

實驗九 NMOS 與 PMOS 之直流特性

零件

VP2410L, VN2410L 各一枚； 精密電阻 1k 一枚；
精密電阻 51Ω 一枚； 冷卻劑；
電熱吹風機（請自備）。

目的

1. 瞭解 NMOS 與 PMOS 之直流操作特性，並比較他們的異同。
2. 測試操作特性的溫度效應。

相關背景知識

1. MOSFET 的操作原理及分類。
2. NMOS 和 PMOS 的直流電流電壓特性。

VP2410L 和 VN2410L 的說明：

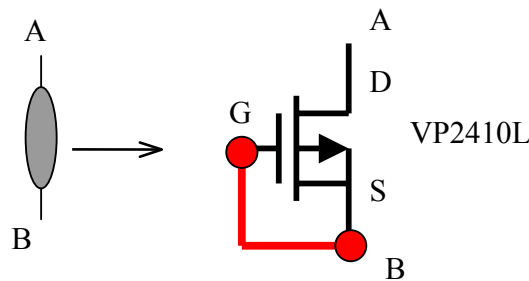
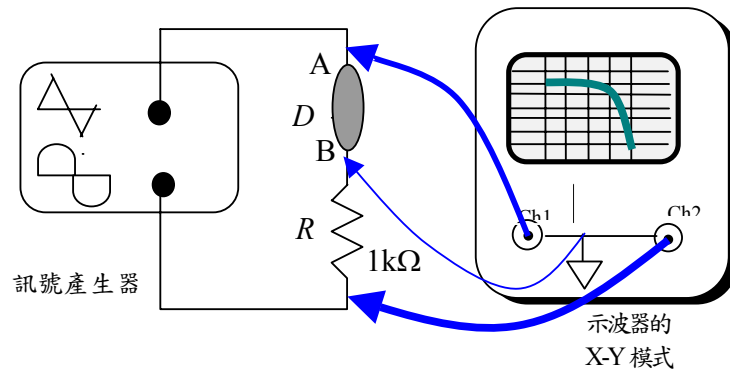
這個實驗所用到的 MOSFET 編號是 VP2410L 和 VN2410L，前者是 PMOS，而後者是 NMOS 電晶體，他們的接腳圖請查閱元件資料庫的網頁。我們使用的這兩種電晶體源極（source）已經和基板（substrate）連在一起，也有一些其他的電晶體源極（source）和基板（substrate）沒有連在一起，我們可以根據需要來選擇用哪一個電晶體。

這次實驗所使用的 MOSFET 都是加強型的（enhancement），在 $V_{GS}=0$ 時，他們應該是在截止區（OFF），即源極（source）和汲極（drain）間不導通。

程序

一、MOS 中之二極體

我們這裡要利用實驗五的方法（程序 3 的動態特性曲線測試）來測試 PMOS 和 NMOS 中 D（汲）極和基板間二極體的特性。測量方法示意圖如下：



1. 我們先選一個 PMOS 來測試，閘極和源極連在一起以避免閘極浮接效應 (floating gate effect)，然後測量汲極與基板間 pn 接面的 IV 特性，即把上面測量方法圖中的待測元件換成圖中的 PMOS 電路。記錄示波器上的圖形，逆向偏壓時的崩潰電壓多大？
2. 對 NMOS 重複上面步驟。請注意 PMOS 和 NMOS 的偏壓方向有何不同？

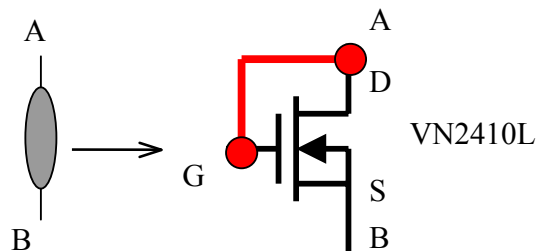
二、臨界電壓

這裡介紹一個簡易測試 MOSFET 臨界電壓的方法。對加強型 NMOS 而言，所謂的臨界電壓是指 V_{GS} 大到剛好將電晶體啟動 (turn on) 的值，通常記做 V_T 或 V_{th} 。在 on 狀態的 MOS，又依在靠近汲極的通道是否有載體存在，分為歐姆區 (是) 及飽和區 (否)。假如將一個加強型 MOS 的 G 和 D 極短路，外加 DS 偏壓，則 MOS 只會在截止 (cut off) 或飽和兩個狀態，而不可能進入歐姆區 (為什麼?)。

