

基于改进变尺度混沌优化算法的微网优化运行

张双乐¹,李鹏¹,陈超¹,施儒昱²

(1. 华北电力大学 新能源电力系统国家重点实验室,河北 保定 071003;

2. 江苏省电力公司苏州供电公司,江苏 苏州 215004)

摘要: 研究了变尺度混沌优化算法的变量空间缩小系数、“二次搜索”调节系数对混沌优化结果的影响,并提出了变量空间缩小系数、“二次搜索”调节系数的确定公式。按照所提出的公式,随着“二次搜索”次数的增加、变量搜索空间的减小,变量空间缩小系数、“二次搜索”调节系数的数值可以不断地减小以保证寻优结果的精度。数值算例和应用实例验证了所提改进变尺度混沌优化算法的正确性和有效性。将混沌优化算法应用于微网内微电源的经济优化运行,分析了微电源在不同目标函数下的出力变化情况。

关键词: 电力系统; 混沌理论; 优化; 变尺度; 微网; 优化运行

中图分类号: TM 732

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.01.013

0 引言

微网是一种由负荷、微电源(分布式电源)和储能装置共同组成的有机系统。微网可以有效地整合各种新能源发电技术,充分发挥新能源发电所带来的经济效益和环境效益;可以更好地满足用户对电能质量和供电可靠性更高的要求;可以实现电网的削峰填谷,提高能源的利用率^[1-3]。

微网的优化运行是微网研究的重点和难点问题,已经引起了人们的广泛关注。微网的优化运行主要有如下几个特点:由于微网主要接入配电网中,电压等级低,系统中输电线路的电阻起主导作用,线路损耗较大,不能忽略^[4];由于风力发电、光伏发电等新能源发电技术受自然环境的影响较大,输出功率具有随机性、波动性、间歇性,微网的优化运行要求实时性比较强,一般在秒级;由于微网内的微电源与传统的火电机组有很大的区别,不能简单应用等耗量微增率准则,一般采用智能优化算法来进行优化。

混沌优化算法具有遍历性、随机性、规律性的特点,能在一定的范围内按照自身的规律不重复地遍历所有的状态^[5]。混沌优化算法能避免陷入局部极小,比随机搜索更具有优越性,易于跳出局部最优解^[6]。文献[7]将混沌优化算法用于电力系统经济负荷分配,并与遗传算法相比较,证明了混沌优化算法的优越性。文献[8]首次提出了变尺度混沌优化算法,并通过数值算例验证了所提算法的有效性。文献[9]对变尺度混沌优化算法进行了改进,并将改进后的算法应用于大规模电力系统经济负荷分配的算例中,与其他算法相比取得了更优的结果。

本文研究了变尺度混沌优化算法的初值、变量空间缩小系数、“二次搜索”调节系数对优化结果的影响,并提出了相应的改进措施,通过数值算例验证了改进措施的有效性。结合微网中微电源的特点建立了微网优化运行的数学模型,应用改进后的算法进行优化,取得了预期的效果。

1 对变尺度混沌优化算法的改进

1.1 参数的影响

变尺度混沌优化方法的具体算法步骤详见文献[8]。从理论上讲,由于混沌变量的遍历性特点,不受初值的影响,但是迭代步数是有限的,混沌变量也就不可能遍历所有的状态,不同的初值会出现不同的结果。针对这一问题,文献[9]提出了将初值选为随机数和并行搜索的方法,但是该方法可能会使计算时间明显增加。

变量空间缩小系数和“二次搜索”调节系数选择不恰当,可能会造成无法找到全局最优点,而只能找到局部最优的情况。同时,变量空间缩小系数和“二次搜索”调节系数的选择与目标函数有很大的关系,目标函数不变,改变缩小系数或调节系数,可以得到不同的优化结果。

1.2 算法改进

本文在文献[8-9]的基础上对变尺度混沌优化算法中变量空间缩小系数、“二次搜索”调节系数的选择进行了改进,减少了这些参数对不同目标函数优化结果的影响。

1.2.1 变量空间缩小系数的选取

在变尺度混沌优化算法中,需要根据搜索进程不断地缩小优化变量的搜索空间^[8],变量空间缩小系数就是表征优化变量的搜索空间在每次“二次搜索”过程中缩小程度的参数,本文用 t 来表示。

