

文章编号:1671-251X(2015)03-0084-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.03.021

石莹,朱丽君,任建平,等.基于模糊PID控制的微型燃气轮机发电系统研究[J].工矿自动化,2015,41(3):84-87.

基于模糊PID控制的微型燃气轮机发电系统研究

石莹¹, 朱丽君², 任建平², 孙富华²

(1. 中国矿业大学 成人教育学院, 江苏 徐州 221008;

2. 中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要:根据微型燃气轮发电机系统的动态特性,将微型燃气轮机及其电气部分当作一个整体,建立了微型燃气轮机发电系统完整的数学模型,并在转速环加入模糊PID控制器,分析了微型燃气轮机系统孤网带负荷时的动态特性。仿真结果验证了基于模糊PID控制的微型燃气轮机发电系统具有良好的稳定性和灵活性。

关键词:微型燃气轮机;发电系统;模糊PID控制;数学模型

中图分类号:TD611 文献标志码:A 网络出版时间:2015-02-12 16:02

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150212.1602.021.html>

Research of microturbine power generation system based on fuzzy PID control

SHI Ying¹, ZHU Lijun², REN Jianping², SUN Fuhua²

(1. College of Adult Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;

2. School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Taking the microturbine and its electrical parts as a whole, a complete mathematical model of microturbine power generation system was established according to dynamic characteristics of the microturbine power generation system. Fuzzy PID controller was added to revolving speed loop to analyze dynamic characteristics of on-load microturbine system in isolated network. The simulation results show that the microturbine power generation system based on fuzzy PID control has good stability and flexibility.

Key words: microturbine; power generation system; fuzzy PID control; mathematical model

0 引言

随着高效清洁发电技术的迅猛发展,作为大电网的有益补充与微型发电装置的有效利用形式,微电网技术已经引起各国研究者的广泛关注。其中,微型燃气轮机发电系统是一种技术上最为成熟、商业应用前景最为广阔的微型发电设备。由微型燃气轮机组成的高转速发电系统具有启动速度快、机动性能好、运行效率高和能量体积比大的特点。同时,

微型燃气轮机发电系统 in 应用过程中,既可以单机运行,提供紧急情况下的本地负荷支持;又可并网运行,为主网提供热备用,为用户减缓电网拥挤,增加电网机动性,降低送电损失和成本,改善电能质量;中心城市和远郊农村甚至边远山区均能适用,是微电网电源的最佳选择^[1]。

本文以某单轴燃气轮机控制系统为原型,在Matlab/Simulink中建立仿真模型,并对其有效性进行验证。在分析微型燃气轮机发电系统工作原理

收稿日期:2014-10-10;修回日期:2014-12-25;责任编辑:胡娴。

基金项目:江苏省自然科学基金青年基金项目(BK20130187)。

作者简介:石莹(1985—),男,河北衡水人,讲师,主要研究方向为电路与系统,E-mail:shilisy@163.com。

及数学模型的基础上,在转速环加入模糊PID控制器,并分析微型燃气轮机系统孤网带负荷时的动态特性。

1 微型燃气轮机发电系统数学模型

微型燃气轮机发电系统包括微型燃气轮机、高速永磁同步发电机^[2]、电力电子设备以及滤波器等,其中微型燃气轮机包含有压气机、燃烧室、动力透平

机以及回热器^[3]。本文根据需求对微型燃气轮机各部分进行建模:用于稳态运行分析时,忽略微型燃气轮机的快速动态变化,如启动、停机或内部故障等过程;主要研究微型燃气轮机的机电特性,忽略回热器对模型动态响应时间的细微影响;除温度控制采用有名值外,微型燃气轮机的模型及其他控制模块均采用标么值。微型燃气轮机动态仿真模型如图1所示^[4]。

