

## 第三章 电路仿真实验

### 3.0 概述

仿真就是利用电子器件的数学模型通过计算和分析来表现电路工作状态的一种手段。具有成本低,设计调试周期短,避免器件浪费等特点。特别适合于实验教学,可以在较短的时间内让学生掌握更多的概念。

仿真的真实程度取决于器件模型的逼真程度,一个较好的仿真系统虽不能百分之百替代实际器件的实验,但对实际电路的设计调试是有很多帮助的。

仿真分为实时仿真和非实时仿真。实时仿真是利用虚拟仪器(如信号发生器、示波器、电压表、电流表等)实时跟踪电路状态变化的仿真模式,在这种模式下必须不停地进行分析和计算工作。和实际实验很相似,比较真实,计算工作量大对计算速度有较高的要求,或者说在同样的机器速度下被仿真的电路频率比较低。

非实时仿真是将分析计算过程与观察过程分开的仿真模式。根据设置的电路条件,首先对电路进行分析计算,将计算结果保持下来绘制成图表显示在屏幕上,在观察分析过程中不再进行计算工作。这种方式可以在较慢的机器上仿真较高的频率特性,因为分析计算的时间可以被拉长。

数字电路的仿真和模拟电路的仿真有很大的不同,数字逻辑电路仿真只在时钟变化时捕捉电路的状态,对信号过冲、信号变形可能忽略而不考虑,计算工作量大大减小,模拟电路在每个信号周期内都要进行很多次的计算和分析,所以计算工作量很大,每个周期的计算点数时可以设置的,不要设置的太高。

### 3.1 实时仿真

在电路设计好后,放置信号源,放置虚拟仪器、选择测试点,连接测量仪表的输入端到被测点上,注意信号源要接地,示波器没有接地线,测量结果是相对 GND 的波形,电压表测量的是两条线之间电位差,电流表则串接在电路中。

电压、电流探针可以作为实时工具,在仿真执行时电压探针显示的是所指的线相对于地线 GND 的值,电流探针显示的是所指连线的电流,相当于串联在电路中。

在 Design 菜单下,选择 Configure Power Rails 弹出对话框,可以选则网络标号所对应的电压(如设置 GND VCC 的电压值等),这样可以给调试带来很大的方便。


在 System 菜单下,选择 Set Animation Options 弹出对话框,在 Animation 栏有四个项

①在探针上显示电压和电流。

②显示引脚逻辑状态,被选中后在仿真时数字电路引脚上会出现一个小方块,表示当前的逻辑状态,蓝色表示低电平“0”,红色表示高电平“1”。

③用颜色显示电压值,被选中后仿真时用线颜色表示出电压的高低,浅绿色表示低电压,深红色表示高电压。

④用尖头显示电流方向,被选中后仿真时,线上出现一个尖头表示出电流的方向。

当虚拟仪器连接好后，编辑窗口左下角的可以帮助启动仿真过程，所对应的功能分别是：执行、单步执行、暂停、停止。

信号源有：直流电压源、正弦信号源、脉冲信号源、积分波形信号、频率调制信号、手工勾画任意波形，数据文件波形，声音文件波形等。

可以使用的虚拟仪表有：有示波器、计数器、RS232 终端、SPI 调试器、I2C 调试器、信号发生器、图形发生器、直流电压表、直流电流表、交流电压表、交流电流表。

还有电压探针和电流探针。

### 实时仿真常用工具

ISIS 系统在实时仿真调试过程中，提供了许多有用的工具，常用工具如下：



图 3.1 开关、按钮、数据拨码开关



图 3.2 状态检测工具与断点工具

阵列式键盘，用来和单片机等可编程器件的连接，通过行或列，扫描获得键的位置数据，数据值与键盘上的数字无关。

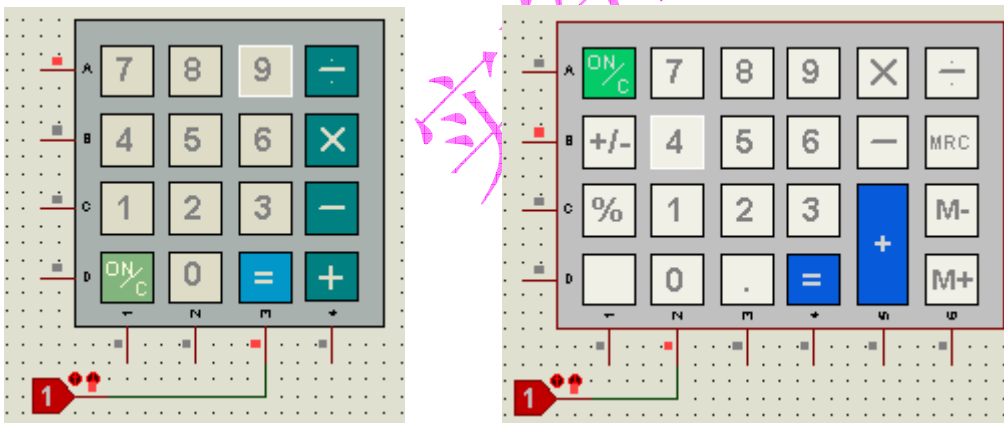


图 3.3 阵列式键盘

## 3.2 非实时仿真

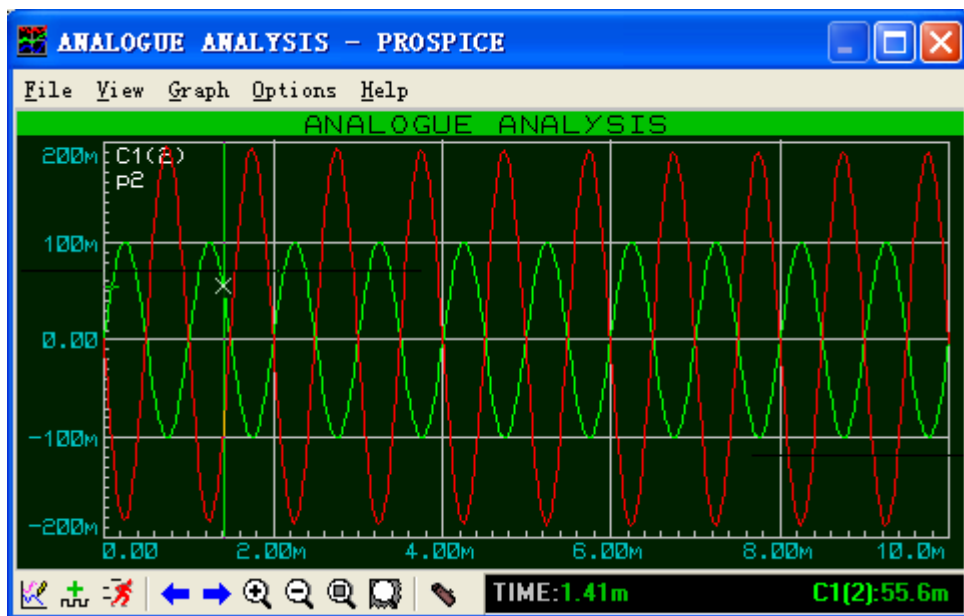
非实时仿真有模拟波形分析、数字波形分析、混合波形分析、频率特性分析、传输特性分析、噪声分析、失真分析、傅立叶分析、音频分析等

