

DOI:10.12361/2705-0866-05-03-118732

基于 MATLAB 的电力电子教学研究

卢锋 刘霞 张伟 王银 姚曼 吕建波

西安文理学院 机械与材料工程学院, 中国·陕西 西安 710065

【摘要】电力电子技术课程具有理论性强、波形复杂、分析和理解难的特点;在实验过程中也存在参数确定困难,实验结果易受影响的问题。该文探究将软件仿真与教学相结合,用以提高教学质量,丰富教学内容。文中以单相桥式全控电路为例,建立了电路仿真模型,给出仿真结果并进行了详细分析,验证了理论的正确。将仿真技术引入到教学环节中,不仅能加深学生对原理的理解和掌握,而且激发了学生的学习兴趣,培养了动手能力,提高了探索精神和研究能力。

【关键词】电力电子;单相桥式全控;MATLAB 仿真

Research on Power Electronics Teaching Based on MATLAB

Feng Lu, Xia Liu, Wei Zhang, Yin Wang, Man Yao, Jianbo Lu

School of Mechanical and Materials Engineering, Xi'an University of Arts and Science, Xi'an, Shaanxi, China 710065

[Abstract] The course of power electronics technology has the characteristics of strong theory, complex waveform and difficult analysis and understanding. In the process of experiment, there are also some problems, such as the difficulty in determining parameters and the easy influence of experimental results. This paper explores the combination of software simulation and teaching to improve teaching quality and enrich teaching content. In this paper, taking the single-phase bridge full-control circuit as an example, the circuit simulation model is established, the simulation results are given and analyzed in detail, which verifies the correctness of the theory. The introduction of simulation technology into teaching can not only deepen students' understanding and mastery of principles, but also stimulate students' interest in learning, cultivate their practical ability and improve their exploration spirit and research ability.

[Keywords] Power electronics; Single-phase bridge full control; MATLAB simulation

【基金项目】西安市科技计划项目 2022FWQY11.

1 引言

本科教育的《电力电子技术》这门课程,是以研究如何应用电力电子器件(如晶闸管、GTO、IGBT等)对电能进行变换和控制,这些技术在电力领域具有广泛的应用前景^[1]。目前这门课程已成为现代电气工程与自动化专业不可缺少的一门专业基础课,在培养专业人才中占有重要地位^[2]。然而在多年的理论及实践教学过程中发现:学生普遍反映该课程学习困难、电路形式多样、波形复杂多变、不会分析和计算、实验操作接线复杂、参数调整困难、实验中遇到问题也不知道从哪下手去排查。所以这门课程不论是理论教学还是实践操作方面,学生掌握的一直不是很好。

《电力电子技术》这门课程理论性较强,要学好这门课程,首先需要掌握每种器件的工作特性,同时还需要对不同时刻下的参数进行分析和计算。自媒体时代的大学生早已习惯了直观、感性的接收知识,这就需要教师能以形象生动的方式将相关的知识传授给学生,这个重任本应由实验过程来弥补和担当,然而发现实验效果也同样不理想。究其原因有以下几个方面:一、实验线路由主电路、触发电路、测试电路及参数调整电路组成,线路相对而言比较复杂,学生看到线路后心理上会犯怵,不会接线、接线错误、不知调哪个参数、不知在哪个地方测量等,这些问题都在实际操作过程中突现了出来;二、实验台元件老化,器件性能出现变化,导致电路的工作状态及测量的波形与理论讲授有一定的差别,甚至还出现因某一参数调节不当而导致整个电路不工作情

况。此时学生要么怀疑实验台故障,要么怀疑接线错误,可是检查找不到原因,分析又不会,折腾两三次后学生的实验积极性受到极大的打击,实验太难的烙印就深深的印入学生的脑海中;三、学生在操作过程中还有畏惧胆怯心理,本实验属于强电实验,实验过程中指导教师会一再强调注意人身安全、注意设备安全,这就造成了学生惧怕心理,不敢探索,不会额外的去做一些验证故障实验,更不会探究异常情况下电路的工作情况。以上诸多的缺陷严重影响了该课程的理论和实践教学效果。

