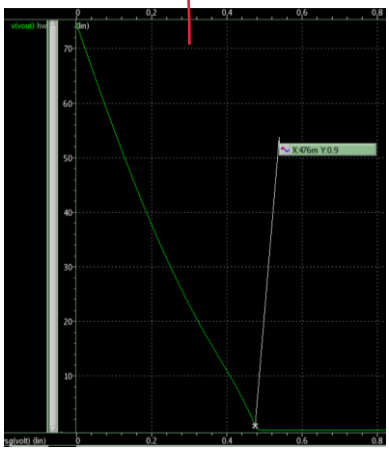
105060012 張育菘

HW2

1.

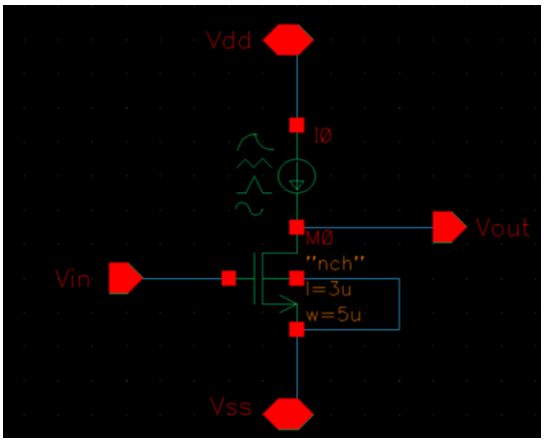


(a)

```
.protect
.lib 'cic018.l' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
.param  vsg=0 vss=0

M0 Vout Vin Vss Vss N_18 W=5u L=3u m=1
I0 Vdd Vout 5u
Vin Vin Vss 0.476
Vss Vss 0 vss
Vdd Vdd Vss 1.8

.op
.tf V(Vout) Vin
*.dc vsg 0 1.8 0.001
.probe V(Vout)
.end
```




```
****** operating point information tnom=  25.000 temp=  25.000 ******
****** operating point status is all       simulation time is     0.
   node    =voltage      node    =voltage      node    =voltage

+0:vdd     =   1.8000   0:vin     = 476.0000m 0:vout    = 889.0013m
+0:vss     =   0.

  ****      small-signal transfer characteristics

        v(vout)/vin                                 = -141.2082
        input resistance at             vin         =  1.000e+20
        output resistance at v(vout)                =    2.4161x
```

W=5um, L=3um, m=1, Vin=0.476mV, Vout=0.889mV, |gain|=141.2082>100

105060012 張育菘

(b)

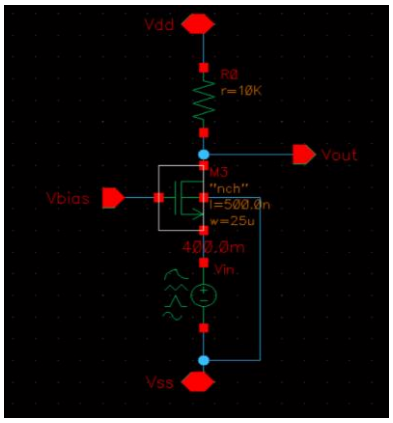
```
subckt
element  0:m0
model    0:n_18.1
region     Saturati
 id         5.0000u
 ibs      -8.848e-22
 ibd      -378.1803a
 vgs       476.0000m
 vds       889.0013m
 vbs         0.
 vth       336.9156m
 vdsat     136.3351m
 vod       139.0844m
 beta      502.8981u
 gam eff   507.4460m
 gm         58.4463u
 gds       413.8998n
 gmb        11.5710u
 cdtot       6.5283f
 cgtot      99.4439f
 cstot     104.5593f
 cbtot      35.9207f
 cgs        89.3663f
 cgd         1.6672f
```

