



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104242759 B

(45)授权公告日 2017.02.08

(21)申请号 201410437676.7

(22)申请日 2014.08.29

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104242759 A

(43)申请公布日 2014.12.24

(73)专利权人 国家电网公司  
地址 100031 北京市西城区西长安街86号  
专利权人 华中科技大学  
国网浙江省电力公司  
中国电力科学研究院

(72)发明人 袁小明 胡家兵 谢媛媛 黄云辉  
李文锋 李莹 韩志勇 陶向宇

(74)专利代理机构 华中科技大学专利中心  
42201

代理人 廖盈春

(51)Int.Cl.

H02P 9/10(2006.01)

H02P 21/14(2016.01)

(56)对比文件

CN 103904665 A, 2014.07.02,  
CN 103337877 A, 2013.10.02,  
CN 103812132 A, 2014.05.21,  
US 2014032000 A1, 2014.01.30,  
US 2013085621 A1, 2013.04.04,  
US 2012004781 A1, 2012.01.05,  
US 2010109328 A1, 2010.05.06,

审查员 余雯雯

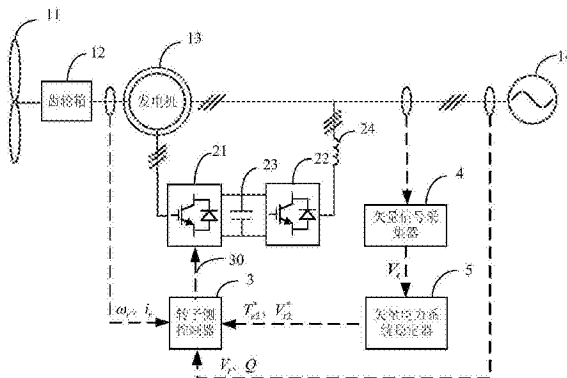
权利要求书4页 说明书10页 附图2页

(54)发明名称

一种基于矢量电力系统稳定器的双馈风力发电系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于矢量电力系统稳定器的双馈风力发电系统,包括风力机、齿轮箱、发电机、转子侧变换器、网侧变换器、直流电容、滤波器、转子侧控制器、矢量信号采集器和矢量电力系统稳定器;矢量信号采集器的输入端连接电网;矢量电力系统稳定器的输入端连接至矢量信号采集器的输出端;转子侧控制器的第一输入端连接至发电机的输入端,第二输入端连接至电网,第三输入端连接至矢量电力系统稳定器的输出端,输出端连接至转子侧变换器的控制端。本发明引入了风机端电压矢量信号作为输入信号来获得电磁转矩控制补偿信号和端电压控制补偿信号,完整地考虑端电压幅值和相角,将端电压矢量作为电力系统稳定器的输入信号,全面地反映电网机电时间尺度的扰动。



1. 一种基于矢量电力系统稳定器的双馈风力发电系统,其特征在于,包括:风力机(11)、齿轮箱(12)、发电机(13)、转子侧变换器(21)、网侧变换器(22)、直流电容(23)、滤波器(24)、转子侧控制器(3)、矢量信号采集器(4)和矢量电力系统稳定器(5);

所述发电机(13)的第一输入端通过所述齿轮箱(12)与所述风力机(11)连接,所述发电机(13)的第一输出端与电网(14)连接;

所述转子侧变换器(21)的输入端连接至所述发电机(13)的第二输出端,用于将所述发电机(13)转子所输出的交流电压转换为直流电压;

所述直流电容(23)的输入端与所述转子侧变换器(21)的输出端电气相连,用于存储电能;

所述网侧变换器(22)的输入端与所述直流电容(23)的输出端连接,用于将所述直流电容(23)存储的直流电压转换为交流电压;

所述滤波器(24)的一端与所述网侧变换器(22)的输出端连接,所述滤波器(24)的另一端连接所述电网(14);

所述矢量信号采集器(4)的输入端连接电网(14),用于采集三相电压信号并获得端电压矢量信号;

所述矢量电力系统稳定器(5)的输入端连接至所述矢量信号采集器(4)的输出端,用于对所述端电压矢量信号进行处理并获得双馈风机电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ 和端电压控制补偿信号 $V_{t2}^*$ ;

所述转子侧控制器(3)的第一输入端连接至所述发电机(13)的输入端,所述转子侧控制器(3)的第二输入端连接至电网(14),所述转子侧控制器(3)的第三输入端连接至所述矢量电力系统稳定器(5)的输出端,所述转子侧控制器(3)的输出端连接至所述转子侧变换器(21)的控制端,用于根据第一输入端接收的发电机(13)的转速信号 $\omega_r$ 和转子电流信号 $i_r$ ,第二输入端接收的双馈风机端电压幅值信号 $V_t$ 和双馈风机输出无功功率信号 $Q$ ,以及第三输入端接收的端电压控制补偿信号 $V_{t2}^*$ 和电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ 产生用于改变双馈风机定子侧输出的有功功率和无功功率的调制信号。

2. 如权利要求1所述的双馈风力发电系统,其特征在于,所述转子侧控制器(3)包括有功控制模块和无功控制模块;

所述有功控制模块包括:第一减法器(311)、速度环PI控制器(312)、第一加法器(313)、除法器(314)、乘法器(315)、第二减法器(316)和转子侧d轴电流环PI控制器(317);

所述第一减法器(311)的第一输入端用于接收发电机转子转速信号 $\omega_r$ ,第二输入端用于接收转速指令信号 $\omega_r^*$ ;用于将发电机转子转速信号 $\omega_r$ 与转速指令信号 $\omega_r^*$ 进行相减处理获得转速误差信号;

所述速度环PI控制器(312)的输入端连接至所述第一减法器(311)的输出端,用于对所述转速误差信号进行PI控制获得电磁转矩控制信号 $T_{e1}^*$ ;

所述第一加法器(313)的第一输入端连接至所述速度环PI控制器(312)的输出端,所述第一加法器(313)的第二输入端用于接收电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ ;用于将电磁转矩控制

信号 $T_{e1}^*$ 与电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ 进行相加处理获得总电磁转矩指令信号 $T_e^*$ ;

所述除法器(314)的第一输入端连接至所述第一加法器(313)的输出端,所述除法器(314)的第二输入端用于接收定子磁链信号 $\Phi_s$ ;用于将总电磁转矩指令信号 $T_e^*$ 与定子磁链信号 $\Phi_s$ 进行相除后输出;

所述乘法器(315)的第一输入端连接至所述除法器(314)的输出端,所述乘法器(315)的第二输入端用于接收常数 $\frac{L_s}{L_r}$ ;用于将所述除法器(314)的输出与常数 $\frac{L_s}{L_r}$ 相乘后获得转子d轴电流指令值 $i_{rd}^*$ ;其中, $L_s$ 为dq坐标系中定子等效两相绕组自感; $L_r$ 为dq坐标系中转子等效两相绕组自感;

所述第二减法器(316)的第一输入端连接至所述乘法器(315)的输出端,所述第二减法器(316)的第二输入端用于接收实时采集的转子d轴电流实际值 $i_{rd}$ ;用于将转子d轴电流指令值 $i_{rd}^*$ 与实时采集的转子d轴电流实际值 $i_{rd}$ 进行相减处理后输出电流偏差值;

