

Multisim 电子电路仿真方法和样例

2009 年 6 月

前言

本手册基于 Multisim 仿真环境，从最基本的仿真电路图的建立开始，结合实际例子，对模拟和数字电路中常用的测试方法进行介绍。这些应用示例包括：常用半导体器件特性曲线的测试、放大电路静态工作点和动态参数的测试、电压传输特性的测试、波形上升时间的测试、逻辑函数的转换与化简、逻辑分析仪的使用方法等。

此外，本手册侧重于测试方法的介绍，仅对主要步骤进行说明，如碰到更细节的问题，可参阅《Multisim V11 教学版使用说明书》或其它帮助文档。

目录

1 Multisim 主界面简介.....	2
2 仿真电路图的建立.....	2
3 常用半导体器件特性曲线的测试方法.....	3
3.1 晶体三极管特性曲线的测试.....	3
3.1.1 IV 分析仪测试方法.....	3
3.1.2 直流扫描分析方法.....	3
3.2 结型场效应管特性曲线的测试.....	4
3.2.1 IV 分析仪测试方法.....	4
3.2.2 直流扫描分析方法.....	4
3.3 二极管、稳压管伏安特性曲线的测试.....	5
4 放大电路静态工作点的测试方法.....	5
4.1 虚拟仪器测试方法.....	5
4.2 静态工作点分析方法.....	5
5 放大电路动态参数的测试方法.....	6
5.1 电压放大倍数的测试.....	6
5.1.1 瞬态分析测试方法.....	6
5.1.2 虚拟仪器测试方法.....	6
5.2 输入电阻的测试.....	6
5.3 输出电阻的测试.....	7
5.4 频率响应的测试.....	7
5.4.1 交流分析方法.....	7
5.4.2 波特图仪测试方法.....	7
6 电压传输特性的测试方法.....	8
7 上升时间的测试方法.....	9
8 逻辑函数的转换与化简.....	10
8.1 逻辑函数转换为真值表.....	10
8.2 真值表转换为逻辑函数.....	10
9 逻辑分析仪的使用方法.....	11

1 Multisim 主界面简介

运行 MultisimV7，自动进入电路图编辑界面。当前电路图的缺省命名为“Circuit1”，在保存文件时可以选择存放路径并重新命名。MultisimV7 主界面如图 1.1 所示。

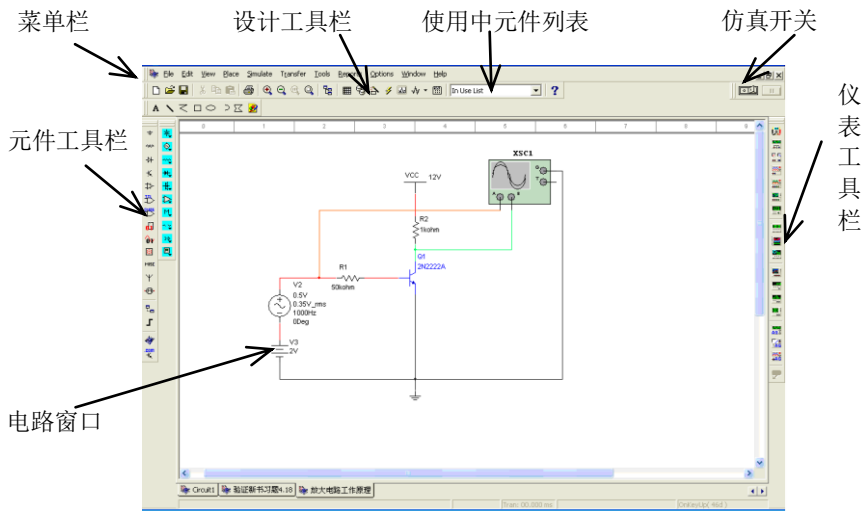


图 1.1 Multisim 主界面

2 仿真电路图的建立

下面以单管放大电路为例，介绍建立电路的步骤。其中三极管选用实际器件 MRF9011LT1_A，其它元件都选用虚拟器件。

步骤一：放置元件

从元件库中取出图 2.1 所示各元件，调整元件方向后放置在图中适合位置。分别修改信号源、直流电压源、电阻和电容的属性，包括元件名称和取值。

步骤二：连接线路

用鼠标左键单击元件管脚，光标变为 \star ，拖动鼠标至目标元件管脚再次单击，即可完成连接。在连线过程中按 ESC 或单击右键可终止连接。如果需要断开已连好的连线并移动至其它位置，将光标放在要断开的位置，此时光标变为如图 2.2 所示形状。单击后光标变为 \star ，移动光标至新的管脚连接位置，再次单击完成连线。

