

## X线机工作特性模拟实验装置设计与研制

赵瑞斌<sup>1</sup>, 王安琪<sup>2</sup>, 吴艳茹<sup>1</sup>, 孟燕军<sup>1</sup>

1. 河北医科大学医用物理学教研室, 河北 石家庄 050017; 2. 河北医科大学教务处, 河北 石家庄 050017

**【摘要】目的:**解决在医学影像技术专业 and 医学影像学专业实验教学中X线机实验设备成本高、有辐射和电路封装等缺点。**方法:**以X线机基本电路为基础,优化电路结构、采用直观功能模块电路设计,并以电源变压器为管电压测量电路和管电流测量电路提供直流电;使用89C2051单片机,用于曝光时间设定、曝光时间控制、显示电路控制驱动等多种功能。**结果:**本装置优势为不产生高压和X射线,可以模拟医用X线机的工作原理和主要电路结构,可用于开设X线机实验课,供学生学习和掌握X线机的工作原理及电路结构,测量X线机的主要工作特性和参数,观察和测量电路波形。**结论:**该设备可以解决实验教学设备不足,可广泛用于医学院校医学影像学、医学影像技术等相关专业的实验教学。

**【关键词】**X线机;工作特性;实验教学;医学影像

**【中图分类号】**R318.6

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2019)09-1063-05

## Design and development of an experimental device to simulate the working characteristics of X-ray machine

ZHAO Ruibin<sup>1</sup>, WANG Anqi<sup>2</sup>, WU Yanru<sup>1</sup>, MENG Yanjun<sup>1</sup>

1. Department of Medical Physics, Hebei Medical University, Shijiazhuang 050017, China; 2. Office of Academic Affairs, Hebei Medical University, Shijiazhuang 050017, China

**Abstract: Objective** To solve the problems of high cost, radiation and circuit packaging of X-ray machine in the experimental teaching of medical imaging and medical imaging technology. **Methods** Based on the basic circuit of X-ray machine, the circuit structure was optimized, and the circuit design of intuitive function module was adopted. The direct currents of tube voltage measurement circuit and tube current measurement circuit were provided by power transformer. Moreover, 89C2051 single chip was used for realizing exposure time setting, exposure time control, display circuit control drive and other functions. **Results** The proposed device which did not produce high voltage and X-ray could be used to simulate the working principle and main circuit structure of medical X-ray machine, and used in the experimental teaching of X-ray machine, so that students can not only learn and master the working principle and circuit structure of X-ray machine, but also measure the main working characteristics and parameters of X-ray machine, and observe and measure circuit waveforms. **Conclusion** The proposed device can solve the shortages of experimental teaching equipments, and can be widely used in the experimental teaching of medical imaging, medical imaging technology and other related majors in medical colleges.

**Keywords:** X-ray machine; working characteristics; experimental teaching; medical imaging

### 前言

随着现代医学技术发展,X线机已经成为主要影

像设备之一,各种X线机设备广泛应用于临床诊断、放射治疗、介入治疗导航等领域<sup>[1-4]</sup>。对于医学院校学生,尤其是对于医学影像技术专业 and 医学影像学专业学生,学习和掌握X线机的工作原理、基本电路结构和主要特性是本科教学大纲要求的重要内容<sup>[5-7]</sup>。作为对设备原理、操作性要求较强的专业,实验实践是教学的重要环节<sup>[8-11]</sup>;但临床使用X线机设备由于价格昂贵、体积庞大、有高压电击危险、电离辐射和全部电路封装等问题,无法开展实验教学<sup>[12-15]</sup>。大多数院校只是开展教学观摩或软件仿真,学生无法动手完成X线机主要工作特性和参数的观察和测

**【收稿日期】**2019-04-08

**【基金项目】**河北省高等学校创新创业教育教学改革研究与实践项目(2017CXCY053);河北省高等学校科学研究项目(QN2015013);河北医科大学教育教学课题(2018ZD-24, 2018YB-56, 2018ZDCH-27)

**【作者简介】**赵瑞斌,副教授,研究方向:医学影像成像, E-mail: zrb\_198103@163.com

**【通信作者】**吴艳茹,副教授,研究方向:医学物理学, E-mail: 67290555@qq.com

量<sup>[16-17]</sup>。基于此,笔者开发了可用于实验教学的X线机模拟实验装置。

笔者设计的X线机模拟实验装置可供学生和实验者学习和掌握X线机的电路结构、工作原理并测量主要工作特性、参数,观察和测量电路波形等,且具有体积小、成本低、无放射性和无高压电击危险等优点。

