

浙江大学实验报告

课程名称：__模拟电子技术实验__ 指导老师：__张伟__ 成绩：__

实验名称：__pspice 的使用练习 1__ 实验类型：__EDA__ 同组学生姓名：__

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

实验 1 PSpice 使用练习——半导体器件特性仿真

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

- 二极管伏安特性测试电路如图 5.1 所示。输入该电路图，设置合适的分析方法及参数，用 PSpice 软件仿真分析二极管的伏安特性。

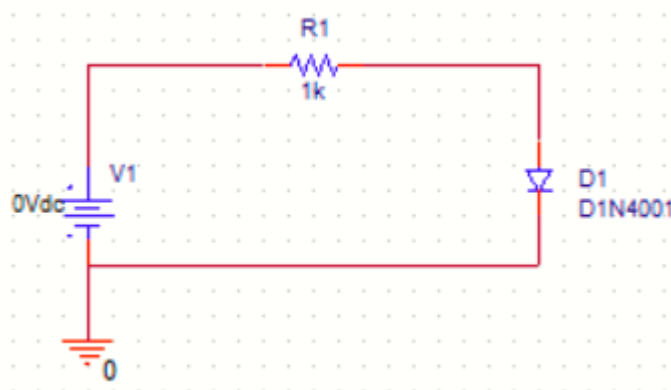
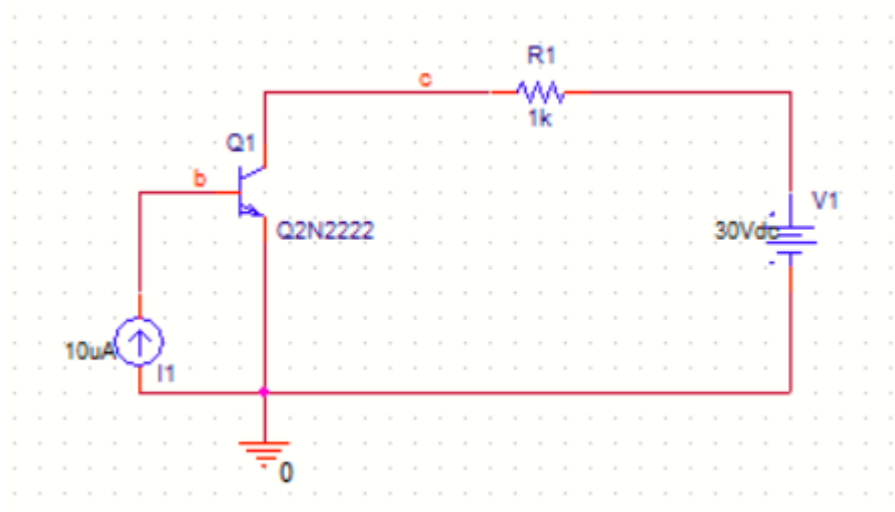


图 5.1 二极管特性测试电路

- 在直流分析中设置对温度的内嵌分析，仿真分析二极管在不同温度下的伏安特性。
- 将图 5.1 所示电路中的电源 VS 用 VSIN 元件代替，并设置合适的元件参数，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：

4. 三极管特性测试电路如图 5.2 所示，用 PSpice 程序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。



5. 调整基极偏置电阻,使放大电路的静态工作点 $I_{CQ}=6\text{mA}$,并记录放大电路各点的直流电压;
6. 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;
7. 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)
8. 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;
9. 调节偏置,测量空载和带载时的最大不失真输出电压;
10. 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。

图 5.2 三极管特性测试电路

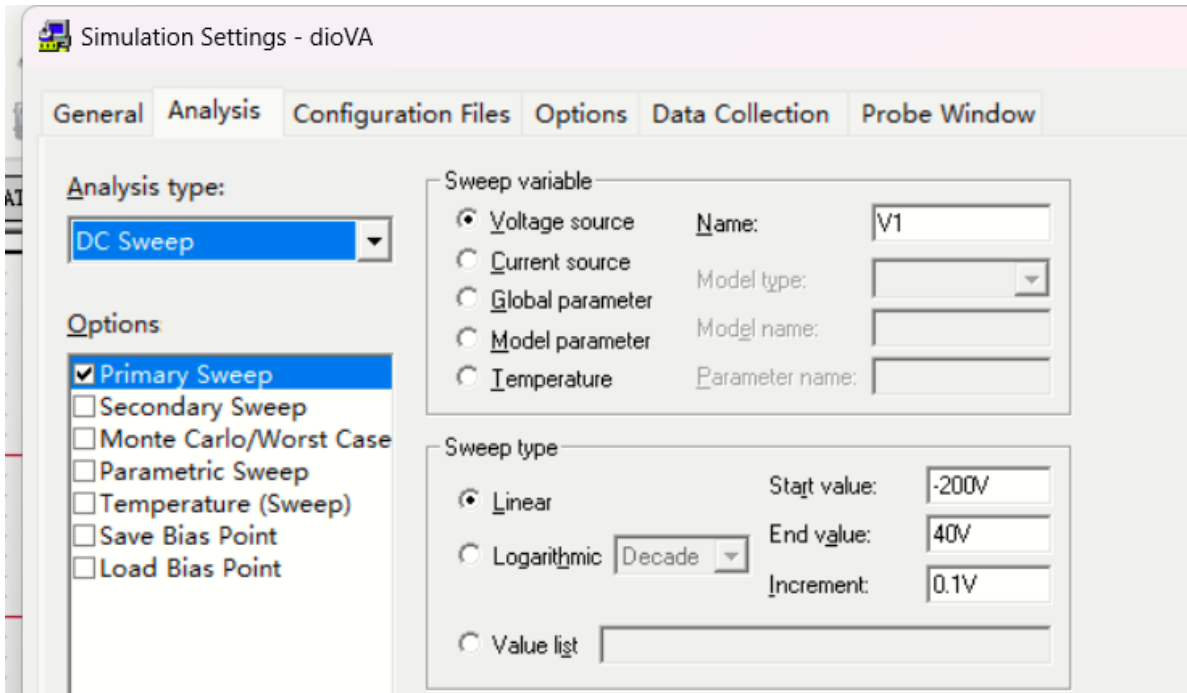
四.实验内容和步骤

1.二极管特性的仿真分析

1.1 二极管伏安特性

- (1) 输入图 5.1 电路图
- (2) 仿真二极管伏安特性时的设置

直流扫描（DC Sweep）分析参数设置：扫描变量类型为电压源，扫描变量为 V1，扫描类型为线性扫描，初始值为-200V，终值为 40V，增量为 0.1V。



(3) 运行仿真分析程序

(4) 查看仿真结果

①在 Probe 程序中显示 I (D) 曲线，结果如图 5.3 显示。

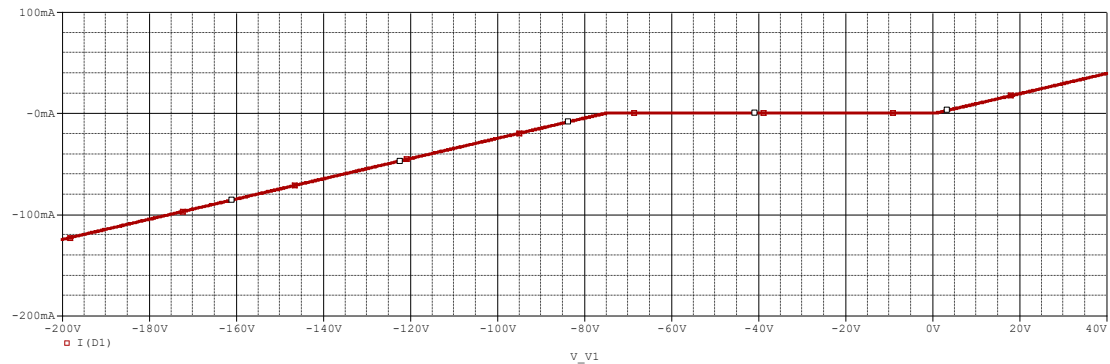


图 5.3 I (D) 与电压源 Vs 之间的关系

②为了得到二极管的伏安特性曲线，应该将横坐标变量变为二极管两端的电压。选择二极管电压 V (D:1) 作为 X 轴坐标变量，得到二极管的伏安特性曲线，如图 5.4 所示。

实验名称： pspice 的使用 姓名： 严旭铎 学号： 3220101731

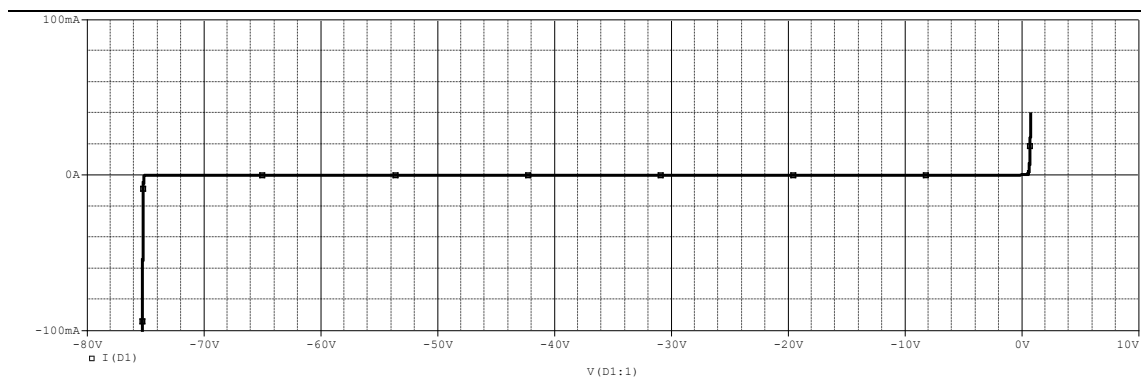
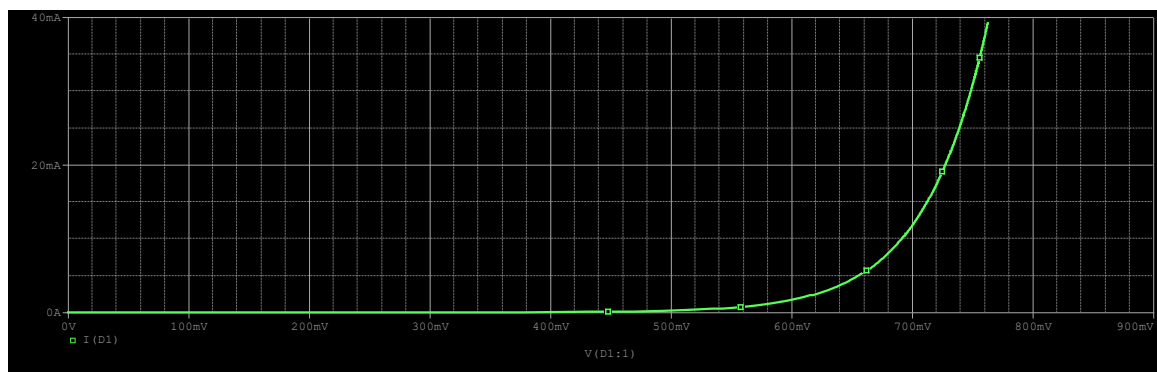


