



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107634657 B

(45)授权公告日 2020.01.10

(21)申请号 201710730303.2

(22)申请日 2017.08.23

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107634657 A

(43)申请公布日 2018.01.26

(73)专利权人 中南大学
地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路932号

(72)发明人 粟梅 张建鑫 孙尧 熊文静
林建亨 李幸 但汉兵 朱奇

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002
代理人 苗青盛 刘娜

(51)Int.Cl.
H02M 5/22(2006.01)

(56)对比文件

US 2008125875 A1,2008.05.29,全文.

US 8185281 B2,2012.05.22,全文.

潘月斗等.ES0在直接转矩控制矩阵变换器中的应用及稳定性分析.《控制与决策》.2013,第28卷(第4期),第585-589页.

梅杨等.级联式双向DCDC变换器的模型预测控制.《电气工程学报》.2017,第12卷(第3期),第10-15页.

审查员 李霞

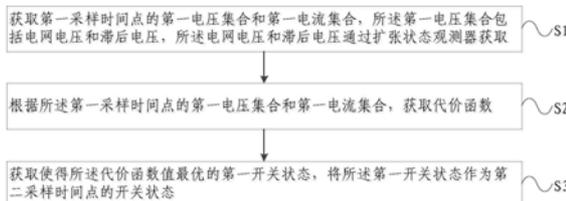
权利要求书2页 说明书12页 附图6页

(54)发明名称

一种矩阵变换器的预测控制方法及装置

(57)摘要

本发明提供一种矩阵变换器的预测控制方法及装置。所述方法包括：S1，获取第一采样时间点的第一电压集合和第一电流集合，所述第一电压集合包括电网电压和滞后电压，所述电网电压和滞后电压通过扩张状态观测器获取；S2，根据所述第一采样时间点的所述第一电压集合和第一电流集合，获取代价函数；S3，获取使得所述代价函数数值最优的第一开关状态，将所述第一开关状态作为第二采样时间点的开关状态。本发明提供的方法及装置，在实现矩阵变换器系统控制目标的情况下，通过扩张状态观测器获取电网电压和滞后电压，去除了采集电网电压的传感器，节约了系统成本。



1. 一种矩阵变换器的预测控制方法,其特征在于,包括:

S1,获取第一采样时间点的第一电压集合和第一电流集合,所述第一电压集合包括电网电压和滞后电压,所述电网电压和滞后电压通过扩张状态观测器获取;

S2,根据所述第一采样时间点的所述第一电压集合和第一电流集合,获取代价函数;

S3,获取使得所述代价函数值最优的第一开关状态,将所述第一开关状态作为第二采样时间点的开关状态;

步骤S2中所述代价函数F为:

$$F = g_2 + \lambda g_1;$$

其中, g_1 为输入侧子代价函数, g_2 为输出侧子代价函数, λ 为权重系数;

所述输入侧子代价函数 g_1 为:

$$g_1 = (P_{s_ref} - P_s^{k+2})^2 + (Q_{s_ref} - Q_s^{k+2})^2;$$

其中, $P_{s_ref} = P_{o_ref} / \eta$, $Q_{s_ref} = 0$, $P_s^{k+2} = \text{Re}(\vec{i}_s^{k+2} * \vec{u}_s^{k+2})$, $Q_s^{k+2} = \text{Re}(\vec{i}_s^{k+2} * \vec{u}_s'^{k+2})$, P_{s_ref} 为输入有功功率参考值, Q_{s_ref} 为输入无功功率参考值, k 为第一采样时间点, $k+2$ 为第三采样时间点, P_s^{k+2} 为第三采样时间点的瞬时有功功率, Q_s^{k+2} 为第三采样时间点的瞬时无功功率, P_{o_ref} 为负载的有功功率参考值, η 为矩阵变换器的效率, \vec{i}_s^{k+2} 为第三采样点的电网电流矢量, \vec{u}_s^{k+2} 为第三采样点的电网电压矢量, $\vec{u}_s'^{k+2}$ 为第三采样点的滞后电压矢量,上标“*”表示矢量的共轭值, $\text{Re}(\vec{x})$ 表示求取矢量 \vec{x} 的实部;

所述输出侧子代价函数 g_2 为:

$$g_2 = \|\vec{i}_{oref} - \vec{i}_o^{k+2}\|^2;$$

其中, \vec{i}_{oref} 为期望的输出电流矢量, k 为第一采样时间点, $k+2$ 为第三采样时间点, \vec{i}_o^{k+2} 为第三采样时间点的输出电流矢量, $\|\vec{x}\|$ 为矢量 \vec{x} 的欧几里得范数。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤S1中所述第一电压集合还包括输入电压和输出电压,所述第一电流集合包括输出电流、输入电流和电网电流。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤S1中所述电网电压和滞后电压通过扩张状态观测器获取的公式为:

$$\begin{cases} L_f \frac{d\hat{i}_{sx}}{dt} = \hat{u}_{sx} - u_{ix} - R_f \hat{i}_{sx} + k_1 (i_{sx} - \hat{i}_{sx}) \\ \frac{d\hat{u}'_{sx}}{dt} = -\omega \hat{u}'_{sx} + k_2 (i_{sx} - \hat{i}_{sx}) \\ \frac{d\hat{u}_{sx}}{dt} = \omega \hat{u}_{sx} + k_3 (i_{sx} - \hat{i}_{sx}) \end{cases};$$

其中, k_1 、 k_2 和 k_3 均为所述扩张状态观测器的输出反馈系数, i_{sx} 为电网电流, u_{sx} 为电网电压, u'_{sx} 为滞后电压, \hat{i}_{sx} 为电网电流的估计值, \hat{u}_{sx} 为电网电压的估计值, \hat{u}'_{sx} 为滞后电压的估计值, R_f 为等效线路电阻, L_f 为输入滤波电感, ω 为电网电压的角频率, t 为时间, u_{ix} 表示矩阵变换器的三相输入电压。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤S2中根据所述第一采样时间点的第一电压集合和第一电流集合,获取代价函数,进一步包括:

S201,根据所述第一采样时间点的第一电压集合和第一电流集合,获取第二采样时间点的第二电压集合和第二电流集合;

S202,根据所述第二采样时间点的第二电压集合和第二电流集合,获取第三采样时间点的第三电压集合和第三电流集合;

S203,根据所述第三采样时间点的第三电压集合和第三电流集合,获取所述代价函数。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,步骤S3中所述获取使得所述代价函数值最优的第一开关状态包括:

S301,获取所有有效开关状态中每一有效开关状态的代价函数值;

S302,根据所述每一有效开关状态的代价函数值,获取所述第一开关状态,所述第一开关状态使得所述代价函数值最优。

6. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述第一采样时间点、所述第二采样时间点和所述第三采样时间点的的时间间隔相同或不同。

7. 一种矩阵变换器的预测控制装置,其特征在于,包括:

参数获取模块,用于获取第一采样时间点的第一电压集合和第一电流集合,所述第一电压集合包括电网电压和滞后电压,所述电网电压和滞后电压通过扩张状态观测器获取;

代价函数获取模块,用于根据所述第一采样时间点的所述第一电压集合和第一电流集合,获取代价函数;

开关状态获取模块,用于获取使得所述代价函数值最优的第一开关状态,将所述第一开关状态作为第二采样时间点的开关状态;

步骤S2中所述代价函数F为:

$$F = g_2 + \lambda g_1;$$

其中, g_1 为输入侧子代价函数, g_2 为输出侧子代价函数, λ 为权重系数;

所述输入侧子代价函数 g_1 为:

$$g_1 = (P_{s_ref} - P_s^{k+2})^2 + (Q_{s_ref} - Q_s^{k+2})^2;$$

其中, $P_{s_ref} = P_{o_ref} / \eta$, $Q_{s_ref} = 0$, $P_s^{k+2} = \text{Re}(\bar{i}_s^{k+2} * \hat{u}_s^{k+2})$, $Q_s^{k+2} = \text{Re}(\bar{i}_s^{k+2} * \hat{u}_s^{k+2})$, P_{s_ref} 为输入有功功率参考值, Q_{s_ref} 为输入无功功率参考值, k 为第一采样时间点, $k+2$ 为第三采样时间点, P_s^{k+2} 为第三采样时间点的瞬时有功功率, Q_s^{k+2} 为第三采样时间点的瞬时无功功率, P_{o_ref} 为负载的有功功率参考值, η 为矩阵变换器的效率, \bar{i}_s^{k+2} 为第三采样点的电网电流矢量, \hat{u}_s^{k+2} 为第三采样点的电网电压矢量, \hat{u}_s^{k+2} 为第三采样点的滞后电压矢量,上标“*”表示矢量的共轭值, $\text{Re}(\bar{x})$ 表示求取矢量 \bar{x} 的实部;