文献[8]给出了变量空间变化的公式,如式(1)所示:

$$\begin{cases} a_i^{r+1}=x_i^r-t(b_i^r-a_i^r) \\ b_i^{r+1}=x_i^r+t(b_i^r-a_i^r) \end{cases} \quad (1)$$

其中, i 表示第 i 个变量, r 表示“二次搜索”的次数, x_i^r 表示第 r 次“二次搜索”得到的第 i 个变量的最优值, b_i^r, a_i^r 分别表示第 i 个变量在第 r 次“二次搜索”时的上限和下限, b_i^{r+1}, a_i^{r+1} 分别表示第 i 个变量在第 $r+1$ 次“二次搜索”时的上限和下限。

文献[8]指出 t 的范围是 $(0,0.5)$,同时随着“二次搜索”次数 r 的不断增大,变量的搜索范围也在不断缩小。由式(1)可以看出变量的搜索空间在当前最优解附近进行调整,搜索空间的调整程度与变量搜索空间的大小有关,当搜索空间较大时, t 应取较大的值,以保证搜索的速度;当搜索空间较小时, t 应取较小的值,以保证搜索的精度。

为此本文提出了参数 t 的确定公式,如式(2)所示:

$$t = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{1}{|b_i^r - a_i^r|}\right) \quad (2)$$

由式(2)可以看出, t 的范围在 $(0,0.5)$ 之间,满足文献[8]的要求。同时,随着“二次搜索”次数 r 的增加,变量搜索空间不断减小, t 的数值也将不断减小。

1.2.2 “二次搜索”调节系数的选取

文献[8]指出在变尺度混沌优化算法中,还需要根据搜索的进程不断改变“二次搜索”调节系数。“二次搜索”调节系数是指在粗搜索得到的次优点的基础上进行微调,得到新的混沌变量,用新的混沌变量进行“二次搜索”,本文中,“二次搜索”调节系数用 α 表示。文献[8]给出了变尺度的公式,如式(3)所示:

$$x_{i,k}^{r+1} = (1-\alpha)x_i^r + \alpha x_{i,k}^r \quad (3)$$

其中, k 表示第 k 次混沌搜索; $x_{i,k}^{r+1}$ 表示在第 $r+1$ 次“二次搜索”中,第 i 个变量在第 k 次混沌搜索中用到的混沌变量; x_i^r 表示第 r 次搜索得到的第 i 个变量的次优点; $x_{i,k}^r$ 表示在第 r 次“二次搜索”中,第 i 个变量在第 k 次混沌搜索中用到的混沌变量。

由式(3)可以看出 α 应该是一个与“二次搜索”次数 r 相关的数,并且 α 的取值应该是一个较小的数,以保证在次优点附近进行微调。同时,随着“二次搜索”次数的增加,寻优结果不断向真值靠近, α 应该不断地减小以保证寻优结果的精度。

为此本文提出了参数 α 的确定公式,如式(4)所示:

$$\alpha = \exp(-r) \quad (4)$$

1.3 数值仿真

本文采用2个常用的测试函数 F_1, F_2 对算法进行测试^[8-9],所有的数值仿真和实例计算都在MATLAB中编程实现。

测试函数 F_1 如下:

$$\min(x_1, x_2) = 100(x_1^2 - x_2)^2 + (1 - x_1)^2 \quad (5)$$

其中,变量的取值范围为: $-2.048 \leq x_1 \leq 2.048, -2.048 \leq x_2 \leq 2.048$ 。此测试函数的理论最优解为 $\min(1, 1) = 0$ 。

测试函数 F_2 如下:

$$\begin{aligned} \min(x_1, x_2) = & [1 + (x_1 + x_2 + 1)^2(19 - 14x_1 + \\ & 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2)] \times \\ & [30 + (2x_1 - 3x_2)^2(18 - 32x_1 + \\ & 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2)] \end{aligned} \quad (6)$$

其中,变量的取值范围为: $-2 \leq x_1 \leq 2, -2 \leq x_2 \leq 2$ 。此测试函数的理论最优解为 $\min(0, -1) = 3$ 。

