

HW1

1.

```

.proTECT
.lib 'cic018.' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
.param vd=1.8 vg=0 vss=0 vsg=0

M1 Vdd Vg Vdd Vdd p_18 W=10u L=500.0n m=5
M2 Vdd Vg Vdd Vdd p_18 W=50u L=500.0n m=1
M3 Vdd Vg Vdd Vdd p_18 W=5u L=5u m=1

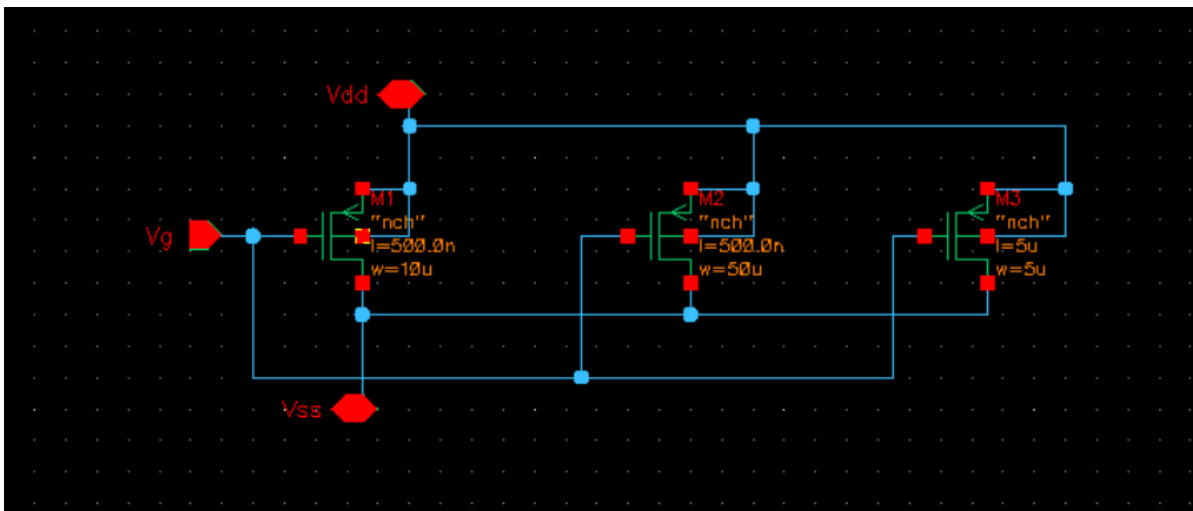
Vdd vdd 0 vd
Vss vss 0 vss

Vg vg vss 'vd-vsg'

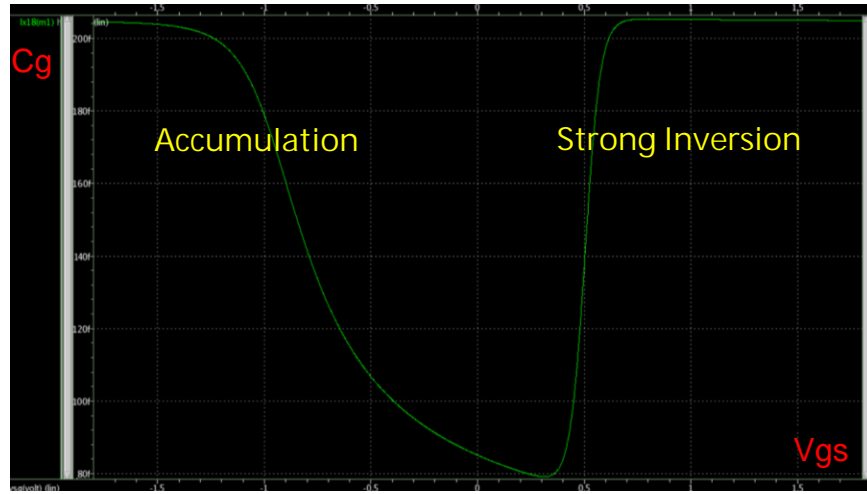
.dc vsg -1.8 1.8 0.001
.probe DC ctot=par("lx18(M1)")
.probe DC ctot=par("lx18(M2)")
.probe DC ctot=par("lx18(M3)")

.end

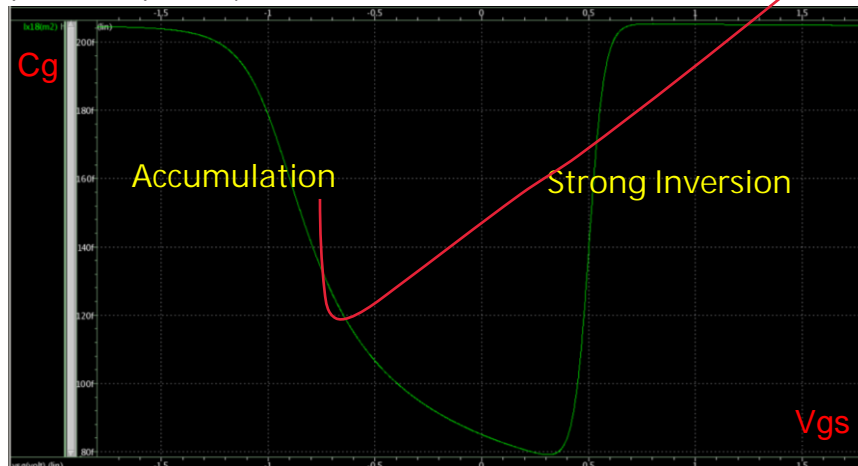
```



