一种求解最大输电能力的模糊算法

史继莉,邱晓燕
(四川大学电气信息学院,四川 成都 610065)

摘要: 将模糊集理论和原始 - 对偶内点法应用于求解在最不利的负荷增长方式下并具有可伸缩不等式约束的最大输电能力问题。试验系统的计算表明,选用最不利的负荷增长方式,能更加准确地求得系统最大输电能力的下限值;将部分不等式约束模糊化,可求解出更加符合实际情况的最大输电能力。

关键词: 最大输电能力; 模糊集理论; 最不利负荷增长方式; 原始 -对偶内点法; 负荷裕度

中图分类号: TM711 **文献标识码**: A **文章编号**: 1003-4897(2006)03-0047-04

0 引言[1]

电力系统输电能力对整个系统的安全可靠性有着很大的影响,是所有电力市场的参与者进行交易活动所必需的重要信息。在电力市场环境下,系统运行的不确定性增加,节点电压越限、支路过负荷等故障的发生概率增大,如何准确、快速地计算系统输电能力成为亟待解决的问题。其中,最大输电能力的准确计算是关键问题之一。

最大输电能力 (Total Transfer Capability)是指系统在没有热过负荷、节点电压越限、电压崩溃或违背任何系统安全限制 (如暂态稳定等)前提下,指定输电路径上最大的电力输送能力。

TTC的最优化计算方法[2,3]将问题转化为在满足一系列等式和不等式约束条件情况下系统的最大负载能力问题。该方法不仅能最优配置资源,而且能考虑各种系统约束,包括系统潮流方程、发电机出力和节点电压等,因此很适合 TTC的计算。但是,一般最优化方法将所有约束处理为不能丝毫违背的硬约束,这样就大大缩小了可行域,有背实际运行情况。

另外,在 TTC的计算中,往往通过逐步增加负荷的办法来确定目前系统状态离可行域边界还有多远,即输电能力的裕度有多大。可选择的负荷增长方式多种多样,如果负荷从当前的运行状态按不同的方式增加就会有不同的输电能力裕度。其中,必有一种负荷增长方式所对应的输电能力裕度最小,即最大输电能力值最小。因此,确定出最不利的负荷增长方式,可求取系统最大输电能力的下限值,从而,更精确地获得系统参考底限,对系统的安全经济运行有着十分重要的意义。

本文针对 TTC问题,选用最优化方法,利用最不利的负荷增长方式,并应用模糊集理论[4]计入可伸缩不等式约束影响,采用原始 - 对偶内点法求解。试验系统的计算表明,本文所提算法行之有效。

1 最大输电能力问题的建模

1.1 最优化模型

在文献[5]求解电压稳定临界点的非线性规划模型的基础上,进一步计及硬约束和可伸缩约束,得到以下电力系统最大输电能力非线性规划模型:

$$\begin{aligned}
&\min\ -\lambda\\
&\text{s.t.}\quad P_{Gi} - P_{Li} - V_i\sum_{j\in i}Y_{ij}V_j\cos\theta_{ij} - \lambda b_{Pi} = 0\\
&\qquad Q_{Gi} - Q_{Li} - V_i\sum_{j\in i}Y_{ij}V_j\sin\theta_{ij} - \lambda b_{Qi} = 0\\
&\qquad i,j\in S_B \qquad (1)\\
&\qquad \underline{P}_G \le P_G \le \overline{P}_G\\
&\qquad \underline{Q}_R \le Q_R \le \overline{Q}_R\\
&\qquad \underline{V} \mathrel{\tilde{\le}} V \mathrel{\tilde{\le}} \overline{V}\\
&\qquad \underline{P}_l \mathrel{\tilde{\le}} P_l \mathrel{\tilde{\le}} \overline{P}_l
\end{aligned}$$

式中:等式约束为扩展潮流方程;λ为标量,表示系统对负荷增长的裕度,亦即系统输电能力的裕度;$b_P = [b_{P1}, \cdots, b_{Pm}]^T$、$b_Q = [b_{Q1}, \cdots, b_{Qm}]^T$为方向矢量,表示负荷增长方式;$P_G, Q_R, V, P_l$为状态变量,分别对应有功发电、无功发电、节点电压和支路潮流;$\mathrel{\tilde{\le}}$为模糊关系符,表示尽可能小,不越限太多。

1.2 负荷增长方式的选择[1,6]

