

考虑电压稳定的电力系统无功优化规划

胡彩娥, 杨仁刚

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 建立了模糊多目标无功优化规划的数学模型。在目标函数中考虑了网损、无功补偿设备的投资、静态电压稳定裕度以及负荷节点电压的偏移。首先采用电压稳定灵敏度排序法找出电压稳定性最差的节点, 作为候选无功补偿节点; 然后采用遗传算法对数学模型进行求解, 得到优化补偿节点及补偿节点的优化补偿容量。通过对 IEEE30 节点的计算结果表明: 采用文中的优化规划方法能够达到很好的降损效果, 提高了整个系统的电压稳定性。

关键词: 电压稳定灵敏度; 模糊多目标; 静态电压稳定裕度

中图分类号: TM714 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)04-0022-04

0 引言

由于负荷需求的自然增长、环保的制约以及竞争的电力市场, 人们希望尽量利用现有的网架资源给更多的用户供电。现代电力系统进入大机组、超高压、远距离输电的互联大电网, 使电网运行在电压稳定裕度很低的工作点(极限工作点), 且负荷中心远离发电机, 电压稳定问题变得越来越严重。

因电压崩溃而导致电力系统瓦解的事故在国内外一些大电网多次发生, 导致了多起长时间大面积的停电事故^[1], 如: 1978年12月9日的法国电压崩溃事故、1987年7月23日的日本东京大停电、1996年7月2日美国西部(WSCC)大停电等, 以及今年相继发生的一些停电事故都造成了巨大的经济损失并给社会生活带来不少麻烦, 因而电压安全、稳定问题得到了普遍重视。

负荷缺少足够的无功(尤其是动态无功)支持是引起电压不稳定的主要原因, 合理的无功补偿能够提高电压稳定裕度。有专家^[2]指出威胁中国电网安全的问题之一就是: 电网无功补偿容量不足, 且没有实现分层分区平衡。朱成章、胡兆光^[3]在谈到美加停电与中国电网改革时提到“电力供应要有富余”, 就是说电网运行要有一定的稳定裕度。

因此无功优化规划是电力系统安全稳定运行的必要条件, 在无功优化规划中有必要考虑电压的稳定性和安全性。而传统的无功优化规划问题^[4~6]一般不考虑系统的电压稳定性, 优化规划后的结果不能保证系统具有充足的无功备用, 如果系统运行在临界点附近, 可能会导致电压不稳定。

无功优化规划包括选取候选无功补偿节点、建

立数学模型以及对数学模型进行求解。本文首先采用电压稳定灵敏度排序法^[7]找出电压稳定性最差的节点, 作为候选无功补偿节点; 然后采用遗传算法^[8]对数学模型进行求解, 得到优化补偿节点及补偿节点的优化补偿容量。通过对 IEEE30 节点的计算结果表明: 采用本文的优化规划方法达到了很好的降损效果, 提高了整个系统的电压稳定性及电压质量。

1 候选无功补偿节点的选取

在常规潮流方程中引入负荷增长水平 α , 得到下面的扩展潮流方程:

$$\begin{aligned} P_{Gi}(\alpha) - P_{Li}(\alpha) &= V_i \sum_j Y_{ij} (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ Q_{Gi}(\alpha) - Q_{Li}(\alpha) &= V_i \sum_j Y_{ij} (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \end{aligned} \quad (1)$$

$$P_{Li}(\alpha) = (1 + \alpha) P_{Li0}$$

$$Q_{Li}(\alpha) = (1 + \alpha) Q_{Li0}$$

$$P_{Gi}(\alpha) = P_{Gi0} + \alpha \sum_{j=1}^{N_{pv}} P_{Lj0}$$

$$\alpha = \frac{P_{Gi0}}{\sum_{j=1}^{N_{pv}} P_{Gj0}}$$

0 cr

式中: V_i 为节点 i 的电压幅值; θ_{ij} 为节点 i 与节点 j 之间的相角差; G_{ij} 、 B_{ij} 分别为导纳矩阵元素 Y_{ij} 的实、虚部; $j \neq i$ 表示节点 j 与 i 直接相连; α 为负荷增长水平; P_{Li0} 、 Q_{Li0} 、 P_{Gi0} 分别为 $\alpha = 0$ 时节点 i 的有功、无功负荷, 发电机的出力; α_{cr} 为电压崩溃点的负荷水平; $P_{Gi}(\alpha)$ 、 $Q_{Gi}(\alpha)$ 分别为节点 i 在负荷增长水

