

电路和电子技术

龚玲平 编著

虚拟实验

XUNI SHIYAN

& 与 远程实验

YUANCHENG SHIYAN



云南出版集团公司
云南科技出版社

参考书目

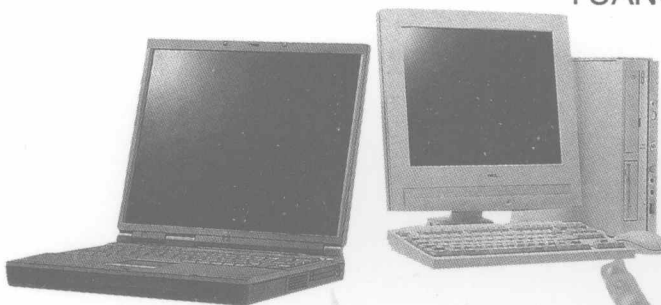
电路和电子技术

虚拟实验 & 与 远程实验

XUNI SHIYAN

YUANCHENG SHIYAN

龚玲平 编著



云南出版集团公司

云南科技出版社

昆明市环城西路609号云南出版集团公司

昆明市五华区广福路云南出版集团公司

787mm×1092mm 1/16 印张:9.2 字数:220千字

2008年2月第1版 2008年2月第1次印刷

云南出版集团公司
云南科技出版社
·昆明·

虚拟实验与远程实验

图书在版编目 (CIP) 数据

虚拟实验与远程实验 / 龚玲平编著. —昆明: 云南科技出版社, 2008. 5

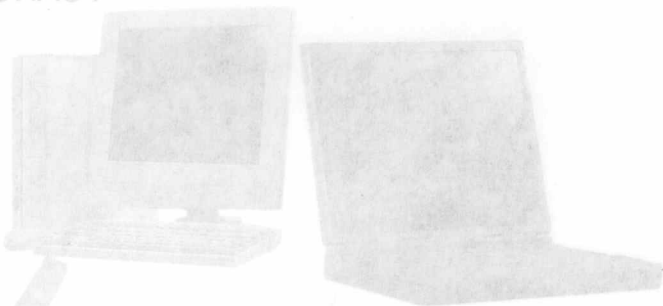
ISBN 978 - 7 - 5416 - 2915 - 0

I. 虚… II. 龚… III. 计算机应用—远程教育—实验
IV. G72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 077232 号

YUANCHENG SHIYAN

著者 龚玲平



云南出版集团公司

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码:650034)

昆明市五华区教育委员会印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本:787mm × 1092mm 1/16 印张:9.5 字数:250 千字

2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

定价:32.00 元

云南科技出版社

· 照 录 ·

前言

实验是教学的重要环节之一,同样也是远程教育急需解决的重要课题。现代教育技术的发展,特别是计算机应用软件的发展,为应用仿真实验软件来实施实验教学的虚拟实验提供了条件。虚拟实验通过计算机营造出一种仿真的实验环境氛围,可以逼真地模拟出学生进行实验操作的整个过程。调节仪器设备、连接电路等一系列动作与学生在实验室面对真实的仪器进行操作几乎一样,只不过原来用手直接完成的动作现在改为用手操纵鼠标来实现,原来学生接受到的真实的触觉、视觉、听觉效果现在都转化成了计算机屏幕上直观的图像或声音。

远程实验不单纯指虚拟实验,还包括远程真实实验,这样的实验更接近真实。如果某个实验,当它的硬件部分连接好后,需要依靠网络在计算机与实验仪器之间传送数据,按照人机对话方式完成剩余操作,这个实验就算远程真实实验。远程真实实验在表现形式上与虚拟实验相似,但是在本质上却与传统的在实验室里做实验完全相同。远程真实实验需要良好的网络条件,远程实验的创建复杂而费力,但应用方便简单,而且还不受时间和地点的限制。

Tina Pro 是一个非常优秀的电子设计软件,也是一个非常优秀的电子电路模拟实际训练软件,它几乎可以完成在实验室进行的所有电子电路的实验,并且与实际实验情况非常贴切,选用的元器件和仪器也与实际情况非常相近,一般会正确使用常规仪器的读者,都能较快掌握软件提供的虚拟仪器的使用方法。特别适用于远程教育在实验设备和仪器不能满足某些实验课要求的情况,用

Tina Pro 软件进行仿真实验不失为一种有效的补充方法。按照够用和实用的原则,作者介绍了 Tina Pro 软件的基本分析功能和软件的虚拟仪器使用方法,并通过实例展示了 Tina Pro 软件在电路和电子技术虚拟实验中的应用。书中编写了电路基础实验七个、模拟电子技术和数字电子技术课程实验各五个的实验指导,这些实验既可以用 Tina Pro 软件完成,也可以满足实验室进行真实实验的要求,每个实验还附了实验报告的格式和相应的实验问题,实验结果既可用软件实验的结果,也可用实测的结果。

麻省理工学院的微电子实验室是公开的远程电子器件实验室,备有精密的分析仪器,可以真实地进行微电子实验。他们在服务本校学生的同时公开声明这是对全球特别是对发展中国家提供的教育资源,因此,作者编译了部分麻省理工学院微电子实验室远程实验,以提供另一种远程实验的途径。

综上所述,本书是以计算机为工具,利用仿真软件和网络进行实验教学的,特别适合于从事远程教育的老师和进行远程学习的学生,同时还能在教育理念、技术方法等方面得到一些启迪。

