



(21) 申请号 201680043494.9

(22) 申请日 2016.07.13

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107851995 A

(43) 申请公布日 2018.03.27

(30) 优先权数据
102015112155.7 2015.07.24 DE

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2018.01.24

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2016/066587 2016.07.13

(87) PCT国际申请的公布数据
W02017/016870 DE 2017.02.02

(73) 专利权人 乌本产权有限公司
地址 德国奥里希

(72) 发明人 克里斯蒂安·施特拉菲尔
森克·恩格尔肯 因戈·麦肯森
斯特凡·格特耶格德斯

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 丁永凡 周涛

(51) Int.Cl.
H02J 3/01 (2006.01)
G01R 27/00 (2006.01)
H02J 3/26 (2006.01)
H02J 3/38 (2006.01)

(56) 对比文件
WO 2009056158 A1, 2009.05.07
WO 2009056158 A1, 2009.05.07
DE 102011084910 A1, 2013.04.25
CN 1233355 A, 1999.10.27
CN 101617234 A, 2009.12.30
US 2004158135 A1, 2004.08.12
H.M. Beides. Dynamic state estimation of power system harmonics using Kalman filter methodology.《IEEE Transactions on Power Delivery》.1991,第6卷(第4期),第1663-1670页.

审查员 张江园

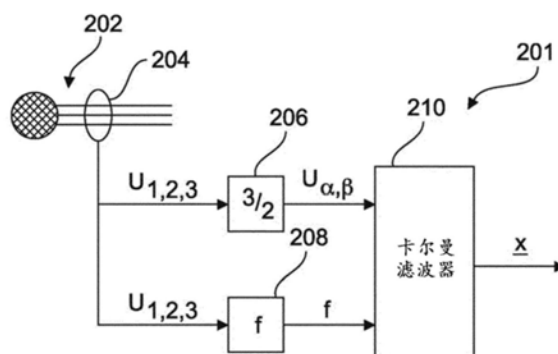
权利要求书2页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

用于检测供给电网中的电压的方法和设备

(57) 摘要

本发明涉及一种根据基波和至少一个谐波的幅值和相位来检测三相供给电网中的电压的方法,所述方法包括下述步骤:测量所述供给电网的三相电压;将所测量的电压值变换为极坐标,所述极坐标具有代表所述基波的旋转电压相量,作为所测量的参考相量;并且借助于状态观测器分别观测代表所述基波的至少一个电压相量的值和代表待检测的至少一个谐波的至少一个电压相量的值;以及根据所述所测量的参考相量来跟踪所观测的所述值。



1. 一种根据基波和至少一个谐波的幅值和相位来检测三相供给电网中的电压的方法，所述方法包括下述步骤：

-测量所述供给电网的三相电压，

其特征在于如下步骤

-将所测量的电压值变换为极坐标，所述极坐标具有代表所述基波的旋转电压相量，作为所测量的参考相量，其中借助于克拉克变换在假设所述电压无零序的条件下执行所测量的电压到极坐标的变换，以及

-借助于状态观测器分别观测代表所述基波的至少一个电压相量的值和代表待检测的至少一个谐波的至少一个电压相量的值，其中针对所述基波并且针对每个待检测的谐波分别以用于正序的电压相量和用于负序的电压相量为基础并且观测所述电压相量的值，以及

-根据所述所测量的参考相量来跟踪所观测的值。

2. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述状态观测器根据所检测的电网频率来工作并且将所述所检测的电网频率作为输入变量输入到所述状态观测器中。

3. 根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，所述状态观测器借助于当前的观测器矩阵观测所述电压相量的值，并且根据所检测的电网频率从多个预先计算的观测器矩阵中选出当前的所述观测器矩阵。

4. 根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，使用卡尔曼滤波器作为状态观测器。

5. 根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，针对所述基波并且针对每个待检测的谐波分别通过状态观测器检测正序和负序，并且检测直流分量，其中针对直流分量以电压相量为基础并且检测其值。

6. 根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，在连接到所述供给电网上的变压器上，对所述供给电网的三相电压进行测量。

7. 根据权利要求6所述的方法，其特征在于，在所述变压器的下述侧上对所述供给电网的三相电压进行测量，所述侧在电学上朝向经由所述变压器向所述供给电网馈电的风能设备。

8. 一种用于将电流馈入到三相供给电网中的方法，所述方法包括下述步骤：

-通过根据权利要求1或2所述的方法检测所述供给电网中的电压，其中检测至少一个谐波，以及

-产生电流以馈入到所述供给电网中，其中所述电流包含补偿电流分量，以便减少至少一个所检测的所述谐波，其中所述补偿电流分量考虑电流谐波分别作为正序分量和负序分量。

9. 根据权利要求8所述的方法，其特征在于，所述补偿电流分量具有至少一个电流谐波并且电流谐波分别通过幅值和相位并且根据所检测的电压的被观测的谐波来确定。

10. 根据权利要求8或9所述的方法，其特征在于，经由控制器分别调节所述补偿电流分量的电流谐波的幅值，并且所述控制器获得所检测的电压的相关谐波的电压期望值和被观测的电压实际值之间的控制差，作为输入信号。

11. 根据权利要求10所述的方法，其特征在于，从如下列表中选择控制器作为控制器，所述列表包括：

-PID控制器，

- PI控制器,
- P控制器,和
- PD控制器。

12.一种用于产生待馈入到三相电网中的电流的逆变器,其中所述逆变器配置用于借助于根据权利要求8或9所述的方法来工作。

13.一种风能设备,所述风能设备具有根据权利要求12所述的逆变器和所述风能设备还配置用于实施根据权利要求1或2所述的方法。

用于检测供给电网中的电压的方法和设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于根据基波和至少一个谐波的幅值和相位来检测三相供给电网中的电压的方法。此外,本发明涉及一种用于补偿供给电网中的谐波的方法,尤其基于根据本发明的检测来补偿。此外,本发明不仅涉及一种用于检测电压的设备而且涉及一种用于补偿谐波的设备。本发明还涉及一种风能设备,在所述风能设备中执行一个或多个这种方法或者在所述风能设备中安装一个或多个这种设备。

背景技术

[0002] 为了将电功率馈入到通常三相地构建的供给电网中,需要根据幅值和相位检测电压,这也隐含检测或了解频率。检测这种电压的要求越来越高,这尤其也涉及用于检测变化的速度。用于快速且精确地检测电压的幅值和相位的方法例如在美国专利8,981,755中描述。