### 3.2.1 模拟波形分析、数字波形分析、混合波形分析

模拟波形分析、数字波形分析、混合波形分析是在时域内对信号进行波形显示和分析。X 轴显示时间，Y 轴显示被选择信号的幅度。操作步骤如下：

- 1、在电路的被测试点上添加电压探针或电流探针。

- 2、在编辑窗添加时域分析图形。
- 3、点击图形上边的色条，打开图形界面，快捷键下图所示。
- 4、点击图标 1 修改图形坐标属性。
- 5、点击图标 2 选择显示波形的测试点。
- 6、点击图标 3 执行模拟功能，显示采集的波形。



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 图 3.4 模拟信号分析图

点击图标 4 波形左移，点击图标 5 波形右移，点击图标 6 波形放大，点击图标 7 波形缩小，点击图形 8 整图显示，点击图形 9 显示选中的区域，点击图标 10 显示模拟进程。

点击图形窗口显示读数标尺线，按下鼠标左键标尺线随鼠标移动，同时在下边窗口显示标出线对应的波形数据值。这样可以准确读出波形的参数。

数字波形分析和模拟波形分析在形式上是一样的，只是在计算过程中数字分析有更快的计算速度，因为不需要考虑波形的过渡状态。

### 3.2.2 频率特性分析

频率特性分析时用来测量电路的频率响应，图形的 X 坐标是增益（单位是 dB），Y 坐标是频率。如图是单管放大器从基极输入信号的频率响应曲线。

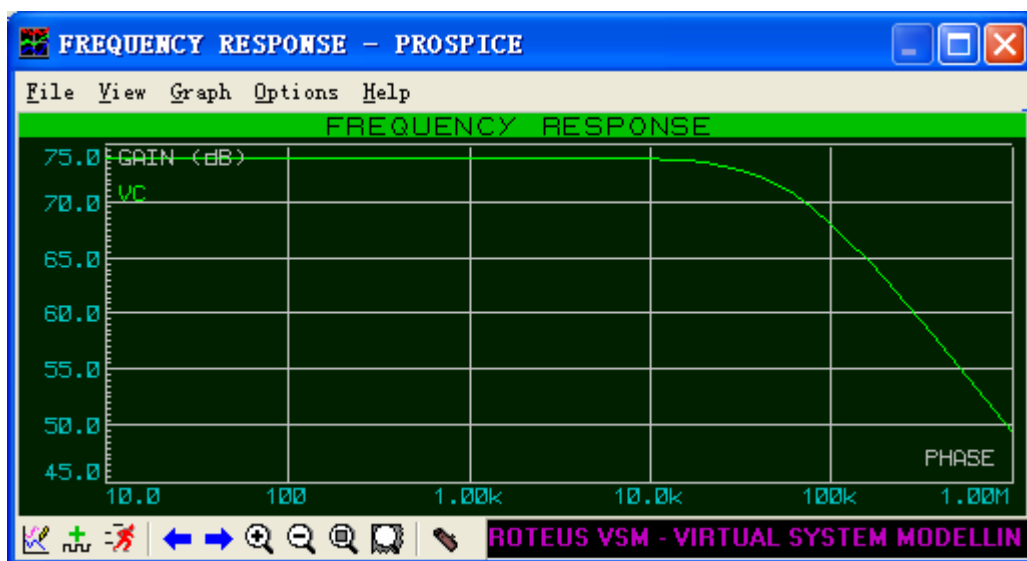


图 3.5 频率特性分析图

### 3.2.3 传输特性分析

传输特性分析是用来分析半导体器件如三极管的传输特性的工具。如图所示是三极管的传输特性曲线  $I_B$  的变化间隔是  $20\mu A$ ，电压 6 伏时， $I_C$  变化  $2mA$  电流放大倍数是 100，曲线非常平直，饱和压降 0.4 伏，可见是一个比较理想管子。

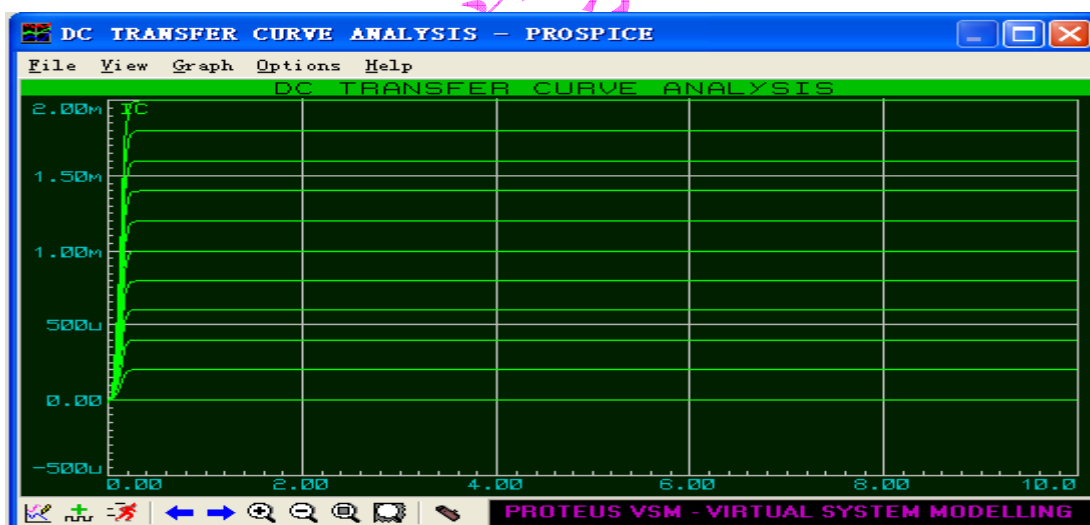


图 3.6 三极管传输特性图

### 3.2.4 傅立叶分析

傅立叶分析是对被测试点的信号进行频谱分析的工具。下图 a 是一个放大电路输入信号为 1KHz、幅度峰峰值为 2.2 伏时输出信号无明显失真的傅立叶图形，图 b 是输出信号频率 1KHz 幅度  $V_{p,p}=3.6$  伏有明显幅度失真时的傅立叶波形。

