



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112186771 A

(43) 申请公布日 2021. 01. 05

(21) 申请号 202011073332.4

(22) 申请日 2020.10.09

(71) 申请人 北京航空航天大学

地址 100083 北京市海淀区学院路37号

(72) 发明人 刘钰山 刘倩倩 何杰 刘钰鹏

李晓

(74) 专利代理机构 北京知呱呱知识产权代理有限公司 11577

代理人 丁彦峰

(51) Int. Cl.

H02J 3/02 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/32 (2006.01)

H02M 7/797 (2006.01)

H02M 5/293 (2006.01)

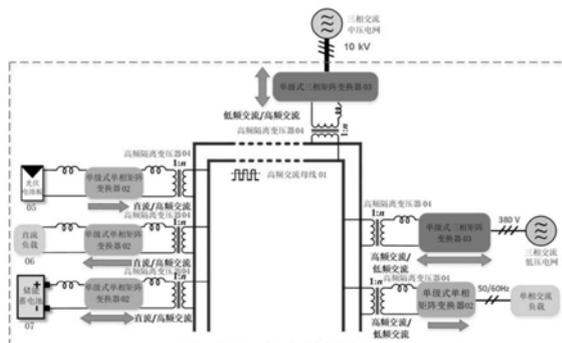
权利要求书3页 说明书12页 附图6页

(54) 发明名称

一种基于矩阵变换器的电能路由器及电能路由方法

(57) 摘要

本发明实施例公开了一种基于矩阵变换器的电能路由器及电能路由方法,基于三相和单相矩阵变换器式智能变压器,构建的多端口、即插即用的电能路由器,三相矩阵变换器式智能变压器可对接电压等级不同的三相交流电网或负载;单相矩阵变换器式智能变压器,既可输出单相交流,又可输出直流,加之双向功率流的特性,使其可对接单相交流和直流分布式电源、储能设备或负载,其统一的变换器结构简化了系统电路和控制设计;矩阵变换器使电能路由器的所有接口为全单级式功率变换而不需要大容量的母线电容,有助于减小电能路由器的体积,并提高效率 and 可靠性;高频隔离变压器组成电能路由器的高频交流母线,可进一步减小无源器件参数和体积。



1. 一种基于矩阵变换器的电能路由器,其特征在于,所述电能路由器包括:一个高频交流母线以及连接至所述高频交流母线上的至少两个即插接口,所述即插接口包括:至少一个向所述高频交流母线输入电能的输入接口和至少一个从所述高频交流母线输出电能的输出接口,所述输入接口为由单级式单相矩阵变换器形成的第一矩阵变换器接口和/或由单级式三相矩阵变换器形成的第二矩阵变换器接口;所述输出接口包括:至少一个由单级式单相矩阵变换器形成的第一矩阵变换器接口和/或至少一个由单级式三相矩阵变换器形成的第二矩阵变换器接口;每个即插接口均由一个变比为1:n的高频隔离变压器连接至所述高频交流母线。

2. 根据权利要求1所述的电能路由器,其特征在于,所述第一矩阵变换器接口包括:至少一个用于对接直流电源或负载的直流端口和至少一个用于对接单相交流电网或负载的单相交流端口。

3. 根据权利要求1所述的电能路由器,其特征在于:所述第二矩阵变换器接口包括至少一个用于对接三相交流中压电网的第一三相交流端口、至少一个用于对接三相交流低压电网的第二三相交流端口和至少一个用于对接三相交流低压负载的第三三相交流端口。

4. 根据权利要求1所述的电能路由器,其特征在于,所述电能路由器还包括:空间矢量调制器,所述空间矢量调制器分别连接至各个单级式单相矩阵变换器以及各个单级式三相矩阵变换器;所述空间矢量调制器对各个矩阵变换器以间接式矩阵变换器的空间矢量调制策略生成间接开关状态 S' ,并将所述间接开关状态 S' 与单位开关状态 S_{unit} 相结合得到电能路由开关状态 S ;在下一个控制周期开始时,所述电能路由开关状态 S 由所述空间矢量调制器分配给相应的矩阵变换器进行开关控制。

5. 根据权利要求4所述的电能路由器,其特征在于,所述空间矢量调制器按照以下第一开关状态算法公式生成各个单级式单相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(a,b)$:

$$\begin{bmatrix} S_{a1} & S_{b1} \\ S_{a2} & S_{b2} \end{bmatrix} = S_{unit} \begin{bmatrix} S'_{a1} & S'_{b1} \\ S'_{a2} & S'_{b2} \end{bmatrix}$$

其中, $\begin{bmatrix} S_{a1} & S_{b1} \\ S_{a2} & S_{b2} \end{bmatrix}$ 为单级式单相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(a,b)$; $\begin{bmatrix} S'_{a1} & S'_{b1} \\ S'_{a2} & S'_{b2} \end{bmatrix}$

为第一间接开关状态 $S'(a,b)$; S_{unit} 为单位开关状态,当第一矩阵变换器接口作为输出接口

时, S_{unit} 取第一单位开关状态 S_{unit1} , $S_{unit1} = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ S_3 & S_4 \end{bmatrix} \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right\}$, 当第一矩阵变

换器接口作为输入接口时, S_{unit} 取第二单位开关状态 S_{unit2} , $S_{unit2} = \begin{bmatrix} S_5 & S_6 \\ S_7 & S_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{S}_2 \\ \bar{S}_3 & \bar{S}_4 \end{bmatrix}$;

所述空间矢量调制器按照以下第二开关状态算法公式生成各个单级式三相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(u,v,w)$:

$$\begin{bmatrix} S_{u1} & S_{v1} & S_{w1} \\ S_{u2} & S_{v2} & S_{w2} \end{bmatrix} = S_{unit} \begin{bmatrix} S'_{u1} & S'_{v1} & S'_{w1} \\ S'_{u2} & S'_{v2} & S'_{w2} \end{bmatrix}$$

其中, $\begin{bmatrix} S_{u1} & S_{v1} & S_{w1} \\ S_{u2} & S_{v2} & S_{w2} \end{bmatrix}$ 为单级式三相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(u, v, w)$;
 $\begin{bmatrix} S'_{u1} & S'_{v1} & S'_{w1} \\ S'_{u2} & S'_{v2} & S'_{w2} \end{bmatrix}$ 为第二间接开关状态 $S'(u, v, w)$; S_{unit} 为单位开关状态, 当第二矩阵变换器接口作为输出接口时, S_{unit} 取第一单位开关状态 S_{unit1} , $S_{unit1} = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ S_3 & S_4 \end{bmatrix} \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right\}$,
 当第二矩阵变换器接口作为输入接口时, S_{unit} 取第二单位开关状态 S_{unit2} ,
 $S_{unit2} = \begin{bmatrix} S_5 & S_6 \\ S_7 & S_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{S}_2 \\ \bar{S}_3 & \bar{S}_4 \end{bmatrix}$ 。

6. 根据权利要求1所述的电能路由器, 其特征在于, 所述高频隔离变压器的变比 $1:n$ 为各个单级式单相矩阵变换器/单级式三相矩阵变换器平均直流电压 \bar{V}_{dc1} 与高频交流母线的电压幅值 \bar{V}_{dc2} 的比值。

7. 一种基于矩阵变换器的电能路由方法, 其特征在于, 所述方法包括:

通过一个高频交流母线连接至少两个即插接口, 所述即插接口包括: 至少一个向所述高频交流母线输入电能的输入接口和至少一个从所述高频交流母线输出电能的输出接口, 所述输入接口为由单级式单相矩阵变换器形成的第一矩阵变换器接口和/或由单级式三相矩阵变换器形成的第二矩阵变换器接口; 所述输出接口包括: 至少一个由单级式单相矩阵变换器形成的第一矩阵变换器接口和/或至少一个由单级式三相矩阵变换器形成的第二矩阵变换器接口;

通过一个三相交流端口作为第二矩阵变换器接口, 对接三相交流中压电网; 或通过一个三相交流端口作为第二矩阵变换器接口, 用于对接三相交流低压电网;

通过至少一个三相交流端口作为第二矩阵变换器接口, 对接三相交流低压负载;

通过至少一个直流端口作为第一矩阵变换器接口, 对接直流电源或负载; 以及

通过至少一个单相交流端口作为第一矩阵变换器接口, 对接单相交流电网或负载;

其中, 每个第一矩阵变换器接口和每个第二矩阵变换器接口均由一个变比为 $1:n$ 的高频隔离变压器连接至所述高频交流母线。

8. 根据权利要求7所述的方法, 其特征在于, 所述方法还包括:

对各个矩阵变换器以间接式矩阵变换器的空间矢量调制策略生成间接开关状态 S' ;

将所述间接开关状态 S' 与单位开关状态 S_{unit} 相结合得到各个矩阵变换器电能路由开关状态 S ;

