



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102900600 B

(45) 授权公告日 2015. 09. 09

(21) 申请号 201110217278. 0

(22) 申请日 2011. 07. 29

(73) 专利权人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

(72) 发明人 王青岗 邢建辉 胡喜 卓越

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

代理人 李慧

(51) Int. Cl.

F03D 7/00(2006. 01)

审查员 黄晶华

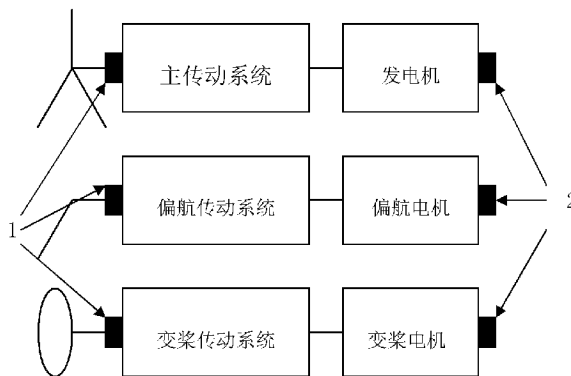
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

风力发电机状态监测方法

(57) 摘要

本发明提供了一种风力发电机状态监测方法,该状态监测方法包括以下步骤:利用位置信息,预先生成风力发电机的传动链的正常运行的参考曲线;实测位置信息,生成状态监测曲线;将所述状态监测曲线与预先生成的参考曲线进行比较,确定风力发电机的当前状态。通过本发明的监测方法,能够实现少量甚至不需要硬件投资,同时不需要AD模块,达到高信噪比的监测;并且大大降低计算量,使得监测系统更易于整合入主控制系统。此外,位置测量系统比振动测量系统更稳定,监测结果更可靠。



1. 一种风力发电机状态监测方法,其特征在于,在风力发电机的传动链的起始端与终端分别安装位置传感器(1、2),以便分别采集安装处的位置信息,其中该状态监测方法包括以下步骤:

利用所述位置信息,预先生成风力发电机的传动链的正常运行的参考曲线;

实测所述位置信息,生成风力发电机的传动链的实际状态监测曲线;

将所述实际状态监测曲线与预先生成的所述参考曲线进行比较,确定风力发电机的实际状态。

2. 根据权利要求1所述的风力发电机状态监测方法,其特征在于,所述实际状态监测曲线是传递函数波形。

3. 根据权利要求1所述的风力发电机状态监测方法,其特征在于,所述参考曲线是理想传递函数。

4. 根据权利要求1所述的风力发电机状态监测方法,其特征在于,所述参考曲线是长期监视基线。

5. 根据权利要求4所述的风力发电机状态监测方法,其特征在于,所述长期监视基线通过以下步骤获得:

在已知正常运行状态下积累正常状态数据;

对积累的正常状态数据进行概率分析;

剔除偏差较大的曲线和异常点;

形成风力发电机的长期监视基线。

6. 根据权利要求1所述的风力发电机状态监测方法,其特征在于,所述实际状态监测曲线是反向间隙分布波形。

7. 根据权利要求1所述的风力发电机状态监测方法,其特征在于,所述风力发电机的传动链包括:主传动链、变桨传动链或者偏航传动链。

8. 根据权利要求1所述的风力发电机状态监测方法,其特征在于,所述风力发电机的实际状态包括动缺陷或静缺陷。

9. 根据权利要求1所述的风力发电机状态监测方法,其特征在于,所述将所述实际状态监测曲线与预先生成的所述参考曲线进行比较,进一步包括以下步骤:

比较后生成残差曲线;

监测残差曲线;

残差曲线超过阈值则发出警报。

10. 根据权利要求1所述的风力发电机状态监测方法,其特征在于,所述将所述实际状态监测曲线与预先生成的所述参考曲线进行比较,进一步包括以下步骤:

对实际状态监测曲线进行频域分析;

监测特征故障频段;

幅值超过阈值则发出警报。

## 风力发电机状态监测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种状态监测方法,特别是一种风力发电机的状态监测方法。

### 背景技术

[0002] 在目前的风力发电机系统中,状态监视系统越来越重要,该状态监视系统方法能够避免风机过早严重损坏而停机,并优化风机的维修方案,以及防止无故障部件的误替换。即使对于陆上风力发电机,状态监视系统也变得必不可少,否则,风力发电机不能被认证机构认证,并难以获得保险。

