

职业教育电子信息类专业课改示范教材

高频电子 技术与实践

GAOPIN DIANZI
JISHU YU SHIJIAN

● 朱 洁 刘 佳 林海峰 主编



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

职业教育电子信息类专业课改示范教材

高频电子技术与实践

主 编	朱 洁	刘 佳	林海峰		
副主编	李佩娟	吴新杰	戴 慧	李 倩	
参 编	徐宏庆	杨立生	王 朋	谢 炜	
	王高山	刘俊起			

东南大学出版社

· 南 京 ·

内容简介

“高频电子技术”是电子信息、通信类专业的一门重要的专业基础课程,其以无线电通信系统为主要研究对象,研究典型单元电路的工作原理。本书对传统的高频电子技术教材的内容进行了重新编排,全书分为无线通信系统的基本原理、无线发射电路、无线接收电路以及综合实践4章,将正弦波振荡器、振幅调制电路、角度调制电路、高频功率放大器、倍频器、高频小信号放大器、混频器、检波电路、鉴频电路以及反馈控制电路等电路以任务的形式融入到各个章节中,本着“实用、够用”的原则,适当淡化理论,强调应用,每个任务后面都设有技能训练,包含思考与练习、仿真实验、操作实验3部分内容,着重培养学生实际解决问题的能力。

本书可以作为高职高专院校电子信息工程技术、通信技术、无线电技术、应用电子技术等专业“高频电子技术(线路)”课程的配套教材,也可以供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子技术与实践 / 朱洁, 刘佳, 林海峰主编.

—南京: 东南大学出版社, 2014. 10

职业教育电子信息类专业课改示范教材

ISBN 978-7-5641-5251-2

I. ①高… II. ①朱… ②刘… ③林… III. ①高频—
电子电路—高等职业教育—教材 IV. ①TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 233694 号

高频电子技术与实践

出版发行 东南大学出版社

社 址 南京市玄武区四牌楼 2 号(210096)

网 址 <http://www.seupress.com>

出 版 人 江建中

责任编辑 姜晓乐(joy_supe@126.com)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 南京京新印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13.75

字 数 343 千字

版 次 2014 年 10 月第 1 版

印 次 2014 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-5251-2

定 价 32.00 元

东大版图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话(传真):025-83791830

前 言

本着高职高专教学中“实用、够用”的原则,本书在编写过程中,重新精选、编排了传统高频电子技术的教学内容,遵从无线电通信的过程,本书分为无线通信系统的基本原理、无线发射电路、无线接收电路以及综合实践4章,每章中以任务驱动的形式进行单元电路的教学来提高学生的学习兴趣,注重实践教学,每个任务原理介绍完之后,提供了任务训练,一是思考与练习,巩固理论知识点;二是仿真实验,列举了典型的仿真电路,使学生能够方便地进行知识点验证;三是操作实验,提供了紧贴理论知识的操作内容,帮助学生掌握知识,形成技能。第4章中还提供了4个典型的无线电通信系统实训实例,可供多数高职高专院校的整周实训或课程设计选用,学生可以根据本书提供的电路图自己制作实物,提高学生的实际制作能力。

本书内容编排独特,形式新颖,任务明确,方式多样,有利于提高高职高专学生对本课程的求知欲和学习的主动性。

本书由朱洁、刘佳和林海峰担任主编并负责统稿,李佩娟、吴新杰、戴慧、李倩担任副主编,徐宏庆、杨立生、王朋、谢炜、王高山、刘俊起参编。具体的分工如下:第1章由林海峰执笔,第2章由朱洁、刘佳、李佩娟共同执笔,第3章由朱洁、刘佳、吴新杰共同执笔,第4章的4.1,4.2由刘佳、谢炜、王高山执笔,4.3由杨立生、王朋、戴慧执笔,4.4由李倩、徐宏庆、刘俊起执笔。

在本书的编写过程中,编者参考了一些相关文献和资料,在此对其作者表示衷心的感谢!由于编者水平有限,本书难免有疏漏、错误和不足之处,恳请同行和读者批评指正!

编 者

2014年8月

目 录

1 绪论	1
1.1 任务:无线通信系统的基本原理	1
2 无线发射电路	4
2.1 项目 1:无线调幅(AM)发射电路	4
2.1.1 任务 1:电路组成及原理	4
2.1.2 任务 2:正弦波振荡器电路	24
2.1.3 任务 3:振幅调制电路	43
2.2 项目 2:无线调频(FM)发射电路	62
2.2.1 任务 1:电路组成及原理	62
2.2.2 任务 2:角度调制电路	62
2.2.3 任务 3:高频功率放大器和倍频器	72
3 无线接收电路	92
3.1 项目 3:无线调幅接收电路	92
3.1.1 任务 1:电路组成及原理	92
3.1.2 任务 2:高频小信号谐振放大电路	93
3.1.3 任务 3:混频电路	110
3.1.4 任务 4:调幅信号的解调电路	125
3.2 项目 4:无线调频接收电路	139
3.2.1 任务 1:电路组成及原理	139
3.2.2 任务 2:调角信号的解调电路	140
3.2.3 任务 3:反馈控制电路	148
4 高频电子技术综合实践	160
4.1 项目 5:综合电路仿真实践	160