运用特征结构分析法,对式 (1)描述模型的雅可比矩阵进行奇异值分解,则有:

$$\begin{bmatrix}\Delta\theta\\ \Delta V\end{bmatrix} = \sum_{i=1}^{2m-k}\delta_i^{-1}U_iW_i^{\mathrm{T}}\begin{bmatrix}b_P\\ b_Q\end{bmatrix} \tag{2}$$

式中：k为电压可调的节点数；特征值 δ_i定义为奇异值，$\delta_1\geq\delta_2\geq\cdots\geq\delta_{2m-k}\geq 0$；左、右特征向量 W_i，U_i分别定义为 δ_i对应的左、右奇异向量。

由式(2)可见，与奇异值 δ_i对应的状态变量 θ，V的变化幅值与 δ_i相关，δ_i越小，所引起的状态变量的变化越大。当奇异值几乎为零时，系统接近可行域边界，此时，系统响应将由最小奇异值和它的奇异向量所决定。即：

$$\begin{bmatrix}\Delta\theta\\ \Delta V\end{bmatrix} = \delta_{2m-k}^{-1}U_{2m-k}W_{2m-k}^{\mathrm{T}}\begin{bmatrix}b_P\\ b_Q\end{bmatrix} \tag{3}$$

式中：将 U_{2m-k}，W_{2m-k}规格化为：

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^{m}\theta_i^2+\sum_{i=1}^{m-k}V_i^2&=1\\ \sum_{i=1}^{m}b_{Pi}^2+\sum_{i=1}^{m-k}b_{Qi}^2&=1\end{aligned} \tag{4}$$

若令 $\begin{bmatrix}b_P\\ b_Q\end{bmatrix}=W_{2m-k}$ (5)

则有：

$$\begin{bmatrix}\Delta\theta\\ \Delta V\end{bmatrix} = \frac{U_{2m-k}}{\delta_{2m-k}} \tag{6}$$

由式(5)、(6)可见，因为最小奇异值充分小，所以相对于其它奇异值，系统功率注入沿左奇异向量 W_{2m-k}方向变化时，所引起的系统电压的变化最大，这在一定程度上反映了系统状态最容易越限的方向，亦即在此方向上的输电能力裕度最小。从而，可以将最小奇异值所对应的左奇异向量取为最不利的负荷增长方式。为获得更为有效的收敛结果，本文借鉴文献[6]中方法，采用求解高阶稀疏对称阵的特征对的 Lanczos法，求得所需左特征向量。

1.3 不等式约束模糊化[7]

针对控制量物理限制的不等式约束，如发电机出力的上下限、无功补偿装置的无功上下限等，为硬性约束，是不允许越限的；而另外一些针对运行限制的不等式约束，如节点电压约束、支路的功率传输限制等，一般其限值都保留了一定的裕度。在 TTC的计算过程中，为了寻求更安全经济的运行方式，必要时允许在适当范围内稍许越限。因此可以将这种不等式约束模糊化为允许适当越限的可伸缩约束，当其对应变量位于上下限之间满足要求，函数值 μ为0，而越限在允许范围内时，函数值 μ在0与1之间，越过原约束上下限越多，函数值 μ越大。模糊因子 μ反映了对可伸缩约束越限施加“惩罚”的程度。

模糊不等式约束的隶属函数(相应的函数图参见图1)为：

$$\mu(x_i)=\begin{cases}0 & \underline{x}_i\leq x_i\leq\bar{x}_i\\ \dfrac{x_i-\bar{x}_i}{\delta_i} & \bar{x}_i<x_i\leq\bar{x}_i+\delta_i\\ \dfrac{\underline{x}_i-x_i}{\delta_i} & \underline{x}_i-\delta_i\leq x_i<\underline{x}_i\\ 1 & \bar{x}_i+\delta_i<x_i \text{ or } x_i<\underline{x}_i-\delta_i\end{cases} \tag{7}$$

