

XINHAO YU XITONGFANGZHEN
JISHIYANZHIDAO

及

信号与系统仿真 实验指导

承江红 谢陈跃 编著



北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

信号与系统仿真 及实验指导

承江红 谢陈跃 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是根据电子信息类专业的“信号与系统”及“信号与系统实验”两门课程的教学大纲和基本要求编写的。全书分为“信号与系统仿真分析”和“信号与系统实验指导”两大篇，共六章。本书依托 Tina Pro 和 MATLAB 两种软件，介绍了基于 Tina Pro 的电路仿真分析、基于 Tina Pro 的信号与系统仿真分析、基于 MATLAB 的信号与系统仿真和处理以及信号与系统的实验指导。书中内容由浅入深，配有步骤翔实的例子加以验证和学习，还配有习题或思考题。

本书可以作为高等院校通信和电子类专业的教材，也可作为一般读者学习和掌握 Tina Pro 和 MATLAB 两种软件的参考书，还可以供有关技术人员学习参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

信号与系统仿真及实验指导 / 承江红, 谢陈跃编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2009. 1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1654 - 8

I. 信… II. ①承…②谢… III. 信号系统-系统仿真-高等学校-教学参考资料 IV. TN911.6 TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 002560 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / [http: //www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 11.5

字 数 / 260 千字

版 次 / 2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 23.00 元

责任校对 / 申玉琴

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

“信号与系统”课程是一门实用性较强、涉及面较广的专业基础课，是电子、通信、信息等专业本专科学生的必修课程，也是这些专业硕士研究生入学必考课程。该课程是将学生从电路分析的知识领域引入信号处理与传输领域的关键课程，对后续专业课起着承上启下的作用。该课程的概念和方法，在无线电技术、通信、自动控制、雷达技术、图像处理、遥感技术、地震学、海洋学和生物医学工程等众多领域都有广泛应用。

由于该课程核心的基本概念、基本理论和分析方法都非常重要，而且系统性、理论性很强，为此在学习本课程时，开设必要的实验，对学生加深理解深入掌握基本理论和分析方法，培养学生分析问题和解决问题的能力，以及使抽象的概念和理论形象化、具体化，对增强学习的兴趣有极大的好处，做好本课程的实验，是学好本课程的重要教学辅助环节。

在实验手段和实验环节上，可以做下面几个改革与尝试：第一阶段，依托实验室的硬件设备完成一些基本的常规性实验；第二阶段，大力应用计算机仿真技术，如通过 Tina Pro、MATLAB 软件，可以对信号与系统进行设计、分析、计算及调试，可以得到系统特性的可视化测试结果；第三阶段，应用计算机仿真和最优化设计的结果，进行一些系统设计或校正，开发一些信号处理的系统，让学生对本课程的主要内容有深刻理解，同时为学习《通信技术》、《数字信号处理》等后续课程打好基础。

本书最大特点是引入 Tina Pro 和 MATLAB 两种仿真软件，通过仿真软件将信号与系统的基本理论和分析方法进行介绍，并通过实验内容加以强化。实验层次上分为三种：基础性实验、综合性实验和设计研究性实验，实验项目合理，内容层次丰富，能够软、硬件结合地开展实验，可以提高实验的效率，加快实验的节奏，保证实验的可行性和科学性。与同类书相比较是实验方法多一些，实验内容完整、层次分明，具备创新性和先进性。相信会受到广大读者的欢迎，同时，希望大家能够提出宝贵意见，使本书能够继续完善。

