

# 第1章

## 信号与系统实验技术基础

## 1.1 Multisim 使用简介



### 1.1.1 概述

NI Multisim 14.0 是美国国家仪器有限公司(National Instruments, NI)发布的以 Windows 系统为基础,具有交互式、图形化的 SPICE 仿真环境,是一个适用于板级的模拟/数字电路板设计的工具系统,是加拿大图像交互技术公司(Interactive Image Technologies, IIT)于 20 世纪 80 年代末推出的 Electronic Workbench(EWB)的升级版。

Multisim 包含了 Analog Devices 等领先半导体生产商提供的,多达 22000 个组件的数据库,用户可从完整的组件列表中进行选择。组件列表包括各种最新的放大器、二极管、晶体管、切换模式电源和其他用于快速设计及评估模拟、数字电路的组件。

Multisim 包含了数字万用表、函数信号发生器、波特图仪、示波器等 22 种测量仿真仪器,且测试数据与波形更为精准可靠。

Multisim 还包含了直流工作点分析、交流分析、瞬态分析等 20 种行业标准的 SPICE 分析,分析结果可通过数值或波形直观地显示、保存和打印。仿真失败会提示错误信息以及可能发生错误的原因,帮助用户更透彻地理解电路行为。

信号与系统中的多数实验都可以利用 Multisim 进行仿真。有些实验受到实验室仪器设备的限制无法实现时,可以用 Multisim 仿真实现。本节将对本书信号与系统实验中涉及的 Multisim 的相关操作和功能进行介绍,以满足实验需要。

### 1.1.2 基本操作

安装 NI Multisim 14.0 软件后,在 Windows 窗口下选择“开始->所有程序-> NI Multisim 14.0”,就可以看到如图 1.1.1 所示的界面。上面部分包含标题栏(显示当前运行的软件名和原理图文件名字)、菜单栏、标准工具栏、主工具栏、元器件工具栏,以及最右边的仿真工具栏、视图工具栏。最大空白处是电路窗口,左侧为设计工具箱,右侧为仪器工具栏。底部为数据表格栏和状态栏。

以下对主窗口界面各功能区进行简单介绍。

#### 1. Multisim 的菜单栏

Multisim 的菜单栏包含如图 1.1.1 所示 12 个主菜单命令。这些菜单命令分别是:

- (1) 文件(File): 该菜单命令包含打开、新建、保存、打印等操作。
- (2) 编辑(Edit): 该菜单命令主要用于在电路设计过程中,对电路、元器件及仪器的复制、剪切、撤销等一系列操作。
- (3) 视图(View): 该菜单命令可设置各种工具栏的显示状态,以及对电路窗口的缩放等操作。
- (4) 绘制(Place): 该菜单命令提供绘制电路图时放置元器件、节点、导线、文本等命令。
- (5) 微控制器(MCU): 该菜单命令提供带有微控制器芯片的嵌入式电路仿真操作。

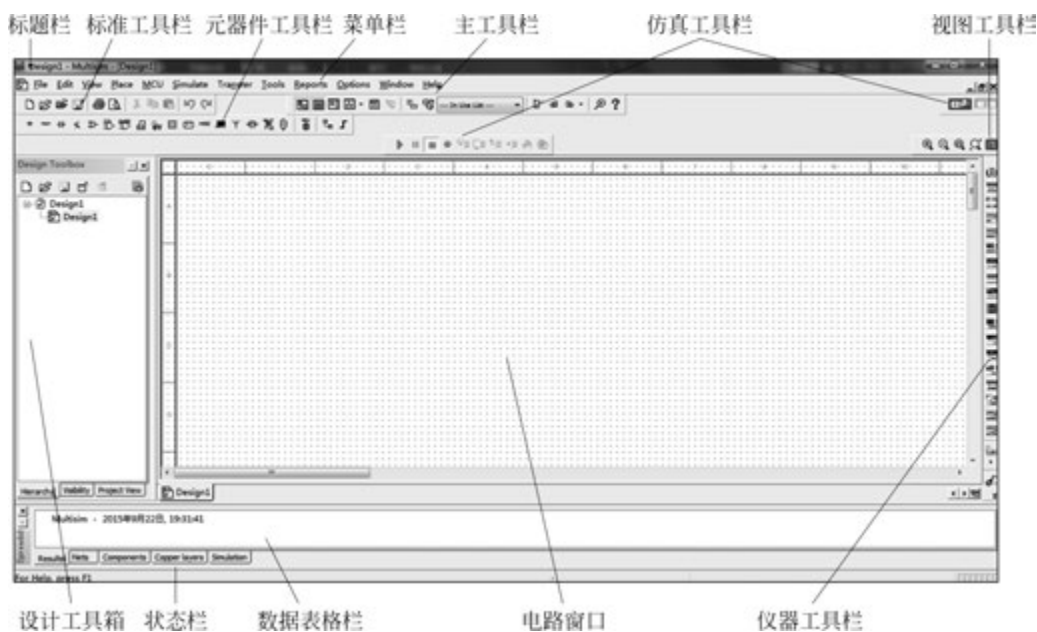


图 1.1.1 Multisim 主窗口

(6) 仿真(Simulate): 该菜单命令提供启动、停止仿真以及仿真环境、参数设置等命令。

(7) 文件输出(Transfer): 该菜单命令提供将电路仿真结果导出并传送到其他软件的功能。

(8) 工具(Tools): 该菜单命令可提供 555 时基电路、滤波器等各种常用电路的快速创建功能,以及对元器件和电路的编辑操作。

(9) 报告(Reports): 该菜单命令用于生成用户所需的某个元器件存储在数据库中的所有信息及详细参数报告。

(10) 选项(Options): 该菜单命令用于全局参数、属性参数的设定以及工作界面的设置。

(11) 窗口(Window): 该菜单命令可新建、关闭窗口并对多个窗口进行操作。

(12) 帮助(Help): 用户可利用该菜单命令重点帮助主题目录、索引等选项获取所需的帮助。

## 2. Multisim 的工具栏

(1) 标准工具栏(Standard): 包含新建、打开、保存、打印、复制、粘贴文件等操作。

(2) 主工具栏(Main): 可对网络表观察器、设计工具箱、数据表格工具栏、元器件库等进行显示或隐藏的操作。

(3) 元器件工具栏(Components): 常用元器件的快捷栏。

(4) 视图工具栏(View): 视图工具栏的按钮从左至右依次为放大、缩小、缩放到已选择范围、缩放到页、全屏功能。

(5) 仿真工具栏(Simulation): 可对仿真进程进行“启动/停止”“暂停/恢复”的操作。

(6) 仪器工具栏(Instruments): 包含数字万用表、函数信号发生器、功率表等 22 种可对电路进行测试的虚拟仪器。

### 3. 设计工具箱(Design Toolbox)

设计工具箱主要用于层次电路的显示。

### 4. 电路窗口(Workspace)

电路窗口是页面中间最大的空白处,即电路工作区。

### 5. 数据表格栏(SpreadSheet View)


数据表格栏用于显示仿真运行结果和当前电路文件中所有元件的属性统计窗口。

### 6. 状态栏

状态栏在页面底部,显示当前操作内容以及鼠标所指处的相关信息。


## 1.1.3 Multisim 创建电路图

用 Multisim 仿真分析实验电路时,第一步就是创建电路图,这里对 Multisim 如何创建电路作简单介绍。

Multisim 14.0 启动后,软件将自动建立一个名为 Design1 的空白电路文件,用户也可执行菜单命令 File-> New-> blank and recent-> create 来新建一个空白电路文件,文件默认命名,用户可对其重新命名。或者直接单击  按钮新建一个空白文件。

