

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫六：奈米製程之低電壓類比濾波器設計(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2220-E-009-029-

執行期間：92年11月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學電信工程學系

計畫主持人：洪崇智

共同主持人：吳介琮

計畫參與人員：羅天佑、莊誌倫、張家璋、李三益、邱俊宏、楊峻岳

報告類型：完整報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 31 日

奈米製程之低電壓類比濾波器設計(1/3)

計畫編號：NSC 92-2220-E-009-029

執行期限：2003年11月01日 至 2004年07月31日

主持人：洪崇智 國立交通大學電信工程學系

一、中文摘要

隨著行動通訊的盛行，低功率的積體電路顯得日益重要。當轉換到使用低供應電壓時，數位電路的功能不至於降低太多；然而對於類比電路而言，整體電路的功能將會強烈受到低供應電壓的影響。由於晶片系統設計概念的成形，因此我們必須發展新的低電壓類比電路技術。由於電晶體將以深次微米的技術來製造，相比較之前的技術而言，電晶體可能將會呈現不同的電子特性，所以我們先了解深次微米技術所產生的電晶體特性，再依所得知的模型為基礎做相對應的設計。基於上述的理由，在此年度的執行計畫中，我們以現有的前瞻性製程，於濾波器架構之中選擇了 GM-C 低壓濾波器，並經由適當的電路設計與架構建立，完成其 OTA 基本方塊。

關鍵詞：低功率、低電壓、類比積體電路、晶片系統設計、GM-C 濾波器

Abstract

As there is a great demand for lighter hand-held mobile phones, low power IC circuit design solutions must be developed. Switching to use lower power supply voltage, digital circuits do not suffer the degradation of their performances too much. On the other hand, for analog circuits, the circuit performances are strongly affected by the low voltage supply. Based on the concept of System-on-chip, new design techniques for low-voltage analog circuits are required to be developed. Since the transistors fabricated by the deep sub-micron technology might exhibit different electrical characteristics, as compared with the previous larger feature-size technologies, the study of the transistor characteristics in the process is needed. We choose the GM-C filter in all the architectures of the analog filters and establish the OTA building block with conscientious and careful design.

Keywords: low power, low voltage, analog integrated circuit, System-on-a-chip, GM-C filter

二、計畫緣由及目的

在近幾年來，低操作電壓積體電路日益盛行，其操作電壓已經下降至 1.8V 之下，工作於低操作電壓的濾波器也因此為一項重要的研究主題。隨著射頻收送器整合程度的上升，互補式金屬氧化層半導體的技術將會最符合其經濟效益。對於應用於高頻段的 CMOS 射頻電路來說，深次微米的製程呈現了非常好的效能，同樣的，數位電路也使用了相同的製程。基於系統單晶片的概念，對於類比濾波器來說，我們也需要應用於深次微米技術的低電壓解決方案。

此研究主要的目的，在於使用深次微米之技術來發展低電壓濾波器。由於線性的 OTA 基本方塊為 GM-C 濾波器效能的重要指標，因此，對於 GM-C 濾波器而言，在低電壓的情況下設計線性的 OTA 基本方塊將是一個很大的挑戰。因此如何利用此深次微米技術，並降低工作電壓來實做出所需的低電壓濾波器，則是本計畫主要的課題。

此年度部分的設計著重於建立符合現況所需之 GM-C 內部基本方塊。在確定了製程技術之後，我們建立了所需的 OTA 基本方塊，並嚴謹的分析並推導此方塊對於輸入電壓與輸出電流所呈現的效應。此基本方塊使用了 TSMC 0.25um 的製程做模擬並呈現了非常好的線性關係與非常低的功率消耗，我們相信以此 OTA 方塊為基礎，再加以整合並做系統上的改良，將能對於本計畫下年度的研究，提供關鍵性的貢獻。