本书由广州大学资助出版。在此特别鸣谢广州大学禹奇才副校长、广州大学教务处赵建华副处长、学校实验中心唐连章主任，本书从写作到出版始终得到他们的支持和鼓励。

本书的出版得到了北京理工大学出版社的关怀和帮助，还得到出版社唐爽编辑的细心加工，作者对他们的辛勤工作表示深深谢意。

由于作者本人水平有限，书中难免有错漏，欢迎读者批评指教。

作 者

目 录

第一篇 信号与系统仿真分析

第一章 基于 Tina Pro 的电路仿真分析.....	3
1.1 Tina Pro 概述.....	3
1.2 Tina Pro 的界面.....	3
1.3 应用 Tina Pro 绘制电路图的基本方法和步骤.....	5
1.4 基于 Tina Pro 的直流分析.....	6
1.5 基于 Tina Pro 的正弦稳态电路分析.....	9
1.6 基于 Tina Pro 的动态电路分析.....	14
1.7 Tina Pro 在模拟电子线路中的应用.....	19
1.8 Tina Pro 在数字电子线路中的应用.....	28
习题一.....	33
第二章 基于 Tina Pro 的信号与系统仿真分析.....	35
2.1 常用信号的观察与测量.....	35
2.2 信号的简单时域运算.....	38
2.3 典型周期信号的频谱分析（傅里叶分析）.....	39
2.4 信号的采样与恢复.....	43
2.5 信号的分解与合成.....	46
2.6 连续时间系统的时域分析.....	49
2.7 连续时间系统的频域和复频域分析.....	52
2.8 模拟滤波器的频率特性观测及其设计.....	53
2.9 调制与解调电路的仿真.....	61
习题二.....	70
第三章 基于 MATLAB 的信号与系统仿真分析.....	71
3.1 MATLAB 软件的简介.....	71
3.2 MATLAB 在数据分析与处理中的应用.....	74
3.3 基于 MATLAB 的信号时域运算和时域变换.....	77
3.4 基于 MATLAB 的信号频域分析.....	84
3.5 基于 MATLAB 的声音信号处理初步.....	87
3.6 基于 MATLAB 的图像信号处理初步.....	90
3.7 基于 MATLAB 的系统建模和时域分析.....	94

3.8 基于 MATLAB 的连续 LTI 系统的频域和 s 域分析	96
3.9 基于 MATLAB 的离散 LTI 系统的频域和 z 域分析	99
3.10 基于 Simulink 的信号与系统仿真	102
习题三	109

第二篇 信号与系统实验指导

第四章 基础性实验	113
实验一、函数信号发生器及常用电信号的观察与测量	113
实验二、单片机低频信号发生器	116
实验三、扫频源	119
实验四、零输入响应和零状态响应	121
实验五、电路谐振特性的研究	123
第五章 综合性实验	129
实验六、滤波器的频响特性测定	129
实验七、信号的分解与合成	133
实验八、无失真传输系统	139
实验九、信号的抽样与恢复	142
实验十、二阶网络状态轨迹的分析	144
实验十一、AM 振幅调制与解调	148
实验十二、FDM 频分复用传输系统	153
第六章 设计性实验	157
实验十三、选频网络的设计及应用研究	157
实验十四、用沃尔什函数合成信号	159
实验十五、单边调制信号的实现与解调	162
附录 1 实验设备和仪器的介绍	164
附录 2 综合设计性实验报告的基本格式	170
参考文献	176

第一篇

信号与系统仿真分析

引入 Tina Pro 和 MATLAB 两种仿真软件，将信号与系统的基本理论和分析方法进行介绍，并通过实验内容加以强化。Tina Pro 软件小巧灵活、图表分析功能完善，能够较好地完成对信号与系统实验的仿真，尤其方便的是该软件是中文版，易学易操作。MATLAB 软件专业性强，功能全面，能够完成大型系统的数学建模和分析。本篇从不同的角度，分别介绍这两种软件在信号与系统分析计算中的应用，相得益彰、互相补充，以求达到满意的实验效果。

第一章 基于 Tina Pro 的电路仿真分析

1.1 Tina Pro 概述

Tina Pro 是一个优秀的电子设计自动化软件，其研发者是欧洲（匈牙利）DesignSoft Kft 公司。它用于模拟与数字电路的仿真分析和设计研究，分析结果可以很好地展现在图表或虚拟设备中。不论是在工作区还是在图表窗口，都可以插入文字、公式或一些图元。Tina Pro 还提供一个训练和测试的环境，以供教师的教学或学生的学习。

Tina Pro 的分析功能也比较强大。在模拟电路分析方面，Tina Pro 不仅具备基本的直流分析、交流分析、瞬时分析、傅里叶分析、噪声分析、温度扫描、参数扫描、最坏情况及蒙特卡罗统计等功能，还能进行最优化设计、符号仿真、RF 仿真等。Tina Pro 不仅分析功能强大，尤其是它的图表输出效果好，能够绘制零、极点图，频率特性图，相量图，奈奎斯特图等重要的仿真分析功能。在数字电路分析方面，Tina Pro 不仅可以进行数字计时分析和数字逐步分析，还支持 VHDL 语言。

Tina Pro 具有 8 种虚拟仪器，各仪器与元件之间采用虚拟连线，可以进行联合仿真。

1.2 Tina Pro 的界面

启动 Tina Pro 之后，进入 Tina Pro 的编辑界面，如图 1-1-1 所示。其界面主要分为 6 个功能区，它们分别是控制框、菜单栏、工具栏、元件库、工作区、状态切换栏。下面将逐一介绍其作用和功能。

