

DOI: 10.12263/newIT.2025.6-7.006

虚拟仿真软件在高职电子类课程中的应用比较研究分析

任小军

(四川文化传媒职业学院, 四川成都 611230)

摘要: 在高职电子类课程教学中, 仿真软件已成为实践教学的重要支撑, 对提升学生实操能力发挥着日益重要的作用。文中介绍了 Multisim、Proteus、Altium Designer、TINA-TI 四款主流虚拟仿真软件在电路基础、模拟电子技术、数字电子技术、单片机与嵌入式系统、PCB 设计等电子类课程教学中的应用情况。通过对各软件功能特点、适用场景及教学效果的比较, 找出一款能最大程度满足这几门课程高职教学需求的软件, 以减轻师生的负担, 为高职电子类课程教学提供参考。

关键词: 虚拟仿真软件; 高职教育; 电子类课程; 应用比较

本文著录格式: 任小军. 虚拟仿真软件在高职电子类课程中的应用比较研究分析[J]. 新一代信息技术, 2025, 8(6-7): 34-40
中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A

Comparative Research and Analysis on the Application of Virtual Simulation Software in Higher Vocational Electronic Courses

REN Xiao-jun

(Sichuan Vocational College of Culture and Communication, Chengdu, Sichuan 611230, China)

Abstract: In the teaching of electronic courses in higher vocational education, simulation software has become an important support for practical teaching and is playing an increasingly significant role in improving students' practical operation abilities. This paper focuses on four mainstream virtual simulation software, namely Multisim, Proteus, Altium Designer and TINA-TI, and combines their application situations in the teaching of electronic courses such as basic circuit, analog electronics technology, digital electronics technology, single-chip microcomputer and embedded system, as well as PCB design. By comparing the functional characteristics, applicable scenarios and teaching effects of each software, a software that can meet the teaching needs of these courses in higher vocational education to the greatest extent is identified, so as to reduce the burden on teachers and students and provide a reference for the teaching of electronic courses in higher vocational education.

Key words: virtual simulation software; higher vocational education; electronic courses; application comparison

Citation: REN Xiao-jun. Comparative Research and Analysis on the Application of Virtual Simulation Software in Higher Vocational Electronic Courses[J]. New Generation of Information Technology, 2025, 8(6-7): 34-40

1 引言

高职电子类专业以培养具备扎实电子技术应用能力的高素质技术技能人才为目标, 其实践教学的好坏, 直接影响学生岗位适应能力的强弱。实物实验实践教学受限于设备成本高、耗材损耗快、安全风险大等问题, 难以满足高频次、多场景的实训需求。虚

拟仿真软件^[1]能通过构建数字化实验环境, 实现电路设计、仿真调试、性能分析的全流程模拟操作, 不仅可以降低教学成本, 还能突破时间与地域限制, 成为解决实物实践教学痛点的有效手段。

目前, 在高职电子类课程教学中, Multisim、Proteus、Altium Designer、TINA-TI 是应用较广的四款

基金项目: 四川文化传媒职业学院校级课题 (No.CMKY202406)

通讯作者: 任小军

软件,但各校在软件选型时往往缺乏系统对比,不同课程选用不同软件,使得师生需同时掌握多种软件操作,不仅增加了教学负担,还可能影响教学效果。比如,学生刚熟悉 Multisim 的操作,到单片机课程又要从头学 Proteus,容易产生畏难情绪。如何选择一款合适的软件满足多门课程教学需求成为亟待解决的问题。

国内外有很多研究人员对电子类仿真软件的应用进行了研究,但他们主要从各种软件对某一门或某一类课程进行应用研究分析,提出相关的使用范围及使用方法技巧,尚没有研究出能够将大多数的电子类课程进行仿真操作的软件。在电子类课程学习中,如果不同的课程用不同的仿真软件进行教学,学生就要学习不同软件的使用方法,那样学生需要花费大量的时间去学习仿真软件的操作,会增加学生的学习负担,导致他们没有更多的时间用于课程内容实践操作学习,同样也会增加教师的教学负担。

本文结合高职电子类课程“基础认知—专项技能—综合应用”的递进式教学体系^[2],从软件功能特性出发,分析其在不同课程中的应用场景,为教学实践中软件选型与应用提供具体参考。

