

基于波形识别原理的高灵敏度差动保护方法

张广嘉¹, 刘志远², 吴颖超¹, 于晓军², 韦鹏²

(1. 长园深瑞继保自动化有限公司, 广东 深圳 518057; 2. 国网宁夏电力公司检修公司, 宁夏 银川 750001)

摘要: 针对风电场中性点经高阻接地系统汇集线母线单相故障时常规母线差动保护灵敏度不足的问题, 提出一种基于波形识别原理的高灵敏度差动保护方法。该方法识别故障波形特征, 根据负荷情况实时调整浮动门槛值, 同时, 根据系统谐波含量实时调整差动比率系数, 有效避免因谐波引起的高灵敏度差动保护误动作。RTDS 的仿真结果表明, 该方法能够保证中性点经高阻接地系统在发生单相故障时, 迅速切除故障。该方案的应用, 对于保护电气设备、维护风电系统稳定运行具有重要意义。

关键词: 风电场; 母线保护; 波形识别; 差动保护; 灵敏度

A high sensitivity differential protection method based on the principle of waveform recognition

ZHANG Guang-jia¹, LIU Zhi-yuan², WU Ying-chao¹, YU Xiao-jun², WEI Peng²

(1. CYG Sunrui CO., Ltd., Shenzhen 518057, China; 2. Maintenance Company of State Grid Ningxia Electric Power Co., Ltd., Yinchuan 750001, China)

Abstract: When the high resistance neutral point grounded system in wind farm occurs a single-phase fault, the conventional busbar differential protection has sensitivity problem. To avoid this situation, a high sensitivity differential protection based on the principle of waveform recognition is proposed, which identifies fault waveform characteristics, adjusts floating threshold according to real-time load and the differential ratio factor according to harmonic content of the system. The method can effectively avoid malfunction of high sensitivity differential protection caused by harmonic wave. RTDS simulation results show that this method can isolate fault quickly when a single-phase fault occurred in the high resistance neutral point grounded system. The application of the proposed method is of great significance to protecting electrical equipment and maintaining the stable operation of the wind system.

Key words: wind farm; busbar protection; waveform recognition; differential protection; sensitivity

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)22-0108-05

0 引言

在《可再生能源法》及相关配套政策支持下, 我国风电产业得到了快速发展。按照国家风电发展规划, 2015年我国风电规模将达到1亿kW。随着风机装机容量的增加, 风电系统及设备的运行安全问题也逐步暴露出来^[1-6]。

早期建设的风电场35kV汇集线系统通常采用中性点不接地或者经消弧线圈接地的接地方式, 并且通常不安装母线保护装置, 而是依靠线路保护装置相过流II段、III段保护切除汇集线母线故障。中性点不接地或者经消弧线圈接地系统的母线在发生单相故障时, 故障电流特征不明显, 导致线路保护的相过流判据可能存在灵敏度不足的问题, 很难在短时间内切除故障。而风力发电机与箱变的电缆接

头处由于绝缘程度相对较差, 若故障长时间存在, 容易引发爆炸导致三相故障, 进而拉低系统电压, 最终会造成风力发电机脱网。为避免此类情况的发生, 国家电网公司特别对风电场35kV汇集线的单相接地问题提出了事故反措要求。反措中明确要求: 对于新建风电场, 建议汇集线系统采用经电阻接地方式, 并配置单相接地故障保护; 汇集线系统35kV母线应配置母差保护^[7]。

然而, 在中性点经高阻接地的情况下, 汇集线母线发生单相故障时, 同样面临着常规母线差动保护灵敏度不足的问题。

1 常规母线差动保护存在的主要问题

1.1 常规母线差动保护方法

以国内应用较为广泛的BP系列母线保护装置

为例, 采用比率差动保护来切除母线故障^[8-10]。

母线差动保护的启动判据为和电流突变量判据与差电流越限判据取“或”逻辑, 任一判据满足, 差动保护启动。

和电流突变量判据为

$$\Delta i_r > \Delta I_{dset} \quad (1)$$

式中: Δi_r 为和电流瞬时值比前一周波的突变量;

