

关于提高电网在线安全稳定预警准确性措施的探讨

谢大为¹, 刘玉娟², 李碧君³

(1. 安徽电力调度通信中心, 安徽 合肥 230022; 2. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044;
3. 国网电力科学研究院, 江苏 南京 210003)

摘要: 介绍了电网在线安全稳定预警的技术现状, 指出预警准确性方面存在的隐患, 包括潮流仿真不准、预想故障设置不全、站内故障难以仿真、继电保护和自动装置状态识别困难、难以校验在线计算参数准确性等问题。分析了可能影响预警结果准确性的因素, 提出了提高电网在线安全稳定预警准确性的总体思路, 具体描述了相关措施的目标、实现方法及应用情况。
关键词: 电网; 在线; 安全; 稳定; 预警; 准确性

Discussion of enhancing accuracy for power grid dynamic security pre-warning system

XIE Da-wei¹, LIU Yu-juan², LI Bi-jun³

(1. Anhui Electric Power Dispatching and Communication Center, Hefei 230022, China;
2. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;
3. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: The technical status of power grid dynamic security and stability pre-warning system is introduced. The problems of pre-warning accuracy is analyzed, including that power flow simulation is not accurate, expected fault set is incomplete, fault in substations is difficult to simulate, the state of protective relay and safety automatic device are difficult to identify, and the accuracy of online calculation parameters is difficult to verify. The factors possibly affecting the pre-warning accuracy are analyzed. The general idea of improving pre-warning accuracy is proposed, and the relevant objectives, implementation methods and applications are described specifically.

Key words: power grid; on-line; security; stability; pre-warning; accuracy

中图分类号: TM712 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)23-0234-04

0 引言

由于电力系统的复杂特性, 在动态过程(图1)中进行实时控制难度较大, 一旦发生动态失稳将导致电力系统崩溃, 发生大面积停电事故^[1-6]。而电网在线安全预警的目标就是根据实际运行的电网, 针对预想故障, 在线仿真电网的动态过程, 从而实现电网安全稳定的在线预防控制^[7-9]。以往采取的离线计算电网预防控制方法, 当实际电网运行工况与离线计算的工况偏离较大时, 将导致预防控制措施冒进或保守, 给电网造成安全隐患或经济损失。在线安全预警技术克服了离线计算的不足, 提高了稳定预控分析的真实性和快速性。目前电网在线安全预警系统已经进入建设阶段^[10-11], 在部分网省调已经投入运行, 目前国内已建或在建的系统实现了预警、

辅助决策等基本功能, 但在实用过程中也遇到了新的技术难题, 若不解决, 将影响在线安全预警的准确性、可信度以及今后的实用化进程。下面就提高电网在线安全预警准确性的措施进行深入探讨。

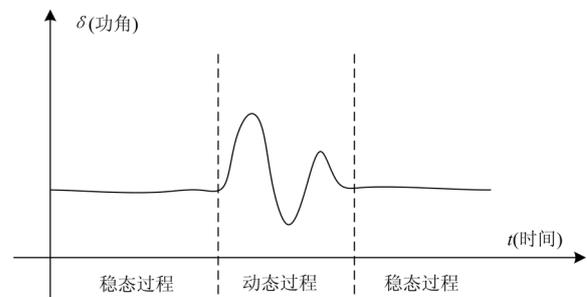


图1 电网动态过程

Fig.1 Power grid dynamic process

1 技术现状及存在问题

1.1 潮流仿真不准

在线预警系统将实时数据与设备参数整合成潮流、稳定计算文件, 利用该文件仿真基态潮流, 在潮流结果的基础上进行预想故障下的仿真与稳定分析计算。若仿真的基态潮流与电网实际潮流有较大偏差, 在此基础上的所有计算也就失去了意义。而现有手段很难发现此类错误, 可能导致预警结果显示没有稳定问题, 但实际上系统已存在安全隐患; 或预警结果显示有稳定问题, 而系统非常安全。

1.2 预想故障设置不全

在线预警通过对电网元件 $N-1$ 或同杆多回线路等预想故障进行仿真与预警, 预想故障集是否全面将直接影响预警结果的可信度。考虑到仿真全部故障将大幅降低计算速度, 目前通常根据经验, 固定选取部分认为严重的预想故障进行计算。当电网运行方式变化较大时, 原先认为不严重的故障, 将可能成为新的制约故障, 而故障集又无法及时更新, 导致电网预想故障仿真时遗漏最严重故障, 从而造成在线预警结果失真。

