电网技术 2011, 35(10) 22-28 DOI: ISSN: 1000-3673 CN: 11-2410/TM

电力系统

大规模互联电网低频振荡分析与控制综述

宋墩文1，杨学涛2，丁巧林2，马世英1，李柏青1，王青1

1. 中国电力科学研究院，北京市 海淀区 100192；2. 华北电力大学 电气与电子工程学院，河北省 保定市 071003

摘要：

低频振荡已成为严重威胁互联电网安全稳定运行的突出问题。从第1次提出低频振荡的概念到目前为止，涌现了许多新的和改进的分析方法去解决这个问题。现阶段，广域测量系统的出现又为更好地在线监视低频振荡提供了新的技术手段。从振荡机制、分析方法和防控措施等几个方面较为系统地总结了低频振荡研究领域的方法和成果。鉴于目前电网发展迅速，低频振荡仍然是威胁电网安全稳定运行的重要因素，为促进低频振荡防控新技术的工程应用，提出包括强迫振荡源搜索、谐振机制研究、辨识方法综合应用、新型控制器研制等7个需要重点关注研究问题。

关键词： 互联电网 低频振荡 辨识方法 抑制措施

Analysis and Control Summary of Low Frequency Oscillation in Large-scale Interconnected Power System

SONG Dunwen1,YANG Xuetao2, DING Qiaolin2, MA Shiying1, LI Baiqing1, WANG Qing1

1. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China; 2. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, Hebei Province, China

Abstract:

Low frequency oscillation (LFO) severely threatens the secure and stable operation of interconnected power grids. Since the appearance of the concept of LFO there are lots of analysis approaches to solve this problem. At present wide area measurement system (WAMS) provides new technical manner for better on-line monitoring of LFO. The authors systemically summarize the approaches and results of LFO research in the aspects of oscillation mechanism, analysis methods and measures to prevent and control LFO. In view of rapid development of interconnected power grid, LFO is still an important factor threatening security and stability of power grids. To promote engineering application of new techniques to prevent and control LFO, several problems, which is to be pay special attentions to, such as searching forced oscillation source, research on LFO, comprehensive application of identification methods, development of novel controller and so on are proposed.

Keywords: interconnected power grid low frequency oscillation (LFO) identification methods control measures

收稿日期 2010-11-30 **修回日期** 2010-12-22 **网络版发布日期** 2011-10-12

DOI:

基金项目:

通讯作者: 宋墩文

作者简介:

作者Email: songdw@epri.sgcc.com.cn

参考文献：

[1] Demello F．Concepts of synchronous machine stability as affected by excitation control[J]．IEEE Trans on Power Apparatus and Systems，1969，88(4)：316-329． [2] 倪以信，陈寿孙，孙宝霖．动态电力系统的理论和分析[M]．北京：中国电力出版社，2002：260-262． [3] 汤涌．电力系统强迫功率振荡的基础理论[J]．电网技术，2006，30(10)：29-33． Tang Yong．Fundamental theory of forced power oscillation in power system[J]．Power System Technology，2006，30(10)：29-33(in Chinese)． [4] 王铁强，贺仁睦，王卫国，等．电力系统低频振荡机制的研究[J]．中国电机工程学报，2002，22(2)：21-25． Wang