随着电力电子技术应用领域的日益广泛,可用于电力电子电路及装置的仿真软件不断出现,比如主要用于电子电路的通用仿真软件Pspice、专用仿真软件PSIM、通用仿真软件Saber、MATLAB等^[3-4]。在本课程的改进探究过程中,考虑到学生在数学计算、自动控制原理以及运动控制系统中都是以MATLAB为基础,故而也选择基于MATLAB软件,对电力电子应用技术中的各种使用进行实验探索^[5]。希望借助软件仿真,不仅能加深学生对理论的掌握,更重要的是培养学生的探索精神,能达到验证理论、掌握方法、树立信心、培养兴趣的教学目标。

2 基于 MATLAB 的电力电子技术课程教学方法设计

本教学改革使用 MATLAB 软件中的仿真集成环境 Simulink,教学方法设计如下:首先根据理论学习的知识,在 Simulink 中调用功率器件、触发电路、测量仪器等搭建电力电子电路;接着对电路中的每个元件设置相关的数值,设置系统仿真所用的算法及

时长等参数; 此时运行仿真, 就可以在测量仪器上读出电路中参数的数值及波形, 结合理论进行分析, 验证仿真结果是否正确; 最后再进行电路参数的修改以及人为故障的设置, 比如触发角调整、负载变动、电源缺相、触发信号不对称、触发信号丢失、功率器件损坏等等, 通过这样的环节加强学生对理论知识的理解, 培养学生探索精神, 提高学生解决实际问题的能力^[6-7]。

3 基于 MATLAB 的教学仿真实例

电力电子技术主要围绕着交流和直流之间的四大变流技术, 这其中整流和逆变是教学过程中的重点和难点^[8-9]。本文将单相全控桥电路为例, 分析整流及有源逆变的工作原理及特性, 希望能通过这个案例抛砖引玉, 使学生将理论学习与软件仿真完美结合。

3.1 单相桥式全控整流电路仿真及分析

单相桥式全控整流电路仿真图如图1所示, 仿真图采用四个晶闸管及四个脉冲发生器搭建构成, 这里没有选择通用桥式电路模块和六脉冲发生器, 就是希望借此加深学生对桥式电路拓扑结构的理解, 学生通过设置四个脉冲发生器相位差, 还能使学生对桥式电路四个晶闸管之间的工作周期有深入的学习和掌握, 为后续感性负载及逆变电路的分析又打下了坚实的基础。电路的元件参数设置为: U_2 220V, U_g 5V, 占空比 5%。在纯电阻情况下, 分别测量了不同触发角时输出电压的平均值, 记录数据如表1所示, 可以看出, 测量值与理论计算值几乎一样, 验证了桥式全

控电路输出电压为: $U_d = 0.9U_2 \frac{1 + \cos\alpha}{2}$ 。为了加深对桥式电路

理解和掌握, 可以分别对纯电阻性负载、阻感性及反电动势负载, 在不同的触发角情况下的电路波形进行仿真, 甚至还可以对触发信号不对称、触发信号丢失等异常情况进行仿真。篇幅有限, 这里仅截取部分波形作为举例。图2是阻感性负载(电阻 $R=10\ \Omega$, $L=10\text{mH}$), 控制角为 60° 时输出的各路波形; 图3是人为设置故障(VT1, VT3 触发信号丢失)时的输出波形。

