

基于模糊控制和功率控制的风电偏航研究

张英, 魏晓华, 吉小康

(河北工业大学 电气与自动化学院, 天津 300130)

摘要:就整个风电系统来说控制技术是机组高效稳定运行的关键,而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。风力发电机的偏航系统是一个典型的非线性系统,且难以建立精确的数学模型。针对风向变化的随机性和不确定性等特点,将模糊逻辑控制技术和功率控制相结合设计了控制器,实现了对风过程可控,能够准确跟踪风向,完成了最大捕获风能的控制策略。利用 MATLAB 进行仿真,证明所确定的方法符合偏航系统的控制要求,由仿真图可以看出,效果良好,具有较高稳定性、可靠性等。

关键词:风电;偏航控制系统;模糊控制;功率控制;控制策略

中图分类号:TP273.5

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)06-0212-04

Yaw Control System's Research of Wind Power Based on Fuzzy Control and Power Control

ZHANG Ying, WEI Xiao-hua, JI Xiao-kang

(School of Electrical Engineering and Automation, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract:For the entire wind power system, control technology is the key unit of efficient and stable operation, the yaw system is an important controlling part of the horizontal axis wind-driven generator system. The yaw system of the wind-driven is the typical non-linear system and difficulty in establish extract model. Due to the characteristics of the wind randomness and uncertainty, it designed the controller based on fuzzy logic control and power control. So that wind generators wind wheel normal direction of the wind direction and change is always consistent for maximum capture of wind energy control strategies. It was proved that the method can achieve the control requirement by MATLAB simulation. The effect is good, and it has higher stability and reliability, etc.

Key words:wind power; yaw control system; fuzzy control; power control; control strategy

0 引言

风能是可再生能源中发展最快的清洁能源,对风能的开发利用已成为新能源投资的热点。偏航控制系统作为风力发电机组控制系统的核心部分之一,对机组安全、稳定、高效的运行具有十分重要的作用^[1]。因此,有必要对风力发电机组的偏航控制系统进行研究。

1 偏航系统的结构及工作原理

偏航系统是使风力机自动朝向风向的一套装置,包括驱动电动机、齿轮组合、控制系统装置与测风装置等。测风装置等基本上要装到机舱上面的尾端,要求就是风向标的方向要和叶轮法线的方向保持一样,这样才能测量准确,最终获得的风向和叶轮法线方向的夹角就是要偏航的角度^[2]。

偏航系统是风力发电机组特有的伺服系统^[3],主要实现两个功能:一个就是始终保持叶轮法线与风向一致,另一个是当机舱向同一方向转的圈数超过设定值时,为避免缆线损坏进行解缆。其工作原理:风向改变情况如何,这一信号由传感器获得,之后把信号发送到偏航电机所控制的闭合电路的控制器里,由处理器确定偏航方向和角度,使叶轮法线与风向一致,实现对风。进行偏航时,要产生很大的陀螺力矩,于是将电机与减速器联接,这样电机的转速就会减少,从而使偏航的力矩作用在回转体大齿轮上,进而促使了风轮进行偏航,达到对风。这一过程完成后,叶轮法线与风向保持一致,风向传感器信号就消失了,偏航电机停下来了,偏航也就完成了^[4]。

2 偏航控制策略的确定

风力发电机叶轮从风源中吸收的功率可以用下式表示^[5]: $P = K \cdot C \cdot V^3 \cos\beta$ 。其中, P 是风力发电机叶轮从风能里获得的功率; K 是由空气密度与风力发电

收稿日期:2010-10-25;修回日期:2011-01-09

基金项目:河北省发展计划项目

作者简介:张英(1951-),男,正高级工程师,研究方向为电站计算机巡检、监控和励磁等。

机叶轮转动经过的面积决定的; C 是风力发电机叶轮功率相关系数; β 是风力发电机叶轮法线方向与风向之间形成的角度, 也就是相对风向。显然, $\beta = 0^\circ$ 时功率最大, $\beta = 0^\circ$ 附近 $\cos\beta$ 的值变化不大, 而通常要求风速相同时风轮所获得的功率要大于可吸收功率最大值的 95%, β 可以定在 $(-15^\circ, 15^\circ)$ 这个范围内。因此, 设计风向传感器的时候, 满足 $\beta > 15^\circ$ 或 $\beta < -15^\circ$ 这个范围内能够获得相应的输出信号就行。控制器的偏航控制信号由风向传感器提供。由于处于下风向, 容易受到多种破坏性因素影响, 加上自身所设计的测向精度也存在一些不足, 得到的信号都不太理想, 对风精度降低, 从经济角度出发, 文中提出大风向变化范围内采用模糊控制, 而在小风向范围内采用不需使用风向传感器的功率控制算法。

