

多变电站故障录波数据同步自动化方法与实现

王海港, 黄太贵, 孙月琴, 王同文, 谢民

(安徽省电力公司, 安徽 合肥 230022)

摘要: 在目前电力系统故障录波器联网系统中, 一些采用脉冲对时方式的录波器常常对时不准, 事故分析人员难以把反映同一次故障的多个故障录波数据进行关联和同步, 给故障综合分析带来困难。基于此, 通过软件的方法检测各变电站故障录波器时钟之间的差异, 并用测量的时间差进行多变电站故障录波数据自动关联。提出了不依赖线路参数的多变电站故障录波数据同步方法, 对相互关联的数据进行自动同步。通过软件将该方法应用于故障录波器联网系统, 在实际的故障分析中发挥了重要作用。

关键词: 故障录波器; 联网; 数据同步; 无参数; 多变电站

Auto synchronization method and its implementation of fault recorder data from multi-substations

WANG Haigang, HUANG Taigui, SUN Yueqin, WANG Tongwen, XIE Min

(Anhui Electric Power Company, Hefei 230022, China)

Abstract: At present, fault recorders (FR) of multi-substation are connected to a network. After a fault occurs, due to the time unsynchronized FR which use impulse signal as time synchronization method, it is hard to associate different FR data contributed by different FR from different substations at the same time, especially, several faults happened on power grid in a short time. To solve this problem, by detecting time differences of different FR located in different substations through software method, fault data from FR of multi-substations is automatically associated. Furthermore, a synchronization method for multi-substation FR data, which does not utilize the parameters of transmission lines, is put forward to synchronize the associated data. This method is implemented in a FR network system by using software, which proved that it is a real-time, more convenient and accurate method for fault analysis of power grid.

Key words: fault recorder; network connection; auto data synchronization; without utilizing parameters; multi-substations

中图分类号: TM938; TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)01-0102-06

0 引言

随着无人值守变电站的增多, 分布式故障录波数据远传的通道和规约问题^[1]的解决, 分布的故障录波器(录波器)通过数据网络互联并将故障录波数据(录波数据)上送至调控中心已在多个区域电网实现。录波器联网系统解决了传统的录波数据需到变电站调取, 事故分析相对滞后的问题^[2]。它由位于调控中心的主站系统、位于变电站的录波器和信息传输系统组成^[3]。主站系统通过调度数据网与多个变电站的录波器相连, 负责收集各个录波器所联接一二次设备的运行和故障信息。

在故障发生时, 由于故障扰动较大, 故障发生点附近的多个变电站的多个录波器均会启动录波, 同时上送至主站系统多个录波数据文件。利用这些

录波数据不仅能够对故障进行综合的分析, 还能够进行其他的应用。例如进行输电线路参数的测算^[4], 电网故障诊断^[5]、精确的故障测距^[6-9]以及保护特性分析^[10]等。利用这些录波数据的第一步是将这些来自各录波器的数据文件按故障发生时刻进行关联, 剔除故障发生前后无关的录波数据。时钟作为最重要的故障信息之一, 能准确反映故障发生时间和故障结束时间。目前, 虽然 220 kV 以上变电站均装有统一授时系统, 但一些利用脉冲对时方式的设备, 由于脉冲信号可靠性较差, 其时钟常常出错, 多个变电站录波器实现精确对时在目前还无法完全保证^[11]。因此, 在进行故障分析时, 对于简单故障, 工作人员可以通过分析主站的多个变电站故障波形, 根据特征电气量的变化和保护断路器动作情况进行人工关联。但对于一些在短时间内发生的多