ΔI_{dset} 为突变量阈值。

差电流越限判据为

$$I_d > I_{dset} \quad (2)$$

式中: I_d 为差电流; I_{dset} 为差动保护启动电流定值。

母线差动保护动作判据由复式比率差动判据及差动复合电压闭锁判据取“与”逻辑, 两个判据都满足, 差动保护动作。

复式比率差动判据如下

$$\begin{cases} I_d > I_{dset} \\ I_d > K_r \times (I_r - I_d) \end{cases} \quad (3)$$

式中: K_r 为复式比率系数, 由厂家内部固定, 在母线并列运行取值为 1, 在母线分列运行取值为 0.3; I_r 为和电流。

差动复合电压闭锁判据由相电压、零序电压、负序电压取“或”逻辑组成。相电压阈值、零序电压阈值、负序电压阈值均由厂家内部固定, 不能进行整定。其中, 相电压阈值为 0.7 倍相电压额定值; 零序电压阈值固定为 6 V; 负序电压阈值固定为 4 V。

1.2 主要问题

1) 启动阈值存在的问题

经高阻接地的汇集线母线上发生单相故障时, 产生的大差三相差电流值较小, 可能达不到常规差动电流启动阈值定值。

2) 动作阈值存在的问题

风电系统负荷变化时, 由于常规差动动作阈值固定不变, 可能会存在系统低负荷运行时差动保护动作阈值灵敏度不足, 系统重负荷运行时差动保护动作阈值可靠性不足的问题。

3) 比率判据存在的问题

经高阻接地的汇集线母线上发生经过渡电阻的单相故障时, 通常伴随着较大的流出电流, 无法满足常规差动比率复式比率判据; 并且在发生区内外故障时, CT 传变误差及非周期分量可能会对差动保护造成影响。

4) 差动复合电压判据存在的问题

经高阻接地的汇集线母线上发生经过渡电阻的单相故障时, 母线电压可能无法降落, 导致差动复合电压判据无法开放。

文献[11]提出了一种基于零序电流量的母线差动方法, 但对于经高阻接地的母线发生经过渡电阻接地故障时, 依然可能面临差动灵敏度不足的问题, 并且需要增加交流采样数目。

基于传统母线差动保护存在上述问题, 本文提出了一种基于波形识别原理的高灵敏度差动保护方法并对此解决方案进行了详细的仿真分析。

2 高灵敏度差动保护方法

1) 启动判据

采用固定启动阈值判据, 启动后则进行自适应动作阈值判据判断。

固定启动阈值判据为

$$\begin{cases} |I_{da}| \geq 0.05I_n \\ |I_{db}| \geq 0.05I_n \\ |I_{dc}| \geq 0.05I_n \end{cases} \quad (4)$$

式中: I_{da} 、 I_{db} 、 I_{dc} 分别为大差回路大差 A 相、B 相、C 相差电流; I_n 为基准 CT 变比的二次额定值。固定启动阈值取值 $0.05I_n$, 保证了在母线故障情况下有很大流出电流时启动判据仍具有可靠性, 大差回路三相差电流达到 $0.05I_n$ 即可启动, 启动值非常小, 灵敏性高。

2) 自适应动作阈值判据

根据风电系统中负荷大小自动调整差动动作阈值, 以解决系统低负荷运行时差动保护的灵敏度和系统重负荷运行时差动保护的可靠性问题。

自适应动作阈值判据为

$$\begin{cases} |I_{ida}| \geq I_{dseta} \\ |I_{idb}| \geq I_{dsetb} \\ |I_{idc}| \geq I_{dsetc} \end{cases} \quad (5)$$

