

紧急变桨与撬棒协调控制改善双馈风电机组 低电压穿越能力

凌 禹^{1,2}, 高 强¹, 蔡 旭^{1,3}

(1. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院 风力发电研究中心, 上海 200240;

2. 山西大同大学 电气工程系, 山西 大同 037003;

3. 上海交通大学 船舶海洋与建筑工程学院 海洋工程国家重点实验室, 上海 200240)

摘要: 针对撬棒保护电路技术存在的问题, 介绍了一种快速变桨控制技术和撬棒保护电路技术协调的控制方法, 利用该方法不仅能够限制双馈机组转子过电流, 还能够抑制其转速的快速增加, 从而防止机组过速跳闸, 改善系统转速稳定性, 确保双馈风电机组成功穿越电网电压跌落故障。利用仿真软件 MATLAB/Simulink, 完成了基于2个不同时间尺度的电压故障条件下的仿真实验。仿真实验结果验证了所提故障穿越方案的有效性, 尤其是对于较长时间的电压故障, 故障穿越能力提高的效果更为明显。

关键词: 双馈电机; 撬棒保护; 风电; 变桨控制; 协调控制

中图分类号: TM 614

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.04.004

0 引言

为了应对能源危机和环境恶化, 世界各国正积极地推动着可再生能源的开发和利用, 其中风力发电已成为科研人员和商业企业关注的焦点。这是因为风能是一种可靠的、无限的、可再生的电力供应源。风电的大规模应用既可以缓解能源危机, 又能减轻常规能源使用所带来的环境问题, 从而减少二氧化碳气体的排放。

然而, 大规模风电接入电网却给电网运行带来了较大的挑战。要想大规模的风电接入电网运行, 风电机组必须具备低电压穿越能力, 甚至具备在故障切除后向电网提供无功和支持电网电压恢复的能力^[1-2]。事实上, 所有风电机组都存在低电压穿越的问题, 其中双馈机组最具挑战性, 这是因为双馈机组对电网扰动尤其是电压跌落最敏感。但双馈机组因为其具有的较多优点^[3]已成为目前主流机型之一。

目前, 较为成熟并商用的双馈机组低电压穿越技术是撬棒(Crowbar)技术。撬棒技术就是为转子故障电流提供旁路通路, 从而避免转子过电流对变换器的破坏以实现机组的不间断并网运行^[4-8]。

然而, 文献[9]指出, 对于持续时间较长的故障, 撬棒技术不能实现双馈风电机组不间断并网运行。这主要是因为, 在低电压期间可以认为风速在电网故障时间内是不变的, 但网侧电压的突然跌落造成机械

转矩和电磁转矩差值较大, 尤其是在故障发生时机组超同步运行的情况下, 机组很容易过转速而导致过速保护动作, 使机组脱离电网, 同时, 电磁转矩的突变也会对齿轮箱产生破坏, 并弱化系统的动态稳定性。

为了保证机组在故障情况下运行在规定的转速范围内, 不至于过速保护动作, 需要采用改变桨距角从而减小风轮输出机械转矩的方法来实现, 即紧急变桨控制。

本文首先阐述撬棒技术的控制, 并针对其存在的缺点, 采用紧急变桨与撬棒协调控制的方案改善双馈风电机组的低电压穿越能力。为了改善紧急变桨控制的快速性, 采用了一种简单实用的紧急变桨控制策略。

1 撬棒控制原理及其分析

1.1 撬棒电路

撬棒保护电路即通常意义上的转子短路保护技术, 包括被动撬棒和主动撬棒2种。前者是一种自我保护形式的撬棒技术, 故障时按感应电动机方式运行, 存在诸多缺点, 如不仅无法对故障电网提供无功支持, 还会从电网吸收大量的无功功率。尤其当电网电压大幅跌落时, 将出现系统无功不足, 导致电网电压进一步下降, 严重时可能使系统崩溃, 且其投切操作会对系统产生暂态冲击。

主动撬棒技术作为一种改进技术被提出。其与被动撬棒的主要区别在其利用可关断器件对转子回路强迫换流。通过对撬棒的合理设计和控制, 在故障情况下, 可以使双馈发电机迅速恢复到可控运行状态, 并对电网提供一定的无功支持。