[0003] 除此之外,特别借助于以全控变流器设计方案工作的风能设备可行的是,针对性地使馈入的电功率的质量与电网中的不对称性匹配,所述全控变流器设计方案亦即风能设备的电功率完全经由逆变器馈入到电网中。

[0004] 馈入不对称三相电流的一个实例在美国申请US 2013/0141951中描述。在那里使用对称分量法。在此,正序的电流分量和负序的电流分量彼此无关地产生并随后叠加为所期望的不平衡的电流并且馈入。

[0005] 这种馈电的质量最终也取决于不对称性的检测质量。在此,需注意的是,目前为止,供给电网方面的设计方案如是进行,即具有处于主导的、直接与电网耦合的同步发电机的大型发电厂基本上通过同步发电机的电流的支配性已确定电压的质量并且尤其确定电压的对称性。虽然长久以来已经存在有针对性地补偿不对称性的初始考虑,如例如从美国专利6,924,627中所获悉的那样,但是仍然保持在上文中所描述的原理,尤其是因为大型发电厂的所描述的同步发电机只能够被动地通过其设计而无法通过主动控制来完成这种补偿。

[0006] 此外,在现代能量系统中,生成单元和消耗器日益经由频率变换器或整流器连接到输电网或配电网。由于这种功率电子系统的进行开关的部件产生在理想情况中为正弦状的50Hz或者60Hz的交变电压受频率范围高达大约10kHz的谐波干扰。这些谐波以加负荷的方式作用于能量系统中的不同的运行机构并因此在过高地出现时通过有源滤波器或者无源滤波器衰减。

[0007] 风能设备在一些能量系统中已经提供所产生的能量的大部分。所述风能设备常常部分主要通过频率变换器与电网连接并因此在最糟糕的情况下同样贡献着电网中的谐波。

[0008] 德国专利商标局在本PCT申请的优先权申请中已检索到下述现有技术:DE 100 32 447 A1、US 2012/0150468 A1、US 2014/0307488 A1、EP 2 223 405 B1。Azam Bagheri等人的“Detection of Grid Voltage Fundamental and Harmonic Components Using Kalman Filter and Generalized Averaging Method”,Ming Sun等人的“Extended Kalman

Filter Based Grid Synchronization in the Presence of Voltage Unbalance for Smart Grid”和Robert R.Bitmead等人的“A Kalman Filtering Approach to Short-Time Fourier Analysis”。

发明内容

[0009] 本发明因此基于下述目的：解决这些所提到的问题中的至少一个，特别是提出改进方案。尤其是，要提出如下解决方案，所述解决方案实现电网改进包括补偿电网中的谐波在内的可行性。至少要提出相对于目前已知的解决方案替选的解决方案。

[0010] 根据本发明提出一种方法。据此根据基波和至少一个谐波的幅值和相位检测三相供给电网中的电压。在此，例如也将供给电网理解为配电网。原则上这涉及如下电网，在所述电网上连接有许多电力生产商和电力消费者。

[0011] 首先测量供给电网的三相电压。

[0012] 所测量的三相电压随后被转换成极坐标，使得产生基波的旋转电压相量。该旋转电压相量被称为所测量的参考相量并且相应地后续也被使用。所述变换例如能够如也在美国专利8,981,755中所描述的那样进行。

[0013] 此外，基波的至少一个电压相量和待检测的谐波的至少一个电压相量的值分别借助于状态观测器来观测。这表示控制技术意义下的状态观测器。所观测的值现在根据所测量的参考相量来跟踪。

[0014] 换言之，基于如下观测器模型，所述观测器模型为了表示电网电压基于至少一个基波和至少一个谐波并且分别使用至少一个电压相量。所测量的系统利用基波的电压相量表示，其中由于持续的测量和变换，该电压相量也会在幅值和相位方面改变。

[0015] 用于跟踪观测器的比较尤其经由如下方式进行：将极坐标中的该测量值即出自测量的这一个旋转电压相量的值与观测器所基于的所有电压相量的总和进行比较。

[0016] 优选地，状态观测器根据所检测的电网频率工作，其中所检测的电网频率作为输入变量输入到状态观测器中。据此提出：状态观测器并非作为待观测的并且可选地要追踪的状态来观测电网频率，而是采用频率的被检测的并且输入给所述观测器的值作为给定并且以其为基础。由此能够实现稳定性改进或者换言之实现对观测的稳定，因为对每个被观测的旋转电压相量有影响的或者作为这种电压相量的特征性变量的频率是不变的变量。观测器能够在观测时专注于幅值和相位并从而排除一方面为频率而另一方面为幅值和相位之间的可能的干扰性的或者甚至危害稳定性的相互作用。

[0017] 根据一个实施方式提出，状态观测器借助于当前的观测器矩阵来观测电压相量的值并且根据所检测的电网频率从多个预先计算的观测器矩阵中选出当前的观测器矩阵。应指出的是，在此术语“Matrix”和“Matrize (矩阵)”同义地使用。这种观测器矩阵是观测器结构中的已知的部件并且基本上具有下述目的：根据比较测量值跟踪所观测的状态。在此，参考相量用作为比较测量值。在此，为了在观测时考虑变化的频率，计算与频率相关的观测器矩阵会是非常耗费的。所述耗费在某些情况下会超过在预设的时间步长中微控制器的可支配的计算能力，使得计算无法以所需要的时钟频率进行。通过使用之前所计算的观测器矩阵能够降低该耗费，所述观测器矩阵随后与频率相关地，也就是说，尤其与当前分别检测的频率相关地被选出。由此，对频率变化的这种考虑有时才完全是可行的。对于一些频率而言

不存在预定的观测器矩阵,这也是频率检测精确性的问题,在这些频率中该观测器矩阵能够通过两个观测器矩阵之间插值来确定。

[0018] 优选地,将卡尔曼滤波器用作为状态观测器。就此而言,在对状态的当前观测中也指的是滤波或者将状态观测器称为滤波器。通过使用卡尔曼滤波器,观测或滤波特别良好地适合考虑干扰,特别是测量噪声,也就是说,滤掉干扰,特别是测量噪声。

[0019] 根据一个实施方式提出,通过状态观测器检测直流分量并且针对待检测的电压的基波和每个待检测的谐波分别检测正序和负序。由此也能够通过状态观测器考虑和检测三相电压的不对称性。即使不存在显著的不对称性,这在测量之前不一定是已知的,也能够执行负序的这种检测。可选地,负序的份额相应小地产生。由此在检测正序和负序时基于对称分量法意义下的观测。

