

东南大学电子科学与工程学院

实 验 报 告

课程名称： 集成电路CAD

实验名称： 差分放大器设计

姓 名： 孙寒石

学 号： 06219109

实验地点： 东南大学无锡国际校区

实验时间： 2022-4-14

评定成绩：

审阅教师：

实验十 · 差分放大器设计

1 实验目的

- 掌握差分放大器的设计方法；
- 掌握差分放大器的调试与性能指标的测试方法。

2 预习要求

- 根据指标要求，设计并计算电路的有关参数；
- 画出所设计的电路，列出元件的值；
- 制定出实验方案，选择实验用的仪器设备。

3 差分放大器的设计方法

- 确定放大电路（选择场效应管）；
- 手工计算场效应管的直流转移特性曲线上的特征点坐标，并将特性曲线描绘在方格纸上，在曲线上确定出 MOS 管的饱和区，确定输入电压、输出电压的范围；
- 确定静态工作点 $Q: (V_{I_{min}} + V_{I_{max}})/2$
- 确定电路中其他参数

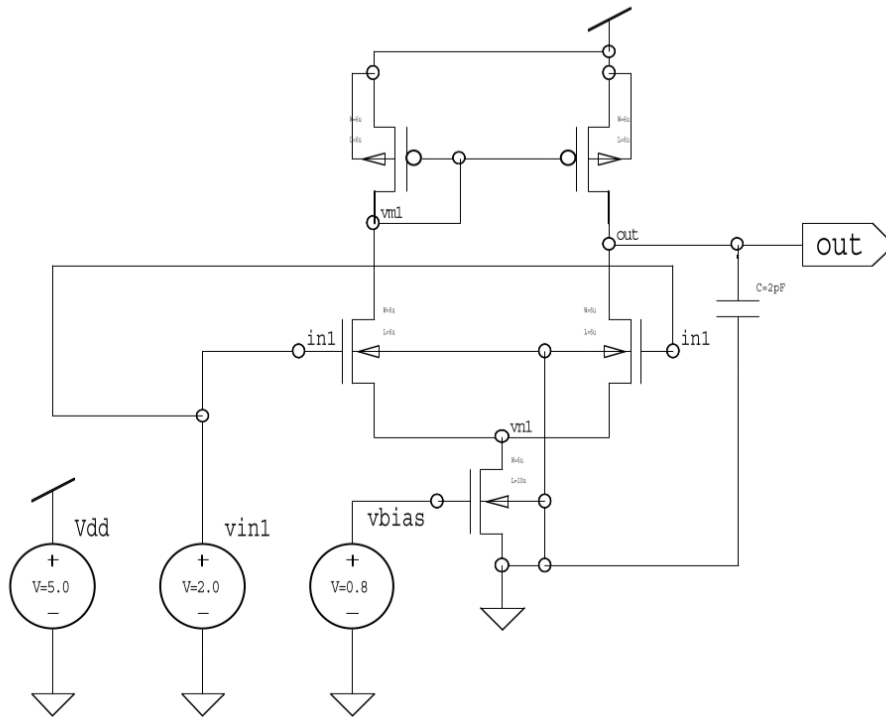
4 实验内容及步骤（实验设计指标）

- 按以下指标要求设计一个差分放大器。
 - 电压放大倍数 $|A_u| \geq 100$ ；
 - 负载电阻 $R = 10k\Omega$ ；
 - 下限频率 $f_L \leq 20Hz$ ，上限频率 $f_H \geq 200kHz$
- 对所设计的电路进行设计、调试。
- 对电路的性能指标进行测试仿真，并对测量结果进行验算和误差分析。

5 设计过程

5.1 S-Edit 电路图

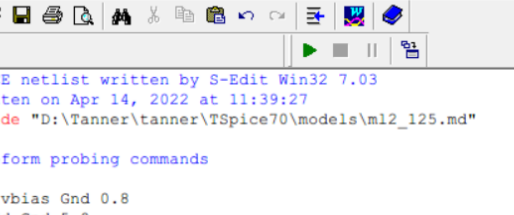
根据需要，我们可以在 S-Edit 设计出如下的电路图：



5.2 T-SPICE Simulation

5.2.1 模电压扫描

共模电压扫描的 SPICE 文件如下:



