

Crowbar 电路对双馈风力发电机组的影响

张毅¹, 齐新杰¹, 买秀芳¹, 徐立亮¹, 常喜强², 马瑞¹

(1. 国网吐鲁番供电公司, 新疆 吐鲁番 838000;

2. 国网新疆电力调度通信中心, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要: 随着天然气、石油等传统能源面临枯竭, 空气污染不断加剧的局面, 迫使人们寻找一种无污染型的新型能源作为传统能源的替代者。在国家能源战略的扶持下, 近几年, 风电等清洁能源得到了飞速发展, 然而, 在风电快速发展的同时也暴露出了很多不足和漏洞。针对双馈风力发电系统对电网电压跌落的脆弱性, 基于转子侧加入 Crowbar 保护电路双馈风力发电系统的仿真模型, 通过 Crowbar 保护电路的投切仿真分析, 研究了 Crowbar 保护电路对双馈风力发电系统的影响。

关键词: Crowbar 电路; 双馈风力发电系统; 短路; 仿真

Abstract: With the depletion of natural gas, petroleum and other traditional energy sources and the constantly intensifying situation of air pollution, it forces people to look for a new type of non-pollution energy as a replacement of traditional energy. In recent years, wind power and other clean energy get rapid development under the support of the national energy strategy. However, when wind power is in the rapid development, it also exposes many shortcomings and flaws. Aiming at the vulnerability of doubly-fed wind power generation system, based on the simulation model of doubly-fed wind power generation system with Crowbar protective circuit adding in rotor side, and through the simulation analysis of the switching of Crowbar protective circuit, the influence of Crowbar protective circuit on doubly-fed wind power generation system is studied.

Key words: Crowbar circuit; doubly-fed wind power generation system; short circuit; simulation

中图分类号: TM614 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)03-0032-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.03.007

近年来, 随着电力电子技术的日益发展, 人们对清洁能源的大力支持, 风电等低成本、零污染的清洁能源得到了快速发展。风电单机容量由千瓦级跨越到兆瓦级, 中国总装机容量呈现出跨越式的增长趋势。风电装机比例不断上升, 风电机组出力的突变性对电网的影响不可低估, 对电网安全稳定运行埋下了隐患。为了提供优质服务, 国家电网公司也出台了一系列政策保障电网稳定运行。中国对于并网的风电机组要求有一定的低电压穿越能力, 即电力系统发生短路故障时(一定的范围内), 要求风电机组必须并网运行, 不得脱网。

国内外已有不少专家学者开展了 Crowbar 保护电路对双馈风力发电机组影响的研究工作。文献[1]对双馈风力发电机组的低电压穿越能力以及加装 Crowbar 保护电路后的低电压穿越能力进行分析对比, 得到加装保护电路可以使得双馈机组在短路故障时电压跌落幅度较小, 从而起到保护电路的作用。文献[2]对 Crowbar 保护电路阻值的选取进行分析, 并对不同数值下的低电压穿越效果进行了仿

真分析。文献[3]对故障期间电压跌落不同程度的双馈风电机组转子电流与电压变化特性进行仿真分析。文献[4]对 Crowbar 保护电路阻抗的选取方法以及数值计算进行了分析。文献[1-4]对双馈风电机组的低电压穿越以及 Crowbar 电路阻值的选取进行了仿真分析, 并没有对 Crowbar 保护电路加入后双馈风电机组的各种运行状态进行仿真分析。综合而言, 对改善双馈风电机组的低电压穿越能力还需进一步的研究分析。

首先对双馈风力发电机组、Crowbar 保护电路的工作原理进行分析; 随后提出 Crowbar 保护电路的投切方法; 最后对双馈风力发电系统在 Crowbar 保护电路动作后, 与普通异步风力发电系统以及 Crowbar 保护电路不动作时的风力发电系统动态特性进行仿真分析。

1 含 Crowbar 电路的双馈风力发电系统

双馈风力发电系统因其较高的风能利用率得到

了广泛应用。在风力发电系统中,风电机组发出的电能其电压幅值与频率是时刻变化的,故不能直接并网或供用户使用,必须将其通过 AC-DC-AC 变流器转换成电压、频率恒定的交流电才能使用。双馈风电机组的转子侧通过变频器接入电网,从而可以为发电机转子提供励磁电流,在控制系统的作用下达到风力发电系统的最大功率跟踪。定子侧直接连接于电网中,当电网发生各种短路故障时将会导致定子侧出现大电流。受制于磁链守恒定律的约束,定子侧出现的大电流将会通过定转子之间的强耦合作用带动转子侧电流也相应地升高^[5-6]。变频器等电力电子设备容易受过电流等外界因素的损坏;为了防止大电流对电力电子设备的破坏,现阶段较常用的方法就是在转子侧电路中加入 Crowbar 电路,通过耗能电阻将过电流产生的能量转移,从而起到保护变频器等电力电子设备的作用^[7-8]。加装 Crowbar 保护电路的双馈风力发电系统结构图如图 1 所示。