平为时的发电机有功、无功出力; $P_{Li}(\cdot)$ 、 $Q_{Li}(\cdot)$ 分别为节点 i 在负荷水平为时的有功、无功负荷。

为了描述方便,把式(1)简化为式(2):

$$0 = G(V, \cdot, \cdot) \quad (2)$$

对式(2)求全导数:

$$0 = \frac{\partial G}{\partial d} \frac{d}{d} + \frac{\partial G}{\partial V} \frac{dV}{d} + \frac{\partial G}{\partial \cdot} \Rightarrow \begin{bmatrix} \frac{d}{d} \\ \frac{dV}{d} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial \cdot} & \frac{\partial G}{\partial V} \end{bmatrix}^{-1} \times \frac{\partial G}{\partial d} \quad (3)$$

式中: $\begin{bmatrix} \frac{\partial G}{\partial \cdot} & \frac{\partial G}{\partial V} \end{bmatrix}$ 为常规潮流方程雅可比矩阵。

根据式(3)求出 $\frac{dV}{d}$, 并从大到小排序,即得到电压稳定的灵敏度排序, $\frac{dV}{d}$ 最大的节点即为电压稳定最差的点,选择 $\frac{dV}{d}$ 大的节点作为无功补偿节点。

2 无功优化规划的数学模型及其模糊化

2.1 多目标无功优化规划的数学模型

无功优化规划是指满足系统的等式和不等式约束的条件下,目标函数达到最优。本文在文献[9, 10]的基础上建立了无功优化规划数学模型。目标函数考虑了以下几个方面的因素:有功网损最小;投资最省;系统负荷裕度最大;电压的最大偏差最小。

目标函数:

$$\min f_1 = P_{\text{loss}}(X, \cdot, \cdot)$$

$$\min f_2 = \sum_i f_{2i}(y_i)$$

如果节点 i 的补偿设备为并联电容器时:

$$y_i \in \{n \times S\} \quad n=0, 1, \dots, N_s$$

如果节点 i 的补偿设备类型为 SVC 时:

$$f_{2i}(y_i) = \begin{cases} 0 & y_i \leq y_i^{\max} \\ (d_i + c_i y_i) & \text{if } y_i > 0 \\ 0 & \text{if } y_i < 0 \end{cases}$$

$$\max f_3 = \cdot_{cr} - \cdot_0$$

$$\min f_4 = \max(V_i - V_i^{\text{ideal}})$$

满足控制变量的不等式约束条件:

$$\underline{V}_G \leq V_G \leq \overline{V}_G$$

$$\underline{T} \leq T \leq \overline{T}$$

$$\underline{Q}_C \leq Q_C \leq \overline{Q}_C$$

满足状态变量的不等式约束条件:

$$\underline{Q}_G \leq Q_G \leq \overline{Q}_G$$

式中: \cdot_0 为当前工作点的负荷水平; \cdot_{cr} 为静态稳定临界点的负荷水平; $\cdot = [V_G, T, Q_c]$; \cdot 为候选无功补偿节点集; y_i 为补偿节点 i 的无功补偿容量; N_s 为并联电容器的最大组数; S 为每组电容器的容量; V_i, V_i^{ideal} 为节点 i 实际电压及理想电压; $V_G, \underline{V}_G, \overline{V}_G$ 分别为 PV 节点电压及其上、下限; $T, \underline{T}, \overline{T}$ 分别为有载调压器的变比及其上、下限; $Q_C, \underline{Q}_C, \overline{Q}_C$ 分别为并联补偿电容器容量及其上、下限; $V, \underline{V}, \overline{V}$ 分别为 PQ 节点电压及其上、下限; $Q_G, \underline{Q}_G, \overline{Q}_G$ 为 PV 节点输出无功功率及其上、下限。

