

TINA-TI 模拟电路设计、仿真和分析软件

编写：樊伟敏 2011.11.16

TINA-TI 是由 TI 和 DesignSoft 共同开发的软件程序。TINA 软件由成立于 1992 年的工程和教育软件开发商 DesignSoft 有限公司（位于匈牙利布达佩斯）开发，TINA 集模拟、数字、符号、RF（射频）、VHDL、MCU（微处理器）及混合模式电路仿真和 PCB 设计的设计套件，是一款基于 SPICE 引擎的模拟设计与仿真软件。2011 年 DesignSoft 公司推出了功能强大的 TINA 9.3 专业版软件，它可分析 SMPS（开关模式电源）、RF、通讯和光电电路，使用集成流程图工具产生和调试 MCU 代码，并在混合电路环境中测试微控制器应用。

TINA-TI 是德州仪器（Texas Instruments Incorporated，简称为 TI）与 DesignSoft 公司联手开发的 TINA 软件的简单版本。TINA-TI 是一个强大的电路仿真工具，适用于对模拟电路和开关模式电源(SMPS)电路的仿真。是采用 TI 器件进行电路开发与测试的理想选择。

TI 之所以选择 TINA™仿真软件而不是其它的基于 SPICE 技术的仿真器，是因为它同时具有强大的分析能力、简单和直观的图形界面，并且易于使用，可使你能在最短时间内掌握与应用该软件。尽管 TINA-TI 是更加强大的 DesignSoft 仿真产品中的一个有限版本，它仍能轻松处理极为复杂的电路。

TINA-TI 可执行电路的 DC、AC、瞬态、傅立叶、噪声等分析。还提供了函数发生器、万用表、示波器、XY 记录仪和信号分析仪等虚拟仪器。

TINA-TI 包含众多的 TI 器件模型和 TI 器件信息，并内含许多应用原理图，并可在 TINA-TI 中进行仿真。以这些应用电路为范本，对它们进行修改后，可通过“另存为”建立相关的电路设计，形成快捷、容易的电路仿真方式。

TI 公司在 2011 年 9 月推出了 TINA-TI 9.3 简体中文版。有关 TI 公司的最新的 TINA-TI 参考设计及 Spice 模型可通过访问 TI 网站得到。TI 公司会不断地提供最新器件的模型。TINA-TI 9 版本的最低硬件和软件要求：256MB 的 RAM、至少有 200MB 可用空间的硬盘驱动器、鼠标及 Microsoft Windows 98/ME/NT/2000/XP/Vista/Windows 7 操作系统。

TINA-TI 软件具有以下几个显著的特点：

- ① 全简体中文的界面，易学易用；
- ② 完整的 TINA 简体中文使用与元件帮助，通过对 TINA-TI 软件的使用可快速的掌握完整版的 TINA 软件的使用；
- ③ TI 公司为几乎所有的运算放大器、特殊功能放大器和开关电源芯片制作了 TINA 的器件模型，并将不断地更新。这对在第一时间了解和使用 TI 器件提供了不可多得帮助，可以帮助更好地理解电路的工作方式；
- ④ 2011 年 4 月德州仪器(Texas Instruments，TI)收购国家半导体(National Semiconductor)，在 TINA-TI 软件的 9.3 版本中已加入了国家半导体部分器件的 TINA 的器件模型。因此，现在 TINA-TI 具有更多的器件可采用；
- ⑤ 在 TINA-TI 中，能将电路图的一部分转化为子电路，并能从任何 Spice 子电路（无论是自建的、或从互连网下载的、或是从制造商的光盘中获得的）创造新的 TINA 元件。TINA 自动地在电路图中用一矩形方块表示这些子电路，也可用 TINA 的电路图形符号编辑器来创建所喜欢的任何形状。

TINA-TI 和 TINA 设计套件版本比较如表 1 所示。

表 1 TINA-TI 和 TINA 设计套件版本比较

程序特性	TINA	TINA-TI	分析	TINA	TINA-TI
原理图录入和编辑	是	是	射频、数字、VHDL、MCU 仿真	是	否
撤消/重做	是	是	VHDL 外部调试器	是	否
自动/手动有线路由和拖动支持	是	是	交互模式	是	否
仪器作为标准原理图符号	是	是	仿真运行过程中电路发生更改	是	否
子电路	是	是	符号分析（闭型公式）	是	否
BOM	是	是	傅立叶分析（谐波）	是	是
总线	是	是	傅立叶分析（光谱）	是	否
集成网络列表编辑器	是	是	蒙特卡洛，最坏的情况	是	否
任意波形的激励编辑器	是	是	压力（烟雾）分析	是	否
原理图符号编辑器	是	是	优化目标和参数数量	是	否
组件工具栏编辑器	是	否	参数步进中的参数数量	是	1
PCB 导出到主要封装	是	否	输出功能	TINA	TINA-TI
带版本控制的分层与团队设计	是	否	缩尺图	是	是
参数提取器/模型生成器	是	否	多轴	是	是
PCB 设计	是	否	用于增强图的绘图工具	是	是
分析	TINA	TINA-TI	后处理工具	是	是
最大外部和宏中的节点数	是	是	Smith、奈奎斯特、零极点图	是	否
直流、交流、瞬态仿真	是	是	内置 DTP 工具	是	否
组件和模型数	20,000	10,000 余	MathCAD 和 Excel 导出	是	否
组延迟	是	是	虚拟仪器	TINA	TINA-TI
参数扫描	是	是	示波器、函数发生器、万用表、信号分析器等	是	是
直接从网络列表分析	是	是	网络、光谱和逻辑分析器	是	否
稳定状态解算器（SMPS 分析）	是	否	数字信号发生器	是	否
S 参数指定的射频模型	是	否	实时测试和测量	是	否
网络分析	是	否	教育特性	是	否

一、TINA-TI 软件界面

启动 TINA-TI 9.3 简体中文版程序，出现如图 1 所示的程序界面，其与典型 Window 应用程序的界面相似。TINA-TI 9.3 原理图编辑器界面主要有以下几个基本单元。

图 2 所显示的是原理图编辑器的布局。图中空白的工作区是设计窗口，用以在其中搭建测试电路。原理图编辑器标题栏的下面是一个可操作的菜单行选项，如文件操作、分析操作、测试及测量设备的选择等等。在菜单行下方的位置是一行与不同的文件或 TINA 任务相关联的快捷图标。在最后一行图标中您可以选择一个特定的元件组。这些元件组包括基本的无源元件、半导体以及精密器件的宏模型。可以利用这些元件组来搭建电路原理图。

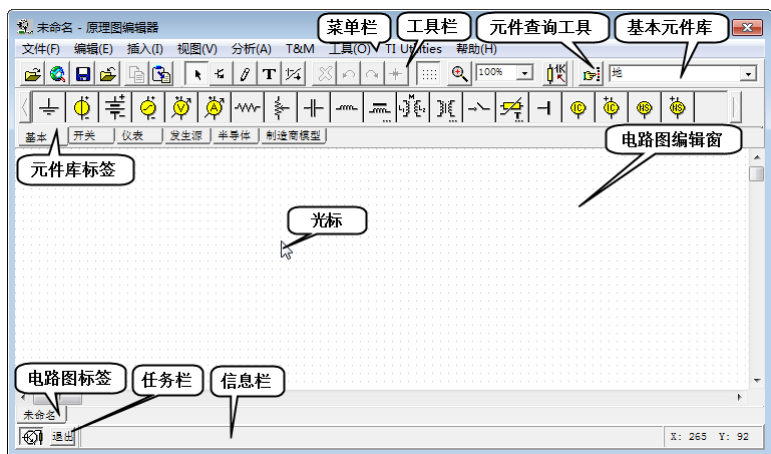


图 1 TINA-TI 9.3 简体中文版原理图编辑器界面

① 菜单栏：与其他 Windows 应用程序相似，提供了绝大多数程序命令，如文件操作、分析操作、测试及测量设备的选择等。

② 工具栏：提供了常用菜单命令及 TINA 任务相关联的快捷图标。大多数按钮命令可在下拉菜单中找到。

③ 元件查询工具：提供了在 TINA 的产品目录中以名称寻找元件的方法。

④ 基本元件库：提供了快速选取基本元件的方法。

⑤ 元件库标签：根据元件类型分为基本、开关、仪器、发生器、半导体、制造商模型等元件库。在每个元件库中又将元件分为若干个元件组或元件。可用这些元件组或元件搭建电路原理图。

⑥ 电路图编辑窗口：显示当前被编辑或分析的电原理图。

⑦ 光标：用于选择命令和编辑原理图。只能使用鼠标移动光标。根据不同的操作方式，光标会变成不同的形式。

⑧ 电路图标签：用于在原理图编辑器中打开不同的电路文件或者电路的不同部分（宏）。点击标签可将该电路图在编辑器中显示。

⑨ 任务栏：对当前使用的多种工具或测试测量（T&M）仪器进行切换。当左侧第一个锁定原理图按钮按下后，原理图视窗被锁定在其他视窗后面。如当前选定的原理图没有处于锁定，该原理图整个覆盖在其他视窗上面。

⑩ 信息栏：提供光标所指向项目的简短信息。

二、菜单命令与工具栏按钮

1. 功能菜单命令

在 TINA-TI 电路图编辑窗口的功能菜单中，部分菜单命令与通常 Windows 应用程序的同名菜单命令功能相同，常用 TINA-TI 菜单命令及功能如表 2 所示。

表 2 部分常用的 TINA-TI 菜单命令及功能

主菜单	菜单命令	功能
文件	导出	输出 PSpice 网表(.CIR)文件，TINA 网表（.XML）文件及 Windows 图形文件。
	导入	输入 TINA 网表文件，TINA 库和设计文件，及 PSpice 网表文件。
	物料清单	创建电路材料清单

	进入宏	打开并编辑所选的宏元件。电路图宏用编辑器打开，Pspice 宏用网表编辑器打开。
编辑	属性	修改电路图中元件的属性与参数。
	符号...	用原理图符号编辑器修改元件原理图符号。
	隐藏/重新连接	用于放置或删除一个连接点。
插入	上一元件	重复放置上一次放置的元件。快捷键为【Ctrl+Ins】。
	电线	绘制电连接线。快捷键为【空格】。可用【Esc】键终止连线方式。
	输入	定义一个输入端。
	输出	定义一个输出端。
	文本	在电路图和分析结果中插入注释。快捷键为【Ctrl+T】。
	图形...	在原理图中插入图形文件。
	标题块...	在原理图中添加标题块。可通过编辑默认标题块 TITLEBLK.TBT 来自定义标题块。
	宏...	插入*.TSM 宏（子电路）的外形文件。
	块	插入分层模块。
	自动重复	自动重复插入相同的元件，（直到按下【Esc】键或开始另一个命令。
	自动连线	自动重新连接所有必要的电线以保持元件的电气线路连接。
视图	普通视图	在电路图编辑器窗口中不显示页边和页边距。
	页面视图	按照纸张幅面显示电路图。可通过【文件 页面】命令进行设置。
	引脚标记	打开或关闭元件末端引脚的标记。
	数值	打开或关闭元件主要参数的显示。例如：电阻器是电阻、三极管型号等。
	单位	打开或关闭主参数单位的显示。例如：电容、电感、电阻、信号源等的主参数单位。
	标签	打开或关闭元件标签的显示。
	Tolerance	打开或关闭元件的容差
	封装编号	打开或关闭已设置元件管脚图封装名称属性的封装编号的显示。
	重画	刷新已绘制的原理图。快捷键为【F5】。
	工具栏	打开或关闭工具栏
	元件栏	打开或关闭元件栏
	选项	设置：元件符号集、测量单位、交流基本函数、参数名称、自动保存间隔等。
分析	ERC...	运行电气规则检查，可在原理图编辑器中高亮显示故障点。
	模式	选择当前分析的模式。模式包括单步、参数分级、温度分级等。
	选择控制对象	指定优化参数所属的元件，显示该元件的所有相关参数。
	设定分析参数	修改一些对分析有影响的参数。
	直流分析	直流分析：计算节点电压、直流结果表、传输特性、温度分析等。
	交流分析	交流分析：计算节点电压、交流结果表、交流传输特性等。
	瞬态现象	分析电路在信号源激励下的暂态响应。
	稳态求解法	电路的稳态求解。
	傅立叶分析	通过计算输出时间函数的傅立叶级数，谐波失真按百分比%单位显示。
	噪声分析	计算电路元件产生的噪声在输出端呈现的结果。
	选项	控制 TINA 在执行所要求的分析选项及设置 ERC 规则。
T&M	函数发生器	多功能函数发生器。可作为参考源、函数发生器及扫描发生器使用。

	<u>万用表</u>	可测量电路的直流和交流电压、电流，电阻或频率。
	XY 记录器	XY 记录器可显示一个或更多的电波形作为另一个电波形的函数。
	示波器	以时间的函数显示电的波形。
	信号分析仪	<u>基于快速傅立叶变换测量方法的信号分析仪。</u>
工具	图表视窗	在数值分析或测量完成以后，结果用图形显示。
	网表编辑器	Spice 宏模型的默认浏览程序。
	查找元件	快速查找某一元件。可采用模糊查找。
	重读符号库	当采用外形编辑器修改元件外形后，重新读入符号数据库。
	重编译库	重新编译所有已被修改过的库文件。
	重建库	重建所有的库文件，无论其是否被修改。
	新建宏向导...	用于创建宏。即将电路图转化为子电路。宏可包含原理图或 Pspice 子电路。
	编辑宏属性...	编辑当前已打开的宏的属性。
	导出宏...	将宏生成一个外部文件(*. TSM)。
	元件重编号	对电路元件进行重新编号。
	锁定原理图编辑器	当激活锁定电路图编辑器，其他对话框可覆盖在电路图编辑器窗口中。
	驻留网表编辑器	当激活网表编辑器，网表编辑器将驻留在电路图编辑器窗口中。
TI Utilities	TINA-TI FAQ	进入 TI 的“TINA-TI 的应用常见问题”网页
	Analog eLab Design Center	进入 TI 的“模拟电子实验室设计中心”网页
	Request TI sample parts	进入 TI 的“样品购物车”网页
帮助	内容	有关 TINA-TI 内容的帮助。
	元件帮助	有关 TINA-TI 元件的帮助。
	查看升级	有关 TINA-TI 软件的在线升级
	Update	进入 Designsoft 公司的 TINA 网页
	Designsoft 公司的网页	可分别进入 www.designsoftware.com、www.tina.com 及 www.edisonlab.com 网页
	关于	显示软件信息

2. 工具栏图标按钮命令：

TINA-TI 程序工具栏图标按钮如图 2 所示。工具栏图标按钮命令，简化了对功能菜单中常用命令的操作。执行【视图|工具栏】菜单命令，可对工具栏进行显示与关闭操作。

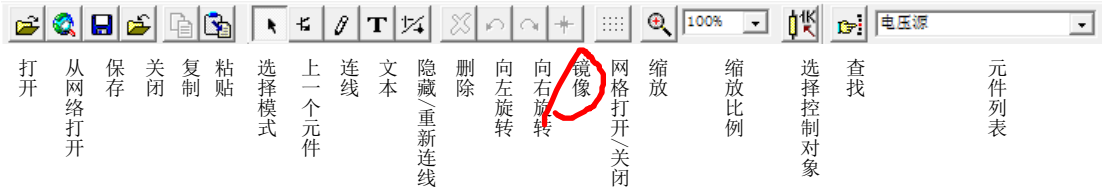


图 2 TINA-TI 程序工具栏图标按钮

打开：打开电路原理图文件、TINA 宏文件或 Spice 连线表文件。TINA 6 及以后版本的原理图文件使用.TSC 扩展名，早期版本的原理图使用.SCH 扩展名。TINA 的宏文件使用.TSM 扩展名。电路文件或 Spice 连线表文件使用.CIR 扩展名，.CIR 文件出现在连线表编辑器中，可执行大多数 TINA 分析，并可编辑或完善连线表。

从网络打开：可在网络浏览器中创建工程，只需要连接就可以直接打开点击 TSC、SCH

或 CIR 扩展名的 TINA 文件。它同样可以将 TSM、LIB 和 TLD 文件保存在合适的用户区中。TINA 可以识别出 .ZIP 文件扩展名，并帮助你选择、复制和解压缩文件。

保存：保存当前激活的电路原理图文件。对于新建的文件，保存时会自动提示输入文件名。

关闭：关闭当前激活的电路或子电路。

复制：将选中的电路部分或文本复制到剪贴板中。使用复制方法可方便地将电路图复制到 Word 文本中。

粘贴：将剪贴板内容粘贴到原理图编辑器中。内容可来源于原理图编辑器自身、TINA 图表视窗、或者其他 Windows 程序。

选择模式：~~该按钮按下，可用光标选择并拖动元件~~

上一个元件：该按钮按下，获取先前一个插入的元件信息，采用先前同样的参数并作为另一副本插入。

连线：该按钮按下，在电路原理图中绘制电连接线。

文本：为原理图和分析结果添加注释。

隐藏/重新连线：放置或移除在交叉电连接线或线与元件的连接点。

删除：删除激活的目标。

向左旋转及向右旋转：将选中的元件或符号进行旋转。向左旋转的快捷键为【Ctrl+L】，向右旋转的快捷键为【Ctrl+R】。

镜像：将选中的元件进行水平镜像翻转。

网格打开/关闭：打开或关闭电路图编辑窗口中的栅格显示。

缩放：该按钮按下，在当前视图中点击鼠标左键进行放大。

缩放比例：可选的缩放比例从 10% 到 200%。选择【放大所有】将有效图表放大到全屏。

选择控制对象：点击元件可查看或修改其参数。

查找：以名称方式来查找元件。输入的检索字符可在元件名称的开始、结束或任意位置中的字符。

元件列表：可从某一列表中选择元件。

3. 元件库：

TINA-TI 为用户提供了比较丰富基本元件、测试仪器及大量的 TI 公司制造的器件。根据不同类型将元件分为 5 个器件库和 1 个仪表库，基本元件库如图 3 所示，基本元件工具栏提供了基本元件，如地、电池、电压源、电压发生器、无源元件（R、L、C）等。为了方便使用某些元件也重复出现在其他工具栏中。开关元件库如图 4 所示，该工具栏提供了各种类型的开关及简单型、转换型、时间和电压控制继电器。仪表元件库如图 5 所示，该工具栏提供了各种仪表、指示器和显示器。你可以在原理图中添加任意数量的此类元件。发生源库如图 6 所示，该工具栏包含模拟发生源，包含直流电压和电流源，模拟受控源。半导体库如图 7 所示，需要从目录中选择指定工业器件型号元件。制造商模型库如图 8 所示，包括众多的 TI 公司器件的 SPICE 模型。可按功能和器件编号方式选择元件。执行【视图|元件栏】菜单命令，可对元件栏进行显示与关闭操作。

