

2.7 低噪声放大器实验（虚拟实验）

一、实验目的

- （1）了解低噪声放大器的工作原理；
- （2）掌握双极性晶体管放大器的工程设计方法；
- （3）掌握低噪声放大器基本参数的测量方法；
- （4）熟悉 Multisim 软件的高级分析功能，分析高频电路的性能。

二、实验原理

低噪声放大器是射频接收前端的关键器件，其主要作用是提供足够的增益将来自接收天线的微弱信号放大从而抑制后级电路的噪声影响。相较于普通的放大器，LNA 有较低的噪声系数、一定的功率增益、足够的线性范围、良好的噪声匹配特性。

一个双极性晶体管 LNA 的小信号模型如图 2.7.1 所示。其主要参数有发射结的结电阻 $r_{b'e}$ 、发射结电容 $C_{b'e}$ 、集电结电容 $C_{b'c}$ 、基极电阻 $r_{bb'}$ 、 $g_m U_{b'e}$ 、特征频率 f_T 等。

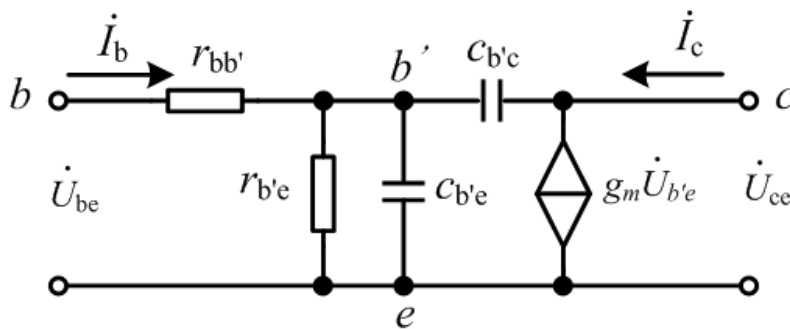


图 2.7.1 双极性晶体管 LNA 小信号模型

为了改善噪声性能，LNA 需设计匹配噪声匹配网络。常见的匹配网络有并联共源结构、并-串反馈式结构、共栅式结构、源极反馈式等。

三、实验内容

1. 1MHz LNA

(1) 电路结构

1MHz LNA 的电路图如图 2.7.2 所示。根据电路原理图，选取相应的器件，构成试验电路。在放大器的输入端加入输入信号 U_i 后，在放大器的输出端便可得到一个与 U_i 相位相反幅值被放大的输出信号 U_o ，实现电压放大。

