

99

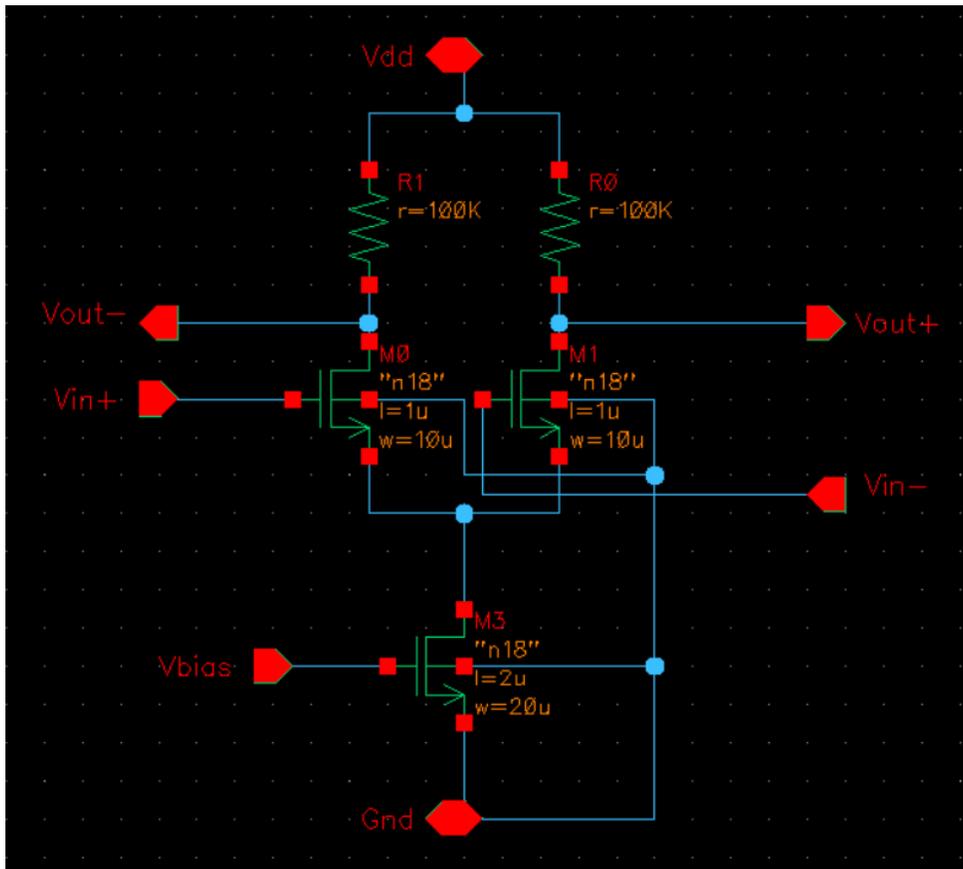
HW3

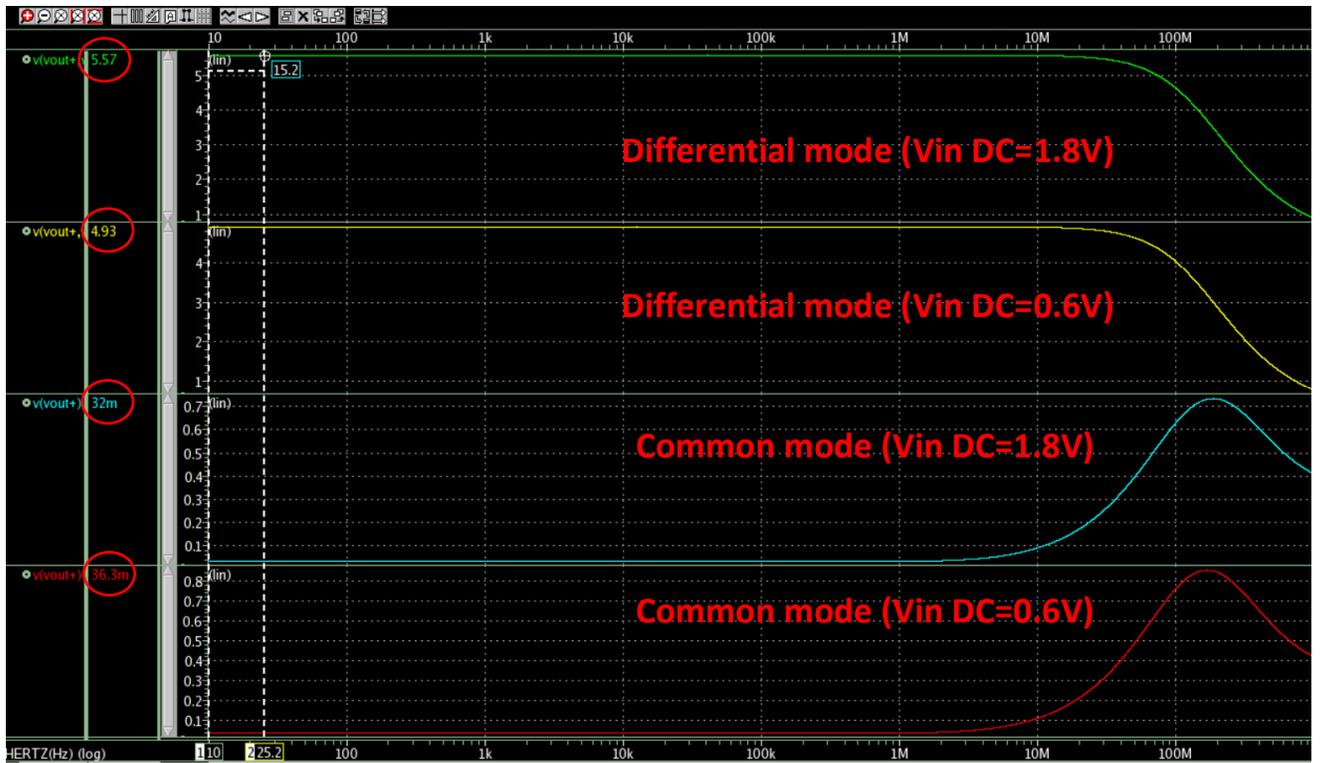
1.

