



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104967378 B

(45)授权公告日 2018.10.23

(21)申请号 201510280381.8

(22)申请日 2015.05.27

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104967378 A

(43)申请公布日 2015.10.07

(73)专利权人 北京金风科创风电设备有限公司  
地址 100176 北京市大兴区经济技术开发区博兴一路8号

(72)发明人 刘勇 张斌赫 赵祥

(74)专利代理机构 北京天健君律专利代理事务所(普通合伙) 11461

代理人 逯博 杨移

(51)Int.Cl.

H02P 9/14(2006.01)

H02P 101/15(2015.01)

(56)对比文件

CN 103414422 A,2013.11.27,

JP 特开2009-268267 A,2009.11.12,

张朝阳等.永磁同步风力发电机高性能弱磁控制策略研究.《大功率变流技术》.2013,第62-65页.

张朝阳等.永磁同步风力发电机高性能弱磁控制策略研究.《大功率变流技术》.2013,第62-65页.

许海军等.直接转矩控制永磁同步高压直流发电系统研究.《电力电子技术》.2012,第46卷(第1期),第73-75页.

审查员 卿龙

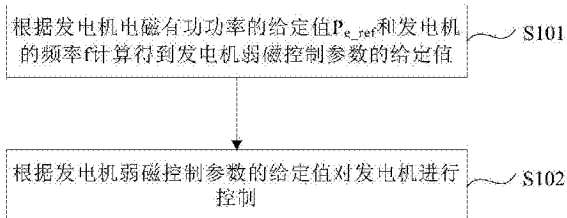
权利要求书3页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

风力发电机振动和噪声抑制方法及装置

(57)摘要

本发明提供一种风力发电机振动和噪声抑制方法及装置。该方法包括：根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值；根据所述发电机弱磁控制参数的给定值对发电机进行控制。本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制方法及装置，通过弱磁控制减小了发电机的磁负荷，实现了发电机振动和噪声的抑制。由于无需改变发电机的机械结构和电磁设计，因此不影响发电机的功率密度和力能指标等性能，且不增加发电机制造工艺的复杂性和制造成本。



1. 一种风力发电机振动和噪声抑制方法,其特征在于,包括:

根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值;

根据所述发电机弱磁控制参数的给定值对发电机进行控制;

其中,所述根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值包括:

根据所述发电机电磁有功功率的给定值和所述发电机的频率计算得到发电机直流电流的给定值和发电机交轴电流的给定值;

所述根据所述发电机弱磁控制参数的给定值对发电机进行控制包括:

根据所述发电机直流电流的给定值和所述发电机交轴电流的给定值对发电机进行电流矢量控制;

或者,所述根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机的弱磁控制参数的给定值包括:

根据所述发电机电磁有功功率的给定值和所述发电机的频率计算得到发电机磁链的给定值和发电机电磁转矩的给定值;

所述根据所述发电机弱磁控制参数的给定值对发电机进行控制包括:

根据所述发电机磁链的给定值和所述发电机电磁转矩的给定值对发电机进行直接转矩控制。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述发电机电磁有功功率的给定值和所述发电机的频率计算得到发电机直流电流的给定值和发电机交轴电流的给定值包括:

根据所述发电机电磁有功功率的给定值获得发电机交轴电流的最大输出转矩优化值;

根据所述发电机交轴电流的最大输出转矩优化值和所述发电机的频率获得所述发电机直流电流的第一弱磁给定值;

根据所述发电机电磁有功功率的给定值获得所述发电机直流电流的最大输出转矩优化值;

根据发电机相电压的实际值和变流器最大输出电压获得所述发电机直流电流的第二弱磁给定值;

根据所述发电机直流电流的第一弱磁给定值、发电机直流电流的最大输出转矩优化值和发电机直流电流的第二弱磁给定值获得所述发电机直流电流的给定值;

根据所述发电机直流电流的给定值和所述发电机电磁有功功率的给定值计算得到所述发电机交轴电流的给定值。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述发电机电磁有功功率的给定值和所述发电机的频率计算得到发电机磁链的给定值和发电机电磁转矩的给定值包括:

根据所述发电机电磁有功功率的给定值获得发电机电磁转矩的最大输出转矩优化值;

根据所述发电机电磁转矩的最大输出转矩优化值和所述发电机的频率获得所述发电机磁链的第一弱磁给定值;

根据所述发电机电磁有功功率的给定值获得所述发电机磁链的最大输出转矩优化值;

根据发电机相电压的实际值和变流器最大输出电压获得所述发电机磁链的第二弱磁

给定值；

根据所述发电机磁链的第一弱磁给定值、发电机磁链的最大输出转矩优化值和发电机磁链的第二弱磁给定值获得所述发电机磁链的给定值；

根据所述发电机磁链的给定值计算得到所述发电机电磁转矩的给定值。

4. 一种风力发电机振动和噪声抑制装置，其特征在于，包括：

计算模块，用于根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值；

控制模块，用于根据所述发电机弱磁控制参数的给定值对发电机进行控制；

其中，所述计算模块具体用于：

根据所述发电机电磁有功功率的给定值和所述发电机的频率计算得到发电机直流电流的给定值和发电机交轴电流的给定值；

所述控制模块具体用于：

根据所述发电机直流电流的给定值和所述发电机交轴电流的给定值对发电机进行电流矢量控制；

或者，所述计算模块具体用于：

根据所述发电机电磁有功功率的给定值和所述发电机的频率计算得到发电机磁链的给定值和发电机电磁转矩的给定值；

所述控制模块具体用于：

根据所述发电机磁链的给定值和所述发电机电磁转矩的给定值对发电机进行直接转矩控制。

5. 根据权利要求4所述的装置，其特征在于，所述计算模块包括：

第一直流电流弱磁控制子模块，用于根据所述发电机电磁有功功率的给定值获得发电机交轴电流的最大输出转矩优化值；以及，根据所述发电机交轴电流的最大输出转矩优化值和所述发电机的频率获得所述发电机直流电流的第一弱磁给定值；

直流电流最大转矩/电流控制子模块，用于根据所述发电机电磁有功功率的给定值获得所述发电机直流电流的最大输出转矩优化值；

第二直流电流弱磁控制子模块，用于根据发电机相电压的实际值和变流器最大输出电压获得所述发电机直流电流的第二弱磁给定值；

直流电流选择子模块，用于根据所述发电机直流电流的第一弱磁给定值、发电机直流电流的最大输出转矩优化值和发电机直流电流的第二弱磁给定值获得所述发电机直流电流的给定值；

交轴电流计算子模块，用于根据所述发电机直流电流的给定值和所述发电机电磁有功功率的给定值计算得到所述发电机交轴电流的给定值。

6. 根据权利要求4所述的装置，其特征在于，所述计算模块包括：

第一磁链弱磁控制子模块，用于根据所述发电机电磁有功功率的给定值获得发电机电磁转矩的最大输出转矩优化值；以及，根据所述发电机电磁转矩的最大输出转矩优化值和所述发电机的频率获得所述发电机磁链的第一弱磁给定值；

