

Interface Circuit for IoT Gas Sensor

IoT氣體感測器介面電路設計

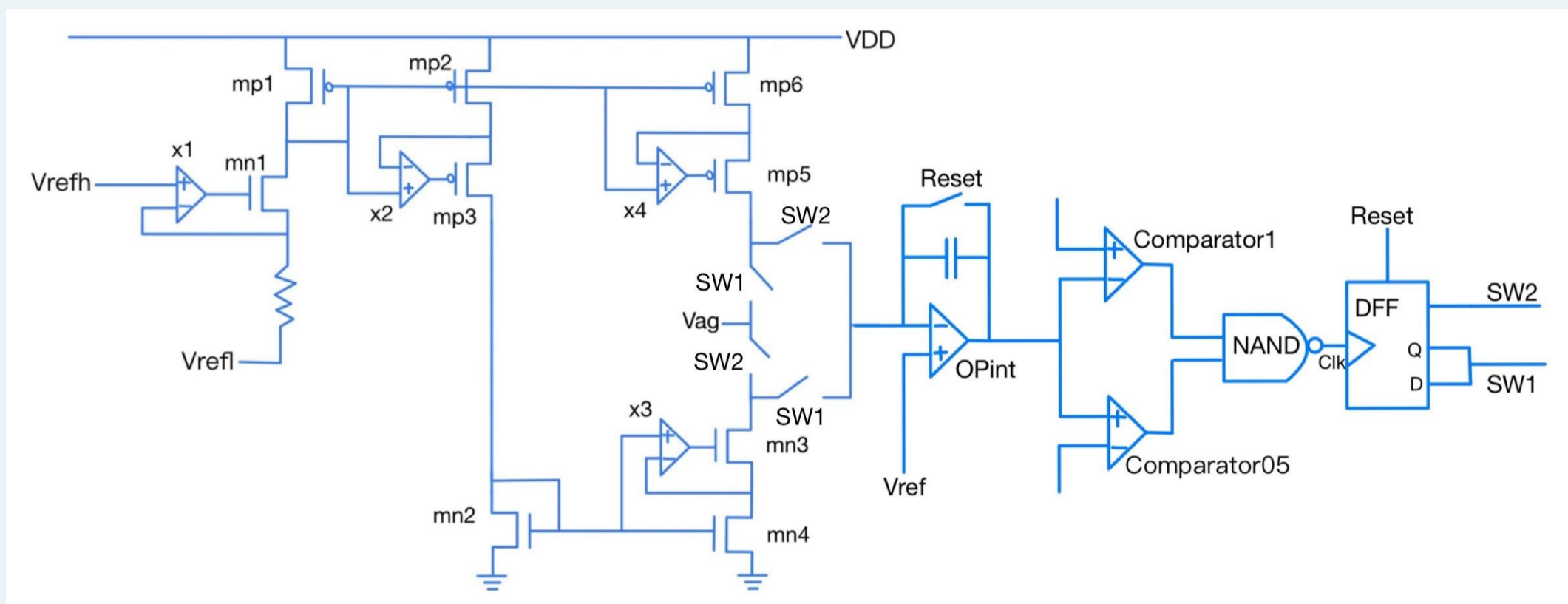
組別：B136 指導教授：鄭桂忠 教授 組員：蔡至捷、鄭僑學

摘要

人類的鼻子有兩個缺點，第一個缺點是無法暴露於危險性較高或是有害的氣體中，第二個缺點是每個人的嗅覺系統沒有統一的標準，無法作精確的定量分析。而傳統的大型氣體檢測器雖可解決人類鼻子的缺陷，但電子鼻系統的優勢在於體積小方便攜帶、功耗低、成本低，且可以長時間暴露於有害氣體中並將嗅覺量化，因此電子鼻系統在食品監控、環境監測、汙染測量、以及近期重要的疾病診斷領域都有廣泛的應用。氣體感測器種類繁多，而我們選擇導電聚合物感測器，此感測器的電阻值會隨著氣體的不同而產生變化，且讀取電路簡單並可操作在室溫，因此很適合用於可攜式電子鼻；然而，此感測器的電阻值變化易受環境的溫溼度影響。因此，此專題設計由TSMC 0.18μm CMOS 1P6M 製程所製作之氣體感測器介面電路，將感測器訊號轉換成電訊號，並做適當的訊號處理，就可以用於氣體分析。

