

仿真工频X线机的研制

范能胜,张怀苓
广东医学院信息工程学院,广东 东莞 523808

【摘要】目的:研究、设计并制作一台教学使用的仿真工频X线机,解决教学过程中实验设备费用高、数量不足、机器占地面积大等缺点。**方法:**以经典F78-III型X线机电路图作为仿真机电路设计蓝本,在满足教学要求的前提下对原型机功能和电路进行简化,对部分电路重新设计,元件采用平铺式裸露安装,方便学生观察元件的工作情况。**结果:**制作完成后的仿真X线机能够很好地仿真实际X线机的工作过程,教师可以借助仿真机对学生进行X线机基本工作原理的演示。**结论:**解决了教学设备不足的问题,并对设计其他仿真教学仪器有一定的借鉴意义。

【关键词】仿真X线机;工频X线机;虚拟仿真

【中图分类号】R197.39

【文献标识码】A

【文章编号】1005-202X(2016)05-0496-05

Development of simulation power frequency X-ray machine

FAN Neng-sheng, ZHANG Huai-ling
School of Information Engineering, Guangdong Medical College, Dongguan 523808, China

Abstract: Objective A simulation power frequency X-ray machine for teaching was developed in the paper to solve the disadvantage of high cost, inadequate quantity and huge bulk of experimental equipment. **Methods** The circuit of traditional F78-III X-ray machine was taken as the blueprint for simulation circuit design. The function and circuit of prototype machine were simplified on the premise of meeting teaching needs. Some circuits were redesigned. All the components were exposed and mounted on a flat plate to facilitate students to observe the real-time working condition of components. **Results** The developed simulation machine perfectly simulated the working condition of actual X-ray machine. And the simulation machine was applied by teachers to demonstrate the basic working principle of X-ray machine for students. **Conclusion** The simulation machine solves the problem of equipment shortage, with some certain reference value for designing other simulation teaching equipments.

Key words: simulation X-ray machine; power frequency X-ray machine; virtual simulation

前言

《医学影像设备学》是许多学校生物医学工程专业开设的专业课程,而X线机设备又是该课程的重要学习内容之一,它主要介绍医用X线机的结构和工作原理、X线机电路分析等内容。考虑到该专业的毕业生大多数从事设备维修和技术支持相关的工作,学好这部分内容对学生来说非常重要。

医用X线机的技术发展经历了从工频X线机、程控X线机到高频X线机的过程。目前工频机和程控

机已经逐渐淡出历史舞台,取而代之的是技术性能更加先进的高频机。掌握高频机的工作原理对学生来说是很重要的,因为这是一种在实际工作中能够接触到的最多的机器。但对于X线机课程教学来说,并不意味着有关工频机的知识就不重要。理由如下:第一,工频机电路简单,所有功能均通过实物部件来实现,相比较主要通过程序来实现功能的高频机,工频机的学习难度相对容易;第二,从工作原理的角度来看,工频机和高频机之间并没有本质的区别,只是为了达到目标采用了不同的实现方法。例如,要调节X线的穿透力就必须调节管电压,工频机一般采用改变高压初级输入电压的方法实现,而高频机通过改变输入高频变压器的脉冲宽度或者频率来实现;第三,通过先学习相对简单的工频机,掌握基本工作原理后,再过渡到复杂的高频机,符合教学上由易到难循序渐进的原则。

【投稿日期】2016-01-25

【基金项目】广东省自然科学基金(2014A030310258)

【作者简介】范能胜(1975-),男,讲师,研究方向:主要从事移动医疗仪器和穿戴医疗仪器方面的研究, Tel: 0769-22896340, E-mail: fannengsheng@gdmc.edu.cn。

【通信作者】张怀苓(1962-),男,教授,硕士研究生导师,研究方向:医学影像物理, E-mail: huailing@163.com。

受限于设备价格和实验室面积等因素,许多学校无法购置多台X线机作为本门课程的教学实验设备,有些研究人员另辟途径,自己开发实验仪器作为教学设备的补充,这些自产的教学仪器解决了部分问题,但仍然存在以下几个不足:(1)通过基于个人电脑的软件界面来模拟某一机型操作过程^[1-3],只能让学生熟悉这一机型控制台的使用,对X线机基本原理的学习帮助不大;(2)仿真的目标机型都属于程控X线机^[4-6],这种机型在实际工作中已很难接触到,且采用普通电机和灯泡来代替旋转阳极X线管的做法,与实物差距太大;(3)更为重要的是,这些仪器仿真的只是X线机某些部分功能,它无法对X线机整机的工作过程进行仿真。