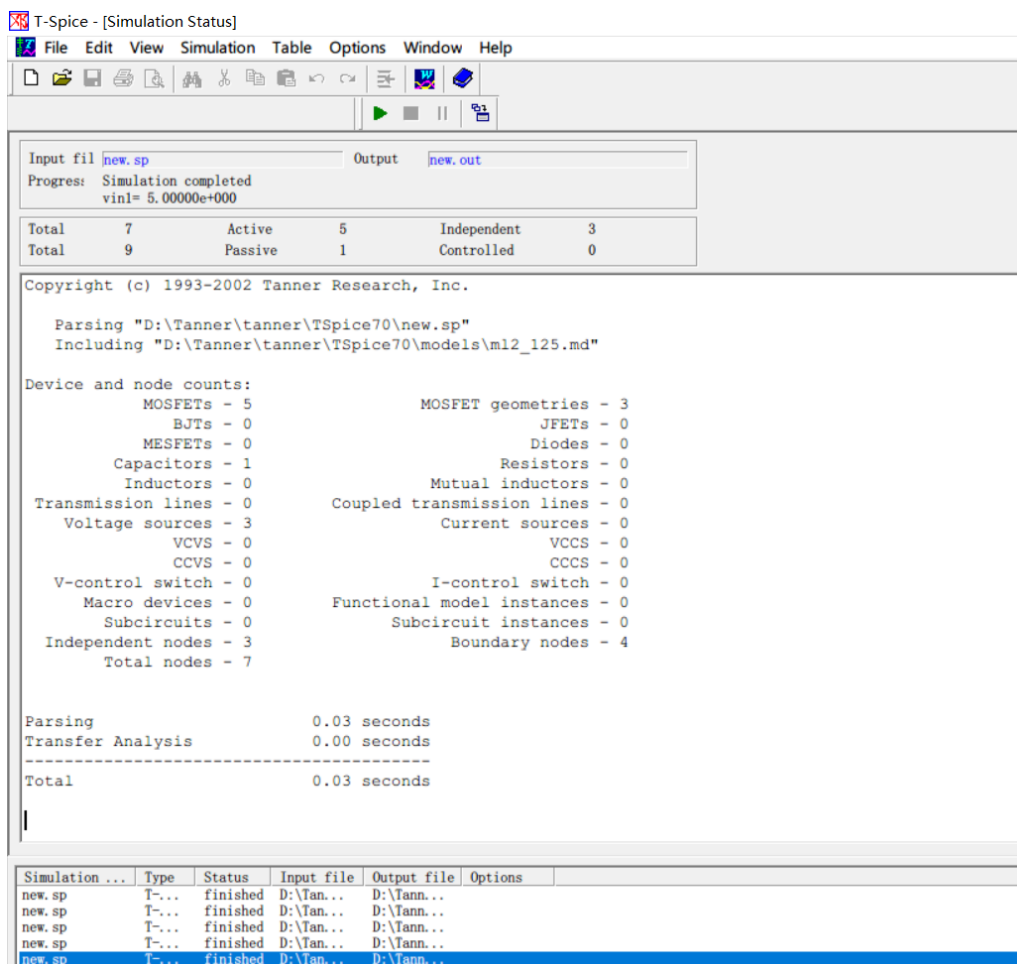
The screenshot shows the T-Spice software interface. The title bar reads "T-Spice - [new.sp]". The menu bar includes "File", "Edit", "View", "Simulation", "Table", "Options", "Window", and "Help". The toolbar contains various icons for file operations (new, open, save, print, find), simulation (run, stop, pause, single step), and editing (undo, redo, copy, paste). The main text area displays a netlist file with the following content:

```
* SPICE netlist written by S-Edit Win32 7.03
* Written on Apr 14, 2022 at 11:39:27
.include "D:\Tanner\tanner\TSpice70\models\ml2_125.md"

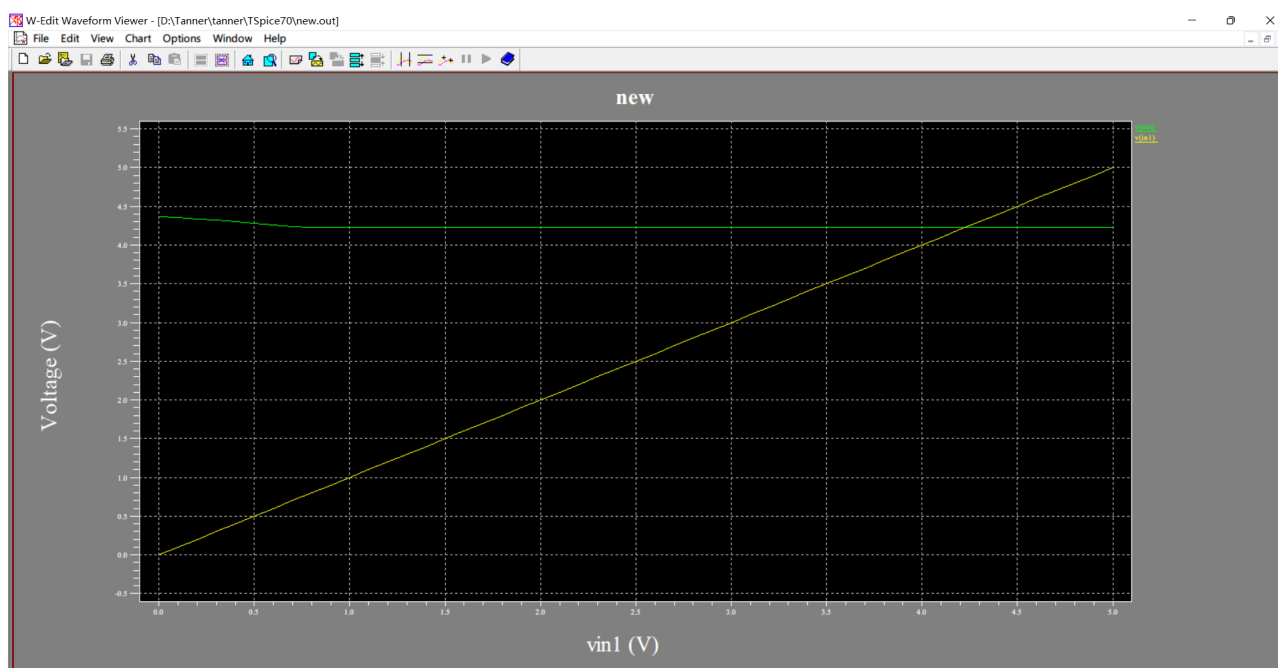
* Waveform probing commands
.probe
vbias vbias Gnd 0.8
Vdd Vdd Gnd 5.0
vin1 in1 Gnd 2.5
.dc vin1 0 5 0.1
.print dc in1 out

*Main circuit: opamp
ccomp out Gnd 2pf
mn1 vn1 vbias Gnd nmos L=10u W=6u1
mn2 vm1 in1 vn1 Gnd nmos L=6u W=6u
mn3 out in1 vn1 Gnd nmos L=6u W=6u
mp1 vm1 vml Vdd Vdd pmos L=6u W=6u
mp2 out vml Vdd Vdd pmos L=6u W=6u
* End of main circuit: opamp
```