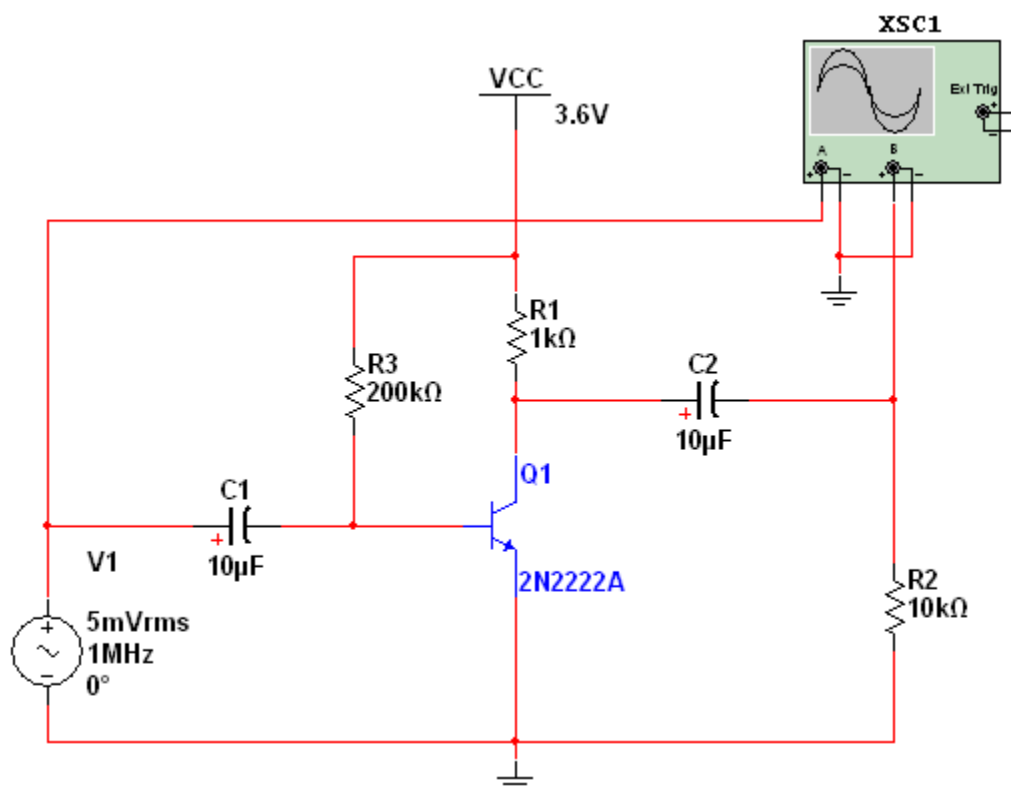


图 2.7.2 1MHz LNA 电路图

如图 2.7.3 所示，在器件工具条上选择左起第四个按钮，选择实验用晶体管。

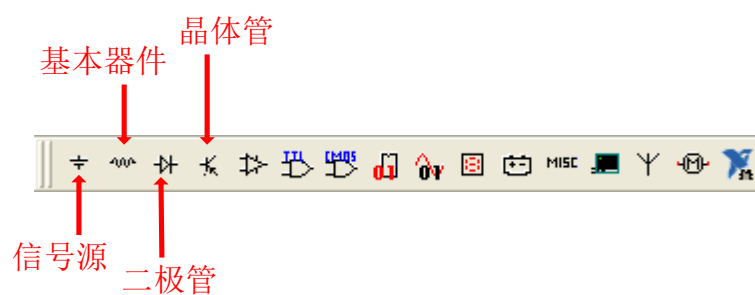


图 2.7.3 工具条选项

如图 2.7.4 所示，选择 2N2222A 作为放大管。

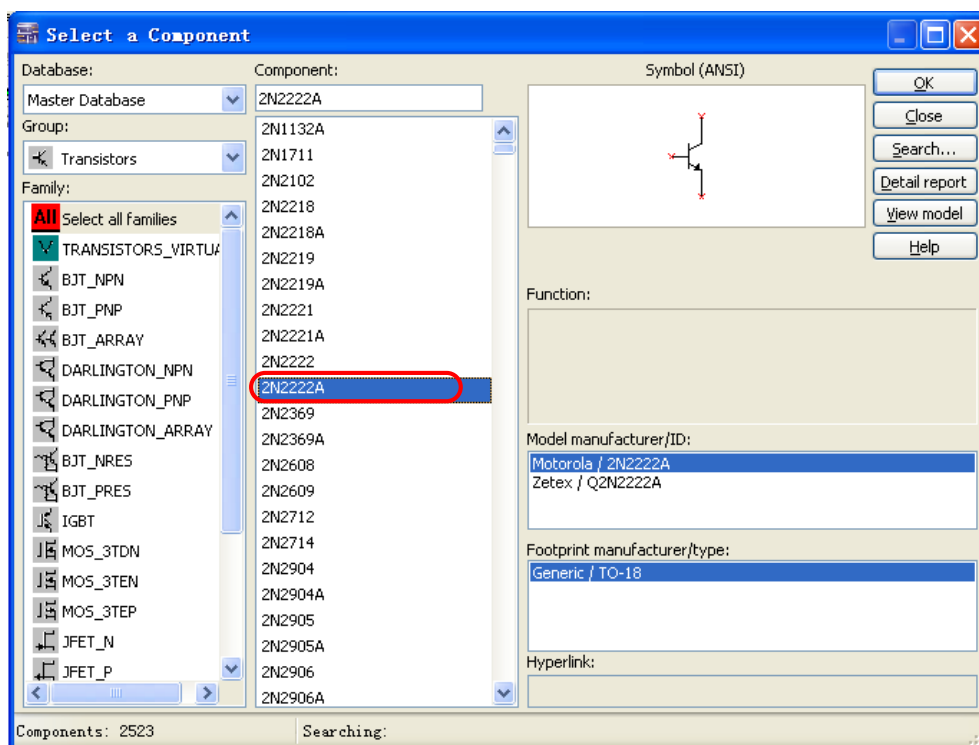


图 2.7.4 元件库

在器件工具条上选择左起第一个按钮，选择输入信号 U_i 。

如图 2.7.5 所示，选择 POWER_SOURCES→AC_POWER 作为输入信号，置于晶体管 Q_1 的基极与地之间。

