HW3　106010006 黃詩瑜

1.

設 FOM W=49.99um　L=8.5um　Rl=900k(ohm)　Vin=0.318(V)

FOM	
M1 Device Size (W/L)	49.99um/8.5um = 5.8811
M1 Bias Current (μ A)	1.6462
M1 Overdrive Voltage (mV)	0.2933253
Load R (ohm)	900k
Small-Signal Voltage Gain (V/V)	29.1102

```
****** ac analysis tnom=  25.000 temp=  25.000 ******
max_gain=  29.1102     at= 100.0000
           from= 100.0000      to= 100.0000g
```

(b) small signal parameters:

gm:36.4339X10^{-6} (A/V)

```
subckt
element   0:m1
model     0:n_18.1
region      Saturati
 id           1.6462u
 ibs       -2.464e-22
 ibd         -1.1458f
 vgs        318.0000m
 vds        318.4427m
 vbs          0.
 vth        317.7067m
 vdsat       57.9071m
 vod        293.3253u
 beta         1.7457m
 gam eff    507.4459m
 gm          36.4339u
 gds        140.4713n
 gmb          7.6184u
 cdtot       72.6712f
 cgtot        1.7736p
 cstot        1.4927p
 cbtot      845.7960f
 cgs          1.2773p
 cgd         17.5813f
```

ro:7.1203X10^6 (ohm)

volt	param ro
0.	95.9268g
1.00000m	92.4916g
2.00000m	89.1802g
3.00000m	85.9882g
4.00000m	82.9112g
5.00000m	79.9451g
316.00000m	7.7702x
317.00000m	7.4729x
318.00000m	7.1203x
319.00000m	6.6839x
320.00000m	6.1224x

(c)

模擬結果：

gain=29.1102 (V/V)

計算結果：

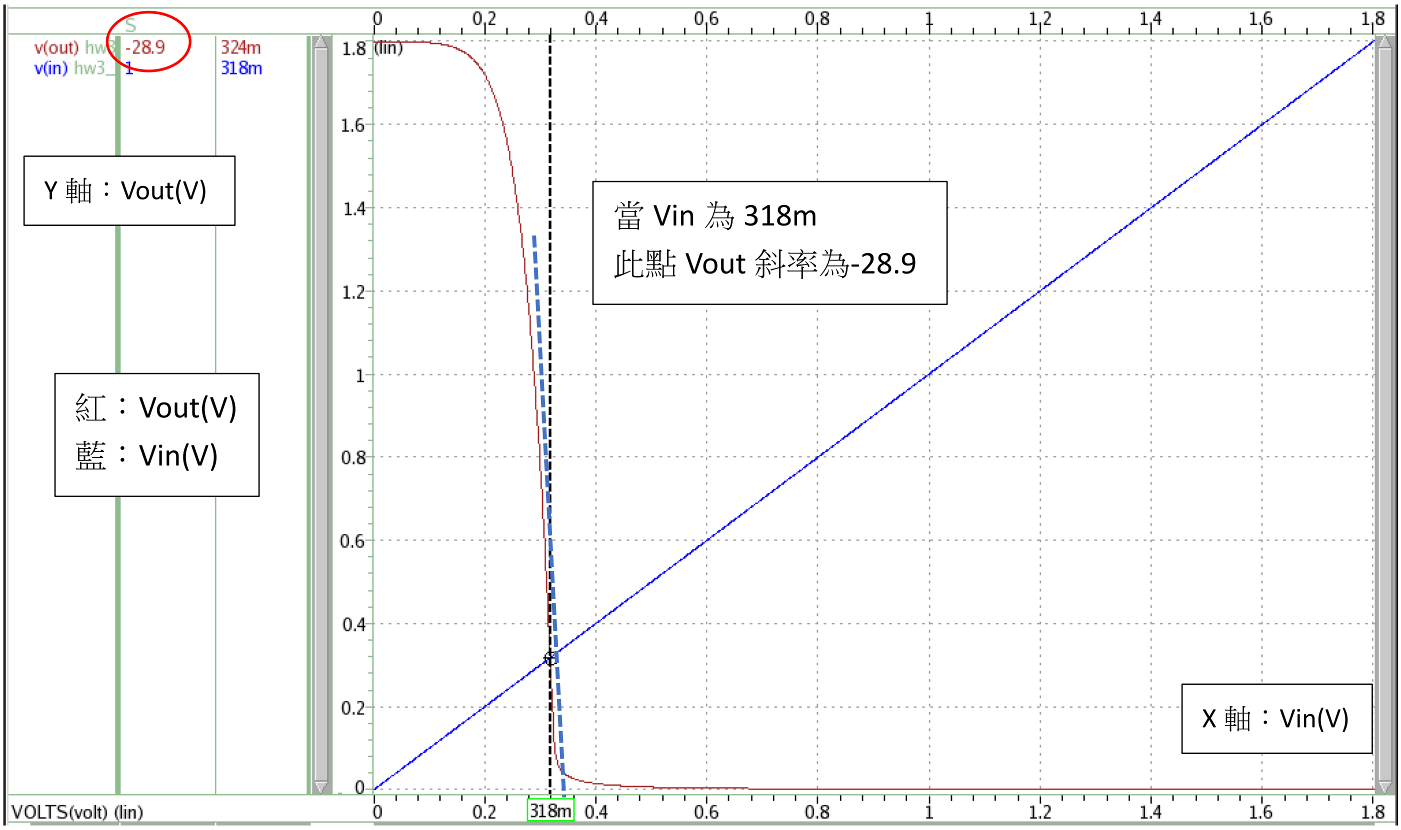
$$gain = gm * (Rl//ro) = 36.4339\text{u} * \left(\frac{1}{\frac{1}{900k} + \frac{1}{7.1203 * 10^6}}\right) = 29.11091459\left(\frac{V}{V}\right)$$