所述转子侧d轴电流环PI控制器(317)的输入端连接至所述第二减法器(316)的输出端,用于对所述转子d轴电流偏差值进行PI控制并输出转子d轴电压指令值 $V_{rd}^*$ ;

所述无功控制模块包括第三减法器(321)、无功环PI控制器(322)、第二加法器(323)、第四减法器(324)、端电压环PI控制器(325)、第五减法器(326)和转子侧q轴电流环PI控制器(327);

所述第三减法器(321)的第一输入端用于接收风机输出无功功率信号 $Q$ ,所述第三减法器(321)的第二输入端用于接收设定的无功功率指令 $Q^*$ ;用于将风机输出无功功率信号与设定的无功功率指令信号进行相减处理得到无功功率误差信号;

所述无功环PI控制器(322)的输入端连接至所述第三减法器(321)的输出端,用于对所述无功功率误差信号进行PI控制获得端电压控制信号 $V_{t1}^*$ ;

所述第二加法器(323)的第一输入端连接至所述无功环PI控制器(322)的输出端,所述第二加法器(323)的第二输入端用于接收端电压控制补偿信号 $V_{t2}^*$ ;用于将端电压控制信号 $V_{t1}^*$ 与端电压控制补偿信号 $V_{t2}^*$ 进行相加处理获得总端电压指令信号 $V_t^*$ ;

所述第四减法器(324)的第一输入端连接至所述第二加法器(323)的输出端,所述第四减法器(324)的第二输入端用于接收实时采集的端电压实际值 $V_t$ ;用于将总端电压指令信号 $V_t^*$ 与实时采集的端电压实际值 $V_t$ 进行相减处理后输出电压偏差值;

所述端电压环PI控制器(325)的输入端连接至所述第四减法器(324)的输出端,用于对所述电压偏差值进行PI控制并输出转子q轴电流指令值 $i_{rq}^*$ ;

所述第五减法器(326)的第一输入端连接至所述端电压环PI控制器(325)的输出端,所述第五减法器(326)的第二输入端用于接收实时采集的转子q轴电流实际值;用于将转子q轴电流指令值 $i_{rq}^*$ 与实时采集的转子q轴电流实际值 $i_{rq}$ 进行相减处理后输出电流偏差值;

所述转子侧q轴电流环PI控制器(327)的输入端连接至所述第五减法器(326)的输出

端,用于对所述转子q轴电流偏差值进行PI控制并输出转子q轴电压指令值 $V_{rq}^*$ 。

3.如权利要求1所述的双馈风力发电系统,其特征在于,所述转子侧控制器(3)包括有功控制模块和无功控制模块;

所述有功控制模块包括:第一减法器(331)、速度环PI控制器(332)、第一加法器(333)、除法器(334)、乘法器(335)、第二减法器(336)和转子侧q轴电流环PI控制器(337);

所述第一减法器(331)的第一输入端用于接收发电机转子转速信号 $\omega_r$ ,第二输入端用于接收转速指令信号 $\omega_r^*$ ;用于将发电机转子转速信号 $\omega_r$ 与转速指令信号 $\omega_r^*$ 进行相减处理获得转速误差信号;

所述速度环PI控制器(332)的输入端连接至所述第一减法器(331)的输出端,用于对所述转速误差信号进行PI控制获得电磁转矩控制信号 $T_{e1}^*$ ;

所述第一加法器(333)的第一输入端连接至所述速度环PI控制器(332)的输出端,所述第一加法器(333)的第二输入端用于接收电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ ;用于将电磁转矩控制信号 $T_{e1}^*$ 与电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ 进行相加处理获得总电磁转矩指令信号 $T_e^*$ ;

所述除法器(334)的第一输入端连接至所述第一加法器(333)的输出端,所述除法器(334)的第二输入端用于接收定子磁链信号 $\Phi_s$ ;用于将总电磁转矩指令信号 $T_e^*$ 与定子磁链信号 $\Phi_s$ 进行相除后输出;

所述乘法器(335)的第一输入端连接至所述除法器(334)的输出端,所述乘法器(335)的第二输入端用于接收常数 $\frac{L_s}{L_r}$ ;用于将所述除法器(334)的输出与常数 $\frac{L_s}{L_r}$ 相乘后获得转子q轴电流指令值;其中, $L_s$ 为dq坐标系中定子等效两相绕组自感; $L_r$ 为dq坐标系中转子等效两相绕组自感;

所述第二减法器(336)的第一输入端连接至所述乘法器(335)的输出端,所述第二减法器(336)的第二输入端用于接收实时采集的转子q轴电流实际值;用于将转子q轴电流指令值与实时采集的转子q轴电流实际值进行相减处理后输出电流偏差值;

所述转子侧q轴电流环PI控制器(337)的输入端连接至所述第二减法器(336)的输出端,用于对所述转子q轴电流偏差值进行PI控制并输出转子q轴电压指令值 $V_{rq}^*$ ;

所述无功控制模块包括第三减法器(341)、无功环PI控制器(342)、第二加法器(343)、第四减法器(344)、端电压环PI控制器(345)、第五减法器(346)和转子侧d轴电流环PI控制器(347);

所述第三减法器(341)的第一输入端用于接收风机输出无功功率信号Q,所述第三减法器(341)的第二输入端用于接收设定的无功功率指令信号 $Q^*$ ;用于将风机输出无功功率信号与设定的无功功率指令信号进行相减处理得到无功功率误差信号;

所述无功环PI控制器(342)的输入端连接至所述第三减法器(341)的输出端,用于对所述无功功率误差信号进行PI控制获得电压控制信号 $V_{td}^*$ ;

所述第二加法器(343)的第一输入端连接至所述无功环PI控制器(342)的输出端,所述

第二加法器(343)的第二输入端用于接收端电压控制补偿信号 $V_{t2}^*$ ;用于将端电压控制信号 $V_{t1}^*$ 与端电压控制补偿信号 $V_{t2}^*$ 进行相加处理获得总端电压指令信号 $V_t^*$ ;

所述第四减法器(344)的第一输入端连接至所述第二加法器(343)的输出端,所述第四减法器(344)的第二输入端用于接收实时采集的端电压实际值 $V_t$ ;用于将总端电压指令信号 $V_t^*$ 与实时采集的端电压实际值 $V_t$ 进行相减处理后输出电压偏差值;

所述端电压环PI控制器(345)的输入端连接至所述第四减法器(344)的输出端,用于对所述电压偏差值进行PI控制并输出转子d轴电流指令值 $i_{rd}^*$ ;

所述第五减法器(346)的第一输入端连接至所述端电压环PI控制器(345)的输出端,所述第五减法器(346)的第二输入端用于接收实时采集的转子d轴电流实际值;用于将转子d轴电流指令值与实时采集的转子d轴电流实际值进行相减处理后输出电流偏差值;

