

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.06.002

含风电场的配电系统自适应继电保护算法

顾铭华¹, 朱海鹏¹, 程逸帆², 金立军^{2*}

- (1. 山东电力集团公司 济宁供电公司, 山东 济宁 272001;
2. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804)

摘要: 风电场的接入改变了配电网中的短路电流分布,可能引起原有保护装置的误动或拒动,从而引发更加严重的事故。针对风电场并网后对配电系统带来有害影响的问题,必须调整现有的保护策略,保证继电保护装置能够在故障时正确动作,保持配电网的安全稳定运行。首先通过对风电场并网前后运行状态、不同并网容量、不同接入点以及不同故障类型等问题进行了分析,然后建立了配电系统与风电场并网的模型,得到了多种不同运行模式下的故障特征,在此基础上提出了一种自适应继电保护算法,最后通过 Matlab/Simulink 验证了该算法的有效性。研究表明,该继电保护算法具有较高的准确性和灵敏度,能够实时调整继电保护整定值。

关键词: 自适应; 继电保护算法; 风电场; 配电系统; Matlab/Simulink

中图分类号: TM614; TM588; TP24 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)06-0649-05

Adaptive relaying algorithm for protection of distribution networks integrated with wind farms

GU Ming-hua¹, ZHU Hai-peng¹, CHENG Yi-fan², JIN Li-jun²

- (1. Jining Power Supply Company, Shandong Electric Power Corporation, Jining 272001, China;
2. School of Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The short-circuit current in distribution network can be changed by the connection of wind power plant. Aiming at the problems of detrimental effects on the distribution system of the wind farm, protections now used must be adjusted and changed to ensure correct fault clearing with right method, and maintain the safe and stable operation of the distribution system. Firstly, the wind farm cut-in and cut-off, wind different farm capacity, different integration points, and different fault types were studied. Secondly, a model system of distribution network with wind plant was built to get the fault features under various operating modes. In this foundation, an adaptive relaying algorithm was proposed. Finally, simulation on Matlab/Simulink was used to show the effectiveness of the proposed algorithm. The research results indicate that this algorithm has good accuracy and sensitivity, and can adjust relay setting real time.

Key words: adaptive; relaying algorithm; wind farm; distribution system; Matlab/Simulink

0 引言

近年来,人们对环境变化的关注度越来越高,传统发电成本不断增长;同时,技术的进步使得新能源发电成本持续下降,全球可再生能源的应用不断增加^[1-2]。在诸多新能源发电技术中,风力发电被认为是目前最成熟的可再生能源,同时是最具经济效益的新型能

源。随着风力发电技术的发展以及风力发电单机容量的增加,风电系统对于电网的影响已经变成了重要的研究课题。

在全球知名的风力发电技术中,双馈感应发电机(DFIG)的应用较为普遍。针对采用DFIG的分布式发电,目前,国内外相关研究人员已经开展了许多研究。由于其风力涡轮机没有独立的电气激励,发生故

收稿日期: 2013-01-14

作者简介: 顾铭华(1964-),男,山东济宁人,主要从事电力系统继电保护及自动化方面的研究。E-mail: mhgu1964@126.com

通信联系人: 金立军,男,教授,博士生导师。E-mail: jinlj@tongji.edu.cn

障时DFIG不能提供一个固定的短路电流,其故障特征具备自身的特点^[3-5]。

大规模风电场的并入改变了配电网中原来的短路电流分布^[6-8],使得配电系统中原有的继电保护装置的整定值不再满足动作条件,可能会出现误动、拒动等问题,目前,国内外的专家对该状况也开展了一些研究^[9-10]。现有的保护策略必须做出调整,使其适应新的网络结构变化,以保证保护能够正确切除故障,并保持配电网的安全稳定运行。

本研究通过风电场并网的多种复杂运行模式,如风电场的投切与否、数量、容量、并入电网的位置和故障类型,建立配电系统与风电场并网的模型,并进行详细地模拟和分析,得到在各种不同运行模式下的故障特征;根据短路分析得到的结果提出自适应继电保护,用以解决在风电场接入后传统配电网保护可能出现的拒动或误动问题。