式中: I_{ida} 、 I_{idb} 、 I_{idc} 分别为第 i 母线小差回路小差 A 相、B 相、C 相差电流; I_{dseta} 、 I_{dsetb} 、 I_{dsetc} 分别为 A 相、B 相、C 相自适应动作阈值, 取值方法为: 若连接在该母线上的各支路的电流均小于 $1.2I_n$, 三相自适应动作阈值均取值为 $0.05I_n$; 若连接在该母线上的各支路的电流均大于等于 $1.2I_n$, 三相自适应动作阈值均取值为 0.05 倍的大差回路三相和电流。

三相自适应动作阈值表达式为

$$\begin{cases} I_{dseta} = 0.05I_n, I_{amax} < 1.2I_n \\ I_{dsetb} = 0.05I_n, I_{bmax} < 1.2I_n \\ I_{dsetc} = 0.05I_n, I_{cmax} < 1.2I_n \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} I_{dseta} = 0.05I_{ra}, I_{amax} \geq 1.2I_n \\ I_{dsetb} = 0.05I_{rb}, I_{bmax} \geq 1.2I_n \\ I_{dsetc} = 0.05I_{rc}, I_{cmax} \geq 1.2I_n \end{cases} \quad (7)$$

式中： I_{amax} 、 I_{bmax} 、 I_{cmax} 分别为母线上电流最大支路的 A 相、B 相、C 相电流有效值； I_{ra} 、 I_{rb} 、 I_{rc} 分别为大差回路 A 相、B 相、C 相和电流。

3) 自适应差动比率判据

自适应比率判据在母线区内故障时高灵敏差动保护比率极易满足，区外故障时则具有很强的制动特性，以解决系统发生区内故障时 CT 传变误差及非周期分量对高灵敏差动保护的影响。

自适应差动比率判据为

$$\begin{cases} |I_{ida}| > K_r(I_{ira} - |I_{ida}|) \\ |I_{idb}| > K_r(I_{irb} - |I_{idb}|) \\ |I_{idc}| > K_r(I_{irc} - |I_{idc}|) \end{cases} \quad (8)$$

式中， I_{ira} 、 I_{irb} 、 I_{irc} 为 i 母线小差回路 A 相、B 相、C 相和电流。

K_r 的取值方式为

$$\begin{cases} K_r = 0.0, D_m = 1 \\ K_r = 0.1, D_m = 2 \\ K_r = 0.3, D_m = 3 \\ K_r = 0.6, D_m = 4 \end{cases} \quad (9)$$

式中： D_m 为谐波档位，根据相电流谐波含量占该相基波含量的百分比分档确定取值：当相电流谐波含量占该相基波含量小于 10% 时， $D_m = 1$ ；当相电流谐波含量占该相基波含量在 10% 至 30% 之间时， $D_m = 2$ ；当相电流谐波含量占该相基波含量在 30% 至 50% 之间时， $D_m = 3$ ；当相电流谐波含量占该相基波含量在 50% 以上时， $D_m = 4$ 。

4) 电压突变判据

根据系统从稳态向故障态变化过程中电压瞬时值的突变特点，使得高灵敏差动保护迅速灵敏的捕捉到系统发生的变化，以解决系统故障期间电压有效值门槛值不满足开放条件问题。

电压突变判据为

$$\begin{cases} \Delta U_{ia} > 0.05U_n \\ \Delta U_{ib} > 0.05U_n \\ \Delta U_{ic} > 0.05U_n \end{cases} \quad (10)$$

式中： ΔU_{ia} 、 ΔU_{ib} 、 ΔU_{ic} 分别为第 i 条母线 A 相、B 相、C 相电压瞬时值相比前一周波瞬时值的突变量； U_n 为相电压二次额定值，为 $100/\sqrt{3}$ 。

5) 和电流突变判据

为防止 CT 断线情况下的电压波动对高灵敏差动可靠性造成影响，利用母线区内发生故障时和电流变大，而 CT 断线时和电流变小的特点，增加和电流突变判据，排除 CT 断线等异常情况对高灵敏差动保护造成的影响，确保高灵敏差动保护动作的正确性及可靠性。

