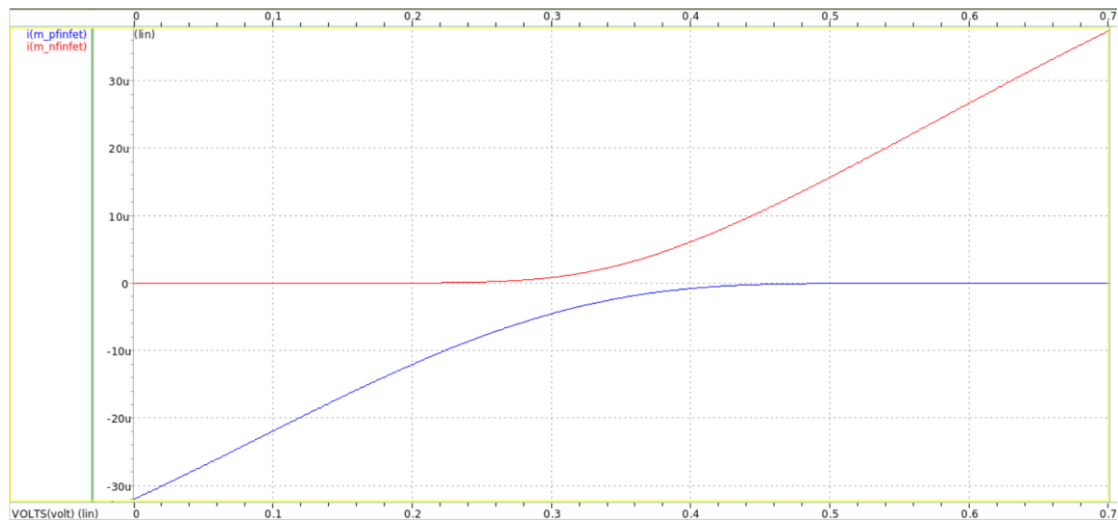


## 數位積體電路 Exercise 1

電子所 311510061 陳柏翰

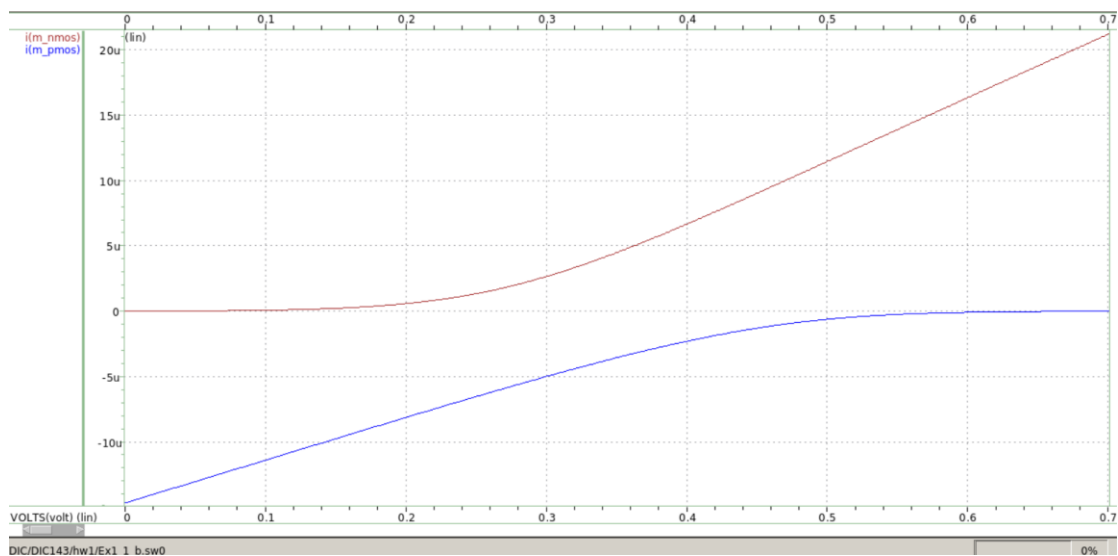
### Exercise 1-1:DC characteristics

#### Exercise 1-1(a) FinFETs



上圖為  $m=1$  的  $V_{gs}$ - $I_{ds}$  圖，紅色線為 nFinFET 的，綠色則為 pFinFET 的縱軸皆為  $I_{ds}$ ，橫軸則為  $V_{gs}$  由 0 到 0.7V 的變化。且從圖中可以看出 pFinFET 的電流比 nFinFET 稍微小一數個  $\mu$ 。

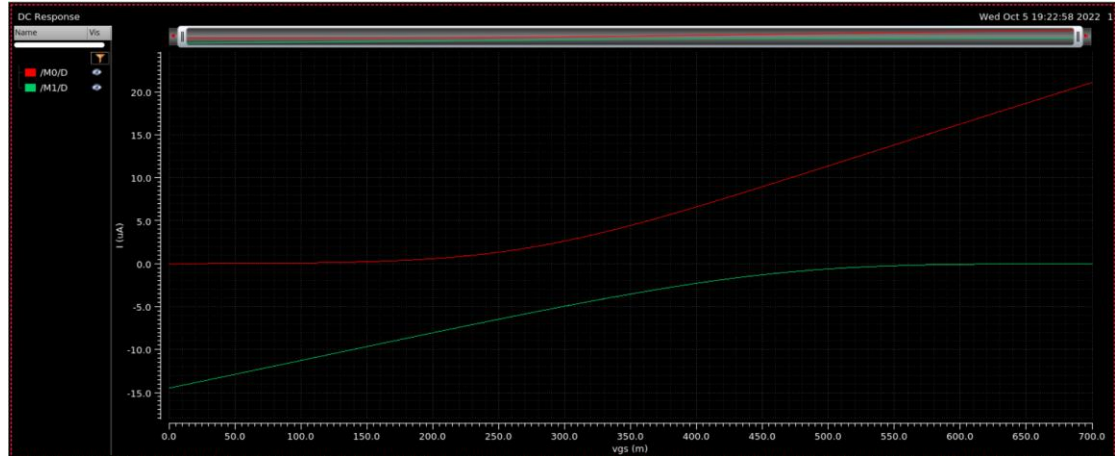
#### Exercise 1-1(b) planar MOS



上圖為  $L$  和  $W$  皆為 16nm 的 nmos 和 pmos 的  $V_{gs}$ - $I_{ds}$  圖，紅色線為 nmos 的，綠色則為 pmos 的縱軸皆為  $I_{ds}$ ，橫軸則為  $V_{gs}$  由 0 到 0.7V 的變化。且從圖中可