所述转子侧d轴电流环PI控制器(347)的输入端连接至所述第五减法器(346)的输出端,用于对所述转子d轴电流偏差值进行PI控制并输出转子d轴电压指令值 $V_{rd}^*$ 。

4.如权利要求1所述的双馈风力发电系统,其特征在于,所述矢量电力系统稳定器(5)包括:矢量滤波器(51)、矢量运算器(52)、幅值控制器(53)和角度控制器(54);

所述矢量滤波器(51)的输入端作为所述矢量电力系统稳定器(5)的输入端,用于接收端电压矢量信号;所述矢量运算器(52)的输入端连接至所述矢量滤波器(51)的输出端,所述幅值控制器(53)的输入端连接至所述矢量运算器(52)的第一输出端,所述角度控制器(54)的输入端连接至所述矢量运算器(52)的第二输出端,所述幅值控制器(53)的输出端和所述角度控制器(54)的输出端作为所述矢量电力系统稳定器(5)的输出端,幅值控制器(53)输出双馈风机端电压控制补偿信号 $V_{t2}^*$ ,角度控制(54)输出双馈风机电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ 。

5.如权利要求4所述的双馈风力发电系统,其特征在于,所述幅值控制器(53)包括依次连接的第一相位补偿单元(531)、第一放大器(532)和第一限幅单元(533)。

6.如权利要求4所述的双馈风力发电系统,其特征在于,所述角度控制器(54)包括依次连接的第二相位补偿单元(541)、第二放大器(542)和第二限幅单元(543)。

## 一种基于矢量电力系统稳定器的双馈风力发电系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于风力发电技术领域,更具体地,涉及一种基于矢量电力系统稳定器的双馈风力发电系统。

### 背景技术

[0002] 随着风电的装机容量在电力系统中的提高,同步发电机这种传统电源形式所占的份额越来越小。同步发电机对电力系统的小干扰稳定性具有一定的作用;当电网功率出现振荡时,同步发电机的转子转速会发生变化,进而改变同步机的转子动能以承担部分的系统振荡功率。但由于电压调节器的存在,在长线路送电、负荷较重时,若转子角出现振荡,电压调节器提供的附加磁链的相位是落后于角度的振荡,它的一个分量与转速反相位,产生了负阻尼转矩,使角度振荡加大。为了改善系统的稳定性,采用了电力系统稳定器,它可以产生正阻尼转矩,不仅抵消了调节器产生的负阻尼转矩,还为系统提供了额外的正阻尼转矩。

[0003] 双馈风力发电机由于其较大的风能转换效率以及有功、无功功率的灵活控制,已经成为目前国际上风力发电的必然趋势。双馈风力发电系统内部的控制器可以稳定风力发电机的输出功率,当外部电网发生机电时间尺度的功率振荡(振荡频率为0.1-2.5Hz)时,双馈风力发电机的输出功率几乎不会发生变化,由此也不会承担系统的振荡功率,对系统的阻尼没有贡献。随着双馈风机装机容量的逐渐增加,风电的大规模并网为系统的小干扰稳定性带来了极大的挑战。为了解决这个问题,需要设计适用于双馈风力发电系统的电力系统稳定器以提高电力系统的稳定性。

[0004] 目前已有文献研究适用于双馈风力发电系统的电力系统稳定器。F. Michael Hughes等的文章“A Power System Stabilizer for DFIG-Based Wind Generation”中双馈风机采用幅相控制,所提出的电力系统稳定器以定子电磁功率作为输入信号,产生的输出信号叠加到了转子侧控制器的相位输出信号上。Carlos Gallardo等的文章“Design and Coordination of Wind Stabilizers for Damping Power System Oscillations using Modal Decomposition”中双馈风机以电网频率作为输入信号,风机的电磁功率作为输出信号并将其叠加到转子侧控制器的电磁功率指令信号上。现在所提出的适用于双馈风力发电系统的电力系统稳定器的输入信号通常为与风机端电压的相角有关系的信号或者风机端电压幅值信号,但当电网出现扰动时风机端电压的幅值和相角都会发生变化,因此只将其其中之一作为输入信号并不能完整地反映电网所受到的扰动状况。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术的缺陷,本发明的目的在于提供一种基于矢量电力系统稳定器的双馈风力发电系统,旨在解决现有技术中电力系统稳定器只能通过检测端电压幅值或相角来阻尼系统功率振荡而造成的阻尼不全面的现象的技术问题。

[0006] 本发明提供了一种基于矢量电力系统稳定器的双馈风力发电系统,包括:风力机、

齿轮箱、发电机、转子侧变换器、网侧变换器、直流电容、滤波器、转子侧控制器、矢量信号采集器和矢量电力系统稳定器；所述发电机的第一输入端通过所述齿轮箱与所述风力机连接，所述发电机的第一输出端与电网连接；所述转子侧变换器的输入端连接至所述发电机的第二输出端，用于将所述发电机转子所输出的交流电压转换为直流电压；所述直流电容的输入端与所述转子侧变换器的输出端电气相连，用于存储电能；所述网侧变换器的输入端与所述直流电容的输出端连接，用于将所述直流电容存储的直流电压转换为交流电压；所述滤波器的一端与所述网侧变换器的输出端连接，所述滤波器的另一端连接所述电网；所述矢量信号采集器的输入端连接电网，用于采集三相电压信号并获得端电压矢量信号；所述矢量电力系统稳定器的输入端连接至所述矢量信号采集器的输出端，用于对所述端电压矢量信号进行处理并获得双馈风机电磁转矩控制补偿信号  $T_{e2}^*$  和端电压控制补偿信号  $V_{t2}^*$ ；所述转子侧控制器的第一输入端连接至所述发电机的输入端，所述转子侧控制器的第二输入端连接至电网，所述转子侧控制器的第三输入端连接至所述矢量电力系统稳定器的输出端，所述转子侧控制器的输出端连接至所述转子侧变换器的控制端，用于根据第一输入端接收的发电机的转速信号  $\omega_r$  和转子电流信号  $i_r$ ，第二输入端接收的双馈风机端电压幅值信号  $V_t$  和双馈风机输出无功功率信号  $Q$ ，以及第三输入端接收的端电压控制补偿信号  $V_{t2}^*$  和电磁转矩控制补偿信号  $T_{e2}^*$  产生用于改变双馈风机定子侧输出的有功功率和无功功率的调制信号。

