

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

具有溫度補償之壓控石英振盪器之研製

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2215-E-009-074-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：國立交通大學電信工程學系(所)

計畫主持人：高曜煌

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 8 月 30 日



# 具有溫度補償之壓控石英振盪器之研製

## “The Study of Temperature-Compensated Circuit for Crystal Oscillator”

計畫編號：NSC 94-2215-E-009 -074

執行期間：2005 年 8 月 1 日 至 2006 年 7 月 31 日

主持人：高曜煌 交通大學電信工程系教授

### 一、中文摘要

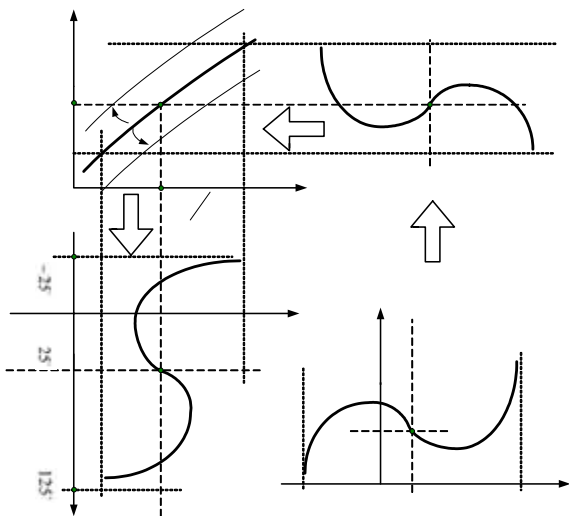
我們希望設計一個具備調變機制的溫度補償電路，藉以補償各種不同的 AT-Cut 石英震盪器頻率對溫度飄移曲線。

#### 英文摘要

We want to design a temperature compensation circuit with tuning ability to compensate the frequency error of AT-cut VCXO caused by temperature variation.

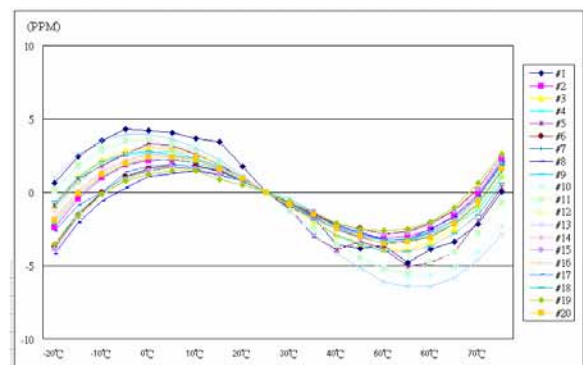
### 二、計畫的緣由與目的

VCXO 頻率隨溫度變化的曲線呈現三次方特性，只要我們想辦法形成此三次方的反曲線，就可以完整補償(如圖一)，然而即使同一批 AT-Cut 的石英震盪器，其頻率對溫度飄移的三次方曲線也會有所不同(如圖二)，所以我們必須設立調變機制以因應不同的補償對象。



圖一 (a)石英震盪器受溫度影響的頻率飄移曲線,(b)

石英震盪器受溫度影響的頻率飄移曲線的反曲線，(c)VCXO 的電壓轉頻率曲線，(d)產生石英震盪器溫度飄移反曲線的輸入電壓  $V_c$ 。



圖二頻率對溫度飄移的三次方曲線

### 三、研究方法及成果

#### 3.1 設計原理與方法

一開始設計一個能隙參考電壓源，產生一隨溫度呈現一次方的變化的一次曲線，再由此曲線經由三次方電路(Cubic Circuit)產生三次方曲線，最後將三次方曲線以及一次方曲線合成我們所要的曲線。

這個反曲線是由一個一次方曲線、一個三次方曲線以及一個 DC 電壓經由類比加法器來合成，而類比加法器可以分別調整一次方以及三次方的比例。

$$V_C(T) = AV_{i3}(T) - BV_{i1}(T) + V_{DC} = A(aT + b)^3 - B(cT + d) + V_{DC}$$

在數學上只要給四個點就能決定一個三次方的曲線，只要設定四個條件，就能決定一個三次方曲線；而三次方曲線的關鍵點在於其反曲點以及兩點極點，所以只要設定四個調變機制來調整反區點以及極點，理論上就能調變

出所要的三次方曲線。

由上式推導出  $V_C$  之反曲點以及極點：

$$\text{反曲點：}(T, v) = \left( \frac{-b}{a}, B \cdot \left( \frac{bc}{a} - d \right) + V_{DC} \right)$$