關鍵字：電子鼻、氣體感測器、介面電路

原理分析



此電路為測量電阻值的電路，一開始利用OP以及 common source feedback 將電阻兩端固定電壓值 ΔV ，藉此測量不同電阻式感測器的電阻值(R)時的電流(Isense)，再利用 current mirror 公式：

$$I_{sense}:I_{mirror} = \left(\frac{W}{L}\right)_{sense}:\left(\frac{W}{L}\right)_{mirror} = 1:1$$

並利用 common source feedback 使得電流鏡更加穩定。之後，將得到的電流通過積分器，對固定電容充電，不同的電流大小會有不同的充電週期：

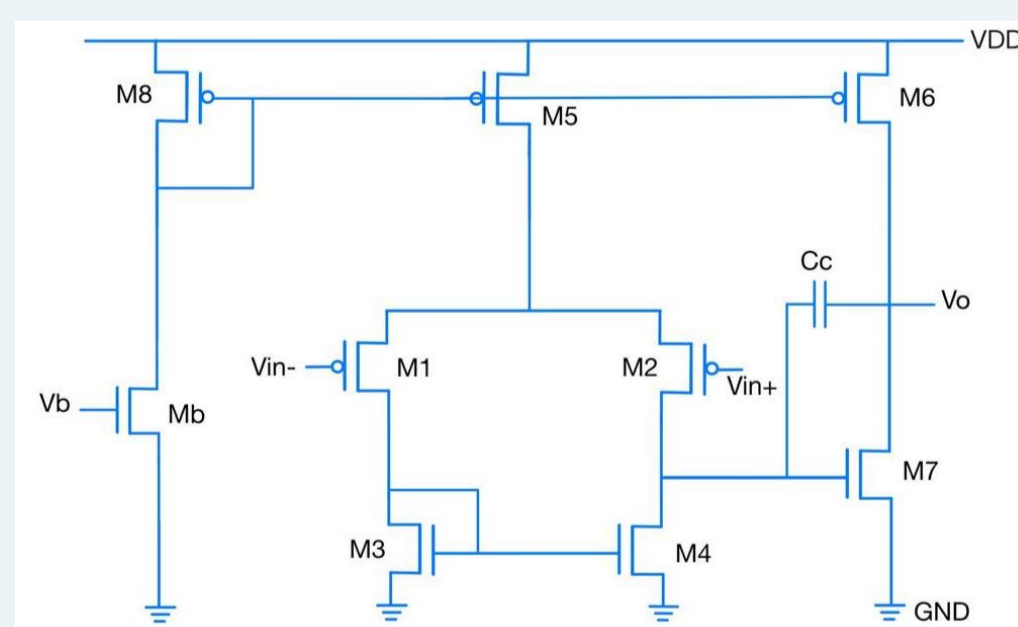
$$T = 2 * C_{int} * \frac{0.5V}{I_{int}}$$

再利用 window comparator 將積分器電容的輸出電壓限制在固定區間內(我們的設計為 0.5V~1V)，使用 NAND 閘使積分器電容的輸出電壓遇到 window comparator 的上下界時，產生正緣觸發訊號推動 D-flip-flop，讓輸出正反交換，形成週期方波，此週期與積分週期相同，並同時為輸出訊號以及控制積分器電流方向的開關訊號。

