

PSPICE 简明教程

宾西法尼亚大学电气与系统工程系

University of Pennsylvania

Department of Electrical and Systems Engineering

编译：陈拓

2009年8月4日

原文作者：

Jan Van der Spiegel, ©2006 jan_at_seas.upenn.edu

Updated March 19, 2006

目录

1. 介绍
2. 带 OrCAD Capture 的 Pspice 用法
 - 2.1 第一步：在 Capture 中创建电路
 - 2.2 第二步：指定分析和仿真类型
 - 偏置或直流分析 (BIAS or DC analysis)
 - 直流扫描仿真 (DC Sweep simulation)
 - 2.3 第三步：显示仿真结果
 - 2.4 其他分析类型：
 - 2.4.1 瞬态分析 (Transient Analysis)
 - 2.4.2 交流扫描分析 (AC Sweep Analysis)
3. 附加的使用 Pspice 电路的例子
 - 3.1 变压器电路
 - 3.2 使用理想运算放大器的滤波器交流扫描 (滤波器电路)
 - 3.3 使用实际运算放大器的滤波器交流扫描 (滤波器电路)
 - 3.4 整流电路 (峰值检波器) 和参量扫描的使用
 - 3.4.1 峰值检波器仿真 (Peak Detector simulation)
 - 3.4.2 参量扫描 (Parametric Sweep)
 - 3.5 AM 调制信号
 - 3.6 中心抽头变压器
4. 添加和创建库：模型和元件符号文件
 - 4.1 使用和添加厂商库
 - 4.2 从一个已经存在的 Pspice 模型文件创建 Pspice 符号
 - 4.3 创建你自己的 Pspice 模型文件和符号元件

参考书目

1. 介绍

SPICE 是一种强大的通用模拟混合模式电路仿真器，可以用于验证电路设计并且预知电路的行为，这对于集成电路特别重要，1975 年 SPICE 最初在加州大学伯克利分校被开发时也是基于这个原因，正如同它的名字所暗示的那样：

Simulation Program for Integrated Circuits Emphasis.

PSpice 是一个 PC 版的 SPICE (Personal-SPICE)，可以从属于 Cadence 设计系统公司的 OrCAD 公司获得。学生版（功能受限）随教科书奉送。OrCAD 的学生版称为 PSpice AD Lite。有关 PSpice AD Lite 的信息可以从 OrCAD 的网站获得：
<http://www.orcad.com/pspicead.aspx>

PSpice 的学生版有下面的限制：电路最多有 64 个节点，10 个晶体管和 2 个运算放大器。

SPICE 可以进行各种类型的电路分析。最重要的有：

- 非线性直流分析：计算直流传递曲线。
- 非线性瞬态和傅里叶分析：在大信号时计算作为时间函数的电压和电流；傅里叶分析给出频谱。
- 线性交流分析：计算作为频率函数的输出，并产生波特图。
- 噪声分析
- 参量分析
- 蒙特卡洛分析

另外，PSpice 有标准元件的模拟和数字电路库（例如：NAND，NOR，触发器，多选器，FPGA，PLDs 和许多数字元件）。这使得它成为一种广泛用于模拟和数字应用的有用工具。所有分析都可以在不同温度下进行。默认的温度是 300K。

电路可以包含下面的元件：

- Independent and dependent voltage and current sources 独立和非独立的电压、电流源
- Resistors 电阻
- Capacitors 电容
- Inductors 电感
- Mutual inductors 互感器
- Transmission lines 传输线
- Operational amplifiers 运算放大器
- Switches 开关
- Diodes 二极管
- Bipolar transistors 双极型晶体管
- MOS transistors 金属氧化物场效应晶体管
- JFET 结型场效应晶体管
- MESFET 金属半导体场效应晶体管
- Digital gates 数字门
- 其他元件（见用户手册）。

2. 带 OrCAD Capture 的 PSpice (9.2 学生发行版)

在开始仿真电路之前，你需要指定电路配置，这可以用多种方法进行。方法之一是按照元件、连接、元件的模型和分析的以文本文件输入电路描述。该文件被称为 SPICE 输入文

件或源文件（可参考：<http://www.seas.upenn.edu/%7Ejan/spice/spice.overview.html>）。

另一种方法是使用原理图输入程序，例如 OrCAD CAPTURE。OrCAD Capture 与 PSpice Lite AD 在随教科书提供的同一张光盘上。

OrCAD Capture CIS 版集成了具有器件信息系统(Component Information System, 简称 CIS)的 OrCAD Capture 原理图设计应用功能。该软件的设计着重考虑了降低花在查询现有重复采用的器件上面的时间，以及减少手工登记元器件的信息内容和元器件数据库的维护。对元器件的查询是基于它们所拥有的电性能参数，通过采用 OrCAD Capture CIS 软件可以自动地检索相关联的器件情况。

Capture 是一个用法友好的程序，它允许你获取电路的原理图并且指定仿真的类型。Capture 不但可以产生输入文件而且可以用于 PCB 布局设计程序。

下面的图概要说明了有关用 Capture 和 PSpice 仿真一个电路的不同步骤。我们将通过几个例子简要地描述这些步骤的每一步。

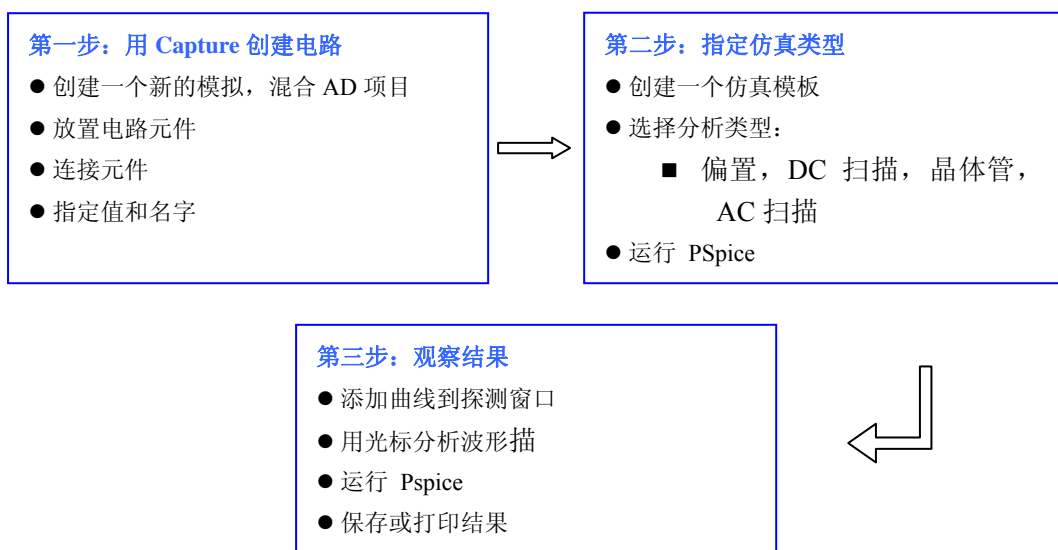


图 1：用 Pspice 仿真电路的步骤

元件的值可以用下面的度量因子指定（大小写均可）：

T or Tera (= 1E12)	U or Micro (= E-6)
G or Giga (= E9)	N or Nano (= E-9)
MEG or Mega (= E6)	P or Pico (= E-12)
K or Kilo (= E3)	F of Femto (= E-15)
M or Milli (= E-3)	

在 Pspice 和 Hspice 中都允许大写和小写字母。例如，可以下面的方法指定一个 225pF 的电容：225P, 225p, 225pF; 225pFarad; 225E-12; 0.225N。

注意：兆被写为 MEG，例如一个 15 兆欧姆的电阻可以被指定为 15MEG, 15MEGohm, 15meg 或 15E6。小心 M 与 Mega! 如果你写 15Mohm 或 15M, Spice 将会把它们读为 15 milliOhm!

作为例子，我们将对下面的电路进行不同类型的仿真。

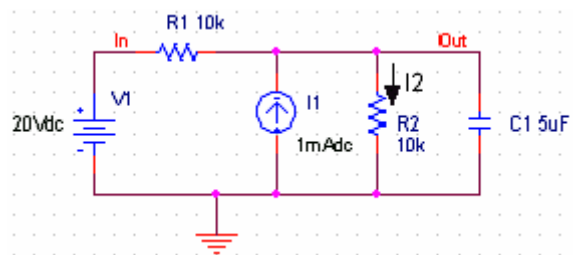


图 2：要被仿真的电路（OrCAD Capture 的屏幕快照）

2.1 第一步：在 Capture 中创建电路

2.1.1 创建新项目

1. 打开 OrCAD Capture CIS Lite Edition。
2. 创建一个新项目：File > New > Project。
3. 输入项目的名字，例如 Bias and DC Sweep。项目文件的扩展名为.opj，双击项目文件可以打开项目。
4. 选择 Analog or Mixed-AD 模拟或混合-AD。
5. 在 Location 框中输入项目路径。点击 OK。
6. 在 Create PSpice Project 对话框打开时，选择“Create Blank Project”。