磁链最大转矩/电流控制子模块，用于根据所述发电机电磁有功功率的给定值获得所述发电机磁链的最大输出转矩优化值；

第二磁链弱磁控制子模块,用于根据发电机相电压的实际值和变流器最大输出电压获得所述发电机磁链的第二弱磁给定值;

磁链选择子模块,用于根据所述发电机磁链的第一弱磁给定值、发电机磁链的最大输出转矩优化值和发电机磁链的第二弱磁给定值获得所述发电机磁链的给定值;

电磁转矩计算子模块,用于根据所述发电机磁链的给定值计算得到所述发电机电磁转矩的给定值。

## 风力发电机振动和噪声抑制方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及风电技术领域,尤其涉及一种风力发电机振动和噪声抑制方法及装置。

### 背景技术

[0002] 随着风力发电技术的发展和推广,风力发电机组的容量不断提高,风力发电机组运行中的振动和噪声问题越来越不容忽视,成为风电行业发展亟须解决的问题。

[0003] 风力发电机是实现机械能-电能转换的重要装置。风力发电机中存在基波和谐波频率、齿槽频率及其倍频等多种频率的电磁力,且风力发电机的定转子机械结构模态也十分复杂。当发电机的电磁力的力波阶数和频率与发电机的定转子机械结构模态的振型阶数和频率都对应时会发生共振,振动和噪声问题十分突出。因此可通过减小发电机的磁负荷,即降低作用在发电机定转子上的电磁力,减小发电机定转子振动幅度的方法实现发电机振动和噪声的抑制,达到减振降噪的目的。

[0004] 现有技术中,主要通过改变发电机的机械结构和电磁设计,例如增大发电机气隙长度、优化磁极形状、斜槽(即将线圈在发电机定转子上倾斜排放)或斜极(即将磁极倾斜)等,来减小发电机的磁负荷,实现发电机振动和噪声的抑制,达到减振降噪的目的。

[0005] 在实现上述发电机振动和噪声抑制的过程中,发明人发现现有技术中至少存在如下问题:发电机机械结构和电磁设计的改变,一方面降低了发电机的功率密度和力能指标等性能,另一方面增加了发电机制造工艺的复杂性和制造成本。

### 发明内容

[0006] 本发明的实施例提供一种风力发电机振动和噪声抑制方法及装置,无需改变发电机的机械结构和电磁设计即可实现发电机振动和噪声的抑制,不影响发电机的功率密度和力能指标等性能,且不增加发电机制造工艺的复杂性和制造成本。

[0007] 为达到上述目的,本发明的实施例采用如下技术方案:

[0008] 本发明提供一种风力发电机振动和噪声抑制方法,包括:

[0009] 根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值;

[0010] 根据所述发电机弱磁控制参数的给定值对发电机进行控制。

[0011] 本发明还提供一种风力发电机振动和噪声抑制装置,包括:

[0012] 计算模块,用于根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值;

[0013] 控制模块,用于根据所述发电机弱磁控制参数的给定值对发电机进行控制。

[0014] 本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制方法及装置,根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值,并根据发电机弱磁控制参数的给定值对发电机进行控制,通过弱磁控制减小了发电机的磁负荷,实现了发电机振

动和噪声的抑制。由于无需改变发电机的机械结构和电磁设计,因此不影响发电机的功率密度和力能指标等性能,且不增加发电机制造工艺的复杂性和制造成本。

### 附图说明

- [0015] 图1为本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制方法一个实施例的流程示意图;
- [0016] 图2为本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制方法又一个实施例的流程示意图;
- [0017] 图3为图2所示实施例中根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值的流程示意图;
- [0018] 图4为本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制方法又一个实施例的流程示意图;
- [0019] 图5为图4所示实施例中根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值的流程示意图;
- [0020] 图6为本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制装置一个实施例的结构示意图;
- [0021] 图7为本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制装置又一个实施例的结构示意图;
- [0022] 图8为本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制装置又一个实施例的结构示意图。

### 具体实施方式

[0023] 下面结合附图对本发明实施例风力发电机振动和噪声抑制方法及装置进行详细描述。

[0024] 实施例一

[0025] 图1为本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制方法一个实施例的流程示意图。如图1所示,本实施例的风力发电机振动和噪声抑制方法具体可以包括:

[0026] S101,根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 和发电机的频率 $f$ 计算得到发电机弱磁控制参数的给定值。

[0027] S102,根据发电机弱磁控制参数的给定值对发电机进行控制。

[0028] 具体的,本实施例中的发电机弱磁控制参数具体可以根据发电机的控制方式确定。例如,当对发电机进行电流矢量控制时,本实施例中的发电机弱磁控制参数为发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ 和发电机交轴电流的给定值 $I_{q\_ref}$ 。当对发电机进行直接转矩控制时,本实施例中的发电机弱磁控制参数为发电机磁链的给定值 $\Psi_{f\_ref}$ 和发电机电磁转矩的给定值 $T_{e\_ref}$ 。

[0029] 本实施例提供的风力发电机振动和噪声抑制方法,根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值,并根据发电机弱磁控制参数的给定值对发电机进行控制,通过弱磁控制减小了发电机的磁负荷,即降低了作用在发电机定转子上的电磁力,减小了发电机定转子的振动幅度,实现了发电机振动和噪声的抑制。由于无需改变发电机的机械结构和电磁设计,因此不影响发电机的功率密度和力能指标等性能,且不增加发电机制造工艺的复杂性和制造成本。

[0030] 实施例二

[0031] 图2为本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制方法又一个实施例的流程示意图。如图2所示,本实施例的风力发电机振动和噪声抑制方法给出了图1所示实施例的风力发电机振动和噪声抑制方法的一种具体实现方式(对发电机进行电流矢量控制的情况),本实施例的风力发电机振动和噪声抑制方法具体可以包括:

[0032] S201,根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 和发电机的频率 $f$ 计算得到发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ 和发电机交轴电流的给定值 $I_{q\_ref}$ 。

[0033] 具体的,图3为图2所示实施例中根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值的流程示意图。如图3所示,本步骤具体可以包括以下步骤S2011-S2015:

[0034] S2011,根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 获得发电机交轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{q\_MTPA}$ 和发电机直轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{d\_MTPA}$ 。

