

电子线路设计与测试

第二阶段

MOSFET共源放大电路设计

安装、调试及测试

电子线路设计与测试

MOSFET共源放大电路设计

安装、调试及测试

(1) 单级MOSFET共源放大电路**仿真**

教材3.3.3实验任务3——实验步骤与要求 (6)

(2) 单级MOSFET共源放大电路**插板实现**

教材3.3.3实验任务3——实验步骤与要求中的

(1) - (5)。**补充：观察失真现象**

自学内容

- 第2章 电子线路计算机辅助分析与设计
 - 2.1 Orcad9.2软件概述
 - 2.2 Orcad9.2电路设计仿真分析的流程
 - 2.3 电子线路分析示例（2.3.1,2.3.4）
 - 第3章 模拟电子线路基础实验
 - 3.2 双极结型三极管的参数测试与基本应用
 - 3.3 金属-氧化物-半导体场效应管参数测试与基本应用
 - 第4章 模拟电子线路应用设计
 - 4.2 双极结型晶体管共射放大器设计
 - 4.3 金属-氧化物-半导体场效应管放大器设计
-

线上教学资源

- ❑ 华中科技大学《电子线路设计、测试与实验（一）》MOOC课程：
- ❑ <http://www.icourse163.org/course/HUST-1001942004>
- ❑ 模块四、模块六



实验要点

- PSpice软件使用
 - MOSFET放大电路的设计方法
 - MOSFET放大电路**静态工作点**设置与调整方法
 - MOSFET放大电路性能指标的测试方法及调试技术
 - 了解负反馈对放大电路性能的影响
-

设计要求

3.3.3 实验任务3 P54

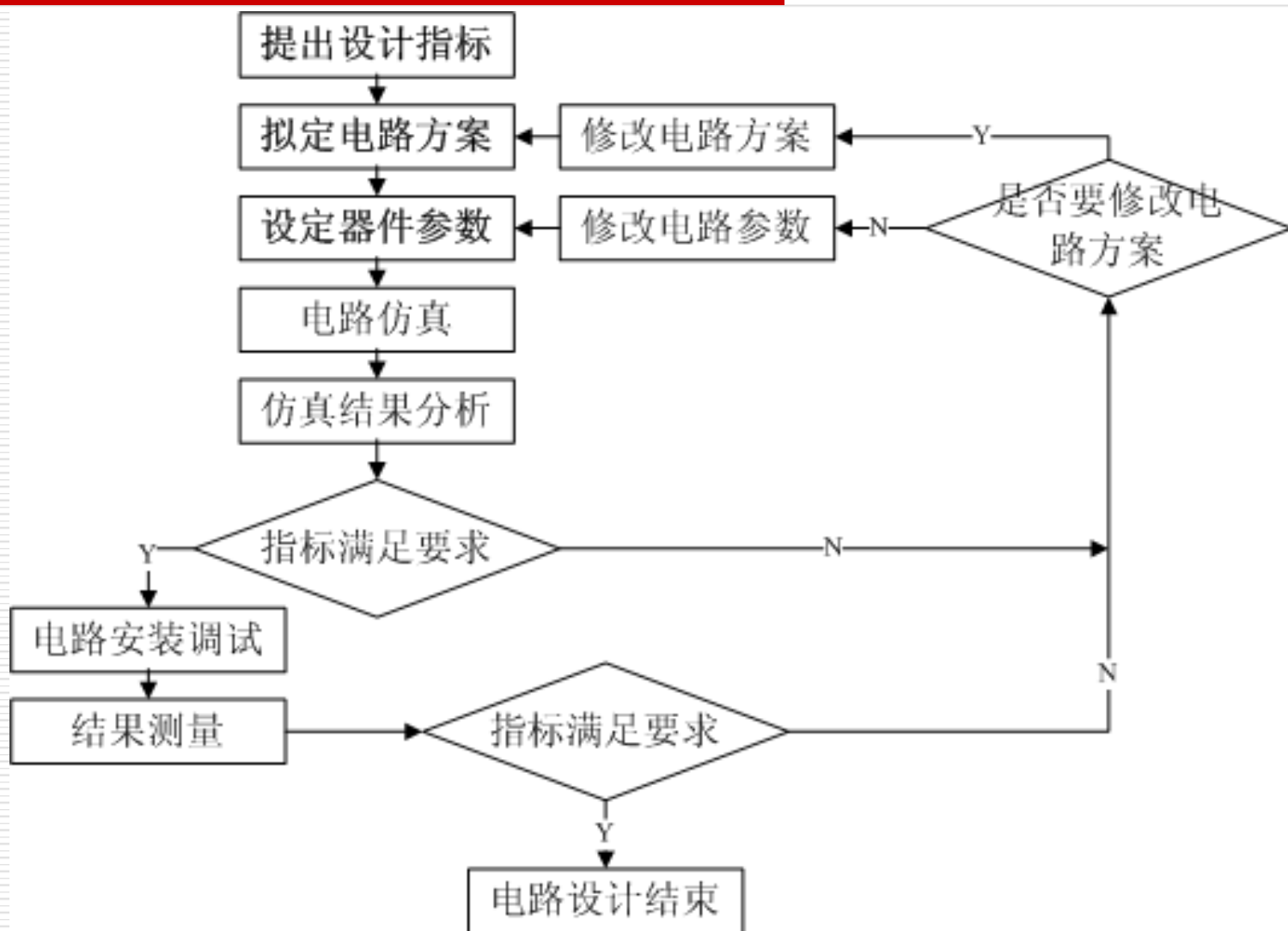
■ 已知条件

- $+V_{CC}=+12V$
- $R_L=5.1k\Omega$
- $V_i=10mV$ (有效值)
- $R_{si}=50\Omega$

■ 技术指标要求

- $|A_V|>10$
- $R_i > 50k\Omega$
- $R_o < 5.1k\Omega$
- $f_L < 100Hz$
- $f_H > 100kHz$
- 电路稳定性好。

电路设计一般流程 (参见教材4.3节)



电路设计举例

□ 参见教材4.3节

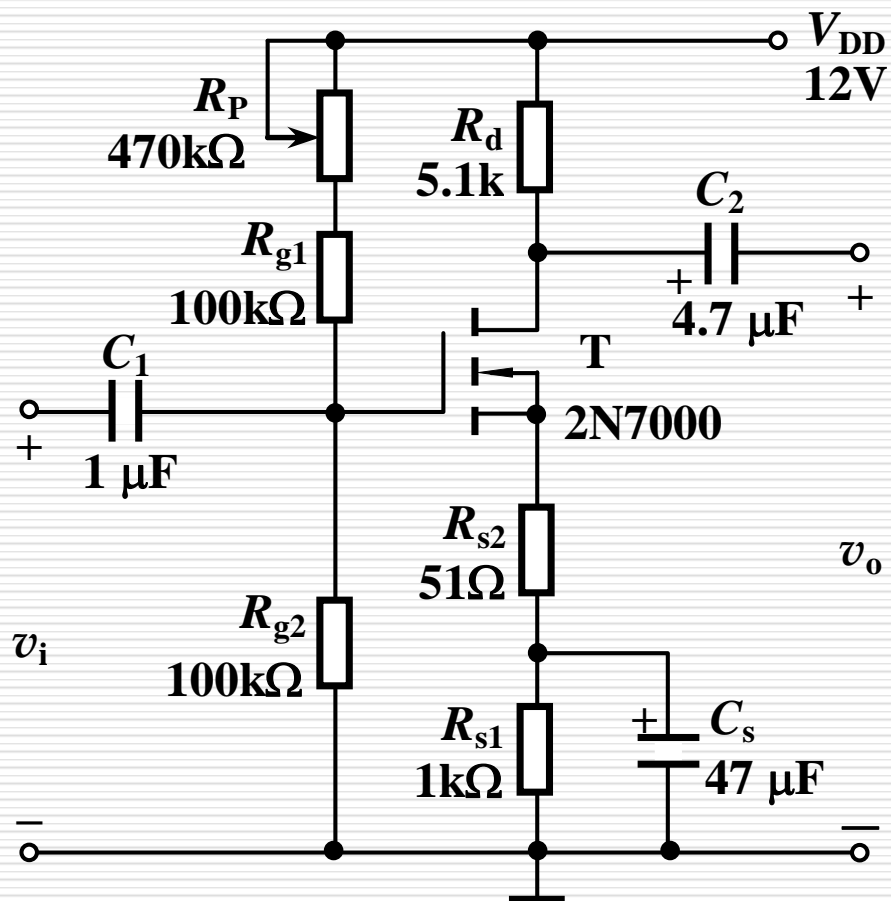
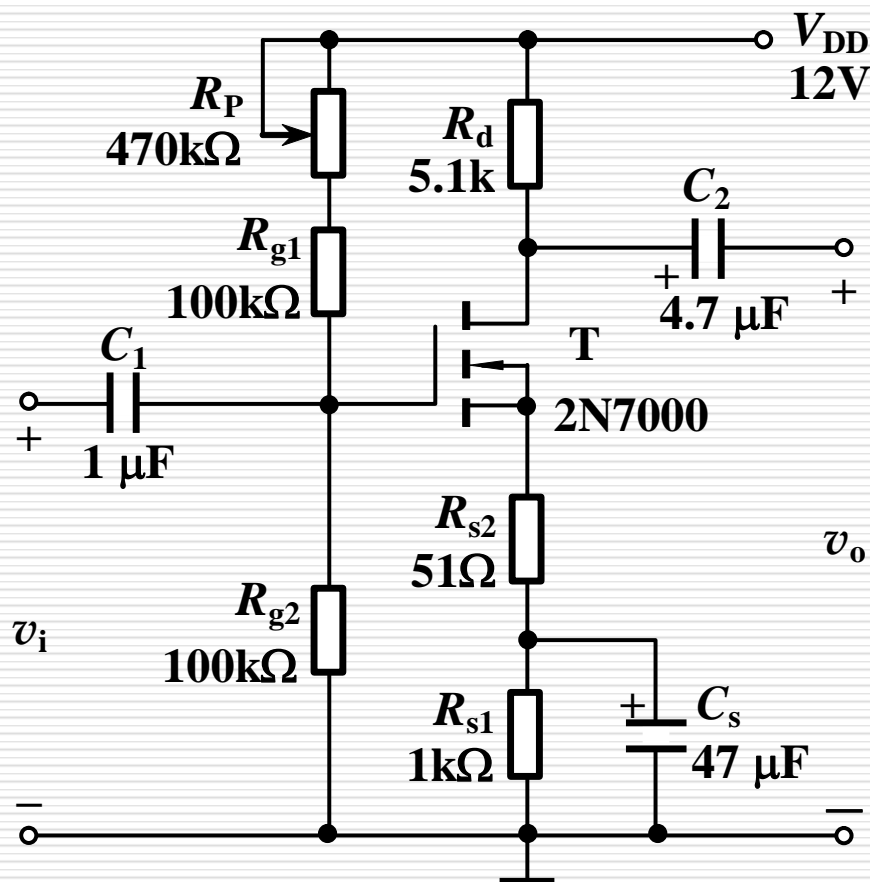


图 3.3.6 共源极放大电路

一、单级MOSFET共源放大电路仿真

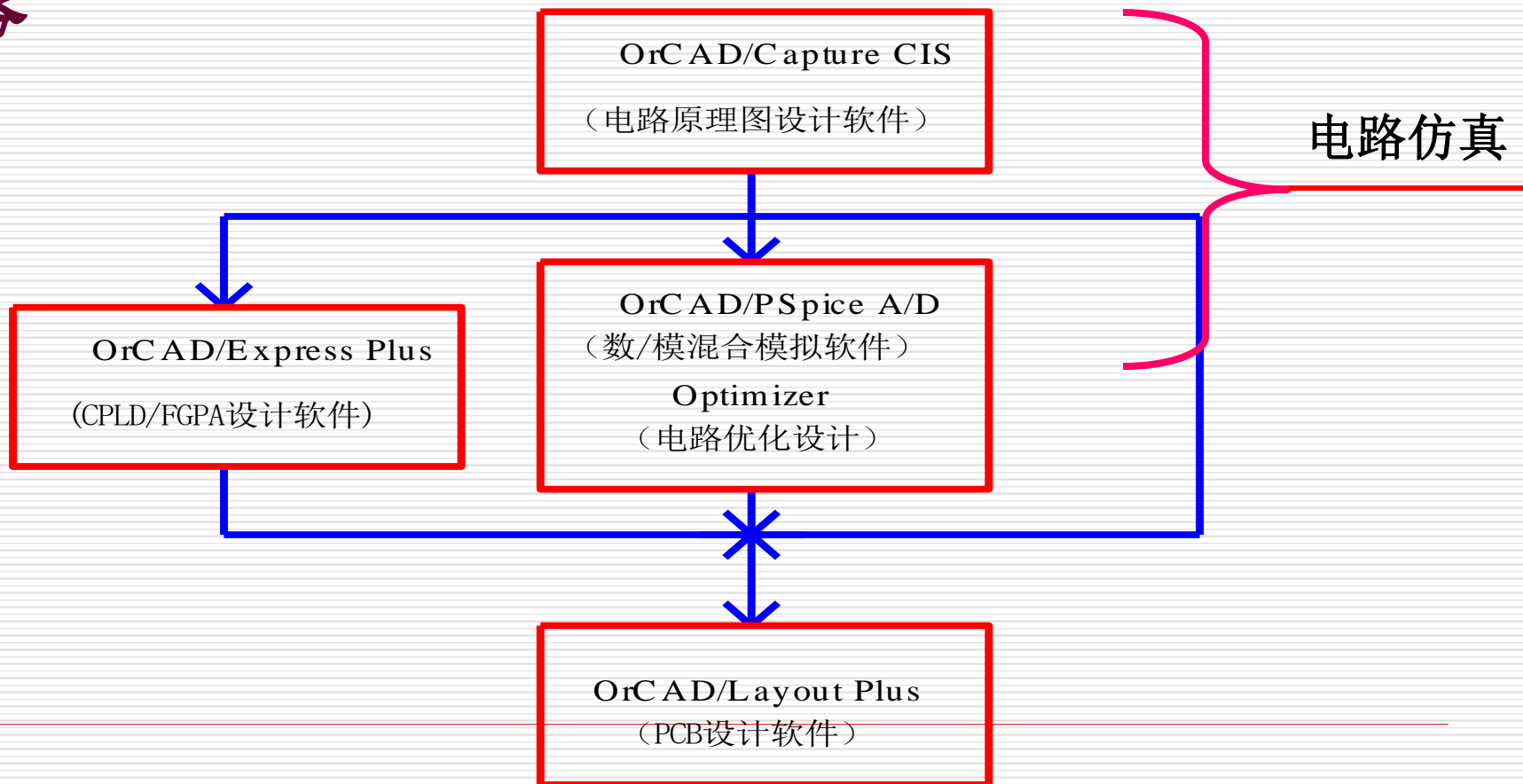
- (1) 静态工作点
- (2) V_i 、 V_o 波形及增益
- (3) 输入电阻
- (4) 输出电阻
- (5) 通频带



共源极放大电路

OrCAD功能概述

OrCAD是美国 OrCAD System公司推出的著名的EDA软件，它是一个软件包，覆盖了电子设计的4项核心任务



PSpice中的单位和数字

Pspice 中采用的是实用工程单位制，如电压用伏（V）、电流用安培（A）、电阻用欧姆（ Ω ）、功率用瓦特（W）等。在运行中，Pspice会根据具体对象自动确定其单位。用户在输入数据时，代表单位的字母可以省去。例如给电压源赋值时，键入12和12V意思一样。