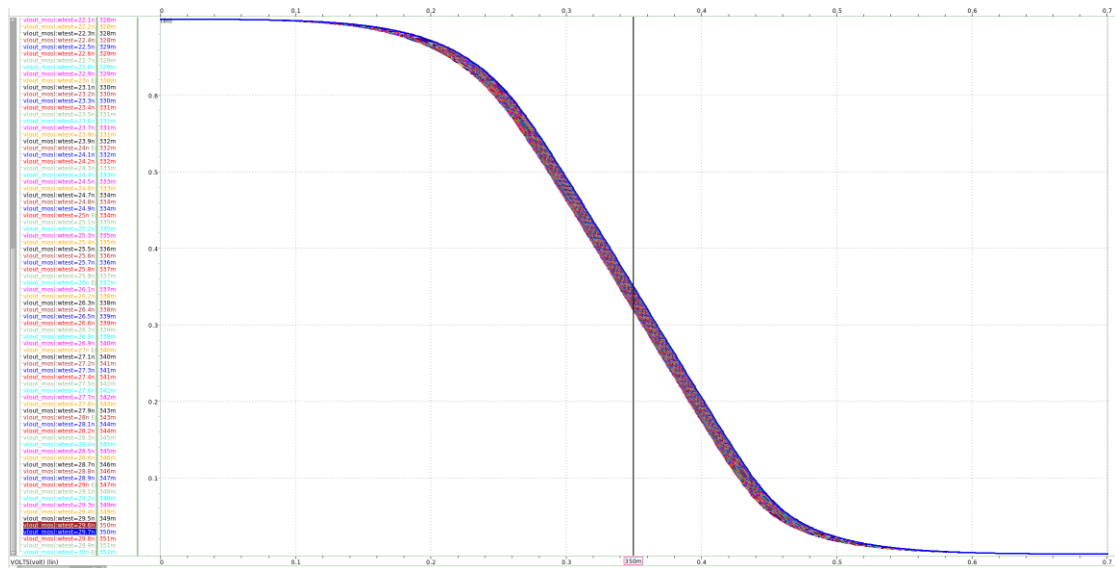
以看出 pmos 的電流比 nmos 得來的小，差距明顯比 FinFET 間得來的大。

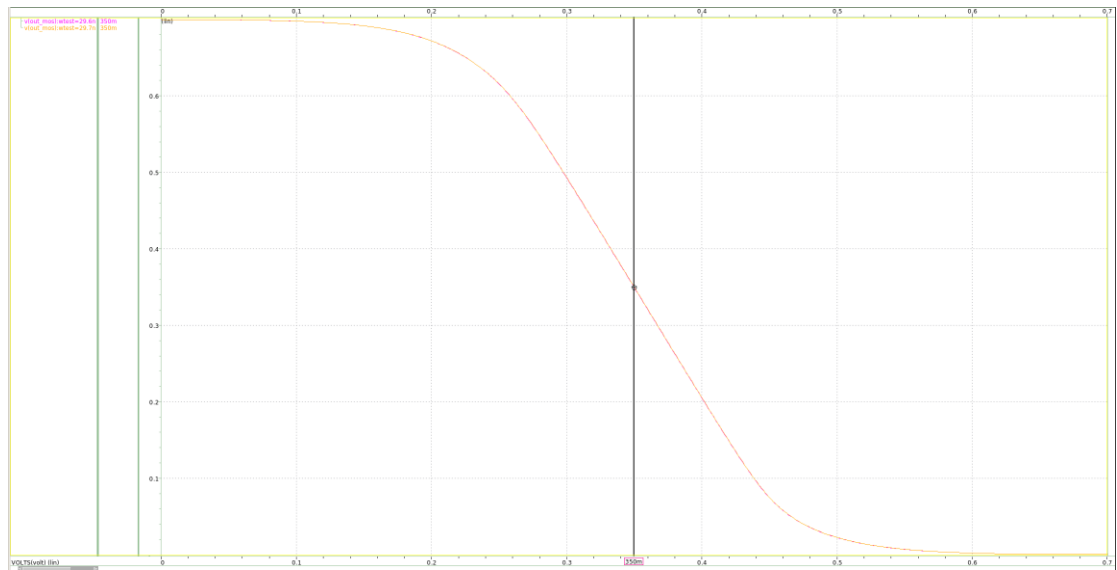
下圖為我另外用 virtuoso schematic 做的 nmos 和 pmos 的  $V_{gs}$ - $I_{ds}$  模擬，兩張圖數據吻合。



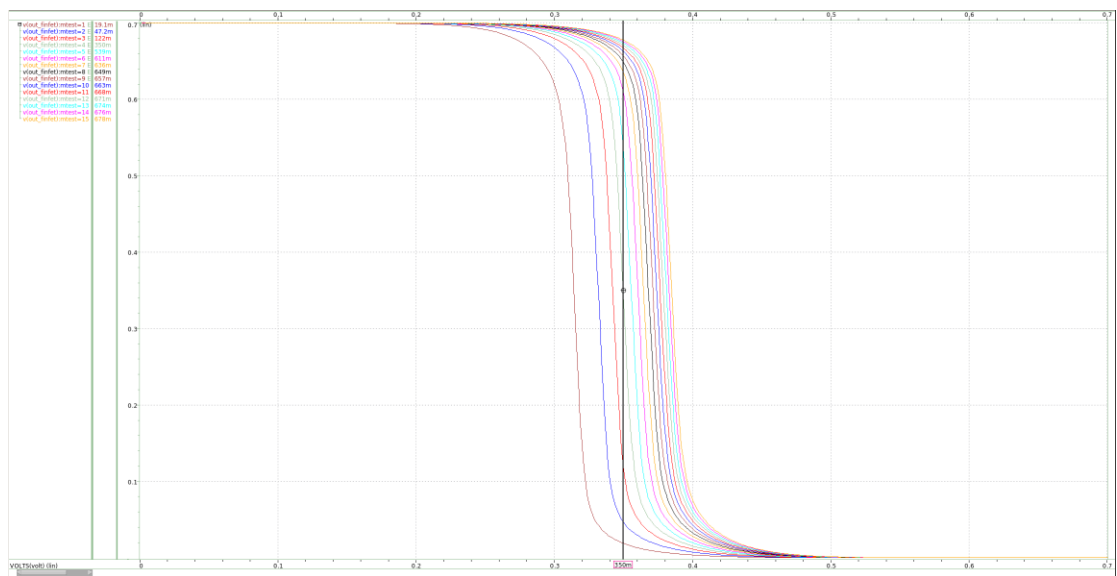
### Exercise 1-1(c)