对电源进行设置之后，利用 T-SPIICE 进行仿真，仿真状态结果如下图：



我们还可以用 W-Edit 来观察实验的仿真波形。



5.2.2 小信号分析

小信号分析的 SPICE 文件如下:

```
T-Spice - [new.sp]
File Edit View Simulation Table Options Window Help

* SPICE netlist written by S-Edit Win32 7.03
* Written on Apr 14, 2022 at 11:39:27
.include "D:\Tanner\tanner\TSpice70\models\ml2_125.md"

* Waveform probing commands
.probe
vbias vbias Gnd 0.8
Vdd Vdd Gnd 5.0
vin2 in2 in1 1
vin1 in1 Gnd 2.5
.dc vin2 -2.5 2.5 0.02
.print dc out

*Main circuit: opamp
ccomp out Gnd 2pF
mn1 vn1 vbias Gnd Gnd nmos L=10u W=6u
mn2 vm1 in1 vn1 Gnd nmos L=6u W=6u
mn3 out in2 vn1 Gnd nmos L=6u W=6u
mp1 vm1 vm1 Vdd Vdd pmos L=6u W=6u
mp2 out vm1 Vdd Vdd pmos L=6u W=6u
* End of main circuit: opamp
```

对电源进行设置之后，利用 T-SPICE 进行仿真，仿真状态结果如下图：

T-Spice - [Simulation Status]

File Edit View Simulation Table Options Window Help

Input file: new.sp Output: new.out

Progress: Simulation completed
vin2= 2.50000e+000

Total	8	Active	5	Independent	4
Total	10	Passive	1	Controlled	0

Copyright (c) 1993-2002 Tanner Research, Inc.

