



本章将使用嘉立创 EDA 软件实现对模拟电路、模数混合电路、数字电路的仿真,其内容主要包括直流工作点分析、直流扫描分析、交流小信号分析、瞬态分析、传输函数分析。

3.1 直流工作点分析

本节将构建用于直流分析的电路,并执行直流工作点分析,主要包括构建直流分析电路、设置分析参数和分析仿真结果。

3.1.1 建立新的直流工作点分析工程

下面首先给出建立直流工作点分析工程的步骤。其主要包括以下步骤。

(1) 在浏览器中输入网址 <https://lceda.cn/editor> 打开嘉立创 EDA 标准版,单击左上角嘉立创 EDA 图标切换到仿真界面,单击右上角登录按钮进入个人页面。

(2) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“文件”→“新建”→“工程”选项,在“新建工程”的窗口设置工程标题为 DC-OP,设置窗口如图 3-1 所示,单击“保存”按钮生成直流工作点分析工程。



第 10 集
微课视频



示例视频 1
微课视频



图 3-1 新建工程界面

3.1.2 构建直流分析电路

在工程的原理图中绘制直流分析电路。其主要包括以下步骤。

(1) 从常用库中的通用器件中分别找到名为电阻器和电容器的元件,并将其按照图 3-2 所示的位置进行放置。

(2) 从常用库中的电源找到名为电压源_直流源的元件,并按照图 3-2 所示的位置进行放置。

(3) 单击主界面电气工具栏内的标识符 GND 按钮,将 GND 按照图 3-2 所示的位置进行放置。

(4) 单击主界面电气工具栏内的“导线”按钮,将这些元器件和直流源按照图 3-2 所示的方式进行连接。

(5) 修改 V1、R1 和 C1 的参数设置。下面以修改 V1 的参数为例。

① 双击图 3-2 内的 V1 信号源图标。

② 打开如图 3-3 所示的界面,在“电压源设置”选项卡中,找到“直流值[V]”行,在右侧文本框中输入 5V。

(6) 为了便于分析仿真结果,如图 3-4 所示,单击主界面电气工具栏内的“网络标识”按钮为电路某些节点指定网络标号。

(7) 保存设计文件。

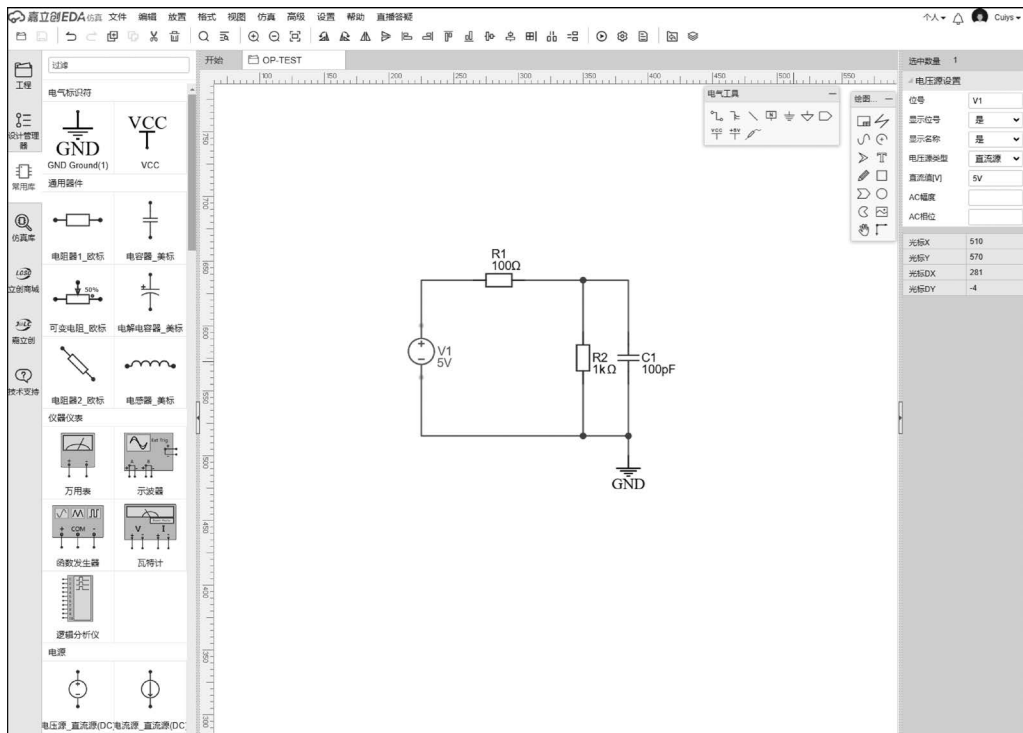


图 3-2 绘制电路原理图



图 3-3 修改 V1 参数

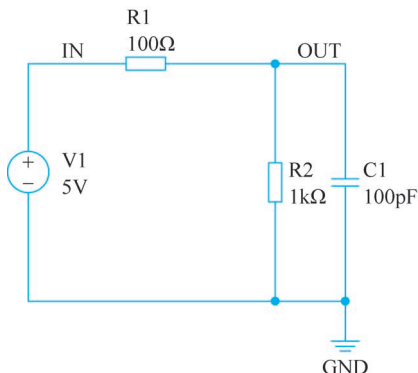


图 3-4 指定网络标号

3.1.3 设置直流工作点分析参数

下面介绍设置直流工作点分析参数的方法,其主要包括以下步骤。

- (1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“仿真”→“仿真设置”选项。
- (2) 打开如图 3-5 所示的运行仿真设置界面。选择静态工作点标签页,单击运行按钮进行直流工作点分析。



图 3-5 设置直流工作点分析参数

3.1.4 直流工作点仿真结果分析

下面对直流工作点仿真的结果进行分析。其主要包括以下步骤。

- (1) 弹出如图 3-6 所示的“显示仿真报告”的窗口,该仿真报告窗口给出了对 Spice 电路的分析过程,及直流工作点的相关电压和电流情况。
- (2) 单击“下载网络表”按钮,弹出如图 3-7 所示的“网表”窗口,“网表”窗口中显示当前仿真电路的 Spice 仿真网表文件,单击“下载”按钮可以下载网表文件。
- (3) 保存原理图文件和工程,并退出该设计工程。