电	电	电	电	电	电	电	非	耦	变	热	跨	初	初	节	节
压	电	电	电	电	电	电	线	合	压	敏	接	始	始	点	点
地	源	池	发	表	阻	器	性	电	器	电	线	条	条	设	设



图3 基本元件库

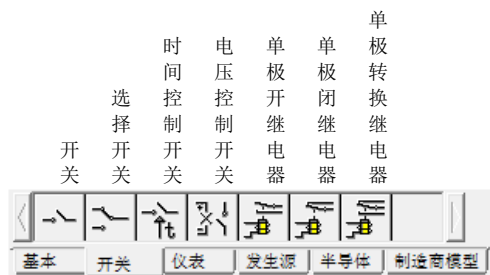


图4 开关元件库



图5 仪表元件库



图6 发生源元件库

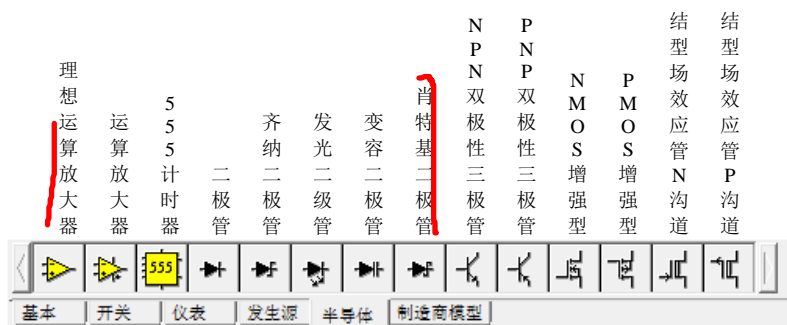


图7 半导体元件库



图8 制造商模型元件库

三、创建和编辑电路图

用 TINA-TI 创建于编辑电路图非常方便，其过程是用鼠标选取并放置元件、绘制导线，然后修改元件参数，最后对电路进行各种仿真。

1. 鼠标的使用

- (1) 鼠标右键的使用：在原理图编辑窗口中，点击鼠标右键弹出右键快捷菜单。
- ① 撤销方式：从上一操作（如：移动元件，画线）中退出。
 - ② 上一元件：返回到上一部件并重新定位。
 - ③ 自动重复：自动重复上一次执行的操作。
 - ④ 连线：切换到连线模式。在此方式下，光标变成一只笔，这样可用来绘制导线。
 - ⑤ 自动连线：鼠标置于元件引脚端自动进入连线模式。
 - ⑥ 删除：删除选定元件。
 - ⑦ 左旋、右旋、镜像翻转：对目前选定或移动的部件作旋转或镜像。也可用【Ctrl-L】或【Ctrl-R】将所选中元件进行旋转。
 - ⑧ 属性：应用此命令来编辑当前选定或正移动元件的属性（值、标签）。
 - ⑨ 编辑符号：进入原理图符号编辑器，可用来修改原理图中的某一元件原理图符号
 - ⑩ 进入宏：进入网表编辑器，可对宏进行编辑、分析等操作。
- (2) 鼠标左键的使用：在原理图编辑窗口中，使用鼠标左键可以：
- ① 选择：点击目标将选定所指目标并且撤消对其他目标的选择。
 - ② 多重选择：按住【Shift】键时用光标选择目标，可将此目标加到已经选定的目标组中。如果光标下的目标已经包含在目前选定目标组中，再次单击可将其从该组中删除。
 - ③ 块选择：如需一次选择多个目标，首先确定光标下面无任何目标。然后按住左键并拖动鼠标，创建矩形框，所有在框中的目标都会被选中。
 - ④ 移动目标：将光标定位在单个目标上，按住左键并移动鼠标即可。选中多个目标后，将光标指向其中任一物件上，按住左键并移动鼠标可移动多个目标。
 - ⑤ 参数修改：双击某个目标将显示其参数菜单，这样你可以对其中参数进行修改。

2. 光标的显示形状

在 TINA-TI 程序中根据不同的操作方式，光标可能出现的显示形状为：

- ① 箭头：在编辑视窗中选择命令时。
- ② 元件符号：在原理图窗口中插入元件或部件时，当位置未选定前，鼠标伴随着一个箭头和小方框，可用鼠标控制其移动。
- ③ 画笔：当定义绘制的导线起点时。
- ④ 可伸缩的线：当定义导线终点或输入输出的第二节点时。
- ⑤ 可伸缩的方框：用于一个方框的第一点已被固定好之后。
- ⑥ 虚线方框：用于元件标签或文本框定位时。
- ⑦ 放大镜：用于定义缩放窗口时。

3. 计量单位

当为电子元器件设置参数或指定数值时，你可以使用标准的电子符号缩写。例如，输入1k(欧姆)代替1000(欧姆)。比例因子缩写要跟随数值之后，例如：2.7k、3.0M、1u等。代表各比例因子的符号如表3所示。

表 3 比例因子的符号


符号	T	G	M	k	m	u	n	p
比例因子	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
名称	太(tera)	吉(giga)	兆(mega)	千(kilo)	毫(milli)	微(micro)	纳(nano)	皮(pico)

注意：

必须小心区别字母大小写(如: M≠m), 且选定的字母必须紧跟在数值后面不能有空格(例如1k或5.1G), 否则TINA将视其为出错。

4. 放置电路元器件

在设计电路时, 首先选择元件库类型标签, 然后根据要求点击元件的图标选取元件, 确认所需的元件后, 光标呈手指状, 并粘附元件的阴影图形, 按下数字小键盘【+】或【-】键可旋转元件, 按【*】键可镜像翻转元器件。用鼠标将移入原理图编辑窗口中, 点击鼠标左键, 元件符号的引脚锁定在最近的栅格点上。

元件放置后也可通过使用工具按钮或鼠标右键快捷菜单对选中的元器件进行旋转、镜像翻转等操作。

当元器件放置完成后, 双击元件符号, 在弹出的参数设置对话框中可对元件参数进行修改或设定。输入数值时, 可使用从 10^{-12} 到 10^{12} 的整数幂缩写。如: 1K 代表 1,000。

TINA 会自动为放置在原理图中的每个元件分配一个标签。并显示元件主要参数的数值(例如: R4 10k)。注意: 只有当视图菜单里的数值选项被选中, 标签的数值才会显现。

5. 绘制导线

绘制导线, 可点击工具栏连线按钮, 或执行【插入|连线】菜单命令, 或使用快捷键【空格】, 光标会变成一支画笔。按住鼠标左键选择电线起点, 拖曳画笔水平或垂直方向绘制导线, 释放鼠标左键结束导线绘制。当在元件的两个端点间绘制导线时, 可将光标直接移动到元件端点, 光标会变成一支画笔, 然后将光标移动到元件的另一端点, 即可完成连线。

激活已绘制的导线可对其进行调整或将其删除。

6. 输入和输出设置

电路图若未选定输入和输出端, 某些分析类型不能执行。输入、输出确定了在哪里获得激励, 哪里获得响应。输出端的选择也决定了在所选分析模式中会出现何种波形。发生源和发生器可被设置为输入端, 而仪表可被设置为输出端。然而, 在计算 AC 传输曲线和函数时, 仪表也能用来决定输入量的位置。为增加灵活性, 在几乎任何位置都可以通过执行【插入|输入端】和【插入|输出】菜单命令来建立输入或输出端。

7. 绘制电路图

由 TI 公司的 OPA121 运算放大器构成反相放大电路如图 9 所示, 现对该电路简述绘制其过程。

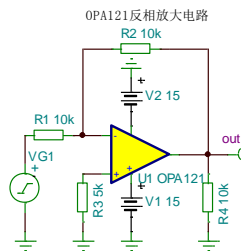


图 9 OPA121 反相放大电路

① 执行【视图|选项】菜单命令, 在弹出的编辑器选项对话框中的元件符号设置成欧洲, 这样在电路图中所放置的元件符号较符合国标图形符号的要求。

② 从基本元件库中选取“地”、“电池”、“电阻”、“电压发生器”放置到电路图编辑窗口中；从制造商模型元件库中点击运算放大器元件组，弹出如图 10 所示的运算放大器型号对话框，选取“OPA121”放置到电路图编辑窗口中。也可以通过点击工具栏中的“查找”命令按钮，在如图 11 所示的查找元件对话框中输入“OPA121”后，点击【搜索】按钮，然后点击【插入】按钮，将“OPA121”放置到电路图编辑窗口中；从仪表元件库中选取“电压指针”放置到电路图编辑窗口中，用于定义仿真电压输出端。到此电路所有的元件放置完成。

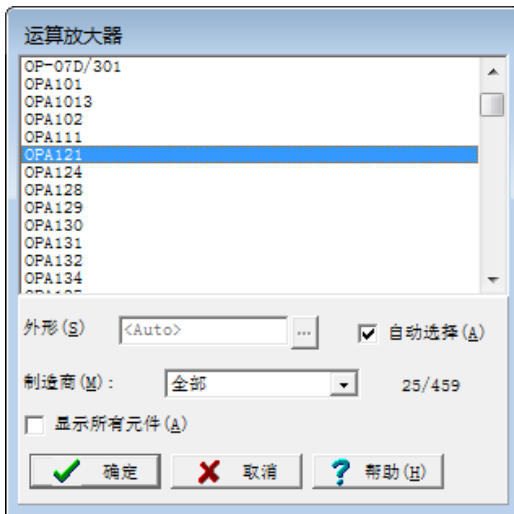


图 10 运算放大器型号对话框

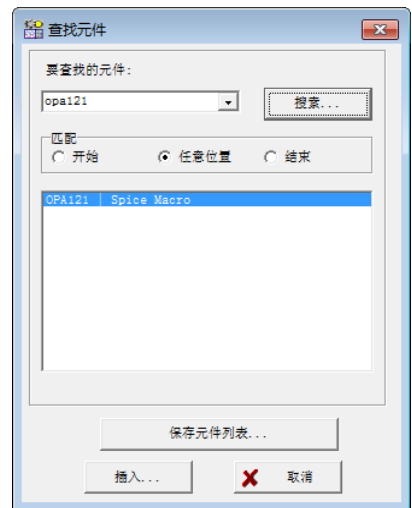


图 11 所示的查找元件对话框

③ 采用前述的绘制导线的方法，绘制连接电路的导线。

④ 双击电路图中的 R1 电阻符号弹出如图 12 所示的电阻参数对话框，修改 R1 的电阻值为 10k。采用同样的方法修改 R2、R4 的电阻值为 10k，R3 的电阻值为 5k；双击 V1 和 V2 电池符号修改直流电压值为 15V；双击 VF1 电压指针，点击【标签】栏将 VF1 修改成 out；双击 VG1 电压发生器，弹出如图 13 所示的电压发生器设置对话框，系统默认的输出单元阶跃信号，点击信号栏，然后点击右侧【...】弹出信号编辑器对话框，点击对话框中的正弦波图形按钮，弹出如图 14 所示的正弦波设置对话框，修改信号频率为 10kHz 后，在信号编辑器对话框中点击【确定】按钮，在电压发生器设置对话框点击【确定】按钮。

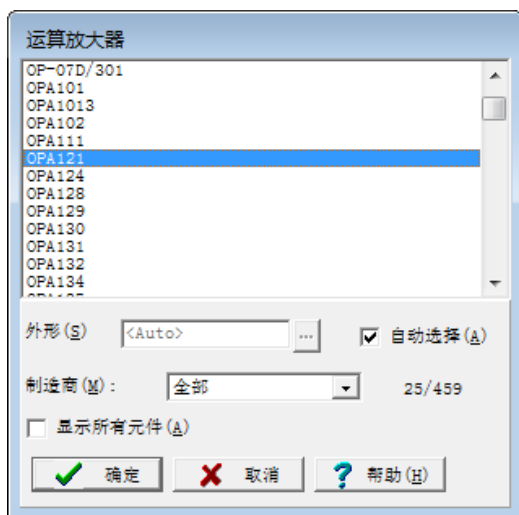


图 10 运算放大器型号对话框

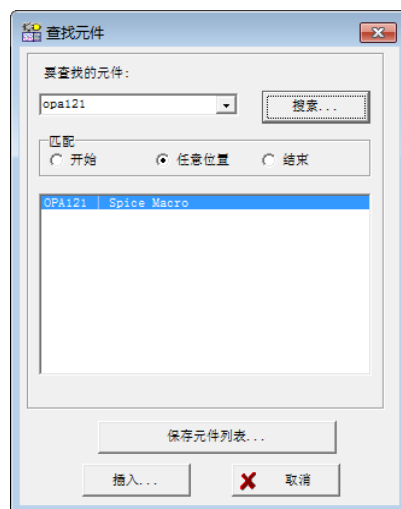


图 11 所示的查找元件对话框

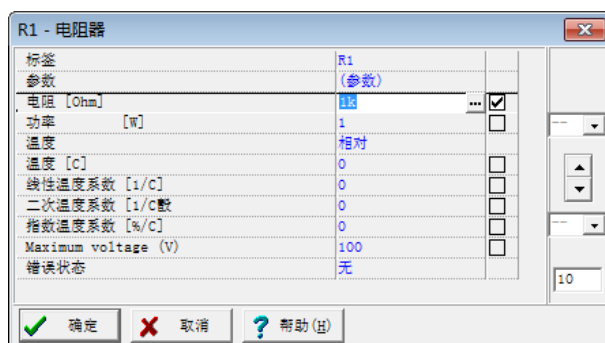


图 12 所示的电阻参数对话框

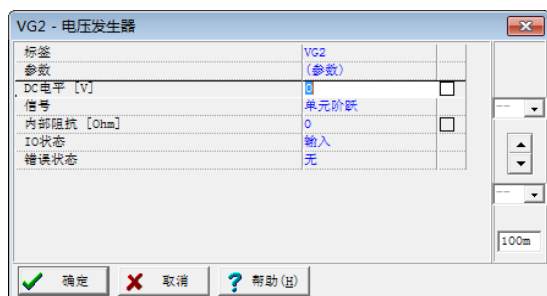


图 13 所示的电压发生器设置对话框

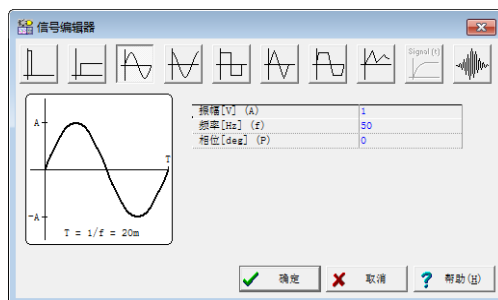




图 14 所示的正弦波设置对话框

⑤ 点击工具栏中的“文本”图标按钮，弹出如图 15 所示的文本编辑对话框输入“OPA121 反相放大电路”。点击文本编辑对话框右侧  按钮，可修改字形、字体、颜色等，点击  按钮，出现快捷菜单，修改边框为“无”。点击对话框中的【确定】按钮将文本定位并放置在电路图中。

⑥ 完成电路图编辑后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查，弹出如图

16 所示的电气规则检查对话框，检查所创建的电路完全性与正确性。如果电路存在问题，会在对话框中列出所有警告或错误信息。如果点击其中一个错误信息，相关元件或连线会在电路图中高亮显示。

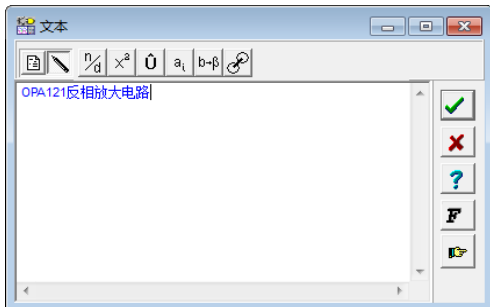


图 15 文本编辑对话框

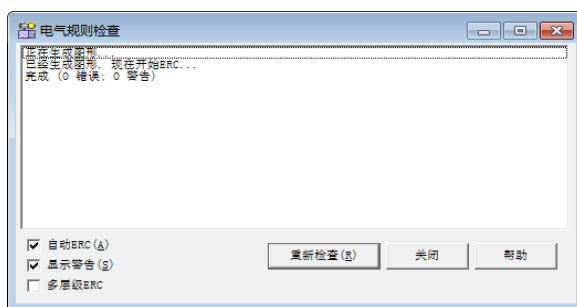


图 16 电气规则检查对话框

⑦ 电气规则检查完成后，保存电路文件。新建文件的文件名默认为“未命名”，点击工具栏保存按钮，弹出保存电路图对话框，修改文件名，例如将电路命名为“OPA121.TSC”（.TSC 后缀会自动添加）。也可通过执行另存为命令保存电路。

⑧ 电路图保存完成后，还可以采用多种方式编辑该电路。例如调整元件位置、旋转参数文字等。

8. 分析选项设置

TINA-TI 软件提供了多种分析模式和选项。当电路仅包含模拟元件时，分析方式是模拟的。元件也是使用模拟模型来建模。

设置分析选项，执行【分析|选项】菜单命令，弹出如图 17 所示的分析选项对话框，在“常规”标签页中可以设置各种分析参数。在“REC”标签页中可以设置电气规则检查矩阵入口等。关于参数与选项的含义与设置方法可通过点击对话框中【帮助】按钮得到更多的信息。

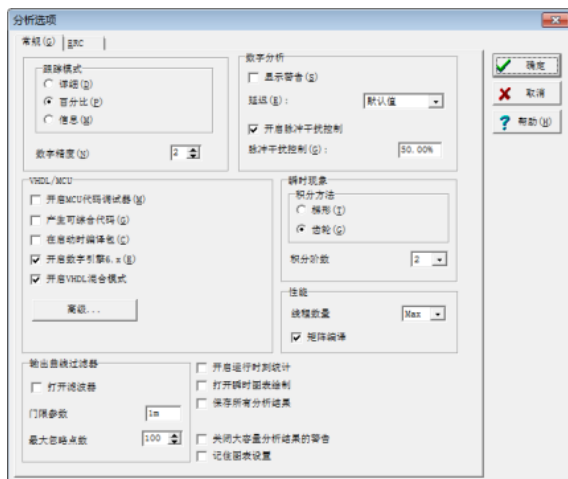


图 17 分析选项对话框

9. 分析电路

TINA-TI 软件提供了直流分析、交流分析、瞬时现象、稳态求解法、傅立叶分析及噪

声分析等多种电路分析方法。

(1) 直流分析

① 计算电路节点电压：执行【分析|直流分析|计算节点电压】菜单命令，在 Out 引脚这点显示的电压为 10.59uV，同时在电路图编辑窗口中出现一个探针外形光标，移动该探针可测试所有节点的电压。探针放置在运放的正电源引脚处的显示状态如图 18 所示。

② 电路的直流分析结果：执行【分析|直流分析|直流结果表】菜单命令，电路图编辑窗口如图 19 所示显示直流电压/电流结果表。

③ 直流传输特性：执行【分析|直流分析|直流传输特性】菜单命令，出现如图 19 所示的直流传输特性对话框，设置起始值为-15，终止值为 15，点击【确定】按钮后，出现如图 20 所示的电路输入/输出电压传输曲线。