2 几款虚拟仿真软件概述

2.1 Multisim

Multisim^[3]是一款由美国国家仪器(NI)公司开发的以 Windows 为基础的电路仿真软件,基于 SPICE 仿真引擎,适用于模拟、数字和电力电子领域的教学和研究。它拥有直观的图形化用户界面,提供丰富的元件库,包含超过 20 000 种各类电子元件,涵盖基本的电阻、电容、电感,到复杂的集成电路、微控制器等。其虚拟仪器资源也极为丰富,如示波器、函数信号发生器、万用表、逻辑分析仪等,且操作方式与真实仪器高度相似。Multisim 具备强大的仿真分析功能,可进行直流工作点分析、交流频率响应分析、瞬态分析、傅里叶分析、噪声分析等多种类型的电路分析,能够精准模拟电路在不同条件下的运行状态,主要版本有 Multisim 11、Multisim 12、Multisim 13、Multisim 14 等版本。

2.2 Proteus

Proteus^[4]是英国 Labcenter Electronics 公司开发的电子设计自动化软件,集电路设计、仿真与 PCB 设计于一体,可用于基础电路、模拟、数字和单片机电路的设计与仿真。在元件库方面,它包含大量常用电子元件,尤其在单片机及嵌入式系统相关元件上优势明

显,支持如 8051、AVR、PIC、ARM 等多种主流单片机型号,可实现数字/模拟电路混合仿真,有多样的激励源,提供 13 种虚拟仪器,能用色点显示引脚数字电平,以不同颜色导线表示对地电压大小,还可进行高级图形仿真,分析电路的工作点、瞬态特性等多项指标。

Proteus 最大的特色在于能够实现单片机系统的协同仿真,不仅可以对硬件电路进行模拟,还能对单片机程序进行调试,通过可视化的方式展示程序运行过程中硬件电路的状态变化,极大地方便了学生对单片机与嵌入式系统课程的学习。同时,它也具备基本的电路分析功能和较为完善的 PCB 设计模块。

Proteus 常见版本有 Proteus 7.8、Proteus 8.0、Proteus 8.4、Proteus 8.5。目前最新版为 Proteus 8.9。

2.3 Altium Designer

Altium Designer^[5]是 Altium 公司推出的一体化电子产品开发系统,主要运行在 Windows 操作系统。它将原理图设计、电路仿真、PCB 绘制编辑等技术完美融合。该软件在原理图设计方面功能强大,支持层次化原理图设计,能方便地绘制各种复杂电路。其元件库丰富且可自定义,方便用户添加特殊元件。在 PCB 设计方面,Altium Designer 堪称行业领先,具备先进的布线算法,支持多层板设计,可进行精确的布线规则设置,确保 PCB 设计满足电气性能和生产工艺要求。此外,它还拥有 3D 可视化功能,可直观呈现 PCB 的三维结构,便于检查元件布局和布线的合理性,在 PCB 设计流程的完整性和专业性上具有独特优势。但是 Altium Designer 的电路仿真功能相对其他几款软件稍弱。

Altium Designer 目前在教学中广泛应用的版本主要有 Protel DXP2004、Altium Designer 09、Altium Designer 17、Altium Designer 22。

2.4 TINA-TI

TINA-TI^[6]是德州仪器(TI)与 DesignSoft 公司联合开发的一款基于 SPICE 引擎的电路仿真软件。它集电路设计、仿真分析等功能于一体,专门针对 TI 公司的大量模拟和数字器件进行了优化,适用于模拟电路、数字电路和开关式电源(SMPS)电路的仿真,在电子设计、教育教学等领域应用广泛。软件提供了丰富的 TI 器件模型,方便用户在设计中直接选用,确保对 TI 芯片相关电路的仿真准确性。TINA-TI 具备基本的电路分析功能,如直流分析、交流分析、瞬态分析等,能满足模拟电子技术等课程中常见电路的仿真需求,内置了示波器、信号分析仪、万用表等

虚拟仪器,方便用户在仿真过程中使用这些仪器来测量和分析电路性能,其操作界面简洁,易于上手,且软件免费。

TINA-TI的核心版本是TINA Pro,其版本持续迭代至TINA Pro v10.0。

3 在高职电子类课程中的应用分析

3.1 电路基础分析课程

在电路基础课程中,高职教育主要目标是让学生掌握电路的基本定律(如欧姆定律、基尔霍夫定律)、电路元件特性以及基本电路的参数测量与简单电路的分析方法。以RLC谐振电路为例,对几款软件进行操作分析,电路中取 $L=100\text{ mH}$ 、 $C=1\text{ }\mu\text{F}$ 、 $R=60\text{ }\Omega$,测量 $R=60\text{ }\Omega$ 时RLC串联电路的谐振频率 f_0 。当R1两端的电压最大时,其信号源的频率就是其谐振频率。仿真操作如图1~图3所示。

