

# 变频技术在风力发电机组及电气系统中的应用

## Application of Frequency Conversion Technology in Wind Turbine Generator and Electrical System

李维聪

Weicong Li

哈尔滨电气国际工程有限责任公司 中国·黑龙江 哈尔滨 150000

Harbin Electric International Engineering Co., Ltd., Harbin, Heilongjiang, 150000, China

**摘要:** 目前,人们对于节能环保观念越来越重视,如何使各机械高能耗情况得到降低,提高能源使用率,使风力发电机组电能输出更加的平滑稳定,让电力用户需求得到满足,成为现代各行业尤为重视的内容。风机电器系统属于人们日常生活生产的重点,对风电机组调整需求不断提高。

**Abstract:** At present, people pay more and more attention to the concept of energy conservation and environmental protection. How to reduce the energy consumption of various machinery, improve the energy utilization rate, make the power output of wind turbine more smooth and stable, and meet the needs of power users are particularly important for modern industries. The electrical system of wind turbine is the focus of people's daily life and production, and the demand for adjustment of wind turbine is constantly increasing.

**关键词:** 变频技术; 风力发电机组; 电气系统

**Keyword:** frequency conversion technology; wind turbine; electrical system

**DOI:** 10.12346/etr.v5i1.7604

## 1 引言

随着人们对生产生活用电量的需求越来越多,也增加了风力发电机组的运行效果。越来越大的风电机组规模对风力发电机组稳定运行造成了影响,包括发电机组运输功率等问题。控制电网中传输功率在稳定范围中,从而使风力发电机组的运行稳定。但是,自然环境中并没有固定的风力强弱,而是在其他因素微小变化而改变,对风力发电机稳定运行造成干扰,导致边电机输出功率的稳定性出现问题。在风力发电机组中使用变频器,以此解决此技术问题,使风力发电机运行速度稳定,从而实现稳定功率的输出<sup>[1]</sup>。

## 2 变频器在风力发电机组中的工作原理

### 2.1 工作原理

风力发电机组的运行能够实现电力和定子的网络传输连接,只要使电子转速不变,就能够使电网输入功率。在风速

和风力出现变化的时候,转子也会改变。运行速度会对定子运行速度造成干扰,通过转子励磁电流交直流情况,能够控制定子稳速运行。转子电流输出情况能够利用后级变频器进行控制。变频器能够调节转子输入电流频率,从而满足定子电流输入频率的电流工频,清除输入电流中的干扰电流,实现电网系统中过电压情况的控制与保护。针对变频器工作原理,从而在风力发电机组中使用变频器。

### 2.2 工作方式

风力发电机组的发电机为异步型,为了对发电机运行状态进行调节,使其和电网运行系统一致。目前,一般风力发电机组运行过程中变频器的工作方式为:

其一,双馈异步发电机在亚同步速度工作状态中运行。

其二,双馈异步发电机在超同步速度工作状态中运行,指的是运行速度比需求速度要大,外部风力强度能够提高风力发电机组转子的运行速度。此时,过大转子运行速度能够

【作者简介】李维聪(1986-),男,满族,中国辽宁沈阳人,本科,工程师,从事电气工程及其自动化研究。

使输入电流得到提高,威胁了系统输入功率的稳定性。通过变频器能够使励磁交流电流抵消转子输入电流,在稳定范围中控制系统电流电镀,促进风力发电机组运行的稳定性。

其三,双馈异步发电机运行在同步速度工作状态中,在外部风力控制的转子运行速度能够得到满足,变频器不改变转子输入电流,只需要输入直流电流就能够降低交流成分为0,这也是正常情况下稳步运行状态,这个时候的输入功率为正常。

### 2.3 双馈变频系统的性能

其一,转矩。在低速、启动过程中吸收风轮机械的功率,因为能够无极对频率和电压进行调节,从而提高发电机低速的运行功率。

其二,谐波。利用矢量控制算法,将功率变换装置与发电机作为整体,通过高性能调速时调控发电机定子侧功率因数、网侧功率因数和网侧谐波因数的关键指标,所以没有谐波污染,使谐波治理和无功补偿的投资成本得到降低。

其三,扩展能力。将DSP控制器应用在电控系统中,灵活实现系统的控制功能,保留所有通信接口,提高控制性能指标,使保护功能得到加强。

其四,功率因数。双馈控制的优势就是发电机在调速过程中对定子侧无功功率进行独立调节,有效改善系统的功率因数,功率因数具有较大的调节范围,使设备对电网容量资源使用率得到提高,降低因为无功电流导致的线路损耗。

