



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103943009 B

(45)授权公告日 2016.09.28

(21)申请号 201410154252.X

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2014.04.17

G09B 23/18(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 李慧洁

申请公布号 CN 103943009 A

(43)申请公布日 2014.07.23

(73)专利权人 武汉新能源接入装备与技术研究  
院有限公司

地址 430205 湖北省武汉市江夏区栗庙路  
18号

专利权人 中国人民解放军海军工程大学

(72)发明人 侍乔明 黄河 蒋文韬 陈宇航  
胡安 付立军 王刚

(74)专利代理机构 武汉开元知识产权代理有限  
公司 42104

代理人 俞鸿

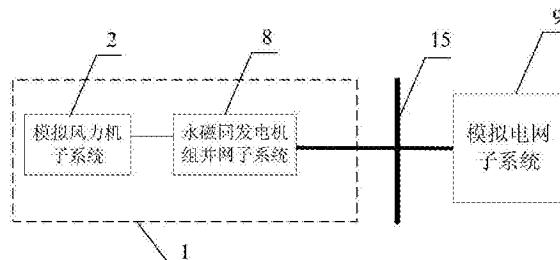
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种模拟风力发电并网实验系统

(57)摘要

本发明公开了一种模拟风力发电并网实验系统，将模拟风力发电子系统和模拟电网子系统并联共同为负载供电进行实验，形成一个独立的模拟风电并网实验系统，从而为研究风电接入电网后系统的稳定性分析及优化控制等提供了有利的实验条件。模拟风力机子系统中加入了减速箱和惯性模拟装置，在模拟电网子系统中通过旋转编码器和编码卡处理得到电动机转速信号形成转速闭环控制。通过将模拟风力发电子系统和模拟电网子系统接入同一交流母线向负载供电，有效模拟实际风电机组出力及负荷波动对电网频率及其电压的影响。



1. 一种模拟风力发电并网实验系统，其特征在于：包括模拟风力发电子系统(1)和模拟电网子系统(9)，所述模拟风力发电子系统(1)和所述模拟电网子系统(9)的输出端连接于同一交流母线(15)；所述模拟风力发电子系统(1)包括模拟风力机子系统(2)和永磁同步发电机组并网子系统(8)，所述模拟风力机子系统(2)包括直流调速器(3)、直流电动机(4)、惯性模拟装置(17)和减速箱(5)，所述直流调速器(3)连接于市电电网(16)，所述直流电动机(4)连接于所述直流调速器(3)的输出端；

在所述直流电动机(4)的输出端设置有惯性模拟装置(17)，所述惯性模拟装置(17)的输出端连接减速箱(5)，所述减速箱(5)的输出端连接所述永磁同步发电机组并网子系统(8)；

所述惯性模拟装置(17)的输出转动惯量  $J_{17} = \frac{2P_{1n}H_2/\omega_{1n}^2 - J_{1G}}{n^2} - J_{1M}$ ，式中， $P_{1n}$  为模拟风电机组的额定功率， $\omega_{1n}$  为模拟风电机组的额定转速， $H_2$  为模拟风电机组的惯性时间常数， $J_{1G}$  为所述永磁同步发电机组并网子系统(8)的输出转动惯量， $J_{1M}$  为直流电动机(4)的输出转动惯量， $n$  为减速箱(5)的变速比。

2. 根据权利要求1所述的一种模拟风力发电并网实验系统，其特征在于：所述模拟风力机子系统(2)还包括第一上位机(6)，所述第一上位机(6)的输出端连接有第一PLC控制器(7)，所述第一PLC控制器(7)的输出端连接于所述直流调速器(3)。

3. 根据权利要求1所述的一种模拟风力发电并网实验系统，其特征在于：所述惯性模拟装置(17)为飞轮。

4. 根据权利要求1所述的一种模拟风力发电并网实验系统，其特征在于：所述模拟电网子系统(9)包括在市电电网(16)和所述交流母线(15)之间顺次连接的变频调速器、异步电动机和同步发电机；所述变频调速器上设置有编码卡，所述异步电动机设有编码器，所述编码卡和所述编码器相互连接。

5. 根据权利要求4所述的一种模拟风力发电并网实验系统，其特征在于：所述模拟电网子系统(9)还包括第二上位机(13)，所述第二上位机(13)的输出端连接有第二PLC控制器(14)，所述第二PLC控制器(14)的输出端连接于所述变频调速器。

