电网技术 2011, 35(9) 144-151 DOI: ISSN: 1000-3673 CN: 11-2410/TM

新能源与分布式发电

直驱永磁风力发电系统可靠性技术综述

邓秋玲1，姚建刚1，黄守道1，吴蓉2，王良之2，王卿明2

1．湖南大学 电气与信息工程学院，湖南省 长沙市 410082；2．西昌电业局，四川省 西昌市 615000

摘要：

随着电力系统中风电量的增加，发电机组与电网之间的相互影响越来越大，电力系统对并网风力发电机组在外部电网故障和机组内部故障下的不间断运行能力提出了更高的要求。本文首先介绍了可靠性基本理论，然后分析了电机、变流器和电网的可能故障，总结和评价了各种提高直驱永磁风电系统可靠性技术的措施，最后讨论了未来风力发电系统可靠性技术研究的主要方向。为研究出具有故障容错能力和高可靠性的直驱永磁风力发电系统提供理论基础。

关键词： 直驱永磁风力发电机 可靠性 故障容错 冗余

An Overview on Reliability Technology for Direct Drive Permanent Magnet Wind Power Generation System

DENG Qiuling1, YAO Jiangang1, HUANG Shoudao1, WU Rong2, WANG Liangzhi2, WANG Qingming2

1. Institute of Electric and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, Hunan Province, China;2. Xichang Power Supply Company, Xichang 615000, Sichuan Province, China

Abstract:

With continuous increasing in amount of wind power generation integrating into the power system the interaction between wind power generator set and electric power system has been becoming larger and larger. Grid code for grid connected wind turbines demand that wind power generator set operate without interruption under external grid fault and internal generator set fault. This paper firstly introduced some background information on reliability. Next, it reviewed the possible failures in electrical machines, converters and electric power system network. Subsequently, several types of methods of enhancing reliability technology for directly-driven wind power generation system are summarized and evaluated respectively. Finally, the potential techniques to improve reliability of the wind power generation system in the next years are proposed. The paper may provide rationale for direct drive wind power generation system with high reliability and fault-tolerant capability.

Keywords: direct drive permanent magnet wind power generator reliability fault tolerance redundancy

收稿日期 2010-12-17 **修回日期** 2011-06-10 **网络版发布日期** 2011-09-13

DOI:

基金项目:

湖南省自然科学基金与湘潭市自然科学基金联合资助重点项目(10JJ8003)。

通讯作者: 邓秋玲

作者简介:

作者Email: dengzi09@126.com

参考文献：

[1] Muljadi E，Butterfield C P，Parsons B，et al．Effect of variable speed wind turbine generator on stability of a weak grid[J]．IEEE Trans on Energy Conversion，2007，22(1)：29-36． [2] Muyeen S M，Takahashi R，Murata T，et al．Low voltage ride through capability enhancement of wind turbine generator system during network disturbance[J]．IET Renewable Power Generation，2009，3(1)：65-74． [3] Tavner P J，Xiang J，Spinato F．Reliability analysis for wind turbines[J]．Wind Energy，2007(10)：1-18． [4] Conroy J F，Watson R．Low voltage ride-through of a full converter wind turbine with permanent magnet generator[J]．IET Renew Power Generation，2007，1(3)：182-189． [5] 张梅，何

