



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101995529 B

(45) 授权公告日 2015.01.28

(21) 申请号 201010503751.7

US 3859564 A, 1975.01.07,

(22) 申请日 2010.08.20

CN 2919642 Y, 2007.07.04,

(30) 优先权数据

CN 101098076 A, 2008.01.02,

PA200970094 2009.08.21 DK

CN 1423132 A, 2003.06.11,

61/235,839 2009.08.21 US

审查员 许艳丽

(73) 专利权人 维斯塔斯风力系统集团公司

地址 丹麦兰德斯希沃特

(72) 发明人 殷波 J·G·尼尔森 K·B·拉森

O·斯特赫姆 K·H·洪

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 陈松涛 蹇炜

(51) Int. Cl.

G01R 31/00 (2006.01)

G01R 21/06 (2006.01)

H02J 3/01 (2006.01)

(56) 对比文件

US 4011512 A, 1977.03.08,

EP 0645866 A1, 1995.03.29,

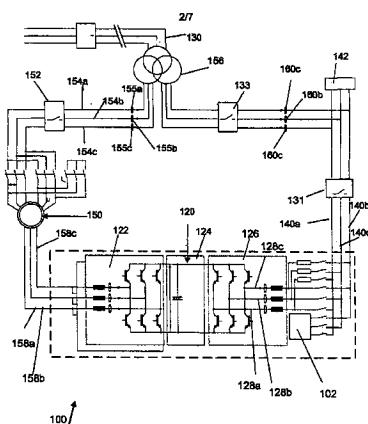
权利要求书2页 说明书13页 附图7页

(54) 发明名称

用于风力涡轮发电机中的电力滤波器的监视
以及电力滤波器失效的检测的系统和方法

(57) 摘要

一种用于确定风力发电机的电力滤波器中的故障的方法，该方法包括以下步骤：计算所述电力滤波器消耗的无功功率；以及将所计算的无功功率与预定的无功功率阈值进行比较，以确定所述故障。还公开了一种用于检测风力涡轮发电机的电力滤波器中的故障的系统，和一种计算机可读介质，所述介质包含有用于确定风力涡轮发电机的电力滤波器中的故障的计算机程序代码。



1. 一种用于确定风力涡轮发电机的电力滤波器中的故障的方法,所述方法包括以下步骤:

计算所述电力滤波器消耗的无功功率;以及

将所计算的无功功率与预定的无功功率阈值进行比较,以确定所述故障,

其中,所述计算的无功功率基于所述风力涡轮发电机的每个相线的转换器支路电流和一个转换器支路电压的测得值,及

所述测得值在所述风力涡轮发电机从预充电状态到运行状态的转变时获得。

2. 如权利要求1所述的方法,其中,计算所述电力滤波器消耗的所述无功功率的步骤包括计算所述风力涡轮发电机的并网转换器支路在一个时间段内消耗的平均无功功率。

3. 如权利要求2所述的方法,其中,计算所述并网转换器支路消耗的所述平均无功功率的步骤还包括以电压因子来调整所述并网转换器支路消耗的所述平均无功功率,以确定所述并网转换器支路消耗的已调整的平均无功功率。

4. 如权利要求2所述的方法,其中,计算所述电力滤波器消耗的所述无功功率的步骤还包括:

计算所述风力涡轮发电机的辅助电源在所述预充电状态消耗的已调整的平均无功功率;

计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述运行状态消耗的已调整的平均无功功率;以及

基于所述辅助电源消耗的所述平均无功功率的值和所述辅助电源与所述电力滤波器消耗的所述平均无功功率的值,计算所述电力滤波器单独消耗的所述平均无功功率。

5. 如权利要求4所述的方法,其中:

计算所述辅助电源在所述预充电状态消耗的已调整的平均无功功率的步骤还包括:

将直流链电容器连接至所述风力涡轮发电机的转换器支路;

在断开所述电力滤波器时,对所述直流链电容器进行预充电;以及

获得在所述预充电状态期间的所述测得值;

计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述运行状态消耗的已调整的平均无功功率的步骤还包括:

电连接所述电力滤波器;

提供时间延迟;

计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述时间段内消耗的所述已调整的平均无功功率;以及

断开所述直流链电容器。

6. 如权利要求2所述的方法,其中,一个基本周期是0.02秒,且所述时间段是一个或者多个基本周期。

7. 如权利要求1所述的方法,其中,所述电力滤波器是电网侧电力滤波器、机械侧dv/dt滤波器、或者定子滤波器之一;且所述故障至少是保险丝失效、电容器失效、或者所述电力滤波器的连接失效之一。

8. 一种用于检测风力涡轮发电机的电力滤波器中的故障的系统,所述系统包括:

计算机处理器;以及

电连接至所述风力涡轮发电机和所述计算机处理器的多个传感器；其中所述计算机处理器配置为：

基于来自所述传感器的数据计算所述电力滤波器消耗的无功功率；以及将所计算的无功功率与预定的无功功率阈值进行比较，以确定所述故障，

其中，所述传感器提供所述风力涡轮发电机的每个相线的转换器支路电流和一个转换器支路电压的测得值，及

所述测得值在所述风力涡轮发电机从预充电状态到运行状态的转变时获得。

9. 如权利要求 8 所述的系统，其中，所述处理器计算所述风力涡轮发电机的并网转换器支路在一个时间段内消耗的平均无功功率。

10. 如权利要求 9 所述的系统，其中，所述处理器还通过以电压因子调整并网转换器支路消耗的平均无功功率来计算所述并网转换器支路消耗的所述平均无功功率，以确定所述并网转换器支路消耗的已调整的平均无功功率。

11. 如权利要求 9 所述的系统，其中，所述处理器通过以下步骤计算所述电力滤波器消耗的所述无功功率：

计算所述风力涡轮发电机的辅助电源在所述预充电状态消耗的已调整的平均无功功率；

计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述运行状态消耗的已调整的平均无功功率；以及

基于所述辅助电源消耗的所述平均无功功率的值和所述辅助电源与所述电力滤波器消耗的所述平均无功功率的值，计算所述电力滤波器单独消耗的所述平均无功功率。

12. 如权利要求 11 所述的系统，其中：

所述处理器通过如下步骤计算所述辅助电源在所述预充电状态消耗的所述已调整的平均无功功率：

将直流链电容器连接至所述风力涡轮发电机的转换器支路；

在断开所述电力滤波器时，对所述直流链电容器进行预充电；以及

获得在所述预充电状态期间的所述测得值；以及

所述处理器通过如下步骤计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述运行状态消耗的所述已调整的平均无功功率：

电连接所述电力滤波器；

提供时间延迟；

计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述时间段内消耗的所述已调整的平均无功功率；以及

断开所述直流链电容器。

13. 如权利要求 9 所述的系统，其中，一个基本周期是 0.02 秒，且所述时间段是一个或者多个基本周期。

用于风力涡轮发电机中的电力滤波器的监视以及电力滤波器失效的检测的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明的实施例提供一种用于监视发电系统中的电力滤波器的性能以及检测该系统中的电力滤波器故障或失效的系统和方法。在优选实施例中，所述发电系统是大容量风力涡轮机。

背景技术

[0002] 发电系统典型地通过旋转发电机的转子来将一种能源转换成电能。以特定的电压和频率将电力供应给电网，然后电网将电力输给用户。为了确保以恒定的电压和频率供应电力，可以采用多种控制设备 / 装备。对于不是以恒定的速度转动发电机转子的风力涡轮发电机来说，要保证以期望的电压和频率提供电力是特别有挑战性的。涡轮机产生的电力必需转换成稳定的电力用于传输。

[0003] 例如，一种现有的风力涡轮发电机提供全功率转换器 (full power converter)，该转换器具有一个发电机侧有源整流器，该整流器通过直流 (DC) 链 (link) 驱动到一个电网侧 (grid side) 有源逆变器。在此配置中，该有源整流器将来自发电机的变频交流 (AC) 信号转换成直流电压，传递给直流链。有源逆变器将直流链上的直流电压转换成用于电网的固定频率交流电。该配置需要复杂而昂贵的采用有源开关（例如，绝缘栅双极晶体管—IGBT）的电路用于有源整流器和逆变器。这些类型的有源开关典型地在电力转换期间具有较高的电力损耗，并且可以引起电网上的不希望的高频谐波。

[0004] 例如，并网转换器器 (grid converter) 可能产生 5kHz 的开关频率谐波。电网侧的谐波滤波器（电网滤波器）可以用于为开关频率谐波提供通路，并防止不希望的开关频率谐波被传递给电网设备。电网滤波器可以是电容器组，其以可变的速率储存电能，并以受控的速率释放能量。电网滤波器可以利用例如保险丝连接到电网侧。

[0005] 与目前可用的风力涡轮机相关的一个问题是当所述电网滤波器的保险丝的一个或者多个熔断时，或者电网滤波器的某些其他部件失效时，所述电网滤波器就不能正常工作。在这些现有可用系统的一些中，当电网滤波器的保险丝熔断时，没有反馈信号提供给风力涡轮机控制系统。结果，风力涡轮机在没有电网滤波器的情况下继续给电网供电。然后这就会导致其他的问题，比如过电压故障警报或者与电网连接的问题。该问题可能在受到较差的整体控制在电网中进一步恶化。

[0006] 解决该问题的一个方案是提供和电网滤波器直接相连的多种电气部件来监视该滤波器的失效，并且通过控制系统将该失效报告给操作人员。然而，在现有系统中，很难找到容易安装和维护且能满足各种调节需求的部件。