所述输出侧子代价函数 g_2 为:

$$g_2 = \|\bar{i}_{oref} - \bar{i}_o^{k+2}\|^2;$$

其中, \bar{i}_{oref} 为期望的输出电流矢量, k 为第一采样时间点, $k+2$ 为第三采样时间点, \bar{i}_o^{k+2} 为第三采样时间点的输出电流矢量, $\|\bar{x}\|$ 为矢量 \bar{x} 的欧几里得范数。

一种矩阵变换器的预测控制方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及电力领域,更具体地,涉及一种矩阵变换器的预测控制方法及装置。

背景技术

[0002] 目前,随着电力电子技术的迅猛发展,出现了许多新型的电源转换器,在诸多的交-交变换器中,矩阵变换器可以实现所有交流参数(相数、相位、振幅、频率)的变换,并以其特有的优势吸引了大批学者的关注。与传统的变换器相比,矩阵变换器具有以下优点:不需要中间直流储能环节、能够四象限运行、电源设计紧凑、具有优良的输入电流波形和输出电压波形、能量可双向流动、体积小、重量轻以及可自由控制输入功率因数等。

[0003] 由于矩阵变换器没有中间储能的电解电容,所以其寿命较长,可以广泛地应用于航空航天、军事和医疗等对体积和重量有较高要求的领域。但同时,由于矩阵变换器缺少中间储能环节,因此其输入侧与输出侧直接耦合,各个内在变量更易受到外界扰动的影响。电网中大量非线性负载的存在或短路故障的发生会导致电网电压不平衡,为了抑制电网电压不平衡对矩阵变换器系统输入输出特性的影响,提出了许多控制方法。整个矩阵变换器系统的控制目标可以表述为:在输入侧,得到优良的输入电流波形以及工作在单位功率因数的能力;在输出侧,得到平衡的输出电流。

[0004] 在不平衡输入电压情况下,矩阵变换器系统现有的预测控制方法都是从输入电流给定的角度来实现输入侧的控制目标。常用的三种控制策略为瞬时单位功率因数策略(IUPF)、正序分量策略(PS)和有功波动补偿策略(APOC)。

[0005] 其中,瞬时单位功率因数策略(IUPF)不对输入电压进行正负序分解,直接选取输入电流参考的相位与输入电压的相位一致来实现输入电流参考给定,以牺牲输入电流波形质量的代价来实现输入侧工作在单位功率因数。

[0006] 正序分量策略(PS)是在对输入电压进行正负序分解的基础上,选取输入电流矢量参考值与输入电压矢量的正序分量相位一致,由于输入电压矢量中的负序分量导致输入功率中含有交流脉动成分,因此直接影响矩阵变换器的输出性能。

[0007] 有功波动补偿策略(APOC)首先对输入电压进行正负序分解,在此基础上分别计算输入电流参考对应的正序与负序分量,然后将其正负序分量相加得到输入电流参考,虽然该方法解决了输入电流波形差,输入有功脉动的问题,但是使用时需要进行正负序分解,在每个采样周期都要在代价函数中计算输入电流的给定值,计算量较大。

[0008] 上述三种方法都需要设计锁相环来检测输入电压的相位,这在一定程度上增加了算法的计算量;并且上述三种方法都需要采集多个变量的信息,运行成本较高。

发明内容

[0009] 本发明为解决现有技术中存在的对于矩阵变换器的预测控制中变量采集繁琐,使用时需要正负序分解,在每个采样周期都要在评价函数中计算输入电流的给定值,计算量较大的问题,提供一种矩阵变换器的预测控制方法及装置。

[0010] 根据本发明的一个方面,提供一种矩阵变换器的预测控制方法,该方法包括:S1,获取第一采样时间点的第一电压集合和第一电流集合,所述第一电压集合包括电网电压和滞后电压,所述电网电压和滞后电压通过扩张状态观测器获取;S2,根据所述第一采样时间点的所述第一电压集合和第一电流集合,获取代价函数;S3,获取使得所述代价函数值最优的第一开关状态,将所述第一开关状态作为第二采样时间点的开关状态。

[0011] 具体的,步骤S1所述第一电压集合还包括输入电压和输出电压,所述第一电流集合包括输出电流、输入电流和电网电流。

[0012] 优选地,步骤S1中所述电网电压和滞后电压通过扩张状态观测器获取的公式为:

$$[0013] \quad \begin{cases} L_f \frac{d\hat{i}_{sx}}{dt} = \hat{u}_{sx} - u_{ix} - R_f \hat{i}_{sx} + k_1 (i_{sx} - \hat{i}_{sx}) \\ \frac{d\hat{u}_{sx}}{dt} = -\omega \hat{u}'_{sx} + k_2 (i_{sx} - \hat{i}_{sx}) \\ \frac{d\hat{u}'_{sx}}{dt} = \omega \hat{u}_{sx} + k_3 (i_{sx} - \hat{i}_{sx}) \end{cases};$$

[0014] 其中, k_1 、 k_2 和 k_3 均为所述扩张状态观测器的输出反馈系数, i_{sx} 为电网电流, u_{sx} 为电网电压, u'_{sx} 为滞后电压, \hat{i}_{sx} 为电网电流的估计值, \hat{u}_{sx} 为电网电压的估计值, \hat{u}'_{sx} 为滞后电压的估计值, R_f 为等效线路电阻, L_f 为输入滤波电感, ω 为电网电压的角频率, t 为时间。

[0015] 进一步,步骤S2中根据所述第一采样时间点的所述第一电压集合和第一电流集合,获取代价函数,包括:S201,根据所述第一采样时间点的所述第一电压集合和第一电流集合,获取第二采样时间点的第二电压集合和第二电流集合;S202,根据所述第二采样时间点的第二电压集合和第二电流集合,获取第三采样时间点的第三电压集合和第三电流集合;S203,根据所述第三采样时间点的第三电压集合和第三电流集合,获取所述代价函数。

[0016] 优选地,步骤S2中所述代价函数F为:

$$[0017] \quad F = g_2 + \lambda g_1;$$

[0018] 其中, g_1 为输入侧子代价函数, g_2 为输出侧子代价函数, λ 表示权重系数。

[0019] 优选地,所述输入侧子代价函数 g_1 为:

$$[0020] \quad g_1 = (P_{s_ref} - P_s^{k+2})^2 + (Q_{s_ref} - Q_s^{k+2})^2;$$

$$[0021] \quad \text{其中, } P_{s_ref} = P_{o_ref} / \eta, Q_{s_ref} = 0, P_s^{k+2} = \text{Re}(\vec{i}_s^{k+2})^* \vec{u}_s^{k+2}, Q_s^{k+2} = \text{Re}(\vec{i}_s^{k+2})^* \vec{u}_s'^{k+2},$$

P_{s_ref} 为输入有功功率参考值, Q_{s_ref} 为输入无功功率参考值, k 为第一采样时间点, $k+2$ 为第三采样时间点, P_s^{k+2} 为第三采样时间点的瞬时有功功率, Q_s^{k+2} 为第三采样时间点的瞬时无功功率, P_{o_ref} 为负载的有功功率参考值, η 为矩阵变换器的效率, \vec{i}_s^{k+2} 为第三采样点的电网电流矢量, \vec{u}_s^{k+2} 为第三采样点的电网电压矢量, $\vec{u}_s'^{k+2}$ 为第三采样点的滞后电压矢量,上标“*”表示矢量的共轭值, $\text{Re}(\vec{x})$ 表示求取矢量 \vec{x} 的实部。

[0022] 优选地,所述输出侧子代价函数 g_2 为:

$$[0023] \quad g_2 = \|\vec{i}_{oref} - \vec{i}_o^{k+2}\|^2;$$

[0024] 其中, \vec{i}_{oref} 为期望的输出电流矢量, k 为第一采样时间点, $k+2$ 为第三采样时间点,

\bar{i}_o^{k+2} 为第三采样时间点的输出电流, $\|\bar{x}\|$ 为矢量 \bar{x} 的欧几里得范数。

[0025] 优选地, 步骤S3中所述获取使得所述代价函数值最优的第一开关状态包括: S301, 获取所有有效开关状态中每一有效开关状态的代价函数值; S302, 根据所述每一有效开关状态的代价函数值, 获取所述第一开关状态, 所述第一开关状态使得所述代价函数值最优。

[0026] 具体地, 所述第一采样时间点、所述第二采样时间点和所述第三采样时间点的的时间间隔相同或不同。

[0027] 根据本发明的另一方面, 提供一种矩阵变换器的预测控制装置, 该装置包括: 参数获取模块, 用于获取第一采样时间点的的第一电压集合和第一电流集合, 所述第一电压集合包括电网电压和滞后电压, 所述电网电压和滞后电压通过扩张状态观测器获取; 代价函数获取模块, 用于根据所述第一采样时间点的的第一电压集合和第一电流集合, 获取代价函数; 开关状态获取模块, 用于获取使得所述代价函数值最优的第一开关状态, 将所述第一开关状态作为第二采样时间点的开关状态。