[0007] 其中，所述转子侧控制器包括有功控制模块和无功控制模块；所述有功控制模块包括：第一减法器、速度环PI控制器、第一加法器、除法器、乘法器、第二减法和转子侧d轴电流环PI控制器；所述第一减法器的第一输入端用于接收发电机转子转速信号  $\omega_r$ ，第二输入端用于接收转速指令信号  $\omega_r^*$ ；用于将发电机转子转速信号  $\omega_r$  与转速指令信号  $\omega_r^*$  进行相减处理获得转速误差信号；所述速度环PI控制器的输入端连接至所述第一减法器的输出端，用于对所述转速误差信号进行PI控制获得电磁转矩控制信号  $T_{e1}^*$ ；所述第一加法器的第一输入端连接至所述速度环PI控制器的输出端，所述第一加法器的第二输入端用于接收电磁转矩控制补偿信号  $T_{e2}^*$ ；用于将电磁转矩控制信号  $T_{e1}^*$  与电磁转矩控制补偿信号  $T_{e2}^*$  进行相加处理获得总电磁转矩指令信号  $T_e^*$ ；所述除法器的第一输入端连接至所述第一加法器的输出端，所述除法器的第二输入端用于接收定子磁链信号  $\Phi_s$ ；用于将总电磁转矩指令信号  $T_e^*$  与定子磁链信号  $\Phi_s$  进行相除后输出；所述乘法器的第一输入端连接至所述除法器的输出端，所述乘法器的第二输入端用于接收常数  $\frac{L_s}{L_r}$ ；用于将所述除法器的输出与常数  $\frac{L_s}{L_r}$  相乘后获得转子d轴电流指令值  $i_{rd}^*$ ；所述第二减法器的第一输入端连接至所述乘法器的输出端，所述第二减法器的第二输入端用于接收实时采集的转子d轴电流实际值  $i_{rd}$ ；用于将转子d轴电流指令值  $i_{rd}^*$  与实时采集的转子d轴电流实际值  $i_{rd}$  进行相减处理后输出电流偏差值；所述转子侧d轴电流环PI控制器的输入端连接至所述第二减法器的输出端，用于对所述转

子d轴电流偏差值进行PI控制并输出转子d轴电压指令值 $V_{rd}^*$ ；所述无功控制模块包括第三减法器、无功环PI控制器、第二加法器、第四减法器、端电压环PI控制器、第五减法和转子侧q轴电流环PI控制器；所述第三减法器的第一输入端用于接收风机输出无功功率信号Q，所述第三减法器的第二输入端用于接收设定的无功功率指令 $Q^*$ ；用于将风机输出无功功率信号与设定的无功功率指令信号进行相减处理得到无功功率误差信号；所述无功环PI控制器的输入端连接至所述第三减法器的输出端，用于对所述无功功率误差信号进行PI控制获得端电压控制信号 $V_{d1}^*$ ；所述第二加法器的第一输入端连接至所述无功环PI控制器的输出端，所述第二加法器的第二输入端用于接收端电压控制补偿信号 $V_{d2}^*$ ；用于将端电压控制信号 $V_{d1}^*$ 与端电压控制补偿信号 $V_{d2}^*$ 进行相加处理获得总端电压指令信号 $V_t^*$ ；所述第四减法器的第一输入端连接至所述第二加法器的输出端，所述第四减法器的第二输入端用于接收实时采集的端电压实际值 $V_t$ ；用于将总端电压指令信号 $V_t^*$ 与实时采集的端电压实际值 $V_t$ 进行相减处理后输出电压偏差值；所述端电压环PI控制器的输入端连接至所述第四减法器的输出端，用于对所述电压偏差值进行PI控制并输出转子q轴电流指令值 $i_{rq}^*$ ；所述第五减法器的第一输入端连接至所述端电压环PI控制器的输出端，所述第五减法器的第二输入端用于接收实时采集的转子q轴电流实际值；用于将转子q轴电流指令值 $i_{rq}^*$ 与实时采集的转子q轴电流实际值 $i_{rq}$ 进行相减处理后输出电流偏差值；所述转子侧q轴电流环PI控制器的输入端连接至所述第五减法器的输出端，用于对所述转子q轴电流偏差值进行PI控制并输出转子q轴电压指令值 $V_{rq}^*$ 。

[0008] 其中，所述转子侧控制器包括有功控制模块和无功控制模块；所述有功控制模块包括：第一减法器、速度环PI控制器、第一加法器、除法器、乘法器、第二减法和转子侧q轴电流环PI控制器；所述第一减法器的第一输入端用于接收发电机转子转速信号 $\omega_r$ ，第二输入端用于接收转速指令信号 $\omega_r^*$ ；用于将发电机转子转速信号 $\omega_r$ 与转速指令信号 $\omega_r^*$ 进行相减处理获得转速误差信号；所述速度环PI控制器的输入端连接至所述第一减法器的输出端，用于对所述转速误差信号进行PI控制获得电磁转矩控制信号 $T_{e1}^*$ ；所述第一加法器的第一输入端连接至所述速度环PI控制器的输出端，所述第一加法器的第二输入端用于接收电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ ；用于将电磁转矩控制信号 $T_{e1}^*$ 与电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ 进行相加处理获得总电磁转矩指令信号 $T_e^*$ ；所述除法器的第一输入端连接至所述第一加法器的输出端，所述除法器的第二输入端用于接收定子磁链信号 $\Phi_s$ ；用于将总电磁转矩指令信号 $T_e^*$ 与定子磁链信号 $\Phi_s$ 进行相除后输出；所述乘法器的第一输入端连接至所述除法器的输出端，所述乘法器的第二输入端用于接收常数 $\frac{L_s}{L_r}$ ；用于将所述除法器的输出与常数 $\frac{L_s}{L_r}$ 相乘后获得转子q轴电流指令值；所述第二减法器的第一输入端连接至所述乘法器的输出端，所述第二减法器的第二输入端用于接收实时采集的转子q轴电流实际值；用于将转子q轴电流指令值与实时采集的转子q轴电流实际值进行相减处理后输出电流偏差值；所述转子侧



q轴电流环PI控制器的输入端连接至所述第二减法器的输出端,用于对所述转子q轴电流偏差值进行PI控制并输出转子q轴电压指令值  $V_{rq}^*$ ;所述无功控制模块包括第三减法器、无功环PI控制器、第二加法器、第四减法器、端电压环PI控制器、第五减法和转子侧d轴电流环PI控制器;所述第三减法器的第一输入端用于接收风机输出无功功率信号Q,所述第三减法器的第二输入端用于接收设定的无功功率指令信号 $Q^*$ ;用于将风机输出无功功率信号与设定的无功功率指令信号进行相减处理得到无功功率误差信号;所述无功环PI控制器的输入端连接至所述第三减法器的输出端,用于对所述无功功率误差信号进行PI控制获得电压控制信号 $V_{d1}^*$ ;所述第二加法器的第一输入端连接至所述无功环PI控制器的输出端,所述第二加法器的第二输入端用于接收端电压控制补偿信号 $V_{d2}^*$ ;用于将端电压控制信号 $V_{d1}^*$ 与端电压控制补偿信号 $V_{d2}^*$ 进行相加处理获得总端电压指令信号  $V_t^*$ ;所述第四减法器的第一输入端连接至所述第二加法器的输出端,所述第四减法器的第二输入端用于接收实时采集的端电压实际值 $V_t$ ;用于将总端电压指令信号 $V_t^*$ 与实时采集的端电压实际值 $V_t$ 进行相减处理后输出电压偏差值;所述端电压环PI控制器的输入端连接至所述第四减法器的输出端,用于对所述电压偏差值进行PI控制并输出转子d轴电流指令值 $i_{rd}^*$ ;所述第五减法器的第一输入端连接至所述端电压环PI控制器的输出端,所述第五减法器的第二输入端用于接收实时采集的转子d轴电流实际值;用于将转子d轴电流指令值与实时采集的转子d轴电流实际值进行相减处理后输出电流偏差值;所述转子侧d轴电流环PI控制器的输入端连接至所述第五减法器的输出端,用于对所述转子d轴电流偏差值进行PI控制并输出转子d轴电压指令值 $V_{rd}^*$ ;其中, $L_s$ 为dq坐标系中定子等效两相绕组自感; $L_r$ 为dq坐标系中转子等效两相绕组自感。