[0007] 所以如果能研制出一种克服上述一个或多个问题的系统和方法，其对现有技术中就是一种改进。

发明内容

[0008] 本发明的一个方面是提供一种用于确定风力涡轮发电机的电力滤波器中的故障的方法。所述方法包括以下步骤：计算所述电力滤波器消耗的无功功率；以及将所计算的无功功率与预定的无功功率阈值进行比较，以确定所述故障，其中，所述计算的无功功率基于所述风力涡轮发电机的每个相线的转换器支路电流和一个转换器支路电压的测得值，及所述测得值在所述风力涡轮发电机从预充电状态到运行状态的转变时获得。

[0009] 在一些实施例中，所述计算的无功功率可以基于所述风力涡轮发电机的每个相线的转换器支路电流和一个转换器支路电压的测得值。计算所述电力滤波器消耗的所述无功功率的步骤可以包括计算所述风力涡轮发电机的并网转换器支路在一个时间段内消耗的平均无功功率。

[0010] 在另一些实施例中，计算所述并网转换器支路消耗的所述平均无功功率的步骤还可以包括以电压因子来调整所述并网转换器支路消耗的所述平均无功功率，以确定所述并网转换器支路消耗的已调整的平均无功功率。所述测得值可以基本上在所述风力涡轮发电机从预充电状态到运行状态的转变时获得。

[0011] 在替代实施例中，计算所述电力滤波器消耗的所述无功功率的步骤还可以包括：计算所述风力涡轮发电机的辅助电源在所述预充电状态消耗的已调整的平均无功功率；计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述运行状态消耗的已调整的平均无功功率；以及基于所述辅助电源消耗的所述平均无功功率的值和所述辅助电源与所述电力滤波器消耗的所述平均无功功率的值，计算所述电网滤波器单独消耗的所述平均无功功率。

[0012] 在一些实施例中，计算所述辅助电源在所述预充电状态消耗的已调整的平均无功功率的步骤还可以包括：将直流链电容器连接至所述风力涡轮发电机的转换器支路；在断开所述电力滤波器时，对所述直流链电容器进行预充电；以及获得在所述预充电状态期间的所述测得值。计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述运行状态消耗的已调整的平均无功功率的步骤还可以包括：电连接所述电力滤波器；提供时间延迟；计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述时间段内消耗的所述已调整的平均无功功率；以及断开所述直流链电容器。

[0013] 在一些实施例中，所述电力滤波器可以是电网侧电力滤波器、机械侧 dv/dt 滤波器、或者定子滤波器之一，且所述故障至少可以是保险丝失效、电容器失效、或者所述电力滤波器的连接失效之一。一个基本周期可以是 0.02 秒，且所述时间段可以是一个或者多个基本周期。

[0014] 本发明的替代方面提供一种用于检测风力涡轮发电机的电力滤波器中的故障的系统，所述系统包括：计算机处理器；以及电连接至所述风力涡轮发电机和所述计算机处理器的多个传感器；其中所述计算机处理器配置为：基于来自所述传感器的数据计算所述电力滤波器消耗的无功功率；以及将所计算的无功功率与预定的无功功率阈值进行比较，以确定所述故障，其中，所述传感器提供所述风力涡轮发电机的每个相线的转换器支路电流和一个转换器支路电压的测得值，及所述测得值在所述风力涡轮发电机从预充电状态到运行状态的转变时获得。

[0015] 在所述系统的替代实施例中，所述传感器可以提供所述风力涡轮发电机的每个相线的转换器支路电流和转换器支路电压与定子支路电压之一的测得值。所述处理器还可以计算所述风力涡轮发电机的并网转换器支路在一个时间段内消耗的平均无功功率。

[0016] 在其它实施例中,所述处理器还可以通过以电压因子调整并网转换器支路消耗的平均无功功率来计算所述并网转换器支路消耗的所述平均无功功率,以确定所述并网转换器支路消耗的已调整的平均无功功率。所述测得值可以基本上在所述风力涡轮发电机从预充电状态到运行状态的转变时获得。

[0017] 在一些实施例中,所述处理器可以通过以下步骤计算所述电力滤波器消耗的所述无功功率:计算所述风力涡轮发电机的辅助电源在所述预充电状态消耗的已调整的平均无功功率;计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述运行状态消耗的已调整的平均无功功率;以及基于所述辅助电源消耗的所述平均无功功率的值和所述辅助电源与所述电力滤波器消耗的所述平均无功功率的值,计算所述电网滤波器单独消耗的所述平均无功功率。

[0018] 在另外的实施例中,所述处理器可以通过如下步骤计算所述辅助电源在所述预充电状态消耗的所述已调整的平均无功功率:将直流链电容器连接至所述风力涡轮发电机的转换器支路;在断开所述电力滤波器时,对所述直流链电容器进行预充电;以及获得在所述预充电状态期间的所述测得值。所述处理器可以通过如下步骤计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述运行状态消耗的所述已调整的平均无功功率:电连接所述电力滤波器;提供时间延迟;计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述时间段内消耗的所述已调整的平均无功功率;以及断开所述直流链电容器。一个基本周期可以是0.02秒,且所述时间段可以是一个或者多个基本周期。

[0019] 本发明的另一方面提供一种计算机可读介质,其包含有用于确定风力涡轮发电机的电力滤波器中的故障的计算机程序代码,所述计算机代码配置为:计算所述电力滤波器消耗的无功功率;以及将计算的无功功率与预定的无功功率阈值进行比较,以确定所述故障。

[0020] 在一些实施例中,所计算的无功功率可以基于所述风力涡轮发电机的每个相线的转换器支路电流和转换器支路电压/定子支路电压的测得值。计算所述电力滤波器消耗的所述无功功率的步骤还可以包括计算所述风力涡轮发电机的并网转换器支路在一个时间段内消耗的平均无功功率。

[0021] 在替代实施例中,计算并网转换器支路消耗的所述平均无功功率的步骤还可以包括以电压因子来调整所述并网转换器支路消耗的所述平均无功功率,以确定所述并网转换器支路消耗的已调整的平均无功功率。所述测得值可以基本上在所述风力涡轮发电机从预充电状态到运行状态的转变时获得。

[0022] 在另外的实施例中,计算所述电力滤波器消耗的所述无功功率的步骤还包括:计算所述风力涡轮发电机的辅助电源在所述预充电状态消耗的已调整的平均无功功率;计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述运行状态消耗的已调整的平均无功功率;以及基于所述辅助电源消耗的所述平均无功功率的值和所述辅助电源与所述电力滤波器消耗的所述平均无功功率的值,计算所述电网滤波器单独消耗的所述平均无功功率。

[0023] 在另外的实施例中,计算所述辅助电源在所述预充电状态消耗的已调整的平均无功功率的步骤还可以包括:将直流链电容器连至所述风力涡轮发电机的转换器支路;在断开所述电力滤波器时,对所述直流链电容器进行预充电;以及获得在所述预充电状态期间的所述测得值。计算所述辅助电源和所述电力滤波器在所述运行状态消耗的已调整的平均无功功率的步骤还可以包括:电连接所述电力滤波器;提供时间延迟;计算所述辅助电源

和所述电力滤波器在所述时间段内消耗的所述已调整的平均无功功率；以及断开所述直流链电容器。

[0024] 所述电力滤波器可以是电网侧电力滤波器、机械侧 dv/dt 滤波器、或者定子滤波器之一。所述故障至少可以是保险丝失效、电容器失效、或者所述电力滤波器的连接失效之一。

附图说明

[0025] 对于本领域技术人员来说，根据下面结合附图所做的仅作为示例用的文字说明，本发明的实施例将能够得到更好的理解并将变得明显：

[0026] 图 1 示例风力涡轮发电机的简单示意图，其中有本发明的实施例可以用于确定电力滤波器的失效；

[0027] 图 2 示例了风力涡轮发电机的电路图，其中本发明的实施例可以用于确定电力滤波器的失效；

[0028] 图 3 示例了图 2 中电路图的关于并网逆变器和电力滤波器部分的特写；

[0029] 图 4A 示例了图 2 和 3 中所示的电网滤波器的一个实施例的示意图；

[0030] 图 4B 示例了示出图 4A 的电网滤波器的正常运行模式的示意图；

[0031] 图 4C 示例了示出图 4A 的电网滤波器的一种可能失效模式的示意图；

[0032] 图 4D 示例了示出图 4A 的电网滤波器的另一种可能失效模式的示意图；

[0033] 图 4E 示例了示出图 4A 的电网滤波器的另一种可能失效模式的示意图；

[0034] 图 5 是示例可以与本发明的系统和方法一起使用的检测过程的一种可能实施的图示；

[0035] 图 6 示例了示出本发明的方法的一种可能实施的流程图；

[0036] 图 7 示例了可以用于实施本发明的系统和方法的一种可能的计算机系统的示意图。

具体实施方式

[0037] 本发明的实施例提供一种无需安装附加的硬件部件就能警告发电系统的操作人员电力滤波器失效的系统和方法。为示例目的，以下将针对产生三相电力的风力涡轮发电机来描述本系统和方法的一个实施例。然而，应当明白在不脱离所附的权利要求所限定的本实施例的范围的情况下也可以使用其他类型和尺寸的发电机，包括单相的和多相的。作为示例，本发明的实施例可以使用双 / 单馈感应发电机、同步发电机、异步发电机、以及本领域技术人员所知晓的其他类型的发电机，同步发电机包括永磁 (PM) 发电机、内永磁 (IPM) 发电机和表面安装的永磁 (SM PM) 发电机，异步发电机包括感应发电机 (IG)、鼠笼发电机。还可以考虑全部 (full-scale) 电力系统。

