

# 集中分层式安全稳定控制系统的开发 及其在贵州电网中的应用

王恒<sup>1</sup>, 谢小荣<sup>1</sup>, 童陆园<sup>1</sup>, 王晓波<sup>2</sup>, 张涛<sup>2</sup>

(1. 清华大学电机工程与应用电子技术系, 北京 100084; 2. 北京四方继保自动化有限公司, 北京 100085)

**摘要:** 结合贵州省 500 kV 电网稳定控制系统的改造和重建工程, 给出了在线安全稳定控制系统的体系结构及关键技术。系统采用集中分层式设计, 通过获取整个电网运行信息, 更新控制策略。基于采集到的电网实时数据, 在线完成贵州省 500 kV 电网控制系统对策表的计算和刷新, 周期为 5 min 左右。

**关键词:** 电力系统; 暂态稳定控制; 电力稳定; 策略表; 区域稳定控制

**中图分类号:** TM761 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2005)02-0075-04

## 0 引言

随着电网规模的扩大, 负荷水平的增长, 电网互联程度的加强, 以及对电网的安全可靠性要求的提高, 电力系统暂态稳定性问题得到了越来越多的重视。我国现有的安全稳定控制系统大多为分散就地控制模式, 由于受本地信息量的限制, 其确立的控制策略往往不能适应整个电网系统结构的变化, 不能从整个电网运行的角度选取最优控制策略。

自上个世纪 90 年代以来, 计算技术和在线暂态稳定分析理论都有了新发展, 国内外在如何实现电网安全稳定的在线实时或者准实时控制积累了不少宝贵经验<sup>[1,2]</sup>, 这些都为提高安全稳定和设计高性能的安全稳定控制系统提供了新思路。

“在线生成策略表, 实时匹配”的集中分层式区域稳定控制系统, 是当前技术条件所能做到的电网安全稳定控制的最高形式。本文所讨论的控制系统这种设计思想, 其理想工作过程是: 根据从数据采集系统和 EMS 获得的电网实时信息, 对可能出现的严重扰动情况制定最优的控制措施, 并下发到主站和

子站刷新稳定控制装置的策略表, 刷新周期大约为 5 min, 实时检测电网扰动, 自动评估扰动的严重程度, 控制装置从策略表中选择最优的控制措施, 给分散的控制装置发送控制命令。

贵州电网是西电东送的主要电源之一, 根据贵州电网的需要, 现配有的稳定控制措施已不满足电网安全稳定运行的要求。鉴于此种形式, 贵州电网委托北京四方继保自动化有限公司对现在运行的稳定控制装置进行改造和重建, 以满足贵州电网乃至南方电网安全稳定运行的需要, 该项目目前已取得了阶段性成果, 并已在贵州电网的 500 kV 枢纽变电站投入运行。

## 1 系统体系结构及关键技术

系统采用集中分层式<sup>[3]</sup>设计, 其体系结构如图 1 所示。整个系统按照控制过程可以划分为上层预决策系统, 中层控制系统和下层执行系统三个部分, 同时按照控制结构又可分解为若干相对独立的区域控制系统。

## Design of capacitor tuning arc-suppression reactor

PEI Zhi-hong, WEN Jin-yu

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The research and application of power grid grounding by arc-suppression coil are introduced, and the merits of capacitor-tuning arc-suppression coil based on switching capacitors by thyristor are pointed out. The main circuit of capacitor-tuning arc-suppression coil is discussed, and the method of capacitor and thyristor selecting are discussed in detail. Then, the principle of capacitive current compensating and the method of parameters calculating are presented, furthermore, the structure of control system and the flow chart of control are describe. At last, the characteristics of capacitor tuning arc-suppression reactor are summarized, which draws a conclusion that capacitor-tuning arc-suppression coil has a good application prospect.

