

# EAST 电源系统补偿及滤波装置的监测与保护系统的研制

曾庆,陶骏,刘正之

(中国科学院等离子体物理研究所,合肥 230031)

**摘要:**介绍了 EAST 电源系统的谐波抑制和无功补偿的设计方案,及其控制保护与监测系统的研制,包括滤波装置的 PLC 控制系统、装置继电保护的设计、滤波补偿装置工作状态的监测及供电电网电能质量分析等。实验充分验证了该系统的可行性。

**关键词:** 谐波抑制;无功补偿;继电保护;电能质量

**中图分类号:** TM714.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-1390(2006)04-0027-03

## Development of a Monitoring and Protecting System for the Reactive Compensation and Harmonic Suppression Device of EAST Power Supply System

ZENG Qing, TAO Jun, LIU Zheng-zhi

(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science, Hefei 230031, China)

**Abstract:** This paper introduces a solution of reactive compensation and harmonic suppression for high power supply system, and a monitoring & protecting system is developed, which includes the PLC system in the filtering device, the relay protection of the device, work state monitoring of the filtering compensation device, and the power quality analysis of the power supply network. The experiments show its feasibility.

**Key words:** harmonic suppression; reactive compensation; relay protection; power quality

### 0 引言

EAST(超导托卡马克核聚变试验装置)的高功率电源系统运行时会给电网带来间歇性的无功冲击,同时伴有严重的谐波污染,因此,为了改善电网波形的品质,提高电源系统运行的可靠性,必须安装滤波装置。针对 EAST 的负荷特点,采用自动投切分组电容器的方案进行补偿和滤波。该装置直接在 10kV 电网中实现频繁投切,各滤波通道投切频率达每小时 4~5 次,因此,控制保护与监测系统对整个滤波装置的正常运行具有重要的意义。本文介绍了 EAST 补偿及滤波装置一次系统的设计方案,及其控制保护与监测系统。

### 1 EAST 电源系统谐波抑制和无功补偿方案

EAST 电源系统的谐波抑制和无功补偿方案,设置了 2 组 5、7、11 次单调谐阻尼型的滤波器,在 EAST 装置放电的初始阶段和结束阶段,用检测到的负荷无功功率及负荷的大小作判据,确定投切的滤波器组别。

本系统中采用真空开关频繁投切电容器组,为了

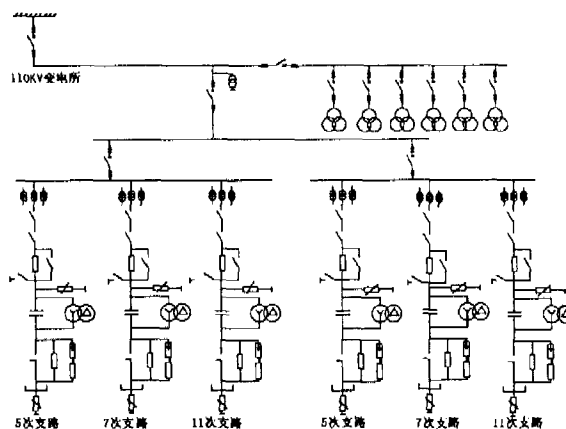


图 1 为补偿和滤波系统原理图

抑制合闸涌流和分闸过电压,采用如图 2 所示的双断口开关。采用该结构可将电容器的合闸涌流抑制在其额定电流的 3 倍以内,可保证电容器长期可靠运行。为了抑制分闸时的重燃过电压,采用了 ZnO 避雷器和过压阻尼器的双重保护,其中 ZnO 避雷器连接在电容器极间及中性点对地,过压阻尼器为并联在滤波电抗器双端的串联电阻的高压间隙,该保护充分抑制了分

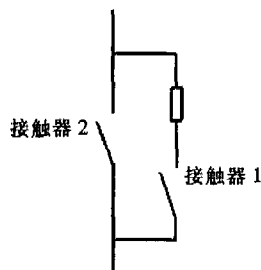


图 2 支路接触器接线方式

闸时可能发生的电容器极间及对地的操作过电压,同时双断口开关中的合闸电阻也有抑制操作过电压的作用。另外在真空开关的进出线端口对地安装了双 C 回路的 RC 装置来进一步抑制可能的操作过电压。

## 2 PLC 控制滤波装置的投切

PLC 根据系统的实时无功及负荷的大小,确定投切组别,实现滤波装置的投切、控制、保护及联锁等逻辑,同时对投切开关动作的正确性进行实时监测和判断,并执行有关的保护功能。选用的 PLC 为 S7-200 系列 CPU226,包括 40 个数字量输入,24 个数字量输出和 2 路模拟量输入。通过采集总控信号、现场开关节点及各种故障信息,PLC 实时发出断路器和接触器开合指令,以及设置两接触器的合分闸时序,以实现抑制涌流和可能存在的过电压。

