \overline{I}\cdot R$，其中 $V_R=IR$。

5. $\overline{V_L} = \overline{I}\cdot\overline{X_L} = \overline{I}\cdot(jX_L) = \overline{I}\cdot X_L\angle 90°$，其中 $V_L=IX_L$。

6. $\overline{V} = \overline{V_R}+\overline{V_L} = \overline{I}\cdot\overline{Z}$，其中 $V = \sqrt{V_R^2+V_L^2} = IZ$

   （$\because \overline{V_R}$ 與 $\overline{V_L}$ 相差 90°）。

7. 相角：若已知 $\overline{V}=V\angle\theta_v$、$\overline{I}=I\angle\theta_i$，則電路之相角（阻抗角）

   $\theta_Z = \theta_v-\theta_i = +\tan^{-1}\dfrac{X_L}{R} = +\tan^{-1}\dfrac{V_L}{V_R}$（交流串聯電路以電流 $\overline{I}$ 為基準，則 $0°<\theta_Z<90°$，θ_Z 為正，即電壓 $\overline{V}$ **超前**電流 $\overline{I}$ θ_Z 角度）。

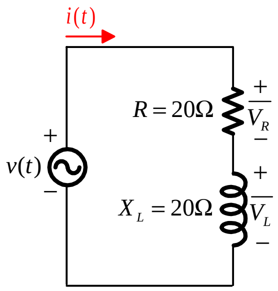
範例 9-5

如右圖所示之 R-L 串聯交流電路，若 $i(t)=3\sin 377t$ A，$R=20\Omega$，$X_L=20\Omega$，試求

(1)總阻抗 $\overline{Z}$、Z　　(2)總電壓 $\overline{V}$、V

(3)電阻器電壓 $\overline{V_R}$、V_R　　(4)電感器電壓 $\overline{V_L}$、V_L

(5)相角 θ_Z 及相量圖為何？



【解】(1) $\overline{Z} = \overline{R}+\overline{X_L} = R+jX_L = 20+j20$

$= \sqrt{20^2+20^2}\angle\tan^{-1}\dfrac{20}{20} = 20\sqrt{2}\angle 45°\ \Omega$　　$Z = 20\sqrt{2}\ \Omega$

(2) $\overline{I} = \dfrac{I_m}{\sqrt{2}}\angle\theta_i = \dfrac{3}{\sqrt{2}}\angle 0° = \dfrac{3\sqrt{2}}{2}\angle 0°$ A

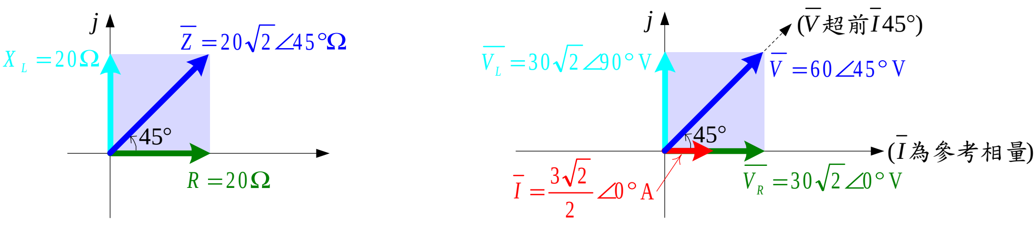
$\overline{V} = \overline{I}\cdot\overline{Z} = (\dfrac{3\sqrt{2}}{2}\angle 0°)\cdot(20\sqrt{2}\angle 45°) = 60\angle 45°$ V　　$V = 60$ V

(3) $\overline{V_R} = \overline{I} \cdot R = (\frac{3\sqrt{2}}{2}\angle 0°)\cdot(20) = 30\sqrt{2}\angle 0°\ \text{V}$ 　　$V_R = 30\sqrt{2}\ \text{V}$

(4) $\overline{V_L} = \overline{I} \cdot \overline{X_L} = (\frac{3\sqrt{2}}{2}\angle 0°)\cdot(20\angle 90°) = 30\sqrt{2}\angle 90°\ \text{V}$ 　　$V_L = 30\sqrt{2}\ \text{V}$

(5) $\theta_Z = \tan^{-1}\frac{X_L}{R} = \tan^{-1}\frac{20}{20} = 45°$ 或 $\theta_Z = \theta_v - \theta_i = 45° - 0° = 45°$

電路之相量圖如下圖所示



(a) 阻抗圖　　　　(b) $\overline{V}$ - $\overline{I}$ 相量圖

馬上練習 有一 R-L 串聯交流電路，若電流 $v(t) = 50\sqrt{2}\sin 500t\ \text{V}$ ，$R = 15\Omega$ ，$L = 40\text{mH}$ ，試求電路的 $\overline{Z}$ 、$\overline{I}$ 、$\overline{V_R}$ 、$\overline{V_L}$ 及 θ_Z 為多少？

【答】$\overline{Z} = 25\angle 53°\ \Omega$, $\overline{I} = 2\angle -53°\ \text{A}$, $\overline{V_R} = 30\angle -53°\ \text{V}$,
$\overline{V_L} = 40\angle 37°\ \text{V}$, $\theta_Z = 53°$ 。

單元評量

1. 有一 R-L 串聯交流電路，若電阻電壓降 $V_R = 12\text{V}$ ，電感電壓降 $V_L = 16\text{V}$ ，電阻為 30Ω ，感抗為 40Ω ，試求此電路的外加電壓為 ＿＿＿＿＿＿ V 與總阻抗值為 ＿＿＿＿＿＿ Ω 。

2. 有一 R-L 串聯交流電路，若外加電壓 $V = 50\text{V}$ ，電感端電壓 $V_L = 40\text{V}$ ，總阻抗 $Z = 250\Omega$ ，感抗 $X_L = 200\Omega$ ，試求此電路的電阻 $R =$ ＿＿＿＿ Ω，及電阻端電壓 $V_R =$ ＿＿＿＿ V 。

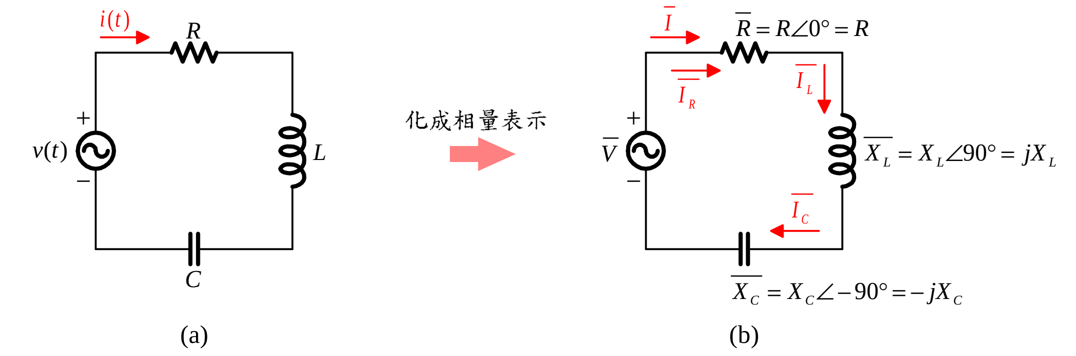
3. 有一 R-L 串聯交流電路，若 $R = 100\Omega$ 、 $X_L = 173\Omega$ ，電源電壓 $v(t) = 100\sqrt{2}\sin 1000t\ \text{V}$ ，試求電路的總阻抗 $\overline{Z} =$ ＿＿＿＿ Ω ，$\overline{I} =$ ＿＿＿＿ A ，$\overline{V_R} =$ ＿＿＿＿ V ，$\overline{V_L} =$ ＿＿＿＿ V 及 $L =$ ＿＿＿＿ mH 。

4. 有一 R-L 串聯交流電路，若 $R = 4\text{k}\Omega$ 、 $L = 1\text{H}$ ，電源電壓 $v(t) = 141.4\sin 3000t\ \text{V}$ ，試求電路的總阻抗 $\overline{Z} =$ ＿＿＿＿ Ω ，$\overline{I} =$ ＿＿＿＿ A ，$\overline{V_R} =$ ＿＿＿＿ V ，$\overline{V_L} =$ ＿＿＿＿ V 。

5. 有一 R-L 串聯電路，使用直流電壓 220V 測得電流為 27.5A；如果改使用交流電壓 220V ，測得電流為 22A ，則 $R =$ ＿＿＿＿ Ω ，$X_L =$ ＿＿＿＿ Ω 。

9-4 電阻／電感／電容串聯電路

阻抗



▲ 圖 9-15 *R-L-C* 串聯交流電路

圖 9-15 所示爲一 *R-L-C* 串聯交流電路，圖中電感器 *L* 的感抗爲 $X_L=\omega L=2\pi fL$，電容器 *C* 的容抗 $X_C=\dfrac{1}{\omega C}=\dfrac{1}{2\pi fC}$。根據前述，*R-L-C* 串聯交流電路的阻抗 $\overline{Z}$，即爲電阻 $\overline{R}$、感抗 $\overline{X_L}$ 與容抗 $\overline{X_C}$ 之相量和，以數學式表示爲：

Σ 重要公式

$$\begin{aligned}\overline{Z} &= \overline{R}+\overline{X_L}+\overline{X_C} = R\angle 0°+X_L\angle 90°+X_C\angle -90° \\ &= R+jX_L-jX_C = R+j(X_L-X_C) \\ &= \sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}\angle\tan^{-1}\frac{X_L-X_C}{R} = Z\angle\theta_Z\end{aligned}$$

〔Ω, 歐姆〕

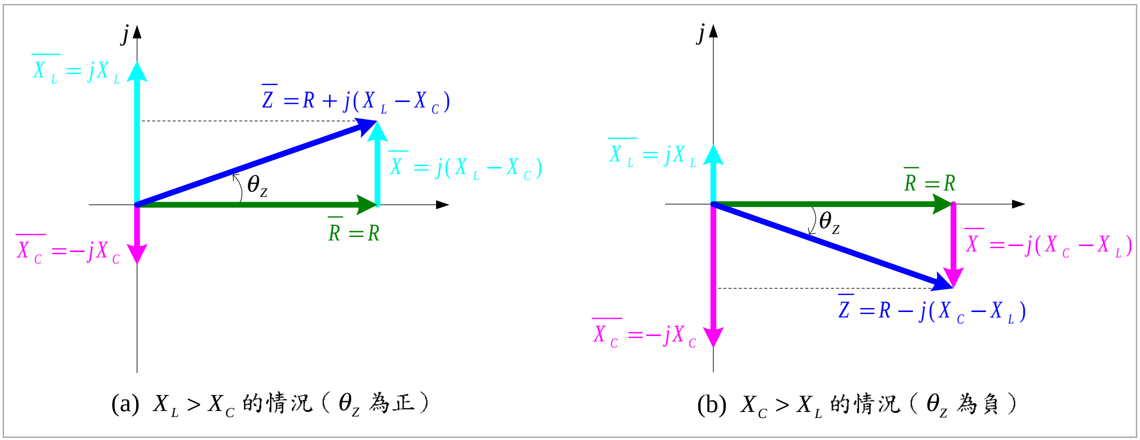
我們定義一個合成電抗：$\overline{X}=\overline{X_L}+\overline{X_C}=jX_L+(-jX_C)=j(X_L-X_C)$，其淨值為感抗與容抗的差值，亦是電路總阻抗的虛數部份。所以，總阻抗值 Z 的大小及阻抗角 θ_Z 可以表示成：

Σ 重要公式

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \quad 〔\Omega, 歐姆〕$$

$$\theta_Z = \angle \tan^{-1}\frac{X}{R} = \angle \tan^{-1}\frac{X_L - X_C}{R} \quad 〔°, 度〕$$

我們畫出 *R-L-C* 串聯交流電路的阻抗圖，如圖 9-16 所示。



▲ 圖 9-16　*R-L-C* 串聯交流電路的阻抗圖

電流

由串聯電路之電流特性知：串聯電路之總電流與流過各元件之電流相同。因此 *R-L-C* 串聯交流電路的電流可表示成：

Σ 重要公式

$$\overline{I} = \overline{I_R} = \overline{I_L} = \overline{I_C} \quad 〔A, 安培〕 \quad （即 I = I_R = I_L = I_C）$$

電壓

若電路中的電流 $\overline{I} = I\angle\theta_i$，則各元件的端電壓分別為：

$$\overline{V_R} = \overline{I}\cdot\overline{R} = (I\angle\theta_i)\cdot(R\angle 0^\circ) = IR\angle\theta_i = \overline{I}\cdot R\angle 0^\circ$$

（$\overline{V_R}$ 與 $\overline{I}$ 相位相同）

$$\overline{V_L} = \overline{I}\cdot\overline{X_L} = (I\angle\theta_i)\cdot(X_L\angle 90^\circ) = IX_L\angle(\theta_i+90^\circ) = \overline{I}\cdot X_L\angle 90^\circ$$

（$\overline{V_L}$ 超前 $\overline{I}$ 相位 90°）

$$\overline{V_C} = \overline{I}\cdot\overline{X_C} = (I\angle\theta_i)\cdot(X_C\angle -90^\circ) = IX_C\angle(\theta_i-90^\circ) = \overline{I}\cdot X_C\angle -90^\circ$$

（$\overline{V_C}$ 滯後 $\overline{I}$ 相位 90°）

由串聯電路之電壓特性（KVL）知：串聯電路的電源電壓等於各元件之電壓和。即 *R-L-C* 串聯交流電路之電壓 $\overline{V}$ 為 $\overline{V_R}$、$\overline{V_L}$、$\overline{V_C}$ 的相量和，其中 $\overline{V_L}$ 相位超前 $\overline{V_R}$ 相位 90°，$\overline{V_C}$ 相位滯後 $\overline{V_R}$ 相位 90°。以數學式表示為：

Σ 重要公式

$$\overline{V} = \overline{V_R}+\overline{V_L}+\overline{V_C} = \overline{I}\cdot R+\overline{I}\cdot(jX_L)+\overline{I}\cdot(-jX_C) \quad 〔\text{V, 伏特}〕$$

$$= \overline{I}[R+j(X_L-X_C)] = \overline{I}\cdot\overline{Z} = \overline{I}\cdot Z\angle\theta_Z$$

※相量圖

在 *R-L-C* 串聯交流電路中，如圖 9-17 所示，流過每個元件的電流皆相等，我們設定以電流 $\overline{I}$ 相量為基準（即 $I\angle\theta_i = I\angle 0^\circ$），所以各元件上的電壓可分別表示為：

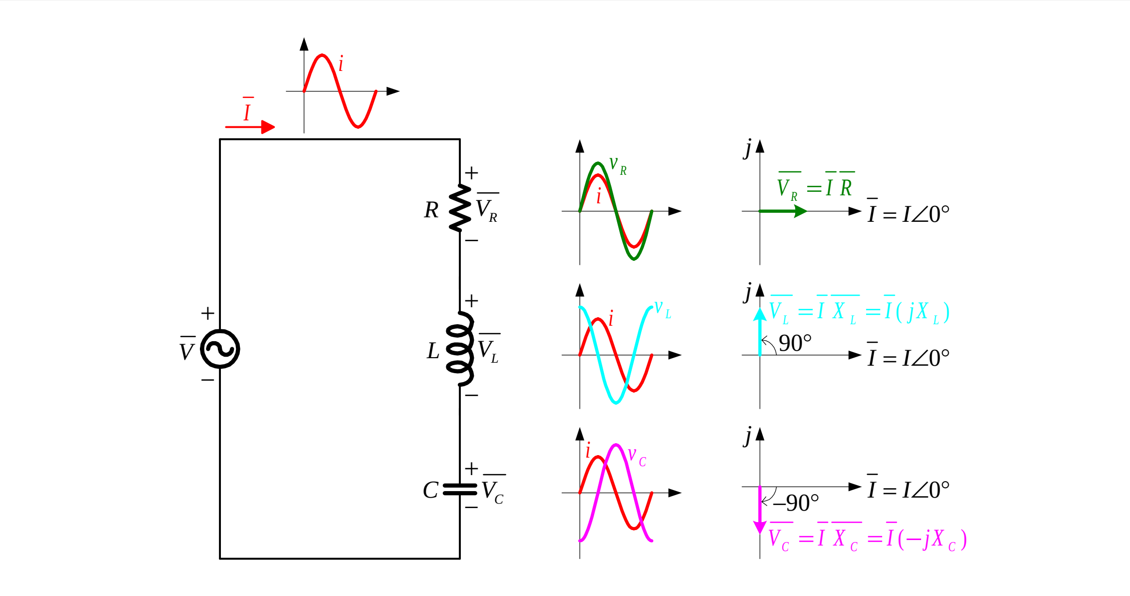
Σ 重要公式

$$\overline{V_R} = \overline{I}\cdot\overline{R} = \overline{I}\cdot R = IR\angle 0^\circ = V_R \quad 〔\text{V, 伏特}〕$$

$$\overline{V_L} = \overline{I}\cdot\overline{X_L} = \overline{I}\cdot(jX_L) = IX_L\angle 90^\circ = jV_L \quad 〔\text{V, 伏特}〕$$

$$\overline{V_C} = \overline{I}\cdot\overline{X_C} = \overline{I}\cdot(-jX_C) = IX_C\angle -90^\circ = -jV_C \quad 〔\text{V, 伏特}〕$$

我們將 *R-L-C* 串聯電路中各元件的電壓相量繪製如圖 9-17 所示。



▲ 圖 9-17 *R-L-C* **串聯電路中各元件電壓的相量圖** $\overline{V}_R$ 與 $\overline{I}$ 同相位；$\overline{V}_L$ 超前 $\overline{I}$ 相位 90°；$\overline{V}_C$ 滯後 $\overline{I}$ 相位 90°。

所以 *R-L-C* 串聯交流電路的總電壓 $\overline{V}$ 可改寫成：

Σ 重要公式

$$\begin{aligned}\overline{V} &= \overline{V}_R + \overline{V}_L + \overline{V}_C = V_R + jV_L + (-jV_C) \\ &= V_R + j(V_L - V_C) = V\angle\theta_Z\end{aligned}$$
〔V, 伏特〕