有鉴于此,研究并设计一台仿真工频X线机(以下简称仿真机),它能够仿真实际机器的工作状态和工作过程,帮助学生掌握X线机的基本工作原理和组成结构,同时又降低设备购置成本,减少实验室占用面积。

1 系统设计

仿真机是为教学需求而设计的,要求它能够对实际机器的工作状态和操作过程进行仿真,这就要求仿真机在功能和操作方法上必须与实际机器相同。同时,仿真机又不是真正意义上的X线机,它与实际X线机存在差别,表现在:一是仿真机不产生X射线,也不需要产生X射线;其次是仿真机主要用来演示工作原理和操作过程,并不需要拥有实际机器那样的技术参数,这些因素可以用来降低对机器设

计的要求。

1.1 功能需求:

对实际X线机最基本的需求是产生质和量可控制的X射线,操作人员通过调节管电压来获得不同的X线质,通过调节管电流和曝光时间来获得不同的X线量。由于回路电阻的存在和X线管空间电荷的影响,为了获得尽量精确的管电压和管电流调节,设置了千伏补偿电路和空间电荷抵偿电路;为了保护机器,设置了各种形式的保护电路,包括容量保护电路、旋转阳极启动延时保护电路、冷高压保护等,不同的机器设置的保护电路种类和数目不完全相同。从以上分析可以看出,仿真机在功能上至少包括以下几个方面:(1)管电压调节功能;(2)管电流调节功能;(3)曝光时间调节功能。同时,为了便于学生理解千伏补偿原理和空间电荷抵偿原理,需要设置千伏补偿电路和空间电荷抵偿电路;为了方便学生观察旋转阳极的工作过程,需要设置阳极启动、延时和保护电路。

1.2 电路设计

参考F78-III型X线机电路图^[7],该机在电路结构上包括以下7个部分:(1)电源电路;(2)高压初次级电路;(3)灯丝初次级电路;(4)限时和限时保护电路;(5)旋转阳极启动、延时和保护电路;(6)曝光控制电路;(7)各种保护电路。仿真机在电路结构上也包括这7个部分,在本设计中,为了降低设计的复杂性,简化了部分电路和功能,图1为设计完成后的仿真机主机电路图,下面分别对电路的各个组成部分加以说明。

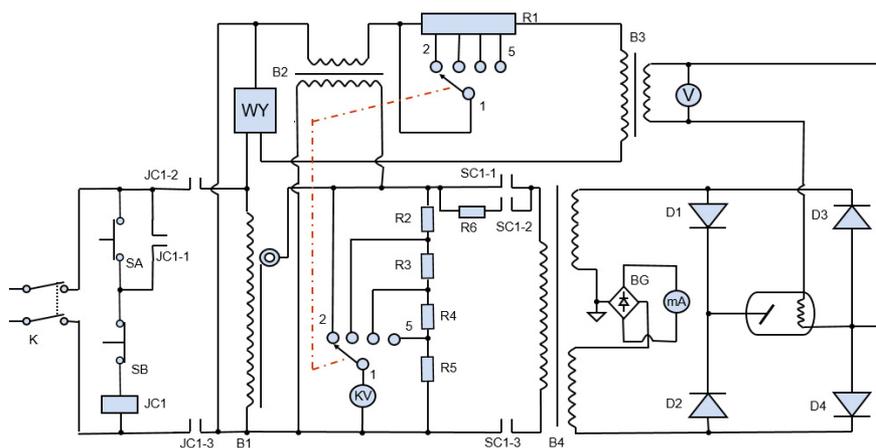


图1 整机电路图

Fig.1 Whole circuit

(1) 电源电路

由空气开关K、常开开关SA、常闭开关SB、电源继电器JC1和自耦变压器B1组成,这是一个带断电后自动关闭功能的电路,大多数经典X线机都采用这

种形式的控制电路。

(2) 高压初次级电路

高压初级电路主要包括管电压调节电路、千伏指示和补偿电路以及空间电荷抵偿初级电路;高压次级

电路主要包括高压整流电路和管电流测量电路。由于仿真机并不产生X射线,所以高压次级部分的元件并不是必须的,当然为了电路的完整性,在绘制电路时保留了高压次级部分。在制作安装时,除了X线管和管电流表外,其它元件可以不装。保留X线管的主要目的是为了进行旋转阳极启动运转和灯丝点亮实验;设置管电流表的目的是为了测量管电流,而是为了演示的需要,这一点会在后面介绍。

