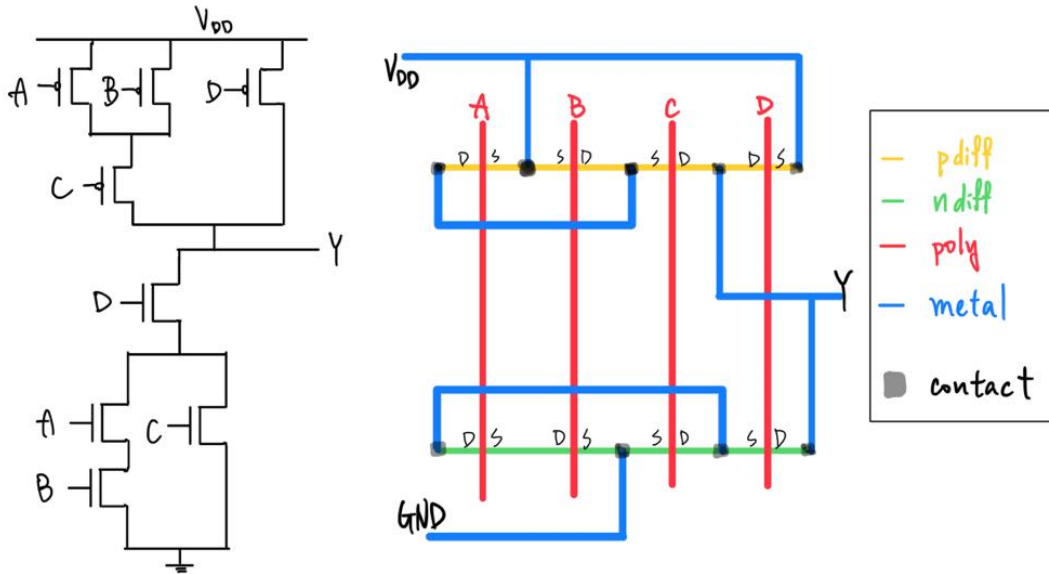


# HW1

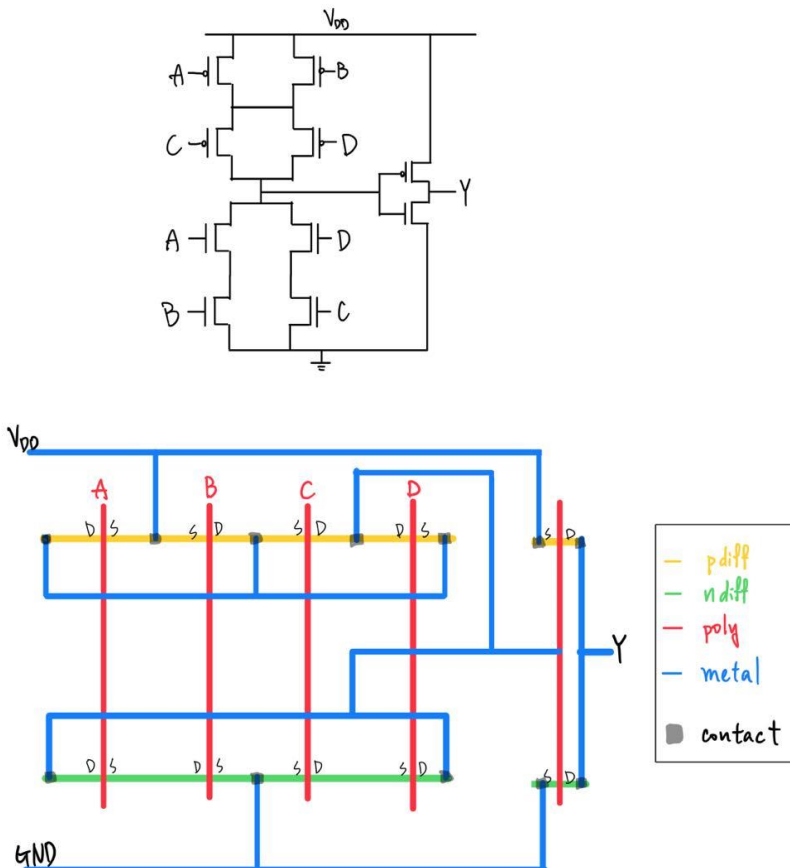
Student ID : 113063572

Name : 王品然

1. (a)  $Y = \overline{(A \cdot B + C)} \cdot D \Rightarrow \begin{cases} \text{PMOS} : (A+B) \cdot C + D \\ \text{NMOS} : \overline{(AB+C)} \cdot D \end{cases}$

