

# 异步风力机风速突变对并网系统影响 分析与防护措施

罗 洪 陈 静 冉 鸿

( 国网重庆武隆县供电有限责任公司 重庆 408500)

**摘 要:** 在含异步风力机风电场电网中,风电场风速的突变将会对电网系统造成影响。研究了含异步风电机组的风电场在风速突变条件下对接入电网的电压、电流、有功、无功的影响情况。通过动态模拟仿真,在风速突变时,接入点的电压水平和风力机的风能利用率都有明显下降,并仿真分析了 STATCOM 对接入点的电压水平和风力机的风能利用率的影响。最后讨论了平移突变风速、变桨距控制风速突变等防护措施的可行性,保证异步风电场在风速突变时正常运行。

**关键词:** 异步风力机模型; 突变风速; 动态仿真; 防护措施

**Abstract:** In wind farm grid with induction wind turbines , the abrupt change of wind velocity will affect the grid system. The influences of wind farm with induction wind turbines during the abrupt change of wind velocity on the grid - integrated voltage , current , active power and reactive power are studied. Through the dynamic simulation , during the abrupt change of wind velocity , the voltage level of access point and the wind energy utilization of wind turbine decrease significantly , and the impacts of STATCOM on the voltage level of access point and the wind energy utilization of wind turbine are analyzed by the simulation. Finally the feasibility of protective measures such as abrupt change of shift wind velocity and abrupt change of pitch control wind velocity is discussed in order to ensure the normal operation of induction wind farms during the abrupt change of wind velocity.

**Key words:** induction wind turbine model; abrupt change of wind velocity; dynamic simulation; protective measures

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2014)03 - 0053 - 04

## 0 引 言

在目前形势下,国家已经把能源作为一个国家的重要发展战略。中国是世界风电机组装机容量最大的国家之一,异步风力机最早应用到风力发电中,各地区风电场中均含有异步风力发电机组。由于天气原因,风速具有不可预测性和间断性,将导致风力机组的有功出力出现随机变化,严重会影响到电网安全稳定。当大规模含异步风力发电机组的风电场并入电网时,风速发生突变时,风电场将不能正常运行,会对并网系统的安全稳定造成冲击和影响,甚至威胁其他挂网发电机组的正常运行,严重时会使系统瓦解,造成重大经济损失。

目前,风速突变时对异步风力机组的影响研究较多,但对其接入电网后其电压等相关影响、风能利用率和对其的防护措施研究较少,文献[1]主要分

析了在风速突变时风电场出口电压的情况。文献[2]提出了采用小干扰稳定分析方法仿真分析了风力发电机组在风速突变下的数学模型,并对风电场和接入电网之间相互影响进行了全面分析。文献[3]研究了某实际风电场实际风电功率波动的时空分布特性及其内在趋势性特征,来系统评估风电波动对并网系统造成的影响。

现有研究中对风力机在风速突变下对并网系统影响分析的文献较多,但对异步风力机在风速突变下采取的防护措施的相关研究较少。于是针对异步风力机组接入电网在风速突变时段的电压和风能利用率进行了分析,得到了在风速突变情况下,异步风力机对系统电压影响较大和风能利用率较小。提出了当风速突变时异步风力机采用无功补偿措施,电压在安全运行范围,风力机组的风能利用率明显上升;同时给出了平移突变风速和变桨距控制风速突变的可行性措施。

# 1 突变风速模型与风能转变模型

## 1.1 突变风速模型

风速一般可分为基本风、阵风、渐变风和随机风。突变风速一般为阵风,其模型如图 1 所示。

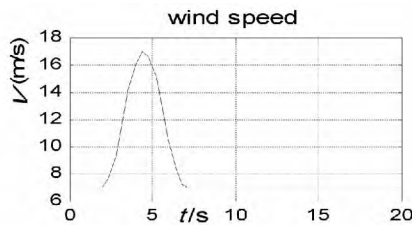


图 1 突变风速模型图

突变风速数学表达式如式(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;  $V_{\cos}$  为阵风风速;  $t_G$  为阵风启动时间;  $t_{G1}$  为阵风作用时间。

式中,  $V_{\cos} = \frac{V_{\max}}{2} \left[ 1 - \cos 2 \left( \frac{t}{t_{G1}} - \frac{t_G}{t_{G1}} \right) \pi \right]$ ;  $V_{\max}$  为阵风最大值。

