

# EAST 离子回旋共振加热系统上基于 PLC 的 阳极电源控制保护系统

王 磊 赵燕平 毛玉周 袁 帅

(中国科学院等离子体物理研究所十室 230031)

**摘 要** 介绍了离子回旋共振加热系统 100 kW 发射机所使用的电子管的 IGBT 模块化阳极电源的结构和工作原理, 并对电源的控制保护进行了研究, 采用 PLC 和触摸屏设计了其控制保护系统。实际应用表明, 该电源控制保护系统运行可靠, 控制简便。

**关键词** 离子回旋共振加热系统 可编程序控制器 触摸屏 IGBT

## 1 引言

离子回旋共振加热是 EAST 超导托卡马克核聚变实验装置上加热等离子体的重要手段。离子回旋共振加热系统进行加热时的功率直接来源于其发射机中所使用的电子管的阳极电源, 所以阳极电源的技术参数和性能指标直接决定着加热系统的实际运行效果。

IGBT 是 20 世纪 80 年代初发展起来的一种新型复合器件, 集双极型功率晶体管和功率 MOSFET 的优点于一体, 具有电压控制、输入阻抗大、驱动功率小、控制电路简单、开关损耗小、通断速度快和工作频率高等优点。最新研制的离子回旋共振加热系统的 100 kW 前极发射机的阳极电源是由 32 个 IGBT 单元构成的电源模块所组成, 具有操作方便、性能可靠、上电时对系统冲击小以及可随意改变电压大小等优点。

本文首先就该阳极电源的结构和原理进行介绍, 其次对电源的控制保护系统进行研究设计, 采用 PLC 和触摸屏对电源进行控制操作。最后通过实验中采集到的数据对电源控制保护系统的性能进行验证。

## 2 阳极电源的结构和原理

阳极电源的原理图如图 1 所示。电源由 32 个相同的单元在直流侧依次串联而成, 单个电源单元输出电压为 600 V, 所以阳极电源总的输出电压为 0 ~ 19.2 kV, 每 600 V 为一档阶梯可调。1<sup>#</sup> ~ 16<sup>#</sup> 单元为一组, 17<sup>#</sup> ~ 32<sup>#</sup> 单元为另一组。每个电源单元都由 IGBT 电源模块、电源模块控制单元和光电

隔离系统组成。所有 IGBT 电源模块内部均设有续流二极管, 以备在某些电源单元未被选中开启或出现故障被封锁时仍能够保持电源主回路的导通, 使电源其他正常的单元继续工作, 避免造成整个系统断电。为确保操作人员的人身安全, 采用光电隔离系统将电源的高压运行部分和控制保护部分隔离开, 通过光纤在两部分之间进行控制信号和采集信号的传输。除对各个电源单元分别进行监测外, 同时还设有电源总电流监测系统和总电压监测系统。

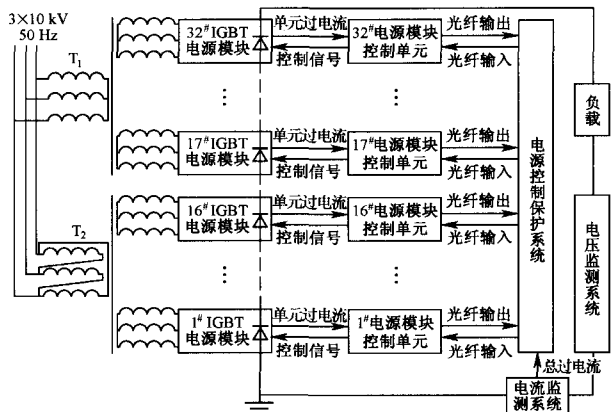


图 1 阳极电源原理图

## 3 电源控制保护系统的研究设计

### 3.1 电源控制保护系统的构成和功能

阳极电源控制保护系统由 32 个单元控制保护系统和 1 个主回路控制保护系统组成。电源正常工作时是通过其控制保护系统中 PLC 输出触点的通断, 将控制信号送至电源单元, 用以开启其 IGBT 的光信号的有无, 来实现各个电源单元的开启或关断, 执行合高压指令与断高压指令。根据离子回旋