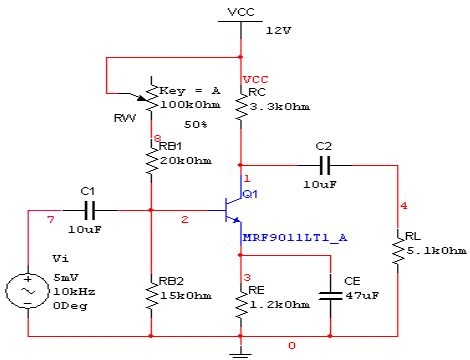


图 2.1 示例电路

在 Multisim 中，默认选项不显示电路的节点号，如果需要显示，则点击工具栏中 Options，选定 Preferences 即弹出图 2.3 所示界面，选中 Show node names（简述为 Options→Preferences→Show node names，以下均用简述方法表述），见图中虚线所示，即可在电路图中显示出各个节点号。



图 2.2 移动连线

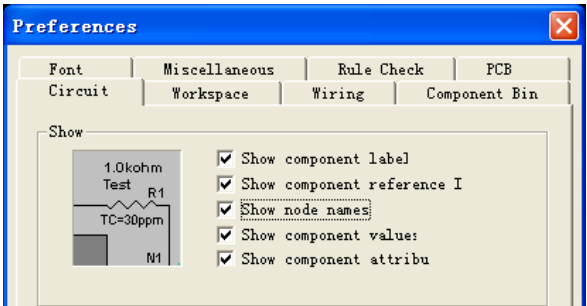


图 2.3 显示电路节点号

3 常用半导体器件特性曲线的测试方法

半导体器件的特性曲线可以通过 IV 分析仪和直流扫描分析这两种方法得到。

3.1 晶体三极管特性曲线的测试

3.1.1 IV 分析仪测试方法

IV 分析仪 (IV-Analysis) 可用于分析半导体器件的输出特性曲线。以 NPN 型晶体管 MRF9011LT1_A 为例, 从仪表工具栏中单击选取 IV 分析仪, 双击该图标打开显示面板。在 Components 下拉菜单中选择 BJT NPN 选项, 面板右下方则显示晶体管的 b、e 和 c 三极连接顺序的示意图。建立测试电路如图 3.1 所示。点击面板上的 Sim_Param 按钮, 设定 $U_{CE}(V_{ce})$ 和 $I_B(I_b)$ 扫描范围分别为 0~12V 和 0~40 μ A, 如图 3.2 所示。点击 Simulate 按钮进行仿真, 得到晶体管的输出特性曲线如图 3.3 所示。面板下方显示光标所在位置的某条曲线 i_B 、 u_{CE} 及 i_C 的值, 单击其它曲线可显示相应数值。

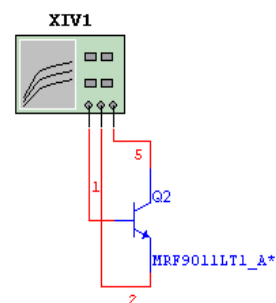


图 3.1 测试电路

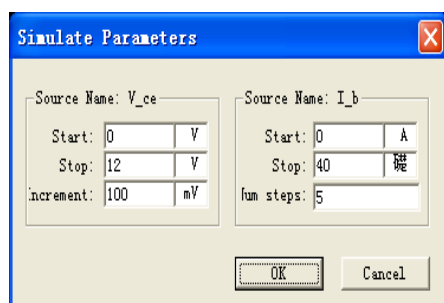


图 3.2 设置扫描参数

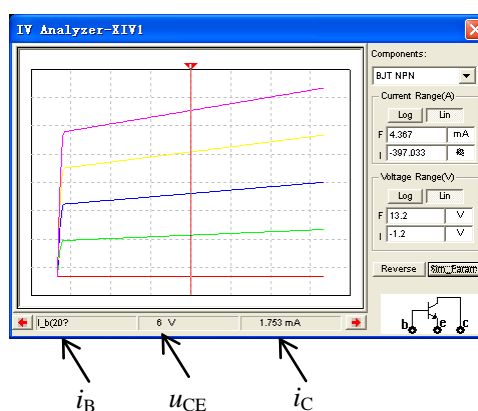


图 3.3 晶体三极管的输出特性曲线

3.1.2 直流扫描分析方法

利用 Multisim 中的“直流扫描分析 (DC Sweep Analysis)”可以得到晶体三极管的输出特性曲线和输入特性曲线。

以输出特性曲线的测试为例, 测试电路如图 3.4 所示。在 Multisim 中, 电压源 VCC 所在支路的电流以从集电极流出的方向为正, 而晶体三极管的 I_C 以流入集电极的方向为正, 因此串联一个 0V 的电压源 V1 来保证测试集电极支路的电流方向与 I_C 方向相同。

为测试输出特性 $i_C = f(u_{CE})|_{I_B=\text{常数}}$, 选取菜单命令

Simulate→Analyses→DC Sweep, 设定 $U_{CE}(vccvcc)$ 和 $I_B(i:xi1)$ 分别为扫描电压和扫描电流, 扫描范围分别为 0~12V 和 0~40 μ A, 如图 3.5 所示。Source2 的默认下拉菜单中没有电流源, 令其显示的方法为: 点击 Change Filter 按钮, 勾中 Display submodules 选项。输出变量为 V1 (vv1) 所在的支路电流, 如图 3.6 所示。点击 Simulate 按钮进行仿真, 扫描结果如图 3.7 所示。