[0038] 类似地，虽然下面所讨论的实施例的电力滤波器是电网侧滤波器，但是应当理解，其他类型和位置的电力滤波器也可以用于本发明的实施例中。所述的确定电力滤波器失效的方法可以应用于发电机中的任何滤波器，尤其是风力涡轮发电机。作为示例而不是限制，该滤波器包括机械侧 (machine side) dv/dt 滤波器、定子滤波器或其他类型的能够滤除开关频率谐波的电力滤波器。为了讨论目的，下面所使用的术语“电网滤波器”适用于所有的

电力滤波器。

[0039] 图 1 示例了使用本发明的实施例来确定电力滤波器失效的风力涡轮发电机 (WTG) 系统 10 的简化示意图。WTG 系统 10 可以是前述 PM、IPM、SM PM 或 IM 系统。WTG 系统 10 包括通过输入轴 22 连接到可选变速箱 24 的转子叶片 20。变速箱 24 通过输出轴 26 连接到 WTG 30, WTG 将转子叶片 20 的旋转运动转换成电能。所述可选变速箱 24 可以用于提高输出轴 26 的旋转速度。

[0040] 在该实施例中, WTG 30 配置为给固定频率 (典型地为 50 或者 60Hz) 的电网 130 供电。WTG 30 给电网 130 提供同步电力的一种方法是保证转子叶片 20 以恒定速度转动。然而, 为了提供较高的电生产效率, 可以允许转子叶片 20 的速度在一定范围内变动。这使得转子叶片 20 在任何风速下都能以最佳的速度旋转。所以 WTG 30 可以产生与电网 130 不同步的交流电。

[0041] 为了减轻此问题, 交流 / 直流转换器 35 可以通过输电线 31a、31b、31c 连接到 WTG 30 的定子绕组。所述交流 / 直流转换器 35 将 WTG 30 输出的交流电转换成直流电。所述交流 / 直流转换器 35 通过滤波电容器 36 连接到直流 / 交流转换器 40, 直流 / 交流转换器 40 将直流电转换成和电网 130 同步的交流电。在一些配置中, 变压器 (未示出) 可以放置在直流 / 交流转换器 40 和电网 130 之间。一个或者多个电力滤波器 42 和 / 或电网滤波器 44 可以电连接至输出输电线 45a、45b、45c, 所述输出输电线连接至变压器和电网 130。

[0042] 图 2 示例了风力涡轮发电机 150 的电路图 100, 其中可以使用本发明的实施例来确定电网滤波器 102 的状态以及向系统操作人员报告电网滤波器 102 中的任何失效。在此实施例中, WTG 150 是双馈感应发电机 (DFIG)。然而, 如前面所指出的那样, 应当理解, 本发明的实施例可以使用任何类型的 WTG。所述 DFIG WTG150 包括具有三相绕组的定子 (未示出), 所述三相绕组经断路开关断路器 152 通过输电线 154a、154b、154c 经升压电压变压器 156 直接连接到输电网 130。输电线 154a、154b、154c 中流入主电网 130 的电流可以通过预先存在的变换器 155a、155b、155c 来测量。在下面的讨论中, 输电线 154a、154b、154c 形成了“定子支路 (leg)”, 并且使用变换器 155a、155b、155c 测得的电流作为定子支路电流。应当理解, 也可以使用具有测量定子支路电流和 / 或定子支路电压功能的其他类型和位置的测量设备。三相转子绕组 (未示出) 通过滑环和刷组件 (未示出) 经由输电线 158a、158b、158c 连接到电力转换器 120 的转子侧。

[0043] 电力转换器 120 包括交流 / 直流机械侧整流器 122, 直流链 124 和直流 / 交流并网转换器 126。电网滤波器 102 通过输电线 128a、128b、128c 连接到并网逆变器 126 的输出端。然后, 通过输电线 140a、140b、140c 经由第一断路器 / 开关 131 和第二断路器 / 开关 133 将三相滤波电力提供给变压器 156 和主电网 130。在某些情况下, 可以提供风力涡轮机辅助电源 142 以给风力涡轮机中的某些特定部件提供电力。辅助电源 142 可以消耗来自主电网 130 的电力, 或者来自并网逆变器 126 的电力。输电线 140a、140b、140c 中流到主电网 130 的电流可以通过预先存在的变换器 160a、160b、160c 来测量。在下面的讨论中, 输电线 140a、140b、140c 形成了“并网转换器支路”, 采用传感器 160a、160b、160c 测得的电流称作的转换器支路电流。这将在后面更详细讨论。应当理解, 也可以使用具有测量转换器支路电流和 / 或转换器支路电压功能的其他类型和位置的测量设备。

[0044] 在此实施例中, 断路器 / 开关 131 可以用于在故障或者其他状况期间将电力输出

和电力转换器 120 断开。类似地，断路器 / 开关 133 可以用于在故障或者其他状况期间将电力输出和电力转换器 120 断开，以及将辅助电源 142 和主电网 130 断开。

[0045] 图 3 示例了图 2 中所示的并网逆变器 126 和电网滤波器 102 的特写视图。在此实施例中，电网滤波器 102 安装在电网扼流器 / 连接器开关 104, 106 以及断路器 133 之间。电网滤波器 102 通过电网保险丝 134c、134b、134a 分别连接到输电线 140c、140b、140a 上的点 132c、132b、132a。示例为开关 108 和预充电电阻器 109 的预充电电路可以用于在发电机起动之前或者连接到机械侧转换器之前给直流链 124 内的直流链电容器 125 供电。在预充电期间，断开开关 104, 106。在正常操作期间，一旦测得的跨直流链电容器 125 的电压达到目标值，则开关 104 和 106 接通，同时开关 108 切断。然而，本发明的方法允许开关 108 仍然保持接通达一段时间。这将在下面更详细地讨论。

[0046] 图 4A 示出了电网滤波器 102 的示意图一个范例。在此实施例中，电网滤波器 102 包括：第一电容器组 102a、第二电容器组 102b、放电线圈 102c。每个电容器组 102a、102b 通过输出线 136a、136b、136c 分别电连接到输电线 128a、128b、128c。类似地，放电线圈 102c 电连接到输电线 128a、128b、128c。当所述电网滤波器 102 由于某些原因被切断时，可以通过放电线圈 102c 对保持在电容 102a、102b 中的残余 DC 电压进行快速放电。这有助于确保在所述电网滤波器 102 重新接通时的重新连接时间短。

[0047] 应当理解，还可以使电网滤波器 102 的其他配置。例如，电网滤波器 102 可以包括一个或者多个以不同配置连接的电容器组。电容器组中所用的电容器可以是自恢复 (selfhealing) 的。只要这些配置具有对供应的电力进行包括但不限于开关频率谐波过滤的功能，电网滤波器 102 的所有这些配置能够视为落入所附的权利要求的范围内。

[0048] 图 4B 示例了图 4A 中所示的电网滤波器 102 的正常 (normal) 操作模式。在正常操作模式下，所有的三相电网滤波器 102a、102b 被连接，并且没有电网滤波器保险丝被熔断。

[0049] 图 4C-4E 示例了电网滤波器 102 的失效模式。电网滤波器 102 中所使用的自恢复类型的电容器 102a、102b 的失效模式通常是电容慢慢降低，即电容会随时间下降。电网滤波器 102 的通常失效模式可以包括保险丝 134a、134b、134c 或者接触器中的一个或者多个失效。图 4C 示例了一个电网滤波器保险丝 / 接触器 (134c) 失效导致一个电容器 103a 断开的情况。图 4D 示例了两个电网滤波器保险丝 / 接触器 (134b, 134c) 失效导致两个电容 103a、103b 断开的情况。图 4E 示例了所有电网滤波器保险丝 / 接触器失效导致所有电容 103a、103b、103c 断开的情况。为了以下讨论的目的，当电网滤波器 102 正常工作时，所有三相电网滤波器支路都工作，并且没有电网滤波器保险丝 / 接触器 / 电容器被熔断。电网滤波器失效可以包括任何保险丝失效、任何电网滤波器接触器失效、任何电容器失效、或者电网滤波器 102 中的部件的任何其他失效。

[0050] 在交流电系统中，术语“无功功率”用于表示由电感器和 / 或电容器交替储存和释放的能量。在本发明的实施例中，可以使用瞬时无功功率概念。以下参考等式 1-4 讨论图 4A-4E 中所示的电网滤波器 102 所消耗的瞬时无功功率。

[0051] 为讨论目的，假设电网电压在 0.8 功率单位 (p. u.) 到 1.2p. u. 之间变化。因此，假定无功功率计算为电压单位的平方，在正常模式下的无功功率在 $0.64Q_{\text{nom}} - 1.44Q_{\text{nom}}$ 的范围内。

[0052] 对于图 4C 中所示例的失效模式，所述电网滤波器 102 所消耗的无功功率

接近正常模式下所消耗的无功功率的一半。所以,这种情况下的无功功率的范围是 $0.32 \times Q_{\text{nom}} - 0.72 \times Q_{\text{nom}}$ 。对于图 4D 和 4E 中所示例的失效模式,电网滤波器 102 所消耗的无功功率是零。

