**實驗單元(五)：文士電橋振盪器電路**

**一、實驗目的**

1. **本實驗在於驗證Barkhausen Criterion。**
2. **了解如何使用OP運算放大器來產生弦波波形。**

**二、實驗儀器設備與實驗材料**

**表(一)：實驗儀器設備**

|  |  |
| --- | --- |
| **儀器名稱** | **數量** |
| **萬用電錶或三用電錶** | **1部** |
| **示波器** | **1台** |
| **雙電源供應器** | **1台** |

**表(二)：文士電橋振盪器電路實驗料表**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **項次** | **位 置 碼** | **元 件 說 明** | **用量** |
| **1** | **C3、C6** | **0.0047uF PE電容** | **2個** |
| **2** | **C2、C5** | **0.1uF PE電容(電源去耦合電容)** | **2個** |
| **3** | **C1、C4** | **120uF 電解質電容** | **2個** |
| **4** | **D1、D2** | **Zener Diode 2.7V** | **2個** |
| **5** | **U1** | **OP AMP uA741CP** | **2個** |
| **6** | **碳膜電阻與可變電阻** | **依實驗內容及設計值，選用適當電阻值** |  |

**三、實驗預習**

**1. 參閱實驗電路圖，畫出完整文士電橋振盪器電路，寫出回授β網路的轉換方程式，寫出其振盪頻率公式，並依各組實驗要求的輸出頻率值，見表格(5-1) 內容，此時給定電容值C5=C6=0.0047uF，計算出所需要的電阻數值，選用5%標準碳膜電阻值R5=R6=?Ω，選用可變電阻值R9=R10=?Ω。**

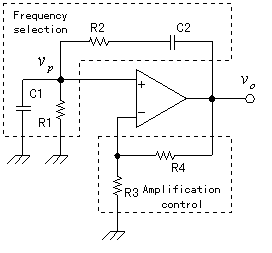
**2.使用 OrCAD 軟體模擬出上述實驗電路圖，須說明回授電壓關係及相位特性，模擬結果在FFT轉換後，使用游標標示出振盪頻率值。**

**四、電路說明**

**如何產生弦波？在Barkhausen Criterion中描述產生弦波需滿足相位差或時間延遲360度且增益為1的條件才能穩定振盪，若增益過大會使弦波發散；反之則會收斂或無法振盪。在此介紹兩種弦波產生的電路：**

**1.文士電橋振盪器(Wien Bridge Oscillator)**

**a.振盪器電路**

****

**圖(一)：振盪器之組成元件**

**圖(一)是由運算放大器所組成的基本型式文士電橋振盪器電路，其中運算放大器的正回授電路，由R1、R2、C1及C2等RC元件所組成領先－落後網路，為振盪器的頻率選擇網路，負回授路徑由R3及R4所組成的非反相放大器增益控制，其電壓增益值＝。**

