



**国家集成电路人才培养基地  
培训资料(3)**

**简单差动放大器实验**

2006-X-XX



# 简单差动放大器实验

本实验包括对简单差动放大器进行 DC 扫描、AC 分析，并学习根据输出波形确定相位裕度、输入输出共模范围、共模增益、共模抑制比（CMRR）以及电源抑制比（PSRR）。

## 1. 启动 cadence

启动电脑，进入 solaris9 系统，打开终端 Terminal，输入 `cds.setup` 后按回车，再输入 `icfb&` 按回车，`cadence` 启动成功。在自己的 Library 中新建一个 cellview，命名为 `amp`。

## 2. 电路图输入

按下图输入简单差动放大器电路图，其中的元件参数我们在下一步中设置，图中用到的元件（`vdc`, `pmos4`, `nmos4`, `vdd`, `gnd`, `cap`）都在 `analogLib` 库中能找到。

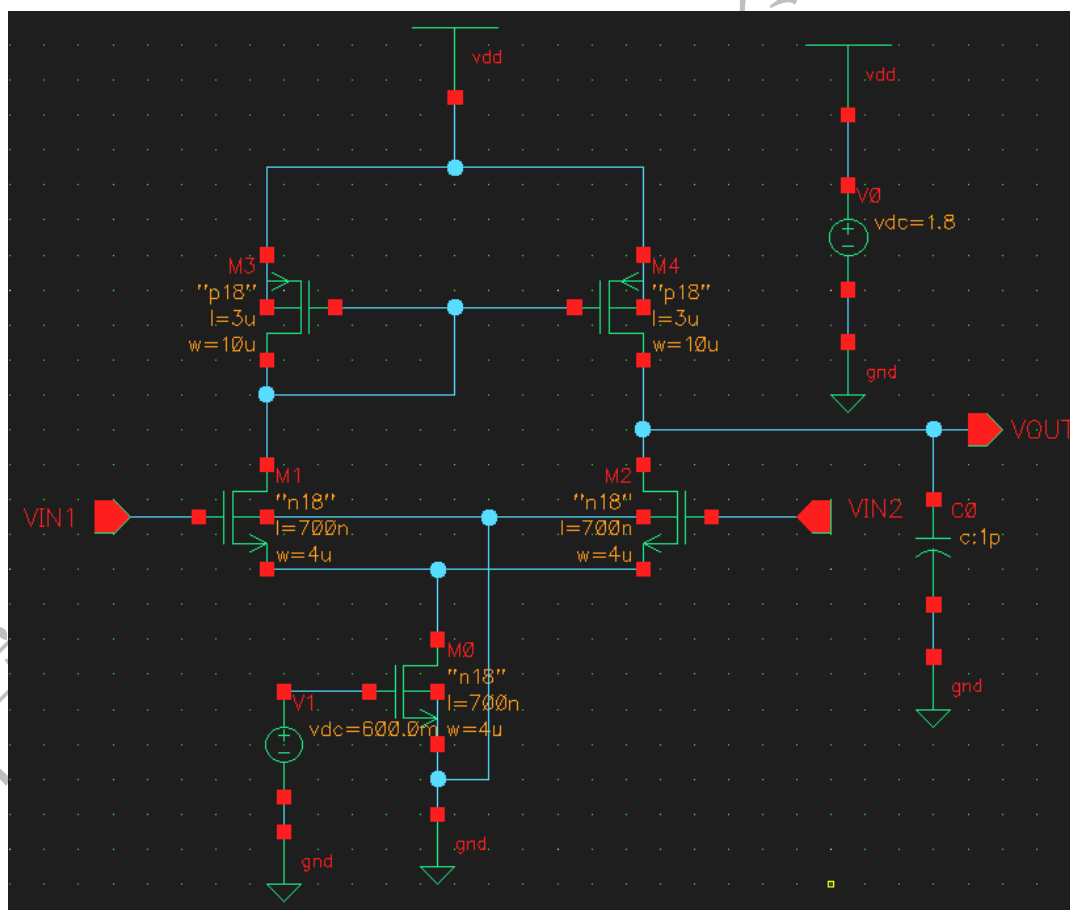


图 2.1 简单差动放大器电路图

### 3. 计算、设置元件参数

根据放大倍数，功耗，输出摆幅等要求确定各个 mos 管的宽长比（W/L）和栅压。由于我们实验时间有限，请同学们直接按下面的步骤设置好元件值（选中元件后按 q 键调出如下的元件属性设置框）：