4.1.1	任务 1:典型调幅电路仿真设计	160
4.1.2	任务 2:典型同步检波电路仿真设计	171
4.1.3	任务 3:混频电路仿真设计	178
4.1.4	任务 4:正交鉴频电路仿真设计(选做)	183
4.2	项目 6:运用模拟乘法器构成高频典型单元电路	188
4.2.1	任务 1:运用模拟乘法器 MC1496 构成调幅电路的装配、检测与调试	188
4.2.2	任务 2:运用模拟乘法器 MC1496 构成同步检波电路的装配、检测与调试	192
4.2.3	任务 3:运用模拟乘法器 MC1496 构成混频电路的装配、检测与调试	196
4.2.4	任务 4:电路验收	200
4.3	项目 7:无线电调频收音对讲机系统设计	201
4.3.1	任务 1:设计要求	201
4.3.2	任务 2:方案论证	202
4.3.3	任务 3:电路设计与计算	202
4.3.4	任务 4:系统测试	205
4.4	项目 8:简易无线电调频收发系统设计	206
4.4.1	任务 1:设计要求	206
4.4.2	任务 2:方案论证	206
4.4.3	任务 3:电路设计与计算	207
4.4.4	任务 4:系统测试	210
参考文献		212

1 绪 论

1.1 任务:无线通信系统的基本原理

1.1.1.1 任务要求

- (1) 掌握无线通信系统的基本组成。
- (2) 了解无线电波波段的划分及传播。

1.1.1.2 任务原理

1) 无线通信系统的基本组成

高频电子技术源于无线电技术,无线电技术的出现给人类的生活和社会生产带来了极为深远的影响,它广泛应用于国民经济、军事和日常生活的各个领域。人们所熟悉的无线电广播、雷达、电视以及短波电台等都是无线电技术应用的结晶。本节描述无线电信号发射、接收的主要过程,进而使学生掌握无线通信系统的基本原理。无线通信系统的基本组成如图 1-1-1 所示,它由信息源、发送设备、信道、接收设备和信宿组成。

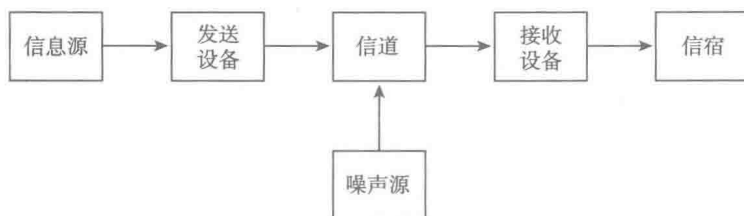


图 1-1-1 无线通信系统的基本组成

- (1) 信息源就是信息的来源,它有不同形式,如语言、音乐、文字、图像、电码等;
- (2) 发送设备是将要传输的信号转换为对应的电信号(称为基带信号),再进行处理,并以足够的功率将处理过的电信号送入传输信道,以实现信号的有效传输;
- (3) 信道是信号传输的通道,又称传输媒介,常分为无线信道和有线信道。无线信道利用电磁波在空间的传播来传播信号,有线信道利用电缆、光导纤维等媒质来传播信号;
- (4) 接收设备把传输信道传过来的已调信号取出并进行处理,还原出基带信号;
- (5) 信宿是传输信息的归宿,其作用是把基带信号转换为原来的信息。

2) 无线电波波段的划分及传播

(1) 无线电波波段的划分

无线电波在空间的传播速度与光波相同,约为 3×10^8 m/s。其波长 λ 、频率 f 和传播速度 c 之间的关系为:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

表 1-1-1 列出了无线电波的划分频段范围,根据无线电波的传输特点应用于不同的领域中。

表 1-1-1 无线电波波段的划分

波段名称		波长范围	频率范围	频段名称
超长波		100~10 km	3~30 kHz	甚低频 VLF
长波		10~1 km	30~300 kHz	低频 LF
中波		1000~200 m	0.3~1.5 MHz	中频 MF
短波		200~10 m	1.5~30 MHz	高频 HF
超短波(米波)		10~1 m	30~300 MHz	甚高频 VHF
微波	分米波	10~1 dm	0.3~3 GHz	特高频 UHF
	厘米波	10~1 cm	3~30 GHz	超高频 SHF
	毫米波	10~1 mm	30~300 GHz	极高频 EHF
	亚毫米波	1~0.1 mm	300~3 000 GHz	超极高频