[0020] 优选地,对于直流分量而言基于一个电压相量,而对于基波和对于每个待检测的谐波而言分别基于两个电压相量并且观测其值,使得亦即分别采用正序的电压向量和负序的电压相量。对于直流分量而言也能够合理地采用两个值,即电压相量的实部和虚部,因为在此在应用对称分量法时至少也能够公式化地计算相量。优选地,检测非常多的谐波,例如25个谐波,即检测直至25次谐波。在一次谐波是基波的情况下产生51个相量并从而产生102个值。

[0021] 根据一个实施方式,用于检测电压的方法的特征在于,在连接到供给电网上的变压器上测量供给电网的三相电压,所述变压器经常也简称为Trafo。在这种变压器上,尤其在这种经由其将电流馈入到供给电网中的变压器上,能够以简单且可靠的方式进行测量。

[0022] 当经由该变压器馈入电流并且所述馈入考虑对供给电网的电压的测量或检测时,那么在这种变压器上进行测量是特别有利的。特别是当与被观测的谐波相关地经由该变压器馈入至少部分被补偿的电流时,在此能够避免畸变。

[0023] 优选地,在变压器的如下侧上进行测量,所述侧在电学上朝向风能设备,所述风能设备经由该变压器向供给电网馈电。特别地,该风能设备于是能够考虑所检测的电压值,尤其其所观测的谐波并且相应地调整电流的馈入。尤其是,所述风能设备能够使待馈入的电流形成,使得可以补偿或至少减小电网电压的被观测的谐波。

[0024] 优选地,所测量的电压变换到极坐标中借助于克拉克变换在假设电压没有零序的条件下执行。这也对应于如下变换,所述变换在上述美国文献(US 8,981,755)中予以描述。在此,以如下为出发点:不存在零序,这即使在应用对称分量原理时也是常用的假设。然而,假设没有零序不一定同时包括假设没有直流分量。更确切地说,在三相电网中对每个相可能存在不同的直流分量,使得这些直流分量在变换之后重新在正序分量和负序分量中发现。

[0025] 根据本发明也提出一种用于馈入电流的方法。据此,电流被馈入到三相供给电网中,并且该方法包括下述步骤:

[0026] -通过根据上述实施方式中至少一个所述的方法检测供给电网中的电压,其中检测至少一个谐波,以及

[0027] -产生用于馈入到供给电网中的电流,其中电流包含补偿电流分量,以便减少至少一个所检测的谐波。

[0028] 也就是说,所述方法首先也以三相供给电网为前提,所述三相供给电网也基于在

上文中所阐述的用于将电压馈入到这种三相供给电网中的方法。也就是说,在此也可以同时包括配电网,仅作为一个实例列举。

[0029] 因此,也通过在上文中所描述的方法检测电压。这相应地也包含对电压的至少一个谐波的值的检测,即观测。由此,即根据幅值和相位针对这种谐波存在一个值,并且此时所述值能够用来至少减少这种所检测到的谐波,理想情况下完全补偿所述谐波。待馈入的电流为此包含补偿电流分量,所述补偿电流分量尤其相应地包含至少一个谐波。也就是说,尤其是,电流包括基本分量或者基波,也就是说,以便将相应的功率馈入到供给电网中。此时将补偿电流分量叠加给即在电学意义下加和到该基波,也就是说,也叠加给这种理想化的曲线。这种补偿电流分量要减少所检测到的谐波或者减少所述谐波的至少一部分。

[0030] 根据一个实施方式提出,补偿电流分量具有至少一个电流谐波,并且电流谐波分别通过幅值和相位并且根据所检测的电压的被观测的谐波来确定。由此,对电压的谐波的观测提供电压的一个或多个谐波的信息,更确切地说,提供对其清楚限定的描述。补偿电流分量于是优选类似地构建。也就是说,补偿电流分量例如相对于所检测的电压谐波具有相应的电流谐波。电流谐波的幅值能够与电压的谐波处于预定的比例中或者至少与电压的谐波关联。此外,相位相应地设定,使得能够进行所述补偿或者至少进行减少。

[0031] 优选地,在检测电压时针对每个谐波检测正序和负序。优选地,相应的电流谐波也相应地具有正序和负序或正序分量和负序分量。在此,随后也能够分别确定电流谐波的幅值和相位。但也考虑的是,仅观测正序分量,并且尤其也考虑的是,补偿电流分量针对每个电流谐波基本上仅分别确定一个分量并且就此而言可不考虑作为观测对称分量的基础的不对称性。在此背景是:对于观测器而言观测正序和负序能够合理地确保其整体功能性和整体质量以及精确性。但是,于是仅考虑正序分量并且在馈电时生成正序分量常常就足够了。

[0032] 在此,再次指出的是,谐波以及电流谐波分别指一阶谐波,而更多个谐波分别表示具有不同频率的谐波。

[0033] 另一实施方式提出,经由控制器来设定补偿电流分量中的电流谐波的幅值。控制器在此获得在所检测的电压的相关谐波的电压期望值和所观测的电压实际值之间的调节差作为输入信号。在最简单的情况下,这意味着,电压期望值具有值0,最后要将谐波减少到零。在特定的情况中,自然也能够合理地在此不设置值0。在此也称为调节差的该差值随后在相关谐波的电压期望值和电压实际值之间被提供到控制器上。所述控制器例如能够PID控制器、PI控制器或者PD控制器。在最简单的情况下,使用P控制器,并且所检测的电压差随后引起电流谐波的对应于如下因数的幅值,所述因数自然也考虑电压和电流之间的不同的单位。由此,也就是说,在纯粹的P控制器中,电压的相关谐波随后可能无法完全地被补偿。

[0034] 为了完全地补偿电压的该谐波,例如提出PID控制器。但是,在此需注意的是,事先应当保证:也有足够的执行能量。随后能够成功借助于这种PID控制器完全地或者近似完全地补偿电压的相关谐波。如果没有足够执行能量,那么控制器可能因此到达极限。

[0035] 可选地PD控制器能够实现动态特性,而不要求完全补偿。

[0036] 根据本发明也提出一种逆变器,所述逆变器产生待馈入到三相电网中的电流。该逆变器配置用于:借助于如在上文中已经根据关于用于馈入电流的方法的实施方式中的至少一个实施方式所阐述的方法来工作。就此而言,这基本上也涉及如下控制装置,用于馈电

的该方法,即用于产生待馈入的电流的方法,在所述控制装置上执行。

[0037] 此外,提出一种风能设备,所述风能设备包含这种逆变器。也就是说,借助于所述风能设备于是能够馈入这种电流并从而不仅将能量馈入到供给电网中,而且能够对电压的谐波进行补偿或减少。相应地或者替选地,提出:风能设备执行至少一个已经在上文中所描述的方法,即不仅执行用于检测电压的方法而且执行用于产生待馈入的电流的方法。