[0053] 为示例目的,假设电容器 103a-103c 在 440V 的电压下额定 56KVar,且电网流出的标称电压是 400V(线-线),根据电网的位置标称频率是 50Hz 或者 60Hz。标称电压的值 Q_{nom} 通过下面的公式计算:

$$[0054] Q_{\text{nom}} = \text{Cap} * (V_{\text{cap}}/V_{\text{grid}})^2 \quad (\text{A})$$

[0055] 其中 Cap 是电容器额定值, V_{cap} 是电容器的电压额定值,且 V_{grid} 是电网的标称电压额定值。

[0056] 从而,对于于此所讨论的发电机而言,在标称电压下电容 102 的值 Q_{nom} 将是 46.44kVar。然而,应当理解,值 Q_{nom} 可以根据所使用的电容器类型、风力涡轮发电机的容量、线-线电压等而改变。

[0057] 本发明的系统和方法的实施例提供仅使用存在的输入来测量电网滤波器 102 在上述的每一个模式期间所消耗的无功功率的装置。然后,测量结果可以用于确定电网滤波器 102 的失效模式,然后将该失效报告给管理系统,如果所述电网滤波器 102 失效,该管理系统就发出警报。通过比较开关 104 和 106 闭合前后的无功功率的平均值完成测量。这里,假设辅助电源 142 在所述失效检测过程中没有循环开启和关断。

[0058] 图 5 是示例检测过程的一个可能实施的图示,总体由参考数字 300 表示,其可以用于本发明的系统及方法。图 6 示例流程图,总体由参考数字 400 表示,其示出了本发明的方法的一种可能实施。

[0059] 在此实施例中,用于监视和检测电网滤波器 102 的失效的各种可用信号概括于如下的表 1 中:

[0060] 表 1

[0061]

主并网转换器支路变换器 I11	MGC_IL1
主并网转换器支路变换器 I12	MGC_IL2
主并网转换器支路变换器 I13	MGC_IL3
主电网定子支路变换器 UL1	MGS_UL1
主电网定子支路变换器 UL2	MGS_UL2
主电网定子支路变换器 UL3	MGS_UL3
主并网转换器支路变换器 U11	MGC_UL1
主并网转换器支路变换器 U12	MGC_UL2
主并网转换器支路变换器 U13	MGC_UL3

[0062] 其中 MGC_LLx 表示利用,例如,变换器 160a、160b、160c 测量得到的,输送给电网 130 的并网转换器支路上的电流,其包括来自并网转换器 126 的电流和来自辅助电源 142 的电流;MGS_ULx 是在开关 152 和高压变压器 156 之间的点测得的定子支路的电压。MGC_ULx 表示并网转换器支路的每个相线的电压,其可以通过位于变换器 160 附近的电压传感器来测量。应当理解,也可以使用其他的测量点。

[0063] 于是,并网转换器支路上所消耗的无功功率 q 可以通过下面的公式 1 来进行计算:

[0064]

$$\begin{aligned} q &= \frac{1}{\sqrt{3}} [(MGC_{UL1}-MGC_{UL2}) \times MGC_{LL3} + (MGC_{UL2}-MGC_{UL3}) \times \\ &\quad (MGC_{LL1}+MGC_{LL3}-MGC_{LL2}) \times MGC_{LL2}] \\ &= 15(MGC_{v_\beta} \times MGC_{i_\alpha} - MGC_{v_\alpha} \times MGC_{i_\beta}) \end{aligned} \quad (1)$$

[0065] 其中,上述 MGC_LLx 和 MGC_ULx 定义为 a-b-c 原始框架内的并网转换器支路,MGC_{v_\alpha} 和 MGC_{v_\beta} 表示 a-β 框架内的主并网转换器支路电压,MGC_{i_\alpha} 和 MGC_{i_\beta} 表示在 a-β 框架内的主并网转换器支路电流,其中:

$$[0066] \begin{bmatrix} MGC_{i_\alpha} \\ MGC_{i_\beta} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} MGC_{LL1} \\ MGC_{LL2} \\ MGC_{LL3} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[0067] \begin{bmatrix} MGC_{v_\alpha} \\ MGC_{v_\beta} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} MGS_{UL1} \\ MGS_{UL2} \\ MGS_{UL3} \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0068]

$$\begin{bmatrix} MGC_{UL1} \\ MGC_{UL2} \\ MGC_{UL3} \end{bmatrix} = \text{匝数比} \begin{bmatrix} MGS_{UL1} \\ MGS_{UL2} \\ MGS_{UL3} \end{bmatrix} \quad (4)$$

[0069] 在直接测量值 MGC_ULx 的电压传感器不可用时,需要公式 4。值 MGS_ULx 表示测得的定子支路电压,将其乘以变压器 156 的匝数比来确定 MGC_ULx。在某些实施例中,使用 q 在 a-b-c 框架内的定义。替代地,使用到 a-β 框架的变换。

[0070] 在一个实施例中,W TG 系统是实比电力系统,并且发电机的电力输出提供给背对背电力转换器,其后耦合到电网滤波器。测量并网转换器支路的电流和电压直接测量结果,来确定电网滤波器的无功功率消耗。

[0071] 继续参考图 6,所述方法 400 开始的第一步是使能电力滤波器检查并将所有变量设置为零,如参考数字 402 所示。例如,可以在系统的操作人员开启一个或者多个控制微处理器上的软件程序时,完成该使能步骤,所述微处理器接收来自系统的数据并为系统提供各种控制功能。

[0072] 如上所述,所述方法 400 采用无功功率的平均值。为了确定所述无功功率的平均

值,应当确定一个采样期。为示例目的,我们将使用 100 微秒 (μs) 作为采样期。应当理解,也可以使用其他的采样期。采用 100 μs 的采样期,并网转换器支路在基本周期 (0.02 秒) 内的平均无功功率可以计算为 :

$$\begin{aligned} \bar{q} &= \int q dt \\ [0073] \quad &= \frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} q(i) \end{aligned} \quad (5)$$

[0074] 在该实施例中,等式 (1) 和 (5) 中所计算的无功功率包括风力涡轮机辅助电源 142 和电网滤波器 102 (见图 1) 所消耗的无功功率。为了确定电网滤波器 102 独自所消耗的无功功率,需要考虑多个因素。

[0075] 首先,可以注意到,在正常情况 (图 4B) 和第一失效情况 (图 4C) 之间存在交叠区域。如前面所述,在正常模式下电网滤波器所消耗的无功功率在 $0.64Q_{\text{nom}} - 1.44Q_{\text{nom}}$ 之间。在第一失效情况下电网滤波器所消耗的无功功率是正常模式下所消耗的无功功率的一半,即在 $0.32Q_{\text{nom}} - 0.72Q_{\text{nom}}$ 之间。为了补偿在这些范围内的交叠合,在平均无功功率的计算 (公式 5) 中引入电压因子来消除电网电压变动的影响。如下所示 :

[0076]

$$\bar{Q} = \bar{q} \cdot U_{\text{因子}} \quad (6)$$

[0077] 其中 \bar{Q} 是并网转换器支路的经过调整的平均无功功率,且电压因子 U_{factor} 定义为 :

[0078]

$$U_{\text{因子}} = \frac{U_{\text{NOM}}^2}{[(UL1_RM\ S)^2 + (UL2_RM\ S)^2 + (UL3_RM\ S)^2]/3} \quad (7)$$

$$[0079] \quad UL1_RM\ S = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} [MGC_UL1(i)]^2} \quad (8)$$

$$[0080] \quad UL2_RM\ S = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} [MGC_UL2(i)]^2} \quad (9)$$

$$[0081] \quad UL3_RM\ S = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} [MGC_UL3(i)]^2} \quad (10)$$

[0082] U_{NOM} 是标称电网电压。

[0083] 第二个需要考虑的因素是上述计算的值 \bar{q} 和 \bar{Q} 取决于图 1 和 2 中所示的特定电路配置的事实。无功功率 \bar{q} 和 \bar{Q} 能够包含辅助电源 142 和电网滤波器 102 所消耗的无功功率。为了获得电网滤波器 102 单独消耗的无功功率,可以在开关 104 和 106 闭合前和闭合后计算和比较无功功率。下面要考虑两个不同阶段,阶段 a 和阶段 b,其提供风力涡轮发电机在“预充电”状态和“运行”状态之间转变。

[0084] 在阶段 a 中,开关 108 设置为开启,且开关 104 和 106 为关断,如图 6 中参考数字 404 所示。然后直流链电容器 125 (图 3) 通过一个或者多个预充电电阻器 109 被充电。在

该阶段，无功功率 \bar{q} 和 \bar{Q} 值仅包括风力涡轮机辅助电源 142 所消耗的无功功率。

[0085] 在阶段 b 中，当所述直流链电压达到某个电压值时，例如 500V，开关 104 和 106 接通，同时电网滤波器 102 被连接。在此“运行”阶段，无功功率 \bar{q} 和 \bar{Q} 值包括风力涡轮机辅助电源 142 和电网滤波器 102 所消耗的无功功率。

[0086] 在该实施例中，如果辅助电源 142 在阶段 a 和阶段 b 中消耗的无功功率相同，那么阶段 a 和阶段 b 之间的无功功率差值就是电网滤波器 102 所消耗的无功功率。然而，辅助电源 142 在两阶段中并非总是消耗相同的无功功率。例如，在正常运行期间，风力涡轮发电机可以自动偏航以保持机舱对准风向。冷却系统（未示出）可以自动运行以冷却发电机 120。所以，在阶段 b 可能会需要一些来自辅助电源 142 的辅助电能。从而，阶段 a 和阶段 b 之间的无功功率差值可以不代表电网滤波器 102 所消耗的无功功率。