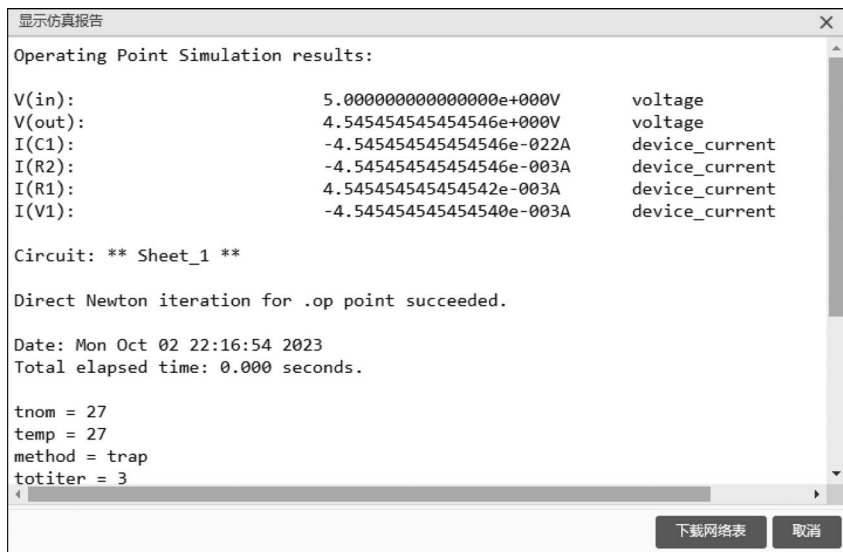


图 3-6 仿真报告窗口



第 11 集
微课视频



示例视频 2
微课视频

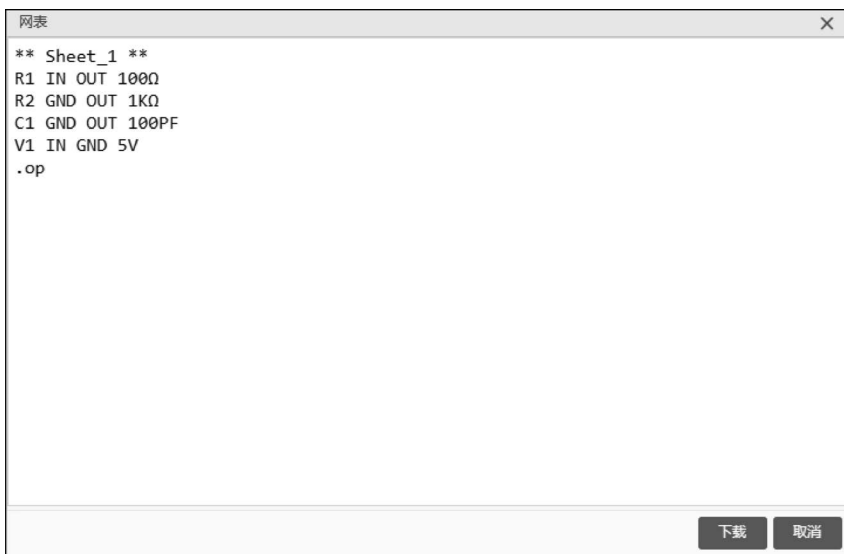


图 3-7 “网表”窗口显示当前网表文件

3.2 直流扫描分析

本节将使用上节设计的电路,实现直流扫描分析,主要包括新建直流扫描分析工程、设置直流扫描参数和分析直流扫描的仿真结果。

3.2.1 建立新的直流扫描分析工程

打开前面设计的主要包括以下步骤。

(1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“文件”→“新建”→“工程”选项,设置工程标题

为 DC-SWEEP, 单击“保存”按钮生成直流扫描分析工程。

(2) 在原理图中复制上节直流工作点分析的原理图, 电路原理图如图 3-8 所示。

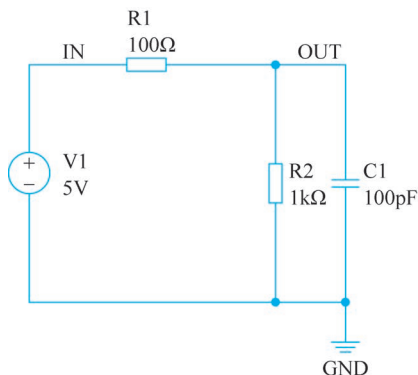


图 3-8 直流扫描分析电路

3.2.2 设置直流扫描分析参数

下面介绍设置直流扫描分析参数的方法。其主要包括以下步骤。

(1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“仿真”→“仿真设置”选项。

(2) 打开如图 3-9 所示的运行仿真设置界面。选择“直流扫描”标签页, 设置“扫描源”为 V1, “起始值”为 0V, “终止值”为 10V, “步进”为 1V, 单击“运行”按钮进行直流工作点分析。



图 3-9 设置直流扫描分析参数

3.2.3 直流扫描仿真结果分析

下面介绍通过图形观察直流扫描仿真结果的方法。其主要包括以下步骤。

(1) 运行 Spice 仿真后, 系统自动打开仿真结果波形显示界面 WaveForm, 如图 3-10 所示, 网络 IN 和 OUT 电压及器件电流的直流扫描结果显示在图形中。

(2) 从图 3-10 所示的仿真波形中可以看出, 输出电压 V(OUT) 随着输入电压 V(IN) 的增加而线性增加。

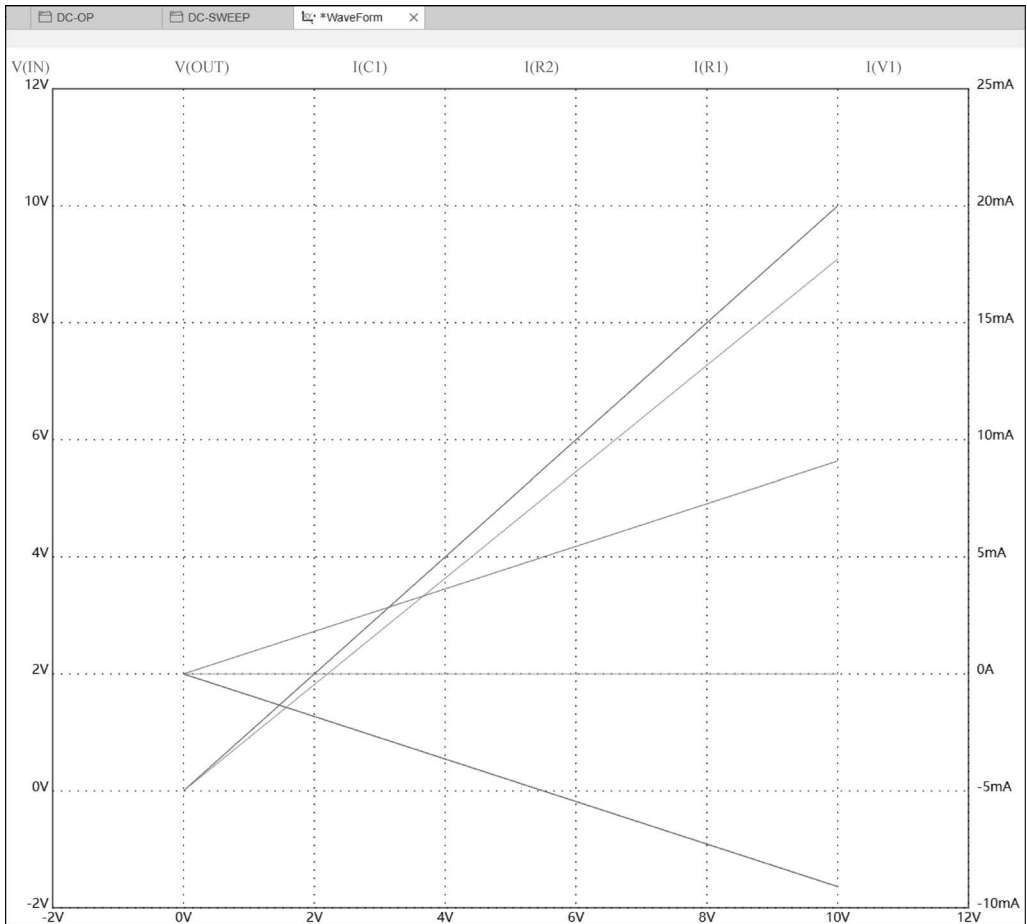


图 3-10 直流扫描仿真结果显示

(3) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“波形”→“波形配置”选项,在如图 3-11 所示的“波形配置”对话框中可以设置网格及曲线相关参数。



图 3-11 “波形配置”对话框设置界面

(4) 保存原理图文件和工程,并关闭该设计工程。

3.3 瞬态分析

本节将构建用于瞬态分析的电路,并执行瞬态分析,主要包括构建瞬态分析电路、设置瞬态分析参数和分析瞬态仿真的结果。

3.3.1 建立新的瞬态分析工程

下面首先给出建立瞬态分析工程的步骤,其主要包括以下步骤。

(1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“文件”→“新建”→“工程”选项,设置工程标题为 TRANS,单击“保存”按钮生成瞬态分析工程。