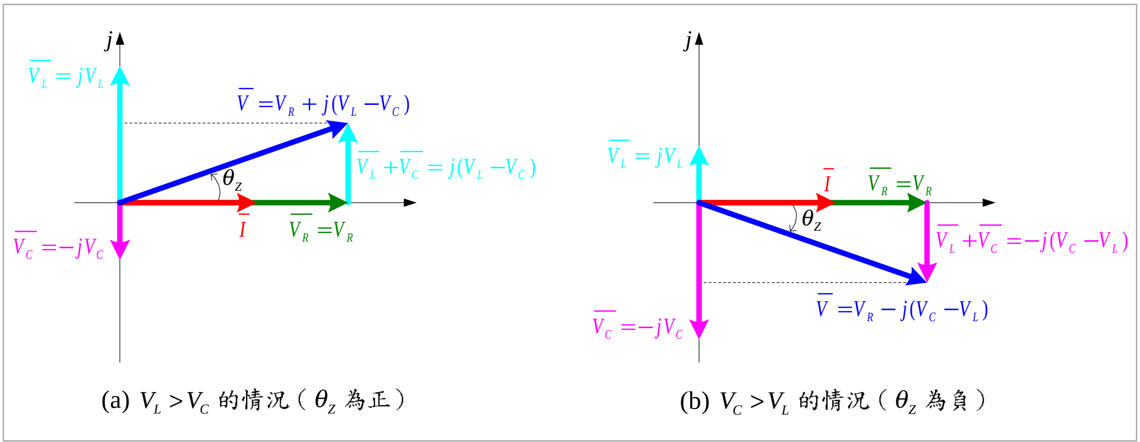
其中，電路的總電壓值 V 及相角（阻抗角）θ_Z 的大小為：

Σ 重要公式

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$ 〔V, 伏特〕

$$\theta_Z = \theta_v - \theta_i = \tan^{-1}\frac{V_L - V_C}{V_R}$$ 〔°, 度〕 （以 $\overline{I}$ 為基準）

圖 9-18 所示為 *R-L-C* 串聯交流電路的相量圖。



▲ 圖 9-18　*R-L-C* 串聯交流電路的 $\overline{V}$ - $\overline{I}$ 相量圖

相角

在交流串聯電路中，依其電壓對電流相位的超前、滯後或同相情形，可以將電路區分爲電感性、電容性或電阻性電路。說明如下：

- **電感性電路**：如果交流電路中的電流相位**滯後**電源電壓相位，我們稱這樣的電路爲**電感性電路**，就如同純電感電路中，通過電感器 L 的電流 $\overline{I}$ 滯後兩端電壓 $\overline{V_L}$ 的相位一般。**在 R-L-C 串聯電路中，若電抗 $X_L>X_C$，則電壓 $V_L>V_C$（$\because$ 通過的電流 I 相同），如圖 9-18(a)所示，電路總電壓 $\overline{V}$ 的相位會超前電流 $\overline{I}$（即電流相位滯後電壓相位），電路呈電感性電路**。此時電路的相角（即阻抗角）θ_Z 爲正值，即：

Σ 重要公式

$$\theta_Z=\theta_v-\theta_i=+\tan^{-1}\frac{V_L-V_C}{V_R}=+\tan^{-1}\frac{X_L-X_C}{R}\quad〔°, 度〕$$

- **電容性電路**：如果交流電路中的電流相位**超前**電源電壓相位，我們稱這樣的電路爲**電容性電路**，就如同純電容電路中，通過電容器 C 的電流 $\overline{I}$ 超前兩端電壓 $\overline{V_C}$ 的相位一般。**在 R-L-C 串聯電路中，若電抗 $X_C>X_L$，則電壓 $V_C>V_L$（$\because$ 通過的電流 I 相同），如圖 9-18(b)所示，電路總電壓 $\overline{V}$ 的相位會滯後電流 $\overline{I}$（即電流相位超前電壓相位），電路呈電容性電路**。此時電路的相角（即阻抗角）θ_Z 爲負值，即：

Σ 重要公式

$$\theta_Z = \theta_v - \theta_i = -\tan^{-1}\frac{V_C - V_L}{V_R} = -\tan^{-1}\frac{X_C - X_L}{R} \quad 〔°, 度〕$$

- **電阻性電路**：如果交流電路中的電流相位與電源電壓相位**相同**，我們稱這樣的電路爲**電阻性電路**，就如同純電阻電路中，通過電阻器 R 的電流 $\overline{I}$ 與兩端電壓 $\overline{V_R}$ 的相位相同一般。**在 R-L-C 串聯電路中，若電抗 $X_L = X_C$，則電壓 $V_L = V_C$（∵通過的電流 I 相同），電路的總電壓 $\overline{V}$ 與電流 $\overline{I}$ 同相位，其相角等於零，這種情況便是電路的諧振現象**，我們將在第 11 章中有詳細的探討。

※ R-L-C 串聯交流電路總結

1. 阻抗：

$$\overline{Z} = \overline{R} + \overline{X_L} + \overline{X_C} = R + j(X_L - X_C) = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}\angle\tan^{-1}\frac{X_L - X_C}{R}$$

$= Z\angle\theta_Z$，其中 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ 。

2. 若已知 $\overline{V} = V\angle\theta_v$，則 $\overline{I} = \dfrac{\overline{V}}{\overline{Z}} = \dfrac{V\angle\theta_v}{Z\angle\theta_Z} = \dfrac{V}{Z}\angle(\theta_v - \theta_Z)$，其中 $I = \dfrac{V}{Z}$ 。

3. 若已知 $\overline{I} = I\angle\theta_i$，則 $\overline{V} = \overline{I}\cdot\overline{Z} = (I\angle\theta_i)\cdot(Z\angle\theta_Z) = IZ\angle(\theta_i + \theta_Z)$，其中 $V = IZ$ 。

4. $\overline{V_R} = \overline{I}\cdot\overline{R} = \overline{I}\cdot R$，其中 $V_R = IR$ 。

5. $\overline{V_L} = \overline{I}\cdot\overline{X_L} = \overline{I}\cdot(jX_L) = \overline{I}\cdot X_L\angle 90°$，其中 $V_L = IX_L$ 。

6. $\overline{V_C} = \overline{I}\cdot\overline{X_C} = \overline{I}\cdot(-jX_C) = \overline{I}\cdot X_C\angle -90°$，其中 $V_C = IX_C$ 。

7. $\overline{V} = \overline{V_R} + \overline{V_L} + \overline{V_C} = V_R + j(V_L - V_C) = \overline{I}\cdot\overline{Z}$，其中

$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} = IZ$ （∵ $\overline{V_L}$ 超前 $\overline{V_R}$ 90°，$\overline{V_C}$ 滯後 $\overline{V_R}$ 90°，$\overline{V_L}$ 與 $\overline{V_C}$ 相差 180°）。

8. 電路之相角：$\theta_Z = \theta_v - \theta_i = \tan^{-1}\dfrac{X_L - X_C}{R} = \tan^{-1}\dfrac{V_L - V_C}{V_R}$ （以電流 $\overline{I}$ 爲基準，請參閱圖 9-16 、 9-18）

(1) 若 $X_L > X_C$ 時，則電路呈電感性；$\theta_Z = +\tan^{-1}\dfrac{X_L - X_C}{R} > 0°$ ，θ_Z 爲正，表示其電路總電壓 $\overline{V}$ **超前**電流 $\overline{I}$ θ 角度。

(2) 若 $X_C > X_L$ 時，則電路呈電容性；$\theta_Z = -\tan^{-1}\dfrac{X_C - X_L}{R} < 0°$ ，θ_Z 爲負，表示其電路總電壓 $\overline{V}$ **滯後**電流 $\overline{I}$ $|\theta_Z|$ 角度。

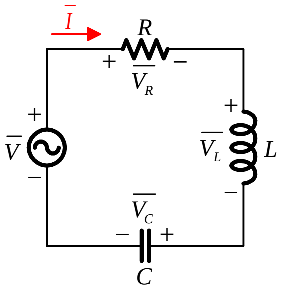
範例 9-6

如右圖所示之 R-L-C 串聯交流電路，若 $v(t) = 100\sqrt{2}\sin 2000t$ V ，$R = 3\Omega$ ，$L = 3\text{mH}$ ，$C = 250\mu\text{F}$ ，試求

(1)總阻抗 $\overline{Z}$ 、 Z　(2)總電流 $\overline{I}$ 、 I

(3)電阻器電壓 $\overline{V_R}$ 、 V_R　(4)電感器電壓 $\overline{V_L}$ 、 V_L

(5)電容器電壓 $\overline{V_C}$ 、 V_C　(6)電路之相角 θ_Z 及相量圖為何？



【解】$\overline{V} = \dfrac{V_m}{\sqrt{2}}\angle\theta_v = \dfrac{100\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\angle 0° = 100\angle 0°$ V

電感抗：$X_L = \omega L = 2000\times(3\times10^{-3}) = 6\,\Omega$

電容抗：$X_C = \dfrac{1}{\omega C} = \dfrac{1}{2000\times(250\times10^{-6})} = 2\,\Omega$

(1) $\overline{Z} = R + j(X_L - X_C) = 3 + j(6-2) = 3 + j4$

$= \sqrt{3^2 + 4^2}\angle\tan^{-1}\dfrac{4}{3} = 5\angle 53°\,\Omega$　　$Z = 5\,\Omega$

(2) $\overline{I} = \dfrac{\overline{V}}{\overline{Z}} = \dfrac{100\angle 0°}{5\angle 53°} = 20\angle -53°$ A　　$I = 20$ A

(3) $\overline{V_R} = \overline{I}\cdot R = (20\angle -53°)\cdot 3 = 60\angle -53°$ V　　$V_R = 60$ V

(4) $\overline{V_L} = \overline{I}\cdot\overline{X_L} = (20\angle -53°)\cdot(6\angle 90°) = 120\angle 37°$ V　　$V_L = 120$ V

(5) $\overline{V_C} = \overline{I}\cdot\overline{X_C} = (20\angle -53°)\cdot(2\angle -90°) = 40\angle -143°$ V　　$V_C = 40$ V

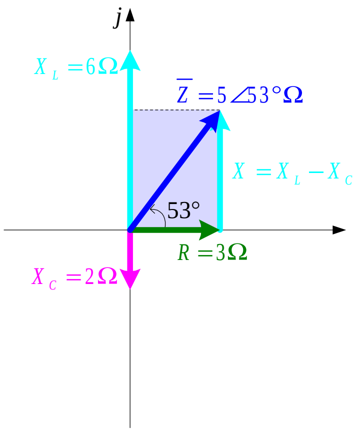
(6) $\theta_Z = \tan^{-1}\dfrac{X_L - X_C}{R} = \tan^{-1}\dfrac{6-2}{3} = \tan^{-1}\dfrac{4}{3} = 53^\circ$

或 $\theta_Z = \theta_v - \theta_i = 0^\circ - (-53^\circ) = 53^\circ$

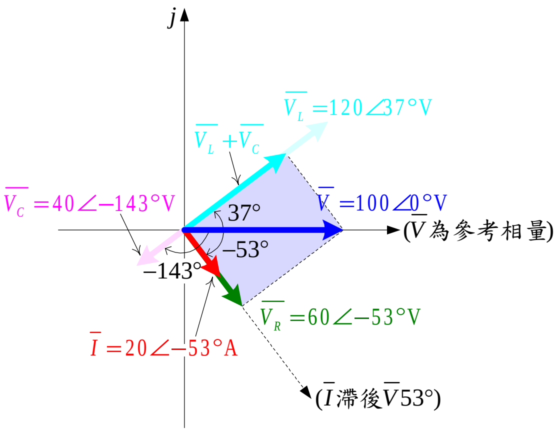
$\because X_L > X_C$，電路呈電感性　$\therefore$電路總電壓 $\overline{V}$ 超前電流 $\overline{I}$ 相位 53°

（註：交流串聯電路以電流 $\overline{I}$ 為基準。）

電路之相量圖如下圖所示



(a) 阻抗圖



(b) $\overline{V}$ - $\overline{I}$ 相量圖

馬上練習　承上題所示之 R-L-C 串聯交流電路，若 $\overline{I} = 2\angle 0^\circ A$，$R = 40\Omega$，$X_L = 30\Omega$，$X_C = 60\Omega$，試求

(1)總阻抗 $\overline{Z}$、Z　　(2)總電壓 $\overline{V}$、V

(3)電阻器電壓 $\overline{V_R}$、V_R　　(4)電感器電壓 $\overline{V_L}$、V_L

(5)電容器電壓 $\overline{V_C}$、V_C　　(6)電路之相角 θ_Z 為多少？

【答】(1) $\overline{Z} = 50\angle -37^\circ\ \Omega$, $Z = 50\ \Omega$

(2) $\overline{V} = 100\angle -37^\circ\ V$, $V = 100\ V$

(3) $\overline{V_R} = 80\angle 0^\circ\ V$, $V_R = 80\ V$

(4) $\overline{V_L} = 60\angle 90^\circ\ V$, $V_L = 60\ V$

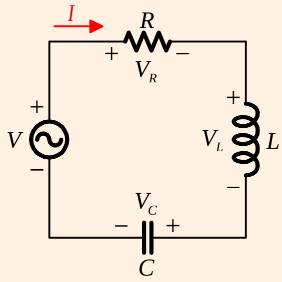
(5) $\overline{V_C} = 120\angle -90^\circ\ V$, $V_C = 120\ V$

(6) $\theta_Z = -37^\circ$

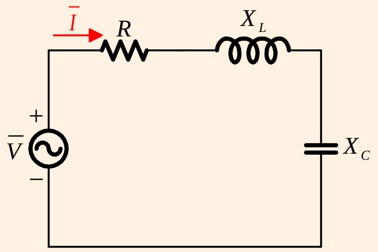
單元評量

1. 如圖(1)所示之 R-L-C 串聯電路，若 $V_C > V_L$，則：(1)電路呈 ______ 性 (2)電壓 V_R 相位 ______ 電壓 V (3)電壓 V 相位 ______ 電流 I (4)電流 I 相位 ______ 電壓 V_C。（填入超前或滯後）

2. 如圖(1)所示電路，若以一理想交流伏特表測得：$V_R = 30\text{V}$、$V_L = 40\text{V}$、$V_C = 80\text{V}$，則電源 V 的大小為 ________ V。



圖(1)



圖(2)

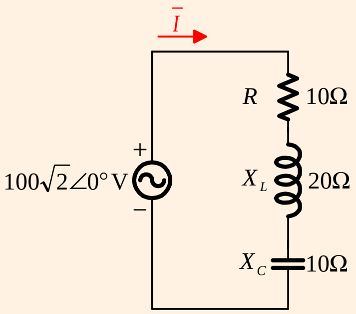
3. 如圖(2)所示電路，若 $\overline{V} = 100\angle 0°\text{V}$，$R = 10\Omega$，$X_L = 5\Omega$，$X_C = 15\Omega$，則電流 I 為 ________ A，相角 $\theta_Z =$ ________ 。

4. 如圖(3)所示電路，則電路之

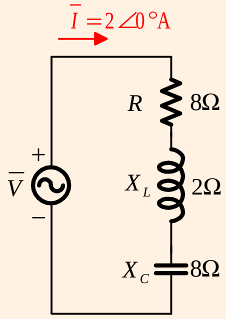
(1)總阻抗 $\overline{Z} =$ ________ Ω　　(2)電阻器電壓 $\overline{V_R} =$ ________ V

(3)電感器電壓 $\overline{V_L} =$ ________ V　　(4)電容器電壓 $\overline{V_C} =$ ________ V

(5)總電流 $\overline{I} =$ ________ A　　(6)相角 $\theta_Z =$ ________ 。



圖(3)



圖(4)

5. 如圖(4)所示電路，則電路之

(1)總阻抗 $Z =$ ________ Ω　　(2)電阻器電壓 $\overline{V_R} =$ ________ V

(3)電感器電壓 $\overline{V_L} =$ ________ V　　(4)電容器電壓 $\overline{V_C} =$ ________ V

(5)總電壓 $\overline{V} =$ ________ V　　(6)相角 $\theta_Z =$ ________ 。

9-5　電阻／電容並聯電路

基本知識

有關交流並聯電路電路的解法，可以利用基本電學 I 第 3 章中並聯電路的觀念來解析，說明如下：

1. 直流並聯電路（如圖 9-19 所示）：

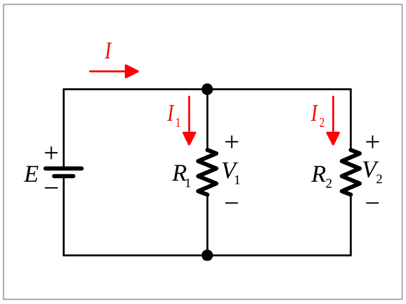
電壓：$E = V_1 = V_2$　　（伏特）

電流：$I = I_1 + I_2$　　（安培）

由上式可知：$\dfrac{E}{R} = \dfrac{V_1}{R_1} + \dfrac{V_2}{R_2} = \dfrac{E}{R_1} + \dfrac{E}{R_2}$，

即　電阻：$\dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}$　　（歐姆）

電導：$G = G_1 + G_2$　　（姆歐）



▲ 圖 9-19　直流並聯電路

2. 交流並聯電路（如圖 9-20 所示）：

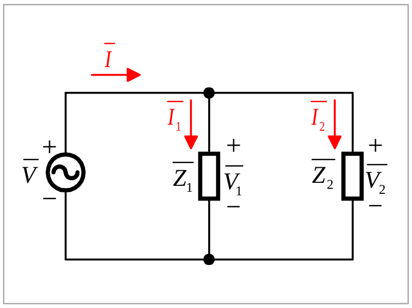
電壓：$\overline{V} = \overline{V_1} = \overline{V_2}$　　（伏特）

電流：$\overline{I} = \overline{I_1} + \overline{I_2}$　　（安培）

由上式可知：$\dfrac{\overline{V}}{\overline{Z}} = \dfrac{\overline{V_1}}{\overline{Z_1}} + \dfrac{\overline{V_2}}{\overline{Z_2}} = \dfrac{\overline{V}}{\overline{Z_1}} + \dfrac{\overline{V}}{\overline{Z_2}}$，

即　阻抗：$\dfrac{1}{\overline{Z}} = \dfrac{1}{\overline{Z_1}} + \dfrac{1}{\overline{Z_2}}$　　（歐姆）

