集成电路设计实习 Integrated Circuits Design Labs

单元实验三（第一次课）

模拟电路单元实验—差分放大器电路设计

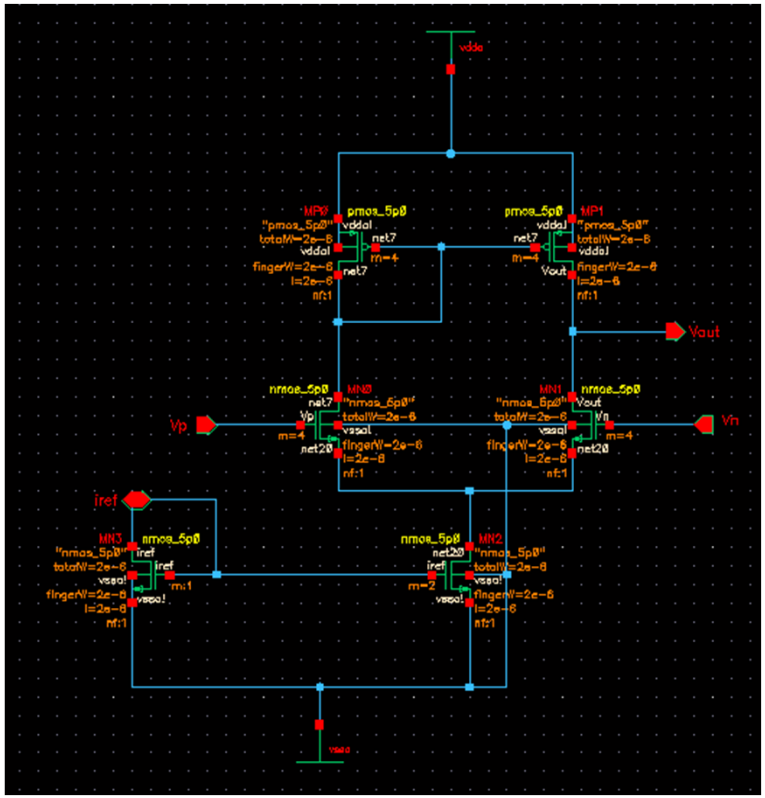
Institute of Microelectronics Peking University

实验内容、实验目的、时间安排

- 实验内容：
  - 设计差分放大器
  - 对电路进行直流、交流、瞬态分析
- 目的：
  - 掌握模拟集成电路单元模块的设计分析方法
- 时间安排：
  - 一次课完成差分放大器的电路设计

实验要求

- 设计图示差分放大器
  - 尺寸需调整
- 放大器性能指标要求
  - 负载电容C_L=2pF
  - VDD=5V
  - 放大管的Vdsat=200±30mV
  - 对管的m取4的倍数
  - 低频开环增益>100
  - GBW>25MHz
  - PM>60
  - 共模输入范围>3V
  - 功耗、面积尽量小

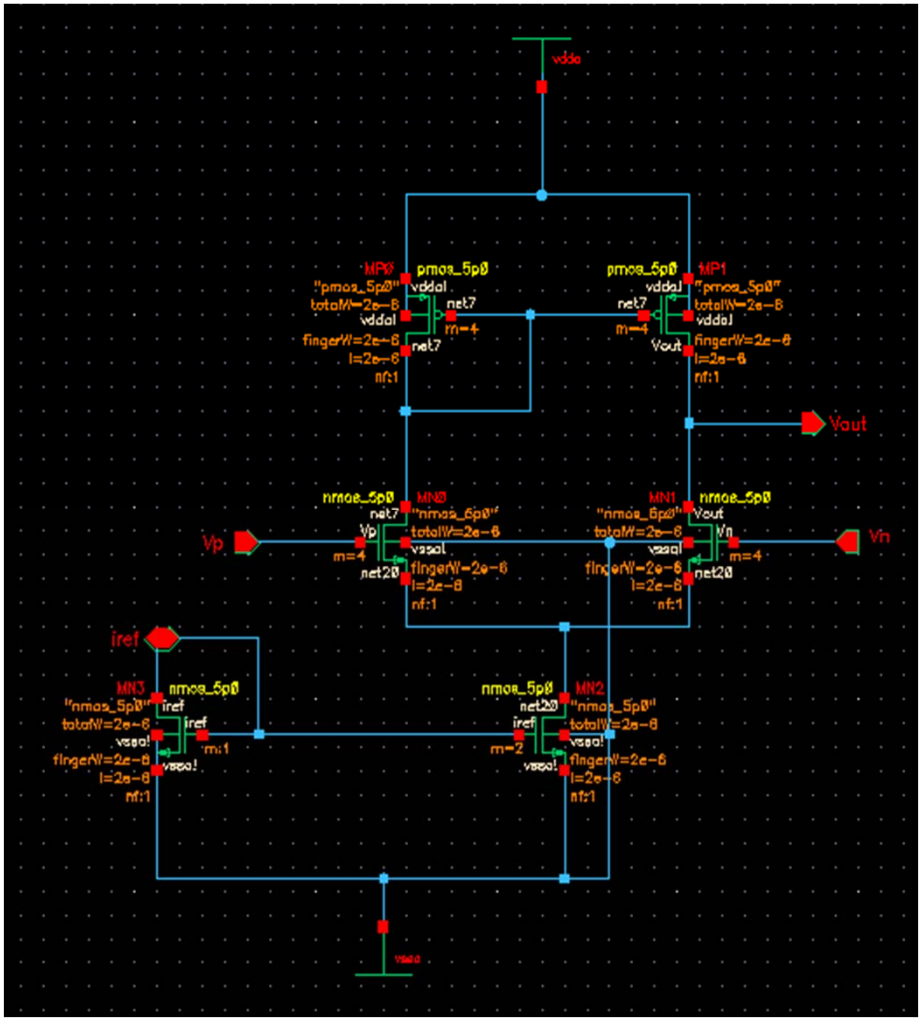


实验结果记录

- 请记录如下数据
  - 各晶体管尺寸（m、W、L）
  - 各晶体管的Vdsat
  - 低频开环增益、GBW、PM
  - 直流功耗、瞬态功耗平均值及对应跳变频率
  - 转换速率（上升、下降分别记录）
  - 单位缓冲接法，输入1V跳变时，输出端的信号建立时间（20μV）
    - 上升、下降分别记录

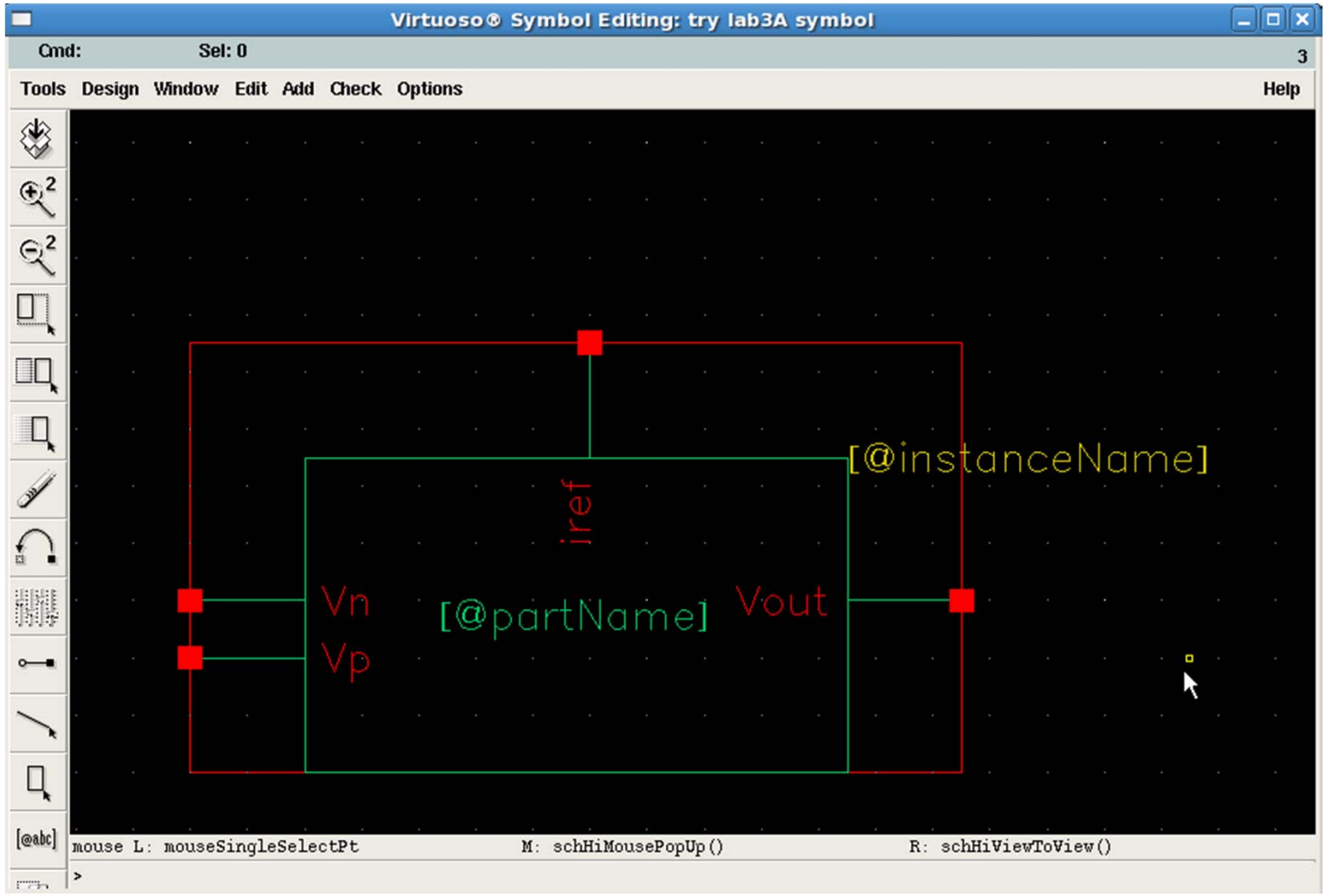
- **实验方法，参见P5～P32**

创建放大器的电路（按下列尺寸设置）

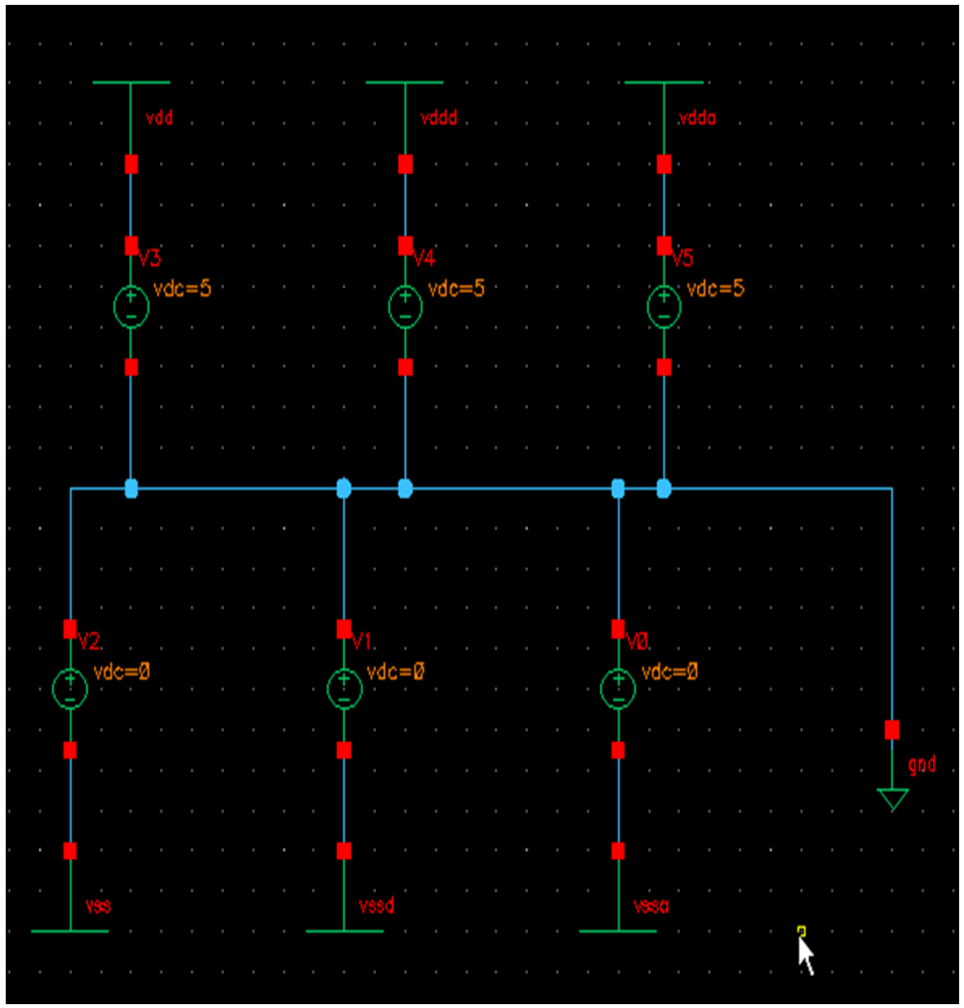


- MN0、MN1的尺寸
  - M=4, W/L=2/2
- MN2的尺寸
  - M=2, W/L=2/2
- MN3的尺寸
  - M=1, W/L=2/2
- MP0、MP1的尺寸
  - M=4, W/L=2/2
- vp：正输入端
- vn：负输入端