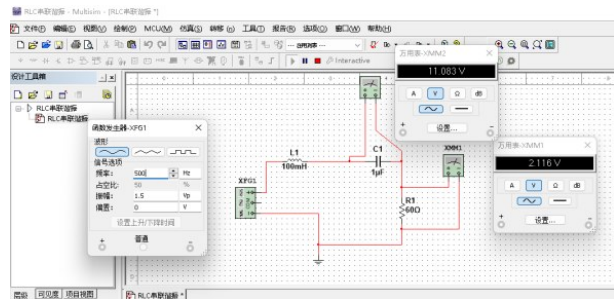


图1 Multisim 14 软件 RLC 串联谐振仿真图

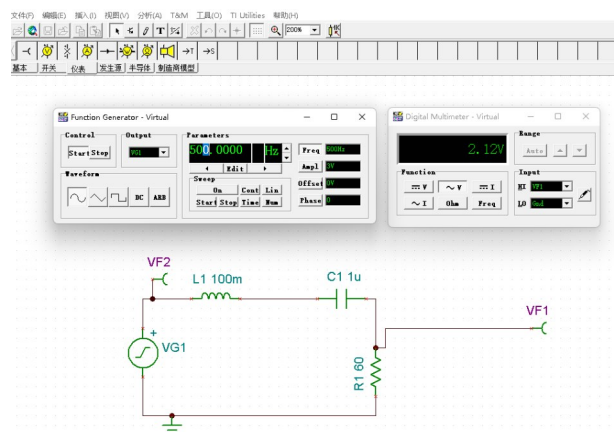


图2 TINA-TI 软件 RLC 串联谐振仿真图

(1)Multisim 的应用

Multisim 凭借其丰富的元件库、齐备的仪器仪表和强大的仿真分析功能,能够轻松搭建各种基础电路,如串联、并联电路、混联电路等^[7]。在RLC串联谐振电路的教学中,利用Multisim搭建电路,电路中包含电阻R、电感L、电容C以及交流信号源。通过设置交流信号源的频率范围,从200 Hz逐步增加至

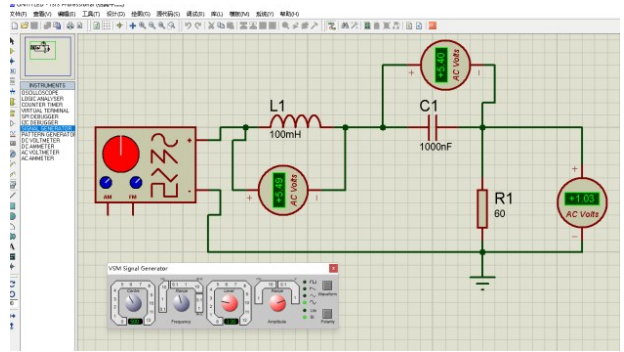


图3 Proteus 软件 RLC 串联谐振仿真图

1 000 Hz,同时使用软件自带的虚拟电压表测量电容、电阻两端的电压。当频率接近电路的固有谐振频率时,学生能清晰观察到电容、电阻两端电压出现峰值,这一现象直观地展示了RLC串联谐振电路的特性,帮助学生理解谐振频率与电路参数(R 、 L 、 C)之间的关系。

(2)TINA-TI的应用

TINA-TI可以对基础电路进行准确仿真,特别是其仪表的使用与实物仪表有相同的操作方法,对学生的操作技能有较大的帮助。当电路中涉及TI公司的一些基本模拟器件(如运算放大器)时,其优势更为明显。软件提供的分析工具能帮助学生验证电路理论,理解器件在电路中的工作特性。

(3)Proteus 的应用

Proteus同样可以构建基础电路模型并进行仿真,其优点是元件选取简单,电路连接方便,仪表操作与实物仪表一样^[8],如信号发生器通过不同档位及细调旋钮对信号频率进行调节,但相较于Multisim,其在电路基础分析功能的深度和广度上略逊一筹。不过,对于涉及简单电路与单片机外围电路结合的场景,Proteus能更好地体现其优势,帮助学生初步建立电路与系统的联系。

