

PSIM在电力电子技术教学中的应用

王小俊*, 李 娜

上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海

收稿日期: 2025年2月28日; 录用日期: 2025年3月26日; 发布日期: 2025年4月3日

摘要

近些年, 计算机仿真如Matlab和PSIM逐步成为了电力电子技术教学的热点。Matlab覆盖面广, 对于初学者需要花费较多的时间和精力掌握各种功能, 入门相对困难。而PSIM是一种专门用于电力电子和电机驱动系统设计和仿真的仿真工具, 具有极高的专业性。因此, 该文章探讨了PSIM在电力电子技术教学中的应用。结合具体教学案例, 即设计单项全控桥式带电阻负载和感性负载的PSIM电路并分析, 阐述了PSIM仿真技术在教学中的优势。根据教学效果及学生反馈得出, 该文章所提的教学方法不仅能够有效激发学生学习的主动性和提高他们的综合能力, 而且在此基础上可以培养出适应现代工业需求的高素质电力电子技术人才。

关键词

PSIM, 电力电子技术, 单相桥式整流电路, 计算机仿真

Application of PSIM in Power Electronics Teaching

Xiaojun Wang*, Na Li

School of Optical-Electrical Computer Science, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Feb. 28th, 2025; accepted: Mar. 26th, 2025; published: Apr. 3rd, 2025

Abstract

In recent years, computer simulation such as Matlab and PSIM has gradually become the focus of power electronics teaching. Matlab has a wide coverage, and it takes more time and energy for beginners to master various functions, so it is relatively difficult to get started. PSIM is a simulation tool specifically designed for power electronics and motor drive system design and simulation, with a high degree of professionalism. Therefore, this paper discusses the application of PSIM in the teaching of

*通讯作者。

power electronics technology. The advantages of PSIM simulation technology in teaching are expounded based on the specific teaching case, that is, the design and analysis of single PSIM circuit with resistive load and inductive load. According to the teaching effect and students' feedback, the teaching method proposed in this paper can not only effectively stimulate students' learning initiative and improve their comprehensive ability, but also train high-quality power electronic technical talents to meet the needs of modern industry.

Keywords

PSIM, Power Electronics, Single-Phase Bridge Rectifier Circuit, Computer Simulation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电力电子技术是电气工程及其自动化专业的重要课程，主要研究电能变换和控制的理论、技术和应用[1]。在电力电子技术课程教学过程中，涉及多种新型电力电子器件、波形分析、电路解析等多种环节。针对理论讲授，传统的教学方式以教师为主导，通过 PPT、板书等方式在课堂上进行详细讲解，学生通过听讲和记笔记完成学习。这种教学方式教师虽然可以按照预定的教学大纲系统地传授知识和前面讲解电力电子技术的各个方面，但学生的参与度低，课堂互动少，容易使学生感到枯燥，难以激发学习的主动性[2]。

近些年，随着计算机科学的发展，计算机仿真逐步成为了电力电子技术教学的热点[3]。常见的计算机仿真软件有 Matlab 和 PSIM。Matlab 显著的优点有：应用范围比较广，不仅适用于电力电子，还广泛地应用于控制系统、通信系统、信号处理等多个领域；数值计算能力强，它提供了丰富的数学函数和工具箱；具有丰富的库和工具箱，比如 SimPowerSystems、Simulink Control Design 等；集成能力强，能与多种软件和平台无缝集成，如 PLC、嵌入式系统等。正是由于以上的优点，伴随而来的显著缺点有：初学者需要花费较多的时间学习和掌握各种功能和工具，入门相对困难；对于大规模的电力系统，仿真速度不如 PSIM 高效；图形用户界面相对复杂，学生在建模和仿真过程中可能需要更多的时间和精力进行调试和优化。显然对于初学的学生，Matlab 并不是最优的学习电力电子技术课程的仿真软件[4]。因此，本文重点阐述 PSIM 仿真技术在电力电子技术教学中的应用[5]。

2. PSIM 软件

PSIM 全称是 Power Simulation，是美国 PowerSIM 公司推出的专门针对电力电子、电机驱动和电源变换的系统仿真软件[6]。自 1994 年首次发布以来，PSIM 以其高速仿真能力、用户友好的界面和强大的功能，广泛应用于学术研究、工业设计和教学培训等领域。其主要特点有：

