

人工智能在最优潮流中的应用综述

史继莉, 邱晓燕

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 近年来,人工智能(AI)技术广泛地渗透到了电力系统,在电力系统最优潮流(OPF)的解算中,基于AI方法的算法能够有效处理非线性和离散性问题,从而摆脱陷入局部极值或发散的可能,获得全局最优解。该文相应于AI的结构模拟、思维模拟和行为模拟三类研究方法,分别综述了人工神经网络(ANN)、模糊集理论、进化方法(模拟进化、模拟退火等)、多代理技术等AI方法在电力系统OPF中的应用。

关键词: 人工智能; 最优潮流; 人工神经网络; 模糊集; 进化方法; 多代理

中图分类号: TM715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)16-0085-05

0 引言^[1-3]

电力系统最优潮流(OPF)作为经典潮流的发展与延伸,为经济性与安全性寻找到了一个很好的结合点。自从60年代初期,法国学者Carpentier和Siroux提出OPF问题以来,就受到许多学者的关注。经过几十年的发展,取得了一系列研究成果。相继涌现出基于非线性规划、二次规划、线性规划、混合规划等的计算方法,然而,上述传统的OPF算法存在以下不足:①随着电力系统开放性的增加,OPF问题非凸性的特点愈发明显,采用仅适用于凸性问题的传统方法,容易使解陷入局部极值,而无法获得全局最优解;②对于所有不等式约束条件都有清晰而不能逾越的边界值,过硬的限制使得OPF问题的可行域大大缩小,造成实际运行中的欠优;③系统的优化运行往往需要综合考虑安全稳定及经济等多方面因素,使得单目标优化已无法满足要求。

近年来,人工智能(AI)作为科学体系中一门新兴的边缘学科,在从理论发展到实际应用的过程中,不断显示出其强大的生命力,它的成果正以一种新的力量进入社会。AI方法不需要严格的数学模型,更适合于处理非线性和离散性问题,在电力系统中得到了越来越广泛的应用,当然,在电力系统最优潮流中的应用也得到飞速的发展。

本文综述了人工智能在电力系统最优潮流中的应用,并对其发展趋势进行预测。由于人工智能的研究方法主要有结构模拟、思维模拟和行为模拟三类,因此,基于人工智能的OPF也相应按上述分法进行综述。

1 基于结构模拟方法的OPF——ANN的应用

结构模拟方法是从仿生学的观点,基于脑的生理结构原型和工作机理,从脑的微观结构神经细胞的模拟出发,致力于研究神经网络、脑模型的硬件结构系统,以此实现机器和计算机的智能。人工神经网络模拟了生物激励系统,将一系列输入通过神经网络产生输出。输出是输入的非线性函数,其值可通过所谓的训练过程,即改变连接各神经元的权重,以获得期望的输出值。

文献[4]在将发电费用最小和网损最小的双目标优化问题转化为模糊优化问题的过程中,首先,采用半线性前馈神经网络模型,将发电费用或网损作为输入,模糊集的隶属函数作为输出,经过反复训练,获得模糊集隶属函数的最终显式表达;然后,采用Hopfield网络构造能量函数,进行优化问题的求解。这样,便有效地降低了确定模糊隶属函数表达式及求解非线性规划问题的难度。

2 基于思维模拟方法的OPF——模糊集理论的应用

思维模拟方法是以人脑的心理模型,利用计算机软件、符号推演与心理学方法,将问题或知识表示成某种逻辑网络,实现搜索、推理、学习等功能,从宏观上来模拟人脑思维,实现机器智能。这种方法擅长模拟人脑逻辑思维,实现人脑的高级认知功能,如决策、推理等。模糊集理论从思维模拟的角度,在电力系统OPF中得到日益广泛的应用。

