

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.10.021

风力发电机组主动偏航系统

张英, 孟明, 李少英

(河北工业大学控制科学与工程学院, 天津 300130)

摘要: 整个风电机组高效稳定运行的关键是控制技术, 而主动偏航控制系统是水平轴风电机组控制系统的重要组成部分。为了解决风向的不确定性对风机功率的影响, 笔者设计模糊控制器, 使风机准确跟踪风向, 完成最大捕获风能的控制策略。同时为了避免偏航过程中电缆的缠绕、绞死, 保护在强风天气下工作的风机, 对风机的解缆和90°侧风提出了设计思路, 给出了具体控制流程图。结果表明: 该套主动偏航系统的存在可以使风力发电机运转平稳可靠, 高效利用风能, 符合偏航系统的控制要求。

关键词: 风电; 偏航控制系统; 模糊控制; 解缆; 90°侧风

中图分类号: TP273⁺.4 **文献标志码:** A

Active Yaw System of Wind Generating Set

Zhang Ying, Meng Ming, Li Shaoying

(School of Control Science & Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: Control technology is the key unit of efficient and stable operation for the wind power system, the yaw system is an important controlling part of the horizontal axis wind-driven generator system. To address the impact by uncertainty wind on the fan, this article use the fuzzy logic control technology to make sure that wind generators accurately track the wind direction and change is always consistent for maximum capture of wind energy control strategies. Fans of the untwisting and 90 degrees crosswind design ideas and specific control flow chart are put forward in order to avoid winding cable or hanged during yaw, also, protect the fan from the strong wind weather. The results show that the existence of the yaw system can make the wind turbines work smoothly and reliably, use the wind energy efficiently. This approach is consistent with the yaw control of the system requirements.

Keywords: wind power; yaw control system; fuzzy control; untwisting; 90 degrees crosswind

0 引言

随着全球气候变暖和国际原油等不可再生资源的日益匮乏, 各国政府尤其是发达国家日益重视新兴绿色环保能源的开发与利用^[1]。风力发电是一种可开发利用能源, 以其无污染性、可再生性受到重视^[2]。风向具有随机性, 又总是在不停变化, 整个风电机组高效稳定运行的关键是控制技术, 而主动偏航控制系统是水平轴风电机组控制系统的重要组成部分。因此, 笔者对风力发电机偏航系统进行研究, 以保护风机和提高风能利用率。

1 主动偏航系统的主要功能

主动偏航控制系统有3个主要功能。

1) 正常运行时自动对风。偏航系统的原理框图如图1, 其工作原理为: 通过风传感器将风向的变化传送到偏航电机控制回路的处理器中, 经过判断决定偏航的方向和角度, 最终达到对风目的。当对风结束以后, 风传感器失去电信号, 电机停止工作, 偏航过程结束^[3]。

2) 扭缆时自动解缆。当风机到达其规定的解缆

角度时, 控制系统对其进行自动解缆, 此时风力发电机立刻刹车停机, 然后启动偏航电机驱动机舱向相反方向旋转, 使机舱处于电缆无缠绕状态。风力发电机设置了一个极值角度以防止出现故障时自动解缆未动作, 在扭缆到达这个极值角度时, 扭缆保护器动作, 刹车停机, 报扭缆故障, 等待人工解缆。

3) 失速保护时偏离风向。当有特大强风发生时, 停机, 释放叶尖阻尼板, 桨距调到最大, 偏航90°侧风, 以保护风轮免受损坏。

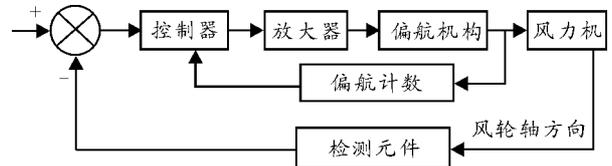


图1 硬件系统设计

2 主动偏航系统模糊控制器的设计

模糊控制方法属于典型的智能控制方法^[4-5], 用于自然科学和社会科学的许多领域, 其最大的特点是将专家的知识 and 经验表示为语言规则用于控制, 不依赖于被控对象的精确数学模型, 能够克服非线性

