

運算放大器噪音源以及系統雜訊最小化

■作者：Kevin Tretter/

Microchip 類比和介面產品部首席產品行銷工程師

丹尼爾·笛福 (Daniel Defoe) 和班傑明·佛蘭克林 (Benjamin Franklin) 曾說，生命中只有兩件事情是確定的：死亡與稅收；不幸的是，對於與電子產品打交道的人來說，還有另外一個：雜訊。雖然電子雜訊不可避免，但是透過設計人員更好地瞭解各個噪音源以及它們對整個系統雜訊水準的影響，有助於將其影響降至最低。從系統的角度來看，雜訊可能的來源各式各樣。比如，運算放大器內部產生的噪音源，或者是運算放大器電路內使用的被動元件所產生的雜訊。還有各種外部噪音源，如無線電波或交流電源。本文將探索其中一些與運算放大器的內部運作相關的噪音源。

閃爍雜訊

閃爍雜訊（又稱為 $1/f$ 雜訊）是一種由傳導通路的不規則導致的低頻現象，是電晶體的偏置電流產生的雜訊。在較高的頻率中，閃爍雜訊可以被忽視，因為其他噪音源產生的白噪音才是主要問題，這也是其 $1/f$ 雜訊命名的由來。這種低頻雜訊在輸入信號接近直流時將造成很大的困擾，通常出現在應變儀、壓力感測器、熱電偶的輸出或任何緩慢變化的感測器信號中。

系統設計人員雖然無法控制放大器的內部閃爍雜訊，但是可以透過選擇合適的放大器來將這種噪音源降至最小。如果 $1/f$ 雜訊是個大問題，那麼最佳解決方案是選擇自動調零 (auto-zero) 放大器或斬波 (chopper-based) 放大器。在這兩類架構中，

$1/f$ 雜訊會在偏移校正過程中被消除。該噪音源出現在輸入端並且變化相對緩慢，因此可看作放大器偏移的一部分並得到相應的補償。

散粒雜訊

散粒雜訊（又稱為蕭特基雜訊）為內部噪音源，可能很少有人知道。這種噪音源是由電荷載體傳導缺陷造成的。電子根據所施加的電壓向一個方向移動形成電流。當電子遇到障礙（金屬缺陷等）時，勢能積聚，直至電子穿越障礙。

由於散粒雜訊與電流有關，如果沒有電流，那麼就沒有散粒雜訊。散粒雜訊呈高斯密度分佈，且不受頻率和溫度影響。它與直流電流呈反比，因此電流越小意味著散粒雜訊電壓越大。要確定給定設計中散粒雜訊是否是其中一個因素，可減小或增大直流電流來看雜訊是否受到影響。

熱雜訊

也稱為詹森雜訊，是以發現它的科學家的名字命名的。熱雜訊存在於所有主動和被動電路元件中。熱使電子的運動加劇，造成運動出現隨機性而產生雜訊。正因如此，熱雜訊和散粒雜訊類似，呈高斯密度分佈，且不受頻率影響。

熱雜訊存在於被動元件的電阻，可能是尤其明顯的問題。因為電阻的熱雜訊取決於電阻的大小和溫度。小型電阻的熱雜訊較小，且較低的溫度也有助於降低熱雜訊。

運算放大器的雜訊規格

我們回顧了幾種在運算放大器中的噪音源，這些噪音源均會影響實際放大器的雜訊規格。系統設計人員在選擇運算放大器時有較多選擇。然而，在選擇低雜訊運算放大器時，則必須考慮眾多因素，包括放大器的電壓和電流雜訊以及在應用中如何使用放大器。

在大多數情況下，製造商在談及雜訊時會吹捧運算放大器的電壓雜訊密度規格，雖然這是一個重要的因素，但也不是唯一的一個通常電流雜訊會是比較重要的考量。輸入電壓雜訊密度被認為是放大器白噪音產生的主因（排除 $1/f$ 雜訊的影響），電流雜訊密度也被認為是放大器白噪音的主要成因之一，且該因素對輸入阻抗很高的應用十分關鍵。我們來看看一個簡單的案例——使用兩個等效運算放大器：Microchip 的 MCP621S 和 Texas Instruments 的 LMP7731。表 1 重點列舉了這兩個放大器的一些關鍵規範。

