

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802309

基于虚拟仪器技术的工频 X 线机单元 电路实验系统的设计

戴逢亮¹ 孙九爰² 刘小瑾¹ 王培培¹ 赵梦蝶¹

(1.上海理工大学 医疗器械与食品学院 上海 200093; 2.上海健康医学院 医学影像学院 上海 201318)

摘要: 为了提高工频 X 线机电路实验教学的开放性和解决实验设备费用高、易损坏、更新慢等问题,研究并开发一套教学使用的工频 X 线机单元电路实验仿真系统,可以完成工频 X 线机电路实验课程的基本教学任务。结合工频 X 线机电路实验教学课程的需求,以工频 X 线机典型的单元电路为例,采用电路仿真软件 Multisim 仿真实验电路,虚拟仪器开发软件 LabVIEW 进行实验系统界面设计,并利用接口技术实现二者之间的通信联结,完成工频 X 线机单元电路实验系统的构建。设计完成后的实验系统能够仿真实际 X 线机单元电路的工作过程,学生可以在理论学习的基础上,利用此套系统进行 X 线机整流电路、限时电路、空间电荷补偿电路、容量保护电路、旋转阳极启动、延时及保护电路的实验。测试结果表明,该实验系统可以完成工频 X 线机单元电路实验课程中的电路参数测量、电路信号测试及参数显示任务,通过与真实单元电路实验箱的对比,证明了实验结果可以反映出真实的 X 线机球管电气特性。该实验系统有效地增加了学生的动手实践机会,可扩展性强,有利于探究性电路实验的进行,因此,将虚拟仪器技术用于设计和实现工频 X 线机单元电路实验系统是一种非常有效的方式,既解决了实验设备不足的问题,也为其他医学影像设备电路实验仪器的设计和研制提供新的思路。

关键词: 虚拟仪器技术;工频 X 线机;单元电路实验系统

中图分类号: TN710 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 310.6110

Designing elemental circuit experimental system of power frequency X-ray machine based on virtual instrument technology

Dai Fengliang¹ Sun Jiuai² Liu Xiaojin¹ Wang Peipei¹ Zhao Mengdie¹

(1.School of Medical Instrument and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093,China;

2.School of Medical Imaging, Shanghai University of Medical and Health Sciences, Shanghai 201318,China)

Abstract: In order to improve the openness of the experimental teaching of power frequency X-ray machine circuit, and to solve the problems of high cost, easy damage and slow update of experimental equipment, research and development of a set of power frequency X-ray machine elemental circuit experiment simulation system for teaching, it can be completed the basic teaching tasks of the power frequency X-ray machine circuit experiment course. Combined with the requirements of the experimental teaching course of the power frequency X-ray machine circuit, taking the typical elemental circuit of the power frequency X-ray machine as an example, the circuit simulation software Multisim simulation experiment circuit, the virtual instrument development software LabVIEW is used to design the experimental system interface, and the interface technology is utilized. The communication connection between the two is realized, and the construction of the experimental system of the power frequency X-ray machine elemental circuit is completed. After the design is completed, the experimental system can simulate the working process of the actual X-ray machine elemental circuit. Students can use this system to carry out X-ray machine rectifier circuit, time-limited circuit, space charge compensation circuit and capacity protection circuit on the basis of theoretical study. Experiments with rotating anode start-up, delay, and protection circuits. The test results show that the experimental system can complete the circuit parameter measurement, circuit signal test and parameter display task in the power frequency X-ray machine unit circuit experiment course. By comparing with the real elemental circuit experiment box, it is proved

that the experimental results can reflect the actual X-ray machine tube electrical characteristics. The experimental system effectively increases the hands-on practice opportunities of students, and is highly scalable, which is conducive to the exploratory circuit experiment. Therefore, the virtual instrument technology is used to design and implement the power frequency X-ray machine elemental circuit experiment system. A very effective way not only solves the problem of insufficient experimental equipment, but also provides a new idea for the design and development of other medical imaging equipment circuit experimental instruments.