[0009] 其中,所述矢量电力系统稳定器包括:矢量滤波器、矢量运算器、幅值控制器和角度控制器;所述矢量滤波器的输入端作为所述矢量电力系统稳定器的输入端,用于接收端电压矢量信号;所述矢量运算器的输入端连接至所述矢量滤波器的输出端,所述幅值控制器的输入端连接至所述矢量运算器的第一输出端,所述角度控制器的输入端连接至所述矢量运算器的第二输出端,所述幅值控制器的输出端和所述角度控制器的输出端作为所述矢量电力系统稳定器的输出端,幅值控制器输出双馈风机端电压控制补偿信号 $V_{d2}^*$ ,角度控制输出双馈风机电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ 。

[0010] 其中,所述幅值控制器包括依次连接的第一相位补偿单元、第一放大器和第一限幅单元。

[0011] 其中,所述角度控制器包括依次连接的第二相位补偿单元、第二放大器和第二限幅单元。

[0012] 本发明中引入风机端电压矢量信号作为输入信号来计算电磁转矩控制补偿信号和端电压控制补偿信号,并将其输出至转子侧控制器中来确定对转子侧变换器的控制,相应能够考虑到实际场合下当电网发生扰动时,端电压不仅相角会发生变化,幅值也会发生变化的情况。只有完整地考虑端电压幅值和相角,将端电压矢量作为电力系统稳定器的输入信号,才能全面地反映电网的扰动。

## 附图说明

[0013] 图1是按照本发明优选实施例的基于矢量电力系统稳定器的双馈风力发电系统的整体原理示意图；

[0014] 图2是按照本发明优选实施例的基于定子电压定向矢量控制策略的双馈风力发电系统转子侧控制器的构造示意图，其中图2(a)是有功功率控制回路的构造示意图，图2(b)是无功功率控制回路的构造示意图；

[0015] 图3是按照本发明优选实施例的基于定子磁链定向矢量控制策略的双馈风力发电系统转子侧控制器的构造示意图，其中图3(a)是有功功率控制回路的构造示意图，图3(b)是无功功率控制回路的构造示意图；

[0016] 图4是按照本发明优选实施例的适用于双馈风力发电系统的矢量电力系统稳定器的构造示意图；

[0017] 图5是按照本发明优选实施例的矢量电力系统稳定器的幅值控制器的构造示意图；

[0018] 图6是按照本发明优选实施例的矢量电力系统稳定器的角度控制器的构造示意图。

## 具体实施方式

[0019] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。

[0020] 本发明实施例通过对影响双馈风力发电系统输出有功功率的关键因素进行分析，将风机的端电压矢量作为电力系统稳定器的输入信号，使得矢量电力系统稳定器能够更全面的阻尼系统机电时间尺度的功率振荡。

[0021] 双馈风机端电压受外部电网的影响。当外部电网发生扰动时，风机端电压的幅值和相角都会相应发生变化，因此风机端电压矢量可以反映外部电网的动态。

[0022] 本发明实施例提供的基于矢量电力系统稳定器的双馈风力发电系统包括风力机、将风力机的机械能转化为电能的发电机、用于将感应发电机所输出的交流电压转化为直流电压的转子侧控制器、与转子侧控制器电气相连并用于存储电能的直流电容、用于将直流电容的直流电压转变为交流电压并输送至电网的网侧变换器、对应于转子侧变换器而设置的转子侧控制器、对应于网侧变换器而设置的网侧控制器，分别与转子侧控制器和网侧控制器信号连接的直流电压控制器。其中所述转子控制器接收实时采集的发电机转子转速信号、转子电流信号、风机端电压信号以及风机输出无功功率信号，相应调整转子侧变换器的驱动信号，从而改变风机向电网输送的功率。另外，还包括用于采集端电压矢量信号的矢量信号采集器和提供正阻尼转矩的矢量电力系统稳定器。

[0023] 在本发明实施例中，转子侧控制器3可以采用多种控制策略实现有功控制和无功控制。为了进一步阐述本发明实施例，以双馈风力发电系统中的转子侧控制器3采用定子电压定向的矢量控制策略和定子磁链定向的矢量控制策略作为两个优选实施例，详述如下：双馈风力发电系统输出的有功功率和无功功率与转子的d、q分量电流密切相关，对转子两

分量电流进行有效控制就可以控制风机输出的有功功率和无功功率。当转子侧控制器采用定子电压定向的矢量控制策略时,同步速旋转坐标系的d轴是定向于定子电压矢量上的,此时控制转子电流d轴分量就可以控制双馈风力发电系统定子输出的有功功率,控制转子电流q轴分量就可以控制双馈风力发电系统定子输出的无功功率,由此实现了有功功率和无功功率的解耦控制。当转子侧控制器采用定子磁链定向的矢量控制策略时,同步速旋转坐标系的d轴是定向于定子磁链矢量上的,此时控制转子电流q轴分量就可以控制双馈风力发电系统定子输出的有功功率,控制转子电流d轴分量就可以控制双馈风力发电系统定子输出的无功功率,也实现了有功功率和无功功率的解耦控制。

[0024] 以双馈风力发电系统端电压矢量作为矢量电力系统稳定器的输入信号,并将输出信号输出至转子侧控制器以改变双馈风力发电系统的输出功率,使其在电网出现机电时间尺度的功率波动时有所响应,增强系统的小干扰稳定性。

[0025] 本发明基于现有的双馈风力发电系统提供了用于阻尼系统机电时间尺度振荡的矢量电力系统稳定器,用于对输入的双馈风力发电系统端电压矢量信号进行处理,得到电磁转矩控制补偿信号和端电压控制补偿信号,并将两个补偿信号输出至转子侧控制器中,以使得双馈风力发电系统的输出功率与系统振荡功率相位相反,从而抑制系统的功率振荡。

[0026] 其中,矢量电力系统稳定器包括矢量滤波器,矢量运算器,幅值控制器和角度控制器。

[0027] 矢量滤波器用于将采集的双馈风机端电压矢量信号进行滤波以消除稳态信号的影响,该滤波器将输入信号的低频成分择选出来,并输出至矢量运算器;

[0028] 矢量运算器计算输入的低频电压矢量信号的幅值和相角,并分别将其输出至幅值控制器和角度控制器中;

[0029] 幅值控制器对输入的低频电压幅值信号进行处理,得到电磁转矩控制补偿信号并输出至转子侧控制器的有功功率控制回路上;

