

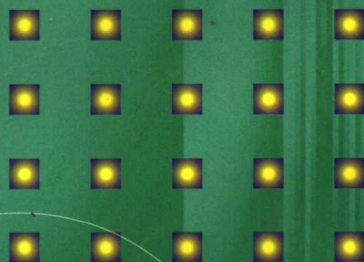
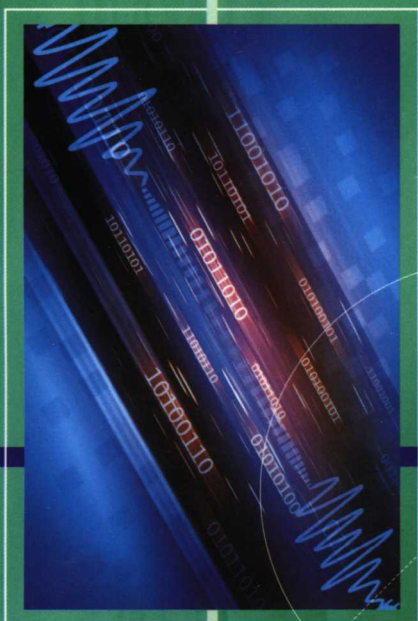


高等学校教材

Textbook for Higher Education

# 模拟电子技术 仿真与实验

徐瑞萍 谢松云 李会方 张晓毅 编著



MONI DIANZI JISHU

FANGZHEN YU SHIYAN

西北工业大学出版社

高等学校教材

# 模拟电子技术仿真与实验

徐瑞萍 谢松云 李会方 张晓毅 编 著

西北工业大学出版社

**【内容简介】** 本书是为适应电子技术实验课程改革的需要,在总结多年实验教学的基础上编写的模拟电子技术实验教材,全书共分6章,主要包括:Multisim应用入门,验证性基础实验,综合性实验,设计性实验,常用电子元器件以及电路调试和设计的基本方法。本书特色是设计的每个实验都分为计算机仿真和实验室操作两个部分;应用了目前最优秀的电子仿真软件 Multisim 9,将先进的计算机技术与实验有机地结合在一起,可以有效地提高教学、实验质量和学生的电路分析设计能力。

本书可作为高等院校电子类与自动控制类专业学生电子技术实验教材及课程设计指导书,也可作为有关工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术仿真与实验/徐瑞萍等编著. —西安:西北工业大学出版社,2007.8  
ISBN 978-7-5612-2250-8

I. 模… II. 徐… III. 模拟电路—电子技术—实验—高等学校—教材 IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 095988 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西丰源印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:12

字 数:289 千字

版 次:2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价:15.00 元(教材 13.00 元,实验报告 2.00 元)

# 前 言

电子技术实验作为电子技术基础课程的重要组成部分,在人才培养过程中起着不可替代的重要作用。它的主要任务是培养学生的基本实验技能、电路的设计与综合应用能力以及使用计算机工具的能力,以全面提高学生的素质和创新能力。随着大规模集成电路和计算机技术的发展,电子系统的理论、技术和电路发生了巨大的变化,这种发展状况和趋势对电子技术基础课程提出了更高的要求,需要不断地更新课程内容,拓宽知识面,培养学生的综合能力和创新能力。为了适应这种要求,推动电子技术实验的改革,特编写此教材。

随着电子设计自动化程度的迅速提高和集成电路技术与工艺的飞速发展,使用计算机辅助设计和验证工具来分析与设计电路已经成为本科生必须掌握的基本能力之一,培养学生使用工具的习惯和能力已成为电子技术实验课程的重要任务。

本书第1章首先介绍了 Multisim 软件的功能和使用方法,并通过电路实例和实验使学生初步掌握如何使用 Multisim 工具进行电路分析和设计的基本方法。

电子实验技术按其性质和目的可分为验证性基础实验、综合性实验和设计性实验三大类。本书涉及的验证性基础实验旨在让学生对基本的电路元件的性能和使用方法有一个基本的认识,学生通过验证性基础实验课掌握基本的实验方法与实验技能,并具有观察和分析试验现象的能力,为进行更复杂的实验做好准备。

综合性实验是在验证性基础实验的基础上进行的实验训练,实验内容侧重于综合应用知识,进一步加深学生对所学知识的综合运用和理解。

设计性实验是在综合性实验的基础上进行的,其重点是电路设计,本书所安排的设计性实验一般是给出实验任务 and 设计要求,并给出一定的引导与提示,让学生通过电路设计、电路安装调试、指标测试、撰写报告等过程,提高学生电路设计水平和解决实际问题的能力。

本书的特色在于将模拟仿真和实验室实验有机结合起来,充分将现代科技应用于具体实践中来,适应学习和研究的发展方向。

本书在编写过程中得到了徐建城、张修炎等教师的热心指导,并对本书提出了许多宝贵的意见。同时杨明、李军辉、王永亮等人承担了部分文字编辑和绘图工作。在此对所有给予支持、帮助和指导的人员致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2007年6月

# 目 录

<b>第 1 章 Multisim 应用入门</b> .....	1
1.1 Multisim 的基本介绍 .....	1
1.2 建立电路 .....	2
1.3 常用虚拟仪器的使用 .....	5
1.4 电路的仿真 .....	10
<b>第 2 章 验证性基础实验</b> .....	12
2.1 晶体管单级放大器 .....	12
2.2 场效应管单级放大器 .....	21
2.3 单级放大器的频率特性 .....	25
2.4 差动放大器 .....	29
2.5 多级负反馈放大器的研究 .....	35
2.6 功率放大器 .....	42
2.7 集成运算放大器的基本应用 .....	45
2.8 RC 文氏电桥振荡器 .....	51
2.9 有源滤波器 .....	55
2.10 电压比较器与矩形波发生器 .....	58
<b>第 3 章 综合性实验</b> .....	64
3.1 具有前级滤波的功率放大器 .....	64
3.2 函数信号发生器 .....	71
3.3 电压/频率转换电路 .....	76
3.4 电流/电压转换电路 .....	82
<b>第 4 章 设计性实验</b> .....	87
4.1 用运算放大器组成万用表的设计 .....	87
4.2 直流稳压电源的设计 .....	94
4.3 温度控制电路的设计 .....	104
4.4 音调控制电路的设计 .....	110

