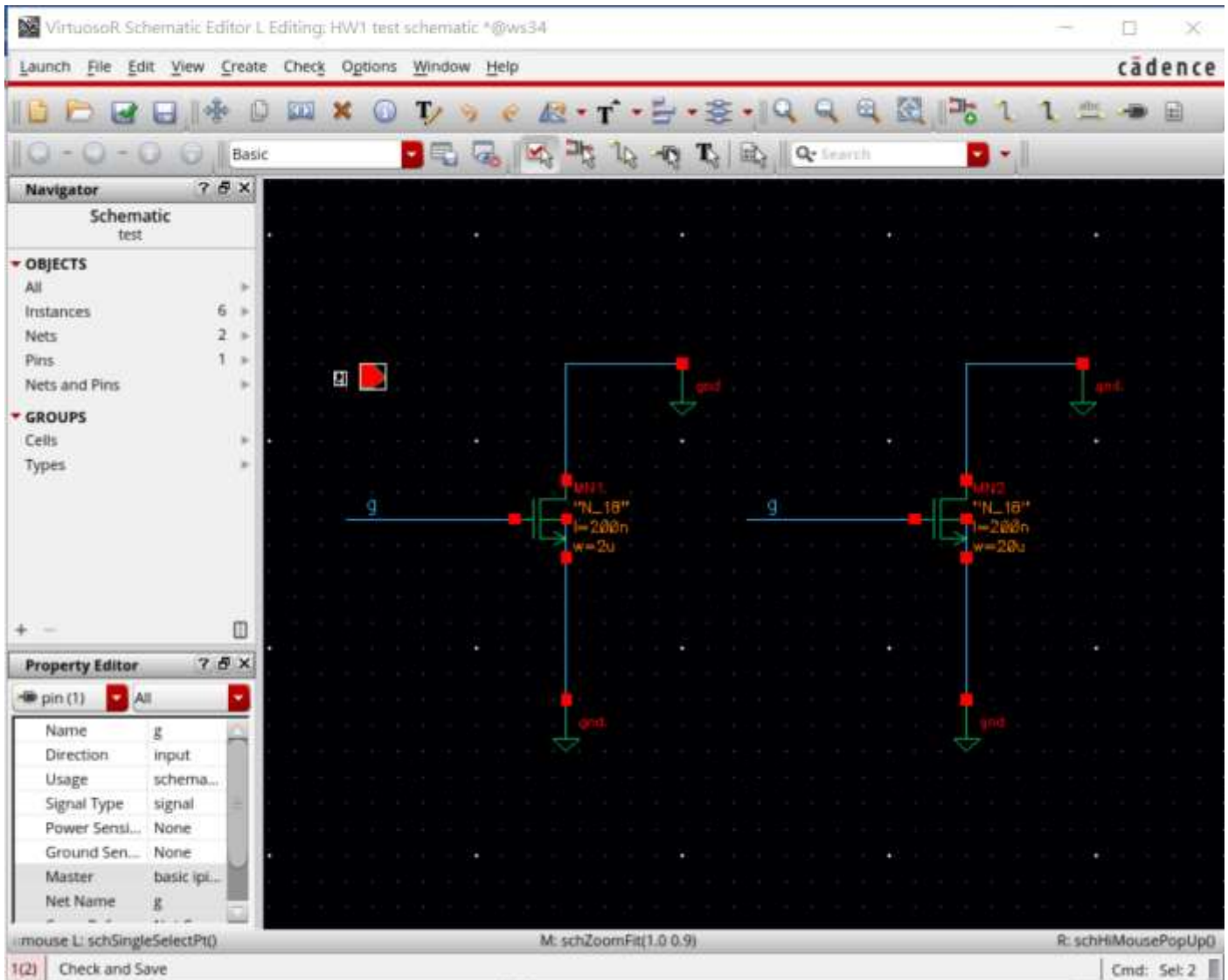


由於我的 composer 一直有 bug(畫不出 nmos symbol、生成不了.sp 檔等)，所以我是用 virtuoso 畫 schematic，而.sp 檔則是直接用手打的，麻煩助教見諒。我會盡快在下次作業前把 bug 修好。

1.

