

电力系统紧急控制

范文涛 薛禹胜 电力部电力自动化研究院 南京 (210003)

【摘要】 电力系统是典型的非线性时变大系统, 面向特定元件的继电保护装置和基于局部信息的安全自动装置, 在某些情况下难以满足电力系统稳定运行的需要。有自适应能力, 能从电力系统全局观点来进行有效控制决策的电力系统紧急控制成为亟待解决的问题。本文讨论了电力系统紧急控制, 与其相关的计算机技术、控制措施以及控制决策方案等问题。

【关键词】 紧急控制 暂态稳定分析 控制决策 并行处理

引言

电力系统安全性和经济性之间的矛盾随着电力系统的发展而不断地加剧。电力系统互联从一定程度上缓和了这一矛盾, 但也为大事故制造了温床。接二连三的大停电事故所造成的巨大经济损失, 使人们认识到对于某些小概率严重事故情况, 仅依靠投资一次设备来解决, 不仅耗资巨大, 而且往往是不可行的。而采用紧急控制则是经济、灵活和有效的^[1-4]。

根据电力系统的负荷约束条件和运行约束条件, 电力系统的运行状态可以分为四种: 正常状态、警戒状态、紧急状态和恢复状态^[1]。紧急控制是电力系统在紧急状态下, 通过采取适当的措施, 使电力系统恢复到正常状态或者暂时进入恢复状态的控制。紧急控制和预防控制、恢复控制一起构成电力系统的安全控制。

在电力系统紧急控制成为一个可靠实用的解决方案之前, 电力系统只能依靠继电保护、离散的稳定控制器和预防控制来保证系统的稳定运行。许多大停电事故证明面向特定元件的继电保护装置和离散的稳定控制器往往会动作不协调, 从而恶化事故。一个有效的稳定控制系统必须有效地协调各控制装置的动作, 协调预防控制和紧急控制, 以最少的代价换得系统的安全稳定运行。目前, 紧急控制系统正从分散的就地控制方式逐步进入到区域控制方式, 并

由离线预决策方式向在线预决策方式转变。

1 紧急控制发展的动力

电力系统的发展和对其经济、高效、可靠、安全运行越来越高的要求促进了紧急控制的发展。在发达国家, 电力生产能力已基本能够满足电力消费的需求, 这些国家就把充分利用已有的设备资源和提高生产效率作为主要目标之一, 电力市场便是这一目标的产物。电力市场的竞争, 使电力系统的运行点越来越接近稳定极限, 系统承受扰动的能力大大下降, 最优紧急控制成为解决这一矛盾的关键之一。

许多国家由于地理和资源的限制, 负荷和电源相距很远, 远距离大容量输电是不可避免的, 网架建设也很难完全解决稳定问题, 紧急控制成为不可避免的措施。这些国家的紧急控制发展很快。

我国地域辽阔, 能源分布不平衡, 西部地区煤炭、水利资源很丰富, 普遍出现西电东送, 输送距离长达数百公里乃至一千多公里, 输送容量在百万千瓦以上。再加上我国电网建设长期落后于电源建设, 电网结构不够合理, 稳定问题特别突出。输电线的输送容量受到很大限制, 造成电厂窝电, 负荷中心缺电的局面, 经济损失巨大。因此, 紧急控制在我国也是亟待解决的问题。

即便对于一个结构较强壮的系统, 在某些特殊运行方式下, 或者在某些特殊故障情况下, 稳定性也可能难以得到保证。大停电事故使人

们认识到改进紧急控制系统性能的必要性和迫切性。对电力系统紧急控制的研究成为当前的热点之一。

2 国内外紧急控制系统的发展情况

电力系统紧急控制装置的研制国内外都开始于 60 年代。当时电网规模比较小, 稳定性问题还不突出, 另外电子技术还未发展到足够水平, 因此紧急控制技术受到很大局限。到了 70 年代随着电网规模的扩大, 稳定破坏事故的增多和对国民经济造成的严重影响, 另一方面, 由于电子技术的发展, 国外在稳定控制的理论和装置方面都有了较大发展。而当时国内由于处在十年动乱期间, 电网事故接连不断。80 年代, 电网规模进一步扩大, 大停电的深刻教训迫使各国十分重视紧急控制技术的研究, 积极进行紧急控制装置和控制系统的开发和应用。

国外典型的紧急控制系统有: 前苏联电网设计院研制的安装在伊塔茨克变电站的成套反事故控制装置, 直流研究所研制的乌拉尔联合电力系统集中性反事故自动化系统; 日本中部电力公司与三菱公司开发研制的 *TSC* 集中式稳定控制系统, 东北电力与日产公司研制的 *BSPC* 集中式稳定控制系统, 关西电力的 *BSS* 稳定控制装置等; 法国 *EDF* 将全国电网划分为二十个基本区域, 然后在这些区域电网之间的联络线上和区域内装设专用的控制系统, 已投运的系统为 *DRS*, 并在开发新系统, 实现“实时测量伴以实时计算”和集中分层控制方式; 加拿大安大略省水电局 *BRUCE* 地区的 *BSPS* 稳定控制系统。

