HW2 106010006 黃詩瑜 電機 21

1.

(a)

設 FOM1 W=1um　L=0.45um　Rl=844k(ohm)　Vin=0.48(V)

FOM1	
M1 Device Size (W/L)	1um/0.45u = 2.222
M1 Bias Current (μ A)	1.2113u
M1 Overdrive Voltage (mV)	11.845m
Load R (ohm)	844k
Small-Signal Voltage Gain (V/V)	15.0027
Bandwidth (MHz)	0.25554M
max (bandwidth (MHz) / bias current (μ A)	0.2109

```
****** ac analysis tnom=  25.000 temp=  25.000 ******
max_gain=  15.0027      at= 100.0000
            from= 100.0000      to= 100.0000g
unitfreq= 255.6372k

          ***** job concluded
```

(b) bandwidth (MHz) / bias current (μ A)=0.2109

$$\frac{bandwidth(MHz)}{bias\ current\ (\mu A)} = \frac{0.2554M}{1.2113u} = 0.2109$$

(c) small signal parameters

```
**** mosfets


subckt
element  0:m1
model    0:n_18.1
region     Saturati
 id          1.2113u
 ibs      -3.611e-22
 ibd       -68.4616a
 vgs       480.0000m
 vds       477.6859m
 vbs          0.
 vth       468.1550m
 vdsat      76.8279m
 vod        11.8450m
 beta      721.7764u
 gam eff   507.4460m
 gm         24.1295u
 gds       423.4314n
 gmb         4.5993u
 cdtot       1.4964f
 cgtot       2.5983f
 cstot       3.2618f
 cbtot       3.0917f
 cgs         1.8060f
 cgd       371.9581a
```

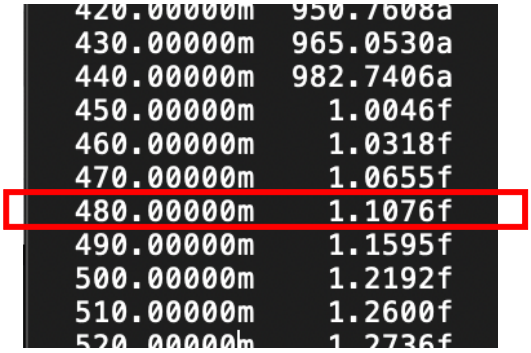
gm=24.1295u

ro= 2.3617x(ohm)

volt	lx7 gm	param ro
0.	20.3856p	3.8546t
10.00000m	29.3028p	2.6702t
20.00000m	42.1146p	1.8500t
30.00000m	60.5179p	1.2820t
⋮		
430.00000m	11.4850u	5.8683x
440.00000m	13.6173u	4.8975x
450.00000m	15.9800u	4.1095x
460.00000m	18.5509u	3.4559x
480.00000m	24.1295u	2.3617x
490.00000m	26.9222u	1.7826x
500.00000m	29.1824u	966.5122k
510.00000m	28.3028u	184.1101k

Cdb=1.1076f(F)

volt	lx29 cdb
0.	895.1404a
10.00000m	895.1404a
⋮	



(d)

