

Research of Wind Turbine Based on Power Fuzzy Control System

Linjing HU, Dongmin XI, Yonglan WANG

The Department of Automation, Inner Mongolia University of Technology Electric Power College, Huhhot China,010080 hulinjingrix@163.com

Abstract: The variable pitch wind turbine system is a higher-order, nonlinear, strong coupling, multivariable and time-variable system. The control system is an integrated control system. Above the rated wind speed, we use fuzzy control strategy about power feedback Through controlling the pitch angle ,we can change the attack angle of the blades in order to absorb a steady wind energy, and achieve constant power output. The simulation results show that fuzzy control method is easy to obtain better performance such as anti-disturbance and rapidness.

Key words: Power; Fuzzy Control; Simulation

风力发电机组的功率模糊控制系统研究

胡琳静, 席东民, 王永兰

内蒙古工业大学电力学院,呼和浩特,中国, 010080 hulinjingrjx@163.com

摘 要: 变桨距风力发电机组是一个高阶、非线性、强耦合、多变量时变的系统,其控制系统是综合性控制系统。在额定风速以上,采用功率反馈的模糊控制策略,通过对桨距角的控制,改变气流对 叶片的攻角,使风力机吸收的风能在一个稳定值左右,从而实现发电机恒功率输出。仿真结果表明, 模糊控制方法更具优越性,在风力发电系统中能取得较好的控制效果,系统具有较强的抗扰性和快速 性。

关键词: 功率; 模糊控制; 仿真

1引 言

作为一种清洁能源,风力发电代表着 21 世纪能源 产业的发展方向。据不完全统计,截止 2009 年 6 月, 中国进入风电整机制造业的企业有 70 余家,从事叶 片、齿轮箱、发电机、塔筒、轴承等关键零部件制造 的企业有上百家之多,有约十几所高校开展与风力发 电直接相关的研究与教学工作。

在可再生能源技术中,风力发电的技术最成熟, 过去 20 年里风力发电成本下降了 80%,成为发电成 本最接近火电的新能源,前景十分看好。预计 2020 年中国风电市场将达到 150GW,这意味着未来 10 年每 年新增长的风电装机将达到 10GW-15GW,届时将开始 大规模的建设海上风电。近年来,德国、丹麦、西班 牙、英国、荷兰、印度等国在风力发电技术的研究与 应用上投入了相当大的人力及资金,充分综合利用空 气动力学、新材料、新型电机、电力电子技术、计算 机、自动控制及通信技术等方面的最新成果,开发建 立了评估风力资源的测量及计算机模拟系统,发展了 变桨距控制及失速控制的风力发电机设计理论,采用 了新型风力发电机叶片材料及叶片翼型,研制出了变 极、变滑差、变速恒频及低速永磁等新型发电机,开 发了由微机控制的单台及多台风力发电机组成机群的 自动控制技术,从而大大提高了风力发电的效率及可 靠性。

风力发电机机组是一个高阶、非线性、强耦合、 多变量时变的系统,用开环控制或常规的 PID 控制很 难满足要求。模糊控制器不依赖控制对象的数学模型, 便于利用人的经验知识,能够很好地克服被控系统中 模型参数变化和非线性等不确定因素。因此,基于模 糊逻辑控制的智能控制技术于最近几年被引入了风力 发电机组控制领域,越来越受到研究人员的重视。

2 变桨距风力发电机组及控制系统

风力发电机组是实现由风能到机械能和由机械能

基金项目:内蒙古工业大学科研基金项目(No.X200837)

到电能两个能量转换过程的装置,风轮系统实现了从 风能到机械能的能量转换,风以一定的速度和攻角作 用在桨叶上,使桨叶产生旋转力矩而转动;发电机和 控制系统则实现了从机械能到电能的能量转换过程。

目前,在大型发电机组中大多采用变距风轮,变 桨距调节是沿桨叶的纵轴旋转叶片,控制风轮的能量 吸收,保持一定的输出功率。变桨距风力发电机组的 功率调节不完全依靠叶片的气动性能。当功率在额定 功率以下时,控制器将叶片节距角置于 0°附近,不 作变化,可认为等同于定桨距风力发电机组,发电机 的功率根据叶片的气动性能随风速的变化而变化;当 功率超过额定功率时,变距结构开始工作,调整叶片 节距角,将发电机的输出功率限制在额定值附近。桨 距调节的优点是机组起动性能好,输出功率稳定,机 组结构受力小,停机方便安全;缺点是增加了变桨装 置,增加了故障几率,控制程序比较复杂。

