

地区电网广域备自投控制系统研制

余 涛¹,胡细兵¹,黄 炜²,胡海峰²,马秉伟²

(1. 华南理工大学 电力学院,广东 广州 510640;

2. 广东电网公司 肇庆供电局,广东 肇庆 526040)

摘要: 针对现行的常规备自投控制策略的不足,开发了基于 EMS 中高级应用软件系统的广域备自投控制决策方法,对全网所有变电站备自投的负荷联切定值进行实时整定计算。新研制的厂站端备自投装置接收来自远方主站端调度中心的控制定值,根据动作条件和控制定值自动切除相应的负荷馈线,并且通过软/硬压板灵活实现新型的“远方”和传统的“就地”备自投功能。经过严格现场测试和长时间的试运行,结果表明该新型广域备自投控制系统充分考虑了整个电网的安全稳定性约束,有效地提高了地区电网运行的安全性和供电可靠性。

关键词: 备自投; 广域控制; EMS; 变电站

中图分类号: TM 77; TM 747

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2011)03-0121-05

0 引言

变电站备自投装置属于二次设备,是在大电网解开高低压电磁合环后的一种衍生产物,对弥补因电网解环后的供电可靠性下降具有重要作用^[1-3]。

近年来,传统的基于继电器组成的备自投装置已被微机备自投逐步替代,在防止备自投拒动和误动方面的性能有了很大提高^[4],但传统基于本地变电站电气信号的备自投装置已经无法满足日益复杂的电网全局安全性的要求,主要有以下 3 个方面。

a. 现有备自投装置无法考虑备自投动作对整个电网安全性的影响。目前备自投策略容易导致备用电源侧过负荷跳闸等一系列安全问题^[5]。针对这一问题,比较简单的方法是对备自投所转移的负荷进行一定限制^[6]或采用类似稳控策略进行分级联切^[7]。文献^[8]提出了一种基于 $N-1$ 准则的备自投投退控制策略。

b. 现有备自投策略无法实现与安全控制装置协调动作^[9-11]。

c. 现有备自投系统易受地方小电源的影响。

智能电网将以充分的广域测量信息来实施广域

控制^[12-13],本文所研制的新的基于“广域信息”的广域备自投控制系统,可有效综合以上所提及各类备自投控制策略的优点^[6-8,10],较为彻底地解决了备自投存在的问题。

1 广域备自投控制系统的结构

本文所研制的地区电网广域备自投控制系统,是由备用电源自动投切计算机信息和控制平台(主站端)以及多个底层的备自投装置(厂站端)构成,主站端与各厂站端之间通过电力系统专用通信网络,在 IEC60870-5-101 规约上改造的广域备自投通信规约实现远方控制和远方通信,构成一个高、低层结构的电力系统分层分布式广域控制系统。示意图如图 1 所示。

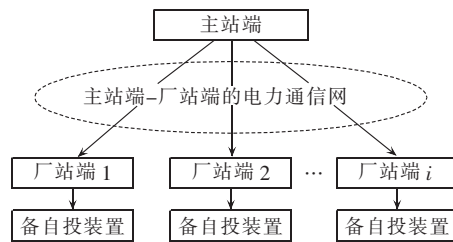


图 1 广域备自投控制系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of wide-area automatic bus transfer control system

其中,主站端外接有人机交互界面,厂站端(各变电站)设有主控单元和底层的备自投装置。为了与安全控制装置协调配合,需增设备自投装置远方、就地切换硬压板,实现备自投装置的远方、就地切换。压板投入表示备自投装置采用远方功能,退出表示备自投装置采用就地功能。当采用就地功能时,备自投装置不接收主控站命令,也即是恢复现有

收稿日期: 2010-07-11;修回日期:2010-12-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50807016);广东省自然科学基金资助项目(9151064101000049);中央高校基本科研业务费专项资金资助(2009ZM0251);广东电网公司科技项目资助(JA2609001)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(50807016),the Natural Science Foundation of Guangdong Province(9151064101000049),the Special Funds of Basic Scientific Research Expenses of Central Universities(2009ZM0251) and the Science and Technology Project of Guangdong Power Grid Corporation(JA2609001)