类似地, 利用直流扫描分析方法同样可以得到晶体三极管的输入特性曲线

$$i_B = f(u_{BE})|_{U_{CE}=\text{常数}}。$$

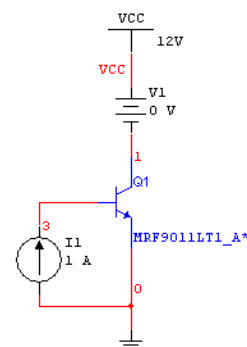


图 3.4 输出特性曲线测试电路

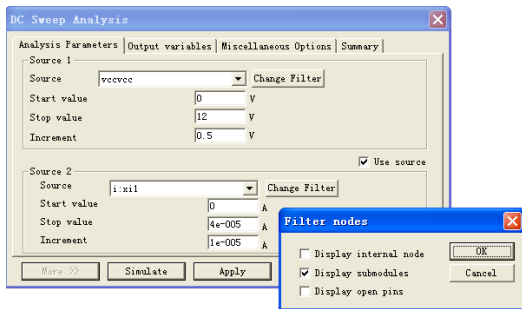


图 3.5 设置扫描参数

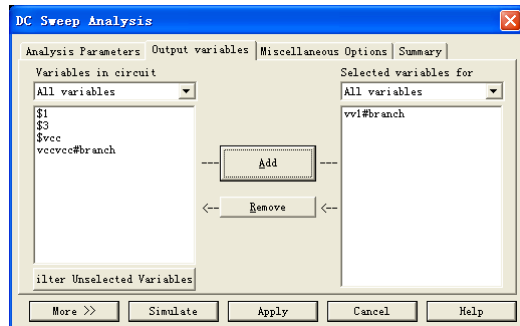


图 3.6 指定输出变量

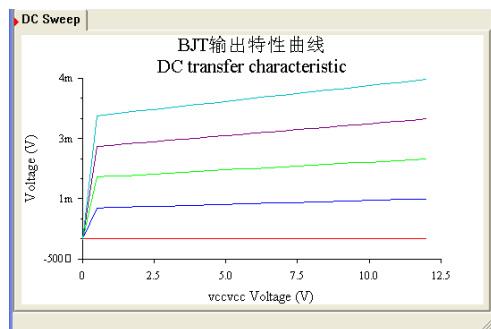


图 3.7 晶体三极管的输出特性曲线

3.2 结型场效应管特性曲线的测试

3.2.1 IV 分析仪测试方法

以 N 沟道结型场效应管 2N5486 为例，建立输出特性曲线测试电路如图 3.8 所示。设置参数的操作步骤同 3.1.1。设定 U_{DS} (V_{ds}) 和 U_{GS} (V_{gs}) 扫描范围分别为 0~12V 和 -5~0V，如图 3.9 所示。可得到 NMOS 管的输出特性曲线如图 3.10 所示。

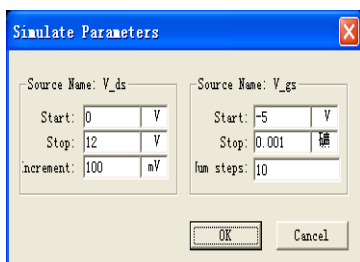
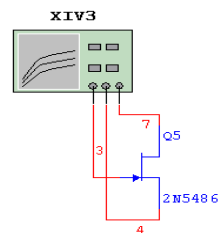


图 3.9 设置参数



图 3.10 场效应管输出特性曲线

3.2.2 直流扫描分析方法

以转移特性曲线的测试为例，测试电路如图 3.11 所示。为了得到场效应管的转移特性曲线，设定 U_{GS} (v_{v2}) 为扫描电压，扫描范围为 -5~0V，如图 3.12 所示；输出为 V_1 (v_{v1}) 所在的支路电流。扫描结果如图 3.13 所示。