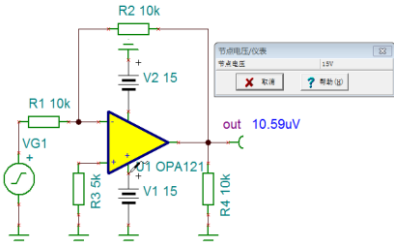


图 18 电压探针的使用

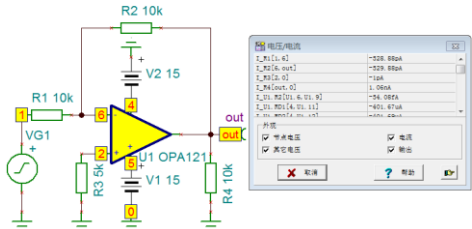


图 19 直流电压/电流结果显示

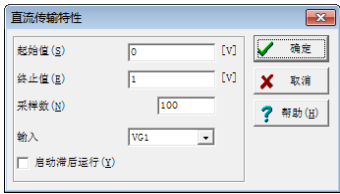


图 19 直流传输特性对话框

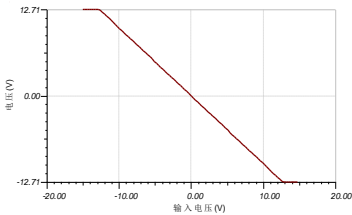


图 20 电路输入/输出电压传输曲线

④ 温度分析：执行【分析|直流分析|温度分析】菜单命令，出现如图 21 所示的温度分析对话框，设置起始温度为 0，终止温度为 200，点击【确定】按钮后，出现如图 22 所示的温度分析曲线。

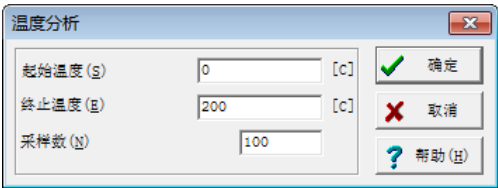


图 21 温度分析对话框

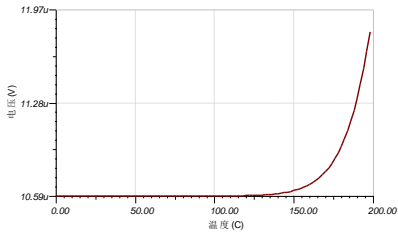


图 22 温度分析曲线

(1) 交流分析

① 计算节点电压：执行【分析|交流分析|计算节点电压】菜单命令，在 Out 引脚这点显示的电压为 707.09mV ms，同时在电路图编辑窗口中出现一个探针外形光标，移动该探针可测试所有节点的电压。探针放置在运放反相输入端处的显示状态如图 23 所示。

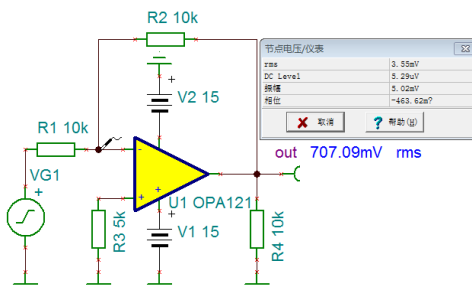


图 23 运放反相输入端处节点交流电压

② 电路的交流分析结果：执行【分析|交流分析|交流结果表】菜单命令，电路图编辑窗口显示如图 19 类似的交流电压/电流结果表。

③ 交流传输特性：执行【分析|交流分析|交流传输特性】菜单命令，出现如图 24 所示的 AC 传输特性对话框，设置起始频率为 10k，终止频率为 100M，勾选【振幅和相位】项，点击【确定】按钮后，出现交流传输特性曲线，为了使幅频特性和相频特性两种不同的曲线用独立的坐标系查看，在曲线显示视窗中，执行【视图|分离曲线】菜单命令，出现如图 25 所示的交流传输特性曲线，两个曲线在单独图表中显示，上方为幅频特性，下方为相频特性。



图 24 AC 传输特性对话框

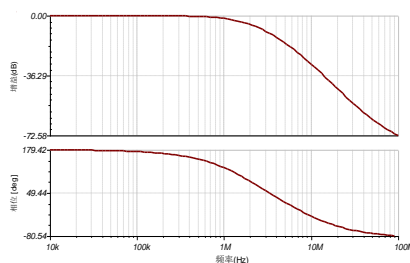


图 25 交流传输特性曲线

(3) 瞬态分析

瞬态分析：执行【分析|瞬态现象】菜单命令，出现如图 26 所示的瞬态分析对话框，设置起始显示为 0，终止显示为 200u，点击【确定】按钮后，出现如图 27 所示的输入输出单独显示的瞬态分析曲线。



图 26 瞬态分析对话框

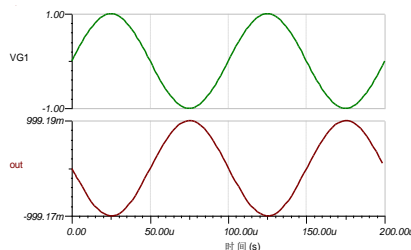


图 27 瞬态分析曲线

(4) 稳态求解法

稳态求解法：稳态求解法的最初用途是寻找 SMPS（开关模式电源） 的稳态电路，但可以用在其他的电路。执行【分析|稳态求解法】菜单命令，出现如图 28 所示的稳态分析

对话框，设置最大查找时间为 10m，最终检查时间为 100u，最后精确度为 10m，点击【确定】按钮后，出现如图 29 所示用瞬态分析搜索稳态的分析曲线。

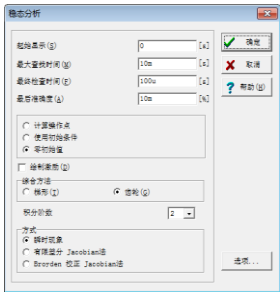
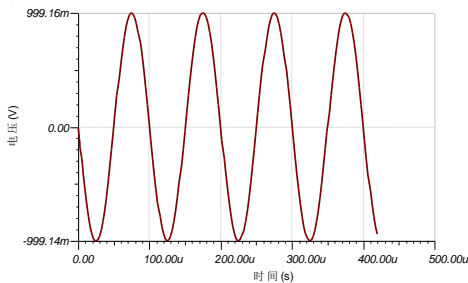


图 28 稳态分析对话框图



29 用瞬态分析搜索稳态的分析曲线。

(5) 傅立叶分析

傅立叶级数：暂态响应的频率域特性可使用傅立叶分析来检测。傅立叶级数是通过计算输出时间函数的傅立叶级数，然后从傅立叶系数计算失真度获得。谐波失真按百分比%单位显示。执行【分析|傅立叶分析|傅立叶级数】菜单命令，出现如图 30 所示的傅立叶级数对话框，设置分析参数后点击【计算】按钮，出现如图 31 所示的计算后的傅立叶级数图。

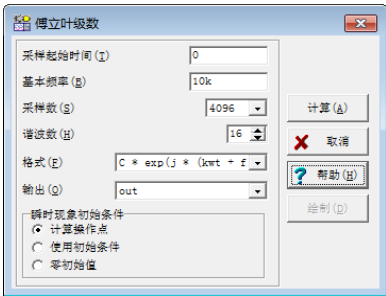


图 30 傅立叶级数对话框

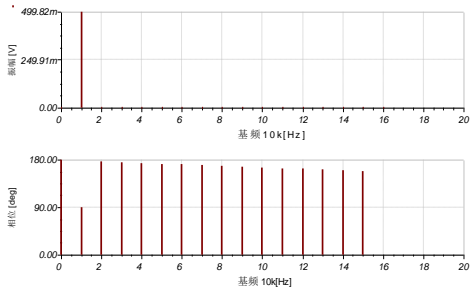


图 31 计算后的傅立叶级数图

(6) 噪声分析

给电路能测量或放大的最小信号幅度由电路元件里产生的自然波动决定。这些自然波动就叫做噪声。噪声通常在频率范围的所有分段都有能量。

TINA 计算电路元件产生的噪声然后在输出端呈现。随机噪声波动按统计的方式分析，并考虑时域的平均值为零，而偏差以及平方和不为零。噪声分析结果和交流分析中的波特 e 图一样可以在一个频段内进行显示和打印。

噪声分析：执行【分析|噪声分析】菜单命令，出现如图 32 所示的噪声分析对话框，设置起始频率为 1，终止频率为 10M，点击【确定】按钮后，出现如图 33 所示的输出噪声曲线。

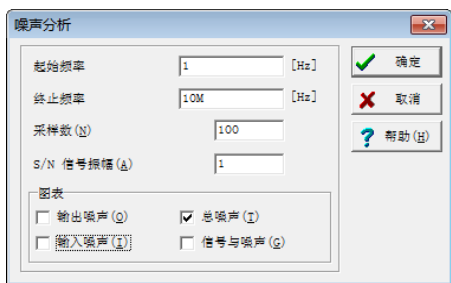


图 32 噪声分析对话框

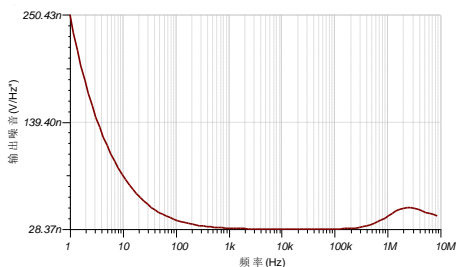


图 33 输出噪声曲线

四、使用虚拟及实时仪器测试电路

TINA-TI 不仅可使用发生器和分析视窗，也可以使用虚拟和实时测量来测试和调整电路。选取 T&M 菜单在屏幕上放置逼真的可缩放虚拟仪器，自动取代发生器和分析视窗。如同现实中的实验室一样，通过对控制这些仪器的设置，并立即查看结果。

示波器：对于图 9 所示的 OPA121 反相放大电路采用示波器显示波形，需在“电压发生器”的导线上放置一个“电压指针”并将其命名为“in”后，执行【分析|REC】菜单命令，再次进行电气规则检查，然后执行【T&M|示波器】菜单命令，点击示波器中的【RUN】按钮，示波器立即显示“in”端的波形，点击通道 channel 可选择在电路图中已放置电压指针端的电压波形。图 34 为同时显示输入“in”和输出“out”端的电压波形图。点击示波器中的【Auto】按钮，将电压值的显示自动缩放到合适的幅度。

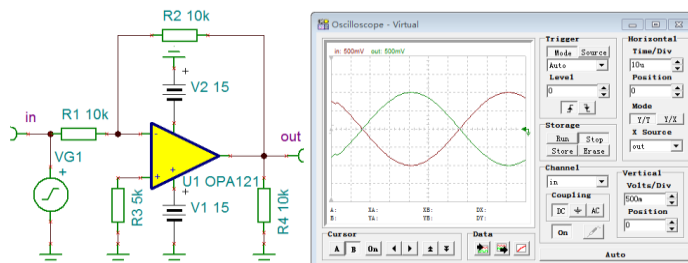


图 34 同时显示“in”和“out”端的电压波形图

函数发生器：若要使用“函数发生器”可执行【T&M|函数发生器】菜单命令，在电路图窗口中显示原已放置的“电压发生器”的参数，如要修改“电压发生器”的参数现在可以在函数发生器仪器中直接进行修改，点击右侧的【Freq】按钮可在 parameters 栏中修改输入频率，点击【Ampl】按钮可在 parameters 栏中修改输入幅度。然后点击函数发生器【Start】按钮，并使示波器处于【RUN】状态，即在示波器中显示函数发生器设置所对应的波形。例如设置函数发生器输出幅度为 5mV，频率为 1kHz 的三角波，示波器显示如图 35 所示的输入输出波形。

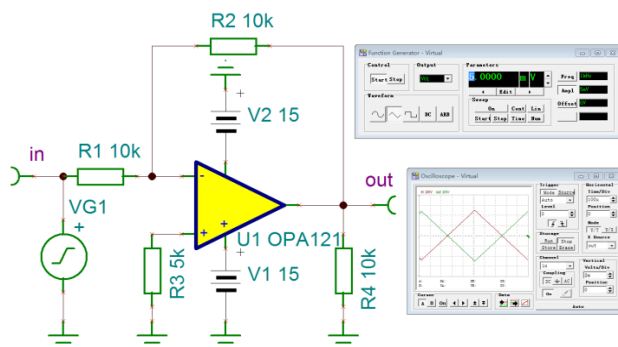
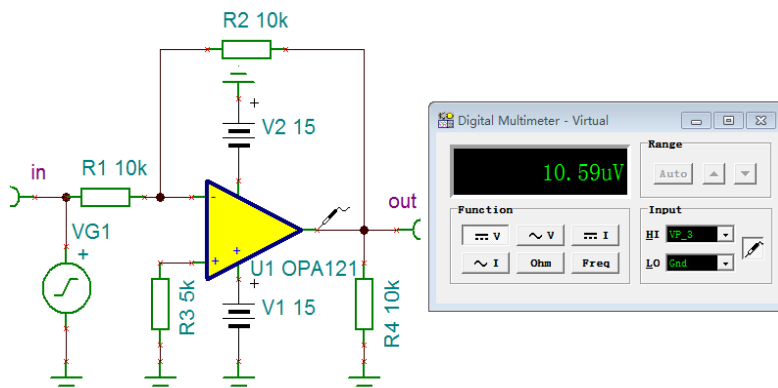


图 35 函数发生器输出 5mV， 1kHz 三角波的输入输出波形

万用表：若要使用万用表，可执行【T&M|万用表】菜单命令，在电路图窗口中显示万用表，点击右侧的【探针】按钮，如图 36 所示放置到电路图中的运算放大器的输出端，在万用表中显示该点的直流静态电压为 10.59uV。



36 万用表显示运放输出端静态电压

信号分析仪：若要使用信号分析仪，可执行【T&M|信号分析仪】菜单命令，在电路图窗口中显示信号分析仪，对于函数发生器中的设置，点击信号分析仪中的【Start】按钮，信号分析仪如图 37 所示显示电路输出的幅频特性。

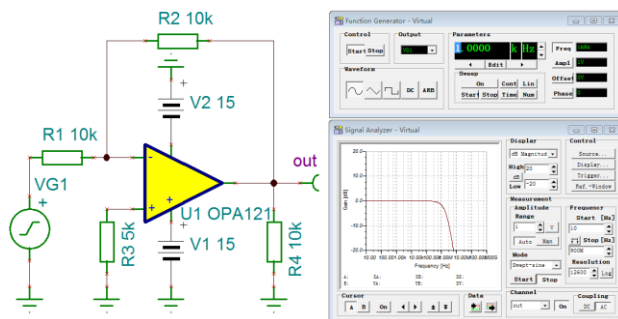


图 37 信号分析仪显示电路输出的幅频特性

XY 记录器：XY 记录器用以记录两个变量间的关系。用 XY 记录器显示同相比较器迟滞电路如图 38 所示。

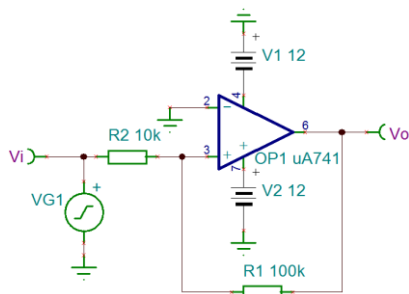


图 38 用 XY 记录器显示同相比较器迟滞电路

电路图中的 uA741 可点击半导体库标签中的运算放大器图标按钮，将运算放大器放置到电路图编辑窗口，然后双击!OPAMP 运算放大器图形，弹出如图 39 所示的运算放大器型号选择对话框，点击类型栏后的【…】按钮，出现目录编辑器对话框，如图 40 所示从中选取 uA741 运算放大器，其模型需采用【Standard】。若通过点击工具栏中的“查找”命令按钮将 uA741”放置到电路图编辑窗口中的方法，也需双击 uA741 运算放大器图形，在弹出的对话框中的类型栏后，点击【…】按钮，将 uA741 运算放大器的模型选为【Standard】如图 40 所示。

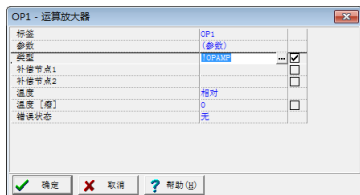


图 39 运算放大器型号选择对话框



图 40 所示的目录编辑器对话框

确认或修改信号源的错误状态，双击 VG1 “电压发生器”在弹出的电压发生器参数对话框中如图 41 所示，将错误状态参数修改为“无”。

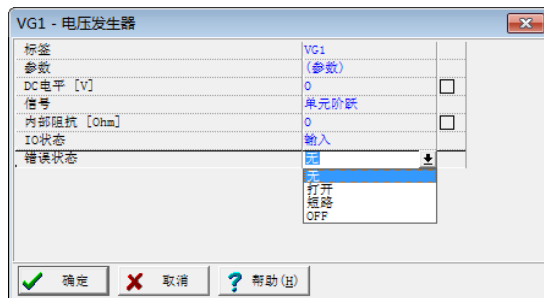


图 41 将错误状态参数修改为“无”

电路图绘制完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。然后执行【分析|直流分析|直流传输特性】菜单命令，进行直流传输特性，在直流传输特性对话框中设

置起始值为-5，终止值为 5，采样点数为 200。点击【确定】按钮后，出现如图 42 所示的电路输入/输出电压传输曲线。再次进行直流传输特性，在直流传输特性对话框中设置起始值为 5，终止值为-5，保持采样点数为 200。点击【确定】按钮后，出现如图 43 所示的电路输入/输出电压传输曲线。

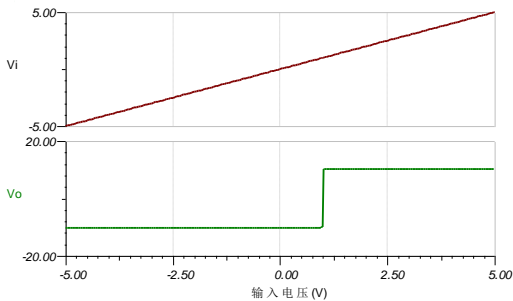


图 42 -5~5V 的电压传输特性曲线

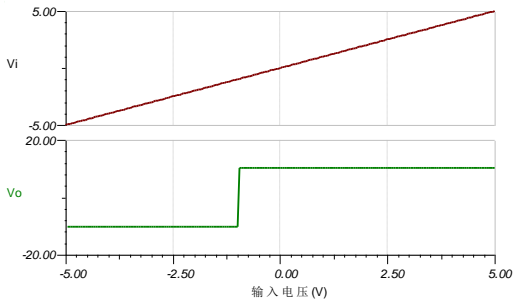


图 43 5~-5V 的电压传输特性曲线

直流传输特性分析完成后，执行【T&M|函数发生器】菜单命令，在电路图窗口中放置函数发生器。如图 44 所示设置函数发生器参数，点击【Waveform】中的【DC】按钮，使函数发生器输出直流电压信号，然后点击【Sweep】中的【Start】按钮，在【Parameters】窗口中起始值设置为-5.0000V；点击【Stop】按钮，在【Parameters】窗口中起始值设置为 5.0000V。即扫描输入从-5~5V。点击【Sweep】中的【On】按钮，激活扫描状态。此时点击【Control】中的【Start】按钮，函数发生器输出所设置的-5~5V 的直流电压，在函数发生器右侧的【Offset】窗口中循环显示-5V~5V 电压值，函数发生器同步输出-5~5V 的直流电压。至此函数发生器设置完成。

