

# 电子系统 综合设计

—— 基于大学生电子设计竞赛

周立青 黄根春 陈小桥 张望先 编著



**Integrated design**  
of electronic system



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

# 电子系统综合设计

## ——基于大学生电子设计竞赛

周立青 黄根春 陈小桥 张望先 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书从电子设计竞赛培训和电子综合类课程的教学实际情况出发,具体分析了电子综合实验项目教学中的元器件、电路、算法等知识。详细介绍了电子设计竞赛培训的典型案例,对历年的电子设计竞赛真题进行了深入剖析,给出了详细的设计方案、典型电路、关键算法以及测试方法。设计实例均附有完整的电路结构和具体参数,同时附上国赛的最终提交报告,凝结了武汉大学电子设计竞赛教练组十余年的培训经验,所有方案和电路均经过实验验证并制作成实物,具有很强的实用性。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子系统综合设计:基于大学生电子设计竞赛 / 周立青等编著. —北京:电子工业出版社, 2017.2

ISBN 978-7-121-30697-6

I. ①电… II. ①周… III. ①电子系统—系统设计 IV. ①TN02

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第312925号

策划编辑:牛平月

责任编辑:王敬栋

文字编辑:牛平月

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:北京季蜂印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:20 字数:512千字

版 次:2017年2月第1版

印 次:2017年2月第1次印刷

印 数:3000册 定价:49.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 [zits@phei.com.cn](mailto:zits@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式:(010)88254454, [niupy@phei.com.cn](mailto:niupy@phei.com.cn)。

# 序 言

随着信息技术的发展以及高校电子电路课程实验教学研究的深入，通过开展电子综合类实验项目来培养学生的综合应用能力和创新意识已经成为电子类学科教育者的共识。如何在教学中将庞杂的教学内容合理地组织起来，使学生建立清晰的知识体系和设计思路，一本高质量的教材就成为不可或缺的重要因素。

在过去的十几年中，笔者一直从事电子综合实验教学探索、全国大学生电子设计竞赛培训等方面的工作，经过团队多年的积累和总结，逐步凝炼了项目驱动的培训方式和成体系的训练内容与方案，并将其应用于“电子系统综合设计”实验课程的教学。以综合性电子系统为设计内容，结合电子设计竞赛的真实选题和工程项目内容，通过自命题或命题方式组织实验教学，使学生了解通用电子系统的设计流程和设计方法，真正实现教师引导、学生自主、项目驱动的课程教学模式。实践证明，这些探索是有益的，不仅在各类学科竞赛中发挥了重要作用并取得一系列成果，也全面提高了我校电子信息类专业学生的创新实践能力、知识应用能力和综合素质。

随着电子系统综合设计课程建设的深入以及电子设计竞赛培训的逐年开展，团队在综合系统设计中的元件层级、电路层次、模块层次、算法层次乃至系统层次的教学素材的积累也愈见规模，并逐步衍生了以综合系统自底向上将各层次的常用知识进行整理以形成体系的思路。此法虽不具醍醐灌顶的大匠教学风范，然由微及著、自底向上的知识体系布局方式，也期望能够为综合系统的设计提供一个规范的方法和思路，为学生在开展综合设计初期提供有效的引导和帮助。同时，笔者更希望通过罗列这些系统元素，为卓见者提供一个标靶，以期能有真正的高屋建瓴、化繁为简的电子综合教材面世，为求知者提供福音。若得如此，幸甚！

周立青

2016年10月26日

于武大珞珈山

# 前 言

本书是针对电子综合实验教学、电子设计竞赛培训等带有综合性、自主设计特点课程的实验教材。编写的初衷就是让低年级的学生借助本书可以逐步开始电子设计的学习之路，从基础的元器件认识到简单的电路，再到一些实用的功能模块，最后结合算法实现一个完整的系统。希望这样的安排能够陪伴每一位爱好电子设计的同学从入门到提高，最后到精通，为大家在进行电子系统设计时提供设计思路和知识参考。教材从元件、电路、模块、算法、系统五个层面，分别介绍了常用的知识点和主要的设计方法，这一编写思路也体现了一个通用电子系统设计的层级概念。

本书共 7 章。除了之前介绍的元件、电路、模块、算法和系统外，在第一章介绍了电路设计中一个重要的环节——仿真，鉴于篇幅限制，该章简单地介绍了 Multisim 和 TINA-TI 两种常用的电路仿真软件的使用，以具体的实例设计仿真为例，介绍了软件使用、电路设计及仿真方法。虽然未能详尽说明，但是引导读者重视并养成设计仿真的习惯，避免一些电路设计中的低级错误，提高系统设计的效率。

第 2 章至第 6 章分别就元件、电路、模块、算法和系统五个方面，介绍了电子系统中常见的层次结构以及每个层次结构的常用知识点，更重要的是帮助读者树立起明确的系统层次观念，合理规划系统结构和功能框架，并逐步填充内容直至整个方案细化。第 2 章以元器件为主要内容，重点介绍了电子系统中的常用元器件及其电气特性、物理构造、分类、参数等，尤其突出了不同分类的元件在不同场合的应用特点。这一章内容从最基础的电阻、电容、电感的认知，到各种不同分类的运算放大器的特点，再到 AD、DA 以及部分集成专用芯片，为入门初学者提供了清晰的认知素材和使用指导，对初学者具有重要的参考作用。

