

一个实用的电力系统分层决策稳定控制系统

周良松¹, 彭波¹, 夏成军¹, 胡会骏¹, 卢放², 黄要桂²

(1. 华中理工大学电力工程系, 湖北 武汉 430074; 2. 华中电力调度通信局, 湖北 武汉 430077)

摘要: 将大系统理论应用到电力系统区域性稳定控制中, 提出了采用分层决策和分层控制的全网综合稳定控制系统, 实现整个区域内各稳定控制装置间统一协调优化决策, 达到区域性的最佳控制。该控制系统利用 EMS 获得的电网在线实时数据, 进行在线自动计算、在线智能决策, 对全网进行分层决策并分层控制, 可以有效地实现自动计算、智能决策、全网优化和统一协调。

关键词: 电力系统; 稳定控制; 在线准实时控制; 分层决策控制

中图分类号: TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)04-0016-04

1 引言

随着电力系统的发展, 互联的电力网络变得越来越大, 电压等级逐渐增高、运行方式灵活多变。然而, 大电网的暂态稳定问题依然很突出。防止系统暂态稳定破坏的控制仍然是当前电力系统中极为迫切的任务。另外, 随着电力运营模式由传统的发、输、配电统一管理和运行的机制, 逐步向发、输、配电分别作为独立实体参与竞争的电力市场运行机制转化。这样一个开放和鼓励竞争的运行环境增加了运行规划的不确定性, 使电力系统运行复杂化, 运行方式快速多变, 因此也要求有更加快速、准确有效的稳定控制手段。

稳定控制是确保电网安全稳定运行的重要技术措施, 它必须快速而准确。然而电力系统的稳定状况与整个系统的网络结构、运行状态、扰动冲击、继电保护及自动装置的动作等诸多因素的影响有关, 要对电力系统这样一个非常复杂的系统, 实现快速稳定分析和快速控制非常困难。因此, 目前稳定控制装置主要仅局限于应用简化的判据, 或采用查询离线计算策略表方法构成的局部稳定控制, 这些装置中大多存在适应性较差、应用和管理不够方便、控制分散单一、不能统一协调和综合优化等缺陷。

当前电力系统计算机通信网络已经初具规模, 全国各大电网能量管理系统(EMS)已经相继建成, 通讯网络正在不断完善, 从 EMS 获取电力系统在线数据成为可能。鉴于这一形势, 本文提出根据大系

统理论对全网稳定控制进行整体规划和综合研究, 利用 EMS 获得的电网在线实时数据, 进行在线自动计算、在线智能分层决策的稳定控制系统新模式。该稳定控制系统能够克服目前国内同类装置中存在的较多缺陷, 以实现区域性联网的全网综合稳定控制系统。该全网稳定控制系统采用分层决策并分层控制的控制系统结构和方法, 可以实现自动计算、智能决策、全网优化、统一协调的目的。

2 分层决策的控制模式的提出

电力系统是一个典型的大系统, 因此可以引入大系统理论的分层决策、分层控制原理, 实现电力系统暂态稳定的分层决策、分层控制, 以达到电力系统暂态稳定的优化控制。

2.1 大系统理论在电力系统稳定控制中的应用

所谓大系统是指具有某种特定功能的、结构可分为多级和或控制过程按其特点可分为多段的复杂系统。互联电力系统即为一个典型的大系统, 具有高维数、多目标、关联性、随机性等特点。电力系统区域性暂态稳定控制的范围包括一个区域内的所有发电厂和变电站, 很难把各厂站的控制截然分开, 因此是一个典型的大系统控制问题。

大型互联电力系统的控制如果采用传统的简单局部控制, 显然难以获得所要求的动态特性; 如采用集中控制, 实施集中控制统一决策, 则系统各部分与集中控制器之间将要交换大量信息, 要求大量长距离实时通信联系, 这在技术上、经济上都是不合理的, 甚至不可能。但是若只采用分散控制分散决策方式, 则电力系统各孤立厂站的稳定控制装置之间和各种稳定措施之间, 缺乏统一协调, 统一优化策略, 不能进行准确的稳定控制。