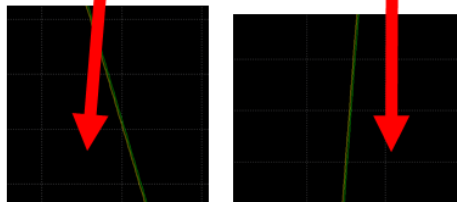
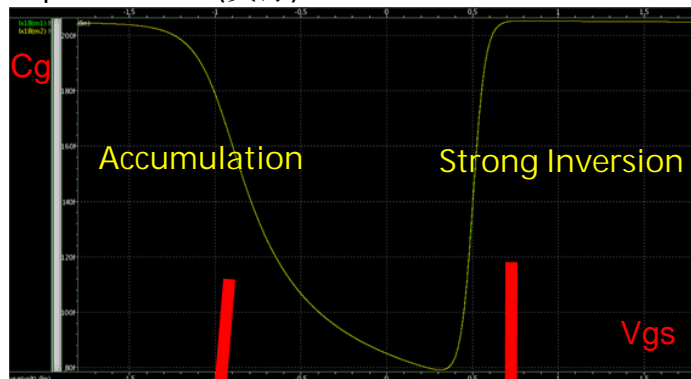
(a) M1 : $W/L = 5*10\mu\text{m}/0.5\mu\text{m}$, $V_G = 0\text{V} \sim 3.6\text{V}$, $m=5$ (5顆並聯)



(b) M2 : $W/L = 50\mu\text{m}/0.5\mu\text{m}$, $V_G = 0\text{V} \sim 3.6\text{V}$



M2(綠線) Compare with M1(黃線)