本報告的第三部份將討論本計畫的研究方法及成果，第四部份則為結論與討論。實做部分則陸續下線整理，並將發表於其他的國際期刊或會議。

三、研究方法及成果

研究方法及成果主要為所建立的電壓轉電流轉換方塊。

所建立的電壓轉電流轉換方塊基本電路如圖一所示，其中 M1 到 M8 皆操作於飽和區域，且 M1 至 M6 的大小相同。其電壓與電流相對應的公式推導如下：

$$V_{z1} - V_{z2} = (V_{DD} - V_{gs5}) - (V_{DD} - V_{gs6}) = V_{gs6} - V_{gs5} \quad (1)$$

$$(V_{gs5} - V_T)^2 = (V_{gs1} - V_T)^2 = (V_1 - V_{s1} - V_T)^2 \quad (2)$$

$$(V_{gs6} - V_T)^2 = (V_{gs2} - V_T)^2 = (V_2 - V_{s2} - V_T)^2 \quad (3)$$

$$V_{gs5} = V_{gs1} = V_1 - V_{s1} \quad (4)$$

$$V_{gs6} = V_{gs2} = V_2 - V_{s2} \quad (5)$$

由(1)、(4)與(5)，假設 $I_1 > I_2$ 且流經 Req 的電流為 ΔI

$$\begin{aligned}
V_{z1} = V_{z2} &= (V_2 - V_{s2}) - (V_1 - V_{s1}) \\
&= (V_2 - V_1) - (V_{s2} - V_{s1}) \\
&= (V_2 - V_1) + R_{eq} \Delta I
\end{aligned} \tag{6}$$

$$V_1 - V_2 = (V_{z2} - V_{z1}) + R_{eq} \Delta I \tag{7}$$

由電流 I_1 與 I_2 我們可以察覺：

$$I_1 = I_{C1} + \Delta I = \frac{K}{2} (V_{gs1} - V_T)^2 \tag{8}$$

$$I_2 = I_{C1} + \Delta I = \frac{K}{2} (V_{gs2} - V_T)^2 \tag{9}$$

因此：

$$V_{gs1} = \sqrt{\frac{2(I_{C1} + \Delta I)}{K}} + V_T \tag{10}$$

$$V_{gs2} = \sqrt{\frac{2(I_{C1} - \Delta I)}{K}} + V_T \tag{11}$$

同樣的，由式(1)、(4)與(5)：

$$\begin{aligned}
V_{z2} - V_{z1} = V_{gs1} - V_{gs2} &= \sqrt{\frac{2}{K}} (\sqrt{I_{C1} + \Delta I} - \sqrt{I_{C1} - \Delta I}) \\
&= \sqrt{\frac{2I_{C1}}{K}} \left(\sqrt{1 + \frac{\Delta I}{I_{C1}}} - \sqrt{1 - \frac{\Delta I}{I_{C1}}} \right)
\end{aligned} \tag{12}$$

又 $\Delta I / I_{C1} \ll 1$ ， $\Delta I \ll I_{C1}$ ：

$$V_{z2} - V_{z1} = \sqrt{\frac{2I_{C1}}{K}} \left[\left(1 + \frac{\Delta I}{2I_{C1}}\right) - \left(1 - \frac{\Delta I}{2I_{C1}}\right) \right] = \sqrt{\frac{2}{KI_{C1}}} \Delta I \tag{13}$$

將式(13)代入式(7)可以得到：

$$V_1 - V_2 = \sqrt{\frac{2}{KI_{C1}}} \Delta I + R_{eq} \Delta I \tag{14}$$

因此：

$$\Delta I = \frac{1}{\sqrt{\frac{2}{KI_{C1}} + R_{eq}}}(V_1 - V_2) \quad (15)$$

$$V_{z1} - V_{z2} = \frac{\sqrt{\frac{2}{KI_{C1}}}}{\sqrt{\frac{2}{KI_{C1}} + R_{eq}}}(V_1 - V_2) \quad (16)$$