<b>第 5 章 常用电子元器件</b> .....	114
5.1 电阻器 .....	114
5.2 常用半导体器件 .....	120
5.3 电感器 .....	125
5.4 电容器 .....	128
5.5 常用模拟集成器件简介 .....	134
<b>第 6 章 电路调试和设计的基本方法</b> .....	144
6.1 在面包板上搭接实验电路 .....	144
6.2 故障的查找与排除 .....	145
6.3 电路设计基本步骤 .....	149
<b>参考文献</b> .....	153

# 第 1 章 Multisim 应用入门

随着电子技术和计算机技术的发展,电子产品已与计算机紧密相连,电子产品的智能化日益完善,电路的集成度越来越高,而产品的更新周期却越来越短。电子设计自动化(EDA)技术,使得电子线路的设计人员能在计算机上完成电路的功能设计、逻辑设计、性能分析、时序测试直至印刷电路板的自动设计。EDA是在计算机辅助设计(CAD)技术的基础上发展起来的计算机设计软件系统。与早期的CAD软件相比,EDA软件的自动化程度更高、功能更完善、运行速度更快,而且操作界面友善,有良好的数据开放性和互换性。

Electronics Workbench Multisim 软件是加拿大 Interactive Image Technologies 公司于 20 世纪 80 年代末、90 年代初推出的电子电路仿真的虚拟电子工作台软件,现在最新版本已经到了 9.0,下面介绍 Multisim 9.0 的基本使用方法。

## 1.1 Multisim 的基本介绍

如图 1.1-1 为 Multisim 的基本用户界面:菜单栏包括除了文件(File)、编辑(Edit)、视图(View)、工具(Tools)等基本的 Windows 菜单外,还包括了 Multisim 特有的几个菜单:放置(元件)(Place)、仿真(Simulate)、转换(Transfer)和报告(Reports)几个菜单。

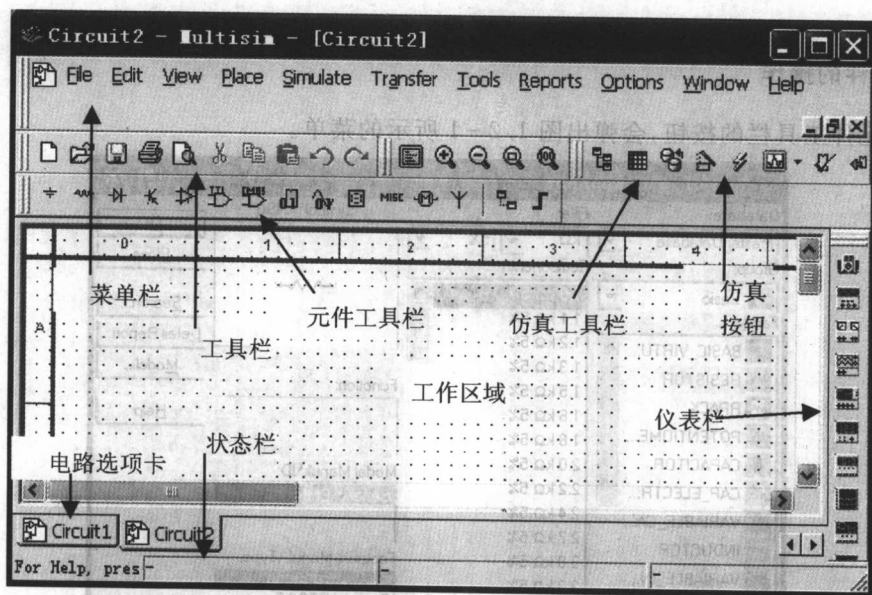


图 1.1-1 Multisim 基本用户界面






(1)Place 菜单:可以在工作区域放置元件、节点、电线、总线、文本和图片等。





(2) Simulate 菜单: 可以控制仿真的开始和结束, 在工作区域放置仪器仪表(包括示波器、万用表、波特图仪、频率计、测量探针等), 对电路进行分析(包括直流分析、交流分析、傅里叶分析等)。