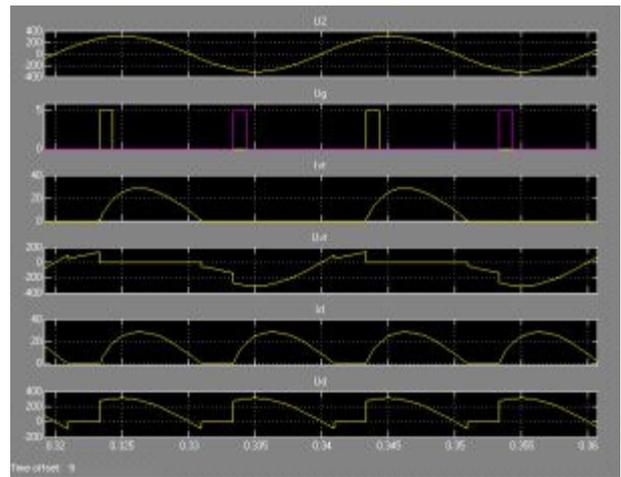


图2 阻感性负载 60° 时波形

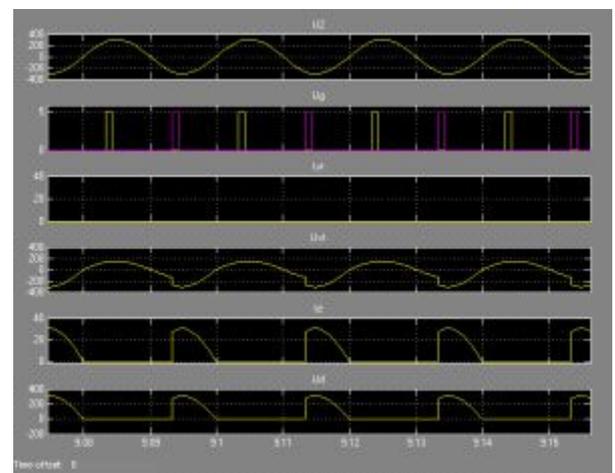


图3 触发信号丢失时输出波形

通过对仿真波形的分析, 就可以逐一验证理论知识点, 加深学生对理论的掌握。比如: 从图中可以看到对于晶闸管而言, 外加正向电压和触发信号同时满足时, 晶闸管即可导通, 导通后管压降理想值为零, 此时输出电压与外界交流电压相同; 控制触发角到来的时刻, 即可控制输出电压的变化; 在图2中还可以看出, 当加入电感性负载时, 负载电流明显变化, 上升时的速率 di/dt 明显减小, 到自然换相点 (t_2 时刻) 也因为电感的续流, 出现延迟一小段才关断, 也因此导致输出电压 U_d 出现负值, 从而降低了输出电压的平均值。图3是人为设置一些常见故障时的输出波形, 有助于学生知道异常情况下电路的工作状态, 这对于学生在实际操作中故障的排查、问题的分析以及进一步的探索都有很大的帮助。

3.2 单相桥式全控有源逆变仿真及分析

桥式全控有源逆变仿真电路其结构与桥式整流电路几乎相同(只是在负载端多了一个直流电源), 另外工作时控制角的导通时段不一样。这部分内容在教学时, 发现学生很难理解能量的传递方向, 做实验时也经常因为控制角设置不当, 引起逆变失败; 或者因为电源极性设置不当引起短路等等。故在此一并进行仿真探究, 加深学生对桥式全控电路原理的掌握。为了使结果清晰便于分析, 这里先仿真控制角 120° 无直流电源时的输出波形, 仿真结果如图4所示; 再仿真控制角 120° , 直流电源 250V 时的输出波形,

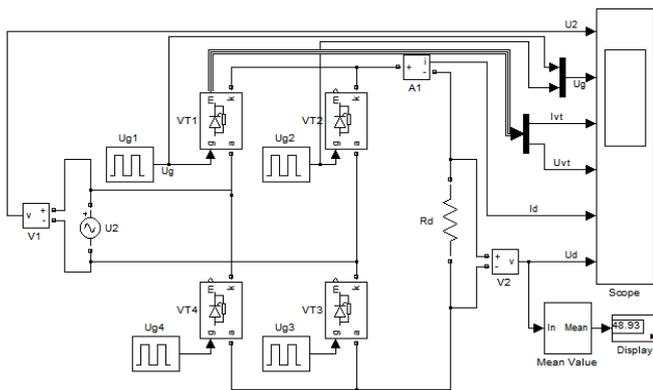


图1 单相桥式全控整流电路仿真电路

表1 仿真结果记录

控制角 (度)	30	60	90	120
Ud测量值 (V)	182.1	146.7	97.95	48.93
Ud计算值 (V)	184.73	148.5	99	49.5

