

浙江大学实验报告

专业：电子信息工程
姓名：
学号：
日期：2024.2.27
地点：紫金港东三 406

课程名称：电路与电子技术实验 II 指导老师：张伟 成绩：
实验名称：pspice 的使用练习 实验类型：EDA 同组学生姓名：无

- | | |
|---------------|---------------|
| 一、实验目的和要求（必填） | 二、实验内容和原理（必填） |
| 三、主要仪器设备（必填） | 四、操作方法和实验步骤 |
| 五、实验数据记录和处理 | 六、实验结果与分析（必填） |
| 七、讨论、心得 | |

Lab1 Pspice 使用练习

一、实验目的

- 了解 PSpice 软件常用菜单和命令的使用。
- 掌握 PSpice 中电路图的输入和编辑方法。
- 学习 PSpice 分析设置、仿真、波形查看的方法。
- 学习半导体器件特性的仿真分析方法。

二、实验准备

- 阅读 PSpice 软件的使用说明。
- 了解二极管、三极管的伏安特性。
- 理解二极管和三极管伏安特性的测试电路。

三、实验内容

（一）半导体器件特性仿真

- 仿真分析二极管的伏安特性曲线；
- 仿真分析二极管的温度特性曲线，讨论温度对二极管伏安特性的影响；
- 瞬态分析仿真记录二极管的输出电压波形，用标尺(Cursor)功能测量二极管的正向导通电压；
- 仿真分析三极管的输出特性曲线，并计算输出特性曲线不同位置（A 点、B 点、C 点）的直流放大倍数和交流放大倍数。

(二) 晶体管共射放大电路仿真

1. 调整基极偏置电阻,使放大电路的静态工作点 $ICQ=6mA$,并记录放大电路各点的直流电压;
2. 调节输入信号,使电路处于信号放大状态,测量空载和带载时的电压放大倍数;
3. 测量放大电路的输入电阻和输出电阻;(输入电阻也可以直接用电压除以电流计算获得)
4. 观察截至失真和饱和失真的波形,采用 FFT 功能测量高次谐波的大小并计算失真度;
5. 调节偏置,测量空载和带载时的最大不失真输出电压;
6. 交流扫描确定合适的 AC 值,测量放大电路在空载和带载时的幅频特性和相频特性,读出中频放大倍数、上限频率和下限频率,并分析空载和带载对这三个参数的影响。

四、实验内容和步骤

1 半导体器件特性仿真

1.1 二极管伏安特性

- (1) 连接电路为下图:

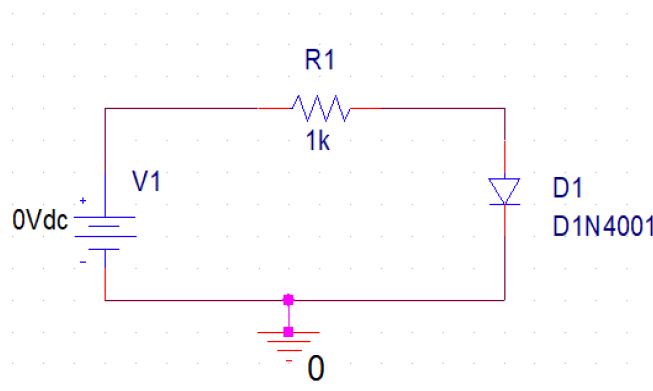


图 1.1 半导体伏安特性电路图

- (2) 设置仿真参数为:

- 直流扫描 (DC Sweep)
- Voltages source: V1
- Sweep type: -200~40V, Increment=0.1V

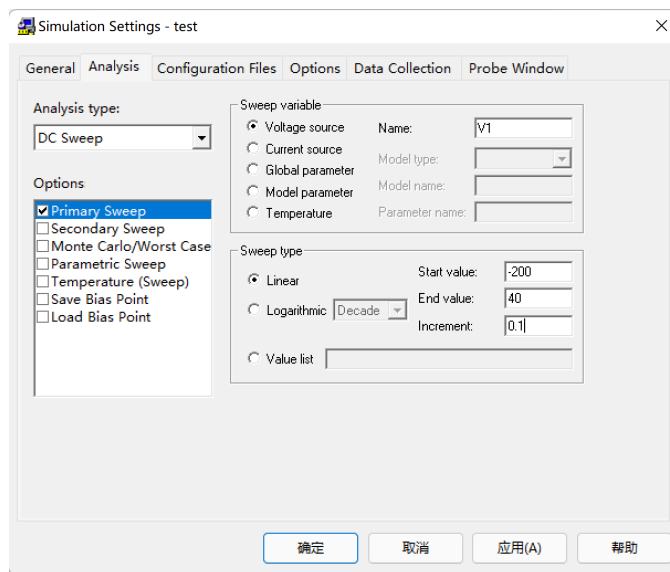


图 1.2 仿真参数设置

- (3) 运行仿真
- (4) 设置输出参数
 - 增加波形 I(D1)