图 5.4 二极管的伏安特性曲线

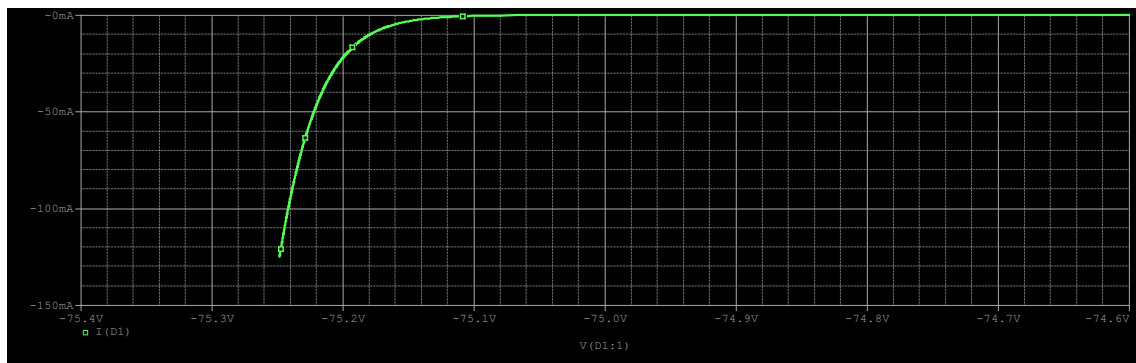
从图中可以可以看出二极管正偏时导通，电压近似为 0；二极管反偏时截止，电流近似为 0；当反向偏置电压过大时，则二极管处于反向击穿状态，反向电流将急剧增大。

设置 X Axis，将范围改至 0-0.9V，得到正向特性波形；将范围改至 -75.4V~-74.6V，得到反向特性波形。



正向特性波形

实验名称： pspice 的使用 姓名： 严旭铎 学号： 3220101731



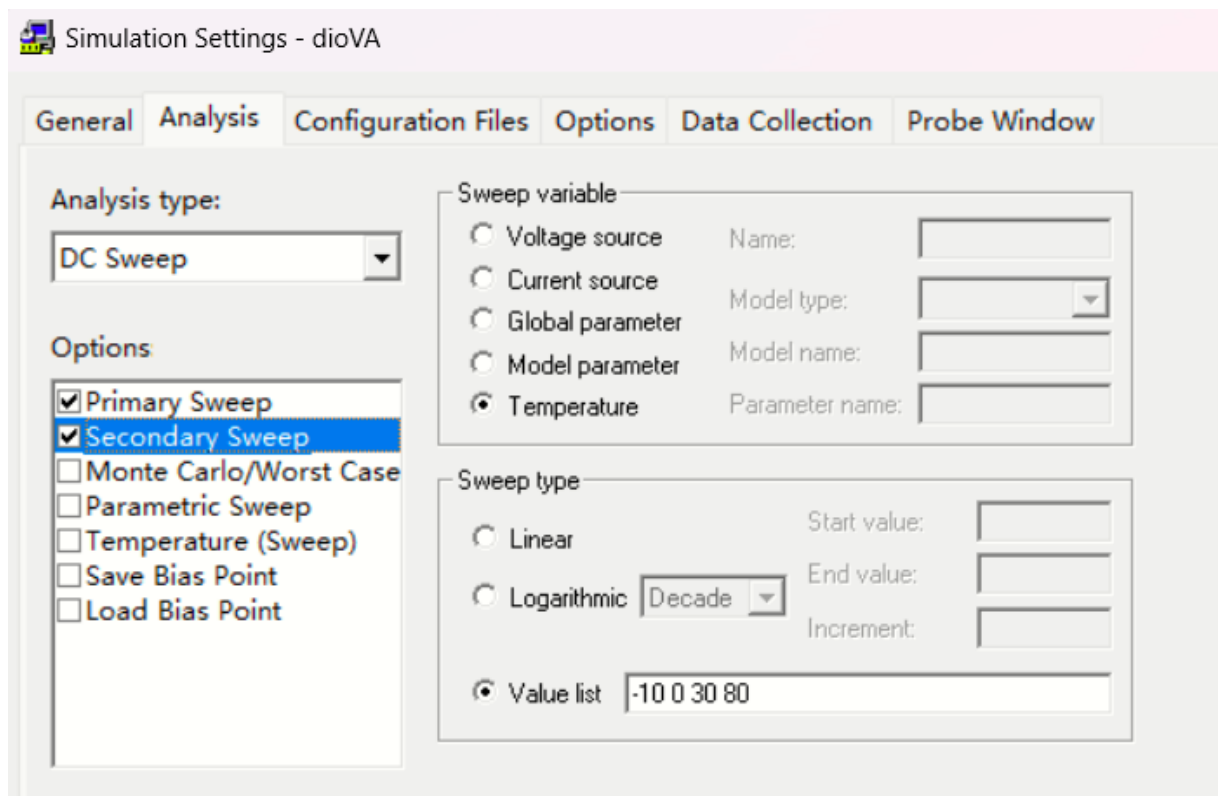
反向特性波形

1.2 环境温度对二极管伏安特性的影响

(1) 输入图 5.1 电路图

(2) 仿真二极管温度特性时的设置

设置直流扫描的内嵌分析(Nested Sweep): 扫描类型为温度, 扫描类型为列表扫描, 扫描值为-10(°C),



0 (°C), 30 (°C) 80 (°C)。

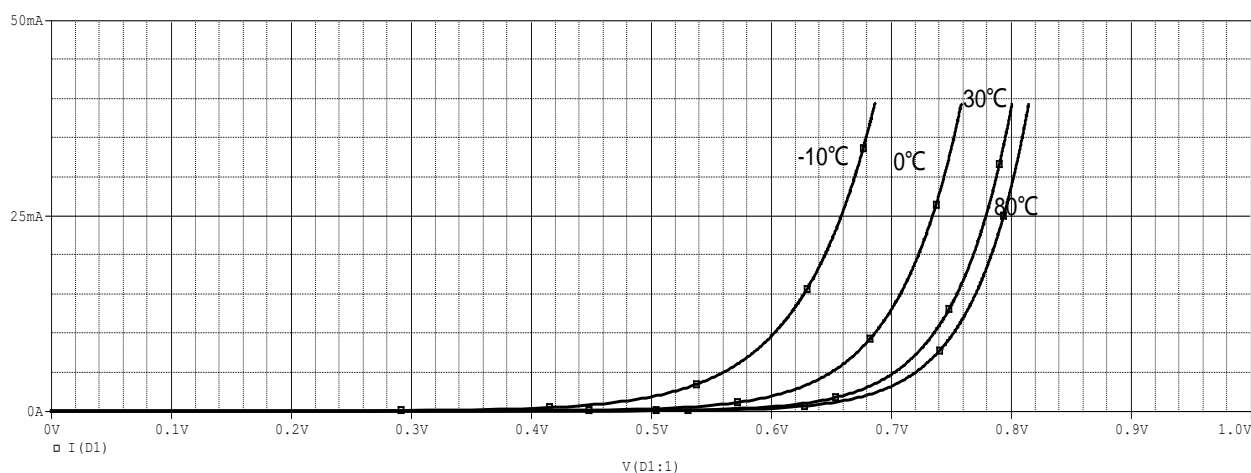
(3) 运行仿真分析程序

(4) 查看仿真结果

为了得到二极管不同温度下的正向伏安特性曲线, 需改变 X 轴和 Y 轴的坐标范围。X 轴坐标范围设置

实验名称： pspice 的使用 姓名： 严旭铎 学号： 3220101731

为 0V 至 1V，Y 轴坐标范围设置为 0mA 至 40mA。得到的二极管在不同温度下的伏安特性曲线如图 5.5 所示。



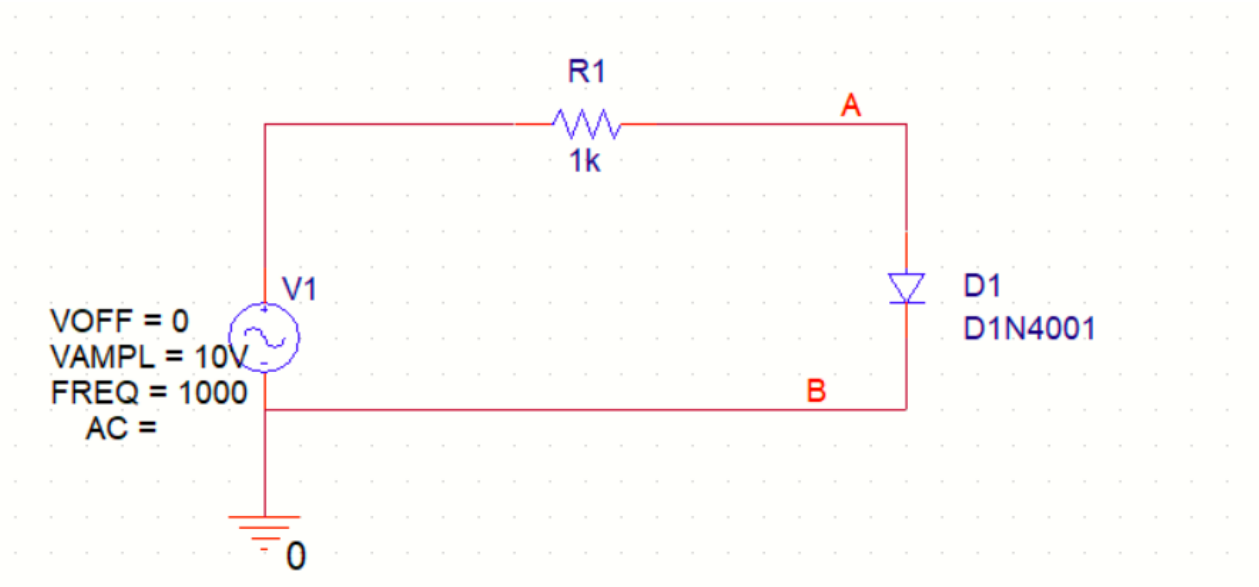
示。

图 5.5 二极管在不同温度下的伏安特性

可以发现，当温度越高时，伏安特性曲线越往右边移动，且当温度高于一定值时，温度升高，曲线向右移动的幅度变得越来越小，即温度对伏安特性的影响在温度上升到一定程度后变得越来越小。