和电流突变判据为

$$\begin{cases} \Delta I_{ra} > -0.2I_n \\ \Delta I_{rb} > -0.2I_n \\ \Delta I_{rc} > -0.2I_n \end{cases} \quad (11)$$

式中， ΔI_{ra} 、 ΔI_{rb} 、 ΔI_{rc} 分别为大差回路 A 相、B 相、C 相和电流瞬时值相比前一周波瞬时值的突变量。

逻辑框图如图 1 所示。

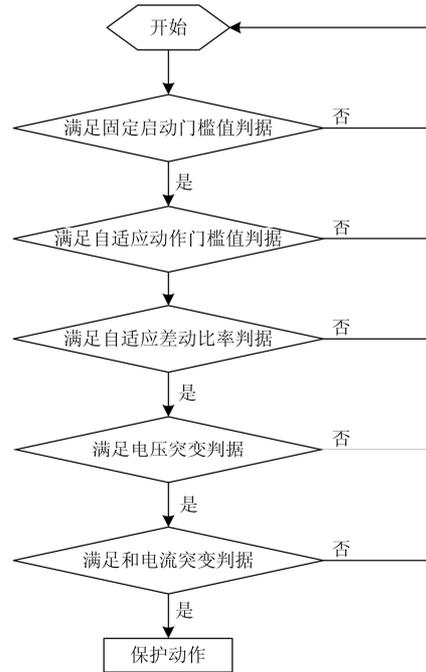


图 1 高灵敏度差动保护流程图

Fig. 1 Flow chart of high sensitivity differential protection

3 仿真分析

为验证本文所提出的新原理，利用 RTDS 在图 2 的基础上进行仿真验证。其中 L1 与 110 kV 系统 S 相连，L2、L3、L4 与风机相连，L5、L6 与 SVG 相连。L1 支路的 CT 变比为 1200/5，其余支路的

