

大电网稳定控制系统中几个问题的探讨

姚光华, 刘启胜, 陈允平, 赵武智

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 首先综述了当前大电网稳定控制系统的特点与要求, 随后讨论了稳定控制装置的起动元件的选取、基于当前技术水平下区域子站与控制中心的构成模式等几个问题, 并就稳定对策的优化前提、提高控制装置与控制策略的开放性、适当增加稳定控制装置的预防能力等方面提出了自己的观点。

关键词: 大电网; 稳定控制; 起动元件; 优化; 开放

中图分类号: TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)01-0007-04

1 引言

随着三峡工程与全国联网、电力市场与电能交易、电力环保等新形势的出现, 对电网安全稳定运行与控制的要求越发显得重要。在我国, 许多传统的就地控制模式, 如简单的线路故障联锁切机、切负荷由于其技术性能落后、经济性差等缺点已越来越不适应现代大电网的安全性与经济性的要求。近年来许多区域稳定控制装置的研制与投入使用在一定程度上缓解了大电网稳定运行控制的压力, 但也只能兼顾电网的一部分, 无法从全局上对电网进行协调控制。随着快速稳定分析方法的发展及计算机、通信技术的不断提高, 使基于大系统理论与分级递阶与分散控制理论的大电网稳定控制系统的研制开发成为可能。本文结合作者参与研究开发的稳定性实时观测与控制系统的实际, 针对大电网稳定控制装置开发中的几个问题谈了自己的看法。

2 大电网稳控装置的特点与要求

2.1 整体特点

大电网稳定控制需要大量的网络结构与运行参数, 高速可靠的硬件平台与通信通道, 快速准确的稳定分析软件以及合适的控制策略。目前, 大电网稳定控制装置的开发与实现具有以下特点:

1) 控制对象仍以功角稳定问题为主, 但带有电压越限等辅助功能; 一般都采用集中管理、分区控制的模式, 如图1所示, 这样既有利于实现协调控制, 又可保持各区域子站的相对独立性。

根据电力系统稳定控制, 尤其是大电网稳定控制中控制速度快、信息量大、跨地域范围广的特点, 一般都采用开环预测控制, 且多为离散控制(如切机、切负荷、电气制动、快关等), 如图2所示。图中



图1 集中管理、分区控制示意图

控制量

$$u = p(m, x_0) \quad (1)$$

式中 m 为扰动信息; x_0 为基准状态信息; p 为控制算子, 其内涵反应了预测及按补偿原理实现控制作用的三种方式, 即离线预决策实时匹配; 在线预决策实时匹配; 在线实时分析决策^[1];

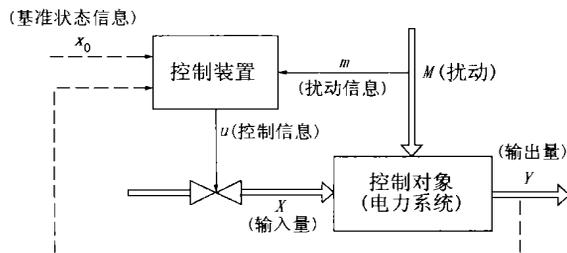


图2 开环预测控制(附加闭环校正)

3) 出于可靠性与经济性的考虑, 一般考虑将稳定控制装置与 EMS、MIS 等接口的可能性, 充分利用丰富的数据资源与已建成的通信通道; 合理利用已有的常规稳定装置及区域稳定控制装置, 避免资源与设备的浪费;

4) 技术上借鉴微机保护与 SCADA 中成熟的数据采集、故障辨识与数字滤波等技术; 借鉴静态安全分析中较为成熟的状态估计、预想事故、灵敏度分析等技术; 预想事故分析部分采用快速稳定分析方法, 如改进后的 SBS 法、各种直接法、人工智能、基于 GPS 外部观测的预测方法等, 以试图从根本上解决稳定控制快速性要求的前提下, 满足准确性与稳定

裕量的要求。

2.2 对区域子站的要求

在大电网稳定控制系统中,区域子站起着承上启下的关键作用。在未能很好地解决控制中心与区域子站的实时通信问题之前,先着重考虑区域子站以使其“保一方平安”是很重要的。从当前技术条件及运行调度人员的要求角度出发,一个自动化程度较高、开放式、功能较齐全的区域稳定控制装置应具备以下功能:

1) 基于 GPS 的高精度、快速的数据采集系统与准确无误的稳定措施执行机构:这是实现稳定观测与控制的基础。数据的可靠性是其首要问题;而在具体的稳定措施执行点,还应该根据当地工况进行适当的校核。

2) 可扩展性、可维护性好、开放灵活的对策表管理系统,具体体现在以下方面:

当本区域内出现线路扩建时,稳定监控系统从硬件到软件应能较容易地随之扩展;

当需要修改对策表时,在修改权限的限制下,可从本地/远方灵活地修改,以使当前的稳定对策最大程度地符合实际情况;

采用可移植性好、代码效率高的编程语言;采用模块化设计或(分布式)组件技术;运行模块与维护模块应既相对分离又相互关联。

3) 较为合理、完善的稳定启动判据,准确快速地判断故障线路、故障相别、故障类型,有条件的厂站还可根据采集的开关量实现基于关联矩阵的电网拓扑辨识,为基于快速积分法的在线准实时稳定计算提供实时网络拓扑;

4) 实时的图形化监视界面,带有事件顺序记录、实时/定时打印、实时波形、语音报警等功能,甚至有故障录波系统,以便于事故后分析;

5) 完备、冗余式的通讯:通过对载波、微波、电话线、Internet、SPDnet 等多种通讯方式的支持与实时切换,确保区域子站与控制中心的通讯通道畅通无阻。

6) 适当条件下可将电压稳定监控、频率稳定监控功能集成进来,并可通过电力企业综合总线(UIB)与 EMS 中的 SCADA/DTS、电力市场系统中的动态安全评估联系等相联系,形成一个更加完整的系统。

可见,新的环境与条件下的区域稳定控制系统是一个典型的以数据处理为中心的多任务、多功能、开放灵活的监控系统。不管是采集数据的判断辨识、对策表的管理与实时查找,还是实时生成报表、

打印、事件顺序记录,都要求系统具有较强的数据处理、存储等功能。当然,这是在把在线计算的任务交给控制中心的前提下的。

3 稳定控制装置启动元件的选择

对于大电网而言,当可靠性得以保证的前提下快速性就成为关键因素,这集中体现在对稳定控制装置启动元件的选取上。从原理上启动元件的选取既可以采用各相(序)电流、电压或功率突变量元件等模拟量来实现,也可以根据保护的信号及断路器出口信号等开关量来实现。前者广泛应用于微机保护中,技术较成熟可靠,速度快,但数据量较大,且有其自身的保护算法、滤波、PT、CT 断线等问题。后者数据量小的多,而且“ $N-1$ ”准则下的各种情况(如发电机、线路、电缆、变压器的停运)可直接反应为开关量的变位,因此和事故预想分析(支路开断、发电机开断)接口简单;缺点是拒动、误动问题,且当考虑“ $N-2$ ”准则时需要考虑多种运行方式,特别是对于 500kV 变电站(常采用 3/2 接线方式),各种运行方式组合较多,需要采用关联矩阵的方法。

由以上的分析可看出:在稳定控制这种对可靠性与快速性要求甚高的场合下,将模拟量启动元件与开关量启动元件相互结合,以一方为主,相互校验与补充也许更可取。比如若以模拟量启动元件为主,可以用适量的开关量信息(如保护出口信号)辨别故障区间等;而以开关量启动元件为主,则可以利用适量的模拟量(如零序分量)区分两相短路与两相短路接地。

另外,一种基于 PEF 理论,以不平衡功率积分作为稳定控制启动判据^[11]也值得注意。

4 稳定控制装置的实现模式

4.1 区域子站的实现中的几个问题

当前的区域子站的实现有几种方式:嵌入式系统、工业 PC 系统以及工业局域网系统,三者间的比较见表 1。但无论选择哪种方式,协调好系统各部分之间的工作与数据交换,提高整体性能是最重要的。

4.2 控制中心的实现模式

控制中心要完成预想事故的快速筛选以及快速暂态稳定分析,而且还要协调管理各区域子站,任务繁重。因此,其构成模式是否合理直接关系到整个稳定控制系统的效率。控制中心的实现以往多采用“小型机+UNIX 平台”模式,目前则多采用“工作站

+局域网+网络操作系统”的模式。后者可将多项任务按组态软件的形式加以组合并在不同的工作站内实现分工,开放式的结构便于扩展与利用新技术。

当控制中心与EMS接口后,其数据的获取可完全由EMS提供,而控制中心与各区域子站的通信只

限于发收稳定策略及协调控制信息,通讯量大大减小。另外,为减少局域网上信息交换量,文献[6]提出可采用分层局域网和共享内存技术,不把所有信息集中在一个局域网上交换。