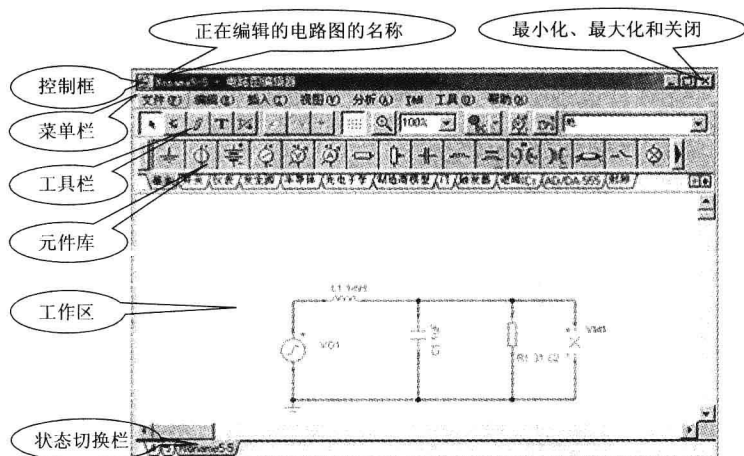


图 1-1-1 Tina Pro 的编辑界面

控制栏：见图 1-1-1，上面显示正在编辑的电路图名称及界面最小化、最大化和关闭的操作键。

菜单栏：包括文件、编辑、插入、视图、分析、T&M、工具、帮助等 8 个下拉子菜单。它们的内容如图 1-1-2 所示。



图 1-1-2 Tina Pro 的菜单

其中文件、编辑、帮助这三个子菜单执行一些常规功能，如文件的新建、保存等工作。而插入、视图这两个子菜单通常执行与电路图的绘制有关的功能。分析子菜单主要执行 Tina Pro 的电路分析与仿真功能，T&M 子菜单主要提供虚拟仪器，工具子菜单可以调用图表、查找、建立宏等比较特殊的工具与手段。

工具栏：包括打开、保存、复制、编辑、上一元器件、电线、输入端、输出端等常用工具。关于它们的具体功能，我们将在实例中说明。

元件库：包括基本元件、开关、仪表、发生源、半导体等实际电路的元件。Tina Pro 学生版大约含有 20 000 多个分立和集成元件，基本上满足一般电路仿真和设计的需要。

工作区：即绘制电路图，进行仿真等工作的区域。

状态切换栏：Tina Pro 可以同时编辑、调用多个电路图文件，这些电路文件名同时出现于状态切换栏中。用鼠标左键单击其中某个文件名，即可调入该电路图文件至工作区。

1.3 应用 Tina Pro 绘制电路图的基本方法和步骤

现在，以 RLC 电路的电路图绘制为例说明电路图绘制的基本方法和步骤。

步骤 1：双击  图标，打开 Tina pro.exe 文件，进入电路图编辑区，出现如图 1-1-1 所示的界面。

步骤 2：从“元件条”单元框中选中需要的电路元件，用鼠标单击拿起并把它放到合适的位置上。如图 1-1-3 所示。

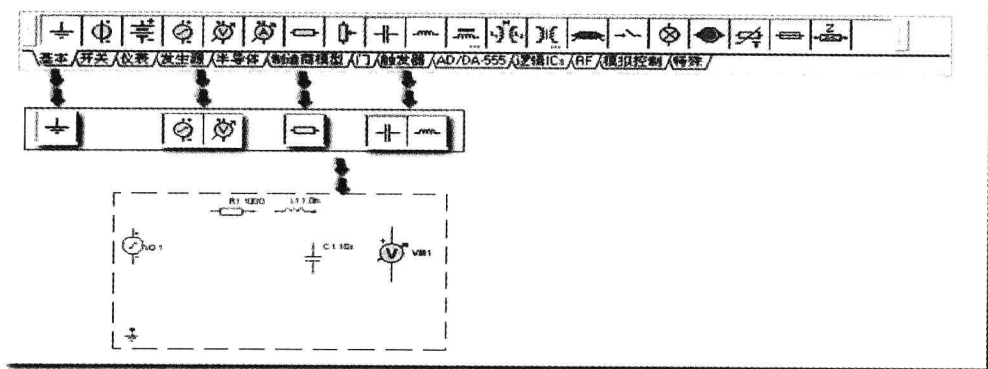


图 1-1-3 Tina Pro 界面中电路元件的取用

注意：用鼠标左键单击某个元件，则该元件即被选中变为红色，再单击鼠标右键，则会出现一个菜单，通过该菜单可以“删除”元件、“向右旋转”元件、“向左旋转”元件等，通过这些工具可以将元件放置到合适的水平或垂直的位置。