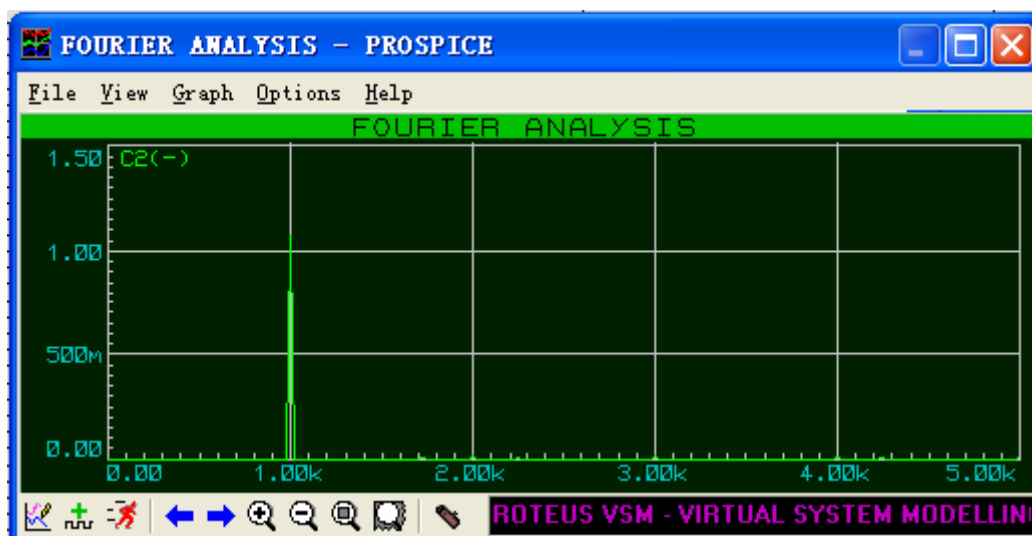


图 3.7 输出不失真的傅立叶图形（频率 1KHz 幅度  $V_{p,p}=2.2$  伏）

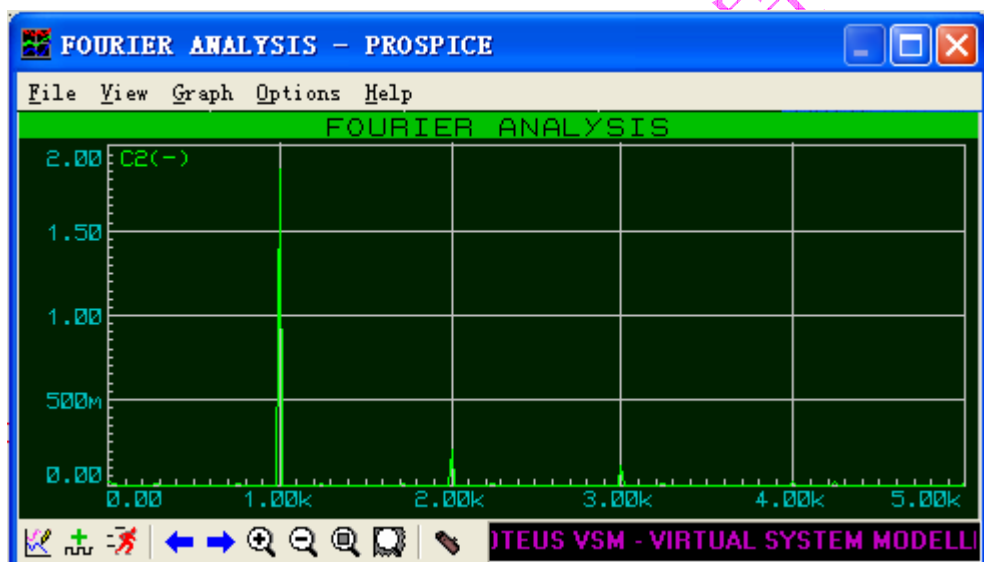


图 3.8 输出有明显失真时的傅立叶波形（频率 1KHz 幅度  $V_{p,p}=3.6$  伏）

### 3.2.5 音频分析

音频分析和模拟信号分析一样，是在时域显示信号的电压波形，同时将信号波形用微机上的声卡产生出真正的声音信号，由听觉判断信号的声音效果，可以选择单声道和立体声效果，并且可以将记录的文件回放或存储为波形数据文件。

图形的纵坐标是电压信号 mV 水平坐标是时间 mS。

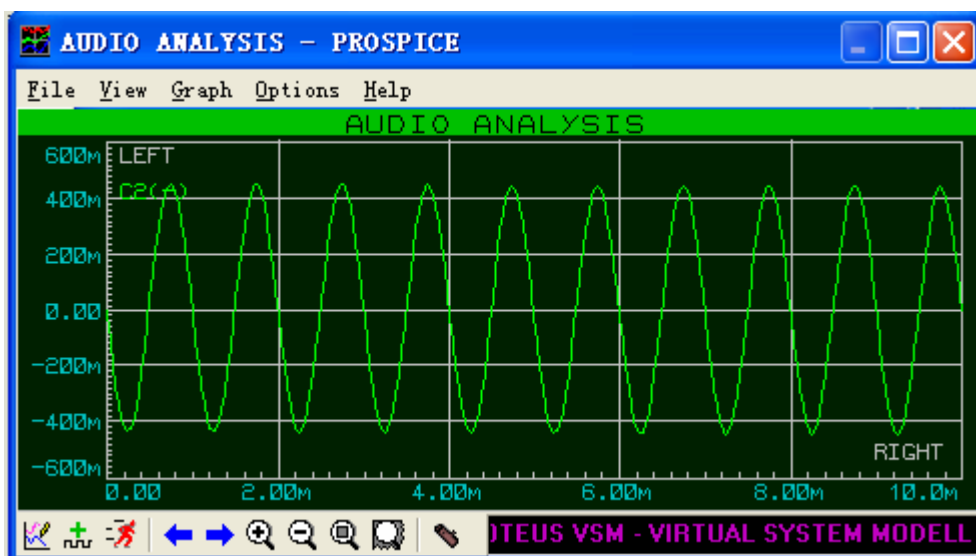


图 3.9 声音信号分析图

### 3.2.6 噪声分析

SPICE 模拟器能够模拟电阻、半导体器件等在运行时的噪声，噪声分析图显示的是输入噪声信号频率与输出噪声信号幅度的关系图。在分析之前首先要选择输出信号测试点和输入信号参考点。

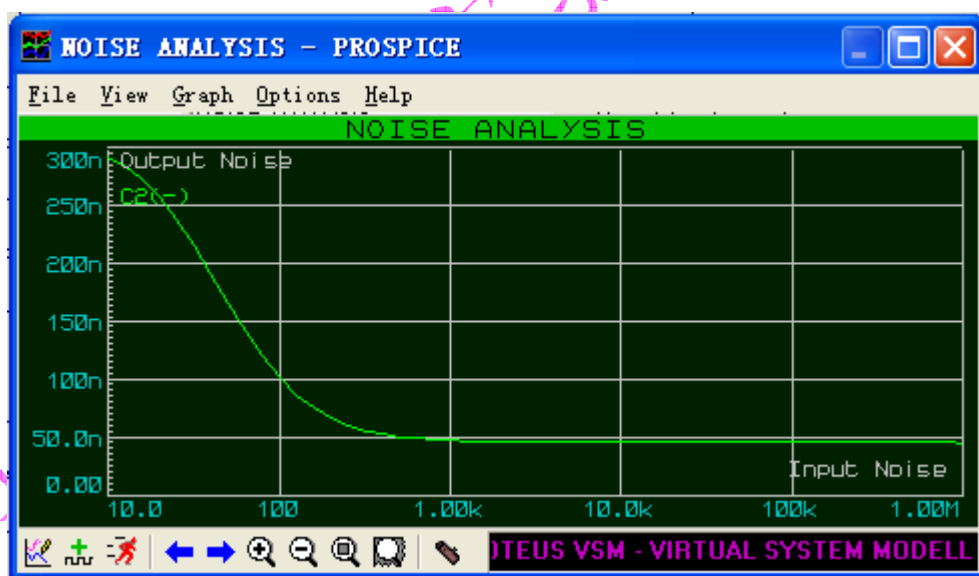


图 3.10 噪声信号分析图

### 3.2.7 交互分析

交互分析结合了图形分析（非实时仿真）和模拟仿真（实时仿真）的特点，除图形数据来自实时仿真以外，计算方法与混合图形方式相同，这种方法常用来查找偶发现象它是存储示波器和逻辑分析仪的结合。