## 3 滤波装置的保护系统及保护管理机

### 3.1 保护系统及其管理系统

保护系统选用了许继 WDR-823 系列微机保护装置对系统进行保护,微机保护装置分别执行各个滤波通道的过电流保护、三相不平衡保护、过负荷保护系统欠压、过压保护等。各种保护动作时,均出口到装置的断路器上。

基于 Visual Basic 建立了保护管理系统,该系统实现了保护管理机与微机保护装置、PLC 控制器的通信,集滤波器及电容器组投切控制、滤波器及电容器组保护等功能于一体,可以实时显示 PLC 的通信事

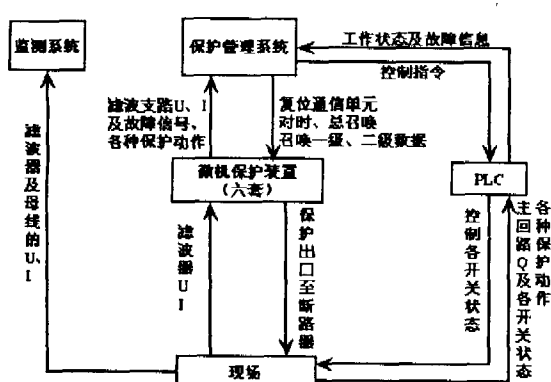


图 3 监测与综合保护管理系统框图

件,微机保护装置遥测值及其各种保护动作信号(故障信号、告警信号),并对这些数据建立数据库,可以进行数据存储以及历史数据的调用、查询。图 3 为滤波装置的监控与保护系统框图。

### 3.2 微机保护装置与保护管理系统的通信

微机保护装置通过 MOXA CP-118U 多串口卡提供的 6 个 RS-485 通信接口与上位机进行串口通信。通信时采用 IEC 60870-5-103 继电保护设备信息接口配套标准,通信速率为 9600bit/s,采用异步方式,格式是:1 位起始位,8 位数据位,1 位偶效验,1 位停止位。

系统与六套微机保护装置通信开始为初始化过程,系统依次发送“复位 FCB”命令、“时间同步”命令、“总召唤启动”命令,装置依次回答相应的响应报文。在完成以上通信初始化过程后,则进入循环召唤过程,每隔 0.2s 对各个模块依次召唤一次二级数据(遥测值),每隔 10 分钟进行一次总召唤,每隔 20 分钟进行一次定时。在召唤过程中,控制系统在确认链路控制信息控制域的 ACD 位为 0,发送召唤二级数据命令。若装置有二级数据,则上送二级数据;若无,或数据未准备好,则以无要求数据帧回答。同时,若装置检测到遥信变位或突发事件,则将链路控制信息控制域的 ACD 位置 1,形成一级数据,这时系统在确认该位后,发送召唤一级数据命令,装置上送一级数据。

### 3.3 PLC 与保护管理系统的通信

PLC 在自由口模式下与保护管理机通信,通信开始为初始化过程,在第一个扫描周期对端口及 RCV 指令进行初始化,通过设置与 CPU226 通信端口(选用 Port0)对应的特殊标志位 SMB30,为自由口通信指定波特率、数据位和校验位;设置 SMB86~SMB94 选定 Port0 的接收信息状态字及控制字。通信采用主从方式,计算机作为主站,根据上一通信周期 PLC 传送的数据发送不同的命令帧,读取 PLC 的部分寄存器所存数据。PLC 作为从站,不会主动发送数据,在接到每一条正确指令时置位发送允许位,再构建数据缓冲区予以发送,在发送完成中断程序中启动下一次接收。

### 3.4 数据库

在程序设计中利用 DAO 方式操作数据库,也就是编程控制记录集的打开和关闭、显式地把记录集中的数据赋值到窗体控件上、将窗体控件的内容写入记录集的相关字段中。DAO 模型是设计关系数据库系统结构的一组对象集合,包括数据库引擎(DBEngine)、工作区(workspace)、数据库(Database)、表格(Tabledef)、记录集(Recordset)、字段(Field)和索引(Index)等,提供了

完成管理一个数据库系统所需的全部操作属性和方法,利用 DAO 方式可以创建记录集,显示、修改、保存记录集内容,添加新记录,删除、查找记录等。

本系统建立的数据库有:微机保护告警记录、微机保护故障记录、PLC 事件、PLC 控制投切次数,可以利用结构化查询语言(SQL)中的 Select 语句来查询记录集。

#### 4 监测系统

基于虚拟仪器图形化编程语言 LabVIEW 建立了滤波装置的监测系统,该系统不仅能对电网和滤波器的主要电气参量进行实时采集,信号报警及录波,而且通过对采集结果的在线数学处理,可以得到更多的和电能质量相关的量,如无功、频谱、谐波等。这样可以实时地掌握电网的电能质量、负载的负荷状态,也可以保存运行的记录,并对其进行离线数学分析。