[0087] 为了减少在电网滤波器失效检测过程中辅助电源 142 循环开启和关断的可能性并获得电网滤波器无功功率，可以使检测过程既连续而又短暂，并且可以检查数据的一致性。参考图 5，图示 300 的左轴 301 示出了开关 104, 106 和 108 的开启 - 关断状态，下轴 303 是以秒为单位的时间。注意到开关 104 和 106 是同时连接到电网滤波器 102。然而，应当理解，可以使用包括更多或者更少开关数量的各种电路。

[0088] 如图示 300 所示例，恰好在开关 104 和 106 开启前，同时开关 108 为开启的情况下，可以处理 10 个基本周期无功功率数据，从而获得阶段 a 期间的无功功率平均值 (\bar{Q}_a)，如图 5 中参考数字 302 和图 6 中参考 406 所示。应当理解更多或者更少个数的基本周期也可以用作期望的时间段。下面详细讨论步骤 406 中所示的值 ΔQ 的计算。

[0089] 其后，可以插入 0.1 秒的延时以避开和开关 104, 106 的闭合相关联的瞬时时段，如图 5 中参考数字 304 和图 6 中参考数字 408 所示。应当理解，可以被使用其他的期望时间延迟值，长于或者短于 0.1 秒。接下来，开关 104 和 106 开启，如参考数字 410 所示。

[0090] 然后，可以处理无功功率的另外 10 个基本周期数据，以获得阶段 b 期间的无功功率平均值 (\bar{Q}_b)，如图 5 中参考数字 306 和图 6 中参考数字 412 所示。下面详细讨论步骤 412 中所示的对值 ΔQ 的计算。例如，整个检测过程仅仅需要 0.5 秒。应当理解，如上所述，其他的时间段，延时和周期数量，或长或短，都可以被使用。

[0091] 为了确定所述辅助电源 142 在监视过程中没有循环开启和关断，如参考数字 414 所示，可以检查所述的两组 10 个基本周期数据的一致性。下面讨论检查数据的过程。

[0092] 一个基本周期数据的平均值可以定义为

$$[0093] \bar{Q}_{a_i} = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} Q_{a_k} \quad (11)$$

$$[0094] \text{以及} \bar{Q}_{b_i} = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} Q_{b_k} \quad (12)$$

[0095] 其中 $\bar{Q}_{a_i} \sim \bar{Q}_{a_{10}}$ 和 $\bar{Q}_{b_i} \sim \bar{Q}_{b_{10}}$ 是基于以上定义的等式 6 计算的。

[0096] 为了确定辅助电源 142 在检测过程中没有循环开启和关断，应当满足下列等式：

$$[0097] \left| \bar{Q}_{a_i} - \bar{Q}_{a_k} \right| \leq \Delta Q \quad i, k = 1 \sim 10 \quad (13)$$

[0098] $\left| \{Q_{-b_i} - \bar{Q}_{-b_k}\} \right| \leq \Delta Q \quad i, k = 1 \sim 10 \quad (14)$

[0099] $\left| \{Q_{-b_i} - \bar{Q}_{-a_j}\} \right| \in [Q_{-Min} \dots Q_{-Max}] \quad (15)$

[0100] 其中阶段 a 和阶段 b 的平均无功功率是

[0101] $\bar{Q}_{-a} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \bar{Q}_{-a_i} \quad (16)$

[0102] $\bar{Q}_{-b} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \bar{Q}_{-b_i} \quad (17)$

[0103] 且 ΔQ 和 $[Q_{-Min} \dots Q_{-Max}]$ 是由风力涡轮发电机的操作人员选择的值。作为示例而不是限制, ΔQ 可以选择为 $0.05Q_{nom}$, 而 $[Q_{-Min} \dots Q_{-Max}]$ 可以选择为 $[-0.2Q_{nom} \dots 1.2Q_{nom}]$ 。注意, 如前面所述那样, 在步骤 406 和 412 中计算值 ΔQ 。

[0104] 如果公式 13-15 没有得到满足, 那么辅助电源 142 在检测过程中循环开启和关断。此时, 可以终止电力滤波器检查, 如参考数字 416 和 417 所示。

[0105] 如果等式 13-15 得到满足, 那么辅助电源 142 在检测过程中没有循环开启和关断, 如参考数字 418 所示。那么就能获得电网滤波器所消耗的平均无功功率为

[0106] $Q = \bar{Q}_{-b} - \bar{Q}_{-a} \quad (18)$

[0107] 如参考数字 420 所示。

[0108] 于是可以将上面计算的无功功率值 Q 和期望值, 即无功功率阈值相比较, 从而确定是否检测到了电力滤波器故障, 如参考数字 422 所示。作为示例而不是限制, 如果

[0109] $Q \leq 0.75Q_{nom} \quad (19)$

[0110] 则可能产生故障状况, 其中 Q_{nom} 表示在具有标称电网电压的正常运行模式下所消耗的无功功率, 如先前所定义。应当理解, 待使用的 Q_{nom} 具体百分数可以由风力涡轮发电机的系统管理员来规定, 使得在测试和操作期间可以对其进行容易地进行调整。类似地, 值 “ Q/Q_{nom} ” 也可以由系统管理员规定的。所以, 等式 19 可以写成下面的等式 20 :

[0111]

以 p.u. 为单位的测得的电容器值 $= \frac{Q}{Q_{nom}}$ ≤ 以 p.u. 为单位的电容器断路电平 $\quad (20)$

[0112] 如果等式 20 得不到满足, 则值 Q 在可接受限度内, 如参考数字 426 所示。然后可以开始 WTG 的正常运行, 如参考数字 428 所示。

[0113] 但是, 如果公式 20 得到满足, 则确定故障状况, 如参考数字 430 所示。然后报错信息可以发送给操作人员, 比如“滤波器电容器值太低, 计算为 :xxxxp. u., 应当在 xxxx.p. u. 以上”, 如参考数字 432 所示。

[0114] 在一个实施例中, 给风力涡轮机系统 10 提供诊断系统。该诊断系统可以包括测试和诊断电气系统及独立部件的能力, 独立部件诸如是发电机、变压器、接触器、滤波器、半导体开关设备等等。如前所述的用于监视所述电网滤波器 102 的方法 400 作为该诊断系统的部分实施。可以实施滤波器温度监视方案以作为方法 400 的补充。

[0115] 其他测试方法也可以用于所述电气系统的诊断系统,或者用于电网滤波器 102、任何其他独立部件,或者部件组。例如,周围温度测试、电气参数监视、频率响应分析、部分放电检测,或者任何其他测试方案都可以用作所述诊断系统的部分。该诊断系统还可以包括诸如控制系统中控制某个独立部件或者部件组的功能性。该诊断系统还可以响应于所检测到的某些故障修改风力涡轮发电机的电力产量,或是预先 (pre-emptively) 关闭涡轮机。也可以响应于对一个部件接近失效的确定,给风力涡轮机的维护方案呈现维护请求的输入信号。

[0116] 就算法和关于计算机存储器内的数据的操作的函数或符号描绘,明确地或者暗示地呈现了以上描述的一些部分。这些算法描述和函数或符号描绘是数据处理领域中的普通技术人员使用的最有效地传达其工作实质给本领域其他技术人员的手段。这里的算法,通常理解为导致期望结果的自相容的系列。所述步骤是需要物理量的物理操作的那些,物理量诸如是能进行储存、传输、组合、比较或者其他操作的电、磁或光信号。

[0117] 除非特别强调,如同下文清楚描述那样,在整个本说明书中,使用术语诸如“扫描”、“计算”、“确定”、“取代”、“产生”、“启动”、“输出”等等的讨论,指计算机系统或者类似电子设备的动作和处理,所述计算机系统和电子设备对计算机系统内那些代表物理量的数据进行处理并将其转换为计算机系统、或其他信息储存、传输或显示设备内代表物理量的其他类似数据。

[0118] 本说明书还披露了一种设备,比如处理器 110,用于执行所述方法的操作。该设备为了所述目的而特别构造,或者其包括多用途计算机,或由计算机内储存的计算机程序可选择性地激活或者重新配置的其他装置。这里出现的算法和显示并不与任何特定的计算机或其他装置固定关联。可以根据这里的教导使用各种多用途机器与程序。或者,能执行所需方法步骤的更特定装置的结构可以是合适的。传统多用途计算机的结构通过下面说明变得清楚。

[0119] 另外,本说明书含蓄地披露了一种计算机程序,本领域技术人员清楚地知道通过计算机代码可以实施所述方法的独立步骤。所述计算机程序不被限制为任何特定的编程语言及其实施。应当理解,各种编程语言和编码方式都可以用于实施于此所包含的公开的教导。另外,所述计算机程序不被限制为任何特定的控制流程。存在计算机程序的许多其他变形,在不脱离本发明精神或范围的情况下其可以使用不同控制流程。

[0120] 另外,所述计算机程序的一个或者多个步骤可以并行执行而不是顺次执行。这样的计算机程序可以储存在任何计算机可读介质上。所述计算机可读介质可以包括储存装置,诸如磁盘或者光盘、存储器片或者其他适合与多用途计算机连接的储存装置。所述计算机可读介质也可以包括硬连线介质,诸如互联网系统中,或者无线介质,诸如 GSM 移动电话系统中。当在多用途计算机上有效地装载并执行所述计算机程序时,就能使设备实施优选方法的步骤。

