

文章编号: 0254-0096(2008)10-1283-07

# 并网异步风力发电机组模型及参数 对其暂态稳定性的影响

赵 斌, 李 辉, 韩 力

(重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044)

**摘 要:** 建立了笼型异步发电机考虑定子电磁暂态的详细模型、忽略定子电磁暂态的简化模型、同时忽略定转子电磁暂态的稳态模型以及一个和两个质量块的风力机轴系模型。针对上述不同组合的 5 个风力发电机组模型, 利用 Matlab/Simulink 对发电机端部发生三相短路故障情况下的机组暂态行为进行了仿真比较, 并通过时域仿真求取了风力机组不同模型下机组故障临界切除时间。结果表明, 采用不同风力机组模型对机组暂态稳定性分析结果有很大影响, 发电机简化模型和两个质量块的风力机轴系模型较为合适。最后, 以提出的合适模型为例, 详细研究了风力机模型参数对机组暂态稳定性的影响。

**关键词:** 风力发电; 并网异步发电机; 暂态稳定性; 临界切除时间; 模型

**中图分类号:** TM614 **文献标识码:** A

## 0 引 言

在现有大容量风电场中, 异步风力发电机组正被广泛使用, 其中包括笼型异步风力发电机组和双馈异步风力发电机组。大型异步风力发电机组通常直接联网运行, 经常处于电力系统的各种扰动之下。为了准确分析风电场的暂态稳定性, 必须首先建立合理准确的风力发电机组模型。目前, 关于风力发电机组建模已有一些有意义的研究<sup>[1~14]</sup>。对于风力机建模, 文献[2~4, 6, 7]将风力发电机组传动部分等效成一个集中质量块, 建立的是刚性模型; 文献[8~14]将风力机和发电机各等效为一个集中质量块, 中间用弹簧阻尼连接, 建立了两个质量块轴系模型。对于发电机建模, 文献[1, 6, 7]采用忽略定子电磁暂态的简化模型, 而文献[4, 9]采用了同时忽略定转子电磁暂态的稳态模型。以上文献都没有给出各种模型之间的对比分析, 因此有必要详细研究风力机组不同模型时对机组暂态稳定性的影响, 以选取合理的暂态稳定性分析模型。

临界切除时间(Critical Clearing Time, 以下简称 CCT)是允许故障持续的最长时间, 即在该时间内切除故障不会引起系统的不稳定<sup>[15]</sup>, 它是评价发电机组暂态稳定性的一个重要指标。

本文以笼型异步风力发电机组为例, 分别建立风力发电机组的不同模型, 包括详细、简化、稳态的发电机数学模型以及一个和两个质量块的风力机组轴系模型。利用 Matlab/Simulink 对不同风力机组模型在发电机定子端三相短路故障情况下的暂态行为进行仿真, 并评价了不同模型下的机组 CCT 指标。此外, 结合发电机简化模型和两个质量块的轴系模型, 比较研究不同风力机参数对机组暂态稳定性的影响。

## 1 风力发电机组模型

### 1.1 异步发电机模型

假设异步发电机连接无穷大系统, 其电压电流正方向规定按发电机惯例, 定子电压相量与 d 轴重合, 即  $u_{sq} = 0$ 。则笼型异步发电机在 d-q 同步坐标轴系下的暂态电压电流方程标么值形式为(q 轴超前 d 轴)<sup>[1, 6, 7]</sup>:

$$\begin{cases} u_{sd} = -R_s i_{sd} - \omega_s \Psi_{sq} + \frac{1}{\omega_0} p \Psi_{sd} \\ 0 = -R_s i_{sq} + \omega_s \Psi_{sd} + \frac{1}{\omega_0} p \Psi_{sq} \\ 0 = -R_r i_{rd} - s \omega_s \Psi_{rq} + \frac{1}{\omega_0} p \Psi_{rd} \\ 0 = -R_r i_{rq} + s \omega_s \Psi_{rd} + \frac{1}{\omega_0} p \Psi_{rq} \end{cases} \quad (1)$$

其中磁链方程为:

收稿日期: 2007-05-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(50607022)

