

Power Conversion Functional Circuit Aided Design and Analysis Simulation Platform Design

Fanlin Zeng^{1,2*}, Mingman He¹, Qiulin Xiang¹, Shuting Hou¹

¹School of Automation and Electrical Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin

²Tianjin Key Laboratory of Information Sensing and Intelligent Control, Tianjin

Email: *fanlin@tju.edu.cn

Received: Feb. 17th, 2020; accepted: Apr. 21st, 2020; published: Apr. 28th, 2020

Abstract

The physical experiment of power electronic technology needs more hardware and equipment. For beginners and researchers, the early investment is large. In this paper, a simulation platform for power conversion function circuit is designed. The simulation platform integrates the design functions of four kinds of convertor power electronic circuits which convert AC and DC into each other. It provides a software platform for power electronics beginners and related circuit researchers to quickly complete the circuit building. The vision circuit module, the control signal independent design module, the main circuit independent design module and the data analysis module are designed. An open circuit topology structure, design function and parameter adjustment function, combined with data analysis function, can assist researchers in circuit design experiments.

Keywords

Power Electronics Technology, Electric Energy Conversion Function Circuit, Simulation Platform

电能转化功能电路辅助设计分析仿真平台设计

曾凡琳^{1,2*}, 何铭蔓¹, 向秋林¹, 侯舒婷¹

¹天津职业技术师范大学, 自动化与电气工程学院, 天津

²天津市信息传感与智能控制重点实验室, 天津

Email: *fanlin@tju.edu.cn

收稿日期: 2020年2月17日; 录用日期: 2020年4月21日; 发布日期: 2020年4月28日

*通讯作者。

摘要

针对电力电子技术实物实验需要投入的硬件设备较多,对于初学者和研究人员,前期投入较大等问题,本文设计了电能转化功能电路辅助设计分析仿真平台。该仿真平台综合了交流电与直流电相互转化的四种变流电力电子电路设计功能,为电力电子技术初学者和相关电路研究人员提供了一种可以快速完成电路搭建的软件平台。设计了示例电路模块、控制信号自主设计模块、主电路自主设计模块、数据分析模块等四个功能模块。设计了开放的电路拓扑结构设计功能与参数调节功能,结合数据分析功能,可以辅助研究人员进行电路设计实验。

关键词

电力电子技术, 电能转化功能电路, 仿真平台

Copyright © 2020 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

近年来电源的应用技术飞速发展,在国民经济生产生活中占有举足轻重的作用,并广泛应用于新能源技术、交通运输、工业制造、电子信息技术、民用电器等众多领域。负责直流与交流电能之间的相互转化的电能转化功能电路研究,包括整流电路、逆变电路、直流-直流转化电路以及交流-交流转化电路,受到了越来越广泛的关注。主要研究该类电路的电力电子技术课程,是电气类相关专业的一门重要的专业基础课。

交流与直流电相互转化的四种功能电路,又称为四种变流电路。对于这些电路的分析与设计工作,包括了电路的拓扑结构设计、控制信号设计、以及大量的输出波形分析。史尤杰等[1]研究了单级式单相交流电转化为直流电的逆变电路的改进问题,并在 Matlab/Simulink 环境下搭建了所研究电路的仿真模型,通过绘制电流曲线的方式证明了作者提出方法的有效性。李菁等[2]讨论了单相全桥逆变电路的改进,重点关注一些触发信号控制方案使得电路中产生共模电流的问题,并利用 Simulink 环境对不同调制方法进行了仿真,通过绘制电压电流波形进行了电路工作特点分析。李文华[3]等设计了交流调压电路,重点考虑了单周期控制下的抗扰能力,并在 Multisim 软件下搭建了系统的仿真模型,对文章提出的调压源进行了工作有效性的验证。张之光[4]针对风电系统输出电压稳定性提高问题,设计了交流电转化为直流电的逆变器,为了验证所设计系统的有效性采用 Matlab 软件搭建了电路模型,并进行了仿真。王瑞等[5]研究了和谐型机车中的直流电转化的斩波电路的控制器参数配置问题,并在 dSpace 半实物仿真平台进行了闭环对比实验,验证了文中提出方法的有效性。徐凯等[6]针对农村电网电压不稳定的问题,设计了交流电转化为直流电整流电路和直流电转化为交流电逆变电路结合的电网改造方案,采用 Matlab/Simulink 软件搭建电路模型,对设计出的装置进行了仿真实验。李瀚等[7]利用构建仿真程序,分析仿真输出的方法比较分析了两种交流电转化为交流电的调压电路性能。唐江[8]等设计了 Buck-boost 升降压斩波电路分析仿真程序,可以进行基本电路的仿真并得出了仿真曲线图形。印治涛等[9]介绍了应用于电动汽车充电桩的交流电转化为直流电的电能转化器设计及仿真。可见无论是主电路还是控制信号设计,都受到了研究人