目前典型的撬棒电路如图1所示^[10], 其中图1

收稿日期: 2012-04-08; 修回日期: 2013-01-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50907040); 上海市自然科学基金资助项目(10dz1203902)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(50907040) and the Fund of Shanghai Science and Technology Commission(10dz1203902)

(a)为混合桥型撬棒电路,每个桥臂由 GTO 和二极
管串联而成;图 1(b)为由 IGBT 组成的撬棒电路,各
桥臂由 2 个二极管串联,直流侧串入一个 IGBT 器件
和一个吸收电阻;图 1(c)为旁路电阻型撬棒电路,出
现电网电压跌落时,通过功率开关器件将旁路电阻连
接到转子回路中,这就为电网故障期间所产生的大电
流提供了一个旁路,从而达到限制大电流、保护励磁
变压器的作用。

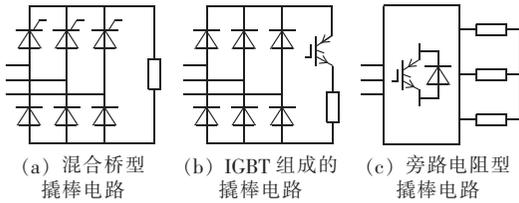


图 1 典型 Crowbar 电路拓扑

Fig.1 Topologies of typical Crowbar circuits

1.2 撬棒控制

撬棒电路的控制系统主要是控制其何时投入、
何时退出的问题。通常,转子电流和直流侧电压均
可作为撬棒电路的启动/退出信号^[11]。一旦满足上
述 2 个条件的任何一个,就可以设置转子侧变换器参
考电压为零,同时撬棒电路接入转子绕组以提供故障
电流通路,防止过电流和直流侧过电压。通常撬棒
电路运行期间,转子侧变换器要退出运行。

撬棒电路退出运行可以是根据一个固定时间
值,也可以采用其他标准,如出口电压幅值或者转子
电流和直流侧电压恢复正常的时刻。

本文采用了图 1(b)所示的撬棒电路拓扑,其投
入和退出信号的产生是同时基于转子电流和直流侧
电压。无论是转子电流还是直流侧电压,只要超过
其给定的参考值就启动撬棒电路,否则撬棒电路退
出运行,以此来尽可能地减少撬棒电路在故障期间
的运行时间。通常,二者的参考值均设置为其额定
值的 1.5 倍。

1.3 撬棒电路参数确定

撬棒电路中的主要参数是旁路电阻,该电阻阻
值的大小对于其实现低电压穿越能力至关重要。其合
适的阻值必须满足以下 2 个条件:

- a. 旁路电阻要足够大以限制双馈发电机的转子
电流;
- b. 旁路电阻不能过大以避免双馈发电机的转子
绕组电压过高。

根据文献^[12],当旁路电阻接入转子绕组且忽
略定转子绕组电阻时,双馈发电机在机端短路时的
定子最大电流可近似表示为:

$$i_{s\max} \approx \frac{1.8U_s}{\sqrt{X_s^2 + R_{cb}^2}} \quad (1)$$

其中, R_{cb} 为转子旁路电阻, X_s 为双馈电机定子瞬
时电感, U_s 为双馈电机定子电压有效值, $i_{s\max}$ 为双
馈电机短路故障时的最大定子电流。

由于式(1)是基于电机的全部参数折算到定子
侧得出的,因此,短路故障时的最大转子电流也可以
近似认为与定子最大短路电流一致。于是转子电压
可满足:

$$\sqrt{2} U_r \approx R_{cb} i_{r\max} \quad (2)$$

其中, U_r 为转子电压, $i_{r\max}$ 为转子电流。

根据式(1)和式(2),可以求出旁路电阻的最大
值应满足:

$$R_{cb} < \frac{\sqrt{2} U_{\max} X_s}{\sqrt{3.2U_s^2 - 2U_{\max}^2}} \quad (3)$$

其中, U_{\max} 为转子绕组允许的最大电压有效值。

1.4 撬棒技术存在的问题

按照前面所述,对于持续时间较长的电压跌落
故障,撬棒电路并不能实现双馈风电机组不间断并
网运行。这主要是因为,双馈感应电机的转速取决
于风力机输入机械功率和双馈电机电磁功率之差,
在电网低电压故障期间,风轮输入机械功率可以认为
是不变的,但网侧电压的突然跌落会造成机械功率
和电磁功率差值变大,这将不仅使得转速加速直至
过速保护动作,使机组脱离电网,而且由于电磁转矩
的突变也会对齿轮箱产生破坏。