在OPF计算中,存在着大量的不确定性因素,如负荷、机组出力、节点电压约束等,这些不确定因

素可以通过模糊集理论描述。此外,对于不同量纲、相互冲突的多目标优化问题和综合评判问题,也适合采用模糊规划求解。模糊集理论为解决具有可伸缩约束的多目标优化问题提供了新途径。

在研究过程中,首先出现的是 DC 模糊潮流模型,其中,用模糊量表示负荷和发电量的不确定性,控制变量为发电机的有功输出^[5];然后发展到 AC 模糊模型。在约束的处理上,有人将 OPF 问题的约束归为必须遵循的硬约束和可以适当越限的软约束,利用模糊集把软约束和目标函数模糊化,得到模糊 OPF 问题^[6]。

文献[7]在故障约束的 OPF 问题中,引入模糊逻辑,将正常运行费用最小和故障后校正时间最短的双目标优化问题,通过确定一个裕度参数,转化为考虑软约束在内的模糊单目标函数。该模糊表达式包括模糊目标和硬约束两部分,软约束被并入模糊目标。解决了传统多目标函数合成中的寻找合适权重因子的困难。

文献[8]针对以有功网损和发电总耗量最小为目标的 OPF 问题,确定出适当的隶属函数,将多目标优化问题模糊化成单目标问题,然后,引入满意度,将模糊 OPF 问题进一步转化成非线性规划问题,最终通过常规方法获得最优解。

文献[9]提出用模糊二次校正方法(FSCS)改善 OPF 的预测-校正内点算法(PCIPA)中的互补条件。在二次校正中,FSCS 通过模糊逻辑,为每一互补对估算一个更合适的障碍参数,而非使用同一固定值,同时,通过分解,仅对严重偏离中心路径的互补对进行二次校正,以加快 PCIPA 的收敛速度。

3 基于行为模拟方法的 OPF——进化方法的应用

行为模拟方法是基于感知——行为模型的研究方法。模拟人在控制过程中的智能活动和行为特性,如自寻优、自适应、自学习、自组织等,来研究和实现人工智能。进化方法是一类典型的行为模拟,具体方法主要包括模拟进化、模拟退火等。

3.1 模拟进化优化方法^[10,11]

该方法是通过优胜劣汰的自然进化过程进行模拟与抽象而得到的一类随机或自适应的优化方法。主要的 3 种方法体系为遗传算法(GA)、进化规划(EP)和进化策略(ES),3 种方法在原理上是相似的,都是基于自然选择和遗传机制的启发式搜索,在进化中,使适应性强的个体得以生存,并将其优良特

性遗传到后代,是具有稳定收敛域的全局优化方法。它们均可用于求解组合优化问题以及存在不可微的目标函数或约束条件的复杂的非线性优化问题。只是在具体实现上存在差别,比较如表 1 所示。

表 1 典型模拟进化方法比较

Tab. 1 Comparison of typical simulated evolutionary algorithms

	GA	EP	ES
主要算子	交叉	变异	变异
数字串表示方式	二进制	由解的形式决定	由解的形式决定
选择方法	随机	随机	确定
生物模拟方式	种或群模拟	种族模拟	个体模拟
进化规划	遗传继承	行为联系	行为联系
优势应用领域	求解组合优化问题	求解连续变量的优化问题	

3.1.1 遗传算法(GA)

之前,有人将简单遗传算法(SGA)用于 OPF 的求解,提出了 SGA 基本遗传操作器^[12]。然而,SGA 由于搜索空间和染色体长度的限制,在大系统的应用中,易于陷入局部极值且收敛速度过慢。因此,文献[13]在文献[12]的基础上做了改进,增加了改进遗传操作器(主要针对良种)和概率为 0.2 的一系列特定问题操作器(针对基因交换、复制、突变等),仿真实验证明改进遗传算法(EGA)在大系统应用中具有更高的效率和精度。