创建放大器的Symbol



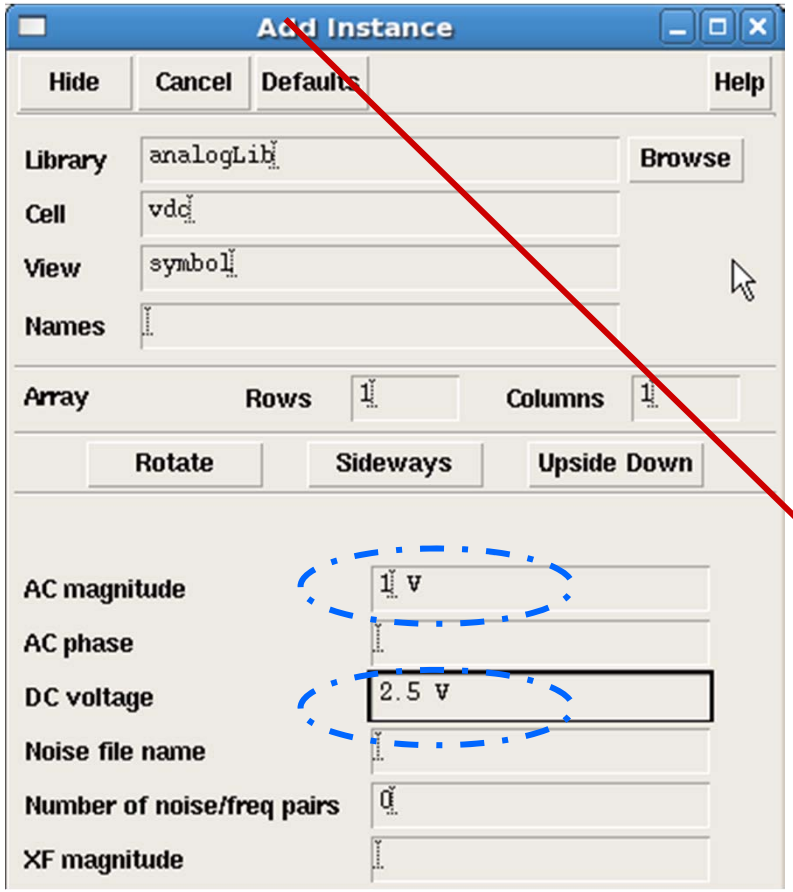
创建Power的电路图

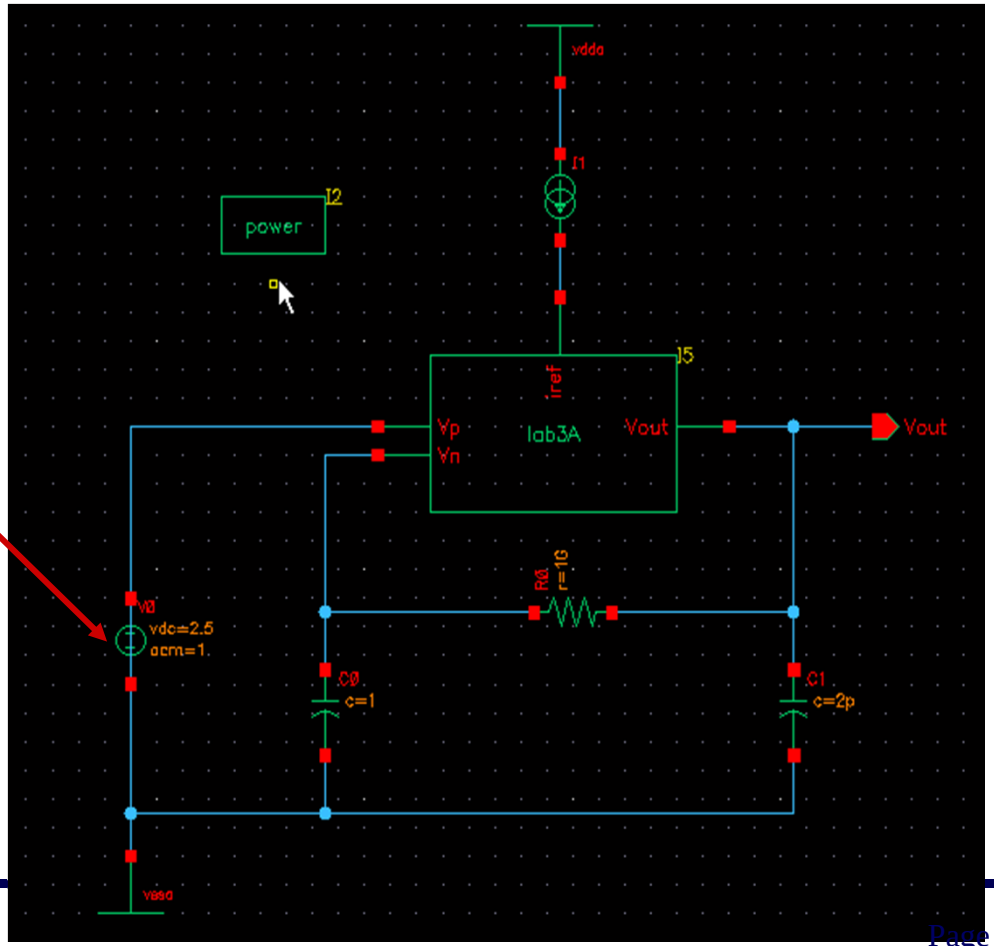


- 如图创建Power的电路
- 创建Power的Symbol View
  - **仅供仿真时调用！！！**

创建放大器的仿真电路（DC/AC仿真）

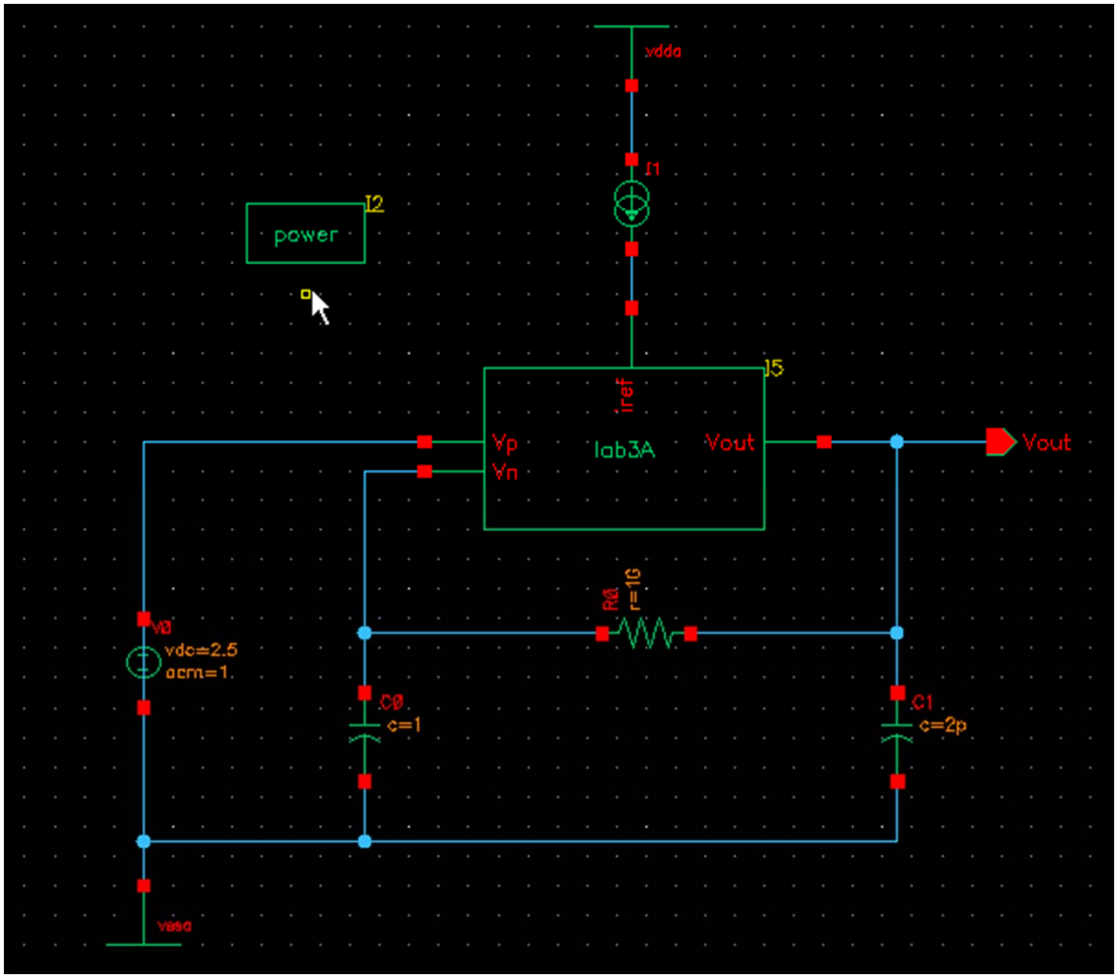
- 正输入端vp，加激励信号，DC＝2.5，AC magnitude＝1V
- 负输入端vn，大电阻（1G）、大电容（1F）反馈