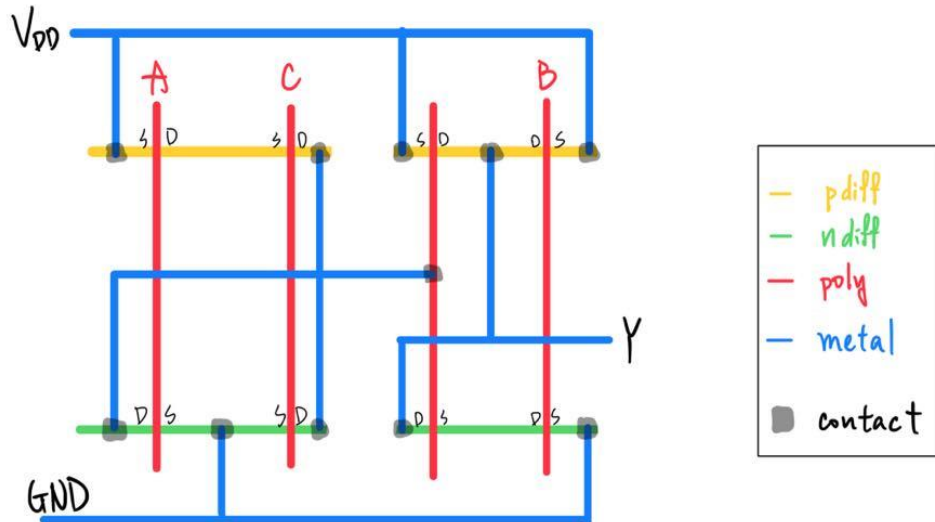
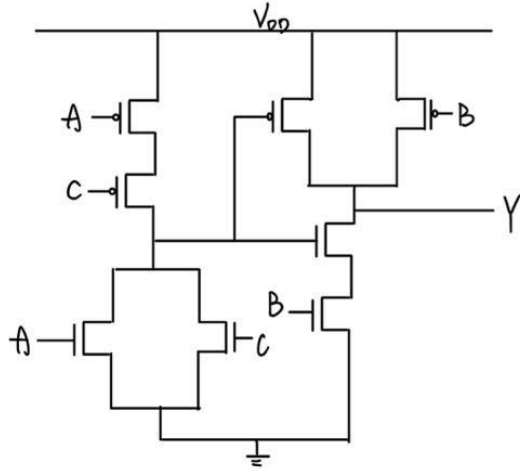


1b)  $\bar{Y} = \overline{AB + C \cdot D} = (\overline{AB} \cdot \overline{C \cdot D}) = (\overline{A} \cdot \overline{B}) \cdot (\overline{C} + \overline{D}) \Rightarrow \begin{cases} \text{PMOS} : (A+B)(C+D) \\ \text{NMOS} : \overline{AB+CD} \end{cases}$



(c)

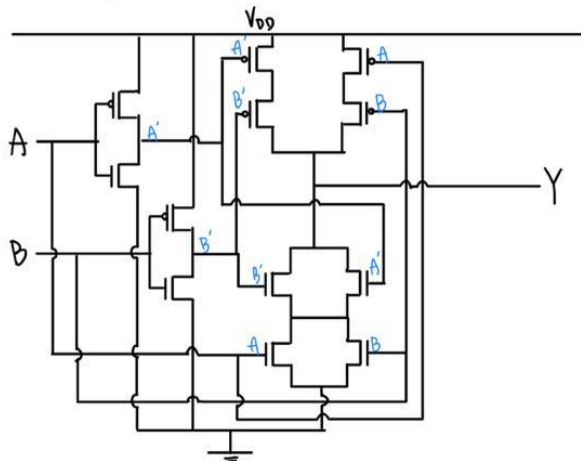
$$Y = A + \bar{B} + C = \overline{\overline{A+C+\bar{B}}} = \overline{(A+C) \cdot B}$$

