

CMOS 模拟集成电路原理 第四周作业

范云潜 18373486

微电子学院 184111 班

日期：2020 年 10 月 1 日

作业内容：1. 自由确定晶体管的尺寸，通过仿真寻找 NMOS 和 PMOS 的 $1/f$ 噪声的系数 KF，以及热噪声系数 γ

2. 对一偏置电流为 $100\mu A$ 的五管 OTA，通过晶体管的设计，使其等效输入噪声的 80% 来源于差分对 M1 和 M2。

List of Figures

1	基本电路设计以及偏置	2
2	pMOS $V_{out} - V_{in}$ 图像	2
3	nMOS $V_{out} - V_{in}$ 图像	3
4	pMOS 静态工作点	4
5	nMOS 静态工作点	5
6	pMOS 噪声结果	5
7	nMOS 噪声结果	6
8	OTA 电路	6
9	OTA 扫描共模电压	7
10	各晶体管状态	7
11	输出电压 DC 扫描	8
12	pMOS 宽度设为变量	8
13	$W_p = 3520n$ 噪声输出	9
14	$W_p = 3300n$ 噪声输出	9

Problem 1

测试平台：新建一个有源负载的单晶体管放大器，设计的长宽比以及使得两晶体管均工作在饱和区的电压偏置如图 1 所示。按照需要分别将 nMOS 与 pMOS 的输入电压作为系统输入以及噪声的等效源，其特性如图 2 图 3，可以确定我们的静态工作点，如图 4。并且，需要在低频下进行仿真来计算闪烁噪声。