(2) 无线电波的传播

无线电波的传播方式主要有 3 种:地波、天波、空间波,如图 1-1-2 所示。

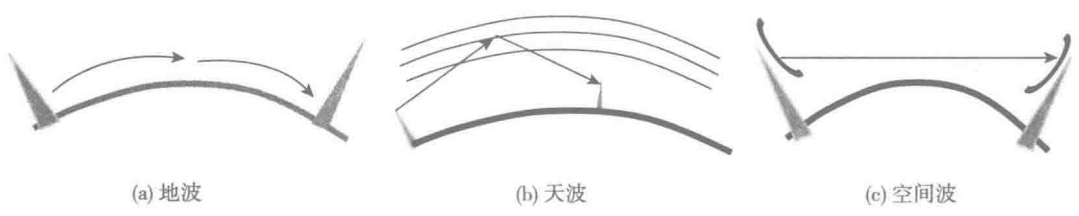


图 1-1-2 无线电波的传播方式

- ① 沿地面传播(地波传播):频率在 1.5 MHz 以下的中、长波传播。地表导电特性稳定,故传播稳定,绕射能力强,传送距离远,多用于导航。
 - ② 靠电离层的反射和折射传播(天波传播):频率在 3~30 MHz 的短波传播。短波信号波长短,地面绕射能力弱,且地面吸收损耗大,主要依靠电离层的折射和反射实现远距离短波通信。
 - ③ 沿空间直线传播(空间波或视线传播):频率在 30 MHz 以上的超短波和微波沿空间直线传播。
- 不同频段的无线电波的传播方式和特点各不相同,所以它们的用途也不相同,其具体应用如

表 1-1-2 所示。

表 1-1-2 无线电波传播的应用

波段名称	传播方式	应 用
超长波	地 波	潜艇通信、远洋通信、远程导航、发送标准时间信号等
长 波	地 波	除超长波的应用范畴外,还用于地下通信
中 波	地波为主	广播、导航、船舶通信、飞行通信、船港通信等
短 波	天波为主	中远距离的广播与通信等
超短波(米波)	空间波	调频广播、电视、移动通信、雷达、导航等
微 波	空间波	电视、雷达、卫星通信、中继通信等

1.1.1.3 任务小结

(1) 用电信号(或光信号)传输信息的系统称为通信系统,它由信息源,发送、接收设备,信道和信宿组成。根据信道不同,通信系统可分为有线通信系统和无线通信系统。无线通信系统成本低,方便快捷,所受限制较少,应用更广泛。

(2) 无线电波波段常划分为超长波、长波、中波、短波、米波、分米波、厘米波等,其传播方式一般有地波、天波、空间波传播等。

1.1.1.4 任务训练:思考与练习

- (1) 画出无线通信系统的原理框图,并说出各部分的功用。
- (2) 无线通信信号的波段是如何划分的? 各个频段的传播特性和应用情况如何?
- (3) 列举 2~3 个日常生活中无线通信设备的实例。

2 无线发射电路

2.1 项目 1:无线调幅(AM)发射电路

2.1.1 任务 1:电路组成及原理

2.1.1.1 任务要求

- (1) 掌握无线调幅发射电路的组成。
- (2) 了解无线调幅发射电路各部分的功能。

2.1.1.2 任务原理

无线电调幅广播发射机的构成框图如图 2-1-1 所示,主要由载波信号产生电路、调制信号产生电路、振幅调制电路及发射天线等组成。

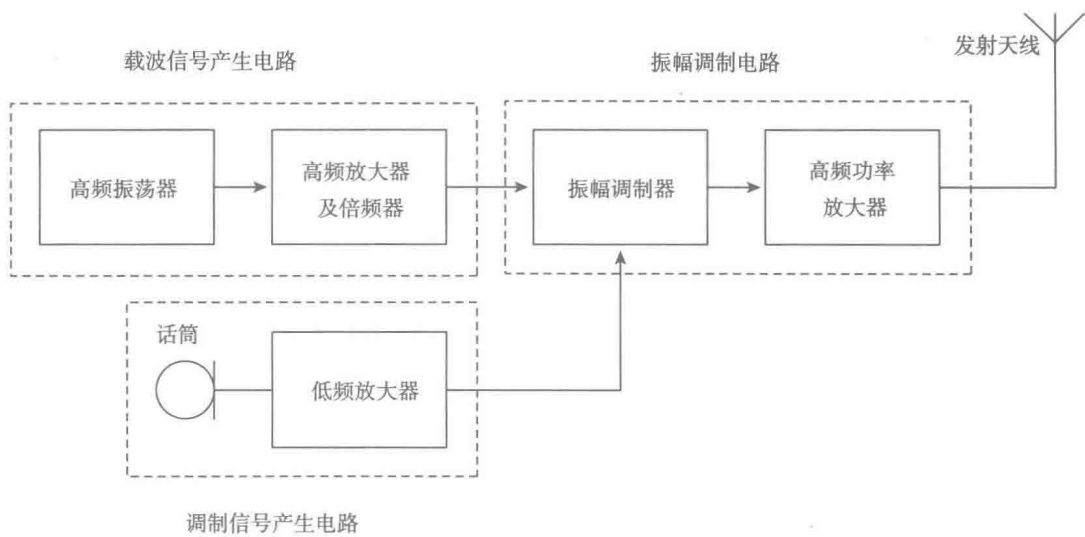


图 2-1-1 调幅广播发射机的构成框图

各部分的功能如下:

(1) 载波信号产生电路

载波信号产生电路主要由高频振荡器(又称主振器)、高频放大器及倍频器组成,其基本

功能是产生高频大功率的正弦波信号。

通常,主振器用来产生频率稳定的高频振荡信号 f_{osc} , 输出等幅高频正弦波, 一般由石英晶体振荡器构成。其优点是能产生波形好、频率极其稳定的正弦波信号; 缺点是振荡频率不高, 通常会利用高频放大器及倍频器来提高高频振荡的频率, 使频率倍增至所需的载波频率 f_c , 以满足高载频的需要。一些特殊电子系统的载波也采用其他波形, 如三角波、方波等。