本文在进行测试的过程中,选定了相同的迭代步数,即算法耗时是一定的。表1是本文算法和文献[8]算法的对比结果。

表1 本文算法与文献[8]对比结果

Tab.1 Comparison of results between proposed algorithm and algorithm in paper[8]

算法	F_1	F_2
文献[8]	0.0321	3.0612
本文	0.0030	3.0016

由表1可以看出本文所选取的变量空间缩小系数 t 、“二次搜索”调节系数 α ,在迭代步数一定的情况下,能够得到更优的解,证明了本文算法的寻优效果更好。

1.4 实例验证

以文献[7]中的3机6母线系统为例,总负荷为500 MW,不考虑阙点效应和网损的情况下,惩罚因子选为10,在机组之间进行负荷的优化分配。各单元机组的参数如表2所示。本文算法运行3次得到的可行解,与文献[7]、文献[8]中算法的结果进行比较,如表3所示。由表3可见,本文算法得到的负荷分配结果比文献[7]和文献[8]的算法得到的结果费用更低,证明了本文算法的有效性。

表2 单元机组参数

Tab.2 Data of units

机组编号	燃料费用系数					机组出力/MW	
	a	b	c	g	h	上限	下限
1	0.00156	7.92	561	300	0.0315	600	100
2	0.00194	7.85	310	200	0.0420	400	100
3	0.00482	7.97	78	150	0.0630	200	50

表3 本文算法与其他算法结果的比较

Tab.3 Comparison of results between proposed algorithm and other algorithms

算法	P_1 /MW	P_2 /MW	P_3 /MW	$\sum P_i$ /MW	成本/¥
本文(1)	234.04	197.46	68.50	500.01	5082.30
本文(2)	225.73	209.65	64.50	499.88	5082.62
本文(3)	234.63	200.25	64.93	499.81	5082.62
文献[7]	237.73	187.58	74.69	500.00	5083.04
文献[8]	244.54	190.43	65.02	499.99	5082.95

2 微网优化运行的数学模型

2.1 微网参数

本文采用简化的微网模型,该微网共有 10 个节点,具体结构如图 1 所示。微电源有微型燃气轮机(MTG)、柴油发电机(DEG)、蓄电池(BAT)、光伏电池(PV)、超级电容器(SC)。其中 PV 和 SC 的输出功率作为已知量处理,不作为优化变量。PV 的实际出力设定为 3 kW,SC 的实际出力设定为 2 kW。微电源容量如下:MTG 为 20 kW,DEG 为 15 kW,BAT 为 15 kW,PV 为 5 kW,SC 为 5 kW。负荷容量如下:负荷 1 为 $10+j0.1$ kW,负荷 2 为 $15+j0.17$ kW,负荷 3 为 $7.5+j0.05$ kW,负荷 4 为 $7.5+j0.08$ kW。本文在做微网优化运行时,只考虑了微网孤岛运行的情况,所以设定并网节点 9 的功率为 0。

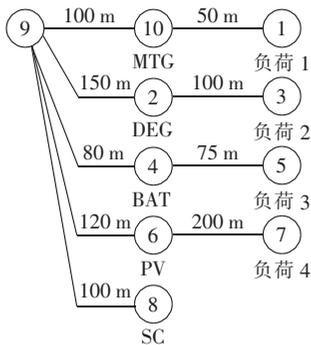


图 1 微网的结构图

Fig.1 Structure of microgrid

2.2 目标函数

微网的优化运行是一个多目标、多约束条件的复杂优化问题^[10]。本文同时考虑了微网的经济成本最小和网损最小作为目标函数,其中经济成本主要考虑了燃料成本、运行维护成本、环境折算成本。给不同的子目标函数赋予不同的权重,进行线性加权,将多目标问题转化为单目标问题,同时采用罚函数的方法对约束条件进行处理。

2.2.1 微网经济成本

2.2.1.1 燃料成本

a. MTG 的燃料成本与自身的工作效率有关,表达式如式(7)所示:

$$F_{\text{MTG}} = C \frac{1}{V_{\text{LH}}} \frac{P_{\text{MTG}}}{\eta_{\text{MTG}}} \quad (7)$$

$$\eta_{\text{MTG}} = 0.0753 \left(\frac{P_{\text{MTG}}}{65} \right)^3 - 0.3095 \left(\frac{P_{\text{MTG}}}{65} \right)^2 + 0.4174 \frac{P_{\text{MTG}}}{65} + 0.1068 \quad (8)$$