## 1 电路结构和工作原理

X线机模拟实验装置由管电压调节测量电路、透视摄影选择电路、管电压变压器、整流及管电流测量电路、电子管、管电流调节电路、灯丝变压器、摄影控制电路等部分组成<sup>[18]</sup>,电路原理图如图1所示。

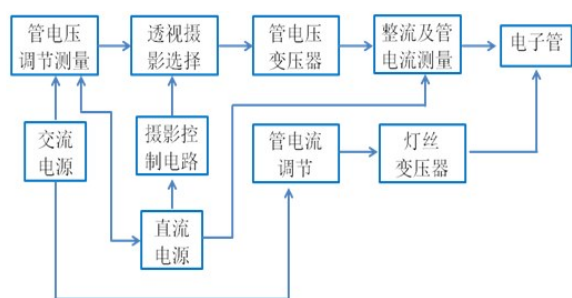


图1 电路原理图

Fig.1 Schematic diagram of circuit

管电压调节测量电路,分别与交流电源、透视摄影选择电路相连,用于调节测量管电压;透视摄影选

择电路分别与管电压调节测量电路、管电压变压器、摄影定时电路相连,用于摄影、透视功能选择;管电压变压器,分别与透视摄影选择、整流电路相连,用于提供合适的管电压;整流及管电流测量电路分别与管电压变压器、电子管相连,用于将交流电变为脉动直流电,并测量管电流;电子管分别与整流电路、灯丝变压器相连,用于产生管电流;管电流调节电路,分别与交流电源、灯丝变压器相连,用于调节灯丝变压器电压从而达到调节管电流的目的;灯丝变压器分别与管电流调节电路、电子管相连,用于产生灯丝电流;摄影控制电路与透视摄影选择电路相连,用于设定、显示并控制摄影曝光时间;交流电源电路分别与管电压调节、管电流调节电路相连,用于提供交流电;直流电源电路分别与管电压测量、管电流测量、摄影控制电路相连,用于提供直流电。

## 2 电路设计

如图2所示,交流电源经保险(F1)、电源开关(K3)与电源变压器(T1)初级相连,T1次级输出两组线圈,带6个抽头端的线圈与管电压调节电路相连;另一线圈(110 V)与管电流调节电路相连,为装置提供交流电力;直流稳压电源(DWY1)输出+12、+5 V与摄影定时电路直接相连,直流稳压电源(DWY2)输出双路+5 V分别与管电压测量电路、管电流测量电路相连,为装置提供直流电力。