国内在 80 年代初开始研制以集成电路为基础的紧急控制装置; 80 年代中期开始开发以微机为基础的紧急控制装置。1987~1991 年试点开发的东北辽西电网区域紧急控制系统并未能实用, 但为以后福建电网紧急控制系统、河北电网中的南北网之间联络线控制系统等的成功开发和应用积累了经验和教训。1993~1994 年研制的北仑港—兰亭紧急控制系统已投入正式跳闸运行, 1992~1994 年又开展了山西神头

地区紧急控制系统、云南地区紧急控制系统、南方互联电网紧急控制系统的研制工作。这些系统有的已投入运行, 有的投入试运行。我国在这一领域内已逐步进入国际先进行列。

已投运系统的共同缺点是: (1) 可靠性不高, 主要薄弱环节是通信通道, 这将随着数字微波、卫星通讯和光纤通讯的发展而得到改善; (2) 只能根据少量信息来作决策, 控制精度差; (3) 自适应能力和通用性差, 所开发的系统都是针对特定条件设计的, 对系统结构、运行方式和实际可用的实时信息量的变化的适应能力差。随着暂态稳定分析算法和计算机技术的发展, 区域紧急控制方案将得到改善。

90 年代电网紧急控制系统的发展趋势是: 由分散的单个控制装置或局部控制装置发展成为考虑一个地区或全系统的控制系统; 采用“在线预想计算、实时故障匹配”方案提高对工况和故障形态变化的自适应能力; 与 *EMS* 相结合, 共享电网在线数据和信息资源, 使调度自动化和控制自动化统一起来; 具有定量分析能力的直接法(如 *EEAC* 法) 将会在紧急控制决策系统中得到有效的应用^{[1][5][6]}。

3 电力系统暂态安全分析的发展

在线暂态稳定分析的主要任务是根据实际的运行信息, 定量地估计系统的动态安全水平, 给出系统的稳定裕度和灵敏度信息, 估计各种稳定极限, 为预防控制和/或紧急控制决策提供有效的支持。描述电力系统动态特性的微分方程是高度非线性和时变的, 其阶数很高并带有不连续参数。这使上述要求极难得到满足。

数值积分法是电力系统分析的通用方法, 具有很强的模型适应能力和计算上的强壮性。但它的计算速度很慢, 只能给出定性的分析, 而不能量化。在已有的紧急控制中, 大多数系统采用了“离线决策、实时匹配”方案, 离线用数值积分法针对典型工况和预想事故的组合制作决策表, 而“在线预想决策、实时匹配”方案, 则因数值积分法无法满足要求而难以实用。

在过去的近半个世纪里, 人们在暂态稳定

分析直接法的道路上进行了大量的探索, 试图寻找一个严格定量的暂态稳定分析方法。该方法应该能够识别出所有的潜在失稳模式, 识别出最安全的调度方向, 并给出相应的稳定裕度; 这个方法也应能给出各种灵敏度系数, 联络线极限潮流, 功率注入空间的稳定域; 另外该方法应足够快, 能跟踪系统的变化。EEAC 是稳定分析领域中独一无二的严格的定量方法, 它已经成功地应用于在线动态安全分析^[7], 也为紧急控制作出了很好的理论支持。将EEAC 同数值积分法结合, 使得暂态稳定分析具有与所采用的数值积分一样的模型适应能力和精度, 并能提供丰富的定量信息, 具有很好的工程应用价值。

4 用于紧急控制的控制措施

电力系统稳定破坏的主要原因是由于系统内有功功率或/和无功功率的平衡状态受到不可恢复的破坏。维持电网稳定的控制措施就是针对上述机理的。

在电力系统临界群部分的稳定控制措施主要是: 切除发电机、汽轮机快关汽门、电阻动态制动(电气制动)、超导贮能等; 在非临界群部分的稳定控制措施主要是: 切除负荷、备用电源自动投入; 针对无功功率及电压稳定的控制措施主要有: 发电机励磁的稳定附加控制(如电力系统稳定器、线性最优励磁控制器、非线性励磁控制器等)、输电系统中的静止无功调节设备等; 另外还有: 快速切除故障元件、正确选用重合闸方式和重合闸时间、串联电容补偿、高压直流输电线的功率快速调制、快速投切并联电抗器等; 在以上措施不能挽救系统时, 采用有控制的系统解列。

