

基于储能系统的双馈风电机组机网扭振抑制策略

赵祖熠,解 大,楚皓翔,刘李勃

(上海交通大学 电子信息与电气工程学院,上海 200240)

摘要: 针对由电网侧电气小扰动引起的机网扭振现象,提出了一种储能系统(ESS)的双馈风电机组(DFIG)机网扭振抑制策略。通过建立储能系统的数学模型,提出了储能系统的附加阻尼控制策略,利用储能系统既能输出无功也能输出有功的特点,根据风电机组母线电压偏差信号及电网电压频率偏差信号,控制储能系统的无功及有功功率的输出,在电网发生故障或者干扰时,稳定母线电压,抑制频率波动,从而及时有效地抑制机网扭振。仿真结果表明,对于传输线路末端无限大电网的电压暂降和频率波动的干扰引起的风电机组轴系扭振,储能系统能够有效地进行抑制。

关键词: 双馈风电机组; 储能系统; 扭振; 抑制策略; 附加阻尼控制; 电压偏差; 频率偏差

中图分类号: TM 614

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2016.08.005

0 引言

风力发电是目前除水电外发展最成熟、经济效益最好的可再生能源发电技术,我国的风电规模在近十年里呈现了爆发性的增长^[1-3]。但是在风电场建设和运行的过程中,也逐渐暴露出大量的问题及隐患,其中,风电机组机械部分与电气部分的相互作用——机网轴系扭振问题尤为引人关注^[4]。研究发现诱发机网扭振的因素众多,且各机组之间还存在复杂的扭振传递问题^[5]。因此,研究风电机组机网扭振具有重要的实际意义。

近些年来,国内外学者针对风电场并网后的机网扭振问题进行了系统的研究^[6-8]。文献[6]对风电机组机械旋转系统建立了三质量块的数学模型和双馈风电机组单机对无穷大系统的小信号稳定模型;文献[7]提出了基于发电机转速反馈控制和基于风轮机转速反馈控制的 2 种扭振抑制策略,并证明 2 种控制模式能够提供良好的电气阻尼。但是,这些扭振抑制策略都是针对风速扰动引起的轴系扭振。文献[8]证明来自电网侧的电气小扰动或故障,例如电压暂降、短路故障等,都会引起机网扭振

现象。

另外,文献[9]表明储能系统能够有效抑制电机及换流器电压的明显变化;文献[10-11]证明了储能系统能够显著提高风电场的电能质量,并增大其稳定裕度。目前的研究多集中于储能系统对于抑制风电场低频振荡的贡献^[12],对储能系统抑制风电场机网扭振的作用研究较少。

本文以双馈风电机组为研究对象,提出了一种基于储能系统的机网扭振抑制策略。首先对双馈风电机组的机械系统、电气系统及变流器控制系统进行了精确建模;然后建立储能系统的数学模型,提出储能系统阻尼抑制的控制策略,研究储能系统对风电机组轴系扭振抑制的贡献;最后通过建立双馈风电机组母线并联储能系统的时域仿真模型,验证所提扭振抑制策略的有效性。

1 双馈风电机组的建模及控制

1.1 双馈风电机组建模

典型的 2 MW 双馈变速风力发电系统如图 1 所示,整个风电系统可以划分为机械和电气系统两部分。

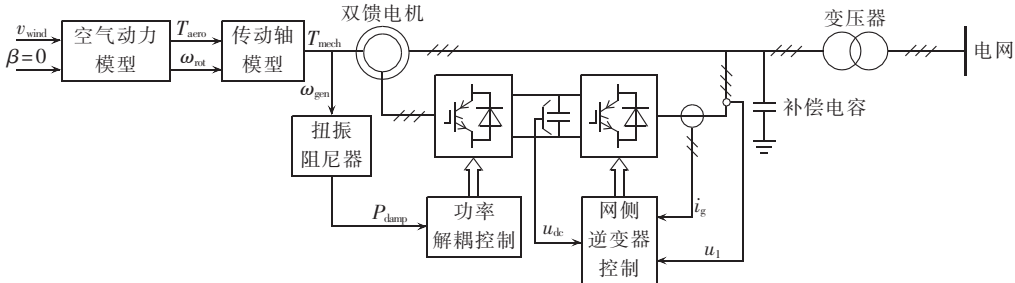


图 1 双馈风力发电机系统框图
Fig.1 Block diagram of DFIG system

图中, β 为风机的桨距角; v_{wind} 为风速; T_{aero} 为初始转矩; T_{mech} 为双馈电机获得的机械转矩; ω_{rot} 、 ω_{gen} 分别为风轮机叶片转速和高速轴(即发电机)转速; P_{damp} 为阻尼器输出功率值; i_g 为网侧逆变器输出电流; u_1 为网侧逆变器输出电压, 即网侧电压; u_{dc} 为输出端电容器电压。