(3) Transfer 菜单: 可以将电路转换为 EWB 的 Ultiboard, PCB Layout 等。

(4) Reports 菜单: 用于生成有关元件的使用报告、详细报告、列表报告等。

元件工具栏有地(包括电源等) 、基本元件(包括电阻、电容、电感、开关等) 、二极管(包括稳压管、发光二极管等) 、三极管(包括场效应管等) 、基本放大器  等。

仿真工具栏包括了仿真实按钮 、图表分析  等。

右边仪表栏包括了实验中常用的仪器, 有万用表、函数发生器、瓦特计、双通道示波器、波特图仪、频率计、字发生器、测量探针等, 如图 1.1-2 所示。

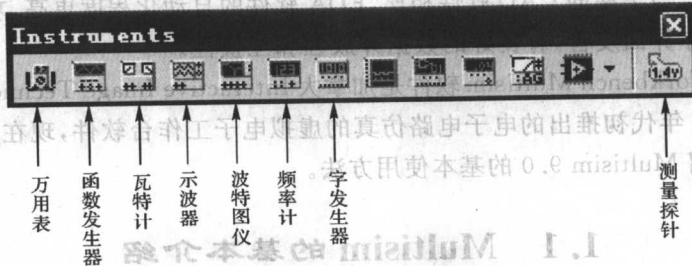


图 1.1-2 仪表栏说明

## 1.2 建立电路

### 一、元件的操作

点击元件工具栏的按钮, 会弹出图 1.2-1 所示的菜单。

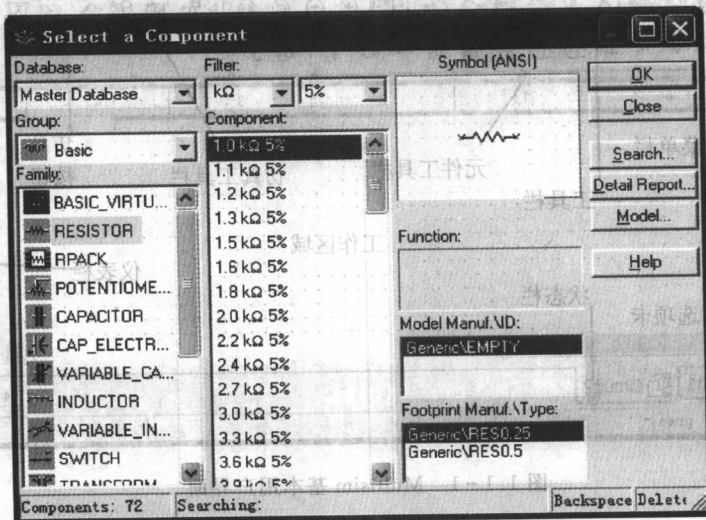


图 1.2-1 选择元件



如果不知道元件的具体位置在哪儿,或者不知道元件的全名,可以通过右上角的搜索(Search)在元件库中查找。可以使用通配符“?”和“\*”,如在搜索中输入“\*324”或者“LM3??”,都可以找到所要的不同的结果。

在左边的 Group 下拉菜单中,可以选择相应的元件组(见图 1.2-2(a)),Family 选项框中可以选择相应元件组中的元件类(见图 1.2-2(b)),其中前面是墨绿色背景的图标是虚拟库(其中的元件值参数可以根据需要任意设定),背景是灰色的图标是实际库(其中的元件值等参数不能根据需要任意设定,是实际元件的参数值)。例如选择 Basic 元件组实际库中的电阻(Resistor),在 Filter 选项框中可以选择元件的阻值数量级、误差以及具体的元件(见图 1.2-2(c)),当选中元件后,在元件上双击或者单击右上角的 OK 按钮,就可以在工作区域放置元件了(见图 1.2-3(a)),选择合适的位置,单击鼠标左键,元件就放置好了(见图 1.2-3(b)),可以选中元件直接拖动鼠标或者用键盘上的方向键来改变它的位置,如果元件水平或垂直位置不好,可以在元件上单击鼠标右键,对元件进行水平镜像翻转、垂直镜像翻转、顺时针 90° 旋转和逆时针 90° 旋转(见图 1.2-3(c))。这样,一个元件就放置好了。

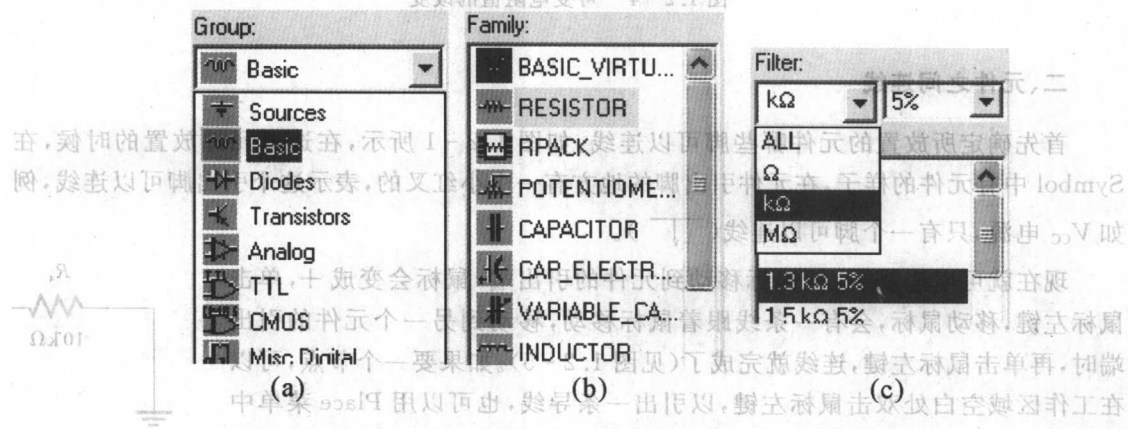


图 1.2-2 元件的选择

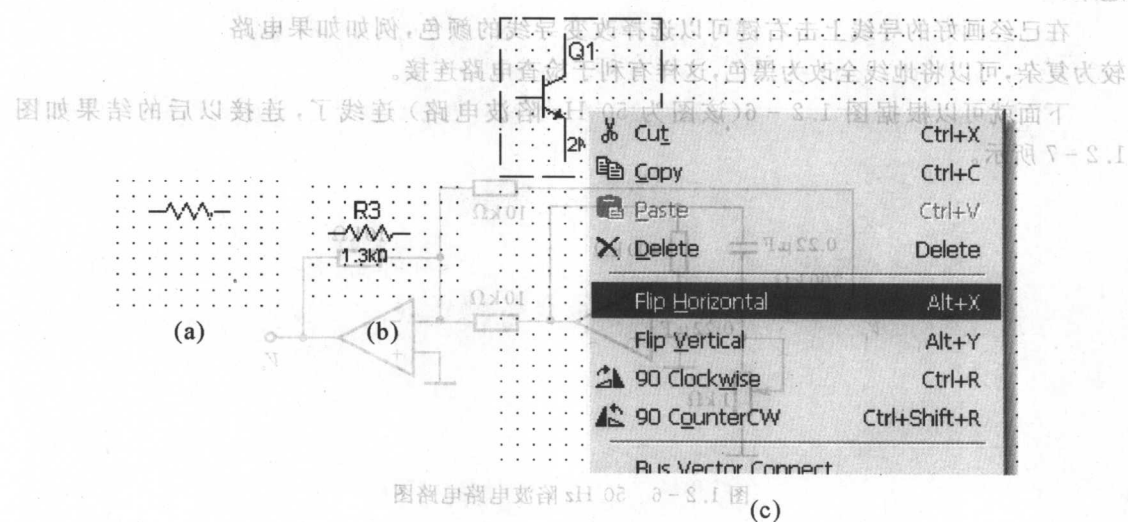


图 1.2-3 元件的放置

如果要查看或者编辑一个元件的属性值,只需要双击该元件,在弹出的对话框中可以看到或编辑该元件的属性,如果是可变电阻等值可变的元件(包括开关),可以设定改变其值的按键和每次按键改变值的幅度。如图 1.2-4 所示,可以选择按键,更改可变量,在仿真时,选中工作区域,按相应的按键可以改变其值,按 Shift + 相应的按键,可以反方向改变其值。

