

不同风力机风速突变对其并网系统影响分析

罗 庆 晁 勤 袁铁江 罗建春

(新疆大学电气工程学院 新疆 乌鲁木齐 830049)

摘 要:在风速突变条件下,对异步式、双馈异步式、直驱式风机接入电网时电压和风能利用率进行了研究,通过对动态模拟仿真结果对比分析可知,在风速突变时,其中直驱式和双馈式风机对并网系统电压影响较小,且风能利用率较高,而异步风机对系统电压影响较大。

关键词:风机模型; 突变风速; 风能利用率; 动态仿真; 电网稳定

Abstract: Under the abrupt change of wind velocity, the voltage and the wind power utilization rate when the asynchronous wind turbine, doubly-fed induction wind turbine, direct-driven wind turbine are connected to the power grid are studied. Through the comparison and analysis of dynamic simulation results, it shows that in the abrupt change of wind velocity, the direct-driven and doubly-fed induction wind turbines have less influences on the voltage of grid-connected system, and the wind power utilization rate is higher, while the asynchronous wind turbine has more influence on system voltage.

Key words: wind turbine model; abrupt change of wind velocity; wind energy utilization rate; dynamic simulation; power grid stability

中图分类号: TM712 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2012)03-0008-03

0 引 言

目前,越来越多的国家已经把能源作为一个国家的重要战略。其中,中国是世界风电机组装机容量最大的国家之一,各地区风电场装机容量日渐增大。风速的不可预测性和间断性,导致其有功出力随机变化,严重影响电网安全稳定。对于大规模风电场,当风速突变时,将对并网系统的安全稳定造成较大冲击和影响,威胁其他挂网机组的正常运行,严重时使系统瓦解。

目前,风速突变时对接入电网相关影响的研究不多,文献[1]中主要分析了在风速突变时风电场对电网电压的影响;文献[2]提出了采用小干扰稳定分析的风力发电机组的数学模型,并对风电场和电网之间相互影响进行分析;文献[3]研究实际风电功率波动的时空分布特性及其内在趋势性特征,评估风电波动对电网造成的影响。

单一风机类型在风速突变下对电网的影响的文献较多,但对不同类型风机的对比分析的相关研究较少。针对3种接入电网的风机在风速突变时电压和风能利用率进行了分析,得到了在风速突变情况

下,直驱风电机组对电网影响最小,其风能利用率也是最高的。

1 风速模型与风能转换模型

1.1 风速模型

风速一般分为基本风、阵风、渐变风和随机风。这里采用阵风模型,如图1所示。

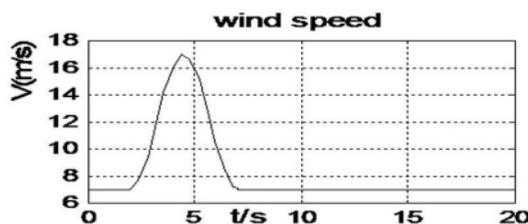


图 1 风电场阵风模型图

阵风数学表达式如式(1)所示。

$$V_{WG} = \begin{cases} V_B, & t < t_G \\ V_B + V_{\cos}, & t_G < t < t_{G1} \\ V_B, & t < t_G + t_{G1} \end{cases} \quad (1)$$

式中, V_B 为基本风速; V_{\cos} 为阵风风速; t_G 为阵风启动时间; t_{G1} 为阵风作用时间。

$$V_{\cos} = \frac{V_{\max}}{2} [1 - \cos 2(\frac{t}{t_{G1}} - \frac{t_G}{t_{G1}}) \pi]$$

基金项目:新疆自然科学基金项目(201211A10 201121A017)

式中, V_{max} 为阵风最大值。

1.2 风能转换模型

风的动能与风速平方成正比。风力发电是基于风轮在流动的空气中, 获得阻碍流动空气流速的部分动能。风轮从风中吸收的功率可以用式(2)、式(3)表示。

$$P = \frac{1}{2} C_p A \rho V^3 \quad (2)$$

$$A = \pi R^2 \quad (3)$$

式中, P 为风轮输出功率; C_p 为风轮的功率系数; A 为风轮扫掠面积; ρ 为空气密度; V 为风速; R 为风轮半径。风轮可获得的最大风效率, 即贝兹极限下 $C_p = 59\%$ [4]。

在风速低于额定风速时, 风力机获得最佳功率与转速的关系式如式(4)。

$$P_{opt} = kn^3 \quad (4)$$

式中 $k = \frac{1}{2} \rho A \left(\frac{R}{\lambda_{opt}} \right) C_{pmax}$; n 为转速; P_{opt} 为目标输出功率; A 为式(3)值; C_{pmax} 最佳功率系数; λ_{opt} 为最佳叶尖速比 [5]。