(a)

```
hw3_1a_cm
.protect
.lib 'cic018.' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
M0 Vout- Vin+ net8 Gnd N_18 W=10u L=1u m=1
M1 Vout+ Vin- net8 Gnd N_18 W=10u L=1u m=1
M3 net8 Vbias Gnd Gnd N_18 W=20u L=2u m=1
R0 Vdd Vout+ 100K
R1 Vdd Vout- 100K
//Common-mode part
Vbias Vbias Gnd 0.362
$Vin- Vin- Gnd DC=1.8 AC=1 0 $"0.5"表示0.5份的小訊號 "0"phase
$Vin+ Vin+ Gnd DC=1.8 AC=1 0
Vin- Vin- Gnd DC=0.6 AC=0.5 0
Vin+ Vin+ Gnd DC=0.6 AC=0.5 0
Vdd Vdd Gnd 1.8
.op
.ac dec 10000 10 1G $每10倍區間內有10000個資料點,dec為了做頻率響應好用
.probe AC V(Vout+)
.end
```

```
hw3_1a_dm
.protect
.lib 'cic018.' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
M0 Vout- Vin+ net8 Gnd N_18 W=10u L=1u m=1
M1 Vout+ Vin- net8 Gnd N_18 W=10u L=1u m=1
M3 net8 Vbias Gnd Gnd N_18 W=20u L=2u m=1
R0 Vdd Vout+ 100K
R1 Vdd Vout- 100K
//Differential-mode part
Vbias Vbias Gnd 0.37
$Vin- Vin- Gnd DC=1.8 AC=0.5 0 $"0.5"表示0.5份的小訊號 "0"phase
$Vin+ Vin+ Gnd DC=1.8 AC=0.5 180
Vin- Vin- Gnd DC=0.6 AC=0.5 0
Vin+ Vin+ Gnd DC=0.6 AC=0.5 180
Vdd Vdd Gnd 1.8
.op
.ac dec 10000 10 1G $每10倍區間內有10000個資料點,dec為了做頻率響應好用
.probe AC V(Vout+,vout-) $DP
.probe AC V(Vout+)
.end
```





Comment :

做法：一開始我是先固定三顆 mos 的 size 為 $W=10\mu\text{m}$, $L=1\mu\text{m}$ ，後再去調整 V_{bias} 。

在偵測此題的 gain 時秉持著 $A_{V_{\text{CS}}} \text{ with deg.} = -\left(\frac{g_m}{1+g_m R_s}\right) R_D$ 去調整 differential mode 的 gain， $A_{V_{\text{CM}}} = \frac{-R_D/2}{\frac{1}{2g_m} + R_{SS}}$ 的原則去調整 common mode 的

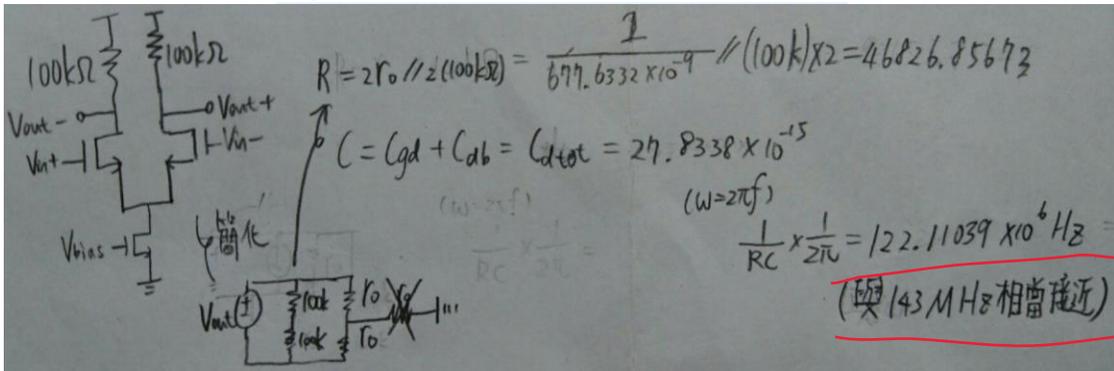
gain。曾嘗試用 $\frac{V_{\text{out-}}}{V_{\text{in+}}}$ 的方式去找 gain，後來用 waveview 畫圖時發現 gain 直接差了一倍（ $\frac{V_{\text{out-}}}{V_{\text{in+}}}$ 的 gain 較小），這是因為用半電路去做分析的 gain 本來就會少一倍的原因。

