

文章编号:1674-2974(2016)04-0105-08

基于多智能体遗传算法的配电网节能 降耗综合管理系统*

方璐^{1†}, 詹军¹, 徐先勇², 方厚辉¹

(1. 湖南大学现代工程训练中心, 湖南长沙 410082; 2. 国网湖南省电力公司电力科学研究院, 湖南长沙 410007)

摘要:针对目前企业配电网节能技术的不足,提出了一种基于多智能体遗传算法的配电网节能降耗综合管理系统.结合遗传算法(Genetic algorithm, GA)和多智能体系统(Multi-Agentsystem, MAS)技术构造了一种GA-MAS算法,每一个多智能体相当于遗传算法中一个个体,相邻的多智能体相互作用,并结合遗传算法的进化机理进行全局最优求解.提出了该系统各节能设备智能体结构模型和高压/低压多智能体系统结构模型,运用GA-MAS算法,得出各个节能设备的最佳调节力度,使节能设备以最小的调节代价获得最大的节能效益.具体算例仿真及工程实际应用表明本文提出的配电网节能降耗综合管理系统能使总有功网损降低,电容器投入总组数减少,实现节能设备的最佳调节,同时表明GA-MAS算法收敛速度较快.

关键词:综合管理系统;节能降耗;节能设备多智能体;遗传算法

中图分类号:TM92

文献标识码:A

Energy Saving Management System of Distribution Network Based on Multi-agent Genetic Algorithm

FANG Lu^{1†}, ZHAN Jun¹, XU Xian-yong², FANG Hou-hui¹

(1. Modern Engineering Training Center, Hunan Univ, Changsha, Hunan 410082, China;

2. Research Institute of Hunan Electric Power Corporation, Changsha, Hunan 410007, China)

Abstract: Aiming at the deficiency of energy saving technology in enterprise distribution network, an energy saving management system of distribution network based on multi-agent genetic algorithm was proposed. Combined with genetic algorithm and multi-agent system, a GA-MAS algorithm was proposed. Each multi-agent was equivalent to an individual of genetic algorithm, and the adjacent multi-agent was in interaction. The GA-MAS algorithm was combined with the evolutionary mechanism of the genetic algorithm for global optimal solution. The agent structure model of the energy saving equipment and the intelligent architecture model of high / low voltage system were presented. Using the proposed GA-MAS algorithm, the optimal regulation of energy-saving equipment was obtained, so the least cost of the energy-saving equipment had the biggest energy saving profit. The simulation and practical application have shown that the proposed energy saving management system of distribution network can reduce the total active

* 收稿日期:2015-05-31

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51507057), National Natural Science Foundation of China(51507057)

作者简介:方璐(1983-),女,湖南平江人,湖南大学实验师,博士

† 通讯联系人, E-mail:2001xxy@163.com

power loss and the total number of capacitors, and achieve the best regulation of energy-saving device. It has also been shown that the proposed GA-MAS algorithm has faster convergence speed.

Key words: integrated management system; saving energy and reducing consumption; multi-agent of energy saving equipment; genetic algorithm

节能已成为我国经济和社会发展的一项长远战略方针,节电则是国家节能战略的重要组成部分^[1-2].纵观目前企业配电网节能技术,存在以下不足^[3]:1)整个配电网缺乏全局的规划与管理手段,能量管理水平不高,没有形成“全方位、多方面”的综合节能降耗.2)企业配电网只是进行了局部优化管理,具有很大的局限性.3)企业配电网的节能设备还是单一运行的,形成“孤岛”林立的局面,信息比较分散,集成度不高,不便于高层管理和控制.4)单一独立节点节能设备之间相互影响,一旦局部调节过度或不足会造成临近线路的故障,形成“要害区域”.5)单一节能设备只具备某一方面的节能职能,不能满足社会对全方面节能的需要.且节能设备的独立控制容易导致设备调节过于频繁,设备使用寿命缩短,维护成本增加.

智能体(Agent)是一种具有感知能力、问题求解能力和与外界通信能力的实体^[4-5].多智能体系统(Multi-Agent System, MAS)由多个松散耦合的、粗粒度的、具有感知能力、问题求解能力、能够与系统中其他智能体通信的智能体组成的网络结构. MAS在兼顾单个智能体系统优点的同时,通过协商、协调和协作,完成复杂的控制任务或解决复杂的问题.

