

Proteus 在微弱信号检测教学中的应用探讨

杨 晖, 蒋国亮

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 针对目前“微弱信号检测”课程存在实验资源有限和设备维护要求高的问题, 提出了采用 Proteus 仿真与实验相结合的教学模式。以微弱信号检测技术中最重要的锁相放大器为例, 利用 Proteus 软件设计了锁相放大器的仿真实验, 通过对锁相放大器仿真实验的学习, 一方面可以让学生更好的掌握锁相放大器的结构和原理; 另一方面熟悉 Proteus 仿真技术, 了解锁相放大器的构建过程, 通过自己动手开发锁相放大器, 为下一步实验做好准备。

关键词: 微弱信号检测; Proteus; 锁相放大器

中图分类号: TN 911.23

文献标志码: A

文章编号: 1009-895X(2016)02-0184-04

DOI: 10.13256/j.cnki.jusst.sse.2016.02.016

The Application of Proteus in the Teaching of “Weak Signal Detection”

Yang Hui, Jiang Guoliang

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai
for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: To solve the problem of limited experimental resources and high equipment maintenance requirements in the course of “weak signal detection”, a combination of Proteus simulation and experimental teaching mode is proposed. Learning examples of lock-in amplifier which is the most important technology of the weak signal detection, the students can develop a virtual lock-in amplifier with the software of Proteus. In this process, the students not only get familiar with the structure and principle of the lock-in amplifier, but also master the Proteus simulation techniques. The new teaching mode helps students build the process by themselves and prepare them for the next experiment.

Keywords: weak signal detection; Proteus; lock-in amplifier

在物理学、化学、生物物理学、天文学、地震学以及医学等领域的研究中, 存在大量较为微弱或极其微弱的信号, 这些信号经过传感器后的电信号有时在 pA 量级或 nV 量级, 并伴随着大量的噪声, 传统的信号检测方法无法把有效信号从中检测出来。微弱信号检测是一门利用光电子学的、信息论

的和物理学的方法, 分析噪声产生的原因和规律, 研究被测信号的特点和相干性, 检测被背景噪声覆盖的弱信号的新兴学科, 在工业、农业、军事以及航空航天等领域皆有着非常广泛的应用, 近年来已成为现代工科学生从事科学研究不可缺少的一门知识, 其教学和研究也越来越受到国内外高等院校和

收稿日期: 2015-05-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61007002); 上海市教育委员会科研创新基金资助项目(15ZZ072)

作者简介: 杨 晖(1981-), 男, 副教授。研究方向: 仪器科学与技术。E-mail: yanghui@usst.edu.cn

科研机构的重视^[1-6]。微弱信号检测课程的内容多、发展快、涉及知识面广,要想提高教学质量、提升教学效果,只有通过大量实验,让学生亲自动手观察客观现象,验证理论知识^[7]。但是目前微弱信号检测的实验设备价格昂贵、设备维护专业化要求较高,一般高校不会大量配备。以笔者学院实验室为例,现有南京大学生生产的综合微弱信号实验仪6套(每套约15万元左右),每套实验仪只能2名学生操作,一个系列实验需要6~8个学时,以本科和研究生相关专业300个学生为例,需要150~200学时,从课内实验角度看,显然现有实验设备无法满足愈来愈高的实践教学需求,因此如何更好地开展实验教学成为目前摆在微弱信号检测实验教学前的一道难题。

Proteus 是世界上著名的 EDA 工具(仿真软件),从原理图布图、代码调试到单片机与外围电路协同仿真,真正实现了从概念到产品的完整设计。本文以微弱信号检测技术中最重要的锁相放大器为例,利用 Proteus 软件开发平台,设计了一种教学实践型锁相放大器,一方面可以让学生更好地学习锁相放大器的结构和原理;另一方面熟悉 Proteus 仿真技术,了解锁相放大器的构建过程,通过自己动手开发设计锁相放大器,为下一步实验做好准备。

一、锁相放大器原理

相关检测是应用信号周期性和噪声随机性的特点,通过自相关或互相关运算,达到去除噪声、检测信号的一种技术。锁相放大器就是采用互相关技术,通过对待测信号与参考信号的互相关运算,实现对待测信号中有效信号的提取,达到提高信噪比的目的^[8-9]。常用的正交锁相放大器采用了双相关器的原理,参考信号由两路相互正交的方波信号构成,其原理框图如图1所示。正交锁相放大器主要包括信号通道、参考输入、相敏检测器(PSD)、低通滤波器(LPF)和幅值运算器。信号通道对调制正弦信号输入进行交流放大,将微弱信号放大到足以推动相敏检测器工作的电平,并且要滤除部分干扰和噪声,以提高相敏检测的动态范围。参考输入一般是两路正交的正弦信号或方波开关信号,它可以是从外部输入的某种周期信号,也可以是系统内原先用于调制的载波信号或用于斩波的信号。PSD 以参考信号为基准,对有用信号进行相敏检