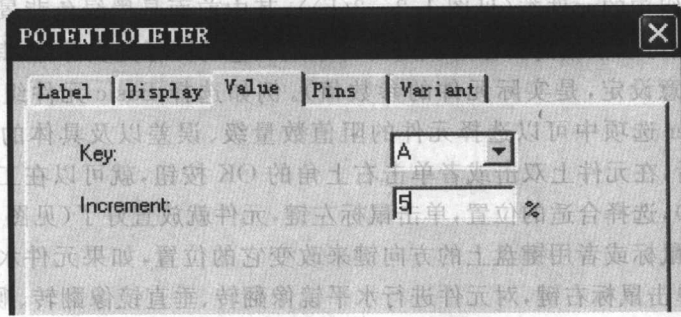


图 1.2-4 可变电阻值的改变

## 二、元件之间连线

首先确定所放置的元件哪些脚可以连线。如图 1.2-1 所示,在选择元件放置的时候,在 Symbol 中有元件的样子,在元件引出脚的地方有一个小红叉的,表示这个引出脚可以连线,例如  $V_{CC}$  电源,只有一个脚可以连线(↓)。

现在就可以连线了。把鼠标移动到元件的引出端,鼠标会变成+,单击鼠标左键,移动鼠标,会有一条线跟着鼠标移动,移动到另一个元件的引出端时,再单击鼠标左键,连线就完成了(见图 1.2-5)。如果要一个节点,可以在工作区域空白处双击鼠标左键,以引出一条导线,也可以用 Place 菜单中的 Junction 选项来放置节点,可以通过此方法将两条交叉不相连的导线连起来。

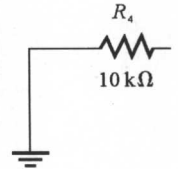


图 1.2-5 连线

在已经画好的导线上击右键可以选择改变导线的颜色,例如如果电路较为复杂,可以将地线全改为黑色,这样有利于检查电路连接。

下面就可以根据图 1.2-6(该图为 50 Hz 陷波电路)连线了,连接以后的结果如图 1.2-7 所示。

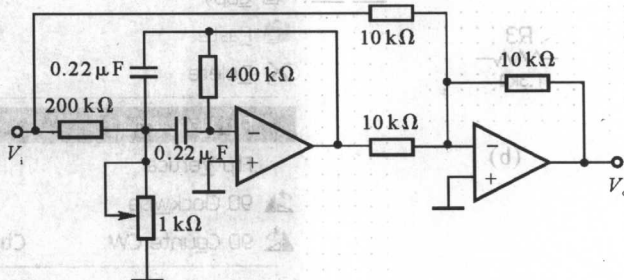


图 1.2-6 50 Hz 陷波电路电路图

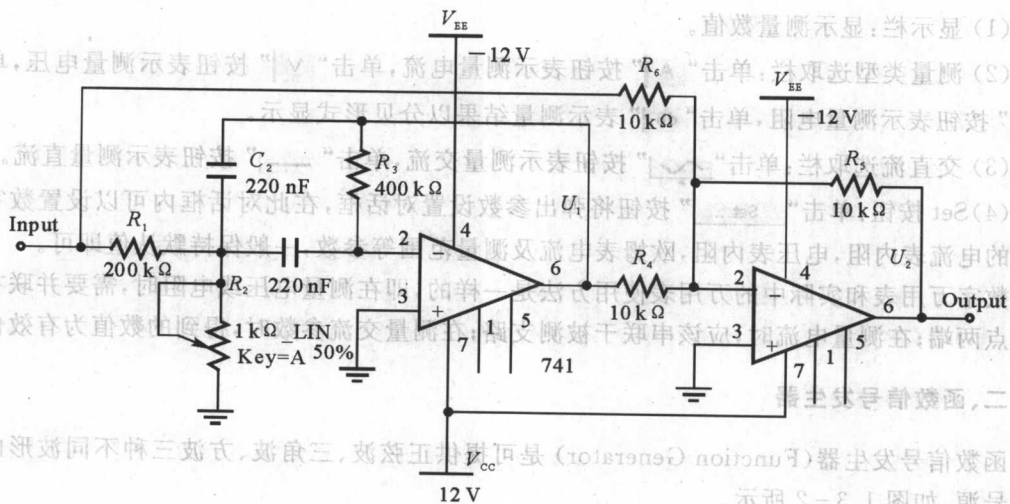


图 1.2-7 50 Hz 陷波电路仿真图(一)

### 1.3 常用虚拟仪器的使用

要对电路进行仿真测试,测量仪器是必不可少的。Multisim 9.0 仪器库里提供了多种常用的虚拟仪表,包括数字万用表(Multimeter)、函数发生器(Function Generator)、功率计(Wattmeter)、双通道示波器(Oscilloscope)、波特图仪(Bode Plotter)、频率计(Frequency Counter)、字发生器(Word Generator)、逻辑分析仪(Logic Analyzer)、逻辑转换仪(Logic Converter)、失真度分析仪(Distortion Analyzer)、安捷伦万用表(Agilent Oscilloscope)等。这些仪表可用于模拟电路、数字电路和高速电路的测量和分析,其使用方便,可以直接通过这些仪表观察电路的运行状态。

