

教育部審定

五年制工業專科學校適用

電子實習

三民書局印行 周錦惠著

電子實習

(五)

周錦惠 著

學歷：台北工專電機工程科畢業

現職：台北工專電機工程科專任教授

兼實習組主任

三民書局印行



號〇〇二〇第字業查版局證記登局聞新院政行

中華民國六十九年五月初版

◎電 子 實 習 (五)

基本定價貳元貳角伍分



必究

著作者 周 錦 惠
發行人 劉 振 強
出版者 三民書局股份有限公司
印刷所 三民書局股份有限公司

臺北市重慶南路一段六十一號
郵政劃撥九九九八號

編 輯 大 意

- 一、本書係遵照教育部六十五年所頒佈，五年制工業專科學校電子科電子實習課程標準，編輯而成。除供五年制工專電子工程科教學之用外，並可供電子從業人員參考。
- 二、本書共分十三冊，前七冊為數位系統組及應用電子組所必需共同修習之課程，第一冊包括手工具及電子儀器等實習，適於第二學年上學期用。第二冊包括二極體之測量及線路之應用等實習，適於第二學年下學期用。第三冊包括電晶體特性測量放大電路及場效電晶體特性測量、偏壓電路等實習，適於第三學年上學期用。第四冊包括場效電晶體放大電路回授放大電路及電源給器等實習，適於第三學年下學期用。第五冊包括脈波電路及線性積體電路等實習，適於第四學年上學期用。第六冊為電子零件檢驗實習，第七冊為數位系統原理實習，此兩冊適於第四學年下學期用；第五學年因兩組性質之不同，課程內容亦不同，第八冊包括各種大型積體電路及數位儀器之實習製作，適於數位系統組，第五學年上學期用。第九冊為電視機電路之調整實習。第十冊為音響器材實習，此兩冊適於應用電子組第五學年上學期用。第十一冊包括微算機程式及小型系統之設計等實習，適於數位系統組第五學年下學期用。第十二冊包括各種工程規格之試驗及電視機之測試、檢修等實習，第十三冊包括閥流體之特性實驗，及其基本電路、應用電路等實習，此兩冊適於應用電子組第五學年下學期用。
- 三、本書第一冊中共有三十項實習，為配合教學時數，茲將其分為下列十三個單元，每週教授一單元，以供教師參考：
實習一～四，實習五～六，實習七～九，實習十～十三，實習十四～十六，實習十七，實習十八，實習十九～二十，實習二十一～二十三，實習二十四～二十五，實習二十六～二十七，實習二十八～二十九，實習三十等十三個單元。
- 四、本書各實習皆儘量選用價廉且普遍之器材來完成之，故得以有限之經濟來達成優良之教學效果。

2 電 子 實 習

- 五、本書各實習皆列有問題及研討，俾使讀者加以研討，以祈達到融會貫通。
- 六、本書內容之選擇及編排，除根據編者教學經驗及參考國內外之最新書刊外，並得郭廷偉先生之謄稿、繪圖而得以完成，謹致謝忱。
- 七、本書係利用課餘之際，於倉促中編輯而成，疏漏之處在所難免，敬盼諸先進及讀者隨時惠予指正，俾再版時得以訂正。

編者謹識

電子實習(五) 目次

實習一	哈特萊振盪器.....	1
實習二	考畢子振盪器.....	9
實習三	晶體振盪電路.....	13
實習四	相移振盪器.....	23
實習五	不穩態多諧振盪器.....	29
實習六	雙穩態多諧振盪器.....	35
實習七	單穩態多諧振盪器.....	43
實習八	基本差動放大器.....	51
實習九	差動放大器特性之探討	59
實習十	差動放大器阻抗測量及串接特性.....	67
實習十一	OPAMP 之基本特性	75
實習十二	OPAMP 基本應用電路(一)	83
實習十三	OPAMP 基本應用電路(二)	89
實習十四	維恩電橋振盪電路	103
實習十五	史密特驅動電路	109
實習十六	OPAMP 截波電路	115