[0003] 但现有技术的风力发电机状态监测方法存在成本高昂的问题。客户要求廉价的风力发电机,以使风能可以与传统能源相竞争。但是,目前采用的状态监视方法中采用昂贵的传感器,信号采样模块和高性能的工业计算机,组成在线监测点。所以出于成本的考虑,现有状态监视系统仅监视最重要的主驱动链,而放弃监视变桨和偏航的传动系统。因此,现有技术的风力发电机状态监测方法由于成本制约而存在未能全面监测主要设备的缺陷。

[0004] 因此,如果对风机的整个传动系统,包括主传动链,变桨和偏航的传动系统,进行监测同时不增加成本,甚至降低成本,则必须采用新的监测方法。

[0005] 同时,在现有技术中,用于风力发电机的状态监测方法包括对振动、声学、润滑油、发电机电流信号、温度和扭矩等信号数据进行分析。

[0006] 振动分析由于其可靠性及标准化,是工业领域应用最为广泛的技术,目前在风力发电机状态监测中也是最常用的技术。但是由于振动分析只能对风机低转速部位进行监测,导致其性能受限,且系统成本昂贵。

[0007] 声学分析是另一种与振动相似的技术,声学分析适用于低速旋转,能够探测到早期故障,但其需要非常高的采样频率,导致更为昂贵的成本。油/碎屑分析是一种离线监视中的常用技术,用于探测齿轮和轴承的磨损状态,但在在线系统中执行起来成本昂贵,并且难以监视闭环供油系统中的轴承缺陷。温度监视是另一种标准化技术,其用于避免在高温下工作,但其不能进一步分析以确定是否是缺陷导致温度升高。电流分析多见于学术论文中,以探测发电机故障,例如断路或短路,转子断条故障或电机气隙偏心,但未能投入商业应用,因为其低信噪比、不能实现早期故障探测且应用范围有限。扭矩测量仍处于研究阶段且成本高昂,不能够监视整个传动链。

[0008] 因此,现有技术的风力发电机传动监测方法并不适用于风力发电机的变桨和偏航系统,需要一种新的、经济且有效的监测方法。

### 发明内容

[0009] 有鉴于此,本发明提出了一种风力发电机状态监测方法。

[0010] 本发明的风力发电机状态监测方法,包括以下步骤:

[0011] 利用位置信息,预先生成风力发电机的传动链的正常运行的参考曲线;

[0012] 实测位置信息,生成风力发电机的传动链的实际状态监测曲线;

[0013] 将所述实际状态监测曲线与预先生成的所述参考曲线进行比较,确定风力发电机的当前实际状态。本发明的状态监测方法不需要安装额外的传感器并采集大量数据来进行状态分析,其仅使用传动链上的位置信号、并采用少量的计算即能够监测风力发电机的状态。

[0014] 优选地,根据本发明的风力发电机状态监测方法中,所述实际状态监测曲线是传递函数波形,传递函数波形易于测量获得,从而利于对风力发电机进行监测。

[0015] 优选地,根据本发明的风力发电机状态监测方法中,所述参考曲线是理想传递函数,理想传递函数的建立简单方便,简化了参考曲线的建立过程。

[0016] 优选地,根据本发明的风力发电机状态监测方法,所述参考曲线是长期监视基线,长期监视基线的建立能够使参考曲线与实际情况更好得符合,从而提高监测结果的可靠性。

[0017] 优选地,根据本发明的风力发电机状态监测方法,所述长期监视基线通过以下步骤获得:

[0018] 在已知正常运行状态下积累正常状态数据;

[0019] 对积累的正常状态数据进行概率分析;

[0020] 剔除偏差较大的曲线和异常点;

[0021] 形成风力发电机的长期监视基线。通过以上步骤、对获得的数据进行分析、剔除之后,最后获得的长期监视基线将更为可靠。

[0022] 优选地,根据本发明的风力发电机状态监测方法,实际状态监测曲线是反向间隙分布波形,反向间隙分布波形能够更进一步地提高监测结果的可靠性。

[0023] 优选地,根据本发明所述的风力发电机状态监测方法,所述风力发电机的传动链包括:主传动链、变桨传动链或者偏航传动链。通过对风力发电机各主要传动链的监测,能够更全面、准确地确定风力发电机的实际状态。

