

附錄 A

場效電晶體的雜訊源

對於低雜訊放大器而言，第一考量是他雜訊的表現，因為最低限度的雜訊經由電路放大後不會影響到信號的品質。不同的雜訊源和場效電晶體的雜訊模型在此章也會有詳細的討論。

熱雜訊是隨機分佈的，他的功率和絕對溫度是成正比關係。電阻的雜訊源中也包含了熱雜訊，數學表示式如下： $1 \cdot \overline{v^2} = 4kT\Delta f$ 。 $2 \cdot \overline{i^2} = 4kT(1/R)\Delta f$ ，其中 k 是波茲曼常數； Δf 是雜訊頻寬以赫茲為單位。

因為場效電晶體可以等效成電壓控制的電阻，帶有熱雜訊。場效電晶體的汲極電流雜訊可以表達如下：

$$\overline{i_d^2} = 4kT\gamma g_{d0}\Delta f \quad (\text{A-1})$$

其中 g_{d0} 代表汲源端的轉導在 V_{DS} 電壓是零。參數 γ 為 1 在 V_{DS} 電壓是零，在飽和的情況下降低到 $\frac{2}{3}$ （長通道裝置）。但是在短通道裝置中， γ 值大於 $\frac{2}{3}$ ，使雜訊的表現隨著製程的進步更加惡化。

閘極雜訊， i_g^2 通道電荷熱攪動所產生的熱雜訊。通道位能電容性地耦合到閘極端，導致閘極雜訊電流。此雜訊在低頻可以忽略不考慮，但在射頻頻率中扮演主宰的角色。數學表示式如下：

$$\overline{i_g^2} = 4kT\delta g_g\Delta f \quad (\text{A-2})$$

其中 $g_g = \frac{\omega^2 C_{gs}^2}{5g_{d0}}$ 。 δ 是閘極雜訊係數，在長通道裝置中為 $\frac{4}{3}$ 、在短通道裝置中為 4 到

6。一部分閘極雜訊和汲極雜訊有相關，相關係數數學表示式如下：

$$c \equiv \frac{\overline{i_g i_d^*}}{\sqrt{\overline{i_d^2} \overline{i_g^2}}} = -0.395j \quad (\text{A-3})$$

此數學式適用於長通道裝置。閘極雜訊可以等效兩項的和，第一項是和汲極雜訊完全相關、第二項是和汲極雜訊完全沒相關。因此我們可以把閘極雜訊再表達如下：

$$\frac{\overline{i_g^2}}{\Delta f} = 4kT \delta g_g (1-|c|^2) + 4kT \delta g_g |c|^2 \quad (\text{A-4})$$

電荷捕捉造成佛利克雜訊，在所有的主動裝置都可以找到此種雜訊。這些電荷捕捉和釋放是隨機的，而且會導致雜訊信號的能量集中在低頻。在電子裝置中，佛利克雜訊來自於不同的機制，其中一個最重要的機制在於對表面現象的敏感。一些缺陷或某些雜質能夠隨機地捕捉或釋放電荷，較大的場效電晶體會較小的佛利克雜訊因為具有較大的閘極電容，使通道電荷的波動比較平滑。方均根佛利克雜訊汲極電流可以表示如下：

$$\overline{i_n^2} = \frac{K}{f} \cdot \frac{g_m^2}{WLC_{ox}^2} \cdot \Delta f \approx \frac{K}{f} \omega_r^2 \cdot WL \cdot \Delta f \quad (\text{A-5})$$

其中 K 是元件常數，由以上的式子可以了解較大尺寸場效電晶體具有較小的佛利克雜訊。