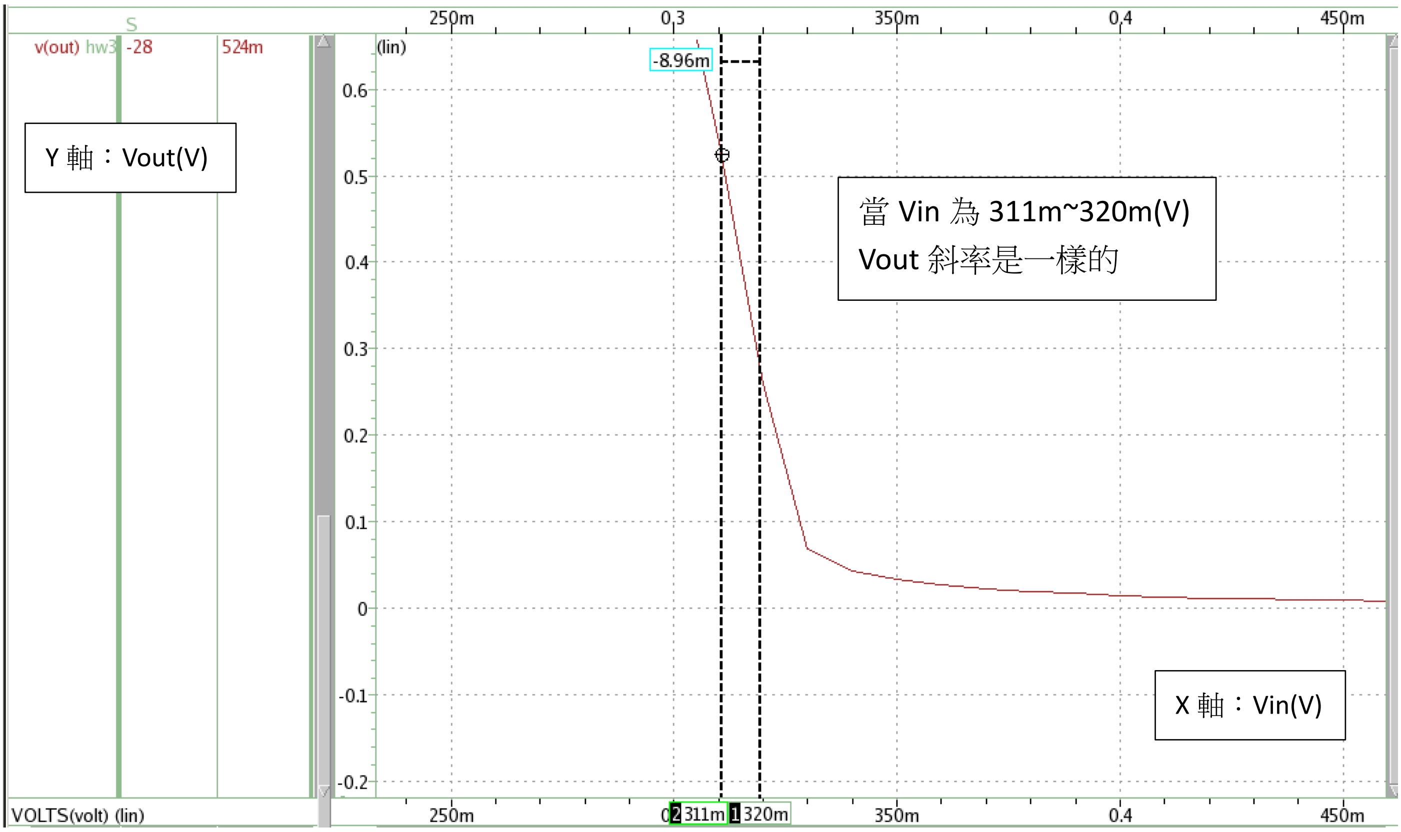
計算值與模擬值誤差：

$$\frac{29.1102 - 29.11091459}{29.1102} * 100\% = 0.0024\%$$

模擬值與計算值十分接近，誤差極小

(d) Vout 斜率





Vout 在圖中的斜率 $=\frac{\partial Vout}{\partial Vin}$，此為 voltage gain，Vgs>Vth 且 Vgs-Vth<Vds 為 saturation，斜率會是最大的。

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。

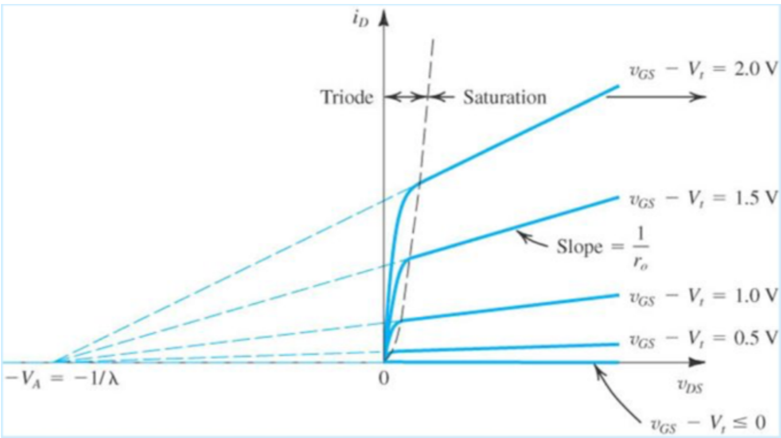
計算值	Hspice 模擬	Waveform 測量
29.1109	29.1102	28.9

(e)

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

$$gm = \mu Cox \frac{W}{L}(Vgs - Vth)$$

$$ro = \frac{1}{\frac{1}{2}\mu Cox \frac{W}{L}(Vgs - Vth)^2 \lambda} = \frac{1}{\lambda * Id}$$



先設定一組 W 和 L 和 Rl，將 W 設很大 L 很小，讓 gm 變大，也將 Rl 設很大，gain 就會變大，在想辦法讓 ro 變大，當 L 越大，ro 就會越大，gain 增加，所以將 L 慢慢調大，觀察 Vth 將 Vin 設為接近 Vth 的值，讓 device 位在 saturation region，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，我主要都是調整 L ，L 越小 gm 越大，L 越小 ro 越小，形成 trade off，sweep L 看在哪個區域會有最大的 gain，再慢慢加大 Rl，再 sweep L ，在調整 Rl/ L 值時，要注意適當調整 Vin 使保持在 saturation region，因為 Vth 會變動。

2.

設 FOM W=50um　L=10um　Rd=760k(ohm)　Vbias=1.74(V)

FOM	
Device Size (W/L)	50um/10um =5
Bias Current (mA)	0.0016078
gm(mA/V)	0.0360696
Rd (ohm)	760k
Vbs(V)	1.74
Max small-signal voltage gain (V/V)	0.8536626

```
****** ac analysis tnom=  25.000 temp=  25.000 ******
max_gain= 853.6626m     at=    1.0000
             from=    1.0000      to= 501.1872x
```

(b)

gain=853.6626m(V/V)　Zi=10^{20}(ohm)　Zo=23.6671k (ohm)

```
****     small-signal transfer characteristics

     v(out)/vin                                    =   853.6626m
     input resistance at               vin         =   1.000e+20
     output resistance at v(out)                   =    23.6671k
```