编者

目 录

(108)	.....	(1)
(112)	.....	(1)
(117)	.....	(10)
(117)	.....	(15)
(117)	.....	(20)
(120)	.....	(23)
第一章 Tina Pro 电子电路仿真软件介绍	.....	(1)
§ 1-1 快速浏览 Tina Pro 界面	.....	(1)
§ 1-2 直流分析	.....	(10)
§ 1-3 正弦稳态分析	.....	(15)
§ 1-4 瞬态分析	.....	(20)
§ 1-5 符号分析	.....	(23)
第二章 Tina Pro 虚拟实验仪器的使用	.....	(28)
§ 2-1 Tina Pro 的测量仪器清单	.....	(28)
§ 2-2 虚拟函数发生器与示波器的联合仿真	.....	(29)
§ 2-3 虚拟万用表	.....	(31)
§ 2-4 虚拟信号发生器	.....	(31)
§ 2-5 虚拟 XY 记录仪	.....	(32)
§ 2-6 虚拟逻辑分析仪	.....	(34)
§ 2-7 虚拟网络分析仪	.....	(35)
第三章 Tina Pro 应用实验	.....	(37)
§ 3-1 Tina Pro 实验应用实例	.....	(37)
§ 3-2 电路基础实验	.....	(48)
实验一 基尔霍夫定律的验证	.....	(48)
实验二 叠加原理的验证	.....	(50)
实验三 戴维南定理和诺顿定理的验证	.....	(52)
实验四 一阶、二阶动态电路的响应	.....	(56)
实验五 单相交流电路及功率因素的提高	.....	(60)
实验六 三相交流电路及功率的测试	.....	(63)
实验七 双口网络测试	.....	(68)
§ 3-3 模拟电子实验	.....	(71)
实验一 晶体管共射极单管放大器	.....	(71)
实验二 负反馈放大电路	.....	(77)
实验三 射极跟随器	.....	(81)
实验四 集成运算放大器的应用(一)	.....	(85)
实验五 集成运算放大器的应用(二)	.....	(92)
§ 3-4 数字电子实验	.....	(96)
实验一 集成门电路功能的测试	.....	(96)
实验二 组合逻辑电路	.....	(102)
实验三 时序逻辑电路(1)——触发器	.....	(105)

实验四	时序逻辑电路(2)——计数器	(108)
实验五	555 定时器及其应用	(112)
第四章	远程微电子实验	(117)
§4-1	远程微电子实验室概述	(117)
§4-2	远程微电子实验室应用实例	(120)
§4-3	远程电子实验	(129)
(1)	实验一 真实二极管特性的研究	(129)
(10)	实验二 三极管 2N3904 特性曲线的研究	(131)
(12)	实验三 N 沟道场效应晶体管特性研究	(132)
(10)	实验四 P 沟道场效应晶体管特性研究	(134)
附录一	常用逻辑门电路新旧逻辑符号对照表	(137)
附录二	常用集成电路管脚排列和功能说明	(138)
§2-1	单青器仪器测量	1-1
§2-2	虚拟函数发生器	2-2
§2-3	虚拟万用表	2-3
§2-4	虚拟信号发生器	2-4
§2-5	虚拟 XY 记录仪	2-5
§2-6	虚拟逻辑分析仪	2-6
§2-7	虚拟网络分析仪	2-7
§3-1	第三章 Tims Pro 应用实验	3-1
§3-1	§3-1 Tims Pro 应用实例	3-1
§3-2	§3-2 电路基础实验	3-2
实验一	基本放大电路的验证	3-3
实验二	差分放大电路的验证	3-4
实验三	集成运放电路的验证	3-5
实验四	一阶、二阶动态电路的验证	3-6
实验五	半波整流电路及功率因数的提高	3-7
实验六	三相交流电路及功率因数的提高	3-8
实验七	三相交流电路及功率因数的提高	3-9
§3-3	§3-3 虚拟电子电路	3-10
实验一	晶闸管共射极放大电路	3-11
实验二	负反馈放大电路	3-12
实验三	振荡器	3-13
实验四	集成运算放大器应用(一)	3-14
实验五	集成运算放大器应用(二)	3-15
§3-4	§3-4 虚拟电子电路	3-16
实验一	集成门电路内部结构	3-17
实验二	组合逻辑电路	3-18
实验三	时序逻辑电路(1)——寄存器	3-19

第一章 Tina Pro 电子电路仿真软件介绍

§ 1-1 快速浏览 Tina Pro 界面

一、Tina Pro 概述

Tina Pro 是一个重要而实用的电子设计自动化 (EDA) 软件。其研发者是欧洲 DesignSoft Kft. 公司, 目前大约流行四十多个国家并有二十多种不同语言的版本, 其中包括中文版。

在模拟电路分析方面, Tina Pro 具有一般电路仿真软件通常所具备的直流分析、瞬态分析、正弦稳态分析、傅里叶分析、温度扫描、参数扫描、最坏情况及蒙特卡罗统计等仿真分析功能, 同时还能先对输出电量进行指标设计, 然后对电路元件的参数进行优化计算。它具有符号分析功能, 即能给出时域过渡过程表达式或频域传递函数表达式; 具有 RF 仿真分析功能; 具有绘制零、极点图, 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 支持 VHDL 语言, 并具有 BUS 总线及虚拟连线等功能, 以避免电路图中元件之间连线过密, 使得电路绘图界面看起来更清晰、简洁。Tina Pro 具有 8 种虚拟仪器, 各仪器与元件之间采用虚拟连线。Tina Pro 通过 USB 接口, 可以与其硬件设备 Tina - Lab, 即实时信号发生器、数据采集器相连, 因而, 能同时得到电路图的虚拟仿真分析结果及实际电路测试结果, 并将它们加以结合, 进行对比分析。这是目前能将虚拟仿真与实际测量结果相结合、为数不多的实用技术产品。