2 電 子 實 習

實習十七	電壓比較器電路.....	131
實習十八	電壓調整器電路.....	145
實習十九	電流調整器電路.....	159

實習一 哈特萊振盪器

〔目的〕

研究哈特萊振盪器 (*Hartley Oscillator*) 之作用以及檢查振盪頻率的方法。

〔器材〕

1. 直流 6V 電源一組。
2. 信號產生器一部。
3. 示波器一臺 (附有調解測驗棒)。
4. VTVM (或 VOM) 一部。
5. 毫安培計 0 ~ 10mA 範圍一只。
6. 電阻器 390 Ω 及 15K Ω 各一只。
7. 電容器 15pf, 47pf, 250pf, 250pf, 0.01 μ f 各一只。
8. 電晶體 2SC458一只。
9. 電感 30mh 之射頻電感一只。
10. 廣播頻帶 (455~1650KHz) 所使用之調諧電容 (*Tuning Capacitor*) 一個。
11. 廣播頻帶 (455~1650KHz) 所使用的哈特萊振盪線圈 (*O.S.C*) 一只。
12. 單擲單投開關 (*SPST*)一只。

〔原理說明〕

一、普通的正弦波振盪器

所謂振盪器，就是能將直流電源變換為隨時間而變之交流信號的電子電路。一般而言，欲構

成振盪器電路時必須滿足下列之條件：(1) 有包含反饋 (*feedback*) 之放大器。(2) 迴路增益須大於或等於 1。(3) 反饋之信號和輸入端之信號的相位差為零。

如圖 (1-1) 所示，圖中所謂之主動元件 (*active element*) 是為一個基本放大器 (其構成可能為電晶體, *FET* 或是線性 *IC*)， Z_1 , Z_2 , Z_3 是為構成振盪器的元件。由圖 1-1(b) 之等效電

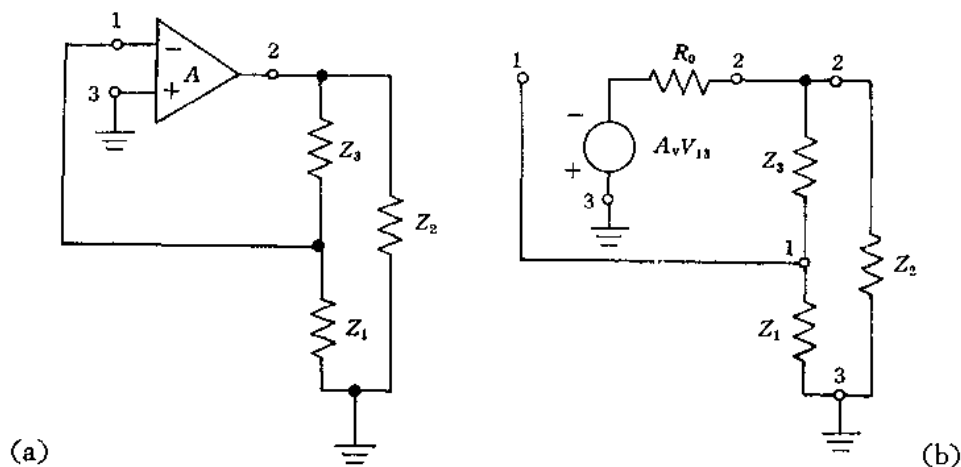


圖 1-1 (a) 諧振電路的基本組態 (b) 其等效電路

路可知沒有反饋時的增益為 $A = -\frac{A_v Z_L}{Z_L + R_0}$ ；同時取 $\beta = -\frac{Z_1}{Z_1 + Z_3}$ 。因此，迴路增益 $-A\beta =$

$$\frac{-A_v Z_1 Z_2}{R_0(Z_1 + Z_2 + Z_3) + Z_2(Z_1 + Z_3)} \quad (1-1)$$

若阻抗是以純電抗 (電感或電容) 替代時，即 $z_1 = jx_1$, $z_2 = jx_2$, 以及 $z_3 = jx_3$ 。因而 (1-1) 式變為 $-A\beta = \frac{+A_v x_1 x_2}{jR_0(x_1 + x_2 + x_3) - x_2(x_1 + x_3)}$ (1-2)

