

文章编号:1671-6833(2019)05-0051-06

# 基于灰狼优化算法的多源互联电力系统负荷频率控制

侯国莲, 郭雅迪, 弓林娟

(华北电力大学 控制与计算机工程学院, 北京 102206)

**摘要:**随着互联电力系统的快速发展和可再生能源的大规模介入,电力系统呈现出互联和多源的特点.基于这一情况,从多源互联电力系统的实际需求出发,首先建立含有火、水、气以及可再生能源参与的四区域多源互联电力系统,然后针对可再生能源发电过程的随机性和波动性,采用基于灰狼优化算法的PID控制器进行负荷频率控制,以快速抑制频率波动.仿真结果表明,在不同的扰动情况下,无论是对于互联系统的频率偏差还是联络线的交换功率偏差,本文所采取的控制策略均能取得良好的控制效果和鲁棒性.

**关键词:**可再生能源;多源互联电力系统;灰狼优化算法;负荷频率控制;优化控制

**中图分类号:** TP13

**文献标志码:** A

**doi:** 10.13705/j.issn.1671-6833.2019.05.013

## 0 引言

含有多种发电类型的独立电力区域经由联络线连接构成的互联系统称为多源互联电力系统.由于各区域之间的互联关系,任一区域出现的频率波动都将导致系统联络线功率偏差和其他区域频率的波动,因此,为保证电能质量,需考虑负荷频率控制(load frequency control, LFC)问题.负荷频率控制可以通过平衡发电量和负载消耗量将系统频率和联络线功率稳定在理想值,是实现电力系统频率稳定的一个重要环节<sup>[1]</sup>.然而随着风能、光能等可再生能源大规模并入电网,其随机性和波动性将对互联电力系统造成较大的冲击,给频率控制造成困难.以往针对常规互联电力系统设计的频率控制器已不能满足控制需求.需要对含有可再生能源的多源互联电力系统进行负荷频率控制策略研究.

在过去的几十年中,关于互联电力系统负荷频率控制方法得到了较为广泛的应用.文献[2]对I、PI、PD、PID等几种经典控制器在负荷频率控制中的性能进行了对比,但其应用仅局限于两区域系统.针对文献[2]中的不足,文献[3]对两区域、三区域和五区域等多区域系统进行了研究,然而只考虑了火力发电,忽略了多种能源并存的情况.

文献[4]的研究建立在一个包含火电、水电、燃机在内的两区域互联电力系统,且每个区域都包含以上三种发电类型.上述研究<sup>[1-3]</sup>主要关注了常规能源发电类型,却未能充分考虑包含可再生能源的多源互联电力系统的LFC问题.随着发电产业的兴起,常规能源储量迅速减少,碳排放问题日益严重,因此,寻找替代能源以满足未来的能源需求逐渐成为社会各界关注的焦点.基于此情况,太阳能和风能因其覆盖广泛,容易获得,以及可再生的显著优势成为首选.文献[5]提出了一个由盘式斯特林太阳能热系统和风力机系统组成的两区域混合热力系统,并采用仿生优化技术同时优化控制器参数.文献[6]考虑了包含太阳能热电厂在内的三区域互联电力系统,并采用灰狼优化算法优化二级控制器的增益.文献[7]则基于风电参与下的两区域互联电力系统,采用滑模控制来稳定系统频率.上述文献虽然考虑了可再生能源参与的情况,但互联电力系统的大部分区域都只有一种发电形式,与当前电力系统实际情况差异较大,因此,笔者的研究将基于多种发电方式并存的多源互联电力系统展开.

由于大规模光伏和风能等可再生能源的接入,多源电力系统具有较大波动性和较强随机性,PID等经典控制器很难满足多源电力系统LFC的

收稿日期:2019-01-11;修订日期:2019-03-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61603136);中央高校基本科研业务费专项资金资助(2019JG004)

作者简介:侯国莲(1966—),女,湖北人,华北电力大学教授,主要从事过程控制、复杂系统优化控制、新能源技术及控制策略等方面的研究,E-mail:hgl@ncepu.edu.cn.