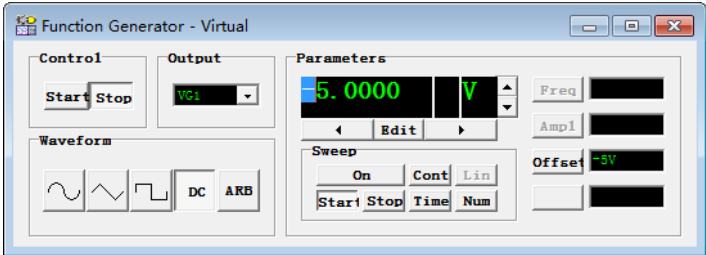


图 44 所示设置函数发生器参数

执行【分析|设定分析参数】菜单命令，出现分析设置对话框，点击对话框右下侧的“手型”按钮，弹出快捷菜单，点击【打开】菜单命令，出现如图 45 所示的载入参数对话框，从中选取“DC Convergence of nonlinear circuits.PRM(非线性电路的直流收敛)”项并

点击【打开】按钮载入。

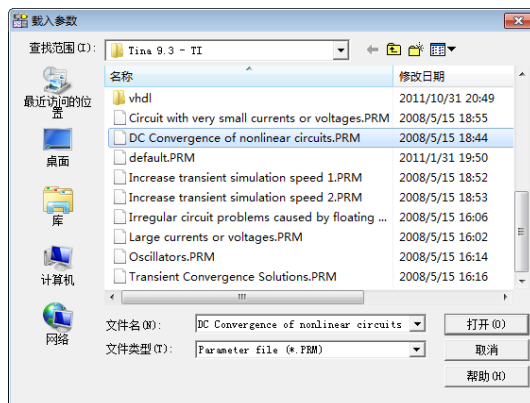


图 45 载入 DC Convergence of nonlinear circuits 参数对话框

执行【T&M|XY 记录器】菜单命令，在电路图窗口中放置 XY 记录器；设置 XY 记录器参数，将【Y Channel】设置成【Vo】，即 XY 记录器的 X 通道输入 V_i ，Y 通道输入 V_o 信号。在【Control】栏中点击【Start】按钮，当函数发生器输出两个周期后，XY 记录器如图 44 所示的输入电压与同相比较器迟滞回线波形。点击【Stop】按钮停止输出，然后点击【Data】栏中的右侧图标按钮，出现如图 45 所示的图表窗口。在图表窗口执行【视图|分离曲线】菜单命令，出现如图 46 所示的分离曲线图形。

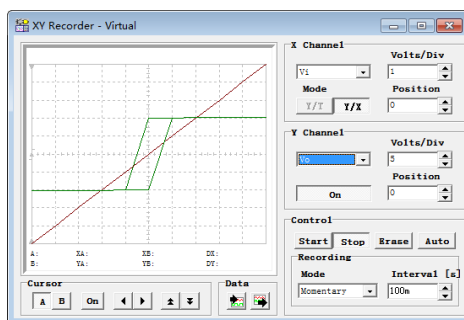


图 44 输入电压与同相比较器迟滞回线波形

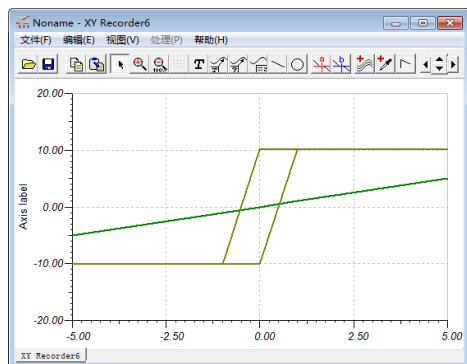


图 45 图表窗口显示传输特性

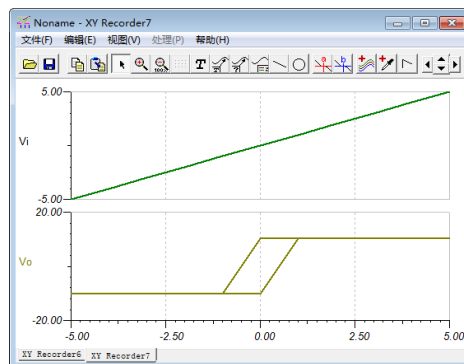


图 46 分离后的曲线图形

五、文本对话框

使用 TINA-TI 的文本对话框可以为原理图、图表和图形输出添加文本注解和公式，对设计电路进行描述或输入任意函数。执行【插入|文本】菜单命令，出现如图 47 所示文本

对话框，可在对话框中创建文本对象或编辑已存在的文本对象。该对话框工作有两种模式。在编辑模式下，可以书写，修改文字，或使用表达式插入数学公式。而在视图模式下，可以查看将在原理图编辑器或图表窗口中显示的文字样式。文字对话框中的工具栏按钮的功能如表 3 所示。例如显示 $I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_g [A]$ ，可在文本对话框书写：

$I=f(i(R,1),i(R,2)+i(R,1))*I_g[A]$ 。例如在用文本编辑器创建与德州仪器中国官方网站的超级链接，可在文本对话框界面中点击【链接】按钮，将文本[a\(Link,http:\\www.\)](http://www.ti.com.cn)改写成[a\(德州仪器中国官方网站,http:\\www.ti.com.cn\)](http://www.ti.com.cn)。这样就可实现在电路图编辑窗口中点击德州仪器中国官方网站文字，自动链接进入 TI 公司的中文网站。

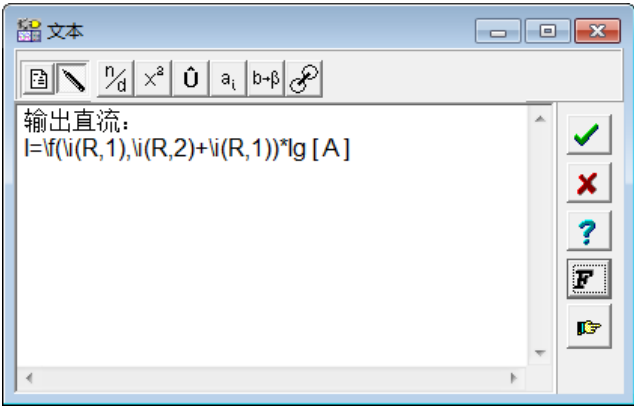




图 47 文本对话框

表 3 文字对话框中的工具栏按钮的功能

图标	名称	功能
	视图	切换到视图模式。
	编辑	切换到编辑模式。
	复制	按 wmf 及文本格式复制文本编辑器的内容到剪贴板中。
	分数	在当前光标位置插入分数。用实际的分子和分母替代字符'n'和'd'。
	指数	在当前光标位置插入指数表达式。用实际的基数和幂替代字符'x'和'2'。
	特殊字符	在当前光标位置插入特殊字符或表达式。用在正常基线位置放置的表达式代替字符'U'，并把要放在正常基线之上的表达式代替字符'^'。
	下标	在当前光标位置插入带下标的表达式。用实际的标号和下标来代替字符'a'和'i'。
	符号字体	在当前光标位置插入带符号字体的字母或表达式。用转化成符号字体的实际的字母或表达式代替字符'b'。
	链接	在当前位置插入 HTML 或者文件链接。用实际链接描述和 URL 来替代"Link"和"http:\\www."。
	确定	完成对文本编辑后，确认退出。
	取消	取消对文本编辑的操作，并退出。
	帮助	出现文字对话框的相关帮助信息

	字体	进入字体对话框，可设置字体、字形、字号、效果、颜色、字符集等参数
	快捷菜单	点击显示快捷菜单，包括常用菜单命令，文本背景、边框及属性，点击属性出现指定数学表达式在 TINA 中的显示效果对话框，可设定数学表达式的符号字体、上标相对于基数的比例大小、有多少百分数的基数能被上标重叠、分数中分子和分母的距离相对普通字体大小、在特殊表达式中有多少百分数的底部字符能被上部字符重叠等。

六、原理图符号编辑器

在 TINA-TI 中，可以使用原理图符号编辑器命令来修改原理图中的某一元件原理图符号。选择该元件，执行【编辑|符号】菜单命令，启动原理图符号编辑器。在原理图符号编辑器中可绘制线段、弧线、矩形，并可指定线宽、颜色和填充色；放置任意字体的字符。符号绘制完成后还可以添加和定义连接点。当修改某个宏或者块的符号时，修改只会影响当前正在编辑的元件实例。然后，当修改内置符号（如电阻、电压表等）时，当前的修改会直接影响以前、当前及以后在所有电路中的元件实例，并被永久地记录在 TINA 根目录中的 DEVICES.DDB 文件中。

七、新建宏

在 TINA-TI 中，除了可通过将部分电路转变为子电路来简化原理图外，还可以从任何 Spice 子回路，创建新的 TINA 元件。执行【工具|新建宏向导】菜单命令，可创建宏。宏中可以包含原理图 (*.SCH 文件) 或 Pspice 子电路(*.CIR 文件)。

八、自定义信号源

在 TINA-TI 中，一旦在电路图中放置了电压或电流发生器，双击该信号源可打开信号源参数对话框，将光标移动到对话框中的信号栏，点击鼠标即可见信号栏的右侧出现【...】按钮，点击【...】按钮可进入信号编辑器。在信号编辑器中，除了可选取脉冲、阶跃、正弦、余弦、方波、三角波、梯形波电压或电流发生器外，还可或修改这些信号源的参数，甚至通过波形解释器创建用户定义信号，并允许检查电路对于任何种类激励的响应。用户自定义波形主要有：

① 自定义分段线性源：选择分段线性，以使用时间和数字比例因子指定用以描述波形的时间-电压/电流对。例如自定义如图 48 所示的分段线性源，可如图 48 所示设置参数。

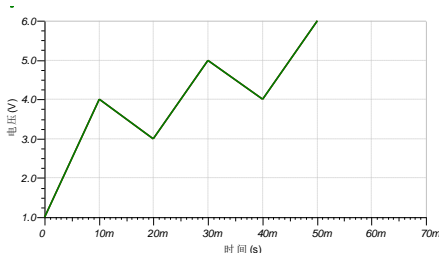


图 48 自定义分段线性源波形

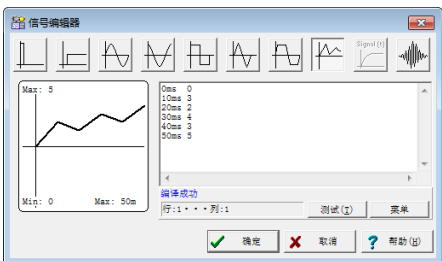


图 49 分段线性参数设置

② 创建用户自定义激励 (TINA-TI 不可用)：先在电路中插入电压或电流发生器并将发生器的信号参数设定为用户自定义。当出现信号编辑器时，你就可创建信号了。例如定义指数信号，可在波形解释器输入：

```
Function Signal(t);
Begin
Signal := 1-exp(-t/1e-6);
End;
```

③ WAV 波形激励：发生器的输出可以用波形文件定义。该波形可以是单声道或是立体声。如果是立体声文件，你必须设置左右通道。如果你选中重复选项，波形会被不断重复。并可通过媒体播放器预听波形文件。

六、TINA-TI 应用实验

TINA-TI 软件可用于对分立元件、集成电路件组成的各种电路进行仿真分析与电路设计。以下对电路原理、模拟电子技术等电路的仿真举例，使用户进一步熟悉软件的功能，提高软件的应用能力。

1. 正弦稳态电路中的功率传输

绘制如图 48 所示的简单 Z 网络电路。电压发生器、电阻、电容及电感取自基本元件库标签中的相应元件，欧姆表取自仪表元件库标签中的欧姆表。电路绘制完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

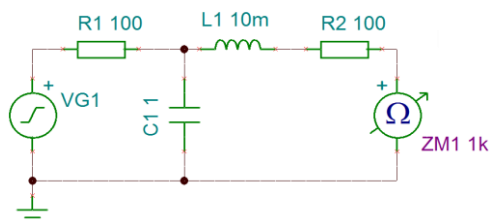


图 48 简单 Z 网络电路

设置电路中的连线属性。双击 R2 与欧姆表正极端之间的导线，出现如图 49 所示的连线属性对话框，在对话框中的 ID 右侧输入“out”，作为该连线 ID 标号，点击【确定】按钮后放置连线标号的电路图如图 50 所示。

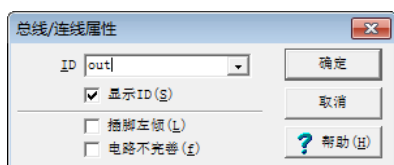


图 49 设置连线 ID 标号

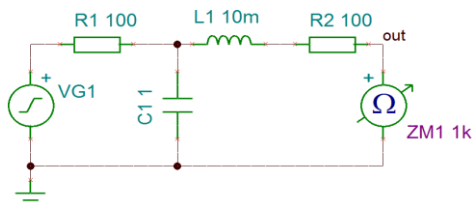


图 50 放置连线标号完成后的电路图

① 用欧姆表查看电路的阻抗：执行【分析|交流分析|计算节点电压】菜单命令，电压源短路，电路图编辑窗口的欧姆表附近显示如图 51 所示的等效电阻为 118.1ohms。并出现电压探针，将其在“欧姆表”上双击，弹出如图 52 所示的节点电压/仪表框。在框中显示阻抗、相位、虚数阻抗等信息。

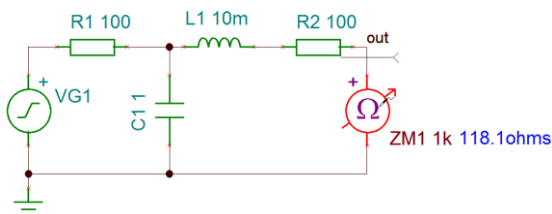


图 51 “欧姆表”附近显示等效电阻

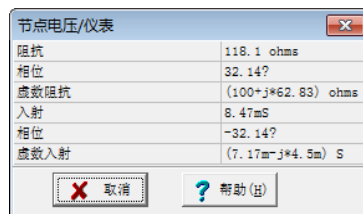


图 52 节点电压/仪表框显示信息

② 伏特表的使用：从仪表元件库标签中取出伏特表替换欧姆表。并如图 53 所示设置电压发生器参数，输出幅度为 10V，频率为 50Hz 的正弦波。执行【分析|交流分析|计算节点电压】菜单命令后，电压探针在电压表上双击，在节点电压/仪表框中显示如图 54 所示的分析结果。

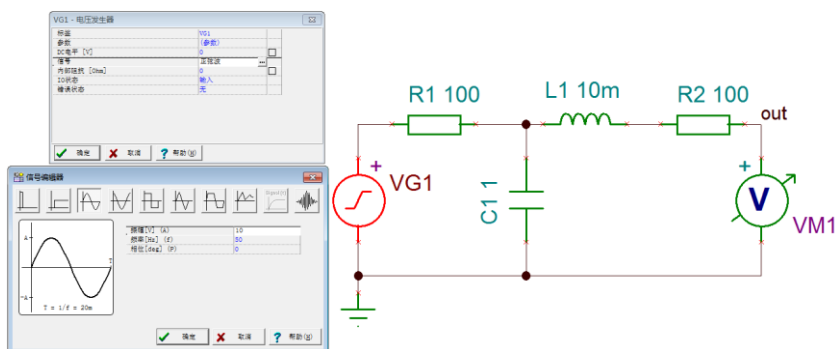


图 53 设置电压发生器参数



图 54 在节点电压/仪表框中显示的分析结果

③ 功率表的使用：从仪表元件库标签中取出功率表替换欧姆表。并如图 55 所示修改电路。执行【分析|交流分析|计算节点电压】菜单命令后，在功率表附近显示有功功率为 125.05pW。用电压探针在功率表上双击，在节点电压/仪表框中显示分析结果。

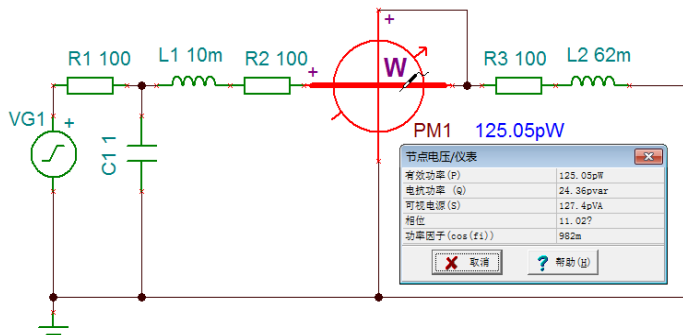


图 55 采用功率表测量电路及分级结果

2. 基尔霍夫定律

绘制如图 56 所示的基尔霍夫定律验证电路，电压源 $E1=42V$ 、 $E2=21V$ ，电阻 $R1=12\Omega$ 、 $R2=3\Omega$ 、 $R3=6\Omega$ 取自基本元件库标签中的相应元件，电流箭头 AM1、AM2、AM3 取自仪表元件库标签中的电流箭头。电路绘制完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

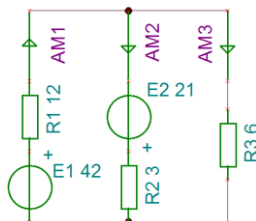


图 56 简单的基尔霍夫定律验证电路

① 电路的直流分析结果：执行【分析|直流分析|直流结果表】菜单命令，电路图编辑窗口如图 57 所示显示直流电压/电流结果表。

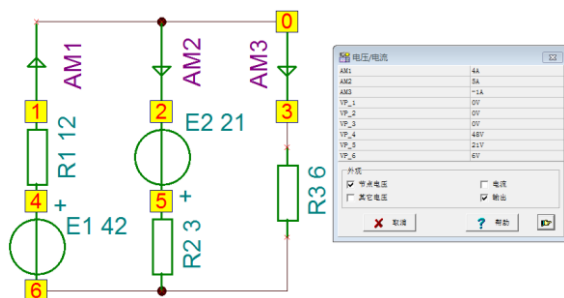


图 57 直流电压/电流结果表

3. 叠加原理

绘制如图 58 所示的叠加原理验证电路，电压源 $V1=12V$ 、 $V2=6V$ ，电阻 $R1=R3=R4=510\Omega$ 、 $R2=1k\Omega$ 、 $R5=330\Omega$ 取自基本元件库标签中的相应元件，电流箭头 AM1、AM2、AM3 取自仪表元件库标签中的电流箭头，SW1 和 SW2 取自开关元件库标签中的选择性开关。电路绘制完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