员的关注，且在电能转化功能电路的设计研究中，研究人员通常会选择合适的仿真软件进行辅助分析和结果有效性验证。电路的实际实现将包括主电路、驱动电路、保护电路等多个部分，为了简化设计过程，缩短设计时间，并减少设计成本，仿真程序为电路设计者和电力电子技术的学习者，提供了更为方便的途径。

强电电能转化主电路与控制信号生成电路需要搭建完整才可以实现电路功能并得到运行数据进行电路功能验证，然而电力电子技术实物实验需要投入的硬件设备较多，对于初学者和研究人员，前期投入较大。现有的电力电子功能电路仿真研究，大多支持某一类功能电路，或者需要电路研究者自己选择软件搭建特定的功能电路，编写测量单元进行数据分析，无法提供完整的变流电路形式，无法统一给出数据收集和分析平台。

针对以上问题，本文设计了电能转化功能电路辅助设计分析仿真平台。该仿真平台将综合交流与直流电相互转化的四种变流电力电子电路设计功能，为电力电子技术初学者和相关电路研究人员提供一种可以快速完成电路搭建的软件平台。该平台将提供开放的电路拓扑结构设计功能与参数调节功能，结合数据分析功能，让研究人员的电路设计实验变得简单容易，使用者用电脑即可完成仿真实验。同时对于电力电子远程教学提供了学生学习的仿真途径，帮助学生掌握电力电子电路的工作过程。

2. 电能转化功能电路辅助设计分析仿真平台功能设计

2.1. 仿真平台人机交互界面设计

该仿真平台包含了直流电与交流电电能形式相互转化的四种功能电路设计分析仿真功能，设计有人机交互界面作为操作平台，以供使用者使用，该界面结构图设计如下。

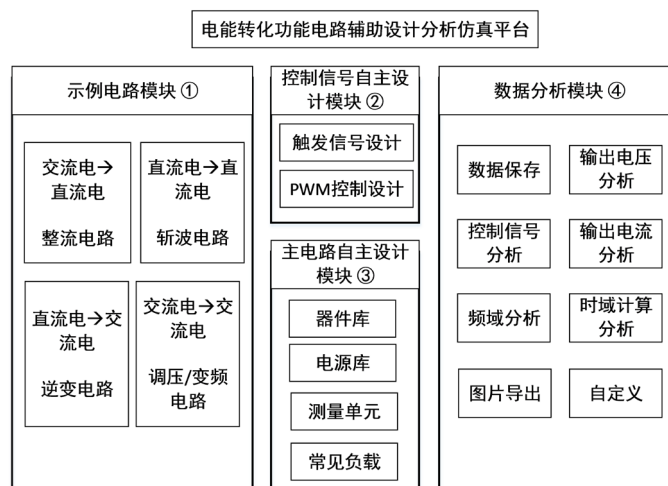


Figure 1. Simulation platform human-computer interaction interface design

图 1. 仿真平台人机交互界面设计图

由图 1 可见，平台名称将显示在界面正上方，同时该仿真平台共包含四个主要功能模块。模块 1 为示例电路模块，在该模块中将提供完整的示例电路以供初学者使用。包括交流电转化为直流电的典型整流电路程序、直流电转化为直流电的典型斩波电路程序、直流电转化为交流电的典型逆变电路、交流电转化为交流电的典型调压/变频电路。模块 2 为控制信号自主设计模块，在该模块中将提供单一触发信号设计单元和 PWM 控制设计单元，以供用户开发电路时选择合适的控制信号。模块 3 为主电路自主设计