这种方式可以发现由于开关，按键的动作对结果的影响，仿真的速度取决于计算间隔（TimeStep）的设置。这种分析模式产生的数据量很大，如果在端时间内不能找到异常现象的话使用逻辑分析仪会更好。交互过程不支持负责电路（计算量很多的电路），录音机播放模式在交互执行是将自动关闭。

### 3.2.8 一致性分析

一致性分析是用来对数字电路的逻辑状态的图形分析，与数字逻辑分析相比增加了存储波形和比较波形的功能，这种方法更快的找到参数的修改对波形的影响。在使用时首先将电路的波形进行分析和显示（方法与数字逻辑分析相同），然后将波形存储起来，修改参数或程序后再对同测试一点的波形进行采集和显示，系统提示你波形的那些地方发生了变化，并用不同的颜色显示两次的波形。

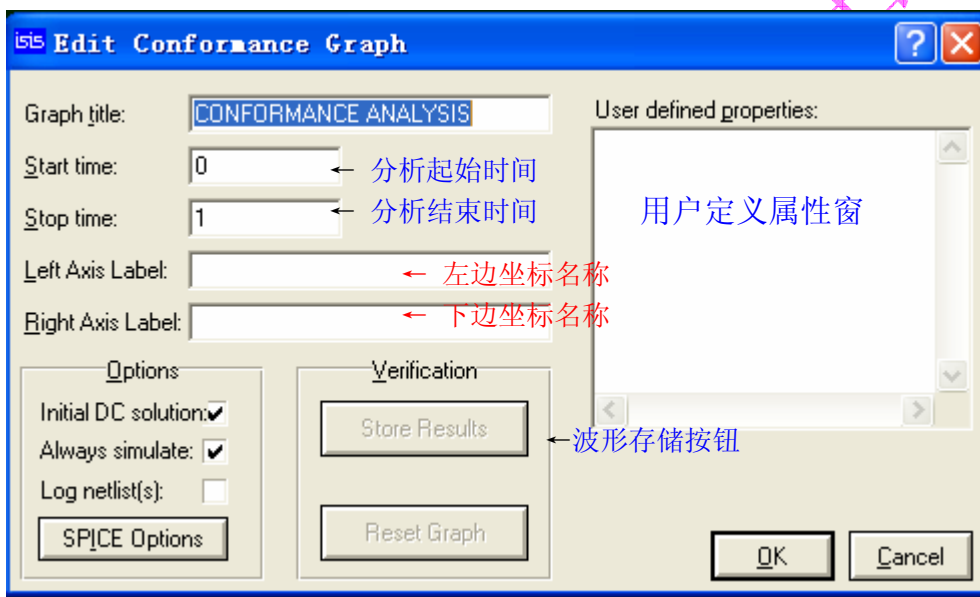


图 3.11 一致性分析设置窗口

波形存储的方法是：点击分析窗体左下角的左边第一个图形按钮，弹出对话框，可以选择分析的起始时间和结束时间，选择存储波形和复位图形，设置坐标名称等。

如图所示是一个动态显示的四个位扫描波形，地电平表示显示器亮，每个特定时间都只有一个显示器点亮，当修改了扫描的延迟时间后，每一位的点亮时间比原来的时间加长了，灰色是原来的波形（参考波形），彩色是当前的波形（修改后的波形）。



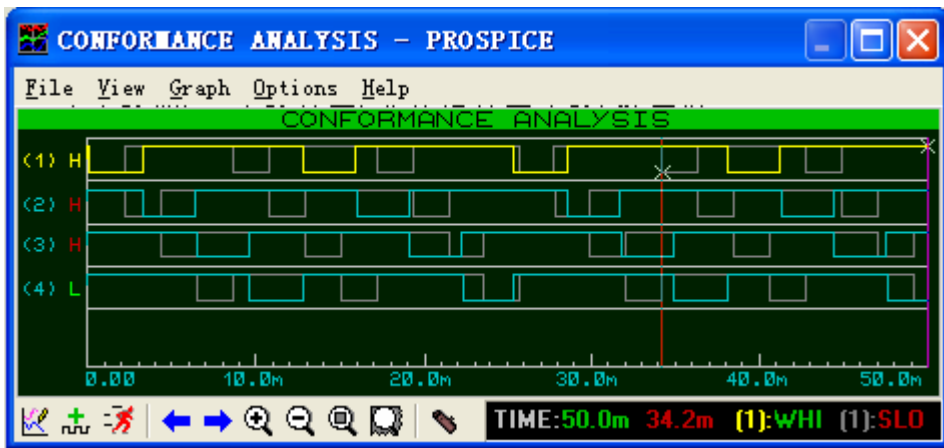


图 3.12 一致性分析结果图

### 3.2.9 失真分析

失真分析是分析放大电路线性程度的一种方法，曲线显示的是谐波的大小，纵坐标是谐波幅度的 dB 值横坐标是频率，失真分析显示模式 0 显示如下图所示，下边曲线是  $2F_1$ （二次谐波），上边是  $3F_1$ （三次谐波），显示模式 1 显示两种不同频率的信号同时输入时的交叉调制情况  $F_1+F_2$ （两种频率的和信号）和  $2F_1-F_2$ （两种频率的差频信号）。

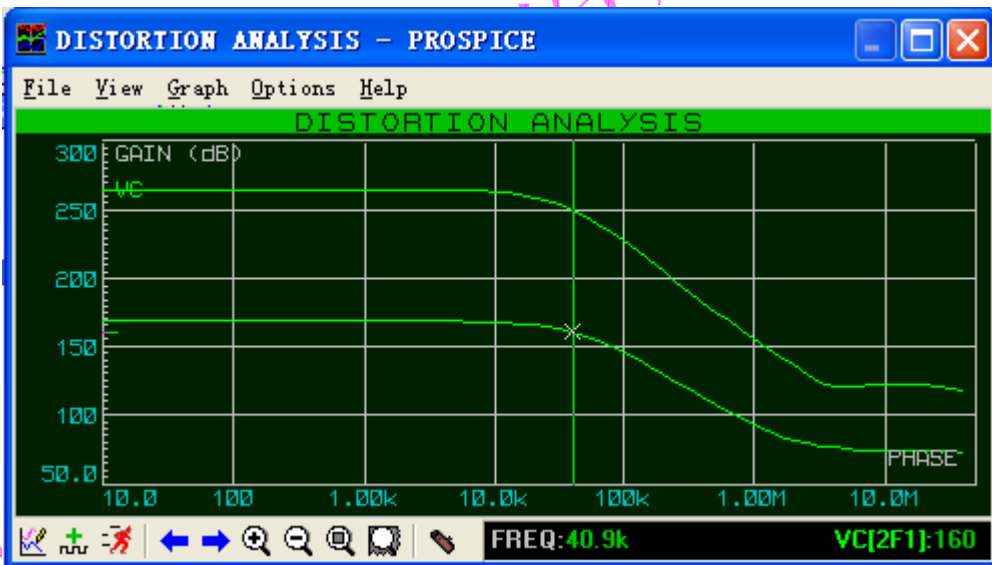


图 3.13 失真分析结果图

### 3.2.10 直流扫描分析

直流波动分析是分析电路中某一参数的变化对工作状态的影响，变量可以是电压源也可以是电阻、电容等器件参数。下图是一阶 RC 电路的直流扫描特性，扫描变量是  $R_2$  范围是 3K 到 10K，将电路中的  $R_2$  的值设置为 X，在扫描参数中设置 3K 到 10K，执行仿真结果如下图所示。