文献[14]将遗传算法与模糊控制方法相结合应用于 OPF 的计算。文中以全网总耗量和有功网损最小为目标函数,各节点电压的幅值为可伸缩约束,形成双目标可伸缩优化问题,通过模糊化转化成单目标问题。并在后续计算中对传统 GA 作了改进,按个体不同的适应值考虑不同的杂交方式,以最优个体最少保留代数与最大遗传代数的结合作为终止进化准则,加快了进化速度,并跳出局部极值,获得全局最优解。

文献[15]为避免 GA 方法可能出现的局部极值问题,提出使用人工免疫算法(AIA)解决 OPF 问题的方法。根据免疫系统中对外来抗原的识别机制,将目标函数结合一部分不等式约束条件与抗原相对应,将搜索空间的解与抗体相对应,依据抗原与抗体的结合力以及抗体之间的结合力对解进行评价和选择,通过抗体之间的相互激励作用提高了最优点附近的搜索效率,并通过记忆细胞对抗体的抑制作用有效地摆脱局部最优点。

3.1.2 进化规划(EP)

文献[16]利用进化规划(EP)解决以发电费用最小为目标函数的 OPF 问题。先将发电机节点的电压幅值和有功功率作为优化的控制变量引入编码,解算潮流形成初始种群;再将输出变量的不等式

约束以惩罚项方式引入目标函数,进而形成适应度函数,通过变异操作,迭代求解。

文献[17,18]从数学理论及生物进化机制角度出发,提出采用倒指数关系曲线来描述变异量方差 σ^2 随适应度的变化,并构造出自适应变异算子,改变了原有的适应度与方差的类线性关系,以此更好地模拟生物进化原则。该算法具有很强的自适应性、通用性及逃脱局部极值的全局优化能力,同时,由于运算量小,提高了算法的收敛速度。

3.1.3 进化策略(ES)

由表1可见,ES与EP极其类似,只是在选择方法和生物模拟方式上稍有不同。文献[19]针对OPF子问题之一的无功优化问题,将多种EA方法进行比较。由于ES方法带有更多的确定性,因此,具有收敛速度的优势,但同时也存在更易陷入局部极值的危险。

3.2 模拟退火算法

该算法可视为一种进化优化方法,是一种通用启发式随机搜索方法。算法思想来源于冶炼工业中对金属先加温熔融再降温的退火过程,算法原理比较简单,只是对常规的迭代寻优算法进行一点修正,允许以一定的概率接受比前次解稍差的解作为当前解。

文献[20]在无功优化中,以装设无功电源和总能量损耗所需费用之和为目标,得到一个不可微函数,在利用模拟退火算法求解时,以合适的冷却进度,解算 Boltzman 因子,根据扰动机理确定新的迭代值,经过反复迭代计算,最终使得所求解以概率1渐进地收敛于全局最优解。

随机模拟退火(SSA)算法的主要缺点是费时,文献[21,22]利用带有一组确定方程的近似SSA——平均场理论(MFT)解决同时具有连续和离散变量的OPF问题,使SSA的效率得以提高。首先通过鞍形近似,引入平均场变量将混合规划转化成只含连续变量的平均场方程,以确定性的方式代替了SSA的随机搜索。然后将MF方程分解为两个子问题,子问题1是利用牛顿法处理初始连续变量的优化,子问题2则是利用平均场方程迭代由离散变量转化而来的MF变量。两个子问题通过缓慢的退火交替计算,直到获得最优或子最优解。

4 组合方法

4.1 多目标优化问题

实际中OPF问题往往需要综合考虑多种因素,即通常为多目标优化问题。对于这类问题,最基本

的一类求解方法是:首先构造评价函数,将多目标转化成单目标;然后利用单目标优化问题的求解方法求出最优解。因此,模糊集理论^[4,8,14]、理想点法^[18]等常作为构造评价函数的方法与其它针对单目标的优化方法组合使用。