(2) 打开 Sheet_1 原理图文件绘制瞬态分析原理图。

3.3.2 构建瞬态分析电路

下面构建用于瞬态分析的电路,并执行瞬态分析。其主要包括以下步骤。

(1) 从常用库中通用器件中找到电阻元器件,并将其按照图 3-12 所示的位置进行放置。

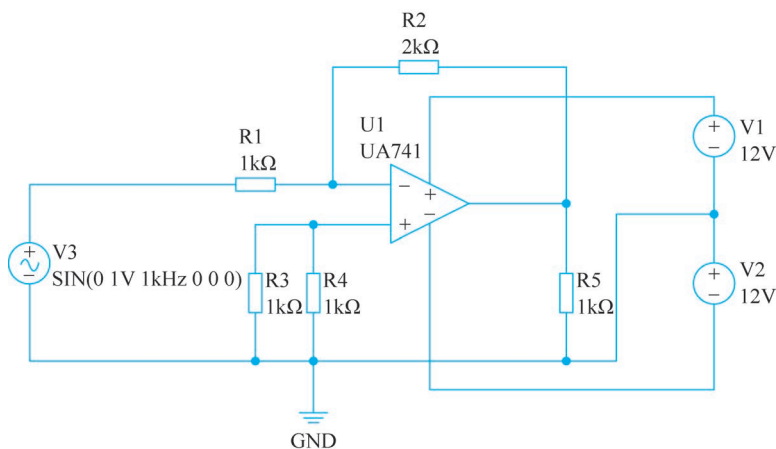


图 3-12 绘制瞬态分析电路原理图

(2) 从常用库中的运算放大器中找到 UA741,并按照图 3-12 所示的位置进行放置。

(3) 从常用库中的电源中找到电压源_直流源和电压源_正弦源,并按照图 3-12 所示的位置进行放置。

(4) 单击主界面“电气工具”栏内的标识符 GND 按钮,将 GND 按照图 3-12 所示的位置进行放置。

(5) 单击主界面“电气工具”栏内的“导线”按钮,将这些元器件和电压源按照图 3-12 所示的方式进行连接。

(6) 修改 V1、V2、V3、R1、R2、R3 和 R4 的参数设置。下面以修改 V3 的参数为例。

① 双击图 3-12 内的 V3 信号源图标。



第 12 集
微课视频



示例视频 3
微课视频

② 打开如图 3-13 所示的界面,在“电压源设置”选项卡中,找到设置“直流偏移[V]”为 0V;“振幅[V]”为 1V;“频率[Hz]”为 1kHz;“AC 幅度”为 1V。

(7) 为了便于分析仿真结果,单击主界面“电气工具”栏内的“网络标识”按钮,为电路某些节点指定网络标号,单击主界面“电气工具”栏内的“电压探针”按钮为观测波形加入探针,可以得到瞬态分析电路原理图,如图 3-14 所示。



图 3-13 “电压源”设置界面

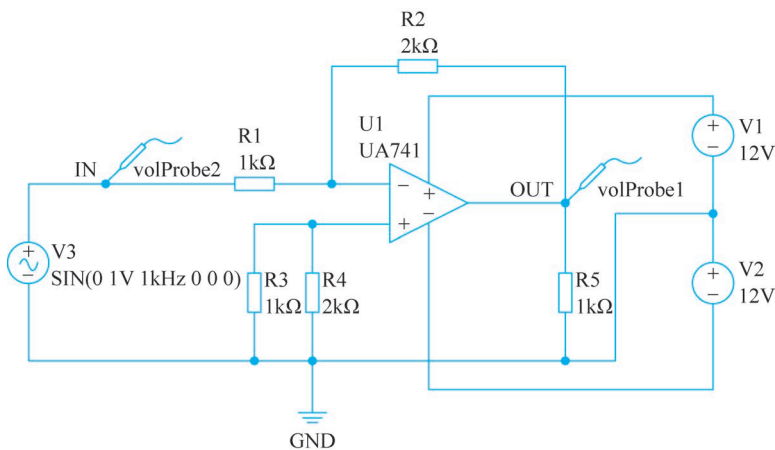


图 3-14 瞬态分析电路原理图

3.3.3 设置瞬态分析参数

下面介绍设置瞬态分析参数的方法。其主要包括以下步骤。

(1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“仿真”→“仿真设置”选项。

(2) 打开如图 3-15 所示的“运行仿真”设置界面。选择“静态工作点”标签页,设置最大步长为 $5\mu\text{s}$,终止时间为 5ms,起始时间为 0,单击“运行”按钮进行瞬态分析。



图 3-15 设置瞬态分析参数

3.3.4 瞬态仿真结果分析

下面介绍通过图形观察瞬态仿真的结果的方法。其主要包括以下步骤。

(1) 运行 Spice 仿真后,系统自动打开仿真结果波形显示界面 WaveForm,如图 3-16 所示,网络 IN 和 OUT 瞬态输出波形结果显示在图形中。

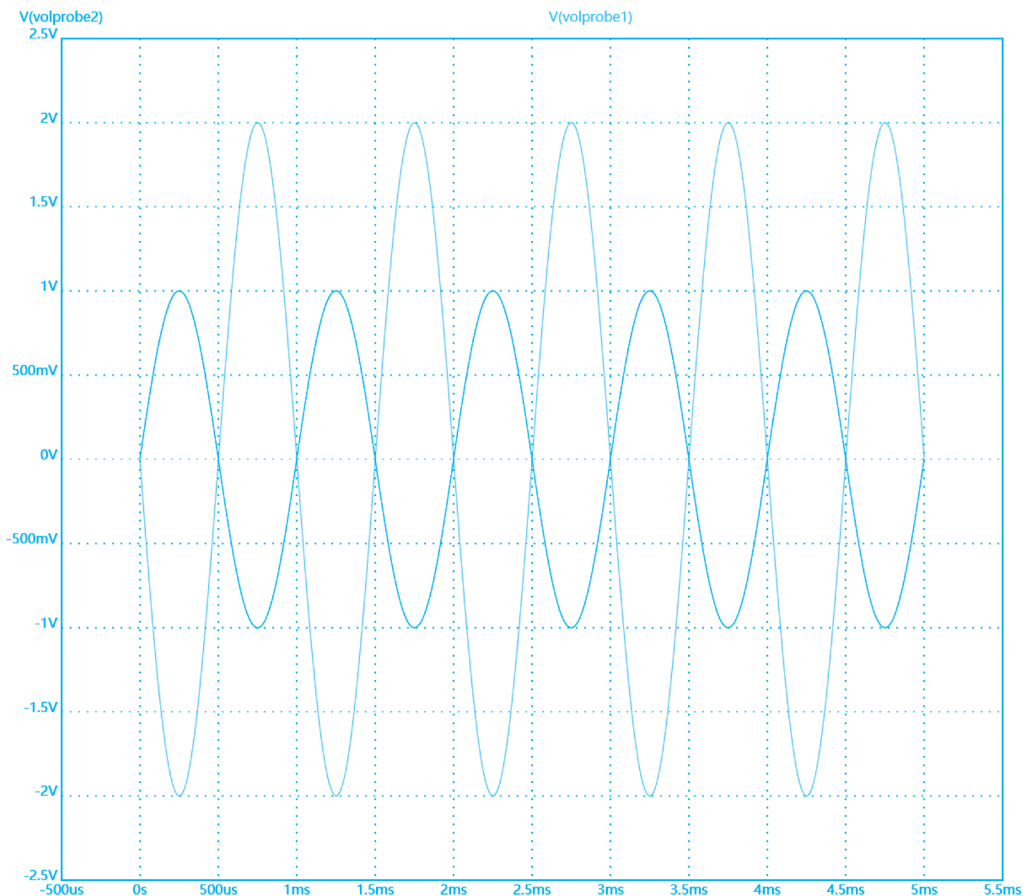


图 3-16 瞬态仿真结果波形

(2) 从图 3-16 所示的仿真波形中可以看出输出电压 $V(\text{OUT})$ 与输入 $V(\text{IN})$ 反相,幅度放大两倍。

(3) 保存原理图文件和工程,并退出该工程。

3.4 传输函数分析

本节将使用前面设计的电路,实现传输函数分析。主要内容包括构建传输函数分析工程、设置传输函数参数和分析传输函数的仿真结果。



第 13 集
微课视频

3.4.1 建立新的传输函数分析工程

下面首先给出建立新的传输函数分析工程的步骤。其主要包括以下步骤。

- (1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“文件”→“新建”→“工程”选项,设置“工程标题”为 DC-TF,单击“保存”按钮生成传输函数分析工程。
- (2) 在原理图中复制上节瞬态分析的原理图,电路原理图如图 3-17 所示。

