

表二、高職數位教材發展與推廣計畫－電子學科單元教案設計表

單元編號	11-1-3	單元名稱	韋恩電橋振盪電路			
對應之課綱	正弦波產生電路			預計本單元總教學時間	50 分鐘	
單元內容簡介	1. 韋恩電橋振盪電路結構分析。 2. 韋恩電橋振盪電路公式推導。 3. 韋恩電橋振盪電路的頻率、回授因數及相位角的關係。 4. 韋恩電橋振盪電路的條件及實際應用電路。 5. 韋恩電橋振盪電路的應用及公式整理					
具體學習目標 (例如:能說出、能寫出、能 列舉、能運用)	1. 瞭解韋恩電橋振盪電路的電路結構。 2. 瞭解韋恩電橋振盪電路公式推導。 3. 熟悉韋恩電橋振盪電路的頻率、回授因數及相位角的關係。 4. 瞭解韋恩電橋振盪電路的條件及實際應用電路。 5. 能列舉韋恩電橋振盪電路的應用及並寫出重要公式。					
教學實施方式說明欄		教 學 總 時 間	元 件			元 件 內 容 說 明 (教學實施方式共需包含 8~9 個元件)
			編號	類型	時 間	
<b>準備活動</b> <b>11-1-3-1 韋恩電橋振盪電路結構</b> 如圖 1 所示為韋恩電橋振盪電路，主要由負回授電路及正回授電路組成。正回授電路可決定振盪頻率及回授因數 $\beta$ 。負回授電路可決定迴路電壓增益。		2 分 鐘	11-1-3-1 (韋恩 電橋振 盪電路 結構分 析_簡 報)	動態 簡報	30 秒	1. 以簡報方式說明 11-1-3-1 的教學內容。

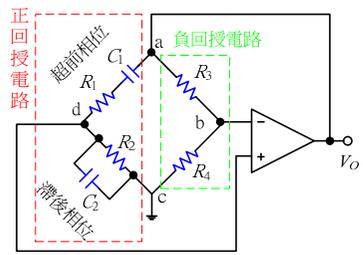


圖 1

發展活動

11-1-3-2 韋恩電橋振盪電路公式推導

1. 放大器的迴路增益公式

由圖 1 的負回授電路可得放大器的迴路增益為  $A_v = 1 + \frac{R_3}{R_4}$ 。

2. 振盪頻率推導

如圖 2 所示為正回授電路，由  $R_1$ 、 $C_1$  組成超前相位及  $R_2$ 、 $C_2$  組成滯後相位。

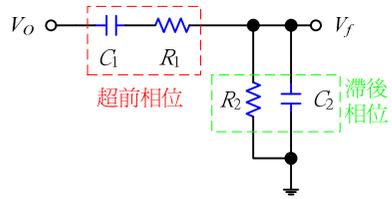


圖 2

依據分壓定律可得回授因數為

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{V_f}{V_o} = \frac{(R_2 // jX_{C2})}{(R_1 + jX_{C1}) + (R_2 // jX_{C2})} \\ &= \frac{-jR_2 X_{C2}}{R_2 - jX_{C2}} \\ &= \frac{-jR_2 X_{C2}}{R_2 - jX_{C2} + (R_1 + jX_{C1})} \\ &= \frac{R_2 X_{C2}}{R_2 X_{C2} + R_1 X_{C1} + R_2 X_{C1} + j(R_2 R_1 - X_{C1} X_{C2})} \end{aligned}$$

15  
分  
鐘

11-1-3-2  
(韋恩  
電橋振  
盪電路  
公式推  
導\_簡  
報)