模擬結果：

gain=15.0027

計算結果：

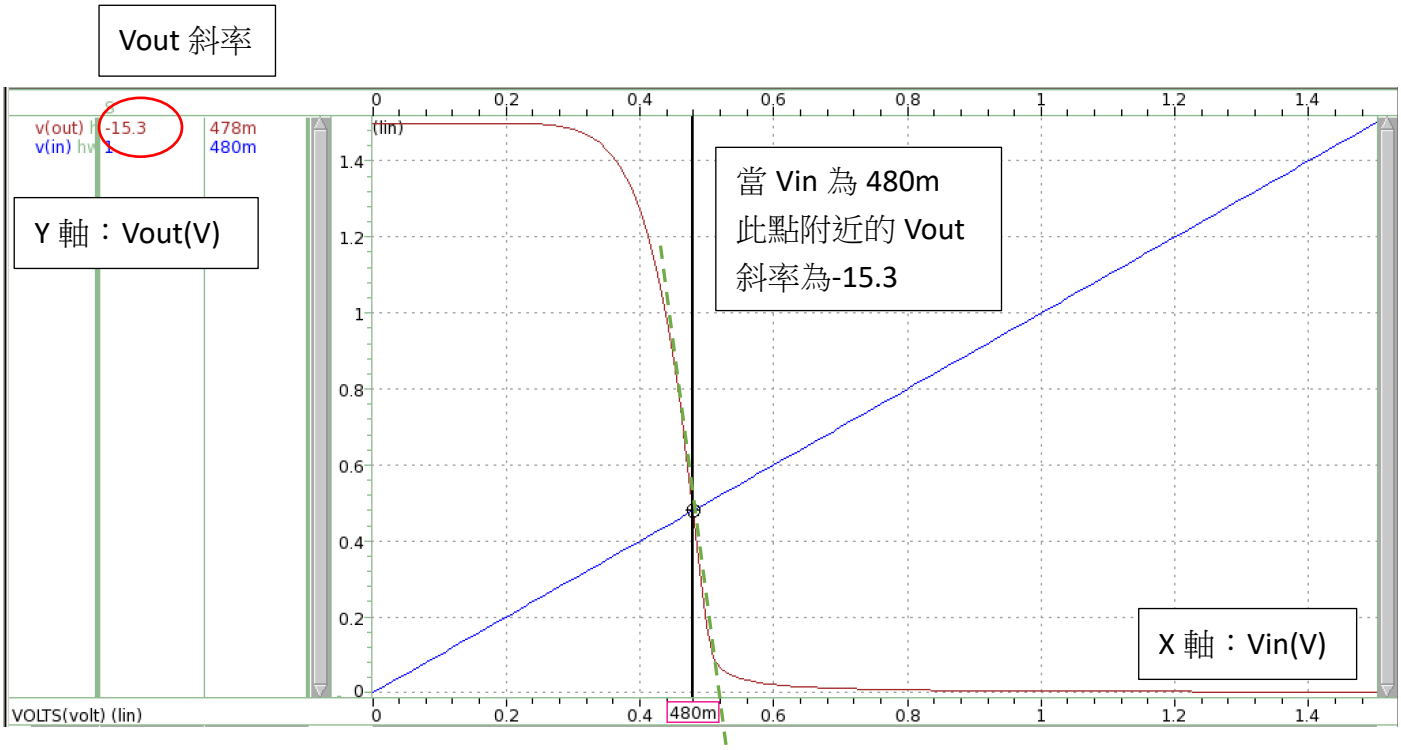
$$gain = gm * (Rl//ro) = 24.1295u * (\frac{1}{\frac{1}{844000} + \frac{1}{2361700}}) = 15.0035$$

計算值與模擬值誤差：

$$\frac{15.0027 - 15.0035}{15.0027} * 100\% = 0.005332\%$$

模擬值與計算值接近，誤差極小

(e)



Vgs<Vth 時，為 cut off 的狀態，Vgs>Vth 則為 on，而當 Vgs-Vth<Vds 為 saturation，Vgs-Vth>Vds 時為 linear。Vout 在圖中的斜率 $=\frac{\partial Vout}{\partial Vin}$，此為 voltage gain，在 saturation 中，斜率是最大的。

