

基于 Stateflow 的风电机组主控系统设计与仿真

王明东¹, 贾德峰², 吕蒙琦¹

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 许继风电科技有限公司, 河南 许昌 461000)

摘 要: 针对手工编程方式开发风电机组主控系统难度大、可靠性差的缺点, 应用图形化仿真工具设计风电机组主控系统。介绍了风电机组主控系统的基本控制策略, 基于 MATLAB/Simulink/Stateflow 平台实现了风电机组 4 种工作状态的转换。以某 2 MW 风电机组为例, 建立了风电机组主控系统仿真模型并进行了仿真。设计过程和仿真结果表明, 这种方法直观性强, 能够更加便捷地进行系统的设计与仿真。

关键词: Stateflow; 风电机组; 主控系统

中图分类号: TM614 **文献标志码:** A

0 引言

当前, 世界各国都面临着能源危机和环境污染问题, 这使得风能等新能源得到了前所未有的发展机遇, 关于风力发电控制的研究也受到了广泛的重视^[1-4]。风电机组的控制较为复杂, 如果采用手工编程方式开发风电机组的主控系统, 不仅有一定的难度而且难以保证设计的质量和可靠性。MATLAB 是工程领域中一套非常出色的科学计算软件, 其 Simulink 工具箱的图形化仿真工具 Stateflow 采用基于模块化设计和系统级仿真的思想, 使得建模与仿真如同搭积木一样简单, 在工程领域得到了广泛的应用^[5-8]。笔者将 MATLAB/Simulink/Stateflow 平台应用于风电机组主控系统的设计与仿真, 结果表明, 这种方法能够使模型的设计与仿真变得更加容易、直观且便捷。

1 风电机组主控系统的基本控制策略

风电机组由风轮、齿轮箱、发电机、变流器等多个部分组成。主控系统贯穿于每个部分, 相当于风电机组的神经。风电机组有 4 种工作状态: ①停机(Stop); ②暂停(Halt); ③运行(Working); ④紧急停机(Brake)。控制软件根据机组所处的状态, 按设定的控制策略对偏航系统、液压系统、变桨系统、制动系统、变流等进行操作, 实现状态之间的转换。风电机组的控制非常复杂, 某型 2 MW 风电

机组仅停机状态就有 Normal stop, Fast stop, Full stop 等 7 种方式。

风电机组主控系统的基本控制策略是指以上 4 种工作状态之间的转变方法, 如图 1 所示, 工作状态层次的提高只能逐层上升, 而工作状态层次的降低可以是一层或多层。

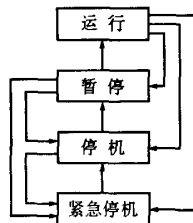


图 1 风电机组主控系统的基本控制策略

Fig. 1 Basic control scheme of wind turbine (WT) master control system

2 风电机组主控系统控制软件设计

Stateflow 和 Simulink 是用于对事件驱动型动态系统分析的交互式仿真设计工具。Stateflow 使用易读、易懂、自然的描述形式元素, 并与 Matlab/Simulink 紧密集成, 为包含控制、优先级管理的嵌入式系统和模式逻辑的分析和设计提供了有效的工作环境。Stateflow 采用图形建模方式构建层次化的、可并行的状态及状态之间由事件驱动的逻辑转移关系。

收稿日期: 2010-10-12; 修订日期: 2010-12-17

基金项目: 河南省教育厅自然科学研究项目(2008A470012)

作者简介: 王明东(1971-), 男, 河南台前人, 郑州大学讲师, 博士, 研究方向为电力系统分析与控制, E-mail: wangmingdong@zzu.edu.cn.

