



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102110990 B

(45) 授权公告日 2012. 10. 17

(21) 申请号 201110047597. 1

H02J 3/18 (2006. 01)

(22) 申请日 2011. 02. 28

H02P 9/00 (2006. 01)

(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

(56) 对比文件

CN 101860231 A, 2010. 10. 13, 全文 .
CN 1925254 A, 2007. 03. 07, 全文 .

(72) 发明人 孙尧 粟梅 王辉 潘攀 罗朝旭
韩华 于晶荣 杨建 廖威 李幸
陈辉华 桂卫华 王一军

审查员 刘勇

(74) 专利代理机构 长沙市融智专利事务所
43114

代理人 黄美成

(51) Int. Cl.

H02J 3/38 (2006. 01)

H02M 5/44 (2006. 01)

H02M 5/458 (2006. 01)

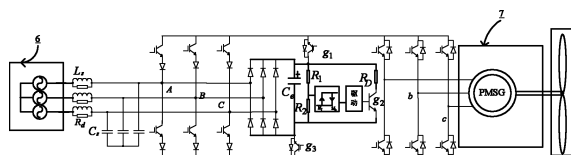
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统及其方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统及其方法,基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统的结构为:整流级的交流侧与电网相接,整流级的直流侧与逆变级的直流侧对接,逆变级的交流侧与永磁同步发电机的输出端相接,永磁同步发电机与风机相接;主动保护电路的输入侧接逆变器的直流侧,主动保护电路的输出侧与整流级的交流侧相接;所述的整流级为由六个功率器件组件组成的三相整流桥,每一个功率器件组件由一个可控半导体功率开关和功率二极管串接而成;逆变级是由 6 个 IGBT 组成的三相桥式逆变器。该基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统能够绿色、高效、可靠地变换与传输能量,同时保证系统结构简单紧凑,成本低廉。



1. 一种基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统,其特征在于,整流级的交流侧与电网相接,整流级的直流侧与逆变级的直流侧对接,逆变级的交流侧与永磁同步发电机的输出端相接,永磁同步发电机与风机相接;主动保护电路的输入侧接逆变器的直流侧,主动保护电路的输出侧与整流级的交流侧相接;

所述的整流级为由六个功率器件组件组成的三相整流桥,每一个功率器件组件由一个可控半导体功率开关和功率二极管串接而成;逆变级是由6个IGBT组成的三相桥式逆变器;

逆疏松矩阵变换器是在疏松矩阵变换器的基础上减少功率开关数目且只允许能量从其逆变级往其整流级传输的矩阵变换器;

所述的主动保护电路的电路结构如下:

整流二极管模块是由6个整流二极管相接形成的三相整流桥式电路;电容Ce跨接在整流二极管模块的直流侧;

电容Ce的负极接IGBT g3的发射极,IGBT g3的集电极和逆变级直流侧的地端相连、电容Ce的正极接IGBT g1的集电极,IGBT g1的发射极接逆变级直流侧的正电压端;

由第一分压电阻和第二分压电阻串接而成的取样电路与电容Ce并联;

滞环比较器的输入端接第一分压电阻和第二分压电阻的公共连接点,滞环比较器的输出端接IGBT g2的驱动器,驱动器的输出接IGBT g2的门极,IGBT g2的发射极接电容Ce的负极,IGBT g2的集电极经电阻RD接电容Ce的正极。

2. 根据权利要求1所述的基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统,其特征在于,所述的整流级的交流侧通过滤波器与电网相接。

3. 一种基于逆疏松矩阵变换器的风力发电方法,其特征在于,采用权利要求1-2任一项所述的基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统,将永磁同步发电机输出的电能馈送到电网中。

4. 根据权利要求3所述的基于逆疏松矩阵变换器的风力发电方法,其特征在于,基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统具有两种启动方式:

第一种启动方法:逆变级所有IGBT均处于闭合状态,相当于二极管整流发电状态,而整流级则按正常方式运行,当发电机转速上升至其所产生的反电动势高于电网电压时,这时发电机定子绕组有连续电流通过,再使逆变级所有IGBT完全按正常方式运行,完成了基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统的启动;