6. 根据权利要求4所述的一种模拟风力发电并网实验系统，其特征在于：所述异步电动机和所述同步发电机同轴连接；所述编码器为旋转编码器，所述变频调速器为三相交流变频调速器(10)，所述异步电动机为三相交流异步电动机(11)，所述同步发电机为三相交流同步发电机(12)。

## 一种模拟风力发电并网实验系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及风力发电技术领域,特别涉及一种模拟风力发电并网实验系统。

### 背景技术

[0002] 风能作为一种可再生的清洁能源,世界各国越来越开始重视其利用发展。目前,在风力发电领域,大型直驱式风力发电系统得到了广泛使用,该发电系统主要由风力机、传动系统、永磁发电机与全功率变频器等部分组成,通过风力机叶片变桨技术、变流器变流技术等控制机组发电,并将电能输送到电网中。传统最大功率跟踪控制方式下,风电机组呈现出对电网的弱支撑性。随着风电注入率的提高,风电并网系统的频率、电压等方面稳定性面将面临巨大的挑战。因此,为实现风电机组的“友好型”并网,通过实验开展直驱永磁式风力发电机组的优化控制研究工作变得非常必要。

[0003] 在目前已安装的实际风电机组上直接进行实验研究存在很多局限。首先实验的开展受天气、风速等因素的限制,无法保证实验的连续进行;另外风力发电控制系统复杂且相互影响,直接在实际机组上进行实验十分不便;其次,开展风电并网优化控制的实验研究,要求电网的频率和电压根据需要产生一定的波动,而实际电网运行过程中不可能为此提供这样的条件。因此,迫切需要对风电机组并网模拟实验系统进行开发研究,从而为通过实验系统进行相关理论研究和验证工作提供可能。

[0004] 目前,风力发电机组实验系统大多针对双馈式风电机组,涉及直驱式风电机组的实验研究系统很少,其中一种永磁直驱风电机组实验系统采用交流异步电机作为驱动电机,可以模拟实际风力机输出特性,完成整机相关实验,但异步电机的驱动控制及转速获取都比较困难,会给研究带来很大的不便。相比异步电动机,直流电动机在定励磁条件下,其输出转矩与电枢电流成正比关系,这一特点给风力机的转矩模拟控制带来了极大的便利。另外,在直流电动机转速信号获取比较容易,可通过在直流电动机上安装旋转编码器来实现。因此,采用直流电动机作为驱动电机将会有效降低模拟风力机的控制难度。

[0005] 目前有文献采用直流电动机作为驱动电机进行风力机模拟控制,但模拟风力机的转速特性与理论特性差距较大,不能满足实际验证需求,另外,该系统中,永磁同步机输出的电能通过并网变频器变流后直接并入市电电网,市电电网可等效为无穷大电网,无法有效模拟实际风电机组出力及负荷波动对电网频率及其电压的影响。因此,在实验室环境下构建一种能够模拟风力机输出特性和电网动态特性的直驱永磁模拟风电并网实验系统,对开展直驱式风力发电机组的优化控制研究是十分必要的。

### 发明内容:

[0006] 本发明要解决的技术问题是提供一种模拟风力发电并网实验系统,通过将模拟风力发电子系统和模拟电网子系统接入同一交流母线向负载供电,有效模拟实际风电机组出力及负荷波动对电网频率及其电压的影响。

[0007] 为了解决上述技术问题本发明的技术方案为一种模拟风力发电并网实验系统,包

括模拟风力发电子系统和模拟电网子系统,模拟风力发电子系统和模拟电网子系统的输出端连接于同一交流母线。

[0008] 较佳地,模拟风力发电子系统包括模拟风力机子系统和永磁同步发电机组并网子系统,模拟风力机子系统包括直流调速器和直流电动机,直流调速器连接于市电电网,直流电动机连接于直流调速器的输出端,直流电动机的输出端连接永磁同步发电机组并网子系统。

[0009] 较佳地,模拟风力机子系统还包括减速箱,减速箱设置在直流电动机的输出端,减速箱的输出端连接述永磁同步发电机组并网子系统。

[0010] 较佳地,模拟风力机子系统还包括第一上位机,第一上位机的输出端连接有第一PLC控制器,第一PLC控制器的输出端连接于直流调速器。

[0011] 较佳地,在直流电动机的输出端设置有惯性模拟装置,惯性模拟装置的输出端连接减速箱。

[0012] 较佳地,惯性模拟装置为飞轮。

[0013] 较佳地,惯性模拟装置的输出转动惯量  $J_{1I} = \frac{2P_{1n}H_2/\omega_{1n}^2 - J_{1G}}{n^2} - J_{1M}$ , 式中,  $P_{1n}$  为模