4.2 加速策略

虽然使用AI方法可以跳出局部收敛,获得全局最优解,但是,AI方法多属于随机搜索,时间消耗相对过大,无法适应在线计算的要求。因此,如何提高基于AI方法的OPF问题的解算效率,是一个需要进一步研究的问题。目前,利用AI方法全局寻优,通过传统方法等加速收敛,二者结合,在求解OPF问题中的优势日益明显。

文献[23]在常规的EP中,引入梯度寻优技术。以变异量为搜索步长因子,对初始解沿负梯度方向搜索,快速到达最优解邻域,再转用常规EP变异中的高斯随机变量在最优解附近进行微小扰动,以获得近似全局最优解。这种启发式EP兼顾了随机搜索与梯度寻优的长处,在有目的、有方向的辅助下进行多路径并带有随机性的寻优,可在保证获得近似全局最优解的同时,大大提高解题效率。

文献[24]也在基于进化规划的最优潮流算法中,使用了基于梯度信息的加速策略,由EP保证解的全局性,而以变步长最速下降算法(SD)处理局部优化,加快收敛速度。

电力系统无功优化作为OPF问题的分支,也是一个多约束的混合整数非线性优化问题。文献[25]将分布式并行计算引入遗传算法,采用计算函数级并行,通过主从方式来组织局域网内的多台机器进行无功优化的并行计算,使速度成倍提高。文中使用1台主机控制整个算法的主程序,进行选择与遗传操作,并根据负荷均衡的原则调度多台从机计算潮流以给出个体适应值。

文献[26]采用现代内点法(MIT)加速。首先,将OPF问题去掉离散变量约束,形成一个非线性规划问题;通过赋予离散变量不同的初值,进而形成一个非线性规划问题集合,将其看作是退火选择遗传算法(AGA)的进化种群,在算法内层采用快速收敛的MIT求出每一个非线性规划问题的最优值作为它的适应值;然后,通过AGA试探,找出最优个体,该个体离散变量和连续变量的取值即为原问题最优解中各变量的值。

4.3 多代理技术

随着AI向网络、群体的延伸,多代理作为一种

分布式 AI,它激发群体智能的能力倍受瞩目。多代理中,各代理在独立工作的同时,又通过通信交互,以完成一定功能。文献[27]将多代理系统方法应用于 OPF 问题,先将故障约束的优化问题转化为小规模松散耦合的子问题集,然后使用多个代理组成的异步组并行求解,每个代理不仅包括传统 OPF 算法,同时也包括所谓的探测算法,引入二元矢量场为传统算法提供接近问题解的起始点。各代理均为自治的,代理之间采用异步通信,从而保证了整个工作过程不相互打断或延迟的并行性。多代理方法可以获得比串行方法更大的可行域,在处理全局优化问题方面具有较大的潜力。

5 结束语

上述文献将不同的人工智能方法引入电力系统最优潮流,增强了算法的全局优化能力,为处理混合整数规划提供了新的出路。本文主要针对基于 AI 方法的 OPF 向在线应用发展,提出一些有待进一步研究解决的问题:

1) AI 诞生在控制论、信息论和系统论基础之上,作为一门交叉学科,它必将随着突变论、耗散结构理论、协同论的发展而进入新的阶段。在这样的发展过程中,可以试探将新的方法应用于 OPF 问题,或是进一步促进各种方法的融合,以期在保持简单数学模型和全局寻优的情况下,寻求到更少的运算量,以提高算法效率。

2) AI 方法具有内在的并行性,利用这一特点,实现以网络为基础的多机并行,必然使算法收敛速度大幅度提高,使基于 AI 的 OPF 应用领域从离线到在线实施的扩展成为可能。

3) 针对 AI 方法的随机搜索,通过在算法内部,适当加入确定性因素,或对运算过程中产生的大量数据进行合理分类,以加快搜索速度。近来兴起的决策树、神经网络等均是有效的数据分类方法,寻找合适的接入点,将其嵌套于 OPF 算法内部,可实现加速。