次复杂故障, 每个变电站在短时间内可能记录多次录波数据, 没有准确时钟很难判断多个录波数据的关联性。因此为准确分析故障, 需要多个录波器采集的多个录波数据根据每次故障进行有效的自动关联和数据同步。而数据的人工同步, 不仅费时也无法应用到生产一线。解决这个问题的第一步是自动在故障录波主站将来自不同变电站不同录波器的同一次故障信息数据进行关联。第二步是将相关联的数据进行时间同步。在数据同步方法中, 对不同变电站的数据, 利用故障前的电压电流数据和两变电站之间联络线参数, 理论上可准确计算出不同步时间。但实际应用中, 一方面因为输电线路精确参数难以获得, 即使是实测值也存在变化, 给数据同步引入较大误差。另一方面录波器在管理上无法等同于继电保护设备, 其参数可依赖性较差。因此, 寻找一种较精确且不依赖于系统参数的数据同步方法是多变电站录波数据同步实用化的重要一步。

为实现多变电站不同录波数据的同步, 首先利用软件的方法检测故障录波器之间的时钟偏差, 从而实现多变电站录波数据的自动关联。在此基础上, 根据不同故障类型, 充分利用故障录波主站来自故障相关不同变电站的多个数据文件, 不依赖线路或系统参数计算各录波数据的不同步时间, 从而实现多变电站录波数据的自动同步。通过软件在故障录波主站系统中实现了该方法。

1 录波数据关联

以图 1 所示的典型录波器联网系统为例, 变电站 1 和变电站 2 之间的 F 点发生故障, 两个变电站都会记录故障数据, 并通过录波器联网系统将录波数据上送到主站, 两变电站录波数据同步的第一步是进行两变电站录波数据的自动关联。

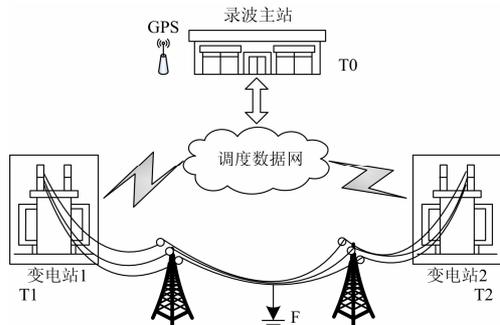


图 1 典型录波器联网系统示意图

Fig. 1 Diagram for typical fault recorder network

1.1 录波联网时间偏差

电网发生故障后, 录波数据包括故障模拟量数

据、开关量动作信号和故障发生时间。因对时的误差, 录波数据中的时间是不准确的, 而主站通过统一时钟进行对时, 时间是准确的。各录波器和主站时钟可能出现大小不等的偏差, 达到数小时甚至数天。

相对于各录波器来说, 录波主站时钟是唯一的, 进行录波数据自动关联的关键在于对各录波器时间与主站时钟偏差进行检测。如图 1 所示, 两个相邻变电站通过调度数据网与主站通信, 可利用主站对分布于各变电站的录波器进行时间检测。

1.2 录波器时间修正方法

按以上分析, 录波器之间的时间偏差长短不一, 没有规律, 而主站时钟是精确而且唯一的。如果能实时获取各录波器相对于主站的时间偏差, 就可以在故障发生后, 用该时间偏差校准录波数据中的故障发生时间, 实现各录波数据在时间上的关联。

主站获取各录波器时间偏差 T_d 的原理及过程如图 2 所示。

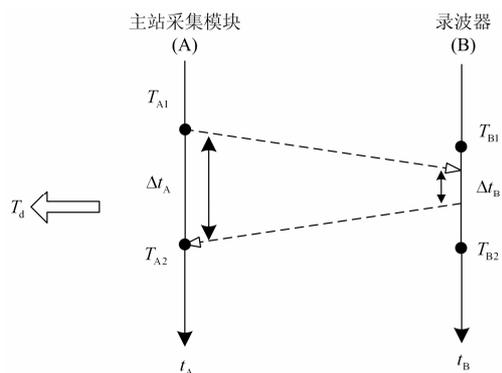


图 2 录波器时间偏差检测过程

Fig. 2 Time deference detection procedure of FR

(1) 主站采集模块在 T_{A1} 时刻向录波器发送请求时钟报文。

(2) 录波器在 T_{B1} 时刻收到请求时钟报文, 经过 Δt_B 响应时间, 在 T_{B2} 时刻向主站发送响应报文。

(3) 主站采集模块收到录波器发送的响应报文, 计算得到时间偏差 T_d 。计算方法如下。

传输延时:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_A - \Delta t_B}{2} \quad (1)$$