[0024] 优选地,根据本发明所述的风力发电机状态监测方法,所述风力发电机的实际状态包括动缺陷或静缺陷,由于对包括动缺陷或静缺陷在内的实际状态进行监测。

[0025] 优选地,根据本发明所述的风力发电机状态监测方法,所述将实际状态监测曲线与所述参考曲线进行比较,进一步包括以下步骤:比较后生成残差曲线;监测残差曲线;残差曲线超过阈值则发出警报。

[0026] 优选地,根据本发明所述的风力发电机状态监测方法,其特征在于,所述将实际状态监测曲线与所述参考曲线进行比较,进一步包括以下步骤:对实际状态监测曲线进行频域分析;监测特征故障频段;幅值超过阈值则发出警报。

[0027] 从上述方案中可以看出,利用本发明的风力发电机监测方法,能够少量甚至不需要硬件投资,同时不需要安装 AD 模块;实现高信噪比的监测;此外还大大降低了计算量,使得监测系统更易于整合入主控制系统;另外,位置测量系统要比振动测量系统更稳定,而且不仅可以诊断动缺陷(磨损、点蚀、破裂等),还可以诊断静缺陷(不恰当加工)。

## 附图说明

[0028] 下面将通过参照附图详细描述本发明的优选实施例,使本领域的普通技术人员更清楚本发明的上述及其它特征和优点,附图中:

- [0029] 图 1 为实现根据本发明的方法的传感器安装位置示意图；  
[0030] 图 2 为根据本发明的监测方法中的理想传递函数波形图；  
[0031] 图 3 为根据本发明的监测方法中的分段的传递函数波形图；  
[0032] 图 4 为根据本发明的监测方法中的正弦形传递函数波形图；  
[0033] 图 5 为根据本发明的监测方法中受干扰的传递函数波形图；  
[0034] 图 6 为根据本发明的监测方法中对受干扰的传递函数进行频率分析的示意图；  
[0035] 图 7 为根据本发明的监测方法中反向间隙分布波形的示意图；和  
[0036] 图 8 为根据本发明的监测方法的流程图。

### 具体实施方式

[0037] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，以下举实施例对本发明进一步详细说明。

[0038] 在当前的风力发电机中，主要包括但不限于以下三路传动链，即主传动链、变桨系统传动链和偏航系统传动链。上述三个传动链的主要功能是将运动从驱动端以适当比例传递到非驱动端。针对风力发电机具体而言，主传动链用于将叶片的能量传递给发电机；变桨传动链用于将动力从电机传递到变桨系统，使得叶片以最合适的攻角迎向来风方向；而偏航传动链则用于将动力从电机传递到偏航系统，使得叶片始终迎向来风方向，从而最大程度地接收风能。在理想的风力发电机传动链中，运动应当被平稳且线性地传递。但是如果存在任何故障或缺陷，运动传递将被干扰且该故障的特征会被带入该运动传递中。根据本发明的监测方法利用对风力发电机中各传动链中运动传递状态进行监测及诊断分析。

[0039] 首先参照图 1，图中显示了为了实现本发明的监测方法，位置传感器 1、2 分别安装在用于三个传动链的起始端与终端，以便分别采集安装处的位置信号。传感器可以采用粘贴安装的方式连接到传动链的两端。

[0040] 以下参照图 2-8 详细描述根据本发明的监测方法的具体执行步骤。

[0041] 具体地，根据本发明的监测方法根据以下两种运动波形来执行故障特征提取：传递函数波形和反向间隙分布波形。

[0042] 首先将参照附图描述利用传递函数波形进行的状态监测方法。如图 1 所示，首先执行运动测量步骤，即利用两组位置编码器 1、2 分别在传动链的起始端和终端测量由传动系传递的运动。在本发明的实施例中，两组编码器中的一组是基准编码器。如果传动链比例大于 1，则终端的该组编码器作为基准；否则，则以起始端的编码器组作为基准编码器。当传动链运行时，两组编码器同时记录位置点，从而产生共一时间轴的两列位置波形。通常，来自非基准编码器的位置点要少于来自基准点的位置点。接下来，按照传动系比率调整非基准编码器所采集的数据，并对其进行插值，以对应基准编码器上的每一点产生对应的点。最后，传递函数波形由一系列两组编码器位置波形的的位置差构成，且 X 轴由时间点变换成基准编码器位置。对于同一传动链，两个旋转方向下的传动函数曲线形状可能不一样。

