

The Coordinated Defense of Power Stability Control System and Communication System

Wenjie Yu, Heqin Tong, Ming Ni, Yuecen Li

State Key Laboratory of Smart Grid Protection and Control, NARI Technology Co. Ltd., Nanjing Jiangsu

Email: tongheqin@sgepri.sgcc.com.cn, ni-ming@sgepri.sgcc.com.cn

Received: Feb. 5th, 2017; accepted: Feb. 25th, 2017; published: Feb. 28th, 2017

Abstract

Based on the requirement of information interaction for the coordination between power stability control system and communication security defense system, this paper brought forward two calculation methods for online strategy, considering the communication emergency control and the communication adjustment control. Then, the case of coordination between power emergency control and communication emergency control, and the case of coordination between power emergency control and communication adjustment control, were studied. Finally, the results of case study illustrated that it would reduce the control cost and increase the stability for the power grid by using the coordination between power stability control system and communication system.

Keywords

Power Stability Control, Communication Security, Power Emergency Control, Communication Adjustment Control, Coordinated Defense

电力稳定控制系统与通信系统的协调防御

余文杰, 童和钦, 倪明, 李悦岑

国网南瑞科技股份有限公司, 智能电网保护和运行控制国家重点实验室, 江苏 南京

Email: tongheqin@sgepri.sgcc.com.cn, ni-ming@sgepri.sgcc.com.cn

收稿日期: 2017年2月5日; 录用日期: 2017年2月25日; 发布日期: 2017年2月28日

摘要

本文从电力稳定控制系统和通信安全防御系统协调控制的信息交互需求出发, 针对仅考虑通信紧急控制和考虑通信校正控制两种情况, 提出了两种在线策略的计算方法, 并给出了电力系统紧急控制和通信系

统紧急控制与校正控制的协调控制算例, 仿真结果表明采用通信系统和电力稳定控制系统的协调控制可明显减少电网的控制成本, 并有效提高电网的稳定运行能力。

关键词

电力稳定控制, 通信安全, 电力紧急控制, 通信校正控制, 协调防御

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电力“三道防线”通过不同的控制手段尽量降低故障造成的损失, 通信三道防线[1]则是尽可能采用多种通信手段减少对电力系统的损失。由于电力三道防线一般会损失部分负荷, 其控制代价较大; 通信三道防线主要利用通信系统中已有的资源对破坏的通道进行修复或重组, 相对电力损失而言控制代价较小。但是当通信系统遭受极端自然灾害或恶意攻击[2] [3] [4]等突发事件导致电力通信中断或需要临时快速通信时, 则需要采用应急通信车或卫星通信等应急通信[5] [6] [7] [8]措施时, 则必须计及应急通信的控制代价。

传统电力系统三道防线的控制均假设通信是正常的, 当通信出现延时或中断时, 控制效果会大打折扣甚至完全失效[9] [10], 因此需要分析通信系统影响电力系统的机理, 找出两个系统之间的勾连关系, 然后对电力系统和通信系统进行综合分析, 最终寻优得到通信失效后的电力替代控制措施。

另外, 电力系统搜索考虑通信系统影响的控制措施时, 必须获取通信系统的实时状态(如电网的离线策略需要对通信规划提出链路的延时、误码和中断对应的需求, 而通信系统的预防控制通过业务路径规划与网络拓扑的优化, 提供与电力离线策略密切相关的链路参数), 因此电力系统和通信系统之间必须进行协调控制。

2. 电力稳定控制系统对通信系统的要求

电力通信网由于承载了继电保护、安全稳定控制等重要业务, 必须满足以下 3 方面的要求[11]: 1) 满足各种电力业务对可靠性的要求; 2) 正常情况下通信网络中的任意 2 个网络节点须保持至少 2 条独立的物理路由的连通; 3) 必须满足 N-1 原则, 尽量满足 N-2 原则, 即任意网络节点失效断开, 应能保持电力业务的稳定运行, 且不致使其它节点发生通信质量劣化和通道阻塞, 尽量保证在任意两个网络节点断开时, 不会影响其它节点的正常通信。