国庆．直驱式永磁同步风力发电机组的建模与仿真[J]．中国电力，2008，41(6)：79-84． Zhang Mei，He Guoqing．Modeling and dynamic simulations of a direct driven permanent magnet synchronous generator based wind turbine unit[J]．Electric Power，2008，41(6)：79-84(in Chinese)． [6] 赵文祥，程明，朱孝勇，等．驱动用微特电机及其控制系统的可靠性技术研究综述[J]．电工技术学报，2007，22(4)：38-46． Zhao Wenxiang，Cheng Ming，Zhu Xiaoyong，et al．An overview of reliability of drive system for small and special electric machines [J]．Transactions of China Electrotechnical Society，2007，22(4)：38-46(in Chinese)． [7] Johan R，Lina M B．Survey of failures in wine power system with focus on Swedish wind power plants during 1977—2005[J]．IEEE Transaction on Energy Conversion，2007，22(1)：167-173． [8] 尹明，李庚银，张建成，等．直驱式永磁同步风力发电机组建模及其控制策略[J]．电网技术，2007，31(15)：61-65． Yun Ming，Li Genyin，Zhang Jiancheng，et al．Modeling and control strategies of directly driven wind turbine with permanent magnet synchronous generator[J]．Power System Technology，2007，31(15)：61-65(in Chinese)． [9] Polinder H，Lendenmann H，Chin R，et al．Fault tolerant generator systems for wind turbines[C]//IEEE International Electric Machines and Drives Conference．Miami，Florida，USA：IEEE，2009：675-681． [10] 彭芳彪，严东超，王光明，等．六相永磁容错电机不对称运行研究[J]．空军工程大学学报：自然科学版，2009，10(3)：74-77． Peng Fangbiao，Yan Dongchao，Wang Guangming，et al．Research on asymmetrically operation of six-phase permanent magnet fault tolerant motor[J]．Journal of Air Force Engineering University：Natural Science Edition，2009，10(3)：74-77(in Chinese)． [11] 刘维亭，庞科旺，李文秀．舰船多相永磁同步电机推进系统容错控制研究[J]．电气传动，2004，26(2)：19-22． Liu Weiting，Peng Kewang，Li Wenxiu．Research on fault tolerant control of marine multi-phase permanent synchronous motors propulsion system[J]．Electric Drive Automation，2004，26(2)：19-22(in Chinese)． [12] 邓秋玲，黄守道，许志伟，等．软磁复合(SMC)材料在轴向磁场永磁风力发电机中的应用[J]．微特电机，2010，38(1)：21-23． Deng Qiuling，Huang Shoudao，Xu Zhiwei，et al．Application of soft magnetic composites material in axial flux PM wind generator [J]．Small and Special Electrical Machines，2010，38(1)：21-23(in Chinese)． [13] 孙丹，贺益康，何宗远．基于容错逆变器的永磁同步电机直接转矩控制[J]．浙江大学学报：工学版，2007，41(7)：1101-1106． Sun Dan，He Yikang，He Zongyuan．Fault tolerant inverter based direct torque control for permanent magnet synchronous motor[J]．Journal of Zhejiang University：Engineering Science，2007，41(7)：1101-1106(in Chinese)． [14] 魏佳丹，周波．双凸极电机全桥变换器单相开路故障容错方案[J]．中国电机工程学报，2008，28(24)：88-92． Wei Jiadan，Zhou Bo．Project on single phase open-circuit fault tolerance of doubly salient electro-magnet motor driven by full-bridge converter[J]．Proceedings of the CSEE，2008，28(24)：88-92(in Chinese)． [15] 孙丹，何宗元．四开关逆变器供电永磁同步电机直接转矩控制系统转矩脉动抑制[J]．中国电机工程学报，2007，27(21)：47-52． Sun Dan，He Zongyuan．Torque ripple reduction for a four-switch inverter FED PMSM DTC system[J]．Proceedings of the CSEE，2007，27(21)：47-52(in Chinese)． [16] Vamsi K，Polisetty S，Jetti R，et al．Intelligent Integration of a wind farm to an utility power network with improved voltage stablility [C]//IEEE Industry Applications Conference，41st IAS Annual Meeting．Tampa Florida：IEEE，2006：1128-1133． [17] 赵克，安群涛．容错逆变器PMSM无位置传感器控制系统[J]．电机与控制学报，2010，14(4)：25-30． Zhao Ke，An Quntao．Fault tolerant inverter permanent magnet synchronous motor position sensorless control system[J]．Electric Machines and Control，2010，14(4)：25-30(in Chinese)． [18] Liu J，Xu D，Yang X．Sensor fault detection in variable speed wind turbine system using H/H∞ method[C]//Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation．Chongqing，China：Chongqing University，2008：4265-4269． [19] 昌泽慧，姜斌．基于神经网络观测器的一类非线性系统的故障调节[J]．控制与决策，2007，22(1)：11-15． Mao Zehuiu，Jiang Bin．Fault accommodation of a class of nonlinear system based on neural network observer[J]．Control and Decision，2007，22(1)：11-15(in Chinese)． [20] Gao Z W，Ding S X．Actuator fault robust estimation and fault tolerant control for a class of nonlinear descriptor systems[J]．Automatica，2007(43)：912-920． [21] 关宏亮，赵海翔，迟永宁，等．电力系统对并网风电机组承受低电压能力的要求[J]．电网技术，2007，31(7)：79-82． Guan Hongliang，Zhao Haixiang，Chi Yongning，et al．Requirement for LVRT capability of wind turbine generator in power system [J]．Power System Technology，2007，31(7)：79-82(in Chinese)． [22] 孙涛，王伟胜，戴慧珠，等．风力发电引起的电压波动和闪变[J]．电网技术，2003，27(12)：62-66． Sun Tao，Wang weisheng，Dai Huizhu，et al．Voltage fluctuation and flicker caused by wind power generation[J]．Power System Technology，2003，27(12)：62-66(in Chinese)． [23] 王伟胜，范高锋，赵海翔．风电场并网技术规定比较及其综合控制系统初探[J]．电网技术，2007，31(18)：73-77． Wang Weisheng，Fan Gaofeng，Zhao Haixiang．Comparison of technical regulations for connecting wind farm to power grid and preliminary research on its integrated control system[J]．Power System Technology，2007，31(18)：73-77(in Chinese)． [24] 曹娜，赵海翔，戴慧珠．常用风电机组并网运行时的无功与电压分析[J]．电网技术，2006，30(22)：91-94． Cao Na，Zhao Haixiang，Dai Huizhu，et al．Analysis on reactive power and voltage of commonly used wind turbines interconnected to power Grid[J]．Power System Technology，2006，30(22)：91-94(in Chinese)． [25] 许晓艳，石文辉，李岩春．风电场集中接入对区域电网的影响分析[J]．中国电力，2009，42(1)：93-97． Xu Xiaoyan，Shi Wenhui，Li Yanchun．Impacts of wind farm central integration on local power grids[J]．Electric Power，2009，42(1)：93-97(in Chinese)． [26] Salman M，Ganesh K V，Ronald G，et al．Optimal neuro-fuzzy external controller for a STATCOM in the 12-bus benchmark power system[J]．IEEE Trans on Power Delivery，2007，22(4)：2548-2558． [27] 胡书举，李建林，许洪华．适用于直驱式风电系统的Crowbar电路分析[J]．电力建设，2007，28(9)：44-47． Fu Shuju，Li