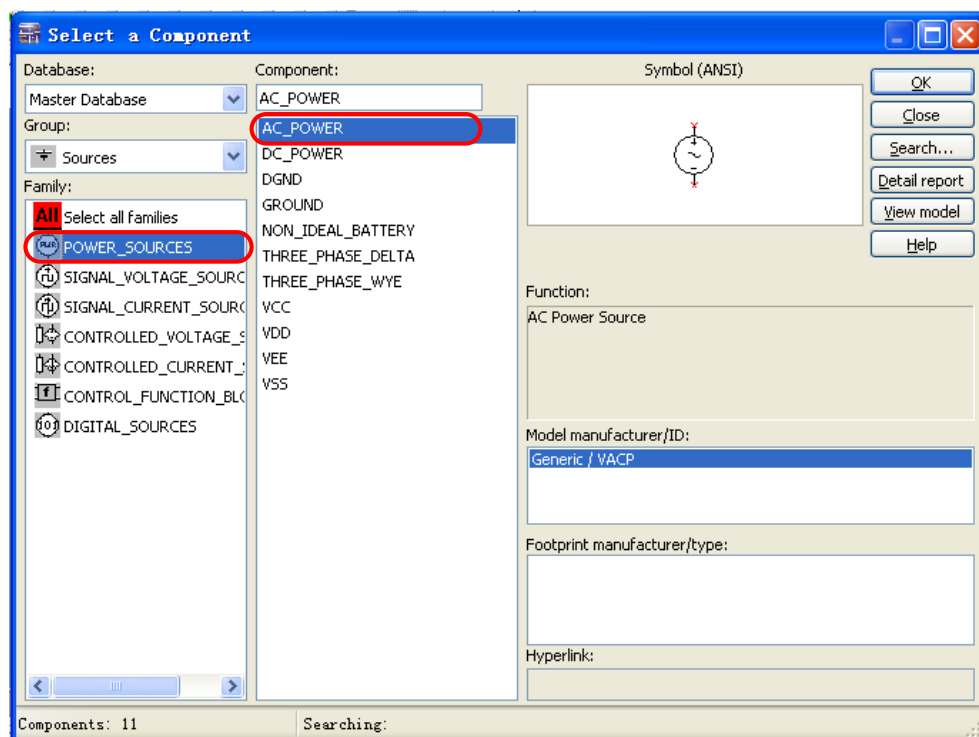


图 2.7.5 电源原件库

在器件工具条上选择左起第二个按钮，选择电路中使用的电阻和电解电容，如图 2.7.6 所示。

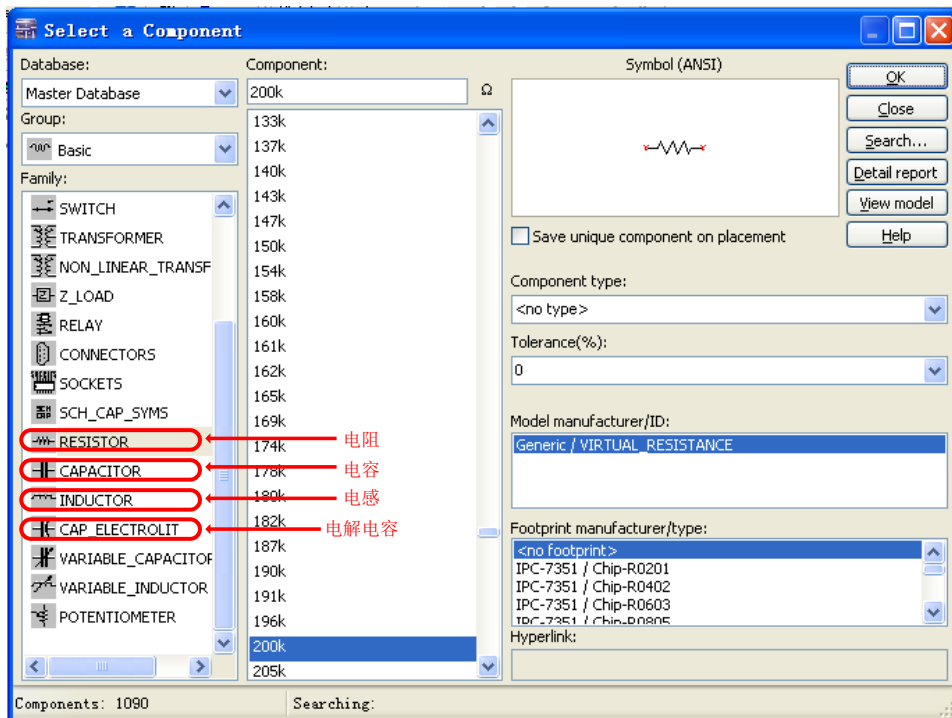


图 2.7.6 电阻和电容元件库

电解电容区别于普通电容之处在于电解电容有正负极性，实际操作中不可反接，否则电容会烧毁。

双击 AC_Power 图标，出现如图 2.7.7 所示的对话框。改动对话框中的相关设置可以改变幅值频率偏置电压等。Voltage(RMS)选择 5mV，Frequency 选择 1MHz，设置完毕点击“OK”。