Tieqiang，He Renmu，Wang Weiguo，et al．The mechanism study of low frequency oscillation in power system[J]．Proceedings of the CSEE，2002，22(2)：21-25(in Chinese)． [5] 韩志勇，贺仁睦，徐衍会．由汽轮机压力脉动引发电力系统共振机制的低频振荡研究[J]．中国电机工程学报，2005，25(21)：14-18． Han Zhiyong，He Renmu，Xu Yanhui．Power system low frequency oscillation of resonance mechanism induced by turbo-pressure pulsation[J]．Proceedings of the CSEE，2005，25(21)：14-18(in Chinese)． [6] 韩志勇，贺仁睦，徐衍会．汽轮机压力脉动引发电力系统低频振荡的共振机制分析[J]．中国电机工程学报，2008，28(1)：47-51． Han Zhiyong，He Renmu，Xu Yanhui．Study on resonance mechanism of power system low frequency oscillation induced by turbo-pressure pulsation[J]．Proceedings of the CSEE，2008，28(1)：47-51(in Chinese)． [7] 徐衍会，贺仁睦，韩志勇．电力系统共振机制低频振荡扰动源分析[J]．中国电机工程学报，2007，27(17)：83-87． Xu Yanhui，He Renmu，Han Zhiyong．The cause analysis of turbine power disturbance inducing power system low frequency oscillation of resonance mechanism[J]．Proceedings of the CSEE，2007，27(17)：83-87(in Chinese)． [8] 韩志勇，贺仁睦，马进，等．电力系统强迫功率振荡扰动源的对比分析[J]．电力系统自动化，2009，33(3)：16-19． Han Zhiyong，He Renmu，Ma Jin，et al．Comparative analysis of disturbance source inducing power system forced power oscillation [J]．Automation of Electric Power Systems，2009，33(3)：16-19(in Chinese)． [9] 竺炜，周有庆，谭喜意，等．电网侧扰动引起共振型低频振荡的机制分析[J]．中国电机工程学报，2009，29(25)：37-42． Zhu Wei，Zhou Youqing，Tan Xiyi，et al．Mechanism analysis of resonance-type low-frequency oscillation caused by networks side disturbance[J]．Proceedings of the CSEE，2009，29(25)：37-42(in Chinese)． [10] 戚军．基于广域测量系统的电力系统低频振荡时滞阻尼控制[D]．杭州：浙江大学，2009． [11] Kwatny H G， Yu X M．Energy analysis of load-induced flutter instability in classical models of electric power network[J]．IEEE Transactions on Circuits and Systems，1989，36(12)：1544-1557． [12] Dobson I，Zhang J，Greene S，et al．Is strong modal resonance a precursor to power system oscillation[J]．IEEE Transactions on Circuits and Systems，2001，48(3)：340-349． [13] 李鹏，吴小辰，张尧，等．南方电网多直流调制控制的交互影响与协调[J]．电力系统自动化，2007，31(21)：90-93． Li Peng，Wu Xiaochen，Zhang Yao，et al．Interaction and coordination of modulation controllers of multi-infeed HVDC in CSG[J]．Automation of Electric Power Systems，2007，31(21)：90-93(in Chinese)． [14] 薛禹胜，周海强，顾晓荣．电力系统分岔与混沌研究述评[J]．电力系统自动化，2002，26(16)：9-15． Xue Yusheng，Zhou Haiqiang，Gu Xiaorong．A review of bifurcation and chaos researches in power systems[J]．Automation of Electric Power Systems，2002，26(16)：9-15(in Chinese)． [15] 邓集祥，刘广生，边二曼．低频振荡中的Hopf分歧研究[J]．中国电机工程学报，1997，17(6)：391-394． Deng Jixiang，Liu Guangsheng，Bian Erman．Study on Hopf bifurcation in low frequency oscillation[J]．Proceedings of the CSEE，1997，17(6)：391-394(in Chinese)． [16] 贾宏杰，余贻鑫，王成山．电力系统混沌现象及相关研究[J]．中国电机工程学报，2001，21(7)：26-30． Jia Hongjie，Yu Yixin，Wang Chengshan．Chaotic phenomena in power systems and its studies[J]．Proceedings of the CSEE，2001，21(7)：26-30(in Chinese)． [17] 檀斌，薛禹胜．多机系统混沌现象的研究[J]．电力系统自动化，2009，33(2)：3-8． Tan Bin，Xue Yusheng．A study on chaos of multi-machine systems [J]．Automation of Electric Power Systems，2009，33(2)：3-8(in Chinese)． [18] 中国电力科学研究院系统所．PSD-SSAP电力系统小干扰稳定性分析程序用户手册[R]．北京：中国电力科学研究院，2009． [19] 张贤达．现代信号处理[M]．北京：清华大学出版社，2002：119-125． [20] 苏和，常鲜戎，万江．广域测量系统在内蒙古电网的应用[J]．内蒙古电力技术，2010，28(3)：6-8． Su He，Chang Xianrong，Wan Jiang．Application of wide area measurement system in Inner Mongolia electric power grid[J]．Inner Mongolia Electric Power，2010，28(3)：6-8(in Chinese)． [21] 侯王宾，刘天琪，李兴源．基于自适应神经模糊滤波的低频振荡Prony分析[J]．电网技术，2010，34(6)：53-58． Hou Wangbin，Liu Tianqi，Li Xingyuan．Prony analysis of low frequency oscillations based on adaptive neural-fuzzy filtering[J]．Power System Technology，2010，34(6)：53-58(in Chinese)． [22] 竺炜，唐颖杰，周有庆，等．基于改进Prony算法的电力系统低频振荡模式识别[J]．电网技术，2009，33(5)：44-47，53． Zhu Wei，Tang Yingjie，Zhou Youqing，et al．Identification of power system low frequency oscillation mode based on improved Prony algorithm [J]．Power System Technology，2009，33(5)：44-47，53(in Chinese)． [23] 马燕峰，赵书强，刘森，等．基于改进多信号Prony算法的低频振荡在线辨识[J]．电网技术，2007，31(15)：44-49． Ma Yanfeng，Zhao Shuqiang，Liu Sen，et al．Online identification of low-frequency oscillations based on improved multi-signal Prony algorithm[J]．Power System Technology，2007，31(15)：44-49(in Chinese)． [24] 田立峰，李成鑫，刘俊勇．电网低频振荡在线可视化监视的理论和实现[J]．电力自动化设备，2010，30(5)：28-33． Tian Lifeng，Li Chengxin，Liu Junyong．Theory and implementation of visualized online low-frequency oscillation monitoring[J]．Electric Power Automation Equipment，2010，30(5)：28-33(in Chinese)． [25] 吴超，陆超，韩英铎，等．基于类噪声信号和ARMA-P方法的振荡模态辨识[J]．电力系统自动化，2010，34(6)：1-6． Wu Chao，Lu Chao，Han Yingduo，et al．Identification of mode shape based on ambient signals and ARMA-P method[J]．Automation of Electric Power Systems，2010，34(6)：1-6(in Chinese)． [26] 吴超，陆超，韩英铎，等．计及模型定阶的低频振荡模式类噪声信号辨识[J]．电力系统自动化，2009，33(21)：1-6． Wu Chao，Lu Chao，Han Yingduo，et al．Power system oscillation modes estimation based on ambient signals considering model order selection[J]．Automation of Electric Power Systems，2009，33(21)：1-6(in Chinese)． [27] 赵礼节．基于EMD的Prony算法在低频振荡模态参数辨识中的应用[J]．电力系统保护与控制，2009，37(23)：9-14． Zhao Lijie．Application of Prony algorithm based on EMD for identifying model parameters of low-frequency oscillations[J]．Power System Protection and Control，2009，37(23)：9-14(in Chinese)． [28] 鞠平，谢欢，孟远景，等．基于广域测量信息在线辨识低频振荡[J]．中国电机工程学报，2005，25(22)：

