



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103280838 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 25

(21) 申请号 201310206474. 7

审查员 王翔

(22) 申请日 2013. 05. 29

(73) 专利权人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路
38号

(72) 发明人 年珩 曾恒力 周义杰

(74) 专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限
公司 33224

代理人 胡红娟

(51) Int. Cl.

H02J 3/38(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 102868180 A, 2013. 01. 09,

CN 103078346 A, 2013. 05. 01,

US 2011/0181219 A1, 2011. 07. 28,

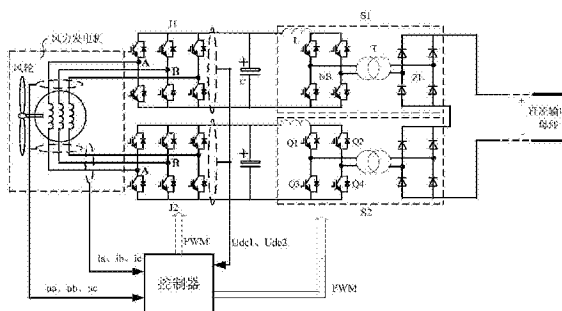
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于开绕组结构的风力发电高压直流并网系统及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于开绕组结构的风力发电高压直流并网系统,包括一台永磁同步风力发电机、两台机侧变流器、两台直流升压器和一控制器;永磁同步风力发电机为开绕组结构,直流升压器由一电抗器、一逆变器、一变压器和一整流器依次连接组成。本发明利用开绕组永磁同步风力发电,采用双两电平三相可控全桥变流器对其进行控制,实现了三电平调制,降低了变流器容量及开关器件的电压应力,能够降低系统成本;系统结构简单,成本低,运行效率高。本发明还公开了上述系统的控制方法,其通过较优的矢量控制策略的 PWM 调制技术,可以减少电机内的电流谐波含量,使电机更良好的运行。



1. 一种基于开绕组结构的风力发电高压直流并网系统,其特征在于,包括:一台永磁同步风力发电机、两台机侧变流器 J1 ~ J2、两台直流升压器 S1 ~ S2 和一控制器;所述的永磁同步风力发电机具有三相绕组,所述的机侧变流器采用三相全桥可控整流器;

所述的永磁同步风力发电机任一相绕组的一端与机侧变流器 J1 中对应相上下桥臂的中心接点相连,另一端与机侧变流器 J2 中对应相上下桥臂的中心接点相连;

机侧变流器 J1 的直流输出端与直流升压器 S1 的输入端对应连接,机侧变流器 J2 的直流输出端与直流升压器 S2 的输入端对应连接,直流升压器 S1 的输出端与直流升压器 S2 的输出端串联后并入直流输电母线;

所述的控制器用于采集永磁同步风力发电机的端电压、相电流以及两台机侧变流器的直流输出电压,进而通过控制策略构造出 PWM 信号以对两台机侧变流器以及两台直流升压器进行控制;

所述的机侧变流器的直流输出端并联有直流母线电容;所述的直流升压器由一电抗器、一逆变器、一变压器和一整流器依次连接组成;所述的逆变器采用单相全桥可控逆变器,所述的整流器采用单相全桥不控整流器,所述的变压器采用单相高频交流变压器。

2. 一种如权利要求 1 所述的风力发电高压直流并网系统的控制方法,包括如下步骤:

对于机侧变流器的控制:

A1. 采集永磁同步风力发电机的端电压和相电流以及两台机侧变流器的直流输出电压,进而采用反电势估测法或高频信号注入法估算出永磁同步风力发电机的转速和转子位置角;

A2. 利用所述的转子位置角对相电流进行 dq 变换,得到相电流的 d 轴分量和 q 轴分量;

A3. 根据所述的转速以及相电流的 d 轴分量和 q 轴分量,通过以下算式计算出永磁同步风力发电机的实际输出功率、有功轴电压补偿量和无功轴电压补偿量;

$$P = \frac{3}{2} n_p \omega_s [\Psi_f i_{sq} + (L_{sd} - L_{sq}) i_{sd} i_{sq}]$$

$$\Delta u_{sq} = \omega_s \Psi_f - \omega_s L_{sd} i_{sd}$$

$$\Delta u_{sd} = \omega_s L_{sq} i_{sq}$$

其中:P 为永磁同步风力发电机的实际输出功率, Δu_{sd} 和 Δu_{sq} 分别为永磁同步风力发电机的无功轴电压补偿量和有功轴电压补偿量, ω_s 为永磁同步风力发电机的转速, n_p 为永磁同步风力发电机的极对数, L_{sd} 和 L_{sq} 分别为永磁同步风力发电机的直轴电感和交轴电感, Ψ_f 为永磁同步风力发电机的转子磁链, i_{sd} 和 i_{sq} 分别为相电流的 d 轴分量和 q 轴分量;

进而根据基于无功轴电流为零的矢量控制算法计算出有功轴电压指令和无功轴电压指令,具体实现方式如下:

(1) 使预设目标输出功率减去所述的实际输出功率,得到功率误差;

(2) 对所述的功率误差进行 PI 调节得到有功轴电流指令,并令无功轴电流指令为零;

(3) 使无功轴电流指令和有功轴电流指令分别减去相电流的 d 轴分量和 q 轴分量,得到无功轴电流误差和有功轴电流误差;

(4) 分别对有功轴电流误差和无功轴电流误差进行 PI 调节得到有功轴电压误差和无功轴电压误差;使永磁同步风力发电机的有功轴电压补偿量和无功轴电压补偿量分别减去

有功轴电压误差和无功轴电压误差,即得到有功轴电压指令和无功轴电压指令;

A4. 对有功轴电压指令和无功轴电压指令进行分配,得到两台机侧变流器各自的有功轴电压指令分量和无功轴电压指令分量;进而通过 SVPWM 技术构造得到两组 PWM 信号以分别对两台机侧变流器进行控制;