從 waveform 測出的 gain 與實際計算值和 hspice 模擬值有一點點誤差，但很相近。

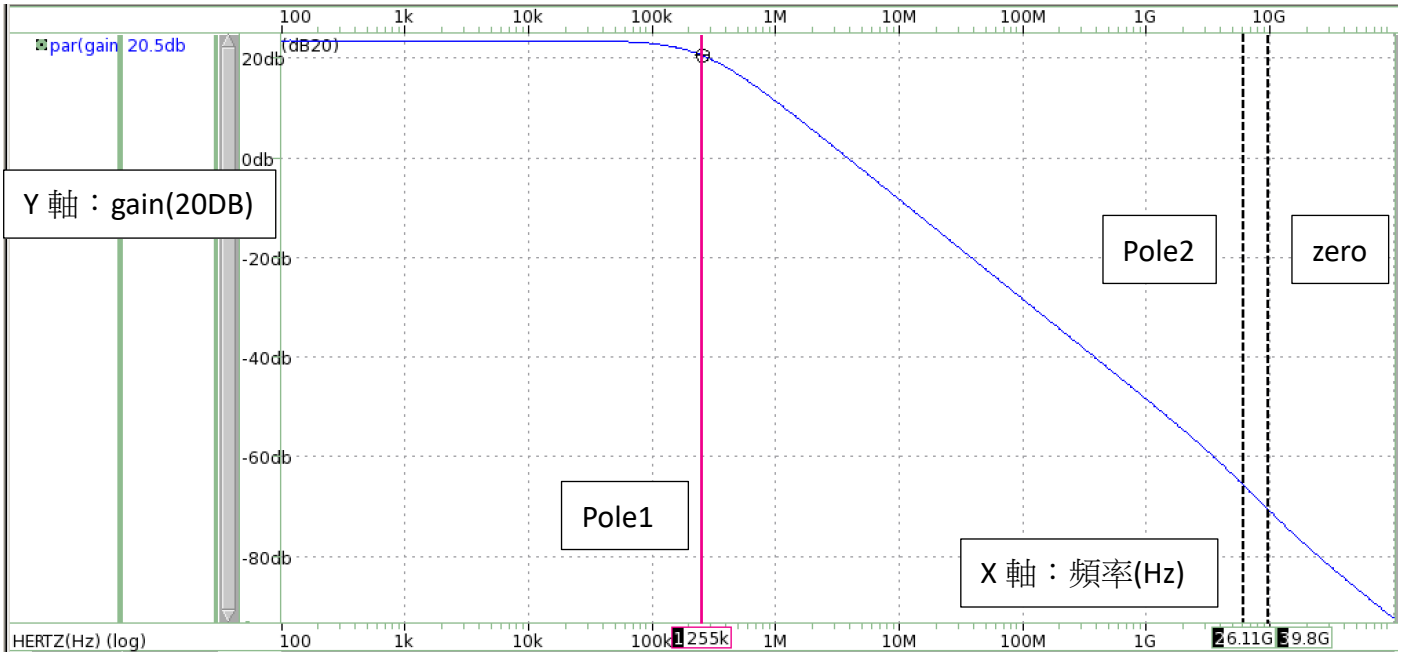
計算值	Hspice 模擬	Waveform 測量
15.0035	15.0027	15.3

(f)

模擬結果：

Pole1：255k(Hz)　Pole2：6.1g(Hz)　Zero：9.8g(Hz)

```
**************************************************
  ******   pole/zero analysis

   input =  0:vin          output = v(out)

      poles (rad/sec)                poles ( hertz)
real            imag           real            imag
-1.60569x       0.             -255.554k       0.
-38.4890g       0.             -6.12571g       0.

      zeros (rad/sec)                zeros ( hertz)
real            imag           real            imag
61.5839g        0.             9.80139g        0.
```



計算結果：

$$gain = \frac{(Cgd - gm)R}{as^2 + bs + 1}$$

$$a = RsR(CgsCgd + CdbCgd + CgsCdb + CgdCl + CgsCl)$$
$$= 10k * 844k(1.8f * 371.95a + 1.107f * 371.95a + 1.8f * 1.107f + 371.95a * 1p + 1.8f * 1p)$$
$$= 1.835X10^{-17}$$

$$b = (1 + gmR)CgdRs + RsCgs + R(Cdb + Cgd + Cl$$
$$= (1 + 24.1295u * 844k)371.95a * 10k + 10k * 1.8f + 844k(1.107f + 371.95a + 1p)$$
$$= 7.843X10^{-7}$$

$$Wpole1 = \frac{1}{b} \quad Wpole2 = \frac{b}{a} \quad Wzero = \frac{gm}{Cgd}$$

$$pole1 = \frac{1}{2\pi b} = 202.9X10^3(Hz)$$

$$pole2 = \frac{b}{2\pi a} = 6.802X10^9(Hz)$$

$$zero = \frac{gm}{2\pi\ X\ Cgd} = 1.03X10^{10}(Hz)$$

誤差：

$$pole1 = \frac{202.9k - 255k}{202.9k} X100\% = -25.6\%$$

$$pole2 = \frac{6.802g - 6.1g}{6.802g} X100\% = 10.3\%$$

$$zero = \frac{10.3g - 9.8g}{10.3g} X100\% = 4.8\%$$

除了 pole1 跟計算值誤差比較大一點之外，其他都蠻相近的，但誤差範圍沒有超過一個 order，所以都在可接受的範圍內。Pole1 因為 Miller’ s theorem，input 的電容變很大，讓 pole1 的頻率變得很小。