拟风电机组的额定功率,  $\omega_{1n}$  为模拟风电机组的额定转速,  $H_2$  为模拟风电机组的惯性时间常数,  $J_{1G}$  为永磁同步发电机组的输出转动惯量,  $J_{1M}$  为直流电动机的输出转动惯量,  $n$  为减速箱的变速比。

[0014] 较佳地,模拟电网子系统包括在市电电网和交流母线之间顺次连接的变频调速器、异步电动机和同步发电机;变频调速器上设置有编码卡,异步电动机设有编码器,编码卡和编码器相互连接。

[0015] 较佳地,模拟电网子系统还包括第二上位机,第二上位机的输出端连接有第二PLC控制器,第二PLC控制器的输出端连接于变频调速器。

[0016] 较佳地,异步电动机和同步发电机同轴连接;编码器为旋转编码器,变频调速器为三相交流变频调速器,异步电动机为三相交流异步电动机,同步发电机为三相交流同步发电机。

[0017] 本发明的有益效果在于:将模拟风力发电子系统和模拟电网子系统并联共同为负载供电进行实验,形成一个独立的模拟风电并网实验系统,从而为研究风电接入电网后系统的稳定性分析及优化控制等提供了有利的实验条件。通过将模拟风力发电子系统和模拟电网子系统接入同一交流母线向负载供电,有效模拟实际风电机组出力及负荷波动对电网频率及其电压的影响。

[0018] 构建了模拟电网子系统,在模拟电网子系统中调速器驱动电动机旋转,并通过旋转编码器和编码卡处理得到电动机转速信号,从而形成转速闭环控制;可以通过第二上位机经第二PLC控制器对调速器进行控制,通过以上结构实现对电力系统频率动态特性模拟。

[0019] 模拟风力机子系统中通过在第一上位机中风速建模,实现对自然界实际风速变化的模拟,将运算得到实时转矩指令通过第一PLC控制器传输到直调速器,直流调速器根据转矩指令控制拖动直流电动机的输出转矩从而模拟风力机运行特性;惯性模拟装置增大了整个系统的输出转动惯量,减速箱可以更真实地模拟实际风电机组的低速运行过程;进一步的对于模拟风电机组拖动控制方式的选择,系统没有采用常规风力发电实验系统中变频调

速器驱动普通异步电动机的形式,而是采用直流调速器控制直流电动机拖动永磁发电机的结构,由于风力机与直流电动机的转矩特性具有较大的相似性,且直流电动机控制相对异步电动机简单且转速测量实现较为容易,这使得风力机模拟拖动控制实现变得简单、控制精度更高。

## 附图说明

- [0020] 图1是本发明实施例模拟风电并网实验系统整体结构图;
- [0021] 图2是本发明实施例模拟风力机子系统原理结构图;
- [0022] 图3是本发明实施例永磁同发电机组并网子系统原理结构图;
- [0023] 图4是本发明实施例模拟电网子系统的原理结构图。
- [0024] 图中:1、模拟风力发电子系统 2、模拟风力机子系统 3、直流调速器 4、直流电动机 5、减速箱 6、第一上位机 7、第一PLC控制器 8、永磁同步发电机组并网子系统 9、模拟电网子系统 10、三相交流变频调速器 11、三相交流异步电动机 12、三相交流同步发电机 13、第二上位机 14、第二PLC控制器 15、交流母线16、市电电网 17、惯性模拟装置

## 具体实施方式

- [0025] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步的说明。
- [0026] 本实施例的一种模拟风力发电并网实验系统,如图1所示包括模拟风力发电子系统1和模拟电网子系统9,模拟风力发电子系统1和模拟电网子系统9的输出端连接于同一交流母线15,交流母线15上连接有负载设备。将模拟风力发电子系统1和模拟电网子系统9并联共同为负载供电进行实验,形成一个独立的模拟风电并网实验系统,从而为研究风电接入电网后系统的稳定性分析及优化控制等提供了有利的实验条件。
- [0027] 如图1所示,模拟风力发电子系统1包括模拟风力机子系统2和永磁同步发电机组并网子系统8。如图2所示,模拟风力机子系统2包括直流调速器3、直流电动机4和减速箱5,直流调速器3连接于市电电网16,直流电动机4连接于直流调速器3的输出端,在直流电动机4的输出端设置有惯性模拟装置17,减速箱5设置在惯性模拟装置17的输出端,减速箱5的输出端连接至永磁同步发电机组并网子系统8。