(4)Altium Designer 的应用

Altium Designer可以进行基础电路的仿真,但没有直观的仪器仪表,对理论的学习能起到辅助作用,但对实践教学意义不大。Altium Designer的重点并不在电路仿真分析,但其原理图设计功能可用于绘制基础电路原理图,为后续深入学习电路设计打下基础。通过绘制原理图,学生能熟悉电路符号、元件连接方式等基本技能。

3.2 模拟电子技术课程

模拟电子技术课程主要研究模拟信号的产生、放大、处理等内容,涉及大量模拟电路的分析与设计。仿真软件能辅助进行直流工作分析、交流工作分析、

频率特效分析等。以单管共射放大电路在 2 kHz 和 50 kHz 的放大状态波形为例进行仿真操作分析。其仿真操作如图 4~图 6 所示。

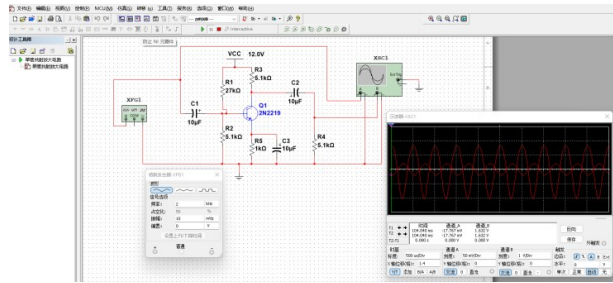


图 4 Multisim 14 仿真单管共射放大电路 2 kHz 工作图

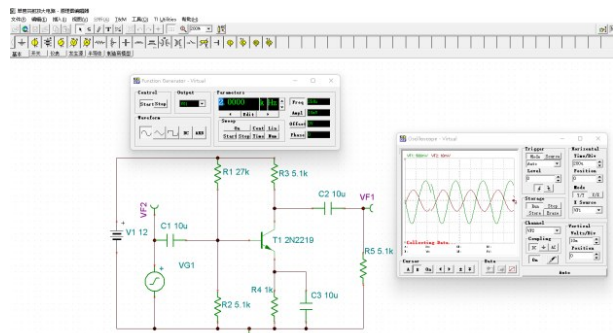


图 5 TINA-TI 仿真单管共射放大电路 2 kHz 工作图

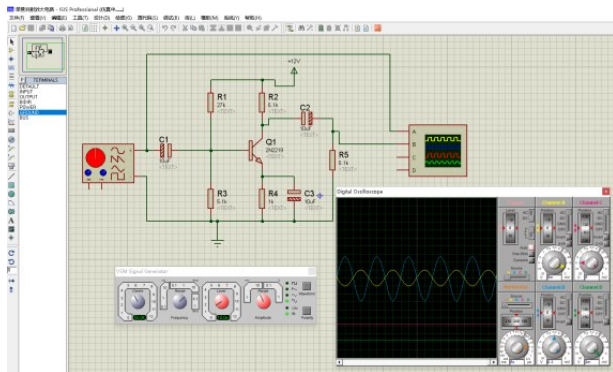


图 6 Proteus 仿真单管共射放大电路 50 kHz 工作图

(1)Multisim 的应用

Multisim 在模拟电子技术课程中应用广泛。它拥有丰富的模拟器件模型,如各类晶体管(BJT、FET)、运算放大器等,可用于搭建各种模拟电路,如放大电路(共射放大电路、差动放大电路)、集成运算放大器应用电路(比例运算、加法运算、积分微分运算电路)、波形产生电路(正弦波、方波、三角波发生器)等。通过对这些电路的仿真分析,学生可以深入理解模拟电路的工作原理、性能指标以及参数设计方法。例如,在研究共射放大电路的静态工作点^[9-10]对电路性能的影响时,学生可通过 Multisim 改变晶体管的偏置电阻,观

察输出波形的失真^[11]情况,从而掌握静态工作点的设置原则。

(2)Proteus 的应用

Proteus 可用于模拟电子电路的相关教学内容,内部丰富的晶体管元件、模拟集成元件能够搭建各类模拟电路^[12],丰富的仪器仪表能完成模拟参数的测量与观察,对模拟电路的仿真能满足教学需求,帮助学生理解模拟信号在实际系统中的处理过程。Proteus 支持模电仿真,但高频特性分析精度较低。