動態  
簡報

2  
分  
鐘

以簡報方式說明 11-1-3-2 的教學內容分為三頁的 PPT。

當電路發生諧振（振盪）時，電路呈電阻性， $V_o$  及  $V_f$  無相移，故虛部為零，使得  $R_1 R_2 = \frac{1}{(2\pi f_o)^2 C_1 C_2}$ ，經整理可得振盪頻率

$$\text{為 } f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}。$$

### 3. 回授因數推導

當電路發生諧振時，將  $R_2 R_1 = X_{C1} X_{C2}$  代入回授因數，並上、下式同除以  $R_2 X_{C2}$ ，則

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{X_{C2}}{X_{C1}}}$$

因  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  代入，故回授因數為  $\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2}}$

### 11-1-3-3 韋恩電橋振盪電路的頻率、回授因數及相位角的關係

因回授因數  $\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{X_{C2}}{X_{C1}}}$  與頻率有關，其分析如下：

1. 當頻率( $f$ )很低時， $X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \infty$ ，使得  $\beta$  趨近於零，相位角 ( $\theta$ ) 近似於超前  $90^\circ$ 。

2. 當頻率很高時， $X_C = \frac{1}{2\pi f C} = 0$ ，使  $\beta$  趨近於無限大，相位角近似於滯後  $90^\circ$ 。

3. 當  $R = X_C$  時，相位角才等於  $0^\circ$ ，此時  $\beta = \frac{1}{3}$ ， $f_o = \frac{1}{2\pi RC}$ 。

故頻率對回授因數的關係如圖 3 所示，而頻率對相位角的關係如圖 4 所示。

5  
分  
鐘

11-1-3-3  
(頻  
率、回授  
因數及  
相位角  
的關係\_  
簡報)

動態  
簡報

1  
分  
鐘

以簡報方式說明 11-1-3-3 的教學內容。

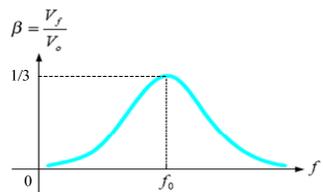


圖 3

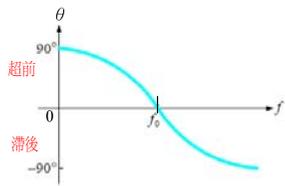


圖 4

### 11-1-3-4 韋恩電橋振盪電路的條件及實際應用電路

#### 1. 韋恩電橋振盪電路的條件

因振盪條件為  $|\beta A| \geq 1$ ，亦即  $|A| \geq \frac{1}{\beta}$ ，使得

$1 + \frac{R_3}{R_4} \geq 1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2}$ ，故電路設計時必須採用

$\frac{R_3}{R_4} \geq \left( \frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2} \right)$ ，才可產生正弦波振盪。

在上式中，若  $R_1 = R_2 = R$  且  $C_1 = C_2 = C$ ，則  $\frac{R_3}{R_4} \geq 2$ ，使得迴路增

益  $A_v \geq 3$ ，回授因數  $\beta = \frac{1}{3}$ ，故振盪頻率為  $f_o = \frac{1}{2\pi RC}$ 。

#### 2. 實際應用電路

在圖 1 電路中，因正回授因數  $\beta = \frac{1}{3}$ ，若採用  $R_3 = 2R_4$ ，則電橋會平衡，使得輸出電壓為 0。所以必須在振盪的初期必須採用  $R_3 > 2R_4$ ，使  $A_v > 3$ ，電橋達不平衡狀態，且正回授電壓大於負回授電壓才會產生振盪，待振盪建立後藉由自動控制元件使  $R_3 = 2R_4$ ，使  $A_v = 3$ ，以維持穩定且持續振盪。改良方式如圖 5 所示的電路，在回授電阻  $R_f$  串聯一電阻  $R$ ，且並聯一組背對背的積納二極體。設計時必須採用  $R_f = 2R_i$  且  $R = R_i$ ，故迴路增益為

15  
分  
鐘

11-1-3-4  
(韋恩  
電橋振  
盪電路  
的條件  
及實際  
應用電  
路\_簡  
報)