(2) 调制信号产生电路

调制信号产生电路由话筒和低频放大器组成。声音经话筒转换成微弱的音频电信号, 再经低频放大器, 产生振幅调制电路要求的调制信号。

(3) 振幅调制电路

振幅调制电路的基本功能是实现低频调制信号对高频载波进行的振幅调制, 并输出大功率的调幅波信号。

振幅调制器: 实现调制功能, 将待传输的调制信号信息“装载”到载波上, 将其转变成适合通过天线发射的高频已调信号。

高频功率放大器简称高频功放, 它可将已调信号放大到足够大的功率, 再由天线以电磁波形式辐射出去, 以满足发射功率需求, 同时, 它还需具有滤波作用, 保证已调波有用信号的纯净, 降低杂波干扰。

(4) 发射天线

将已调制高频波经过天线辐射出去, 在空间形成电磁波, 并传向远方, 天线的好坏直接影响发射的距离和性能。

2.1.1.3 任务小结

为了改善系统性能、实现信号的有效传输及信道复用, 通信系统中广泛采用调制技术。调制即用待传输的基带信号去改变高频载波信号的某一参数的过程。用基带信号去改变高频信号的幅度, 称为调幅。基带信号也称为调制信号, 未调制的高频信号称为载波信号, 经调制后的高频信号称为已调信号。

2.1.1.4 任务训练 1: 思考与练习

- (1) 分析调幅发射机的基本工作原理。
- (2) 观察日常生活中的各种电子设备, 列举 2~3 个无线调幅发射设备。

2.1.1.5 任务训练 2: Multisim 的基本使用方法

1) 仿真目的

- (1) 初步熟悉 Multisim 的基本功能。
- (2) 学会使用波特图仪。
- (3) 理解并联谐振电路的原理, 学会使用波特仪测量其幅频特性曲线, 理解相关参数。

2) Multisim 的基本使用方法

Multisim8.0 主要用来对电子电路进行仿真分析与设计,也可用来进行电路分析的相关实验。本节从一个 LC 并联谐振电路(图 2-1-2)分析的例子入手,帮助大家熟练掌握使用 Multisim8.0 对电路进行仿真分析。

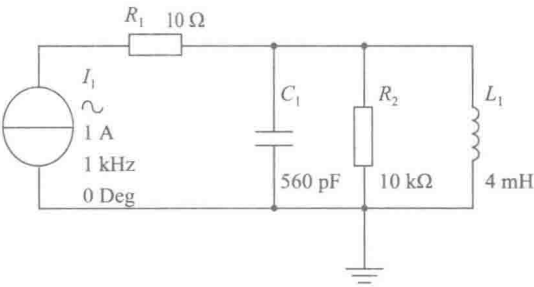


图 2-1-2 并联谐振电路

(1) 新建、保存电路文件

从 Multisim8.0 的用户主界面(见图 2-1-3)可以看出,运行 Multisim8.0 时,会自动打开一个空白电路文件“Circuit 1”,若电路图窗口不是空白的,则可单击“File→New”,新建一个空白的电路文件(见图 2-1-4)。单击“File→Save”可以保存电路,单击“File→Save As”可以保存并重新命名电路,如图 2-1-5 所示。

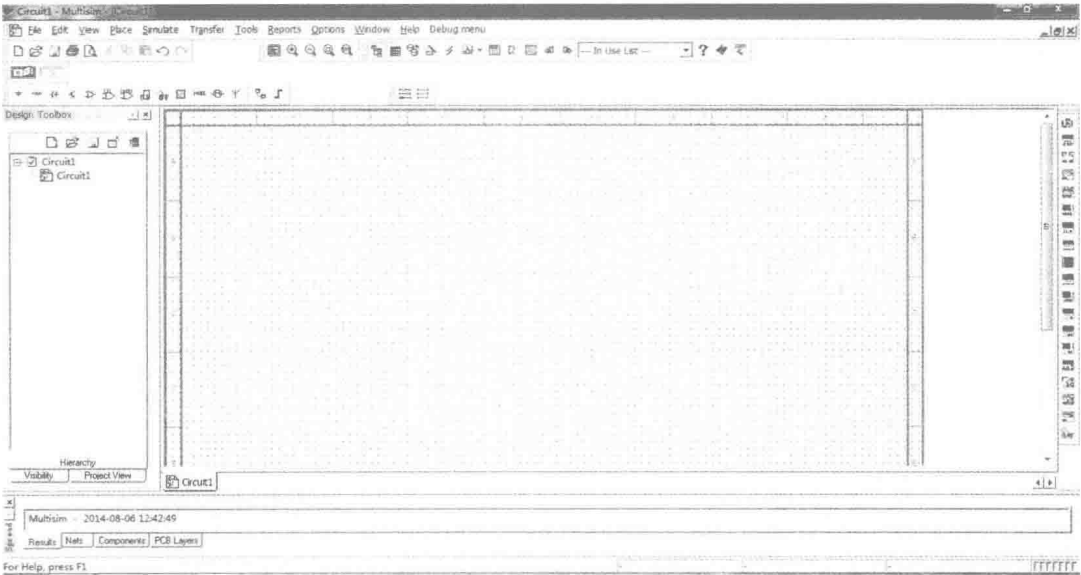


图 2-1-3 Multisim 主界面

(2) 绘制仿真电路(DIN 标准、新建、保存)