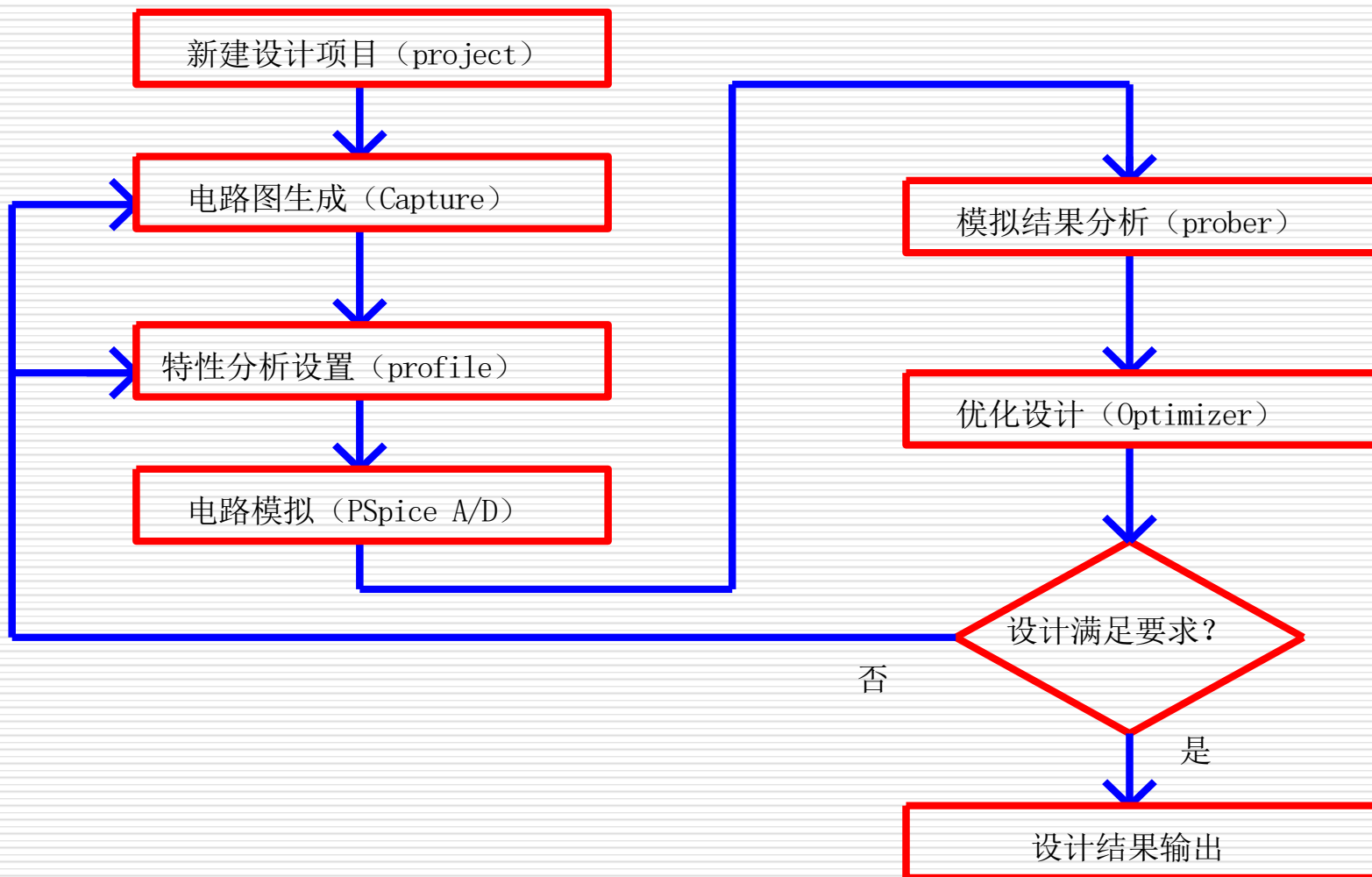
Pspice 中的数字采用科学表示方式，即可以使用整数、小数和以10为底的指数。用指数表示时，底数10用字母E来表示。对于比较大或比较小的数字，还可采用10种比例因子，如下表所示。

PSpice采用的比例因子

符号	比例因子		符号	比例因子
F	10^{-15}		M	10^{-3}
P	10^{-12}		K	10^{+3}
N	10^{-9}		MEG	10^{+6}
U	10^{-6}		G	10^{+9}
MIL	25.4×10^{-6}		T	10^{+12}

例如1000、1**E**3和1**K**都表示同一个数。

PSpice仿真步骤



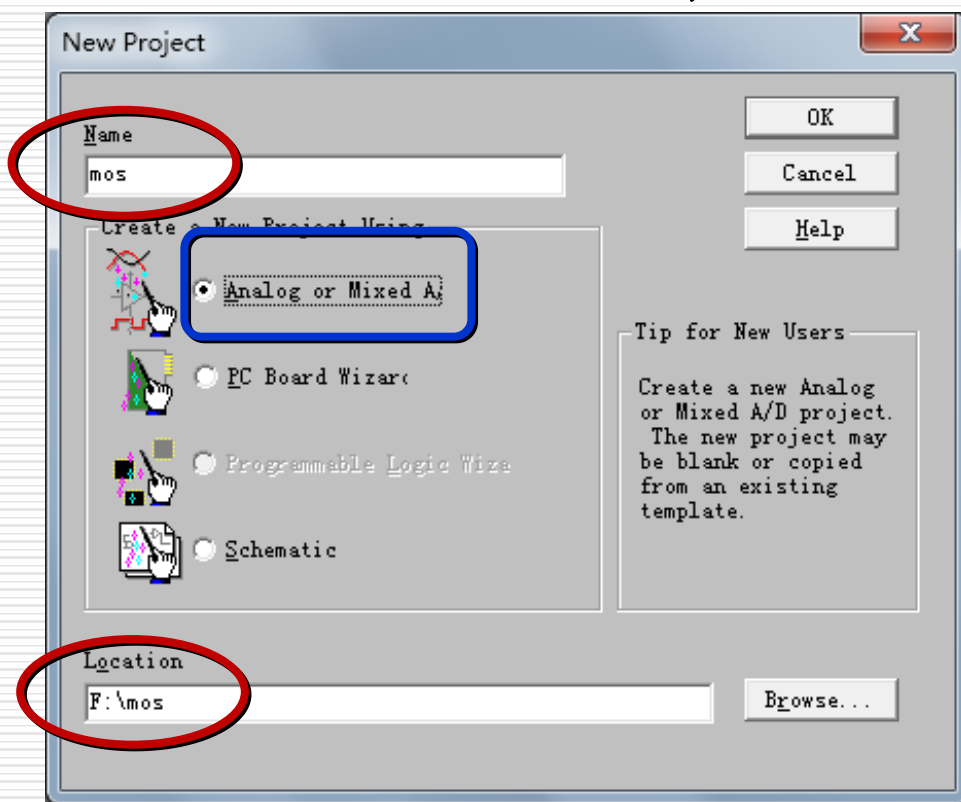
PSpice仿真步骤

1. 创建工程项目文件
 2. 编辑电路原理图（画电路图）
 3. 设置仿真分析类型
 4. 仿真分析
 5. 查看仿真输出结果
 - 从输出文件中查看仿真结果__文本结果
 - 用Probe程序观测__图形结果
-

用Capture CIS绘制电路图

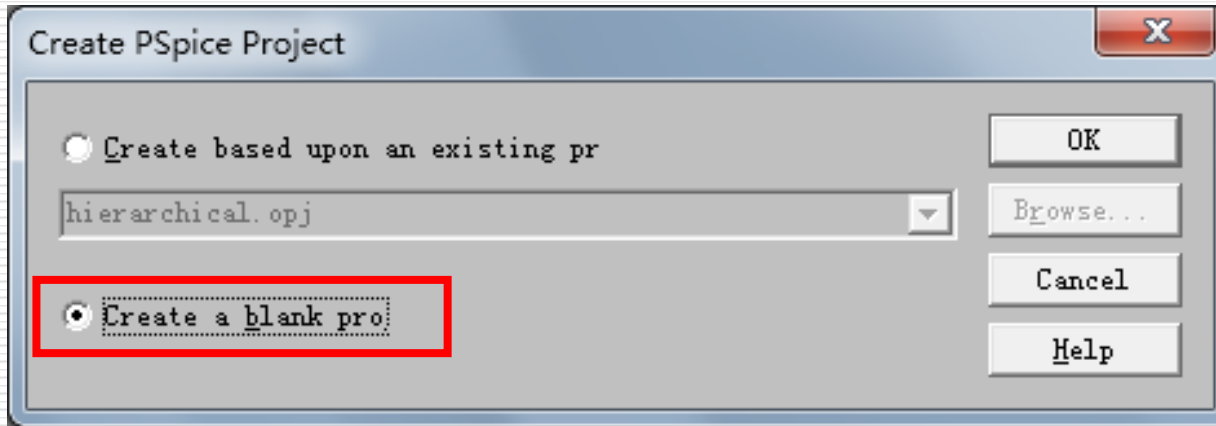
1. 创建工程项目文件

选File/New/ Project



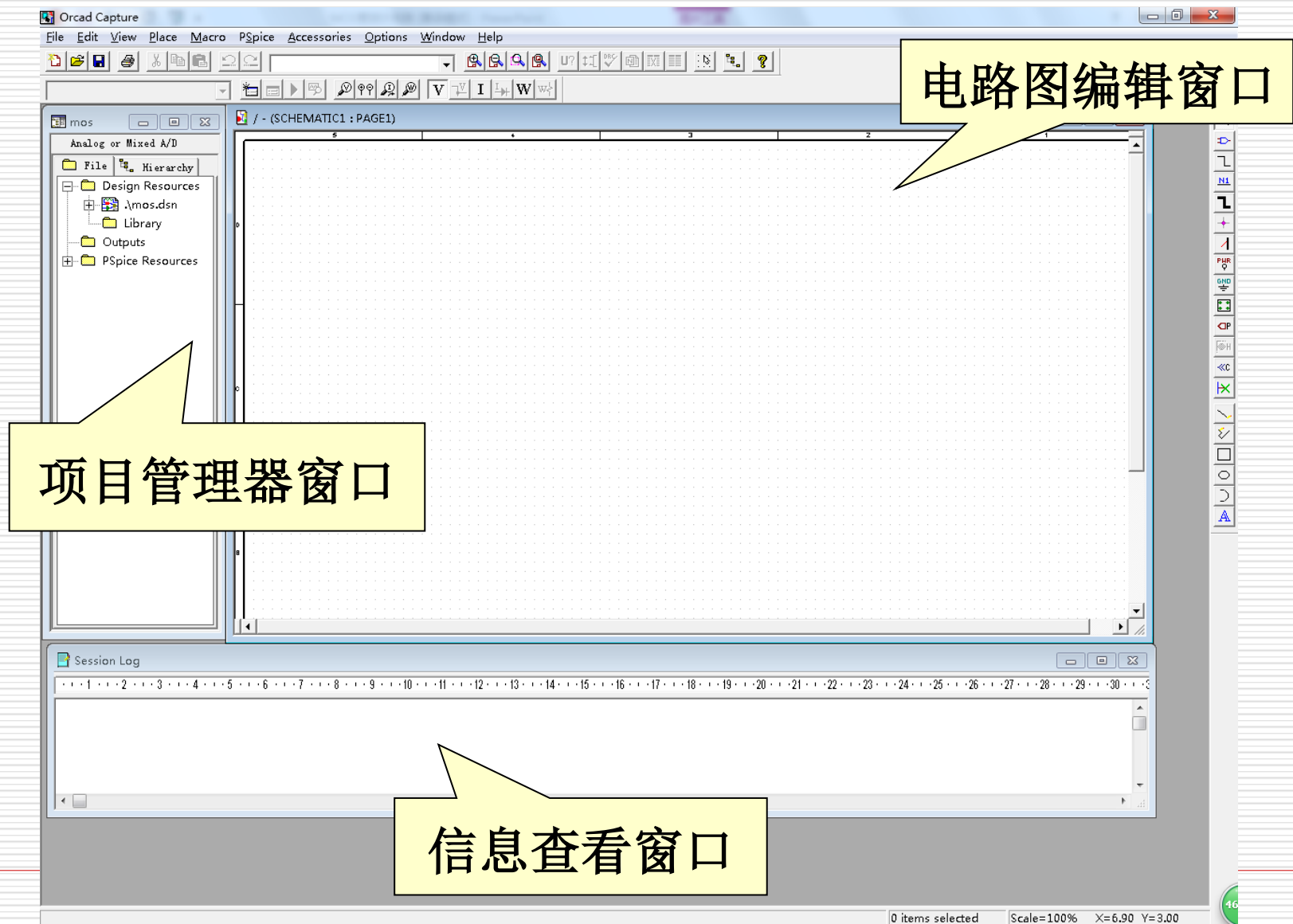
- 在F盘下，建立子目录，如F:\mos。注意：目录名和文件名不能有汉字、空格等！
- 选择 Analog or Mixed A/D

