

考虑负荷及发电机出力不确定性的 TCSC选址与定容

王成山, 陈光远, 魏炜, 杨建林

(天津大学电气与自动化工程学院, 天津 300072)

摘要: TCSC装置的应用能够有效地提高系统输电能力、降低网损、改善系统稳定性,但由于其成本相对比较昂贵,因此在输电网规划中,其选址与定容问题具有较高的研究价值。本文提出一种确定 TCSC备选安装位置和安装容量的新方法。在选址子问题中,考虑到规划方案中系统负荷预测与发电机出力方式的不确定性,以静态电压稳定约束下的系统输电能力最大化为目标,采用将灵敏度法与非贯序蒙特卡罗仿真法相结合的方法来确定 TCSC的备选安装位置。在安装位置已知的前提下,考虑到不确定因素的影响,以系统最大收益为目标,将蒙特卡罗法与非线性优化方法相结合来确定 TCSC的安装容量。经 IEEE118节点系统验证,本文算法能够有效解决 TCSC的选址与定容问题。

关键词: 输电能力; TCSC; 静态电压稳定; 蒙特卡罗仿真

中图分类号: TM714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)07-0051-05

0 引言

近年来,由于环境、经济等因素的限制,输电设施的建设速度要远小于负荷需求的增长速度,电网公司必须挖掘现有输电网络的潜力,用尽可能少的投入来提高系统的输电能力。特别是在市场机制下,输电能力的提高将直接体现为经济效益的增加。提高区域间联络线的输电能力还有助于提高各区域的供电可靠性、减少各区域的备用容量。TCSC(可控串联补偿器)是目前 FACTS家族成员中应用前景最为广泛的装置之一,它通过快速平滑地改变所在线路电抗达到控制潮流分布、抑制系统低频振荡和避免由于串联补偿而带来的次同步谐振的目的,它的投运能够大幅度提高系统的输电能力^[1]。但由于其价格昂贵,因此,研究 TCSC的配置对于网络规划者来说很有意义。

关于 TCSC的选址和定容问题,目前已经有许多研究成果。文献[2]采用模态分析法,通过分析 TCSC装置对于电力系统小扰动稳定性的影响,提出了 TCSC最佳设置点的选择指标;文献[3]采用 TCSC功率注入模型,通过计算有功指标 P 来确定 TCSC的位置;文献[4]预先假设在所有线路都安装 TCSC装置,而后通过求解最优潮流问题来确定 TCSC的最佳安装位置;文献[5,6]选择遗传算法来求解 TCSC装置的最优位置及其参数,其中文献[5]以输电能力最大化为求解目标,而文献[6]则是以投资费用和发电机发电成本最小为求解目标。上述文

献对于系统中可能出现的不确定性因素,如负荷和发电机出力等对结果的影响,没有加以考虑。同时对于安装 TCSC的收益和投资问题也没有详细的考虑,而费用问题在电力市场环境下是十分重要的。

输电能力计算需要考虑暂态稳定约束、电压稳定约束、小扰动稳定约束等诸多影响因素。在当前全国电网互联和“西电东送”工程的大背景下,电压稳定性问题已经对我国电力系统安全运行构成严重威胁。因此,以电压稳定约束下的输电能力为研究重点的 TCSC装置的选址定容研究具有一定的实用价值。

本文采用 TCSC静态模型,重点考虑了在系统负荷和发电机出力不确定情况下 TCSC装置对计及静态电压稳定约束的输电能力的影响。通过采用非贯序蒙特卡罗法和灵敏度法相结合的方法,确定出使输电能力最大化的 TCSC备选安装位置。当安装位置已知后,将非贯序蒙特卡罗法与非线性优化方法相结合,确定使得系统收益最大的 TCSC装置的最佳安装容量。最后通过 IEEE118节点系统对本文提出的算法进行了验证。

1 TCSC的静态模型

本文采用 TCSC的静态模型,如图 1所示。此时,TCSC可以看作一个可变电抗。它的容量大小和所在线路电抗有关:

$$X_{ij} = X_{Line} + X_{TCSC}, \quad X_{TCSC} = r_{TCSC} \cdot X_{Line} \quad (1)$$

其中: X_{Line} 是装设 TCSC的支路初始电抗值, X_{TCSC} 是 TCSC的静态电抗值。 r_{TCSC} 是 TCSC对线路的电抗

补偿度。TCSC的取值范围一般为 -0.7和 0之间。

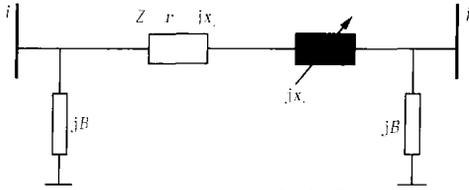


图 1 TCSC静态模型
Fig 1 Static model of TCSC

2 TCSC的选址子问题

电网规划者在进行规划时,首先要对各负荷点的变化进行预测,进而得到全系统的负荷水平,并以此为基础确定电源的投建计划或发电机组的计划出力方式,以及线路的规划等。这个预测结果在很大程度上能够反映系统在目标年的情况,但是由于现实中存在着大量的不确定性因素,预测结果往往和实际情况存在一些差异。此外,负荷预测通常是给出系统在目标年的最大负荷,然而大多数情况下,系统并非运行在最大负荷水平下。只有综合考虑这些因素,才能保证最终方案在大多数情况下发挥最大效用。本文充分考虑不确定性因素的影响,以输电能力最大化为目标,采用将蒙特卡罗法和灵敏度指标相结合的方法,为电网规划者提供了更实用的选址方案。

