

几种风力发电机组低电压穿越技术分析

华泽嘉¹, 高 聚¹, 陶维珣², 路 凯²

(1. 东北电力大学 能源与动力工程学院, 吉林 吉林 132012; 2. 国电龙源电力技术工程有限责任公司, 北京 100039)

摘 要: 近年来风力发电占电力系统比重增长迅速。在电网出现故障导致电压跌落后, 风力机组如果纷纷解列会带来系统暂态不稳定, 并可能造成局部甚至是系统全面瘫痪, 故人们开始关注风机并网并相应提出了低电压穿越(LVRT) 要求。文中以北方某风电场中安装的双馈异步风力发电机(DFIG) 和直驱永磁风力发电机(PMSG) 两种机型为实例, 在分析了二者实现低电压穿越功能原理的同时, 利用电力系统仿真分析软件 PSASP 对两种机型的低电压穿越能力进行仿真, 并根据仿真结果给出两种机型实际工作中的低电压穿越能力的最低电压限值。最后通过对比, 分析两种机型各自低电压穿越能力的优越性。

关 键 词: 双馈异步风力发电机; 直驱永磁风力发电机; 低电压穿越; 最低电压限值

中图分类号: TM 614

文献标识码: A

近几年来, 在国家新能源政策的扶持下, 作为技术最为成熟、最具大规模开发价值的风力发电迅速发展, 装机容量逐年上升。截至 2010 年底, 全国风电装机容量已达到 4 000 万千瓦, 年均增长率超过 100%。然而去年酒泉风电基地风机大规模脱网导致电网波动异常这一事故给风电的进一步发展带来了诸多问题和思考, 为此在国调中心组织的“防止风电大规模脱网重点措施”的讨论会上, 对风电机组和风电场提出了诸多要求。其中最主要的就是强调风电机组的低电压穿越能力。一般情况下, 若电网发生故障, 其导致的电压跌落会给风电机组带来一系列危害机组本身及其控制系统正常运行的暂态过程: 如过电压、过电流、风机转速上升等, 此时风电机组就会实施被动式的自我保护而立即自行解列, 这在风电的电网穿透率较低时是可以被电网所接受的。但是当风电的电网穿透率较高时, 如果电网发生故障, 风电机组自行解列, 不但会增加电网恢复难度, 甚至会加剧电网故障, 从而导致系统其他机组解列。为此电网要求风力发电机组应具有在电力系统有较大波动时保持不脱网运行, 并向电网提供无功功率支持电网恢复的能力, 这就是风电机组的低电压穿越特性(LVRT-low voltage ride through)。目前我国各风电机组生产厂家的风机 LVRT 特性普遍是按照德国 E-on 标准设计的, 即^[1]: 风场必须具有在并网电压跌落 20% 额定电压时能够坚持并网运行 625 ms; 风电场发生电压跌落 3 s 后能够恢复到 90% 额定电压时, 必须保持并网运行。见图 1 所示。

双馈异步风机和直驱永磁风机是目前各风电场安装的两种主流机型, 二者都通过采用不同的措施来实现 LVRT 功能。本文将详细分析北方某风电场安装的上述两种机型的低电压穿越能力, 利用 PSASP 仿真分析软件建立二者的低电压穿越模型,

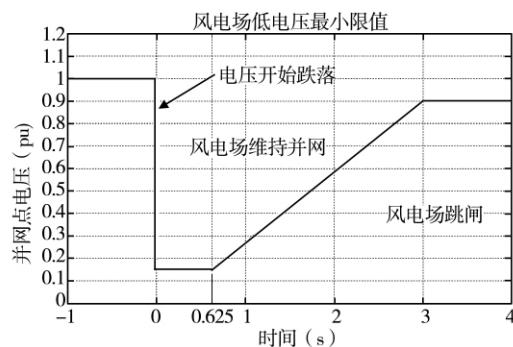


图 1 风电场 LVRT 标准

收稿日期: 2012 - 09 - 14

作者简介: 华泽嘉(1983 -) , 男, 吉林省吉林市人, 东北电力大学能源与动力工程学院助教, 硕士, 主要研究方向: 风电场节能。

并根据仿真结果给出两种机型实际工作中的低电压穿越能力的最低电压限制。

1 双馈异步风机(DFIG) LVRT 工作原理及并网模型

本风场所安装的 DFIG 依靠以下三个部件来实现 LVRT 功能: 变流器、变桨系统、主控系统。作用原理如下:

DFIG 在电网发生故障时, 往往是因为转子侧的变流器为防止暂态过电流(通常为额定电流的 2~3 倍) 对其的损害而退出运行^[2], 从而无法控制励磁电流导致失去对电磁转矩的控制, 使风机转速在短时间内急剧增加, 当达到一定限值时风机就会实施自我保护退出运行。本风场安装的 DFIG 的变流器具有撬棒支路(有源 Crow-bar 模块), 用来当转子侧电流超过限定值时, 旁路转子侧变流器, 阻尼转子磁链。当转子磁链衰减后撬棒支路便可退出, 变流器工作, 控制能力恢复。但在撬棒支路启动时, 会使风场在短时间内失去控制。在撬棒支路工作的同时, 变桨系统启用, 降低风机捕风能力, 重新建立机端电压。主控系统采用在线不间断电源, 能在短时间内为 PLC 及相应控制回路供电。并网模型如图 2 所示。

