



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104360297 B

(45)授权公告日 2017.09.19

(21)申请号 201410643016.4

(74)专利代理机构 北京金阙华进专利事务所

(22)申请日 2014.11.07

(普通合伙) 11224

(65)同一申请的已公布的文献号

代理人 吴鸿维

申请公布号 CN 104360297 A

(51)Int.Cl.

(43)申请公布日 2015.02.18

G01R 35/00(2006.01)

(73)专利权人 国家电网公司

(56)对比文件

地址 100031 北京市西城区西长安街86号

CN 102902894 A, 2013.01.30,

专利权人 国家电网公司华北分部

CN 103575993 A, 2014.02.12,

北京四方继保自动化股份有限公司

CN 101592695 A, 2009.12.02,

(72)发明人 王茂海 段刚 赵玉江 杨东
牛四清 祁鸿燕 张哲 陈程
刘之滨 李廷军 宁剑 秦红霞
王立鼎 詹庆才

CN 104007408 A, 2014.08.27,

CN 103399914 A, 2013.11.20,

US 2014100705 A1, 2014.04.10,

王茂海等.相量测量装置(PMU)动态测量精度在线检验.《电力系统保护与控制》.2009,第37卷(第10期),

审查员 马丽

权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种基于瞬时值比较的PMU动态性能多指标
测试方法

(57)摘要

本发明公开了一种仅基于实测相量数据和瞬时值录波数据,对安装在现场的PMU的动态量测性能进行在线多指标测试的方法。该方法将扰动期间的PMU相量数据还原为暂态录波数据,并获取对应的瞬时值录波数据,通过所提出的指标找出相量暂态录波数据与实际的瞬时录波数据在相关性、相量算法快速响应、幅值缩放和总体相似性上的差异,从而对PMU的动态量测性能进行定量的评价。本发明不需要专门的测量装置和实验环境,解决了暂态过程中相量定义的差异所造成的干扰,并且具体给出了相量动态量测在哪些特性上产生了误差。



1. 一种基于瞬时值比较的PMU动态性能多指标测试方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

步骤1:在广域测量系统主站实时监测电网是否有频率偏移大于0.1Hz的扰动发生,若有则记录相应扰动之前1~5秒和扰动之后1~5秒的相量数据,以及对应的故障录波数据,即实际暂态录波曲线,其中,所述故障录波数据是由待测同步相量测量装置PMU本身记录得到,或者来自于带有高精度时标的故障录波器,所述故障录波器的时标精度不低于待测PMU的时标精度;

步骤2:根据待测PMU在电网扰动期间的相量量测数据得到对应相量的幅值A,相角Φ,求得对应相量的瞬时值 $\sqrt{2}A\cos\Phi$,称根据相量计算出的对应相量瞬时值构成的录波曲线为相量暂态录波曲线;

步骤3:计算步骤2所得到的相量暂态录波曲线与实际暂态录波曲线的相关性指标,令相量暂态录波曲线上数据点x(n)为相量采样点n处折算的瞬时值,N为采样点数即采样窗口内采样数据序列长度,y(n)为相量采样点n处对应的实际暂态录波曲线上的数据点,若对应的时刻无瞬时值采样点,则采用插值的方法求出该瞬时值数据点;两条曲线的相关性指标定义如下:

$$\rho_{xy} = \frac{r_{xy}}{\sqrt{r_{xx}r_{yy}}} = \frac{\sum_{n=1}^N x(n)y(n)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N x(n)^2 \cdot \sum_{n=1}^N y(n)^2}}$$

$\rho_{xy}=1$ 时两采样曲线最相关, $\rho_{xy}=0$ 时两曲线无关,相关性指标越接近1,则由PMU相量量测数据估计出的暂态录波值的变化趋势越接近实际录波装置的测量值的变化趋势;

步骤4:计算相量算法快速响应指标L,令x₀(n)为相量在各采样点处折算出的瞬时数据序列,y₀(n)为对应窗口的实际暂态录波曲线在相量采样点处的数据序列;y_i(n)为将y₀(n)数据序列左移i个步长时在上述窗口内相量采样点处折算的瞬时值数据序列,其中,每步长可为1个或m个录波采样点,当i为负值时表示将y₀(n)数据序列右移;按下式计算移动后的y_i(n)与x₀(n)的相似性指标:

$$\rho_{xy}(i) = \frac{r(i)_{xy}}{\sqrt{r(0)_{xx}r(i)_{yy}}} = \frac{\sum_{n=1}^N x_0(n)y_i(n)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N x_0(n)^2 \cdot \sum_{n=1}^N y_i(n)^2}}$$