CT 变比均为 800/5。变压器中性点接地电阻设置为 200 Ω 。故障点 f1 设置在母线上, f2 设置在 L2 风机支路上。

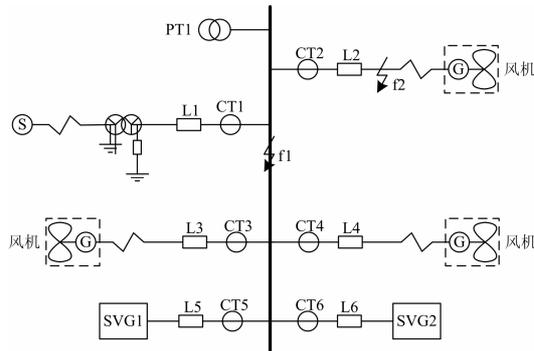


图 2 RTDS 仿真系统

Fig. 2 RTDS simulation system

在故障点 f1 处仿真 A 相单相接地故障, 保护可靠动作, RTDS 仿真波形如图 3 所示。

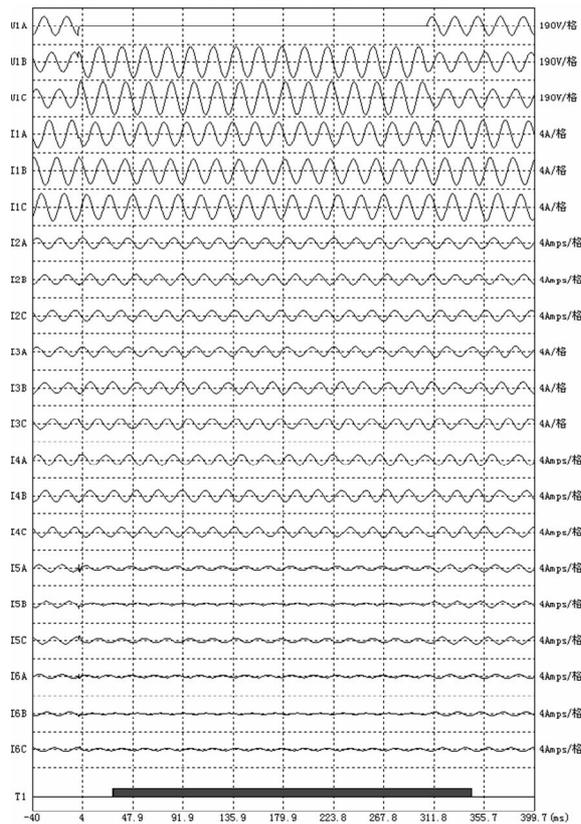


图 3 f1 点 A 相接地故障录波图

Fig. 3 Waveform of A-phase-to-earth fault

图 3 中, U_{1A} 、 U_{1B} 、 U_{1C} 分别代表母线三相电压; I_{1A} ~ I_{6C} 分别代表 L1~L6 支路的三相电流; TZ1 代表跳闸信号; 由于通道数较多, 图中省略了其他支路跳闸信号。由图 3 分析可得, 在母线发生

故障时, 有较大的流出母线电流, 不能满足常规母线差动保护比率判据, 常规母线差动保护无法动作。而采用本文提出的新方法, 能够及时、可靠动作。采用同样的方法, 在 f1 点进行 B、C 相单相接地、两相接地、相间及三相短路故障, 保护装置均可靠动作。

在 f2 点进行分别进行单相接地故障、两相接地故障、两相相间故障、经过渡电阻接地故障的仿真测试, 高灵敏度差动保护均可靠不动作。

模拟 L2 支路 CT 断线的情况, RTDS 仿真波形如图 4 所示, 高灵敏度差动保护可靠不动作。

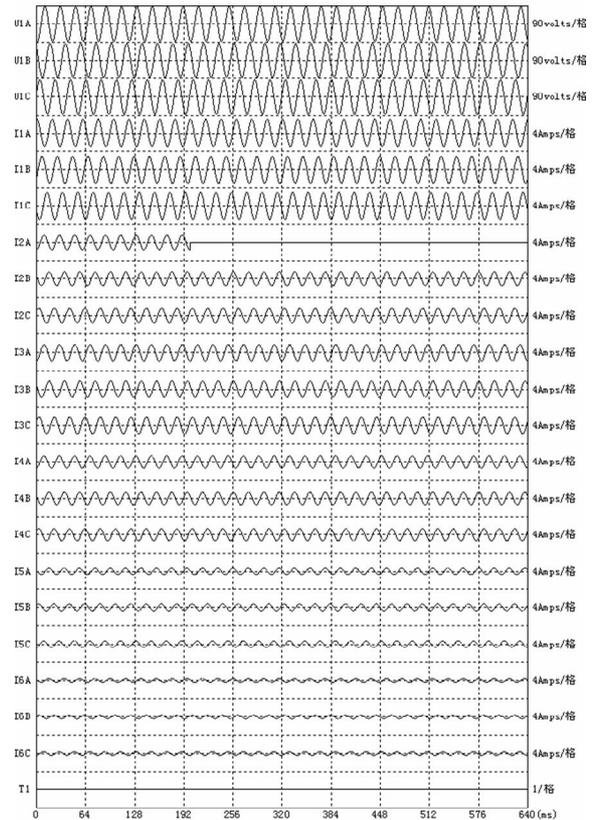


图 4 CT 断线故障录波图

Fig. 4 Waveform of CT break

仿真结果表明采用本文提出的新方法, 在母线发生故障时, 高灵敏度差动保护均能可靠动作, 在母线区外发生故障时, 高灵敏度差动保护均能可靠不动作。

4 结论

风电场汇集线母线发生单相接地故障时若不及时切除, 将严重威胁设备及人身安全以及电网稳定运行。为了快速切除母线故障, 本文提出了一种高灵敏度差动保护方案。根据这一方案, 利用故障后