同时, 稳定控制装置的站间通信的强实时性, 不仅要求电力通信网必须具备快速的响应能力, 同时还需要具备高度的可靠性, 以保证数据传输的准确性。区域稳定控制系统采用 SDH 通信网络进行正常数据和控制命令的传递时, 系统的整组动作时间一般控制在 200 ms 左右(主要解决系统暂态功角稳定问题)。其中, 装置故障判断时间最长为 40 ms 左右(主要考虑到无故障跳闸延时确认的时间较长), 装置继电器动作时间一般在 10 ms 左右, 断路器跳开时间在 80~120 ms 左右, 而留给通信系统的延时只有 35 ms 左右, 考虑无故障跳闸仅需在一个厂站进行判断, 因此两站之间通信的时间最长也就仅 20 ms 左右。

3. 通信系统对电力系统稳定控制影响的研究趋势

国内外已有不少电力系统和通信系统的交互影响的研究。如文献[12]和[13]基于直流连锁故障模型和

电力系统与通信系统的节点对应关系，建立了电力系统和通信系统的交互作用模型，研究电力系统大停电连锁故障的机理；文献[14]用电力与通信同步仿真平台 EPOCH 研究站间秒级的通信延时对低频切负荷的影响；基于李雅普诺夫理论，文[15]建立了考虑通信异常的广域测量系统控制模型等。

然而，对通信系统与电力稳定控制系统的协调防御的研究，目前还较少，已有研究也主要集中在通信单个延时或固定延时对电力紧急控制的影响，还未见考虑整个通信系统对电力紧急控制影响的报道。由于通信系统中的多个通道通过交互电力系统的状态和控制信息影响电力系统，不但通道间的延时不同，不同通道间的交互影响对电力紧急控制的影响也不一样，因此计及通信系统风险的电力系统紧急控制风险评估，比单纯的考虑通信固定延时或单个延时要复杂得多，其计算出的风险值也更接近工程实际。

4. 电力稳定控制系统和通信安全防御系统协调控制的信息交互

电力系统三道防线和通信系统三道防线之间的协调控制策略，可以被实际应用在电力稳定控制系统和通信安全防御系统的协调控制中。而实现两系统间的协调控制，首先需要的就是两个系统之间相关控制、工况等信息的交互。

通信安全防御系统与电力稳定控制系统交互的信息主要包括通信安全防御系统将存在风险业务路径信息、电路的时延信息等内容实时传送给电力稳定控制系统，为电网控制系统进行最优决策提供参考依据，同时通信安全防御系统也接收电力稳定控制系统提供的可能影响通信管理或设备运行的外部环境信息和电网故障信息，为通信网故障预警分析和决策控制提供基础数据和技术手段，并接收电网需要传输具体业务的端到端建立业务路径的命令，以及其他电网三道防线与通信三道防线之间的协调控制辅助信息。

通信安全防御系统与电力稳定控制系统接口的信息交互按照通信故障发生的不同阶段可以分为预防控制阶段的信息交互，通信故障发生时的紧急控制阶段的信息交互，以及通信故障发生后的校正与恢复控制阶段的信息交互，信息交互框架结构如图 1 所示。

图 1 中通信安全防御系统预防控制阶段的信息交互主要包括电力稳定控制系统的离线策略对通信规划提出链路需求，以及链路中断延时和误码门限值，通信安全防御系统向电力稳定控制系统发送基于通信网络提供关键链路参数。电网控制系统的在线策略对通信当前状态提出链路需求，通信安全防御系统向电网控制系统反馈通信预防控制策略的效果。通信安全防御系统将通信时延和误码的异常变化的信息反馈给电力稳定控制系统。

在通信安全防御系统紧急控制子系统中拥有业务中断告警、故障诊断和影响范围、故障处理结果分析等功能。电力稳定控制系统的在线策略对通信一般故障提出紧急控制需求，通信安全防御系统向电网控制系统反馈通信紧急控制策略的效果。