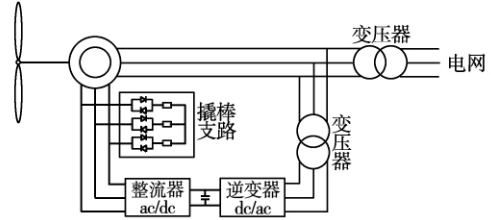


图2 DFIG 并网模型

(2) 双馈感应风电系统的建模

坐标系采用两相同步旋转坐标系 d 轴超前 q 轴, 派克变换采用恒功率变换:

$$\begin{cases} U_{sd} = -R_s i_{sd} + \frac{d\psi_{sd}}{dt} - \omega_1 \psi_{sq} \\ U_{sq} = -R_s i_{sq} + \frac{d\psi_{sq}}{dt} + \omega_1 \psi_{sd} \\ U_{rd} = -R_r i_{rd} + \frac{d\psi_{rd}}{dt} - \omega_5 \psi_{rq} \\ U_{rq} = -R_r i_{rq} + \frac{d\psi_{rq}}{dt} + \omega_1 \psi_{rd} \end{cases}$$

双馈感应电机转子运动方程:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \omega_m &= \frac{1}{2H} (T_e - D\omega_m - T_m) \\ \frac{d}{dt} \theta_m &= \omega_m \end{aligned}$$

2 直驱永磁风机(PMSG) LVRT 工作原理及并网模型

相比 DFIG 而言, 虽然 PMSG 与电网之间通过背靠背全功率变流器实现完全隔离, 但是当电网电压跌落时, 网侧变流器会出现过电流, 当对变流器采取限流措施后, 由于直流侧输入功率大于输出功率, 且变流器热容量有限, 会使直流侧电压升高, 损坏变流器^[3-5]。为此, 本风场安装的 PMSG 在变流器结构中配备了基于 PWM 技术的制动单元, 吸收直流侧输入大于输出的那部分功率, 并以热能的形式散发出去。从而避免了变流器由于直流过电压造成的损坏, 增强了系统的 LVRT 能力。在输出侧还配置了 LC 滤波装置, 减少了输出谐波, 提高了系统容量。并网模型如图 3 所示。

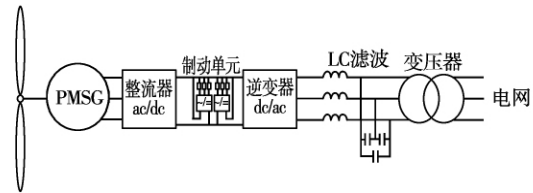


图3 PMSG 并网模型

(1) 直驱永磁风电系统的建模

PMSG 数学模型采用 dq 两相同步旋转坐标系 q 轴定向与发电机感应电动势空间矢量,并假定发电机 dq 轴电感相等。

$$u_d = R_a i_d + L_a \frac{di_d}{dt} - \omega_e L_a i_q,$$

$$u_q = R_a i_q + L_a \frac{di_q}{dt} - \omega_e L_a i_d + \omega_e \psi.$$

发电机的电磁转矩 T_e 为:

$$T_e = n_p i_q \psi.$$

发电机的电磁转矩 T_e 和机械转矩 T_m 一起决定了发电机的转速 ω_g :

$$\frac{d\omega_g}{dt} = \frac{1}{J} (T_e - T_m - \omega_g B_m).$$

3 对比仿真

在风电场外部系统故障中以三相短路故障时的电压跌落最为严重,所以本文对风电场满发时的系统外部三相短路故障时的机端电压降低值进行仿真。以北方某风电场中安装的双馈异步风力发电机 (DFIG) 和直驱永磁风力发电机 (PMSG) 两种机型为实例,利用电力系统仿真分析软件 PSASP 对两种机型的低电压穿越能力进行仿真。

图 4 为风电场所在区域的局部电网结构示意图。

3.1 DFIG 仿真结果与说明

当双辽母线发生三相短路故障时,风电机组机端电压下降到接近于零,这个故障是最严重的故障,即风电场出口发生三相短路故障,一般极少发生。当西郊母线发生三相短路故障时,风电机组的机端电压下降到 0.2 pu,当三家子母线发生三相短路故障时,风电机组的机端电压下降到 0.4 pu,当长春母线发生三相短路故障时,风电机组的机端电压下降到 0.55 pu,离风电场最近的母线发生三相短路故障时,风电机组的机端电压下降到 0.85 pu。由此可见该双馈异步风机 LVRT 的最低电压限值应为 0.2 pu。该风电机组的 LVRT 特性见图 5。