其中,下标i表示将步骤3中相应的数据序列移动的步长数,0则表示不移动原数据序列;

将y_i(n)按步长分别左移4个工频周期和右移4个工频周期,计算出各次的ρ_{xy}(i);找出ρ_{xy}(i)最接近1的极大值点所对应的移动步长i_{max},得到x₀(n)相对于y₀(n)延迟时间为L=i_{max}•m个采样点,即快速响应指标,其中,m为一个步长内的采样点数;

步骤5:计算纯幅值变化指标k_{xy},纯幅值变化指标即信号缩放指标,

$$k_{xy} = \frac{\sum_{n=1}^N \left| \frac{y(n-L) - \overline{y(n-L)}_N}{x(n) - \overline{x(n)}_N} \right|}{N}$$

其中, $\overline{x(n)}_N$ 为采样数据序列长度为N的采样窗口内各采样点对应相量的瞬时值x(n)的平均值,y(n-L)表示实际暂态录波曲线在采样点n的对应相量瞬时值y(n)左移L个采样点得到的相量瞬时值, $\overline{y(n-L)}_N$ 为将y(n)左移L个采样点后在长度为N的窗口内各录波采样点瞬时值的平均值;

步骤6:采用下式计算相似性指标,

$$S_{xy} = \begin{cases} k_{xy} \rho_{xy} & , \text{若 } k_{xy} \leq 1 \\ \frac{1}{k_{xy}} \rho_{xy} & , \text{若 } k_{xy} > 1 \end{cases}$$

其中, k_{xy} 为步骤5所得的纯幅值变化指标, ρ_{xy} 为步骤3所得相量暂态录波曲线与实际暂态录波曲线的相关性指标;

步骤7:计算一段时间内待测PMU的相似性指标 S_{xy} 的平均值 \bar{S}_{xy} , 若某个PMU量测的相似性指标的平均值 $\bar{S}_{xy} > 1.1$ 时, 则判断PMU存在严重动态性能问题, 需要检修。

一种基于瞬时值比较的PMU动态性能多指标测试方法

技术领域

[0001] 本发明属于电力系统广域测量技术领域,特别涉及一种对同步相量测量装置(以下简称PMU)量测质量进行评估的方法。

背景技术

[0002] 基于PMU的广域测量系统可以对电网的动态运行状况进行记录和监控。目前省级以上电网的主要变电站和发电厂都已安装了PMU。然而各厂家的PMU产品在实际运行环境中的精度和相量测量的一致性迄今为止,并没有严格地经过检验。虽然IEEEC37.118标准对同步相量测量的静态特性做出了规定,但是没有对PMU的动态特性做出详细规定。随着PMU应用环境的日益复杂,尤其是越来越多地应用于故障暂态过渡过程、以及含HVDC、FACTS以及其他谐波污染的电网过渡过程的分析,因此对PMU动态量测性能的测试变得越发重要。

[0003] 关于PMU的动态性能测试可分为实验室测试和现场测试。因为许多现场环境包括信号难以在实验室中复现,并且对于已安装于现场的PMU,已经难以做实验室测试,因此有必要发明通过在线PMU动态性能的监测,来实现PMU动态性能评价的方法。受现场运行条件的限制,不可能实现对不同装置的同信号比较测试。

[0004] 已有的在线PMU动态性能测试方法主要通过直接比较不同PMU的相量数据或同一PMU在不同频率运行点的相量幅值的离散程度来实现PMU动态性能的测试。由于不存在标准的相量测量结果,因此所得指标只有相对意义。为了实现对PMU动态性能的绝对评测,可以采用将PMU相量测量结果恢复为暂态录波数据并直接与最原始的暂态录波结果相比较的方法,已有文献(CN201410233902.X处于申请阶段的专利)采用这种方法实现了PMU动态性能的测试,但是其只对两者的总体差异给出了测试指标,并没有指明是由于什么原因导致了这种指标上的差异,PMU需要在哪些性能上加以改进。本发明提出的方法不仅将现场PMU相量测量结果恢复为暂态录波数据直接与最原始的暂态录波结果相比较获得绝对的精度测试结果,还具体给出了相量动态量测在哪些特性上产生了多大的偏差,从而为PMU性能的改进指出了方向。