### 1. 放置元器件

执行菜单命令绘制(Place)->元器件(Component),按快捷键 Ctrl+W,会出现如图 1.1.2 所示对话框。元器件按照类型分成多组存放在数据库中。如选择 1k $\Omega$  电阻的方法为:在默认的主数据库(Master Database)下,在组列表(Group)中选择基本元器件组(Basic),在系列列表(Family)中选择电阻(RESISTOR),在中间 Component 一栏中选择阻值 1k,也可在对话框中输入 1k 进行快速搜索,默认单位为  $\Omega$ 。在右侧 Symbol 栏中会出现该元器件标志。如已选择好,单击 OK 按钮,或者双击选择的元器件,该对话框会自动关闭,回到电路工作区。元器件图标随鼠标移动,在电路工作区内单击,即可将元器件放置到电路中相应位置上。如在选择元器件时要查看所选元器件的详细信息,单击 Detail report。如不清楚元器件在哪个库中,可单击 Search 进行搜索,单击后将弹出如图 1.1.3 所示对话框,在 Component 一栏中输入元器件名字进行搜索。如不清楚元器件全名,缺失部分可用 \* 代替进行查找。

本例中也可直接单击元器件工具栏中的  按钮,进行元器件的选择。

### 2. 元器件的操作与设置

(1) 元器件的操作:单击元器件,当元器件周围显示蓝色虚线方框时,表示该元器件已被选中。复制、粘贴、剪切、删除元器件的操作快捷键与 Windows 相同,此处不再赘述。

(2) 元器件的旋转:右击所需操作的元器件,出现菜单中包含如图 1.1.4 所示选项,

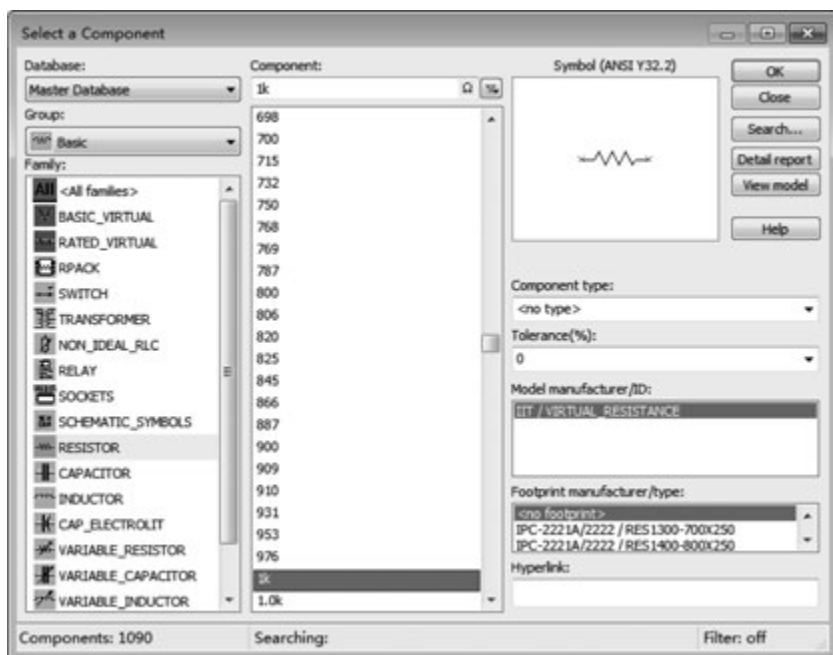


图 1.1.2 选择元器件对话框

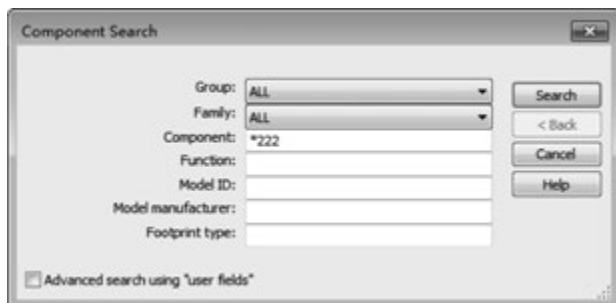


图 1.1.3 搜索元器件对话框

Flip horizontally 表示水平翻转, Flip vertically 表示垂直翻转, Rotate 90° clockwise 表示顺时针旋转, Rotate 90° counter clockwise 表示逆时针旋转。也可根据右侧快捷键进行对应操作。



图 1.1.4 元器件旋转操作选项

(3) 元器件参数设置: 单击选中元器件, 可以执行菜单命令 Edit-> Properties, 也可按快捷键 Ctrl+M, 或直接双击电路工作区的元器件, 弹出如图 1.1.5 所示对话框, 对元器件的参数进行设置。



图 1.1.5 元器件参数设置对话框

该属性对话框包含 7 个选项卡,分别是标识(Label)、显示(Display)、数值(Value)、故障(Fault)、引脚(Pins)、动态变量(Variant)和用户使用信息(User fields)。其中常用的选项卡说明如下:

(1) 标识(Label): 用户可修改元器件的标识(Label)和编号(RefDes),编号一般由系统自动分配,用户可进行自主修改,但要保证编号的唯一性。

(2) 数值(Value): 用户可修改元器件数值大小、容差等参数。

### 3. 元器件的连接

(1) 导线的连接: 将光标移动到元器件引脚处会出现带圆点的十字光标,单击引出导线,将光标移动到目的元器件引脚处,该端点变红后单击,完成导线的连接。如需控制导线走线位置,可在关键处单击以添加导线拐点,直至目的元器件引脚处,单击结束导线走向。也可使用快捷键 Ctrl+Shift+W 使光标变为十字图形,单击导线需要放置的地方即可引出导线,再次单击,结束导线的放置。

(2) 导线的删除: 单击选中该导线,导线端点及折角处显示蓝色小方框即该导线被选中,按 Delete 键删除导线。

(3) 导线编号的显示: 执行菜单命令 Edit-> Properties-> sheet visibility-> net names-> show all,显示导线编号。