核心公式为

$$KF = \bar{V}_i^2 W L C_{ox}^2 f$$

其中 $V_i^2 * A_v^2 = V_o^2$

$$\gamma = \frac{\bar{I}^2}{4kT g_m}$$

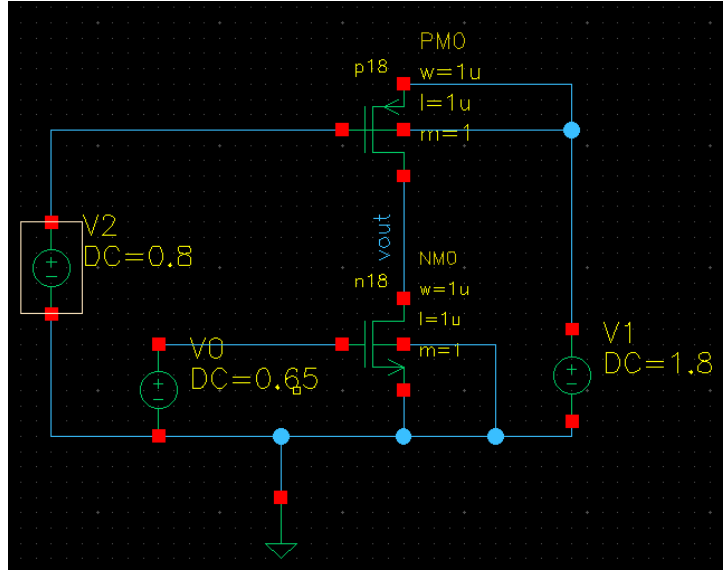


图 1: 基本电路设计以及偏置

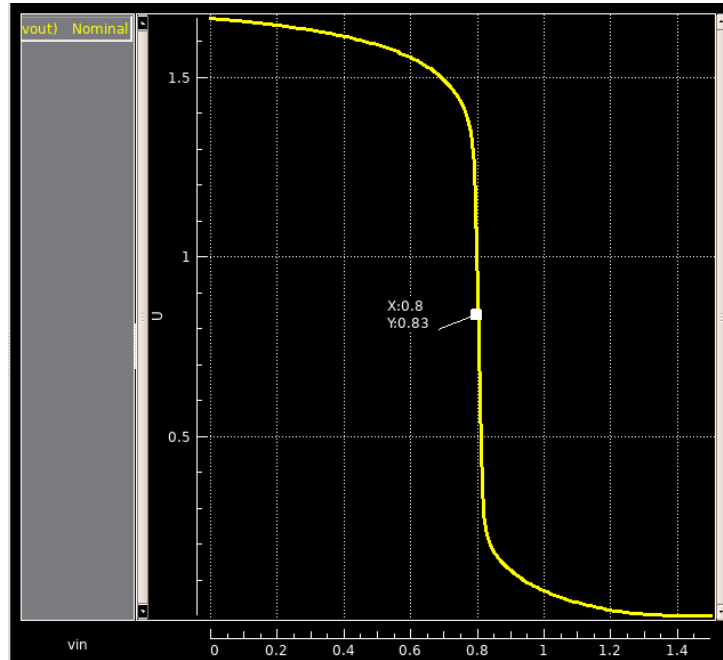


图 2: pMOS $V_{out} - V_{in}$ 图像

根据静态工作点获得 g_m 与 C_{gs} ，根据 1 Hz 的噪声分析获得 i_d 与输出电阻 r_x

设置 pMOS 的输入为 V_{in} 并设置静态工作点为 0.8 V，建立 AC 仿真与 NOISE 仿真，得到结果如 图 6，在 1 Hz 下带入数据并换算单位得到 $KF = 4.274180e - 30 C^2/cm^2$ ， $\gamma = 0.784253$

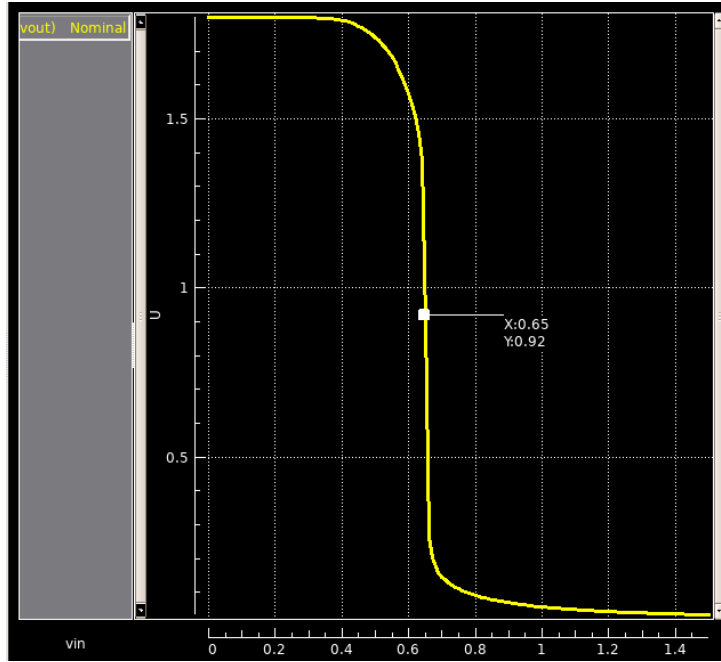


图 3: nMOS $V_{out} - V_{in}$ 图像

设置 nMOS 的输入为 V_{in} 并设置静态工作点为 0.65 V，建立 AC 仿真与 NOISE 仿真，得到结果如 图 7，在 1 Hz 下带入数据并换算单位得到 $KF = 3.652783e - 31 C^2/cm^2$ ， $\gamma = 0.654056$ 最后， γ 值与教材较为吻合， KF_n 吻合较好， KF_p 吻合较差。

Listing 1: γ 的计算

```
% nmos 1hz

vd = 2.1533e-12;
rx = 1.7325e6;
id = vd/rx/rx;
k = 1.3804e-23;
T = 300;
gm = 66.2151e-6;
gam = id/4/k/T/gm;
printf("nmos gamma %f\n", gam);

% pmos 1hz

vd = 1.1199e-12;
rx = 1.7474e6;
id = vd/rx/rx;
k = 1.3804e-23;
T = 300;
gm = 28.2327e-6;
gam = id/4/k/T/gm;
printf("pmos gamma %f\n", gam);
```