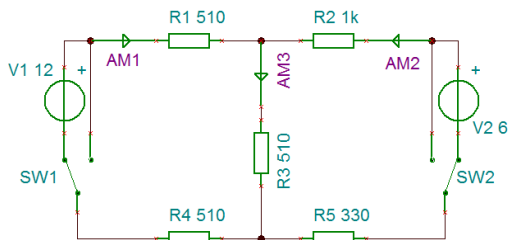


图 58 叠加原理验证电路

① 电压源 $V1$ 接入， $V2$ 不接入的电路直流分析结果：执行【分析|直流分析|直流结果表】菜单命令，电路图编辑窗口如图 59 所示显示直流电压/电流结果表。

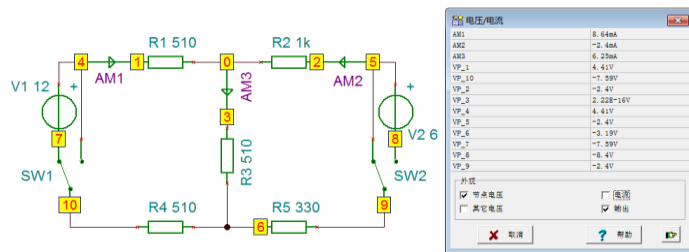


图 59 电压源 V1 接入，V2 不接入时的直流电压/电流结果表

② 电压源 V1 不接入，V2 接入的电路直流分析结果：执行【分析|直流分析|直流结果表】菜单命令，电路图编辑窗口如图 60 所示显示直流电压/电流结果表。

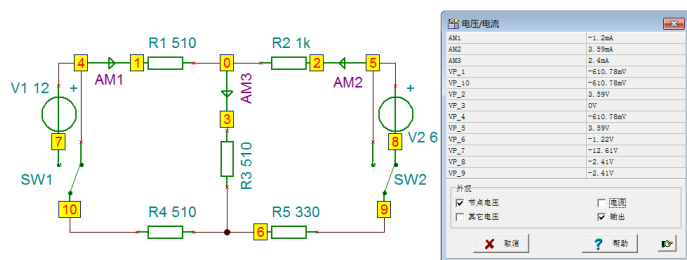


图 60 电压源不 V1 接入，V2 接入时的直流电压/电流结果表

③ 电压源 V1 和 V2 同时接入的电路直流分析结果：执行【分析|直流分析|直流结果表】菜单命令，电路图编辑窗口如图 61 所示显示直流电压/电流结果表。

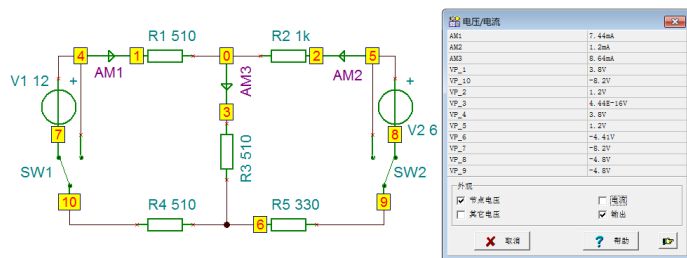


图 61 电压源 V1 和 V2 同时接入时的直流电压/电流结果表

4. 支路电流法

绘制如图 62 所示的支路电流法的分析电路，电阻 $R1=10\Omega$ 、 $R2=4\Omega$ 、 $R3=3\Omega$ 、 $R4=6\Omega$ ，欲使电路中显示电阻阻值及单位，可双击电阻在出现的电阻器属性对话框中如图 63 所示，设置标签栏中 R1 改写为 R1 10 Ω ；将电阻[ohm]栏中后部方框中的勾取消，即不显示阻值。电流箭头 I1、I2 取自仪表元件库标签中的电流箭头，双击电流箭头在属性对话框将标签中的 AM 修改成 I；开路符号自仪表库标签中的开路，电压源 V1=3V、电流源 I1=2A，并通过各自的属性对话框修改标签。元件标签显示方向可通过激活电路图中相应的元件标签，执行右键快捷菜单命令进行左右旋转或镜像反转来完成。电路绘制完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

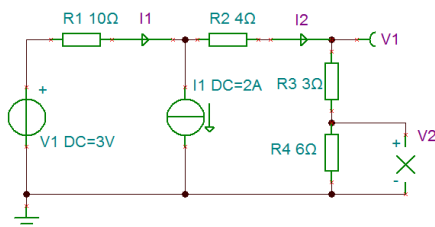


图 62 支路电流法分析电路



图 63 修改电阻器标签

① 电路的直流分析结果：执行【分析|直流分析|计算节点电压】菜单命令，电路显示如图 64 所示的节点电压与支路电流。

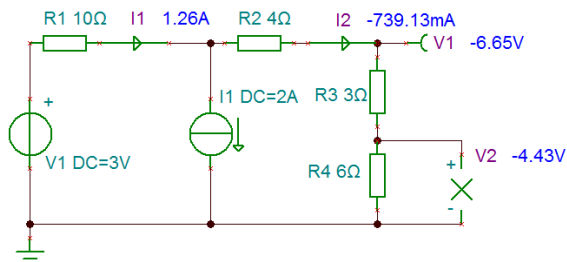


图 64 显示指定的节点电压与支路电流

5. RC 积分电路

绘制如图 65 所示的 RC 积分电路，修改各元件的属性，如图 66 所示设置输入信号 VGI 的幅度为 1V，频率为 50Hz 的方波信号。电路绘制及元件参数设置完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

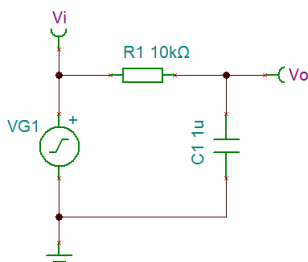


图 65 RC 积分电路

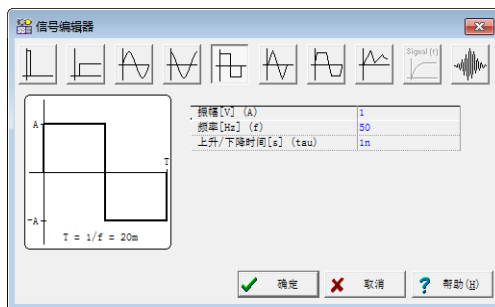


图 66 设置方波信号。

① 电路的瞬态分析：执行【T&M|示波器】菜单命令，选择 Time / Div 为 10ms，Volt / Div 为 1V，Channel 为 Vo，点击示波器中的【Run】按钮，示波器立即显示波形。再按【Stop】按钮，得到如图 67 所示的波形。按下【Stop】按钮后再按 Date 区域中间的【输出曲线】按钮，在图表窗口显示如图 68 所示的结果中，用鼠标激活 X 轴，点击鼠标右键，在弹出的菜单中执行【属性】命令，出现如图 69 所示的轴设置对话框，将比例下限修改成 100m。点击【确定】按钮后，在图表窗口中执行【视图|分离曲线】命令，得到如图 70 所示的结果。

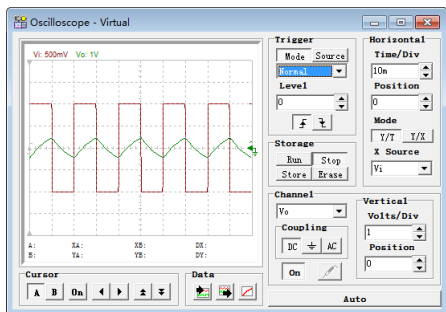


图 67 示波器的显示波形

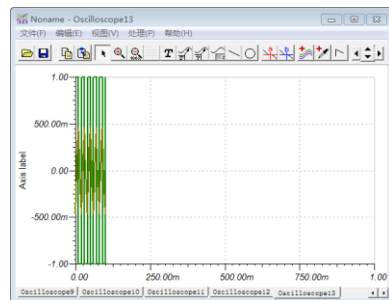


图 68 图表窗口中显示结果



图 69 轴设置对话框

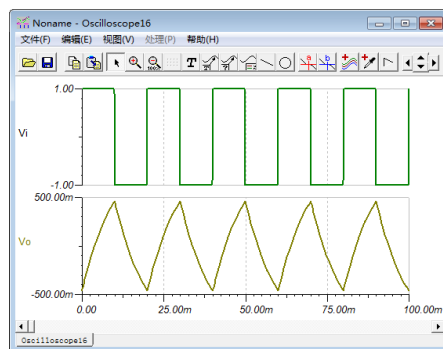


图 70 分离曲线后显示的结果

6. RLC 阻尼振荡电路

绘制如图 71 所示的 RLC 阻尼振荡电路，修改各元件的属性，当开关 SW1 拨在 1 的位置时，5V 电源对电容充电，点击 SW1 当开关拨在 2 的位置时，用示波器观察得到如图 72 所示的结果，按下 Date 区域中间的【输出曲线】按钮，在图表窗口显示如图 73 所示的结果中。数据结果能实现保存打印。

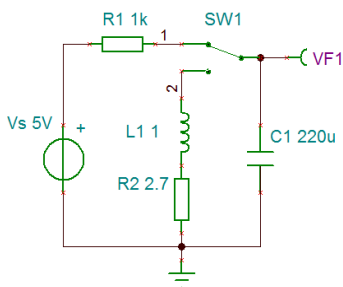


图 71 RLC 阻尼振荡电路

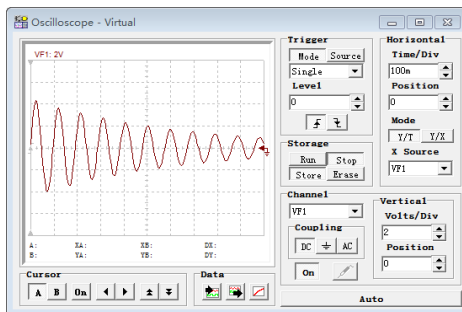


图 72 示波器观察的结果

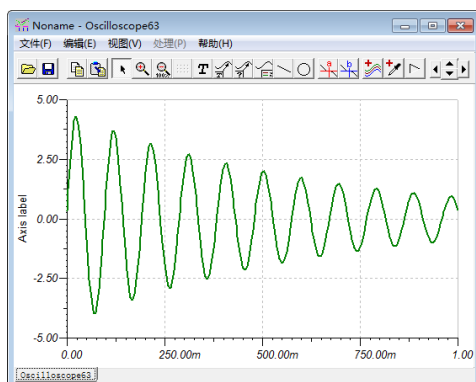


图 73 图表窗口显示的结果

7. RLC 交流电路

绘制如图 74 所示的 RLC 交流电路。开路符号自仪表库标签中的开路。修改各元件的属性，设置输入信号 VG1 的幅度为 300V，频率为 50Hz 的正弦波信号。电路绘制及元件参数设置完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

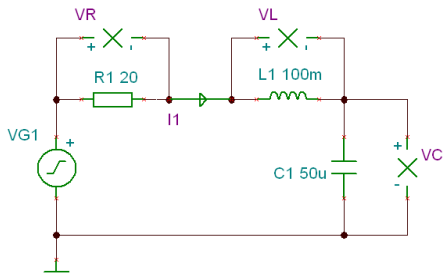


图 74 RLC 交流电路

① 计算测量标识符所标出的正弦波电压、电流值：执行【视图|选项】菜单命令，出现如图 75 所示的编辑器选项对话框，在交流电基本函数栏处选择函数类型为“正弦”。



图 75 编辑器选项对话框中选择正弦函数类型

② 计算交流节点电压：执行【分析|交流分析|计算节点电压】菜单命令后，显示分析结果。在计算结果中，各有关正弦量三要素中的幅值和相位被标注在正弦量的右边，电路中各正弦量的第三个要素(频率)与电源频率相同，均为 50Hz。i1(t)、vR(t)、vL(t)、vC(t) 的稳态瞬时表达式分别为：

$$i(t)=7.91\sin(314t+58.19^{\circ})\text{A}; v_R(t)=158.12\sin(314t+58.19^{\circ})\text{V};$$

$$v_L(t)=248.38\sin(314t+148.19^{\circ})\text{V}; U_c(t)=503.33\sin(314t-31.81^{\circ})\text{V}.$$

当计算完成后，用鼠标指向电路中的电感与电容的连接节点，如图 76 所示在节点电

压/仪器对话框中显示该节点路的详结果。

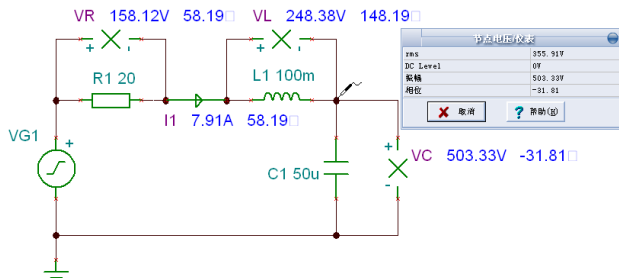


图 76 节点电压分析计算结果

③ 显示瞬态仿真波形：执行【分析|瞬态现象】菜单命令，在瞬态分析参数对话框中，如图 77 所示，设置起始显示时间为 0s，终止显示时间为 50ms，点击【确定】按钮，进行仿真，结果如图 78 所示。执行图表窗口中的【视图|分离曲线】菜单命令，出现如图 79 所示的分离曲线图。然后执行【编辑|复制】菜单命令后，将其粘贴到 Word 文本中得到如图 80 所示的图形。



图 77 设置瞬态分析参数对话框

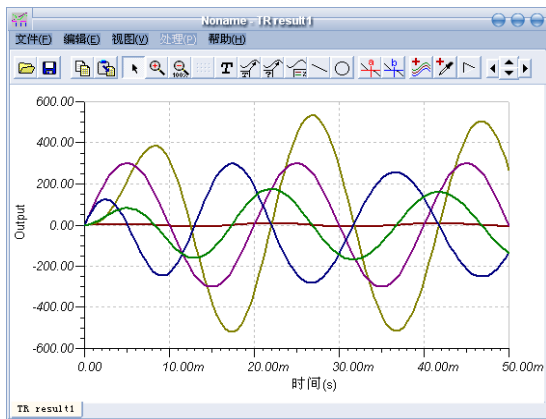


图 78 瞬态仿真分析结果

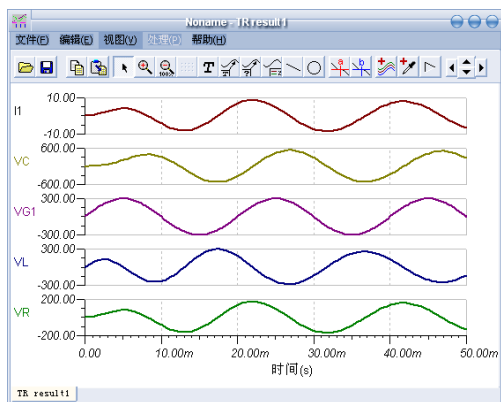


图 79 曲线分离后的曲线图

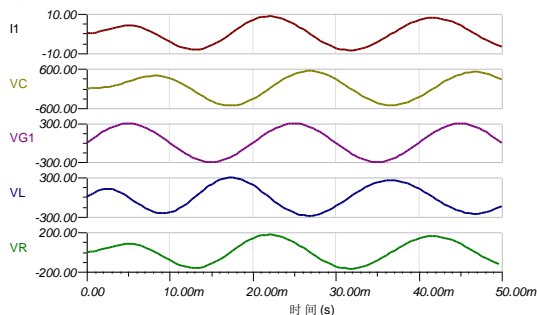


图 80 粘贴到 Word 文本中的图形

④ 显示正弦稳态电路的频率特性：执行【分析|交流分析|交流传输特性】菜单命令，在 AC 传输特性参数对话框中，设置如图 81 所示的参数，频率分析范围：1Hz 至 500Hz；扫描类型：对数；图表（即频率响应的类型）：振幅和相位。单击【确定】按钮，得到频率响应曲线图。其中测量标识符 VC 处的幅频与相频特性曲线如图 82 所示。



图 81 设置 AC 传输特性参数

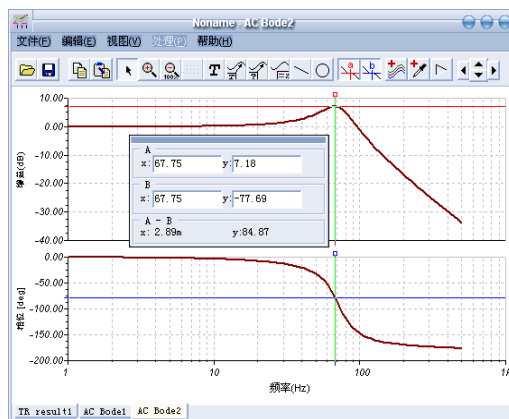


图 82 测量标识符 VC 处的幅频与相频特性

在图 80 中，上图纵轴为增益[dB]绘制的幅频特性曲线，下图纵坐标为度[deg]绘制的相频特性曲线。

8. 串联谐振电路

绘制如图 83 所示的串联谐振电路。输入信号 V_i 设置成幅度为 1V 的单元阶跃；执行【分析|选择控制对象】菜单命令，鼠标点击 R 电阻，在电阻参数对话框中，点击【选择】按钮，如图 84 所示在控制对象选择对话框中设置初始值为 100 Ω ，终止值为 1.1k Ω ，取 3 个电阻值为扫描参数；执行【分析|模式】菜单命令，如图 85 所示设置分析模式选择。电路绘制及元件参数设置完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

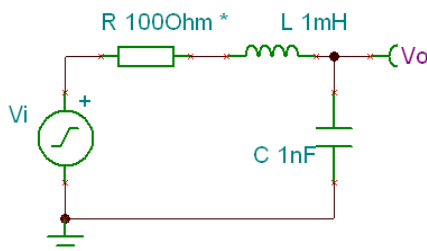


图 83 串联谐振电路

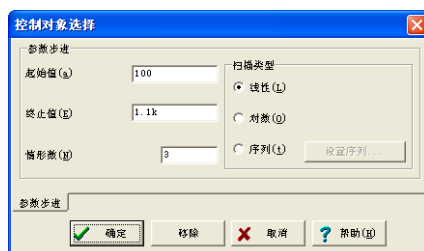


图 84 设置控制对象选择

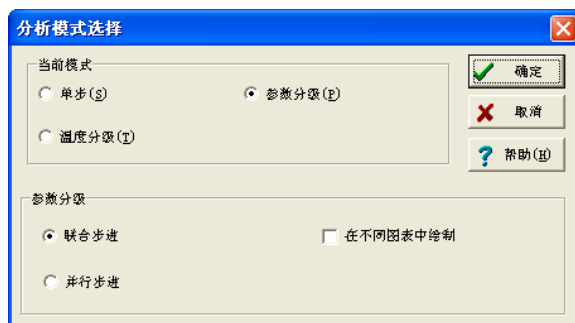


图 85 设置分析模式选择

① 交流幅频特性：执行【分析|交流|交流传输特性】菜单命令，如图 86 所示设置交流分析参数，电阻 R 分别为 100 Ω 、500 Ω 、1.1k Ω 时的串联谐振电路幅频特性如图 87 所示。