通讯作者: 李 辉(1973—), 男, 博士、副教授, 主要研究方向为风力发电技术、电机及其系统分析。cqulh@163.com

$$\begin{cases} \Psi_{sd} = -L_{ss}i_{sd} - L_m i_{rd} \\ \Psi_{sq} = -L_{ss}i_{sq} - L_m i_{rq} \\ \Psi_{rd} = -L_m i_{sd} - L_{rr}i_{rd} \\ \Psi_{rq} = -L_m i_{sq} - L_{rr}i_{rq} \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $R_s$ 、 $R_r$ ——定、转子电阻;  $s$ ——转差率;  $\omega_s$ ——定子电角频率(标么值为1);  $\omega_0$ ——系统电角频率基值,  $\omega_0 = 2\pi f$ ;  $L_{ss}$ 、 $L_{rr}$ ——定、转子全自感;  $L_m$ ——定、转子互感;  $p$ ——微分算子,  $p = d/dt$ 。

考虑定、转子磁链电暂态,以电流和转子电动势为状态变量的异步发电机的详细电磁暂态模型为<sup>[1]</sup>:

$$\begin{cases} \frac{X'}{\omega_s \omega_0} p i_{sd} = -(R_s + \frac{X-X'}{T_0}) i_{sd} + \\ \quad X' i_{sq} + (1-s) E_d - \frac{1}{T_0} E_q - u_{sd} \\ \frac{X'}{\omega_s \omega_0} p i_{sq} = -(R_s + \frac{X-X'}{T_0}) i_{sq} + \\ \quad X' i_{sd} + (1-s) E_q - \frac{1}{T_0} E_d - u_{sq} \\ \frac{1}{\omega_s \omega_0} p E_d = -\frac{1}{T_0} [E_d - (X-X') i_{sq}] + s E_q \\ \frac{1}{\omega_s \omega_0} p E_q = -\frac{1}{T_0} [E_q + (X-X') i_{sd}] - s E_d \end{cases} \quad (3)$$

式中,

$$X = \omega_s L_{ss} = \omega_s (L_{ss} + L_m); \quad X' = \omega_s (L_{ss} - \frac{L_m^2}{L_r});$$

$$T_0 = \frac{\omega_s L_{rr}}{R_r}; \quad E_d = -\frac{\omega_s L_m}{L_{rr}} \Psi_{rq}; \quad E_q = \frac{\omega_s L_m}{L_{rr}} \Psi_{rd}.$$

发电机的电磁转矩:

$$T_e = E_d i_{sd} + E_q i_{sq} \quad (4)$$

考虑到定子磁链的暂态过程相比转子磁链的暂态过程非常短,对电机暂态稳定性的影响较小,因此在暂态稳定性分析时常将定子磁链的暂态过程忽略<sup>[10]</sup>。令  $p\Psi_s = 0$ ,则可得发电机的简化电磁暂态模型<sup>[1]</sup>:

$$\begin{cases} u_{sd} = -R_s i_{sd} + X' i_{sq} + E_d \\ 0 = -R_s i_{sq} - X' i_{sd} + E_q \\ \frac{1}{\omega_s \omega_0} p E_d = -\frac{1}{T_0} [E_d - (X-X') i_{sq}] + s E_q \\ \frac{1}{\omega_s \omega_0} p E_q = -\frac{1}{T_0} [E_q + (X-X') i_{sd}] - s E_d \end{cases} \quad (5)$$

此时,电磁转矩表达式如式(4)不变。

如果同时忽略定转子磁链的暂态过程,令  $p\Psi_s$

$= 0, p\Psi_r = 0$ ,则根据式(4)、式(5)可推导出稳态模型的电磁转矩表达式:

$$T_e = \frac{\left(\frac{s}{T_0^2} + \frac{s^3}{T_0}\right) (X-X') \cdot u_{sd}^2}{\left(\frac{X}{T_0^2} + X's^2\right)^2 + \left[\frac{s}{T_0} (X-X') + R_s \left(s^2 + \frac{1}{T_0^2}\right)\right]^2} \quad (6)$$