在通信校正和恢复控制中拥有通信校正恢复策略制定的功能。电力稳定控制系统的在线策略对通信严重故障提出校正恢复控制需求(控制优先级和恢复时间)，通信安全防御系统向电力稳定控制系统反馈通信校正和恢复控制的策略的效果。

为了实现电力三道防线和通信三道防线之间的协调控制，电力每道防线和通信每道防线之间均需要进行数据交互。本文仅以电力紧急控制为例研究电力紧急控制与通信安全防御系统的数据交互及其协调控制。电力紧急控制策略包括离线策略和在线策略两部分。

图 2 是电力紧急控制与通信安全防御系统的数据交互示意图。电网的离线策略首先需要对通信规划提出链路和对应的延时、误码和中断对应的需求 A，然后通信系统的预防控制通过业务路径规划与网络拓扑的优化，提供与电力离线策略密切相关的链路参数。电力离线策略再基于电力预想故障和通信关键

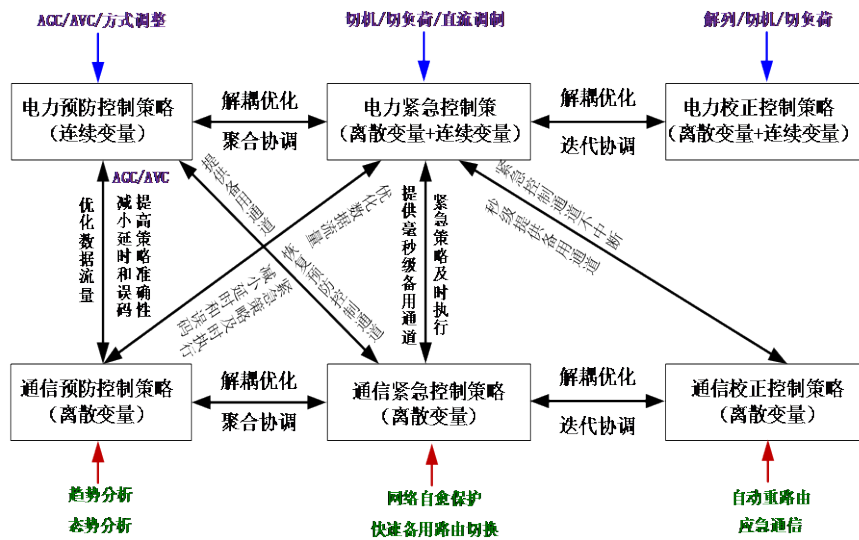


Figure 1. Framework of the interaction between power stability control system and communication security defense system

图 1. 电力稳定控制系统和通信安全防御系统的信息交互框架结构

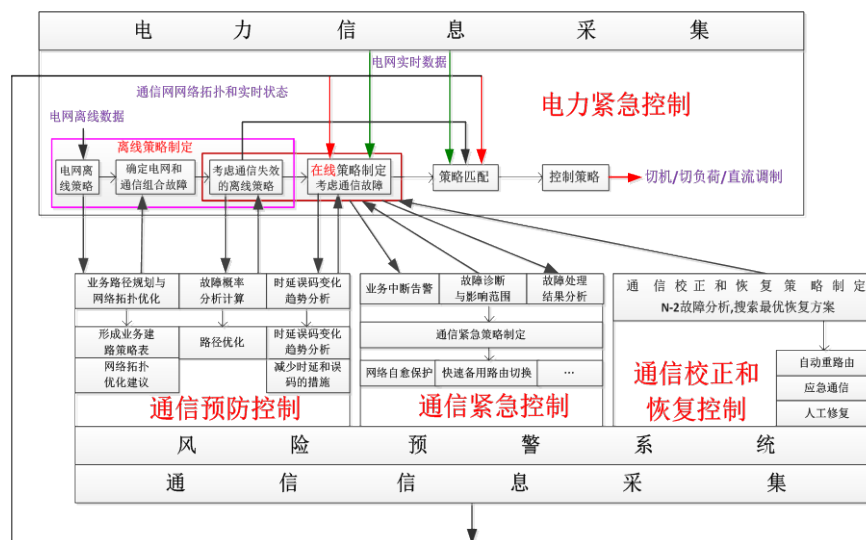


Figure 2. The interaction between power emergency control system and communication security defense system