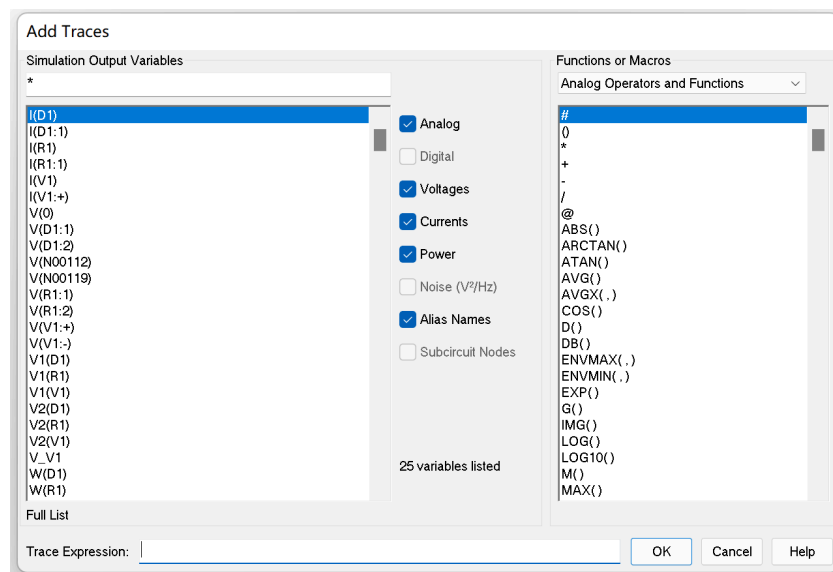


图 1.3 波形输出

- 设置 x 轴坐标为 V(D1:1)，得到伏安特性曲线

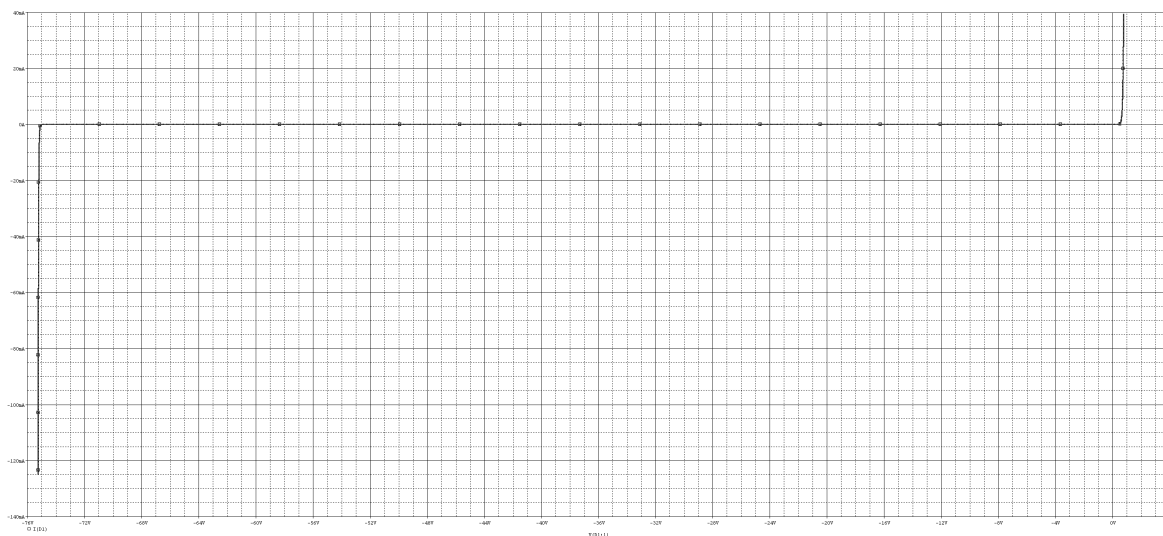


图 1.4 D1N4001 伏安特性曲线

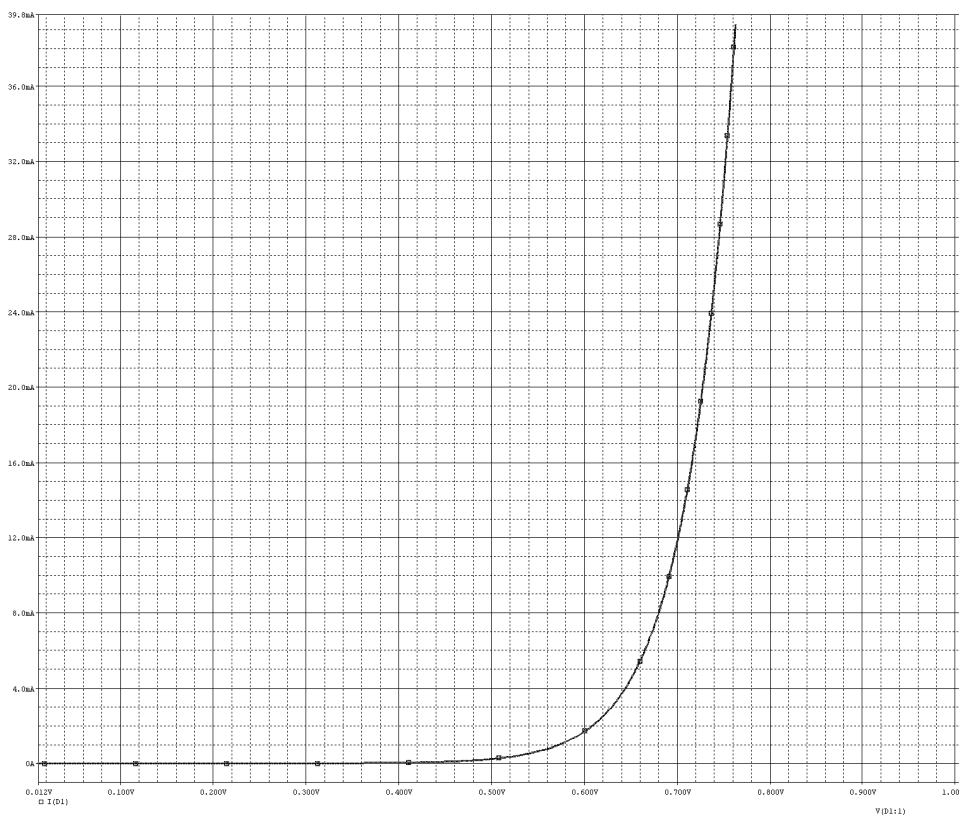


图 1.5 正向导通部分性质

实验结论：根据上图可以得知，二极管正向导通在 0.6V 左右，并最终稳定在 0.75V 左右的压降；在加上反向的 75.2V 电压时击穿。

1.2 二极管温度特性

(1) 设置仿真参数

- 直流扫描：
 - Primary: V1 0~100V, 0.1V 间隔
 - Secondary: Temperature 0~50 度，10 度间隔

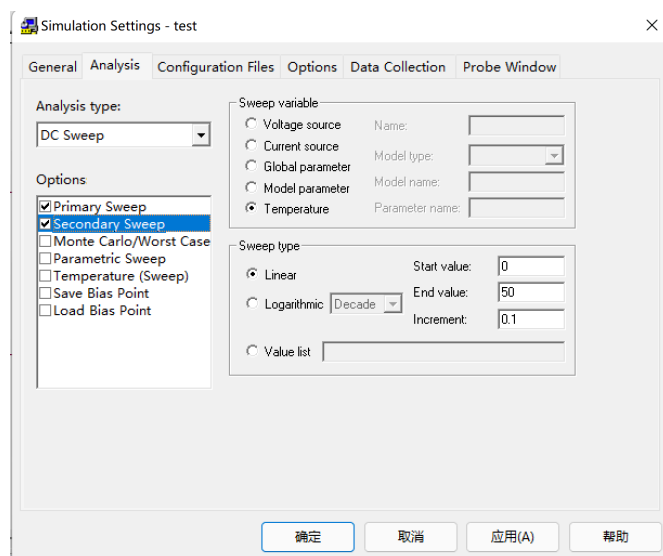


图 1.6 设置第二参数

(2) 运行仿真

(3) 设置输出参数

- 增加输出波形: I(D1)
- 设置 x 轴变量为 V(D1:1)