1.3 仿真二极管两端的电压波形

(1) 修改图 5.1 电路图如下所示。

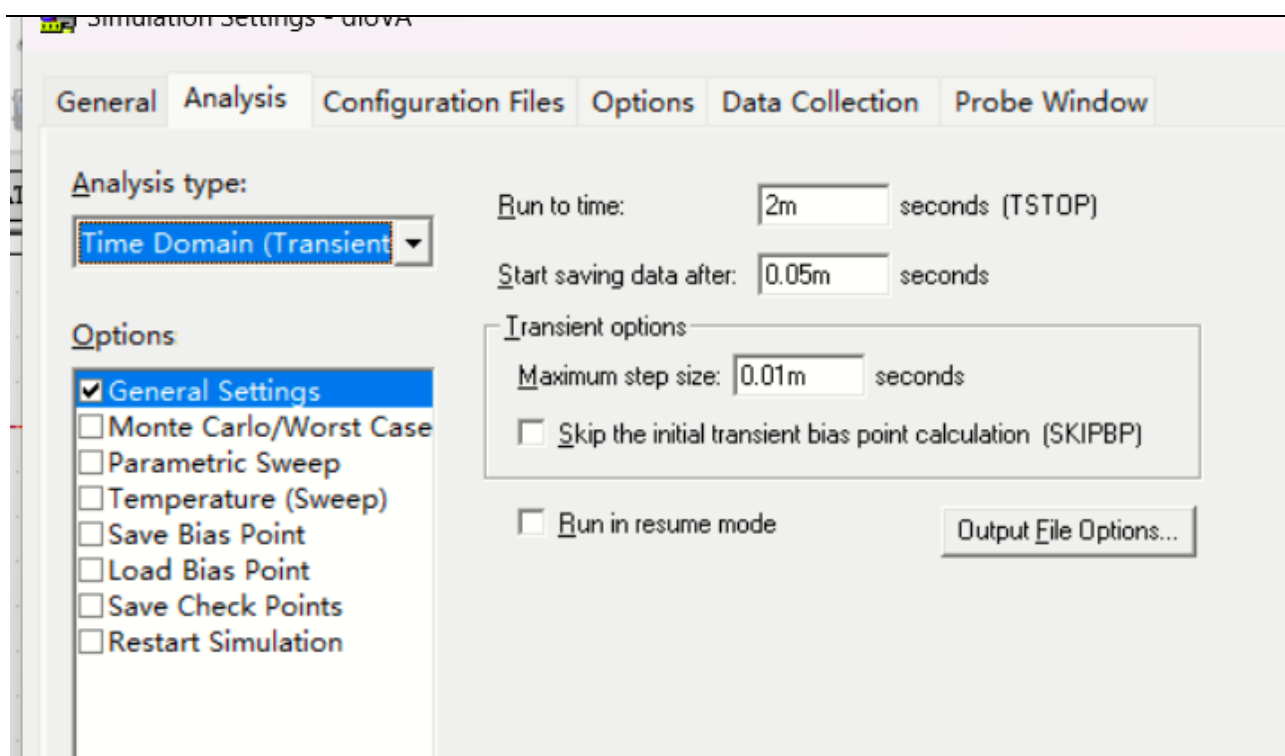


(2) VSIN 信号源的设置

为了仿真分析二极管两端的电压波形，需要在电路中加入瞬时电源。将电路中的电源 Vs 用 VSIN 元件代替，并设置元件参数为 VOFF=0，VAMPL=10V，FREQ=1kHz。

(3) 二极管仿真波形时瞬态分析设置

实验名称：_____pspice 的使用_____ 姓名：_____严旭铎_____ 学号：_____3220101731_____



设置瞬态分析，参数为 Final Time = 2ms, Step Ceiling = 0.01ms。

(3) 运行仿真分析程序

(4) 查看仿真结果

在 Probe 程序中显示 V (out)，结果如图 5.6 所示。

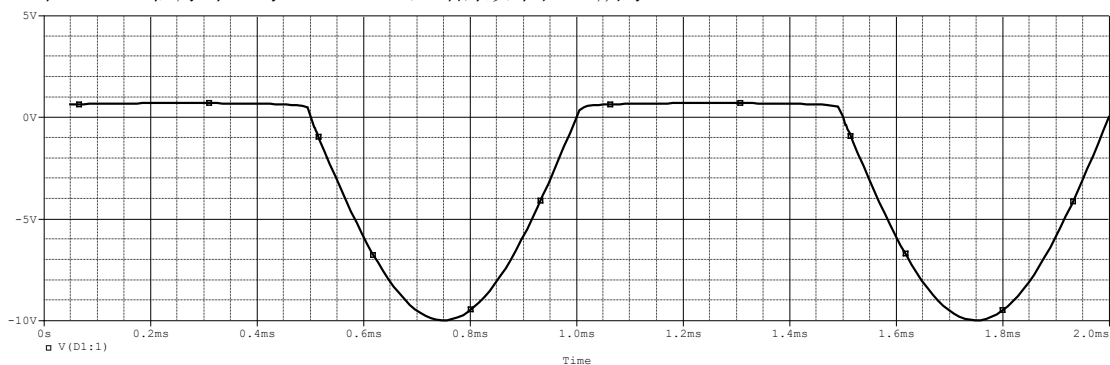
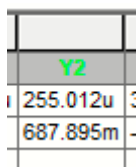


图 5.6 二极管两端的电压波形

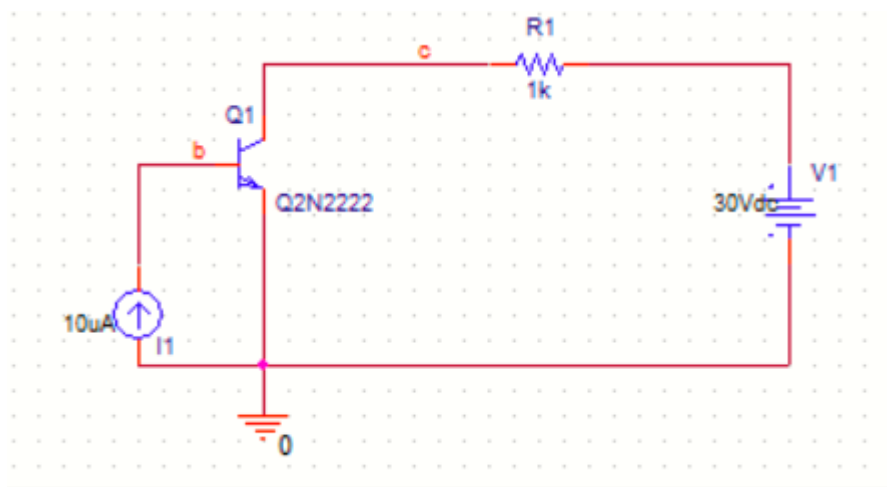
(5) 测量正向导通电压

在 Probe 程序中，利用 Cursor Search 功能，输入命令 “search forward for max” 找到正向导通电压的最大值。结果如图，测量值为 687.895mV。故二极管正向导通电压约为 688mV。



2.三极管特性的仿真分析

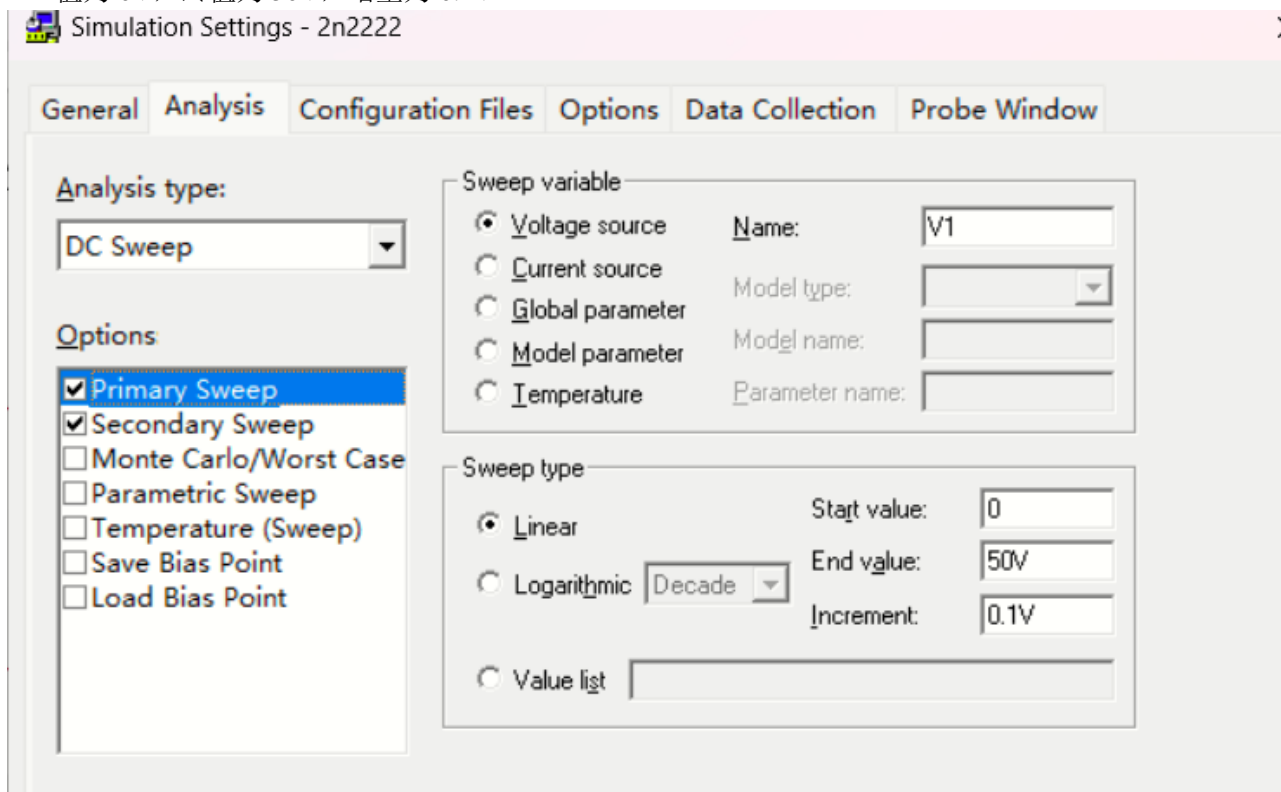
(1) 输入电路图，如图 5.2。



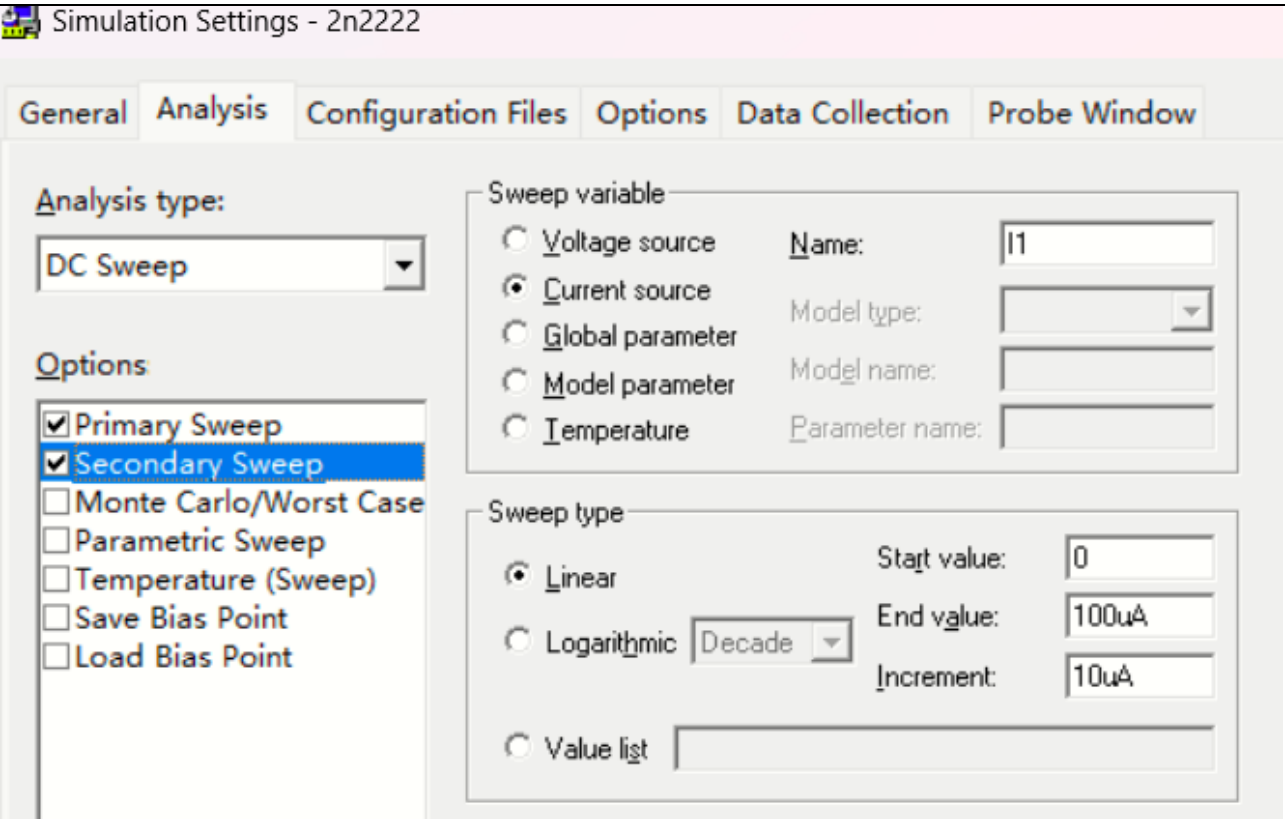
(2) 设置分析参数设置

三极管输出特性的仿真分析需要设置直流扫描分析，并设置直流内嵌分析。

- ① 直流扫描分析参数可设置为：扫描变量类型为电压源，扫描变量为 VCC，扫描类型为线性扫描，初始值为 0V，终值为 50V，增量为 0.1V。



- ② 直流内嵌分析参数可设置为：扫描变量类型为电流源，扫描变量为 IB，扫描类型为线性扫描，初始值为 0，终值为 100uA，增量为 10 uA。



- (3) 运行仿真分析程序
 - (4) 查看仿真结果
- 将 X 轴变量设置为三极管电极与发射极之间的电压 V (Q1:c) ,并选择合适的坐标范围，可得到三极管的输出特性曲线，如图 5.7 所示。