图 2. 电力紧急控制系统和通信安全防御系统之间的信息交互

链路参数进行电力稳定控制的风险评估，得到通信链路的关键链路。电力预想故障与通信链路的关键链路进行组合后重新计算考虑通信系统风险的电力。离线策略考虑通信系统风险的电力在线策略计算的方式与离线策略计算类似，但是电力的在线策略需要同时对通信系统的预防控制、紧急控制和校正恢复控制提出链路和对应的延时、误码和中断的需求 B，然后通信系统的预防控制、紧急控制和校正恢复控制向电力系统返回分别采用通信预防控制、紧急控制和校正恢复控制的效果，最后基于通信系统系统的在线通信状态、控制效果和电网的在线数据计算考虑通信系统风险的电力在线策略。

当电网故障发生后，稳定控制的主站或子站基于考虑通信系统风险的离线策略或在线策略进行控制策略的搜索和匹配后，通过通信系统的通道向执行站发送切机、切负荷或直流调制的控制命令。

5. 电力紧急控制与通信三道防线的协调与优化

5.1. 电力紧急控制与通信系统的协调算法

电力紧急控制与通信系统三道防线的协调流程如图 2 所示。上部是电力紧急控制策略的计算框图，中间部分是电力紧急控制和通信预防控制、紧急控制及校正恢复之间的数据交互，下部为通信预防控制、紧急控制和校正控制。通信紧急控制部分需要针对通信的实际状态进行校核通信紧急控制策略是否满足电网提出的控制要求。

电网紧急控制部分有 6 种控制策略，包括通信基态下的电网离线策略 A1、考虑通信紧急控制措施或失效的离线策略 A2、基于 A1 的在线策略 A3、基于 A2 的在线追加策略 A4、考虑通信紧急控制失效电网次优在线策略 A5 和考虑通信校正恢复控制的在线策略 A6。其中 A5 由于不采用通信紧急控制措施有可能需要改变控制对象，从而增加控制成本；而 A6 采用通信校正控制可能增加通信延时或增加通信设备导致控制成本增加，因此在线策略 A5 和在线策略 A6 之间由于控制成本有差异，需要进行协调优化控制。

A4 是针对电力和通信组合故障的控制策略，其假设条件是针对通信故障的通信紧急控制措施能够成功实施。若通信紧急控制措施失效，那么 A4 的电网紧急控制措施就可能无法实现，或无法达到预期的控制目标。此时有两种选择：一是不采取通信的校正控制，而采用电网的次优控制措施作为新的控制措施(称为 A5)；二是通信系统采用校正控制来恢复相关通道，并基于通道的新的状态(延时、联调等状态)决定新的控制措施(称为 A6)。

制定策略 A5 时，由于通信失效，某些最优控制对象可能无法进行控制，所以会选择一些次优的控制对象来代替，从而会增加相应的控制成本。而考虑通信校正恢复控制的在线策略 A6，由于通信系统进入到校正控制阶段，将会大大增加通信延时，因而会改变控制对象的控制效果，可能需要增加控制量，获改变控制对象，并且还有通信校正控制的成本，从而也会导致控制成本的增加。

考虑通信紧急控制失效电网次优的在线策略 A5，和考虑通信校正恢复控制的在线策略 A6 的目标函数都是控制代价最小，在线策略 A5 和在线策略 A6 的目标函数分别如式(1)和式(2)所示：

$$A5 = \min \left[\sum_{i=1}^M C_i^P (\Delta P_i) \right] \quad (1)$$

$$A6 = \min \left[\sum_{j=1}^M C_j^P (\Delta P_j) + \sum_{l=1}^K C^C (L_l) \right] \quad (2)$$