在下一个控制周期开始时, 将所述电能路由开关状态 S 分配给相应的矩阵变换器进行开关控制。

9. 根据权利要求8所述的方法, 其特征在于, 所述空间矢量调制器按照以下第一开关状态算法公式生成各个单级式单相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(a, b)$:

$$\begin{bmatrix} S_{a1} & S_{b1} \\ S_{a2} & S_{b2} \end{bmatrix} = S_{unit} \begin{bmatrix} S'_{a1} & S'_{b1} \\ S'_{a2} & S'_{b2} \end{bmatrix}$$

其中, $\begin{bmatrix} S_{a1} & S_{b1} \\ S_{a2} & S_{b2} \end{bmatrix}$ 为单级式单相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(a, b)$; $\begin{bmatrix} S'_{a1} & S'_{b1} \\ S'_{a2} & S'_{b2} \end{bmatrix}$ 为第一间接开关状态 $S'(a, b)$; S_{unit} 为单位开关状态, 当第一矩阵变换器接口作为输出接口时, S_{unit} 取第一单位开关状态 S_{unit1} , $S_{unit1} = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ S_3 & S_4 \end{bmatrix} \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right\}$, 当第一矩阵变

换器接口作为输入接口时, S_{unit} 取第二单位开关状态 S_{unit2} , $S_{unit2} = \begin{bmatrix} S_5 & S_6 \\ S_7 & S_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{S}_2 \\ \bar{S}_3 & \bar{S}_4 \end{bmatrix}$;

所述空间矢量调制器按照以下第二开关状态算法公式生成各个单级式三相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(u, v, w)$:

$$\begin{bmatrix} S_{u1} & S_{v1} & S_{w1} \\ S_{u2} & S_{v2} & S_{w2} \end{bmatrix} = S_{unit} \begin{bmatrix} S'_{u1} & S'_{v1} & S'_{w1} \\ S'_{u2} & S'_{v2} & S'_{w2} \end{bmatrix}$$

其中, $\begin{bmatrix} S_{u1} & S_{v1} & S_{w1} \\ S_{u2} & S_{v2} & S_{w2} \end{bmatrix}$ 为单级式三相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(u, v, w)$;

$\begin{bmatrix} S'_{u1} & S'_{v1} & S'_{w1} \\ S'_{u2} & S'_{v2} & S'_{w2} \end{bmatrix}$ 为第二间接开关状态 $S'(u, v, w)$; S_{unit} 为单位开关状态, 当第二矩阵变换

器接口作为输出接口时, S_{unit} 取第一单位开关状态 S_{unit1} , $S_{unit1} = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ S_3 & S_4 \end{bmatrix} \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right\}$,

当第二矩阵变换器接口作为输入接口时, S_{unit} 取第二单位开关状态 S_{unit2} ,

$$S_{unit2} = \begin{bmatrix} S_5 & S_6 \\ S_7 & S_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{S}_2 \\ \bar{S}_3 & \bar{S}_4 \end{bmatrix}.$$

10. 根据权利要求7所述的方法, 其特征在于, 所述高频隔离变压器的变比 $1:n$ 为各个单级式单相矩阵变换器/单级式三相矩阵变换器平均直流电压 \bar{V}_{dc1} 与高频交流母线的电压幅值 \bar{V}_{dc2} 的比值。

一种基于矩阵变换器的电能路由器及电能路由方法

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及电力系统电力电子装备技术领域,具体涉及一种基于矩阵变换器的电能路由器及电能路由方法。

背景技术

[0002] 电能路由器作为构建能源互联网的关键设备之一,可互联不同电压等级的输电网、配电网,不仅具备基本的电压变换功能,为电网、分布式电源、储能设备、负荷提供即插即用接口,还具备电气隔离、电能质量控制、能量双向流动等功能。可再生能源发电由于其间歇性和波动性的特点不适于自发自用的供电系统,通过电能路由器可并入能源互联网,实现消纳和高效利用。

[0003] 电力电子变换器是电能路由器功率结构的基础,电能路由器包含多个分布式电源、储能、负载端口,各个端口之间的电压等级相差较大,如10kV中压电网交流端口、380V三相交流端口、220V单相交流端口和400V直流端口等。为了保障设备安全和操作人员人身安全,一般需要在不同电压等级端口之间采取电气隔离。工作频率高、体积小、重量轻、控制灵活的高频智能变压器成为其关键部件。

[0004] 国内外已对多种电能路由器拓扑开展了研究,如基于级联H桥、三电平中点钳位、模块化多电平变换器为高压侧整流的三级式电能路由器拓扑,即,低压直流(LVDC)-高频交流(HFAC)-高压直流(HVDC)。美国FREEDOM中心基于级联H桥结构研制了高压直流母线7.2kV,低压侧240V/120V单相交流电和400V直流电的20kVA样机;瑞士苏黎世理工大学基于三电平中点钳位变换器设计了高压侧为中压配电网,低压侧为400V三相交流母线的1MVA拓扑;中国科学院团队基于模块化多电平变换器研制了10kV高压直流母线、380V低压交流母线和750V低压直流母线的1MW样机。

[0005] 目前,基于级联H桥、三电平中点钳位、模块化多电平变换器为高压侧整流的三级式功率变换的电能路由器,因为有低电压直流母线,便于与各种分布式新能源对接,然而,由于直流母线的存在,其高压和低压直流母线上都需要电解电容器,特别是高压直流母线需要很大容量的电解电容器组储能,体积大、易发生故障的直流母线电容器不仅导致设备体积大大增加,并且还会缩短系统的使用寿命和降低可靠性。此外,由级联H桥和模块化多电平变换器的级联结构组成高压母线,导致系统功率器件大大增多,进而使成本加大。

发明内容

[0006] 为此,本发明实施例提供了一种基于矩阵变换器的电能路由器及电能路由方法,以解决现有基于级联H桥、三电平中点钳位、模块化多电平变换器为高压侧整流的三级式电能路由器设备体积大、系统功率器件多等技术问题。

[0007] 为了实现上述目的,本发明实施例提供如下技术方案:

[0008] 根据本发明实施例的第一方面,提供了一种基于矩阵变换器的电能路由器,所述电能路由器包括:一个高频交流母线以及连接至所述高频交流母线上的至少两个即插接

口,所述即插接口包括:至少一个向所述高频交流母线输入电能的输入接口和至少一个从所述高频交流母线输出电能的输出接口,所述输入接口为由单级式单相矩阵变换器形成的第一矩阵变换器接口和/或由单级式三相矩阵变换器形成的第二矩阵变换器接口;所述输出接口包括:至少一个由单级式单相矩阵变换器形成的第一矩阵变换器接口和/或至少一个由单级式三相矩阵变换器形成的第二矩阵变换器接口;每个即插接口均由一个变比为1:n的高频隔离变压器连接至所述高频交流母线。

[0009] 进一步地,所述第一矩阵变换器接口包括:至少一个用于对接直流电源或负载的直流端口和至少一个用于对接单相交流电网或负载的单相交流端口。

[0010] 进一步地,所述第二矩阵变换器接口包括至少一个用于对接三相交流中压电网的第一三相交流端口、至少一个用于对接三相交流低压电网的第二三相交流端口和至少一个用于对接三相交流低压负载的第三三相交流端口。

[0011] 进一步地,所述电能路由器还包括:空间矢量调制器,所述空间矢量调制器分别连接至各个单级式单相矩阵变换器以及各个单级式三相矩阵变换器;所述空间矢量调制器对各个矩阵变换器以间接式矩阵变换器的空间矢量调制策略生成间接开关状态 S' ,并将所述间接开关状态 S' 与单位开关状态 S_{unit} 相结合得到电能路由开关状态 S ;在下一个控制周期开始时,所述电能路由开关状态 S 由所述空间矢量调制器分配给相应的矩阵变换器进行开关控制。

[0012] 优选地,所述空间矢量调制器按照以下第一开关状态算法公式生成各个单级式单相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(a,b)$:

$$[0013] \quad \begin{bmatrix} S_{a1} & S_{b1} \\ S_{a2} & S_{b2} \end{bmatrix} = S_{unit} \begin{bmatrix} S'_{a1} & S'_{b1} \\ S'_{a2} & S'_{b2} \end{bmatrix}$$

[0014] 其中, $\begin{bmatrix} S_{a1} & S_{b1} \\ S_{a2} & S_{b2} \end{bmatrix}$ 为单级式单相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(a,b)$;

$\begin{bmatrix} S'_{a1} & S'_{b1} \\ S'_{a2} & S'_{b2} \end{bmatrix}$ 为第一间接开关状态 $S'(a,b)$; S_{unit} 为单位开关状态,当第一矩阵变换器接口作

为输出接口时, S_{unit} 取第一单位开关状态 S_{unit1} , $S_{unit1} = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ S_3 & S_4 \end{bmatrix} \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right\}$, 当