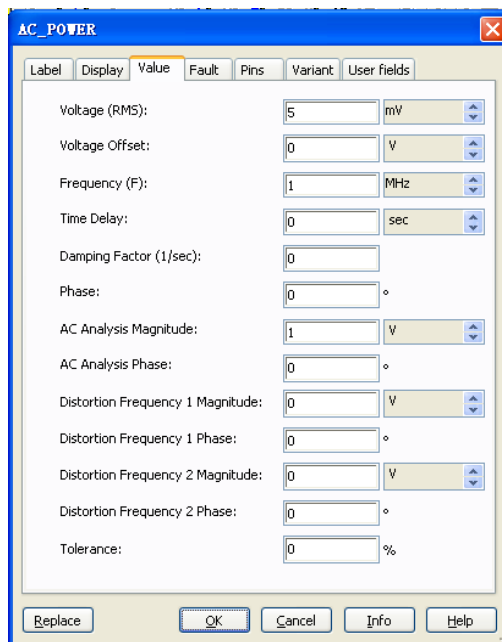


图 2.7.7 AC 电源参数设置

(2) 直流分析

在进行直流工作点分析时，电路中的交流源将被置零，电容开路，电感短路。

如图 2.7.8 所示，在绘图界面中单击右键，选择 Properties 选项，出现如图 2.7.9 所示的对话框。

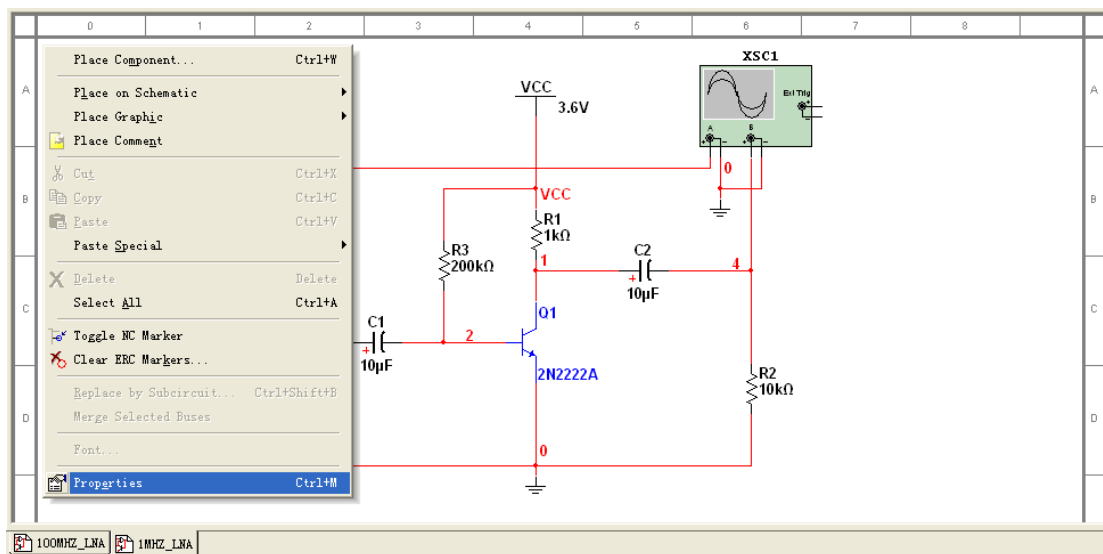


图 2.7.8 选择 Properties 选项

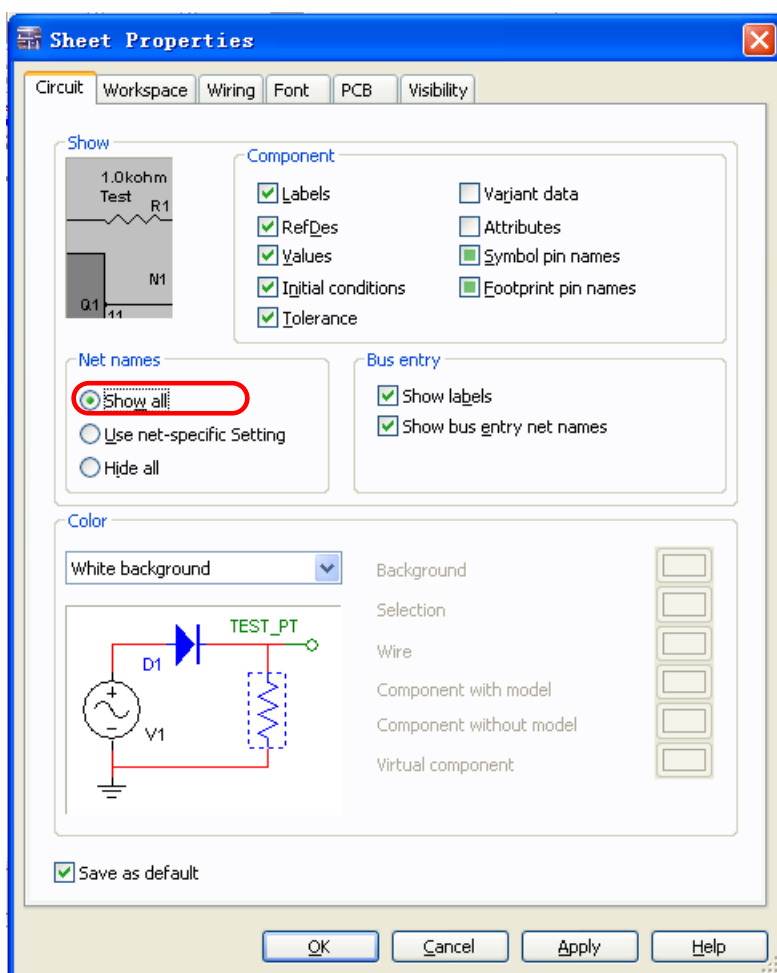


