

Research on the Calculated Model of Protective Relaying of Considering Wind Power Connected to the Grid

Xiaoping Feng¹, Xiaofei Wang¹, Xuedong Li², Dongliang Nan³, Xiang Wei⁴, Yuanzhen Yang⁵, Xiaotong Cheng⁶

¹State Grid Xinjiang Electric Power Company Control Center, Urumqi Xinjiang

²Beijing Join Bright Digital Power Technology Co., Ltd., Beijing

³State Grid Xinjiang Electric Power Company Research Institute, Urumqi Xinjiang

⁴State Grid Urumqi Electric Power Supply Company, Urumqi Xinjiang

⁵State Grid Aksu Electric Power Supply Company, Aksu, Xinjiang

⁶State Grid Bazhou Electric Power Supply Company, Bazhou Xinjiang

Email: ligx2012@126.com

Received: Nov. 19th, 2015; accepted: Dec. 5th, 2015; published: Dec. 9th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Due to large-scale wind farms connected to the grid, the grid computing needs to consider the impact of wind farm when integrated into the power grid. Firstly, the single turbine model is analyzed; the positive and negative sequence impedance of a single turbine in the large and small operating modes are got by analyzing whether Crowbar resistance is accessed and the number of wind turbines put in actual operation. Then, according to the wiring way of wind farm and the influence of transformer accessed, wind turbine and transformer will be equivalent to wind Chassis variant Group. Finally, according to the actual parameter calculation of wind farm we get the equivalent impedance, and use the results verify the correctness of fault calculation.

Keywords

Protective Relaying, Wind Power, Wind Farm Equivalent Impedance

计及风电接入电网后继电保护计算模型的研究

冯小萍¹, 王晓飞¹, 李雪冬², 南东亮³, 韦翔⁴, 杨媛珍⁵, 程晓通⁶

¹国网新疆电力公司电力调度控制中心, 新疆 乌鲁木齐

²北京中恒博瑞数字电力科技有限公司, 北京

³国网新疆电力公司电力科学研究院, 新疆 乌鲁木齐

⁴国网新疆电力公司乌鲁木齐供电公司, 新疆 乌鲁木齐

⁵国网新疆电力公司阿克苏供电公司, 新疆 阿克苏

⁶国网新疆电力公司巴州供电公司, 新疆 巴州

Email: ligx2012@126.com

收稿日期: 2015年11月19日; 录用日期: 2015年12月5日; 发布日期: 2015年12月9日

摘要

随着大规模风场的接入, 在电力系统计算的过程中, 必须要考虑风场的接入对电力系统的影响。本文首先分析了单个风机模型, 分析了Crowbar电阻是否接入、风场实际运行的风机数量, 得出单个风机的大小方式两种正负序阻抗; 然后根据现场接线方式, 考虑箱变接入的影响, 将风机和箱变串联等效成一个风机箱变组; 最后通过实际参数计算出风场的等效阻抗, 并通过故障计算中验证结果的正确性。

关键词

继电保护, 风力发电, 风电场等效阻抗

1. 引言

继电保护是电网安全稳定运行的第一道防线, 能够在故障发生时快速可靠地识别并有效地隔离故障, 对遏制系统运行状况的进一步恶化, 保障电能高效稳定的传输和利用都具有重要的意义。近年来, 随着能源危机和环境问题的日益突出, 新能源与分布式发电技术越来越受到社会的关注, 如风电、光伏等可再生能源, 微电网和电铁等, 其大规模应用, 必然带来集中接入、远距离传输以及风电场内部集电线路网络化等问题, 从而改变电力系统的运行特征。

新疆电力公司将规模化风电、光伏接入到地区电网中, 电网潮流将发生变化, 系统发生短路故障时各线路或者母线的短路电流也会发生改变, 继电保护出现了很多新问题[1]-[3], 传统简单保护整定软件已经不能满足要求。因此, 结合实际情况, 在继电保护省地一体化平台中建立风电场故障计算模型, 进行故障分析, 分析故障计算结果, 从而保证电力系统的安全稳定运行[4]。

2. 单个风机模型

随着风力发电规模和风电机组单机容量的不断增大, 针对并网型风电机组的运行也要求日益严格, 目前很多标准都要求风电机组具有一定的低电压穿越能力。低电压穿越(LVRT), 指在风力发电机并网点电压跌落的时候, 风机能够保持并网, 甚至向电网提供一定的无功功率, 支持电网恢复, 直到电网恢复正常, 从而“穿越”这个低电压时间(区域)。LVRT 是对并网风机在电网出现电压跌落时仍保持并网的一种特定的运行功能要求。双馈风力发电机是目前应用最广泛的风力发电技术, 其具有功率因数可调、效率高、变频装置容量小、节省投资等优点而受到广泛的应用[5]。