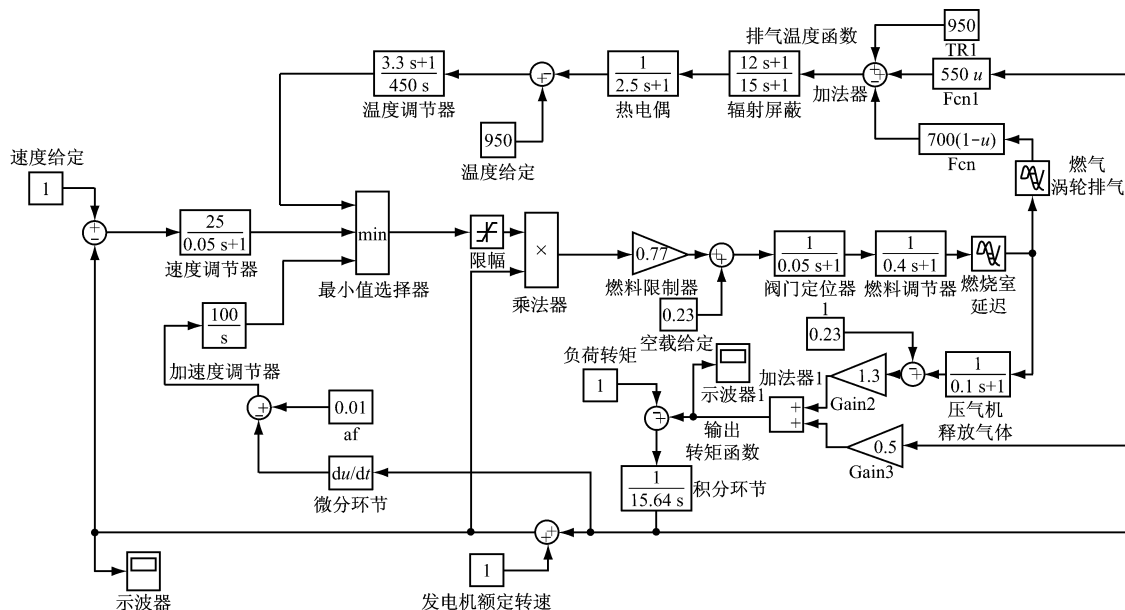


图1 微型燃气轮机动态仿真模型

1.1 速度控制环节

在带部分负荷的情况下,微型燃气轮机主要控制方式为斜率控制(即有差调节),将转子实际转速与参考转速间的差值作为速度控制器的输入信号,从而产生转速校正需求信号。由于在实际的设备中存在一些时间常数,所以调节器实际上是一个比例-惯性环节^[5]。另外,加速度控制环节可限制微型燃气轮机转子的加速度,使其不超过给定值,以减少部件的热冲击,保证机组安全。

1.2 温度控制环节

温度控制系统通过限制透平入口温度来减少对透平进口叶片产生的损害,但实际应用中入口温度过高,测量难度大,故通过测量和控制排气温度,间接实现对透平入口温度的控制。温度调节系统是一个比例积分(PID)调节器,与转速控制环节类似,将实际温度与参考温度的差值送入PI控制器,产生温度校正需求信号,从而调节透平排气温度^[6]。

1.3 燃料控制环节

由于燃料泵的转速、燃料压力均与转子转速成正比关系,所以限幅后的值乘以实际转子转速,就得

到实际燃料量信号。微型燃气轮机需要较大比例的燃料流量来维持空载工况下的正常运行^[7]。另外,微型燃气轮机是通过改变燃料量来控制转速的,通过速比阀、燃料控制阀的串联控制,达到准确控制燃料流量的目的。对于燃料量来说,燃烧室只是一个延迟环节。