要使 inverter 的  $\beta=1$  的話，可以透過確認當輸入等於  $V_{DD}/2=0.35V$  輸出是否也等於  $0.35V$  來判斷，FinFET 可以透過不斷去調動 HSPICE 中電晶體  $m$  的大小後，可以發現當把 pfin 的  $m$  調為  $1.3$  可以使  $\beta=1$ ，另外去調動 planar mos 的  $W/L$  值可以去改變  $\beta$  的值，當我將 nmos 的  $w$  調為  $29.6nm$  或  $29.7nm$  時可以使  $\beta=1$ 。另外也可以透過觀察 nmos 和 pmos 的電流是否相同來判斷  $\beta=1$ 。

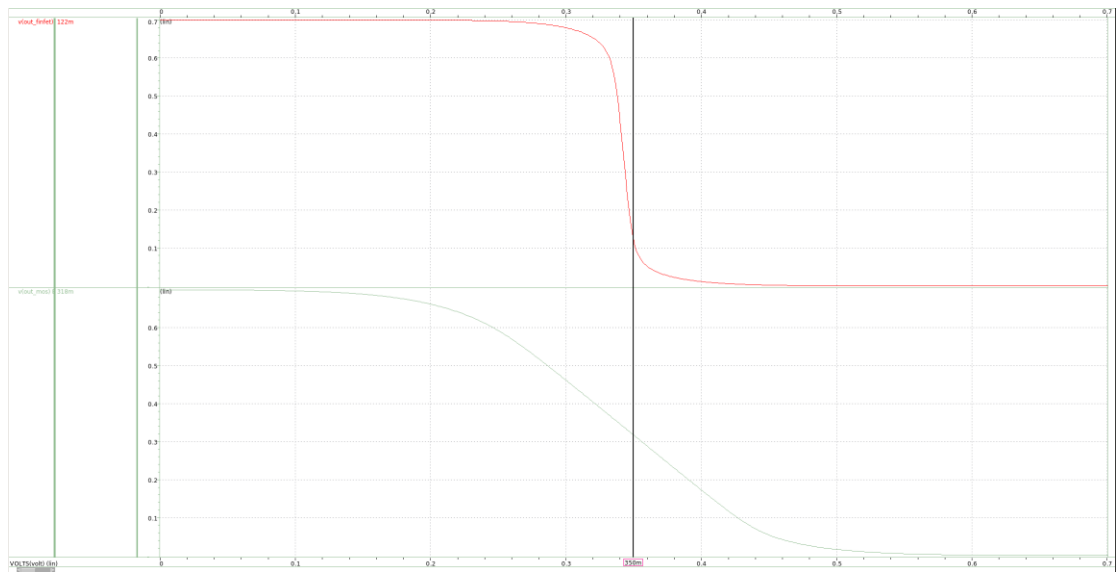




上兩張圖為透過 hspice sweep 的方式去掃 pmos 中的  $w$  值來找出輸入=輸出  $=V_{DD}/2=0.35V$  的位置( $w_{test}$  為我掃  $w$  從  $16nm$  到  $30nm$  且間格  $0.1nm$  的範圍)，從圖中可以看出當  $w$  調為  $29.7nm$  或是  $30nm$  時會使  $\beta=1$ 。

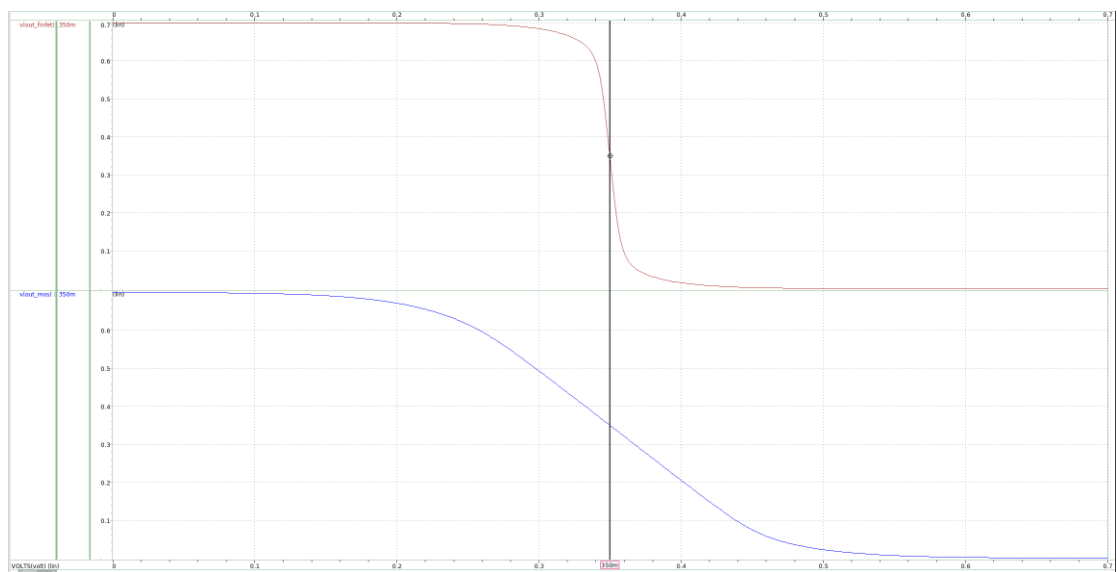


上圖為透過 hspice sweep 的方式去掃 pFinFET 中的  $m$  值來找出輸入=輸出  $=V_{DD}/2=0.35V$  的位置，且我有將 nFinFET 中的  $m$  值固定為  $3$  ( $m_{test}$  為我掃  $m$  從  $1$  到  $15$  且間格  $1$  的範圍)，從圖中可以看出當  $m$  調為  $4$  時輸入=輸出  $=V_{DD}/2=0.35V$  也就是能使  $\beta=1$ 。