- [0028] 惯性模拟装置17的输出转动惯量  $J_{1t} = \frac{2P_{1n}H_2/\omega_{1n}^2 - J_{1G}}{n^2} - J_{1M}$ , 式中,  $P_{1n}$  为模拟风电机组的额定功率,  $\omega_{1n}$  为模拟风电机组的额定转速,  $H_2$  为模拟风电机组的惯性时间常数,  $J_{1G}$  为永磁同步发电机组并网子系统8中永磁同步发电机组的输出转动惯量,  $J_{1M}$  为直流电动机4的输出转动惯量,  $n$  为减速箱5的变速比。

- [0029] 模拟风力机子系统2还包括第一上位机6,第一上位机6的输出端连接有第一PLC控制器7,第一PLC控制器7的输出端连接于直流调速器3。模拟风力机子系统中通过在第一上位机6中风速建模,实现对自然界实际风速变化的模拟,将运算得到实时转矩指令通过PLC控制器传输到直调速器,直流调速器3根据转矩指令控制拖动直流电动机4的输出转矩从而模拟风力机运行特性;在模拟风力机子系统2的输出端设置了惯性模拟装置17,这里的惯性模拟装置17是一飞轮,通过控制其质量和体积达到不同的增大输出转动惯量的效果,在惯性模拟装置17的输出端还设置有减速箱5,可以更真实地模拟实际风电机组的低速运行过

程,市电电网16和直流调速器3之间设有断路器和熔断器。

[0030] 对于模拟风电机组拖动控制方式的选择,系统没有采用常规风力发电实验系统中变频调速器驱动普通异步电动机的形式,而是采用直流调速器3控制直流电动机4拖动永磁发电机的结构,由于风力机与直流电动机4的转矩特性具有较大的相似性,且直流电动机4控制相对异步电动机简单且转速测量实现较为容易,这使得风力机模拟拖动控制实现变得简单、控制精度更高。在第一上位机6中通过Citect SCADA软件编程建立风速及风力机模型,根据当前风速、空气密度、风力机半径和桨距角等参数,引入风力机实时转速,计算出风力机转矩指令,将转矩指令通过以太网通讯传输给第一PLC控制器7,第一PLC控制器7通过附加的MODBUS通信模块将转矩信号送给直流调速器3,直流调速器3对直流电动机4恒励磁控制,同时根据转矩指令调节直流电动机4电枢电流,从而控制直流电动机4的输出转矩。由于直流电动机4转速相对永磁发电机的转速较高,因此采用8:1的减速箱5进行减速,拖动永磁同步发电机发电,从而模拟实际风电机组中的低速永磁同步发电机组特性。光电编码器将转速信号接到直流调速器3,由直流调速器3将实时转速信息反馈到组态软件中,最终应用到风力机模型中去计算实时转矩。同时,实验中如果出现驱动转矩与负载转矩不平衡而发生超速时,组态软件的保护模块和直流调速器3的限速调节器可起到超速保护作用。直流调速器3的限速调节原理是,当直流电动机4转速达到其设定值的上限时,直流调速器3自动将电机控制方式由转矩闭环控制方式调整转速闭环控制方式,从而使电机稳定在保护设定转速值上运行。

[0031] 如图3所示,永磁同步发电机组并网子系统8包括顺次连接的永磁同步发电机、并网变频器、变压器、同步发电机。永磁发电机组并网子系统中,对于并网变频器部分,上位机采用LabWindows CVI可视化编程语言建立人机交互界面,通过SCI串口与机、网侧的交流器的控制器进行通讯,实现对交流器的监控。永磁发电机组并网子系统中,所述并网变频器中的控制器采用TMS320F2812为核心的DSP数字信号处理器。在上位机中使用LabWindows CVI可视化语言搭建人机界面通过串口与机、网侧交流器的控制器进行通讯,交流器控制器将采集的电压电流信号反馈到人机界面中,可以实时监测和保存交流器的运行参数,同时针对实验情况不同直接修改部分交流器相关运行参数。最后,永磁同步发电机发出的电能,经过整流、逆变、滤波及隔离变压等一系列变化后,输送到模拟电网系统中,实现了整个风力发电系统并网发电运行过程的模拟。