的常规备自投控制策略。

广域备自投控制系统中的主站端包括数据采集单元、数据处理单元及数据发送单元;厂站端包括接收单元、检测单元、处理执行单元。

2 广域备自投控制决策方法和控制流程

2.1 广域备自投的控制决策方法

常规备自投控制策略中,备自投的动作存在一定的延时时间,该延时是为了躲开故障的切除时限和自动重合闸等装置的动作时间。随着电力系统光纤通道应用技术的完善,其可靠的传输特性、高速的传输速率已经成为现代电力系统广域控制策略实现的有力保证。与常规的备自投控制策略不同,本文所提出的广域备自投控制策略方法充分利用备自投装置动作的这段延时时间,通过快速的通信系统达到广域控制的效果。

对于是否是安稳切负荷还是故障切负荷,本节所提出的广域备自投的控制决策方法中,通过在变电站侧(厂站端)增加对本地电气信号的检测,将检测到的数据通过数字信号的模式传输到主站端,由主站端快速辨识安稳动作和故障切除这 2 类情况。如果是安稳动作,主站端发出闭锁备自投装置的信号;如果是故障切负荷,利用备自投装置动作的延时性,主站端进行下一步的分析。

而针对地方小电源(特别是小水电)对备自投控制策略的影响,大量的现实运行经验表明,地方小电源所带来的备自投拒动和误动严重影响了地区电网的安全性。通过大量仿真试验,当小水电出力较大时(装机容量大,处在丰水期),由于小水电的支撑作用,使得母线电压高于备自投装置的整定值,备自投装置拒动。综合考虑母线电压、小水电转速等因素,可以适当地修改备自投装置的整定值,提高备自投装置的电压整定值为 0.8 p.u. ,减少备自投装置的延时(可至 3 s),通过这 2 种手段克服备自投装置的拒动问题。

仿真结果表明,当小水电出力较大时,带小水电投切备自投装置,联络线上的电流增幅较大且随着小水电出力的增加而增大,使得联络线的保护动作,单纯地修改联络线上的保护定值已经不能满足要求。而且如果此时备用侧负荷水平较低,也会引起备用侧线路过载,使得备用侧线路的保护动作。对此,在当前的技术条件下,工程上最简洁有效的方法是先切除地方小电源再投入备自投装置,待恢复正常运行方式后,恢复地方小电源。

备自投已成为配电网静态安全分析中必须考虑的因素^[14],在正常运行方式下,假设地区电网中任一元件(变压器、母线、线路)由于某种故障而断开,其所带负荷失电,导致相关的备自投动作,负荷转移后,电网过渡到另一种状态。如果该状态下电网能

保持稳定运行,其他元件不过载,则说明这些假设动作所对应的备自投可以投入,否则应该开发新的决策方法,在保证电源安全运行的基础上最大限度地减少负荷损失。

本文所提出的这种地区电网广域备自投控制系统静态安全分析中只是把备自投动作作为实际电网故障的一种自动响应,其目的是根据一定的过载和越限情况给出可供选择的系统调整策略。综合考虑备自投装置的投运对地区电网静态安稳性的影响,提出了相应的安全校验算法,形成广域备自投控制决策方法,为在线实时控制决策提供支持。