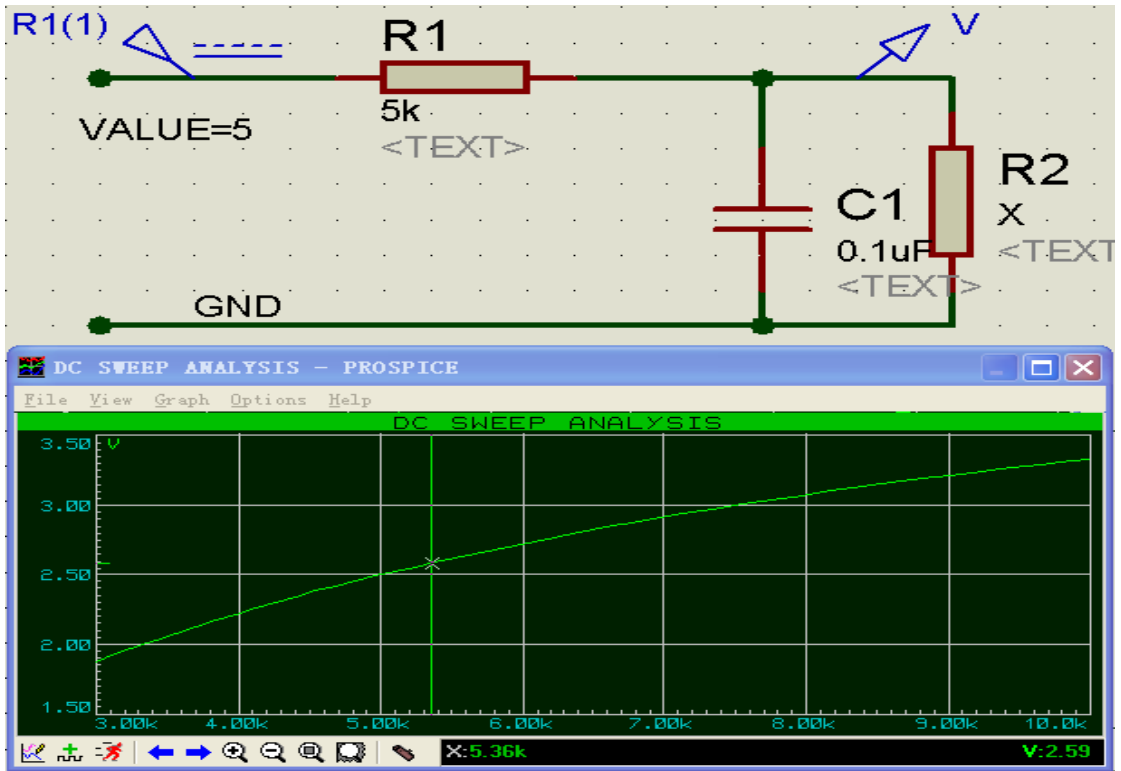


图 3.14 直流扫描分析图

### 3.2.11 交流扫描分析

交流小信号分析显示的时小信号输入时的频率响应。如图所示是一个一阶 RC 电路的频率特性扫描变量是 R2 频率范围从 10Hz 到 10MHz，将电路中的 R2 的值设置为 X,在扫描参数中设置 3K 到 10K, 执行仿真结果如下图所示。

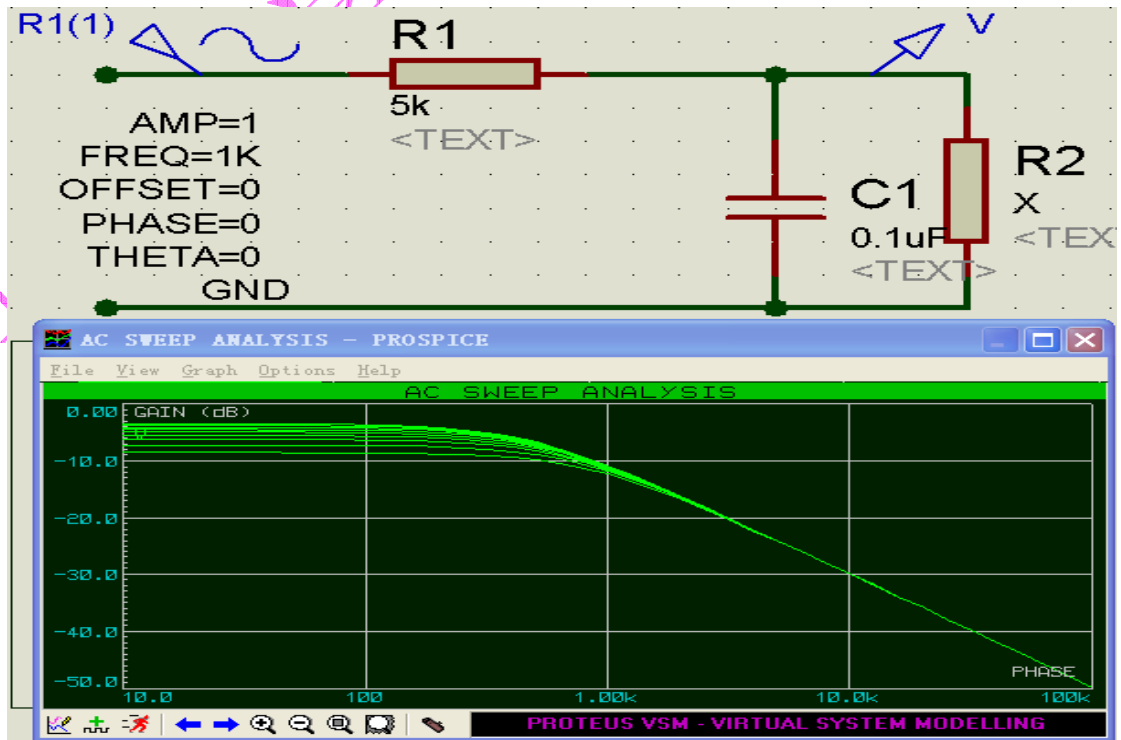


图 3.15 交流扫描分析图

### 3.2.12 微处理器的仿真

能够对微处理器进行仿真是 PROTEUS 系统的最突出的特点。在这个系统中可以通过仿真方式在计算机上执行各种微处理器的指令，与所连接的接口电路同时仿真实现对电路的快速调试。对微处理器程序的处理分以下几个步骤：