[0032] 如图4所示,模拟电网子系统9包括在市电电网16和交流母线15之间顺次连接的三相交流变频调速器10、三相交流异步电动机11和三相交流同步发电机12,三相交流异步电动机11和三相交流同步发电机12同轴连接,模拟实际电网中的同步发电机发电;三相交流变频调速器10上设置有编码卡,三相交流异步电动机11设有编码器,编码卡和编码器相互连接。模拟电网子系统9还包括第二上位机13,第二上位机13的输出端连接有第二PLC控制器14,第二PLC控制器14的输出端连接于三相交流变频调速器10。市电电网16和三相交流变频调速器10之间设有断路器和熔断器,三相交流同步发电机12和交流母线15之间设有断路器和熔断器。在模拟电网子系统9中三相交流变频调速器10驱动三相交流异步电动机11旋转,并通过旋转编码器和编码卡处理得到三相交流异步电动机11转速信号,从而形成转速闭环控制;通过旋转编码器把转速信号送入交流调速器,调速器的编码卡处理后提供给变频器使用以及上位机显示,实现对同步发电机转速的实时监测,从而达到监测系统频率的

目的。

[0033] 应当理解的是，对本领域普通技术人员来说，可以根据上述说明加以改进或变换，而所有这些改进和变换都应属于本发明所附权利要求的保护范围。

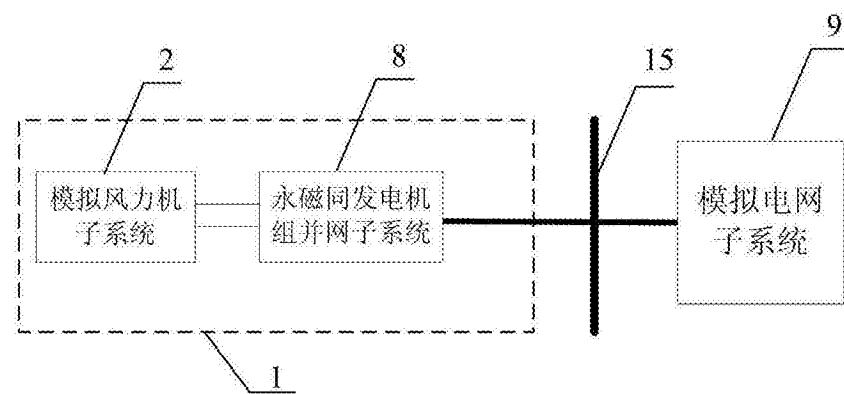


图1

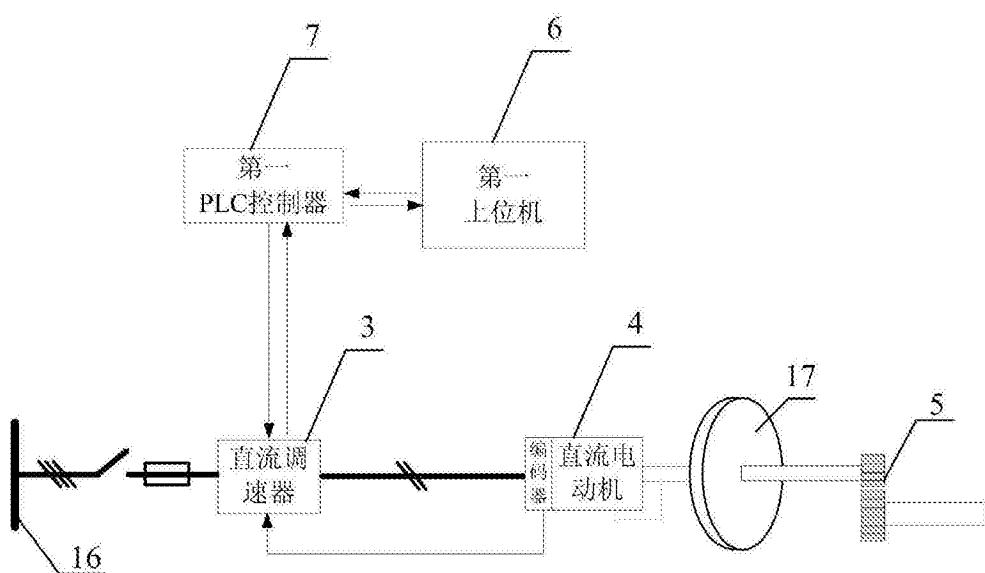


图2

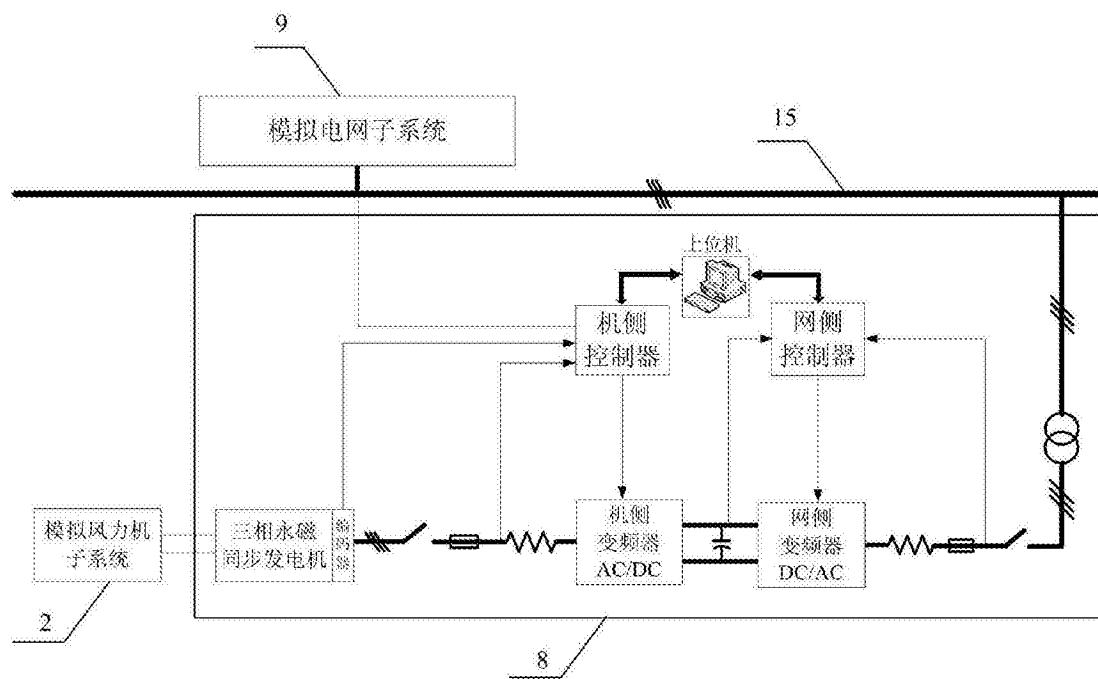


图3

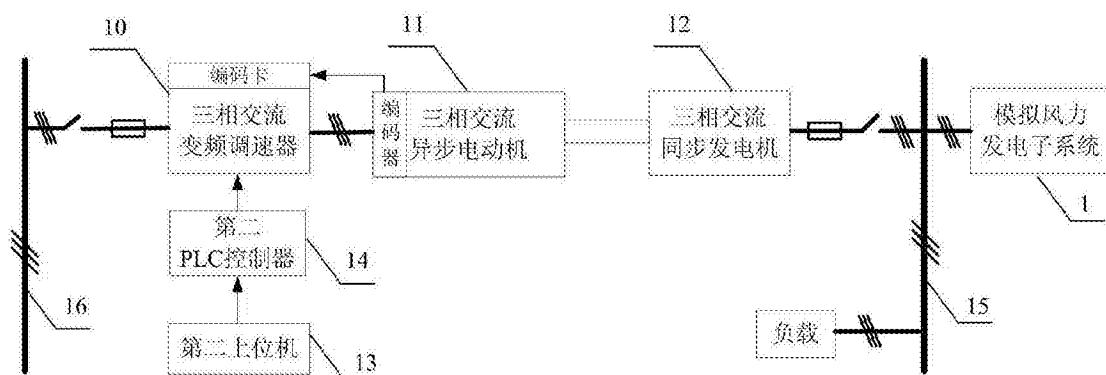


图4