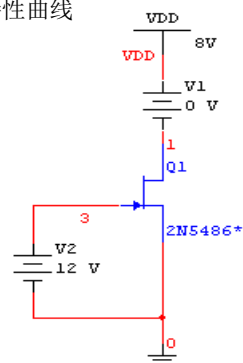


图 3.11 测试电路

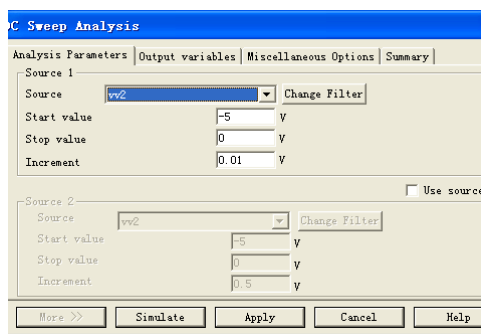


图 3.12 设置参数

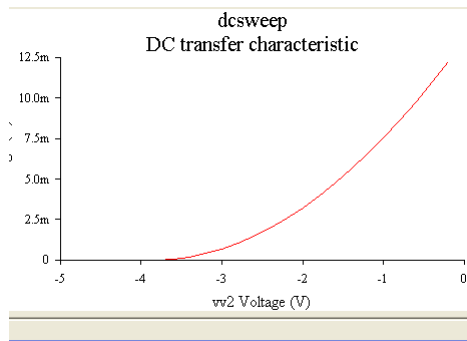


图 3.13 场效应管转移特性曲线

3.3 二极管、稳压管伏安特性曲线的测试

二极管和稳压管伏安特性曲线的测试可以参照 3.1 及 3.2 节的介绍进行,这里不再赘述。

4 放大电路静态工作点的测试方法

在 Multisim 中,电路的静态工作点既可以使用虚拟仪器测量,也可以通过“静态工作点分析 (DC Operation Point)”方法得到。下面以图 2.1 中的共射放大电路为例,分别利用这两种方法得到各节点的直流电压和各支路的直流电流。

4.1 虚拟仪器测试方法

从仪表工具栏中单击选取万用表,建立测试电路如图 4.1 所示。双击万用表面板,点击 Simulate 按钮后得到节点 1、2 和 3 的直流电压值,然后通过计算得出各支路电流值。

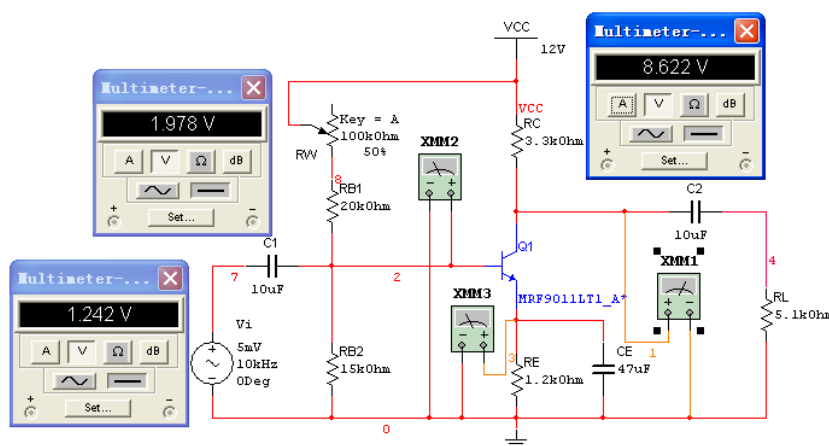


图 4.1 静态工作点仿真结果

4.2 静态工作点分析方法

测试电路同图 2.1, 分析步骤如下:

(1) 选取菜单命令 Simulate→Analyses→DC Operating Point, 在 Output variables 页中选择节点 1 (\$1)、节点 2 (\$2)、节点 3 (\$3) 和 VCC (vccvcc) 所在的支路电流作为输出。

(2) 点击 Simulate 按钮进行仿真, 仿真分析结果如图 4.2 所示。

支路电流显示为负值, 原因参见 3.1.2 中的说明。

单管放大电路
Operating Point

DC Operating Point	
\$1	8.62267
\$2	1.97794
\$3	1.24169
vccvcc#branch	-1.16661m

图 4.2 静态工作点分析结果

5 放大电路动态参数的测试方法

5.1 电压放大倍数的测试

5.1.1 瞬态分析测试方法

测试电路同图 2.1，测试步骤如下：

(1) 选取菜单命令 **Simulate**→**Analyses**→**Transient Analysis**。由于输入信号源的频率为 10kHz，扫描时间应大于一个周期，所以扫描的起始与终止时间可以设置为 0~0.0005s 之间，如图 5.1 所示。