放大器的仿真电路：

- I1：提供电流源
- C1：放大器的负载
- R0：1G
- C0：1F
- I2：调用Power



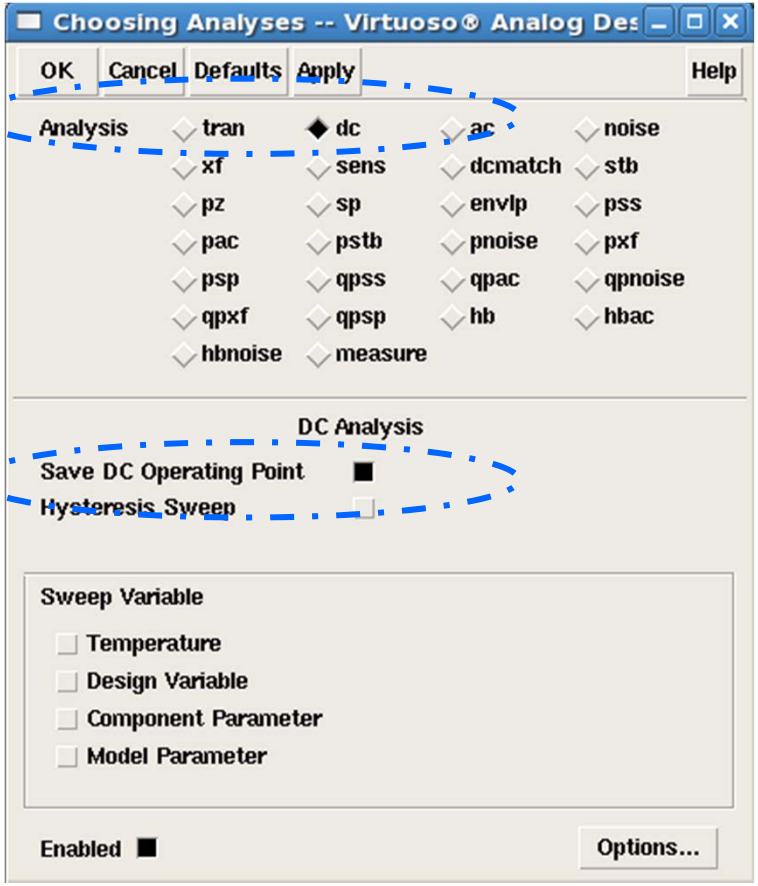
常用Analyses设置

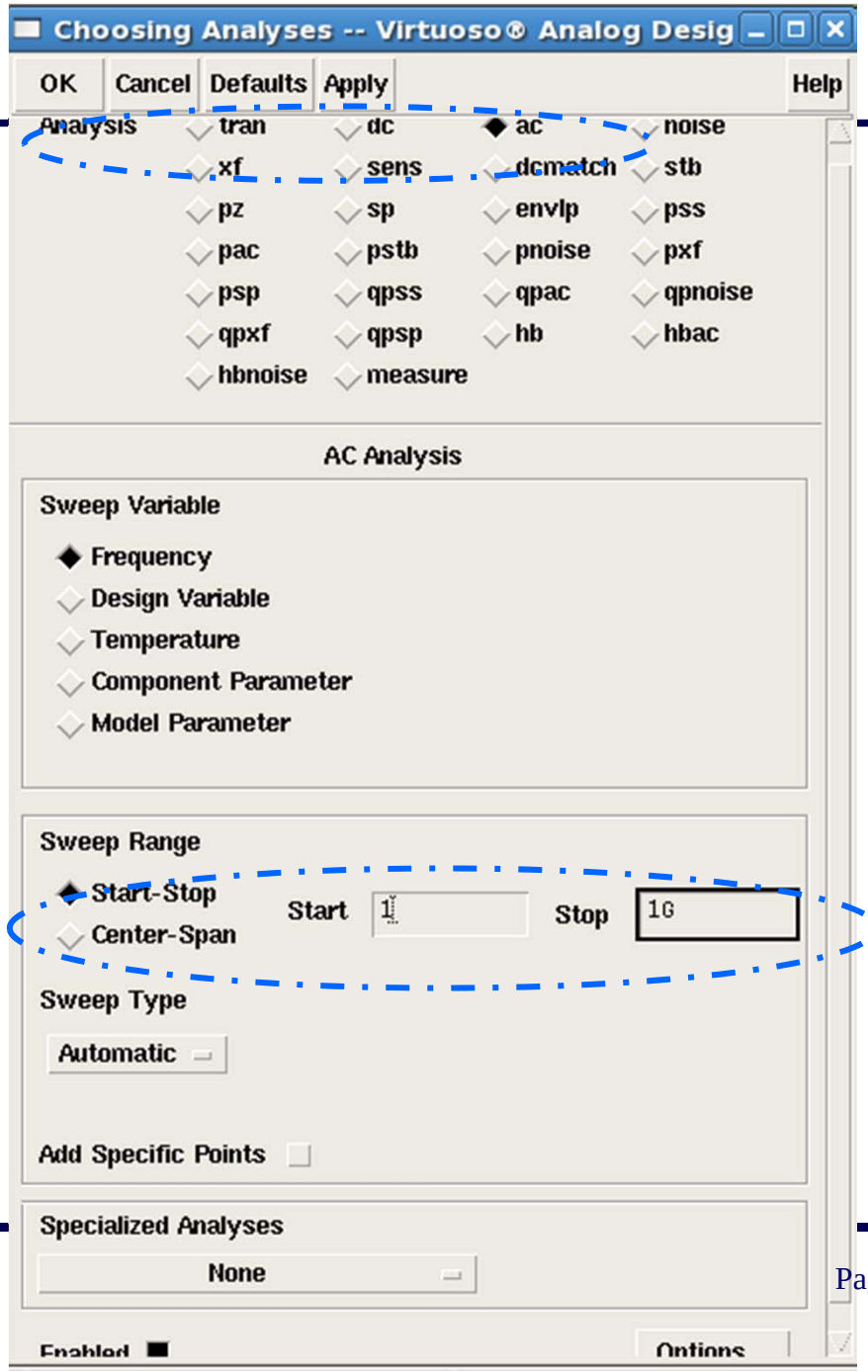
- Tran：瞬态
- DC：直流
- AC：交流

设置完毕后运行Simulation，然后可以查看Simulation Results

直流/交流分析设置

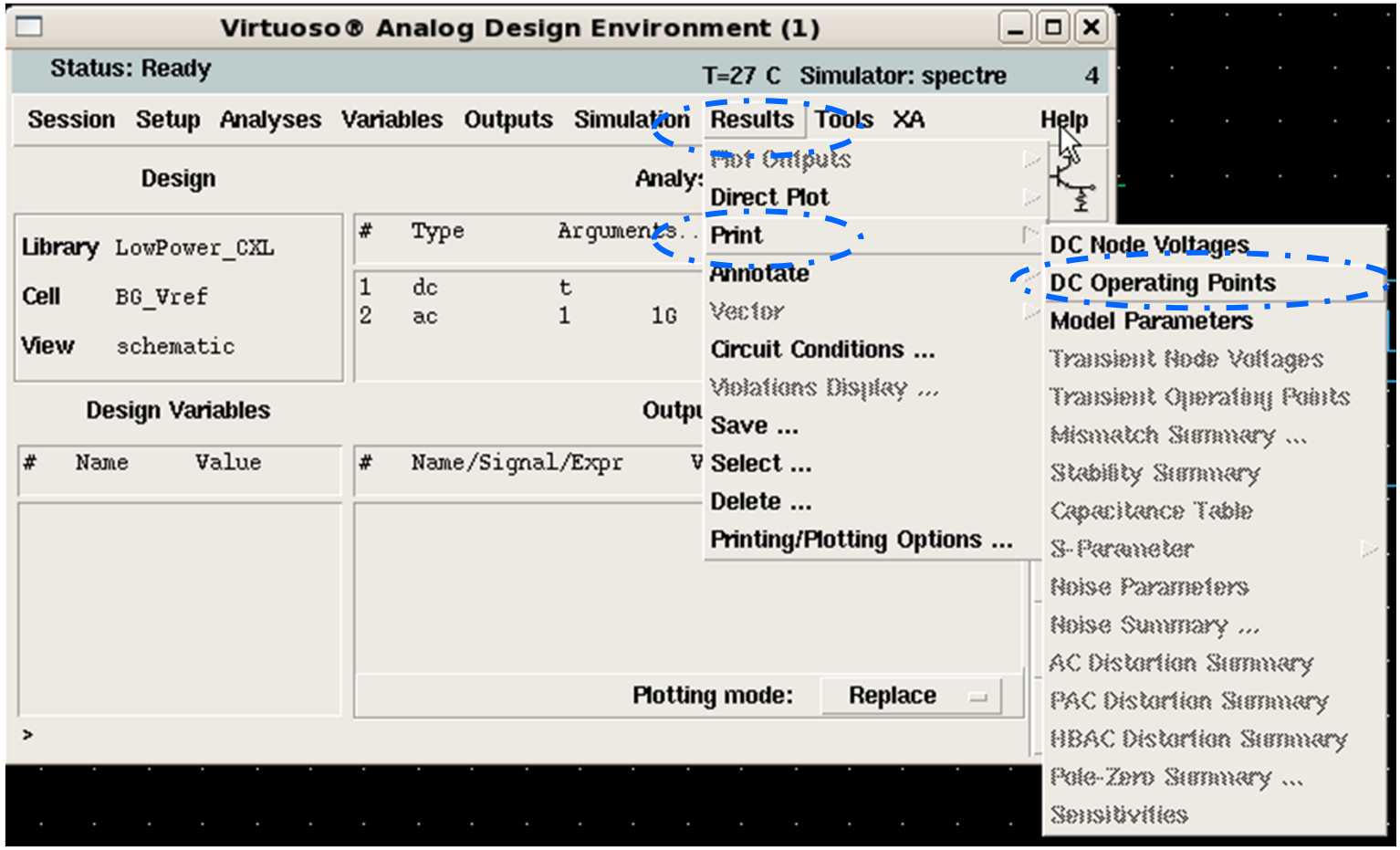
- 直流分析：直流工作点
- 交流分析：起止频率设置



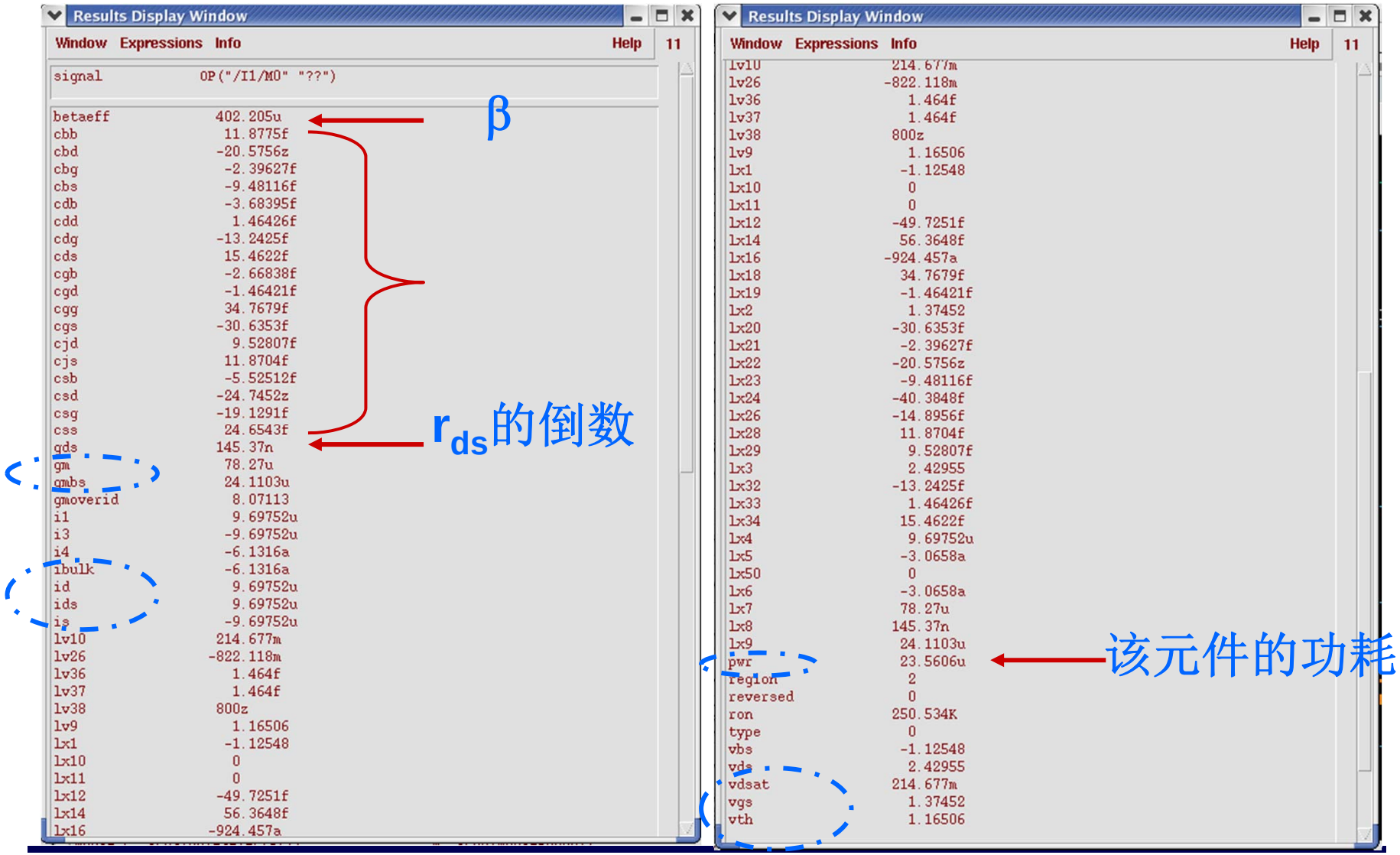


Results: MOSFET的直流工作点

- Results->Print->DC Operating Points->鼠标点击元件->弹出对话框