(4) 节点的使用与添加: 节点作为导线的端点或交叉连接点,在电路工作区上是一个实心小圆点,如图 1.1.6 中 2 点所示。而图 1.1.6 中 1 点位置的两条导线仅为交叉布线,并未连通。如需将该处导线连通,可选择绘制(Place)->结(Junction)拖出节点,放置



在导线交叉位置即可。

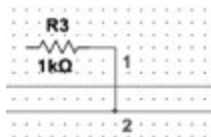


图 1.1.6 电路节点与交叉点比较

### 1.1.4 Multisim 虚拟仿真仪器的使用

NI Multisim 14.0 中提供了 21 种在电子线路分析中常用的虚拟仪器。这些虚拟仪器包括数字万用表 (Multimeter)、函数信号发生器 (Function Generator)、功率计 (Wattmeter)、双通道示波器 (Oscilloscope)、四通道示波器 (Four Channel Oscilloscope)、波特图仪 (Bode Plotter)、频率计数器 (Frequency Counter)、字信号发生器 (Word Generator)、逻辑分析仪 (Logic Analyzer)、逻辑转换仪 (Logic Converter)、IV 特性分析仪 (IV-Analysis)、失真度分析仪 (Distortion Analyzer)、频谱分析仪 (Spectrum Analyzer)、网络分析仪 (Network Analyzer)、安捷伦信号发生器 (Agilent Function Generator)、安捷伦万用表 (Agilent Multimeter)、安捷伦示波器 (Agilent Oscilloscope)、泰克示波器 (Teltronix Oscilloscope)、实时测量探针 (Dynamic Measurement Probe)、Labview 采样仪器、电流探针 (Circuit Probe)。下面对本书涉及的部分仪器进行简单介绍。

#### 1. 函数信号发生器 (Function Generator)

函数信号发生器可以提供正弦波、三角波和方波信号。单击 Function Generator 图标, 得到图 1.1.7 左边的 XFG1 图标。双击该图标, 展开属性编辑对话框如图 1.1.7 右图所示。

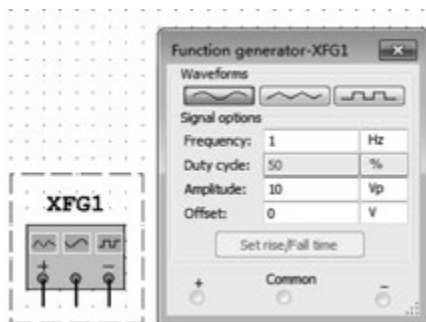


图 1.1.7 函数信号发生器图标及属性编辑对话框

在属性编辑对话框中, 各参数解释如下:

(1) 波形 (Waveforms): 单击选择正弦波、三角波、方波。

(2) 信号选项 (Signal options)。

➤ 信号频率 (Frequency): 其选择范围为 0.001pHz~1000THz, 默认值为 1Hz。

➤ 占空比 (Duty cycle): 其选择范围为 1%~99%, 默认值为 50%。

➤ 振幅(Amplitude): 产生信号的最大值,其选择范围为  $0.001\text{pV} \sim 1000\text{TV}$ ,默认值为  $10\text{V}$ 。

➤ 偏置(Offset): 将偏置电压与原信号叠加后输出,其选择范围为  $-999 \sim 999\text{kV}$ ,默认值为  $0\text{V}$ 。

(3) 设置上升/下降时间(Set Rise/Fall Time): 仅用于选择方波时,设置产生信号的上升和下降时间。单击后弹出如图 1.1.8 所示对话框。可在左边直接输入数字,单位可选 nsec、 $\mu\text{sec}$ 、msec。默认值(Default)为 10nsec。

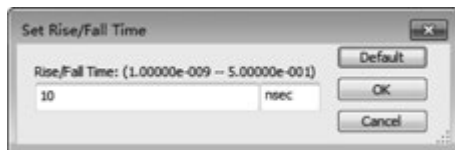


图 1.1.8 信号上升/下降时间设置对话框

(4) Common: 表示公共接地端。

➤ 信号接+和 Common 端,表示输出信号为正极性信号,幅值等于信号发生器的有效值。

➤ 信号接-和 Common 端,表示输出信号为负极性信号,幅值等于信号发生器的有效值。

➤ 信号接+和-一端,信号幅值等于信号接+和 Common 端时的两倍。

## 2. 双通道示波器(Oscilloscope)

双通道示波器用来测量和显示被测信号的波形、频率、幅度等参数。单击 Scope 图标,得到如图 1.1.9 所示双通道示波器 XSC1。双击该图标,展开属性编辑对话框如图 1.1.10 所示。

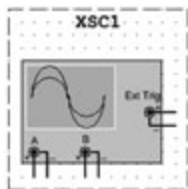


图 1.1.9 双通道示波器图标

图 1.1.9 中 A、B 通道的+连接信号端、一端为示波器接地端(即使该端口不接外电路,也默认接地)。Ext Trig 通道为外触发信号输入端。图 1.1.10 中各参数解释如下:

### 1) Timebase 区

Timebase 区用于进行时基信号的参数设置。

➤ Scale: 表示 X 轴方向上每个刻度代表的时间,范围为  $1\text{fs} \sim 1000\text{Ts}$ 。

➤ X pos. (Div): 用于调整时间基准的起始位置,范围为  $-5 \sim +5\text{V}$ 。

➤ Y/T: X 轴显示时间刻度, Y 轴显示 A、B 通道电压信号幅度。按设置时间进行扫描。



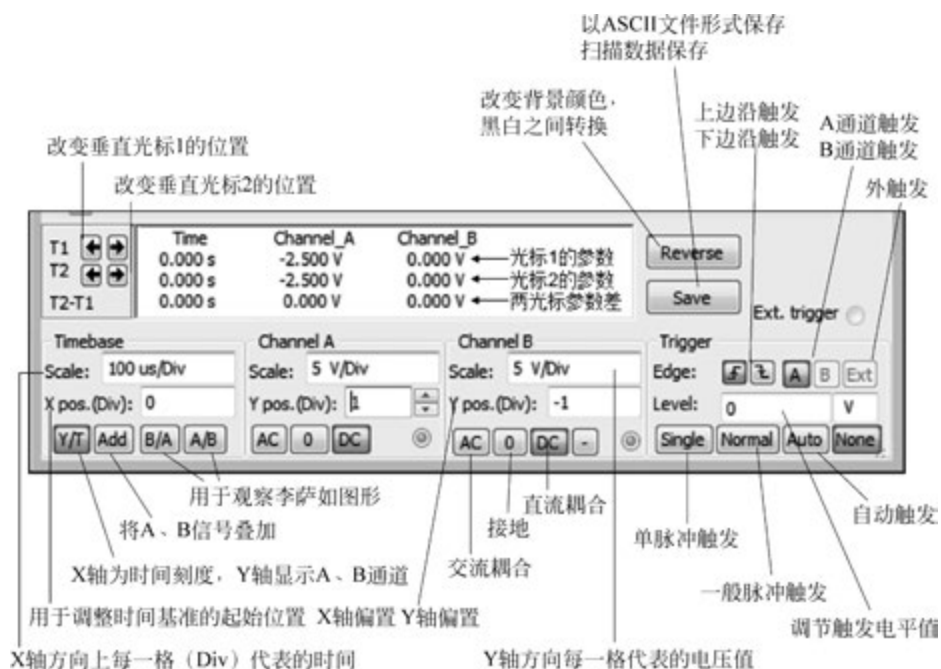


图 1.1.10 示波器属性编辑对话框

- B/A: X 轴显示 A 通道信号, Y 轴显示 B 通道信号。用李萨如图形法测量两通道的频率和相位。
- A/B: 与 B/A 相反。
- Add: X 轴显示时间刻度, Y 轴显示 A、B 通道的信号之和。

### 2) Channel A、B 区

Channel A、B 区功能相同, 此处仅介绍 Channel A 区。

- Scale: 表示 Y 轴上每一格 (Div) 的电压值, 范围为  $1\text{fV} \sim 1000\text{TV}$ 。
- Y pos. (Div): 用于调整 Y 轴原点的位置。
- AC: 交流耦合, 将输入信号滤去直流分量, 仅在屏幕中显示交流分量。
- 0: 接地, 将输入信号对地短路。
- DC: 直流耦合, 即直通, 将交流分量和直流分量全部显示。

### 3) Trigger 区

- Edge: 边沿触发, 可选择上升沿触发 [f] 或下降沿触发 [F]。
- Level: 触发电平, 用户可调节触发电平的大小。
- Type: 设置触发方式, 有 Single (单脉冲触发)、Normal (一般脉冲触发)、Auto (自动触发), 一般选择自动触发。
- A 或 B: 用 A 通道或 B 通道的输入信号作为同步 X 轴时基扫描的触发信号。
- Ext: 外触发。

### 3. 四通道示波器 (Four Channel Oscilloscope)

四通道示波器如图 1.1.11 所示, 可以同时 4 路信号进行观察和测量。因而在对 3

路以上信号进行对比观察和测量时,使用该示波器更为方便。

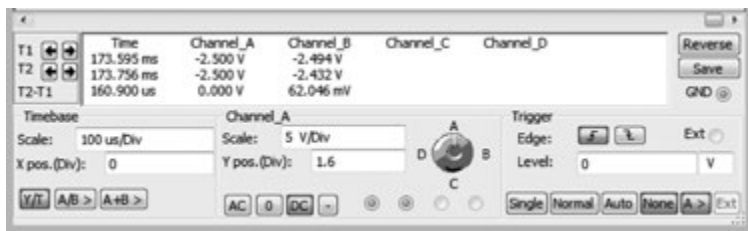



图 1.1.11 四通道示波器属性编辑对话框

四通道示波器的面板布局、功能和设置与双通道示波器基本一致,不同的仅是通道切换。在 Channel A 区右边有一个 4 挡转换开关的旋钮,旋钮指针默认位置指向 A,将光标移到旋钮上,在靠近外围字母的位置,单击,旋钮的标识指针随即指向相应的字母,频道名称相应改变。即可对该频道进行参数设置,设置完成后,再切换至其他通道进行参数设置。

#### 4. 波特图示意(Bode Plotter)

波特图示意仪可用来测试和显示电路或系统的幅频特性与相频特性,类似于实验室的频率特性测试仪。在 Multisim 右边工具栏中单击图标  Bode Plotter 后放置在电路图中,如图 1.1.12 所示,底部有两组连接端口。

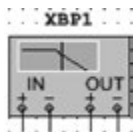


图 1.1.12 波特图示意

双击 XBP1 图标后展开如图 1.1.13 所示属性编辑对话框。底部有两组端口,分别连接电路的输入端(In)的正极  $V_{In+}$ ,负极  $V_{In-}$ ,输出端(Out)的正极  $V_{Out+}$ ,负极  $V_{Out-}$ ,与波特图示意仪上的端口相对应。

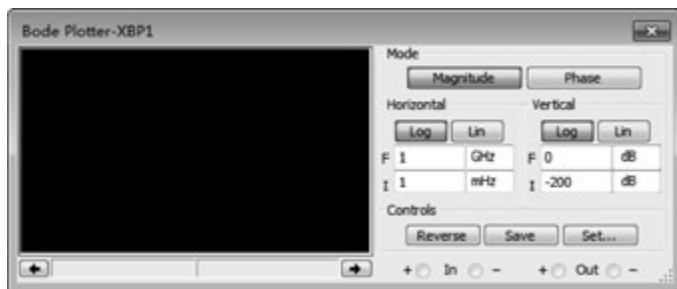


图 1.1.13 波特图示意仪属性编辑对话框

波特图示意仪的各参数解释说明如下:

(1) Mode 区: 设置左边屏幕显示内容的类型。

➤ 单击 Magnitude 选择显示幅频特性曲线。

➤ 单击 Phase 选择显示相频特性曲线。

(2) Horizontal 区：设置波特图仪的 X 轴刻度的显示方式和频率范围。

➤ Log：横坐标标尺用对数刻度显示。

➤ Lin：横坐标标尺用线性刻度显示。

➤ I：Initial，设置初始频率，默认单位为 MHz，单击单位框可自行更改。

➤ F：Final，设置终止频率，单位为 GHz，单击单位框可自行更改。终止频率必须大于初始频率。

(3) Vertical 区：设置波特图仪的 Y 轴刻度的显示方式和频率范围。

➤ Log：测量幅频特性时，如单击 Log 按钮后，Y 轴标尺刻度为  $20\text{Log}(V_{\text{Out}}/V_{\text{In}})\text{dB}$ 。

➤ Lin：Y 轴标尺用线性刻度显示。


(4) Controls 区：

➤ Reverse：用于切换显示窗口的背景颜色，可有黑白两种选择。

➤ Save：将测量结果以 BOD 格式存储。保存后用记事本格式打开可以观察到测量的每个点的数据。

➤ Set：单击后弹出 Setting dialog 对话框，可在 1~1000 选择数字，设置扫描的分辨率，设置的数值越大，精度越高，相对运行时间越长。默认值为 100。