[0030] 角度控制器对输入的低频电压相角信号进行处理,得到端电压控制补偿信号并输出至转子侧控制器的无功控制回路上。

[0031] 进一步,对于幅值控制器和角度控制器而言,它们各自包括相位补偿单元、放大器、限幅单元。其中相位补偿单元用于对输入信号进行相位补偿,以使得双馈风力发电系统最终输出的功率与系统振荡功率相位相反;放大器对因经过矢量信号采集器、矢量滤波器、矢量运算器、相位补偿单元后衰减的输入信号进行放大;限幅单元用于对放大后的信号进行限幅以形成指令补偿信号并输出至转子侧控制器中。

[0032] 为了使本发明的目的、技术方案以及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。

[0033] 本发明提出的基于矢量电力系统稳定器的双馈风力发电系统是将风机端电压矢量作为所设计的电力系统稳定器的输入信号,这样既包含了端电压的幅值信号也包含了端电压的相角信号,能够更全面地反映电力系统所受到的扰动。

[0034] 图1是本发明实施例提供的基于电力系统矢量稳定器的风力发电系统的整体原理示意图。如图1所示,如同本领域所熟知地,该双馈风力发电系统包括风力机11、将风力机11的机械能转化为电能的发电机13(风力机11和发电机13还配置有执行机械耦合并传递机

械能的齿轮箱12)、用于将发电机13转子所输出的交流电压转化为直流电压的转子侧变换器21、对应于转子侧变换器而设置的转子侧控制器3、与转子侧变换器21电气相连并用于存储电能的直流电容23,用于将直流电容23的直流电压转变为交流电压并输送到电网14的网侧变换器22,用于对网侧变换器22所输出的交流电压执行滤波处理的滤波器24。此外,该双馈风力发电系统还包括矢量信号采集器4和矢量电力系统稳定器5。

[0035] 风力机11的叶片从风中获取能量带动轮毂转动,通过主轴传动链连接到齿轮箱12。齿轮箱12将很低的风轮转速变为很高的发电机转速,并带动发电机13的转子转动。发电机13将机械能转化为电能,并通过定子输送到电网14。双馈风力发电系统采用交流励磁方式,发电机13转子侧输出的交流电压输送到转子侧变换器21,转子侧变换器21将该交流电压转化为直流电压并输出至与其电气相连并用于存储电能的直流电容23。直流电容23的直流电压施加到网侧变换器22上,网侧变换器22将该直流电压转换为交流电压,然后通过网侧的滤波器24连接到电网14。此外,矢量信号采集器4利用电压互感器采集三相电压信号,并将该三相电压信号分别通过锁相环得到端电压相角信号,通过锁幅环得到端电压幅值信号,然后将端电压相角信号和幅值信号合成得到端电压矢量信号,并将该矢量信号输出至矢量电力系统稳定器5。按照本发明构建的矢量电力系统稳定器5接收输入的端电压矢量信号,得到双馈风机电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ 和端电压控制补偿信号 $V_{t2}^*$ ,并将补偿信号输出至转子侧控制器3。所述的转子侧控制器3用于实时采集发电机13的转速信号 $\omega_r$ 、转子电流信号 $i_r$ 、双馈风机端电压幅值信号 $V_t$ 以及双馈风机输出无功功率信号 $Q$ ,并结合所接收的矢量电力系统稳定器5输出的端电压控制补偿信号 $V_{t2}^*$ 和电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ ,产生调制信号输出至转子侧变换器21,从而改变双馈风机定子侧输出的有功功率和无功功率。所以本发明所述的矢量电力系统稳定器在电网发生扰动时,能够承担部分电网的功率波动,提高系统阻尼。

[0036] 在本发明实施例中,锁相环和锁幅环均为本领域人士所熟识。其中锁相环在人民邮电出版社出版的郑继禹等所编写的《锁相环路原理与应用》一书中有所介绍,锁幅环在1991年黄金湘发表在电讯技术上的“锁幅环路(MLL)及其应用”一文中有所介绍。

[0037] 按照本发明的优选实施方式,所述的双馈风力发电系统转子侧控制方式采用了定子电压定向的矢量控制方式和定子磁链定向的矢量控制方式,控制框图分别如图2、图3所示。

[0038] 图2(a)为基于定子电压定向矢量控制策略的双馈风力发电系统转子侧有功功率控制框图,其中实时采集的发电机转子转速信号与转速指令信号输入到第一减法器311进行计算,得到转速误差信号;速度环PI控制器312接收该转速误差计算得到的电磁转矩控制信号 $T_{e1}^*$ ;电磁转矩控制信号 $T_{e1}^*$ 与矢量电力系统稳定器得到的电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ 输入到第一加法器313中计算得出总电磁转矩指令信号 $T_e^*$ ;除法器314接收总电磁转矩指令信号 $T_e^*$ 与定子磁链信号 $\Phi_s$ 并将两者相除,得到的结果与常数 $\frac{L_s}{L_r}$ 输入至乘法器315得到转子d轴电流指令值;转子d轴电流指令值与实时采集的转子d轴电流实际值输入到第二减法器316中进行相减,得到的电流偏差值输入到电流环PI控制器317中;电流环PI控制器317对电

流偏差值进行计算得到转子d轴电压指令值 $V_{rd}^*$ 。

[0039] 图2(b)为基于定子电压定向矢量控制策略的双馈风力发电系统转子侧无功功率控制框图,其中实时采集的风机输出无功功率 $Q$ 与设定的无功功率指令信号 $Q^*$ 输入到第三减法器321中得到无功功率的偏差信号并将该偏差信号输出到无功环PI控制器322中;无功环PI控制器322对无功偏差进行计算得到端电压控制信号 $V_{r1}^*$ ;第二加法器323接收无功环PI控制器322得到的端电压控制信号 $V_{r1}^*$ 和矢量电力系统稳定器输出的端电压控制补偿信号 $V_{r2}^*$ 进行相加得到总端电压指令信号 $V_r^*$ 并将其输出到第四减法器324中;第四减法器324接收总端电压指令信号 $V_r^*$ 和实时采集的端电压信号 $V_t$ 进行相减得到电压偏差信号并将该信号输出到端电压环PI控制器325;端电压环PI控制器325对电压偏差信号进行计算得到转子电流的q轴分量指令信号 $i_{rq}^*$ ;第五减法器326接收转子q轴电流指令信号 $i_{rq}^*$ 和实时采集的转子q轴电流实际值 $i_{rq}$ 并将两信号相减得到电流误差值;转子侧q轴电流环PI控制器327对电流误差信号进行计算得到转子q轴电压指令值 $V_{rq}^*$ 。然后转子电压指令信号经过空间矢量脉冲宽度调制产生调制信号30对转子侧变换器进行控制。

[0040] 作为本发明的另一实施例,所述的双馈风力发电系统转子侧控制器采用定子磁链定向的矢量控制方式,控制框图如图3(a)、图3(b)所示。

[0041] 图3(a)为基于定子磁链定向矢量控制策略的双馈风力发电系统转子侧有功功率控制框图,其中实时采集的发电机转子转速信号与转速指令信号输入到减法器331进行计算,得到转速误差信号;速度环PI控制器332接收该转速误差计算得到的电磁转矩控制信号 $T_{e1}^*$ ;电磁转矩控制信号 $T_{e1}^*$ 与矢量电力系统稳定器得到的电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ 输入到加法器333中计算得出总电磁转矩指令信号 $T_e^*$ ;除法器334接收总电磁转矩指令信号 $T_e^*$ 与