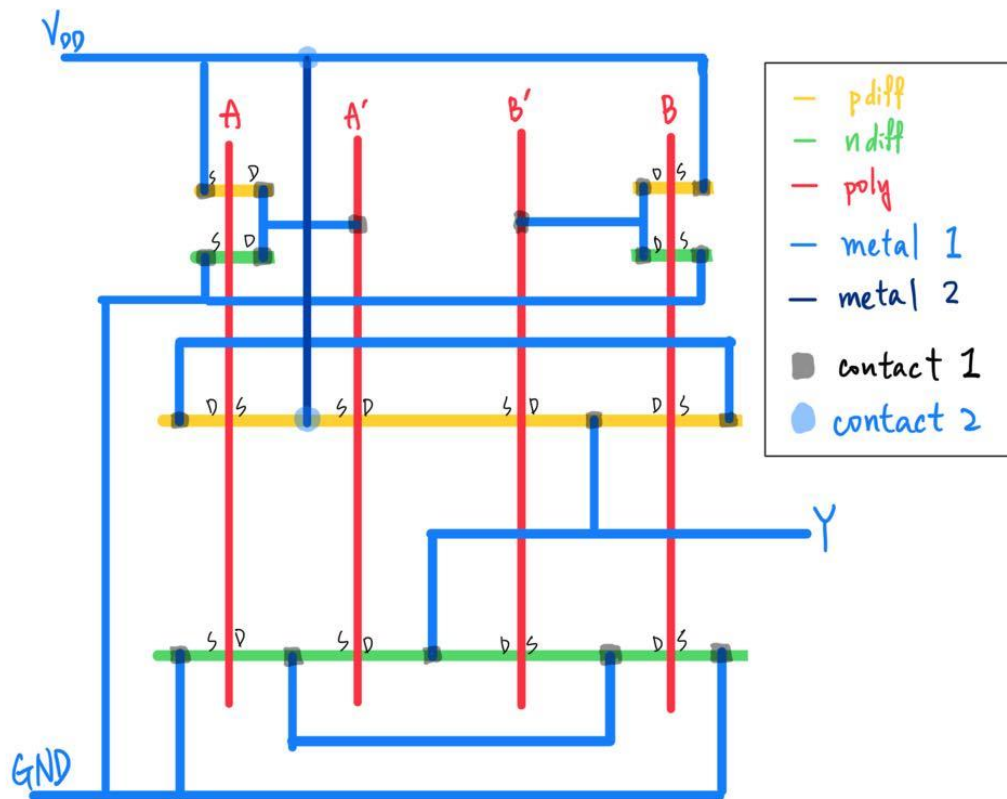


(d)

A \ B	0	1
0	1	0
1	0	1

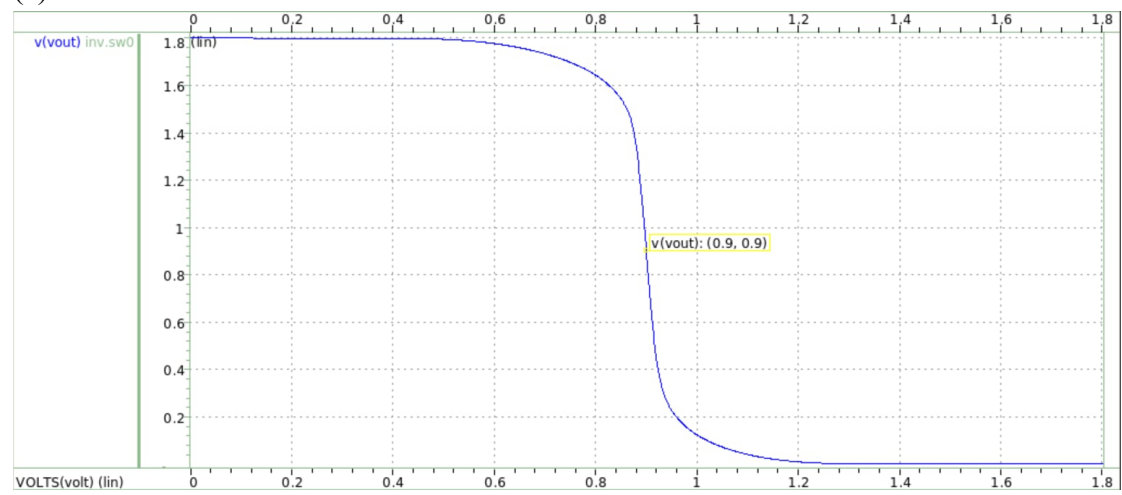
$$\Rightarrow Y = \bar{A}\bar{B} + AB = \overline{(A+B)} + \overline{(A+\bar{B})} = \overline{(A+B) \cdot (A+\bar{B})}$$