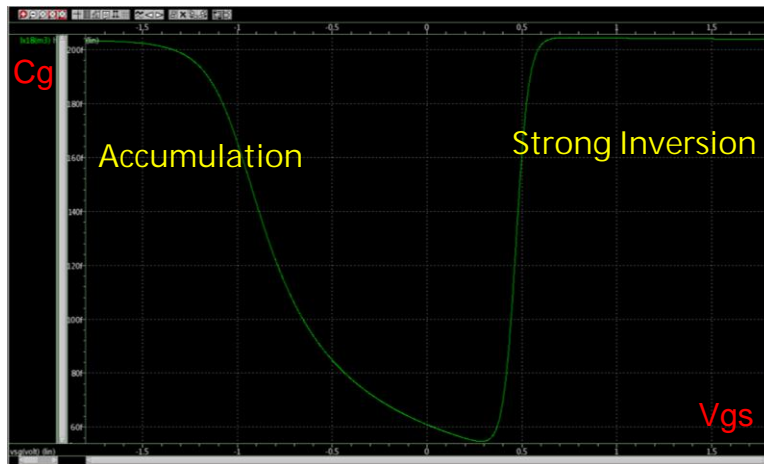


1(b)討論：

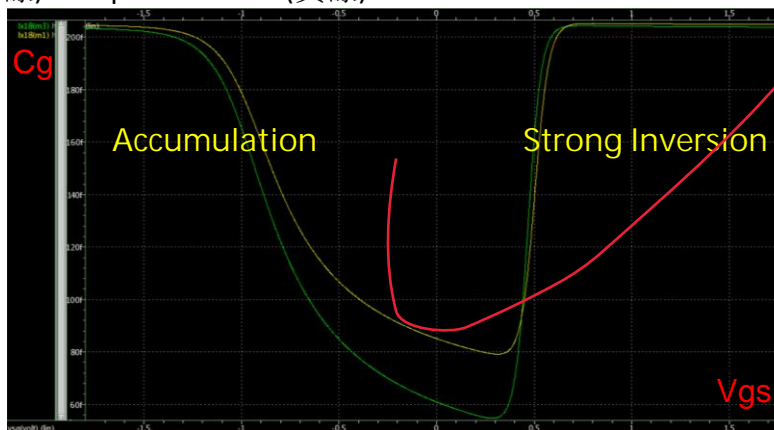
M1 跟 M2 的電容圖幾乎一樣，在 $V_{gs} < 0$ 時 M1 略大於 M2；在 $V_{gs} > 0$ 時 M2 略大於 M1。

M1 與 M2 電容圖幾乎一樣的原因是，M1 是由 5 個 $W/L = 10\mu\text{m}/0.5\mu\text{m}$ 的 PMOS 並聯，相當於 W 變成原本 mos 的 5 倍大，也相當於是 1 個 $W/L = 50\mu\text{m}/0.5\mu\text{m}$ 的 PMOS (M2)，因此會產生這樣的結果。

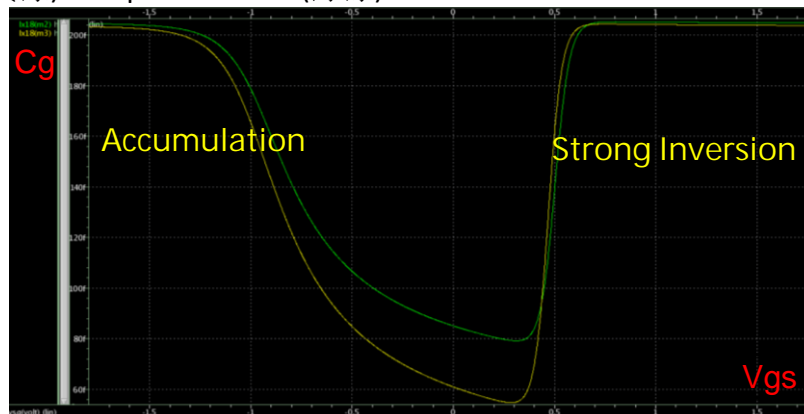
(c) M3 : $W/L = 5\mu\text{m}/5\mu\text{m}$, $V_G = 0\text{V} \sim 3.6\text{V}$



M3(綠線) Compare with M1(黃線)



M3(黃線) Compare with M2(綠線)



1(c)討論： -6

由於 M1 跟 M2 的電容圖幾乎一樣，因此我們就拿 M3 與 M2 的圖進行討論。
 由上圖可以發現，M3 的電容值基本上是小於 M2 的，那是因為 M3 的 W/L 值比 M2 來的小，也因此會有這樣的現象。

M3 的電容值在 $V_{gs} = (0.4, 0.6)$ 區間中比 M2 來的大，也就是在 weak inversion 處發生此現象，是因為在 weak inversion，電容值與 Depletion Capacitance 有關，當 W_{dep} 越大， C_{dep} 就會越小， $W_{M2} > W_{M3}$ ，因此在此區域會發生 $C_{M3} > C_{M2}$ 的現象。

2.