M0, M1, M2: 于 Model name 栏输入 n18, 于 Width 栏输入 4u, 于 Lenth 栏输入 700n, 最后点击 ok。

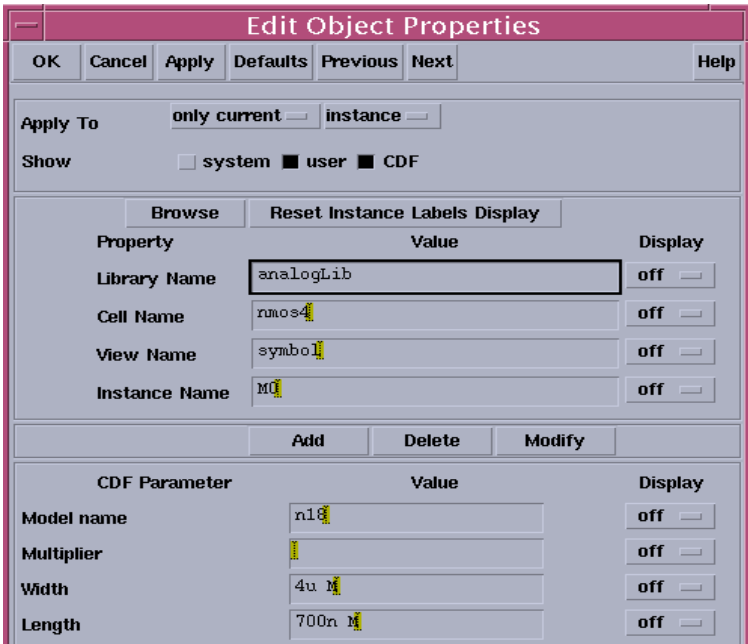


图 3.1 M0、M1、M2 管的参数设置

M3, M4: 于 Model name 栏输入 p18, 于 Width 栏输入 10u, 于 Lenth 栏输入 3u, 最后点击 ok。

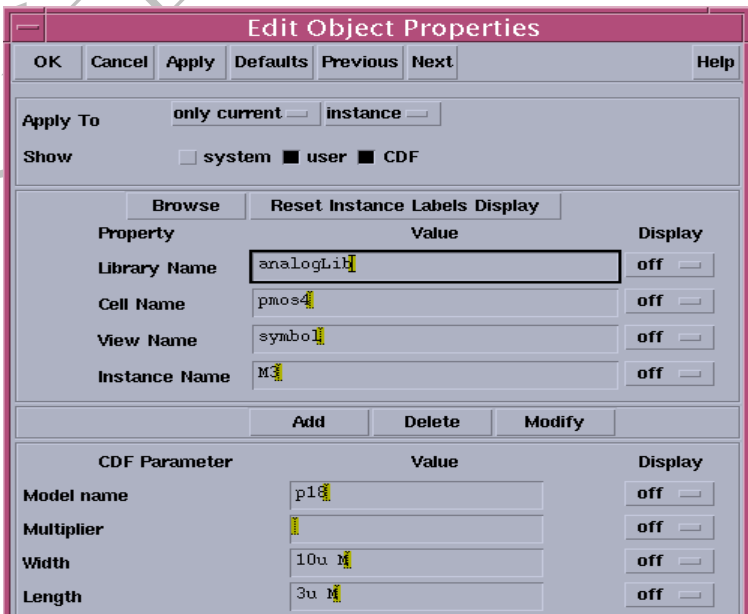



图 3.2 M3、M4 管参数设置

直流电压源 V0, V1 的值分别设为 1.8, 0.6。设置完毕后点击工具栏上的进行保存。

## 4. 仿真

### 4.1 DC 扫描及输入输出共模范围

在菜单栏依次选择 Tools→Analog Environment，弹出如图 4.1 所示的 Simulation 窗口：

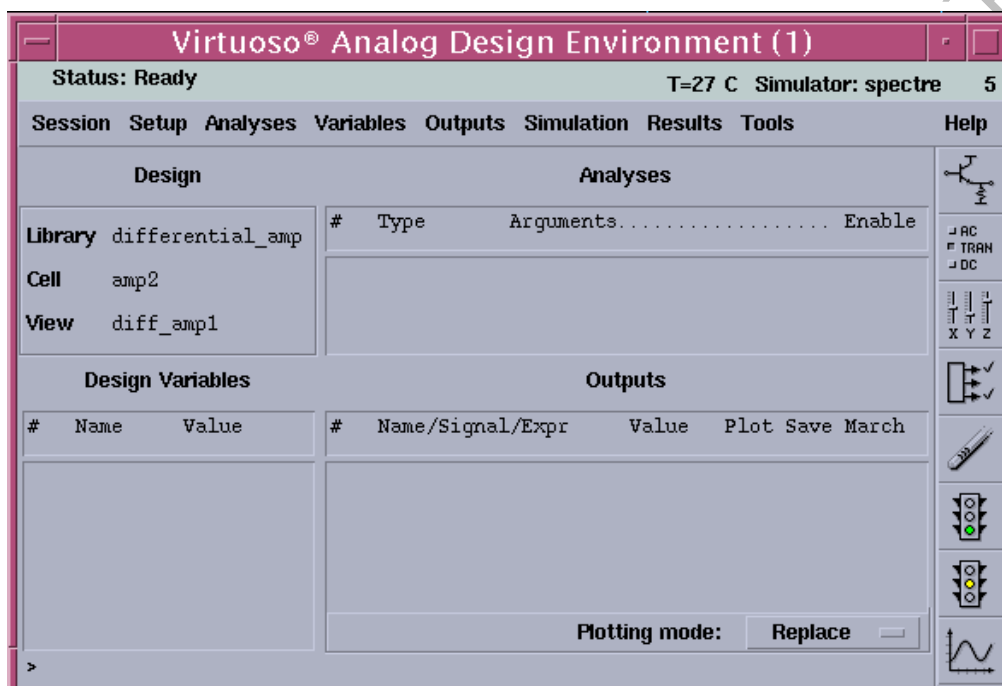


图 4.1 Simulation 窗口

点击 Setup→Model Libraries 在弹出的对话框中设好 Model Library。点击 Browse... 按钮，选择 /cad/smic018\_tech/Process\_technology/Mixed-Signal/SPICE\_Model/ms018\_v1p6\_spe.lib，在 Section(opt.) 中填入 tt，点 Add，再点 ok 退出。

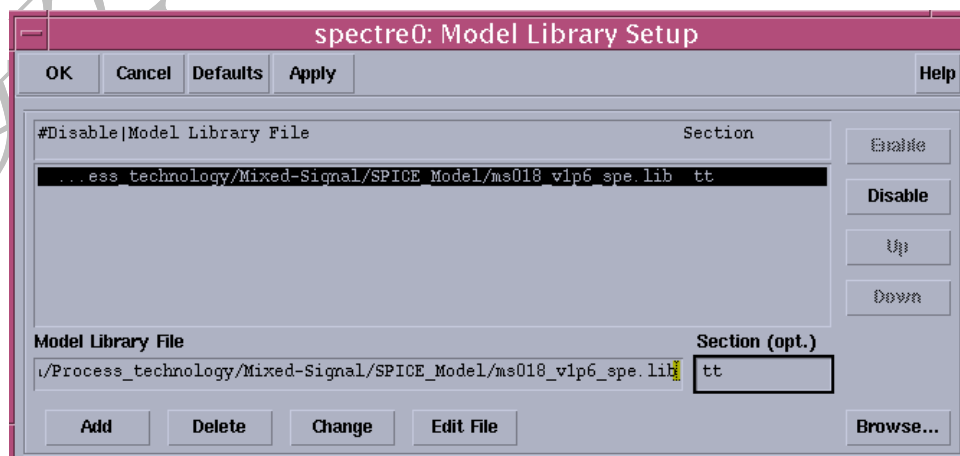


图 4.2 添加 Model Library

点击 Setup→Stimuli，弹出如下图所示对话框，在其中可以设置输入信号。我们可以看到 VIN1 和 VIN2 前面有“OFF”字样，表示此时它们都不起作用。