表 1：運算放大器的關鍵規範

| 參數 | MCP621S | LMP7731 |
|---|-----------|-----------|
| 最大輸入失調電壓 (μV) | 200 | 500 |
| GBWP(MHz) | 20 | 22 |
| 供電電壓範圍 (V) | 2.5 - 5.5 | 1.8 - 5.5 |
| 電壓雜訊密度 ($\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$) | 13 | 2.9 |
| 電流雜訊密度 ($\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$) | 4 | 1100 |

這兩個運算放大器在偏移性能、速度和工作電壓範圍方面相似，而在另一方面，它們的雜訊規格卻相差甚遠。運算放大器通常以電壓雜訊密度較低為依據，宣稱其為低雜訊。然而，電壓雜訊密度最

低的運算放大器，其雜訊性能一定就是最佳的嗎？

我們來看看一個簡單的電壓隨耦器電路，如圖 1 所示。

實際進行電路設計時，必須考慮來自多種噪音源的雜訊，包括 IC 的內部雜訊、所有元件的熱雜訊以及外部噪音源。不過，本案例僅關注與放大器相關的雜訊和輸入電阻（此處表示為 R_{IN} ）的熱雜訊。為了實驗需求，我們設定該電阻所在的環境溫度為 25°C 。

當源阻抗為零時，不存在由放大器的電流雜訊導致的雜訊成分（因為該電流必須流經電阻才會產生電壓誤差）。同樣的，當阻抗為零時，輸入電阻的熱雜訊也為零。在這種情況下，雜訊主要源自放大器的電壓雜訊；因此，LMP7731 提供更好的性能，可從表 2 的第一列資料看出。

然而，如果源阻抗增加到 $10\text{k}\Omega$ ，則與該電阻相關的熱雜訊成分必須要考慮進來。回想一下電阻的熱雜訊電壓的定義：

$$V_{TH} = \sqrt{4kTRB}$$

其中：

V_{TH} = 熱雜訊電壓 (Vrms)

k = 玻爾茲曼常數 (1.38×10^{-23})

T = 溫度 ($^\circ\text{K}$)

R = 阻抗 (Ω)

B = 頻寬 (Hz)

重新整理該公式，得出熱雜訊 ($\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$)：

$$V_{TH'} = \sqrt{4kTR}$$

其中：

$V_{TH'}$ = 熱雜訊 (單位為 $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$)

當源阻抗成倍增加時，LMP7731 的放大器電流雜訊也會成為一個因素，而 MCP621S 卻非如此（見表 2 的第二列資料）。最後，當源阻抗增加到 $100\text{k}\Omega$ 時，電阻熱雜訊成為 MCP621S 的主要因素；然而，對於 LMP7731，放大器電流雜訊成為主要因素（見表 2 的第三列資料）。

圖 1：簡單的電壓隨耦器 (Voltage-Follower) 電路

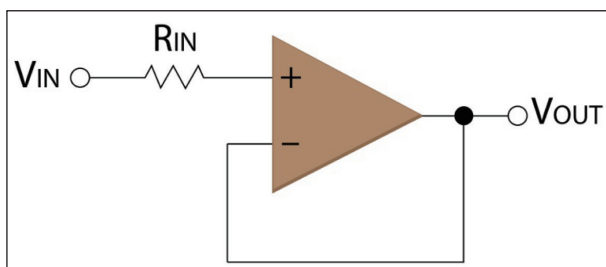



表 2：雜訊成分 (單位為 $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$)

| MCP621S | RIN 值 | | |
|--------------------------------------|------------|---------------|----------------|
| 噪音源 ($\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$) | 0 Ω | 10 k Ω | 100 k Ω |
| 放大器電壓雜訊 | 13 | 13 | 13 |
| 放大器電流雜訊 | 0 | 0.04 | 0.4 |
| RIN 的熱雜訊 | 0 | 13 | 41 |
| 總雜訊 | 13 | 18 | 43 |