一个新的页将在 Project Design Manager 中打开，如下所示。

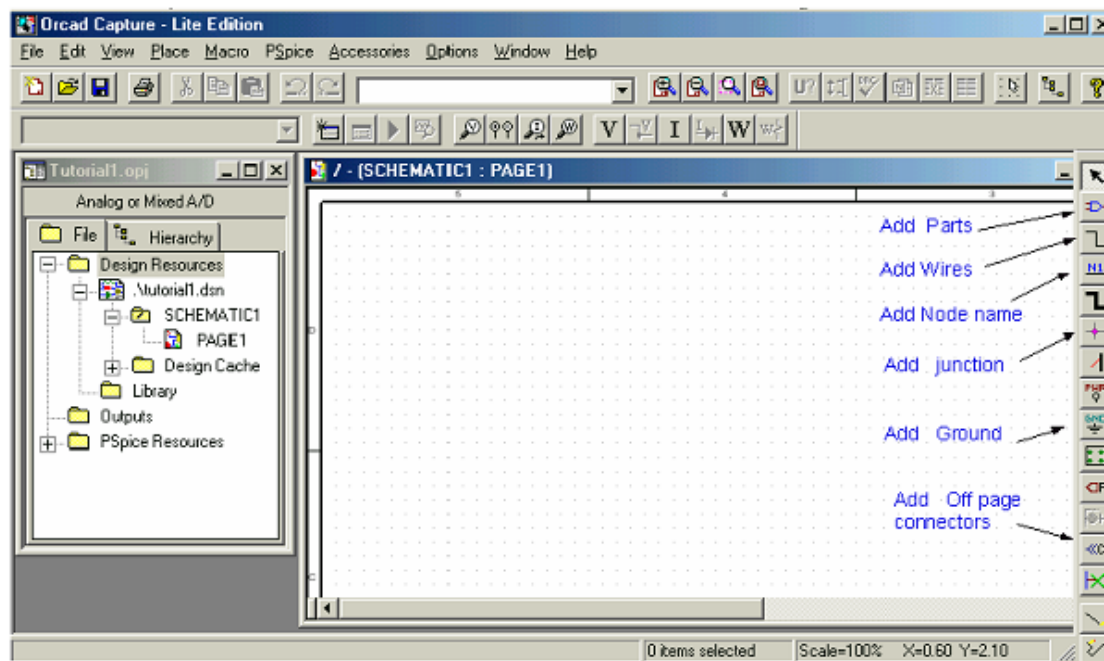


图 3：OrCAD Capture 界面

2.1.2. 放置元件并连接它们

1. 在 Capture 中点击原理图窗口。

2. 用 Place > Part 命令放置元件或点击 Place Part 图标，打开如图 4 的对话框。

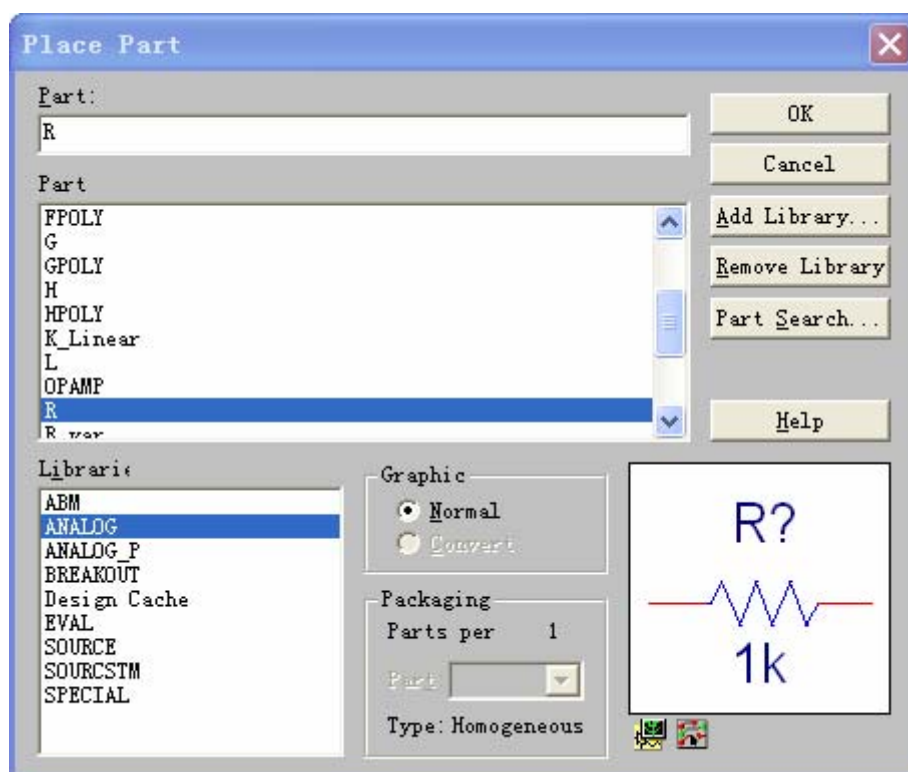


图 4：放置元件窗口 Place Part

3. 选择包含所需元件的库。在 Part 文本框中输入元件名字的开始部分，如图中的 R，元件列表将滚动到其名字包含输入字母的元件处。第一次使用 Capture 时如果没有库可用，你必须点击 Add Library 添加库按钮，打开 Add Library 窗口将，选择需要的库。Spice 库在路径 Capture\Library\Pspice 下。常用的 Library 有下面几个：


Analog: 包含无源元件 (R、L、C)，互感器，传输线，以及电压和电流非独立的源（电压控制的调用源 E、电流控制的电流源 F、电压控制的电流源 G 和电流控制的电压源 H）。

Source: 给出不同类型的独立电压和电流源，例如：Vdc（直流电压），Idc（直流电流），Vac（交流电压），Iac（交流电流），Vsin（正弦电压），Vexp（指数电压），脉冲，分段线性，等。先浏览一下库，看那些元件可用。

Eval: 提供二极管 (D...)，双极型晶体管 (Q...)，MOS 晶体管，结型场效应晶体管 (J...)，真实运算放大器；如 u741，开关 (SW_tClose, SW_tOpen)，各种数字门和元件。

Abm: 包含一个可以应用于信号的数学运算符选择，例如：乘法 (MULT)，求和 (SUM)，平方根 (SWRT)，拉普拉斯 (LAPLACE)，反正切 (ARCTAN)，等。

Special: 包含多种其他元件，像参数、节点组，等。

4. 从库中选择电阻、电容和直流电压以及电流源。你可以用鼠标左键放置元件，用鼠标右键点击旋转元件。如果要放置相同元件的另一个实例，可以再次点击鼠标左键。对某个元件完成特定的操作后按 ESC 键，或右击并选择 End Mode。可以给电容器添加初始化条件；双击该元件将打开看起来像电子表格的 Property 属性窗口，在 IC 列的下面输入初始化条件的值，例如，2V。对于我们的例子我们假定 IC 是 0V（这是默认值）。移动元件时 Snap to grid 工具  控制元件是否吸附到网格上。

5. 在放置好所有的元件后，你需要点击 GND 图标放置 Ground 地端子（在右边的工具栏中，见图 3）。当放置地窗口打开时，选择 GND/CAPSYM 并且**给它命名为 0**。不要忘记改变其名字为 0，否则 PSpice 将给出一个错误或“Floating Node”。原因是 SPICE 需要一个地端子作为参考节点，其名字或节点号必须是 0。

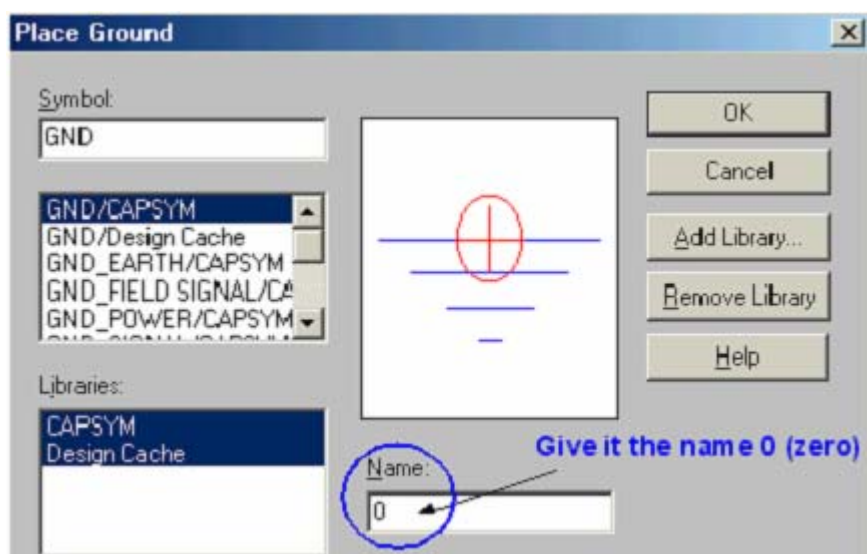


图 5：放置低端子对话框；地端子的名字应该是 0

6. 现在用从菜单用 Place > Wire 命令或点击 Place Wire 图标连接元件。
7. 你可以用 PLACE > NET ALIAS 菜单命令为网络或节点指定别名。我们将输出和输入节点命名为 Out 和 In，见图 2。

快捷键：

I: 放大 O: 缩小

C: 以光标所指为新的窗口显示中心

W: 画线 On/Off

P: 快速放置元件

R: 元件旋转 90°

N: 放置网络标号

J: 放置节点 On/Off

F: 放置电源

H: 元件标号左右翻转

V: 元件标号上下翻转

G: 放置地

B: 放置总线 On/Off

E: 放置总线端口

Y: 画多边形

T: 放置 TEXT

PageUp: 上移一个窗口 Ctrl+ PageUp: 左移一个窗口

PageDn: 下移一个窗口 Ctrl+ PageDn: 右移一个窗口

Ctrl+F: 查找元件 Ctrl+E: 编辑元件属性

Ctrl+C: 复制 Ctrl+V: 粘贴

Ctrl+Z: 撤消操作

2.1.3. 为元件指定值和名字

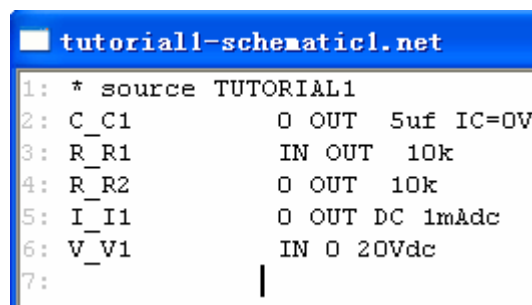
1. 双击电阻旁边的数字改变电阻值。你也可以改变电阻的名字。对于电容、电压和电流源的操作是一样的。
2. 为节点指定名字（例如：Out 和 In 节点）。
3. 保存项目。

2.1.4. 生成网表

网表用简单的格式给出所有元件的列表：

```
R_name  node1  node2  value
C_name  nodex  nodey  value, etc.
```

1. 用 PSpice > Create Netlist 菜单命令产生网表。
2. 在项目 Project Manager 管理窗口（在文件窗口的左边）中双击 Outputs/name.net 文件可以查看网表，如下表。



```
tutorial1-schematic1.net
1: * source TUTORIAL1
2: C_C1      0 OUT  5uf  IC=0V
3: R_R1      IN OUT  10k
4: R_R2      0 OUT  10k
5: I_I1      0 OUT  DC 1mAdc
6: V_V1      IN 0 20Vdc
7:
```

关于元件中电流方向的注释：

在元件中，例如在电阻中，正电流方向是从节点 1 到节点 2 的。对于水平方向的元件节点 1 是左边的引脚，对于垂直方向的元件节点 1 是上面的引脚。将元件旋转 180 度可以交换引脚号。为了验证节点号你可以查看网表，例如：

```
R_R2 node1 node2 10k
R_R2 0      OUT  10k
```

因为我们兴趣在从 OUT 输出节点到地的电流方向，我们需要旋转电阻 R2 两次以使节点名相互交换，重新生成网表，查看变化：

```
R_R2 OUT    0    10k
```

2.2 第二步：指定分析和仿真的类型

如在介绍中所提及的那样，Spice 允许你做直流偏置，直流扫描，傅里叶瞬态分析，交流分析，蒙特卡洛/最差情况扫描，参量扫描和温度扫描。我们将首先解释怎样在图 2 的电路上做直流偏置和直流扫描。

2.2.1 偏置或直流分析

1. 打开原理图，在 PSpice 菜单上选择 New Simulation Profile。
2. 在文本框 Name 中输入一个描述性的名字，例如 Bias。
3. 从 Inherit From 列表中选择 none 并点击 Create。
4. 当 Simulation Setting 仿真设置窗口打开时，对于 Analysis Type 分析类型，选择 Bias Point 偏置点并点击 OK。
5. 现在你已经准备好运行仿真了：PSpice> Run。
6. 一个状态窗口将打开，让你知道是否仿真成功，如果有错，可查看仿真输出文件，或 Session Log 窗口（该窗口不能关闭）。
7. 为了看到直流偏置点的仿真结果，你可以打开仿真输出文件或返回原理图并点击 V 图标（偏置电压显示）和 I 图标（偏置电流显示）显示电压和电流，见图 6。

为了检查电流方向，你必须查看网表：电流的正方向是从节点 1 流到节点 2（见上面有关电流方向的注释）。

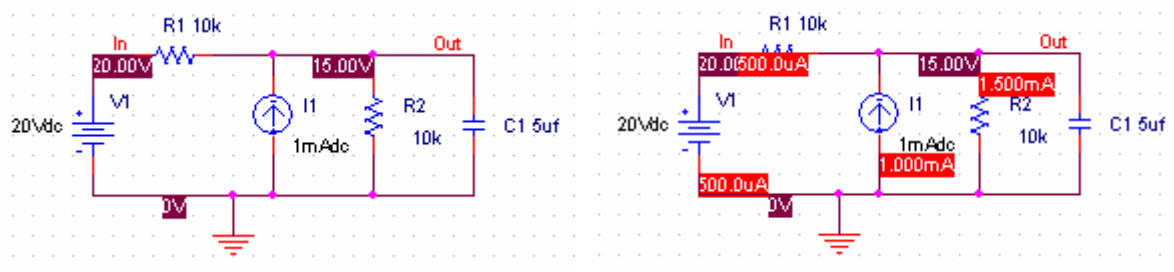


图 6：显示在原理图上的偏置分析结果

2.2.2 直流扫描仿真

使用相同的电路进行 0 和 20V 之间的电压源扫描的误差估计。保持电流源恒定在 1mA。

1. 从 Pspice 菜单创建一个新的 New Simulation Profile 仿真配置文件；我们将称它为 DC Sweep，Inherit From 还是 none。
2. 为了分析 DC Sweep；输入将被扫描的电压源的名字：V1，分别指定开始值、结束值和步距：0，20 和 0.1V，（见图 7）。