测,再经 LPF 滤除噪声,因为 LPF 的频带可以做得很窄,所以可使锁相放大器输出达到较大的信噪比。幅值运算器根据低通滤波器输出的同相分量和正交分量做相应运算即可得到输入信号的幅值信息。

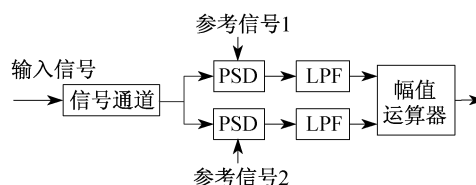


图1 正交矢量锁相放大器原理图

Fig. 1 The schematic diagram of the orthogonal vector phase in locked amplifier

二、基于 Proteus 的锁相放大器设计

基于 Proteus 的锁相放大仿真主要由三部分组成:正交参考信号、相敏检波和幅值运算电路,其中相敏检波电路是最重要的部分,下面以此为例介绍如何利用 Proteus 进行仿真设计。

相敏检波利用逻辑电平控制的模拟开关来实现,当输入低电平时使得原信号通过,高电平时使原信号取反后通过,其原理框图如图2所示。

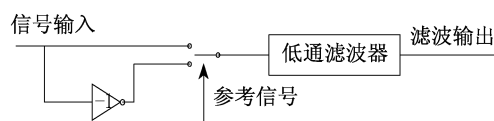


图2 采用模拟开关的相敏检波原理图

Fig. 2 The schematic diagram of phase sensitive detection using analog switch

在 Proteus 仿真设计中,模拟开关使用 DG419,通过参考信号来选择开关通断来实现相敏检波,其具体原理图如图3所示(见下页)。

调用示波器,测试相敏检波的输出,可得波形如图4所示(见下页)。图4中,第一条波形为正弦波输入信号,第二条为方波参考信号,第三条为相敏检波结果。其中,(a)为同相输出波形图,其参考方波与输入正弦波同频且相位差为 0° 。(b)为正交信号输出波形图,其参考方波与输入正弦波同频且相位差为 90° 。从(a)和(b)的第三条波形可以看出,当参考方波为高电平时,原信号通过,参考信号为低电平时,输入信号取反通过,显然该仿真实现了相敏检波的功能。

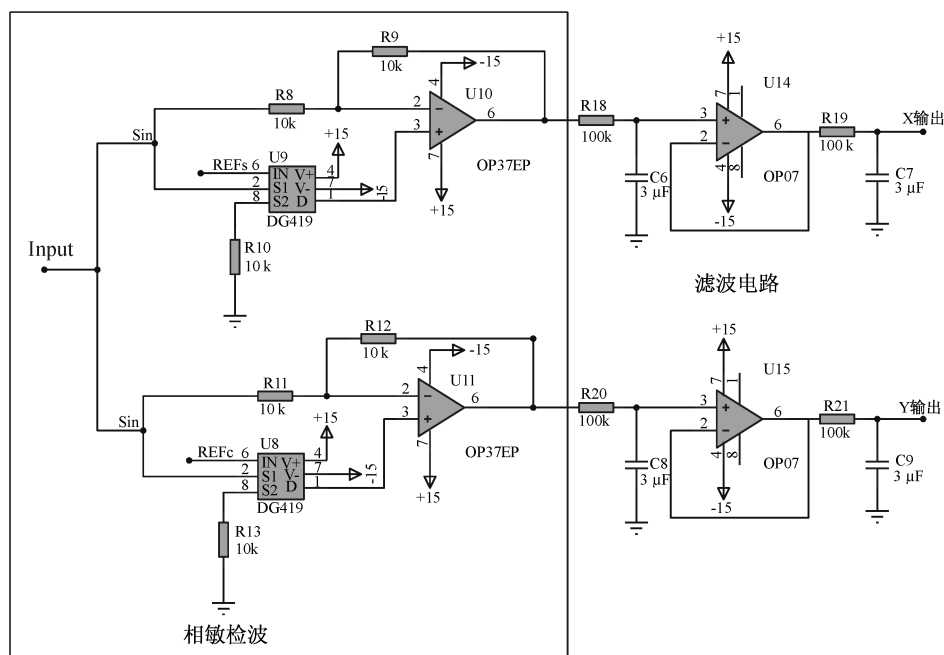


图3 相敏检波电路

Fig. 3 The phase sensitive detection circuit

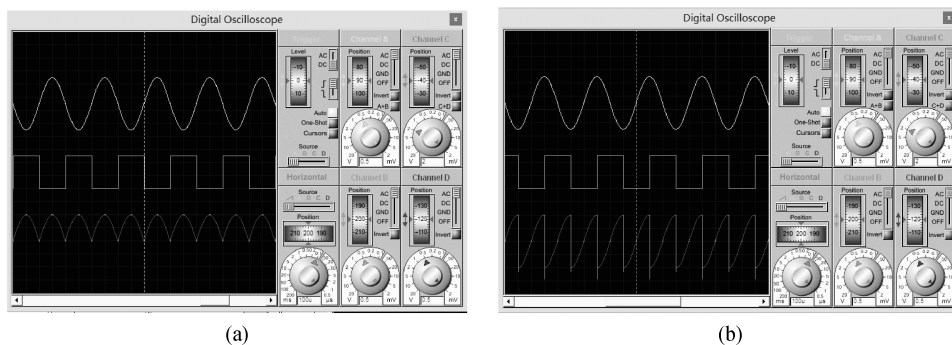


图4 相敏检波输出波形图

Fig. 4 The output waveform of the phase sensitive detection

三、仿真设计的实践效果和存在的不足

(一) 实践效果

经过基于 Proteus 的锁相放大器仿真设计和实验相结合的教学后,上海理工大学的微弱信号检测技术课程设计的教学改革取得了一定的效果。主要表现在以下几个方面:

(1) 帮助学生深入理解所学内容。锁相放大器的理论学习过程偏重于数学推导,学生普遍反应

比较枯燥,注意力很难集中。通过仿真设计可以培养学生理解和综合运用所学知识来解决问题的能力。设计内容包含所学课程的主要部分。设计内容明确,指标具体,这对提升学生的专业知识很有帮助,同时学生在课程设计中获得了一次从芯片选型、参数计算、具体设计、在线测试的实践经历。最后采用答辩方式进行成绩评定,这也是一个设计优化和设计成果交流的过程。

(2) 培养了学生的创新能力。光电检测技术课程设计涉及到光、机、电、算等多个领域的知识,促使学生必须主动查阅资料来整合、优化其知

识结构,通过查找资料、分析比较、方案设计、数学模型、优化设计、修改排错、撰写报告等一系列过程,不知不觉就具备了思考问题和解决问题的能力,同时自学能力也不自觉间得到了提高。课程设计之后,学生积极参与各种形式的课外科技创新活动、参与各类科研项目,上海理工大学光电信息与计算机工程学院学生的创新成果也在逐年递增。光电检测课程设计不仅增强了学生解决问题的能力,还培养了学生产品研发的创新能力,确实有助于高素质创新型人才的培养。

(3) 紧密结合科研的设计模式也有助于提高教师素质。教师要对课程设计活动进行合理组织和指导就必须不断学习和提高,要具有扎实的专业基础,多领域的学科知识,同时具有很强的科研工作能力和设计能力,实践课程的教学从内容、方法等多个方面对教师提出了要求,相信指导教师都会勇于面对这种挑战,为高素质人才的培养不断探索前进。

(二) 存在的不足

当然在此过程中,也发现基于 Proteus 的仿真设计教学仍然存在一些不足,如:

(1) 仿真结果过于理想。这是目前仿真设计普遍存在的难题,由于仿真结果中具有不确定因素,如:环境噪声、器件本身材质和引脚焊接处产生的噪声等,使得学生缺乏对实际问题的应对能力。针对这一问题,可通过和后续实际的锁相放大器实验相结合,特别要求不能忽视实际操作过程中存在的各种噪声干扰,从而与仿真设计教学相结合,从而更全面的掌握知识,提高实际动手能力。

(2) 元件库不全。虽然 Proteus 仿真软件的功能非常强大,而且元件数据库也可以更新,但仍然会有少量的元器件无法找到,从而限制了一部分创新性的设计。针对这类问题,可通过鼓励学生

开展更多的研究和调研,设计不同的替代方案达到相同的功能,另一方面,也增强了学生的创新能力。

四、结束语

“微弱信号检测”课程以及课程建设是一个系统工程,特别是实验建设的加强,需要课程组全体教师和实验员的共同努力,从而给学生课程设计提供一个更好的实践平台,使学生能真正有动手的机会。本文采用 Proteus 仿真平台,以微弱信号检测中最重要的锁相放大器为例,仿真设计了一款锁相放大器,一方面使学生能够更好的掌握锁相放大器的原理,另一方面也减轻了该课程的实验压力,并为相关课程的建设 and 开展提供了一定的借鉴。

参考文献:

- [1] 何亚平.微弱信号检测技术探讨[J].电子制作,2013(6):154.
- [2] 章克来,朱海明.微弱信号检测技术[J].航空电子技术,2009,40(2):30-36.
- [3] 陈忠祥,武晓东,吴云良,等. SIPM 在脉冲光检测系统中的应用研究[J].光学仪器,2014,36(6):476-480,485.
- [4] 余明,陈锋,李抄,等.微弱光强信号采样电路设计[J].光学仪器,2014,36(3):253-257.
- [5] 王云才,张建国,徐航,等.基于混沌信号的光时域反射仪[J].光学仪器,2014,36(5):449-454.
- [6] 周围.基于小波熵的微弱磁异常信号降噪处理[J].光学仪器,2013,35(4):12-16.
- [7] 卢荣德,杜英磊.微弱信号检测技术综合专题实验[J].电气电子教学学报,2005,27(3):78-82.
- [8] 冯睿,杨运芳. Proteus 在“电子技术基础与技能”课程中的应用[J].工业和信息化教育,2013(7):55-58.
- [9] 孙志斌,陈佳圭.锁相放大器的新进展[J].物理,2006,35(10):879-884.

(编辑:巩红晓)