第 3 章内容在基础元件的基础上，介绍了设计诸如放大、锁相、检波、滤波、匹配等常用电路。这部分内容是电子系统的基本单元，也是一个经验丰富的设计工程师和初级设计者之间差别较大的部分，该章内容介绍的电路将为系统设计提供直接的积木单元，可以直接应用于开发者的系统设计中。

第 4 章重点介绍了一些常用的功能模块设计，包括信号发生、频率测量、频谱测量、数字滤波等。作为电子系统中常用的功能模块，在具体的实现方法上一般会有多种途径，本章选择了目前主流的设计方法加以介绍，内容包括方法原理和具体实现技术，可以作为系统设计的重要参考。

第 5 章介绍了几种常见的算法，由于算法涵盖的范围很广、内容繁杂、应用多变，因此本章无法一一罗列，这里重点介绍了电子设计竞赛往年真题中常用的几种控制算法来作为系统中算法的代表，其作用更多的是体现算法在系统中的功能和角色。

作为针对电子系统综合设计的教材，第 6 章内容就历年来电子设计竞赛真题详细地介绍了系统的设计分析、总体框架、具体设计以及实现报告。案例赛题选择经过精心斟酌，既具有典型的电子系统结构，又包含丰富的经典电路知识；既有最新一届的比赛题目，又有过

去十几年期间的经典真题；既有功能丰富、电路复杂的真题，也有电路相对简单、算法性能要求较高的真题，还有功能、电路和算法都较为适中的真题。因此从内容上既适合初学者入门学习使用，也可作为后期的培训指导。

本书在第 6 章和第 7 章分别介绍了武汉大学电子设计竞赛的部分优秀作品报告以及部分同学的实验室学习总结，这两项内容是参加 2015 年电子设计竞赛的武汉大学同学经过了两年实验室培训，用自己的体会和经验凝结成文字，告诉后来的学习者他们是怎么度过这两年的，这一内容对于还处在大学迷茫期的同学，具有切身的指导意义。同样，由他们完成的优秀作品报告，在征得他们的许可后原文引用，作为后面学习者的参考学习之用。

本书在编写期间，得到了田震、王思捷、李卓、王帅等同学的大力支持，完成了大量的电路验证和资料整理工作。同时也感谢刘鑫、陈伟、张强、何明、许朋、乔龙飞、柳剑飞、刘秋明、李旭旭、占伟杰、田震、项进喜、王思捷、陈锐、马玉爽、李卓、李哲、李希希、张赏月、魏佳琦、唐海亮等同学提供的优秀作品报告。感谢王帅、王雷、曹建发、程宇、卢云成、刘同同、宋洪亚、甘文霜、祁发瑞、谢德谦、赵久瑞、姚彤彤、田震、占伟杰、项进喜、王思捷、陈锐、马玉爽、张令、李俊、陈慧、李卓、李哲、李希希、唐海亮、魏佳琦、张赏月等同学给出的实验室学习心得总结，这些报告和总结相信会对在校的大学生具有非常重要的指导价值。

本书的编写得到了武汉大学电子信息学院相关领导的支持、关心与指导，得到了电子信息学院实验中心全体老师的大力支持与帮助，在此一并表示感谢。

本书可以作为电子综合实验和电子设计竞赛培训的教材，也可以作为大学生科研、课外设计的重要参考资料。书中所有的电路均是老师和同学在设计中真实使用、经过验证的电路，对读者的设计具有直接的借鉴和参考价值，可以作为电子工程师的参考手册。

# 目 录

|                      |      |
|----------------------|------|
| 第 1 章 电路仿真软件         | (1)  |
| 1.1 Multisim         | (1)  |
| 1.1.1 软件界面           | (1)  |
| 1.1.2 电路构建           | (2)  |
| 1.2 TINA-TI          | (4)  |
| 1.2.1 电路搭建示例         | (5)  |
| 1.2.2 仿真             | (8)  |
| 1.2.3 TINA 用于运放参数仿真  | (12) |
| 1.2.4 滤波器仿真          | (14) |
| 1.2.5 小结             | (16) |
| 第 2 章 元器件            | (17) |
| 2.1 无源器件             | (17) |
| 2.1.1 电阻             | (17) |
| 2.1.2 电容             | (18) |
| 2.1.3 电感             | (19) |
| 2.2 运算放大器            | (20) |
| 2.2.1 运算放大器简介        | (20) |
| 2.2.2 运算放大器参数详述      | (22) |
| 2.2.3 精密型运放          | (27) |
| 2.2.4 高速型运放          | (28) |
| 2.2.5 仪表放大器          | (30) |
| 2.2.6 全差分放大器         | (31) |
| 2.2.7 射频宽带放大器        | (32) |
| 2.3 A/D 转换器          | (33) |
| 2.3.1 A/D 转换器的参数介绍   | (33) |
| 2.3.2 A/D 转换器的选择和使用  | (34) |
| 2.3.3 A/D 转换器的选择     | (37) |
| 2.3.4 A/D 转换器的使用注意事项 | (38) |
| 2.3.5 高精度 A/D 转换器    | (39) |
| 2.4 D/A 转换器          | (59) |
| 2.4.1 D/A 转换器的选择与使用  | (59) |
| 2.4.2 常用 DAC         | (63) |
| 2.5 集成 DDS 芯片 AD9854 | (70) |