其约束条件如式(3)所示：

$$s.t. \begin{cases} \eta(\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_M, t_1(L_1), \dots, t_K(L_K)) > \varepsilon \\ t_j(L_j) \leq t_{\max} \quad j \leq K \\ \Delta P_i \leq P_{i\max} \quad i \leq M \\ g(\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_M) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

目标函数和约束条件中的公式说明如下：

A5 只包含电力控制代价，而 A6 除了电力控制代价，还包含通信校正控制措施的控制代价。

ΔP_i 为控制对象的功率变化量， M 为控制措施的总数量， K 为与通信校正控制措施相关的通道数量， $C_j^P (\Delta P_j)$ 为第 j 种电力控制措施的控制代价，而 $C^C (L_l)$ 为第 l 个采用通信校正控制措施的通道控制代价。 $t_i(L_i)$ 为采用通信校正控制通道的延时， t_{\max} 为通道的最大延时阈值。

η 为控制后的暂态功角裕度， $\eta(\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_M, t_1(L_1), \dots, t_K(L_K)) > \varepsilon$ 为暂态功角裕度约束条件，其中 ε 为暂态功角裕度阈值。当计算 A5 时，由于通信状态不变，所以此式中不包括后面的时延部分。

$g(\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_M) = 0$ 为电网潮流方程约束。

在线策略 A5 和在线策略 A6 的计算思路与在线追加策略 A4 计算思路相类似，其工程计算流程分别如图 3 以及图 4 所示。

通过比较由上式得到的 A5 和 A6 的总的控制代价，可以选择代价小的控制措施，作为通信紧急控制措施失效情况下，针对电网和通信网组合故障的电网紧急控制策略。

5.2. 协调控制场景

本文采用的算例是含特高压的某省级电网，包括 28 个 1000 kV 节点，856 个 500 kV 节点，6952 个 220 kV 节点，和 52 个直流换流站。该省的电网停电防御系统，包括 1 个主站，5 个子站和 11 个执行站。考虑的电力系统故障是某双回线路 L 在 0 s 发生三相短路故障，在 100 ms 保护动作，线路断开。

由原停电防御系统得到的控制策略如表 1 所示。其中 A 电厂有 8 台机组，#1 至#3 机组为 250 MW，

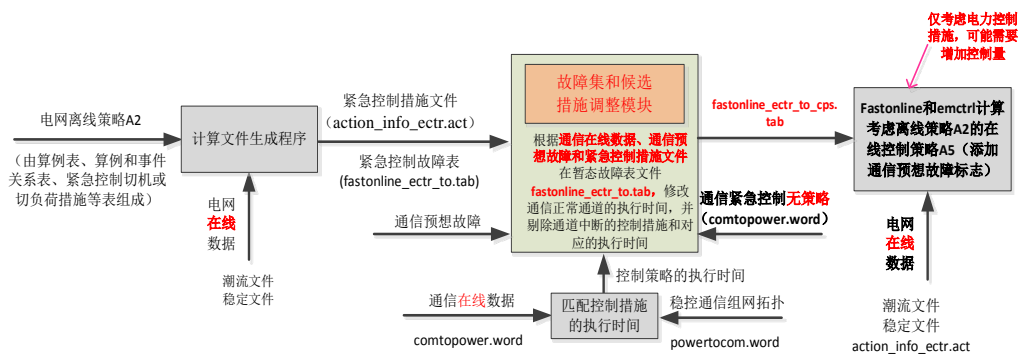


Figure 3. The engineering computing procedure for suboptimum online strategy A5 with considering the communication emergency control failure