## 5. 频谱分析仪(Spectrum Analyzer)

频谱分析仪用于分析信号的频域特性，单击快捷键  频谱分析仪即展现如图 1.1.14 所示频谱分析仪图标。图中 IN 为输入端，T 为触发端。

双击展开属性编辑对话框，如图 1.1.15 所示。

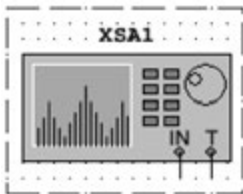


图 1.1.14 频谱分析仪图标

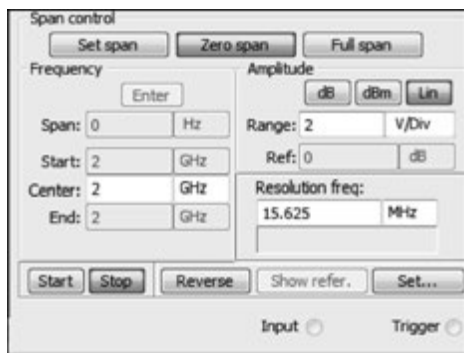


图 1.1.15 频谱分析仪属性编辑对话框

(1) Span control 区：选择测试频率设置方式。

- Set span：频率范围由 Frequency 区决定。
- Zero span：仅由 Frequency 区的 Center 栏设定的中心频率决定。
- Full span：全局扫描，扫描频率为 0~4GHz。

(2) Frequency 区：设置扫描频率范围。

- Span：设置扫描频率的范围。
- Start：设置扫描频率的起始值。
- Center：设置扫描频率的中心频率。
- End：设置扫描频率的终止值。

(3) Amplitude 区：

- dB：纵坐标单位为分贝(dB)。
- dBm：纵坐标单位为分贝毫伏(dBm)。
- Lin：纵坐标刻度单位采用线性表示。
- Range：设置纵坐标每一格的幅值。
- Ref：设置参考标准。

(4) Resolution freq 区：设置频率分辨率。代表频谱分析仪区分信号的能力。

(5) Start：启动频谱分析仪。

(6) Stop：停止频谱分析仪。

(7) Reverse：改变屏幕背景颜色。

(8) Settings：设置触发源与触发方式。单击后弹出如图 1.1.16 所示对话框。

- Trigger source：设置触发源。可选 Internal(内部触发源)或 External(外部触发源)。
- Trigger mode：设置触发方式。可选 Continuous(连续触发方式)或 Single(单次触发方式)。
- Threshold volt：触发电压阈值。
- FFT points：设置傅里叶分析的点数。默认值为 1024, 可选为 1024 的倍数。



图 1.1.16 触发设置对话框

### 1.1.5 Multisim 分析信号频谱

本书涉及许多利用 Multisim 进行频谱分析的实验。与频谱分析相关的仿真实验主要应用了 Multisim 提供的电路分析功能,也可以使用 1.1.4 节介绍的频谱分析仪进行分析。本节将具体介绍用 Multisim 中的傅里叶分析功能分析周期信号频谱的方法。

傅里叶分析(Fourier Analysis)方法是分析周期信号频域特征的一种数学方法,就是将周期性的非正弦信号转换成一系列的正弦波和余弦波以及直流分量的组合。周期信号  $f(t)$  可以表示为

$$f(t) = A_0 + A_1 \cos \omega t + A_2 \cos 2\omega t + \cdots + B_1 \sin \omega t + B_2 \sin 2\omega t + \cdots$$

其中,  $A_0$  为原信号的直流分量;  $A_1 \cos \omega t + B_1 \sin \omega t$  为基频分量;  $A_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t$  ( $n > 1$ ) 为  $n$  次谐波,  $A_i$ 、 $B_i$  为第  $i$  次谐波系数。

Multisim 中的傅里叶分析方法是把被测电路中的某一节点作为分析对象,对被测节点处的时域信号作傅里叶变换,求出它的频域变化规律,分析信号的直流分量、基频分量和谐波分量。因此在进行傅里叶分析时,必须首先选择测试电路中需要进行傅里叶分析的节点。并且,一般将电路中的交流激励源的频率设定为基频,若在电路中有几个交流信号源,可以将基频设定在这些频率的公因数上。例如,有 6.5kHz 和 8.5kHz 两个交流信号源,则基频取 0.5kHz,因为 0.5kHz 的 13 次谐波是 6.5kHz,17 次谐波是 8.5kHz。

下面以分析图 1.1.17 所示测试电路中函数信号发生器产生的方波信号为例说明 Multisim 电路分析方法中的傅里叶分析操作步骤。

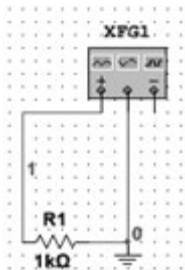


图 1.1.17 方波频谱分析测试电路

#### 1. 步骤 1

画出待分析的电路。

画图时注意连接信号发生器的+及 common 端,设置输出信号为  $V_{p-p}=1V$ , Offset = 0V, 频率为 1kHz, 占空比为 50%, 电阻 R1 为 1kΩ。注意,必须放置接地端。执行菜单命令 options(选项)-> sheet properties(电路图属性), 在“电路图属性”对话框中找到“NetName(网络名称)”选项,勾选“show all(全部显示)”项,这样电路中将会显示电路各节点号。

#### 2. 步骤 2

执行菜单命令 Simulate(仿真)-> Analysis and simulation(选择仿真分析法)-> Fourier Analysis(傅里叶分析), 打开相应的“傅里叶分析”设置对话框,如图 1.1.18 所示。