同时,当电网电压跌落时,撬棒电路投入后,转
子变换器退出运行,使得风轮失去控制而运行在鼠
笼感应电机模式,需向电网吸收大量无功功率。同
时,由于撬棒电路的投入,转子故障电流快速衰减,
反而恶化了系统的转速稳定性,使机组转速上升更
快。如果电压跌落故障时间较长,结果会进一步恶
化。

为了说明上述问题,基于仿真软件 MATLAB/
Simulink 进行了试验。

图 2 给出了电压跌落至 0.2 p.u.,故障在 3 s 时
发生,持续时间为 625 ms 时,无变桨控制的情况下,
撬棒电路投入前后机组转速(标么值)的变化情况。
从图 2 中可以清楚地看出,尽管转速在此运行条件
下没有过速,但在撬棒电路投入后,系统转速上升加
快,在故障切除的时候,已经达到了过速保护动作值
1.3 p.u.。

图 3 给出了电压跌落至 0.2 p.u.,故障在 3 s 时
发生,持续时间加长为 700 ms 时,无变桨控制的情
况下,撬棒电路投入前后机组转速(标么值)的变
化情况。从图中同样可以看出,撬棒电路的投入恶
化了系统的稳定性,使系统转速上升加快,同时,当
电压跌落故障发生时间较长时,系统转速超过过速
保护整定值 1.3 p.u.。

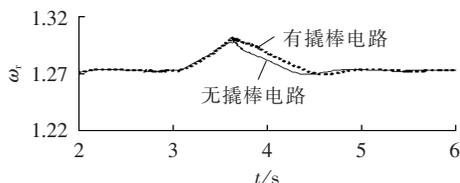


图 2 电压跌落 625 ms 机组转速响应

Fig.2 Response of rotor speed to voltage drop for 625 ms

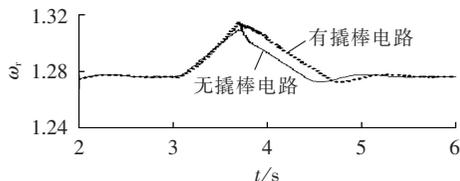


图 3 电压跌落 700 ms 机组转速响应

Fig.3 Response of rotor speed to voltage drop for 700 ms

2 紧急变桨与撬棒协调控制

为了弥补撬棒电路技术的不足和对系统稳定性的影响,本文采用了紧急变桨与撬棒电路协调控制的策略来提高系统低电压穿越能力和改善系统转速的稳定性。

通常,变桨是控制风轮输入功率的手段之一,其主要是通过调节桨叶的桨距角(气流方向与叶片横截面的弦的夹角)在 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 范围内变化,以使风轮捕获的风能相对稳定,并保持在发电机容量允许的范围以内。然而,按前面所述,双馈感应电机的转速取决于风力机输入功率和双馈感应电机输出功率之差,电网电压骤降期间,风轮的输入功率可以认为是不变的,而此时,由于双馈感应电机输送至电网的有功功率剧降,不平衡的功率将导致双馈感应电机转速快速升高,此时,应及时增大桨叶桨距角以减小风力机的输入功率,从而阻止机组转速上升,即实行变桨距控制^[13]。

因此,在故障情况下,也可以采用变桨控制实现输入机械功率的减少,抑制转速升高,从而改善系统动态稳定性,保证机组不间断并网运行^[14-16]。

考虑变桨响应较电磁响应慢的特点,采用一种紧急快速变桨控制的方法,其控制框图见图 4^[17]。

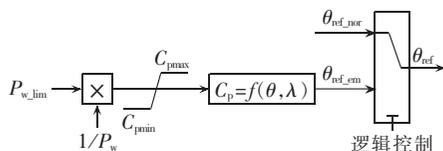


图 4 紧急变桨控制框图

Fig.4 Block diagram of emergency pitch control

图中, P_{w_lim} 是机械功率参考值; P_w 是风轮输出机械功率; θ_{ref_em} 是紧急控制模式下的桨距角指令; C_p 是功率系数,是桨距角 θ 和叶尖速比 λ 的函数, $C_p =$