Multisim 主界面由工作区、元器件库、虚拟仪表库以及主菜单栏、系统工具栏等组成。点击“启动/停止”按钮可控制仿真实验的操作进程。将要进行仿真分析的电路图画在如图 2-1-3

所示的电路窗口中,首先应挑选合适的电路元件放在电路图窗口中,进行相应的选择。

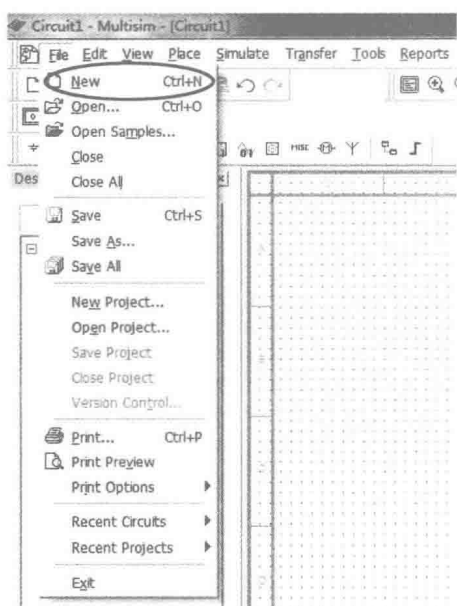


图 2-1-4 新建电路

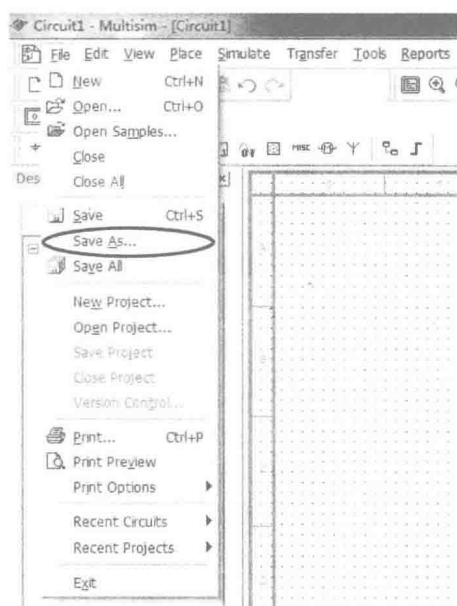


图 2-1-5 保存电路并重新命名

① 放置交流电源

a. 放置电源

单击元器件工具栏中的电源按钮  (当鼠标指向该按钮时,会出现提示“Sources”),或单击主菜单中“Place”菜单下的“Component...”,弹出“Select a Component”窗口,如图 2-1-6 所

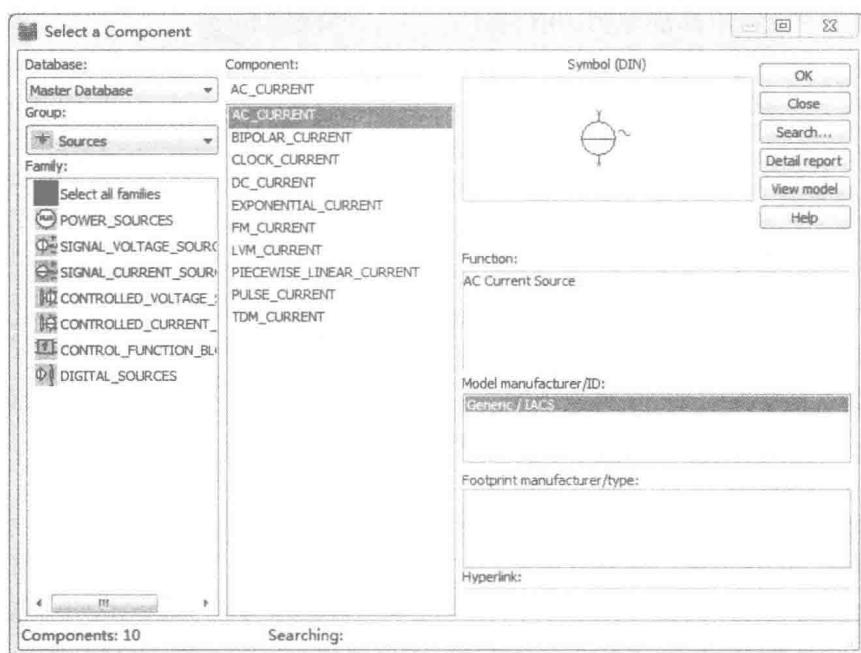


图 2-1-6 选取元器件窗口

示。在“Database”下拉列表框下面的“Group”下拉列表框是要选择的元器件所在的元器件库,单击元器件工具栏中的电源按钮时,该栏将自动出现所在的库“Sources”。在“Family”列表框中单击“SIGNAL_CURRENT_SOURCES”。在“Component”列表框中单击“AC_CURRENT”,所选电源即可出现在“Symbol”文本框中。单击“OK”按钮,将鼠标移到要放置元器件的电路窗口中的合适位置,单击鼠标左键,电源就会出现在电路窗口中。

b. 修改电源参数

电流源的默认值是 1 A, 1 kHz, 可以将其值改为所需要的值。

双击电路窗口中的电源,弹出电源特性对话框,如图 2-1-7 所示。

可在“Value”选项卡的“Current”与“Frequency”文本框中将电流值和频率改为所需要的参数值,单击“OK”即可。参数值的改变只对虚拟(Virtual)元器件有效,虚拟元器件不是真实的,无法从供应商那里买到。虚拟元器件包括所有的电源和虚拟的电阻、电感、电容等。