(g)

$$fom1 = \frac{bandwidth(MHz)}{bias\ current\ (\mu A)} = \frac{1}{Rl * Cl * Id}$$

$$gain = gm * (Rl//ro) = 15$$

$$ro = \frac{1}{\lambda * Id}$$

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}}. \qquad g_m = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L}(V_{GS} - V_{TH}), \qquad g_m = \sqrt{2\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} I_D}. \qquad g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_{TH}},$$

$\frac{W}{L}$ Constant $V_{GS} - V_{TH}$ Variable	$\frac{W}{L}$ Variable $V_{GS} - V_{TH}$ Constant	$\frac{W}{L}$ Variable $V_{GS} - V_{TH}$ Constant
$g_m \propto \sqrt{I_D}$ $g_m \propto V_{GS} - V_{TH}$	$g_m \propto I_D$ $g_m \propto \frac{W}{L}$	$g_m \propto \sqrt{\frac{W}{L}}$ $g_m \propto \frac{1}{V_{GS} - V_{TH}}$

先設定一組 W 和 L 和 Rl，再觀察 Vth 將 Vin 設為接近 Vth 的值，讓 device 位在 saturation region，讓 gain 比較大，而 frequency 不能設太大，要設在 gain 沒往下掉的區域，所以要小於 pole1 的 frequency，接著調整 Rl，Rl 越大，gain 越大，先讓 gain 大於 15，接著為了讓 FOM1 越大越好，要降低 Rl，在調整 Rl 時，gain 會下降，這兩者形成 trade off，再試著調整 W，W/L 與 Id 有關，Id 越小 FOM1 越大，Id 越小 ro 越大，Id 越小 gm 越小，所以也形成 trade off，在調整 Rl 和 W 值時，要隨注意 gain 保持在 15，和適當調整 Vin 保持在 saturation region，因為 Vth 會稍微變動。

2.

設 FOM2 W=23um　L=10um　Rl=2000k(ohm)　Vin=0.317173(V)

FOM2	
M1 Device Size (W/L)	23um/10um = 2.3
M1 Bias Current (μ A)	0.63653u
M1 Overdrive Voltage (mV)	57.5883m
Load R (ohm)	2000k
Bandwidth (MHz)	0.0865331
max small-signal voltage gain (V/V)	24.9968

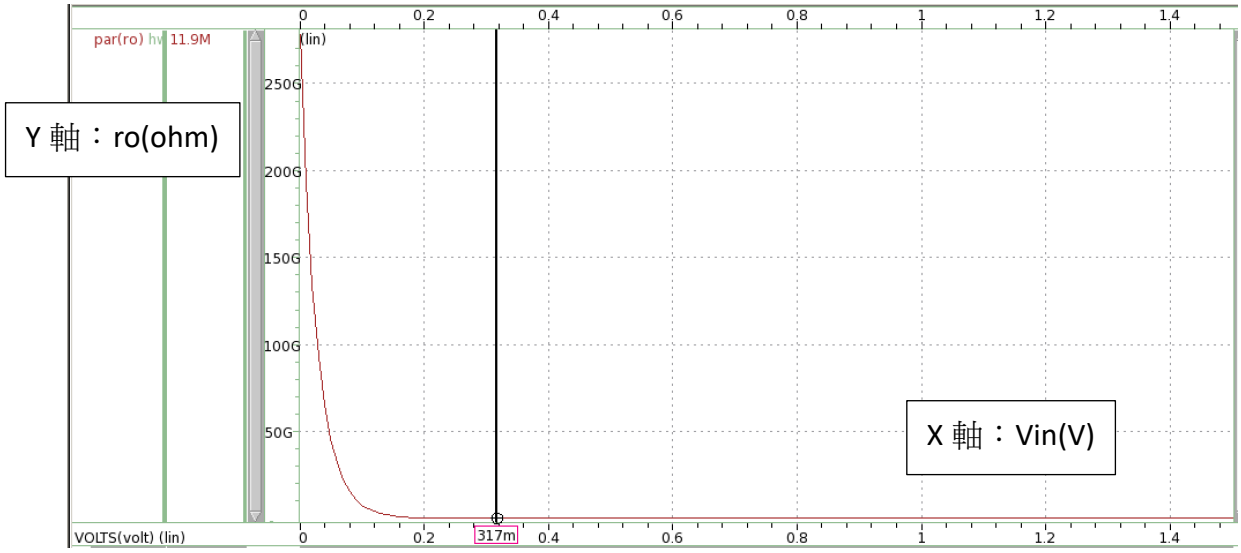
```
****** ac analysis tnom=  25.000 temp=  25.000 ******
max_gain=  24.9968     at= 100.0000
           from= 100.0000     to= 100.0000g

          ***** job concluded
```

