

数控高稳定 X 射线源的研制

杨 磊 李东仓 祁 中 张文慧

(兰州大学核科学与技术学院 兰州 730000)

摘要 采用逆变电源和开关电源技术, 设计了连续可调直流高压稳压电源和灯丝电流稳流电源, 在此基础上, 应用单片计算机, 实现了 X 射线源的数字控制和监视, 实验结果表明系统功能完善, 技术指标达到了安检设备专用 X 射线源的要求。

关键词 单片计算机, 数字控制, X 射线, 电源

中图分类号 TG115.22*5.2

医用 X 透视、医用 CT、工业 CT、安全检查及探伤的 X 射线源多数为连续工作方式。随着设备性能指标的不断提高, 对 X 射线源的要求也进一步提高。射线输出的稳定性、控制方式的智能化、远程通信的标准化等成为新的 X 射线源的技术指标。随着电力电子技术和计算机技术的发展, X 射线源技术指标的实现也变得较为容易^[1,2]。

X 射线源的控制实质上是控制 X 射线管的高压电源和灯丝电流电源。管电压高压供电有正负电源供电和单电源供电, 正负电源供电的优点是源体内部高压电位低, 仅为单电源供电的一半, 有利于减小体积, 提高耐压强度; 缺点是灯丝电源处在负高压电位端, 灯丝供电变得复杂, 须交流供电、高压隔离变压器耦合。为此, 灯丝电流的稳定性也大打折扣, 高压电源也为双路供电, 电压闭环控制也为双路。单电源供电的优点是高压为单路供电, 逆变电路和电压闭环控制均只需一套, 灯丝位于地电位端, 易于控制; 缺点则是源体内部高电位端电压较高, 对耐压有较高要求, 体积不易减小^[1-4]。

将开关型电源应用于 X 射线源是技术发展的必然。关键是要满足其对电源的功率、纹波、稳定性等指标要求, 本文研制的应用于安检设备的高稳定数控 X 射线源, 其高压电源采用斩波器调压, 中频逆变供电, 多级倍压整流的结构, 灯丝电源采用降压斩波电流恒定方式, 采用单片计算机数控和通讯, 实现了高性能的 X 射线源。

1 系统结构原理

1.1 管电压电源

管电压电源包括逆变供电电源和直流高压电源。逆变供电电源电路如图 1 所示, 单相工频交流

电压经整流模块(D1~D4)变换为直流, 通过 C1 滤波后成脉动很小的直流电压, 采用斩波器调压, 将直流变换为电压可调的直流电压, 功率场效应晶体管 T1~T4 和 L2、C3 构成桥式串联谐振逆变器, 串连谐振并联输出逆变器^[5]将直流逆变为 20 kHz 左右的幅度连续可调的准正弦中频电压, 输出从谐振电容两端并联输出到升压变压器的初级上。

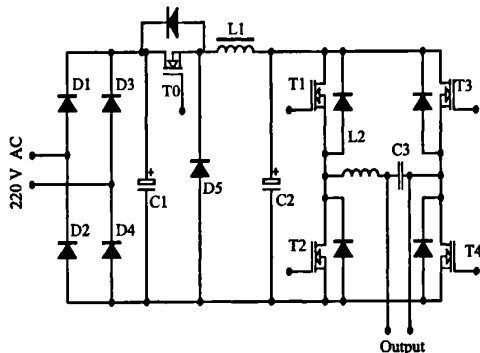


图 1 高压供电逆变电路
Fig.1 Schematic diagram of inverter

直流高压电源采用三级倍压整流电路(图 2), 高压升压变压器 T 将中频 300 V 电压升压为 25 kV, 经 6 倍压后空载电压为 150 kV, 额定负载电压为 140 kV, 额定负载电流为 1 mA。采样电阻为 40 MΩ×12, 控制采用闭环模拟 PID 调节器, 通过参数调节整定, 高压电压的稳定度可以达到±0.1%/8 h。