Multisim8.0 中虚拟元器件与真实元件稍有不同。首先,虚拟元器件与真实元器件颜色不同。其次,虚拟元器件的值(Value)是可以自定义的。

在 Multisim8.0 中提供了两套电路符号,即欧洲标准(DIN)和美式标准(ANSI)。如将电路符号标准改为 DIN 标准,则单击主菜单栏中的“Options”菜单,在出现的下拉菜单中单击第一项“Global Preferences...”,将出现“Preferences”窗口,在该窗口中单击“Parts”选项卡,将出现如图 2-1-8 所示的对话框。

在图 2-1-8 所示对话框中的“Symbol Standard”选项组中选择“DIN”时,该项左边电阻符号将变为,然后单击“OK”,该对话框关闭。此后再选用元器件时,其电路符号均将采用欧洲标准。若选用“ANSI”标准,该选项左边的电阻符号会变成,此时将会采用另一套电路符号。一般情况下,我们采用欧洲标准(DIN)。

c. 修改元器件标号

修改元器件标号的方法类似于修改元器件参数,双击需要修改的元器件,将出现元器件特性窗口,如图 2-1-9 所示,单击“Label”选项卡,在“RefDes”中输入或改变标号,然后单击“OK”。除了修改元器件的参数与标号外,也可改变元器件标号或参数的显示位置,只需单击并拖动即可,也可通过这种方式移动元器件或整个电路图。