图2为风电机组主控系统状态在 Stateflow 中的实现(紧急停机是通过硬件实现的,这里采用 Working、Halt、Stop、Brake 4 种状态)。

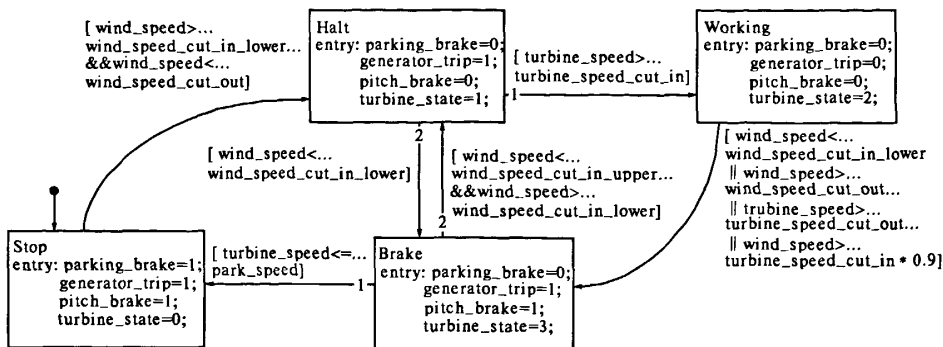


图2 风电机组 Stateflow 状态图

Fig.2 Status diagram of WT in Stateflow

3 风电机组主控系统建模与仿真

以某型 2 MW 风电机组为例,基于 MATLAB/Simulink 平台建立如图3所示的风电机组主控系统仿真模型。

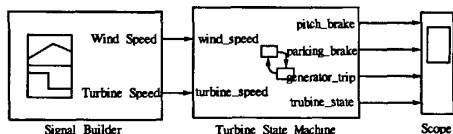


图3 风电机组主控系统控制简易模型

Fig.3 Simplified model of WT master control system

在 Stateflow 中构造好逻辑系统的模型后,就可以在建模界面下在线观察模型的运行,进行测试和验证. Stateflow 还可以进行设计验证、代码生成,可有效节省程序的开发时间,提高程序质量。

设风速和发电机速度按图4所示曲线变化. 仿真过程中,风电机组的运行状态可以用 Simulink 中的 scope 或 display 模块显示,scope 显示如图5(a)所示. 系统初始默认为停机状态(Turbine State = 0). 风速变化时,风电机组的运行方式变换情况为:当风速大于切入风速 3 m/s(10 min 平均风速),风电机组由停机状态转变成暂停状态(Turbine State = 1);当发电机速度大于切入速度 $1\,300\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,风电机组开始发电,风电机组由暂停状态转变成运行状态(Turbine State = 2);当风速大于切出风速 22 m/s 时,风电机组停止发电,风电机组由运行状态转变成紧急停机状态(Turbine State = 3)。

风速与机组并列情况的关系如图5(b)所示,风速过小(小于 3 m/s)或过大(大于 22 m/s)时,

机组处于停机状态或紧急停机状态,均为解列状态;只有风速适当时,机组才启动进而发电运行,即并列运行. 风速与机组运转情况的关系如图5(c)所示,风速过小时,机组处于停机状态;风速适中时,机组运转;风速大于 22 m/s 时,机组紧急停机,但因存在惯性,机组转速需要经一段时间才降为 0,这段时间机组仍然运转. 机组发电情况如图5(d)所示,只有在风速和发电机转速都适当时,风电机组才发电。

图4和图5直观表现了风电机组运行状态与风速、发电机转速的关系,表明采用这种基于 Stateflow 平台的风电机组主控系统仿真模型,可以使系统的设计与仿真更加直观而简捷。

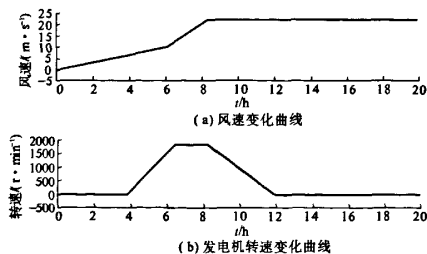
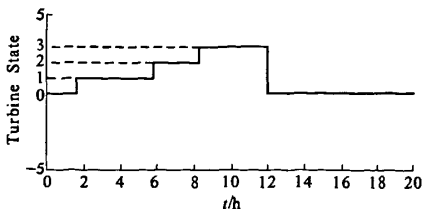