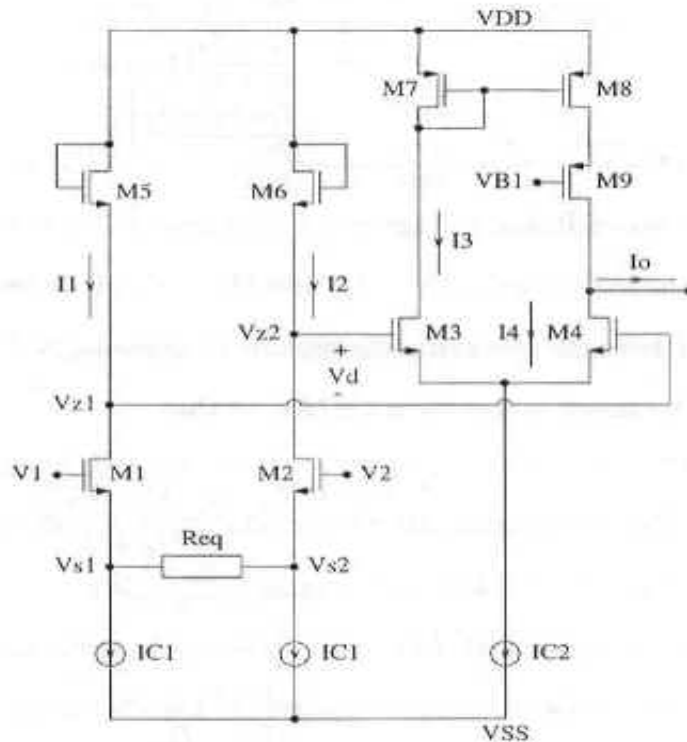
在這邊要注意的是 Req 不能很大，Req 很大將會讓 ΔI 的值趨近為零，使得 Vz1 與 Vz2 間沒有電流流過，也將不會輸出電流。在 Req 的值為合理的情況下，令 $\Delta V_z = V_{z2} - V_{z1}$ ：

$$I_o = I_3 - I_4 = \frac{K}{2}(\Delta V_z) \sqrt{\frac{4I_{C2}}{K} - \Delta V_z^2} \quad (17)$$

在 ΔV_z^2 小於 $4I_{C2}/K$ 的情況下，最後我們可以得到：

$$I_o \approx \frac{K}{2}(\Delta V_z) \sqrt{\frac{4I_{C2}}{K}} = \frac{\sqrt{2I_{C2}}}{\sqrt{\frac{2}{KI_{C1}} + R_{eq}}}(V_1 - V_2) \quad (18)$$

因此我們可以藉由改變 I_{C1} 與 I_{C2} 的值來調整輸入電壓轉換輸出電流的相關程度。

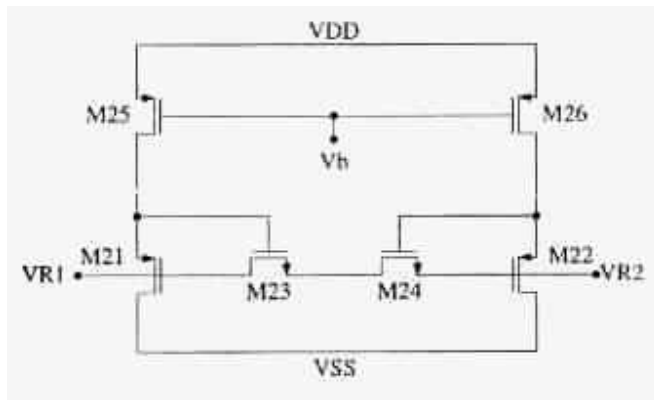


圖一、電壓轉換電流架構

在此設計中，我們將圖一的電阻 R_{eq} 以圖二的六個場效電晶體來代替。在圖二的電路架構中，M23 與 M24 工作於三極區，而 M21、M22、M25 與 M26 工作於飽和區。此等效電阻可以藉由調整 V_b 的電壓而改變。此架構的電阻值可以等效為：