用Capture CIS绘制电路图

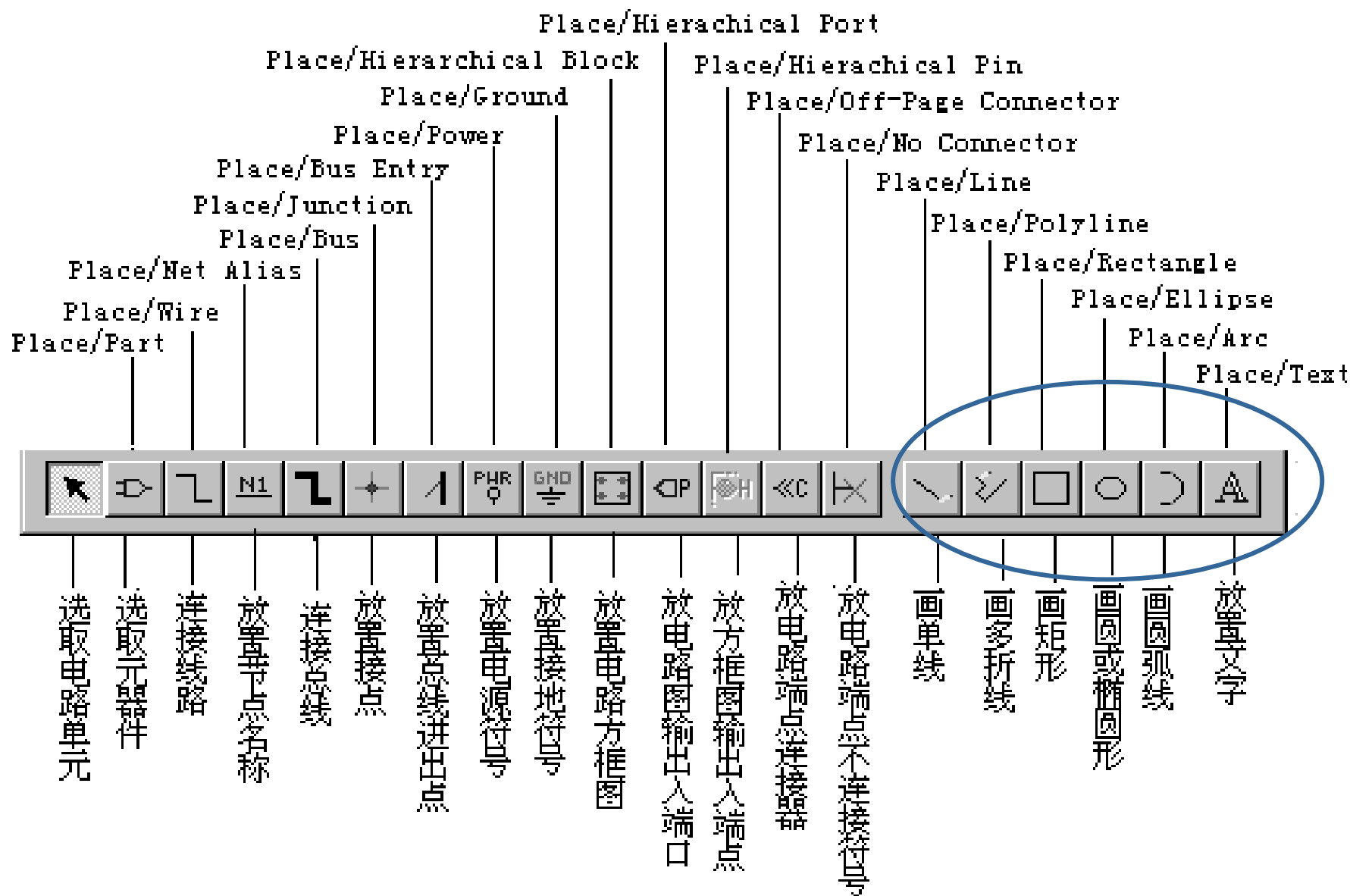


➤ 选择**Create a blank project**

用Capture CIS绘制电路图



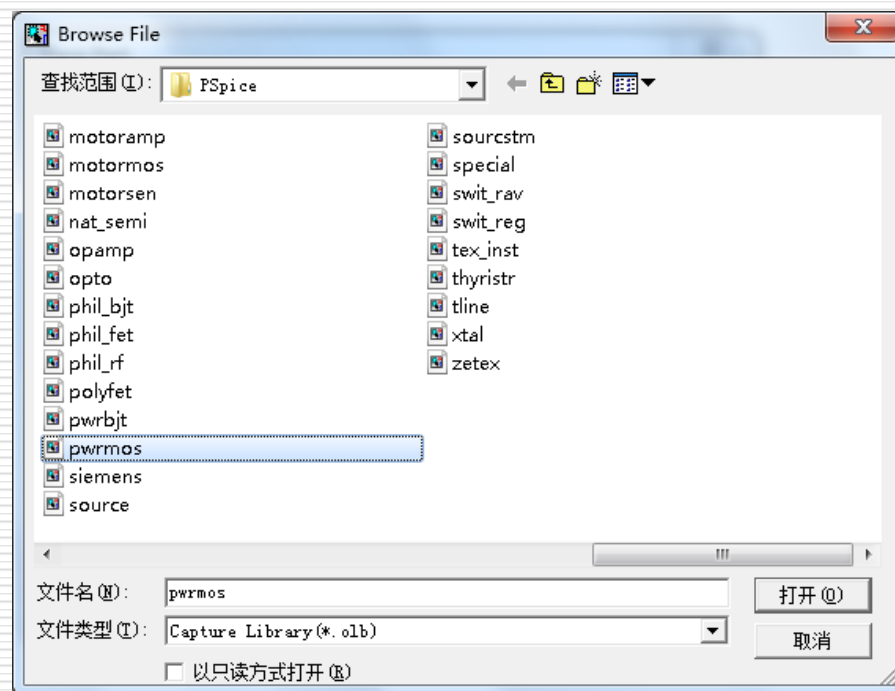
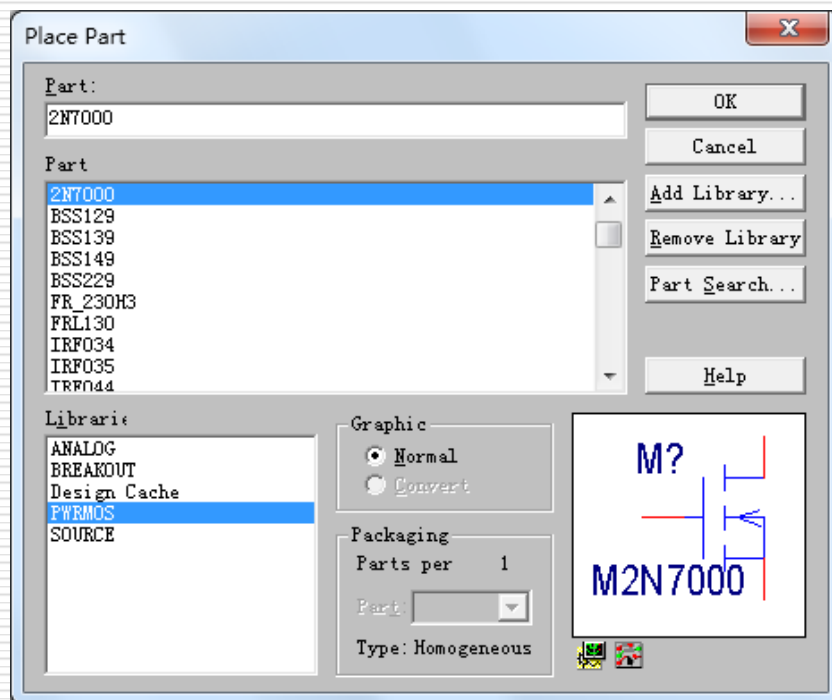
绘图快捷键



用Capture CIS绘制电路图

➤ Place/Part命令或快捷键

(1) 添加元件库: Analog、pwrmos、Source



(2) 提取元件 : 如 **m2n7000**

用Capture CIS绘制电路图

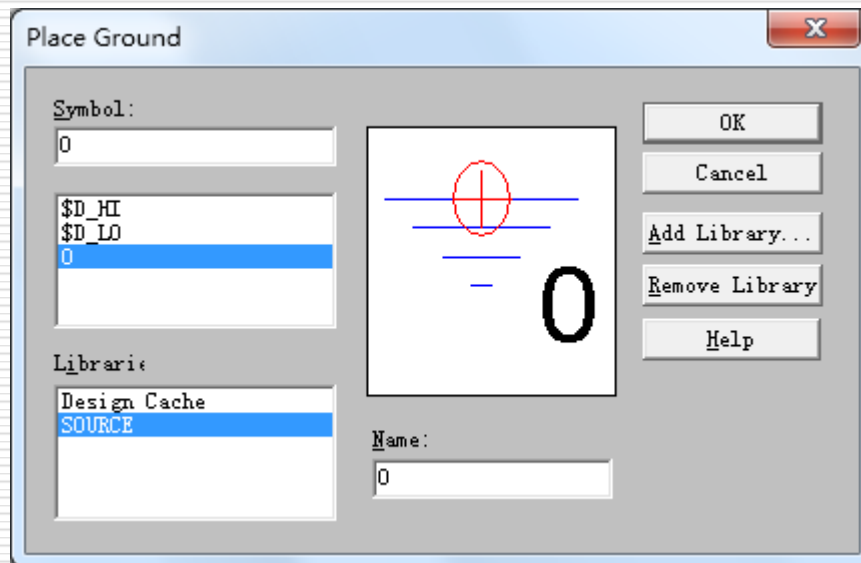
➤ 取放电源与接地符号

(1) 取放电源符号

可同取放元器件一样，在SOURCE库中取电压源或电流源。

(2) 取放接地符号

启动Place/Ground，或按对应的绘图快捷键 ，出现如图所示的选择框。在SOURCE库中取“0”符号。



用Capture CIS绘制电路图

➤ 元件移动、旋转和删除

- (1) 选中元器件：用鼠标左键单击，此时元器件变为红色
- (2) 移动：压住鼠标左键拖到合适位置，松开鼠标左键
- (3) 旋转：菜单Edit/Rotate（或R）
- (4) 翻转：菜单Edit/mirror
- (5) 删除：选择菜单Edit/cut；或按键Delete

注意选中元件后，鼠标右键的使用

用Capture CIS绘制电路图

➤ **连线：** Place/Wire命令或快捷键 

(1) **画线：** 将光标移到需要连线的起点，单击左键（此时会拖着1根线）；移动鼠标到所需位置，单击左键，如此循环，直到连线的终点（某元件的引脚）

(2) **结束：** 单击鼠标右键结束

(3) **移动、旋转和删除：** 与元件操作相同

用Capture CIS绘制电路图

➤ 设置节点名：Place/Net Alias命令或快捷键 N1

例如：想把输出端的节点起名为Vo。步骤如下：

①启动命令，屏幕上出现设置框，在设置框中键入节点名（例Vo）。

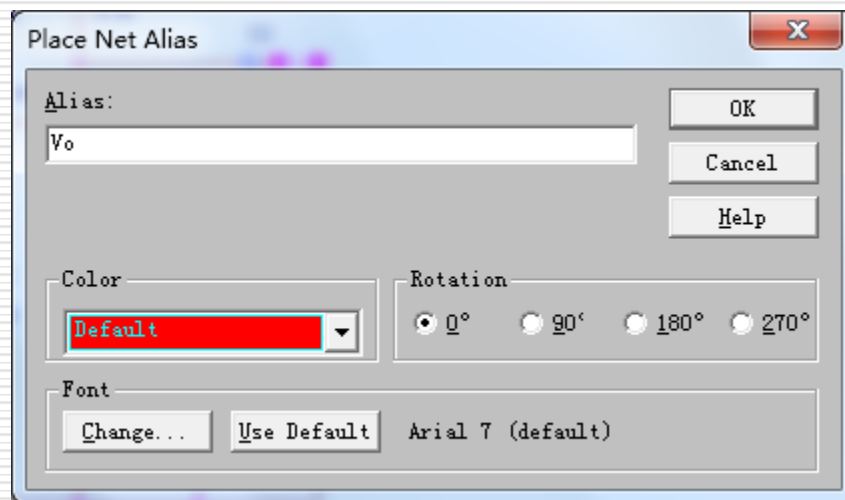
② 按OK键，则光标处

附着一个小方框，将光标

移至设置节点名的位置，

按鼠标左键，新节点名

即出现在该位置。



用Capture CIS绘制电路图

➤ 修改元器件标号和参数

方法1：选中元器件，选择菜单Edit/Properties

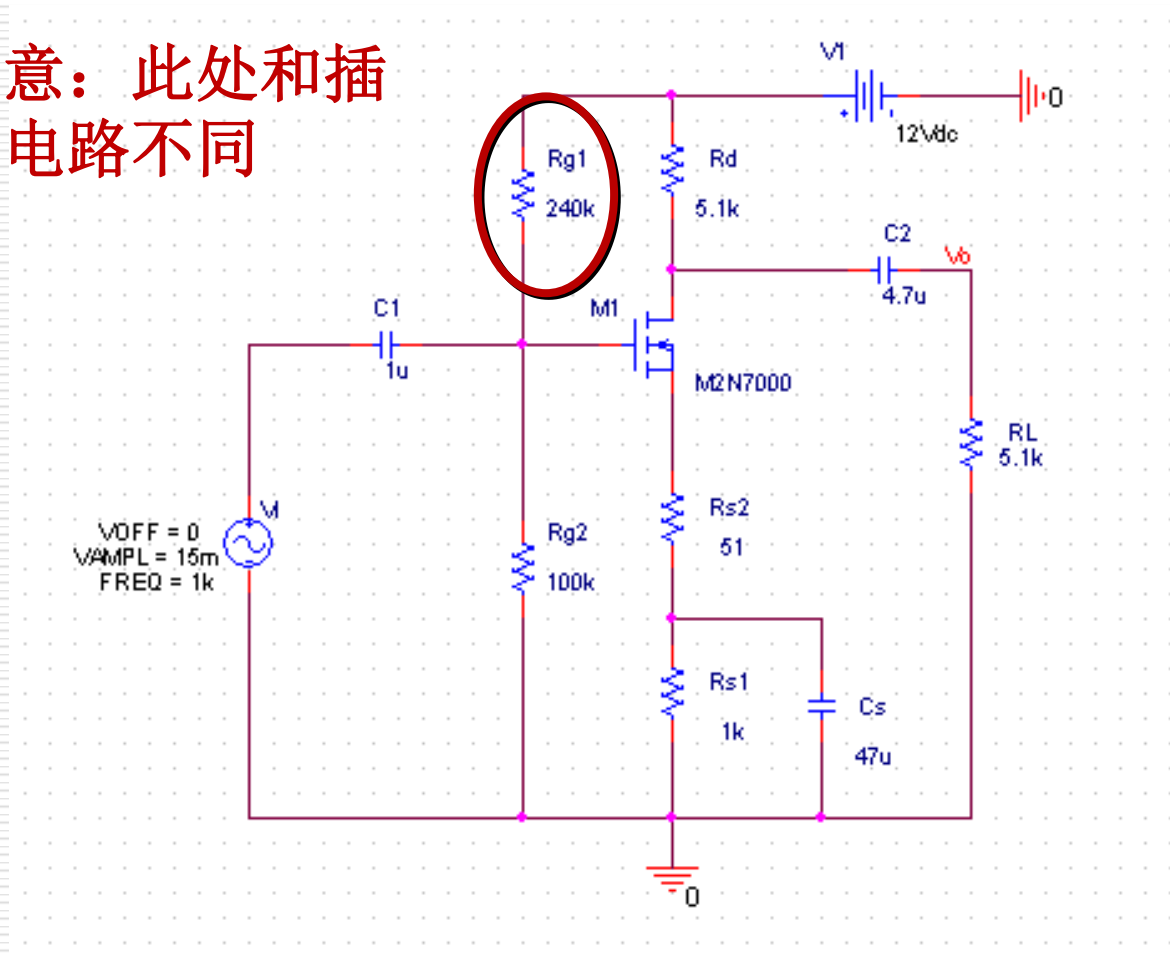
方法2：双击该元件符号或参数

特别注意！

- VSIN 信号源：AC=15mv、VOEF=0v、FREQ=1kHz、VAMPL=15mv。
 - MOS管参数设置方法：
选择菜单Edit/Pspice Model；
-

用Capture CIS绘制电路图

注意：此处和插板电路不同



保存和自动检查

- 保存
- 进行电路规则检查、建立网表文件 (*.net) :

Pspice/Create netlist

若有问题，屏幕会有指示

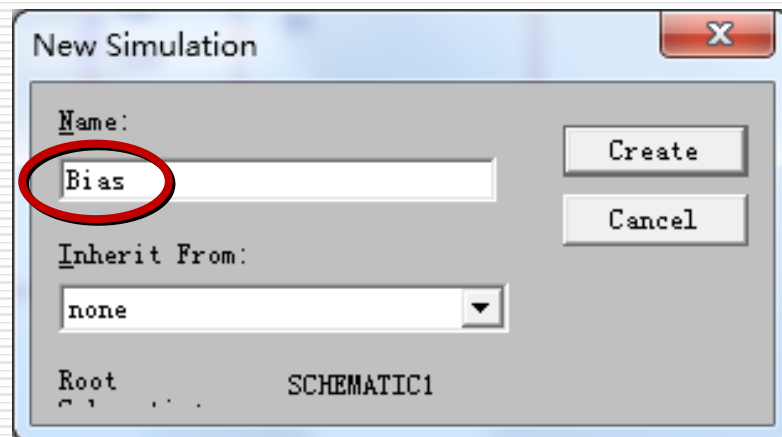
Windows/Session Log弹出错误提示窗口

设置分析类型

为了便于管理，OrCAD/PSpice 将基本直流分析、直流扫描分析、交流分析和瞬态分析规定为4种基本分析类型。每一个模拟类型分组中只能包含其中的一种，但可以同时包括温度分析、参数扫描和蒙特卡诺分析等。