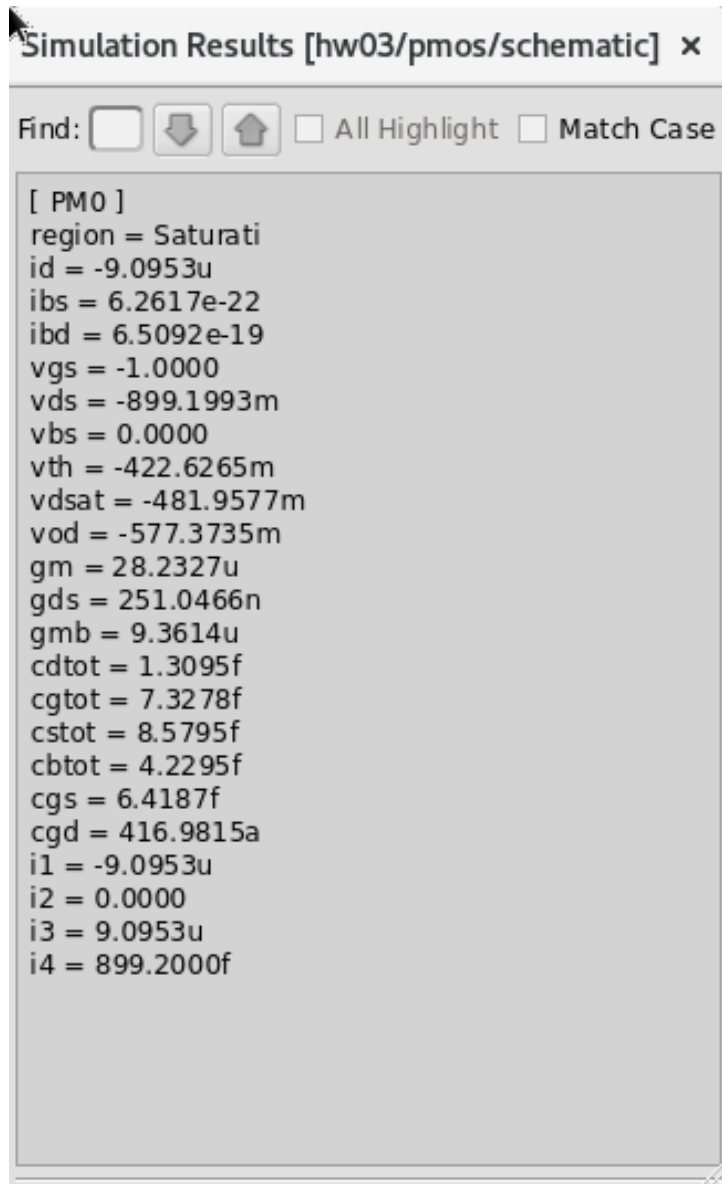


图 4: pMOS 静态工作点

Listing 2: KF 的计算

```
% nmos1hz
fn=713.4537e-9;
av=117.3763;
w=1e-6*100;
l=1e-6*100;
cgs=5.5991e-15;
cox=1.5*cgs/w/l;
f=1;
kf=fn/av/av*w*l*cox*cox*f;
printf("nmos kf is %e\n", kf);

% pmos 1hz
fn=1.1552e-6;
```