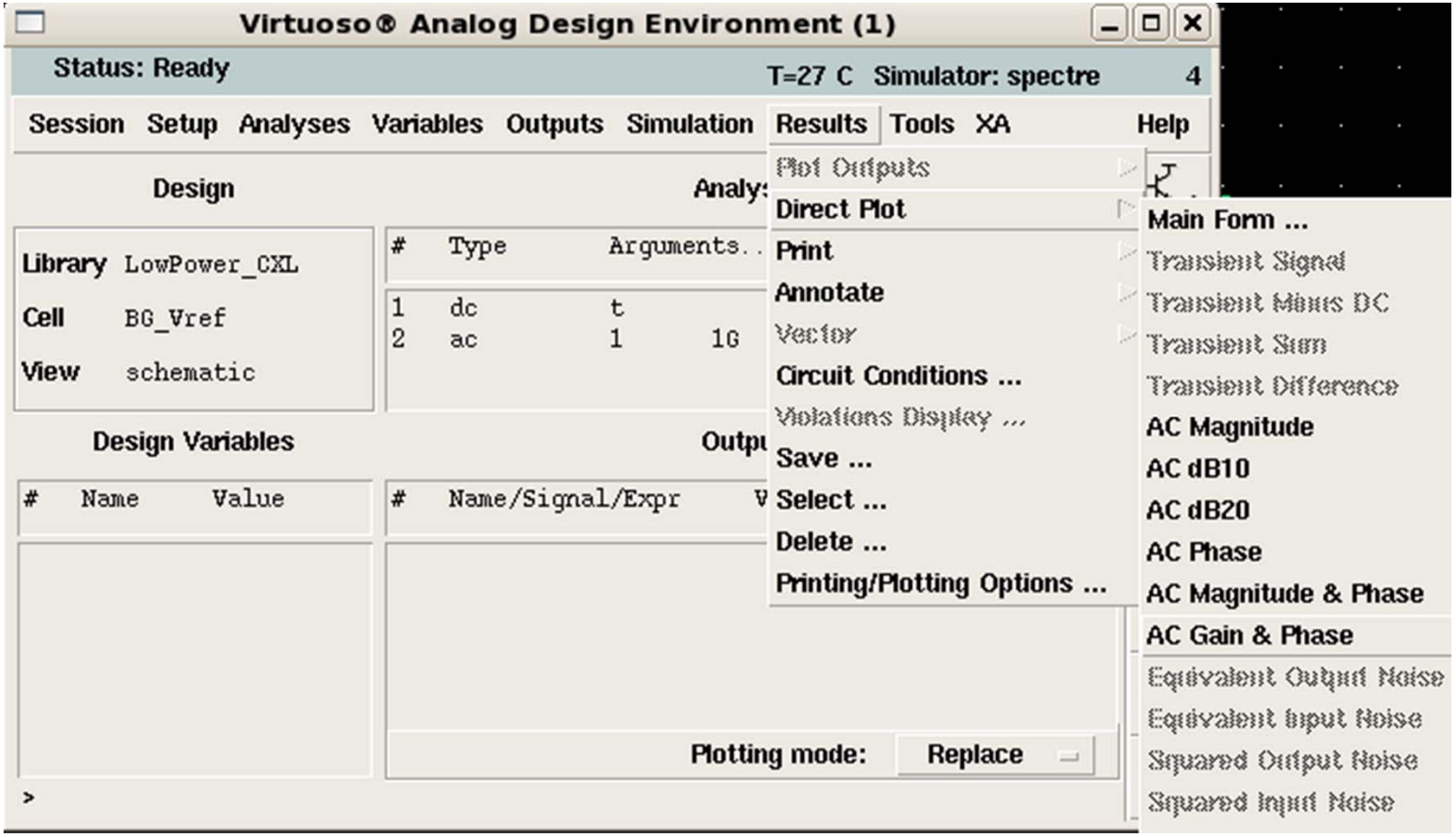


Results: MOSFET的直流工作点



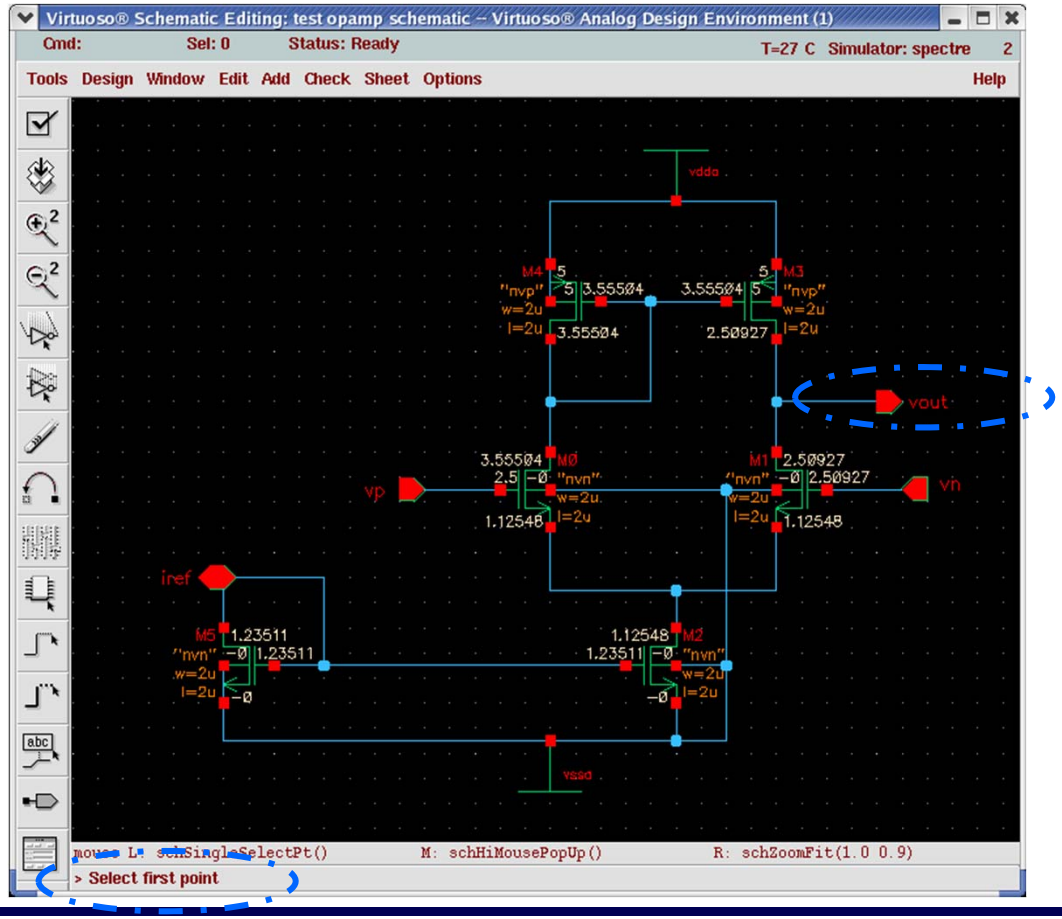
Results: 交流分析得到的增益、增益带宽积、相位裕度

- Results->Direct Plot->AC Gains & Phase->进入Schematic View



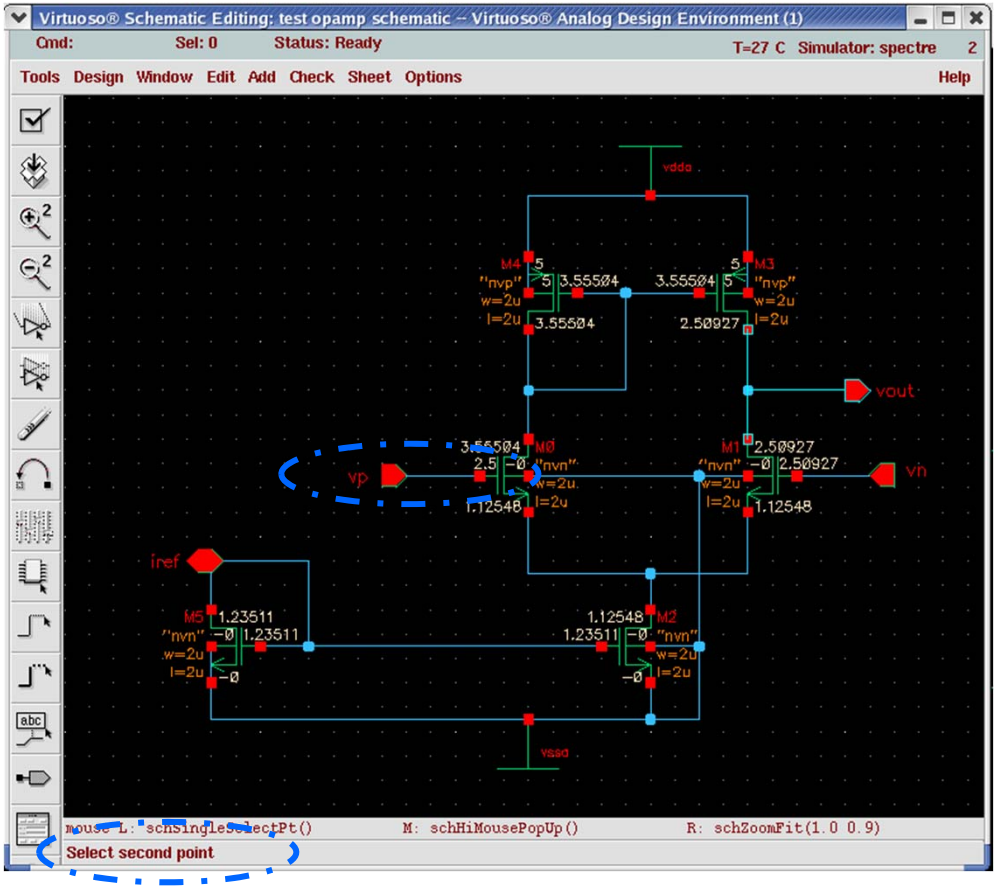
Results: 交流分析得到的增益、增益带宽积、相位裕度

- View的左下角显示：Select first point
- 然后鼠标左键点击vout（First point为输出结点）



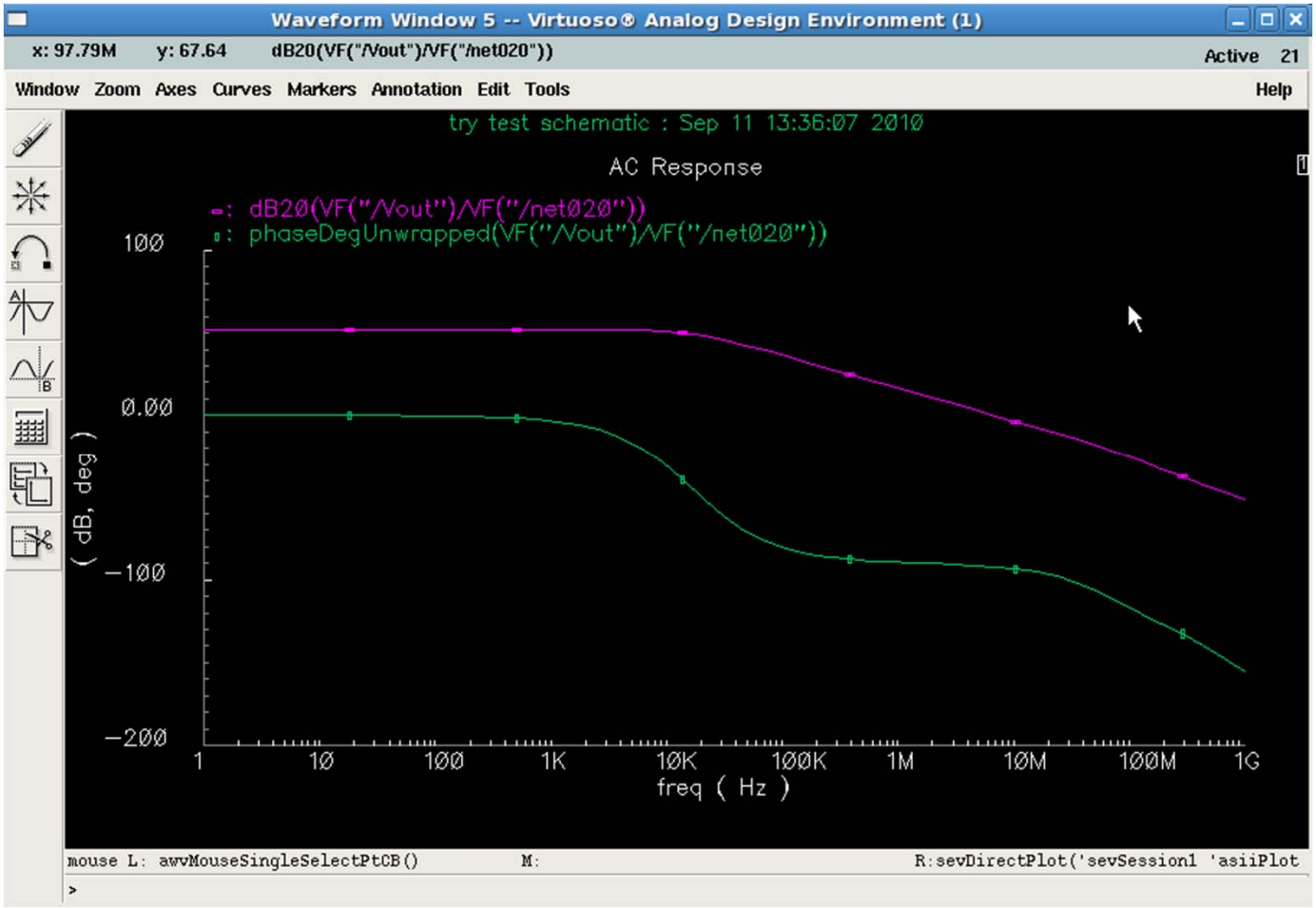
Results: 交流分析得到的增益、增益带宽积、相位裕度

- first point选定后，View的左下角显示：Select second point