时间偏差:

$$T_d = T_{B1} - T_{A1} - \Delta t = T_{B1} - T_{A1} - \frac{\Delta t_A - \Delta t_B}{2} \quad (2)$$

由于录波器的响应速度很快, 一般在微秒级, 因此我们可以忽略 Δt_B , 令 $T_{B1} = T_{B2} = T_B$, 代入上式可以得到

$$T_d = T_B - T_{A1} - \frac{\Delta t_A}{2} = T_B - \frac{T_{A1} + T_{A2}}{2} \quad (3)$$

在主站能够通过周期巡检的方式实时获取每个录波器的时间偏差, 假设主站检测到在 T 时刻发生故障, 查询 T 时刻所在巡检周期变电站 1 的录波器时间偏差为 T_{1d} , 录波器记录的故障发生时间为 T_1 , 则经过修正, 变电站 1 的录波器采集的故障时间为

$$T_{1F} = T_1 - T_{1d} \quad (4)$$

同理, 在故障发生后, 可对变电站 2 的录波器上送的录波数据进行时间修正, 经过时间修正后, 可以通过比较各录波器采集数据的故障时间将录波数据进行关联。受巡检周期长短的影响, 以及录波器响应时间的不同, 这个时间偏差是毫秒级的, 不是完全精确的, 无法利用这个时间修正结果将各录波数据进行精确同步。因此, 下一步是寻求录波数据同步的方法。

2 数据同步

如图 3 所示, 设故障发生在线路 L1, 则线路 L1 两端变电站及其相邻变电站(站 1、站 2、站 3 等)多个录波器均会启动录波, 并将录波数据文件上送到故障录波主站。根据前述方法, 故障录波主站按当前故障将来自多个录波器的录波数据相关联。之后, 故障录波主站将每个数据文件按 COMTRADE 格式^[12]读出每个录波数据的每个录波通道所记录的数据, 通过修正后的录波起始时刻及电气量的变化, 所有录波数据均可在故障发生前后的一个周波内实现误差为一个周波的同步。接下来, 需要进行的是数据的精确同步。根据录波器所在变电站的不同, 录波数据分为来源于同一变电站不同录波器的数据和来源于不同变电站录波器的数据。因此, 数据同步分两个步骤进行。第一步是将同一变电站不同录波器的数据同步, 第二步是将来自不同变电站录波器的数据同步。

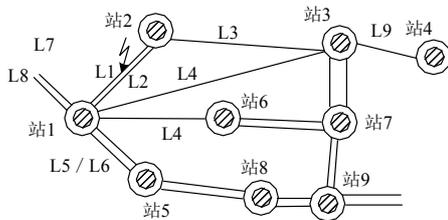


图 3 局部电网拓示意图

Fig. 3 Topological graph of a fraction grid

2.1 同一变电站录波数据同步

目前, 对存在不同电压等级的变电站或者出线

间隔较多的变电站, 实际均配置多台录波器以完成对多间隔多设备的监测。变电站的主要一次设备可分为母线、线路、主变三大类。对接入不同录波器的线路间隔, 各间隔采集的母线电压是其公共信号。若存在单独的主变录波器, 主变各侧电压与各侧母线电压也是公共信号。若存在单独母线录波器, 则各母线出线间隔的电流与线路间隔的电流也是公共信号。利用这些公共信号即可实现不同录波器间的数据同步。同步方法及步骤如下:

(1) 根据变电站录波器配置, 提取各录波器数据的公共信号。

(2) 利用全周波傅立叶变换提取故障前后公共信号正弦波之间的角差, 计算各录波器的不同步时间。

(3) 根据不同步时间, 将其余非公共信号数据同步。

2.2 不同变电站之间录波数据同步

由图 3 可知, 当故障发生后, 传送至录波主站相关联的数据文件中, 不仅有线路 L1 两侧的电气量数据, 而且有线路 L2、线路 L3、线路 L4 等线路两端的电气量数据。因来自相同变电站的数据已经同步, 则线路 L1 两端数据不同步时间与线路 L2 两端数据的不同步时间是相同的。通过求线路 L2 的不同步时间, 即可将站 1 的录波数据与站 2 的录波数据同步。若故障发生在单回线路 L3, 可先利用线路 L1 两端的电气量求出站 2 与站 1 录波数据的不同步时间 t_{12} , 再利用线路 L4 两端的电气量求出站 1 与站 3 录波数据的不同步时间 t_{13} , 则站 2 与站 3 之间的录波数据不同步时间 $t_{23}=t_{12}-t_{13}$ 。因此, 当单回线路故障时, 如果该线路两端能够有迂回连通线路的录波器数据, 均可通过非故障线路求出故障线路两端录波数据的不同步时间。对极少数单回线路或没有迂回连通线路的录波数据, 用故障线路本身的数据近似求得不同步时间。因此将同步算法分为两种, 一种是利用非故障线路数据进行录波数据同步的方法, 称为非故障线路数据同步法, 另一种是利用故障线路数据进行录波数据同步的方法, 称为故障线路数据同步法。

2.2.1 非故障线路数据同步法

对图 4 所示非故障线路集中参数模型, 设 m 侧电压电流列向量为 $U_m = [U_{ma} \ U_{mb} \ U_{mc}]^T$, $I_m = [I_{ma} \ I_{mb} \ I_{mc}]^T$, N 侧电压电流列向量为 $U_n = [U_{na} \ U_{nb} \ U_{nc}]^T$, $I_n = [I_{na} \ I_{nb} \ I_{nc}]^T$, 其中 T 表示向量的转置。

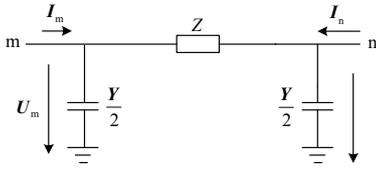


图4 输电线路集中参数模型

Fig. 4 Lumped PI mode of a transmission line

设输电线路对地导纳矩阵为 \mathbf{Y} 。由图 4, 对工频量, 设线路两侧不同步角为 δ , 则有

$$\frac{\mathbf{Y}}{2} \times (\mathbf{U}_m + \mathbf{U}_n \times e^{j\delta}) = \mathbf{I}_n \times e^{j\delta} + \mathbf{I}_m \quad (5)$$

将式(5)两侧列向量转置为行向量, 因 \mathbf{Y} 为对称阵, 则有

$$(\mathbf{U}_m + \mathbf{U}_n \times e^{j\delta})^T \times \frac{\mathbf{Y}}{2} = (\mathbf{I}_n \times e^{j\delta} + \mathbf{I}_m)^T \quad (6)$$

设故障后 m、n 侧电压电流列向量分别为 \mathbf{U}_{mf} 、 \mathbf{I}_{mf} , \mathbf{U}_{nf} 、 \mathbf{I}_{nf} , 因该线路为非故障线路, 则式(5)同样成立, 可得

$$\frac{\mathbf{Y}}{2} \times (\mathbf{U}_{mf} + \mathbf{U}_{nf} \times e^{j\delta}) = \mathbf{I}_{nf} \times e^{j\delta} + \mathbf{I}_{mf} \quad (7)$$