(3)Altium Designer 的应用

在模拟电子技术课程中,Altium Designer 也可用于简单的模拟电路仿真分析,但由于没有直观的仪器仪表,不利于学生实践操作。Altium Designer 可以用于设计模拟电路的原理图和 PCB,让学生了解从电路设计到实际制作的完整流程。通过绘制模拟电路的 PCB,学生能学习到诸如元件布局、布线规则等实际工程知识,明白如何在 PCB 设计中考虑信号完整性、电源完整性等问题,将理论知识与实际工程应用相结合。

(4)TINA-TI 的应用

由于 TINA-TI 对 TI 公司模拟器件的优化,在涉及 TI 模拟芯片(如 LM324、LM358 等常用运算放大器芯片)的电路设计与仿真中具有独特优势。软件提供的丰富实例和参考设计,能帮助学生快速上手,掌握 TI 模拟芯片在各种应用场景下的电路设计与调试方法,加深学生对模拟电子技术的理解。

3.3 数字电子技术课程

数字电子技术课程主要研究数字信号的处理、数字逻辑电路的分析与设计等内容。学生掌握逻辑门电路的特点,能进行数字逻辑电路分析、数字时序电路分析等。以三人表决电路仿真为例,对几款仿真软件的操作进行分析,其仿真操作如图 7、图 8 所示。

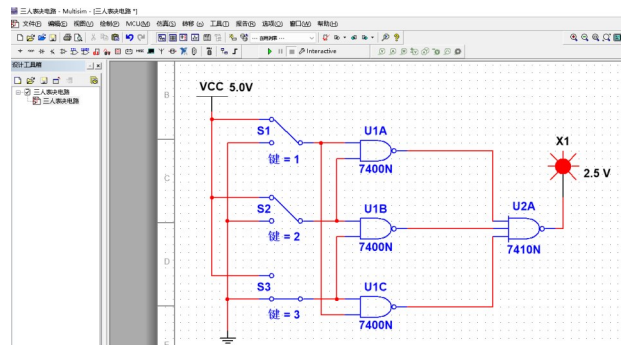


图 7 Multisim 三人表决电路仿真图

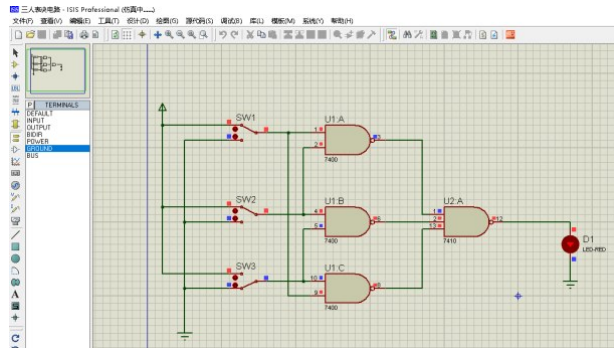


图 8 Proteus 三人表决电路仿真图

(1)Multisim 的应用

Multisim 提供了丰富的数字逻辑元件库^[13],包括各种门电路,如与门、或门、非门、与非门等,触发器,如 D 触发器、JK 触发器等、计数器、寄存器等。学生可以利用这些元件搭建数字逻辑电路^[14],如组合逻辑电路(加法器、编码器、译码器)、时序逻辑电路(计数器、移位寄存器)等,通过仿真测试电路的逻辑功能。软件还支持逻辑分析仪^[15]等虚拟仪器,方便学生观察数字信号的时序关系,深入理解数字电路的工作原理。

(2)Proteus 的应用

Proteus 在数字电子技术课程中的应用与 Multisim 类似,同样具备丰富的数字元件库,可进行数字电路的搭建与仿真。在仿真时能通过色点直观显示电路不同点位的逻辑状态,方便学生理解逻辑功能。此外,Proteus 对于数字电路与单片机系统结合的教学内容支持较好,例如在设计一个基于单片机的数字时钟系统时,学生可以利用 Proteus 同时仿真数字时钟的数字逻辑部分^[16-17]和单片机控制部分,更好地理解数字系统的整体工作机制。

(3)TINA-TI 的应用

TINA-TI 虽然在数字电子技术方面的功能不如专门的数字电路仿真软件,但对于一些简单的数字逻辑电路(如包含 TI 数字芯片的电路),也能够进行基本的仿真分析,帮助学生理解数字电路的基本概念和工作原理,但元件选取不方便。