1 风电场并网对配电系统的影响

为了获得风电场并网后配电系统电流保护的特性,本研究针对风电并网系统不同运行方式下的影响分别进行探讨。

1.1 风电场并网前、后的短路电流变化

配电系统的主保护通常采用传统的电流保护,风电场的接入对电流保护有着严重的影响。风电场并网前、后系统的典型结构如图1所示。

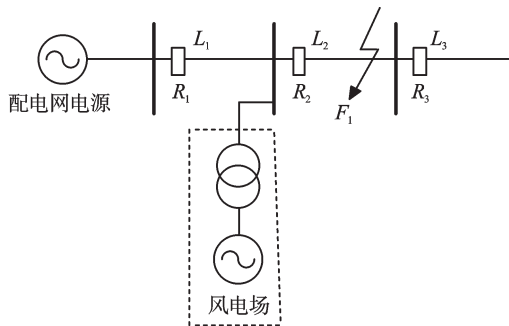


图1 风电场配电网模型图

风电场投切时R₂处的短路电流如图2所示。

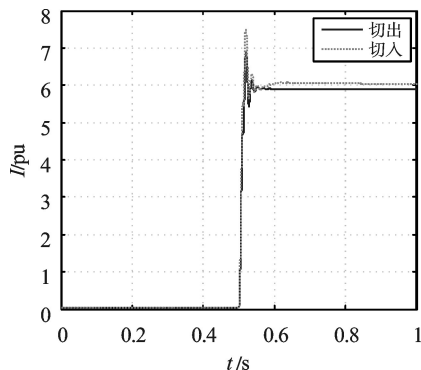


图2 风电场投切时R₂处的短路电流

从图2可见,F₁点发生三相短路时,流过保护R₂的短路电流随着风电场的接入有所增加,这也意味着R₂的灵敏度变大了。

1.2 风电场的容量对保护的影响

风电场的容量是一个重要的参数,不同风电电源会改变短路电流的大小,从而对原有的保护整定造成影响。假设三相短路发生在图1系统中的线路L₂上,对保护R₂的性能进行研究,风电场的容量分为3 MW,6 MW和9 MW。

