

基于双馈风电模型的电压稳定性研究

郭虎奎, 李凤婷

(新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830008)

摘要:在电力系统仿真软件 PSASP 6.25 中建立了基于双馈式风力发电机组的模型, 仿真计算了新疆达坂城风电场中风机模型为双馈式风电机组模型条件下, 在阵风、渐变风、随机风时风电场接入对电网电压稳定性的影响。

关键词:风电机组; 双馈机组; 风速

Abstract: The type of doubly-fed wind turbine model is established in power system simulation software PSASP 6.25. The simulated wind turbine model in DaBancheng wind farm of Xinjiang is the doubly-fed. When the wind is the gust, the asymptotic wind or the random wind, the impact on the voltage stability of the large power grid with the access of wind farm is calculated.

Key words: wind turbine unit; doubly-fed unit; wind speed

中图分类号: TM712 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)06-0004-03

0 引言

双馈发电机也称交流励磁发电机, 它在结构上类似于绕线式感应电机, 包括绕线式异步电机本体、变频器和控制环节。其定子绕组直接接入电网, 转子采用三相对称绕组, 经背靠背的 PWM 双向电压源变频器与电网相连, 给发电机提供交流励磁, 可实现发电机有功、无功和转速的独立调节。该发电机具有良好的稳定性和较强的进相运行能力^[1]。

以下模拟分析了新疆达坂城风电场风机模型为双馈式风力发电机时, 风电场风能接入对主电网电压稳定性的影响。作为风电场的基本组成单元, 风电机组模型对整个风电场的电压稳定性将产生重大影响。同时考虑到风力发电出力随风速大小等因素而变化, 所以在风电场并网运行时必然会影响电网的电压质量和电网的电压稳定性。

风力发电对电网电压的影响主要有慢的(稳态)的电压波动、快的电压波动(即闪变)、波形畸变(即谐波)、电压不平衡(即负序电压)、瞬态电压波动(即电压跌落和凹陷)等^[2]。

1 空气动力学及风速模型

1.1 空气动力学模型

$$\begin{cases} P_w = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 C_p(\beta, \lambda) V_{eq}^3 \\ T_w = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 C_p(\beta, \lambda) V_{eq}^2 / \lambda \\ C_p(\beta, \lambda) = 0.22 \left(\frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5.0 \right) e^{-\frac{12.5}{\lambda_i}} \end{cases} \quad (1)$$

其中, P_w 是从风电机组从风中获取的能量转化为的风力机械功率 (W); T_w 是从风中获取的能量转化为风力机械转矩 (N·m); ρ 为空气密度 (kg/m^3); R 为风机叶轮半径 (m); $\lambda = R\omega_{mr}/V_{eq}$ 为叶尖速比; β 为桨距角 (deg); ω_{mr} 为风力机叶轮的转速 (rad/s); C_p 为风机的风能转换效率系数, 是 λ 与 β 的函数; V_{eq} 为等效风速^[3]。

1.2 风速特性^[4,5,6]

为了较精确地描述风的随机性和间歇性的特点, 这里采用风力三分量模型, 各分量分别为阵风 V_A 、渐变风 V_B 和随机风 V_C 。

A 阵风: 描述风速突然变化的特性。

$$V_A = \begin{cases} 0 & (t < T_{IG}) \\ V_s & (T_{IG} \leq t \leq T_{IG} + T_G) \\ 0 & (t > T_{IG} + T_G) \end{cases} \quad (2)$$

其中,

$V_s = (\max G / 2) \{ 1 - \cos[2\pi(t/T_G) - (T_{IG}/T_G)] \}$
 V_A , T_{IG} , T_G , $\max G$ 分别为阵风风速 (m/s), 起动时间 (s), 周期 (s) 和最大值 (m/s)。

B 渐变风: 表示风速的渐变特性。

$$V_B = \begin{cases} 0 & (t < T_{1R}) \\ VY & (T_{1R} \leq t < T_{2R}) \\ \max R & (T_{2R} \leq t \leq T_R + T_{2R}) \\ 0 & (t \geq T_R + T_{2R}) \end{cases} \quad (3)$$

其中,

$$VY = \max R [1 - (t/T_{2R}) / (T_{1R} - T_{2R})]$$

式中, V_B , $\max R$, T_{1R} , T_{2R} , T_R 分别为渐变风风速 (m/s)、最大值 (m/s)、起动时间 (s)、终止时间 (s) 和保持时间 (s)。

C 随机扰动风: 风速的随机性一般用随机噪声风分量来表示。

$$V_C = 2 \sum_{i=1}^N [S_V(\omega_i) \Delta \omega]^{1/2} \cos(\omega_i + \varphi_i) \quad (4)$$