### 1.2 机械传动轴系模型

根据研究问题的性质和目的不同,风力机轴系建模的研究方法很多。通常在不需要进行应力分布分析和机械强度设计的情况下,往往可采用等效集中质量法<sup>[8]</sup>。如果将风力机、齿轮箱、传动轴和发电机转子等效成一个集中质量块,则可以得到如图 1a 所示的一个质量块风力机轴系模型,其运动方程的数学模型为:

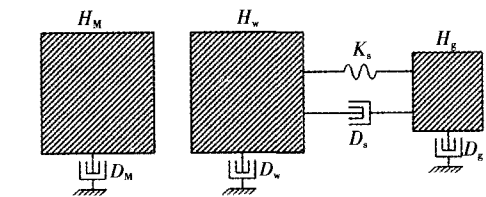
$$2H_M \frac{d\omega_M}{dt} = T_w - T_e - D_M \omega_M \quad (7)$$

式中,  $H_M$ ——等效一个质量块的惯时间常数;  $D_M$ ——等效质量块自身的阻尼系数;  $\omega_M$ ——等效质量块的电角速度,即风力机和发电机的电角速度;  $T_w$ 、 $T_e$ ——分别是风力机的机械转矩和发电机的电磁转矩,前者可由风力机的功率特性得到:

$$T_w = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3 C_p / \omega_b \quad (8)$$

式中,  $\rho$ ——空气密度;  $R$ ——风力机叶片半径;  $v$ ——风速;  $C_p$ ——风能利用系数;  $\omega_b$ ——叶片角速度。

考虑风力机传动轴系柔性的影响,将风力机和发电机转子分别等效为一个质量块,可以建立两个质量块的风力机轴系模型。如图 1b 所示。



a. 等效一个质量块      b. 等效两个质量块

图 1 一个质量块和两个质量块的风力机等效模型示意图

Fig.1 Schematic diagrams of the one-mass and two-mass equivalent models of a wind turbine

在等效两个质量块机械传动轴系模型中,通常齿轮箱的惯性时间常数计入发电机转子中,其运动方程的数学模型为:

$$\begin{cases} 2H_w \frac{d\omega_w}{dt} = T_w - K_s \theta_s - D_s(\omega_w - \omega_g) - D_w \omega_w \\ 2H_g \frac{d\omega_g}{dt} = K_s \theta_s - T_e + D_s(\omega_w - \omega_g) - D_g \omega_g \\ \frac{d\theta_s}{dt} = \omega_0(\omega_w - \omega_g) \end{cases} \quad (9)$$

式中,  $H_w$ 、 $H_g$ ——风力机和发电机转子(含齿轮箱)的惯性时间常数;  $\omega_w$ 、 $\omega_g$ ——风力机和发电机转子的电角速度;  $\theta_s$ ——风力机相对于发电机转子的角位移;  $D_s$ ——风力机和发电机之间的阻尼系数;  $D_w$ 、 $D_g$ ——分别为风力机和发电机转子自身的阻尼系数;  $K_s$ ——传动轴系的刚度系数,其值一般可通过轴系的扭振频率来估算<sup>[14]</sup>。

$$K_s = \frac{8\pi^2 f_T^2}{\omega_0} \cdot \frac{H_w H_g}{H_w + H_g} \quad (10)$$

式中,  $f_T$ ——扭振频率。

## 2 风力机组不同模型的暂态仿真

为了比较采用不同风力机组模型对其暂态稳定性的影响,本文以三相短路故障情况下机组暂态为例,对不同模型描述时的机组暂态行为进行了仿真比较。其中,5种不同风力机组模型描述如表1所示。

表1 风力机组不同模型描述

表示符号	发电机模型	机械传动轴系模型
DD	详细模型	两个质量块模型
DS	详细模型	一个质量块模型
RD	简化模型	两个质量块模型
RS	简化模型	一个质量块模型
SS	稳态模型	一个质量块模型

本文以额定功率为3MW的异步风力发电系统为例进行仿真,图2表示异步风力发电系统通过变压器直接接入无穷大电网的示意图,其主要参数如表2所示。考虑阻尼系数一般很小,在下面的仿真研究中忽略风力机各个部分阻尼因素的影响。