Tina Pro 不但是一个非常优秀的电子设计软件, 而且也是一个非常优秀的电子电路模拟实际训练软件, 它几乎可以完成在实验室进行的所有电子电路的实验, 并且与实际实验情况非常贴切, 选用的元器件和仪器也与实际情况非常相近, 一般会正确使用常规仪器的读者, 都能较快掌握软件提供的虚拟仪器的使用方法。特别适用于远程教育在实验设备和仪器不能满足某些实验课要求的情况, 用 Tina Pro 软件进行仿真实验不失为一种有效的补充方法。

二、Tina Pro 主要窗口和基本操作

用鼠标双击桌面上的 Tina Pro 启动图标之后, Tina Pro 运行, 屏幕上出现它的主窗口, 如图 1.1.1 所示。界面分为由 6 个部分组成:

(1) Tina Pro 的标题栏。

(2) Tina Pro 的主菜单栏, 包括: 文件、编辑、插入、视图、分析、T&M (测量仪器)、工具和菜单 8 个功能选项。每个主菜单选项都可以用鼠标单击打开下拉菜单, 显示出该选项下的各种操作命令。该菜单除了具有通常的打开、保存电路文件功能之外, 还有极其重要的与其他 EDA 软件进行数据文件接口的功能, 例如“主菜单栏”中“文件”菜单下的“导入”命令可以调入一个 PSpice 电路文件 (扩展名为 cir) 为仿真对象, 其“导出”命令可以将 Tina Pro 的电路图文件输出为 PSpice 格式电路文件, 或各电路印制板软件 (例如 Protel)

所需的 PCB 文件。在主菜单栏中，“分析”和“T&M”（虚拟仪器栏）是两个最重要的栏目，其内容将在后面的内容中详细介绍。

(3) 工具栏：提供编辑设计电路的各种工具。

(4) 元件条：栏中的每个图标都表示一种器件库，用鼠标单击某个图标，可画出该器件，再双击，可定义其数值等参数。

(5) 工作区：用于设计、编辑电路图的区域。

(6) 切换电路栏。Tina Pro 可以同时调入多个电路文件，这些电路文件名同时出现在切换电路栏中，单击切换电路栏中某个电路文件名（扩展名均为 TSC 或 tsc）该文件名就被切换到控制框中。同时，该电路也被切换到工作区中，成为进行仿真实验的当前电路图。