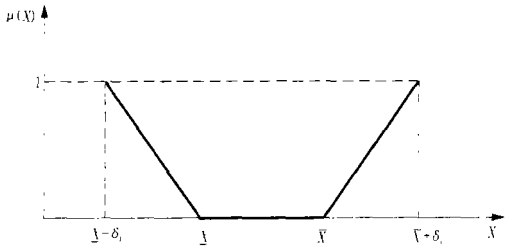

图1 不等式约束隶属函数

Fig 1 Membership function of the soft constraints

引入模糊约束后，原最优化问题转化为：

$$\begin{aligned}&\min\ -\lambda\\ &\text{s t}\quad P_{Gi}-P_{Li}-V_i\sum_{j\in i}Y_{ij}V_j\cos\theta_{ij}-\lambda b_{Pi}=0\\ &\qquad Q_{Gi}-Q_{Li}-V_i\sum_{j\in i}Y_{ij}V_j\sin\theta_{ij}-\lambda b_{Qi}=0\\ &\qquad \underline{P}_G\leq P_G\leq\bar{P}_G\\ &\qquad \underline{Q}_R\leq Q_R\leq\bar{Q}_R\\ &\qquad \underline{V}-\delta_V\leq V+\mu(V)\delta_V\leq\bar{V}+\delta_V\\ &\qquad \underline{P}_l-\delta_{pl}\leq P_l+\mu(P_l)\delta_{pl}\leq\bar{P}_l+\delta_{pl}\end{aligned} \tag{8}$$

式中：δ_V为与状态变量 V同维的列向量；δ_{Pl}为与 P_l同维的列向量。

2 最大输电能力问题的求解

2.1 原始-对偶内点法

将式(8)所描述的约束非线性最优化问题写成标准形式，引入松弛变量，将不等式约束转化为等式约束，并利用拉格朗日方法，将约束优化问题转化为无约束优化问题。可得其相应的拉格朗日函数为：

$$\begin{aligned}L=(-\lambda)-y^{\mathrm{T}}(h(x)+\lambda D)-z^{\mathrm{T}}(G(x)-l-\underline{G})-w^{\mathrm{T}}(G(x)+u-\bar{G})-\mu\sum_{j=1}^{r}\log(l_j)-\\ \mu\sum_{j=1}^{r}\log(u_j)\end{aligned} \tag{9}$$

式中：μ为扰动因子，且 $\mu>0$；$x=[P_G, Q_R, V, P_l]^{\mathrm{T}}$为状态变量；$h(x)$为常规潮流方程；$D=[b_P, b_Q]^{\mathrm{T}}$

为负荷增长方向矢量; $G(x) = [G_1(x), \cdots, G_r(x)]^T$ 为不等式约束集; $l = [l_1, \cdots, l_r]^T$, $u = [u_1, \cdots, u_r]^T$ 为松弛变量; $y = [y_1, \cdots, y_m]^T$, $z = [z_1, \cdots, z_r]^T$, $w = [w_1, \cdots, w_r]^T$ 均为拉格朗日乘子。

根据 Kuhn - Tucker 最优性条件可得到以下非线性方程:

$$L_x \equiv -\nabla h(x) y - \nabla G(x)(z + w) = 0 \quad (10)$$

$$L_\lambda \equiv -1 - D^T y = 0 \quad (11)$$

$$L_y \equiv h(x) + \lambda D = 0 \quad (12)$$

$$L_z \equiv G(x) - l - \underline{G} = 0 \quad (13)$$

$$L_w \equiv G(x) + u - \overline{G} = 0 \quad (14)$$

$$L_l \equiv LZe - \mu e = 0 \quad (15)$$

$$L_u \equiv UWe + \mu e = 0 \quad (16)$$

$$(l, u, z) \geq 0, w \leq 0, y \neq 0 \quad (17)$$

式中: $L = \mathrm{diag}(l_1, \cdots, l_r)$, $U = \mathrm{diag}(u_1, \cdots, u_r)$, $Z = \mathrm{diag}(z_1, \cdots, z_r)$, $W = \mathrm{diag}(w_1, \cdots, w_r)$, $e = [1, \cdots, 1]^T \in R^r$。

最后,利用牛顿 - 拉夫逊法将其转化为线性方程组求解。本文利用文献[8]中的结果,将线性方程组直接降阶,可得:

$$\begin{bmatrix} H & \nabla h(x) & 0 \\ \nabla h(x)^T & 0 & D \\ 0 & D^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K \\ -L_{y0} \\ L_{\lambda 0} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\Delta l = \nabla G(x)^T \Delta x + L_{z0} \quad (19)$$

$$\Delta u = -(\nabla G(x)^T \Delta x + L_{w0}) \quad (20)$$

$$\Delta z = -L^{-1} Z \nabla G(x)^T \Delta x - L^{-1}(ZL_{z0} + L_{l0}^{\mu}) \quad (21)$$

$$\Delta w = U^{-1} W \nabla G(x)^T \Delta x + U^{-1}(WL_{w0} - L_{u0}^{\mu}) \quad (22)$$