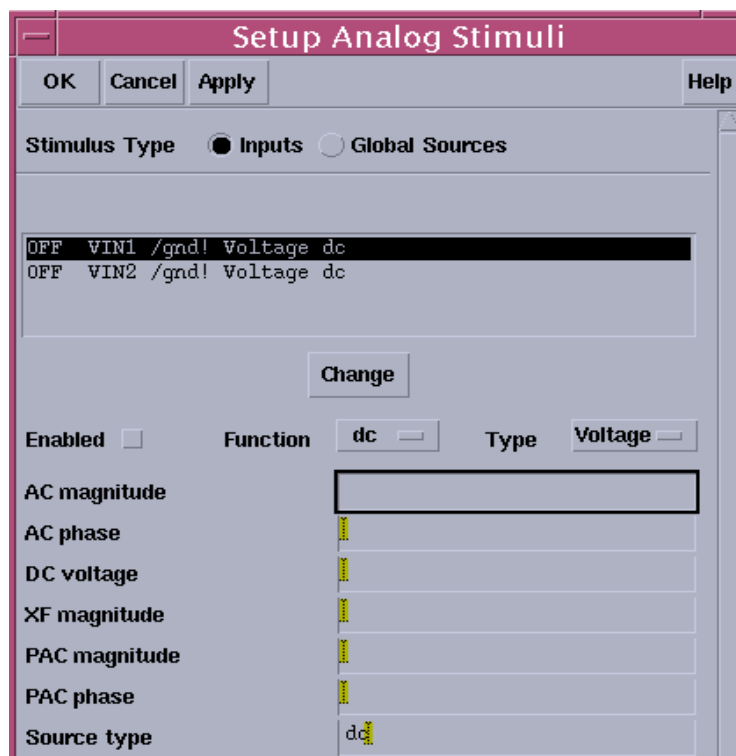


图 4.3 设置输入信号

选中 VIN1，此时该行处于高亮状态。点击 Enabled 后的方框，当其变为黑色时表示已经选中，然后在 DC voltage 栏输入 VCM1，最后点击 Change 保存修改（这一步一定要做！）。以同样的方法修改 VIN2，不同的是在 DC voltage 栏输入 VCM2。此时 VIN1 和 VIN2 前面的“OFF”应该变成了“ON”，表示它们都被激活了。最后点击 OK 退出。