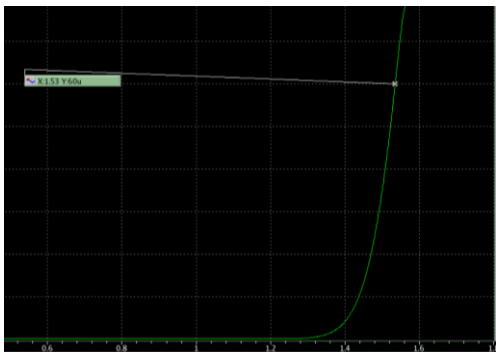
由 simulation result 可以看出 drain current 差不多等於 5 μA，而又因為 gain = $-gm \times r_o$ 以及 $r_o = 1/gds$，

gain = $-\frac{58.4463u}{413.8998n} = -141.2088$與 simulation result 非常接近，不過要小心 Mos 是否處再 Saturation region，由於剛開始時 W/L 沒有調好，讓 Mos 進入 Cut off，仍得到正確結果，可能是因為 static current 產生這樣的情形。

(c)

```
hw2_1c
.protect
.lib 'cic018.l' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
.param vss=0 vsg=0
R0 Vdd Vout 10K
M3 Vout Vbias Vin Vss N_18 W=25u L=0.5u m=1
Vin Vin Vss 0.9
Vdd Vdd Vss 1.8
Vss vss 0 vss
Vbias Vbias Vss 1.53
.op
*.dc Vsg 0 1.8 0.001
.tf V(Vout) Vin
.probe I(R0)
.end
```





105060012 張育菘

```
****** operating point information tnom=  25.000 temp=  25.000 ******
****** operating point status is all       simulation time is     0.
   node    =voltage      node    =voltage      node    =voltage

+0:vbias   =   1.5300  0:vdd     =   1.8000  0:vin     = 900.0000m
+0:vout    =   1.1984  0:vss     =   0.

   ****     small-signal transfer characteristics

        v(vout)/vin                                =    9.0063
        input resistance at              vin       =    1.1103k
        output resistance at v(vout)               =    8.1542k
```

W=25um, L=0.5um, m=1, Vin=0.9mV, Vbias=1.53V, |gain|=9.0063>8, Id=56.16uA(下圖)

(d)

```
subckt
element  0:m3
model    0:n_18.1
region     Saturati
 id         56.1559u
 ibs        -1.6522f
 ibd        -2.2735f
 vgs       630.0000m
 vds       338.4410m
 vbs      -900.0000m
 vth       580.4299m
 vdsat     101.0081m
 vod        49.5701m
 beta       16.3310m
 gam eff   528.2975m
 gm        970.9395u
 gds        22.6383u
 gmb       111.0258u
 cdtot      30.6836f
 cgtot      82.2569f
 cstot      90.4807f
 cbtot      56.9115f
 cgs        65.7064f
 cgd         8.9371f
```

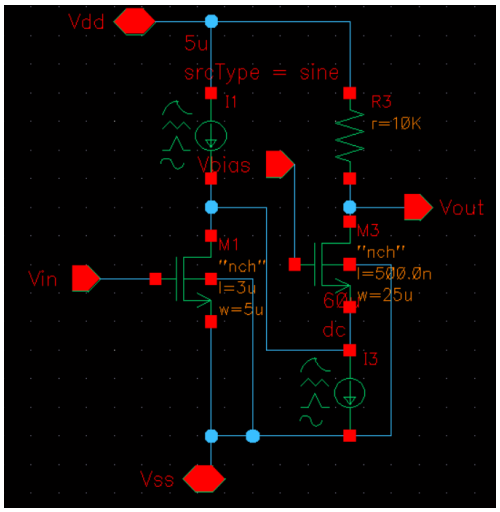
由 simulation result 可以看出 drain current 為 56μA，接近 60μA，並操作在 saturation region，另外

$$\text{gain} = \frac{1+(g_m+g_{mb})r_o}{r_o+R_D}R_D$$

$$= \frac{1+\left[\frac{970.9395\mu+111.0258\mu}{22.6383\mu}\right]}{\frac{1}{22.6383\mu}+10\text{k}} \times 10k \cong 9.007$$

與 simulation result 非常相近。這邊需要考慮 body effect，因此將g_{mb}列入考慮。

(e)