(2) 在 **Output variables** 页中分别选择节点 7 (\$7)、节点 4 (\$4) 作为输出。

(3) 点击 **Simulate** 按钮进行仿真，仿真结果如图 5.2 所示。

(4) 在图 5.2 中点击 **Show/Hide Cursors** 按钮 ，可以读取波形峰峰值，利用式

$$|\dot{A}_u| = U_{op-p} / U_{ip-p}$$

可计算出电压放大倍数。

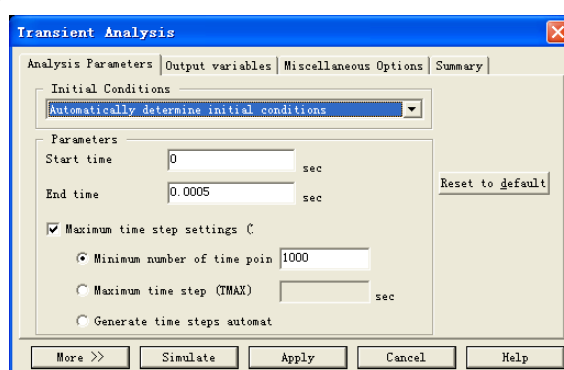


图 5.1 瞬态分析参数设置

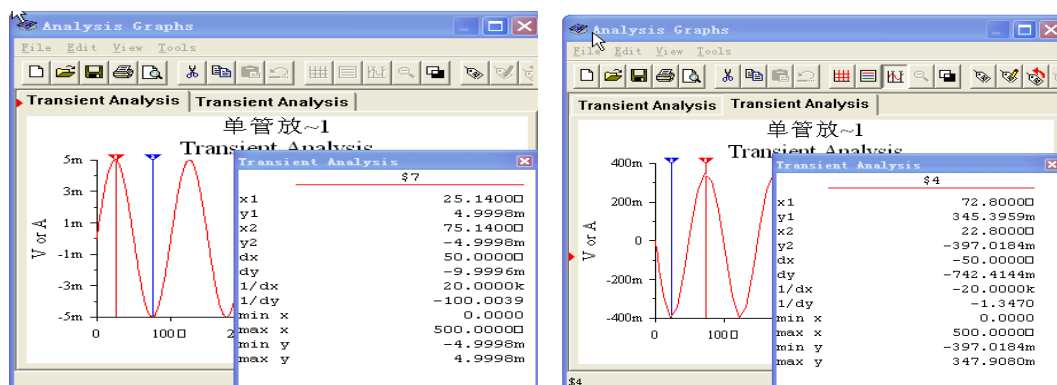


图 5.2 瞬态分析仿真结果

5.1.2 虚拟仪器测试方法

也可以利用虚拟仪器直接测试电压放大倍数，测试电路如图 5.3 所示，点击仿真按钮后，双击示波器，得到如图 5.4 所示波形，直接读数并计算可得到电压放大倍数。

5.2 输入电阻的测试

输入电阻的测试方法详见《电子电路实验》第 15 页。测试电路如图 5.5 所示。

用示波器分别测量 R_1 左右两侧的动态电位 U_{O1} 和 U_{O2} ，根据式

$$R_i = \frac{U_{O2}}{U_{O1} - U_{O2}} \cdot R_1$$

计算可得输入电阻。

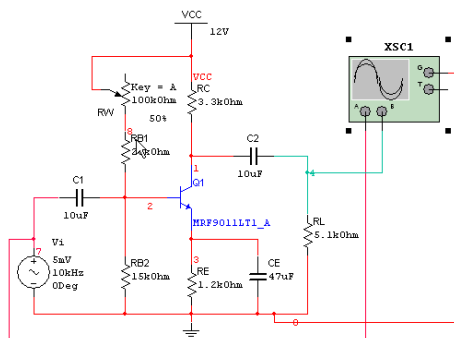


图 5.3 电压放大倍数测试电路图

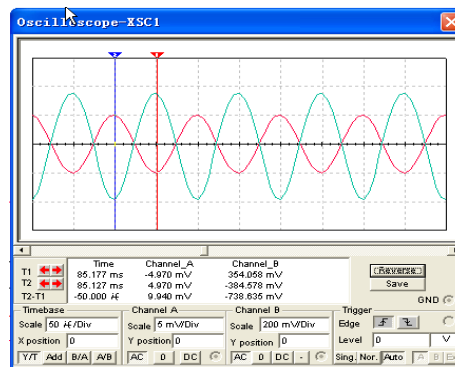


图 5.4 示波器显示波形

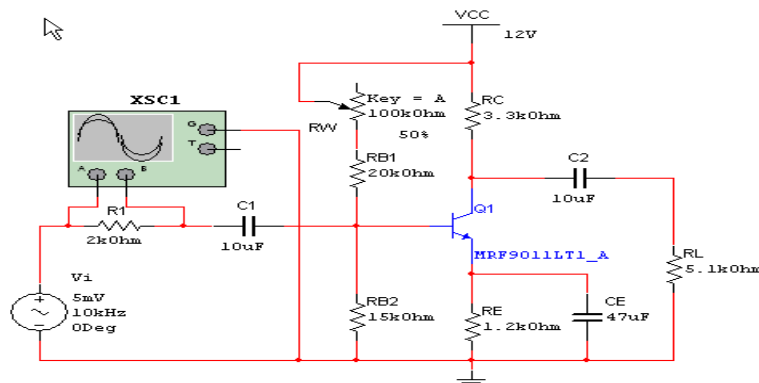


图 5.5 输入电阻测试电路图

5.3 输出电阻的测试

输出电阻的测试方法见《电子电路实验》第 15~16 页。测试电路同图 2.1。

用示波器分别测量电路的开路输出电压 U_{O0} 和带负载输出电压 U_O ，根据式

$$R_o = \left(\frac{U_{O0}}{U_O} - 1 \right) \cdot R_L$$

计算可得输出电阻。

5.4 频率响应的测试


5.4.1 交流分析方法

测试电路同图 2.1。测试步骤如下：

(1) 选取菜单命令 Simulate→Analyses→AC Analysis，在 Frequency Parameters 页中设置起止频率为 1Hz~1GHz，其余为默认设置，如图 5.6 所示。