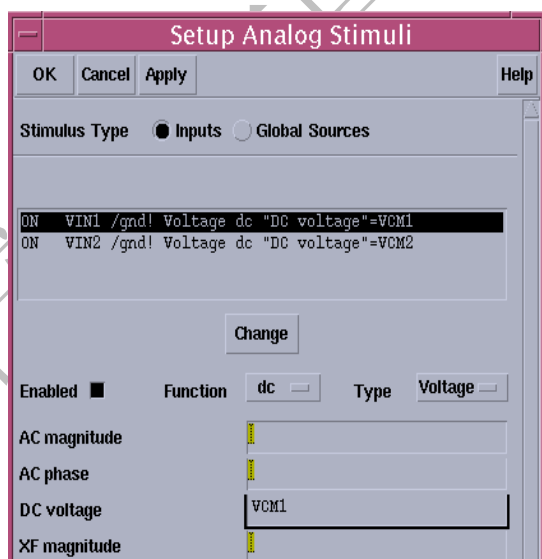


图 4.4 VIN1 设置

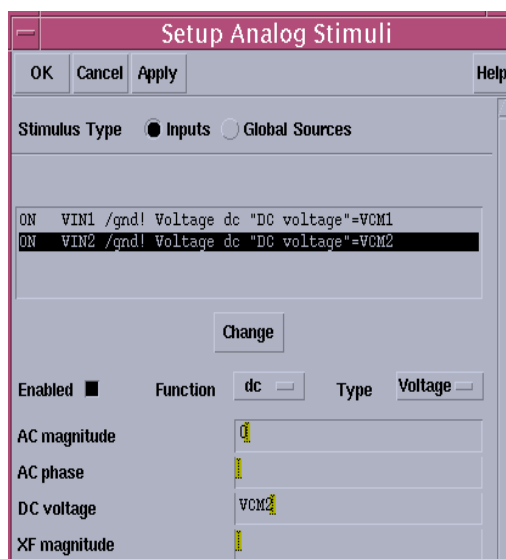



图 4.5 VIN2 设置

点击右边工具栏上的，将 VCM1, VCM2 添加为设计变量，值设为 0.9。点 ok 保存。

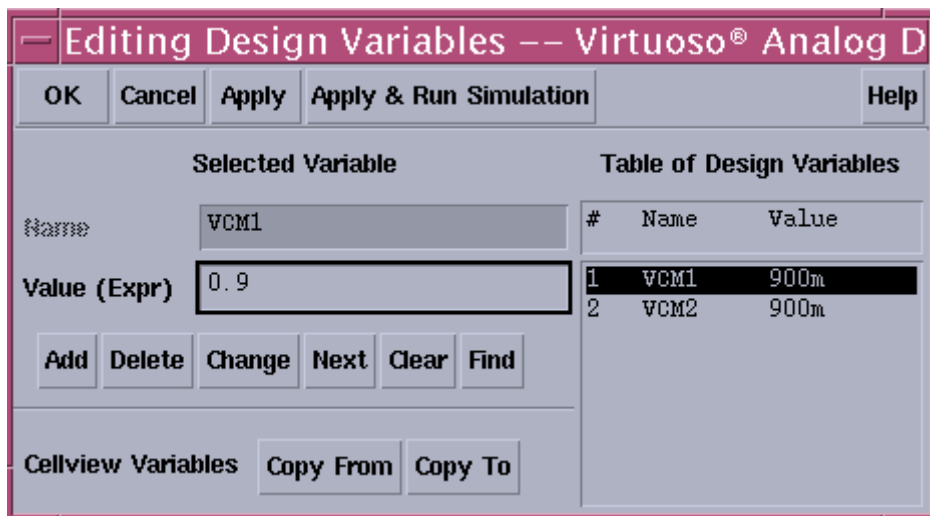



图 4.6 添加并设置变量 VCM

设置直流扫描参数，点击右边工具栏上的，按图 4.7 设置好，点 ok 保存。这里我们让 VCM1 从 0v 扫描到 1.8V。

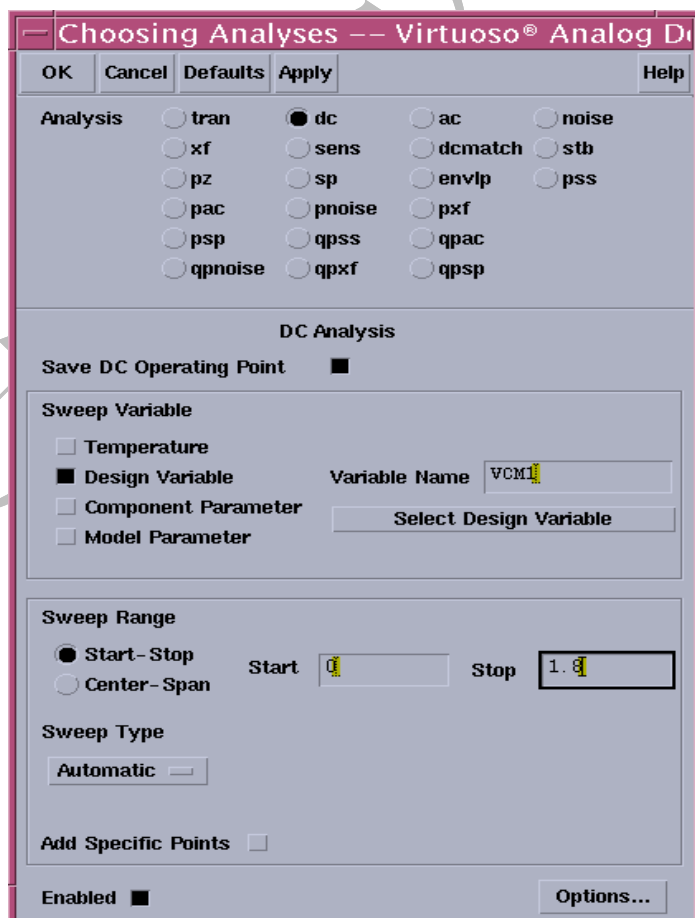


图 4.7 直流扫描参数设置

设置输出信号，依次选择 Outputs→To Be Plotted→Select On Schematic。

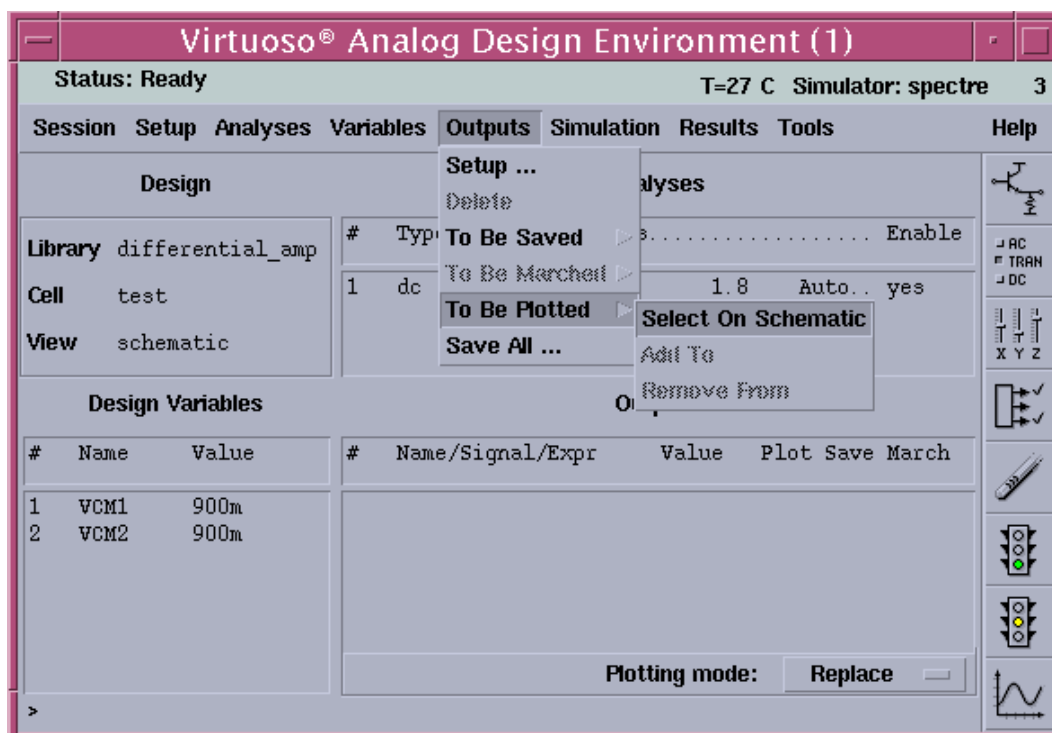


图 4.8 选择输出信号

点击电路图中的 VOUT PIN，然后按 ESC。我们可以看到 Outputs 栏里已经有了刚才选择的 VOUT。

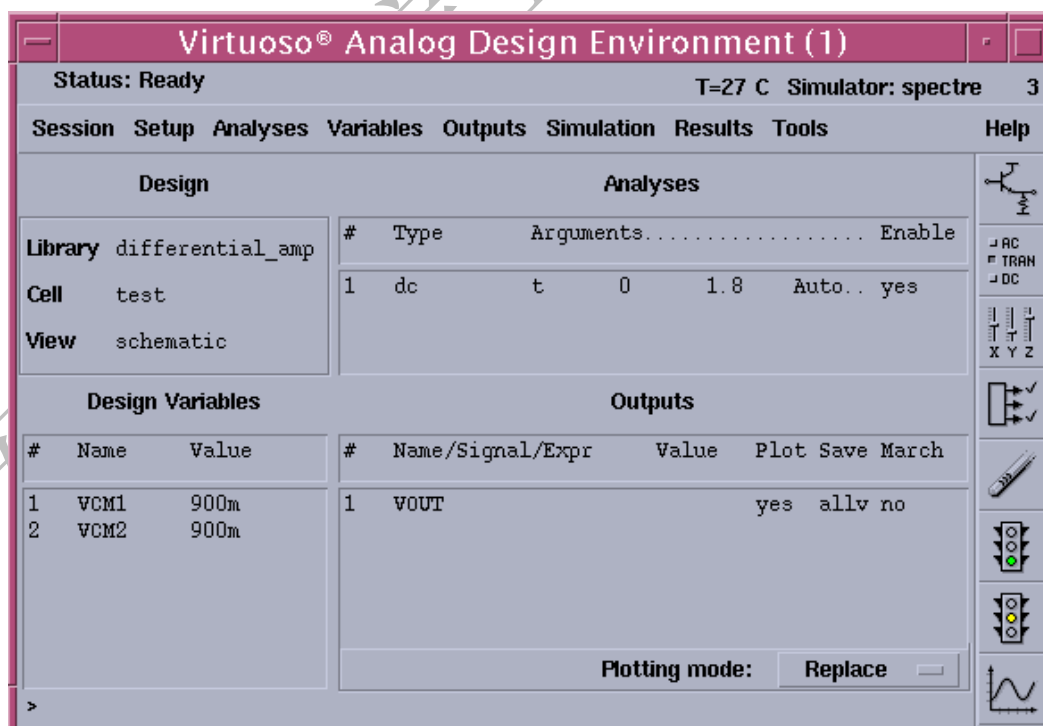


图 4.9 选择好的输出信号

依次点击 Simulation 窗口的 Tools→Parametric Analysis 弹出参数分析窗口，按图 4.10 设



置好:

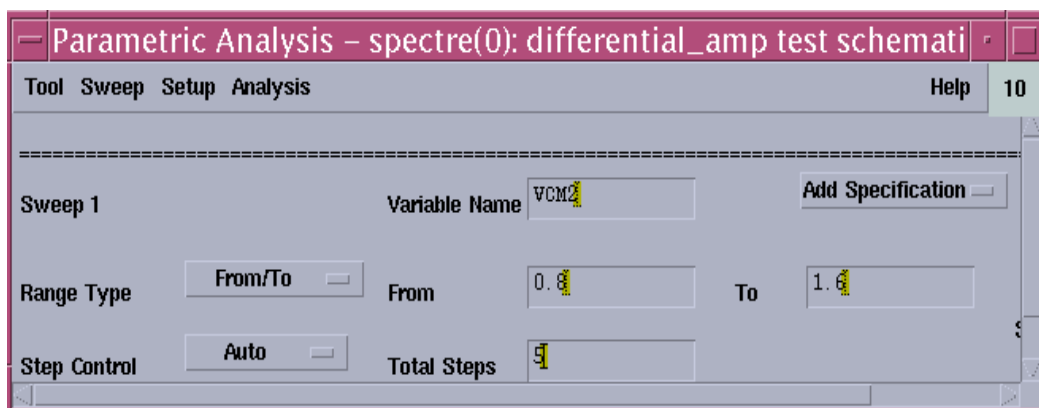


图 4.10 参数分析设置

依次点击参数分析窗口的 Analysis→Start, 可以看到如图 4.11 所示的结果:

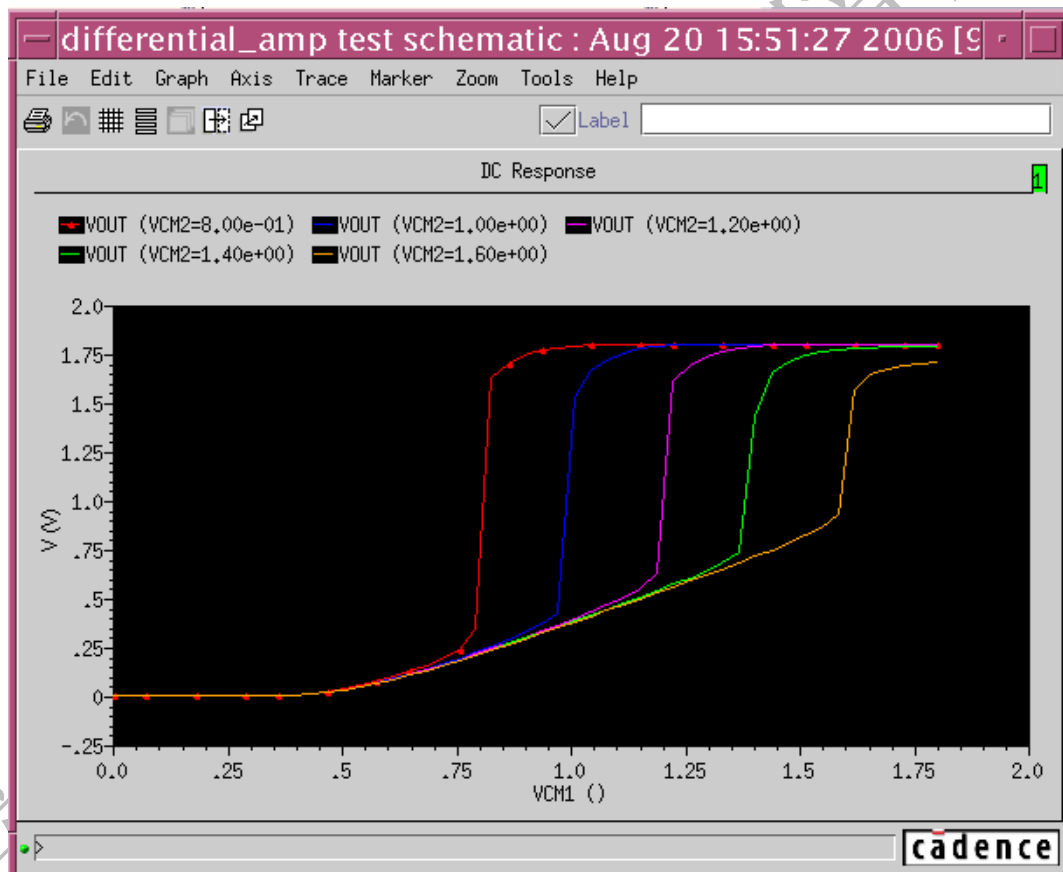


图 4.11 参数分析结果

为使电路正常工作, 输入共模电压的范围应为:

$$V_{GS1} + (V_{GS0} - V_{TH0}) \leq V_{in,CM} \leq V_{DD} - (V_{GS3} - V_{TH3}) + V_{TH1} \quad (1.1)$$

输出共模范围应为:

$$V_{OD0} + V_{OD1} \leq V_{out,CM} \leq V_{DD} - |V_{OD3}| \quad (1.2)$$

本实验中最小输入共模电压为 0.8V 左右, 小于 0.8V 的输入共模电平会使 M0 进入线性区, M1, M2 进入亚阈值导通状态; 最大输入共模电压为 1.4V 左右, 大于该值的输入共

模电压很容易使 M1, M2 进入线性区。从图 4.11 中我们可以观察到随着 VCM2 的增大, 输出摆幅越来越小。

## 4.2 AC 分析, 观察相位裕度

点击 Setup→Stimuli, 将 VIN1 的 AC magnitude 为 0.5, 将 VIN2 的 AC magnitude 设置为-0.5 (别忘了点 Change 保存修改! )。