在不同风电场容量流下R₂处的短路电流如图3所示。

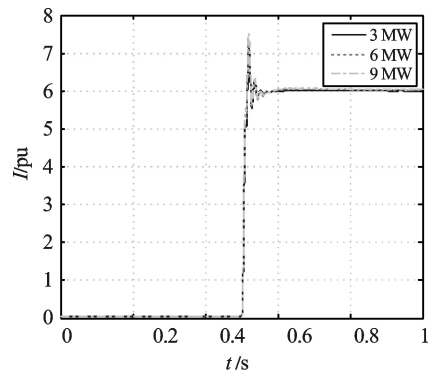


图3 在不同风电场容量流下R₂处的短路电流

从图3可见,随着风电场容量的增加,保护R₂安装处测量到的短路电流会相应增加,即电流保护的灵敏度和保护范围增大了。

1.3 不同风电场接入点的影响

风电场作为分布式电源,在不同位置并网对短路电流的贡献也不同。笔者以如图4所示系统为例,研究当风电场在母线B和母线C处分别接入时流过保护R₁、R₂的短路电流变化。

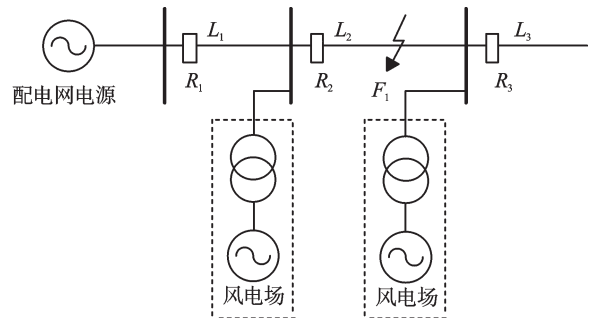
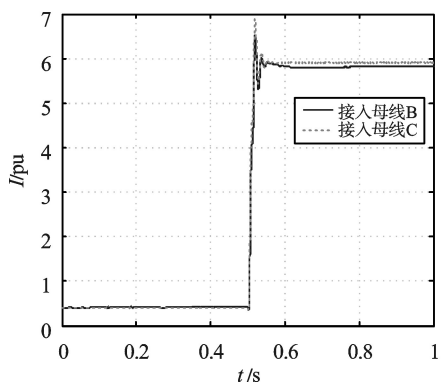


图4 风电场在不同位置接入配电网模型图

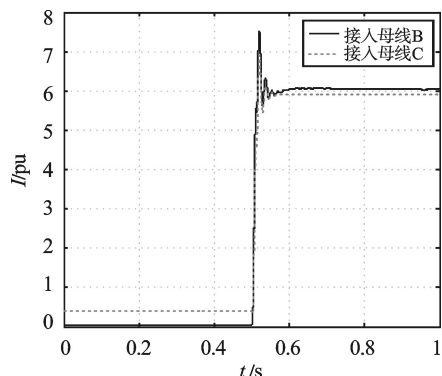
F₁点发生三相短路故障时,流过保护R₁、R₂的短路电流如图5所示。与在C处并网相比,风电场在B处接入配电网时,流过保护R₂的电流增大了,流过保护R₁的电流减小,这使得保护R₁的保护范围缩小,R₂的保护范围增大,对继电保护的整定和互相配合带来困难。