Schematic

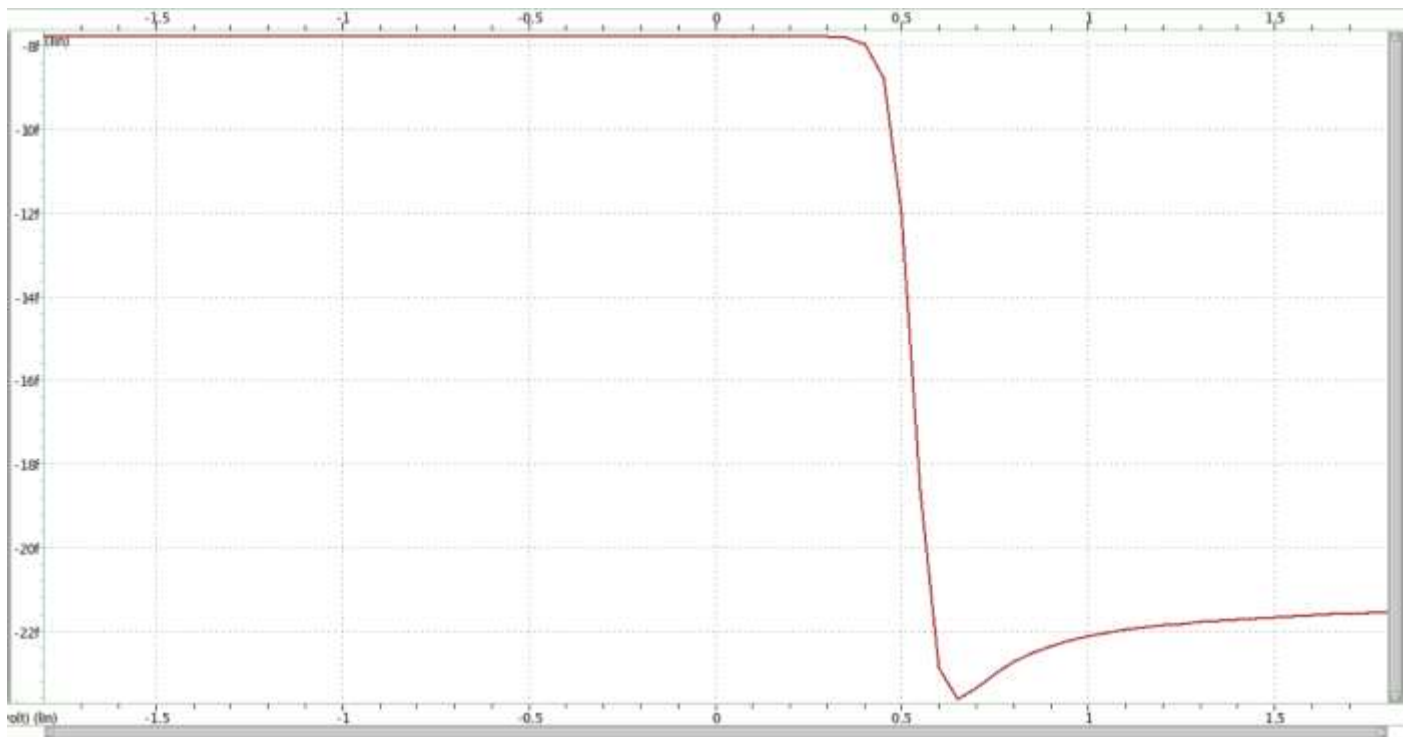


Waveform

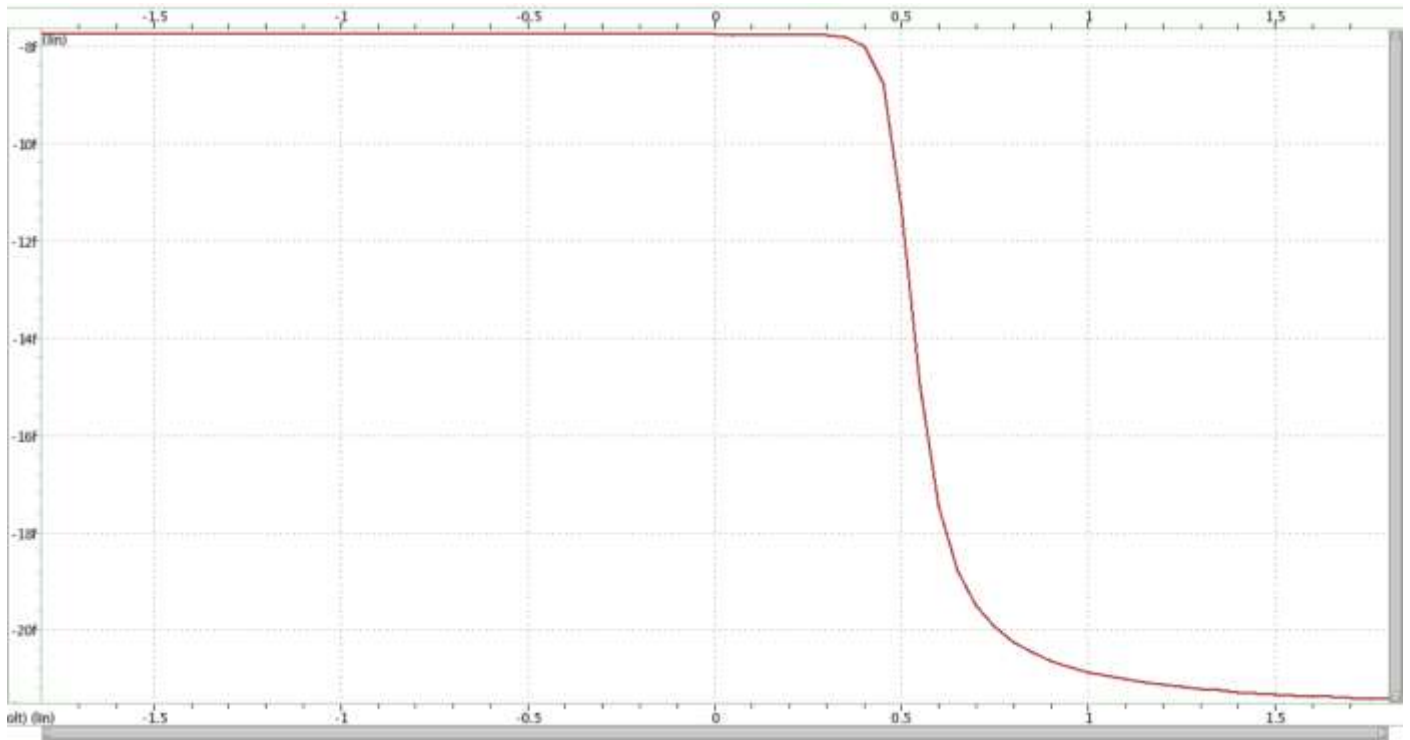
Cgtotal (m = 10 / W = 2u)



Cgs (m = 10 / W = 2u)

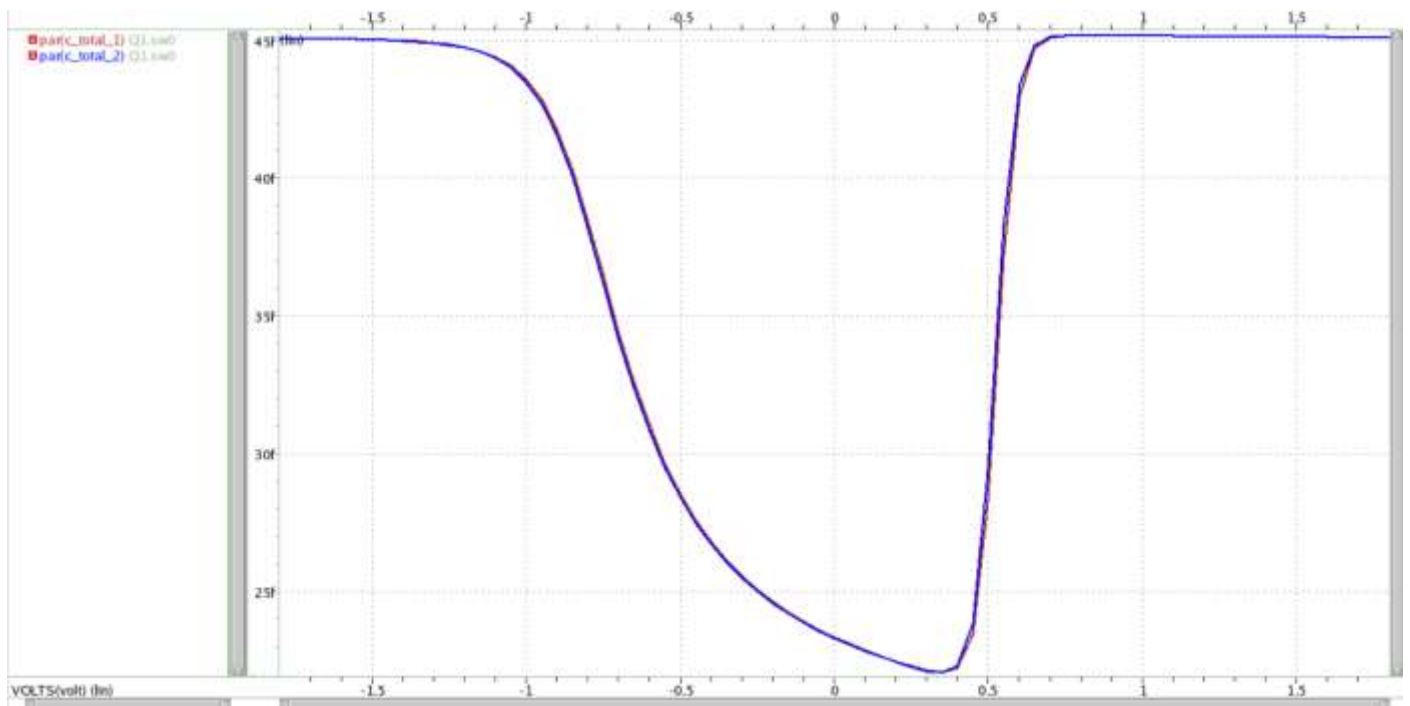


Cgd(m = 10 / W = 2u)