其中, F_{MTG} 为 MTG 的燃料成本; C 为 MTG 采用的燃料气体的单价,本文取 2 元/ m^3 ; V_{LH} 为天然气的低热热值,本文取 $9.7 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$; P_{MTG} 为 MTG 的输出功率; η_{MTG} 为 MTG 的效率,其大小与 MTG 输出功率的大小

有关^[11]。

b. DEG 的燃料成本就是它的耗量特性函数,如式(9)所示^[12]:

$$F_{\text{DEG}} = a + bP_{\text{DEG}} + cP_{\text{DEG}}^2 \quad (9)$$

其中,参数 a 、 b 、 c 的大小一般由生产厂家给定,本文选取 $a=6$, $b=0.012$, $c=8.5 \times 10^{-4}$ 。

c. 根据 BAT 的特性可知,BAT 不消耗燃料,不存在燃料费用。

2.2.1.2 运行维护成本

微电源的运行维护成本可以用微电源输出功率乘以相关的系数来表示,如式(10)所示:

$$E = \sum_{i=1}^N k_i P_i \quad (10)$$

其中, E 为微电源总的运行维护成本, k_i 为第 i 个微电源的运行维护成本系数, P_i 为第 i 个微电源的输出功率, N 为微电源的数目。 k_i 的大小按照文献^[12]选取,具体如式(11)所示:

$$\begin{aligned} K_{\text{MTG}} &= 0.03849 \text{ 元/kW} \\ K_{\text{DEG}} &= 0.08249 \text{ 元/kW} \\ K_{\text{BAT}} &= 0.02748 \text{ 元/kW} \end{aligned} \quad (11)$$

2.2.1.3 环保折算成本

MTG 和 DEG 在运行的过程中会产生氮氧化物(NO_x)、二氧化硫(SO_2)、二氧化碳(CO_2)等空气污染物。考虑到微网的环境效益,将这些污染物按照一定的成本进行折算,作为微网优化运行的目标。具体计算公式如式(12)所示:

$$C_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^q P_i a_{ij} c_j \quad (12)$$

其中, C_1 为微网的环保折算成本, P_i 为第 i 个微电源的输出功率, N 为微电源的数目, a_{ij} 为第 i 个微电源排放的第 j 种污染物的量, q 为污染物的种类, c_j 为第 j 种污染物的折算成本。

不同种类的污染物折算成本以及 MTG、DEG 的排放因子如表 4 所示^[13]。蓄电池由于其自身的运行特性,不产生污染物。

表 4 折算成本和排放因子

Tab.4 Conversion cost and discharge factor

排放类型	折算成本/ (元· kg^{-1})	MTG 排放因子/ ($\text{kg} \cdot \text{kW}^{-1}$)	DEG 排放因子/ ($\text{kg} \cdot \text{kW}^{-1}$)
NO_x	27.54	4.4×10^{-4}	2.18×10^{-2}
SO_2	6.49	8.0×10^{-6}	4.54×10^{-4}
CO_2	0.092	1.6×10^{-3}	1.40×10^{-3}

综合考虑以上因素,微网的经济成本如式(13)所示:

$$V_{\text{cost}} = F_{\text{MTG}} + F_{\text{DEG}} + E + C_1 \quad (13)$$

其中, V_{cost} 表示微网的经济成本。

2.2.2 网损

由于微网一般都接在电压等级较低的配电网

中,而配电网中 R/X 的值一般较大,在 5 到几十之间^[14],因此微网中传输线的网损比传统大电网的网损明显加大,不可忽略不计。网损通过潮流计算的方法得到,如式(14)所示:

$$P_{\text{loss}} = \sum_{k=1}^M \frac{P_k^2 + Q_k^2}{|U_k|^2} R_k \quad (14)$$

其中, P_k 、 Q_k 为第 k 条支路传输的有功、无功功率, M 为支路总数, R_k 为支路 k 电阻, $|U_k|$ 为支路电压幅值。

2.3 约束条件

功率平衡约束:

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_{\text{load}} + P_{\text{loss}} \quad (15)$$