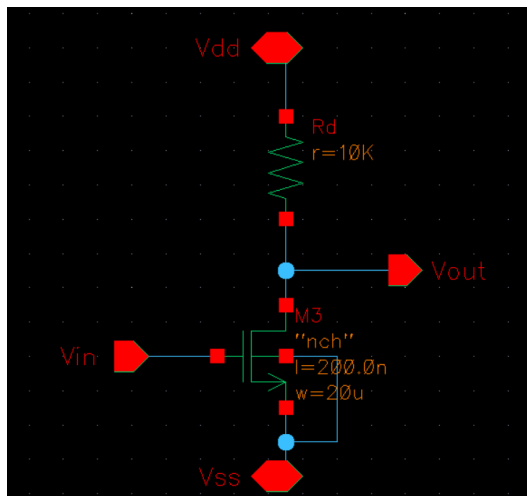
(a) M1 : $W=20\mu m, L=0.2\mu m, m=1$

```

hw1_2a
.protect
.lib 'cic018.l' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
.param W=20u L=0.2u vd=1.8 vss=0 in=0.553

M1 Vout Vin vss vss N_18 W=10u L=0.2u m=1

Vdd vdd 0 vd
Vss vss 0 vss
Vin vin 0 in
Rd Vdd Vout 10K
    
```



**** small-signal transfer characteristics

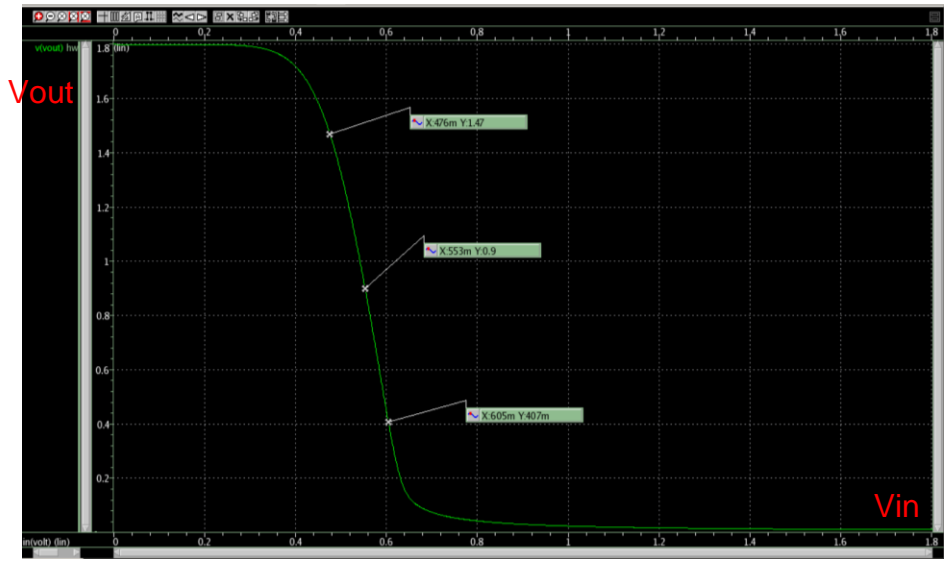
```

v(vout)/vin = -9.1649
input resistance at vin = 1.000e+20
output resistance at v(vout) = 6.9148k
    
```