(2) 在 Output variables 页中选择节点 4 (\$4) 作为输出。

(3) 点击 Simulate 按钮进行分析，得到电路的幅频和相频特性曲线，如图 5.7 所示。

(4) 在图 5.7 中点击 Show/Hide Cursors 按钮 ，可以读取波形的上各点的值。从而得到电路的上下限截止频率： $f_L \approx 136.84\text{Hz}$ 、 $f_H \approx 82.30\text{MHz}$ 。

5.4.2 波特图仪测试方法

也可以利用波特图仪直接观察电路的频率响应。从仪表工具栏中单击选取波特仪，将“IN”和“OUT”端子分别接电路的输入和输出信号，观测结果如图 5.8 和图 5.9 所示。

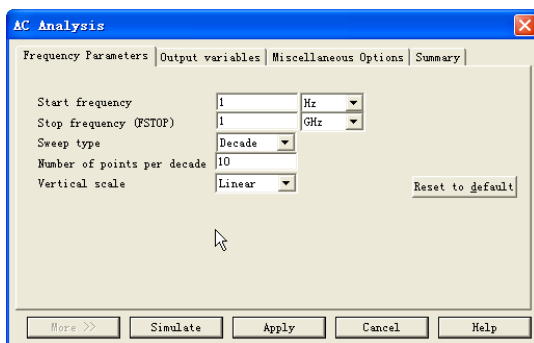


图 5.6 交流分析参数设置

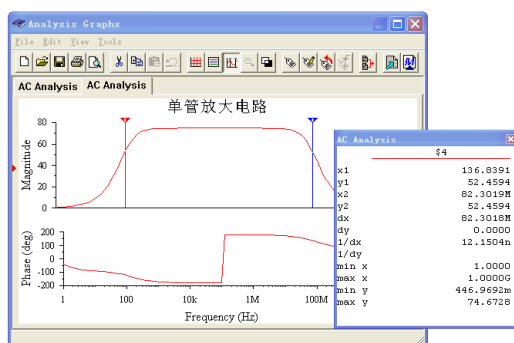


图 5.7 交流分析仿真结果

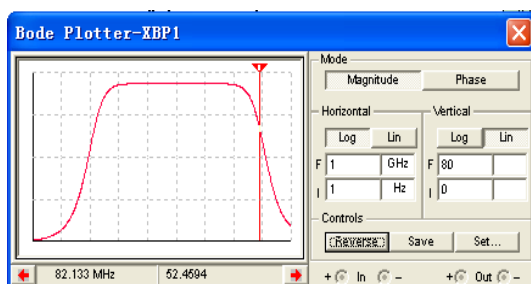


图 5.8 幅频特性曲线

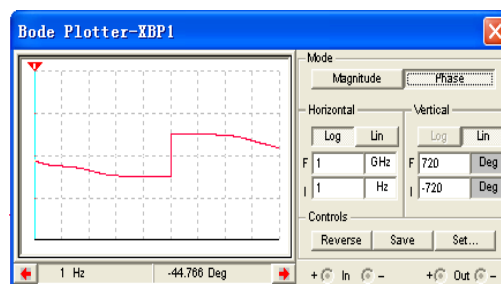


图 5.9 相频特性曲线

6 电压传输特性的测试方法

电压传输特性的测试既可以采用直流扫描分析方法，也可以通过示波器的 X-Y 显示方式观测得到。下面以反相比例放大电路为例介绍利用“直流扫描分析”得到电路的电压传输特性曲线。

测试电路如图 6.1 所示，其中集成运放选用实际器件 741，其它元件均采用虚拟器件。测试步骤如下：

(1) 选取菜单命令 **Simulate**→**Analyses**→**DC Sweep**，设定 **vv1** 为扫描电压，扫描范围为 -2~2V，如图 6.2 所示；输出为节点 3（\$3）的电压，如图 6.3 所示。