在电路图编辑窗口（Page Editor）下，点击PSpice/New Simulation Profile命令或快捷键 ，出现New Simulation对话框，在Name栏键入模拟类型组的名称，本例取名为 Bias

屏幕上出现模拟类型分组对话框。



设置分析类型

➤ 静态工作点分析



结果输出

➤ 运行Pspice

启动Pspice/Run命令或快捷键 

➤ 查看分析结果

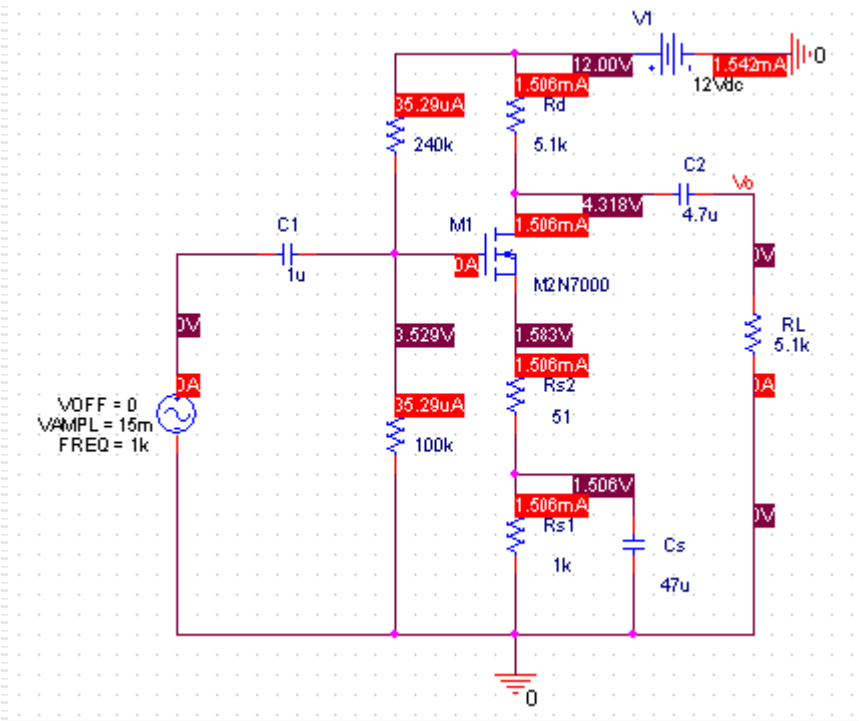
分析计算结束后，系统自动调用Probe模块，屏幕上出现Probe窗口。选择View/Output File命令，即可看到本例的文本输出文件bias.out。

输出文本文件

[illegible]

NAME	M_M1
MODEL	M2n7000
ID	1.51E-03
VGS	1.95E+00
VDS	2.74E+00
VBS	0.00E+00
VTH	1.73E+00
VDSAT	2.16E-01

if	-1.00E+00
ir	-1.00E+00
TAU	-1.00E+00
GM	1.39E-02
GDS	2.08E-08
GMB	0.00E+00
CBD	3.54E-11
CBS	0.00E+00
CGSOV	8.83E-12
CGDOV	7.78E-13
CGBOV	0.00E+00
CGS	2.76E-12
CGD	0.00E+00
CGB	0.00E+00



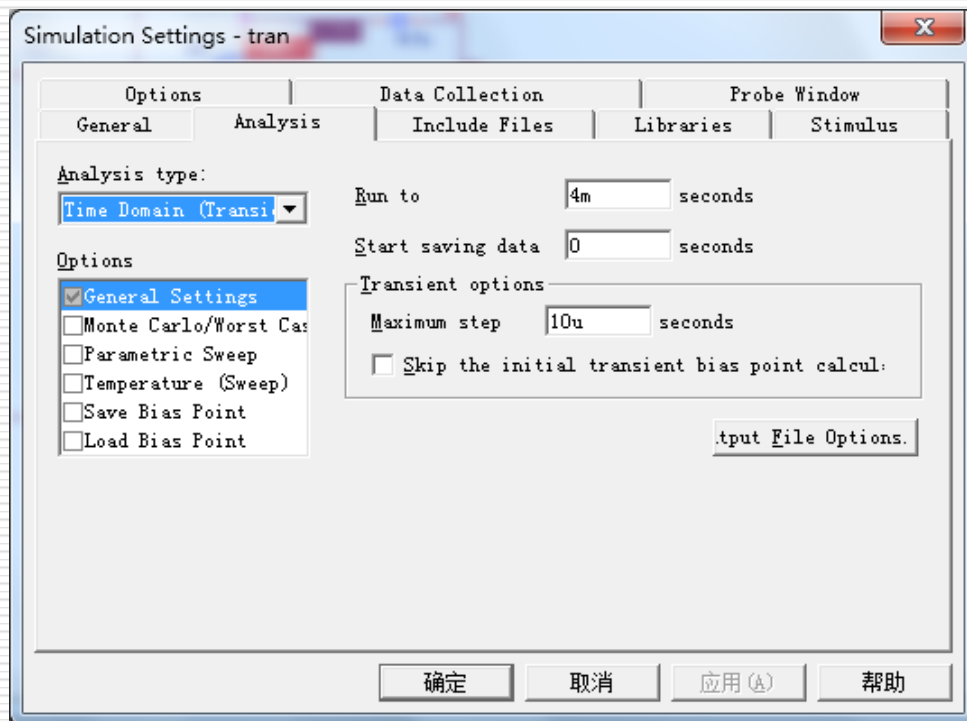
设置分析类型

➤ 瞬态分析（时域分析）

瞬态分析又称TRAN分析，就是求电路的时域响应。它可在给定输入激励信号情况下，计算电路输出端的瞬态响应，也可在没有激励信号但有储能元件（如C和L）的情况下，求振荡波形。

设置分析类型

➤ 瞬态分析（时域分析）



Run to: 4m
仿真终止时间为4ms

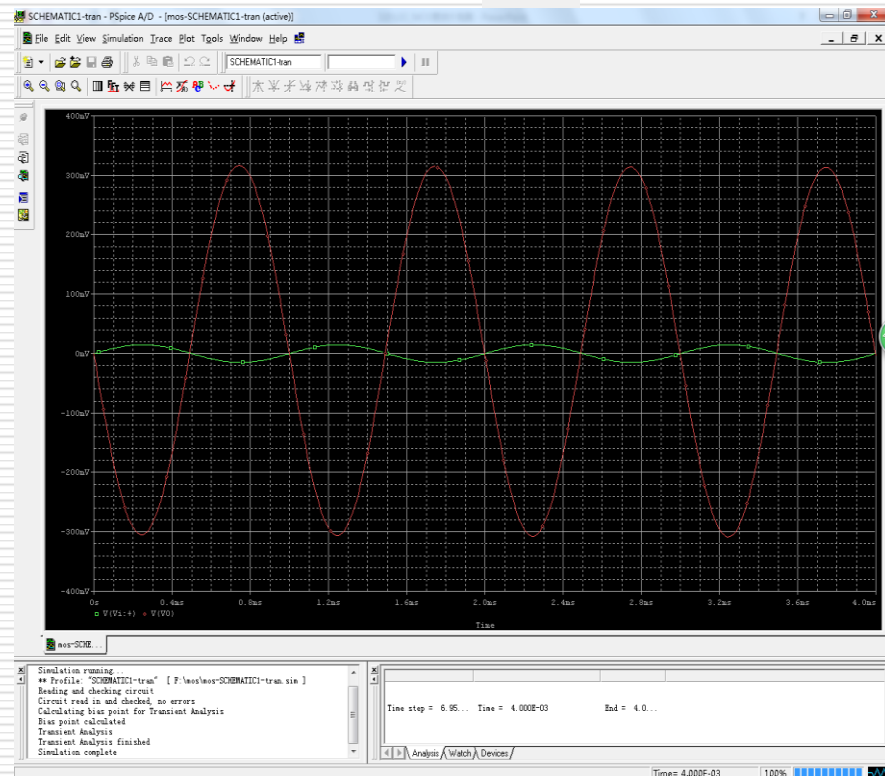
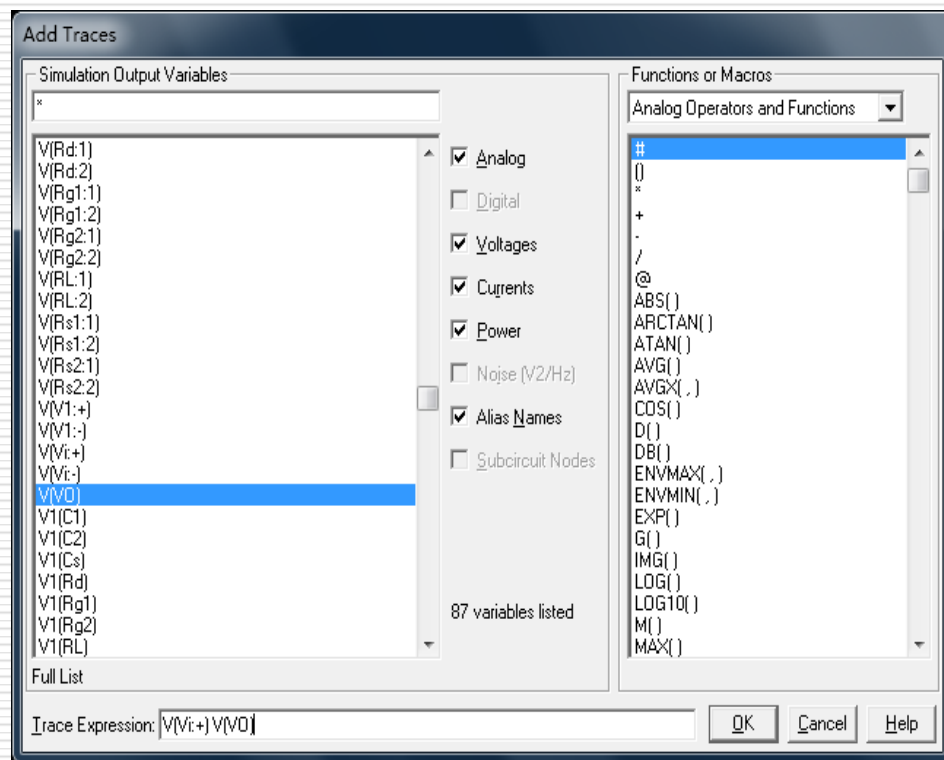
Start saving data:0
仿真起始时间为0

Maximum Step: 10us
仿真时间步长为10 μ s

结果输出

➤ 启动Pspice/Run命令或快捷键 

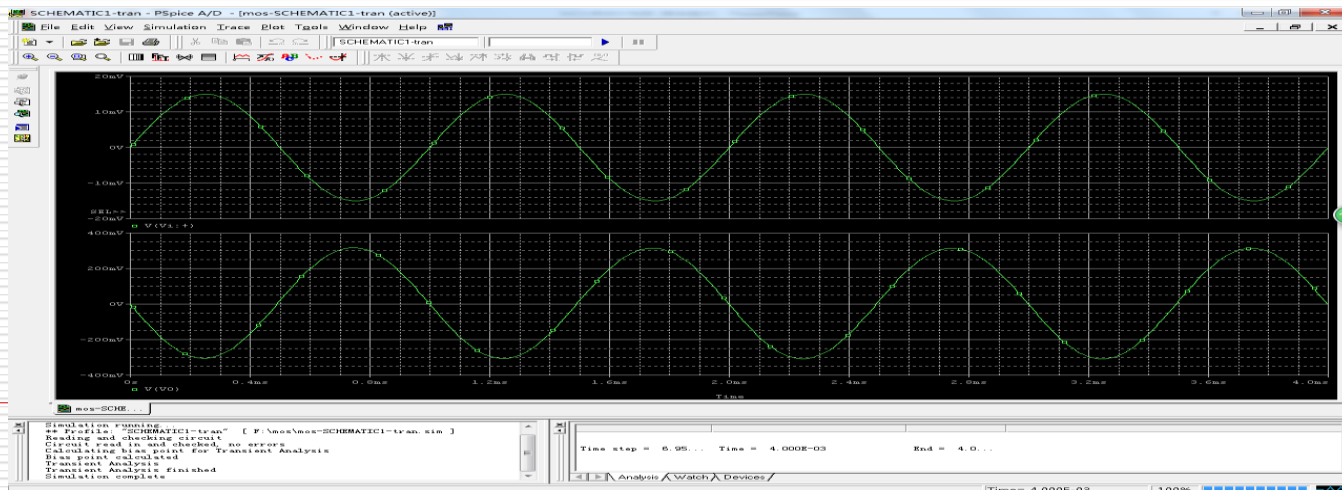
➤ 执行Trace/Add Trace命令或快捷键 



结果输出

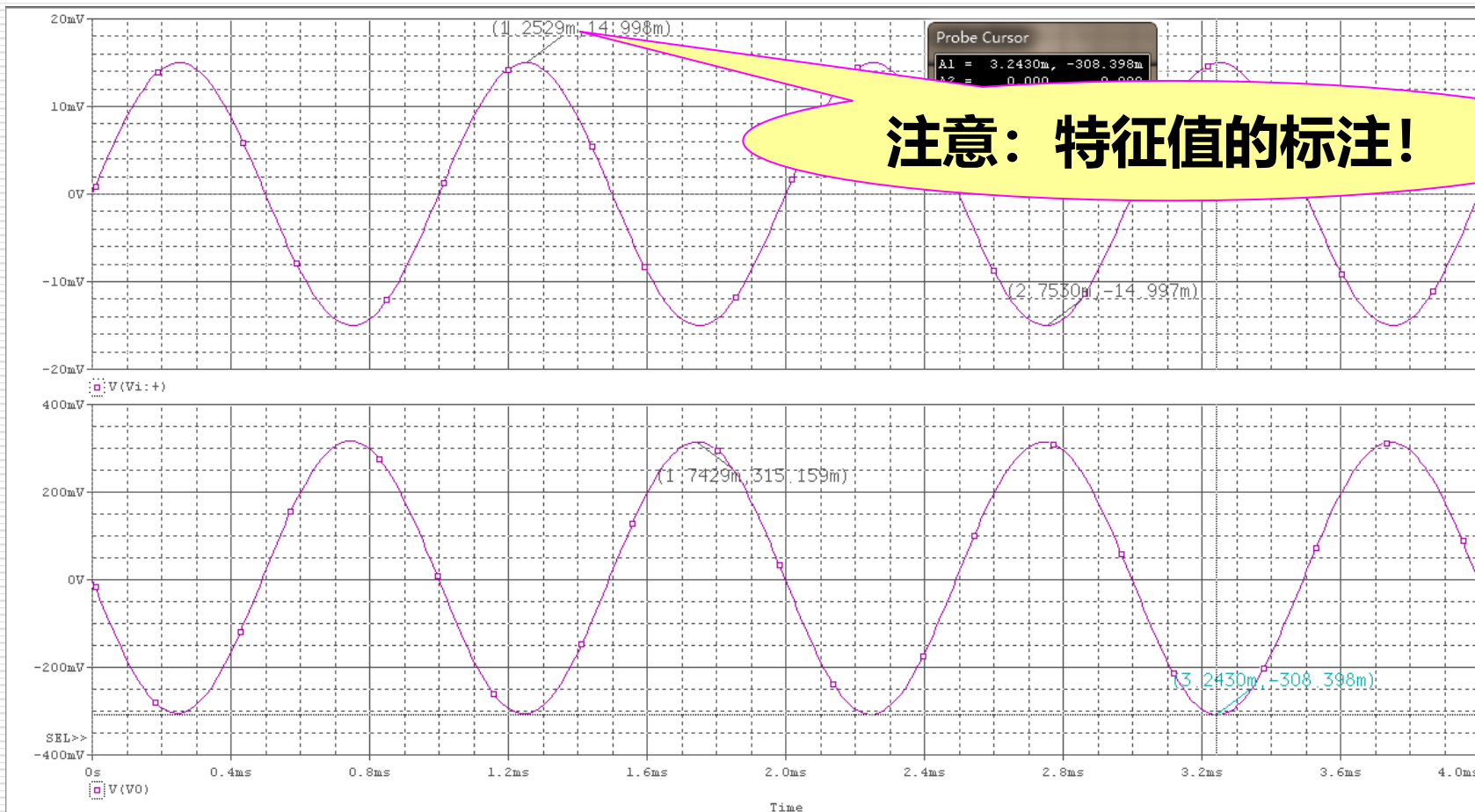
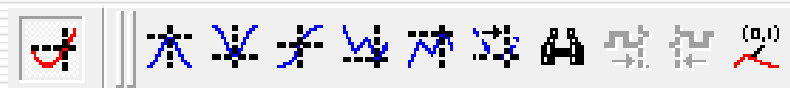
➤ 建立两个以上的波形显示区