(b)



```

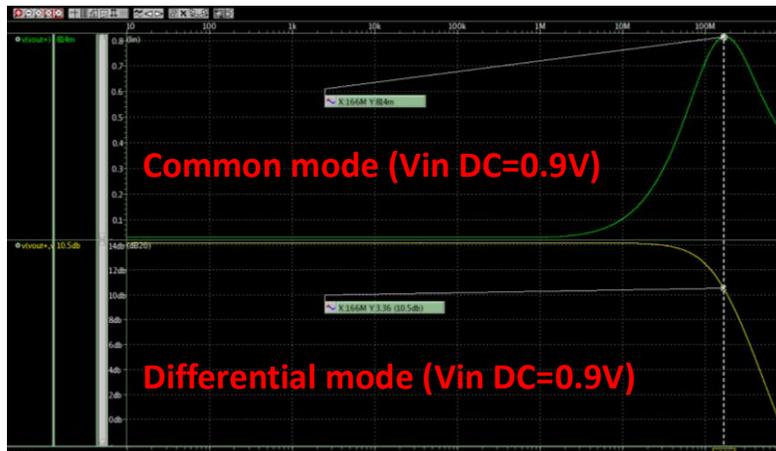
subckt
element 0:m0      0:m1      0:m3
model   0:n_18.1  0:n_18.1  0:n_18.1
region  Cutoff    Cutoff    Saturati
id      2.3834u   2.3834u   4.7668u
ibs    -353.2683a -353.2683a -7.353e-22
ibd    -1.2150f   -1.2150f   -673.4787a
vgs    445.9281m   445.9281m   370.0000m
vds    1.1076     1.1076     454.0719m
vbs    -454.0719m -454.0719m  0.
vth    465.2972m   465.2972m   349.0207m
vdsat  59.1718m   59.1718m   68.8951m
vod    -19.3691m  -19.3691m   20.9793m
beta   3.1337m    3.1337m    3.0314m
gam_eff 518.8626m  518.8626m  507.4459m
gm      54.7054u   54.7054u   96.9178u
gds    677.6332n   677.6332n   790.4166n
gmb    8.7602u     8.7602u     20.1447u
cdtot  11.8533f     11.8533f     27.8338f
cgtot  35.9596f     35.9596f     209.1491f
cstot  33.0691f     33.0691f     207.0545f
cbtot  31.2063f     31.2063f     110.6075f
cgs    21.7355f     21.7355f     166.3405f
cgd    3.7407f     3.7407f     7.1617f
    
```



Comment :

用手算估出來的 dominant pole(122.1MHz)與用 Hspice 找出來的 dominant pole(143MHz)相當接近，因此我們可以用我 $\frac{1}{RC}$ 的方法去估系統的 pole。

(c)



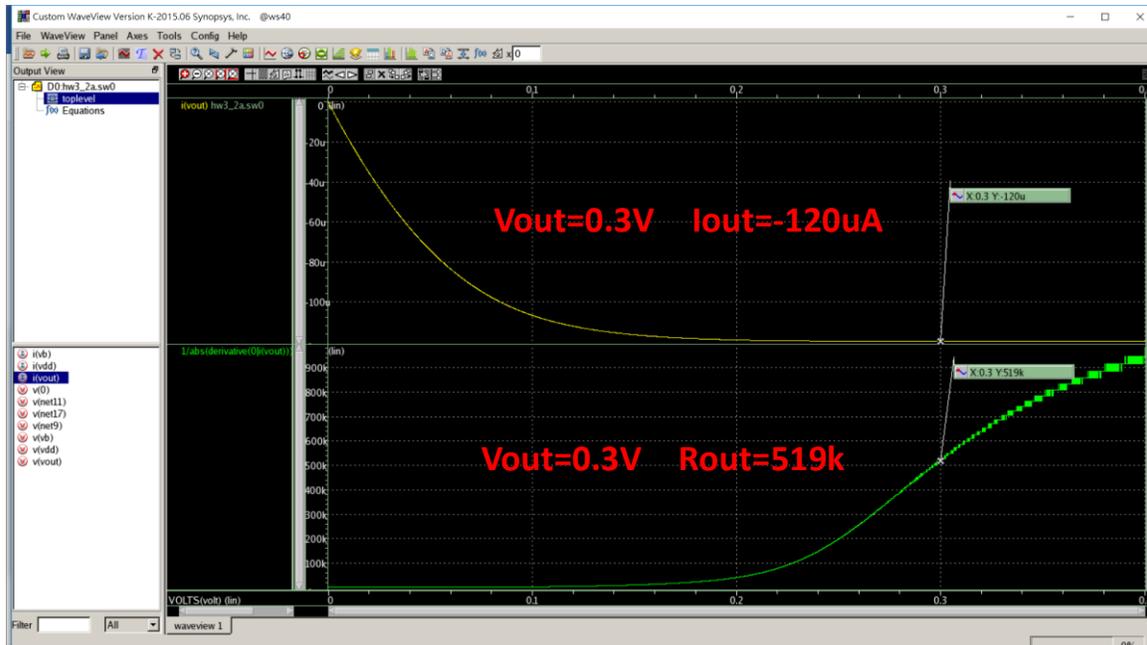
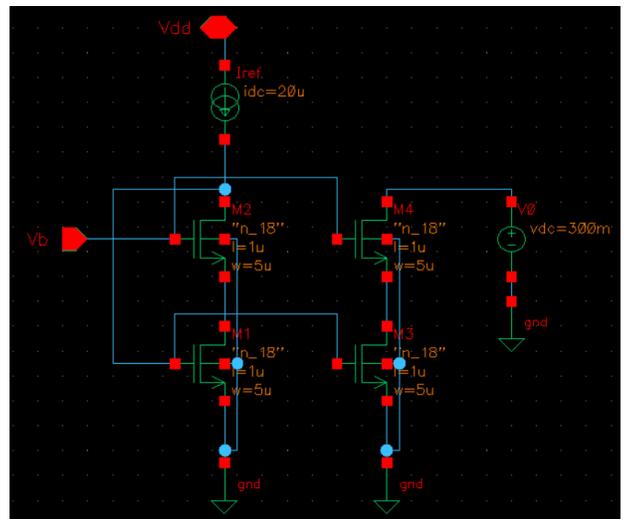
Comment :