#### 1、添加程序

打开主菜单的 Source 其中有添加删除程序、选择代码生成工具、设置外部文本编辑器、建立所有文件的四个选项，其中前三项都弹出一个对话框。

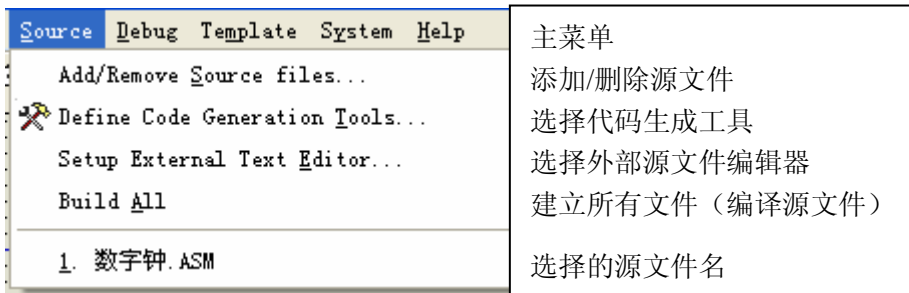


图 3.16 添加仿真源程序菜单

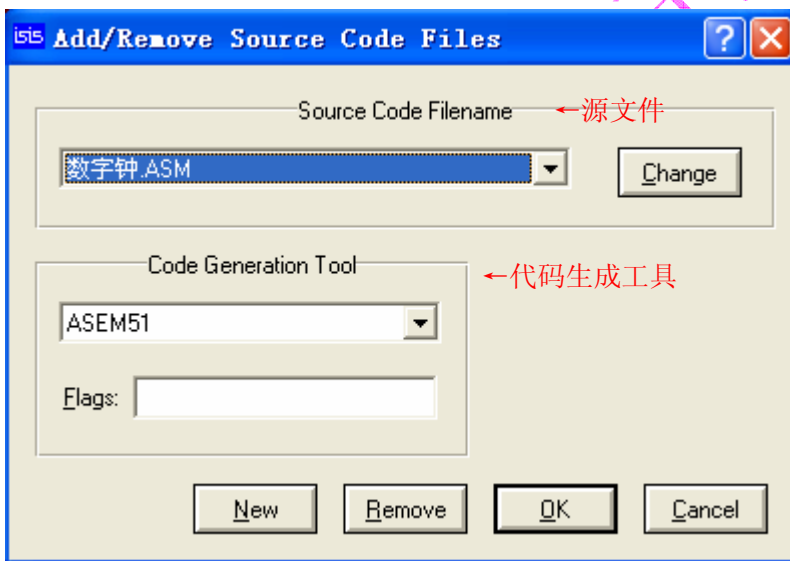


图 3.17 添加源代码文件和选择代码生成工具窗口

添加删除程序：选择与被调试电路对应的程序文本文件（.ASM）。

设置外部文本编辑器：是为了选择汇编语言的编辑工具，系统隐含的是 PROTEUS 系统自带的一个工具（SRCEDIT.EXE）。如果不喜欢可以修改，通过浏览按钮找到自己喜欢使用的文本编辑器工具。

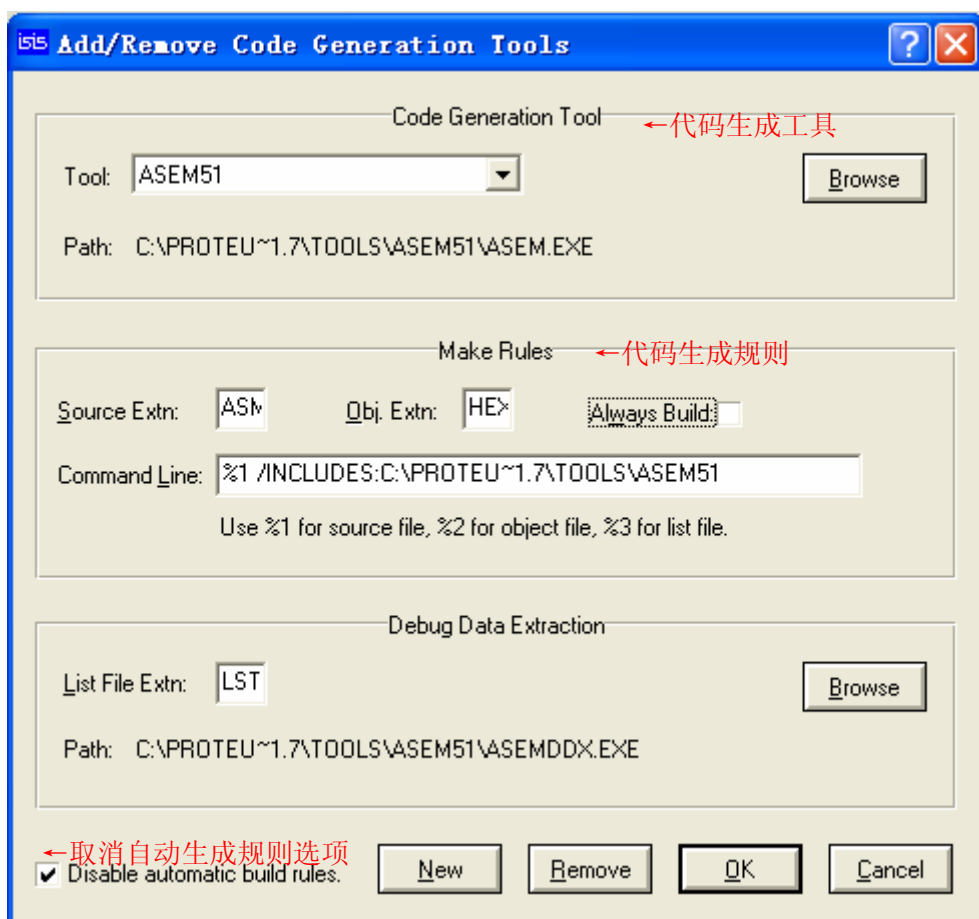


图 3.18 选择代码生成工具窗口

定义代码编译工具：根据微处理器的语言类型不同选择合适的编译系统，当按下建立所有的选项时利用这个工具将汇编语言文本文件翻译成机器代码（.HEX）文件。

如果不使用改系统提供的编译、编辑工具可以在定义代码编译工具的对话框中将左下角的选项选中，取消自动建立规则。

### 2、编译程序

如果使用系统提供的编辑、编译工具，当添加文件后在 Source 菜单下就会出现所选择的文件名，点击文件名就会打开编辑器，提供文件修改功能，完成修改后，选择建立所以的选项，如果文件无错误就产生了.HEX 文件。如果设置成不使用系统提供的工具后 Source 下的所有功能将不需要。

### 3、添加和执行程序

鼠标移动到要选中器件上点击鼠标左键，器件变成红色表示被选中，再点击鼠标左键弹出如下对话框。在程序文件下选择微处理器所需要的程序文件（.HEX），选择合适的工作频率即可确认。点击编辑窗下边的仿真按钮程序便可执行了。或者选择调试菜单 Debug 下的执行功能即可执行。