1.4 故障位置的影响

配电线路不同位置上发生故障时,流经保护安装



(a) 流经保护 R_1 的短路电流



(b) 流经保护 R_2 的短路电流

图5 风电场在不同位置接入电网时的短路电流处的电流同样会相应地变化。

风电场的配电网如图6所示。

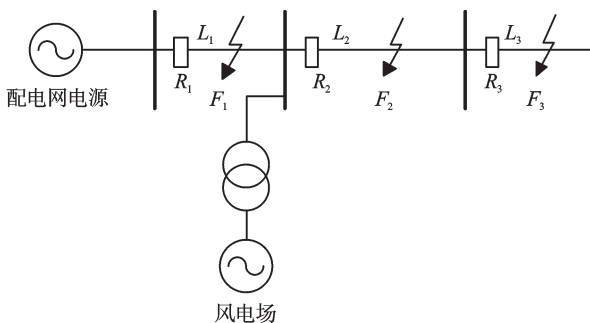


图6 风电场的配电网

在线路的不同位置发生三相短路时流过保护 R_1 的短路电流不同,如图7所示。

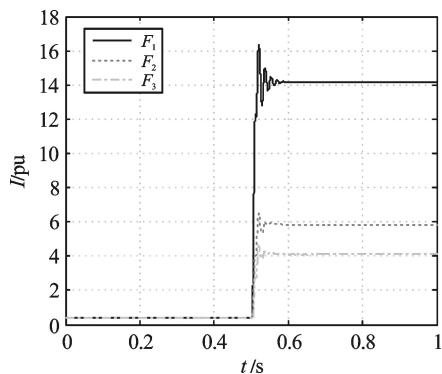


图7 不同故障位置下流过 R_1 处的故障电流

F_1 点发生短路时,短路电流较大; F_2 和 F_3 处短路电

流大小接近。由此可以看出,这种现象是由于短路阻抗的变化造成的,与短路点与电源之间的距离变化有关。

1.5 短路类型的影响

在不同短路类型下,显然流经保护装置的短路电流将会不同。以图6系统中的短路点 F_2 为例,说明不同故障类型对故障电流和保护特性的影响。

不同类型短路时流经 R_1 的电流如图8所示。三相接地短路有最大的短路电流。

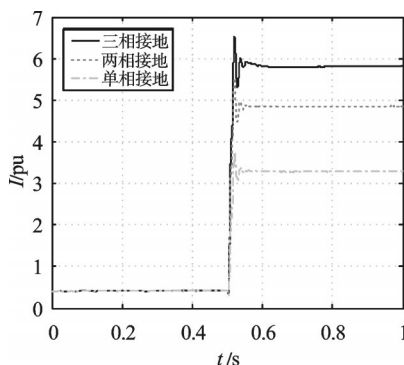


图8 不同故障类型下流过 R_1 处的短路电流

2 自适应继电保护算法

传统的过电流继电保护在风电场接入之后,可能会由于网络结构的变化及运行方式的变化,导致其可靠性降低,或失去选择性。为了克服这些缺点,继电保护的整定必须自适应地随着风电场运行方式和短路类型的变化而变化。

从电力系统的分析中知道,传统的短路电流工频周期分量近似计算式为:

$$I_f = K_f \frac{E_s}{Z_s + Z_l} \quad (1)$$

式中: K_f —短路类型系数,三相短路取1,两相短路取 $\sqrt{3}/2$; E_s —系统等效电源的相电动势; Z_l —短路点到保护安装处之间的阻抗; Z_s —保护安装处到系统等效电源之间的阻抗。

参考式(1),自适应继电保护整定表达式为:

$$I_{set} = K_{rel} K_f \frac{E_s}{Z_s + Z_l} \quad (2)$$

式中: K_{rel} —可靠系数。

2.1 故障类型判断

故障类型判断如下:

- (1) 检查负序电流是否存在来判断故障是对称还是非对称。
- (2) 对于非对称故障用零序电流判断是否接地。
- (3) 确定A相单相接地短路的判据是:

$$\left(m |\Delta I_{BC}| \leq |\Delta I_{AB}| \cap m |\Delta I_{BC}| \leq |\Delta I_{CA}| \right) \quad (3)$$