最後量測週期方波的大小即可回推電阻值。我們將會利用外接 Arduino 板，將量測結果匯入電腦。

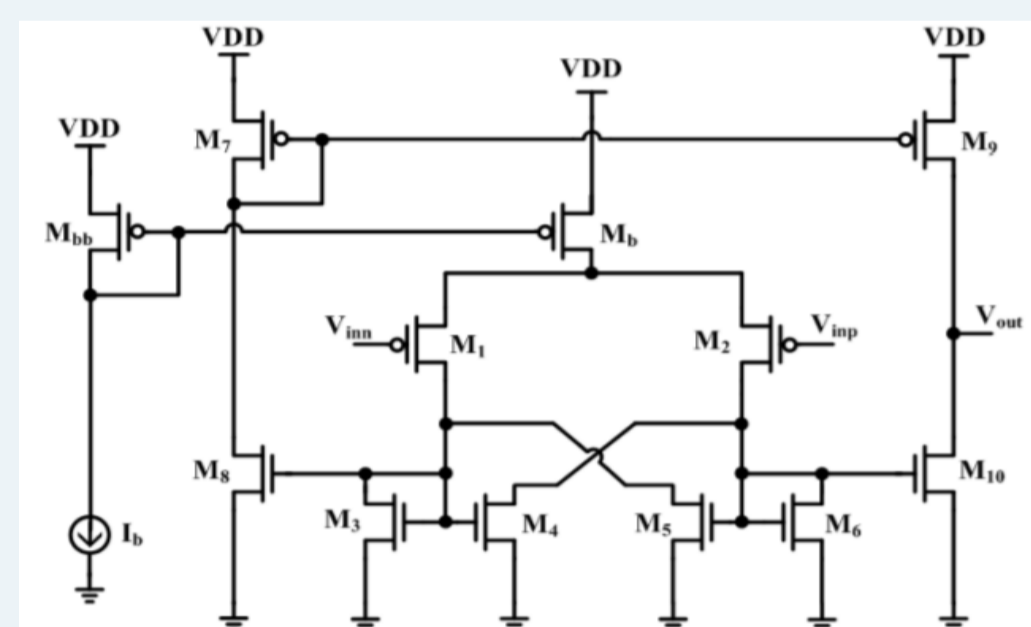
系統設計

1. 二階運算放大器



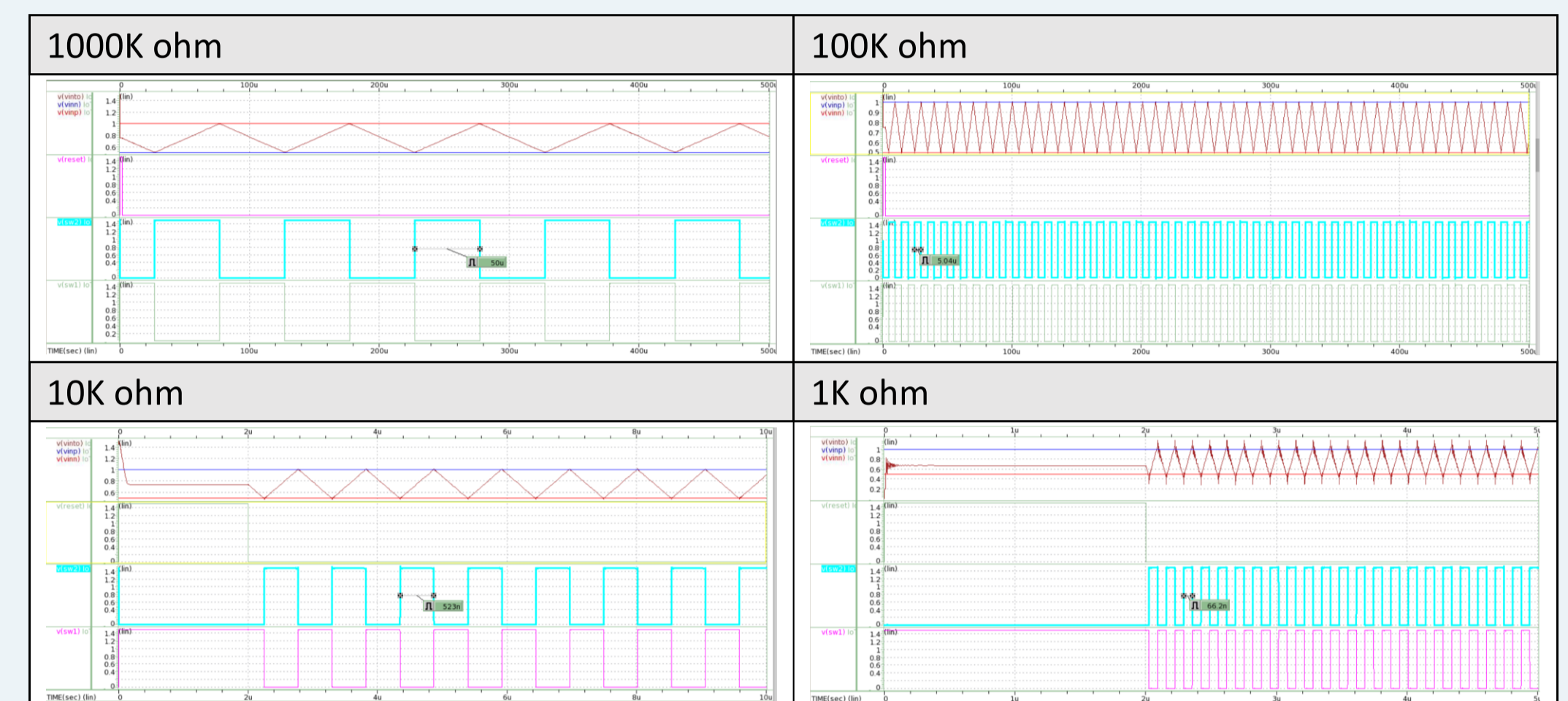
上圖是我們選擇使用的二階運算放大器架構。為了滿足電流穩定度，因此運算放大器需提供較高的 OP Gain 以及足夠的 Phase Margin。第一階可以提供較高的 OP Gain，而第二階則可以提供較高的 output swing。為了滿足電路穩定度，因此 OP 亦須提供足夠的 Phase Margin，因此在第一階 output 與第二階 output 之間加上一顆適當大小的電容，此電容可提供運算放大器額外的節點，提高此運算放大器的 Phase Margin。