[0028] 本发明提供了一种矩阵变换器的预测控制方法及装置, 可以使矩阵变换器系统在电网电压不平衡的情况下, 得到平衡的输出电流、正弦的输入输出电流波形、稳定的瞬时有功功率和最小的瞬时无功功率。使用过程无需正负序分解, 计算简单。在实现矩阵变换器系统控制目标的情况下, 通过扩张状态观测器获取电网电压和滞后电压, 去除了采集电网电压的传感器, 节约了系统成本。

附图说明

[0029] 图1为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器的系统结构示意图;

[0030] 图2为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器的预测控制方法的流程图;

[0031] 图3为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器的预测控制方法中的扩张状态观测器的结构示意图;

[0032] 图4为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器的预测控制装置的结构示意图;

[0033] 图5为根据本发明实施例提供的一种使用预测控制方法的矩阵变换器系统的结构示意图;

[0034] 图6为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器的三相不平衡电网电压的实验波形图;

[0035] 图7为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的一相电网电压与一相电网电流的波形图;

[0036] 图8为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的电网电流的波形图;

[0037] 图9为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的输出电流的波形图;

[0038] 图10为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的瞬时有功功率与瞬时无功功率的波形图;

[0039] 图11为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的输出电流的波形图;

[0040] 图12为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的瞬时有

功率与瞬时无功功率的波形图；

[0041] 图13为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的输出电流参考阶跃变化时系统动态响应波形图。

具体实施方式

[0042] 下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施例用于说明本发明,但不用来限制本发明的范围。

[0043] 图1为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器的系统结构示意图,矩阵变换器是一种直接交-交变换器,可以实现所有交流参数(相数、相位、振幅、频率)的变换,与传统的变换器相比,矩阵变换器具有以下优点:不需要中间直流储能环节、能够四象限运行、电源设计紧凑、具有优良的输入电流波形和输出电压波形、能量可双向流动、体积小、重量轻以及可自由控制输入功率因数等。

[0044] 如图1所示,矩阵变换器系统由电网电源、输入LC滤波器、9个双向开关组成的主电路以及负载组成。 u_{ix} ($x=a, b, c$) 表示矩阵变换器的三相输入电压、 u_{oy} ($y=A, B, C$) 表示矩阵变换器的三相输出电压、 i_{ix} ($x=a, b, c$) 表示矩阵变换器的三相输入电流、 i_{oy} ($y=A, B, C$) 表示矩阵变换器的三相输出电流。

[0045] 每个开关 S_{yx} ($x=a, b, c; y=A, B, C$) 具有两种状态,其中, $S_{yx}=1$ 表示开关 S_{yx} 为闭合状态, $S_{yx}=0$ 表示开关 S_{yx} 为断开状态。9个开关的状态可以用下述的开关状态矩阵 S 表示:

$$[0046] \quad S = \begin{bmatrix} S_{Aa} & S_{Ab} & S_{Ac} \\ S_{Ba} & S_{Bb} & S_{Bc} \\ S_{Ca} & S_{Cb} & S_{Cc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0047] 图2为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器的预测控制方法的流程图,如图2所示,所述方法包括以下步骤:S1,获取第一采样时间点的第一电压集合和第一电流集合,所述第一电压集合包括电网电压和滞后电压,所述电网电压和滞后电压通过扩张状态观测器获取;S2,根据所述第一采样时间点的所述第一电压集合和第一电流集合,获取代价函数;S3,获取使得所述代价函数值最优的第一开关状态,将所述第一开关状态作为第二采样时间点的开关状态。

[0048] 具体地,步骤S1中的第一采样时间点为当前采样时间点,在当前采样时间点获取第一电压集合和第一电流集合,其中,第一电压集合包括:输入电压、输出电压、电网电压和滞后电压;第一电流集合包括:输出电流、输入电流和电网电流。其中,输入电压、输出电流和电网电流均通过传感器检测获取,输出电压通过输入电压和当前开关状态获取,输入电流通过输出电流和当前开关状态获取,电网电压和滞后电压通过扩张状态观测器获取。

[0049] 具体地,步骤S2中的代价函数为用于找到最优解的目的函数。

[0050] 本发明实施例所述开关状态为矩阵变换器系统的开关状态。具体地,矩阵变换器系统中存在多个开关,步骤S3中的开关状态为多种,其中,每一个开关 S_{yx} ($x=a, b, c; y=A, B, C$) 存在两种状态,其中, $S_{yx}=1$ 表示开关 S_{yx} 为闭合状态, $S_{yx}=0$ 表示开关 S_{yx} 为断开状态。

[0051] 本发明实施例提供的一种矩阵变换器的预测控制方法,可以使矩阵变换器系统在电网电压不平衡的情况下,得到平衡的输出电流、正弦的输入输出电流波形、稳定的瞬时有功率和最小的瞬时无功功率。使用过程无需正负序分解,计算简单。同时通过扩张状态观

测器获取电网电压和滞后电压,去除了采集电网电压的传感器,节约了系统成本。

[0052] 基于上述实施例,本实施例对步骤S1中所述第一电压集合和所述第一电流集合的具体内容进行进一步说明,所述第一电压集合还包括输入电压和输出电压,所述第一电流集合包括输出电流、输入电流和电网电流。

[0053] 具体地,输入电压、输出电流和电网电流均通过传感器检测获取,输出电压通过输入电压和当前开关状态获取,输入电流通过输出电流和当前开关状态获取。

[0054] 基于上述实施例,本实施例对步骤S1中所述电网电压和滞后电压的获取方法进行说明。为了更好地对本实施例中所述方法进行说明,此处参照图3。图3为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器的预测控制方法中的扩张状态观测器的结构示意图。步骤S1中所述电网电压和滞后电压通过扩张状态观测器获取,获取公式为:

$$[0055] \quad \begin{cases} L_f \frac{d\hat{i}_{sx}}{dt} = \hat{u}_{sx} - u_{ix} - R_f \hat{i}_{sx} + k_1 (i_{sx} - \hat{i}_{sx}) \\ \frac{d\hat{u}_{sx}}{dt} = -\omega \hat{u}'_{sx} + k_2 (i_{sx} - \hat{i}_{sx}) \\ \frac{d\hat{u}'_{sx}}{dt} = \omega \hat{u}_{sx} + k_3 (i_{sx} - \hat{i}_{sx}) \end{cases} \quad (2)$$

[0056] 其中, k_1 、 k_2 和 k_3 均为扩张状态观测器的输出反馈系数, i_{sx} 为电网电流, u_{sx} 为电网电压, u'_{sx} 为滞后电压, \hat{i}_{sx} 为电网电流的估计值, \hat{u}_{sx} 为电网电压的估计值, \hat{u}'_{sx} 为滞后电压的估计值, R_f 为等效线路电阻, L_f 为输入滤波电感, ω 为电网电压的角频率, t 为时间。

[0057] 具体地,本实施例通过建立扩张状态观测器模型来获取电网电压与滞后电压,其具体步骤为:

[0058] 在三相电网电压为正弦波且频率恒定的情况下,建立矩阵变换器输入侧的模型:

$$[0059] \quad \begin{cases} L_f \frac{di_{sx}}{dt} = u_{sx} - u_{ix} - R_f i_{sx} \\ \frac{du_{sx}}{dt} = -\omega u'_{sx} \\ \frac{du'_{sx}}{dt} = \omega u_{sx} \end{cases} \quad (3)$$

[0060] 在上述公式的基础上,建立扩张状态观测器模型:

$$[0061] \quad \begin{cases} L_f \frac{d\hat{i}_{sx}}{dt} = \hat{u}_{sx} - u_{ix} - R_f \hat{i}_{sx} + k_1 (i_{sx} - \hat{i}_{sx}) \\ \frac{d\hat{u}_{sx}}{dt} = -\omega \hat{u}'_{sx} + k_2 (i_{sx} - \hat{i}_{sx}) \\ \frac{d\hat{u}'_{sx}}{dt} = \omega \hat{u}_{sx} + k_3 (i_{sx} - \hat{i}_{sx}) \end{cases} \quad (4)$$

[0062] 根据矩阵变换器输入侧的模型(3)与扩张状态观测器模型(4),得到下述等式:

$$[0063] \quad \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{i}_{sx} - i_{sx} \\ \hat{u}_{sx} - u_{sx} \\ \hat{u}'_{sx} - u'_{sx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_f+k_1}{L_f} & \frac{1}{L_f} & 0 \\ -k_2 & 0 & -\omega \\ -k_3 & \omega & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_{sx} - i_{sx} \\ \hat{u}_{sx} - u_{sx} \\ \hat{u}'_{sx} - u'_{sx} \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0064] 建立扩张状态观测器的特征方程 $\lambda(s)$ ：

$$[0065] \quad \lambda(s) = |sI - A_E| = s^3 + \frac{k_1+R_f}{L_f} s^2 + \left(\frac{k_2}{L_f} + \omega^2\right) s + \frac{k_1+R_f}{L_f} \omega^2 - \frac{k_3}{L_f} \omega \quad (6)$$

