

水电能源科学

WATER RESOURCES AND POWER

2
2020

第38卷 第2期 总第234期

武汉三联水电控制设备有限公司位于武汉市国家级高新技术开发区内，在业内知名度高、信誉度高，极具竞争力和产品优势。三联水电是国内微机调速器装机台数多、生产品种多、年生产能力较大的水轮机调速器专业生产厂家。公司具备完整的调速系统机电研究、设计、制造、检验能力，现场安装调试经验丰富，具有完善的用户服务体系。公司已通过ISO9001质量认证体系，是湖北省高新技术企业跳跃式发展百强单位，连续多年被中国电能成套设备有限公司、水利水电规划设计管理局列为水电工程主要辅机设备推荐产品，并列入推荐厂家名录。

我公司研制的可编程数字式调速器，已在吉林丰满、甘肃刘家峡、湖南凤滩、贵州乌江渡、湖北黄龙滩、浙江乌溪江、四川深溪沟、贵州天生桥一级、云南黄角树、缅甸YEYWA、越南Srepok3、塔吉克斯坦Sangtoudah2、土耳其ARPA、赤道几内亚吉布洛、智利拉哈LAJA、巴西SAO DOMINGOS、洪都拉斯San Juan等大、中型国内外水电厂两千多台水轮发电机组上成功运行，性能稳定可靠，深得广大用户好评，多次被设计院、主机厂推荐使用。各种调速器经国家电力公司水电设备质量检测中心检测，完全达到或超过国标的要求，达到了国际先进水平。

在不断创新发展产品的同时，公司也注重对生产能力的扩大和提高，我们已建立了完全独立的机械和电气生产基地，并承担了厄瓜多尔TOPO水电站、湖南大洲潭水电站、秘鲁PIAS等项目的设备成套供货，拥有大型加工设备及生产基地，并有调速器仿真系统可模拟电厂实际运行工况进行检测试验。

武汉三联水电控制设备有限公司

Wuhan Sanlian Hydropower Control Equipment Co., Ltd

中国湖北省武汉市江夏区庙山开发德国测路特一号 网址 <http://www.wlhrs.com>
Add: No.1, Guocao Road, Miaoshan Developed Region, Jiangxia District, Wuhan, Hubei, China
Tel: 0086-27-87990781 Fax: 0086-27-87990771 Email: GSL2000@YFCHINA.COM



- 水库堤坝渗流—动力稳定性分析 程 静(98)
- 基于思维进化算法优化 BP 神经网络的渗透参数反演研究
 沈宇扬,沈振中,李佳杰,史亚旋,毛翼飞(102)
- 超高心墙堆石坝长期运行应力变形研究 万恩波,朱 晟,宁志远(106)

• 水利水电工程 •

- 引水式水电站变顶高尾水洞水力特性和体型优化 朱 岑,周建旭(110)
- 基于 SWMM 模型的雨水管网改造方案优化研究 张士官,吕 谋,焦春蛟,宋 杰(114)
- 糙条应用于弯段溢洪道内水力特性试验研究 ... 贾萍阳,牧振伟,李凡琦,孙德旭,张红红(118)
- 低温环境中水工沥青混凝土动态抗压性能研究 薛 星,刘云贺,宁致远,孟 霄(122)
- SDCAD4.0 在水工隧洞衬砌内力与配筋计算中的应用 柴国平,姚天宝(127)
- 基于 Hoek-Brown 准则的寒区隧道围岩弹塑性分布影响因素分析
 贺耕夫,肖明砾,刘怀忠,谢红强,卓 莉(130)
- 某斜墙坝上游坝坡滑坡机理及防治措施 叶 伟,马福恒,俞扬峰(135)
- 含交叉裂隙类岩石试样物理力学特性试验及其 RFPA 模拟 杨海平(139)
- 不同层面倾角下锦屏一级水电站左岸板岩坡体破坏模式及能量特征
 徐 岗,裴向军,何如许,刘 明(143)
- 红层河谷区泥岩水化损伤特性试验及本构模型研究
 张海康,肖 曦,王 展,洪武峰(147)
- 基于 SEM 的贵州黔南红粘土微观结构研究 梁少欢,卢玉东,潘网生,张晓周(151)
- 多因素耦合作用下地下厂房施工进度风险分析及其应用
 栾少哲,黄建文,毛宇辰,周宜红,廖再毅(155)
- 基于实物期权的水电站项目投资时机决策模型及应用 苟军军,王 蕾(160)

• 机电与控制工程 •

- 分数阶 PID 混合算法的水轮机调速系统优化控制与建模分析 熊军华,史宏杰,王亭岭(163)
- 基于六西格玛理论的轴流泵叶轮水力效率影响因子分析 尤保健(168)
- 大型双吸式离心泵内流场空化特性数值模拟分析 汪正阳,刘小兵,田长安,唐正强(172)