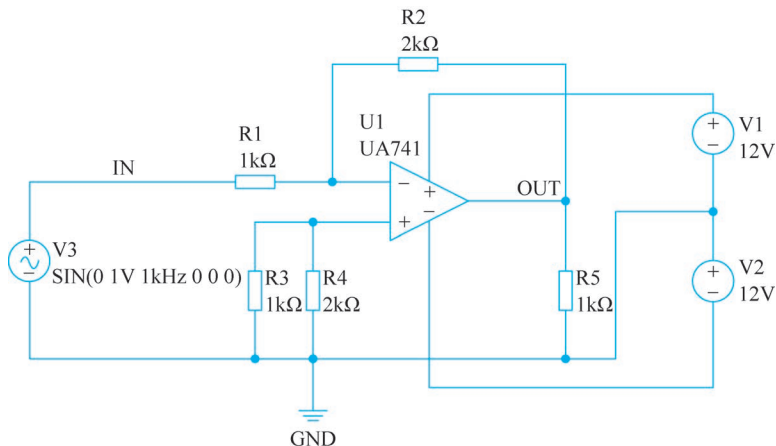


图 3-17 传输函数分析电路

3.4.2 设置传输函数分析参数

下面介绍设置传输函数分析参数的方法。其主要包括以下步骤。

- (1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“仿真”→“仿真设置”选项。
- (2) 打开如图 3-18 所示的“运行仿真”设置界面。选择“DC 变换”标签页,设置输出(信号)为 V(OUT),设置“源”为 V3,单击“运行”按钮进行传输函数分析。



图 3-18 设置传输函数分析参数



示例视频 4
微课视频

3.4.3 传输函数仿真结果分析

下面介绍通过图形观察传输函数仿真结果的方法。其主要包括以下步骤。

(1) 运行 Spice 仿真后,弹出如图 3-19 所示的“显示仿真报告”窗口,该仿真报告窗口给出了电路传输函数,及电路输入阻抗和输出阻抗。

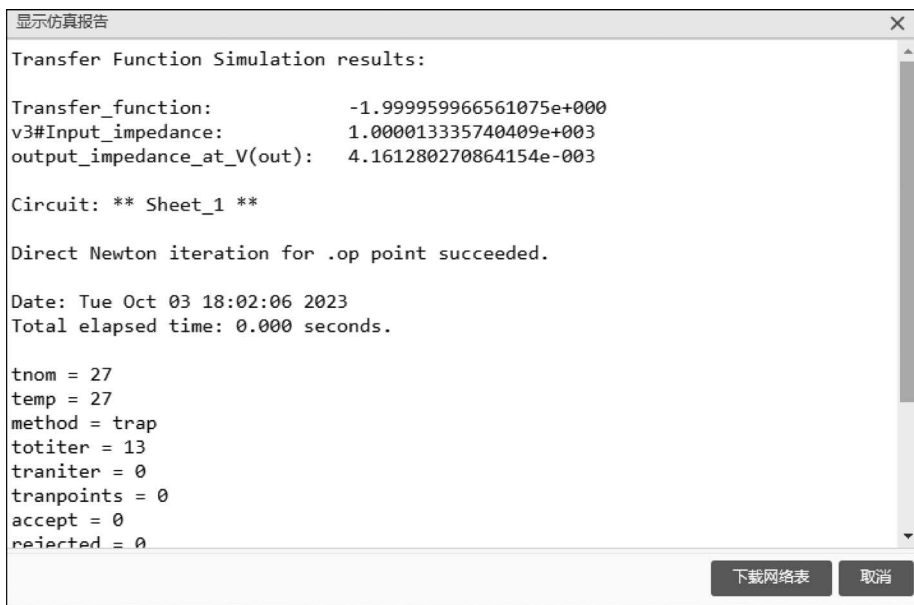


图 3-19 传输函数分析结果界面

- (2) 从图 3-19 所示的仿真结果可以看出,传输函数约等于-2,与瞬态仿真结果基本相同。
 (3) 保存原理图文件和工程,并退出该工程。



第 14 集
微课视频



示例视频 5
微课视频

3.5 交流小信号分析

本节将使用前面设计的电路,实现交流小信号分析,主要内容包括构建交流小信号分析工程、设置交流小信号分析参数和分析交流小信号的仿真结果。

3.5.1 构建交流小信号分析工程

下面首先给出构建交流小信号分析工程的步骤。其主要包括以下步骤。

- (1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“文件”→“新建”→“工程”选项,设置工程标题为 AC-SIM,单击“保存”按钮生成交流小信号分析工程。
 (2) 在原理图中复制 3.3 节瞬态分析的原理图,电路原理图如图 3-20 所示。

3.5.2 设置交流小信号分析参数

下面介绍设置交流小信号分析参数的方法,其主要包括以下步骤。

- (1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“仿真”→“仿真设置”选项。

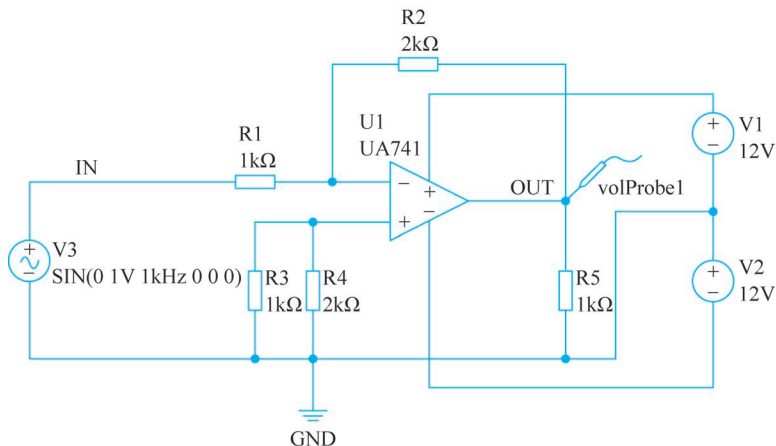


图 3-20 交流小信号分析电路原理图

(2) 打开如图 3-21 所示的“运行仿真”设置界面。选择“交流分析”标签页,设置“描述类型”为十倍程(Decade),“数据点”数为 100,“起始频率”为 1Hz,“终止频率”为 1GHz,单击“运行”按钮进行交流小信号分析。



图 3-21 设置交流小信号分析参数

3.5.3 分析交流小信号的仿真结果

下面介绍通过图形观察交流小信号仿真结果的方法,对交流小信号仿真结果分析的主要包括以下步骤。

(1) 运行 Spice 仿真后,系统自动打开仿真结果波形显示界面 WaveForm,如图 3-22 所示,输出信号 OUT 频率特性和相位特性波形结果显示在图形中。

(2) 从图 3-22 中可以看出信号增益在低频增益为 6dB(2 倍),相位为 180° 。随着频率增加信号增益以 20dB/10 倍程衰减, -3dB 带宽为 347kHz。