- 然后鼠标左键点击vp（Second point为输入结点）



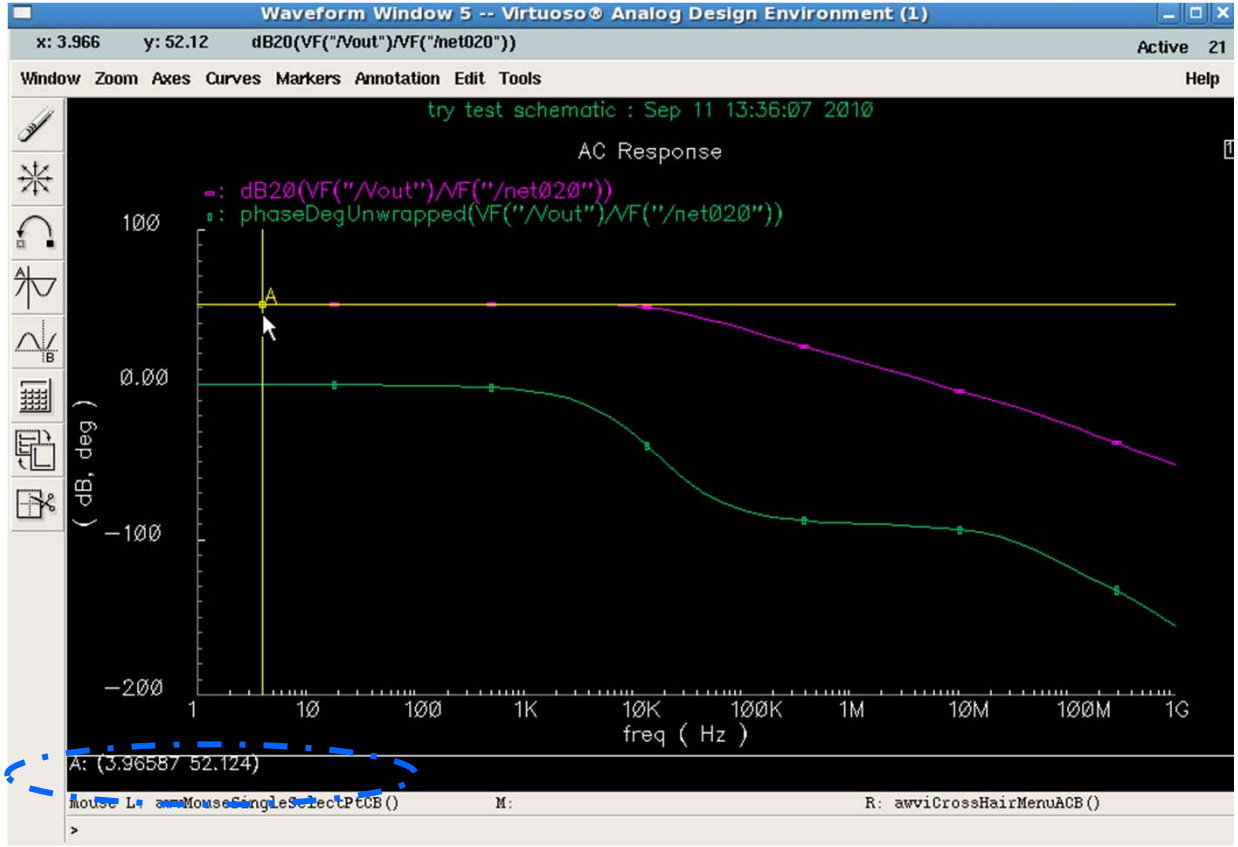
Results: 交流分析得到的增益、增益带宽积、相位裕度

- 弹出图示窗口：两条曲线表示幅频特性与相频特性



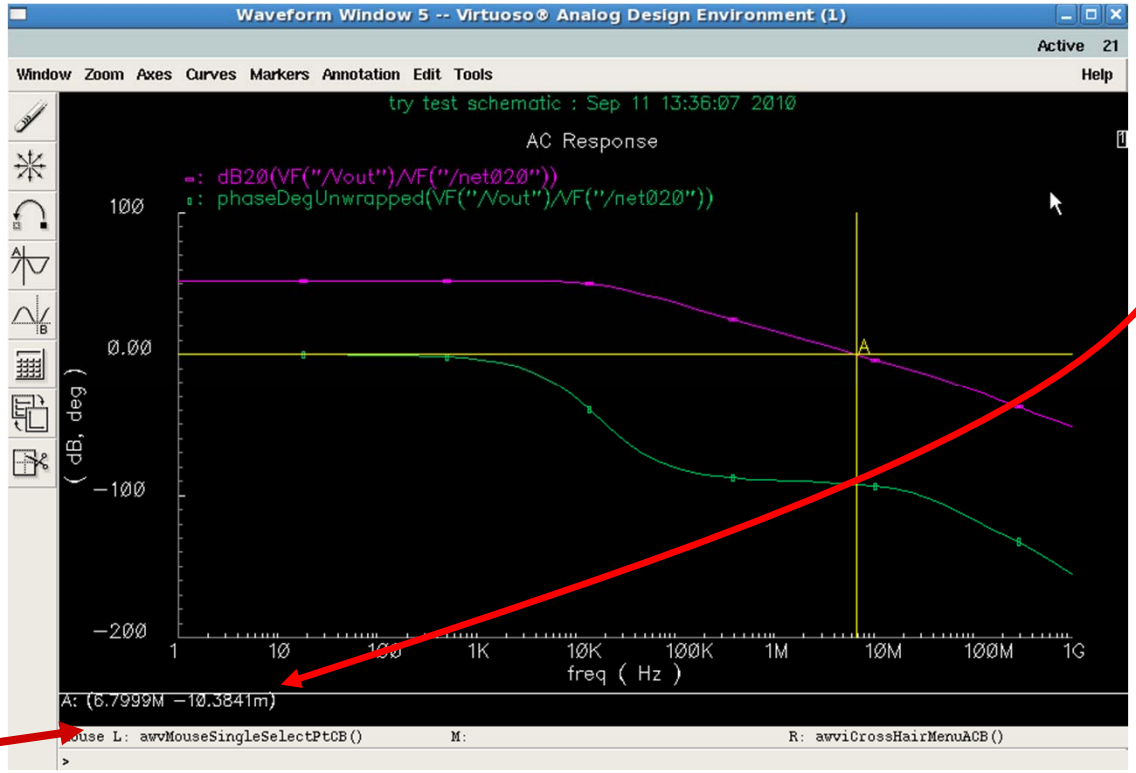
Results: 交流分析得到的增益、增益带宽积、相位裕度

- 低频增益测量：在较低频率处测量幅频特性曲线的纵坐标值
- 如图测得的低频增益为52.124dB



Results: 交流分析得到的增益、增益带宽积、相位裕度

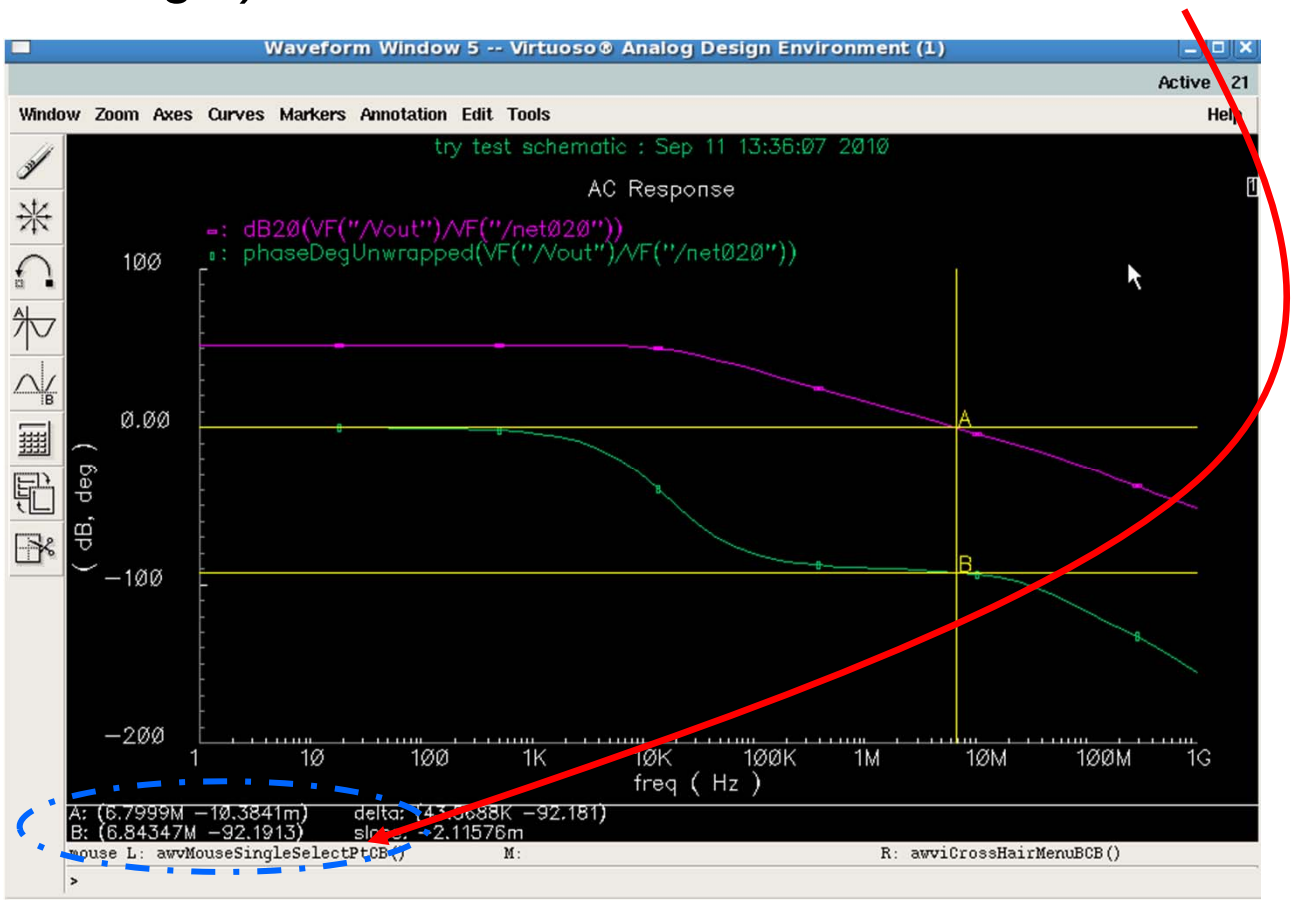
- 增益带宽积测量：幅频特性曲线幅度为0dB时对应的频率
- 注意：标尺很难完全定位到0dB，所以允许误差在正负50m dB以内
- 测得增益带宽积为6.7999MHz