收稿日期: 1999-10-19; 改回日期: 1999-11-18

作者简介: 周良松(1967-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为电力系统稳定与控制, 电力系统自动控制及综合自动化。

因此,采取电力系统暂态稳定控制采用分层决策、分层控制的控制模式,可以较好地解决这些问题。该控制模式的基本方法是:首先根据系统的结构和特点,应用大系统理论的分散控制解耦方法,将整个系统分成可能被解列的若干个子系统(称区域系统),各子系统按各自的结构特点,组成综合考虑安全稳定运行要求的区域控制装置。然后再应用上层决策系统将这些分散的控制装置进行集中管理,并实行上、下层机分层控制,分层决策,从而达到全网统一协调、优化决策的目的。

2.2 电力系统暂态稳定控制分层决策模式的功能和构成

在线准实时智能分层决策稳定控制系统如图 1 所示,整个系统由上层自动决策系统、中层决策控制系统和下层控制执行装置三层组成,控制系统的最低层采用就地简单控制装置,控制决策与简单系统相同,但要考虑上一层来的有关信息。上层系统用来协调下一层各控制系统的工作,而不是直接执行控制。上层系统传送给下一层系统的信息为准实时信息,如整个控制系统覆盖范围内的电力系统运行方式信息,及上层控制系统应用在线稳定分析所得到的、用以指导下面各层系统的准实时决策信息等。

上层自动决策系统的核心部分是电力系统暂态稳定在线准实时智能决策分布式计算机系统,它负责从 EMS 获取电网的实时数据,对预想事故集进行准实时自动预决策,并将预决策的控制方案通过通信网络输配给各区域稳定控制中层决策控制系统,同时还能够接受高层人员的指令性决策。中层决策控制系统主要由各区域稳定控制决策装置组成,主要安装在几个重要的大型枢纽变电站,负责接收并自动匹配从上层自动决策系统发送过来的预决策信息,当系统中有扰动发生时,实时判别扰动的严重程度,根据本区域内的实际运行工况,并参考上层自动决策系统的预决策方案,进行二次决策,并快速采取稳定控制措施,包括向下层控制执行机发出切机和切负荷命令以保证本区域内电厂和变电站的稳定运行,以及发送和接收远方控制命令,保证系统的稳定。下层控制执行装置由安装在各发电厂和变电站的执行机组成,负责接收由中层决策控制系统或远方控制系统发送过来的切机、切负荷或电气制动等命令,为防止误动,增加了有就地识别真伪的功能,以提高可靠性。

整个控制系统的主要决策和控制过程可简述为:首先,上层自动决策系统的主工作站从 EMS 系

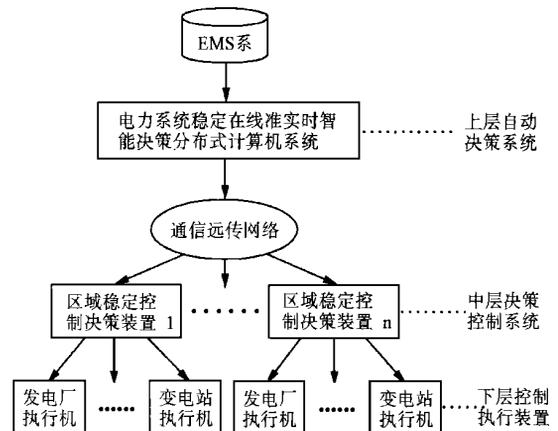


图 1 电力系统在线准实时智能分层决策稳定控制系统

统获取实时信息,进行状态估计,确定系统是否已经偏离原来的运行方式,若有则运用专家系统对预想事故的全集进行事故预筛选,再运用在线快速筛选法对预想事故进行快速筛选,对于临界情况及不稳定情况,则进行精细计算,同时导出稳定控制措施量,然后进行全网稳定评估和优化决策,并统一协调各区域稳定控制中层决策控制系统,得出准实时预决策方案,通过远传网络将预决策方案下载到各区域稳定控制中层决策控制系统中去。当区域稳定控制中层决策控制系统检测到故障时,则参照上层自动决策系统的准实时预决策方案,并根据本区域内的实际运行工况和扰动情况,实时进行二次决策,判断系统的稳定情况及应采取的稳定控制措施,并立即就地执行或向下层控制执行机发出控制命令。执行机在收到控制命令时,迅速进行简单的就地防误判别后,立即执行控制命令。其中,中层决策控制系统在进行二次决策时,既可以参考上层自动决策系统的预决策方案,又可以在同上层自动决策系统失去联系的情况下,或其它特殊情况下通过设定离线计算策略表的方式,转为分散控制模式或就地控制模式运行。因此提高了整个系统的灵活性和可靠性。