- ① 在Add Trace 对话框中，选择V (Vo)，点OK按钮，显示出输出端的波形。
- ② 执行Plot/Add Plot to Window命令，屏幕上添加一个空白的波形显示区。
- ③ 再执行Trace/Add Trace命令，在Add Trace 对话框选择V (Vi:+)，点OK按钮，在新加的波形显示区显示出输入信号Vi的波形。

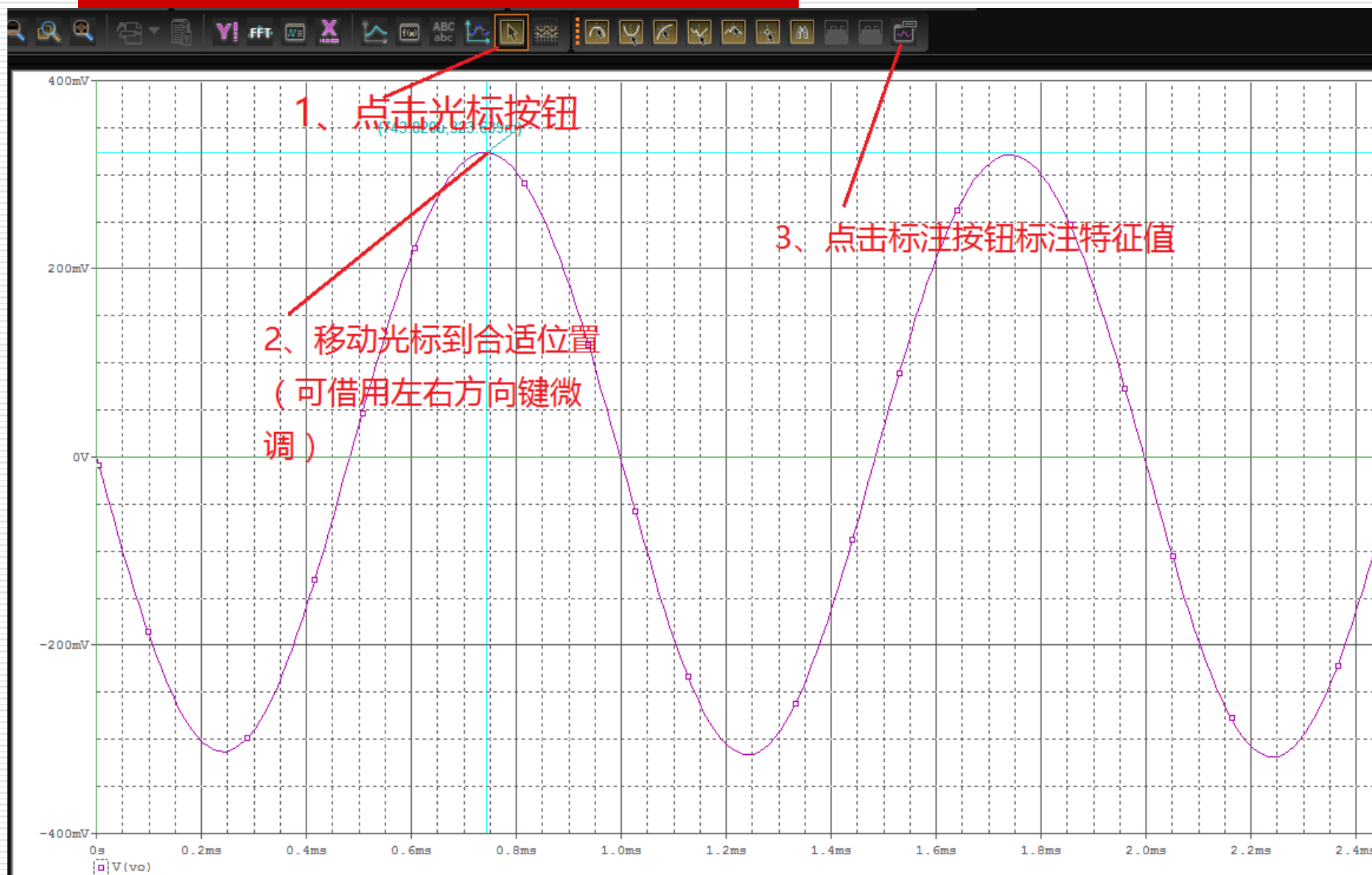


结果输出

➤ 注意特征值的标注



如何标注特征值



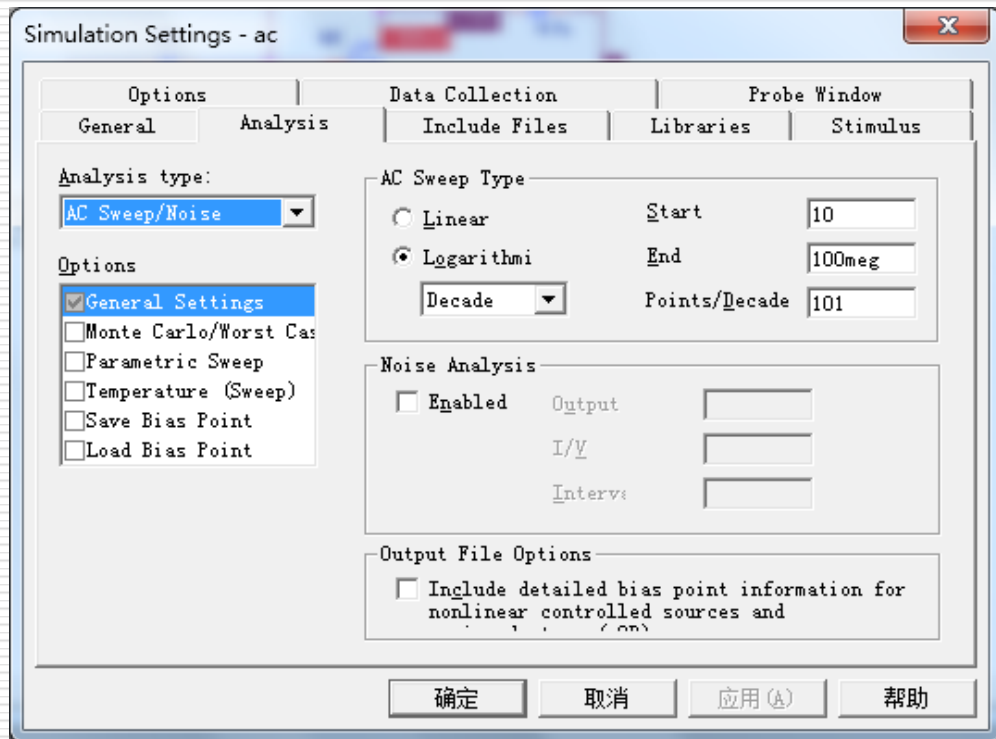
设置分析类型

➤ 交流分析（频域分析）

交流分析又称AC分析，就是求电路的频域响应。当输入信号的频率变化时，它能够计算出电路的幅频响应和相频响应。作交流分析时，应注意：**对于AC Sweep，必须具有AC 激励源。**