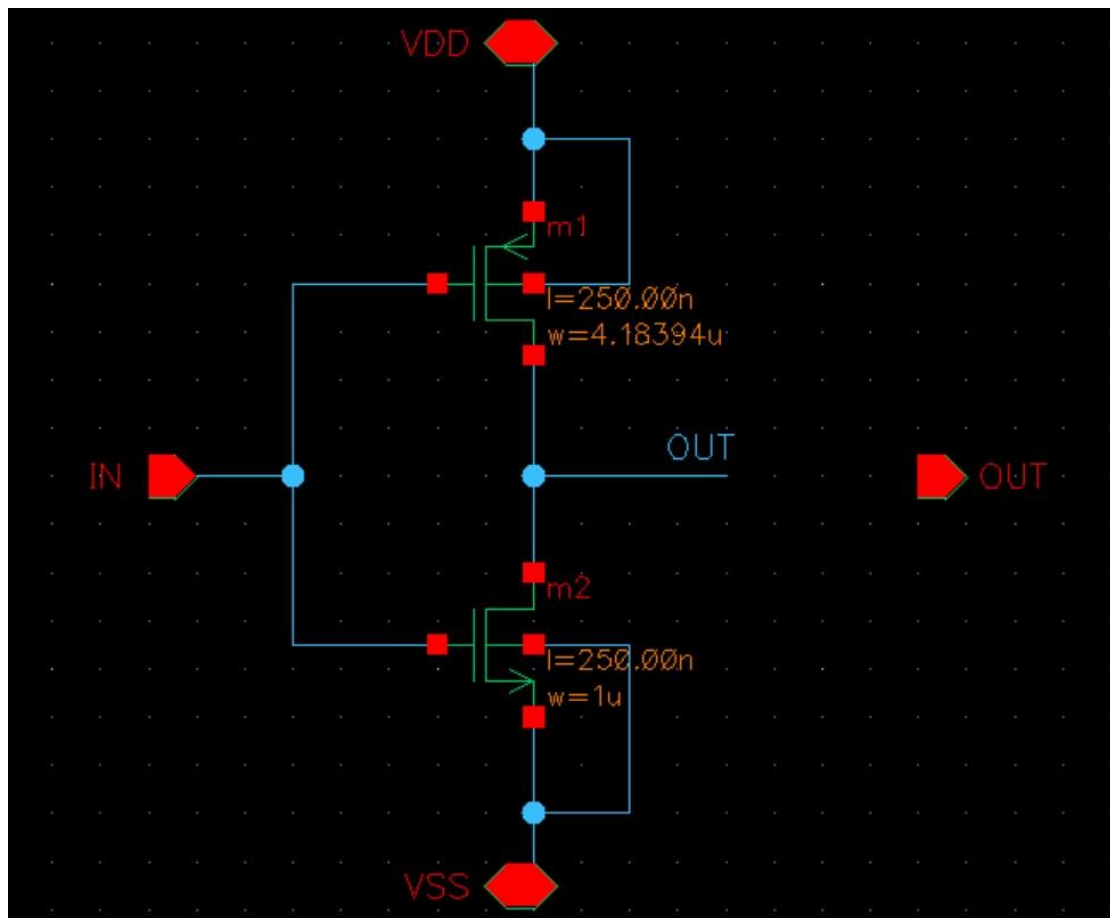


2.

(a) TT

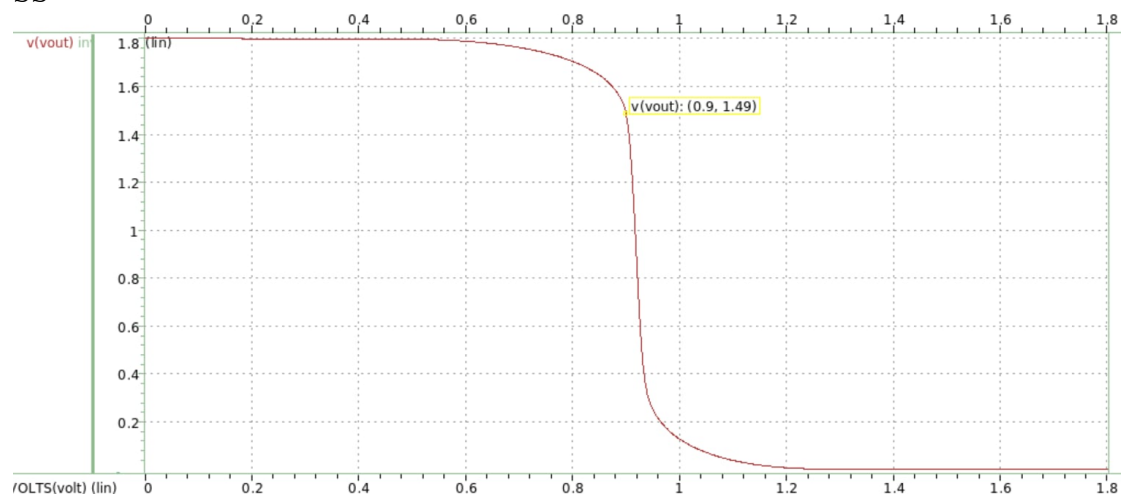


(b)