对于直流升压器的控制:

B1. 对于任一台直流升压器,使该直流升压器所连接机侧变流器的直流输出电压与预设的直流参考电压进行比较,得到直流电压误差;

B2. 对所述的直流电压误差进行 PI 调节,得到占空比信号;

B3. 使所述的占空比信号与给定的锯齿波信号进行比较,生成一对 PWM 信号 V1 ~ V2 以对直流升压器进行控制;其中, PWM 信号 V1 用于控制直流升压器一对角桥臂上的可控开关器件, PWM 信号 V2 用于控制直流升压器另一对角桥臂上的可控开关器件, PWM 信号 V1 与 PWM 信号 V2 相位差 180 度。

一种基于开绕组结构的风力发电高压直流并网系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于风力发电技术领域,具体涉及一种基于开绕组结构的风力发电高压直流并网系统及其控制方法。

背景技术

[0002] 能源是人类赖以生产、社会得以发展的重要物质基础,而随着煤炭、石油等不可再生能源的逐渐枯竭,并且煤炭和石油等带来的污染问题日趋严重,对世界各国来讲寻找新的清洁可再生能源已经是一个刻不容缓的任务。风能作为一种可再生新能源,由于其蕴藏量巨大,清洁无污染,具有广阔的开采前景。

[0003] 随着风能的开发利用,全球的风力发电连续多年来保持快速、持续的增长。永磁直驱式风电机组具有可靠性高、结构简单、维护成本低、并网适应性强等优点,特别适合用作大功率海上永磁同步风力发电机组。传统的永磁同步风电系统结构如图 1 所示,电机绕组单端出口,并且采用交流输电,工作时将机械能转换为电能,再通过机侧变流器和网侧变流器接入电网,通过控制两个变流器电力电子开关器件的通断,即可达到控制目的。

[0004] 传统系统需要机侧和网侧两个全功率变流器才能保证其正常运行。其使用的两电平变流器,一方面会给电流带来一定的谐波分量,另一方面,随着风机容量的不断增加,全功率变流器需要更大容量的电力电子开关器件,会大幅度增加系统成本。使用全功率的变流器时,会给开关器件带来较大的电压应力,降低开关器件的寿命。在现有的技术方案里,有通过开关管串联分压解决方案,但是存在开关管均压的技术难题,也有通过 H 桥级联方案,此方案存在系统结构复杂的缺点。同时,传统的系统采用三相交流输电,随着海上风电的容量不断增大,交流输电电缆线间的电容效应将会产生越来越大的损耗,因此不但限制了输电容量而且限制了输电距离。

[0005] 基于以上考虑,有人提出了基于开绕组永磁同步电机的直流并网系统,如图 2 所示,该系统采用永磁同步电机进行发电,经过背靠背式的双 PWM 变流器,再经过交流升压器太高电压,最后通过整流器,将电能传输到直流母线,很容易看出该系统电能经过两个变流器,一个变压器和一个整流器四个环节并入直流电网,其具有复杂的结构和众多的设备导致系统运行效率低且成本高。

发明内容

[0006] 针对现有技术所存在的上述技术问题,本发明提供了一种基于开绕组结构的风力发电高压直流并网系统及其控制方法,结构简单,成本低。

[0007] 一种基于开绕组结构的风力发电高压直流并网系统,包括:一台永磁同步风力发电机、两台机侧变流器 J1 ~ J2、两台直流升压器 S1 ~ S2 和一控制器;所述的永磁同步风力发电机具有三相绕组,所述的机侧变流器采用三相全桥可控整流器;

[0008] 所述的永磁同步风力发电机任一相绕组的一端与机侧变流器 J1 中对应相上下桥

臂的中心接点相连,另一端与机侧变流器 J2 中对应相上下桥臂的中心接点相连;

[0009] 机侧变流器 J1 的直流输出端与直流升压器 S1 的输入端对应连接,机侧变流器 J2 的直流输出端与直流升压器 S2 的输入端对应连接,直流升压器 S1 的输出端与直流升压器 S2 的输出端串联后并入直流输电母线;

[0010] 所述的控制器用于采集永磁同步风力发电机的端电压、相电流以及两台机侧变流器的直流输出电压,进而通过控制策略构造出 PWM 信号以对两台机侧变流器以及两台直流升压器进行控制。

[0011] 所述的机侧变流器的直流输出端并联有直流母线电容。

[0012] 所述的直流升压器由一电抗器、一逆变器、一变压器和一整流器依次连接组成。

[0013] 所述的逆变器采用单相全桥可控逆变器,所述的整流器采用单相全桥不控整流器,所述的变压器采用单相高频交流变压器。

[0014] 上述风力发电高压直流并网系统的控制方法,包括如下步骤:

[0015] 对于机侧变流器的控制:

[0016] A1. 采集永磁同步风力发电机的端电压和相电流以及两台机侧变流器的直流输出电压,进而估算出永磁同步风力发电机的转速和转子位置角;

[0017] A2. 利用所述的转子位置角对相电流进行 dq 变换,得到相电流的 d 轴分量和 q 轴分量;

[0018] A3. 根据所述的转速以及相电流的 d 轴分量和 q 轴分量,计算出永磁同步风力发电机的实际输出功率、有功轴电压补偿量和无功轴电压补偿量;进而根据基于无功轴电流为零的矢量控制算法计算出有功轴电压指令和无功轴电压指令;

[0019] A4. 对有功轴电压指令和无功轴电压指令进行分配,得到两台机侧变流器各自的有功轴电压指令分量和无功轴电压指令分量;进而通过 SVPWM (空间矢量脉宽调制)技术构造得到两组 PWM 信号以分别对两台机侧变流器进行控制;

[0020] 对于直流升压器的控制:

[0021] B1. 对于任一台直流升压器,使该直流升压器所连接机侧变流器的直流输出电压与预设的直流参考电压进行比较,得到直流电压误差;

[0022] B2. 对所述的直流电压误差进行 PI 调节,得到占空比信号;

[0023] B3. 使所述的占空比信号与给定的锯齿波信号进行比较,生成一组 PWM 信号以对该直流升压器进行控制。

[0024] 所述的步骤 A1 中,采用反电势估测法或高频信号注入法估算永磁同步风力发电机的转速和转子位置角。

[0025] 所述的步骤 A3 中,根据以下算式计算永磁同步风力发电机的实际输出功率、有功轴电压补偿量和无功轴电压补偿量:

$$P = \frac{3}{2} n_p \omega_s [\Psi_f i_{sq} + (L_{sd} - L_{sq}) i_{sd} i_{sq}]$$

[0026]

$$\Delta u_{sq} = \omega_s \Psi_f - \omega_s L_{sd} i_{sd}$$

$$\Delta u_{sd} = \omega_s L_{sq} i_{sq}$$

[0027] 其中:P 为永磁同步风力发电机的实际输出功率, Δu_{sd} 和 Δu_{sq} 分别为永磁同步风

力发电机的无功轴电压补偿量和有功轴电压补偿量, ω_s 为永磁同步风力发电机的转速, n_p 为永磁同步风力发电机的极对数, L_{sd} 和 L_{sq} 分别为永磁同步风力发电机的直轴电感和交轴电感, Ψ_r 为永磁同步风力发电机的转子磁链, i_{sd} 和 i_{sq} 分别为相电流的 d 轴分量和 q 轴分量。

[0028] 所述的步骤 A3 中, 基于无功轴电流为零的矢量控制算法的具体实现方式如下:

[0029] (1) 使预设目标输出功率减去所述的实际输出功率, 得到功率误差;

[0030] (2) 对所述的功率误差进行 PI 调节得到有功轴电流指令, 并令无功轴电流指令为零;

[0031] (3) 使无功轴电流指令和有功轴电流指令分别减去相电流的 d 轴分量和 q 轴分量, 得到无功轴电流误差和有功轴电流误差;

[0032] (4) 分别对有功轴电流误差和无功轴电流误差进行 PI 调节得到有功轴电压误差和无功轴电压误差; 使永磁同步风力发电机的有功轴电压补偿量和无功轴电压补偿量分别减去有功轴电压误差和无功轴电压误差, 即得到有功轴电压指令和无功轴电压指令。

[0033] 所述的步骤 B3 中, 使占空比信号与给定的锯齿波信号进行比较, 生成一对 PWM 信号 V1 ~ V2 以对直流升压器进行控制; 其中, PWM 信号 V1 用于控制直流升压器一对角桥臂上的可控开关器件, PWM 信号 V2 用于控制直流升压器另一对角桥臂上的可控开关器件, PWM 信号 V1 与 PWM 信号 V2 相位差 180 度。

[0034] 本发明利用开绕组永磁同步风力发电机, 采用双两电平三相可控全桥变流器对其进行控制, 实现了三电平调制, 降低了变流器容量及开关器件的电压应力, 能够降低系统成本; 同时通过较优的矢量控制策略的 PWM 调制技术, 可以减少电机内的电流谐波含量, 使电机更良好的运行; 与此同时, 本发明系统采用高压直流进行输电, 利用 PWM 信号控制直流升压器, 可以更好的维持直流电压稳定, 并且有效的避免了交流输电的电容效应, 实现了电能的更长距离更大容量和更高效率的传输。整个系统电能经过变流器和直流升压两个环节, 系统结构简单, 成本低, 运行效率高。

附图说明

[0035] 图 1 为传统风力发电系统的结构示意图。

[0036] 图 2 为传统开绕组直流并网风力发电系统的结构示意图。

[0037] 图 3 为本发明开绕组直流并网风力发电系统的结构示意图。

[0038] 图 4 为反电势估测法的原理示意图。

[0039] 图 5 为直流升压器的控制原理示意图。

[0040] 图 6 为直流升压器开关管控制信号的时序图。

[0041] 图 7(a) 为永磁同步风力发电机端电压的波形示意图。

[0042] 图 7(b) 为永磁同步风力发电机相电流的波形示意图。

[0043] 图 8(a) 为机侧变流器 J1 直流输出电压的波形示意图。

[0044] 图 8(b) 为机侧变流器 J2 直流输出电压的波形示意图。

[0045] 图 9(a) 为永磁同步风力发电机转子位置角的波形示意图。

[0046] 图 9(b) 为永磁同步风力发电机转速的波形示意图。

[0047] 图 10(a) 为永磁同步风力发电机电磁转矩的波形示意图。

[0048] 图 10 (b) 为永磁同步风力发电机输出有功功率的波形示意图。

具体实施方式

[0049] 为了更为具体地描述本发明,下面结合附图及具体实施方式对本发明的技术方案及其相关原理进行详细说明。

[0050] 如图 3 所示,一种基于开绕组结构的风力发电高压直流并网系统,包括:一台永磁同步风力发电机、两台机侧变流器 J1 ~ J2、两台直流升压器 S1 ~ S2 和一控制器;其中:

[0051] 永磁同步风力发电机具有三相绕组,机侧变流器采用三相全桥可控整流器,其直流输出端并联有直流母线电容 C,每个桥臂由至少一个全控型电力电子开关器件串联组成,本实施方式中全控型器件可以采用 IGBT。

[0052] 永磁同步风力发电机任一相绕组的一端与机侧变流器 J1 中对应相上下桥臂的中心接点相连,另一端与机侧变流器 J2 中对应相上下桥臂的中心接点相连;