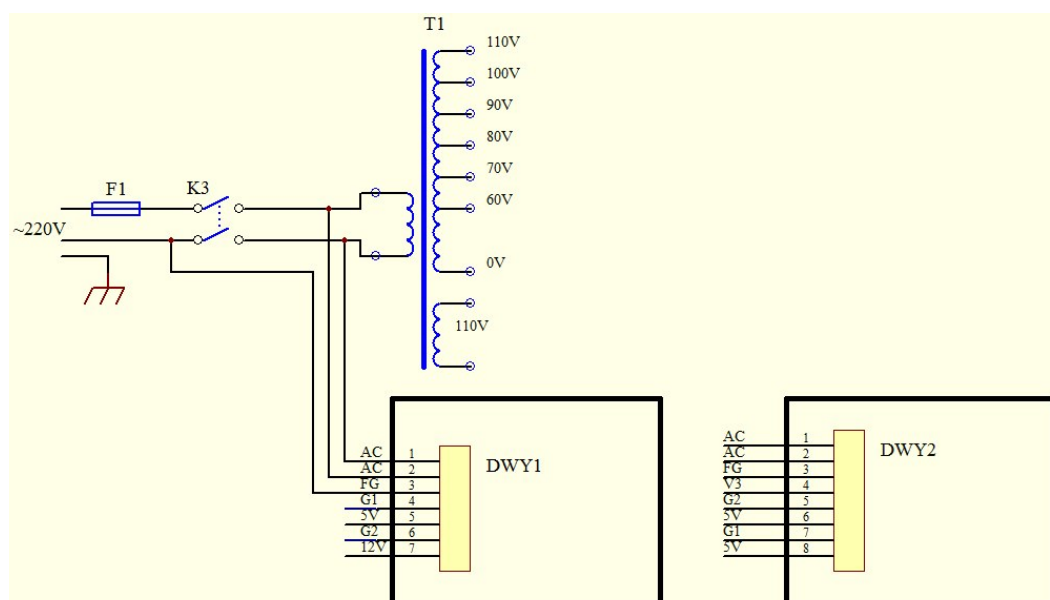


图2 电源电路原理图

Fig.2 Schematic diagram of power supply circuit

如图3所示,旋转开关(K2)分别与电源变压器(T1)的次级抽头、摄影透视选择开关(K1)相连,用于调节管

电压变压器的初级电压,从而调节管电压;数字电压表(KV)连接在K2输出端与公共端之间,用于测量并预示

管电压(由于X线机的管电压是几十到几百千伏以上高压,存在高压电击危险,所以X线机的管电压采用高压变压器初级电压乘以比例系数来指示,这种方式叫管电压预示)。摄影透视选择开关(K1),分别与K2、B1、摄影控制开关(RELAY1)相连,用于摄影、透视功能选择,当K1置1端时装置工作在透视状态,当K1置3端时装置工作在摄影状态。管电压变压器(B1),分别与K1、整流电路相连,用于提供合适的电压。整流电路(D1~D4),分别与管电压变压器次级、

电子管(TUBE1)相连,用于交流电变为脉动直流电,为数字电流表(mA)提供电流,数字电流表串联在整流电路(D5~D8)输出端之间,用于测量和显示管电流。电子管(TUBE1)分别与整流电路、灯丝变压器相连,用于产生管电流。管电流调节电路由限流电阻(R1)、可变电阻(W1)、灯丝变压器(B2)初级串联构成,用于调节灯丝变压器从而达到调节管电流的目的。灯丝变压器(B2)分别与管电流调节电路、电子管(TUBE1)灯丝相连,用于产生灯丝电流。