2 不同类型风力发电机结构模型

目前, 国内已运行风电场大部分机组是异步风电发电机, 其主要特点是结构简单、运行可靠、价格便宜; 双馈式异步发电机应用的是交流励磁变频恒频双馈风力发电技术; 直驱式永磁风力发电机组属于变桨宽带调速同步风力发电机组, 采用永磁同步发电机、无增速齿轮设计。3种风力机组接入电网拓扑结构分别如图2、图3和图4所示。

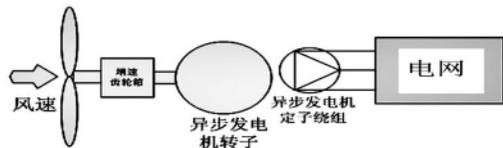


图2 异步风力发电机组接入电网拓扑结构

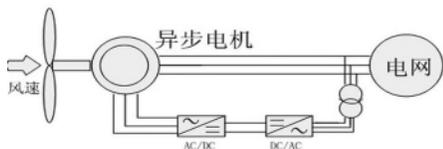


图3 双馈式异步发电机接入电网拓扑结构

3 仿真系统模型与结果分析

3.1 仿真系统结构

基于上述3种风电机组模型分别搭建了同种机型等值风电场接入同一电网的仿真系统, 其系统基本结构如图5所示。

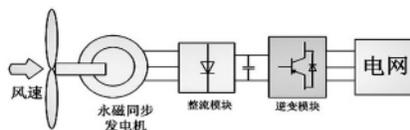


图4 直驱式永磁风力发电机接入电网拓扑结构

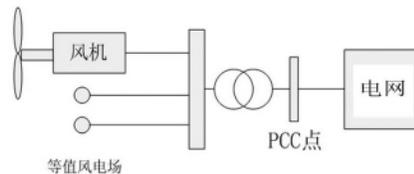


图5 仿真动态系统模型

仿真过程中的风速采用阵风模型, 其基本风为7 m/s, 风速从2 s开始经过2.5 s突增到17 m/s, 再经过2.5 s从17 m/s下降至7 m/s。异步、双馈和直驱等值风电场容量均取10 MW, 分别对3种风电场PCC点的电压、电流、有功和无功波动曲线进行仿真和分析。

3.2 电压仿真结果分析

风速突变时, 3种风电场接入电网的PCC点母线电压的波形, 分别如图6、图7和图8所示。

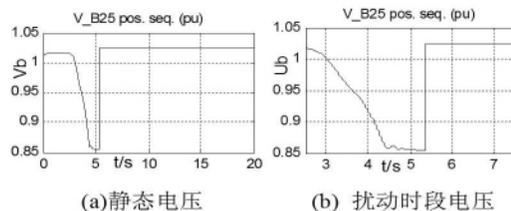


图6 异步风电场 PCC 母线电压

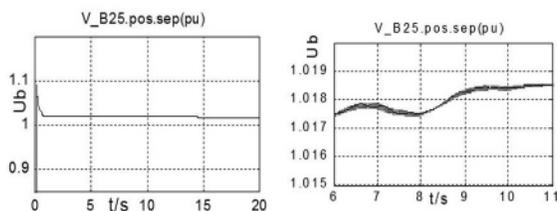


图7 双馈风机风速扰动时段电压

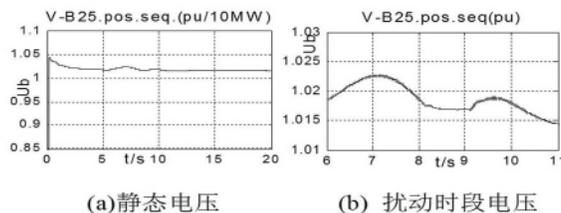


图8 直驱风电场 PCC 母线电压

对图6、图7和图8分析可知,风力发电机组将风能转化为电能时有时间延迟。在相同突变风速作用下3种风电场PCC点母线电压波动值如表1所示。

表1 风速突变时段风机电压波动值

类型	异步	双馈	直驱
波动值	$0.14U_N$	$0.001U_N$	$0.0075U_N$

由表1可知,在风速扰动时,异步风电场PCC母线电压跌落较明显,最后跌至风力机低电压保护动作值,将该等值风电场切除。双馈和直驱风电场PCC母线电压波动较平稳,其中双馈风电场PCC母线电压呈上升趋势,电压波动范围为 $0.001U_N$;直驱风电场PCC母线电压呈下降趋势,电压波动范围为 $0.0075U_N$ 。