56-60． Ju Ping，Xie Huan，Meng Yuanjing，et al．Online identification of low frequency oscillations based on wide-area measurements[J]．Proceedings of the CSEE，2005，25(22)：56-60(in Chinese)． [29] 常勇，吴靖，王超．基于广域信号的区域间低频振荡监视[C]//中国电机工程学会电力系统专业委员会2010年学术年会．上海：中国电机工程学会，2010：263-272． [30] 张静，徐政，王峰，等．TLS-ESPRIT算法在低频振荡分析中的应用[J]．电力系统自动化，2007，31(20)：84-88． Zhang Jing，Xu Zheng，Wang Feng，et al．TLS-ESPRIT based method for low frequency oscillation analysis in power system[J]．Automation of Electric Power Systems，2007，31(20)：84-88(in Chinese)． [31] 陈卓，敖伟智，郝正航．电力系统振荡模式识别的特征系统实现方法[J]．电力系统及其自动化学报，2008，20(5)：40-44． Chen Zhuo，Ao Weizhi，Hao Zhenghang．Power system oscillation modes identification based on eigensystem realization algorithm[J]．Proceedings of the CSU-EPSA，2008，20(5)：40-44(in Chinese)． [32] Korba P，Larsson M，Rehtanz C．Detection of oscillations in power systems using Kalman filtering techniques[C]//Proceedings of 2003 IEEE Conference on Control Applications．Turkey，Istanbul：IEEE， 2003：183-188． [33] 王青，孙华东，马世英，等．电力系统小干扰稳定安全评估的一般原则及其在贵州电网中的应用[J]．电网技术，2009，33(6)：24-28． Wang Qing，Sun Huadong，Ma Shiying，et al．General principle of power system small signal stability evaluation and its application in Guizhou power grid[J]．Power System Technology，2009，33(6)：24-28(in Chinese)． [34] 蒋平，栗楠，顾伟，等．PSS和SVC联合抑制特高压网络低频振荡[J]．电力自动化设备，2009，29(7)：13-17． Jiang Ping，Li Nan，Gu Wei，et al．Restraining low frequency oscillation of UHV power grid using PSS and SVC[J]．Electric Power Automation Equipment，2009，29(7)：13-17(in Chinese)． [35] 王景刚，孙建华．PSS及其对河南电网动态稳定性的影响[C]//中国电机工程学会电力系统专业委员会2010年学术年会．上海：中国电机工程学会，2010：207-210． [36] Nayebzadeh M，Messina A R．Advanced concepts of analysing static VAR compensators to damp inter-area oscillation modes[J]．ETEP，1999 (9)：159-165． [37] 郭春林，童陆园．多机系统中可控串补(TCSC)抑制功率振荡的研究[J]．中国电机工程学报，2004，24(6)：1-6． Guo Chunlin，Tong Luyuan．Application of TCSC to damp oscillations in multi-machine systems[J]．Proceedings of the CSEE，2004，24(6)：1-6(in Chinese)． [38] 郭成，李群湛．基于改进PSO算法的SSSC广域阻尼控制器设计[J]．电工技术学报，2010，25(1)：151-158． Guo Cheng，Li Qunzhan．SSSC wide-area damping controller design based on improved particle swarm optimization [J]．Transactions of China Electrotechnical Society，2010，25(1)：151-158(in Chinese)． [39] 赵洋，肖湘宁．利用SSSC阻尼电力系统低频振荡[J]．电力系统自动化，2007，31(17)：40-44． Zhao Yang，Xiao Xiangning．Damping low frequency oscillation by static synchronous series compensator[J]．Automation of Electric Power Systems，2007，31(17)：40-44(in Chinese)． [40] 张芳，房大中，陈家荣，等．阻尼联络线低频振荡的UPFC两阶段控制方法研究[J]．中国电力，2006，39(11)：27-32． Zhang Fang，Fang Dazhong，Chan Kawing，et al．Study on two-stage control for unified power flow controller to damp tie-line low frequency oscillation[J]．Electric Power，2006，39(11)：27-32(in Chinese)． [41] 陈中，杜文娟，王海风，等．基于阻尼转矩分析法的储能系统抑制系统低频振荡[J]．电力系统自动化，2009，33(12)：8-11． Chen Zhong，Du Wenjuan，Wang Haifeng，et al．Power system low-frequency oscillations suppression with energy storage system based on DTA[J]．Automation of Electric Power Systems，2009，33(12)：8-11(in Chinese)． [42] 沈梁，陈陈，史慧杰，等．直流调制对电网区间低频振荡的抑制作用[J]．电力系统及其自动化学报，2008，20(4)：82-86． Shen Liang，Chen Chen，Shi Huijie，et al．Suppression of inter-area low frequency oscillation by HVDC modulation[J]．Proceedings of the CSU-EPSA，2008，20(4)：82-86(in Chinese)． [43] 王青，马世英．电力系统动态稳定特性和抑制低频振荡工程措施的评述[C]//中国电机工程学会电力系统专业委员会2010年学术年会．上海：中国电机工程学会，2010：216-223．