[0038] 此外,在上文中所描述的用于确定电网电压的谐波的方法类似地也能够用于确定电流中的谐波。这就此也根据本发明提出。

附图说明

[0039] 此时在下文中示例性地根据实施例并且参照附图详细阐述本发明。

[0040] 图1示意性地示出风能设备的立体视图。

[0041] 图2示出用于阐述根据一个实施方式所述的用于检测电压的方法的简化结构。

[0042] 图3示出图2的功能块的细节结构。

[0043] 图4示意性地示出根据本发明的一个实施方式所述的用于借助于风能设备将电流馈入到供给电网中的装置。

具体实施方式

[0044] 图1示出具有塔102和吊舱104的风能设备100。在吊舱104上设置有具有三个转子叶片108和导流罩110的转子106。在运行时,转子106通过风进入旋转运动并由此驱动吊舱104中的发电机。

[0045] 图2示出用于检测示意性示出的三相供给电网202中的电压的测量装置201。据此,借助于测量传感器204三相地测量电压 $U_{1,2,3}$ 。所述测量尤其针对后续评估的每个采样步骤进行。所测量的电压被输送给变压器块206,所述变压器块将这三个分别所测量的电压值变换到极坐标中,所述极坐标在此称为 $U_{\alpha,\beta}$ 。

[0046] 此外,所测量的电压被输入给频率确定块208,所述频率确定块从所测量的电压值中确定频率 f ,即供给电网202的电网频率。确定频率由此通过该频率确定块208借助于与卡尔曼滤波器无关的算法来进行。在此,例如能够使用用于从空间向量电压辐角中确定电网频率的滤波器。优选的是,替选地使用三个电压值的直接的傅里叶变换来确定电网电压的经滤波的辐角。从该辐角中又能够通过适当的滤波提取频率信号。使用从DFT中所获得的辐角相对于使用空间向量角的优点是:在此在基波频率的整数次谐波中的滤波作用。

[0047] 应指出的是,图2还有图3以及部分图4的该块视图用于图解说明所使用的方法。所示出的块的各个功能不一定必须在这种独立的块中执行,而是也能够一起在微处理器或者另一计算单元中实现。

[0048] 在任何情况下,经变换的极坐标 $U_{\alpha,\beta}$ 和所检测的电网频率 f 都被输入到卡尔曼滤波器块210中。卡尔曼滤波器块210因此是如下滤波器,所述滤波器确定所检测的状态 $\underline{x}$ 作为输出变量并且将其输出。这些所检测的在此也通过这些状态向量 $\underline{x}$ 所表示的状态,尤其可以包含:代表直流分量、基波的一个正序和负序和每个所检测的谐波的各一个正序和负序的电压相量的值。如果例如观测电压直至第25阶谐波,其中第一阶会是基波,那么该状态向量 $\underline{x}$ 可以包括102个值。该数量从代表直流分量的两个值,即实部和虚部中得出,所述实部和虚

部称为 u_{aDC} 和 u_{bDC} 。对于基波和每个谐波各产生两个代表正序的值和两个代表负序的值,即分别产生向量的实部和虚部。对于作为第一阶的基波,该实部和虚部随后对于正序而言是值 $u_{a(1+)}$ 和 $u_{b(1+)}$ 并且相应地对于负序而言是值 $u_{a(1-)}$ 和 $u_{b(1-)}$ 。类似地,对于每个其他阶也能够设置四个值。

[0049] 这些值,即这样所检测的状态向量,随后能够用于产生电流以将电流馈入到供给电网202中。

[0050] 卡尔曼滤波器块210的细节在图3中示意性地阐述。也就是说,图3示出该卡尔曼滤波器块210和所述卡尔曼滤波器块如已经从图2中所获悉的那样获得所测量的并且变换到极坐标中的电压 $U_{a,\beta}$ 以及通过频率确定块208确定的电网频率 f ,作为输入变量。根据该所确定的电网频率 f ,观测器矩阵 K 在观测器矩阵块302中确定并且相应地作为观测器矩阵 $K(f)$ 输出。观测器矩阵块302通过如下方式确定该观测器矩阵 K :所述观测器矩阵块根据频率 f 从表格中提取相应的观测器矩阵 K 。可选地,如果针对精确的频率没有存储观测器矩阵 K ,那么所述观测器矩阵可以通过插值从相邻的频率的观测器矩阵中确定。

[0051] 同样根据频率在系统矩阵块304中确定系统矩阵 $A(f)$ 。在系统矩阵块304中在此以已知的方式计算系统矩阵。

[0052] 待检测的系统状态 $\underline{x}$ 基本上在更新块306中持续地重新计算。该更新块306在此表现如描述系统的模型一样,其中当前分别所测量的并且变换到极坐标中的电压 $U_{a,\beta}$ 也被考虑用于跟踪或者调节,以便直观地表达。

[0053] 此外,为此也需要观测器矩阵 $K(f)$,更新块306为此总是最新地从观测器矩阵块302获得所述观测器矩阵。描述该系统的矩阵 C 同样是需要并因此以图解说明的方式作为进入到更新块306中的输入来描述。

[0054] 此外,需要被更新的状态向量 $\underline{x}(k+1)$ 。被更新的状态向量 $\underline{x}(k+1)$ 在状态块308中从最后的状态向量 $\underline{x}(k)$ 和系统矩阵 $A(f)$ 中计算。状态块308为此需要系统矩阵 $A(f)$,所述状态块分别最新地从系统矩阵块304获得所述系统矩阵。状态块308最新地从更新块306获得旧的状态变量 $\underline{x}(k)$ 。

[0055] 由此,被更新的状态向量 $\underline{x}(k+1)$ 如在上文中已经描述的那样同样适合作为用于更新块306的输入变量。特别在过程开始时能够针对被更新的状态向量 $\underline{x}(k+1)$ 在初始化块310中进行初始化。

[0056] 由此,卡尔曼滤波器210此时能够输出分别所检测的状态向量 $\underline{x}(k)$ 作为状态向量 $\underline{x}$ 。可选地,该状态向量还能够经历变换,可选地仅在与恒定的系数相乘的意义下在变换块312中经历变换。在所述情况中,在图3中示出的状态向量 $\underline{x}$ 自然可能相应地与内部的状态向量 $\underline{x}(k)$ 不同。