其中,

$$\begin{cases} \omega_i = (i - \frac{1}{2}) \cdot \Delta \omega \\ S_V(\omega_i) = \frac{2K_N F^2 |\omega_i|}{\pi^2 [1 + (F\omega_i/\mu\pi)^2]^{4/3}} \end{cases}$$

式中, φ_i 指 $0 \sim 2\pi$ 之间均匀分布的随机变量; K_N 指地表粗糙系数; F 指扰动范围 (m^2); μ 指相对高度的平均风速 (m/s); N 指频谱取样点数; ω^i 指各个频率段的频率。

2 算例分析

仿真计算在一个由 6 台风电机组构成的风电系统中进行, 风电场和大电网连接的等值电路如图 1 所示。

风电场包含 3 台相同型号的 750 kW 风电机组和 3 台相同型号的 1.5 MW 风电机组。风电机组采用单台机组单台变压器的接线方式, 每台风电机组出口电压为 690 V, 经变压器升压到 10 kV。各台机组之间用地下电缆相连接。风电场出口经升压变压器升压至 110 kV, 然后经双回 150 km 架空线路与远方电网相连。

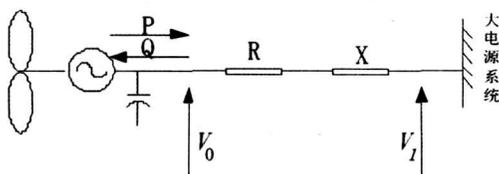


图 1 风电场接入电力系统的等值电路原理图

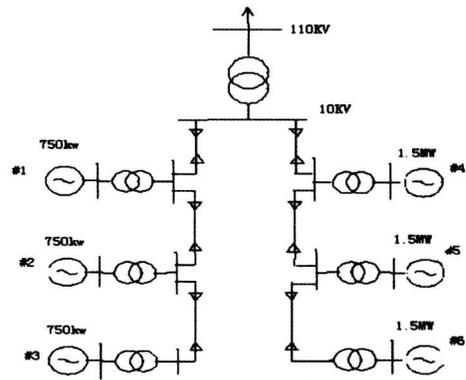


图 2 风电场内部接线图

2.1 双馈风电系统在不同风系扰动下的运行情况下风电场特性分析

2.2.1 阵风扰动下的风电机组特性分析

图 3 是阵风时的仿真曲线。其中曲线 (1) 代表阵风风速随时间的变化, 曲线 (2) 代表双馈式风电机组无功出力随时间的变化情况。从图 3 可以看出, 当风速从 11.5 m/s 增大到 23.3 m/s 的过程中, 其无功出力从 0.1 pu 减小到 0.036 pu。在风速从 23.3 m/s 增大到 24.3 m/s 然后重新变小的过程中, 其无功出力开始增大。从图 3 也可以看到采用双馈发电机的风电机组一直相当于是一个无功负荷, 因为其输出的无功功率为负值。即双馈感应电机能够实现有功、无功的解耦控制, 能够给系统电压提供一定的无功支持, 有利于维持系统电压稳定。

图 4 为阵风时风电场与系统连接点的电压变化曲线, 其中曲线 (1) 是双馈式风电机组出口电压, 曲线 (2) 是风电机组随着风速的变化的有功变化曲线。从仿真结果还可以看出, 在 1~3 s 随着风速的增大风电场输出有功出力增加, 即双馈式风力发电机的转速可随风速的变化及时的做出相应调整, 使双馈式风力机以最佳叶尖速比运行, 产生最大的电能输出。结