## 1.2 风能转变电能模型

风力发电中,风的能量与其风速的平方成正比。风力发电是风轮在流动的空气中获得了阻碍流动空气流速的部分机械能。风轮从空气中吸收的功率可以用公式(2)表示。

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

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

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;  $\rho$  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下。

$$P_{\text{opt}} = kn^3$$

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

将公式(1)代入公式(4)中,可以得到风速与风

力机获得最佳功率呈三次方变化。但在风速突变过程中,传动过程的惯性将会影响风力机获得最佳功率,不利于风力机对风能的利用率。

# 2 仿真系统模型与结果分析

## 2.1 异步风力发电机结构模型

因为风速不稳定和不确定性,很难保持转子转速始终为同步转速,所以目前大中型风力发电机多采用的是异步发电机。同时由于异步风力发电机结构简单、价格便宜、维护方便等特点,在国内风电场中大规模使用。异步风力机组接入电网结构如图 2 所示。

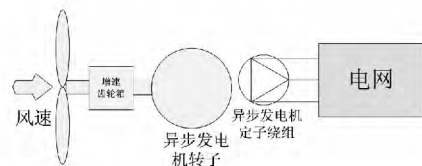


图 2 异步风力发电机组接入电网

## 2.2 含异步风力机组风电场仿真系统

基于异步风力机组模型搭建了该机型等值风电场接入电网的仿真系统,其系统基本结构如图 3 所示。

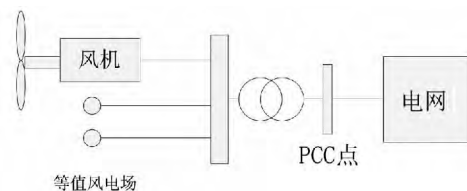


图 3 仿真动态系统模型

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。

含异步风力机组等值风电场容量为 10 MW,将以上突变风速引入,对风电场 PCC 点的电压、电流、有功和无功波动曲线进行仿真和分析。

## 2.3 仿真结果分析

在风速突变时段,异步风力机风电场接入电网的 PCC 点母线电压、电流、有功功率、无功功率图形如图 4、5、6、7 所示。

对图 4 分析可知,风力发电机组将风能转化为电能时由于传动惯量有时间延迟。

在风速扰动时段,异步风电场 PCC 母线电压跌

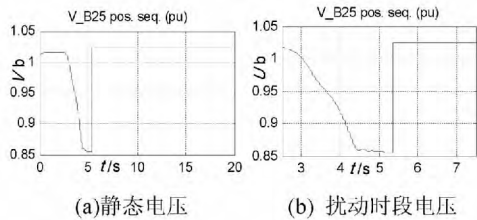


图 4 异步风电场 PCC 母线电压

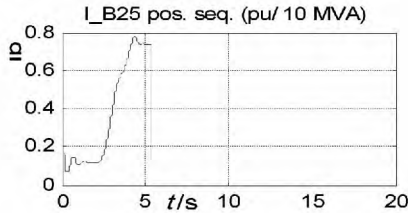


图 5 异步风力发电机组电流波动

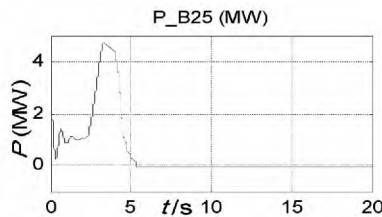


图 6 异步风力发电机组有功功率

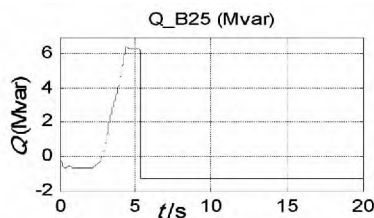


图 7 异步风力发电机组无功功率

落  $0.14U_N$   $0.5$  s 后并网侧低电压继电器保护动作, 将该等值风电场切除, 其与并网系统解列。

对图 5 分析可知, 等值异步风力机风电场风能转化为电能的时间延迟为  $1$  s, 变化趋势基本与风速一致; 电流随着风速增大而增大, 但当风速达到额定风速值时, 电流没有达到额定出力值, 最后异步风力机因电压跌落与电网解列, 电流为数字。

对图 6 分析可知, 异步风力机有功功率随风速增大而减小的趋势, 仿真中异步风力机随风速增大而有功功率降低, 最后在  $5.35$  s 时刻, 并网侧低压继电器保护动作将风电场解列。