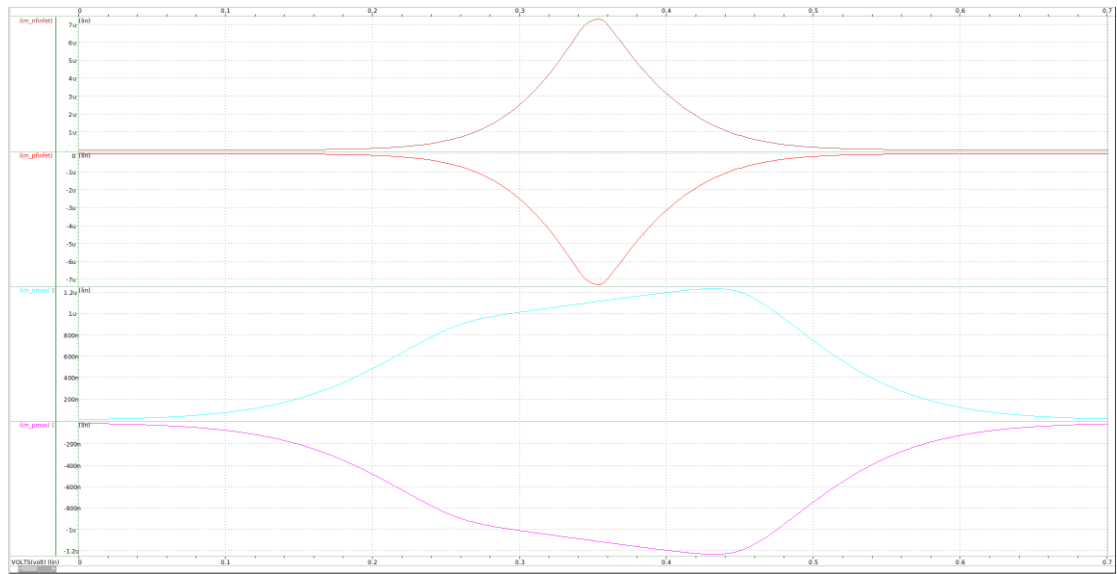


上圖為尚未調動任何參數前 FinFET 和 Planar MOS 所組成的 Inverter 的 VTC Curve，可以從圖中看出當輸入等於 0.35V 時，輸出均離 0.35V 有段距離，FinFET 的輸出僅有 0.122V; Planar MOS 則是 0.318V 距離 0.35V 較接近。

下圖為則為調動參數後 FinFET 和 Planar MOS 所組成的 Inverter 的 VTC Curve (FinFET 中  $n_{fin}=3$ ,  $p_{fin}=4$  和 Planar MOS 中  $W=29.7\text{nm}$ )，可以從圖中看出當輸入等於 0.35V 時，輸出均等於 0.35V。

