

# LHCD 高压电源诊断

The diagnoses of high voltage power supply of low hybrid current drive

(1.中国科学院等离子体物理研究所;2.巢湖学院) 程如砥<sup>1</sup> 单家方<sup>1</sup> 许磊<sup>2</sup>  
CHENG Ru-di SHAN Jia-fang XU Lei

**摘要:** 本文介绍了 EAST 低杂波高压电源系统的诊断,在低杂波系统中高压电源系统的正常运行意义非凡。我们通过对一般的抽象的故障分析专家系统具体化建立一个高压电源故障分析专家系统并把它做成一个可被计算机识别的数学模型存储在计算机当中。在低杂波高压电源诊断系统中,根据采集到的高压电源的参数通过存储在计算机中的高压电源故障分析专家系统来推断高压电源系统中哪个部分出现了问题,这个问题会带来什么影响以便去寻找针对具体故障的解决办法。

**关键词:** 撬棒; 高压电源; 故障分析专家系统

**中图分类号:** TL62+3 **文献标识码:** B

**Abstract:** this paper introduced the diagnoses of high voltage power supply of low hybrid current drive of EAST,the high voltage power supply is very important to the hybrid current drive.we establish a HVPS analysis system via realizing a abstract trouble expert analysis system,make it a mathematic model which can be identified by computer,and store it into the computer.In the HVPS diagnoses system,we can first collect the HVPS parameters, then we can analyze and infer where the problem lies in the HVPS via the HVPS trouble analysis system according to the collected parameters.At last ,we will find the solution to the found problem.

**Key words:** crowbar; HVPS; trouble expert analysis system

## 1 前言

在 EAST 系统中,需要 4 套高压电源为 20 只速调管提供阴极直流高压,那么在高压电源运行过程当中会出现诸如同步故障,桥路故障,开关故障,测量故障,控制等方面的故障,所以高压电源诊断的任务就是通过采集到的高压电源参数并结合已经建立的高压电源故障诊断案例库和高压电源故障诊断知识库,经过推理分析得出故障诊断结论,供其他相关科研人员参考。

## 2 LHCD 高压电源介绍

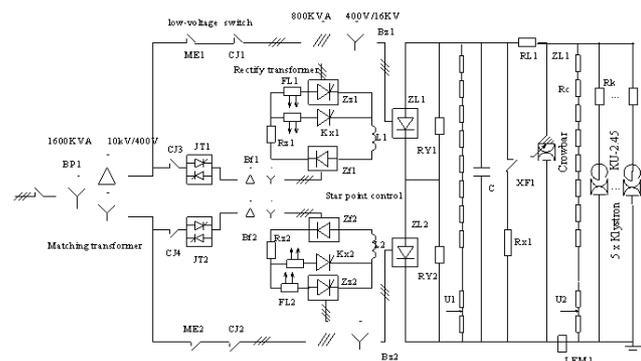


图 1 高压电源

在 LHCD 系统中一共有 20 只速调管,在这个系统中我们将 20 只速调管每 5 只并联后分别由 4 套高压电源供电。我们采用电网给高压电源供电,电网电压先通过一个 10KV/400V 的配电变压器,然后再通过一个 400V/32KV 的整流变压器,整流变压器的原边绕组接三相晶闸管相控整流桥,而副边接三相二极管不可控整流桥。10kV/380V 配电变压器将副边结成 12 相整流

程如砥:在读硕士

的方式,利于无源 LC 滤波;可控硅整流桥在整流变压器原边低压侧采用星点调压结构进行制整流和反馈控制,滤波电感可等效放置星点直流侧,大大降低了电感的绝缘制造水平,同时也降低了电源动态内阻,加快系统动态响应,有利于晶闸管换相,遏制故障电流冲击;整流变压器分档抽头适应不同电压的工作段;整流变压器和功率二极管整流桥构成不可控整流,提高整流质量;高压滤波电容和星点滤波电感构成低通滤波环节;引燃管撬棒系统转移负载故障电流以保护负载;PLC 等采集控制接口可同时实现调压、保护、脉宽控制。

具体情况见如图 1 原理图:

### 2.1 引燃管撬棒系统介绍

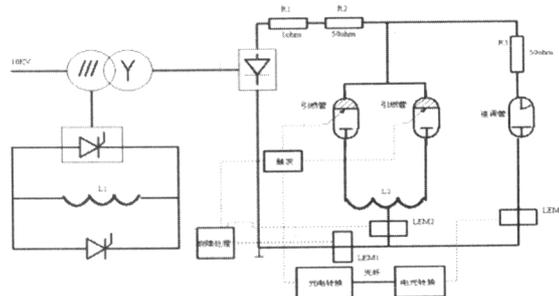


图 2 引燃管撬棒系统

在 EAST 2MW 低杂波系统中为了保护速调管正常工作,在速调管打火时必须在 150 微秒之内切断高压。EAST 2MW 低杂波系统高压电源系统采用的是星点调压高压调制电源,该电源在速调管打火时不能在 150 微秒之内切断高压,实验证明脉冲封锁需要 30 毫秒。所以需要采用其它方法来转移速调管打火时主回路的电流。采用撬棒系统来转移速调管在打火时的电流,这样比较实用和经济。引燃管是撬棒系统的核心部件,也是属于高压系统诊断的一个内容。在该系统中我们采用的引燃管是美国理查德

公司产品 NL-7703EHV, 容量 50KV/30C, 单管导通时间 3 微秒。由于电源最高电压为-35KV, 所以采用单只引燃管并联就能满足要求。系统结构如图 2 所示。

### 3 高压电源故障分析系统结构

高压电源故障分析系统结构是对一般专家系统结构具体化得来的, 建立这样一个系统结构可以增强系统的先进性, 便于快速诊断和系统维护, 其结构如图 3 所示:

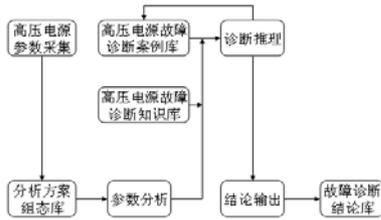


图 3 高压电源故障分析系统结构

#### 3.1 高压电源参数采集

在这个诊断系统里要采集的高压电源参数是星点电流, 输出电压, 开关信号, 交流侧电压, 控制电压, 同步变压器的二次电压通过对这些参数分析诊断得出具体的故障结论。

#### 3.2 参数分析

参数分析是在统一的时间坐标下按时间顺序, 间隔一定的时间扫描各种参数与触发时间的曲线, 建立典型的故障对应关系, 建立可被计算机识别的数学模型。

#### 3.3 高压电源故障诊断知识库

这个知识库主要包括高压电源原理方面以及高压电源故障态分析的机理方面的一些专业知识。

#### 3.4 故障诊断结论库

故障诊断结论库包括电网电压波动, 三相不平衡, 同步故障, 桥路故障, 开关故障, 测量故障, 控制电压故障, 引燃管故障。

#### 3.5 高压电源故障诊断案例库

高压电源故障诊断案例库包括以前所有实验中高压电源出现的故障的诊断案例, 包括各种故障出现时的参数特征, 诊断推理, 故障状态, 故障结论, 通过这些现有的故障诊断案例可以快速的诊断出那些经常容易出现的故障。

#### 3.6 诊断推理

通过采集输出电压可以诊断高压是否稳定, 通过采集交流侧电压可以诊断三相不平衡和电网电压波动情况, 通过采集同步变压器的二次电压可以诊断触发电路与主回路是否同步的问题, 通过采集开关信号可以诊断开关状态是否正确的问题, 通过采集控制电压可以诊断可控整流触发  $\alpha$  角是否合适的问题, 通过采集星点电流可以诊断引燃管是否会存在电荷流量超载的问题。

#### 3.7 结论输出

通过诊断得出的最终诊断结论, 这些诊断结论最终被存到故障诊断结论库。

### 4 引燃管诊断

在整个诊断系统里引燃管诊断最为重要, 因为它是 LHCD 快速保护系统里的核心部件, 如果它坏了整个保护系统就不存在, 那整个 LHCD 系统也就不能运行。在引燃管诊断中是通过星点电流来诊断的, 流过续流电感  $L_1$  的电流即为星点电流, 如果续流回路正常星点电流就通过二极管放电, 这时候星点电流不会流到引燃管里头去, 电流的波形尾部下降的时候是平滑的没有正弦振荡。

当续流回路不能够正常续流时, 例如二极管坏了, 续感电流就会跟高压正弦波叠加在一起流到引燃管里, 这时流过引燃管的电荷总量就增大了当超过引燃管的负荷时引燃管就会崩溃, 所以它是高压电源诊断的一个重要方面, 这时星点电流的波形会在尾部产生一个正弦振荡。

这时需要采用这样一种算法来判断星点电流波形的尾部是否有这样一个正弦振荡, 先采集尾部波形中的一个点记为 A, 记下 A 点的值并把它做为基准点, 然后继续往后采集直到连续采到两个和 A 点值在同一个范围的点分别记为 B 和 C, 然后算出点 A 和点 C 之间的时间间隔, 然后取倒数得出周期, 把这个周期和高压正弦波的周期相比较, 如果两个周期差不多就可以得出续流回路坏掉了, 引燃管可能会坏掉, 必须采取措施了, 达到诊断的目的。