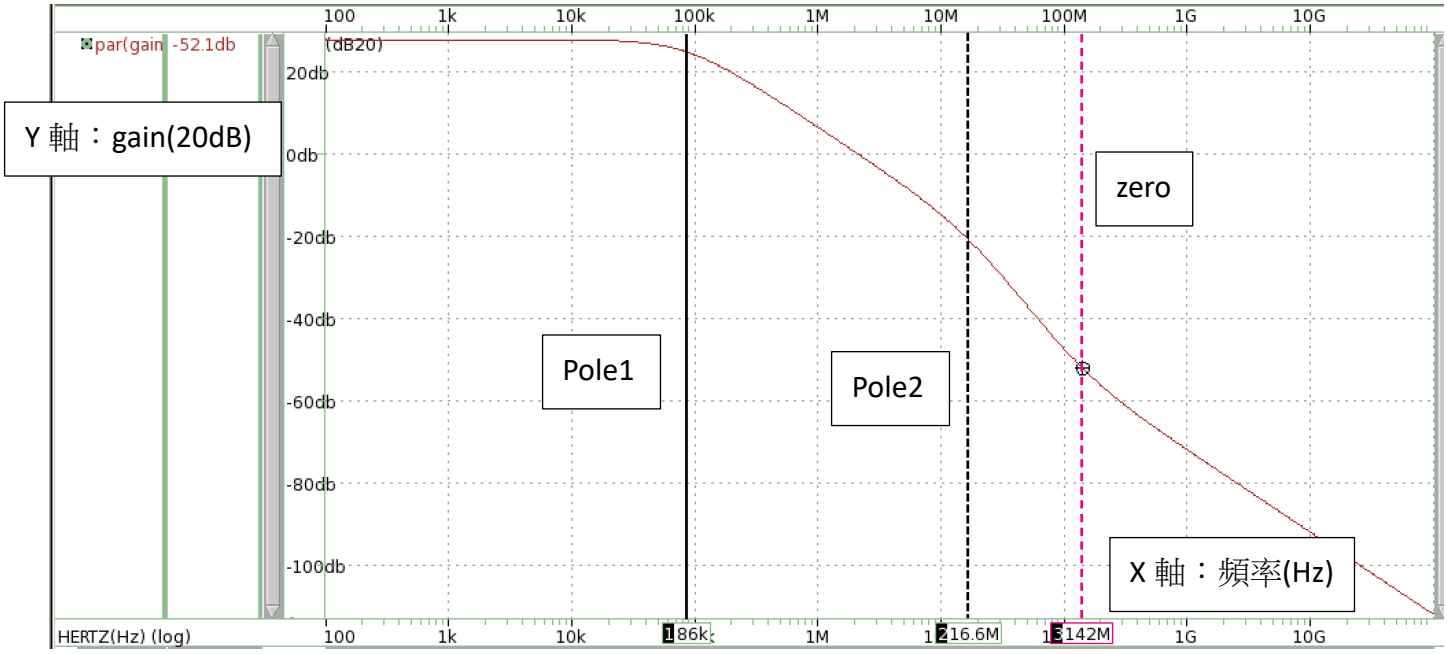
small signal parameters：

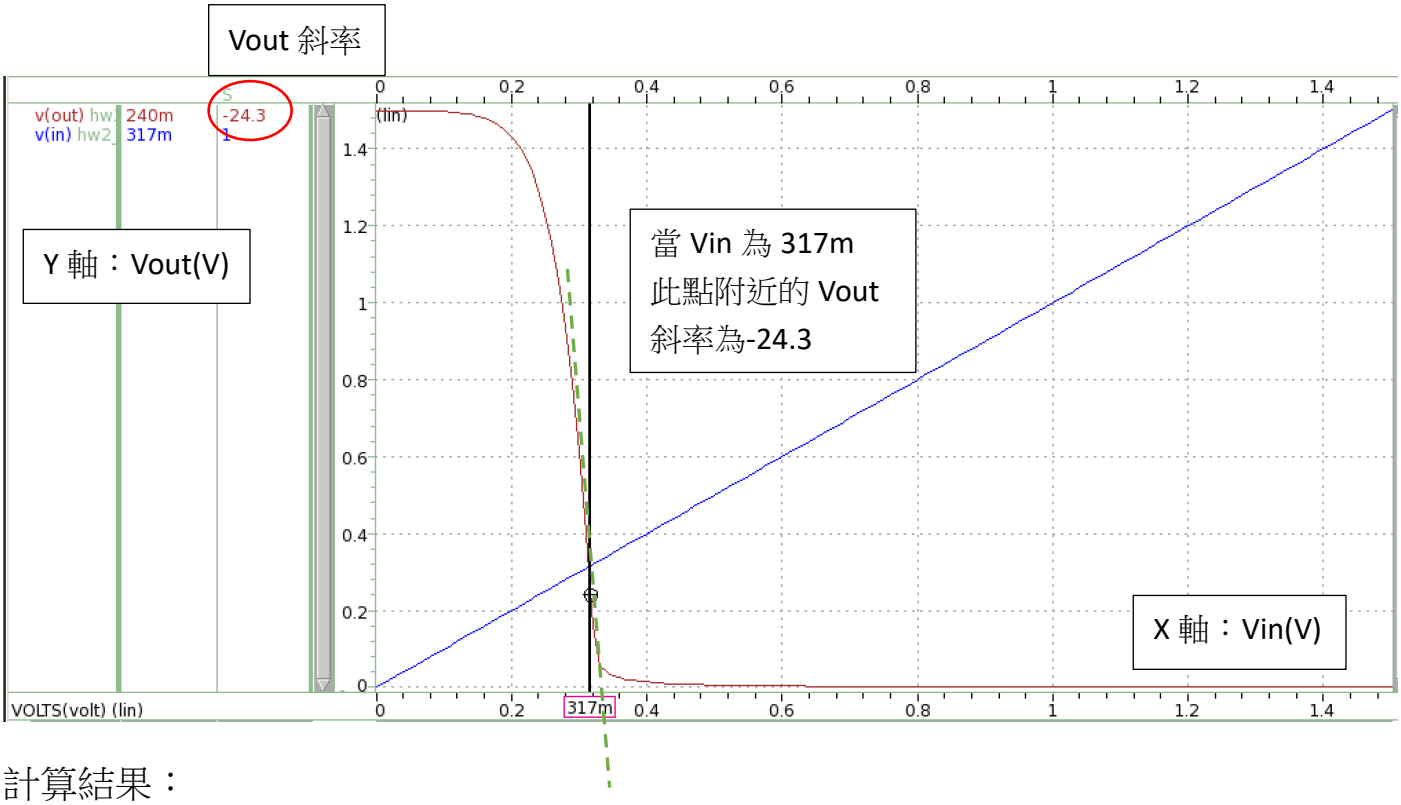
```
subckt
element  0:m1
model    0:n_18.1
region     Saturati
 id       636.5301n
 ibs     -9.756e-23
 ibd     -384.6069a
 vgs      317.1730m
 vds      226.9389m
 vbs        0.
 vth      316.8678m
 vdsat     57.5883m
 vod      305.1704u
 beta     681.8590u
 gam eff  507.4459m
 gm        14.0902u
 gds       63.6806n
 gmb        2.9492u
 cdtot     35.5292f
 cgtot    959.7409f
 cstot    802.1559f
 cbtot    450.5416f
 cgs      692.1927f
 cgd        8.5569f
```

gm=14.09u

ro=11.9M(ohm)







計算結果：

$$gain = gm * (Rl//ro) = 14.09u * \left(\frac{1}{\frac{1}{2000k} + \frac{1}{11.9M}}\right) = 25.512$$