[0053] 机侧变流器 J1 的直流输出端与直流升压器 S1 的输入端对应连接,机侧变流器 J2 的直流输出端与直流升压器 S2 的输入端对应连接,直流升压器 S1 的输出端与直流升压器 S2 的输出端串联后并入直流输电母线。

[0054] 直流升压器由一电抗器 L、一逆变器 NB、一变压器 T 和一整流器 ZL 依次连接组成;本实施方式中,逆变器 NB 采用单相全桥可控逆变器,每个桥臂由至少一个全控型电力电子开关器件串联组成;整流器 ZL 采用单相全桥不控整流器,每个桥臂由至少一个二极管串联组成;变压器 T 采用单相高频交流变压器。

[0055] 控制器用于采集永磁同步风力发电机的端电压 $u_a \sim u_c$ 、相电流 $i_a \sim i_c$ 以及两台机侧变流器的直流输出电压 $U_{dc1} \sim U_{dc2}$,进而通过控制策略构造出 PWM 信号以对两台机侧变流器 J1 ~ J2 以及两台直流升压器 S1 ~ S2 进行控制;本实施方式中,控制器采用 DSP。

[0056] 本实施方式风力发电系统的控制方法,包括如下步骤:

[0057] 对于机侧变流器的控制:

[0058] A1. 采集永磁同步风力发电机的端电压 $u_a \sim u_c$ 和相电流 $i_a \sim i_c$ 以及两台机侧变流器的直流输出电压 $U_{dc1} \sim U_{dc2}$,进而利用反电势估测法估算出永磁同步风力发电机的转速 ω_s 和转子位置角 θ ;反电势估测法的实施原理如图 4 所示,其中 R_s 为定子相电阻。

[0059] A2. 利用转子位置角 θ 对相电流进行 dq 变换,得到相电流的 d 轴分量 i_{sd} 和 q 轴分量 i_{sq} ;

[0060] A3. 根据转速 ω_s 以及相电流的 d 轴分量 i_{sd} 和 q 轴分量 i_{sq} ,根据以下算式计算出永磁同步风力发电机的实际输出功率 P、有功轴电压补偿量 Δu_{sq} 和无功轴电压补偿量 Δu_{sd} ;

$$P = \frac{3}{2} n_p \omega_s [\Psi_f i_{sq} + (L_{sd} - L_{sq}) i_{sd} i_{sq}]$$

[0061]

$$\Delta u_{sq} = \omega_s \Psi_f - \omega_s L_{sd} i_{sd}$$

$$\Delta u_{sd} = \omega_s L_{sq} i_{sq}$$

[0062] 其中: n_p 为永磁同步风力发电机的极对数, L_{sd} 和 L_{sq} 分别为永磁同步风力发电机的直轴电感和交轴电感, Ψ_f 为永磁同步风力发电机的转子磁链;本实施方式中, $n_p=48$, $R_s=3.52 \times 10^{-3} \Omega$, $\Psi_f=6.495 \text{V} \cdot \text{s}$, $L_{sd}=2.54 \times 10^{-4} \text{mH}$, $L_{sq}=2.54 \times 10^{-4} \text{mH}$ 。

[0063] 进而根据基于无功轴电流为零的矢量控制算法计算出有功轴电压指令 u_q 和无功轴电压指令 u_d ;

[0064] (1) 使预设目标输出功率 P_{ref} 减去实际输出功率 P , 得到功率误差 ΔP ; 本实施方式中 $P_{ref}=2MW$;

[0065] (2) 根据以下算式对功率误差 ΔP 进行 PI 调节得到有功轴电流指令 I_{sq} , 并令无功轴电流指令 I_{sd} 为 0;

$$[0066] \quad I_{sq} = (K_{p1} + \frac{K_{i1}}{s}) \Delta P$$

[0067] 其中, K_{p1} 和 K_{i1} 分别为比例系数和积分系数, s 为拉普拉斯算子; 本实施方式中, $K_{p1}=0.01$, $K_{i1}=0.03$ 。

[0068] (3) 使无功轴电流指令 I_{sd} 和有功轴电流指令 I_{sq} 分别减去相电流的 d 轴分量 i_{sd} 和 q 轴分量 i_{sq} , 得到无功轴电流误差 Δi_{sd} 和有功轴电流误差 Δi_{sq} ;

[0069] (4) 根据以下公式, 分别对有功轴电流误差 Δi_{sq} 和无功轴电流误差 Δi_{sd} 进行 PI 调节得到有功轴电压误差和无功轴电压误差, 使有功轴电压补偿量 Δu_{sq} 和无功轴电压补偿量 Δu_{sd} 分别减去有功轴电压误差和无功轴电压误差, 即得到有功轴电压指令 u_q 和无功轴电压指令 u_d ;

$$[0070] \quad u_q = \Delta u_{sq} - (K_{p2} + \frac{K_{i2}}{s}) \Delta i_{sq}$$

$$[0071] \quad u_d = \Delta u_{sd} - (K_{p2} + \frac{K_{i2}}{s}) \Delta i_{sd}$$

[0072] 其中, K_{p2} 和 K_{i2} 分别为比例系数和积分系数, 本实施方式中, $K_{p2}=0.02$, $K_{i2}=0.05$ 。

[0073] A4. 对有功轴电压指令 u_q 和无功轴电压指令进行分配 u_d , 得到两台机侧变流器各自的有功轴电压指令分量和无功轴电压指令分量; 本实施方式通过分配使得机侧变流器 J1 的有功轴电压指令分量 $u_{q1}=0.5u_q$, 无功轴电压指令分量 $u_{d1}=0.5u_d$; 机侧变流器 J2 的有功轴电压指令分量 $u_{q2}=-0.5u_q$, 无功轴电压指令分量 $u_{d2}=-0.5u_d$ 。