Keywords: virtual instrument technology; power frequency X-ray machine; elemental circuit experiment system

0 引 言

医用 X 线机是医学影像设备类课程的重要组成部分,它主要涉及医用 X 线机的结构、工作原理和电路分析等内容^[1]。由于 X 线机等类医学影像设备的电路分析较复杂,涉及的电路动态变化过程较抽象,以教师讲授为主的传统教学手段很难将相关内容的知识点清晰详细地呈现出来^[2]。同时,由于医学影像设备价格昂贵,实验室不可能布置多台实验设备,这样必然使学生的操作机会、技能训练得不到有效的保障^[3],也不利于开放性电路实验的开展进行,这些问题一直影响着 X 线机等类大型医学影像设备电路的教学。

为解决上述问题,研究人员开发了一些实验仪器作为 X 线机实验教学的补充。这些实验仪器主要分为 3 种:第 1 种是利用软件对 X 线机的操作台界面进行模拟^[4-5],此方式目的是让学生了解曝光开始前的参数设置工作,对于 X 线机单元电路工作原理的学习帮助不大;第 2 种是开发出一种用于 X 线机单元电路教学的模拟实验箱,此方式被多所院校的实验教学所采用,但由于 X 线机单元电路众多,实验室需要太多空间存放每种实验箱,并且在实验过程中,由于学生的误操作经常损坏仪器,损坏的试验箱难以更换;第 3 种方式是利用灯泡和普通电机来模拟 X 线球管和旋转阳极,这种方式与实际球管的电气和物理参数相差较大,学生难以真正掌握 X 线球管的工作特性。

随着计算机技术的发展,基于虚拟仪器技术开发的电子电路仿真系统已经广泛应用于教学,杨丽娜等^[6]利用虚拟仪器技术开发的电路虚拟实验平台,可以进行多个模拟电路和数字电路实验;段晓杰等^[7]利用虚拟仪器开发软件 LabVIEW 进行电子线路教学,使学生更好地对电路原理进行学习与验证;刘伟玲等^[8]则利用虚拟仪器开发的电路实验平台验证电路模型,取得了良好的教学效果。

在研究了虚拟仪器技术用于电子电路实验教学工作的基础上,为工频 X 线机的教学采用虚拟仪器技术,开发了一套工频 X 线机单元电路实验系统,该系统不仅能够仿真实际单元电路的工作状态和工作原理,以帮助学生掌握 X 线机各单元电路的工作特性,还可以根据需要进行算法升级或功能扩展,为学生的自主学习提供有力的保障。同时,这种实验方法也克服了实验设备数量不足、维护困难、教学效果不理想等问题。

1 虚拟单元电路实验系统开发环境

1.1 LabVIEW 虚拟仪器开发软件

LabVIEW 是由美国国家仪器(NI)公司专门为开发虚拟仪器应用软件而设计的图形化编程环境^[9-10]。它拥有强大的数据采集、数据处理和数据显示功能^[11],可以实时进行数据运算和处理。它还提供很多外观与传统仪器类似的输入、输出控件,利用这些控件可以更好地创建用户界面,并且可以自定义控件,以达到与传统仪器操作界面相似度较高的效果。不同于传统的文本编程语言(C、VB 语言),LabVIEW 采用图形化编程方式^[12],利用图标和连线对界面上的对象和数据流程进行控制。采用 LabVIEW 开发的虚拟电路实验系统,能够通过输入可变控件来实现对电路参数的调节,并且可以通过显示控件来直观地显示电路输出数据和波形。

1.2 Multisim 电路仿真软件

Multisim 是美国国家仪器公司推出的原理电路设计和电路功能测试的虚拟仿真软件^[13]。它提供了数千种电路元器件供电路仿真研究^[14],并且针对一些特殊的电气元器件,也可以进行自定义,用于非常规仿真实验。Multisim 提供了一个最接近真实电子实验的环境^[15],学习者可以使用虚拟的示波器,万用表和电流表等仪器来测量电路仿真结果^[16],可以验证实际电路设计的可靠性^[17]。另外,使用 Multisim 进行模拟电路或者数字电路仿真实验时,不用直接接触实际的电流/电压,从而避免了学生做高压实验时可能发生的触电危险。