发明内容

[0005] 为了检测相量测量单元PMU对电网动态过程的量测精度以及误差的来源,本发明提出了一种基于相量量测瞬时值比较的多指标相量动态过程量测准确性测试方法。

[0006] 本发明具体采用以下技术方案。

[0007] 一种基于瞬时值比较的PMU动态性能多指标测试方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

[0008] 步骤1:在广域测量系统主站实时监测电网是否有频率偏移大于0.1Hz的扰动发生,若有则记录相应扰动之前1~5秒和扰动之后1~5秒的相量数据,以及对应的故障录波数据,即实际暂态录波曲线,其中,所述故障录波数据是由待测同步相量测量装置PMU本身记录得到,或者来自于带有高精度时标的故障录波器,所述故障录波器的时标精度不低于

待测PMU的时标精度；

[0009] 步骤2：根据待测PMU在电网扰动期间的相量量测数据得到对应相量的幅值A,相角Φ,求得对应相量的瞬时值 $\sqrt{2}A\cos\Phi$,称根据相量计算出的对应相量瞬时值构成的录波曲线为相量暂态录波曲线；

[0010] 步骤3：计算步骤2所得到的相量暂态录波曲线与实际暂态录波曲线的相关性指标，令相量暂态录波曲线上数据点x(n)为相量采样点n处折算的瞬时值,N为采样点数,y(n)为相量采样点n处对应的实际暂态录波曲线上的数据点,若对应的时刻无瞬时值采样点,则采用插值的方法求出该瞬时值数据点；两条曲线的相关性指标定义如下：

$$[0011] \rho_{xy} = \frac{r_{xy}}{\sqrt{r_{xx}r_{yy}}} = \frac{\sum_{n=1}^N x(n)y(n)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N x(n)^2 \cdot \sum_{n=1}^N y(n)^2}}$$

[0012] $\rho_{xy}=1$ 时两采样曲线最相关, $\rho_{xy}=0$ 时两曲线无关,相关性指标越接近1,则由PMU相量量测数据估计出的暂态录波值的变化趋势越接近实际录波装置的测量值的变化趋势；

[0013] 步骤4：计算相量算法快速响应指标L,令 $x_0(n)$ 为相量在各采样点处折算出的瞬时数据序列,N为采样点数即采样窗口内采样数据序列长度, $y_0(n)$ 为对应窗口的实际暂态录波曲线在相量采样点处的数据序列; $y_i(n)$ 为将 $y_0(n)$ 数据序列左移i个步长时在上述窗口内相量采样点处折算的瞬时值数据序列,其中,每步长可为1个或m个录波采样点,当i为负值时表示将 $y_0(n)$ 数据序列右移;按下式计算移动后的 $y_i(n)$ 与 $x_0(n)$ 的相似性指标：

$$[0014] \rho_{xy}(i) = \frac{r(i)_{xy}}{\sqrt{r(0)_{xx}r(i)_{yy}}} = \frac{\sum_{n=1}^N x_0(n)y_i(n)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N x_0(n)^2 \cdot \sum_{n=1}^N y_i(n)^2}}$$

[0015] 其中,下标i表示将步骤3中相应的数据序列移动的步长数,0则表示不移动原数据序列；

[0016] 将 $y_i(n)$ 按步长分别左移4个工频周期和右移4个工频周期,计算出各次的 $\rho_{xy}(i)$;找出 ρ_{xy} 最接近1的极大值点所对应的移动步长 i_{max} ,得到 $x_0(n)$ 相对于 $y_0(n)$ 延迟时间为 $L=i_{max} \cdot m$ 个采样点,即快速响应指标,其中,m为一个步长内的采样点数；