動態  
簡報

2  
分  
鐘

以簡報方式說明 11-1-3-4 的教學內容。

$$A_v = 1 + \frac{R_f + R}{R_i} = 1 + \frac{2R_i + R_i}{R_i} = 4$$

開始產生振盪，經過一段時間的增益值為

$$A_v = 1 + \frac{R_f + 0}{R_i} = 1 + \frac{2R_i}{R_i} = 3$$

維持振盪。

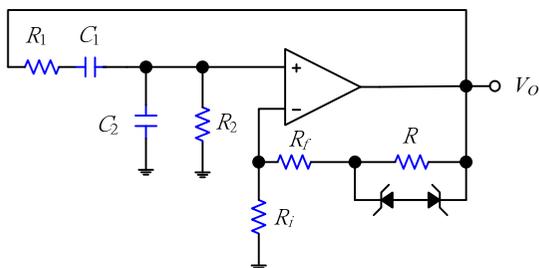


圖 5

### 11-1-3-5 韋恩電橋振盪電路的應用及公式整理

#### 1. 應用

由於韋恩電橋振盪電路的穩定性高，可產生 5Hz~1MHz 的低頻正弦波信號，故常用於音頻產生器。

#### 2. 公式整理

(1) 產生振盪的條件  $\frac{R_3}{R_4} \geq \left( \frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2} \right)$

(2) 回授因數為  $\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2}}$

(3) 迴路增益為  $A_v = 1 + \frac{R_3}{R_4}$

(4) 振盪頻率為  $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$

3  
分  
鐘

11-1-3-5  
(韋恩  
電橋振  
盪電路  
的的應  
用及公  
式整理  
簡報)

動態  
簡報

1  
分  
鐘

以簡報方式說明 11-1-3-5 的教學內容。

若  $R_1 = R_2 = R$  且  $C_1 = C_2 = C$ ，則  $\frac{R_3}{R_4} \geq 2$ ， $\beta = \frac{1}{3}$ ， $A_v \geq 3$ ，

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

### 綜合活動

#### 一、即時練習

以 11-1-3-6 的元件提供老師或同學輸入各電阻值及電容值後，自我判斷所設計的元件值，是否能讓電路產生自激式振盪，並計算其振盪的頻率。

10  
分  
鐘

11-1-3-6  
(韋恩  
電橋振  
盪電路  
的重要  
觀念與  
公式\_互  
動式)

互動  
式動  
畫

7  
分  
30  
秒

以互動式動畫網頁製作 11-1-3-6 的元件，當老師或學生輸入各電阻值及電容值後，程式必須判斷是否滿足  $R_3 \geq 2R_4$  及  $|\beta A_v| \geq 1$ 。若「正確」，則顯示振盪頻率的值與波形。若「錯誤」，則彈出訊息顯示「輸入值必須滿足振盪條件，請重新輸入」，待關閉視窗時，立即清除各輸入值，讓使用者重新輸入。或者按下「重新輸入」時，清除所有資料。

**韋恩電橋振盪電路的重要觀念與公式**

回授因數為  $\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{X_{C2}}{X_{C1}}}$  因滿足巴克豪生準則的振盪條件為  $|\beta A| \geq 1$

欲產生正弦波振盪電路，必須滿足的條件： $\frac{R_3}{R_4} \geq \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2}\right)$

迴路增益為  $A_v = 1 + \frac{R_3}{R_4}$  振盪頻率為  $f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$

請輸入各電阻及各電容值，若滿足  $R_3 \geq R_4$  且  $|\beta A| \geq 1$ ，就可以顯示輸出波形及振盪頻率。

電容值  $C_1$ ：  $\mu\text{F}$     電容值  $C_2$ ：  $\mu\text{F}$   
 電阻值  $R_1$ ：  $\Omega$     電阻值  $R_2$ ：  $\Omega$   
 電阻值  $R_3$ ：  $\Omega$     電阻值  $R_4$ ：  $\Omega$

