

文章编号:1000-582X(2007)09-0001-04

大功率风电机组新型传动系的建模与仿真

何玉林¹,李成武¹,杜静¹,李丽丽^{1,2},黎明¹

(1. 重庆大学机械工程学院,重庆 400030; 2. 沈阳理工大学机械工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要:在行星齿轮传动的基础上提出了一种用于大功率风电机组的新型液力速度控制传动系,它包括风轮转子、行星齿轮增速机构、液力机械和同步发电机。建立了传动系统的动态数学模型,并以MATLAB/simulink为仿真平台建立了其仿真框图,对液力速度控制系统的速度调节特性进行了仿真研究。仿真结果表明新型传动系可以实现无级调速、变速输入、恒速输出,并在速度调节特性中显示了很好的稳定性和动态性能;它可以稳定电力的输出,提高风力的发电量,并减轻传动系统的尖峰负载。

关键词:风力发电机组;液力变矩器;无级调速;PID控制

中图分类号:TK614

文献标志码:A

风能作为可再生的清洁能源越来越受到各国政府的重视。随着风电技术的进步,变速风轮机已经被广泛地应用在风电技术方面,它可以提高风力发电量,稳定电力的输出,减轻传动系的尖峰载荷。为了实现变速运行,通常利用整流器减弱发电机转速和电网频率的变化。在国外,已经有人提出了实现变速运行的新方案,在文献[1]中,提出了一种流体静力学传动系,包括水压泵、水压存储器和水压马达,通过控制与发电机相连接的压力泵和水压马达就可以实现风轮转子的变速。提出了一种变速风轮发电机组功率分流传动系统,是解决中小型变速风轮机的理想方案。但风电技术正朝大功率方向发展,这两种方案用于大型风机上则存在一些弱点,第一种方案需要从电网吸收较多电能,降低了风力的发电量。第二种方案液压传动效率较低,导致整个传动系统效率偏低。近年来,随着液力控制技术的发展和,用液力控制系统实现开环或闭环控制的例子已比较常见。笔者提出了一种新型液力速度控制变速传动系统,建立了传动系统的动态数学模型,并对系统的速度调节特性进行了仿真研究。该传动系统克服了以上两种系统的缺点,适合应用在大功率风电机组上。

1 传动系的结构方案

建立了以行星轮系+导叶可调式液力变矩器+液力传动控制系统为核心的大功率变速风轮发电机组传动系统。变速风轮固连在第一行星排的行星架上,经第一、二行星排增速后与第三行星排的行星架相联接,导叶可调式液力变矩器的泵轮与输出轴相连,涡轮固接在第四行星排的太阳轮上。该传动系将变化的风轮主轴转速转变为恒速后输入同步发电机,实现传动系统的功率分流和无级调速控制,传动方案如图1所示。

2 传动系数学模型的建立

在风力的作用下,风轮主轴转速为 ω_w ,经第一、二行星排增速后速度为 ω_i ,导叶可调式液力变矩器涡轮转速为 ω_t ,泵轮转速为 ω_p ,输出轴转速为 ω_g 。液力机械共用了第三和四行星排,由行星排运动方程式,得

$$\omega_{i3} + k_3\omega_{q3} - (1 + k_3)\omega_{j3} = 0, \quad (1)$$

$$\omega_{i4} + k_4\omega_{q4} - (1 + k_4)\omega_{j4} = 0. \quad (2)$$

收稿日期:2007-04-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50375161)

作者简介:何玉林(1945-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事风力发电技术及装备,机械设计信息化、集成化、网络化,虚拟样机理论与技术的研究,(E-mail) heyulin@cqu.edu.cn。

$$2.2805 \times 10^{-1} \theta^3,$$

$$f_4(\theta) = 3.29 \times 10^{-2} - 7.252 \times 10^{-4} \theta + 2.9645 \times 10^{-5} \theta.$$

由上可知,方程(4)、(11)、(12)即为新型传动系的动特性方程。

3 传动系速度液力控制的动态仿真

新型传动系包含四排行星轮和导叶可调式液力变

矩器。导叶可调式液力变矩器由变矩器本体和导叶调节机构组成,它包含了一般控制系统的动力元件——泵轮,执行元件——涡轮,调节元件——可调导轮。因此再加入信号检测、反馈、比较、放大、控制器及驱动导叶调节机构的电动执行元件,就可以构成大功率变速风轮发电机组新型液力速度控制系统,如图2所示。

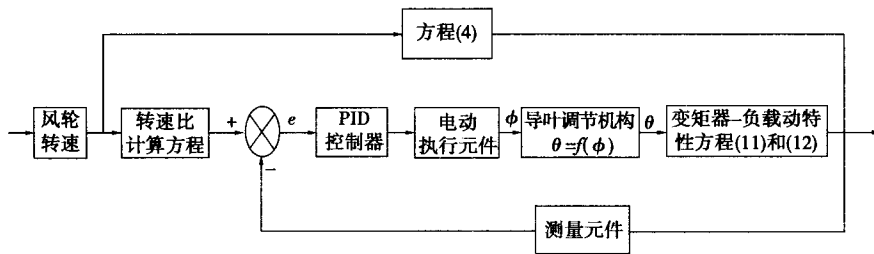


图2 液力速度控制系统图

电气控制部分的动特性比液力变矩器快得多,暂不考虑其动特性,电动执行元件采用伺服电动机,视其为积分环节;控制器采用PID控制器^[3-6]。

笔者所研究的新型传动系中的液力变矩器是以LB-46型变矩器为基型变矩器设计的,根据功率匹配优化结果,确定了 i_1, k_3, k_4 的大小。泵轮输入转速为1500 r/min。