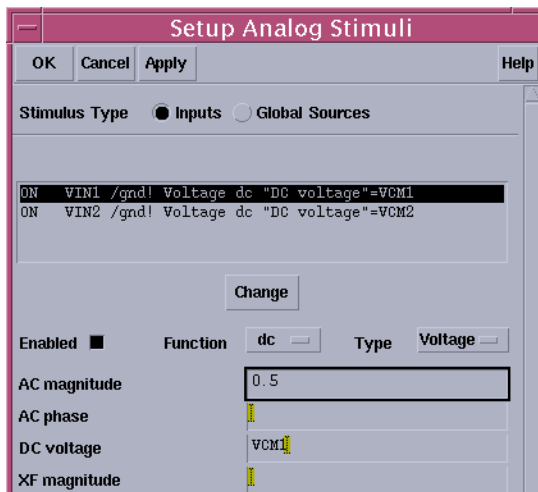


图 4.12 VIN1 参数设置

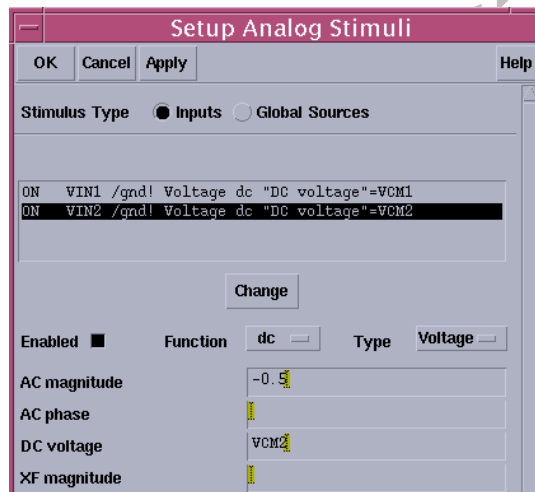


图 4.13 VIN2 参数设置

设置交流分析参数, 频率范围从 10 到 200M, 点 ok 保存

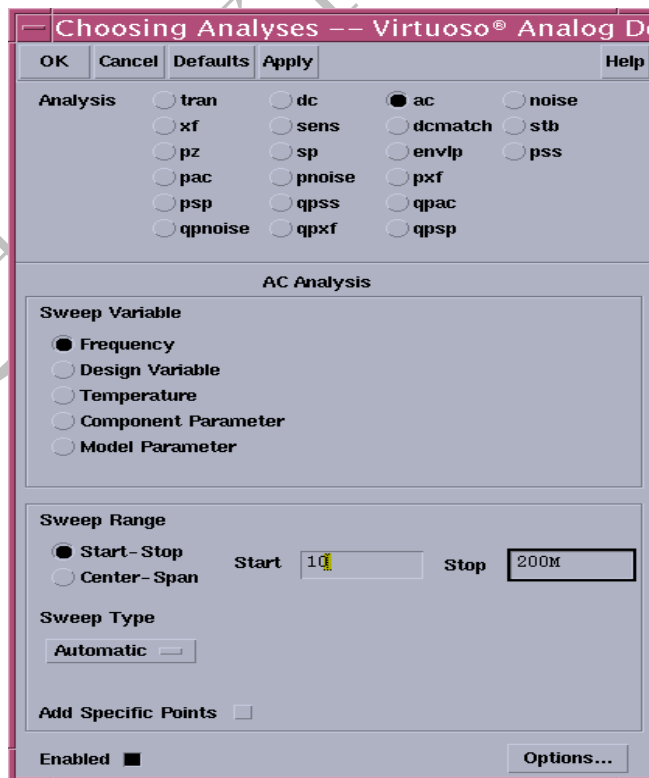


图 4.14 交流分析参数设置

点击  观察输出波形:

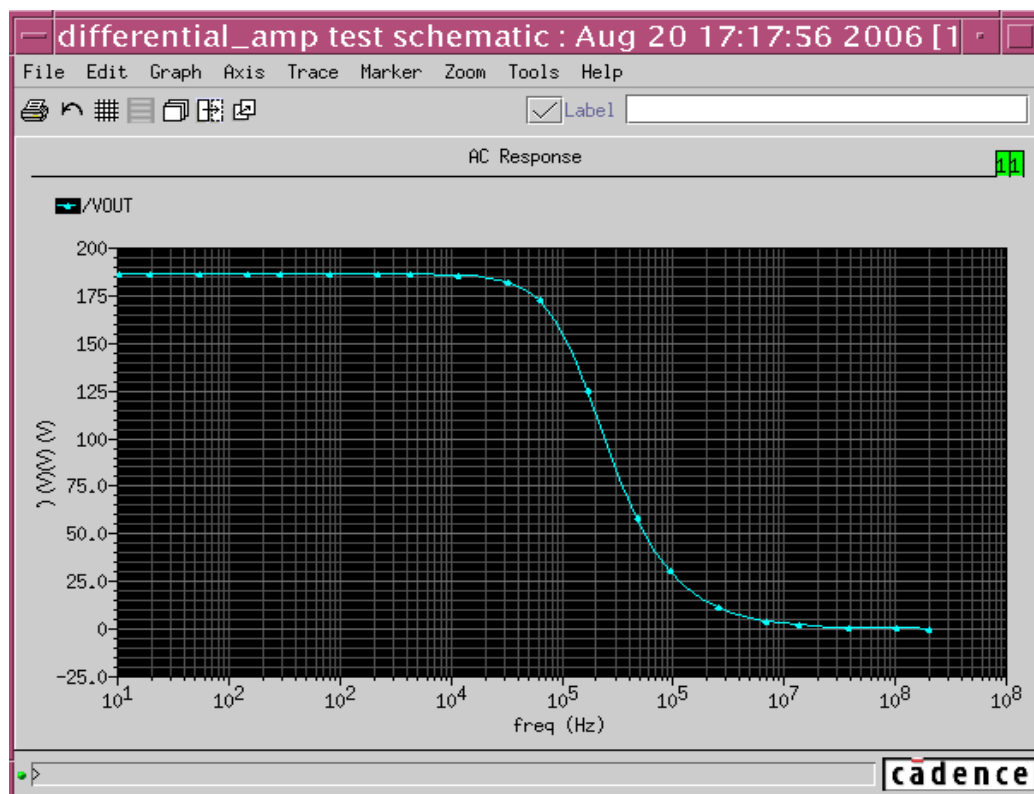


图 4.15 交流分析结果

依次点击波形显示窗的 Tools→Calculator, 弹出如图 4.16 所示窗口, 在 Calculator 窗口的函数列表窗里选择 PhaseMargin, 然后点击  就可以得到相位裕度。