(3)灯丝初次级电路

灯丝初级电路主要包括稳压电路(WY)、灯丝加热电压调节电路、空间电荷抵偿电路次级。管电流

的选择实际对应灯丝加热电压的调节,为了简化电路,只设置了4个调节档位;灯丝变压器的次级输出直接与X线管的大焦点灯丝相连。

(4)限时电路

限时电路用来控制X线的发生时间,传统工频机均采用阻容定时器,调节档位一般设定为23档。对于仿真机来说,只需要具备限时功能即可,档位的多少并不重要;另外,实际X线机还设置了限时保护电路,防止在限时电路出现故障时损坏机器,在本仿真机中没有包含这部分电路,设计好的限时电路如图2所示。

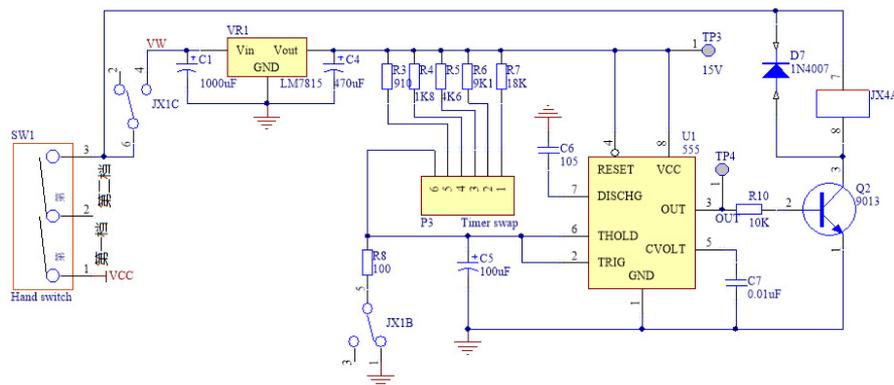


图2 限时电路
Fig.2 Timing circuit

整个限时电路采用555时基电路作为控制芯片,共有5个时间档,SW1为曝光手闸开关,JX1B、JX1C为旋转阳极启动延时继电器触点,P3为单刀多掷开关,6脚是动触片,1~5脚为静触片,JX4的触点串接在高压继电器SC1线圈的供电回路,控制高压继电器的工作。

(5)旋转阳极启动、延时和制动电路

旋转阳极从启动到额定转速需要时间,这个时间一般为0.8~1.2 s,旋转阳极只有在达到额定转速才可以开始曝光。另外,像F78-III型X线机还设置了旋转阳极制动电路,在曝光结束后能够对阳极制动,使之快速停转,减少阳极轴承磨损。本仿真机设置了旋转阳极启动、延时和制动电路,电路如图3所示。

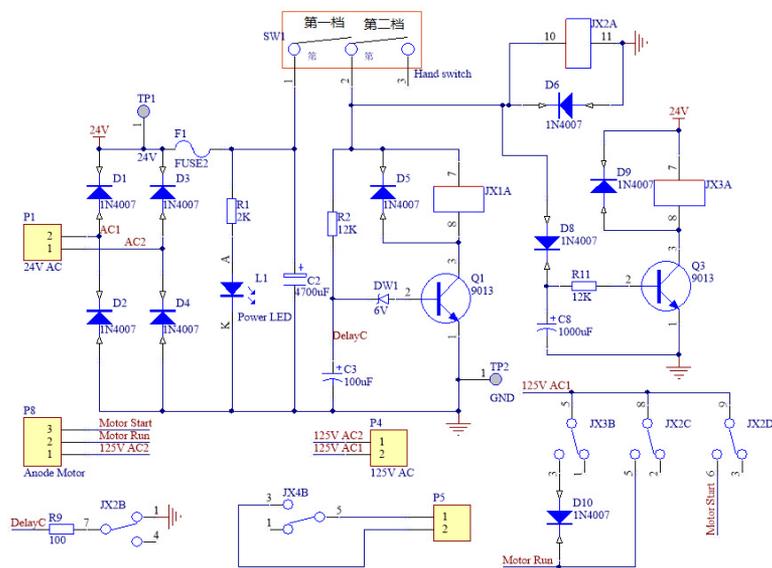


图3 曝光控制电路
Fig.3 Exposure controlling circuit

整个电路的工作过程如下:当按下曝光手闸的第一档时,继电器JX2线圈得电,其常开触点JX2C、JX2D均闭合,旋转阳极启动线圈和运转线圈获得125 V的交流供电,旋转阳极开始运转。此时继电器JX1因为电容C3的作用并未工作,大约经过1.2 s延时(延时时间由R2和C3组成的充电时间常数决定),继电器JX1工作,常开触点JX1B、JX1C闭合(见图2)。如果此时按下曝光手闸的第二档,继电器JX4工作,它的常开触点闭合给SC1供电(图中未画出这部分电路),SC1工作代表曝光开始,JX4的工作时间由电阻R3~R7之一和C5构成的充电电路决定,到达限定时间后555时基电路内部触发器翻转,三极管Q2截止,JX4失电,本次曝光结束。