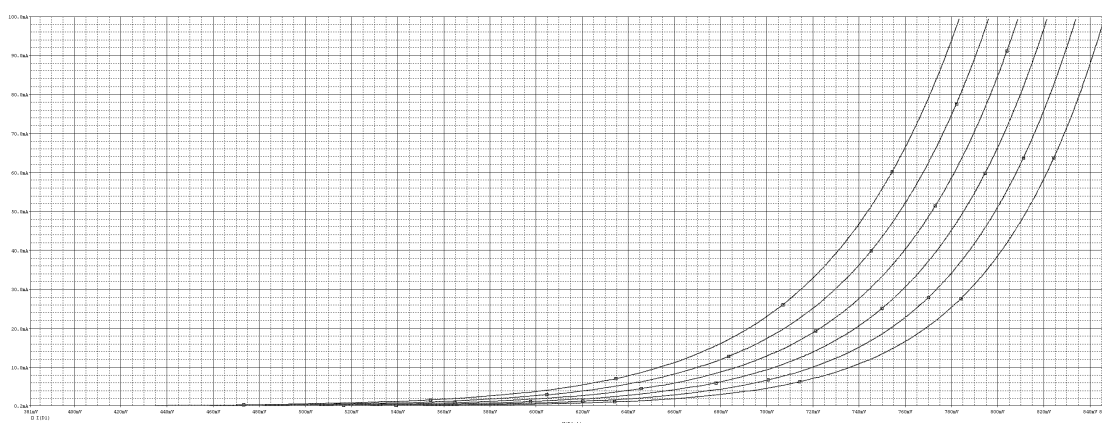


图 1.7 二极管性质随温度发生变化

这里可以看到 0~50 度，二极管随温度变化发生的改变比较均匀，难以判断，具体哪一个是低温，哪一个是高温情况，因此，需设置温度间隔不均匀，观察具体图线。

(4) 改进：设置温度为 Value List: 0, 30, 100

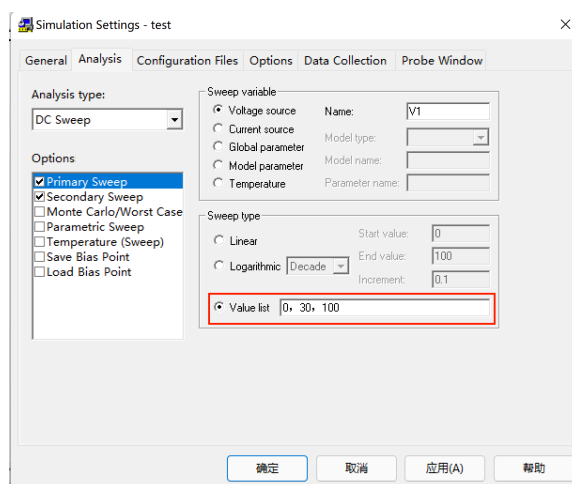


图 1.8 二极管温度设置

(5) 观察输出图线并得到结论

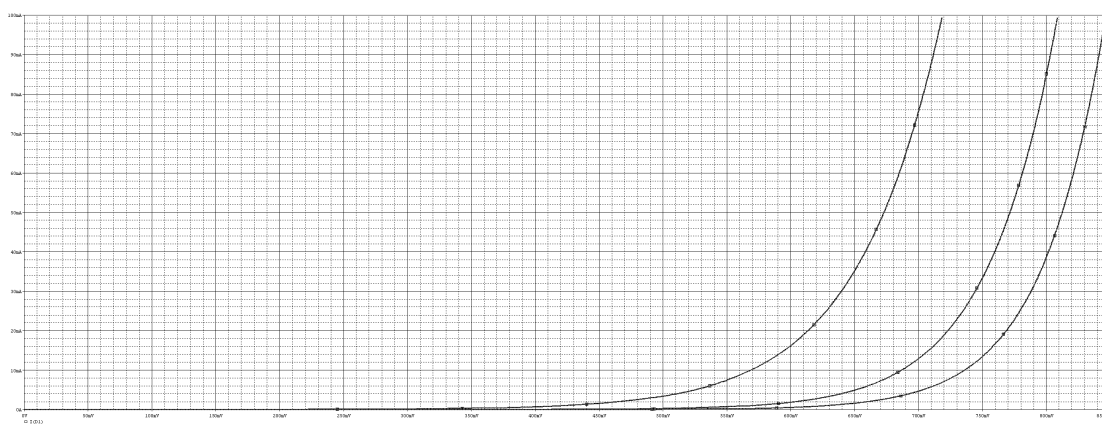


图 1.9 100°C, 30°C, 0°C 下二极管的伏安特性

实验结论：可以看到，靠右的两根曲线排列较密，可知，从左往右三根曲线分别代表 100°C, 30°C, 0°C；在二极管两端施加相同的电压，温度越高，通过的电流越大，总结为，温度升高，二极管的导电性增加；温度升高，二极管的导通电压下降。