在双馈风电机组中, 发电机通常采用绕线式异步电机。其中发电机定子直接与电网相连, 转子侧通过交直交变换器与电网相连。当电网电压突然跌落时, 会在定子绕组中造成很大的冲击电流。由于发电机定子转子之间的电磁耦合关系, 电网电压跌落同样会导致转子侧过流。

目前, 双馈感应发电机(DFIG)的 LVRT 主要通过 2 种方法来实现, 一种是改进变频器的控制策略, 另一种是增加硬件控制电路。前者适用于电压小幅跌落的情况, 当电网发生严重故障时, 改进变频器控制策略的 LVRT 效果较差, 此时多采用 Crowbar 保护电路, 而 Crowbar 阻值和退出时间对 LVRT 效果有很大影响。本文基于 MATLAB 仿真平台, 进行仿真验证同时考虑在发生故障后达到稳定情况。

Crowbar 插入后转子短接并且机侧换流器闭锁, 此时双馈电机与鼠笼电机相似, 短路电流特征也基本相同(图 1)。

当电网发生不严重故障时, 模型没有考虑低压穿越、转子侧换流器旁路等行为, 认为 Crowbar 没有插入(Crowbar 电阻为 0)。可得, 正负零等效阻抗为(图 2、图 3):

$$\begin{aligned} Z_1 &= R_s + jX_s + jX_m \parallel \left(jX_r + \frac{R_r}{s} \right) \\ Z_2 &= R_s + jX_s + jX_m \parallel \left(jX_r + \frac{R_r}{2-s} \right) \end{aligned} \quad (1)$$

根据异步机的正负序等值模型及表达式, 绘制阻抗幅值和角度随转差率(s)变化的波形, 正负序阻抗存在很大差异, 不可以采用正负序采用同一模型计算。

将各参数取基本参数后, 可以绘制正负序阻抗和转差率 s 的关系如图 4 所示, 其中: 电机参数(标么): 定子电阻 $R_s = 0.01$ 、定子漏抗 $X_s = 0.1$ 、励磁电抗 $X_m = 3.5$ 、转子漏抗 $X_r = 0.1$ 、转子电阻 $R_r = 0.01$ 。

在发生严重故障时, Crowbar 保护电路接入, 因为 Crowbar 电阻大概为定子电阻的 30~40 倍, 考虑 Crowbar 电阻的影响, 取 Crowbar 电阻 $R_{Crowbar} = 0.1$ 可绘制下图(图 5)。