遗传算法(GA)是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化算法^[6-10].本文结合GA和MAS技术构造了多智能体遗传优化算法(GA-MAS),该算法利用Agent的局部感知、竞争协同和自学习等特性来实现生物对环境的自适应.由于所有操作都作用于局部种群而不是整个种群,从而维持了群体的多样性,在一定程度上抑制了遗传算法的早熟现象.

针对上述现有技术的不足及其存在的缺陷,结合GA和MAS技术,提出了一种基于多智能体遗传优化算法(GA-MAS)的配电网节能降耗综合管理系统.给出了管理系统的基本结构模型和节能设备多智能体的结构模型,运用GA-MAS算法,得出

各个节能设备的最佳调节力度,使节能设备以最小的调节代价获得最大的节能效益.通过具体算例仿真及工程实际应用表明本文提出的管理系统能使总有功网损降低,电容器投入总组数减小,同时表明GA-MAS算法有很好的计算效率及收敛稳定性.

1 无功优化模型

在实际工程应用中,无功补偿装置必然会产生有功损耗及运行维护费用,另外,当配电网无功资源不足时,需要增加无功补偿设备,产生额外投资.因而,系统在追求有功网损最小的同时,综合考虑无功补偿装置总投入最小建立目标函数:

$$\min f_{Q1} = \sum_{i=1}^n Q_{Ci} (\Delta P_C CT + K_1) + C \Delta P t, \quad (1)$$

$$\Delta P = \sum_{i=1}^N V_i \sum_{j \in i} V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}). \quad (2)$$

其中, N 为系统节点数, n 为加装无功补偿装置的节点数, Q_{Ci} 为节点 i 上无功补偿容量, ΔP_C 为每kVar无功补偿容量的有功损耗, C 为上网电价, T 为年运行小时数, K_1 为电容器年运行维护费用, ΔP 为系统有功损耗, t 为每年最大负荷运行时间. V_i, V_j 分别指节点 i, j 的电压幅值, G_{ij}, B_{ij} 分别指网络导纳矩阵的互导纳元素(互电导、互电纳), θ_{ij} 指节点电压相位差.

$$\min f_{Q2} = \sum_{i=1}^m c_{ui} \Delta u, \quad (3)$$

其中, Δu 为控制变量的变化量; m 为补偿装置种类数,即 c_{ui} 为第 i 种装置调节代价.以变压器为例,成本为 $A_{\cos t}$ 元,允许抽头总调节次数为 T_n 次,抽头永远不调整时的预期寿命是 a 年,经过 T_n 次的抽头调整后寿命缩短到 a' 年,调整设备所增加的运行维护工作量为 B ,则该变压器的抽头每次操作的调节代价(元/次)为:

$$c_{ui} = B + (a - a') A_{\cos t} / a T_n. \quad (4)$$

由式(4)可类似地计算无功补偿装置投切开关的调节代价.

目标优化数学模型为:

①目标函数

$$F_Q = f_{Q1} + f_{Q2}. \quad (5)$$

②等式约束

$$\begin{cases} P_i = V_i \sum_{j \in i} V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}), \\ Q_i = V_i \sum_{j \in i} V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}). \end{cases} \quad (6)$$

③不等式约束

$$\begin{cases} V_{\min} < V_i < V_{\max}, \\ Q_{G\text{SVC}\min} < Q_{G\text{SVC}} < Q_{G\text{SVC}\max}, \\ Q_{G\text{HAPF}\min} < Q_{G\text{HAPF}} < Q_{G\text{HAPF}\max}, \\ Q_{G\text{IVC}\min} < Q_{G\text{IVC}} < Q_{G\text{IVC}\max}, \\ Q_{G\text{DSTATCOM}\min} < Q_{G\text{DSTATCOM}} < Q_{G\text{DSTATCOM}\max}, \\ T_{\min} < T_i < T_{\max}, \\ Q_{G\min} < Q_{G_i} < Q_{G\max}. \end{cases} \quad (7)$$

V_i 为节点 i 电压, $Q_{G\text{SVC}}$, $Q_{G\text{HAPF}}$, $Q_{G\text{IVC}}$, $Q_{G\text{DSTATCOM}}$ 分别为 SVC, HAPF, IVC, DSTATCOM 的无功补偿容量, T_i 为有载调压变压器分接头档位, Q_{G_i} 为发电机无功出力.

2 多智能体遗传优化算法(GA-MAS)

2.1 Agent 的环境

多智能体遗传优化算法是结合 GA 算法和 MAS 的主要特征构造的一种算法. 首先构造 Agent 的生存环境, 每个 Agent 与其邻域相互作用, 并结合 GA 算法的进化机制, 使其能快速、准确地收敛到全局最优解.