1.3 软件交互

为了模拟工频 X 线机单元电路实验系统的界面与电路,本文利用 LabVIEW 的界面开发功能和 Multisim 的电路设计仿真功能进行单元电路实验系统的仿真,同时通过 Co-Simulation 插件完成 LabVIEW 和 Multisim 联结交互^[18]。在 Multisim 环境下,调用由 LabVIEW 创建的虚拟仪器,如将 LabVIEW 环境下创建的虚拟示波器模块添加至 Multisim 环境中,用于电路仿真波形的测量。同时, Multisim 仿真的电路也可以加载到 LabVIEW 环境中,如添加使用 Multisim 软件定制单管放大电路到 LabVIEW 中,通过 Multisim 中的 HB/SC 交互接口可与 LabVIEW 进行参数传递。因此通过 LabVIEW 的输入可变控件设置电路参数并传给 Multisim 仿真电路,就可以实现仿真电路

输入可控,在仿真电路的输入参数发生变化后,相应的电路仿真运行结果能够实时传递到 LabVIEW 中,最后通过 LabVIEW 界面对电路仿真实验结果进行记录、处理和显示。

2 单元电路实验系统设计

2.1 设计方案

根据 X 线机电路系统实验教学的需求,本文提出的工频 X 线机单元电路实验系统,可细分为 X 线机整流电路实验、限时电路实验、空间电荷补偿电路实验、容量保护电路实验、旋转阳极启动、延时及保护电路实验共 5 个单元电路实验项目。

首先,在 LabVIEW 软件中完成单元电路实验系统主界面设计。LabVIEW 中各个单元电路实验项目以子 VI 的形式嵌入,在子 VI 中通过控制仿真模块实现与 Multisim 的联合仿真^[19]。在主界面的前面板上设置对应的按钮,与子 VI 实现连接,通过程序控制的方式使得用户在点击主界面上的实验项目按钮时,能够进入对应的实验项目。其次,针对各个实验项目子 VI,在利用 LabVIEW 事件结构编程的基础上,将各个实验项目转变为不同事件结构分支,当主界面上对应的按键被触发时,对应的实验项目子程序将运行。用户在设置不同的参数后,实验项目子 VI 能够实时地与 Multisim 中设计的电路相互作用,并且能够得到实验所需的各项输出参数。最后,在设计完成的主界面程序面板上,对构成各个实验项目的子 VI 进行节点设置,实现不同单元电路实验项目被调用时,单元电路实验系统能够相互独立工作,并将单个实验项目的结果显示界面覆盖在预先打开的单元电路实验系统主界面上。

在单个实验项目的电路仿真设计方面,利用 Multisim 软件实现电路仿真实验模块的设计,并且完成电路输出参数的测量工作。通过调用 Multisim 中的 LabVIEW 交互接口(HB/SC 接口)实现与 LabVIEW 软件的数据收发,这样当用户进行某个单元电路实验项目时,输入参数与输出结果能够实时呈现在 LabVIEW 单元电路实验项目所对应的界面上。因此最终可以与完成实际单元电路实验一样,在 LabVIEW 软件界面中改变输入参数,控制 Multisim 中仿真电路模块,最后在 LabVIEW 实验界面上实时地显示电路的输出测量结果。

2.2 LabVIEW 主界面设计

图 1 所示为工频 X 线机单元电路实验系统的主界面,其中包含 5 个实验项目,分别为 X 线机整流电路实验、限时电路实验、空间电荷补偿电路实验、容量保护电路实验、旋转阳极启动、延时及保护电路实验。图 2 所示为主界面程序框图,不同的布尔按钮与实验项目对应,并且在 While 循环中通过事件结构,为每一个实验项目创建不同的事件分支,将条件设置为“值改变”触发的方式,达到布尔按钮值改变时,调用对应的单元电路实验项目。用户可以进入