由图 6 可以看出, 是否考虑 Crowbar 保护电路对正负阻抗的影响很大, 所以在故障发生后, 随着故障程度不同, 不能采用一个模型对一个风机进行等效。

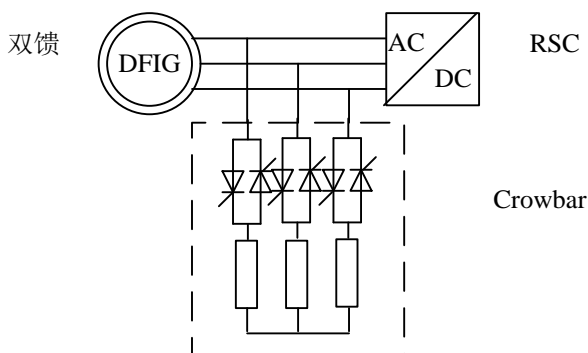


Figure 1. The diagram of Crowbar

图 1. Crowbar 原理图

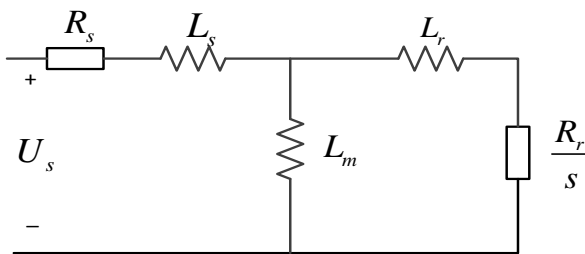


Figure 2. The equivalent circuit of positive sequence

图 2. 正序等效电路

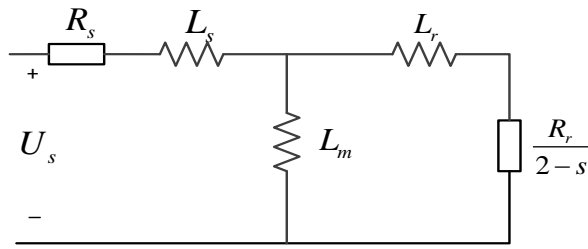


Figure 3. The equivalent circuit of negative sequence
图 3. 负序等效电路

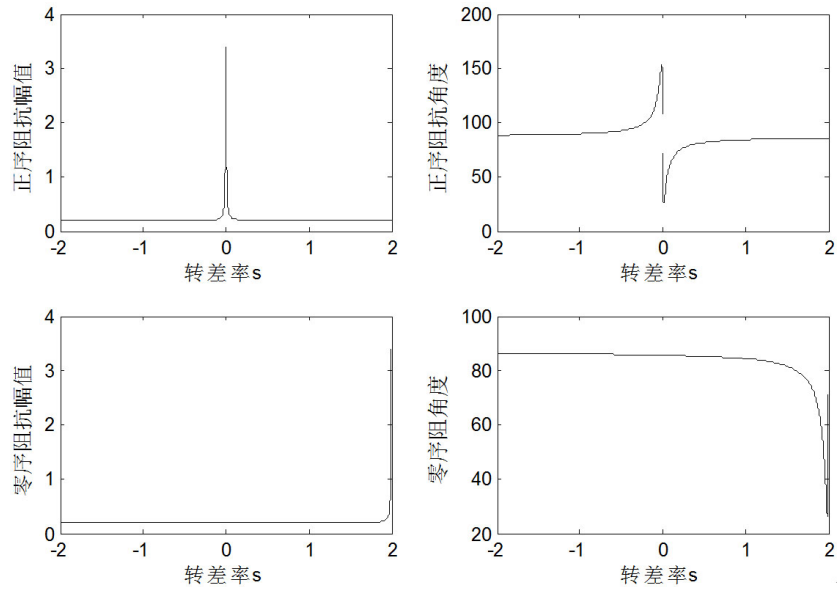


Figure 4. The diagram of magnitude and angle of the positive and negative sequence
图 4. 正负序幅值和角度图