(4)Altium Designer 的应用

Altium Designer 主要用于数字电路的原理图设计和 PCB 设计。在数字电路设计中,合理的布局布线对于电路的稳定性和抗干扰能力至关重要。通过使用 Altium Designer 进行数字电路的设计实践,学生能够学习到在 PCB 设计中如何处理数字信号的高速特性、信号完整性等问题,提高数字电路设计的实际能力。

3.4 单片机与嵌入式系统课程

单片机与嵌入式系统课程注重培养学生对单片机硬件系统和软件编程的综合应用能力。以基于 51 单片机的流水灯控制的实例操作为例进行分析,如图 9、图 10 所示。

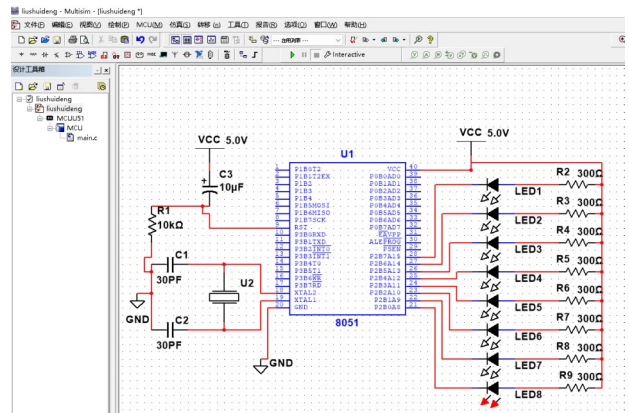


图 9 Multisim 51 单片机的流水灯控制仿真图

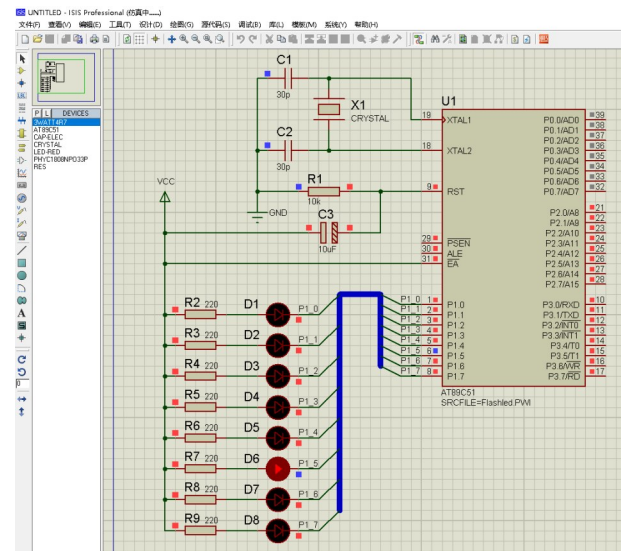


图 10 Proteus 51 单片机的流水灯控制仿真图

(1)Multisim 的应用

Multisim 对单片机系统的仿真支持相对有限,主要用于搭建单片机最小系统及一些简单的外围电路,如 LED 显示电路、按键电路等,通过仿真验证硬件电路的正确性。早期版本在单片机程序调试和复杂系统仿真方面存在不足,但 Multisim 14 版本里对单片机程序调试和复杂系统仿真方面有较大的提高,支持多种类型的单片机,还支持 C 语言和汇编语言编程编译。

(2)Proteus 的应用

Proteus 在单片机与嵌入式系统课程中具有无可

比拟的优势。它不仅提供了丰富的单片机模型,支持多种主流单片机的仿真^[18-19],还能将硬件电路与软件程序紧密结合进行协同仿真。学生可以在 Proteus 中编写单片机程序(如 51 单片机的 C 语言程序),并直接在软件环境中对程序进行调试,通过观察硬件电路中各元件的状态变化,直观地了解程序的运行过程和硬件的工作情况,有效解决了单片机学习中硬件资源不足和调试困难的问题。

(3) Altium Designer 的应用

Altium Designer 可用于设计单片机系统的硬件电路原理图和 PCB,帮助学生掌握单片机系统的硬件设计流程和方法。从原理图的绘制到 PCB 的布局布线,学生能在实践中学习到如何设计一个可靠的单片机硬件系统,为后续的硬件制作和系统开发打下基础。

(4) TINA-TI 的应用

TINA-TI 在单片机与嵌入式系统课程中的应用较少,主要原因是其对单片机的支持不够全面,更侧重于模拟电路和 TI 芯片的应用,对于单片机系统的整体仿真和开发支持不足。