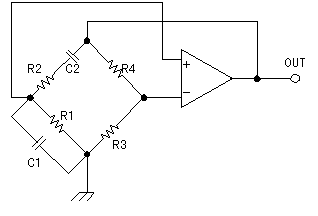
**b.何謂電橋電路？**

**將圖(一)電路圖更改為圖(二)：電橋型式之電路，當電橋平衡時，為此振盪電路的震盪條件。**

**得到文士電橋振盪器頻率公式**

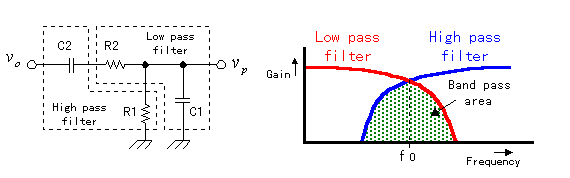
**  
當C1=C2＝C，R1=R2＝R時，上式振盪器頻率為。**

**電路維持穩定輸出之條件為電壓增益＝3=(1+R4/R3)。**

****

**圖(二)：電橋電路**

**c.頻率選擇電路**

****

**圖(三)：頻率選擇電路與關係**

**圖(三)所組成頻率選擇電路為領先－落後網路型式。R2-C1為低通濾波電路，讓低頻訊號通過，訊號經C1接地，高頻訊號衰減。R1-C2為高通濾波電路，讓高頻訊號通過，低頻時容抗為高阻抗，低頻訊號衰減。低頻時，容抗高阻抗，電路特性由高通濾波電路所決定，當頻率增加時，阻抗值減少，使輸出電壓增高，當某特定頻率時，電路特性由低通濾波電路所決定，即頻率增加時，阻抗值減少，導致輸出電壓下降。組合上述兩電路，訊號通過兩重疊頻率區域，此電路稱為帶通濾波器。**

**d.決定振盪條件與振盪頻率**

**參閱圖(一)計算回授量分壓比。**

**串聯阻抗：**

**並聯阻抗：**

**，，A＝，為實數。**

**即上述中若分母項目虛數=0，則。**

**.當虛數=0，計算可得振盪頻率。**

**.當電路振盪時，即，表示衰減量。**

**，**

**即。**

**.若，則。**

**振盪頻率公式：。**

**選用元件：RC串並聯電路的阻抗數KΩ～數百KΩ以下，即上式振盪頻率之公式選用R1KΩ～500KΩ之間的範圍，否則OP AMP的負載會加重，容易受雜訊電容量影響。**

**e.自動振幅控制AGC (Automatic Amplitude Control)**

****

**圖(四)：含波幅限制器的振盪器電路**

**參閱圖(五)，在電路迴路中，電壓增益A的關係值如下說明：**

**.當A＝3時，振盪器產生振盪且持續振盪。**

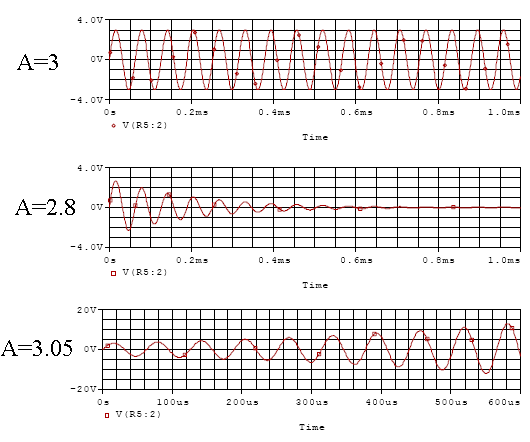
**.當A＞3時，振盪器持續振盪且振福逐漸增大，最後波形截止失真。**

**.當A＜3時，振盪器輸出振幅衰減，最後無法產生振盪。**

**為達到穩定的振幅輸出使用波幅限制器，如圖(四)所示。Zener Diode在振盪器的增益自動控制，可穩定弦波的振幅。**

**當兩個Zener Diode都不導通時，此時迴路增益為**

****

****

**圖(五)：電壓增益電路對振盪器的影響**

**因此開始振盪。由於迴路增益大於1，所以振盪器振幅會增加直到峯值超過二極體的崩潰電壓Vz，D1及D2導通，此時電阻器R7的並聯作用降低了增益並將振幅限制在Vz左右，以維持穩定的波幅。**

**當D1及D2導通時，反相端輸入電壓(V\_)為**

**(V\_)＝**

**為流過R7之交流電流，為流過R4之交流電流，交流分析時，二極體的直流壓降視為短路。**

****

****

**將R3＝0.8R’，R5＝0.15R’，R4＝2R’，R7＝6R’等值代入上兩式，可得**

****

**若取R7＝R’，則。**

**當R7＝6R’時，與R7＝R’，則，表示不同的電壓衰減率。在R7＝6R’時，增益下降有限，導致振幅衰減速度太慢，如此可導致振盪器快速達到飽和狀態。若在R7取得過小時，振幅衰減過快，將導致振盪器輸出波形嚴重失真。若取R7＝2R’時，則，此值應可以使用。**