主站端采用基于广域备自投实时安全校验算法的广域备自投控制决策方法,进行在线实时控制决策,具体步骤如图 2 所示。

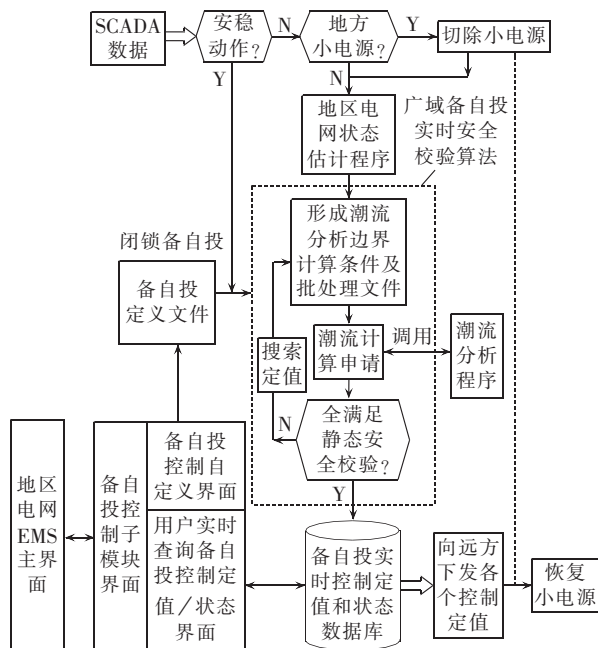


图 2 广域备自投控制系统实时控制决策示意图

Fig.2 Real-time control and decision-making strategy of wide-area automatic bus transfer control system

a. 通过对本地电气信号处理,辨识主电源失电原因,是安稳动作还是故障切除,若是安稳动作切除负荷,则闭锁备自投;若是故障导致的负荷切除,进行以下步骤操作。

b. 判断厂站端是否存在大量地方小电源上网,若有,先切除小电源,在备自投动作完成,电网达到稳定运行后,再恢复地方小电源上网。

c. 根据获得的电力系统实时网络拓扑结构和参数,形成目标电力系统的原始节点导纳矩阵或节点阻抗矩阵。

d. 根据各个节点的负荷值和发电出力,获得潮流计算初始边界条件。

e. 根据线路故障,相关备自投装置动作,从该备自投定义文件读取的投切方式开断/投入指定开关,对节点导纳矩阵进行修改,形成分析用的新节点

导纳矩阵,即形成“ $N-1+1$ ”分析策略。

f. 根据边界条件和新节点导纳矩阵,调用快速潮流分析算法。

g. 进行全网安全校验分析,若不符合电网静态安全稳定条件,则根据实用快速搜索算法,减少该备自投所在变电站母线的负荷值(备投负荷值),若电网存在暂态稳定输送断面约束,则应不超过所设定的暂态稳定断面。

h. 返回步骤 **g**,直至安全校验合格,保存合格的可转移负荷值为该备自投的可转移负荷允许定值,根据负荷馈线优先级,将步骤 **h** 中的可转移负荷值转换成该变电站最终的负荷馈线联动列表。

i. 重复步骤 **f~h**,依次扫描地区电网内所有备自投装置,直至得出当前所有安装有备自投装置的变电站可转移负荷,形成最终负荷馈线联动列表。

本文研发的广域备自投控制系统中采用实用快速搜索算法来搜索所需联切的部分馈线负荷,使电网满足静态安全稳定条件,所谓的实用快速搜索算法也即“ ΔS 切除法”,“ ΔS 切除法”是指进行安全校验分析,若校验不合格,则按原负荷的 ΔS 来减少该备自投所在变电站母线的负荷值(可转移负荷值),一般取 ΔS 为 10%,称为“10% 递减法”。

所提出的“10% 递减法”搜索方法,实际上是从工业误差和备自投延时时限这 2 种角度综合约束下的一种简单搜索方法。因为控制允许定值的搜索过程并不是一种严格寻优过程,而是一种相对宽松的满足安全校验不等式的搜索过程,但为了在最小的计算误差和最少的安全校验次数之间(时间)寻找一种平衡,采用了所谓的“10%”进行搜索:

a. 令 k 时刻 i 号备自投控制允许初始定值为该节点负荷值,即 $S_i[t_k] = S_{i0}[t_k]$,进行首次安全校验;

b. 若初始定值不满足安全校验,则按 10% 递减得到 $S_i[t_k] = 0.9S_{i0}[t_k]$,再次进行安全校验分析;

c. 若仍不合格,则重复第 **b** 步,再递减 10% 得到 $S_i[t_k] = 0.8S_{i0}[t_k]$,若合格则控制允许定值即为当前负荷值。

显然,“10% 递减法”可保证计算出的控制允许定值与最优值之间的误差小于 10%。“10% 递减法”中,由于各变电站所接的负荷所对应的用户各自的用途不一样,因此在现实的生产中,一般会根据负荷等级不同而将其划分成不同的负荷优先级。