第二种启动方法,在启动之初,关闭整流级的所有可控半导体功率开关,开启主动保护电路中的IGBT g1和IGBT g3,主动保护电路和逆变级一起构成通用变频器以控制永磁发电机,从而避免第一种启动方式下的系统启动之初低速运行不受控制的死区,直到发电机定子电流大于1A时,关闭IGBT g1和g3,同时,启动逆疏松矩阵变换器的正常调制程序,完成基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统的启动。

5. 根据权利要求3所述的基于逆疏松矩阵变换器的风力发电方法,其特征在于,采用基于电流空间矢量角的闭环PI控制方法控制无功功率,控制量

$$\theta = \text{sat}(\ell^{-1}\{(k_p + \frac{k_i}{s})(i_q^* - i_q)\} + \delta)$$

其中 θ 为输入电流参考矢量角, δ 为电网电压矢量角, δ

由锁相环电路获取, $\text{sat}(\cdot)$ 为饱和函数, 其上限为 $\frac{\pi}{6}$, 下限为 $-\frac{\pi}{6}$, $\{\}$ 为拉普拉斯反变换, s 为拉普拉斯变换的复变量, i_q 为无功电流, 为电网电流矢量在电网电压矢量方向上的投影, 为了实现单位功率因数控制, i_q^* 为无功电流给定值, k_p 和 k_i 分别为比例系数和积分系数。

基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统及其方法

技术领域

[0001] 本发明属于电力电子与电力传动以及可再生能源发电系统技术领域,涉及一种新型电力电子拓扑结构,以及基于该拓扑的风力发电系统配置方案,特别涉及一种基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统及其方法。

背景技术

[0002] 常见的永磁同步发电机(PMSG)发电系统的功率变换装置包含:交直交变换器或交交变换器两大类。其中,交直交变换器通常采用双PWM变换器,通常需要大容量的电解电容,以及笨重的滤波电抗器,电解电容的存在将严重限制发电系统的使用寿命,笨重的滤波电抗器成本昂贵。总之,由该类拓扑组成的发电系统功能完备,但投资成本过高。还有一种经济型功率变换装置,由三相二极管整流桥、BOOST升压环节和逆变器组成。该拓扑成本有所降低,但由于二极管整流器,不可避免的会导致在PMSG定子绕组中产生大量谐波电流,因此,会导致转矩的脉动,同时谐波损耗增大。传统的交交变换器由大量晶闸管组成,谐波严重,变频范围有限,不适合高性能风力发电系统。矩阵变换器是一种绿色交交变换器,由于其具备正弦输入输出电流,无需中间储能环节,因而结构紧凑,功率密度高。矩阵变换器虽然具备诸多的优点,但由于其开关数目过于庞大,导致成本过高,可靠性降低,这些严重限制了矩阵变换器在发电领域中的应用。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题是提出一种基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统及其方法,该基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统能够绿色、高效、可靠地变换与传输能量,同时保证系统结构简单紧凑,成本低廉。

[0004] 本发明的技术解决方案如下:

[0005] 一种基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统,整流级的交流侧与电网相接,整流级的直流侧与逆变级的直流侧对接,逆变级的交流侧与永磁同步发电机的输出端相接,永磁同步发电机与风机相接;主动保护电路的输入侧接逆变器的直流侧,主动保护电路的输出侧与整流级的交流侧相接;

[0006] 所述的整流级为由六个功率器件组件组成的三相整流桥,每一个功率器件组件由一个可控半导体功率开关和功率二极管串接而成;逆变级是由6个IGBT组成的三相桥式逆变器。

[0007] 所述的主动保护电路的电路结构如下:

[0008] 整流二极管模块是由6个整流二极管相接形成的三相整流桥式电路;电容 C_e 跨接在整流二极管模块的直流侧;

[0009] 电容 C_e 的负极接IGBT g_3 的发射极,IGBT g_3 的集电极和逆变级直流侧的地端相连、电容 C_e 的正极接IGBT g_1 的集电极,IGBT g_1 的发射极接逆变级直流侧的正电压端;

[0010] 由第一分压电阻和第二分压电阻串接而成的取样电路与电容 C_e 并联;

[0011] 滞环比较器的输入端接第一分压电阻和第二分压电阻的公共连接点,滞环比较器的输出端接 IGBT g2 的驱动器,驱动器的输出接 IGBT g2 的门极,IGBT g2 的发射极接电容 Ce 的负极,IGBT g2 的集电极经电阻 RD 接电容 Ce 的正极。