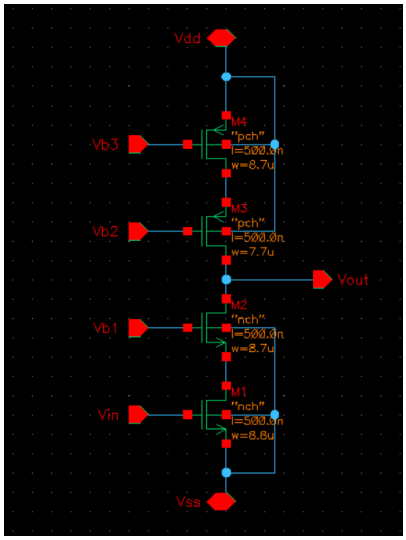
```
hw2_1e
.protect
.lib 'cic018.l' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
.param vss=0
R3 Vdd Vout 10K
M1 net1 Vin Vss Vss N_18 W=5u L=3u m=1
M3 Vout Vbias net1 Vss N_18 W=25u L=500.0n
m=1
I1 Vdd net1 5u
I3 net1 Vss 60u
Vin Vin Vss 0.476
Vbias Vbias Vss 1.535
Vss Vss 0 vss
.op
.tf V(Vout) Vin
.print V(net1)
.end
```

subckt		
element	0:m1	0:m3
model	0:n_18.1	0:n_18.1
region	Linear	Linear
id	-59.9920u	-4.9964u
ibs	4.134e-19	3.5547n
ibd	822.9008p	3.5893n
vgs	476.0000m	1.9069
vds	-371.9225m	-249.7109u
vbs	0.	371.9225m
vth	274.6055m	386.5286m
vdsat	441.6459m	905.3888m
vod	573.3170m	1.5206
beta	502.5681u	13.4046m
gam eff	498.8294m	498.8242m
gm	177.3096u	2.0030u
gds	49.7720u	20.0718m
gmb	19.4830u	512.5488n
cdtot	101.9357f	133.2932f
cgtot	105.8002f	109.3413f
cstot	26.6447f	156.9937f
cbtot	26.2715f	81.3169f
cgs	9.0363f	52.7901f
cgd	95.0852f	55.9707f

我把(a)和(b)兩個 saturaion 的電路接在一起卻產生 linear region 的情形，跟運算時理想的結果相差很多，是因為接在一起後 V_{GS3} 比原先增加了 1.3V，使得流經 M3 的 drain current 變大，使得兩個 mos 進入 linear region。

2.

(a)



subckt				
element	0:m1	0:m2	0:m3	0:m4
model	0:n_18.1	0:n_18.1	0:p_18.1	0:p_18.1
region	Saturati	Saturati	Saturati	Saturati
id	15.7543u	15.7543u	-15.7543u	-15.7543u
ibs	-2.585e-21	-51.0247a	147.6662a	1.597e-21
ibd	-56.8623a	-770.3741a	233.0997a	149.1848a
vgs	500.0000m	497.1457m	-752.2266m	-650.0000m
vds	82.8543m	1.1682	-201.2170m	-347.7734m
vbs	0.	-82.8543m	347.7734m	0.
vth	448.7626m	450.8929m	-598.7836m	-504.3094m
vdsat	95.2206m	93.0359m	-176.3864m	-164.3867m
vod	51.2374m	46.2528m	-153.4430m	-145.6906m
beta	5.6378m	4.9939m	1.1897m	1.2838m
gam eff	507.4460m	509.7168m	554.7496m	557.0846m
gm	244.4358u	277.9392u	156.2690u	169.3632u
gds	72.1751u	3.8626u	11.5508u	2.7027u
gmb	48.3342u	50.0636u	40.9484u	50.3598u
cdtot	15.1700f	9.4791f	11.2666f	11.0083f
cgtot	30.2650f	25.6113f	29.9288f	30.0761f
cstot	35.3752f	30.5018f	34.9189f	37.2072f
cbtot	27.0046f	20.9526f	21.3841f	24.3386f
cgs	23.5824f	20.0767f	24.9043f	24.9210f
cgd	3.9036f	2.8021f	3.5205f	3.2084f

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

     v(vout)/vin                               = -239.6931
     input resistance at             vin       =  1.000e+20
     output resistance at v(vout)              =    1.1940x
```