1) 高效的仿真速度

采用优化的数值算法，能够高效处理电力电子电路中的开关现象，大大缩短仿真时间；提供高精度的仿真结果，能够准确预测电力电子系统的性能和行为，尤其适用于大规模电力电子系统的实时仿真。

2) 用户友好的界面

图形化用户界面使得电路设计和仿真设置变得直观和便捷；支持拖放式的电路模块组装，操作简单，易于上手，适合学生快速构建和修改电路模型。

3) 丰富的功能

内置了丰富的电力电子器件模型库, 包括二极管、晶闸管、MOSFET、IGBT 等, 可以方便学生进行电力电子电路设计; 支持各种控制算法的设计和仿真, 包括 PID 控制、模糊控制、神经网络控制等; 能够与其他仿真平台协同工作, 实现多域联合仿真; 提供热分析工具, 帮助用户分析电力电子器件的热特性和散热设计。

4) 专注于电力电子和电机驱动

专门为电力电子电路和电机驱动系统设计, 具有高度的专业性和精确性, 适用于电力电子领域的各种应用。比如: 直流电机、交流电机和步进电机的驱动控制系统设计; 光伏系统、风力发电系统等可再生能源系统的设计和优化; 电动汽车、电动机车等电动交通工具的驱动系统设计。

上述 PSIM 的特点, 让其可以很好地在电力电子技术课程中得到广泛的应用, 从而帮助学生直观理解和掌握电力电子系统的工作原理和设计方法, 通过虚拟实验, 验证理论知识, 加深对课程内容的理解。

3. PSIM 与 Matlab 在电力电子技术教学中的对比

Matlab 和 PSIM 是电力电子技术教学中常用的软件, 其具体对比如下:

1) 核心功能对比

在仿真速度与收敛性上, PSIM 是专为电力电子设计, 采用固定步长算法, 仿真速度显著快于 Matlab。例如, 在单相逆变电路仿真中, PSIM 可快速完成开关瞬态过程分析, 减少因算法不稳定导致的仿真失败, 适应课堂教学中对即时反馈的需求[7]。然而, Matlab 采用变步长算法, 灵活性高但计算时间较长。在复杂系统(如含控制环路的多级变换器)中可能出现收敛性问题, 但支持更精细的模型参数调整, 适合研究性教学。

在模型库与扩展性上, PSIM 提供电力电子专用元件库(如 IGBT、二极管等), 模型简化且参数预设, 适合基础电路教学。Matlab 支持电力电子、控制系统、信号处理等多学科联合仿真, 允许自定义模块和算法(如编写 S 函数)。

2) 教学适用性对比

PSIM 界面简洁, 操作流程标准化(如拖拽元件、设置参数), 适合初学者快速掌握, 尤其适用于课时有限的场景[7]。Matlab 需要掌握建模语言(如 Simulink 模块连接、MATLAB 脚本), 学习曲线陡峭。但支持项目式教学(如变流器设计), 通过 CDIO 模式培养学生从设计到仿真的全流程能力[8]。

3) 实际教学效果

在单相电压型逆变电路教学中, PSIM 可快速生成开关波形, 学生平均仿真时间约 5 分钟, 成功率达 95%以上[7]。对于 Matlab, 在 Buck 电路仿真中, 学生通过调整占空比和电感参数, 发现理论计算与仿真结果的误差(如电感电流纹波实测值比理论值高 12%), 从而理解器件非理想特性的影响。项目驱动教学模式下, 学生团队完成变流器设计项目的平均周期为 2 周, 仿真成功率约 80%, 但需额外投入时间学习工具链[8]。

综上, 在教学上, 对于入门级课程、快速验证基础电路、硬件实验前的预仿真优选 PSIM。对于高阶课程(如新能源系统设计)、跨学科综合项目、科研导向的教学改革, 优选 Matlab。电力电子技术课程是基础课程, 相比于 Matlab, PSIM 更适用于电力电子技术教学。

4. PSIM 仿真技术在电力电子技术教学中的应用

PSIM 应用场景广泛, 涵盖了电力电子电路分析、控制系统设计、电机驱动研究等多个领域。在电力电子电路分析中, 能够对各类变换器、滤波器等设备的性能进行评价。在电力电子技术课程中, 覆盖了