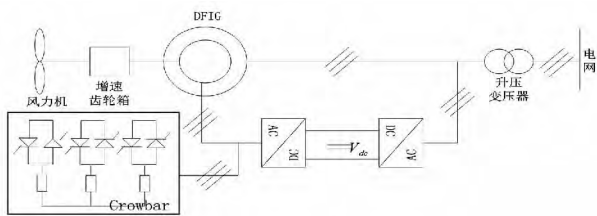


图 1 加装 Crowbar 电路的双馈风力发电系统结构图

1.1 Crowbar 电路

Crowbar 电路是由反向并联的晶闸管与耗能电阻串联而成,接于转子侧起到保护变频器的目的。其基本工作原理是通过晶闸管的开断控制耗能电阻的投切,当转子侧电流值增大到一定的数值后,晶闸管触发信号动作,电流流过耗能电阻将转子侧变频器短接^[1]。此时,双馈风力发电系统因变频器的转子侧失控而运行在转子侧加装电阻串的异步电机状态,起到保护变频器的目的;当短路电流衰减到一定的数值时,晶闸管的触发信号将会关断,耗能电阻退出运行系统,变频器再现对电机的控制功能。

1.2 Crowbar 电路控制系统

通过检测转子侧电流的方法控制 Crowbar 电路的投退,在转子侧电流突增时投入耗能电阻保护电路为过电流提供一条旁路通道,电流值恢复正常时退出耗能电阻。设定阈值电流 $I_1^* = 1.05 \text{ p. u.}$, $I_2^* = 1.2 \text{ p. u.}$,当实测电流 $I > I_2^*$ 时,投入 Crowbar 电

路使得转子侧变流器处于短路运行状态;当实测电流 $I < I_1^*$ 时,退出 Crowbar 电路,转子侧变流器恢复至正常的工作状态。

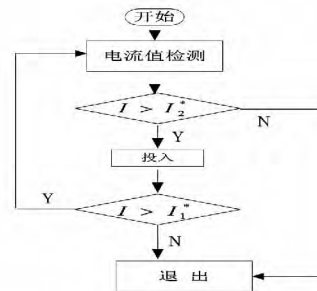


图 2 所提出的 Crowbar 投退诊断流程

2 Crowbar 电路的运行状态分析

2.1 Crowbar 投入时的运行状态

Crowbar 投入时,双馈风力发电系统的转子侧变流器被耗能电阻短路,双馈风力发电系统失去转子侧变流器系统的控制而运行于外加串联电阻的普通异步机状态^[9-10]。此时短路电流变化趋势类似于异步电机的短路电流,即都包含衰减的直流及衰减的交流分量,且最终都将衰减到 0。由于耗能电阻的保护作用,故障电流的初始值相较于异步电机将会减小,转子衰减时间常数小,短路电流中的基频交流分量衰减快。

2.2 Crowbar 未投入时的运行状态

系统发生短路故障时,晶闸管因触发信号失灵等外部原因没有导通的情况下,Crowbar 仍处于未投运状态。此时,双馈风力发电系统的变流器及其控制系统处于工作状态,故障电流的大小受限于变流器控制系统。由于耗能阻抗钳制电压的存在,故障电流相较于未加装 Crowbar 保护电路的双馈风力发电系统将会发生很大的变化。由于双馈风力发电系统采用的是感应电机,只有转子侧与变频器相连,电路故障时短路电流的变化还会有异步电机短路故障电流变化特性的存在;加之转子侧外加耗能电阻的存在,通过对耗能电阻端电压的控制可以调节机组的输出功率,使输出功率保持在某一恒定值,因此又具有同步机的短路电流特性。

3 仿真分析

为了验证理论分析的正确性,搭建了总装机容量

量为 49.5 MW (1.5 MW × 33) 的风电场仿真模型。机组采用恒功率因数的控制模式,出口功率因数控制为 1。双馈风电机组的参数如表 1 所示。为了验证 Crowbar 保护电路对双馈风力发电系统低电压穿越的效果,在仿真时间 $t = 0.5$ s 时,在风电场升压变的低压侧设置了三相短路故障。

表 1 双馈风电机组的参数

额定功率 P /MW	出口电压 U/V	定子电阻 R_1 / (p. u.)	定子电抗 X_1 / (p. u.)	转子电阻 R_2 / (p. u.)	转子电抗 X_2 / (p. u.)
1.5	690	0.003	0.15	0.01	0.15