4) 随着电力系统的发展和电力市场竞争机制的引入,电力系统的复杂性不断增加,其不确定因素也越来越多,给模糊化方法中隶属度的确定带来很大困难。粗糙集方法算法简单、易于操作,除数据本身以外,不需要预先知道其他额外信息,为不确定性研究提供了新的可用工具。

5) 从整个系统全局来看,在线实施时,可考虑面向对象建模,对象的独立性将使系统的修改和扩

充更加容易,而其继承性则可提高系统之间的重用率,使效率得以提高。

参考文献:

- [1] 王锡凡,方万良,杜正春. 现代电力系统分析[M]. 北京:科学出版社,2003.
WANG Xi-fan, FANG Wan-liang, DU Zheng-chun. Modern Power System Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [2] 敖志刚. 人工智能与专家系统导论[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2002.
AO Zhi-gang. Introduction of Artificial Intelligence and Expert System[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press,2002.
- [3] 韩祯祥,文福拴,张琦. 人工智能在电力系统中的应用[J]. 电力系统自动化,2000,24(2):2-10.
HAN Zhen-xiang, WEN Fu-shuan, ZHANG Qi. Artificial Intelligence Applications in Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2000,24(2):2-10.
- [4] 孙洪波,徐国禹,秦翼鸿. 多目标模糊优化潮流模型及其基于神经网络的算法[J]. 重庆大学学报,1995,18(3):52-58.
SUN Hong-bo, XU Guo-yu, QIN Yi-hong. The Multi-objective Fuzzy Optimal Power Flow Model and Its Neural Network Algorithm[J]. Journal of Chongqing University, 1995,18(3):52-58.
- [5] Miranda V, Saraiva J T. Fuzzy Modeling of Power System Optimal Load Flow[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1992,7(2):843-849.
- [6] Guan X H, et al. Application of a Fuzzy Set Method in an Optimal Power Flow[J]. Electric Power Systems Research,1995,34(1):11-18.
- [7] Ramesh V C, LI Xuan. A Fuzzy Multiobjective Approach to Contingency Constrained OPF[J]. IEEE Trans on Power Systems,1997,12(3):1348-1354.
- [8] 刘明波,段晓军,赵艳. 多目标最优潮流问题的模糊建模及内点解法[J]. 电力系统自动化,1999,23(14):37-40.
LIU Ming-bo, DUAN Xiao-jun, ZHAO Yan. Fuzzy Modeling and Interior Point Algorithm of Multi-objective OPF Problem[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999,23(14):37-40.
- [9] WU Yu-chi. Fuzzy Second Correction on Complementarity Condition for Optimal Power Flows[J]. IEEE Trans on Power Systems,2001,16(3):360-366.
- [10] 韩祯祥,文福拴. 模拟进化优化方法简介[J]. 电力系统自动化,1995,19(12):5-10.
HAN Zhen-xiang, WEN Fu-shuan. An Introduction to the