控制需求.近年,又涌现了大批将先进控制和优化技术与经典控制器结合以获得控制性能的研究成果.文献[8]和文献[9]分别采用模糊逻辑和神经网络对自动发电控制系统展开了研究,然而采用模糊逻辑需要更多的计算时间来检查规则库,使用神经网络控制器需要更多的训练时间.为了获得理想的控制器参数最优值,文献[10]将遗传算法同时用于控制器增益和其他参数的优化,遗传算法搜索速度较慢且容易陷入局部最优.文献[11]采用粒子群算法优化模糊 PI 控制器的参数,与遗传算法一样,粒子群算法也存在易陷入早熟收敛的问题.相较之下,菌群算法则有效克服了上述缺陷,文献[12]证明了该算法的优化性能明显优于粒子群算法.文献[13]通过混合灰狼优化算法来解决人工蜂群算法收敛速度慢的问题.此外,萤火虫算法在文献[14]中被成功应用于负荷频率控制并表现出良好的搜索精度,但收敛速度有待提高.文献[15]使用了一种名为布谷鸟搜索的元启发式算法进行负荷频率控制,该算法在全局寻优时存在收敛速度慢、搜索精度低等问题.在此基础上, Mirjalili 等受到野生狼群的狩猎机制和民主行为的启发,提出了一种称为灰狼优化算法(GWO)的元启发式算法<sup>[17]</sup>.相较于差分进化算法、粒子群算法和人工蜂群算法,灰狼优化算法在全局搜索、避免局部最优和收敛速度等方面都表现出较强优势,因此,笔者将基于灰狼优化算法,展开多源电力互联系统负荷频率控制研究.

基于以上分析,笔者首先建立了一个风、光参与下的四区域多源互联电力系统模型.该系统模型结合互联电力系统的实际运行状况,各个区域中均包含两种发电类型.其次,采用灰狼优化算法优化 PID 控制器参数,将优化的 PID 控制器用于负荷频率控制.最后,在不同的负载情况下对所研究的系统进行仿真实验,进一步验证笔者所用控制器的优良控制性能.

## 1 四区域多源互联电力系统的负荷频率控制模型

LFC 主要根据区域控制偏差(area control error, ACE)来实现对机组输出功率的控制调节,通过对机组有功功率进行连续快速稳定调节使 ACE 快速趋于零,从而保证全系统的发电出力 and 负荷功率相匹配.

笔者建立了一个四区域多源互联电力系统模型,图 1 为系统的互联结构示意图.四区域之间通

过联络线实现两两互联,  $\Delta P_{tie}^{ij}$  为区域之间的联络线功率偏差量.该模型基于互联电力系统的实际情况,每个区域中均引入多种发电类型.由于目前火力发电依然占据发电行业的主导地位,因此每个区域都包含火电.该四区域模型的具体组成为:区域 1 包含火电和风电,区域 2 包含火电和水电,区域 3 包含火电和燃气机组,区域 4 包含火电和光伏发电.图 2 为该四区域多源互联电力系统的传递函数模型.