```
hw2_2a
.protect
.lib 'cic018.l' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
.param vss=0
M1 net16 Vin Vss Vss N_18 W=8.7u L=0.5u m=1
M2 Vout Vb1 net16 Vss N_18 W=7.7u L=0.5u m=1
M3 Vout Vb2 net15 Vdd P_18 W=8.7u L=0.5u m=1
M4 net15 Vb3 Vdd Vdd P_18 W=8.8u L=0.5u m=1
Vb3 Vb3 vss 1.15
Vb2 Vb2 vss 0.7
Vb1 Vb1 vss 0.58
Vin Vin vss 0.5
Vdd Vdd vss 1.8
Vss Vss 0 vss
.op
.tf V(Vout) Vin
.end
```

步驟：

(1)先將四個 mos 規格統一設為 W=5um, L=0.5um, m=1，先調 bias current 使四個 mos 進入 Saturation region($V_{GS}-V_{TH}>V_{DS}$)，但是須注意要把V_{ov}(Hspice 為 V_{od})調小，因為$V_{out,swing}=V_{DD}-V_{ov1}-V_{ov2}-V_{ov3}-V_{ov4}$($V_{ov}=V_{GS}-V_{TH}$)。

(2)以上步驟完成後，由於$\text{gain}=-g_{m1}[(g_{m2}r_{o2}r_{o1})||(g_{m3}r_{o3}r_{o4})]$和$\text{gm}=u_n c_{ox}\frac{W}{L}V_{ov}=\frac{2I_D}{V_{ov}}$，我會先調 M1 的 W，因為 g_{m1} 對 gain 的影響力比較大。至於為何先調 gain 的原因是因為若 gain 先調到府和的值時，此時的 I_D 通常會比要求來的小，因此調高 I_D，gain 也會順便被調大。

(3)以上步驟完成後，由於$I_D=\frac{1}{2}*u_n c_{ox}\frac{W}{L}(V_{GS}-V_{TH})^2$，便要開始調整 W/L 使 bias current 接近 15uA。

結論：

M1:W=8.7u, L=0.5u, m=1, Vin=0.5V
M2:W=7.7u, L=0.5u, m=1, Vb1=0.58V

M3:W=8.7u, L=0.5u, m=1, Vb2=0.7V
M4:W=8.8u, L=0.5u, m=1, Vb3=1.15V
$|\text{gain}| = 239.6931 = 20\log(239.6931)\,dB = 47.59311dB > 45\text{dB}$
$V_{out,swing}$
$= 1.8 - 51.2374m - 46.2528m - 153.4430m - 145.6906m$
$= 1.4033762V > 1V$
Bias current = 15.7543uA ≈ 15uA

(b)

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

    v(vout)/vin                              = -239.6931
    input resistance at              vin     =  1.000e+20
    output resistance at v(vout)             =  596.9913k
```

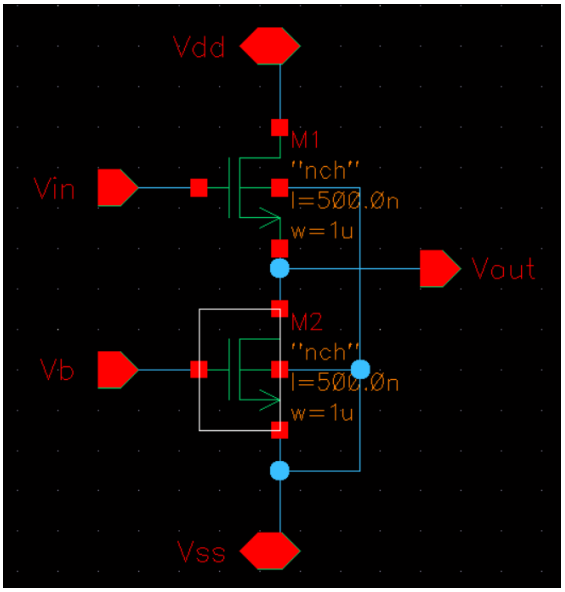
subckt				
element	0:m1	0:m2	0:m3	0:m4
model	0:n_18.1	0:n_18.1	0:p_18.1	0:p_18.1
region	Saturati	Saturati	Saturati	Saturati
id	31.5086u	31.5086u	-31.5086u	-31.5086u
ibs	-5.170e-21	-102.0493a	295.3324a	3.195e-21
ibd	-113.7247a	-1.5407f	466.1994a	298.3697a
vgs	500.0000m	497.1457m	-752.2266m	-650.0000m
vds	82.8543m	1.1682	-201.2170m	-347.7734m
vbs	0.	-82.8543m	347.7734m	0.
vth	448.7626m	450.8929m	-598.7836m	-504.3094m
vdsat	95.2206m	93.0359m	-176.3864m	-164.3867m
vod	51.2374m	46.2528m	-153.4430m	-145.6906m
beta	11.2756m	9.9879m	2.3793m	2.5675m
gam eff	507.4460m	509.7168m	554.7496m	557.0846m
gm	488.8716u	555.8784u	312.5380u	338.7263u
gds	144.3502u	7.7252u	23.1016u	5.4053u
gmb	96.6684u	100.1271u	81.8967u	100.7196u
cdtot	30.3400f	18.9583f	22.5332f	22.0165f
cgtot	60.5301f	51.2226f	59.8577f	60.1522f
cstot	70.7505f	61.0037f	69.8378f	74.4143f
cbtot	54.0092f	41.9053f	42.7681f	48.6773f
cgs	47.1648f	40.1534f	49.8086f	49.8419f
cgd	7.8071f	5.6042f	7.0410f	6.4168f