$f(\theta, \lambda)$, 在仿真中,由 look up table 实现,其关系如图 5 所示,这里假设 λ 是常数,且为最优值; C_{pmax} 和 C_{pmin} 分别是功率系数的最大值和最小值; θ_{ref_nor} 是正常模式下的桨距角指令,通常设为 0; 逻辑控制用来实现故障模式和正常模式的转换。

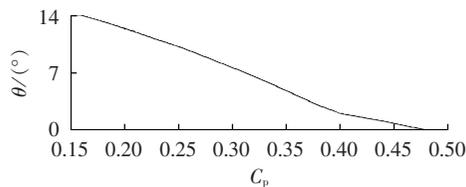


图 5 桨距角和功率系数之间的关系

Fig.5 Relationship between pitch angle and power coefficient

电网正常情况下,桨距角为给定值,实现最优功率系数运行,使双馈感应电机在一定转速范围内实现最大风能追踪发电;一旦检测到电网电压骤降,则马上启用紧急桨距角控制系统,根据故障时给定的风力机极限功率来计算风能功率系数,然后查表得出相应桨距角的参考值,通过减小风电机组的输入机械功率来适应电网故障下输出电能的减小。

值得注意的是,桨距角的变化率是个很重要的参数,它决定了变桨控制系统的响应速度^[17-18],最终决定风轮输入机械功率减少的快慢,从而成为影响紧急变桨控制效果的主要因素^[19]。按文献^[19]中所述,在紧急变桨控制中,桨距角变化率的最大范围可达到 $10^{\circ}/s\sim 20^{\circ}/s$,因此,本文折中将其设置为 $15^{\circ}/s$ 。

3 仿真实验

基于仿真软件 MATLAB/Simulink,验证了上述紧急变桨与撬棒协调控制对机组低电压穿越能力的提高和对系统转速稳定性的改善。仿真中所使用的双馈感应电机参数为:额定功率 $P_N=1.5$ MW,额定电压 $U_N=575$ V,额定频率 $f=60$ Hz,定子电阻 $R_s=0.00706$ p.u.,定子漏感 $L_{ls}=0.171$ p.u.,转子电阻 $R_r=0.005$ p.u.,转子漏感 $L_{lr}=0.156$ p.u.,互感 $L_m=2.9$ p.u.,极对数 $p=3$,惯性时间常数 $H=5$ s。

3.1 实验 1

仿真条件如下:风速为 13.7 m/s,电压跌落至 20%,故障 3 s 时发生,持续时间为 625 ms,桨距角变化率为 $15^{\circ}/s$,初始转速为 1.1 p.u.。

图 6 给出了桨距角在仿真中的变化曲线,其对转速产生的控制效果如图 7 所示。从图 7 中可以看出,采用协调控制后,转速波动明显变小,并且抑制了系统转速的变化率。按照图 8 所示,采用协调控制也能抑制转子故障电流,尤其是在故障切除后作用更加明显。从图 9 和图 10 中看出,协调控制也能改善电机定子有功功率和无功功率的波动,尤其是对

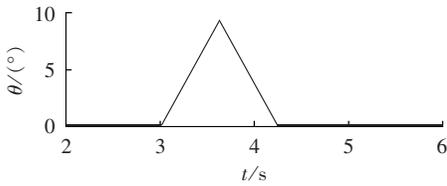


图 6 电压跌落 625 ms 桨距角变化曲线
Fig.6 Variation curve of pitch angle during voltage drop for 625 ms

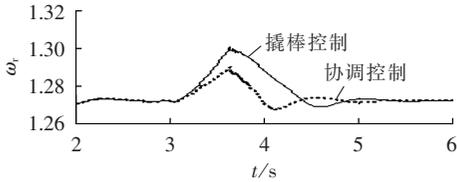


图 7 电压跌落 625ms 机组转速响应
Fig.7 Response of rotor speed to voltage drop for 625 ms

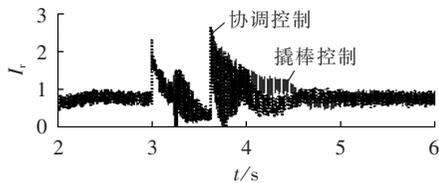


图 8 电压跌落 625 ms 机组转子电流响应
Fig.8 Response of rotor current to voltage drop for 625 ms