式中:

$$\begin{cases} H = \sum_{i=1}^{m} \nabla^2 h_i(x) y_i + \sum_{i=1}^{r} \nabla^2 G_i(x)(z_i + w_i) + \nabla G(x) S \nabla G(x)^T \\ S = U^{-1} W - L^{-1} Z \\ K = L_{x0} - \nabla G(x)(U^{-1}(WL_{w0} - L_{u0}^{\mu}) - L^{-1}(ZL_{z0} + L_{l0}^{\mu})) \end{cases} \quad (23)$$

式中: $\nabla^2 h_i(x)$ 与 $\nabla^2 G_i(x)$ 分别为 $h_i(x)$ 与 $G_i(x)$ 的 Hessian 矩阵; y_i, z_i 和 w_i 分别为 y, z 和 w 的第 i 个元素; $(L_{x0}, L_{\lambda 0}, L_{y0}, L_{z0}, L_{w0}, L_{l0}^{\mu}, L_{u0}^{\mu})$ 为 KKT 最优性条件方程的残差。

求解方程(18)～(22),得到第 k 次迭代的修正量,于是最优解的一个新的近似为:

$$\begin{bmatrix} x \\ l \\ u \\ \lambda \end{bmatrix}^{k+1} = \begin{bmatrix} x \\ l \\ u \\ \lambda \end{bmatrix}^{k} + \alpha_p \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta l \\ \Delta u \\ \Delta \lambda \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} y \\ z \\ w \end{bmatrix}^{k+1} = \begin{bmatrix} y \\ z \\ w \end{bmatrix}^{k} + \alpha_d \begin{bmatrix} \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta w \end{bmatrix} \quad (24)$$

2.2 算法的实现

具有可伸缩不等式约束的内点算法求解流程如图 2 所示。

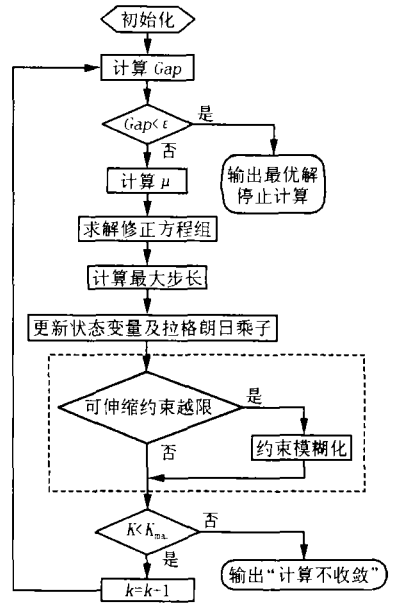

图 2　算法流程框图

Fig 2　Flow chart of fuzzy-IP algorithm

其中,初始化包括松弛变量、拉格朗日乘子、状态变量、中心参数、计算精度、迭代次数和负荷增长方式等一系列初值的设定。

图 2 中,

互补间隙: $Gap = \sum_{i=1}^{r}(l_i z_i - u_i w_i)$

扰动因子: $\mu = \sigma \frac{Gap}{2r}$

式中: σ 为中心参数,它可以影响计算收敛的速度。

原始、对偶最大步长 α_p、α_d 分别由下式求取:

$$\alpha_p = 0.9995 \min\left\{\min\left(\frac{-l_i}{\Delta l_i} : \Delta l_i < 0; \frac{-u_i}{\Delta u_i} : \Delta u_i < 0\right), 1\right\}$$

$$\alpha_d = 0.9995 \min\left\{\min\left(\frac{-z_i}{\Delta z_i} : \Delta z_i < 0; \frac{-w_i}{\Delta w_i} : \Delta w_i > 0\right), 1\right\}$$

虚线框内所示环节为模糊化环节,由于在大部分迭代过程中,所有约束均是满足的,即并未发生变量越限情况,因此,为提高运算速度,本文在初始化中不考虑可伸缩约束的模糊化,而是在后续的迭代过程中加入一个监测指针,只有在监测到可伸缩约

束出现越限情况时,才将其模糊化,继续参与迭代。

3 数字仿真

本节通过对 IEEE57节点系统仿真来验证本方法的性能。将只包含发电机的区域作为送端区域,其余包含负荷的区域作为受端区域,负荷增长方式分别按一般负荷增长方式(各节点功率按比例同步增长)和最不利负荷增长方式选取;发电机及无功补偿装置的有功、无功功率约束作为硬约束处理,节点电压和支路传输功率约束先后作为硬约束和可伸缩约束加以比较;允许越限量 δ_V、δ_{Pl}分别同时取为 $[0.01,\cdots,0.01]^T$、$[0.02,\cdots,0.02]^T$ 和 $[0.05,\cdots,0.05]^T$。该系统包括 4台发电机、78条线路,因此,硬约束数目为 11个,可伸缩约束数目为 120个。