2. 比較器



為了能夠使積分器在固定電壓區間內依據電流的方向而用不同的斜率積分，因此需要使用兩個比較器組成 window comparator 分辨積分器 output 電壓是否已達上下界，且對於比較器的 sensing delay 要求很高。上圖是比較器電路，為了快速分辨積分器輸出訊號以達到後段控制邏輯輸出，因此需要 M4 與 M5 的正回授路徑，正回授的架構使電路增益大而速度快，由於希望兩輸入端相等時比較器之輸出即轉態，因此設計 $\beta_5/\beta_6 < 1$ 以避免正回授能力大於負回授能力而出現遲滯現象。

實驗結果



上表為在不同電阻條件的 Post-Layout 模擬結果圖，在電阻值為 1K ohm 時，比較器因為延遲，而無法將積分器的輸出電壓很準確的在 0.75V 與 1.25V 時關閉，因此積分器多積分了一些時間，造成積分週期增加，也導致積分器輸出電壓明顯的超過了比較器給定的上下界。而隨著電阻值的增加，電路延遲所帶來的誤差也趨於不明顯。

	1K	10K	100K	1000K
Pre-layout Simulation				
Charge Cycle	65 ns	520 ns	5.03 us	49.9 us
Power Dissipation	1.564 mW	1.172 mW	1.131 mW	1.126 mW
Post-layout Simulation				
Charge Cycle	65 ns	520 ns	4.99 us	49.4 us
Power Dissipation	1.466 mW	1.068 mW	1.049 mW	1.043 mW

上表為實驗結果，分別為 Pre-Layout 及 Post-Layout 模擬。在充電週期項目中，兩者差距不大；且功耗在 Post-Layout 的模擬中，甚至還比較小。在不同電阻值的比較中，電阻值越小所產生的誤差則越大，因為電阻值低時，感測器電流較大，造成積分所需週期較短，且後端比較器電路及邏輯電路都有固定的延遲，因此電路延遲所造成的誤差會被放大；反之，當電阻值高時，延遲會被稀釋，因此所呈現的誤差就會較小。

理想的量測結果應該是電阻值與積分週期為線性關係，但因為延遲所導致的誤差，使我們的實驗結果偏離此假設，因此為了解決在不同電阻值誤差不同的我們將在量測後取得電阻值與積分週期的關係後，擬和出關係線，藉此來修正延遲所帶來的誤差。

結論

本次專題最後完成了一個氣體感測器的讀取介面，並藉由改良電路與重新設計後端讀取電路，希望能夠解決前述版本的問題。雖然還沒進行晶片的量測，但藉由電路的 Post-Layout 模擬結果來看，預期此次下線的晶片有望達成當初設定的目標。不過，此版本的晶片仍有在低電阻時誤差較大的問題需待下版本解決；且此版本的電路只有一條感測器通道，氣體分辨成功率會被限制，因此在下版本的設計中，也期望能提高感測器通道數，藉此提升氣體分辨率。

參考資料

- Chia-Lin Chang, "Adaptive Interface Circuits of Chemiresistive Gas Sensors for an Electronic Nose System", National Tsing-Hua University Master's Thesis, 2013, Hsinchu, Taiwan
- A. D'Amico, E. Verona, "Microfabricated Chemical Sensors", Progress in Solid-State Chemistry, vol. 18, issue 3, 1988, pp. 177-199, Elsevier.
- A. D'Amico, E. Verona, "Microfabricated Chemical Sensors", Progress in Solid-State Chemistry, vol. 18, issue 3, 1988, pp. 177-199, Elsevier.
- P. Malcovati, M. Grassi, A. Baschiroto, "Towards High-Dynamic Range CMOS Integrated Interface Circuits for Gas Sensors", Sensors and Actuators.B, Chemical, ISSN: 0925-4005, doi: 10.1016/J.SNB.2012.10.019.