仿真结果如图 5 所示^[10]。

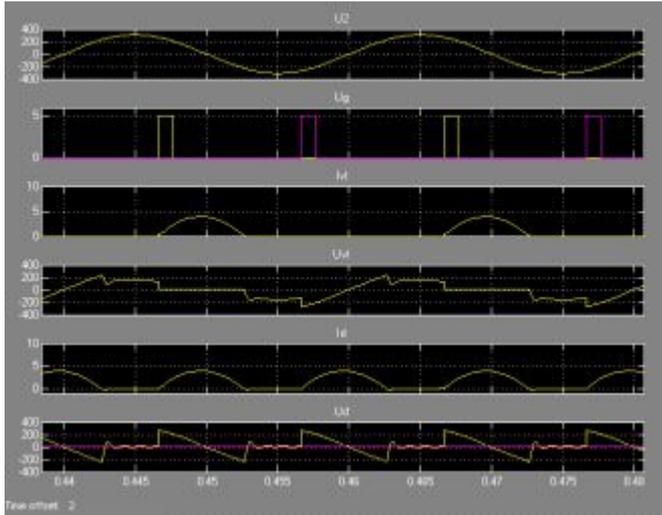


图4 $\alpha = 120^\circ$ 无直流电源时仿真结果

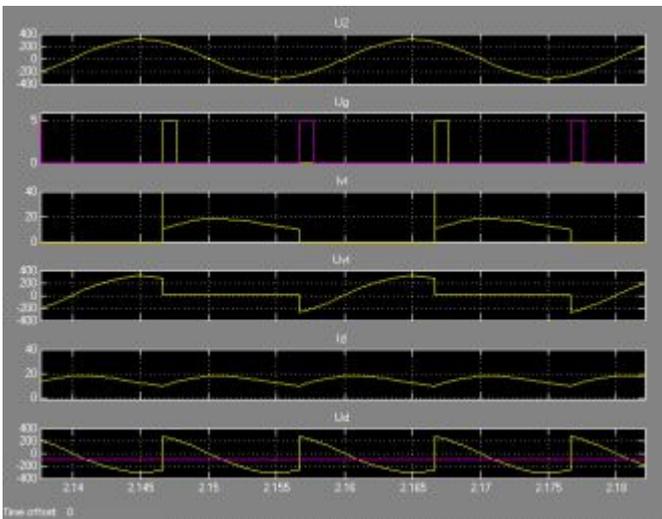


图5 $\alpha = 120^\circ$ 直流电源250V时仿真结果

对比分析图 4、图 5 可以看出，负载端无直流电源时，当外加交流信号换相时，在负载电感的作用下，晶闸管能持续导通一小段时间，当储存能量释放完后，晶闸管关断，此时负载上无电流流动，输出电压 U_d 的平均值为 0；当外加 250V 直流电源，这时在换相后，由于电感的续流和直流电源提供能量，负载中一直有电流且电流的方向不变，测量整流后输出电压为负 100V。可见此时能量是从直流电源传递给交流电源端，实现了向电网的馈

电即有源逆变。调整不同的控制角或改变直流电源的数值、极性，通过不同的实验可以归纳出有源逆变实现的两个条件：第一，要有直流电动势，其极性需要和晶闸管的导通方向一致，其值应大于变流器直流侧的平均电压；第二，要求晶闸管的控制角 α 大于 90° ，使 U_d 为负值。

4 结束语

通过在 MATLAB/Simulink 下搭建桥式全控电路，并对各种情形下的结果进行仿真，通过分析实验波形，不仅形象直观的验证了相关理论，同时加深了学生对桥式全控电路的全面掌握。采用软件仿真的方式，学生修改参数方便、观察结果直观、学生敢于设置故障验证原理等等。将软件仿真引入《电力电子技术》这门课程的教学过程中，对于加深理论学习，提高动手能力，培养探索精神有很大的帮助。

参考文献：

- [1] 王兆安, 刘进军. 电力电子技术 (第五版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009
 - [2] 宗哲英, 郝敏, 洪宝棣. 关于《电力电子技术》课程建设的实践与探讨[J]. 内蒙古农业大学学报, 2013, 15 (1): 73-74
 - [3] 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
 - [4] 罗如山, 陈政石, 刘美. 基于 PSIM 的“电力电子技术”仿真教学研究[J]. 中国电力教育, 2012, 27: 85-86
 - [5] 洪武. PSIM 在电力电子技术教学中的应用[J]. 实验科学与技术, 2009, 7 (1): 37-39
 - [6] 李洁, 王伟, 钟彦儒. 电力电子系统的 PSIM+Matlab 联合仿真方法[J]. 电力电子技术, 2010, 44 (5): 86-88
 - [7] 洪乃刚. 电力电子电机控制系统仿真技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2013
 - [8] 王宏华. “电力电子技术”课程教学中创新能力的培养[J]. 电气电子教学学报, 2010, 32 (4): 38-39
 - [9] 朱艺锋, 陶慧, 王新环. 基于 PSIM 的电力电子探究性实验教学研究[J]. 实验科学与技术. 2018, 16 (4): 92-95
 - [10] 韩涛, 肖波, 詹习生. 基于 MATLAB 的电力电子技术实验教学改革[J]. 湖北师范大学学报(自然科学版). 2021, 41 (4): 103-107
- 作者简介：**
卢锋 (1982-), 男, 陕西城固人, 硕士研究生, 实验师, 检测技术与自动化装置专业, 主要从事自动化相关专业教学及科研工作。