

风力发电机组变桨系统的设计

胡国强

(上海电气风电设备有限公司, 上海 201306)

摘要: 为了解决风力发电机组在复杂多变的风况下,能够基本保持其发电机稳定运转的问题,将PLC、变频器技术应用到风力发电机的变桨系统中。开展了变桨系统自动控制的分析,建立了PLC、变频器和变桨电机之间的关系,利用PLC及PLC的模拟量输入模块对风电场自然风风速以及风力发电机组3片桨叶的桨距角度进行了数据信息的采集,并自动进行了内部数据的处理;然后再通过对变频器的输出控制进而控制变桨电机的工作状态,使3片桨叶旋转到与自然风风速相对应的桨距角度。在发电机能自动保持稳定运转的基础上,对其性能进行了评价。分析和验证结果表明,该系统实现了对风力发电机组变桨系统的自动控制。

关键词: 风力发电机;变桨;编码器;可编程控制器;变频器

中图分类号: TP13;TM614

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)05-0588-05

Design of wind power generators change oars system

HU Guo-qiang

(Shanghai Electric Wind Power Equipment Co.,Ltd., Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to solve the problems that the wind generator set in the complex wind condition can basic maintain the stability running, the PLC, frequency changer technology was investigated to the wind power generators change oars system. After the analysis of change oars system automatic control, the relationship between the PLC, frequency changer, and the change oars motor was established. The PLC and PLC analogue inputs module were used to collect the natural wind speed and the wind power generators three blades's angle data information, and the internal data was processed automatically. Through the control of frequency changer output, and then the change oars motor working condition was controlled, making three piece of blades rotate on and natural wind speed with the oars angle of the corresponding. The performance was evaluated on the condition that the generator can automatically remain stable operation. Through the analysis and verification, the results show that the system realizes the automatic control of the wind power generators change oars system.

Key words: wind generators; change oars; encoder; PLC; frequency changer

0 引言

在传统能源日渐匮乏、核能事故频发的今天,风力发电作为新型绿色能源,为全世界所倡导。政府部门大力支持发展风力发电,全国许多风力资源丰富的地方都建起了风电场。众所周知,发电机要想发出优质电能,其转速保持恒定额定转速运转是至关重要的。所谓风力发电机(以下简称风机)的变桨系统的功能就是让风机内的发电机转速能尽可能地达到恒定额定转速,从而大大提高风机发出的电能质量。当然要风机发出优质电能,除了变桨系统,还要在发电机的励磁方面加以控制。

变桨即当自然风风速发生变化时,风机的3片桨叶转到相应的角度,使风轮转速基本保持恒定,以确保风机内发电机转速保持恒定,使发电机可以按照功率曲线正常发电,达到其最大可利用率。因此,变桨控制系统在整个风机控制系统中是至关重要的。

本研究主要介绍风力发电机组变桨系统的设计。

1 变桨系统的结构组成及其相互的控制关系

变桨系统的3片桨叶分别安装在风机轮毂的3个面上,它们的变桨分别由3台带刹车和减速装置的交

流异步电动机驱动,3台交流异步电动机分别由3台变频器控制。为了保证3片桨叶的转向和转速一致,本研究在变桨轴承齿轮处安装了桨距旋转光电编码器,以检测3片桨叶的转向、转速以及桨叶的角度,使3片桨叶的桨距角度始终保持一致(若不一致会引起整个风机的剧烈振动而减少使用年限)。

变桨系统的桨叶最大迎风角度为 0° ,最小为 91° (这是由桨叶的设计形状所决定的)。当风机处于停机状态时,桨叶的桨距角为 91° ,桨叶处于避风状态。3片桨叶的变桨轴承各装有桨距零位标记,确定好零位位置后,本研究在距离零位的 91° 和 96° 位置处安装了两个施耐德公司生产的,型号为XCKJ1167H29的滚珠摆杆型限位开关。 91° 限位开关是顺桨停止角度, 96° 限位开关是风机紧急停止角度,当 91° 限位开关发生故障,失去作用时,桨叶会继续向前转动,直至碰到 96° 限位开关,风机安全链断开,整个风机紧急停止,同时桨叶也在 96° 限位开关处停止,起到双重保护的作用。当风机启动时,若桨叶不在初始位置 91° 时,可用手动控制变桨到 91° 。