步骤 3：点击工具栏的电线按钮 ，把各个元件连接起来，如图 1-1-4 所示。



图 1-1-4 连线工具

步骤 4: 选中某个元件, 双击该元件, 则会打开元件的参数设置表。如选择电阻 R_1 , 打开它的参数设置表如图 1-1-5 所示。在“标签”项中输入“R1”, 在“电阻”项中输入“1k”, 其他不变, 这样, 该电阻被命名为 R_1 , 大小为 $1\text{ k}\Omega$ 。类似的, 可以将其他元件命名及设置参数。

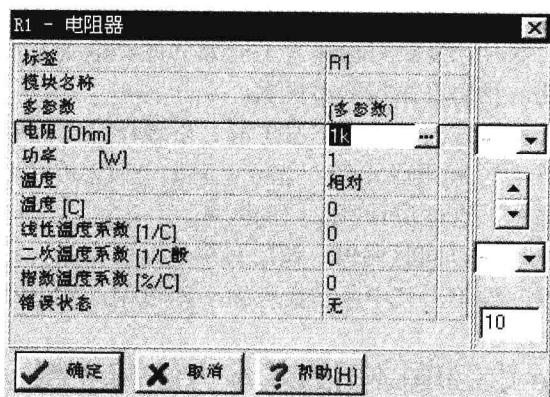


图 1-1-5 电阻的参数设置表

这样, 完成了如图 1-1-6 所示的 RLC 电路图。其中, “地”、“电压发生器”、“电阻”、“电感”、“电容”在“元件条 | 基本”项中, “伏特表”在“元件条 | 仪表”项中。

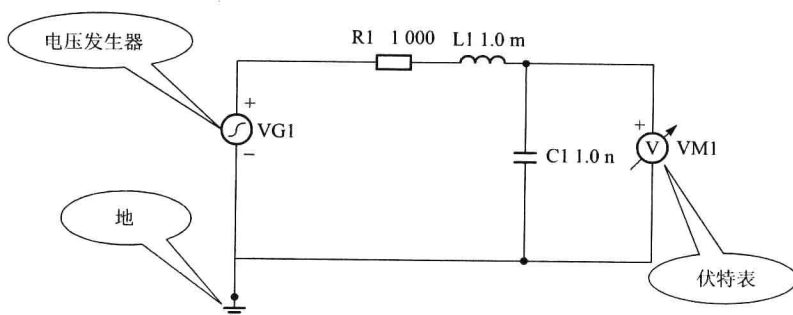


图 1-1-6 绘制完成的 RLC 电路图

步骤 5: 将所绘制的电路图保存起来。

至此, 完成一个电路图的绘制工作。

1.4 基于 Tina Pro 的直流分析

直流分析是电路分析的基础。Tina Pro 既可以对直流电阻电路进行分析, 也可以对模拟电路的静态工作点进行分析。在直流分析中, 电容等效为开路, 电感等效为短路。对于非直流的独立电源处理为: 非直流的电压源等效为短路, 非直流的电流源等效为开路。

例 1.4.1 电阻电路的直流分析。

步骤 1: 绘制如图 1-1-7 所示的电路图。其中参数设置为: $R_1 = 1\Omega$, $R_2 = 3\Omega$, $R_3 = 2\Omega$, $R_4 = 2\Omega$, $R_5 = 1\Omega$, $VS_1 = 7\text{ V}$, $IS_1 = 7\text{ A}$ 。电路图中的“UR4”所表示的符号为开路标识, 相当于电压表, “i1”所表示的符号为电流指针, 相当于电流表, 这两个元件都在元件条中的

仪表元件库中。

步骤 2: 按“功能菜单 | 分析 | DC 分析”, 打开直流分析功能表, 如图 1-1-8 所示。单击图 1-1-8 所示的“计算节点电压”分析项, 得到仿真计算结果, 如图 1-1-9 所示。

步骤 3: 在如图 1-1-8 所示的直流分析功能表中, 按“功能菜单 | 分析 | DC 分析 | DC 结果表”, 可以得到电路的全部电压和电流的仿真计算结果, 如图 1-1-10 所示。