(b)

Cgtotal (W = 2um m = 10 紅色) V.S Cgtotal (W = 20um m = 1 藍色)



兩者基本上完全一樣，因為 m 可視為將 MOS 進行並聯(drain 接 drain, source 接 source)，所以等效的 W，就會是 $W_{\text{eff}} = W * m$ ，而寄生電容的值會受 W 以及 L 影響(電容並聯等於直接相加)。在這

題中兩者的 W_{eff} 相同，所以 simulation 的結果幾乎沒甚麼區別，只有些微差距。不過這對於其他的性質就不一定成立。

2.

這題比較麻煩首先我們得找我們的 operating point (vin) , 然後再決定 size(W/L) 。我們可以透過電流公式估計

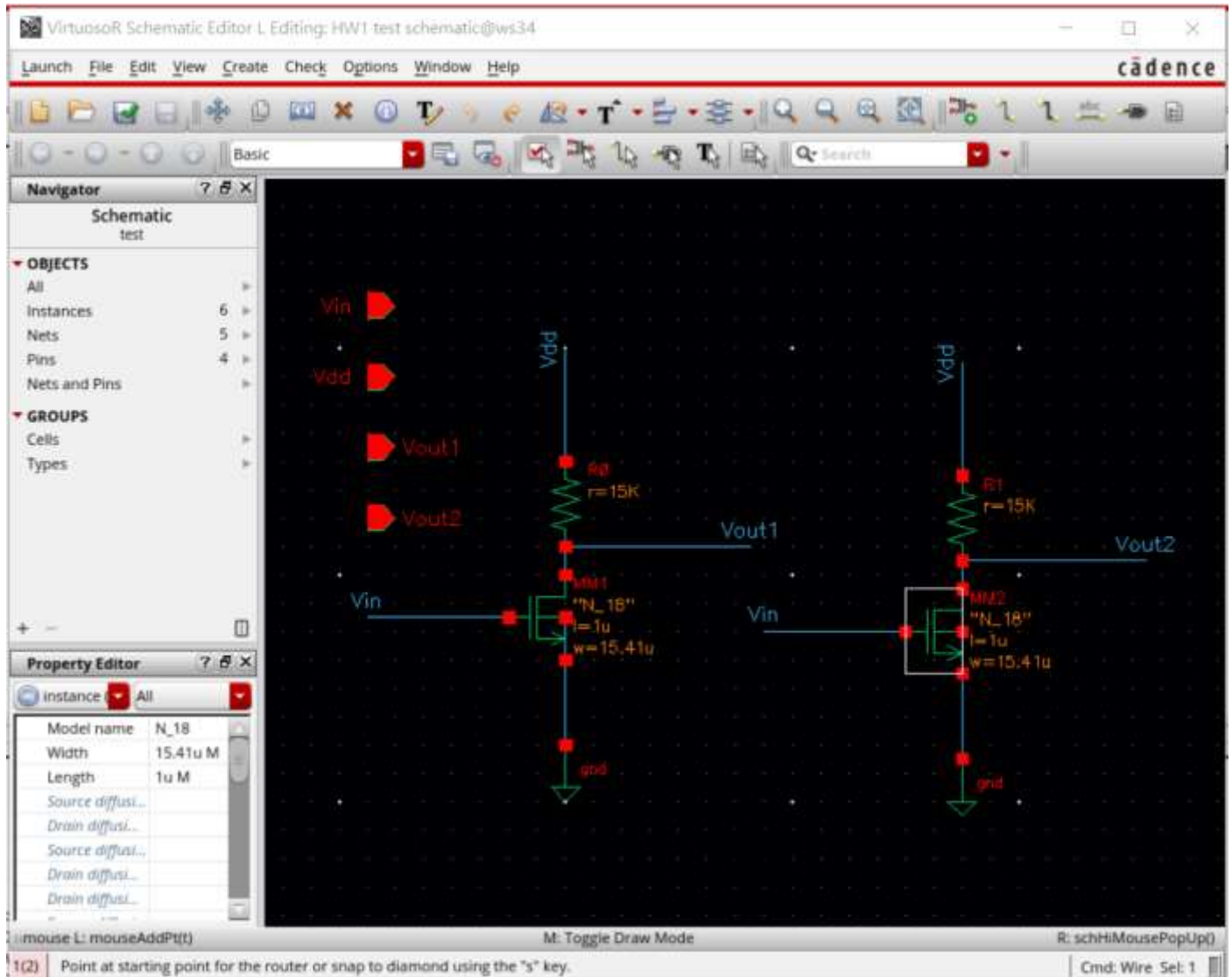
$$I'_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{gs} - V_{th})^2 (1 + \lambda V_{ds}) = \frac{1.8 - 0.9}{15k} = 60\mu A$$

第一個要解決的東西是常數 , 分別是 $\mu_n C_{ox}$ 、 V_{th} 、 λ 。我們可以先隨便決定 size 和 vin 然後跑 .op 來找這些常數 。他們分別對應到分析結果的 beta ($= \mu_n C_{ox} \frac{W}{L}$), vth, gds($= \frac{1}{r_o} = \lambda I_D$) 。再決定出這些常數之後 , 我們由 gain 來決定 vin

$$|A_v| = g_m(R_D || r_o) = \frac{2 * I_D}{v_{in} - v_{th}} * (R_D || r_o)$$

最後我們再透過找到的 vin , 來調整 W/L , 使 vout 落在約 0.9V 。 , 因為 W/L 大約與 I_D 成正比 (simulation model 與電流公式略有不同) , 所以我們只要計算當下電流與所求電流 $60\mu A$, 差多少倍 並把 W/L 依此倍率放大(調整 W)

Schematic



(a)