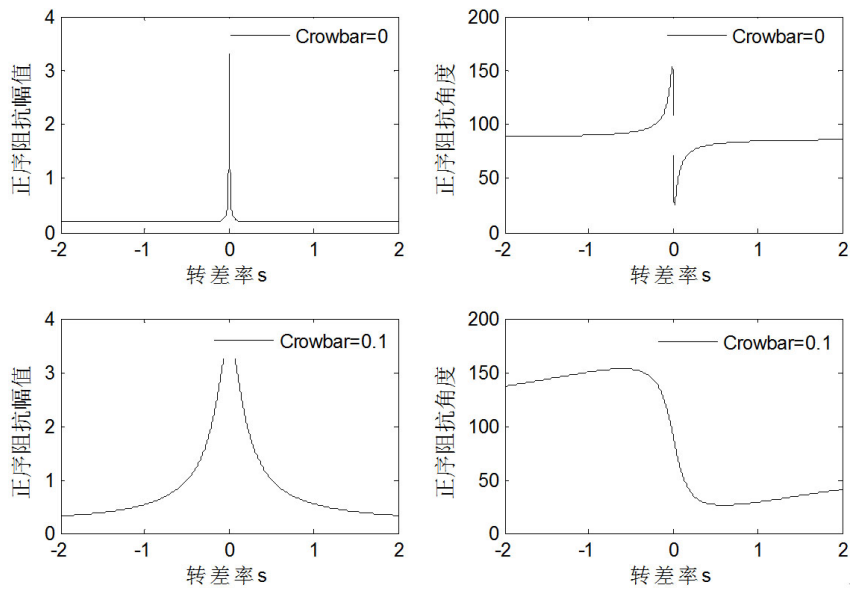


Figure 5. The comparative graphs of positive sequence
图 5. 正序对比图

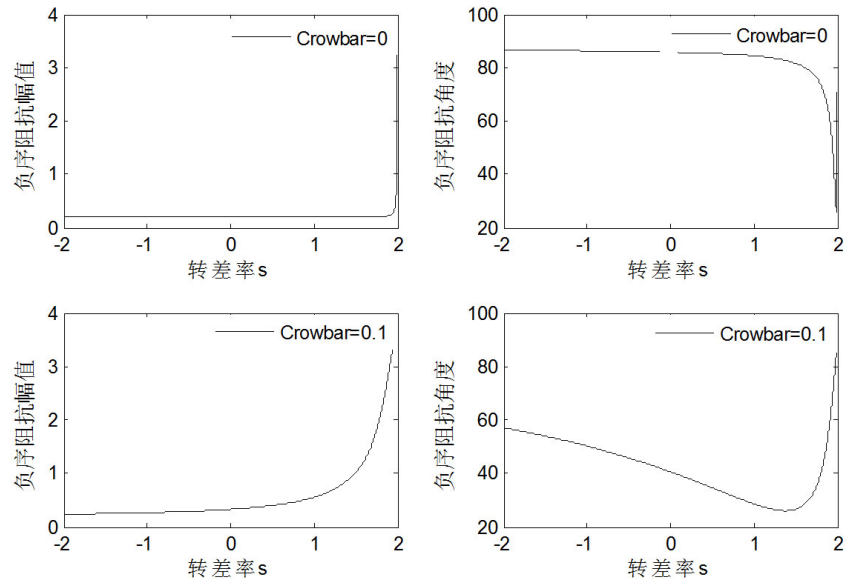


Figure 6. The comparative graphs of negative sequence
图 6. 负序对比图

所以在实际计算过程中根据故障类型的不同,先计算一次没有投入 Crowbar 电路的情况,计算是否满足 Crowbar 电路投入条件,如果满足,再算一次 Crowbar 电路投入的情况,从而保证计算的准确性。

异步发电机和异步电动机不同,当系统发生对称或不对称故障,机械转矩大于电磁转矩,发电机反冲后都是加速运行,考虑极端情况转速达到同步速的两倍,因此考虑极端情况正序阻抗可以按式(2)取 $S = -1$ 计算。那么当发生故障后的正负阻抗为:

$$\begin{aligned} Z_1 &= R_s + jX_s + jX_m // \left(jX_r + \frac{R_r + R_{\text{Crowbar}}}{-1} \right) \\ Z_2 &= R_s + jX_s + jX_m // \left(jX_r + \frac{R_r + R_{\text{Crowbar}}}{3} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

3. 风场模型

在对风场进行研究时,因为一个风场内有多台风机,通过对风机的研究可以发现,风场的接线方式为:每个风机和箱变串联作为一个风机箱变组,多个风机箱变组之间是并联的。如图 7 所示。

同时在模型(图 8)的等效的时候发现,风机实际投入数量不是固定不变的,本文采用根据风场得出实际运行的最大风机数和最少风机数,作为风场模型的最大最小方式。

4. 算例分析

以新疆电网为例,按实际情况录入一个风场参数,其中基准容量为 100 MVA (见表 1、表 2、表 3、表 4)。

以新疆萨尔木风电为例,在风机的出口发生三相相间短路,风机提供电流为 1943 A (图 9)。

通过对算例的仿真分析,可以看出,根据系统发生故障的程度不同,风场采用不同的等效阻抗计算公式。采用风电场等效阻抗计算模型,可以在系统发生故障时不切除风电场,同时计算风电场向系统注入的故障电流及其他影响继电保护定值整定的电气量。进而对系统发生故障且风电场保留的故障分析,分析故障计算结果,进而保证电力系统的安全稳定运行。

