

# 在线暂态稳定分析和控制从 EMS 获取数据的方法研究

代仕勇, 周良松, 张力晨, 吴勇

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 如何可靠获取 EMS 实时数据进行在线暂态稳定控制是电力系统稳定控制的重要研究课题。提出了一种方法, 利用 AQL 接口从 EMS 获取在线实时数据, 并用专家系统进行数据校验和修正, 最后与经典稳定分析程序接口进行暂态稳定分析控制。实践证明, 该方法的提出, 实现了利用 EMS 实时数据进行在线稳定控制的自动化运行。

**关键词:** EMS; 专家系统; 安全稳定

**中图分类号:** TM76      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2005)12-0052-05

## 0 引言

随着电网结构的逐步完善和电源分布的日趋合理, 全国电网的稳定水平有了较大提高。但由于负荷水平的增长、电网规模的扩大和对供电可靠性要求的提高, 防止系统暂态稳定破坏仍然是当前电力系统中极为重要的任务之一。另外, 随着电力市场的逐步形成, 系统运行方式变得越来越复杂、快速多变, 也要求有更加快速、准确有效的稳定控制手段。这些新的变化和要求使传统的基于“离线计算、在线匹配”的就地型稳定控制装置越来越不适应电力系统发展的需要。此外, 传统稳定控制装置还存在应用和管理不够方便、控制分散单一、不能实现统一协调和综合优化等缺陷。

目前计算机技术和网络通信技术已较为成熟, 各地区新一代的能量管理系统 (EMS) 也已逐步建成投运, 电力系统通信网络正在不断完善, 以及在线稳定控制系统的研究成果和实际经验, 使基于 EMS 实时信息的区域性稳定控制成为可能。

现在 PSASP、BPA 等稳定分析软件在电力系统获得了广泛的应用, 并得到了认可。如果能自动实时从 EMS 系统获得准确可靠的电网数据, 再与 PSASP (或 BPA 等) 软件分析包进行接口, 就可以实现可靠的基于 EMS 信息的稳定分析在线准实时预决策。本文主要就是研究从 EMS 准确可靠获取实时数据, 并与软件分析程序接口的问题。

## 1 准实时暂态稳定控制系统及其主要问题

用 EMS 实时信息在线准实时预决策的稳定控制系统的设计思想是: 根据从 EMS 获得的电网实时信息, 利用 PSASP 或 BPA 等程序, 自动评估电力系

统稳定水平, 自动生成最优策略表并传输到各区域稳定控制系统; 各区域控制系统根据该最优策略表和实际故障情况, 确定本区域的稳定措施并向各地执行装置发出执行命令, 由此构成一个分层决策、分层控制的全网在线稳定控制系统 (如图 1)。

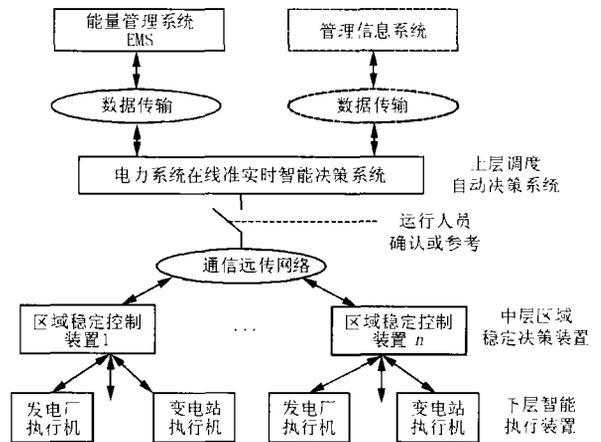


图 1 新型稳定控制系统结构示意图

Fig 1 Structure of new stability control system

在线稳定分析的数据可由 EMS 提供, 也可由稳控装置采集。获取数据后, 利用这些数据进行稳定分析, 获得当前状态下稳定控制策略, 然后发送给实时匹配控制子系统进行实时匹配。电力系统是一个典型的大系统, 具有高维数、多目标、关联性、随机性等特点。由稳控装置采集的数据多是稳定装置附近的局部数据, 暂态分析中不能反映大系统内各部分的相互影响。而 EMS 提供的数据包括整个系统的信息, 进行稳定分析和决策, 会具有很高的可靠性, 对电网变化的适应性也更强。

