



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109830986 A

(43)申请公布日 2019.05.31

(21)申请号 201910248012.9

(22)申请日 2019.03.29

(71)申请人 北方工业大学

地址 100000 北京市石景山区晋元庄路5号

(72)发明人 温春雪 袁明华 胡长斌 朴政国 周京华

(74)专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569 代理人 程华

(51)Int.Cl. H02J 3/38(2006.01)

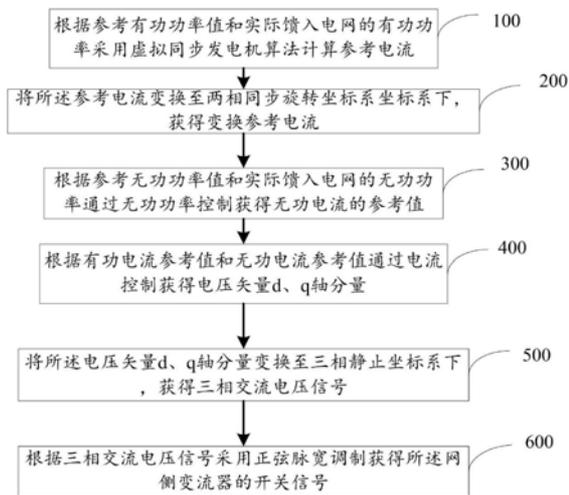
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种永磁直驱风电系统的控制方法及系统

(57)摘要

本发明公开一种永磁直驱风电系统的控制方法及系统。所述控制方法用于控制永磁直驱风电系统的能量输出,所述控制方法包括:根据参考有功功率值和实际馈入电网的有功功率采用虚拟同步发电机算法计算参考电流;将所述参考电流变换至两相同步旋转坐标系下,获得有功电流分量;控制获得无功电流的参考值;根据有功电流参考值和无功电流参考值通过电流控制获得电压矢量d、q轴分量;获得三相交流电压信号;根据三相交流电压信号采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号。根据有功电流分量是采用虚拟同步发电机算法计算后转换,有功电流模拟了同步发电机的惯性,减小了风电系统馈入电网能量的波动。



1. 一种永磁直驱风电系统的控制方法,其特征在于,所述控制方法用于控制永磁直驱风电系统的能量输出,所述控制方法包括:

所述永磁直驱风电系统包括风轮、永磁同步电机、机侧变流器、网侧变流器、电网;所述机侧变流器靠近所述永磁同步电机,所述网侧变流器靠近所述电网;

所述网侧变流器采用功率外环,电流内环的控制策略;

根据参考有功功率值和实际馈入电网的有功功率采用虚拟同步发电机算法计算参考电流;

将所述参考电流变换至两相同步旋转坐标系坐标系下,获得变换参考电流,d轴直流分量为有功分量,q轴直流分量为无功分量;

根据参考无功功率值和实际馈入电网的无功功率通过无功功率控制获得无功电流的参考值;

根据有功电流参考值和无功电流参考值通过电流控制获得电压矢量d、q轴分量;

将所述电压矢量d、q轴分量变换至三相静止坐标系下,获得三相交流电压信号;

根据三相交流电压信号采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号。

2. 根据权利要求1所述的一种永磁直驱风电系统的控制方法,其特征在于,所述控制方法还包括:

获取无功功率外环获得的无功电流参考值,获取有功电流参考值;

通过测量所述电网的电流,获得电流测量值;

将所述无功电流参考值、所述有功电流参考值和所述电流测量值形成内环控制,获得电压矢量d、q轴分量;

将所述电压矢量d、q轴分量经坐标变换获得三相静止坐标系下的信号,获得三相交流电压信号;

将所述三相交流电压信号采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号。

3. 根据权利要求1所述的一种永磁直驱风电系统的控制方法,其特征在于,所述参考有功功率值的计算方法具体包括:

实时测量所处环境的风速、电网运行的电压幅值和电网运行的参考电压幅值,获取实时风速值、电网电压幅值和参考电压幅值;

通过查询最大功率曲线记录表获取所述实时风速值对应的最大功率;

计算所述电网电压幅值与所述参考电压幅值的比值,获得电压比值;

将所述最大功率乘以所述电压比值获得参考有功功率值。

4. 一种永磁直驱风电系统的控制系统,其特征在于,所述控制系统包括:

参考电流计算模块,用于根据参考有功功率值和实际馈入电网的有功功率采用虚拟同步发电机算法计算参考电流;

坐标系变换模块,用于将所述参考电流变换至两相同步旋转坐标系下,获得变换参考电流,d轴直流分量为有功分量,q轴直流分量为无功分量;

无功电流获取模块,用于根据参考无功功率值和实际馈入电网的无功功率通过无功功率控制获得无功电流的参考值;

坐标轴分量计算模块,用于根据有功电流参考值和无功电流参考值通过电流控制获得电压矢量d、q轴分量;

三相交流电压信号变换模块,用于将所述电压矢量d、q轴分量变换至三相静止坐标系下,获得三相交流电压信号;

开关信号确定模块,用于根据三相交流电压信号采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号。

5.根据权利要求4所述的一种永磁直驱风电系统的控制系统,其特征在于,所述控制系统还包括:

电流测量模块,用于通过测量所述电网的电流,获得电流测量值;

内环控制模块,用于将所述无功电流参考值、所述有功电流参考值和所述电流测量值形成内环控制,获得电压矢量d、q轴分量;

三相交流电压信号获取模块,用于将所述电压矢量d、q轴分量经坐标变换获得下的信号,获得三相交流电压信号;

正弦脉宽调制模块,用于将所述三相交流电压信号采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号。

6.根据权利要求4所述的一种永磁直驱风电系统的控制系统,其特征在于,所述有功电流参考值获取模块具体包括:

风速实时测量单元,用于实时测量所处环境的风速、电网运行的电压幅值和电网运行的参考电压幅值,获取实时风速值、电网电压幅值和参考电压幅值;

最大功率查询单元,用于通过查询最大功率曲线记录表获取所述实时风速值对应的最大功率;

电压比值计算单元,用于计算所述电网电压幅值与所述参考电压幅值的比值,获得电压比值;

参考有功功率值获取单元,用于将所述最大功率乘以所述电压比值获得参考有功功率值。

## 一种永磁直驱风电系统的控制方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及风电系统领域,特别是涉及永磁直驱风电系统的控制方法及系统。

### 背景技术

[0002] 随着全球社会和经济的发展,人们对能源的需求量也随之增加。能源问题已成为各国经济持续发展的重要基础,是关系全球经济发展的一个重要战略问题。但是,常规的碳氢化合物及衍生物的化石能源(例如石油、天然气、煤等)储量有限,且大量使用还会造成严重的环境污染问题,威胁地球生态稳定。因而,全球能源发展方向转为清洁的可再生能源。在已有的可再生能源中(例如,太阳能、水能、潮汐能、风能),风能具有蕴藏量大、可再生、分布广泛、无污染、成本低的特点,逐渐成为竞争力最大的可再生能源,受到世界各国的重视。

[0003] 风力发电作为解决能源问题的一种重要途径,已经受到世界各国的高度重视,并加以研究。从早期恒速恒频的鼠笼异步风力发电机组发展到现在变速恒频双馈的风力发电机组和永磁风力发电机组。其中,由于永磁风力发电机组的风力机与发电机转子直接相连,所以,省去了易引起故障且造价高昂的齿轮箱,使得机组的机械噪声减小,提高了能量转化效率,在增大电机容量的同时减少了机组的体积。

[0004] 永磁直驱风力发电机组中大多采用交-直-交电压型双PWM变流器,变流器分网侧变流器和机侧变流器,现有技术机侧变流器的主要作用是实现最大风能跟踪,网侧变流器主要作用是保持直流母线电压恒定。

[0005] 现有技术中通过控制机侧的变流器追踪最大风能,网侧变流器控制直流母线电压稳定,所以,实现了实时将最大的风功率馈入电网,提高风能的利用率,但是风速的随机性导致风机的出力也是随机的,因此风电系统馈入电网的能量是波动的,此外,现有永磁直驱风力发电系统实现低电压穿越的技术方案主要是通过通过在直流侧安装卸荷电路,储能装置消纳多余的能量,或并联辅助变流器增加直流侧功率的输出通道。现有技术中的控制方法都需要增加外部硬件电路,增加了变流器的体积和成本,导致控制器的结构复杂。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种在无需增加硬件电路的基础上能够减小风电系统馈入电网的能量的波动及实现低电压穿越的永磁直驱风电系统的控制方法及系统。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0008] 一种永磁直驱风电系统的控制方法,所述控制方法用于控制永磁直驱风电系统的能量输出,所述控制方法包括:

[0009] 所述永磁直驱风电系统包括风轮、永磁同步电机、机侧变流器、网侧变流器、电网;所述机侧变流器靠近所述永磁同步电机,所述网侧变流器靠近所述电网;

[0010] 所述网侧变流器采用功率外环,电流内环的控制策略;

[0011] 根据参考有功功率值和实际馈入电网的有功功率采用虚拟同步发电机算法计算参考电流;

- [0012] 将所述参考电流变换至两相同步旋转坐标系坐标系下,获得变换参考电流,d轴直流分量为有功分量,q轴直流分量为无功分量;
- [0013] 根据参考无功功率值和实际馈入电网的无功功率通过无功功率控制获得无功电流的参考值;
- [0014] 根据有功电流参考值和无功电流参考值通过电流控制获得电压矢量d、q轴分量;
- [0015] 将所述电压矢量d、q轴分量变换至三相静止坐标系下,获得三相交流电压信号;
- [0016] 根据三相交流电压信号采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号。
- [0017] 可选的,所述控制方法还包括:
- [0018] 获取无功功率外环获得的无功电流参考值,获取有功电流参考值;
- [0019] 通过测量所述电网的电流,获得电流测量值;
- [0020] 将所述无功电流参考值、所述有功电流参考值和所述电流测量值形成内环控制,获得电压矢量d、q轴分量;
- [0021] 将所述电压矢量d、q轴分量经坐标变换获得三相静止坐标系下的信号,获得三相交流电压信号;
- [0022] 将所述三相交流电压信号采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号。
- [0023] 可选的,所述参考有功功率值的计算方法具体包括:
- [0024] 实时测量所处环境的风速、电网运行的电压幅值和电网运行的参考电压幅值,获取实时风速值、电网电压幅值和参考电压幅值;
- [0025] 通过查询最大功率曲线记录表获取所述实时风速值对应的最大功率;
- [0026] 计算所述电网电压幅值与所述参考电压幅值的比值,获得电压比值;
- [0027] 将所述最大功率乘以所述电压比值获得参考有功功率值。
- [0028] 为了实现上述目的,本发明还提供了如下方案:
- [0029] 一种永磁直驱风电系统的控制系统,所述控制系统包括:
- [0030] 参考电流计算模块,用于根据参考有功功率值和实际馈入电网的有功功率采用虚拟同步发电机算法计算参考电流;
- [0031] 坐标系变换模块,用于将所述参考电流变换至两相同步旋转坐标系坐标系下,获得变换参考电流;
- [0032] 参考电流分离模块,用于根据所述变换参考电流分离所述定子电流中的有功电流分量和无功电流分量;
- [0033] 开关信号确定模块,用于根据所述有功电流分量和所述无功电流分量采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号;
- [0034] 可选的,所述控制系统还包括:
- [0035] 有功电流参考值获取模块,用于获取无功功率外环获得的无功电流参考值,获取有功电流参考值;
- [0036] 电流测量模块,用于通过测量所述电网的电流,获得电流测量值;
- [0037] 内环控制模块,用于将所述无功电流参考值、所述有功电流参考值和所述电流测量值形成内环控制,获得电压矢量d、q轴分量;
- [0038] 三相交流电压信号获取模块,用于将所述电压矢量d、q轴分量经坐标变换获得三相静止坐标系下的信号,获得三相交流电压信号;

[0039] 正弦脉宽调制模块,用于将所述三相交流电压信号采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号。

[0040] 可选的,所述有功电流参考值获取模块具体包括:

[0041] 风速实时测量单元,用于实时测量所处环境的风速、电网运行的电压幅值和电网运行的参考电压幅值,获取实时风速值、电网电压幅值和参考电压幅值;

[0042] 最大功率查询单元,用于通过查询最大功率曲线记录表获取所述实时风速值对应的最大功率;

[0043] 电压比值计算单元,用于计算所述电网电压幅值与所述参考电压幅值的比值,获得电压比值;