本刊中的类似文章

1．李 鹏，余贻鑫，孙 强，贾宏杰.基于Prony分析的多机系统电磁转矩系数计算[J]. 电网技术, 2006,30(10): 39-44

2．李 丹，苏为民，张 晶，王 蓓，高 洵，田云峰，吴 涛，贾 琳，苗友忠，许晓菲，李 胜，蓝海波，雷为民."9.1"内蒙古西部电网振荡的仿真研究[J]. 电网技术, 2006,30(6): 41-47

3．刘乐 刘娆 李卫东.互联电网频率调节动态仿真系统的研制[J]. 电网技术, 2009,33(7): 36-41

4．戚军 刘兆燕 江全元.考虑时滞影响的电力系统广域集中励磁控制[J]. 电网技术, 2009,33(7): 42-46

5．蔺红 晁勤.新疆电网电力系统稳定器设计与仿真[J]. 电网技术, 2009,33(9): 40-43

6．邓集祥|贺建明|姚天亮|邓斌 .大区联网条件下四川电网低频振荡分析[J]. 电网技术, 2008,32(17): 78-83

7．王慧铮 许勇 .基于广域测量系统的低频振荡监测分析方法研究与应用[J]. 电网技术, 2008,32(22): 56-61

8．蔡国伟 张涛 孙秋鹏 .模糊聚类分析在低频振荡主导模式辨识中的应用[J]. 电网技术, 2008,32(11): 30-33

9．刘修宽，蒋维勇，周苏荃，王 祁，柳 焯，曲祖义.相间功率控制器的潮流调控性能分析[J]. 电网技术, 2006,30(11): 11-14

10．王庆红|Thomas J. Overbye .电力系统低频振荡模态和参与因子的可视化方法[J]. 电网技术, 2008,32 (10): 74-78

11．王伟岸 马平 蔡兴国 .考虑广域反馈信号时滞影响的附加励磁控制器[J]. 电网技术, 2008,32(19): 50-55

12．马燕峰|赵书强|刘 森|顾雪平.基于改进多信号Prony算法的低频振荡在线辨识[J]. 电网技术, 2007,31

(15): 44-49
13. 郑 超，周孝信 .基于普罗尼辨识的VSC-HVDC附加阻尼控制器设计[J]. 电网技术, 2006,30(17): 25-30
14. 赵静波 甘德强 雷金勇 .电池储能装置在抑制电力系统低频振荡中的应用[J]. 电网技术, 2008,32(6): 93-99
15. 孙景强|陈志刚|曹华珍|李 峰|姚文峰.南方电网2010年低频振荡问题[J]. 电网技术, 2007,31(Supp2): 93-97