1.1.1 机械系统模型

双馈风电机组的机械系统模型包括两部分: 空气动力模型及传动轴模型。由于本文不考虑风速波动, 只研究网侧电气扰动引起的扭振现象, 空气动力模型仅为机械轴传动模型提供初始转矩 T_{aero} 。

用具有不同特性的质量块对风电机组系统每个旋转部分的实际物理特性进行模拟, 用来模拟的质量块个数越多, 仿真的精度就越高^[13-14]。本文采用适合动态特性分析的三质量块模型, 由叶片、低速轴以及高速轴(包括发电机转子)构成^[15]。三质量块模型如图 2 所示。折算至高速侧的数学模型如式(1)所示。

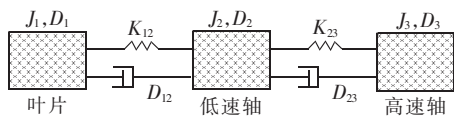


图 2 三质量块模型
Fig.2 Three-mass model

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_1}{dt} &= \omega_{\text{rot}} \\ \frac{d\theta_2}{dt} &= \omega_2 \\ \frac{d\theta_3}{dt} &= \omega_{\text{gen}} \\ J_1 \frac{d\omega_{\text{rot}}}{dt} &= T_{\text{aero}} - K_{12}(\theta_1 - \theta_2) - D_1 \omega_{\text{rot}} - D_{12}(\omega_{\text{rot}} - \omega_2) \\ J_2 \frac{d\omega_2}{dt} &= -K_{12}(\theta_2 - \theta_1) - K_{23}(\theta_2 - \theta_3) - D_2 \omega_2 - \\ &\quad D_{12}(\omega_2 - \omega_{\text{rot}}) - D_{23}(\omega_2 - \omega_{\text{gen}}) \\ J_3 \frac{d\omega_{\text{gen}}}{dt} &= -T_{\text{em}} - K_{23}(\theta_3 - \theta_2) - D_3 \omega_{\text{gen}} - D_{23}(\omega_{\text{gen}} - \omega_2) \end{aligned} \quad (1)$$

其中, T_{em} 为发电机电磁转矩; ω_{rot} 、 ω_2 和 ω_{gen} 分别为风轮机叶片、低速轴以及高速轴(即发电机)的转速; θ_1 、 θ_2 和 θ_3 为各旋转部分的扭矩角; J_1 、 J_2 和 J_3 分别为叶片、低速轴和高速轴的转动惯量; K_{12} 、 K_{23} 为各质量块之间的刚度系数; D_1 、 D_2 、 D_3 为各质量块的自阻尼系数; D_{12} 、 D_{23} 为互阻尼系数。

1.1.2 电气系统模型

双馈风电机组的电气系统由双馈电机和一组连接在转子上的电压型“背靠背”(back-to-back)逆变器构成。为简化分析, 不考虑发电机的磁链饱和与励磁损耗, 且假设绕组三相对称, 气隙磁通按正弦分布。发电机方程均转换到与转子磁链同步旋转的 dq 坐标系下, 并且坐标 d 轴与转子磁链方向一致。

1.2 双馈风电机组的控制

双馈风电机组系统装备有 2 个基于 IGBT 的电压源变流器, 分别为转子侧变流器及网侧变流器。

1.2.1 转子侧变流器的控制

转子侧变流器的作用是根据风电机组捕获的风能来控制输出功率。本文采用功率解耦控制法, 该方法最早由日本学者 M.Yamamoto 提出^[17]。转子电压 dq 分量和转子电流 dq 分量的控制关系如式(2)所示。

$$\begin{aligned} u_{2d} &= R_2 i_{2d} + \sigma L_2 \frac{di_{2d}}{dt} - \Delta u_{2d} \\ u_{2q} &= R_2 i_{2q} + \sigma L_2 \frac{di_{2q}}{dt} + \Delta u_{2q} \\ \Delta u_{2d} &= \omega_s \sigma L_2 i_{2q} \\ \Delta u_{2q} &= \omega_s (L_m \psi_1 / L_1 + \sigma L_2 i_{2d}) \end{aligned} \quad (2)$$