目前切机、切负荷、系统解列、电气制动、快关汽门是普遍采用的控制措施。发电机附加励磁控制在我国也有许多研究应用成果, 正在推广使用。快关汽门在一些系统进行了试验研究, 但正式投入运行的还不多。电气制动曾在多个水电站使用, 有一定的运行经验, 也取得了一定的效果。国际大电网会议(CIGRE)和

美国电工及电子工程学会(IEEE)于1992年的一个联合调查也为有效地协调利用各种措施提供了很好的参考。随着紧急控制系统的投入运行, 理论分析的深入, 人们对各控制措施的认识也有了很大的提高, 如利用EEAC 理论发现了控制措施的负效应现象, 并对其机理作出了理论解析^[8]。

5 一些相关技术的发展

自80年代末以来, 电力系统调度自动化水平随计算机技术的发展而迅速完善起来。从原来简单的SCADA 到目前功能齐全的EMS, 另一方面实时数据量越来越多, 数据的可靠性越来越高。这为利用EMS 的实时数据进行在线稳定分析提供了保证。

电力系统通讯正在迅猛发展。电力系统载波、微波、卫星、光纤等多种通讯方式的可靠性也大大提高。这保证了电力系统EMS、DMS、MIS 等的迅速发展, 对紧急控制来说, 通讯更是至关重要, 全网的数据采集、控制决策的分配和执行都要求非常可靠的通讯。目前电力系统的通讯水平已能满足这一要求。

近十几年发展起来的并行处理技术也为紧急控制提供了技术支持。并行处理技术的应用主要在两个方面, 一个是将暂态稳定分析算法并行化, 其中比较成功的是采用波形松弛法的并行算法; 另一个是采用基于算例的并行化。由于暂态分析问题本身的串行本质和非线性方程求解的迭代性, 算法并行化的加速比难以得到有效而稳定的提高, 且效率和鲁棒性较差。而算例并行化可以直接利用现有的暂态稳定分析技术, 可以获得很高且稳定的加速比, 同时具有较高的效率和鲁棒性。

6 紧急控制的决策方案

一个不稳定的系统从故障发生到其到达稳定边界可能需要200~300ms, 因此紧急控制的全过程, 包括故障检测、故障识别、决策、紧急控制措施启动和奏效, 必须在非常短的时间内完成。换句话说, 在故障识别出之后仅有

50ms 的时间用于实施决策。

紧急控制决策系统是区域性紧急控制的核心,它根据电力系统的全局信息作出紧急控制决策。要求它应有 100% 决策准确率和满足要求的速度^[9]。

目前国内外广泛采用的方案是“离线预想计算,实时匹配”,控制装置实时地检测当前的运行工况和故障,然后从由工况和故障组成的二维表中查找控制措施并执行。其决策表是离线预先准备的。由于系统运行的工况是高维可变的,要考虑故障和工况的所有组合是不可能的。实际上往往将工况分档,只考虑典型工况。这样,实际运行时,可能会出现工况失配问题。当电力系统发生重大变化时,必须重新计算决策表,自适应能力很差,对处于发展变化的电力系统来说,这种重复计算的工作量可能是不可行的。

另一种具有可行性的方案是“在线预想计算,实时匹配”。该方案不是按预想工况,而是按实际工况来制作决策表,并假定工况在几分钟之内不会变化,避免了工况的失配问题,并能够自动适应系统的发展变化。该方案对决策分析软件的要求很高,要求其在尽可能短的时间内作出决定。由于直接法研究的突破(如 EEA C 在线暂态分析的成功应用),再同并行处理技术相结合,采用基于故障的并行处理方式,使该方案已成为可能。日本在这方面已取得一定的成功,由东芝为 CEPCO 开发的 TSC 系统^[10],采用故障扫描、并行处理技术,每 5min 刷新一次决策表,将控制措施送到控制装置,实现实时故障匹配和紧急控制。

再一种方案是“实时计算,实时控制”,这方面的研究有同步功角测量^[11]和在线实时建模^[12],它按实时采集的信息和检测的故障,实时判断系统的稳定性,如果不稳定则作出控制决策并执行,这一切都要在很短的时间内完成。这些方案在实用中有很大的困难,适合于大容量电源(象坑口电站)向负荷中心送电这样的准单机无穷大电源的系统结构,并且往往只能解决局部稳定问题,全局处理能力和自适应能

力不理想。该方案对算法的要求极高,即使采用最先进的计算机技术(如采用超大规模并行处理),在可预计的将来也是难以实现的。

7 结论

电力系统紧急控制是保证电力系统经济、可靠、安全运行的有效措施,是电力系统继电保护和电力系统稳定控制器的延伸,是电力系统安全控制的健全和完善,是检测、通讯、决策和控制的有机统一,是电力系统的高技术密集点。它的突破将会给电力系统带来巨大的经济效益。