(c)

gm=$36.0696\text{X}10^{-6}$(A/V)　ro=$4.3271\text{X}10^{6}$ (ohm)

```
subckt
element   0:m1
model     0:n_18.1
region       Saturati
  id           1.6078u
  ibs         -4.3976f
  ibd         -6.4778f
  vgs        518.0396m
  vds        578.0396m
  vbs         -1.2220
  vth        515.3050m
  vdsat       63.8342m
  vod          2.7345m
  beta         1.5272m
  gam eff    534.3903m
  gm          36.0696u
  gds        231.1023n
  gmb          4.6363u
  cdtot       57.7625f
  cgtot        1.9514p
  cstot        1.6879p
  cbtot      659.3609f
  cgs          1.5474p
  cgd         12.2782f
```

```
volt            param
               ro
   0.           122.1187g
  10.00000m      84.9499g
  20.00000m      59.1890g
  30.00000m      41.3234g
  40.00000m      28.9238g
```

⋮

```
  1.71000       4.4633x
  1.72000       4.4173x
  1.73000       4.3719x
  1.74000       4.3271x
  1.75000       4.2829x
  1.76000       4.2392x
  1.77000       4.1961x
  1.78000       4.1535x
  1.79000       4.1113x
  1.80000       4.0697x
```

gain 計算結果：

$$gain=\frac{(ro//Rd)}{\frac{1}{gm}+(ro//Rd)}=\frac{\frac{1}{\frac{1}{4.3271X10^6}+\frac{1}{760000}}}{\frac{1}{36.0696X10^{-6}}+(\frac{1}{\frac{1}{4.3271X10^6}+\frac{1}{760000}})}$$

$$=0.95887731(\frac{V}{V})$$

模擬值與計算值誤差：

$$\frac{0.8536626-0.95887731}{0.6536626}X100\%=-12.32\%$$

有一點誤差，計算值較模擬值大

Zo 計算結果：

$$Zo=(ro//Rd//\frac{1}{gm})=\frac{1}{\frac{1}{4.3271X10^6}+\frac{1}{760000}+36.0696X10^{-6}}$$