[0035] 具体的,本步骤基于最大转矩/电流(Maximum Torque Per Ampere,简称MTPA)控制(也称为最大转矩电流比控制或最优转矩控制),根据发电机的电磁特性得出最优的发电机直轴电流分量和发电机交轴电流分量组合,满足单位电流下发电机的输出转矩最大。在发电机输出转矩给定的情况下,根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 最优配置发电机直轴电流分量(即发电机直轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{d\_MTPA}$ )和发电机交轴电流分量(即发电机交轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{q\_MTPA}$ ),可以使发电机组的性能得到优化,提高运行效率,减小发电机铜损功率,降低对发电机的容量要求。本步骤中的MTPA控制可以采用现有的各种MTPA控制方法实现,例如解析法或有限元分析法等,此处不再赘述,也可以通过预先实验测试通过查表法实现。

[0036] S2012,根据发电机交轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{q\_MTPA}$ 和发电机的频率 $f$ 获得发电机直轴电流的第一弱磁给定值 $I_{d\_FW1\_ref}$ 。

[0037] 具体的,本步骤中根据变流器的最大弱磁能力,减小发电机的电磁力以抑制发电机的振动和噪声,是通过弱磁控制抑制发电机的振动和噪声的重要环节。发电机交轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{q\_MTPA}$ 已通过上述步骤S2011得到,发电机的频率 $f$ 可以根据以下公式计算得到:

$$[0038] \quad f = \frac{np_n}{60}$$

[0039] 其中, $n$ 为发电机的转速,可通过测量得到。 $p_n$ 为发电机的极对数。

[0040] 当发电机的频率 $f$ 位于需要抑制振动和噪声的频率范围外时,发电机直轴电流的第一弱磁给定值 $I_{d\_FW1\_ref}$ 取值为0。当发电机的频率 $f$ 位于需要抑制振动和噪声的频率范围内时,发电机直轴电流的第一弱磁给定值 $I_{d\_FW1\_ref}$ 可以根据以下公式计算得到:

$$[0041] \quad I_{d\_FW1\_ref} = \sqrt{I_{a\_rated\_max}^2 - I_{q\_MTPA}^2}$$

[0042] 其中, $I_{a\_rated\_max}$ 为发电机额定相电流的最大值,根据发电机自身的额定热量值确定。

[0043] 需要抑制振动和噪声的频率范围可以通过以下过程确定:分析发电机的定转子机

械结构模态的振型阶数和频率以及发电机的电磁力的力波阶数和频率,找出阶数和频率重叠区域,并通过测试,确定发电机需要抑制振动和噪声的频率,并将以该频率为中心正负5%的频率范围作为需要抑制振动和噪声的频率范围。

[0044] S2013,根据发电机相电压的实际值 $U_{a\_active}$ 和变流器最大输出电压 $U_{output\_max}$ 获得发电机直轴电流的第二弱磁给定值 $I_{d\_FW2\_ref}$ 。

[0045] 具体的,本步骤基于弱磁控制,当发电机相电压的实际值 $U_{a\_active}$ 达到变流器最大输出电压 $U_{output\_max}$ 时,采用弱磁控制技术使发电机相电压的实际值 $U_{a\_active}$ 不再升高,即使发电机运行在发电机相电压的实际值 $U_{a\_active}$ 小于或者等于变流器最大输出电压 $U_{output\_max}$ 范围内,发电机从恒转矩运行方式变换为恒功率运行方式,扩大发电机的转速范围。变流器最大输出电压 $U_{output\_max}$ 可以根据变流器直流母线电压 $U_{dc}$ 得到。将发电机相电压的实际值 $U_{a\_active}$ 和变流器最大输出电压 $U_{output\_max}$ 之间的电压差值 $U_{diff}$ 输入至电压PI调节器,以调节发电机直轴电流的第二弱磁给定值 $I_{d\_FW2\_ref}$ 。本步骤中的弱磁控制可以采用现有的各种弱磁控制方法实现,此处不再赘述。

[0046] S2014,根据发电机直轴电流的第一弱磁给定值 $I_{d\_FW1\_ref}$ 、发电机直轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{d\_MTPA}$ 和发电机直轴电流的第二弱磁给定值 $I_{d\_FW2\_ref}$ 获得发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ 。

[0047] 具体的,发电机直轴电流的第一弱磁给定值 $I_{d\_FW1\_ref}$ 已通过上述步骤S2012得到,发电机直轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{d\_MTPA}$ 已通过上述步骤S2011得到,发电机直轴电流的第二弱磁给定值 $I_{d\_FW2\_ref}$ 已通过上述步骤S2013得到。当发电机直轴电流的第一弱磁给定值 $I_{d\_FW1\_ref}$ 和发电机直轴电流的第二弱磁给定值 $I_{d\_FW2\_ref}$ 均为0时,将发电机直轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{d\_MTPA}$ 作为发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ ,即 $I_{d\_ref} = I_{d\_MTPA}$ 。当发电机直轴电流的第一弱磁给定值 $I_{d\_FW1\_ref}$ 和发电机直轴电流的第二弱磁给定值 $I_{d\_FW2\_ref}$ 至少有一个不为0时,将发电机直轴电流的第一弱磁给定值 $I_{d\_FW1\_ref}$ 和发电机直轴电流的第二弱磁给定值 $I_{d\_FW2\_ref}$ 中的较小值作为发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ ,即 $I_{d\_ref} = \text{Min}(I_{d\_FW1\_ref}, I_{d\_FW2\_ref})$ 。

[0048] S2015,根据发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ 和发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 计算得到发电机交轴电流的给定值 $I_{q\_ref}$ 。

[0049] 具体的,发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ 已通过上述步骤S2014得到,发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 已知,因此发电机交轴电流的给定值 $I_{q\_ref}$ 可以根据以下公式计算得到:

$$[0050] \quad I_{q\_ref} = (1.5P_{e\_ref} - U_d I_{d\_ref}) / U_q$$

[0051] 其中, $U_d$ 为发电机的直轴电压, $U_q$ 为发电机的交轴电压。

[0052] S202,根据发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ 和发电机交轴电流的给定值 $I_{q\_ref}$ 对发电机进行电流矢量控制。

[0053] 具体的,发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ 已通过上述步骤S2014得到,发电机交轴电流的给定值 $I_{q\_ref}$ 已通过上述步骤S2015得到,变流器根据发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ 和发电机交轴电流的给定值 $I_{q\_ref}$ 对发电机进行电流矢量控制。当发电机的频率 $f$ 运行至需要抑制振动和噪声的频率范围内时,变流器采用弱磁控制方式运行,以抑制发电机的振动和噪声。



[0054] 本实施例的风力发电机振动和噪声抑制方法,根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机直轴电流的给定值和发电机交轴电流的给定值,并根据发电机直轴电流的给定值和发电机交轴电流的给定值对发电机进行电流矢量控制,通过弱磁控制减小了发电机的磁负荷,即降低了作用在发电机定转子上的电磁力,减小了发电机定转子的振动幅度,实现了发电机振动和噪声的抑制。由于无需改变发电机的机械结构和电磁设计,因此不影响发电机的功率密度和力能指标等性能,且不增加发电机制造工艺的复杂性和制造成本。