[0017] 步骤5：计算纯幅值变化指标 k_{xy} ,纯幅值变化指标即信号缩放指标,

$$[0018] k_{xy} = \frac{\sum_{n=1}^N \left| \frac{y(n-L) - \overline{y(n-L)}_N}{x(n) - \overline{x(n)}_N} \right|}{N}$$

[0019] 其中, $\overline{x(n)}_N$ 为采样数据序列长度为N的采样窗口内各采样点对应相量的瞬时值x(n)的平均值, $y(n-L)$ 表示实际暂态录波曲线在采样点n的对应相量瞬时值y(n)左移L个采样点得到的相量瞬时值, $\overline{y(n-L)}_N$ 为将y(n)左移L个采样点后在长度为N的窗口内各录波采样点瞬时值的平均值；

[0020] 步骤6:采用下式计算相似性指标,

$$[0021] \quad s_{xy} = \begin{cases} k_{xy} \rho_{xy} & , \text{若 } k_{xy} \leq 1 \\ \frac{1}{k_{xy}} \rho_{xy} & , \text{若 } k_{xy} > 1 \end{cases}$$

[0022] 其中, k_{xy} 为步骤5所得的纯幅值变化指标, ρ_{xy} 为步骤3所得相量暂态录波曲线与实际暂态录波曲线的相关性指标;

[0023] 步骤7: 计算一段时间(例如2小时)待测PMU的相似性指标 S_{xy} 的平均值 \bar{S}_{xy} , 若某个PMU量测的相似性指标的平均值 $\bar{S}_{xy} > 1.1$ 时, 则判断PMU存在严重动态性能问题, 需要检修。

[0024] 本发明将扰动期间的PMU相量数据还原为暂态录波数据, 然后借助所提出的指标找出相量暂态录波数据与实际录波数据在相关性、计算相量算法快速响应、幅值缩放和总体相似性上的差异, 从而对PMU的动态量测性能进行定量的评价。相对于已经提出的其他PMU性能评价方法, 本发明一方面仅利用工程现场实测数据实现了PMU性能的评价, 不需要专门的测量装置和实验环境; 另一方面将PMU相量测量结果恢复为暂态录波数据并直接与最原始的暂态录波结果相比较, 克服了对不同PMU相量数据直接做比较时, 暂态过程中相量定义的不同所造成的干扰, 以及对实际现场数据难以确定标准相量计算结果的问题。相对于其他的基于瞬时值比较的评价方法, 本发明具体给出了相量动态量测在哪些特性上产生了误差。

附图说明

[0025] 图1基于瞬时值比较的PMU动态性能测试方法流程图。

具体实施方式

[0026] 下面结合说明书附图和具体实施例对本发明的技术方案做进一步详细介绍。

[0027] 如图1所示为本发明基于瞬时值比较的PMU动态性能评测方法流程图, 本发明将扰动期间的PMU相量数据还原为暂态录波数据, 然后借助所提出的指标找出相量暂态录波数据与实际录波数据在相关性、计算相量算法快速响应、幅值缩放和总体相似性上的差异, 从而对PMU的动态量测性能进行定量的评价。录波数据来自于PMU本身的扰动暂态录波或者相量量测的录波装置录波。由于目前录波装置的对时精度不如PMU, 因此通常采用PMU本身的暂态扰动记录。另外, 暂态录波装置的高密度录波时间有限, 例如4800Hz录波器的故障触发录波只有2秒, 而且包括事故前的录波, 因此对应的相量数据也不能取得太长。此外, 考虑到电网扰动过程中, 频率和电气量幅值变化剧烈, PMU相量测量单元算法和性能的优劣, 此时最容易表现出来。因此本发明重点对扰动过程中的PMU的量测质量进行在线测试并判断。因此, 在考虑上述因素后再实际环境中, 本发明的具体实施步骤如下: (1) 广域测量系统主站监测是否有频率偏移大于0.1Hz的扰动发生, 若有则记录扰动之前1~5秒和扰动之后1~5秒的相量数据, 本申请优选记录相应扰动之前2秒和扰动之后2秒的相量数据, 包括电压和电流的幅值。召唤PMU子站的录波数据, 若子站没有相应的录波数据, 则说明该扰动在PMU子站的量测点引起的量测量变化还不足够大, 没有触发PMU子站录波或者是PMU装置没有开放扰动时的暂态录波功能, 因此不具有基于瞬时值评估PMU动态性能的条件; 若PMU子站有对应时段的高密度暂态瞬时值录波数据, 则可继续进行基于瞬时值比较的PMU动态性能评估,