輸出信號振盪頻率  
 $f_o$ ： Hz   

輸出波形（繪圖時，以正弦波顯示）

二、韋恩電橋振盪電路的學習單

1.如圖 6 所示電路，若  $R_1=2k\Omega$ ， $R_2=1k\Omega$ ， $C_1=2\mu F$ ， $C_2=1\mu F$ ，求振盪頻率約為何？(A) 159Hz (B) 80Hz (C) 39 Hz (D) 32 Hz。

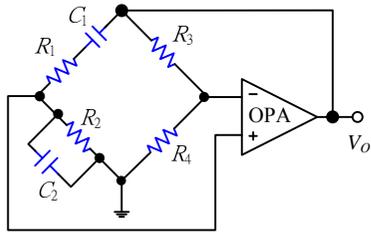


圖 6

SOL : B

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{2k\Omega \times 1k\Omega \times 2\mu F \times 1\mu F}} = 79.6Hz$$

2.如圖 6 所示電路，若  $R_1=1k\Omega$ ， $R_2=2k\Omega$ ， $C_1=1\mu F$ ， $C_2=2\mu F$ ，求回授因數  $\beta$  約為何？(A) 0.29 (B) 0.33 (C) 0.66 (D) 0.99。

SOL : A

$$\text{詳解： } \beta = \frac{1}{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2}} = \frac{1}{1 + \frac{2k\Omega}{1k\Omega} + \frac{1\mu F}{2\mu F}} \approx 0.29$$

3.如圖 6 所示電路，若  $R_1=1k\Omega$ ， $R_2=2k\Omega$ ， $C_1=1\mu F$ ， $C_2=2\mu F$ ，求  $\frac{R_3}{R_4}$  的比值為多少？該電路是否會振盪？(A) 1，不會產生振盪 (B) 2，不會產生振盪 (C) 2.5，會產生振盪 (D) 4，不會產生振盪。

SOL : C

$$\text{詳解： } \frac{R_3}{R_4} = \frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2} = \frac{2k\Omega}{1k\Omega} + \frac{1\mu F}{2\mu F} = 2.5 > 2$$

4.如圖 7 所示電路，求振盪頻率約為多少？(A) 640Hz (B) 320Hz

11-1-3-7

以學習單的模式做為課後練習

(C) 160Hz (D) 80Hz。

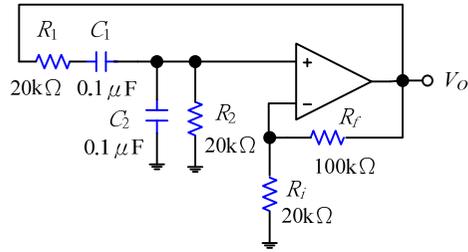


圖 7

SOL : D

詳解 :

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{20k\Omega \times 20k\Omega \times 0.1\mu F \times 0.1\mu F}} = 79.6Hz$$

5.如圖 8 所示電路，若  $R_1=R_2=10k\Omega$ ，欲產生振盪頻率為 20kHz，則  $C_1=C_2$  需採用多少電容值？ (A) 795pF (B) 795nF (C) 795  $\mu F$  (D) 795mF。

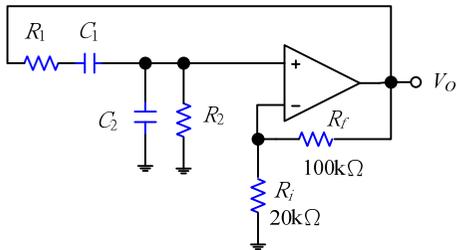


圖 8

SOL : A

$$\text{詳解: } f_o = \frac{1}{2\pi RC} \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi f_o R} = \frac{0.159}{20kHz \times 10k\Omega} = 795pF$$