收稿日期: 2011-06-05; 修回日期: 2011-07-11

作者简介: 张英(1953—), 男, 河北人, 学士, 正高级工程师, 从事电站计算机巡检、监控和励磁等研究。

性因素的影响, 对被调节对象有较强的鲁棒性^[6]。模糊控制系统是一种基于规则的知识型控制系统, 其核心是具有知识性和智能性的模糊控制器。模糊控制器最简单的设计方法是将一系列模糊控制规则离散转化为一个查询表。这种模糊控制结构简单, 使用方便, 是最基本的一种形式。笔者采用二维模糊控制器, 按下列步骤设计模糊控制器。

首先, 确定模糊控制器的结构。模糊控制器的系统框图如图 2。

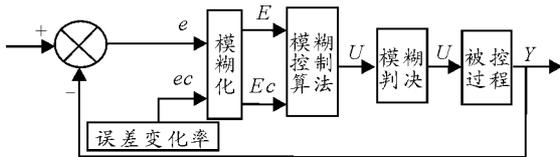


图 2 模糊控制器的系统框图

根据被控对象的实际情况, 确定输入变量和输出变量的个数与形式。笔者提出的双输入单输出的模糊偏航控制模型, 输入量为由测风装置测得的实际角度与理论角度的偏差 e 及其变化率 ec 。输出量为偏航控制系统的角度控制量 u 。

其次, 对输入输出变量模糊化并定义模糊隶属度函数。将输入语言变量 E 和 Ec 的论域以及输出语言变量 U 的论域分为 13 个等级, 即 $X, Y, Z = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 其对应模糊子集 $A, B, C = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$ 。三角形隶属函数的灵敏度、分辨率均比较理想, 因此, 文中的 E, Ec, U 的模糊子集都采用三角形隶属度函数。

再次, 定义模糊控制规则。对于模糊化的输入输出变量, 可根据一定的模糊模型或专家经验确定相应的模糊控制规则, 常用 if...then 条件语句表示。将设计原则总结为: 当误差比较大时, 控制量就要尽力缩小误差; 当误差比较小时, 控制量就应尽力消除误差, 当然也要注意保持整个系统的稳定性, 尽量减少超调和震荡。现将模糊控制规则加以归纳, 得出偏航系统的模糊控制规则如表 1。其中 E 和 Ec 的交叉部分代表 U 。

表 1 模糊控制规则表

E	Ec						
	PB	PM	PS	ZE	NS	NM	NB
PB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	ZE
PM	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	ZE
PS	NM	NM	NS	NS	ZE	PS	PS
ZE	NM	NS	NS	ZE	PS	PS	PM
NS	NS	NS	ZE	PS	PS	PM	PM
NM	ZE	ZE	PS	PM	PM	PB	PB
NB	ZE	ZE	PS	PM	PB	PB	PB

最后, 进行输出信息的模糊判决。模糊控制规则表里面的任何一条模糊控制规则都有着自已确定的模糊关系, 在这里面 $R_1, R_2 \cdots R_{49}$ 各自算法为:

$$R_1 = [(PB)_{Ec} \times (PB)_E]^T \times (NB)_U;$$

$$R_2 = [(PM)_{Ec} \times (PB)_E]^T \times (NB)_U; \cdots;$$

$$R_{49} = [(NB)_{Ec} \times (NB)_E]^T \times (PB)_U。$$

经过上述 49 个模糊关系 $R_i (i=1,2,\cdots,49)$ 的“并”运算后, 得到了代表偏航控制系统的总和的模糊关系 \bar{R} , 也就是: $\bar{R} = R_1 \vee R_2 \vee \cdots R_{48} \vee R_{49} = \bigvee_{i=1}^{49} R_i。$

将模糊关系 \bar{R} 计算出来以后, 依据推理合成的规则, 根据系统误差 e 的论域 X 和误差变化率 ec 的论域 Y , 结合语言变量误差 E 和误差变化率 Ec 的赋值表, 按论域 X, Y 所有元素的全面排列, 求取相应的语言变量控制量变化 U 的模糊集合, 同时使用最大隶属度法对上述模糊集合进行模糊判决, 获得了以论域 Z 的元素表示的控制量变化值 u ^[7]。