|            |                 |             |
|------------|-----------------|-------------|
| 2.5.1      | AD9854 概述       | (70)        |
| 2.5.2      | AD9854 引脚说明     | (70)        |
| 2.5.3      | AD9854 应用       | (71)        |
| 2.6        | 电压控制增益 (VCA) 芯片 | (72)        |
| 2.6.1      | VCA824          | (74)        |
| 2.6.2      | AD8367          | (75)        |
| 2.7        | 集成滤波器芯片         | (76)        |
| 2.7.1      | 开关电容原理          | (77)        |
| 2.7.2      | LTC1068         | (77)        |
| 2.7.3      | MAX29X          | (78)        |
| <b>第3章</b> | <b>电路</b>       | <b>(81)</b> |
| 3.1        | 运算放大器基本电路       | (81)        |
| 3.1.1      | 基本放大电路          | (81)        |
| 3.1.2      | 基本运算电路          | (83)        |
| 3.2        | 限幅放大电路          | (86)        |
| 3.2.1      | 限幅电路            | (86)        |
| 3.2.2      | 限幅放大电路          | (87)        |
| 3.3        | 锁相环电路           | (87)        |
| 3.3.1      | 锁相环概述           | (87)        |
| 3.3.2      | 锁相环应用举例         | (88)        |
| 3.3.3      | 集成锁相环芯片介绍       | (89)        |
| 3.4        | 峰值、有效值测量的模拟电路实现 | (94)        |
| 3.4.1      | 峰值检测电路          | (94)        |
| 3.4.2      | 真有效值检波          | (96)        |
| 3.4.3      | 真功率检测芯片         | (98)        |
| 3.5        | AGC 电路          | (99)        |
| 3.5.1      | 场效应管和运放实现       | (100)       |
| 3.5.2      | CPU 控制实现        | (100)       |
| 3.5.3      | AD603 实现        | (101)       |
| 3.5.4      | AD8367 实现       | (102)       |
| 3.6        | 功率放大器           | (102)       |
| 3.6.1      | 功率放大器的工作状态      | (103)       |
| 3.6.2      | 具体电路实现          | (104)       |
| 3.7        | 恒流源电路           | (111)       |
| 3.7.1      | 三极管型恒流源         | (112)       |
| 3.7.2      | 双运放恒流源电路        | (112)       |
| 3.7.3      | 可调三端稳压芯片型       | (113)       |
| 3.7.4      | 开关电源型           | (114)       |
| 3.8        | 滤波电路            | (114)       |



|        |                   |       |
|--------|-------------------|-------|
| 3.8.1  | 有源滤波器的电路实现与分析     | (115) |
| 3.8.2  | 无源滤波器的电路实现与分析     | (127) |
| 3.8.3  | 无源滤波器的电路实现与分析     | (143) |
| 3.9    | 采样保持电路            | (144) |
| 3.9.1  | 采样保持电路的主要技术指标     | (144) |
| 3.9.2  | 采样保持电路的实现         | (145) |
| 3.10   | 信号发生电路            | (148) |
| 3.10.1 | 通用元器件实现           | (148) |
| 3.10.2 | 直接数字频率合成技术(DDS)实现 | (153) |
| 3.10.3 | 数字锁相环(PLL)频率合成技术  | (154) |
| 3.11   | 阻抗匹配电路            | (155) |
| 3.11.1 | L形匹配网络            | (155) |
| 3.11.2 | $\pi$ 形匹配网络       | (156) |
| 3.11.3 | T形匹配网络            | (156) |
| 3.11.4 | 传输线变压器            | (157) |
| 3.11.5 | 软件仿真              | (157) |
| 第4章    | 典型应用技术            | (159) |
| 4.1    | 频率合成与DDS          | (159) |
| 4.1.1  | 信号产生方案与原理         | (159) |
| 4.1.2  | DDS理论设计           | (160) |
| 4.1.3  | DDS实现             | (161) |
| 4.2    | 等精度频率计的实现         | (161) |
| 4.2.1  | 频率测量方案            | (162) |
| 4.2.2  | 相关计数测频法的实现        | (163) |
| 4.2.3  | 宽带高精度测频的实现        | (163) |
| 4.3    | 快速傅里叶变换(FFT)      | (164) |
| 4.3.1  | FFT结果分析           | (164) |
| 4.3.2  | FFT算法实现           | (166) |
| 4.4    | 数字滤波器             | (170) |
| 4.4.1  | 数字滤波器基本结构         | (171) |
| 4.4.2  | 数字滤波器的设计实现        | (172) |
| 4.4.3  | 其他数字滤波器           | (177) |
| 4.5    | 数字锁相环             | (180) |
| 4.5.1  | DPLL的原理           | (180) |
| 4.5.2  | DPLL的实现           | (181) |
| 第5章    | 基础算法              | (184) |
| 5.1    | 数字PID控制算法         | (184) |
| 5.1.1  | PID控制系统简介         | (184) |
| 5.1.2  | PID参数控制效果分析       | (185) |