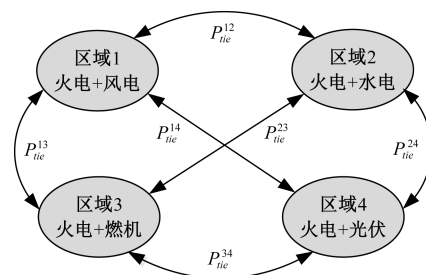


图 1 四区域多源互联电力系统结构示意图

Fig.1 The block of four-area interconnected power system

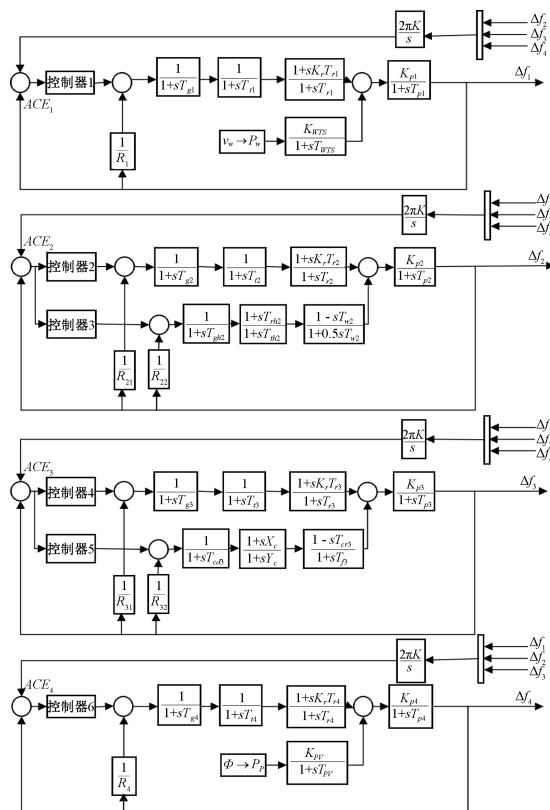


图 2 四区域多源互联电力系统的传递函数模型

Fig.2 Transfer function model of four-area multi-source interconnected power system

图 2 中,  $R_i$  为调速器的调差参数;  $T_{gi}$  为火电机组调速器时间常数;  $T_{ti}$  为汽轮机时间常数;  $K_r$  为汽轮机再热常数;  $T_{ri}$  为汽轮机再热时间常数;

$T_w$  为水锤的时间常数;  $T_{rh}$  为水轮机调速器复位时间常数;  $T_{th}$  为水轮机调速器瞬时下垂时间常数;  $T_{gh}$  为水轮机调速器时间常数;  $X_c$  为燃气轮机调速器提前时间常数;  $Y_c$  为燃气轮机调速器的滞后时间常数;  $T_f$  为燃气轮机燃料时间常数;  $T_{cr}$  为燃气轮机燃烧反应延迟时间;  $T_{cd}$  为燃气轮机压缩机流量时间常数;  $K_{pi}$  为电力系统增益;  $T_{pi}$  为电力系统时间常数. 相关参数值见附录.

风电机组的输出机械功率由式(1)计算得到<sup>[19]</sup>,

$$P_w = \frac{1}{2} \rho C_p A_r v_w^3, \quad (1)$$

式中:  $\rho$  为空气密度;  $C_p$  为效率系数;  $A_r$  为扫风面积;  $v_w$  为实际风速.

光伏发电机组的输出功率如公式(2)<sup>[20]</sup>,

$$P_p = \eta S \Phi [1 - 0.005 (T_a + 25)], \quad (2)$$

式中:  $\eta$  为转换效率;  $S$  为有效光照面积;  $\Phi$  为太阳光照强度;  $T_a$  为环境温度.

## 2 灰狼优化控制策略及应用研究

与常规能源不同,风能具有较强的随机性和波动性,这就导致风力发电机组不像传统机组那样具有良好的可控性.当在互联电力系统中引入风电后,系统的频率也会受到风能波动的影响而产生偏差.针对以上问题,笔者将灰狼优化与PID控制器相结合,采用灰狼优化算法优化PID参数,并将优化的PID控制器用于负荷频率控制,以快速稳定频率波动.

### 2.1 灰狼优化算法原理介绍

灰狼优化算法是 Mirjalili 等于 2014 年提出的<sup>[18]</sup>,反映了自然界中灰狼家族的社会制度和群体狩猎行为.灰狼群体有着非常严格的社会等级制度,狼群通常分为  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\delta$  和  $\omega$  4 个等级,其中,  $\alpha$  狼为第一级,主要负责统筹决策;  $\beta$  狼是第二级,辅助  $\alpha$  狼做出决策;  $\delta$  狼是第三级,  $\delta$  需要服从  $\alpha$  和  $\beta$  的决策;整个狼群中等级最低的是  $\omega$  狼,必须服从高等级的狼.在笔者的PID控制器参数优化过程中,将每一个参数视为灰狼种群中的个体,结合狼群捕猎过程中的跟踪、包围和攻击猎物 3 个阶段,可根据狼群的社会等级制度与捕猎过程来定义数学模型并寻找最优解.

