

# 直驱风力发电机变桨距控制系统设计与实现

宋文字

北京和利时自动化驱动技术有限公司 北京 100013

**摘要:** 本文主要论述直接驱动风轮的涡轮机控制系统之中采用变桨距控制技术的具体应用。直驱风力发电机的转子速度调控采用 PI 控制器, 通过调整控制器参数, 以适应不同桨距角下的气动转矩, 确保风力发电机转子到达发电机额定转速。本系统中, 风力发电机的旋转轴速度, 其调节依赖于变桨距控制系统, 并通过 PID 控制策略实现精准调控。在风力发电系统中, 主轴转速的调节是核心控制环节, 同时, 变桨角度的精准定位辅助电机控制, 是实现风力发电机变桨功能的关键技术。

**关键词:** 风力发电; 变桨距控制; 转速 PID 闭环控制; 紧急顺桨保护

## 前言

风力机的直驱化是风力机发展的一个趋势, 直驱型风力发电机组通过直接连接方式, 将风力机与发电机系统一体化, 无需传统风力发电系统中的齿轮箱, 这一设计提升了整个系统的稳定性, 并减少了故障发生的可能性, 去除了齿轮箱之后, 直驱风力发电机获得了包括在低风速条件下的高效运行、较低噪音水平、更长的使用寿命、更小的机组体积以及更低的运行维护成本等众多优势<sup>[1]</sup>。因此, 没有齿轮箱的直驱式风力发电机效率高, 噪音小, 使用寿命长, 设备体积小, 操作及维护费用更低等优势。

## 1 系统概述

本变桨距控制系统应用于 900KW 风力发电机组。变桨距系统的控制主要包括对发电机主轴转速的闭环管理、桨叶桨距角的精准定位控制、以及手动执行的维护旋转程序设定, 此外, 系统还具备故障的检测与保护控制功能, 同时涉及多个保护系统的智能切换机制。在风速低于设定标准的条件下, 对于采用变桨距技术的风力发电机组, 通过调节电磁转矩实现转速的精确控制, 目的是提升其对风能的转换效率; 当风速高于额定风速时 (此时发电机转矩为额定转矩, 值恒定), 通过变桨减少风轮吸收的功率, 使输出功率恒定。当然, 由于变桨驱动系统不能跟随上快速变化的风, 因此允许发电机转速瞬时升高, 将瞬变的风能以风轮动能的形式存储起来, 风速降低时, 再将动能释放出来, 从而使输出功率恒定 (此时, 风能被捕获, 但是没有被完全转换成电能)。

## 2 系统控制流程

控制系统主要包括上电初始化, 故障检测及处理, 手动调节, 自动调节运行等。上电后初始化, 进行数据采集及通讯。当有故障时进行故障处理; 满足手动命令时进入手动调桨功能; 无故障且非手动时进入待机状

态, 当风力发电机组有运行指令时进入自动调节运行状态。系统总体控制流程框图如图 1 所示:

## 3 控制系统软件功能

变桨距控制系统软件程序主功能模块是软件的主流程, 其调用其他程序、功能块, 如: 系统初始化, 数据采集, 通讯数据处理, 故障处理, 复位程序, 变桨控制程序等。

变桨距控制系统功能分以下部分实现:

- 1) 上电调用初始化子程序, 完成系统初始化、开机自检;
- 2) 调用接收、采集数据子程序, 接收风力机主控系统通讯控制命令, 变桨驱动器通讯数据, 采集处理模拟量、编码器数据;
- 3) 调用故障分类、判断以及处理子程序。在有故障并需要复位 (如主控复位命令) 时调用故障复位子程序。在无故障时根据主控指令进行手动变桨和自动变桨运行;
- 4) 检查系统故障、控制系统顺桨等安全功能, 在相应故障发生时选择正常顺桨、市电顺桨或备用电池紧急顺桨功能, 进入故障停状态;
- 5) 发送指令进行手动变桨测试 (包括单桨调节、往复测试、点动变桨调节)、紧急顺桨测试等功能;
- 6) 无故障时进入待机状态, 桨叶在 45° 桨距角待风状态;
- 7) 风速、风向、振动传感器等信号值满足自动运行条件时, 系统进行对风, 并自动变桨运行;

## 4 变桨距系统闭环控制

变桨距控制系统采用双回路控制系统: 针对风力发电系统中叶片的具体位置进行闭环 PI 调节, 同时对发电机的转速实施闭环 PID 控制, 对于发电机的转速控制, 采用闭环调节策略, 比较预定值与实际值, 进而调节变桨角度, 以确保输出功率的稳定性; 以实际测量的变桨角度值为依据, 实施闭环控制策略, 从而调节变桨电机的变频器频率。控制系统框图如图 2 所示:

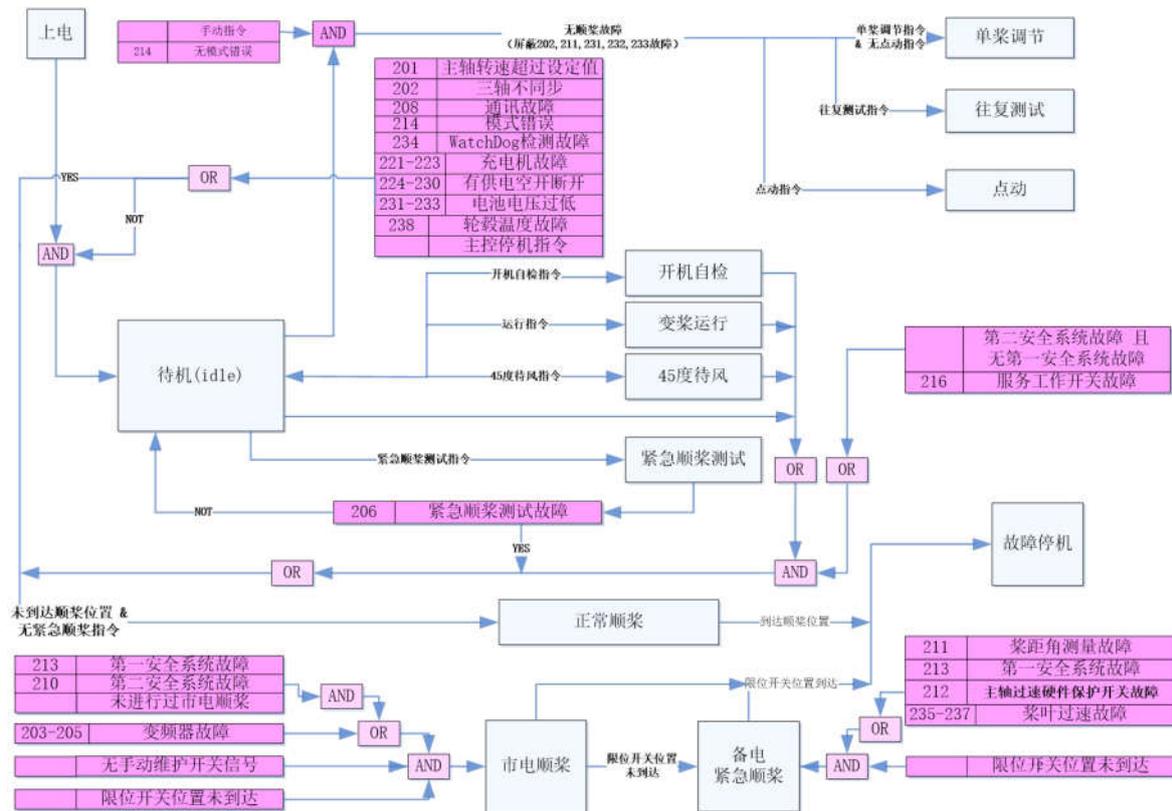


图1 系统控制流程图

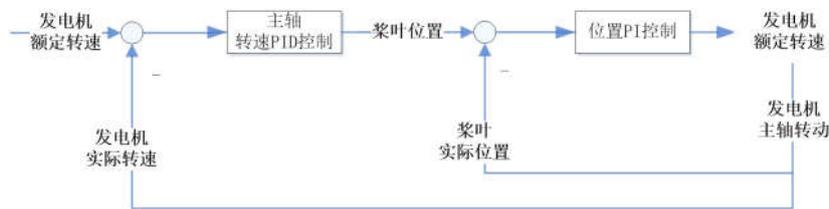


图2 控制系统框图

当经过滤波的发电机实际转速未到达额定转速时，主轴转速的PID控制器将输出信号传递给位置PI控制器，该位置PI控制器依据预设的位置参数与当前实际的桨叶角度位置值调整对桨叶电机变频器的输出，使桨叶角度会驱动桨叶电机转动，使当前的桨距角位置增大或减小以减小或增大桨叶受风面，以实现预定的额定转速。

### 5 控制系统测试

#### 5.1 安全测试

- 1) 超速报警，按程序控制进行备用电池顺桨；
- 2) 驱动器故障，按程序控制进行市电顺桨；

3) 收到急停信号后，按程序控制进行紧急顺桨；

4) 冗余安全顺桨程序：正常顺桨在45秒未完成时进行备用电池顺桨；若30秒未完成备用电池顺桨，复位驱动器进行市电顺桨；若30秒未完成，再次进行备电顺桨并计数，结束程序。

#### 5.2 自动变桨控制测试

1) 开机控制风机进入主流程，测试各种工况的控制功能，检查与变桨的通讯内容，检查控制系统上传指令的一致性。控制系统各状态、相应指令，以及主要数据状态详见表1所示：

表1 控制系各状态及指令

序号	风机状态	指令	额定转速	速度	角度
1	准备Ready	0	0	3	85
2	开机待风Start WaitWind	0	0	3	85
3	开机对风Wait yaw	0	0	3	85

续表:

序号	风机状态	指令	额定转速	速度	角度
4	自检Self check	自检 = 1, 其余为0	0	3	60
5	运行待风Wait wind	待风 = 1, 其余为0	保持	3	45
6	运行Run	运行 = 1, 其余为0	主控设定值	保持	保持
7	故障Alarm	急停 = 1, 或正常停机 = 1, 其余为0。	保持	保持	保持
8	解缆Untwist	正常停机 = 1, 其余为0。	0	保持	保持
9	变桨测试Pitch test	手动 = 1, 其余为0。	0	HMI/SCADA	HMI/SCADA
11	安全报警Safety alarm	正常停机 = 1, 其余为0。	0	保持	保持
13	紧急停机Emergency Stop	急停 = 1, 其余为0。	0	保持	保持

## 6 控制系统现场测试

### 6.1 桨叶调节同步测试

风力发电机在运行过程中进行变桨距控制时,三个桨叶的桨距角需要实时同步,偏差不能超过要求数值。图3为控制系统在风力发电机现场装机时,测试桨距角在 $65^{\circ}$ 至 $90^{\circ}$ 之间往复动作时,截取的实时三个桨叶的桨距角值,测试结果系统满足现场使用的偏差要求:

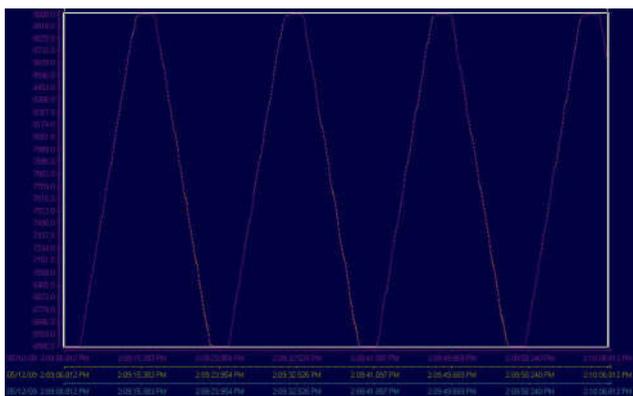


图3 桨叶往复测试实时桨距角

### 6.2 现场自动运行

风力发电机在运行时,需要按照设定主轴转速对桨距角进行调节,使之达到风力发电机并网发电所需额定转速。图4为在现场实际运行测试时,设置主轴转速为20rpm时(绿色曲线),桨距角(黑色曲线)和主轴实际转速(红色曲线),随风速(蓝色曲线)实时变化自动调节的曲线,测试可知,在现场实际运行中,系统能够根据风速实时调节主轴转速至设定的额定转速,进而进行并网发电。

### 6.3 风速变化时系统控制

风力发电机在运行时,风速变化较大时,需要系统保持主轴转速的稳定,下图为在风速变化较大时,系统通过桨距角的调节进行主轴转速调节的曲线,风速(蓝色曲线)波动较大时,桨距角(黑色)随风速变化,保持主轴实际转速(红色曲线)稳定为设定的主轴转速

(绿色曲线)时的曲线(图5),系统能够在风力发电机实际运行过程中风速变化较大时,实时调节保持主轴实际转速与设定的主轴转速保持一致。

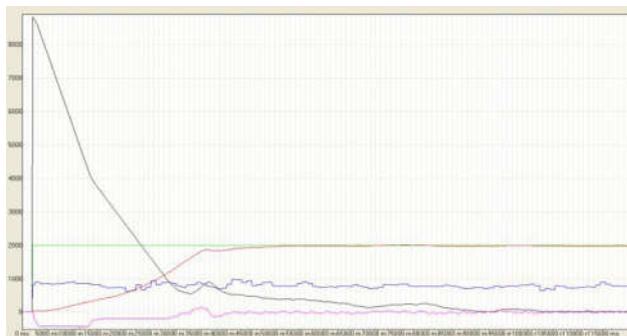


图4 系统变桨距自动调节

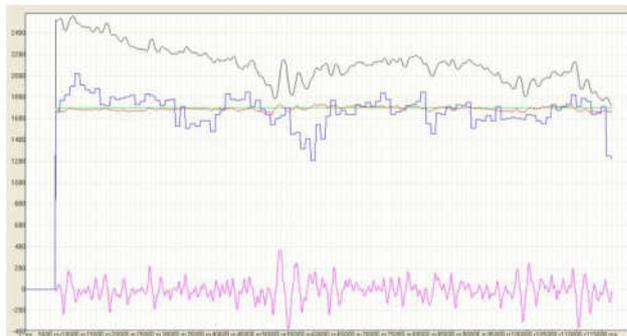


图5 风速波动时变桨距自动调节

## 结束语

本系统已经在风力发电场整机并网发电运行,变桨距系统各功能在经过实验室模拟调试、总装厂地面调试、现场上机调试、整机并网发电运行后,变桨距控制系统能够精准调整叶片的角度以及发电机的转速,确保实现预定的额定转速,从而顺利完成并网发电的过程。制系统的故障安全保护功能与保护功能之间的切换机制,能够满足现场的具体要求。

## 参考文献

[1]Tony Burton (美),武鑫(著),风能技术,科学出版社,2007年.