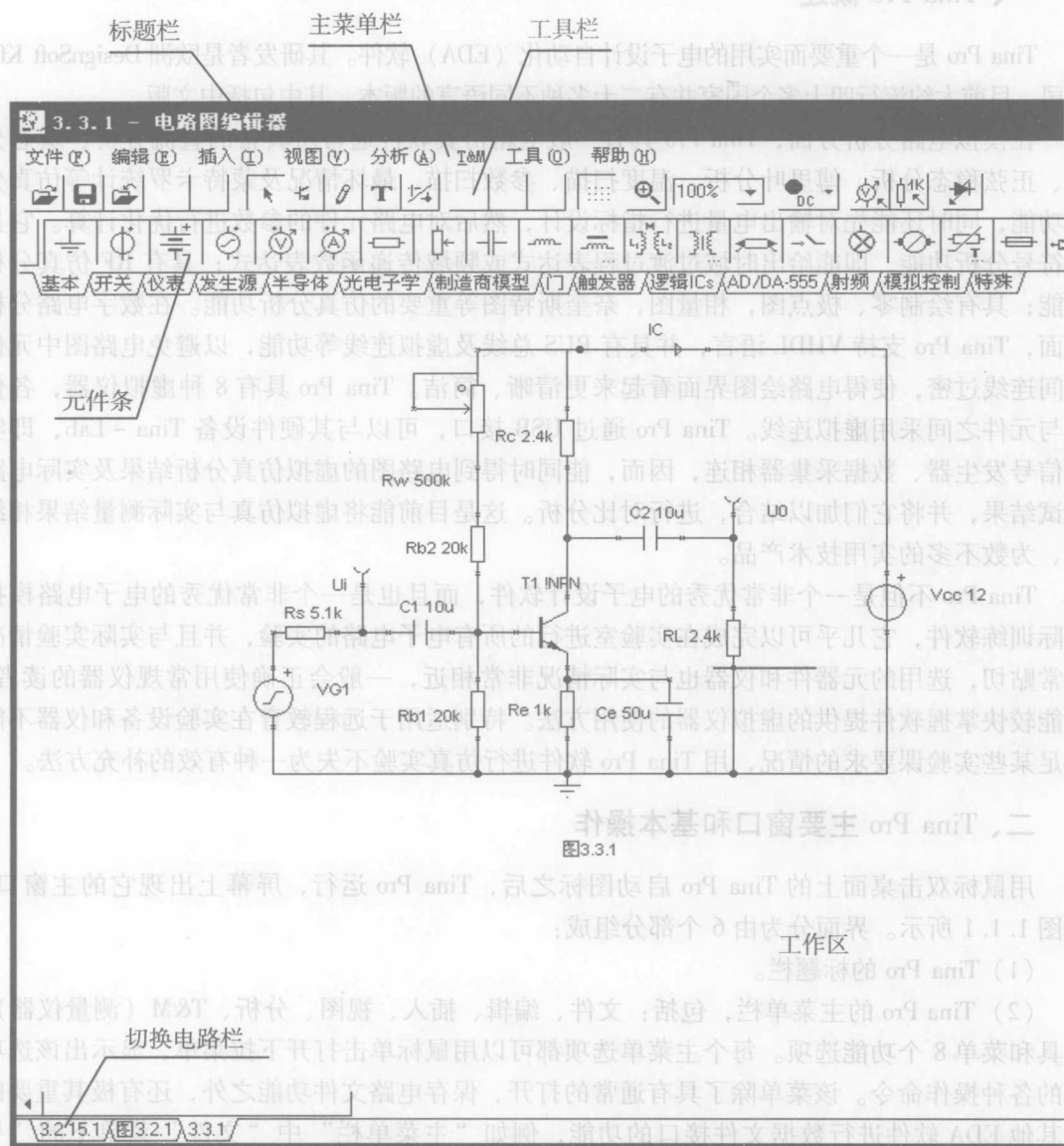


图3.3.1

图 1.1.1 Tina Pro 主窗口

按“主菜单栏→帮助”功能可以打开帮助菜单（中文界面）：它简练地介绍了软件几乎所有的重要功能，界面如图 1.1.2 所示。当然，该内容中的多处译文似还需修正或继续完善。