**當二極體導通時，VO=VO1。**

****

**參閱Data Sheet：二極體1N4618，**

**參閱Data Sheet：二極體1N4617，**

**若取R’＝6KΩ，即**

**R3＝0.8R’＝4.8KΩ，選用R3＝4.7KΩ。**

**R4＝2R’＝12KΩ，選用R4＝12KΩ。**

**R5＝0.15R’＝0.9KΩ，選用R5＝1KΩ。**

**R7＝2R’＝12KΩ，選用R7＝12KΩ。**

**f.電路模擬**

**電路模擬元件與模擬設定值如下所示：**

**.Zener Diode模擬元件選用1N4617(Vz＝2.4V)。**

**.電容C2需設定初使值電壓＝0.05V以加速振盪器起振能力。**

**.振盪頻率值＝1KHz。**

**.選用元件C1＝C2＝C＝4.7nF(電容472)**

**計算電阻**

****

**圖(六)：Wien-bridge振盪器模擬電路圖**

**■Wien-bridge振盪器電路模擬結果**

****

**圖(七)：Wien-bridge振盪器模擬結果(time-domain)**

****

**圖(八)：Wien-bridge振盪器模擬結果(FFT)**

**表(三)︰實驗組別與振盪頻率對照表**

| **組別** | **振盪頻率** | **組別** | **振盪頻率** | **組別** | **振盪頻率** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.1-1** | **1.1KHz** | **No.11-1** | **1.1KHz** | **No.21-1** | **1.1KHz** |
| **No.1-2** | **1.2KHz** | **No.11-2** | **1.2KHz** | **No.21-2** | **1.2KHz** |
| **No.2-1** | **1.3KHz** | **No.12-1** | **1.3KHz** | **No.22-1** | **1.3KHz** |
| **No.2-2** | **1.4KHz** | **No.12-2** | **1.4KHz** | **No.22-2** | **1.4KHz** |
| **No.3-1** | **1.5KHz** | **No.13-1** | **1.5KHz** | **No.23-1** | **1.5KHz** |
| **No.3-2** | **1.6KHz** | **No.13-2** | **1.6KHz** | **No.23-2** | **1.6KHz** |
| **No.4-1** | **1.7KHz** | **No.14-1** | **1.7KHz** | **No.24-1** | **1.7KHz** |
| **No.4-2** | **1.8KHz** | **No.14-2** | **1.8KHz** | **No.24-2** | **1.8KHz** |
| **No.5-1** | **1.9KHz** | **No.15-1** | **1.9KHz** | **No.25-1** | **1.9KHz** |
| **No.5-2** | **2.0KHz** | **No.15-2** | **2.0KHz** | **No.25-2** | **2.0KHz** |
| **No.6-1** | **2.1KHz** | **No.16-1** | **2.1KHz** | **No.26-1** | **2.1KHz** |
| **No.6-2** | **2.2KHz** | **No.16-2** | **2.2KHz** | **No.26-2** | **2.2KHz** |
| **No.7-1** | **2.3KHz** | **No.17-1** | **2.3KHz** | **No.27-1** | **2.3KHz** |
| **No.7-2** | **2.4KHz** | **No.17-2** | **2.4KHz** | **No.27-2** | **2.4KHz** |
| **No.8-1** | **2.5KHz** | **No.18-1** | **2.5KHz** | **No.28-1** | **2.5KHz** |
| **No.8-2** | **2.6KHz** | **No.18-2** | **2.6KHz** | **No.28-2** | **2.6KHz** |
| **No.9-1** | **2.7KHz** | **No.19-1** | **2.7KHz** | **No.29-1** | **2.7KHz** |
| **No.9-2** | **2.8KHz** | **No.19-2** | **2.8KHz** | **No.29-2** | **2.8KHz** |
| **No.10-1** | **2.9KHz** | **No.20-1** | **2.9KHz** | **No.30-1** | **2.9KHz** |
| **No.10-2** | **3.0 KHz** | **No.20-2** | **3.0 KHz** | **No.30-2** | **3.0 KHz** |