(2) 点击 **Simulate** 按钮进行仿真，仿真结果如图 6.4 所示。

(3) 在图 6.4 中点击 **Show/Hide Cursors** 按钮 ，可以读取电路的线性输入范围，直流电压增益，正、反向最大输出电压等特性参数。

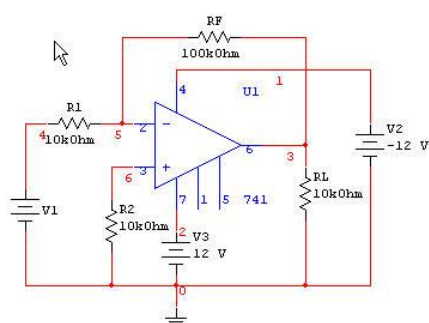


图 6.1 测试电路图

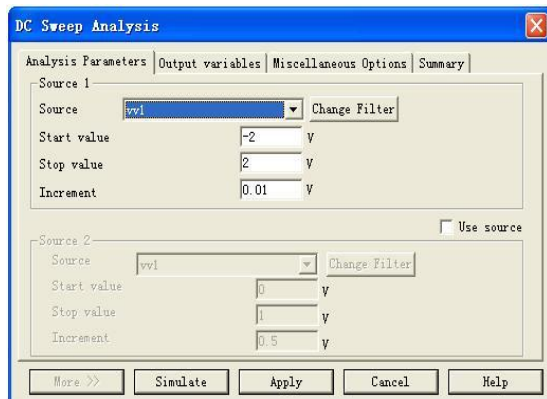


图 6.2 直流扫描分析扫描范围设置

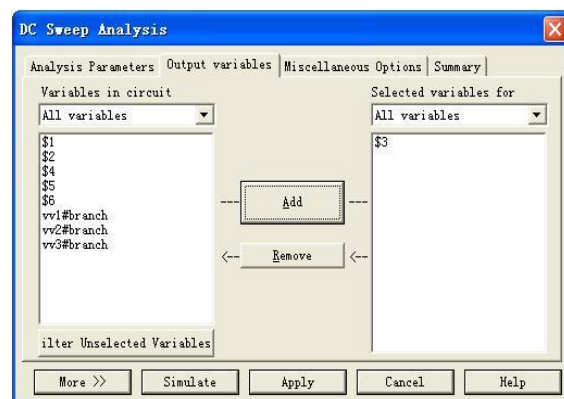


图 6.3 直流扫描分析输出设置

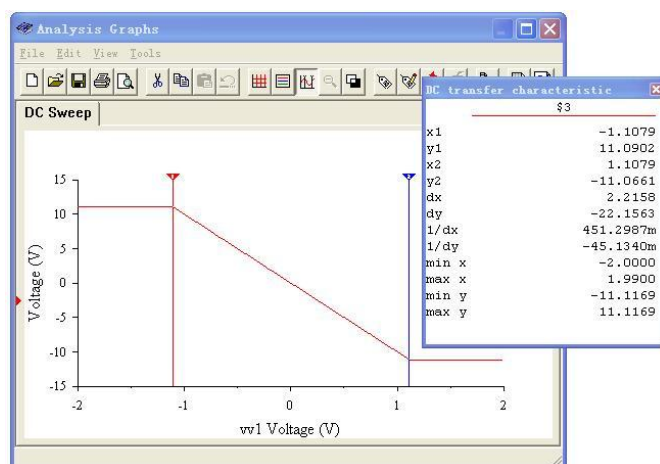


图 6.4 直流扫描分析结果

7 上升时间的测试方法

Multisim 中，可以使用虚拟示波器得到波形的上升时间和下降时间。测试电路如图 7.1 所示，这是一个矩形波发生电路，下面使用虚拟示波器测量电路的输出电压幅值和矩形波的上升时间。

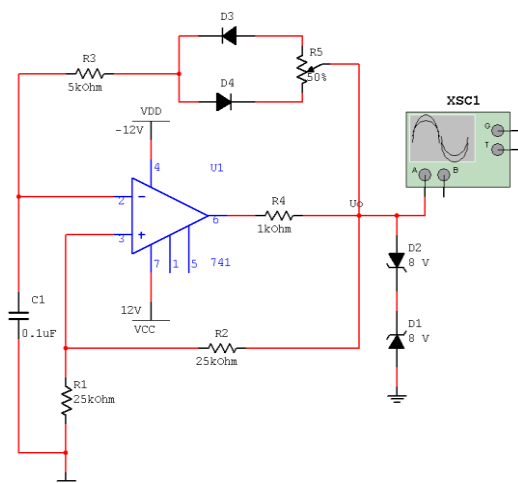


图 7.1 矩形波发生电路

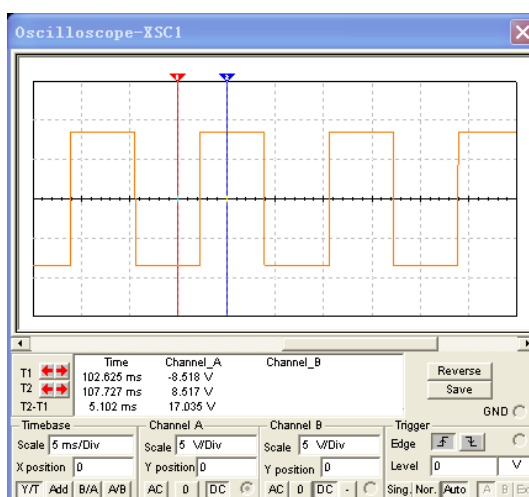


图 7.2 矩形波

测试步骤如下：

(1) 将示波器通道 A 与输出电压 u_o 相连接；双击示波器图标，屏幕上弹出显示面板，如图 7.2 所示，从图中可知矩形波幅值 $U_{op-p}=17.035V$ 。

(2) 点击 Timebase 栏下的 Scale 项，将波形展宽，以清晰地显示矩形波上升沿，如图 7.3 所示。

(3) 鼠标在示波器显示面板内移到游标 1 处，单击右键，屏幕上弹出游标位置设置窗口，如图 7.4 所示；点击 Set Y_Value <= 项，屏幕弹出游标 1 的 Y 值设置窗口，见图 7.5 所示；根据上升沿的定义，上升沿 10% 处的 Y 值是 -6.8145V。