1.3 无法对站内故障准确仿真

考虑到网络拓扑建模的复杂程度以及开关、刀闸信息的准确度, 目前通常将站内设备作为一个拓扑节点建模, 导致难以分析站内设备操作后电网拓扑的变化。因此, 在线预警的预想故障, 主要考虑线路、变压器和机组故障, 难以考虑站内母线、开关和刀闸等设备的故障。更难以准确仿真站内元件故障引起的相关元件跳闸情况, 使得在线预警结果失真。

1.4 难以识别继电保护和安全自动装置状态

由于继电保护和安全自动装置的出口压板, 不允许接入信号采集回路。目前通常默认继电保护和安全自动装置为投入状态。无论装置是否投运, 在线预警都只能把动作策略和定值考虑进去计算。导致无法正确仿真故障后保护和安全自动装置动作行为, 使得在线预警结果失真。

1.5 难以校验在线计算参数正确性

在线预警使用的电网稳定计算文件包括实时数据与设备参数两部分, 实时数据从现场直接采集, 设备参数设定在商用数据库中。通常不对设备参数进行在线辨识。如果设备参数错误, 将使得在线故障仿真的结果产生偏差, 使得在线预警结果失真。

2 总体思路

上述问题严重影响着在线安全稳定预警结果的

准确性, 而提高电网在线安全稳定预警准确性的关键, 是将故障下电网动态变化过程模拟得更加真实。因此, 需采取相关措施确保预想故障的全面性、在线稳定计算数据的正确性、电网潮流仿真的准确性和电网故障后各元件动作行为的真实性。

3 相关措施

3.1 对仿真潮流进行准确性自动评估

3.1.1 目标

通过对仿真潮流进行准确性自动评估, 发现并减少仿真潮流与真实潮流之间的偏差, 使得在此基础之上的稳定计算及故障仿真结果更加真实, 在线预警结果更加可信。

3.1.2 实现方法

在线预警系统将实时数据与设备参数整合成潮流计算文件后, 首先利用该文件仿真基态潮流, 而后对仿真的基态潮流与真实潮流之间的误差进行自动比较, 并以棒图、曲线、图形等多种形式实时显示潮流仿真误差。

3.1.3 应用情况

在线预警系统以棒图形式实时显示最大的潮流误差率, 便于准确了解目前预警的基础数据是否准确; 以曲线形式显示全天的误差率和每一时刻误差最大元件的名称, 便于对全天的潮流仿真情况进行总结与分析; 将仿真后的潮流值与真实潮流值在同一电网潮流图内切换, 可以方便地判断所关心元件的潮流仿真是否准确。通过以上措施在预警系统中的应用, 可及时、准确发现潮流仿真偏差, 提高了潮流仿真精度, 确保了在此基础上稳定分析计算结果的准确性。

3.2 自动筛选预想故障

3.2.1 目标

通过自动筛选预想故障技术, 确保在线预警不遗漏严重预想故障, 并确保故障仿真的速度。

3.2.2 实现方法

选取《电力系统安全稳定导则》^[12]要求考虑的所有故障形式, 作为初始预想故障集进行首次仿真计算, 之后将故障按稳定裕度排序, 下一轮可扫描稳定裕度较小的故障, 以减少不必要的重复计算。

系统通过拓扑变化自动识别电网运行方式的改变, 若出现机组、输变电设备投停等方式变化, 将重新对初始预想故障集进行全面仿真。这样可以避免因为电网运行方式变化, 预想故障集中遗漏新的制约故障。

若电网长期保持相同运行方式, 虽然网络拓扑始终不变, 但电网的潮流分布变化难以忽略, 仅采

取以上方法, 将导致预想故障始终固定不变, 同样会存在预想故障集中遗漏制约故障的可能。为此, 将稳定裕度较大而扫描不到的故障, 自动递减其稳定裕度, 经过一段时间便能重新进入预想故障集。因此, 即便电网长期保持相同方式运行, 也会随着潮流分布变化, 自动刷新故障集, 确保搜寻到新的制约故障。