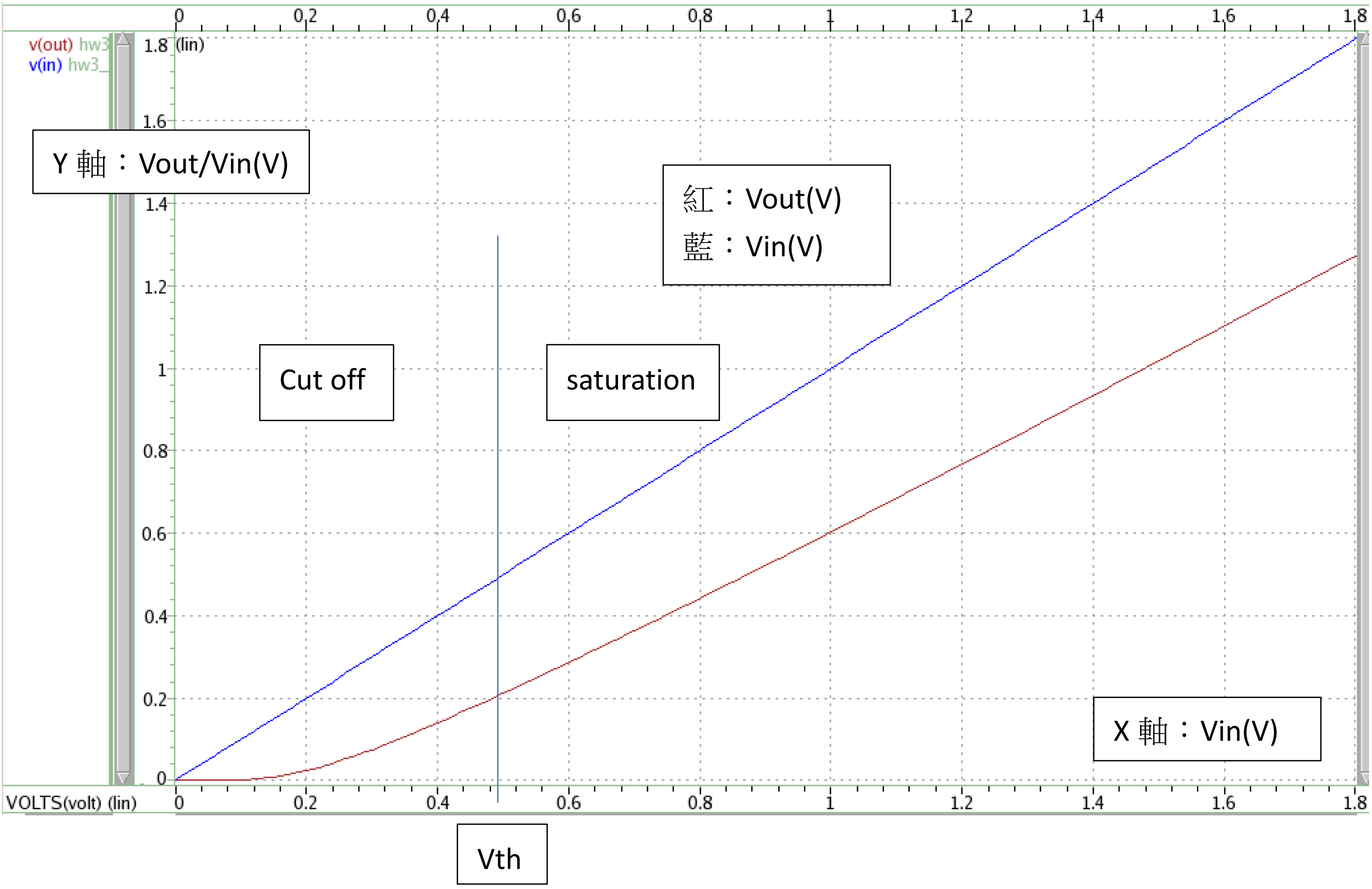
$$=26584.08506(ohm)$$

模擬值與計算值誤差：

$$\frac{23667.1-26584.08