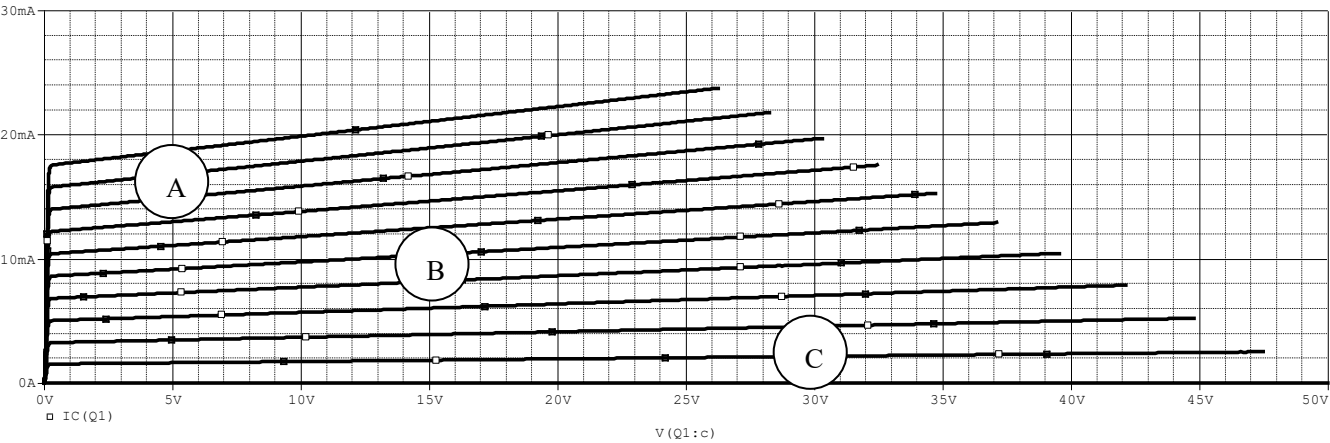


图 5.7 三极管的输出特性曲线

- (4) 计算放大倍数
- 取横坐标为 5V、15V、30V 时的 A、B、C 三点，利用 Cursor 读取对应点的数据，计算直流放大倍数

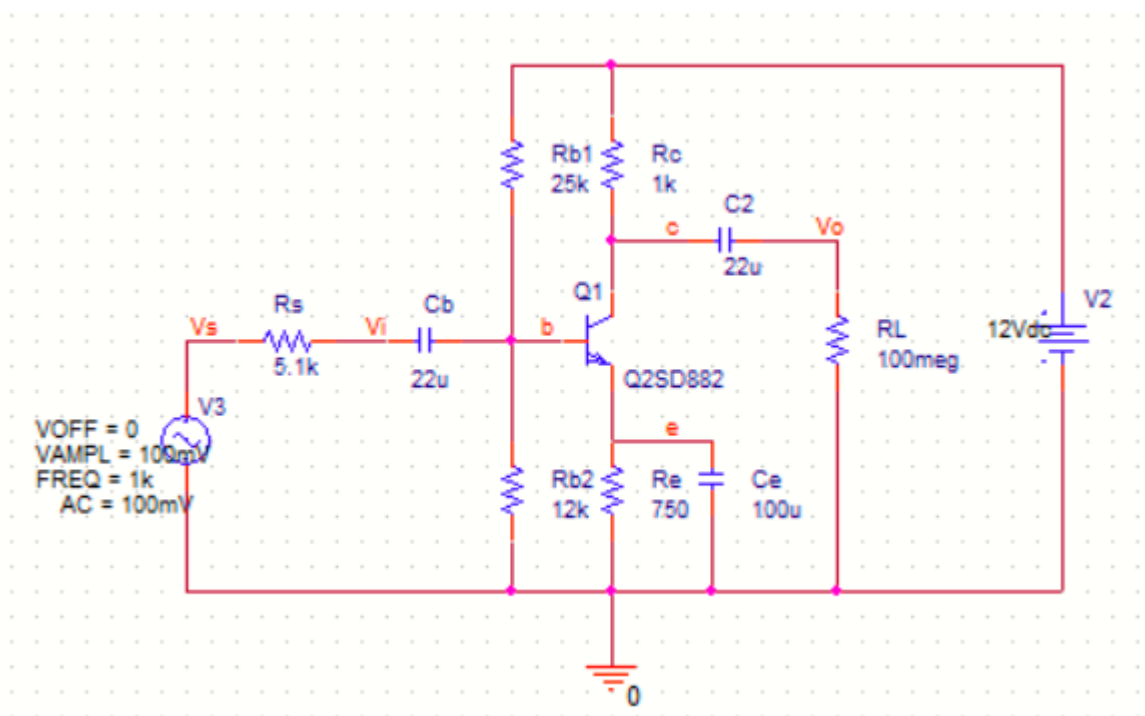
	Y1	Y2	Y1 - Y2
	4.9976	4.9976	0.000
	18.671m	16.782m	1.8886m

和交流放大倍数。

3.晶体管共射放大电路仿真

3.1 放大电路静态工作点的设置与测量

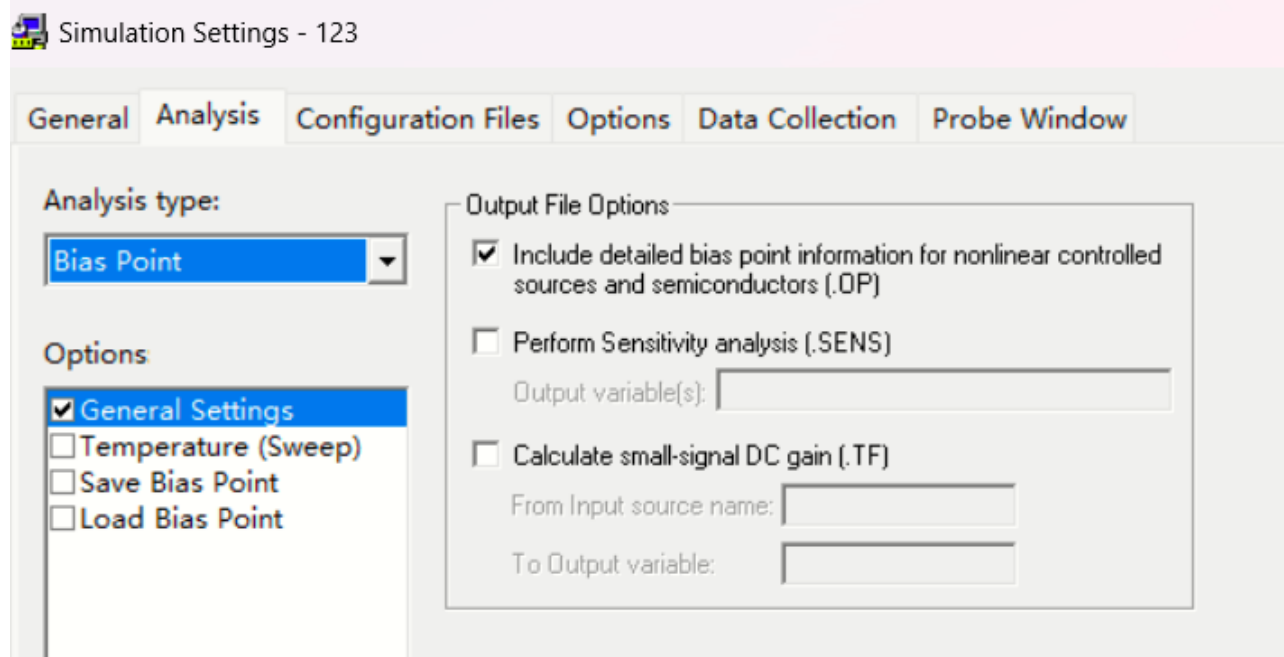
(1) 输入电路图，为了便于查看波形，在晶体管与输入输出处添加网络标号。



(2) 静态工作点仿真

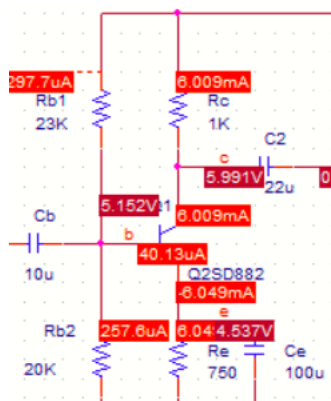
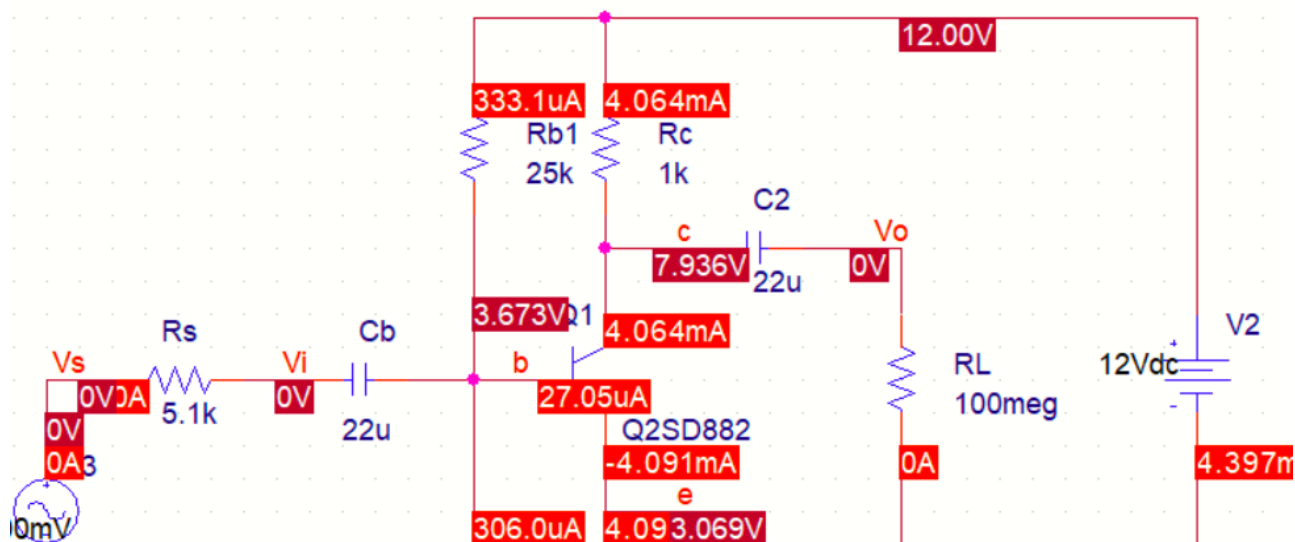
建一个新的仿真文件，按如图配置参数：选择类型为 **Bias Point**，勾选右边第一个选项，设置完成后运行，即可计算静态工作点。点选这两个按钮就可以把电压和电流数据放在图上。需要注意的是，每次更改电路参数后，需重新运行该仿真文件以更新静态工作点数据，**该数据不是实时的**。