所选电路实验项目进行参数设置、参数调节、结果输出实验。

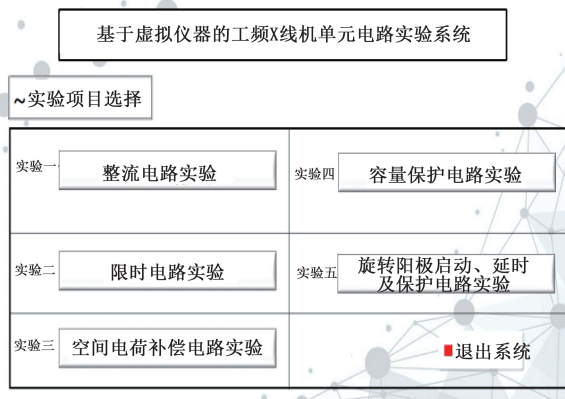


图 1 工频 X 线机单元电路实验系统主界面

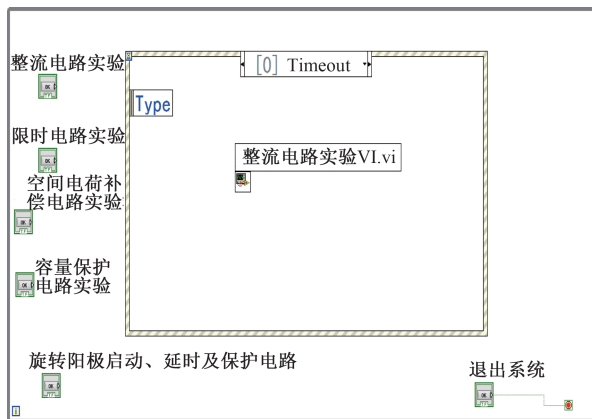


图 2 主界面程序

2.3 整流电路实验设计实例

本节将以整流电路实验子 VI 为例对单元电路实验系统设计进行说明。整流电路实验作为工频 X 线机电路实验教学中的重要组成部分,其实验目的是让学生了解 X 线机千伏高压产生原理、X 线球管工作特性、以及管电压和管电流的调节过程^[20]。为了构建整流电路实验项目,首先,在 Multisim 中仿真整流电路,如图 3 所示,电路中包含交流电源、变压器、虚拟的压控电阻、整流桥 D1、模拟的整流二极管(D2-D5)、HB/SC 连接器接口(IO1-IO3)以及模拟球管 5AR4 等部件。压控电阻中的 1 k Ω /V 表示当电压改变 1 V 时,对应的电阻改变 1 k Ω 。然后,在 Multisim 软件中打开 LabVIEW 协同仿真终端窗口,将电路中的接口设置为对 LabVIEW 的输入或者输出,相关的配置情况如图 4 所示。此步骤的作用是将 Multisim 设计的仿真电路进行封装,方便以电路模块的形式导入至 LabVIEW 仿真引擎中。在实验系统设计过程中,发现由于 Multisim 软件自身局限性,HB/SC 连接器无法设置为电流输出端子,因而导致所需要电流参数难以输出至 LabVIEW 中显示。针

对这个问题,在计算整个电路回路阻抗的基础上,在D1整流桥中添加电阻R2,从而成功地将电流值转化为对应电压值,通过接口IO2将此参数输出至LabVIEW软件中,通过LabVIEW对所得参数进行处理,进而获得测量的模拟管电流值。

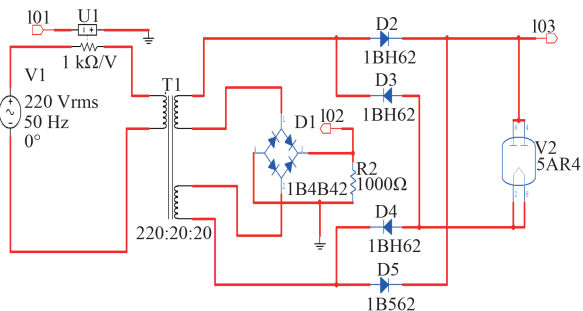


图3 Multisim 仿真整流电路原理

LabVIEW=EW终端	正连接	负连接	模式	类型	Multisim设计VI预览
输入	IO1	0	输入	电压	
输出	IO2	0	输出	电压	
	IO3	0	输出	电压	