风力发电机组的控制系统主要包括主控制系统、 变桨控制系统、发电机变频控制系统、偏航控制系统 等。主控制系统是整个风机控制系统的核心部分,通 过各种传感器和连接的其他分散的控制系统,风机的 所有的监视和控制功能都通过主控制系统来实现,主 控制系统安装在机舱上,主控柜中包含有高度集成的 控制模块、超速模块、转速模块、各种空气开关、电 机启动保护开关、继电器等。

变距控制系统实际上是一个随动系统,其控制过 程如图 1^[1]所示。变桨距控制器通常为非线性控制器, 并与限幅装置结合在一起设计,节距角一般控制在 0~90°内,对节距角的变化率也有一定的要求,变距 系统的执行机构是液压系统^[1]。



Figure 1. Block diagram of pitch-controlled apparatus 图 1 变距控制结构图^[1]

常规选用 PID 控制器的变桨距风力发电机组功率 控制系统结构如图 2 所示, PID 控制器输出信号经过 限幅装置进行修正,传递给变距机构,通过液压系统 控制桨叶转动,从而改变桨叶的迎风面积,使功率维持在额定功率附近。由于 PID 控制器过分依赖于控制 对象的模型参数、理论推导假设条件太严格。对于模 型参数大范围变化、非线性、多变量的系统,难以满 足要求。而模糊控制器不依赖控制对象的数学模型, 便于利用人的经验知识,能够很好地克服被控系统中 模型参数变化和非线性等不确定因素,所以基于模糊 逻辑控制的智能控制技术于最近几年被引入了风力发 电机组控制领域。



Figure 2. Block diagram of power-controlled system of wind turbines

图 2 变桨距风力发电机组功率控制系统结构图

3 模糊控制器设计

仿真所用机组的参数如下:发电机额定转速 1500r/min;发电机额定功率 P_e=1000kw;风轮额定转 速 21.5r/min;风力机桨叶半径 R=25m;桨距角控制精 度 0.2°;参考节距角 0~90°;节距角的变化率β在液 压系统允许的变化范围-4°~+4°/s。

采用改变桨叶节距角以改变空气动力转矩的方法 来调节风力机的功率系数,根据给定功率和机组实际 输出功率的差值,通过模糊控制器得到变距机构的控 制量。目标是在高于额定风速的任意风速下,通过模 糊控制器调节桨叶节距角,将功率输出限制在允许的 范围之内。以功率误差 E 以及功率误差变化率 EC 为 模糊功率控制器的输入量,以桨叶节距角的变化量 U 为控制量的控制方案。

将功率误差 E 划分为 5 个等级, 5 个模糊子集的 语言取值为{ NM, N S, NO, PS, PM },选择三角 形、均匀分布、全交迭的隶属函数, 如图 3 所示。

功率误差变化率 EC 的论域相应的划分为3个等级,模糊子集3个语言取值{L0,ZR,Hi},它们的隶属函数选 gaussmf (高斯函数)型,如图4所示。

控制量 U 划分为 5 个等级, 模糊子集的 5 个语言 取值{ NM, NS, ZR, PS, PM }, 选择三角形、均匀 分布、全交迭的隶属函数, 如图 5 所示。

根据操作经验,将受控系统的控制过程用语言表



达出来,整理后建立系统控制规则库,如表1所示。



Figure 3. Subordination function of power error signal 图 3 功率误差信号的隶属度函数







Figure 5. Subordination function of output 图 5 输出量的隶属度函数

Table	1.	Rules of fuzzy contro
表	1	模糊控制规则表

E	EC			
	Lo	ZR	Hi	
NM	NM	NM	NS	
NS	NS	NS	ZR	
ZR	NS	ZR	PS	
PS	ZR	PS	PS	
РМ	PS	PM	PM	

对表中的每条控制语句,都可得到一个模糊关系,共有15条模糊规则:

规则 1: if E=NM and EC=Lo then U=NM 规则 2: if E=NS and EC=Lo then U=NS

建立好隶属函数和规则后,由模糊推理合成规则算出 模糊控制器输出的控制量U。表中的每条控制语句, 都可以得到一个模糊关系,例如"if E=NM and EC=Lo then U=NM"的模糊关系为

$$R_1 = (NM \times L_0)^{T1} \times NM$$

其中(NM×Lo)^{T1}表示由 NM×Lo 所得的矩阵按行 展开所构成的列向量。这样 15 条规则语句就可以得 到 15 个模糊关系: R₁, R₂, …, R₁₅, 从而总的模糊 关系为

$$R = \bigcup_{i=1}^{15} R_i = R_1 \bigcup R_2 \cdots \bigcup R_{15}$$

对于任意时刻的输入偏差 et 和偏差变化率 eet, 将其模糊化为 E 和 EC,由模糊推理合成规则算出 模糊控制器输出的控制量为

U= (E×EC) T2 oR

其中(E×EC)¹²表示由 E×EC 所得的矩阵按行 展开所构成的行向量。对模糊控制量 U,用重心法进 行模糊判决,可得量化论域上的精确控制量。

4 仿真分析

规

根据上面设计的模糊控制器,可以应用 Matlab 和 Simulink,建立风力发电机组模糊控制系统结构图 如图 6 所示,其中模糊控制器为双输入单输出控制器, 实质为非线性 PD 控制,其控制信号输出给变距机构, G(s)为风力发电机组的仿真模型。设计中还需要对实 际输入输出信号的论域与模糊集合的理论论域进行对 比分析,计算出输入信号的量化因子和输出信号的比 例因子,然后将设计好的模糊控制器*.fis 文件导入仿 真结构图中,即可进行仿真运行。



Figure 6. Simulation diagram of wind turbine 图 6 风力发电机组仿真结构图

以单位阶跃函数作为仿真实验输入信号,代表期 望功率 1000Kw。可以先采用简单的控制规则进行仿 真,然后逐步增加规则,由浅入深进行仿真研究,从 而能够获得一定的直观控制规律,有助于进行分析研 究。选用比较简单的控制规则时,变距机构输出曲线 和功率仿真曲线如图 7 和图 8 所示。





变距机构的稳态输出有一定的静差,并且波动比 较严重,在实际运行过程中因风力机叶轮重达数吨, 这种控制作用是不允许出现的,与此同时,功率输出 曲线也表明系统的跟随性没有达到控制要求,抖动现 象很严重,此时如果并入电网,会对电网造成严重的 扰动,稳态性能也不满足控制需要。因此在仿真过程 中,需要对模糊控制器各变量的隶属函数进行反复修 正,通过适当改变隶属函数的形状而获得更加满意的 控制效果,使超调量更小,达到我们控制的要求,而 且应使调节时间尽量缩短。我们最终得到较好的控制 效果如图 9、图 10 所示。





图 10 功率输出曲线

针对图 10 的功率输出曲线,可以应用 matlab 中 程序语言,获得系统输出功率的性能指标,如表 2 所 示。

Table 2. Property index 表 2 性能指标

上升时间	峰值时间	调节时间	稳态值	超调
0.6s	0.9s	2.0s	1.0	8%

通过仿真曲线及性能指标分析可以看出,采用模 糊控制,发电机输出功率 P。能够通过桨距角β的变化 而保持恒定,系统进入稳定后不存在抖动现象,曲线 比较光滑。但随着机组容量的不断增大,单纯靠变桨 距来调节风力发电机组的输出功率,并不能很理想地 实现发电机功率的稳定输出。

在普遍采用变桨距风力发电机的风力发电系统 中,除了常规的PID控制,模糊控制的规模也不断加大, 其他很多控制方法,如模型参考自适应、模糊神经网 络、CAN总线通讯、最优控制等技术也不断应用到风力 发电控制系统中。新型的变桨距风力发电机组采用了 RCC(Rotor Current Control)技术,即发电机转子电流 控制技术。一方面可以克服由于大型风力机叶轮惯性 大而引起的调节滞后现象,另一方面,在阵风和风速 变化频繁时,避免了桨距大幅度频繁调节,从而减少 发电机输出功率的大幅度波动和对电网造成不良影 响。

References (参考文献)

- YE Hangye. Control technology of wind turbines. [M]. Beijing: Machine Industry Press, 2006 83-90.
 叶杭冶,风力发电机组的控制技术,北京,机械工业出版 社,2006,83~90
- [2] WANG Chengxu, ZHANG Yuan. Wind Turbines. M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002: 1–12.

Power and Energy Engineering Conference 2010



王承煦,张源.风力发电.北京.中国电力出版社.2002:1-12

- [3] BordD. M. Novotny D.W Current Controllf. Vsi-pwmInverter. IEEE Trans.IA.1985: 53~68
- [4] Depenbrock M.Direct Delf Control(DSC) of Inverter-fed Induction Machines. IEEE Trans.PE.1988: 77~89.