共振加热系统 100 kW 发射机的具体参数, 各电源单元的过电流设定值为 30 A, 电源主回路过电流设定值为 25 A。

电源控制保护系统的电路原理图如图 2 所示。各单元控制保护系统中, 首先将通过光电隔离系统传输的单元过电流信号与主回路过电流信号相或。当出现任一种过电流情况时, 或门电路输出高电平信号 A, 控制接通可保持继电器的线圈回路, 通过继电器触点动作向相应的 PLC 输入端子发出低电平信号, 使 PLC 对应的输出触点动作, 输出高电平信号 B。因为 PLC 触点动作需要一定的时间, 为提高保护速度, 信号 A 同时还直接与信号 B 相或。这样在出现过电流时可以先不经过 PLC, 直接将过电流信号送至整形驱动电路, 关闭送至相应故障电源单元的光信号。该故障电源单元的控制模块一旦没有接收到光信号就会立即封锁 IGBT, 关闭电源单元。其余正常单元通过其续流二极管继续工作。

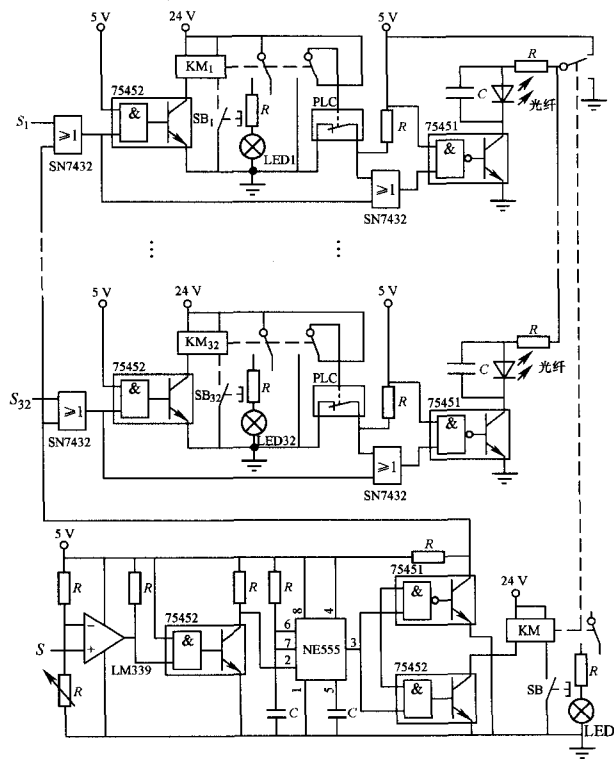


图 2 控制保护系统原理图

SB、SB<sub>1</sub> ~ SB<sub>32</sub>—复位按钮 KM、KM<sub>1</sub> ~ KM<sub>32</sub>—可保持继电器

LED<sub>1</sub> ~ LED<sub>32</sub>—单元过电流指示 LED—主回路过电流指示

S<sub>1</sub> ~ S<sub>32</sub>—单元过电流信号 S—主回路电流信号。

主回路过电流保护是通过将主回路中的电流传感器采集到的电流信号传送至比较器, 与正常的电

流信号做比较。当出现过电流时, 由 555 单稳电路送出可保持一段时间的主回路过电流信号, 分别传送到 32 个单元控制保护电路; 同时接通主回路控制保护系统中的可保持继电器的线圈回路, 继电器常闭触点动作, 切断所有 32 个单元控制保护电路送至相应电源单元的光信号, 以确保实现整个系统的封锁; PLC 退出合高压状态, 进入断高压状态。

过电流情况发生后, 在对系统进行检修、确认系统状态恢复正常后, 可以按下复位按钮使所有可保持继电器的触点复位, 解除系统封锁。

### 3.2 PLC 选型及编程

根据系统的控制保护要求, 经过对系统控制量的分析, 统计出系统需要 33 个输入点和 32 个输出点; 同时又对各种 PLC 的性能参数进行比较, 最后选定了 LG 公司生产的 MASTER—K120S 系列 PLC。该系列 PLC 指令丰富, 功能强大, 可靠性高, 便于扩展功能, 性价比较高。系统配置为: 主机 K7M—DR60U (36 点输入, 20 点输出) + 2 个扩展模块 G7E—RY08A (8 点输出)。

根据控制系统运行过程, 综合考虑各种情况下需要的指令, 绘制 PLC 逻辑控制流程图如图 3 所示, 并根据流程图编写 PLC 梯形图。

### 3.3 人机界面

目前触摸屏式的一体式操作终端得到了广泛应用。本控制保护系统选用韩国 M2I 公司生产的 TOP5TAS 型触摸屏, 利用 TOP Design 编程软件编写人机界面。系统的整个控制过程可以通过人机界面直接进行可视化操作, 简单直观。操作人员可以对控制系统发出合高压与断高压的指令, 同时还可以任意设定各个电源单元是否开启, 以及合高压过程中每两个电源单元间的开启间隔时间。触摸屏通过 RS232C 通信接口与 PLC 连接。