Common mode 的 gain 在高頻區會惡化，因為在低頻率時， C 的值非常大，因此 A_{cm} 受到影響變得非常小，但是當 DP 進入高頻區時， C 的值變得很小，只剩下 R 在影響 A_{cm} ，因此 A_{cm} 在高頻區產生劇烈的變化。而且我還發現一個很有趣的情況，就是在 Common mode 影響最大處，剛好接近我們在(b)求出來的 pole 位置，而這個現象剛好在(a)中也可以發現這個現象，我覺得可能的原因是因為在 Common mode 情況下 C 也是有跟 r_o 並聯，因此會產生極值在 pole 的附近。

2.

(a)

```
hw3_2a
.protect
.lib 'cic018.l' TT
.unprotect
.temp 25
.option post .param W1=3.5u L1=1u
M4 Vout Vb net9 gnd N_18 W=W1 L=L1 m=42
M3 net9 net11 gnd gnd N_18 W=W1 L=L1 m=42
M2 net11 Vb net17 gnd N_18 W=W1 L=L1 m=7
M1 net17 net11 gnd gnd N_18 W=W1 L=L1 m=7
Vb Vb gnd 0.7
vdd vdd gnd 1.8
Iref Vdd net11 20u
Vout Vout gnd 0.3
.op
.dc Vout 0 0.4 0.0001
.end
```



Comment :

這題限制 V_{out} 必須在 300mV，又必須要達到 6 倍的 I_{ref} ，根據 current mirror 的特性， M_3, M_4 的 W/L 必須是 M_1, M_2 的 W/L 的 6 倍才能達到這個效題產生跟理想狀態不同的結果，因此必須要用並聯的方式來實現。
 至於提高 R_{out} 的部分，可以將 nmos 並聯數等比例調大，搭配將 V_{bias} 的直調小來實現，因為並聯數一多 R_{out} 會越大以及 V_{bias} 越小， I_{out} 越小， R_{out} 越大。

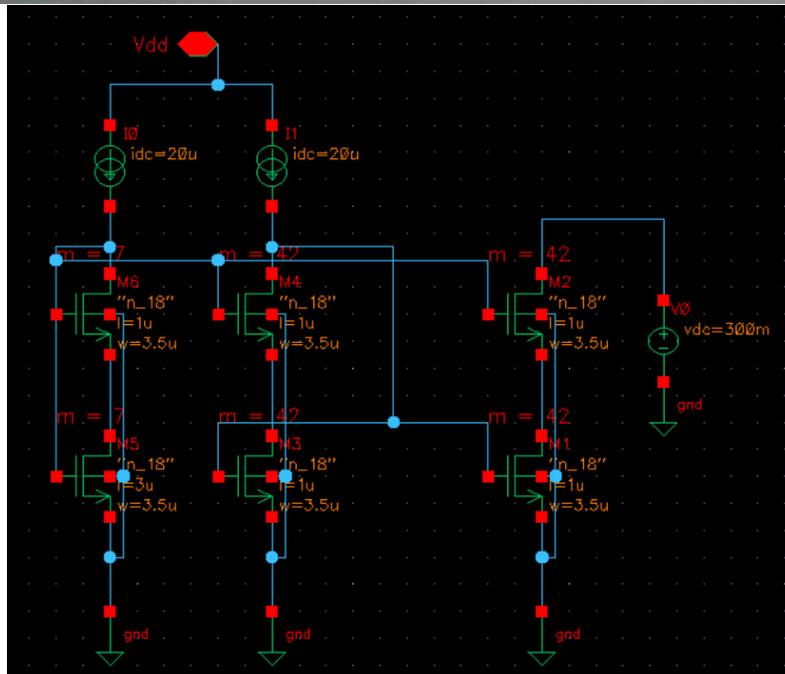
(b)