图 3. 考虑通信紧急控制失效的电网次优在线策略 A5 工程计算流程

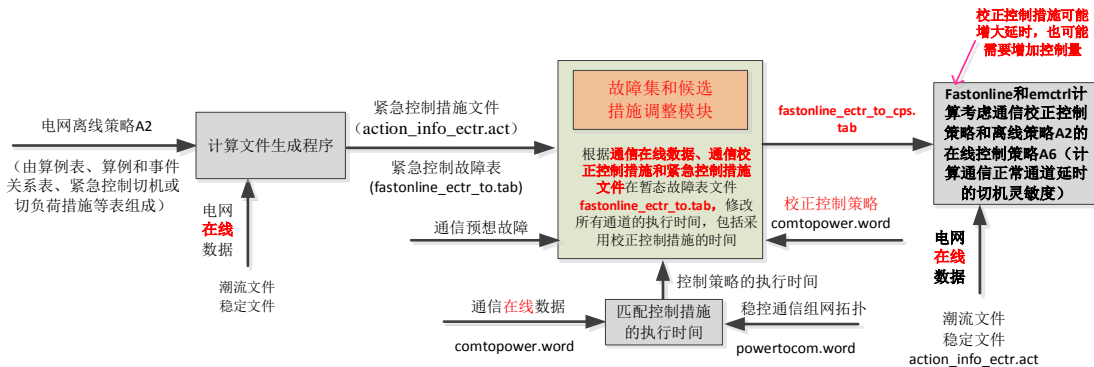


Figure 4. The engineering computing procedure for online strategy A6 with considering the communication adjustment and recovery control

图 4. 考虑通信校正恢复控制的在线策略 A6 工程计算流程

Table 1. Combined fault of power and communication

表 1. 电力和通信信息组合故障

组合故障序号	电力故障	通信信息故障
1	双回线 L 断开	链路 K 中断
2	双回线 L 断开	链路 J 中断

#4 至#6 机组为 350 MW，#7 机组和#8 机组容量为 600 MW；B 电厂有 6 台机组，#5 机组和#6 机组容量为 1000 MW，其余 4 台容量为 300 MW；C 电厂有 2 台机组，容量均为 330 MW。

由于该电力故障的离线策略中需切除 A、B、C 电厂的机组，因而对从子站到上述三个执行站的通信信息通道由通信信息安全防御系统根据各通道中链路和 SDH 设备的可靠性，确定通信信息预想故障及对应的紧急控制措施，并筛选出需制定应对的紧急控制策略的电力/通信信息组合故障，如表 1 所示。

SDH 通信网拓扑如图 5 所示，当链路 K 中断后，通信信息安全防御系统的紧急控制措施是切换到另一条链路，但使得子站到执行站 A 和 B 的延时增加 5 ms。链路 J 中断后，由于没有备用链路，使得子站到执行站 C 的通信中断，发电厂 C 无法切机。

由通信信息安全防御系统传过来的考虑通信信息紧急控制措施后的各通道的延时如表 2 所示。

链路 K 中断后，若通信信息安全防御系统的通信紧急控制措施有效，系统会采取 A2 和 A4 的控制措施。而如果通信紧急控制措施失效，则如节 5.1 所述，系统会计算 A5 和 A6 两套控制措施，并比较择优。其中 A5 是不采取通信的校正控制措施，直接选取其它次优的电网控制措施作为紧急控制策略。而 A6 则考虑同时采用通信的校正控制，并在此基础上选取电力的紧急控制策略。在本算例的 A6 中，可利用通信校正控制的自动重路由措施来恢复子站到执行站 A 和 B 的通信链路，可分为仅恢复子站到执行站 A、仅恢复子站到执行站 B 和同时恢复子站到执行站 A 和 B 三种情况，假设通信重路由的恢复时间为 200 ms。

5.3. 算例分析

A5 及三种通信恢复控制场景下的 A6，如表 3 所示。

在表 3 中，当采用的控制措施无法保证系统稳定时，则控制容量定义为无穷大。在本算例中，A 电厂的机组对系统稳定至关重要，如果子站到 A 电厂的通道中断，则在本文的电力预想故障下，系统必暂