- Optimization Methods by Simulated Evolution[J]. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(12): 5-10.
- [11] 文福拴, 韩祯祥. 模拟进化优化方法在电力系统中的应用综述(上)[J]. 电力系统自动化, 1996, 20(1): 59-63.
WEN Fu-shuan, HAN Zhen-xiang. The Survey of the Applications of Simulated Evolutionary Optimization Methods to Power Systems, Part I[J]. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20(1): 59-63.
- [12] Lai L L, Ma J T, Yokoyama R, et al. Improved Genetic Algorithms for Optimal Power Flow Under both Normal and Contingent Operation States[J]. Elec Power Energy Syst, 1997, 19(5): 287-292.
- [13] Bakirtzis A G, Biskas P N, Zoumas C E, et al. Optimal Power Flow by Enhanced Genetic Algorithm[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(2): 229-236.
- [14] 周文华, 赵登福. 基于模糊控制遗传算法的电力系统最优潮流[J]. 西北电力技术, 2001, (5): 23-25.
ZHOU Wen-hua, ZHAO Deng-fu. Power System OPF Based on Fuzzy Controlled GA[J]. Northwest China Electric Power, 2001, (5): 23-25.
- [15] 孙勇智, 韦巍. 基于人工免疫算法的电力系统最优潮流计算[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(12): 30-34.
SUN Yong-zhi, WEI Wei. Solution of Optimal Power Flow Problem Based on Artificial Immune Algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(12): 30-34.
- [16] 石立宝, 徐国禹. 基于进化规划的最优潮流计算[J]. 电网技术, 1998, 22(2): 23-25.
SHI Li-bao, XU Guo-yu. Evolutionary Programming Solution of Optimal Power Flow[J]. Power System Technology, 1998, 22(2): 23-25.
- [17] 石立宝, 徐国禹. 自适应进化规划及其在多目标最优潮流中的应用(I)——自适应进化规划算法[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(7): 23-25.
SHI Li-bao, XU Guo-yu. Self-adaptive Evolutionary Programming and Its Application to Multi-objective Optimal Load Flow, Part One: Self-adaptive Evolutionary Programming[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(7): 23-25.
- [18] 石立宝, 徐国禹. 自适应进化规划及其在多目标最优潮流中的应用(II)——基于自适应进化规划的多目标最优潮流[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(8): 33-36.
SHI Li-bao, XU Guo-yu. Self-adaptive Evolutionary Programming and Its Application to Multi-objective Optimal Load Flow, Part Two: Self-adaptive Evolutionary Programming Solution of Multi-objective Optimal Load Flow[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(8): 33-36.
- [19] Lee K Y, Yang F F. Optimal Reactive Power Planning Using Evolutionary Algorithms; a Comparative Study for Evolutionary Programming, Evolutionary Strategy, Genetic Algorithm, and Linear Programming[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(1): 101-108.
- [20] Hsiao Ying-tung, Liu Chun-chang, Chiang Hsiao-dong, et al. A New Approach for Optimal VAR Sources Planning in Large Scale Electric Power Systems[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8(3): 988-996.
- [21] CHEN Luo-nan, Kazuyuki A. An Application of Mean Field Theory to Optimal Power Flow[A]. IEEE International Conference of Neural Networks(ICNN'95). 1995. 887-892.
- [22] CHEN Luo-nan, Hideki S, Kazuo K. Mean Field Theory for Optimal Power Flow[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(4): 1481-1486.
- [23] 石立宝, 华智明, 徐国禹. 启发式进化规划及其在最优潮流中的应用[J]. 重庆大学学报, 1997, 20(6): 67-72.
SHI Li-bao, HUA Zhi-ming, XU Guo-yu. A New Heuristic Evolutionary Programming and Its Application in Solution of the Optimal Power Flow[J]. Journal of Chongqing University, 1997, 20(6): 67-72.
- [24] Yuryevich J, Wong K P. Evolutionary Programming Based Optimal Power Flow Algorithm[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14(4): 1245-1250.
- [25] 潘哲龙, 张伯明, 孙宏斌. 分布计算的遗传算法在无功优化中的应用[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(6): 37-41.
PAN Zhe-long, ZHANG Bo-ming, SUN Hong-bin. A Distributed Genetic Algorithm for Reactive Power Optimization[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(6): 37-41.
- [26] 丁晓莺, 王锡凡, 陈皓勇. 一种求解最优潮流的组合算法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(12): 11-16.
DING Xiao-ying, WANG Xi-fan, CHEN Hao-yong. A Combined Algorithm for Optimal Power Flow[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(12): 11-16.
- [27] Talukdar S, Ramesh V C. A Multi-agent Technique for Contingency Constrained Optimal Power Flows[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9(2): 855-861.