本研究在风机的轮毂内装有3个电池柜和3个控制柜,3个电池柜内装有电池,其作用是当市政电网供电突然断开或风机对轮毂的供电非正常断开时,可以给变桨电机供电将桨叶顺桨至 91° 。另外,3个控制柜内分别装有变频器及断路器等电气设备。

变桨系统中的各主要组成部件,以及它们之间的基本控制关系如图1所示。图1中提到的安全链即:急停开关、扭缆开关、 96° 限位开关、振动开关、市电故障信号、火灾报警信号等一系列重要的安全信号串联在一起组成一条安全链,安全链一旦断开风机就立刻顺桨至 91° 并停止工作。

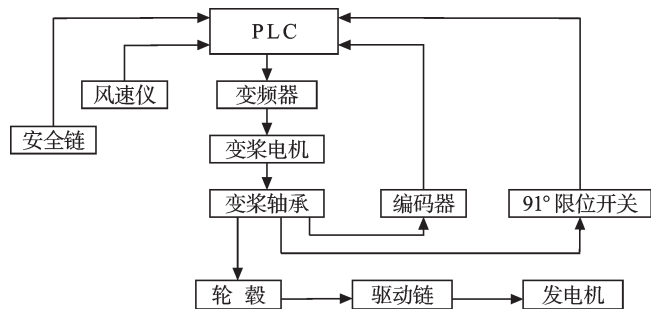


图1 系统控制框图

2 主要电气设备的选型及部分设备的工作原理

2.1 主要电气设备的选型

该系统中变桨电机选用的是德国SSB公司的带减

速及刹车装置的电机,其参数为:3相400 V AC,7.5 kW,16 A,1 440 r/min,电机刹车励磁线圈电压为24 V DC,4.9 A,减速比为1/78^[1-3]。变频器根据电动机的额定电流、额定容量参数选用了日本安川变频器,其型号为CIMR-G7A040P540,其电源额定电压为三相380 V~480 V,最大输出电压为三相380 V~480 V,最大适用电机容量为7.5 kW,额定输出容量为11 kVA,额定输出电流为21 A。每个电池柜内装有5个30 F,75 V的电池组成。PLC选用的是日本三菱FX_{2N}-64MR系列的,还加了PLC的扩展模块(模拟量输入模块FX-2AD),用于测风速仪信号的输入及变换。3个变桨角度编码器选用的是Baumer绝对值光电编码器,用24 V DC电源供电,有5个信号输入端,具体可以看桨距角编码器波形图,如图2所示。测风速仪选用的是德国kriwan 型号为INT10的风速计^[4-9],它也采用24 V DC电源供电,其测量范围为0~50 m/s,信号输出为模拟量输出DC 4 mA~20 mA。

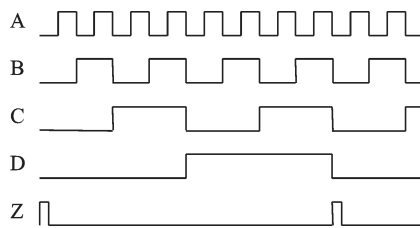


图2 桨距角编码器波形图

2.2 桨距角度编码器工作原理

桨距角度编码器内部有一个光电编码盘,光电编码盘有4个码道A、B、C、D,每个码道上按照规律在一定直径的圆板上等分开通若干个长方形孔。由于光电编码盘的转动轴上安装有尼龙齿轮,并与变桨轴承相啮合,因此当风机做变桨动作时,光电编码盘被变桨轴承带动旋转,经光电检测装置检测输出若干脉冲信号,可形成16组4位二进制数,从0000、0001、…、1111,每满16组4位二进制数就又回复到零,同时Z轴输出1个脉冲(如图2所示)。PLC可以通过对这5个信号的状态,对编码器转过的角度进行读数,因此这是一种绝对值编码器。当风机从 0° ~ 91° 变桨时,它输出的4位二进制数顺序是从小到大变化,而当风机从 91° ~ 0° 顺桨时,它输出的4位二进制数顺序是从大到小变化的。桨距编码器输出的数据经PLC计算后得出风机桨叶的角度大小,然后根据测风速计测得的风速数据,决定变桨或顺桨,直至桨距角度的数据大小变到风速数据的大小一致后,则停止变桨。桨距角编码器的转动轴上带有一个8齿的尼龙齿轮,它和一个180齿的变桨轴承齿轮啮合转动,通过计算可以知道桨距角编码器每旋转22.5圈($180 \div 8 = 22.5$),说明变桨角度为 360° ,通过计算又可知桨距角编码器每旋转1圈,变桨角度为