要滿足第 (3) 個條件，則必須迴路增益是個實數 (即相差為零) 故得 $x_1 + x_2 + x_3 = 0$ 同時 (1-2) 式成為 $-A\beta = \frac{A_v x_1 x_2}{-x_2(x_1 + x_3)} = \frac{-A_v x_1}{x_1 + x_3}$ (1-3)

又由圖示知，此電路為 x_1 , x_2 及 x_3 串聯組合的諧振，故 $x_1 + x_3 = -x_2$ ，於是 (1-3) 式變為 $-A\beta = \frac{+A_v x_1}{x_2}$ (1-4)，由於 $-A\beta$ 必須為正且大

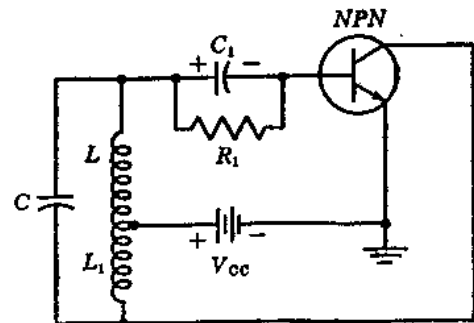
小須至少為 1，故 x_1 及 x_2 具有同樣符號 (即兩者同為電感或是電容性)，而 $x_3 = -(x_1 + x_2)$ ，故 x_3 之符號恰和 x_1 及 x_2 相反。如果 x_1 , x_2 是兩個電感性而 x_3 是電容性，則此電路稱為哈特萊 (*Hartley*) 振盪器。如果 x_1 , x_2 為兩個電容性，而 x_3 是電感性，則此電路就被稱為考畢子 (*Colpitts*) 振盪器。前者為本實習所研究，至於後者我們將在下一實習中討論到。

二、哈特萊振盪器之工作原理

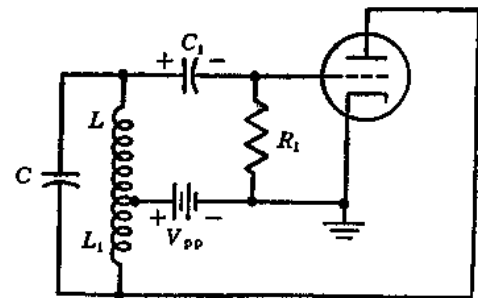
哈特萊振盪器可依反饋的方式分爲二類：(1) 串饋 (*series-fed*) 及 (2) 並饋 (*parallel-fed*)。茲分別敘述如下：

(1) 串饋哈特萊振盪器：如圖 1-2 所示，

(a) 及 (b) 分別爲電晶體與真空管之哈特萊振盪器。(a) 中 *NPN* 電晶體的偏壓與一般放大器相同，射極—基極間爲順向偏壓，而射極—集極間爲逆向偏壓，自耦變壓器 (*auto-transformer*) $L-L_1$ 之中央臂置於適當的位置以維持槽路之振盪。 $L-L_1$ 與 C 共同來決定振盪頻率；而 R_1 是決定了基極—射極間之偏壓； C_1 被充電，其極性如圖 (a) 中所示，除非在振盪之正半週，基極對射極維持一負電位，而使電晶體截止。在圖 (b) 中之真空管電路的作用與電晶體相似，反饋由屏流流過 L_1 所供給，在 L 上感應產生一電壓，並具適當之相位以維持 LC 槽路的振盪。而 C_1 及 R_1 供給真空管之柵漏偏壓 (*grid-leak bias*)，使真空管僅在正弦波的正半週才導通。在圖 1-2 中的電路，由於射頻迴路 (集極輸出迴路) 與直流迴路相同，就如同是在串聯電路一般，故稱爲“串饋”。



(a)



(b)