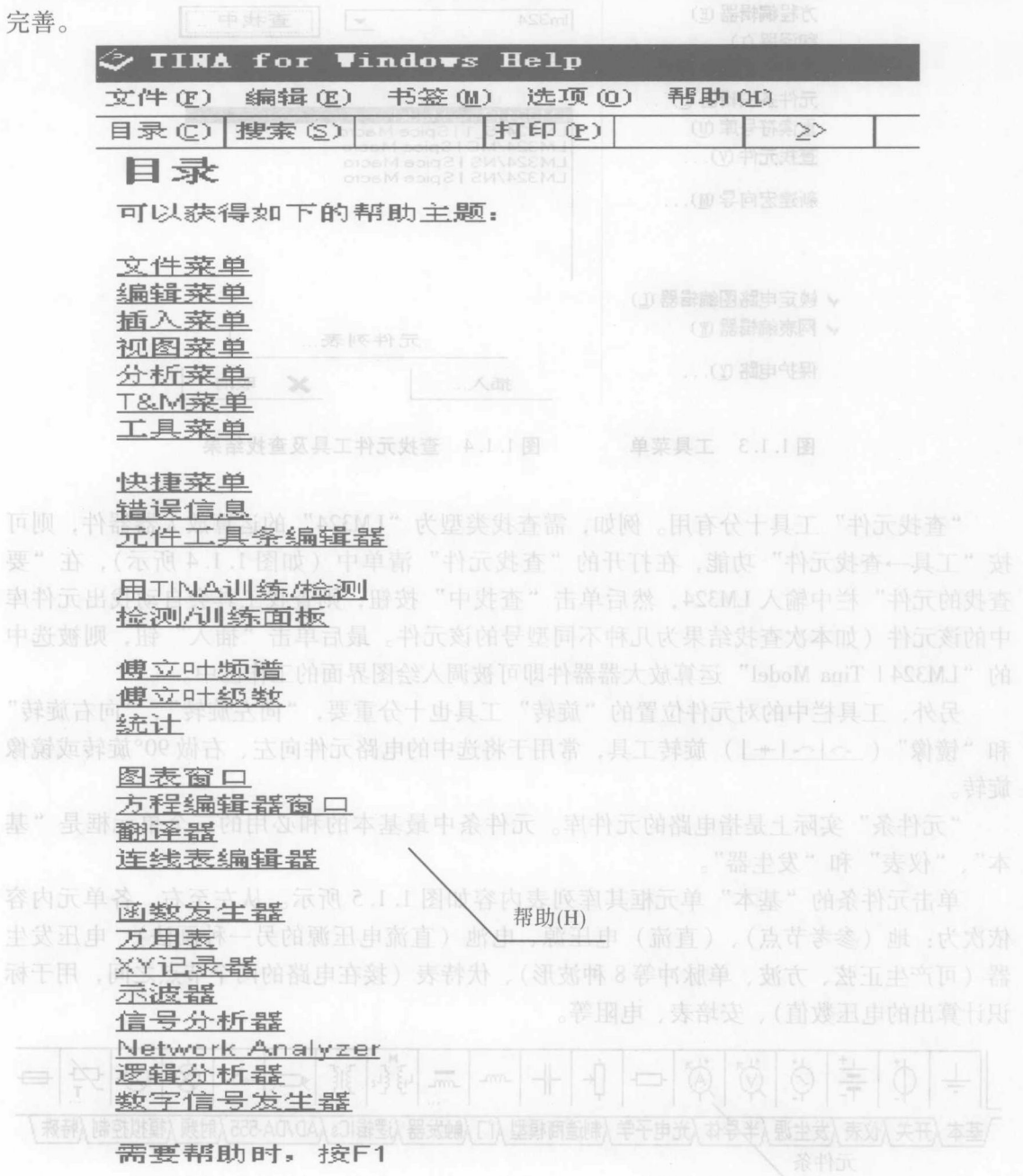


图 1.1.2 帮助菜单

“主菜单栏→工具”提供了对文件及电路图进行操作的一些简约工具，界面如图 1.1.3 所示。其中，“图表窗口”用于打开在切换电路栏中经仿真后生成的各种波形图。

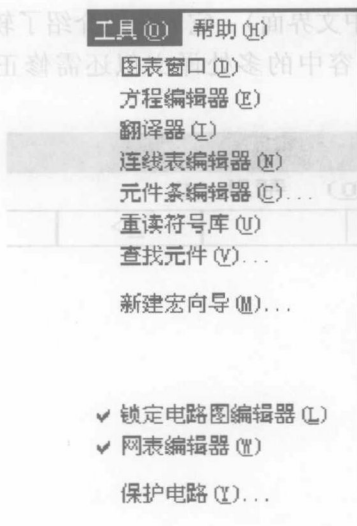


图 1.1.3 工具菜单



图 1.1.4 查找元件工具及查找结果

“查找元件”工具十分有用。例如，需查找类型为“LM324”的运算放大器器件，则可按“工具→查找元件”功能，在打开的“查找元件”清单中（如图 1.1.4 所示），在“要查找的元件”栏中输入 LM324，然后单击“查找中”按钮，则查找工具会自动找出元件库中的该元件（如本次查找结果为几种不同型号的该元件。最后单击“插入”钮，则被选中的“LM324 | Tina Model”运算放大器器件即可被调入绘图界面的工作区中。

另外，工具栏中的对元件位置的“旋转”工具也十分重要，“向左旋转”、“向右旋转”和“镜像”（）旋转工具，常用于将选中的电路元件向左、右做 90° 旋转或镜像旋转。

“元件条”实际上是指电路的元件库。元件条中最基本的和必用的三个单元框是“基本”、“仪表”和“发生器”。

单击元件条的“基本”单元框其库列表内容如图 1.1.5 所示。从左至右，各单元内容依次为：地（参考节点）、（直流）电压源、电池（直流电压源的另一种画法）、电压发生器（可产生正弦、方波、单脉冲等 8 种波形）、伏特表（接在电路的两个节点之间，用于标识计算出的电压数值）、安培表、电阻等。

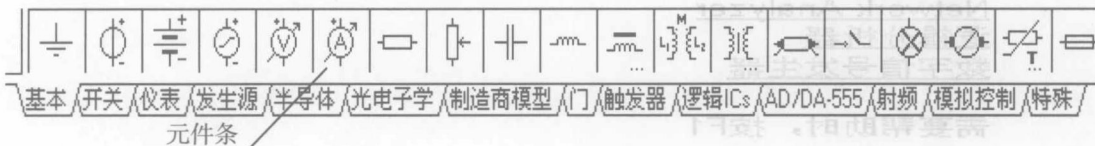


图 1.1.5 元件条基本单元框其库列表内容

单击“仪表”单元框，仪表库列表内容如图 1.1.6 所示。各单元内容均为“测量标识符”，用于表示电路输出变量的计算值。从左至右，各测量标识符依次是：“电压指针”（用于计算节点电压或电位值）、“伏特表”（用于计算电路两节点间的电压值）、“开路”（作用

与伏特表相同)、“电压箭头”(作用与伏特表相同)、“安培表”、“电流箭头”(作用与安培表相同)、“功率表”(用于计算元件或二端网络的交、直流功率)欧姆表、阻抗表等。文中

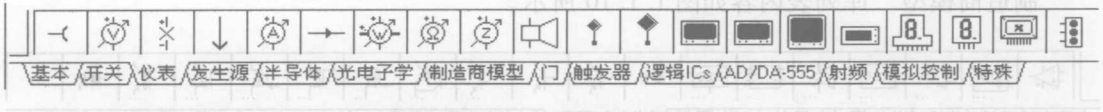


图 1.1.6 仪表单元框及其库列表内容

“元件条”中另一个重要单元框是“发生源”。单击该单元框，其库列表内容如图 1.1.7 所示。从左至右，前 5 个单元均为独立信号源（第 5 个是“电流发生器”，即独立电流源）；6~9 个单元是受控源；其后是数字信号源。最后两个单元是数字电路中的“4 位数据发生器”和“8 位数据发生器”。



图 1.1.7 发生源单元框及其库列表内容

元件条中的其他单元框 下面所介绍的内容，主要目的在于使读者了解 Tina Pro 中元器件库的安排组织结构。“半导体”库列表内容如图 1.1.8。

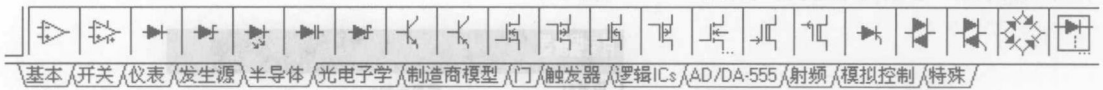


图 1.1.8 半导体单元框及其库列表内容

单击库列表中的某种单元，例如左边第二个运算放大器（简称运放）单元，会自动出现运放的“目录编辑器”的参数设置表，如图 1.1.9 所示，其内容为运放的标准库中 $\mu A741$ 运放参数的详细列表。