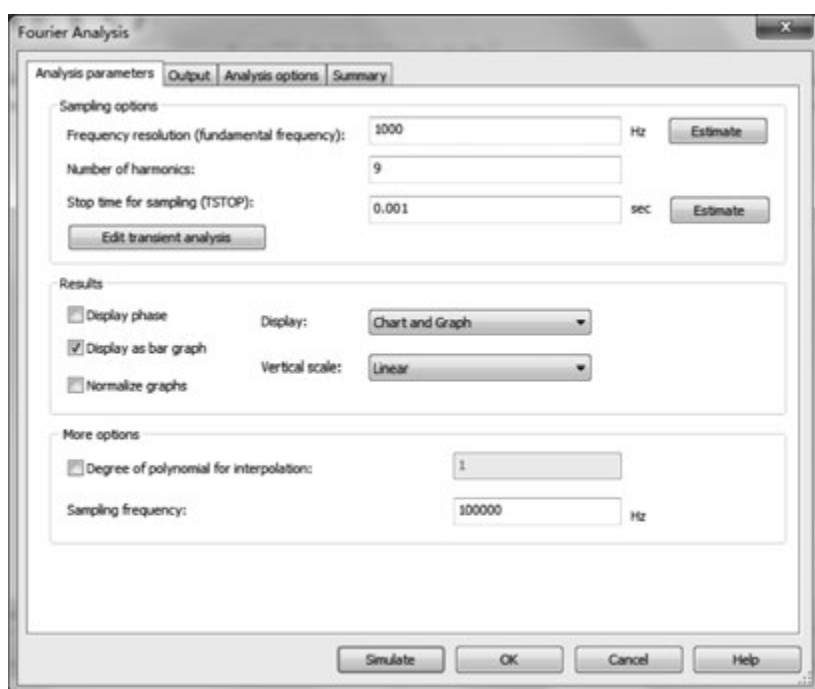


图 1.1.18 Multisim 傅里叶分析设置对话框

在 Analysis Parameters(傅里叶分析)对话框中的部分参数含义解释如下。

#### 1) Analysis parameters(分析参数)页

(1) Sampling options(取样选项)区：在 Sampling options 区可以对傅里叶分析的基本参数进行设置。

① Frequency resolution(fundamental frequency)频率分解(基波频率)：窗口中可以设置基频。如果电路中有多个交流信号源，则取各信号源频率的公因数。右边的 Estimate(估算)按钮，可用于估算仿真电路中的基波频率，由程序自动设置。这里分析的方波信号频率为 1kHz，因此在本例中该参数设置为 1kHz。

② Number of harmonics(谐波数量)：设置希望显示的谐波的次数。这一数值包含基波在内，默认值为 9。

③ Stop time for sampling(采样的停止时间)：设置停止采样的时间，一般该数较小，是毫秒级别。右侧按钮用于估算仿真电路中采样停止时间参数的值。

④ Edit transient analysis(编辑瞬态分析)按钮：单击 Edit transient analysis 按钮，弹出的对话框如图 1.1.19 所示。出现 Analysis parameters(分析参数)页。该页参数含义在这里不再具体说明，可参考 Multisim 帮助文档。

(2) Results 区：用于对仿真结果的输出形式进行设置。在 Results 区可以选择仿真结果的显示方式，对结果输出形式进行设置。其中：

- Display phase(显示相位)：勾选该项可以既显示幅度谱又显示相位谱。
- Display as bar graph(显示为柱形图)：勾选该项可以以柱状图显示出频谱图。



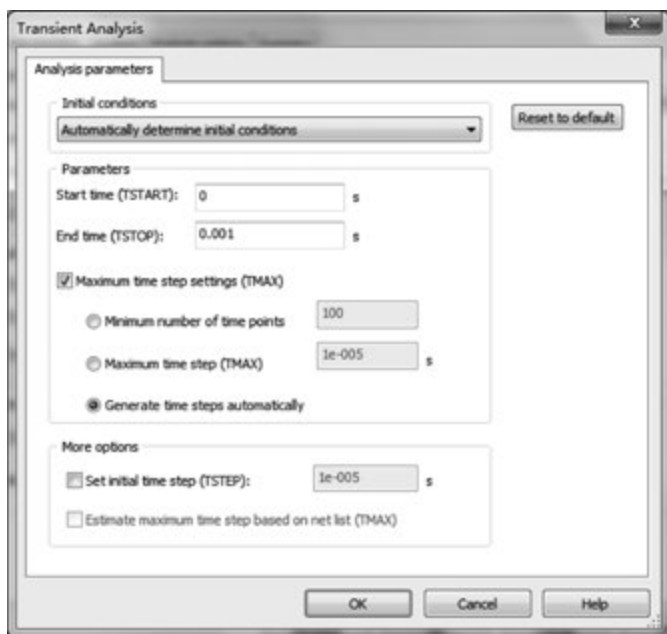


图 1.1.19 瞬态分析参数设置

- Normalize graphs(使曲线图标准化): 勾选该项可以显示归一化的(Normalize)频谱图。
- Display(显示窗口): 勾选该项可以选择所要显示的项目,有 Chart(图表)、Graph(曲线)及 Chart and Graph(图表和曲线)3个选项。
- Vertical scale(垂直刻度窗口): 勾选该项可以选择频谱的纵坐标刻度,其中包括 Decibel(分贝刻度)、Octave(八倍刻度)、Linear(线性刻度)及 Logarithmic(对数刻度)。

(3) More options(更多选项)区。

- 选择 Degree of polynomial for interpolation 可以设置多项式的维数,选中该选项后,可在其右边栏中输入维数值。多项式的维数越高,仿真运算的精度也越高。
- Sampling frequency 窗口可以设置采样频率,默认为 100000Hz。也可单击 Stopping time for sampling 区中的 Estimate 按钮,由程序自动设置。

(4) Simulate 按钮。

按 Simulate(仿真)按钮,即可在显示图上获得被分析节点的离散傅里叶变换的波形。

傅里叶分析可以显示被分析节点的幅度谱,也可以选择显示相位谱,显示的幅度可以是离散条形,也可以是连续曲线型。

## 2) Output(输出)页

该属性页中的选项用来选择需要分析的节点和变量,如图 1.1.20 所示。

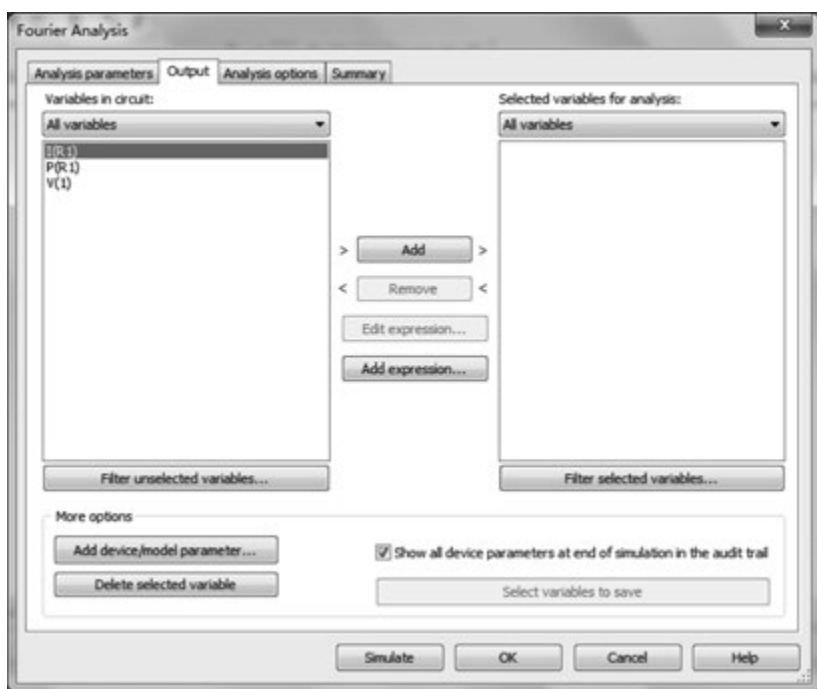


图 1.1.20 傅里叶分析输出属性页

(1) Variables in circuit(电路中的变量)栏。

Variables in circuit 栏中列出的是电路中可用于分析的节点和变量。单击下拉菜单，弹出变量类型选择表，如图 1.1.21 所示。在变量类型选择表中：