其中, P_i 为第 i 个微电源输出的功率, N 为微电源的数目, P_{load} 为总负荷。

微电源输出功率约束:

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (16)$$

其中, P_i^{\min} 、 P_i^{\max} 分别为第 i 个微电源输出功率的下限和上限。

节点电压约束:

$$U_i^{\min} \leq U_i \leq U_i^{\max} \quad (17)$$

其中, U_i 为第 i 个节点的电压, U_i^{\min} 、 U_i^{\max} 分别为第 i 个节点的电压下限和上限。

3 算例仿真

本文选取的微网电压等级为 380 V, 线路选择 LJ-16 型导线, 线路阻抗为 $R = 1.98 \Omega/\text{km}$, $X = 0.358 \Omega/\text{km}$ ^[15-16]。采用本文提出的改进变尺度混沌优化算法进行计算。目标函数为 $F = \lambda_1 V_{\text{cost}} + \lambda_2 P_{\text{loss}}$, λ_1 、 λ_2 分别为多目标的权重系数, 并且满足 $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$ 。

算法步骤如下。

a. 初始化。输入优化变量的维数 N , 各个微电源的输出功率上下限 b_i 、 a_i , “一次搜索”最大迭代步数, “二次搜索”最大迭代步数, 权重 λ_1 、 λ_2 的取值, 惩罚因子等参数, 并随机生成 N 个混沌变量。

b. 一次搜索。将混沌变量映射到待优化变量的取值范围内, 用混沌变量进行搜索。

c. 判断“一次搜索”迭代步数是否满足“一次搜索”的最大迭代步数。若不满足则继续迭代搜索, 若满足则进行步骤 **d**。

d. 变尺度。对“一次搜索”得到的当前最优解进行变尺度得到新的优化变量, 并调整各变量的搜索空间。

e. 二次搜索。用新的混沌变量在调整后的搜索空间内执行步骤 **b**、**c**。

f. 重复执行步骤 **d**、**e**。

g. 判断“二次搜索”迭代步数是否满足“二次搜索”的最大迭代步数。若不满足则继续迭代搜索, 若

满足则输出微网优化运行结果。

对 λ_1 、 λ_2 赋予不同的值, 计算结果如表 5 所示。

表 5 权重不同时的微电源出力情况
Tab.5 Outputs of micro-sources for different weight coefficients

λ_1	P_{MTC}/kW	P_{DEG}/kW	P_{BAT}/kW	成本/元	网损/kW
0	12.29	13.38	9.66	37.76	0.33
0.2	7.06	14.62	13.69	33.07	0.37
0.8	5.57	14.89	14.94	31.50	0.40
1	5.65	14.99	14.86	28.69	0.50

由表 5 的结果可以看出, 考虑不同的权重, 将得到不同的优化结果, 各个微电源的输出功率也不同。在进行微网的优化运行时, 应结合不同用户的需要, 综合考虑不同的影响因素。

4 结论

本文对变尺度混沌优化算法进行了改进, 并利用典型的数值算例进行了验证, 证明了改进的有效性。将该方法应用到电力系统负荷优化分配中, 取得了比传统的变尺度混沌优化算法更好的效果。

本文考虑了微网的燃料费用、运行维护费用、环保折算费用和网损多个优化目标, 构建了微网优化的多目标函数。在满足系统约束条件的前提下, 采用本文所提出的改进变尺度混沌优化算法对微网中微电源的优化运行进行了分析, 为进一步研究微网中微电源的有效管理提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 李鹏, 张玲, 王伟, 等. 微网技术应用与分析[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(20): 109-115.
LI Peng, ZHANG Ling, WANG Wei, et al. Application and analysis of microgrid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(20): 109-115.
- [2] 鲁宗相, 王彩霞, 闵勇, 等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 100-107.
LU Zongxiang, WANG Caixia, MIN Yong, et al. Overview on micro-grid research[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 100-107.
- [3] 张建华, 黄伟. 微电网运行控制与保护技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 5-13.
- [4] 陈达威, 朱桂萍. 微电网负荷优化分配[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(20): 45-49.
CHEN Dawei, ZHU Guiping. An investigation on optimal load distribution of microgrids[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(20): 45-49.
- [5] 李兵, 蒋慰孙. 混沌优化方法及其应用[J]. 控制理论与应用, 1997, 14(4): 613-615.
LI Bing, JIANG Weisun. Chaos optimization algorithm and its application[J]. Control Theory & Application, 1997, 14(4): 613-615.
- [6] 刘丽军, 李捷, 蔡金锭. 基于强引导粒子群和混沌优化的电力系统无功优化[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(4): 71-75.
LIU Lijun, LI Jie, CAI Jinding. Reactive power optimization