将任意一个 Agent α 相当于 GA 算法中一个个体, 其适应值为:

$$f(\alpha) = F_Q. \quad (9)$$

Agent α 的目的就是在满足运行条件的限制下尽可能减小其适应值.

所有的 Agent 都被放入一个生存环境, 即一个 $L \times L$ 的网格, 其中 $L = \sqrt{N}$, N 为群体中个体数. 如图 1 所示, 每个 Agent 都“居住”在该环境里, 并且被固定在一个格子中. 每个 Agent 都有其生存周期和自学习能力, 能感知其邻域中的个体, 并根据感知到的信息自主采取行动策略来完成其意图和目的. 每个 Agent 和其邻域的个体组成了该 Agent 的

局部环境, 如图 1 所示, 虚线框构成了 Agent 2,2 的局部环境. 每个 Agent 只和邻域内其他智能体交配产生新个体, 具有一定局部性, 而它邻域内其他个体又和自身邻域个体交配, 由于邻域的重叠性, 因而所有个体间均存在信息交换, 又具有一定的全局性, 可以维持群体的多样性.

Agent 1,1	Agent 1,2	Agent 1,3	Agent 1,L
Agent 2,1	Agent 2,2	Agent 2,3	Agent 2,L
Agent 3,1	Agent 3,2	Agent 3,3	Agent 3,L
...
Agent L,1	Agent L,2	Agent L,3	Agent L,L

图 1 Agent 的环境结构图

Fig. 1 The structure of agent environment

2.2 GA-MAS 算法流程

GA-MAS 算法流程图如图 2 所示.

1) Pareto 择优操作

每个 Agent 根据其局部环境与其邻域个体两两比较寻找最优解. 在任意一个智能体的局部环境中, 若该个体优于周围其他个体, 则该个体为其邻域中的 Pareto 最优解. 由于是在每个个体的局部环境中进行择优操作, 而不是作用于整个群体, 因而保证了群体的多样性.

2) 交配操作

设参与交配的两个父代为 $P1 = (p_{1,1}, \dots, p_{1,n})$, $P2 = (p_{2,1}, \dots, p_{2,n})$, 父代解空间为 $[m_p, n_p]$, 且

$$m_p = [\min(p_{1,1}, p_{2,1}), \dots, \min(p_{1,n}, p_{2,n})], \quad (10)$$

$$n_p = [\max(p_{1,1}, p_{2,1}), \dots, \max(p_{1,n}, p_{2,n})]. \quad (11)$$

其后代为:

$$S1 = P1 + rand \cdot (n_p - m_p), \quad (12)$$

$$S2 = P2 + (1 - rand)(n_p - m_p). \quad (13)$$

其中, $rand$ 是 $[0, 1]$ 中的一个随机数.

Pareto 择优操作后得到的种群以交叉概率 p_c

按式(12)(13)进行交叉. 交叉后得到的子代个体与其父代进行优劣比较, 若子代优于父代, 则保留子代, 否则, 继续保留父代.

3) 死亡和再生操作

智能体 A_1, A_2 , 如果两点的距离 $d(A_1, A_2) < T_d$ 或对应目标函数的距离 $d(F(A_1), F(A_2)) < T_f$, 就让其中一个智能体死亡, 然后在定义域内随机产生一个新的智能体代替它. 如果某一个智能体比其邻域内其他智能体的性能都差, 则从 Pareto 择优后的解里随机取一个代替.