[0012] 所述的整流级的交流侧通过滤波器与电网相接。

[0013] 一种基于逆疏松矩阵变换器的风力发电方法,采用前述的基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统,将永磁同步发电机输出的电能馈送到电网中。

[0014] 基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统具有两种启动方式:

[0015] 第一种启动方法:逆变级所有 IGBT 均处于闭合状态,相当于二极管整流发电状态,而整流级则按正常方式运行,当发电机转速上升至其所产生的反电动势高于电网电压时,这时发电机定子绕组有连续电流通过,再使逆变级所有 IGBT 完全按正常方式运行,完成了基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统的启动;

[0016] 第二种启动方法,在启动之初,关闭整流级的所有可控半导体功率开关,开启主动保护电路中的 IGBT g1 和 IGBT g3,主动保护电路和逆变级一起构成通用变频器以控制永磁发电机,从而避免第一种启动方式下的系统启动之初低速运行不受控制的死区,直到发电机定子电流大于 1A 时,关闭 IGBT g1 和 g3,同时,启动逆疏松矩阵变换器的正常调制程序,完成基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统的启动。

[0017] 采用基于电流空间矢量角的闭环 PI 控制方法控制无功功率,控制量 $\theta = \text{sat}(\lambda^{-1}\{(k_p + \frac{k_i}{s})(i_q^* - i_q)\} + \delta)$,其中 θ 为输入电流参考矢量角, δ 为电网电压矢量角, δ

由锁相环电路获取, $\text{sat}(\cdot)$ 为饱和函数,其上限为 $\frac{\pi}{6}$,下限为 $-\frac{\pi}{6}$, $\lambda^{-1}\{\}$ 为拉普拉斯反变换, s 为拉普拉斯变换的复变量, i_q 为无功电流,为电网电流矢量在电网电压矢量方向上的投影,为了实现单位功率因数控制, i_q^* 为无功电流给定值, k_p 和 k_i 分别为比例系数和积分系数。

[0018] 控制器的输出端通过驱动电路与可控半导体功率开关、IGBT g1、IGBT 的控制端相接,为现有技术。

[0019] 有益效果:

[0020] 本发明的基于逆疏松矩阵变换器的风力发电系统及其方法,是一种全新的原创的系统和方法。

[0021] 本发明的原创性体现在以下几个方面:

[0022] (1) 提出一种逆疏松矩阵变换器拓扑,解决了传统矩阵变换器功率开关数量太多、成本高以及可靠性差等问题;

[0023] (2) 提出一种基于逆疏松矩阵变换器的永磁同步发电机风力发电系统配置方案,解决了基于逆疏松矩阵变换器的永磁同步风力发电系统控制问题;解决了该发电系统无功控制问题。

[0024] (3) 提出一种适合本系统的集成过压抑制、箝位和辅助启动等功能的主动保护电路,解决了系统启动问题、逆疏松矩阵变换器输入端过压保护问题,中直流电压箝位和发电系统低压穿越问题。

[0025] 本发明中的逆疏松矩阵变换器的整流级的可控半导体功率开关数目减少至 6 个,它的功率二极管数目也仅为 6 个;因而,系统成本大幅度降低,可靠性大大提高,系统的开

关损耗也随之降低。虽然其能量只能从逆疏松矩阵变换器的逆变端往整流端单向流动,但并不影响该系统发电运行。

[0026] 逆疏松矩阵变换器的整流端通过输入滤波器和电网相连,而其逆变端直接与永磁同步发电机定子相连,将由风能所转换的电能通过逆疏松矩阵变换器注入电网。

[0027] 集成保护、箝位等功能的主动电路由三相二极管整流器、功率电阻、IGBT 和滞环比较器等组成。具有抑制电网瞬时过压、保护矩阵变换器功率开关器件、系统停机时箝位以及发电系统低压穿越的功能。

[0028] 本发明的逆疏松矩阵变换器,输入输出电流正弦,功率器件数目小,能量能从逆疏松矩阵变换器的逆变级往整流级流动,但恰能满足所述风力发电系统的要求。

[0029] 本发明所述的基于逆疏松矩阵变换器的永磁同步发电机风力发电系统配置,具有以下优点:1、效率高,绿色无谐波污染;2、可靠性高;3、结构紧凑;4 控制方法简单。