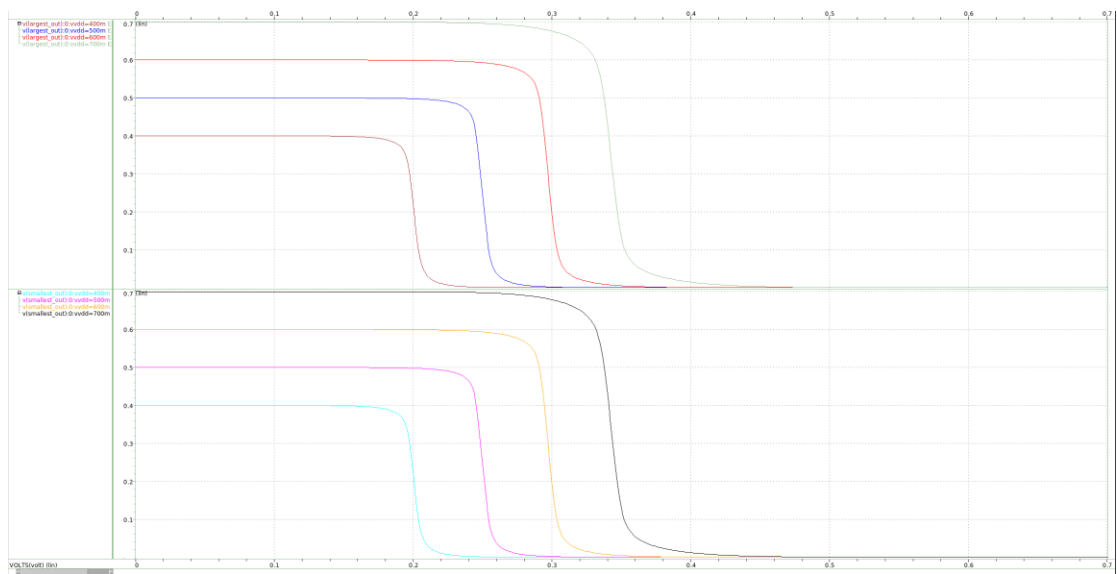


下圖則是調完參數後 FinFET 和 Planar MOS 所組成的 Inverter 的輸入-電流圖。

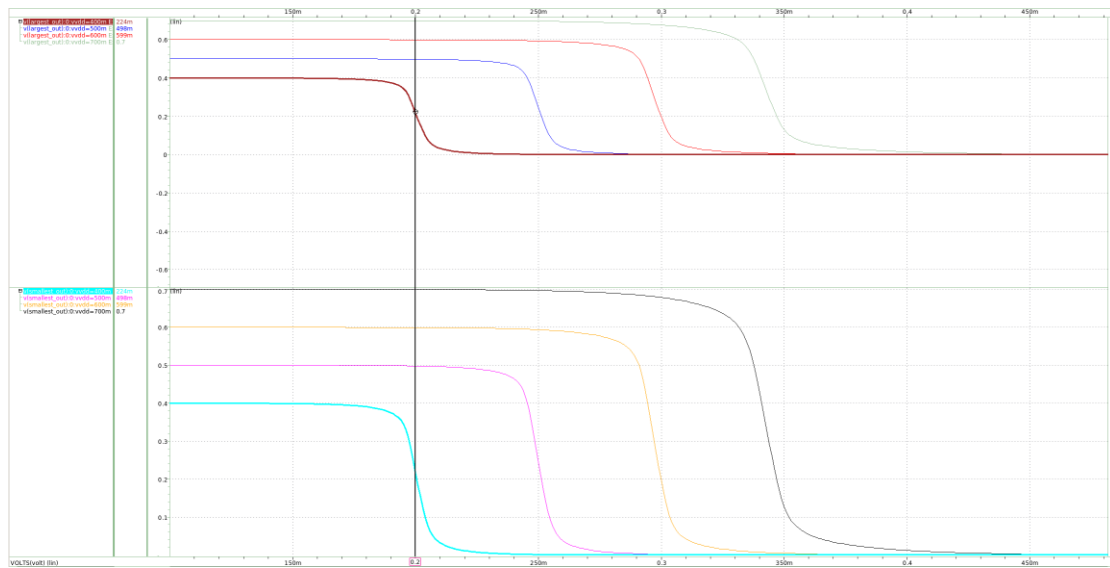


## Exercise 1-2: Voltage Transfer Curve

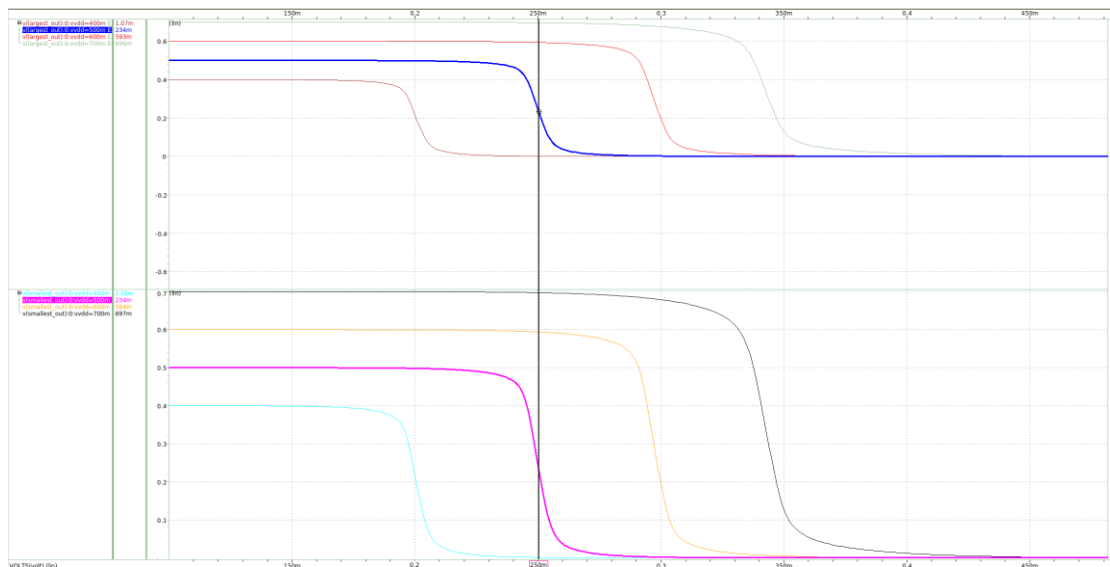
此題中我所使用的最小 inverter 為 INVx13\_ASAP7\_75t\_R，最大的則為 INVxp33\_ASAP7\_75t\_R。下圖分別為最大以及最小 inverter 的 VTC curve，兩圖的差異極小需要特別放大才能看出差異，以下分別討論幾個特別的點。



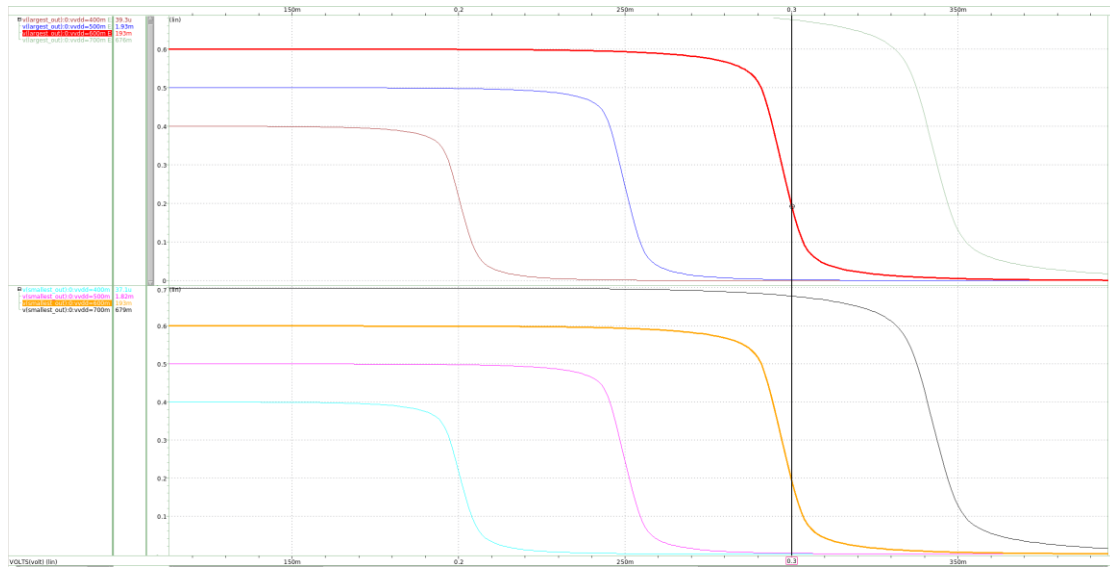
下圖為最大最小 inverter 在  $V_{DD}=0.4V$  時， $V_{in}=V_{DD}/2=0.2V$ ，可以看出  $v_{out}$  皆為  $224mV$ 。