4.2 PMSG 仿真结果与说明

当双辽母线发生三相短路故障时,风电机组机端电压依然下降到接近于零,当西郊母线发生三相短路故障时,风电机组的机端电压下降到 0.4 pu,当三家子母线发生三相短路故障时,风电机组的机端电压下降到 0.6 pu,当长春母线发生三相短路故障时,风电机组的机端电压下降到 0.7 pu,离风电场最近的母线发生三相短路故障时,风电机组的机端电压下降到 0.85 pu。由此可见该直驱永磁同步风机 LVRT 最低电压限值应为 0.4 pu,高于本风场安装的双馈异步风机最低电压限制 0.2 pu,同时,直驱永磁风电机组的低电压穿越能力高于双馈异步风电机组。该风电机组 LVRT 特性见图 6。

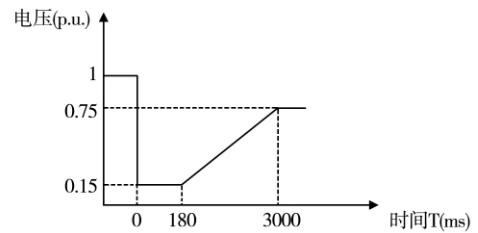
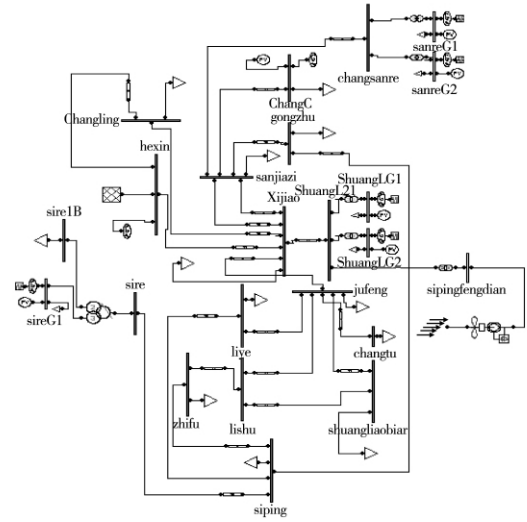


图 5 DFIG 低电压穿越特性图

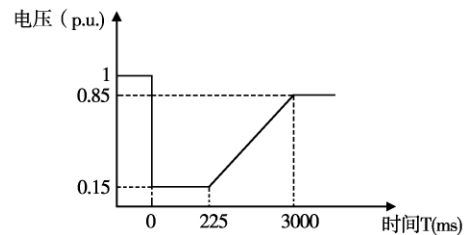


图 6 PMSG 低电压穿越特性图

4 结 论

从仿真数据可以看出,添加制动单元的PMSG的LVRT特性与采用撬棒支路的DFIG的LVRT特性相比,在最低电压限值方面,PMSG的0.4 pu高于DFIG的0.2 pu,在持续稳定性方面,PMSG在电网电压跌落至15%时能坚持并网225 ms,风电场发生电压跌落3 s后,能够保持并网并恢复到85%额定电压。DFIG在电网电压跌落至15%时能坚持并网180 ms,风电场发生电压跌落3 s后,能够保持并网并恢复到75%额定电压。由此可见,本风电场安装的直驱永磁风力发电机组的低电压穿越特性优于双馈异步风力发电机组的低电压穿越特性。

参 考 文 献

- [1] 魏林君,迟永宁,赵建国,等.双馈变速风电机组低电压穿越控制[J].电网与清洁能源,2009,25(2):41-45.
- [2] 肖盛,张建华,郭世繁,等.并网双馈风电机组低电压穿越能力研究[J].电网与清洁能源,2010,25(2):70-71.
- [3] 李建林.全功率变流器永磁直驱风电系统低电压穿越特性研究[J].电力系统自动化,2008,32(19):29-33.
- [4] 李峰,陆一川.大规模风力发电对电力系统的影响[J].中国电力,2006,39(11):80-84.
- [5] CLEMENS J, ANCA D H, POUL S. Simulation Model of an Active-Stall Fixed-Speed Wind Turbine Controller[J]. Wind Engineering, 2004, 28(2): 177-195.

Comparative Analysis of Low Voltage Ride Through Technology

HUA Zhe-jia¹, GAO Ju¹, TAO Wei-xun², LU Kai²

(1. Energy Resources and Power Engineering College, Northeast Dianli University, Jilin Jilin 132012; 2. Gd Longyuan Power Technology and Engineering Co., LTD, Beijing 100039)

Abstract: With the increasing of the wind power installed capacity in the proportion of grid, the impact becomes bigger and bigger, so the grid brings forward some corresponding requirements for the wind power system, emphasizing the low voltage ride through (LVRT) function is one of the requirements. This paper takes two kinds of wind turbine (DFIG and PMSG) which are installed in the north wind farm for example, analyzing the principle of LVRT of the two wind turbines at the same time, the author makes a simulation by the PSASP software, and based on the simulation result, the minimal voltage limit of LVRT of wind turbines is given. Finally, by the comparing, the advantage of LVRT of DFIG and PMSG is analyzed.

Key words: DFIG; PMSG; LVRT; Minimum voltage limit