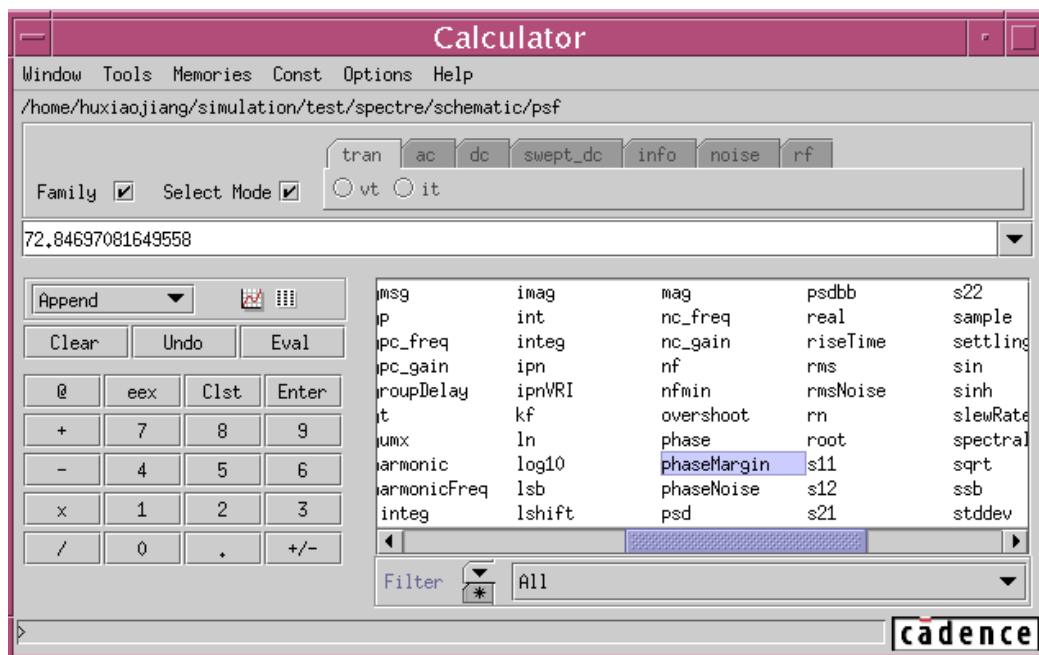


图 4.16 相位裕度

### 4.3 共模增益，共模抑制比（CMRR）

回到 Simulation 窗口，点击 Setup→Stimuli，将 VIN1，VIN2 的 AC magnitude 都设为 1。

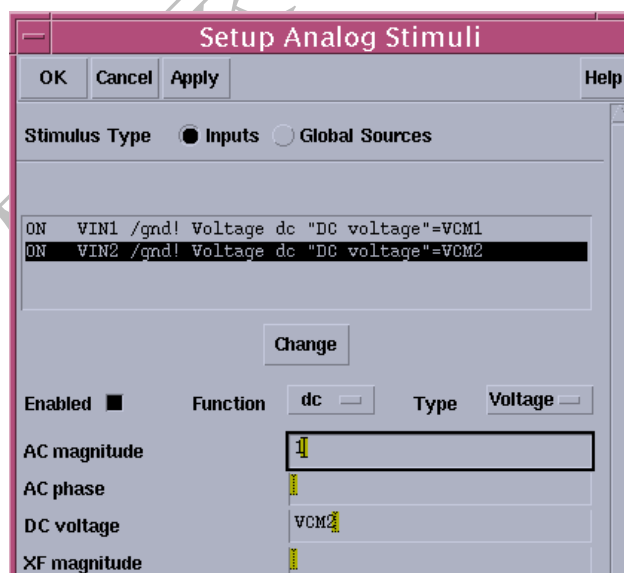



图 4.17 VIN2 参数设置

点击  开始仿真，得到如下波形图：

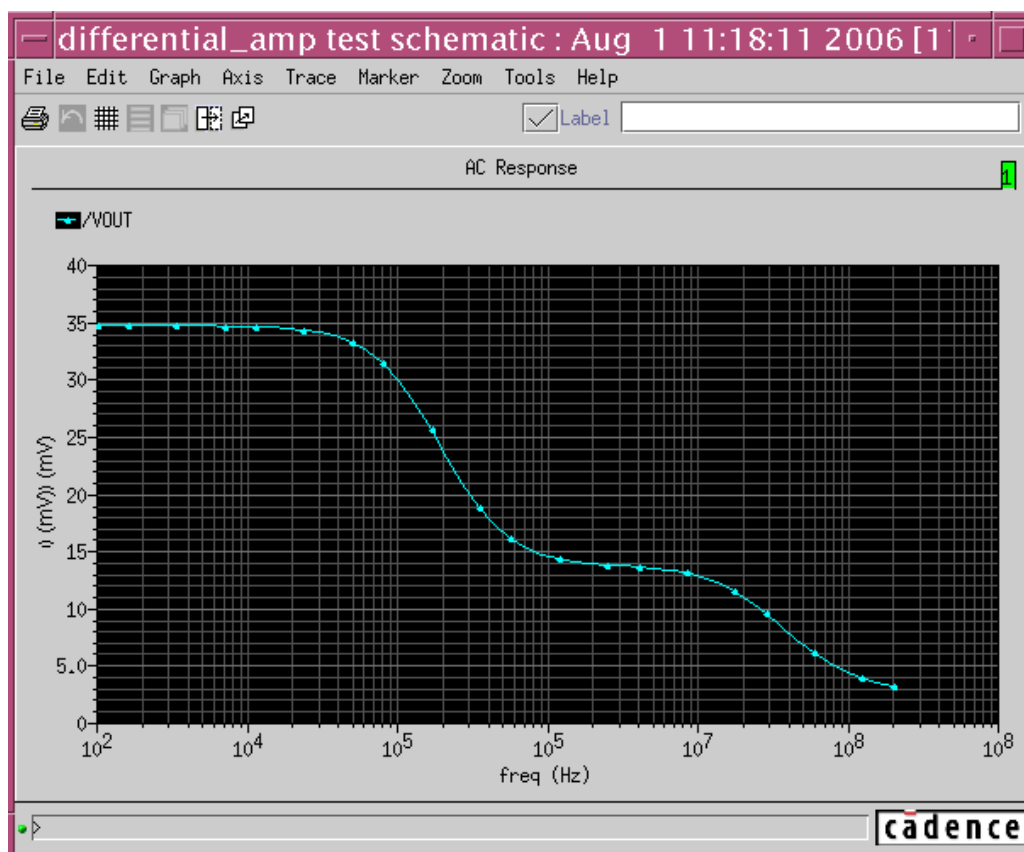


图 4.18 共模增益波形

从图 4.17 我们可以看到，即使电路是完全对称的，输出信号也会因为输入共模变化而变差，这个缺点在全差动电路中不存在。为了合理地比较各种差动电路，必须用所需要的差动增益与不希望的共模增益的比值来衡量对共模扰动的抑制能力。定义“共模抑制比”（CMRR）如下：