3 在线准实时智能分层决策稳定控制系统的重点

在线准实时智能分层决策稳定控制系统的内容很多,仅涉及到电力系统分析的诸多内容就有状态估计、潮流计算、紧急事故预想、暂态稳定计算、系统稳定控制策略生成等。本文在此仅对该智能分层决策控制系统的几个重点内容进行讨论。

3.1 在线实时暂态稳定预测

尽管在线动态安全分析并不需要对系统中所有可能的运行方式都进行仿真计算,而只需要对电力系统当前运行方式下,各种可能的故障地点和故障类型进行在线稳定分析,以便获得预先安排的控制对策。但是,对于一个多达数百台发电机上千个节点的电力系统来说,要在准实时(大约5~10min)的时间内,完成对当前运行方式下的整个事故预想集合进行详细的仿真分析是很难实现的。因此,有效、准确的快速事故筛选法是一个非常重要的手段。

该在线准实时稳定控制系统通过基于系统辨识的技术^[7],利用电力系统暂态过程中实时测量得到的状态量()对系统动态方程组模型参数进行在线辨识,从而根据得到的辨识系统,用能量函数法对暂态稳定进行快速预测和控制。该方法不需要预先知道系统的模型参数,避免了对电磁功率和暂态轨迹的大量计算。并且由于功角和角速度直接反映并列运行机组间的相对运动,是系统稳定运行最直观的判据,因此根据电力系统故障后的、实测数据进行系统辨识,可以更真实地反映系统的实际动态过程,实现快速而又较准确的系统暂态稳定性预测和定量分析。

3.2 最佳控制策略搜索

上层在线准实时自动决策系统的控制策略计算是按照电力系统实时信息识别出系统运行方式,针对该运行方式下的预想事故集,求解相应的最优控制策略。而下层控制执行装置则根据此策略表进行查表控制。因此,如何获取最优控制策略,降低策略表的维数,提高策略表的查表效率将影响到整个控制系统的性能、速度和正确性等。

在分层稳定控制系统中采用基于稳定裕度及灵敏度的策略表类型,可以较好地解决了这个问题。该策略表中存放的不是具体的控制措施或其组合的内容,而是该事故下系统的稳定裕度值以及各稳定控制措施基于稳定裕度的灵敏度系数值。该方法既降低了策略表维数,又可以方便地实行优化控制。同时,应用基于就地量为主结合少量远方信息的综合稳定控制方法,其稳定控制的策略比单纯的局部稳定控制方法更有规律,更容易寻找到特征量。应用该方法制定的稳定控制策略表,不但降低了策略表容量,而且提高了策略表的适应性。有关的稳定计算研究^[7]表明,当电力系统运行工况发生变化时,该策略表出现失配的现象较少,使装置的自适应能力增加。尤其是当基于全网的稳定控制上层自动决

策系统建成后,应用该类型策略表的稳定控制装置,可以实现与上层自动决策系统的很好配合,实现稳定控制的最好控制,达到更安全更经济的目的。

3.3 在线准实时智能分层决策稳定控制系统的自动化

该分层决策分层稳定控制系统是用于在线准实时控制,整个决策控制过程均由系统自动完成,只有在极为特殊的情况下,才会进行人工干预。因此,整个系统的自动化及可靠性是一个至关重要的内容。通过计算机软、硬件技术的相结合,及人工智能的引入,可以较好地实现这个目的。