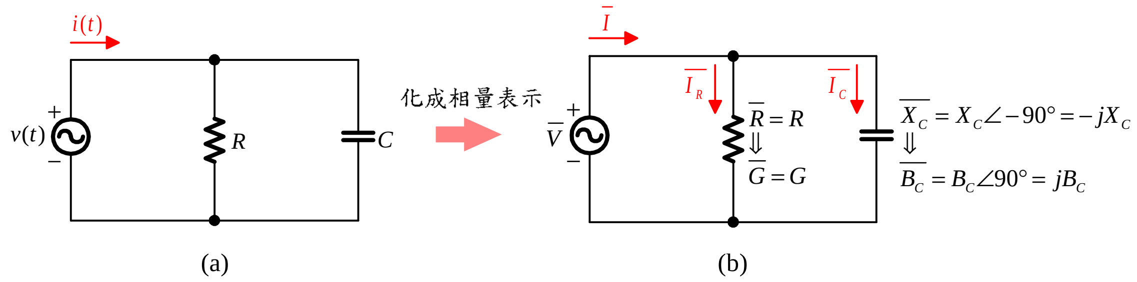
導納：$\overline{Y} = \overline{Y_1} + \overline{Y_2}$　　（姆歐）



▲ 圖 9-20　交流並聯電路

上式中，阻抗 Z 的倒數稱爲**導納**（admittance，記爲 Y），其單位爲姆歐（℧），或西門子（S）。交流電路中的導納值，除了電阻所造成之電導值 G 外，尚包括電容及電感所造成之**電納**（susceptance，記爲 B），其中電容所造成之容抗的倒數稱爲**容納**（capcitive susceptance，記爲 B_C），而電感所造成之感抗的倒數則稱爲**感納**（inductive susceptance，記爲 B_L）。

導納



▲ 圖 9-21　*R-C* 並聯交流電路

圖 9-21 所示爲一 *R-C* 並聯交流電路，圖中電容器 C 的容抗爲 $X_C=\dfrac{1}{\omega C}=\dfrac{1}{2\pi fC}$（歐姆）。而 G 爲電阻器的電導，其值爲 $G=\dfrac{1}{R}$（姆歐）；B_C 爲電容器的容納，其值爲 $B_C=\dfrac{1}{X_C}=\omega C=2\pi fC$（姆歐），相量式爲：

Σ 重要公式

$$\overline{B_C}=\frac{1}{\overline{X_C}}=\frac{1}{-jX_C}=+jB_C=B_C\angle 90°\quad〔℧,\ 姆歐〕$$

根據前述，*R-C* 並聯交流電路的導納 $\overline{Y}$，即爲電阻器的電導 $\overline{G}$ 與電容器的容納 $\overline{B_C}$ 之相量和，以數學式表示爲：

Σ 重要公式

$$\begin{aligned}\overline{Y}&=\overline{G}+\overline{B_C}=G\angle 0°+B_C\angle 90°=G+jB_C\\&=\sqrt{G^2+B_C^2}\angle\tan^{-1}\frac{B_C}{G}=Y\angle\theta_Y\end{aligned}\quad〔℧,\ 姆歐〕$$

我們稱 θ_Y 爲電路的**導納角**，而 *R-C* 並聯交流電路的導納大小可表示爲：

Σ 重要公式

$$Y=\sqrt{G^2+B_C^2}=\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2+(\omega C)^2}=\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2+(2\pi fC)^2}\quad〔℧,\ 姆歐〕$$

※阻抗

依圖 9-21 所示之 *R-C* 並聯交流電路，其阻抗為：

Σ 重要公式

$$\overline{Z} = \frac{1}{\overline{Y}} = \frac{1}{G + jB_C} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\frac{1}{X_C}} = \frac{RX_C^2}{R^2 + X_C^2} - j\frac{R^2 X_C}{R^2 + X_C^2}$$ 〔Ω, 歐姆〕

電壓

由並聯電路之電壓特性知：並聯電路之電源電壓與各元件之端電壓相等。因此 *R-C* 並聯交流電路的電壓可表示成：

Σ 重要公式

$$\overline{V} = \overline{V_R} = \overline{V_C}$$ 〔V, 伏特〕　（即 $V = V_R = V_C$）

電流

若電路中的電壓 $\overline{V} = V\angle\theta_v$，則通過電阻器的電流為：

$$\overline{I_R} = \frac{\overline{V}}{\overline{R}} = \frac{V\angle\theta_v}{R\angle 0^\circ} = \frac{V}{R}\angle\theta_v = \frac{V}{R}\angle 0^\circ$$

$$= \overline{V}\cdot\overline{G} = (V\angle\theta_v)\cdot(G\angle 0^\circ) = VG\angle\theta_v = \overline{V}\cdot G\angle 0^\circ$$

（$\overline{I_R}$ 與 $\overline{V}$ 相位相同）

而通過電容器的電流為：

$$\overline{I_C} = \frac{\overline{V}}{\overline{X_C}} = \frac{V\angle\theta_v}{X_C\angle -90^\circ} = \frac{V}{X_C}\angle(\theta_v + 90^\circ) = \frac{\overline{V}}{X_C}\angle 90^\circ$$

$$= \overline{V}\cdot\overline{B_C} = (V\angle\theta_v)\cdot(B_C\angle 90^\circ) = VB_C\angle(\theta_v + 90^\circ) = \overline{V}\cdot B_C\angle 90^\circ$$

（$\overline{I_C}$ 超前 $\overline{V}$ 相位 90°）

由並聯電路之電流特性（根據克希荷夫電流定律）知：並聯電路的總電流等於流過各元件之分路電流和。即 R-C 並聯交流電路之電流 $\overline{I}$ 為 $\overline{I_R}$ 與 $\overline{I_C}$ 的相量和，其中 $\overline{I_C}$ 相位超前 $\overline{I_R}$ 相位 90°。以數學式表示為：

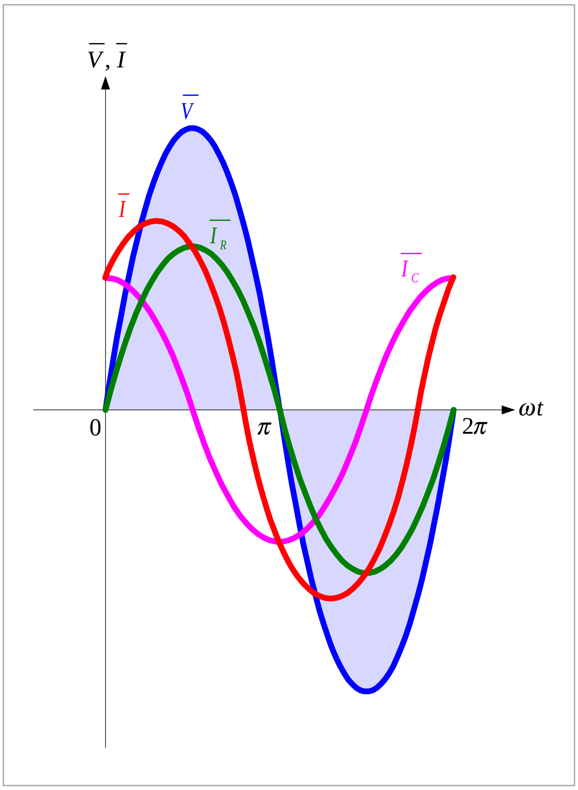
Σ 重要公式

$$\overline{I}=\overline{I_R}+\overline{I_C}=\overline{V}\cdot G+\overline{V}\cdot(jB_C)=\overline{V}\cdot(G+jB_C)=\overline{V}\cdot\overline{Y}=\overline{V}\cdot Y\angle\theta_Y \text{〔A,安培〕}$$

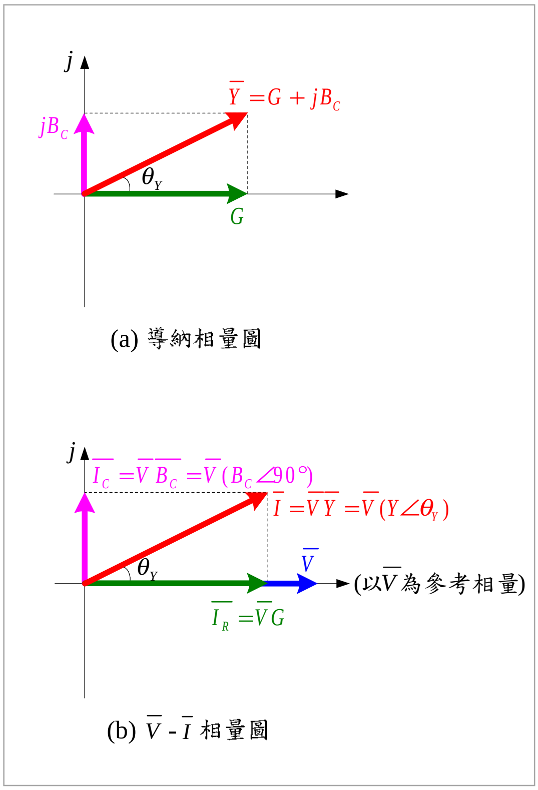
$$\text{（即 } I=VY \quad I_R=VG \quad I_C=VB_C \quad \theta_Y=+\tan^{-1}\frac{B_C}{G}\text{ ）}$$

※相量圖

在 R-C 並聯交流電路中，電阻 R 的電流 $\overline{I_R}$ 與電源電壓 $\overline{V}$ 的相位相同；電容 C 的電流 $\overline{I_C}$ 相位超前電壓 $\overline{V}$ 相位 90°。其波形如圖 9-22 所示。



▲ 圖 9-22 R-C 並聯交流電路的波形圖



▲ 圖 9-23 R-C 並聯交流電路的相量圖

由於在交流並聯電路中，電源電壓與每個元件之端電壓皆相等，因此將電路的相量圖以電源電壓的相位為參考原點。圖 9-23 所示即爲 *R-C* 並聯交流電路的相量圖。

相角

由圖 9-23 的相量圖，可以求得電路之電流對電壓的相角（即導納角）θ_Y 爲：

Σ 重要公式

$$\theta_Y = +\tan^{-1}\frac{I_C}{I_R} = +\tan^{-1}\frac{VB_C}{VG} = +\tan^{-1}\frac{B_C}{G} = +\tan^{-1}\frac{R}{X_C} = +\tan^{-1}\omega CR \quad [\,^\circ, 度\,]$$

上式中 θ_Y 爲正，代表電流 $\overline{I}$ 相對於電壓 $\overline{V}$ 的相角位於第一象限，即表示電流 $\overline{I}$ 相位超前電壓 $\overline{V}$ 相位 θ_Y 角度，其中 $0^\circ < \theta < 90^\circ$。若電壓 $\overline{V} = V\angle 0^\circ$，則電流 $\overline{I}$ 可表示成：$\overline{I} = I\angle\theta_Y$。

註：此處的並聯交流電路，其相角 θ_Y 是以電壓 $\overline{V}$ 相位為基準，與在串聯交流電路時以電流 $\overline{I}$ 相位為基準的設定不同。

※ *R-C* 並聯交流電路總結

1. 導納：$\overline{Y} = \overline{G} + \overline{B_C} = G + jB_C = \sqrt{G^2 + B_C^2}\angle\tan^{-1}\frac{B_C}{G} = Y\angle\theta_Y$，其中 $Y = \sqrt{G^2 + B_C^2}$，$0^\circ < \theta_Y < 90^\circ$。
2. 若已知 $\overline{V} = V\angle\theta_v$，則 $\overline{I} = \overline{V}\cdot\overline{Y} = (V\angle\theta_v)\cdot(Y\angle\theta_Y) = VY\angle(\theta_v + \theta_Y)$，其中 $I = VY$。
3. 若已知 $\overline{I} = I\angle\theta_i$，則 $\overline{V} = \frac{\overline{I}}{\overline{Y}} = \frac{I\angle\theta_i}{Y\angle\theta_Y} = \frac{I}{Y}\angle(\theta_i - \theta_Y)$，其中 $V = \frac{I}{Y}$。
4. $\overline{I_R} = \overline{V}\cdot\overline{G} = \overline{V}\cdot G$，其中 $I_R = VG$。
5. $\overline{I_C} = \overline{V}\cdot\overline{B_C} = \overline{V}\cdot(jB_C) = \overline{V}\cdot B_C\angle 90^\circ$，其中 $I_C = VB_C$。

6. $\overline{I} = \overline{I_R} + \overline{I_C} = \overline{V} \cdot \overline{Y}$，其中 $I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = VY$

（$\because \overline{I_R}$ 與 $\overline{I_C}$ 相差 90°）。

7. 相角：若已知 $\overline{V} = V\angle\theta_v$、$\overline{I} = I\angle\theta_i$，則電路之相角（導納角）

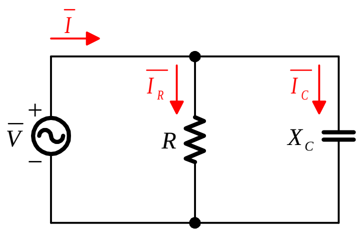
$\theta_Y = \theta_i - \theta_v = +\tan^{-1}\dfrac{B_C}{G} = +\tan^{-1}\dfrac{I_C}{I_R}$（交流串聯電路以電壓 $\overline{V}$ 為基準，則 $0° < \theta_Y < 90°$，θ_Y 為正，即電流 $\overline{I}$ 超前電壓 $\overline{V}$ θ_Y 角度）。

範例 9-7

如右圖所示之 R-C 並聯交流電路，

若 $v(t) = 100\sin(157t + 30°)$V，$R = 50\Omega$，

$X_C = 50\Omega$，試求



(1)總導納 $\overline{Y}$、Y　　(2)總電流 $\overline{I}$、I

(3)電阻器電流 $\overline{I_R}$、I_R　　(4)電容器電流 $\overline{I_C}$、I_C

(5)相角 θ_Y 及相量圖為何？

【解】(1) $G = \dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{50} = 0.02\ ℧$　　$B_C = \dfrac{1}{X_C} = \dfrac{1}{50} = 0.02\ ℧$

$\overline{Y} = \overline{G} + \overline{B_C} = G + jB_C = 0.02 + j0.02$

$= \sqrt{0.02^2 + 0.02^2}\angle\tan^{-1}\dfrac{0.02}{0.02} = 0.02\sqrt{2}\angle 45°\ ℧$　　$Y = 0.02\sqrt{2}\ ℧$

(2) $\overline{V} = \dfrac{V_m}{\sqrt{2}}\angle\theta_v = \dfrac{100}{\sqrt{2}}\angle 30° = 50\sqrt{2}\angle 30°$ V

$\overline{I} = \overline{V} \cdot \overline{Y} = (50\sqrt{2}\angle 30°)\cdot(0.02\sqrt{2}\angle 45°) = 2\angle 75°$ A　　$I = 2$ A

(3) $\overline{I_R} = \overline{V} \cdot G = (50\sqrt{2}\angle 30°)\cdot(0.02) = \sqrt{2}\angle 30°$ A　　$I_R = \sqrt{2}$ A

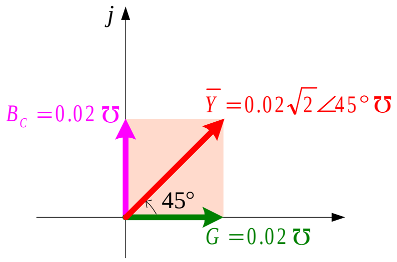
(4) $\overline{I_C} = \overline{V} \cdot \overline{B_C} = (50\sqrt{2}\angle 30°)\cdot(0.02\angle 90°) = \sqrt{2}\angle 120°$ A　$I_C = \sqrt{2}$ A

(5) $\theta_Y = \tan^{-1}\dfrac{B_C}{G} = \tan^{-1}\dfrac{0.02}{0.02} = 45°$

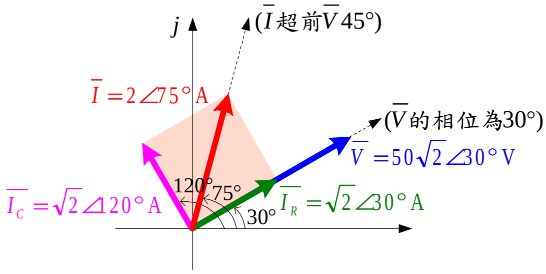
或 $\theta_Y = \theta_i - \theta_v = 75° - 30° = 45°$

（註：相角 θ_Y 以電壓相位為基準，與串聯交流電路不同。）

電路之相量圖如下圖所示



(a) 導納圖



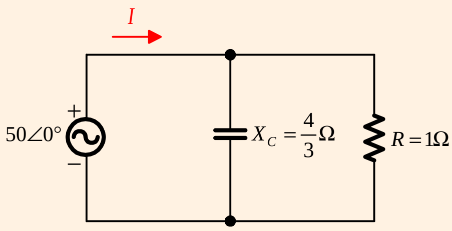
(b) $\overline{V}$ - $\overline{I}$ 相量圖

馬上練習　有一 R-C 並聯交流電路，若電流 $i(t)=2\sqrt{2}\sin(5000t+53°)$A ，$R=15\Omega$ ，$C=10\mu$F，試求電路的 $\overline{Y}$ 、$\overline{V}$ 、$\overline{I_R}$ 、$\overline{I_C}$ 及 θ_Y 為多少？

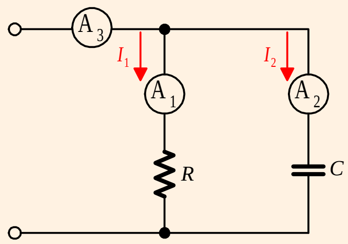
【答】$\overline{Y}=\dfrac{1}{12}\angle 37°$ ℧ ，$\overline{V}=24\angle 16°$ V，$\overline{I_R}=1.6\angle 16°$ A，$\overline{I_C}=1.2\angle 106°$ A，$\theta_Y=37°$。

單元評量

1. 將一電阻 $R=10\Omega$ 與容抗 $X_C=10\Omega$ 並聯，則並聯後的總導納 $\overline{Y}=$ ______ ℧。
2. 如圖(1)所示電路，並聯電路中的電流 $I=$ ______ A，電路之導納 $Y=$ ______ ℧。
3. 如圖(2)所示電路，設三個安培計均為理想的儀表，若安培計 A_1 及 A_2 之讀值均為 5A，則安培計 A_3 之讀值為 ______ A。