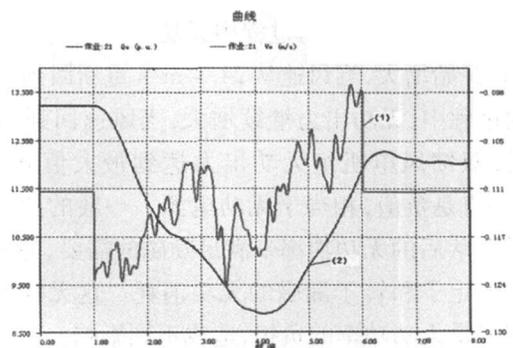


图 3 阵风时风电场输出无功功率的变化曲线

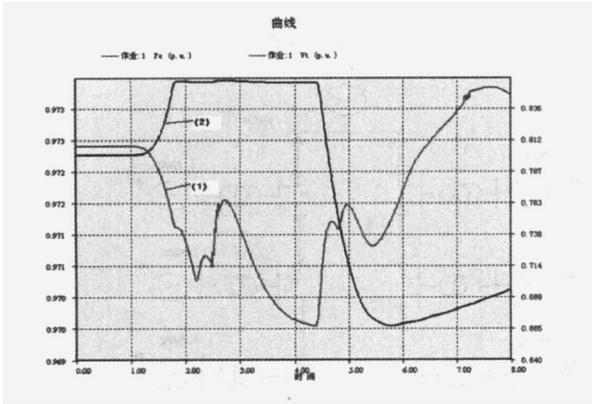


图 4 阵风时风电场与系统连接点的电压变化曲线

合上面的无功曲线图可知,随着风速增大其无功出力减小,因此风电机组出口处电压随之降低。在 4.3 s 后随着风速减小,有功出力减小,其无功出力开始大幅增大,因此机组出口处电压也开始增大,使系统电压接近于最佳状态。

2.2.2 渐变风扰动下的风电机场特性分析

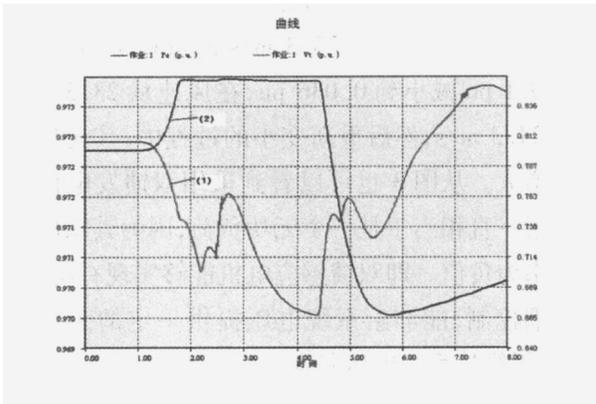


图 5 渐变风时无功功率变化曲线

图 5 为渐变风时无功功率变化曲线,其中曲线 (1) 代表渐变风风速随时间的变化,曲线 (2) 代表双馈式风电机组无功出力随时间的变化情况。可以看到风速在 11.6 m/s 增大到 24.4 m/s 时,双馈风电机组的无功出力从 0.10 pu 减小到 0.036 pu。当风速达到 23 m/s 时,无功出力减小到最小值。而风速从 23 m/s 增大到 24.4 m/s 的过程中无功出力不再继续减小,而是开始增大,当风速从 24.4 m/s 重新回到 11.6 m/s 的过程中,无功出力继续增大,当风速回到 11.6 m/s 时,双馈风电机组无功出力达到最大值 0.109 pu 且一直是负值,相当于无功电源。一般的感应发电机需要落后的无功功率来满足励磁的需要,另外也为了供应定子和转子漏磁的无功消耗。这无疑加重了电网提供无功功率的负担,造成不利影响。而双馈式风力发电机,相当于一个无功电源,能向电网提供无功功率,这是它很大的一个优点。

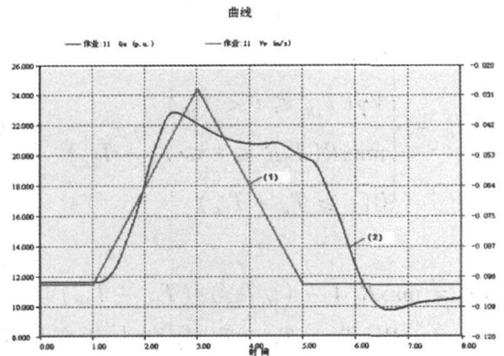


图 6 渐变风时电压变化曲线

图 6 为渐变风时电压变化曲线,其中曲线 (1) 是渐变风时双馈式风电机组出口处的电压曲线,曲线 (2) 为其有功出力曲线。可以看出,从 1.2 s 开始双馈风电机组有功出力开始增大,无功出力开始减小,其出口处电压开始降低。在 4.5 s 处其电压降低到最小值。然后随着风速降低,无功出力开始增大,机组出口处电压开始恢复到 0.97 pu 的稳定状态。

2.2.3 随机风扰动下的风电机场特性分析

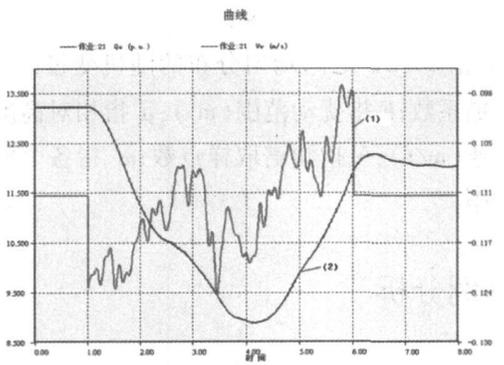


图 7 随机扰动风时无功功率变化曲线

图 7 为随机扰动风时无功功率变化曲线。曲线 (1) 代表随机扰动风风速的变化,曲线 (2) 表示这一时间段内双馈式风电机组无功出力的变化。由于风电机组本身的惯性,风电机组出力以及由此引起的无功变化并不在时间上与随机风一致。