### 5 程序设计

程序设计主要分为两部分分别设计成两个独立的程序, 第一个为采集程序, 用来采集需要采集的高压电源参数, 第二个为显示程序, 用来实时显示所采集的高压电源参数并显示所采集参数的历史波形。

#### 1. 采集程序

在本系统中一共有 24 路信号需要采集, 分别为 16 路星点电流信号, 4 路高压信号, 1 路交流侧电压信号, 1 路 DEF 信号, 1 路 IP 信号, 1 路总功率信号。用两块北京双谱测控公司生产的 12 位 16 路 1000kHz A/D 板。

```
ac1820_io_privilege_init(0x2c0,16);
```

```
ac1820_io_privilege_init(0x300,16);
```

```
ac1820_ini(0x2c0,4,16,0,15,0,0);
```

```
ac1820_ini(0x300,4,8,0,7,0,0);
```

```
ac1820_sam(0x2c0,16);
```

```
ac1820_sam(0x300,8);
```

```
ac1820_qry(0x2c0,psam_data,16);
```

```
ac1820_qry(0x300,psam_data+16,8);
```

通过以上函数的调用, 要采集的数据就被存到指针 psam\_data 所指的一块内存里。然后把采到的数据拷贝到指针 trend\_data 所指的发送缓冲区。最后调用 listenSock.SendDatagram((char\*)&trend\_data, sizeof(trend\_data), (LPSOCKADDR)&listenAddr, DATATIMEOUT); 把采集到的数据发送到显示程序。

#### 2. 显示程序

##### 程序先通过

```
workSock.ReceiveDatagram((char*)&Data, sizeof(Data), (LPSOCKADDR)&severAddr, HEADTIMEOUT);
```

接收采集程序发送过来的采集数据, 然后通过

```
PtSetArg(&arg, PT_ARG_TREND_DATA[i], 2);
```

```
PtSetResources(trend_wgt[i], 1, &arg);
```

把采集到的数据送到用 PHAB 做的显示界面上显示。

### 6 结论

本文介绍了如何来诊断 LHCD 高压电源的故障诊断, 我们根据采集程序采集到的高压电源参数, 再通过建立的高压电源故障专家分析系统可以快速地自动地得出高压电源在运行当中出现的故障所在, 从而达到诊断的目的。

本文作者创新点: 本文通过建立一个高压电源故障专家分析系统来完成诊断任务, 本系统可以自动地得出电源故障所在, 取代以前的人工诊断, 提高了诊断效率节省了人力资源。

(下转第 73 页)

序流程图如图 2 所示。

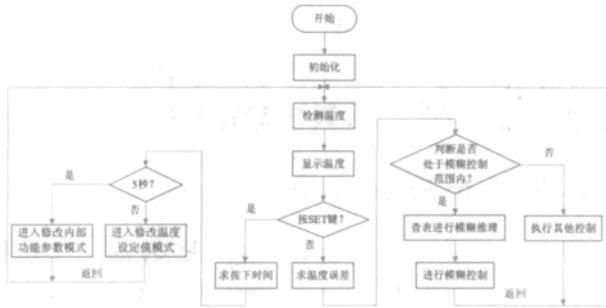


图 2 主程序流程图

## 5 系统的测量结果

在此温度控制系统中,可以根据需要修改温度设定值,其温度测量值也会相应地稳定在某个范围。例如,模糊控制周期为 12 秒,其温度测量值变化范围和温度设定值的关系如表 3 所示。在恒温阶段,温度设定值在 250℃以下的控制精度达到 $\pm 1^\circ\text{C}$ ,温度设定值在 250℃以上的控制精度达到 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。

表 3 系统测量结果表

设定值	50℃	100℃	150℃	200℃	250℃	300℃	350℃
测量值	49-51℃	99-101℃	149-151℃	199-200℃	249-251℃	298-302℃	348-352℃

## 6 结束语

在本研究的锡炉温度控制系统中,通过采用模糊控制算法,成功地实现了温度控制,取得了满意的控制效果。由于采用在系统可编程技术的单片机,该系统可在正常工作下进行调试,只需设定不同的参数,即可应用于不同的工作环境。

本文作者创新点:很多模糊控制算法都局限在理论研究上,尚未与实际应用结合起来,本文将模糊控制理论与工业锡炉结合起来,提高了温度控制的实时性、稳定性和精确度,达到了理想的效果;本文利用 STC89C52 单片机做成的温度控制系统,只需少量的硬件设备便能完成多种功能,成本低,该系统目前处于实际工业炉温控制的应用和试行阶段。