注意: Tina Pro 软件对电路进行分析时, 电路任意一个支路的电压与电流均取关联参考方向。另外, 在直流分析结果表中出现的节点标识是软件自动生成的, 不可人为改变。

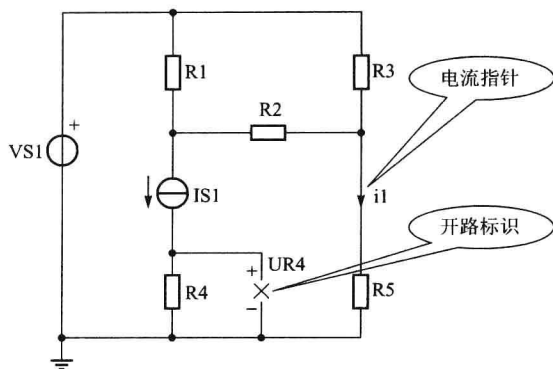


图 1-1-7 电阻电路直流分析的电路图

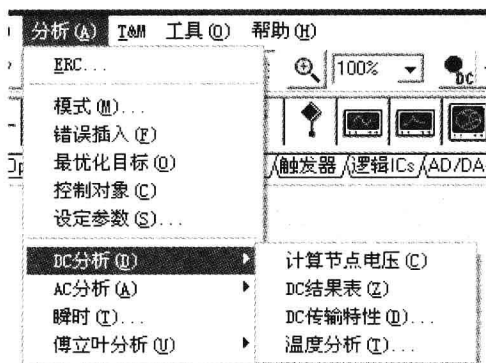


图 1-1-8 DC 分析的功能表

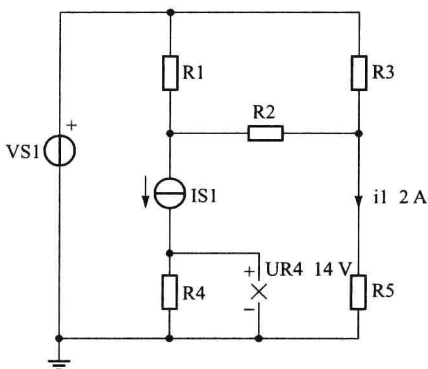
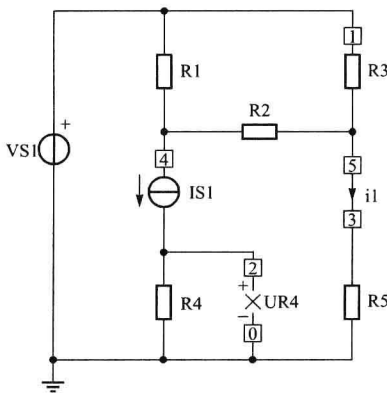


图 1-1-9 例 1.4.1 的直流分析结果



电压/电流	
I_R1[1,4]	6.5A
I_R2[4,5]	-500mA
I_R3[1,5]	2.5A
I_R4[2,0]	7A
I_R5[3,0]	2A
I_VS1[1,0]	-9A
i1	2A
UR4	14V
V_i1[5,3]	0V
V_IS1[4,2]	-13.5V
V_R1[1,4]	6.5V
V_R2[4,5]	-1.5V
显示	
☒ 节点电压	☒ 电流
☒ 其它电压	☒ 输出端口
取消 帮助	