模块, 该模块将提供电力电子器件库、电源库、测量单元、和负载, 以供设计人员设计主电路拓扑结构, 搭建主电路。模块 4 为数据分析模块, 包括数据保存、输出电压分析、输出电流分析、控制信号分析、频域分析、时域计算分析、图片导出等功能, 并提供了用户自定义数据采集输出接口。

2.2. 模块 1 示例电路模块功能设计

示例电路模块为初学者设计, 服务于电力电子技术入门人员。在该模块中提供了完整的典型电能转化电路, 包括完整的电路拓扑结构和合适的参数设置, 可以直接运行导出相应数据, 帮助用户了解电能转化电路的具体运行过程。打开仿真平台后选择调用模块①中提供的典型电能转化电路, 会自动生成带有仿真功能的程序平台, 并自带对应的电路拓扑, 包括完整的元器件、电源、电路连线以及测量输出单元。所有相关参数均有设置好的默认值, 程序为用户开放了所有参数设置功能, 可以分别改变电源、负载以及控制参数。用户设置完成后, 可以进行希望时长的电路工作仿真, 完成仿真后, 调用模块④即可进行完整的仿真数据分析。

2.3. 模块 2 控制信号自主设计模块功能设计

控制信号自主设计模块②与主电路自主设计模块③共同组成电路自主设计单元, 服务于电能转化电路相关研究人员。在模块②中, 提供了较为开放的设计平台, 提供给研究人员进行相对自由的设计空间。打开仿真平台后选择调用模块②, 选择触发信号的形式, 依据电路需求和电力电子器件种类, 设置触发信号幅值、频率、延时等信息。如果用户需要多触发信号, 程序为用户提供了逻辑计算单元以供用户设计复杂的触发信号逻辑, 并为用户开放多触发信号协调调整功能。用户完成自主设计后, 可将触发信号进行封装, 以供模块③使用。

2.4. 模块 3 主电路自主设计模块功能设计

主电路自主设计模块③, 服务于电能转化电路相关研究人员。在模块③中, 程序将为用户提供一个开放的电路仿真程序搭建平台, 提供给研究人员进行相对自由的设计空间。打开仿真平台后调用主电路自主设计模块③后, 将打开一个空白的设计空间, 在电源库中选择合适的电源, 在负载库中选择合适的负载, 在电力电子器件库中选择合适的器件, 并按照电路拓扑进行电路连接, 并安放希望测量的输出量。进而进行相关参数的设置, 选择希望的仿真时长后, 调用数据分析模块④后可以进行详细的仿真数据分析, 如果不满足设计者的需求可以进行电路拓扑结构和相关参数的修改, 直至满足要求, 最后可以进行设计电路和数据的导出存储。

2.5. 模块 4 数据分析模块功能设计

数据分析模块④, 可以支持示例电路模块①以及自主设计电路模块②③提供的仿真电路程序的输出数据分析。在模块④中, 程序将为用户提供一个图形化的数据分析平台, 为用户提供可视化的数据分析工具。具体流程图如图 2 所示, 启动平台后调用模块④, 用户首先需要选择要分析的数据来源, 该模块支持硬盘数据导入和仿真程序现场运行数据收集。若用户选择硬盘数据导入, 则选择合适路径、合适格式的数据。数据中必须包含时间采样数据以及电路测量采样数据, 要求采样周期和其余输出量相同。如果用户选择仿真程序现场运行数据收集方式, 可以具体确定采用模块①提供的示例电路进行仿真或者采用模块②和模块③自行设计的电路进行仿真。获得数据程序将支持时域分析及频域分析。