在实际工程应用中要可靠获取和利用全网 EMS 数据还面临一些困难, 主要有:

1) EMS系统的复杂性及安全性要求造成数据交换的困难。

计算机技术的发展,也带动了能量管理系统发展。现代 EMS系统应用功能可分发电控制、网络监视、安全分析评估和生产计划四大部分。每一部分又有许多应用。功能的增加使系统更加完善,但也使系统更加复杂,增大了交互的困难。同时考虑到 EMS系统在各级调度系统中的核心地位,为了保证其安全,也对用户交互做了诸多限制。但在增大其安全性的同时也增加了用户获取 EMS数据的困难。

2) EMS数据的正确程度影响了稳定决策的结果。

通常,实际运行的 EMS系统所提供的信息对计算暂态稳定而言,虽然有大量冗余,但也有缺损,有时还会存在不良数据。这些缺损数据和不良数据在一定程度上会影响稳定决策的结果,严重时甚至会造成稳定分析无法收敛。

3) EMS数据与通用稳定分析软件存在接口问题。

获取的 EMS数据主要为遥测、遥信数据,这些数据并不能直接被通用的稳定分析软件(如 PSASP 或 BPA 等)辨识和使用。需要根据这些 EMS数据来形成当前实时的网络拓扑,并获得对应拓扑的潮流数据。另外,由于 EMS系统和稳定分析软件的侧重点不同,它们在一些网络细节上也存在差异,如江西凤滩电厂,EMS只关心该电厂出力多少,只测量了发电总量,而稳定分析除了需要知道发电总量,还需要了解开机台数。分析侧重点的不同造成了 EMS网络拓扑和稳定分析网络拓扑不可能完全相同。如何将两者统一起来,顺利实现 EMS网络拓扑到稳定分析网络拓扑的转变以及 EMS数据到稳定分析数据的转换,需要建立合适的接口来解决。

## 2 准实时暂态稳定控制系统使用 EMS数据方案设计

为了解决在线稳定分析系统中获取和使用 EMS数据的困难,本文设计了一套与 EMS数据库联接、利用专家系统进行数据处理并和通用稳定分析程序接口的方案。

### 2.1 数据库访问和数据安全

近年来众多电网公司的 EMS系统均采用了从德国 ABB 公司引进的 SPDER 系统。该系统采用 UNIX 操作平台,建立在数据驱动机制之上,实时数据库系统采用分布式数据库技术,数据库分布在各

个应用服务器上。SPDER 系统采用了 Avanti 数据库,数据量十分庞大,除了实时的监视数据,还有很多经过高级软件处理过的数据,如状态估计(SE)数据、调度员潮流(DPF)数据、静态安全分析(SA)数据等等,且数据间关联复杂,如果缺乏对该系统了解,要实时获得有用数据比较困难。

SPDER 系统的 Avanti 数据库,实时 DBMS 提供了一个类似 SQL 的关系型访问接口,称为 AQL (Avanti Query Language)。AQL 支持交互和嵌入两种方式访问 Avanti 数据库,可以对实时数据库进行在线操作,也可嵌入到应用程序中执行。交互方式需要人工操作,无法实现自动从数据库获取数据,也就不能满足自动的 EMS 数据稳定控制在线预决策的要求。而嵌入式方式则可通过应用程序的反复调用实现对 Avanti 数据库的在线自动化读取。利用 AQL 嵌入接口实现定时自动查询 Avanti 数据库,从中找到所需的经过状态估计的熟数据点名及其实时数值,将其按特定格式输出,形成数据包文件。

另外为了保证 EMS 系统的安全,SPDER 系统多采用了物理隔离,并对数据流向作了限制,一般情况只允许数据的单向流动,即允许 SPDER 系统向外传送数据,不允许外部往 SPDER 系统写入数据。同时,SPDER 系统一般也不与外部计算机直接联接,而是通过中转服务器实现与外部系统的联接。如图 2 所示。



图 2 EMS 数据流程图

Fig 2 Flow chart of EMS data

解决这个问题可以在 SPDER 系统上设计一个单向文件传输程序,将 EMS 数据库获取的数据包文件实时发送到中间服务器,这之间只存在数据的单向流动,不向 SPDER 系统写数据,可以杜绝 SPDER 系统的安全隐患;而且可将这个文件传输程序与数据库访问程序集成在一块,可以保证各部分在时间上的连贯性,提高实时性。而在数据通道另一端,客户服务器在需要的时候向中间服务器发送数据请求,中间服务器接受请求后,响应服务,将最新数据传送到客户服务器。整个过程成功可靠地实现了 EMS 数据到客户服务器的传送。