图 1-1-10 例 1.4.1 的 DC 分析结果表

例 1.4.2 模拟电路的静态工作点分析。

步骤 1: 绘制如图 1-1-11 所示的电路图。

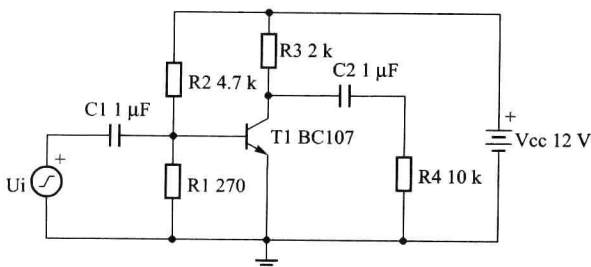


图 1-1-11 模拟电路的直流分析电路图

步骤 2: 按“功能菜单 | 分析 | DC 分析 | 计算节点电压”，可以得到如图 1-1-12 所示的仿真计算结果。

在运行“计算节点电压”命令时，会出现一个像探针样的光标。将探针移动至所要测试的节点并单击鼠标左键，这个节点电压就会显示在界面上，结果如图 1-1-12 所示。

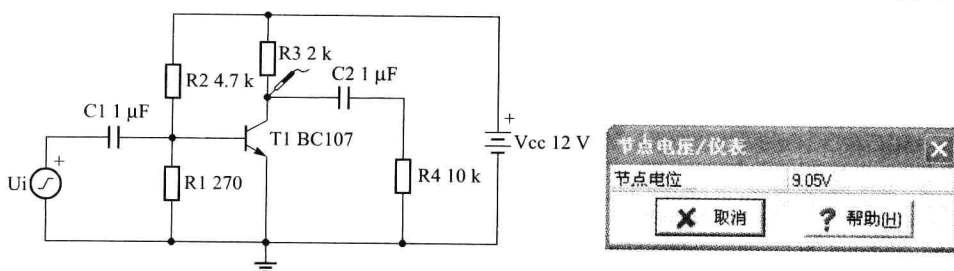


图 1-1-12 例 1.4.2 的 DC 分析结果

步骤 3: 按“功能菜单 | 分析 | DC 分析 | DC 结果表”，可以得到电路的全部电压和电流的仿真计算结果，如图 1-1-13 所示。

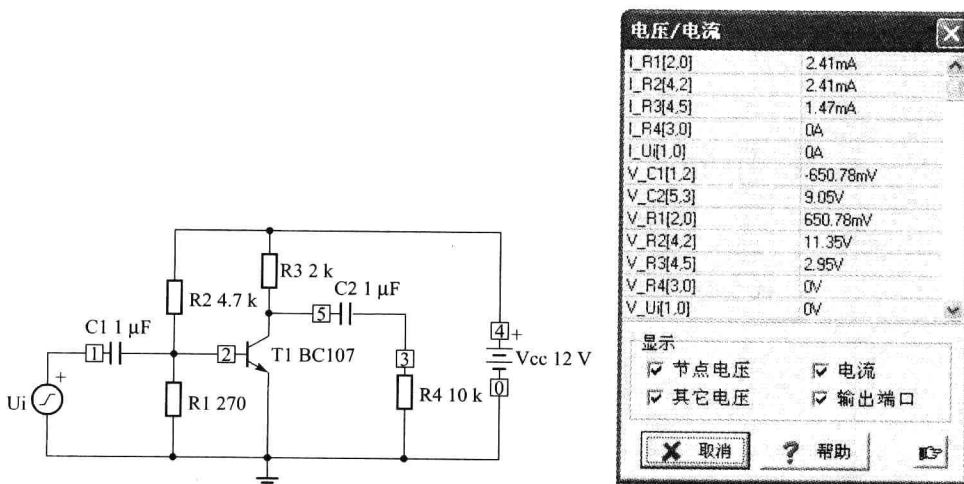


图 1-1-13 例 1.4.2 的 DC 分析结果表

1.5 基于 Tina Pro 的正弦稳态电路分析

当电路中的激励信号为正弦电源，且电路已经处于稳定的工作状态时，这时的电路响应也是正弦的，若对这样的电路进行分析，则称为正弦稳态电路分析。正弦稳态电路分析的主要方法是相量法。

例 1.5.1 正弦稳态电路的电压和电流求取。

步骤 1：绘制如图 1-1-14 所示的电路图。

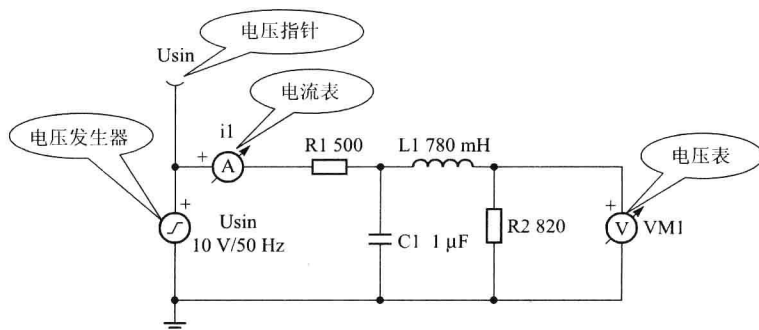


图 1-1-14 正弦稳态电路分析的电路图

图 1-1-14 中的电压指针、电流表和电压表均在元件条的仪表类元件库中。双击图 1-1-14 中的电压发生器“Usin”图标，打开电压发生器的参数设置表，如图 1-1-15 所示。