3. 电能转化功能电路辅助设计分析仿真平台功能实现效果

仿真平台实现效果图如图 3 所示, 包括按钮、下拉菜单、复选框和图像显示等控件。可以让使用者

选择希望的模块进行操作，实现本文介绍的辅助设计及数据分析功能。

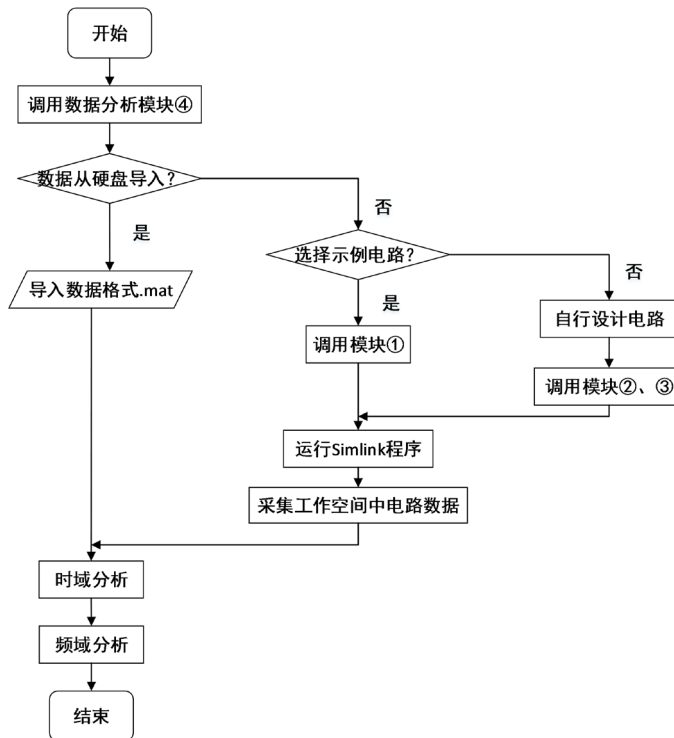


Figure 2. Simulation platform—data analysis module
图 2. 仿真平台——数据分析模块



Figure 3. Simulation platform implementation rendering
图 3. 仿真平台实现效果图

采用 MATLAB/Simulink 实现电路自主设计功能模块，实现效果图如图 4 所示，点划线框为软件平台提供的库文件截图，实线框为自主设计平台窗口。在设计平台窗口中可以采用复制的形式，将库文件中

的功能单元加入在所设计的电路中，在电力电子器件库中选择使用的开关器件，在电源库中选择待转化电能形式的输入电源，在负载库中选择希望研究的负载，选择合适的测量单元后，即可进行电路拓扑连接，将电力电子主电路和控制信号连接在同一个窗口中，并进行统一的仿真绿色的矩形框为封装好的测量单元，可以测量连接两点之间的电压值，并以矩阵的形式将数据进行采样输出。控制信号生成单元封装了触发信号，可以依据主电路中可控电力电子器件的个数，选择启用多个触发信号进行控制。双击每个单元均可以设计该单元涉及的相关参数，如电源电压幅值、电阻阻值、测量单元输出数据的变量名、控制触发信号的周期、控制触发信号的延迟角等。电路搭建完成后即可进行电路运行仿真，经过仿真后可以将所有程序中添加的测量单元数据以及触发信号输出数据，以统一的采样周期进行采样记录，并存储成数据矩阵形式，基于这些输出数据可以进行绘图显示。