圖(1)

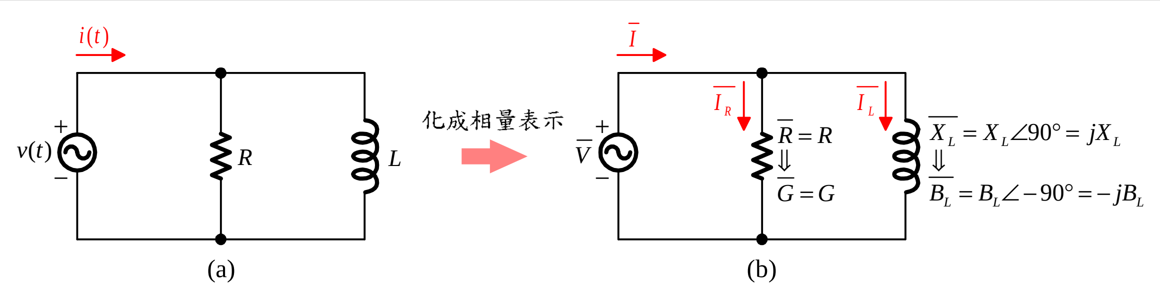


圖(2)

4. 有一 R-C 並聯交流電路，若外加電源電壓為 120V 、 60Hz，電阻為 20Ω，容抗為 15Ω，試求電路的導納 $Y=$ ______ ℧，電阻電流 $I_R=$ ______ A，電容電流 $I_C=$ ______ A，總電流 $I=$ ______ A，電流與電壓之相位關係：電流 ______ 電壓 ______。（請填入超前或滯後的相角）
5. 有一 R-C 並聯交流電路，若外加電源電壓為 $v(t)=141.4\sin(10t+30°)$V，電阻為 1kΩ，電容量為 75μF，試求電路的電阻電流 $\overline{I_R}=$ ______ mA，電容電流 $\overline{I_C}=$ ______ mA，總電流 $\overline{I}=$ ______ mA，相角 $\theta_Y=$ ______。

9-6 電阻／電感並聯電路

導納



▲ 圖 9-24 *R-L* 並聯交流電路

圖 9-24 所示為一 *R*-*L* 並聯交流電路，圖中電感器 *L* 的感抗為 $X_L=\omega L=2\pi fL$（歐姆）。而 *G* 為電阻器的電導，其值為 $G=\dfrac{1}{R}$（姆歐）；B_L 為電感器的感納，其值為 $B_L=\dfrac{1}{X_L}=\dfrac{1}{\omega L}=\dfrac{1}{2\pi fL}$（姆歐），相量式為：

Σ 重要公式

$$\overline{B_L}=\frac{1}{\overline{X_L}}=\frac{1}{jX_L}=-jB_L=B_L\angle -90° \quad 〔℧, 姆歐〕$$

根據前述，*R-L* 並聯交流電路的導納 $\overline{Y}$，即為電阻器的電導 $\overline{G}$ 與電感器的感納 $\overline{B_L}$ 之相量和，以數學式表示為：

Σ 重要公式

$$\overline{Y}=\overline{G}+\overline{B_L}=G\angle 0°+B_L\angle -90°=G-jB_L$$
$$=\sqrt{G^2+B_L^2}\angle -\tan^{-1}\frac{B_L}{G}=Y\angle\theta_Y \quad 〔℧, 姆歐〕$$

因此 *R-L* 並聯交流電路的導納大小可表示為：

Σ 重要公式

$$Y=\sqrt{G^2+B_L^2}=\sqrt{(\frac{1}{R})^2+(\frac{1}{\omega L})^2}=\sqrt{(\frac{1}{R})^2+(\frac{1}{2\pi fL})^2} \quad 〔℧, 姆歐〕$$

※阻抗

依圖 9-24 所示之 *R-L* 並聯交流電路，其阻抗為：

Σ 重要公式

$$\overline{Z} = \frac{1}{\overline{Y}} = \frac{1}{G - jB_L} = \frac{1}{\frac{1}{R} - j\frac{1}{X_L}} = \frac{RX_L^2}{R^2 + X_L^2} - j\frac{R^2 X_L}{R^2 + X_L^2} \quad [\Omega, \text{歐姆}]$$

電壓

由並聯電路之電壓特性知：並聯電路之電源電壓與各元件之端電壓相等。因此 *R-L* 並聯交流電路的電壓可表示成：

Σ 重要公式

$$\overline{V} = \overline{V_R} = \overline{V_L} \quad [\text{V, 伏特}]$$

（即 $V = V_R = V_L$ ）

電流

若電路中的電壓 $\overline{V} = V\angle\theta_v$，則通過電阻器的電流為：

$$\overline{I_R} = \frac{\overline{V}}{\overline{R}} = \frac{V\angle\theta_v}{R\angle 0°} = \frac{V}{R}\angle\theta_v = \frac{\overline{V}}{R}\angle 0°$$

$$= \overline{V}\cdot\overline{G} = (V\angle\theta_v)\cdot(G\angle 0°) = VG\angle\theta_v = \overline{V}\cdot G\angle 0°$$

（ $\overline{I_R}$ 與 $\overline{V}$ 相位相同）

而通過電感器的電流為：

$$\overline{I_L} = \frac{\overline{V}}{\overline{X_L}} = \frac{V\angle\theta_v}{X_L\angle 90°} = \frac{V}{X_L}\angle(\theta_v - 90°) = \frac{\overline{V}}{X_L}\angle -90°$$

$$= \overline{V}\cdot\overline{B_L} = (V\angle\theta_v)\cdot(B_L\angle -90°) = VB_L\angle(\theta_v - 90°) = \overline{V}\cdot B_L\angle -90°$$

（ $\overline{I_L}$ 滯後 $\overline{V}$ 相位 90° ）

由並聯電路之電流特性（根據克希荷夫電流定律）知：並聯電路的總電流等於流過各元件之分路電流和。即 *R-L* 並聯交流電路之電流 $\overline{I}$ 爲 $\overline{I_R}$ 與 $\overline{I_L}$ 的相量和，其中 $\overline{I_L}$ 相位滯後 $\overline{I_R}$ 相位 90°。以數學式表示爲：

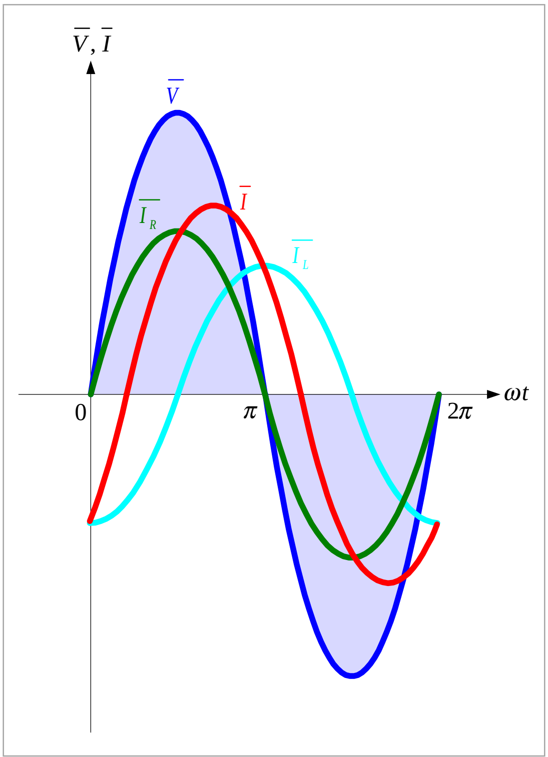
Σ 重要公式

$$\overline{I}=\overline{I_R}+\overline{I_L}=\overline{V}\cdot G+\overline{V}\cdot(-jB_L)=\overline{V}\cdot(G-jB_L)=\overline{V}\cdot\overline{Y}=\overline{V}\cdot Y\angle\theta_Y \text{〔A,安培〕}$$

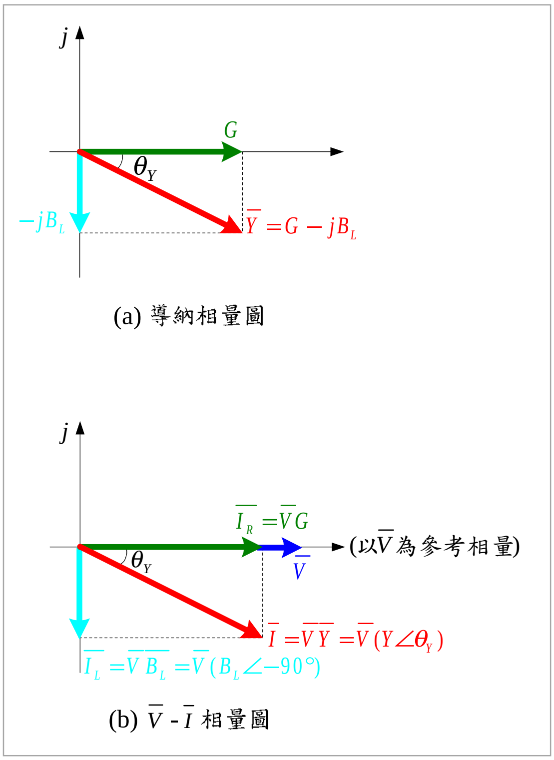
（即 $I=VY \quad I_R=VG \quad I_L=VB_L \quad \theta_Y=-\tan^{-1}\dfrac{B_L}{G}$）

※相量圖

在 *R-L* 並聯交流電路中，電阻 *R* 的電流 $\overline{I_R}$ 與電源電壓 $\overline{V}$ 的相位相同；電感 *L* 的電流 $\overline{I_L}$ 相位滯後電壓 $\overline{V}$ 相位 90°。其波形如圖 9-25 所示。



▲ 圖 9-25　*R-L* 並聯交流電路的波形圖



▲ 圖 9-26　*R-L* 並聯交流電路的相量圖

在交流並聯電路中，電源電壓與每個元件之端電壓皆相等，因此將電路的相量圖以電源電壓的相位為參考原點。圖 9-26 所示即爲 *R-L* 並聯交流電路的相量圖。

相角

由圖 9-26 的相量圖，可以求得電路之電流對電壓的相角（即導納角）θ_Y 爲：

Σ 重要公式

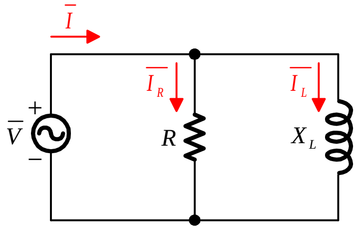
$$\theta_Y = -\tan^{-1}\frac{I_L}{I_R} = -\tan^{-1}\frac{VB_L}{VG} = -\tan^{-1}\frac{B_L}{G}$$
$$= -\tan^{-1}\frac{R}{X_L} = -\tan^{-1}\omega LR$$
〔 °, 度〕

上式中 θ_Y 爲負，代表電流 $\overline{I}$ 相對於電壓 $\overline{V}$ 的相角位於第四象限，即表示電流 $\overline{I}$ 相位**滯後**電壓 $\overline{V}$ 相位 $|\theta_Y|$（即 $\tan^{-1}\frac{B_L}{G}$ ）角度，其中 $-90° < \theta_Y < 0°$ 。若電壓 $\overline{V} = V\angle 0°$ ，則電流 $\overline{I}$ 可表示成： $\overline{I} = I\angle\theta_Y = I\angle -|\theta_Y|$ 。

※ R-L 並聯交流電路總結

1. 導納： $\overline{Y} = \overline{G} + \overline{B_L} = G - jB_L = \sqrt{G^2 + B_L^2}\angle -\tan^{-1}\frac{B_L}{G} = Y\angle\theta_Y$ ，
   其中 $Y = \sqrt{G^2 + B_L^2}$ ， $-90° < \theta_Y < 0°$ 。
2. 若已知 $\overline{V} = V\angle\theta_v$ ，則 $\overline{I} = \overline{V}\cdot\overline{Y} = (V\angle\theta_v)\cdot(Y\angle\theta_Y) = VY\angle(\theta_v + \theta_Y)$ ，
   其中 $I = VY$ 。
3. 若已知 $\overline{I} = I\angle\theta_i$ ，則 $\overline{V} = \frac{\overline{I}}{\overline{Y}} = \frac{I\angle\theta_i}{Y\angle\theta_Y} = \frac{I}{Y}\angle(\theta_i - \theta_Y)$ ，其中 $V = \frac{I}{Y}$ 。
4. $\overline{I_R} = \overline{V}\cdot\overline{G} = \overline{V}\cdot G$ ，其中 $I_R = VG$ 。
5. $\overline{I_L} = \overline{V}\cdot\overline{B_L} = \overline{V}\cdot(-jB_L) = \overline{V}\cdot B_L\angle -90°$ ，其中 $I_L = VB_L$ 。
6. $\overline{I} = \overline{I_R} + \overline{I_L} = \overline{V}\cdot\overline{Y}$ ，其中 $I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} = VY$
   （ $\because \overline{I_R}$ 與 $\overline{I_L}$ 相差 90° ）。
7. 相角：若已知 $\overline{V} = V\angle\theta_v$ 、 $\overline{I} = I\angle\theta_i$ ，則電路之相角（導納角）
   $\theta_Y = \theta_i - \theta_v = -\tan^{-1}\frac{B_L}{G} = -\tan^{-1}\frac{I_L}{I_R}$（交流並聯電路以電壓 $\overline{V}$ 爲基準，則 $-90° < \theta_Y < 0°$ ， θ_Y 爲負，即電流 $\overline{I}$ **滯後**電壓 $\overline{V}$ $|\theta_Y|$ 角度）。

範例 9-8



如右圖所示之 R-L 並聯交流電路，

若 $i(t)=5\sqrt{2}\sin(1000t+30°)$A ， $G=0.03$℧ ，

$B_L=0.04$℧ ，試求

(1)總導納 $\bar{Y}$ 、 Y　　(2)總電壓 $\bar{V}$ 、 V

(3)電阻器電流 $\bar{I}_R$ 、 I_R　　(4)電感器電流 $\bar{I}_L$ 、 I_L

(5)相角 θ_Y 及相量圖為何？

【解】(1) $\bar{Y}=\bar{G}+\bar{B}_L=G-jB_L=0.03-j0.04$

$$=\sqrt{(0.03)^2+(0.04)^2}\angle-\tan^{-1}\frac{0.04}{0.03}=0.05\angle-53°\ ℧ \qquad Y=0.05\ ℧$$

(2) $$\bar{I}=\frac{I_m}{\sqrt{2}}\angle\theta_i=\frac{5\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\angle30°=5\angle30°\text{ A}$$

$$\bar{V}=\frac{\bar{I}}{\bar{Y}}=\frac{5\angle30°}{0.05\angle-53°}=100\angle83°\text{ V} \qquad V=100\text{ V}$$

(3) $\bar{I}_R=\bar{V}\cdot G=(100\angle83°)\cdot(0.03)=3\angle83°$ A　　$I_R=3$ A

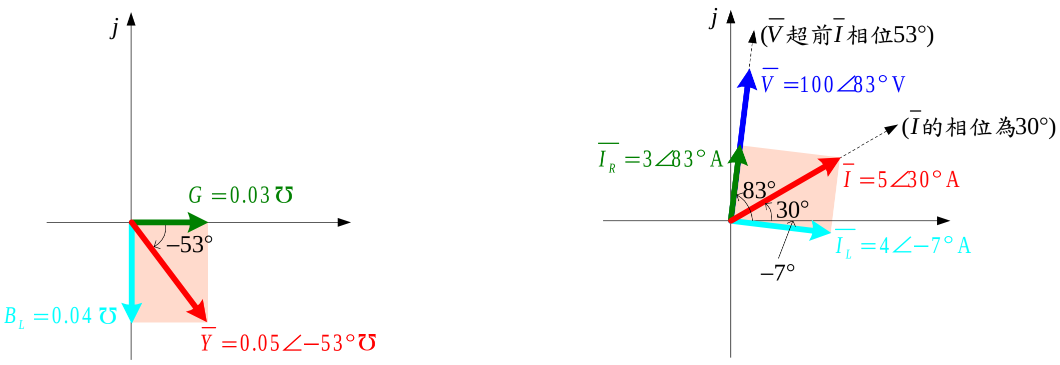
(4) $\bar{I}_L=\bar{V}\cdot\bar{B}_L=(100\angle83°)\cdot(0.04\angle-90°)=4\angle-7°$ A　　$I_C=4$ A

(5) $$\theta_Y=-\tan^{-1}\frac{B_L}{G}=-\tan^{-1}\frac{0.04}{0.03}=-53°$$

或 $\theta_Y=\theta_i-\theta_v=30°-83°=-53°$

（註：相角 θ_Y 以電壓相位為基準，與串聯交流電路不同。）

電路之相量圖如下圖所示



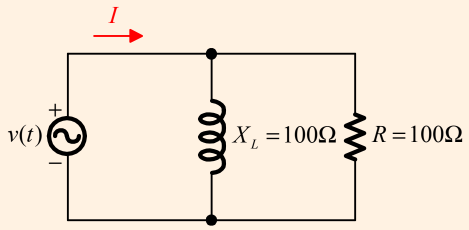
(a) 導納圖　　(b) $\bar{V}$ - $\bar{I}$ 相量圖

馬上練習　有一 R-L 並聯交流電路，若電流 $v(t)=24\sqrt{2}\sin(500t+53°)$V，$R=15\Omega$，$L=40$mH，試求電路的 $\overline{Y}$、$\overline{I}$、$\overline{I_R}$、$\overline{I_L}$ 及 θ_Y 為多少？

【答】$\overline{Y}=\dfrac{1}{12}\angle-37°$ ℧，$\overline{I}=2\angle16°$ A，$\overline{I_R}=1.6\angle53°$ A，$\overline{I_L}=1.2\angle-37°$ A，$\theta_Y=-37°$。