[0057] 该状态向量 $\underline{x}$ 此时能够包含代表直流分量、基波的相量和谐振的相量的值,它们能够用于确定待馈入的电流。这在图4中图解说明。图4针对风能设备400图解说明上述内容,但是其它馈电设备也能够记录这些测量值并且将其用于电流控制,即待馈入的电流的电流控制。

[0058] 图4中的构造图解说明供给电网402,经由变压器404向所述供给电网馈电。为此,风能设备400借助于发电机406产生电流,所述电流能够在整流器408中被整流并且能够输送给逆变器410。这种逆变器也常常成为逆变流器410。

[0059] 该逆变器410产生三相电流 $i_{1,2,3}$,所述三相电流能够经由该变压器404馈入到供电电网402中。

[0060] 此时提出,借助于象征性示出的测量传感器412检测电压和频率并且将其输送给测量块414。测量块414与测量传感器412一起能够对应于图2的测量装置201。频率 f 可能随后在测量块414中由所检测的电压首次确定,但是为了图解说明,在图4中频率 f 也表示为用于测量块414的输入变量。

[0061] 测量块414随后能够将状态向量 $\underline{x}$ 作为输出变量输出,所述状态向量能够包含代表直流分量、基波和谐波的值,尤其也分别包含代表正序和负序的值,如在上文中已经关于图2所阐述的那样。

[0062] 这些值,即状态向量 $\underline{x}$,随后能够输入到控制块416中,所述控制块例如能够包含控制器。在该控制块416中也能够根据所检测的电压值,即包含在状态向量 $\underline{x}$ 中的电压值针对每个谐波计算偏差并且由此能够确定相应的电流值。尤其是,从所述偏差中或者在其它方面从所检测的电压的谐波中分别,即针对每个谐波确定补偿电流分量。这一个补偿电流分量或者这多个补偿电流分量随后与代表基波的电流值叠加,即使电功率可选地还有电无功功率要以所述电流值馈入。

[0063] 控制块416于是最终确定电流期望值 i_s ,所述电流期望值本身被输入到逆变器410中。这些电流期望值考虑待馈入的电流连同叠加部分,即基波和(多个)谐波。逆变器410于是能够基于这些电流期望值 i_s 产生相应的电流值。替选地,能够提出,待馈入的电流的基波和至少一个待叠加的谐波分开地产生并且随后叠加,即加和。为此提出,设有多个逆变器,其中至少一个逆变器产生基波或者基波的一部分而其中至少另一个逆变器产生至少一个谐波或者谐波的一部分。

[0064] 由此,发明思想的特征尤其在于下述内容。

[0065] 在现代能量系统中,生成单元和消耗器越来越多地经由频率变换器或整流器连接到输电网或配电网。因这些功率电子系统的进行开关的部件,产生在理想情况下为正弦形的50Hz或60Hz的交变电压受高达大约10kHz的频率范围中的谐波干扰。这些谐波以加负荷的方式作用于能量系统中的不同的运行机构并且因此在过高地出现时通过有源滤波器或者无源滤波器衰减。

[0066] 风能设备在一些能量系统中已经提供所产生的能量的大部分。所述风能设备主要通过频率变换器与电网连接并从而在最糟糕的情况下同样贡献着电网中的谐波。

[0067] 在此所描述的发明涉及一种通过风能设备来识别和补偿能量系统的电网电压中的谐波的方法,所述风能设备经由全控变流器连接到该系统上。风能设备(WEA)因此能够馈入电流以便减小电压谐波或者负序电压。这些电压谐波或负序电压例如可能因其它生成单元或消耗器引起。

[0068] 出于该目的,特别是提出下述方法:

[0069] 1.在设备变压器处在风能设备侧测量端电压。

[0070] 2.借助于克拉克变换在假设电压没有零序的条件下将三个端电压转换为旋转电压相量,其中电压相量通过幅值和相位给定。

[0071] 3.应用滤波器来观测直流分量,以及观测从一阶即基波直至所限定的最大可能的谐波次数的数倍于电网频率的正序电压和负序电压。在此,进入滤波器的另一输入是其他

方式确定的电网频率。滤波器能够构成状态观测器,尤其卡尔曼滤波器。

[0072] 4.经由控制规则或者调节规则来计算为补偿所选择的谐波次数中的所期望的补偿电流。优选地,调节经由比例因数 k_j 来实现,对于电压的第 i 阶,所述比例因数限定对每伏特(V)的电压谐波幅值有大小为 k_j 安培(A)的待施加的补偿电流。补偿电流的另一优选的计算是通过对相应的部件的期望电压和实际电压之间的差应用PID控制器进行计算,所述期望电网例如是0V。由此,在变流器的电流设置能力(**Stromstellfähigkeit**)足够时,能够——理想地——对谐波电压或者负序电压进行完全地补偿。

[0073] 5.除了基波中的所期望的有功电流和无功电流之外还经由电流控制法设置补偿电流。优选地,使用迟滞电流控制器,也称为公差带控制器,因为在此能够实现相对于变化的电网参数的高的鲁棒性和非常快的反应时间。

[0074] 必须特别注意的是,对电压相量的适当的滤波以快速且精确地确定不同的频率范围中的具体的电压幅值,即直流电压、基波和谐波。

[0075] 现有的用于确定电压中的谐波分量的方法常常基于测量变量的用递归公式表示的离散傅里叶变换。该离散傅里叶变换的特征在于高的数值鲁棒性。然而,只有当采样频率为测量信号的基波频率的整数多倍或者两个待识别的频率分量之间的间距的整数多倍时,才确保滤波质量。因为一般而言电网频率在能量系统中经历轻微的波动并且此外可以在具有不同的额定频率(例如50Hz和60Hz)的系统中使用一种方法是有利的,所以在不同的电网频率和保持不变的采样率情况下高滤波质量对于尽可能广泛的使用而言是非常重要的。

[0076] 不同的解决方案对于该问题是已知的,然而所述解决方案均部分带有明显的缺点。一个可行性在于,根据电网频率改变算法的采样率,如从参考文献[1]中所获悉的那样。然而,通常采样率的这种改变不是所期望的,因为在计算单元上仍执行其它算法,对于所述其它算法而言固定的采样率是重要的,例如在时间离散地设计的控制器中情况会如此。另一可行性在于,构成锁相环(Phasenregelschleife)或者锁频环(Frequenzregelschleife),如从参考文献[2]中所获悉的那样。然而,在这些算法中,要么观测到在电网状态异常时缺少滤波作用,特别与锁相环有关,要么尤其在采样率低时在数字式实现中观测到明显的稳定性问题,特别与锁频环有关。