2(a)討論：

$W=20\mu\text{m}$, $L=0.2\mu\text{m}$, $m=1$ 的 NMOS 在此電路圖中的
 operating point : Input DC voltage = 0.553V, Output DC voltage = 0.9V
 在 small-signal 情況下的 AC gain = -9.1649, $|\text{gain}| = 9.1649 > 5$

(b)M2 : $W=20\mu\text{m}$, $L=0.2\mu\text{m}$, $m=1$



2(b)討論：

此為 $V_{out}-V_{in}$ 的作圖， $W=20\mu\text{m}$, $L=0.2\mu\text{m}$, $m=1$
 Linear range

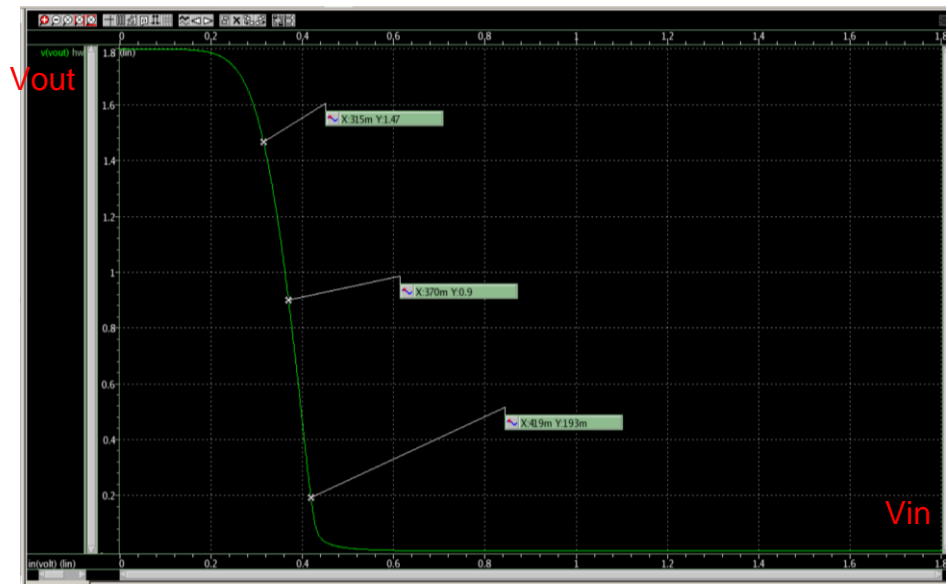
如何得知? -2

$V_{in} : 0.476 \sim 0.605\text{V}$ $V_{out} : 0.47 \sim 1.47\text{V}$

(c) M3 : $W=20\mu\text{m}$, $L=0.2\mu\text{m}$, $m=20$

**** small-signal transfer characteristics

$v(v_{out})/v_{in}$	=	-13.2920
input resistance at v_{in}	=	1.000e+20
output resistance at $v(v_{out})$	=	5.8910k



2(c)討論：

此為 $V_{out}-V_{in}$ 的作圖， $W=20\mu m$, $L=0.2\mu m$, $m=20$

operating point : Input DC voltage = 0.370V, Output DC voltage = 0.9V

在 small-signal 情況下的 AC gain = -13.2920

Linear range

V_{in} : 0.315~0.419V V_{out} : 0.193~1.47V

問題同上 -2

(d)

先從 AC gain 討論起：

gain = $-G_m \cdot R_{out}$ ， G_m 又與 W/L 有關， M_3 為 20 顆 M_2 的並聯，相當於 W_3 是 W_2 的 20 倍大，因此 M_3 的 $|gain|$ 會比 M_2 的 $|gain|$ 來的大