[0043] 对于理想的传动链，传递函数波形将是直线，如图 2 所示。但如果传动链的加工、组装存在缺陷，或者长期运行导致磨损或其它缺陷，传递函数曲线会产生失真。根据本发明的监测诊断方法，可以从失真中提取出有缺陷的特征，包括与理想传递函数、长期监视基线等得比较，以及进行频率或时间频率分析。

[0044] 其中,理想传递函数波形的任何失真可能表示一些加工或组装缺陷,甚至是部件损伤。例如,图 3 显示了呈分段线性的传递函数波形,其表示传动链中的齿轮未以相同齿距加工。图 4 是由不平衡或未对中的传动链产生的典型的传递函数波形,其呈正弦波形。在另一实施例中,利用进一步的频域分析,可以通过跟踪每一轴旋转频率及其谐波来对不平衡/未对中轴进行定位。图 5 中存在数个非正常波峰,表示传递运动在这些点处被干扰,可能由污染或局部缺陷引起。

[0045] 在另外的实施例中,本发明可以采用直接比较,即为每一传递函数波形建立参考基线。参考基线是当传动链无任何缺陷时传递函数波形应当具有的形状。可以通过累积一段时间内(在该时间段内传动链没有缺陷)的一组传递函数波形来建立所述参考基线。在长期监视中,新获取的传递函数波形与参考基线相比较,并分析它们之间的偏差,包括绝对偏差、偏差速度和偏差波形统计。也可以根据传动系类型、工作状态及其基线来确定一阈值。当被监视的特征的数量超过阈值时,其表示传动系中的一些部件已处于不良状态,且它们需要检查、维修甚至替换。

[0046] 另外,在一些实施例中,传递函数波形可以在频域中分析。该分析提示了哪个部件已损坏,甚至早期缺陷也可发现。图 6 显示了对于一传动链的分析结果,其中一轴承的内表面具有剥落的缺陷。前十次测量在无缺陷状态下进行,从而产生基准;后十次测量在缺陷状态下进行。前十次和后十次测量之间的比较,在后十次测量中,内环缺陷频率及其谐波、边带均明显增加。

[0047] 除与理想参考基线直接比较之外,另一优选方法是通过长期变化监测来建立参考基线,进而与实测状态监测曲线进行分析比较。如图 8 所示,长期变化监视包括步骤:S1 对已知正常状态的数据进行积累,并将积累的数据保存在数据库中;S2 利用相应的数据处理工具对数据库中积累的数据进行概率分析;S3,在对积累的数据进行概率分析之后,剔除其中偏差较大的曲线和异常点;之后执行步骤 S4,形成风力发电机正常运转时的参考曲线。

[0048] 在本发明的监测方法中,还包括步骤 S5 实测位置信息曲线,其可以包括以下两种实现方式。第一种方式是在 S5 之后执行 S6 与参考曲线进行比较从而产生残差曲线,然后执行步骤 S7 对残差曲线进行监测,最后执行步骤 S8 当残差曲线超过预定阈值时即报警。

[0049] 在另一实施例中,在 S5 实测位置住处曲线建立之后可执行 S9 对该曲线直接进行频域分析,之后执行 S10 监测特征故障频段,最后执行 S11 当幅值超过预定阈值时即报警。

[0050] 接下来参照附图描述利用反向间隙分布波形来执行的监测方法。

[0051] 其中,反向间隙分布波形显示了传动链沿圆周方向的反向间隙分布,并可通过两个方向的传递函数曲线的差值计算。例如,当传动链处于其工作寿命期间时,齿轮也处于磨损过程中,反向间隙分布波形将逐渐上升,如图 7 中所示。并且反向间隙分布波形的标准偏差也上升。另外,松动也会引起反向间隙波形的上升,但波形将快速上升且标准偏差不会变化太大。反向间隙分布波形与运动传递波形均是监测曲线的可选方式。