1° M_6 operation region
 $M_6 \rightarrow$ diode connected $\rightarrow V_{GS6} = V_{DS6} \rightarrow V_{DS5} > V_{GS6} - V_{TH} \rightarrow$ always in sat. region

2° M_5 operation region
 $M_5 \rightarrow V_{GS} = V_{GS6}, V_{DS5} = V_{GS6} - V_{DS5} = V_{GS6} - V_{DS5} \rightarrow V_{GS6} > V_{TH}$
 $\Rightarrow V_{GS6} = V_{GS5} - V_{DS5} = V_{GS5} - V_{DS5} > V_{TH} \Rightarrow V_{DS5} < V_{GS5} - V_{TH} \rightarrow$ in linear region

3° $\because M_1 = M_2 \therefore V_{bias} = V_{GS1} + V_{GS2} = 2V_{OV} + V_{TH}$
 $\Rightarrow M_5: V_{GS5} = V_{bias} = 2V_{OV} + V_{TH}, V_{DS5} = V_{OV} \quad M_6: V_{DS6} = V_{OV}$

4° current are the same in M_5 and M_6
 $I_{D6} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_6 V_{OV}^2$ (Sat.) $I_{D5} = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_5 [2V_{DS5} V_{GS5} - V_{DS5}^2]$ (Linear)
 $I_{D6} = I_{D5} \Rightarrow \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_6 V_{OV}^2 = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \left(\frac{W}{L}\right)_5 [2V_{OV} V_{GS5} - V_{OV}^2]$ ($V_{DS5} = V_{OV}$)
 $\Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_6 V_{OV}^2 = \left(\frac{W}{L}\right)_5 [2V_{OV} (2V_{OV} + V_{TH}) - V_{OV}^2]$ ($V_{GS5} = 2V_{OV} + V_{TH}$)
 $\Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_6 / \left(\frac{W}{L}\right)_5 = 3 \Rightarrow M_3, M_4 = \frac{W}{L}, M_5 = \frac{W}{3L}$



```

hw3_2b
.protect
.lib 'cic018.' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
.param W1=3.5u L1=1u
M1 net5 net17 gnd gnd N_18 W=3.5u L=1u m=42
M2 Vout Vbias net5 gnd N_18 W=3.5u L=1u m=42
M3 net20 net17 gnd gnd N_18 W=3.5u L=1u m=7
M4 net17 Vbias net20 gnd N_18 W=3.5u L=1u m=7
M5 net21 Vbias gnd gnd N_18 W=3.5u L=3u m=7
M6 Vbias Vbias net21 gnd N_18 W=3.5u L=1u m=7
IO Vdd Vbias 20u
I1 Vdd net17 20u
Vout Vout gnd 0.3
.op
.dc Vout 0 0.4 0.0001
.end

```

element	0:m1	0:m2	0:m3	0:m4	0:m5	0:m6
model	0:n 18.1					
region	Saturati	Saturati	Saturati	Saturati	Linear	Saturati
id	118.8036u	118.8036u	20.0000u	20.0000u	20.0000u	20.0000u
ibs	-2.257e-20	-836.8483a	-3.799e-21	-142.2390a	-3.799e-21	-143.5616a
ibd	-836.8032a	-4.0272f	-142.2314a	-1.0114f	-143.5540a	-1.1447f
vgs	452.0623m	449.2869m	452.0623m	448.0514m	511.6248m	447.4603m
vds	62.3378m	237.6622m	63.5733m	388.4889m	64.1645m	447.4603m
vbs	0.	-62.3378m	0.	-63.5733m	0.	-64.1645m
vth	392.9505m	404.7275m	392.9412m	403.8006m	341.7594m	403.4599m
vdsat	91.8153m	84.3928m	91.8206m	84.2388m	157.5092m	84.1100m
vod	59.1117m	44.5594m	59.1211m	44.2508m	169.8654m	44.0004m
beta	45.6346m	45.6823m	7.6058m	7.6132m	2.4659m	7.6130m
gam eff	507.4460m	509.1638m	507.4460m	509.1973m	507.4460m	509.2133m
gm	1.7266m	2.1653m	291.9791u	365.2035u	144.3205u	365.4716u
gds	983.6685u	34.0288u	158.8792u	4.4706u	229.0843u	4.3189u
gmb	361.2897u	431.6744u	61.0744u	72.5158u	29.6977u	72.4542u
cdtot	379.8348f	218.6735f	62.3275f	34.8384f	375.1978f	34.3743f
cgtot	1.0032p	906.6755f	166.9137f	150.5898f	573.8989f	150.3969f
cbtot	1.0454p	987.1211f	174.2009f	164.4107f	544.8083f	164.2182f
cbtot	596.3589f	561.6454f	99.3367f	92.3196f	193.9820f	91.8760f
cgs	810.0209f	753.4948f	135.0526f	125.0403f	404.3045f	124.7959f
cgd	112.4208f	53.8656f	18.3510f	8.8193f	146.7809f	8.8035f

```

+0:net17 = 452.0623m 0:net20 = 63.5733m 0:net21 = 64.1645m
+0:net5  = 62.3378m 0:vbias = 511.6248m 0:vdd = -40.0000u
+0:vout  = 300.0000m

```

Comment :

此可以看到 V_{bias} 跟原先預期的(0.6V)差有點多，可能是因為我們在運算時未把 Channel-length modulation... 等等考慮進去的緣故，而影響由兩顆 mos 決定的 V_{bias} 不是那麼準確。

3.