|              |                             |              |
|--------------|-----------------------------|--------------|
| 5.1.3        | 数字 PID 控制的实现                | (185)        |
| 5.1.4        | PID 算法的饱和特性                 | (186)        |
| 5.1.5        | PID 参数整定方法                  | (187)        |
| 5.2          | 大林算法                        | (190)        |
| 5.3          | 模糊控制算法                      | (191)        |
| 5.3.1        | 模糊控制概述                      | (191)        |
| 5.3.2        | 模糊控制原理                      | (192)        |
| 5.3.3        | 模糊控制器设计                     | (192)        |
| 5.3.4        | 小结                          | (193)        |
| 5.4          | 运动控制算法                      | (193)        |
| 5.4.1        | 产生线段的整数 Bresenham 算法        | (193)        |
| 5.4.2        | 产生圆的整数 Bresenham 算法         | (195)        |
| 5.5          | 其他控制算法                      | (198)        |
| 5.6          | 压缩算法                        | (199)        |
| 5.6.1        | 无损压缩                        | (199)        |
| 5.6.2        | 有损压缩                        | (200)        |
| 5.6.3        | 压缩算法应用                      | (201)        |
| <b>第 6 章</b> | <b>电子设计竞赛真题解析</b>           | <b>(203)</b> |
| 6.1          | 频率特性测试仪 (1999-C)            | (203)        |
| 6.1.1        | 国赛要求                        | (203)        |
| 6.1.2        | 优秀报告                        | (204)        |
| 6.2          | 低频数字式相位测量仪 (2003-C)         | (204)        |
| 6.2.1        | 国赛要求                        | (204)        |
| 6.2.2        | 优秀报告                        | (206)        |
| 6.3          | 音频信号分析仪 (2007-A)            | (206)        |
| 6.3.1        | 国赛要求                        | (206)        |
| 6.3.2        | 优秀报告                        | (208)        |
| 6.4          | 数字示波器 (2007-C)              | (208)        |
| 6.4.1        | 国赛要求                        | (208)        |
| 6.4.2        | 优秀报告                        | (209)        |
| 6.5          | 数字频率计 (2015-F)              | (209)        |
| 6.5.1        | 国赛要求                        | (209)        |
| 6.5.2        | 优秀报告                        | (211)        |
| 6.6          | 80MHz~100MHz 频谱分析仪 (2015-E) | (211)        |
| 6.6.1        | 国赛要求                        | (211)        |
| 6.6.2        | 优秀报告                        | (213)        |
| 6.7          | 增益可调射频放大器 (2015-D)          | (213)        |
| 6.7.1        | 国赛要求                        | (213)        |
| 6.7.2        | 优秀报告                        | (214)        |

|              |                                  |              |
|--------------|----------------------------------|--------------|
| 6.8          | 简易电子称 (2012 年 TI 杯模拟电子系统专题邀请赛-B) | (214)        |
| 6.8.1        | 题目要求                             | (214)        |
| 6.8.2        | 优秀报告                             | (215)        |
| <b>第 7 章</b> | <b>武汉大学 2015 年参赛选手总结</b>         | <b>(216)</b> |
| 7.1          | 武汉大学王帅、王雷、曹建发组总结                 | (216)        |
| 7.2          | 武汉大学程宇、卢雲成、刘同同组总结                | (217)        |
| 7.3          | 武汉大学宋洪亚、甘文霜、祁发瑞组总结               | (219)        |
| 7.4          | 武汉大学谢德强、赵久瑞、姚彤彤组总结               | (223)        |
| 7.5          | 武汉大学田震、项进喜、詹伟杰组总结                | (225)        |
| 7.6          | 武汉大学王思捷、陈锐、马玉爽组总结                | (228)        |
| 7.7          | 武汉大学张令、李俊、陈慧组总结                  | (231)        |
| 7.8          | 武汉大学李卓、李哲、李希希组总结                 | (232)        |
| 7.9          | 武汉大学唐海亮、魏佳琦、张赏月组总结               | (234)        |
| <b>附录 A</b>  | <b>频率特性测试仪</b>                   | <b>(237)</b> |
| <b>附录 B</b>  | <b>低频数字式相位测量仪</b>                | <b>(246)</b> |
| <b>附录 C</b>  | <b>音频信号分析</b>                    | <b>(255)</b> |
| <b>附录 D</b>  | <b>数字示波器</b>                     | <b>(266)</b> |
| <b>附录 E</b>  | <b>数字频率计</b>                     | <b>(274)</b> |
| <b>附录 F</b>  | <b>80MHz~100MHz 频谱分析仪</b>        | <b>(283)</b> |
| <b>附录 G</b>  | <b>增益可调射频放大器</b>                 | <b>(291)</b> |
| <b>附录 H</b>  | <b>简易电子称</b>                     | <b>(301)</b> |
| <b>附录 I</b>  | <b>电设培训推荐书籍</b>                  | <b>(307)</b> |