3.5 PCB 设计课程

PCB 设计课程主要教授学生如何将电路原理图转化为实际的印刷电路板设计,使学生掌握 PCB 设计的过程及软件操作方法。以流水灯电路的 PCB 布局为例进行分析,如图 11 所示。

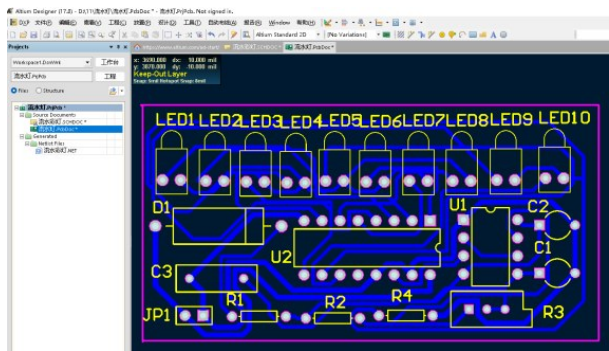


图 11 Altium Designer 17 设计流水灯 PCB 图

(1) Multisim 的应用

Multisim 虽有一定的 PCB 设计功能,但与专业的 PCB 设计软件相比,功能较为简单,适用于一些简单电路的 PCB 设计教学,帮助学生初步了解 PCB 设计的基本流程和概念。

(2) Proteus 的应用

Proteus 的 PCB 设计模块具备基本的布局布线功能,能够满足简单电路的 PCB 设计需求。在教学中,

可引导学生从原理图设计开始,逐步过渡到 PCB 设计,熟悉从电路设计到制作的完整流程。

(3) Altium Designer 的应用

Altium Designer 是 PCB 设计课程的首选软件。其强大的原理图设计功能可与 PCB 设计无缝衔接,丰富的元件库和先进的布线算法,能帮助学生设计出高质量的 PCB。软件提供的 3D 可视化功能和全面的设计规则检查功能^[20],使学生在设计过程中能及时发现并解决问题,提高 PCB 设计的效率和质量,更好地适应实际工程中的 PCB 设计需求。

(4) TINA-TI 的应用

TINA-TI 几乎不涉及专业的 PCB 设计功能,在 PCB 设计课程中无法发挥主要作用。

4 软件综合比较与选择建议

4.1 功能完整性比较

从功能完整性角度来看, Multisim 在电路仿真分析方面功能最为强大和全面,无论是电路基础、模拟电路还是数字电路的仿真分析都能很好地支持,但在单片机系统深度仿真和专业 PCB 设计方面存在一定局限性。Proteus 对基础电路、模拟电路、数字电路的基本电路能进行较好的仿真分析,尤其在单片机与嵌入式系统协同仿真方面表现突出^[21],同时具备 PCB 设计功能,可满足多门课程的部分需求,但在电路分析功能的深度上不及 Multisim。Altium Designer 以其专业、强大的原理图设计和 PCB 设计功能见长,然而电路仿真功能相对薄弱。TINA-TI 专注于模拟电路和 TI 芯片相关的仿真,功能较为单一,对其他方面的支持有限。

4.2 教学适用性比较

对于电路基础、模拟电子技术和数字电子技术课程, Multisim 和 Proteus 都具有较好的教学适用性,能为高职学生提供直观的电路仿真体验,帮助理解电路原理,提高仪器仪表的操作能力,掌握电路参数的测量技能。在单片机与嵌入式系统课程中, Proteus 是最佳选择,其独特的协同仿真功能对教学效果提升显著。而在 PCB 设计课程中, Proteus 能对简单电路进行 PCB 的设计与制作; Altium Designer 凭借其专业的设计功能成为不二之选。

4.3 综合考量与选择建议

综合以上分析,每款软件都有自身的特点,有自己适合的课程方向。为了减轻学生学习负担,需选择一款相对能满足多门课程教学的软件,结合高职学生

的学习需求,经分析比较,认为Proteus较为合适。它在基础电路、模拟电路、数字电路方面具备一定的仿真能力,尤其在单片机与嵌入式系统课程中的优势明显,同时其基本的PCB设计功能也能为相关教学提供支持,可在一定程度上贯穿多门课程的教学实践。然而,在实际教学中,为了达到最佳教学效果,建议根据不同课程的重点和需求,灵活组合使用多款软件。例如,在基础电路和模拟、数字电子技术课程中,以Multisim为主进行电路仿真分析教学;在单片机与嵌入式系统课程中,充分发挥Proteus的优势;在PCB设计课程中,使用Altium Designer进行专业的设计教学。