$16^\circ (360 \div 22.5 = 16^\circ)$, 这样就得出编码器的16组4位二进制数, 每变化一次为 1° 。另外, 变桨电机的减速器比值为1/78, 减速器与变桨轴承啮合的齿轮为15齿, 也就是说电动机转5.2圈($78 \div 15 = 5.2$), 变桨轴承转过1齿, 变桨轴承齿轮共180齿, 那么每1齿为 2° , 所以电动机转2.6圈就变桨 1° 。

2.3 FX-2AD模块工作原理

由于测风速仪的信号是模拟量输出的, 本研究在FX_{2N}-64MR基本单元的右边扩展总线上加了1块模拟量输入扩展模块FX-2AD, 放在0号模块位置。模块的偏移量与增益在出厂时已根据要求调整好。

由于模拟量输入模块FX-2AD转换后的数字量范围是-2 048~2 047(为4 000), 测风速仪的量程0~50 m/s, 每1 m/s风速的数字量约为80($4\ 000 \div 50 = 80$)。根据如图3所示的功率曲线图可知风速在3 m/s~11.3 m/s, 对应的FX-2AD的数字量是在240(3×80)~904(11.3×80)之间变化时桨距角为 0° , 风速大于25 m/s或小于3 m/s时桨距角为 91° , 而风速在11.3 m/s~25 m/s时风机桨距角会在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 之间变化, 所以对应的FX-2AD的数字量在904(11.3×80)~2 000(25×80)之间变化时, 桨距角会在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 之间变化, 因此数字量每变化1时桨距角变化 0.04° ($45 \div (2\ 000 - 904) = 0.04^\circ$)。

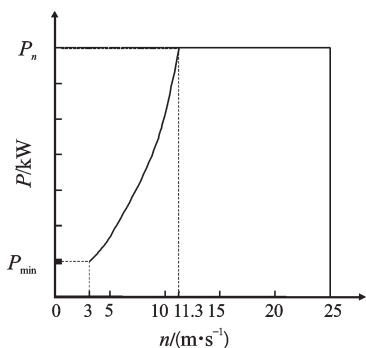


图3 功率曲线图

P_n —额定功率; $P_{\min}$ —起始功率; n —自然风速

3 变桨系统工作原理的介绍

3.1 风机的功率曲线图

风机在不同风速时的发电功率的变化状况如图3所示。根据功率曲线图可以知道风机的切入风速为3 m/s, 切出风速为25 m/s, 额定风速为11.3 m/s。当风速在3 m/s~11.3 m/s之间变化时, 变桨角度为 0° , 为最大迎风面, 发电功率随风速的变化而变化。当风速在11.3 m/s~25 m/s之间变化时, 变桨角度在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 之间变换, 本研究通过对迎风面的调整, 使风机的发电功率不再随风速的变化而变化, 保持恒功率发电, 即满功率发电。

3.2 FX-2AD模块与桨距角编码器在不同风速时的工作情况

通过对功率曲线图的分析可以得出扩展模块FX-2AD与桨距角编码器之间在不同风速时的工作情况。当风速在3 m/s~11.3 m/s之间变化时, 也就是FX-2AD的数字量在240~904之间变化时, 桨距角始终为 0° , 只有风速在11.3 m/s~25 m/s之间变化时, 也就是FX-2AD的数字量在904~2 000之间变化时, 风机才会有变桨, 而叶片的桨距角也会相应地在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 之间变化, 数字量每变化1, 桨距角就相应变化 0.04° 。数字量大约变化25, 桨距角相应变化 1° , 在PLC编程中测风速仪的数字量储存在数据寄存器D10中, 则 $(D10 - 904) / 25$ 后取靠近整数的桨距角度(风机在运行时, 变桨精度要求允许误差在 $\pm 2^\circ$, 所以可以四舍五入取整数)。桨叶的初始状态为 91° , 桨距角编码器每变化1次, 桨距角度就相应变化 1° (变桨减 1° 、顺桨加 1°), 编码器变化16次为旋转1圈。