[0121] 本发明还可以实施为硬件模块。更具体地,是硬件的意义上,模块是设计为和其他部件或模块一起使用的功能硬件单元。例如,可以使用分离的电子部件实施模块,或者其能形成整个电路的一部分,电路诸如是专用集成电路 (ASIC)。存在其他许多可能性。本领域技术人员应当理解所述系统也能被实施为硬件和软件模块的组合。

[0122] 范例实施例的所述方法和系统能实施在计算机系统 500 上,如图 7 示意性地示出

的。其可实施为软件,诸如能在计算机系统 500 内执行的计算机程序,并且指示计算机系统 500 执行范例实施例的方法。

[0123] 计算机系统 500 包括计算机模块 502、诸如键盘 504 和鼠标 506 的输入模块、以及诸如显示器 508 和打印机 510 的多个输出设备。应当理解,计算机系统 500 和各种输入输出设备都可以远离风力涡轮发电机 100 设置。或者,计算机系统 500 的一部分与风力涡轮发电机 100 一起设置,而其他部分远离风力涡轮发电机 100 设置。还应当理解,多个计算机系统可以用于实施上述方法 400 的各个部分。

[0124] 计算机模块 502 可以通过适合的收发器 514 连接到计算机网络 512,使其能接入例如互联网或者其他网络系统,诸如局域网 (LAN) 或广域网 (WAN)。

[0125] 范例中的计算机模块 502 包括处理器 518,随机存取存储器 (RAM) 520 和只读存储器 (ROM) 522。计算机模块 502 还包括多个输入 / 输出 (I/O) 接口,例如连接到显示器 508 的 I/O 接口 524,连接到键盘 504 的 I/O 接口 526。所述计算机模块 502 的部件通常都是通过互连总线 528 并以本领域技术人员知晓的方式通信。

[0126] 将应用程序提供给计算机系统 500 的用户,该程序被编码在数据储存介质诸如 CD-ROM 上或者闪存载体上,并且通过数据储存装置 530 的对应的数据储存介质驱动读取。所述应用程序在其执行过程中由处理器 518 读取和控制。程序数据的中间存储可以通过 RAM 720 实现。

[0127] 本发明的实施例具有多个优点。因为所述系统和方法可以利用当前的可用电压和电流测量值来实施,所以不需要在 WTG 上安装附加硬件。所述系统和方法在确定一个或者多个连接到 WTG 的电力滤波器的故障状况方面提供了低成本的选择。从而当前系统和方法可以用于在 WTG 的部件发生任何损坏以前警告操作人员电力滤波器失效。

[0128] 本发明的实施例提供一种系统和方法来准确地检测所有电力滤波器失效。该方法通过检查来指示所检测到的结果是否不准确。该方法不仅能在标称电压下检测电力滤波器失效,而且能在允许的操作电网电压下检测。

[0129] 本领域技术人员应当理解,在不脱离描述的发明的宽广精神或范围的情况下可以对如实施例所示的本发明做出许多变型和 / 或改动。所以本发明的实施例在所有方面只是为了说明而不是限制。