Gain : -8.7553 V/V $V_{out} = 896.3952 \text{ mV}$ $V_{in} = 535 \text{ mV}$ $I_D = 60.2403 \text{ uA}$

```
171
172 **** mosfets
173
174
175 subckt
176 element 0:mm1
177 model 0:n_18.1
178 region Saturation
179 id 60.2403u
180 ibs -9.428e-21
181 ibd -1.0394f
182 vgs 535.0000m
183 vds 896.3952m
184 vbs 0.
185 vth 382.4327m
186 vdsat 154.1420m
187 vod 152.5673m
188 beta 4.8038m
189 gam_eff 507.4461m
190 gm 646.8459u
191 gds 7.2064u
192 gmb 128.3246u
193 cdtot 19.8218f
194 cgtot 105.8594f
195 cstot 118.8563f
196 cbtot 56.6378f
197 cgs 92.2196f
198 cgd 5.4621f
199
200
201
202
203
204
205
206 **** small-signal transfer characteristics
207
208 v(vout)/vin = -8.7553
209 input resistance at vin = 1.000e+20
210 output resistance at v(vout) = 13.5369k
211
```

(b)

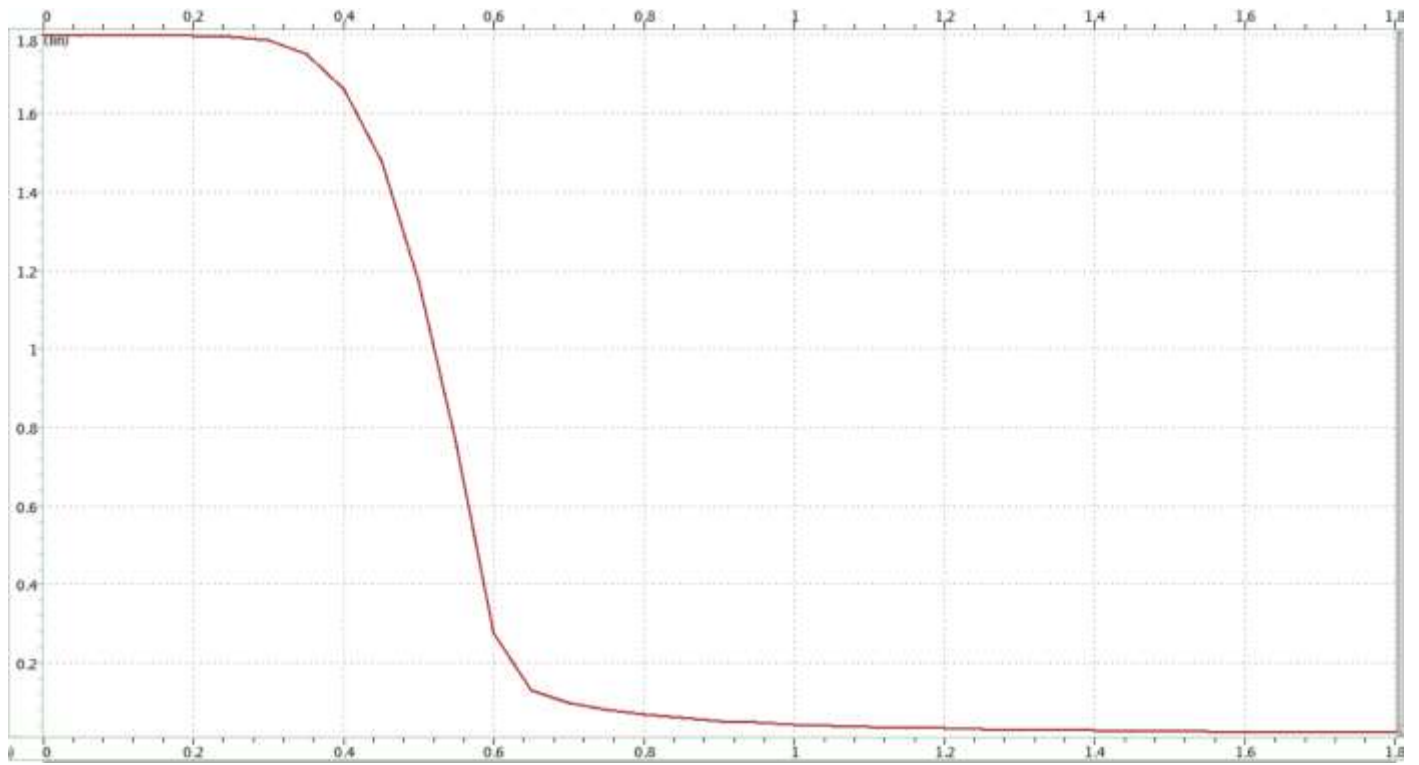
0.9 * Gain : -7.8619 V/V $V_{out} = 1.071\text{mV}$ $V_{in} = 514\text{mV}$ $I_D = 48.5988\text{ uA}$

```
171
172 **** mosfets
173
174
175 subckt
176 element 0:mm1
177 model 0:n_18.1
178 region Saturation
179 id 48.5988u
180 ibs -7.606e-21
181 ibd -1.2419f
182 vgs 514.0000m
183 vds 1.0710
184 vbs 0.
185 vth 381.1121m
186 vdsat 140.3178m
187 vod 132.8879m
188 beta 4.8012m
189 gam_eff 507.4461m
190 gm 572.6337u
191 gds 6.1638u
192 gmb 113.7784u
193 cdtot 19.3200f
194 cgtot 105.6038f
195 cstot 118.4548f
196 cbtot 56.2376f
197 cgs 91.7603f
198 cgd 5.4592f
199
200
201
202
203
204
205
206 **** small-signal transfer characteristics
207
208 v(vout)/vin = -7.8619
209 input resistance at vin = 1.000e+20
210 output resistance at v(vout) = 13.7306k
211
```


1.1 * Gain : -9.6664 V/V $V_{out} = 665.634\text{mV}$ $V_{in} = 560\text{mV}$ $I_D = 75.6244\text{ uA}$

```
171
172 **** mosfets
173
174
175 subckt
176 element 0:mm1
177 model 0:n_18.1
178 region Saturation
179 id 75.6244u
180 ibs -1.184e-20
181 ibd -771.7996a
182 vgs 560.0000m
183 vds 665.6340m
184 vbs 0.
185 vth 384.1778m
186 vdsat 170.7331m
187 vod 175.8222m
188 beta 4.8063m
189 gam_eff 507.4462m
190 gm 730.7691u
191 gds 8.9239u
192 gmb 144.8394u
193 cdtot 20.6371f
194 cgtot 106.0181f
195 cstot 119.1008f
196 cbtot 57.2951f
197 cgs 92.5813f
198 cgd 5.4825f
199
200
201
202
203
204
205
206 **** small-signal transfer characteristics
207
208 v(vout)/vin = -9.6664
209 input resistance at vin = 1.000e+20
210 output resistance at v(vout) = 13.2294k
211
```

Voltage Transfer Curve (VTC)



(c) $m = 10$

由於 m 變大了，等效於 W/L 變大 $\rightarrow I_D$, gain 變大 $\rightarrow V_{ds}$ 變小。也就是說如果我們仍舊要得到 V_{ds}