**五、實驗注意事項與電路模擬**

1. **使用萬用電錶之注意事項：測量電壓時，請設定為4位半顯示測量值。測量電阻時，請設定為4位半顯示測量值。**
2. **各組別的頻率要求值如表格(三)所示，請在實驗預報中計算所需要電阻值，並使用模擬軟體，模擬出實驗振盪值。**
3. **實驗步驟中的頻率值＝規定之頻率值，即為各組所規定的頻率值。**
4. **下列各實驗步驟所需擷取之輸出波形圖，應使用示波器的測量功能，測量出頻率值及振幅大小()，若未顯示上述之測量結果，則需重新擷取波形。**

**六、實驗項目與實驗步驟**

**■實驗實作電路：Wien電橋振盪器**

1. **實驗設計與電路模擬：依據實驗振盪公式及各組別的頻率要求，見表格(三)內容，給定電容值，計算出電阻值R7及R9，選用電阻元件，計算值，完成實驗模擬。**

**◎計算列式：繳交實驗預習上課筆記。**

****

**圖(5-1)：實驗電路圖(1)**

**※R7=R8，選用VR 1KΩ或是VR 2KΩ。**

**※R5選用VR 10KΩ，R4選用15KΩ。※R2選用VR 5KΩ**

1. **接好圖(5-1)：實驗電路圖(1)，其中D1、D2、R1及R2等元件暫且不要接。**
2. **接上雙電源±15V。以示波器觀測節點[VO1]訊號，適當調整可變電阻(R8及R10)－可改變頻率值及振幅大小，適當調整可變電阻(R5)－可改變非反相放大器的電壓增益值。在調整的過程中，您會發現由於控制太靈敏以致於非常難以控制輸出振幅大小，這是因為調整三顆可變電阻均可改變輸出振幅大小。請調整出任一振盪波形出來(失真波形也可以)，然後記錄其頻率值及電壓()，完成表格(5-1)內容，擷取各節點波形。**
3. **擷取下列各實驗測量波形：(實驗步驟3.)。**

**a.節點[VO1]波形**

**b.節點[VO1、A1] 波形**

**c.節點[VO1、A2] 波形**

**d.節點[A1，A2] 波形**

**表(5-1)：測量數據與測量波形(實驗步驟3.)**

| **各相對節點** | **觀 測 結 果** |
| --- | --- |
| **節點[VO1]** | **.輸出振盪頻率＝ Hz。**  **.波形峰-峰值()＝ 。** |
| **節點[A1]** | **.輸出振盪頻率＝ Hz。**  **.波形峰-峰值()＝ 。** |
| **節點[A2]** | **.輸出振盪頻率＝ Hz。**  **.波形峰-峰值()＝ 。** |

1. **為了可以得到穩定的輸出振幅，將波幅限制器電路加入上述電路中，接好D1、D2、R1及R2等元件。**
2. **分別調整可變電阻R8、R10、R5及R2，以示波器觀測節點[VO1]訊號，輸出應為最大且無失真弦波波形，且振盪頻率值需依各組別之頻率。**
3. **測量下列節點波形，擷取下列表格(5-2)中各節點的波形。使用示波器測量各相對節點波形，需顯示相角差及峰-峰值()，並完成表格(5-2)內容。**
4. **擷取下列各實驗測量波形： (實驗步驟7.)。**

**a.節點[VO1] 波形**

**b.節點[VO1、A1] 波形**

**c.節點[VO1、A2] 波形**

**d.節點[A1，A2] 波形**

**表(5-2)：測量數據與測量波形(實驗步驟7.)**

| **各相對節點** | **觀 測 結 果** |
| --- | --- |
| **節點[VO1]** | **.輸出振盪頻率＝ Hz。** |
| **節點[VO1，A1]** | **.節點[VO1]波形峰-峰值()＝ 。**  **.節點[A1]波形峰-峰值()＝ 。**  **.電壓比率＝＝ 。**  **.測量相角差Δθ＝ 。** |
| **節點[VO1，A2]** | **.節點[VO1]波形峰-峰值()＝ 。**  **.節點[A2]波形峰-峰值()＝ 。**  **.電壓比率＝＝ 。**  **.測量相角差Δθ＝ 。** |
| **節點[A1，A2]** | **.節點[A1]波形峰-峰值()＝ 。**  **.節點[A2]波形峰-峰值()＝ 。**  **.電壓比率＝＝ 。**  **.測量相角差Δθ＝ 。** |