图 7：设置 DC Sweep 仿真

3. 运行仿真 Pspice > Run。Pspice 将产生一个包含电路中所有电压和电流值的输出文件。

2.3 第三步：显示仿真结果

Pspice 有一个用户友好的界面于显示仿真结果，一旦仿真结束，如图 8 所示的 Probe 探针窗口将打开。你可以用下面两种方法添加踪迹以显示仿真结果。

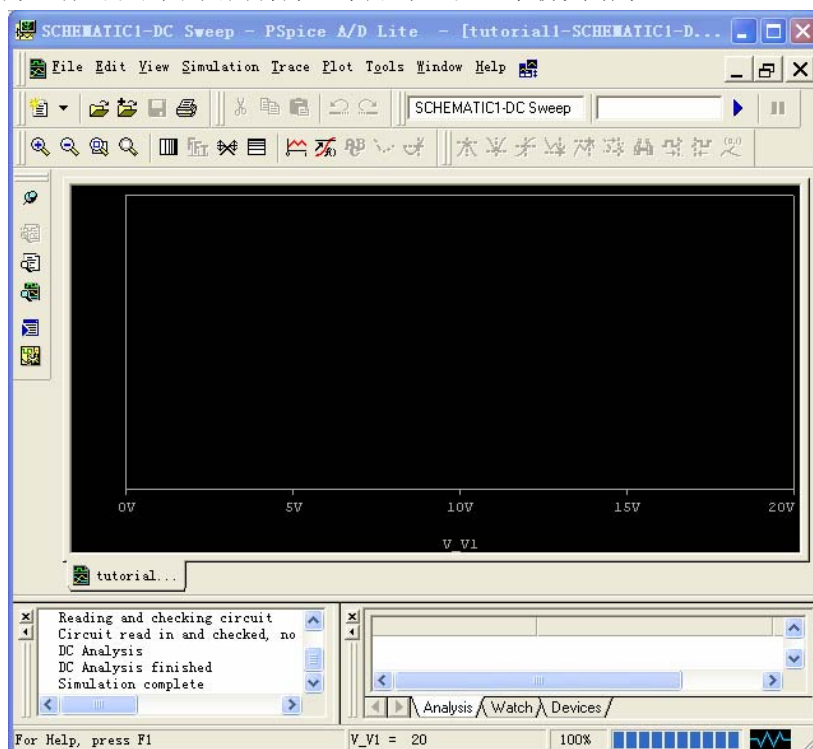


图 8：探针窗口

1. 从 TRACE 菜单选择 ADD TRACE 并且选择你想要显示的电压和电流。在我们的例子中，我们将添加 V(out)和 V(in)，点击 OK。

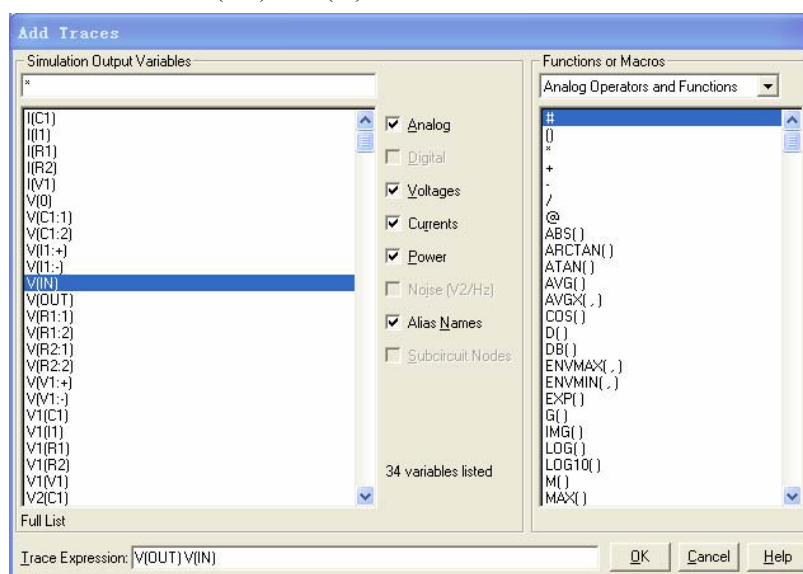


图 9：Add Traces 添加踪迹窗口

- 你也可以在原理图中用 Voltage Markers 电压标记添加踪迹。从 PSpice 菜单选择 Markers > Voltage Level。在 Out 和 In 节点上放置标记。做完后，右击并选择 End Mode。

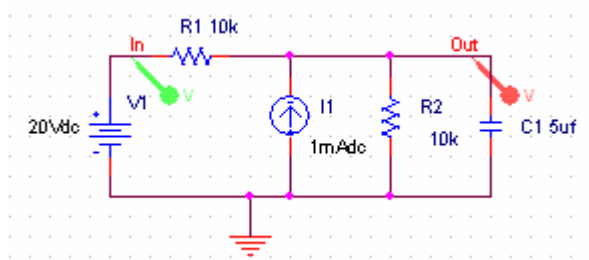


图 10: 用 Voltage Markers 电压标记 V(out) 和 V(in) 显示仿真结果

- 返回探针窗口，波形出现了。
- 你可以添加第二个 Y 轴并用它显示电阻 R2 上的电流，就像下面图 11 显示的那样。从探针窗口菜单选择 Plot > Add Y Axis，下一步，为 I(R2) 添加踪迹。
- 你也可以在曲线图上用光标取 Vout 和 Vin 踪迹上某些点的实际值。从探针窗口菜单选择 Trace > Cursor > Display。
- 光标将与第一个踪迹相关联，作为指示，在窗口底部 V(OUT) 的图例被很小的虚线矩形所围。左击第一条踪迹，X 和 Y 轴的值被显示在 Probe Cursor 探针光标窗口中。在 Probe Cursor 窗口中，左击踪迹时 A1 的值变化，右击踪迹可以改变 A2 的值，dif 给出 A1 和 A2 的差。点击左、右键时拖动光标可以观察 A1 或 A2 值的连续变化。图越大光标定位的精度越高。在图例上先点击右击再选左键切换所关注的踪迹。
- 为了将光标与第二个踪迹（用于 V(IN)）相关联，右击窗口底部 V(IN) 的图例。你将看到围绕在 V(IN) 周围的轮廓，当你右击第二个踪迹时光标会吸到它上面。第一个和第二个光标的值以及它们之间的差值将显示在 Probe 探针窗口。
- 双击 X 和 Y 轴可以改变它们的刻度等属性。
- 在添加踪迹时你可以在踪迹上进行数学计算，如图 9，在 Add Trace 窗口的右边所示。

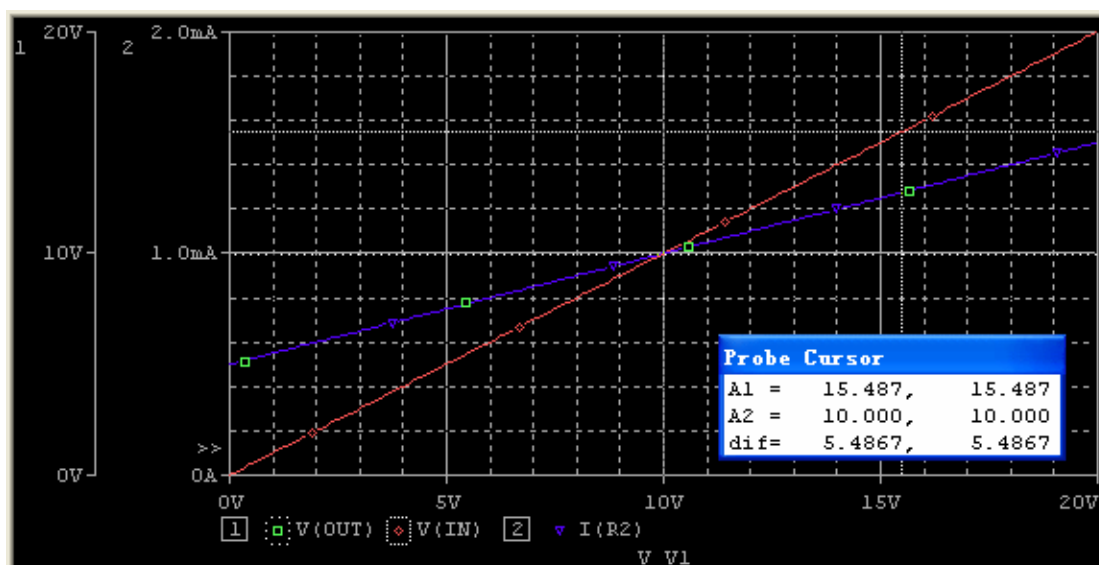


图 11: 直流扫描的结果，显示 Vout, Vin 和通过电阻 R2 的电流。光标被用于 V(out) 和 V(in) 右击一条踪迹的图例，可以改变其颜色等属性。
选择一条踪迹的图例，按 Delete 键，可以删除该踪迹。

2.4 其他的分析类型

2.4.1 瞬态分析（时域分析）

我们将使用同样的电路做瞬态分析，但在电路中添加了一个开关来控制施加在 C1 上的电压和电流源，如图 12 所示。

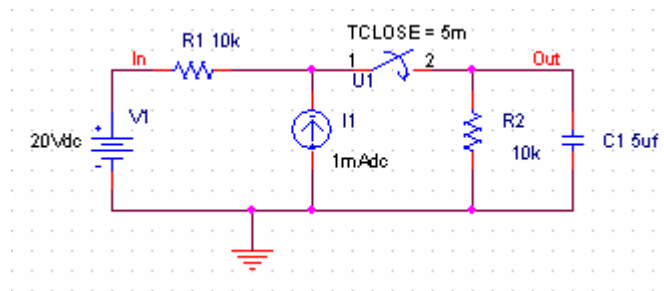


图 12：用于瞬态分析的电路

1. 如上图所示从 EVAL 库插入 Sw_tCLOSE 开关。双击开关 TCLOSE 的值，输入 Value 为 5m，使得 TCLOSE = 5 ms。
2. 设置瞬态分析：从菜单选择 PSpice > New Simulation Profile 命令。命名为 Transient。
3. 当仿真设置窗口打开时，选择 Time Domain (Transient)时域瞬态分析。输入运行时间，我们设它为 200 ms。对于 Maximum Step 最大步长的大小，你可以让它空着或输入 10us，如果空着波形不光滑，越小波形越光滑。
4. 运行 Pspice。一个探针窗口将打开。
5. 你现在可以添加踪迹以显示结果。我们在探针窗口中用 Plot > Add Plot to Window 命令添加一个图表，在窗口的上面的图表中绘制通过电容 C1 的电流，其方向可以通过旋转电容并重新创建网表来改变；在窗口的下面的图表中绘制电容上的电压。用光标找指数曲线的时间常数（找 $0.632 \times 14.994V(out)_{max} = 9.48V$ 。光标给出相对对应时间约为 30ms，该处的时间常数 $30-5=25ms$ （计算式 $R1||R2 \cdot C1$ ），因为开关在 5ms 处被关闭，所以要减去 5ms）。

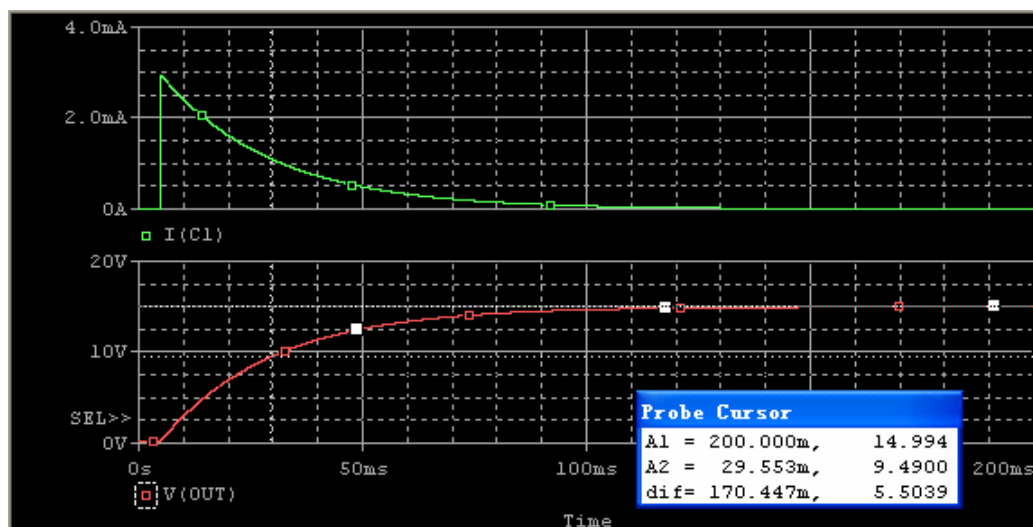


图 13：图 12 的瞬态仿真结果

6. 我们可以用一个改变结束时间的电压源代替开关。如图 14，我们使用 SOURCE 库中的 VPULSE 和 IPULSE 源。输入电平 (V1 和 V2)，延时 (TD)，上升 (TR) 和下降 (TF) 时间，脉冲宽度 (PW) 和周期 (PER)，这些值都在下面的图中。关于这些参数的详情和其他 Spice 元件的描述可以从用户指南或 Spice 教程中找到 <http://www.seas.upenn.edu/~jan/spice/>。