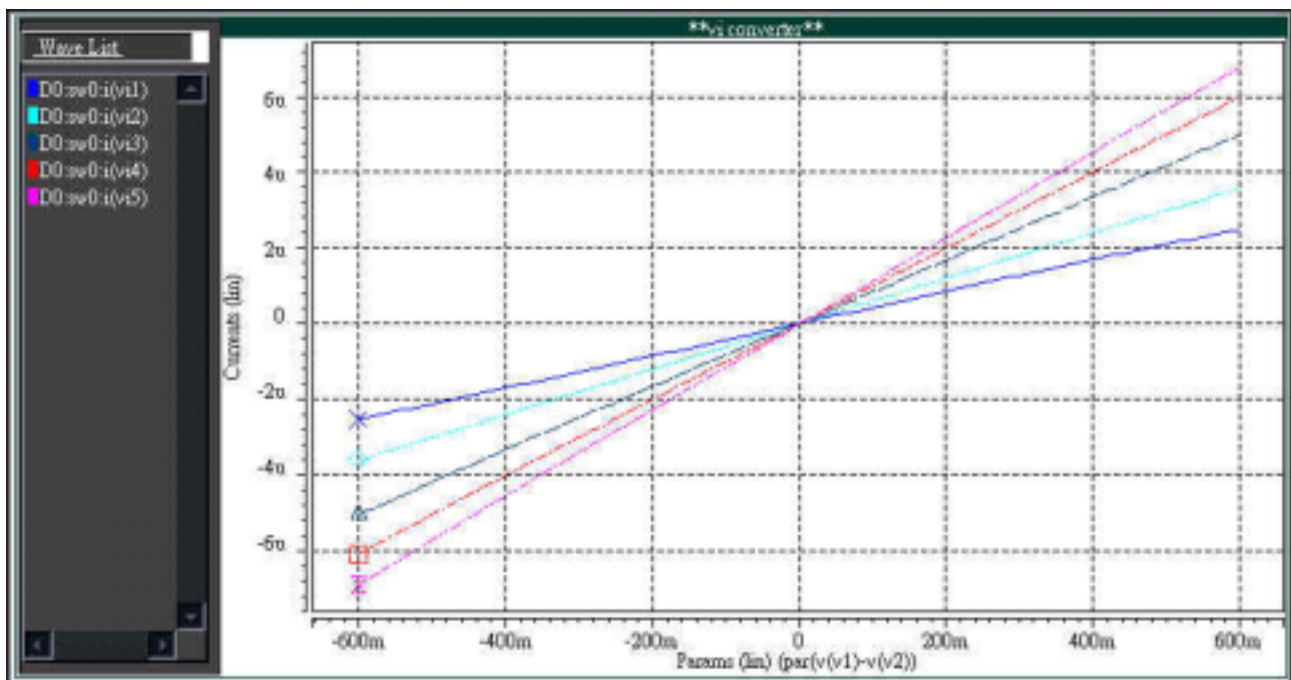
$$R_{eq} = \frac{2}{K(V_b - V_T)} \quad (19)$$

由式(19)可看出，在通道長度較長的情況下 K 值會比較小，而相對應的等效電阻值將會變的比較大。因此對於大電阻而言，電晶體 M23 與 M24 需要比較大的通道長度。又由於低功率的考量，M21，M22，M25 與 M26 的通道長度也需要變得較長，使得通過的電流能減小到 nA 的等級。