### 2.2 数据处理和转换的专家系统

近年来,专家系统(ES)技术在电力系统中得到

了广泛的关注,获得了大量的研究成果,成为电力系统中一个重要的研究领域。它根据某个领域的专家提供的特殊领域知识进行推理,模拟人类专家作出决策的过程,提供具有专家水平的解答。而在线暂态稳定分析和控制中也应用了大量的专家知识和实践经验,本文也设计了建立专家系统来解决其中 EMS 数据处理和格式转换的难题,如图 3 所示。

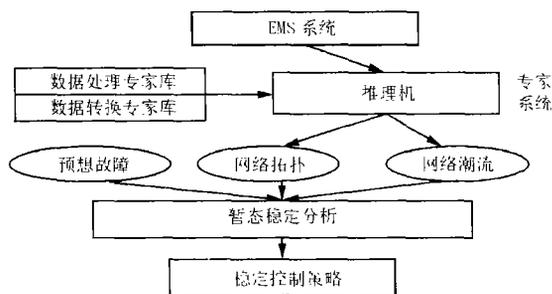


图 3 专家系统

Fig 3 Expert system

### 1) EMS 数据的过滤和修正

从 EMS 获得数据大部分情况下都是比较准确、可靠的,但有些时候也会出现错误数据,主要的原因有:

EMS 状态估计的结果本身是病态的,存在错误或不全的数据;

现场运行参数发生改变,而 EMS 的维护人员没能及时地更新数据库;

数据传输中的通信错误。

这些错误数据会造成系统的功率不平衡,严重时会导致在暂态稳定分析时,潮流计算不收敛,无法分析得到稳定控制策略;即使潮流计算能够收敛,其结果也可能与实际的网络潮流不符,不能得到正确、可靠的稳定分析结果。

为了得到准确可靠的数据,同时又能保证运行速度,在系统中可考虑采用专家系统来进行数据校验和修正。通过与专业人士交流及对 EMS 数据进行研究,总结出大量的数据校验和修正的知识,编写成数据处理专家库,形成专家推理规则。系统运行时,将从 EMS 取到的数据送到专家系统,推理机查询专家推理规则,对数据进行推理和分析,判断其正误,并根据专家规则对数据进行修正。

本文在规则建立过程中提出了区域分析法。将整个大电网按照地理位置、线路远近等因数划分为若干区域(也可以某个或某几个变电站为一个区域)。根据电网运行特征,每个区域应该保证输出、输入功率平衡。表示为如下推理公式:

$$\sum P_{il} + \sum P_{id} = \sum P_{ig} \quad (1)$$

$$\sum Q_{il} + \sum Q_{id} = \sum Q_{ig} \quad (2)$$

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \quad (3)$$

$$P_{ij} - P_{ji} \quad (4)$$

其中:  $P_{il}$ 、 $Q_{il}$  为区域  $i$  向其它区域流出的有功功率之和、无功功率之和;  $P_{id}$ 、 $Q_{id}$  为区域  $i$  的负荷有功功率之和、无功功率之和;  $P_{ig}$ 、 $Q_{ig}$  为区域  $i$  的发电有功功率之和、无功功率之和,包括无功补偿装置和调相机等;  $V_i$  为区域  $i$  的节点电压;  $P_{ij}$  为线路  $L(i, j)$   $i$  端功率;  $P_{ji}$  为线路  $L(i, j)$   $j$  端功率。

根据以上公式,按照区域内发电机、负荷的分布以及区域间联络线的连接情况,可建立大量的数据处理专家规则。另外,推理过程中还需要考虑各电气元件的不同特点,以发电机为例,考虑到其运行参数特点,如功率因数,很多大型机组都要求运行时功率因数要保持在 0.85 以上,这些运行特征也需要在规则库中予以体现,最终形成数据处理专家库。