3.3 电流波动分析

风速突变时3种风电场接入电网的PCC点母线电流的波形,分别如图9、图10和图11所示。

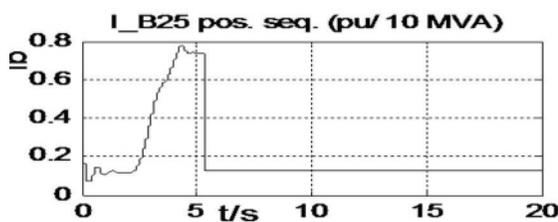


图9 异步风力发电机组电流波动

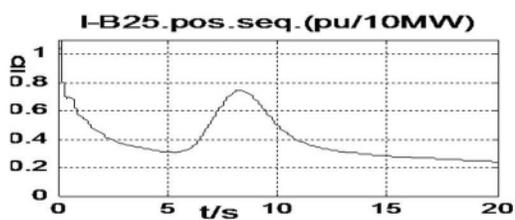


图10 双馈式异步风力发电机组电流图

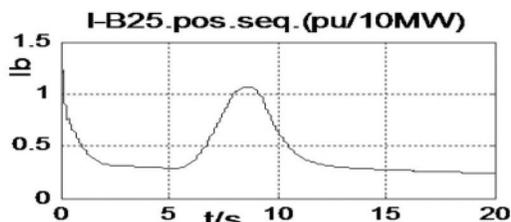


图11 直驱同步风力发电机组电流图

对图9、图10和图11分析可知,等值异步风电场风能转化为电能的时间延迟较短为1s,基本与风速变化一致;等值双馈和直驱风电场延迟时间较长均为4s。电流随着风速增大而增大,但当风速达到额定风速时,电流均没有达到额定值,其中直驱风

电机组电流较大,对风能利用率相对较高。

3.4 有功功率波动分析

风速突变时3种风电场接入电网的PCC点母线有功功率的波形,分别如图12、图13和图14所示。

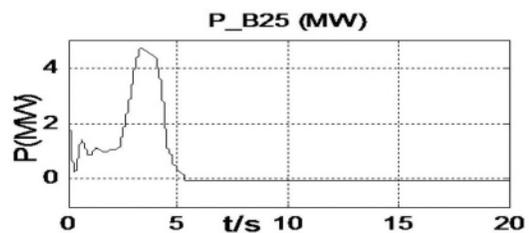


图12 异步风力发电机组有功功率图

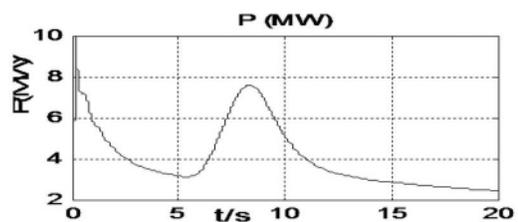


图13 双馈式异步风力发电机组有功功率图

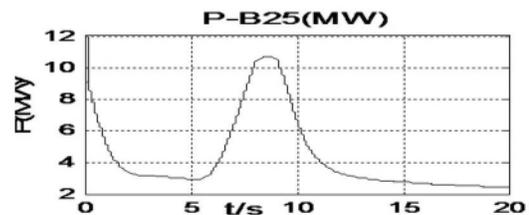


图14 直驱风力发电机组有功功率图

对图12、图13、图14分析可知,不同等值风电场对同一风速突变时,都有随风速变化而变化的趋势,直驱的风力机对风能利用率较高。异步风机随风速增大而有功功率降低,最后在5.35s时刻,继电保护动作将风电场解列。

3.5 无功功率波动分析

风速突变时3种风电场接入电网的PCC点母线无功功率图形,分别如图15、图16和图17所示。

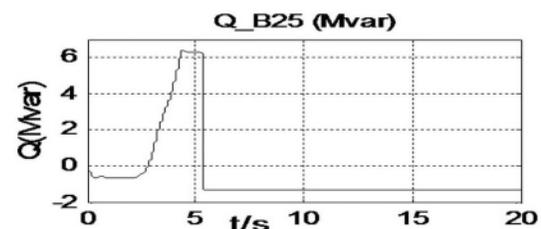


图15 异步风力发电机组无功功率

从图15、图16和图17可以看出在风速突变

(下转第43页)

济性,以及系统后期的可扩展性,是需要进一步深入研究的问题。

3 结 语

故障定位系统直接减少故障定位时间、故障隔离时间,与其他模式比较具有明显的经济性,适合处在配电自动化建设起步阶段的地区使用。故障指示器是故障定位系统的核心部件,目前仍需在故障判

据、取电和通信等技术问题上进一步发展完善。

参考文献

- [1] 秦丝 胡厚欲. 电缆故障指示器的应用经验[J]. 广东输电与变电技术, 2008 4(12): 49-52.
- [2] 袁钦成. 配电系统故障处理自动化技术综述[J]. 电力设备, 2007 8(12): 1-5.

