

逢甲大學 112 學年度第二學期

普通物理實驗 預習報告

實驗 19 基本交流電路

系級:光電一甲

學號:D1291989

姓名:洪嘉儀

組別:B1

組員:方宇凡 D1228597、羅冠杰 D1228728

任課老師、助教:馬仕信教授、莊秉翰助教

實驗上課日期:2024/04/24

一、實驗目的：研習 RC、RL 和 RLC 串聯電路的阻抗和電壓、電流兩者相位變化的關係。

二、實驗原理：(一) 交流電源

1. 電流 { 直流電源：固定的極性，電流由高電位的正極流向低電位的負極。
交流電源：沒有固定極性，電流隨著電源的極性變化

2. 正弦電壓的數學式 $V(t) = V_m \sin 2\pi f t$ ($V(t)$: 電壓
 V_m : 峰壓值/電壓振幅)
 $= V_m \sin \omega t$

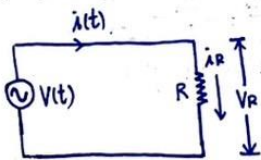
3. 有效值：將交流電接在電阻上所產生的熱量和以某定值的直流電相等時，即為交流電的有效值。

數學式 $I_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}$

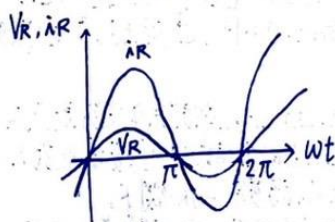
對於 $V(t) = V_m \sin \omega t$ 而言， $V_{rms} = \left[\frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} V_m^2 \sin^2 \omega t dt \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$

(二) 電路元件

1. 元件 { 主動元件：在電路上供應電壓或電流的電源。
被動元件：接受電壓或電流使之轉變為熱輻射的電阻，儲藏電能的電容，儲存磁能的電感。



圖一



圖二

2. 電阻器

a. 歐姆定律 $i(t) = \frac{V(t)}{R} = \frac{V_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t$

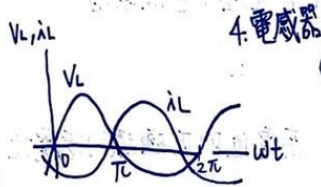
b. 由圖二可知，電流和電壓同時抵達最大值，亦同時降到零，我們稱為同相或相位差為零。

c. 直流電以純量計算，交流電則引用向量計算，一般有三種形式：

(1) 複數形式：以水平軸表示 Re 軸，垂直軸表示虛數 j 軸，在數學上寫成 $V = a + jb$

(2) 極座標形式：以向量的長度 ρ 為向量的有效值，與 Re 軸的夾角 θ 為正弦波的起始相位，在數學上寫成 $V = \rho \angle \theta$ (逆為正，順為負)

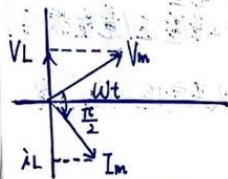
(3) 指數形式 = 根據尤拉公式 $e^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta \rightarrow V = Pe^{j\theta}$
 一個正弦波為 $V = V_m \sin(\omega t - \theta)$ 。則 $V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \angle -\theta = \frac{V_m}{\sqrt{2}} e^{-j\theta} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cos\theta - j \frac{V_m}{\sqrt{2}} \sin\theta$
 $\Rightarrow R = \frac{(V_m/\sqrt{2}) \angle 0^\circ}{(I_m/\sqrt{2}) \angle 0^\circ}$ ，故 R 的相位角 = 0，或說在 R 軸上。



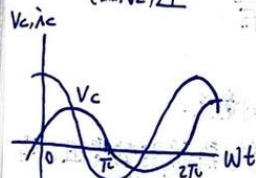
4. 電感器

a. 電感的感應電動勢 $V_L(t) = L \frac{d}{dt}(I_m \sin \omega t) = \omega L I_m \cos \omega t = V_m \cos \omega t$
 定義 $X_L = \omega L$ ， X_L ：等效電阻的特性，稱為感抗。
 b. 比較電流 $i(t)$ 和電壓 $V_L(t)$ ： $V_L(t) = V_m \sin(\frac{\pi}{2} + \omega t)$

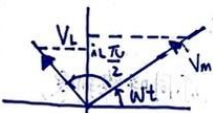
上圖可明顯看出電壓比電流超前 $\frac{\pi}{2}$ 相位



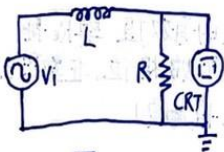
上圖 $X_L = \frac{(V_m/\sqrt{2}) \angle 0^\circ}{(I_m/\sqrt{2}) \angle -90^\circ}$ ， X_L 有 $\frac{\pi}{2}$ 相角



上圖可看出電壓比電流落後 $\frac{\pi}{2}$ 相位。



$X_C = \frac{(V_m/\sqrt{2}) \angle 0^\circ}{(I_m/\sqrt{2}) \angle 90^\circ}$ ， X_C 有 $-\frac{\pi}{2}$ 或 $\frac{3\pi}{2}$ 的相角。



圖三

5. 電容器

a. 公式 $i(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}[C V_C(t)] = \omega C V_m \cos \omega t = I_m \cos \omega t$