1.3 瞬态分析二极管的导通电压

(1) 修改电路图为下，将 Vdc 更换为 Vsin 电源

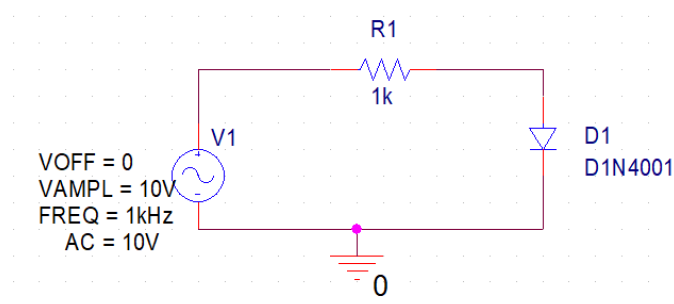


图 1.10 瞬态分析二极管伏安特性电路

(2) 设置瞬态分析参数为如下：

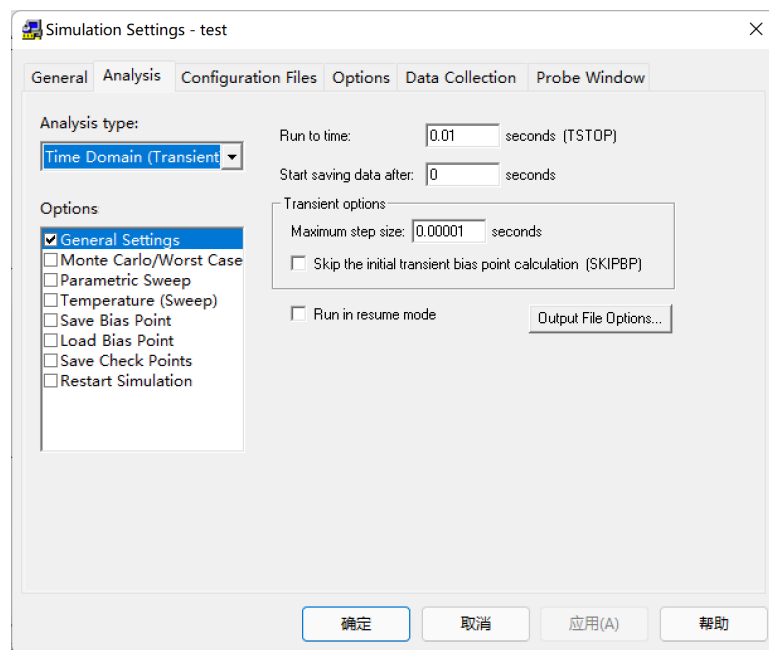


图 1.11 瞬态分析设置参数

(3) 添加 V (D1:1) 轨迹，并使用 Trace->Cursor 得到二极管正向导通电压

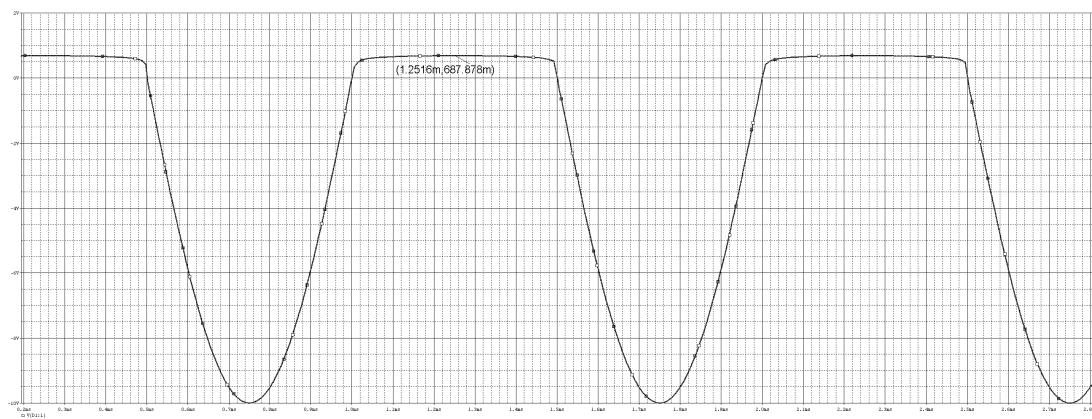


图 1.12 二极管瞬态分析导通电压

实验结论：二极管正向导通电压，在该情况下约为 0.68mV 左右

1.4 三极管器件仿真

(1) 连接电路图为下图

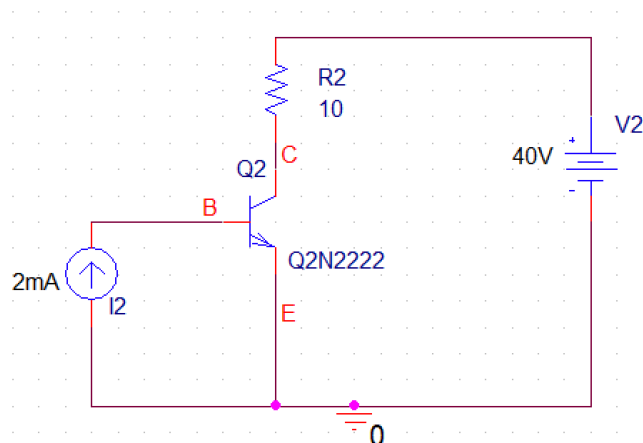


图 1.13 三极管性质仿真图

(2) 设置直流扫描参数

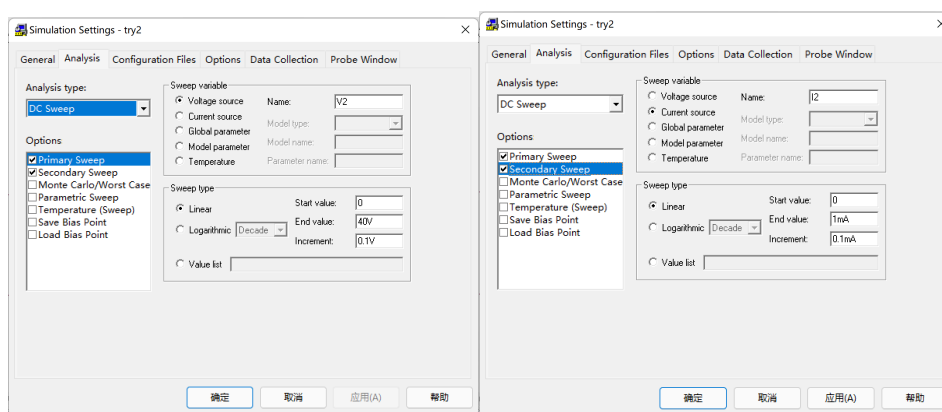
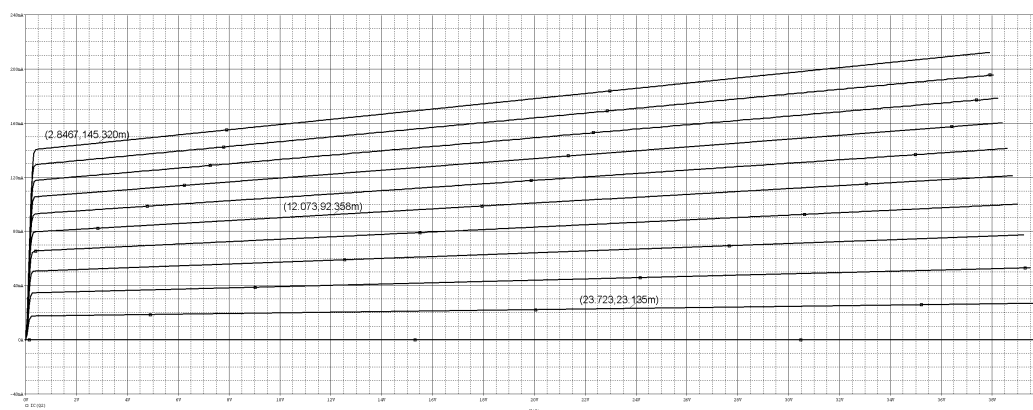


图 1.14, 1.15 三极管直流扫描第一、第二参数设定

(3) 设置输出图像，分析直流放大倍数 β 图 1.16 Q2N2222 三极管 I_c - V_{ce} 图像

从上到下每根线都代表 I_b 从 0mA，以 0.1mA 的间隔增加到 1mA

	I_b	I_c	ΔI_c	直流放大倍数 $\beta = \frac{I_c}{I_b}$	交流放大倍数 $\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$
A	1mA	145.320mA	11.474mA	145.32	114.74
B	0.5mA	92.358mA	15.407mA	184.71	154.07
C	0.1mA	23.135mA	24.561	231.35	245.61