第一矩阵变换器接口作为输入接口时, S_{unit} 取第二单位开关状态 S_{unit2} ,

$$S_{unit2} = \begin{bmatrix} S_5 & S_6 \\ S_7 & S_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{S}_2 \\ \bar{S}_3 & \bar{S}_4 \end{bmatrix};$$

[0015] 所述空间矢量调制器按照以下第二开关状态算法公式生成各个单级式三相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(u,v,w)$:

$$[0016] \quad \begin{bmatrix} S_{u1} & S_{v1} & S_{w1} \\ S_{u2} & S_{v2} & S_{w2} \end{bmatrix} = S_{unit} \begin{bmatrix} S'_{u1} & S'_{v1} & S'_{w1} \\ S'_{u2} & S'_{v2} & S'_{w2} \end{bmatrix}$$

[0017] 其中, $\begin{bmatrix} S_{u1} & S_{v1} & S_{w1} \\ S_{u2} & S_{v2} & S_{w2} \end{bmatrix}$ 为单级式三相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(u, v, w)$;

$\begin{bmatrix} S'_{u1} & S'_{v1} & S'_{w1} \\ S'_{u2} & S'_{v2} & S'_{w2} \end{bmatrix}$ 为第二间接开关状态 $S'(u, v, w)$; S_{unit} 为单位开关状态, 当第二矩阵变换

器接口作为输出接口时, S_{unit} 取第一单位开关状态 S_{unit1} , $S_{unit1} = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ S_3 & S_4 \end{bmatrix} \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right\}$,

当第二矩阵变换器接口作为输入接口时, S_{unit} 取第二单位开关状态 S_{unit2} ,

$$S_{unit2} = \begin{bmatrix} S_5 & S_6 \\ S_7 & S_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{S}_2 \\ \bar{S}_3 & \bar{S}_4 \end{bmatrix}.$$

[0018] 进一步地, 所述高频隔离变压器的变比 $1:n$ 为各个单级式单相矩阵变换器/单级式三相矩阵变换器平均直流电压 \bar{V}_{dc1} 与高频交流母线的电压幅值 \bar{V}_{dc2} 的比值。

[0019] 根据本发明实施例的第二方面, 提供了一种基于矩阵变换器的电能路由方法, 所述方法包括: 通过一个高频交流母线连接至少两个即插接口, 所述即插接口包括: 至少一个向所述高频交流母线输入电能的输入接口和至少一个从所述高频交流母线输出电能的输出接口, 所述输入接口为由单级式单相矩阵变换器形成的第一矩阵变换器接口和/或由单级式三相矩阵变换器形成的第二矩阵变换器接口; 所述输出接口包括: 至少一个由单级式单相矩阵变换器形成的第一矩阵变换器接口和/或至少一个由单级式三相矩阵变换器形成的第二矩阵变换器接口; 通过一个三相交流端口作为第二矩阵变换器接口, 对接三相交流中压电网; 或通过一个三相交流端口作为第二矩阵变换器接口, 用于对接三相交流低压电网; 通过至少一个三相交流端口作为第二矩阵变换器接口, 对接三相交流低压负载; 通过至少一个直流端口作为第一矩阵变换器接口, 对接直流电源或负载; 以及通过至少一个单相交流端口作为第一矩阵变换器接口, 对接单相交流电网或负载; 其中, 每个第一矩阵变换器接口和每个第二矩阵变换器接口均由一个变比为 $1:n$ 的高频隔离变压器连接至所述高频交流母线。

[0020] 进一步地, 所述方法还包括: 对各个矩阵变换器以间接式矩阵变换器的空间矢量调制策略生成间接开关状态 S' ; 将所述间接开关状态 S' 与单位开关状态 S_{unit} 相结合得到各个矩阵变换器电能路由开关状态 S ; 在下一个控制周期开始时, 将所述电能路由开关状态 S 分配给相应的矩阵变换器进行开关控制。

[0021] 进一步地, 所述空间矢量调制器按照以下第一开关状态算法公式生成各个单级式单相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(a, b)$:

$$[0022] \quad \begin{bmatrix} S_{a1} & S_{b1} \\ S_{a2} & S_{b2} \end{bmatrix} = S_{unit} \begin{bmatrix} S'_{a1} & S'_{b1} \\ S'_{a2} & S'_{b2} \end{bmatrix}$$

[0023] 其中, $\begin{bmatrix} S_{a1} & S_{b1} \\ S_{a2} & S_{b2} \end{bmatrix}$ 为单级式单相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(a, b)$;

$\begin{bmatrix} S'_{a1} & S'_{b1} \\ S'_{a2} & S'_{b2} \end{bmatrix}$ 为第一间接开关状态 $S'(a,b)$; S_{unit} 为单位开关状态,当第一矩阵变换器接口作

为输出接口时, S_{unit} 取第一单位开关状态 S_{unit1} , $S_{unit1} = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ S_3 & S_4 \end{bmatrix} \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right\}$, 当

第一矩阵变换器接口作为输入接口时, S_{unit} 取第二单位开关状态 S_{unit2} ,

$$S_{unit2} = \begin{bmatrix} S_5 & S_6 \\ S_7 & S_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{S}_2 \\ \bar{S}_3 & \bar{S}_4 \end{bmatrix};$$

[0024] 所述空间矢量调制器按照以下第二开关状态算法公式生成各个单级式三相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(u,v,w)$:

$$[0025] \quad \begin{bmatrix} S_{u1} & S_{v1} & S_{w1} \\ S_{u2} & S_{v2} & S_{w2} \end{bmatrix} = S_{unit} \begin{bmatrix} S'_{u1} & S'_{v1} & S'_{w1} \\ S'_{u2} & S'_{v2} & S'_{w2} \end{bmatrix}$$

[0026] 其中, $\begin{bmatrix} S_{u1} & S_{v1} & S_{w1} \\ S_{u2} & S_{v2} & S_{w2} \end{bmatrix}$ 为单级式三相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(u,v,w)$;

$\begin{bmatrix} S'_{u1} & S'_{v1} & S'_{w1} \\ S'_{u2} & S'_{v2} & S'_{w2} \end{bmatrix}$ 为第二间接开关状态 $S'(u,v,w)$; S_{unit} 为单位开关状态,当第二矩阵变换器

接口作为输出接口时, S_{unit} 取第一单位开关状态 S_{unit1} , $S_{unit1} = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ S_3 & S_4 \end{bmatrix} \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right\}$,

当第二矩阵变换器接口作为输入接口时, S_{unit} 取第二单位开关状态 S_{unit2} ,

$$S_{unit2} = \begin{bmatrix} S_5 & S_6 \\ S_7 & S_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{S}_2 \\ \bar{S}_3 & \bar{S}_4 \end{bmatrix}。$$

[0027] 进一步地,所述高频隔离变压器的变比1:n为各个单级式单相矩阵变换器/单级式三相矩阵变换器平均直流电压 \bar{V}_{dc1} 与高频交流母线的电压幅值 \bar{V}_{dc2} 的比值。

[0028] 本发明实施例具有如下优点:本发明实施例提出了一种基于矩阵变换器的电能路由器及电能路由方法,基于三相和单相矩阵变换器式智能变压器,构建的多端口、即插即用的电能路由器,三相矩阵变换器式智能变压器可对接电压等级不同的三相交流电网或负载;单相矩阵变换器式智能变压器,既可输出单相交流,又可输出直流,加之双向功率流的特性,使其可对接单相交流和直流分布式电源、储能设备或负载,其统一的变换器结构简化了系统电路和控制设计;矩阵变换器使电能路由器的所有接口为全单级式功率变换而不需要大容量的母线电容,有助于减小电能路由器的体积,并提高效率和可靠性;高频隔离变压器组成电能路由器的高频交流母线,可进一步减小无源器件参数和体积;随着新型宽禁带高压碳化硅半导体器件技术的发展,使三相矩阵变换器可直接与中压电网连接,而不需级联结构扩展电压等级,有效减少了开关器件和成本。因此,本发明实施例实现了基于矩阵变换器式智能变压器的电能路由器,全单级式、结构统一的功率变换电力电子接口和高频隔离交流母线,使其体积紧凑、使用寿命延长、易于安装维护、效率和可靠性提高,且体积大大

减小。

附图说明

[0029] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0030] 本说明书所绘示的结构、比例、大小等,均仅用以配合说明书所揭示的内容,以供熟悉此技术的人士了解与阅读,并非用以限定本发明可实施的限定条件,故不具技术上的实质意义,任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整,在不影响本发明所能产生的功效及所能达成的目的下,均应仍落在本发明所揭示的技术内容得能涵盖的范围内。

[0031] 图1为本发明实施例提供的一种基于矩阵变换器的电能路由器的电力结构示意图;