从图 7 可以得出在风速突变时断, 异步风力发电机一直对电网发出无功功率, 直至解列为止。

从以上仿真结果图形中, 可知在对异步风力机组引入突变风速时段, 异步风力机电压跌落明显; 电

流随风速增大而增大; 有功功率有下跌趋势; 无功功率随风速变化。

### 3 异步风力机风速突变防护措施

#### 3.1 加无功补偿装置

在异步风力机风电场的出口接入无功补偿装置时, 引入同一突变风速, 接入同一电网, 仿真结果如图 8、9、10 所示。

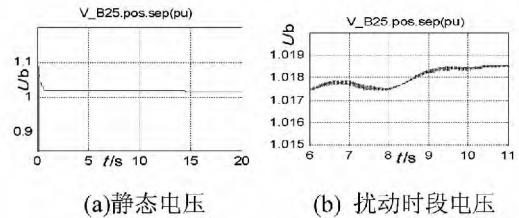


图 8 无功补偿后异步风力发电机组风速扰动时电压

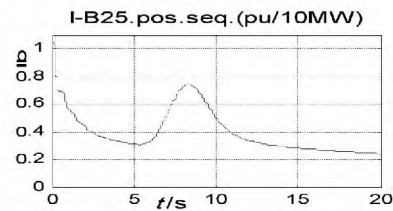


图 9 加无功补偿后异步风力发电机组电流

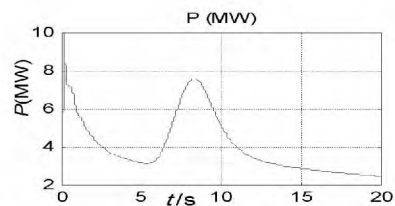


图 10 加无功补偿后异步风力发电机组有功功率

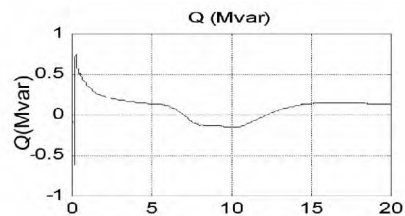


图 11 加无功补偿后异步风力发电机组无功功率

通过图 4、5、6、7 与图 8、9、10、11 对比, 明显可知, 加入无功补偿装置 STATCOM 后, 异步风力机风电场能正常运行风速突变时段, 电压稳定在正常安全电压下, 风能利用率明显提高, 有效地解决了异步风力机在风速突变时段引起电压跌落问题。

#### 3.2 平移突变风速

风速通过叶片带动齿轮箱,然后带动风力发电机发电。在异步风力机设计时,考虑到风速突变(突增),可在风力机内部风能转化为动能后,将动能进行平移。如使齿轮箱的传递齿轮的加速度达到一定值时趋于饱和,不使转速上升,进而对突变风速进行平移,最后使风力机正常运行。

### 3.3 变桨距控制

在异步风力机的叶片上,安装变桨距控制系统。对风速实时监测,将测得的风速反馈给变桨距控制系统,使该系统进行变桨距控制,变桨距控制使风力机的叶片攻角在一定范围内( $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ )变化,从而调节输入风速,达到对突变风速的控制。

## 4 结 论

这里针对的是等值风电场,风电场的容量相对较小,实际中风电场较大,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。对平移风速、变桨距控制上未作仿真研究,后续将进一步分析研究。由以上研究结果给出两点结论如下。

(1) 由动态仿真结果表明,基于异步风力机风电场风速突变时段,风电场会解列接入电网,对电网造成危害。同时基于电压、电流、有功、无功波动和风能利用率考虑时,应考虑该类型机组在风速突变情况下的防护措施,当加 STATCOM 装置后,仿真结果表明该类型风力机此时电压在风速突变时较缓和,且对此时的风能利用率较高,使并网系统安全稳定运行。

(2) 异步风力机组在风速突变(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,风力机组的电压跌落问题,如添加 STATCOM、风力机内部进行平移突变风速势能、变桨距控制等。

### 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,严干贵. 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.

[7] 王承熙,张源. 风力发电[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.

[8] 文玉玲,晁勤,吐尔逊·依布拉音. 风电场对电网继电保护的影响[J]. 电网技术, 2008, 32(14): 14-17.

[9] 张学广,徐殿国,李伟伟. 双馈风力发电机三相短路电流分析[J]. 电机与控制学报, 2008, 12(5): 493-497.

[10] 欧阳金鑫,熊小伏. 接入配电网的双馈风力发电机短路电流特性及影响[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(23): 106-110.

[11] 关宏亮,赵海翔,刘燕华,等. 风力发电机组对称短路特性分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 28(1): 61-64.

[12] O. Anaya-Lara, X. Wu. Performance of Doubly Fed Induction Generator(DFIG) During Network Faults[J]. Wind Engineering, 2005, 29(1): 49-66.

[13] 迟永宁,王伟胜,刘燕华. 大型风电场对电力系统暂态稳定性的影响[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(15): 10-14.

[14] 张保会,李光辉,王进,等. 风电接入电力系统故障电流的影响因素分析及对继电保护的影响[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(2): 1-8.

[15] 何世恩,董新洲. 大规模风电机组脱网原因分析及对策[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(1): 131-137.

### 作者简介:

罗洪(1972), 电气工程师, 研究方向为清洁能源与并网技术;

冉鸿(1975), 电气工程师, 研究方向为电力系统自动化、清洁能源与并网技术。

(收稿日期: 2013-11-07)