根据地区电网的实际情况,一般可将变电站馈线所接负荷分成 10 级,其中第 1 级负荷最为重要,第 2 级次之,所以在“ ΔS 切除法”时优先从第 10 级开始,只有当第 10 级所有负荷均切除仍不满足安全稳定条件时才考虑第 9 级,依次类推。

2.2 广域备自投的控制流程

根据上面广域备自投系统的结构和控制决策方法的分析,所研发的广域备自投控制系统中最核心的组成是位于主站端的数据处理单元,它根据数

据库中变电站负荷的重要性程度以及不断实时更新的电力系统广域状态信息、开关信息,采用广域备自投实时安全校验算法,首先校验在当前的电网广域信息时,备自投装置动作是否满足电网的安全稳定条件,如果不满足安稳条件,而且在短时期内不能改进电网硬件设施的情况下,为了避免闭锁相关备自投而导致损失全部转移负荷,采取联切部分备投转移负荷的手段来使当前的备自投装置动作过程满足安全稳定条件,给出当前所有安装有备自投装置的变电站负荷馈线联切列表。

地区电网广域备自投控制系统结构(主站端和厂站端)的具体功能和具体控制流程如图 3 所示。

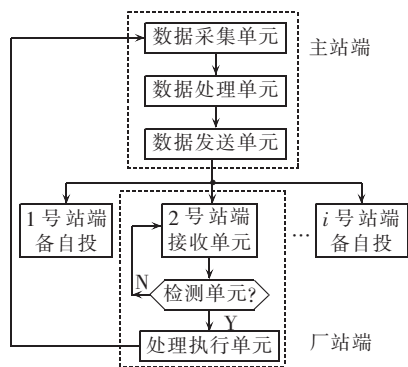


图3 广域备自投控制流程图

Fig.3 Flowchart of wide-area automatic bus transfer control system

a. 主站端数据采集单元采集电力系统的广域状态信息和开关信息,获得电力系统的实时状态信息和拓扑结构,采用的方法是目前电力系统调度系统中使用的数据采集系统和状态估计分析程序。

b. 主站端数据处理单元根据电力系统广域状态和开关信息以及数据库中变电站负荷的重要性程度,采用广域备自投控制决策方法进行在线实时控制决策,给出当前所有安装有备自投的变电站负荷馈线开关动作列表。

c. 数据发送单元通过经改造后的“调度端(主站端)到变电站(厂站端)的通信规约(101 规约)”定时向厂站端的备自投装置下发当时的负荷馈线联切列表。

d. 厂站端接收单元通过电力系统专用通信网络接收并存储由主站端发过来的本站备自投装置当前的负荷馈线开关动作列表。

e. 厂站端检测单元在线检测本站备自投装置是否满足常规动作条件。

f. 厂站端处理执行单元在接收到检测单元发出的本站备自投装置满足常规动作条件的情况下,先合上本站备自投装置电源侧的线路开关,再按照备自投装置当前的远方控制指令,切除掉负荷馈线开关动作列表中要求切除的负荷馈线,其间装置对被切负荷线路发延时跳闸命令(避开自动重合闸时限),并向主站端发出“已动作”的信息。

3 广域备自投控制系统的开发和测试

3.1 控制系统调度端界面开发

根据上面广域备自投控制系统的硬件部分和软件部分的详述,本文所提出的备自投广域控制系统,对地区电网 EMS 系统的改造主要有 2 个模块,如图 2 中所示:

- a. 广域备自投实时安全校验算法的实现;
- b. 备自投控制子模块的主界面及子界面。

其中,可以在地区电网的 EMS 中自定义一个“备自投定义文件”,将广域备自投实时安全校验算法嵌套进去,而备自投控制子模块的主界面及子界面包含用户自定义界面和备自投控制定值/状态查询界面。