直流高压电源、采样电阻及 X 射线管等均装配于钢桶内, 工艺上对钢桶内部的电位分布、绝缘介质耐压强度、元件安装、散热、射线输出方向和角度等要综合考虑。电绝缘采用液体和固体绝缘介质复用方法, 兼顾 X 光管阳极散热和高压绝缘, 固体

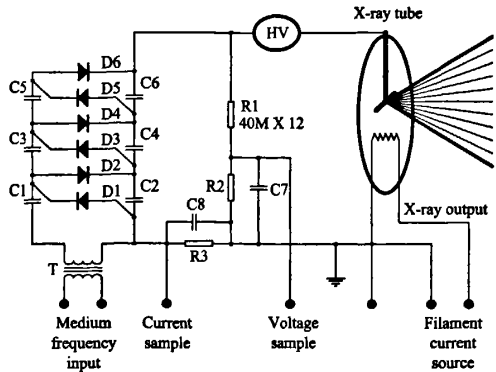


图 2 高压电源与 X 射线管
Fig.2 High-voltage generator and X-ray tube

绝缘介质可有效隔断液体绝缘介质中各种杂质(如纤维等)在高电场下形成的“小桥”，提高介质的电击穿强度。固体绝缘介质材料采用聚四氟乙烯板或环氧板，液体绝缘材料采用工业用变压器绝缘油。

X 射线以 60° 扇角、5 mm 宽的准直器狭缝射出。X 射线源体采用了适当的钢 + 铅复合屏蔽，使源体表面的辐射剂量当量符合有关的国家安全标准。

1.2 灯丝电流源

灯丝电源为 X 射线管的灯丝提供加热电流，灯丝表面热电子的发射密度决定了 X 射线管的管电流，也就决定了 X 射线的输出强度。电子的发射电流密度由式(1)决定。

$$j = AT^2 e^{-W/k_B T} \tag{1}$$

其中， T 为灯丝温度，由灯丝加热功率 P 即灯丝电流决定。灯丝电路采用降压型斩波电路(图 3)^[6]，为提高电流的稳定度，减小 50 Hz 纹波的影响，控制电路采用模拟 PID 调节器控制，使电流的长期稳定度 < 0.1%。

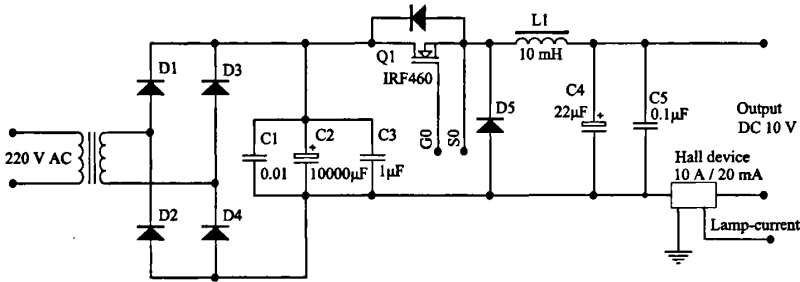


图 3 灯丝电流源电路
Fig.3 Schematic diagram of filament current source

1.3 数字控制系统

数字控制系统采用单片计算机 89C52，扩展 8K 字节的外部 RAM，前向通道 A/D 转换采用高精度 12 位 A/D 转换器 AD574A，后向通道 D/A 转换采用高精度 12 位 D/A 转换器 DAC1232(图 4)。高压电源的电压、电流经线性光电耦合电路隔离、整理电路调整为 0~10 V 的电压信号，灯丝电源的电流由霍

尔电流传感器转换为 0~10 mA 的电流，经线性光电耦合电路隔离、整理电路也调整为 0~10 V 的电压信号。这三路模拟信号通过多路模拟电子开关 CC4066 分别由 AD574 转换为数字量并进行实时显示。D/A 转换输出的模拟电压值用来设定 X 射线源的 X 射线能量的大小，既设定高压电源的输出电压，又可通过单片机的控制进行智能化的高压锻炼过程，灯丝电流由电压基准 LM399 和电位器设定固定输出^[7]。