[0032] 图2为本发明实施例提供的由单级式单相矩阵变换器形成的第一矩阵变换器接口的电路图;

[0033] 图3为本发明实施例提供的由单级式三相矩阵变换器形成的第二矩阵变换器接口的电路图;

[0034] 图4为本发明实施例公开的单级式单相矩阵变换器的间接式矩阵变换器的空间矢量调制策略的电压空间矢量示意图;

[0035] 图5为本发明公开的单级式三相矩阵变换器的间接式矩阵变换器的空间矢量调制策略的电流空间矢量示意图;

[0036] 图6为本发明另一实施例提供的一种基于矩阵变换器的电能路由器在PLECS软件仿真示例的电力结构示意图;

[0037] 图7为如图6所示仿真示例的仿真结果所得的10kHz/400V高频交流母线的波形图;

[0038] 图8a和图8b分别为如图6所示仿真示例的仿真结果所得的380V/50Hz三相交流电源端口的电压和电流波形图;

[0039] 图9a和图9b分别为如图6所示仿真示例的仿真结果所得的120V/60Hz单相交流负载端口的电压和电流波形图;

[0040] 图10a和图10b分别为如图6所示仿真示例的仿真结果所得的400V直流负载端口的电压和电流波形图;

[0041] 图11a和图11b分别为如图6所示仿真示例的仿真结果所得的380V/50Hz三相交流负载端口的电压和电流波形图。

具体实施方式

[0042] 以下由特定的具体实施例说明本发明的实施方式,熟悉此技术的人士可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点及功效。

[0043] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、接口、技术之类的具体细节,以便透彻理解本发明。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本发明。在其它情况中,省略对众所周知的系统、电路以及

方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本发明的描述。

[0044] 参考图1,本发明实施例提供了的一种基于矩阵变换器的电能路由器,其包括:一个高频交流母线01以及连接至高频交流母线01上的至少两个即插接口,即插接口包括:至少一个向高频交流母线01输入电能的输入接口和至少一个从高频交流母线01输出电能的输出接口,输入接口为由单级式单相矩阵变换器02形成的第一矩阵变换器接口和/或由单级式三相矩阵变换器03形成的第二矩阵变换器接口;输出接口包括:至少一个由单级式单相矩阵变换器02形成的第一矩阵变换器接口和/或至少一个由单级式三相矩阵变换器03形成的第二矩阵变换器接口;其中,高频交流母线01的频率取决于开关器件,可以是10kHz~50kHz。

[0045] 参考图1,进一步地,第一矩阵变换器接口包括:至少一个直流端口和至少一个单相交流端口,其中,直流端口用于对接直流电源或负载,如图1中所示的光伏电池板05、直流负载06以及储能蓄电池07;单相交流端口用于对接单相交流电网或负载,如图1中所示的50/60Hz单相交流负载。第二矩阵变换器接口包括:至少一个第一三相交流端口、至少一个第二三相交流端口和至少一个第三三相交流端口;其中,第一三相交流端口用于对接三相交流中压电网,如图1中所示10kV三相交流中压电网,第二三相交流端口用于对接三相交流低压电网,如图1中所示380V三相交流低压电网,第三三相交流端口用于对接三相交流低压负载。

[0046] 如上所述,本发明实施例中,一个高频交流母线可以同时存在第一矩阵变换器接口和第二矩阵变换器接口作为输出接口,第一矩阵变换器接口可以包括多个不同类型的端口,同样第二矩阵变换器接口可以包括多个不同类型的端口,这样,提高了电能路由器适应性,可以适用于连接各种不同的输出。另外,一个高频交流母线可以同时存在第一矩阵变换器接口和第二矩阵变换器接口作为输入接口,第一矩阵变换器接口可以包括多个不同类型的端口,同样第二矩阵变换器接口可以包括多个不同类型的端口。也就是说,本发明实施例中,通过多个矩阵变换器同时为一个高频交流母线供电,多个矩阵变换器可以同时包括第一矩阵变换器接口和第二矩阵变换器接口,并且第一矩阵变换器接口和第二矩阵变换器接口可以是不同类型的端口。这样,一方面,当其中一个输入接口出现故障不能为高频交流母线供电时,可以由其它的输入接口为高频交流母线供电,保证高频交流母线在故障时也能持续供电。另一方面,多个不同类型端口同时为高频交流母线供电,可以将其中一个输入接口作为主要为高频交流母线供电的主输入接口,将其余输入接口作为给高频交流母线补偿供电的补偿输入接口,通过空间矢量调制器控制使主输入接口以最大功率为高频交流母线供电,同时通过空间矢量调制器控制使补偿输入接口补偿为高频交流母线供电。这样能够保证输入电能的最大利用率,避免出现高频交流母线的输入功率大于输出功率,造成电能的浪费。

[0047] 第一矩阵变换器接口和第二矩阵变换器接口分别如图2和3所示。图2为本发明实施例提供的由单级式单相矩阵变换器形成的第一矩阵变换器接口的电路图,其由一个变比为1:n的高频隔离变压器04连接高频交流母线01与单级式单相矩阵变换器02,单级式单相矩阵变换器02由四个双向开关管 S_{a1} 、 S_{a2} 、 S_{b1} 、 S_{b2} 组合连接形成,单级式单相矩阵变换器02单相侧可以是单相交流电网或负载,也可以是直流电源或负载。图3为本发明实施例提供的由单级式三相矩阵变换器形成的第二矩阵变换器接口的电路图,其也由一个变比为1:n的高

频隔离变压器04连接高频交流母线01与单级式三相矩阵变换器03,单级式三相矩阵变换器03由六个双向开关管 S_{u1} 、 S_{u2} 、 S_{v1} 、 S_{v2} 、 S_{w1} 、 S_{w2} 组合连接形成,单级式三相矩阵变换器03可以对接380V低压或10kV中压电网,或三相负载。可见,第一矩阵变换器接口和第二矩阵变换器接口的统一的接口拓扑便于安装、调试和维修。

[0048] 优选地,本发明实施例中的电能路由器还包括:空间矢量调制器(图中为示出),空间矢量调制器分别连接至各个单级式单相矩阵变换器02以及各个单级式三相矩阵变换器03,图2和图3中分别示出了各个双向开关管的开关状态控制信号输入线;电能路由器中各个单级式单相矩阵变换器02以及各个单级式三相矩阵变换器03的开关状态 S 由空间矢量调制器分配给相应的矩阵变换器进行开关控制。

[0049] 与上述实施例相对应的,本发明实施例还提供了一种基于矩阵变换器的电能路由方法,所述方法包括:通过一个高频交流母线01连接至少两个即插接口,即插接口包括:至少一个向高频交流母线01输入电能的输入接口和至少一个从高频交流母线输出电能的输出接口,输入接口为由单级式单相矩阵变换器02形成的第一矩阵变换器接口和/或由单级式三相矩阵变换器03形成的第二矩阵变换器接口;输出接口包括:至少一个由单级式单相矩阵变换器02形成的第一矩阵变换器接口和/或至少一个由单级式三相矩阵变换器03形成的第二矩阵变换器接口;通过一个第一三相交流端口作为第二矩阵变换器接口,对接三相交流中压电网;或通过一个第二三相交流端口作为第二矩阵变换器接口,用于对接三相交流低压电网;通过至少一个第一三相交流端口作为第二矩阵变换器接口,对接三相交流低压负载;通过至少一个直流端口作为第一矩阵变换器接口,对接直流电源或负载;以及通过至少一个单相交流端口作为第一矩阵变换器接口,对接单相交流电源或负载;其中,每个第一矩阵变换器接口和每个第二矩阵变换器接口均由一个变比为1:n的高频隔离变压器04连接至所述高频交流母线。

[0050] 优选地,本发明实施例中的电能路由方法还包括由空间矢量调制器执行的以下步骤:对各个矩阵变换器以间接式矩阵变换器的空间矢量调制策略生成间接开关状态 S' ;将间接开关状态 S' 与单位开关状态 S_{unit} 相结合得到各个矩阵变换器电能路由开关状态 S ;在下一个控制周期开始时,将电能路由开关状态 S 分配给相应的矩阵变换器进行开关控制。

[0051] 具体地,空间矢量调制器按照以下第一开关状态算法公式生成各个单级式单相矩阵变换器02的电能路由开关状态 $S(a,b)$:

$$[0052] \quad \begin{bmatrix} S_{a1} & S_{b1} \\ S_{a2} & S_{b2} \end{bmatrix} = S_{unit} \begin{bmatrix} S'_{a1} & S'_{b1} \\ S'_{a2} & S'_{b2} \end{bmatrix}$$

[0053] 其中, $\begin{bmatrix} S_{a1} & S_{b1} \\ S_{a2} & S_{b2} \end{bmatrix}$ 为单级式单相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(a,b)$;