(3) 保存原理图文件和工程,并退出该工程。

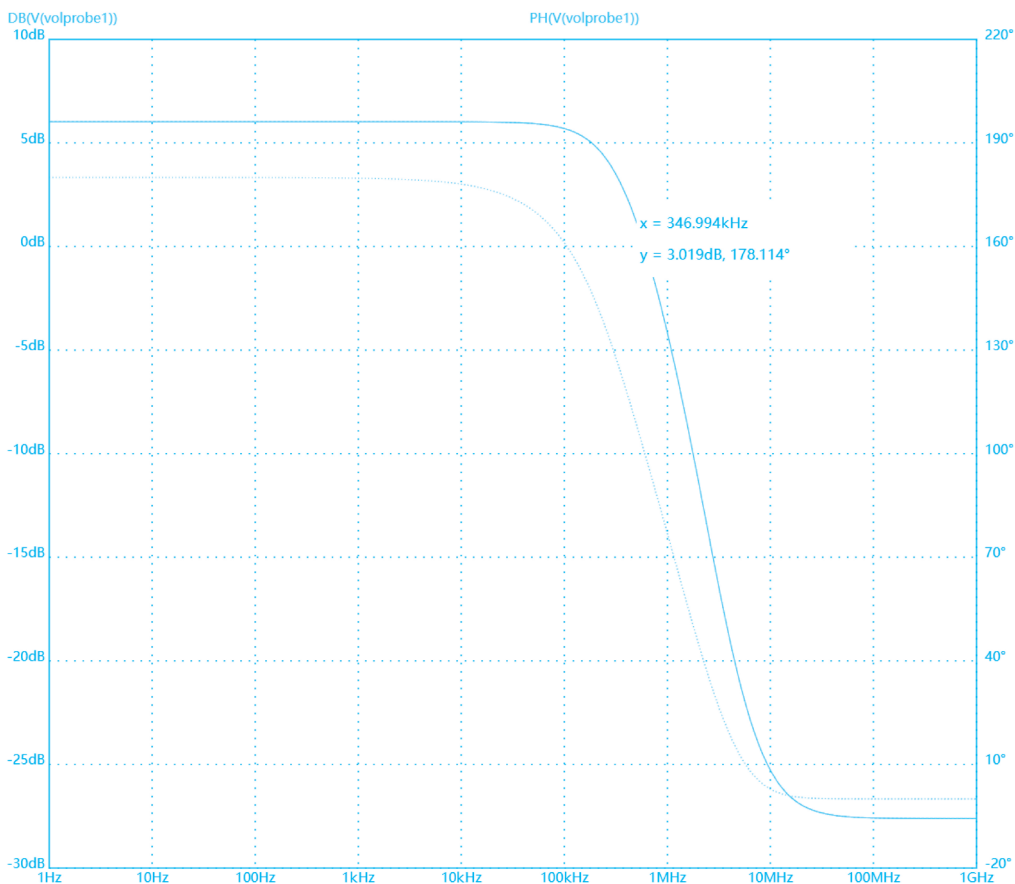


图 3-22 交流小信号分析结果界面

第 15 集
微课视频示例视频 6
微课视频

3.6 更新器件模型进行仿真

电路仿真的准确性取决于仿真器件模型是否正确,当使用新元器件而没有及时更新器件仿真模型时,将导致无法用于新元器件构成电路的仿真。元器件生产商一般会提供器件的仿真模型用于电路仿真。

本节将使用前面设计的电路,运算放大器芯片由 uA741 更换为双极型输入音频运算放大器(简称运放)OPA1612 并进行交流小信号分析,主要包括构建交流小信号分析工程、设置运放仿真模型和分析交流小信号的仿真结果。

3.6.1 构建交流小信号分析工程

下面首先给出构建交流小信号分析工程的步骤。其主要包括以下步骤。

(1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“文件”→“新建”→“工程”选项,设置工程标题为 AC-OPA1612,单击“保存”按钮生成交流小信号分析工程。

(2) 在原理图中复制 3.5 节交流小信号分析的原理图,并双击器件 uA741 更新运放模型为 OPA161X,如图 3-23 所示。

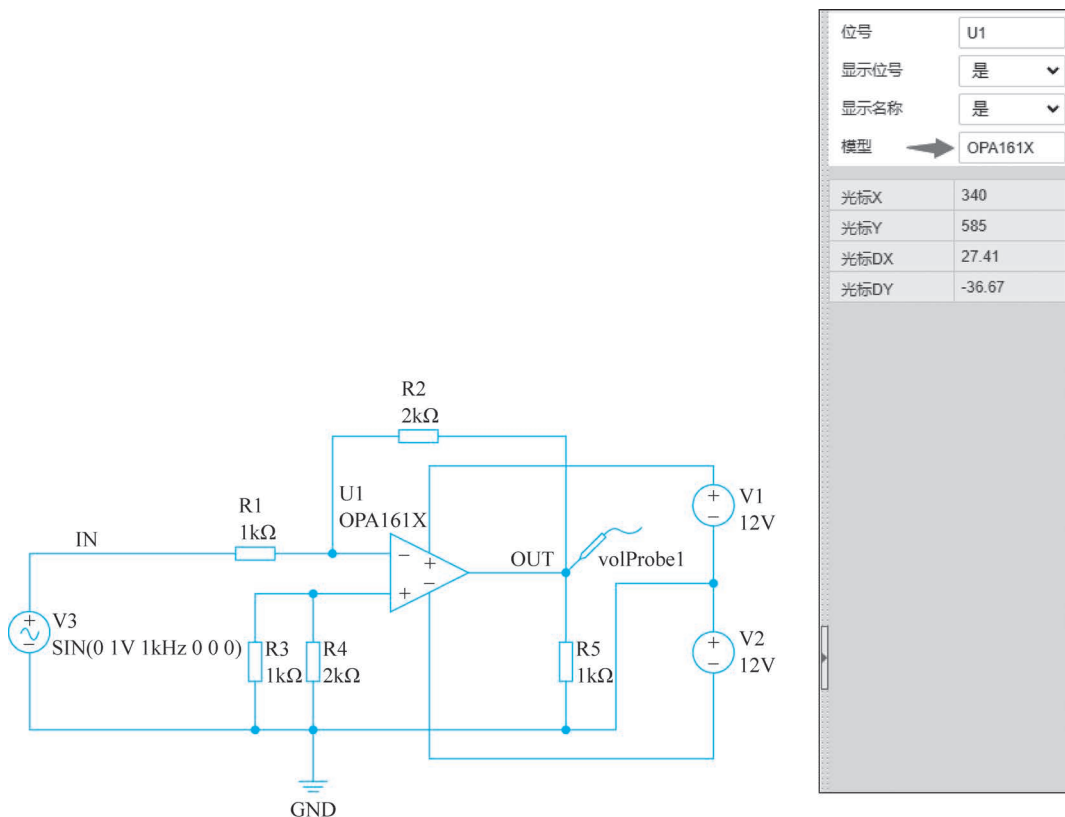


图 3-23 修改放置电路运放

3.6.2 设置运放仿真模型

下面介绍设置交流小信号分析参数运放 OPA1612 仿真模型的方法,其主要包括以下步骤。

(1) 首先在元器件厂商元器件详细介绍页面下载元器件的仿真模型,在 TI 网站搜索 OPA1612 并进入该元器件的详细介绍页面 <https://www.ti.com.cn/product/zh-cn/OPA1612>,如图 3-24 所示,在设计和开发部分下载仿真模型文件 SBOM396G.ZIP,并解压该文件即可看到仿真模型文件 OPA161x.LIB。

(2) 使用记事本等文本编辑工具打开 OPA161x.LIB 文件,单击主界面“绘图工具”栏内的文本按钮将 OPA161x.LIB 文件内的全部内容复制到原理图中,并如图 3-25 所示设置“文本类型”为 Spice 仿真。

(3) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“仿真”→“仿真设置”选项。选择“交流分析”标签页,设置频率分析方式为十倍程(Decade),“数据点”数为 100,“起始频率”为 1Hz,“终止频率”为 1GHz,单击“运行”按钮进行交流小信号分析。

OPA1612 ✔ 正在供货

具有 $1.1\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 噪声和较低 THD 的高精度 SoundPlus™ 音频运算放大器

数据表 📄 OPA161x SoundPlus 高性能、双极型输入音频运算放大器 数据表 (Rev. C) PDF | HTML

📄 下载英文版本 (Rev.C) PDF | HTML

设计和开发

如需其他信息或资源，请查看下方列表，点击标题即可进入详情页面。

全部 设计工具和仿真 参考设计 CAD/CAE 符号



仿真模型

OPA161x PSpice Model (Rev. G)

SBOM396G.ZIP (27 KB) - PSpice Model

下载

图 3-24 元器件详情页面下载器件模型

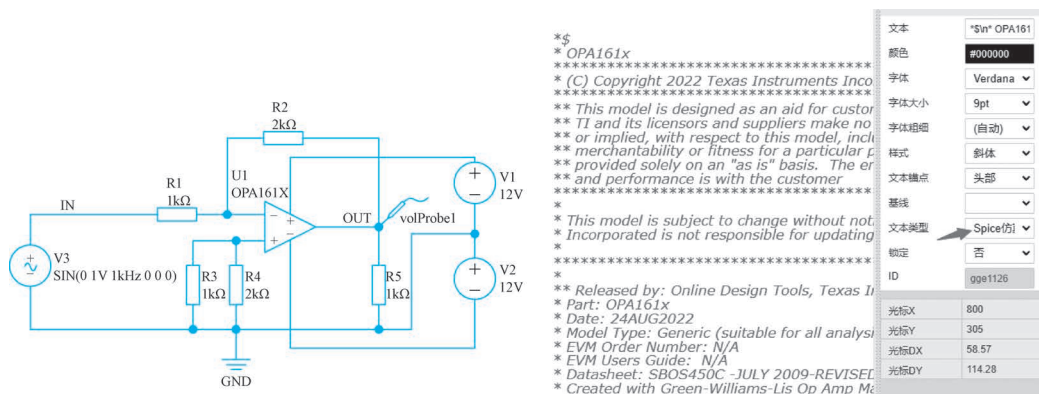


图 3-25 复制 OPA161X 器件仿真模型

3.6.3 分析交流小信号的仿真结果

下面分析运放 OPA1612 电路交流小信号分析结果。

(1) 运行 Spice 仿真后，系统自动打开仿真结果波形显示界面 WaveForm，如图 3-26 所示，输出信号 OUT 频率特性和相位特性波形结果显示在图形中。