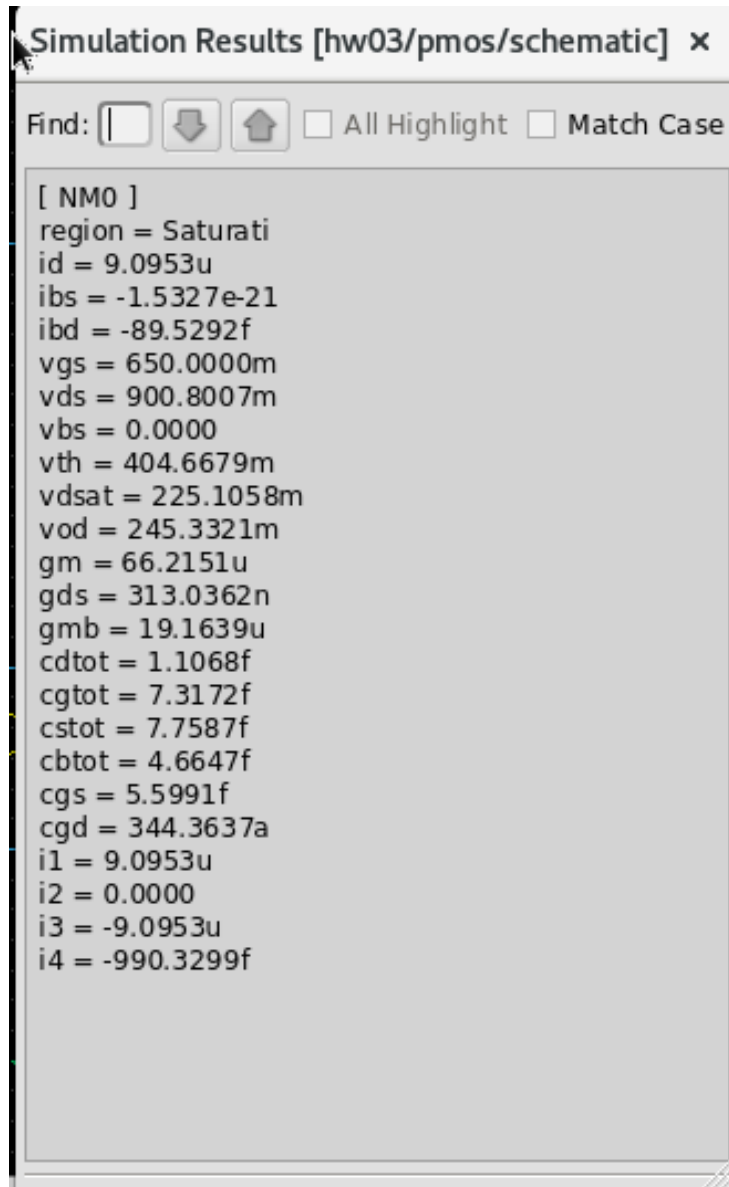


图 5: nMOS 静态工作点

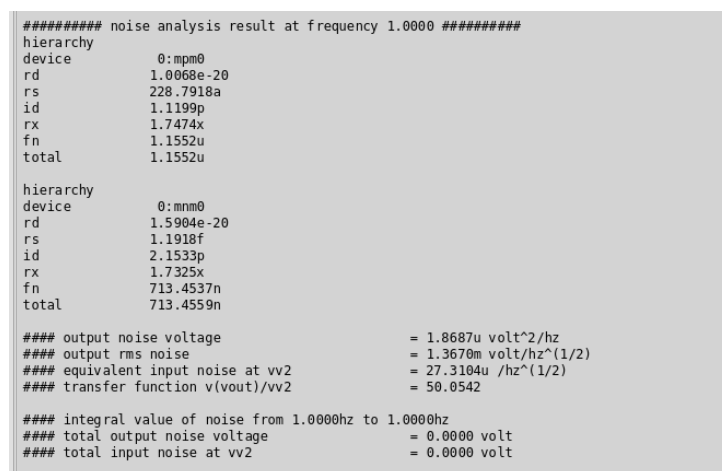


图 6: pMOS 噪声结果

```

##### noise analysis result at frequency 1.0000 #####
hierarchy
device      0:mpm0
rd          1.0068e-20
rs          228.7918a
id          1.1199p
rx          1.7474x
fn          1.1552u
total       1.1552u

hierarchy
device      0:mnm0
rd          1.5904e-20
rs          1.1918f
id          2.1533p
rx          1.7325x
fn          713.4537n
total       713.4559n

#### output noise voltage          = 1.8687u volt^2/hz
#### output rms noise              = 1.3670m volt/hz^(1/2)
#### equivalent input noise at vv0 = 11.6463u /hz^(1/2)
#### transfer function v(vout)/vv0 = 117.3763

#### integral value of noise from 1.0000hz to 1.0000hz
#### total output noise voltage    = 0.0000 volt
#### total input noise at vv0      = 0.0000 volt

```

图 7: nMOS 噪声结果

```

av=50.0542;
w=1e-6*100;
l=1e-6*100;
cgs=6.4187e-15;
cox=1.5*cgs/w/l;
f=1;
kf=fn/av/av*w*l*cox*cox*f;
printf("pmos kf is %e\n", kf);