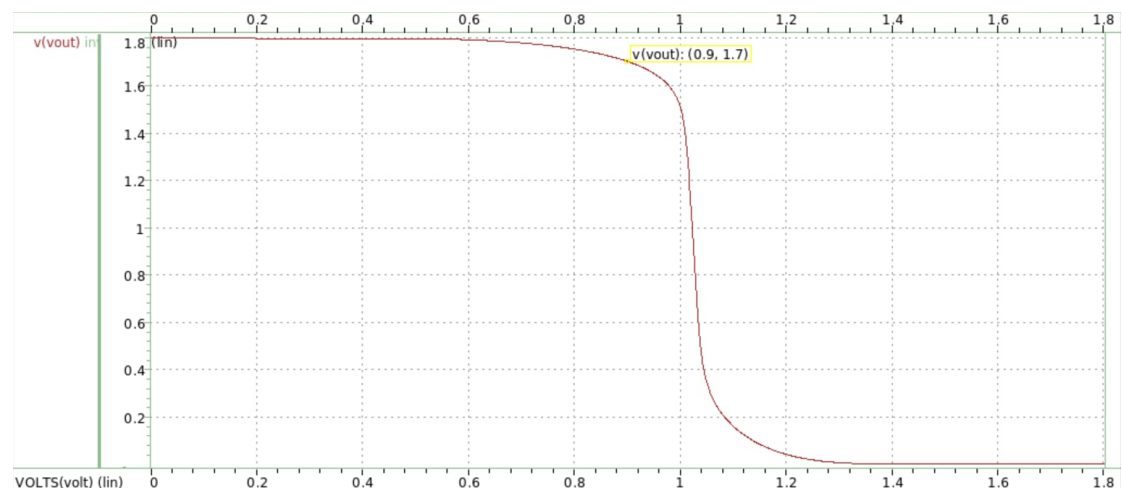


(c)