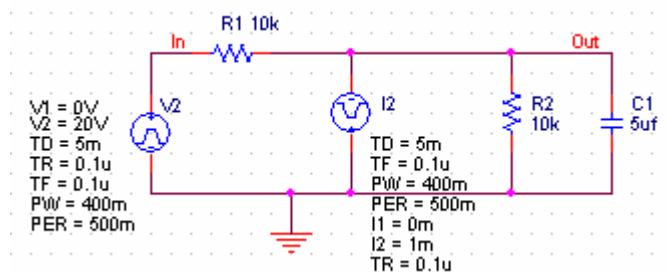


图 14: 使用脉冲电流和电压源的电路

7. 在做过瞬态仿真之后，其结果可以像前面我们做过的那样被显示出来。
8. 瞬态分析最后的例子是用一个正弦信号 VSIN。电路示于图 15。我们设正弦的幅度为 10V，频率为 10 Hz。

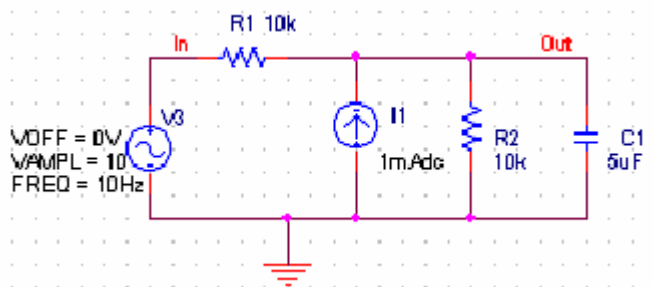


图 15: 具有正弦输入的电路

9. 为瞬态分析创建一个仿真配置文件 Simulation Profiler，并且运行 Pspice。
10. 对于 Vout 和 Vin 仿真的结果见图 16。

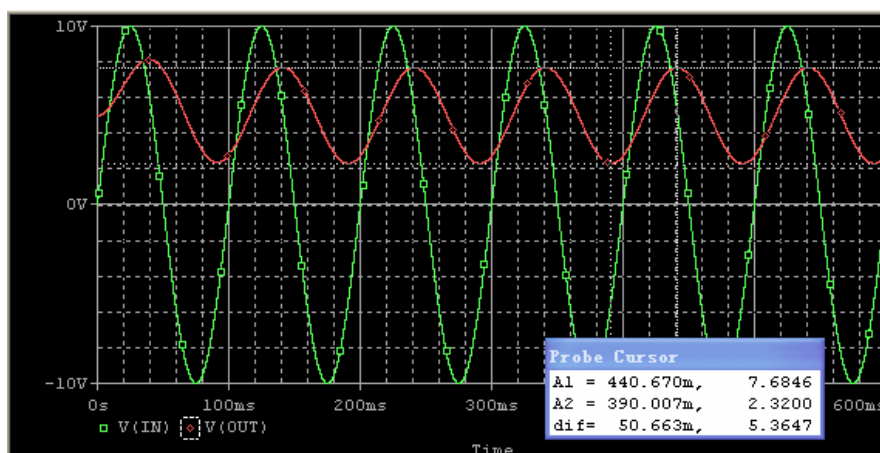


图 16: 正弦输入的瞬态仿真

2.4.2 交流扫描分析（频域分析）

交流分析将使用一个正弦电压，其频率在一个指定的范围内扫描。仿真计算频率所对应

的电压和电流的幅度以及相位。当输入幅度被设置为 1V 时，输出电压基本上是传递函数。对比正弦瞬态分析，交流分析不是时域仿真而是电路的正弦稳态仿真。当电路包含像二极管和晶体管这样的非线性元件时，这些元件将用它们的小信号模型代替，小信号模型的参数值根据相应的偏置点计算。

在第一个例子中，我们将展示一个简单的 RC 滤波器，相应的电路图见图 17。

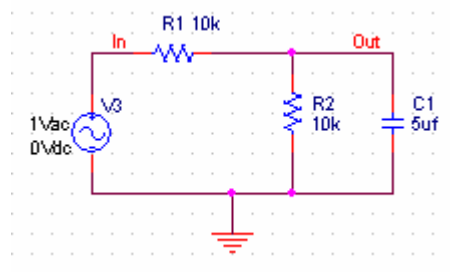


图 17：用于交流扫描仿真的电路

1. 创建一个新的项目并构造电路。
2. 从 Sources 库选择 VAC 作为电压源。
3. 设置输入源的振幅为 1V。
4. 创建仿真配置文件，命名为 AC Sweep。在 Simulation Settings 仿真设置窗口中，选择 AC Sweep/Noise。
5. 输入开始和结束频率和十进制刻度的点数。对于我们的例子，它们分别设置为 0.1Hz，10 kHz 和 11。
6. 运行仿真。
7. 在探针窗口中为输入电压添加踪迹。除了显示输出电压的大小，我们添加第二个窗口以显示相位。在 Add Trace 添加踪迹窗口中，电压可以用指定 Vdb(out)的方法用 dB 显示(在 Trace Expression 框中直接输入 VDB(OUT) 。对于相位输入 VP(OUT))。
8. 另一个以 dB 为单位显示电压和相位的可选方法是在原理图上使用标记:用 PSpice > Markers > Advanced > dB Magnitude of Voltage 和 Phase of Voltage 菜单命令，在感兴趣的节点上放置标记。
9. 我们在图 18 中使用光标找 3dB 的点。与时间常数 25 ms ($R1 \parallel R2 \cdot C1$)处相应的频率是 6.37 Hz ($f_{3db}=1/(2\pi RC)$)，幅度约为 -9dB。在 0.1Hz 处的 Vout 衰减约为 -6dB 或因数 2 ($20\log X=6\text{dB}$, $X=2$)，A1 和 A2 之差约为 3dB。相应的输出电压振幅值已在图 16 的瞬态分析期间获得。

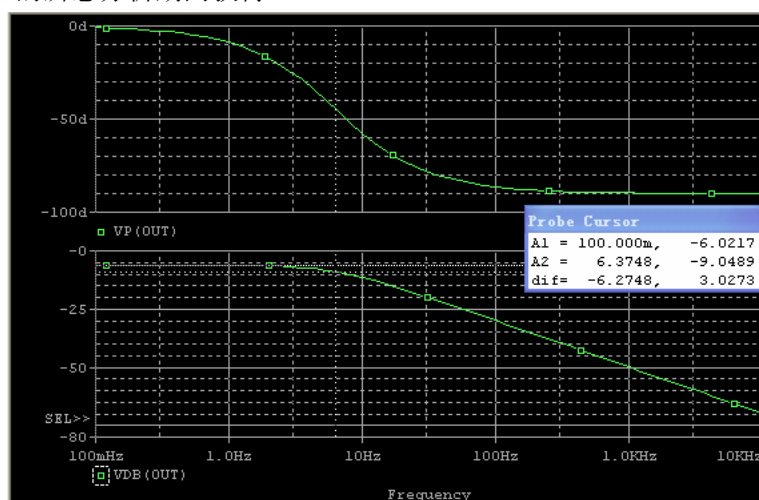


图 18：交流扫描分析结果

3. 随 Pspice 的附加电路例子

3.1 变压器电路

SPICE 没有理想变压器模型，理想变压器可以用互感器仿真，这时变压比 $N_1/N_2 = \sqrt{L_1/L_2} = n$ 。在 PSpice 中该元件被称为 XFRM_LINEAR（在模拟库中）。设置耦合系数 K 接近或等于 1（例如 $K=1$ ），并且这样选择 L ，让 $\omega L \gg$ 被感应器看到的等效电阻（当理想变压器次级端接一个电阻 R 时，初级的等效输入电阻为 $n^2 R$ 。 $R_{ab}=10+n^2 \times 500$ ）。

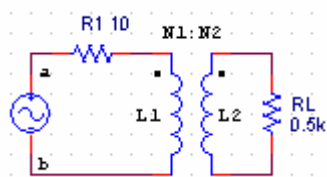


图 3.1.1：理想变压器电路

对于我们的例子，让 $\omega L_2 \gg 500 \text{ Ohm}$ 或 $L_2 > 500/(60 \times 2\pi)$ ；让 L_2 至少大 10 倍，例如 $L_2=20\text{H}$ 。然后 L_1 可以从匝数比 $L_1/L_2 = (N_1/N_2)^2$ 得到。对于匝数比 10， $L_1=L_2 \times 100=2000\text{H}$ 。在 PSpice Capture 中该电路作为入门，见图 3.1.2，结果见图 3.1.3。

下面的电路需要直流接地连接。这可以用添加一个到地的大电阻或给初级和次级电路一个公共点来实现。下面的例子说明怎样仿真一个变压器。

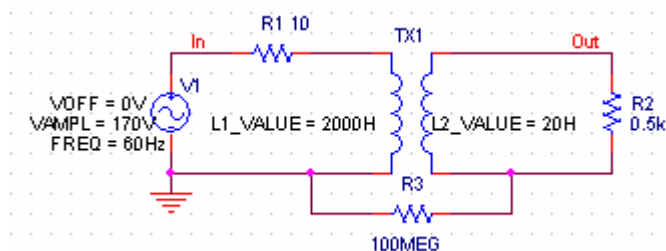


图 3.1.2：在 PSpice Capture 中作为入门的理想变压器电路

创建仿真配置文件，命名为 XFRM_LINEAR。在 Simulation Settings 仿真设置窗口中，选择 Time Domain (Transient)，Run to 设置为 60ms，Maximum step 设置为 10us。运行仿真。

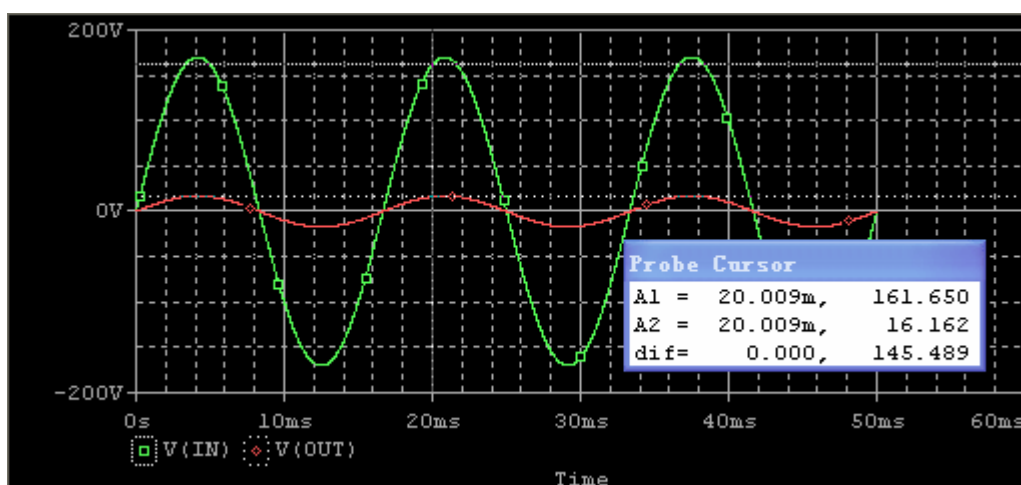


图 3.1.3：图 3.1.2 电路的瞬态仿真结果

3.2 使用理想运算放大器的滤波器交流扫描（滤波器电路）

我们用 Pspice 仿真下面电路。

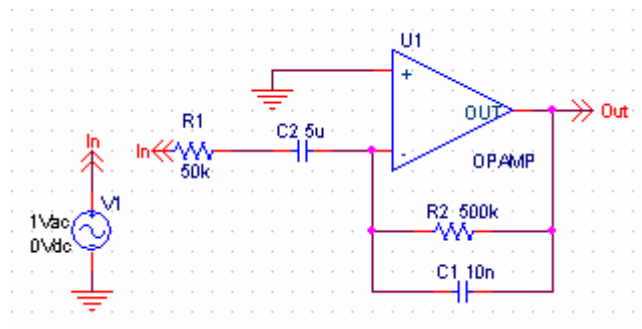


图 3.2.1：使用理想运算放大器的有源滤波器电路

我们已经对于输入和输出使用了 off-page 电路端口连接器(>>)（从右边的工具栏点击 Place off-page connector 图标）。双击 off-page 连接器的名字可以改变它。如果有两个连接器（或节点）有相同的名字，这两个节点将被连接在一起（不需要画导线）。从 SOURCE 库中选择 VAC 作为电压源，设置其振幅为 1V，所以输出电压将与滤波器的放大特性（或传递函数）相应。