$\begin{bmatrix} S'_{a1} & S'_{b1} \\ S'_{a2} & S'_{b2} \end{bmatrix}$ 为第一间接开关状态 $S'(a,b)$; S_{unit} 为单位开关状态,当第一矩阵变换器接口作

为输出接口时, S_{unit} 取第一单位开关状态 S_{unit1} , $S_{unit1} = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ S_3 & S_4 \end{bmatrix} \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right\}$, 当

第一矩阵变换器接口作为输入接口时， S_{unit} 取第二单位开关状态 S_{unit2} ，

$$S_{unit2} = \begin{bmatrix} S_5 & S_6 \\ S_7 & S_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{S}_2 \\ \bar{S}_3 & \bar{S}_4 \end{bmatrix}, \text{即第二单位开关状态 } S_{unit2} \text{ 和第一单位开关状态 } S_{unit1} \text{ 以恒}$$

定的50%占空比在 $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 和 $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ 之间交替变化。

[0054] 在本发明实施例中，通过在第二单位开关状态 S_{unit2} 和第一单位开关状态 S_{unit1} 之间建立以恒定的50%占空比在 $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 和 $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ 之间交替变化的关系，在形成输出接口的

矩阵变换器与形成输入接口的矩阵变换器之间建立了互补的控制关系，第二单位开关状态 S_{unit2} 和第一单位开关状态 S_{unit1} 之间建立的上述互补关系，在高频交流母线01中产生使高频变压器运行需要的高频方波，确保高频变压器正常运行。

[0055] 参考图4，单级式单相矩阵变换器的间接式矩阵变换器的空间矢量调制策略包括两个有效状态矢量 V_1 和 V_2 及两个零状态矢量 V_3 和 V_4 ，其中， $V_1 \sim V_4$ 分别具体为 $V_1(1001)$ 、 $V_2(0110)$ 、 $V_3(1010)$ 和 $V_4(0101)$ ， $V_1(1001)$ 表示 $S'_{a1} = ON$ ， $S'_{a2} = OFF$ ， $S'_{b1} = OFF$ ， $S'_{b2} = ON$ ； $V_2(0110)$ 表示 $S'_{a1} = OFF$ ， $S'_{a2} = ON$ ， $S'_{b1} = ON$ ， $S'_{b2} = OFF$ ； $V_3(1010)$ 表示 $S'_{a1} = ON$ ， $S'_{a2} = OFF$ ， $S'_{b1} = ON$ ， $S'_{b2} = OFF$ ； $V_4(0101)$ 表示 $S'_{a1} = OFF$ ， $S'_{a2} = ON$ ， $S'_{b1} = OFF$ ， $S'_{b2} = ON$ 。两个有效状态矢量 V_1 和 V_2 将空间分成两个扇区I和II，参考电压矢量 V_{ref} 落入任一扇区时，参考电压矢量 V_{ref} 都由一个有效状态矢量 V_a 和两个零状态矢量 V_{z1} 和 V_{z2} 合成，有效状态矢量 V_a 通过合成后的有效状态占空比 d_{21} 来调制单级式单相矩阵变换器的第一间接开关状态 $S'(a, b)$ ，零状态矢量 V_{z1} 和 V_{z2} 通过合成后的零状态占空比 d_{20} 来调制单级式单相矩阵变换器的第一间接开关状态 $S'(a, b)$ ，合成后的有效状态占空比 d_{21} 和合成后的零状态占空比 d_{20} 的合成公式为：

$$[0056] \quad d_{21} = d'_{21} \cdot d_{11} + d'_{21} \cdot d_{12}$$

$$[0057] \quad d_{20} = d'_{20} \cdot d_{11} + d'_{20} \cdot d_{12} + d_{10}$$

[0058] 进一步，有效状态占空比 d'_{21} 和零状态占空比 d'_{20} 的计算公式为：

$$[0059] \quad d'_{21} = M_2 = \frac{V_{ref}}{\bar{V}_{dc2}} = \frac{2V_{om}}{\bar{V}_{dc2}}$$

$$[0060] \quad d'_{20} = 1 - d'_{21}$$

[0061] 其中， M_2 表示间接矩阵变换器逆变级的调制系数， V_{om} 为单级式单相矩阵变换器的交流输出电压幅值， \bar{V}_{dc2} 为高频交流母线的电压幅值。单级式单相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(a, b)$ 调制如下表所示：

[0062] 表I单级式单相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(a, b)$ 调制表

高频交流母线电压极性	正向			负向			
	扇区	V_{z1}	V_a	V_{z2}	V_{z2}	V_a	V_{z1}
[0063]	I	V_4	V_1	V_3	V_3	V_2	V_4
	II	V_3	V_2	V_4	V_4	V_1	V_3

[0064] 类似地,单级式单相矩阵变换器的第一间接开关状态 S' (a, b)的表达式、合成后的有效状态占空比 d_{21} 和合成后的零状态占空比 d_{20} 的合成公式和单级式单相矩阵变换器02的电电路由开关状态 S (a, b)的相关公式考虑了与原边的耦合、高频变压器副边电压 v_s 的极性、以及参考电压矢量 V_{ref} 所在的扇区后,可以从表I中选择相应的有效状态矢量 V_a 及零状态矢量 V_{z1} 和 V_{z2} ,作为单级式单相矩阵变换器的电电路由开关状态 S (a, b)的控制信号。

[0065] 同样地,空间矢量调制器按照以下第二开关状态算法公式生成各个单级式三相矩阵变换器03的电电路由开关状态 S (u, v, w) :

$$[0066] \quad \begin{bmatrix} S_{u1} & S_{v1} & S_{w1} \\ S_{u2} & S_{v2} & S_{w2} \end{bmatrix} = S_{unit} \begin{bmatrix} S'_{u1} & S'_{v1} & S'_{w1} \\ S'_{u2} & S'_{v2} & S'_{w2} \end{bmatrix}$$

[0067] 其中, $\begin{bmatrix} S_{u1} & S_{v1} & S_{w1} \\ S_{u2} & S_{v2} & S_{w2} \end{bmatrix}$ 为单级式三相矩阵变换器的电电路由开关状态 S (u, v, w) ;

$\begin{bmatrix} S'_{u1} & S'_{v1} & S'_{w1} \\ S'_{u2} & S'_{v2} & S'_{w2} \end{bmatrix}$ 为第二间接开关状态 S' (u, v, w) ; S_{unit} 为单位开关状态,当第二矩阵变换器

接口作为输出接口时, S_{unit} 取第一单位开关状态 S_{unit1} , $S_{unit1} = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 \\ S_3 & S_4 \end{bmatrix} \in \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \right\}$,

当第二矩阵变换器接口作为输入接口时, S_{unit} 取第二单位开关状态 S_{unit2} ,

$S_{unit2} = \begin{bmatrix} S_5 & S_6 \\ S_7 & S_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{S}_2 \\ \bar{S}_3 & \bar{S}_4 \end{bmatrix}$,即第二单位开关状态 S_{unit2} 和第一单位开关状态 S_{unit1} 以恒

定的50%占空比在 $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 和 $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ 之间交替变化。

[0068] 在本发明实施例中,通过在第二单位开关状态 S_{unit2} 和第一单位开关状态 S_{unit1} 之

间建立以恒定的50%占空比在 $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 和 $\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ 之间交替变化的关系,在形成输入接口的

矩阵变换器与形成输出接口的矩阵变换器之间建立了互补的控制关系,第二单位开关状态 S_{unit2} 和第一单位开关状态 S_{unit1} 之间建立的上述互补关系,在高频交流母线01中产生使高频变压器运行需要的高频方波,确保高频变压器正常运行。

[0069] 参考图5,本发明实施例中,单级式三相矩阵变换器的间接式矩阵变换器的空间矢量调制策略包括六个有效状态矢量 $I_1 \sim I_6$ 和三个零状态矢量 $I_7 \sim I_9$,其中, $I_1 \sim I_9$ 分别具体