$$\text{CMRR} = \left| \frac{A_{DM}}{A_{CM}} \right| \quad (1.3)$$

本实验中，低频时  $A_{CM}$  大约为 0.035， $A_{DM}$  大约为 185，因此 CMRR 大约为 75dB。

## 4.4 电源抑制比（PSRR）

回到电路图编辑窗口,将 V0 的 AC Magnitude 设为 1，点击 ok 退出。

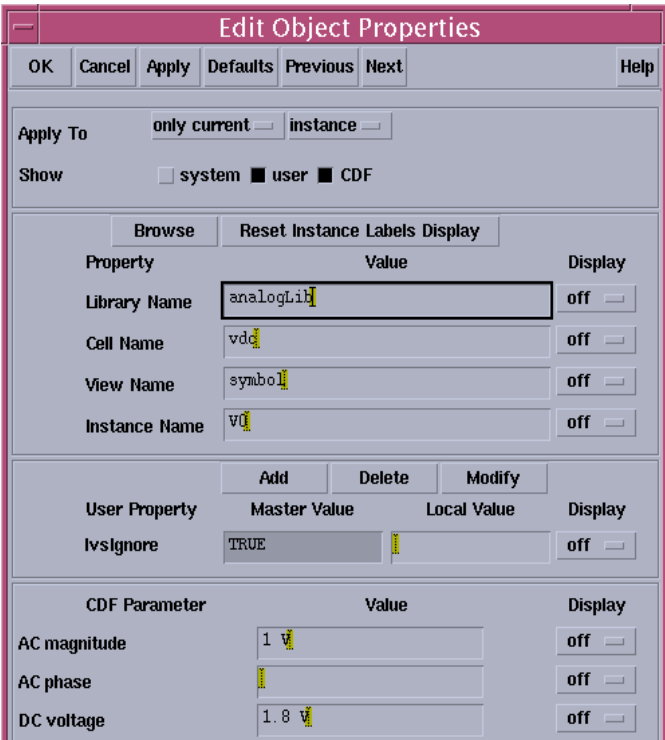


图 4.19 V0 参数设置

之后点击  保存电路图。

回到 Simulation 窗口，点击 Setup→Stimuli，将 VIN1，VIN2 的 AC magnitude 设为 0。

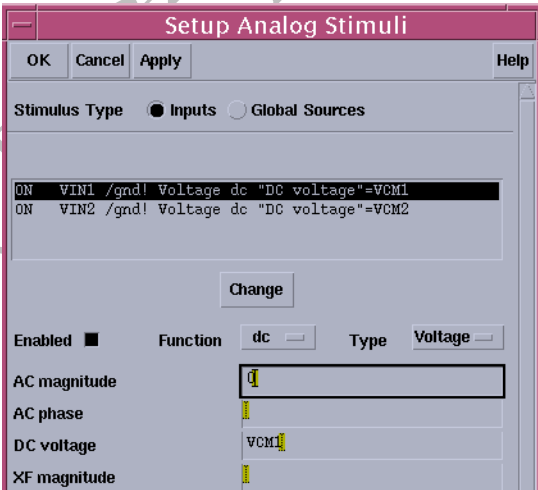

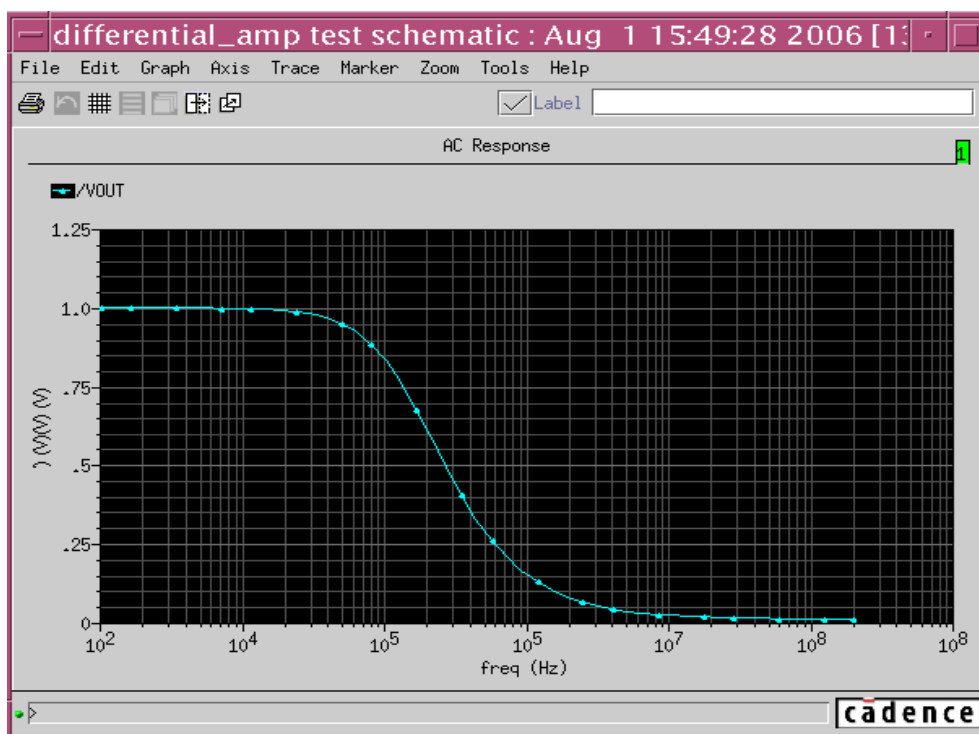


图 4.20 VIN1 参数设置

点击  开始仿真，结果如图 4.21 所示。

图 4.21 从  $V_{DD}$  到  $V_{OUT}$  的增益曲线

我们可以看到在低频时从  $V_{DD}$  到  $V_{OUT}$  的增益接近 1。电源抑制比（PSRR）的定义为：从输入到输出的增益除以从电源到输出的增益。在低频时，PSRR 为：

$$\text{PSRR} \approx g_{mN}(r_{op} \parallel r_{oN}) \quad (1.4)$$

在本例中，PSRR 就是差动放大器的低频增益。