该段录波高密度数据的采样率通常应大于1200Hz,时间长度从扰动前到扰动后大约为几秒,通常为2秒,暂态瞬时值录波数据具有时标,便于与相量录波数据进行比对。

[0028] (2) 根据待测PMU在电网扰动期间的相量量测数据得到对应相量的幅值A,相角 Φ ,求得对应相量的瞬时值 $\sqrt{2}A\cos\Phi$,称根据相量计算出的对应相量瞬时值构成的录波曲线为相量暂态录波曲线。

[0029] (3) 计算上一步所得到的相量暂态录波曲线与实际暂态录波曲线的相关性指标,令相量暂态录波曲线上数据点 $x(n)$ 为相量采样点n处折算的瞬时值,N为采样点数, $y(n)$ 为相量采样点n处对应的故障录波器所录得的实际暂态录波曲线上的数据点,若对应的时刻无瞬时值采样点,则采用插值的方法求出该瞬时值数据点;两条曲线的相关性指标定义如下:

$$[0030] \rho_{xy} = \frac{r_{xy}}{\sqrt{r_{xx}r_{yy}}} = \frac{\sum_{n=1}^N x(n)y(n)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N x(n)^2 \cdot \sum_{n=1}^N y(n)^2}}$$

[0031] $\rho_{xy}=1$ 时两采样曲线最相关, $|\rho_{xy}|=0$ 时两曲线无关,两条曲线越相关,相关性指标越接近1,则PMU估计出的暂态录波值的变化趋势越接近实际录波装置的测量值的变化趋势。相关性指标同时考虑了周期分量和非周期分量的相关性。

[0032] (4) 计算相量算法快速响应指标L,令 $x_0(n)$ 为相量在各采样点处折算出的瞬时数据序列,N为窗口内数据采样点数, $y_0(n)$ 为对应窗口的原始录波在相量采样点处的数据序列; $y_i(n)$ 为将 $y_0(n)$ 数据序列左移i个步长(时在上述窗口内相量采样点处折算的瞬时值数据序列,其中,每步长可为1个或多个(例如m个)录波采样点,当i为负值时表示将 $y_0(n)$ 数据序列右移;按下式计算移动后的 $y_i(n)$ 与 $x_0(n)$ 的相似性指标。

$$[0033] \rho_{xy}(i) = \frac{r(i)_{xy}}{\sqrt{r(0)_{xx}r(i)_{yy}}} = \frac{\sum_{n=1}^N x_0(n)y_i(n)}{\sqrt{\sum_{n=1}^N x_0(n)^2 \cdot \sum_{n=1}^N y_i(n)^2}}$$

[0034] 式中,各变量的定义与上一步中的定义相似,下标i表示将相应的数据序列移动的步长数,0则表示不移动原数据序列。

[0035] 将 $y_i(n)$ 按步长左移4个工频周期(约为80毫秒)和右移4个工频周期,计算出各次的 $\rho_{xy}(i)$;找出 ρ_{xy} 最接近1的极大值点所对应的移动步长 i_{max} ,得到 $x_0(n)$ 相对于 $y_0(n)$ 延迟时间大约为 $L=i_{max} \cdot m$ 个采样点,即得到快速响应指标;

[0036] (5) 计算纯幅值变化指标 k_{xy} ,纯幅值变化指标即信号缩放指标,见下式,式中 $\overline{x(n)_N}$ 为长度为N的窗口内各采样点对应相量的瞬时值x(n)的平均值, $y(n-L)$ 表示实际暂态录波曲线在采样点n的对应相量瞬时值y(n)左移L个采样点得到的相量瞬时值, $\overline{y(n-L)_N}$ 为将y(n)左移L个采样点后在长度为N的窗口内各录波采样点瞬时值的平均值;该指标去掉了信号延迟和零点上下漂移(或直流成分)对信号的影响。 k_{xy} 越接近于1,则幅值缩放程度越小。

$$[0037] k_{xy} = \frac{\sum_{n=1}^N \left| \frac{y(n-L) - \bar{y}(n-L)_N}{x(n) - \bar{x}(n)_N} \right|}{N}$$

