

直驱风力发电系统低电压穿越技术

摘要：为提高直驱式变速恒频风电系统的故障穿越能力，采用直流侧过压保护Crowbar电路，使电网电压跌落时风机能够正常运行，故障消除后系统能快速恢复至额定输出。在电压跌落期间，控制网侧变流器发出无功功率，即运行STATCOM模式，快速向电网提供无功功率，稳定电网电压，帮助电网电压快速恢复。据此提出基于Crowbar卸荷电路和STATCOM运行策略的直驱风力发电系统的低电压穿越(LVRT)方案，并进行了实验验证。

1引言

随着风力发电系统装机容量的增加，电网对风力发电系统提出了新的要求，即LVRT能力。由于直驱风力发电系统无需高速齿轮组，其运行效率高，对电网冲击小，因此引起了国内外的广泛关注。尤其是发电机通过全功率整流器与电网隔离，故应对电网故障的能力更强，与DFIG风力发电系统相比，更容易实现LVRT。

2原理与设计

直驱系统在电压跌落期间实现其故障穿越，可通过以下两方面完成：

在直流侧增加Crowbar电路，即直流电压斩波电路。电压跌落期间，变流器的输出电流会迅速增大，当增加到变流器的限流阈值时，其功率输出达到极限，此时输出功率将小于输入功率，直流母线电压将会升高。该方法可匹配变流器无法输出的那部分功率，从而维持功率守恒，限制直流母线电压的增加；

在电压跌落期间，控制网侧变流器发出无功功率即运行STATCOM模式，快速向电网提供无功功率，稳定电网电压，帮助电网电压快速恢复。

典型的直流电压Crowbar电路如图1所示。该电路实现电阻变换模块的原理是：在保持直流电压恒定的条件下，调节开关的占空比，实现不同的功率输出，等效于直流侧的一个可变电阻。

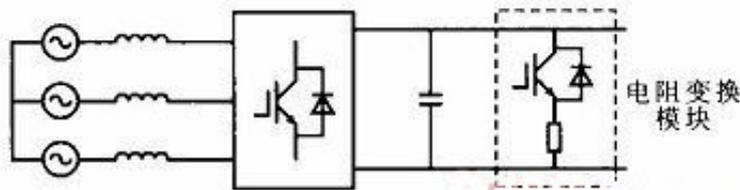


图 1 直流电压 Crowbar 电路

控制网侧变流器运行STATCOM模式的核心问题是在变流器功率等级一定的条件下如何分配有功、无功的电流指令。变流器输出功率不仅受网侧电压的限制，而且受变流器输出最大电流 I_{smax} 的限制。设， i_d ， i_q 分别为有功、无功电流。无功指令可根据电压跌落的程度向电网输出不同的无功功率，跌落越严重，变流器提供的无功越大，从而帮助电网快速恢复。图2提供了一种带有Crowbar保护的STATCOM运行控制算法。

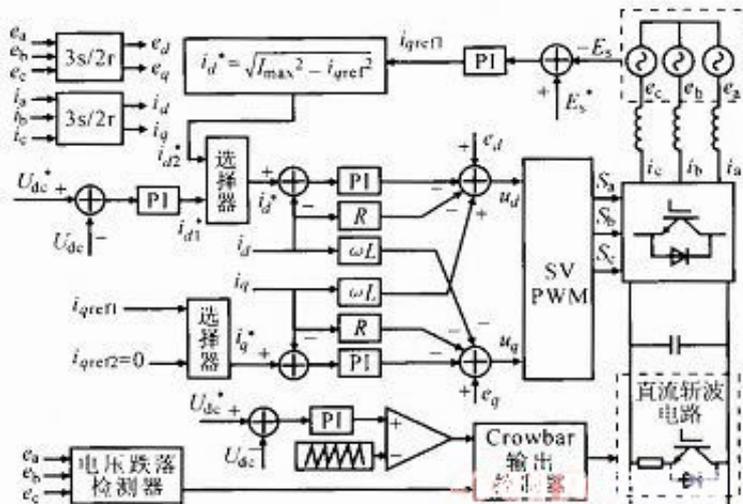


图2 具有LVRT能力的变流器控制框图

3直驱系统整机实验结果及分析

实验条件：在机侧，原动机额定参数AC380V / 5kW，永磁电机额定参数380V / 5kW，齿轮箱变比7.5 : 1，转子磁链 $\Phi = 3.5\text{Wb}$ ；在网侧，输入电压AC380V / 50Hz，自耦调压器输出AC380V / 15kW，变流器电感1.86mH，直流母线电压600V。直驱风力发电系统电气结构框图如图3所示。