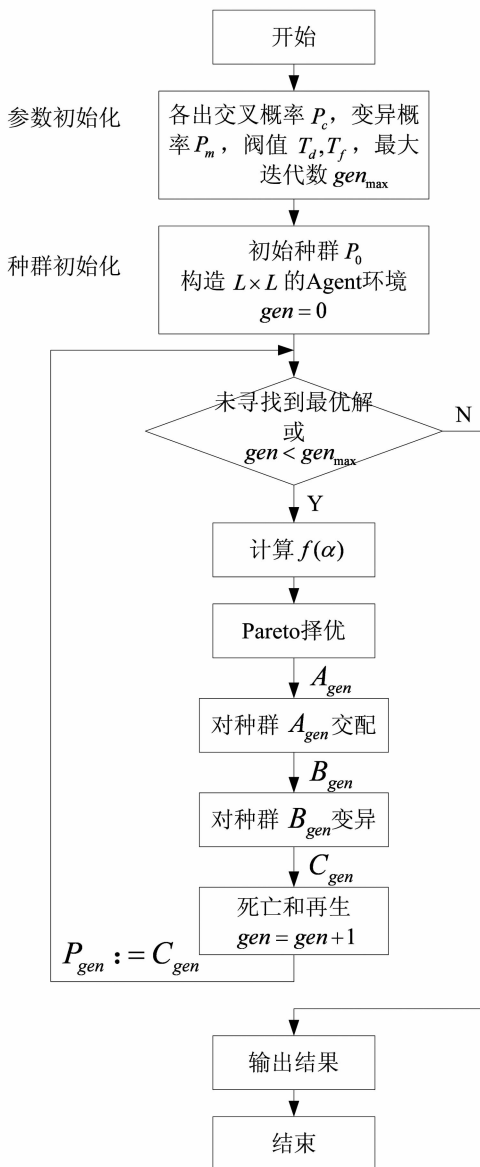


图 2 GA-MAS 算法流程图

Fig. 2 Flow chart of GA-MAS algorithm

3 基于 GA-MAS 的配电网节能降耗综合管理系统

3.1 系统结构

依据多智能体分层分布式系统理论, 基于多智能体的配电网节能降耗综合管理系统结构图如图 3 所示, 包括高压侧、低压侧两级多智能体和管理层.

高/低压侧各个智能体的交互和协调通过任务协调智能体完成, 且任务协调智能体之间可相互通信; 各个智能体通过任务分解智能体与管理层连接, 使不同的智能体连通了相应的管理层的各个系统. 管理层各系统通过智能体之间的通信和交互相互连接起来, 实现了操作平台的互联、互操作和互协调. 管理层各系统的数据可通过 TCP/IP 协议实现各数据库之间互访, 达到数据共享与交换的目的. 从而管理层各系统连通了高压侧多智能体和低压侧多智能体, 实现了高低压侧智能体的交互和协作, 进一步实现多层次节能降耗.

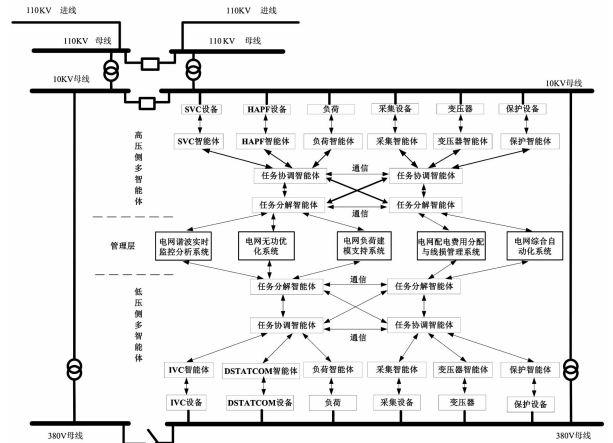


图 3 基于多智能体的配电网节能降耗综合管理系统结构图

Fig. 3 The structure of power saving energy and reducing consumption of integrated management system based on multi-agent

3.2 节能设备智能体结构模型

节能设备智能体是具有节能设备功能结构属性的智能体. 图 3 中节能设备智能体构建过程如下:

第 j 个节能设备智能体结构属性为:

$$S_{hj} = \{g_{hj}, M_{sj}, M_{rj}, N_{cj}, T_1\}. \quad (14)$$

式(14)中 g_{hj} 为第 j 个节能设备智能体对其他节能设备智能体的信念度; M_{sj} 为第 j 个节能设备智能体的初始状态; M_{rj} 为第 j 个节能设备智能体

的目标状态; N_{cj} 为第 j 个节能设备智能体的优先级指标; T_1 为定义时间间隔。

1) SVC 智能体

第 K 个 SVC 智能体其初始状态 M_{sVcK} 和目标状态 M_{rSVCk} 分别为:

$$\begin{cases} M_{sVcK} = \{Q_{sVcK}, V_{sVcK}, i_{sVcK}, N_{sVcK}, T_{sVcK}\} \\ M_{rSVCk} = \{Q_{sVcK}, V_{rSVCk}, i_{rSVCk}, N_{rSVCk}, T_{sVcK}\} \end{cases} \quad (15)$$

式(15)中 Q_{sVcK} 为第 K 个 SVC 设备补偿无功; V_{sVcK} 为第 K 个 SVC 设备节点电压; i_{sVcK} 为第 K 个 SVC 设备输出电流; N_{sVcK} 为第 K 个 SVC 设备优先级; T_{sVcK} 为时间脉冲。

那么第 K 个 SVC 智能体结构属性为:

$$S_{hSVCk} = \{g_{hSVCk}, M_{sVcK}, M_{rSVCk}, N_{sVcK}, T_{sVcK}\} \quad (16)$$