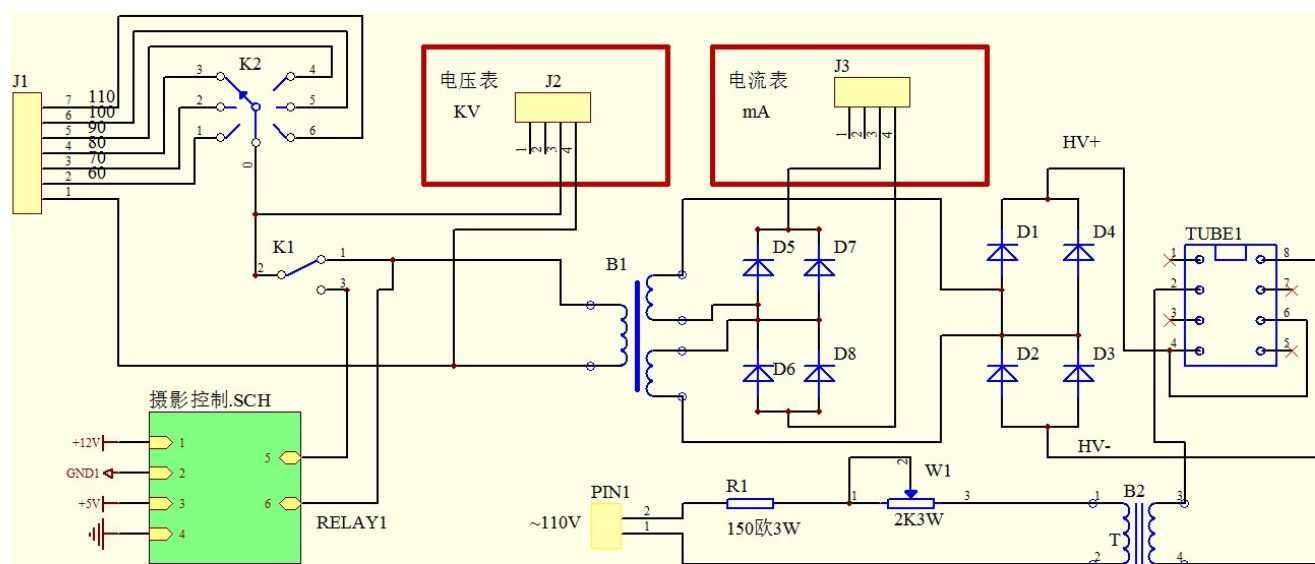


图3 主电路原理图

Fig.3 Schematic diagram of main circuit

如图4所示,单片机(U5)采用89C2051,其体积小、价格便宜、功能完善,单片机是摄影控制电路的核心器件,用于曝光时间设定、曝光时间控制、显示电路控制驱动等多种功能。按动时间设定按键(SW1),可设定曝光时间,范围在100~1 000 ms可调,4位数码显示器(U1~U4)在单片机控制和驱动下,以循环扫描方式显示曝光时间。当摄影透视选择开关(K1)置3端时(摄影状态),按下曝光按键(SW2),松开按键的同时U5的11端输出低电位,光电隔离器(P521)导通,继电器(JD1)线圈得电,常开触头(RELAY1)吸合,管电压接通,曝光开始,当达到设定的曝光时间时,U5的11端输出高电位,光电隔离器(U6)关断,继电器(JD1)线圈失电,常开触头(RELAY1)断开,管电压断开,摄影结束。

### 3 结果

本装置无需安装调试,接通电源开关即可工作。可模拟医用X线机的工作原理、主要性能参数和

电路结构。实验测试过程只需要配套数字万用表和数字双踪示波器完成所有实验项目。本装置具有如下功能:(1)管电压调节和测量电路、管电流调节和测量电路,可供实验者方便地测试管电压、管电流、灯丝电压、X线机灯丝发射特性、X线机阳极特性等。(2)实现摄影控制电路,设定、显示、并控制摄影曝光时间,供实验者调节和测定X线机曝光时间。(3)可供实验者方便地读图和分析X线机的电路结构、工作原理,认识电路的主要器件,测量电路参数和高压电路波形,该装置样机如图5所示。

与临床应用X线机相比,本装置克服了放射性危害、高压电击危险、价格昂贵、体积庞大、只能用于教学观摩等弊端,具有电路结构开放直观、安全稳定、功能完善、体积小、重量轻、价格便宜等特点。本装置可广泛用于医学院校医学影像技术、医学影像学等相关专业《医学影像成像理论》、《医学影像设备学》和《医学影像物理学》等课程实验教学<sup>[15,18]</sup>。