### 2) EMS 数据到暂态稳定计算数据的转换

从 EMS 获取的实时数据都是遥测遥信信息,它们并不能直接用来作暂态稳定分析。以比较常用的暂态稳定分析软件 PSASP 程序来说,它需要用户提供两个基本的文件,一个是潮流文件 (lf.dat),另一个为稳定文件 (st.dat)。潮流文件包含潮流计算的基本信息,如线路参数、变压器参数、负荷功率、发电机功率、直流参数及功率等,还包括各部分的投退情况;而稳定文件除了包括各部分投退情况,更重要的信息是暂态稳定分析所需要的负荷类型、发电机内部参数等,有时还包括预想故障和预想策略信息。这两个文件中很多信息是固定的,如线路参数、变压器参数、负荷类型以及发电机参数等,但有很多是需要根据 EMS 数据来实时更新的,如负荷功率、发电机功率以及各部分投退情况等。要实现在线准实时的自动稳定分析,就需要建立一种从 EMS 数据到 PSASP 文件的自动转换方法。

这种从 EMS 数据到 PSASP 文件的转换需要有丰富的运行实践经验来判断和推导,因此同样可以通过建立专家系统来实现这个功能。将大量的相关的实践经验和专家意见汇总、分类、整理,编成专家推导规则,形成运行专家库。考虑到这种转换有很强的类别性,可将专家库分成若干小的细化专家库。如图 4 所示,可将专家库按电气类别分为五部分。这样不仅在建立专家规则库的时候更加有条理,而且可提高推理过程中的针对性,有利于提高推理速

度。

线路专家库
发电机专家库
负荷专家库
变压器专家库
特殊专家库

图 4 数据转换专家库分类图

Fig 4 Categorization of the expert system for data transfer

各部分专家库内容如下:

线路专家库:线路的投退及其它线路变量参数的推导规则;

发电机专家库:发电机的投退和发电机功率等电气量的推导规则;

负荷专家库:负荷的投退和负荷功率等电气量的推导规则;

变压器专家库:变压器投退及相关变量参数的推导规则;

特殊专家库:主要是特殊电气元件的电气参数或电气量的推导规则,如直流线的投退、电流值、电压值以及其它直流线路电气参数等。另外,还有一些虽然是普通电气元件,但其推导规则却很特殊,这种情况也被归入了特殊专家库。如华中电网公司的稳定计算模型中丹江电厂与河南邓州两回线相联,在推导丹邓二回线投退时,除了要象普通线路那样推导外,还需要考虑丹江电厂是分母运行还是合母运行,同时还涉及到丹江电厂发电机的母线悬挂的情况,因此建立起来的专家规则要比普通线路的规则复杂的多,所以也将它归在特殊专家库中。

建立了上述各部分专家库后,就可以利用实时的 EMS信息进行推理,判断线路、发电机、负荷等的投退情况,得到实时的网路拓扑,并推理出的发电机、负荷等的潮流情况,按稳定分析软件需要的格式形成文件,然后供通用的经典稳定分析软件进行可靠的暂态稳定分析,从而得到当前运行方式下的稳定控制策略。

### 3 实践论证

从 EMS取数并用专家系统处理的方法在华中电网公司《用 EMS实时信息进行稳定计算并实现控制的新型稳定控制系统》中得到应用,该项目于 2002年 9月安装调试完毕,并投入试运行。运行期间系统从 EMS取数具有较高的可靠性和准确性,同时也没有对 SPDER系统造成安全隐患;专家系统工作正常,数据校验和修正结果可靠,与稳定分析程

序接口成功,保证了系统稳定运行;稳定分析成功率高,稳定分析得到的控制策略准确。华中电网公司组织验收,认为该系统设备稳定可靠,性能良好,计算准确度高,满足在线稳定控制的要求。

### 4 结论

本文提出了利用 SPDER系统 Avanti数据库提供的 AQL接口,使用内嵌技术,成功实现了在线自动定时从 EMS获取实时信息。

同时,将人工智能技术引用进来,使用专家系统技术解决了 EMS数据处理的两大问题:

1) 成功对 EMS数据进行了校验和修正,为稳定分析和控制提供了数据保证;

2) 成功实现了 EMS数据到稳定计算初始文件的转换,为两者提供了可靠的接口。

从 EMS获取数据到与暂态稳定分析程序接口整个过程可实现完全自动化,不需要人工的干预,真正实现了在线自动化,为利用 EMS数据进行在线准实时暂态稳定分析和控制提供了前提条件。