3 偏航模糊控制模型的设计

模糊控制^[6-8]不需要精确的数学模型, 能不受非线性因素的影响, 可以高效地综合专家的经验知识, 具有较好的动态性能和鲁棒性, 在机组最大风能捕获、发电机转速跟踪监测、机组的发电机最大功率捕获及其风力发电机组系统鲁棒性等方面均取得了比较理想的控制效果。

3.1 确定模糊控制器的结构

模糊控制器根据被控对象的实际情况, 确定输入变量和输出变量的形式与数量。通常, 输入变量采用输出变量与给定变量的误差与误差变化率, 通常用 E (或 e) 与 E_c (或 ec) 表示; 输出变量则为被控对象变量的变化, 通常用 Y 表示。文中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理论转动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 。其结构如图 1 所示。

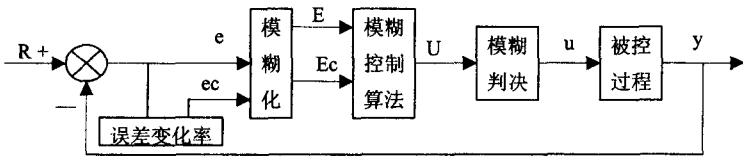


图1 模糊控制器的系统框图

3.2 输入输出变量的模糊化

根据模糊控制器的设计方法, 将输入语言变量 E 和 E_c 的论域量化为 13 个等级, 即 $X, Y = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。将其模糊子集 $A, B = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$, 它们分别代表|负大, 负中, 负小, 零, 正小, 正中, 正大}。设输出语言变量(控制量变化) U 的模糊子集: $C = \{NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB\}$, 将 U 的论域 Z 同样分为十三个等级, 即: $Z = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1,$

$2, 3, 4, 5, 6\}$

3.3 定义模糊隶属度函数

三角形隶属函数的灵敏度强、分辨率较高, 因此文中的 E, E_c, U 的模糊子集均采用三角形隶属度函数。

3.4 定义模糊控制规则

对于模糊化的输入输出变量, 可以根据一定的专家经验或模糊模型确定相应的模糊控制规则, 常用 if...then 条件语句表示。笔者也是参考实际动手的人平时使用操作总结得出的控制方法, 最后获得了一串用模糊条件语句构成的符合偏航控制系统的控制规则。总结来说就是: 若误差比较大的时候, 控制量就必须尽最大能力地缩短误差; 若误差比较小的时候, 就应该尽可能地减灭误差, 当然同时也要注意确保整个系统的稳定性, 尽量减少不必要的超调和震荡。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 所示。

表1 模糊控制规则表

$E \backslash E_c$	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

3.5 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也有着确定的自己的模糊关系^[9,10], 在这里面 $R_1, R_2 \cdots R_{49}$ 各自算法是: $R_1 = [(PB)_{E_c} \times (PB)_E]^T \times (NB)_U, R_2 = [(PM)_{E_c} \times (PB)_E]^T \times (NB)_U \cdots R_{49} = [(NB)_{E_c} \times (NB)_E]^T \times (PB)_U$, 经历上述 49 个模糊关系 $R_i (i = 1, 2, \cdots, 49)$ 的“并”运算过程, 能够得到代表了偏航控制系统的总和模糊关系 \bar{R} , 也就是: $\bar{R} = R_1 \vee R_2 \vee \cdots R_{48} \vee R_{49} = \bigvee_{i=1}^{49} R_i$, 在这里面的模糊关系 $R_i (i = 1, 2, \cdots, 49)$ 和 \bar{R} 我们都能够在底下计算。

综合整体的模糊关系 \bar{R} 之后, 根据推理合成的规则, 根据控制系统的误差 E 的论域 X 和误差的变化率 E_c 的论域 Y , 结合语言变量误差 E 和误差变化率 E_c 的赋值表, 按照论域 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, 而且使用了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 。

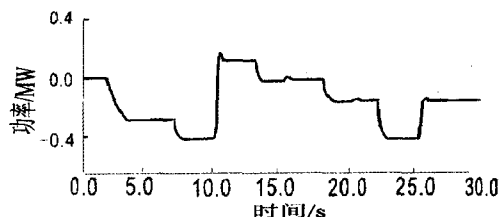


图5 功率曲线

6 结束语

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;功率控制实行简单,只需要测量发电机的电压和电流,能够通过功率变化情况来控制偏航电机旋转情况。两者相互结合使用,更能体现其优越性。