(收稿日期:2012-02-13)

(上接第10页)

时,异步风力发电机对电网发出无功功率。在风速突变时刻,对应双馈式风机和直驱风机均有向电网吸无功的趋势,且直驱风机较明显。

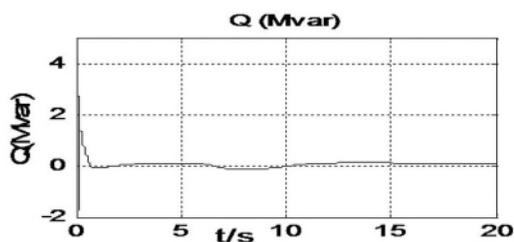


图16 双馈式异步风力发电机组无功功率

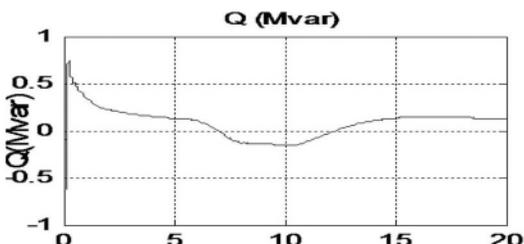


图17 直驱风力发电机组无功功率

从仿真结果图形中,对比可知在引入同一突变风速,对同一接入电网时,电压方面,双馈式风力发电机组和直驱风电机组电压波动较小,对电压影响较小。电流方面,双馈式异步风力发电机组和直驱风力发电机组电流均随风速增大而增加,异步风电机组在保护动作前也是电流随风速增大而增大。相较直驱风电机组对风能利用率较高。

针对的是等值风电场,风电场的容量相对较小,在实际中,风电场的容量将是数十倍、数百倍的容量。当在此类的风电场风速突变时,将形成的效果和影响会更大。

4 结 论

(1) 由文中的动态仿真结果,基于风电场风速年突变率和风电场对接入电网的影响及对自身的安

全,在建设的风电场中,要考虑当风速年突变率较高时,基于电压、电流、有功、无功波动和风能利用率考虑时,应选直驱式风力发电机型,其电压在风速突变时较缓和,对此时的风能利用率较高。

(2) 异步风电机组在风速突变(风速突增)时,电压下降,当风速突变到某一值时,由于电压低于风力机低电压保护整定值,继电器动作,切除该风电场,这将对电网安全造成很大的影响。例如2011年4月甘肃酒泉某风电场由于低电压穿越能力不行,风电场解列,对西北电网造成巨大影响。风电场的异步风力发电机组应注重在风速突变时,风电机组的电压跌落问题。

参考文献

- [1] 范高峰,于德龙,任普春,等. 变动风速作用下风电场对电网电压的影响[J]. 电网技术, 2006 30(4): 231-233.
- [2] 汤宏,吴俊玲,周双喜. 包含风电场电力系统的小干扰稳定分析建模和仿真[J]. 电网技术, 2004 28(1): 38-41.
- [3] 崔杨,穆钢,刘玉,等. 风电功率波动的时空分布特性[J]. 电网技术, 2011(2): 110-114.
- [4] 叶杭治. 风力发电系统的设计、运行与维护(第一版)[M]. 北京:电子工业出版社, 2010: 90-94, 183-187.
- [5] 张志英,赵萍,李银凤,等. 风能与风力发电技术(第二版)[M]. 北京:化学工业出版社, 2010: 65-73, 290-299.
- [6] 吴学光,张学成,印永华,等. 异步风力发电系统动态稳定分析的数学模型及其应用[J]. 电网技术, 1998, 22(6): 68-72.

作者简介:

罗庆(1987),男,硕士研究生,研究方向为洁净能源与并网技术;

晁勤(1959),女,教授,博士生导师,主要从事电力系统综合自动化和并网风力发电系统稳定性等方面的研究和教学;

袁铁江(1976),男,讲师,博士研究生,研究方向为风力发电及其并网技术。

(收稿日期:2012-02-22)