紧急控制由分散的就地控制发展到集中分层的区域控制,由离线准备决策表走向在线修正决策表,这是电力系统发展的必然要求。“离线分析、实时匹配”已获得广泛的应用。但该方案不能够适应运行方式多变和系统不断发展的要求。“在线分析、实时匹配”是一可实现的方案。该方案是建立在暂态稳定分析算法的突破和计算机技术新成果的基础上。进一步加强暂态稳定分析理论的研究,提高在线数据的可靠性,保证在线决策的准确性、有效性和强壮性仍是攻关难题。

从离线预决策到在线预决策是一个很大的进步。而实时分析、实时决策、实时控制方案无论对算法还是对计算机技术、测量技术、通讯技术、及其他相关技术都提出了极高的要求。现在还很难预测其成功的可能性。

参考文献

- 1 Dyliacono T E. Security function in power system control system - the state of the art in control center design. Proc of the 6th IFAC Symp. on Computer Applications in Large Scale Power Systems, New Delhi, 1979.
- 2 韩桢祥. 电力系统稳定. 中国电力出版社, 1995.
- 3 袁季修. 电力系统安全稳定控制. 中国电力出版社, 1996.
- 4 Xue Y. Transient stability controls The '97 Power System Management Seminar, Beijing China, 1997, 11.
- 5 Houben I, Wenhkel L, Pavella M. Hybrid adaptive

- nearest neighbor approaches to dynamic security assessment IFA C/CIGRE Symposium on Control of Power Systems and Power Plants, Beijing China, 1997, 8
- 6 Xue Y. Practically negative effects of emergency control. IFA C/CIGRE Symposium on control of Power Systems and Power Plants, Beijing China, 1997, 8
- 7 Xue Y, Luo Y, Xue F, Zhu W, Yang K and Jiang J. On-line transient stability assessment in operation - DEEA C in north-east China power system. IEEE Region 10 Conference on Computer, Communication, Control and Power Engineering, Beijing, 1993, 10
- 8 Cheung K W. Computation of generation rejection in on-line dynamic security assessment using a new method. IFA C/CIGRE Symposium on Control of Power Systems and Power Plants, Beijing China, 1997, 8
- 9 陈定保. 电力系统在线稳定分析科研攻关目标. 96 全国能量管理系统及其在地区电网中的应用学术研讨会论文集, 1996.
- 10 Ota H, Kitayama Y, Ito H, Fukushima N, Omata K, Morita K, Kokai Y. Development of transient stability control system (TSC system) based on On-line stability calculation. IEEE Transactions on Power Systems, 1996, 11(3).
- 11 Rovnyak S, Liu C W, Jin L, Ma W ein in, Janes Thop. Predicting future behavior of transient events rapidly enough to evaluate remedial control options in real-time IEEE Transactions on Power Systems, 1995, 10(3).
- 12 Kojima Y, Taoka H, Oshida H and Goda T. On-line modeling for emergency control systems IFA C/CIGRE Symposium on Control of Power Systems and Power Plants, Beijing China, 1997, 8

POWER SYSTEM EMERGENCY CONTROL

Fan Wentao, Xue Yusheng (Nanjing Automation Research Institute, 210003, Nanjing, China)

Abstract The element-oriented protection relays and local information based control devices cannot ensure power system stability. A adaptable emergency control system considering the whole system is urgently needed. In this paper, such emergency control systems, the relative computer technology, and the decision making schemes are discussed.

Keywords emergency control transient stability analysis control decision making parallel processing

中国电器工业协会继电器及其装置分会 召开三届二次理事会会议

中国电器工业协会继电器及其装置分会于1998年2月24日到26日在河南省许昌市召开了三届二次理事会会议。常务副理事长许继集团有限公司董事长兼总经理王纪年同志、理事长单位阿城继电器集团公司党委书记副董事长王国富同志和副理事长单位上海继电器有限公司副总经理叶滨同志分别主持会议。

会议审查了1997年分会工作总结及分会经费决算和预算, 讨论审查了4个文件及1998年分会工作安排, 提出了修改补充意见。会议期间分会秘书处汇报了今年元月5日至8日中国电器工业协会在北

京召开的分会秘书长会议精神, 介绍了继电器及其装置行业产品采用国际标准的安排和要求。与会代表还讨论了共同关心的几件事, 会议要求分会秘书处积极做一些工作, 发挥行业协会的作用, 维护会员单位利益。

会议审查通过了《继电器及其装置行业控制屏和继电保护屏计价方法》, 会议决定成立分会下属“继电器及其装置质量工作委员会”和“继电器及其装置产品价格工作委员会”, 分别组织开展相关活动。