增益带宽积

Results: 交流分析得到的增益、增益带宽积、相位裕度

- 相位裕度测量：使用B标尺在增益带宽积频率处，测相移
- PM (Phase Margin)=180+Phase，图中相位裕度约88º



Results: 交流分析得到的增益、增益带宽积、相位裕度

- 注意：低频增益以及增益带宽积等是否达到放大器性能指标要求？

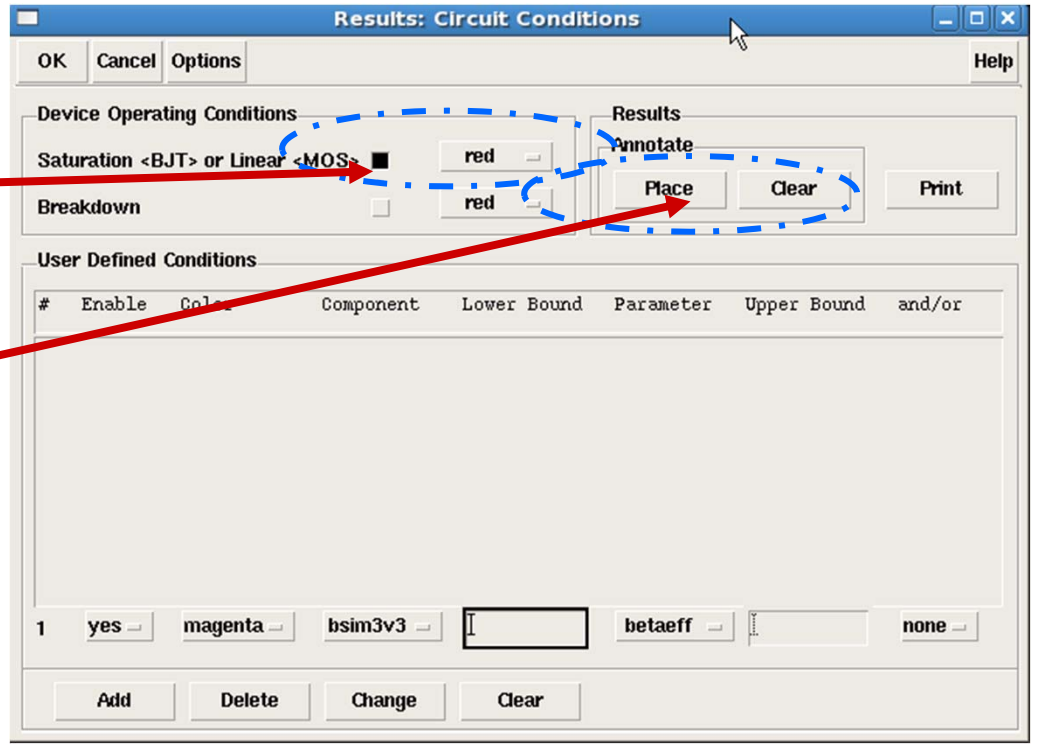
- 如果达不到，可以修改放大器的各管子尺寸，并重新进行交流分析。

Results: Circuit Conditions

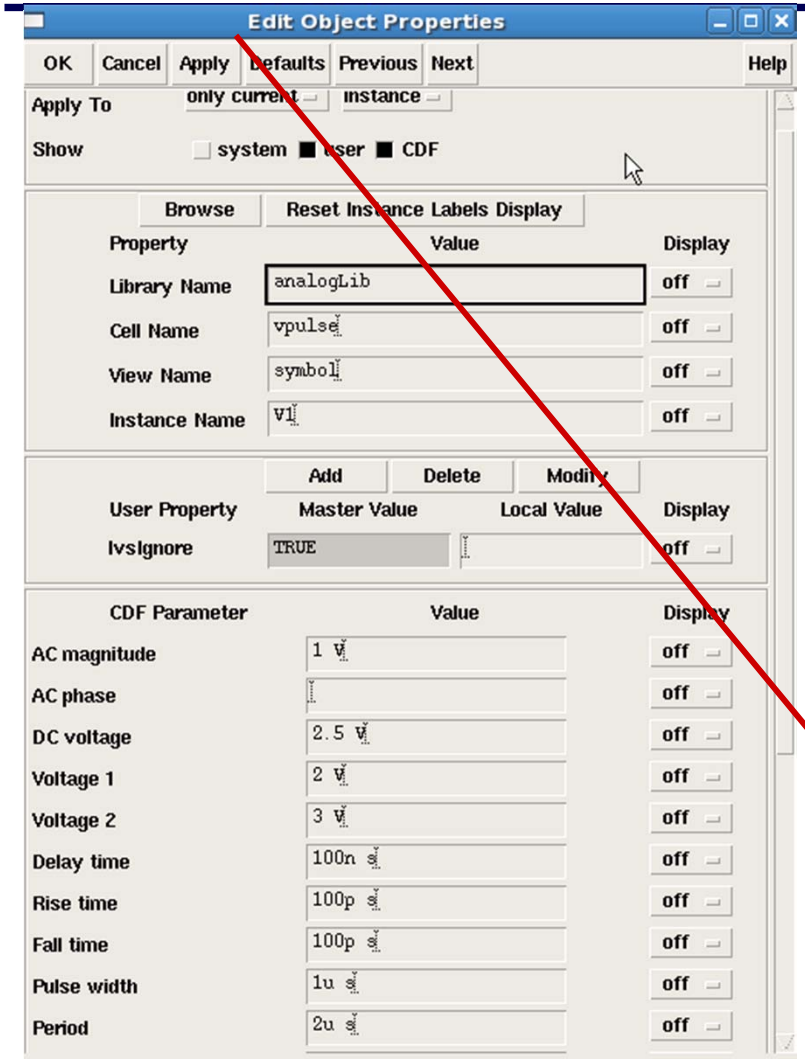
- 查看电路元件的工作状态： Results->Circuit Conditions
  - 放大管、负载管、电流镜等均应工作于饱和区
  - 开关管工作于线性区
  - 线性区：红色显示