依据上述分析,将最优解定义为  $\alpha$ ,将第二、第三最优解分别定义为  $\beta$  和  $\delta$ ,其余候选解定义为  $\omega$ .将狼群中个体与猎物之间的距离定义为  $D$ ,

$$D = |CX_p(t) - X|, \quad (3)$$

$$C = 2r_1, \quad (4)$$

式中:  $t$  为当前代数;  $X_p$  为猎物的位置;  $X$  为一条灰狼所在的位置;  $C$  为系数向量;  $r_1$  是  $[0,1]$  内的随机向量.

为缩短自身与猎物之间的距离,狼群中的个体会根据如下公式不断进行位置更新,

$$X(t+1) = X_p(t) - A \cdot D, \quad (5)$$

$$A = 2ar_2 - a, \quad (6)$$

其中,  $A$  为收敛影响因子;收敛因子  $a$  的值随着迭代次数的增加从 2 到 0 线性减少;  $r_2$  是  $[0,1]$  内的随机向量.

由于  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\omega$  在狼群中具有较高等级,故认为它们能够携带更多猎物位置信息,可以带领狼群逐渐靠近猎物.将目前为止已得到的 3 个最优解保存并忽略其他解,并根据 3 个最优解来更新狼群的位置信息,逐步寻得全局最优解.更新的过程定义如下:

$$D_\alpha = |C_1 X_\alpha(t) - X|; \quad (7)$$

$$D_\beta = |C_2 X_\beta(t) - X|; \quad (8)$$

$$D_\delta = |C_3 X_\delta(t) - X|. \quad (9)$$

基于计算所得距离,  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\omega$  通过下式进行自身位置的修正:

$$X_1 = X_\alpha - A_1 \cdot D_\alpha; \quad (10)$$

$$X_2 = X_\beta - A_2 \cdot D_\beta; \quad (11)$$

$$X_3 = X_\delta - A_3 \cdot D_\delta. \quad (12)$$

接下来狼群中余下个体将根据  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\omega$  的共同决策得到式(13)所示的下一步移动位置,

$$X(t+1) = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3}. \quad (13)$$

综上所述,灰狼优化算法在寻优过程中,首先随机地选出狼群(候选解),在迭代过程中,  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\delta$  狼估计可能的猎物位置.然后每一个候选解不断更新它们离猎物位置,同时,参数  $a$  从 2 到 0 逐渐减少,最终寻得最优解即PID控制器参数的最优值.

### 2.2 灰狼优化控制策略在负荷频率控制中的应用

为了在得到较小超调量的同时尽量缩短调节时间,笔者选取灵敏度较好的 ITAE 作为性能指标,ITAE 的定义如下:

$$J_{ITAE} = \int_0^T t |e(t)| dt. \quad (14)$$

针对所研究的互联电力系统,系统误差由区域控制偏差(ACE)构成.ACE 本质上是由区域频率偏差和联络线功率偏差组成,其计算公式如下:

$$ACE = \Delta P_{tie}^{ij} + k\Delta f_i, \tag{15}$$

式中:  $k$  为控制区域的频率偏差系数;  $\Delta f_i$  为区域  $i$  的频率偏差量;  $\Delta P_{tie}^{ij}$  为控制区域之间的联络线功率偏差量.

基于此, 笔者确定的适应度函数如式 (16) 所示,

$$J = \int_0^T (|\Delta f_i| + |\Delta P_{tie}^{ij}|) t dt, \tag{16}$$

式中:  $\Delta f_i$  为区域  $i$  的频率偏差量;  $\Delta P_{tie}^{ij}$  为区域  $i$  与区域  $j$  之间的联络线功率偏差.

3 仿真实验及结果分析

3.1 动态时域响应实验

在区域 2 中加入 1% 的负荷阶跃扰动, 分别采用灰狼优化算法与经典的粒子群算法 (PSO)、遗传算法 (GA) 以及改进的综合学习粒子群算法 (cIPSO)、自适应差分进化算法 (SaDE) 对控制器参数进行优化. 各区域的频率偏差及区域间的联络线功率偏差如图 3 和图 4 所示.