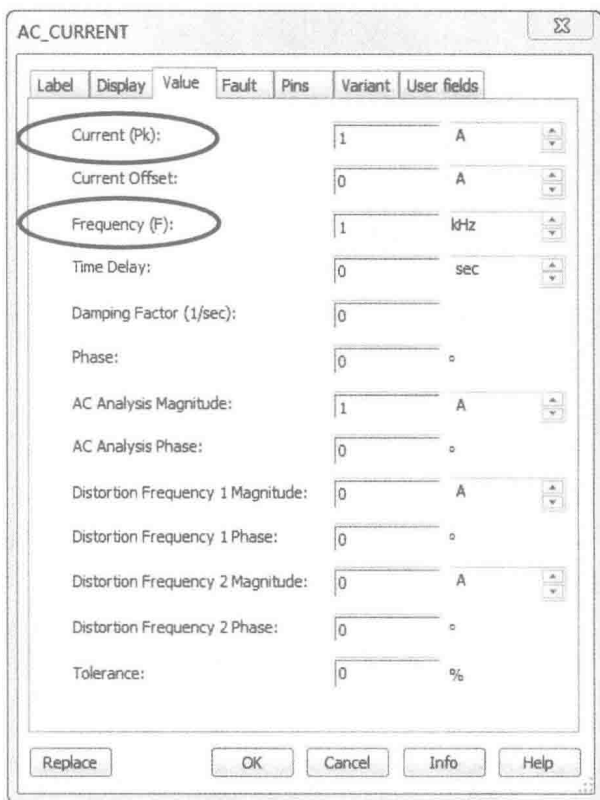


图 2-1-7 电源特性对话框

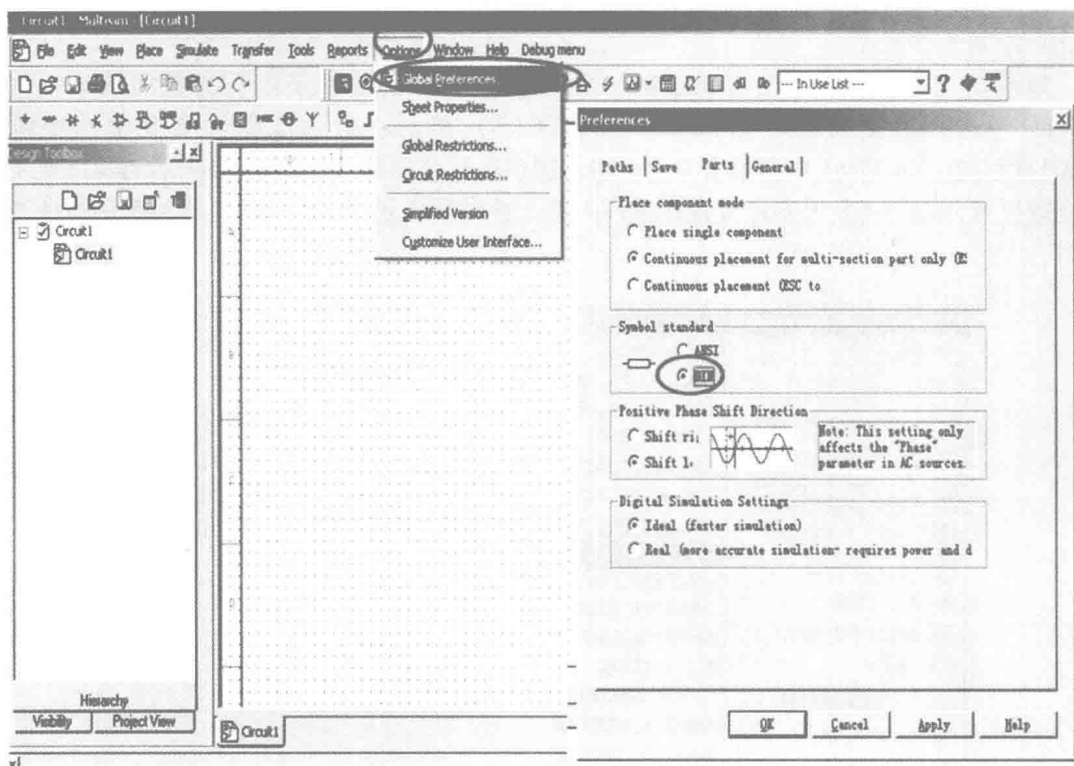


图 2-1-8 DIN 标准设置

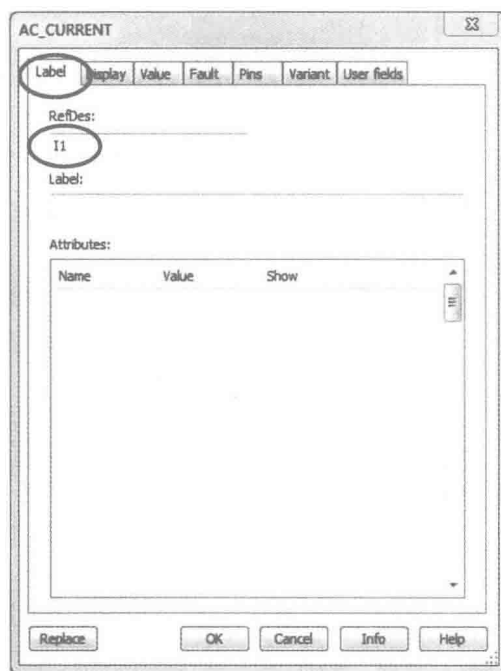


图 2-1-9 元器件特性窗口

② 放置元器件(实际元器件、虚拟元器件)

a. 绘制元器件

如图 2-1-10 所示,当需要绘制一个电容时,先用鼠标单击电容所在的基本元件库(Basic)→选择虚拟元件库(BASIC_VIRTUAL),然后在右边元器件列表中选中电容(CAPACITOR_VIRTUAL),再单击右上角确认键(OK),移动鼠标(鼠标上有一个电容)至工作区合适位置,单击左键,电容即放置在工作区中。绘制其他元器件,如电阻、电感等的方法与之类似。

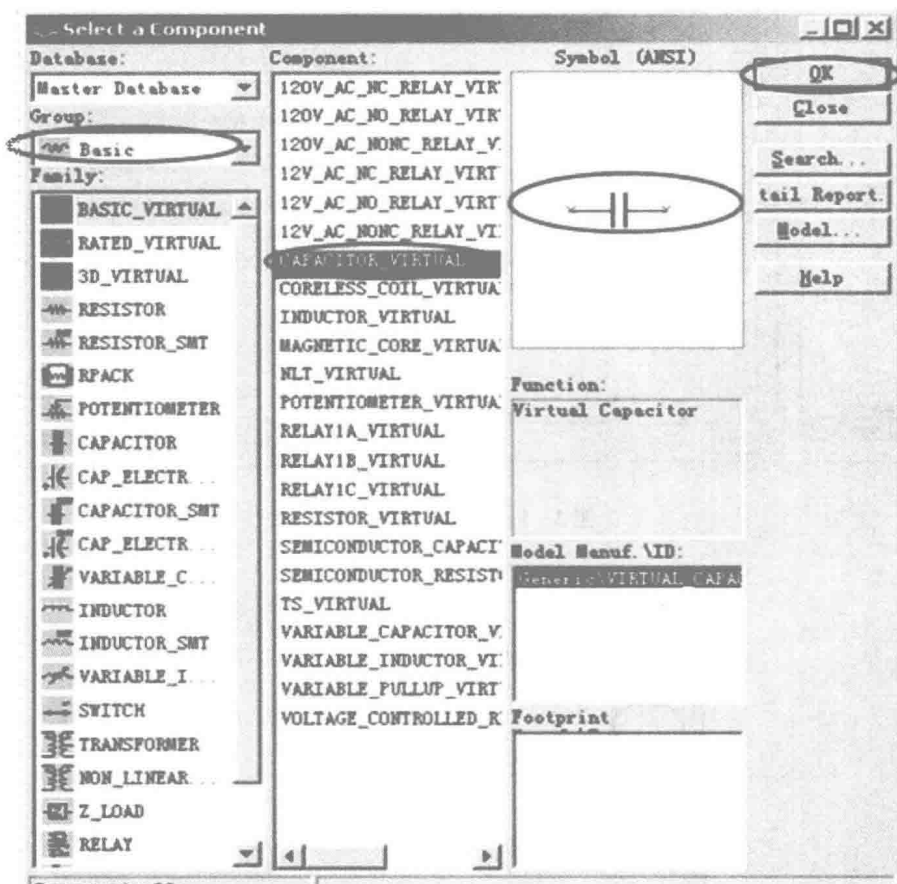


图 2-1-10 选取元器件

b. 修改元器件参数

对元器件的标号、标称值进行设置时先将鼠标移至相关元件处,单击右键,弹出菜单,选择其中的“Properties”(参数),如图 2-1-11 所示。虚拟元器件参数的修改方式与电源参数的修改方式相似。