其中, u_{2d} 、 u_{2q} 分别为转子电压的 d 、 q 轴分量; R_2 为转子电阻; i_{2d} 、 i_{2q} 分别为转子绕组电流的 d 、 q 轴分量; L_1 、 L_2 和 L_m 分别为定子自感、转子自感和定转子互感, $\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2}$; ω_s 为转速差; ψ_1 为定子磁链。

有功功率和无功功率实现了解耦控制, 通过调节转子 q 轴电流能够控制有功功率输出。而无功功率与转子 d 轴电流成比例, 通过改变转子电流控制风电机组的输出功率。转子侧变流器带有 PI 控制参数的控制框图如图 3 所示, 其中 P_1 和 Q_1 分别表示风电机组定子与电网之间的有功及无功潮流; K_p 、 K_i 、 s 为 PI 控制器的参数; 上标“*”表示变量的参考值。

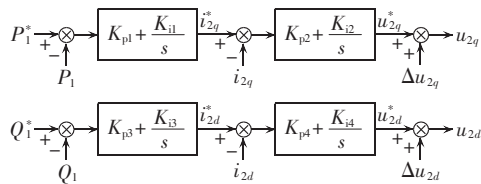


图 3 转子侧变流器控制框图

Fig.3 Block diagram of rotor-side converter control

1.2.2 网侧变流器的控制

网侧变流器的作用是维持并联电容器的电压稳定, 采用相量控制方法^[18], 同步旋转坐标系的 d 轴与定子电压相量的方向一致, 并且规定耦合电抗(连接电网与网侧变流器的电感元件)电流以流入变流器的方向为正方向, 则出口电抗器的电压方程在 dq 旋转坐标系下的表达式如式(3)所示。

$$\begin{aligned} u_d - u_{gd} + \Delta u_{gd} &= L_g \frac{di_{gd}}{dt} + R_g i_{gd} \\ u_q - u_{gq} - \Delta u_{gq} &= L_g \frac{di_{gq}}{dt} + R_g i_{gq} \\ \Delta u_{gd} &= \omega L_g i_{gq} \\ \Delta u_{gq} &= \omega L_g i_{gd} \end{aligned} \quad (3)$$

其中, u_d 和 u_q 分别为网侧电压的 d 、 q 轴分量; ω 为网侧电压相量的旋转角速度; L_g 和 R_g 分别为网侧变流

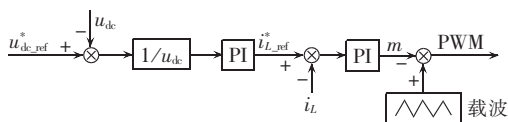


图 7 DC/DC 变换器控制框图

Fig.7 Block diagram of DC/DC converter control

i_L 的方向完成驱动信号的切换。

交流侧 PWM 逆变器采用功率解耦控制^[20],在电压定向的同步旋转坐标系下,交流侧输出有功功率可以通过控制输出电流的 d 轴分量调节,无功功率可以通过控制输出电流的 q 轴分量调节。

2.3 储能系统附加阻尼控制

储能系统利用其自身既能输出无功功率又能输出有功功率的特点,参考传统大型旋转发电机低频振荡抑制控制方法,采用电压频率偏差和幅值偏差等扰动信号,当风电机组轴系发生扭振时,储能系统响应输出或吸收有功功率、无功功率,提高风电机组系统的阻尼。在电流环基础上引入外环控制,母线电压频率偏差作为有功外环 PI 调节器的输入,输出信号为有功电流附加指令;母线电压幅值偏差作为无功外环 PI 调节器的输入,输出信号即无功电流附加指令。储能系统 PWM 变流器附加阻尼控制框图如图 8 所示。图中, $P_{E_ref}^*$ 、 $Q_{E_ref}^*$ 分别为储能系统输出有功及无功功率的参考值; $f_{t_ref}^*$ 为无穷大电网频率的参考值; $U_{t_ref}^*$ 为无穷大电网电压的参考值; $i_{d_damp}^*$ 、 $i_{q_damp}^*$ 分别为所需阻尼电流的 d 、 q 轴分量; S_a 、 S_b 、 S_c 为 PWM 控制器生成的三相控制电路的开关信号。