圖 1-2 串饋哈特萊振盪器

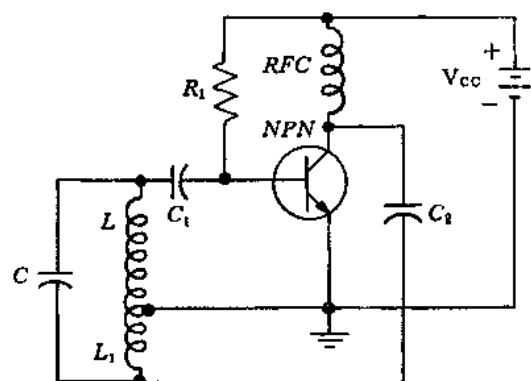
(2) 並饋哈特萊振盪器：如圖 1-3(a) 中所示，爲常用於局部 (*local*) 振盪之哈特萊振盪器。 C_2 與 L_1 構成射頻電流通路。射頻電流通過 L_1 ，在 L 上感應了一個適當相位與振幅的電壓以維持振盪。 L 與 L_1 接觸點的位置決定了反饋至基極電路之信號大小。自耦變壓器 (L 與 L_1) 與電容 C (可變) 決定振盪頻率：如果改變 C 即可改變振盪器之頻率。 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LeqC}}$ ， $Leq = L_1 + L$ 。集極電路之射頻電感可使射頻信號及直流偏壓 V_{cc} 相隔絕。在圖 (b) 中於射極加一電阻 R_2 以做直流穩壓用。而 R_2 兩端加旁路電容 C_2 可以避免交流信號衰減。在圖 1-3 中之振

並電路，由於射頻迴路與直流迴路相並聯，故此電路稱為“並饋”。

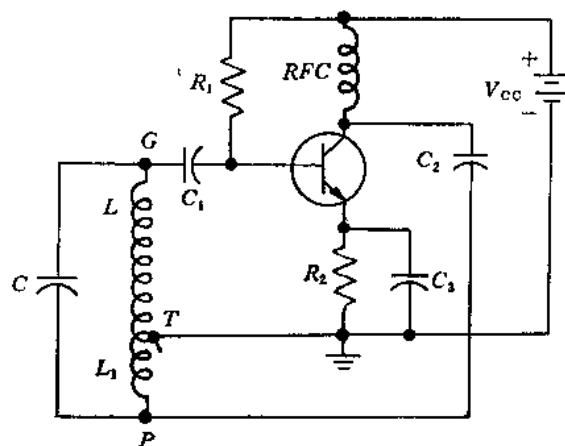
三、檢查振盪頻率

求得頻率之法有二：(1) 外差頻率法 (*heterodyne frequency-meter method*) (2) 李賽圖法 (*Lissajous Figure method*) 茲分述如下：

(1) 外差頻率法 其作用原理為將欲測信號以及本身已知之信號一同加入調幅檢波器之非線性元件中混合，使產生一新的信號，其頻率有原來兩信號頻率之和，差或調諧組合。我們取出差額的信號，當兩者頻率差接近在聲音範圍內時，可用耳機或揚聲器以偵測其節點 (*node*)。若兩者頻率相等，則差頻為零，偵測不出聲音。利用此原理可調整已知的信號頻率來配合未知頻率以測得無聲之狀況，來求出未知信號頻率之值。超外差頻率計之方塊圖如圖 1-4 所示。超外差頻率計需要一零位指示器 (如耳機或揚聲器)，但亦可用示波器來替代，示波器本身已有聲頻放大器，故只需外接檢波器與校準射頻產生器。



(a)



(b)