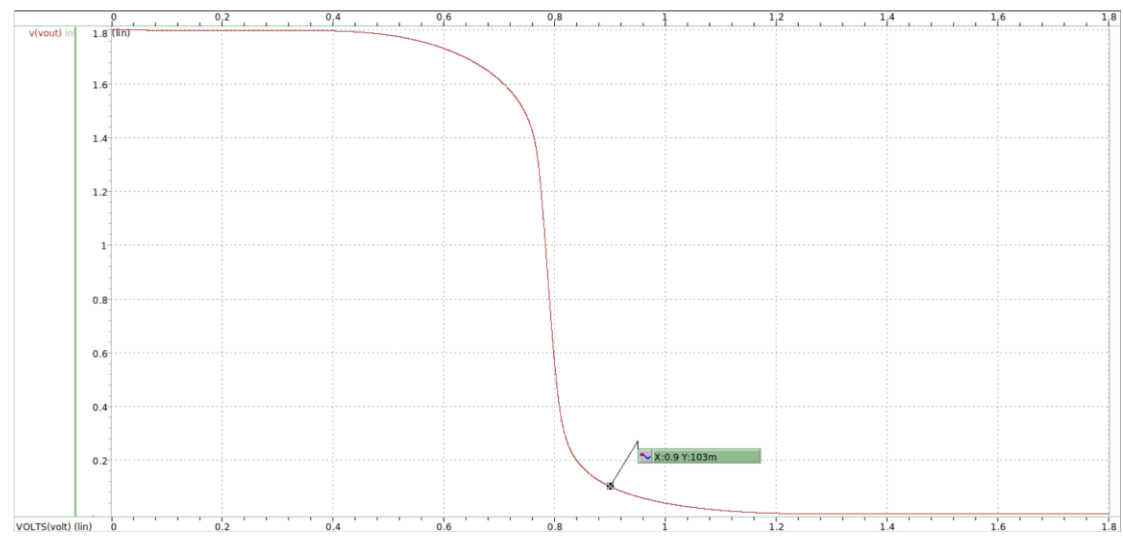
SS



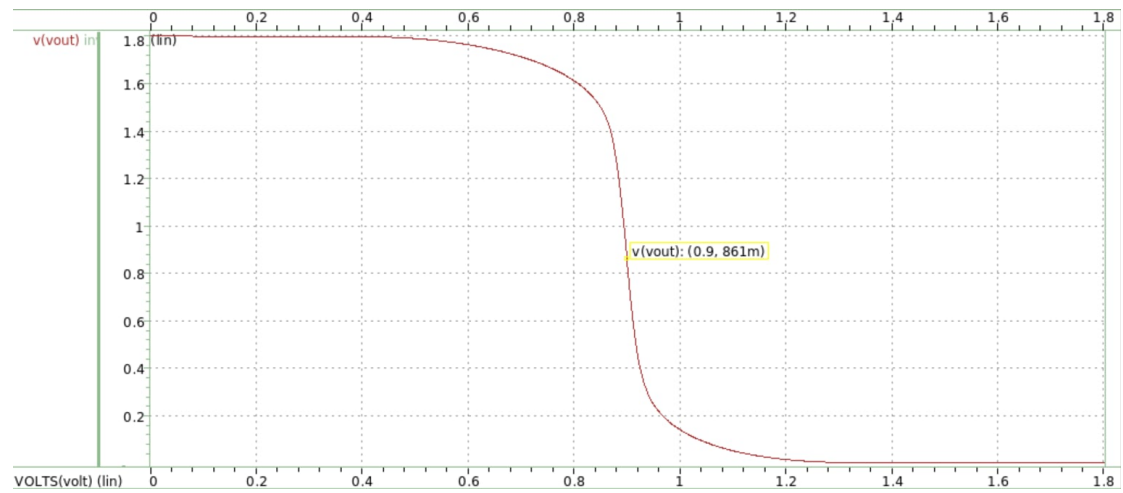
SF



FS



FF

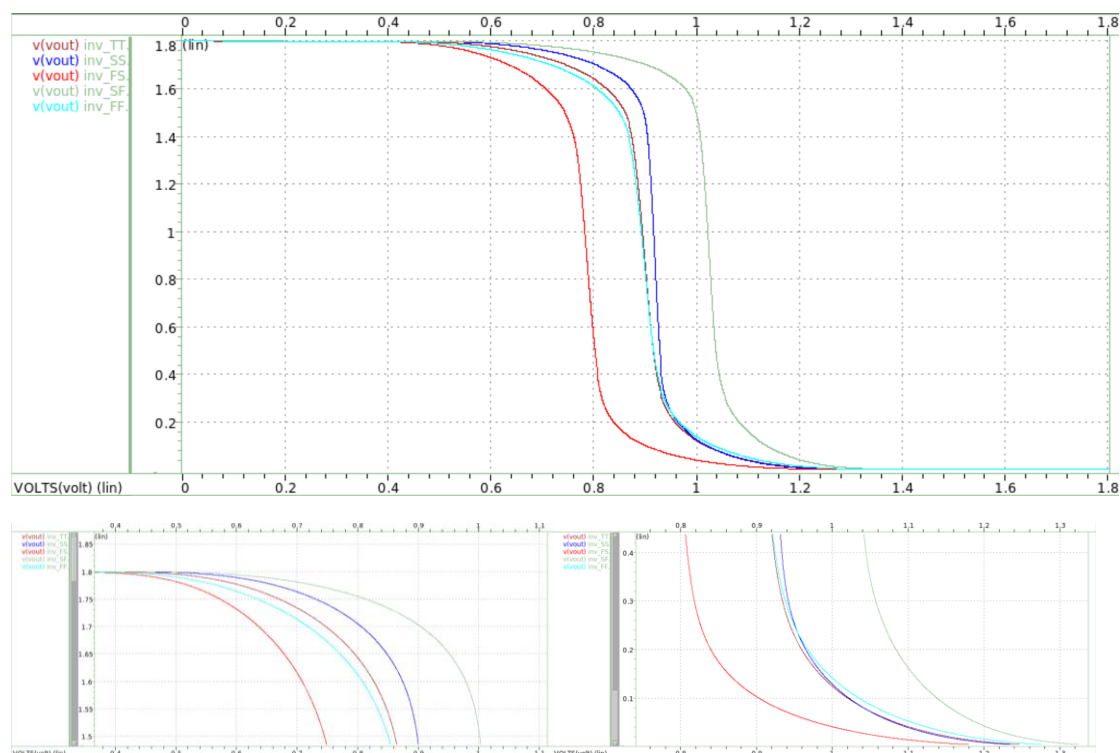


(d)

Process Corner 定義了 NMOS 和 PMOS 的切換速度，有分三種型態 slow (慢) typical (典型) fast (快)，組合成為五種製程的環境參數：TT、SS、SF、FS、FF (前 NMOS 後 PMOS)。而決定切換速度的方式，是藉由調變製程檔中各參數的值來達成，調變的參數 delta 值包含：D<sub>TOX</sub>(氧化層厚度變化量)、D<sub>VTH0</sub>(初始臨界電壓變化量)、D<sub>U0</sub>(遷移率  $\mu$  的變化量)、D<sub>WU0</sub>(隨通道寬度變化的遷移率偏移量)、D<sub>CGDO</sub>(閘極與汲極重疊電容 Delta Capacitance of Gate-Drain Overlap).....等。調變這些參數目的是想要更精確控制影響切換速度的兩個主要因素： $V_{th}$  和  $\mu$ 。

這些在 TT、SS、SF、FS、FF 中所設定的參數 delta 值會在製程檔中定義 NMOS/PMOS 時被引入，以 N<sub>18</sub> 的氧化層厚度為例，製程檔中的設定為： $TOX = '4.2000E-09 + D_{TOX\_N\_18}'$ ，因此會根據.sp 檔中所設定的不同 corner，改變參數的 delta 值，進而調變元件中的各項參數，最終決定開關速度。