**Key words:** capacitor tuning; arc-suppression coil; auto-compensation

稳定中心站是整个系统的上层预决策系统,位于地区或者省网级电力调度中心。稳定中心站运行在多台并行处理服务器上,彼此间通过局域网联机。控制中心与多个主站通信,汇集从下层装置采集到的以及 EMS 中的实时信息,同时实现系统中的稳控装置集中管理,维护各稳控装置的策略表,在线刷新或者按照工程人员的指令刷新策略表。

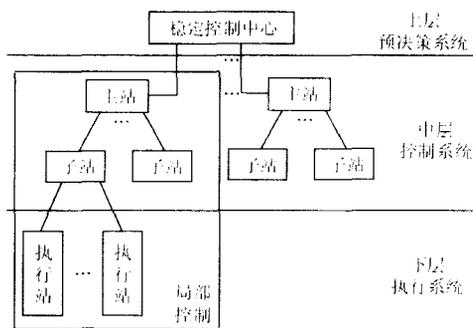


图 1 安稳控制系统体系结构图

Fig 1 Architecture of the safety and stability control system

各区域控制的稳控装置构成整个系统的中层控制系统,一般位于枢纽发电厂和变电站中。中层控制系统负责接受上层预决策系统下发的控制策略表,当电网中有扰动发生时,自动判别扰动的严重程度,并根据当前的运行方式及潮流水平,搜索策略表中的控制措施,下发给下层执行装置,确保电网不发生大的稳定性破坏事故。

控制系统的执行装置位于各发电厂和变电站中,接受来自主站和子站的切机、切负荷等控制命令。

目前稳定控制系统的控制策略一般采用离线设计,只考虑典型运行方式及严重故障条件。这类系统自适应运行方式的能力差,因此很容易在实际运行中出现控制过渡,控制不足,甚至误控制。要想克服传统稳定控制系统的缺点,可以分两步来实现稳定控制,首先是故障前在线生成策略表,和故障后实时匹配。

故障前在线预决策,中心站每 5 分钟根据 EMS、WAMS 等采集或者综合两者得到电网实时状态信息,再利用时域仿真法,得到故障条件下相应的控制量,以策略表的形式通过通讯系统下发到子站;当子站检测到故障后,查询策略表,向控制子站下发控制命令。在线预决策,即在线生成策略表的过程,是整个系统实现的关键,其过程可以进一步细化为如下几个步骤:破坏系统稳定的故障条件的筛选;控制对象的选择,确保系统稳定。

为了缩短仿真时间,可以在第一阶段中采用简化的系统模型,失稳判据采用转子加速度。第二阶段与前一阶段相比失稳故障数目大大减少,可以采用详细的系统模型,失稳判据采用转子加速度的积分值,以确保控制精度。

## 2 系统功能

本系统主要功能是利用装置采集到的和 EMS 中的电网实时信息,准确掌握电网实时运行工况,实时检测电网中发生扰动,校验扰动的严重程度,根据预先设定的稳定措施,执行稳定措施命令。

### 2.1 调度端主要功能

调度端的中心站,又称为稳控装置集中管理系统,按功能可分为六部分,即通讯子系统、网络子系统、实时库子系统、历史库子系统、高级应用子系统、界面子系统。采用标准 W NTEL 体系结构,操作系统可同时支持 Windows 95、Windows NT、Windows 2000 系列操作系统,服务器之间通过 TCP/IP 以太网连接。其典型的系统结构如图 2 所示。

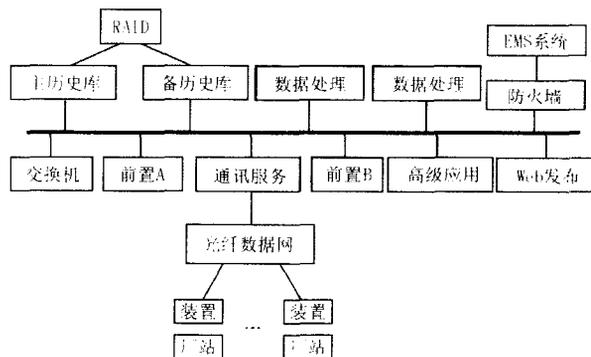


图 2 稳控装置集中管理系统典型双机配置图

Fig 2 Double units configuration of central stability control management system

通讯子系统主要功能是完成与接入设备的双向通讯,考虑到需要与不同厂家的接入装置进行通讯,按照面向对象的思想,每一种类型的通讯规约由相应的通讯规约解释类完成。网络子系统是底层系统,其主要功能是完成各种数据在管理系统内部各节点、进程之间的传输,以实现多进程协调工作。实时库子系统采用客户机/服务器结构设计,完成系统实时数据的有机、有序、高效、安全存储,同时提供客户端网络查询数据库的方法。历史库子系统的主要功能是完成对系统信息和运行事件信息、电力系统运行信息、电力系统事件信息的长久保存。图形界面子系统向用户提供稳控装置操作界面、实时数据