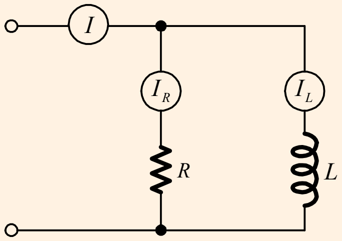
單元評量

1. 將一電阻 $R=50\Omega$ 與感抗 $X_L=50\Omega$ 並聯，則並聯後的總導納 $\overline{Y}=$ ______ ℧。
2. 如圖(1)所示電路，並聯電路中的電源 $v(t)=100\sin100t$ V，則電流 $I=$ ______ A，電路之導納 $Y=$ ______ ℧。



圖(1)

3. 如圖(2)所示電路，若 I_R 及 I_L 安培計之讀值均為 10A，則安培計 I 之讀值為 ____ A。

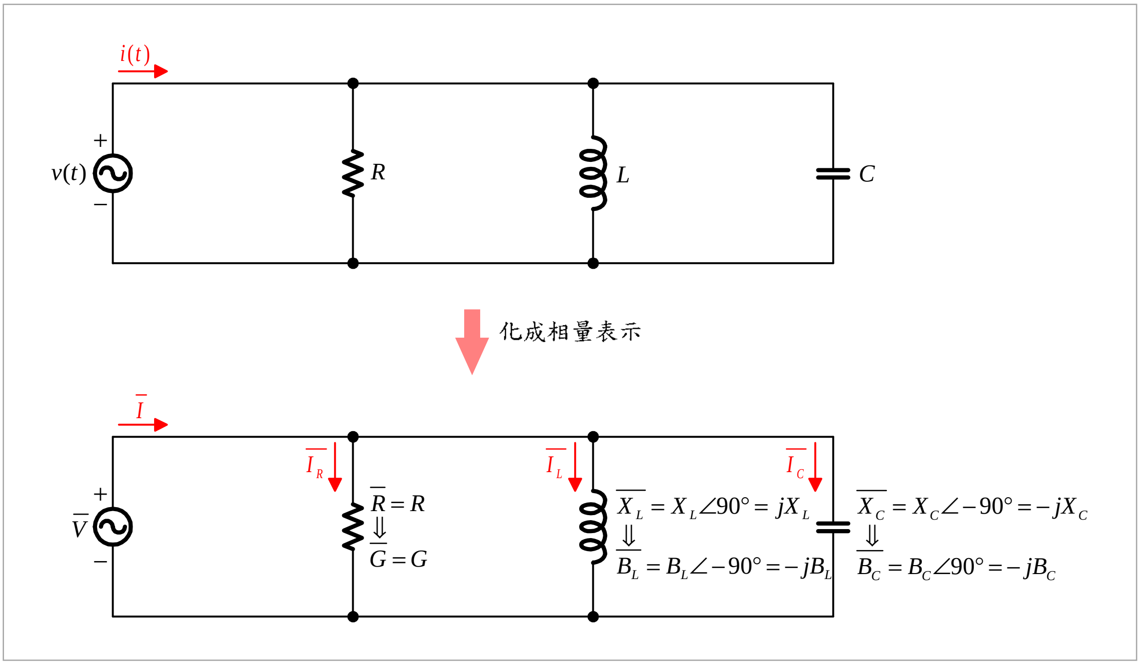


圖(2)

4. 有一 R-L 並聯交流電路，若外加電源電壓為 120V、60Hz，電阻為 30Ω，感抗為 40Ω，試求電路中的電阻電流 $I_R=$ ______ A，電感電流 $I_L=$ ______ A，總電流 $I=$ ______ A，電流與電壓之相位關係：電流 ______電壓 ______。（請填入超前或滯後的相角）
5. 有一 R-L 並聯交流電路，若外加電源電壓為 $v(t)=100\sqrt{2}\sin(100t)$V，電阻為 25Ω，電感量為 $\dfrac{1}{3}$H，試求電路之導納 $\overline{Y}=$ ______ ℧，電阻電流 $\overline{I_R}=$ ______ A，電感電流 $\overline{I_L}=$ ______ A，總電流 $\overline{I}=$ ______ A，相角 $\theta_Y=$ ______。

9-7 電阻／電感／電容並聯電路

導納



▲ 圖 9-27 *R-L-C* 並聯交流電路

圖 9-27 所示為一 *R-L-C* 並聯交流電路，圖中電感器 *L* 的感納為 $B_L=\dfrac{1}{X_L}=\dfrac{1}{\omega L}=\dfrac{1}{2\pi fL}$，電容器 *C* 的容納 $B_C=\dfrac{1}{X_C}=\omega C=2\pi fC$。根據前述，*R-L-C* 並聯交流電路的導納 $\overline{Z}$，即為電導 $\overline{G}$、感納 $\overline{B_L}$ 與容納 $\overline{B_C}$ 之相量和，以數學式表示為：

Σ 重要公式

$$\begin{aligned}\overline{Y} &= \overline{G}+\overline{B_L}+\overline{B_C} = G\angle 0^\circ + B_L\angle -90^\circ + B_C\angle 90^\circ \quad 〔℧,\ 姆歐〕\\ &= G+(-jB_L)+jB_C = G+j(B_C-B_L)\\ &= \sqrt{G^2+(B_C-B_L)^2}\angle \tan^{-1}\frac{B_C-B_L}{G} = Y\angle\theta_Y\end{aligned}$$

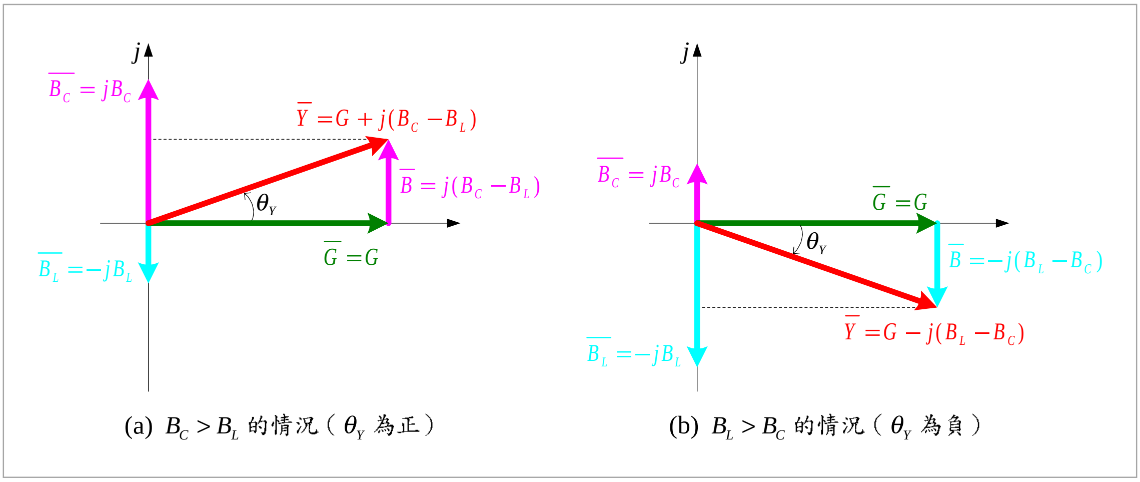
我們定義一個合成電納：$\overline{B}=\overline{B_L}+\overline{B_C}=jB_C+(-jB_L)=j(B_C-B_L)$，其淨值為感納與容納的差值，亦是電路總導納的虛數部份。所以，總導納值 Y 的大小及導納角 θ_Y 可以表示成：

Σ 重要公式

$$Y=\sqrt{G^2+B^2}=\sqrt{G^2+(B_C-B_L)^2}=\sqrt{(\frac{1}{R})^2+(\omega C-\frac{1}{\omega L})^2} \quad 〔℧, 姆歐〕$$

$$\theta_Y=\angle\tan^{-1}\frac{B}{G}=\angle\tan^{-1}\frac{B_C-B_L}{G} \quad 〔°, 度〕$$

我們畫出 *R-L-C* 並聯交流電路的導納圖，如圖 9-28 所示。



▲ 圖 9-28　*R-L-C* 並聯交流電路的導納圖

※阻抗

依圖 9-27 所示之 *R-L-C* 並聯交流電路，其阻抗爲：

Σ 重要公式

$$\overline{Z}=\frac{1}{\overline{Y}}=\frac{1}{G+j(B_C-B_L)}=\frac{1}{\frac{1}{R}+j(\frac{1}{X_C}-\frac{1}{X_L})} \quad 〔\Omega, 歐姆〕$$

電壓

由並聯電路之電壓特性知：並聯電路之電源電壓與各元件之端電壓相等。因此 *R-L-C* 並聯交流電路的電壓可表示成：

Σ 重要公式

$$\overline{V} = \overline{V_R} = \overline{V_L} = \overline{V_C}$$ 〔V, 伏特〕 （即 $V = V_R = V_L = V_C$ ）

電流

若電路中的電壓 $\overline{V} = V\angle\theta_v$，則通過各元件的端電流分別為：

$$\overline{I_R} = \frac{\overline{V}}{\overline{\overline{R}}} = \frac{V\angle\theta_v}{R\angle 0^\circ} = \frac{V}{R}\angle\theta_v = \frac{\overline{V}}{R}\angle 0^\circ$$
$$= \overline{V}\cdot\overline{G} = (V\angle\theta_v)\cdot(G\angle 0^\circ) = VG\angle\theta_v = \overline{V}\cdot G\angle 0^\circ$$

（ $\overline{I_R}$ 與 $\overline{V}$ 相位相同）

$$\overline{I_L} = \frac{\overline{V}}{\overline{\overline{X_L}}} = \frac{V\angle\theta_v}{X_L\angle 90^\circ} = \frac{V}{X_L}\angle(\theta_v - 90^\circ) = \frac{\overline{V}}{X_L}\angle -90^\circ$$
$$= \overline{V}\cdot\overline{B_L} = (V\angle\theta_v)\cdot(B_L\angle -90^\circ) = VB_L\angle(\theta_v - 90^\circ) = \overline{V}\cdot B_L\angle -90^\circ$$

（ $\overline{I_L}$ 滯後 $\overline{V}$ 相位 90° ）

$$\overline{I_C} = \frac{\overline{V}}{\overline{\overline{X_C}}} = \frac{V\angle\theta_v}{X_C\angle 90^\circ} = \frac{V}{X_C}\angle(\theta_v + 90^\circ) = \frac{\overline{V}}{X_C}\angle 90^\circ$$
$$= \overline{V}\cdot\overline{B_C} = (V\angle\theta_v)\cdot(B_C\angle 90^\circ) = VB_C\angle(\theta_v + 90^\circ) = \overline{V}\cdot B_C\angle 90^\circ$$

（ $\overline{I_C}$ 超前 $\overline{V}$ 相位 90° ）

由並聯電路之電流特性（KCL）知：並聯電路的總電流等於流過各元件之分路電流和。即 *R-L-C* 並聯交流電路之電流 $\overline{I}$ 為 $\overline{I_R}$ 、 $\overline{I_L}$ 、 $\overline{I_C}$ 的相量和，其中 $\overline{I_L}$ 相位滯後 $\overline{I_R}$ 相位 90° 。 $\overline{I_C}$ 相位超前 $\overline{I_R}$ 相位 90° 。以數學式表示為：

Σ 重要公式

$$\overline{I} = \overline{I_R}+\overline{I_L}+\overline{I_C} = \overline{V}\cdot G+\overline{V}\cdot(-jB_L)+\overline{V}\cdot(jB_C)$$
$$= \overline{V}[G+j(B_C-B_L)] = \overline{V}\cdot\overline{Y} = \overline{V}\cdot Y\angle\theta_Y$$
〔A, 安培〕

※相量圖

在 *R-L-C* 並聯交流電路中，如圖 9-29 所示，電源電壓與各元件之端電壓皆相等，我們設定以電壓 $\overline{V}$ 相量爲基準（即 $V\angle\theta_v = V\angle 0°$ ），所以各元件上通過的電流可分別表示爲：

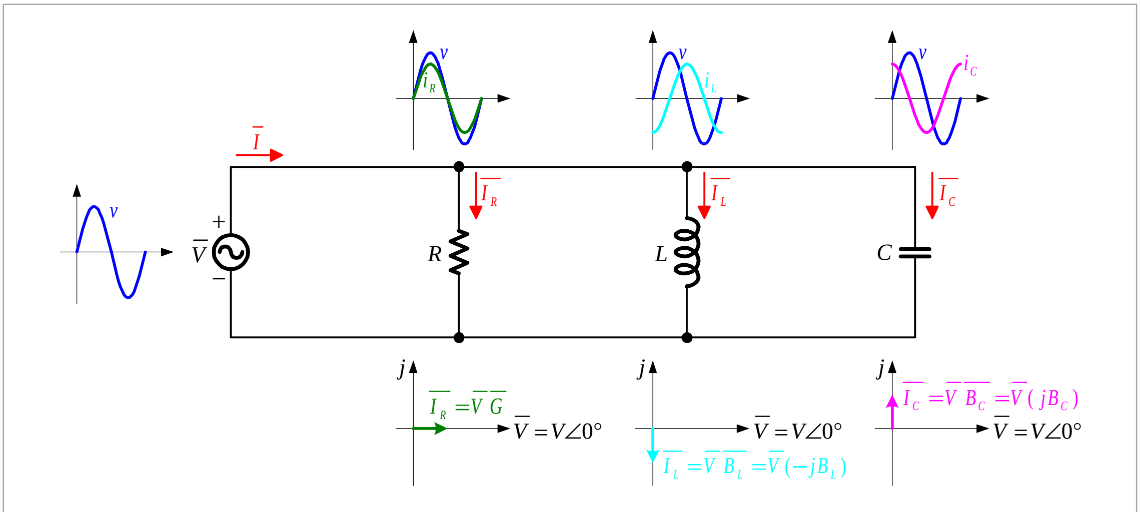
Σ 重要公式

$$\overline{I_R} = \frac{\overline{V}}{\overline{\overline{R}}} = \overline{V}\cdot\overline{G} = \overline{V}\cdot G = VG\angle 0° = I_R$$ 〔A, 安培〕

$$\overline{I_L} = \frac{\overline{V}}{\overline{\overline{X_L}}} = \overline{V}\cdot\overline{B_L} = \overline{V}\cdot(-jB_L) = VB_L\angle -90° = -jI_L$$ 〔A, 安培〕

$$\overline{I_C} = \frac{\overline{V}}{\overline{\overline{X_C}}} = \overline{V}\cdot\overline{B_C} = \overline{V}\cdot(jB_C) = VB_C\angle 90° = jI_C$$ 〔A, 安培〕

我們將 *R-L-C* 並聯交流電路中各元件的電流相量繪製如圖 9-29 所示。



▲ 圖 9-29　*R-L-C* 並聯交流電路中各元件電流的相量圖　$\overline{I_R}$ 與 $\overline{V}$ 同相位；$\overline{I_L}$ 滯後 $\overline{V}$ 相位 90°；$\overline{I_C}$ 超前 $\overline{V}$ 相位 90°。

所以 *R-L-C* 並聯交流電路的總電流 $\bar{I}$ 可改寫成：

Σ 重要公式

$$\bar{I} = \bar{I_R} + \bar{I_L} + \bar{I_C} = I_R + (-jI_L) + jI_C \qquad [\text{A, 安培}]$$
$$= I_R + j(I_C - I_L) = I\angle\theta_Y$$

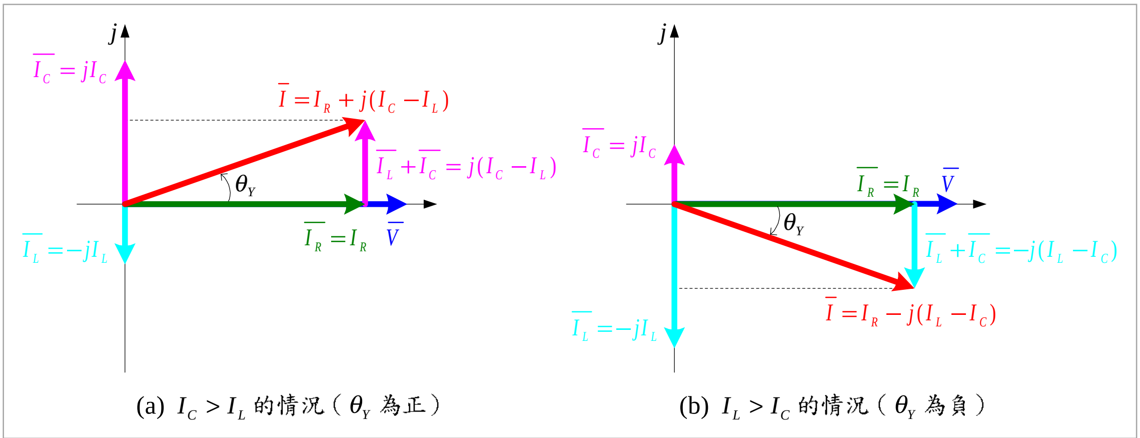
其中，電路的總電流值 I 及相角（導納角）θ_Y 的大小爲：

Σ 重要公式

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} \qquad [\text{A, 安培}]$$

$$\theta_Y = \theta_i - \theta_v = \tan^{-1}\frac{I_C - I_L}{I_R} \qquad [\,°\text{, 度}] \qquad (\text{以 } \bar{V} \text{ 為基準})$$

圖 9-30 所示爲 *R-L-C* 並聯交流電路的相量圖。



▲ 圖 9-30　*R-L-C* 並聯交流電路的 $\bar{V}$ - $\bar{I}$ 相量圖

相角

在交流並聯電路中，依其電流對電壓相位的超前、滯後或同相情形，可以將電路區分爲電容性、電感性或電阻性電路。說明如下：

- 電容性電路：在 *R-L-C* 並聯電路中，若電納 $B_C > B_L$（電抗 $X_C < X_L$），則電流 $I_C > I_L$（∵兩端的電壓 V 相同），如圖 9-30(a)所

示，電路總電流 $\overline{I}$ 的相位會超前電壓 $\overline{V}$，即電路呈電容性。此時電路的相角（即導納角）θ_Y 為正值，即：

Σ 重要公式

$$\theta = \theta_i - \theta_v = +\tan^{-1}\frac{I_C - I_L}{I_R} = +\tan^{-1}\frac{B_C - B_L}{G} \quad 〔°, 度〕$$