为 I_1 (100001)、 I_2 (001001)、 I_3 (011000)、 I_4 (010010)、 I_5 (000110)、 I_6 (100100)、 I_7 (110000)、 I_8 (001100)和 I_9 (000011), I_1 (100001)表示 $S'_{u1}=ON, S'_{u2}=OFF, S'_{v1}=OFF, S'_{v2}=OFF, S'_{w1}=OFF, S'_{w2}=ON$; I_2 (001001)表示 $S'_{u1}=OFF, S'_{u2}=OFF, S'_{v1}=ON, S'_{v2}=OFF, S'_{w1}=OFF, S'_{w2}=ON$; I_3 (011000)表示 $S'_{u1}=OFF, S'_{u2}=ON, S'_{v1}=ON, S'_{v2}=OFF, S'_{w1}=OFF, S'_{w2}=OFF$; I_4 (010010)表示 $S'_{u1}=OFF, S'_{u2}=ON, S'_{v1}=OFF, S'_{v2}=OFF, S'_{w1}=ON, S'_{w2}=OFF$; I_5 (000110)表示 $S'_{u1}=OFF, S'_{u2}=OFF, S'_{v1}=OFF, S'_{v2}=ON, S'_{w1}=ON, S'_{w2}=OFF$; I_6 (100100)表示 $S'_{u1}=ON, S'_{u2}=OFF, S'_{v1}=OFF, S'_{v2}=ON, S'_{w1}=OFF, S'_{w2}=OFF$; I_7 (110000)表示 $S'_{u1}=ON, S'_{u2}=ON, S'_{v1}=OFF, S'_{v2}=OFF, S'_{w1}=OFF, S'_{w2}=OFF$; I_8 (001100)表示 $S'_{u1}=OFF, S'_{u2}=OFF, S'_{v1}=ON, S'_{v2}=ON, S'_{w1}=OFF, S'_{w2}=OFF$; I_9 (000011)表示 $S'_{u1}=OFF, S'_{u2}=OFF, S'_{v1}=OFF, S'_{v2}=OFF, S'_{w1}=ON, S'_{w2}=ON$ 。六个有效状态矢量 $I_1 \sim I_6$ 将空间分成六个扇区I~VI, 参考电流矢量 I_{ref} 落入任一扇区时, 参考电流矢量 I_{ref} 都由所述扇区相邻的两个有效状态矢量 I_a 和 I_b 和两个零状态矢量 I_{z1} 和 I_{z2} 合成, 有效状态矢量 I_a 和 I_b 分别通过有效状态占空比 d_{11} 和 d_{12} 来调制单级式三相矩阵变换器的第二间接开关状态 $S'(u, v, w)$, 零状态矢量 I_{z1} 和 I_{z2} 通过零状态占空比 d_{10} 来调制第二间接开关状态 $S'(u, v, w)$, 有效状态占空比 d_{11} 和 d_{12} 及零状态占空比 d_{10} 的计算公式为:

[0070] $d_{11}=M_1 \sin(\pi/3-\theta_i)$

[0071] $d_{12}=M_1 \sin(\theta_i)$

[0072] $d_{10}=1-(d_{11}+d_{12})$

[0073] 其中, $M_1 = \frac{I_{ref}}{I_p} = \frac{I_{sm}}{I_p}$, M_1 表示间接矩阵变换器整流级的调制系数, I_p 表示高频

交流母线电流的绝对值, I_{sm} 表示单级式三相矩阵变换器三相交流电流的幅值, θ_i 表示参考电流矢量 I_{ref} 与有效矢量 I_a 的夹角。单级式三相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(u, v, w)$ 调制如下表所示:

[0074] 表II单级式三相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(u, v, w)$ 调制表

高频交流母线电压极性	扇区	I	II	III	IV	V	VI
正向	I_{z1}	I_8	I_7	I_9	I_8	I_7	I_9
	I_a	I_6	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
	I_b	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
	I_{z2}	I_9	I_8	I_7	I_9	I_8	I_7
负向	I_{z1}	I_9	I_8	I_7	I_9	I_8	I_7
	I_a	I_4	I_5	I_6	I_1	I_2	I_3
	I_b	I_3	I_4	I_5	I_6	I_1	I_2
	I_{z2}	I_8	I_7	I_9	I_8	I_7	I_9

[0076] 表II中列出了单级式三相矩阵变换器的电能路由开关状态 $S(u, v, w)$ 所有可能的

开关状态,用以给定单级式三相矩阵变换器的双向开关的控制信号。以扇区I和正极性电压为例,可见图5中的 I_6 和 I_1 分别为表I中的 I_a 和 I_b ,以开关切换次数最少为准则,将 I_8 和 I_9 分别选为零状态矢量 I_{Z1} 和 I_{Z2} 。

[0077] 另外,各个高频隔离变压器04的变比 $1:n$ 为各个单级式单相矩阵变换器/单级式三相矩阵变换器平均直流电压 \bar{V}_{dc1} 与高频交流母线的电压幅值 \bar{V}_{dc2} 的比值。具体计算方法如下:

[0078] 首先计算各个端口矩阵变换器的平均直流电压 \bar{V}_{dc1} ,例如,对三相交流、单相交流和直流端口,其平均直流电压 \bar{V}_{dc1} 分别由下列公式计算获得:

[0079] 单相交流端口的平均直流电压:
$$\bar{V}_{dc1} = \frac{1}{2} M_1 U_{sm} \cos \varphi_i$$

[0080] 第一三相交流端口、第二三相交流端口、第三三相交流端口的平均直流电压:

$$\bar{V}_{dc1} = \frac{3}{2} M_1 U_{sm} \cos \varphi_i$$

[0081] 直流端口的平均直流电压:
$$\bar{V}_{dc1} = M_1 U_{sm}$$

[0082] 其中, M_1 为变换器的调制指数, U_{sm} 为端口交流电压幅值或直流电压平均值, φ_i 为端口的功率因数。

[0083] 再获取高频交流母线的电压幅值 \bar{V}_{dc2} ,并各个单级式单相矩阵变换器/单级式三相矩阵变换器平均直流电压 \bar{V}_{dc1} 与高频交流母线的电压幅值 \bar{V}_{dc2} 的比值,即, $n = \bar{V}_{dc1} / \bar{V}_{dc2}$ 。

[0084] 参考图6,图6为本发明另一实施例提供的一种基于矩阵变换器的电能路由器在PLECS软件仿真示例的电力结构示意图。具体地,在PLECS软件仿真示例的电能路由器包括:一个用于对接380V/50Hz三相交流低压电网的第二三相交流端口、一个用于对接120V/60Hz单相交流负载的单相交流端口、一个用于对接400V直流负载的直流端口和一个用于对接380V/50Hz负载的第三三相交流端口;其中,本实施例中的矩阵变换器开关频率为10kHz,因此,形成了10kHz/400V的高频交流母线;上述各端口高频隔离变压器根据上述方法计算所得的变比 $1:n$ 分别为 $1:1.4$ 、 $1:1.75$ 、 $1:2.2$ 、 $1:2$ 。

[0085] 图7为如图6所示仿真示例的仿真结果所得的10kHz/400V高频交流母线的波形图;图8a和图8b分别为如图6所示仿真示例的仿真结果所得的380V/50Hz三相交流电源端口的电压和电流波形图;图9a和图9b分别为如图6所示仿真示例的仿真结果所得的120V/60Hz单相交流负载端口的电压和电流波形图;图10a和图10b分别为如图6所示仿真示例的仿真结果所得的400V直流负载端口的电压和电流波形图;图11a和图11b分别为如图6所示仿真示例的仿真结果所得的380V/50Hz三相交流负载端口的电压和电流波形图。由结果可见,各个端口在10kHz/400V高频交流母线情况下,实现了电压幅值和频率的转换,以单级式矩阵变换器,运行在额定电压幅值、频率,表明了本发明实施例所提出的电能路由器的可行性与有效性。并且整个电能路由器无直流母线电容、结构紧凑、开关器件少,如使用宽禁带碳化硅开关器件,则可再提高母线电压频率,进而进一步减小无源器件、高频隔离变压器的体积,

提高电能路由器效率。

[0086] 本发明实施例具有以下优点：

[0087] 本发明实施例提出的一种基于矩阵变换器的电能路由器，其电力电子接口完全由单级式矩阵变换器组成，单级式功率变换有助于提升效率；高频交流母线大大减小无源器件参数和体积，特别是减小了隔离变压器的体积和重量；不存在大容量的直流母线电解电容，可靠性提高、使用寿命延长；直接对接中压电网，所用功率器件少、结构紧凑；统一的接口拓扑便于安装、调试、维修。

[0088] 以上所述的具体实施方式，对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本发明的具体实施方式而已，并不用于限定本发明的保护范围，凡在本发明的技术方案的基础之上，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包括在本发明的保护范围之内。