[0074] 对于任一机侧变流器, 根据其有功轴电压指令分量和无功轴电压指令分量通过 SVPWM 技术构造得到一组 PWM 信号以对该机侧变流器中的 IGBT 进行开关控制。

[0075] 对于直流升压器的控制, 如图 5 所示:

[0076] B1. 对于任一台直流升压器, 使该直流升压器所连接机侧变流器的直流输出电压 U_{dc} 与预设的直流参考电压进行比较, 得到直流电压误差 ΔU_{dc} ; 本实施方式中, 直流参考电压为 600V。

[0077] B2. 根据以下公式对直流电压误差 ΔU_{dc} 进行 PI 调节, 得到占空比信号 D ;

$$[0078] \quad D = (K_{p3} + \frac{K_{i3}}{s}) \Delta U_{dc}$$

[0079] 其中, K_{p3} 和 K_{i3} 分别为比例系数和积分系数, 本实施方式中, $K_{p3}=3$, $K_{i3}=80$ 。

[0080] B3. 使占空比信号 D 与给定的锯齿波信号进行比较, 生成一对 PWM 信号 $V1 \sim V2$ 以对该直流升压器进行控制; 其中, PWM 信号 $V1$ 用于控制直流升压器一对角桥臂上的 IGBT,

PWM 信号 V2 用于控制直流升压器另一对角桥臂上的 IGBT, PWM 信号 V1 与 PWM 信号 V2 相位差 180 度, 如图 6 所示。

[0081] 以下, 我们对本实施方式进行仿真测试, 永磁同步风力发电机的参数如表 1 所示:

[0082] 表 1

[0083]

电机参数	参数值
额定功率	2MW
额定电压	719.6V
额定电流	1604.6A
额定频率	14.4Hz
额定转速	18r/min
定子相电阻	$3.52e-3 \Omega$
定子 d 轴电感	$2.54e-4mH$
定子 q 轴电感	$2.54e-4mH$
极对数	48
直流输出电压	600V
直流输电母线电压	10kV

[0084] 图 7 ~ 图 10 为采用本实施方式对开绕组永磁风电直流并网系统进行控制的仿真波形图, 波形均取 0.5s ~ 1s 时间段, 系统处于稳态运行; 此时, 我们目标输出的有功功率值为 2MW, 从仿真结果图可以看出, 电机运行达到稳态时, 端电压和相电流波形良好, 机侧变流器的直流输出电压也能够稳定在 1pu, 实际输出有功功率值 P 也在 1pu 左右波动, 波动范围为 $\pm 5\%$, 此时电机转矩 T_e 波动也较小; 仿真结果和证明该系统能够实现, 且能够达到稳定的工作状态。