圖 1-3 並饋的哈特萊振盪器

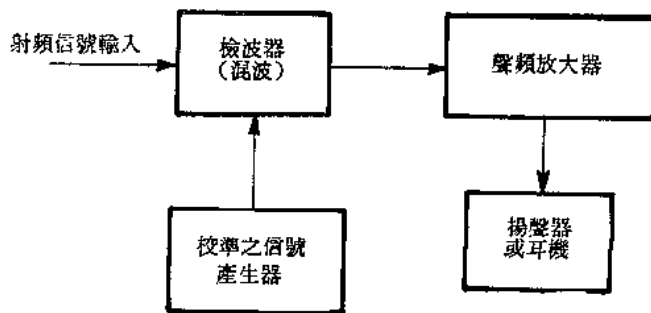


圖 1-4 超外差頻率計之方塊圖

圖 1-5 爲外接解調測試棒之線路圖。可以當作檢波器使用，欲測信號自試棒輸入，而校準信號產生器之輸出亦耦合至測試棒。

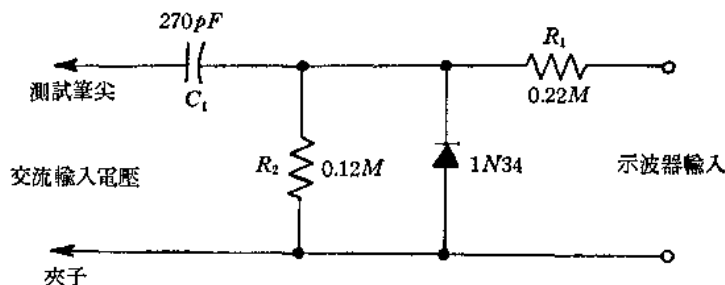


圖 1-5 解調測試棒線路

圖 1-6 爲示波器上所顯示之外差節點圖形。(b) 圖爲零節點（理想狀況下），圖 (a) 及 (c) 爲零節點頻率兩側之波形。若產生器之頻率與欲測頻率相差愈遠，則節點頻率愈大。

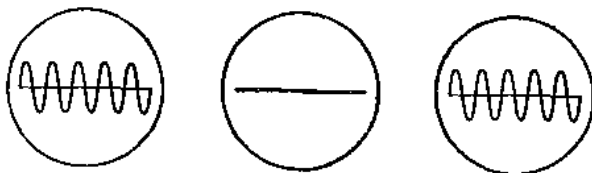


圖 1-6 示波器上所顯示之外差節點圖形

(2) 李賽圖法 本法已在第二冊中之示波器使用法的實習裏介紹過，乃是由李賽圖來測量振盪器之頻率，在此不再贅述。

〔程序及記錄〕

一、哈特萊振盪器

1. 在使用哈特萊振盪線圈之前，必須注意接頭。哈特萊振盪線圈有三個接頭，通常有註明以資區別，若沒有的話，可用歐姆表測知。 T 與 P 間的電阻小於 T 與 G 間。若接頭接錯，則振盪器將不工作。

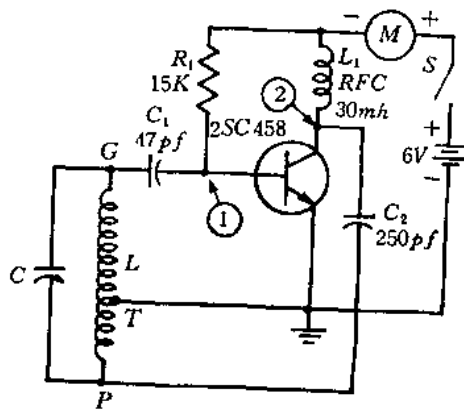


圖 1-7 實驗電路 (一)

6 電 子 實 習

2. 如圖 1-7 所示連接電路。其中 C 為廣播頻帶的調諧電容， L 為匹配廣播頻帶之哈特萊振盪線圈。 M 為直流毫安計（用 VOM 之 $0\sim 10mA$ 之範圍亦可）。

3. 將 S 閉合以使電源供入電路，將示波器調至最高掃描頻率範圍，並調整調諧電容，使其有最大電容值，觀測測試點 1 與 2 之波形與振幅，記錄於表 1-1 中。在此順便要注意的是：對窄頻帶示波器而言，振幅之量度是仍然可行的，蓋因示波器內之放大器會使高频信號衰減。

4. 以 $VTVM$ 分別量度測試點 1 與 2 之直流電壓 V_{BE} 及 V_{CE} 值，並記錄於表 1-1 中。

5. 觀察毫安計 M 之電流，記錄於表 1-1 中。

6. 將基極電容 C_1 短路，重複步驟 3 至 5。然後使電路回復正常。

7. 關掉電源。加使偏壓穩定的 R_2 及 C_3 於實驗電路中，如圖 1-8 所示。

8. 閉合 S ，重複步驟 3 至 5。

9. 除去 C_3 ，重複步驟 3 至 5。

10. 將 C_3 重新接回電路。

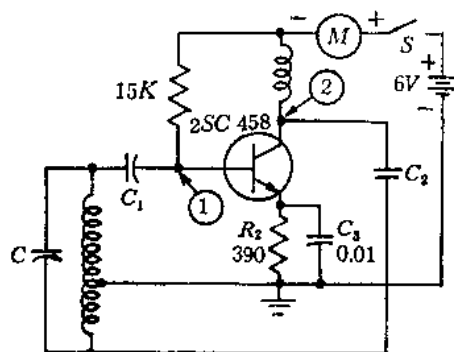


圖 1-8 實驗電路 (二)