#### 一、数字万用表

数字万用表(Multimeter)是一种用来测量交(直)流电压和电流,电阻及两点之间的分贝损耗,自动调整量程的数字显示万用表。在工具栏上的符号,电路中的图标及其控制面板如图 1.3-1 所示。

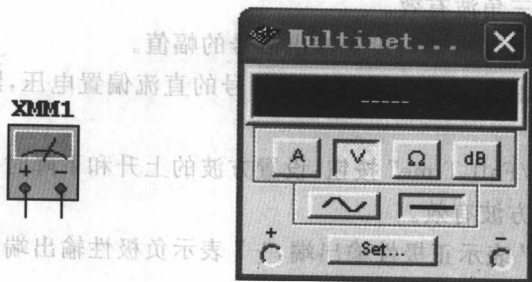


图 1.3-1 数字万用表在工具栏上的符号,电路中的图标及其控制面板

(1) 显示栏:显示测量数值。

(2) 测量类型选取栏:单击“**A**”按钮表示测量电流,单击“**V**”按钮表示测量电压,单击“**Ω**”按钮表示测量电阻,单击“**dB**”表示测量结果以分贝形式显示。

(3) 交直流选取栏:单击“**~**”按钮表示测量交流,单击“**—**”按钮表示测量直流。

(4) Set 按钮:单击“**Set...**”按钮将弹出参数设置对话框,在此对话框内可以设置数字万用表的电流表内阻,电压表内阻,欧姆表电流及测量范围等参数,一般保持默认值即可。

数字万用表和实际中的万用表使用方法是一样的,即在测量电压或电阻时,需要并联在测试节点两端;在测量电流时,应该串联于被测支路;在测量交流参数时,得到的数值为有效值。

## 二、函数信号发生器

函数信号发生器(Function Generator)是可提供正弦波、三角波、方波三种不同波形的电压信号源,如图 1.3-2 所示。

(一) 函数信号发生器图标

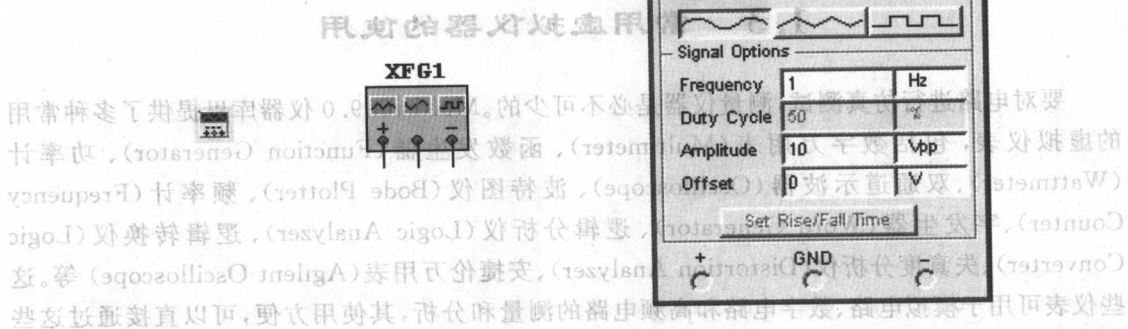


图 1.3-2 函数信号发生器图标及其控制面板

对函数信号发生器面板的标识从上到下依次说明如下。

(1)“Waveforms”(输出波形选择):通过最顶上三个按钮依次选择正弦波、三角波、方波。

(2)“Frequency”(工作频率):设置输出信号频率。

(3)“Duty Cycle”(占空比):设置输出方波和三角波的占空比,占空比调整值为 1%~99%,仅对方波和三角波有效。

(4)“Amplitude”(幅度):设置输出信号的幅值。

(5)“Offset”(直流偏置):设置输出信号的直流偏置电压,默认设置为 0,表示输出电压没有叠加直流分量。

(6)“Set Rise/Fall Time”按钮:设置方波的上升和下降时间,单击并在弹出的对话框中填入参数即可,仅对方波有效。

(7) 端子:“+”表示正极性输出端,“-”表示负极性输出端,“GND”表示接地端。

## 三、双通道示波器

双通道示波器(Oscilloscope)是用来显示电压信号波形的形状、大小和频率等参数的仪



器。Multisim 的示波器外观及操作与实际的双通道示波器相似,如图 1.3-3 所示,中间图为示波器在电路中的图标,“A”、“B”表示两个输入通道,在每个通道中有两个接线端子,其中“+”接被测信号,“-”接信号地或者悬空不接(即“-”缺省时默认为接地);“Ext Trig”为外部触发信号输入端,当需要外部信号触发示波器时才需要。