[0077] 第三解决方案类型是卡尔曼滤波器,所述卡尔曼滤波器基于电网电压的动态特性的状态空间模型设计。在这个方面,能够在用于恒定的电网频率的滤波器以及用于变化的电网频率的滤波器之间进行区分,用于恒定的电网频率的滤波器如从参考文献[3]中所获悉的那样,其中产生线性的动态特性,用于变化的电网频率的滤波器如从参考文献[4]中所获悉的那样,其基于非线性的微分方程。后述滤波器递归地计算在所给定的噪声参数下最佳的观测器矩阵,在所述观测器矩阵中在每个时间步长中使用呈综合方程形式的、基于当前的状态变量的状态空间描述。在相应地参数化时,即使在电网频率改变时以及在异常电网条件的情况下,在这方面也产生卓越的滤波特性,其中所述异常电网条件例如是不对称的或者强烈地加载有谐波的电压,因为所有这些效应能够在系统的状态空间描述中加以考虑。

[0078] 然而用于观测非线性系统的状态变量的扩展的卡尔曼滤波器的方法的缺点在于,递归地计算观测器矩阵。为此在每个计算步长中需要将状态空间描述的矩阵彼此多次相乘以及与测量变量和状态变量的向量多次相乘。在将滤波器设计得大以考虑大量的谐波次数

的情况下,这对所需要的计算时间有负面影响。在计算能力有限的情况下,在通过采样率限制的周期时间内的实现可能不再可行。

[0079] 与此相对,在假设电网频率恒定的条件下存在如下可行性:受这种情况下非时变的和线性的系统方程所决定,通过求解代数黎卡堤方程来预先计算用于卡尔曼滤波器的观测器矩阵,这从参考文献[3]中获悉。根据至少一个实施方式,在此提出:针对不同的电网频率预先计算观测器矩阵。

[0080] 根据参考文献[3]使用下述与频率相关的微分方程组作为用于推导观测器实施的基础:

$$[0081] \quad x(k+1) = A(f) x(k)$$

$$[0082] \quad y(k) = Cx(k)$$

$$[0083] \quad A(f) = \begin{bmatrix} & & & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & & & & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & \vdots & & & & \ddots & & & & & \vdots & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[0084] \quad A_i(f) = \begin{bmatrix} \cos(2\pi T_s i f) & -\sin(2\pi T_s i f) & & 0 \\ \sin(2\pi T_s i f) & \cos(2\pi T_s i f) & & \\ & 0 & \cos(2\pi T_s i f) & \sin(2\pi T_s i f) \\ & & -\sin(2\pi T_s i f) & \cos(2\pi T_s i f) \end{bmatrix}$$

$$[0085] \quad c = \left[\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}_1 \quad \dots \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}_{N+1} \right]$$

$$[0086] \quad x(k) = [x_1(k) \quad x_2(k) \quad \dots \quad x_N(k) \quad u_{DC\alpha}(k) \quad u_{DC\beta}(k)]^T$$

$$[0087] \quad x_i(k) = [u_{i(1)\alpha}(k) \quad u_{i(1)\beta}(k) \quad u_{i(2)\alpha}(k) \quad u_{i(2)\beta}(k)]$$

$$[0088] \quad y(k) = [u_\alpha(k) \quad u_\beta(k)]^T$$

[0089] 在这些方程中,k表示当前的实施步骤, T_s 表示离散地执行算法的采样时间,f表示电网频率,i表示索引,所述索引采用从1直至在观测器中所计算的最高谐波次数N的数字的值, $u_{DC\alpha}(k)/u_{DC\beta}(k)$ 表示 α 和 β 直流电压分量, $u_{i(1)\alpha}(k)/u_{i(1)\beta}(k)$ 表示第i阶的(即在*i*=1时是基波,在*i*>1时是谐波分量) α 和 β 正序电压分量,并且 $u_{i(2)\alpha}(k)/u_{i(2)\beta}(k)$ 表示第i阶的 α 和 β 负序电压分量。

[0090] 基于这些方程,能够针对每个电网频率f计算观测器矩阵K,所述观测器矩阵随后在标准-观测器执行中能够用于观测状态。利用状态和测量信号噪声协方差矩阵Q和R来计算卡尔曼观测器矩阵的方程是已知的,例如从参考文献[6]中已知。

[0091] 利用矩阵K在每个时间步长中根据已知的方程来更新状态估计

[0092] $x(k|k) = x(k|k-1) + K * (y(k) - C * x(k|k-1))$

[0093] 其中, $x(k|k)$ 表示出自当前的时间步长的状态估计, 而 $x(k|k-1)$ 表示由上一时间步长对当前的时间步的状态估计。

[0094] 根据本发明, 至少根据一个实施方式, 在此处所使用的方法中, 针对对于不同的、包括整个所期望的运行范围的电网频率所给定的状态空间描述和所限定的测量和状态噪声水平, 预先计算观测器矩阵, 该观测器矩阵同义地也称作 Beobactermatrix (观测器矩阵)。在执行时间通过与卡尔曼滤波器无关的算法确定频率。这种算法能够通过频率确定块来实现, 如在附图中所示出的那样。在此, 例如能够使用合适的滤波器来从空间向量电压辐角中确定电网频率。该频率信号用于选择匹配于该频率的观测器矩阵。在这方面, 能够进行插值以提高在不同频率情况下所存储的不同的观测器矩阵之间的分辨率。

[0095] 由此, 可借助于该方法以相对于非线性的扩展的卡尔曼滤波器显著降低的计算耗费来实现对正序和负序中的电网电压的大量谐波的精确、快速的计算。与在应用例如也在参考文献[5]中利用卡尔曼滤波器所描述的锁频环时不同, 在此所描述的算法不使用闭合的环来确定电网频率, 所述电网频率由于其难以分析的非线性的动态特性始终是滤波器算法的稳定性风险。更确切地说, 电网频率单独被确定并且仅用于选择观测器矩阵。

[0096] 此外, 在上文中所描述的方法也能够用于确定电流中的谐波。

[0097] 在上文中提到的参考文献如下:

[0098] [1] B.P.McGrath, D.G.Holmes, J.Galloway: Improved Power Converter Line Synchronisation using an Adaptive Discrete Fourier Transform (DFT). Proceedings of IEEE 33rd Annual Power Electronics Specialists Conference, 2002, Bd.2, 第821-826页。

[0099] [2] R.Teodorescu, M.Liserre, P.Rodriguez: Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems. John Wiley&Sons, Chichester, 2011。