图4 风速、发电机速度变化曲线

Fig.4 Varying curves of wind speed and generator velocity



(a) 风电机组状态(Turbine State=0, 1, 2, 3分别表示停机、暂停、运行和紧急停机状态)

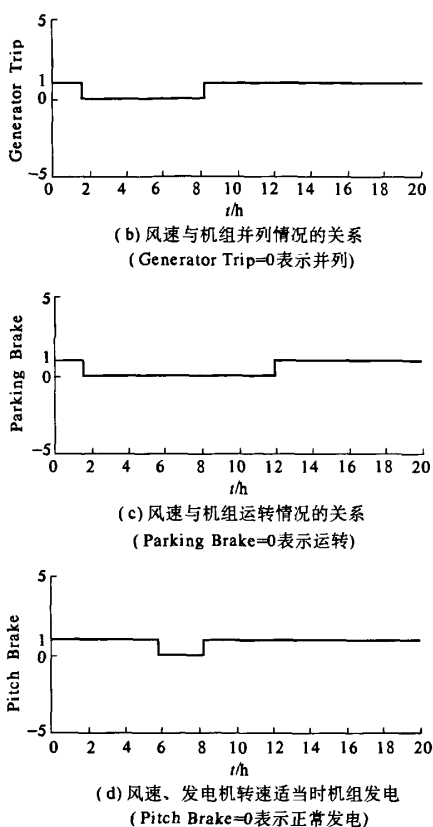


图5 风电机组运行方式变换

Fig.5 Operation mode conversion of wind turbine

4 结论

基于 MATLAB/Simulink 平台,应用图形化仿真工具 Stateflow 实现了风电机组 4 种工作状态的转换,以某型 2 MW 风电机组为例,建立了风电机组

主控系统仿真模型并进行了仿真.系统设计过程和仿真结果表明,这种基于 MATLAB/Simulink 平台的模块化设计方法具有较强的直观性,采用该方法能够更加便捷地进行系统的设计与仿真.

参考文献:

- [1] 刘其辉,贺益康,卞松江. 变速恒频风力发电机空载并网控制[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(3): 6-11.
- [2] 徐智,吴晨. 基于模糊智能控制的变桨距风机桨距控制[J]. 水电能源科学, 2008, 26(5): 202-204.
- [3] 高文元,卢晓光,王鹏,等. 变速变桨距风机风轮的建模与控制[J]. 机械与电子, 2008(9): 27-29.
- [4] 胡家兵,孙丹,贺益康,等. 电网电压骤降故障下双馈风力发电机建模与控制[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(8): 21-26.
- [5] 李乃永,王林先. 基于 MATLAB 状态流和故障信息网的保护动作分析方法[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(13): 67-70.
- [6] 邹晖,陈万春,殷兴良. Stateflow 在巡航导弹仿真中的应用[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(8): 1854-1856+1860.
- [7] 吕学志,于永利,刘长江. 基于 Stateflow 的复杂可修系统的建模与仿真方法[J]. 指挥控制与仿真, 2009, 31(6): 71-75.
- [8] 王宏军,王航宇. Stateflow 在飞行器建模仿真中的应用研究[J]. 西安工业大学学报, 2009, 29(5): 479-482.
- [9] 王明东,苏文霞. 并联型模糊 PID 复合控制器的 Simulink 建模与仿真[J]. 郑州大学学报:工学版, 2006, 27(1): 79-81.

Stateflow - based Design and Simulation for Master Control System of Wind Generating Set

WANG Ming-dong¹, JIA De-feng², LV Meng-qi¹

(1. College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. Xu-Ji Wind Electrical Technology Co. Ltd., Xuchang 461000, China)

Abstract: Master control system of wind turbine (WT) is designed by using the graphical simulation tool in view of the difficulty and the poor reliability of manual programming method. The basic control strategy of WT master control system is introduced. The transition between 4 working states of WT is realized based on MATLAB/Simulink/Stateflow platform. Take a 2MW WT as an example, a simulation model of the master control system is established and the simulation is conducted. Design process and the simulation results show that this method is intuitive, and it can be more convenient to carry out system design and simulation.

Key words: Stateflow; wind turbine; master control system