表1 三种区域稳定控制装置的比较

项目	工业PC系统	嵌入式系统	工业局域网(LAN)
硬件构成方式及特点	上位机/图形化工作站(监视控制) - 下位机/前置机(数据采集)两部分,其中前置机中可选用目前市场上种类繁多的采集卡或自行开发。	宿主机(PC) - 目标机(多MCU的嵌入式系统);专用的硬件平台,常采用PCI04总线、电子盘、大容量Flash、代码驻留或就地运行(XIP)等技术获得整个系统性能(如空间、存储速度)的提高。	以双光纤以太网为代表,采用服务器、工作站等设备,在硬件上就将数据存储、文件报表、MMI、通讯等功能模块进行了分工,便于扩展与维护,网络功能强大,可靠性极高。
软件平台及其特点	为了达到实时性较强、与硬件接口处理方便的目的,常基于DOS操作系统,常采用TSR(内存驻留)、直接写屏、自建小字库等技术提高显示与执行速度。新的趋势是采用Windows平台,提高MMI与多任务处理能力;为避免采用修改TSS或者开发VXD程序的麻烦,用C/C++开发底层软件,而用可视化软件如VC、VB等在Windows下做界面较为多见。	以嵌入式多任务实时操作系统RTOS如:Vxworks, pSOS, Tornad, QNX, nucleus等以及实时数据库RDBMS如PI、Infoplus、PCAP等为代表,在软件上简化配置,优化任务调度,提高实时性。 另一方面,多MCU也可以使软件功能上得以分解。	以稳定可靠高效的操作系统Windows NT、UNIX等以及数据库系统(专门的EMS实时数据库平台RTAP、HABIDAT等或者大型关系型数据库MS SQL Server、Oracle、DB2、Sybase、Informix等或者OODB)为核心,开放性较好。
对策略表的处理	对策表通常采用数组结构或数据文件的方式存放。	可以以文件形式,也可以以数据库的方式,但目前多以定值的方式整定存储	以数据库的方式管理,常要用优化存储、双缓冲/共享内存、智能索引等技术
主要缺点	基于DOS与Windows下的软件各有利弊	用户维护不太方便,MMI功能有限,资源较为有限	投资较大,特别是在数据库方面需要较好的实时技术

5 对当前稳定控制装置的一些建议

5.1 稳定控制措施的优化前提

目前在我国,稳定控制措施以切机、快关、切负荷、电气制动等为主。考虑到充分利用原有稳定控制执行设备(经济性)的基础上,如何优化稳定控制策略(包括控制方式、控制量大小、控制时间长短等)是个值得研究的问题。这个问题从本质上多属于非线性整数规划问题,其数学描述如式(2)所示。式中 N_i 为各控制措施量, C_i 为控制系数,它反映了控制时间、控制权重等,为控制措施下的控制裕度,它等于实际控制效果减去严格按稳定分析软件得到的稳定控制效果。

$$\begin{cases} \min J = \sum_{i=1}^m C_i N_i \\ \text{s. t. } (N_1, N_2, \dots, N_m) \\ N_i \leq N_{i \max} \\ \dots \end{cases} \quad (2)$$

优化的本质在保证稳定控制装置的有效性的基础上满足经济性的目标,主要是要从大量的措施组合中快速搜索出最优策略。文献[8]提出了一种快速搜索算法。而在具体应用优化算法时,应根据实际情况,遵守一些原则,如:优先考虑电气制动与直流调制;在切机或快关时,应结合机组的接线、运行方式与进相等特殊问题;从机组的疲劳损耗的积累效应的角度,应用排队论或概率方法,尽量使机组由于切机而造成的疲劳损耗最小化,尤其对于汽轮机组。在基于以上前提的基础上,将快速稳定分析软件得出的稳定策略(或离线稳定策略)配合以适当的快速优化算法,方可得到切实可行的最优的稳定控制措施。