[0052] 综上所述,利用根据本发明的风力发电机的状态监测方法,能够实现少量甚至不需要硬件投资,更不需要 AD 模块。此外,根据本发明的状态监测方法能够实现高信噪比的监测结果;同时在监测过程中大大降低了现有技术所需要的高计算量,使得监测系统能够更易于整合入主控制系统;而且,位置测量系统比现有技术的振动测量系统更稳定不仅可以诊断动缺陷(磨损、点蚀、破裂等),还可以诊断静缺陷(不恰当加工)。

[0053] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

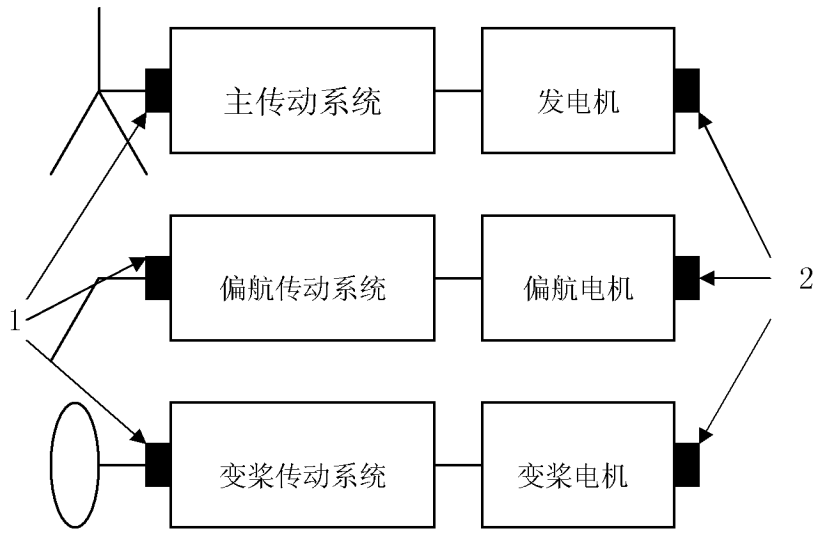


图 1