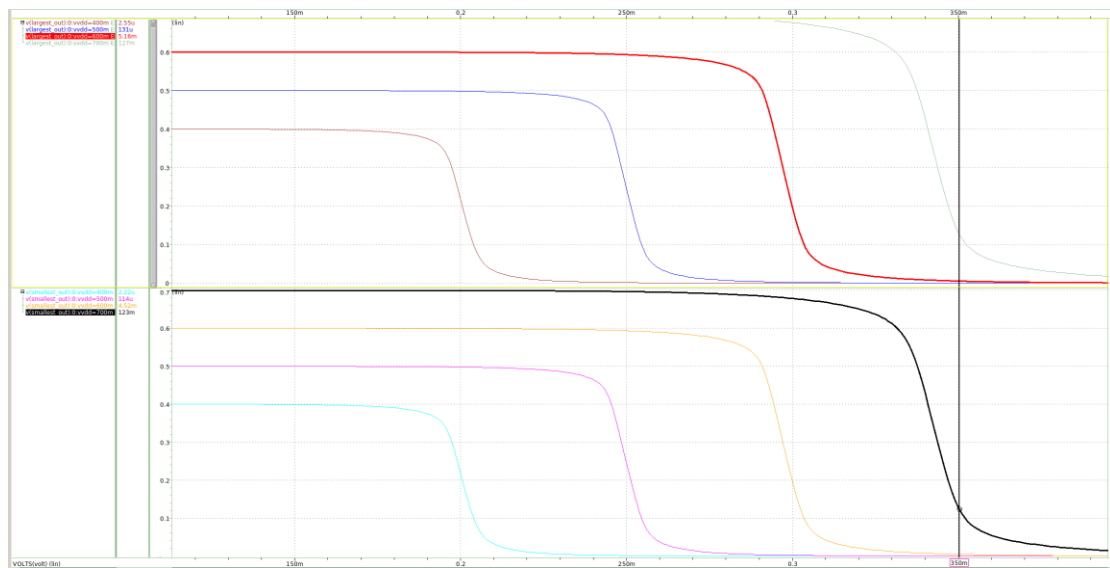
下圖為最大最想 inverter 在  $V_{DD}=0.5V$  時， $V_{in}=V_{DD}/2=0.25V$ ，可以看出  $v_{out}$  皆為 234mV。



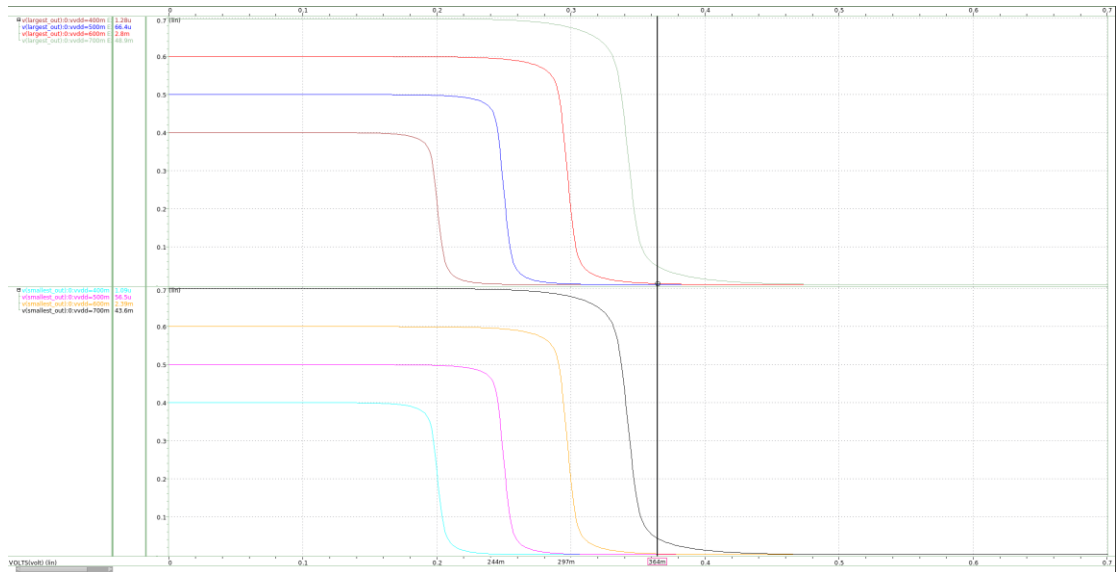
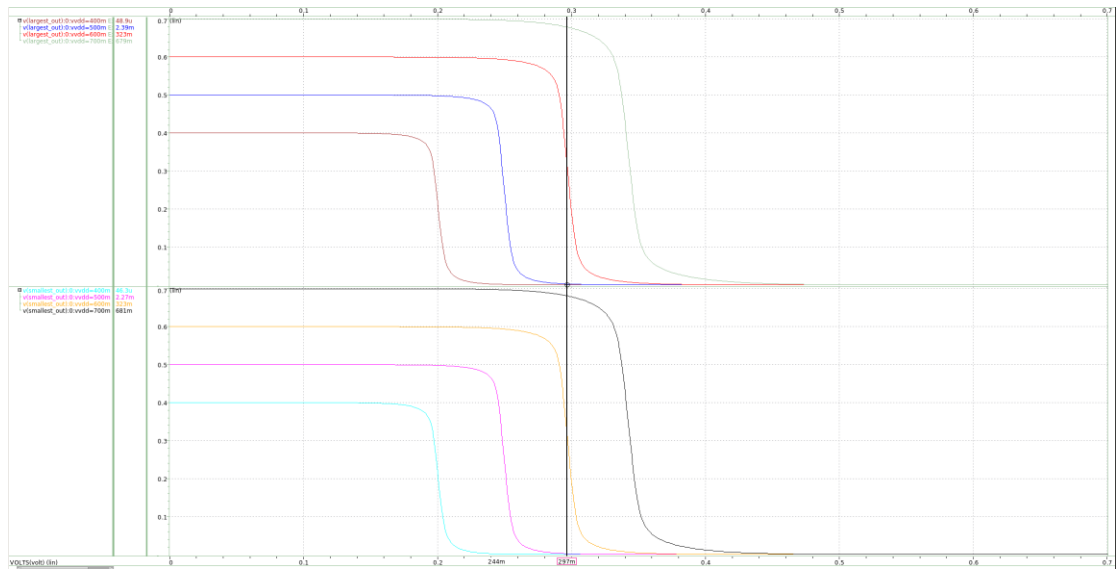
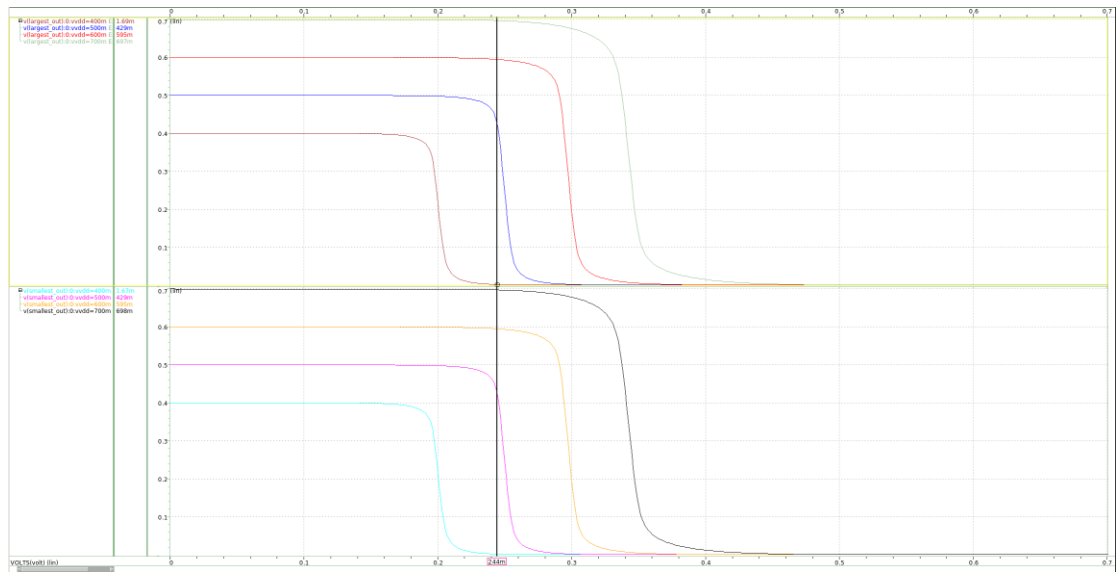
下圖為最大最想 inverter 在  $V_{DD}=0.5V$  時， $V_{in}=V_{DD}/2=0.25V$ ，可以看出  $v_{out}$  皆為 193mV。