表 1-1 哈特萊振盪器之特性記錄

步驟	測 試 點 1			測 試 點 2			
	波 形	峯間值 V	V_{BE} 伏特	波 形	峯間值 V	V_{CE} 伏特	I_T 毫安
3, 4, 5							
6							
8							
9							

二、檢查振盪頻率

1. 以射頻解調測試棒代替示波器試棒。觀測圖 1-7 電路之測試點 1，並記錄於表 1-2 中。

2. 取 15 pf 之電容與校準射頻信號產生器之火線串聯，並將產生器之輸出饋入測試點 1。將產生器定於 1000 KHz 。調整產生器之頻率控制於 1000 KHz 之兩側，直到示波器上出現零節

點爲止。產生器之輸出應調至最小，而示波器之靈敏度調至最大。並在表 1-2 中記錄零節點

(b) 與零節點兩側 (a) 與 (c) 之波形。並記錄零節點時之產生器頻率。此爲最小振盪頻率。

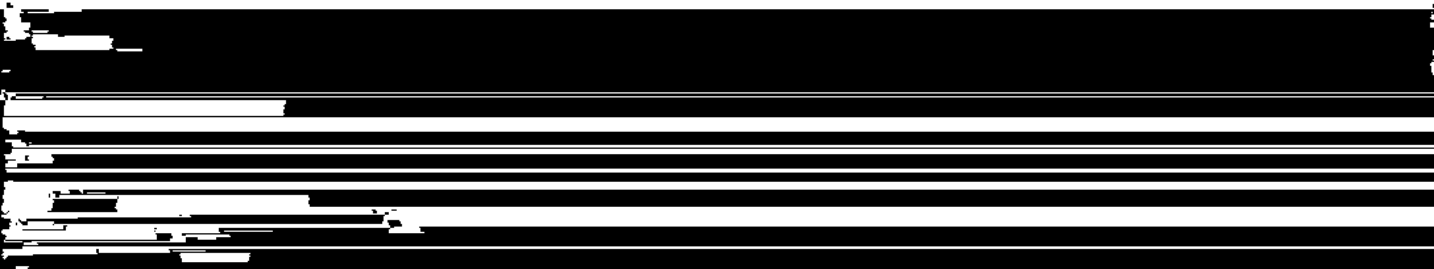
3. 打開調諧電容器，使其電容值爲最小，同樣按照上一步驟方法，來測出最大振盪頻率。

表 1-2 以超外差頻率法測量哈特萊振盪器頻率的記錄

步 驟	射頻波形	零 節 點 波 形			振盪器頻率 H_z
		(a)	(b)	(c)	
1					
2					
3					

〔問題及研討〕

- 說明圖 1-7 之電路如何達到振盪之條件？
- (a) 說明在圖 1-7 之電路中，若 C_1 短路時，對其工作有何影響？
(b) 說明圖 1-8 的電路，在 C_3 斷路時將會有何影響？
(c) 比較並說明表 1-1 中步驟 6 與 9 之電流讀值。
- 加上了偏壓穩定電路後，對振盪器之輸出有何影響？並參考表 1-1 中的數據來說明之。
- (a) 在圖 1-8 的電路中，電容 C_2 之作用爲何？
(b) 若 C_2 斷路時，此振盪器能繼續工作嗎？
- 如何判斷振盪電路正在行使振盪之工作？
- 哈特萊振盪器是否會發生頻率漂移？如果會，則其原因爲何？



實習二 考畢子振盪器

〔目的〕

瞭解考畢子振盪器 (*Colpitts oscillator*) 之組成，工作之原理以及外加之變化所對於其特性之影響。

〔器材〕

1. 直流電源 $6V$ ($50mA$) 一組。
2. 示波器一部。
3. VTVM 一臺。
4. 可變電阻 $100k\Omega$ 二個
5. 電阻器 $1k\Omega$, $3.3k\Omega$ 各一只。
6. 電容器 $0.01\mu f$ 二只, $47pf$ 二只。
7. 天線線圈一只。
8. 電晶體 $2SA566$ (*PNP* 型) 二只。
9. 單擲單投開關 (*SPST* 型) 一只。