图4 Multisim 设计VI预览

在完成上述 Multisim 整流电路仿真设计的基础上,将设计完成的整流电路以VI的形式,加载至LabVIEW的控制仿真模块中。具体操作是在安装Co-simulation插件的前提下,在LabVIEW程序框图中首先调用控制仿真循环。其次,选择Multisim Design,添加之前在Multisim中完成的整流仿真电路。最后,再添加相关的输入控件、仿真时间波形函数以及波形图表等显示控件。整流电路程序如图5所示。同时,对LabVIEW前面板的整流电路实验界面进行定制,包括自定义参数调节按钮,对参数设置、实验简介、实验电路图、结果显示区域进行划分,完成后的整流电路实验界面如图6所示。

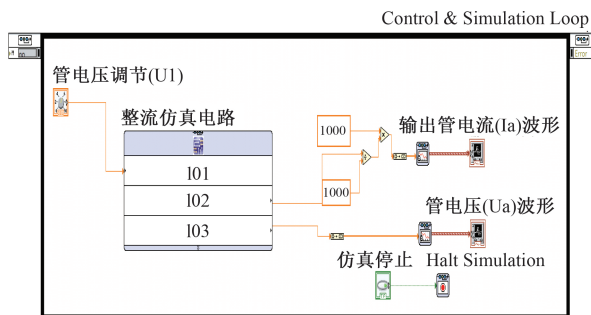


图5 整流电路程序

3 实验测试

利用设计的单元电路实验系统进行整流电路实验时,

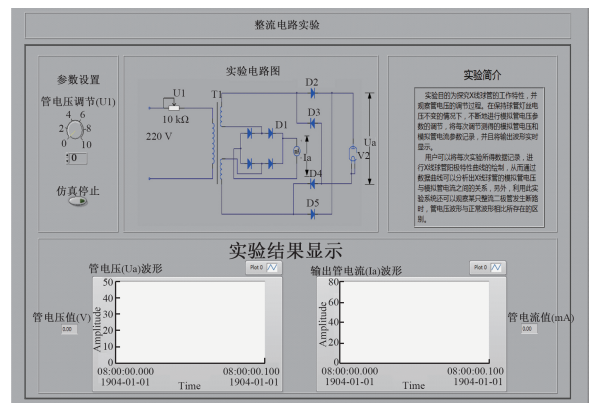


图6 整流电路实验界面

用户在调节管电压旋钮后,Multisim将测出的管电压值实时发送给LabVIEW显示,即可以得到每次调节所产生的管电压值及对应的管电流值。为了测试设计电路的准确性和可靠性,将压控电阻U1分为5档调节,测得的管电压和管电流如表1所示,数据来源于单元电路实验系统的结果显示部分。根据测得的管电流参数可以绘制X线球管阳极特性曲线。同时为了验证该实验数据能否反映真实X线机球管的电气特性,实验将以整流单元电路实验箱作为参照,通过调节实验箱上的滑动变阻器,测出管电压在5~25V范围内对应的管电流数据,测得的数据如表2所示。

表1 单元电路实验系统阳极特性测试表

$U_1/k\Omega$	2	4	6	8	10
U_a/V	28.25	30.10	31.47	34.79	37.63
I_a/mA	51.00	54.45	57.35	60.23	62.56

表2 整流电路实验箱阳极特性测试表

U_a/V	5	10	15	20	25
I_a/mA	1.93	3.52	6.21	8.40	9.51

从表2的实验数据可以观察到,在一定范围内真实X线机的管电流受到管电压的影响趋势是,管电压越大,管电流也越大,并且后续管电压对管电流的影响逐渐减弱。对照利用虚拟仪器技术设计的工频X线机单元电路实验系统测量的表1数据,从前3组数据中可以发现管电压对管电流的影响较大,呈现出接近线性增大的趋势,而在经过临界点后,管电流的增幅减小。由此可以说明本实验系统反映出真实X线机整流电路实验中X线球管的工作特性,与整流电路实验预期的理论设想一致,能够满足学生的实验需求。