实验结论：直流放大倍数与交流放大倍数基本一致，交流放大倍数在一般情况下略小于直流放大倍数；当 I_b 保持不变时，放大倍数随着 V_{CE} 增加而增大。

2 晶体管共射放大电路仿真

2.1 确定静态电路

(1) 连接共射放大电路为下图，调节 R2 阻值使得 $I_{CQ}=6mA$ 。

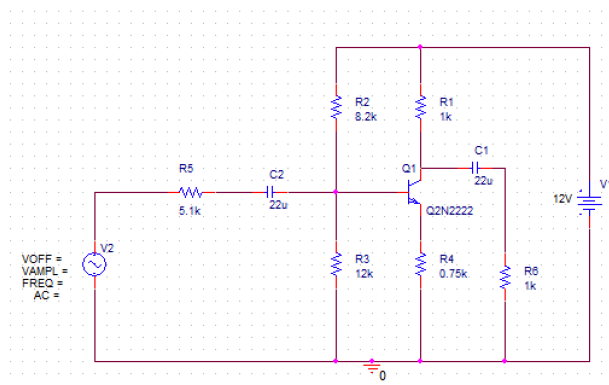


图 1.17 共射放大电路基本电路图

(2) 选择仿真分析为静态偏置点分析，并勾选第一个 Output 选项。

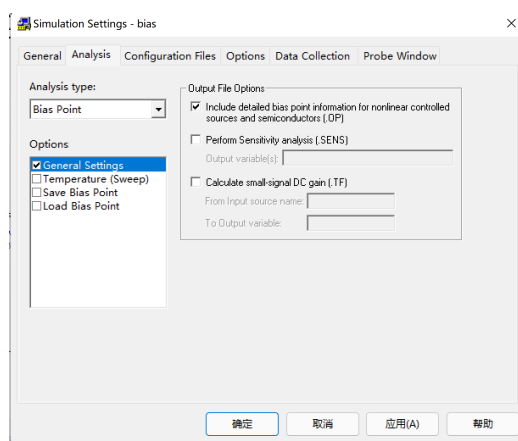


图 1.18 静态偏置点仿真

(3) 在 Probe 中选择 view->Output File 得到以下静态分析输出各个参数

(4) 修改电路中的各个参数，使得 $I_{CQ}=6mA$ ，修改 $R2=39.2k\Omega$ 。

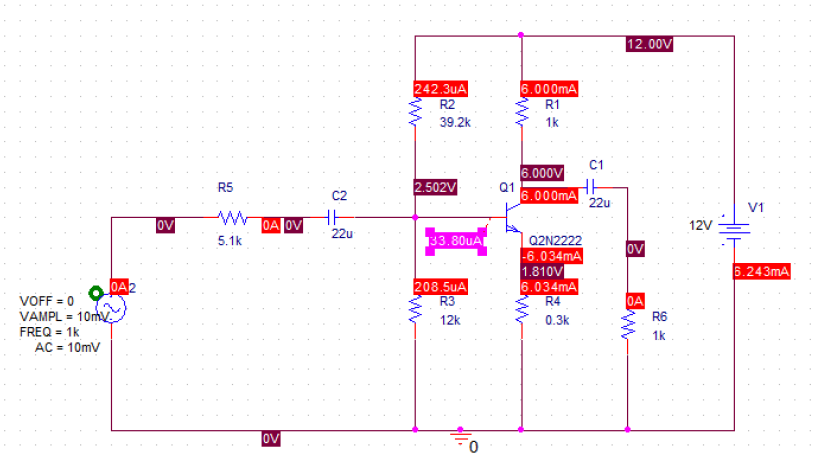


图 1.19 调整静态工作点后电路图

Output File 中内容

```
**** BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS
NAME          Q_Q1
MODEL         Q2N2222
IB            3.38E-05
IC            6.00E-03
VBE           6.92E-01
VBC           -3.50E+00
VCE           4.19E+00
BETADC        1.78E+02
GM            2.27E-01
RPI           8.28E+02
RX            1.00E+01
RO            1.29E+04
CBE           1.31E-10
CBC           4.04E-12
CJS           0.00E+00
BETAAC        1.88E+02
CBX/CBX2      0.00E+00
FT/FT2        2.68E+08
```