**五種 corner 的 transfer curve 的疊圖：**



可以從放大上半部分的圖中看出，開始 PMOS turning off，NMOS turning on 的轉換過程所需的  $V_{in}$  大小：SF>SS>TT>FF>FS。

SF 時，PMOS 為 F-corner，使  $V_{th\_p}$  的絕對值變小，因此需要更大的  $V_{in}$  才會使 PMOS 關掉；NMOS 為 S-corner，使  $V_{th\_n}$  變大，因此也需要更大的  $V_{in}$  才會使 NMOS 開啟，兩者疊加使得  $V_{in}$  真的要很大才能開始這個 PMOS 正在 turning off，NMOS 正在 turning on 的過程，且也最晚結束此過程。同理，FS 時會是  $V_{in}$  較小的時候即能開始轉換 MOS 狀態，且也是最早結束的。

SS 時，PMOS 為 S-corner，使  $V_{th\_p}$  的絕對值變大，因此較小的  $V_{in}$  即可

使 PMOS 關掉；NMOS 為 S-corner，使  $V_{th\_n}$  變大，因此需要較大的  $V_{in}$  才會使 NMOS 開啟，兩者相互影響下，使得  $V_{in}$  不需要像 SF 時的那麼大，就能開始轉換 MOS 的狀態，但也由於 NMOS 的 S, F, T-corner 製程變異影響較 PMOS 大（這可以從製程檔中各個 corner 的所設定的參數  $\delta$  值大小差異得到），因此最終  $V_{in}$  仍然需要比 TT 時的稍大一點，MOS 才會開始轉換狀態。同理，FF 時，MOS 開始轉換的  $V_{in}$  會比 FS 時略大，TT 時略小。

可以從放大下半部分的圖中看出，PMOS 即將完全 off，NMOS 即將完全 on 時的  $V_{in}$  大小： $SF > SS \approx TT \approx FF > FS$ 。這可能是因為 SS、TT、FF 的製程變異在此段輸入電壓無法表現得很明確所導致，而且在 SS、FF corner 中， $V_{th}$  和  $\mu$  皆會同時上升/下降，因此也較難得出明確的差異。

除此之外，也能從  $\beta$  ratio 看出曲線之間的差異，TT corner 時，我們將  $W_p$  調至  $4.18\mu m$  使得  $\beta$  ratio=1，從課程中，我們也學到  $\beta$  ratio 越大曲線越往右，而分析 SF corner 時的 NMOS 為 S corner， $\beta_n$  正比於  $\mu_n$ ，因此會變小；反之， $\beta_p$  會變大，因此  $\beta$  ratio 變得非常大，曲線向右偏移許多。同理可知 FS corner 的曲線會向左偏移許多。而 FF 和 SS corner 的  $\mu_n$ 、 $\mu_p$  會同時變大變小，因此  $\beta$  ratio 變動不大，曲線都在 TT corner 的附近。當然  $\mu_n$ 、 $\mu_p$  變大變小的幅度不會完全一樣，可以直接 tracking 製程檔中每一個影響  $\mu$  的  $\delta$  值去算出每個輸入電壓下對應的  $\mu$ ，這樣的話應該會得到更精確的推論，但整體而言 FF 和 SS corner 的  $\beta$  ratio 變動就是不大，會在 TT corner 的轉移曲線附近。

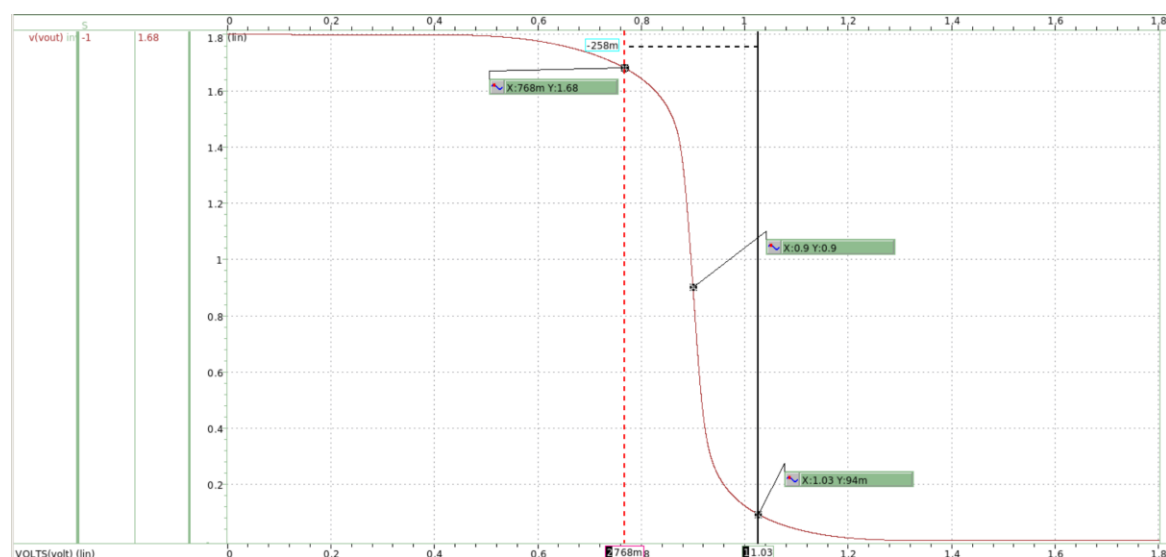
3.