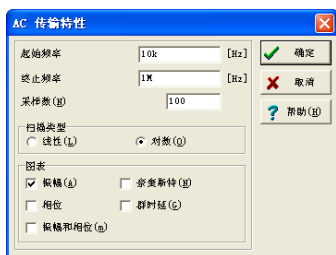


图 86 交流分析参数设置

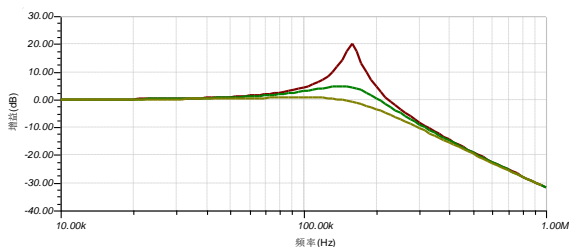


图 87 三种电阻值下的串联谐振电路幅频特性

② 瞬时现象：执行【分析|瞬时现象】菜单命令，如图 88 所示设置瞬时分析参数，三种不同电阻值时的串联谐振电路瞬态扫描波形如图 89 所示。

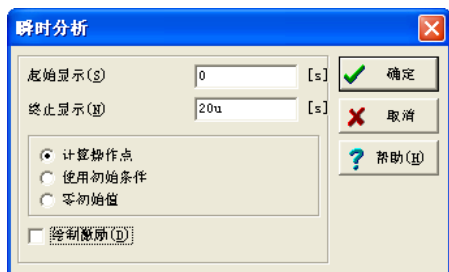


图 88 瞬时分析参数设置

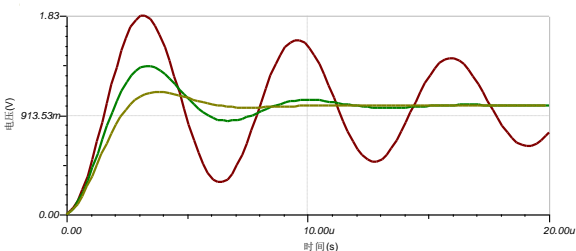


图 89 三种电阻值下的串联谐振电路瞬时波形

9. 李萨如图形(Lissajous)图形

绘制如图 90 所示的电路，设置电压发生器 V1 参数为 10V，50Hz，相位 0 度正弦波。

① 设置 V2 参数为 10V，50Hz，相位 0 度余弦波：示波器显示如图 91 所示的李萨如图形。

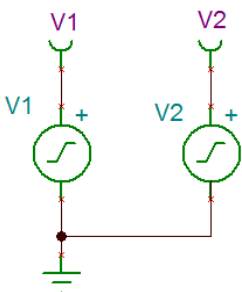


图 90 观察李萨如图形电路

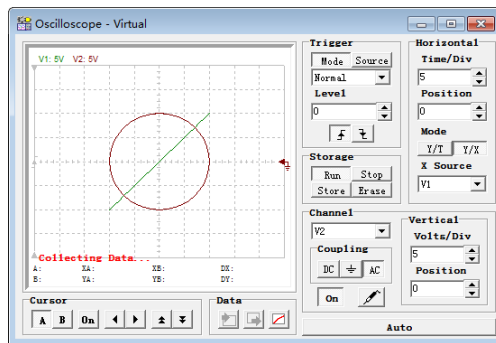


图 91 V1 与 V2 相位差 180 度时的图形

② 设置 V2 参数为 10V，50Hz，相位 45 度正弦波：示波器显示如图 92 所示的李萨如图形。

③ 设置 V2 参数为 10V，100Hz，相位 0 度正弦波：示波器显示如图 93 所示的李萨如图形。

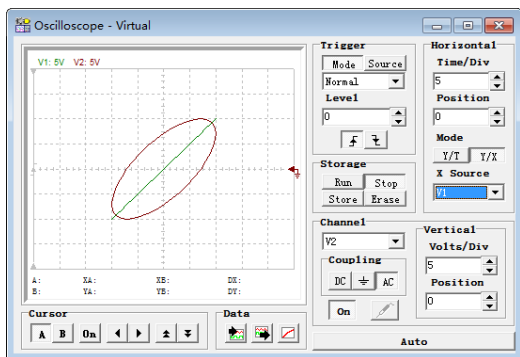


图 92 V1 与 V2 相位差 45 度时的图形

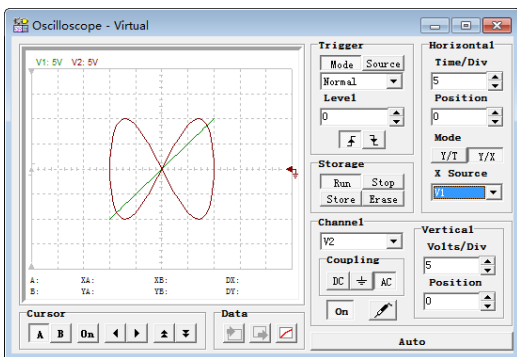


图 93 V1 与 V2 频率差 1 倍时的图形

10. 稳压二极管电路

绘制如图 94 所示的简单稳压二极管电路。其中 1N2971 稳压二极管的主要参数如图 95 所示。修改各元件的属性，设置输入信号 Vsin 的幅度为 10V，频率为 50Hz 的正弦波信号。电路绘制及元件参数设置完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

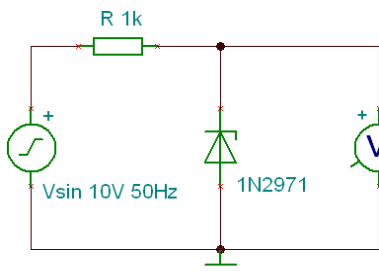


图 94 简单稳压二极管电路

类型(T)	参数	值
1N2937	IS/饱和电流 [A]	15n
1N2938	NI/发射系数 [-]	2.22
1N2939	BV/击穿电压 [V]	7.5
1N2940	KZ/齐纳电阻 [Ohm]	1.3
1N2941	IBV/击穿电流 [A]	335m
1N2942	RS/串联电阻 [Ohm]	16.9m
1N2943	CJO/结电容 [pF]	4p
1N2944	VJ/结电容电压 [V]	750m
1N2945	MJ/分压系数 [-]	330m
1N2946	FC/电容系数 [-]	500m
1N2970	TT/通过时间 [s]	100n
1N2971	EG/能量间隔 [eV]	1.11
1N2972	XTI/IS 温度指数 [-]	3
1N2973	AF/驱动噪声系数 [-]	0
1N2974	KF/驱动噪声系数 [-]	1
1N2975	Max. zener current (A)	100
1N2976	Max. zener current (A)	1
1N2977	Max. forward current (A)	1
1N2978	Max. power dissipation (W)	1

图 95 1N2971 的主要参数

① 显示瞬态仿真波形：执行【分析|瞬态现象】菜单命令，在瞬态分析参数中设置起始显示时间为 0s，终止显示时间为 50ms，点击【确定】按钮，进行仿真，分离后的瞬时曲线如图 96 所示。若需改变曲线坐标参数，可用鼠标在该坐标双击，例：修改输入信号 Vsin 波形的纵坐标参数，双击 Vsin 纵坐标，出现如图 97 所示轴设置对话框。如图设置后点击【确定】按钮，修改纵坐标参数后的曲线显示如图 98 所示。同理，也可修改横坐标参数。

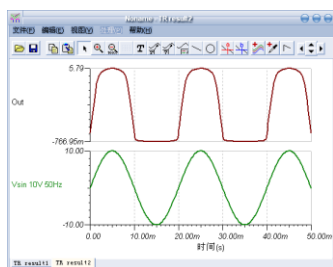


图 96 输入输出曲线图



图 97 轴设置对话框

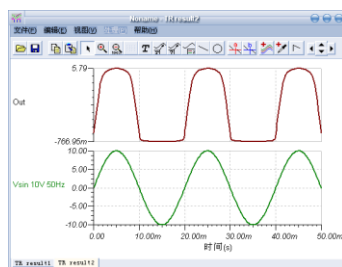


图 98 轴设置后的曲线图

② 示波器显示波形：执行【T&M|示波器】菜单命令，如图 99 所示设置示波器参数，

然后点击示波器中的【Run】按钮，示波器立即显示输出端波形。由于输入端未放置电压指针、或伏特表、或开路（开路的功能与伏特表相同，但它的外观指明它的阻抗相当于开路。）设置，所以不显示输入端波形。此时，出了在信号源处放置电压指针、或伏特表、或开路元件外还可采用以下两方法式使示波器显示输入端信号波形。

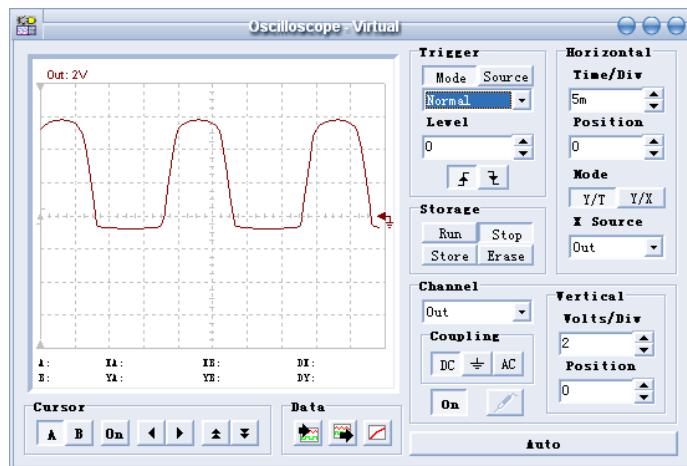


图 99 示波器显示输出端波形

方法一：当示波器显示输出波形时，点击示波器上的【Store】按钮，存储波形，然后，点击激活示波器中的 Coupling 区域的探针，并将其移到信号源输出正端后点击鼠标左键。】示波器显示如图 100 所示的输入与输出端波形。

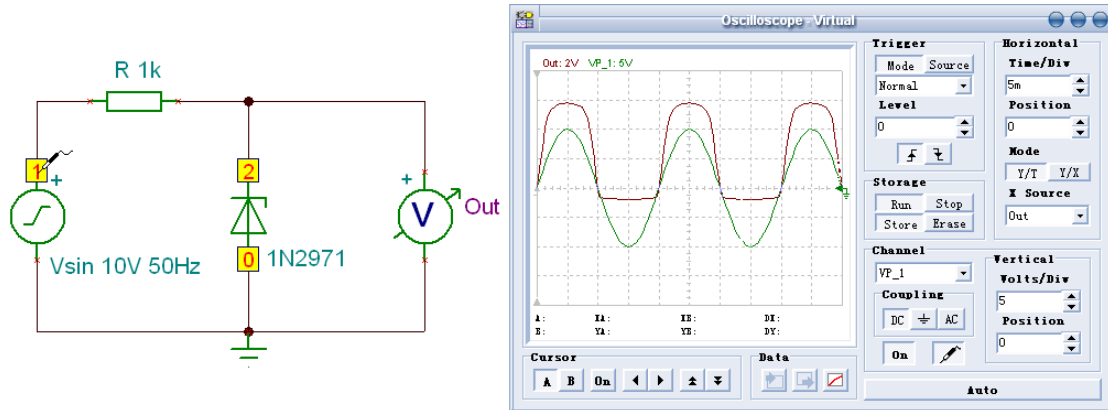


图 100 显示输入与输出端波形方法一

方法二：执行【插入|输出】菜单命令，在电路图信号源附近放置输出符号，并将其两端分别与信号源的两端并联，并再次执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。点击示波器中的【Run】按钮，示波器如图 101 所示的设置后显示电路的输入与输出端波形。

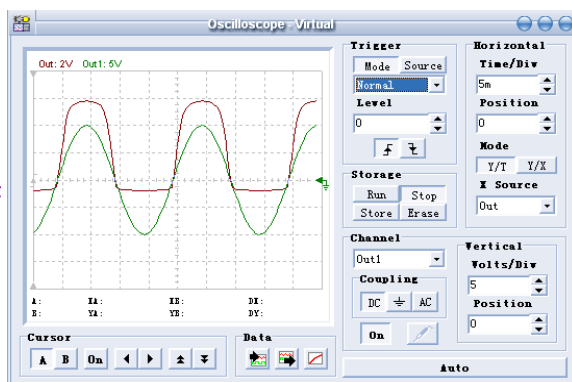
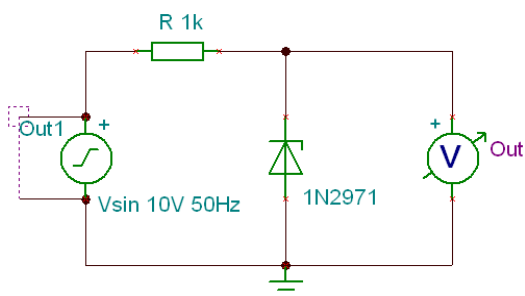


图 101 显示输入与输出端波形方法二

11. 双极型 NPN 晶体管输出特性

双极型晶体管的特性可用一组基极电流，集电极电流和集电极-发射极电压曲线图来说明。其纵坐标表示集电极电流 I_c ，横坐标是集电极-发射极电压 V_{ce} 。在这同一个坐标中有很多曲线，每一条都代表了一个不同的基极电流 I_B 。这一系列曲线就表明了双极型晶体管的许多特性。双极型 NPN 晶体管特性的测试电路如图 102 所示。

晶体管取自半导体元件库标签中的 NPN 双极型晶体管，放置到电路图编辑窗口中，双击 NPN 双极型晶体管图形符号，在出现如图 103 所示的元件属性对话框中，点击类型右侧的【...】按钮，弹出目录编辑器，在该对话框中，如图 104 所示选取型号为 2N3904 晶体管后，点击【确定】按钮，电路图的 NPN 晶体管就替换成 2N3904 晶体管。

电流发生器、电压发生器取自发生器元件库标签，双击电流发生器符号，如图 105 所示设置电流发生器参数。然后，执行【分析|模式...】菜单命令，如图 106 所示设置分析模式选择。再执行【分析|选择控制对象】菜单命令，用带电阻符号的鼠标在电流发生器上点击，出现如图 107 所示的电流发生器对话框，点击【选择...】按钮，弹出控制对象选择对话框，如图 108 所示设置起始值为 0，终止值为 100u，情形数 11，扫描类型为线性，确定后退出。双击电压发生器符号，如图 109 所示设置电压发生器参数。

安培表取自仪表元件库标签，此处安培表也可以用电流箭头代替。电路绘制及元件参数设置完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

显示 NPN 型 2N3904 晶体管的输出特性：执行【分析|直流分析|直流传输特性】菜单命令，在图表窗口中显示的 NPN 型 2N3904 晶体管的输出特性如图 110 所示。

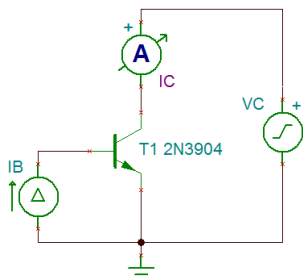


图 102 双极型 NPN 晶体管特性测试电路



图 103 NPN 双极型晶体管属性对话框

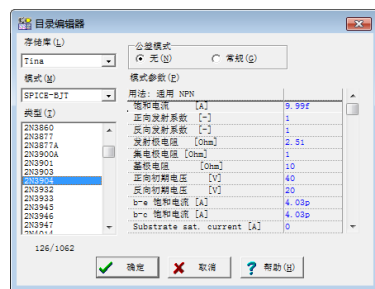


图 104 选取 2N3904 晶体管

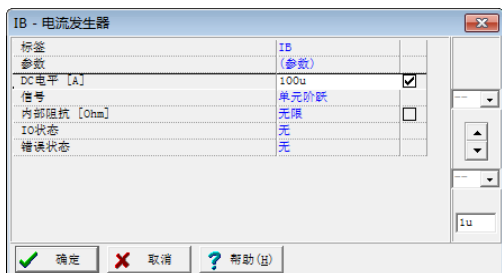


图 105 设置电流发生器参数



图 106 设置分析模式选择

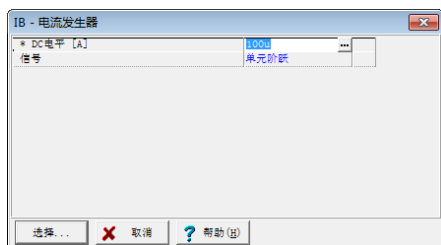


图 107 电流发生器对话框

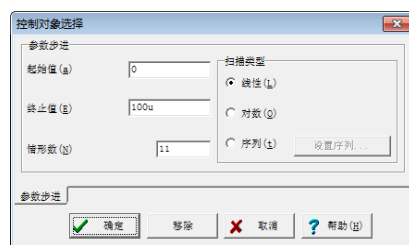


图 108 设置控制对象选择对话框

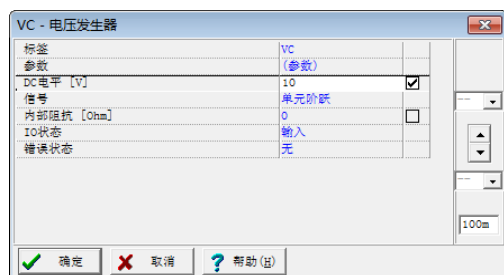


图 109 设置电压发生器参数

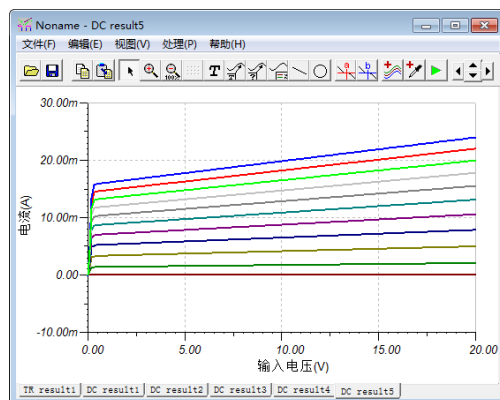


图 110 2N3904 晶体管的输出特性

12. 在不同的发射极电容 C_e 时的电路输入阻抗测试

晶体管共射放大电路在不同的发射极电容 C_e 时的电路输入阻抗的测试电路如图 111 所示。

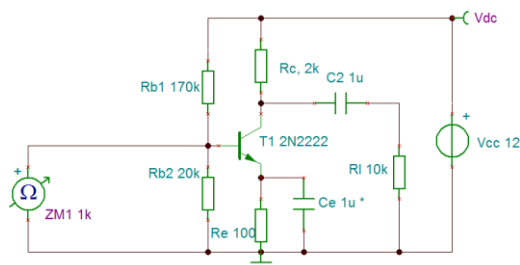


图 111 不同的发射极电容 C_e 时的电路输入阻抗的测试电路

执行【分析|选择控制对象】菜单命令，用带电阻符号的鼠标点击 C_e 电容，在如图 112 所示的电容器属性对话框中，点击【选择...】按钮，在弹出的控制对象选择对话框中，如图 113 所示设置起始值为 1n，终止值为 100u，情形数 5，扫描类型为对数等参数，确定后退出。电路绘制及元件参数设置完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