〔原理說明〕

考畢子振盪器和哈特萊振盪器的構造頗為近似。若不考慮在哈特萊振盪器中之線圈 L 及 L_1 間之互感 (*mutual inductance*) 的作用時兩者的區別，乃在哈特萊振盪器的電感換為電容器，電容器改換為電感器即可成為考畢子振盪器。如果以濾波器 (*filter*) 來對它們加以分別的話，使用高通濾波器 (*high-pass filter*) 的反饋電路者稱為哈特萊振盪器。而使用低通濾波器 (*low-pass*

filter) 的反饋電路者稱為考畢子振盪器。

儘管此兩種振盪電路的構造頗為相似，但考畢子振盪器之使用場合較哈特萊為多；尤其是考畢子振盪器常作為變頻振盪器 (variable-frequency oscillator) 並用在其他須具有極佳之頻率穩定性的應用場合中。而且它亦具有相當高的能量，可以輸出較高的功率以推動負載。另外，它可儘將線圈用品體 (crystal) 來替代，而成為一具性能極佳的晶體振盪器。這些都是其優於哈特萊振盪器之處。

如圖 2-1 所示的考畢子振盪電路，它的諧振電路是由電容器 C_1 與 C_2 串聯後再與電感器 L 並聯所組成；射頻信號經由 C_1 、 C_2 及 C'' 反饋至基極輸入端；反饋量之大小乃是由 C_2 及 C_1 之比值來決定：若 $C_1 > C_2$ 時，反饋量不足，根據振盪的條件可知無法維持振盪，唯有當 $C_1 \leq C_2$ 之時振盪始能建立。在此， C_1 是為正反饋電容。

當集極電壓增加時，於 C_2 兩端的電壓恒等於輸出電壓，故其值亦同時增加。由於 L 與 C_1 同 C_2 互成串聯諧振而構成槽電路 (tank circuit) 之故，以致於電感 L 兩端電壓趨向於增大而 C_1 兩端電壓又趨向於降低。實際反饋至電晶體放大器基極的電壓是 C_1 兩端的電壓，同時以電容 C'' 來反饋射頻電壓以獲得振盪所需之相位，故構成正反饋而造成振盪。考畢子振盪器之振盪頻率

$$\text{為： } f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2-1) \quad \text{其中之 } C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (2-2) \quad \text{公式}$$

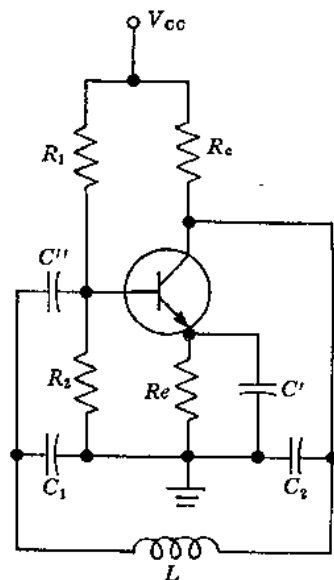


圖 2-1 考畢子振盪器

(2-1) 亦可適用於上一實習所述之哈特萊振盪器，不過 $L = L_1 + L$ ， $C = C$

依據公式 (2-1) 及 (2-2) 式，我們便可以設計出所需要的振盪頻率之振盪電路。

在以電晶體構成的 LC 振盪器中，雖然由 (2-1) 式中可知 L 及 C 值大小左右著振盪頻率大小，但是電晶體的品質對於此正弦波振盪器的水準亦有決定性的作用。振盪器的優劣是以穩定度來評定的，即振幅和頻率須經常保持一定。振盪頻率及振幅是和電晶體的參數有關，但由於電晶體的參數是隨著溫度及電源變化的，因此，頻率和振幅也要發生變化。是故在電晶體振盪器中，除了要保持電晶體的操作點適當以保持穩定外，更需要注意電晶體的選擇；例如是設計一個