设置分析类型

➤ 交流分析（频域分析）



Start : 10

End: 100meg

Points/Decade: 101

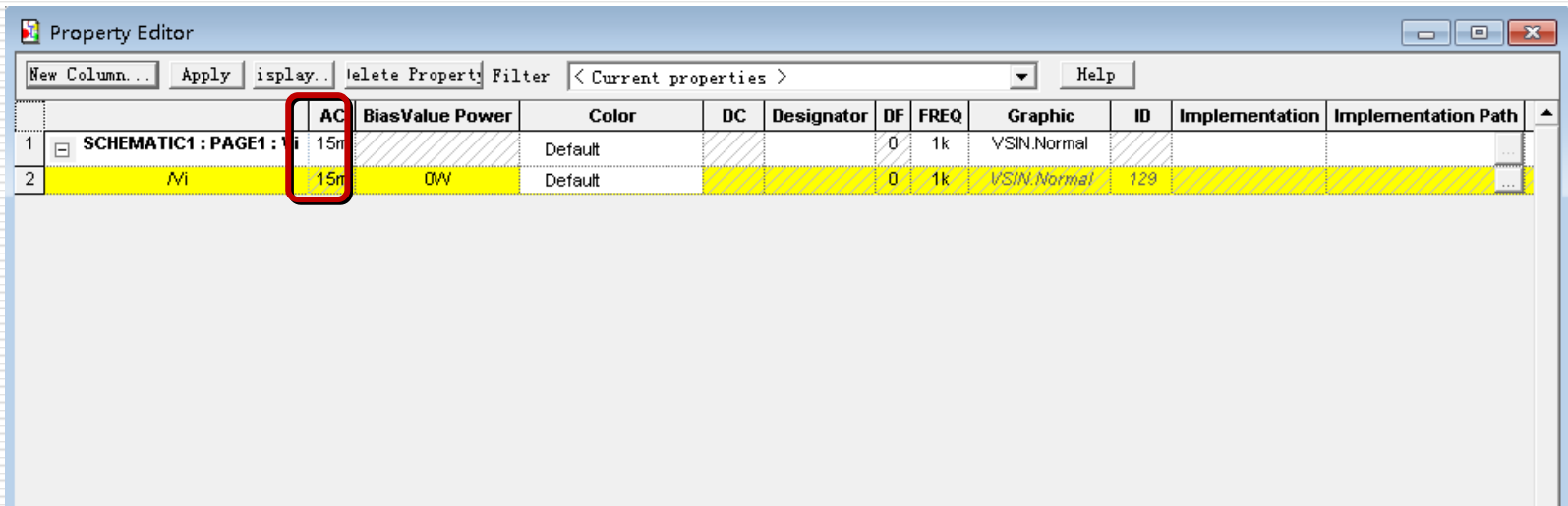
Logarithmic: Decade

设置分析类型

➤ 交流分析（频域分析）

故障原因分析---

No AC sources -- AC Sweep ignored

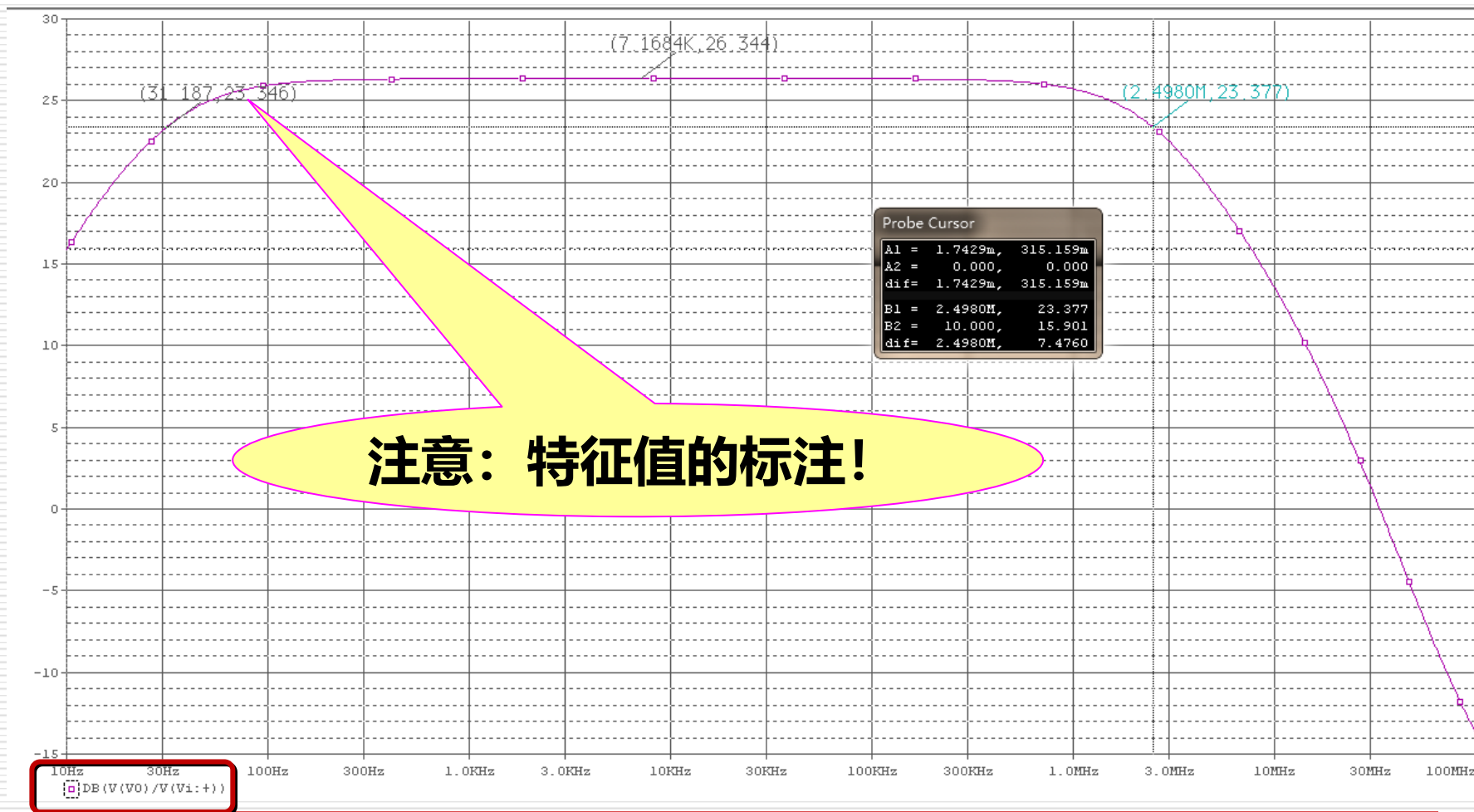


结果输出

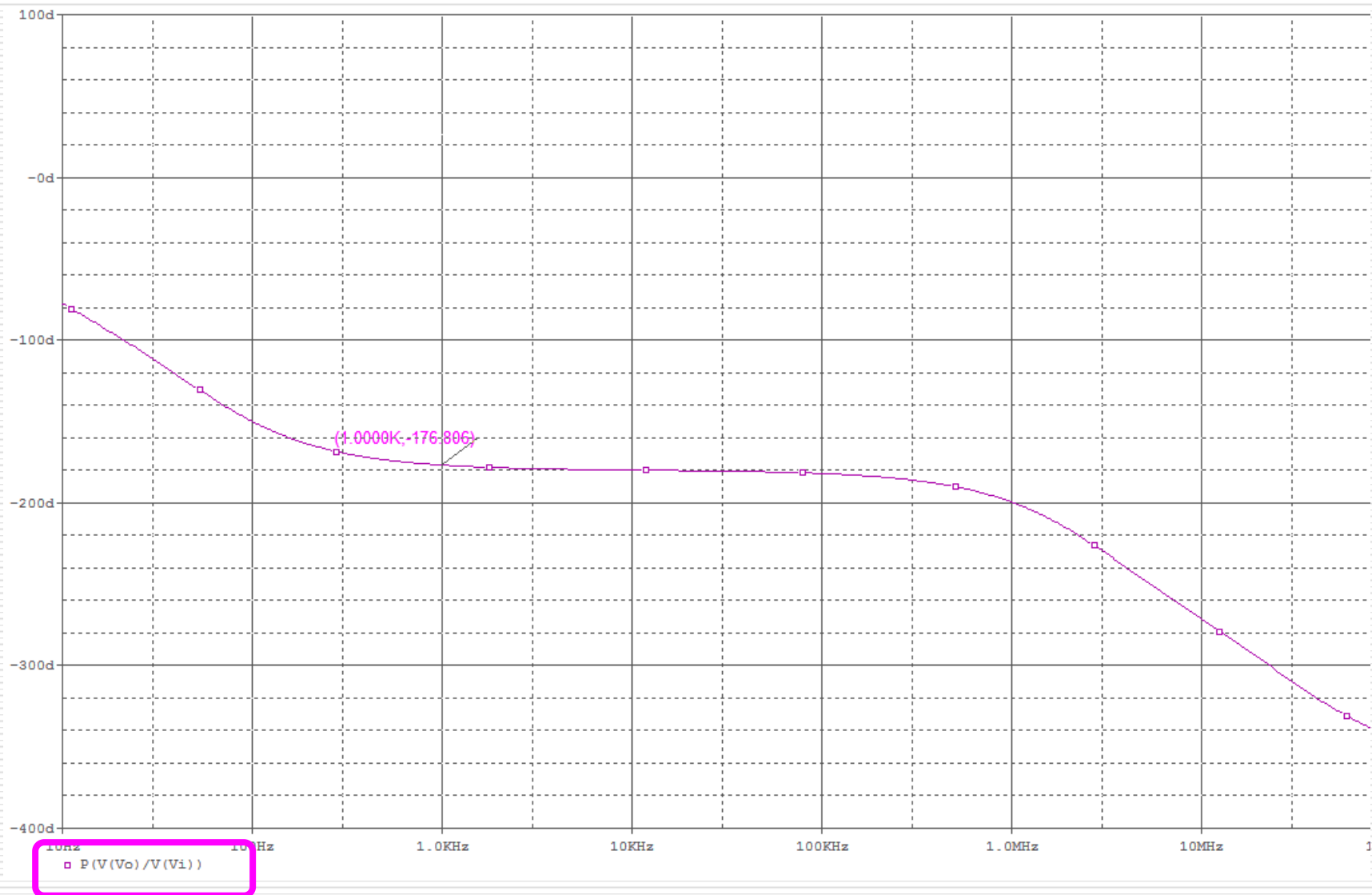
- 击活AC Sweep, Pspice/Run
 - 观测幅频响应曲线:
 - Trace/Add: $\text{db}(V(V_o)/V(V_s: +))$
 - Trace /Cursor/Display激活游标测中频增益
 - 用游标找到增益下降3dB , 对应频率为上限频率或下限频率
 - *观测相频响应曲线: $\text{P}(V(V_o)/V(V_s +))$
 - 观测输入电阻的频率响应:
 - Trace/Add: $R_i = V(V_i)/I(V_s)$
 - Trace /Cursor/Display激活游标测中频输入电阻
-

结果输出

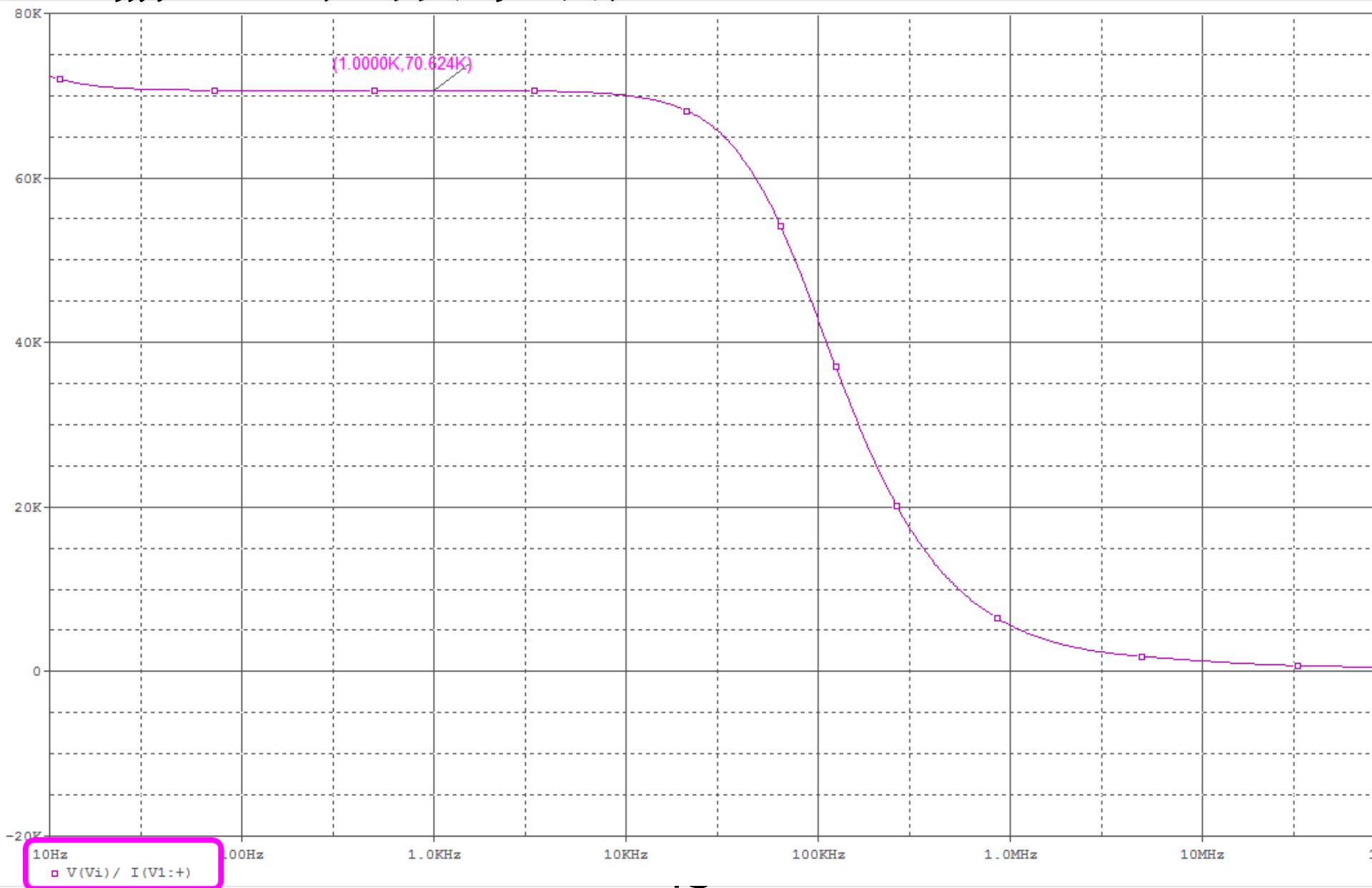
➤ 注意特征值的标注



相频特性曲线



输入电阻频率响应



结果输出

➤ 求解输出阻抗

(1) 修改电路:

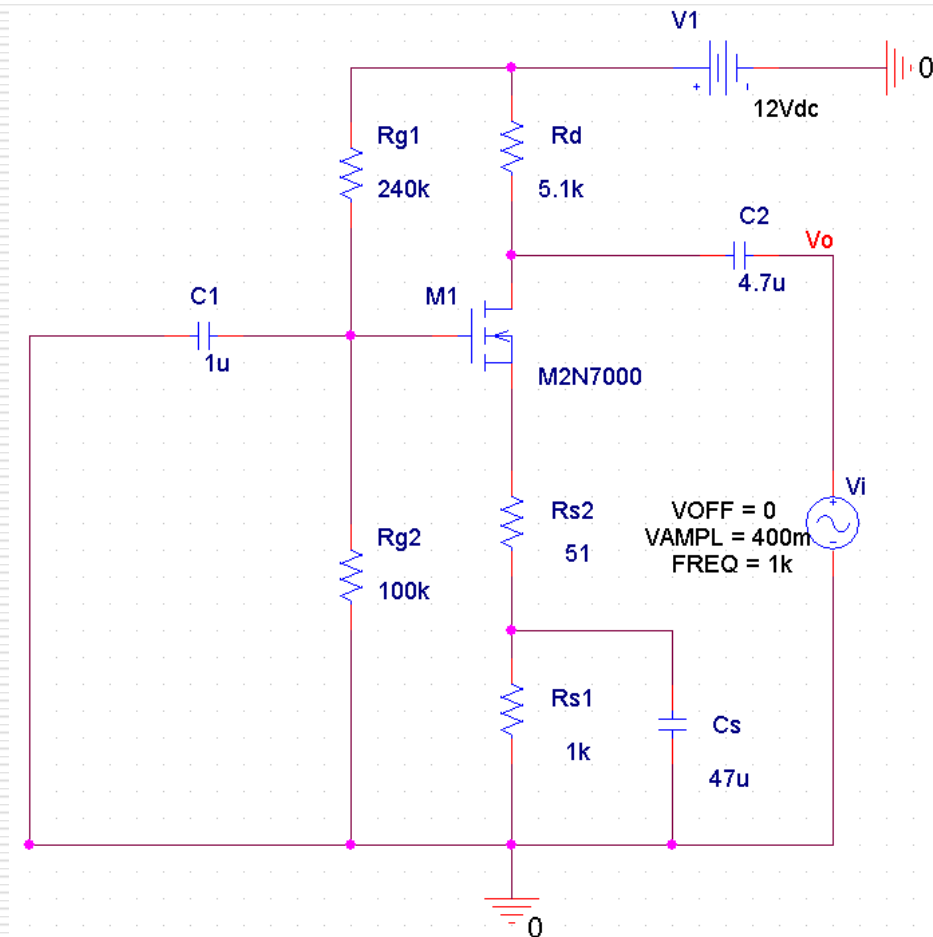
令 $V_i=0$ ，信号源短路，去掉负载 R_L ，外加一个信号源
 $V_{SIN}(400\text{mv})$