Parsing "D:\Tanner\tanner\TSpice70\new.sp"
Including "D:\Tanner\tanner\TSpice70\models\ml2_125.md"

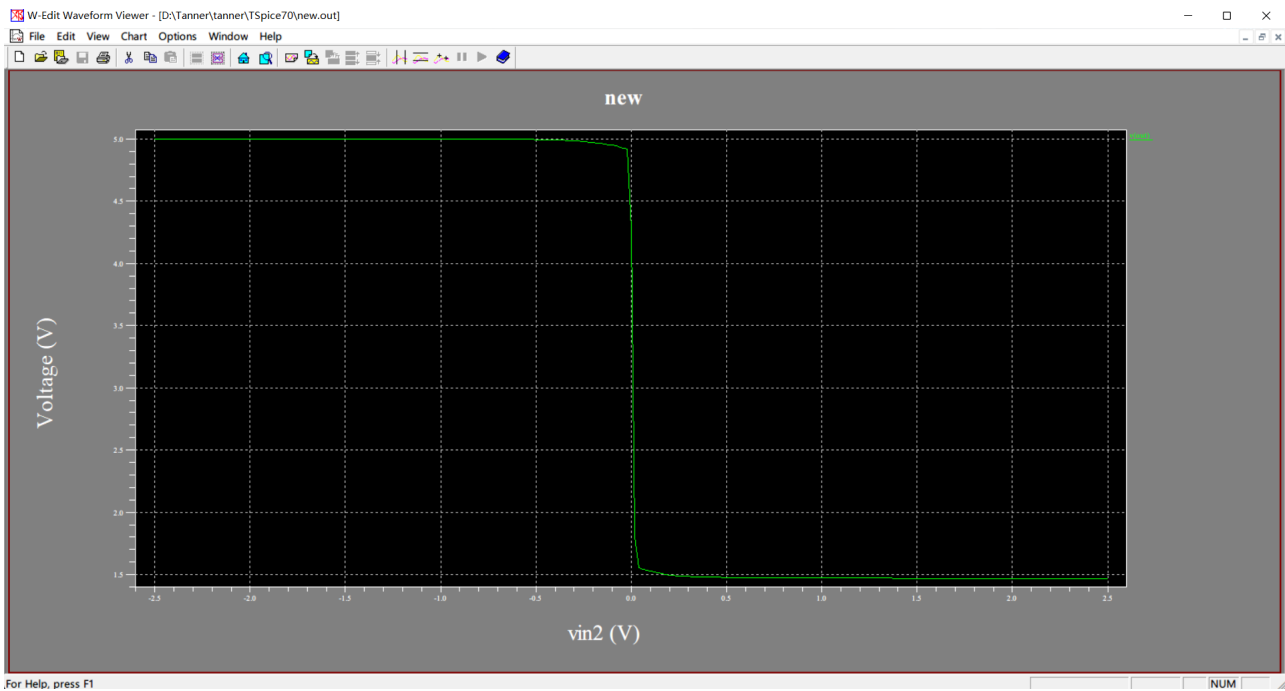
Device and node counts:

MOSFETs - 5	MOSFET geometries - 3
BJTs - 0	JFETs - 0
MESFETs - 0	Diodes - 0
Capacitors - 1	Resistors - 0
Inductors - 0	Mutual inductors - 0
Transmission lines - 0	Coupled transmission lines - 0
Voltage sources - 4	Current sources - 0
VCVS - 0	VCCS - 0
CCVS - 0	CCCS - 0
V-control switch - 0	I-control switch - 0
Macro devices - 0	Functional model instances - 0
Subcircuits - 0	Subcircuit instances - 0
Independent nodes - 3	Boundary nodes - 5
Total nodes - 8	