课程涉及的全部元件, 如各种电力电子器件、电机、传感器等, 可用于基本电力电子电路设计、电气传动系统设计、电机设计、新能源发电系统设计等教学内容, 能帮助学生理解不同元件在电路中的作用和整个系统的运行原理。未来, 随着虚拟现实、增强现实等技术的发展, 可能会结合这些技术开发沉浸式电路仿真教学环境, 提供更加直观、生动的学习体验, 让学生有身临其境之感, 更好地理解和掌握电力电子技术。电力电子技术与其他学科的交叉融合越来越多, PSIM 在跨学科教学中的应用也将不断拓展。例如在能源、交通、通信等领域与电力电子技术的结合点上, PSIM 可以为跨学科教学提供更强大的支持, 培养学生的跨学科思维和综合应用能力[9] [10]。

单相全控桥式整流电路在整流电路中占据重要的地位, 因其高可控性、灵活性和高性能, 广泛应用于各种需要可调直流电源的场合。尽管控制电路复杂, 但其在工业、电力电子、科研和教学中的广泛应用证明了其在整流电路中的重要性和不可替代性。因此, 本文以单相全控桥式整流电路为例来展示 PSIM 仿真技术在电力电子技术教学中的应用, 主要分为以下三个环节[11]-[14]:

1) 上课前

首先, 将班级学生随机进行分组, 每组人数接近。其次, 对 PSIM 软件和单相全控桥式整流电路进行详细介绍。再者, 上传 PSIM 软件包及与其相关的资料, 同时上传与单相全控桥式整流电路相关的资料。最后, 介绍成绩考核方式及抽签确定小组演示顺序。

2) 课堂上

根据上节课确定的各小组的演示顺序, 依次开始演示。演示内容主要包括有: 电路分析、波形分析、参数分析和问题答疑。小组组长介绍每组成员所担任的部分。其他小组成员与老师共同组成评委团, 对演示内容的正确性、合理性、演示成员演示的连贯性、整体表现等进行评分。最终评分小组和老师分别给出演示团队和各成员的分值。当其他小组须进行提问时, 老师为提问小组的问题与被提问小组同时评分。所有小组演示结束后, 进行课堂讨论, 老师解答学生自主学习中遇到的问题。

3) 课堂后

老师评阅各小组提交的单相可控整流电路的报告。根据报告内容的正确性、全面性等评分。整理各小组对其他小组及成员的评分及评语。最后得出各小组及其成员的最终成绩。将本次课题的所有资料进行线上资源更新, 供学生们随时查阅。

单相全控桥整流电路项目的内容如下: 不同触发角(60° 、 90° 、 120°)情况下, 获取单相桥式整流电路带电阻负载时输出电压、输出电流和晶闸管电压的波形图并进行分析。

其 PSIM 电路图如图 1 所示。电路包括 4 个桥式连接的晶闸管、RL 负载、单相电源及由 α 触发器组成的触发电路。单相电源的相电压为 220 V, 电源频率 f_0 为 50 Hz, 负载电阻 $R = 1 \Omega$, 脉冲宽度 20°, ACTRL1 的 α 触发器触发信号对应 VT1, VT4, ACTRL2 的 α 触发器触发信号对应 VT2, VT3。比较器 COMP1 检测的是交流信号从负过零变正的 0 电压点, 即过零后马上产生高电平信号给 ACTRL1 的同步端。比较器 COMP2 与 COMP1 反相输入, 检测的是交流信号从正过零变负的 0 电压点, 即过零后马上产生高电平信号给 CTRL2 的同步端。

当图 1 电路图中的触发角分别设置为 60° 、 90° 和 120° 时, 图 2 分别给出了对应的电压、电流波形图。其中, U_2 指的是变压器二次侧的电压, V_{out} 指的是整流输出电压, 也是电路中电阻两端的电压, U_{vt1} 指的是晶闸管 1 两端的电压, I_2 指的是变压器二次侧的电流, I_{out} 指的是负载输出的电流。首先, 针对图 2(a) 的波形图进行分析。在 U_2 正半周, 当在触发角 60° 处给晶闸管 VT1 和 VT4 施加触发脉冲, 此时整流输出电压 V_{out} 的波形与 U_2 的波形相同, VT1 处于导通状态, 所以此时晶闸管上的电压 U_{vt1} 大小在 0 V 附近。由于是电阻负载, 此时变压器二次侧的电流 I_2 和负载输出的电流 I_{out} 的波形与 U_2 的波形相同, 但大小不