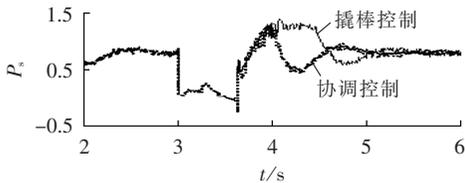


图 9 电压跌落 625 ms 机组定子有功响应
Fig.9 Response of stator active power to voltage drop for 625 ms

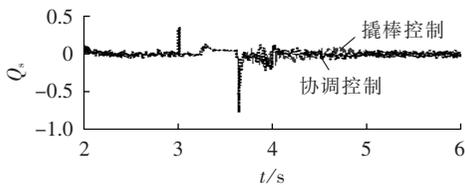


图 10 电压跌落 625 ms 机组定子无功响应
Fig.10 Response of stator reactive power to voltage drop for 625 ms

有功功率的稳定性影响较大;并且,和撬棒控制相比,协调控制的采用,使得电机定子有功功率在故障切除后,产生的瞬间尖峰脉冲幅值略有减小,而此时对无功功率瞬间尖峰脉冲幅值并无改善。

3.2 实验 2

为了进一步验证撬棒和变桨协调控制对机组低电压穿越能力的改善,尤其是持续时间较长的电压故障,设计完成了另外一个仿真实验。在该仿真实验中,除了故障持续时间不同(电压跌落故障持续

700 ms)外,其他仿真条件均相同。

该仿真条件下,得出的结果和实验 1 一致。图 11 是桨距角的变化曲线,其对转速的控制效果如图 12 所示,由于电压跌落故障持续时间较长,在撬棒控制下,系统转速已经超过了过速保护的整定值 1.3 p.u.。然而,协调控制的采用使得系统转速控制在规定的范围之内,同时稳定了系统的转速波动。图 13 同样表明,协调控制能抑制转子故障电流,尤其是故障切除后作用更加明显,而图 14 和图 15 也说明,协调控制能改善系统有功功率和无功功率的波动。

需要强调的是,按照图 14 和图 15 所示,和撬棒控制相比,协调控制的采用,使得电机定子有功在故障切除后,产生的瞬间尖峰脉冲幅值略有减小,而对无功功率瞬间尖峰脉冲幅值并无改善。

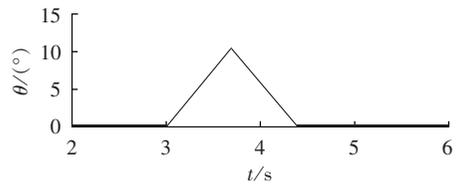


图 11 电压跌落 700 ms 机组桨距角变化曲线
Fig.11 Variation curve of pitch angle during voltage drop for 700 ms

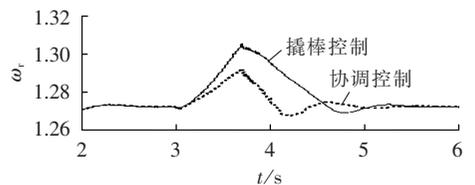


图 12 电压跌落 700 ms 机组转速响应
Fig.12 Response of rotor speed to voltage drop for 700 ms

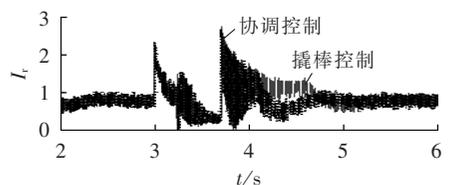


图 13 电压跌落 700 ms 机组转子电流响应
Fig.13 Response of rotor current to voltage drop for 700 ms

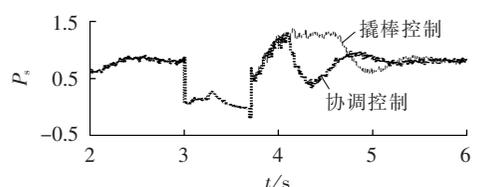


图 14 电压跌落 700 ms 机组定子有功响应
Fig.14 Response of stator active power to voltage drop for 700 ms

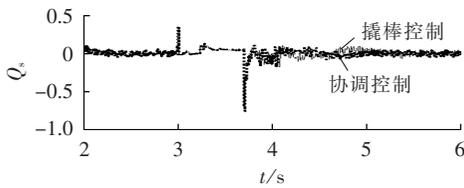


图15 电压跌落700ms机组定子无功响应
Fig.15 Response of stator reactive power to voltage drop for 700ms