- based on induction-enhanced particle swarm optimization and chaos search[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(4):71-75.
- [7] 唐巍,李殿璞. 电力系统经济负荷分配的混沌优化方法[J]. 中国电机工程学报,2000,20(10):36-40.
TANG Wei,LI Dianpu. Chaotic optimization for economic dispatch of power system[J]. Proceedings of the CSEE,2000,20(10):36-40.
- [8] 张彤,王宏伟,王子才. 变尺度混沌优化算法及其应用[J]. 控制与决策,1999,14(3):285-288.
ZHANG Tong,WANG Hongwei,WANG Zicai. Mutative scale chaos optimization algorithm and its application[J]. Control and Decision,1999,14(3):285-288.
- [9] 王爽心,韩芳,朱衡君. 基于改进变尺度混沌优化方法的经济负荷分配[J]. 中国电机工程学报,2005,25(24):90-95.
WANG Shuangxin,HAN Fang,ZHU Hengjun. Economic load dispatch based on improved mutative scale chaotic optimization [J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(24):90-95.
- [10] 汪少勇. 基于分布式电源的微网的设计与实现[J]. 电力自动化设备,2011,31(4):120-123.
WANG Shaoyong. Design and operation of micro-grid based on distributed generation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011,31(4):120-123.
- [11] 郭佳欢. 微网经济运行优化的研究[D]. 北京:华北电力大学,2010.
GUO Jiahuan. Study on economic operation optimization of micro-grid[D]. Beijing:North China Electric Power University,2010.
- [12] 陈达威. 微电网中负荷优化分配技术研究[D]. 北京:清华大学,2010.
CHEN Dawei. Study on load optimization dispatch of microgrid [D]. Beijing:Tsinghua University,2010.
- [13] MOHAMED F A,KOIVO H N. System modeling and online optimal management of microgrid using multiobjective optimization[C]//International Conference on Clean Electrical Power. Capri,Italy:IEEE,2007:148-153.
- [14] 陈达威,朱桂萍. 低压配电网中的功率传输特性[J]. 电工技术学报,2010,25(7):117-122.
CHEN Dawei,ZHU Guiping. Power transmission characteristics of voltage microgrids[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2010,25(7):117-122.
- [15] 曹绳敏. 电力系统课程设计及毕业设计参考资料[M]. 北京:水利电力出版社,1995:114.
- [16] KROPOSKI B,LASSETER R,ISE T,et al. Making microgrid work[J]. IEEE Power & Energy Magazine,2008,6(2):41-53.

作者简介:

张双乐(1986-),男,河北邢台人,硕士研究生,研究方向为新能源并网发电与微网新技术(**E-mail**:zsl861003@126.com);

李鹏(1965-),男,河北保定人,教授,博士,研究方向为新能源并网发电与微网新技术(**E-mail**:ncepulp@gmail.com);

陈超(1988-),男,安徽芜湖人,硕士研究生,研究方向为微网的控制与运行(**E-mail**:ccsdtc1988@gmail.com)。

Economic operation of microgrid based on improved mutative scale chaotic optimization

ZHANG Shuangle¹,LI Peng¹,CHEN Chao¹,SHI Ruyu²

- (1. State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;
2. Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215004, China)

Abstract: The variable space narrowing coefficient and the “secondary search” adjustment coefficient of the mutative scale chaotic optimization algorithm are studied, and their determining formulas are proposed. Along with the increase of “secondary search” number and the decrease of variables search space, the variable space narrowing coefficient and the “secondary search” adjustment coefficient decrease continuously to ensure the accuracy of optimization result. Numerical simulation and instance validation verify that, the proposed optimization algorithm is correct and effective. This algorithm is applied to the economic operation of micro-sources in microgrid and their outputs under different objective functions are analyzed.

Key words: electric power systems; chaos theory; optimization; mutative scale; microgrid; optimal operation