# 第 1 章

## 电路仿真软件

EDA 是电子设计自动化 (Electronic Design Automation) 的缩写, 在 20 世纪 90 年代初从计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助制造 (CAM)、计算机辅助测试 (CAT) 和计算机辅助工程 (CAE) 的概念发展而来。

EDA 技术是指以计算机为工作平台, 融合应用电子技术、计算机技术、信息处理及智能化技术的最新成果, 进行电子产品的自动设计。利用 EDA 工具, 电子设计师可以从概念、算法、协议等开始设计电子系统, 大量工作可以通过计算机完成, 并可以将电子产品从电路设计、性能分析到设计出 IC 版图或 PCB 版图的整个过程在计算机上自动处理完成。

电子工程师在方案验证的过程中, 常常会用到电子电路设计与仿真工具。主流的电路设计软件主要有 Protel、Altium Designer、OrCAD、Cadence PSD 等。常用的仿真软件包括 SPICE/PSPICE、Multisim、Matlab、Tina Pro Bright Spark 等。下面主要就仿真软件 Multisim 和基于 TI 器件的 Tina-TI 进行介绍。

### 1.1 Multisim

Multisim 是美国国家仪器 (National Instrument) 有限公司推出的以 Windows 为基础的仿真工具, 适用于板级的模拟/数字电路板的设计工作。它包含了电路原理图的图形输入、电路硬件描述语言输入方式, 具有丰富的仿真分析能力。

Multisim 提供世界主流元件供应商的超过 17000 多种元件, 能够方便地对元件各种参数进行编辑修改, 能利用模型生成器以及代码模式创建模型等功能, 创建自己的元器件, 同时提供了 22 种虚拟仪器进行电路测量。Multisim 以 SPICE3F5 和 Xspice 内核作为仿真引擎, 通过 Electronic Workbench 软件带有的增强设计功能将数字和混合模式的仿真性能进行优化。此外, Multisim 还提供基本射频电路的设计、分析和仿真。射频模块由 RF-specific (射频特殊元件, 包括自定义的 RF-spice 模型)、用于创建用户自定义的 RF 模型生成器、两个 RF-specific 仪器 (频谱分析仪和网络分析仪)、一些 RF-specific 分析 (电路特性、匹配网络单元、噪声系数) 等组成。

#### 1.1.1 软件界面

如图 1.1 所示, Multisim 软件界面主要由顶部菜单栏、器件栏以及中心工作区域组成。

菜单栏主要对文件、MCU、仿真等功能进行操作，器件栏中包含电路仿真中需要的器件、电源等。工作区域是位于软件界面中心区域，背景为以点阵构成的图纸，电路仿真中所有的器件及仪器必须置于工作区域，才能进行仿真。

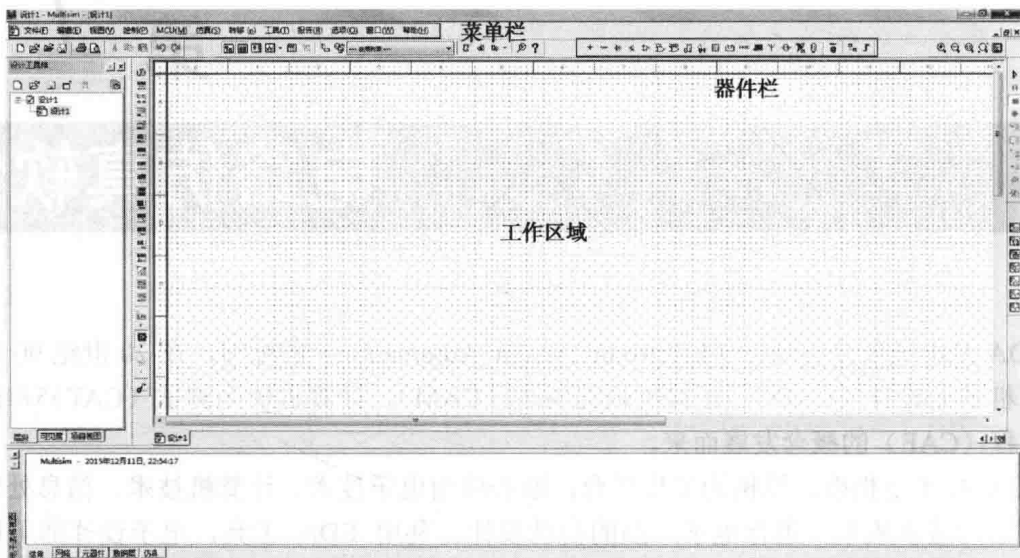


图 1.1 Multisim 软件界面

## 1.1.2 电路构建

构建仿真电路首先要做的就是选择电路需要的元器件，单击器件栏中任一图标，即弹出如图 1.2 所示的界面。先在“组”的下拉菜单内选择所需器件的分类，再在右侧元器件中根据字母顺序找到所需元器件并单击，最后单击确认即选中该元件，并放置在图纸上。也可在“组”的下拉菜单内选择全部组，再在右侧元器件输入框内输入需要的器件名，如 UA741，也可迅速找到需要的器件。