$= 0.9V$ ，我們要調小 V_{in} 。經過幾次嘗試，得到以下結果。

Gain : -15.831 V/V $V_{out} = 900.7742mV$ $V_{in} = 382.4mV$ $I_D = 59.9484 \mu A$

```
172 **** mosfets
173
174
175 subckt
176 element 0:mm1
177 model 0:n_18.1
178 region Saturation
179 id 59.9484u
180 ibs -9.382e-21
181 ibd -10.4446f
182 vgs 387.3000m
183 vds 900.7742m
184 vbs 0.
185 vth 382.3979m
186 vdsat 65.5938m
187 vod 4.9021m
188 beta 47.8230m
189 gam_eff 507.4459m
190 gm 1.2678m
191 gds 13.4134u
192 gmb 261.8854u
193 cdtot 197.8725f
194 cgtot 742.5041f
195 cstot 761.3415f
196 cbtot 566.9211f
197 cgs 530.1776f
198 cgd 56.9481f
199
200
201
202
203
204
205
206 **** small-signal transfer characteristics
207
208 v(vout)/vin = -15.8310
209 input resistance at vin = 1.000e+20
210 output resistance at v(vout) = 12.4875k
211
212
```

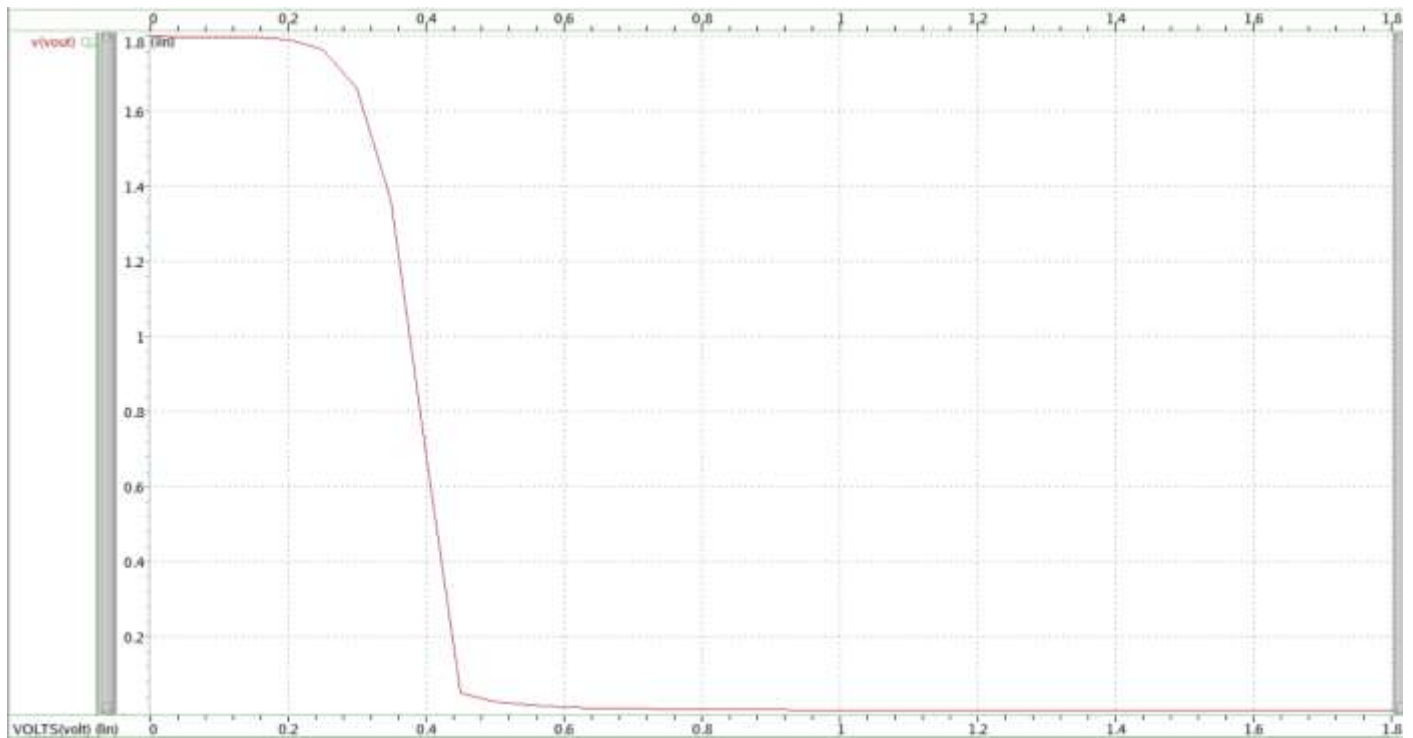
1.1*Gain : -17.4357 V/V $V_{out} = 762.7137\text{mV}$ $V_{in} = 395.6\text{mV}$ $I_D = 69.1524\text{ uA}$

```
171
172 **** mosfets
173
174
175 subckt
176 element 0:mm1
177 model 0:n_18.1
178 region Saturation
179 id 69.1524u
180 ibs -1.082e-20
181 ibd -8.8438f
182 vgs 395.6000m
183 vds 762.7137m
184 vbs 0.
185 vth 383.4417m
186 vdsat 68.6199m
187 vod 12.1583m
188 beta 47.8380m
189 gam_eff 507.4459m
190 gm 1.4284m
191 gds 15.2568u
192 gmb 295.4258u
193 cdtot 202.2565f
194 cgtot 788.2906f
195 cstot 823.5725f
196 cbtot 571.7238f
197 cgs 586.8953f
198 cgd 56.6086f
199
200
201
202
203
204
205
206 **** small-signal transfer characteristics
207
208 v(vout)/vin = -17.4357
209 input resistance at vin = 1.000e+20
210 output resistance at v(vout) = 12.2066k
211
"Q2.lis" 273L, 11700C
```