3.2.3 应用情况

采用自动筛选预想故障的技术, 使得预想故障集由原先固定选取少数故障扩展为全网所有元件故障。而每次故障集扫描时间比原先固定选取少数故障所用的时间减少。因此, 能够在提高预想故障仿真速度的同时, 准确地寻找到最严重的电网故障。

3.3 细化站内拓扑

3.3.1 目标

通过细化站内拓扑的方法, 实现在线预警过程中的站内设备故障的准确仿真。

3.3.2 实现方法

系统将变电站内所有刀闸、开关建立拓扑节点, 并基于准确的开关、刀闸信息, 实时反映变电站内拓扑变化, 得到最新的站内接线方式, 自动调整站内设备故障后所切除的元件, 进行母线、母联开关等站内设备故障的仿真, 并计算故障后的站内设备的潮流。

3.3.3 应用情况

采用细化站内拓扑的方法在线预警可以准确仿真站内设备的故障行为。当站内设备倒母线操作后, 系统可以根据刀闸、开关的状态, 准确识别母线上所连接的设备变化情况, 仿真母线故障时将自动调整站内设备故障后所切除的元件。即便是 3/2 开关操作后, 系统也能自动识别母线拓扑变化, 准确仿真设备出串等较为复杂的故障行为。

3.4 自动识别继电保护和安全自动装置状态

3.4.1 目标

通过自动识别继电保护和安全自动装置投停状态, 相应更改预想故障后继电保护和安全自动装置的动作行为, 从而实现电网二次设备动作时间、动作逻辑的准确仿真。

3.4.2 实现方法

正常情况下, 继电保护和安全自动装置的投停状态及起止时间需要经过检修工作票系统批复, 预警系统从检修工作票系统中自动检索关于继电保护和安全自动装置投停的工作票, 如果检索到相关工作票, 将自动获取继电保护和安全自动装置的投停状态及起止时间, 并在该时段的预想故障仿真过程中, 相应调整装置的动作时间、动作逻辑并进行安

全稳定计算。

3.4.3 应用情况

例如当停用母线差动保护后, 预想母线故障仿真将自动调整故障后所跳开的元件以及动作时间。当停用安全自动装置后系统将预想故障仿真中装置动作行为自动删除。因此, 采用自动识别继电保护和安全自动装置状态的方法, 可以准确仿真在线预警过程中的预想故障发生后的装置的动作行为, 提高在线预警的真实性。

3.5 在线辨识电网设备参数

3.5.1 目标

通过在线辨识发电机、励磁、输变电设备、负荷等电网设备的模型参数。发现在线预警使用的电网潮流、稳定计算数据中不准确的设备参数, 从而确保仿真与预警结果的准确性。

3.5.2 实现方法

通过 PMU 的实测发电机功角、机端电压、机端电流等实测电气量, 自动计算发电机定子电抗等发电机主要参数。

发电机励磁试验期间, 通过 PMU 实测的励磁电压、励磁电流等电气量, 根据阶跃曲线、励磁模型, 辨识励磁系统各主要环节的参数。

通过 RTU 实测的电气元件两侧的电流、电压等电气量, 自动计算线路、变压器等输变电气设备的阻抗等静态参数。

通过 PMU 捕捉电网扰动期间, 负荷母线的有功、无功、电压的变化情况, 进行负荷模型参数的辨识。

3.5.3 应用情况

通过以上方法, 若发现在线辨识的设备参数与在线预警使用的电网稳定计算数据中的设备参数相差较大, 将向系统维护人员发出告警, 对偏差进行分析后, 及时剔除错误参数, 确保了计算数据中模型参数的准确性。

4 结语

本文介绍的自动评估仿真潮流准确性、自动筛选预想故障、细化站内拓扑、自动识别继电保护和安全自动装置状态、在线辨识电网设备参数等措施, 为进一步提高电网预想故障模拟的真实性, 增强电网在线安全稳定预警系统的可信度提供借鉴。当然, 很多其他因素也会影响到预警准确性, 因此, 提高预警系统计算准确性是一项长期和复杂的工作, 相信通过不断地努力, 故障下电网动态变化过程模拟得将更加真实、可信, 使得预警系统对电网安全稳定控制发挥更大作用。