图 1.2 器件选择界面

在器件栏将电路中的器件全部放置在图纸上，移动鼠标靠近需要连线的管脚，当鼠标光标变为点时，表示当前可连线。单击鼠标即确定连线的一端，移动鼠标至另一端再次单击，完成连线。图 1.3 所示为 UA741 构成的反相放大器。

工作区域的左侧为仪器菜单，电路构建完成后，须在仪器菜单内选择测量需要的仪器，如函数发生器、示波器等。

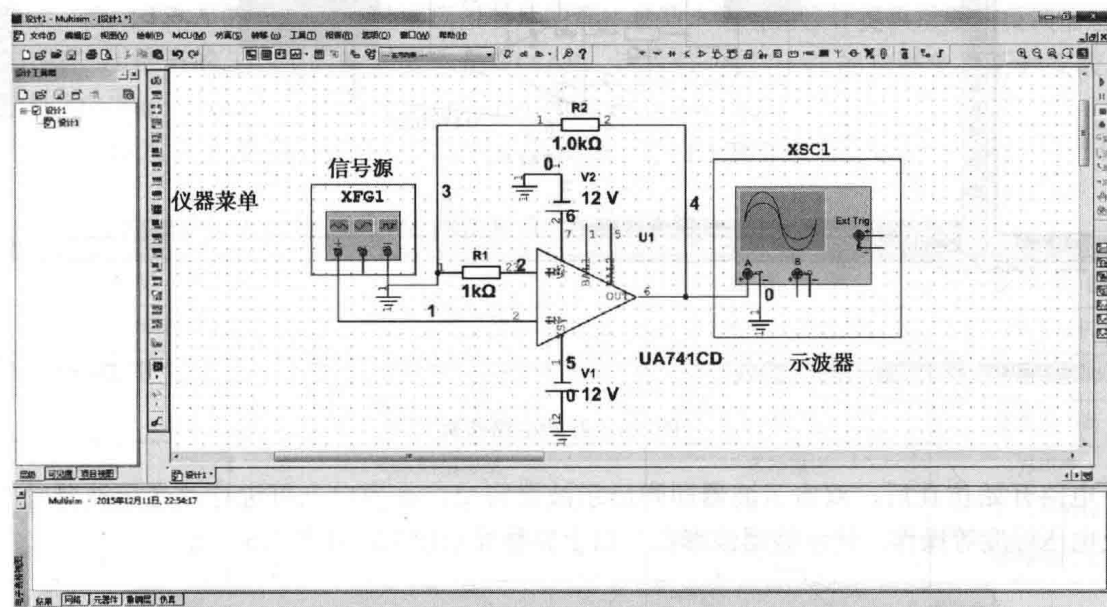


图 1.3 UA741 构成的反相放大器

双击图纸中的函数发生器，弹出函数发生器窗口，可选择波形类型及改变波形频率、幅值、偏置等参数。如图 1.4 所示。

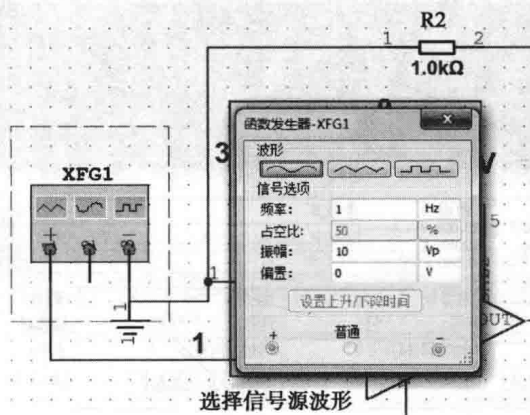


图 1.4 函数发生器

电路及测量仪器全部搭建完成后，单击工作区域右侧菜单栏的绿色箭头开始电路仿真，如图 1.5 所示。

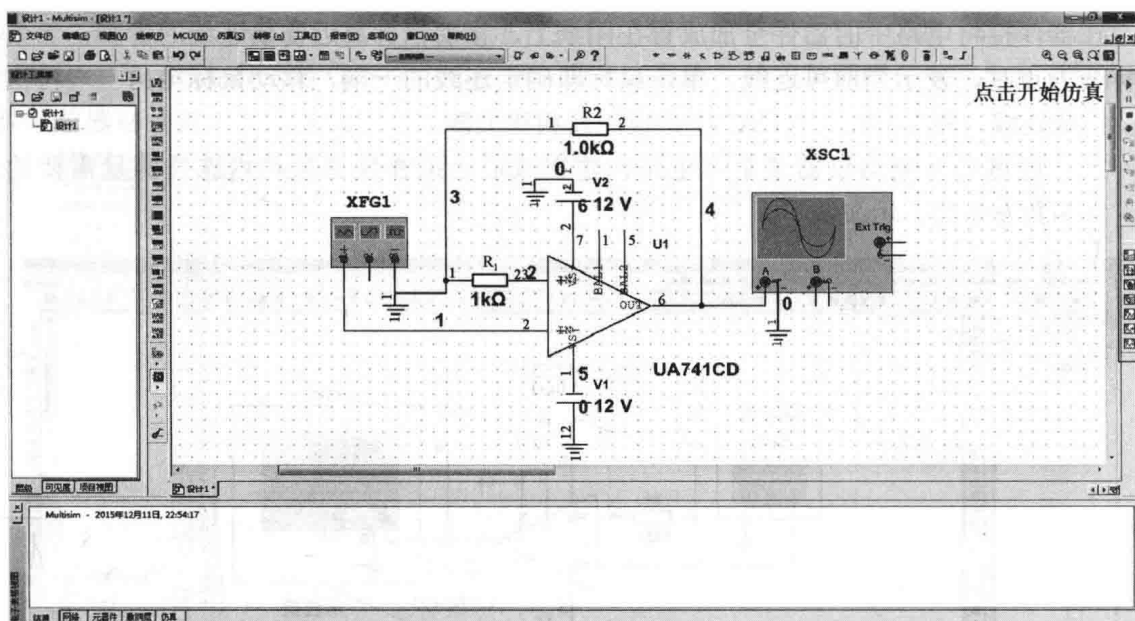


图 1.5 开始电路仿真

电路开始仿真后，双击示波器即弹出示波器窗口，在窗口上可进行改变示波器时间标度及电压标度等操作，使示波器波形在窗口上完整显示出来，如图 1.6 所示。

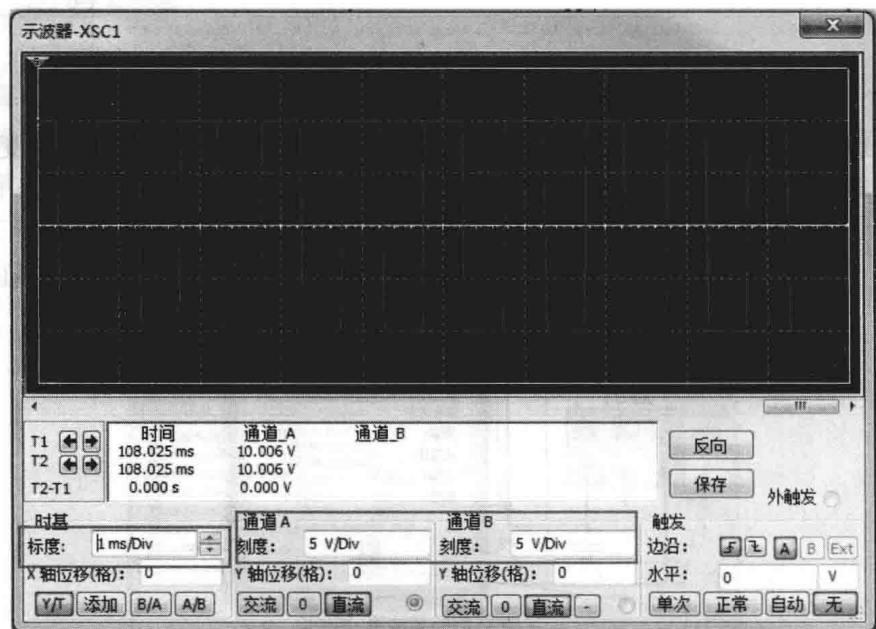


图 1.6 显示波形

## 1.2 TINA-TI

软件 Tina Pro 是重要的现代化 EDA 软件之一，用于模拟及数字电路的仿真分析。其研

发者来自欧洲 DesignSoft Kft.公司, 流行 40 多个国家, 并有 20 余种不同语言的版本, 其中包括中文版, 含有 2 万多个分立或集成电路元器件。