```

Problem 2

搭建电路图如图 8，对共模电平进行扫描来获得合适的大信号电压如图 9，设置共模电平为 1.4 V，通过 op 仿真确定工作区，如图 10，全部饱和。

设置静态工作点共模电压为 1.4 V 如图 11

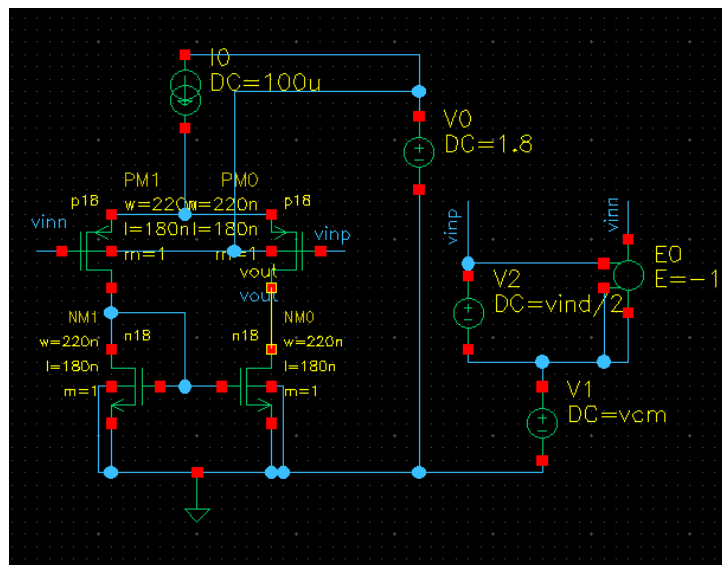


图 8: OTA 电路

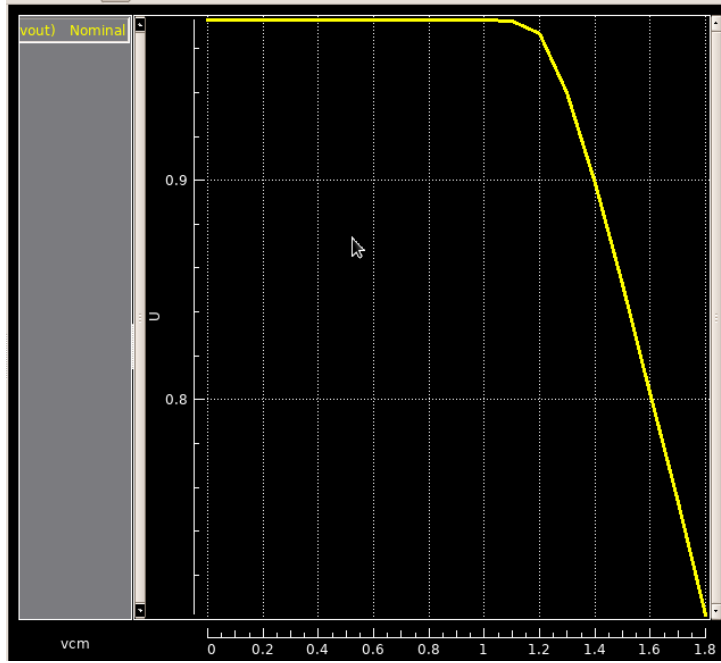


图 9: OTA 扫描共模电压

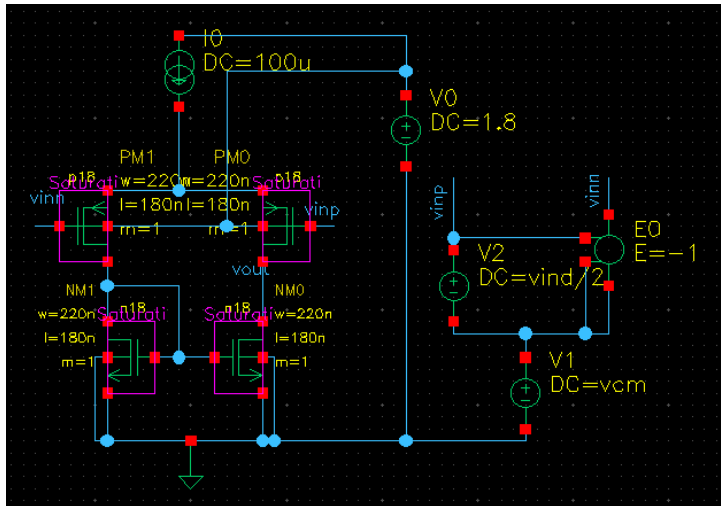


图 10: 各晶体管状态

核心公式为

$$V_{ieq}^2 = \frac{I_{out}^2}{g_m^2} = 2V_{in}^2 \left(1 + \frac{g_{m,n}}{g_{m,p}}\right)$$