由此我們可以發先，bias current 是(a)小題的 2 倍，gain 與(a)相同，連$V_{out,swing}$也與(a)相同。這是因為 m=2 表示兩顆 mos 並聯，因此 bias current 會變成原本的兩倍大，gm 會變成 2 倍大，但是r_o會變成原本的 0.5 倍大，所以 gain 會維持不變，最後因為兩顆 mos 並聯並不會改變跨壓，因此$V_{out,swing}$不會變。

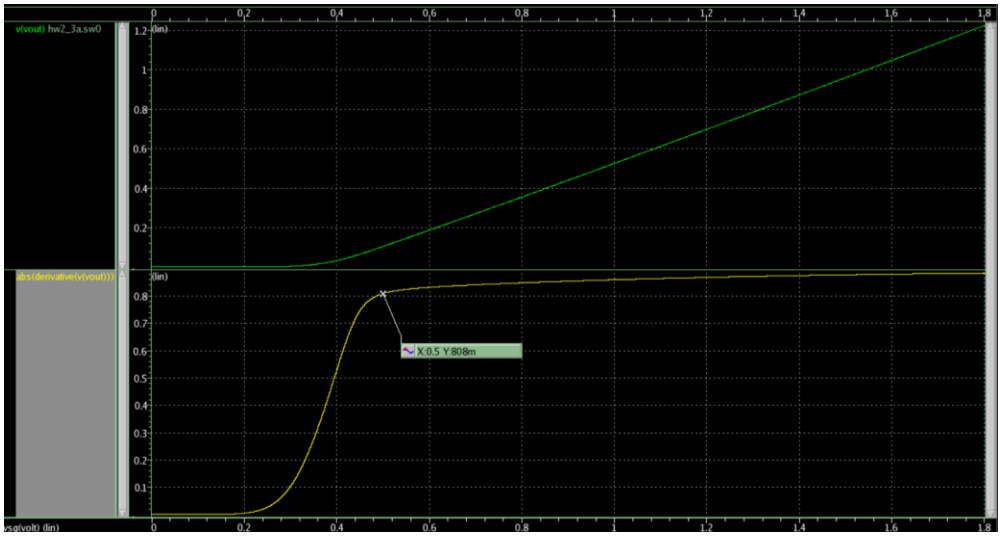
3.

(a)

```
hw2_3a
.protect
.lib 'cic018.l' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
.param vss=0 vsg=0
M1 Vdd Vin Vout Vss N_18 W=1u L=0.5u m=1
M2 Vout Vb Vss Vss N_18 W=1u L=0.5u m=1
Vb Vb vss 0.4
Vin Vin vss Vsg
Vdd Vdd vss 1.8
```



```
Vss Vss 0 vss
.op
.dc vsg 0 1.8 0.001
.tf V(Vout) Vin
.probe V(Vout)
.end
```