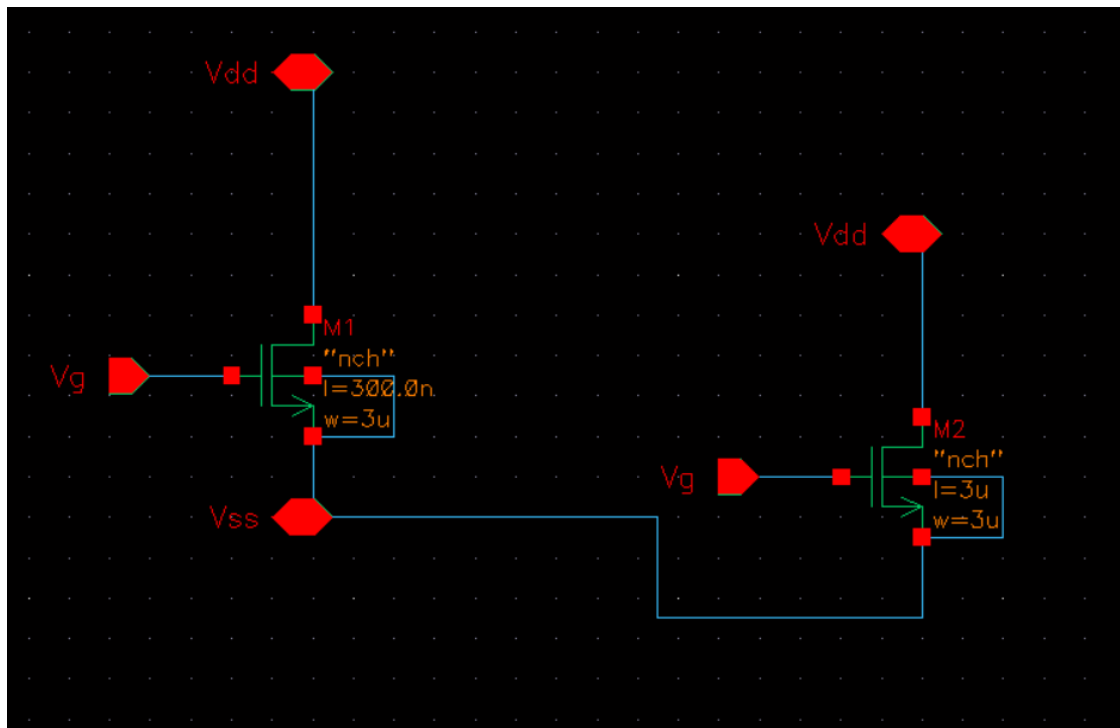
再來討論 linear range：

從兩張圖可以發現 M_3 的 $\Delta V_{out}/\Delta V_{in}$ 比 M_2 的 $\Delta V_{out}/\Delta V_{in}$ 來的大，那是因為 M_3 的 gain 較大的原因。

還可以發現 M_2 的 V_{in} operating points 比 M_3 的 V_{in} operating points 來的大，那是因為 W/L 變大了，影響了 V_{ov} ，為了維持相同的 Output DC 點， V_{in} 要降下來，讓 M_3 比 M_2 提早進入 Saturation region。