| LMP7731 | RIN 值 | | |
|--------------------------------------|------------|---------------|----------------|
| 噪音源 ($\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$) | 0 Ω | 10 k Ω | 100 k Ω |
| 放大器電壓雜訊 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| 放大器電流雜訊 | 0 | 11 | 110 |
| RIN 的熱雜訊 | 0 | 13 | 41 |
| 總雜訊 | 2.9 | 17 | 117 |

這個簡單電路示例凸顯了一個事實，即當分析放大器的雜訊性能時，必須同時考慮放大器的電壓雜訊和電流雜訊。對於高阻抗的應用，如酸度計或恒溫振盪器，選用具有較低電流雜訊的放大器非常重要，因為該噪音源會迅速成為主要的雜訊來源。

除了放大器的規定雜訊參數，本文還討論了運算放大器的一些固有噪音源。儘管這些噪音源可能不直接被認為系統層級的雜訊，但瞭解這些不同的噪音源有助於系統設計人員將應用中雜訊的不利影響降至最低。 

Microchip 發佈全新數位增強型類比電源控制器

全面提升電池充電及 DC-DC 轉換應用的數位支援功能

Microchip 日前發佈擁有電流、電壓穩壓及溫度監控功能的全新數位增強型類比電源 (DEPA) 控制器產品。新元件進一步提升了電池充電方面的數位支援功能，非常適用於伺服器、消費電子、工業和汽車應用等領域的 DC-DC 轉換。

MCP19124/5 支援各種化學電池的可配置充電演算法，並擁有電池平衡和超級電容器充電功能。現在市場上還沒有任何一款其它的單晶片電池充電方案能夠像此次推出的新產品一樣，可以按照所需的充電制度進行配置以為任意化學性能的電池或電壓、電池裝置充電。借助新元件，用戶可以開發和實現自己獨一無二的充電方法，且任意的電壓、電流、溫度或充電時間都可用作觸發因素，轉換至充電制度的新階段。此外，這些元件還適用於所有需要實現電壓或電流精確穩壓的 DC-DC 應用；可支援返馳式 (flyback)、升壓、SEPIC 或 Cuk 拓撲結構。

MCP19124/5 的多重優勢包括：

- 將獨立的電壓控制回路和電流控制回路獨特的結合在了一起。可通過電流控制回路穩壓至指定目標電流，或通過電壓控制回路穩壓至目標電壓。每個類比控制回路都擁有一個針對零極點獨立放置的單獨的回饋網路，並且能夠執行有關準確振操作的過零檢測。
- 可通過兩個控制回路之間的切換實現目標電壓和目標電流相互之間的動態切換。其內部架構可確保該轉換為單調轉換，不會出現毛刺 (glitching) 或瞬變 (transient) 事件。此外，這一控制配置還允許在開路或無負載條件下對輸出電壓進行預定準位，因而可大幅減少施加負載時所出現的瞬變事件。
- 備有全套可配置、可調整的性能參數。這些參數可在新元件的內部暫存器 (無需外部元件) 中進行設置，而這些設置即使是在裝置工作過程中也可進行動態調整。
- 整合了線性穩壓器、MOSFET 驅動器、8 位元 PIC 微控制器內核、類比數位轉換器、精密振盪器和類比控制回路，可謂是一款緊湊型解決方案。

Microchip 類比、電源和介面產品部行銷總監 Keith Pazul 表示：「我們的客戶非常渴求更加智慧、功能更強大的電池充電解決方案。一直以來，客戶都希望能夠在緊湊、可客製化的充電電路中運行自己專有的電池充電設定檔。現在，他們可以做到了。我們提供的是當今市場上最靈活、最強大的單晶片充電解決方案。」

欲獲取更多有關 MCP19124/5 的資訊，請瀏覽 <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP19125>。