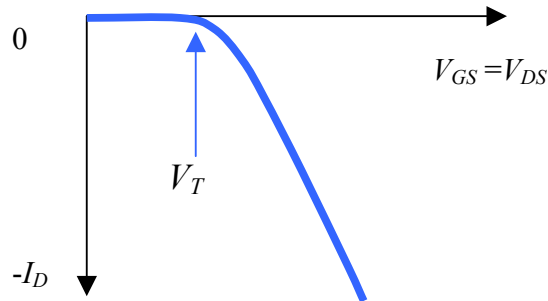
1. 動態測量 NMOS 的臨界電壓

將 NMOS 接成如右圖電路，代替上面程序一中 AB 間的電路。

調整訊號產生器的 DC offset 使得 NMOS 的 $V_{DS} > 0$ 。



調整好以後，你可以在示波器看到類似下面的曲線，開始導通的電壓就是臨界電壓。將圖形記錄下來。



再來接著測試溫度的影響。先用熱風槍加熱 MOS，觀察圖形的變化，你是否可看出臨界電壓及 k (transconductance parameter)的變化?再用冷卻劑將 MOS 冷卻，記錄變化。

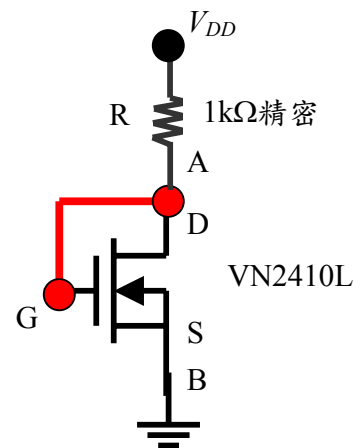
2. 動態測量 PMOS 的臨界電壓

將步驟 1 中的 NMOS 以 PMOS 取代，同樣將 G 和 D 短路，重複步驟 1。**注意這裡 V_{DS} 必須調成小於 0。**

3. 直流測量 NMOS 的 k 與 V_T

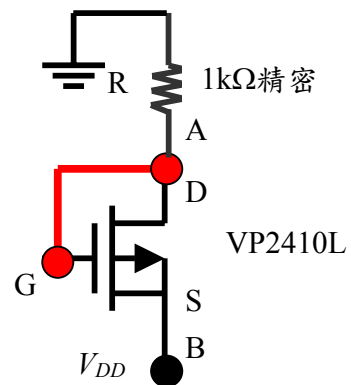
這裡要用 DVM (數位電表) 仔細的測量電流及偏壓。電路如右圖， V_{DD} 由直流電源供應器提供，由 0V 慢慢增加，利用 DVM 測 R 的端電壓可得電流 I_D ， $V_{GS} = V_{DS}$ 也可利用 DVM 量得，紀錄 I_D 對 V_{GS} 之關係。測到電流為 20mA 為止。

先畫出 I_D 對 V_{GS} 之關係，再以 $(I_D)^{1/2}$ 對 V_{GS} 做圖，是否為一條直線? 由其 x 軸的截距即可得到 V_T ，由斜率可推知 k 。



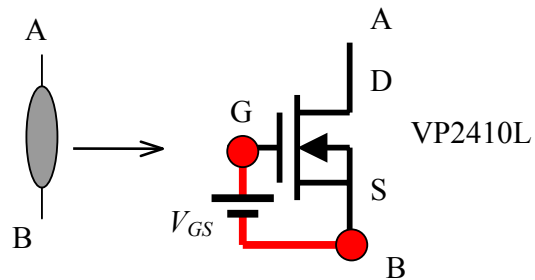
4. 直流測量 PMOS 的 k 與 V_T

這裡對 PMOS 重複步驟 3 的實驗，注意電源的接法和 NMOS 不同。

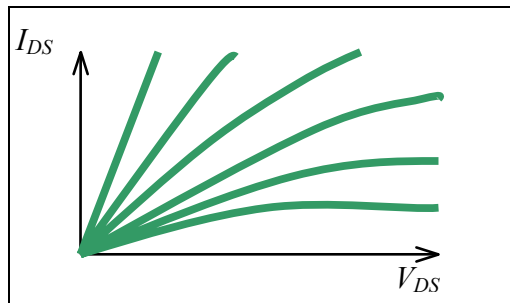


三、NMOS 的輸出特性曲線

1. 這裡是要量測在不同閘極偏壓 (V_{GS}) 下 I_{DS} 對 V_{DS} 的關係。將程序 1 動態量測圖中 AB 間之待測元件用右圖電路代替。 V_{GS} 利用直流電源供應器提供 (注意：電源供應器的接地要拿掉!!)，由 0V 掃到 3V，每隔 0.2V (必要時你可以用其他的間隔) 記錄 I_{DS} 對 V_{DS} 的圖形