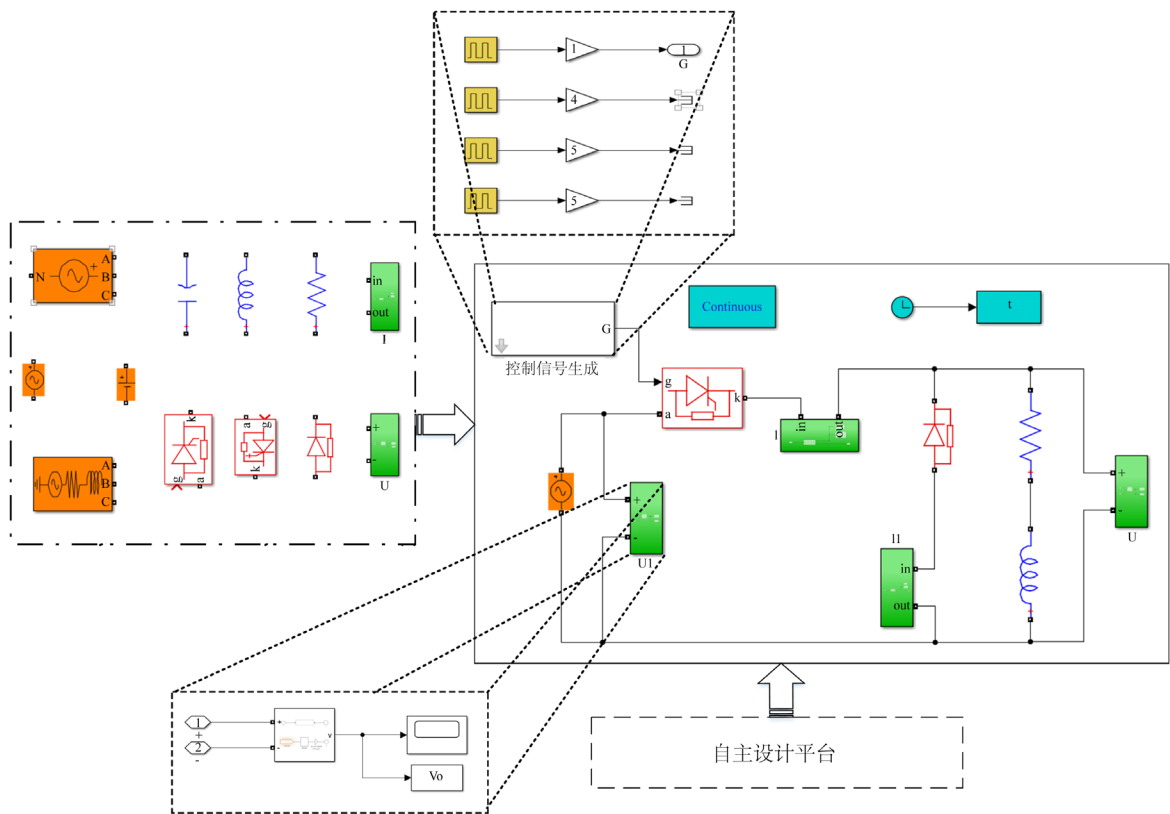


Figure 4. Independent design function of the circuit implementation rendering

图 4. 电路自主设计功能模块实现效果图

该仿真平台经过测试，初步服务于电类专业大二学生的远程线上教学实验部分，用以支持理论课程的实验仿真，并作为每个典型功能电路的验证环节辅助远程线上教学工作的开展，帮助学习《电力电子技术》专业课的初学者们进行电路搭建以及数据分析。通过该软件的使用，帮助学生们及时对理论教学环节进行仿真验证，探索不同电路参数和拓扑结构对典型电能转化电路功能的影响。经使用者反馈，可以使用该平台对《电力电子技术》课程中的讲解的典型电能转化电路进行仿真，且具有操作简单方便，图形化分析结果清晰等特点。

4. 总结

为了给电力电子技术初学者和相关电路研究人员提供一种可以快速完成电路搭建的软件辅助工具，

本文设计了电能转化功能电路辅助设计分析仿真平台。该平台将提供开放的电路拓扑结构设计功能与参数调节功能,结合数据分析功能,让研究人员的电路设计实验变得简单容易。同时可以帮助初学者掌握电力电子电路的工作过程,辅助电力电子技术课程教学,并为该课程的远程教学提供了学生学习的仿真途径。

基金项目

大学生创新创业训练项目资助,项目编号 201910066016。

参考文献

- [1] 史尤杰,刘邦银,段善旭. 单级式单相逆变器及其低频输入电流纹波抑制[J]. 高电压技术, 2019(1): 259-268.
- [2] 李菁,王广江. 单相全桥逆变电路共模电流的抑制[J]. 山东工业技术, 2018(19): 162-163.
- [3] 李文华,孟喆,胡琦,张林林. 单周期控制下交流调压源的研究[J]. 电气传动, 2018(2): 61-64.
- [4] 张之光. 风电系统单相正弦脉宽调制逆变器的设计[J]. 现代工业经济和信息化, 2019(10): 38-40.
- [5] 王瑞,尹亮,王春蕾,田长安. 某和谐型机车 Buck 斩波电路双闭环控制试验研究[J]. 机车电传动, 2017(1): 80-84.
- [6] 徐凯,王海祥,岳德臣,李海茹. 农村电网电压提升方案研究[J]. 金陵科技学院, 2019(2): 45-49.
- [7] 李瀚,赵欢,李强,梁晓楠,荣军. 两种单相交流调压电路的比较研究[J]. 船电技术应用研究, 2017(37): 28-31.
- [8] 唐江,马书婷. Buck-boost 升降压斩波电路的分析和仿真应用[J]. 电脑迷, 2018(9): 253-254.
- [9] 印治涛,潘江如,何龙,佟灵茹. 电动汽车 AC-DC 电能变换器整流方式介绍及仿真[J]. 中国新技术新产品, 2019(9): 62-64.