2) HAPF 智能体

第 K 个 HAPF 智能体其初始状态 M_{sHAPFk} 和目标状态 M_{rHAPFk} 分别为:

$$\begin{cases} M_{sHAPFk} = \{I_{sHAPFk}, V_{sHAPFk}, i_{sHAPFk}, N_{sHAPFk}, \\ T_{HAPFk}\} \\ M_{rHAPFk} = \{I_{rHAPFk}, V_{rHAPFk}, i_{rHAPFk}, N_{rHAPFk}, \\ T_{HAPFk}\} \end{cases} \quad (17)$$

式(17)中 I_{sHAPFk} 为第 K 个 HAPF 设备补偿谐波电流; V_{sHAPFk} 为第 K 个 HAPF 设备节点电压; i_{sHAPFk} 为第 K 个 HAPF 设备输出电流; N_{sHAPFk} 为第 K 个 HAPF 设备优先级; T_{HAPFk} 为时间脉冲。

那么第 K 个 HAPF 智能体结构属性为:

$$S_{hHAPFk} = \{g_{hHAPFk}, M_{sHAPFk}, M_{rHAPFk}, N_{sHAPFk}, T_{HAPFk}\} \quad (18)$$

3) IVC 智能体

第 K 个 IVC 智能体其初始状态 M_{sIVcK} 和目标状态 M_{rIVcK} 分别为:

$$\begin{cases} M_{sIVcK} = \{Q_{sIVcK}, V_{sIVcK}, i_{sIVcK}, N_{sIVcK}, T_{IVcK}\} \\ M_{rIVcK} = \{Q_{sIVcK}, V_{rIVcK}, i_{rIVcK}, N_{rIVcK}, T_{IVcK}\} \end{cases} \quad (19)$$

式(19)中 Q_{sIVcK} 为第 K 个 IVC 设备补偿无功; V_{sIVcK} 为第 K 个 IVC 设备节点电压; i_{sIVcK} 为第 K 个 IVC 设备输出电流; N_{sIVcK} 为第 K 个 IVC 设备优先级; T_{IVcK} 为时间脉冲。

那么第 K 个 IVC 智能体结构属性分别为:

$$S_{hIVcK} = \{g_{hIVcK}, M_{sIVcK}, M_{rIVcK}, N_{sIVcK}, T_{IVcK}\} \quad (20)$$

4) DSTATCOM 智能体

第 K 个 DSTATCOM 智能体其初始状态 M_{sDCOMk} 和目标状态 M_{rDCOMk} 为:

$$\begin{cases} M_{sDCOMk} = \{I_{sDCOMk}, V_{sDCOMk}, i_{sDCOMk}, N_{sDCOMk}, \\ T_{DCOMk}\} \\ M_{rDCOMk} = \{I_{rDCOMk}, V_{rDCOMk}, i_{rDCOMk}, N_{rDCOMk}, \\ T_{DCOMk}\} \end{cases} \quad (21)$$

式(21)中 I_{sDCOMk} 为第 K 个 DSTATCOM 设备补偿无功; V_{sDCOMk} 为第 K 个 DSTATCOM 设备节点电压; i_{sDCOMk} 为第 K 个 DSTATCOM 设备输出电流; N_{sDCOMk} 为第 K 个 DSTATCOM 设备优先级; T_{DCOMk} 为时间脉冲。

那么第 K 个 DSTATCOM 智能体结构属性为:

$$S_{hDCOMk} = \{g_{hDCOMk}, M_{sDCOMk}, M_{rDCOMk}, N_{sDCOMk}, T_{DCOMk}\} \quad (22)$$

3.3 高压/低压多智能体系统结构模型

在节能设备智能体基础上,构建的高压/低压多智能体系统结构为:

$$HV/LVM_{S_i} = \{S_{h1}, S_{h2}, \dots, S_{hj}, N, T\} \quad (23)$$

式(23)中 S_{h1}, \dots, S_{hj} 为图3中高/低压侧各个节能设备智能体; N 为各个智能体的优先级信息表; T 为时间脉冲. 在实例中可具体表示为:

$$\begin{cases} S_{hk} = \{S_{hSVCk}, S_{hHAPFk}, S_{hIVcK}, S_{hDCOMk}\}, \\ N = \{N_1, N_2, \dots, N_j\}, \\ N_k = \{N_{sVcK}, N_{HAPFk}, N_{IVcK}, N_{DCOMk}\}, \\ T = \{T_1, T_2, \dots, T_j\}, \\ T_k = \{T_{sVcK}, T_{HAPFk}, T_{IVcK}, T_{DCOMk}\}. \end{cases} \quad (24)$$