[0055] 实施例三

[0056] 图4为本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制方法又一个实施例的流程示意图。如图4所示,本实施例的风力发电机振动和噪声抑制方法给出了图1所示实施例的风力发电机振动和噪声抑制方法的另一种具体实现方式(对发电机进行直接转矩控制的情况),本实施例的风力发电机振动和噪声抑制方法具体可以包括:

[0057] S401,根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 和发电机的频率 $f$ 计算得到发电机磁链的给定值 $\Psi_{f\_ref}$ 和发电机电磁转矩的给定值 $T_{e\_ref}$ 。

[0058] 具体的,图5为图4所示实施例中根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值的流程示意图。如图5所示,本步骤具体可以包括以下步骤S4011-S4015:

[0059] S4011,根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 获得发电机电磁转矩的最大输出转矩优化值 $T_{e\_MTPA}$ 和发电机磁链的最大输出转矩优化值 $\Psi_{f\_MTPA}$ 。

[0060] 具体的,本步骤基于MTPA控制,根据发电机的电磁特性得出最优的发电机磁链和发电机电磁转矩组合,满足单位电流下发电机的输出转矩最大。在发电机输出转矩给定的情况下,根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 最优配置发电机磁链(即发电机磁链的最大输出转矩优化值 $\Psi_{f\_MTPA}$ )和发电机电磁转矩(即发电机电磁转矩的最大输出转矩优化值 $T_{e\_MTPA}$ ),可以使发电机组的性能得到优化,提高运行效率,减小发电机铜损功率,降低对发电机的容量要求。本步骤中的MTPA控制可以采用现有的各种MTPA控制方法实现,例如解析法或有限元分析法等,此处不再赘述,也可以通过预先实验测试通过查表法实现。

[0061] S4012,根据发电机电磁转矩的最大输出转矩优化值 $T_{e\_MTPA}$ 和发电机的频率 $f$ 获得发电机磁链的第一弱磁给定值 $\Psi_{f\_FW1\_ref}$ 。

[0062] 具体的,本步骤中根据变流器的最大弱磁能力,减小发电机的电磁力以抑制发电机的振动和噪声,是通过弱磁控制抑制发电机的振动和噪声的重要环节。发电机电磁转矩的最大输出转矩优化值 $T_{e\_MTPA}$ 已通过上述步骤S4011得到,发电机的频率 $f$ 可以根据以下公式计算得到:

$$[0063] \quad f = \frac{np_n}{60}$$

[0064] 其中, $n$ 为发电机的转速,可通过测量得到。 $p_n$ 为发电机的极对数。

[0065] 当发电机的频率 $f$ 位于需要抑制振动和噪声的频率范围外时,发电机磁链的第一弱磁给定值 $\Psi_{f\_FW1\_ref}$ 取值为额定磁链的给定值 $\Psi_{f\_rated\_ref}$ 。当发电机的频率 $f$ 位于需要抑制振动和噪声的频率范围内时,发电机磁链的第一弱磁给定值 $\Psi_{f\_FW1\_ref}$ 可以根据以下公式计算得到:

$$[0066] \quad \Psi_{f\_FW1\_ref} = (U_{a\_active} - R_a I_{a\_rated\_max}) / \omega_e$$

$$[0067] \quad \omega_e = \frac{2\pi n p_n}{60} = \frac{\pi n p_n}{30}$$

[0068] 其中,  $U_{a\_active}$  为发电机相电压的实际值,  $R_a$  为发电机定子绕组的电阻值,  $I_{a\_rated\_max}$  为发电机额定相电流的最大值, 根据发电机自身的额定热量值确定,  $\omega_e$  为发电机的电角速度,  $p_n$  为发电机的极对数,  $n$  为发电机的转速, 可通过测量得到。

[0069] 需要抑制振动和噪声的频率范围的确定过程可参见图2所示实施例中步骤S2012中的相关描述, 此处不再赘述。

[0070] S4013, 根据发电机相电压的实际值  $U_{a\_active}$  和变流器最大输出电压  $U_{output\_max}$  获得发电机磁链的第二弱磁给定值  $\Psi_{f\_FW2\_ref}$ 。

[0071] 具体的, 本步骤基于弱磁控制, 当发电机相电压的实际值  $U_{a\_active}$  达到变流器最大输出电压  $U_{output\_max}$  时, 采用弱磁控制技术使发电机相电压的实际值  $U_{a\_active}$  不再升高, 即使发电机运行在发电机相电压的实际值  $U_{a\_active}$  小于或者等于变流器最大输出电压  $U_{output\_max}$  范围内, 发电机从恒转矩运行方式变换为恒功率运行方式, 扩大发电机的转速范围。变流器最大输出电压  $U_{output\_max}$  可以根据变流器直流母线电压  $U_{dc}$  得到。将发电机相电压的实际值  $U_{a\_active}$  和变流器最大输出电压  $U_{output\_max}$  之间的电压差值  $U_{diff}$  输入至电压PI调节器, 以调节发电机磁链的第二弱磁给定值  $\Psi_{f\_FW2\_ref}$ 。本步骤中的弱磁控制可以采用现有的各种弱磁控制方法实现, 此处不再赘述。

[0072] S4014, 根据发电机磁链的第一弱磁给定值  $\Psi_{f\_FW1\_ref}$ 、发电机磁链的最大输出转矩优化值  $\Psi_{f\_MTPA}$  和发电机磁链的第二弱磁给定值  $\Psi_{f\_FW2\_ref}$  获得发电机磁链的给定值  $\Psi_{f\_ref}$ 。

[0073] 具体的, 发电机磁链的第一弱磁给定值  $\Psi_{f\_FW1\_ref}$  已通过上述步骤S4012得到, 发电机磁链的最大输出转矩优化值  $\Psi_{f\_MTPA}$  已通过上述步骤S4011得到, 发电机磁链的第二弱磁给定值  $\Psi_{f\_FW2\_ref}$  已通过上述步骤S4013得到。当发电机磁链的第一弱磁给定值  $\Psi_{f\_FW1\_ref}$  和发电机磁链的第二弱磁给定值  $\Psi_{f\_FW2\_ref}$  均为额定磁链的给定值  $\Psi_{f\_rated\_ref}$  时, 将发电机磁链的最大输出转矩优化值  $\Psi_{f\_MTPA}$  作为发电机磁链的给定值  $\Psi_{f\_ref}$ , 即  $\Psi_{f\_ref} = \Psi_{f\_MTPA}$ 。当发电机磁链的第一弱磁给定值  $\Psi_{f\_FW1\_ref}$  和发电机磁链的第二弱磁给定值  $\Psi_{f\_FW2\_ref}$  至少有一个不为额定磁链的给定值  $\Psi_{f\_rated\_ref}$  时, 将发电机磁链的第一弱磁给定值  $\Psi_{f\_FW1\_ref}$  和发电机磁链的第二弱磁给定值  $\Psi_{f\_FW2\_ref}$  中的较小值作为发电机磁链的给定值  $\Psi_{f\_ref}$ , 即  $\Psi_{f\_ref} = \text{Min}(\Psi_{f\_FW1\_ref}, \Psi_{f\_FW2\_ref})$ 。