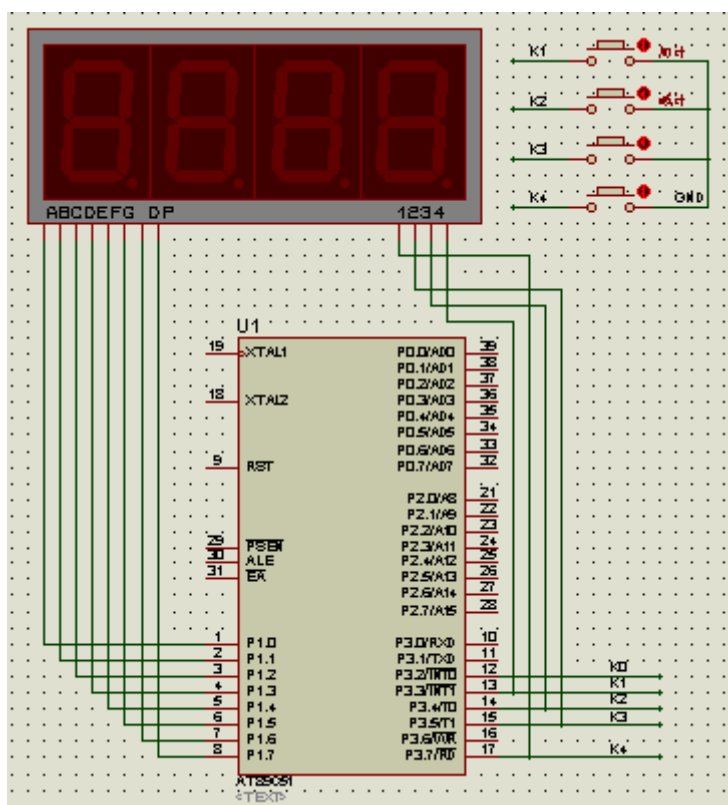


图 3.19 单片机数字钟电路

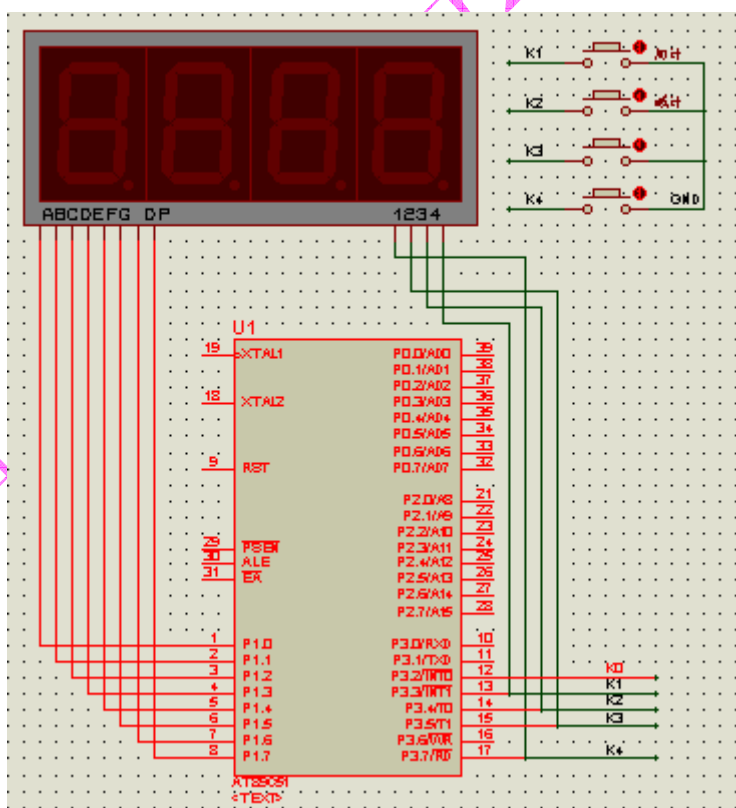


图 3.20 单片机芯片被选中变成红色

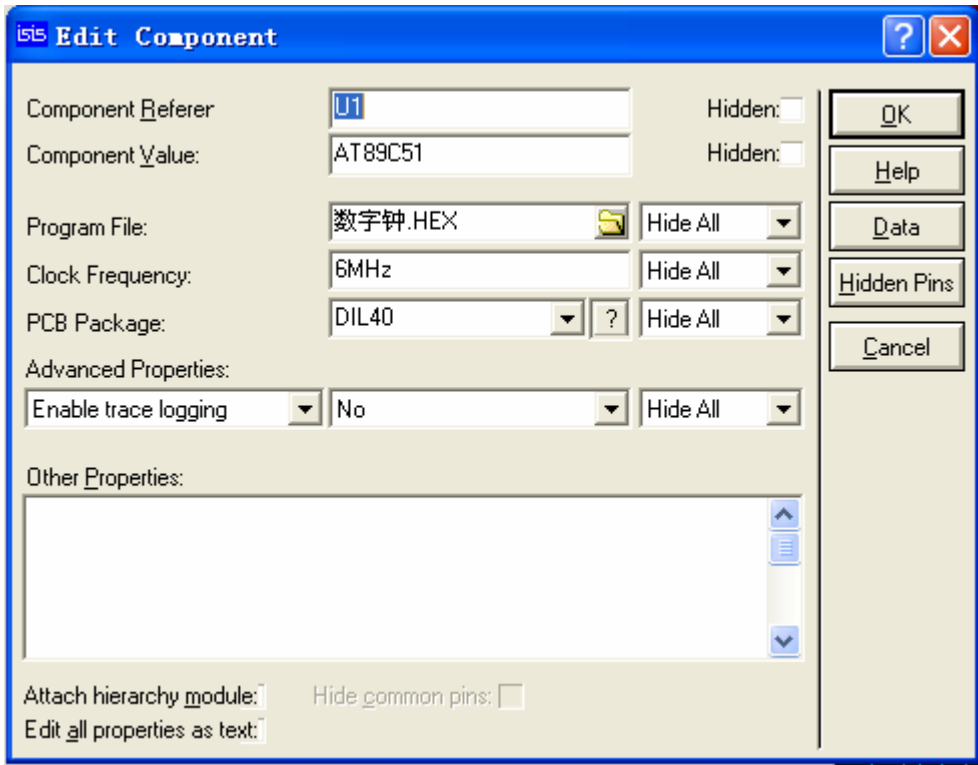


图 3.21 单片机添加程序窗口

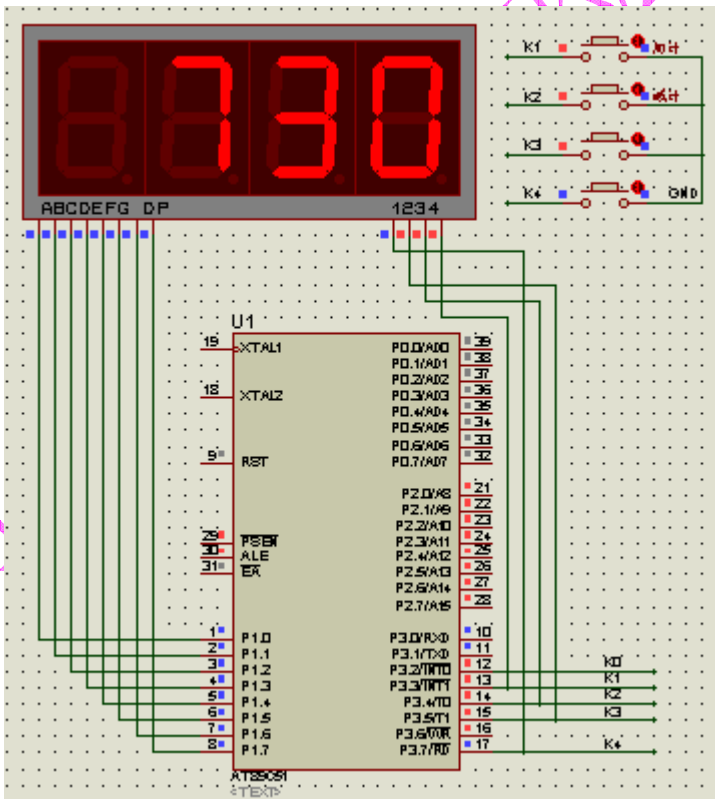


图 3.22 数字钟程序执行结果

#### 4、观察 MCU 内部状态

在程序执行后，点击暂停按钮，打开 Debug 菜单，下边出现几个窗口选项。在对应项前点击鼠标左键即可弹出此窗口，方便程序的调试。