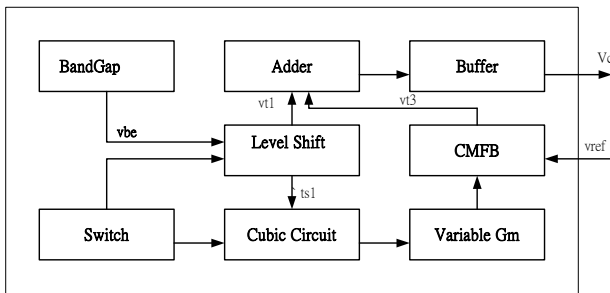
$$\text{極點：}(T, v) = \left( \frac{-b \pm \frac{1}{a} \sqrt{\frac{Bc}{3Aa}}}{a}, V_C \left( \frac{-b \pm \frac{1}{a} \sqrt{\frac{Bc}{3Aa}}}{a} \right) \right)$$

我們發現幾點可調變的規則：

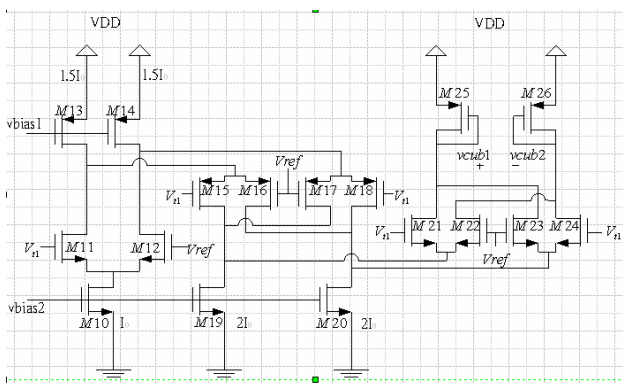
- (1) 反曲點的位置由  $V_{t3}$  的斜率  $\frac{-b}{a}$  決定；
- (2) 同時一旦我們決定了  $V_{t3}$  的係數 (a, b) 之後，類比加法器中的比例 A、B 等比例的放大或縮小，極點的位置就完全由  $V_{t1}$  的斜率 (c) 決定，也就是  $V_{t1}$  的斜率 (c) 越大，兩極點的發生溫度點距離反曲點越遠；
- (3) 藉由 A、B 等比例的放大或縮小可以調整極點間的相對值；
- (4) 最後調整  $V_{DC}$  可以上下移動  $V_C(T)$  曲線，也就能夠決定反曲點的值。