- 電感性電路：在 R-L-C 並聯電路中，若電納 $B_L > B_C$（電抗 $X_L < X_C$），則電流 $I_L > I_C$（∵兩端的電壓 V 相同），如圖 9-30(b)所示，電路總電流 $\overline{I}$ 的相位會滯後電壓 $\overline{V}$，即電路呈電感性。此時電路的相角 θ（即導納角）θ_Y 為負值，即：

Σ 重要公式

$$\theta = \theta_i - \theta_v = -\tan^{-1}\frac{I_L - I_C}{I_R} = -\tan^{-1}\frac{B_L - B_C}{G} \quad 〔°, 度〕$$

- 電阻性電路：在 R-L-C 並聯電路中，若電納 $B_C = B_L$（電抗 $X_C = X_L$），則電流 $I_C = I_L$（∵兩端的電壓 V 相同），電路的總電流 $\overline{I}$ 與電壓 $\overline{V}$ 同相位，其相角等於零，這種情況便是電路的諧振現象，我們將在第 11 章中有詳細的探討。

※ R-L-C 並聯交流電路總結

1. 導納：

$$\overline{Y} = \overline{G} + \overline{B_L} + \overline{B_C} = G + j(B_C - B_L) = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}\angle\tan^{-1}\frac{B_C - B_L}{G}$$

$= Y\angle\theta_Y$，其中 $Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$。

2. 若已知 $\overline{V} = V\angle\theta_v$，則 $\overline{I} = \overline{V}\cdot\overline{Y} = (V\angle\theta_v)\cdot(Y\angle\theta_Y) = VY\angle(\theta_v + \theta_Y)$，其中 $I = VY$。

3. 若已知 $\overline{I} = I\angle\theta_i$，則 $\overline{V} = \dfrac{\overline{I}}{\overline{Y}} = \dfrac{I\angle\theta_i}{Y\angle\theta_Y} = \dfrac{I}{Y}\angle(\theta_i - \theta_Y)$，其中 $V = \dfrac{I}{Y}$。

4. $\overline{I_R} = \overline{V}\cdot\overline{G} = \overline{V}\cdot G$，其中 $I_R = VG$。

5. $\overline{I_L} = \overline{V}\cdot\overline{B_L} = \overline{V}\cdot(-jB_L) = \overline{V}\cdot B_L\angle-90°$，其中 $I_L = VB_L$。

6. $\overline{I_C} = \overline{V}\cdot\overline{B_C} = \overline{V}\cdot(jB_C) = \overline{V}\cdot B_C\angle 90°$，其中 $I_C = VB_C$。

7. $\overline{I} = \overline{I_R}+\overline{I_L}+\overline{I_C} = I_R + j(I_C - I_L) = \overline{V}\cdot\overline{Y}$，其中

$I = \sqrt{I_R^2+(I_C-I_L)^2} = VY$ （$\because \overline{I_C}$ 超前 $\overline{I_R}$ 90°，$\overline{I_L}$ 滯後 $\overline{I_R}$ 90°，$\overline{I_C}$ 與 $\overline{I_L}$ 相差180°）。

8. 電路之相角：$\theta_Y = \theta_i - \theta_v = \tan^{-1}\dfrac{B_C - B_L}{G} = \tan^{-1}\dfrac{I_C - I_L}{I_R}$ （以電壓 $\overline{V}$ 為基準，請參閱圖 9-28、 9-30）

(1) 若 $B_C > B_L$ 時，則電路呈電容性；$\theta_Y = +\tan^{-1}\dfrac{B_C - B_L}{G} > 0°$，$\theta_Y$ 為正，表示其電路總電流 $\overline{I}$ **超前**電壓 $\overline{V}$ θ_Y 角度。

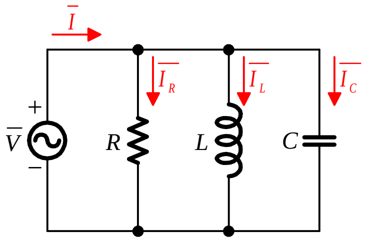
(2) 若 $B_L > B_C$ 時，則電路呈電感性；$\theta_Y = -\tan^{-1}\dfrac{B_L - B_C}{G} < 0°$，$\theta_Y$ 為負，表示其電路總電流 $\overline{I}$ **滯後**電壓 $\overline{V}$ $|\theta_Y|$ 角度。

範例 9-9

如下圖所示之 R-L-C 並聯交流電路，若 $v(t) = 10\sqrt{2}\sin 1000t$ V， $R = 3\Omega$， $L = 5\text{mH}$， $C = 50\mu\text{F}$，試求

(1)總導納 $\overline{Y}$、Y (2)總電流 $\overline{I}$、I (3)電阻器電流 $\overline{I_R}$、I_R

(4)電感器電流 $\overline{I_L}$、I_L (5)電容器電流 $\overline{I_C}$、I_C (6)電路之相角 θ_Y 及相量圖為何？



【解】$\overline{V} = \dfrac{V_m}{\sqrt{2}}\angle\theta_v = \dfrac{10\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\angle 0° = 10\angle 0°$ V

電導：$G = \dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{5} = 0.2$ ℧

電感納：$B_L = \dfrac{1}{X_L} = \dfrac{1}{\omega L} = \dfrac{1}{1000\times(5\times10^{-3})} = 0.2$ ℧

$$電容納：B_C = \frac{1}{X_C} = \omega C = 1000 \times (50 \times 10^{-6}) = 0.05\ \mho$$

(1) $\overline{Y} = G + j(B_C - B_L) = 0.2 + j(0.05 - 0.2) = 0.2 - j0.15$

$= \sqrt{(0.2)^2 + (-0.15)^2} \angle \tan^{-1}\dfrac{-0.15}{0.2} = 0.25\angle -37°\ \mho$　　　$Y = 0.25\ \mho$

(2) $\overline{I} = \overline{V} \cdot \overline{Y} = (10\angle 0°) \cdot (0.25\angle -37°) = 2.5\angle -37°\ \text{A}$　　　$I = 2.5\ \text{A}$

(3) $\overline{I_R} = \overline{V} \cdot G = (10\angle 0°) \cdot 0.2 = 2\angle 0°\ \text{A}$　　　$I_R = 2\ \text{A}$

(4) $\overline{I_L} = \overline{V} \cdot \overline{B_L} = (10\angle 0°) \cdot (0.2\angle -90°) = 2\angle -90°\ \text{A}$　　　$I_L = 2\ \text{A}$

(5) $\overline{I_C} = \overline{V} \cdot \overline{B_C} = (10\angle 0°) \cdot (0.05\angle 90°) = 0.5\angle 90°\ \text{A}$　　　$I_C = 0.5\ \text{A}$

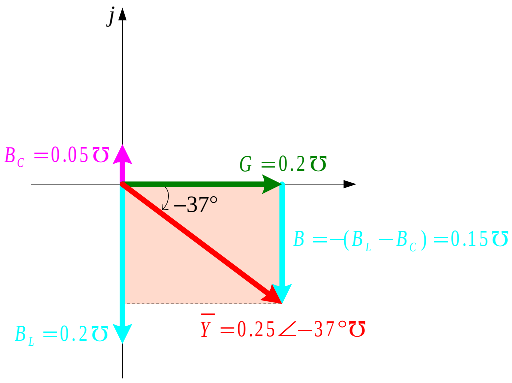
(6) $\theta_Y = \tan^{-1}\dfrac{B_C - B_L}{G} = \tan^{-1}\dfrac{0.05 - 0.2}{0.2} = -\tan^{-1}\dfrac{0.15}{0.2} = -37°$

或 $\theta_Y = \theta_i - \theta_v = (-37°) - 0° = -37°$

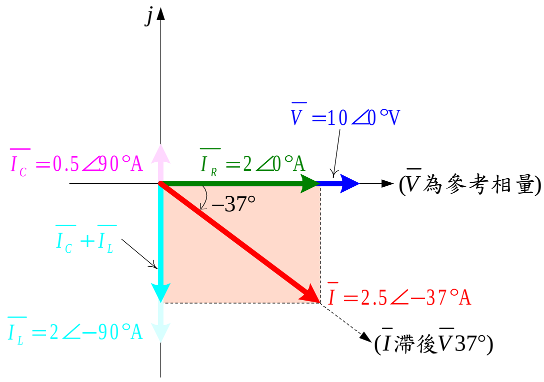
$\because B_L > B_C$，電路呈電感性　　$\therefore$ 電路總電流 $\overline{I}$ 滯後電壓 $\overline{V}$ 相位 37°

（註：交流並聯電路以電壓 $\overline{V}$ 為基準。）

電路之相量圖如下圖所示



(a) 導納圖



(b) $\overline{V}$ - $\overline{I}$ 相量圖

馬上練習　承上題所示之 R-L-C 並聯交流電路，若 $\overline{I} = 5\angle 0°\text{A}$，$R = 25\Omega$，$X_L = 50\Omega$，$X_C = 20\Omega$，試求

(1)總導納 $\overline{Y}$、Y　　　(2)總電壓 $\overline{V}$、V

(3)電阻器電流 $\overline{I_R}$、I_R　　　(4)電感器電流 $\overline{I_L}$、I_L

(5)電容器電流 $\overline{I_C}$、I_C　　　(6)電路之相角 θ_Y 為多少？

【答】(1) $\overline{Y} = 0.05\angle 37°$ ℧，$Y = 0.05$ ℧

(2) $\overline{V} = 100\angle -37°$ V，$V = 100$ V

(3) $\overline{I_R} = 4\angle -37°$ A，$I_R = 4$ A

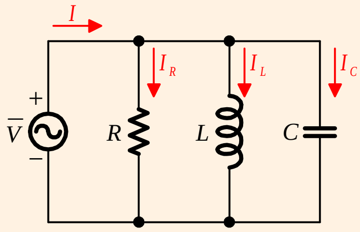
(4) $\overline{I_L} = 2\angle -127°$ A，$I_L = 2$ A

(5) $\overline{I_C} = 5\angle 53°$ A，$I_C = 5$ A

(6) $\theta_Y = 37°$

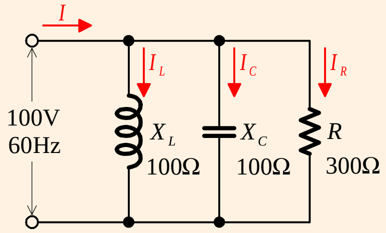
單元評量

1. 如圖(1)所示之 R-L-C 並聯電路，若 $I_C > I_L$，則：(1)電路呈 ______ 性 (2)電流 I_R 相位 ______ 電流 I (3)電流 I 相位 ______ 電壓 V (4)電壓 V 相位 ______ 電流 I_C。（填入超前或滯後）



圖(1)

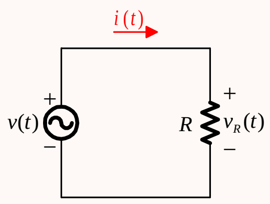
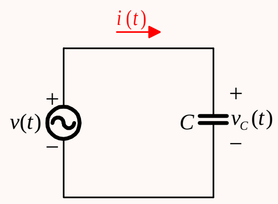
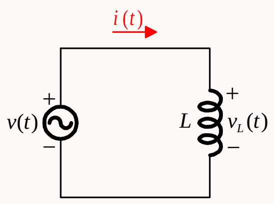
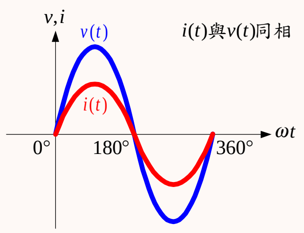
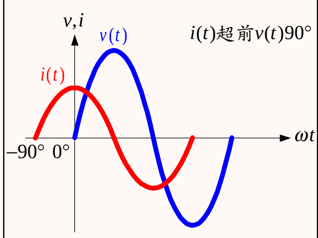
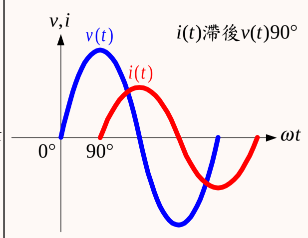
2. 如圖(1)所示電路，若以一理想交流伏特表測得：$I_R = 4$A、$I_L = 9$A、$I_C = 6$A，則電路電流 I 的大小為 ______ A。
3. 承上題，若 $R = 45\Omega$，則感抗 $X_L =$ ______ Ω，容抗 $X_C =$ ______ Ω，電路相角 $\theta =$ ______。
4. 在 R-L-C 並聯電路中，若 $X_L > X_C$ 時，則電路的特性為 ________ 電路。
5. 如圖(2)所示電路，此並聯電路的總阻抗為 ______ Ω。



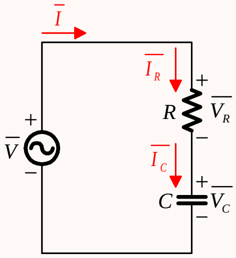
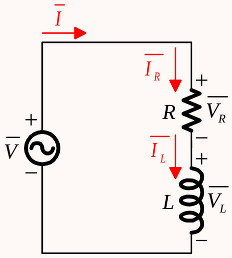
圖(2)

重點摘要

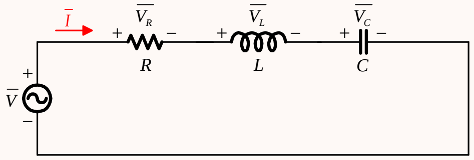
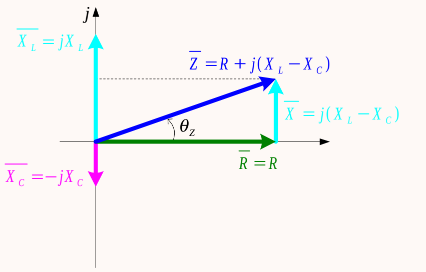
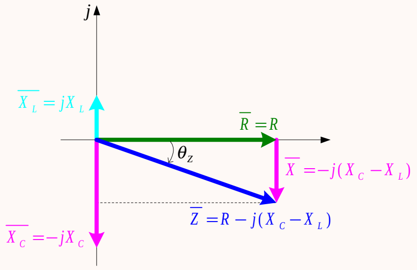
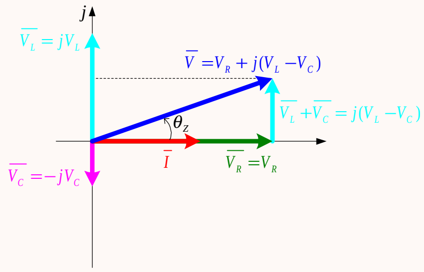
1. 基本元件組成的交流電路：

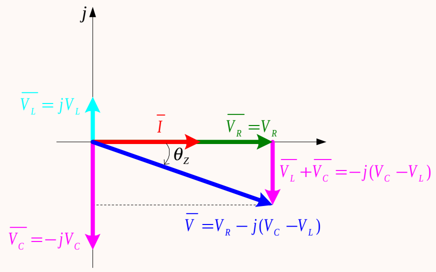
	純電阻電路	純電容電路	純電感電路
電路圖			
波形圖			
阻抗	$\overline{Z} = \overline{R}$ $= R\angle 0°$ $= R$ $Z = R$	$\overline{Z} = \overline{X_C}$ $= X_C\angle -90°$ $= -jX_C$ $Z = X_C = \dfrac{1}{\omega C} = \dfrac{1}{2\pi f C}$	$\overline{Z} = \overline{X_L}$ $= X_L\angle 90°$ $= +jX_L$ $Z = X_L = \omega L = 2\pi f L$
電壓與電流	$\overline{V_R} = \overline{V} = V\angle\theta_v = V\angle 0°$ $\overline{I} = I\angle\theta_i = \dfrac{V\angle 0°}{R\angle 0°}$ $= I\angle 0°$	$\overline{V_C} = \overline{V} = V\angle\theta_v = V\angle 0°$ $\overline{I} = I\angle\theta_i = \dfrac{V\angle 0°}{X_C\angle -90°}$ $= I\angle 90°$	$\overline{V_L} = \overline{V} = V\angle\theta_v = V\angle 0°$ $\overline{I} = I\angle\theta_i = \dfrac{V\angle 0°}{X_L\angle 90°}$ $= I\angle -90°$
相角	$\theta = \theta_i - \theta_v = 0°$ 電流與電壓同相	$\theta = \theta_i - \theta_v = 90°$ 電流超前電壓 90°	$\theta = \theta_i - \theta_v = -90°$ 電流滯後電壓 90°

2. *R-C*、*R-L* 串聯交流電路：

<table>
<tr><th></th><th>R-C串聯電路</th><th>R-L串聯電路</th></tr>
<tr><td>電路圖</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>阻抗</td><td>$\overline{Z} = \overline{R}+\overline{X_C} = R\angle 0° + X_C\angle -90°$
$= R - jX_C = \sqrt{R^2+X_C{}^2}\angle -\tan^{-1}\frac{X_C}{R}$
$= Z\angle\theta_Z$</td><td>$\overline{Z} = \overline{R}+\overline{X_L} = R\angle 0° + X_L\angle 90°$
$= R + jX_L = \sqrt{R^2+X_L{}^2}\angle \tan^{-1}\frac{X_L}{R}$
$= Z\angle\theta_Z$</td></tr>
<tr><td>電壓與電流</td><td>$\overline{I} = \overline{I_R} = \overline{I_C} = I\angle\theta_i$
$\overline{V_R} = \overline{I}\cdot\overline{R} = I\angle\theta_i\cdot R\angle 0°$
$= IR\angle\theta_i = \overline{I}\cdot R$
$\overline{V_C} = \overline{I}\cdot\overline{X_C} = I\angle\theta_i\cdot X_C\angle -90°$
$= IX_C\angle(\theta_i-90°) = \overline{I}\cdot X_C\angle -90°$
$\overline{V} = \overline{V_R}+\overline{V_C} = \overline{I}\cdot R + \overline{I}\cdot(-jX_C)$
$= \overline{I}\cdot(R-jX_C) = \overline{I}\cdot\overline{Z} = \overline{I}\cdot Z\angle\theta_Z$</td><td>$\overline{I} = \overline{I_R} = \overline{I_L} = I\angle\theta_i$
$\overline{V_R} = \overline{I}\cdot\overline{R} = I\angle\theta_i\cdot R\angle 0°$
$= IR\angle\theta_i = \overline{I}\cdot R$
$\overline{V_L} = \overline{I}\cdot\overline{X_L} = I\angle\theta_i\cdot X_L\angle 90°$
$= IX_L\angle(\theta_i+90°) = \overline{I}\cdot X_L\angle 90°$
$\overline{V} = \overline{V_R}+\overline{V_L} = \overline{I}\cdot R + \overline{I}\cdot(jX_L)$
$= \overline{I}\cdot(R+jX_L) = \overline{I}\cdot\overline{Z} = \overline{I}\cdot Z\angle\theta_Z$</td></tr>
<tr><td>相角（阻抗角）</td><td>$\theta_Z = \theta_v-\theta_i = -\tan^{-1}\frac{X_C}{R}$
$= -\tan^{-1}\frac{V_C}{V_R}$
θ_Z為負，表示電壓$\overline{V}$滯後電流$\overline{I}$
$\lvert\theta_Z\rvert = \tan^{-1}\frac{X_C}{R}$角度</td><td>$\theta_Z = \theta_v-\theta_i = +\tan^{-1}\frac{X_L}{R}$
$= +\tan^{-1}\frac{V_L}{V_R}$
θ_Z為正，表示電壓$\overline{V}$超前電流$\overline{I}$
$\theta_Z = \tan^{-1}\frac{X_L}{R}$角度</td></tr>
</table>