式中： Δi_{AB} ， Δi_{BC} ， Δi_{CA} —不同的线电流； m —通常设为4~8。

B、C两相单相接地短路的判据同理可得。

2.2 其他参数

其他参数分析如下：

(1) 等效电源阻抗能通过使用叠加原理对故障系统建立等效模型获得。

(2) 等效电压也能通过测量电压或通过测量故障电流和等效电源阻抗获得。

和传统继电保护整定式相比，自适应整定算法有下列特点：

(1) 系数不是常数，它们取决于电网运行模式，风电场容量和故障类型。

(2) 为了适应风电场的投切和运行模式的改变，系数必须在线计算。

3 仿真分析

仿真模型系统如图9所示。

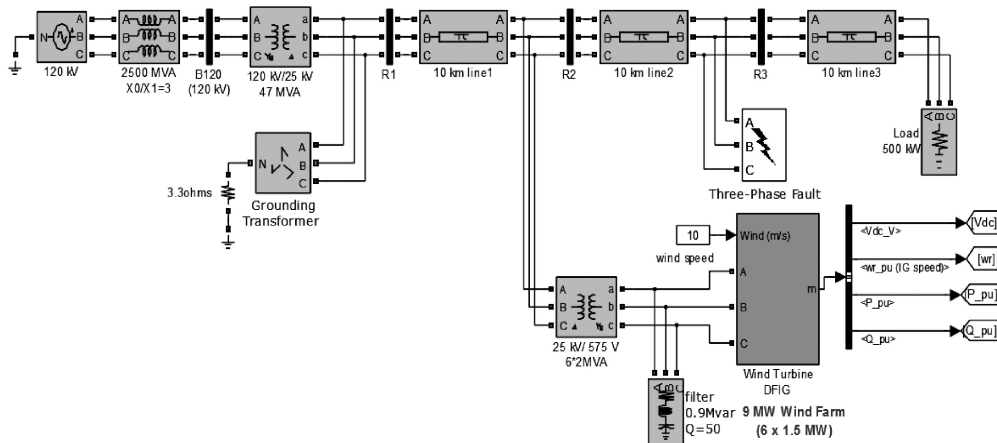


图9 仿真模型系统

利用 Matlab/Simulink 对图6中的系统建模，并对多种运行方式分析，用以验证算法的有效性。

基本参数设置：

馈线3段，每段10 km，共30 km；

风机容量：1.5 MW；

分3种情况(3/6/9 MW)分别进行仿真，相应地设置风机数量分别为2/4/6台。

风电场分别并于母线 R_1 、 R_2 、 R_3 。短路发生在每段线路的中间点，模块中勾选短路相A、B、C。

本地负荷：500 kW，风速：10 m/s。

电网变压器和并网变压器参数如表1所示。

表1 仿真模型变压器参数

	高压侧电压/kV	低压侧电压/kV	容量/MW
电网变压器	120	25	47
并网变压器	25	0.575	6×2

保护 R_1 、 R_2 安装处测得的 F_2 点短路电流分别如图10、图11所示。

图10、图11中，风电场接入如图9所示位置时的短路电流与整定值。从仿真结果来看，如果按照传统的整定方法， R_1 和 R_2 均会动作。而采用自适应继电保护后，按照其变化后的网络结构实时的改变整定方法，可以保证保护 R_2 可靠动作，而保护 R_1 可靠不动作，保证了两级保护的配合和各自的选择性。

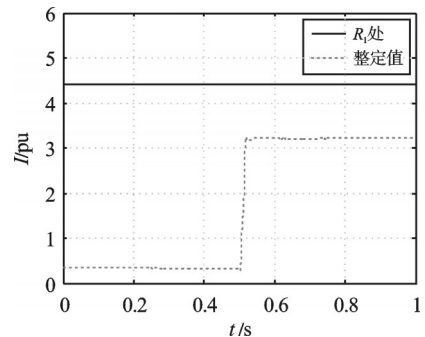


图10 保护 R_1 安装处测得的 F_2 点短路电流

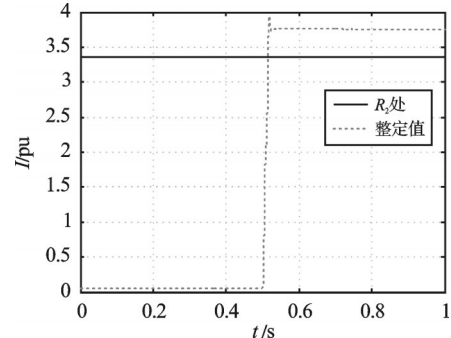


图11 保护 R_2 安装处测得的 F_2 的短路电流

4 结束语

本研究深入研究了风电场并网时不同的运行方式下的短路电流特征，在原有的过电流保护装置由于网络结构变化无法满足可靠动作和选择性的情况下，

提出自适应保护算法。该整定算法基于实时计算,由配电系统的运行方式确定,而传统整定值是不变的;整定时测量单元获得的电压和电流计算系统的阻抗,能够适应风电场并网前后的变化。

自适应继电保护能在保护范围内可靠动作切除故障,对超出保护范围的故障不会误动作。理论分析和仿真实验结果证明,该算法比传统整定方法有良好的可靠性、选择性和灵敏性。

参考文献(References):

- [1] ADLYGIRGI S, SUKUMAR B. Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System [C]//Proceedings of 2001 IEEE PES Summermeeting, July 2001 Large Scale Integration of Micro-Generation to Low Voltage Grids. Canada: IEEE, 2001: 115-119.
- [2] KOJOVIC L A, WITTE J F. Improved Relay Coordination and Relay Response Time by Integrating the Relay Functions [C]//Power Engineering Society Summer Meeting 2000. Washington USA: IEEE, 2000: 1202-1207.
- [3] CUI Yang, YAN Gan-gui, JIANG Da-wei, et al. DFIG-based Wind Farm Equivalent Model for Power System Short Circuit Current Calculation [C]//International Conference on Sustainable Power Generation and Supply. Nanjing: SUPERGEN '09, 2009: 1-5.
- [4] KAWADY TAMER. An Interactive Simulation of Grid-con-

nected DFIG Units for Protective Relaying Studies [C]//1st IEEE-PES/IAS Conference on Sustainable Alternative Energy, SAE. Valencia: IEEE, 2009: 1-8.