创建仿真配置文件，命名为 Ideal Op-amp Filter。在 Simulation Settings 仿真设置窗口中，选择交流扫描，并输入开始、结束频率和每十分刻度的点数分别为 0.01Hz，10 kHz 和 11。

下图给出了结果。左边的 Y 轴给出了大小，右边的 Y 轴给出了相位。光标用来找带通滤波器的 3db 点，相应的低高截止频率分别为 0.63 Hz 和 32 Hz。这些数字相对应的时间常数数值在图 3.2.1 中给出。这些点所在的相位为-135 和-224 度。

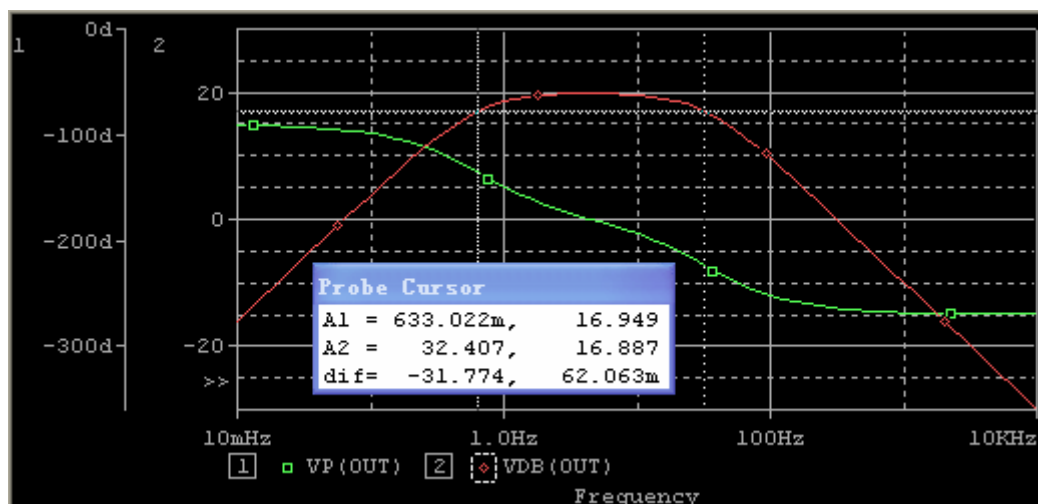


图 3.2.2：有源滤波器的交流扫描结果

3.3 使用实际运算放大器的滤波器交流扫描（滤波器电路）

真实运算放大器电路如下图所示。我们选择 U741 运算放大器构造滤波器。仿真结果在图 3.3.2 中，在该频率范围内我们期望真实和理想运算放大器之间的差别最小。

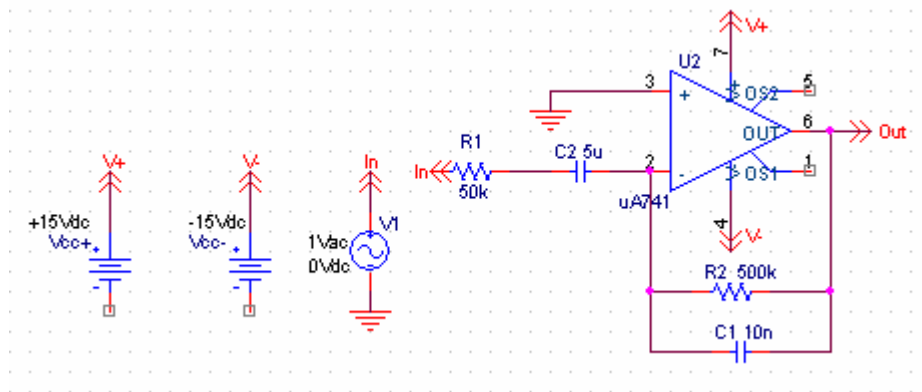


图 3.3.1：使用 U741 的有源滤波器电路



图 3.3.2：使用真实运算放大器 U741 的有源滤波器电路的交流扫描结果

3.4 整流器电路（峰值检波器）和参量扫描的使用

3.4.1: 峰值检波器的仿真

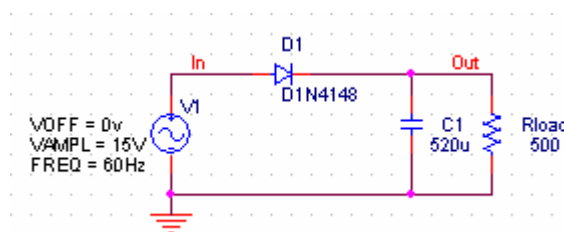


图 3.4.1：使用 D1N4148 二极管的整流器电路，负载电阻为 500 Ohm

创建仿真配置文件，命名为 Rectifier Circuit。在 Simulation Settings 仿真设置窗口中，选择 Time Domain (Transient)，并输入开始、结束时间分别为 0s, 100ms, Maximum Step 最大步长输入 10us。

仿真结果在图 3.4.2 中给出。如光标所指示，波纹的峰峰值为 777mV。最大输出电压是 13.997V，小于 15V 的输入电压峰值。

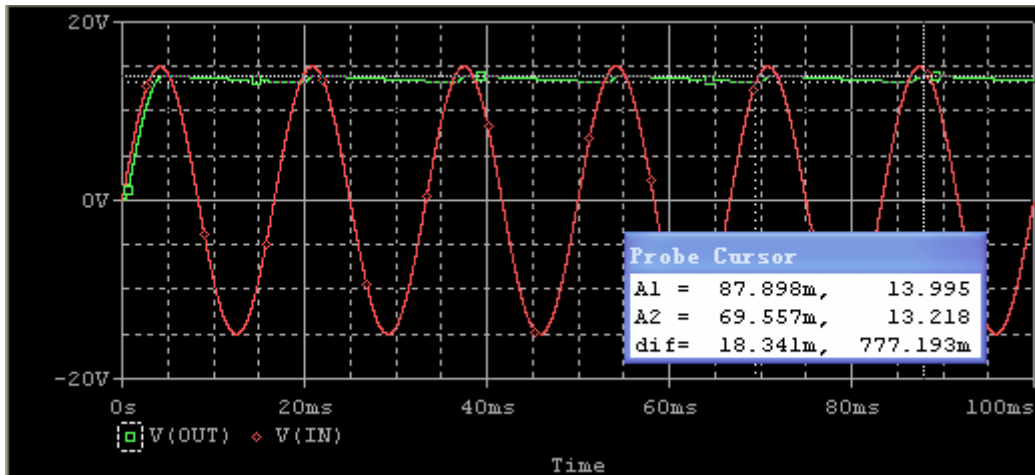


图 3.4.2: 整流器电路的仿真结果

3.4.2 参量扫描

看负载电阻的变化对输出电压和输出波纹电压的影响可以用 PARAM 参量元件实现。

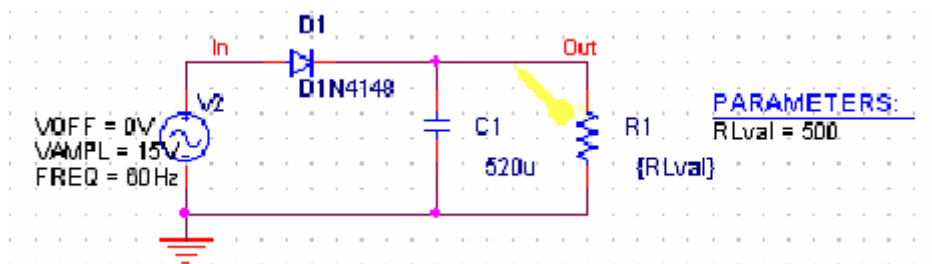


图 3.4.3: 负载电阻的参量扫描电路

a. 添加参量元件

- 1) 双击负载电阻 R1 的值 (500 Ohms) 改为 {RLval}，使用花括号。Pspice 解释，波形括号之间的文本作为求值的表达式。完成后点击 OK。
- 2) 添加 PARAM 元件到电路中，在 SPECIAL 库中可以找到该元件。
- 3) 双击 PARAM 元件，打开 Property Editor 属性编辑窗口。你需要添加一个新的列到该参数表中。点击 New Column 按钮并输入 Property Name 属性名称 RLval (不带花括号)。
- 4) 你将注意到新列 RLval 已经被创建了。在 RLval 的下面输入电阻的初始值：让它为 500，如图 3.4.4。

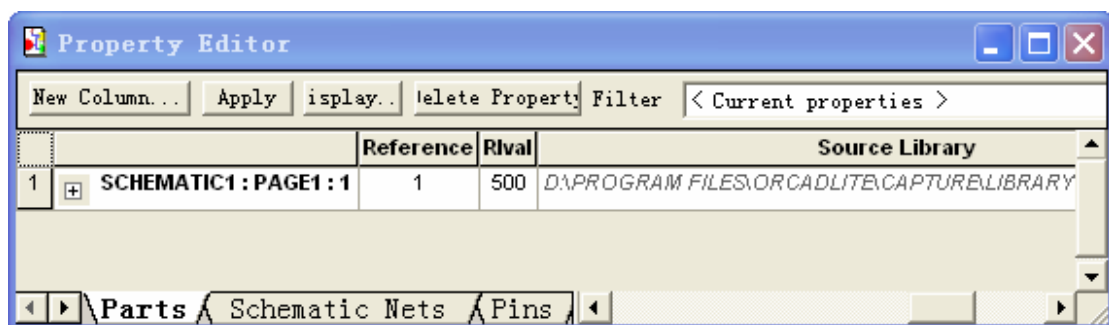


图 3.4.4: PARAM 元件的 Property Editor 窗口，显示新创建的 RLval 列

- 5) 当你在单元各中输入值 500 后，再点击 DISPLAY 按钮，指定要显示的东西，选择 Name and Value。点击 OK。
 - 6) 在关闭 Property Editor 窗口之前，点击 APPLY 按钮。
 - 7) 保存设计。
- b. 为参量分析创建仿真配置文件
- 1) 选择 PSpice > New Simulation Profile。
 - 2) 键入配置文件的名字，例如 Parametric。
 - 3) 在 Simulation Setting 仿真设置窗口中，选择 Analysis 标签。
 - 4) 对于 Analysis type 分析类型选择 Transient 瞬态（或你想要做的分析类型；在本例中我们将做瞬态分析）。并输入开始、结束时间分别为 0s, 100ms, Maximum Step 最大步长输入 10us。
 - 5) 在 Options 选项下面，选择 Parametric Sweep 参量扫描，见图 3.4.5。
 - 6) 对于扫描变量，选择全局参数并输入 Parameter name 参数名：Rlval。在 Sweep type 扫描类型的下面给出 Start value 起始值、End value 结束值和 Increment 增量，对于这些参数我们分别用 250、1kOhm 和 250。（见图 3.4.5）。
 - 7) 点击 OK。