1.4 压缩机和透平环节

微型燃气轮机的核心部分是燃烧室、压气机和燃气透平,这里燃烧室的燃烧过程、透平和排气过程用2个延迟环节来模拟,压气机释放气体的过程由一阶惯性环节模拟。

机械转矩和排气温度这2个看似不相关的变量实际上也存在着耦合关系,因为在瓦斯发电系统内,燃料燃烧时的化学能转换成了机械能,同时燃烧时的热能也使排气口的温度得到了大幅提升。这2个变量的耦合关系由式(1)、式(2)给出^[8],其中排气温度函数 f_1 、输出转矩函数 f_2 分别为

$$f_1 = 950 - 700(1 - W_{f1}) - 550(1 - \omega) \quad (1)$$

$$f_2 = 1.3(W_f - 0.23) + 0.5(1 - \omega) \quad (2)$$

式中: W_{f1} 和 W_f 为燃料量信号; ω 为微型燃气轮机

转速。

转矩函数在 100% 负荷的情况下是精确的,在其他情况下会存在小于 5% 的误差;排气温度函数相对来说不是那么精确,但由于温度控制只在温度参考值附近起作用,所以可以忽略其带来的影响^[9]。

2 模糊自适应 PID 控制器设计

从系统稳定性、响应速度、超调量和稳态精度等方面来考虑,PID 调节器的 3 个增益参数 K_p, K_i, K_d 的作用如下:

比例系数 K_p 的作用是加快系统的响应速度,提高系统的调节精度。 K_p 越大,系统的响应速度越快,系统的调节精度越高,但易产生超调,甚至会导致系统不稳定; K_p 取值过小,则会降低调节精度,使响应速度缓慢,从而延长调节时间,使系统静态、动态特性变差。

积分系数 K_i 的作用是消除系统的稳态误差。 K_i 越大,系统的稳态误差消除得越快,但积分过大,在响应初期会产生饱和和积分现象,从而引起响应过程的较大超调;若 K_i 过小,将使系统的静态误差难以消除,影响系统的调节精度。

微分系数 K_d 的作用是改善系统的动态特性,在响应过程中抑制偏差向任何方向的变化,对偏差变化进行提前预报。若 K_d 过大,会使响应过程提前制动,从而延长调节时间,而且会降低系统的抗干扰性能。

基于模糊推理的 PID 控制器在传统 PID 控制器的基础上加入模糊推理规则,其输入信号为转速偏差 e 和转速偏差变化率 e_c ,根据 e 和 e_c 的变化调整 K_p, K_i, K_d 的值,具有很好的自适应性^[10]。模糊自适应 PID 控制器的结构如图 2 所示。根据图 2,在 Matlab 的 Simulink 环境下设计模糊 PID 控制系统仿真框图,如图 3—图 5 所示。将模糊控制器和 PID 控制器封装在一起,组成模糊 PID 控制器。