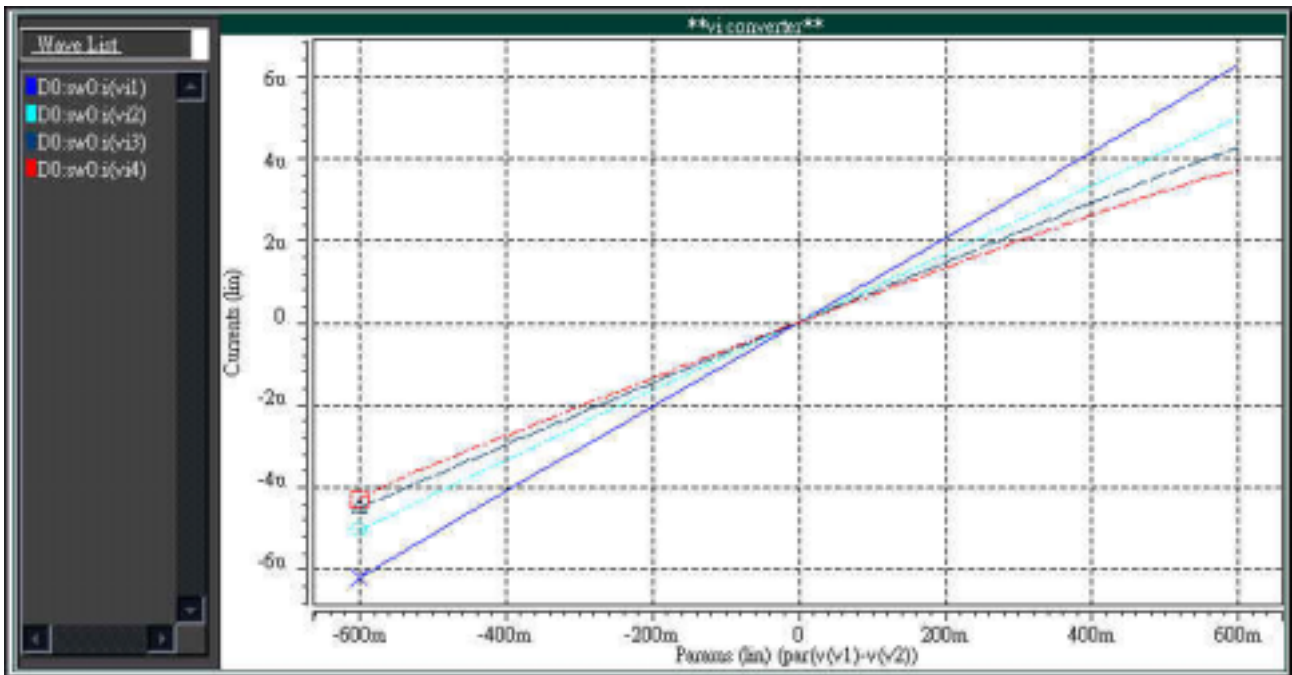
圖二、等效電阻架構圖

圖三為此電路於不同的 IC_2 下(5uA、10uA、20uA、30uA、40uA)所得到的轉電壓電流轉換曲線，我們可以發現到此曲線呈現了非常線性的關係。



圖三、不同 IC_2 對於輸出電流的模擬

圖四為此電路於工作於不同的 IC1 下(10uA、20uA、30uA、40uA)所得到的轉電壓電換曲線，我們可以發現到由於電阻 Req 的關係，變動 IC1 所獲得的曲線關係將不同於 IC2 般強烈，但同樣的，我們可以發現到此曲線呈現了非常線性的關係。



圖四、不同 IC1 對於輸出電流的模擬

四、結論與討論

本年度計畫已順利完成主要的工作項目，此基本 OTA 架構在一般情況下 (IC1=20uA、IC2=20uA) 的功率消耗僅僅為 0.778uW 並呈現了良好的線性關係。在完成此電壓電流轉換的架構之後，我們將使用此架構並成為一獨立的方塊。我們將以此方塊為基礎並接續第二年度的計畫，在此電路架構下，我們預期以此 OTA 方塊為基礎所建立之 GM-C 濾波器，將能獲得非常良好的效能。

五、參考文獻

1. M. Ismail, S. C. Huang, and S. Sakurai. Continuous-Time Signal Processing. In M. Ismail and T Fiez, editors, *Analog VLSI: Signal and Information Processing*, chapter 3. McGraw Hill, New York, 1994.
2. Rodriguez-Villegas. E., Payne. A.J., Toumazou. C, "A 290 nW, weak inversion, Gm-C biquad," *Circuits and Systems, 2002. ISCAS 2002. IEEE International Symposium on*, Volume: 2, 26-29 May 2002

3. Chung-Chih Hung, Halonen. K.A.I., Ismail. M., Porra. V. and Hyogo. A.,"A low-voltage, low-power CMOS fifth-order elliptic GM-C filter for baseband mobile, wireless communication," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on* , Volume: 7 , Issue: 4 , Aug. 1997
4. Rodriguez-Villegas. E., Yufera. A., Rueda. A., "A 1.25-V micropower Gm-C filter based on FGMOS transistors operating in weak inversion," *Solid-State Circuits, IEEE Journal of* , Volume: 39 , Issue: 1 , Jan. 2004

2004 IEEE International Solid-State Circuits Conference

洪崇智
國立交通大學電信工程學系

(一) 會議內容

2004 的 IEEE International Solid-State Circuits Conference 在美國舊金山舉行，會議期間為二月十五日至二月十九日，計有兩千餘人與會，204 篇論文發表。此會每年召開一次，主要內容為科技新潮流、無線系統及電路設計、晶片系統、處理器、信號處理、記憶體、類比電路設計、影像處理、微機電、生物資訊等領域的學術研究。

(二) 主要效益

會中參與人員包括美國學界及業界的學者專家，與來自世界各地之學者專家，包括台灣各校的學者如汪重光教授、劉深淵教授、黃威教授、周世傑教授等，與會人員均為 S O C 方面之專家，對於新技術之了解、學術交流及計畫的進行有很大的幫助。

同時在跨領域交流方面，大會所安排的科技新潮流、微機電、生物資訊在許多方面均與晶片系統的製程技術、系統整合、封裝技術有密切的關係，有許多重要的人士與會，如陳良基教授、闕志達教授等，對於跨領域交流有很大的幫助。