[0044] 参考有功功率值获取单元,用于将所述最大功率乘以所述电压比值获得参考有功功率值。

[0045] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:本发明公开了一种永磁直驱风电系统的控制方法及系统,网侧变流器采用功率外环,电流内环的控制策略,根据参考有功功率值和实际馈入电网的有功功率采用虚拟同步发电机算法计算参考电流,根据所述变换参考电流分离所述定子电流中的有功电流分量和无功电流分量,通过改进永磁直驱风电系统的控制策略,减小了风电系统馈入电网能量的波动,通过改进控制策略实现低电压穿越而无需增加外部硬件电路。当风速突变时,网侧变流器由于具有了惯性使得馈入电网的能量变化更加平缓,当电网电压跌落时,无需增加外部的硬件电路能够实现低电压的穿越。

## 附图说明

[0046] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例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本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0047] 图1为本发明提供的永磁直驱风电系统的控制方法的流程图;

[0048] 图2为本发明提供的永磁直驱风电系统的控制系统的组成框图;

[0049] 图3为本发明提供的永磁直驱风电系统的示意图。

## 具体实施方式

[0050] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0051] 本发明的目的是提供一种在无需增加硬件电路的基础上能够减小风电系统馈入电网的能量的波动及实现低电压穿越的永磁直驱风电系统的控制方法及系统。

[0052] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0053] 如图1所示,本发明提供了一种永磁直驱风电系统的控制方法,所述控制方法用于

控制永磁直驱风电系统的能量输出,所述控制方法包括:

[0054] 如图3所示,所述永磁直驱风电系统包括风轮1、永磁同步电机2、机侧变流器3、网侧变流器4、电网5;所述机侧变流器3靠近所述永磁同步电机2,所述网侧变流器4靠近所述电网5;

[0055] 所述网侧变流器4采用功率外环,电流内环的控制策略;

[0056] 步骤100:根据参考有功功率值和实际馈入电网的有功功率采用虚拟同步发电机算法计算参考电流;

[0057] 步骤200:将所述参考电流变换至两相同步旋转坐标系坐标系下,获得变换参考电流,d轴直流分量为有功分量,q轴直流分量为无功分量;

[0058] 步骤300:根据参考无功功率值和实际馈入电网的无功功率通过无功功率控制获得无功电流的参考值;

[0059] 步骤400:根据有功电流参考值和无功电流参考值通过电流控制获得电压矢量d、q轴分量;

[0060] 步骤500:将所述电压矢量d、q轴分量变换至三相静止坐标系下,获得三相交流电压信号;

[0061] 步骤600:根据三相交流电压信号采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号。

[0062] 进一步地,所述控制方法还包括:

[0063] 获取无功功率外环获得的无功电流参考值,获取有功电流参考值;

[0064] 通过测量所述电网的电流,获得电流测量值;

[0065] 将所述无功电流参考值、所述有功电流参考值和所述电流测量值形成内环控制,获得电压矢量d、q轴分量;

[0066] 将所述电压矢量d、q轴分量经坐标变换获得三相静止坐标系下的信号,获得三相交流电压信号;

[0067] 将所述三相交流电压信号采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号。

[0068] 所述参考有功功率值的计算方法具体包括:

[0069] 实时测量所处环境的风速、电网运行的电压幅值和电网运行的参考电压幅值,获取实时风速值、电网电压幅值和参考电压幅值;

[0070] 通过查询最大功率曲线记录表获取所述实时风速值对应的最大功率;

[0071] 计算所述电网电压幅值与所述参考电压幅值的比值,获得电压比值;

[0072] 将所述最大功率乘以所述电压比值获得参考有功功率值。

[0073] 当所述电网5电压稳定时,电网电压幅值与参考电压幅值的比值为1,有功功率参考值是当前风速下的最大功率,通过所述网侧变流器4的控制,实时将风机1捕获的最大能量馈入电网,当风速突变,所述有功功率的参考值也会发生突变,由于所述网侧变流器4的控制模拟了同步发电机的特性的转子惯量,使得所述网侧变流器4馈入电网的能量不会突变,而是变得平缓。

[0074] 当所述电网电压跌落时,电网电压幅值与参考电压幅值的比值小于1,所述有功功率的参考值小于当前风速下的最大功率,如果所述电网电压跌落时,网侧变流器跟踪当前风速下的最大功率,将使得并网电流增大,甚至超过网侧变流器开关器件的限流值,损坏开

