

doi: 10.7690/bgzd.2016.06.015

# 基于 PC-PLC 控制的脉冲氢闸流管老练测试系统

冯 莉, 冯宗明, 陈 敏

(中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 为了满足脉冲氢闸流管老练测试系统控制要求, 克服恶劣的电磁干扰环境, 建立一个基于 PC-PLC 方式的控制系统, 介绍测试系统组成和工作原理。设计的 PC-PLC 控制系统实现了老练系统各控制对象的远程协调工作, 可调重复频率脉冲输出以及管子性能参数的远程实时监测等功能; 采用光纤传输, 克服了管子双脉冲触发时预触发脉冲输出瞬间对主触发脉冲造成的干扰, 保证了触发单元的稳定性; 利用 VB 开发用户交互式界面进行上位机设计和测试。测试结果表明: 该控制系统在高压强电磁干扰环境中运行可靠、稳定, 通信准确、实时, 系统功能和技术指标能满足设计要求。

**关键词:** 脉冲氢闸流管; PLC; 光纤; 脉冲调制器

**中图分类号:** TP274 **文献标志码:** A

## Pulse Hydrogen Thyatron Aging Test System Based on PC-PLC

Feng Li, Feng Zongming, Chen Min

(Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** In order to satisfy the pluse hydrogen thyatron aging test system control requirements, to overcome the severe electromagnetic interference environment, build a control system based on PC-PLC, introduces the composition and working principle of the testing system. Design of PC-PLC control system, accomplishes remote control of thyatron trigger system, out of adjustable repetitive rate pluse, and measure the performance parameters of the thyatron in remote real-time. The optical fiber communication technology was used for transmitting the thyatron trigger pulse to enhanced the trigger system's antijamming ability; using VB to develop user interactive interface for PC design and testing. Test results show that the control system in high pressure strong electromagnetic interference environment, reliable operation, stable, accurate communication, real-time, system function and technical indicators can meet the design requirements.

**Keywords:** pluse hydrogen thyatron; PLC; optical fiber; pulse modulator

## 0 引言

脉冲氢闸流管老练测试系统用于进行老练和性能测试, 主要指标为: 输出 10~70 kV 脉冲峰值电压, 0.1~10 kA 脉冲电流峰值, 10 Hz~1 kHz 可调的重复触发频率, 并具有计算机远程控制功能。老练系统的主体部分是具有一定功率容量和电压等级的功率脉冲调制器。

目前, 对脉冲调制器通常采用 3 种控制方式<sup>[1]</sup>: 一是传统的继电器逻辑控制方式, 虽然功能简单, 但不能记录运行数据, 而且只能手动操作; 二是利用数据采集处理卡, 但此类设计会遇到电路的板级设计、EMC 设计难以满足应用场合要求; 三是使用可靠性高、抗干扰性强的工控机和可编程序控制器, 即 PC-PLC 控制方式。通过比较, 并针对控制要求和环境, 笔者在选择第 3 种控制方式的基础上, 采用光纤传输免除管子触发时引发的干扰, 以保证触发单元的稳定性。

## 1 测试系统组成及工作原理

老练测试系统主要由脉冲调制器、供电单元、控制系统(包括上位机和控制器)、检测系统组成<sup>[2]</sup>。脉冲调制器是系统的主体部分, 实现高压脉冲和大电流的形成与输出。脉冲调制器由待老练(主)脉冲氢闸流管、辅助氢闸流管、脉冲形成网络 PFN、谐振充电、触发单元、直流高压源、预热系统组成, 如图 1 所示。其中, 待老练脉冲氢闸流管工作的阳极电压为 70 kV, 最大输出活化脉冲电流为 10 kA。工作原理<sup>[3]</sup>如下: 脉冲氢闸流管先预热。预热完毕后, 40 kV 和 12 kV 两路直流高压单元充电, 两路直流高压单元电压达到设定值时, 启动脉冲谐振充电单元, 两路直流高压分别以谐振方式对冲击激活中储电容和 1 Ω 活化大电流脉冲形成线充电至 70 kV 和 20 kV, 谐振充电结束电压稳定, 触发单元触发待老练脉冲氢闸流管, 激活高压脉冲将脉冲氢闸流管阳极和阴极击穿导通, 辅助氢闸流自击穿导通,

收稿日期: 2016-02-19; 修回日期: 2016-04-07

作者简介: 冯 莉(1970—), 女, 四川人, 本科, 高工, 从事自动控制研究。

同时活化大电流脉冲形成放电，强大的活化电流通过脉冲氢闸流管阳极和阴极，对阴极进行活化，两路脉冲形成单元放电完毕后，两路脉冲氢闸流管和自然关断。调制单元脉冲重复频率为 0 Hz~1 kHz 可调。