計算值與模擬值誤差：

$$\frac{25.512 - 25.9968}{25.512} * 100\% = 1.9\%$$

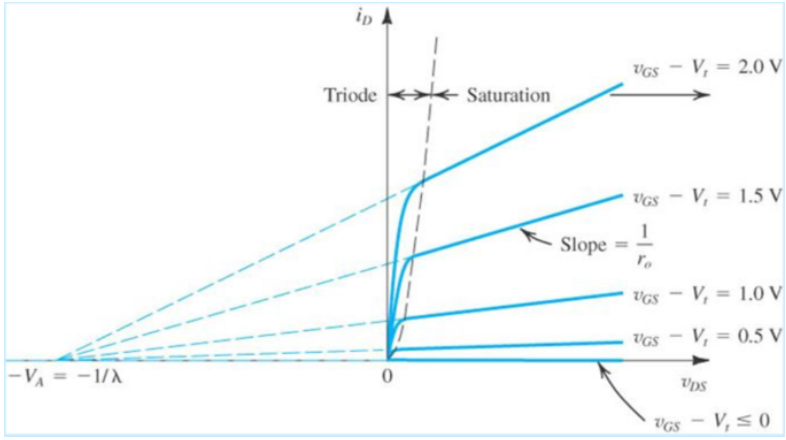
模擬值與計算值接近，誤差極小

計算值	Hspice 模擬	Waveform 測量
25.512	25.9968	24.3

從 waveform 測出的 gain 與計算值和 hspice 模擬值有一點點誤差，但很相近。

$$gain = gm * (Rl//ro)$$

$$ro = \frac{1}{\lambda * Id}$$



先設定一組 W 和 L 和 Rl，當 L 越小， λ 越大，output resistance 就會越小，導致 gain 減少，所以 L 不能太小，而 Rl 越大 gain 越大，所以我先將 Rl 設在 4000k，發現 device 的 saturation region 範圍變很小，因為 Vdd-Id*Rl=Vds，Vgs-Vth<Vds 才會在 saturation，所以將 Rl 調小一些，再觀察 Vth 將 Vin 設為接近 Vth 的值，讓 device 位在 saturation region，讓 gain 比較大，而 frequency 不能設太大，要設在 gain 沒往下掉的區域，所以要小於 pole1 的 frequency，接著調整W，Id 越小 gm 越小，Id 越小 ro 越大，形成 trade off，sweep Width 看在哪個區域會有最大的 gain，再慢慢加大 Rl，再 sweep Width，在調整 Rl/W 值時，要注意適當調整 Vin 使保持在 saturation region，因為 Vth 會稍微變動。

要將 device 維持在 saturation region 是因為在 linear region 時，由於 Vds 電壓較低，則整

個溝道的寬度從頭到尾變化不大，這時 Vg 控制溝道導電的能力相對地較差一些，於是 gm 較小。同時，隨著 Vds 電壓的增大，溝道寬度的變化增大，使得 Drain 端處的溝道寬度變小，則 Vg 控制溝道導電的能力增強，gm 增大。

而在 saturation region 時，Vds 電壓較高，溝道夾斷，即在 Drain 端處的溝道寬度為 0，於是 Vg 控制溝道導電的能力很強（微小的 gate 電壓即可控制溝道的 on 與 off），所以這時的 gm 很大。因此在 saturation，溝道完全夾斷後，電流飽和，則 gm 達到最大。

sp 檔：

```
*hw2_1
.prot
.lib 'cic018.l' TT
.unprot
.option
+ post=1
+ACCURATE=1
+ runlvl=6
.temp 25


M1 out G1 gnd gnd n_18 w=1u l=0.45u m=1

vdd vdd gnd 1.5
Rs in G1 10k
RL vdd out 844k
vin in gnd DC=0.48 AC=0.1
CL out gnd 1.0p

.op
.ac dec 100 100 100G
.pz V(out) vin
.dc vin 0 1.5 0.01
.probe ac gain = par('V(out)/V(in)')
.print gm=LX7(M1)
+ ro=par('1/LX8(M1)')
.probe cdb=LX29(M1)
.measure AC max_gain max 'V(out)/V(in)'
.measure AC unitfreq WHEN par('V(out)/V(in)')= 'max_gain*0.707'

.end
```

```
*hw2_2
.prot
.lib 'cic018.l' TT
.unprot
.option
+ post=1
+ACCURATE=1
+ runlvl=6
.temp 25


M1 out G1 gnd gnd n_18 w=23u l=10u m=1

vdd vdd gnd 1.5
Rs in G1 10k
RL vdd out 2000k
vin in gnd DC=0.317173 AC=0.1
CL out gnd 1.0p

.op
.ac dec 100 100 100G
.pz V(out) vin
.dc vin 0 1.5 0.01
.probe ac gain = par('V(out)/V(in)')
.print gm=LX7(M1)
+ ro=par('1/LX8(M1)')
.probe cdb=LX29(M1)
.measure AC max_gain max 'V(out)/V(in)'
.measure AC unitfreq WHEN par('V(out)/V(in)')= 'max_gain*0.707'

.end
```