和历史数据显示界面以及电站接线图等图形界面。高级应用子系统根据用户需要提供在线准实时策略表生成模块、稳控策略验证模块、静稳计算模块、故障分析模块等多个高级应用模块。

## 2.2 变电站及厂站端功能

控制主站和子站位于枢纽变电站和发电厂中,其功能结构上相似,稳控装置采用分布式结构,由标准化的模块通过 CAN 网络连接,其结构如图 3。策略表由策略机管理,模拟量处理模块(AI)、开关量输入模块(DI)、通信接口模块(COM)产生电力系统的正常运行状态信息以及故障、扰动信息。

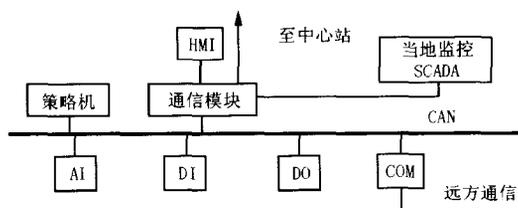


图 3 控制站结构示意图

Fig 3 Schematic diagram of stability control system

正常运行时,控制装置能实时采集并计算各 500 kV 线路的电流、电压、有功、无功、频率及其变化量,通过网路把实时信息上传给上层预决策系统,并接受上层预决策系统刷新策略表的命令。在故障条件下,装置会检测到电气量的变化( $I > I_0$ ,  $P > P_0$ ,  $f > f_0$ ,  $U < U_0$ ,  $df/dt < df_0/dt$ ),正确地判断出故障线路、故障相别和故障类型等,然后按事先制订的策略表迅速正确地准备好相关的稳定控制命令;收到需本站转发切机命令的远方信号时,能根据开入量的迅速变化、可靠启动,发出相关的控制命令。

## 3 系统特点

### 3.1 安全可靠

与继电保护装置相比,安稳控制系统强调可靠性,因为稳控装置的拒动将造成系统稳定破坏。系统中稳控装置采用双机冗余配置,出口采取“或”的关系,有效防止因为单装置故障而出现的拒动。装置之间采用复接的光纤数据通道,可以大大提高通信可靠性。装置内部采用分布式模块化设计,各功能模块之间通过 CAN 总线连接,这样即可以通过各模块的并行处理,提高整个系统的运算性能,同时各模块的相对独立,可保证单个节点的损坏不造成整个系统的瘫痪。

调度端的管理系统为典型的对等网络,各主机均为逻辑上的平等节点,所有节点互为温备用,一对

服务器的主、备节点互为热备用。系统中的所有用户界面程序,均可以在系统组网中的任意某节点上起动。系统的所有服务器均可实现冗余热备用配置。任一单台服务器的退出,不影响系统功能的正常实现。系统中的双历史库服务器,即可配置为磁盘阵列双机共享方式,又可配置为双机独立热备用方式。支持双物理以太网热备用方式、单物理双逻辑以太网热备用方式。

### 3.2 友好的人机界面

系统最终面向的对象是用户,良好的人机界面能够缩短培训用户学习使用软件的时间,减少操作人员的误动作,加快系统投入实际应用。主要的人机界面工具采用商用组态软件 Vizcon,不仅可以静态地显示整个系统接线图,而且图形界面上的任何对象或者对象组均可随着过程参数的变化而变换状态,操作人员很容易掌握整个系统的运行状况。

### 3.3 完善的数据管理方式

数据库访问采用开放的标准分布式的客户/服务器模式。历史数据存储采用标准关系数据库系统,其访问接口设计采用了 ADO 技术。ADO 是对 OLE DB 的访问接口的封装,同时又定义了 ADO 对象,因此兼有 OLE DB 技术的优点,能够支持多种商用关系数据库管理系统,包括 Oracle、SYBASE、IBM DB2、MS SQL Server 等,又简化了程序开发。

实时库与历史库的访问接口统一,并同时支持标准 SQL 语句访问方式。使得原来为访问历史库所编写的客户端程序,很容易修改为访问实时库的客户端程序。为了减小网络流量及客户端程序复杂程度,实时库支持问答访问方式、流式访问方式两种方式。流式方式下,客户端只需订购一次数据,服务器端自动定时向客户端发送所需数据。