[0030] 本发明所述的集成过压抑制、箝位和辅助启动等功能的主动保护电路大大提高了系统的可靠性,具体为:其中,二极管整流器一方面能为系统提供必要的启动能量,另一方面可抑制逆疏松矩阵变换器的输入端过压。由 IGBT 和耗能电阻组成的主动 crowbar 保护电路,为系统提供了低压穿越能力。

[0031] 通常研究的矩阵变换器为能量双向流动的矩阵变换器,它用到了双向开关,因而需要大量的功率开关,传统矩阵变换器由 18 个 IGBT 组成,而疏松矩阵变换器是传统矩阵变换器的一种衍生拓扑,其运行原理和基本功能和传统矩阵变换器基本一致。本发明所命名的逆疏松矩阵变换器是在疏松矩阵变换器的基础上减少了功率开关数目,但功能有所受限,即能量只能从逆变侧往整流侧传输,通常的应用是能量从整流侧往逆变侧传输。而本发明刚好与之相反,故用“逆”字命名。

[0032] 相对传统矩阵变换器而言,功率开关数量减少,传统矩阵变换器用到 18 个 IGBT 和 18 个功率二极管。而逆疏松矩阵变换器仅用到 12 个 IGBT 和 12 个功率二极管,(说明:这里不包括主动保护电路所涉及的功率开关)

[0033] 相对疏松矩阵变换器而言,功率开关数量减少,疏松矩阵变换器需要 18 个 IGBT 和 18 个功率二极管。

[0034] 相对非常疏松矩阵变换器,功率开关数量减少,非常疏松矩阵变换器需要 12 个 IGBT,30 个功率二极管。

[0035] 综上所述,所提逆疏松矩阵变换器成本较低。

附图说明

[0036] 图 1 是逆疏松矩阵变换器拓扑结构示意图;

[0037] 图 2 是基于逆疏松矩阵变换器的永磁同步发电机风力发电系统总体结构示意图;

[0038] 图 3 是基于逆疏松矩阵变换器的永磁同步发电机风力发电系统的控制框图;

[0039] 图 4 是集成保护、箝位等功能的主动(crowbar)保护电路的示意图;

[0040] 图 5 为电网有功功率和无功功率曲线图;

[0041] 图 6 为逆疏松矩阵变换器输入电流和电压曲线图;

[0042] 图 7 为定子电流波形;

[0043] 图 8 为发电机转速曲线。

[0044] 标号说明 :1- 滤波器,2- 整流级,3- 主动保护电路,4- 逆变级,5- 逆疏松矩阵变换器,6- 电网,7- 永磁同步发电机,8- 风机,9- 无功功率控制器,10- 永磁同步发电机控制器,11- 整流二极管模块,12- 取样电路,13- 滞环比较器 ;

具体实施方式

[0045] 以下将结合附图和具体实施例对本发明做进一步详细说明 :

[0046] 实施例 1 :

[0047] 图 1 为逆疏松矩阵变换器的拓扑结构,它由输入滤波器 (也称为滤波器)、逆疏松矩阵变换器整流级、主动保护电路、逆疏松矩阵变换器逆变级组成。电流型整流级与电压型逆变级直接连接。可见逆疏松矩阵变换器的整流级的电流流动方向是单向的,即能量只能从逆变级流向整流级注入电网。

[0048] 正常运行时,逆疏松矩阵变换器的调制策略和常规双级矩阵变换器的调制策略没有任何出入,只是在启动的时候,略有所不同。

[0049] 系统有两种启动方式,第一种,逆疏松矩阵变换器逆变级所有可控开关器件均处于闭合状态,相当于二极管整流发电状态,而它的整流级则按正常方式运行,IGBT g_1, g_3 均关闭 (若采用这种启动方式,在设计时,IGBT g_1, g_3 可以省略)当发动机转速足够高,发电机定子绕组有电流流过时,逆疏松矩阵变换器才能完全受控,而且,采用这种方法时对图 1 中模块中的整流二极管的功率等级要求更低 ;第二种启动方法,在启动之初,关闭整流级的所有 IGBT,开启 IGBT g_1, g_3 这样,主动保护电路和逆变级一起构成通用变频器,可方便控制永磁发电机,从而避免了第一种启动方式下的系统启动之初不受控制的死区,直到发电机定子电流已有足够大时,关闭 IGBT g_1 和 g_3 ,同时,启动逆疏松矩阵变换器的正常调制程序。