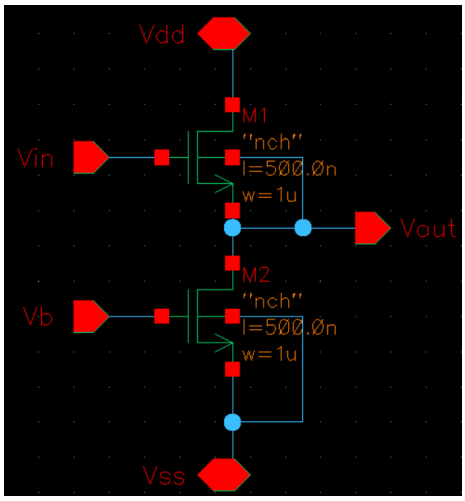
source-follower amplifier 的 gain<1, 所以我們要調控 V_b 和 W/L 使得 Vin 在 0.5V~1.8V 時都能產生>0.96 的 gain。

方法：由於 Vin 在低壓時易使 M2 進入 triode region，所以要使 M2 的 over-drive voltage 調小→V_b 壓低，使 Vov 變小，調整 W/L(size)

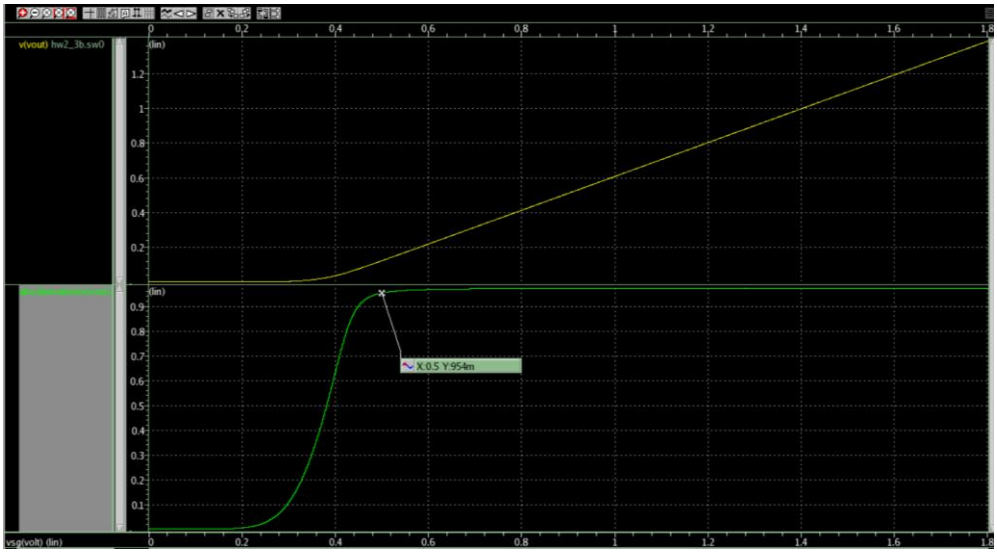
而且後來我們也發現，當 V_b(bias voltage)調小時，此電路的 gain 也越容易>0.8。

(b)

```
hw2_3b
.protect
.lib 'cic018.l' TT
.unprotect
.temp 25
.option post
.param vss=0 vsg=0
M1 Vdd Vin Vout Vout N_18 W=1u L=0.5u m=1
M2 Vout Vb Vss Vss N_18 W=1u L=0.5u m=1
Vb Vb vss 0.4
Vin Vin vss vsg
Vdd Vdd vss 1.8
Vss Vss 0 vss
.op
```



```
.dc vsg 0 1.8 0.001
.tf V(Vout) Vin
.probe V(Vout)
.end
```



Vin 在 0.5V 時的 gain 就已經高達 0.954，也就是接近 0.96，會這樣做的原因是方便後面比較有無 body effect 的 gain 比較。

未達標

(c)

兩者主要的差別在於有無 body effect 的問題，當有 body effect 的問題時，V_{TH} 會隨著 V_{SB} 的大小而改變。

有 body effect 時gain $\approx \frac{g_m}{g_m+g_{mb}}$，沒有 body effect 時gain $\approx \frac{g_m}{g_m+1}$，因此有 body effect 的 gain 會比較大，也就可能會出現像我實驗的那樣，(a)和(b)的 mos 的 size 都一樣，但是(b)在 saturation region 的 gain 比(a)還高。