[0074] S4015, 根据发电机磁链的给定值  $\Psi_{f\_ref}$  计算得到发电机电磁转矩的给定值  $T_{e\_ref}$ 。

[0075] 具体的, 发电机磁链的给定值  $\Psi_{f\_ref}$  已通过上述步骤S4014得到, 因此发电机电磁转矩的给定值  $T_{e\_ref}$  可以根据以下公式计算得到:

$$[0076] \quad T_{e\_ref} = 1.5 P_n (\Psi_{f\_a\_ref} I_{\beta} - \Psi_{f\_b\_ref} I_{\alpha})$$

[0077] 其中,  $p_n$  为发电机的极对数,  $\Psi_{f\_a\_ref}$  为发电机磁链的给定值  $\Psi_{f\_ref}$  的  $\alpha$  轴分量,  $\Psi_{f\_b\_ref}$  为发电机磁链的给定值  $\Psi_{f\_ref}$  的  $\beta$  轴分量,  $I_{\alpha}$  为发电机的  $\alpha$  轴电流,  $I_{\beta}$  为发电机的  $\beta$  轴电流。

[0078] S402, 根据发电机磁链的给定值  $\Psi_{f\_ref}$  和发电机电磁转矩的给定值  $T_{e\_ref}$  对发电机进行直接转矩控制。

[0079] 具体的, 发电机磁链的给定值  $\Psi_{f\_ref}$  已通过上述步骤S4014得到, 发电机电磁转矩

的给定值 $T_{e\_ref}$ 已通过上述步骤S4015得到,变流器根据发电机磁链的给定值 $\Psi_{f\_ref}$ 和发电机电磁转矩的给定值 $T_{e\_ref}$ 对发电机进行直接转矩控制。当发电机的频率 $f$ 运行至需要抑制振动和噪声的频率范围内时,变流器采用弱磁控制方式运行,以抑制发电机的振动和噪声。

[0080] 本实施例的风力发电机振动和噪声抑制方法,根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机磁链的给定值和发电机电磁转矩的给定值,并根据发电机磁链的给定值和发电机电磁转矩的给定值对发电机进行直接转矩控制,通过弱磁控制减小了发电机的磁负荷,即降低了作用在发电机定转子上的电磁力,减小了发电机定转子的振动幅度,实现了发电机振动和噪声的抑制。由于无需改变发电机的机械结构和电磁设计,因此不影响发电机的功率密度和力能指标等性能,且不增加发电机制造工艺的复杂性和制造成本。

[0081] 实施例四

[0082] 图6为本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制装置一个实施例的结构示意图。如图6所示,本实施例的风力发电机振动和噪声抑制装置可以执行上述图1所示实施例的风力发电机振动和噪声抑制方法。具体的,本实施例的风力发电机振动和噪声抑制装置可以包括:计算模块61和控制模块62。其中:

[0083] 计算模块61,用于根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 和发电机的频率 $f$ 计算得到发电机弱磁控制参数的给定值;

[0084] 控制模块62,用于根据发电机弱磁控制参数的给定值对发电机进行控制。

[0085] 具体的,本实施例中各模块实现其功能的具体过程可参见图1所示实施例中的相关描述,此处不再赘述。

[0086] 本实施例提供的风力发电机振动和噪声抑制装置,根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机弱磁控制参数的给定值,并根据发电机弱磁控制参数的给定值对发电机进行控制,通过弱磁控制减小了发电机的磁负荷,即降低了作用在发电机定转子上的电磁力,减小了发电机定转子的振动幅度,实现了发电机振动和噪声的抑制。由于无需改变发电机的机械结构和电磁设计,因此不影响发电机的功率密度和力能指标等性能,且不增加发电机制造工艺的复杂性和制造成本。

[0087] 实施例五

[0088] 图7为本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制装置又一个实施例的结构示意图。如图7所示本实施例的风力发电机振动和噪声抑制装置给出了图6所示实施例的风力发电机振动和噪声抑制装置的一种具体结构(对发电机进行电流矢量控制的情况),可执行上述图2所示实施例的风力发电机振动和噪声抑制方法。具体的,图6所示实施例中的计算模块61具体可以用于:

[0089] 根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 和发电机的频率 $f$ 计算得到发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ 和发电机交轴电流的给定值 $I_{q\_ref}$ 。

[0090] 图6所示实施例中的控制模块62具体可以用于:

[0091] 根据发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ 和发电机交轴电流的给定值 $I_{q\_ref}$ 对发电机进行电流矢量控制。

[0092] 进一步的,计算模块61具体可以包括:

[0093] 第一直轴电流弱磁控制子模块71,用于根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 和

发电机的频率 $f$ 获得发电机直轴电流的第一弱磁给定值 $I_{d\_FW1\_ref}$ 。

[0094] 直轴电流选择子模块72,用于根据发电机直轴电流的第一弱磁给定值 $I_{d\_FW1\_ref}$ 、发电机直轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{d\_MTPA}$ 和发电机直轴电流的第二弱磁给定值 $I_{d\_FW2\_ref}$ 获得发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ 。

[0095] 交轴电流计算子模块73,用于根据发电机直轴电流的给定值 $I_{d\_ref}$ 和发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 计算得到发电机交轴电流的给定值 $I_{q\_ref}$ 。

[0096] 进一步的,第一直轴电流弱磁控制子模块71具体可以包括:

[0097] 交轴电流最大转矩/电流控制单元74,用于根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 获得发电机交轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{q\_MTPA}$ 。

[0098] 直轴电流弱磁控制单元75,用于根据发电机交轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{q\_MTPA}$ 和发电机的频率 $f$ 获得发电机直轴电流的第一弱磁给定值 $I_{d\_FW1\_ref}$ 。

[0099] 进一步的,计算模块61还可以包括:

[0100] 直轴电流最大转矩/电流控制子模块76,用于根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 获得发电机直轴电流的最大输出转矩优化值 $I_{d\_MTPA}$ 。

[0101] 第二直轴电流弱磁控制子模块77,用于根据发电机相电压的实际值 $U_{a\_active}$ 和变频器最大输出电压 $U_{output\_max}$ 获得发电机直轴电流的第二弱磁给定值 $I_{d\_FW2\_ref}$ 。