[0038] (6) 计算相似性指标,即PMU量测质量的综合指标。采用下式计算相似性指标,即同时考虑PMU测量的相位延迟、幅值缩放以及其它非周期成分影响的综合指标。当 s_{xy} 接近于1时,两条曲线最相似,则PMU估计出的暂态录波值越接近实际录波装置的测量值,即PMU的动态量测精度越高

$$[0039] s_{xy} = \begin{cases} k_{xy} \rho_{xy} & , \text{若 } k_{xy} \leq 1 \\ \frac{1}{k_{xy}} \rho_{xy} & , \text{若 } k_{xy} > 1 \end{cases}$$

[0040] (7) S_{xy} 指标同时考虑了PMU测量的相位延迟、幅值缩放以及其它非周期成分影响,可以作为评价PMU动态性能的综合指标。经过一段时间(例如2小时)的动态性能指标计算,计算相似性指标 S_{xy} 的平均值 \bar{S}_{xy} ,若某个PMU量测的相似性指标的平均值 \bar{S}_{xy} 偏离1较多,则说明相应的PMU在动态过程中的测量精度较差,即PMU的动态性能较差,当 $\bar{S}_{xy} > 1.1$ 时,认为PMU存在严重动态性能问题,需要检修。

[0041] 申请人结合说明书附图对本发明的实施例做了详细的说明与描述,但是本领域技术人员应该理解,以上实施例仅为本发明的优选实施方案,详尽的说明只是为了帮助读者更好地理解本发明精神,而并非对本发明保护范围的限制,相反,任何基于本发明的发明精神所作的任何改进或修饰都应当落在本发明的保护范围之内。

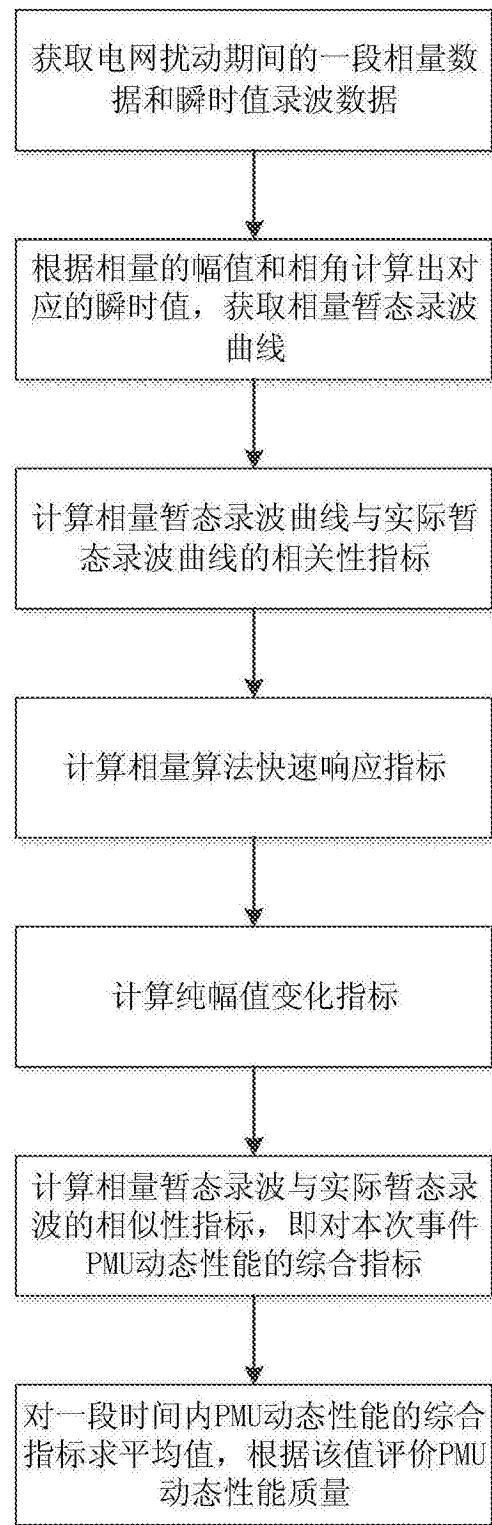


图1