

# 基于故障录波信息的输电线路继电保护内部故障 在线检测方法

孙鑫<sup>1</sup>, 熊小伏<sup>1</sup>, 杨洋<sup>2</sup>

(1. 重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400030;  
2. 重庆市电力公司綦南供电局, 重庆 401422)

**摘要:** 提出一种基于故障录波信息的输电线路继电保护内部故障在线检测方法, 通过对故障录波装置现有启动方式进行必要的扩展, 利用故障录波装置记录的动态信息为依据, 从而实现对输电线路中保护装置内部故障进行在线检测。应用此方法, 能够对正确揭示和描述电力系统隐藏故障提供一条有效途径。通过原理分析及举例说明, 验证了此方法的合理性。

**关键词:** 继电保护; 内部故障; 在线故障检测; 故障录波信息

## Online detection for transmission lines relay protection's inner failures based on fault information

SUN Xin<sup>1</sup>, XIONG Xiao-fu<sup>1</sup>, YANG Yang<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400030, China; 2. Qinan Electric Power Bureau, Chongqing 401422, China)

**Abstract:** This paper advances a new method based on the fault information of expanded starting mode. Aiming at the inside characteristics of transmission lines' relay protection and congregating electrical power information systems, this method can online inspect the inner failures in transmission lines' relay protection effectively. It provides an effective approach of exposing and describing the hidden failures of power system, and has been proved by an example.

This work is supported by Special Fund of the National Basic Research Program of China (No. 2004CB217908) and National Natural Science Foundation of China(No. 50777068).

**Key words:** relay protection; inner failure; online failures inspection; fault information

中图分类号: TM774; TM732 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)03-0006-05

## 0 引言

继电保护装置是电力系统安全稳定运行的基础装置, 正确揭示和描述输电线路中保护装置的故障<sup>[1-4]</sup>, 对于保障电网的稳定运行具有重大意义。目前, 对于电力系统中继电保护装置故障的检测方法主要是依靠装置的自检功能<sup>[5]</sup>, 完全依靠在出厂时由厂家设定的固定化程序来进行; 或根据离线抽样检验的方式进行, 均没有考虑装置现场运行中的情况, 如不同的系统运行方式, 装置面对的不同环境因素等。因此, 单纯的依靠装置自检功能与定期抽样检验, 并不能满足现今电力系统高安全性、高可

靠性、在线检测的要求。

面对上述问题, 本文提出一种在对故障录波装置现有启动方式进行必要扩展的基础上, 利用故障录波装置记录的动态信息<sup>[6-7]</sup>为依据, 实现对输电线路中的保护装置内部故障进行在线检测的新方法。

## 1 电网故障信息检测方法分析

### 1.1 故障录波信息的动态特性

故障录波信息是由故障录波装置在电力系统发生故障及振荡时所记录的系统暂态过程中各电参数波形和数据, 通过分析这些信息, 能及时发现继电保护和自动装置的缺陷。

继电保护装置的不正确动作包括拒动和误动两种行为, 在实际检修工作中, 元件的误动相对不易发现但其所占比重却较大, 如表1所示<sup>[8]</sup>。

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2004CB217908); 国家自然科学基金资助项目(50777068)

表 1 2002~2006 年国家电网公司继电保护装置运行统计  
Tab.1 Operation situation of protective relays of State Grid Corporation of China in 2002~2006

项目	220 kV 及以上 变压器保护	100 MW 及以上 发电机保护	220 kV 及以上 母线保护
误动	154	43	31
拒动	3	0	10

针对保护内部故障在正常运行状态下不易显露的特性,故障录波装置能通过对所记录动态信息的回放,详细地展示故障期间保护装置内部的动态过程;并且它具有可根据需要调节数据窗宽度这一特点,能够完整记录保护装置动作前后的信息,从而真实地暴露出运行中的继电保护系统内部的动态特性。

### 1.2 现有电网常规故障监测技术特点

目前对电网故障信息的检测技术手段主要是针对一次设备,包括故障录波信息分析、基于广域测量系统(WAMS)的异常数据检测、利用继电保护管理信息系统(RPMIS)进行故障识别等,分别进行分析。

目前的故障录波装置只有在电力系统发生故障或振荡等大扰动时才启动录波,不能完善地满足全时段检测的需求;并且其内部没有形成针对保护装置内部故障的判断机制,所以单纯依靠现有故障录波装置无法完善地实现对于保护装置内部故障的检测。