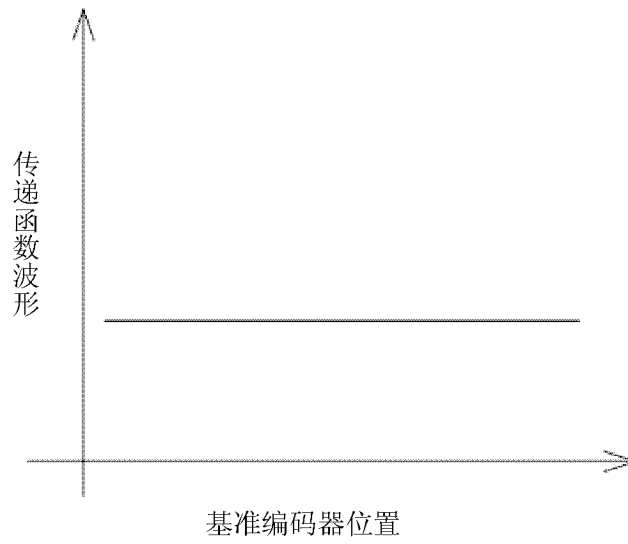


图 2



正传递函数 F3000

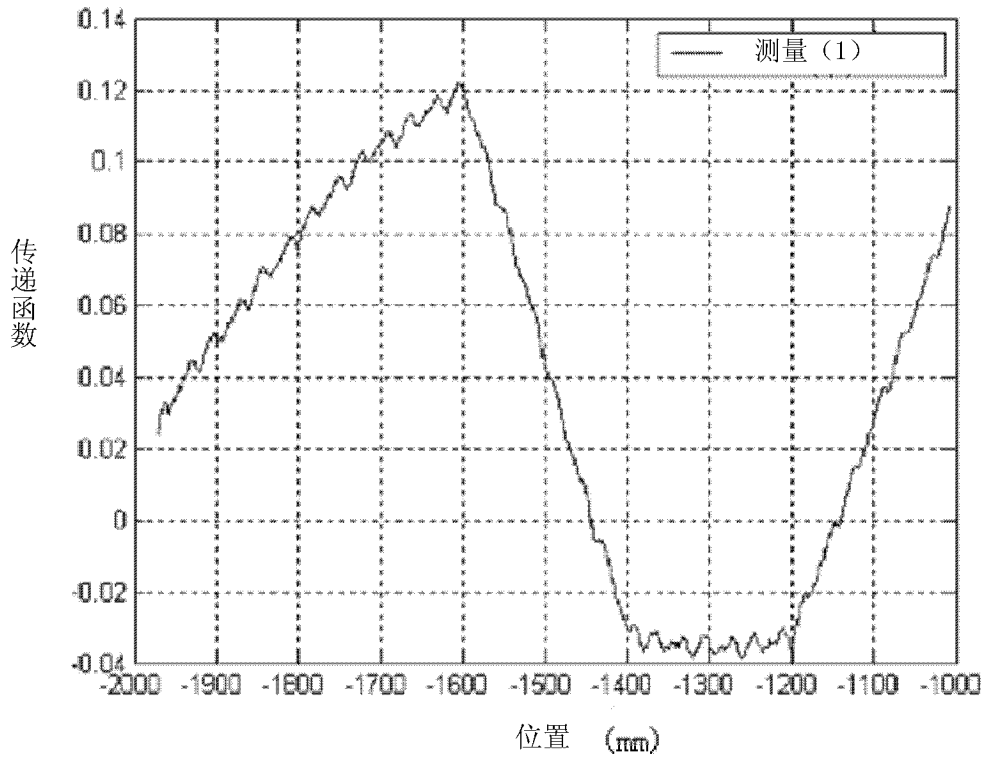


图 3

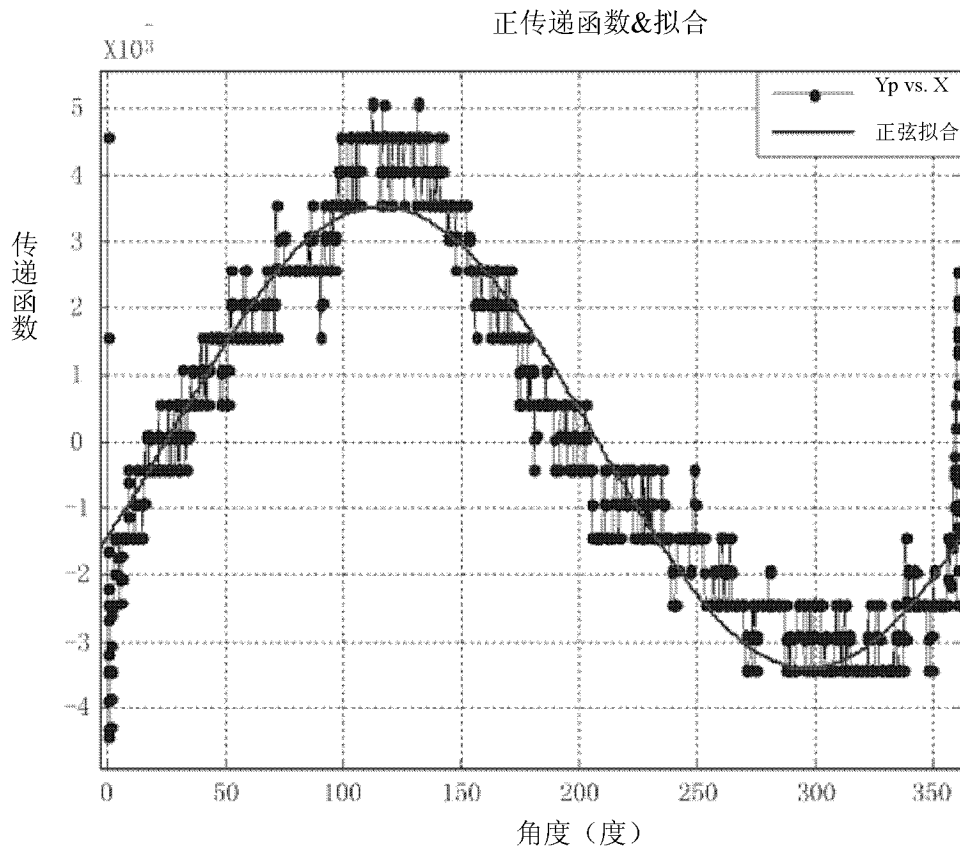


图 4

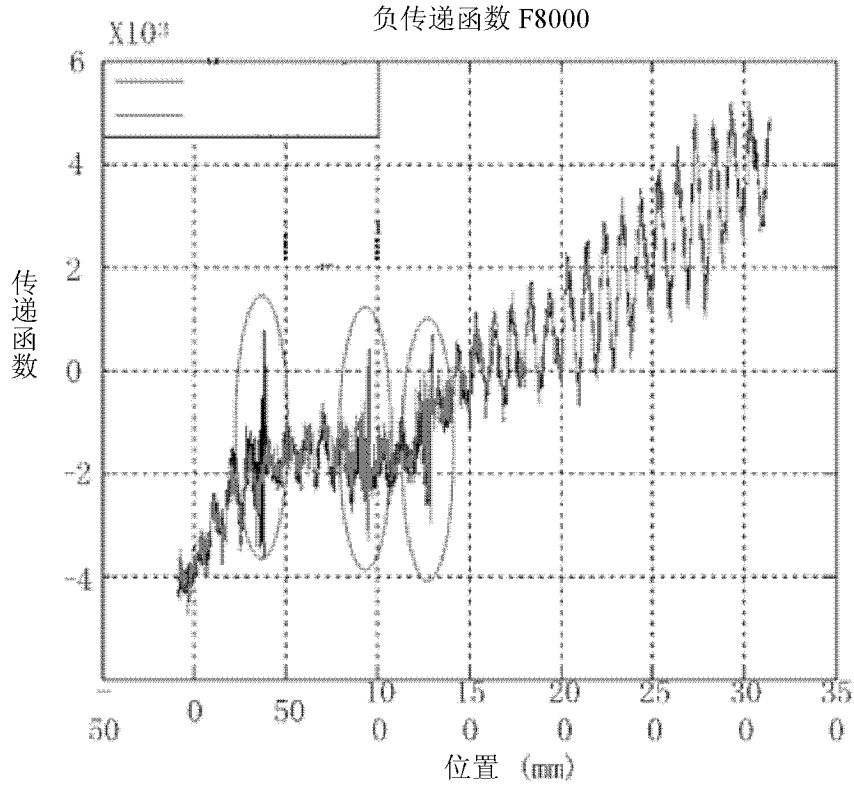