在调试菜单下的指定执行时间，可以弹出窗口设置每次单步执行的时间。

弹出的监视窗口的字体比较小，如果不喜欢，在弹出窗口点击鼠标右键再弹出选择项，可以修改显示字符的大小和颜色。

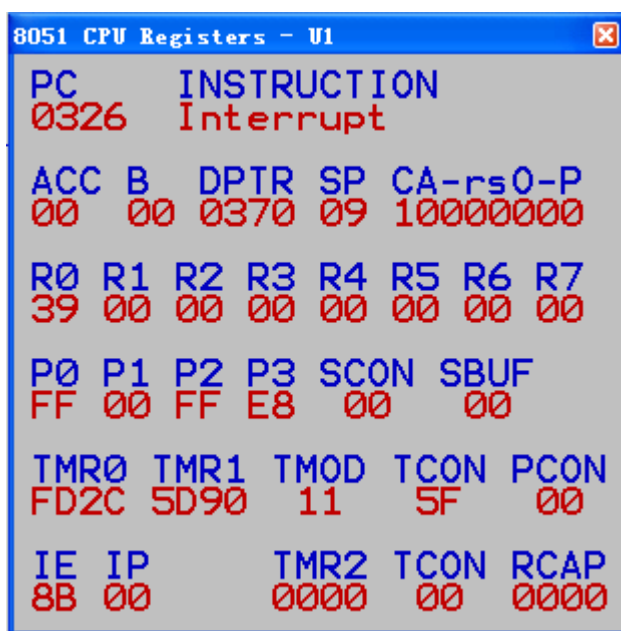


图 3.24 CPU 特殊功能寄存器状态

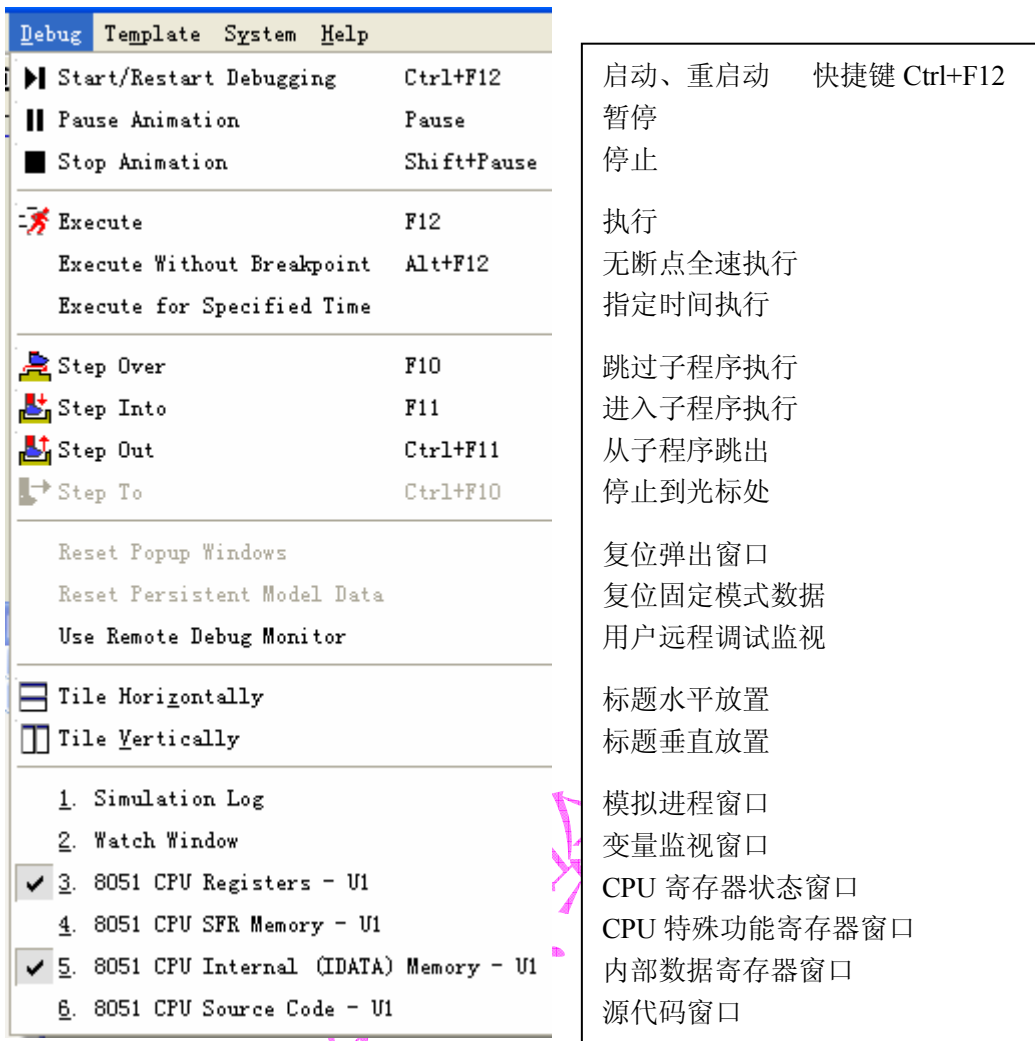


图 3.23 Debug 调试菜单选项

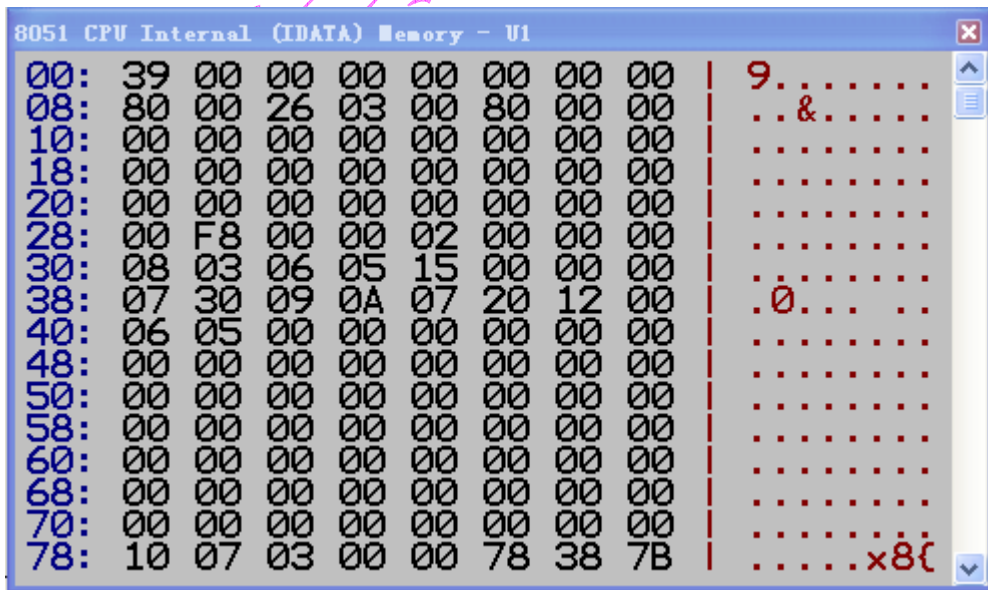


图 3.25 片内数据存储器状态