图 2.7.9 属性设置

在 Net names 一栏中选择 Show all，使电路图中显示所有节点编号，如图 2.7.10。

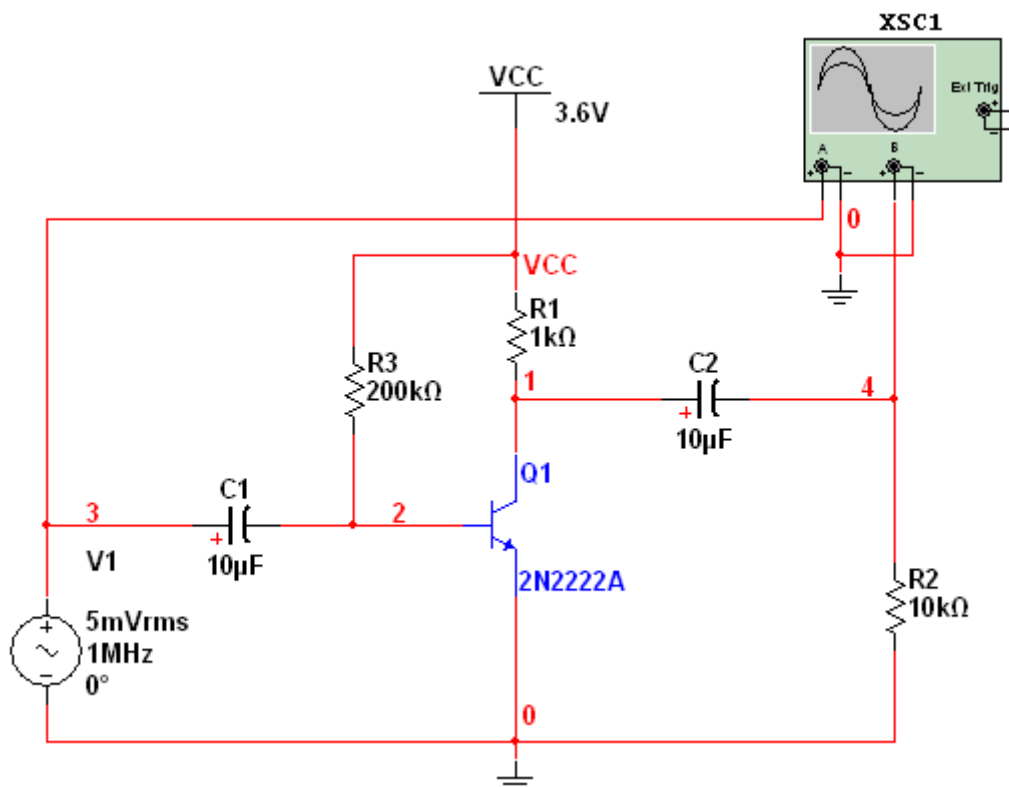


图 2.7.10 显示节点编号

如图 2.7.11 所示,单击菜单 Simulate→Analysis→DC Operating Point 选项将弹出对话框。该对话框有 Output、Analysis Options、Summary 共三个选项,如图 2.7.12 所示。其中 Output 选项用来选择需要分析的节点和变量。