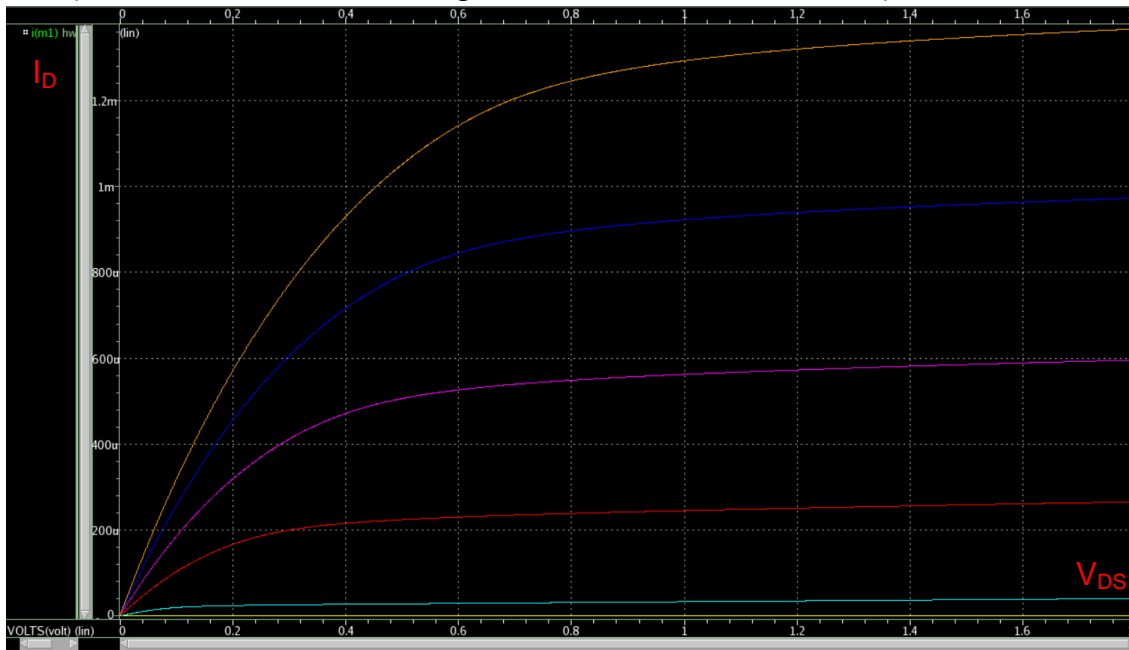
此為 bias point 而非 linear range -10

3.



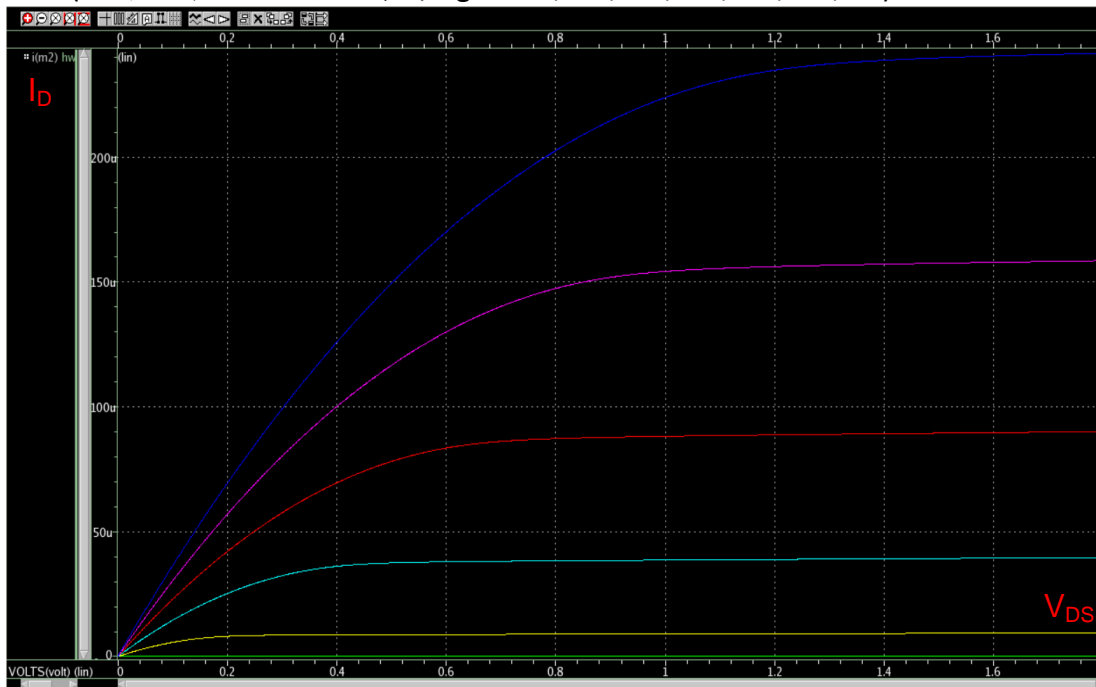
(a) Short-channel device: M1 : $W/L = 3\mu\text{m}/0.3\mu\text{m}$