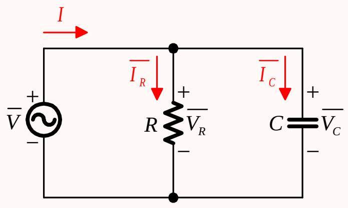
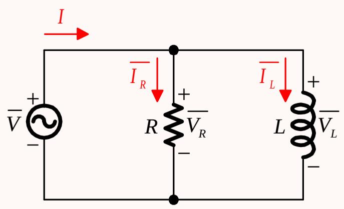
3.　R-L-C 串聯交流電路：

<table>
<tr><td></td><td>電感性電路（ $X_L > X_C$ ）</td><td>電容性電路（ $X_C > X_L$ ）</td></tr>
<tr><td>電路圖</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>阻抗圖</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>相量圖</td><td>

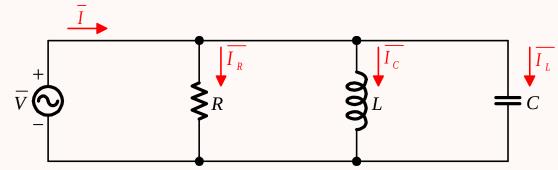
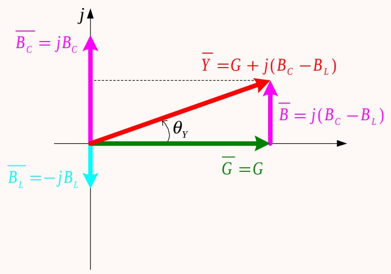
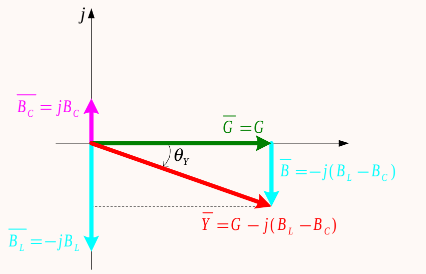
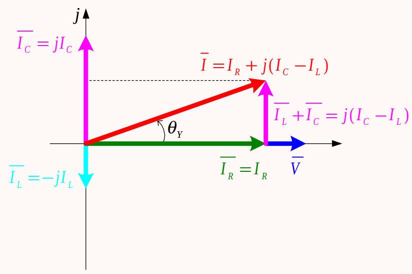
（以電流相位為基準　$\therefore \theta_Z$ 為正）</td><td>

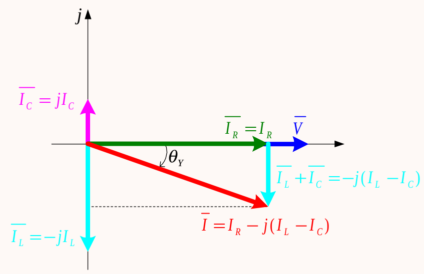
（以電流相位為基準　$\therefore \theta_Z$ 為負）</td></tr>
<tr><td>阻抗</td><td colspan="2">$\overline{Z} = \overline{R} + \overline{X_L} + \overline{X_C} = R + j(X_L - X_C) = Z\angle\theta_Z$
$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$</td></tr>
<tr><td>電壓</td><td colspan="2">$\overline{V} = \overline{V_R} + \overline{V_L} + \overline{V_C} = \overline{I}\cdot\overline{R} + \overline{I}\cdot\overline{X_L} + \overline{I}\cdot\overline{X_C} = \overline{I}\cdot[(R + j(X_L - X_C)] = \overline{I}\cdot\overline{Z} = \overline{I}\cdot Z\angle\theta_Z$
$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} = IZ$</td></tr>
<tr><td>相角（阻抗角）</td><td colspan="2">串聯電路相角：$\theta_Z = \theta_v - \theta_i = \tan^{-1}\dfrac{X_L - X_C}{R} = \tan^{-1}\dfrac{V_L - V_C}{V_R}$（以電流相位為基準）
(1) 若 $X_L > X_C$ 時，$\theta_Z = +\tan^{-1}\dfrac{X_L - X_C}{R} > 0°$，$\theta_Z$ 為正，表示電路呈電感性電路，
即電源電壓相位超前電流相位
(2) 若 $X_C > X_L$ 時，$\theta_Z = -\tan^{-1}\dfrac{X_C - X_L}{R} < 0°$，$\theta_Z$ 為負，表示電路呈電容性電路，
即電源電壓相位滯後電流相位</td></tr>
</table>

4.　*R-C*、*R-L* 並聯交流電路：

	*R-C*並聯電路	*R-L*並聯電路
電路圖		
導納	$\overline{Y} = \overline{G}+\overline{B_C} = G\angle 0° + B_C\angle 90°$ $= G + jB_C = \sqrt{G^2+B_C{}^2}\angle \tan^{-1}\frac{B_C}{G}$ $= Y\angle\theta_Y$	$\overline{Y} = \overline{G}+\overline{B_L} = G\angle 0° + B_L\angle -90°$ $= G - jB_L = \sqrt{G^2+B_L{}^2}\angle -\tan^{-1}\frac{B_L}{G}$ $= Y\angle\theta_Y$
電壓與電流	$\overline{V} = \overline{V_R} = \overline{V_C} = V\angle\theta_v$ $\overline{I_R} = \overline{V}\cdot\overline{G} = V\angle\theta_v\cdot G\angle 0°$ $= VG\angle\theta_v = \overline{V}\cdot G$ $\overline{I_C} = \overline{V}\cdot\overline{B_C} = V\angle\theta_v\cdot B_C\angle 90°$ $= VB_C\angle(\theta_v+90°) = \overline{V}\cdot B_C\angle 90°$ $\overline{I} = \overline{I_R}+\overline{I_C} = \overline{V}\cdot G+\overline{V}\cdot(jB_C)$ $= \overline{V}\cdot(G+jB_C) = \overline{V}\cdot\overline{Y} = \overline{V}\cdot Y\angle\theta_Y$	$\overline{V} = \overline{V_R} = \overline{V_L} = V\angle\theta_v$ $\overline{I_R} = \overline{V}\cdot\overline{G} = V\angle\theta_v\cdot G\angle 0°$ $= VG\angle\theta_v = \overline{V}\cdot G$ $\overline{I_L} = \overline{V}\cdot\overline{B_L} = V\angle\theta_v\cdot B_L\angle -90°$ $= VB_L\angle(\theta_v-90°) = \overline{V}\cdot B_L\angle -90°$ $\overline{I} = \overline{I_R}+\overline{I_L} = \overline{V}\cdot G+\overline{V}\cdot(-jB_L)$ $= \overline{V}\cdot(G-jB_L) = \overline{V}\cdot\overline{Y} = \overline{V}\cdot Y\angle\theta_Y$
相角（導納角）	$\theta_Y = \theta_i-\theta_v = +\tan^{-1}\frac{B_C}{G}$ $= +\tan^{-1}\frac{I_C}{I_R}$ θ_Y 為正，表示電流$\overline{I}$超前電壓$\overline{V}$ $\theta_Y = \tan^{-1}\frac{B_C}{G}$ 角度	$\theta_Y = \theta_i-\theta_v = -\tan^{-1}\frac{B_L}{G}$ $= -\tan^{-1}\frac{I_L}{I_R}$ θ_Y 為負，表示電流$\overline{I}$滯後電壓$\overline{V}$ $\lvert\theta_Y\rvert = \tan^{-1}\frac{B_L}{G}$ 角度

5.　R-L-C 並聯交流電路：

<table>
<tr><td></td><td>電容性電路（ $B_C > B_L$ ）</td><td>電感性電路（ $B_L > B_C$ ）</td></tr>
<tr><td>電路圖</td><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>導納圖</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>相量圖</td><td>

（以電壓相位為基準　∴ θ_Y 為正）</td><td>

（以電壓相位為基準　∴ θ_Y 為負）</td></tr>
<tr><td>導納</td><td colspan="2">$\bar{Y} = \bar{G} + \bar{B}_L + \bar{B}_C = G + j(B_C - B_L) = Y\angle\theta_Y$
$Y = \sqrt{G^2 + (B_C - B_L)^2}$</td></tr>
<tr><td>電流</td><td colspan="2">$\bar{I} = \bar{I}_R + \bar{I}_L + \bar{I}_C = \bar{V}\cdot\bar{G} + \bar{V}\cdot\bar{B}_L + \bar{V}\cdot\bar{B}_C = \bar{V}\cdot[(G + j(B_C - B_L)] = \bar{V}\cdot\bar{Y} = \bar{V}\cdot Y\angle\theta_Y$
$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} = VY$</td></tr>
<tr><td>相角（導納角）</td><td colspan="2">並聯電路相角：$\theta_Y = \theta_i - \theta_v = +\tan^{-1}\dfrac{B_C - B_L}{G} = \tan^{-1}\dfrac{I_C - I_L}{I_R}$（以電壓相位為基準）
(1) 若 $B_C > B_L$ 時，$\theta_Y = +\tan^{-1}\dfrac{B_C - B_L}{G} > 0°$，$\theta_Y$ 為正，表示電路呈電容性電路，
即電流相位超前電源電壓相位
(2) 若 $B_L > B_C$ 時，$\theta_Y = -\tan^{-1}\dfrac{B_L - B_C}{G} < 0°$，$\theta_Y$ 為負，表示電路呈電感性電路，
即電流相位滯後電源電壓相位</td></tr>
</table>

學後評量

一、選擇題

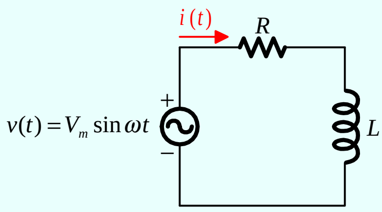
( )1. 在純電阻交流電路中，電壓與電流的相位關係為 (A)相位相同 (B)電壓超前電流 90 度 (C)相位相反 (D)電壓滯後電流 90 度

( )2. 在純電容交流電路中，電壓與電流的相位關係為 (A)相位相同 (B)電壓超前電流 90 度 (C)相位相反 (D)電壓滯後電流 90 度

( )3. 在純電感交流電路中，電壓與電流的相位關係為 (A)相位相同 (B)電壓超前電流 90 度 (C)相位相反 (D)電壓滯後電流 90 度

( )4. 下列關於電感器的敘述，何者有誤？ (A)電感器的端電壓與流經電感的電流大小成正比 (B)流經電感的電流不會瞬間變化 (C)電感可以儲存能量 (D)電感也可釋放能量至電路中

( )5. 如圖(1)所示電路，電壓 $\overline{V}$ 超前電流 $\overline{I}$ 的相角應為 (A) $\tan^{-1} R\omega L$ (B) $\tan^{-1}\dfrac{I}{R\omega L}$ (C) $\tan^{-1}\dfrac{R}{\omega L}$ (D) $\tan^{-1}\dfrac{\omega L}{R}$

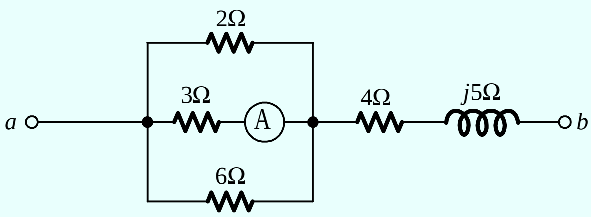


圖(1)

( )6. 有一電感器 L，流經電感器的電流 $i(t)=I_m\cos\omega t$ A，則電感器上的端電壓為
(A) $v(t)=\omega LI_m\sin\omega t$ V (B) $v(t)=-\omega LI_m\sin\omega t$ V
(C) $v(t)=\omega LI_m\cos\omega t$ V (D) $v(t)=-\omega LI_m\cos\omega t$ V

( )7. 有一電容器 C，電容器上的端電壓為 $v_C(t)=V_m\cos\omega t$ V，則流經電容器的電流 $i_C(t)$ 為 (A) $\omega CV_m\sin\omega t$ A (B) $-\omega CV_m\sin\omega t$ A (C) $\omega CV_m\cos\omega t$ A (D) $-\omega CV_m\cos\omega t$ A

( )8. 如圖(2)所示電路，若交流電表 A 的讀數為 4 安培時，a、b 間的電壓降為 (A)24V (B) $60\sqrt{2}$ V (C) $48\sqrt{2}$ V (D)36V

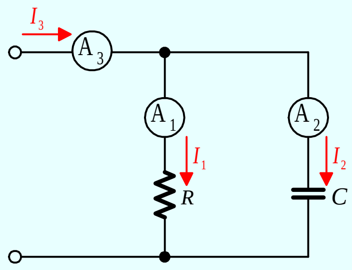


圖(2)

( )9. 交流電壓 $v(t)=20\sin(120\pi t+30°)$ V，電壓有效值與頻率分別為 (A) 20V、120Hz (B) $\dfrac{20}{\sqrt{2}}$ V、120Hz (C)20V、60Hz (D) $\dfrac{20}{\sqrt{2}}$ V、60Hz

(　)10. 承上題，將此交流電壓加在一阻抗元件兩端，若流經此元件的電流為 $i(t)=5\cos(120\pi t-30°)$ A，則該阻抗為
(A) $4\angle 60°\ \Omega$　(B) $4\angle 0°\ \Omega$　(C) $4\angle -30°\ \Omega$　(D) $4\angle 30°\ \Omega$

(　)11. 如圖(3)所示電路，若安培計 A_1 的讀數為 8A，安培計 A_3 的讀數為 10A，則安培計 A_2 的讀數為　(A)8A　(B)6A　(C)4A　(D)2A



圖(3)

(　)12. 承上題，若 $\overline{I_1}=8\angle 0°$ A，則 $\overline{I_3}=$ ？
(A) $10\angle 0°$ A　(B) $10\angle 37°$ A　(C) $10\angle 53°$ A　(D) $10\angle 90°$ A

(　)13. 有一負載的端電壓 $v(t)=100\sin(500t+45°)$ V，電流 $i(t)=10\sin(500t+45°)$ A，則負載為　(A) $10\angle 45°\Omega$　(B) $10\sqrt{2}\angle 45°\Omega$　(C) $10\angle 0°\Omega$　(D) $10\sqrt{2}\angle 0°\Omega$

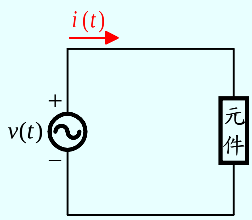
(　)14. 交流電源 $v(t)=10\cos 10t$ V 加於一電感值為 0.1H 的電感器上，則流經電感器上的電流為
(A) $i(t)=100\cos 10t$ A　　(B) $i(t)=10\cos 10t$ A
(C) $i(t)=10\cos(10t-90°)$ A　　(D) $i(t)=100\cos(10t+90°)$ A

(　)15. 有一純電容電路，接於 110V、60Hz 的交流電壓源，流經電容器上的電流為 2.2A，則電容值為
(A) 53μF　(B) 50μF　(C) 0.02μF　(D) $5\times 10^{-2}\mu$F

(　)16. 有一 100H 的電感器，接於一角速度為 100 rad/s 的交流電源，則電感抗為
(A) 10000Ω　(B) $j10000\Omega$　(C) $-j1000\Omega$　(D) -1000Ω

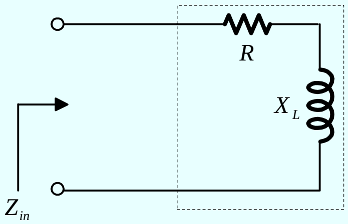
(　)17. 有一 10mH 的電感器與 $10\ \Omega$ 的電阻串聯，接於交流電壓源 $v(t)=100\sqrt{2}\sin(1000t+60°)$ V，則電源供給的電流 $i(t)$ 為
(A) $10\cos(1000t-75°)$ A　　(B) $10\sqrt{2}\sin(1000t-15°)$ A
(C) $10\sin(1000t+45°)$ A　　(D) $10\sqrt{2}\cos(1000t+15°)$ A

(　)18. 如圖(4)所示電路，$v(t)=141.4\cos(1000t)$ V，$i(t)=14.14\sin(1000t)$ A，則下列何者正確？
(A)元件為電容，其值為 100μF
(B)元件為電容，其值為 10μF
(C)元件為電感，其值為 1mH
(D)元件為電感，其值為 10mH

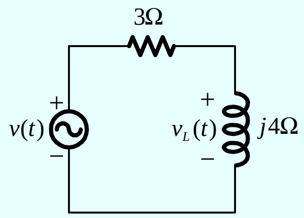


圖(4)

( )19. 如圖(5)所示電路，在 60Hz 時等效輸入阻抗 $\overline{Z_{in}} = 30 + j60\,\Omega$ ，當頻率變為 120Hz 時，則輸入等效阻抗變為
(A) $\overline{Z_{in}} = 30 + j120\,\Omega$ (B) $\overline{Z_{in}} = 60 + j60\,\Omega$
(C) $\overline{Z_{in}} = 60 + j120\,\Omega$ (D) $\overline{Z_{in}} = 30 + j30\,\Omega$



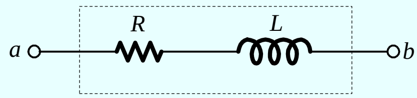
圖(5)