收稿日期: 2004-11-19; 修回日期: 2005-01-26

作者简介:

史继莉(1977-)女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定及计算; E-mail: sjl-ed@163.com

邱晓燕(1964-)女, 副教授, 主要从事电力系统分析及稳定性控制方面的研究。

(下转第 95 页 continued on page 95)

涉,按照“谁污染谁治理”的原则,要求他们采取措施,减少注入电力系统的高次谐波电流。与此同时,还可以通过调整电容器支路的参数,减少其中的谐波电流含量,以避免电容器因为谐波电流而过载。

这个事例也给了我们一个启示,当无功补偿电容器组串有电抗器时,仅仅监视电容器电流的有效值是不够的,还要定期测试其中的高次谐波电流。关于电容器的长期允许工作电流,目前只是笼统地按1.3倍的额定电流来限定,还应该对其中的高次谐波电流也作出相应的规定,以便确保电容器的长期安全运行。

参考文献:

- [1] 孙树勤,等. 干扰性负荷的供电[M]. 北京:中国电力出版社,1996.
SUN Shu-qin, et al. The Power Supply of Turbulent Load [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.

- [2] 吴竞昌,孙树勤,宋文南,等. 电力系统谐波[M]. 北京:水利电力出版社,1988.
WU Jing-chang, SUN Shu-qin, SONG Wen-nan, et al. Power System Harmonics[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1988.
- [3] 周勇. 电网谐波源分析[M]. 北京:中国人口出版社, 1995.
ZHOU Yong. Power Network Harmonic Source Analysis [M]. Beijing: China Population Press, 1995.

收稿日期: 2004-12-02; 修回日期: 2004-12-28

作者简介:

周勇(1957-),男,副教授,研究方向为电力系统谐波分析;

赵慧光(1981-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统谐波分析; E-mail: zhguang160@sina.com

王文峰(1981-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统谐波分析。

Harmonic overloading analysis of reactive compensation capacitor

ZHOU Yong, ZHAO Hui-guang, WANG Wen-feng

(College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 45002, China)

Abstract: By analyzing and testing the harmonics at a certain 220kV station in Henan power network, the reason of the frequent fusion of the capacitor fuse was found out. It is that the 5th harmonic current was overloaded. By adjusting the parameters of the capacitor loops, the harmonic content of current in the capacitor is reduced and the capacitors can run safely.

Key words: capacitor; harmonic current; series resonance

(上接第89页 continued from page 89)

Artificial intelligence applications in optimal power flow

SHI Ji-li, QIU Xiao-yan

(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The growing complexity of power systems have necessitated the development of artificial intelligence(AI) tools to solve optimal power flow(OPF) problem, like a non-linear, non-convex problems with both continuous and discrete variables. This paper reviewed many OPF algorithms based on AI methods, such as the artificial neural network(ANN), the fuzzy set theory, evolutionary algorithms(GA, EP, ES, SA etc.), multi-agent, and so on. Various issues related to the application of AI were discussed.

Key words: artificial intelligence; optimal power flow; ANN; fuzzy set; evolutionary algorithm; multi-agent

(上接第92页 continued from page 92)

Realizing auto-compensation system for adjustable capacitive-based arc-suppression coil

ZHANG Zhan-yong¹, WANG Jian-ling¹, KANG Yi², NIU Wen-ji³

(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

3. Baoding Huayuan Electric New Technology Exploitation Co., Ltd, Baoding 071051, China)

Abstract: This paper analyzed the present situation and the direction of future development of the resonant grounded power system. The operation principle of arc suppression coil based on thyristor series capacitors and double CPUs was presented. The distribution principle of the secondary switching capacitors, the method for measuring the capacitive current and the composition of arc-suppression coil automatic control system were detailed. This paper also introduced the 6kV dynamic simulation system constructed by this research. The simulation result shows that the parameters of primary and secondary equipments are correct and the system operates rapidly and correctly.

Key words: arc-suppression coil; adjustable capacitors; capacitive current; single phase grounding fault; dynamic simulation