图 5

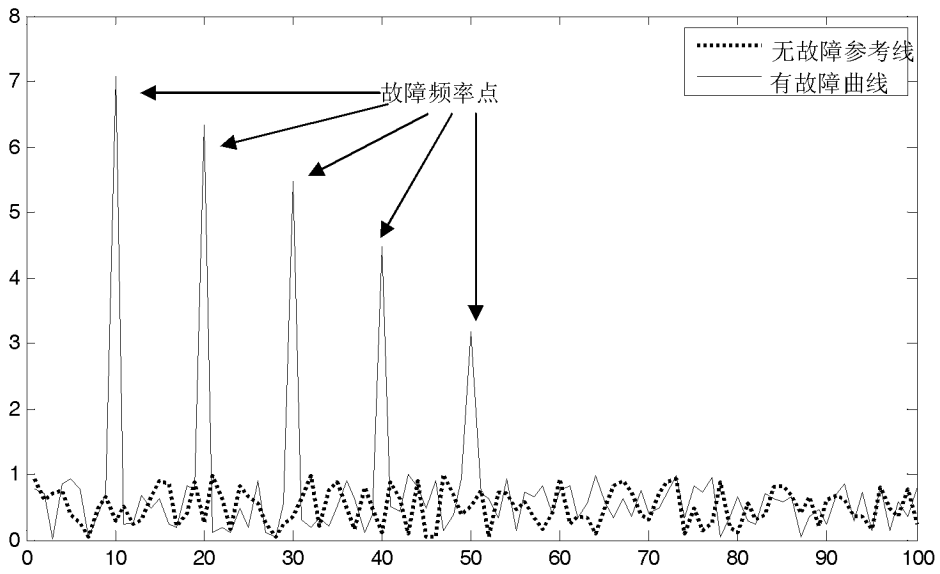


图 6

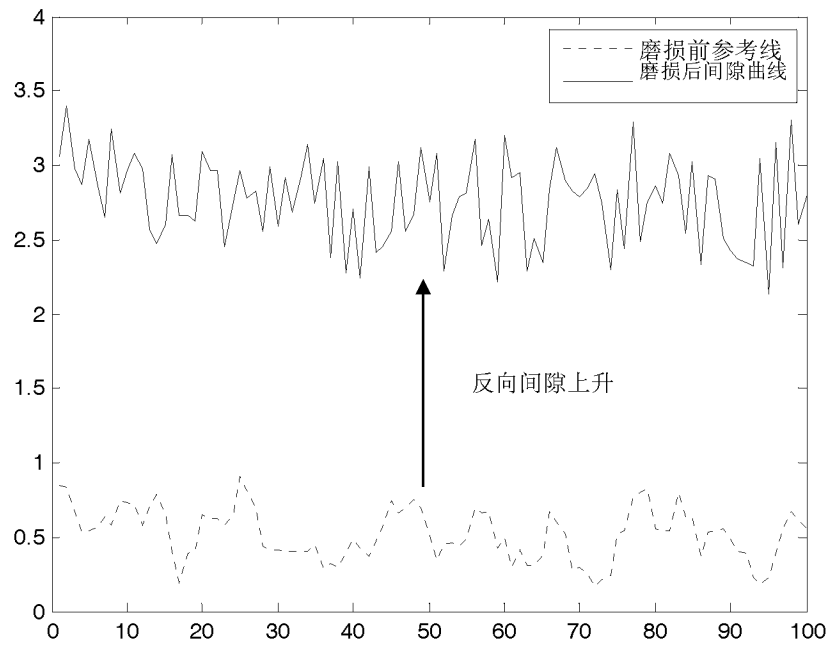


图 7

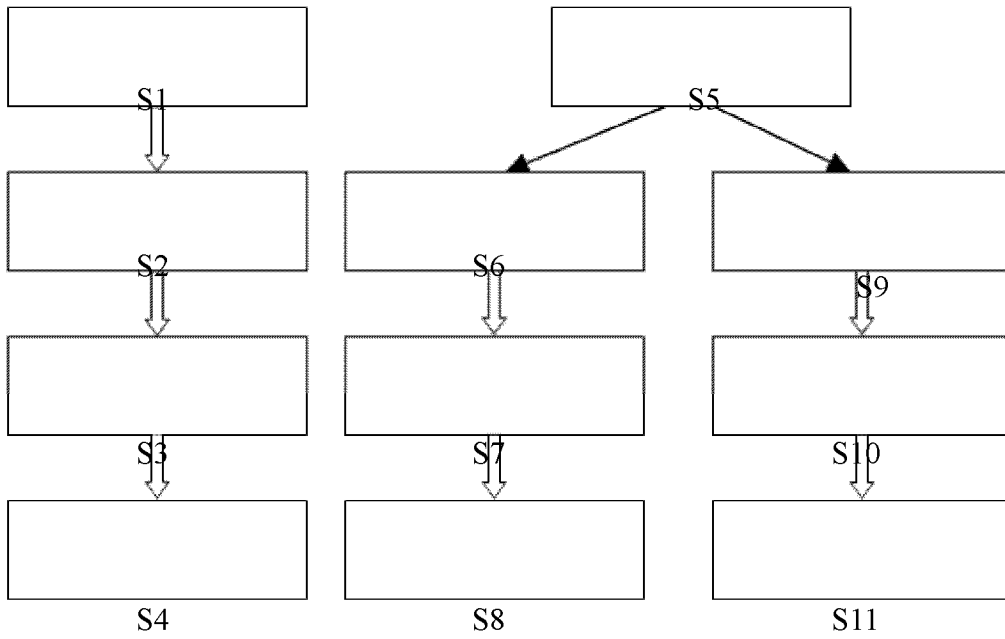


图 8