

风力发电变桨控制系统设计

孟彦京¹,常杰¹,朱玉国^{1,2}

(1. 陕西科技大学 电气与信息工程学院,陕西 西安 710021;

2. 山东长星集团有限公司,山东 滨州 256206)

摘要:为了降低控制难度,提高风力发电变桨系统可靠性,采用以模糊 PID 参数自整定为核心控制算法,设计了以 PLC 为控制器,由永磁同步伺服电机与伺服驱动器共同构成的变桨系统。通过软硬件的设计,较理想地实现了变桨系统的电气控制,在实际应用中获得了良好的控制效果。

关键词:风力发电机组;变桨控制;伺服控制;系统设计

中图分类号:TP276 **文献标识码:**A

Design of Wind Turbine Pitch Control System

MENG Yan-jing¹,CHANG Jie¹,ZHU Yu-guo^{1,2}

(1. Electrical and Information Engineering Institute, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, Shaanxi, China; 2. Shandong Changxing Co. Ltd, Binzhou 256206, Shandong, China)

Abstract: In order to reduce difficult of control system, and improve reliability of pitch control system, the PLC was chosen as controller, and three-phase permanent magnetism synchronous motor (PMSM) was chosen as the executive motor, an electric pitch servo-motor control system composed of a PMSM and its servo-drive controller and PLC controller was designed. Fuzzy PID parameters self-setting was the core control algorithm. Through the software and hardware design, realized pitch control system electricity control, it has obtained the good control effect in the practical application.

Key words: wind turbine generators; pitch control; servo-control; system design

1 引言

风力发电机组可以分为定桨距和变桨距型。相对于定桨距风力发电机组,变桨距风力发电机不仅能够在更大风速范围内运行,具有较高的风能利用效率;并且在额定功率以上,变桨距风力发电机根据风速调节桨距角,使得额定功率点以上输出功率更加稳定。变桨距系统是风力发电机组实现变距控制和气动刹车的关键机构。本文以 CX56 机组(850 kW 无刷励磁同步风力发电机组)为控制对象采用了 SIEMENS 公司的 S7-300 系列可编程序控制器作为变桨距系统的控制器,以 4 kW 的三相永磁同步伺服电机做变桨系统的执行机构,实现了硬件组态及软件编程设计,完成控制系统的各种控制功能。

2 电动变桨系统运行过程

风力发电机组从能量转换的角度看可分为两

大部分:其一是风轮,功能是将风能转换为机械能;其二是发电机,它的功能是将机械能转换为电能。变桨系统的功能是借助控制技术和动力系统,使安装在轮毂上的叶片可以沿着纵轴方向旋转,以改变气流对叶片的攻角,从而改变风力发电机获得的空气动力转矩以控制风轮吸收的能量,改善桨叶的受力情况以及整机的能量吸收情况。总体来说,风力发电机组根据风速的不同,变桨系统一般运行在以下 3 个不同阶段^[1]。

2.1 启动过程

变桨距风力机在无风状态(本系统中为风速持续低于 3.5 m/s)时,叶片顺桨停机,桨距角处于 90°的位置,这样,气流对桨叶不产生转矩;当风速持续高于 3.5 m/s 时,当风力机由停机状态变为运行状态,桨距角由 90°以一定速度转到待机角度(本系统为 10°),若风速继续增加到切入风速满足并网条件时,要求进入发电状态,桨距角由待机角度继续减小到 3°桨距角在 3°左右时具

有最佳风能吸收系数)并网运行。

2.2 功率低于额定功率阶段

风力机并上网后,当风速低于额定风速工况时,风力机桨距角不加控制,保持在 3° 不变,风力机输出功率根据风速变化而变化,风力机运行在最大风能利用系数 C_{pmax} 处,转速控制在最佳转速下。

2.3 功率高于额定功率阶段

当风速高于额定风速时,风力机运行在额定功率状态。如果风速在高于额定风速阶段变化,在达到额定风速之前,要根据功率反馈信号,通过变桨系统调整叶片节距,改变气流对叶片攻角,从而改变风电机获得的空气动力转矩减小风能利用效率,控制电机功率,使机组功率输出保持稳定,同时保证满足风机的电气及机械的承受能力。

3 控制系统的硬件设计

3.1 风力发电机点动变桨控制系统结构

目前,大型风电机组普遍采用允许独立变桨距的三桨叶结构。图1为电动变桨距系统框图。电动变桨距系统一般包括变桨距伺服电机、控制器、电机驱动器、UPS、减速箱等。为了实现风机对叶片的异步控制,每个叶片都有自己的独立变桨机构即驱动装置。