(包括每一軸的單位)，把他們畫在一起，可得到類似下面圖形。
注意！調整訊號產生器的 DC offset 使得 V_{DS} 均為正的。



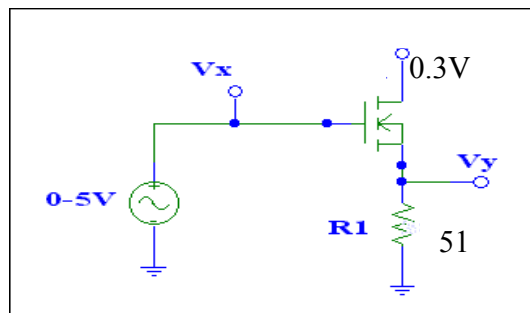
2. 選取一個有明顯 I_{DS} 輸出的 V_{GS} ，在示波器上觀察 I_{DS} 對 V_{DS} 曲線 (例如上圖之曲線甲)，利用液態氮或電熱吹風機改變 IC 的溫度，記錄 I_{DS} - V_{DS} 曲線對溫度的變化。

四、PMOS 的操作曲線

選擇一個 PMOS，重複程序四裡的步驟 1 及 2。但步驟 1 的 V_{GS} 、 V_{DS} 必須是負值。

五、線性區的特性

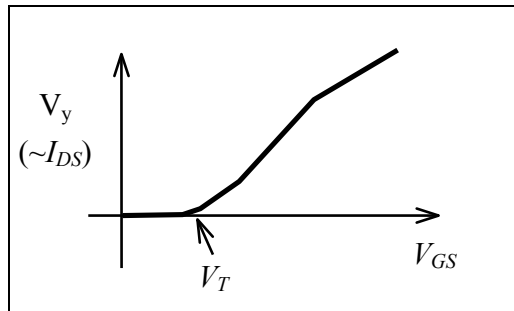
1. 對於 NMOS 而言， V_{GS} 必須大於 V_T ，D 極和 S 極間才開始導通。當 V_{DS} 很小時，D 極和 S 極間像是一個電阻 (電阻值由 V_{GS} 控制)，在此操作區間， I_{DS} 和 V_{DS} 成正比，故稱為線性區或歐姆區。這個實驗是要在線性區內，固定一個小的 V_{DS} 值，觀察 I_{DS} 對 V_{GS} 的關係。



測試電路圖如右：

訊號產生器的範圍設在 0-5V 間，用來提供 V_{GS} ，接到示波器的 X 軸。在 S 極和接地間串聯一個 51Ω 的小電阻，用來將 I_{DS} 轉換為電壓訊號 ($V_y = I_{DS} \times 51\Omega$) 接到示波

器的 Y 軸輸入。你可以得到類似下面的圖：



由圖中可直接找出臨界電壓 V_T 。

由這個圖你是否能換算成 DS 間電阻對 V_{GS} 的關係？注意 51Ω 造成的誤差。

2. 用吹風機將 IC 加熱， V_y 對 V_{GS} 曲線如何變化？注意曲線與 X 軸的交點及交點附近的斜率。用冷卻劑把 IC 冷卻，結果如何？

3. 將電晶體換為 PMOS，直流電源換為 $-0.3V$ ， V_{GS} 必須小於 0，重複上面步驟。

預習問題

1. 閱讀應電實驗室網頁元件資料庫中 VP2410L 和 VN2410L 的資料，我們用的是 TO-92 包裝的元件，請畫出他們的接腳。並查出他們的元件參數 (k 與 V_T) 範圍。
2. 寫出 NMOS 和 PMOS 在線性區及飽和區的電流電壓特性方程式。
3. 為何將加強型 MOS 的 G 和 D 極短路，在 DS 間加偏壓，MOS 一定在截止或飽和區操作？

問題與討論

1. 在程序一中，PMOS 和 NMOS 的 D 極和 substrate (和 S 短路) 間的 I-V 曲線有何不同？為什麼？
2. (a) 把程序三、四中對不同 V_{GS} 所得之 $I_{DS}-V_{DS}$ 曲線畫在一起，標出線性區和飽和區 (或恆流區)。
(b) 在飽和區內對一固定 V_{DS} ，做 $\sqrt{I_{DSAT}}$ 對 V_{GS} 圖 (I_{DSAT} 是在飽和區中 I_{DS} 的值)。在理想情況下，此曲線該是怎樣的圖形？你所得到的是不是這樣？X 軸的截距有何意義？
3. 請比較由各程序所得之臨界電壓有何不同？用哪一種方法測臨界電壓比較好？
4. 溫度對 I_{DS} 及 V_T 有何影響？解釋你的結果。