Parsing 0.00 seconds
Transfer Analysis 0.02 seconds

Total 0.02 seconds

我们还可以用 W-Edit 来观察实验的仿真波形。



可以看到，确实和预想的结果是完全一致的！

5.2.3 动态调整

动态调整的 SPICE 文件如下：

```

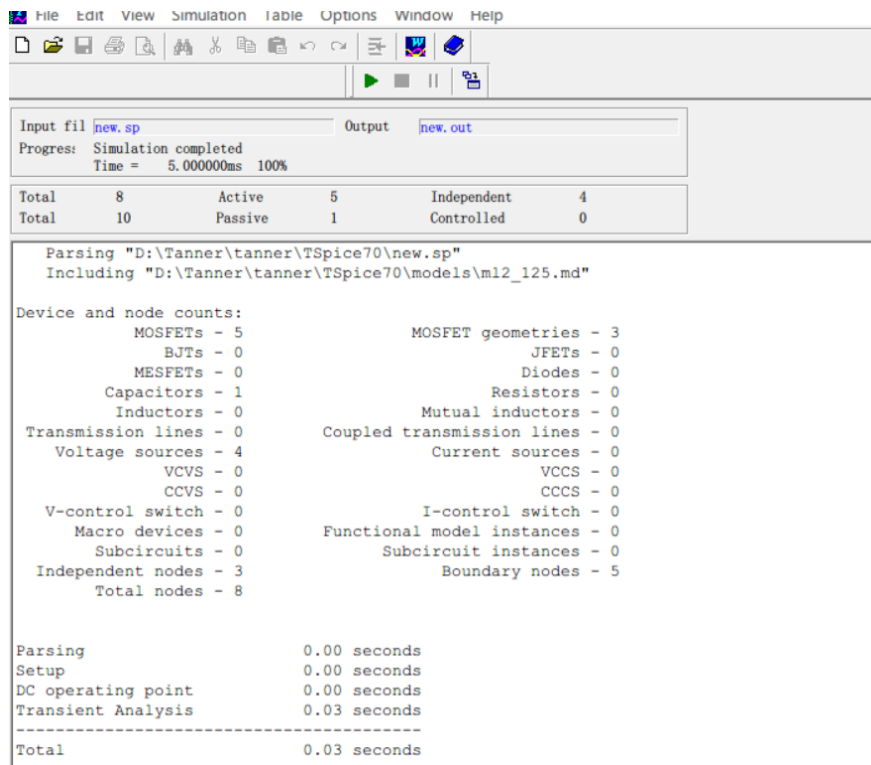
File Edit View Simulation Table Options Window Help
[Icons]
[Simulation Controls]
* SPICE netlist written by S-Edit Win32 7.03
* Written on Apr 14, 2022 at 11:39:27
.include "D:\Tanner\tanner\TSpice70\models\m12_125.md"

* Waveform probing commands
.probe
vbias vbias Gnd 0.8
Vdd Vdd Gnd 5.0
vdiff in2 in1 sin 0 0.015 1000 0.0 0.0 0.0
vin1 in1 Gnd 2.5
|.tran 10u 5m
.print tran out v(in2,in1)

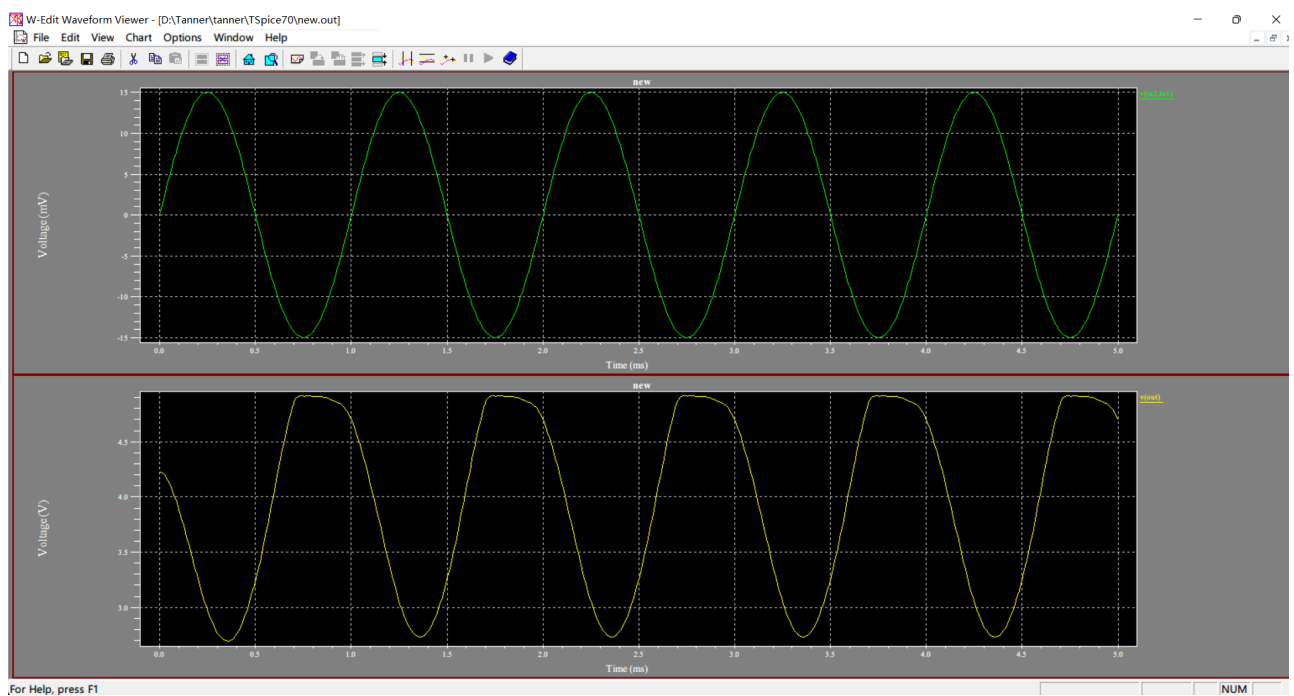
*Main circuit: opamp
ccomp out Gnd 2pF
mn1 vn1 vbias Gnd Gnd nmos L=10u W=6u
mn2 vm1 in1 vn1 Gnd nmos L=6u W=6u
mn3 out in2 vn1 Gnd nmos L=6u W=6u
mp1 vm1 vm1 Vdd Vdd pmos L=6u W=6u
mp2 out vm1 Vdd Vdd pmos L=6u W=6u
* End of main circuit: opamp