3.4 系统的管理方法

图4是基于多智能体遗传优化算法的配电网节能降耗综合管理系统的管理方法流程图. 首先从系统获取实时数据,比较各节能设备智能体当前状态和目标状态. 然后高压/低压多智能体汇总所有信息,运用 GA-MAS 优化算法制定优化方案,再通过任务协调与分解智能体,根据优先级 N 确定哪些节能设备智能体参与任务,根据时间脉冲 T 确定节能设备什么时候响应任务,实现各个节能设备智能体之间的交互和协作,减小节能设备之间的相互

影响.

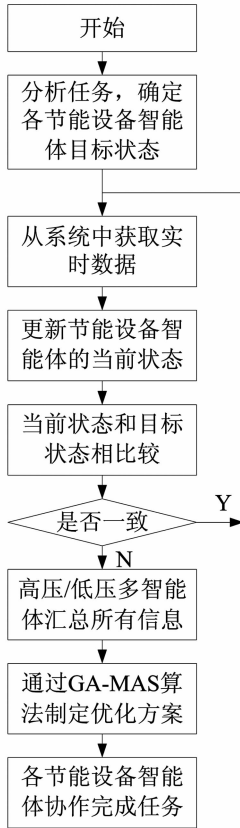


图 4 系统的管理方法流程图

Fig. 4 System of management methods

4 仿真分析

为验证以上算法的正确性与可行性,在 Delphi 环境下应用 Pascal 语言编制程序,对 IEEE-14 节点系统进行计算分析.在本文选取的 IEEE-14 节点系统中,设节点数为 14 个、发电机数 6 个、变压器数 4 个、节能装置 6 套.变压器当成有载调压变压器,变压器变比调节范围在 $1 \pm 1.25\% \times 8$,共分为 0~16 共 17 档,并且限制变压器的一次调节档位 ± 2 档,其档位与实际变比的换算关系为: $T = 0.9 + n \times 1.25\%$ ($n = 0, 1, \dots, 16$),发电机端电压上下限制为 0.9~1.1 pu,节点电压限制在 0.95~1.05 pu.计算过程中,有功功率基准值为 100 MW,无功功率基准值为 100 MVar.

表 1 和表 2 为基于 GA-MAS 优化算法与 PSO 优化算法的配网节能降耗比对结果,对于 IEEE-14 节点系统,利用优化算法求解高低压节能设备投入套数,总有功网损最小,同时满足节点电压约束,控制方案合理,达到节能设备优化运行效果.在节点电

压控制、发电机有功出力 and 电压最大最小畸变率等方面,本文所提基于 GA-MAS 的配网节能降耗系统展现出了优异结果.相比于 PSO 优化算法,当 GA-MAS 优化算法实施后,总有功网损降低到 0.135 pu,而 PSO 优化算法高达 0.138 pu,节能设备投入总数减少 2 套.

表 1 不同优化算法对比结果
Tab. 1 Comparative results of different optimization algorithm

比较项目	PSO	GA-MAS
最大发电机有功/pu	1.998	1.972
最小发电机有功/pu	0.462	0.458
最大发电机无功/pu	0.245	0.102
最小发电机无功/pu	0.031	0.025
最大电压畸变率 THDu/%	4.020	3.630
最小电压畸变率 THDu/%	2.970	2.890
最大节点电压/pu	1.085	1.050
最小节点电压/pu	0.989	0.952

表 2 不同优化算法有功网损对比
Tab. 2 Active power comparison of different optimization algorithm

优化算法	总有功网损/pu	节能设备投入套数
PSO	0.138	5
GA-MAS	0.135	3

图 5 为 GA-MAS 和 PSO 迭代曲线,其中实线表示的是 GA-MAS 迭代曲线,虚线表示的是 PSO 迭代曲线.从图中可以看出,GA-MAS 算法的收敛精度和速度比 PSO 算法要好,在算法计算速度方面,经 GA-MAS 和 PSO 优化的时间分别为 16.3 s 和 34.5 s,由此看出,GA-MAS 的计算速度和收敛性明显优于 PSO 算法.