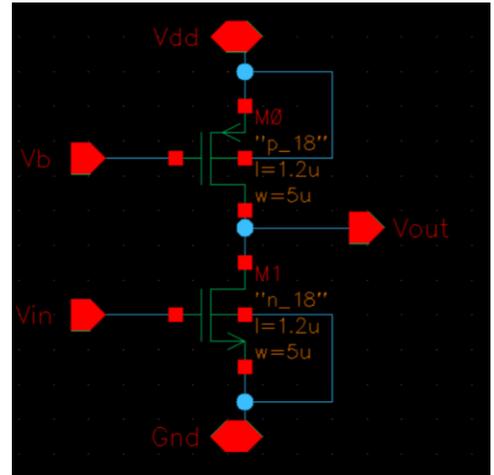
(a)

```

hw3_3a
.protect
.lib 'cic018.1' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
M0 Vout Vb Vdd Vdd P_18 W=5u L=1.2u m=1
M1 Vout Vin Gnd Gnd N_18 W=5u L=1.2u m=1
Vb Vb gnd 0.9
Vin Vin gnd 0.4
Vdd Vdd gnd 1.5

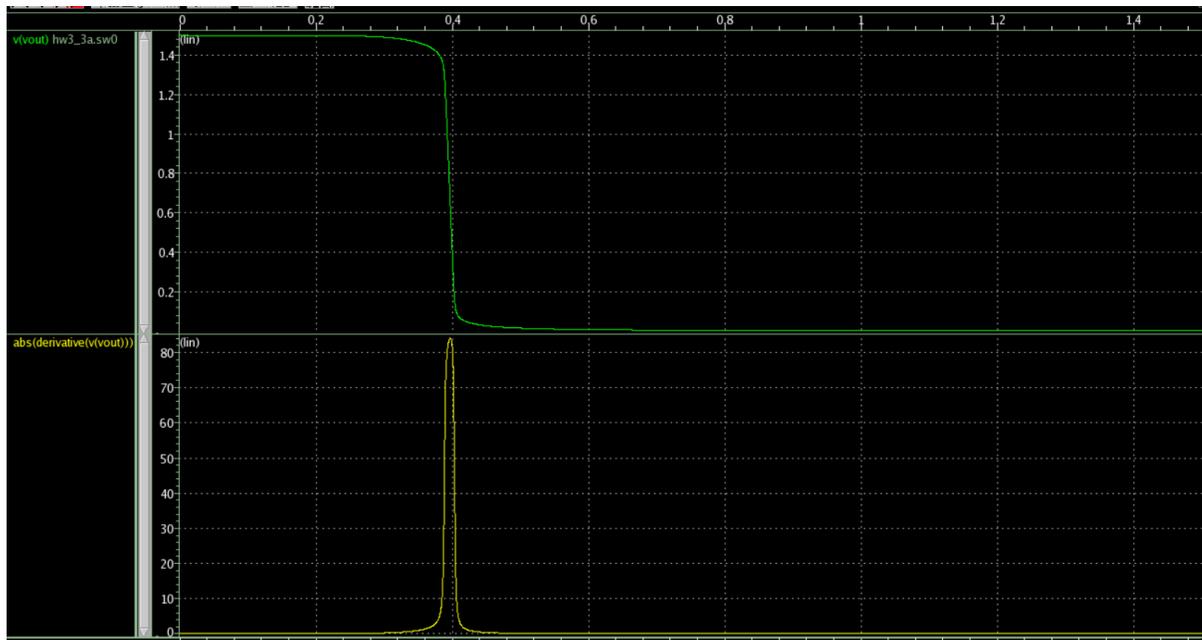
.op
.dc Vin 0 1.5 0.0001
.tf V(Vout) Vin
.probe V(Vout)
.end