应用 WAMS 能够实时监测及记录发电机功角、功率和母线电压相量及线路传输功率的变化,及时发现电网中的扰动及振荡<sup>[9]</sup>;RPMIS 能通过对保护装置在外部故障下反应过程的监视与记录来进行保护装置的故障识别<sup>[10]</sup>,目前这些新技术主要作为现有电力自动化系统的辅助来应用。

上述技术手段的特点能够为实现继电保护装置故障的检测提供有力的技术支持。

## 2 基于故障录波信息的继电保护内部故障检测

### 2.1 检测原理

当电力系统遭受冲击、处于非正常运行状态下时,其中的继电保护装置可能由于测量 CT、连接电缆、端子、装置内部的前置变送器、滤波电路、A/D 转换模块及 CPU、存储器等部分的缺陷而发生误动或拒动的行为。在当前技术下,其中一部分简单的硬件故障可由保护装置的自检系统及时发现,如 CT 故障、A/D 转换错误、程序逻辑错误等。

但当其中一个或多个环节失效或误差增大,以及装置的整定与算法出现不适于当前运行方式的情况时,就可能使保护装置内部出现难以察觉的故障。

本文提出了一种基于故障录波信息的继电保护装置内部故障检测方法,其原理是:在系统正常运行过程中,针对保护装置的内部处理信息,按照不同的保护原理,在位于网络拓扑中不同位置的保护装置之间寻找某种确定性关系,通过对此关系的分析来检测存在内部故障的保护装置。

其监测结构如图 1 所示,其中 P1、P2 为保护装置。当线路发生故障时,保护装置与故障录波装置的测量信息通过一个虚拟的故障信息处理系统进行汇总和存储,此系统可以包括于已有的继电保护信息主站中。将三者的测量信息按照预先建立的适当判据进行检验,即可检测出保护装置 P1、P2 是否存在内部故障,发出报警信号并上传故障报告。根据故障信息中的相关编号标志,即可判定存在故障的装置。

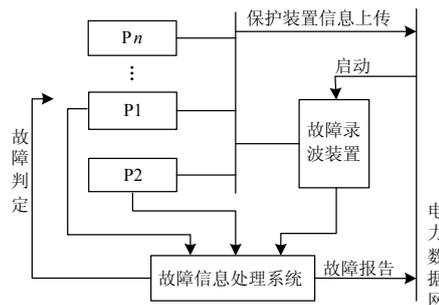


图 1 监测结构图

Fig.1 Structure of monitoring for relay failure

这种方法可以在线进行,不会影响正常生产运行。下文进行详细阐述,为描述清晰,暂默认故障录波装置工作正常。

分析如图 2 所示的系统, P1~P3 为线路配备的某种类型保护,其内部程序的测量值均可表示为所采集电参数的函数,如  $P_1(i_f, u_f)$ 。对于距离保护,  $P(i_f, u_f)$  为测量阻抗值;对于电流纵差保护,  $P(i_f, u_f)$  为两侧电流采集值,等。

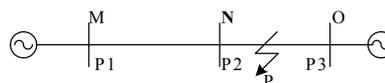


图 2 线路保护模型

Fig.2 Model of transmission lines protection

设 P 点发生短路故障,当各装置工作正常时,应有如下关系:

$$P_i(i_f, u_f) = H(f)P_j(i_f, u_f) + T(P_i, P_j) \quad (1)$$

$i, j \in (1, 2, 3)$

其中： $H(f)$ 为根据故障点与所研究保护的相对位置而确定的方向函数； $T(P_i, P_j)$ 为由所研究保护测量值之间的相对关系确定的函数。

同理，当装置正常时，故障录波装置与保护装置对于电路相同位置点的电参数采样值应相同，所以可设故障录波装置的测量值表示为 $P_r(i_f, u_f)$ ，应有：

$$|P_r(i_f, u_f) - P_i(i_f, u_f)| = \Delta \epsilon_R \quad (2)$$

$i \in (1, 2, 3)$

其中： $\Delta \epsilon_R$ 为保护装置与故障录波装置间由测量元件差别形成的测量误差。

若发现不满足上述式(1)、(2)关系，则可以断定其中有一个保护装置存在内部故障，并可通过式(2)来确定此装置编号。

如研究保护 P1、P2 的测量电流值 $I(i_f, u_f)$ ，此时流过 P1、P2 的电流方向相同，则 $H(f)$ 应取值为 1， $T(P_i, P_j)$ 此时取值应为 0，于是根据式(1)得到：