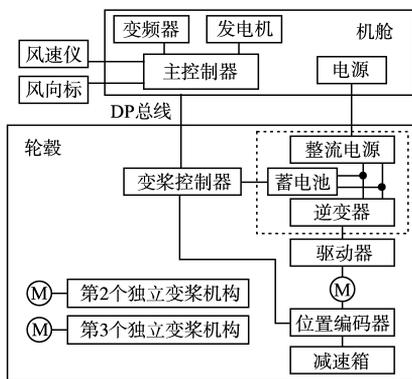


图1 变桨距系统的构成框图

Fig.1 Pitch control system structure drawing

驱动装置由一有制动装置和脉冲发送器的交流伺服电机以及一个有从动小齿轮的3级行星式传动装置构成。由于桨叶重量大,同时又有阻力作用,桨距角变化都比较缓慢,但是一般伺服电机转速都较高,所以需要减速机构,本系统采用减速比为176.8的3级行星减速箱。传动装置以法兰连接在铸在轮毂壁上的托架上。小齿轮与叶片轴承的内齿相啮合并在电机旋转时调节叶片。每个叶片的叶片角度利用电机上的位移传感器检测,

同时借助非接触时位移传感器和两个终端开关来监控。叶片的同步运转由控制装置调节。一叶片相对于另一叶片的最大许可偏差为 0.3° 。

机舱内的主控制器与轮毂内的变桨控制器之间通过DP总线连接,另外,变桨控制的供电电源是有机舱提供三相供电电源,DP总线及三相供电电源都是通过滑环连接。当风速高于启动风速需要由停机状态转为待机状态;或者是当风速高于并网风速,需要并网时;还有当风速高于额定风速且满足运行条件时,主控制器根据采集来的风速计算每个叶片需要调节的桨距角,由主控制器发出桨叶调节命令,通过DP总线转到变桨控制器然后由伺服电机通过减速箱带动叶片转动。图1中虚线部分为UPS电源,机舱内的三相供电电源经过滑环连接UPS,一方面对伺服电机供电,另一方面,将交流电整流成24V直流做变桨控制器的电源,同时对蓄电池充电,这是变桨部分能够安全运行的保障,当风力发电机组突然出现故障或者外接电源突然断开,要能使桨叶在蓄电池作用下短时间内达到顺桨状态,本系统要求以99s的速度在8s内完成^[2]。

3.2 变桨伺服电机的选型

在变桨距机构设计分析中,驱动力是一个非常重要的参数,只有在它确定的情况下,才能进行变桨距机构中各个部件的选择,同时为下一步的计算提供依据。风力发电机组在不同工作状态下,作用于桨叶变距轴上的阻力矩变化很大,但是因为电动变桨距执行机构在紧急顺桨时比正常工作时大得多,所以只需考虑紧急顺桨时的桨叶驱动力^[3],基于本系统中叶片的实际情况以及此紧急顺桨要求得出电机转矩 $T=15\text{ N}\cdot\text{m}$ 。本系统中选额定转速为2500 r/min的电机,为求得电机功率进行如下计算:

$$P = F \times v \tag{1}$$

$$T = F \times R \tag{2}$$

$$v = 2 R \times N \tag{3}$$

$$P = N T / 30 \tag{4}$$

式中: P 为电机额定功率; T 为电机输出转矩; v 为电机转动线速度。

将 $T=15\text{ N}\cdot\text{m}$, $n=2500\text{ r/min}$ 代入式(4)求得 $P=3927\text{ W}$,所以选择额定功率为4kW的电机;另一方面,因为轮毂内空间非常有限,所以要选择功率密度较大的伺服电机^[4]。基于以上考虑,本系统采用功率为4kW,转矩为 $15\text{ N}\cdot\text{m}$ 的三相永

磁同步电机做伺服电机。

4 控制系统软件设计

变桨系统作为风力发电机组的输入功率调节装置在风机系统中占据重要地位。变桨距控制器的原理框图如图2所示。在由停机状态到启动状态的转变过程中主要根据风速信号以及发动机的转速反馈信号来确定桨叶处于待机或顺桨位置;并网之后,功率控制器起作用,根据电机输出功率的变化调节桨距角使其保持在恒功率状态,在风速超出极限(切出风速)时迅速顺桨^[5]。