• 电气工程 •

- 基于平面复合降阻材料的杆塔基础接地降阻研究
 胡元潮,李光杰,安韵竹,高晓晶,姜志鹏,周 鑫(176)
- 交直流线路并行架设时的电磁环境横向分布监测
 姚德贵,张广洲,张嵩阳,姚 伟,郭 星,钱诗林(181)
- 基于行波时域分析和 VMD 的多分支输电线路故障定位 吴 娜,王大川,樊淑娴(184)
- 基于电网故障拓扑分析及多数据综合的复杂故障诊断方法
 肖 飞,杨国健,邓祥力,赵路路,黄冰飞,陆 怡(189)
- 基于改进欧氏距离协调发展度评估模型的电网投资决策方法
 吴鸿亮,彭道鑫,王 玲,游维扬(193)

• 能源 •

- 220 kV 海上风电场混合输电线路工频过电压研究 林晨曦,陈小月,文习山,杨建军(197)
- 偏差电量考核下风光储混合发电商的市场均衡博弈研究 孙 波,樊亚南,李志恒,李思敏(202)

• 通告 •

分数阶 PID 混合算法的水轮机调速系统优化控制与建模分析

熊军华, 史宏杰, 王亭岭

(华北水利水电大学电力学院, 河南 郑州 450000)

摘要: 为深入研究水轮机调速系统的非线性动态特征, 分析水轮机在负荷波动时调速系统对水轮机转速、出力及输出电压电流波形的控制情况, 提出一种采用混合算法(BP-FOA)的分数阶 PID(FOPID)双目标函数控制系统; 并利用 Matlab 平台建立了能够反映动态负荷变化及发电机情况的水轮机模型, 使其更具实际适应性。仿真及实例分析表明, 经混合算法优化后的水轮机调速器在调节性能与鲁棒性上均有一定的提升, 同时亦为水轮机动态模型建模提供了借鉴。

关键词: FOPID 控制; BP-FOA 算法; 水轮机模型建模; Matlab/Simulink

中图分类号: TV734; TM622

文献标志码: A

FOA 算法优化的 PID 调速系统相比, 稳定性有了进一步的提升。

1 引言

传统的水轮机调速系统控制结构一般采用并联 PID 控制, 具有简单易操作等优势, 但 PID 控制的水轮机系统存在启动时稳定慢、出现系统负荷波动时稳定性差、面对电力系统的突发事件自我调节能力不足等问题, 对此提出了先进的智能化控制方式^[1], 如模糊 PID 控制、BP 神经网络控制、混沌粒子群控制等, 对水轮机调速系统进行优化, 使水轮机的调速性能有了明显改善^[2]。考虑到国内水轮机的控制方式多为以 PID 控制为基础的调节方式, 为了能够快速响应系统要求, 尽可能减小给电力系统带来的冲击, 水轮机的调速系统优化至关重要。目前, 对水轮机的非线性机理建模研究已有很大进展, 但未深入分析负荷波动对水轮机调速系统的影响。一般是将负荷和发电机模型等效为一阶传递函数, 能够反映实际问题的局限性比较大^[3]。为在反映水轮机调速性能的基础上分析水轮机发电机特性、动态负荷模型及电力系统故障时对水轮机调速器的影响, 本文利用 Matlab 软件将混合算法用于 Simulink 中改进分数阶 PID 水轮机调速系统, 实现了快速稳定转速、减小启动时转速的上下震荡, 增强了调速系统的稳定性与可靠性^[4], 与利用 BP 神经网络和

2 多目标混合算法的分数阶 PID 控制

2.1 水轮机调速系统分数阶 PID(FOPID)

经典的水轮机调速系统为整数 PID 控制, 随着整数阶微积分向非整数阶的推广, 演化出分数阶 PID 调速器控制^[5], 其微分表达式为:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i D^\alpha e(t) + k_d D^\mu e(t) \quad \alpha, \mu > 0 \quad (1)$$

式中, k_p 、 k_i 、 k_d 均为调节参数; D 为微积分符号; α 为积分阶次; μ 为微分阶次。

将 k_p 、 k_i 、 k_d 三个调节参数转换为由暂态转差系数 b_i 、缓冲时间常数 T_d 、加速度时间常数 T_n 表示的水轮机相关系数, 经过 Laplace 变换后 FOPID 的传递函数为:

$$\begin{cases} Y_{\text{FOPID}} = \frac{T_d + T_n}{b_i T_d} + \frac{1}{b_i T_d S^\alpha} + \frac{T_n}{b_i} S^\mu \\ k_p = (T_d + T_n)/(b_i T_d) \approx 1/b_i \\ k_i = 1/(b_i T_d) \\ k_d = T_n/b_i \end{cases} \quad (2)$$

当 α 、 μ 的值均为 1 时, 则式(1)变为经典 PID 控制器, 分数阶微积分的引入使传统的 PID 调节更具应用性与灵活性。

收稿日期: 2019-03-29, 修回日期: 2019-04-30

基金项目: 河南省科技攻关项目(182102210335); 河南省高等学校重点科研项目(19A470002)

作者简介: 熊军华(1973-), 女, 博士、教授、硕导, 研究方向为电力系统运行, E-mail: xjh2004@ncwu.edu.cn