

$$I_S = bT^{4+m} \exp(-E_g/kT)$$

如果兩個雙載子電晶體操作於不同的電流密度下，電壓差和絕對溫度成正比。舉例來說，相同的電晶體（ $I_{S1}=I_{S2}$ ）分別偏壓於集極電流為  $nI_0$  和  $I_0$  並忽略其基極電流。因此， $V_{BE}$  之差異顯示了一個正的溫度係數：

$$\partial \Delta V_{BE} / \partial T = k/q \ln n$$

利用上述求得之負 TC 和正 TC 電壓，我們可以發展一具有零溫度係數之參考電路。我們寫成  $V_{REF} = \alpha_1 V_{BE} + \alpha_2 (V_T \ln n)$ ，其中  $V_T \ln n$  為二個操作於不同電流密度下之雙載子電晶體的基極—射極電壓差。我們如何選擇  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  呢？因為在室溫時， $\partial V_{BE} / \partial T \approx -1.5 \text{ mV/K}$  而  $\partial V_T / \partial T \approx +0.087 \text{ mV/K}$ ，我們可設定  $\alpha_1 = 1$  而選擇  $\alpha_2 \ln n$  使得  $(\alpha_2 \ln n)(0.087 \text{ mV/K}) = 1.5 \text{ mV/K}$ 。那就是說， $\alpha_2 \ln n \approx 17.2$ ，對零 TC 來說：

$$V_{REF} \approx V_{BE} + 17.2 V_T \approx 1.25 \text{ V}$$

$$V_{REF} \approx E_g/q + (4+m)V_T$$

因此，參考電壓顯示了被一些基本數值所給定之零 TC：矽的能帶差  $E_g/q$ ，溫度指數之遷移率  $m$ ，和熱電壓  $V_T$ 。在此使用帶差是因為當  $T \rightarrow 0$ ， $V_{REF} \rightarrow E_g/q$ 。為此帶差參考電壓術語的來源。

## 10.2.2 放大／差動電路

### 1. 具負載電阻之共源極電壓放大電路

MOSFET 可藉其轉導特性將其閘極—源極電壓變化轉換為小信號之汲極電流，並且通過一電阻以產生輸出電壓，如圖 6 所示，共源極（common source, CS）組態將執行這項功能。我們通常會確保  $V_{out} > V_{in} - V_{TH}$ ，作為輸入—輸出特性圖，並視其斜率為小信號增益，我們可得：