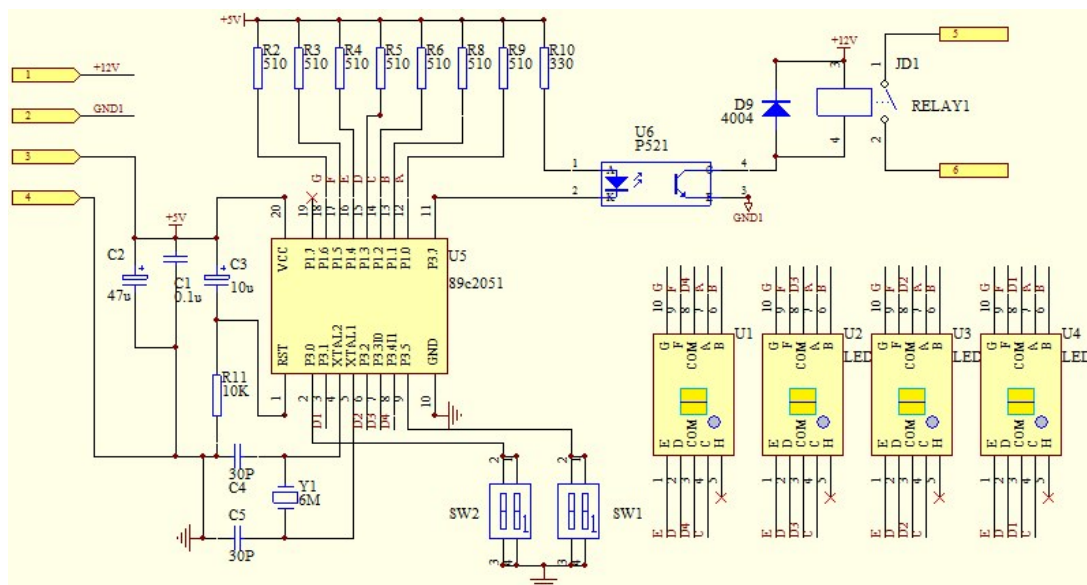


图4 摄影控制电路原理图

Fig.4 Schematic diagram of imaging control circuit

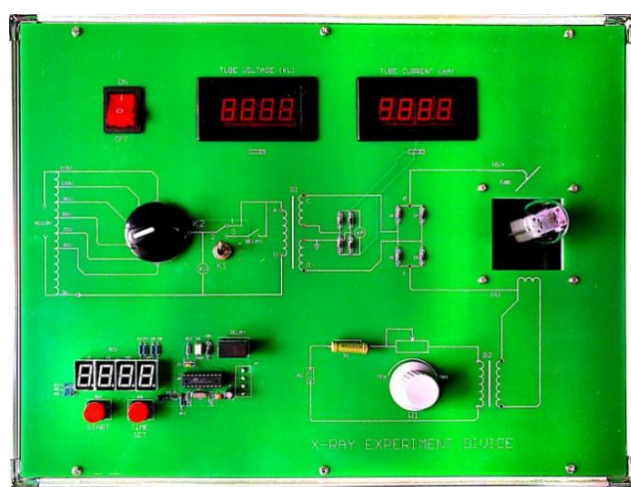


图5 X射线模拟实验装置样机

Fig.5 Equipment prototype for X-ray simulation experiment

## 4 结论

该装置在不产生高压和X射线情况下,可模拟医用X线机的工作原理和主要电路结构和性能参数,可开设灯丝发射特性、阳极特性、高压电路波形和曝光时间等测试,基本满足实验教学需求。

## 【参考文献】

- [1] 王军令. 探讨数字X线机在小儿气道透X线异物诊断中的应用[J]. 中国卫生标准管理, 2017, 8(2): 133-134.  
WANG J L. Application of digital X-ray machine in the diagnosis of foreign body in children's airway through X-ray[J]. China Health Standard Management, 2017, 8(2): 133-134.
- [2] 陈瑞芳, 周通纲, 刘晓兰, 等. 超声介入与X线介入行经肝穿胆道引流术的临床对比研究[J]. 当代医学, 2018, 24(13): 19-21.

CHEN R F, ZHOU T G, LIU X L, et al. A comparative study of ultrasound intervention and X-ray intervention for percutaneous transhepatic biliary drainage[J]. Contemporary Medicine, 2018, 24 (13): 19-21.

- [3] 齐洁, 胡志华, 邓秋云, 等. X线数字断层融合技术在骨关节外伤诊断中的应用价值[J]. 现代医院, 2019, 19(1): 131-133.  
QI J, HU Z H, DENG Q Y, et al. The application value of X-ray digital tomosynthesis in the diagnosis of traumatic bone and joint[J]. Modern Hospitals, 2019, 19(1): 131-133.
- [4] 童睿, 方华磊, 吴雨, 等. 用于C臂X线机的微创手术定位导航系统的研制[J]. 中国医疗器械杂志, 2018, 42(3): 176-179.  
TONG R, FANG H L, WU Y, et al. Development of positioning and navigation system using for C-arm X-ray apparatus for minimally invasive surgeries[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2018, 42(3): 176-179.
- [5] 宋莉, 王晓艳, 车琳琳. 医学影像技术人才培养模式的创新途径研究[J]. 中国高等医学教育, 2019(2): 9-10.  
SONG L, WANG X Y, CHE L L. Innovative methods for the cultivation of innovative medical imaging talents[J]. China Higher Medical Education, 2019(2): 9-10.
- [6] 蔡惠芳, 杨德武. 医学影像设备课程教学现状分析及改革方案[J]. 中国医学装备, 2016, 13(3): 137-139.  
CAI H F, YANG D W. Analysis on teaching status and reform plan of medical imaging equipment[J]. China Medical Equipment, 2016, 13 (3): 137-139.
- [7] 刘燕茹, 罗利霞. 医学影像专业医学影像设备学课程教学过程思考[J]. 医疗卫生装备, 2018, 39(6): 87-90.  
LIU Y R, LUO L X. Teaching of course of medical imaging equipment in medical imaging specialty[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2018, 39(6): 87-90.
- [8] 尹建东, 陈志安, 郭启勇. 基于实践重构医学影像技术专业理、工、医复合型课程体系[J]. 浙江医学教育, 2018, 17(4): 1-13.  
YIN J D, CHEN Z A, GUO Q Y. Reconstructing complex curriculum system combined science, engineer, medicine for major in medical imaging technology based on practice [J]. Zhejiang Medical Education, 2018, 17(4): 1-13.
- [9] 王艳, 聂生东. 基于卓越计划的X线机实验的设计[J]. 中国医学物