3.1 Crowbar 投入时的仿真分析

在故障发生的瞬间,Crowbar 保护电路将变频器转子侧短路,并一直没有退出。就双馈风力发电系统与普通异步机组在该故障下的波形进行对比分析。

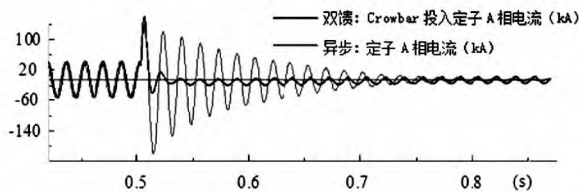


图 3 Crowbar 投入时 双馈机组与普通机组定子电流变化

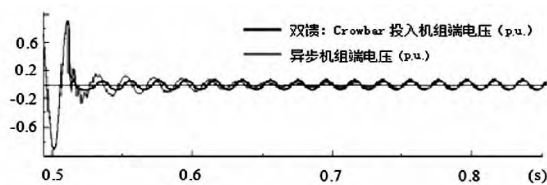


图 4 Crowbar 投入时 双馈机组与普通机组端电压变化

图 3 和图 4 可以看出,在相同的短路故障下,Crowbar 保护电路投入双馈风力发电系统时,相较于普通异步机组有以下 2 个优点:1) 短路电流的初始值相较于普通异步机组甚小;2) 短路电流的衰减速度比普通异步机组快。仿真结果显示了短路电流的大小以及动态特性,从两者的变化特性充分验证了 Crowbar 保护电路的有效性。

3.2 Crowbar 未投入时的仿真分析

在故障发生的瞬间,因其他因素的影响,Crowbar 保护电路没有动作,双馈风电机组定子侧的电流变化如图 5 所示。

由图 5 可以看出,故障时电流表现出急剧增大-下降-上升的变化趋势,由于磁链值的衰减使得电流表现出下降的趋势,电流在下降的过程中,受制于双馈机组的控制系统又出现上升的趋势;定子电流衰减速度很快,在故障后的一个周期内 ($t = 0.02$

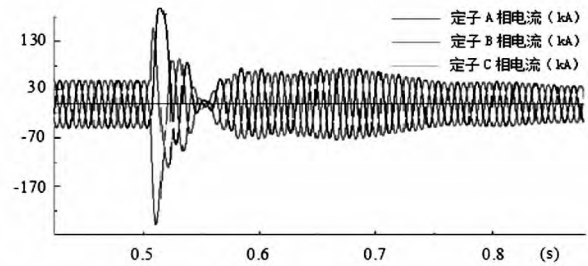


图 5 Crowbar 电路未动作 双馈风电机组

定子侧的电流波形

s) 短路电流衰减到冲击电流的 1/2。

4 结 论

对加装 Crowbar 保护电路的双馈风力发电系统的运行特性进行了分析,并通过与普通异步风力发电系统的分析对比验证了理论分析的正确性,为风力发电系统的进一步发展奠定了一定的理论基础。

参考文献

- [1] 周志宇,郭钰锋. 基于 Crowbar 电路的双馈风电机组低电压穿越能力[J]. 哈尔滨工业大学学报,2013,45(4):122-128.
- [2] 栗然,王倩,卢云,等. Crowbar 阻值对双馈感应发电机低电压穿越特性的影响[J]. 电力自动化设备,2014,34(4):101-107.
- [3] 马佳骥. 基于 Crowbar 电路的双馈机低电压穿越特性仿真分析[J]. 洛阳理工学院学报(自然科学版),2012,22(3):54-58.
- [4] 卢沁雄,韩如成,李辉. 双馈型风电机组的 Crowbar 仿真研究[J]. 电气技术,2014(4):35-37.
- [5] 孙红雨,黄勇,马佳艺. 基于双馈型风力发电机组并网技术概述[J]. 西北水电,2012(4):60-62.
- [6] 周羽生,郑剑武,向军,等. 双馈风力发电系统网侧变流器联合控制策略[J]. 电力系统及其自动化学报,2014,26(4):25-29.
- [7] 李建林,赵栋利,李亚西,等. 适合于变速恒频双馈感应发电机的 Crowbar 对比分析[J]. 可再生能源,2006,24(5):57-60.
- [8] 刘云,胡晓辉,刘亚丽,等. 基于 Crowbar 的双馈风力发电机 LVRT 仿真分析与实验研究[J]. 电网与清洁能源,2014,30(4):47-52.
- [9] 徐明辉,李泽滔,陶金. 基于 Crowbar 保护的双馈风力发电机低电压穿越研究[J]. 电气技术,2014(6):48-51.
- [10] 胡娜. 基于 CROWBAR 电路的双馈风电机组低电压穿越控制策略研究[D]. 天津:河北工业大学,2011.

作者简介:

张毅(1989),硕士研究生,从事电网运行工作。

(收稿日期:2016-01-16)