本项目经济效益为 6~10 万元。

### 参考文献

- [1]余永权,曾碧.单片机模糊逻辑控制[M].北京:北京航空航天大学出版社,1995.
- [2]刘喜梅,王波,于飞.工业电炉温度的模糊控制系统设计[J].微计算机信息,2007,9-1:73-75.
- [3]王立新.模糊系统与模糊控制教程[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [4]王幸之等.单片机应用系统抗干扰技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,1999,5.
- [5]杨卫中,霍利民.LED 大屏幕信息显示系统的设计[J].河北工业大学学报,1998,27(3):87-92.

作者简介:方坤涛(1984-12),男(汉族),硕士研究生,主要研究方向:嵌入式系统与智能控制;曾碧(1963-9),女(汉族),教授,硕士生导师,主要研究方向:智能控制、嵌入式系统与智能机器人。

**Biography:**FANG Kun-tao (1984-12), Male, Master, Research Area: embedded systems and intelligent control.  
(510090 广州 广东工业大学) 方坤涛 曾碧 曾毅 黎惠成  
(Guangdong University Of Technology, Guangzhou, Guangdong 510090, China) FANG Kun-tao ZENG Bi ZENG Yi LI Hui-cheng

通讯地址:(510090 广东省广州市越秀区东风东路 729 号广东工业大学 1 号楼 501) 方坤涛

(收稿日期:2009.02.26)(修稿日期:2009.05.26)

(上接第 123 页)

作者简介:施云(1983-),男(汉族),安徽六安人,硕士,主要从事新一代 GPS 测量不确定度评定的研究。

**Biography:**SHI Yun (1983-),male (the Han nationality),Lu'an, Anhui,Guilin University of Electronic Science and Technology at the time post-graduate master's degree,mainly engaged in a new generation of GPS measurement uncertainty evaluation.

(541004 桂林电子科技大学研究生 H1 信箱) 施云 黄美发 孙永厚

(237012 安徽六安 皖西学院机械与电子工程系) 施云

(School of Machinetric Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, 541004, China) SHI Yun HUANG Mei-fa SUN Yong-hou

(West Anhui University, Mechanical and Electronic Engineering, Liu'an 237012,China) SHI Yun

通讯地址:(237012 安徽皖西学院机电系) 施云

(收稿日期:2009.03.09)(修稿日期:2009.06.09)

(上接第 127 页)

### 参考文献

- [1]徐伟华 吴君门.具有快速保护的超长脉冲微波负高压电源,核聚变与等离子体物理,1998,2.
- [2]黄俊 王兆安 电力电子变流技术 机械工业出版社.
- [3]刘飞 张宇 陈坚,HVDC 系统中星点调压方式的理论与实验,高电压技术,2005,2.
- [4]黄懿赟,HT-7U 超导托卡马克低杂波系统高压电源的研究,中国科学院等离子体物理研究所.
- [5]李宏,宣伟民,姚列英,赖超,一种新型的高压交流调压技术,电源技术应用,2007,8.
- [6]王冬霞,蒋敏,单家方.EAST 低杂波监控系统数据传输模式研究.微计算机信息,2007,2-1:80-82.

作者简介:程如砥(1984-05-08),男,汉,中国科学院合肥物质研究院等离子体所十室,在读硕士,计算机应用专业,现主要从事 LHCD 系统中计算机数据采集与控制的研究工作;单家方,(1962-),男,汉,中国科学院合肥物质研究院等离子体所十室副主任,研究员,博士生导师。1984 年毕业于合肥工业大学电气系,获学士学位;1987 年毕业于华北电力大学北京研究生院通信工程系,获工学硕士。主要科研工作及研究方向为低杂波电流驱动技术。

**Biography:**CHENG Ru-di(1984-), male,Han, Institute of Plasma Physic, Chinese Academy of Sciences, master, computer application, engage in the research of data collecting and controlling of LHCD.

(230031 合肥 中国科学院等离子体物理研究所) 程如砥 单家方  
(238000 安徽巢湖 巢湖学院) 许磊

(Institute of Physics,Chinese Academy of Sciences,Hefei 230031,China) CHENG Ru-di SHAN Jia-fang

(Chaohu college, Chaohu 238000,China) XU Lei

通讯地址:(230031 安徽省合肥市蜀山湖路 350 号 10 室 1126 信箱中科院等离子体物理研究所 10 室 微波实验室) 程如砥

(收稿日期:2009.02.26)(修稿日期:2009.05.26)

技术创新