(2) 其他步骤与“输入电阻的频率响应”分析相同

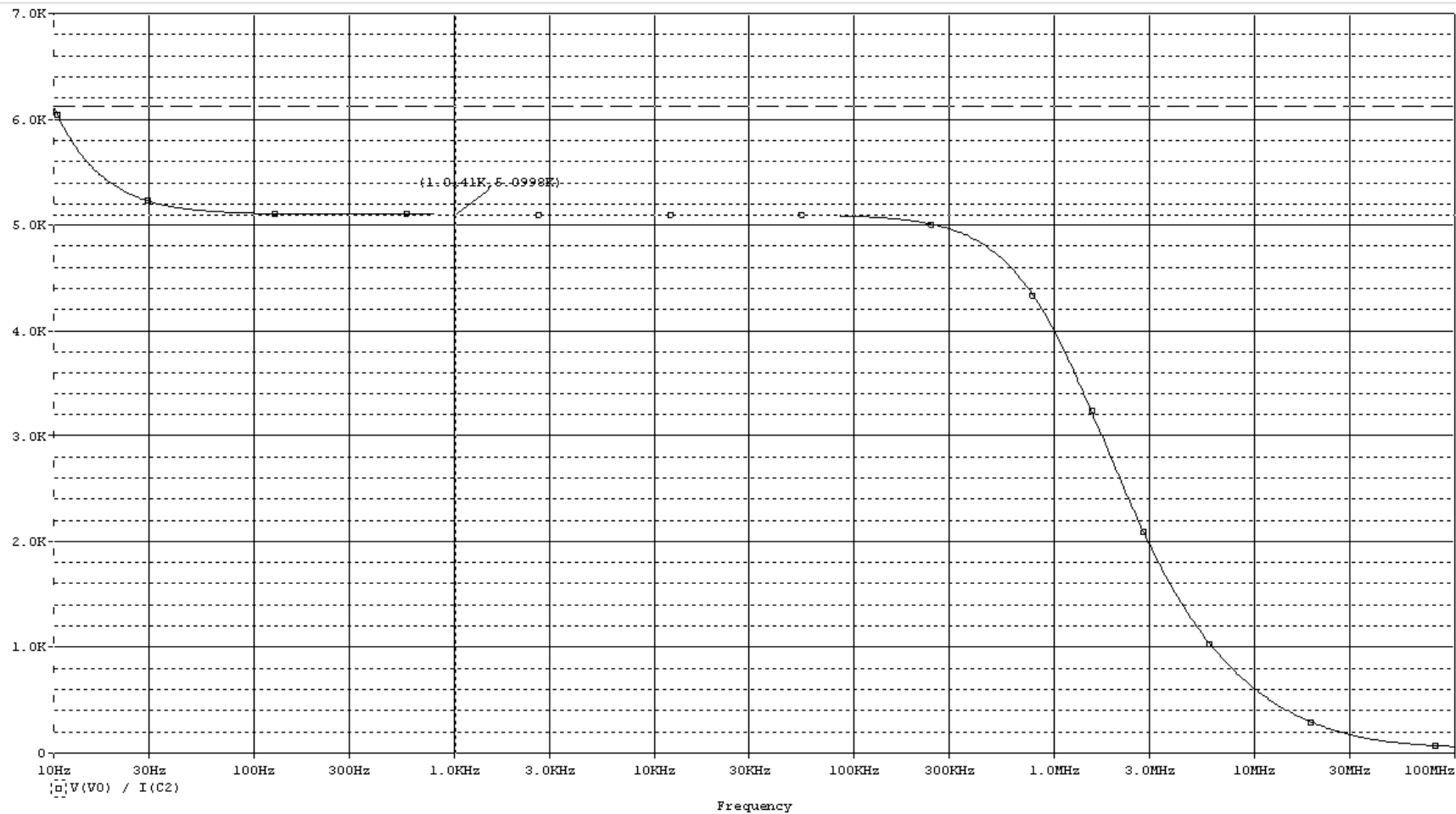
(3) $R_o = V(V_o)/I(C2)$

结果输出

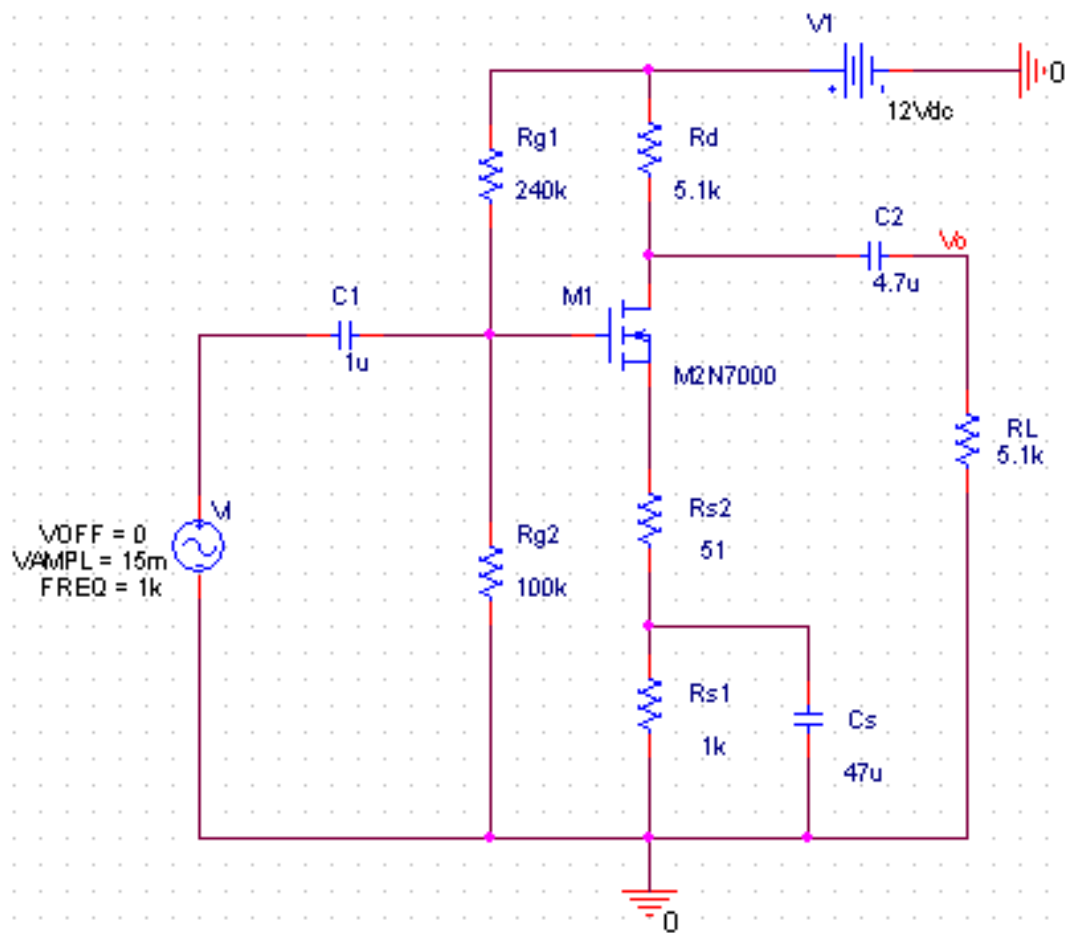
➤ 求解输出阻抗



求解输出阻抗



非线性失真现象



放大电路仿真验证设计要求

- (1) 电路图
 - (2) 静态工作点: I_D 、 V_{GS} 、 V_{DS}
 - (3) 输入、输出电压波形, 并计算电压增益 A_v
 - (4) 幅频响应曲线: $db(V(Vo)/V(Vs:+))$, 测中频增益、上限频率 f_H 和下限频率 f_L
 - (5) 相频响应曲线: $Vp(Vo)-Vp(Vs:+)$ 或 $P(V(Vo)/V(Vs:+))$
 - (6) 输入电阻的频率响应: $Ri \rightarrow V(Vi)/I(Vi:+)$
 - (7) 输出电阻的频率响应: $Ro \rightarrow V(Vo)/I(C2)$
 - (8) 非线性失真现象
-

二、单级MOSFET共源放大电路插板实现

按照教材3.3.3实验任务3——实验步骤与要求中的（1）~（5）完成实验任务。注意有以下几点不同：

1) 将电路图改为这里的图

2) 静态工作点测试

3) 式（3.3.8）改为

$$R_o = \frac{v_o' - v_o}{v_o} \times R_L$$

4) 补充“观察失真现象”内容

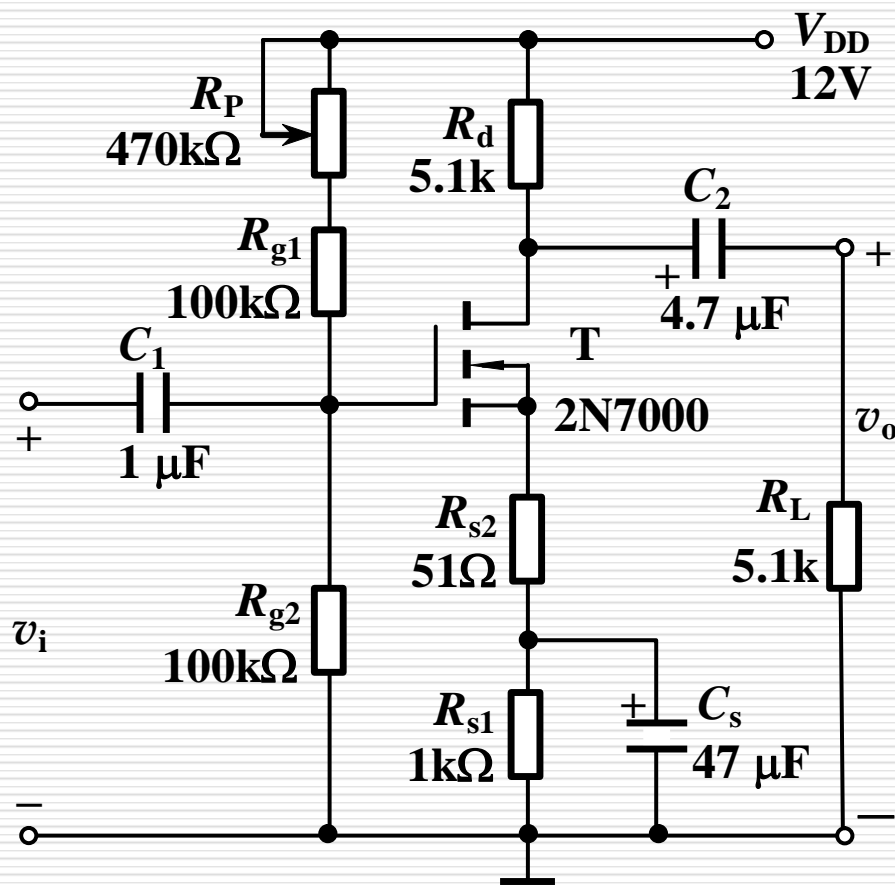
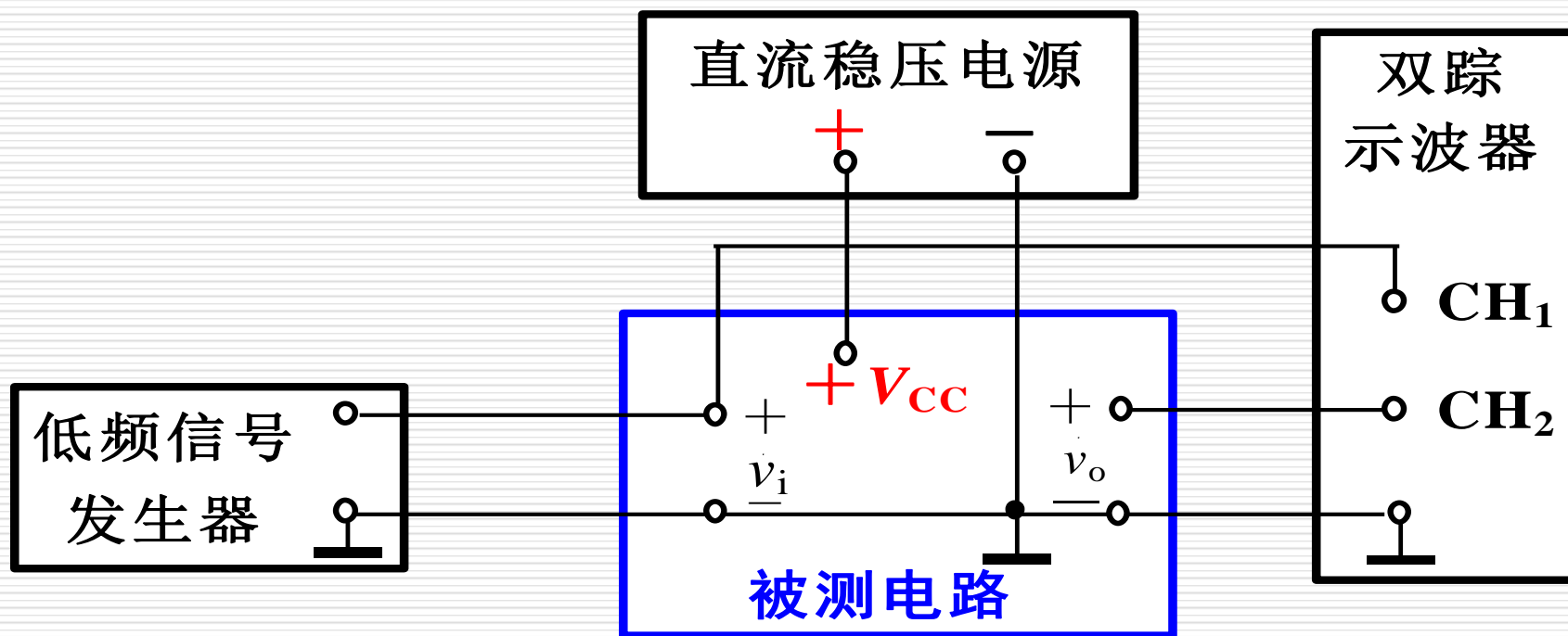


图 3.3.6 共源极放大电路

电路安装、调试与性能测试



■ 首先在面包板上组装好电路，参考上图搭接好实验测试平台。

■ 然后进行电路调试：静态调试和动态调试

电路的调试步骤

➤ 检查电路连接——磨刀不误砍柴工！

- 按照电路图来检查实际安装的线路
- 特别注意：电源供电(包括极性)、信号源连线是否正确；地线的共地问题；

➤ 静态测试；

- 静态工作点情况

➤ 动态测试；

- 基本信号输入输出情况

➤ 整机联调；

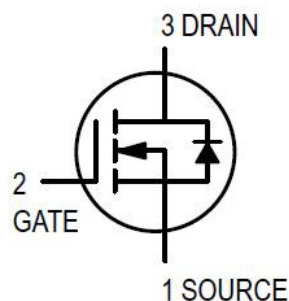
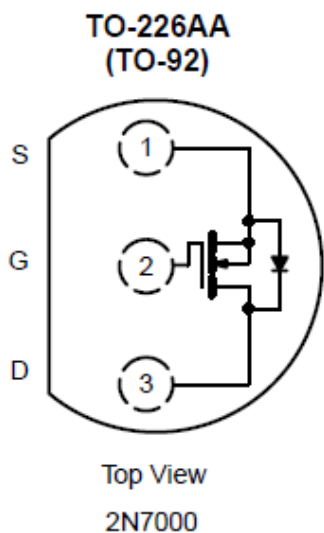
- 性能指标测试与电路参数调整
-

调试中的注意事项

- ① 测试前，要熟悉电路的工作原理和各项技术指标的测试方法。
- ② 注意仪器的信号线、地线的正确连接。
- ③ 测量电压时，所用仪器的输入阻抗必须远大于被测处的等效阻抗。
- ④ 测量仪器的带宽必须大于被测电路的带宽，否则，测试结果就有误差。
- ⑤ 测量方法要方便可行。
- ⑥ 调试过程中，不但要认真观察和测量，还要认真做好记录。

电路安装

- 三极管识别与使用
- 电路的安装方式



Value	Unit
60	Vdc
60	Vdc
± 20 +10	Vdc V _{th}

2N7000

Motorola Preferred Device



CASE 29-04, STYLE 22
TO-92 (TO-226AA)

电路安装

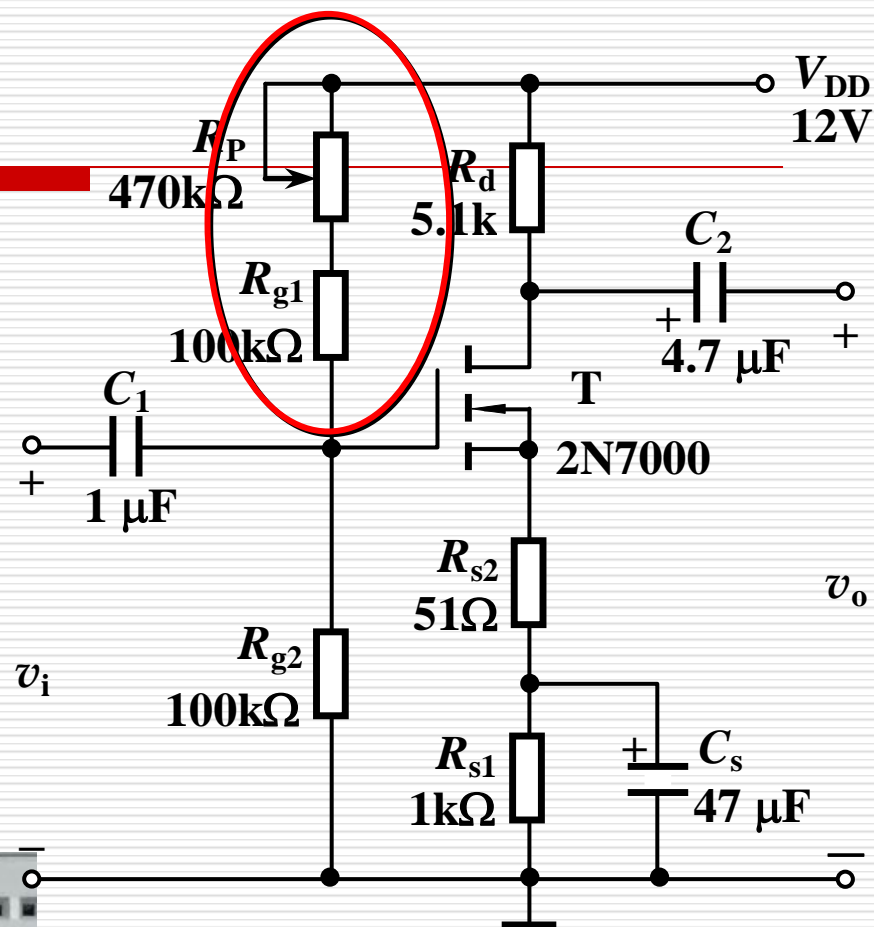
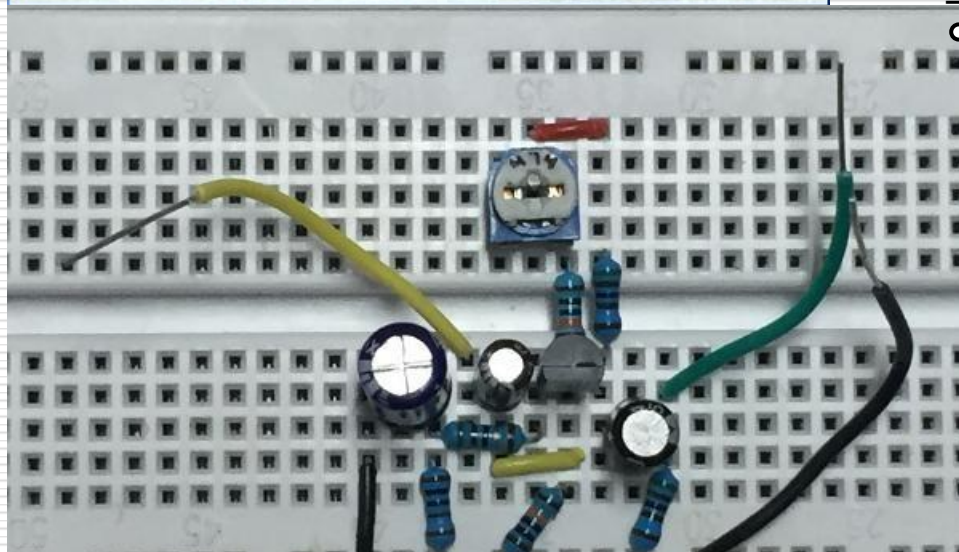
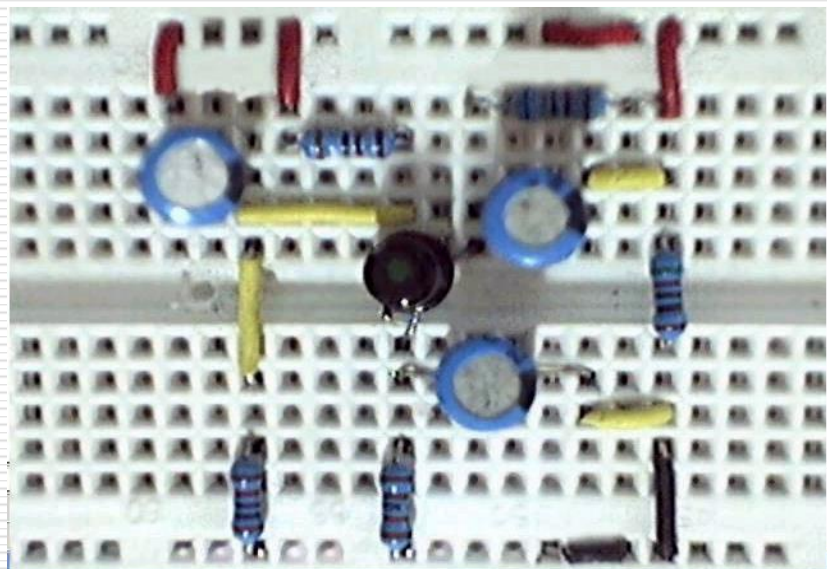