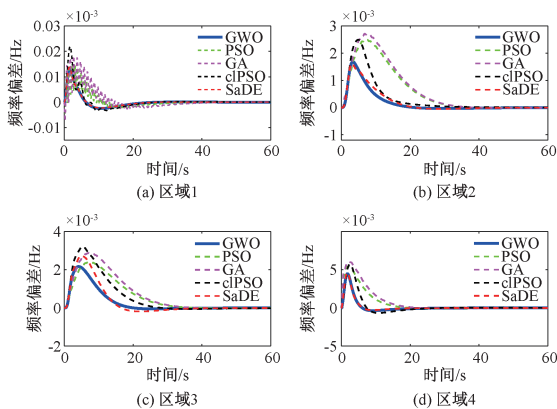


图 3 区域 2 中加入 1% 的负荷阶跃扰动时 4 个区域的频率偏差比较

Fig.3 Frequency deviation of four areas for 1% step increase load in area2

从图 3、图 4 所示实验结果可以看出: 经灰狼优化算法优化的控制器能够有效减小超调量, 缩短响应时间, 在所比较的几种优化算法中也表现出较优的控制效果. 图 5 给出了各算法优化下区域 2 的 ACE 动态响应曲线. 表 1 给出了使用各优化算法进行 10 次实验所得到的 ACE 动态响应曲线的平均峰值和平均响应时间. 由以上结果也可

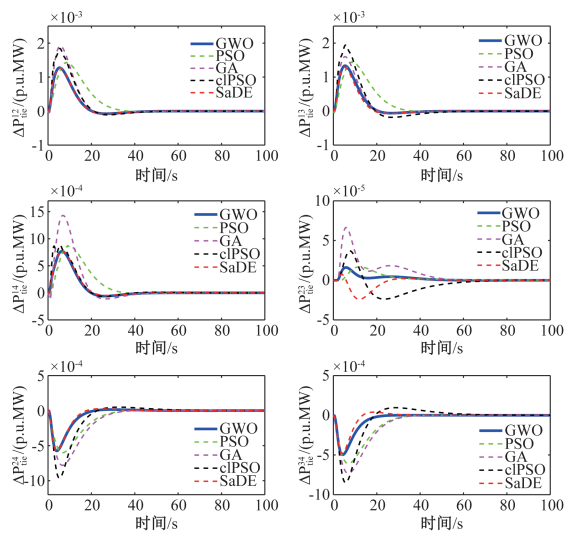


图 4 区域 2 中加入 1% 的负荷阶跃扰动时各区域间联络线功率偏差比较

Fig.4 Tie-line power deviation between four areas for 1% step increase load in area2

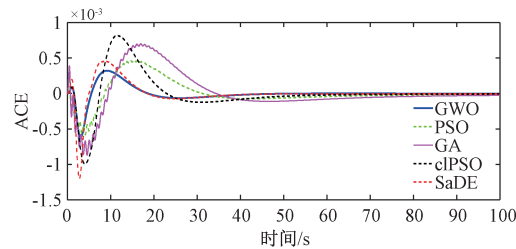


图 5 区域 2 的 ACE 动态响应区域对比

Fig.5 Comparison of ACE of area-2

以看出, 采用灰狼优化算法的控制器可以获得更小的峰值和更短的响应时间.

为进一步验证笔者所用控制器的性能, 在区域 2 中加入如图 6 所示不同类型的负荷扰动, 得到图 7 和图 8 所示 4 个区域的频率偏差和各区域间的联络线功率偏差.