5.2 控制装置与策略的开放性

目前的稳定控制装置中普遍使用的仍是“离线预决策,实时匹配”的控制方案,并且这也是最实用的一种方案;但是它的主要问题是存在着或轻或重

的失配情况。为了减少失配的缺陷,作者认为在区域子站应采用开放式的对策表,利用控制中心的在线计算,准实时/实时地生成最新运行状况的控制策略,对各区域子站进行刷新;也可在区域子站中加入智能控制,如对运行方式与对策表之间的自学习或模糊控制能力。总之,应形成本地/远方多种途径的对策表的修正,使之具有开放性。这种开放性带来的好处不仅仅是减小了失配情况,并且增加了灵活性、可靠性,延长了稳定控制装置可使用的寿命。

一个功能较为完善的稳定监控系统应该以实时数据处理为中心,充分考虑对策表中数据间的联系。比如采用数据库的方式就可以保持数据库各表之间的天然联系,具有“对象关联”的特点,有利于实现数据图形一体化,如图3所示。图中稳定对策表具有很强的开放性,它可以通过数据库接口被各种基于不同控制策略的、与网络分布无关的在线实时、准实时/离线稳定计算模块加以刷新,并可接收、存储动态安全评估模块的评估结果,为调度运行人员提供系统实时的安全状况。

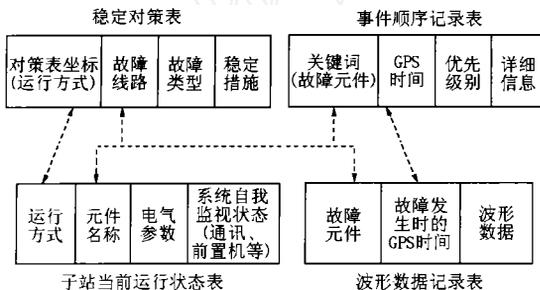


图3 以数据库为核心的稳定装置各表间的关联

5.3 适当增强稳定控制装置的预防能力

目前的稳定控制装置基本上都是基于1967年Dy Liacco提出的确定性安全稳定分析构想中的紧急控制思想,只考虑系统发生了(预想)事故后不稳定怎么办,而对系统未发生故障时的运行状况不管不问,哪怕是系统已经处于不安全状态(但未发生事故)。而在实际中的大多数时候系统都是处于无故障运行状况下,因此在不过重的增加运算与数据通讯负担的前提下,在区域子站中加入一些安全分析的功能(也可以考虑与当地的EMS接口)又何乐而不为呢,况且这样可以使区域子站的运行人员对本站在大多数情况下的安全性进一步了解,并在适当时候做出一定调整使系统尽量保持在一个高稳定度运行状况下。同时这对于今后的电力市场下的能量交易也是有益的。

在目前的技术水平下,作者认为动态安全域

法^[12]可望胜任此任,且“域”的思想也有利于实现大电网综合稳定性(横向上功角、电压、频率、负荷稳定性与纵向上预防、紧急、恢复控制)的联合、协调控制,有利于实现电力系统灾变防治。

6 结语

随着电力系统规模的扩大以及安全稳定问题的日益突出,仅靠单纯的就地控制或区域稳定控制已不能满足大电网稳定控制的要求,因此,针对大电网微机稳定控制系统的研究也越来越受到重视。作为现代电网不可缺少的三大支柱之一的稳定控制系统,不仅要研究其非线性动态大系统的稳定性理论与优化运行控制理论,而且还应在实用化的道路上解决好如何提高其可靠性,协调好“几性”^[17]的关系,如何优化其稳定策略,如何象“四统一”的保护产品一样形成标准化、规则化、统一化的稳定装置,如何对大电网稳定控制装置进行试验仿真等诸多问题。

参考文献:

- [1] 陈允平,等. 华中电网稳定性实时观测与控制系统课题组阶段性报告[R]. 武汉水利电力大学,2000.
- [2] Yunping Chen, Kumpeng Zhou. A New Energy Function Based Power System Stability Control Scheme Using Real - Time Data. PowerCON, 2000, volumn 1.
- [3] 袁季修. 电力系统安全稳定控制[M]. 中国电力出版社, 1996.
- [4] 韩祯祥. 电力系统稳定[M]. 中国电力出版社, 1995.
- [5] 薛禹胜. 电力系统暂态稳定快速分析和控制的现状和发展[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(1).
- [6] 倪以信,等. 现代电网的稳定性和安全性[J]. 电力系统自动化, 1994, 18(1).
- [7] 张保会,等. 关于电力系统安全稳定控制装置(系统)基本要求的再探讨[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(9).
- [8] 方勇杰,范文涛,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).
- [9] 孙光辉. 区域稳定控制中的若干技术问题[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(3).
- [10] 袁季修. 电力系统安全稳定控制开发应用调查综述[J]. 电力系统自动化, 1998, 22(9).
- [11] 李函,等. P 积分作为暂稳控制切机启动判据的研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1997, 37(7).
- [12] 余贻鑫,王成山. 电力系统稳定性理论与方法[M]. 科学出版社, 1999.