6.如圖 9 所示電路，若電路振盪時，正回授電壓  $V_f=V_+=3V$ ，求 OPA 的反相輸入端的電壓  $V_-$  為多少？ (A) 1V (B) 3V (C) 9V (D) 12V。

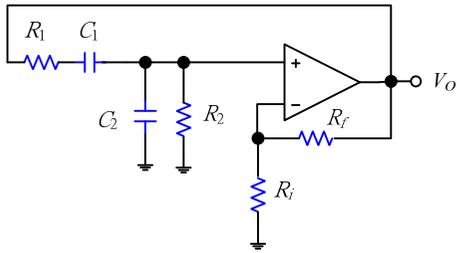


圖 9

SOL : B

詳解：因 OPA 的虛接地與虛短路特性，故  $V_+ = V_- = 3V$ 。

7.如圖 9 所示電路，若  $R_f = 20\text{ k}\Omega$ ，欲產生電路振盪時，則  $R_i$  不可採用多少電阻值？(A)  $6\text{ k}\Omega$  (B)  $8\text{ k}\Omega$  (C)  $10\text{ k}\Omega$  (D)  $12\text{ k}\Omega$ 。

SOL : B

詳解： $\frac{R_f}{R_i} \geq 2 \Rightarrow R_i \leq \frac{R_f}{2} = \frac{20\text{ k}\Omega}{2} = 10\text{ k}\Omega$  即可產生振盪。

8.下列針對韋恩電橋振盪電路敘述錯誤？(A) 等幅振盪 (B) 單一振盪頻率 (C) 可產生三角波 (D) 有兩個回授網路。

SOL : C

詳解：韋恩電橋振盪電路屬於正弦波振盪。

9.如圖 10 所示電路，若使用理想運算放大器， $R_1 = R_f = 10\text{ k}\Omega$ ， $R_2 = 20\text{ k}\Omega$ ， $C_1 = 0.2\ \mu\text{F}$ ， $C_2 = 0.1\ \mu\text{F}$ ，在巴克豪生(Barkhausen)準則下，欲使電路產生振盪，則  $R_f$  至少需採用多少值？(A)  $10\text{ k}\Omega$  (B)  $20\text{ k}\Omega$  (C)  $30\text{ k}\Omega$  (D)  $40\text{ k}\Omega$ 。此電路之振盪率約為何？

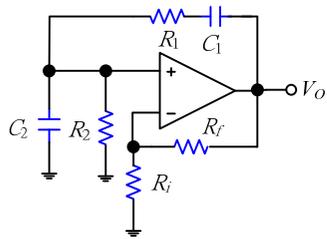


圖 10

SOL : D

$$\text{詳解： } \frac{R_f}{R_i} \geq \frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2}$$

$$\Rightarrow R_f \geq R_i \left( \frac{R_2}{R_1} + \frac{C_1}{C_2} \right) = 10k\Omega \left( \frac{20k\Omega}{10k\Omega} + \frac{0.2\mu F}{0.1\mu F} \right) = 40k\Omega$$

10.如圖 10 所示電路，此電路之振盪率約為何？ (A) 238.5Hz  
(B) 159Hz (C) 79.5Hz (D) 39.8Hz。

SOL :

詳解：

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} = \frac{0.159}{\sqrt{10k\Omega \times 20k\Omega \times 0.2\mu F \times 0.1\mu F}} = 79.6Hz$$

合計：

50  
分  
鐘

合  
計：

15  
分  
鐘

7 個元件

可供設計參考資源列表 (請填入至少 3 項)

參考資源(線上資源或參考書籍)

簡 述

電子學 II 總複習高分講義(含實習)，陳興財編著，松崗出版社。

第十一章基本振盪電路第一節正弦波振盪電路

電子學實習 II，陳興財及王敏男編著，五南出版社。

第十一章基本振盪電路實驗第一節 RC 振盪電路實驗

電子電路，陳茂璋，黃俊延編著，知行文化事業公司。

第三章波形產生電路第一節正弦波振盪器