[0066] 其中，

$$[0067] \quad A_E = \begin{bmatrix} -\frac{R_f+k_1}{L_f} & \frac{1}{L_f} & 0 \\ -k_2 & 0 & -\omega \\ -k_3 & \omega & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

[0068] 通常为了计算简便，将式(6)中特征方程 $\lambda(s)$ 的根配置为重根形式：

$$[0069] \quad \lambda(s) = (s + \omega_c)^3 \quad (8)$$

[0070] 通过联立式(6)与式(8)，获取到 k_1 、 k_2 和 k_3 的表达式：

$$[0071] \quad \begin{cases} k_1 = 3\omega_c L_f - R_f \\ k_2 = (3\omega_c^2 - \omega^2) L_f \\ k_3 = (3\omega_c \omega - \frac{\omega_c^3}{\omega}) L_f \end{cases} \quad (9)$$

[0072] 将式(9)中获取到的 k_1 、 k_2 和 k_3 的表达式代入扩张状态观测器模型(4)，获取电网电压与滞后电压，此处所获取的电网电压为电网电压的估计值，此处所获取的滞后电压为滞后电压的估计值。

[0073] 以下将对上述公式中的参数做出解释说明：

[0074] 在上述公式中， k_1 、 k_2 和 k_3 均为扩张状态观测器的输出反馈系数， i_{sx} 为电网电流， u_{sx} 为电网电压， u'_{sx} 为滞后电压， \hat{i}_{sx} 为电网电流的估计值， \hat{u}_{sx} 为电网电压的估计值， \hat{u}'_{sx} 为滞后电压的估计值， R_f 为等效线路电阻， L_f 为输入滤波电感， ω 为电网电压的角频率， ω_c 为矩阵变换器系统极点的分布位置， s 为拉普拉斯算子， I 为单位矩阵， t 为时间， A_E 为矩阵。

[0075] 需要说明的是，当 $\omega_c > 0$ 时，矩阵 A_E 为赫尔维茨矩阵。各参数的估计值与各参数之间的误差最终会趋近于0，同时，误差的收敛速度取决于 ω_c 。

[0076] 本发明实施例提供了一种矩阵变换器的预测控制方法，通过扩张状态观测器获取电网电压和滞后电压，去除了采集电网电压的传感器，节约了系统成本。

[0077] 基于上述实施例，本实施例对步骤S2中根据所述第一采样时间点的所述第一电压集合和所述第一电流集合，获取代价函数的方法进行说明，所述方法包括：S201，根据所述第一采样时间点的所述第一电压集合和所述第一电流集合，获取第二采样时间点的第二电压集合和第二电流集合；S202，根据所述第二采样时间点的第二电压集合和第二电流集合，获取第三采样时间点的第三电压集合和第三电流集合；S203，根据所述第三采样时间点的第三电压集合和第三电流集合，获取所述代价函数。

[0078] 具体地,在步骤S201中,根据所述第一采样时间点的第一电压集合和第一电流集合,获取第二采样时间点的第二电压集合和第二电流集合,其中,第一电压集合包括:输入电压矢量 \vec{u}_i^k 、输出电压矢量 \vec{u}_o^k 、电网电压矢量 $\hat{\vec{u}}_s^k$ 和滞后电压矢量 $\hat{\vec{u}}_s'^k$;第一电流集合包括:输出电流矢量 \vec{i}_o^k 、输入电流矢量 \vec{i}_i^k 和电网电流矢量 \vec{i}_s^k 。

[0079] 其中,输入电压矢量 \vec{u}_i^k 、输出电流矢量 \vec{i}_o^k 和电网电流矢量 \vec{i}_s^k 通过传感器检测获取,输出电压矢量 \vec{u}_o^k 通过输入电压矢量 \vec{u}_i^k 和当前开关状态获取,输入电流矢量 \vec{i}_i^k 通过输出电流矢量 \vec{i}_o^k 和当前开关状态获取,电网电压矢量 $\hat{\vec{u}}_s^k$ 和滞后电压矢量 $\hat{\vec{u}}_s'^k$ 通过扩张状态观测器获取。

[0080] 其中,输出电压矢量 \vec{u}_o^k 通过输入电压矢量 \vec{u}_i^k 获取,输入电流矢量 \vec{i}_i^k 通过输出电流矢量 \vec{i}_o^k 获取的方法如下:

$$[0081] \quad \begin{bmatrix} u_{oA} \\ u_{oB} \\ u_{oC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{Aa} & S_{Ab} & S_{Ac} \\ S_{Ba} & S_{Bb} & S_{Bc} \\ S_{Ca} & S_{Cb} & S_{Cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{ia} \\ u_{ib} \\ u_{ic} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$[0082] \quad \begin{bmatrix} i_{ia} \\ i_{ib} \\ i_{ic} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{Aa} & S_{Ab} & S_{Ac} \\ S_{Ba} & S_{Bb} & S_{Bc} \\ S_{Ca} & S_{Cb} & S_{Cc} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} i_{oA} \\ i_{oB} \\ i_{oC} \end{bmatrix} \quad (11)$$

[0083] 其中,输出电压矢量 \vec{u}_o^k 包括 u_{oA} 、 u_{oB} 和 u_{oC} 三相的输出电压;输入电压矢量 \vec{u}_i^k 包括 u_{ia} 、 u_{ib} 和 u_{ic} 三相的输入电压;输入电流矢量 \vec{i}_i^k 包括 i_{ia} 、 i_{ib} 和 i_{ic} 三相的输入电流;输出电流矢量 \vec{i}_o^k 包括 i_{oA} 、 i_{oB} 和 i_{oC} 三相的输出电流。

$$[0084] \quad \text{其中,矩阵} \begin{bmatrix} S_{Aa} & S_{Ab} & S_{Ac} \\ S_{Ba} & S_{Bb} & S_{Bc} \\ S_{Ca} & S_{Cb} & S_{Cc} \end{bmatrix} \text{为开关状态矩阵} S, \text{每个开关} S_{yx} (x=a, b, c; y=A, B, C)$$

具有两种状态,其中, $S_{yx}=1$ 表示开关 S_{yx} 为闭合状态, $S_{yx}=0$ 表示开关 S_{yx} 为断开状态。

[0085] 其中,电网电压矢量 $\hat{\vec{u}}_s^k$ 和滞后电压矢量 $\hat{\vec{u}}_s'^k$ 通过扩张状态观测器获取,其获取方法在上述实施例中已有详细说明,此处不再赘述。

[0086] 第二电压集合包括:输入电压矢量 \vec{u}_i^{k+1} 、输出电压矢量 \vec{u}_o^{k+1} 、电网电压矢量 $\hat{\vec{u}}_s^{k+1}$ 和滞后电压矢量 $\hat{\vec{u}}_s'^{k+1}$;第二电流集合包括:输出电流矢量 \vec{i}_o^{k+1} 、输入电流矢量 \vec{i}_i^{k+1} 和电网电流矢量 \vec{i}_s^{k+1} 。

[0087] 具体地,输入电压矢量 \vec{u}_i^{k+1} 和电网电流矢量 \vec{i}_s^{k+1} 的获取公式如下:

$$[0088] \quad \begin{bmatrix} \vec{u}_i^{k+1} \\ \vec{i}_s^{k+1} \end{bmatrix} = G \begin{bmatrix} \vec{u}_i^k \\ \vec{i}_s^k \end{bmatrix} + H \begin{bmatrix} \hat{\vec{u}}_s^k \\ \vec{i}_i^k \end{bmatrix} \quad (12)$$

[0089] 其中, $G = e^{AT_s}$, $H = A^{-1}(G - I)B$ 。上标k为第k采样时间点,也即第一采样时间点,上标k+1为第k+1采样时间点,也即第二采样时间点, T_s 为采样周期, I 为单位矩阵。

[0090] 其中, $A = \begin{bmatrix} 0 & 1/C_f \\ -1/L_f & -R_f/L_f \end{bmatrix}$, $B = \begin{bmatrix} 0 & -1/C_f \\ 1/L_f & 0 \end{bmatrix}$, R_f 为等效的线路电阻, L_f 为输入滤波电感, C_f 为输入滤波电容。

[0091] 具体地,输出电流 \vec{i}_o^{k+1} 的获取公式如下:

$$[0092] \quad L \frac{d\vec{i}_o}{dt} = \vec{u}_o - R\vec{i}_o \quad (13)$$

[0093] 其中, \vec{u}_o 为输出电压矢量, \vec{i}_o 为输出电流矢量, R 为负载电阻, L 为负载电感, t 为时间。将式(13)通过前向欧拉公式离散化即可获取输出电流矢量 \vec{i}_o^{k+1} 。

[0094] 根据以上公式可获取第二采样时间点的输入电压矢量 \vec{u}_i^{k+1} 和输出电流矢量 \vec{i}_o^{k+1} , 而第二采样时间点的输出电压矢量 \vec{u}_o^{k+1} 和输入电流矢量 \vec{i}_i^{k+1} 的获取方法与第一采样时间点的输出电压矢量 \vec{u}_o^k 和输入电流矢量 \vec{i}_i^k 的获取方法一致,此处不再赘述。