与此同时,在按下曝光手闸的第一档后电容C8通过D8获得充电,延时一定时间后Q3导通,继电器JX3工作,触点JX3B闭合,该触点串联一个二极管D10,然后与触点JX2C组成并联电路,为旋转阳极的运转线圈供电。

在曝光结束后松开手闸SW1,继电器JX1、JX2、JX4均失电停止工作,但三极管Q3因为电容C8的蓄能维持导通一段时间,继电器JX3继续工作,125 V的交流电源通过二极管D10半波整流后为旋转阳极运转线圈供电,并在阳极产生制动力矩,使其快速停转。

(6)为教学演示而设计的电路:管电流指示和X线发生指示电路

实际X线机在X线发生时会产生管电流,这个管电流通过安装在控制台的管电流测量表显示出来,但对于仿真机来说,因为没有X线发生,自然不会有管电流,为了让仿真机工作状态更贴近实际X线机,本仿真机设计了一个仿真管电流和X线发生的演示电路,如图4所示,这个演示电路在实际X线机中并不存在。

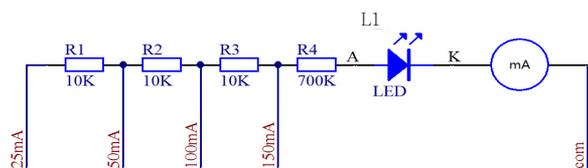


图4 曝光指示电路

Fig.4 Exposure indicate circuit

当选择不同管电流时,也就选择了不同的串接电阻,调整电阻R1~R4的阻值,使得毫安表指示值与管电流选择值一致,如:管电流选择了50 mA,在曝光时让管电流表指示50 mA;同时,为了指示X线发生,选了一个高亮度的红色发光二极管来模拟X线的发生,二极管的发光亮度与管电流选择相关,选择的管电流越大,亮

度越高,此二极管安装在X线管的底部。

2 安装平台设计和制作

实际X线机和仿真X线机有着完全不同的使用环境,对机器的要求也就不同。对于实际X线机,它的用户是医院,要求机器功率足够、输出X线剂量精确稳定和操作简单使用方便;而对于仿真机来说,它的用户是专业老师和学生,要求机器能够仿真实际X线机的工作过程,方便向学生演示X线机的工作原理。基于仿真机的这一应用需求,制作完成的仿真机既要方便教学演示,又要成本低廉。

2.1 支架设计

为了便于教学演示,将仿真机要用到的所有元件平铺安装在一块木板上,并为木板设计一个安装支架,制作过程如下:先将图1的整机电路进行等比例放大并打印在一张面积为100 cm×180 cm的广告纸上,再将打印好的电路图粘贴在木板表面。考虑到变压器这类元件的质量较大,如果木板垂直固定在支架上容易造成平台的倾倒,所以设计的支架平面与地面要成一定角度,这个角度既要利于学生观察,又要保持平台的稳定性。同时在支架的底部安装滑轮,方便平台移动。

2.2 元件选择

元件来源有两个途径:一是从医院淘汰下来的旧X线机中拆取;二是在市场上购置新件。下面对一些关键元件的选择作出说明。

(1)电源继电器JC1和高压接触器SC1:这两个继电器均属于交流继电器,在选择时除了电气参数和触点数目必须满足要求外,在外形尺寸方面选择体积稍大些的,方便学生观察它的工作过程。

(2)电源自耦变压器:实际X线机中使用的自耦变压器不但体积大,而且价格很高。在本设计中选择了普通调压器取代专用自耦变压器,从工作原理的角度讲两者没有区别,这样的选择既利于安装,又减少成本。

(3)磁饱和交流稳压器WY:工频X线机一般都采用谐振式磁饱和稳压器作为灯丝供电的交流稳压电源,对灯丝的供电电压稳定要求十分严格,灯丝电压的波动会造成管电流的波动甚至烧毁灯丝,该部件来源于旧X线机的拆机件。