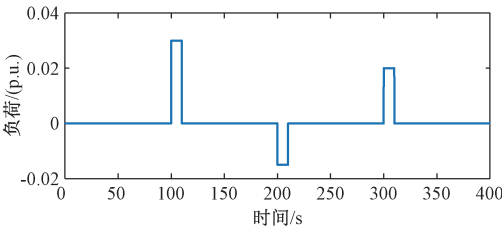


图 6 负荷扰动变化曲线

Fig.6 Random load disturbance

表 1 采用不同优化算法时区域 2 中 ACE 响应时间和峰值的比较

Tab.1 Comparison of ACE in area-2 with different algorithms

响应时间/s					峰值/ $10^{-2}$				
GWO	PSO	GA	cIPSO	SaDE	GWO	PSO	GA	cIPSO	SaDE
36.65	74.1	90.57	63.59	41.36	0.032	0.045 3	0.067 3	0.081 4	0.045 2

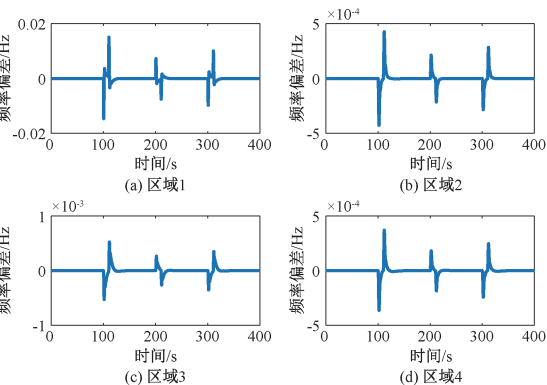


图 7 区域 2 中加入随机负荷阶跃扰动时 4 个区域的频率偏差响应曲线

Fig.7 Frequency error of four areas for random load disturbance in area 2

由图 7 和图 8 可以看出,对于不同类型的随机负荷扰动,基于灰狼优化算法的控制器都可以较快地稳定各区域的频率偏差和各区域间的联络线功率偏差,具有较快的响应时间和较小的超调量,控制效果较好.以上实验中控制器参数的优化

结果见表 2.

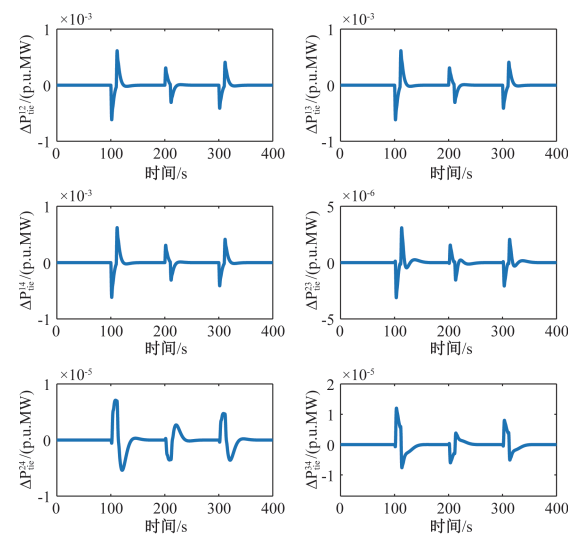


图 8 区域 2 中加入随机负荷阶跃扰动时各区域间联络线功率偏差响应曲线

Fig.8 Tie-line power error between four areas for random load disturbance in area 2

表 2 动态时域响应实验中控制器增益的优化结果

Tab.2 Optimized PID controller parameters

控制器增益	在区域 2 中加入单一负荷扰动时						在区域 2 中加入连续负荷扰动时					
	控制 器 1	控制 器 2	控制 器 3	控制 器 4	控制 器 5	控制 器 6	控制 器 1	控制 器 2	控制 器 3	控制 器 4	控制 器 5	控制 器 6
$K_P$	0.985	0.247	1.000	0.104	0.576	0.934	0.993	0.478	0.845	0.829	0.696	1.000
$K_I$	1.000	0.029	1.000	0.423	1.000	0.983	1.000	0.734	0.641	0.003	0.001	0.999
$K_D$	0.099	0.167	0.173	0.026	0.430	0.157	0.110	0.415	0.116	0.005	0.268	0.168

3.2 鲁棒性分析

鲁棒性是指当系统的变量在一定可容忍范围内改变时,系统仍能有效地执行任务.将系统参数  $T_g$  从其标称值变为标称值的 +25% 和 -25%, 对所设计控制器的鲁棒性进行了检验.图 9 给出了在

这 3 种情况下各区域的频率偏差变化情况.由图 8 观察得到,系统时间常数  $T_g$  对系统性能的影响可以忽略不计,因此,在系统参数变化较大的情况下,所提出的控制器依然能够保持良好的控制效果表现出一定的鲁棒性.