3.3 变桨系统的工作流程

当风机3片桨叶均在初始角度 91° 时, 按下启动按钮, 由PLC根据测风速仪所测的风速大小, 计算出变桨角度, 然后通过变频器驱动变桨电机进行变桨。桨距角编码器将叶片的实际变桨角度数据及时反馈给PLC, PLC将其与测风速仪所测的风速数据大小进行比较, 若在要求的角度范围之内则停止变桨, 即变频器停止工作。运行一段时间后, 若自然风风速发生变化, 则测风速仪的风速数据也随之变化, 风速变大则测风速仪数据变大风机就顺桨, 风速变小则测风速仪数据变小风机就变桨, 直至到所要求的角度范围后停止, 也就是说风机会根据风速大小随时调整桨距角的大小。在3台变桨电机进行变桨、顺桨控制时, 3台电机必须同时启动, 以相同的速度工作, 并且还要同时停止工作, 以保证3片桨叶的同步。为了保证3台电机工作的一致性, 3台变频器的参数设置得要一致, 控制时要同时给3台变频器相同的信号。

风机的切入风速为3 m/s, 切出风速为25 m/s, 也就是说当风速大于25 m/s、或小于3 m/s、或按下停止按钮时, 风机会以 $5^\circ/\text{s}$ 的速度顺桨至 91° 。当风机因发生重要故障(包括机舱强烈振动超出允许范围、偏航时发生扭缆开关保护动作、急停按钮被按下、市政供电网突然停电等)而使安全链断开时, 则风机以 $9^\circ/\text{s}$ 的速度快速顺桨至 91° , 桨叶处于避风状态, 风机停止工作(市政供电网突然停电时, 风机会自动切换到电池柜供电以驱动变桨电机)。

当 91° 限位开关发生故障不能动作时, 叶片会继续顺桨, 直至 96° 位置开关发生动作, 风机故障停止。用

户必须修复 91°位置开关,然后手动变桨至 91°,使其动作后,按启动按钮方可正常工作。

4 PLC 的编程操作及变频器的参数设置

4.1 部分 PLC I/O 点的分配

PLC I/O 点的分配是 PLC 编程之前的必要准备,编程时要根据分配表将输入/输出设备和 I/O 点的编号一一对应。1#桨叶的 PLC I/O 点的分配表如表 1 所示,2#和 3#的 I/O 设备名称与 1#相同,只是 I/O 点的编号不同。

表 1 1#桨叶的 PLC I/O 点的分配表

输入设备名称	输入点编号	输出设备名称	输出点编号
启动按钮	X0	1#桨叶变桨	Y0
停止按钮	X10	1#桨叶顺桨	Y1
1#91°限位	X1	1#多段度 1	Y2
1#96°限位	X11	1#多段度 2	Y3
安全链	X4	手/自动转换指示灯	Y30
手/自动转换	X5	1#变桨指示灯	Y31
1#手动变桨	X6	1#顺桨指示灯	Y32
1#手动顺桨	X7		
1#编码器 1	X20		
1#编码器 2	X21		
1#编码器 3	X22		
1#编码器 4	X23		
1#编码器 5	X24		

4.2 变桨速度组合

变桨速度组合表(如表 2 所示)内 Y2~Y23 为 PLC 的输出点,与 3 个变频器的多段速控制端(S5、S6 端)相连。PLC 输出不同的信号可控制变频器输出不同的频率,进而控制变桨电机的转速^[10-11]。

表 2 变桨速度组合表

电机转速 (r·min ⁻¹)	风叶转速 (deg·s ⁻¹)	Y2	Y3	Y12	Y13	Y22	Y23
V ₁ =312	2	1	1	1	1	1	1
V ₂ =780	5	1	0	1	0	1	0
V ₃ =1 404	9	0	1	0	1	0	1