4 结论

撬棒技术是目前风机制造商优先考虑的改善双馈风电机组低电压穿越能力的较为成熟的技术。但是,撬棒电路在故障期间的运行不仅使得机组向系统吸收无功功率,而且不利于系统的转速稳定性,对于时间较长的电压跌落故障,机组可能超速跳闸,使得机组低电压穿越失败。因此,建议采用紧急变桨和撬棒协调控制来加强双馈风电机组低电压穿越能力。

然而,变桨控制相对电气参数而言,变化较慢,因此在故障持续时间较短时,改善机组低电压穿越能力的作用不是很明显,但仍能改善机组转速和输出电磁功率的稳定性,同时对转子故障电流,尤其是故障切除后,有一定作用。而当系统遭受故障持续时间较长时,协调控制能有效限制转速的上升,控制其在规定的范围之内,同时改善机组转速和输出电磁功率的稳定性,并能起到抑制转子故障电流、减小输出机械功率、缓解转矩大的变化对齿轮箱产生的冲击的作用。

参考文献:

- [1] ERLICH I,WINTER W,DITTRICH A. Advanced grid requirements for the integration of wind turbines into the Germany transmission system[C]//IEEE Power Engineering Society General Meeting. Montreal, Canada:IEEE,2006:1-7.
- [2] 王继东,张小静,杜旭浩,等. 光伏发电与风力发电的并网技术标准[J]. 电力自动化设备,2011,31(11):1-7.
WANG Jidong,ZHANG Xiaojing,DU Xuhao,et al. Standards of grid-connection technology for photovoltaic and wind power generations[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(11):1-7.
- [3] MULLER S,DEICKE M,de DONCKER R W. Doubly fed induction generator systems for wind turbines[J]. IEEE Industry Application Magazine,2002,8(2):26-33.
- [4] 徐殿国,王伟,陈宁. 基于撬棒保护的双馈电机风电场低电压穿越动态特性分析[J]. 中国电机工程学报,2010,30(22):29-36.
XU Dianguo,WANG Wei,CHEN Ning. Dynamic characteristic analysis of doubly-fed induction generator low voltage ride-through based on Crowbar protection[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(22):29-36.
- [5] MORREN J,de HAAN S W H. Ride through of wind turbines with doubly-fed induction generator during a voltage dip [J]. IEEE Trans on Energy Conversion,2005,20(2):435-441.
- [6] RODRIGUEZ M,ABAD G,SARASOLA I,et al. Crowbar control algorithms for doubly fed induction generator during voltage dips [C]//2005 European Conference on Power Electronics and Applications. Dresden,Germany:[s.n.],2005:1-10.
- [7] 朱颖,李建林,赵斌. 双馈型风力发电系统低电压穿越策略仿真[J]. 电力自动化设备,2010,30(6):20-24.
ZHU Ying,LI Jianlin,ZHAO Bin. Simulation of LVRT strategy for DFIG wind power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(6):20-24.
- [8] LING Peng,LI Yongdong. Improved Crowbar control strategy of DFIG based wind turbines for grid fault ride-through[C]//Twenty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. APEC 2009. Washington,USA:IEEE,2009:1932-1938.
- [9] ZHAN C,BARKER C D. Fault ride-through capability investigation of a doubly-fed induction generator with an additional series-connected voltage source converter[C]//The 8th IEE International Conference on AC and DC Power Transmission. London,UK:[s.n.],2006:79-84.
- [10] 马文龙. Crowbar 保护在双馈异步风力发电系统电网故障穿越中的应用[J]. 电力自动化设备,2011,31(7):127-130.
MA Wenlong. Application of Crowbar circuit in grid fault riding through for doubly-fed induction wind power generation system[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(7):127-130.
- [11] MORNEAU J. A comparative evaluation of low voltage ride through solutions in wind turbines using doubly fed induction generators[D]. Ottawa,Canada:University of Ottawa,2008.
- [12] MORREN J,de HAAN S W H. Short-circuit current of wind turbines with doubly fed induction generator[J]. IEEE Trans on Energy Conversion,2007,22(1):174-180.
- [13] MULJADI E,BUTTERFIELD C P. Pitch-controlled variable-speed wind turbine generation[J]. IEEE Trans on Industry Application,2001,37(1):240-246.
- [14] 贺益康,周鹏. 变速恒频双馈异步风力发电系统低电压穿越技术综述[J]. 电工技术学报,2009,24(9):140-146.
HE Yikang,ZHOU Peng. Overview of the low voltage ride-through technology for variable speed constant frequency doubly fed wind power generation systems[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2009,24(9):140-146.
- [15] HANSEN A D,MICHALKE G,SORENSEN P,et al. Co-ordinated voltage control of DFIG wind turbines in uninterrupted operation during grid faults[J]. Wind Energy,2007,10(1):51-68.
- [16] 迟永宁,王伟胜,戴慧珠. 改善基于双馈感应发电机的并网风电场暂态电压稳定性研究[J]. 中国电机工程学报,2007,27(25):25-31.
CHI Yongning,WANG Weisheng,DAI Huizhu. Study on transient voltage stability enhancement of grid-connected wind farm with doubly fed induction generator installations[J]. Proceedings of the CSEE,2007,27(25):25-31.
- [17] SUN T,CHEN Z,BLAABJERG F. Voltage recovery of grid-connected wind turbines with DFIG after a short-circuit fault [C]//The 35th Annual IEEE Specialists Conference on Power Electronics. Aachen,Germany:IEEE,2004:1991-1997.
- [18] HOLDSWORTH L,CHARALAMBOUS I,EKANAYAKE J B, et al. Power system fault ride through capabilities of induction generator based wind turbines[J]. Wind Energy,2004,28(4):399-412.