在電路裡，我們依據這四點結論設置四個調變開關。

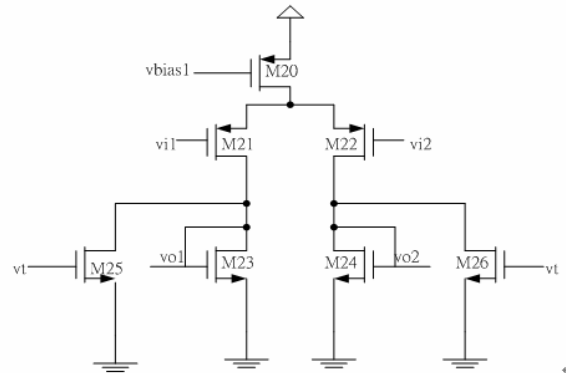
### 3.2 電路架構



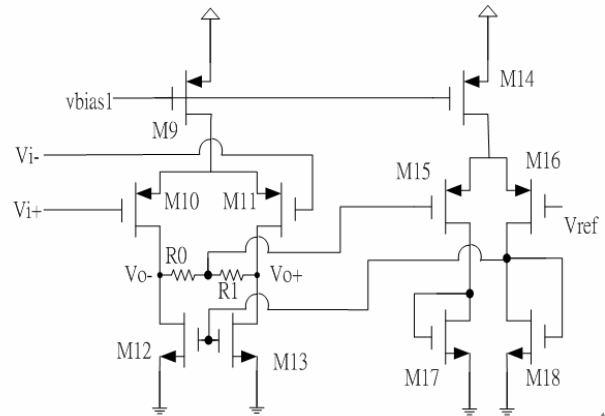
(A) 整體架構圖



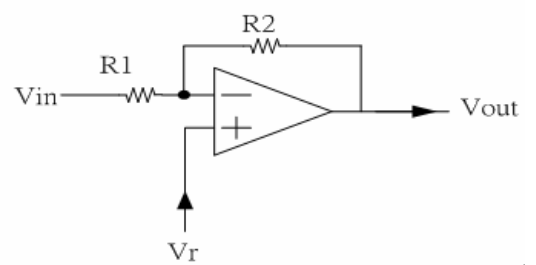
(B) 能隙參考電壓源



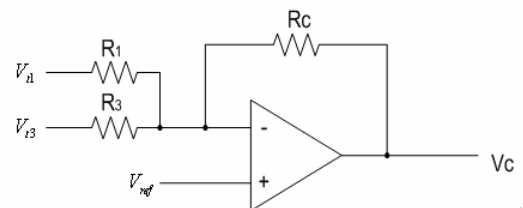
(C) 可調式增益電路



(D) 共模回授放大器



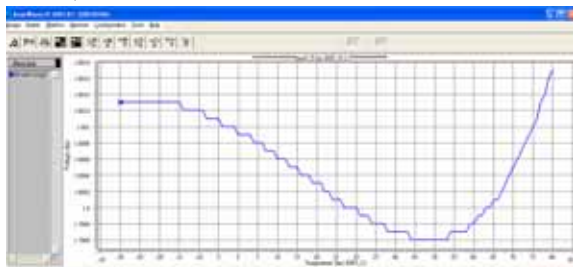
(E) level shift



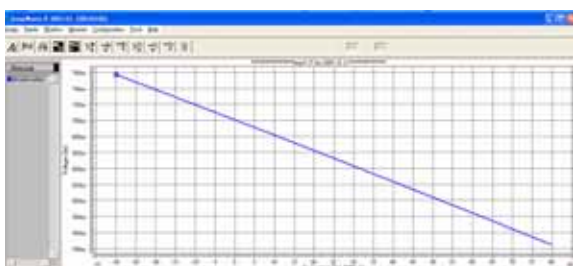
(F) 類比加法器

#### 四. 預計規格與實測結果

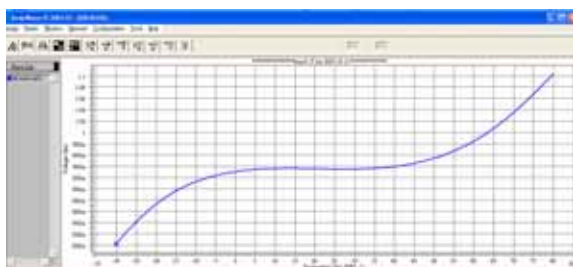
##### 4.1 預計輸出結果:



(1) Bandgap 最大輸出電壓(vbg)



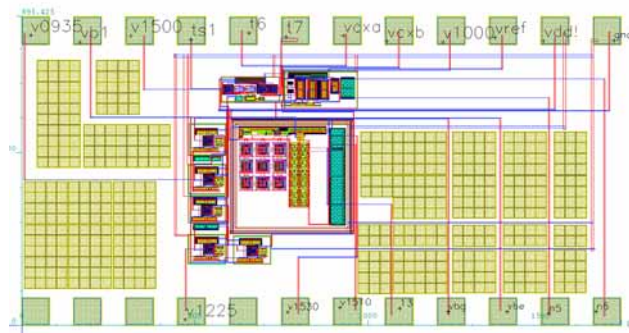
(2) 一次方曲線(vbe)



(3)三次方曲線(n5)

##### 4.2 實測結果:

第一版溫度補償電路佈局圖如圖(a)所示，佈局著重在對稱性，藉以降低製程偏移誤差，主要目的為驗證三次方曲線、可調式增益及三次方曲線直流準位調變的正確性；由於本次下線結果是以NDL的HP4142進行裸晶量測，如圖(b)，受限於量測環境無法密閉，故只能得到20度至80度的量測成果。