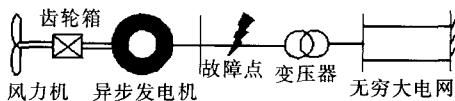


图2 异步风力发电系统示意图

Fig.2 Schematic diagram of a wind power generation system with squirrel cage induction generator

表2 风力发电系统主要参数

Table 2 Main parameters of a wind power generation system

参 数	取值
额定功率 $P_N$ /MW	3
额定电压 $U_N$ /V	575
额定频率 $f_N$ /Hz	50
定子电阻 $R_s$ /pu	0.004843
定子漏感 $L_{\sigma}$ /pu	0.1248
转子电阻 $R_r$ /pu	0.004347
转子漏感 $L_{\sigma}$ /pu	0.1791
定、转子互感 $L_m$ /pu	6.77
发电机转子惯性时间常数 $H_g$ /s	0.50
风力机的惯性时间常数 $H_w$ /s	4.54
传动轴系刚度系数 $K_s$ (pu/el. rad)	0.30

假设风力发电机组初始稳定运行在额定工况,在  $t = 1\text{s}$  时系统突然发生机端三相对称短路故障,在  $t = 1.05\text{s}$  时故障切除,故障持续时间  $0.05\text{s}$ 。5种不同模型风力机组的发电机转速、风力机转速、有功功率的暂态过程分别如图3所示。

从图3仿真结果可以看出,由于轴系模型的简化,采用一个质量块风力机组模型(DS、RS和SS)和采用两个质量块风力机组模型(DD和RD)相比,发电机转速、风力机转速以及有功功率的暂态响应过程有很大差异。如采用RD和DD模型时,由于考虑传动轴系的柔性因素,在电网故障时,风力机轴系扭矩导致发电机转速、风力机转速和有功功率出现了较长时间的波动和振荡。而采用一个质量块模型(DS、RS和SS)时,其暂态过程基本上没有很大的振荡,且由于是刚性模型,发电机转速、风力机转速和有功功率很快趋于稳定。

此外,从图中比较还可以看出,相同轴系模型下采用发电机详细模型(DD和DS)和简化模型(RD和RS)时,其暂态量的变化幅值和响应时间等基本相差不大,如采用DD和RD模型时,发电机转速的最大波动幅值分别为1.047pu和1.051pu,二者结果差异较小且暂态响应过程基本一致。但值得一提的是,由于忽略了定、转子的电暂态,采用稳态模型(SS)时,其暂态响应过程存在较大误差。

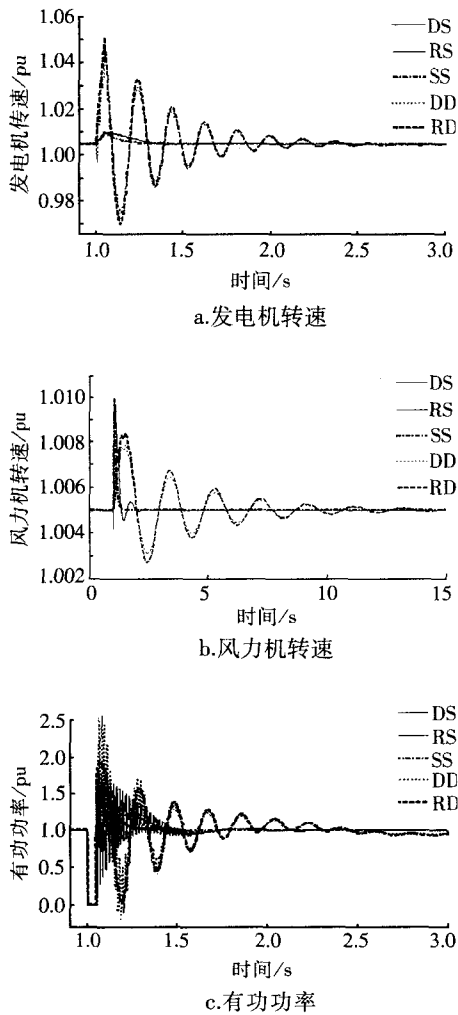


图3 三相短路故障时风力机组不同模型的暂态过程

Fig.3 Transient responses of different models of wind turbine unit during a three-phase short circuit fault