在 Y 值设置窗口内填入正确数值，游标 1 即跳到矩形波的 10% 处。同理设置游标 2 到矩形波的 90% 处。游标 1 和游标 2 的位置如图 7.3 所示。

从图 7.3 可读出矩形波的上升时间是 $29.572 \mu s$ 。

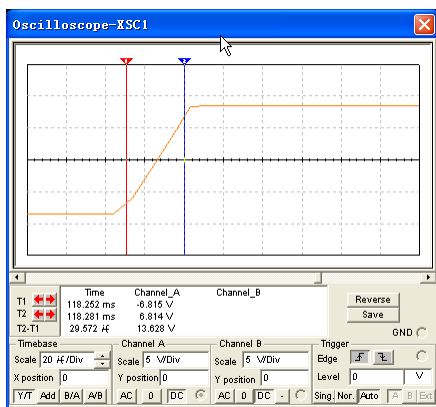


图 7.3 矩形波上升沿

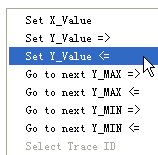


图 7.4 游标位置设置

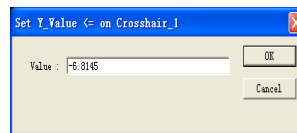


图 7.5 游标 1 Y 值设置

8 逻辑函数的转换与化简

Multisim 中的逻辑转换器 (Logic Converter)，可以实现逻辑函数的转换与化简。逻辑转换器中共有六个功能，使用它们可以在真值表、最小项之和形式的函数式、最简与或式和逻辑电路图之间相互转换。

从仪表工具栏单击选取逻辑转换器，双击该图标，屏幕上弹出显示面板，如图 8.1 所示。

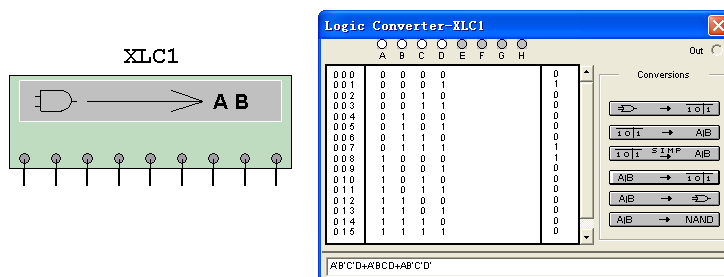


图 8.1 逻辑转换器图标及显示面板

图 8.1 中共有 6 个功能按钮，其对应的功能如表 8.1 所示。

表 8.1 逻辑转换器按钮—功能对应表

按钮	功能
	逻辑电路转换为真值表。
	真值表转换为逻辑表达式。
	真值表转换为最简逻辑表达式。
	逻辑表达式转换为真值表。
	逻辑表达式转换为逻辑电路。
	逻辑表达式转换为由与非门构成的逻辑电路。

下面举例说明逻辑转换器的使用方法。

8.1 逻辑函数转换为真值表

化简具有约束的逻辑函数 $Y = A' B' C' D + A' B C D + A B' C' D' + A B C D + A B C D' + A B' C D' = 0$ 。

给定约束条件为 $A' B' C D + A' B C' D + A B C' D' + A B' C' D + A B C D + A B C D' + A B' C D' = 0$ 。

转换步骤如下：

(1) 在图 8.1 的逻辑表达式窗口输入逻辑函数 $A' B' C' D + A' B C D + A B' C' D' + A B C D + A B C D' + A B' C D' = 0$ 。

(2) 点击 按钮，完成逻辑表达式到真值表的转换，转换结果如图 8.1 所示。

8.2 真值表转换为逻辑函数

- (2) 打开信号发生器设置窗口，按图 9.3 进行参数设置。
- (3) 双击逻辑分析仪图标，屏幕上弹出显示面板，如图 9.4 所示。仿真后可得到计数器的时钟波形和输出波形。

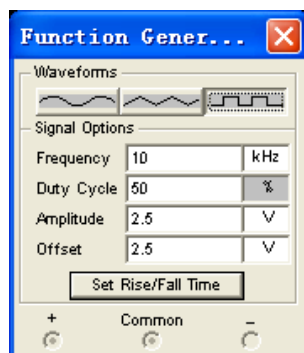


图 9.3 信号发生器设置

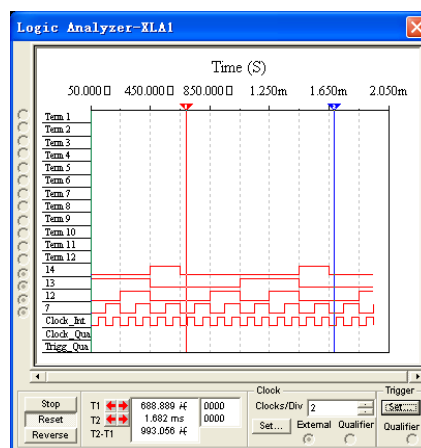


图 9.4 波形显示

分析图 9.4 中的波形图可知，图 9.1 所示电路为十进制计数器。