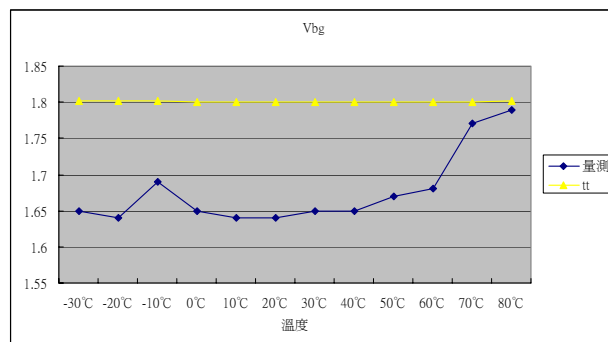


圖(a) 晶片佈局圖



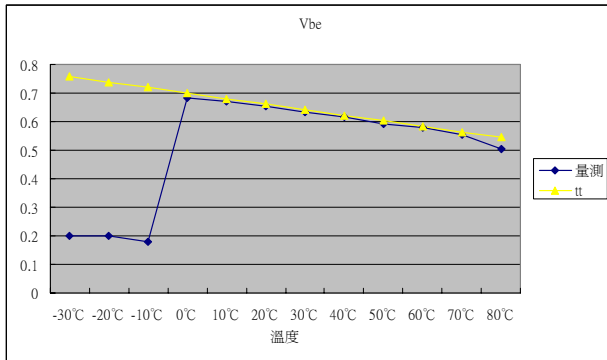
圖(b) 量測環境設置

溫度	-30	-20	-10	0	10	20
量測	1.65	1.64	1.69	1.65	1.64	1.64
溫度	30	40	50	60	70	80
量測	1.65	1.65	1.67	1.68	1.77	1.79



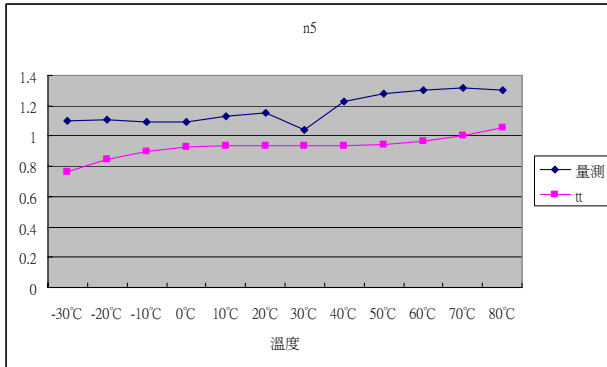
(1) Bandgap 最大輸出電壓(vbg)

溫度	-30	-20	-10	0	10	20
量測	0.2	0.2	0.18	0.684	0.671	0.653
溫度	30	40	50	60	70	80
量測	0.633	0.618	0.59	0.578	0.555	0.504



(2) 一次方曲線(vbe)

溫度	-30	-20	-10	0	10	20
量測	1.1	1.11	1.09	1.09	1.13	1.15
溫度	30	40	50	60	70	80
量測	1.04	1.23	1.28	1.3	1.32	1.3



(3) 三次方曲線(n5)

## 五. 結論與討論

量測結果之結論與討論如下：

(1) Bandgap 最大輸出電壓(vbg): 量測結果與 Spice 模擬在高溫時較接近，常溫時有接近 0.15v 的誤差。

(2) 一次方曲線(vbe): 量測結果與 Spice 模擬在低溫時有相當大的誤差，0°C 以上則與模擬結果十分接近；其原因可能是 Start-up 電路隔絕度不夠。

(3) 三次方曲線(n5): 量測結果與 Spice 模擬在 DC 準位上有誤差，且曲線表現不夠好。

經由這次的量測結果考量，有以下幾點方向：

- (1) 進一步克服製程以及電壓飄移問題。
- (2) 在 Start-up 與 Bandgap 主電路之間設

置開關，設立隔絕的機制，使 vbe 能如預期。整體電路使用之 OP 特性不夠好，將進一步調整來使整個電路的穩定性提升。

## 六、參考文獻

- [1] K. Kubo and S. Shibuya, "Analog TCXO Using One Chip LSI for Mobile Communication," IEEE International Frequency Control Symposium, pp. 728~734, 1996.
- [2] M. E. Frerking, "Crystal Oscillator Design and Temperature Compensation," Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 1978.
- [3] D. L. Buck, "Digital Design For A Self-Temperature Compensating Oscillator," IEEE International Frequency Control and PDA Exhibition, pp. 604~609, 2002.
- [4] S. Deno, C. Hahnlen, and D. Landis, "A Low Cost Microcontroller Compensated Crystal Oscillator," IEEE Frequency Control Symposium, pp. 954~960, 1997.
- [5] S. Kurogo, Y. Matsumoto, and T. Ohshima, "Analog TCXO Using Cubic Functional Voltage Generator," IEEE International Frequency Control Symposium, pp. 484~492, 1996.
- [6] K. Nemoto and K. Sato, "2.5ppm Fully Integrated CMOS Analog TCXO," IEEE International Frequency Control Symposium and PDA Exhibition, pp. 740~743, 2001.
- [7] 曾耀偉, "溫度補償壓控振盪器之研究", 國立交通大學電信工程研究所碩士論文, 2003年6月
- [8] 吳建樺, "金氧半壓控石英振盪器溫度補償電路之研究", 國立交通大學電信工程研究所碩士論文, 2005年6月
- [9] Design of Analog CMOS Integrated Circuits, Razabi