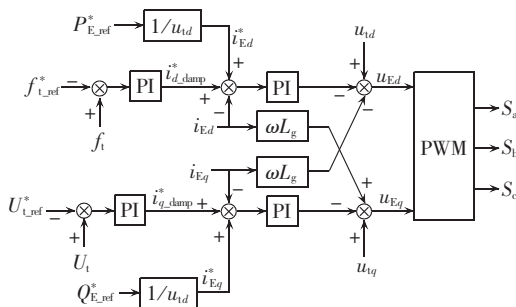


图 8 储能系统附加阻尼控制策略

Fig.8 Additional damping control of ESS

3 仿真及结果

利用 Simulink 对本文提出的基于储能系统的电网扭振抑制策略进行时域模型仿真,分别针对远端系统电压发生电压暂降和频率波动 2 种小干扰情况,观察风电机组扭振的阻尼情况,验证储能设备是否增强了风电机组系统阻尼特性。

3.1 风电机组加装储能系统的仿真系统

在 Simulink 仿真软件中按图 9 所示接线原理连接各模块电路。双馈风电机组模块的母线与储能设备模块并联,双馈风电机组模块通过 690 V/10 kV 变

压器接至 10 kV 母线,储能设备通过 400 V/10 kV 变压器接至 10 kV 母线,其最大输出功率为 2 MV·A。储能模块的仿真模型按照图 6 所示的电路结构搭建。

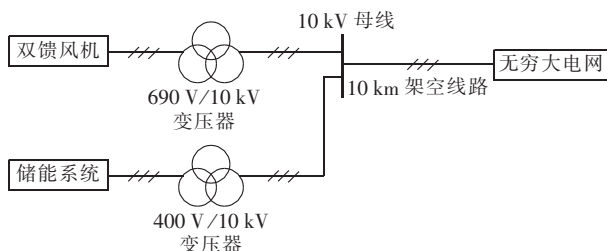


图 9 仿真电路原理图

Fig.9 Schematic diagram of simulation circuit

3.2 储能系统对电网扭振抑制的仿真结果及分析

3.2.1 网侧电压暂降时储能系统的扭振抑制效果

当网侧电压暂降引起风电机组母线电压波动时,储能系统增加无功输出支撑母线电压。图 10 所示为储能设备对线路末端无穷大系统电压暂降至 0.92 p.u. 持续时间 0.1s 的响应情况,图中, i_o 为交流侧输出电流。稳态时,储能系统输出恒定有功功率 0.5 MW,无功输出为零,直流侧输出电流、交流侧输出电流以及直流母线电压均保持稳定;在 1.2 s 时,系统电压降落至 0.92 p.u.,从直流输出电流可以看出,储能系统有功输出保持不变,而交流侧输出电流的变化表明,储能系统无功电流输出增加,直流母线电压保持稳定;当电压波动清除时,储能系统直流输出电流和交流侧输出电流恢复稳定值,输出无功功率为零。

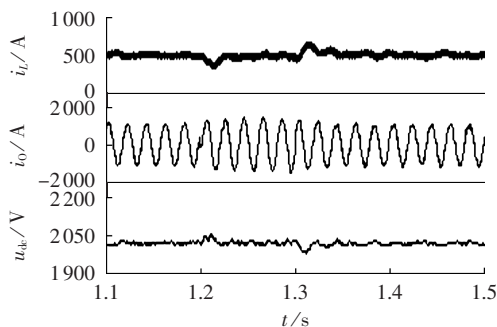


图 10 储能系统对网侧电压暂降的响应

Fig.10 Response of ESS to grid-side voltage sag

图 11 为风电机组低速轴转矩(标么值)的振荡情况及输出无功波形,可以看出,当投入储能系统后,其附加阻尼控制使得扭振情况得到明显改善,低速轴转矩的最大振荡幅值小于 1.01 p.u.,远小于无储能时的系统振荡幅度,可见,风电机组系统动态阻尼特性显著提高。