图 3.3.6 共源极放大电路

电路调试 (思路)

- 静态工作点范围?
 - 静态工作点未达到预期设计值的问题分析与解决方法?
 - 动态波形观察
 - 输出波形失真的解决方法?
 - 最佳静态工作点的调整
 - 什么叫最大不失真?
 - 为什么要调整电路工作在最大不失真状态?
 - 如何调整电路到最大不失真状态?
-

性能测试

➤ 性能指标的测试与电路的调整:

- A_V 的测试;
- 幅频特性的测试
- R_i
- R_o

➤ 特别注意:

交流信号 V_i 和 V_o 的有效值及峰峰值只能用 **示波器** 测量, 而不能用 **万用表**。---? ? ?

➤ 所有测试均应在波形基本不失真情况下测量!

测试静态工作点

连接好电路后，检查无误后接通电源。用数字万用表的直流电压档测量电路的 V_D （漏极对地电压），调整电位器 R_P ，使 V_D 为一合适电压。再测出电路的 V_G （栅极对地电压）和 V_S （源极对地电压），填入表3.3.2（与教材不同）中，并计算静态工作点 Q （ I_{DQ} 、 V_{GSQ} 、 V_{DSQ} ）

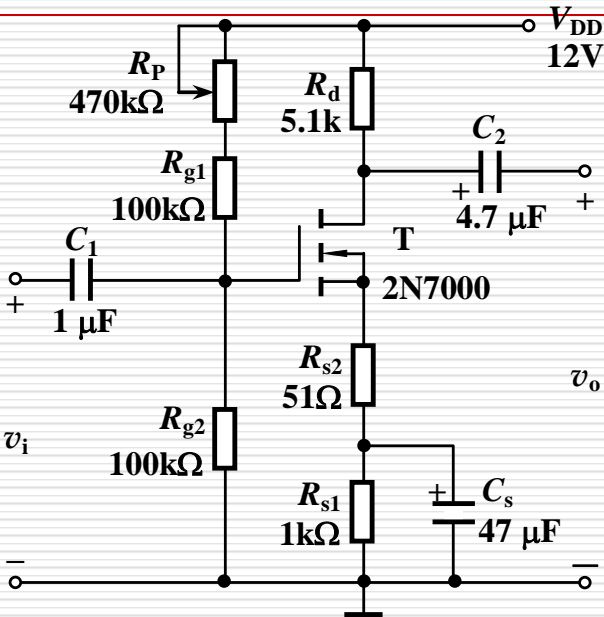


图 3.3.6 共源极放大电路

表 3.3.2 静态工作点

实测值			计算值		
V_G/V	V_S/V	V_D/V	$I_{DQ}= V_S / R_{S1} /mA$	$V_{GSQ}= V_G- V_{S1}/V$	$V_{DSQ}= V_D- V_{S1}/V$
实测电阻值		$R_{g1} =$, $R_{g2} =$, $R_d =$, $R_{S1} =$			

性能测试

- 测试放大电路的输入、输出波形和通带电压增益
- 测试放大电路的输入电阻
- 测试放大电路的输出电阻
- 测试放大电路的通频带

注意：维持输入信号的幅值不变且输出波形不失真

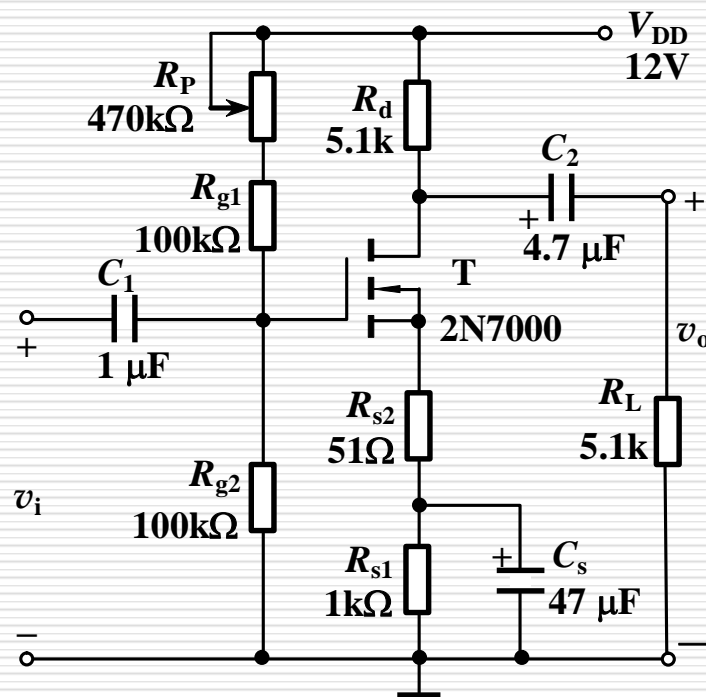
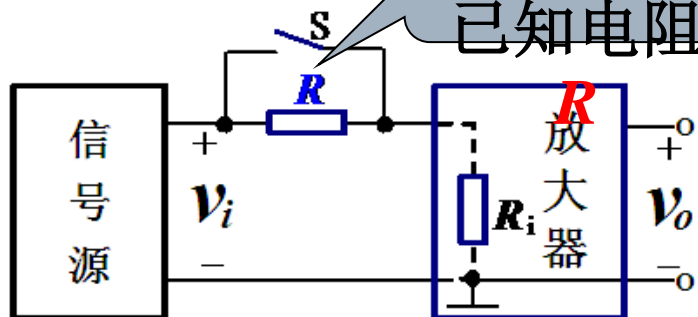


图 3.3.6 共源极放大电路

性能测试

输入电阻 R_i

串联一个已知电阻

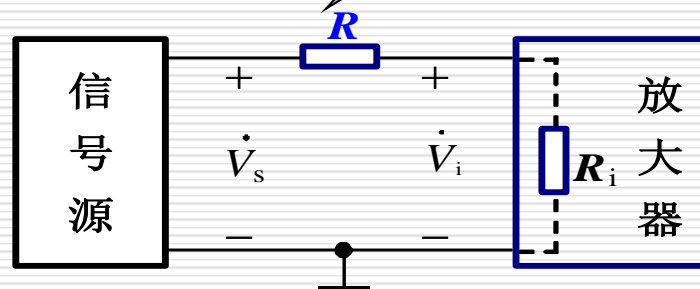


图中 R 取值尽量与 R_i 接近，用示波器的一个通道始终监视 v_i 波形，另一个通道先后测量开关 S 闭合和断开时对应的输出电压 v_{o1} 和 v_{o2} ，则输入电阻为：

$$R_i = \frac{V_{o2}}{V_{o1} - V_{o2}} \cdot R$$

实验测试

串联一个已知电阻 R

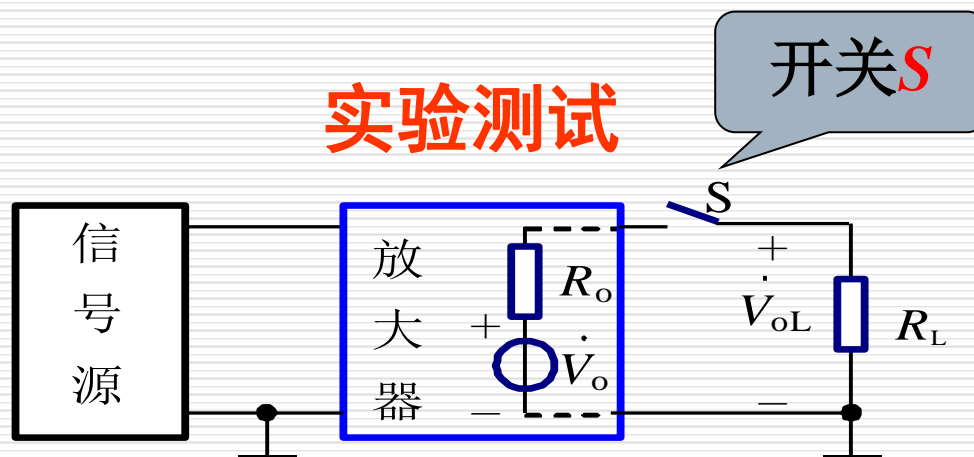


在输出波形不失真情况下，用示波器分别测量出 V_i 与 V_s 的值，则

$$R_i = \frac{V_i}{V_s - V_i} R$$

性能测试

输出电阻 R_o



(1)在输出波形不失真情况下，用示波器分别测量负载开路时的输出电压值 V_o 和接入 R_L 后，负载上的电压值 V_{oL}

$$R_o = \left(\frac{V_o}{V_{oL}} - 1 \right) R_L$$

BW 的测试方法

□ 采用“逐点法”测量放大器的幅频特性曲线。

$$BW = f_H - f_L$$

- 整机放大电路的电压增益相对于中频 f_0 (1kHz)的电压增益下降3dB时对应低频截止频率 f_L 和高频截止频率 f_H 。

注意：维持输入信号的幅值不变且输出波形不失真

f (Hz)	40	f_L	100	500	1k	10k	100k	f_H	500k
V_{op-p} (mV)									
$20\lg A_V $ (dB)									

□ 画出放大器的幅频特性曲线，计算通频带。

性能测试

➤ 观察失真波形

调整信号源频率调回1kHz，分别用示波器的两个通道同时观测 v_i 和 v_o ，不断调整电位器 R_p ，观察 v_o 波形的变化，直至出现明显的非线性失真。在表3.3.5（见下一页）中定性画出失真波形形状，并用万用表的直流电压档测量电路的 V_D 、 V_G 和 V_S 填入表3.3.5中，计算静态工作点 Q (I_{DQ} 、 V_{GSQ} 、 V_{DSQ})。再反方向调整 R_p ，直至 v_o 波形出现另一种非线性失真现象，再次测量静态工作点，完成表3.3.5的内容。（注意，如果调不出失真现象，可以适当增大输入信号的幅值，再调整 R_p ）

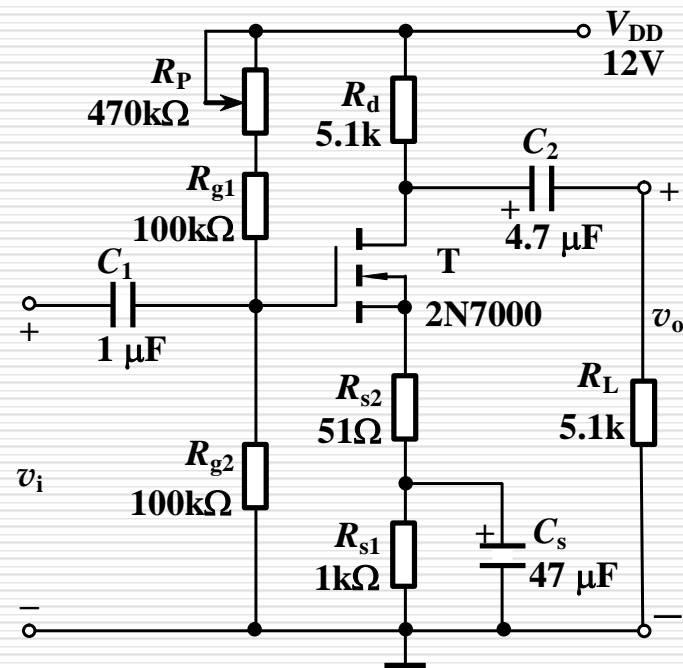


图 3.3.6 共源极放大电路

性能测试

➤ 观察失真波形

表 3.3.5 失真时的静态工作点

失真波形	实测值			计算值			失真类型
	V_G/V	V_S/V	V_D/V	$I_{DQ}= V_S / R_s$ /mA	$V_{GSQ}= V_G- V_S$ /V	$V_{DSQ}= V_D- V_S$ /V	

故障排除的方法

- 先静态、后动态、再指标;
- 信号寻迹法
- 看输入
- 看输出
 - 查电源---预留测试管脚与测试连线
 - 查连线----信号循迹法; 对分搜索法
 - 查器件, 查仪器---替代法; 对比法;

三、选做内容

基于基础实验，可选做以下实验之一：

(1) MOS管特性曲线仿真（教材3.3.3实验任务1、任务2）。

(2) 共射放大电路设计、仿真与实现（教材4.2.6设计任务）

验收要求:

- 预习报告（含设计电路_具体计算过程与电路参数）
- 仿真测试结果（现场按要求仿真指定项目！）
- 实际测试数据---验收表；
- 实际电路与测量
- **MOOC**课程模块四、模块六单元测验成绩
- *选作实验报告与结果

下阶段：函数发生器设计

□ 基本实验：

满足一定幅度与频域要求的方波、三角波产生电路的设计与实现（教材4.5.6设计任务）