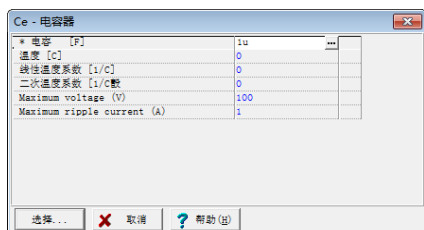


图 112 电容器属性对话框

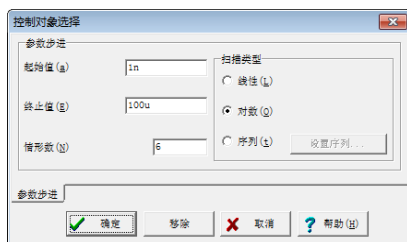


图 113 控制对象参数设置

① 电路的直流分析结果：执行【分析|直流分析|计算节点电压】菜单命令，电路图显示如图 114 所示的节点电压与电容 C_e 为 $1\mu\text{F}$ 时的输入电阻。

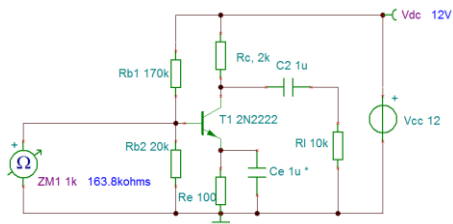


图 114 节点电压与电容 C_e 为 $1\mu\text{F}$ 时的输入电阻

② 显示在不同的 C_e 电容情况下的频率特性：执行【分析|交流分析|交流传输特性】菜单命令，在 AC 传输特性参数对话框中，设置如图 115 所示的参数，频率分析范围：10Hz 至 100MHz；扫描类型：对数；图表：振幅。单击【确定】按钮，得到如图 116 所示的 $C_e=1\text{nF}$ 、100nF、...100uF 下的输入阻抗曲线图。

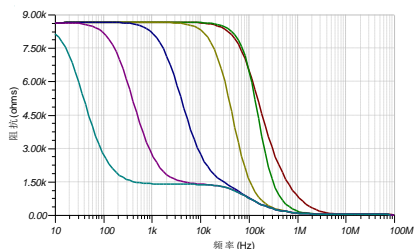


图 115 设置 AC 传输特性参数

图 116 不同 C_e 下的输入阻抗曲线图。

13. 晶体管共射放大器电路

晶体管共射放大电路的测试电路如图 117 所示。电路绘制完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

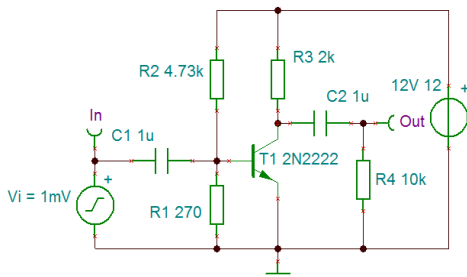


图 117 晶体管共射放大电路的测试电路

① 使用万用表测量输入、输出交流电压：执行【T&M|万用表】菜单命令，然后在万用表面板上的【 $\sim V$ 】按钮按下，并在 Input 中选择 HI 为 In 或 Out，如图 118 所示万用表显示输入输出交流电压值。

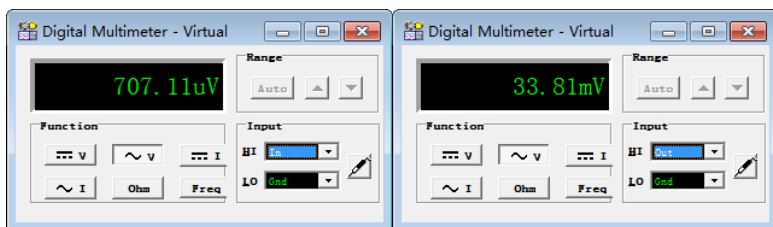


图 118 万用表显示输入输出交流电压值

② 使用示波器观察输入输出波形：执行【T&M|示波器】菜单命令，如图 119 所示设置示波器参数，然后点击示波器中的【Run】按钮，示波器立即显示输入输出端的波形。

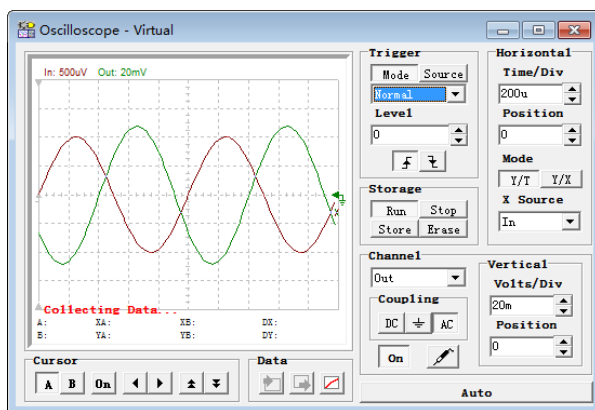


图 119 示波器显示的输入输出端波形

③ 使用函数发生器改变输入频率、幅度和波形：执行【T&M|函数发生器】菜单命令，在电路图窗口中放置函数发生器。

点击【Sweep】中的【Start】按钮，在【Parameters】窗口中起始值设置为 100.0000Hz；

点击【Stop】按钮，在【Parameters】窗口中起始值设置为 1.0000kHz。点击【Sweep】中的【On】按钮，激活扫描状态。点击【Control】中的【Start】按钮，函数发生器输出所设置的 100Hz~1kHz 的频率信号。示波器在 190Hz 频率下的输出波形如图 120 所示，在 370Hz 频率下的输出波形如图 121 所示。

点击【Ampl】按钮，在【Parameters】窗口中起始值设置为 10.0000mV；点击【Control】中的【Start】按钮，函数发生器输出所设置的 10mV 的电压信号。示波器在 10mV 输入电压下的波形如图 122 所示；同理，函数发生器输出所设置的 50mV 的电压信号。示波器在 50mV 输入电压下的波形如图 123 所示。

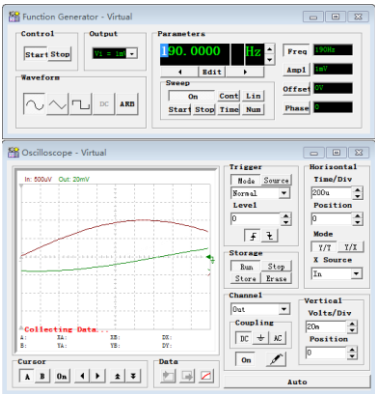


图 120 在 190Hz 频率下的示波器波形

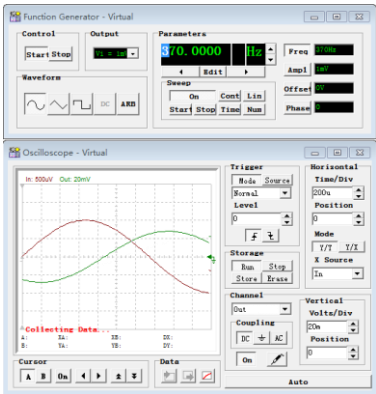


图 121 在 370Hz 频率下的示波器波形

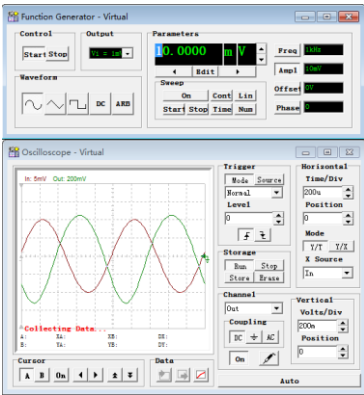


图 122 在 10mV 电压下的示波器波形

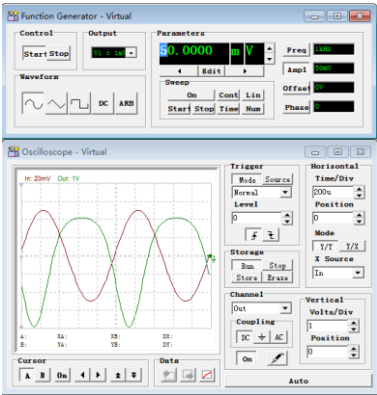


图 123 在 50mV 电压下的示波器波形

在【Parameters】窗口中起始值设置为 1.0000mV；在【Waveform】中点击【三角波】按钮；点击【Control】中的【Start】按钮，函数发生器输出所设置的 1mV 的三角波电压信号。示波器在 1mV 输入三角波电压下的波形如图 124 所示；同理，在【Waveform】中点击【方波】按钮；函数发生器输出所设置的 1mV 的方波电压信号。示波器在 1mV 输入方波电压下的波形如图 125 所示。

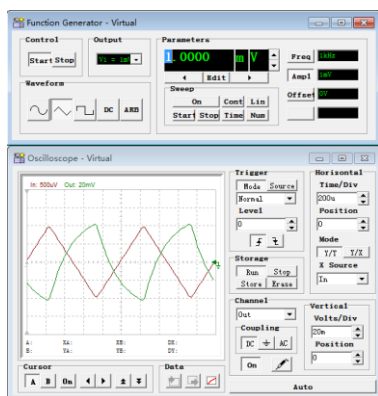


图 124 在三角波输入下的示波器波形

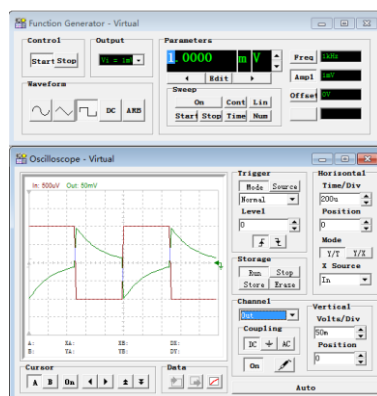


图 125 在方波输入下的示波器波形

④ 使用信号分析仪进行频域分析：执行【T&M|信号分析仪】菜单命令，如图 126 所示设置信号分析仪参数，然后点击信号分析仪中的【Run】按钮，信号分析仪立即显示信号幅度对频率的波形，即幅频特性。

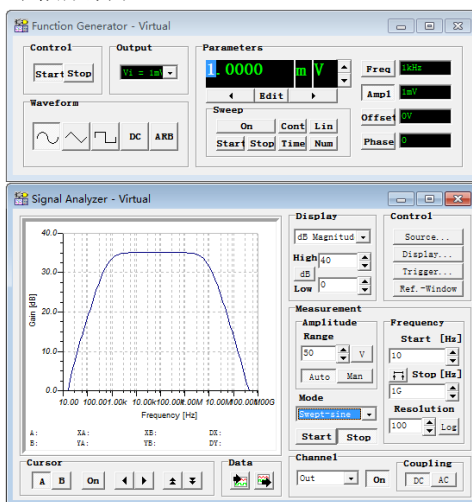


图 126 信号分析仪显示幅频特性

14. 绝对值放大器

绘制如图 127 所示的绝对值放大器电路。修改各元件的属性，设置输入信号 V_{sin} 的幅度为 5V，频率为 1kHz 的正弦波信号。电路绘制及元件参数设置完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

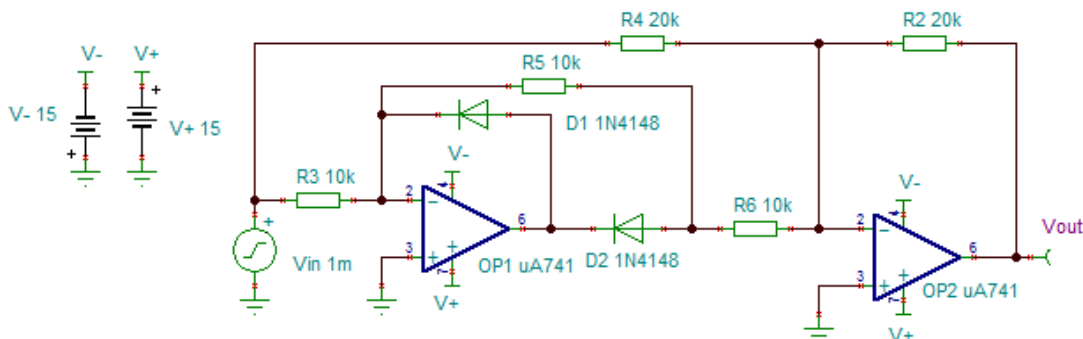


图 127 绝对值放大器电路

① 直流传输特性：执行【分析|直流分析|直流传输特性】菜单命令，出现如图 128 所示的直流传输特性对话框，设置起始值为-1，终止值为 1，点击【确定】按钮后，出现如图 129 所示的电路输入/输出电压传输曲线。如图 130 所示修改纵坐标参数后的曲线如图 131 所示。

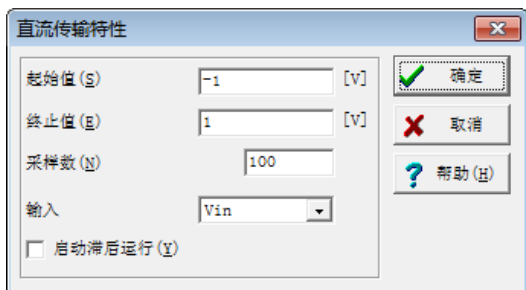


图 128 设置直流传输特性对话框

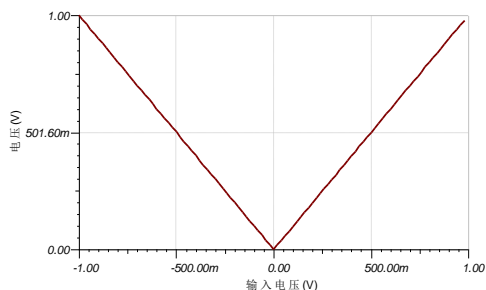


图 129 路输入/输出电压传输曲线。



图 130 轴设置对话框

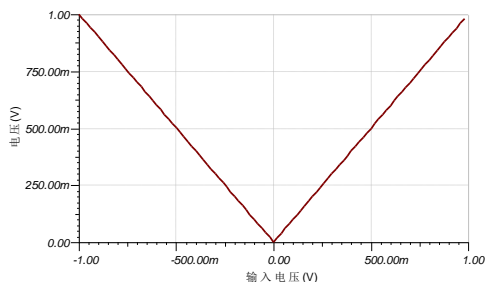


图 131 修改纵坐标参数后的曲线

② 显示瞬态仿真波形：执行【分析|瞬态现象】菜单命令，在瞬态分析参数中设置起始显示时间为 0s，终止显示时间为 2ms，点击【确定】按钮，进行仿真，分离后的瞬时曲线如图 132 所示。

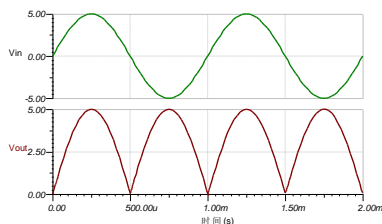


图 132 分离后的瞬时曲线

15. 三角波方波发生器

绘制如图 133 所示的三角波方波发生器电路。运算放大器采用 TI 的 250MHz 轨至轨 CMOS 输入输出 OPA354。用修改各元件的属性，完成后执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

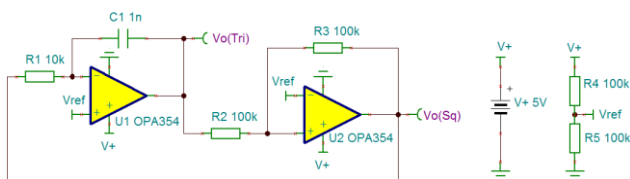


图 133 三角波方波发生器电路

显示瞬态仿真波形：执行【分析|瞬态现象】菜单命令，如图 134 所示设置瞬态分析参数，点击【确定】按钮，进行仿真，分离后的输入输出波形如图 135 所示。



图 134 设置瞬态分析参数

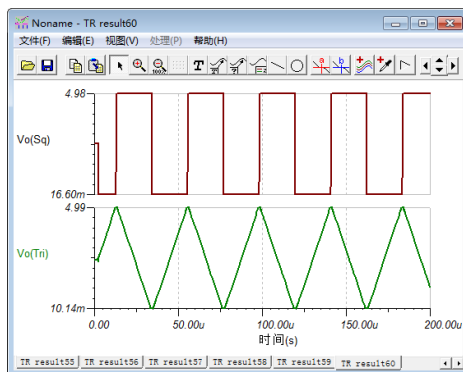


图 135 分离后的输入输出波形

16. 单电源同相前置放大器

绘制如图 136 所示的单电源同相前置放大器，电压增益为 20dB，可用于驻极体麦克风信号的放大，运算放大器采用轨到轨输出的 OPA364，可有效地提高其输出电压摆幅。前置放大器增益 $=1+(R1/R2)$ 。执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

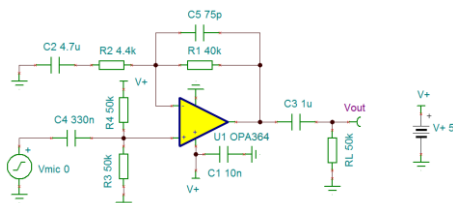


图 136 单电源同相前置放大器

显示瞬态仿真波形：执行【分析|瞬态现象】菜单命令，如图 137 所示设置驻极体麦克风发生器的参数，点击【确定】按钮，仿真后，输出如图 138 所示的输入输出波形。

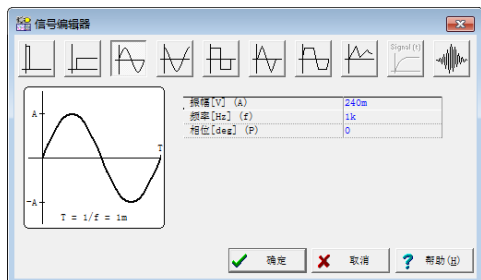


图 137 设置驻极体麦克风发生器的参数输出

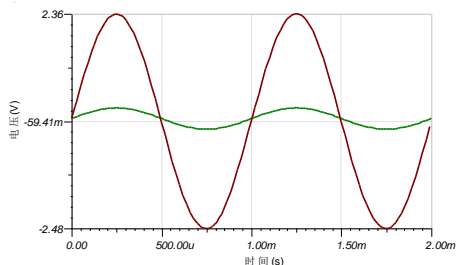


图 138 输入输出波形

16. NE555 构成多谐振荡器

绘制如图 139 所示的 NE555 构成多谐振荡器，执行【分析|REC】菜单命令，进行电

气规则检查。

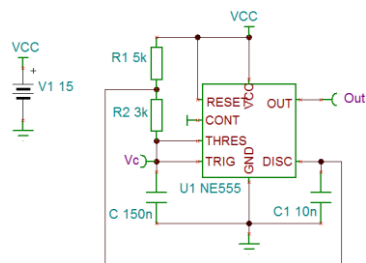


图 139 NE555 构成多谐振荡器

显示瞬态仿真波形：执行【分析|瞬态现象】菜单命令，如图 140 所示设置瞬态分析参数，由于多谐振荡器电路中没有静态工作点，因此在对话框中需选择“使用初始条件”或“零初始值”项，不然的话会提示“没有找到工作点”的错误消息。仿真后得到如图 141 所示的 Vc 端三角波和 Out 端方波输出波形。