```

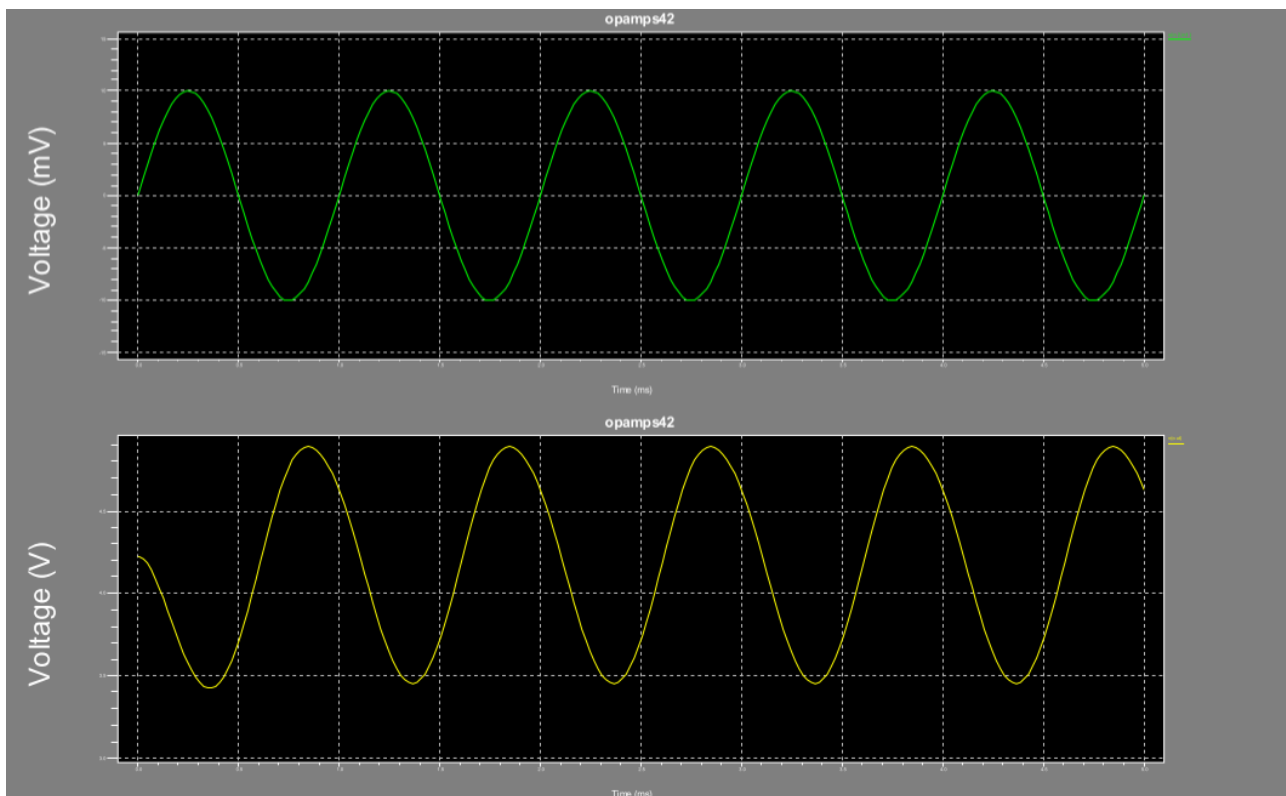
对电源进行设置之后，利用 T-SPICE 进行仿真，仿真状态结果如下图：



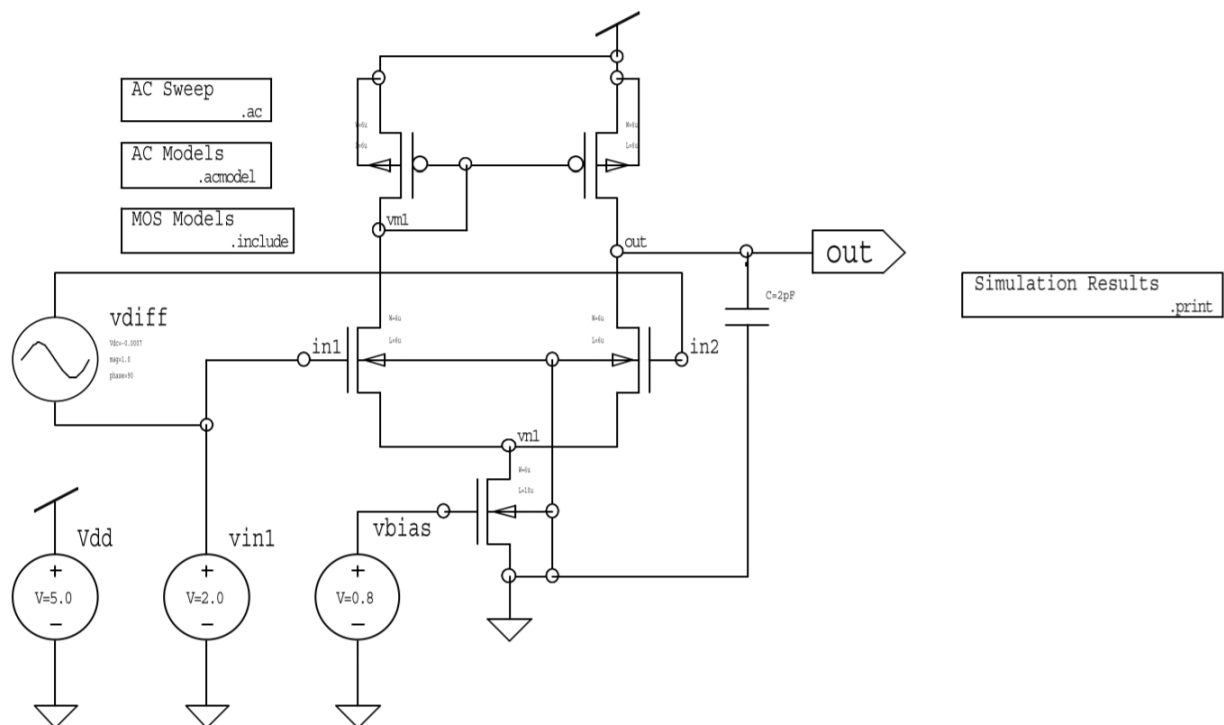
我们还可以用 W-Edit 来观察实验的仿真波形。



在调整了参数之后，可以得到如下的波形：



5.2.4 增益仿真



增益仿真的 SPICE 文件如下：


```
* SPICE netlist written by S-Edit Win32 7.03
* Written on Apr 14, 2022 at 11:39:27
.include "D:\Tanner\tanner\TSpice70\models\m12_125.md"

* Waveform probing commands
.probe
vbias vbias Gnd 0.8
Vdd Vdd Gnd 5.0
vdiff in2 in1 -0.0007 AC 1.0 90
vin1 in1 Gnd 2.0
.ac DEC 5 1 100MEG
.acmodel opampim.out {*}

.print ac vdb(out) vp(out)

*Main circuit: opamp
ccomp out Gnd 2pF
mn1 vn1 vbias Gnd Gnd nmos L=10u W=6u
mn2 vm1 in1 vn1 Gnd nmos L=6u W=6u
mn3 out in2 vn1 Gnd nmos L=6u W=6u
mp1 vm1 vn1 Vdd Vdd pmos L=6u W=6u
mp2 out vm1 Vdd Vdd pmos L=6u W=6u
* End of main circuit: opamp
```