(2) 从图 3-26 中可以看出信号增益在低频增益为 6dB(2 倍)，相位为 180° 。随着频率增加信号增益约 35dB/10 倍程衰减，-3dB 带宽为 22MHz，与芯片数据手册中单位增益带宽 40MHz 基本一致。

(3) 保存原理图文件和工程，并退出该工程。

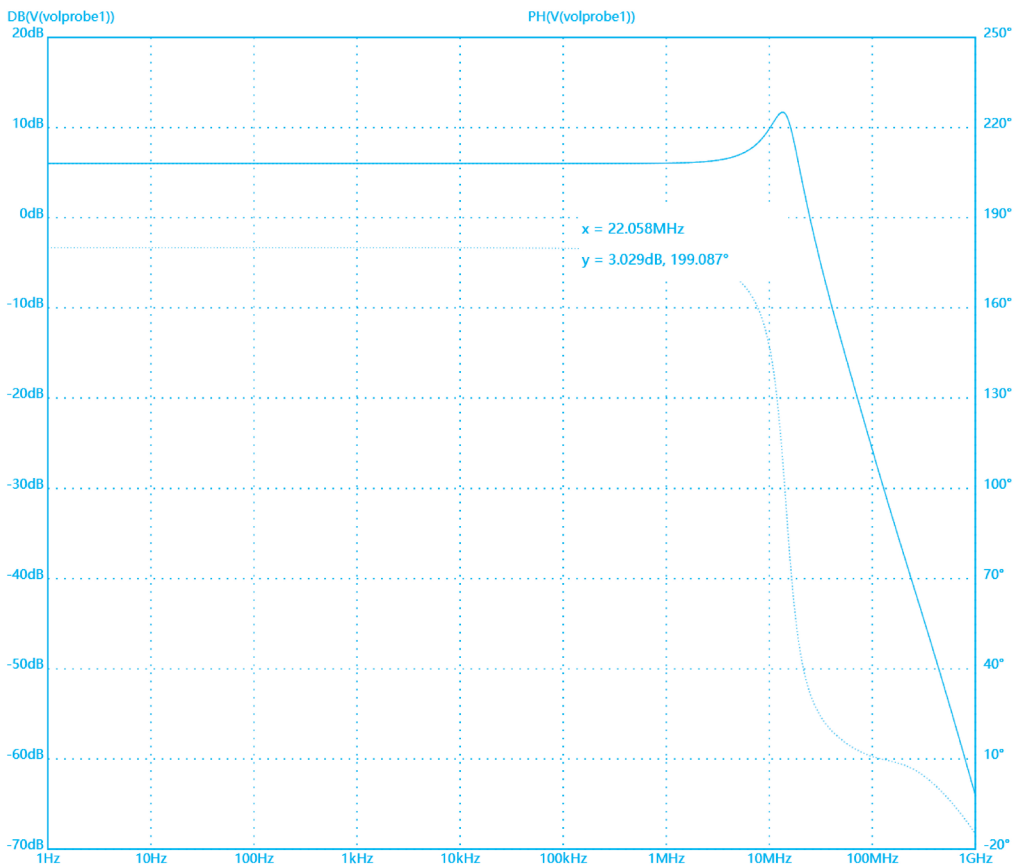


图 3-26 交流小信号分析结果界面

第 16 集
微课视频示例视频 7
微课视频

3.7 数字电路仿真

本节将构建用于数字分立器件组成的 7 段数码管显示电路仿真,并执行瞬态分析,主要内容包建立数字电路工程、构建数字电路、设置瞬态分析参数和分析瞬态仿真的结果。

3.7.1 建立数字电路工程

下面首先给出建立数码管显示数字电路工程的步骤,其主要包括以下步骤。

(1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“文件”→“新建”→“工程”选项,设置“工程标题”为 LED-7SEG,单击“保存”按钮生成数字电路工程。

(2) 打开 Sheet_1 原理图文件绘制 7 段数码管显示电路原理图。

3.7.2 构建数字电路

下面构建用于 7 段数码管显示的数字电路,并执行瞬态分析。其主要包括以下步骤。

(1) 在嘉立创 EDA 界面左侧单击“仿真库”按钮,在“仿真库”对话框中输入 74HC90 器件进行搜索,在系统库中找到该器件,如图 3-27 所示,选中 74HC90 器件并单击“放置”按钮

将该器件放到原理图中。



图 3-27 在“仿真库”中查找器件界面

(2) 从“仿真库”中搜索并添加 74HC4511 器件,在常用库中找到并放置电阻、七段数码管等元器件,并将其按照图 3-28 所示的位置进行放置。

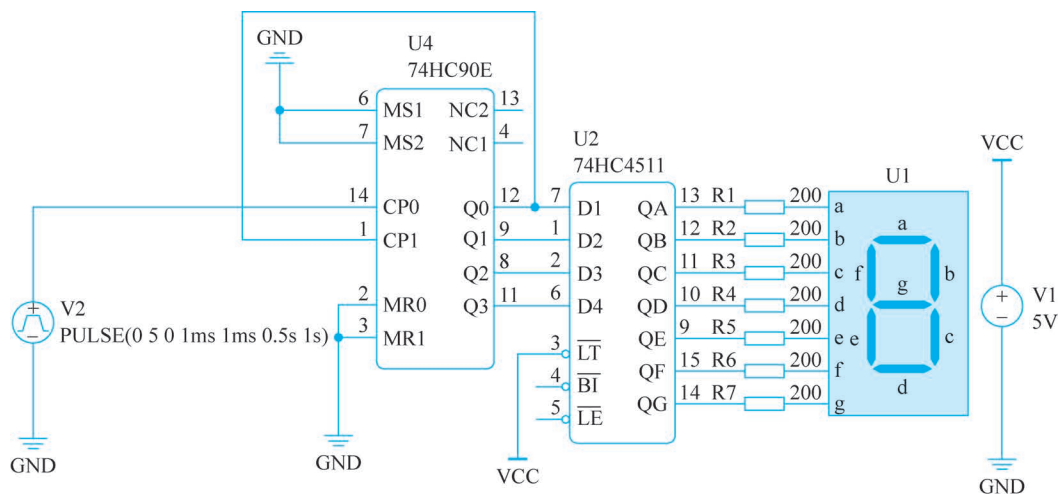


图 3-28 绘制 7 段数码管显示电路原理图

(3) 从常用库中的电源中找到电压源_直流源和电压源_脉冲源,并按照图 3-28 所示的位置进行放置。

(4) 单击主界面“电气工具”栏内的标识符 VCC 和 GND 按钮,将 VCC 和 GND 按照图 3-28 所示的位置进行放置。

(5) 单击主界面“电气工具”栏内的“导线”按钮,将这些元器件和电压源按照图 3-28 所示的方式进行连接。

(6) 修改 V1、V2、U1 的参数设置如图 3-29 所示。

① V1 电压源设置“直流值”为 5V。

② V2 脉冲源设置“初始值[V]”为 0；“脉动值[V]”为 5V；“延时[s]”为 0；上升时间[s]为 1ms；下降时间[s]为 1ms；脉冲宽度[s]为 0.5s；脉冲周期[s]为 1s。