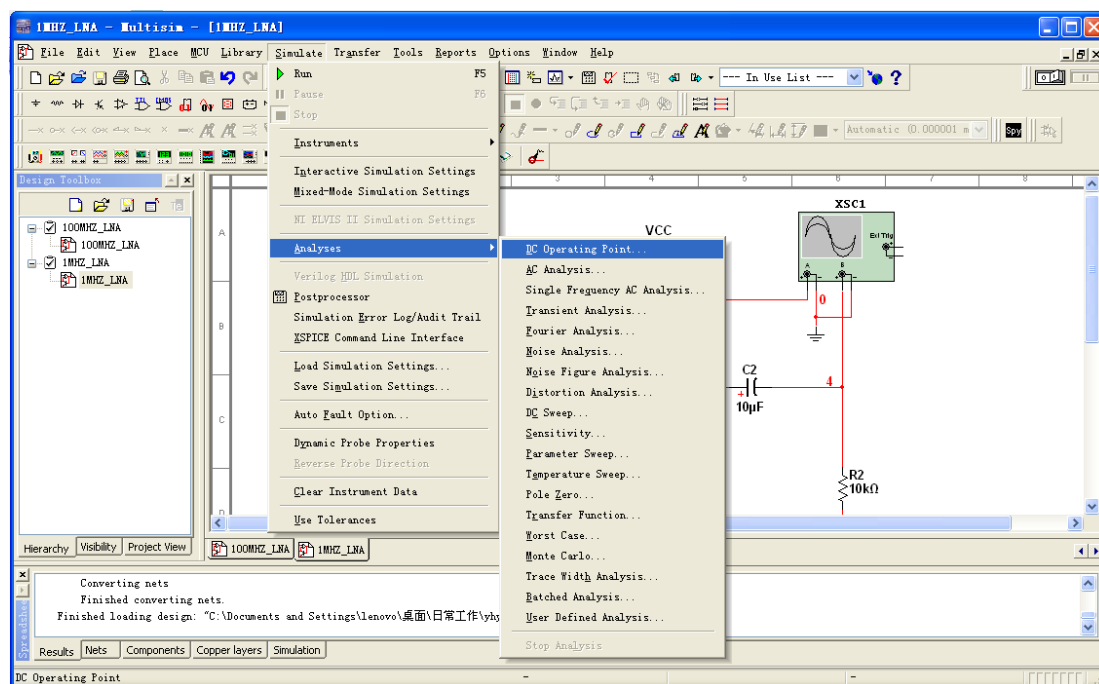


图 2.7.11 选择分析 DC 工作点

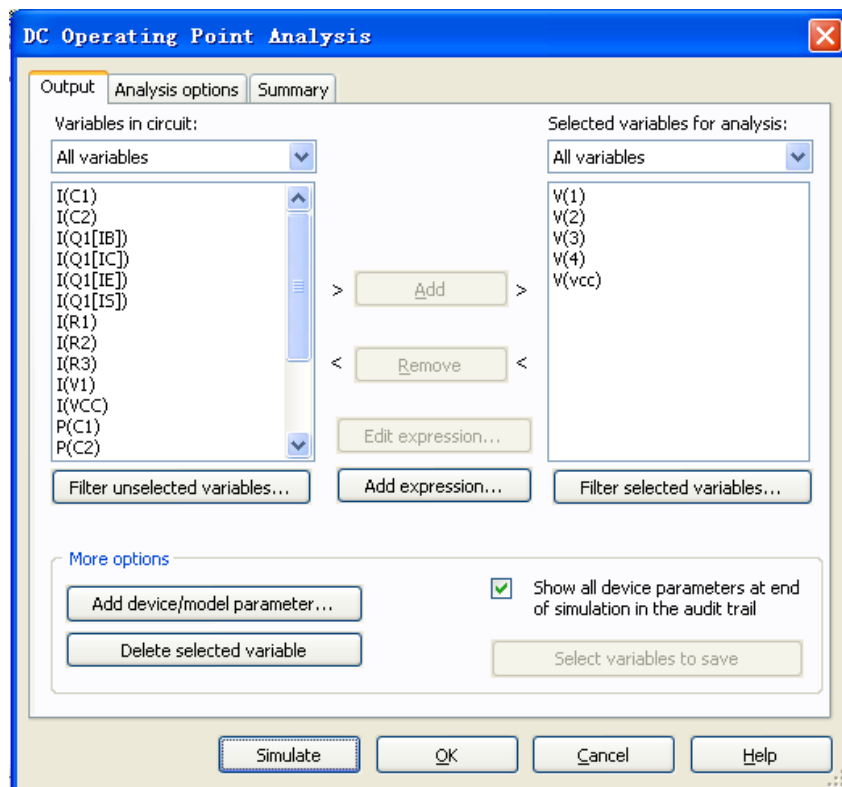


图 2.7.12 DC 工作点分析选项

在 Variables in Circuit 栏中单击 Voltage and current 选择电压电流变量；单击 Voltage 可选择电压变量；单击 Current 可选择电流变量；单击 Device/Model Parameters 可选择元件/模型参数变量；单击 All variables 可选择电路中的全部变量。

在 Output 选项里在 Variables in circuit 选择需要仿真的变量，实验选取 V(1)、V(2)、V(3)、V(4)、V(vcc)，即所有电压变量。单击 ADD，添加到 Selected variables for analysis 然后单击 Simulate，系统自动显示运行结果。

(3) 交流分析

交流分析用于分析电路的频率特性。需先选定被分析的电路节点，在分析时，直流电流源将被置零，交流电流源、电容、电感等均处在交流模式。输入信号也设定为正弦波形式。

单击主菜单下 Simulate→Analysis→AC analysis 选项，弹出 AC Analysis 对话框，进入交流分析状态。

AC Analysis 对话框有 Frequency Parameters 、Output 、Analysis Options 和 Summary 共四个选项。在 Frequency Parameters 选项中可以确定分析的起始频率、终点频率、扫描方式、分析采样数和纵向坐标等参数。其中默认起止频率分别为 1Hz-10GHz。

Sweep type 窗口中调协扫描方式。包括 Decade(十倍程) Octave(八倍程) Linear(线性扫描) 默认为 10 倍程。

Output 选项里在 Variables in circuit 选择需要仿真的变量，实验选取 V(4)，即负载 R2 上的电压（节点编号可能会有所不同，请注意）。

单击 Simulate 按钮，即可获得被分析节点的频率特性曲线。交流分析的结果分别显示出幅频特性和相频特性。

在对模拟小信号电路进行交流频率分析时，数字器件将被视为高阻接地。

(4) 噪声分析

噪声系数分析主要用于研究元件模型中的噪声参数对电路的影响。 $F=N_0/GNS$ ， N_0 是

输出噪声,NS 是信号源电阻的热噪声, G 是电路的 AC 增益(即二端口网络的输出信号与输入信号之比)。噪声系数的单位是 dB, 即 $10\log_{10}(F)$ 。

单击主菜单下 Simulate→Analysis→Noise Figure Analysis, 弹出 Noise Figure Analysis 对话框。进入噪声系数分析状态。Noise Figure Analysis 对话框有 Analysis Parameters、Analysis Options 和 Summary 共三个选项。Input noise reference source 一般选择输入电压源, 此处选择 V1; Output Node 选择电路中的输出节点, 此处选择 V(4); Reference node 一般选择 V(0), 如图 2.7.13 所示。