[0050] 图 2 为基于逆疏松矩阵变换器的永磁同步发电机风力发电系统,它由电网,逆疏松矩阵变换器,永磁同步发电机和风机组成。

[0051] 由于逆疏松矩阵变换器只允许能量单向流动,故它只适合于永磁同步发电机等具有高功率因数的发电系统当中,而所述风力发电系统正属此类。逆疏松矩阵变换器的逆变级负责控制永磁发电机,可实现最大风能跟踪等。而逆疏松矩阵变换器的整流级负责无功功率控制。

[0052] 图 3 为基于逆疏松矩阵变换器的永磁同步发电机风力发电系统的控制框图。其主要由两部分组成 :一部分为电网无功功率控制,另一部分为永磁发电机控制,其包括了最大风能跟踪控制。

[0053] 电网无功功率控制 :

[0054] 为了发掘矩阵变换器电网无功功率可控的潜力,本发明提出一种简单有效的无功功率闭环策略,电流空间矢量角的 PI 控制策略,如图 3 所示,具体描述如下

[0055] $\theta = \text{sat}(\lambda^{-1}\{(k_p + \frac{k_i}{s})(i_q^* - i_q)\} + \delta)$, s 为拉普拉斯变换中的复变量。

[0056] 其中, δ 为电网电压矢量角,其由锁相环电路获取,作为控制的前馈部分,以提高系统动态响应。 $\text{sat}(\cdot)$ 为饱和函数,以保证中间直流“上正下负”, $\lambda^{-1}\{\}$ 为拉普拉斯反变换。 i_q^* 为无功电流给定值,预先设定, i_q^* 一般取零,当需要对电网补偿时,可以设定某一正值或

负值。

[0057] 永磁发电机控制：

[0058] 永磁发电机的控制采用如图 3 所示的永磁同步发电机控制器 10, 由最大风能跟踪控制器 (MPPT)、单位功率因数发电控制器 (unity power factor control 为 i_{sd} 提供参考), 一个 PI 速度控制器和两个 PI 电流控制器组成。

[0059] 图 4 为集成保护、箝位等功能的主动 crowbar 保护电路 (即主动保护电路) 的示意图。整流二极管模块由 6 个整流二极管组成, 一方面为启动提供电压, 另一方面提供过压保护功能。取样电路为直流电压测量模块, 它由两个分压电阻构成。滞环比较模块为低压穿越提供决策。正常工作时 IGBT g_1, g_3 关闭, IGBT g_2 也为关闭状态。在启动之初, g_1, g_3 开通, g_2 关闭, 通过整流二极管和电容 C_e 为逆变级提供电压。在发生电网电压跌落时, 测量环节测得的中间直流电压一旦超过阈值上限设定值 u_h , IGBT g_2 开通, 释放多余的能量, 直到测得的电压低于阈值下限设定值 u_l , 开关 g_2 才关闭。当电网电压发生瞬时过压时, 整流二极管模块以及电容 C_e 将共同抑制瞬时过压, 保护逆疏松矩阵变换器。

[0060] 本实施例中, $R_1/R_2 = 200/1$, R_2 选 100 欧姆, R_1 为 20K 欧姆, R_d 为泄能电阻, 选 20 欧姆, 1000 瓦。 C_e 由两个 470uf, 400V 的电容器串联而成。

[0061] 滞环比较器的参数: 高电压阈值 u_h 等于 3.1V, 低电压阈值 u_l 为 2.9V。

[0062] 输入滤波电感为 20A/0.6mH, 滤波电容选 30uf 的薄膜电容。

[0063] 图 5 为端电网有功功率和无功功率; 发电机发出将近 3.7Kw 的功率, 在 0.5 秒前, 网侧无功功率控制器未工作, 结果有一定无功注入电网; 0.5 秒后, 无功网侧无功功率控制器投入, 实现了单位功率因数。图 6 为对应逆疏松矩阵变换器输入电流和电压状况。图 7 永磁发电机定子电流波形; 图 8 发电机的转速, 器给定速率为 400rad/s。