圖(6)

( )20. 如圖(6)所示電路，若 $v_L(t) = 100\sqrt{2}\sin(377t + 90°)\,\text{V}$ ，則 $v(t)$ 應為
(A) $125\sqrt{2}\sin(377t - 37°)\,\text{V}$ (B) $125\sqrt{2}\sin(377t - 53°)\,\text{V}$
(C) $125\sqrt{2}\sin(377t + 37°)\,\text{V}$ (D) $125\sqrt{2}\sin(377t + 53°)\,\text{V}$

( )21. 有一線圈，等效電路圖(7)所示，a 、b 兩端跨接 40V 直流電壓，得電路電流 10A ，如果 a 、b 兩端改接入 $40\sqrt{2}\sin(1000t)$ V 交流電壓，得電路電流的有效值為 8A ，求此線圈等效電路的 R 及 L 值？ (A) $R = 4\Omega$ ，$L = 5\text{mH}$ (B) $R = 4\Omega$ ，$L = 3\text{mH}$ (C) $R = 5\Omega$ ，$L = 4\text{mH}$ (D) $R = 5\Omega$ ，$L = 3\text{mH}$

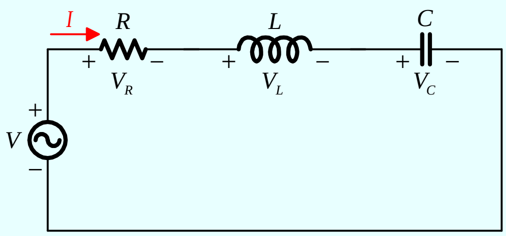


圖(7)

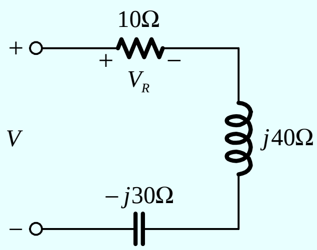
( )22. 在 R-L-C 串聯電路中，已知 $R = 8\Omega$ ，$X_L = 8\Omega$ ，$X_C = 2\Omega$ ，求此電路總阻抗為多少？ (A)18Ω (B)16Ω (C)10Ω (D)8Ω

( )23. 將 $R = 50\,\Omega$ 、$C = 10\,\mu\text{F}$ 、$L = 100\,\text{mH}$ 串聯，若角頻率 $\omega = 1000\,\text{rad/s}$ ，則電路的總阻抗為 (A) 70 Ω (B) 60 Ω (C) 55 Ω (D) 50 Ω

( )24. 如圖(8)所示電路，若 $X_L < X_C$ 時，則 (A)電路呈電感性 (B) V_R 相位滯後電壓 V (C)電流 I 相位超前電壓 V (D) V_R 相位超前電流 I



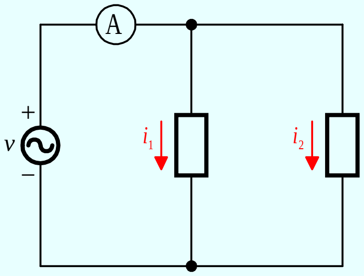
圖(8)



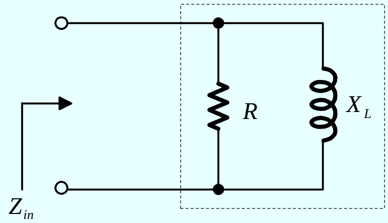
圖(9)

( )25. 如圖(9)所示電路，假設 $\overline{V_R} = 100\angle 0°\,\text{V}$ ，則外加電壓 $\overline{V}$ 等於
(A) $100\sqrt{2}\angle 45°\,\text{V}$ (B) $200\angle 0°\,\text{V}$ (C) $200\sqrt{2}\angle 45°\,\text{V}$ (D) $100\sqrt{2}\angle 0°\,\text{V}$

(　)26. 如圖(10)電路中，交流電路 $i_1 = 3\sqrt{2}\sin 377t$ A，$i_2 = 4\sqrt{2}\sin(377t + 90°)$ A，則交流電表 A 之讀值為　(A) 5 A　(B) $5\sqrt{2}$ A　(C) 7 A　(D) $7\sqrt{2}$ A



圖(10)



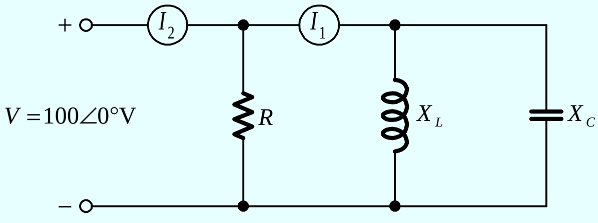
圖(11)

(　)27. 如圖(11)所示電路，在 60Hz 時等效輸入阻抗 $\overline{Z_{in}} = 30 + j60\Omega$，當頻率變為 120Hz 時，則輸入等效阻抗變為

(A) $\overline{Z_{in}} = 30 + j120\Omega$　　(B) $\overline{Z_{in}} = 60 + j60\Omega$

(C) $\overline{Z_{in}} = 120 + j30\Omega$　　(D) $\overline{Z_{in}} = 75 + j75\Omega$

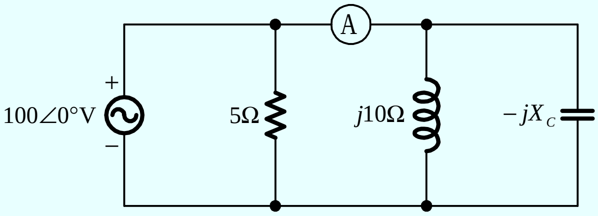
(　)28. 如圖(12)所示電路，設 $R = 10\ \Omega$、$X_C = 5\ \Omega$、$X_L = 10\ \Omega$，則電流表 I_2 讀數為　(A) 10A　(B) $10\sqrt{2}$ A　(C) 20A　(D) 30A



圖(12)

(　)29. 如上題所述條件，則電流表 I_1 讀數為　(A) 10A　(B) $10\sqrt{2}$ A　(C) 20A　(D) 30A

(　)30. 如圖(13)所示電路，若電流表數值為 0 時，則電容抗 X_C 為　(A) $\frac{1}{10}\ \Omega$　(B) $\frac{1}{5}\ \Omega$　(C) 5 Ω　(D) 10 Ω



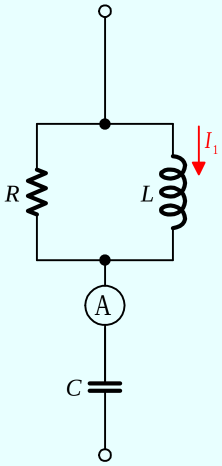
圖(13)

※(　)31. 一交流串聯電阻電感電路，電阻為 3 Ω、電感抗為 4 Ω，其等效並聯電阻電感電路中的電阻與電感抗，若以歐姆計應分別為

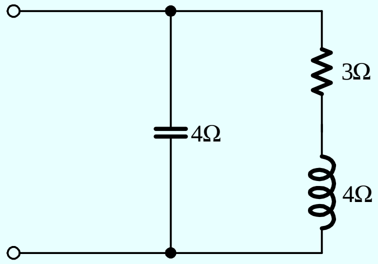
(A) 1.6、1.3　(B) 1.3、1.6　(C) 6、8　(D) 8.33、6.25

※(　)32. 如圖(14)所示電路，若 $R=3\,\Omega$、$X_C=2\,\Omega$、$X_L=4\,\Omega$、$I_1=4.5\text{ A}$，則電表 A 的讀數為 (A)7.5A (B)8.3A (C)3.8A (D)9.5A

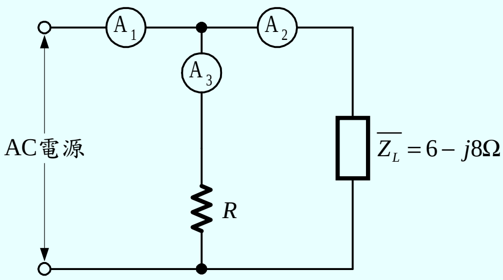
※(　)33. 如圖(15)電路中，其總導納為 (A)$1+j0.01\,\mho$ (B)$0.12+j0.09\,\mho$ (C)$0.16+j0.1\,\mho$ (D)$1-j1.6\,\mho$



圖(14)



圖(15)



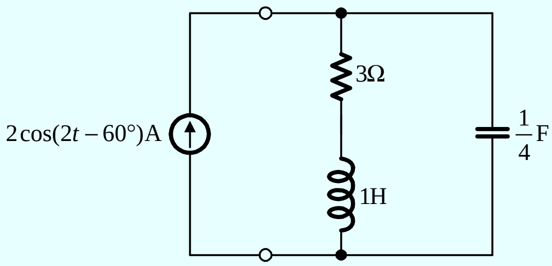
圖(16)

※(　)34. 如圖(16)電路中，設三安培計內阻均可忽略不計，若安培計讀值分別為 $A_2=12\text{ A}$，$A_3=6\text{ A}$，則 R 之值為 (A)$14\,\Omega$ (B)$16\,\Omega$ (C)$18\,\Omega$ (D)$20\,\Omega$

※(　)35. 如圖(17)電路中，從電流源端看出之電路等效阻抗為多少歐姆？

(A)$\frac{4}{3}+j2$　(B)$\frac{4}{3}-j2$

(C)$-\frac{4}{3}+j2$　(D)$-\frac{4}{3}-j2$



圖(17)

二、計算題

1. R-C 串聯電路的電源電壓 $v(t)=100\sin\omega t\text{ V}$、$R=60\Omega$、$X_C=80\Omega$，試求 $\overline{Z}$、θ_Z、$\overline{I}$、$\overline{V_R}$、$\overline{V_C}$ 各為多少？

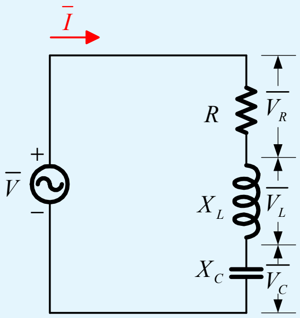
2. R-L 串聯電路的電源電壓 $v(t)=100\sin\omega t\text{ V}$、$R=40\Omega$、$X_L=30\Omega$，試求 $\overline{Z}$、θ_Z、$i(t)$、$v_L(t)$、$v_R(t)$ 各為多少？

3. R-C 並聯電路的電源電壓 $v(t)=15\sin 1000t\text{ V}$、$R=50\Omega$、$C=15\mu\text{F}$，試求 $\overline{Z}$、$\overline{Y}$、$i(t)$、$i_C(t)$、$i_R(t)$ 各為多少？

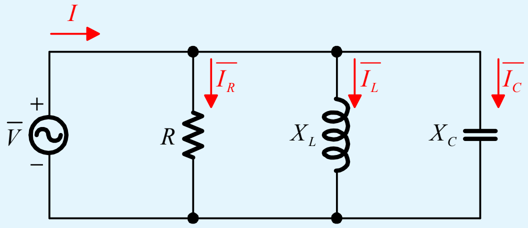
4. R-L 並聯電路的電源電壓 $v(t)=100\sin(1000t+90°)\,\text{V}$、$R=50\Omega$、$L=0.05\text{H}$，試求 $\overline{Y}$、$\overline{I}$、$\overline{I_R}$、$\overline{I_L}$ 各為多少？

5. 如圖(18)所示電路，若 $\overline{I}=2\angle 0°\text{A}$、$R=40\Omega$、$X_L=30\Omega$、$X_C=60\Omega$、$\omega=1000\,\text{rad/s}$，試求：(1) $\overline{Z}$、Z　(2) $\overline{V}$、V　(3) $\overline{V_R}$、V_R　(4) $\overline{V_L}$、V_L　(5) $\overline{V_C}$、V_C　(6) θ_Z　(7) L 各為多少？

6. 如圖(18)所示電路，若 $v(t)=100\sin 377t\,\text{V}$、$R=50\Omega$、$X_L=100\Omega$、$X_C=50\Omega$，試求：(1) $\overline{Z}$、Z　(2) $\overline{I}$、I　(3) $\overline{V_R}$、V_R　(4) $\overline{V_L}$、V_L　(5) $\overline{V_C}$、V_C　(6) θ_Z　(7) f 各為多少？



圖(18)

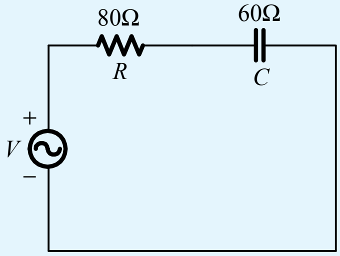


圖(19)

7 如圖(19)所示電路，$\overline{V}=100\angle 0°\text{V}$、$\omega=1000\,\text{rad/s}$、$R=25\Omega$、$X_L=50\Omega$、$X_C=20\Omega$，試求：(1) $\overline{Y}$、Y　(2) $\overline{I}$、I、$i(t)$　(3) $\overline{I_R}$、I_R　(4) $\overline{I_L}$、I_L　(5) $\overline{I_C}$、I_C　(6) θ_Y　(7) C 各為多少？

8. 如圖(19)所示電路，若 $i(t)=10\sin 377t\,\text{A}$、$R=20\Omega$、$X_L=10\Omega$、$X_C=20\Omega$，試求：(1) $\overline{Y}$、Y　(2) $\overline{V}$、V　(3) $\overline{I_R}$、I_R　(4) $\overline{I_L}$、I_L　(5) $\overline{I_C}$、I_C　(6) θ_Y 各為多少？

9. 如圖(20)所示電路，$R=80\Omega$、$X_C=60\Omega$，若電阻 R 的端電壓為 80V，試求交流電壓源 V 為多少？



圖(20)

10. 將一線圈接於 120V 直流電壓源時，通過電流 20A；若將其接於 120V、$\dfrac{50}{\pi}$Hz 的交流電源時，通過電流 12A，試求此線圈的電感抗與電感量為多少？

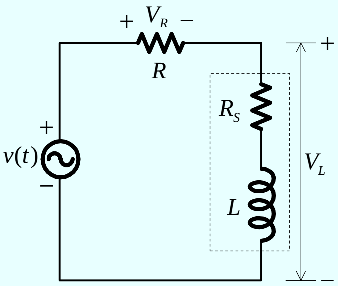
11. 有一串聯電阻／電感交流電路，已知串聯電阻為 2Ω，串聯電感為未知。將此串聯電路化為等效並聯電阻／電感電路，已知並聯電阻為 10Ω，則未知的串聯電感抗值為多少？

12. 將阻抗 $\overline{Z_1}=3+j4\Omega$ 與阻抗 $\overline{Z_2}=4+j3\Omega$ 串聯，若外加電壓為 $100\angle 30°\text{V}$，則阻抗 Z_1 上的電流與電壓間相位差為多少？

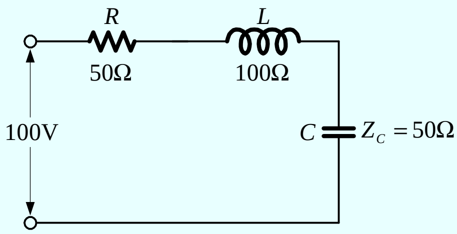
13. 若 $R=3\Omega$、$X_C=4\Omega$，試求此電阻與電容並聯後的阻抗為多少？並求電阻與容抗的相角為多少？

14. 如圖(21)所示電路，電壓源 $v(t)=\sqrt{2}\,V\sin\omega t$ V，若電阻與線圈兩端電壓的有效值為 $V_R=V_L=\dfrac{V}{\sqrt{3}}$V，試求電感抗 X_L 為多少？

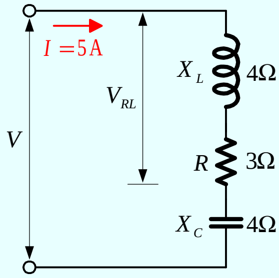
15. 在 R-L-C 串聯電路中，若三者電壓 V_R、V_C、V_L 都是 70V，試求電源電壓為多少？



圖(21)



圖(22)

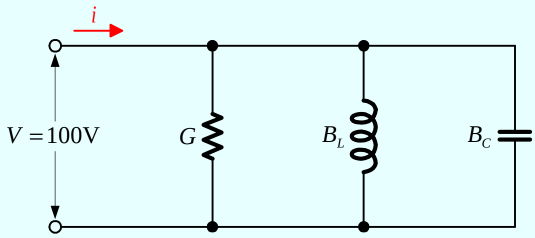


圖(23)

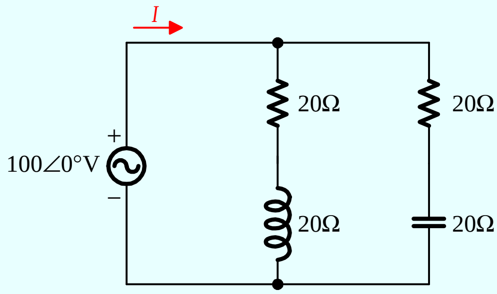
16. 如圖(22)之串聯 R-L-C 交流電路中，L 之有效端電壓 $\overline{V_L}$ 為多少？（設電壓初始相位為 0°）

17. 已知如圖(23)電路各值，當電流 $I=5$A，V_{RL} 電壓降為多少？

18. 如圖(24)所示，設導納 $Y=0.1\angle 30^\circ$ ℧，電源電壓 $V=100$V，則總電流之方程式為何？（設電壓初始相位為 0°）



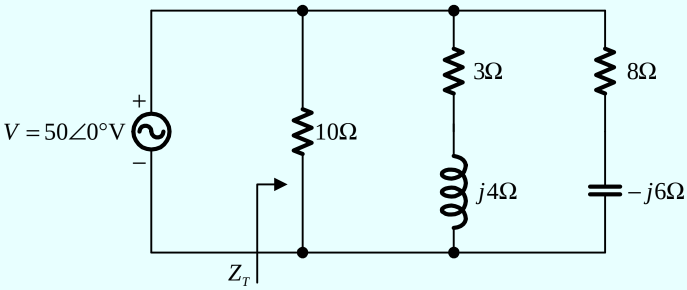
圖(24)



圖(25)

※19. 如圖(25)所示電路，試求此電路的總電流為若干？

※20. 如圖(26)所示電路，試求此電路的總阻抗為若干？



圖(26)