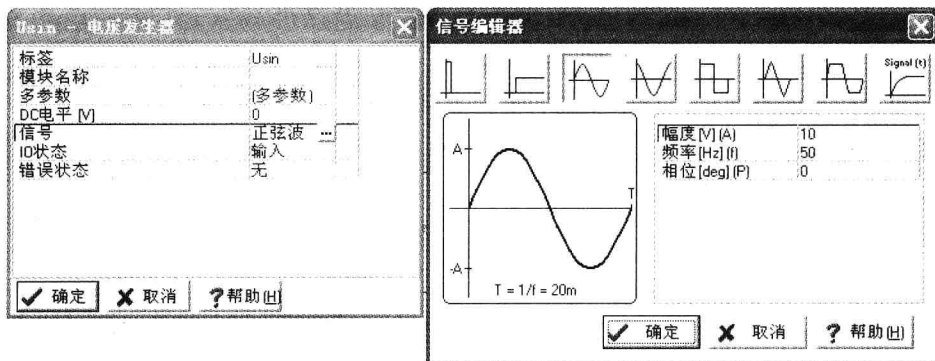


图 1-1-15 电压发生器“Usin”的参数设置表

在电压发生器的参数设置表中，点击“信号”菜单，将信号模式选为正弦信号，幅度为 10V，频率为 50Hz。

步骤 2：按“功能菜单 | 视图 | 选项”，可以得到如图 1-1-16 所示的选项对话框。

将选项对话框的“AC 用的基本函数”选为“余弦”，则函数 $\cos(\omega t)$ 所对应的相量为 $1 \angle 0^\circ$ 。

步骤 3：按“功能菜单 | 分析 | AC 分析 | 计算节点电压”，将探针 $\text{}$ 移动至所要测试的节点并单击鼠标左键，这个节点电压的计算结果就会显示在界面上，可以得到如图 1-1-17 所示结果。

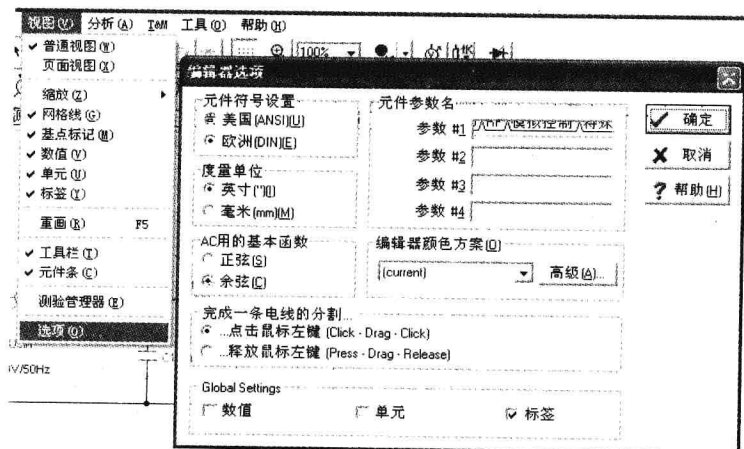


图 1-1-16 选项对话框

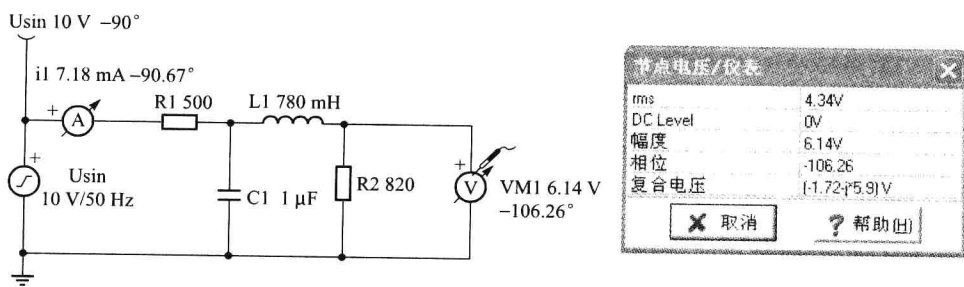


图 1-1-17 正弦稳态电路的 AC 结果

图 1-1-17 显示 R_2 上的正弦电压相量为 $6.14 \angle -106.26^\circ \text{ V}$ ，则有 R_2 上的正弦电压表达式为 $6.14 \cos(314t - 106.26^\circ) \text{ V}$ ，该电压的有效值是 4.34 V。