表 1和表 2给出了具体计算结果,由表 1可见,当电压约束和支路约束均为硬约束时,系统的负荷裕度为 0.214 1,最大输电能力比初始状态增加 21.41%,当电压约束和支路约束为可伸缩约束时,随着可伸缩约束允许越限量 δ_V 和 δ_{Pl}的增加,系统的负荷裕度不断增加,分别为 0.370 5、0.517 9和 0.694 3,最大输电能力比全为硬约束时分别增加了 15.64%、30.38%和 48.02%,分别比初始状态增加 37.05%、51.79%和 69.43%。由表 2可见,在最不利负荷增长方式下,随着可伸缩约束允许越限量 δ_V 和 δ_{Pl}的增加,系统的负荷裕度分别为 0.323 4、0.375 8和 0.538 4,最大输电能力比一般负荷增长方式分别减少 4.71%、14.21%和 15.59%,分别仅比初始状态增加 32.34%、37.58%和 53.84%。由此可见,在相同负荷增长方式下,系统允许越限量越大,输电能力越强,优化效果越好;在不同负荷增长方式下,最不利的负荷增长方式对应的输电能力最弱。

表 1 一般负荷增长方式下系统优化结果 ($\underline{V}_i = 0.9$)

Tab. 1 System optimal results with general loading direction

		λ	δ_V	δ_{Pl}	典型节点电压幅值	
					V_{31}	V_{33}
一般负荷增长方式	未模糊化	0.214 1	0	0	0.900 0	0.911 4
	本文方法	0.370 5	0.01	0.01	0.899 4	0.910 5
		0.517 9	0.02	0.02	0.898 9	0.909 4
		0.694 3	0.05	0.05	0.896 8	0.899 7

表 2 最不利负荷增长方式下系统优化结果 ($\underline{V}_i = 0.9$)

Tab. 2 System optimal results with the most disadvantageous loading direction

	λ	δ_V	δ_{Pl}	典型节点电压幅值								
				V_9	V_{10}	V_{11}	V_{13}	V_{14}	V_{42}	V_{52}	V_{53}	V_{56}
最不利负荷增长方式	0.323 4	0.01	0.01	0.903 2	0.899 7	0.899 9	0.905 1	0.906 5	0.899 5	0.908 6	0.899 5	0.901 2
	0.375 8	0.02	0.02	0.899 5	0.898 7	0.899 1	0.899 8	0.901 0	0.898 8	0.902 1	0.898 7	0.899 5
	0.538 4	0.05	0.05	0.897 4	0.896 5	0.897 3	0.898 4	0.899 1	0.897 5	0.898 6	0.896 6	0.898 7

4 结论

本文选用最不利负荷增长方式,以求得系统最大输电能力的下限值,同时,应用模糊集理论处理最大输电能力计算中的运行限制,通过 δ的取值控制参与模糊化的约束的数量及模糊化程度,例如,一些对电压要求较高的重要节点的约束可不施行或较其它节点更少地施行模糊化,从而使系统可以在更加符合实际情况的基础上得以优化,增大了待求问题的可行域,克服了以往算法趋于保守的不足,能够更精确地解算出最大输电能力,以满足系统安全经济运行的要求。

参考文献:

[1] 周双喜,朱凌志,郭锡玖,等. 电力系统电压稳定性及其控制[M]. 北京:中国电力出版社, 2004.
ZHOU Shuang-xi, ZHU Ling-zhi, GUO Xi-jiu, et al. Power System Voltage Stability and Its Control [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

[2] Irisarri G D, Wang X, Tong J, et al. Maximum Loadability of Power Systems using Interior Point Non-Linear Optimization Method [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(1): 162-172.

[3] Dai Y, Mc Calley J D, Vittal V. Simplification, Expansion and Enhancement of Direct Interior Point Algorithm for Power System Maximum Loadability[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(3): 1014-1021.

[4] 杨纶标,高英仪. 模糊数学原理及应用 [M]. 广州:华南理工大学出版社, 2004.
YANG Lun-biao, GAO Ying-yi. Principle and Application of Fuzzy Sets [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2004.