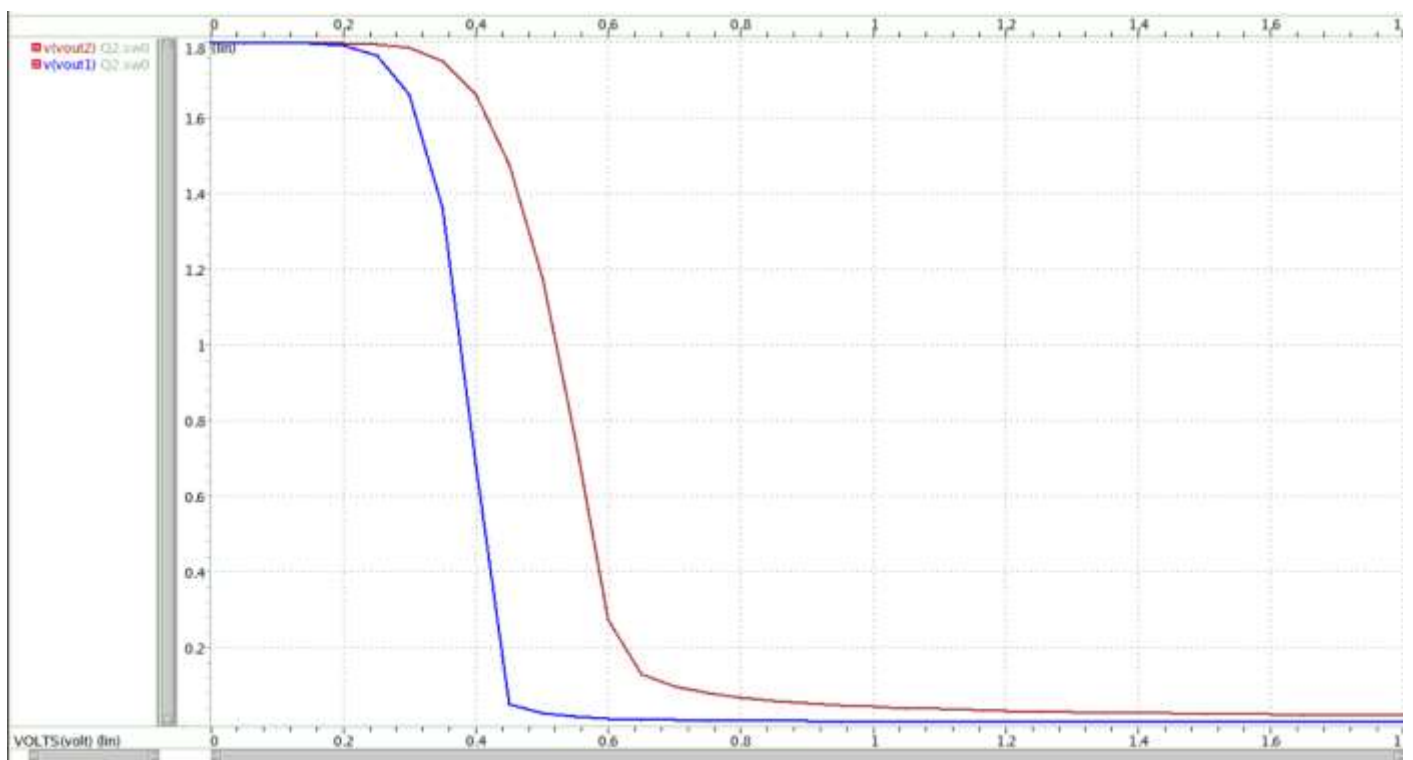
而 0.9*gain 的部分則沒辦法在 saturation region 出現，因為可以發現在 $m = 10$ 的情況下，

operating point(v_{in})已經非常接近 cutoff or subthreshold 的狀況。再往下調就會離開 saturation

Voltage Transfer Curve (VTC)



$m = 1$ (紅色)與 $m = 10$ (藍色)的 VTC 比較



(d)

從上方的圖可以看出

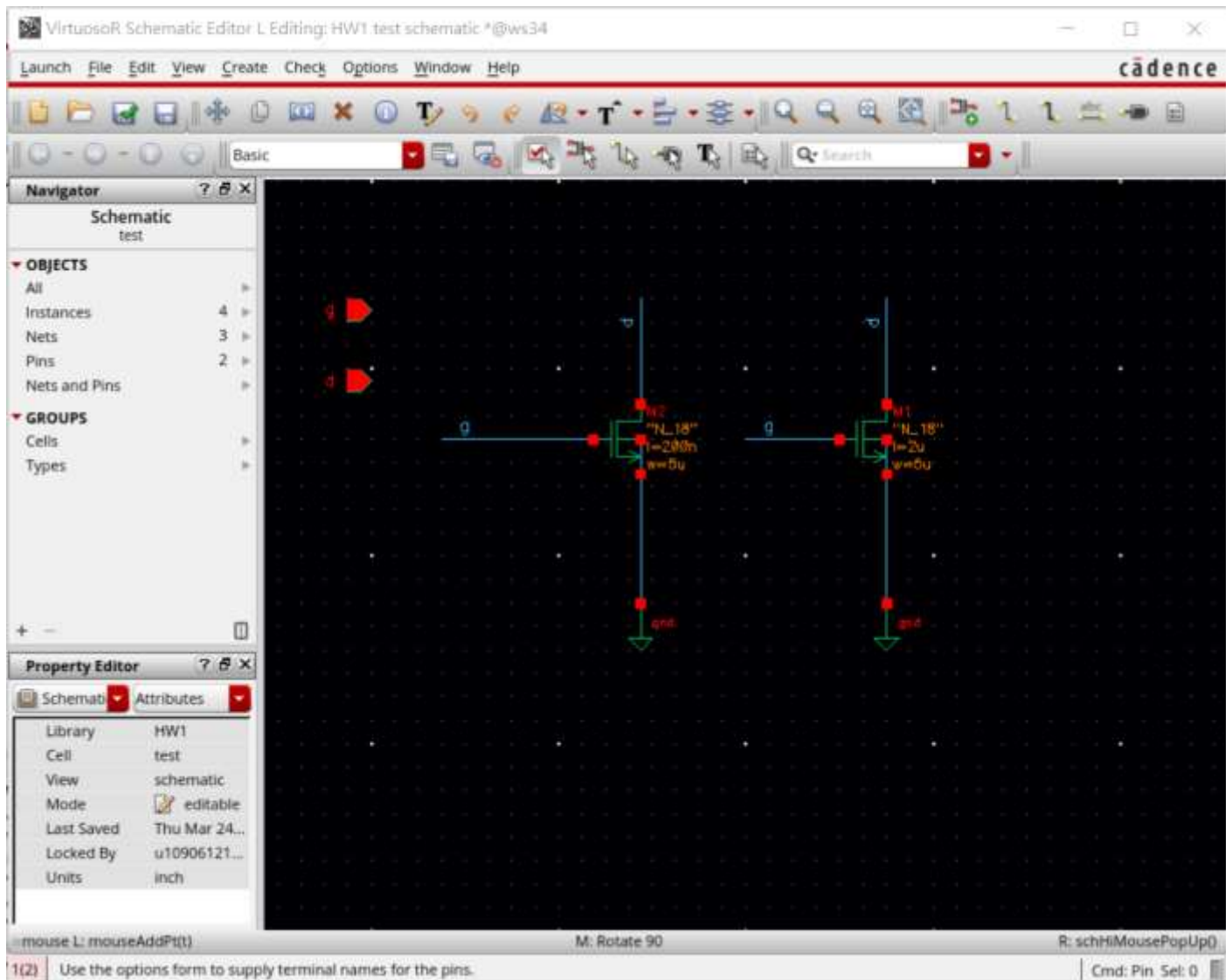
A. $m = 10$ 的 gain > $m = 1$ 的 gain

這部分不僅可以直接從數值判斷，也可從兩者的 VTC 去做比較(藍色線中間的斜率 $>$ 紅色線中間的斜率)，但 W/L 增大會影響寄生電容，會對高頻響應造成影響

- B. 兩者的 linear region 不同，因為兩者的 operating point 就不一樣。為了讓 V_{out} 都是 $0.9V$ ， $m = 10$ 的需要更小的 V_{in} ，這就容易讓整棵 MOS 調出 saturation region，影響其 voltage swing。

3.