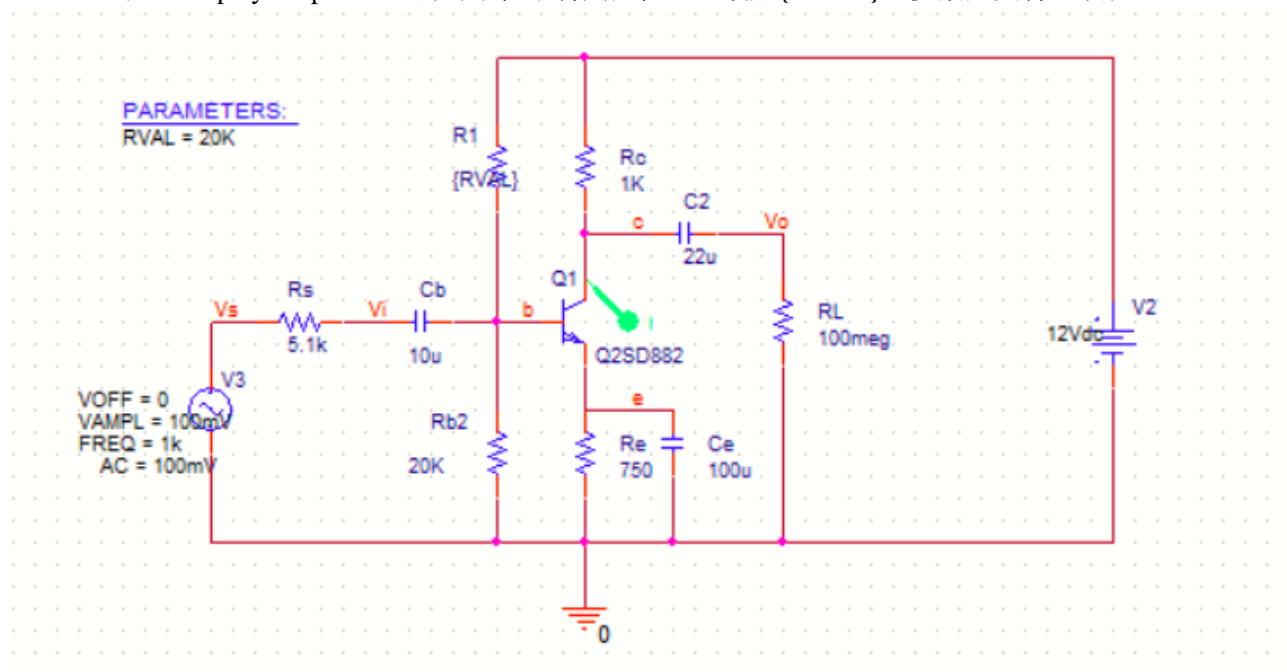
(3) 调节 R_b 使 I_c 稳定在 6mA

此时容易发现, I_c 与要求值有一定差距, 所以需要先手动试一下一些参数。当 R_{b1} 取 23k, R_{b2} 取 20k 时, 得到了比较接近的 I_c 。在此基础上做一定的微调。

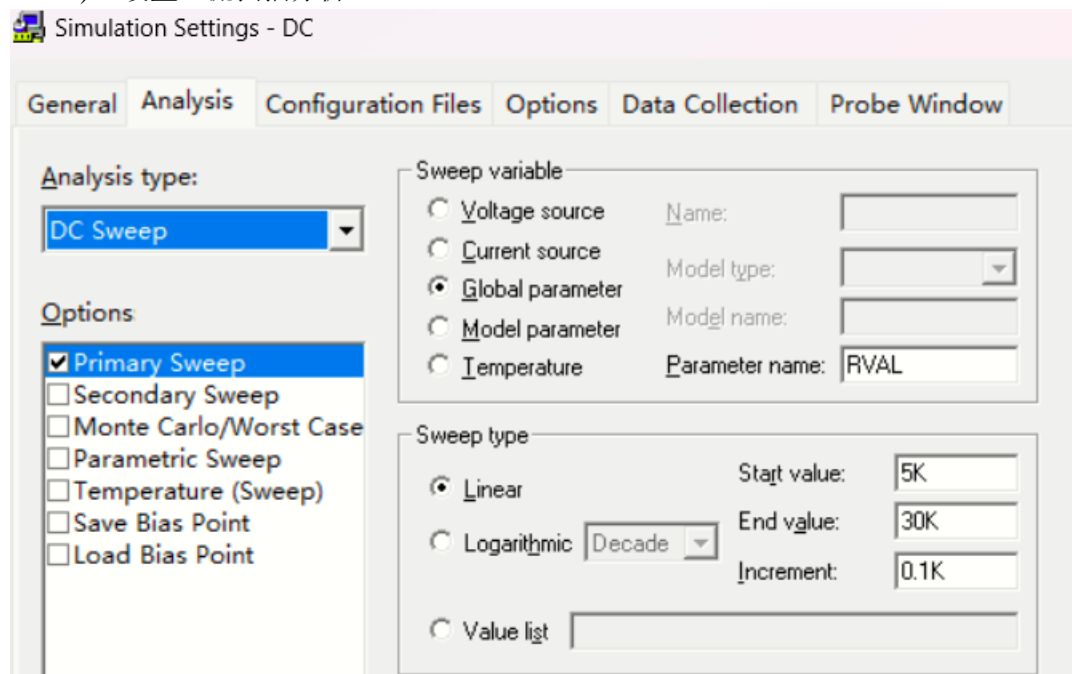


- 一种重要的方法

- a) 从元件库中取 PARAM 放置到电路原理图中,双击电路原理图中的 PARAM,弹出特性编辑对话框。点击【New property...】按钮,假设定义 Rb1 的阻值取变量名为【RVAL】,双击 Rb1,对话框中 Name 下输入 RVAL,在 Value 下输入 20K,此电阻值是作为直流工作点分析时所采用的阻值。点击【OK】按钮,在特性编辑对话框新增了 RVAL 项。在 RVAL 处点击鼠标右键,在弹出的快捷菜单中点取 Display...,修改新参数的显示方法。返回到电路图编辑窗口,双击 Rb1 的阻值 20K,在“Display Properties”的对话框中将其阻值 20k 改成{RVAL},参数定义符必须键入。

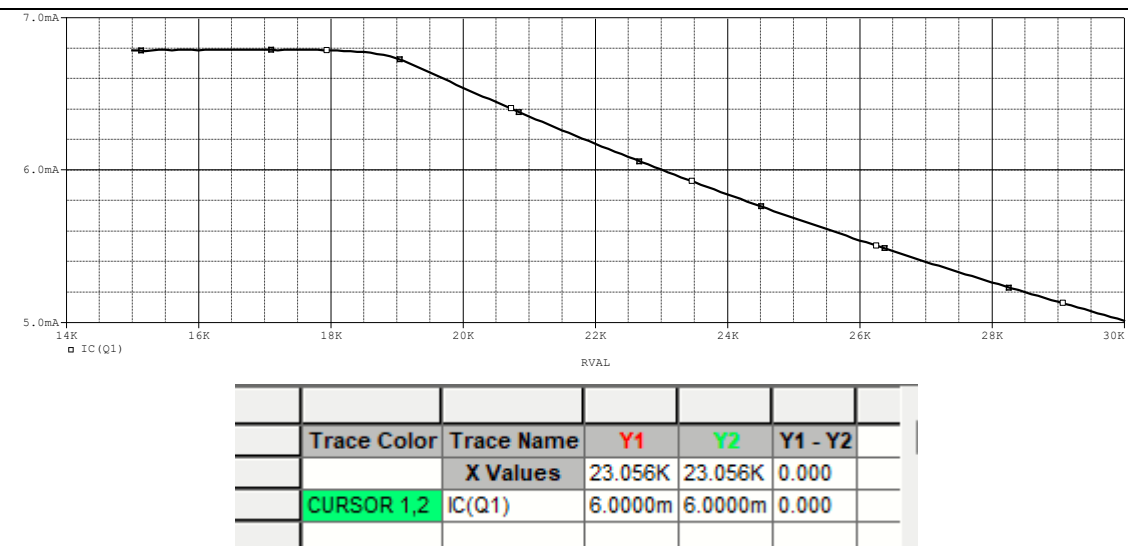


- b) 设置直流扫描分析

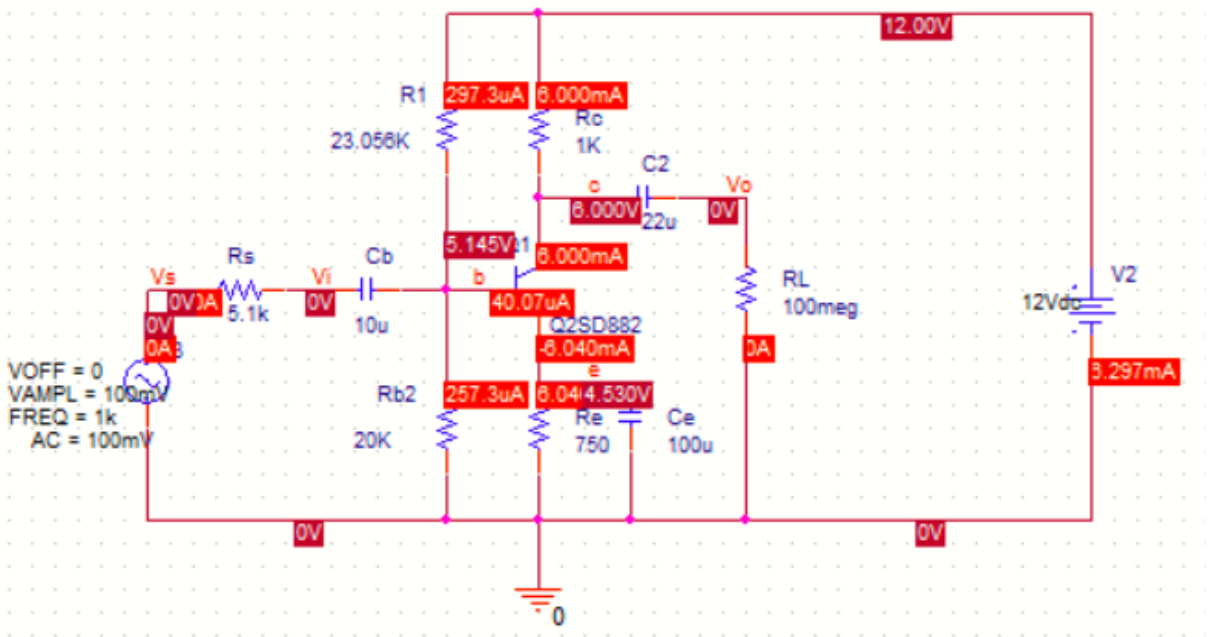


创建名为 DC 的新的仿真文件,选取 DC Sweep, 参数设置如下。

- c) 设置完后运行仿真。取 $I_{Y1} = 6\text{mA}$ 时候的电阻即可。利用 Cursor Search 功能,输入 sflc(6mA)指令即可查找纵坐标为 6mA 时轨迹上的点及其对应横坐标,横坐标就是需要的 Rb1 的值。