## 4 贵州电网安全稳定控制系统的总体实施方案

贵州的安控系统是由主站、子站、执行站构成的区域稳定控制系统,各安控站之间用通讯网互连连接。

在安顺变和青岩变各配置一个安控系统主站。在安顺变安控主站正常运行时,安顺变安控主站是贵州电网安全稳定控制系统的控制中心;在安顺变安控主站故障时,青岩变安控主站替代安顺变安控主站作为贵州电网安全稳定控制系统的控制中心。在鸭溪变及福泉变各配置一个安控系统子站。在纳雍一厂等重要电厂各配置一个切机控制执行站。在

南郊 220 kV 变配置一个切负荷执行站。在安顺变、青岩变及福泉变各配置双重化的振荡解列装置。在省调设立贵州安控装置集中管理系统一套。

## 5 系统应用情况

到 2003 年初,在贵州电网的 7 个 550 kV 的枢纽变电所装设了该套系统,初步形成了一个性能稳定、功能较为完善的电网安全稳定控制系统。随着该系统的投入,增加了运行方式安排的灵活性,显著提高了全网的安全稳定运行水平,给电网带来了较好的经济效益。

虽然该系统允许在线刷新策略表,但出于可靠性方面的考虑,该工程在目前阶段仍然采用离线策略表方式,即采用所谓“离线生成策略表,实时匹配”设计,较强烈地依赖于调度人员的运行经验和离线电网分析。进一步的工作将在确认“在线计算”的可靠性前提下,发展“在线自适应刷新策略,实时匹配控制”,以提高控制系统的精度和性能。

### 参考文献:

- [1] Ota H, Kitayama Y, Ito H, et al Development of Transient Stability Control System (TSC System) Based on On-line Stability Calculation [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11 (3): 1463-1472
- [2] 吕东晓,李勇,肖昌育,等. 华中电网在线稳定控制系统的研究与开发 [J]. 电网技术, 2002, 26 (4): 34-41.  
L üDong-xiao, L I Yong, X IAO Chang-yu, et al An On-line Stability Control System for Central China Power System [J]. Power System Technology, 2002, 26 (4): 34-41.
- [3] 李函, 闵勇, 韩英铎. 集中分层式稳定控制系统设计 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (13): 37-40.  
L I Han, M N Yong, HAN Ying-duo Design on Centralized-hierarchical Stability Control System [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24 (13): 37-40.
- [4] 王梅义, 吴竞昌, 蒙定中, 等. 大电网系统技术 (第 2 版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.  
WANG Mei-yi, WU Jing-chang, MENG Ding-zhong, et al The Technology of Big Power Grid System, Second Edition [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.
- [5] 闵勇, 丁仁杰, 任勇, 等. 黑龙江东部网区域稳定控制系统的研究和开发 [J]. 清华大学学报, 1997, 37 (7): 106-108.  
M N Yong, D NG Ren-jie, REN Yong, et al Research and Development of the Area Stability Control System in the East Part of Heilongjiang Power System [J]. Journal of Tsinghua University, 1997, 37 (7): 106-108.

收稿日期: 2004-06-11; 修回日期: 2004-11-03

作者简介:

王恒 (1979 - ), 男, 硕士, 研究方向电力系统安全稳定控制; E-mail: wang-h01@mails.tsinghua.edu.cn

谢小荣 (1975 - ), 男, 助理研究员, 研究方向为 FACTS 技术及其应用、电力系统分散与协调控制;

童陆园 (1946 - ), 男, 教授, 从事电力系统分析规划、FACTS、配电自动化的研究和教学工作。

## Development of a centralized hierarchical stability control system and its application in Guizhou power system

WANG Heng<sup>1</sup>, XIE Xiao-rong<sup>1</sup>, TONG Lu-yuan<sup>1</sup>, WANG Xiao-bo<sup>2</sup>, ZHANG Tao<sup>2</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Beijing Sifang Automation Co. Ltd, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Based on the project of "reformation and reconstruction of the stability control system in Guizhou 500 kV power grid", this paper emphatically discusses the architecture and key techniques of the developed system. A centralized hierarchical structure is adopted in the control system. Thus wide-area operation information can be gathered to obtain a global view of the system and refresh control strategy with the up-to-the-minute data. Based on gathered real-time data of power system, the realized control system in Guizhou 500 kV power grid can calculate and update its control strategy tables every 5 minutes.

**Key words:** power system; transient stability control (TSC); power stability; strategy table; regional stability control