所以为了使得来源于 pMOS 差分对的噪声占比 80%

$$\frac{g_{m,n}}{g_{m,p}} = 0.25$$

又

$$g_m = \sqrt{2\mu C_{ox} \frac{W}{L} I_D}$$

在假定其他指标不受影响的情况下，调节 $W:L$ 。

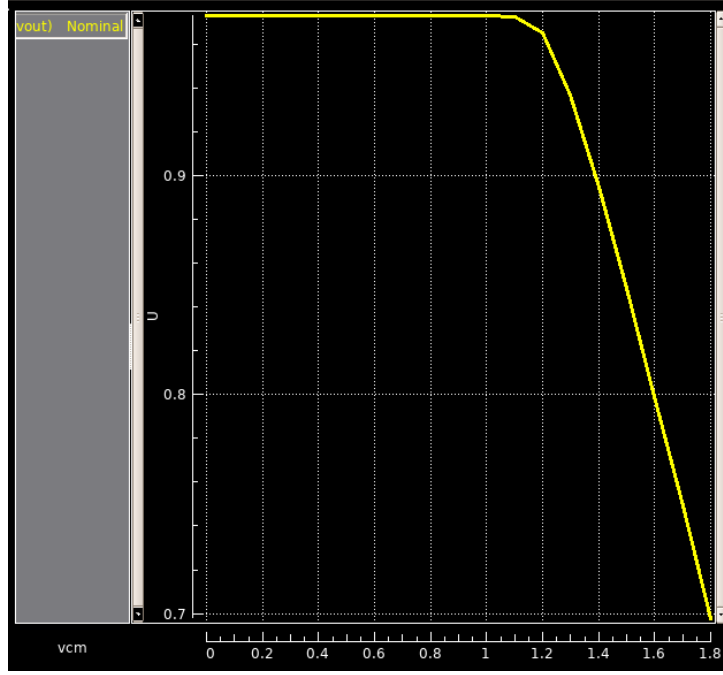


图 11: 输出电压 DC 扫描

那么近似有

$$(W/L)_n : (W/L)_p = 1 : 16$$

设置 pMOS 宽度为 wid 便于调节宽度，如图 12。

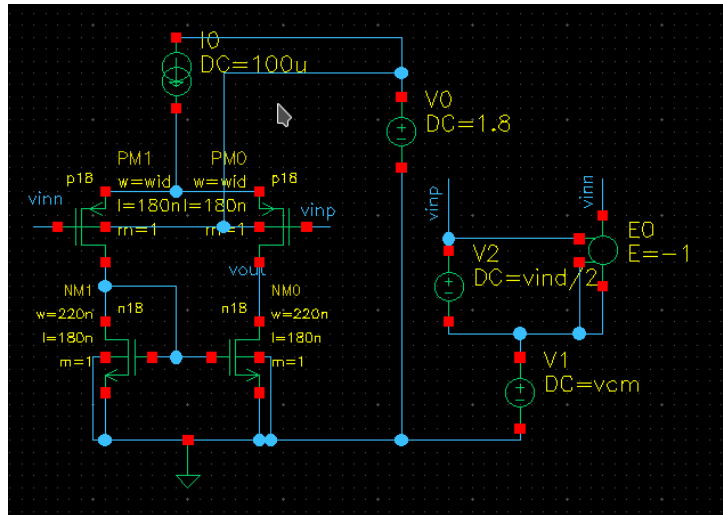


图 12: pMOS 宽度设为变量

设宽度为 $220n * 16 = 3520n$ 在 1 Hz 下的噪声比例为 76.712%，如图 13。微调，设宽度为 $3300n$ 在 1 Hz 下噪声比例为 79.847%，如图 14。


```

id          18.4970f
rx          63.9660k
fn          288.6698n
total       288.6698n

hierarchy
device      0:mpm1
rd          1.1868e-20
rs          31.7548a
id          18.4970f
rx          63.9660k
fn          288.6698n
total       288.6698n

hierarchy
device      0:mn0
rd          2.0858e-20
rs          17.4855a
id          9.4663f
rx          67.5763k
fn          85.3302n
total       85.3302n

hierarchy
device      0:mn1
rd          1.6609e-20
rs          13.9229a
id          7.5376f
rx          60.3004k
fn          67.9445n
total       67.9445n

#### output noise voltage           = 730.6144n volt^2/hz
#### output rms noise               = 854.7599u volt/hz^(1/2)
#### equivalent input noise at vv2  = 17.0419u /hz^(1/2)
#### transfer function v(vout)/vv2  = 50.1563

```

图 13: $W_p = 3520n$ 噪声输出

```

hierarchy
device      0:mpm0
rd          1.1808e-20
rs          30.8735a
id          18.5590f
rx          65.0121k
fn          313.0495n
total       313.0496n

hierarchy
device      0:mpm1
rd          1.1808e-20
rs          30.8735a
id          18.5590f
rx          65.0121k
fn          313.0495n
total       313.0496n

hierarchy
device      0:mn0
rd          2.1508e-20
rs          18.0298a
id          9.7609f
rx          68.6200k
fn          87.9864n
total       87.9864n

hierarchy
device      0:mn1
rd          1.7188e-20
rs          14.4091a
id          7.8008f
rx          61.3441k
fn          70.3169n
total       70.3169n

#### output noise voltage           = 784.4024n volt^2/hz
#### output rms noise               = 885.6650u volt/hz^(1/2)

```

图 14: $W_p = 3300n$ 噪声输出