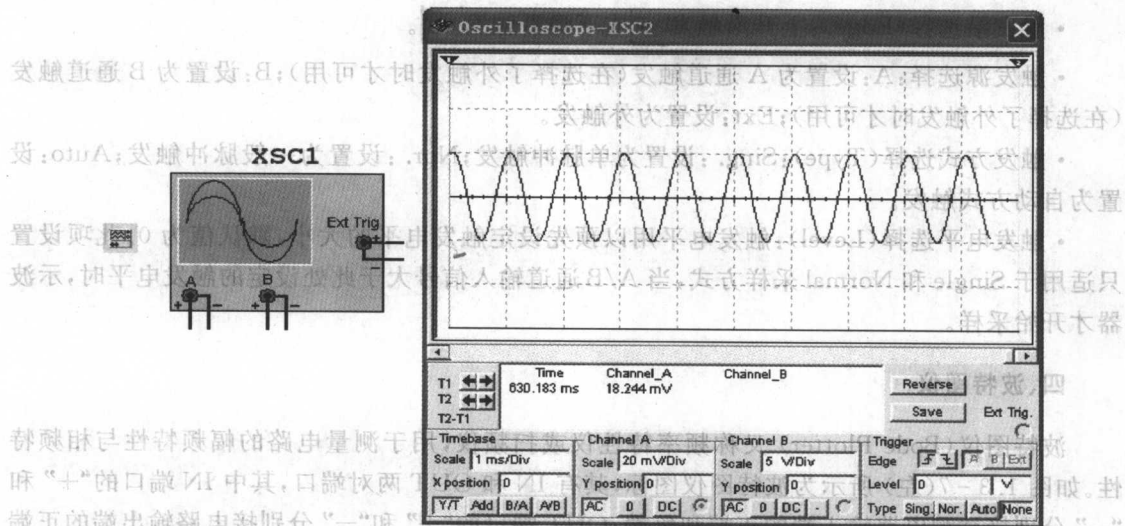


图 1.3-3 示波器图标及面板

在使用示波器之前,需要在电路中双击示波器图标,打开示波器的设置面板(见图 1.3-3 右图),对其参数进行设置。具体参数设置如下:

(1) 时基控制(Timebase),如图 1.3-4 所示。

- X 轴刻度(Scale):控制示波屏上的横轴,即 X 轴刻度(时间 / 格),表示每格所代表的时间,改变其参数可将波形水平方向展宽或压缩。

- X 轴位置(X position):控制信号在 X 轴上的偏移位置,表示显示波形在水平方向上的起点。 $X = 0$ :信号起点为示波器屏幕的最左端; $X > 0$ :信号起点右移; $X < 0$ :信号起点左移。

- 显示方式:**Y/T**:幅度比时间,横坐标轴为时间轴,纵坐标轴为信号幅度;**Add**:B 电压与 A 电压之和;**B/A**:B 电压比 A 电压(除);**A/B**:A 电压比 B 电压。

(2) 输入通道(Channel A/B):在双通道示波器中,A,B 通道设置方法一致,故此以 A 通道设置为例,如图 1.3-5 所示。

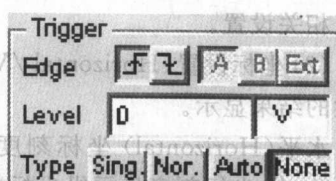
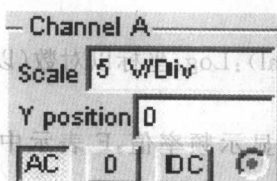
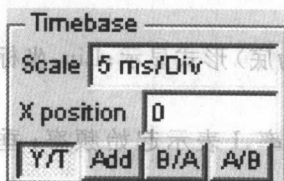




图 1.3-4 时基控制 图 1.3-5 信号通道控制调节 图 1.3-6 触发方式控制

- Y 轴刻度(Scale):设定 Y 轴每一格的电压刻度。

- Y 轴位置(Y position):控制示波器在 Y 轴上的原点。 $Y = 0$ :Y 轴原点在屏幕垂直方向的

中点;  $Y > 0$ : 原点上移;  $Y < 0$ : 原点下移。示波器双踪测尖已并键及联代器器示的 miziduM。器  
 “+”· 输入显示方式(AC/0/DC): AC: 仅显示信号的交流成分; 0: 无信号输入, 输入端接地;  
 DC: 显示交流和直流信号之和。示波器双踪测尖已并键及联代器器示的 miziduM。器

(3) 触发方式控制(Trigger), 如图 1.3-6 所示。器器示尖触号音稍代要需当, 器人器号音

· 触发沿选择(Edge): 上升沿触发  或下降沿触发 。

· 触发源选择: A: 设置为 A 通道触发(在选择了外触发时才可用); B: 设置为 B 通道触发(在选择了外触发时才可用); Ext: 设置为外触发。

· 触发方式选择(Type): Sing.: 设置为单脉冲触发; Nor.: 设置为一般脉冲触发; Auto: 设置为自动方式触发。

· 触发电平选择(Level): 触发电平用以预先设定触发电平的大小, 默认值为 0。此项设置只适用于 Single 和 Normal 采样方式, 当 A/B 通道输入信号大于此处设定的触发电平时, 示波器才开始采样。

#### 四、波特图仪

波特图仪(Bode Plotter) 又称频率特性仪或扫频仪, 用于测量电路的幅频特性与相频特性。如图 1.3-7(左) 所示为波特图仪图标, 其有 IN 和 OUT 两对端口, 其中 IN 端口的“+”和“-”分别接被测电路输入端的正端和负端; OUT 端口的“+”和“-”分别接电路输出端的正端和负端。使用波特图仪时, 必须在电路输入端接入交流信号源。

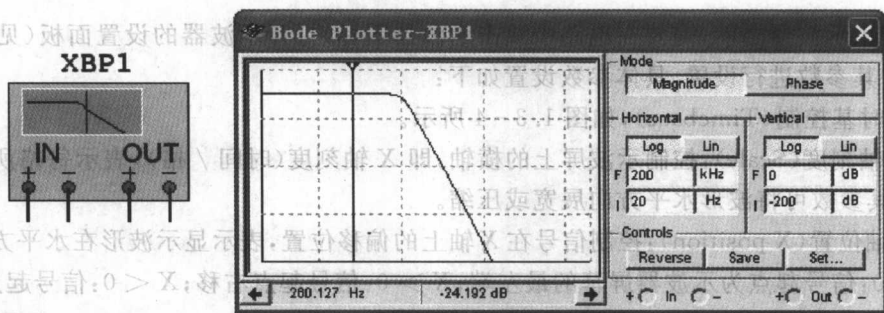


图 1.3-7 波特图仪图标及面板

双击波特图仪图标, 出现如图 1.3-7(右) 所示的波特图仪面板, 包括以下内容:

(1) 方式选择(Mode): Magnitude: 波特图显示幅频特性及相关设置; Phase: 显示相频特性及相关设置。

(2) 坐标设置(Horizontal / Vertical): Log: 坐标以对数(以 10 为底)形式显示; Lin: 坐标以线性的结果显示。

水平(Horizontal) 坐标刻度总是显示频率值, F 表示中止频率, I 表示起始频率; 垂直(Vertical) 坐标刻度显示纵坐标数值。

(3) 读数指针: 为了准确测量特性曲线上任意点的频率、增益或者相位差, 可用鼠标拖动读数指针(位于波特图仪中的垂直光标), 如图 1.3-7(中) 所示, 此时读数指针在 260.127Hz 处, 其纵轴增益为 -24.192dB。



### 五、频率计

频率计(Frequency Counter) 用来测量信号的频率,图标如图 1.3-8(中) 所示,只有一个接线端子,用来连接被测信号。双击该图标得到如图 1.3-8(右) 的频率计面板。

- (1) 测量参数选择(Measurement): Freq: 测量频率; Period: 测量周期; Pulse: 测量正极性和负极性脉冲的持续时间; Rise/Fall: 测量脉冲的上升和下降时间。
- (2) 耦合方式(Coupling): AC: 交流耦合; DC: 直流耦合。
- (3) 灵敏度(Sensitivity(RMS)): 选择灵敏度。
- (4) 触发电平(Level): 设置触发电平。

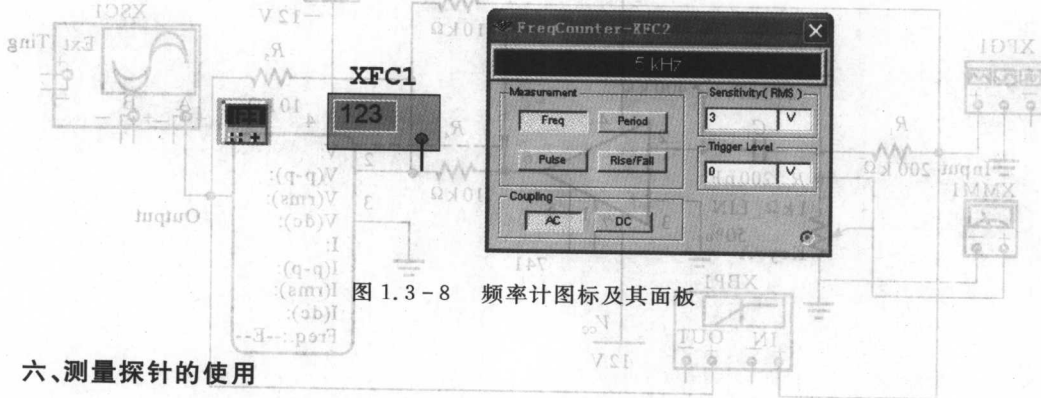


图 1.3-8 频率计图标及其面板

### 六、测量探针的使用

Multisim 中提供了一个可以插入电路中任何点的一个测量探针,如图 1.3-9 所示,将它接入电路可以很方便地实时检测被测点的电压电流等参数。其在电路中的应用实例如图 1.3-10 所示。

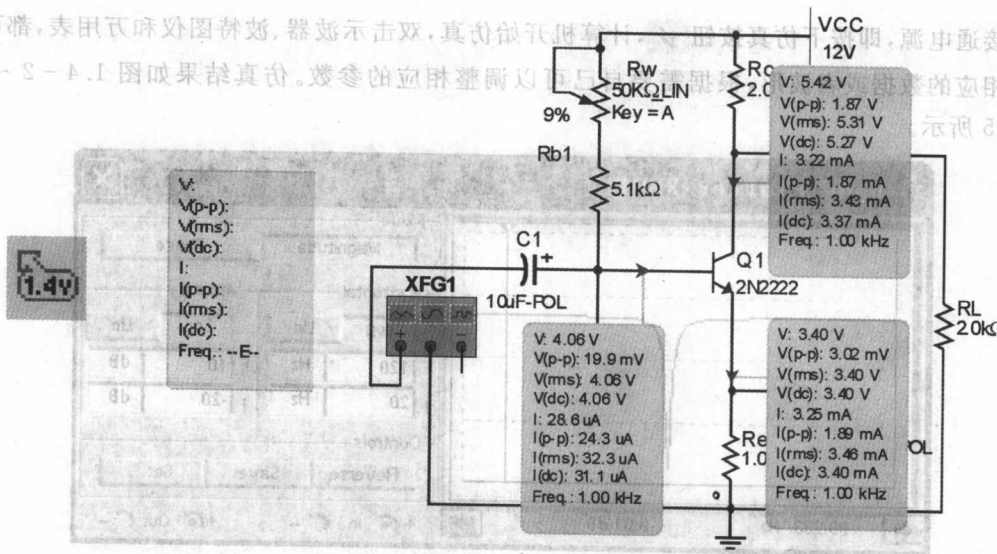


图 1.3-9 测量探针图标

图 1.3-10 测量探针在电路中的应用

## 1.4 电路的仿真

### 一、给电路中添加测量仪器

结合 1.2 节中的电路实例, 给电路中加入信号源、示波器、万用表和波特图仪, 为了测量方便再加入一个测量探针, 完整的仿真电路图如图 1.4-1 所示。

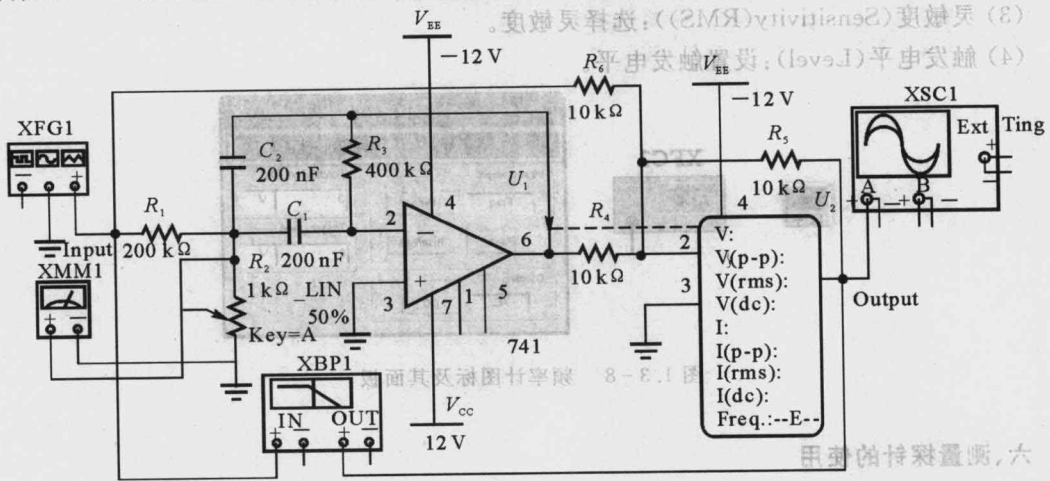



图 1.4-1 50 Hz 陷波电路仿真图(二)