的波形信息,构建了自适应动作门槛值及比率判据,能够快速识别母线单相故障,并有效避免谐波的影响,防止区外误动。通过 RTDS 仿真试验,验证了所提方法的有效性。

参考文献

- [1] 何世恩,姚旭,徐善飞. 大规模风电接入对继电保护的影响与对策[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(1): 21-27.
HE Shi-en, YAO Xu, XU Shan-fei. Impacts of large-scale wind power integration on relay protection and countermeasures[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(1): 21-27.
- [2] 何世恩,董新洲. 大规模风电机组脱网原因分析及对策[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(1): 131-137.
HE Shi-en, DONG Xin-zhou. Cause analysis on large-scale wind turbine tripping and its countermeasures[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(1): 131-137.
- [3] 赵宇皓,张兵海,杨志强. 风电场汇集线继电保护配置与整定[J]. 河北电力技术, 2013, 32(1): 50-54.
ZHAO Yu-hao, ZHANG Hai-bing, YANG Zhi-qiang. Relay protection configuration and setting for outgoing line in wind power farm[J]. Hebei Electric Power, 2013, 32(1): 50-54.
- [4] 张保会,王进,李光辉,等. 具有低电压穿越能力的风电接入电力系统继电保护的配合[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(3): 1-6.
ZHANG Bao-hui, WANG Jin, LI Guang-hui, et al. Cooperation of relay protection for grid-connected wind power with low-voltage ride-through capability[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(3): 1-6.
- [5] 倪林,袁荣湘,张宗包,等. 大型风电场接入系统的控制方式和动态特性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(8): 75-79, 85.
NI Lin, YUAN Rong-xiang, ZHANG Zong-bao, et al. Research on control method and dynamic characteristic of large wind farm integration[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(8): 75-79, 85.
- [6] 葛江北,周明,李庚银. 大型风电场建模综述[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(17): 146-153.
GE Jiang-bei, ZHOU Ming, LI Geng-yin. Review on large-scale wind farm modeling[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(17): 146-153.
- [7] 范高锋,裴哲义. 2011 年中国“三北”地区风电并网运行及反事故措施[J]. 中国电力, 2012, 45(12): 86-90.
FAN Gao-feng, PEI Zhe-yi. Wind power integrated operation and anti-accident measures in the Northern China in 2011[J]. Electric Power, 2012, 45(12): 86-90.
- [8] 王春生,卓乐友,艾素兰. 母线保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
WANG Chun-sheng, ZHUO Le-you, AI Su-lan. Busbar protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
- [9] 王翠霞,张国平. BP-2B 复式比率差动保护分析与调试[J]. 继电器, 2007, 35(增刊 1): 184-187.
WANG Cui-xia, ZHANG Guo-ping. Analysis and debugging of BP-2B duplex ratio-differential protection[J]. Relay, 2007, 35(S1): 184-187.
- [10] 智全中,袁正华,宋小舟,等. 几种母线保护差动继电器的比较[J]. 继电器, 2001, 29(5): 59-62.
ZHI Quan-zhong, YUAN Zheng-hua, SONG Xiao-zhou, et al. Analysis of some differential relays for busbar protection[J]. Relay, 2001, 29(5): 59-62.
- [11] 宋小舟,王东,沈辉,等. 零序电流差动应用在母线保护的可行性分析[J]. 继电器, 2002, 30(4): 12-14.
SONG Xiao-zhou, WANG Dong, SHEN Hui, et al. Feasibility analysis on zero-sequence current differential principle applied in busbar protection[J]. Relay, 2002, 30(4): 12-14.

收稿日期: 2014-02-25

作者简介:

张广嘉(1977-),男,硕士,工程师,主要研究方向为继电保护;

刘志远(1970-),男,学士,高级工程师,主要研究方向为继电保护及直流输电运维;

吴颖超(1986-),女,通信作者,硕士,工程师,主要研究方向为母线保护。E-mail: wyc@sznari.com