```



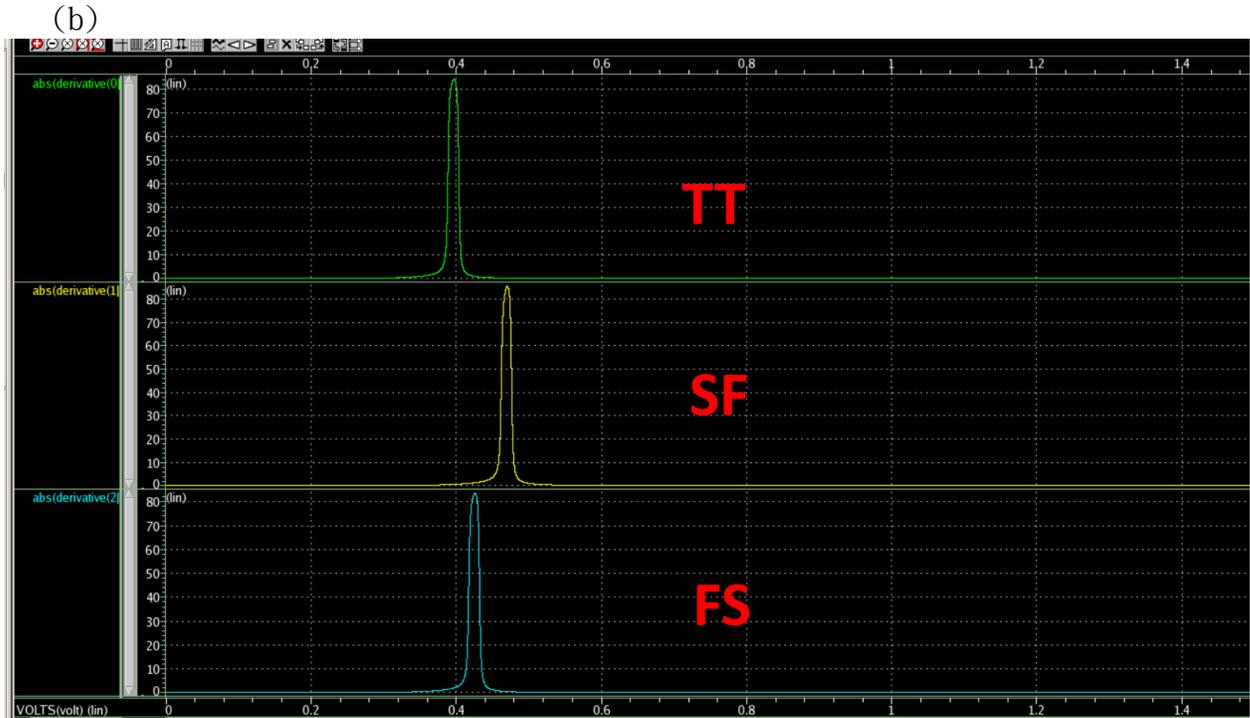
**** small-signal transfer characteristics

$v(vout)/vin$	=	-81.5138
input resistance at vin	=	$1.000e+20$
output resistance at $v(vout)$	=	1.8676x



Comment :

一開始我把兩顆mos的size設成 $W=5\mu\text{m}$, $L=0.5\mu\text{m}$ 結果gain一直上不去，且 V_{TH} 又很大，再加上此的 $gain = gm_1(r_{o1} // r_{o2})$ ，提高gain降低 V_{TH} 的方法便是使 Channel-length modulation 的影響減小，因此會來調整兩個mos的size成 $W=5\mu\text{m}$, $L=1.2\mu\text{m}$ 。

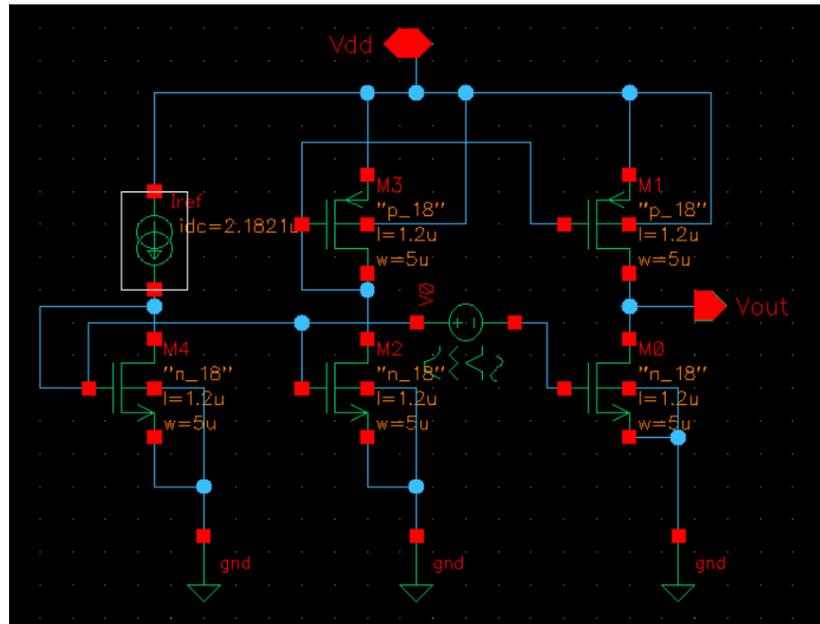


Comment :

三個模式的 gain 大致相同，只是產生最大值 gain 的 V_{in} 不同。

(c)