为了定量评价采用不同模型对机组暂态稳定性的影响,本文通过反复的时域仿真,求得了采用不同模型时机组保持暂态稳定性的故障临界切除时间  $CCT$ ,如表3所示。

表3 采用不同模型时机组的  $CCT$

Table 3  $CCT$  of the wind turbine unit using different models

风力机组 模型	一个质量块			两个质量块	
	DS	RS	SS	DD	RD
$CCT/s$	0.318	0.307	0.332	0.112	0.098

从表3可以看出,采用一个质量块风力机组模型时,其  $CCT$  明显都大于采用两个质量块模型时的结果,导致采用一个质量块模型时分析得到的暂态稳定性结论将过于乐观,这和前面暂态响应过程分

析比较的结论相一致。此外,相比 DD 模型,采用 RD 模型时具有最小的  $CCT$ ,这相对保守的结果使得在实际暂态稳定性分析中具有一定的安全裕度。

通过上述暂态行为仿真和  $CCT$  结果比较,采用不同风力机组模型对机组暂态稳定性分析结果的影响很大。在风力机传动轴系方面,采用一个质量块的风力机组模型时,由于传动轴系模型过分简化,往往导致很大的暂态稳定性评价误差。在发电机模型方面,忽略定子电磁暂态的发电机简化模型对机组暂态稳定性分析的结果影响不大,并可得到稍许保守的分析结果,有利于实际工程中机组暂态稳定性的分析。

### 3 参数对机组暂态稳定性的影响

通过上述比较和分析,本节以简化发电机模型和两个质量块轴系模型的风力发电机组模型(RD)为例,对机组惯性时间常数、传动轴系的刚度系数以及机组初始机械转矩的大小对机组暂态稳定性的影响进行分析。在以下仿真中,设  $t = 1.0s$  时发电机端部发生三相短路故障, $t = 1.1s$  时切除,故障持续时间为  $0.1s$ 。

#### 3.1 惯性时间常数的影响

##### 3.1.1 $H_w$ 、 $H_g$ 大小的影响

保持传动轴刚度系数  $K_s = 0.3$  不变,令风力机惯性时间常数  $H_w$ 、发电机惯性时间常数  $H_g$  以及它们之和( $H_w + H_g$ )分别依次增大 50%,4 种情况下发电机和风力机转速在三相短路故障下的暂态过程如图4所示。

从图4可以看出,在参数不变的情况下,机组发生短路故障后,发电机和风力机转速均出现不收敛的大幅振荡,即风力机组失去暂态稳定性。而当保持  $H_g = 0.5s$  不变, $H_w$  增大 50%,或者保持  $H_w = 4.54s$  不变, $H_g$  增大 50%,发电机和风力机转速振幅明显减小,更快趋于稳定。 $H_g$ 、 $H_w$  同时增大 50%,发电机和风力机转速振幅更小,稳定程度更好。通过时域仿真求得上述 3 种情况下的  $CCT$  分别为  $0.103$ 、 $0.128$ 、 $0.140s$ ,相比正常情况下的  $0.098s$ , $CCT$  都增大。