监测系统的主要功能:

##### (1) 数据采集

选用凌华 DAQ2204 高速采集卡,它具有 12 位的分辨率,设置单端输入,每通道采样率为 3200Hz,采样方式为软件触发,共采集 22 路信号,正确设置以上参数后,在 LabVIEW 中调用采集卡的驱动函数完成数据采集任务。

##### (2) 数据处理

主要的数据处理包括有效值计算、频谱分析、无功计算等。通过对采集结果的数学处理,得到无功、频谱、谐波、有效值、畸变率等。

##### ① 电压同步化计算

系统分析需要电网电压的标准正弦同步信号。在实际的系统中,由于各种原因电压会发生不同程度的畸变,为了得到非畸变信号,通常采用锁相技术。本系统采用一种基于傅立叶变换的锁相方法,该方法不需要频繁的定位,只要经过一个周期的计算,就能得到同步信号,其后顺序取存储在计算机内存中三角函数值即可。该方法不受电网波形畸变和频率波动的影响,具有响应快,精度高的特点,同时克服了采集系统的时钟不能与电网的保持同步而带来的误差。

##### ② 无功功率的计算

无功功率的计算以系统或支路的电流及同步化的电压为依据,采用瞬时无功功率理论。为了提高检测的响应速度并简化算法,引进了平均值滤波算法,该算法在 1/6 工频周期内就可实现滤波,检测出系统的无功。

##### ③ 有效值计算方法

传统的有效值计算方法,根据其定义,对信号在

一个周期内求方均根值。本系统中需要在采用间隔中完成 22 路信号的有效值计算,这必然要占用大量的 CPU 时间,难以保证监测系统的实时性。本系统中采用了递推的算法,两次加法和两次乘法运算就可以获得一个时间点的有效值结果。

##### ④ 频谱分析

为了确切掌握电网中谐波的实际情况,利于电能质量的评估,要求检测谐波的方法具有快速和高精度的特点,同时为了降低频谱泄漏,本系统通过对非同步采样结果的三点抛物插值,得到了快速傅里叶变换(FFT)分析的序列,这样同步后的信号截断数据长度为实际基波周期的整数倍,被测基波和谐波频率恰好与傅里叶变换的频域谱线的离散点重合,信号中的基波或谐波在其它频率成分上造成的长范围和短范围泄漏将大大降低,从而获得高精度和快速的频谱分析结果。

##### (3) 自动录波

在系统或滤波支路的采集结果发生较大变化时,通过判断前一周期与后一周期的有效值的变化是否超过预设值来启动录波,能记录变化前后共 24 个周期的采样值。如图 4 所示,读取的是信号变化时录制的波形记录,其中横轴表示采样点数,纵轴表示信号幅值。

##### (4) 数据存储与回放

将存放数据的 22\*512 的数组(22 路通道,每通道 512 个数据)与采集数据时间打包成一个簇(cluster),存储到硬盘上。可以对所有的采集结果进行回放,以及频谱、变化趋势的显示,还可以通过对采集数据时间索引,从而方便的对采集结果进行定位查询。

## 5 结论

针对 EAST(超导托卡马克核聚变试验装置)的电源系统的特点建立了一套包括滤波补偿装置工作状态的监测与保护及供电电网电能质量分析的系统。这套系统对滤波装置实施控制及保护,并能实时的反映电网及滤波器状态,实验证明了该系统运行地稳定性和可靠性。

## 参 考 文 献

- [1] LiuZZ,TaoJ.The design of power supply system of HT-7U super-conductive Tokamak[J].Fusion Engineering and Design,2001,58-59:75-782.
- [2] Wakileh George J.电力系统谐波——基本原理、分析方法和滤波器设计[M].北京机械工业出版社,2003.
- [3] 谢书勇.在电网中运行的真空断路器操作过电压真空断路器操作过电压及其保护论文集(摘录)[C].中国电器工业协会高压开关分会,1999:1-4.