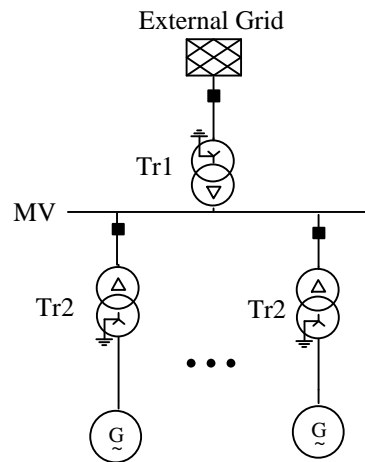


Figure 7. The actual model of wind farm
图 7. 风场实际模型

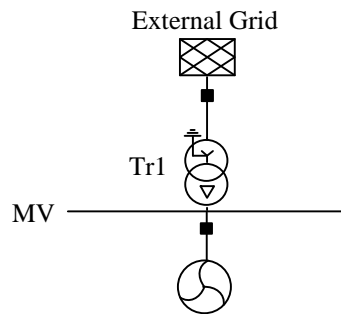


Figure 8. The equivalent model
图 8. 等效后模型

Table 1. The parameters of individual transformer
表 1. 单个变压器参数

参数(单位)	数值
额定电压(kV)	10
短路损耗百分比(%)	10.5

Table 2. The parameters of individual wind turbine
表 2. 单个风机参数

参数(单位)	数值
风机的最大投入数(台)	24
风机的最小投入数(台)	10
额定视在功率(KVA)	1579
额定功率因数	-0.9~0.9
额定电压(V)	690
单机 Crowbar 电阻(标么值)	0.1
单机定子阻抗(标么值)	$j0.1 + 0.01$
单机转子阻抗(标么值)	$j0.1 + 0.01$
励磁阻抗(标么值)	$j3.5$

Table 3. The parameters of power system going not serious failure
表 3. 系统发生不严重故障参数

参数(单位)	数值
大方式正序阻抗(标么值)	$3.0056 + j8.0589$
大方式负序阻抗(标么值)	$3.0056 + j8.0589$
小方式正序阻抗(标么值)	$7.2134 + j19.3414$
小方式负序阻抗(标么值)	$7.2134 + j19.3414$

Table 4. The parameters of power system going serious failure
表 4. 系统发生严重故障参数

参数(单位)	数值
大方式正序阻抗(标么值)	$1.9791 + j8.0299$
大方式负序阻抗(标么值)	$1.3458 + j7.9877$
小方式正序阻抗(标么值)	$4.7498 + j19.2717$
小方式负序阻抗(标么值)	$3.2299 + j19.1704$

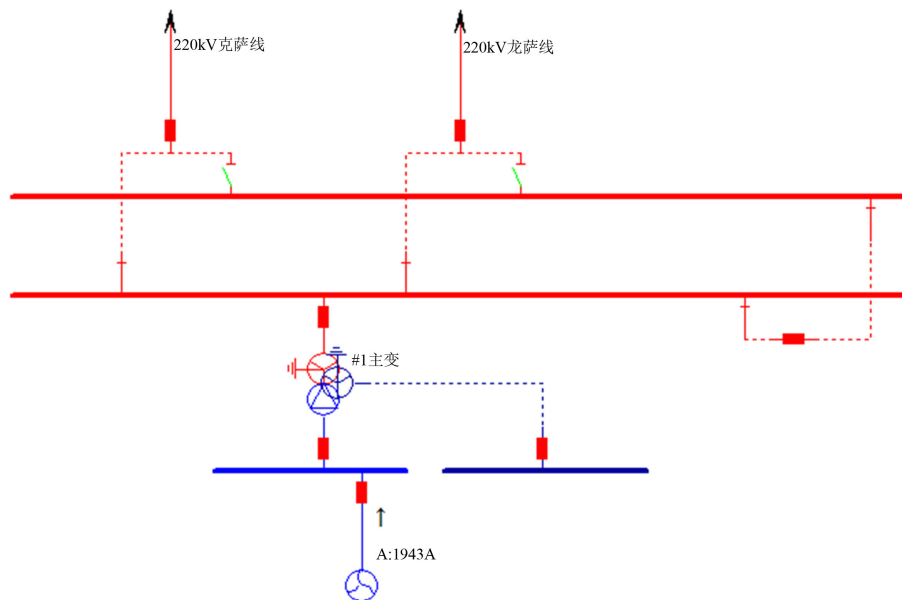


Figure 9. The fault current provided by wind turbine
图 9. 风机提供的故障电流

5. 结论

自 20 世纪 90 年代以来, 人们已经对并网风电机组和风电场的建模进行了大量的研究工作, 并且已经取得了初步成果。但是, 由于缺少合适的风场等值模型。因此, 妨碍了大型风电系统接入电网的仿真研究, 难以正确评价大型风力发电场对电力系统稳定性的影响。本文通过对双馈风电机组的风电场的等值方面做了探索, 得出风场的等效模型, 考虑风场接入对故障计算的影响。对维护电力系统稳定性, 定值计算的准确性, 具有重要的意义。

参考文献 (References)

- [1] 文玉玲, 晁勤, 吐尔逊, 伊布拉音. 风电场对电网继电保护的影响[J]. 电网技术, 2008, 14(32): 15-18.
- [2] 夏业波. 解析风电场对电网继电保护的影响[J]. 工业技术, 2015(5), 31-31.
- [3] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [4] 何仰赞, 温增银. 电力系统分析(上册) [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2010.
- [5] 郑俭华. 双馈风力发电机系统及其控制研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2009.