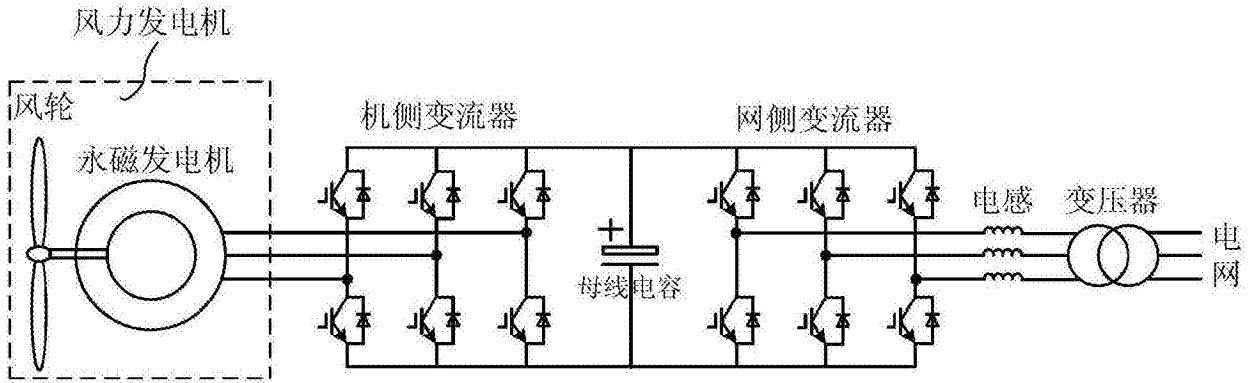


图 1

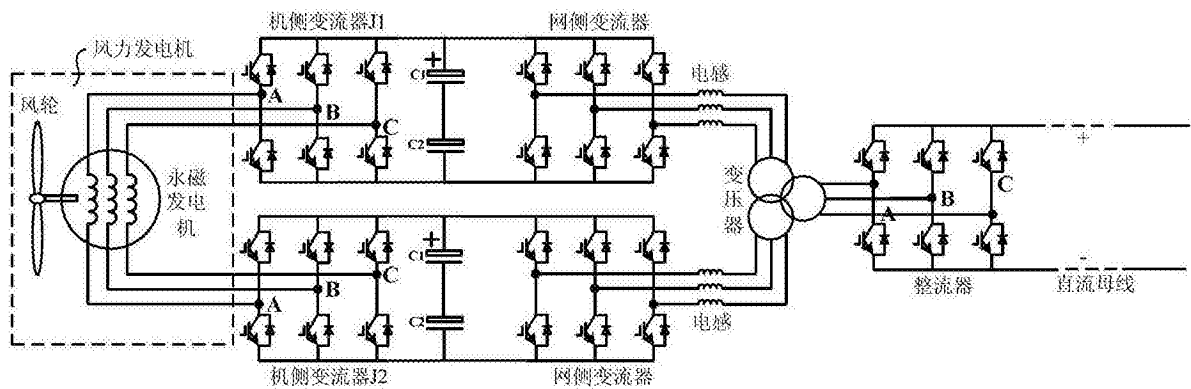


图 2

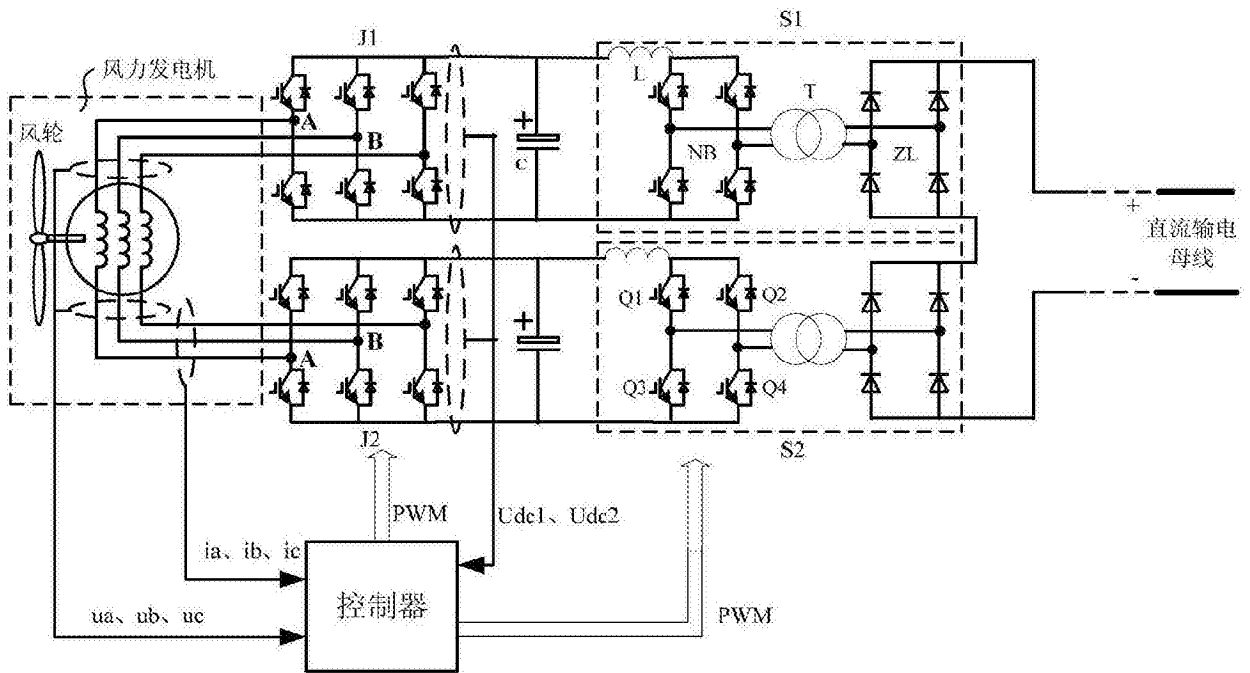


图 3