定子磁链信号 $\Phi_s$ 并将两者相除,得到的结果与常数 $\frac{L_s}{L_r}$ 输入至乘法器335得到转子q轴电流

指令值;转子q轴电流指令值与实时采集的转子q轴电流实际值输入到减法器336中进行相减,得到的电流偏差值输入到电流环PI控制器337中;电流环PI控制器337对电流偏差值进

行计算得到转子q轴电压指令值 $V_{rq}^*$ 。其中,常数 $\frac{L_s}{L_r}$ 中, $L_s$ 为dq坐标系中定子等效两相绕组

自感, $L_s=L_m+L_{1s}$ ; $L_r$ 为dq坐标系中转子等效两相绕组自感, $L_r=L_m+L_{1r}$ 。

[0042] 图3(b)为基于定子磁链定向矢量控制策略的双馈风力发电系统转子侧无功功率控制框图,其中实时采集的风机输出无功功率 $Q$ 与设定的无功功率指令信号 $Q^*$ 输入到减法器341中得到无功功率的偏差信号并将该偏差信号输出到无功环PI控制器342中;无功环PI控制器342对无功偏差进行计算得到端电压控制信号 $V_{r1}^*$ ;加法器343接收无功环PI控制器342得到的端电压控制信号 $V_{r1}^*$ 和矢量电力系统稳定器输出的端电压控制补偿信号 $V_{r2}^*$ 进行相加得到总端电压指令信号 $V_r^*$ 并将其输出到减法器344中;减法器344接收总端电压指令信号 $V_r^*$ 和实时采集的端电压信号 $V_t$ 进行相减得到电压偏差信号并将该信号输出到端电压

环PI控制器345;端电压环PI控制器345对电压偏差信号进行计算得到转子电流的d轴分量指令信号 $i_{rd}^*$ ;减法器346接收转子d轴电流指令信号 $i_{rd}^*$ 和实时采集的转子d轴电流实际值 $i_{rd}$ 并将两信号相减得到电流误差值;转子侧d轴电流环PI控制器347对电流误差信号进行计算得到转子d轴电压指令值 $V_{rd}^*$ 。然后转子电压经过空间矢量脉冲宽度调制产生调制信号30对转子侧变换器进行控制。

[0043] 其中,无功功率指令信号的设定一般由根据风电场所需发出的无功功率决定。作为本发明的一个实施例,设定的无功功率指令信号 $Q^*$ 为0。。

[0044] 更具体地,下面将参照图4至图6来进一步具体描述矢量电力系统稳定器。矢量电力系统稳定器5用于对输入的电压矢量信号进行处理得到电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ 和端电压控制补偿信号 $V_{t2}^*$ ,并将其输出至转子侧变换器3。

[0045] 图4是矢量电力系统稳定器的具体结构图,其中矢量滤波器51接收输入的端电压矢量信号 $V_t$ 并将其中的低频振荡分量择选出来输出到矢量运算器52中;矢量运算器52接收端电压矢量信号的低频振荡分量,并将该矢量分量信号的幅值和角度计算出来分别输出到幅值控制器53和角度控制器54中;幅值控制器53接收低频振荡的幅值信号并对其进行相位补偿、信号放大和限幅得到端电压控制补偿信号 $V_{t2}^*$ ,然后将该控制补偿信号输出至转子侧控制器3;角度控制器54接收低频振荡的相位信号并对其进行相位补偿、信号放大和限幅得到电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ ,然后将该控制补偿信号输出至转子侧控制器3。

[0046] 图5是幅值控制器53的具体结构示意图,其中第一相位补偿单元531接收输入的电压幅值低频振荡信号并进行相位补偿,以使得基于矢量电力系统稳定器的双馈风力发电系统所输出的无功功率与系统振荡功率相位相反,然后将补偿后的信号输出到第一放大器532;第一放大器532对因经过矢量信号采集器、矢量滤波器、矢量运算器和第一相位补偿单元而衰减的输入信号进行放大,然后将放大后的信号输出到第一限幅单元533;第一限幅单元533对输入的放大信号进行限幅形成端电压控制补偿信号 $V_{t2}^*$ 并将其输出至转子侧控制器3。

[0047] 图6是角度控制器54的具体结构示意图,其中第二相位补偿单元541接收输入的电压相位低频振荡信号并进行相位补偿,以使得基于矢量电力系统稳定器的双馈风力发电系统所输出的有功功率与系统振荡功率相位相反,然后将补偿后的信号输出到第二放大器542;第二放大器542对因经过矢量信号采集器、矢量滤波器、矢量运算器和第二相位补偿单元而衰减的输入信号进行放大,然后将放大后的信号输出到第二限幅单元543;第二限幅单元543对输入的放大信号进行限幅形成电磁转矩控制补偿信号 $T_{e2}^*$ 并将其输出至转子侧控制器3。

[0048] 通过以上构思,与现有技术中的仅根据电网频率信号或功率信号作为电力系统稳定器的输入信号方式相比,本发明中引入风机端电压矢量信号作为输入信号来计算电磁转矩控制补偿信号和端电压控制补偿信号,并将其输出至转子侧控制器中来确定对转子侧变换器的控制,相应能够考虑到实际场合下当电网发生扰动时,端电压不仅相角会发生变化,幅值也会发生变化的情况。只有完整地考虑端电压幅值和相角,将端电压矢量作为电力系

统稳定器的输入信号,才能全面地反映电网的扰动。

[0049] 根据该端电压矢量输入信号设计的稳定器,能够在外部电网发生扰动的情况下使风机的输出功率有所响应,增大阻尼转矩,提高系统的小干扰稳定性。

[0050] 本领域的技术人员容易理解,以上说明书仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明。本发明不仅可以用于基于定子电压定向的矢量控制策略或定子磁链定向的矢量控制策略的双馈风力发电系统,也可以用于使用其他矢量控制策略的双馈风力发电系统,如气隙磁链定向的矢量控制策略。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