[0102] 具体的,本实施例中各模块、子模块、单元实现其功能的具体过程可参见图2所示实施例中的相关描述,此处不再赘述。

[0103] 此处需要说明的是,在实际应用中,交轴电流最大转矩/电流控制单元74和直轴电流最大转矩/电流控制子模块76的功能可以由一个模块实现。

[0104] 本实施例的风力发电机振动和噪声抑制装置,根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机直轴电流的给定值和发电机交轴电流的给定值,并根据发电机直轴电流的给定值和发电机交轴电流的给定值对发电机进行电流矢量控制,通过弱磁控制减小了发电机的磁负荷,即降低了作用在发电机定转子上的电磁力,减小了发电机定转子的振动幅度,实现了发电机振动和噪声的抑制。由于无需改变发电机的机械结构和电磁设计,因此不影响发电机的功率密度和力能指标等性能,且不增加发电机制造工艺的复杂性和制造成本。

[0105] 实施例六

[0106] 图8为本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制装置又一个实施例的结构示意图。如图8所示本实施例的风力发电机振动和噪声抑制装置给出了图6所示实施例的风力发电机振动和噪声抑制装置的一种具体结构(对发电机进行直接转矩控制的情况),可执行上述图4所示实施例的风力发电机振动和噪声抑制方法。具体的,图6所示实施例中的计算模块61具体可以用于:

[0107] 根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 和发电机的频率 $f$ 计算得到发电机磁链的给定值 $\Psi_{f\_ref}$ 和发电机电磁转矩的给定值 $T_{e\_ref}$

[0108] 图6所示实施例中的控制模块62具体可以用于:

[0109] 根据发电机磁链的给定值 $\Psi_{f\_ref}$ 和发电机电磁转矩的给定值 $T_{e\_ref}$ 对发电机进行直接转矩控制。

[0110] 进一步的,计算模块61具体可以包括:

[0111] 第一磁链弱磁控制子模块81,用于根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 和发电机的频率 $f$ 获得发电机磁链的第一弱磁给定值 $\Psi_{f\_FW1\_ref}$ 。

[0112] 磁链选择子模块82,用于根据发电机磁链的第一弱磁给定值 $\Psi_{f\_FW1\_ref}$ 、发电机磁链的最大输出转矩优化值 $\Psi_{f\_MTPA}$ 和发电机磁链的第二弱磁给定值 $\Psi_{f\_FW2\_ref}$ 获得发电机磁链的给定值 $\Psi_{f\_ref}$ 。

[0113] 电磁转矩计算子模块83,用于根据发电机磁链的给定值 $\Psi_{f\_ref}$ 计算得到发电机电磁转矩的给定值 $T_{e\_ref}$ 。

[0114] 进一步的,第一磁链弱磁控制子模块81具体可以包括:

[0115] 电磁转矩最大转矩/电流控制单元84,用于根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 获得发电机电磁转矩的最大输出转矩优化值 $T_{e\_MTPA}$ 。

[0116] 磁链弱磁控制单元85,用于根据发电机电磁转矩的最大输出转矩优化值 $T_{e\_MTPA}$ 和发电机的频率 $f$ 获得发电机磁链的第一弱磁给定值 $\Psi_{f\_FW1\_ref}$ 。

[0117] 进一步的,计算模块61还可以包括:

[0118] 磁链最大转矩/电流控制子模块86,用于根据发电机电磁有功功率的给定值 $P_{e\_ref}$ 获得发电机磁链的最大输出转矩优化值 $\Psi_{f\_MTPA}$ 。

[0119] 第二磁链弱磁控制子模块87,用于根据发电机相电压的实际值 $U_{a\_active}$ 和变流器最大输出电压 $U_{output\_max}$ 获得发电机磁链的第二弱磁给定值 $\Psi_{f\_FW2\_ref}$ 。

[0120] 具体的,本实施例中各模块、子模块、单元实现其功能的具体过程可参见图4所示实施例中的相关描述,此处不再赘述。

[0121] 此处需要说明的是,在实际应用中,电磁转矩最大转矩/电流控制单元84和磁链最大转矩/电流控制子模块86的功能可以由一个模块实现。

[0122] 本实施例的风力发电机振动和噪声抑制装置,根据发电机电磁有功功率的给定值和发电机的频率计算得到发电机磁链的给定值和发电机电磁转矩的给定值,并根据发电机磁链的给定值和发电机电磁转矩的给定值对发电机进行直接转矩控制,通过弱磁控制减小了发电机的磁负荷,即降低了作用在发电机定转子上的电磁力,减小了发电机定转子的振动幅度,实现了发电机振动和噪声的抑制。由于无需改变发电机的机械结构和电磁设计,因此不影响发电机的功率密度和力能指标等性能,且不增加发电机制造工艺的复杂性和制造成本。