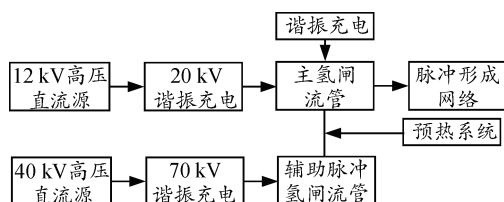


图 1 氢闸流管老练测试原理

## 2 PC-PLC 控制系统设计

图 2 为氢闸流管老练测试控制系统原理图。老练测试控制对象主要是脉冲调制器，包括高压直流源、谐振充电单元、触发单元以及预热系统。计算机作为远程人机界面通过 PLC 控制各对象协调工作，同时对设备状态和充电电压实时监控与显示以及连锁保护功能。在控制设计上考虑到调制器运行时产生严重的电磁干扰。PLC 具有可靠性高、I/O 接口模块丰富、模块化结构、运行维护方便等优点，适合在恶劣的工业环境中使用。笔者采用可编程控制器 (PLC) 作为控制器，其控制结构如图 2。PLC 通过光纤与触发单元连接，预热系统、电源控制以及高压采集和控制的连接采用屏蔽电缆。

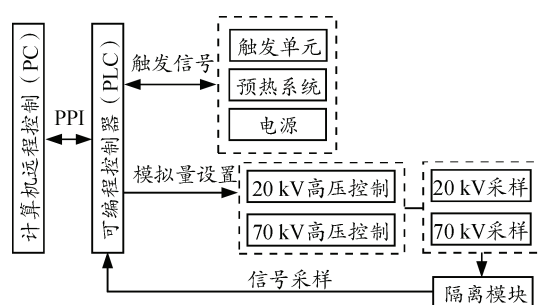


图 2 PC-PLC 控制结构

PLC 选用西门子公司 s7200，上位机采用 PC 工控机。PLC 的型号为 CPU224XP/CN DC/DC/DC；模块配置 DI14/DO10/AI2/AO1；该模块具有 2 路高数脉冲输出 (Q0.1/Q0.2，最大频率 20 kHz)<sup>[4]</sup>，满足老练重复频率要求；其数字量输入输出模块均有光电隔离，内部无任何机械触点；在模拟量输入端口使用了 15 kV 的隔离模块，既对电磁干扰起到了一定的抑制作用，同时又保护了 PLC 端口。

PLC 控制程序使用梯形图的方式编制，接收 PC 的命令帧，按命令帧控制各对象动作。其中直流高

压充电调节控制是一个很重要的功能，程序中使用计时器，输出电压按步进上升实现充电调节控制。在程序中计时器定时读取实际值与设定值比较，再通过粗调和细调输出电压步进的数字量，对直流高压进行充电调节。同时，如果充电上升过程有打火等故障，高压将马上被切断，避免了重要设备在很高的电压下损坏。另一个重要功能是实现高速脉冲输出，要求输出脉冲频率和脉冲个数可控的脉冲序列。CPU224XP 具有脉冲输出指令 (PLS)，每个 CPU 有 2 个 PTO/PWM (脉冲列/脉冲宽度调制器) 发生器，最大频率为 20 kHz，分别通过数字量输出点 Q0.0/Q0.1 输出高速脉冲列和脉冲宽度可调的波形。本程序利用脉冲列 (PTO) 功能，由 Q0.0 输出脉冲波形。PTO 功能提供周期与脉冲数目可由用户控制的方波 (50%) 脉冲列。通过设定 PTO 生成器的控制字节 SMB67、周期寄存器 SMW68、脉冲计数寄存器 SMD72，执行脉冲输出指令 (PLS) 实现可变频率脉冲列的输出。

## 3 PLC 控制可靠性设计

老练测试系统其脉冲调制器的电压高达数十千伏，而控制系统则是低压弱电系统。为保障控制系统的安全，笔者在控制设备安装、信号传输和程序方面采取了以下可靠性设计：PLC 采用独立的电源供电，单点接地方式，将高低电位单元隔离，远离高压设备安装；PLC 模拟量采用屏蔽线连接，输入信号模拟端采用隔离模块连接，输入数字端使用光电隔离和低通滤波以防触点抖动，滤波时间设置为毫秒级；在 PLC 内部逻辑上和硬件连接上采用互锁功能实现调压器的正反转，起到更加完善的保护作用<sup>[5-6]</sup>。