目录编辑器

存储库 L Tina	公差模式 <input checked="" type="radio"/> 无(N) <input type="radio"/> 常规(G)	
模型 M Standard	模型参数 U 用法: 通用	
类型 T OPAAMP LM301A LM318 LM709 TL081C TL071C TL081C $\mu A741$ $\mu A741A$ $\mu A741C$	开环增益 [-] 输入阻抗 [Ohm] 输出阻抗 [Ohm] 最大回转速 [V/s] 主极点 [Hz] 第二极点 [Hz] 输入补偿电压 [V] 输入偏流 [A] 输入补偿电流 [A] 补偿电压 t_{co} [V/C] Current doubling int. [C] Outp. ofs. lim. [Vcc+] [V]	200k 2M 75 500k 5 1M 1m 80n 20n 15u 10 2.6

8/13

图 1.1.9 目录编辑器参数设置表

单击图 1.1.9 中参数设置表中“帮助”项，即可进一步打开运放模型参数定义的详细中文说明和该元器件的等效电路图等。

“制造商模型”库列表内容如图 1.1.10 所示。

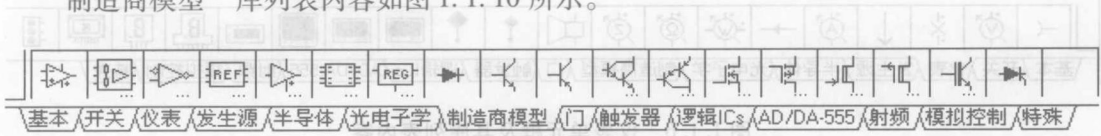


图 1.1.10 制造商模型单元框及其库列表内容

该模型库列表中，各单元的电路元器件的电路参数大多与世界知名器件公司所提供的器件参数相符合（用 PSpice 描述）。

“门”库列表内容如图 1.1.11 所示

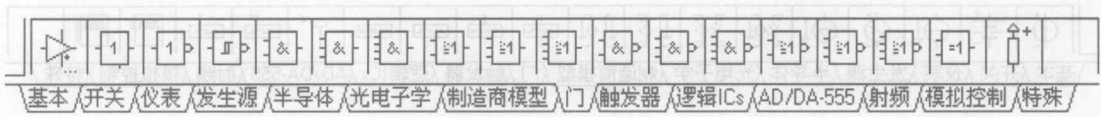


图 1.1.11 “门”单元框及其库列表内容

单击一个数字单元电路，例如非门，可将其调入工作区；对其双击，可得到非门电路的“目录编辑器”参数设置表，如图 1.1.12 所示。

标签	U6	模型(M)	模型参数(I)
模块名称	(多参数)	TTL	用法: General
多参数	(多参数)	TTL	延迟 L->H [s] 22n
目录	SN7404	LS	延迟 H->L [s] 15n
DC 传输	理想	High Speed CMOS	0: (1.0 2.0 3.0 4.0)
输入	理想	CMOS	1
输出	理想	HCT	
延迟	是	S	
地		AS	
Vcc		ALS	
错误	设置		

图 1.1.12 非门参数设置表

“触发器”库列表内容中包含有 D 触发器、R-S 触发器以及 J-K 触发器等数字时序单元电路，如图 1.1.13 所示。

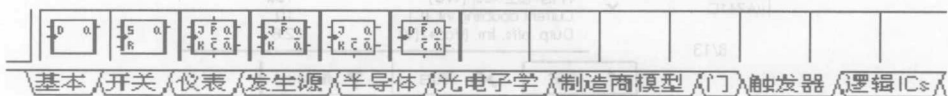


图 1.1.13 触发器单元框及其库列表内容

“逻辑 ICS” 库列表如图 1.1.14 所示。

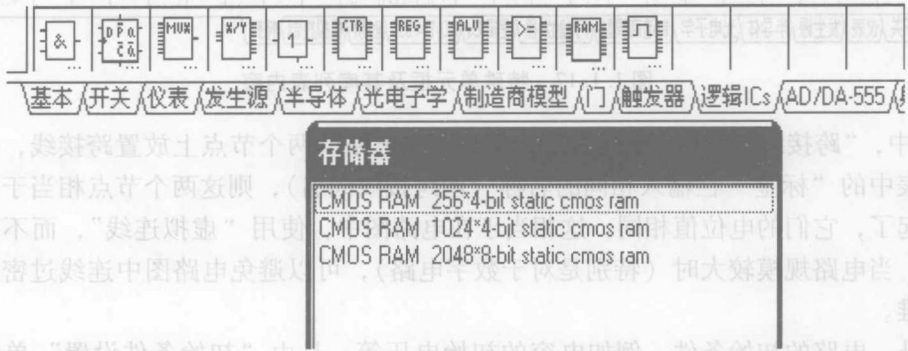


图 1.1.14 逻辑 ICS 单元框及其库列表内容

该库列表内容从左至右的单元所代表的器件类型分别为“门”(&)、“触发器与锁存器”、“数据选择器/多路器”(MUX)、“解码器/多路分解器”(X/Y)、“缓冲器和驱动器”(1)、“计数器”(CTR)、“寄存器”(REG)、“运算电路”(ALU)、“逻辑比较器”(> =)、“存储器”(RAM)和“数字多频振荡器”(74121、74122)。