3.2.2 系统频率波动时储能系统的扭振抑制效果

(1) 频率降低。

系统母线电压频率降低时储能系统的响应如图 12 所示。稳态时,储能系统输出有功和无功功率均

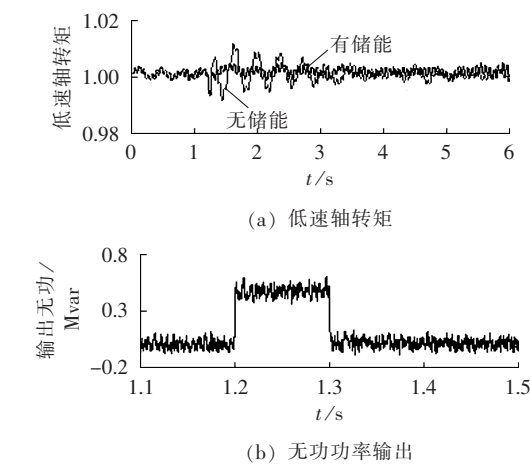


图 11 无功功率输出及扭振抑制效果
Fig.11 Reactive power output and torsional vibration suppression

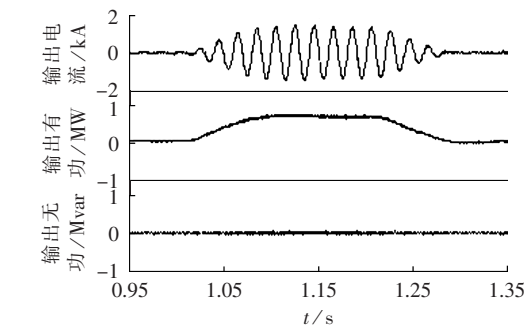


图 12 系统电压频率降低时储能系统交流侧输出
Fig.12 AC-side output of ESS when system voltage frequency decreases

为零,当风电机组母线电压频率下降至 49.8 Hz 时,频率偏差信号输入外环 PI 调节器产生附加有功电流指令,有功电流开始增加,并输出有功功率。

直流侧输出电流与电容电压响应如图 13 所示,随着储能系统输出有功功率,蓄电池工作在放电模式,输出电流开始增加,电容电压在此期间暂降,在故障解除后,输出电流和电容电压均恢复稳态。

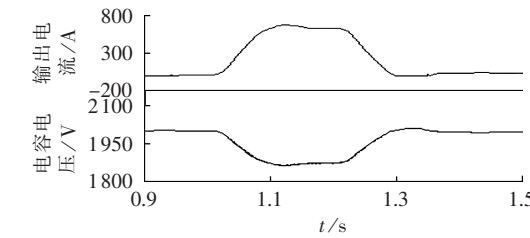


图 13 系统电压频率降低时储能系统直流侧输出
Fig.13 DC-side output of ESS when system voltage frequency decreases

图 14 所示为储能设备投入前后风电机组轴系对频率干扰的振荡情况,从低速轴转矩(标么值)曲线可以观察到,不含储能系统时,发生在 1.0 s 的频率扰动激发轴系扭振振荡,扭振振幅接近 1.02 p.u.,经过 4 s 左右转矩逐渐收敛至稳态;而投入储能设备

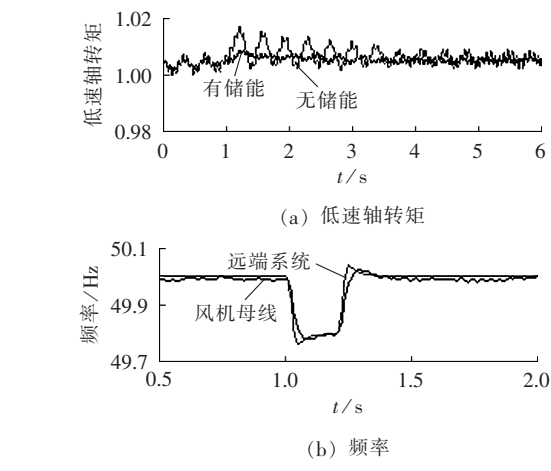


图 14 频率降低时扭振抑制效果
Fig.14 Torsional vibration suppression when frequency decreases

后,扭矩的起振幅值很小,相当于风电机组稳态运行时的扭矩波动,储能输出的有功功率有效地抑制了风电机组轴系扭振。

图 15 显示了风电机组定子侧输出有功功率在投入储能系统前后的变化情况,其中,有功功率用标么值表示。受系统频率降低的影响,轴系扭振被激发,从而导致有功功率的波动,而投入储能设备后,轴系扭振被有效抑制,定子侧输出有功功率保持平稳。可见附加阻尼控制能够提高风电机组系统阻尼特性。