Jianlin，Xu Honghua．Analysis of Crowbar circuits used in direct-drive WTG systems[J]．Electric Power Construction，2007，28(9)：44-47(in Chinese)． [28] Hansen A D，Michalke G．Multi-pole permanent magnet synchronous generator wind turbines' grid support capability in uninterrupted operation during grid faults[J]．IET Renewable Power Generation，2009，3(3)：333-348． [29] Xu L，Wang Y．Dynamic modeling and control of DFIG based on wind turbines under unbalanced network conditions [J]．IEEE Trans on Power Systems，2007，22(1)：314-323． [30] 姜燕，陈顺，黄守道，等．直驱型永磁风力发电系统的电网同步化方法研究[J]．电网技术，2010，34(11)：182-186． Jiang Yan，Cheng Shun，Huang Shoudao，et al．Research on grid synchronization methods of directly-driven PM wind power generation system[J]．Power System Technology，2010，34(11)：182-186(in Chinese)． [31] 周鹏，贺益康，胡家兵．电压不平衡状态下风电机组运行控制中电压同步信号的检测[J]．电工技术学报，2008，23(5)：108-113． Zhou Peng，He Yikang，Hu Jiabing．Detection of voltage synchronization signals for a wind energy generation system unbalanced grid conditions[J]．Transactions of China Electrotechnical Society，2008，23(5)：108-113(in Chinese)． [32] 邓秋玲，黄守道，肖磊．电网故障下直驱风电系统网侧变流器控制[J]．中国电力，2011，44(8)：62-67． Deng Qiuling，Huang Shoudao，Xiao Lei．Control of grid-side converter of direct drive wind power generation system under grid faults [J]．Electric Power，2011，44(8)：62-67(in Chinese)．

本刊中的类似文章

1．喻新强.国家电网公司直流输电系统可靠性统计与分析[J]. 电网技术, 2009,33(12): 1-8

2．韩丰 李晖 王智冬 刘建琴 王乐.法国电网发展分析以及对我国的启示[J]. 电网技术, 2009,33(8): 41-47

3．黄杰鹏，李宇红，倪维斗.并网风电场可避免费用的计算[J]. 电网技术, 2006,30(16): 50-53

4．黄伟 孙昶辉 吴子平 张建华.含分布式发电系统的微网技术研究综述[J]. 电网技术, 2009,33(9): 14-18

5．王鲸涛 谢开贵 曹侃 冯怡.配电网开关优化配置研究现状与展望[J]. 电网技术, 2008,32(16): 47-52

6．郑漳华 艾芊.微电网的研究现状及在我国的应用前景[J]. 电网技术, 2008,32(16): 27-31

7．王小波 谢开贵 .计及开关故障的复杂配电系统可靠性评估[J]. 电网技术, 2008,32(19): 16-21

8．孙瑜|Math Bollen|Graham Ault .孤岛状态下含分布式电源的配电系统可靠性分析[J]. 电网技术, 2008,32(23): 77-81

9．李莉 谭忠富 王建军 姜海洋 候建英 王成文 .可中断负荷参与备用市场下的可靠性风险电价计算模型[J]. 电网技术, 2009,33(4): 81-87

10．束洪春|张静芳|刘宗兵 .基于馈线分区的复杂配电网可靠性区间分析[J]. 电网技术, 2008,32(19): 37-41

11．王新花 唐巍 .考虑元件可靠性参数修正的配电网可靠性研究[J]. 电网技术, 2008,32(19): 62-65

12．何永秀，杨薇薇，卢 玉，李国栋，张卫东.周调节抽水蓄能电站在京津唐电网中的调峰与事故响应作用[J]. 电网技术, 2006,30(19): 71-75

13．束洪春，刘宗兵，胡泽江.基于复杂辐射状配电系统简约模型的可靠性评估算法[J]. 电网技术, 2006,30(19): 66-70

14．周家启|陈炜骏|谢开贵|刘 洋|金小明.高压直流输电系统可靠性灵敏度分析模型[J]. 电网技术, 2007,31(19): 18-23

15．王立永，张保会，王克球，郭 振，李彦龙，谭伦农，陈 建.市场环境下N－1原则的经济效益评价[J]. 电网技术, 2006,30(9): 15-20