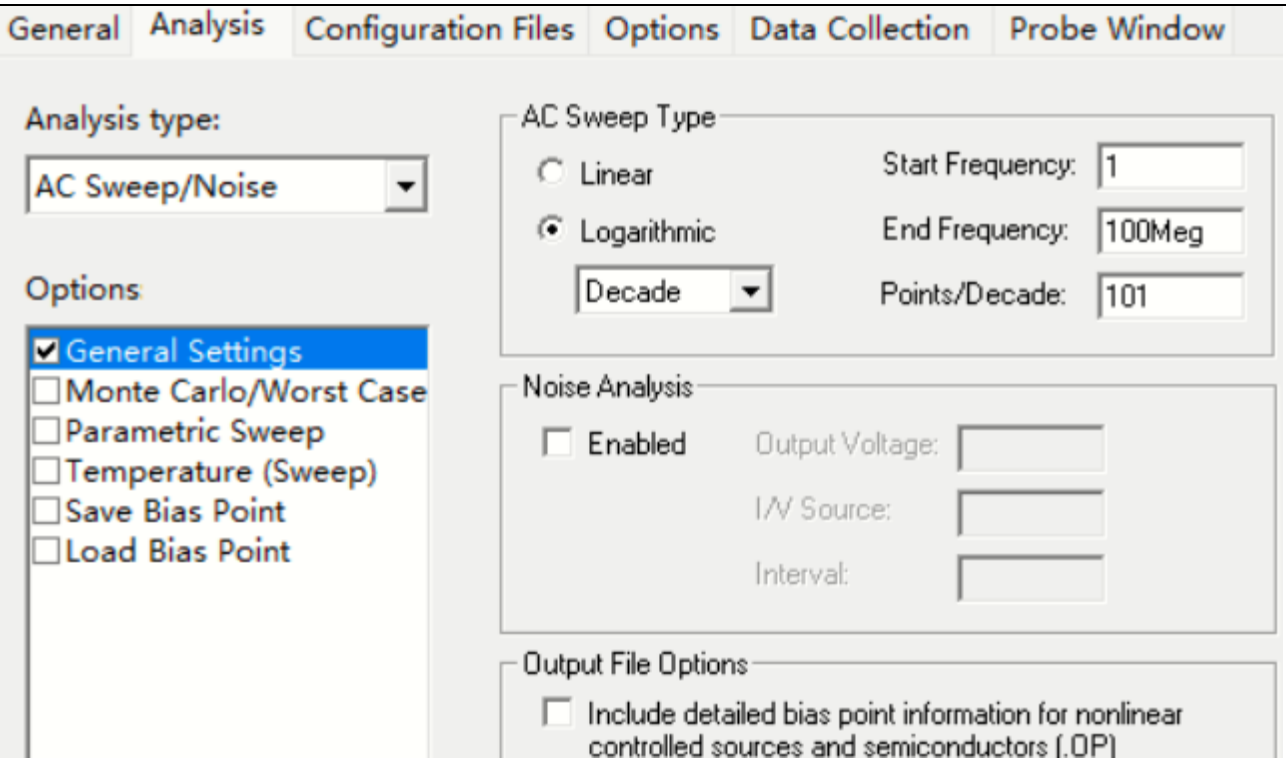
本次取了 $R_{b1} = 23.056K$, $R_{b2} = 20K$
确定了 R_{b1} 的值后，再将 PARAM 元件删除，将 R_{b1} 的值由 {RVAL} 改为 23.056K，再用前面创建的静态工作点的仿真文件进行仿真，验证 I_{CQ} 是否为 6mA。
如下图，成功控制了 $I_{CQ} = 6mA$ 。



直流电压如图：
 $V_C = 6V$, $V_B = 5.145V$

3.2 放大倍数的测量

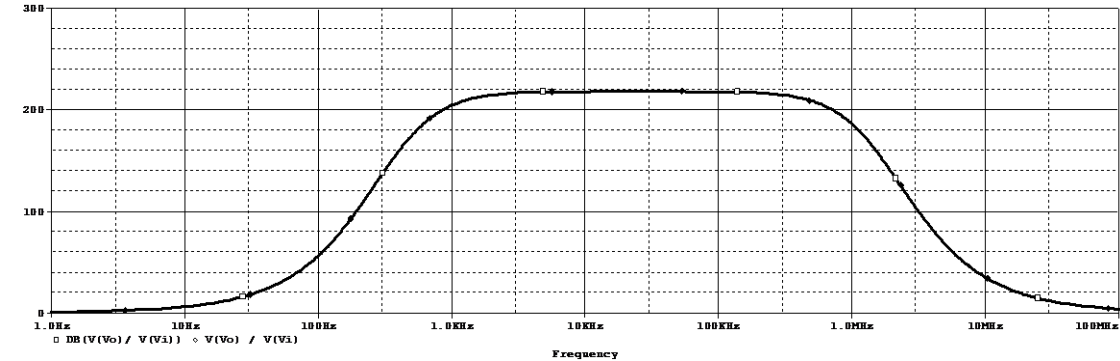
调节输入信号，使电路处于信号放大状态，测量空载和带载时得电压放大倍数
(1) 空载
新建交流扫描仿真文件命名为 AC，配置如下图所示



将电路中的 RL 设为一个很大的值（例如 1000M），这样可以近似看作空载断路。将交流电源 AC 值设定为 1V，这样输出端电压的数值就等于电路的放大倍数，计算很方便。

【不直接将 RL 移到电路外是因为会报错，说电路连接有问题】

运行仿真文件，添加 Trace，变量为 V(o)/V(i)



利用 CursorMax 功能，找到最大输出值，即为放大时的放大倍数，由下图读得空载时放大倍数为 218.032。

	Trace Color	Trace Name	Y1
		X Values	24.891K
		V(Vo) / V(Vi)	218.032

(2) 带载

令 $R_L = 1k\Omega$ ，重复上述步骤，测得带载时放大倍数为 112.320

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	35.039K
CURSOR 1,2	V(Vo) / V(Vi)	112.320

3.3 测量放大电路的输入电阻和输出电阻

(1) 输入电阻的测量

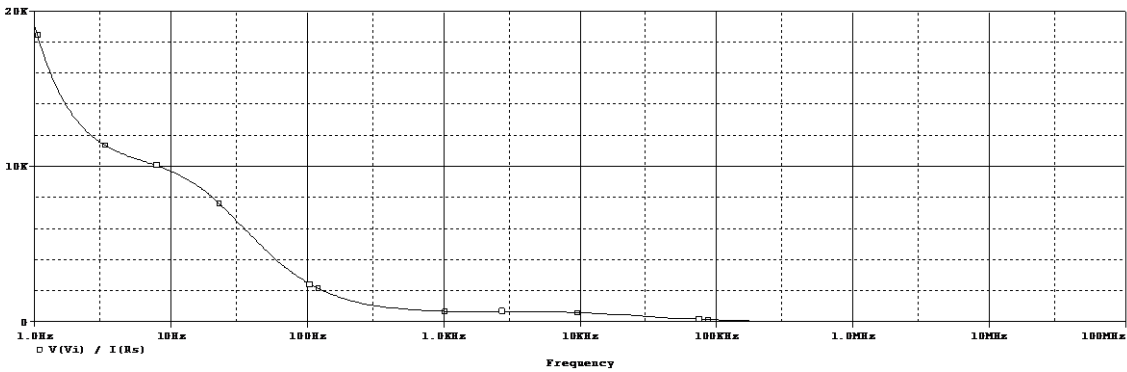
原理：

于是，可以采用放大倍数测量时的仿真文件，只是将因变量设为 $V(V_i) / I(R_s)$ 即可。

伏安法：

外接已知阻值的电阻 R ，测 V_s 和 V_i

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{(V_s - V_i) / R} = \frac{V_i}{V_s - V_i} R$$



Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	1.0000K
CURSOR 1,2	V(Vi) / I(Rs)	697.858

用 Cursor 找到横坐标频率为 1kHz 时对应的纵坐标值为 697.858 Ω ，即 $R_i = 697.858\Omega$

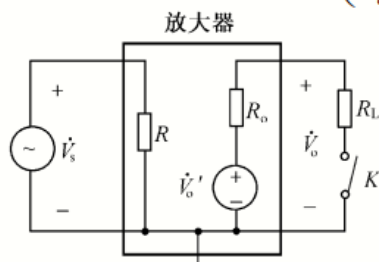
(2) 输出电阻的测量：采用二次测量法

原理：

(2) 放大电路的输出电阻 R_o 的测量

两次测量法：分别测出负载开路时的输出电压 V_o' 和接入负载 R_L 后的输出电压 V_o ，则

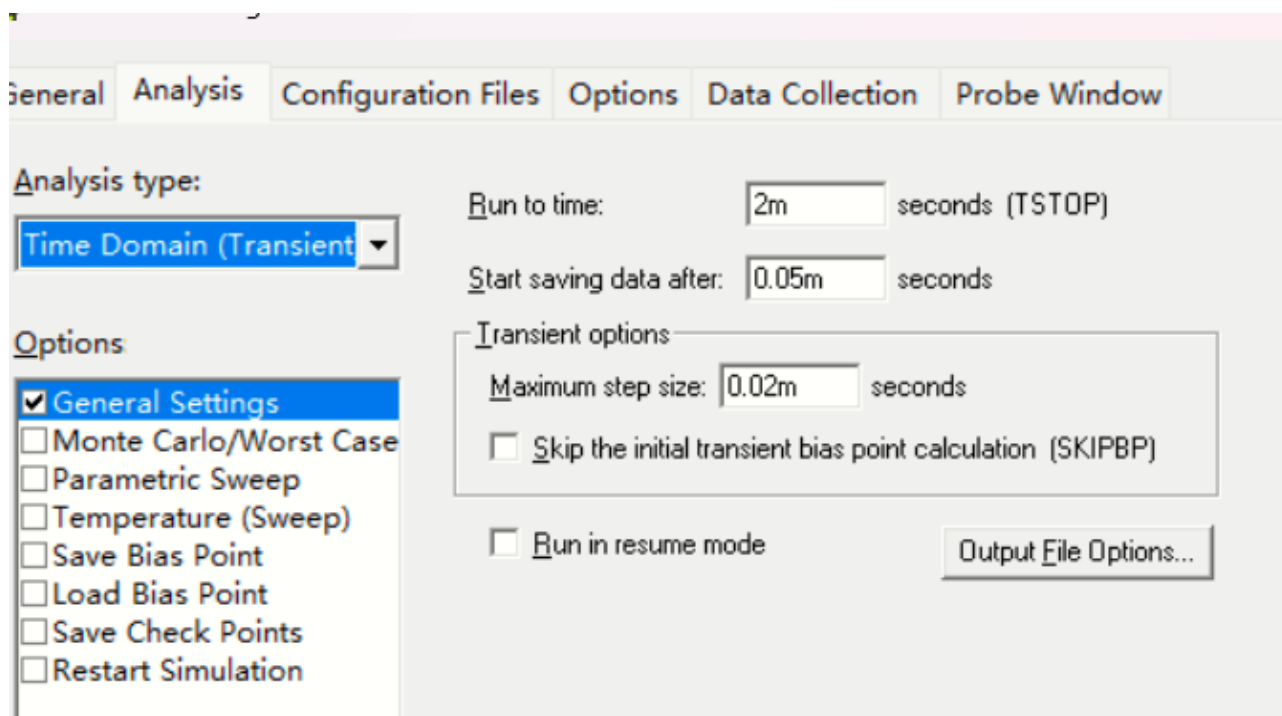
$$V_o = \frac{R_L}{R_o + R_L} V_o' \quad R_o = \left(\frac{V_o'}{V_o} - 1 \right) R_L$$