2.2 用隶属度函数对数学模型进行模糊化处理

多目标模型中,由于各个目标函数具有不同的量纲,目标函数之间不具有可比性。本文采用模糊集理论的方法来解决这个问题^[11],把目标函数转换为模糊目标,把有量纲的目标函数转换为无量纲的目标函数,使得目标函数之间具有可比性。模糊化的关键在于隶属度函数的确定。本文用线性函数 $\mu(f_1)$ 、 $\mu(f_2)$ 、 $\mu(f_3)$ 、 $\mu(f_4)$ 来表示目标函数 f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 的隶属度,其中 $\mu(f_1)$ 、 $\mu(f_2)$ 、 $\mu(f_4)$ 为单调递减函数, $\mu(f_3)$ 为单调递增函数,其图形如图 1(a)、(b)所示。

$$\mu(f_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } f_i \leq f_{i\min} \\ \frac{f_{i\max} - f_i}{f_{i\max} - f_{i\min}} & \text{if } f_{i\min} < f_i < f_{i\max} \\ 0 & \text{if } f_i \geq f_{i\max} \end{cases} \quad i=1, 2, 4$$

式中: $f_{i\min}$ 为希望得到的目标函数; $f_{i\max}$ 为不能接受的目标函数。

$$\mu(f_3) = \begin{cases} 0 & \text{if } f_3 \leq f_{3\min} \\ \frac{f_3 - f_{3\min}}{f_{3\max} - f_{3\min}} & \text{if } f_{3\min} < f_3 < f_{3\max} \\ 1 & \text{if } f_3 \geq f_{3\max} \end{cases}$$

式中: $f_{3\min}$ 为不能接受的目标函数; $f_{3\max}$ 为希望得到的目标函数。

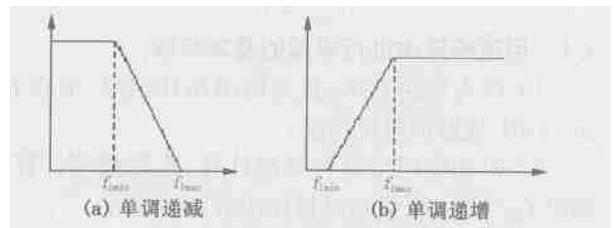


图 1 隶属度函数

Fig. 1 Membership function

2.3 用权重的方法把多目标问题转化为单目标问题

通过模糊化处理,使得目标函数之间具有可比性,采用权重的方法把多目标问题转化为单目标问题。

$$F = \max \sum_{i=1}^4 \tilde{\mu}(f_i)$$

式中: $\tilde{\mu}_i$ 为目标函数 f_i 的权重,如果 $\tilde{\mu}_i = 0$,则不考虑目标函数 f_i 的作用。

3 用遗传算法进行求解

对于寻求电力系统问题全局最优解而言,遗传算法被认为是强有力的工具,并被广泛应用于最优化数学问题。它在电力系统研究中具有随机搜索、灵活高效、稳定、多目标处理、能很好地处理离散变量和对复杂因素进行处理等优点,本文采用遗传算法进行优化计算,并做了如下考虑。

3.1 对控制变量的处理

采用十进制编码的方式自动满足控制变量的不等式约束

$$= [T \quad Q_c \mid V_g] = [T_1, T_2 \dots \mid Q_{c1}, Q_{c2} \dots \mid V_{g1}, V_{g2} \dots]$$

式中: T_i 为 i 号有载调压器的分接头位置; Q_{cj} 为 j 节点的无功补偿容量; V_{gk} 为第 k 个 PV 节点的电压。

采用随机数发生器生成初始解群

$$i = \text{INT}(md \times (\bar{\quad} - \underline{\quad} + 1)) + \underline{\quad}$$

式中: md 为随机数发生器,产生 $(\bar{\quad}, \underline{\quad})$ 之间的随机数; $\text{INT}(\ast)$ 为返回 \ast 的向下取整值。

3.2 对状态变量的处理

PQ 节点电压的不等式约束,已经在目标函数中做了考虑;PV 节点的无功输出约束用下面的方法处理:当 PV 节点的无功 Q 越限时,把 PV 节点(把补偿设备类型为 SVC 的补偿节点作为 PV 节点处理)转化为 PQ 节点。