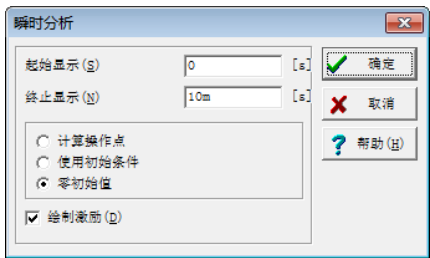


图 140 设置瞬态分析参数

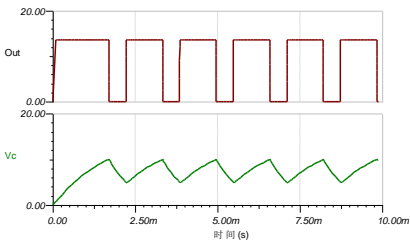


图 141 Vc 和 Out 端的输出波形

17. 单向全波整流电路

绘制如图 142 所示的单向全波整流电路，输入信号 Vi 为 10V，1kHz 正弦波信号，带中央接头的理想变压器取自基本元件库中的变压器元件库，设置带中央接头的理想变压器的变比为 1:2，即 N1:N2=1:1。执行【插入|输出】菜单命令，分别在变压器的副边和负载电阻插入输出端，用于观察该两处的输出波形。电路绘制及元件参数设置完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

瞬态仿真：执行【分析|瞬态现象】菜单命令，运行瞬态参数扫描分析，设置瞬态分析起初显示为 0s，终止显示为 2ms，曲线分离后显示如图 143 所示的瞬时波形。

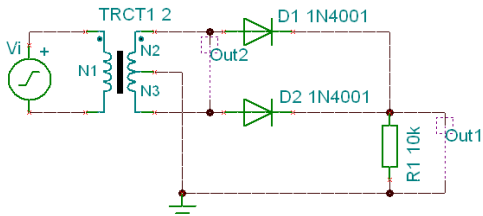


图 142 单向全波整流电路

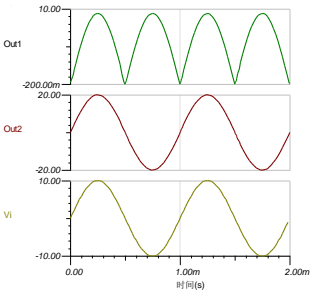


图 143 曲线分离后的瞬时波形

18. 变压器隔离的全波桥式整流电路

绘制如图 144 所示的变压器隔离的全波桥式整流电路，理想变压器取自基本元件库中

的变压器元件库，双击理想变压器后如图 145 所示设置比率为 100m，即降压变压器的变比为 1:0.1；设置电压发生器频率为 50Hz，电压 220V 的正弦波；定义输出节点，执行【插入|输出】菜单命令，分别在变压器的原副边插入输出端，用于观察变压器原副边的波形；开路符号自仪表库标签中的开路。电路绘制及元件参数设置完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

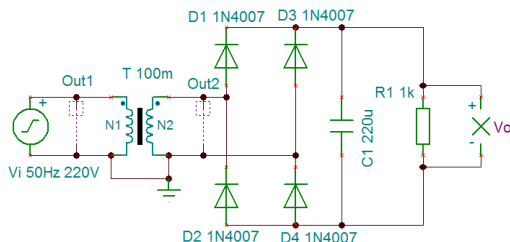


图 144 变压器隔离的全波桥式整流电路

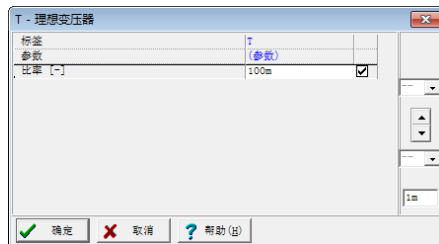


图 145 理想变压器参数设置

① 电容器 C1 不接入时的瞬态仿真：双击电容器 C1，如图 146 所示将电容量修改成“0”，即为不接入。执行【分析|瞬态现象】菜单命令，得到如图 147 所示的输入输出波形。

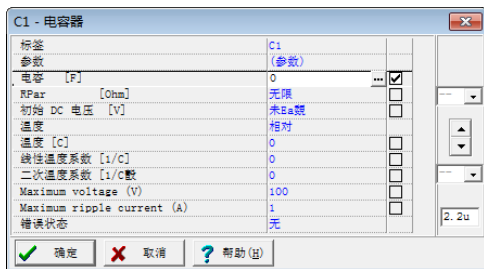


图 146 设置电容量修改成“0”

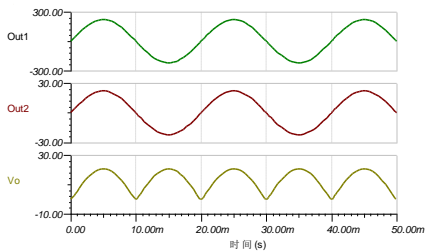


图 147 不接 C1 时的输入输出波形

② 电容器 C1 为 220μF 时的瞬态仿真：双击电容器 C1，如图 148 所示将电容量修改成“220”。执行【分析|瞬态现象】菜单命令，得到如图 149 所示的输入输出波形。

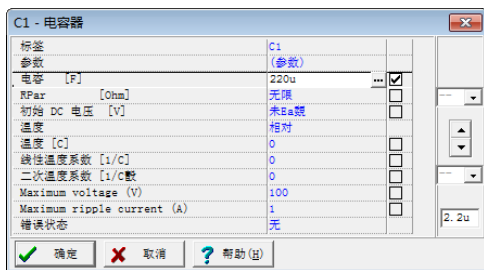


图 148 设置电容量修改成“220u”

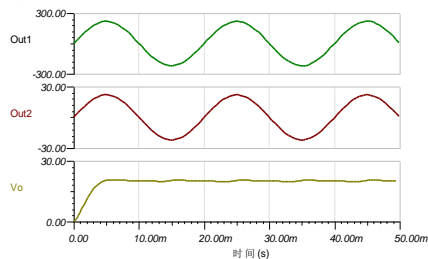


图 149 C1=220u 时的输入输出波形

19. 功率放大电路

绘制如图 150 所示的功率放大电路，输入信号 Vi 为 1V，1kHz 正弦波信号，执行【分析|选择控制对象】菜单命令，将带有电阻符号的鼠标点击电位器 RP，在电位器参数对话框中，点击【选择】按钮，在如图 151 所示的控制对象选择对话框中，设置电位器的起始值为 1k，终止值为 5k，情形数为 2 作为扫描参数。电路绘制及元件参数设置完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

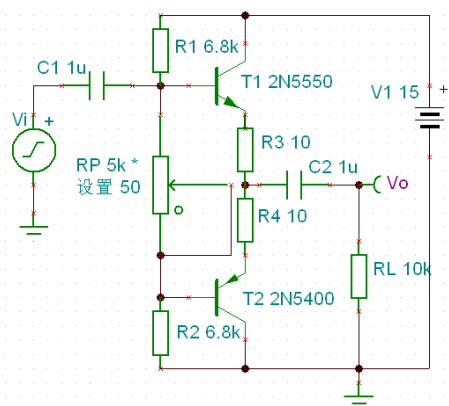


图 150 功率放大电路

① 瞬态参数扫描分析：执行【分析|瞬态现象】菜单命令，分别得到电位器阻值为 1k 和 5k 时的输入输出电压波形如图 152 所示。当电位器 RP 滑动点在中间位置，阻值为 1k 时，输出电压有明显地交越失真；阻值为 5k 时，输出电压的交越失真消失。

② 交流参数扫描分析：执行【分析|交流分析|交流传输特性】菜单命令，分别得到电位器阻值为 1k 和 5k 时的幅频和相频特性如图 153 所示。

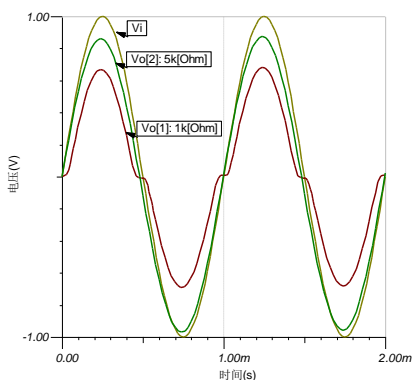


图 152 瞬态扫描分析的输入、输出波形

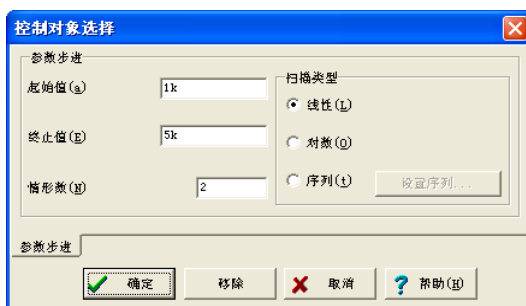


图 151 设置电位器 RP 的扫描参数

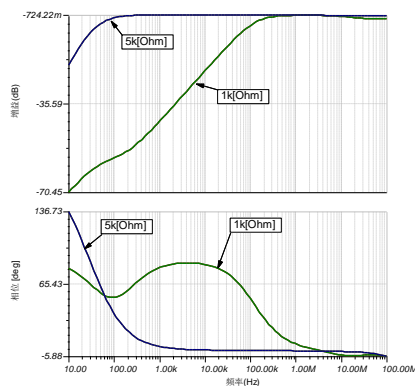


图 153 交流扫描分析的幅频、相频特性

③ 傅立叶分析：执行【分析|傅立叶分析|傅立叶级数】菜单命令，进行傅立叶级数分析，可分别定量地计算出电位器阻值为 1k 和 5k 时的谐波失真系数分别为 14.903% 和 0.32196%。

④ 采用示波器在线观察电位器 RP 的不同取值下的输出波形：执行【T&M|示波器】菜单命令，在电路图编辑窗口放置示波器，双击电位器 RP 在参数设置对话框中如图 154 所示设定电位器阻值为 5k，点击示波器中的【Run】按钮，示波器显示如图 155 所示的输出电压波形；然后，在已打开的电位器 RP 参数设置对话框中激活阻值域，点击对话框右侧的向下箭头改变电位器阻值，当电阻值减小到如图 156 所示的 1.65k 左右时，示波器显示的输出波形如图 157 所示。



图 154 设定电位器阻值为 5k

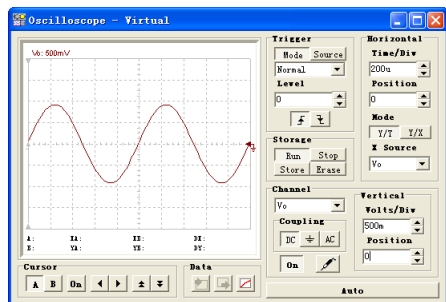


图 155 阻值为 5k 的输出电压波形



图 156 调节电位器阻值为 1.65k 左右

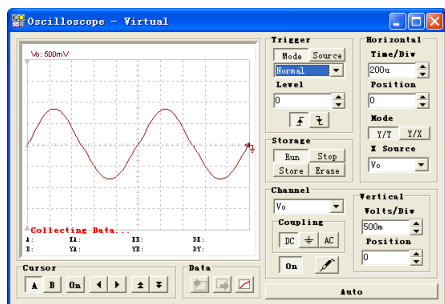


图 157 阻值在 1.65k 时的输出电压波形

20. 运算放大电路

绘制如图 158 所示的运算放大电路，电路绘制及元件参数设置完成后，执行【分析|REC】菜单命令，进行电气规则检查。

执行【分析|选直流分析|计算节点电压】菜单命令，如图 159 所示在电路图中显示 V1~V4 的节点电压；执行【分析|选直流分析|直流结果表】菜单命令，如图 160 所示用表格形式显示电路的输出节点电压。

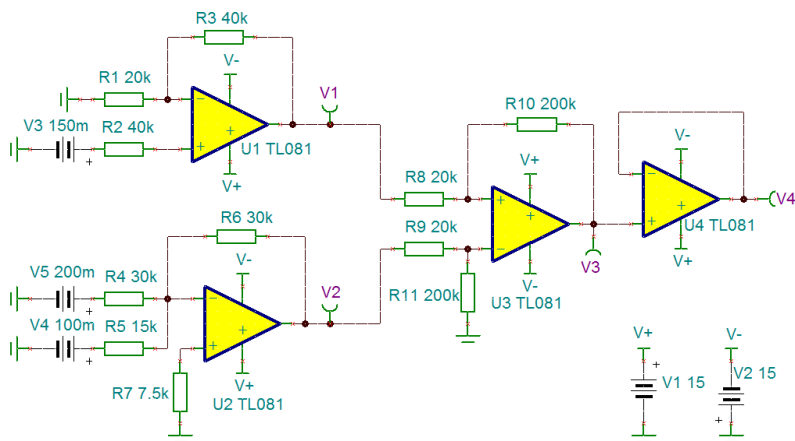


图 158 运算放大电路

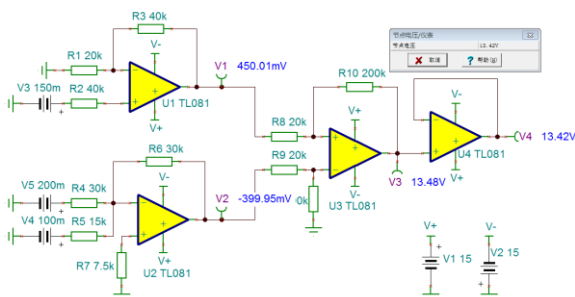


图 159 显示 V1~V4 的节点电压



图 160 节点输出电压表

21. 开关电源电路

SMPS 或称开关模式电源电路是当代电子产品中的重要组成部分。仿真此种电路需要大量瞬态分析，会占用大量时间和计算机存储空间。为了支持此类电路的分析，TINA-TI 提供了强大的工具和分析模式。

① 稳态求解：分析 **SMPS** 电路最耗时的部分是其达到稳态的这段时间，处于稳态时，输出电压的 DC 电平保持不变，输出波形只有很小的周期波动。

绘制如图 16X 所示的开关电源电路（或直接从 **EXAMPLES\SMPS\QS Manual Circuits** 加载 **Startup Transient TPS61000.TSC** 电路文件），在该升压转换电路中，VG1 输入电压为 1.2V。通过 **SMPS** 电路转换到 3.3V。执行【分析|稳态求解法】菜单命令。出现如图 16X 所示稳态分析设置对话框。

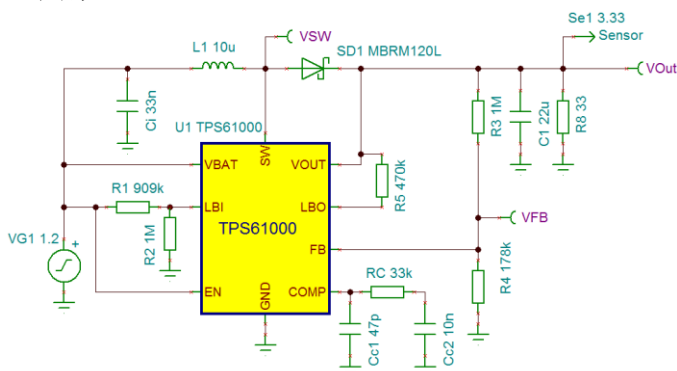




图 16X 开关电源电路

图 16X 稳态分析设置对话框

与瞬时分析对话框相比，出现了以下新的参数：

最大查找时间：解决法会尝试在最长 20ms 内寻找稳态求解。这之后，无论是否得到求解，整个分析都将停止。

最后检查时间：在稳态搜索过后，这里需要设定一个最后检查时间长度。在这段时间内，你应该可以获得一个稳定的波形。

最后精度：DC 电平的最大允许偏差。当偏差小于此值，分析会结束。例如设置 100m 即代表 0.1%。

方法：选择寻找稳态的方法：

瞬时：利用瞬时分析来搜索稳态。有限差分 Jacobian 法，Broyden 修正 Jacobian 法。

在 Dragon Maksimovic 写的《开关电源转换器的自动稳态分析》一文中描述了上述搜索问题的方法。后两种方法可能会更快地得到稳态，但是它们都没有通过正常的瞬时分析过程，所以得到的初始状态和最终状态间的波形并不反映真实的过程（其体现的更多的是得到这些状态的数学过程）。

运行解决法后，得到如图 16X 所示的最终波形。

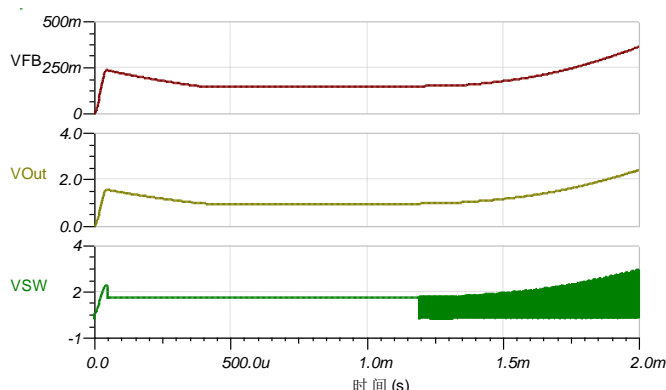


图 16X 稳态求解最终波形

最终波形显示了从通电直至得到稳定输出电压的瞬时详情。若放大该波形，可以看出开关周期大约在 500kHz，达到稳态所需时间为 4 毫秒。所以，如果想看到整个瞬时波形，需要几百次，甚至几千次计算。这也是寻找稳态成为耗时过程的原因。问题的原因是，SMPS 电路的启动时间与其开关频率相比太长了。启动时间基本上取决于输出的滤波电容。电容

值越大，启动时间越长。

② 交流分析：执行【分析|交流分析|交流传输特性】菜单命令，分别得到 **Vout** 幅频和相频特性如图 16X 所示。

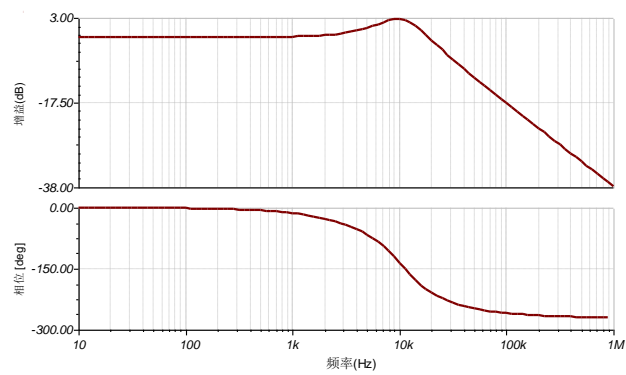


图 16x 交流扫描分析的幅频、相频特性