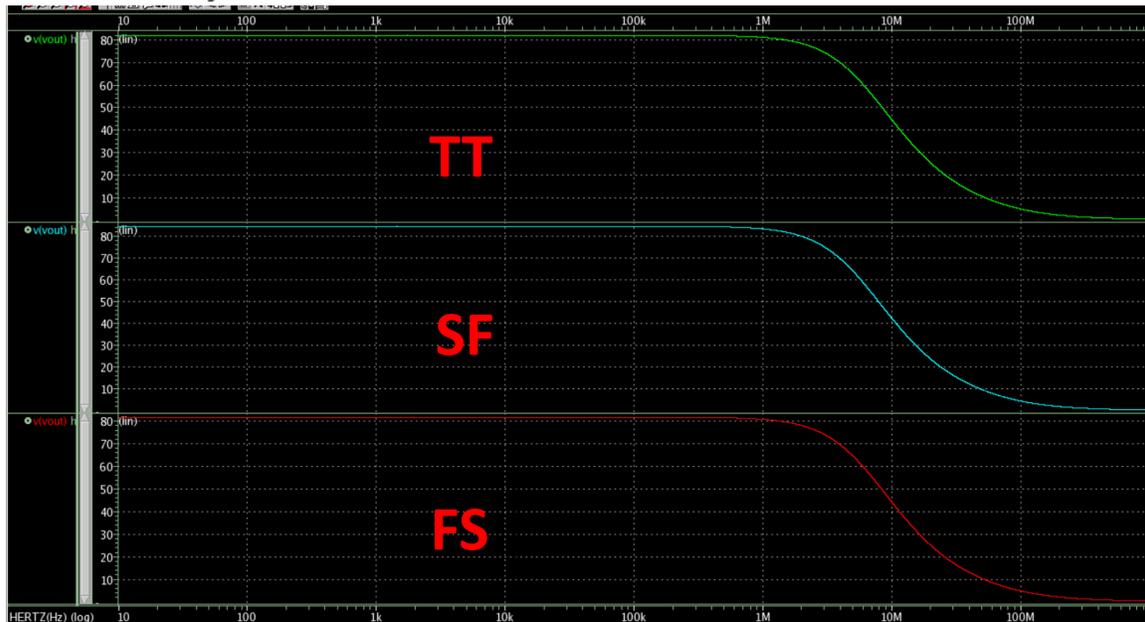
```
.protect
.lib 'cic018.' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
M0 Vout Vin2 gnd gnd N_18 W=5u L=1.2u m=1
M1 Vout net7 Vdd Vdd P_18 W=5u L=1.2u m=1
M2 net7 Vin1 gnd gnd N_18 W=5u L=1.2u m=1
M3 net7 net7 Vdd Vdd P_18 W=5u L=1.2u m=1
M4 Vin1 Vin1 gnd gnd N_18 W=5u L=1.2u m=1
Vin Vin1 Vin2 DC=0 AC=1
Vdd Vdd gnd 1.5
Iref Vdd Vin1 2.1821u
.op
.ac dec 10000 10 1G
.probe ac V(Vout)
.alter
.prot
.lib 'cic018.' SF
.alter
.prot
.lib 'cic018.' FS
.unprot
.end
```



```

subckt
element 0:m0      0:m1      0:m2      0:m3      0:m4
model    0:n 18.1  0:p 18.1  0:n 18.1  0:p 18.1  0:n 18.1
region  Saturati Saturati Saturati Saturati Saturati
id       2.4079u  -2.4079u  2.4079u  -2.4079u  2.1821u
ibs      -4.261e-22 2.631e-22 -4.261e-22 2.631e-22 -3.862e-22
ibd      -378.9751a 160.0112a -378.9751a 160.0112a -170.1878a
vgs      400.0663m -609.1313m 400.0663m -609.1313m 400.0663m
vds      890.8687m -609.1313m 890.8687m -609.1313m 400.0663m
vbs      0.         0.         0.         0.         0.
vth      373.8579m -492.6728m 373.8579m -492.6728m 377.1407m
vdsat    73.2960m -133.3468m 73.2960m -133.3468m 71.7660m
vod      26.2083m -116.4585m 26.2083m -116.4585m 22.9256m
beta     1.2823m  293.5846u  1.2823m  293.5846u  1.2826m
gam_eff  507.4459m 557.0846m 507.4459m 557.0846m 507.4459m
gm       47.2929u  30.1269u  47.2929u  30.1269u  43.6449u
gds     466.2577n 109.9030n 466.2577n 109.9030n 466.0162n
gmb     9.7294u  9.1386u  9.7294u  9.1386u  9.0787u
cdtot   6.5055f  5.9286f  6.5055f  5.9286f  7.1295f
cgtot   33.4129f 38.1628f 33.4129f 38.1628f 32.7466f
cstot   35.1274f 44.1570f 35.1274f 44.1570f 34.2208f
cbtot   20.3412f 20.9063f 20.3412f 20.9063f 20.9376f
cgs     26.6111f 33.3267f 26.6111f 33.3267f 25.8399f
cgd     1.8075f  1.8031f  1.8075f  1.8031f  1.8181f

```



Comment :

先用 I_{ref} 將 M4 上的電流 mirror(1:1)至 M2、M3 上，並利用 M3 和 M1 做 1:1 的 current mirror。

這題 M1_c 和 M0_c 的 W/L size 分別要套用(a)求出來的 M0_a 和 M1_a 的 W/L size、 I_{ref} 要套用(a)的 M1_a 的 drain current，因為在這樣的情況下能產生 >80 的 gain，並使 M1_c 和 M2_c 進入 saturation region。

(d)

Comment:

會發現使用 mirror current 做 bias voltage 比較不會受到 corner 的影響，使用 mirror current 較容易使 operation region 維持在 saturation，因為 current source 提供的是穩定電流加上固定的電阻，可以提供穩定的電壓，比起直接提供電壓源來的更好。