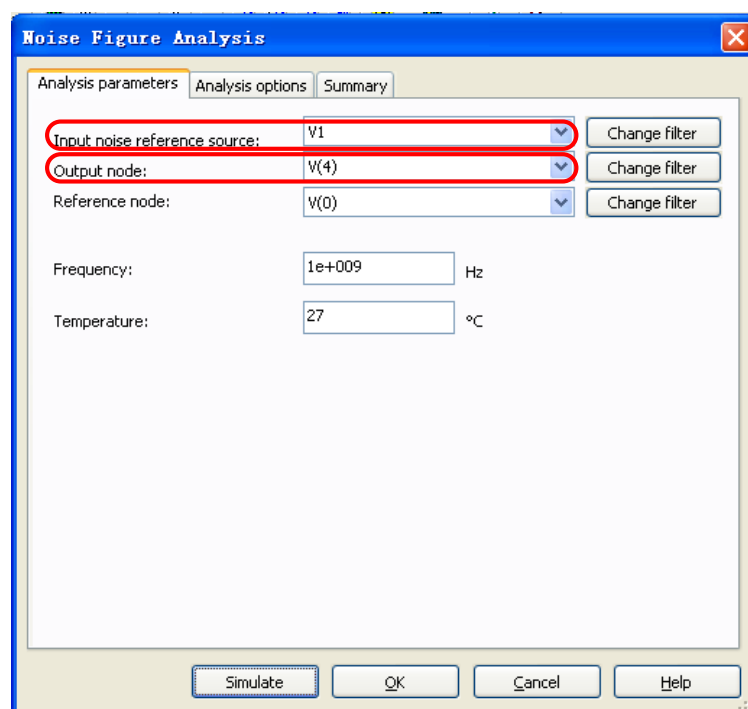


图 2.7.13 噪声分析选项

单击 Simulate 按钮, 即可获得被分析节点的噪声特性。

2. 100MHz LNA

采用对 1MHz LNA 的分析方法, 对 100MHz LNA 进行各项电路性能分析。

(1) 电路结构

100MHz LNA 的电路图如图 2.7.14 所示。根据电路原理图, 选取相应的器件, 构成试验电路。在放大器的输入端加入输入信号 U_i 后, 在放大器的输出端可得到一个与 U_i 相位相反幅值被放大的输出信号 U_o , 实现电压放大。