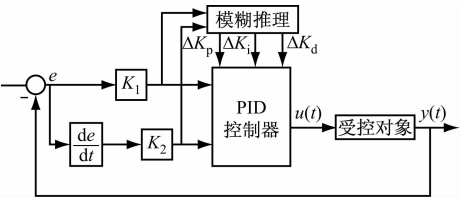


图 2 模糊自适应 PID 控制器结构

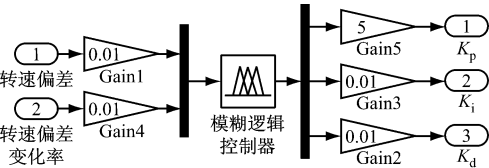


图 3 模糊控制器及其封装

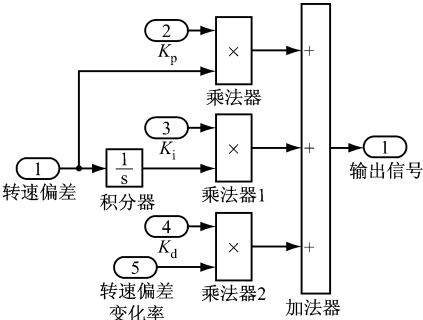


图 4 PID 控制器及其封装

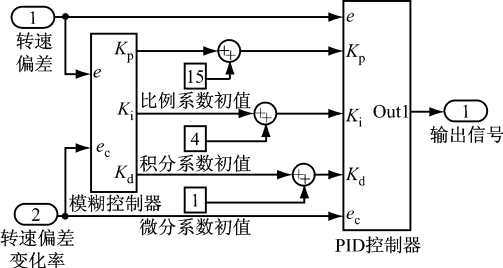


图 5 模糊自适应 PID 控制器及其封装

3 仿真分析

在模糊自适应 PID 控制器的控制下,初始时系统满负荷运行,在 20 s 时将负荷突降到 0.9 p. u.,在 40 s 时将负荷突降到 0.65 p. u.,在 60 s 时将负荷突增到 0.9 p. u.,在 80 s 时将负荷突增到 1 p. u.。仿真结果如图 6—图 8 所示。从图 7 所示的转速曲线可以看出,当系统负荷发生突变时,转速经过震荡后能够稳定在 1 p. u. 附近,显示出了很好的稳定性。从图 8 所示的机械转矩曲线可以看出,机械转矩按照负荷的变化而发生相应的比例变化,总体说来,在不同负荷情况下,微型燃气轮机的机械转矩可快速跟随负荷转矩变换,其超出量和稳定时间都在允许范围内。

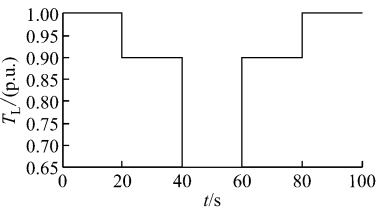


图 6 在负荷突变工况下的负荷转矩 (T_L) 曲线

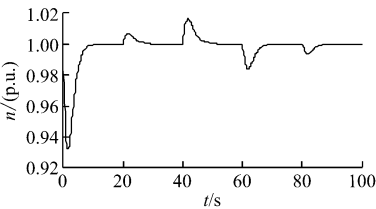


图 7 在负荷突变工况下的转速 (n) 曲线

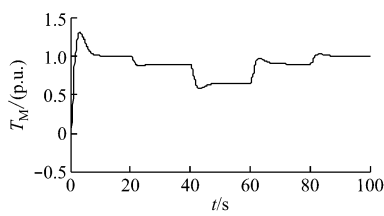


图 8 在负荷突变工况下的机械转矩(T_M)曲线

4 结语

介绍了微型燃气轮机发电系统的结构,以某单轴燃气轮机控制系统为原型,建立了数学模型,并对部分模块进行了优化设计。引入了模糊自适应 PID 控制方法,采用模糊推理逻辑和 PID 控制相结合的方法实现了模糊 PID 控制器的设计。在 Matlab/Simulink 平台搭建出基于模糊 PID 控制的微型燃气轮机的仿真模型,仿真结果表明,模糊 PID 控制方法具有更大的灵活性。

参考文献:

[1] 张皖生,唐立朝.煤矿瓦斯发电现状与前景分析[J].中国煤层气,2005,2(4):23-26.

[2] 吴子平.基于微型燃气轮机发电系统的微网控制与分析[D].北京:华北电力大学(北京),2009.

[3] 秦旷宇.基于微网并网运行的微型燃气轮机系统稳定性仿真[D].天津:天津大学,2010.

[4] 黄伟,凡广宽,牛铭.微型燃气轮机发电系统仿真模型研究[J].电网与清洁能源,2011,27(4):4-7.

[5] 王成山,高菲,李鹏,等.微型燃气轮机发电系统模型修正及实验验证[J].天津大学学报,2011,44(11):948-954.

[6] 彭克.单轴微型燃气轮机系统建模及其暂态稳定性仿真研究[D].天津:天津大学,2009.

[7] 李政,王德慧,薛亚丽,等.微型燃气轮机的建模研究(上)——动态特性分析[J].动力工程,2005,25(1):13-17.

[8] 邓浩,李春艳.微型燃气轮机发电系统建模与特性分析[J].四川电力技术,2012,35(2):70-72.

[9] 刘君,穆世霞,李岩松,等.微电网中微型燃气轮机发电系统整体建模与仿真[J].电力系统自动化,2010,34(7):85-89.

[10] 张化光,何希勤.模糊自适应控制理论及其应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002.