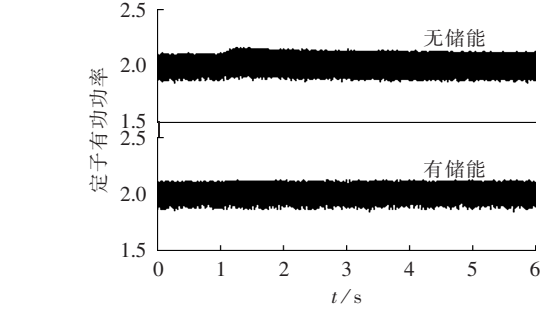


图 15 频率降低时有功功率波动的抑制效果
Fig.15 Active power fluctuation suppression when frequency decreases

(2) 频率升高。

当母线频率升高时,PWM 变流器交流侧输出响应曲线如图 16 所示,此时,频率偏差信号产生的有功电流指令使储能系统从网侧吸收有功功率,功率从系统流向储能设备。

网侧频率升高时直流侧输出电流与电容电压的响应如图 17 所示,流入蓄电池的充电电流增至 600 A 左右,并在故障解除后恢复为零,电容电压在此期间暂时升高,随后恢复稳态。

图 18 为风电机组低速轴转矩(标么值)的振荡情况,含储能系统时,风电机组轴系扭振现象微弱,扭振振荡得到明显抑制。储能设备的有功功率支撑

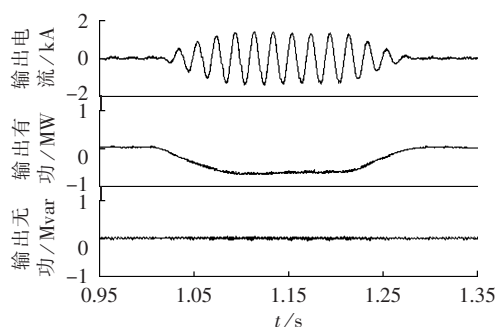


图 16 系统电压频率升高时储能系统交流侧输出

Fig.16 AC-side output of ESS when system voltage frequency increases

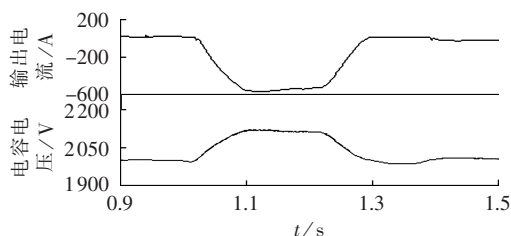
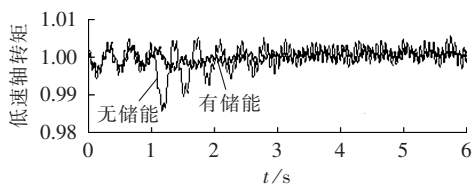
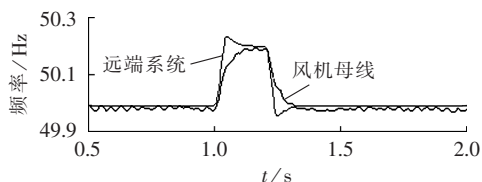


图 17 系统电压频率升高时储能系统直流侧输出

Fig.17 DC-side output of ESS when system voltage frequency increases



(a) 低速轴转矩



(b) 频率

图 18 频率升高时的扭振抑制效果

Fig.18 Torsional vibration suppression when frequency increases

并没有改善风电机组母线电压频率的降低程度,这是因为风电机组系统具有最大有功功率跟踪输出特性,与传统大型旋转发电机不同,风电机组转子没有固定转速,而是依靠变流器输出工频电压,输出电压频率与有功功率之间没有天然的下垂特性。因此,储能系统的附加阻尼有功功率不会改善风电机组母线电压频率。