3.3 适应值计算

把目标函数作为适应值

$$f_{\text{fitness}} = F$$

3.4 用遗传算法进行求解的基本步骤

1) 读入原始数据,包括网络拓扑信息,节点有功、无功,线路的阻抗信息。

2) 对初始网络进行潮流计算、连续潮流计算,确定 $f_{i\text{min}}, f_{i\text{max}}$,得到隶属目标函数。

3) 选择各个目标函数的权重。

4) 对控制变量集

$$= [T \quad Q_c \mid V_g] = [T_1, T_2 \dots \mid Q_{c1}, Q_{c2} \dots \mid V_{g1}, V_{g2} \dots]$$

进行编码,形成 N 个初始群体。

5) 计算 N 个个体的适应值。

6) 是否满足收敛条件,否:计算第 7 步;是:输出结果,结束。

7) 依概率进行复制、交叉、变异等遗传操作形成新的群体。

8) 解码,修改网络参数,返回第 5 步。

4 算例

为了验证无功优化规划的效果,本文用 matlab 编程,对 IEEE30 节点进行了仿真计算,并做了如下修正,把 IEEE30 所有节点的有功、无功负荷都增加 1.2 倍。

表 1 给出目标函数中的部分参数,表 2 是变量约束条件。

表 1 目标函数中的部分参数

Tab. 1 Partial parameters of the object function

| 项目 | 取值 | 项目 | 取值 |
|--------------------------------------|----------|---------------------------------|-----------|
| N_s | 30 | f_1^{min} | 19.152 MW |
| S | 600 kvar | f_1^{max} | 27.359 MW |
| d_i | 15 万元 | f_2^{min} | 0 元 |
| c_i | 2.4 万元 | f_2^{max} | 500 万元 |
| $V_{pq}^{\text{ideal}}/\text{p. u.}$ | 1 | f_3^{min} | 0.15 |
| $\tilde{\mu}_1$ | 7 | f_3^{max} | 0.3 |
| $\tilde{\mu}_2$ | 1 | $f_4^{\text{min}}/\text{p. u.}$ | 0.03 |
| $\tilde{\mu}_3$ | 5 | $f_4^{\text{max}}/\text{p. u.}$ | 0.05 |
| $\tilde{\mu}_4$ | 3 | | |

表 2 变量约束条件

Tab. 2 Variable limits

| | Bus | $Q_G^{\text{max}}/\text{Mvar}$ | $Q_G^{\text{min}}/\text{Mvar}$ | V^{max} | V^{min} |
|-------|-----|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| PV 节点 | 2 | 50 | - 40 | 1.05 | 0.95 |
| | 5 | 40 | - 40 | | |
| | 8 | 40 | - 10 | | |
| | 11 | 24 | - 6 | | |
| PQ 节点 | 13 | 24 | - 6 | 1.1 | 1.0 |
| | | | | 1.05 | 0.95 |

根据式(3)计算出电压稳定的灵敏度排序:(26, 30, 24, 29, 25, 19, 23, 21, 22, 20, 18, 17, 27, 10, 15, 16, 14, 12, 9, 4, 28, 3, 7, 6)。选择 30, 26, 29, 25, 19 作为新增无功补偿节点, 10, 24 为原有的无功补偿节点。

用遗传算法对无功优化规划模型进行计算,计算结果如表 3、4。

从表 3 中可以看出通过无功优化规划后,网络损耗明显降低,从 27.359 MW 减少到 26.218 MW,减少了 4%,如果按最大负荷损耗小时数为 1 500 h, 0.6 元/kW·h 计算,则一年由于网络损耗减少而节省的费用为 102.69 万元,不到两年即可收回投资成

本;静态电压稳定裕度从 0.283 3 增加到 0.324 0,增加了 14.3%;最大电压偏移从 0.059 0 p.u. 减少到 0.049 2 p.u.,消除了电压越限的节点,提高了电压质量。

表 3 无功优化规划的结果

Tab. 3 Optimized planning results of reactive power

| | 规划前 | 规划后 |
|-------------------|---------|---------|
| 静态电压稳定裕度/p.u. | 0.283 3 | 0.324 0 |
| 无功补偿设备的投资/万元 | 0 | 174.6 |
| 网络损耗/MW | 27.359 | 26.218 |
| PQ 节点电压的最大偏移/p.u. | 0.059 0 | 0.049 2 |

表 4 无功补偿设备的位置与容量

Tab. 4 Location and capacity of the installed VAR source

| 负荷节点 | 无功补偿容量/Mvar |
|------|-------------|
| 10 | 25.00 |
| 19 | 9.00 |
| 24 | 10.30 |
| 36 | 5.40 |
| 30 | 6.00 |