“RF”(射频)的库列表内容、“NPN RF 双极型三极管”单元中的库列表内容如图 1.1.15 所示。



图 1.1.15 RF 单元框及其库列表内容

“模拟控制”库列表内容提供了控制系统中常用的单元模块，如图 1.1.16 所示。

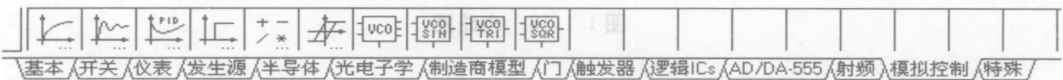


图 1.1.16 模拟控制单元框及其库列表内容

元件条最后一个单元框是“特殊”，其库列表内容如图 1.1.17 所示。



图 1.1.17 特殊单元框及其库列表内容

其中，“跨接线”（ \dashv ）十分有用，例如，在电路的两个节点上放置跨接线，并在其参数设置表中的“标签”栏输入相同的名称（两跨接线同名），则这两个节点相当于用导线连接在一起了，它们的电位值相同。这相当于在电路图中，使用“虚拟连线”，而不必实际画线连接。当电路规模较大时（特别是对于数字电路），可以避免电路图中连线过密所造成的读图困难。

另外，电路的初始条件，例如电容的初始电压等，是由“初始条件设置”单元来设置的（ $\left[\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \text{IC} & \text{TC} & \text{HS} & \text{TS} \\ \hline \end{array} \right]$ ）。

图 1.1.17 的第二行，在以“Z”打头的单元中，它们大多数是按“PSpice3f”电路仿真软件编写的双端口器件模型。

至此，我们快速浏览了 Tina Pro 软件界面所提供的部分重要内容。进一步，我们要在工作区绘制一个电路图，为进入“分析功能”和“实验”做准备。

三、绘制电路

用 Tina Pro 绘制一个电路图的过程是十分容易的。现对图 1.1.18 所示的电路图（图 3.3.1. TSC）简述绘制过程。

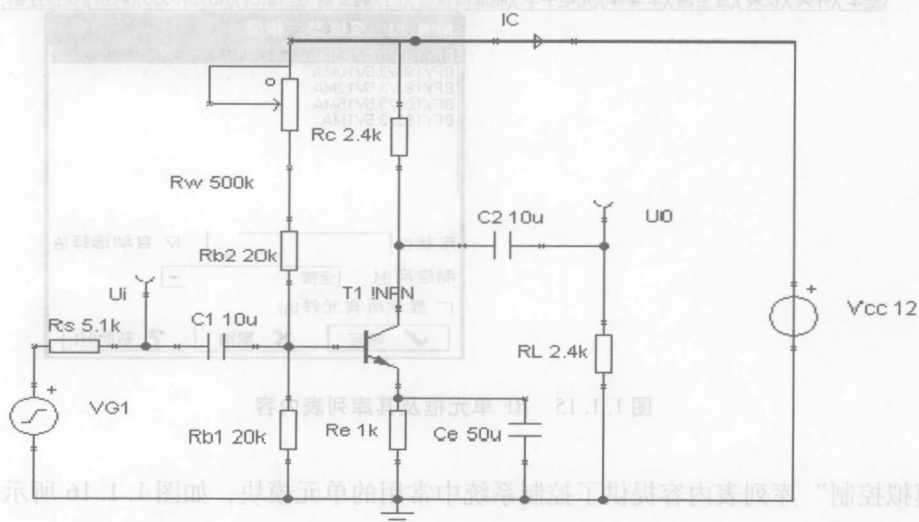


图 1.1.18 电路图

步骤 1 从“元件条→基本”单元框中，调入“地”、“直流电压源”（“ U_{cc} ”）、“交流电压源”（“ U_s ”）、“电阻器”（“ R_{b1} ， R_{b2} ，...”）、“电容器”（“ C_1 ， C_2 ， C_e ”）等组成电路的元件，到工作区的适当位置。

在步骤1中应该注意:

1. 调入某元件的操作: 单击某单元, 例如“地”(⏏), 该元件图标就跟着你的鼠标移动。在你认为恰当的位置处, 再点击鼠标左键, 则“地”即被放置在鼠标所指示的位置。
2. 删除某元件的操作: 单击该元件, 它即被选中变为红色。然后点击鼠标右键, 在自动弹出的控制菜单中, 选择“删除”项, 确认后该元件即被删除。

步骤2 使用工具栏中的“向左旋转”、“向右旋转”工具, 将上述电路元件放置为如图 1.1.18 所示的恰当的水平或垂直位置。

步骤3 双击“电压源”, 得到如图 1.1.19 所示的电压源参数设置表。在“标签”项中输入“ U_{CC} ”, 在“电压 [V]”项中输入“12”, 其它项不变。这样, 该直流电压源被命名为 U_{CC} , 大小为 12V。对交流电压源, 双击“电压发生器”, 选择“正弦电压”, 在“标签”项中输入“ U_s ”, 在“电压 [V]”项中输入“1m”, 在“频率 [f]”项中输入“50Hz”, 该正弦交流电压源被命名为 U_s , 大小为 1mV、频率为 50Hz, 见图 1.1.20。

类似地, 将“ R_{b1} ”、“ R_C ”的参数分别设置为 20K Ω 、2.4K Ω (分别以“20K”, “2.4K”输入); “C1”参数设为 10 μ F (以“1 $^\circ\mu$ ”输入)等。