③ U1 七段数码管“类型”设置为共阴。



图 3-29 电压源及七段数码管设置

3.7.3 设置瞬态分析参数

下面介绍设置瞬态分析参数的方法。其主要包括以下步骤。

(1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“仿真”→“仿真设置”选项。

(2) 打开如图 3-30 所示的“运行仿真”设置界面。选择“静态工作点”标签页，设置“最大步长”为 1s，“终止时间”为 15s，“起始时间”为 0，单击“运行”按钮进行瞬态分析。



图 3-30 设置瞬态分析参数

3.7.4 分析瞬态仿真的结果

下面介绍通过图形观察瞬态仿真的结果的方法。其主要包括以下步骤。

(1) 运行 Spice 仿真后,系统运行并显示仿真结果,如图 3-31 所示,七段数码管数字自动增加并在 15 次之后停止运行。

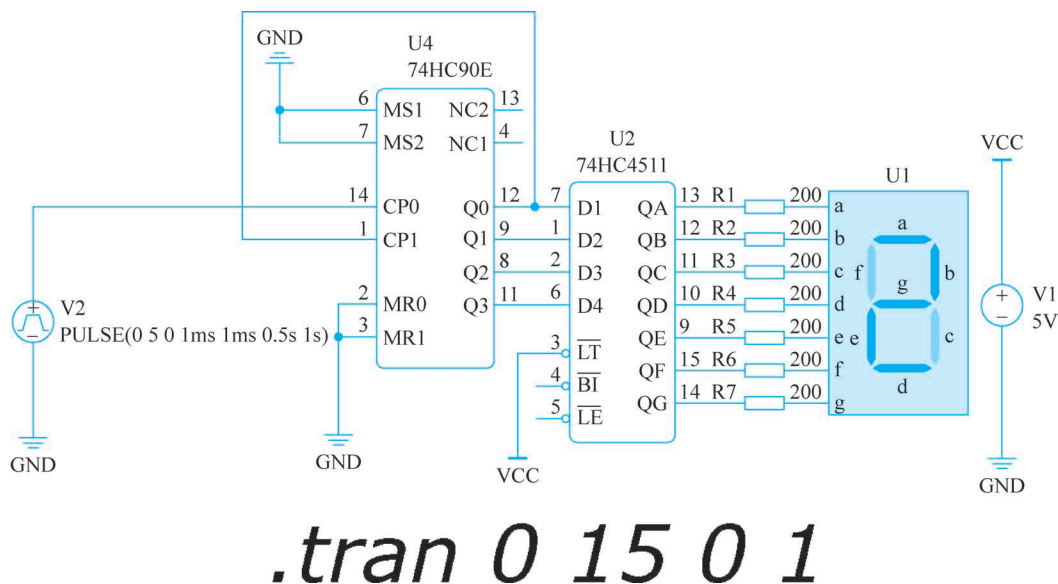


图 3-31 七段数码管电路仿真显示

(2) 从图 3-31 所示的仿真波形可以看出,74HC90 的十进制计数、74HC4511 的 7 段译码器及共阴级数码管显示功能正常。

(3) 保存原理图文件和工程,并退出该工程。

3.8 数模混合电路仿真

本节将构建用于数字分立器件和模拟器件组成的 LED 跑马灯数模混合电路仿真,并执行瞬态分析,主要内容包括建立数模电路工程、构建数模混合电路、设置瞬态分析参数和分析瞬态仿真的结果。

3.8.1 建立数模电路工程

下面首先给出建立数码管显示数字电路工程的步骤,其主要包括以下步骤。

(1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“文件”→“新建”→“工程”选项,设置工程标题为 LED-555,单击“保存”按钮生成数字电路工程。

(2) 打开 Sheet_1 原理图文件绘制 LED 跑马灯数模混合电路原理图。

3.8.2 构建数模混合电路

下面构建用于 LED 跑马灯数模混合电路,并执行瞬态分析。其主要包括以下步骤。



第 17 集
微课视频



示例视频 8
微课视频

(1) 在嘉立创 EDA 界面左侧单击“仿真库”按钮,在“仿真库”对话框中输入 555 器件进行搜索,在“系统库”中找到该器件,如图 3-32 所示,选中 555_BJT_EE 器件并单击“放置”按钮将该器件放到原理图中。

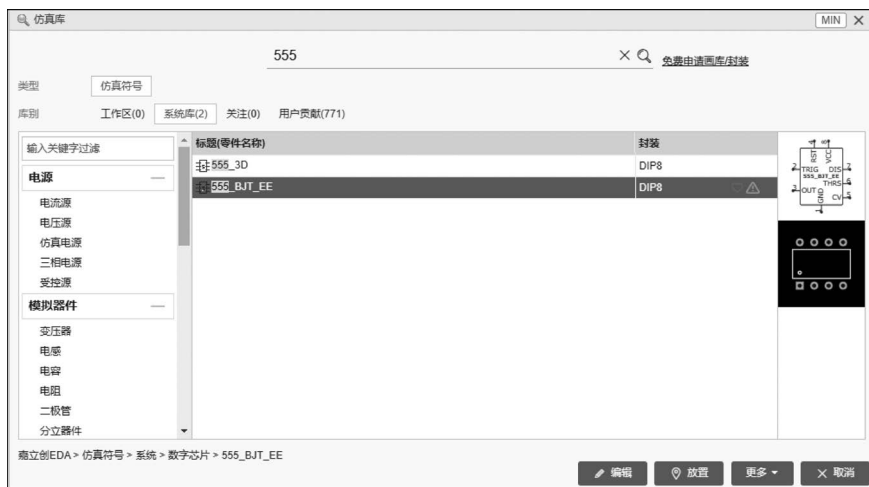


图 3-32 在“仿真库”中查找器件界面

(2) 从“仿真库”中搜索并添加 CD4017 器件,在“常用库”中找到并放置电阻、电容、可变电阻、发光二极管等元器件,并将其按照图 3-33 所示的位置进行放置。