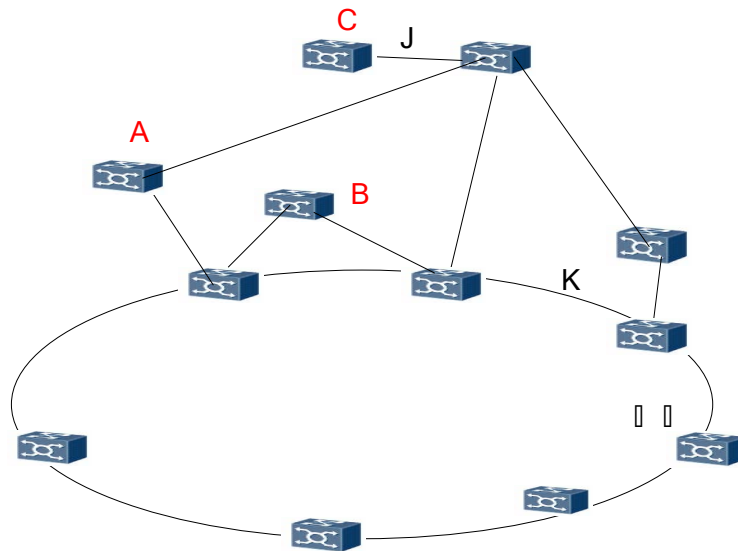


Figure 5. Topology of the SDH network
图 5. SDH 通信网拓扑图

Table 2. Time delay for tripping off generators after adopting emergency control for communication failure (ms)
表 2. 通信信息故障采取紧急控制措施后控制对象切机延时(ms)

通信信息故障	A 电厂	B 电厂	C 电厂
链路 K 中断	178.50	175.85	170.83
链路 J 中断	173.50	170.85	中断

Table 3. The power emergency control strategy for communication emergency control failure
表 3. 通信紧急控制措施失效情况下的电力紧急控制策略

紧急控制策略 A5			
	电力紧急控制措施	控制容量 (MW)	控制后暂态功角稳定裕度
	A5: 仅切 C 电厂的所有机组也无法使系统稳定	无穷大	失稳
紧急控制策略 A6			
通信校正控制	电力紧急控制措施	控制容量 (MW)	控制后暂态功角稳定裕度
通信校正控制仅恢复 A 电厂通道 (重路由时间 200 ms)	A6: 切除 A 电厂所有机组和 C 电厂 2 台机组	3860	16.65
通信校正控制仅恢复 B 电厂通道 (重路由时间 200 ms)	A6: 仅切 B 电厂和 C 电厂的所有机组也无法使系统稳定	无穷大	失稳
通信校正控制同时恢复 A 电厂和 B 电厂通道 (重路由时间 200 ms)	A6: 切 A 电厂#1, 5,6,7,8 机组 切 B 电厂#5 机组 切 C 电厂#1 机组	3480	60.81

态失稳。因而 A5 达不到使系统保持稳定的目的。类似的，在 A6 中，如果通信的校正控制只是恢复 B 电厂的通信通道，电厂 A 无法控制，A6 也达不到使系统保持稳定的目的。对比通信校正控制措施仅恢复 A 电厂和同时恢复 A 电厂和 B 电厂两种情况可知，通信校正控制措施恢复两个通道比仅恢复一个通道效果要好得多(3480 MW < 3860 MW, 60.81 > 16.65)。通信重路由的恢复控制代价主要为增加子站到执行站的通道，这些通道一般在电网规划阶段就已经设计好，假设本算例中增加一个通道的平均成本为 10 万元，则相对于切除 380 万的机组还是相当划算的(考虑通信校正控制措施仅发生一次控制失效的情况，如果多次发生则效果更明显)；而如果不采用通信校正控制措施恢复 A 电厂通道，则有可能导致系统失稳。综上所述，通信系统校正控制可在电力紧急控制中起重要的支撑作用。