- [5] CAO Na, ZHAO Hai-xiang, DAI Hui-zhu. Dynamic Behavior of Integrated Wind Turbines During Fault Condition and Impact on Relay Settings of Distribution Network Feeders [C]//2006 International Conference on Power System Technology. Chongqing: [s.n.], 2006: 8.
- [6] 张磊, 梅柏杉, 杨林涛, 等. 风电场并网运行及其对配电网继电保护的影响[J]. 华东电力, 2010(09): 1409-1412.
- [7] QURESHI W A, NAIR N C. Systematic Development of Low Voltage Ride-Through (LVRT) Envelope for Grids [C]//2010 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2010). Fukuoka: IEEE, 2010: 21-24.
- [8] 杨国生, 李欣, 周泽昕. 风电场接入对配电网继电保护的影响与对策[J]. 电网技术, 2009(11): 87-91.
- [9] JANG S I, CHOI J H, KIM J W, et al. An Adaptive Relaying for the Protection of a Wind Farm Interconnected with Distribution Networks [C]//Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PES. Dallas: IEEE, 2003: 296-302.
- [10] SALMAN S K, RIDA I M. Impact of Integration of Wind Farms into a Utility Network on Relay Settings of the Utility Feeders [C]//Quality and Security of Supply in Electrical Networks. London: [s.n.], 1999: 1-8.

[编辑: 罗向阳]

(上接第648页)

4 结束语

在RBI原理的基础上,本研究建立了港口门座起重机的风险评价模型,运用模糊综合评价法进行了风险评价,并依据风险分析矩阵的思想对综合结果进行了分级判定,最后结合现场实测,对某门座起重机进行了风险评价,验证了该模型及方法的科学性、合理性和可靠性。

但是,该评价等级范围的划分和评价指标的完善仍需在实际使用中进一步完善,实际操作中要求风险评价人员具备较高水平的数学和系统评价专业知识是不现实的。因此,该研究成果在推广使用中有赖于随着IT技术的发展,将其演变成便于推广的专业评价软件。

参考文献(References):

- [1] ZHANG Jian, ZHANG Yuan-rong, JI Chao, et al. Safety assessment of crane based on FTA and ANP [C]//The Sixth International Conference on Management Science and Engineering Management. Pakistan: Springer Verlag Press, 2012: 453-464.
- [2] 徐格宁, 江凡. 基于模糊层次综合法的起重机安全性评价[J]. 安全与环境学报, 2010, 10(2): 196-200.

- [3] 钱尼君, 李波, 程秋平, 等. 基于LM神经网络的起重机械本质安全评价方法[J]. 南昌大学学报: 理科版, 2011, 35(2): 197-200.
- [4] 陈庆娟, 王三明. RBI技术在我国企业的应用研究与改进思考[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(6): 191-196.
- [5] American Petroleum Institute. API 581, Risk-based inspection base resource document (Second Edition) [S]. 2008.
- [6] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中华人民共和国标准化管理委员会. GB 6067. 1-2010, 起重机安全规程 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [7] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中华人民共和国标准化管理委员会. GB/T 3811-2008, 起重机设计规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [8] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. TSG Q7015-2008, 起重机械定期检验规则(二次修订版) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [9] 魏碧霞, 杨晓翔. 城区埋地燃气管道失效后果严重度的模糊综合评价[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2008, 36(4): 616-620.
- [10] 陈世旺, 杨晓翔. 基于模糊综合评价的电站锅炉风险评估[J]. 能源与环境, 2009(6): 14-16.
- [11] 魏碧霞, 杨晓翔, 郭金泉, 等. 基于神经网络的模糊风险评估技术的应用[J]. 油气储运, 2009, 28(2): 20-26.

[编辑: 罗向阳]