收稿日期: 2001-05-21;

改回日期: 2001-06-15

(下转第 46 页)

TOMAC 软件,美国电力公司(PTI)开发的 PSS/E (Power System Simulator for Engineering),Mathworks 公司开发的 MATLAB(大于5.2版本)中所包含的 Power System Blockset(PSB)工具箱,以及中国电力科学院给出的基于 DOS 系统的电力系统潮流、暂态稳定和短路电流计算的仿真软件 PSASP^[6]。

上述几种软件各有各的特点:

1) EMTP 和 NETOMAC 都是世界范围通用的电力系统仿真软件,其特点为计算速度快、结果准确度高、功能强大,几乎可以对任何复杂电力网络进行模拟。

2) PSS/E 是一个集成化的交互式软件,主要用于电力系统的潮流计算,界面友好,可与多种输出设备相连,输入输出可根据用户要求进行设计,它要求使用者有一定的编程基础,输入不如 EMTP 和 PSASP 方便^[7]。

3) PSB 特点为可以对复杂的控制方法进行仿真,如神经网络、模糊控制、鲁棒特性等,而且界面相当友好,有在线帮助等功能,但其运算速度比其它软件要慢。

4) PSASP 特点在于其使用简单,功能简单齐全,但计算模式有局限性,不易进行复杂模型的算法仿真。

参考文献:

[1] [加拿大]Dommel H W 著,李永庄,林集明,曾昭华译。

电力系统电磁暂态计算理论[M].北京:水力电力出版社,1991.

- [2] Dufour C, Le-Huy H. Highly accurate modeling of frequency dependent balanced transmission lines[J]. IEEE T POWER DELIVER, APR 2000, 15(2):610-615.
- [3] Chida T, Sato Y, Sugawara J, et al. Simulation study of unified power flow controller[J]. ELECTR ENG JPN, 1999, 127(1):23-30.
- [4] Han BM, Karady GG, Park JK, et al. Interaction analysis model for transmission static compensator with EMTP[J]. IEEE T POWER DELIVER, OCT 1998, 13(4):1297-1302.
- [5] Tziouvaras DA, McLaren P, Alexander G, et al. Mathematical models for current, voltage, and coupling capacitor voltage transformers[J]. IEEE T POWER DELIVER, JAN 2000, 15(1):62-72.
- [6] 陆超,唐义良,等.仿真软件 MATLAB PSB 与 PSASP 模型及仿真分析[J].电力系统自动化,2000,(5).
- [7] 张扬,陆承宇,杜振东.电力系统仿真软件 PSS/E 简介[J].华东电力,1997,(1).

收稿日期:2001-05-29; 改回日期:2001-07-11

作者简介:钱鑫(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统电磁暂态仿真;施围(1942-),男,博士生导师,研究方向为电力系统防护。

Simulation software in power system

QIAN Xin, LI Hu, SHI Wei

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The history, theory of calculation and program function of EMTP are generally described in this article. The features of several popular power system simulation software are also presented. It will be helpful for enhancing the efficiency of engineers in power system.

Keywords: simulation software; EMTP

(上接第 10 页)

作者简介:姚光华(1976-),男,硕士,主要从事电力系统动态安全分析与暂态稳定控制方面的研究;刘启胜(1962-),

男,博士,副教授,主要从事电力系统稳定控制与电力电子方面的研究;陈允平(1945-),男,教授,博导,主要从事电力系统稳定控制与电能质量等方面的研究。

Discussion about some problems in transient stability control system of large power system

YAO Guang-hua, LIU Qi-sheng, CHEN Yun-ping, ZHAO Wu-zhi

(Institute of Electric Engineering of Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: This paper summarizes the characters and requests about transient stability control(TSC) system of large power system at present. Then, the author discusses some problems such as how to choose the starting component of TSCS, how to make up of the region-substation and the control center of TSC system, etc. Finally some viewpoints about the preconditions of optimizing the stability strategies, improving the open and prevention ability of the control device and strategies are expounded.

Keywords: large power system; transient stability control; starting component; optimize; open