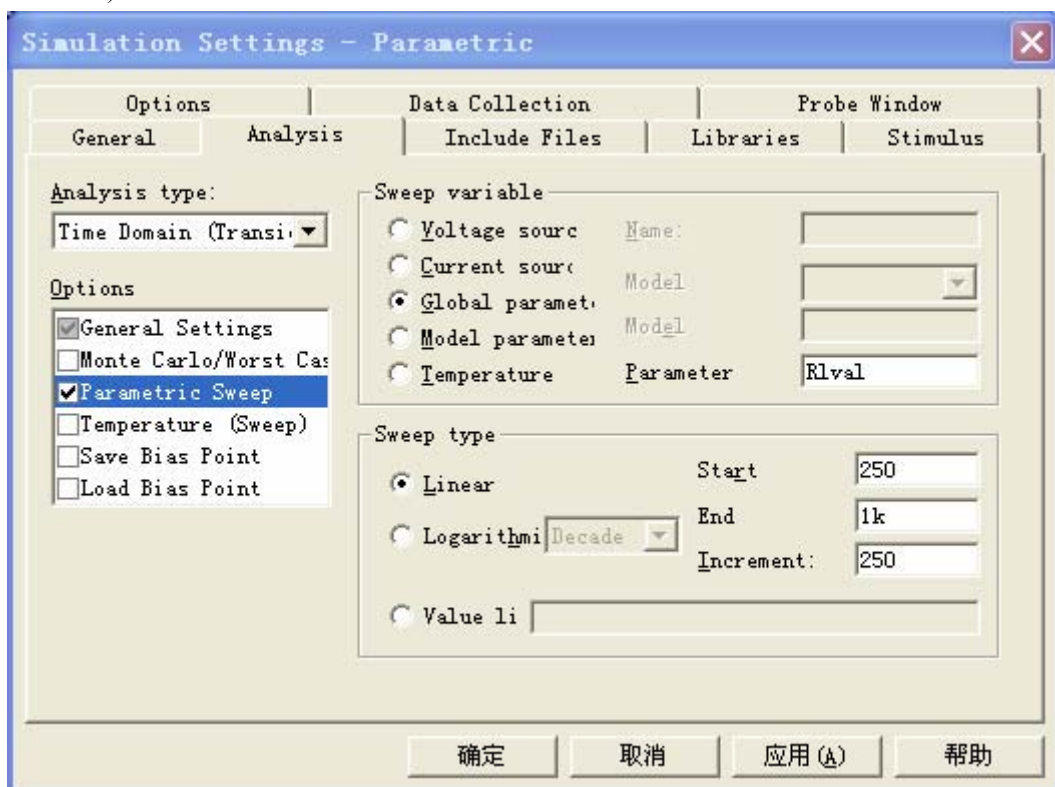


图 3.4.5: 参量扫描的仿真设置窗口

- c. 运行 PSpice 并显示波形
- 1) 运行 PSpice。
 - 2) 当仿真结束时，Probe 探针窗口被打开并且弹出 Available Sections 窗口，选择全部并点击 OK。
 - 3) 添加 V(OUT)为显示踪迹，多踪迹将显示，如图 3.4.6。
 - 4) 可以用光标确定踪迹上的指定值；还可以通过双击 Y 和 X 轴来调节数轴。
 - 5) 结果显示电阻越大纹波越小。

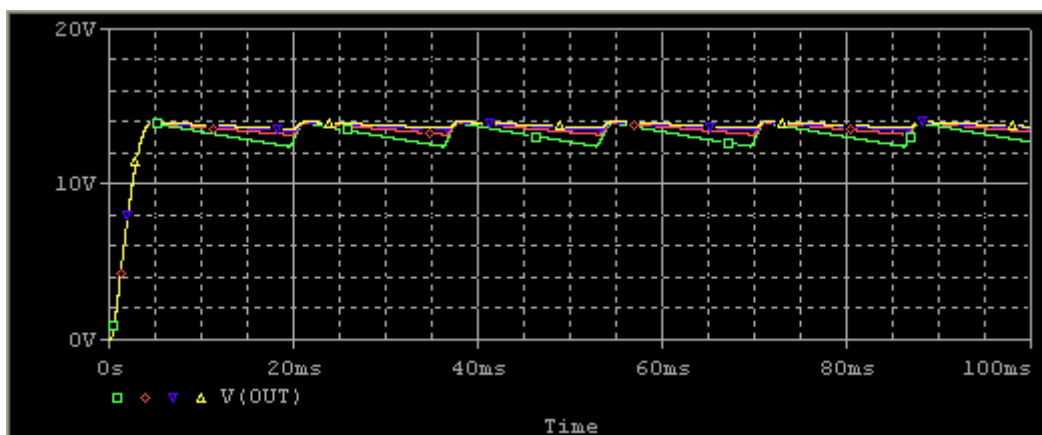


图 3.4.6: 负载电阻的参量扫描结果, 从 250 到 1000 Ohm 变化, 步长为 250 Ohm。

3.5 AM 调制信号 (AM 调制)

幅度调制 (AM) 信号的表达式为:

$$v_{am}(t) = [(A + V_m \cos(2\pi f_m t))] \cos(2\pi f_c t) = A[1 + m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t)$$

其中一个正弦高频载波 $\cos(2\pi f_c t)$ 被一个频率为 f_m 的正弦调制。调制频率可以是任意信号。对于本例我们假定它是一个正弦波。M 是调制指数。

为了在 Pspice 中产生 AM 信号, 我们可以使用 MULT 乘法函数, 它可以从 ABM 库中找到。图 3.51 显示了能够在电阻 R1 上产生 AM 信号的电路图。

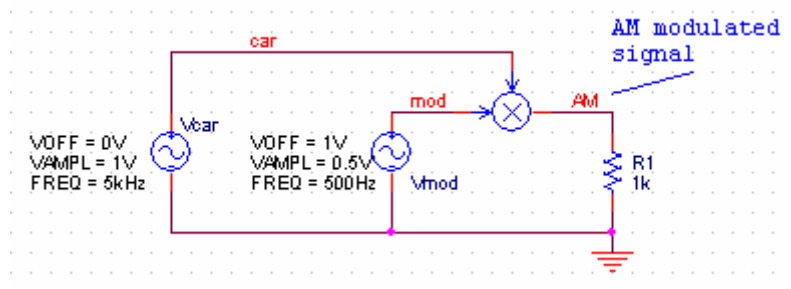


图 3.5.1: 产生 AM 信号的电路图

瞬态仿真的结果示于下图。如果还想查看仿真输出信号的傅里叶频谱。在探针窗口中点击位于顶部工具栏中的 FFT 图标, 或使用 PSPICE > FOURIER 菜单命令。被显示踪迹的傅里叶频谱将被显示。可以双击 X 轴来改变它 X 轴的刻度。图 3.5.3 给出了与位于 5kHz 的主峰和两个分别位于 4.5 和 5.5 kHz 处的边峰相对应的傅里叶频谱, 这表示调制频率是 500Hz。你可以用光标得到精确的值。

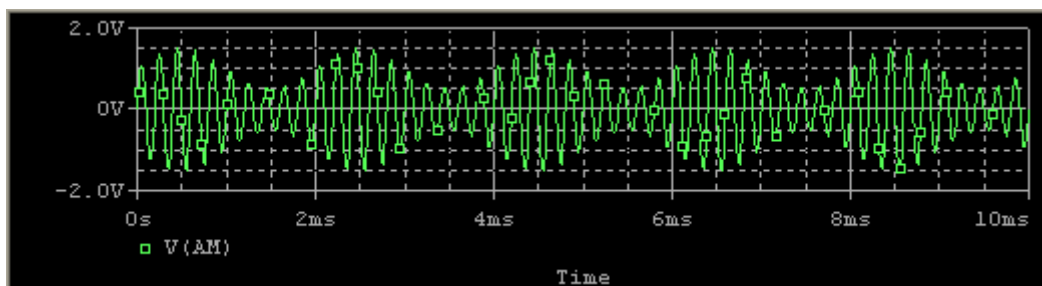


图 3.5.2: 上面电路的仿真波形 (瞬态分析), $A=1V$, $f=500\text{ Hz}$, $f_c=5\text{kHz}$, $m=0.5$

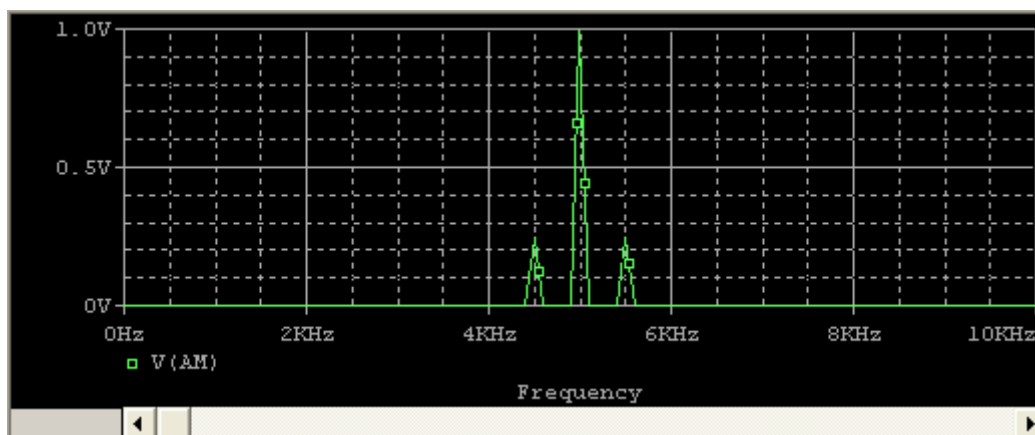


图 3.5.3: 图 3.5.2 波形的傅里叶频谱

3.6. 中间抽头变压器

在 Pspice 中没有直接用于中间抽头的变压器模型。然而，我们可以用互相偶联的电感来模拟一个中间抽头的变压器。图 3.6.1 显示了电路的原理图。我们使用一个初级电感 L_p 和两个次级电感 L_{s1} 和 L_{s2} 串联。另外我们添加一个 K-Linear 元件（在 ANALOG 库中）。

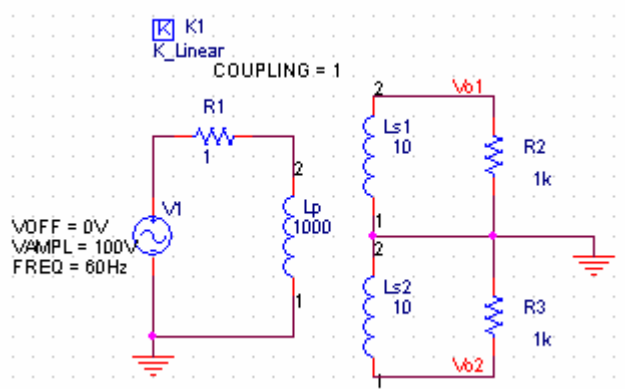


图 3.6.1: 比率为 10:1 的中间抽头变压器

在原理图上放置好元件后给每个元件设定其值。输入电压为 100V、60Hz 的正弦曲线。注意我们添加了一个小电阻 $R1$ 与电压源和电感串联，该电阻用来防止直流短路（没有该电阻 Spice 会给出一个错误），我们设置该电阻小于等于 1 Ohm。假定我们想要一个对每个次级输出的比率为 10:1 的降压变压器，电感的比率 L_{s1}/L_p 和 L_{s2}/L_p 必须为 $1/10^2$ （或 $=\sqrt{L_{s1}/L_p}=0.1$ ）。我们让 $L_p=1000$ 、 L_{s1} 、 $L_{s2}=10H$ 。

双击 K-Linear 元件并且在列标题 L1、L2、L3 下面输入值 L_p 、 L_{s1} 、 L_{s2} 。完成后点击 Apply 按钮并关闭属性窗口。

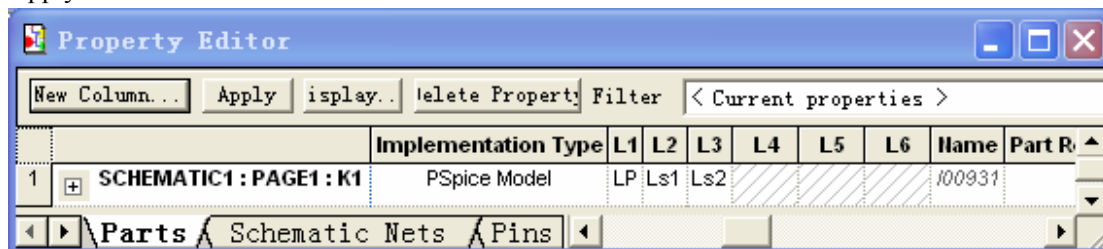


图 3.6.2: 设置 L1、L2、L3

执行 Pspice > Create_Netlist 菜单命令生成网表。为了看到列表，在 Project Manager 项目管理中双击 Outputs 下的.net 文件。网表看起来如下：

```
* source CENTER TAP TRANSFORMER
V_V1      N00237 0
+SIN 0V 100V 60Hz 0 0 0
R_R2      0 VO1 1k
L_Lp      0 N00299 1000
R_R3      VO2 0 1k
R_R1      N00237 N00299 1
L_Ls1     0 VO1 10
Kn_K1     L_LP L_Ls1
+ L_Ls2    1
L_Ls2     VO2 0 10
```

创建一个新的 Simulation Profile 仿真配置文件（瞬态），设置时间 Run to = 50ms。结果见图 3.6.3。注意，就像我们所期望的那样当变压比为 10:1，输入电压最大为 100V 时，最大输出是 10V。两个输出的相位差是 180°。