[0100] [3] R.R.Bitmead, A.C.Tsoi, P.J.Parker: A Kalman Filtering Approach to Short-Time Fourier Analysis. IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Bd.ASSP-34 (6), Dezember 1986, 第1493-1501页。

[0101] [4] B.La Scala, R.R.Bitmead: Design of an Extended Kalman Filter Frequency tracker. IEEE Transactions on Signal Processing, Bd.44 (3), **März** 1996, 第739-742页。

[0102] [5] M.S.Reza, M.Ciobotaru, V.G.Agelidis: Instantaneous Power Quality Analysis Using Frequency Adaptive Kalman Filter Technique. Proceedings of 7th International Power Electronics and Motion Control Conference, Harbin, China, Juni 2012, 第81-87页。

[0103] [6] T.Glad, L.Ljung: Control Theory. Taylor&Francis, London, 2000。

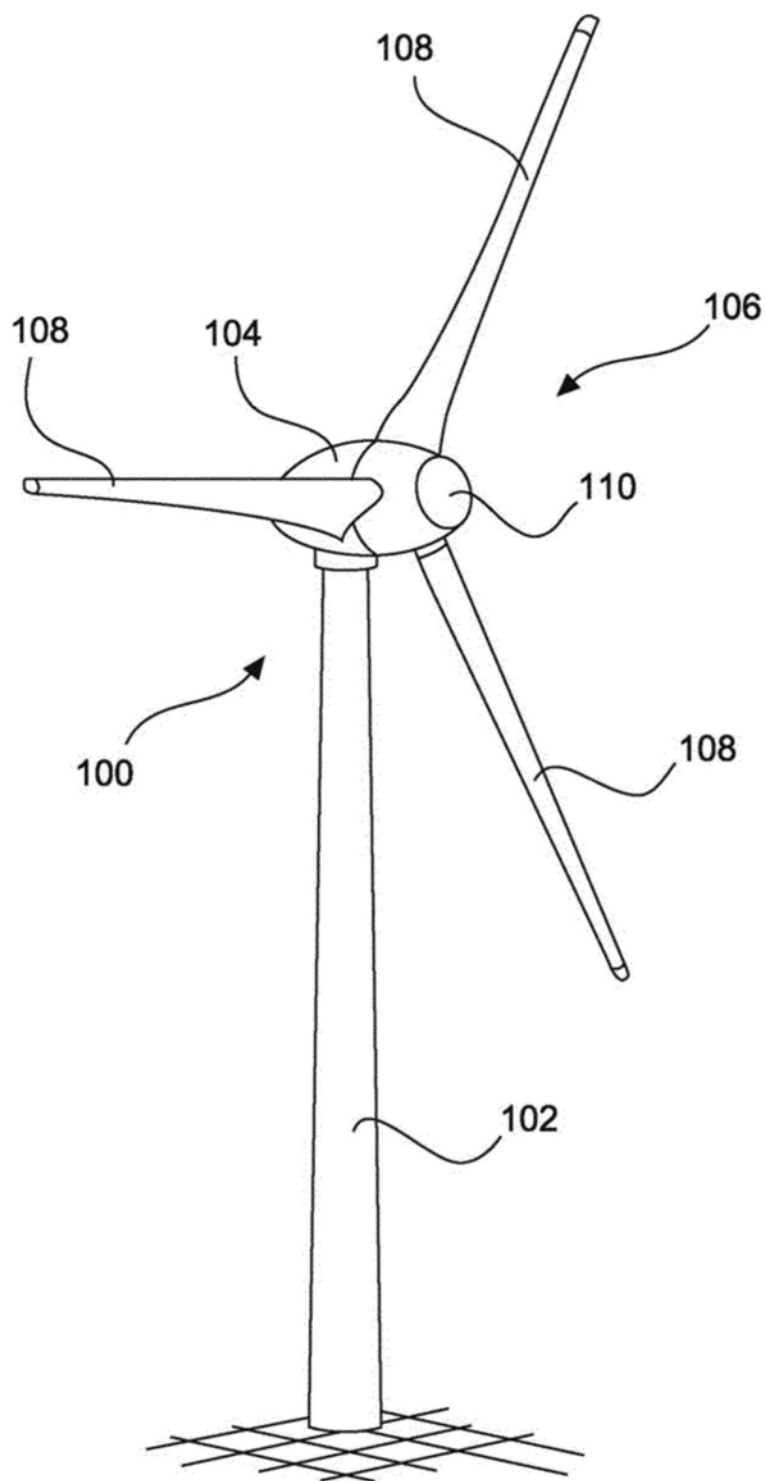


图1

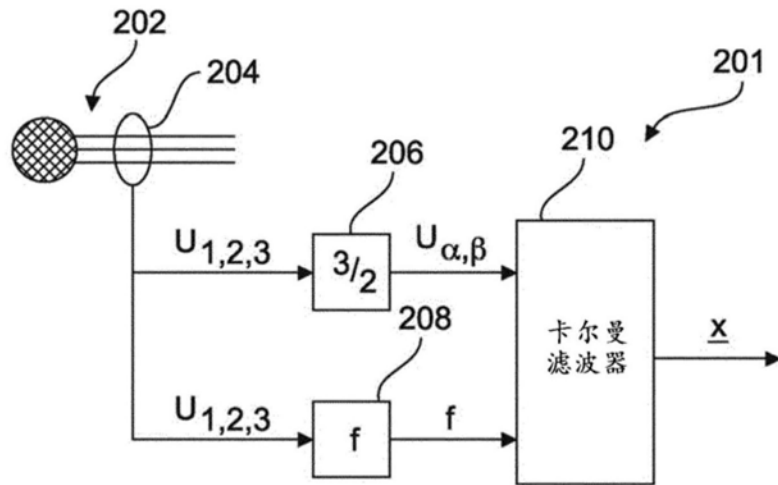


图2

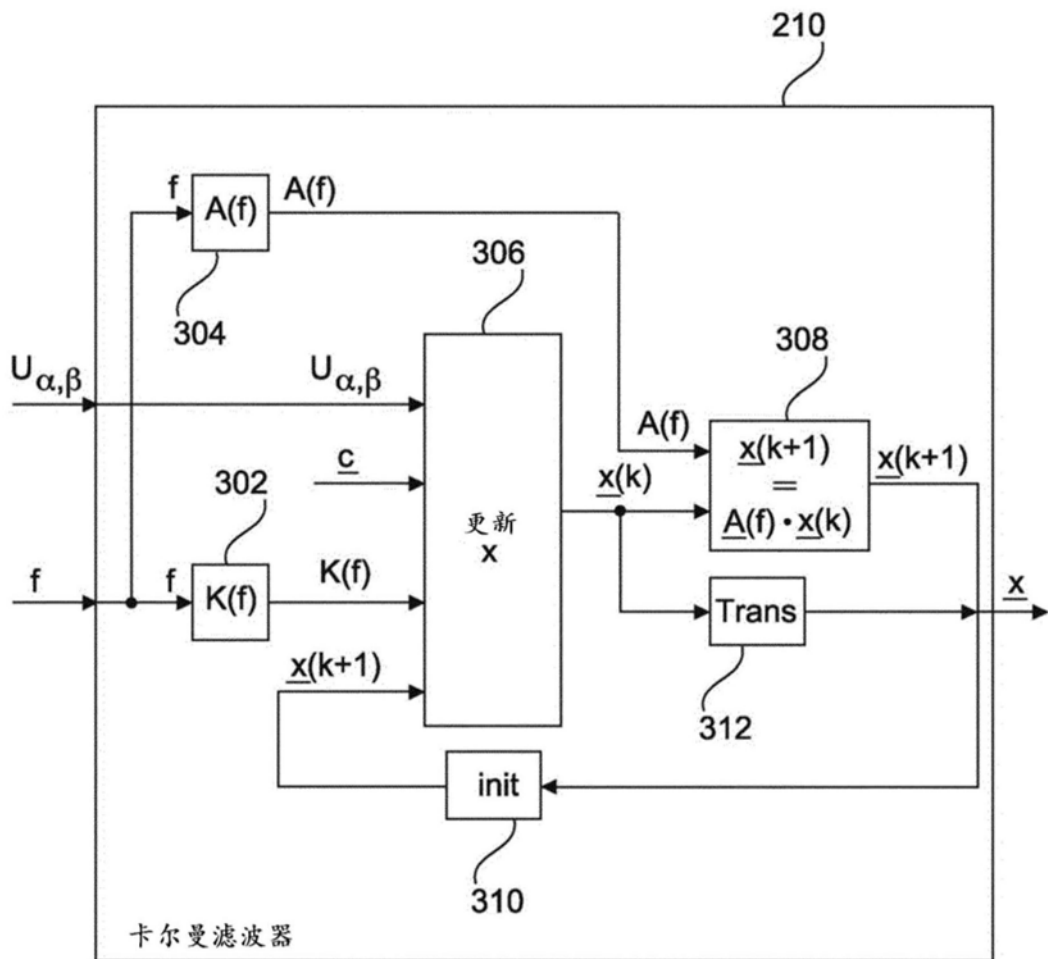


图3

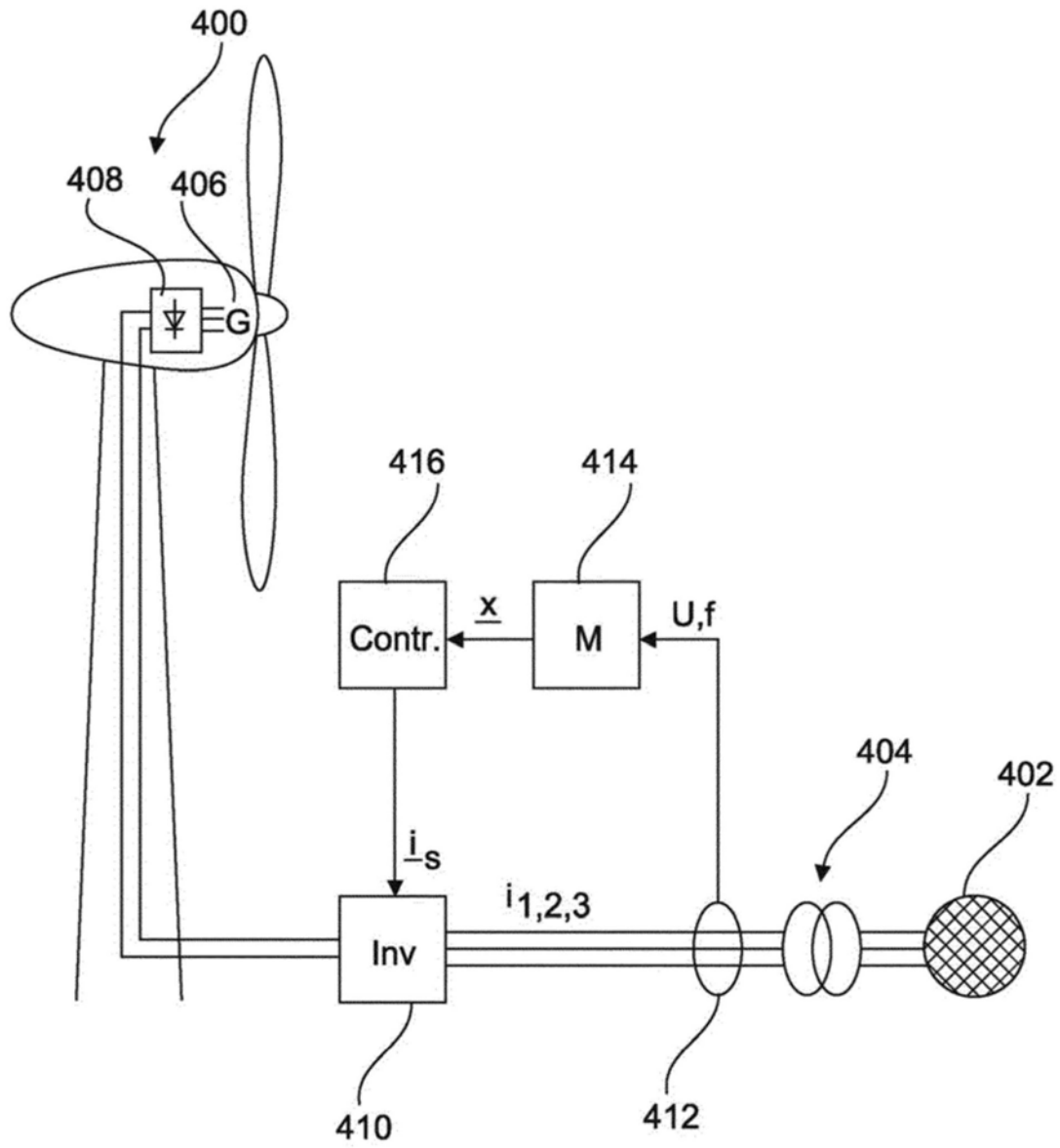


图4