- 单击 Static probes, 选择静态探针。
- 单击 Circuit voltage and current, 选择电压和电流变量。
- 单击 Circuit voltage, 选择电压变量。
- 单击 Circuit current, 选择电流变量。
- 单击 Digital signals, 选择数字信号。
- 单击 Device/Model Parameters, 选择器件/模型参数变量。
- 单击 Circuit Parameters, 选择电路参数。
- 单击 All variables, 选择电路中的全部变量。

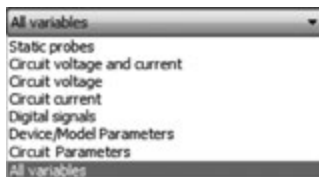


图 1.1.21 变量类型选择下拉菜单

(2) Selected variables for analysis(确定需要分析的变量)栏。

Selected variables for analysis 栏中列出的是确定需要分析的节点。默认状态下为

空,用户需要从 Variables in circuit 栏中选取。方法是:首先选中左边的 Variables in circuit 栏中需要分析的一个或多个变量,再单击 Add 按钮,则这些变量出现在 Selected variables for analysis 栏中。如果不想分析其中已选中的某个变量,可先选中该变量,单击 Remove 按钮即将其移回 Variables in circuit 栏内。

### 3) Analysis options(分析选项)页

Analysis options 对话框如图 1.1.22 所示。Analysis options 对话框用来设定分析参数,建议使用默认值。在 Analysis options 对话框中有 SPICE options 区和 Other options 区。

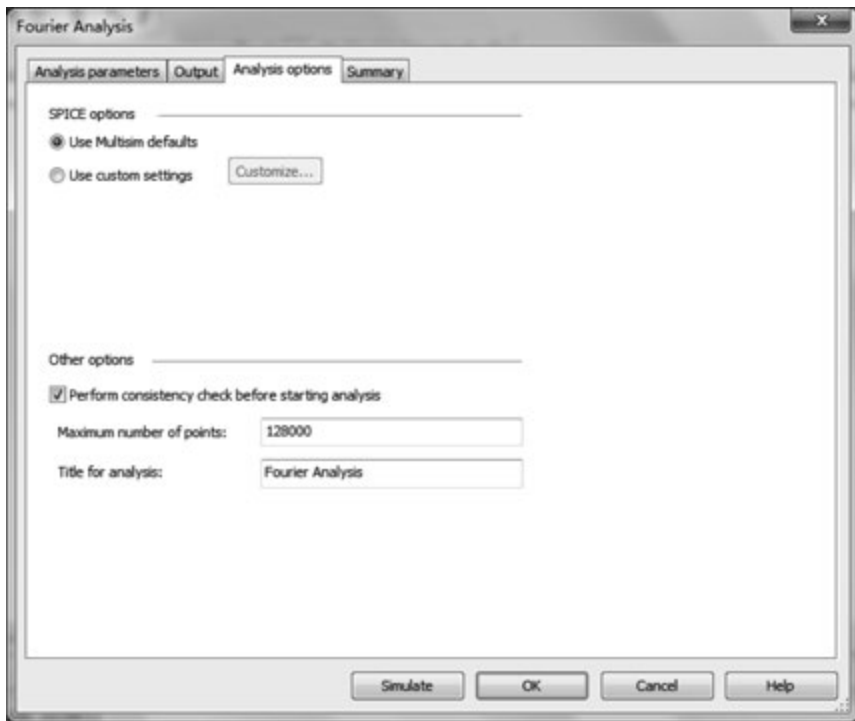


图 1.1.22 Analysis options(分析选项)页

(1) SPICE options 区: 用来对非线性电路的 SPICE 模型进行设置。

- Use Multisim defaults(使用 Multisim 默认值)用于选择系统给出的默认参数。
- 如果选择 Use custom settings(使用自定义设置),单击 Customize 按钮会弹出 custom analysis options 选项页,用来选择用户所设定的分析选项。

(2) Other options 区: 用来设置仿真开始时最大点数以及设置分析的标题。

### 4) 求和(Summary)页

汇总并确认分析设置,用于对所做的设置进行文字上的总结。该页给出了程序设定的参数和各个选项,可供用户确认、检查。单击 Simulate 按钮可直接进行仿真,如果不马上进行分析,可单击 OK 按钮,只进行保存设定。

### 3. 步骤 3

根据第 2 步中“傅里叶分析(Fourier Analysis)”设置对话框各参数的解释,对本实验中的方波进行频谱分析,需要设置的参数如下:

(1) 执行菜单命令“分析参数页(Analysis parameters)->取样选项区(Sampling options)->Frequency 频率分解(基本频率)resolution(fundamental frequency)”,设置基本频率为 1kHz。这是因为所分析信号的频率为 1kHz。

(2) 执行菜单命令“分析参数页(Analysis parameters)->取样选项区(Sampling options)->谐波数量(Number of harmonics)”,设置谐波数量为 20 次。这里既可以根据实际观察谐波次数的需要进行选择,也可以按照实验要求进行选择。