5 结论

本文建立了多目标无功优化规划模型。为了使多目标函数之间具有可比性,采用模糊理论的方法,把目标函数进行模糊化处理,形成多目标无功优化规划数学模型,然后采用权重的方法把模糊多目标转化成单目标函数,并用遗传算法进行求解。对 IEEE30 节点系统的计算结果表明,用本文的方法进行无功优化规划能有效地降低网损,提高电压稳定性以及提高电压质量,从而验证了模型的正确性及算法的合理性。模型中静态电压稳定裕度的计算量较大,如果能有快速、准确、有效的电压稳定裕度计算方法,将会使本方法应用于大型电力系统。

参考文献:

- [1] 程浩忠. 电力系统电压崩溃的研究(上)[J]. 电力系统自动化,1995,19(11):59-61.
CHENG Hao-zhong. Review of Voltage Collapse in Electric Power Systems, Part One [J]. Automation of Electric Power Systems,1995,19(11):59-61.
- [2] 王久玲. 浅谈建立和完善电网安全运行及应急机制 [EB/OL]. <http://www.Chinapower.com.cn/news/>.
WANG Jiur-ling. Discuss Means of Establishing and Improving Safe Operation and Contingency [EB/OL]. <http://www.chinapower.com.cn/news/>.
- [3] 朱成章,胡兆光. 美加停电与中国电改 [EB/OL]. <http://www.chinapower.com.cn/news/>.

www.chinapower.com.cn/news/.

- ZHU Cheng-zhang, HU Zhao-guang. Blackout of American and Canada with Reform of Power System of China [EB/OL]. <http://www.chinapower.com.cn/news/>.
- [4] 余健明,杜刚,姚李孝. 结合灵敏度分析的遗传算法应用于配电网无功补偿优化规划[J]. 电网技术,2002,26(7):46-49.
YU Jian-ming, DU Gang, YAO Li-xiao. Application of Genetic Algorithm Combining Sensitivity Analysis to Optimized Planning of Reactive Power Compensation for Distribution Network [J]. Power System Technology,2002,26(7):46-49.
- [5] 李林川,王建勇,陈礼义,等. 电力系统无功补偿优化规划[J]. 中国电机工程学报,1999,19(2):66-69.
LI Lin-chuan, WANG Jian-yong, CHEN Li-yi, et al. Optimal Reactive Power Planning of Electrical Power System [J]. Proceedings of the CSEE,1999,19(2):66-69.
- [6] 李亚男,张粒子,杨以涵. 考虑电压约束裕度的无功优化及其内点解法[J]. 中国电机工程学报,2001,21(9):1-4.
LI Ya-nan, ZHANG Li-zi, YANG Yi-han. Reactive Power Optimization Under Voltage Constraints Margin [J]. Proceedings of the CSEE,2001,21(9):1-4.
- [7] Canizares C, et al. Voltage Stability Indices [EB/OL]. <http://www.power.uwaterloo.ca/>.
- [8] 云清夏. 进化算法[M]. 北京:冶金工业出版社,2000.
YUN Qing-xia. Evolutionary Algorithm [M]. Beijing:Metallurgical Industry Press,2000.
- [9] Miu K N, Chiang H D. Capacitor Placement, Replacement and Control in Large-scale Distribution Systems by a GA Base Two-stage Algorithm [J]. IEEE Trans on Power Systems,1997,12(3):1160-1166.
- [10] Hsiao Y T, Liu C C, Chiang H D, et al. A New Approach for Optimal Multi-objective Var Planning in Large Scale Power Systems [J]. IEEE Trans on Power Systems,1994,9(2):668-676.
- [11] 石立宝,徐国禹. 一种求解电网多目标模糊优化运行的自适应进化规划算法[J]. 中国电机工程学报,2001,21(3):53-58.
SHI Li-bao, XU Guo-yu. A Self-adaptive Evolutionary Programming Algorithm of Multi-objective Fuzzy Optimal Operation [J]. Proceedings of the CSEE,2001,21(3):53-58.
- [12] 姜述飞. 复杂系统电压稳定静态分析研究(硕士学位论文)[D]. 北京:清华大学,1997.
JANG Shur-fei. Static Voltage Stability Analysis in Large Power System, Thesis [D]. Beijing: Tsinghua University,1997.