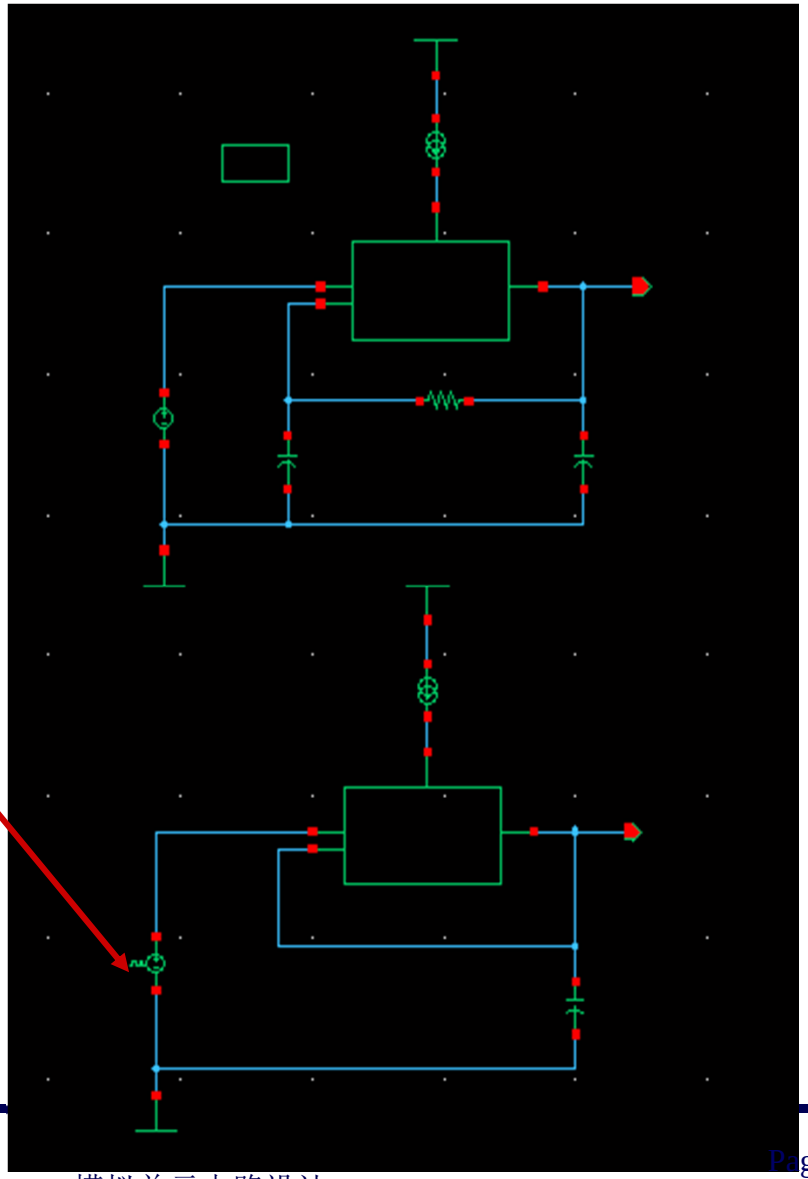
1、选项设置

2、图中显示



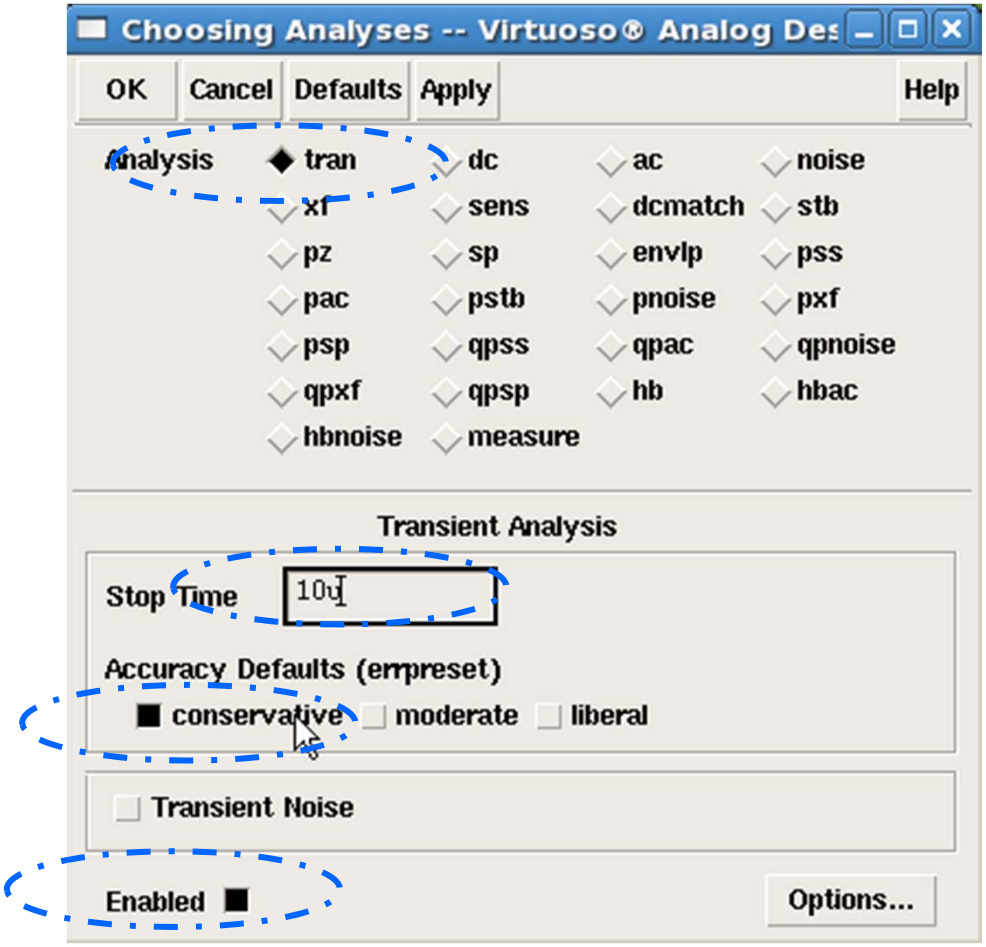
单位增益接法的放大器电路：输入为阶跃脉冲信号





瞬态仿真设置

- Analysis->Choose，弹出窗口选择



精度设置

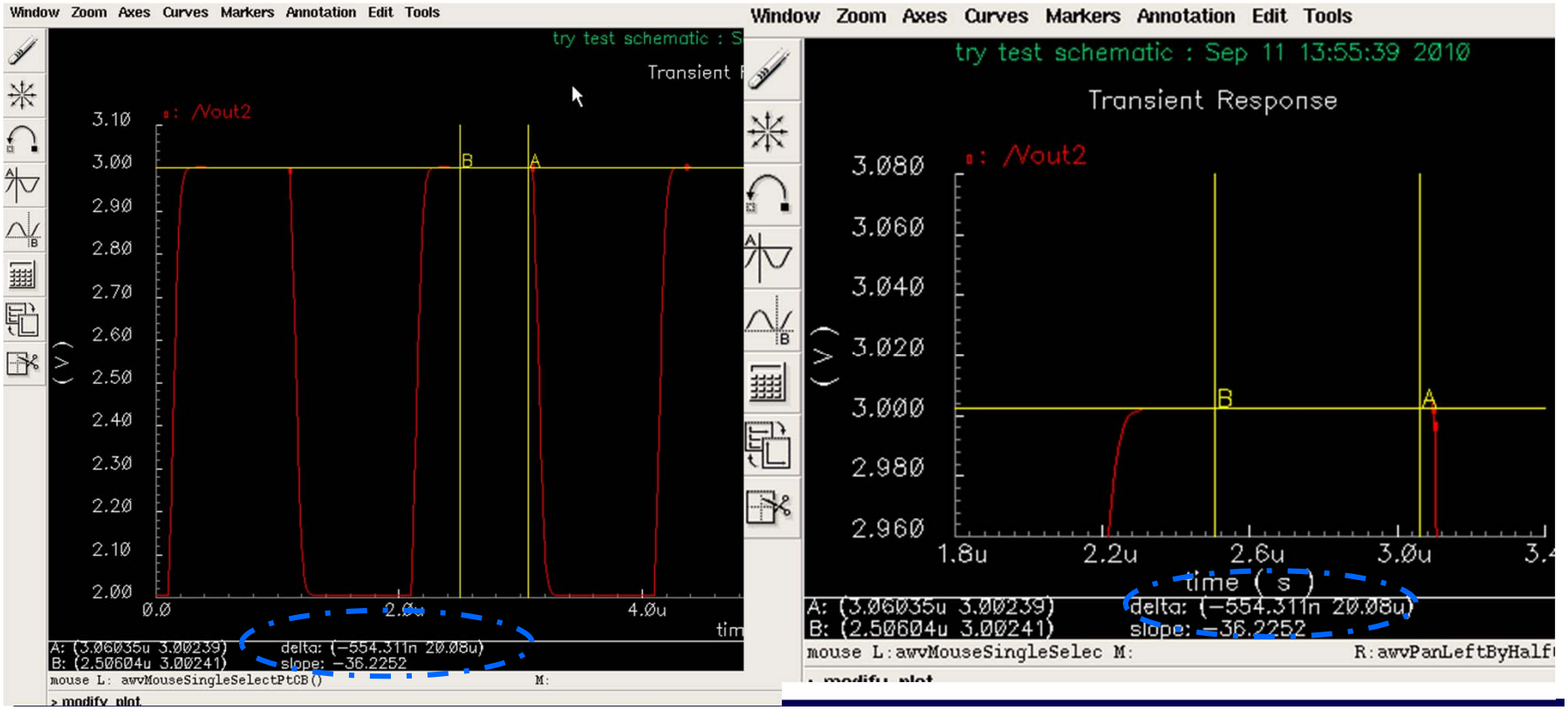
Conservative：精度高

Moderate：中等精度

Liberal：仿真速度快

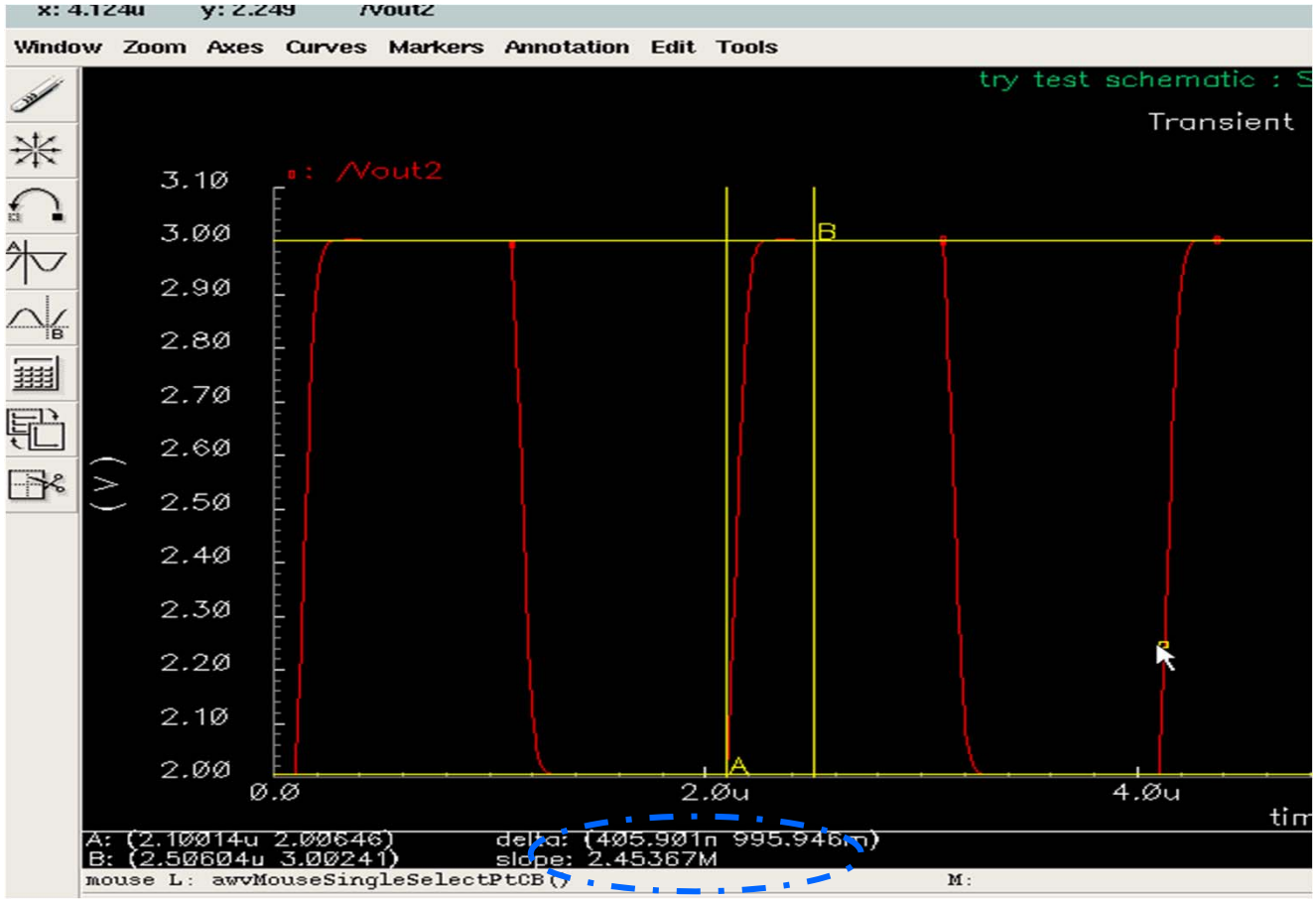
信号建立时间测试

- 第一步：将标尺A放置于平台区靠右的区域
- 第二步：将标尺B从A点往左移动，直到|Delta Y|≈ 20μV
- 第三步：将标尺A移动到跳变起始点，测Delta X，即为建立时间