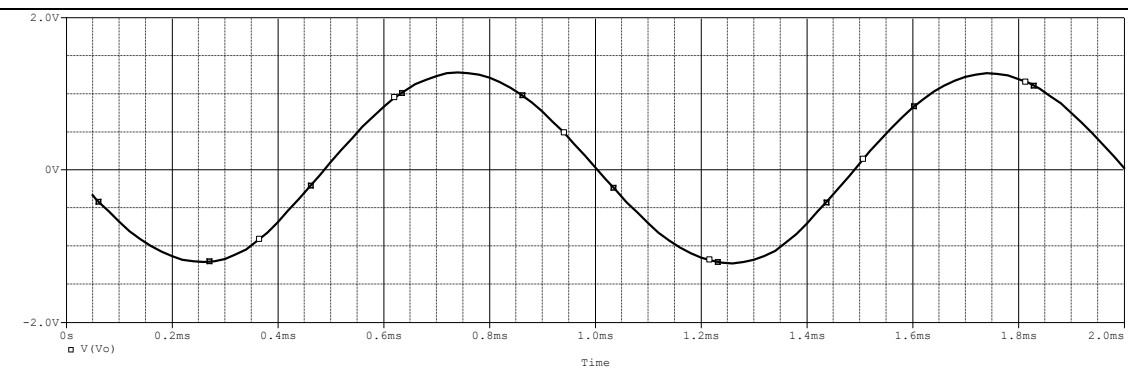
放大电路输出电阻的测量

先测带载的输出电压 V_o ：

新建仿真文件，作瞬态分析，配置如下：



运行，得到如下所示波形



用 Cursor Max 功能找到输出电压 $V(o)$ 的峰值为 1.2767V。
同理，将 R_L 更改为 $1000M\Omega$ （视作空载），重复上述操作得到 $V'(o) = 2.6034mV$
代入公式
 $R_o = (V_o/V)$

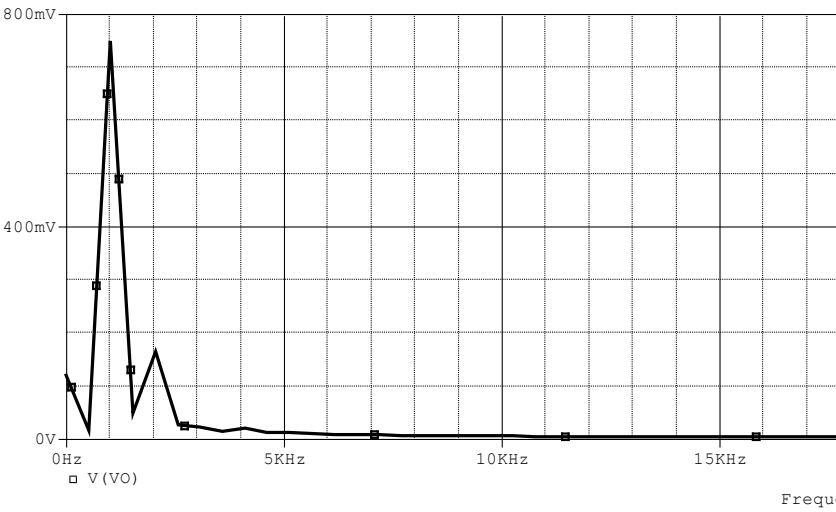
Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	740.041u
CURSOR 1,2	V(Vo)	1.2767

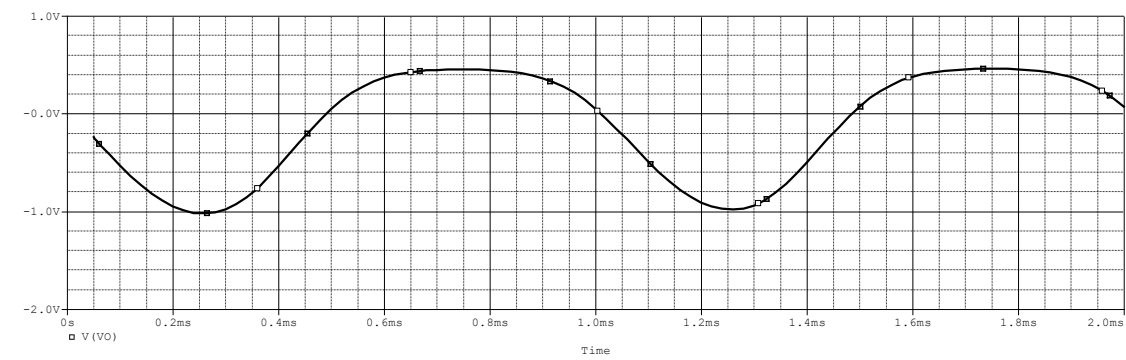
Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	740.041u
CURSOR 1,2	V(Vo)	2.6034m

3.4 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

(1) 截止失真

$V_{AMPL} = 120mV$ ， $V_2 = 3V$

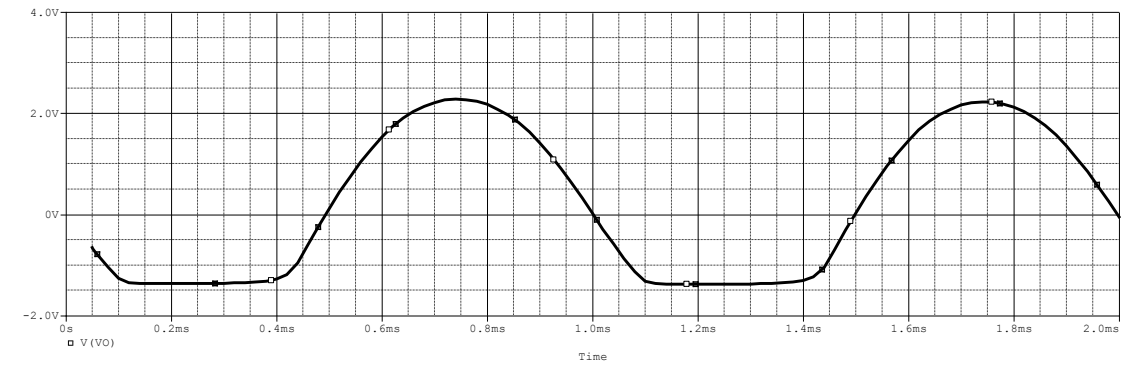


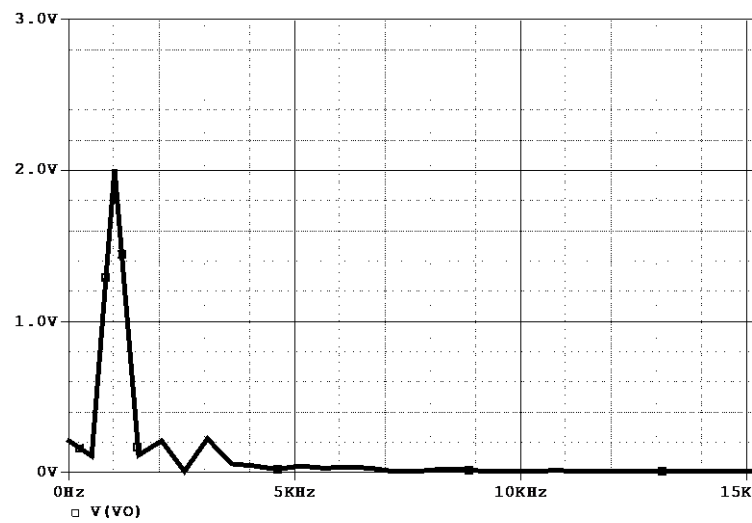


	频率/kHz	幅度/mV
基波	1	663.959
二次谐波	2	165.274
三次谐波	3	22.282
四次谐波	4	19.680
五次谐波	5	11.844
失真度	0.2535	

(2) 饱和失真

VAMPL = 100mV,V2 = 12V



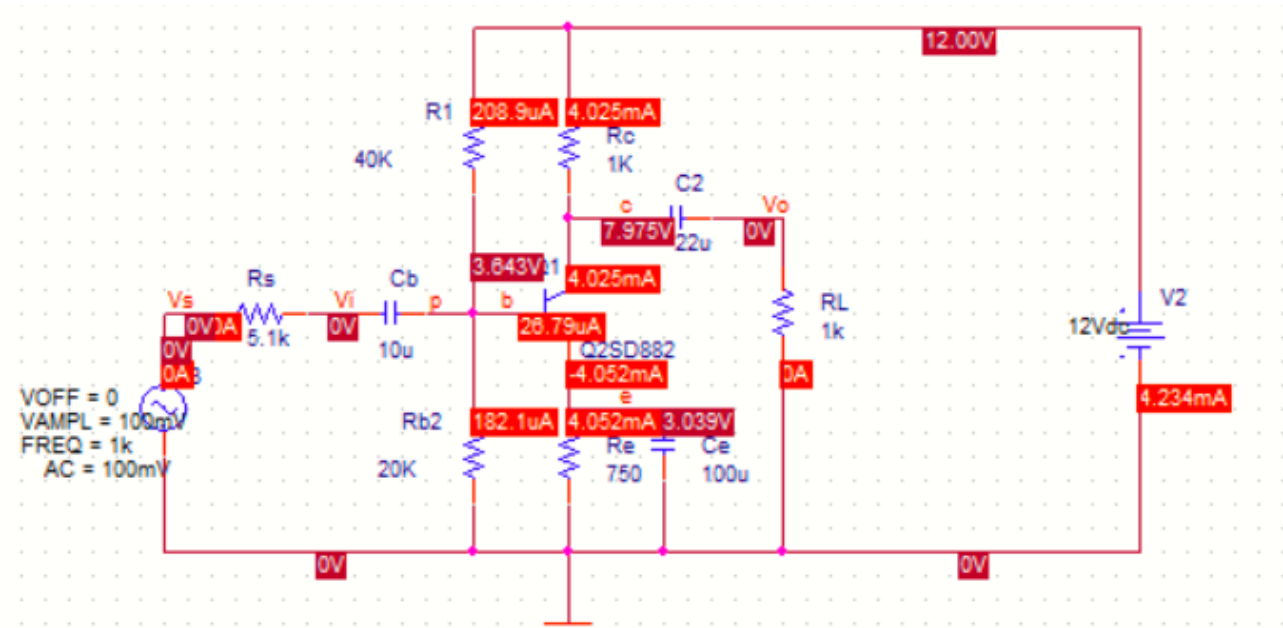


饱和失真

	频率/kHz	幅度
基波	1	2.0079V
二次谐波	2	221.785mV
三次谐波	3	224.229mV
四次谐波	4	44.272mV
五次谐波	5	45.507mV
失真度	0.1602	