Schematic



Waveform

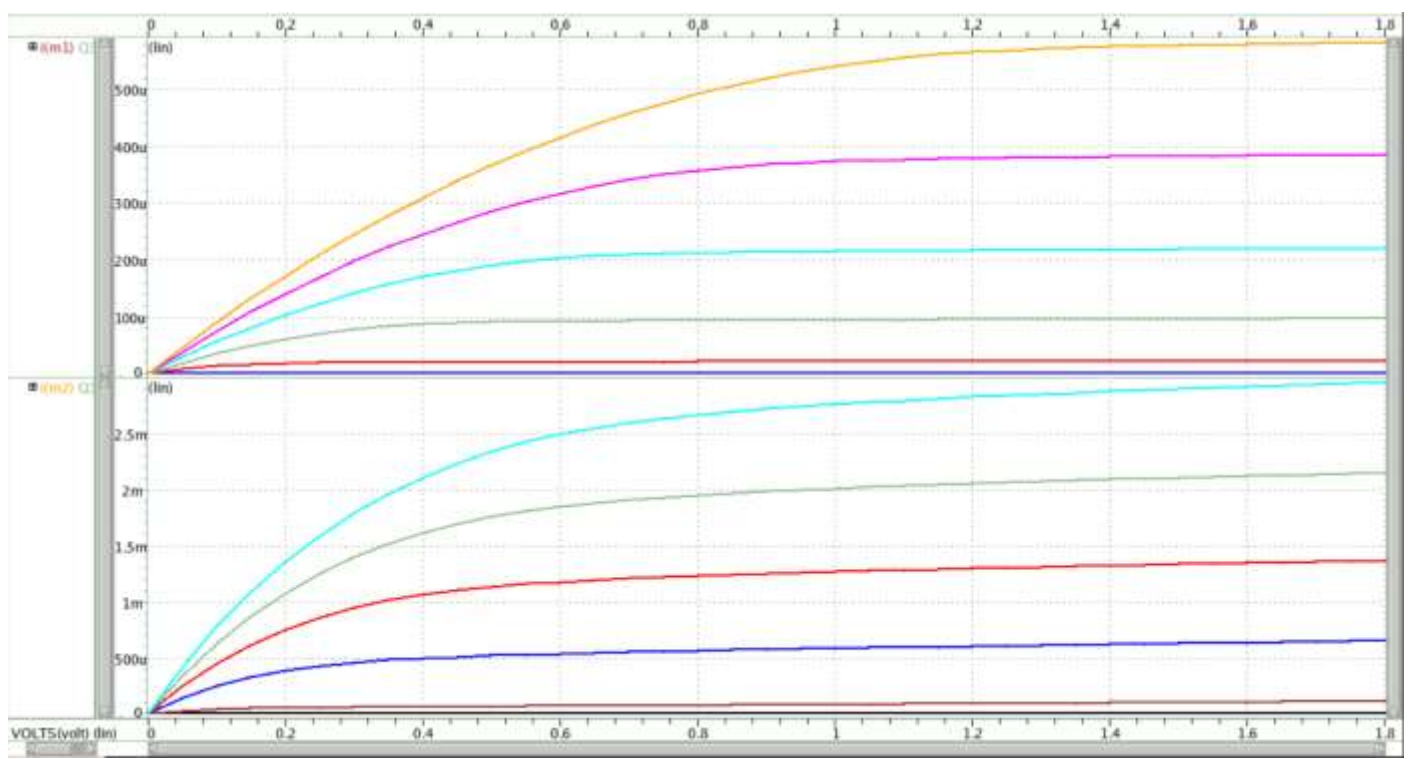
ID v.s Vds

Vth_m1 = 345mV Vth_m2 = 469mV

```

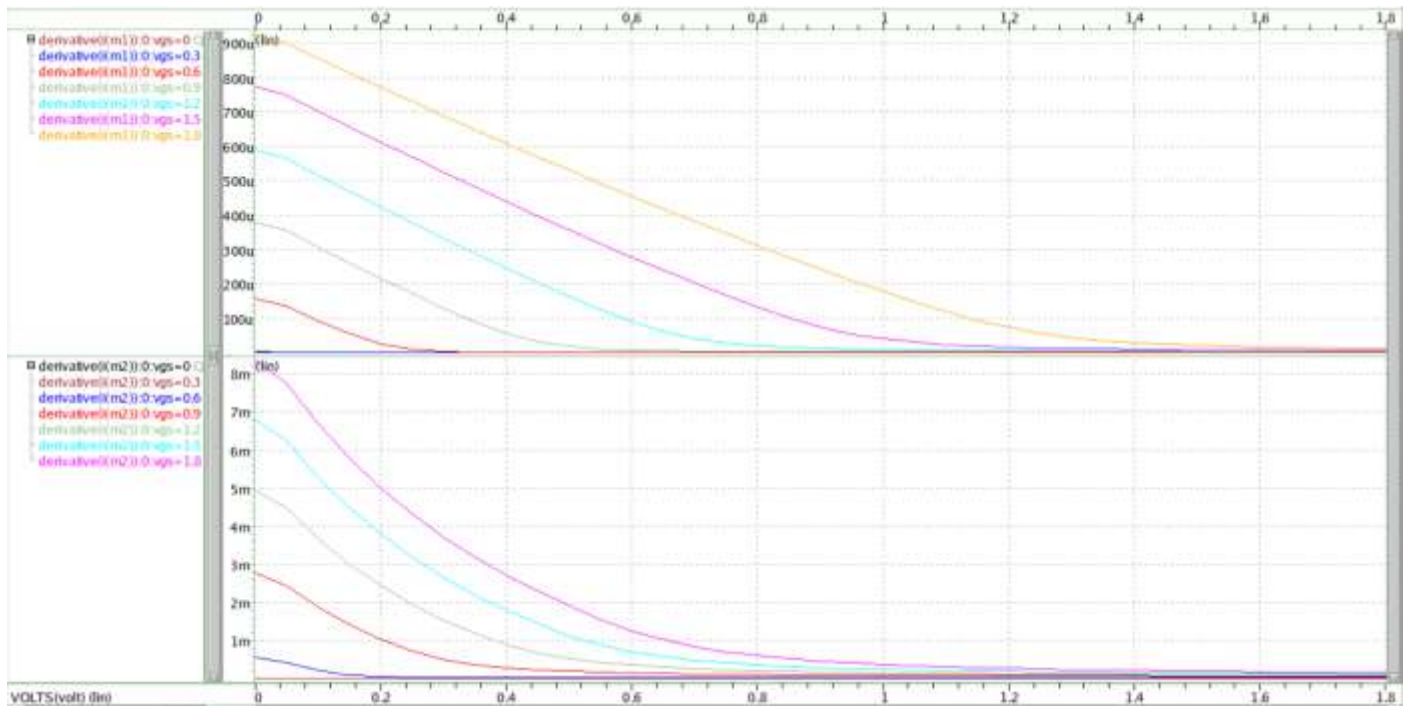
167
168 **** mosfets
169
170
171 subckt
172 element 0:m1 0:m2
173 model 0:n_18.1 0:n_18.1
174 region Saturation Saturation
175 id 22.7697u 113.5371u
176 ibs -4.029e-21 -2.009e-20
177 ibd -765.7160a -765.6999a
178 vgs 600.0000m 600.0000m
179 vds 1.8000 1.8000
180 vbs 0. 0.
181 vth 345.2709m 469.4988m
182 vdsat 221.1347m 154.7530m
183 vod 254.7291m 130.5012m
184 beta 763.0281u 8.8764m
185 gam_eff 507.4462m 507.4472m
186 gm 162.1742u 1.1779m
187 gds 1.4417u 37.7730u
188 gmb 30.4584u 172.2892u
189 cdtot 5.8390f 5.8358f
190 cgtot 67.0832f 9.6942f
191 cstot 71.6946f 13.6673f
192 cbtot 26.1853f 11.4734f
193 cgs 60.0742f 7.0209f
194 cgd 1.7101f 1.8091f
195
196