(下转第 30 页 continued on page 30)

权衡之后,选择合适算法。

神经网络的训练在实际装置的设计中,应该离线训练,得出固定的权值,然后从实际运行系统中提取需要的特征值,对输电线路的运行状态进行分析识别,作出判断,从而实现保护功能。但是,如果从自适应的角度来讲,神经网络应该将实时的运行状况作为知识,重新存储到权值里,这样就要求在线训练网络。可是以上8种方法中,耗时最短的是LM方法,用了25s完成网络的训练,达到了最小误差。可是这个时间绝对满足不了保护对快速性的要求。因此,我们期待着更好的算法出现。

参考文献:

- [1] 段玉倩,贺家李.基于人工神经网络的距离保护[J].中国电机工程学报,1999,19(5):67-70.
DUAN Yu-qian, HE Jia-li. Distance Protection Based on ANN[J]. Proceedings of the CSEE,1999,19(5):67-70.
- [2] 褚法玉,陈晓科,王宁.基于人工神经网络输电线的速断保护[J].电力自动化设备,2003,23(3):67-69.
CHU Fa-yu, CHEN Xiao-ke, WANG Ning. Transmission Line Protection Based on ANN[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(3):67-69.
- [3] 许东.基于MATLAB6.X的系统分析与设计——神经网络(第二版)[M].西安:西安电子科技大学出版社,2003.
XU Dong. System Analysis and Design Based on MATLAB6.X——ANN,Second Edition[M]. Xi'an: Xidian University of Press,2003.
- [4] 都洪基,邓烽,苏炜宏.基于人工神经网络的自适应距离保护[J].继电器,2002,30(2):38-41.
DU Hong-ji, DENG Feng, SU Wei-hong. Adapting Distance Protection Based on ANN[J]. Relay,2002,30(2):38-41.
- [5] 朱洪波,许兆凤,马燕凤,等.两种改进BP算法神经网络滤波的比较[J].电力自动化设备,2003,23(6):35-36.
ZHU Hong-bo, XU Zhao-feng, MA Yan-feng, et al. Comparison of Two Improved BP Algorithms ANN Filtering[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(6):35-36.

收稿日期: 2004-06-21; 修回日期: 2004-07-18

作者简介:

席晓丽(1979-),女,硕士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护;E-mail: xixiaoli875@sohu.com

张举(1946-),男,教授,从事微机继电保护的教学与研究工作。

Research of training algorithm for distance protection based on ANN

XI Xiao-li, ZHANG Ju

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: Distance protection based on ANN is introduced. In order to make the new protection perfect, the method of training network is profoundly studied. Eight improved BP algorithms, which are used in ANN(Artificial Neural Network) training network, are compared. By repeating training, their common ground and difference in the process of weight adjusting and error convergency are drawn, and the effect of neural number, exciting function and initial weight on the training of ANN are summarized. It is proved that LM arithmetic and trainscg method have high convergence rates and are less affected by the weights in training networks while using large memory; and trainbr method has a better ability of generalization.

Key words: neural network; distance protection; BP algorithm; power system

(上接第25页 continued from page 25)

收稿日期: 2004-06-02; 修回日期: 2004-06-29

作者简介:

胡彩娥(1971-),女,博士研究生,研究领域为电力系统电压稳定、无功优化规划;E-mail: hucaie@cau.edu.cn

杨仁刚(1953-),男,教授,博士生导师,研究领域为无功补偿装置、配电网自动化。

Optimal planning for reactive power with voltage stability

HU Cai-e, YANG Ren-gang

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The mathematical model of fuzzy multi-objective optimal planning for reactive power is established. The objectives consist of four important terms including network loss, investment of reactive compensation equipment, static voltage stability margin, and voltage deviation of PQ bus. First, voltage stability sensitivity factor index method is applied to identify weak bus as candidate nodes for installing new reactive compensation equipment, then capability and location are optimized with genetic algorithm (GA). The present method is applied to IEEE30 bus systems with satisfactory result and has improved the voltage stability of the whole power system.

Key words: voltage stability sensitivity; fuzzy multi-object; static voltage stability margin