图3所示为风轮输入转速为20 r/min和30 r/min时的阶跃响应。由图可见,液力控制系统具备良好的动态品质,阶跃输入为30 r/min时的最大超调量在10%,阶跃输入为20 r/min时没有超调量,动态响应时间约为5~10 s,仿真结果达到了设计要求。

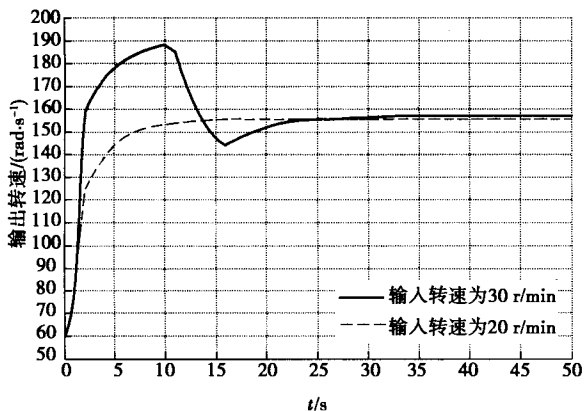


图3 风轮转速为20 r/min和30 r/min时的阶跃响应

图4所示为风轮转速为20 r/min和30 r/min时的液力变矩器的转速比*i*的响应,由图4可以看出,转速比*i*都稳定在液力变矩器的高效区,仿真结果与理论设计是比较一致的。因此,文中所建立的液力传动控制系统的数学模型是正确的。

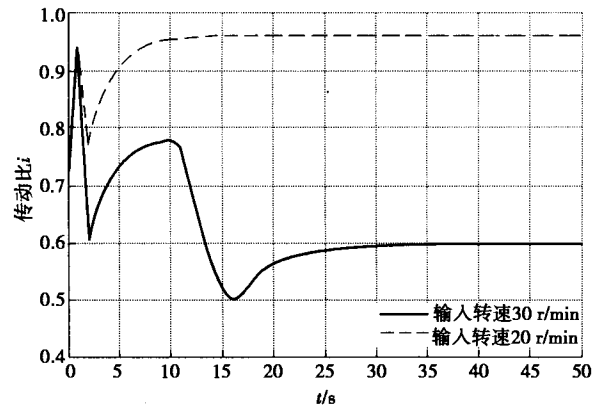


图4 风轮转速为20 r/min和30 r/min时转速比*i*的响应

4 结论

在行星齿轮传动的基础上提出了一种用于大功率风电机组的新型液力速度控制变速传动系,建立了传动系统的动态数学模型,并在MATLAB/Simulink下进行了仿真研究。为大功率风电机组新型传动系的研究和开发奠定了初步理论基础。与传统传动系统相比,新型传动系具备以下优点。

1) 无级调速。通过调节导轮叶片转角 θ ,可以改变与第四行星排太阳轮固连的变矩器涡轮转速,进而改变输出轴转速,实现无级调速。

2) 变速输入、恒速输出。风轮随风速的变化而变速输入,控制系统自动调节导轮叶片转角 θ ,使得变矩器涡轮转速与风轮经第一、二行星排增速后的转速合成后的输出速度为1500 r/min。输出轴与同步发电机相连,有利于稳定电力的输出,减小来自电网的反作用,发电机可以直接与高压输电网相连。

3) 提高了风力的发电量,减轻了传动系统的尖峰

负载。变速风轮能最大限度地捕获风能,风轮输入功率大部分通过行星齿轮直接传递给发电机,只有小部分功率通过变矩器分流到第四行星排的太阳轮上,用于调节输出轴的功率,液力变矩器传动效率又比较高,故能提高风力的发电量;同时液力传动能减轻传动系统的尖峰负载。

参考文献:

- [1] ZHAO XUEYONG, PETER MAI BER. A novel power splitting drive train for variable speed wind power generators[J]. *Renewable Energy*, Germany, 2003, 28: 2001-2011.
- [2] 闫国军,董泳,张辉,等. 液力变矩器及其控制系统动特性研究[J]. *机械工程学报*, 2002, 2(2): 62-66.
- [3] 刘金琨. 先进 PID 控制及其 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [4] 姚俊,马松辉. Simulink 建模与仿真[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [5] 侯建勋. 变矩器部分充液特性用于控制系统的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学能源科学与工程学院, 2004.
- [6] 机械工程手册编辑委员会. 机械工程手册(补充本 2)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.

Modeling and Simulation of a Novel Drive Train for Wind Turbine with Large Capacity

HE Yu-lin¹, LI Cheng-wu¹, DU Jing¹, LI Li-li^{1,2}, LI Ming¹

- (1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
2. College of Mechanical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110168, China)

Abstract: On the basis of a planetary transmission, a novel hydrodynamic speed controlled transmission system for wind turbines with large capacity is presented. The new drive train consists of wind rotors, planet accelerators, hydro-mechanical and synchronous generators. The dynamic mathematical model of the drive train is established. The digital simulation of speed regulation characteristics for hydrodynamic speed controlled system is studied by using Matlab/Simulink. The simulation results show that continuously variable transmission and fixed speed control can be achieved, and the drive train works well in stability and dynamic performances. They can increase the power yield from the wind, smooth the electric power output, and alleviate the load peak in the new drive train.

Key words: wind turbine; hydrodynamic torque converter; continuously variable transmission; PID control

(编辑 陈移峰)