[0095] 第二采样时间点的电网电压矢量 $\hat{\vec{u}}_s^{k+1}$ 和滞后电压矢量 $\hat{\vec{u}}_s^{k+1}$ 通过扩张状态观测器获取,其获取方法在上述实施例中已有详细说明,此处不再赘述。

[0096] 具体地,在步骤S202中,第三电压集合包括:输入电压矢量 \vec{u}_i^{k+2} 、输出电压矢量 \vec{u}_o^{k+2} 、电网电压矢量 $\hat{\vec{u}}_s^{k+2}$ 和滞后电压矢量 $\hat{\vec{u}}_s^{k+2}$; 第三电流集合包括:输出电流矢量 \vec{i}_o^{k+2} 、输入电流矢量 \vec{i}_i^{k+2} 和电网电流矢量 \vec{i}_s^{k+2} , 上标k+2为第k+2采样时间点,也即第三采样时间点。

[0097] 在步骤S202中,根据所述第二采样时间点的第二电压集合和第二电流集合,获取第三采样时间点的第三电压集合和第三电流集合的方法与步骤S201中的方法一致,此处不再赘述。

[0098] 在步骤S203中,根据所述第三采样时间点的第三电压集合和第三电流集合,获取所述代价函数,所述代价函数为用于找到最优解的目的函数。

[0099] 本发明实施例提供一种矩阵变换器的预测控制方法,通过第三采样时间点的第三电压集合和第三电流集合,获取所述代价函数,削减了计算滞后带来的影响,补偿了控制的延迟。

[0100] 基于上述实施例,本实施例对步骤S2中所述代价函数F的获取方法做出说明,其获取公式为:

$$[0101] \quad F = g_2 + \lambda g_1 \quad (14)$$

[0102] 其中, g_1 为输入侧子代价函数, g_2 为输出侧子代价函数, λ 表示权重系数。

[0103] 具体地,代价函数为用于找到最优解的目的函数。

[0104] 本发明实施例提供一种矩阵变换器的预测控制方法,通过第三采样时间点的第三电压集合和第三电流集合,获取所述代价函数,削减了计算滞后带来的影响,补偿了控制的延迟。

[0105] 基于上述实施例,本实施例对所述输入侧子代价函数 g_1 的获取方法做出解释说明,其获取公式为:

$$[0106] \quad g_1 = (P_{s_ref} - P_s^{k+2})^2 + (Q_{s_ref} - Q_s^{k+2})^2 \quad (15)$$

[0107] 其中, $P_{s_ref} = P_{o_ref} / \eta$, $Q_{s_ref} = 0$, $P_s^{k+2} = \text{Re}(\vec{i}_s^{k+2})^* \vec{u}_s^{k+2}$, $Q_s^{k+2} = \text{Re}(\vec{i}_s^{k+2})^* \vec{u}_s'^{k+2}$ 。

[0108] 其中, P_{s_ref} 为输入有功功率参考值, Q_{s_ref} 为输入无功功率参考值, k 为第一采样时间点, $k+2$ 为第三采样时间点, P_s^{k+2} 为第三采样时间点的瞬时有功功率, Q_s^{k+2} 为第三采样时间点的瞬时无功功率, P_{o_ref} 为输出有功功率参考值, η 为矩阵变换器的效率, \vec{i}_s^{k+2} 为第三采样点的电网电流矢量, \hat{u}_s^{k+2} 为第三采样点的电网电压矢量, $\hat{u}_s'^{k+2}$ 为第三采样点的滞后电压矢量, 上标“*”表示矢量的共轭值, $\text{Re}(\vec{x})$ 表示求取矢量 \vec{x} 的实部。

[0109] 具体地,对于上述各变量中的一些变量的来源,此处做出说明:

[0110] P_{o_ref} 为输出有功功率参考值,针对常见的三种负载情况, P_{o_ref} 的获取方式可以用下式表示:

$$[0111] \quad P_{o_ref} = \begin{cases} \frac{3}{2} I_{om}^2 R \\ T\Omega \\ \frac{3}{2} I_{om} U_{om} \end{cases} \quad (16)$$

[0112] 针对于阻感负载, $P_{o_ref} = \frac{3}{2} I_{om}^2 R$; 针对于电机负载, $P_{o_ref} = T\Omega$; 针对于并网运行,

$$P_{o_ref} = \frac{3}{2} I_{om} U_{om} \circ$$

[0113] 其中, R 为负载电阻, I_{om} 为输出电流的幅值, U_{om} 为平衡电网电压的幅值, T 为电机转矩, Ω 为电机转速。

[0114] η 为矩阵变换器的效率,为矩阵变换器在设计时计算得到的理论值。

[0115] 基于上述实施例,本实施例对所述输出侧子代价函数 g_2 的获取方法做出解释说明,其获取公式为:

$$[0116] \quad g_2 = \|\vec{i}_{oref} - \vec{i}_o^{k+2}\|^2 \quad (17)$$

[0117] 其中, \vec{i}_{oref} 为输出电流矢量, k 为第一采样时间点, $k+2$ 为第三采样时间点, \vec{i}_o^{k+2} 为第三采样时间点的输出电流矢量, $\|\vec{x}\|$ 为矢量 \vec{x} 的欧几里得范数。

[0118] 其中, \vec{i}_{oref} 为输出电流矢量,其值由控制器给出。

[0119] 基于上述实施例,本实施例对步骤S3中获取使得所述代价函数值最优的第一开关状态的方法进行说明,该方法包括:S301,获取所有有效开关状态中每一有效开关状态的代价函数值;S302,根据所述每一有效开关状态的代价函数值,获取所述第一开关状态,所述第一开关状态使得所述代价函数值最优。

[0120] 具体地,在步骤S301中,获取所有有效开关状态中每一有效开关状态的代价函数值,其中,有效开关状态需满足的条件为:输入侧不能短路,输出侧不能开路。因此矩阵变换器的开关需满足以下条件:

$$[0121] \quad \begin{cases} S_{Aa} + S_{Ab} + S_{Ac} = 1 \\ S_{Ba} + S_{Bb} + S_{Bc} = 1 \\ S_{Ca} + S_{Cb} + S_{Cc} = 1 \end{cases} \quad (18)$$

[0122] 可得矩阵变换器的有效开关状态有 $3*3*3=27$ 种。

[0123] 具体地,在步骤S302中,根据所述每一有效开关状态的代价函数值,获取所述第一开关状态,所述第一开关状态使得所述代价函数值最优包括:

[0124] 对于27种有效开关状态中的每一有效开关状态,计算每一有效开关状态的代价函数值,其中,对于第一采样时间点,不同的有效开关状态对应着不同的输出电压和不同的输入电流。而不同的输出电压和不同的输入电流导致后续获得不同的代价函数值。

[0125] 27种有效开关状态对应着27组代价函数值,在27组代价函数值中选取最优的代价函数值,将最优的代价函数值对应的有效开关状态作为第二采样时间点的开关状态。

[0126] 其中,最优的代价函数值可以为最小的代价函数值,但本实施例不局限于此。

[0127] 本发明实施例提供的一种矩阵变换器的预测控制方法,在矩阵变换器运行过程中,在每个采样时间点计算所有开关组合状态的总代价函数值,选择其中能使总代价函数值最优的一种开关状态,作为下一采样时间点的开关状态,使得在输入侧,得到优良的输入电流波形以及工作在单位功率因数的能力,使得在输出侧,得到平衡的输出电流。

[0128] 基于上述实施例,本实施例中所述第一采样时间点、所述第二采样时间点和所述第三采样时间点的的时间间隔相同或不同。

[0129] 具体地,本实施例中第一采样时间点和第二采样时间点的的时间间隔为第一时间间隔,第二采样时间点和第三采样时间点的的时间间隔为第二时间间隔,第一时间间隔与第二时间间隔相同或不同。

[0130] 本发明实施例提供的一种矩阵变换器的预测控制方法,所述第一采样时间点、所述第二采样时间点和所述第三采样时间点的的时间间隔相同或不同,通过设置相同或不同的采样时间间隔,使得该方法在实施时更加便捷。

[0131] 图4为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器的预测控制装置的结构示意图,如图4所示,所述装置包括:参数获取模块901,用于获取第一采样时间点的的第一电压集合和第一电流集合,所述第一电压集合包括电网电压和滞后电压,所述电网电压和滞后电压通过扩张状态观测器获取;代价函数获取模块902,用于根据所述第一采样时间点的的第一电压集合和第一电流集合,获取代价函数;开关状态获取模块903,用于获取使得所述代价函数值最优的第一开关状态,将所述第一开关状态作为第二采样时间点的开关状态。