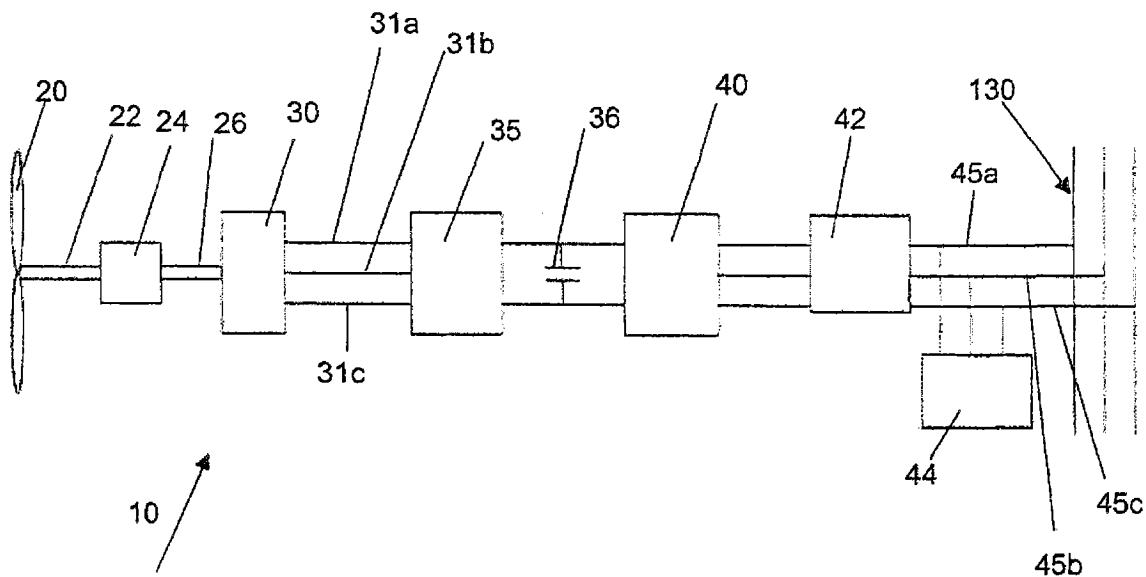


图 1

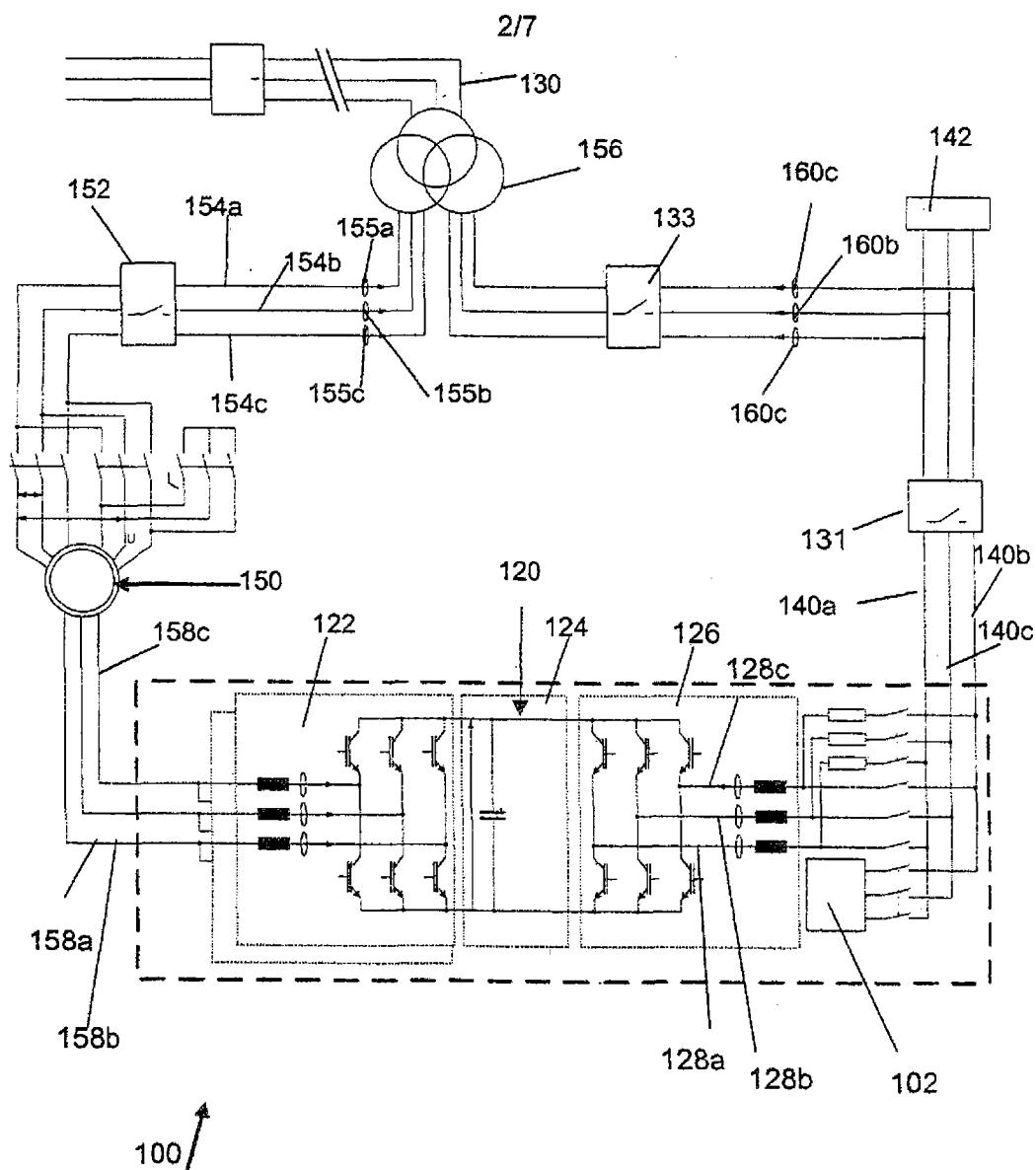


图 2

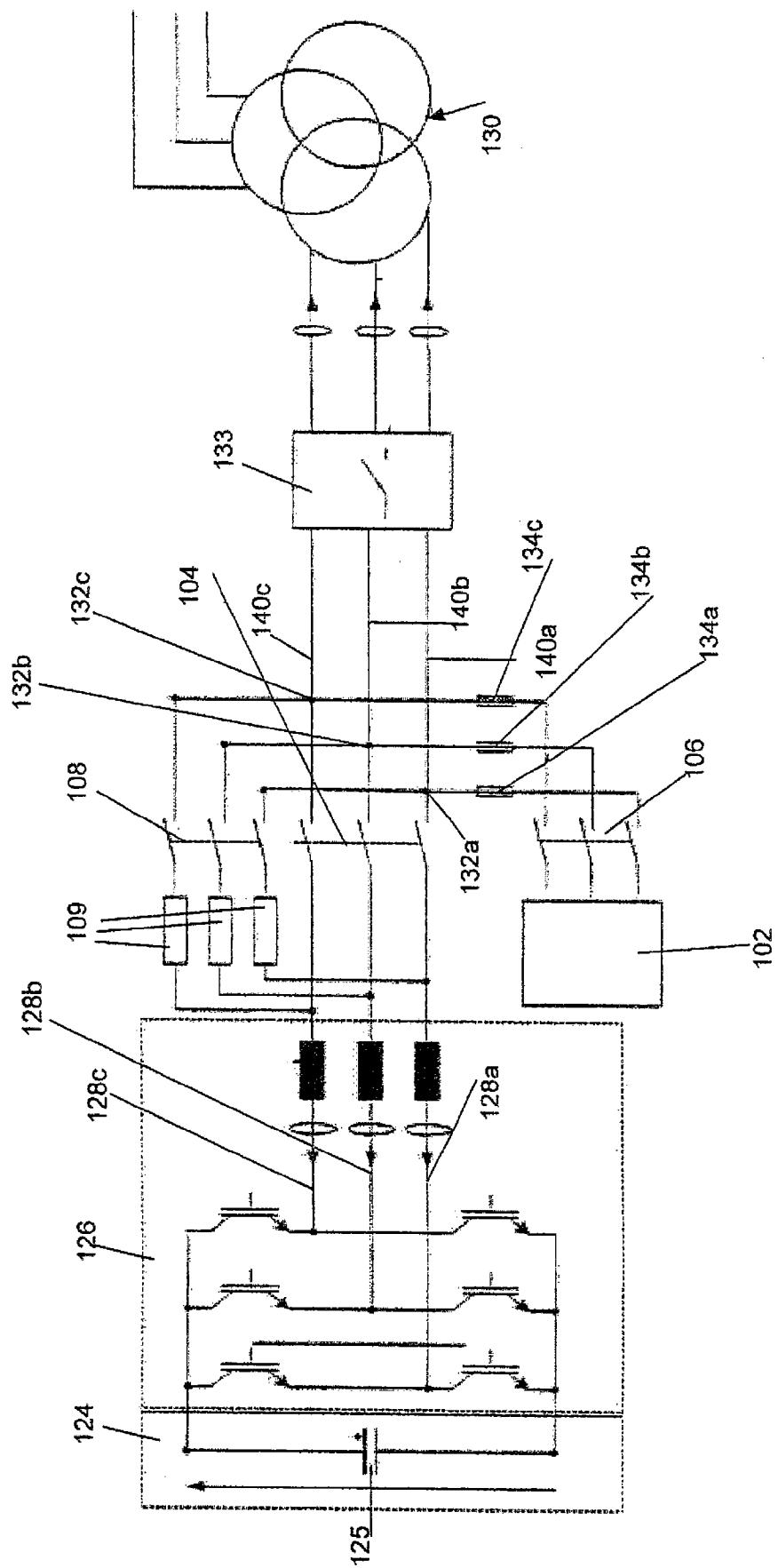


图 3

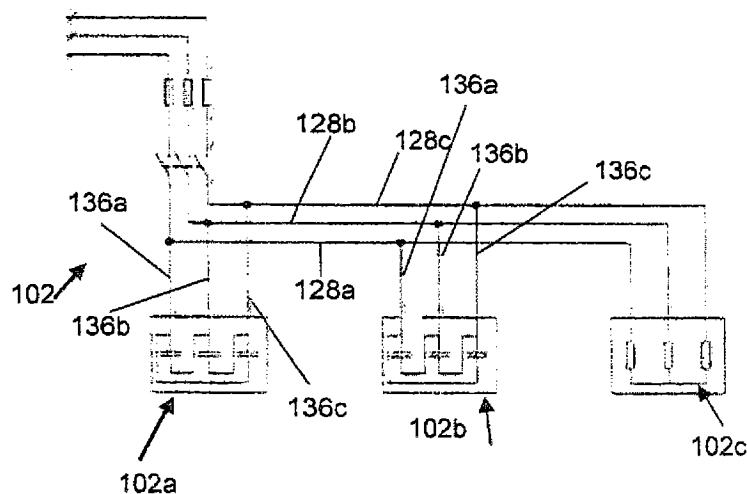


图 4a

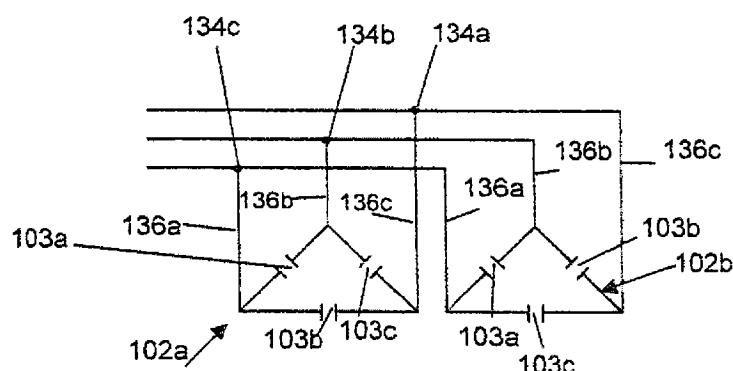