1. **室溫下穩定度測試，了解溫度對振盪電路影響。測試節點[VO1]，將電路置於實驗桌面，記錄振盪頻率值且擷取實驗波形，記錄測試時間，經30分鐘後，再次記錄振盪頻率值且擷取實驗波形，完成表格(5-3)內容。**

**a.擷取節點[VO1] 波形(測試前頻率值)。**

**b.擷取節點[VO1] 波形(30分鐘後)。**

**表(5-3)︰溫度測試(實驗步驟9.)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **頻 率 值** | **測試時間** |
| **測試前頻率值** |  | **年 月 日**  **時 分** |
| **溫度測試(30分鐘)**  **測試後頻率值** |  | **年 月 日**  **時 分** |

1. **先行實驗電路檢查：此時您應該找助教檢查上述振盪電路，CH1接節點[A1]，CH2接節點[A2]，調整好頻率值，輸出波形不可失真，測量頻率值及峰-峰值(Vp-p)。**

**a.擷取節點[A1，A2]波形圖：記錄頻率值＝ 、測量節點[A1]峰-峰值(Vp-p)= 、測量節點[A2]峰-峰值(Vp-p)= 。**

1. **更改電容的影響：拆除C5及C6，組裝C5X＝C6X=0.001uF，調整可變電阻，使用示波器觀察及擷取節點[VO1]波形，記錄頻率範圍值及波形變化情形。就更改電容的影響，試比較前後輸出波形的差異性，請分析其結果。**

**a.節點[VO1]波形：記錄最大頻率值＝ 。**

**測量節點[VO1]峰-峰值(Vp-p)= 。**

**b.節點[VO1]波形：記錄最小頻率值＝ 。**

**測量節點[VO1]峰-峰值(Vp-p)= 。**

**七、實驗問題與討論**

1. **就步驟[3](不含D1、D2)的實驗結果，請說明節點[VO1]間波形變化之情形及相關性。**
2. **就步驟[7] (含D1、D2)的實驗結果，請說明節點[VO1]間波形變化之情形及相關性。**
3. **就步驟[9]室溫下穩定度測試的實驗結果，請您分析一下，頻率漂移之情形與電路元件之關係。**
4. **就步驟[11]更改電容的影響的實驗結果，試比較節點[VO1]波形測試前、後輸出波形的差異性，請分析其結果。**
5. **就上述實驗結果，請說明文士電橋振盪器最適當的工作頻率範圍。**

**八、撰寫實驗結論與心得**

**九、實驗綜合評論**

**1.實驗測試說明、實驗補充資料及老師上課原理說明，是否有需要改善之處。**

**2.實驗模擬項目內容，是否有助於個人對實驗電路測試內容的了解。**

**3.實驗測量結果，是否合乎實驗目標及個人的是否清楚瞭解其電路特性。**

**4.就實驗內容的安排，是否合乎相關課程進度。**

**5.就個人實驗進度安排及最後結果，自己的評等是幾分。**

**6.在實驗項目中，最容易的項目有那些，最艱難的項目包含那些項目，並回憶一下，您在此實驗中學到了那些知識與常識。**

**十、附上實驗進度紀錄單(照片檔)及麵包板電路圖組裝圖檔(照片檔)**

**十一、參考資料來源**

**[1].SEDRA & SMITH ，“MICROELECTRONIC CIRCUITS”，Copyright by Oxford University Press,Inc, sixth edition 2010,P.1040〜P.1048.**

**[2].“電子元件與電路理論”，張順雄、張忠誠、李榮乾編譯，東華書局出版,第三版,1999 ,P.1012〜P.1014.**

**[3].Sergio Franco，“Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits”，McGraw-Hill International Editions 1988,P.354〜P.361.**