3 风力发电机自动解缆设计

由于自然风风向的不确定性和风的不稳定性, 机舱需要反复的偏航对风以获得最大功率, 因为偏航方向的不确定性, 若风机连续向某一个方向偏转, 则常会导致在反复的偏航过程中偏航电缆线的缠绕、绞死、甚至绞断, 这会造成比较严重的后果, 因此势必设法解缆。若在自动解缆的过程中出现了故障, 那么在扭缆到达一定的角度时, 就会上报扭缆故障, 主控制器会根据该类型的故障停机, 等待人工解缆。

为了保证风电机组在偏航过程中的安全, 将自动解缆分为由计算机控制的凸轮自动解缆和扭缆开关控制的安全链动作计算机报警。

凸轮控制的自动解缆过程如下: 根据角度传感器 A 和 B 所记录的偏转角度的情况, 来确定机舱进行正向解缆还是反向解缆。首先松开偏航闸, 屏蔽传感器的故障信号, 当需要解缆且角度传感器 A 为高电平时, 控制偏转电机正转, 当需要解缆且角度传感器 B 为高电平时, 控制偏转电机反转。同时检测偏航中心传感器的信号, 当偏航传感器中心信号为低电平时结束解缆; 此时偏航电机停止工作, 系统处于待机状态, 并向中心控制器发解缆完成信号。

扭缆开关控制的安全链保护: 若凸轮控制的自动解缆未成功, 则当扭缆达到最高限定圈数时 (比如设定 4 圈), 扭缆开关将开始动作, 触发安全链动作,

向中心控制器发出紧急停机信号并报故障信号，等待进行人工解缆^[8]。其控制流程图如图 3。

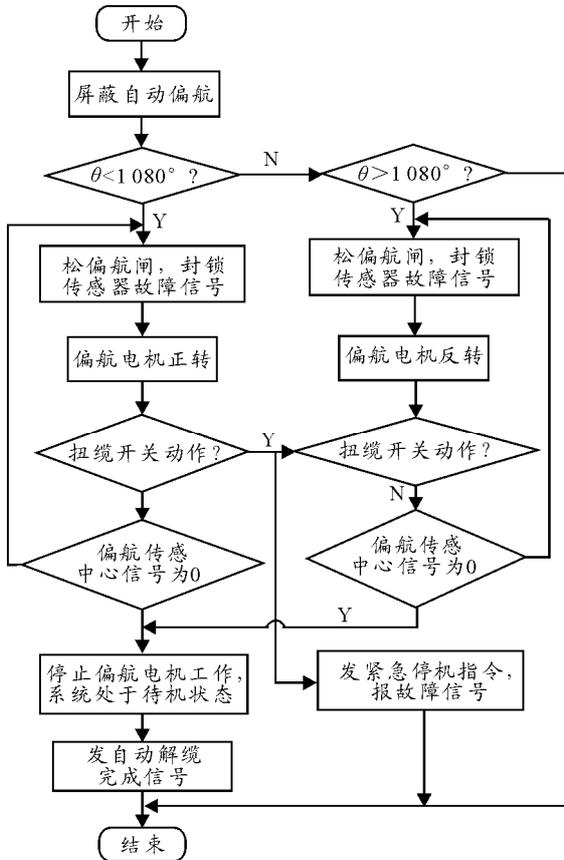


图 3 自动解缆流程图

4 90° 侧风的设计

90° 侧风是出于保护风电机组安全的目的而设计的。当外部环境很恶劣时，比如出现了暴风、强风将会对机组产生巨大影响，为了快速保证风电机组的安全，这时必须使机组从当前角度到 90° 侧风的位置所用时间最短，同时要屏蔽自动偏航程序，当到达侧风位置时，抱闸，若大风方向继续变化，侧风程序需要跟进风向，以确保系统安全。