4 结论

本文提出了基于储能系统的双馈风电机组电网扭振抑制策略。根据储能系统的数学模型,利用电压幅值偏差和频率偏差信号建立了基于储能系统的

附加阻尼控制策略,既能输出无功功率稳定风电机组母线电压,也可以交换有功功率,抑制由电网频率波动引起的扭振现象。

时域仿真结果表明:

a. 当电网频率波动(增大或减小 0.2 Hz)引起风电机组轴系扭振时,储能设备有功功率控制环起作用,利用频率偏差信号输出或吸收有功功率,将无附加储能系统时低速轴接近 1.02 p.u.(频率下降时为 0.98 p.u.)的最大扭振幅值降低至等同于稳态时轴系扭矩波动的幅值,成功抑制了轴系扭振,并且缓解了风电机组输出有功功率波动;

b. 当风电机组系统受到远端无穷大电网电压暂降至 0.92 p.u.的干扰时,储能设备利用风电机组母线电压幅值偏差信号,输出无功功率支撑母线电压,将无附加储能系统时低速轴高于 1.01 p.u.的最大扭振幅值降低至远小于 1.01 p.u.的值,有效抑制了轴系扭振。

仿真结果表明了本文提出的基于储能系统的双馈风电机组电网扭振抑制策略可以很好地抑制由网侧电气小扰动所引起风电机组轴系扭振现象,具有进一步研究以及实用的价值。

参考文献:

- [1] 林鹏,赵书强,谢宇琪,等. 基于实测数据的风电功率曲线建模及不确定估计[J]. 电力自动化设备,2015,35(4):90-95.
LIN Peng,ZHAO Shuqiang,XIE Yuqi,et al. Wind power curve modeling based on measured data and uncertainty estimation[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(4):90-95.
- [2] 李丹,刘俊勇,刘友波,等. 风电接入后考虑抽蓄-需求响应的多场景联合安全经济调度模型[J]. 电力自动化设备,2015,35(2):28-34.
LI Dan,LIU Junyong,LIU Youbo,et al. Wind-storage coupling based on actual data and fuzzy control in multiple time scales for real-time rolling smoothing of fluctuation[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(2):28-34.
- [3] 张露,卢继平,梅亦蕾,等. 基于不同优化准则的风电功率预测[J]. 电力自动化设备,2015,35(5):139-145.
ZHANG Lu,LU Jiping,MEI Yilei,et al. Wind power forecasting based on different optimization criterions[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(5):139-145.
- [4] 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.
HE Shien,DONG Xinzhou. Cause analysis on large-scale wind turbine tripping and its countermeasures[J]. Power System Protection and Control,2012,40(1):131-137.
- [5] 杨敏霞,解大,娄宇成,等. 定速异步机型风电场电网扭振建模及仿真[J]. 电网技术,2014,38(9):2422-2428.
YANG Minxia,XIE Da,LOU Yucheng,et al. Modeling and simulation of shaft torsional vibration in wind farm composed of fixed speed inductive generators[J]. Power System Technology,2014,38(9):2422-2428.