$$I_1(i_f, u_f) = I_2(i_f, u_f) \quad (3)$$

如研究保护 P2、P3 的测量阻抗值 $Z(i_f, u_f)$ ，因为故障点位于 P2、P3 之间，则 $H(f)$ 应取值为 -1， $T(P_i, P_j)$ 应取值为 P2、P3 之间的阻抗差值 $Z_{ON}$ ，于是根据式(1)得到：

$$Z_3(i_f, u_f) = -Z_2(i_f, u_f) + Z_{ON} \quad (4)$$

由上述分析可知：

首先根据保护类型确定测量值 $P(i_f, u_f)$ ，然后根据故障点的位置确定函数 $H(f)$ ，再由所研究保护各自测量值之间的关系，确定函数 $T(P_i, P_j)$ ，即可得到反应式(1)、(2)原理的不同表达形式。

另外，应用此方法应具备如下两个条件：

1) 继电保护装置信息应充分开放，使装置能将测量计算过程情况根据需要及时上传，形成信息资源的充分共享。这个要求对于目前大力发展与普及的数字化智能电子装置(IED)，是完全可以满足的[11-13]。

2) 故障录波装置的启动方式应进行必要的扩

展。针对故障录波信息可以反映保护内部完整动态过程的特点，将其作为最终判断依据；综合利用 WAMS 与 RPMIS 提供的有效信息，为故障录波装置提供更为完善的启动方式。

如图 3 所示，可以充分利用故障录波装置的手动启动方式或外部(如主站遥控)扩充启动方式，利用 WAMS 系统进行电网扰动检测识别，对故障录波装置建立辅助启动信号；同时，共享 RPMIS 丰富的数据信息库，对其中异常故障区域或需重点观测的区域进行周期性的启动故障录波。这样就可以克服目前故障录波装置启动方式的局限，得到进行保护装置内部故障检测所需的必要数据信息，从而充分的应用现有技术来实现。

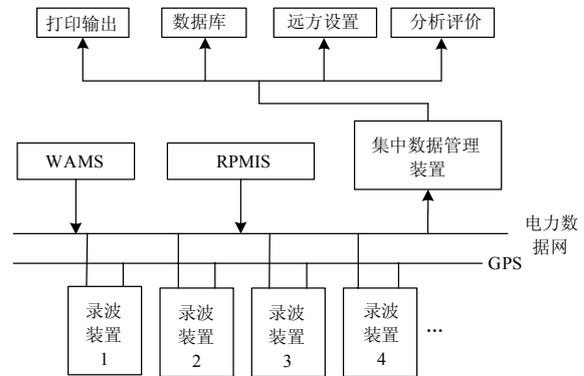


图 3 故障录波装置启动方式

Fig.3 Startup mode for fault recorder

### 2.2 检测方法应用举例

由前所述，当具备了上面两个条件后，利用本文提出的方法，就可以对具体的继电保护装置是否存在内部故障进行在线分析。

输电线路距离保护是能反应故障点至保护安装地点之间距离(阻抗)的一种保护装置，它具有良好的方向性，在电力系统中应用广泛，以其为例进行讨论。

参看图 2 所示系统，对于母线 M、N 侧装设的距离保护装置 P1、P2 进行检测，当 P 点发生短路故障时，由于故障点位于装置 P1、P2 之外，根据式(1)，其测量值 $Z_1$ 、 $Z_2$ 之间应有如下关系：

$$Z_1 = Z_2 + Z_{MN} + \epsilon_Z \quad (5)$$

其中： $Z_{MN}$ 为线路 MN 的阻抗值； $\epsilon_Z$ 为容许误差。

求取两侧保护装置的阻抗差值的计算为：

$$\Delta Z = |Z_1 - Z_2| = |Z_{MN} + \epsilon_Z| \quad (6)$$

将上式两端乘以电流量 $I_{MN}$ 得到：

$$\Delta U = |U_1 - U_2| = I_{MN} \cdot |Z_{MN} + \epsilon_Z| \quad (7)$$

这样就转化为直接对电参数采集值经 A/D 转换后的数字量进行比较, 式中  $I_{MN}$ 、 $Z_{MN}$  均可无需计算直接获取, 可设:

$$\Delta U_p = I_{MN} \cdot |Z_{MN} + \varepsilon_Z| \quad (8)$$

因此, 式 (7) 可表示为:

$$|U_1 - U_2| = \Delta U_p \quad (9)$$

此时, 故障录波装置已及时启动, 取得 M、N 侧的电参数采样值  $U_{R1}$ 、 $U_{R2}$ ; 将保护装置与故障录波装置内部存储的测量值分别进行比较, 设故障录波装置与保护装置的测量误差阈值为  $\Delta \varepsilon_R$ , 根据式