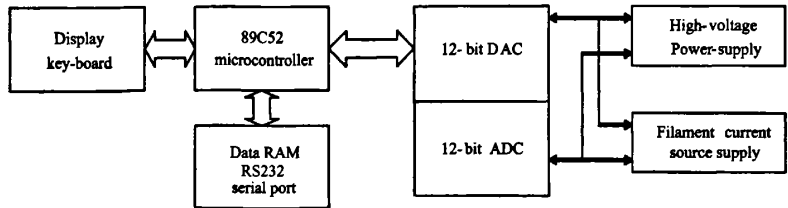


图 4 数字控制系统结构框图
Fig.4 Block diagram of the digital control system

系统扩展了键盘和 LED 数码显示，方便系统的调试、参数设定和自动控制，系统出现的过压、过

流、短路、电网异常等故障也可以由数码显示，以利于故障的诊断和维修。系统 RS232 串行接口与上

位计算机通信、电源系统的控制、状态和参数监测、参数设置等均可由上位机来实现。

为防止逆变电源、开关电源的高频谐波干扰,消除高压电源打火的冲击干扰,系统由三个独立部分构成:1) 单片机系统,其输入输出均由线性光耦和光耦完全隔离,电源有+5 V 和±15 V;2) 控制模拟电路;3) 功率电路。后两者完全隔离,与高压电源输出的地相连。低压供电和高压供电的输入端均有电源进线滤波器,以消除它们之间的串扰和耦合。