[0064] 逆疏松矩阵变换器的所有的 IGBT 和二极管的功率等级可选择一样, 主动保护电路中, g_1 和 g_3 的功率等级可以较低, 但 g_2 的功率等级较高。

[0065] 由于电流通过的功率器件减少, 因而系统效率提高, 根据文献, 传统矩阵变换器的效率高达 92%, 故该系统的效率可高于 92%。

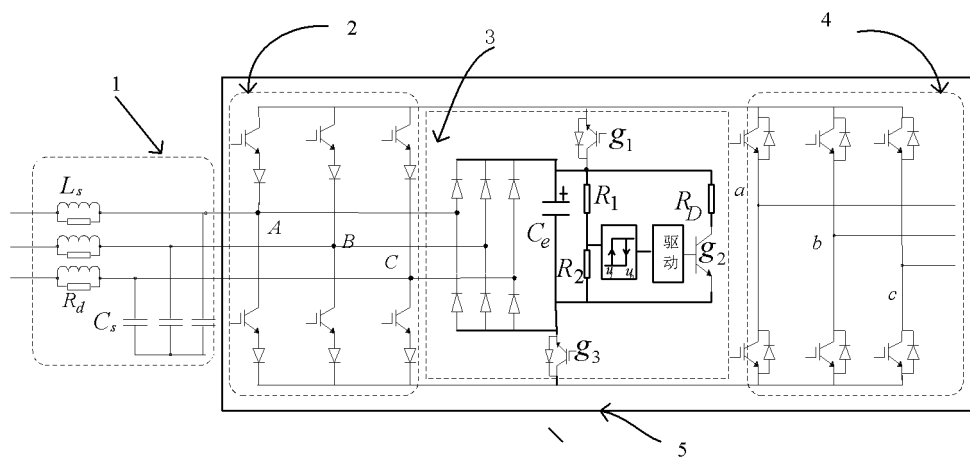


图 1

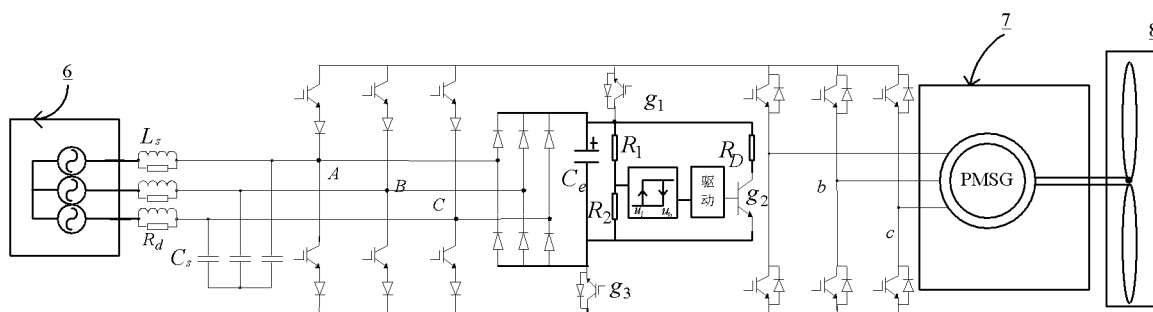


图 2