## 4 实验数据

用示波器对 IGBT 电源单元空载开启波形信号进行采集, 如图 4 所示 (波形 2 为指令信号, 波形 3 为电源单元输出电压信号)。IGBT 电源单元正常开启时间为 10.5 μs。

电源单元关断波形信号按空载和额定工作负荷两种情况进行采集, 如图 5 所示 (波形 2 为指令信号, 波形 3 为电源单元输出电压信号)。空载时电源关断时间为 0.98 ms, 额定工作电流 10 A 情况

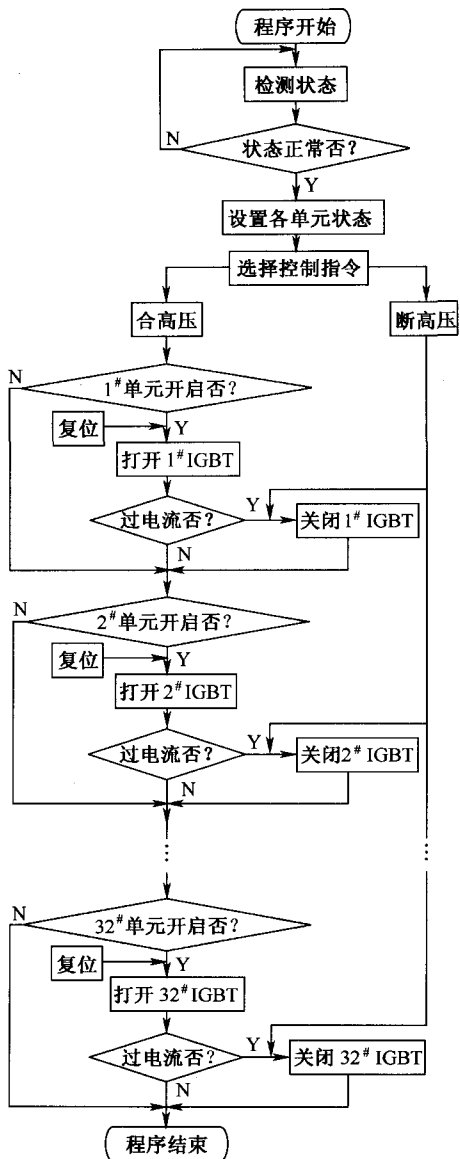


图 3 PLC 逻辑控制流程图

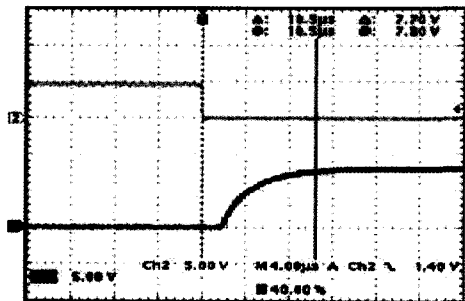
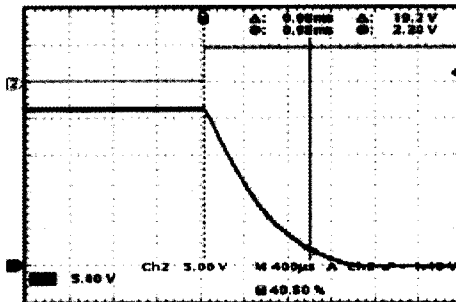
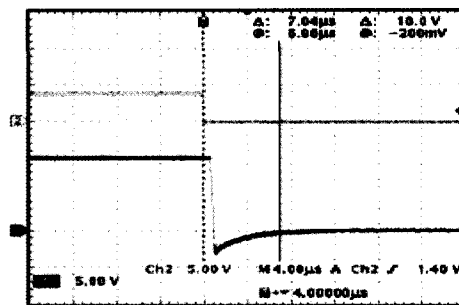


图 4 IGBT 电源单元开启时间



(a) 空载时



(b) 工作电流 10 A 时

图 5 IGBT 电源单元关断波形

下关断时间为 7 μs。由此看出负载越重，IGBT 的关断速度越快。

### 5 结束语

本文对 IGBT 阳极电源进行了研究，开发设计了电源的控制保护系统。该控制保护系统已经投入使用，工作稳定可靠，完全满足本套电源的控制保护要求。同时若在本设计的基础上进行扩展，可以很方便地构成任意单元的 IGBT 电源的控制保护系统。

### 参考文献

- [1] 周志敏, 周纪海, 纪爱华. IGBT 和 IPM 及其应用电路 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
- [2] 关中俊, 黄永红. 可编程控制器原理及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

收稿日期: 2007-12-10

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告