4 结论

针对所建立的含有火、水、气以及可再生能源的四区域多源互联电力系统的负荷频率控制设计了一种采用灰狼优化算法优化的 PID 控制器.首先考虑单一区域中的负荷扰动,比较了在所采用的灰狼优化算法优化下与常用粒子群算法和遗传算法优化下控制器控制效果,仿真结果表明所设计的控制器的具有更好的动态性能.随后对指定区域施加了不同类型的随机负荷扰动,该控制器依然保持较好的控制性能,能快速有效地消除随机负荷扰动的影响.最后通过将系统参数分别变为标称值的 +25% 和 -25% 对控制器进行了灵敏度分析,验证了控制器的鲁棒性.结果表明,笔者

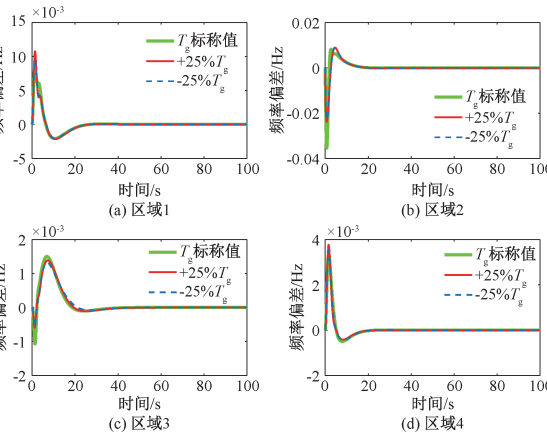


图 9 当  $T_g$  分别为标称值、25%标称值和 -25%标称值时 4 个区域的频率偏差

Fig.9 Frequency deviation of four areas with variation of  $T_g$

所设计的控制器具有较好的鲁棒性和稳定性,即使在系统参数变化较大的情况下,也依然保持良好的控制性能。

## 附录

算法参数选取如下:

$R_i = 2.4 \text{ Hz/(p.u.)}$ ,  $T_{gi} = 0.08 \text{ s}$ ,  $T_{ti} = 0.3 \text{ s}$ ,  
 $K_f = 0.5$ ,  $T_{ri} = 10 \text{ s}$ ,  $T_w = 1 \text{ s}$ ,  $T_{rh} = 0.6 \text{ s}$ ,  $T_{th} = 10 \text{ s}$ ,  
 $T_{gh} = 48.7 \text{ s}$ ,  $X_c = 0.6 \text{ s}$ ,  $Y_c = 1 \text{ s}$ ,  $T_f = 0.23 \text{ s}$ ,  $T_{cr} =$   
 $0.01 \text{ s}$ ,  $T_{cd} = 0.05 \text{ s}$ ,  $K_{pi} = 120 \text{ Hz/(p.u.)}$ ,  $T_{pi} = 20 \text{ s}$