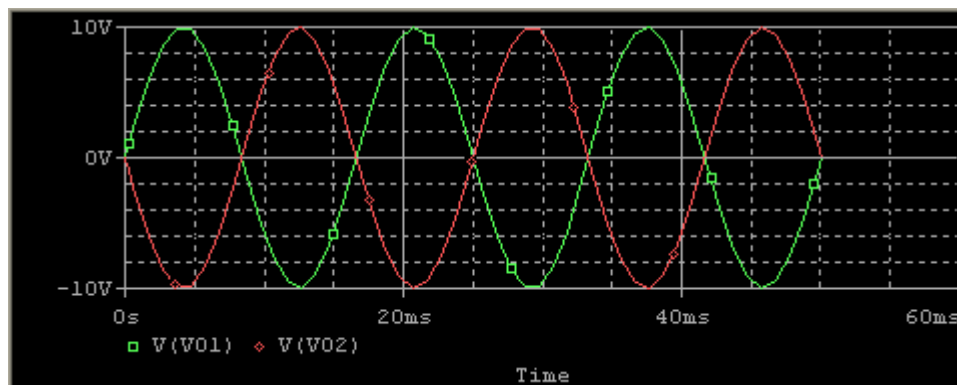


图 3.6.3: 图 3.6.1 电路的输出

4. 添加并且创建库：模型和元件文件

4.1 使用和添加厂商库

我们假定模型（.lib）和 Part Symbols 元件符号文件（.olb）都可以从厂商获得。如果只有模型文件可以获得，请看下一节关于怎样创建元件符号。

在某些情况下你可能想要添加从厂商哪里获得的包含你的设计所需的器件模型和符号库。ORCAD Pspice 网站列出了许多厂商提供的模型，你可以下载这些文件。定义文件（扩展名为.lib）和符号文件（扩展名为.olb）都需要。当你在原理图中输入符号时必须先添加库，你还需要告诉仿真器文件存在，这些工作在定义 Simulation Profile 仿真配置文件时进行。在 Simulation Setting 设置设置窗口中，选择 Libraries 库标签。在 Filename 文件名栏中输入新库的名字（如果厂商库在标准库的文件夹中，用全路径名或库名均可）。你可以设置库模型为全局的，这样它就可以在每张原理图中使用。或者你保持库为局部的，那库就只能在当前原理图中使用。

可以从 Orcad 的母公司 Cadence 公司网站下载 PSpice 模型库和 OrCAD 原理图元件库，

网址为：

<https://www.cadence.com/products/orcad/pages/downloads.aspx#starter>

作为例子我们下载 National Semiconductor 公司的 Library of op-amps 库 nat_semi.lib 和的 Op-amp Capture symbols 符号库 nat_semi.olb，并将库文件和符号文件复制到目录 X:\Program Files\OrcadLite\Capture\Library\Pspice 中。

打开仿真配置文件，选择 Libraries 标签，在 Filename 中输入 nat_semi.lib，点击 Add as Global 按钮将它设置为全局库。见图 4.1。

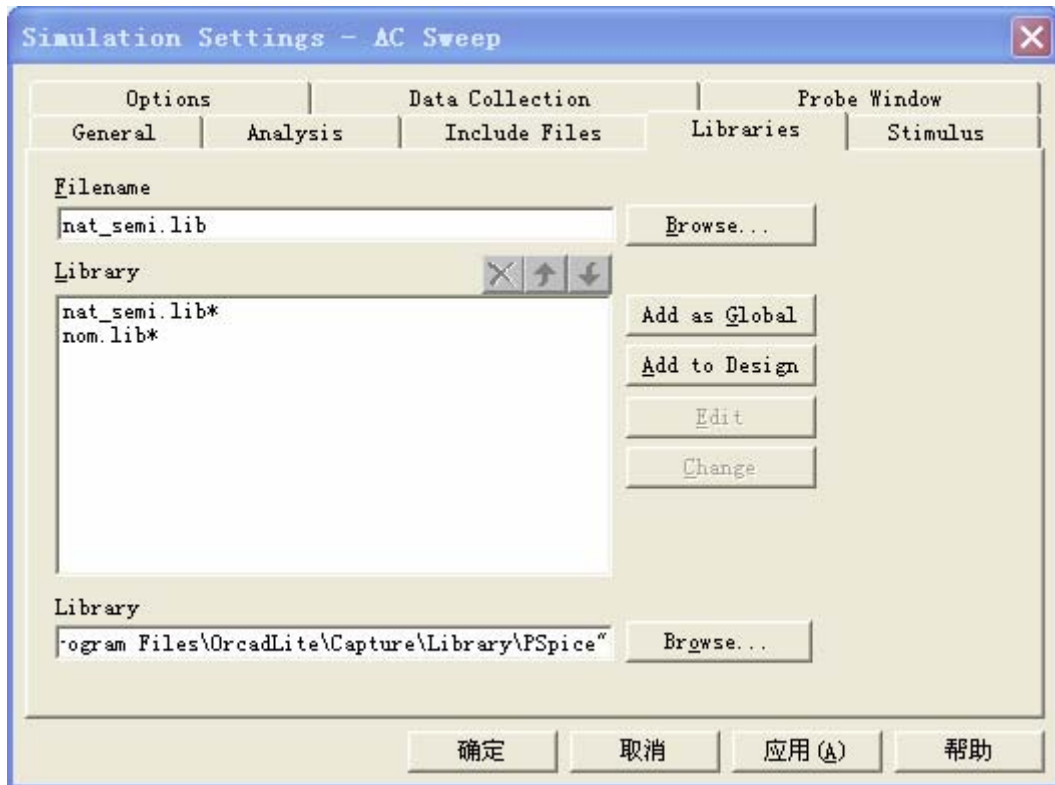


图 4.1：添加库

4.2 从模型文件创建符号元件文件

在许多情况下你可能只有器件的模型而没有在 PSpice Capture 中使用的符号。在这种情况下，你需要创建符号文件（.olb）。在许多情况下模型文件包含许多有子电路的器件模型。本节说明怎样用模型文件为模型文件中的器件创建相应的元件符号。

模型文件是一个文本文件，可以用任何文本编辑器读取（例如，记事本）。在许多情况下现有的厂商的 Spice 文件使用扩展名.cir 或.mod，我们假定你有这样的文件而没有元件符号。

4.2.1 使用 PSpice Model Editor 模型编辑器（该程序与 PSpice 包一起提供）

- 打开 **PSpice Model Editor** 模型编辑器
- 在 File 菜单中选择 New。

c. 下一步,在 Model 菜单中选择 Import 并找到你需要为其创建元件符号文件的模型文件.cir 或.mod。我们以 AD 公司的运算放大器 ad8009.cir 为例,打开它。

d. 用扩展名.lib 保存该文件,例如 AD_Model.lib,并且将它放在你用来存储库文件的目录中。你可以将 .lib 文件放在任何目录中,默认库都放在目录 Program Files/OrCadLite/Capture/Library/PSpice/ 中。

e. 下一步是创建 Capture 的元件符号。在模型文件 (.lib) 还处于打开状态时,执行菜单命令 File > Create Capture Parts, 将弹出如下图所示的创建元件窗口。在窗口中填充 Input Model Library 输入模型库和 Output Part Library 输出元件库,注意:输出元件库的文件名与模型库相同但扩展名是.olb。

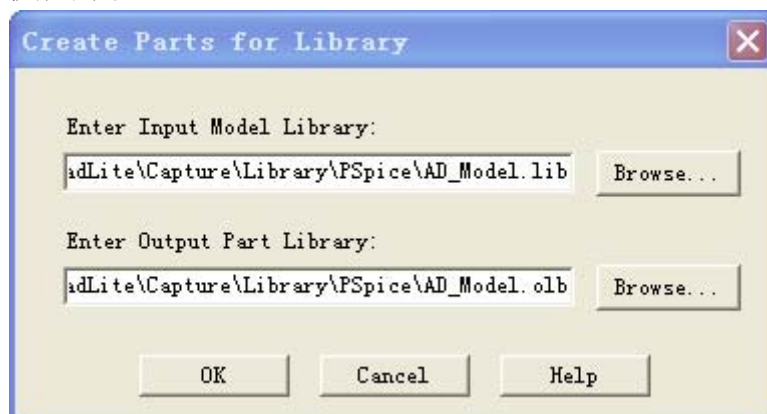


图 4.2.1 Create Parts for Library 窗口

f. 点击 OK 按钮,一个.err 文件窗口将打开,显示创建库的状态,检查有无错误提示。

g. 在状态窗口点击 OK。

图 4.2.2 是 AD8009 SPICE model,我们看到的是节点指定。

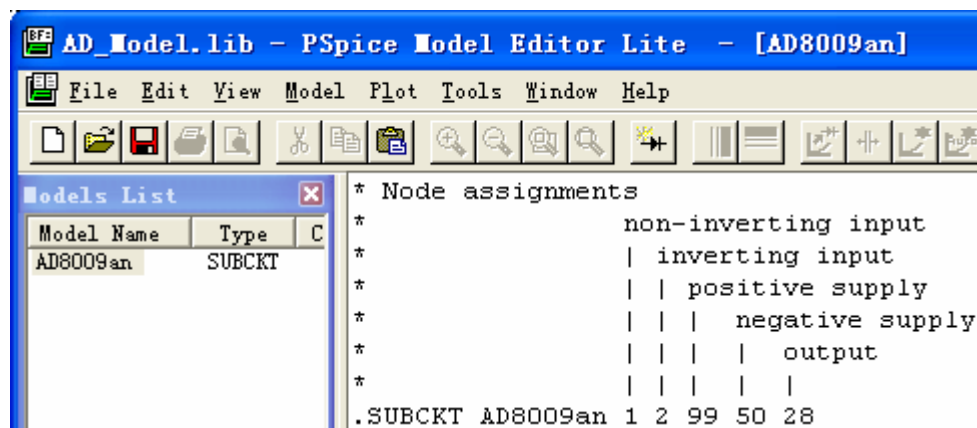


图 4.2.2 Pspice Model Editot 窗口

下一步是编辑刚才创建的元件符号。

4.2.2 编辑元件符号

a. 打开 OrCad Capture。

b. 执行 File > Open > Library 菜单命令。浏览新创建的文件 (AD_MODEL.OLB)。点击 OK, 打开 PCB 窗口, 如图 4.2.3 所示。在我们的例子中,我们的库包含一个器件 (AD8009AN), 在实际情况下库中可能包含许多不同的器件和子电路。

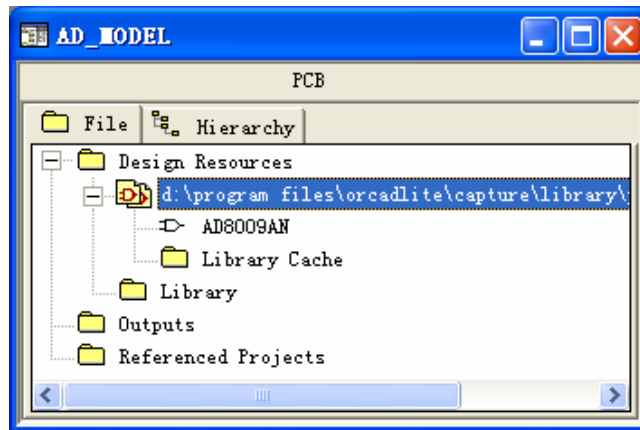



图 4.2.3 在 OrCad Capture 中的 Library Editor 窗口

c. 为了编辑某器件的符号，在 Library Editor 窗口中双击该器件，例如，选择器件 AD8009AN，Part Symbol 窗口将打开，如图 4.2.4 所示。你可以用 Capture 的编辑工具修改器件符号，注意：精确画图时按下 Snap to grid 工具  按钮。图中引脚的名字是根据图 4.2.2 中的指定生成的。