506}{23667.1}X100\%=-12.32\%$$

也是有一點誤差，計算值較模擬值大

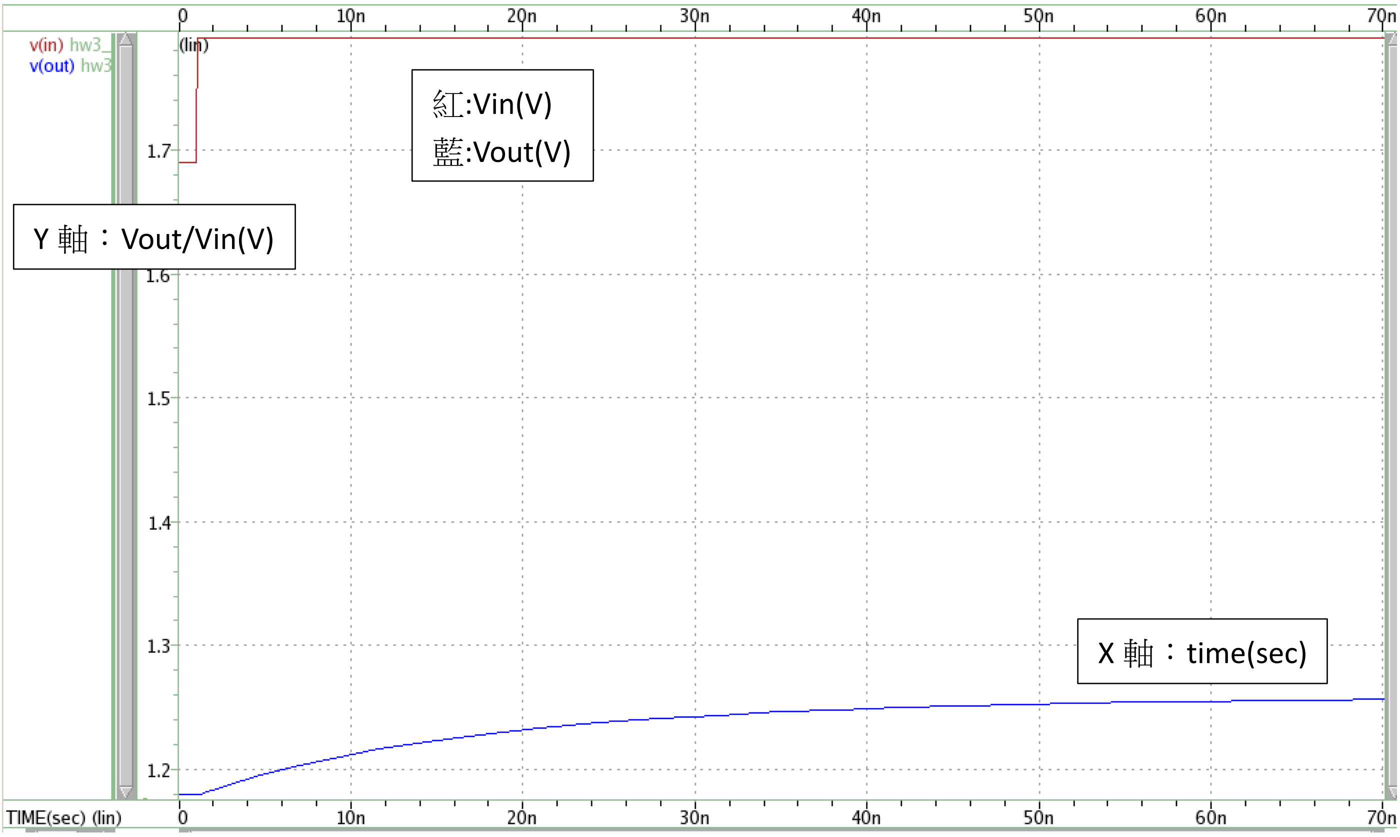
(d)