(七條曲線由上至下依序為 $V_{gs} = 1.8, 1.5, 1.2, 0.9, 0.6, 0.3, 0\text{V}$)

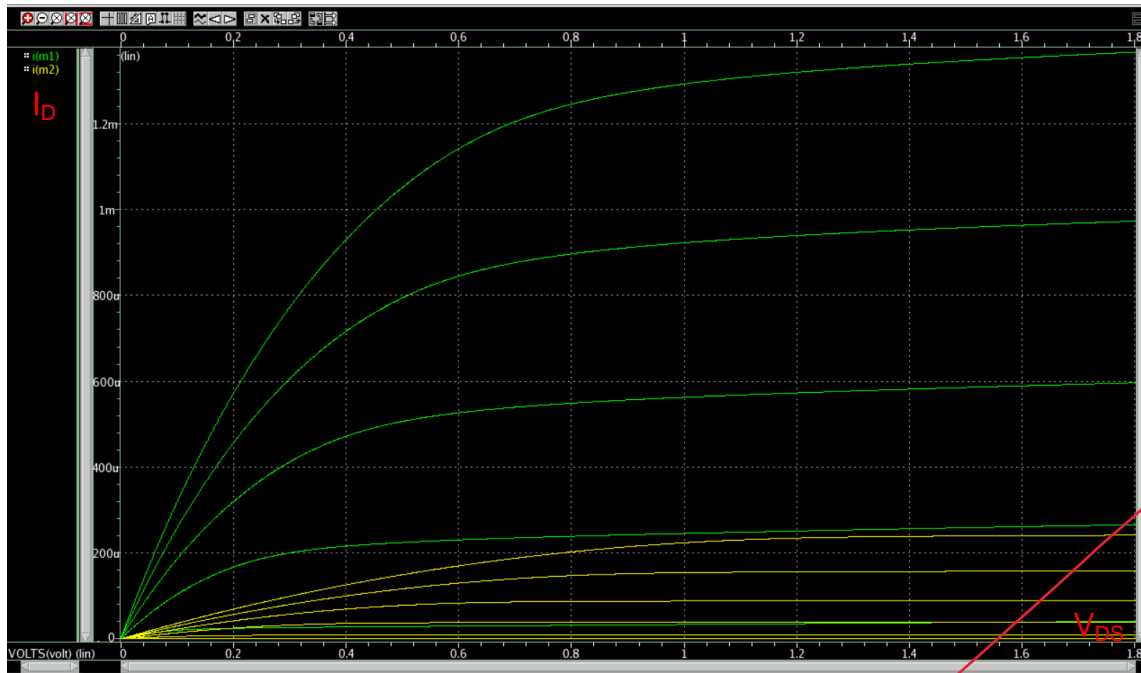


(b) Long-channel device: M2 : $W/L = 3\mu\text{m}/3\mu\text{m}$

(七條曲線由上至下依序為 $V_{gs} = 1.8, 1.5, 1.2, 0.9, 0.6, 0.3, 0\text{V}$)



M1(綠色)；M2(黃色)



討論：

- I. 由上圖 M1 和 M2 的比較圖發現，M1(Short-channel device)的 I_D (drain current)比 M2(Long-channel device)的 I_D 來的大，因為 M1 的 $W/L = 3\mu\text{m}/0.3\mu\text{m}$ 比 M2 的 $W/L = 3\mu\text{m}/3\mu\text{m}$ 來的大，而 $I_D \propto \left(\frac{W}{L}\right)$ ，因此 $I_{D1} > I_{D2}$ 。
- II. V_{gs} 越大， I_D 也就越大，因為 I_D 與 V_{gs} 呈現正相關。
- III. 受到 channel length modulation effect 的影響，channel length 越短(W/L 變大)，因此進入 saturation region 時， I_D/V_{DS} 曲線的斜率就越大。