## 3 变频技术在风力发电机组中的应用

### 3.1 风力发电机组的结构

在风力发电时改变风车转速,通过其他的控制方式能够得到恒频电能。通过并网实现定子上网,改变转子电流相位和幅值,调节功率,利用双向变频器实现转子侧励磁,电能与电网电压频率一样。

发电机定子绕组通过电网连接变频器,在改变风速的过程中会改变风力机和发电机的转速,通过发电机发送变频交流电,和电网进行连接。变频器主电路通过整流、逆变设计,整流电路使交流发电机交流电转变,利用电容滤波传输在电流中<sup>[2]</sup>。图1为风力发电机组的基本结构。

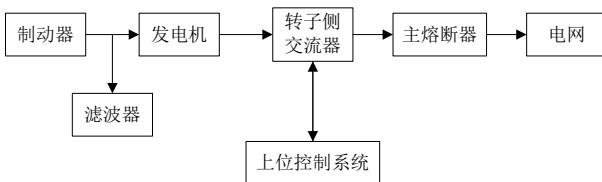


图1 基本结构

### 3.2 风电机组的控制目标

风力发电包括通过风能到机械能与从机械能到电能的转变过程,风轮系统能够使风能转变为机械能,控制系统与发电机能够使机械能转变为电能,发电和控制系统实现能源转

换。对转换过程性能、供电质量与效率具有影响,并且对前个转换过程运行方式、装置结构影响。所以,研制满足风电转换用而且运行可靠、控制良好、效率高的发电机系统,为风力发电工作主要构成。对风力发电机组控制系统控制目标进行考虑,要和运行方式重点结合:

其一,控制系统保证风电机组安全可靠运行,并且使风能朝着频率转变,之后送入电网中。

其二,控制系统使用计算机控制技术实现风电机组运行参数、故障处理和状态监控显示,实现机组最佳运行状态控制和管理。

其三,通过计算机智能控制对机组功率进行优化控制,定桨距恒速机组实现软切出、软切入和功率因数补偿控制,实现变桨距变速风电机组实现最佳尖速比控制、变速恒频控制。

### 3.3 调节转速

在并网之后,因为风速变化,发电机能够在三种工作状态中运行。在风速比额定风速要低的时候,变频器以风速和转速设定值给出桨距角度,这个时候发电机输出功率比额定功率要小,变频器以速度反馈值和功率反馈值给出转子励磁电流值,使发电机转速比同步转速要高,使机组能够在低风速下并网。在风速比额定风速要高的时候,发电机输出功率和额定功率并网,使转子电流给定值改变,发电机在超同步状态下运行。此时,发电机转子和定子电网输出功率,机组为额定功率运行状态。假如风速为瞬时上升,因为变桨距机构动作之后,发电机转速上升,桨叶角度没有改变,降低风速和发电机输出功率。此时,变频器使发电机转差率绝对值得到降低,从而降低发电机转速,在发电机组下降或者上升的过程中,变频器使转子励磁电流不发生改变,发电机输出功率不变。风速为瞬时下降,变频器动作原理和风速上升的时候相同,动作方向相反。

### 3.4 机组并网控制

风力发电机组并网条件:频率和电网频率一样、相位和电网相位一样、电压和电网电压一样。在机组并网的过程中,要求满足以上条件。在机组并网时,变频器将直流预充电缓解启动,假如吸合网侧接触器,大电势差会影响到转子接触器,从而构成瞬间过电流。在风机转速为1200r/min以上的时候,变频器将励磁提供给发电机转子,并且变频器对电网和发电机电压进行检测。假如满足条件,变频器控制发电机定子接触器闭合,从而使电网和机组能够零冲击连接<sup>[1]</sup>。

### 3.5 控制器设计

网侧变频器的控制测量利用PI控制器电网电压实现矢量控制,利用双闭环串级结构实现控制器设计,通过电压外环对直流母线电压稳定性进行保证,使有功功率电流信为电流内环提供,使网侧变频器的输出电流对设定值进行跟踪,实现功率因数的调节。利用电网电压不平衡时候的网侧变频器模型可以看出来,此电网电压定向矢量控制无法对二倍频

脉动进行控制。所以,实现全新控制策略进行设计。基于PIR控制器电网电压控制策略基于矢量控制策略,PI控制器通过PIR控制器所代替。在同步旋转坐标系中实现控制器的设计,如果电网电压不平衡,控制器PIR环节控制系统直流量,控制系统二倍频信号,对交流成分进行抑制。基于PIR控制器的电网电压定向矢量控制策略,根据直流母线控制对函数传递进行简化。