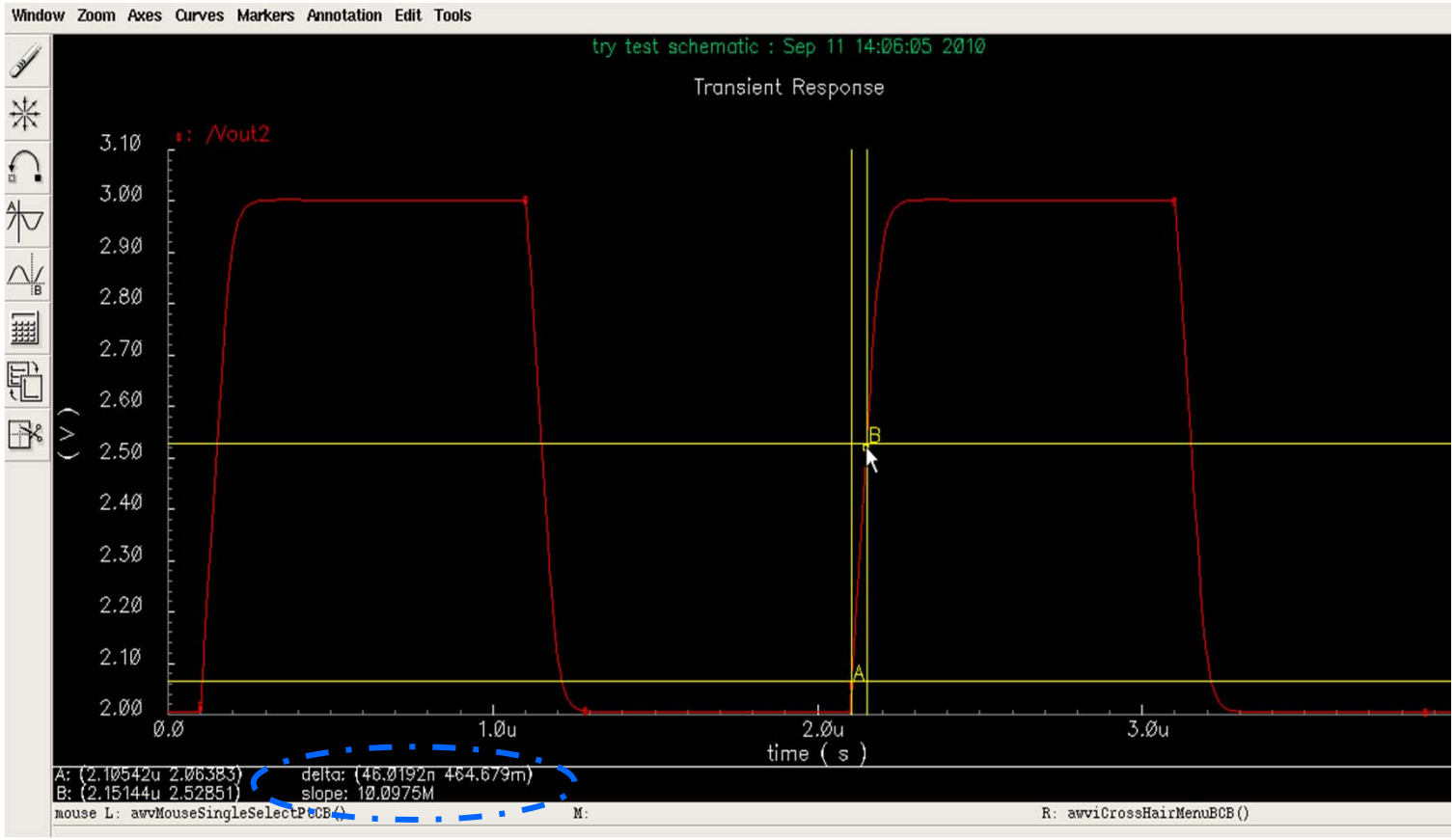
信号建立时间测试

- Delta X，即为建立时间
- 测得的建立时间为405.901ns



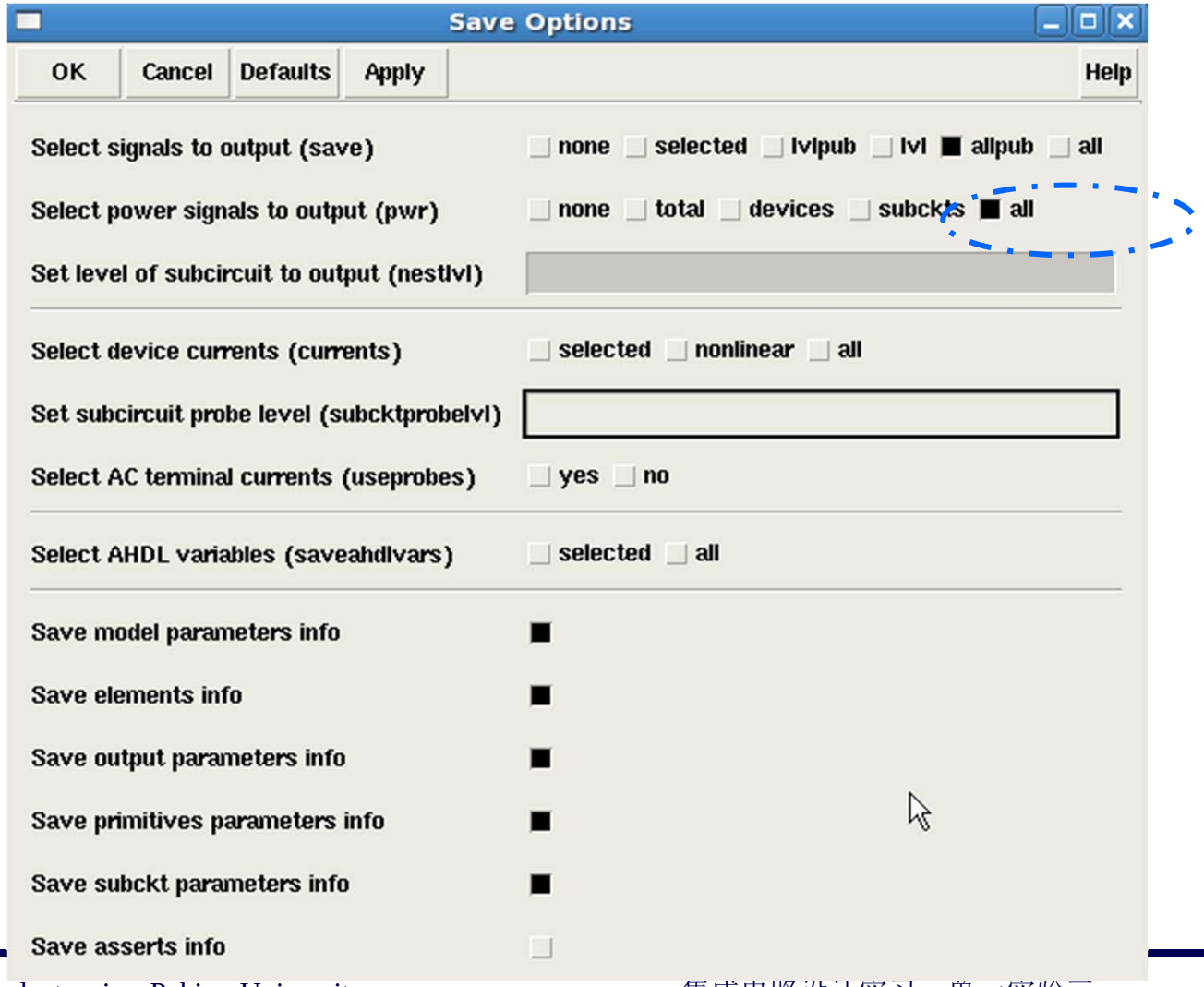
转换速率测试

- A点：跳变点右侧；　　B点：远离斜率变化区域
- 测得转换速率为10.0975MV/sec



功率测试（保存Power信号的设置）

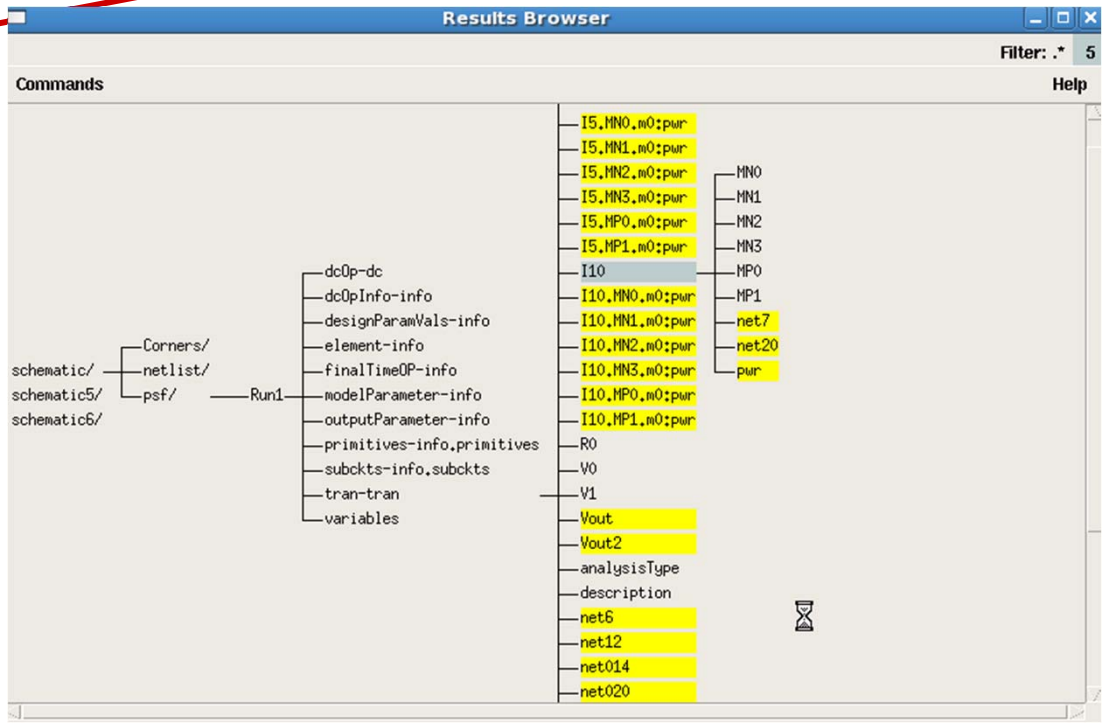
- Outputs->Save All…->弹出Save Options窗口->如下设置



功率测试（瞬态功耗平均值）

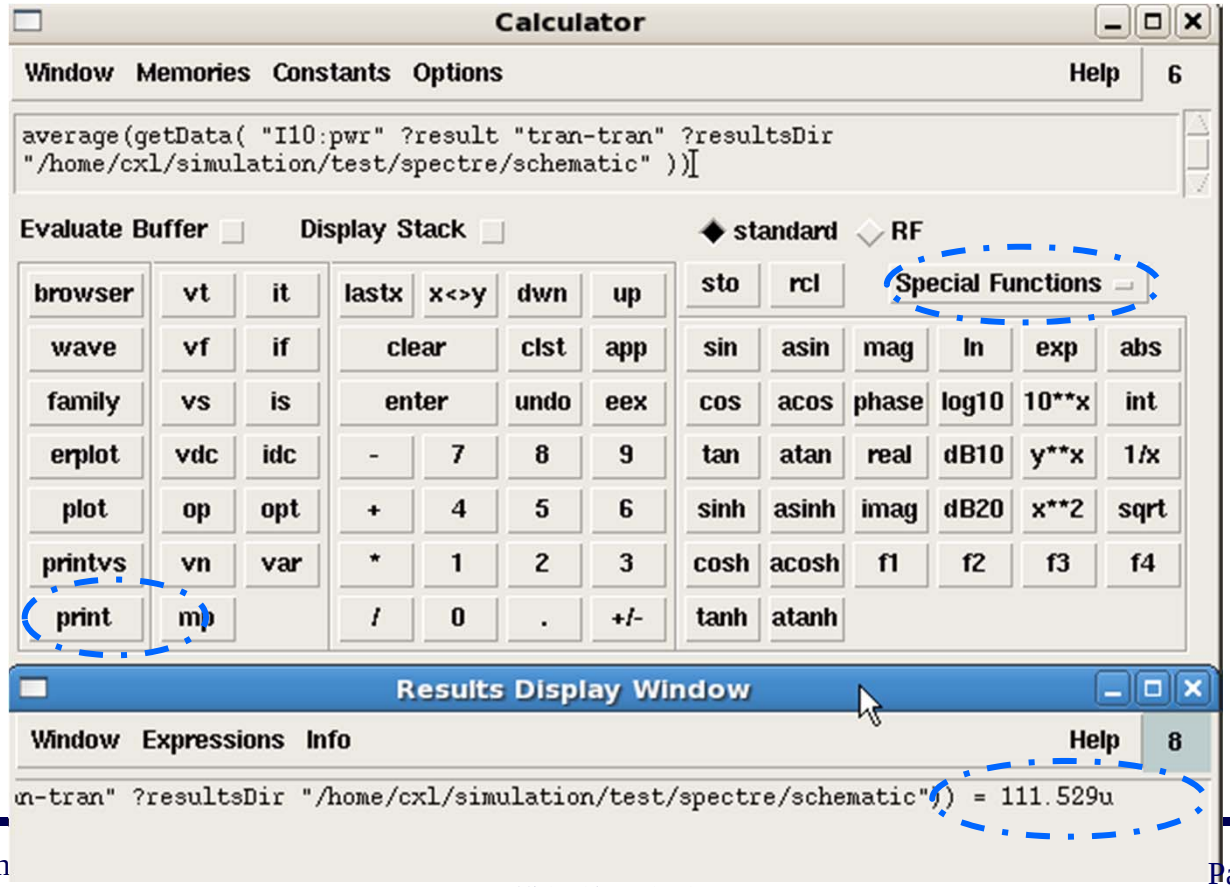
- Tools->Results Browser->弹出窗口中点击OK
- 在Results Browser中
  - Schematic->psf->Run1->tran-tran->I10->pwr->双击鼠标

I10单元的功耗



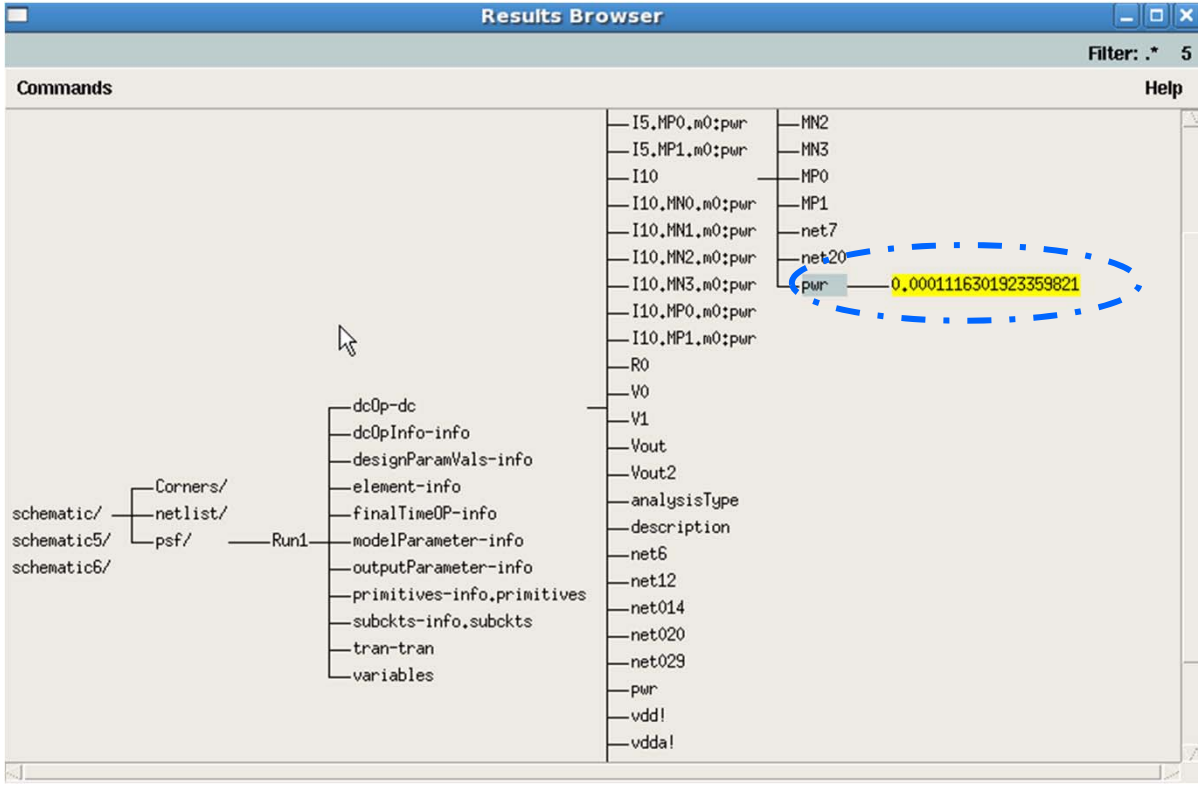
功率测试（瞬态功耗平均值）

- 双击鼠标后弹出Calculator窗口
- 选择Special Functions->Average，然后点击Print
- 平均功耗为：111.529μW



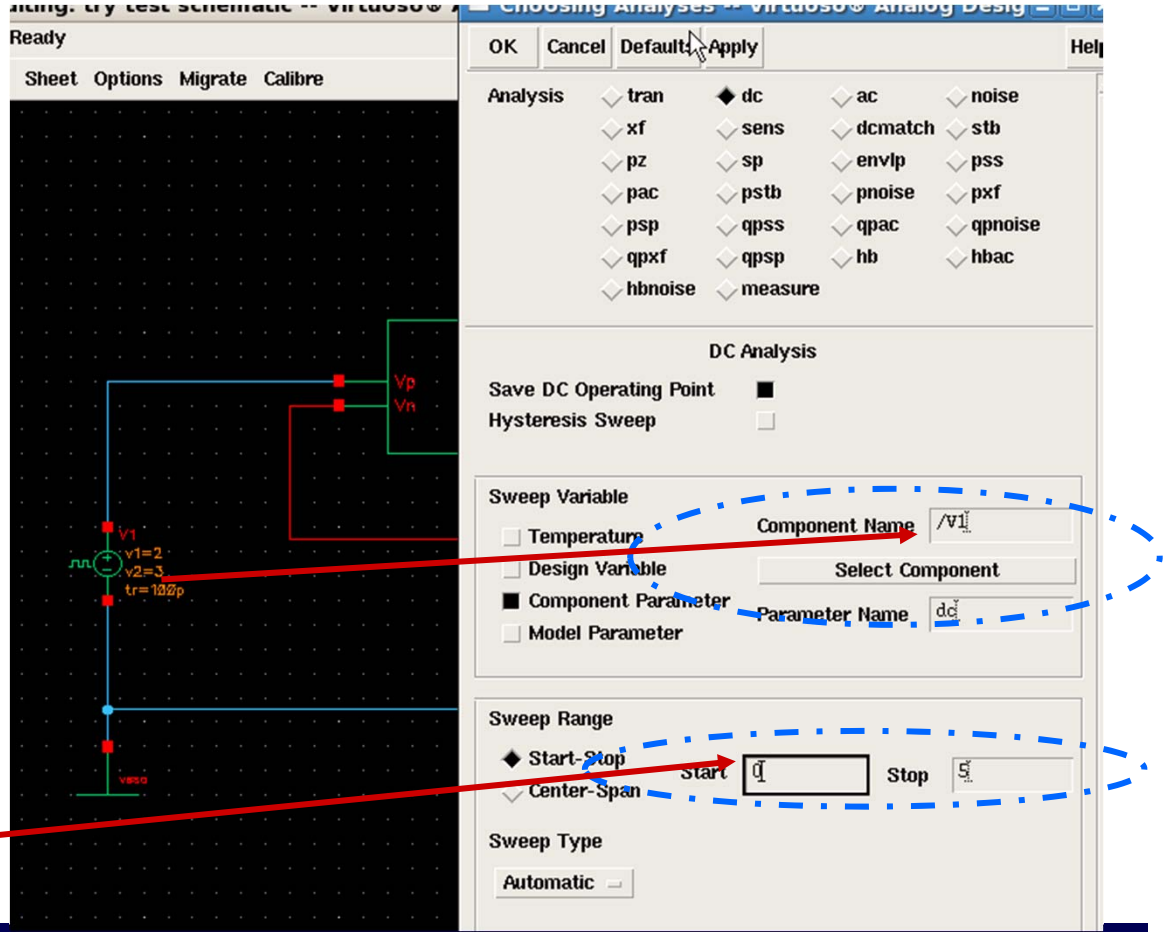
功率测试（直流功耗）

- 在Results Browser中
  - Schematic->psf->Run1->dcOp-dc->I10->pwr



直流扫描

- Analyses->Choose->dc->Component Parameter
- 点击Select Component，然后在Schematic中选择扫描源
  - Component Name
  - Parameter Name



扫描源的起止

直流扫描

- 输出电压随直流量的变化