(4)空间电荷抵偿变压器B2:抵偿变压器并无特殊,只要变比和次级抽头数量合适即可,可以根据设计要求定做。

(5)kV表:kV表来源于F78-III型X线机的拆机件,kV表本质上是一个低压交流电压表,它的刻度根

据变压器变比进行标注,如果找不到拆机件也可以购买现成的交流电压表,再重新刻度。

(6)灯丝变压器:灯丝变压器选择了电子管用灯丝变压器,电子管灯丝变压器的输出电压一般为6.3 V,将其作为大焦点灯丝的供电。选择大焦点灯丝是因为大焦点灯丝功率较大,使用过程中不易烧毁。

(7)高压变压器:仿真机中并不需要高压,所谓的高压变压器只是一个摆设件,实际电路并没有用到它的次级输出。

(8)X线管:可以选择报废的X线管,只要没有漏气即可。在本设计中选择了杭州万东生产的X线管,并配套好阳极定子,方便做旋转阳极启动运转实验。

2.3 安装方法

将电路中要用到的元件固定在电路图对应符号的位置上,并在木板的背面进行电路走线。由于实验时要用到220 V交流电源,为了避免漏电对人体造成的电击危险,接地是非常重要的,可以将接地线与不锈钢支架连接,安装完成后的产品如图5所示。

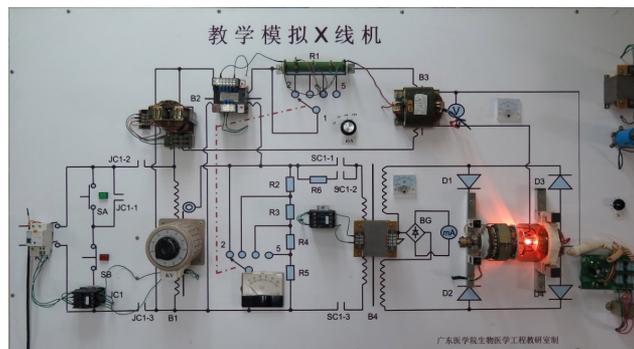


图5 装配
Fig.5 Assembling

3 结论

仿真机只要安装无误,一般均能够正常工作,可以根据实际情况对电路参数做适当的调整,包括千伏补偿电阻的调整和仿真管电流指示电路串接电阻的调整。本仿真机除了不能产生X线,能够仿真X线机的大多数工作状态,新颖之处如下:(1)实际X线机中所有部件和电路板均封装在机箱内,需要打开机箱才能观察;而仿真机将所有元件平铺安装在一块木板上,让学生对X线机的各个功能电路一目了然。

(2)能够通电进行工作原理和工作过程的演示,让学生直接观察继电器、旋转阳极等元件的工作过程,增加学生的感性认识。(3)采用高亮度红色发光二极管来指示X线的发生和管电流的大小,教学过程生动直观。

本仿真机经过我校1年多的试用,取得了良好的教学效果,主要能够完成以下实验和演示:①电源开关机实验;②管电压调节试验;③管电流调节实验;④空间电荷抵偿实验;⑤千伏补偿实验;⑥旋转阳极启动和刹车实验;⑦曝光控制实验。

【参考文献】

- [1] 刘慧琴,董凯.基于VB的X线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.
LIU H Q, DONG K. Design and implementation of a VB-based virtual operation system for the console in X-ray machine[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2008, 32(5): 345-347.
- [2] 陈建方,曹明娜.《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.
CHEN J F, CAO M N. Research on teaching of simulation equipment of Medical Imaging Equipment [J]. China Medical Education Technology, 2008, 22(1): 40-41.
- [3] 谢新武,贺志强.一种基于PC的X线机控制台的设计[J].医疗卫生装备,2008,29(7):26-28.
XIE X W, HE Z Q. Design of virtual console for high frequency X-ray machine system [J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2008, 29(7): 26-28.
- [4] 齐现英,鲁文.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.
QI X Y, LU W. Researching and application of virtual simulation teaching in medical imaging equipment teaching [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2012, 29(1): 3208-3210.
- [5] 齐现英,刘慧琴.基于通信模式的虚拟程控X线机的设计与实现[J].中国医学物理学杂志,2009,26(3):1213-1215.
QI X Y, LIU H Q. Design and implementation of virtual programmable X-ray equipment based on communication mode [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2009, 26(3): 1213-1215.
- [6] 穆剑玲,刘振栋.程控X线机模拟控制台的研制与实训教学研究[J].医疗卫生装备,2014,35(5):47-49.
MU J L, LIU Z D. Development and training of simulation console of program-controlled X-ray machine [J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2014, 35(5): 47-49.
- [7] 韩丰谈,朱剑峰.医学影像设备学[M].第2版.北京:人民卫生出版社,2004:507.
HAN F T, ZHU J F. Medical Imaging Equipment [M]. 2nd ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2004: 507.

(编辑:薛泽玲)