## 参考文献:

- [1] 胡泽春, 罗浩成. 大规模可再生能源接入背景下自动发电控制研究现状与展望[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(8): 2-15.
- [2] SAHU R K, PANDA S, ROUT U K. DE optimized parallel 2-DOF PID controller for load frequency control of power system with governor dead-band non-linearity[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2013(49): 19-33.
- [3] SAIKIA L C, NANDA J, MISHRA S. Performance comparison of several classical controllers in AGC for multi-area interconnected thermal system[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2011, 33(3): 394-401.
- [4] PRADHAN P C, SAHU R K, PANDA S. Firefly algorithm optimized fuzzy PID controller for AGC of multi-area multi-source power systems with UPFC and SMES[J]. Engineering Science & Technology An International Journal, 2016, 19(1): 338-354.
- [5] RAHMAN A, SAIKIA L C, SINHA N. Automatic generation control of an interconnected two-area hybrid thermal system considering dish-stirling solar thermal and wind turbine system[J]. Renewable Energy, 2017, 105: 41-54.
- [6] SHARMA Y, SAIKIA L C. Automatic generation control of a multi-area ST-Thermal power system using Grey Wolf Optimizer algorithm based classical controllers[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2015(73): 853-862.
- [7] 周晖, 付娅, 韩盟, 等. 基于粒子群算法的含大规模风电互联系统的负荷频率控制[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 4(10): 1-7.
- [8] 丁冬, 刘宗歧, 杨水丽, 等. 基于模糊控制的电池储能系统辅助 AGC 调频方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(8): 81-87.
- [9] SHREE S B, KAMARAJ N. Hybrid neuro fuzzy approach for automatic generation control in restructured power system[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2016 (74): 274-285.
- [10] GOLPRA H, BEVRANI H. Application of GA optimization for automatic generation control design in an interconnected power system[J]. Energy Conversion & Management, 2011, 52(5): 2247-2255.
- [11] JEYALAKSHMI V, SUBBURAJ P. PSO-scaled fuzzy logic to load frequency control in hydro thermal power system [J]. Soft Computing, 2016, 20(7): 2577-2594.
- [12] 谢平平, 李银红, 刘晓娟, 等. 基于社会学习自适应细菌觅食算法的互联网 AGC 最优 PI/PID 控制器设计[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(20): 5440-5448.
- [13] SOUED S, EBRAHIM M A, RAMADAN H S, et al. Optimal blade pitch control for enhancing the dynamic performance of wind power plants via metaheuristic optimisers[J]. IET Electric Power Applications, 2017, 11(8): 1432-1440.
- [14] SAIKIA L C, SAHU S K. Automatic generation control of a combined cycle gas turbine plant with classical controllers using Firefly Algorithm [J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2013 (53): 27-33.
- [15] DASH P, SAIKIA L C, SINHA N. Comparison of performances of several Cuckoo search algorithm based 2DOF controllers in AGC of multi-area thermal system [J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2014(55): 429-436.
- [16] SAHU B K, PATI S, MOHANTY P K. Teaching-learning based optimization algorithm based fuzzy-PID controller for automatic generation control of multi-area power system [J]. Applied Soft Computing Journal, 2015(27): 240-249.
- [17] 常玉林, 汪小淳, 张鹏. 改进蚁群算法在交通分配模型中的应用[J]. 郑州大学学报(工学版), 2017, 38(2): 41-45.
- [18] MIRJALILI S, MIRJALILI S M, LEWIS A. Grey wolf optimizer [J]. Advances in Engineering Software, 2014, 69(3): 46-61.
- [19] LEE D J, WANG L. Small-signal stability analysis of an autonomous hybrid renewable energy power generation/energy storage system part i: time-domain simulations[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2008, 23(1): 311-320.
- [20] DAS D C, SINHA N, ROY A K. Small signal stability analysis of dish-stirling solar thermal based autonomous hybrid energy system[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2014, 63(1): 485-498.

## Load Frequency Control of Multi-source Power System Based on Grey Wolf Optimization

HOU Guolian, GUO Yadi, GONG Linjuan

(School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** With the rapid development of interconnected power systems and the large-scale intervention of renewable energy, power systems were characterized by interconnectedness and multiple sources. In this circumstance, the study in this paper began with the actual needs of multi-source interconnected power system. Firstly, a four-area multi-source interconnected power system with the participation of fire, water, gas and renewable energy was established and each area contained more than one form of power generation. Then, aiming at the randomness and fluctuation of renewable energy generation process, the load frequency was controlled by the grey wolf optimization (GWO) algorithm based PID controller to stabilize the frequency fluctuation quickly. Finally, the simulation results showed that the proposed controller could achieve good control effect and show strong robustness under different disturbances, regardless of the frequency deviation of the interconnected system or the switching power of the tie-line.

**Key words:** renewable energy; multi-source power; grey wolf optimization(GWO); load frequency control; optimal control