另外进行整流电路实验过程中较为重要的练习是观察管电压、管电流波形。图7所示为当用户改变压控电阻U1为4kΩ时,通过该实验系统得理论上整流的管电压和模拟球管所产生的管电流波形。由于虚拟仪器技术的灵

活性,在探究整流电路实验中,学生还可以通过修改 Multisim 中设计的整流仿真电路,如将某只二极管从整体电路中断开,得出如图 8 所示的实验结果,并从图中分析出该种情况属于当某一整流二极管发生断路,管电流的波形从全波转变为半波形式。与真实电路箱元器件固定封装相比,该实验系统更加有利于学生进行探究性实验。

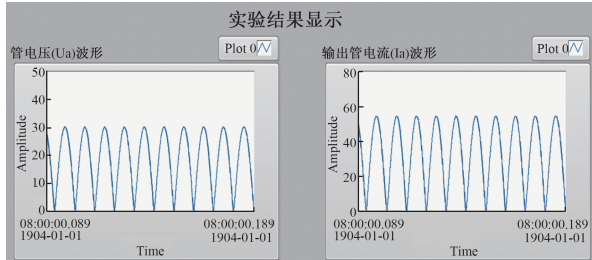


图 7 管电压和管电流波形显示

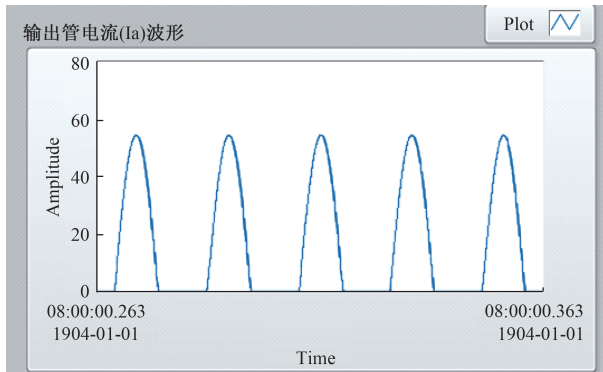


图 8 某只整流管断路时管电流波形显示

4 结 论

本文提出了一种基于虚拟仪器技术的工频 X 线机单元电路实验系统设计方法,并利用电路仿真软件 Multisim 和虚拟仪器开发软件 LabVIEW 开发了一套工频 X 线机单元电路实验系统。该实验系统可用于医学影像类专业学生学习 X 线机电路时进行实验。文中以整流电路为例,通过对整流电路实验项目进行测试得出阳极特性实验结果,并将基于虚拟仪器技术开发的单元电路实验系统测量结果与实验室真实的工频 X 线机整流电路实验箱结果进行比较。实验结果证明了该实验系统得出的阳极特性符合真实 X 线机球管管电压与管电流的关系。

与实验箱整流电路结果上的差异主要来源于所选取模拟球管型号的不同,因而产生不同的管电流、管电压值,但是总体的特性与真实 X 线球管相似,因而可以作为有效对照。通过表 1 可以得知,当灯丝电压为模拟球管额定电压时,管电压越大,相应的管电流也越大,并且随着管电压的升高,在经过临界点后,管电压对管电流的影响逐渐减弱。与实验预期的 X 线机整流电路实验理论设想一致,从而验证了该实验系统的有效性。

在教学应用上,利用虚拟仪器技术开发的工频 X 线机单元电路实验系统,解决了以下几方面的问题:1)可以避免学生进行工频 X 线机单元电路实验时产生的高压危险;2)相较于工频 X 线机单元电路实验箱将所有电路元器件封装在机箱内,该单元电路实验系统将所有电路元器件在 Multisim 软件中展示,将参数调节界面在 LabVIEW 中展示,使得单元电路实验更加直观、清晰;3)对比验证性实验,由于实验箱生产厂家对实验设备电器参数的限制,导致很多带有损坏仪器的试错性实验无法进行。利用该虚拟单元电路实验系统可以根据需要进行算法升级,从而更好地进行探究性实验。因此,将虚拟仪器用于设计和实现工频 X 线机单元电路实验系统是一种非常有效的方式,为其他医学影像设备电路实验的设计和研制提供了一个新的思路。