[0132] 本发明实施例提供的一种矩阵变换器的预测控制装置,可以使矩阵变换器系统在电网电压不平衡的情况下,得到平衡的输出电流、正弦的输入输出电流波形、稳定的瞬时有功率和最小的瞬时无功功率。使用过程无需正负序分解,计算简单。在实现矩阵变换器系统控制目标的情况下,通过扩张状态观测器获取电网电压和滞后电压,去除了采集电网电压的传感器,节约了系统成本。

[0133] 基于上述实施例,本实施例使用上述实施例中的矩阵变换器的预测控制方法对矩阵变换器的输入输出特性进行测试,测试参数如表1所示,以下结合图5进行说明。图5为根据本发明实施例提供的一种使用预测控制方法的矩阵变换器系统的结构示意图,如图5所示,矩阵变换器系统由电网电源、输入LC滤波器、9个双向开关组成的主电路以及负载组成。

[0134] 图5中所示出的扩张状态观测器用于获取第一采样时间点的电网电压和滞后电压;预测模型用于获取第二采样时间点的第二电压集合和第二电流集合,所述第二电压集合和第二电流集合在上述实施例中已有说明,此处不再赘述;最优状态为使得代价函数值最优的第一开关状态;矩阵变换器将第一开关状态作为第二采样时间点的开关状态。

[0135] 表1.测试参数表

参数	数值
电网电压频率(f_i)	50Hz
采样周期(T_s)	100us
输入滤波电感(L_f)	0.6mH
输入滤波电容(C_f)	66uF
输入滤波电阻(R_f)	0.02 Ω
负载电阻(R)	5.5 Ω
负载电感(L)	6mH

[0137] 图6为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器的三相不平衡电网电压的实验波形图,如图6所示,电网电压包括 u_{sa} 、 u_{sb} 、 u_{sc} ,其中, u_{sa} 为A相电网电压、 u_{sb} 为B相电网电压、 u_{sc} 为C相电网电压, u_{sa} 、 u_{sb} 、 u_{sc} 各相相位依次相差 120° ,有效值分别为60V,60V,120V,该电网电压不平衡。

[0138] 图7为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的一相电网电压与一相电网电流的波形图,如图7所示, u_{sb} 为B相电网电压, i_{sb} 为B相电网电流,可以看出, i_{sb} 的相位与 u_{sb} 的相位接近,矩阵变换器输入侧工作在单位功率因数模式。

[0139] 图8为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的电网电流的波形图,如图8所示,电网电流包括 i_{sa} 、 i_{sb} 、 i_{sc} ,其中, u_{sa} 为A相电网电压、 u_{sb} 为B相电网电压、 u_{sc} 为C相电网电压,可以看出,三相输入电流波形均为正弦波,谐波含量小,同时幅值不平衡。

[0140] 图9为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的输出电流的波形图,图10为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的瞬时有功功率与瞬时无功功率的波形图。结合图9和图10,在输出电压频率 $f_o=40\text{Hz}$ 、输出电流幅值 $I_{om}=11\text{A}$ 的情况下,可以看出,在电网电压不平衡的情况下,输出电流平衡;瞬时无功功率为0,瞬时有功功率为常值,其中的交流分量被完全去除。

[0141] 图11为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的输出电流的波形图,图12为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的瞬时有功功率与瞬时无功功率的波形图。结合图11和图12,在输出电压频率 $f_o=60\text{Hz}$ 、输出电流

幅值 $I_{om}=11A$ 的情况下,可以看出,在电网电压不平衡的情况下,输出电流平衡;瞬时无功功率 Q_s 为0,瞬时有功功率 P_s 为常值,其中的交流分量被完全去除。

[0142] 图13为根据本发明实施例提供的一种矩阵变换器在不平衡电网电压下的输出电流参考阶跃变化时系统动态响应波形图,在电网电压不平衡的情况下,输出电流 i_{oA} 在原有7A/50Hz的基础上阶跃变化至11A/50Hz。可以看出,在整个动态响应的过程中,瞬时功率中的瞬时无功功率 Q_s 与瞬时有功功率 P_s 的解耦控制得以实现,瞬时无功功率 Q_s 为0。

[0143] 本发明实施例提供的一种矩阵变换器的预测控制方法,可以使矩阵变换器系统在电网电压不平衡的情况下,得到平衡的输出电流、正弦的输入输出电流波形、稳定的瞬时有功功率和最小的瞬时无功功率。使用过程无需正负序分解,计算简单。在实现矩阵变换器系统控制目标的情况下,通过扩张状态观测器获取电网电压和滞后电压,去除了采集电网电压的传感器,节约了系统成本。

[0144] 最后,本发明的方法仅为较佳的实施方案,并非用于限定本发明的保护范围。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。