(2), 有:

$$|U_{Ri} - U_i| = \Delta \varepsilon_R; \quad i = 1, 2 \quad (10)$$

设故障报警电压阈值为  $\Delta \varepsilon_U = K_S \cdot \Delta \varepsilon_R$ , 其中  $K_S$  为灵敏系数, 可根据故障录波装置硬件的具体配置情况设定, 则式 (10) 可变换为:

$$|U_{Ri} - U_i| = \frac{\Delta \varepsilon_U}{K_S} \quad (11)$$

若发现计算结果不满足式 (9)、(11), 则可以判定存在内部故障的保护装置, 于是得到保护装置存在内部故障的判据:

$$\text{判据 I: } |U_1 - U_2| > \Delta U_p \quad (12)$$

$$\text{判据 II: } |U_i - U_{Ri}| > \frac{\Delta \varepsilon_U}{K_S}; \quad i = 1, 2 \quad (13)$$

同一故障点下, 若研究 N、O 侧的距离保护装置 P2、P3 的情况, 由于故障点位于被研究保护装置之间, 式 (3) 将变为:

$$Z_2 = -Z_3 + Z_{ON} + \varepsilon_Z \quad (14)$$

相应的, 式 (4) 将变为:

$$\Delta Z = |Z_2 + Z_3| = |Z_{ON} + \varepsilon_Z| \quad (15)$$

但最终的判据形式仍如式 (12)、(13) 所示。

容易看出, 上面对于 M、N 侧保护装置的分析, 同样适用于其它位置的保护, 也就是说, 对于距离保护, 此方法不受网络拓扑中不同位置的约束。

此方法原理同样适用于其它类型的保护, 由于关注的是保护内部的测量值 (或计算值), 可暂不考虑保护的配合关系; 但由于不同类型的保护装置采用的测量值不同, 上述方法进行过程中的表述形式也将有所不同, 由于篇幅所限暂不展开讨论。

当某套保护装置不满足内部故障存在判据 (10)、(11), 但仍表现出拒动或误动行为时, 则需要考虑保护之间的配合关系是否适当, 保护装置发出跳闸命令路径中的端子、连接电缆是否存在

缺陷, 以及执行跳闸命令的断路器是否出现故障等因素, 这些方面的工作有待于后续研究进行完善。

由上文分析, 在故障录波装置利用 WAMS、RPMIS 等技术扩展其自身启动方式后, 当发生故障或扰动时, 均可利用故障录波装置记录的暂态数据、动作信息、开关量等为依据, 进行输电线路中的继电保护装置是否存在内部故障的判定。本方法对于故障情况与扰动情况下应用的区别仅在于: 当电网仅发生扰动时, 保护装置不一定动作, 但其内部的判断流程是一直进行的, 因此同样可通过对暂态信息的跟踪比较进行检测。

在本文所述的方法中, 故障录波装置内部对于动态信息的处理过程原理上与保护装置相同, 但前者的优势是显著的, 主要体现在测量环节 (CT) 精度、所记录数据的完整性、对数据的处理能力等几个方面。

### 3 结论

本文的主要工作包括:

1) 针对目前继电保护内部故障并无现实可行的在线检测方法这一问题, 本文提出了基于故障录波信息的输电线路继电保护内部故障的在线检测方法。

2) 结合当前电网监测技术现状, 对本文所提方法进行了分析, 提出了对继电保护装置信息的开放, 及对故障录波装置启动方式进行扩展的合理改进要求。

3) 基于第 2) 点所述要求, 以输电线路距离保护为例, 应用本文所述方法进行了详细说明与验证。

### 参考文献

- [1] Phadke A G, Horowitz S H, Thorp J S. Anatomy of Power System Blackouts and Preventive Strategies by Rational Supervision and Control of Protection Systems[Z]. TN(United States): Oak Ridge National Lab, 1995.
- [2] 熊小伏, 蔡伟贤, 周家启, 等. 继电保护隐藏故障造成输电线路连锁跳闸的概率模型[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (13): 64-68.  
XIONG Xiao-fu, CAI Wei-xian, ZHOU Jia-qi, et al. Probabilistic Model for Transmission Lines' Cascading Trips Caused by Hidden Failures in Relay Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (13): 64-68.
- [3] 王明俊. 大电网继电自动装置的隐藏故障, 脆弱性和

适应性问题[J]. 电力自动化设备, 2005, 25 (3): 1-5.  
WANG Ming-jun. Hidden Failure, Vulnerability and Adaptability of Relaying Automations in Large Interconnected Power Systems[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25 (3): 1-5.

[4] 孙可, 韩祯祥, 曹一家. 复杂电网连锁故障模型评述[J]. 电网技术, 2005, 29 (13): 1-9.  
SUN Ke, HAN Zhen-xiang, CAO Yi-jia. Review on Models of Cascading Failure in Complex Power Grid[J]. Power System Technology, 2005, 29 (13): 1-9.

[5] 罗士萍. 微机保护实现原理及装置[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

[6] 丁书文. 电力系统微型自动装置[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

[7] 孟昭勇, 梁军. 故障录波数据远传及综合数据处理系统的研究[J]. 电力系统自动化, 1997, 21 (8): 72-75.

[8] 沈晓凡, 舒治淮, 吕鹏飞, 等. 2006 年国家电网公司继电保护装置运行情况[J]. 电网技术, 2008, 32 (3): 18-21.  
SHEN Xiao-fan, SHU Zhi-huai, Lü Peng-fei, et al. Operation Situation of Protective Relayings of State Grid Corporation of China in 2006[J]. Power System Technology, 2008, 32 (3): 18-21.

[9] 宋晓娜, 毕天姝, 吴京涛, 等. 基于 WAMS 的电网扰动识别方法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(5): 24-28.  
SONG Xiao-na, BI Tian-shu, WU Jing-tao, et al. Study on WAMS Based Power System Disturbance Identifying Method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (5): 24-28.

[10] 汪源生. 基于 Web 的继电保护信息管理系统的开发和应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (5): 64-66.  
WANG Yuan-sheng. Web-based Management Information System of Relay Protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (5): 64-66.

[11] 罗毅, 涂光瑜. 变电站信息数字化综合传输方案[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (8): 42-44.  
LUO Yi, TU Guang-yu. Digitized Comprehensive Transmission Plan of Substation Information[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (8): 42-44.

[12] JD McDonald. Substation Automation. IED Integration and Availability of Information[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2003, 1 (2): 22-31.

[13] 李映川, 王晓茹. 基于 IEC 61850 的变电站智能电子设备的实现技术[J]. 电力系统通信, 2005, 26(9): 54-56.  
LI Ying-chuan, WANG Xiao-ru. Preliminary Technology Analysis on Implementing IEDs in Substation Based on IEC61850[J]. Telecommunications for Electric Power Systems, 2005, 26(9): 54-56.

收稿日期: 2009-03-05; 修回日期: 2009-04-17

作者简介:

孙鑫 (1980-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统继电保护研究; E-mail:syncsun@126.com

熊小伏 (1962-), 男, 教授, 长期从事电力系统保护与电网安全监控的科研、教学及新技术产业化工作;

杨洋 (1981-), 女, 硕士研究生, 从事电力系统规划与可靠性研究。

(上接第 5 页 continued from page 5)

[13] 林霞, 陆于平, 王联合. 分布式发电条件下的新型电流保护方案[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(20): 51-56.  
LIN Xia, LU Yu-ping, WANG Lian-he. New Current Protection Scheme Considering Distributed Generation Impact[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (20): 51-56.

收稿日期: 2009-02-25

作者简介:

周卫 (1984-), 男, 硕士, 主要研究方向为电力系统稳定分析与控制; E-mail: lanyinglantian@163.com

张尧 (1948-), 男, 教授, 博士生导师, 长期从事电力系统运行分析与控制、电压稳定性等方面的教学与科研工作;

夏成军 (1974-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为电力系统稳定分析与控制、HVDC 及 FACTS。