c. 调整元器件位置

调整元器件位置的方法是:用鼠标单击相关元器件并将它拖到适合的位置。调整元器件方向的方法是:将鼠标移至相关元器件处,单击右键,弹出菜单,如图 2-1-12 所示,选择“Flip Horizontal”、“Flip Vertical”、“90 Clockwise”、“90 CounterCW”中的某一选项,可分别实现器件的水平、垂直、顺时针 90°、逆时针 90°的旋转。

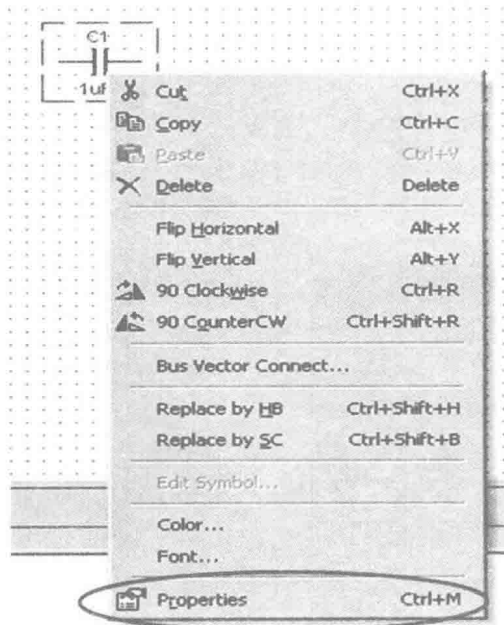


图 2-1-11 设置元件参数

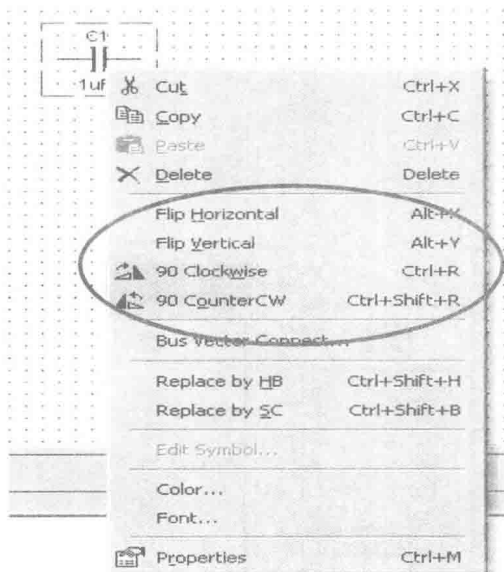


图 2-1-12 调整元器件位置

③ 添加接地端

在 Multisim8.0 中,所有电路都必须有接地端。接地端是一个公共参考点,该点电位为 0。在电路中,根据情况可放置多个接地端,但不管接地端有几个,其实际电位均为 0,属于同一点。在 Multisim8.0 中,如果一个电路没有接地端,一般不能进行仿真分析,所以必须在电路连接时加接地端。

添加接地端的方法为:单击电源工具按钮,打开“Select a Component”窗口,在“Family”列表框中单击选中“POWER_SOURCES”系列,然后在“Component”列表框中单击选中“GROUND”(接地端),单击“OK”按钮并将其放在合适的位置即可。

④ 连接电路

把鼠标指向一个元器件的接线端,这时会出现一个小黑点,按住鼠标左键,移动鼠标,使光标指向另一个元器件的接线端,此时又出现一个小黑点,放开鼠标,这两个元器件的接线端就连接起来了。当从元器件的接线端往一根连线上连线时,拖动鼠标靠近该连线时,光标处会出现一个小黑点,此时放开鼠标,则该器件就会与该连线相连接,并自动产生一个接点。

电路绘制过程中注意随时保存!

(3) Multisim 中波特图仪的使用

Multisim 中提供了许多虚拟仪表。波特图仪是用来测量电路幅频特性和相频特性的虚拟仪表,其图标如图 2-1-13 所示。

波特图仪有 IN 和 OUT 两对端口,其中 IN 端口的 V+端和 V-端分别接被测电路的输入端的正端和负端;OUT 端口的 V+端和 V-端分别接被测电路的输出端的正端和负端。

特别强调:使用波特图仪时,必须在被测电路的输入端接入交流信号源!

如图 2-1-13 所示,波特图仪的控制面板上有“Magnitude”(幅值)或“Phase”(相位)的模式选择,也有进行“Horizontal”(横轴)设置和“Vertical”(纵轴)设置。面板上的“F”指的是终