从方便使用的角度看,用户自定义界面最好完全嵌入至地调的 EMS 的自动化系统,同时需要满足以下 2 点要求。

- a. 建立各个变电站备自投控制设备与主电源开关和备用电源开关的关联关系。
- b. 可以方便用户对增加或减少备自投装置进行自定义。

备自投控制定值/状态查询的查询界面满足以下 2 点要求。

- a. 能查询各个备自投当前的状态。
- b. 能查询各个备自投当前控制定值(向备用电源侧可转移的负荷值)及实时控制策略(可切除的负荷馈线联切列表)。

3.2 控制系统厂站端备自投装置开发

笔者与南京某电力自动化公司合作,成功开发出适合广域备自投控制策略的新型厂站端备自投装置。该装置除了具备传统就地备自投的功能,同时具备了远方控制功能,能有效接收、存贮和执行/闭锁来自调度端的备自投负荷联切指令。该装置的具体结构将另择文阐述。

3.3 控制系统的现场测试

在广东电网公司粤西某局和有关部门的配合下,对本文中所研发的该地区电网广域备自投控制系统进行了一系列的现场测试试验,主要测试内容包括主站端控制系统的分析计算结果和生成的控制策略表的正确性,主站端下发策略和执行端备自投装置接收控制命令的正确性,备自投装置的动作逻辑、备自投装置远方投退功能以及有关压板功能。

具体的测试实验简述如下,测试过程分成 5 个阶段:第 1 阶段辨识主电源失电的原因;第 2 阶段分别试验带小电源投入备自投装置和先切除小电源再投入备自投装置这 2 种模式对地区电网的影响;第 3 阶段设定备自投装置动作后不存在电网运行风险情况,即满足安全稳定条件情况;第 4 阶段设定备自投装置动作后仅需联切一条 10 kV 线路的情况;

第 5 阶段设定为备自投装置动作后需联切 2 条 10 kV 线路开关的情况。

所有的测试结果都达到了理想的预期效果,测试结果表明本文所提出的新型地区电网广域备自投控制系统能达到根据全部电力系统状态信息实现广域控制的效果,且动作过程可靠。

4 结语

本文所研制的地区电网广域备自投控制系统,能做到在控制备自投时实现与安稳系统的协调,有效排除地方小电源对备自投控制策略的干扰,可考虑到远方备用电源侧设备的安全性和地区电网的整体安全性,避免电网事故蔓延,不会造成误动和拒动事故,而且克服了在不满足电网安全稳定条件下将备自投装置闭锁、退出运行的这种简单动作模式。通过研发的广域备自投控制决策方法进行实时在线控制,采取快速负荷投切算法,在满足静态安全稳定条件下,尽量转移最大的备投负荷以提高供电的可靠性和经济性,根据电网的实时状态形成最优广域控制策略。

据此,笔者对粤西某地区供电局的 EMS 和变电站做相应的改造,并在实际电网中进行现场测试实验,从实验结果和投运一年的运行经验可知,所提出的地区电网广域备自投控制系统其控制策略十分有效,能从根本上解决现有备自投策略的不足,极大提高了地区电网的供电可靠性,并向国家专利局成功申报了 2 项发明专利。

参考文献:

- [1] 王风华,黄海. 列西变 110 kV 系统备用电源自投方案研究[J]. 电力自动化设备,2000,20(6):53-55.
WANG Fenghua, HUANG Hai. Study on automatic switchover solution of Liexi substation's 110 kV system backup power[J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20(6):53-55.
- [2] 宋从矩,贺家李,梁统珍. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:电力工业出版社,1980:44-52.
- [3] 商国才. 电力系统自动化[M]. 天津:天津大学出版社,1999:278-282.
- [4] 王西平. 一种设置灵活可靠的微机备自投装置[J]. 电力自动化设备,2000,20(1):18-20.
WANG Xiping. A flexible and reliable microprocessor-based alternate power auto-cast device[J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20(1):18-20.
- [5] 唐海军,杨承卫,姚翔,等. 电网备用电源自动投入的实践与思考[J]. 电力自动化设备,2005,25(8):99-101.
TANG Haijun, YANG Chengwei, YAO Xiang, et al. Practice and thought of automatic bus transfer in power network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(8):99-101.
- [6] 范寿忠. 备自投过负荷联切功能的实现[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(5):139-141.
FAN Shouzhong. Application of overload cutting of automatic standby power switch devices[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(5):139-141.
- [7] 李雪明,秦文韬,胥鸣,等. 基于稳控装置平台的电网双向备用电源自投功能的实现[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(14):77-81.
LI Xueming, QIN Wentao, XU Ming, et al. Realization of power

- grid double direction automatic backup power supply switching function based on stability control device platform[J]. Power Protection and Control, 2009, 37(14): 77-81.
- [8] 邱建, 蔡泽祥, 李爱民, 等. 基于 $N-1$ 准则的备自投退控制策略[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 66-71.
- QIU Jian, CAI Zexiang, LI Aimin, et al. Analysis on control strategy of busbar automatic transfer switch based on $N-1$ criterion[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 66-71.
- [9] 陈茂英. 110 kV 备用电源自动投入装置的应用[J]. 广东电力, 2007, 20(12): 55-59.
- CHEN Maoying. Analysis of related problems in application of 110 kV automatic stand by power switching devices[J]. Guangdong Electric Power, 2007, 20(12): 55-59.
- [10] 潘书燕, 吕良君, 周洪涛, 等. 一种适用于安全稳定控制系统的备用电源自投装置[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(2): 114-117.
- PAN Shuyan, LÜ Liangjun, ZHOU Hongtao, et al. Analysis of unanticipated action of automatic bus transfer equipment[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(2): 114-117.
- [11] 相成政, 陈晖, 李臻, 等. 适应安控系统的微机备用电源自动投入策略[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(4): 84-87.
- XIANG Xianzheng, CHEN Hui, LI Zhen, et al. Backup power operation strategies for power system safety and stability control[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(4): 84-87.
- [12] REHTANZ C, BERTSCH J. Wide area measurement and protection system for emergency voltage stability control[C]//2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. New York, USA: IEEE, 2002: 842-847.
- [13] MIROSLAV B, DAMIR N, MILE M. Trends in power system protection and control[J]. Decision Support System, 2001, 30(3): 269-278.
- [14] 陈勇, 姚玉斌, 夏翔, 等. 考虑备自投的地区电网静态安全分析与设计[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(19): 84-87.
- CHEN Yong, YAO Yubin, XIA Xiang, et al. Design and application bats for static security analysis considering district power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(19): 84-87.

(编辑: 汪仪珍)

作者简介:

余涛(1974-), 男, 云南昆明人, 副教授, 博士, 主要研究领域为复杂电力系统的非线性控制理论和仿真、智能控制算法等(E-mail: taoyul@scut.edu.cn);

胡细兵(1985-), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统稳定运行与控制。

Wide-area automatic bus transfer control system of regional power grid

YU Tao¹, HU Xibing¹, HUANG Wei², HU Haifeng², MA Bingwei²

(1. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Zhaoqing Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corporation, Zhaoqing 526040, China)

Abstract: Aiming at the deficiencies of conventional automatic bus transfer control strategy, the wide-area automatic bus transfer control system of regional power grid is developed based on the advanced application software of EMS. Its control and decision-making strategy calculates the real-time load shedding settings for all substation automatic bus transfer devices of power grid. The developed automatic bus transfer device receives the control settings from the master station in dispatch center and disconnects the relevant feeder automatically according to the action conditions and control settings. It realizes the "remote" or "local" automatic bus transfer functions flexibly by soft/hard platen. Field test and trial operation show that the wide-area automatic bus transfer control system considers the security and stability constraints of the whole power grid, efficiently improving the security and reliability of regional power network.

Key words: automatic bus transfer; wide area control; EMS; substation