TI (德州仪器公司) 针对本公司的器件模型, 在 TINA 的基础上推出了 TINA 的简化模型 TINA-TI。TINA-TI 是 TINA 的简单版本, 具有电路仿真的完整功能, 但封装中的电路开发实用程序更少, TINA-TI 包含更多的 TI 器件模型和 TI 器件信息。因此, 在使用德州仪器的芯片的时候, 使用 TINA-TI 仿真, 更能够模拟芯片的真实参数, 为电路设计提供重要的反馈信息。

现在 TI 推出的 TINA 的最新版本是 TINA9, 该软件可以在 TI 的官网免费下载安装, 具体网址为: <http://www.ti.com.cn/tool/cn/tina-ti#descriptionArea>。

TINA 作为一款强大的电路仿真软件, 其功能如表 1.1 所示。

表 1.1 TINA 功能介绍

| 基本功能       | 分析功能               | 输出功能       | 虚拟仪器   |
|------------|--------------------|------------|--------|
| 原理图录入与编辑   | DC、AC、瞬态、数字、混合模式仿真 | 强大的后处理工具   | XY 录像机 |
| 子电路        | 565 个 TI 器件 (可拓展)  | 用于增强图的绘图功能 | 示波器    |
| BOM        | 组延时功能              | 缩比图        | 函数发生器  |
| 总线         | 参数扫描功能             | 多轴输出       | 万用表    |
| 集成网络列表编辑器  | 网络列表分析             |            | 信号分析仪  |
| 任意波形的激励编辑器 |                    |            | 波特分析仪  |
| 原理图符号编辑器   |                    |            |        |