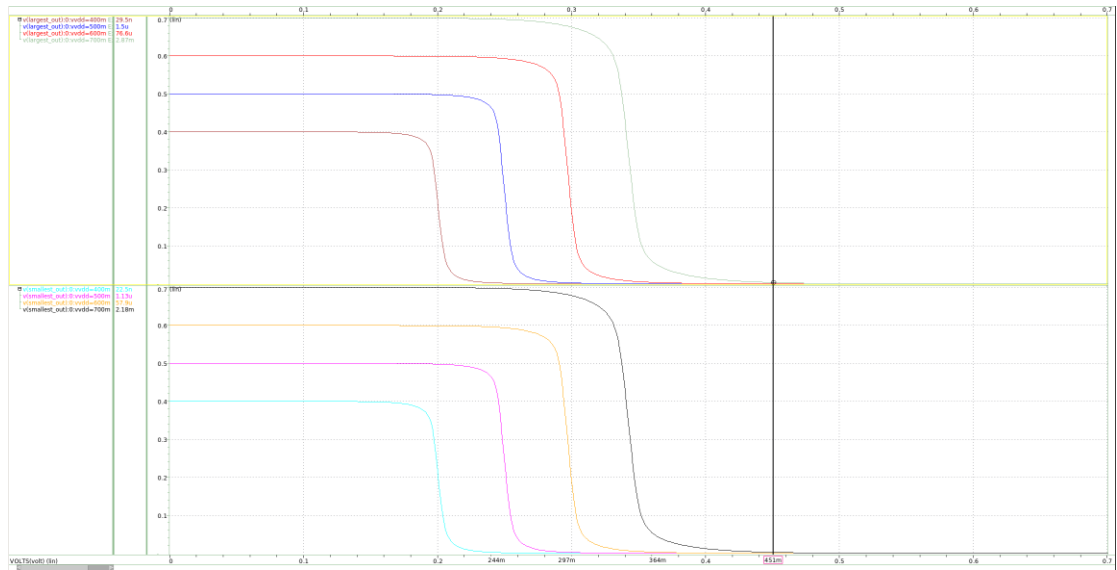
下圖為最大最穩 inverter 在  $V_{DD}=0.5V$  時， $V_{in}=V_{DD}/2=0.25V$ ，可以看出  $v_{out}$  皆為  $123mV$ 。



由以上 4 張圖可以看出當  $V_{DD}$  越大時， $V_{DD}/2$  的輸入電壓所對應到的輸出電壓會越來越小，也就是越來越偏移 VTC curve 的中間位置。