其中 $I_m = \omega C V_m$ 。定義 $X_C = \frac{1}{\omega C}$ ，此時 X_C 具等效電阻的特性，稱為容抗

(三) 串聯電路

1. 阻抗：直流電路，電阻 $R = \frac{V}{I}$ ；交流電路，以 Z 取代 R 。如果

$$V = V \angle \theta \text{ 及 } I = I \angle \phi, \text{ 則 } \frac{V}{I} = \frac{V \angle \theta}{I \angle \phi} = \frac{V}{I} \angle (\theta - \phi) = Z \angle \phi = Z \cos \phi + j Z \sin \phi = R + jX$$

$\therefore \theta = 0^\circ \Rightarrow$ 純電阻； $\theta = 90^\circ \Rightarrow$ 純電感； $\theta = -90^\circ \Rightarrow$ 純電容

2. RL 串聯電路： $X_L = \omega L$ ， $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ ， $\phi = \tan^{-1} \frac{X_L}{R}$

3. RC 串聯電路： $X_C = \frac{1}{\omega C}$ ， $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ ， $\phi = \tan^{-1} (-\frac{X_C}{R})$

4. RLC 串聯電路：總阻抗 $Z = R + jX_L - jX_C = R + j(X_L - X_C) = Z \angle \phi$

$$\text{又 } Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \phi = \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R}$$

當 $V(t) = V_m \sin(\omega t - \alpha)$ ，即 $V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \angle -\alpha$ ，則

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{(V_m/\sqrt{2}) \angle -\alpha}{Z \angle \phi} = \frac{V_m}{\sqrt{2} Z} \angle (-\alpha - \phi)$$

$$\text{即 } i(t) = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \alpha - \phi)$$

5. 結論： $X_L > X_C \Rightarrow$ RL 串聯電路

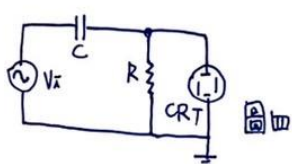
$X_L < X_C \Rightarrow$ RC 串聯電路

$X_L = X_C \Rightarrow$ 串聯共振

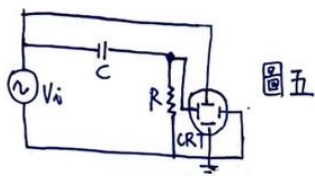
三. 實驗儀器：函數信號產生器、示波器、桌上型三用電錶、電阻器 200Ω 、 300Ω 、電容器 1MF 、 4.7MF 、電感器 5mH 、 10mH 、連接線、示波器測試線

四. 實驗方法：a. RL 串聯電路

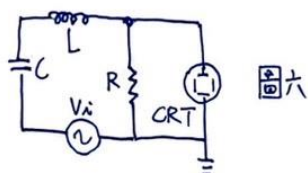
1. 如圖三連接線路， $R = 200\Omega$ ， $L = 10\text{mH}$ 。將信號產生器調至 $V_m = 5\text{V}$
2. 示波器放在 AC 狀態，以 CH1 上的測試線連接電阻器 R ，輸入頻率並調成 1.6kHz ，紀錄 V_m 讀數在 V_R 欄下。
3. 再將 CH2 測試線分別改跨電感器 L 和信號產生器兩端，以測量 V_L 和 V_i 的 V_p 大小。
4. 改變頻率為 6.4kHz ，重複步驟 2 和 3。



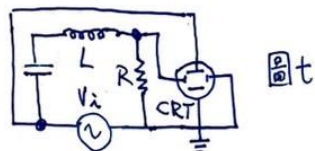
圖四



圖五



圖六



圖七

5. 討論不同 f 對電路電壓的影響以及 V_R , V_L 和 V_C 之間的關係
6. 計算 X_L 和 Z 的大小, 求出 I_m 值。
7. 改以交流伏特計, 跨於電阻器 R 兩端, 重複步驟 2~5, 求出 V_{rms} 值。
8. 在原線路中串聯一交流毫安培計, 紀錄不同 f 值的 I_{rms} 大小, 並比較和 $I_m/\sqrt{2}$ 的誤差。
9. 相位差的測量:

- (1) 將 CH2 上的測試線連接信號產生器。另以 CH1 上的測試線連接電阻器 R 兩端。輸入頻率設定為 1.8 kHz。
- (2) 示波器掃描時基鈕轉到 X-Y EXT HOR。此時, 螢幕出現一個頻率比為 1:1 的李薩如圖形。
- (3) 旋轉水平、垂直位置鈕, 使曲線在螢幕中央, 並量取 Y_1 和 Y_2 求取誤差。
- (4) 改變頻率為 5.5 kHz, 重複步驟 (3)。
- (5) 計算相位差理論大小, 求出誤差。

b. RC 串聯電路

1. 取 $R=300\Omega$, $C=1\mu F$, 取 $f=260\text{Hz}$ 和 1.1 kHz, 重複 a 之步驟 1~8. (圖四)
2. 取 $f=310\text{Hz}$ 和 940 Hz, 重複 a 之步驟 9. (圖五)

c. RLC 串聯電路

1. 取 $R=200\Omega$, $L=10\text{mH}$, $C=4.7\mu F$, 取 $f=160\text{Hz}$, 730 Hz 和 3.3 kHz 重複 a 之步驟 1~8, 測量 V_R , V_L , V_C 和 V_i 的電流大小. (圖六)
2. 調整 $f=730\text{Hz}$ 和 2.1 kHz, 重複 a 之步驟 9. (圖七)