下面就具体的电路仿真实例介绍该软件。

## 1.2.1 电路搭建示例

图 1.7 所示的是原理图编辑器的布局。图中空白的工作区是设计窗口, 用以在其中搭建测试电路。菜单栏主要是实现文件操作、分析操作、测试及测量设备等。在菜单行下方的位置与菜单栏相对应的快捷键。在最后一行是 TINA 的器件栏, 这些元件组包括基本的无源元件、半导体以及精密器件的宏模型。可以利用这些元件组来搭建电路原理图。

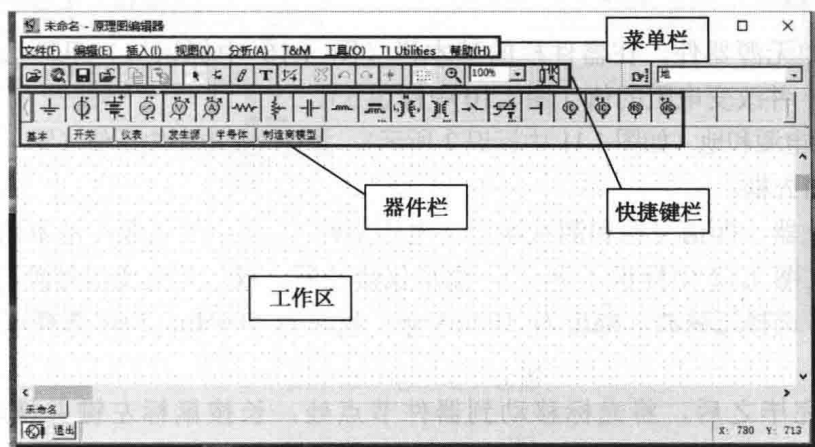


图 1.7 TINA 界面



首先介绍用 TINA 搭建一个简单的放大电路。电路采用 TI 的高精度运算放大器 OPA227 搭建，该电路实现同相的 2 倍放大，具体电路如图 1.8 所示。

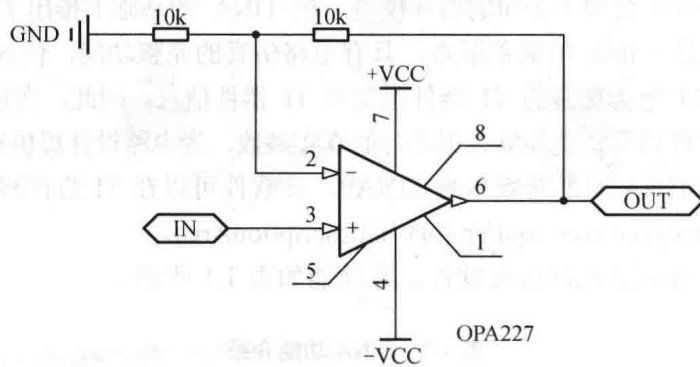


图 1.8 OPA227 实现 2 倍放大

首先在 TINA 中添加运放模型，在器件栏的第二栏中单击制造商模型（图 1.9 中标识 1），器件栏的第一栏进入 TI 芯片的选型界面，选择第一项运算放大器（图 1.9 中标识 2），之后进入运放选型列表，单击 OPA227 添加，如图 1.9 中标识 3 所示。

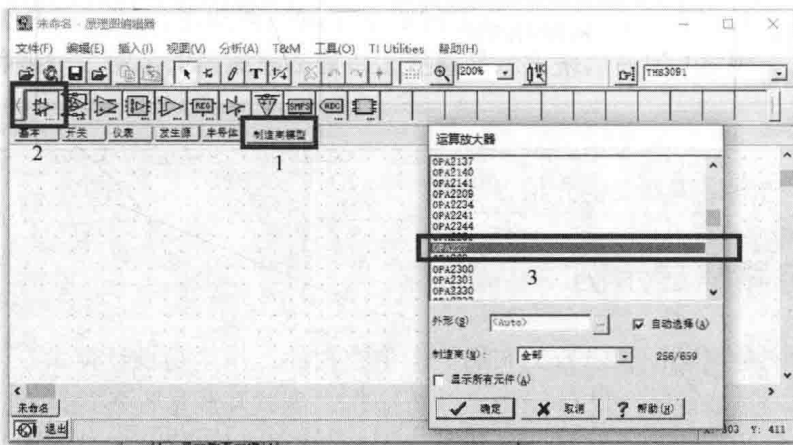


图 1.9 运算放大器选择

接下来添加无源器件，在器件栏的基本栏（图 1.10 中标识 1）里面选择电阻器（图 1.10 中标识 2），并改变电阻的值（图 1.10 中标识 3）。

接下来添加电源和地（如图 1.11 中标识 2 所示），并且改变电源电压值（图 1.11 中标识 3），同时做好电源的去耦。

最后添加仪器，即信号源和测试端子（电压指针），其中信号源在基本器件中，电压指针在仪表组里（图 1.12 中标识 1 和 2）。添加仪器之后，双击并改变信号源的信号类型、幅度和频率，信号选择正弦波，幅度为 100mVpp，频率为 500Hz，相位选择默认，如图 1.12 和图 1.13 所示。

器件选择完毕之后，将光标移动到器件节点处，长按鼠标左键并拖动，实现走线连接。