- [6] 解大,冯俊淇,姜宇成,等. 基于三质量块模型的双馈风机小信号建模和模态分析[J]. 中国电机工程学报,2013,33(增刊1):21-29.
XIE Da,FENG Junqi,LOU Yucheng,et al. Small-signal modelling and modal analysis of DFIG-based wind turbine based on three-mass shaft model[J]. Proceedings of the CSEE,2013,33(Supplement 1):21-29.
- [7] RAMTHARAN G,JENKINS N,ANAYA - LARA O,et al. Influence of rotor structural dynamics representations on the electrical transient performance of FSIG and DFIG wind turbines[J]. Wind Energy,2007,10(4):293-301.
- [8] AKHMATOV V. Mechanical excitation of electricity-producing wind turbines at grid faults[J]. Wind Engineering,2003,27(4):257-272.
- [9] 俞红祥,沈亚强,马世平. 一种基于超级电容储能的新型交流电压动态调节器[J]. 电力系统自动化,2008,32(1):52-55.
YU Hongxiang,SHEN Yaqiang,MA Shiping. A novel dynamic AC voltage regulator based on super-capacitor storage[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(1):52-55.
- [10] 谭靖,李国杰,唐志伟. 基于压缩空气储能的风电场功率调节及效益分析[J]. 电力系统自动化,2011,35(8):33-37.
TAN Jing,LI Guojie,TANG Zhiwei. Design and economic analysis of compressed air energy storage based wind farm power regulation system[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(8):33-37.
- [11] LI X,HUI D,LAI X. Battery Energy Storage Station(BESS)-based smoothing control of PhotoVoltaic(PV) and wind power generation fluctuations[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy,2013,4(2):464-473.
- [12] 赵静波,雷金勇,甘德强. 电池储能装置在抑制电力系统低频振荡中的应用[J]. 电网技术,2008,32(6):93-99.
ZHAO Jingbo,LEI Jinyong,GAN Deqiang. Application of battery energy storage devices in suppressing low-frequency oscillation of power system[J]. Power System Technology,2008,32(6):93-99.
- [13] YIN M,LI G,ZHOU M,et al. Modeling of the wind turbine with a permanent magnet synchronous generator for integration [C]//Power Engineering Society General Meeting. Tampa,FL, USA:IEEE,2007:1-6.
- [14] 王瑞琳,解大,王西田. 定桨恒频风电机组电网扭振的建模与机理[J]. 电力自动化设备,2010,30(3):20-24.
WANG Ruilin,XIE Da,WANG Xitian. Modeling and mechanism of torsional vibration of grid-connected wind generator[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(3):20-24.
- [15] FAN L,KAVASSERI R,MIAO Z L,et al. Modeling of DFIG-based wind farms for SSR analysis[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2010,25(4):2073-2082.
- [16] ZHANG Y,XIE D,FENG J,et al. Small-signal modeling and modal analysis of wind turbine based on three-mass shaft model[J]. Electric Power Components and Systems,2014,42(7):693-702.
- [17] YAMAMOTO M,MOTOYOSHI O. Active and reactive power control for doubly-fed wound rotor induction generator[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,1991,6(4):624-629.
- [18] LI S,HASKEW T A. Analysis of decoupled dq vector control in DFIG back-to-back PWM converter[C]//Power Engineering Society General Meeting. Tampa,FL,USA:IEEE,2007:1-7.
- [19] 张旭辉,温旭辉,赵峰. 电机控制器直流侧前置双向 Buck/Boost 变换器的直接功率控制策略研究[J]. 中国电机工程学报,2012,32(33):15-22.
ZHANG Xuhui,WEN Xuhui,ZHAO Feng. A direct power control scheme for bi-directional Buck/Boost converters in motor drive systems[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(33):15-22.
- [20] 余勇,张兴,刘正之. 大功率电流源型 PWM AC-DC 变流器建模与解耦控制[J]. 电力系统自动化,2003,27(5):45-48.
YU Yong,ZHANG Xing,LIU Zhengzhi. Modeling and decoupling control for high-power current-source PWM AC-DC converter[J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(5):45-48.

作者简介:



赵祖熠

赵祖熠(1991—),男,山东青岛人,硕士研究生,研究方向为电力系统及自动化、灵活交流输电设备、新能源(E-mail:feier199106@sjtu.edu.cn);

解大(1969—),男,黑龙江哈尔滨人,副教授,博士,研究方向为电力系统分析、灵活交流输电设备、新能源。

Generator-grid torsional vibration suppression for DFIG system with ESS

ZHAO Zuyi,XIE Da,CHU Haoxiang,LIU Libo

(School of Electronic Information and Electrical Engineering,Shanghai Jiao Tong University,Shanghai 200240,China)

Abstract: A strategy for suppressing the generator-grid torsional vibration induced by small grid-side disturbance is proposed for the DFIG(Doubly-Fed Induction Generator) system with ESS(Energy Storage System). A mathematical ESS model is established and an additional damping control strategy of ESS is proposed, which controls the active and reactive power outputs of ESS according to the voltage deviation of DFIG bus and the frequency deviation of power grid to stabilize the bus voltage and depress the frequency fluctuation during grid fault or disturbance for suppressing the generator-grid torsional vibration. The simulative results prove that,the DFIG torsional vibration induced by the voltage sag and frequency fluctuation of infinite power grid at the end of transmission line can be effectively suppressed by ESS.

Key words: doubly-fed induction generator; energy storage system; torsional vibrations; suppression strategy; additional damping control; voltage deviation; frequency deviation