将式(7)两侧左乘以 $(\mathbf{U}_m + \mathbf{U}_n \times e^{j\delta})^T$, 可得

$$(\mathbf{U}_m + \mathbf{U}_n \times e^{j\delta})^T \times \frac{\mathbf{Y}}{2} \times (\mathbf{U}_{mf} + \mathbf{U}_{nf} \times e^{j\delta}) =$$

$$(\mathbf{U}_m + \mathbf{U}_n \times e^{j\delta})^T \times (\mathbf{I}_{nf} \times e^{j\delta} + \mathbf{I}_{mf}) \quad (8)$$

将式(6)代入式(8), 得

$$(\mathbf{I}_n \times e^{j\delta} + \mathbf{I}_m)^T \times (\mathbf{U}_{mf} + \mathbf{U}_{nf} \times e^{j\delta}) =$$

$$(\mathbf{U}_m + \mathbf{U}_n \times e^{j\delta})^T \times (\mathbf{I}_{nf} \times e^{j\delta} + \mathbf{I}_{mf}) \quad (9)$$

解一元二次方程可得 $e^{j\delta}$ 的两个根, 因 $|e^{j\delta}| = 1$, 去除伪根, 即可求出不同步角 δ , 对工频量, 不同步时间 $t_{mn} = \frac{\delta}{2 \times \pi \times f}$, 其中 f 为工频频率。

从以上推导可以看出, 不同步时间的求解是不依赖于线路参数、故障类型以及故障点的准确结果。

2.2.2 故障线路数据同步法

对故障线路来说, 式(7)不再成立, 无法由式(9)精确求得线路两端录波数据的不同步时间, 但式(5)仍然成立。在实际工程应用中, 输电线路三相对地导纳参数均认为是相等的, 且忽略其互导纳, 则矩阵 \mathbf{Y} 为对角阵且对角线元素均相等。以 a 相为例, 则式(5)简化为

$$\frac{Y_a}{2} = \frac{I_{na} \times e^{j\delta} + I_{ma}}{(U_{ma} + U_{na} \times e^{j\delta})} \quad (10)$$

因对地电导相比于对地容抗很小, 忽略对地电导, 则 a 相对地导纳 Y_a 实部为零, 即

$$\text{Re}[(I_{na} \times e^{j\delta} + I_{ma}) \times \overline{(U_{ma} + U_{na} \times e^{j\delta})}] = 0 \quad (11)$$

式中, Re 表示复数取实部, 上划线表示复数的共轭。

式(11)可化为简单三角函数为

$$f(\delta) = a \cos \delta + b \sin \delta + c = 0 \quad (12)$$

式中, a 、 b 、 c 为 a 相电压电流复数 U_{ma} 、 U_{na} 、 I_{ma} 、 I_{na} 实虚部的代数组合。

解式(12)即可得不同步角, 从而实现数据同步。

3 在录波联网系统中的自动化实现

录波器联网系统主站通过采集模块获取各录波器的录波数据, 数据中心负责存储数据并提供给工程师站使用。为了实现多变电站录波数据关联和同步自动化, 在故障分析系统中搭建三个模块: 录波器时钟状态获取模块、录波数据自动关联模块、录波数据自动同步模块。

3.1 录波器时钟状态获取模块

在主站采用周期巡检的方式来获取各录波器的时钟状态, 得到录波器时间偏差 T_d , 在短时间之内, 认为这个时间偏差是不变的。采集模块负责问询并计算得出录波器的时钟状态, 并存到数据中心, 同时工程师站能够随时查询到全网的时钟状态。

3.2 录波数据自动关联模块

录波关联模块具体实现流程如图 5 所示。采集系统会定时采集录波器的录波数据, 并按日期和装置保存。定义每个录波数据都有一个故障号 (FaultNum), 多个故障拥有同一个故障号 (FaultNum) 则认为它们共同反映同一次故障, 是关联的。电网发生故障后, 主站采集会第一时间获取多个录波器的录波数据, 对其进行处理后存入数据库, 处理过程如下:

(1) 数据中心获取实时的时间偏差 T_d 对录波数据的时间进行修正。

(2) 修正后查询是否有其他故障数据的故障时间与其关联, 有就将其故障号赋值给这次故障; 如果没有与其时间关联的故障数据, 则认为这个故障数据反映的是一次新故障, 对其设新的故障号。工程师站发送录波关联请求后, 将按故障号读取数据库, 将互相关联的故障一起存储, 并同时存储其故障号和故障发生时间。

3.3 录波数据自动同步模块

录波数据自动同步模块在数据中心的分析库中实现, 分析对象是故障录波自动关联模块得出的多个相关联的故障数据。同步过程如下:

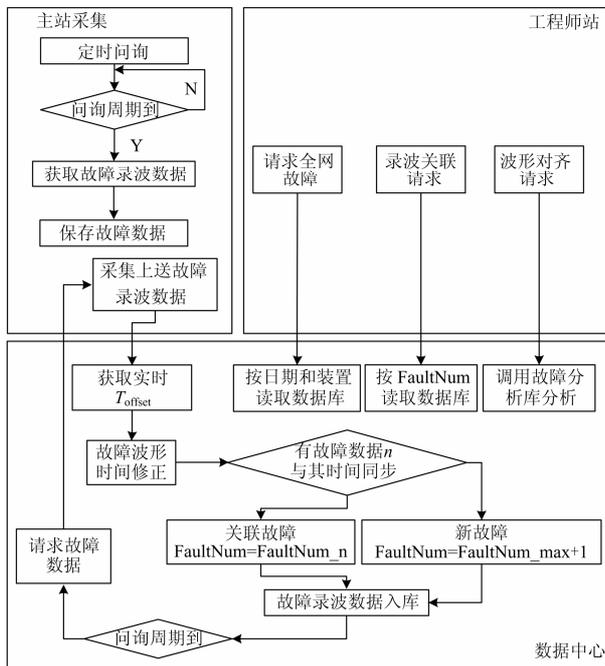


图 5 录波数据关联及同步流程图

Fig. 5 Association & synchronization flow chart of FR data

(1) 按故障号检索录波数据, 将存在相同线路的不同录波数据相匹配。

(2) 取故障发生前后各一个周波进行分析, 若故障发生在两变电站联络线区外, 则用非故障线路录波数据同步法自动对齐数据, 并记录不同步时间。

(3) 若故障发生在两变电站双回联络线之一上, 则判断另一回线是否故障, 如没有故障, 则通过另一回线录波数据完成同步。

(4) 若线路为单回线, 则根据(2)、(3)计算方法计算的其他变电站录波数据的同步时间, 查找迂回联络线通道, 进行同步时间计算, 实现同步。

(5) 若线路为单回线, 且没有迂回联络线通道, 则用故障线路故障前数据近似同步。

3.4 系统应用

本系统部署在录波器联网网站系统中, 在工程师站主界面增加“故障关联”选项, 可以将多次故障按故障号进行排列, 每个故障包含一个或多个相互关联的录波数据, 增加“数据同步”选项, 将故障数据同步, 提供给故障数据分析库做进一步分析。

在录波器联网网站系统中部署了多变电站故障录波数据同步自动化应用, 经过运行实测, 此方法有效解决了故障分析数据同步自动化问题, 减小了人为操作带来的误差, 在录波器联网网站故障分析系统中发挥了重要作用。

4 结论

多变电站录波数据关联和同步自动化方法首先针对录波器联网系统中各录波器时钟差距较大的情况, 利用软件的方法对录波器时钟偏差进行检测, 在此基础上, 实现多个录波数据的自动关联。充分利用来自多个录波器的录波数据, 不需要系统参数, 实现了对已关联的录波数据的自动精确同步。该方法在录波器联网系统中得到实现, 使用操作简单便捷, 使调度人员能够更加及时、准确和直观地掌握故障情况, 为在此基础上的电网故障分析应用提供了更深层次的数据支持。