图 4 为 90° 侧风控制流程图，下面给出它的控制过程。

1) $\theta=90^\circ$ ，或者 $\theta=270^\circ$ 时，表明机舱已经处在 90° 侧风的位置。

2) 如果 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ ，或者 $180^\circ < \theta < 270^\circ$ ，为使侧风的路径最短，先让风机反转一定的时间，然后再去判断 $\theta=90^\circ$ 或 $\theta=270^\circ$ ，若 $\theta=90^\circ$ 或 $\theta=270^\circ$ ，即说明机舱处于 90° 侧风的位置，如果偏航电机旋转的计时时间超过了偏航旋转 360° 所需要的时间，同时电机还在继续工作，那么这时立即让偏航电机停止工作，并向中心控制器发出安全停机和传感器故障

的反馈信号，若 $\theta \neq 0^\circ$ 或 360° ，同时计时的时间超时，那么控制电机使其继续动作，直到 $\theta=90^\circ$ 或 $\theta=270^\circ$ ，这时向中心控制器发出偏航完成的信号，并且上报复位请求信号^[9]。

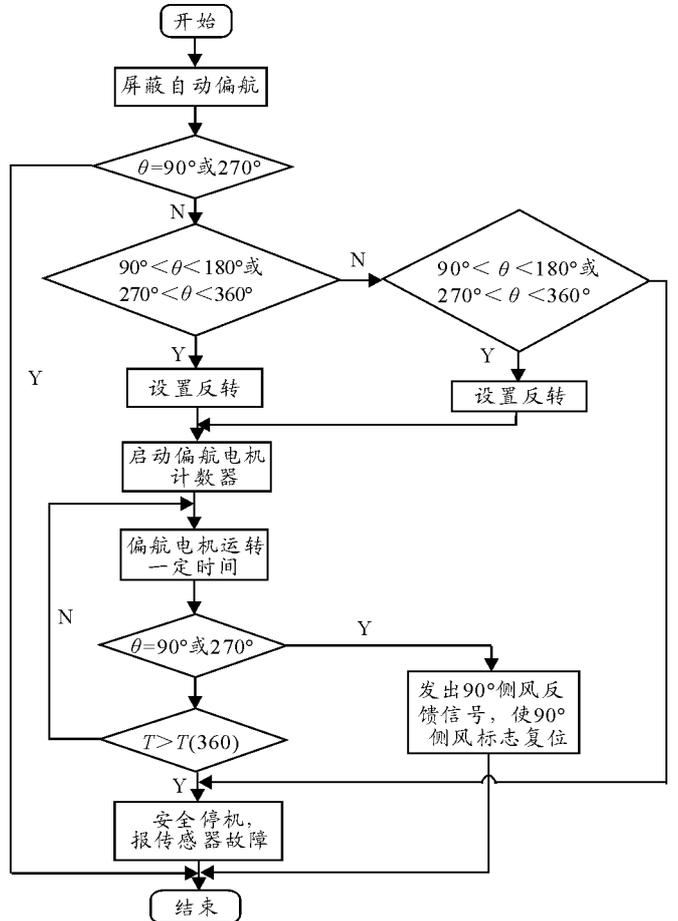


图 4 90° 侧风流程图

5 结论

利用模糊控制能较好地克服风向的随机性等不良因素，准确跟踪风向变化；由计算机控制的凸轮自动解缆和扭缆开关控制的安全链动作计算机报警二者相结合，能够有效避免电缆的缠绕和绞死；出于在暴风等恶劣环境下保护机组的考虑，设计了 90° 偏航控制流程图。整个设计简洁明了，符合偏航系统的控制要求。

参考文献:

[1] 刘彬, 伍凌川, 彭旭. 太阳能组件自动化装配技术现状及发展[J]. 兵工自动化, 2011, 30(4): 69-71.
 [2] 刘尹霞, 刘峰. 变速恒频双馈异步发电机组的控制技术[J]. 兵工自动化, 2006, 25(1): 67-68.
 [3] 张嘉英, 王文兰, 蔡永刚. 风力发电机组偏航控制系统[J]. 兵工自动化, 2009, 28(11): 54-55.