[0123] 此处需要说明的是,本发明提供的风力发电机振动和噪声抑制方法及装置同样适用于其他的发电机或电动机。

[0124] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以所述权利要求的保护范围为准。

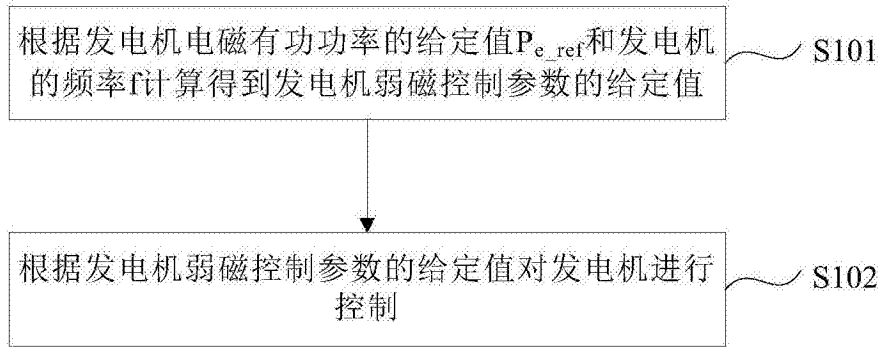


图1

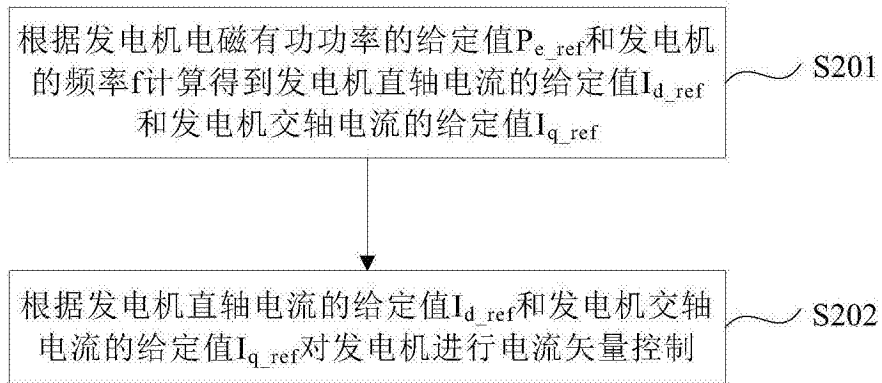


图2

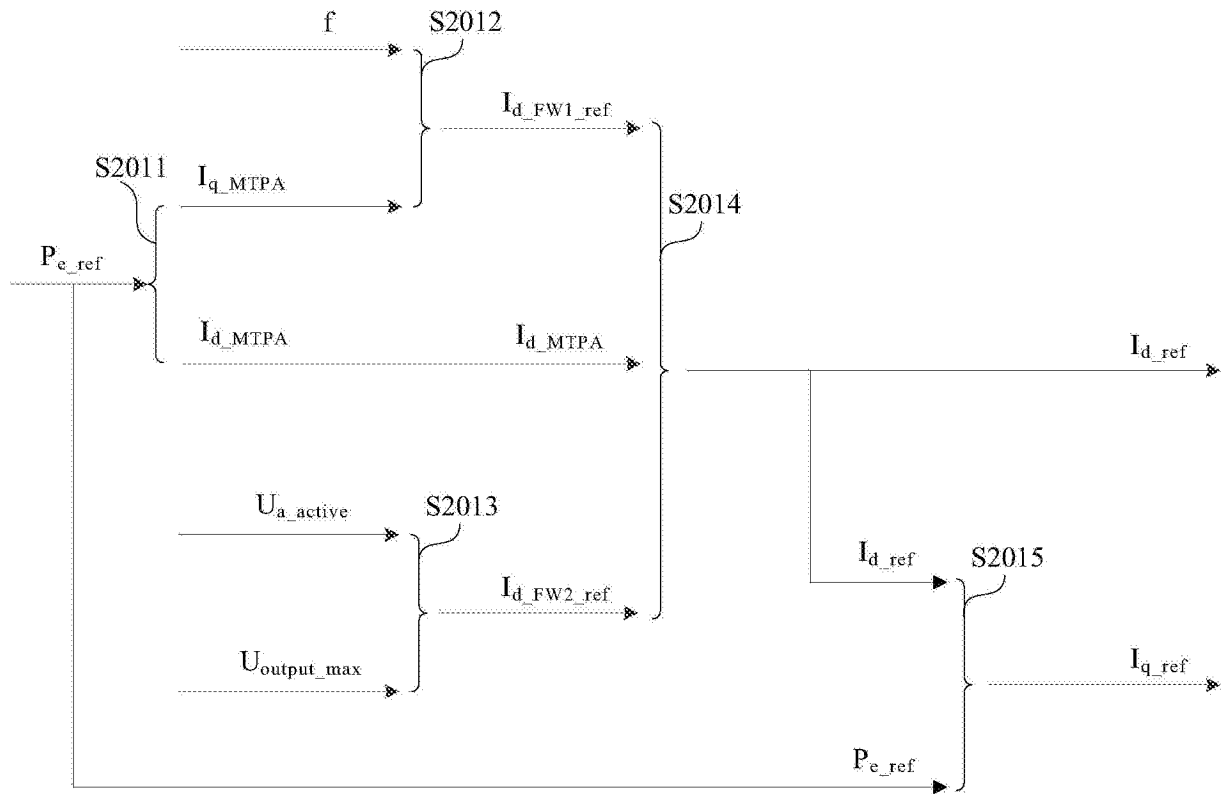