2 实验结果与讨论

对系统进行了测试,图 5 为高压电源启动和关闭的时间特性,启动时间约为 1 s,关闭时间为 2.5 s。

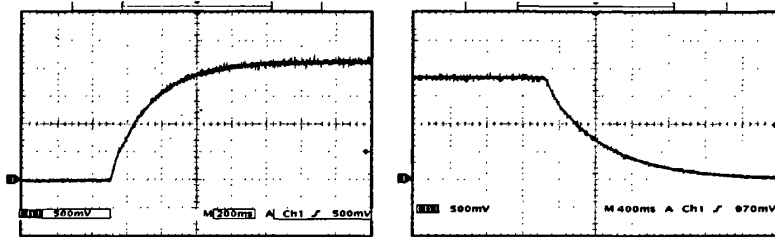


图 5 高压电源启动与关闭的时间特性
Fig.5 Time response of high-voltage generator start and stop

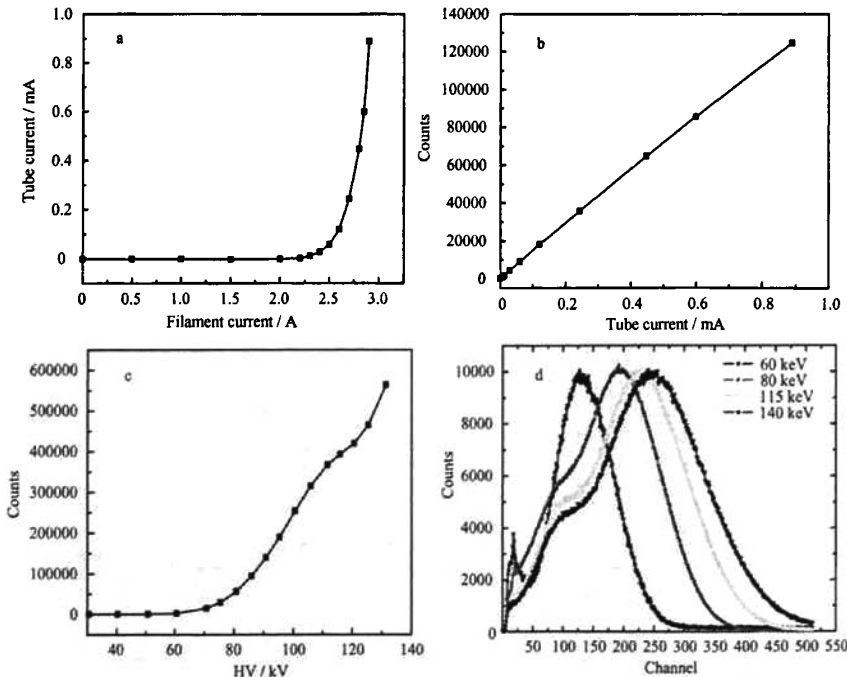


图 6 X 射线源的特性

a. 灯丝电流与输出管电流的关系, b. 管电流与 X 射线计数的关系, c. 高压电压与射线计数的关系, d. 不同管电压下的 X 射线能谱

Fig.6 Characteristics of X-ray sources

a. Tube current vs filament current, b. X-ray counts vs tube current, c. X-ray counts vs high-voltage output, d. X-ray energy spectra at different tube voltages

可满足安检设备对 X 射线开关的动态时间要求。

采用 NaI(Tl)探测器、谱仪放大器和定标器构成的测量装置对 X 射线源的输出射线进行了测量,图 6a 为管电压固定时灯丝电流与输出管电流的实验曲线,图 6b 为管电压固定时灯丝电流与输出 X 射线计数的关系,图 6c 为灯丝电流固定时,高压电压与输出 X 射线计数强度的关系,在管电压大于 75 kV 以后,也与管电压近似成正比增强,并呈现出 X 射线管的二极管正向导通特性,图 6d 是采用计算机多道测量的不同高压下的 X 射线能谱,可以看出, X 射线的平均能量随着管电压的变化,能谱的分布也有所不同。

3 结论

采用高频开关电源和逆变电源技术, 设计了 X 射线源的连续可调高压稳压电源和连续可调灯丝电流稳流电源, 并应用单片计算机实现了 X 射线源中的两个电源数字控制和监视, 通过隔离技术保证了强电和弱电, 模拟和数字各部分的完全隔离, 消除了系统之间的干扰, 实现了系统的长期稳定运行。实验结果表明, 该装置功能完善, 技术指标达到了安检设备用 X 射线源的要求。

参考文献

- 1 Sun j Ding, Nakaoka M. IEEE Power Electron Motion Control Conf, 2000, 2: 596-601
- 2 LIANG Shyhshin, TZOU Yingyu. IEEE Power Electron Drive Systems Conf, 2001, 2: 522-526
- 3 Cheron Y, Foch H, Salesses J. IEEE Power Electron Spec Conf, 1985, 295-306
- 4 Hino H, Hatakeyama T, Kawase T. *et al.* IEEE Intelec Conf, 1989, 1-8
- 5 李东仓, 吕振肃, 杨磊. 电力电子技术, 2000, 34(2): 16-18
- 6 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计. 北京: 电子工业出版社, 1998. 7-19
- 7 Boudreaux R R, Nelms R M. Digital control of a buck converter using an 8-bit microcontroller, Tenth international high frequency power conversion conference, 1995, 238-251
- LI Dongcang, LV Zhensu, YANG Lei. Power Electron, 2000, 34(2): 16-18
- ZHANG Zhansong, CAI Xuansan. Theory and design of switching power-supply. Beijing: Electron Ind Press, 1998. 7-19

Development of digital control high-stability X-ray source

YANG Lei LI Dongcang QI Zhong ZHANG Wenhui

(School of Nuclear Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract An X-ray generator works on high-voltage and low-voltage power supplies. In this paper, a continual adjustable DC high voltage power supply and filament current source were design based on switching power-supply technology and resonant inverter technology. Microcontroller was employed for the realization of the digital control scheme. Test results show that the X-ray source satisfies the requirements of security inspection equipment.

Key words Microcontroller, Digital control, X-ray, Power supply

CLC TG115.22*5.2