### 二、电路仿真

接通电源, 即按下仿真按钮 , 计算机开始仿真, 双击示波器、波特图仪和万用表, 都可以看到相应的数据或者波形, 根据需要自己可以调整相应的参数。仿真结果如图 1.4-2 ~ 图 1.4-5 所示。

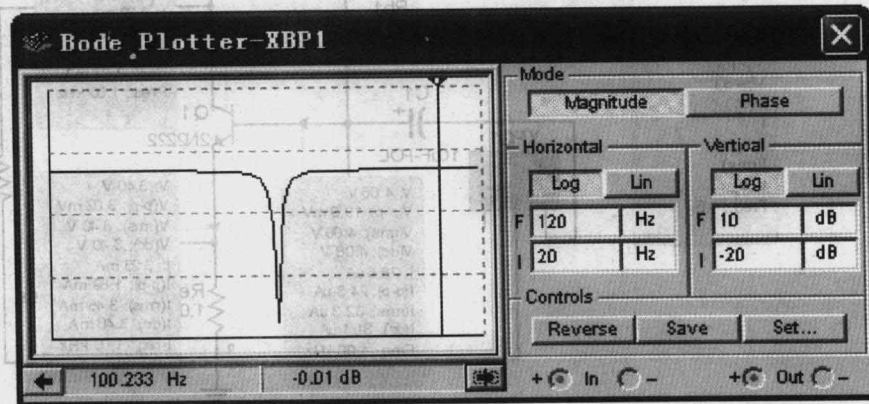


图 1.4-2 波特图仪显示(一)

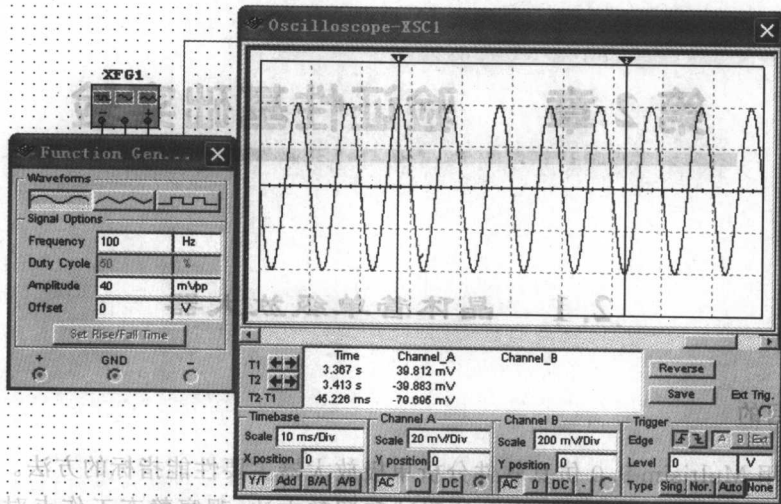


图 1.4-3  $f = 100$  Hz 时示波器波形

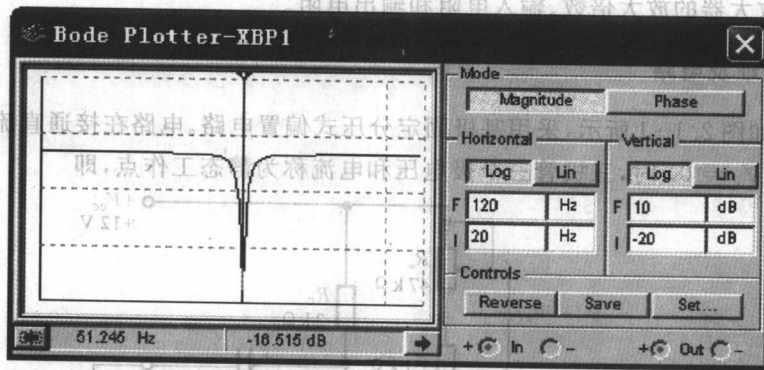


图 1.4-4 波特图仪显示(二)

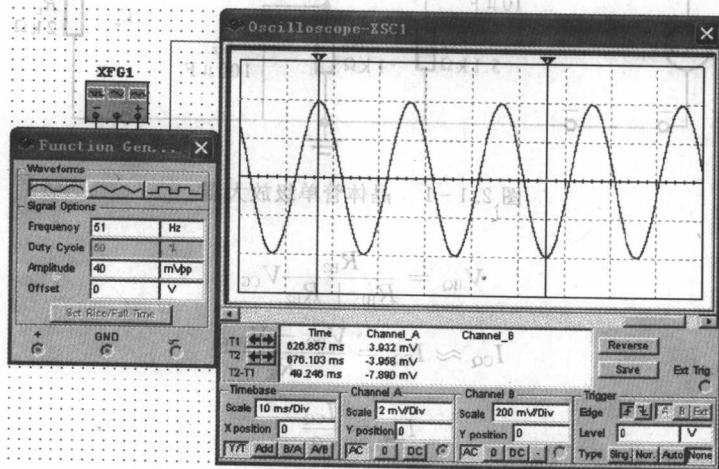


图 1.4-5  $f = 51$  Hz 时示波器波形