$Vout = IdXRl$，$Id = \frac{1}{2}\mu Cox\frac{W}{L}(Vg - Vout - Vth)^2$，Vin 越大 Vout 就越大。

Vgs-Vth<0 為 cut off 的狀態，Vgs-Vth>0 且 Vgs-Vth<Vds 為 saturation，Vgs-Vth 不會大於 Vds 所以不會有 linear region。

(e)



當 Vin 瞬間變大時，Id 會變大，因為 Vout 接了個 Cl，使得 Vout 沒辦法瞬間變化，而會慢慢的對 Cl 充電，Vout 才慢慢上升，是 RC delay 造成的效果，呈現如圖所示。

(f)

$$gain = \frac{(ro//Rd)}{\frac{1}{gm} + (ro//Rd)}$$

$$gm = \mu Cox\frac{W}{L}(Vgs - Vth)$$

$$Vs = IdXRd$$

我先把 width 設大 length 設小，讓 gm 變大，gain 就會變大。Rd 也設大，gain 就會變大，再來將 Vgs-Vth 這一項變大，我把 Vin 設到最大，因為(e)小題要掃正負 50m，device 要維持在 saturation，所以我先把 bias 設 1.69V 去跑，確保在(e)小題的範圍都會是 saturation，之後再把 bias 改為 1.74V。當

L 太小，Vth 會變得很大，所以將 L 慢慢變大，在配合調整 Rd，因為 Rd 太大的話會讓 Vgs 變小使得 device 變成 cut off 的狀態，所以要找到最大的 Rd 能讓 device 位在 saturation。

Sp 檔:

```
*hw3_1
.prot
.lib 'cic018.l' TT
.unprot
.option
+ post=1
+ACCURATE=1
+ runlvl=6
.temp 25


M1 out VG gnd gnd N_18 w=49.99u l=8.5u m=1

vdd vdd gnd 1.8V
Rs in VG 10k
RL vdd out 900k
vin in gnd DC=0.318 AC=0.1
CL out gnd 1.0p

.op
.ac dec 100 100 100G
.dc vin 0 1.8 0.001
.probe ac gain = par('V(out)/V(in)')
.print ro=par('1/LX8(M1)')
.pz V(out) vin
.measure AC max_gain max 'V(out)/V(in)'

.end
```

```
*hw3_2
.prot
.lib 'cic018.l' TT
.unprot
.option
+ post=1
+ACCURATE=1
+ runlvl=6
.temp 25

.PARAM
+ l = 10u
+ w = 50u
+ Rd = 760k
+ Vi = 1.74


M1 vdd VG out gnd N_18 w=w l=l m=1

vdd vdd gnd 1.8V
Rs in VG 10k
Rd out gnd Rd
vin in gnd DC=Vi AC=0.1
CL out gnd 1.0p

.op
.ac dec 100 1 500meg
.tf V(out) vin
.dc vin 0 1.8 0.01
.print ro=par('1/LX8(M1)')
.measure AC max_gain max 'V(out)/V(in)'

.end
```

```
*hw3_2
.prot
.lib 'cic018.l' TT
.unprot
.option
+ post=1
+ACCURATE=1
+ runlvl=6
.temp 25

.PARAM
+ l = 10u
+ w = 50u
+ Rd = 760k


M1 vdd VG out gnd N_18 w=w l=l m=1

vdd vdd gnd 1.8V
Rs in VG 10k
Rd out gnd Rd
vin in gnd PWL 0 1.69 1n 1.69 1.1n 1.79 1.5n 1.79
CL out gnd 1.0p

.op
.tran 0.01ns '10n'
.end
```