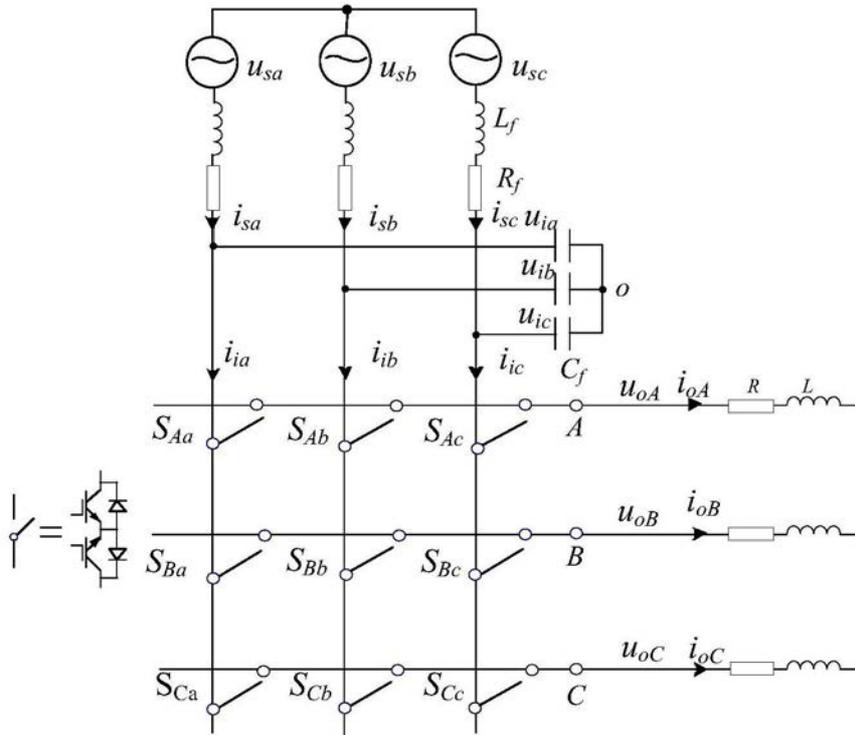


图1

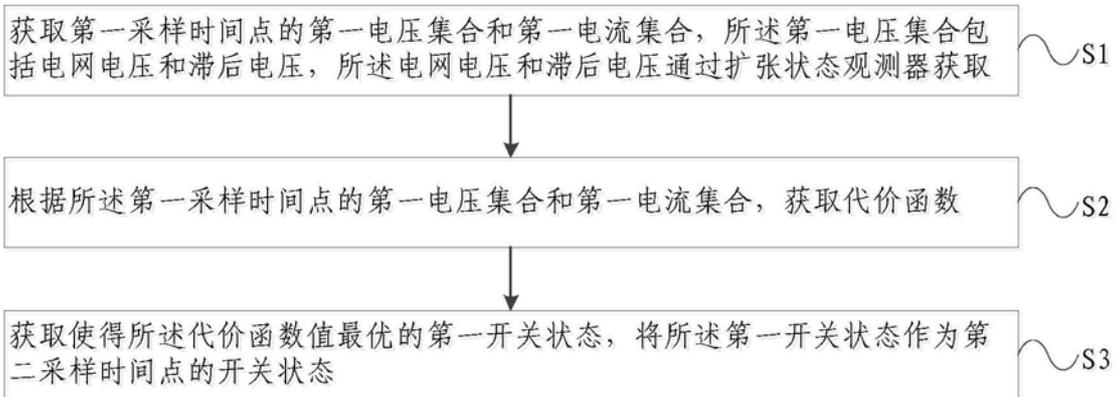


图2

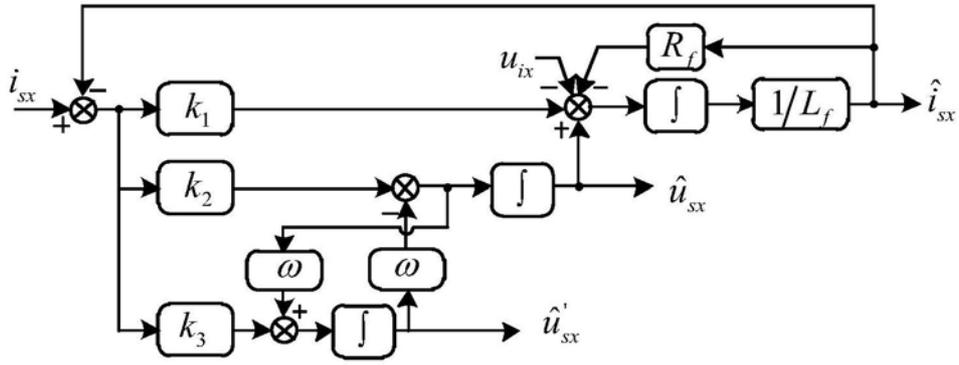


图3

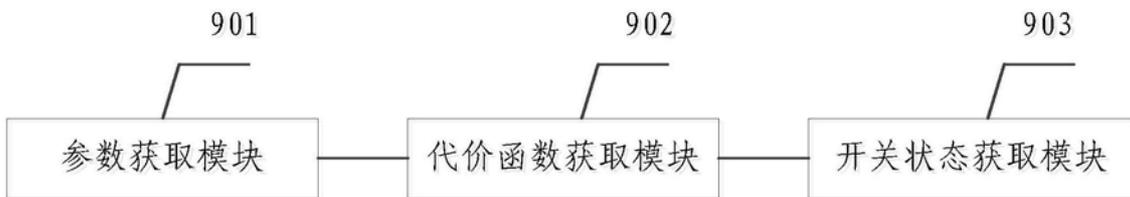


图4

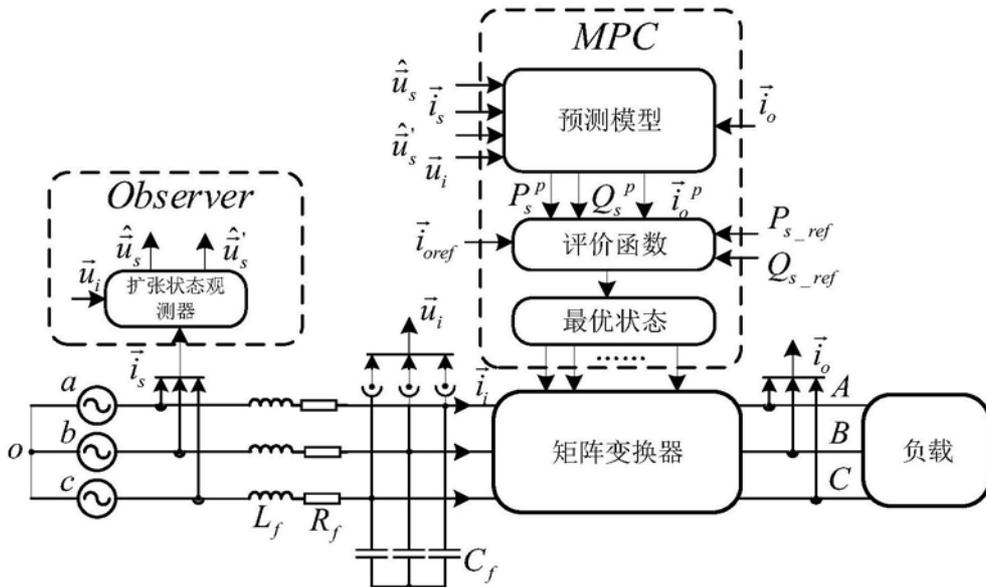


图5

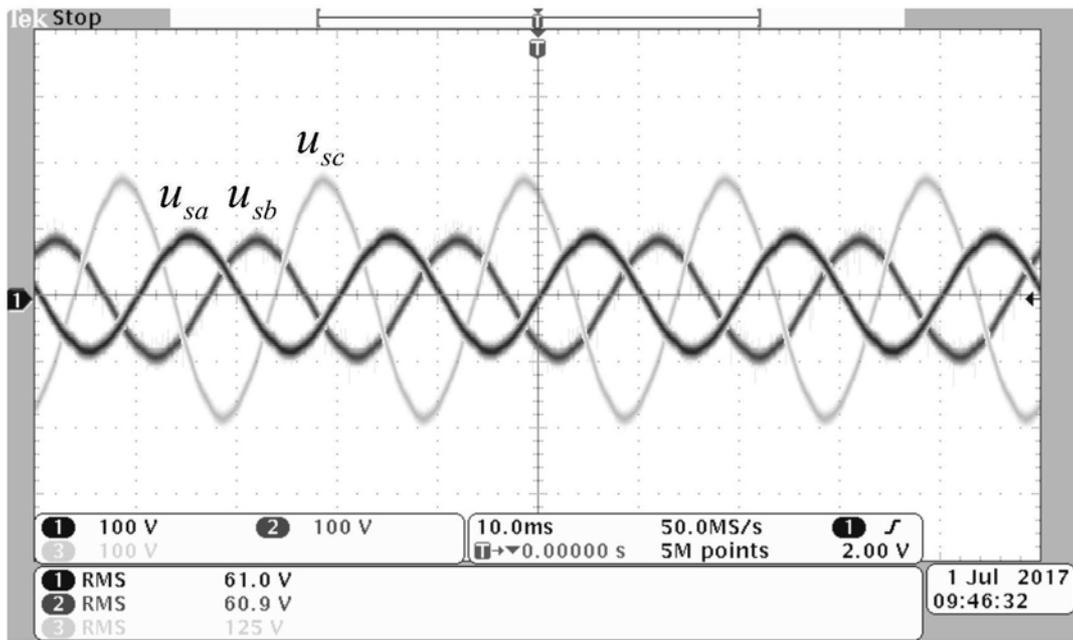


图6

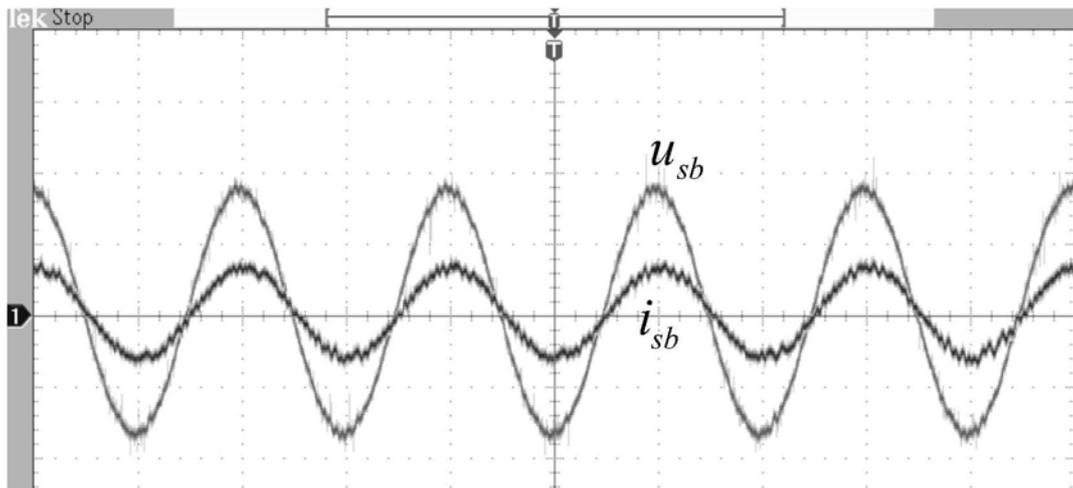