本方法的使用,有着重要的现实意义,为风电场的运行提够了很好的思路。

参考文献:

- [1] 高文元,褚金,井明波,等.大型风电机组偏航和变桨距控制系统研究[J].中国制造业信息化,2008(37):59-61.
- [2] 李晓燕,王志新.风力机偏航控制策略及系统设计[J].微计算机信息,2007(25):1-3.
- [3] 陈实.MW级风力发电系统单机电气控制技术研究——

无功补偿和偏航控制系统[D].南京:南京航空航天大学,2004:46-47.

- [4] Ekelund T. Yaw control for reduction of structural dynamic [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2000, 85: 241-262.
- [5] 徐德,诸静.风力发电机风向随动控制系统[J].太阳能学报,2000,21(2):186-191.
- [6] 刘曙光,魏俊民,竺志超.模糊控制技术[M].北京:中国纺织出版社,2001:1-16.
- [7] 刘向杰,夏靖波,柴天佑.一类基于正态分布隶属函数的模糊控制策略研究[J].控制与决策,1998,14(4):365-368.
- [8] 章卫国,杨向忠.模糊控制理论与应用[M].西安:西北工业大学出版社,2001:57-63.
- [9] 陈在平,杜太行.控制系统计算机仿真与CAD[M].天津:天津大学出版社,2001:180-200.
- [10] 吴晓莉,林哲辉.MATLAB辅助模糊系统设计[M].西安:西安电子科技大学,2002:6-100.
- [11] Jacobson Sheldon H, Yucsan Enver. Analyzing the performance of generalized hill climbing algorithms [J]. Journal of Heuristics, 2004, 10(4):387-405.
- [12] Farret F A, Pfitscher L L, Bernardon D P. Sensorless active yaw control for wind turbines[C]//27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Denver, USA: [s. n.], 2001.

(上接第211页)

5 结束语

随着计算机技术和虚拟现实技术的迅速发展,其也越来越多地应用于教育、培训和娱乐等行业中,由于其可视化程度高、交互性好,三维仿真技术能够提高用户对复杂三维对象和空间操作任务的认知。

文中通过构建显微镜生物实验教学系统,让学生既能了解显微镜的构造和功能,又可以让学主不断地练习与反复操作显微镜实验,有利于学生对于实验过程尽快认知与上手。但必须指出,虚拟实验不能完全替代真实实验,虚拟实验在某种程度上使学生认知与熟悉实验过程,对于真实实验的操作起到一定的指导作用。

参考文献:

- [1] 卞锋,江漫清,桑永英.虚拟现实及其应用进展[J].计算机仿真,2007,24(6):1-4.
- [2] 撒凤杰,蔡建乐,张飞刚.基于虚拟现实技术的牛顿环实验设计[J].实验室研究与探索,2009,28(4):46-48.
- [3] 张飞刚,蔡建乐.三维虚拟仪器的制作及其应用研究[J].实验技术与管理,2007(7):48-50.

- [4] 卢宇,陈宏敏,赖恒,等.虚拟现实技术在光学实验教学中的应用[J].福建师范大学学报(自然科学版),2004,20(3):106-108.
- [5] Vora J, Nair S, Gramopadhye A K, et al. Using virtual reality technology for aircraft visual inspection training presence and comparison studies[J]. Applied Ergonomics, 2002, 33: 559-570.
- [6] 王锐,钱学雷. OpenSceneGraph 三维渲染引擎设计与实践[M].北京:清华大学出版社,2009.
- [7] 汪成为,高文,王行仁.灵境(虚拟现实)技术的理论、实现及应用[M].北京:清华大学出版社,1996.
- [8] 庄春华,王普.虚拟现实技术及其应用[M].北京:电子工业出版社,2010.
- [9] Brooks Jr, Frederick P. What's Real About Virtual Reality [J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1999, 19(6):16-27.
- [10] 李锦涛.虚拟现实技术概论[N].中国计算机报,2001-01(20).
- [11] Martz P. OpenSceneGraph Quick Start Guide[M]. Pmartz, USA: Skew Matrix Software LLC, 2007.
- [12] 郭晓华,周发升,王文伟,等.扫描探针显微镜教学演示软件[J].电子显微学报,1999,18(1):145-147.