同。当电压 U_2 来到负半周时, 仍然在触发角 60° 处给晶闸管 VT_2 和 VT_3 加触发脉冲, 此时整流输出电压 V_{out} 的波形与 U_2 的波形对称, 变压器二次侧的电流 I_2 的波形和负载输出的电流 I_{out} 的波形对称。对比图 2 中(a)、(b)和(c)的输出电压波形图可以发现随着触发角的增大, 整流输出的平均电压不断减小, 电流也不断减小。显然, 在交流电源的正负半轴都有整流输出电流流过负载。在 U_2 一个周期内, 整流电压波形脉动 2 次, 因此该电路属于双脉冲整流电路。变压器二次绕组中, 正负两个半周电流方向相反且波形对称, 平均值为零, 即直流分量为零, 因此不存在变压器直流磁化问题, 变压器绕组的利用率也高。

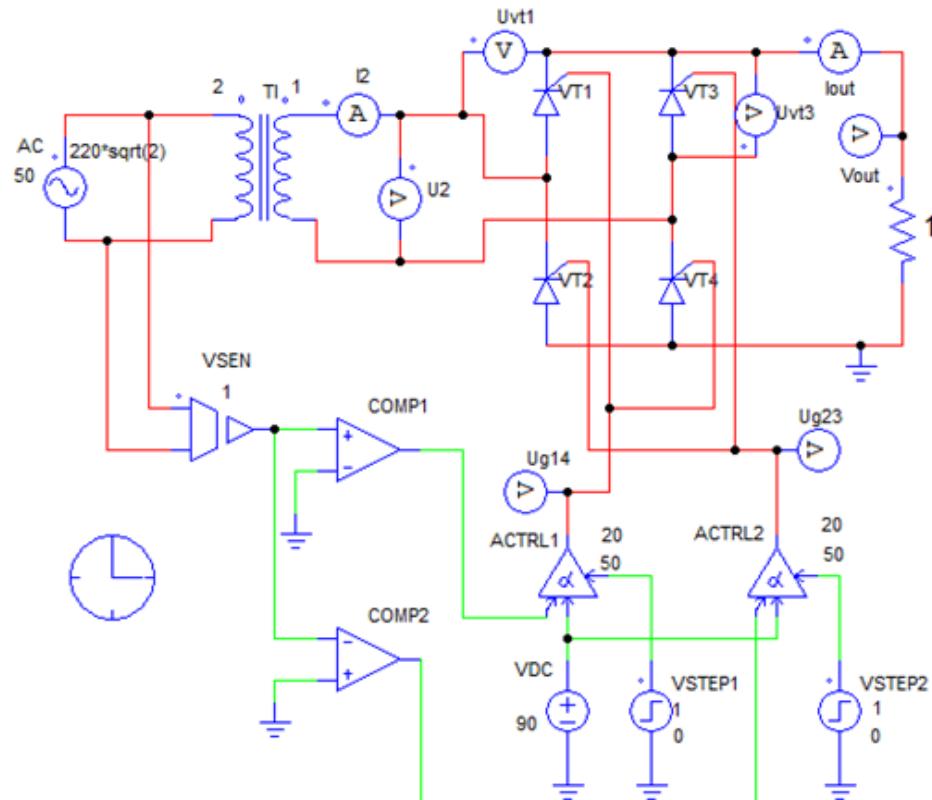


Figure 1. PSIM circuit diagram of single-phase bridge fully controlled rectifier circuit with resistance load
图 1. 单相桥式整流电路带电阻负载的 PSIM 电路图

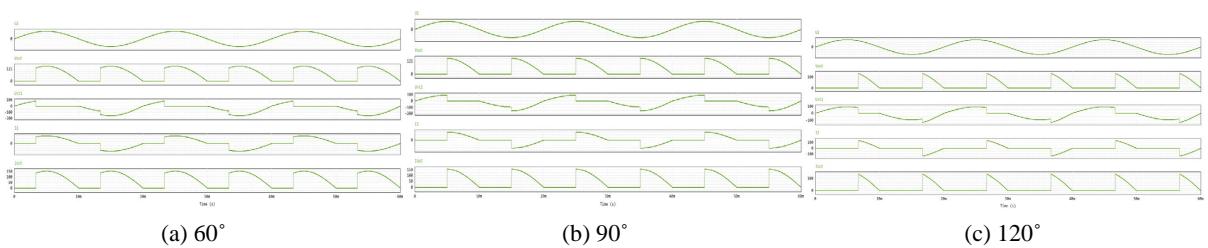


Figure 2. Waveform of single-phase bridge rectifier circuit with resistance load trigger angle of 60° , 90° , 120°
图 2. 单相桥式整流电路带电阻负载触发角为 60° 、 90° 、 120° 时的波形