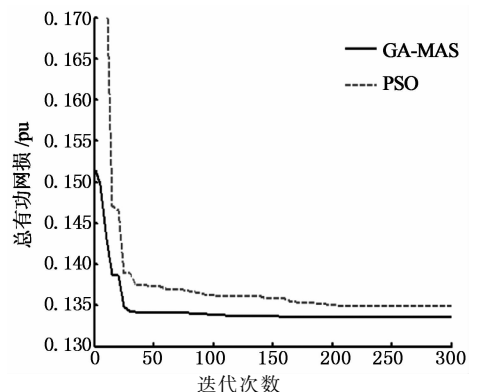


图 5 GA-MAS 和 PSO 算法迭代曲线
Fig. 5 Iterative curves of GA-MAS and PSO optimization algorithm

5 工程应用

某企业配电网拥有 110 kV 变电站一座,自备热电厂一座,10 kV 配电变电站两座.其中,25 000 kVA 容量 $110 \pm 8 \times 1.25\%$ 有载调压变压器 2 台,110 kV 线路两回,分别从不同的变电站引入为厂区供电,6 300 kVA 容量 $10 \pm 8 \times 1.25\%$ 有载调压变压器 4 台,10 kV 馈线 143 回,6 kV 馈线 256 回,6 300 kVA 发电机组 2 台,系统共接入各种高低压节能设备 16 套.本文所提出的基于多智能体遗传优化算法的配电网节能降耗管理系统,被成功应用于该企业配电网,产生的节能降耗效益如下:

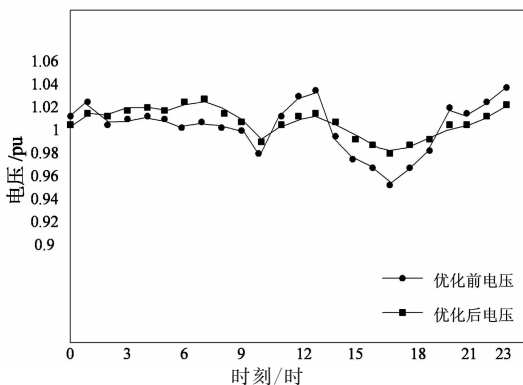
1)减少了有载调压变压器分接头开关的动作次数.变压器分接头由本文所提系统投运前的每台每周 3.87 次降低到目前的每台每周 2.08 次,动作次数降低了 46%,提高了设备的使用寿命,减轻了检修劳动强度.

2)提高了配电网进线端口功率因数,减少了节

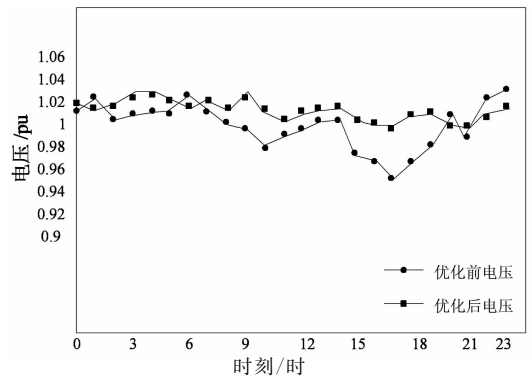
能设备投入套数.系统接入运行后,使配电网内总的无功补偿容量降低了 33%,同时,功率因数由原来的 0.92 稳步提升至 0.96.节能设备总计投入 11 套,总共减少了 5 套.

3)减少电能损耗,取得了明显的节能降耗效果.对配电网三个月网损率的统计分析表明,平均网损率为 8.0%,比系统接入运行前同比降低了 1.9 个百分点,节能降耗效果显著.

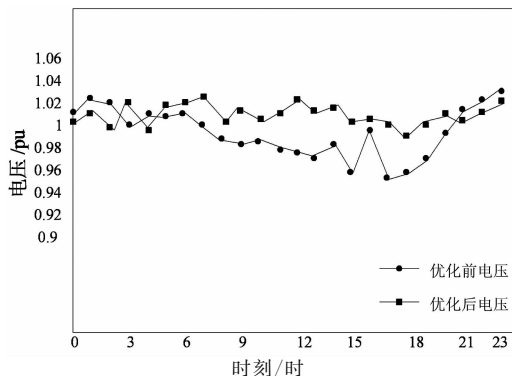
4)提高了电压质量.图 6(a)~(c)分别为 110 kV,10 kV,6 kV 节点整点时刻电压曲线,从中可以看出,使用本文提出的配电网节能降耗综合系统,并经过系统优化后,各节点电压得到明显改善,其中 110 kV 节点优化前最低电压为 101.1 kV,优化后最低电压为 105.4 kV;10 kV 节点优化前最低电压 9.51 kV,优化后最低电压为 9.82 kV;6 kV 节点优化前最低电压为 5.69 kV,优化后最低电压为 5.91 kV.据统计,系统接入运行的三个月内,地区电网 6 kV 以上母线电压合格率为 99.96%,同比提高了 0.4 个百分点.