从仿真结果和求得的  $CCT$  可以看出,增加风力机组和发电机惯性时间常数都可以提高机组的暂态稳定性。但是,相比增加风力机惯性时间常数,增加

发电机转子惯性时间常数对提高机组稳定性程度更为显著。

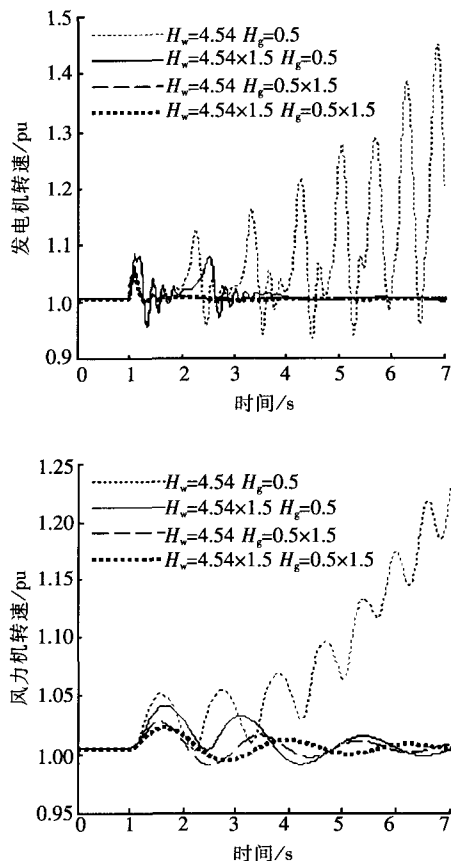


图4 不同  $H_w$ 、 $H_g$  下发电机和风力机转速的暂态过程

Fig.4 Transient responses of generator speed and turbine speed under different values of  $H_w$ 、 $H_g$

### 3.1.2 $H_w/H_g$ 比例系数的影响

保持  $(H_w + H_g) = 5.04$ s 不变, 改变  $H_w$  与  $H_g$  的比值, 令  $H_w/H_g$  分别为 4.74/0.30、4.54/0.50、4.04/1.00、2.52/2.52。在 4 种不同比值下, 发电机和风力机转速在三相短路故障下的暂态过程如图 5 所示。

从图 5 可以看出,  $H_w/H_g$  为 4.74/0.30 和 4.54/0.50 时, 发电机和风力机转速在故障切除后发生大幅振荡, 机组失去稳定。当  $H_w/H_g$  比值减小到 4.04/1.00、2.52/2.52 时, 发电机和风力机转速在故障切除后, 经过振荡衰减后恢复到稳定。并且当  $H_w/H_g = 2.52/2.52$  时, 发电机和风力机转速振幅比  $H_w/H_g = 4.04/1.00$  时更小, 更快趋于稳定。通过时域仿真求得 4 种情况下的  $CCT$  分别为 0.074、0.098、0.154、0.290s。

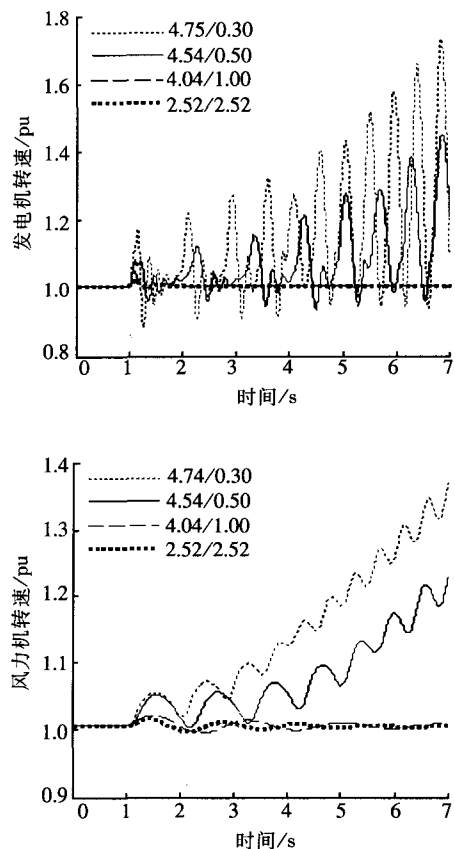


图5 不同  $H_w/H_g$  比值下发电机和风力机转速的暂态过程

Fig.5 Transient response of generator speed and turbine speed under different values of  $H_w/H_g$

从仿真结果和求得的  $CCT$  可以看出, 减小  $H_w/H_g$  比值, 可以显著提高风力机组的暂态稳定性。

### 3.2 刚度系数的影响

保持  $H_w = 4.54$ s,  $H_g = 0.50$ s 不变, 改变传动轴系的刚度系数  $K_s$ , 不同  $K_s$  取值下发电机和风力机转速在三相短路故障下的暂态过程如图 6 所示, 并与 RS 模型进行了比较。

从图 6 可以看出, 当  $K_s = 0.30$  时, 发电机和风力机转速在故障后已经失去稳定。当  $K_s$  减小 50% ( $K_s = 0.15$ ) 时, 发电机和风力机转速振荡更加严重。当  $K_s$  增大 50% ( $K_s = 0.45$ ) 时, 发电机和风力机转速趋于稳定。当  $K_s = 10.00$  时, 发电机和风力机转速暂态响应更快趋于稳定。4 种不同  $K_s$  值下的  $CCT$  分别为 0.098、0.080、0.288、0.303s。因此, 工程中可以通过减小传动轴长度, 选择刚性高的材料等措施来增大  $K_s$ , 以提高机组的暂态稳定性。