步骤 4：按“功能菜单 | 分析 | AC 分析 | AC 结果表”，可以得到该电路的所有正弦电压和正弦电流的计算结果，如图 1-1-18 所示。

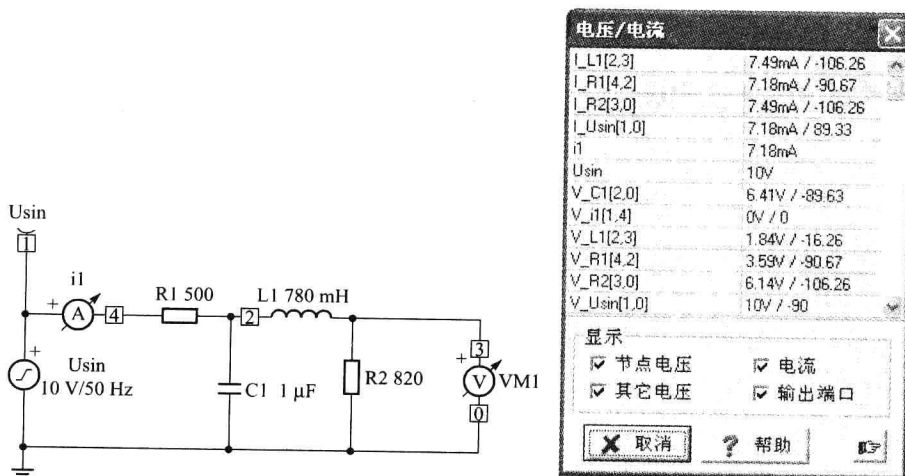


图 1-1-18 正弦稳态电路的 AC 结果表

图 1-1-18 显示 L1 上的正弦电流相量为 $7.49 \angle -106.26^\circ \text{ mA}$ ，则有 L1 上的正弦电流表达式为 $7.49 \cos(314t - 106.26^\circ) \text{ mA}$ 。

步骤 5：绘制该电路电压的矢量图。按“功能菜单 | 分析 | AC 分析 | 矢量图”，可以得到输入电压 U_{sin} 和正弦电压 VM_1 的矢量图，如图 1-1-19 所示。

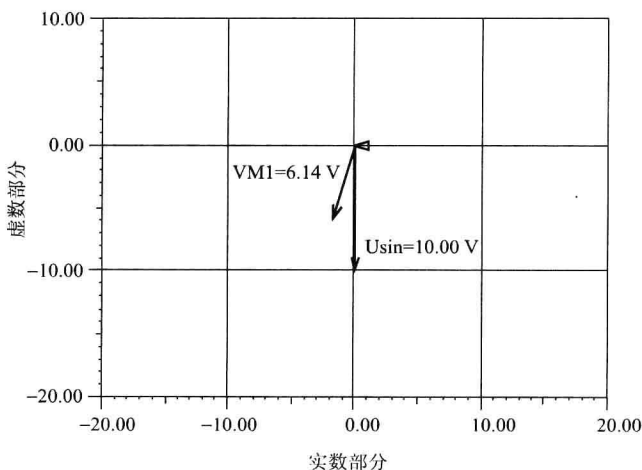


图 1-1-19 正弦电压的矢量图

例 1.5.2 正弦稳态电路的阻抗求取。

步骤 1：绘制如图 1-1-20 所示的电路图。

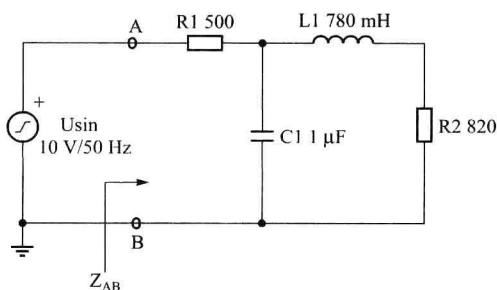


图 1-1-20 正弦稳态电路的阻抗分析

根据阻抗计算公式，从端口 AB 向右看进去的阻抗 $Z_{AB} = R_1 + \left(\frac{1}{j\omega C_1} \right) \parallel (j\omega L_1 + R_2)$ 。

Z_{AB} 可以根据阻抗计算公式求取，也可以用阻抗表直接测量出来。下面介绍阻抗表测量阻抗的方法。

步骤 2：拿掉图 1-1-20 中的电压发生器，在电压发生器的位置连接一个阻抗表，得到如图 1-1-21 所示的电路图。双击阻抗表，打开阻抗表的属性对话框，将阻抗表的频率设为 50 Hz 。确定阻抗表的属性选择，按“功能菜单 | 分析 | AC 分析 | 计算节点电压”，得到如图 1-1-21 所示的结果。