(a) 110 kV 节点电压曲线优化前后对比图



(b) 10 kV 节点电压曲线优化前后对比图



(c) 6 kV 节点电压曲线优化前后对比图

图 6 节点电压优化前后对比曲线

Fig. 6 Comparison curves of the node voltage before and after the proposed system is used

6 结 论

本文提出了一种基于多智能体遗传优化算法的配电网节能降耗综合管理系统,该系统通过全面考虑造成配电网电能损耗因素,运用 GA-MAS 算法,得出各个节能设备的最佳调节力度,使节能设备以最小的调节代价获得最大的节能效益. GA-MAS 算法构造了一个 MAS 环境,每一个 Agent 相当于 GA 算法中一个个体,它们在该环境中与其领域相互作用,并结合 GA 算法的进化机理,使其能快速、准确地收敛到全局最优解. 通过具体算例表明本文提出的管理系统能使总有功网损降低,电容器投入总组数减小,同时表明 GA-MAS 算法有很好的计算效率及收敛稳定性. 本文提出的基于 GA-MAS 算法的配电网节能降耗综合管理系统对配电网实现“全方位、多方面”的综合节能降耗具有重要意义.

参考文献

- [1] 姚建红,张玲玉,孙大兴. 改进多智能体蚁群算法在电力系统无功优化中的应用[J]. 化工自动化及仪表, 2014, 41(5): 520—523.
YAO Jian-hong, ZHANG Ling-yu, SUN Da-xing. Application of improved multi-agent ant colony algorithm in reactive power optimization for power system[J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 2014, 41(5): 520—523. (In Chinese)
- [2] 孟安波. 基于多智能体量子粒子群算法的电网无功优化问题[D]. 广州: 广东工业大学, 2014: 12—20.
MENG An-bo. Quantum particle swarm optimization algorithm based on multi-agent research power system reactive power optimization[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2014: 12—20. (In Chinese)
- [3] 罗安. 电网谐波治理和无功补偿技术及装备[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006: 98—105.
LUO An. Power grid harmonic control and reactive power compensation technology and equipment[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2006: 98—105. (In Chinese)
- [4] 罗安,章兢,付青. 新型注入式并联混合型有源电力滤波器[J]. 电工技术学报, 2005, 20(2): 51—55.
LUO An, ZHANG Jing, FU Qing. Development of high-capacity hybrid active power filter[J]. Transactions of China Electro Technical Society, 2005, 20(2): 51—55. (In Chinese)
- [5] 徐先勇,罗安,方璐,等. 配电网综合电气节能关键技术研究[J]. 电网技术, 2009, 7(33): 47—54.
XU Xian-yong, LUO An, FANG Lu, et al. Research on key technologies for comprehensive energy conservation in distribution network[J]. Power System Technology, 2009, 7(33): 47—54. (In Chinese)
- [6] 赵波,曹一家. 电力系统无功优化的多智能体粒子群优化算法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(5): 1—7.
ZHAO Bo, CAO Yi-jia. A multi-agent particle swarm optimization algorithm for reactive power optimization [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(5): 1—7. (In Chinese)
- [7] 孟红云,刘三阳. 求解多目标优化问题的多智能体遗传算法[J]. 西北大学学报:自然科学版, 2005, 35(1): 13—16.
MENG Hong-yun, LIU San-yang. A multi-agent genetic algorithm for multi objective programming[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2005, 35(1): 13—16. (In Chinese)
- [8] 何禹清,彭建春,文明,等. 基于改进遗传算法的配电网动态无功优化[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2010, 37(3): 38—43.
HE Yu-qing, PENG Jian-chun, WEN Ming, et al. Dynamic reactive power optimization method for distribution network based on improved genetic algorithm[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences Edition, 2010, 37(3): 38—43. (In Chinese)
- [9] 巩敦卫,郝国生,周勇,等. 交互式遗传算法原理及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 55—60.
GONG Dun-wei, HAO Guo-sheng, ZHOU Yong, et al. Theory and applications of interactive genetic algorithms[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007: 55—60. (In Chinese)
- [10] 张勇军,任震. 无功电压动态控制的分布式协同优化[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(4): 34—38.
ZHANG Yong-jun, REN Zhen. Distributed cooperative optimization for reactive power/voltage dynamic control[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(4): 34—38. (In Chinese)