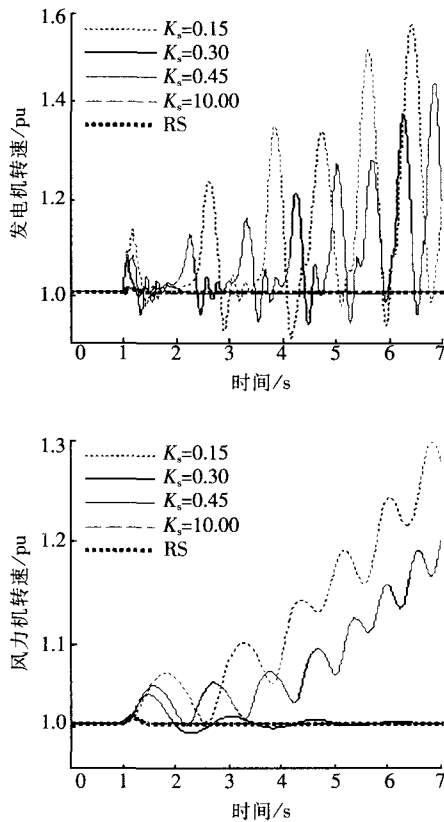


图6 不同  $K_s$  值下发电机和风力机转速暂态过程

Fig.6 Transient response of generator speed and turbine speed under different values of  $K_s$

另外,当  $K_s = 10.00$  时,根据(10)式可求得机械扭振频率:  $f_T = 10.3\text{Hz} > 10\text{Hz}$ 。通常风力机机械扭振频率范围在  $0 \sim 10\text{Hz}$ <sup>[14]</sup>,因此  $K_s > 10.00$  时传动轴的柔性可以忽略。从图6也可看出,  $K_s = 10.00$  时发电机和风力机转速曲线已经几乎与一个质量块模型RS曲线重合,并且两者CCT分别为0.303s和0.307s,相差不大。

### 3.3 输入机械转矩的影响

系统故障前,当风力机组工作在额定工作状态时,  $CCT = 0.098\text{s}$ 。通过改变输入机械转矩,改变系统初始工作点,系统故障下的CCT仿真结果如表4所示。

表4 不同输入机械转矩下的CCT

Table 4 CCT for different mechanical torques

$T_w/\text{pu}$	1.000	0.900	0.800	0.700	0.600
CCT/s	0.098	0.266	0.586	0.761	1.161

可以看出,随着机械转矩的减小,CCT明显增大。因此,适当降低风力机组的初始工作点,减小输

入机械转矩,可显著提高机组的稳定性。

## 4 结 论

为了评价不同机组模型对并网异步风力发电机组暂态稳定性的影响,本文建立了包括不同发电机模型和传动轴系模型的风力机组模型,对5种不同风力机组模型在三相短路情况下的暂态过程进行了比较研究,并通过时域仿真计算了各模型下的CCT;最后,研究了风力机模型不同参数对机组暂态稳定性的影响。结果分析表明,采用不同风力机组模型对其暂态稳定性分析结果的影响很大。在风力机轴系模型方面,考虑一个质量块的模型将可能得到不准确的暂态稳定性分析结果;在发电机模型方面,采用稳态模型将使分析结果产生较大误差,而考虑或者忽略定子电磁暂态对机组暂态稳定性分析结果的影响不大。因此在分析机组暂态稳定性时,采用忽略定子电磁暂态发电机模型结合两个质量块轴系模型的风力发电机组模型是合适的。此外,增加风力机组的惯性时间常数,减小  $H_w/H_g$  比值,增大传动轴系的刚度系数以及减小输入机械转矩,都可以增大CCT,提高机组的暂态稳定性。