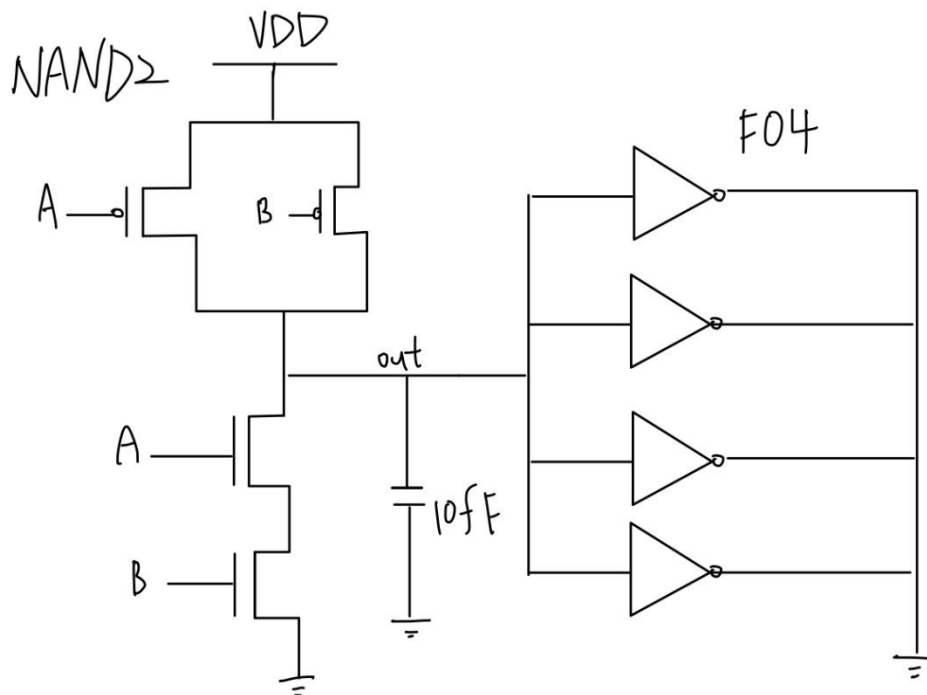




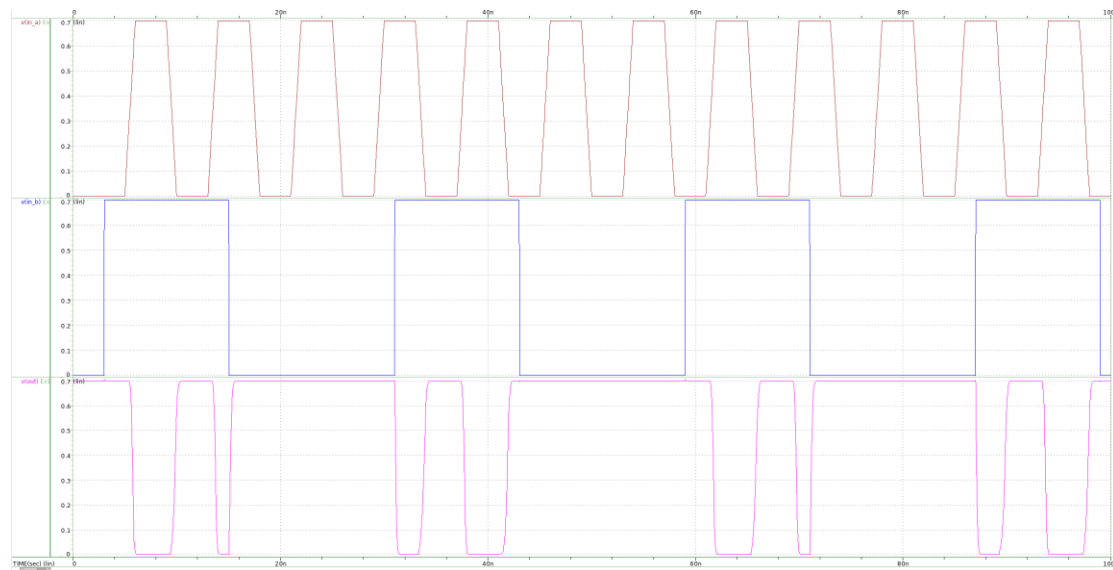
以上 4 張圖可以看出只有在輸出快要降為 0v 時會有最大和最小 inverter 之間微小的電壓差異，其餘的位置最大和最小 inverter 之間的電壓值並無差異。

### Exercise 1-3: Characteristics of Inverter/NAND2

此題中我用的 inverter 為 INVxp33\_ASAP7\_75t\_R，而 NAND2 則為 NAND2xp33\_ASAP7\_75t\_R，接上 F04 和 10pF 電容後的圖如下圖。在 A 和 B 的端點則分別輸入兩組周期不同的 PULSE 來觀察輸出的變化。



下圖中紅線為 A 端的 PULSE，藍線則為 B 端的輸入 PULSE，最後的粉紅色則是 output 的波形變化，並總共跑了 100ns 的暫態波形。



```

Ex1_3.mt0 - 記事本
檔案 編輯 檢視

$DATA1 SOURCE='HSPICE' VERSION='Q-2020.03-SP2-2 linux64' PARAM_COUNT=0
.TITLE '***characteristics of inverter/nand2***'
vmax      vmin      tphl_a      tphl_b
tphl_a     tphl_b     tr          tf
pwr        temper    alter#
0.7052     -2.227e-03  2.311e-10  1.024e-10
3.475e-10  1.384e-10  4.557e-10  3.197e-10
2.130e-05  25.0000    1

```

上圖為打開 mt0 檔所列出的結果，可以得到  
 $T_r=455.72\text{ps}$ ;  $T_f=319.65\text{ps}$ ;  $T_{phl\_A}=231.1\text{ps}$ ;  $T_{phl\_B}=102.38\text{ps}$ ;  $T_{plh\_A}=347.46\text{ps}$ ;  $T_{plh\_B}=138.44\text{ps}$ ;  $\text{POWER}=2.13\text{e-}05\text{ W}$ ，和下圖 lis 檔中的數據相比除了小數位數外皆相同。

```

Ex1_3.lis - 記事本
檔案 編輯 檢視

*****
***characteristics of inverter/nand2***

***** transient analysis tnom= 25.000 temp= 25.000 *****
vmax= 705.2399m at= 3.0200n
      from= 0. to= 100.0000n
vmin= -2.2271m at= 71.0300n
      from= 0. to= 100.0000n
tphl_a= 231.1033p targ= 5.7311n trig= 5.5000n
tphl_b= 102.3759p targ= 31.1124n trig= 31.0100n
tphl_a= 347.4639p targ= 9.8475n trig= 9.5000n
tphl_b= 138.4359p targ= 15.1684n trig= 15.0300n
tr= 455.7192p targ= 42.0760n trig= 41.6203n
tf= 319.6520p targ= 37.8797n trig= 37.5601n
pwr= 21.2964u from= 0. to= 100.0000n

***** job concluded
*****

```