(下转第 81页 continued on page 81)

izer of Tree form Distribution Networks Based on an Improved Injection Method[J]. Relay, 2002, 30(10): 51-54.

[11] 韩凤玲,许承斌,柳焯. 树型分支电网短路点特征识别和定位[J]. 中国电机工程学报, 1997, 17(6): 25-31.
HAN Feng-ling, XU Cheng-bin, LIU Zhuo. The Feature Selection and Location of Short-circuit for Tree-type Distribution Line[J]. Proceedings of the CSEE, 1997, 17(6): 25-31.

[12] 牟龙华,刘建华. 电力电缆故障测距方法的基本工作原理[J]. 继电器, 1999, 27(4): 22-29.
MU Long-hua, LIU Jian-hua. Basic Work-principle of Cable Fault Location[J]. Relay, 1999, 27(4): 22-29.

[13] 熊小伏,林金洪. 基于小波重构的电力电缆故障测距方法[J]. 电网技术, 2003, 27(1): 49-52.
XIONG Xiao-fu, LIN Jin-hong. A Wavelet Reconstruction Based Fault Location Method for Power Cable[J]. Power System Technology, 2003, 27(1): 49-52.

收稿日期: 2005-06-20; **修回日期**: 2005-07-08

作者简介:

郭俊宏 (1978 -),女,硕士研究生,研究方向为电力系统分析与控制; E-mail: guohonger@163.com

谭伟璞 (1963 -),男,副教授,硕士研究生导师,研究方向为电力电子及其在电力系统中的应用;

杨以涵 (1927 -),男,教授,博士生导师,研究方向为电力系统分析与控制、数字电力系统等。

Summary on fault location principle in power system

GUO Jun-hong[1], TAN Wei-pu[1], YANG Yi-han[1], GUO Fang-xia[2], REN Jie[3]

(1. School of Electrical Power Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 2. Yuncheng Power Supply Company, Yuncheng 044000, China; 3. Liaocheng Power Supply Company, Liaocheng 252000, China)

Abstract: In power system, there are different fault location methods for different power networks because of the different structure of transmission network and distribution network. The paper introduces the principle of impedance method and traveling wave method applied in high transmission line and mid-low distribution line and summarizes algorithms matched different principles proposed in the power system at present. Comparing the merits and defects of all the algorithms mentioned, this paper predicts the research trend in the future.

Key words: travelling wave; fault location; algorithm

(上接第 50页　continued from page 50)

[5] 韦化,丁晓莺. 基于现代内点理论的电压稳定临界点算法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(3): 27-31.
WEI Hua, DING Xiao-ying. An Algorithm for Determining Voltage Stability Critical Point Based on Interior Point Theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(3): 27-31.

[6] 程浩忠,祝达康,张焰. 邻近电压崩溃点处的系统最优控制方向[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(21): 29-31.
CHENG Hao-zhong, ZHU Da-kang, ZHANG Yan. The Optimum Control Direction of Power Systems Near the Voltage Collapse Point[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(21): 29-31.

[7] 刘明波,段晓军. 一种求解多目标最优潮流的模糊优化算法[J]. 电网技术, 1999, 23(9): 23-26, 31.
LIU Ming-bo, DUAN Xiao-jun. A Fuzzy Optimization Algorithm of Multiobjective Optimal Power Flow[J]. Power System Technology, 1999, 23(9): 23-26, 31.

[8] LI Hua-qiang, Yorino N, Sasaki H. Assessment of Q Limit Induced and Saddle Node Bifurcations Based on a Constrained Optimization Method[A]. IEEE Meeting 2004.

收稿日期: 2005-06-15; **修回日期**: 2005-11-03

作者简介:

史继莉 (1977 -),女,硕士研究生,研究方向为电力系统分析计算及稳定; E-mail: sjl-cd@163.com

邱晓燕 (1964 -),女,副教授,主要从事电力系统分析计算及稳定、电压稳定与控制方面的研究。

A fuzzy algorithm of power system total transfer capacity calculation

SHI Ji-li, QIU Xiao-yan

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

Abstract: Fuzzy sets theory and primal-dual path following interior point algorithm are used for total transfer capacity (TTC) problem with the most disadvantageous loading direction and soft constraints. The results of test system show that optimization of the TTC problem with this algorithm could be more applicable and effective than that of traditional algorithms and the lower limit of TTC could be gained.

Key words: total transfer capacity; fuzzy sets theory; the most disadvantageous loading direction; primal-dual path following interior point algorithm; load power margin