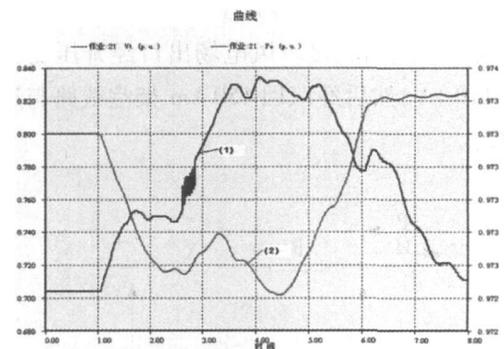


图 8 随机扰动风时电压变化曲线

(下转第 12 页)

可能造成刀闸直阻增大,刀闸的绝缘破坏。

4.2 刀闸半分合闸的处理措施

按照日本厂方要求 50332 刀闸做直流回路电阻测试和绝缘电阻测试,经测试这两项参数均正常。为了防止刀闸电机回路熔断器再次熔断,该站 HGIS 刀闸电机电源回路所有熔断器已换成空气开关。

5 HGIS 机构箱液压表连接管漏油

2008 年 4 月 25 日,该站值班员巡视设备时发现 5013 开关 A 相机构箱液压表连接管处漏油,经过几天观察发现漏油不止。分析是天气变热后机构箱油压力增大,并未得到及时释压,加上连接管本身制造工艺问题,内部有毛刺小孔,所以 5013 开关 A 相机构箱液压表连接管发生了漏油。

5.1 开关机构箱液压表连接管漏油的危害

如果开关机构漏油越来越多,将导致开关液压力不足,可能造成开关不能正常分合闸,甚至跳合闸闭锁,事故情况下将造成扩大停电范围。

5.2 开关机构箱液压表连接管漏油的处理措施

在 5013 开关停电状态下,由日本厂方更换了 5013 开关 A 相液压机构压力表连接管。目前尚未发现其他开关机构漏油。

6 小 结

以上对 500 kV 黄岩变电站 HGIS 一年半多来运行中的异常和缺陷进行了介绍和分析,并对这些异常和缺陷产生的危害和整改方案进行了阐述。给同类设备的异常和缺陷处理提供了一套明确的处理方案,尽快隔离和消除故障,保障电网的安全运行。

(收稿日期:2009-07-07)

(上接第 6 页)

图 8 为随机扰动风时电压变化曲线。其中曲线 (1) 是双馈式风电机组出口电压,曲线 (2) 是风电机组随着风速的变化的有功变化曲线。从仿真结果看出,由于随机风速的幅值变化不大,它所引起风电场出力以及电压的波动并不显著,引起风电场出力大幅度变化的是阵风和渐变风等风速变化幅值较大的扰动。

3 结 论

以上仿真分析了双馈式风电机组接入无穷大母线时,在各风速分量作用下,风电机组输出的无功及机端电压的变化。

可以得出双馈式风力发电机的转速可随风速的变化及时的做出相应的调整,使双馈式风力机以最佳叶尖速比运行,产生最大的电能输出。

基于双馈风电模型的风电机组,相当于一个无功电源,风电接入主电网的电压稳定性要远远好于异步式风电场接入时的对主网电压稳定性的影响,更有利于维护主网的电压稳定性。

参考文献

[1] 王纯绮,晁勤.达坂城无功补偿分析 [D].乌鲁木齐:新

疆大学,2006.

[2] 迟永宁,戴慧珠,王伟胜.大型风电场接入电网的稳定性问题研究 [D].中国电力科学研究院,2006.

[3] 范高锋,王纯琦,乔元,等. SVC 补偿型定速风电机组模型及其特性分析 [J]. 电网技术,2007,(11): 31-22.

[4] 陈树勇.大型并网风力发电场规划方法研究 [D].中国电力科学研究院.

[5] Wu Xueguang et al. Application of models of the wind energy conversion system to wind power dynamic analysis. Power System Technology, 1998. Proceedings POWER-CON '98. International Conference on, 1998, (2): 1406-1411.

[6] 潘文霞,陈允平.风电系统及其电压特性研究 [J].河海大学学报,2001,29(1): 88-92.

作者简介:

郭虎奎 (1984-),男,汉族,硕士研究生,主要从事电力系统稳定与控制研究;

李凤婷 (1965-),女,汉族,教授,硕士生导师,主要从事并网型风力发电系统研究。

(收稿日期:2009-10-10)