尽管本文的研究对象是笼型异步风力发电机组,但其风力机模型和参数对暂态稳定性影响的结论有望进一步应用于双馈感应风力发电机组的暂态稳定性分析中。

### [参考文献]

- [1] Li H, Chen Z, Han L. Comparison and evaluation of induction generator models in wind turbine systems for transient stability of power system[A]. 2006 International Conference on Power System Technology[C], Powercon, 2006.
- [2] Sun Tao, Chen Z, Blaabjerg F. Transient stability of DFIG wind turbines at an external short-circuit fault[J]. Wind Energy, 2005, (8): 345—360.
- [3] Holdsworth L, Wu X G, Ekanayake J B, et al. Comparison of fixed speed and doubly-fed induction wind turbines during power system disturbances[J]. IEE Proc Generation, Transmission and Distribution, 2003, 150(3): 343—352.
- [4] Divya K C, Nagendra Rao P S. Study of dynamic behavior of grid connected induction generators[A]. IEEE Power Engineering Society General Meeting[C], 2004, 2200—2205.
- [5] Chen Shuyong, Dai Huizhu, Bai Xiaoming. Reliability model of wind power plants and its application[J]. Proceedings of

- the CSEE, 2000, 20(3): 26—29.
- [6] Wu Xueguang, Zhang Xuecheng, Yin Yonghua, et al. Application of models of the wind turbine induction generators (WTGs) to wind power system dynamic stability analysis[J]. Power System Technology, 1998, 22(6): 68—72.
- [7] Fan Yanfang, Chao Qin. Modeling and simulation of wind asynchronous-generator[J]. Computer Simulation, 2002, 19(5): 56—58.
- [8] Li Dongdong, Chen Chen. A study on dynamic model of wind turbine generator sets[J]. Proceeding of CSEE, 2005, 25(3): 115—119.
- [9] Xiao Jinsong, Ni Weidou, Jiang Tong. Modeling and Simulation of a large pitch-regulated wind turbine system[J]. Acta Energetica Sinica, 1997, 18(2): 117—127.
- [10] Yin Ming, Li Gengyin, Zhou Ming, et al. Analysis and comparison of dynamic models for the doubly fed induction generator wind turbine[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(13): 22—27.
- [11] Muyeen S M. Transient stability analysis of wind generator system with the consideration of multi-mass shaft model[A]. International Conference on Power Electronics and Drive Systems (IEEE PEDS 2005)[C], Conference CDROM, Malaysia, 2005, 511—516.
- [12] Salman Salman K, Teo Anita L J. Windmill modeling consideration and factors influencing the stability of a grid-connected wind power based embedded generator [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2003, 18(2): 793—802.
- [13] Salman S K, Teo A L J. Investigation into the estimation of the critical clearing time of a grid connected wind power based embedded generator[A]. 2002 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition [C], Asia Pacific, 2002, 975—980.
- [14] Trudnowski Daniel J, Khan Jawad M, Petritz Eric M. Fixed-speed wind-generator and wind-park modeling for transient stability studies[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2004, 19(4): 1911—1917.
- [15] Xue Yusheng. Quantitative study of general motion stability[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(16): 1—5.

## INFLUENCE OF MODELS AND PARAMETERS ON TRANSIENT STABILITY OF GRID-CONNECTED ASYNCHRONIZED WIND POWER GENERATION UNITS

Zhao Bin, Li Hui, Han Li

(State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** In order to study more suitable models for transient stability analysis of grid-connected squirrel cage induction generators for wind generation, the detailed generator model (including stator electrical transient), the reduced generator model (neglecting stator electrical transient) and the steady generator model (neglecting both stator and rotor electrical transient) as well as the one-mass & two-mass driven train system models were established respectively. Based on five combinations of the generator models and turbine shaft models, the transient behaviors by using different models were compared with Matlab/Simulink, when the stator terminal of SCIG was subjected to a three-phase short-circuit fault. In addition, the fault critical clearing time (CCT) was also calculated as the index of transient stability analysis. The results show that the different combined models of wind generator system have an important effect on the analysis of transient stability. The reduced generator model with the two-mass model may be more suitable. Finally, by using the proposed suitable model, the influence of various parameters of wind turbines on the transient stability was also analyzed.

**Keywords:** wind power generation; grid-connected asynchronous generator; transient stability; critical clearing time; model