参考文献

- [1] 孙月琴. 全面实现微机故障录波器远传的几个问题[J]. 继电器, 1997, 25(4): 58-59.
SUN Yueqin. Several problems of remote transmission of fault recorder data[J]. Relay, 1997, 25(4): 58-59.
- [2] 王立新, 郭登峰, 张小川. 微机保护和故障录波器联网系统[J]. 继电器, 2000, 28(4): 46-49.
WANG Lixin, GUO Dengfeng, ZHANG Xiaochuan. A networking system of microprocessor-based protections and fault recorders[J]. Relay, 2000, 28(4): 46-49.
- [3] 王黎, 孙云莲. 浅析微机故障录波器通信网络的设计[J]. 电网技术, 2003, 27(12): 89-91.
WANG Li, SUN Yunlian. Design of communication on network for microprocessor based fault recorder[J]. Power System technology, 2003, 27(12): 89-91.
- [4] 韦恒, 周岷, 王毅. 基于故障录波器的双回输电线路参数在线测量方法[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(23): 138-142.
WEI Heng, ZHOU Di, WANG Yi. Online parameter measurement of double-circuit transmission lines based on fault recorder[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(23): 138-142.
- [5] 熊国江, 石东源, 朱林. 基于多输出衰减径向基函数神经网络的电网故障诊断[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(21): 38-45.
XIONG Guojiang, SHI Dongyuan, ZHU Lin. Fault diagnosis of power grids based on multi-output decay radial basis function neural network[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(21): 38-45.
- [6] 刘伟, 陈皓. 基于分布参数模型的混合线路故障测距新算法[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(24): 76-80.
LIU Wei, CHEN Hao. A new fault location algorithm for hybrid transmission line based on distributed parameter

- model[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(24): 76-80.
- [7] 张晓明, 徐岩, 王瑜, 等. 一种基于参数检测的双端故障测距算法[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(12): 106-111.
ZHANG Xiaoming, XU Yan, WANG Yu, et al. A fault location algorithm for two-terminal transmission lines based on parameter detection[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(12): 106-111.
- [8] 王伟, 余锐, 陈愚, 等. 特高压输电线路保护故障测距的应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(19): 40-46.
WANG Wei, YU Rui, CHEN Yu, et al. Application research of fault location of UHV transmission line protection[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(19): 40-46.
- [9] 刘千宽, 李永斌, 黄少锋, 等. 基于双端电气量的同杆平行双回线单线故障测距[J]. 电网技术, 2008, 32(3): 27-30.
LIU Qiankuan, LI Yongbin, HUANG Shaofeng, et al. Single line fault location of parallel double transmission line on same tower based on two-terminal electrical quantities[J]. Power System Technology, 2008, 32(3): 27-30.
- [10] 陈小林, 罗毅, 王伟平, 等. 基于故障录波数据的保护特性分析方法及其实现[J]. 电网技术, 2005, 29(18): 70-74.
CHEN Xiaolin, LUO Yi, WANG Weiping, et al. Protection characteristic analysis method based on recorded fault data and its implementation[J]. Power System Technology, 2005, 29(18): 70-74.
- [11] 赵晓微, 李桂义, 贾明娜, 等. GPS 同步时钟在电力系统中的应用[J]. 电力系统通信, 1998(5): 4-8.
ZHAO Xiaowei, LI Guiyi, JIA Mingna, et al. Application of GPS clock on power system[J]. Power System Communication, 1998(5): 4-8.
- [12] IEEE Standards Board IEEE C37.111-1999 common format for transient data exchange (COMTRADE) for power system[S]. 1999.

收稿日期: 2014-04-10

作者简介:

王海港(1977-), 男, 工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: wanghg03@126.com

黄太贵(1963-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统调度自动化;

孙月琴(1964-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护。