5. 教学效果与反馈

1) 教学效果

学生分组演示的方式, 激发了学生的竞争意识, 提高了学生学习的主动性, 培养了学生团队合作的

能力。通过对项目内容的 PSIM 仿真，使学生将理论与实践进行结合，培养学生的综合应用能力和创新思维，提高学生的实验技能和动手能力。学生整体上达到了对该项目的学习要求，对单相全控桥式整流电路带电阻负载和带阻感负载的电路图、晶闸管的触发方式、触发角度对整流电压的影响、不同负载的整流电压和电流的波形图等有了深入的认识并基本掌握。

2) 学生反馈

学生普遍认为基于 PSIM 仿真技术的教学方法能够激发他们的学习兴趣与参与度以及自学能力。在使用 PSIM 软件进行仿真时，使学生将课本上或者网络上的各种理论知识应用到了项目课题中，巩固了对电力电子技术的理解和掌握，项目设计和问题解决方面得到了全面的锻炼和提升。分组演示的方法锻炼了学生的沟通能力并提高了学生的团队凝聚力。

6. 结论

基于 PSIM 的电力电子技术课程教学能够有效提高学生的学习兴趣和综合能力，培养适应现代工业需求的高素质电力电子技术人才。这种创新的教学模式不仅弥补了传统教学模式的不足，还为电力电子技术课程的教学提供了有益的探索和实践经验。

基金项目

国家自然科学基金(62403321); 教师专业发展工程-青年教师培养资助计划(10-24-302-005); 教育部产学合作协同育人项目(220602510291241)。

参考文献

- [1] 王兆安, 刘进军. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2022.
- [2] 林维明.“电力电子技术”课程整流电路的教学方法研究[J]. 电气电子教学学报, 2021, 43(5): 102-107.
- [3] 荣军, 童耀, 南陈松, 等. 仿真技术在“电力电子技术”教学中的应用[J]. 电气电子教学学报, 2023, 45(5): 24-27.
- [4] 黄冬梅, 马乐, 王树鑫, 王海涛, 等. Matlab 仿真软件在《电力电子技术》教学实践中的应用[J]. 软件, 2022, 43(3): 10-12.
- [5] Vacheva, G.I. and Hinov, N.L. (2020) Current and Voltage Mode Control of DC-DC Converter in PSIM Environment. 2020 XXIX International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, 16-18 September 2020, 1-4.
<https://doi.org/10.1109/ET50336.2020.9238335>
- [6] 游志宇, 戴锋, 张珍珍. 电力电子 PSIM 仿真与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2020.
- [7] 汪先兵, 王祥傲. 基于仿真技术的电力电子技术课程教学研究[J]. 集宁师范学院学报, 2019, 41(6): 100-103.
- [8] 陈宏. 基于 Matlab 的电力电子技术课程的教学探索[J]. 实验室科学, 2013, 16(1): 54-57+61.
- [9] 赵犇, 梁波, 吴小华. 基于 PSIM 的探究型光伏发电仿真实验研究[J]. 实验室科学, 2023, 26(3): 19-22.
- [10] Yuniza, S.I., Agna, D.I.Y. and Nugraha, A.T. (2022) The Design of Effective Single-Phase Bridge Full Control Resistive Load Rectifying Circuit Based on MATLAB and PSIM. *Electrical and Computer Engineering*, 3.
<https://amcs-press.com/index.php/ijaece/article/view/1120>
- [11] 庞笑笑, 张昆, 张皓. 以需求为导向的《计算机网络》课程创新融合教学改革与研究[J]. 软件, 2021, 42(8): 66-68.
- [12] 王月武, 申康, 李庆英, 等. 电力电子技术课程中的案例设计教学实践[J]. 电子技术, 2024, 53(5): 127-129.
- [13] 潘建, 孙红兵, 李清波. PSIM 仿真在电力电子技术课程教学中的应用[J]. 产业与科技论坛, 2020, 19(13): 130-131.
- [14] 杭丽君, 闫董, 胡家兵, 等. 电力电子系统建模关键技术综述及展望[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(9): 2966-2979.