```

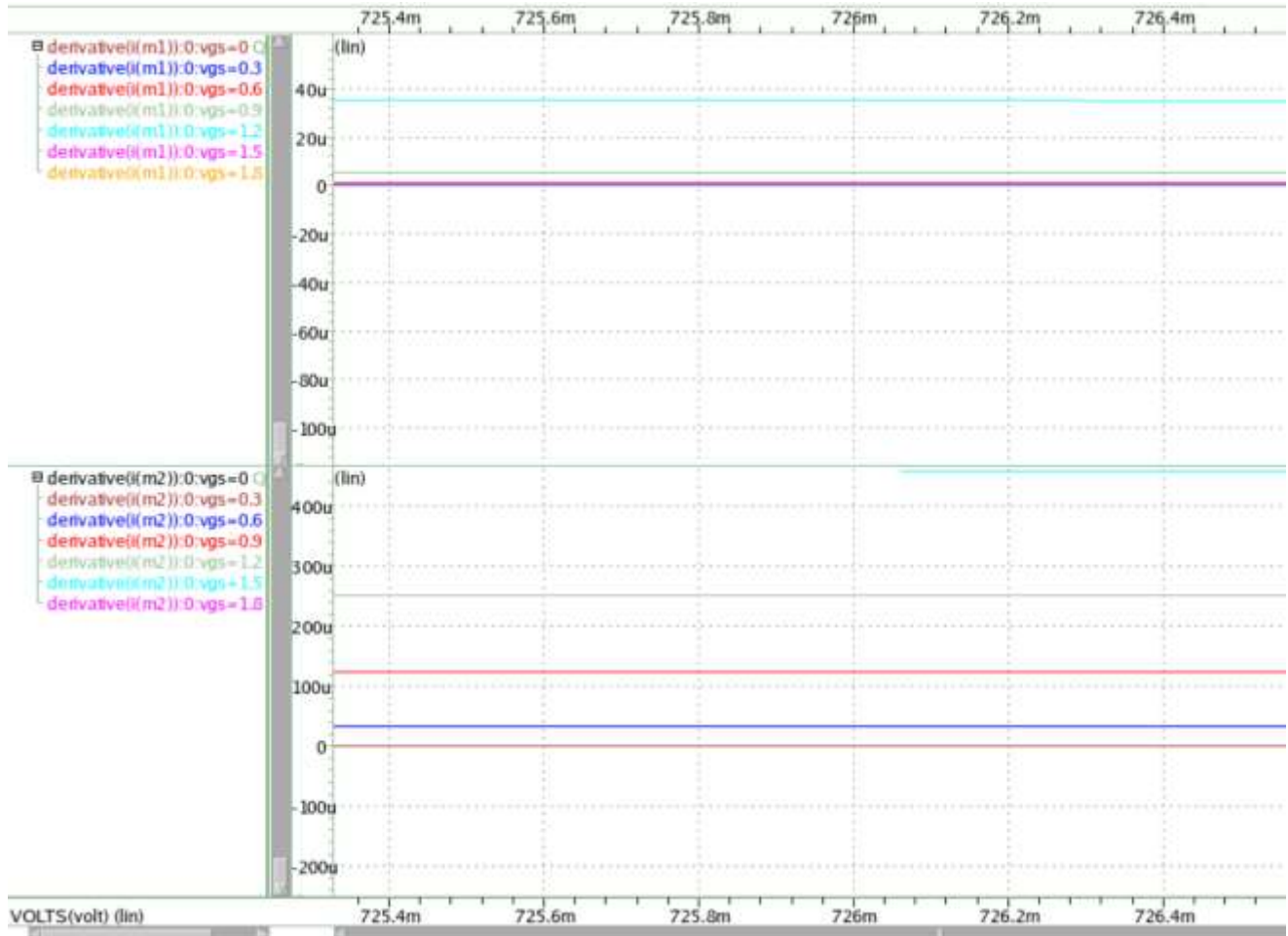


The slope of channel length modulation(λ)

我們對上面得到的 I_D 進行微分，然後觀察兩者在 saturation region 的差異



微分後 zoom in 看斜率



(b)可以發現兩者(M1 long channel 與 M2 short channel)，有兩個不同的地方。

A. 兩者的 v_{th} 有些微不同，short channel 的 v_{th} 較大，導致其較快進入 saturation region。但為

什麼 short channel 的 v_{th} 會比較大呢？照課本的描述，short channel 會有 DIBL effect， v_{th} 會

因為 L 過短，gate 電壓影響到 drain 使 v_{th} 下降。因此這部分我 google 了一下，以下是我找到

的解釋：The reverse short channel effect，由於現代製程在 doping 分布的改變，導致 v_{th} 隨

著 channel 變短而上升(https://en.wikipedia.org/wiki/Reverse_short-channel_effect)。

B. 兩者的 channel length modulation effect 不同，pinch off 點造成的 ΔL 對 short channel

的影響較大，導致其 λ 值較大，這點可以從上方的斜率看出來，在相同 $v_{gs}(=1.2V)$ 的情況

下，long channel 的斜率約為 36u 而 short channel 則約為 250u。