4.3 变频器参数的设置

变频器的参数设置是根据变桨电机的参数及工作状态设定的。1#变频器的部分主要参数及其设定值如表 3 所示,2#、3#变频器的参数和 1#变频器一致。其中加、减速时间与 S 特性时间可以由用户到现场根据实际情况反复试验后设定。频率指令设置即为多段速设置,设定值要根据表 2 内的电机转速值加以设置。

表 3 1#变频器的部分主要参数及其设定值

参数	名称	出厂 设定	设定 值	备注
A1-00	显示语言选择	0	0	英语
A1-01	参数存取等级	0	2	全部
A1-02	控制模式	2	3	带 PG 矢量控制
A1-03	初始值		2 220	
B1-01	选择频率指令	1	0	无模拟量输入
C1-01	加速时间	10	1	根据实际调整
C1-02	减速时间	10	0.5	根据实际调整
C2-01	加速开始时的 S 特性时间	0.2	0.3	根据实际调整
C2-02	加速完了时的 S 特性时间	0.2	0.2	根据实际调整
C2-03	减速开始时的 S 特性时间	0.2	0.2	根据实际调整
C2-04	减速完了时的 S 特性时间	0	0.2	根据实际调整
D1-02	频率指令 2	0	26	
D1-03	频率指令 3	0	46.8	
D1-04	频率指令 4	0	10.4	
E1-01	设定输入电压	400 V	400 V	
E1-06	基频	60 Hz	50 Hz	
F1-01	PG 参数	600	2 048	
F1-05	设定 PG 旋转方向	0	0	
H1-03	选择端子 S5 的功能	3	3	
H1-04	选择端子 S6 的功能	4	4	
H3-05	多功能模拟量输入功能	2	1F	无效
H3-09	多功能模拟量输入功能	2	1F	无效
L8-05	输入缺相保护选择	0	1	1 有效
L8-07	输出缺相保护选择	0	1	1 有效

4.4 PLC 与变频器之间的系统接线

PLC 与变频器之间的系统接线即 PLC 的 I/O 点接线与变频器各端子的接线。PLC 的部分输出点与 1 号变频器部分端子的接线(2、3 号变频器与 1 号相同)如图 4 所示。图 4 中 1 号变频器的 R、S、T 3 个端子是电源输入端,接三相 380 V 交流电源;U、V、W 3 个端子是变频器的输出端,接变桨电机;PG 为变桨电机的编码器,也接在变频器的编码器接线端上,其控制方式为带 PG 的