(3) 在“输出(Output)”属性页添加 V(1)这一分析变量。

### 4. 步骤 4

参数设置完成后,单击图 1.1.18 傅里叶分析设置对话框中的“仿真(Simulate)”按钮,即可得到频谱分析结果,如图 1.1.23 所示。

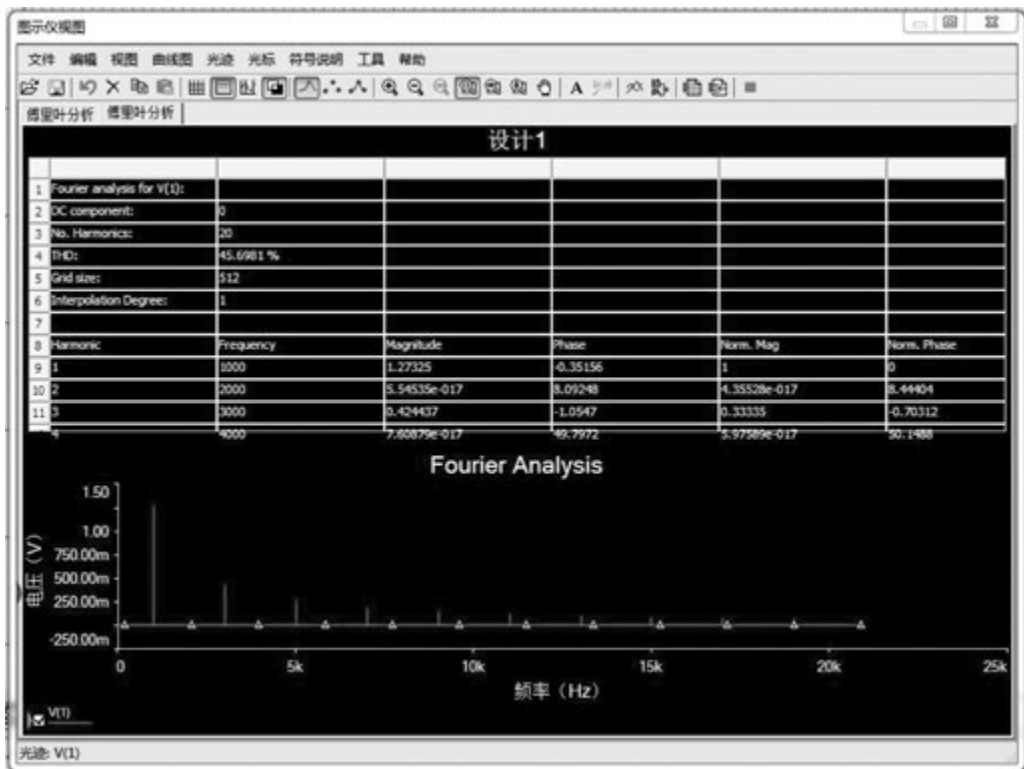


图 1.1.23 方波信号的傅里叶分析结果(频谱图)

图 1.1.23 中,上半部分以表格的形式显示分析结果,包括直流分量、观察的谐波次数,各次谐波的频率、幅值等参数值。下半部分则给出频谱图,可以直观地看到信号频谱的情况。

### 1.1.6 Multisim 测量系统频率特性

Multisim 中的波特图仪可用来测试和显示电路或系统的幅频特性与相频特性,类似于通常实验室的扫频仪。本书涉及多个需要测试系统频率特性的实验,因此,本节对波特图仪的使用做详细介绍。

在 Multisim 右边工具栏中单击 Bode Plotter,即可将波特图仪的图标放置在电路图中,如图 1.1.24 所示。波特图仪图标底部有两组连接端口,分别为 IN 和 OUT 端口。这两组端口分别连接被测系统的输入端和输出端。IN 和 OUT 端口在连接至电路时还要注意波特仪 IN 和 OUT 端口一定要和被测系统输入、输出端口的“+”“-”连接一致。

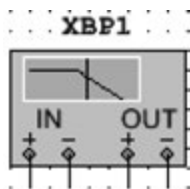


图 1.1.24 Multisim 波特图仪图标

此外,在进行频率特性测试时,必须在被测系统的输入端接入 AC(交流)信号源,作为系统的激励信号。AC(交流)信号源的频率、幅值的设置并没有特殊要求,频率测量的范围由波特图仪的参数设置决定。电路连接完成后,单击“运行”按钮,即可启动波特图仪对系统进行频率特性的测试。

双击波特图仪图标,即可打开图 1.1.25 所示波特图仪显示对话框。对话框的左边为特性曲线的显示区域。右边是参数设置区域,波特图仪的各参数解释说明见 1.1.4 节。电路启动后,可以根据测得的频率特性曲线的情况设置各参数值,特性曲线可以准确地显示在显示区域,便于观察。图 1.1.25 所示是测试某 RC 网路的频率特性的结果。

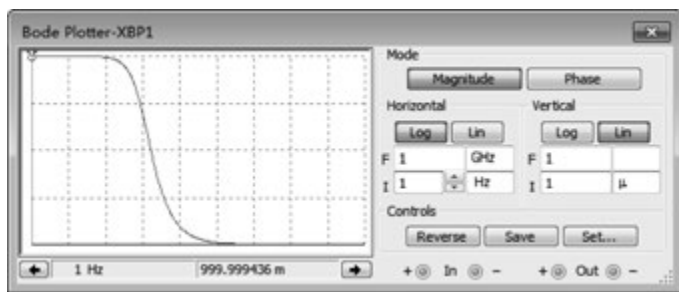


图 1.1.25 波特图仪显示面板

此外,实验中常需要测试特性曲线中的参数,这时可以使用波特图仪提供的游标工具对特性曲线进行测试。移动波特图仪显示区左边的垂直游标,图像上对应点的数据将显示在显示区下方。利用显示区下方的左、右箭头按钮也可控制垂直游标左右移动。

## 1.2 MATLAB 使用简介



### 1.2.1 MATLAB 概述

MATLAB 是矩阵实验室(Matrix Laboratory)的缩写,是由美国 MathWorks 公司发布的用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境。主要应用于工程科学计算、图像处理与计算机视觉、控制系统的设计与分析、计算生物学、计算金融学等领域。

MATLAB 系统由 MATLAB 开发环境、MATLAB 数据函数库、MATLAB 语言、MATLAB 图像处理系统和 MATLAB 应用程序接口(API)五部分组成。其主要特点如下:

#### 1. 强大的数学计算功能

MATLAB 提供了一系列用于数据分析、算法开发和模型创建的计算方法,支持工程设计和科学运算的数学函数,尤其在向量运算和矩阵运算方面特别突出。

#### 2. 便捷的数据可视化功能

MATLAB 提供了用于数据采集、分析和可视化的工具,有一系列用于绘图的命令函数,也可将运行结果以绘图、报告或 MATLAB 代码的形式予以保存。

#### 3. 语句简单,操作简便

MATLAB 语言支持向量运算和矩阵运算。MATLAB 内含丰富的库函数,无须执行声明变量、指定数据类型以及分配内存等低级管理任务,使编程速度大为提高。

#### 4. 强大的工具箱功能

MATLAB 有数百个核心内部函数以及各种可选的工具箱。工具箱(函数库)可分为两类:功能性工具箱和学科性工具箱。除内部函数外,MATLAB 的其他文件的源文件都是开放性的,可读可修改,用户可构造自己的工具箱。

MATLAB 功能性工具箱主要用来扩充其符号计算功能、图示建模仿真功能、文字处理功能以及与硬件实时交互的功能。而学科性工具箱则专业性较强,由该领域的具有高学术水平的专家编写,如优化工具箱(Optimization Toolbox)、统计工具箱(Statistics Toolbox)、神经网络工具箱(Neural Network Toolbox)、小波工具箱(Wavelet Toolbox)等。

### 1.2.2 MATLAB 的工作环境

安装好 MATLAB 后,启动 MATLAB R2024a,启动完成后出现如图 1.2.1 所示的 MATLAB R2024a 的主界面。

MATLAB R2024a 的主界面(工作环境)包含菜单栏(主页、绘图、应用程序)、路径地址栏、命令行窗口、当前文件夹、工作区。

#### 1. 菜单栏

菜单栏包含默认的主页、绘图、应用程序 3 个工具栏。MATLAB 在程序运行时会自