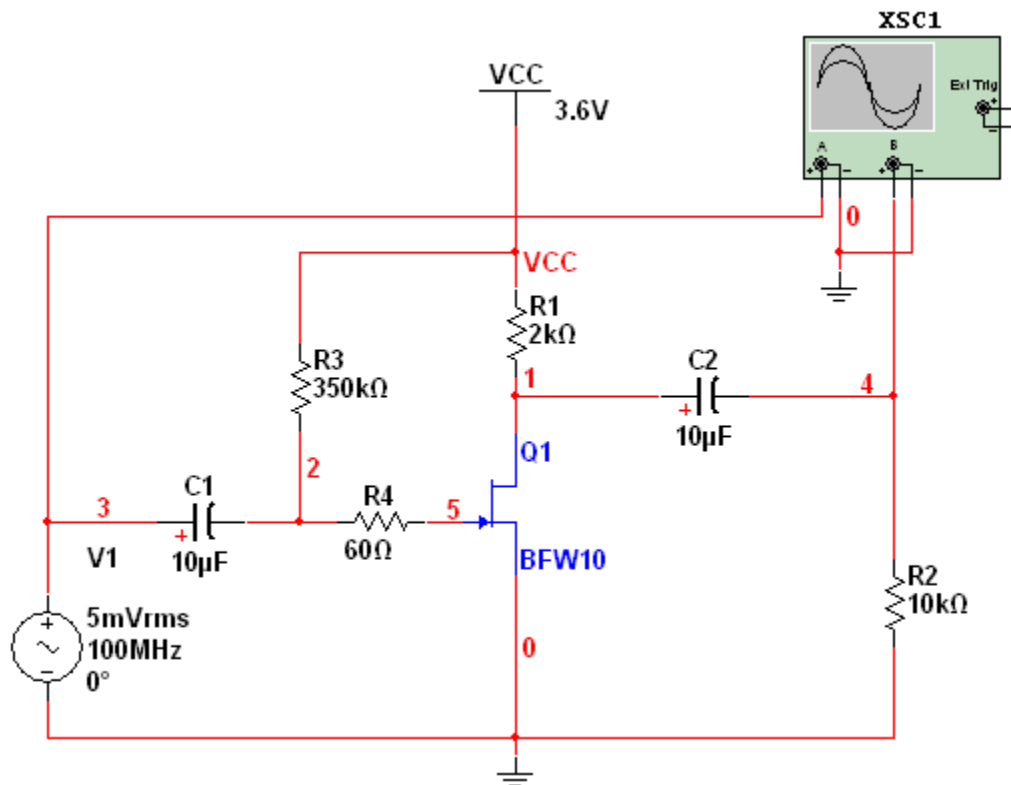


图 2.7.14 100MHz LNA 电路图

所用晶体管为 JFET_N→BFW10, 如图 2.7.15。

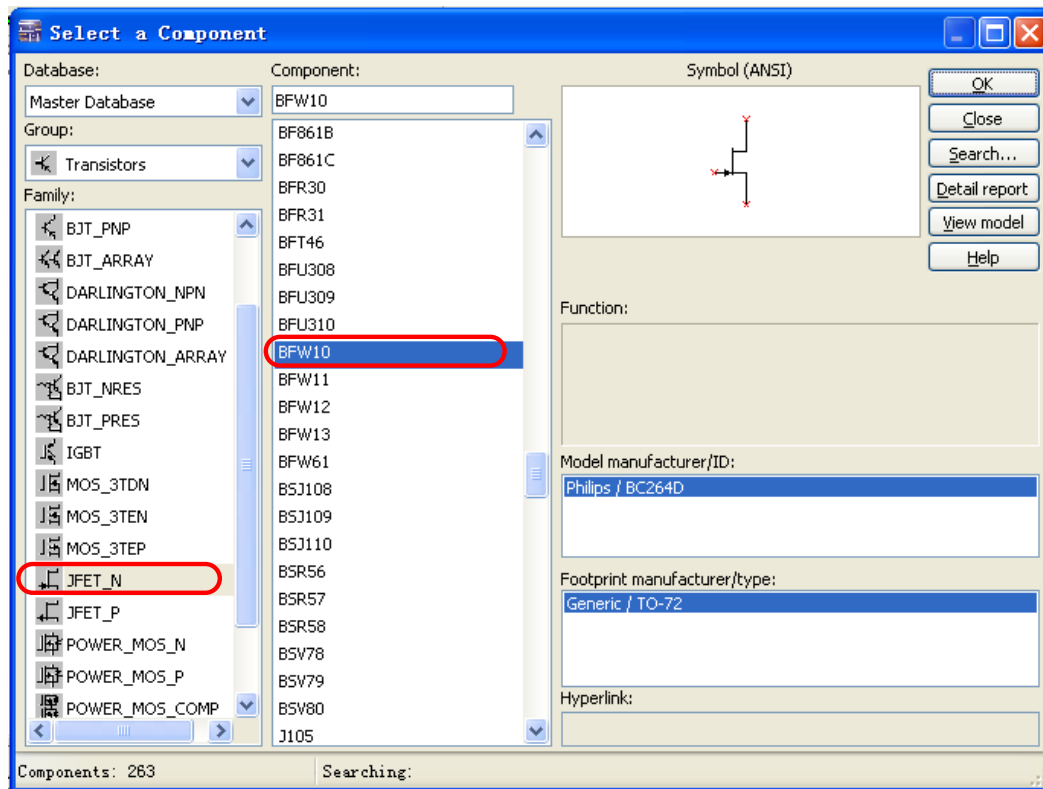


图 2.7.15 晶体管元件库

选择“AC_Power”作为输入信号，置于晶体管 Q1 的基极与地之间。双击 AC_Power 图

标,出现如图 2.7.16 所示的对话框。改动对话框中的相关设置可以改变幅值频率偏置电压等。Voltage(RMS)选择 5mV, Frequency 选择 100MHz, 设置完毕点击“OK”。

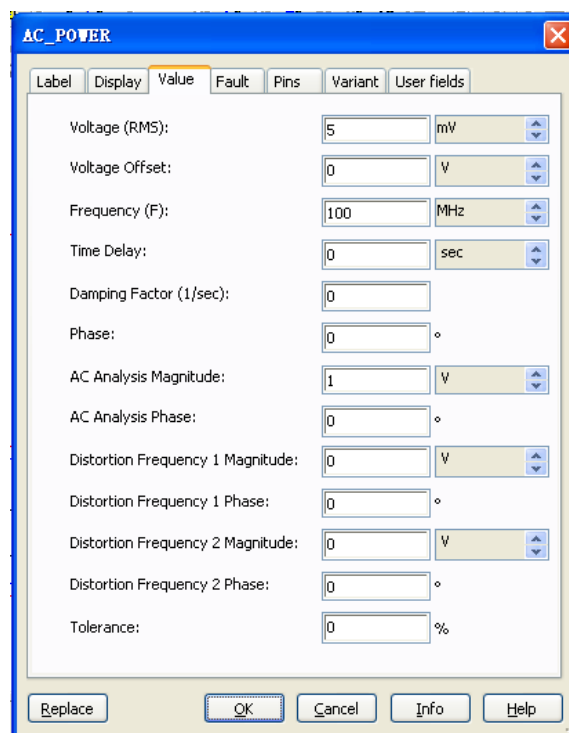


图 2.7.16 AC 电源设置

(2) 直流分析

单击菜单 Simulate→Analysis→DC Operating Point 选项, 调出 DC 分析对话框, 按照图 2.7.12 所示, 做相应的设置。

在 Output 选项里在 Variables in circuit 选择需要仿真的变量, 单击 ADD, 添加到 Selected variables for analysis 然后单击 Simulate, 系统自动显示运行结果。

(3) 交流分析

单击主菜单下 Simulate→Analysis→AC analysis 选项, 弹出 AC Analysis 对话框, 进入交流分析状态。对话框中默认起止频率分别为 1Hz-10GHz。

单击 Simulate 按钮, 即可获得被分析节点的频率特性曲线。

(4) 噪声分析

单击主菜单下 Simulate→Analysis→Noise Figure Analysis, 弹出 Noise Figure Analysis 对话框, 进入噪声系数分析状态。Input noise reference source 选择输入电压源。Output Node 选择电路中的输出节点。Reference node 选择 V(0)。

单击 Simulate 按钮, 即可获得被分析节点的噪声特性。

四、思考题:

(1)比较 100MHz LNA 的输入信号频率为 100MHz 时, 所获得的噪声系数与 1MHz LNA 的输入信号频率为 1MHz 相同幅度信号时的噪声系数的区别, 并对差异的原因做探讨。

(2) 将 1MHz LNA 中的 NPN 管换为 NMOS 管后, 相关的仿真结果会产生哪些不同,, 并对原因做探讨。