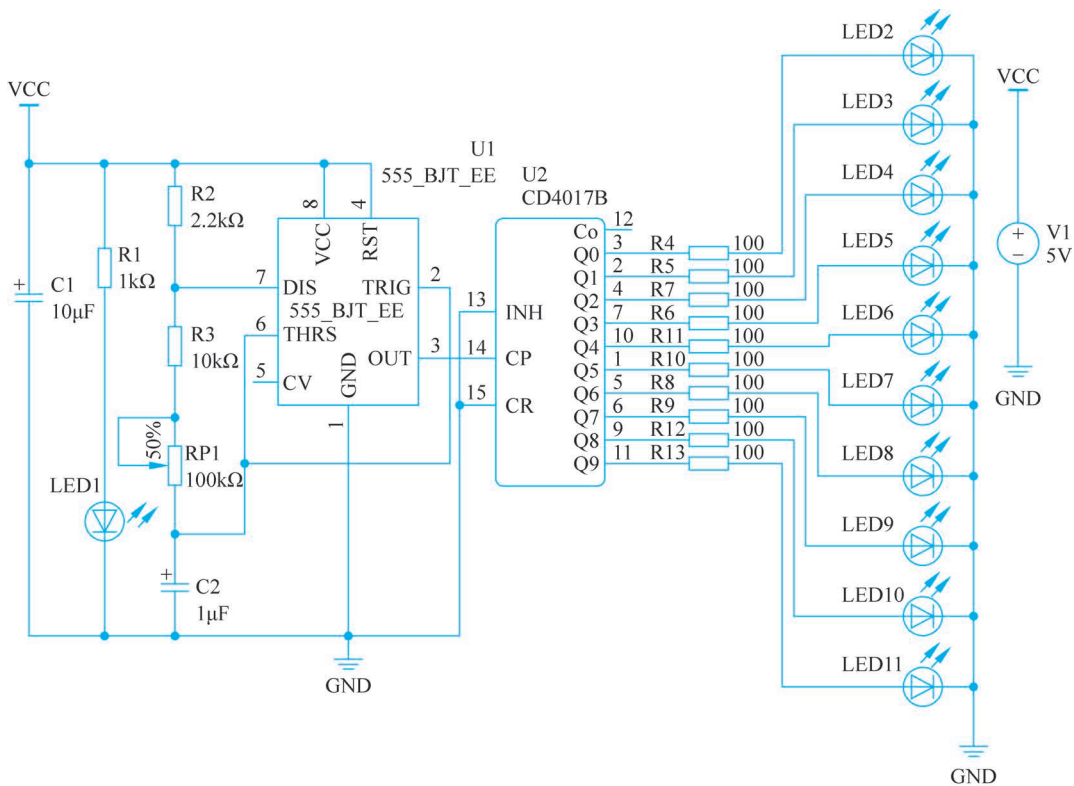


图 3-33 绘制 LED 跑马灯电路原理图

(3) 从“常用库”中的电源中找到电压源_直流源,并按照图 3-33 所示的位置进行放置,设置 V1 的电源电压为 5V。

(4) 单击主界面“电气工具”栏内的标识符 VCC 和 GND 按钮,将 VCC 和 GND 按照图 3-33 所示的位置进行放置。

(5) 单击主界面“电气工具”栏内的“导线”按钮,将这些元器件和电压源按照图 3-33 所示的方式进行连接。

3.8.3 设置瞬态分析参数

下面介绍设置瞬态分析参数的方法。其主要包括以下步骤。

(1) 在嘉立创 EDA 主界面主菜单下选择“仿真”→“仿真设置”选项。

(2) 打开如图 3-34 所示的“运行仿真”设置界面。选择“静态工作点”标签页,设置“最大步长”为 1ms,“终止时间”为 1s,“起始时间”为 0s,单击“运行”按钮进行瞬态分析。



图 3-34 设置瞬态分析参数

3.8.4 分析瞬态仿真的结果

下面介绍通过图形观察瞬态仿真的结果的方法。其主要包括以下步骤。

(1) 运行 Spice 仿真后,系统运行并显示仿真结果,如图 3-35 所示,LED2~LED11 实现走马灯功能。

(2) 从图 3-35 所示的仿真波形可以看出,555 振荡器、CD4017 数字计数器及 LED 数码管显示功能正常,通过提交可变电位器 RP1 可以调节 LED 走马灯显示的速度。

(3) 保存原理图文件和工程,并退出该工程。

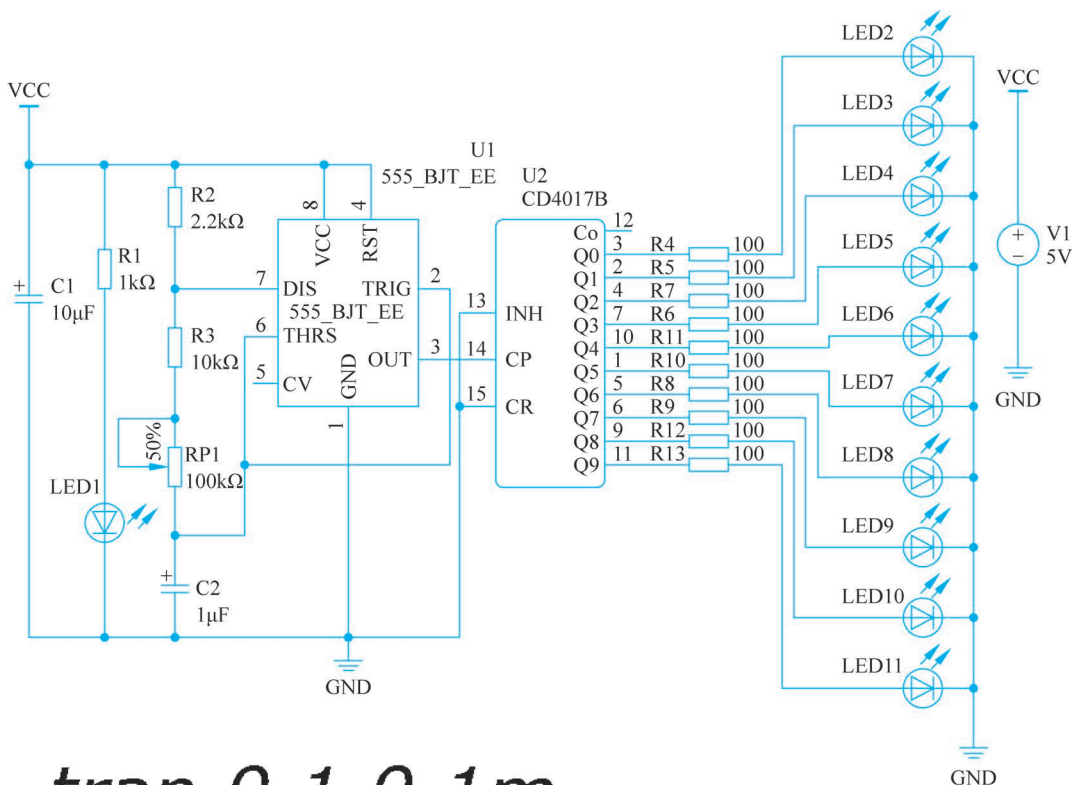


图 3-35 LED 走马灯电路仿真显示

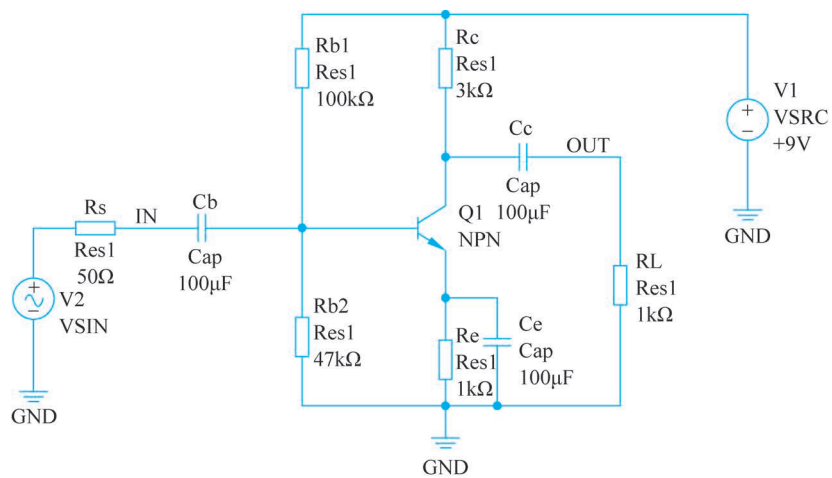
本章习题

使用嘉立创 EDA 进行晶体管放大电路的仿真,电路设计见题图 3-1,NPN 管 Q1 使用如下参数进行设置 ($I_S = 60.9\text{f}$, $N_F = 1$, $B_F = 100$, $V_{AF} = 114$, $I_{KF} = 0.36$, $I_{SE} = 30.2\text{p}$, $N_E = 2$, $BR = 4$, $NR = 1$, $VAR = 24$, $I_{KR} = 0.54$, $RE = 85.8\text{m}$, $RB = 0.343$, $RC = 34.3\text{m}$, $XTB = 1.5$, $C_{JE} = 69\text{p}$, $V_{JE} = 1.1$, $M_{JE} = 0.5$, $C_{JC} = 22.2\text{p}$, $V_{JC} = 0.3$, $M_{JC} = 0.3$, $TF = 454\text{p}$, $TR = 316\text{n}$),解答如下问题。

- (1) 绘制该原理图。
- (2) 计算该电路静态工作点。
- (3) 设置 V2 信号源输入频率 = 1kHz、 $V_{pp} = 10\text{mV}$ 的正弦信号,进行瞬态仿真,绘制输入/输出波形,计算电路增益。

(4) 设置 V2 信号源输入频率 = 1Hz~1GHz、 $V_{pp} = 10\text{mV}$ 的正弦信号,进行交流小信号仿真,绘制电路幅频特性和相频特性曲线、输入/输出阻抗仿真曲线,并计算放大电路带宽和上/下截止频率。

(5) 对 RC 电阻进行参数仿真,设置 RC 分别为 1kΩ、2kΩ、3kΩ、4kΩ、5kΩ 时,在同一坐标图内绘制电路的幅频特性曲线。



题图 3-1 晶体管小信号放大电路