最后,从技术实现角度上讲,只要有电脑终端,安装相关的软件,即可随时随地使用单元电路实验,有效地解决了实验设备数量不足、实验场地及实验时间等方面的约束,提高了实验的开放性。本研究下一步工作将继续针对工频 X 线机单元电路实验系统的远程发布、登录进行相关设计及研究,以在更大范围内便捷地使用该实验系统。并且对各个单元电路实验之间的联动性进行深入研究,以期达到整机电路实验系统实时运行的目标。

参 考 文 献

- [1] 范能胜,张怀岑. 仿真工频 X 线机的研制[J]. 中国医学物理学杂志, 2016, 33(5):496-500.
- [2] 李光仲,刘俊英,闫鹏,等. 虚拟仿真技术在医学电子学多媒体辅助教学中的应用研究[J]. 中国医学教育技术, 2009, 23(3):290-292.
- [3] 齐现英,鲁雯,韩丰谈,等. 虚拟仿真教学在《医学影像设备学》教学中的研究与应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2012, 29(1): 3208-3210.
- [4] 陈建方,曹明娜,汪百真,等. 《医学影像设备学》仿真实验教学研究[J]. 中国医学教育技术, 2008, 22(1): 40-41.
- [5] 刘慧琴,董凯,杨斌,等. 基于 VB 的 X 线机控制台虚拟操作系统的设计与实现[J]. 中国医疗器械杂志, 2008, 32(5):345-347,362.
- [6] 杨立娜,崔文华,王顺俞. 基于 Multisim 和 LabVIEW 的模拟电路虚拟实验平台的设计[J]. 中国教育信息化, 2014(2):66-69.
- [7] 段晓杰,苗长云. LabVIEW 在电子线路课程教学中的应用[J]. 国外电子测量技术, 2008, 27(8):66-68.
- [8] 刘伟玲,杨彩双,杨泽青,等. 基于 LabVIEW 与 Multisim 的电路实验平台设计[J]. 自动化与仪表, 2016, 31(11):70-73.
- [9] 曹秀爽,刘鹏. 基于 LabVIEW 的模拟电子技术课程远程实验平台的设计[J]. 科技信息, 2014(5):36-37.

- [10] 王丽, 桂彩云. 基于 LabVIEW 的实验数据处理方法研究[J]. 国外电子测量技术, 2018, 37(4): 20-25.
- [11] WANG Y, WANG L, LIU X, et al. Application of co-simulation technology based on LabVIEW and multisim in electronic design[J]. Journal of Residuals Science & Technology, 2016, 13(5): 197.
- [12] 李雯. 基于 LabVIEW 的电子电路模拟及仿真设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2016(10): 22-23.
- [13] 付扬. Multisim 仿真在电工电子实验中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(4): 120-122, 126.
- [14] 吴凌燕. 基于 Multisim11 的串联谐振电路特性研究[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(8): 84-86.
- [15] 张力. 基于 Multisim 软件的波形发生器设计[J]. 电子测量技术, 2008, 31(7): 171-173, 187.
- [16] 吴凌燕. 基于 Multisim10 的正弦波振荡电路仿真[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(7): 75-76, 80.
- [17] RAHMAN M Z. Teaching an electrical circuits course using a virtual lab[J]. Journal of College Teaching & Learning, 2014, 11(4): 163-168.
- [18] 陈海生, 王峰, 郭晓云, 等. 一种 LabVIEW 和 Multisim 联合仿真的方法[J]. 电气电子教学学报, 2014, 36(2): 118-120.
- [19] 张坤, 秦翠亚, 乔宇. 基于 LabVIEW 和 Multisim 的模拟电路实验虚拟仿真平台的设计[J]. 河北软件职业技术学院学报, 2016, 18(1): 55-58.
- [20] 韩丰谈, 李彪, 李林枫, 等. 医学影像设备学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016.

作者简介

戴逢亮, 硕士研究生, 主要研究方向为生物医学仪器及医学信息技术。

E-mail: 18721793380@163.com

孙九爱(通信作者), 博士、副教授, 主要研究方向为医学影像技术。

E-mail: sunja@sumhs.edu.cn