关器件,所以,当所述电网电压跌落时,为了实现低电压的穿越,有功功率的参考值小于当前风速下的最大功率,且有功功率的参考值的变化与电网电压跌落的比例保持一致,网侧变流器的有功电流保持不变,同时,根据电网的要求,在电网电压跌落时,需要向电网输入无功功率。所以,在电网电压跌落时,根据要求设置无功功率的参考值,实现在电网电压跌落时向电网输入无功功率用以迅速恢复电网电压。

[0075] 机侧变流器的控制策略:

[0076] 机侧变流器主要用于控制直流母线电压及机侧无功功率,以维持电机侧的单位功率因数输出。给定的直流母线电压参考值与测量所得的直流母线电压通过直流母线控制器形成外环控制,得到有功电流的参考值,无功电流的参考值设置为0。有功电流的参考值和无功电流的参考值与测量所得的有功电流和无功电流通过电流控制器形成的电流内环控制。电流控制的结果经过坐标变换得到两相同步旋转坐标系下的信号,经过正弦脉宽调制得到机侧变流器的开关信号。

[0077] 当电网电压稳定时,机侧变流器通过控制发电机定子的有功电流实现机侧变流器的输出能量与网侧变流器馈入电网的能量平衡,保持直流母线电压的稳定。

[0078] 当电网电压跌落时,网侧变流器馈入电网的能量减小,为了保持直流母线电压的稳定,机侧变流器输出的能量会减小,发电机定子的有功电流将减小,发电机的电磁转矩减小,风力机输入的机械转矩不会突变,所以发电机的转速将会增大,由于永磁直驱风电系统的风力机具有惯性,转速不会明显增大。同时,风力机的转速增加将使得风力机偏离当前风速下的最大功率点,风力机捕获的能量减小,有利于风电系统实现低电压穿越。

[0079] 为了实现上述目的,本发明还提供了如下方案:

[0080] 一种永磁直驱风电系统的控制系统,所述控制系统包括:

[0081] 参考电流计算模块6,用于根据参考有功功率值和实际馈入电网的有功功率采用虚拟同步发电机算法计算参考电流;

[0082] 坐标系变换模块7,用于将所述参考电流变换至两相同步旋转坐标系坐标系下,获得变换参考电流,d轴直流分量为有功分量,q轴直流分量为无功分量;

[0083] 无功电流获取模块8,用于根据参考无功功率值和实际馈入电网的无功功率通过无功功率控制获得无功电流的参考值;

[0084] 坐标轴分量计算模块9,用于根据有功电流参考值和无功电流参考值通过电流控制获得电压矢量d、q轴分量;

[0085] 三相交流电压信号变换模块10,用于将所述电压矢量d、q轴分量变换至三相静止坐标系下,获得三相交流电压信号;

[0086] 开关信号确定模块11,用于根据三相交流电压信号采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号。

[0087] 所述控制系统还包括:

[0088] 有功电流参考值获取模块,用于获取无功功率外环获得的无功电流参考值,获取有功电流参考值;

[0089] 电流测量模块,用于通过测量所述电网的电流,获得电流测量值;

[0090] 内环控制模块,用于将所述无功电流参考值、所述有功电流参考值和所述电流测量值形成内环控制,获得电压矢量d、q轴分量;

[0091] 三相交流电压信号获取模块,用于将所述电压矢量d、q轴分量经坐标变换获得三相静止坐标系下的信号,获得三相交流电压信号;

[0092] 正弦脉宽调制模块,用于将所述三相交流电压信号采用正弦脉宽调制获得所述网侧变流器的开关信号。

[0093] 所述有功电流参考值获取模块具体包括:

[0094] 风速实时测量单元,用于实时测量所处环境的风速、电网运行的电压幅值和电网运行的参考电压幅值,获取实时风速值、电网电压幅值和参考电压幅值;

[0095] 最大功率查询单元,用于通过查询最大功率曲线记录表获取所述实时风速值对应的最大功率;

[0096] 电压比值计算单元,用于计算所述电网电压幅值与所述参考电压幅值的比值,获得电压比值;

[0097] 参考有功功率值获取单元,用于将所述最大功率乘以所述电压比值获得参考有功功率值。

[0098] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。对于实施例公开的系统而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0099] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