针对电力系统的特点,在该分层决策分层控制系统的上、下层均考虑采取,实现了自学习功能。上层在线准实时自动决策系统通过引入自学习功能,可以减少每次决策过程中重复的计算,直接根据以往计算过程中汲取的经验进行判断,从而大大提高系统的决策速度。另外,在下层控制执行装置中也通过对系统稳定措施进行不断的总结、学习,采取更加准确、可靠的稳定控制措施。并可以在系统通信网络出现问题,上、下层系统分离时,下层控制执行装置可以根据自学习获取的经验对系统稳定情况进行自动分析处理,从后备策略表中挑选出此时最适合有效的稳定措施,并保证该稳定措施不会有太大的偏差。

4 结论

本文提出的电力系统在线稳定控制分层决策新模式具有如下特点:

1) 具有实时处理信息和综合控制的功能,可以在故障瞬间迅速作出判断,采取最佳稳定控制措施,保持系统稳定运行。

2) 在线准实时智能分层决策稳定控制系统中,预决策进行的稳定计算没有占用自动控制的时间,即稳定计算没有占用从电力系统发生故障到实施稳定措施这段宝贵的时间。换言之,没有因为稳定计算而延迟实施稳定控制措施的时间。这样既回避了在线稳定分析目前存在的计算速度较慢的弱点,又充分利用了在线稳定分析研究中当前已经取得的阶段成果。

3) 通过自学习的方法,将部分预决策方案吸收到区域稳定控制中层决策控制系统中,且增加了每个站装置对其通信通道的检测功能,如果装置判断出通道异常,则装置将会自动转入就地控制或分散控制模式,根据就地控制策略进行工作;如果装置发

现通道已经恢复正常,则装置也将相应地恢复正常运行。

4) 为了提高上层决策系统的决策速度,达到更佳的控制效果,该稳定控制系统除了采用更快的在线分析方法外,还采取了智能处理技术。即在上层自动决策系统形成准实时预决策方案时,若判别到系统的运行工况在当前的一段时间内变化不大时,则不重新进行暂态稳定计算,而应用灵敏度技术和智能的方法,直接推算出新的决策方案。该方法大大提高了上层自动决策系统的综合速度。

目前,针对华中电网进行的该系统开发工作已取得很大进展,大量试验也已证实了它的先进性和可行性。依据目前计算机及通信网络的软、硬件水平和华中电网的网络规模,该在线准实时智能分层决策稳定控制系统可在 5min 之内在线刷新稳定控制策略表,并保证稳定控制措施的精度以切机量衡量时,不超过 5 万 kW。

参考文献:

- [1] 袁季修. 电力系统安全稳定控制. 北京:中国电力出版社,1996.
- [2] Ota H, Kitayama Y, Ito H, et al. Development of Transient Stability Control system Based on OnLine Stability calculation. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(3): 1463 - 1472.
- [3] Dy-Liacco T E. Enhancing Power System Security Control. IEEE CAP, 1997, 7.
- [4] 赵兴康, 李明节等. 电网安全稳定控制新模式的研究. 电力系统自动化, 1998, 22(7).
- [5] 方勇杰, 范文涛, 陈永红等. 在线预决策的暂态稳定控制系统. 电力系统自动化, 1999, 23(1).
- [6] 孙光辉. 区域稳定控制中若干技术问题. 电力系统自动化, 1999, 23(3).
- [7] 周良松. 在线暂态稳定分析与综合稳定控制系统的研究. 华中理工大学博士学位论文, 1999.

Study on new transient stability control pattern with on-line hierarchical decision-making and control

ZHOU Liang-song¹, PENG Bo¹, XIA Cheng-jun¹, HU Hui-jun¹, LU Fang², HUANG Yao-gui²

(1. Central China University of Science & Technology, Wuhan 430074 China;

2. Central China Electric Power Dispatching & Communication Bureau, Wuhan 430077 China)

Abstract: By means of on-line hierarchical decision-making control pattern for synthetic security control of large scale electric power systems, an on-line quasi-realtime decision-making transient stability control system based on real-time data from Energy Management System (EMS) is proposed. Furthermore, some improvements in control strategy and intelligent decision are presented.

Key words: power system; stability control; on-line quasi-realtime control; hierarchical decision-making control