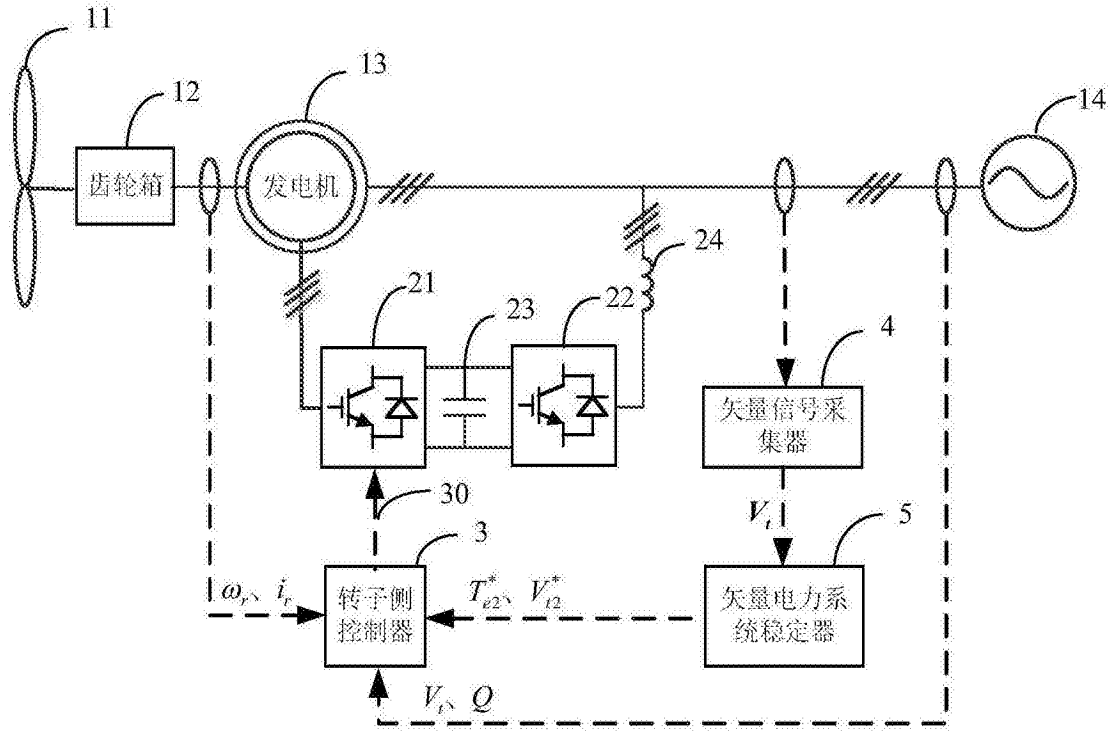


图1

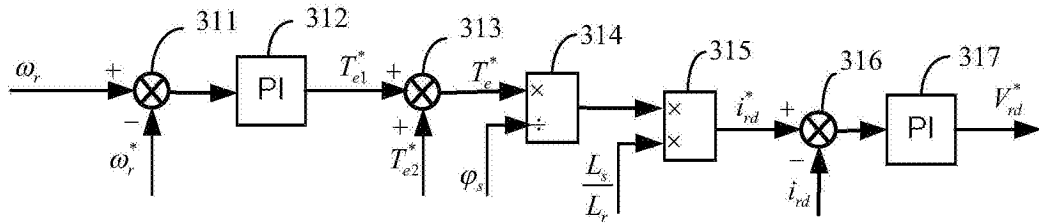


图2(a)

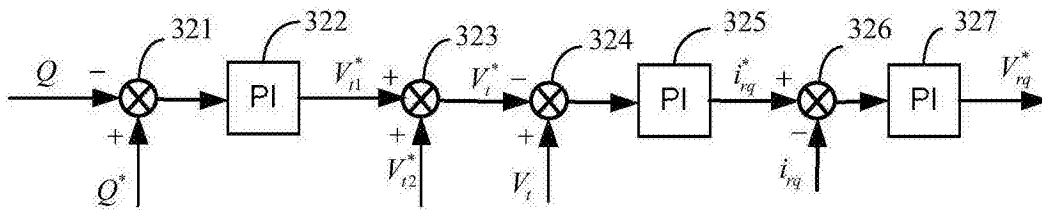


图2(b)



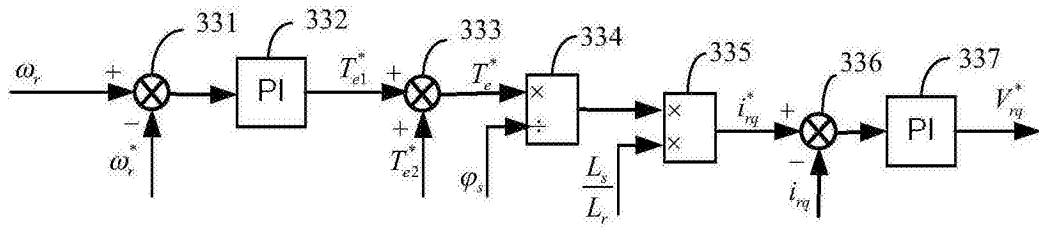


图3(a)

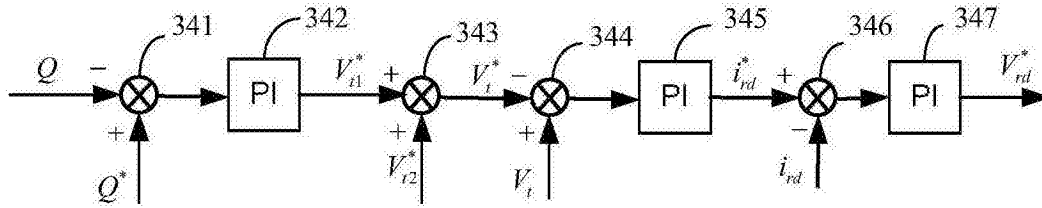


图3(b)

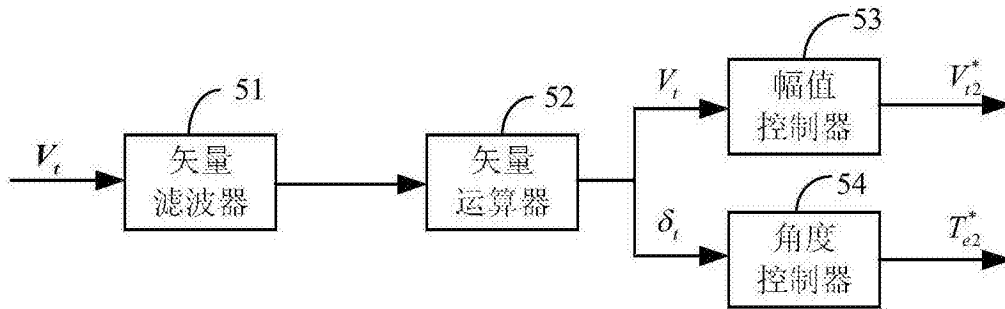


图4

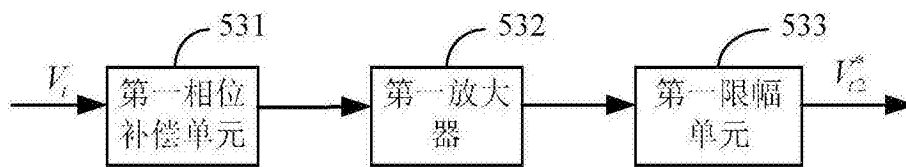


图5

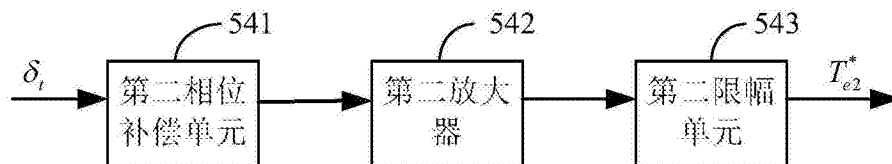


图6