对电源进行设置之后，利用 T-SPICE 进行仿真，仿真状态结果如下图：

Input filnew.spOutputnew.out

Progres: Simulation completed
Frequency = 1.00000e+008 Hz

Total	8	Active	5	Independent	4
Total	10	Passive	1	Controlled	0

Parsing "D:\Tanner\tanner\TSpice70\new.sp"
Including "D:\Tanner\tanner\TSpice70\models\m12_125.md"

Device and node counts:

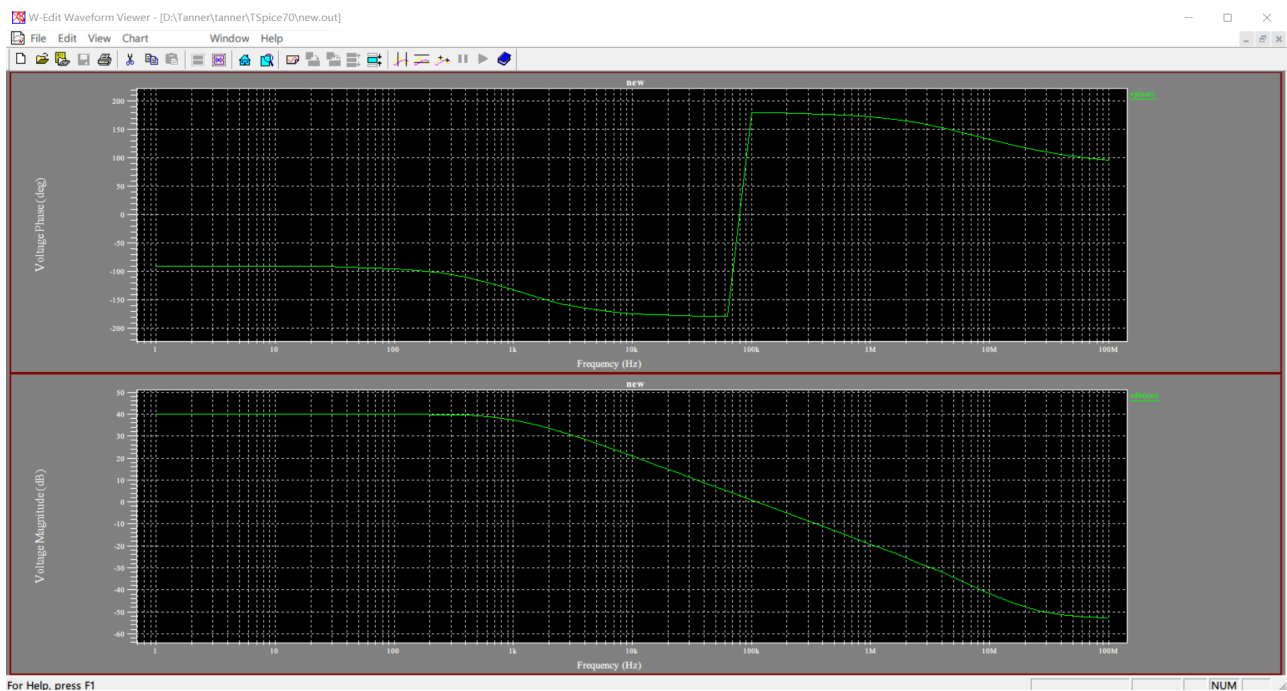
MOSFETs - 5
BJTs - 0
MESFETs - 0
Capacitors - 1
Inductors - 0
Transmission lines - 0
Voltage sources - 4
VCVS - 0
CCVS - 0
V-control switch - 0
Macro devices - 0
Subcircuits - 0
Independent nodes - 3
Total nodes - 8

MOSFET geometries - 3
JFETs - 0
Diodes - 0
Resistors - 0
Mutual inductors - 0
Coupled transmission lines - 0
Current sources - 0
VCCS - 0
CCCS - 0
I-control switch - 0
Functional model instances - 0
Subcircuit instances - 0
Boundary nodes - 5

Parsing
Setup
DC operating point
AC Analysis
Total

0.00 seconds
0.00 seconds
0.00 seconds
0.00 seconds
0.00 seconds

我们还可以用 W-Edit 来观察实验的仿真波形。



6 实验过程中出现的问题和体会

- 学习了解了 LVS 的一些基础操作
- 对于差分放大器有了更深层次的了解，并且了解到了如何去仿真这类问题
- 学会了根据 LVS 来去检查和更正错误