[19] CONROY J F,WATSON R. Low-voltage ride-through of a full converter wind turbine with permanent magnet generator [J]. IET Renewable Power Generation,2007,1(3):182-189.

作者简介:

凌 禹(1975-),男,山西阳高人,讲师,博士研究生,从

事风力发电技术、电力电子及其应用等方面的研究(E-mail: pleasurely@126.com);

高 强(1975-),男,福建龙岩人,副教授,博士,研究方向为风力发电技术、电机控制;

蔡 旭(1964-),男,江苏徐州人,教授,博士研究生导师,研究方向为风力发电、电力系统、储能。

Improvement of low-voltage ride-through by coordinated pitch control and Crowbar control for DFIG wind turbine

LING Yu^{1,2},GAO Qiang¹,CAI Xu^{1,3}

(1. WPRC, School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. Department of Electrical Engineering, Shanxi Datong University, Datong 037003, China;

3. SKLOE, School of Naval Architecture, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: A scheme of coordination between pitch control and Crowbar control is presented, which prevents the over-speed trip, improves the system speed stability and ensures the low-voltage ride-through of DFIG (Doubly Fed Induction Generator) wind turbines by limiting the over current of rotor and suppressing the rapid increase of its speed. Simulative experiments are performed with MATLAB/Simulink for two voltage faults with different time durations and results show that the enhancement of ride-through capability is more obvious for long time voltage fault, verifying the validity of the proposed ride-through scheme.

Key words: doubly fed induction generator; Crowbar protection; wind power; pitch control; coordinated control

(上接第 17 页 continued from page 17)

Impact of grid-connected photovoltaic power generation on protection and reclose, and its countermeasures

LI Bin^{1,2}, YUAN Yue¹

(1. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Hydroelectric Engineering Department, Qinghai University, Xining 810016, China)

Abstract: The impact of grid-connected photovoltaic power generation on protection and reclose is analyzed and the setting current of protection is given for preventing it from improper operations caused by the reverse current from photovoltaic power generation system. Based on the traditional protection configuration, two feeder protection schemes are proposed for the distribution network including photovoltaic power generation system. Scheme 1: the directional pilot protection and the inverse-time over-current protection are configured according to the grid-connection location of photovoltaic power generation system, which can switch out the fault reliably when the output power changes. Scheme 2: based on the directional current protection, the section I of each feeder protection at the level higher than the photovoltaic system and the section I of the feeder protection at lower level are included in a communication unit and the fault is rapidly isolated in the smallest area by the protection according to the new setting principle and the operating results of two-stage protection. Simulative results for a 10 kV distribution system have verified the validity of the proposed schemes.

Key words: photovoltaic; electric power generation; grid connection; relay protection; reclose; models