参考文献

- [1] US-Canada Power System Outage Task Force. Final report on the August 14, 2003 blackout in the United States and Canada: causes and recommendations[R/OL]. <https://reports.energy.gov/>, 2004.
- [2] 胡学浩. 美加联合电网大停电事故的反思和启示[J]. 电网技术, 2003, 27(9): 2-6.
HU Xue-hao. Rethinking and enlightenment of large scope blackout in interconnected north America power grid[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 2-6.
- [3] 周孝信, 郑健超, 沈国荣, 等. 从美加东北电网大面积停电事故中汲取教训[J]. 电网技术, 2003, 27(9): T1.
ZHOU Xiao-xin, ZHENG Jian-chao, SHEN Guo-rong, et al. The lesson from the large scope blackout in north American-Canada power grid[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): T1.
- [4] 何大愚. 一年以后对美加“8.14”大停电事故的反思[J]. 电网技术, 2004, 28(21): 1-5.
HE Da-yu. Rethinking over “8.14” US-Canada blackout after one year[J]. Power System Technology, 2004, 28(21): 1-5.
- [5] U. S-Canada Power System Outage Task Force. Causes of the August 14th blackout in the United States and Canada[R]. 2003.
- [6] 唐葆生. 伦敦南部地区大停电及教训[J]. 电网技术, 2003, 27(11): 1-5.
TANG Bao-sheng. Blackout in south of London and its lesson[J]. Power System Technology, 2003, 27(11): 1-5.
- [7] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架: (一)从孤立防线到综合防御[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(1): 8-16.
XUE Yu-sheng. Space-time cooperative framework for depending blackouts: part I: from isolated defense lines to coordinated defending[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(1): 8-16.
- [8] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架: (二)广域信息、在线量化分析和自适应优化控制[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(2): 1-10.
XUE Yu-sheng. Space-time cooperative framework for depending blackouts: part II reliable information, quantitative analysis and adaptive controls[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(2): 1-10.
- [9] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架: (三)各道防线内部的优化和不同防线之间的协调[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(3): 1-10.
XUE Yu-sheng. Space-time cooperative framework for depending blackouts: part III self-optimization of all defense lines and coordination of different defense lines[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(3): 1-10.
- [10] 王红印, 张明亮, 孙素琴, 等. 大电网安全可靠运行4级梯度预警预控方法[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(19): 20-24.
WANG Hong-yin, ZHANG Ming-liang, SUN Su-qin, et al. A four-grade forewarning and preventive control method for secure and reliable operation of large scale power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(19): 20-24.
- [11] 曹路. 华东电网WAMAP系统的应用实践[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(21): 97-101.
CAO Lu. Application of wide area monitoring analysis protection and control system in East China Power Grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(21): 97-101.
- [12] DL 75-2001 电力系统安全稳定导则[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
DL 75-2001 guide on security and stability for power system[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.

收稿日期: 2009-11-12; 修回日期: 2010-01-25

作者简介:

谢大为(1978-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事电力系统分析与控制方面的工作; E-mail: dwxie@163.com

刘玉娟(1979-), 女, 讲师, 硕士, 主要研究方向为电力系统分析与控制;

李碧君(1966-), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为电力系统安全稳定分析与控制。

(上接第 233 页 continued from page 233)

- [2] 何玉锐, 许自纲, 赵军, 等. 基于不平衡与平衡电桥结合的直流绝缘监察技术[J]. 电力科学与工程, 2007, 23(3): 30-32.
HE Yu-rui, XU Zi-gang, ZHAO Jun, et al. DC system insulation monitoring technology based on unbalance and balance bridge[J]. Electric Power Science and Engineering, 2007, 23(3): 30-32.
- [3] 魏伟明, 魏秉国. 直流系统负极一点接地致开关跳闸原因分析[J]. 继电器, 2008, 36(9): 76-79.
WEI Wei-ming, WEI Bing-guo. Causes analysis about

one point earthing leading to breaker tripping in DC system[J]. Relay, 2008, 36(9): 76-79.

- [4] Chaari O, Meunier M, Brouaye F. Wavelet: a new tool for the resonant grounded power distribution systems [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1996, 11(3): 1301-1308.

收稿日期: 2009-12-04; 修回日期: 2009-12-28

作者简介:

李秉宇(1981-), 男, 助理工程师, 硕士, 主要从事电力系统励磁及直流专业工作。E-mail: bingyu5752@163.com