通过理论分析,PIR控制器对频率干扰信号进行滤除。但是,在实际使用时无法实现理想PIR控制器。主要因为:其一,实际使用的过程中通过模拟计算机和元器件实现。器件精度比较低,无法实现理想PIR控制器。另外,受到计算机数字系统位数限制,从而无法实现PIR控制器。其二,将谐振点去除,现场还存在其他高频频率点,PIR控制器幅值增益并不大,无法对其他谐波干扰进行抑制。其三,在谐振点中,PIR控制器在谐振点相交接近无穷大,会对控制导致无穷大。所以,为了使理想PIR控制器性能进行改善,使用截止频率构成全新PIR控制器。

在改进PIR控制器中,截止频率值越大,谐振频率的增益越小,增加贷款,使控制器在电压频率根据谐振频率波动的时候产生大幅值增益。即便是电压频率下降或者上升,控制器也会出现有效增益。但是,截止频率过大会降低谐振频率点,使谐振点上控制性能降低。

### 3.6 调节无功

使励磁电流相位与幅值改变,从而使发电机定子电动势与电网电压相位角改变,以此调节无功功率。在机组超同步运行过程中,发电机转子所发送的交流电存在谐波,发电机通过变频器的滤波、整流、再滤波。之后并入电网,使电网谐波干扰得到降低。电网电压存在一定范围的跌落,风力发电机组的各量存在大振荡,并且具备尖峰。变频器中Crowbar电路在电网电压跌落过程中,使转子回路电阻得到增加,对电子电流交流暂态分量进行抑制,保护直流母线电容器。

### 3.7 调节转速

为了避免出现风力发电偏差,要对转速进行研究,具体规划操作。在对风速比额定风速要低的时候预测,就要设置变频器为可控范围中,使风力发电变频器使用过程中根据规划运行。在一定运行时间中,能够对发电机根据风力进行保证。在具体调整的过程中,以额定功率使风力发电消耗得到降低,解决发电机运行中的问题。为了对机组额定功率为合理状态进行调整,要根据发电机组输出功率对电阻进行控制。此对于变桨距机构动作滞后进行阻止。另外,为了降低发电机组的转速,要调整变频器为输出功率比较小的区间

中,在风速瞬时下降的过程中使用针对性对策,对发电机组正常运行进行保证。

## 4 仿真分析

为了对论文转子侧变频器转子电流添加谐振控制,通过电网电压不平衡时候有效控制转子电流进行验证。使用PSIM仿真软件实现仿真验证,并且在1.6MW风机功率试验台中开展试验。在PSIM仿真软件中创建1.65MW双馈风力发电机模型,系统仿真参数设置为:额定电压、功率分别设置为690V、1.65MW。在仿真实验过程中,实现电网电压单相跌落33%的时候,实现转子电流不添加谐振控制实现仿真。

在1.65MW风机功率试验台中,在电网单相跌落33%的时候,实现转子电流不添加谐振控制的实验图详见图2。通过图2可以看出来,在电网电压单相跌落33%的时候,针对转子电流不添加比例-谐振控制,转子电流的谐波比较大,从而出现故障,影响风机的运行能力。实现转子电流谐振控制,能够实现转子电流谐波控制,快速降低电流震荡具备快速限流保护能力,从而提高整机系统可靠性。

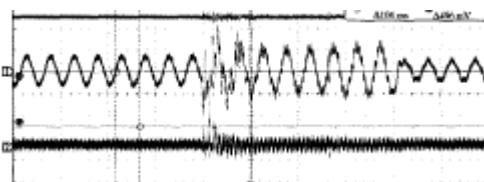


图2 谐振控制的实验图

## 5 结语

变频调节技术应用在风力发电机组风机中能够提高运行性能,实现节能效果,使噪声得到降低,被广泛应用到电机、泵中。将此技术在各行业中广泛使用,促进各行业的发展,为中国企业和社会经济发展打下基础。另外,其节能性质服务于中国风电发展,使风力发电调节控制能力得到提高,实现高效率、高能耗设备的发展。

## 参考文献

- [1] 李旭海,杜雨平.纳米重防腐涂料在海上风力发电机组中的应用研究[J].节能,2020(1):2.
- [2] 邹小洪.浅谈双馈异步风力发电机变频器运行控制技术[J].红水河,2020,39(2):5.
- [3] 赵英庆.基于谐振控制器的双馈风力发电机组网侧变频器控制策略研究[J].电力系统装备,2021(15):2.