5 结论

虚拟仿真软件在高职电子类课程教学中具有重要作用,不同软件在功能特点和适用场景上各有优劣。虽然没有一款软件能全方位满足所有课程教学仿真需求,Proteus在多课程教学的综合适用性上相对突出,能够满足高职学生对实践和理论的学习需求。为了减轻学生学习负担,在电子类课程教学中使用Proteus仿真软件是理想的选择。但在实际教学过程中,也应根据课程特点和教学目标,合理选择和组合使用虚拟仿真软件,以提升教学质量,培养出更符合行业需求的高素质电子类技术技能人才。

参考文献

- [1] 景远. 仿真软件在高校电工电子实验教学中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2022(3): 53-56.
- [2] 肖燕飞, 彭家庆, 李明周, 等. 新工科背景下“多层次一体化”冶金工程递进式仿真实验教学体系构建[J]. 高教学刊, 2024, 10(29): 90-93.
- [3] 崔晓玲, 牟小建. Multisim10 仿真软件在电学课程中的应用[J]. 电子技术, 2022, 51(9): 49-51.
- [4] 段凌飞, 张宏桥, 姚敏. Proteus 仿真软件在电子类课程中的应用[J]. 福建电脑, 2021, 37(4): 132-134.
- [5] 梁仕章, 熊惠, 黄晖, 等. 基于 Altium Designer 软件的模块化电路设计与应用研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2024, 42(6): 15-20.
- [6] 张冰洋, 黄霞. 基于 TINA-TI 的心音听诊电路实验教学仿真研究[J]. 电气电子教学学报, 2022, 44(3): 165-168.
- [7] 库瓦特拜克·马木提, 伊力亚尔·加尔木哈买提, 霍加·托合塔森. Multisim 仿真软件在电路分析基础实验教学中的应用效果探索[J]. 伊犁师范学院学报: 自然科学版, 2020, 14(4): 67-74.
- [8] 宫亚梅, 陈兴业, 李洪达, 等. Proteus 仿真软件在三相交流电路教学中的应用探索[J]. 电子制作, 2023, 31(14): 116-119.
- [9] 林兰平. Multisim 仿真软件在音响放大器设计电路中的应用[J]. 无线互联科技, 2022(22): 81-86.
- [10] 郭嘉乐, 方子春. 基于 Multisim 的单管交流放大电路实验教学研究[J]. 信息与电脑, 2025, 37(10): 151-153.
- [11] PTAK P, PRAUZNER T, NOGA H, et al. Testing of inductors using the NI Multisim simulation program[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2408(1): 012007.
- [12] 魏宁宁, 陈荟婷, 李彬, 等. 基于 Proteus 的单管共射放大电路实验教学研究[J]. 电子制作, 2024, 32(19): 92-94, 98.
- [14] 蒋敏. Multisim 在数字电子技术课程教学中的应用[J]. 电子技术, 2025, 54(4): 386-388.
- [15] 刘文胜. 在 Multisim 软件在虚拟仿真实验中的典型应用[J]. 电脑知识与技术, 2023, 19(3): 55-57.
- [16] 候信倍. 基于 Proteus 的“数字电路”实验课程智慧教学探索[J]. 无线互联科技, 2024, 21(22): 104-108.
- [17] 李振东, 侯增田. 基于 Proteus 的组合逻辑电路中竞争——冒险现象的仿真分析[J]. 电脑与电信, 2023(11): 14-18.
- [18] 倪建宏. Proteus 仿真软件在单片机教学中的应用[J]. 电子技术, 2023, 52(4): 52-53.
- [19] 王春梅, 陈向勇. 基于 Proteus 的单片机虚拟仿真实验室建设及应用研究[J]. 教育信息化论坛, 2025(1): 133-135.
- [20] 陈卫群. 基于 Altium Designer 软件的电子控制技术中电路设计探究[J]. 价值工程, 2025, 44(1): 90-92.
- [21] GABISA G, MAMO M. Teaching the implementation of digital control using proteus VSM software[J]. International Journal of Computer Applications, 2020, 177(29): 16-21.

作者简介



任小军(1974—),男,副教授。现为四川文化传媒职业学院专职教师。主要研究方向为教育教学、电子信息技术。
E-mail: 306479243@qq.com