(下转第 57 页)

要求,但是 PXI 规范不要求每个模块都有金属屏蔽装置,在某些时候 PXI 模块的电磁兼容性不如 VXI 模块好。

(2)尺寸:PXI 总线的优点就是在任何开放式结构平台中它所需的空间是最小的。尽管 VXI 规范规定了 A、B、C、D 四种尺寸的系统,但是大多数 VXI 模块仍然是 C 尺寸的。而 PXI 由于基于主流 PC 技术,所以可以将最新技术的优势应用在一个较小的体积中。从而使大型测试系统的尺寸缩减到一个新的水平。

(3)底层总线结构:如图 1、2 所示,VXI 基于 VME 总线,而 PXI 基于 PCI 总线,PCI 在台式 PC 中广泛应用。而且由于标准 PCI 总线最大带宽是 132Mb/s,标准 VME 总线只有 40Mb/s,所以 PXI 总线在速度方面更有优势。

(4)插槽数:一个 PXI 机箱最多只有 7 个插槽可插通用模块,有时候不能满足需求;13 槽 C 尺寸 VXI 机箱有 12 个扩展槽,因此 C 尺寸的 VXI 模块比 PXI 模块能够集成更多的功能。

(5)星形总线结构不同:如图 1、2 所示,VXI 系统的星形总线由系统槽提供,PXI 系统的星形总线由专门的星形总线模块提供,需要时将它插入插槽 1 中,不需要时可以在插槽 1 中插入其它的功能模块。

PXI 总线和 VXI 总线可以说各有其优缺点,在传输速度和价格方面而言,PXI 总线比 VXI 总线传输速度快,硬件成本低,但是 PXI 总线标准未被 IEEE 定为正式标准,这影响了它的推广。目前 PXI 的产品数量比 VXI 的产品数量要少,不过随着 PXI 总线的不断发展,以及它对 PCI 产品的兼容性,相信不久的将来,PXI 总线会成为测控领域的主流总线。VXI 总线从整体的性能上来说要优于 PXI 总线,这就造成了 VXI 总线系统价格昂贵。因此 PXI 总线适合构建中-小系统,VXI 总线适合构建大型复杂的系统。

LXI 总线以 Ethernet、标准 PC 和软件为依托,与 VXI 和 PXI 的机箱背板总线的结构不同,LXI 实际上以以太网为总线,因此 LXI 模块能驻存在世界任何地方,或从世界任何地方访问。这就极大提高了它的使用范围。但是由于是在网络中传输,数据传输的可靠

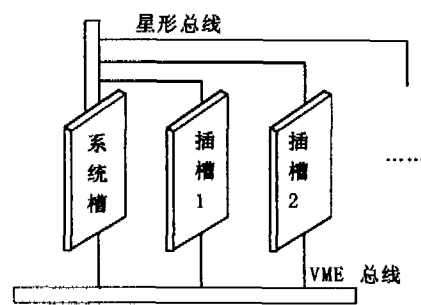


图 1 VXI 星形总线结构

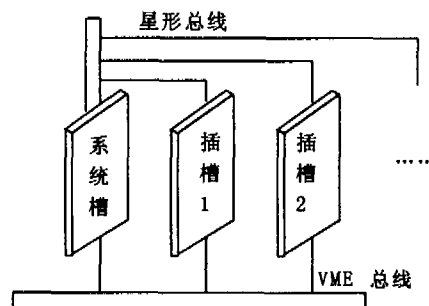


图 2 PXI 星形总线结构

性和安全性是潜在的问题,这是 LXI 总线需要完善的方面。

### 3 结论

各种总线都有一定的优缺点,没有一种总线能够完全替代其他的总线,因此应用哪种总线应根据具体的测试系统的要求来定,比如系统的复杂程度,系统的预算,对速度的要求等等。但是今后对总线系统总的发展要求是能够降低系统集成的成本和复杂性,能够利用通用的 PC 接口和总线,而不是昂贵的测试测量专用接口总线。能够兼容其它各种总线和测试系统,充分利用各种系统的资源和优势。

### 参 考 文 献

- [1] 张效军,刘爱琴.VXI 与 PXI 国外电子测量技术,2002,(2).
- [2] 魏震生,范梅生,等.测控总线技术应用指南[J].总参兵种部军械技术,1998,(6).

作者简介:

季晓亮(1980-),男,现于军械工程学院通信与信息工程专业攻读硕士学位。

谭业双,男,主要从事情报指挥系统的研究。

收稿日期:2005-12-23

(刘 鹏 编发)

(上接第 29 页)

- [4] 张万忠,等.电测与 PLC 控制技术[M].北京化学工业出版社,2004.
- [5] 贺家李,宋从矩.电力系统继电保护[M].水利电力出版社,1994.
- [6] 雷振山. LabVIEW 7 Express 实用技术教程[M].中国铁道出版社,2004.
- [7] 国际电工委员会.IEC 60870-5-103 继电保护设备信息接口配套标准[M].中国电力出版社,1999.

- [8] 黄润发,强莎莎.VB 程序设计技术[M].中国纺织大学出版社,2001.

作者简介:

曾 庆(1981-),女,硕士研究生,从事自动控制、电路设计研究。

陶 骏(1971-),男,副研究员,博士,从事高压电网的无功补偿及谐波抑制的研究。

刘正之(1943-),男,研究员,博导,研究高功率脉冲电源及聚变工程。

收稿日期:2006-01-12

(丘 源 编发)