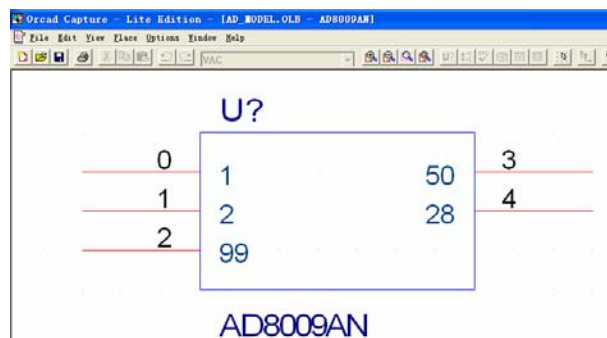


图 4.2.4 元件符号编辑窗口

d. 元件符号上的红线对应管脚。它们可以通过在菜单栏的右边点击 Place Pin 图标（或 Place > Pin 菜单）添加。这时会打开 Place Pin 放置引脚窗口。

e. 你可以选择并右击一个引脚，选择 Edit Properties 编辑属性命令来编辑它。引脚的名字和类型是重要的，通常不要改变引脚的名字，因为名字与 Spice 模型关联。引脚类型通常是 Input 输入或 Output 输出。如果将引脚设置为 Power 电源类型，它在元件符号中默认是不可见的，但可以通过选择 Pin Visible 使其可见。线型的选择有 Line 或对应于短线的 Short。检验其他选项。根据数据手册修改引脚号。Pin Properties 或 Place Pin 窗口是一样的。

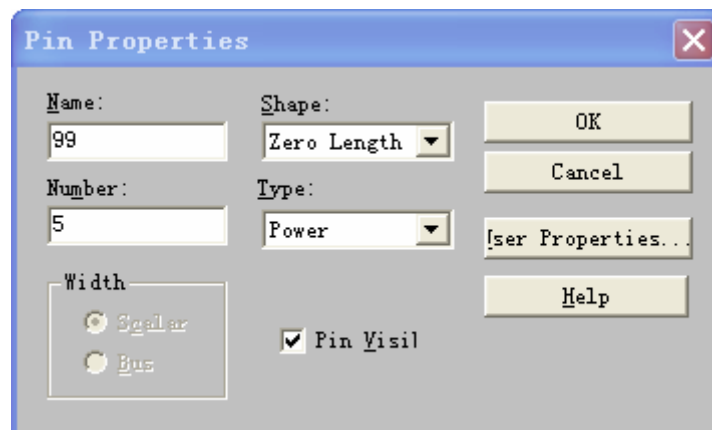


图 4.2.5 Pin Properties 或 Place Pin 窗口

f. 创建好元件符号后，保存库。你现在可以使用新创建的库和符号了。在进行仿真之前，你还需要在原理图和仿真器设置中添加库到库的路径，见 4.1 使用和添加厂商库。

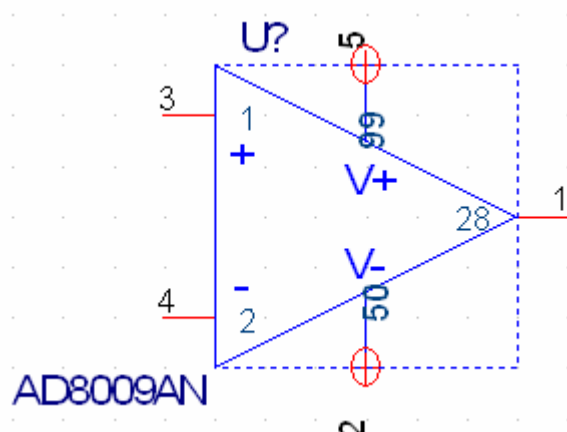


图 4.2.6: 创建好的元件符号

4.2.3 使用 AD8009AN 运算放大器的滤波器交流扫描

绘制原理图时，在 Place Part 窗口中要添加 AD_MODEL.OLB 符号库才能找到 AD8009AN，见图 4.2.7。

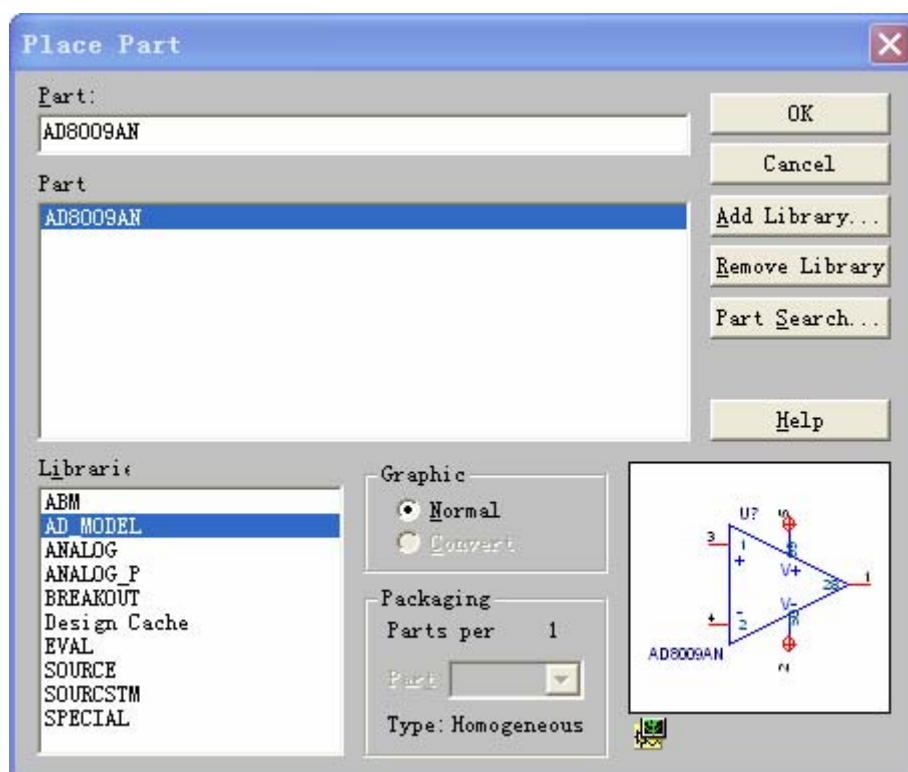


图 4.2.7: 添加 AD_MODEL 符号库后就可以找到元件 AD8009AN

完成的仿真原理图如图 4.2.8。生成网表。创建仿真配置文件，命名为 AD8009 OP-amp。在 Simulation Settings 仿真设置窗口中，选择交流扫描，并输入开始、结束频率和每十分刻度的点数分别为 0.01Hz，10 kHz 和 11。

仿真之前，在 Simulation Settings 窗口的 libraries 标签中添加模型库，见图 4.2.9。

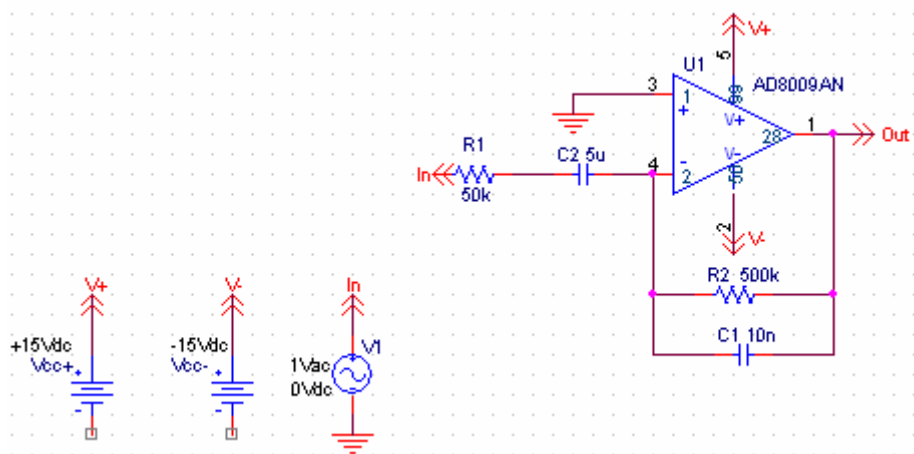


图 4.2.8: AD8009AN 仿真原理图

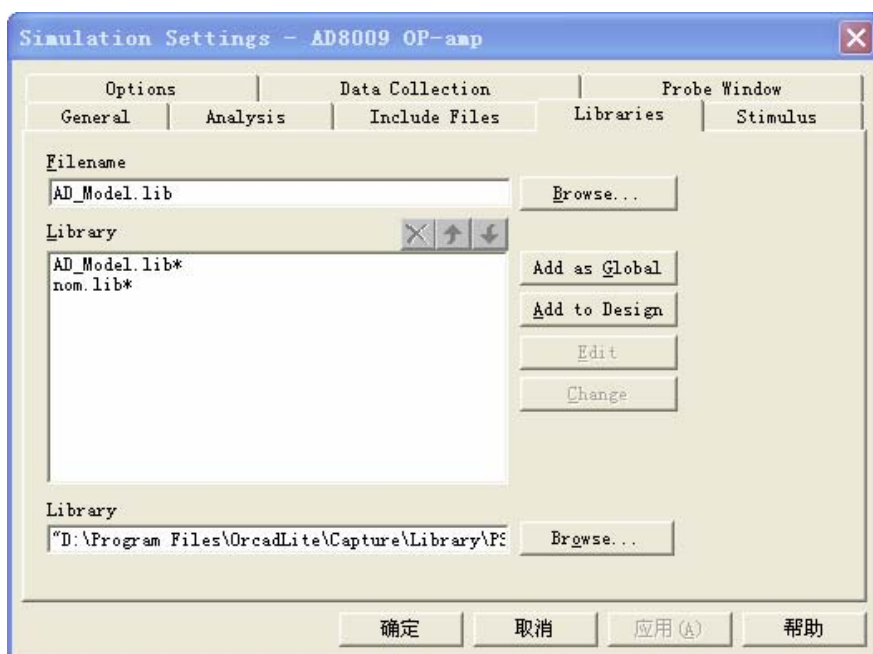


图 4.2.9: 添加 AD8009AN 仿真模型

运行仿真，仿真的结果示于图 4.2.10。

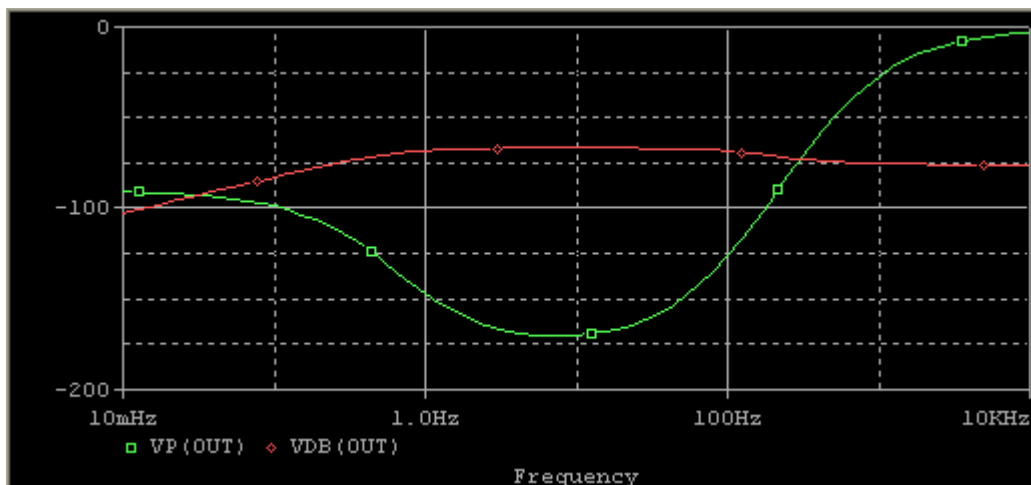


图 4.2.10: AD8009AN 仿真结果

参考书目

1. OrCAD website for PSpice (<http://www.orcad.com/pspicead.aspx>), has application notes, download, examples and interesting links.
2. OrCAD website for CAPTURE. (<http://www.orcad.com/orcadcapture.aspx>)
3. PSpice User's manual, OrCAD Corp. (Cadence Design Systems, Inc.)
4. PSpice Reference Guide, OrCAD Corp. (Cadence Design Systems, Inc.)
5. PSpice Library Guide, OrCAD Capture User's Guide, (Cadence Design Systems, Inc.)
6. OrCAD Capture User's Guid, OrCAD Corp., (Cadence Design Systems, Inc.)
7. SPICE Tutorial, <http://www.seas.upenn.edu/~jan/spice/>
8. A. Vladimirescu, "The Spice Book, "J. Wiley & Sons, New York, 1994.
9. B. Carter, "Using Texas Instruments Spice Models in Pspice", Application Report, SLOA070, Texas Instruments, Dallas, TX, September 2001.
10. A. Sedra and K. C. Smith, "Microelectronic Circuits," Oxford University Press, 2004, with accompanying Rom CD containing Spice Circuit Examples.