图7

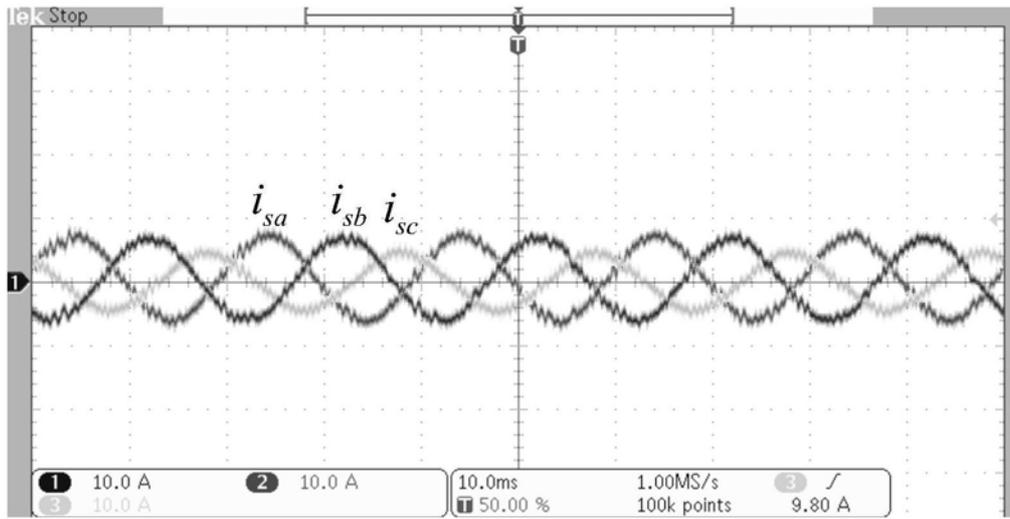


图8

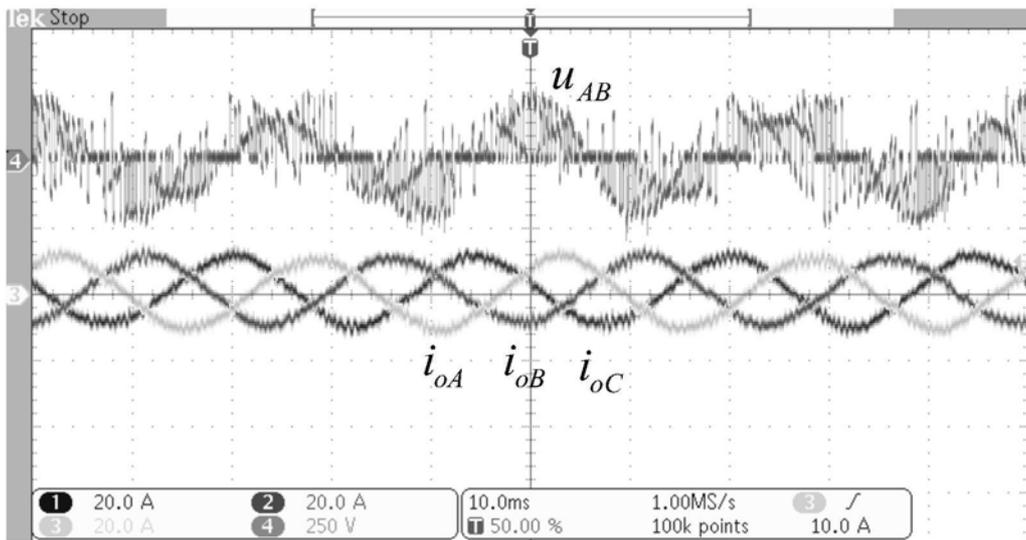


图9

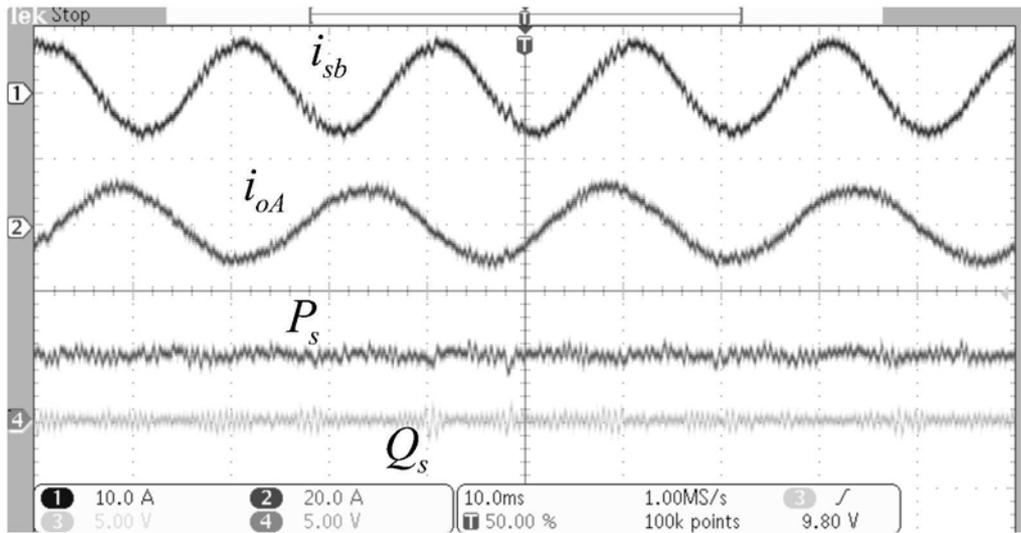


图10

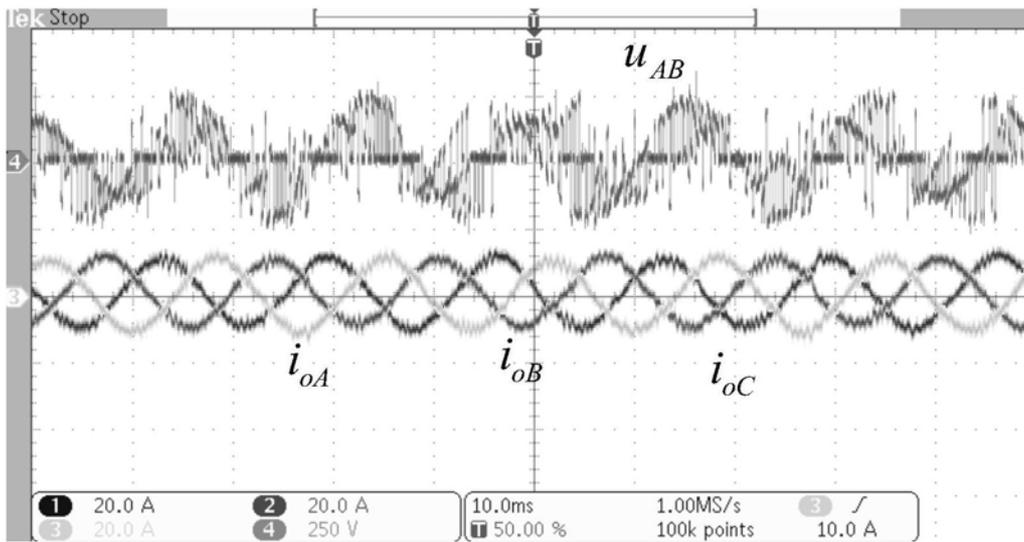


图11

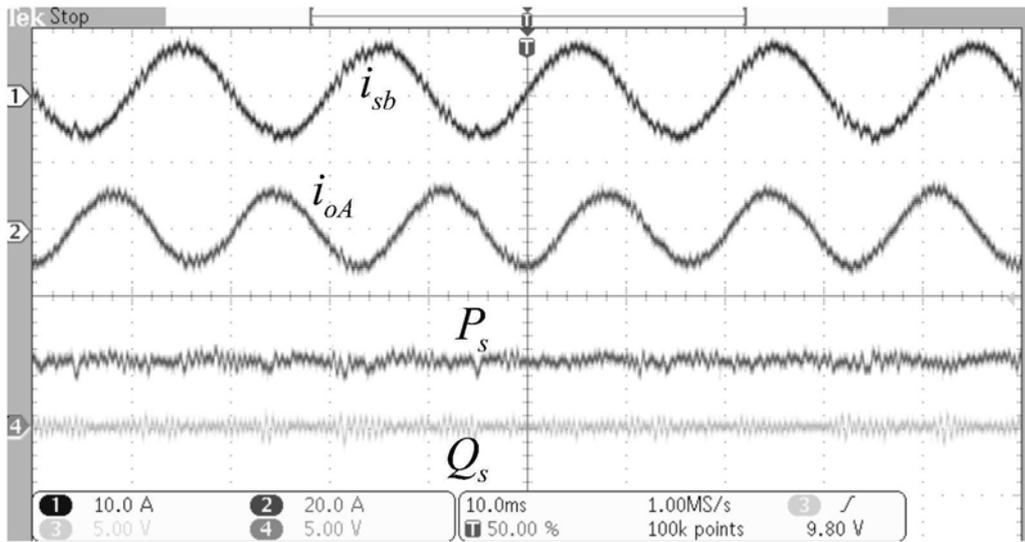


图12

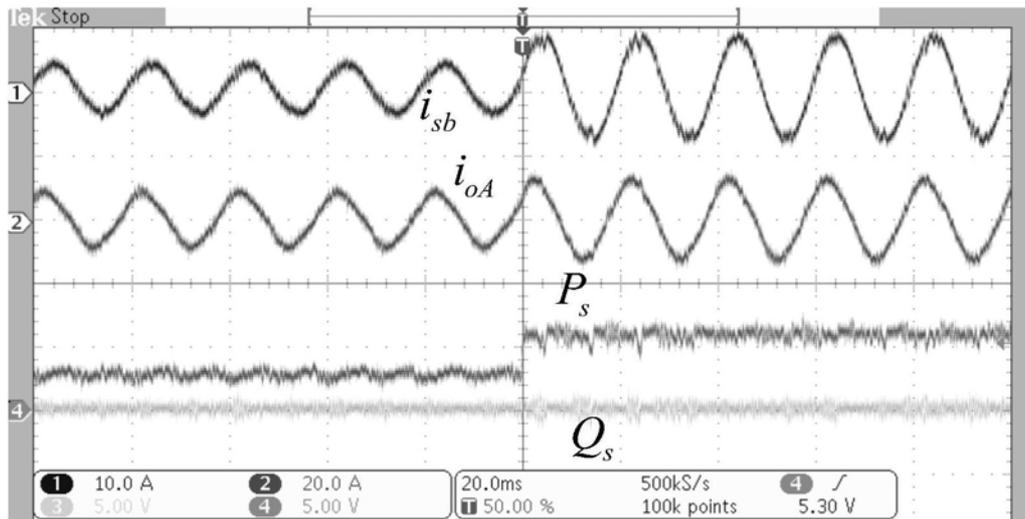


图13