V _{BE}	V _{CE}	V _E
0.692V	4.19V	1.81V

2.2 空载/带载放大倍数

(1) 将电路连接 1k 的负载，设置仿真模式为瞬态分析。

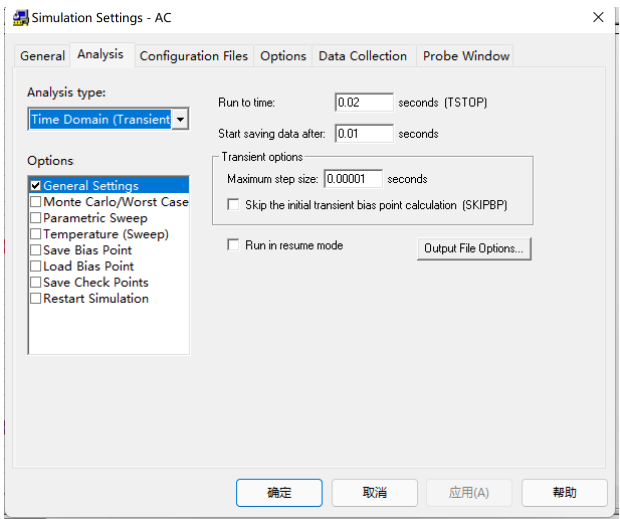


图 1.20 放大倍数判断瞬时分析设置

(2) 设置输出图像

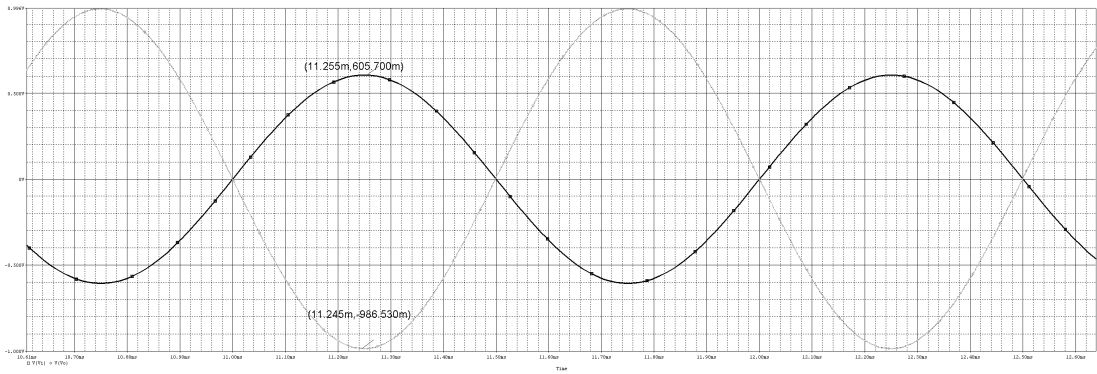


图 1.21 瞬态分析输出图像

V_i	V_o	\dot{A}_v
605.700mV	-986.530mV	-1.63

(3) 将所带 1kΩ 的电阻去除，重复上述实验，得到如下图像

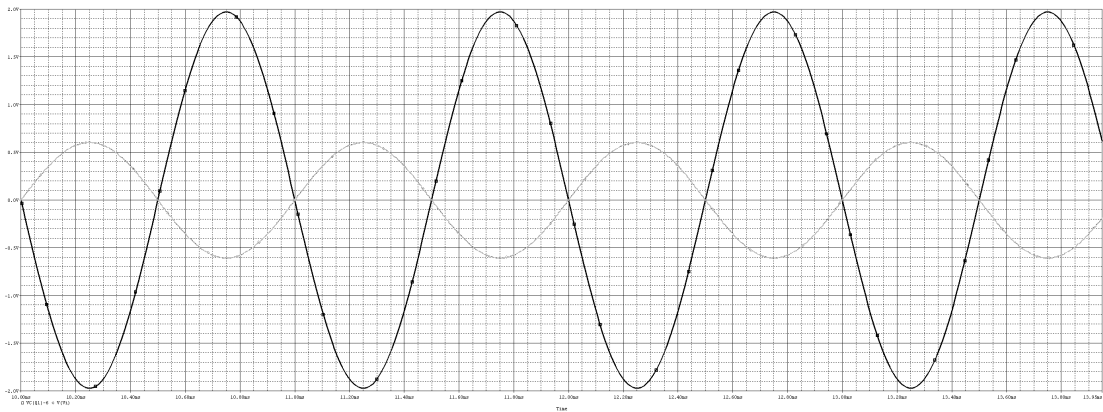


图 1.22 空载时输入输出电压图像

记录数据并计算得空载时的放大倍数

V_i	V_o	\dot{A}_v
-605.714mV	1.9715V	-3.26

2.3 输入/输出电阻

(1) 测量 R5 两端电压，得到 I_i

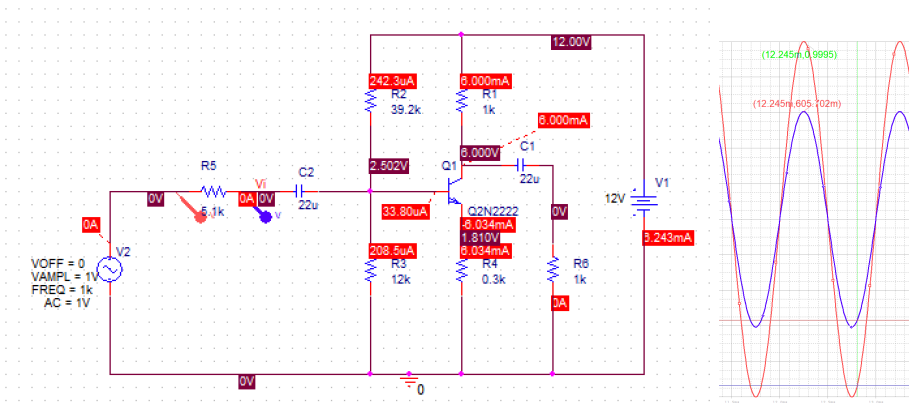


图 1.23 输入电阻测量

$V(R5:1)$	$V(R5:2)$	I_i	R_i
0.9995V	605.702mV	0.0772mA	7.84k Ω

(2) 输出电阻测量

R_L/Ω	V_o/V
1k	0.987
∞	1.9715

$$R_o = \left(\frac{V}{V_o} - 1 \right) R_L = \left(\frac{1.9715}{0.987} - 1 \right) \times 1 = 0.997k\Omega$$

与理论值 R_c 基本一致

2.4 失真分析

(1) 调整输入正弦波电压为 3V，观察可知，此时发生了饱和失真。

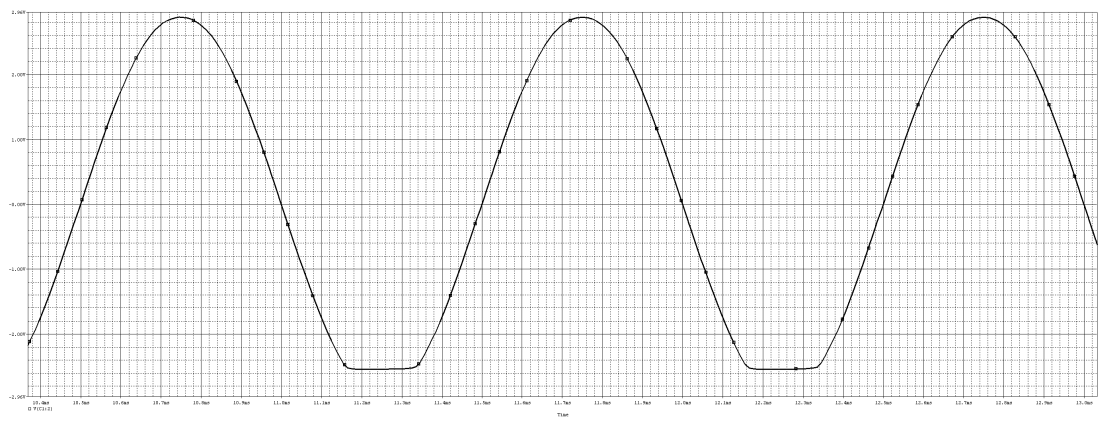


图 1.24 饱和失真

(2) 点按 FFT 分析按钮，获得如下图像：

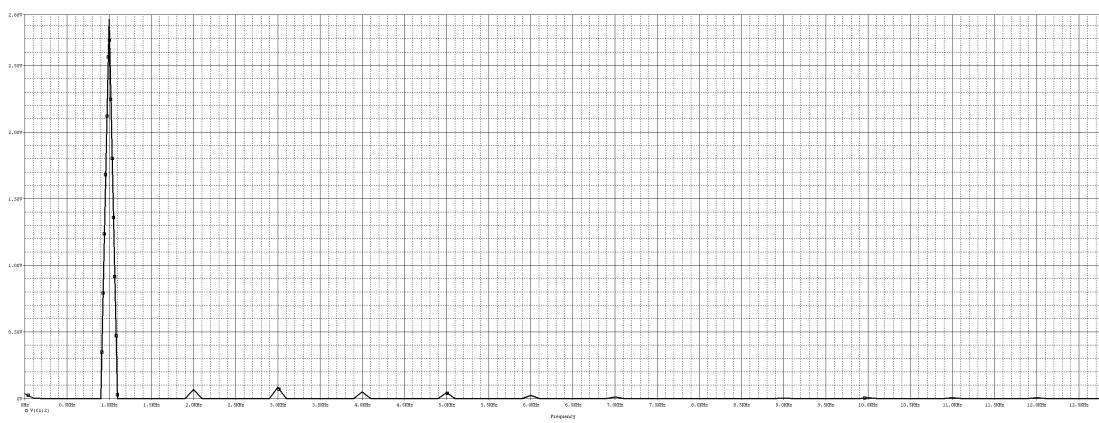


图 1.25 FFT 分析图像

(3) 计算饱和失真度

$$THD = \frac{\sqrt{\sum Y_n^2}}{Y_1}$$

i	1	2	3	4	5	6	7
Y_i/mV	2.8491e3	66.903	86.361	51.175	44.627	22.881	12.917

$$THD=4.6\%$$

(4) 调节 R_2 ，使得电路仅发生截止失真，经过一定的分析可知，增大 R_2 可使电路先发生截止失真。如下图，小信号的电压为 4.5V， R_2 位 $50\text{k}\Omega$ ，电路先发生截止失真