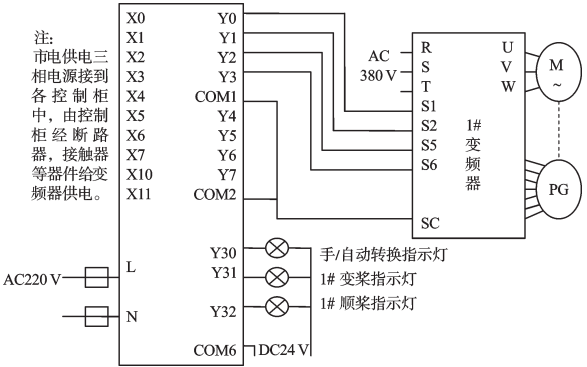


图 4 系统接线图

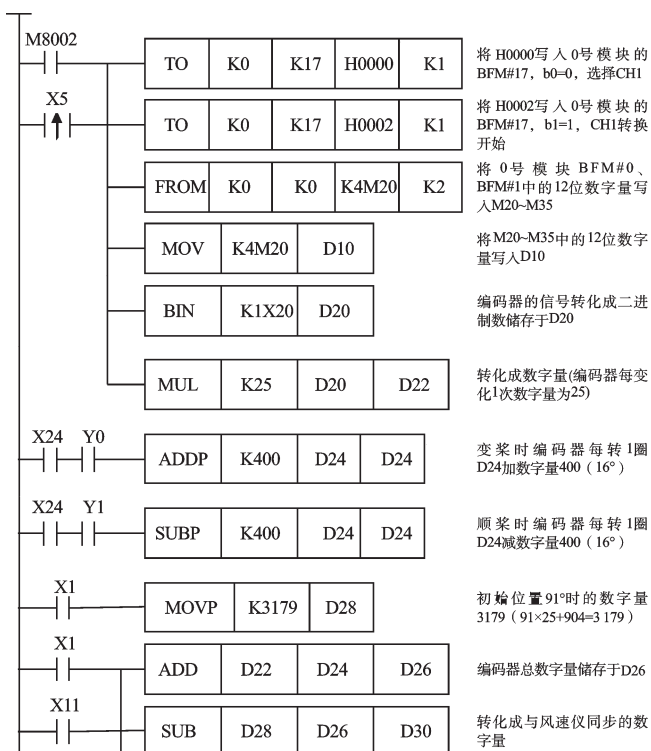


图5 测风速及信号模数转化程序图

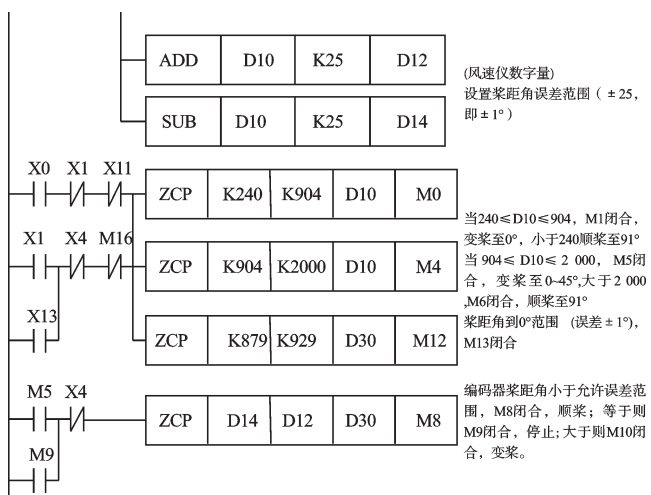


图6 编码器信号转化程序图

矢量控制。4 个端子 S1、S2、S5、S6 为变频器的控制端与 PLC 的输出点相连(具体如表 1 所示),其中 S1 得电时为电机正转(即变桨),S2 得电时为电机反转(即顺桨),S4、S5 为变频器的多段速控制端,这里共用了 3 段速度(具体如表 2 所示),SC 端为公共端。

4.5 1#桨叶变桨系统的部分 PLC 程序

本研究列出了测风速仪信号模数转化的程序、1#桨叶编码器信号转化的程序,以及它们之间相互对应并进行处理的程序,如图 5、图 6 所示。

5 结束语

本研究通过运用 PLC 技术对自然风风速及变桨角度进行的配合控制,实现了对风力发电机组变桨系统的自动控制,并介绍了风力发电机组变桨系统的工作原理,对风力发电机组变桨系统自动控制的实际应用具有一定的指导意义。另外,本研究对变桨系统的设计思路及方法纯属个人观点,所列举的许多设备元件及数据仅供参考,不足以作为实际使用的依据。

参考文献(References):

- [1] 张万忠. 可编程控制器应用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [2] 王照清,张毓麟,仲葆文,等. 维修电工[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社,2009.
- [3] 陈黎敏. 传感器技术及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [4] 高安邦. 薛岚. 刘晓艳,等. 三菱 PLC 工程应用设计[M]. 北京:机械工业出版社,2011.
- [5] 刘远娟. 三菱 PLC 在桥式起重机中的应用[J]. 机电工程技术,2011,40(6):103-104.
- [6] YASKAWA Electric Corporation. Varispeed G7 INSTRUCTION MANUAL[K]. YASKAWA Electric Corporation,2007.
- [7] Baumer IVO GmbH & Co. KG. Assembly Instructions Absolute Encoder-SSI[K]. Baumer IVO GmbH & Co. KG,2007.
- [8] MITSUBISHI Electric Corporation. FX1S, 1N, 2N, 2NC PROGRAMMING MANUAL [K]. MITSUBISHI Electric Corporation,2007.
- [9] KRIWAN Industrie-Elektronik GmbH. INT10 Anemometer Technical Specifications (details) [K]. KRIWAN Industrie-Elektronik GmbH,2007.
- [10] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [11] 莫正康. 电力电子应用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2006.

[编辑:张 翔]