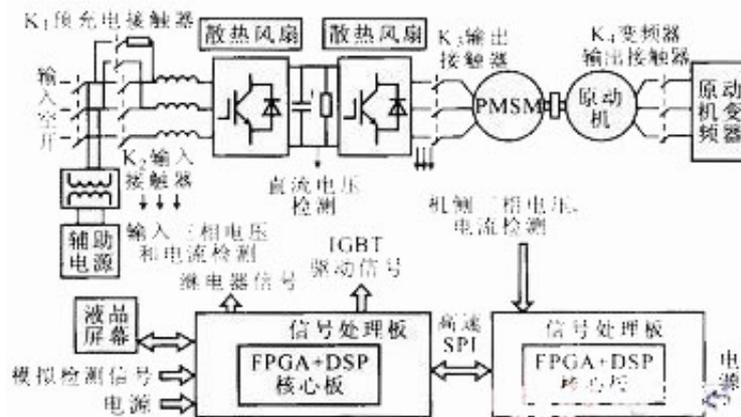


图3 直驱风力发电系统电气结构框图

为测定直驱风力发电系统整机实验的正确性，这里通过测量机侧和网侧的功率并根据功率守恒进行判断。设定永磁电机输出功率1kW，转速为90r · min⁻¹(原动机变频器频率22.5Hz)，电磁转矩-19.3N · m。根据永磁电机内部电磁关系，计算出永磁直驱电机输出电流理论值为3.2A。

根据系统功率守恒，计算出网侧变流器输出电流理论值为1.52A。整理参数如下：在机侧：输入功率理论值1kW，转矩理论值-19.3N · m，变频器频率理论值15.5Hz，输出电流理论值3.7A，测试值3.6A，输出电流频率8.2Hz，测试值8.8Hz；在网侧：输出功率理论值1kW，测试值967W，母线电压理论值600V，测试值599V，q轴电流为零，输出电流理论值1.52A，测试值1.5A。

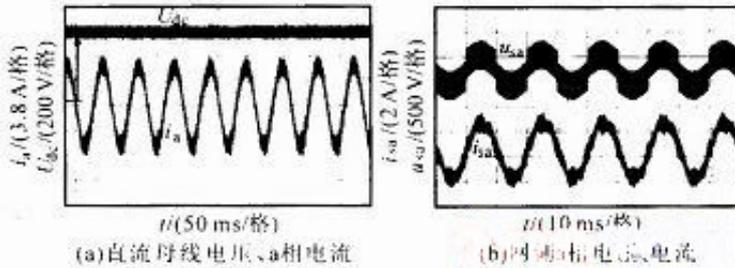


图4 直驱风力发电机整机实验波形

图4为控制永磁电机发出1kW功率条件下的实验波形。变流器空载运行时，网侧变流器电流 i_a 大小并不为零，这是因为系统本身会消耗一定量的有功，在发电机投入发电时，有功电流由网侧提供，也说明网侧变流器具有四象限运行能力。对比图4a, b可见，机侧输出电流的谐波含量要远小于网侧，这主要是因为小功率永磁电机定子绕组电感量较网侧变流器电感大得多，故提高网侧电流波形质量的方式是增大网侧电感的感抗，但会牺牲变流器效率，影响电感使用寿命。

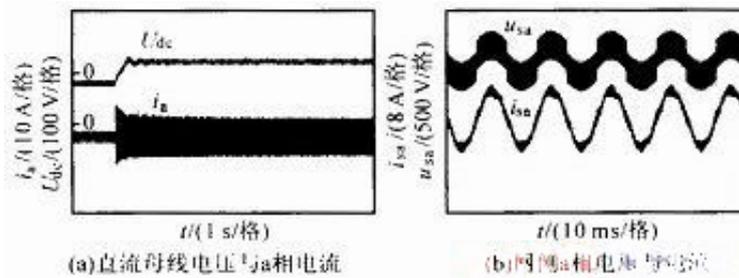


图5 变流器80%额定功率条件下实验波形

图5为变流器80%额定功率下的实验波形。由图5a可见， U_{dc} 在启动瞬间缓慢爬升至100V，且冲击很小，变流器启动电流约为工作电流1.5倍。由图5b可见，当变流器输出功率变大后，较小功率条件下电流的谐波含量明显减小。

4结论

在直流母线增加Crowbar卸荷电路，平衡输入输出功率，维持直流母线电压稳定，减小网侧变流器输出电流，实现低电压穿越。由实验结果可知Crowbar卸荷能够有效改善跌落和恢复瞬间的系统动态效果，减小控制系统的振荡。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/63409.html>