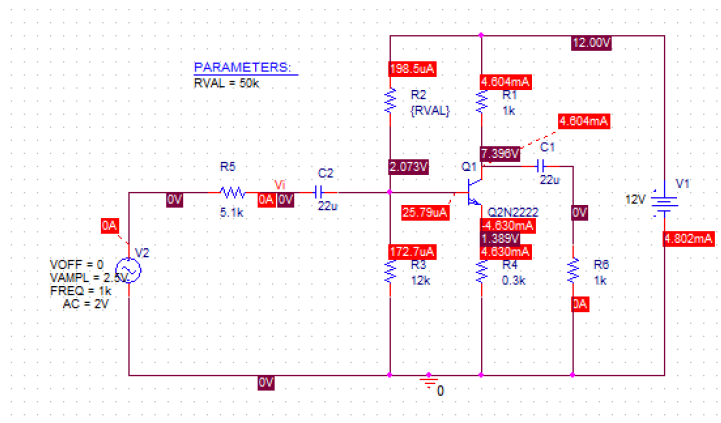


图 1.26 调节电路成为截止失真

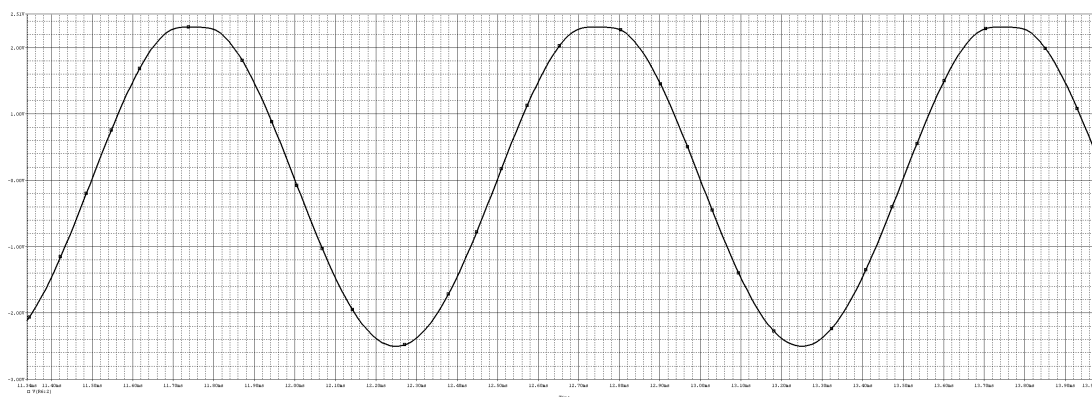


图 1.27 仅发生截止失真图像

2.5 失真电压

(1) 对 V2 进行参数扫描，得到失真电压，增加 VVAL 参数值，对电路在瞬态分析的基础上增加参数扫描

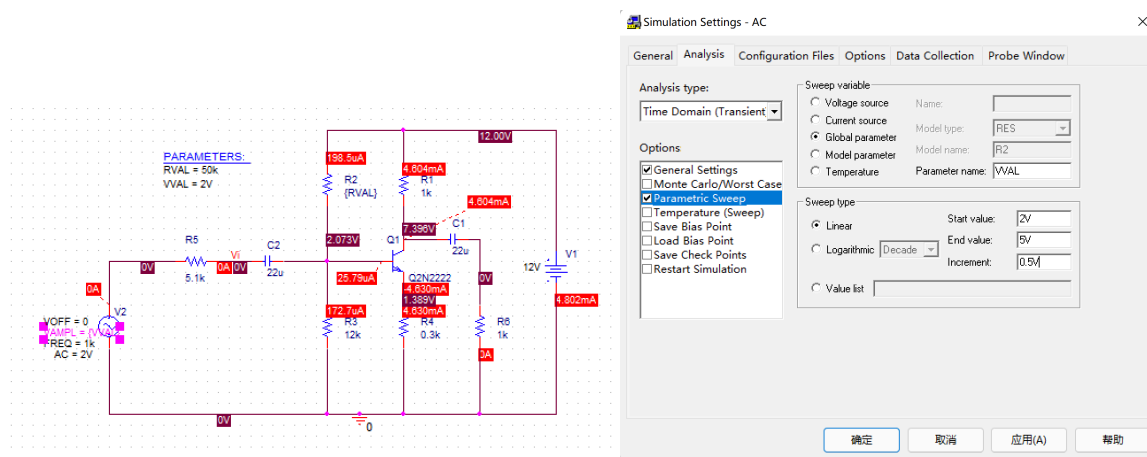


图 1.28, 1.29 调节电路、仿真参数，获取失真电压

得到下图：

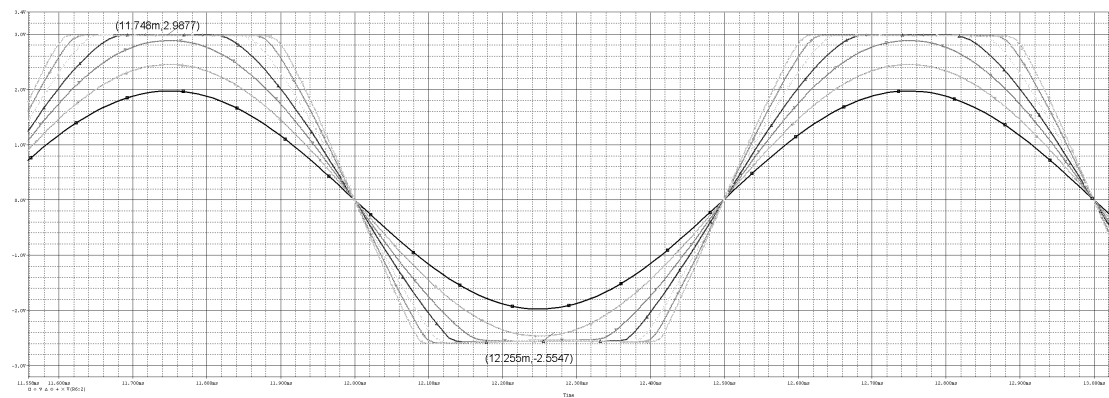


图 1.30 带载时的输出电压变化

可以得出带载时的结论：

R_L	$V_{\text{饱和}}$	$V_{\text{截止}}$
1k Ω	2.5547V	2.9877V

(2) 去除 R6，对电路进行仿真

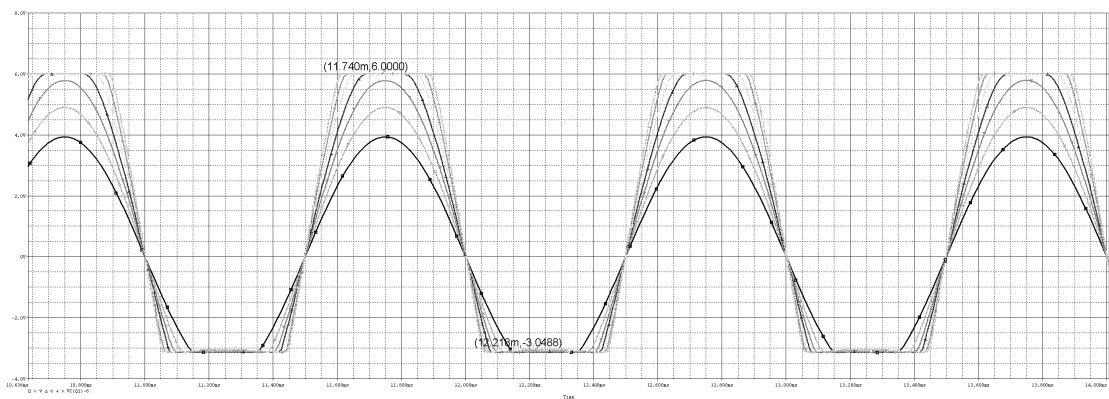


图 1.31 空载时输出电压变化

R_L	$V_{\text{饱和}}$	$V_{\text{截止}}$
∞	-3.0488V	6V

实验结论：

R_L	$V_{\text{饱和}}$	$V_{\text{截止}}$
1k Ω	2.5547V	2.9877V
∞	-3.0488V	6V

在没有 R_E 的情况下，饱和输出电压一般为 $V_{CEQ} - 0.7V$ ，而截止电压为 $I_{CQ}R_L'$ ，所以当负载发生变化时，截止电压的变化程度应该大于饱和电压，实验结果与理论基本吻合。

2.6 交流扫描放大电路的频率特性

(1) 设置交流参数

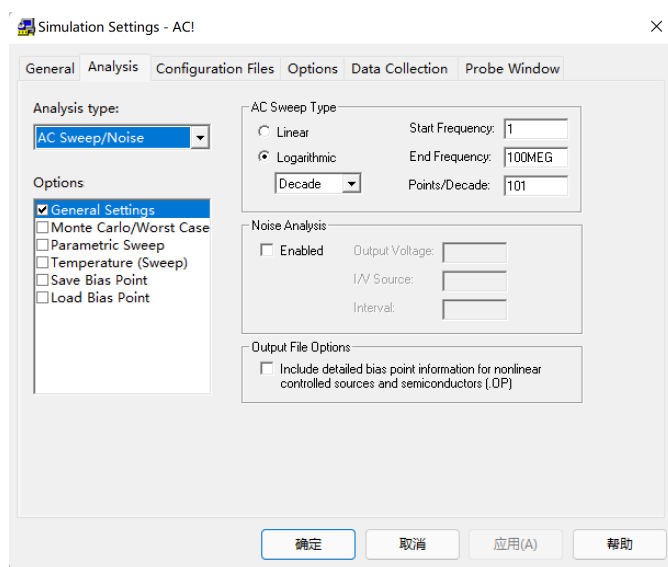


图 1.32 交流扫描参数设置

(2) 运行仿真。

(3) 在添加曲线对话框中输入曲线表达式 $DB(V(out)/V(i))$ ，显示用分贝表示的幅频特性曲线；通过执行【Plot/Add Plot to Windows】菜单命令，在新增波形曲线显示窗口中输入曲线表达式，显示相频特性曲线。得到如下图线：