图 4b

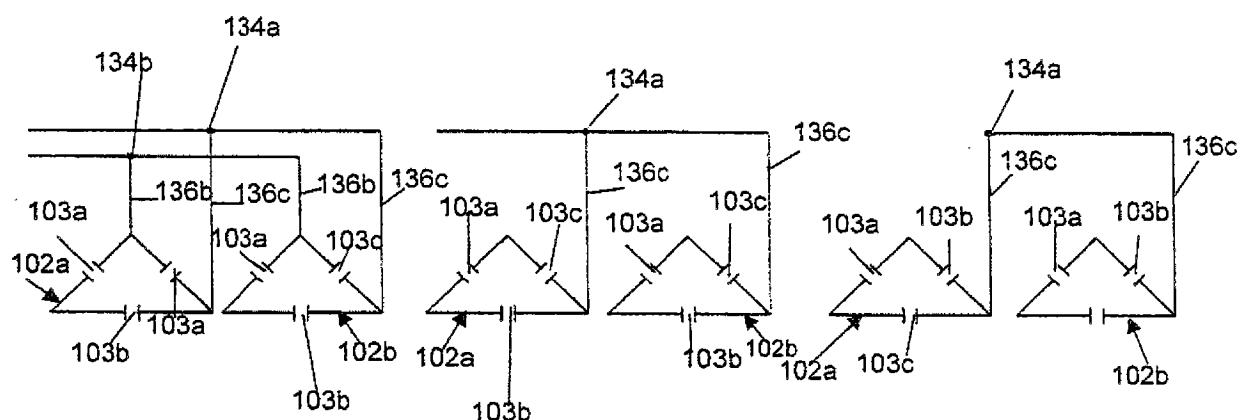


图 4c

图 4d

图 4e

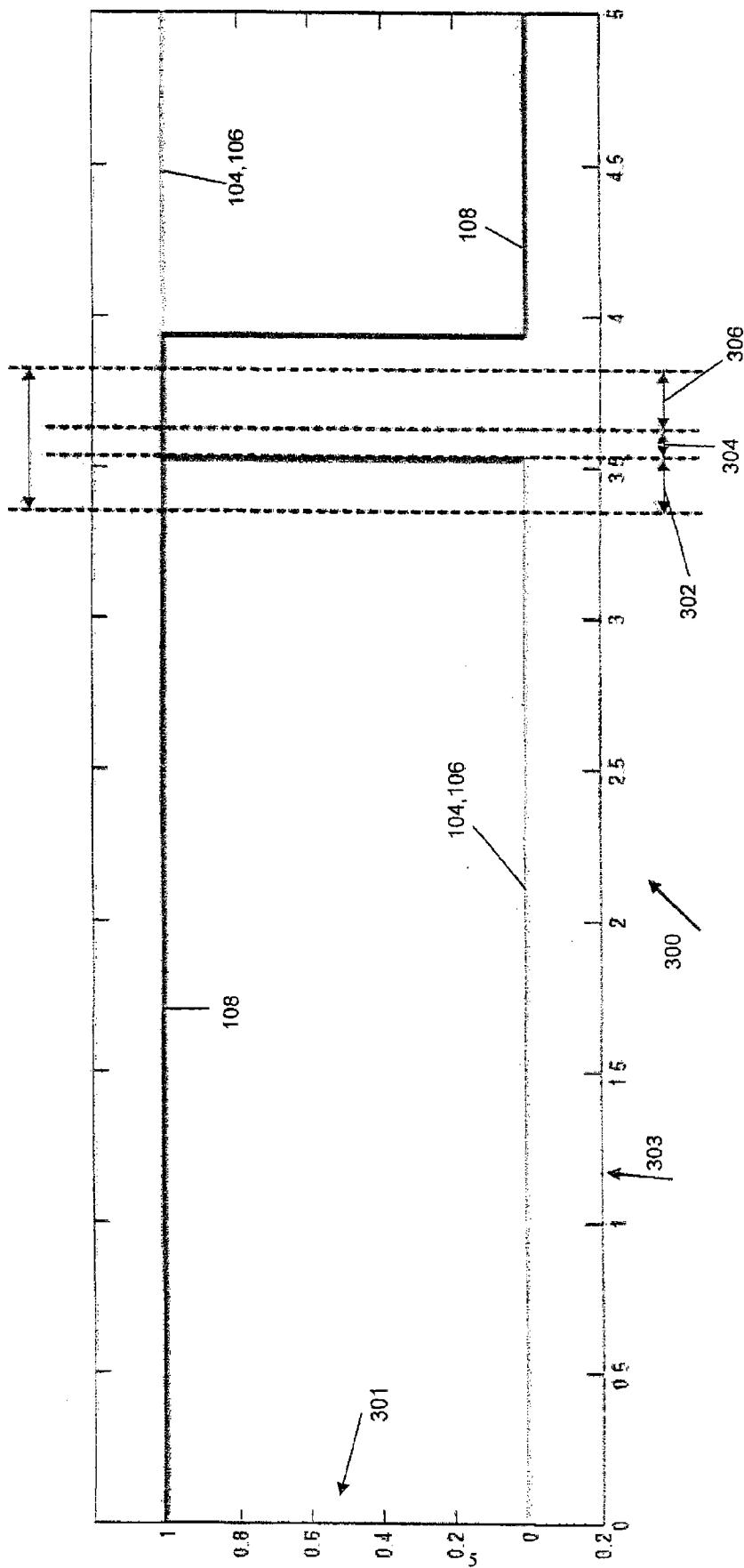


图 5

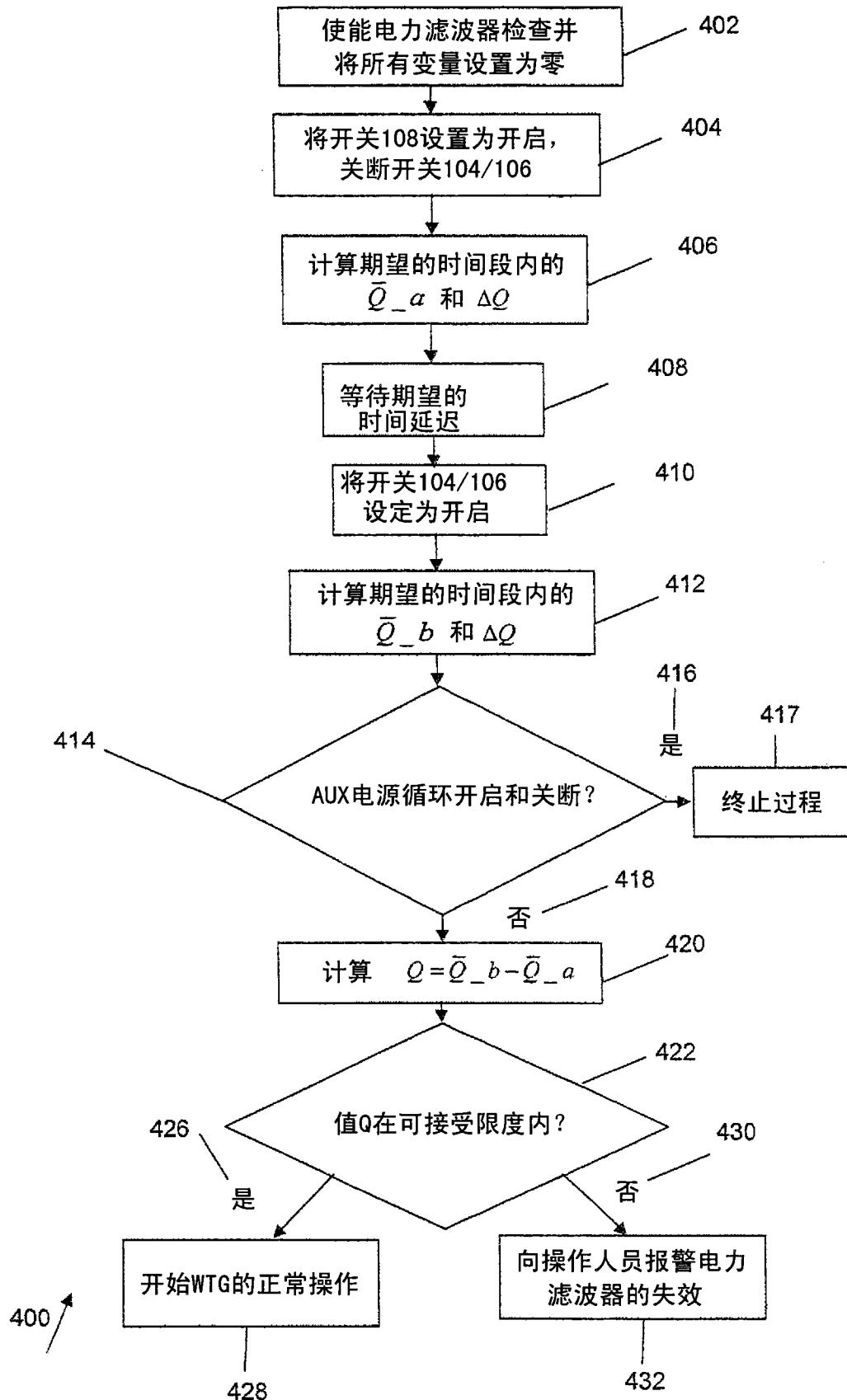


图 6

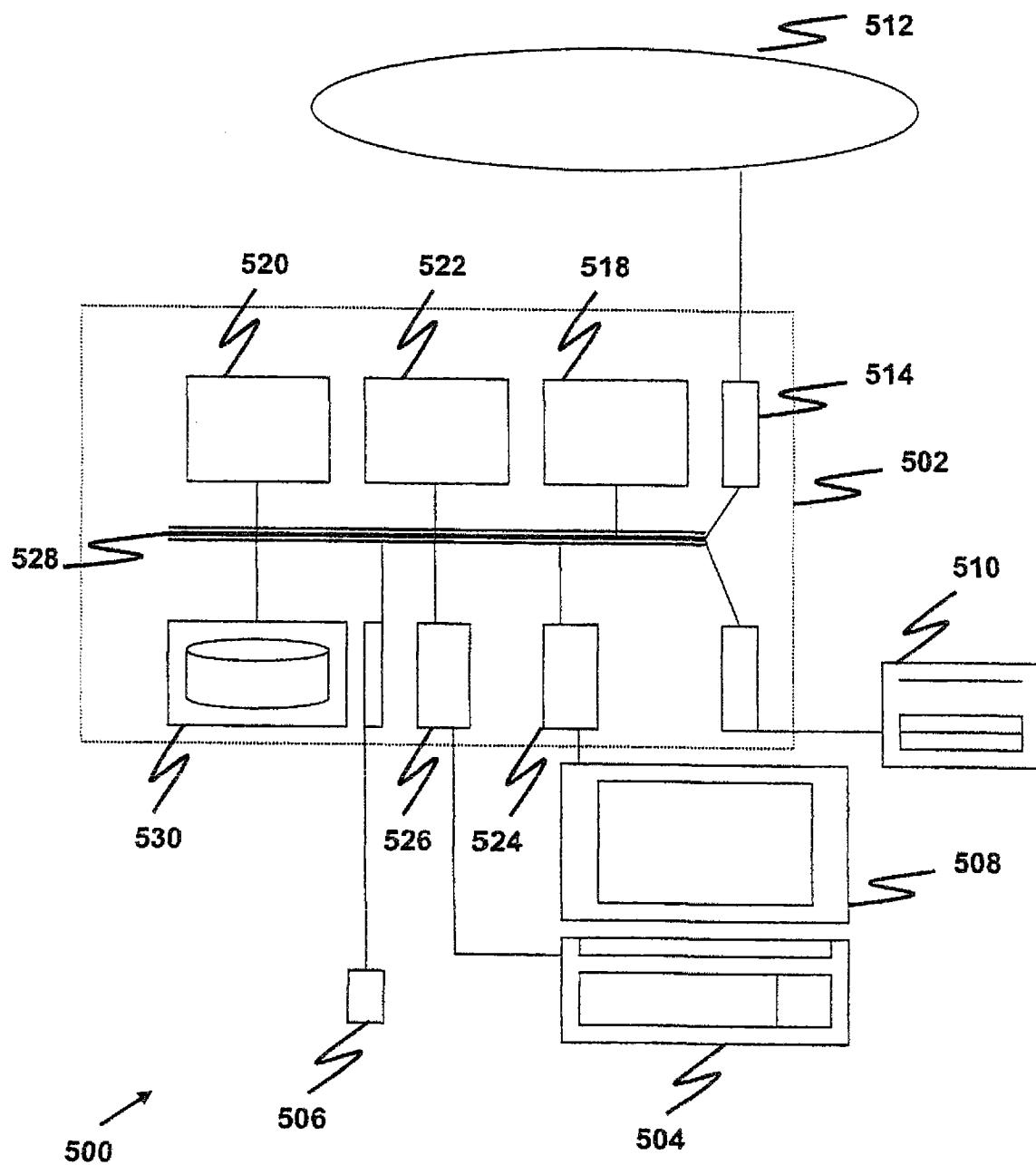


图 7