(a)

	TT	SS	SF	FS	FF
$V_{IL}$	768 mV	815 mV	926 mV	637 mV	755 mV
$V_{IH}$	1.03 V	1.03 V	1.16 V	898 mV	1.03 V
$V_{OL}$	94 mV	91 mV	75 mV	105 mV	103 mV
$V_{OH}$	1.68 V	1.69 V	1.68 V	1.7 V	1.67 V
$NM_H$	650 mV	660 mV	520 mV	805 mV	640 mV
$NM_L$	674 mV	724 mV	851 mV	532 mV	652 mV

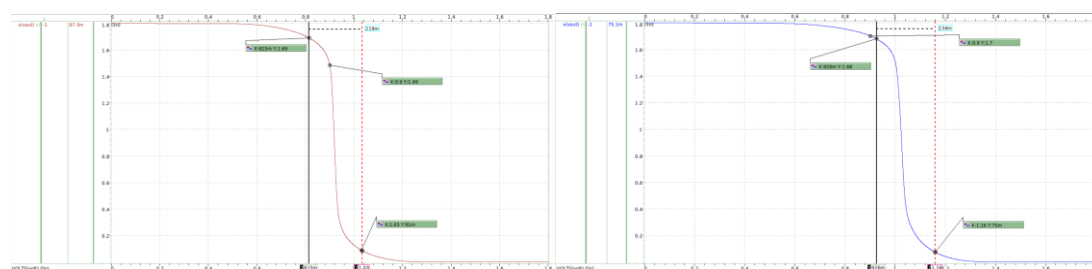
上表數據可藉由在圖上加一個偵測微分值(斜率)的 filter，找到斜率為-1 的點座標。如下圖所示：

TT



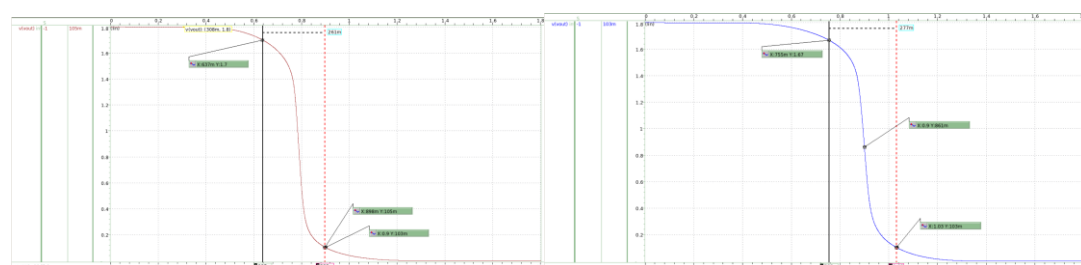
SS

SF



FS

FF



(b)

$V_{IL}$  的大小為：SF>SS>TT>FF>FS，其原因如同第二題 (d) 的解釋一樣，因為  $V_{IL}$  代表了輸出高電位訊號結束時的  $V_{in}$  值，也就代表著兩顆 MOS 正在進入轉換狀態的  $V_{in}$  值。

$V_{IH}$  的大小為：SF>SS≈TT≈FF>FS，其原因也如第二題 (d) 的解釋一樣。

從  $\beta$  ratio 的角度切入，SF corner，也就是  $\beta$  ratio>1 的情況(在 2. (d)最後一段有解釋為甚麼)，會如上課所說，這會使其  $V_{IL}$ 、 $V_{IH}$  在 5 個 corner 中最大，而  $\beta$  ratio 的值不太影響  $V_{OL}$ 、 $V_{OH}$ ，因此  $NM_H$  最小、 $NM_L$  最大。同理也能解釋 FS corner， $\beta$  ratio<1，使得  $V_{IL}$ 、 $V_{IH}$  在 5 個 corner 中最小，因此  $NM_H$  最大、 $NM_L$  最小。而 TT、SS、FF 的  $\beta$  ratio 都差不多，因此  $V_{IL}$ 、 $V_{IH}$ 、 $V_{OL}$ 、 $V_{OH}$ 、 $NM_H$ 、 $NM_L$  都沒有顯著差異。