脉冲调制器采用双脉冲触发，预触发脉冲和主触发脉冲之间的延时时间间隔固定、抖动小 (延时时间抖动小于 10 ns)。由于预触发脉冲输出瞬间可能对主触发脉冲及相邻电路造成电磁干扰，为此，对触发脉冲采用光纤传输。光信号的接收和发送选用低功耗的 LED 源光纤收发器，光发送模块采用 HFBR-1414，光接收模块采用 HFBR-2412。触发脉冲经过光发送模块耦合到光纤，然后由光纤传输到光接收模块输出电信号，整形、放大后输出到闸流管栅极。同时，预触发脉冲和主触发脉冲之间采用分光器分割，有效减低了两路触发脉冲之间的延时时间抖动。采用该结构的脉冲氢闸流管老练平台触发系统工作在 70 kV、10 kA 情况下，未发生误触发

或不触发等故障，平台 1 kHz 重复频率下，触发单元运行稳定。



图 3 上位机户交互式界面

### 4 上位机设计

上位机利用 VB 开发用户交互式界面如图 3。上位机与 PLC 的远程连接采用 PPI 方式，利用自由

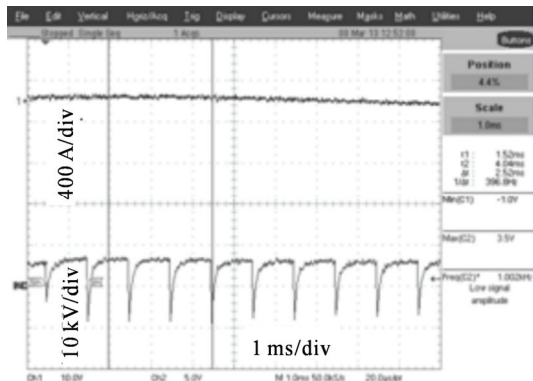


图 4 1 kHz 重频输出脉冲电压

### 6 结束语

脉冲氢闸流管老练测试控制系统采用了模块化、数字化、光纤传输技术的 PC-PLC 自动控制方式，其结构紧凑，扩展性强，简化了操作结构，大大减少了人为误差，提高了操作效率，增强了系统功能和可靠性。测试过程在高压强电磁干扰环境中运行，可靠稳定。

#### 参考文献：

[1] 袁启兵, 谷鸣, 陈志豪, 等. 基于 PLC 的 110MW 脉冲调

口与 PLC 通信。通过用户界面操作发送指令给 PLC，PLC 接收到指令后按控制程序进行控制。上位机程序主要完成触发方式(重复频率输出或单次触发)的选择，各控制对象的时序控制操作；直流高压的充电控制；同时实时采集(如图 2，PLC 采样信号，通过 PPI 上传给 PC)、显示测试电源电压和电流以及设备状态指示。

### 5 测试结果

老练测试系统自 2013 年运行以来，已对脉冲氢闸流管进行了多次老练。在老练过程中没有遇到电磁干扰问题，工作稳定、可靠，通信准确而实时，系统功能和技术指标满足要求<sup>[7]</sup>。图 4、图 5 分别为老练平台在 1 kHz 重复频率运行条件下，待测脉冲氢闸流管阳极电压波形和时间放大的单个脉冲电流波形。

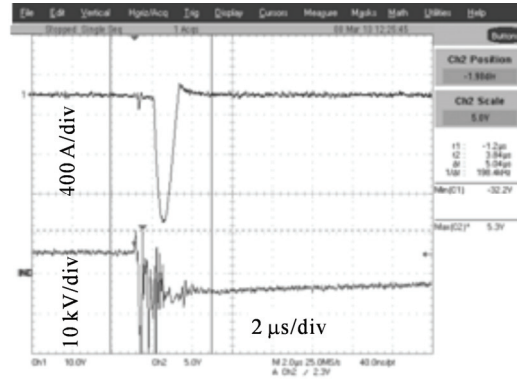


图 5 单个放电电流波形

制器控制器设计[J]. 核技术, 2007, 30(10): 864-867.

[2] 东冲. 线型脉冲调制器理论基础与专用电路[M]. 北京: 国防工业出版社, 1978: 118-148.

[3] GB/T6428—1995 脉冲氢闸流管测试方法[S].

[4] 西门子 Siemens SIMATIC 可编程控制器操作手册[S]. 西门子有限责任公司, 2000.

[5] 黄懿斌. 基于 PLC 的高压直流电源控制系统的设计和实现[J]. 计算机自动测量与控制, 2001, 9(6): 32-33.

[6] 蔡政平, 徐旭哲, 武志勇, 等. 450 kV 大功率速调管器系统[J]. 强激光与粒子束, 2010, 22(7): 1678-1679.

[7] 简翠郎, 栗洋, 臧文利, 等. 简易零飞测试系统的设计与应用[J]. 兵工自动化, 2015, 34(3): 80-82.