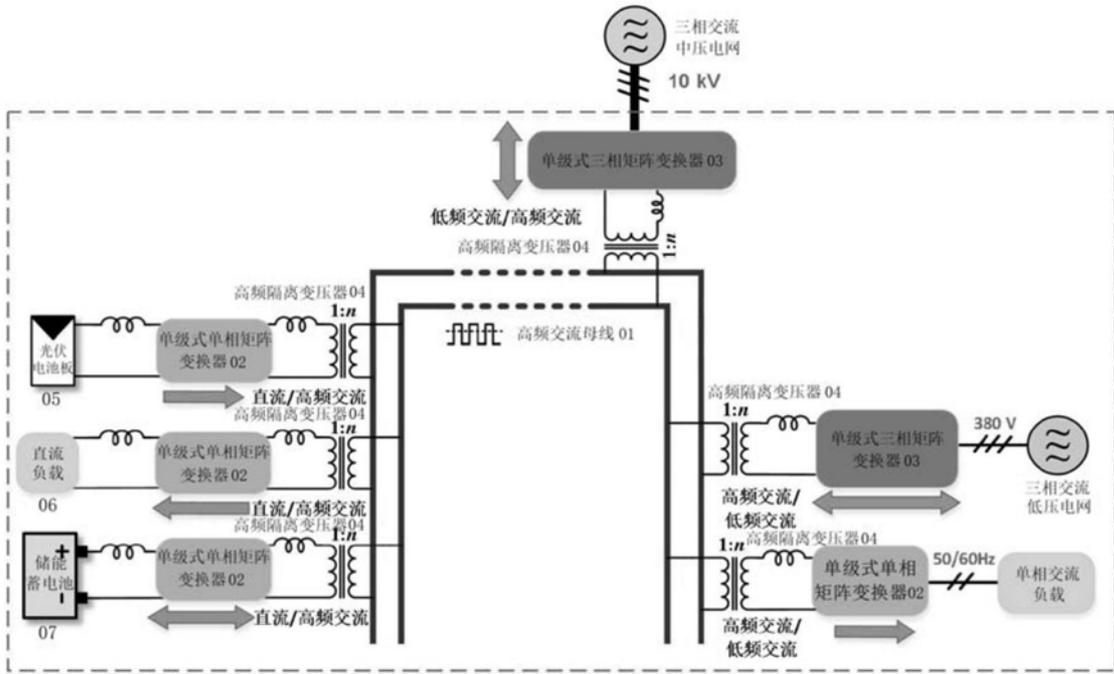


图1

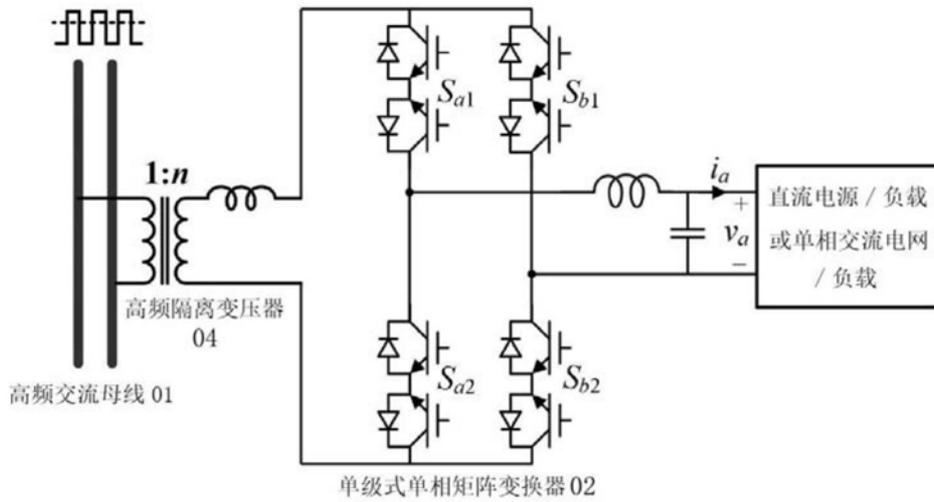


图2

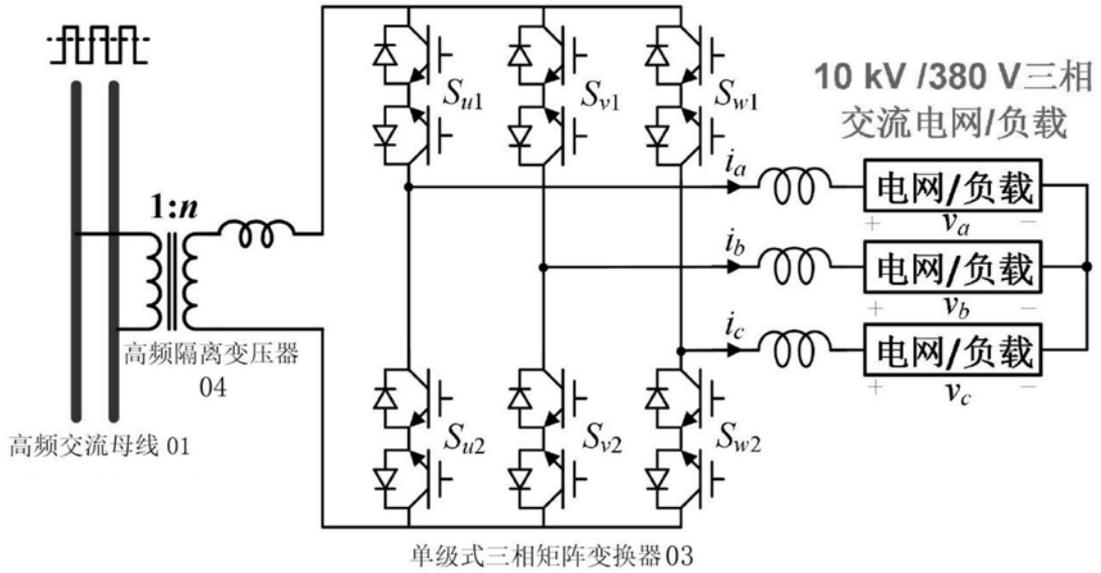


图3

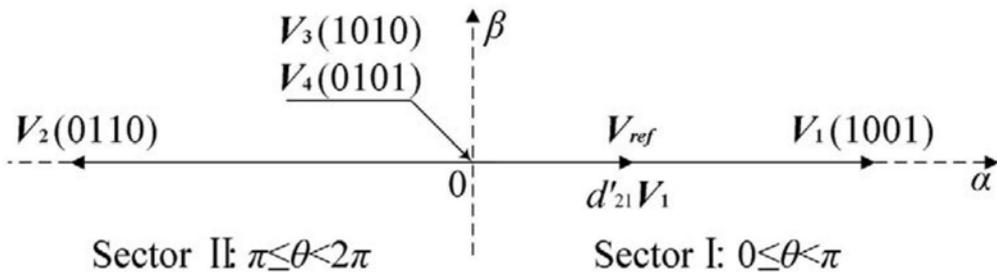


图4

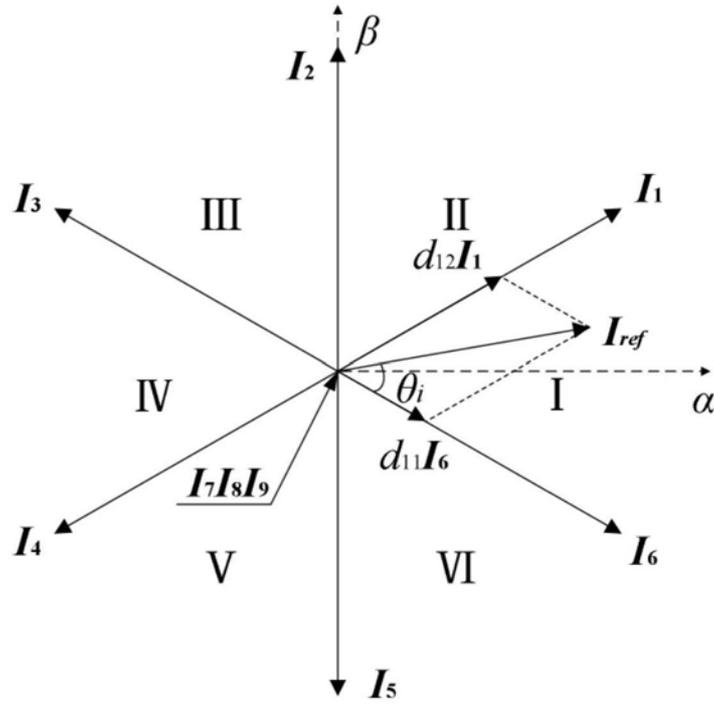


图5

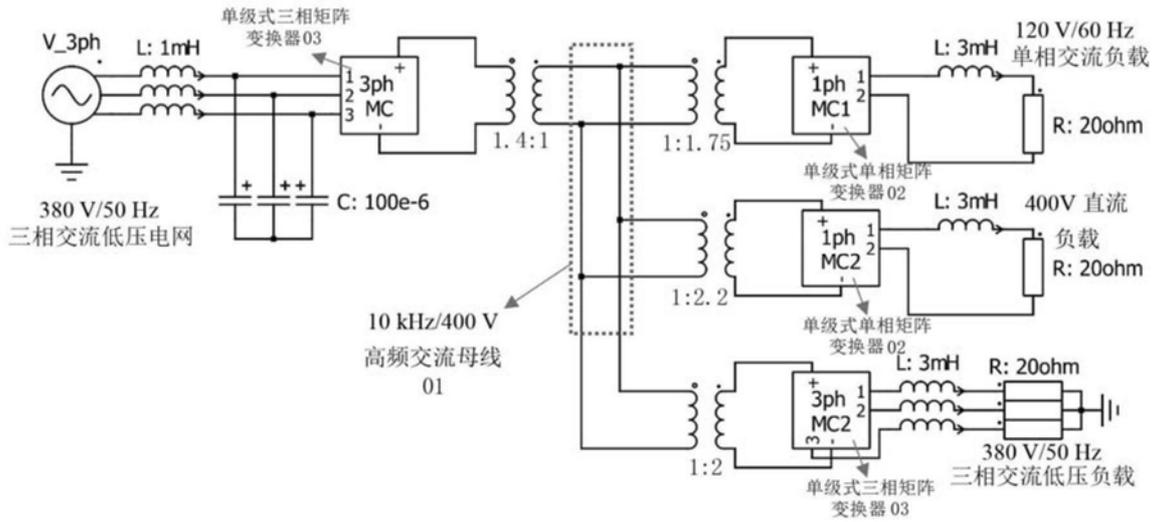


图6

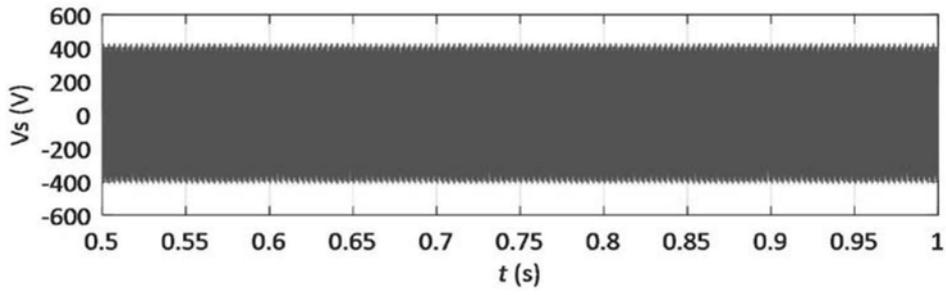


图7

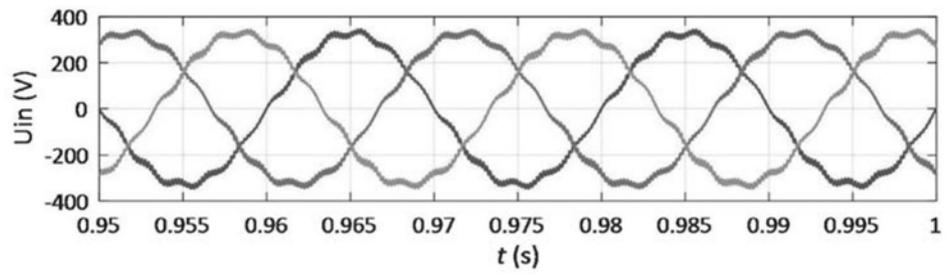