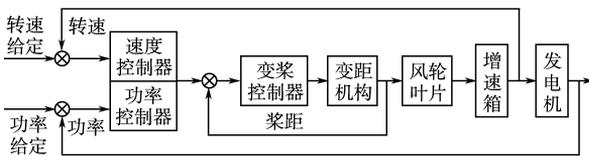


图2 变桨控制框图

Fig.2 Pitch control diagram

本控制系统的主要功能都是由 PLC 来完成的。系统控制算法全部以 STEP7-300 软件实现,当满足风力机启动条件时,主控制器通过变桨控制器发出指令使叶片桨距角匀速减小;在额定风速之上,通过调整桨距角使输出功率保持在额定功率上;在有故障停机或急停信号时,使变桨电机迅速动作带动桨叶顺桨。

风力机变桨控制程序流程如图3所示。当风速高于启动风速时,桨距角以 19s 的速度从 90° 减小到 10°。这时,如果与叶片连接的低速轴转速大于 8 r/s,桨距角继续进桨到 3°位置,此时如果低速轴转速持续 10 min 大于 10 r/s 则并网,否则退桨到 10°位置。在变桨距控制系统中,高风速段的变桨距调节功率是非常重要的部分,本系统中在高风速阶段调节器控制算法的核心是模糊 PID 控制,变桨系统中,模糊控制器根据功率偏差信号 e 及其变化率 ec ,调节比例系数 K_P 、积分系数 K_I 和微分系数 K_D 的数值。基于模糊逻辑的参数自整定 PID 控制器可以很好地适应非线性系统,具有较好的鲁棒性。由 PID 算法中各环节作用以及实际控制经验,能得出参数整定规则,这些规则是制定模糊控制规则的依据和基础^[6]。本文采用二维模糊控制,其模糊条件语句为:

If E and EC then U

其中, E 为功率偏差; EC 为功率偏差的变化率; U 为桨距角变化量。

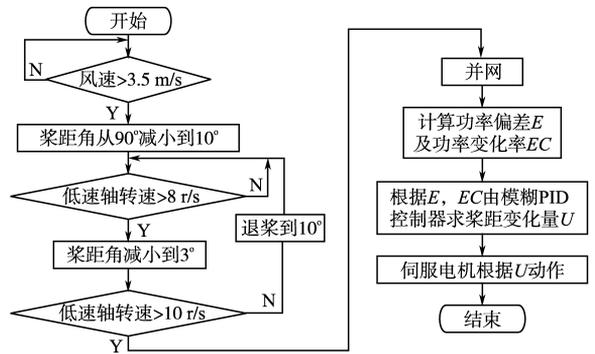


图3 变桨控制流程图

Fig.3 Pitch control program flowchart

控制规则的基本原则:功率偏差较大时,以考虑快速消除偏差为主;功率偏差较小时,主要考虑避免过大超调,保证系统稳定。本文采用 Mamdani 方法设计模糊控制器并采用最大隶属度法解模糊,最终确定 PID 参数整定的模糊控制查询表。

5 结论

采用西门子公司 S7-300 系列 PLC 作为大型风力发电机变桨距系统的控制器,已经在 CX56 型变桨距风力机上作了实验。现场的实验记录表明,采用这种 PLC 控制系统可以使风力机安全运行,在出现停机故障时可以迅速顺桨停机;运行时满足功率最优的原则,在额定风速之下时桨距角保持在 3° 不变,在高风速时能够根据输出功率调整桨距角的位置,使输出功率维持在 850 kW 左右,在高风速阵风时,功率波动不超过额定功率的 10%,满足设计要求。由于变桨距系统中采用了 PLC 作为控制器,使得该系统仅用简单的软件程序就完成了复杂的逻辑控制,而且抗干扰能力强,性能可靠。

参考文献

- [1] 容旭巍,汪至中,荆龙. 风力机电动变桨伺服系统的控制[J]. 机械与电子,2008(3):30-31.
- [2] 惠晶,顾鑫,杨元侃. 兆瓦级风力发电机组电动变桨距系统[J]. 电机与控制应用,2007,34(11):53-54.
- [3] 周祥云,惠晶. 高精度位置伺服控制风力机变桨距研究[D]. 无锡:江南大学,2008:17-20.
- [4] 刘光德,邢作霞,李科,等. 风力发电机组电动变桨距系统的研究[J]. 电机与控制应用,2006,33(10):32-33.
- [5] 张雷,鄂春良,李海东. PLC 在大型风力机变桨距系统中的应用[J]. 电气应用,2007,26(9):120-121.
- [6] 邢钢,郭威. 风力发电机组变桨距控制方法研究[J]. 农业工程学报,2008,24(5):181-182.

收稿日期:2009-06-24

修改稿日期:2009-11-05