随着专家系统规则的不断完善,该系统必将很快能够实用化,为电网运行提供可靠保证。

### 参考文献:

- [1] 方勇杰,范文涛,陈永红,等. 在线预决策的暂态稳定控制系统[J]. 电力系统自动化, 1999, 23 (1): 8-11. FANG Yong-jie, FAN Wen-tao, CHEN Yong-hong, et al. An On-line Transient Stability Control System of Large Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23 (1): 8-11.
- [2] 袁季修. 电力系统安全稳定控制[M]. 北京:中国电力出版社, 1996. YUAN Ji-xiu. Electric Power System Security and Stability Control[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.
- [3] 周良松. 在线暂态稳定分析与综合稳定控制系统的研究(博士学位论文)[D]. 武汉:华中理工大学, 1999. ZHOU Liang-song. Study on On-line Transient Stability Analysis and Synthetic Stability Control System, Doctoral Dissertation[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 1999.
- [4] 范文涛,方勇杰,朱昆,等. 基于面向对象分布式处理的在线预决策紧急控制系统[J]. 电网技术, 1999, 23 (8): 1-5.

(下转第 61页 continued on page 61)

武汉:华中科技大学出版社,2001.

YN Xiang-gen, ZENG Ke-e Power System Relay Protection Theory and Application[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2001.

[4] TMS320C3x User's Guide Texas Instruments Incorporated Datasheet[Z]. 1997.

[5] 邱大为,游大海,等.一种带光纤数字接口的继电保护装置的研究[J].继电器,2003,31(5):33-36

QU Da-wei, YOU Da-hai, et al Study on an Integrated Protection with Digital Optical Interface[J]. Relay, 2003, 31(5): 33-36

[6] 陈维千.光纤通信技术及其在电力系统中的应用[J].电力系统自动化,1981,5(4):35-37.

CHEN Wei-qian Fiber Communication Technology in Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 1981, 5(4): 35-37.

[7] 邱培曦.电力系统中的光纤通讯[J].电力系统自动化,1990,14(6):26-28

QIU Pei-xi Fiber Communication of Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 1990, 14(6): 26-28

收稿日期: 2004-09-23; 修回日期: 2004-10-27

作者简介:

金明亮(1978-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护;E-mail: brighthust@163.com

游大海(1956-),男,教授,博士,主要从事电力系统继电保护,电力系统自动化,电力市场等方向的研究;

李正天(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。

### Design of fiber communication in microcomputer relay protection

JIN Ming-liang, YOU Da-hai, LI Zheng-tian, XIE Yu-bing

(School of Electrical Engineering and Electronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The theory of the optical fiber communication is introduced, and its system structure and components functions are described in detail. Optical module and CPLD are adopted to design communication hardware circuit. And the operating principle of the hardware circuit is discussed. With relay protection devices based on DSP, the paper presents the communication rules, communication content and communication process. The paper provides and expatiates flow chart of every part.

**Key words:** microcomputer relay protection; fiber communication; DSP; CPLD; communication specification

(上接第 55 页 continued from page 55)

FAN Wen-tao, FANG Yong-jie, ZHU Kun, et al An On-line Pre-decision Emergency Control System Based on Object-oriented Processing[J]. Power System Technology, 1999, 23(8): 1-5.

[5] 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,1999,26(4):34-37.

Lü Dong-xiao, LI Yong, XIAO Chang-yu, et al An On-line Stability Control System for Central China Power System[J]. Power System Technology, 1999, 26(4): 34-37.

收稿日期: 2004-09-27; 修回日期: 2004-11-24

作者简介:

代仕勇(1977-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统稳定实时决策与控制;E-mail: daishiyong77@hotmail.com

周良松(1967-),男,博士,副教授,主要研究方向为电力系统稳定与控制、电力系统安全稳定控制装置;

张力晨(1979-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统分析与稳定控制。

### Probing into the mode of getting real-time data from EMS in an online stability control system

DAI Shi-yong, ZHOU Liang-song, ZHANG Li-chen, WU Yong

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

**Abstract:** How to get real-time data from EMS reliably for on-line transient stability control is an important issue in power system stability control. In this paper, the method of getting real-time data from EMS database using AQL interface is described. And expert system is introduced to process EMS data and make a interface with the classical program of stability-analysis. It has been proved that the automatic running of the on-line transient stability analysis and control system based on real-time data from EMS is feasible in this way.

**Key words:** EMS; expert system; security and stability