6. 结语

由于传统的电力分析控制中假设通信是可靠的且一般为固定延时，因此通信系统与电力系统基本上是割裂的。本文以电力紧急控制为例，分析了电力离线控制策略和在线控制策略和与通信安全防御系统的信息交互，电网控制策略需要对通信规划提出通道或链路的延时、误码和中断需求，而通信系统通道的延时、误码和中断状态信息以及通信预想故障的控制策略需要发送给电力系统。基于这两个系统之间的数据交互内容，提出了考虑通信预防控制、紧急控制和校正控制的电网紧急控制策略计算方法，并提出了仅用电力紧急控制，不采用通信紧急控制措施的在线策略 A5 和同时采用通信校正控制与电力紧急控制的在线策略 A6 之间的协调优化控制算法，并在含特高压的某省级电网给出了三种通信校正控制措施下的在线策略 A5 和 A6 的仿真实例，仿真结果表明采用通信系统和电力稳定控制系统的协调控制可以有效提高电力系统的稳定性，并且明显减少电网的控制成本。通过采用通信系统和电力稳定控制系统的协调控制，可以有效应对自然灾害或认为因素的风险，提高电网的稳定性，保证电网的安全可靠运行。

基金项目

国网科技项目“电力系统实时广域稳定控制通信架构及半实物仿真研究”。

参考文献 (References)

- [1] 薛禹胜, 倪明, 余文杰, 等. 计及通信信息安全预警与决策支持的停电防御系统[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(17):

- 3-12.
- [2] 倪明, 颜洁, 柏瑞, 汤奕. 电力系统防恶意信息攻击的思考[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(5): 148-151.
 - [3] 汤奕, 王琦, 倪明, 梁云. 电力信息物理融合系统中的网络攻击分析[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(6): 148-151.
 - [4] 汤奕, 陈倩, 李梦雅, 等. 电力信息物理融合系统环境中的网络攻击研究综述[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(17): 60-69.
 - [5] 张雪丽. 应急通信的不同场景和技术需求[J]. 电信科学, 2007, 23(2): 56-58.
 - [6] 楼颖稚, 张肖宁, 建设山西电力应急通信系统方案探讨[J]. 山西电力, 2010, 1(158): 44-46.
 - [7] 赵元珍, 付云鹏, 赵育良, 构建青海电力应急通信系统的探讨[J]. 电力系统通信, 2008, 29(3): 36-41.
 - [8] 谷坊祝. 卫星通信技术在电力应急通信中的应用[J]. 电力系统通信, 2009, 30(6): 29-32.
 - [9] 薛禹胜, 吴勇军, 谢云云, 等. 停电防御框架向自然灾害预警的拓展[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(16): 18-26.
 - [10] 严佳梅, 许剑冰, 倪明, 余文杰, 通信系统中断对电网广域保护控制的影响[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(5): 91-93.
 - [11] 熊小伏, 吴玲燕, 陈星田. 满足广域保护通信可靠性和延时要求的路由选择方法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(3): 44-48.
 - [12] 曹一家, 张宇栋, 包哲静. 电力系统和通信网络交互影响下的连锁故障分析[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(1): 7-11.
 - [13] 张宇栋, 曹一家, 包哲静. 输电线路开断状态信息传输失真对连锁故障的影响[J]. 电力系统自动化, 2012, 12(25): 4-9.
 - [14] Hopkinson, K., Wang, X., Giovanini, R., Thorp, J., Birman, K. and Coury, D. (2006) EPOCHS: A Platform for Agent-Based Electric Power and Communication Simulation Built from Commercial Off-The-Shelf Components. *IEEE Transactions on Power Systems*, **21**, 548-558. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2006.873129>
 - [15] Wang, S., Meng, X. and Chen, T. (2012) Wide-Area Control of Power System through Delayed Network Communication. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, **20**, 495-503. <https://doi.org/10.1109/TCST.2011.2116022>

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: sg@hanspub.org