- 理学杂志, 2017, 34(3): 256-271.
- WANG Y, NIE S D. Design of experimental teaching model of X-ray machine based on excellence program[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(3): 256-271.
- [10] 陈晓光, 任伯绪, 柯茜茜, 等. 医学影像技术学实验教学的改革与实践[J]. 中国高等医学教育, 2011(11): 55-56.
- CHEN X G, REN B X, KE Q Q, et al. Reform and practice of experimental teaching of medical imaging technology [J]. China Higher Medical Education, 2011(11): 55-56.
- [11] 岳若蒙. 校企合作、工学结合医学影像设备学实验教学模式构建[J]. 卫生职业教育, 2017, 34(4): 69-70.
- YUE R M. Construction of experimental teaching mode of school-enterprise cooperation and combination of work with study on medical imaging equipment[J]. Health Vocational Education, 2017, 34(4): 69-70.
- [12] 薛敏娜. 数字X线虚拟教学系统的构建与实践[J]. 卫生职业教育, 2014, 32(5): 41-42.
- XUE M N. Construction and practice of digital X-ray virtual teaching system[J]. Health Vocational Education, 2014, 32(5): 41-42.
- [13] 陈建方, 石波, 曹明娜, 等. 虚实结合的影像专业实验模式构建[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(9): 189-192.
- CHEN J F, SHI B, CAO M N, et al. Construction of the experimental mode of imaging specialty based on the combination of virtual and actual circumstances [J]. Research and Exploration in Laboratory, 2017, 36(9): 189-192.
- [14] 刘国浩, 杨娜, 刘虎. 应用型院校医学影像技术专业课程体系优化与教学方法改革的探讨[J]. 重庆医学, 2017, 46(7): 992-994.
- LIU G H, YANG N, LIU H. Study on the curriculum system optimization and teaching method reform of medical imaging technology specialty in applied colleges [J]. Chongqing Medicine, 2017, 46(7): 992-994.
- [15] 高春芳, 李国柱, 黄磊, 等. 浅谈《医学影像设备学》实践教学改革[J]. 医学理论与实践, 2019, 29(15): 2131-2132.
- GAO C F, LI G Z, HUANG L, et al. Discussion on practice teaching reform of medical imaging equipment science [J]. The Journal of Medical Theory and Practice, 2019, 29(15): 2131-2132.
- [16] 戴逢亮, 孙九爱, 刘小瑾. 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[J]. 电子测量技术, 2019, 42(8): 104-109.
- DAI F L, SUN J A, LIU X J. Designing elemental circuit experimental system of power frequency X-ray machine based on virtual instrument technology [J]. Electronic Measurement Technology, 2019, 42(8): 104-109.
- [17] 刘燕茹, 石继飞, 史晚霞, 等. 一种X线机单元电路实验箱设计[J]. 物理通报, 2016, 35(2): 68-70.
- LIU Y R, SHI J F, SHI X X, et al. Design of a unit circuit experiment box for X-ray machine [J]. Physics Bulletin, 2016, 35(2): 68-70.
- [18] 韩丰谈. 医学影像设备学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016: 46-93.
- HAN F T. Medical imaging equipment [M]. Beijing: People's Medical Publishing, 2016: 46-93.

(编辑: 薛泽玲)