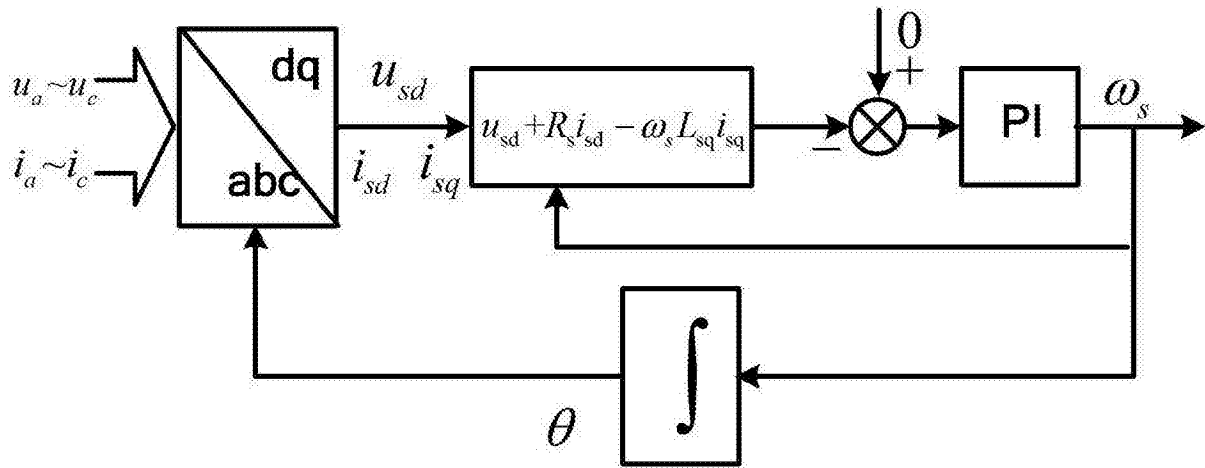


图 4

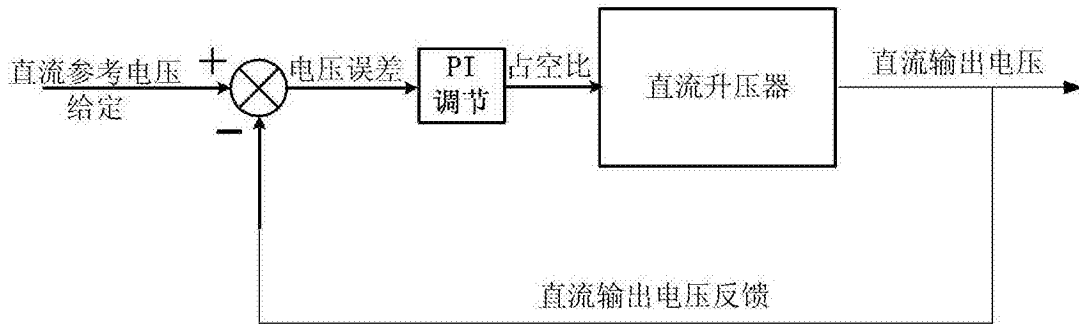


图 5

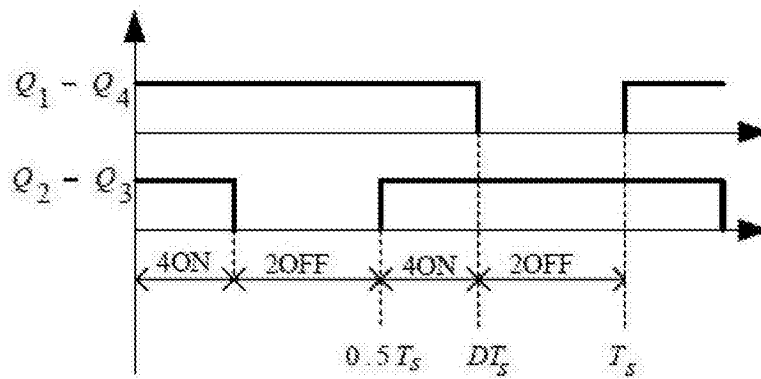


图 6

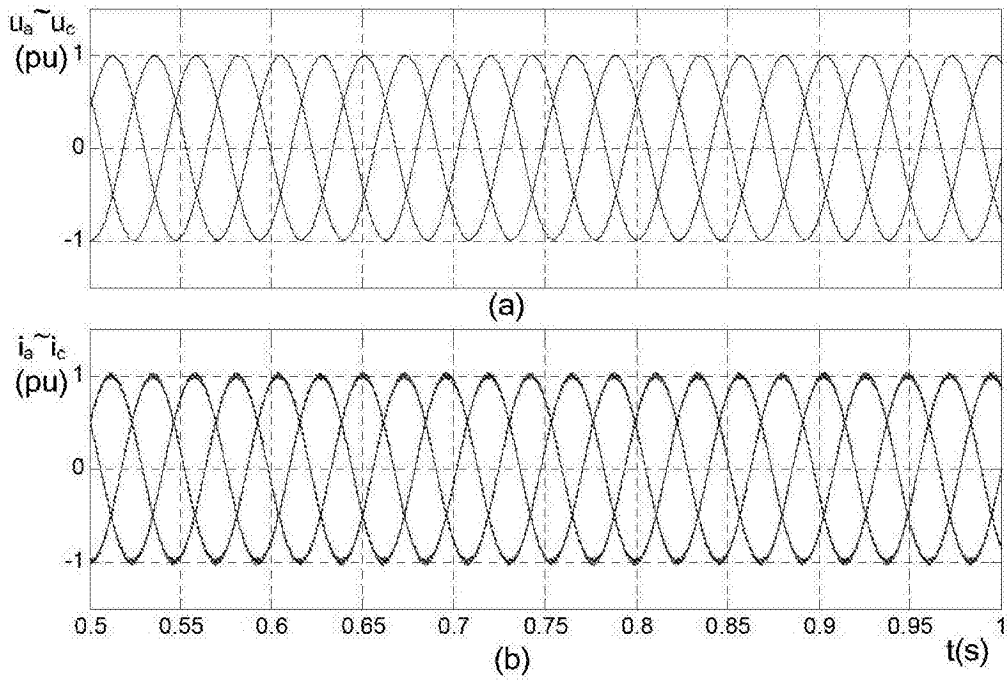