图8a

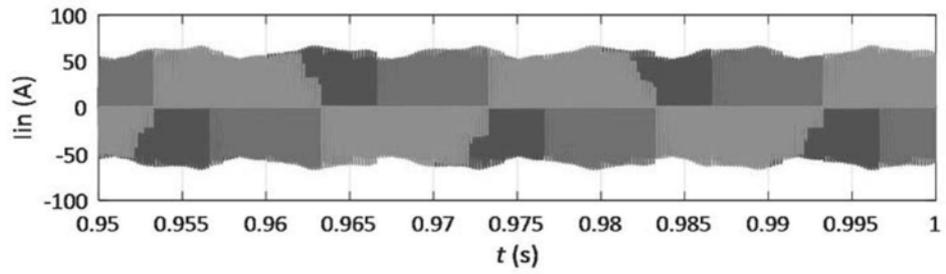


图8b

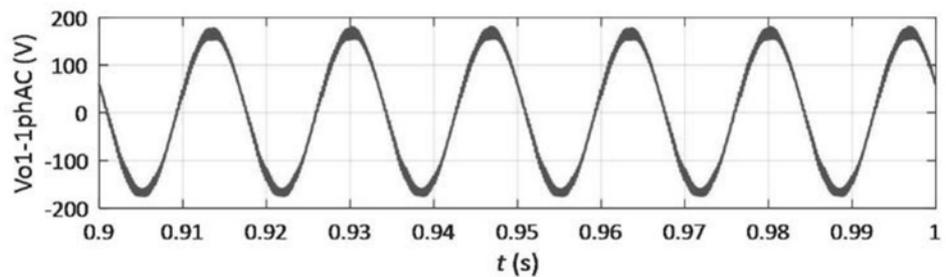


图9a

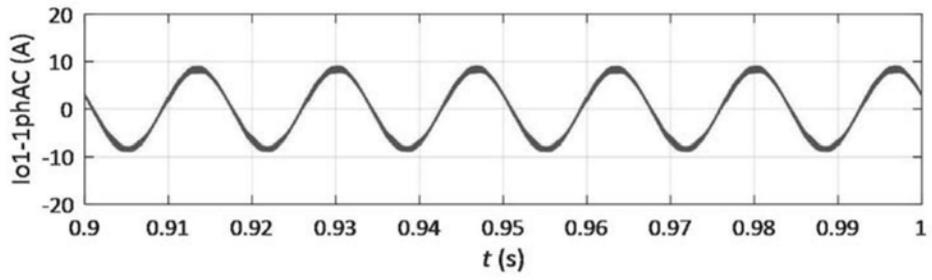


图9b

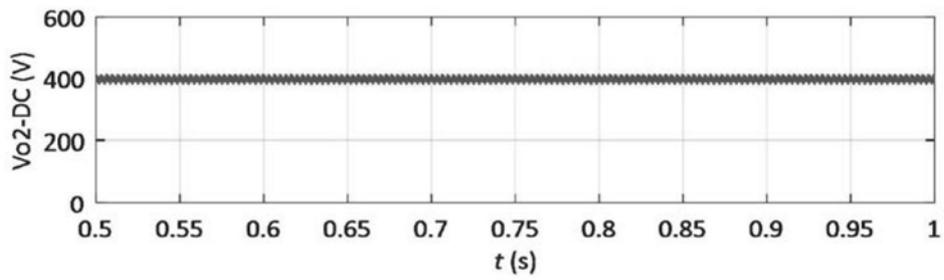


图10a

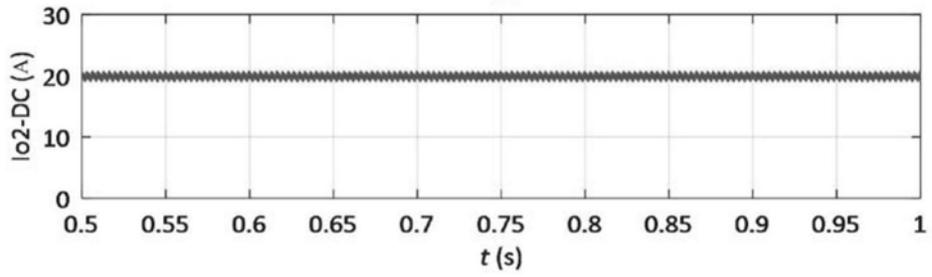


图10b

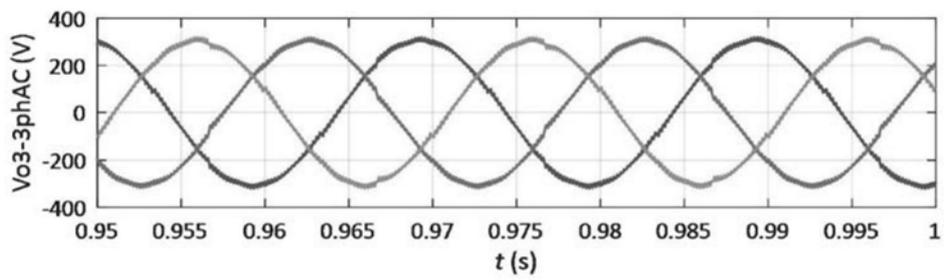


图11a

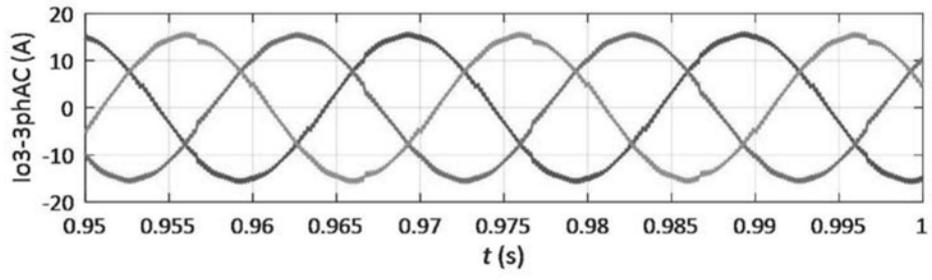


图11b