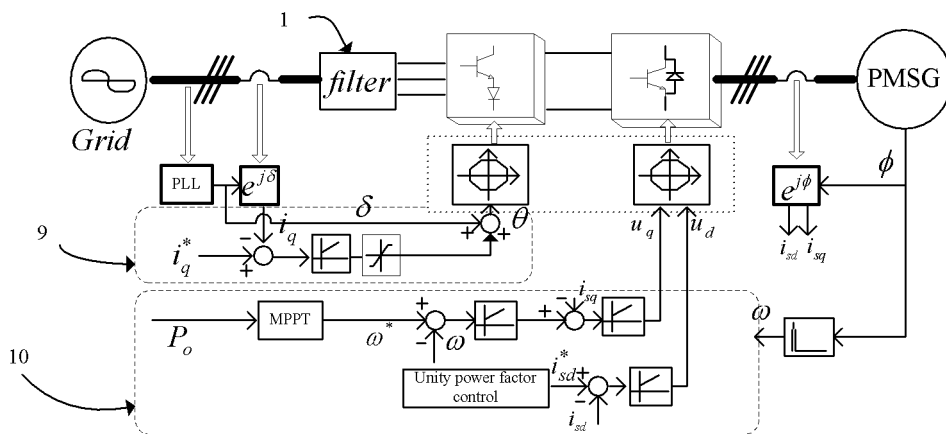


图 3

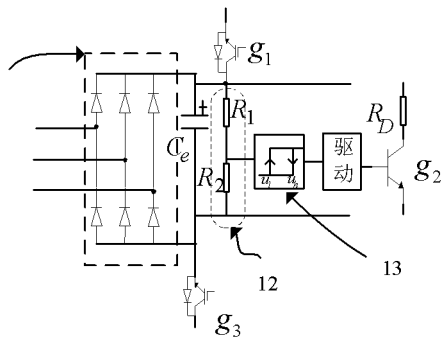


图 4

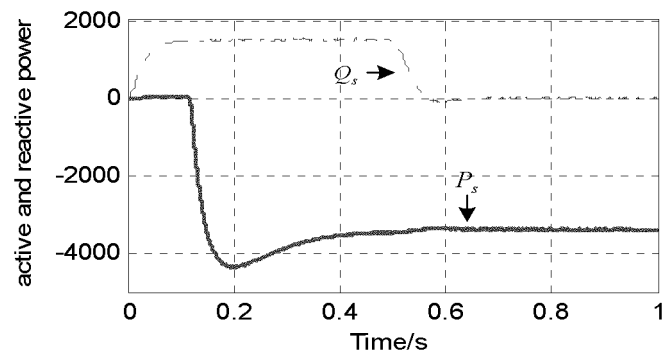


图 5

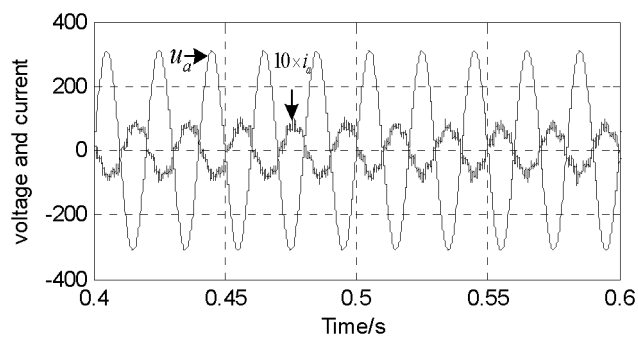


图 6

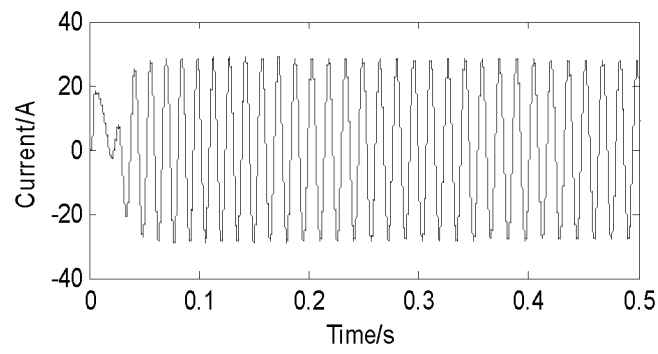


图 7

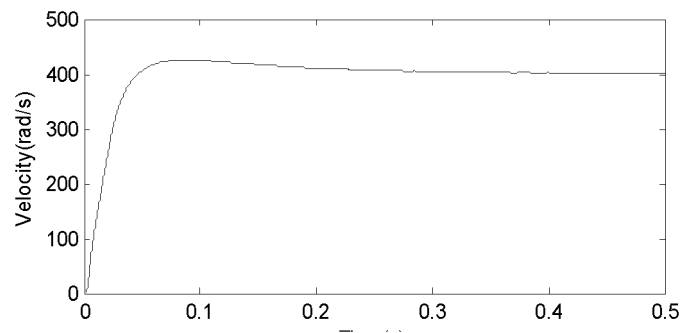


图 8