图 7

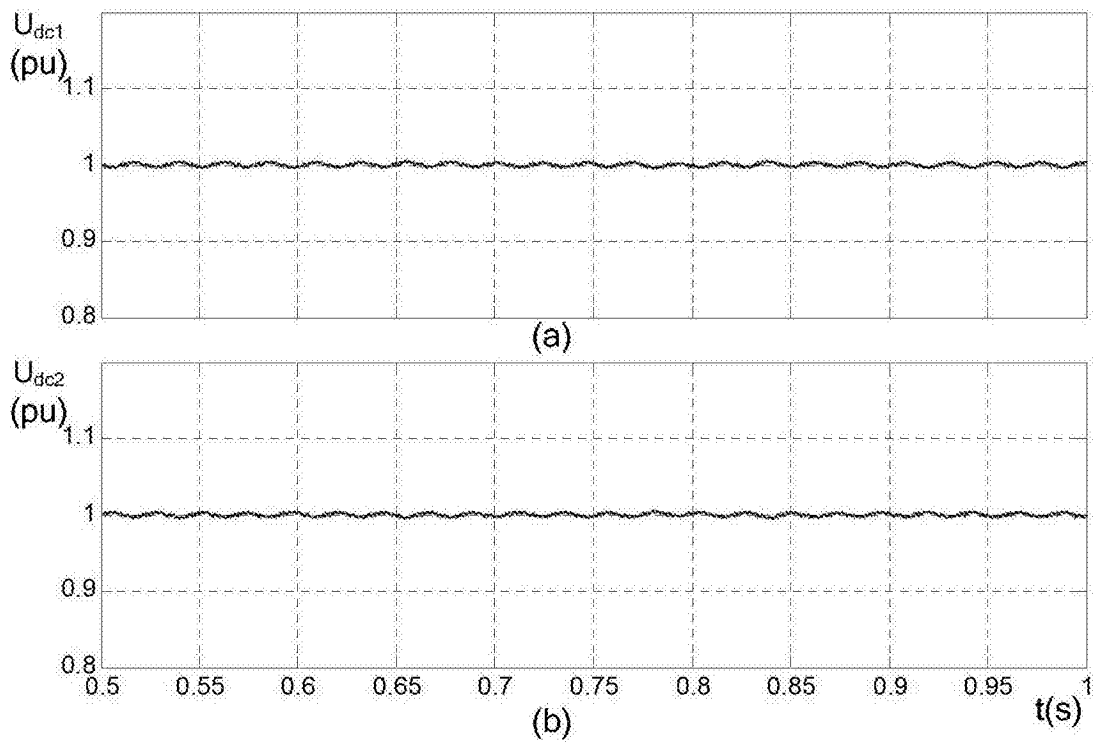


图 8

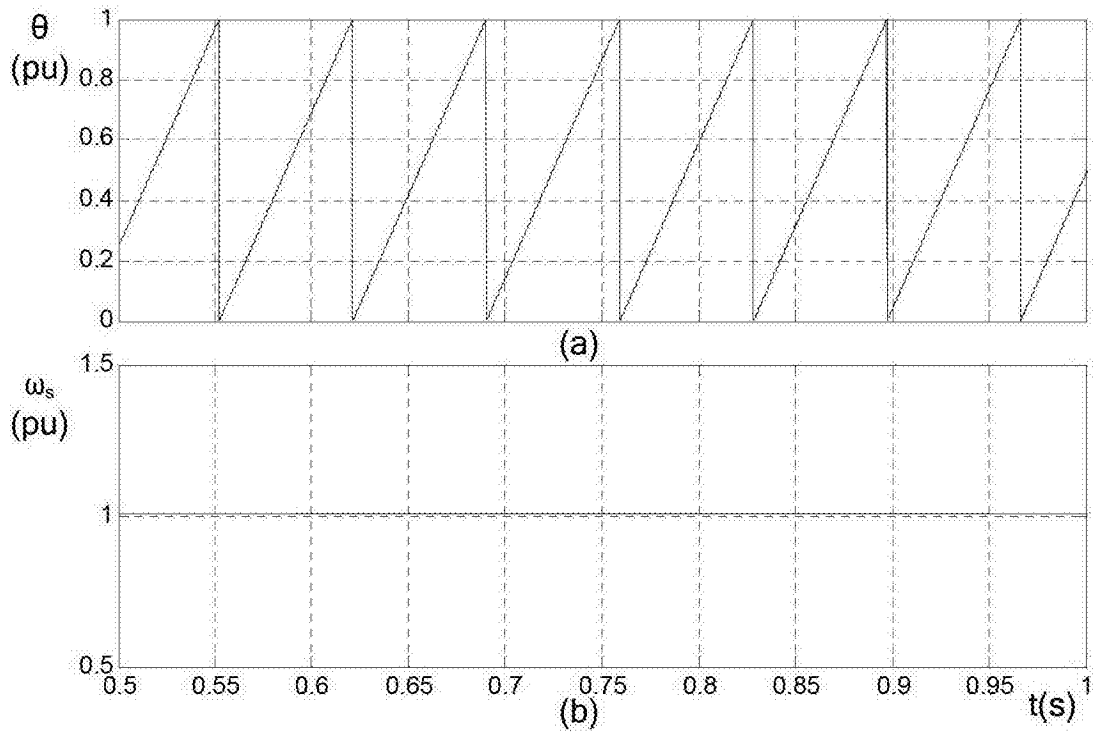


图 9

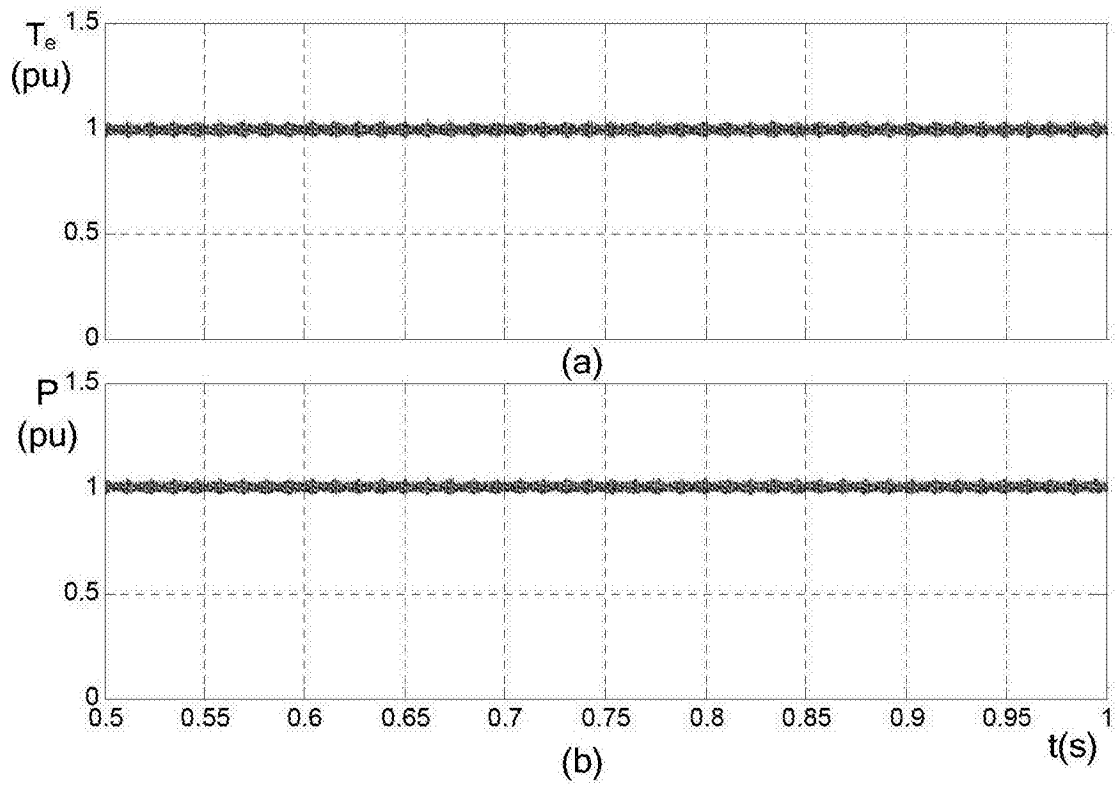


图 10