3.5 调节偏置，测量空载和带载时的最大不失真输出电压

在 $V_2=12V$, $R_2=40k\Omega$ 的情况下，测量静态工作点



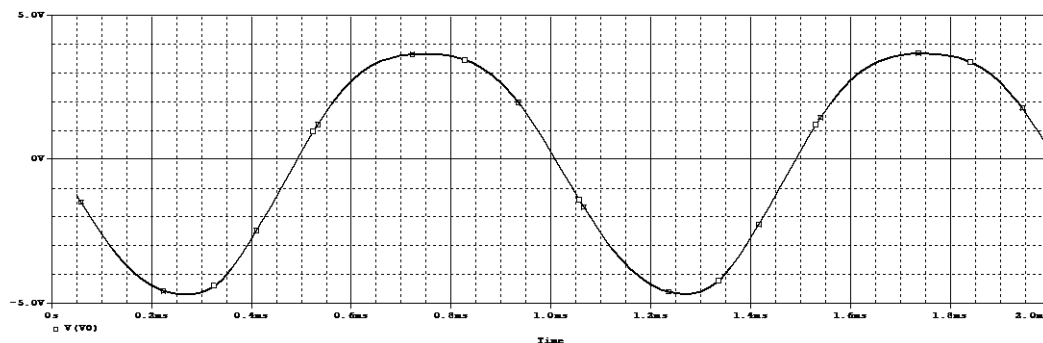
实验名称：_____pspice 的使用_____ 姓名：_____严旭铎_____ 学号：_____3220101731_____

则 $I_{CQ} = 4.025\text{mA}$, $V_{CEQ} = 4.756\text{V}$ 。由计算公式

$$V_{om} = \min\{(V_{CEQ} - 0.7), (I_{CQ} \times (R_c // R_L))\}$$

空载 ($R_L = 1000\text{M}\Omega$) $V_{om} = 4.025\text{V}$ 和带载 ($R_L = 1\text{k}\Omega$) $V_{om} = 2.013\text{V}$, 先发生截止失真。

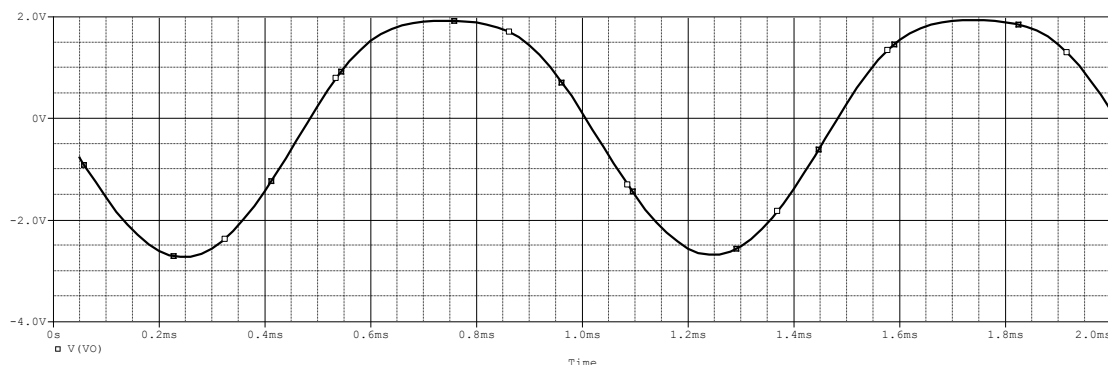
(1) 空载



加大 VAMPL, 得到即将失真时的图像, 测量输出电压最大值为 3.6886V

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	1.7401m
CURSOR 1,2	V(V0)	3.6886

(2) 带载 ($R_L = 1\text{k}\Omega$)



加大 VAMPL, 得到即将失真时的图像, 测量输出电压最大值为 1.9264V

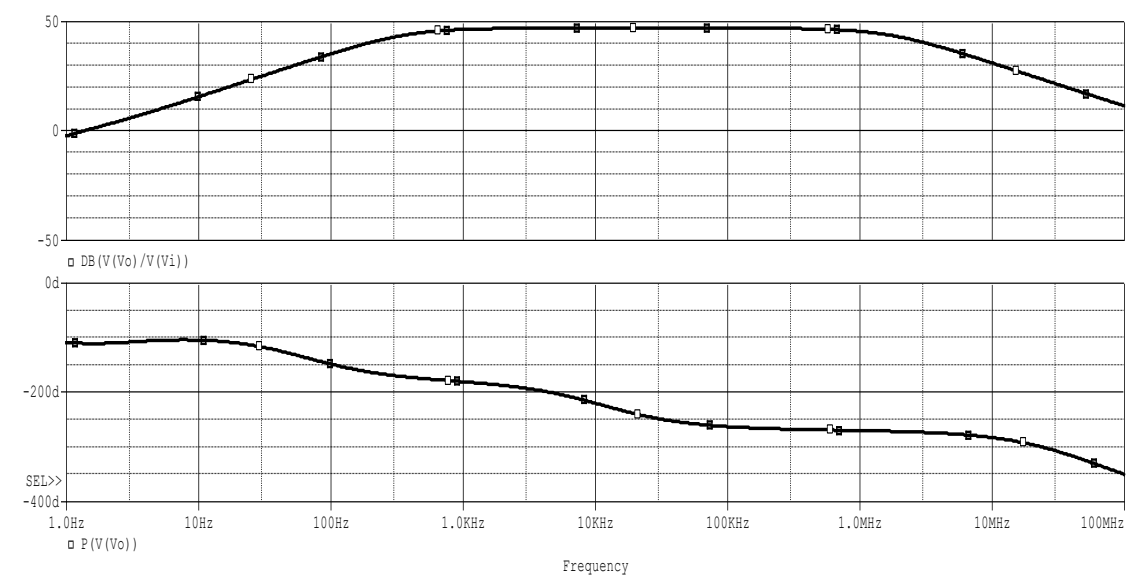
Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	1.7401m
CURSOR 1,2	V(V0)	1.9264

由于此时采用的寻找最大不失真输出电压的方法是手动调节交流电源输出幅度, 所以难免有误差。但是当幅度达到理论所求最大值的时候, 波形已经严重失真了, 故理论计算所得偏大。

3.6 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

先把 Rb1 改回 23.056kΩ

(1) 空载



下限截止频率 $f_L = 375.134\text{Hz}$

上限截止频率 $f_H = 1.6268\text{MHz}$

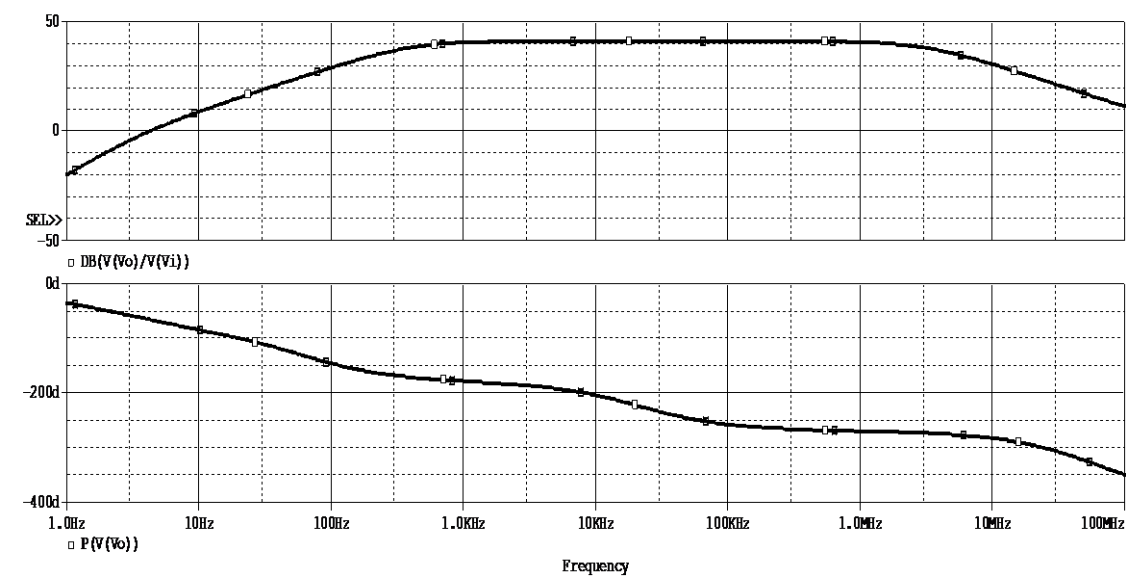
Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	375.134
	P(V(Vo))	-172.276
CURSOR 1,2	DB(V(Vo)/V(Vi))	43.770

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	1.6268M
	P(V(Vo))	-271.798
CURSOR 1,2	DB(V(Vo)/V(Vi))	43.770

中频放大倍数 46.770dB

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	24.891K
	P(V(Vo))	-244.910
CURSOR 1,2	DB(V(Vo)/V(Vi))	46.770

(2) 带载 ($R_L = 1\text{k}\Omega$)



实验名称： pspice 的使用 姓名： 严旭铎 学号： 3220101731

下限截止频率 $f_L = 385.945\text{Hz}$

上限截止频率 $f_H = 3.1576\text{MHz}$

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	385.945
	P(V(Vo))	-171.088
CURSOR 1,2	DB(V(Vo)/V(Vi))	38.009

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	3.1576M
	P(V(Vo))	-273.766
CURSOR 1,2	DB(V(Vo)/V(Vi))	38.009

中频放大倍数 41.009dB

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	35.039K
	P(V(Vo))	-238.140
CURSOR 1,2	DB(V(Vo)/V(Vi))	41.009

	f_L/Hz	f_H/MHz	BW/Mhz	A/dB
空载	375.134	1.6268	1.6268	46.770
带载 1kΩ	385.945	3.1576	3.1576	41.009

带载 1kΩ 时，上限频率和带宽都将近是空载的 2 倍，下限频率非常接近，中频放大倍数比空载小约 5.7dB。联系模电理论知识，

$$f_L = \frac{1}{2\pi(R_c + R_L)C}$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_s C_i}$$

带载时，上限时间常数变小，下限时间常数没怎么变化，因此上限频率变大，下限频率基本不变，带宽变大，放大倍数变小

。

4.思考题

4.1 用 PSPICE 如何仿真分析放大电路的静态工作点？ 应设置何种分析方式？

答：选择类型为 Bias Point，勾选右边第一个选项，设置完成后运行，即可计算静态工作点。点选这两个按钮就可以把电压和电流数据放在图上。需要注意的是，每次更改电路参数后，需重新运行该仿真文件以更新静态工作点数据，**该数据不是实时的。**

4.2 用 PSPICE 测试放大电路的电压放大倍数和频率特性应设置何种分析方式？

答：交流扫描（AC Sweep）

4.3 用 PSPICE 测试放大电路的输出电压波形应设置何种分析方式？

答：瞬态分析（Time Domain(Transient)）

4.4 能否用交流扫描分析求放大电路的最大不失真输出电压？

答：可以，改变交流信号的 VAMPL 值，慢慢找到最大不失真波形即可。

4.5 共射放大电路在未出现饱和失真和截止失真时的电压传输特性是否为直线？ 这时引起电压放大倍数非线性的原因是什么？

答：不是。晶体管本身是非线性的元件。

4.6 用 Probe 图形后处理程序查看图形时，对于不同的分析设置，其缺省的横坐标是哪个变量？

实验名称：____pspice 的使用____ 姓名：____严旭铎____ 学号：____3220101731____

答：直流扫描时是所选的扫描变量；交流扫描是频率变量；瞬态扫描是时间变量。

5.存在的问题或需要老师帮助解决的问题

输出电阻测量时，我采用二次测量法，但是我在带载 $1\text{k}\Omega$ 时的输出电压比空载时的输出电压高得多，导致计算出的输出电阻为负值。后来我重新设置了空载时 R_L 的大小，发现此时的输出电压（mV 级别）仍然比带载时（1 点多 V）小得多，无法解决。