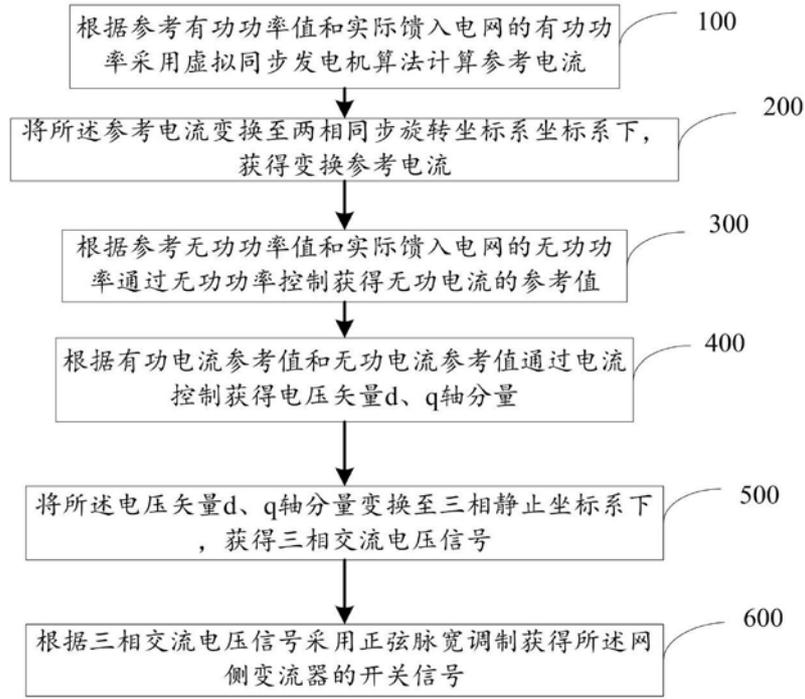


图1

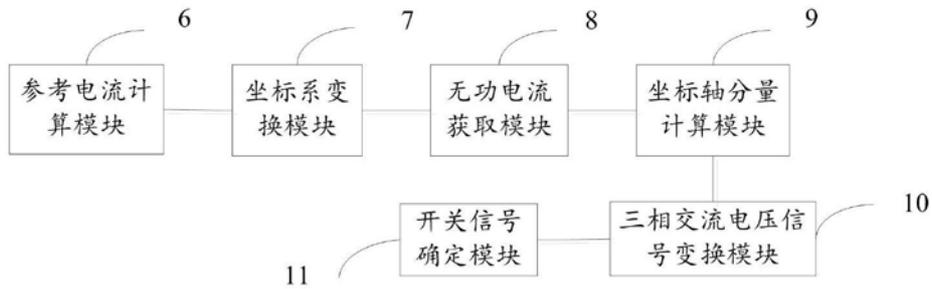


图2

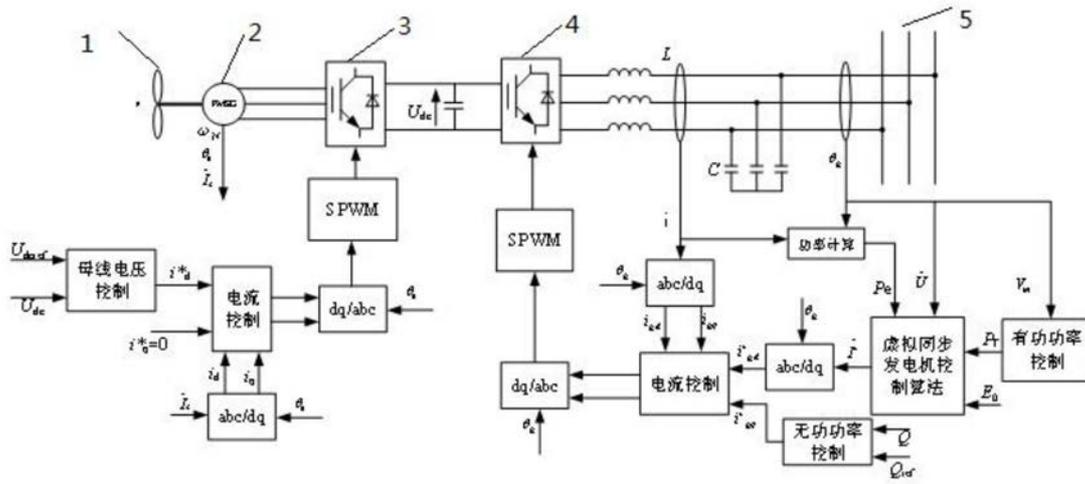


图3