图3

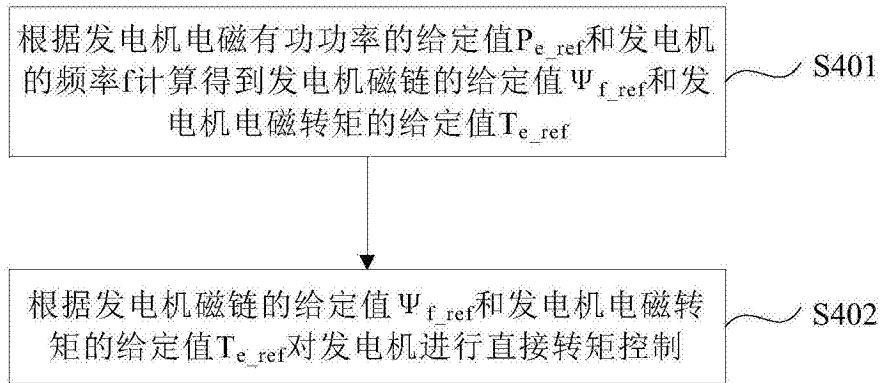


图4

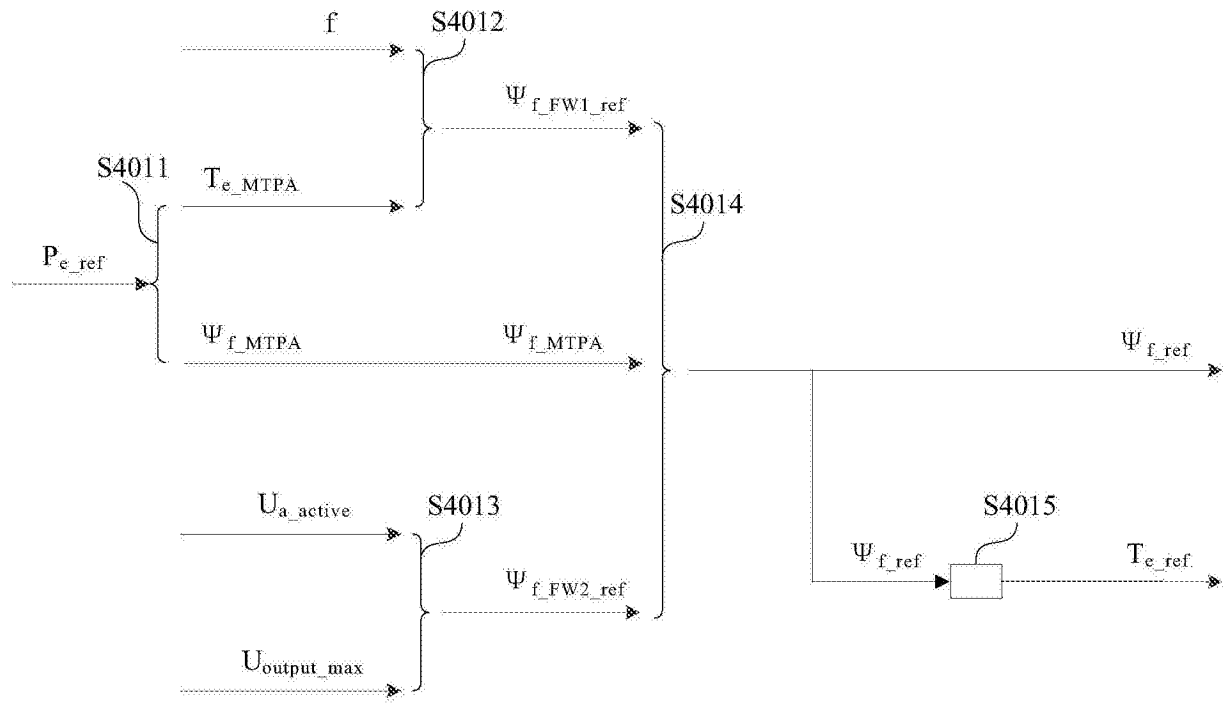


图5

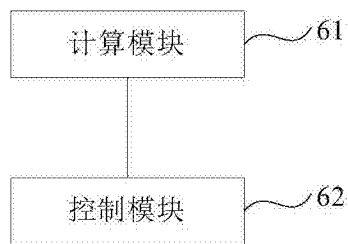


图6



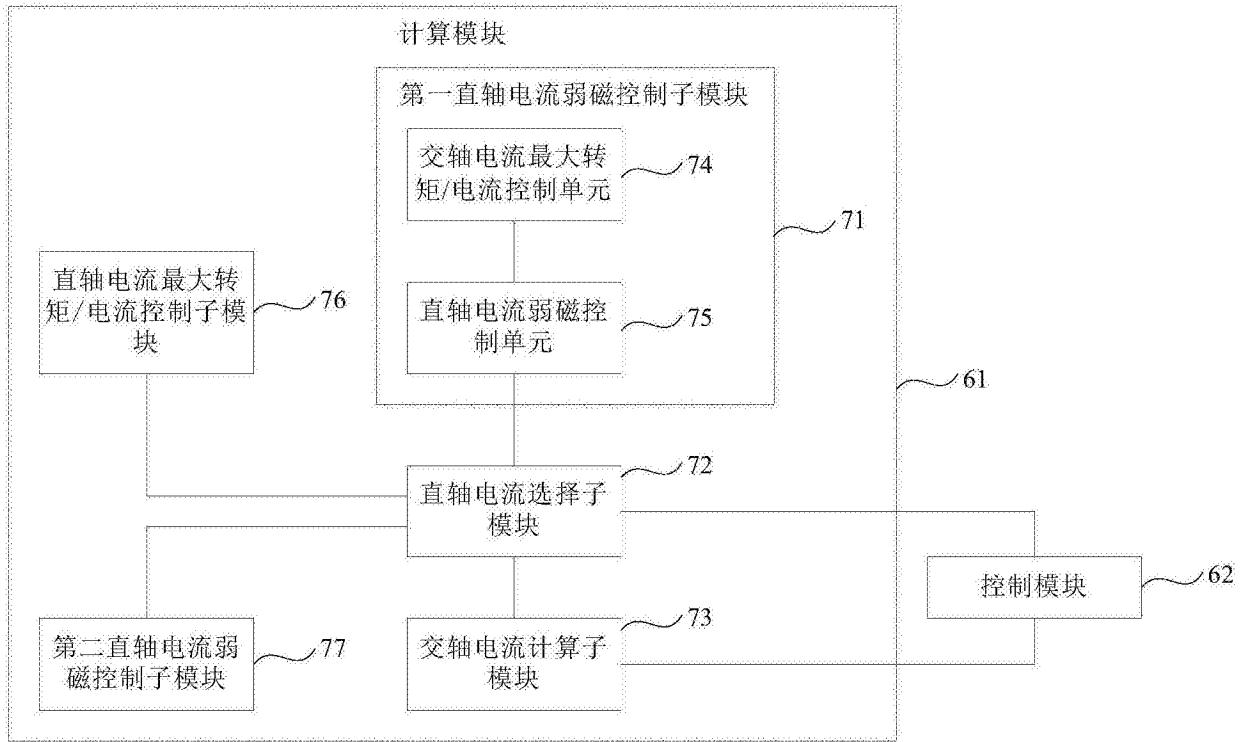


图7

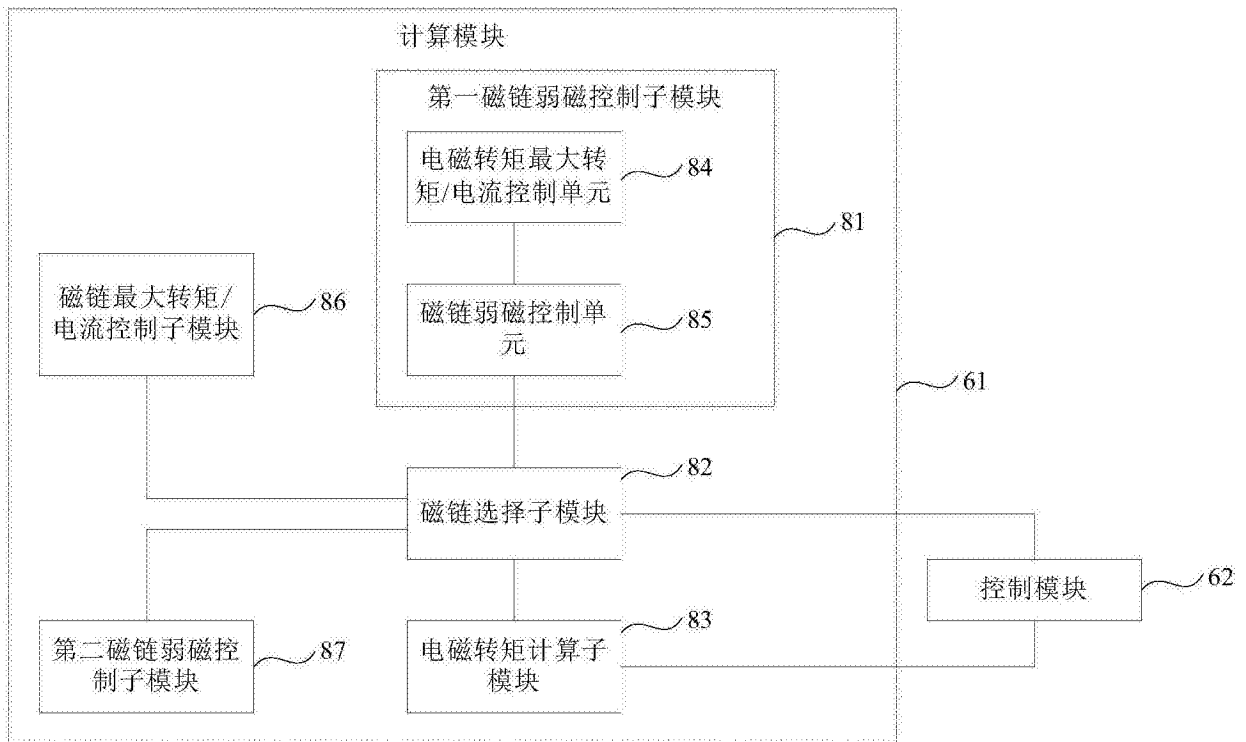


图8