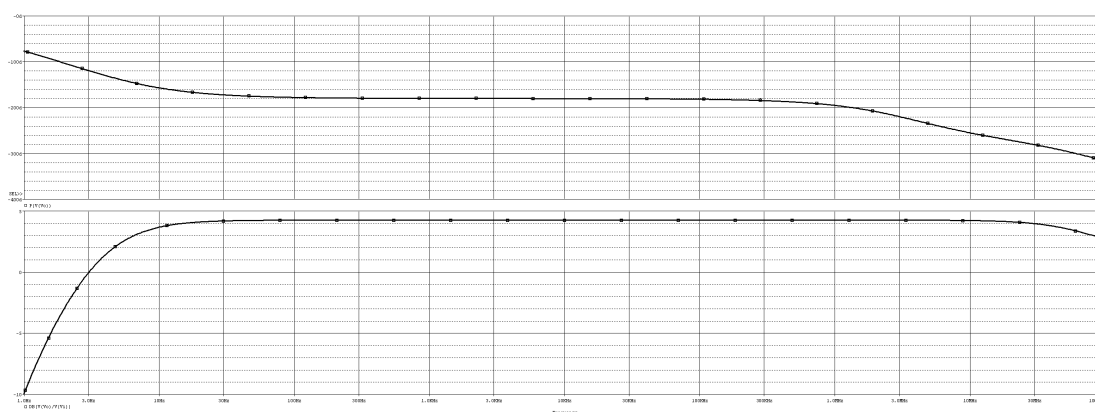


图 1.33 负载为 1k 时幅频相频特性曲线

(4) 测量图上各个数据

a. 使用 Cursor 工具测量中频放大倍数

$$20\log(V_o/V_i) = 4.2531 \rightarrow \dot{A}_{vm} = -1.632$$

b. 在求值测量对话框 Functions or Macros 下拉菜单的 Measurements 列表中，对带宽测量选 Bandwidth Bandpass 3dB(1)项；对上限频率测量选 Cutoffr Highbpass_ 3dB(1)项;对下限频率测量选 Cutoff_ Lowpass_ 3dB(1)项。变量均为 V(out)/V(in)。

测量量	Measurement	frequency
宽带长度	Bandwidth_Bandpass_3dB(V(Vo)/ V(Vi))	258.45320meg
下限频率	Cutoff_Highpass_3dB(V(Vo)/V(Vi))	3.84028
上限频率	Cutoff_Lowpass_3dB(V(Vo)/V(Vi))	258.45320meg

Evaluate	Measurement	Value
<input checked="" type="checkbox"/>	Bandwidth_Bandpass_3dB(V(Vo)/ V...	258.45320meg
<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff_Highpass_3dB(V(Vo)/V(Vi))	3.84028
<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff_Lowpass_3dB(V(Vo)/V(Vi))	258.45320meg

图 1.34 Evaluate Measurement 显示结果

(5) 去除负载，重复上述步骤进行测量

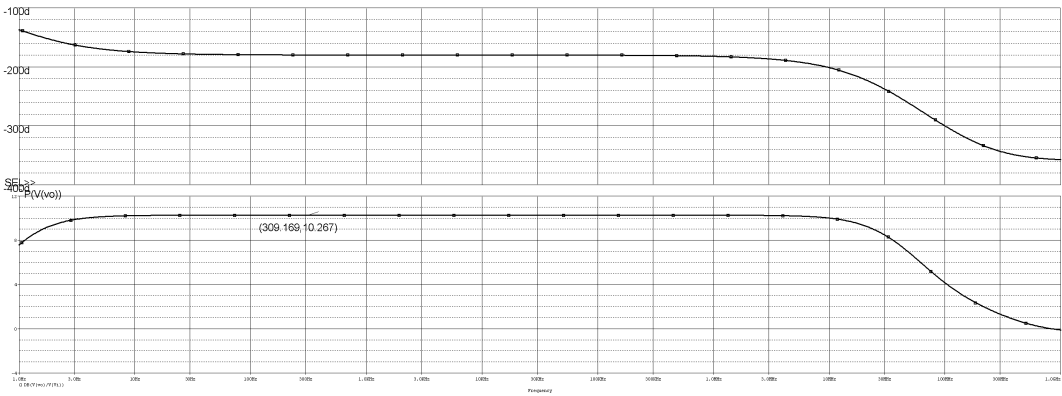


图 1.35 负载为∞时幅频相频特性曲线

a. 使用 Cursor 工具测量中频放大倍数

$$20\log(V_o/V_i) = 10.267 \rightarrow \dot{A}_{vm} = -3.26$$

b. 测量上下限频率

发现此时无法测量带宽长度，当输入频率为 1Hz 时，幅频下降小于 3dB，导致无法输出带宽长度。

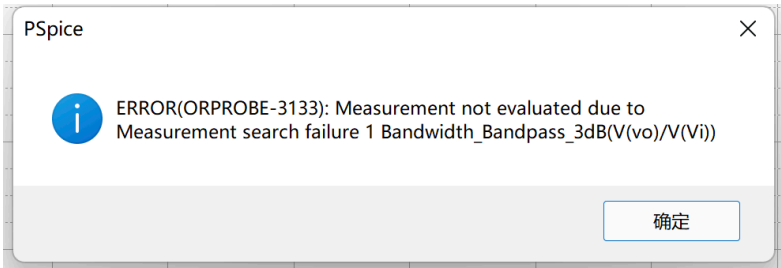


图 1.36 测量宽带长度 PSpice 报错

因此仅测量上限频率：

Evaluate	Measurement	Value
<input type="checkbox"/>	Cutoff_Highpass_3dB(V(Vo)/V(Vi))	
<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff_Lowpass_3dB(V(Vo)/V(Vi))	44.28309meg
<input type="checkbox"/>	Bandwidth_Bandpass_3dB(V(Vo)/V(Vi))	

图 1.37 Evaluate Measurement 显示结果

测量量	Measurement	frequency
宽带长度	Bandwidth_Bandpass_3dB(V(Vo)/ V(Vi))	/
下限频率	Cutoff_Highpass_3dB(V(Vo)/V(Vi))	/
上限频率	Cutoff_Lowpass_3dB(V(Vo)/V(Vi))	44.28309meg

实验结论： 负载增大，宽带减小，下限频率减小，上限频率变化幅度很大；符合以下两点理论。

R_L	$f_{\text{下限}}/\text{Hz}$	$f_{\text{上限}}$	Bandwidth
1k Ω	3.84028	258.45320meg	258.45320meg
∞	1	44.28309meg	44.28309meg