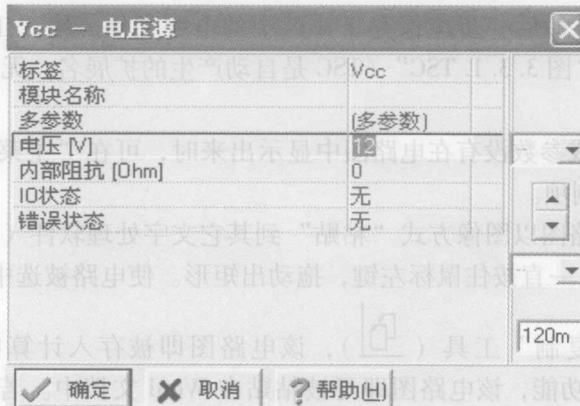


图 1.1.19 电压源参数设置表

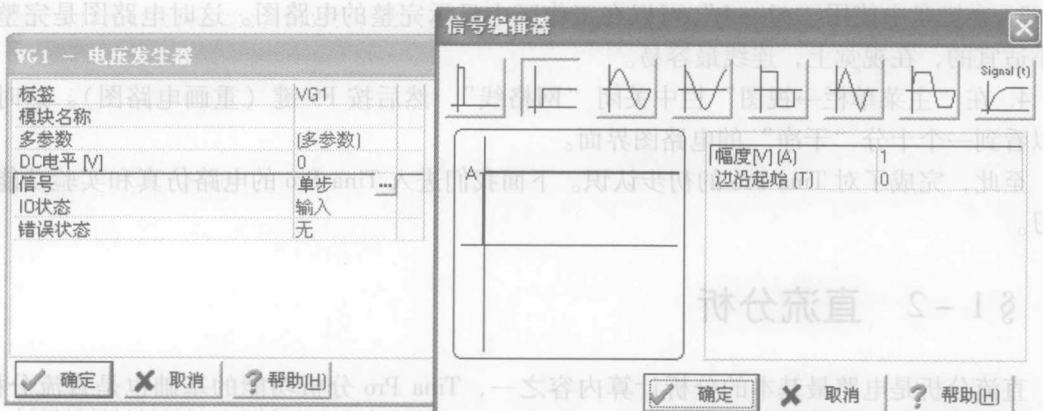


图 1.1.20 交流电压发生器参数设置表

步骤4 从“元件条→仪表”单元框中，调入“电压指针”、“开路”及“电流指针”三个测量标识符，并放置在电路图恰当位置；将这三个标识符分别命名为“ U_i ”、“ U_0 ”和“ I_c ”，用于标识电路节点电位、支路元件电压及支路电流的仿真计算值。

步骤5 按“工具栏→文字(T)”功能，在自动打开的文字输入栏中分别写入节点电压标号“ i ”、“ 0 ”（即电路图中的方框 i 、 0 ）和电路名“图 3.3.1”，并将这些文字标注用鼠标拖动至电路图的适当位置。注意：这些文字标注是一种标识记号，仅起方便读图的作用，而与分析功能无关。

步骤6 连线：当做完上述准备工作后，你可以在电路各元件之间进行连线了。该过程可使你享受到将电路连接为一个整体的成就感。

在连线时应该注意：

连线的方法：将鼠标指向某元件的端点，鼠标箭头即变为“笔形”。单击并移动“笔形”鼠标，一条连线可随你移动。当鼠标移动至另一个元件的端点时再单击，则该连线自动完成。


删除连线的方法：将鼠标指向该连线。鼠标箭头变为“手形”。单击后连线被选中，变为红色。点击鼠标右键，在弹出的控制菜单中选择“删除”项并确认，该连线即被删除。


步骤7 别忘记，最后一步应保存工作区中的电路文件。按“工具栏→保存”功能，并将电路图文件存为“图 3.3.1.TSC”（TSC 是自动产生的扩展名，无需键入）。

重要提示

1. 当元件的名称或参数没有在电路图中显示出来时，可在“主菜单栏→视图”栏中选中（打开）相应的控制项。

2. 当你需要将电路图以图像方式“粘贴”到其它文字处理软件（如 Word）时，从电路图的左上角至右下角，一直按住鼠标左键，拖动出矩形。使电路被选中的部分变为红色。然

后，单击“工具栏→复制”工具（），该电路图即被存入计算机的数据缓冲区。在 Word 中使用“粘贴”功能，该电路图即可被粘贴在 Word 文档中。若此时你同时打开另一

个 Tina Pro 电路文件（如一个新建的电路文件），并使用工具栏中的“粘贴”工具（），则已被复制的电路图可粘贴到该电路图的工作区中。

3. 在键盘中使用“ $Alt + L$ ”可以在工作区中显示完整的电路图。这时电路图是完整且大小适宜的，在视觉上，连线最容易。

4. 在“主菜单栏→视图”栏中关闭“网格线”，然后按 F5 键（重画电路图）。这时你可以看到一个十分“干净”的电路图界面。

至此，完成了对 Tina Pro 的初步认识。下面我们进入 Tina Pro 的电路仿真和实验功能的学习。

§ 1-2 直流分析

直流分析是电路最基本的分析计算内容之一，Tina Pro 分析功能的基础也是直流分析。从电路理论看，并不是所有电路一定有直流解；即使有解，其计算值也未必合理可信。然而，对电路各种复杂的分析常需要有一个正确的直流解为前提。所以，一旦在电路分析中出