2.1 灵敏度指标的求取

在负荷及发电机出力变化方向确定的情况下,本文通过求取静态电压稳定约束下最大输电能力对线路电抗的灵敏度,来建立灵敏度指标。

电源和用户之间的最大输电能力 (Total Transfer Capability,简称 TTC) P_T 可以表示为:

$$P_T = \sum_{i \in G} (P_{0i} + L \cdot kg_i) \quad (2)$$

式中: G 为所有电源节点的集合; P_{0i} 为节点 i 的基态有功功率; kg_i 为当负荷增长时,节点 i 处发电机有功出力增长比例系数; L 表示系统在满足约束条件的情况下总有功负荷增长的最大值,即负荷裕度。当发电机有功调度方案为比例计划分配时, $\sum kg_i = 1$ 。

电力系统静态电压稳定性分析的数学模型为^[7]:

$$0 = g(x, p) \quad (3)$$

其中: x 是系统的状态向量, g 是系统的有功、无功负荷向量, p 为系统可变参数向量。当负荷和发电机出力增长时,根据文献 [7] 可以推导出负荷裕度对于可变参数为线路电抗 x 的灵敏度:

$$L_x = - \frac{g_x | \cdot }{g_l | \cdot \kappa_l + g_g | \cdot \kappa_g} \quad (4)$$

式中, g 是在电压崩溃点即 SNB 点处雅可比矩阵零特征值对应的左特征向量。 $| \cdot$ 表示对应系数的取值来自 SNB 点。向量 κ_l 表示系统负荷的增长方向, κ_g 表示发电机出力增长方向, L 是系统的负荷裕度。

因此,根据公式 (2)、(4) 推出最大输电能力对线路电抗的灵敏度为:

$$P_{TX} = \frac{L}{X} \cdot \sum_i kg_i = - \frac{g_x | \cdot }{g_l | \cdot \kappa_l + g_g | \cdot \kappa_g} \quad (5)$$

式中: SNB 点处参数的求取是根据系统当前的负荷增长方向及发电机有功调度方案,调用连续潮流 CPF 程序求取的。在负荷水平确定情况下,根据 P_{TX} 的结果可以选择出线路电抗变化对于提高 TTC 最敏感的线路,即在该处安装 TCSC 可以最大程度地提高系统输电能力。TCSC 应安装在灵敏度向量元素为负的最小值的线路上。

2.2 考虑不确定因素下 TCSC 位置的确定

下面将基于上述的灵敏度指标,运用非贯序蒙特卡罗法给出 TCSC 装置的备选安装位置。

不确定因素的考虑包括负荷变化方向和发电机的出力增长方向两部分。考虑到预测结果在很大程度上反映了目标年的发展趋势,在本文中选择以预测结果为中心的正态分布来模拟负荷和发电机的不确定性。为了得到概率计算的样本集,我们首先根据历史经验给定负荷和发电机出力波动的概率分布,然后通过蒙特卡罗仿真确定每个样本中的负荷增长和发电机有功出力分配系数,再在各样本上计算灵敏度指标,最终得到考虑不确定性因素的 TCSC 的最佳安装位置。

假定系统中参与功率增长的负荷数目为 nl , 参与功率分配的发电机数目为 ng , 具体过程如下:

各节点负荷增长方向采用以负荷预测值 μ_{1i} ($0 \leq \mu_{1i} \leq 1$, $\sum_{i=1}^{nl} \mu_{1i} = 1$) 为期望值的正态分布函数 $N_{1i}(\mu_{1i}, \frac{\sigma_{1i}^2}{1i})$ ($i = 1, 2, \dots, nl$) 表示,参与功率分配的各节点发电机出力增长方向采用以发电机初始分配比例 μ_{2i} ($0 \leq \mu_{2i} \leq 1$, $\sum_{i=1}^{ng} \mu_{2i} = 1$) 为期望值的正态分布函数 $N_{2i}(\mu_{2i}, \frac{\sigma_{2i}^2}{2i})$ ($i = 1, 2, \dots, ng$) 表示,正态分布的方差 $\frac{\sigma_{1i}^2}{1i}$ 和 $\frac{\sigma_{2i}^2}{2i}$ 根据历史经验给出。

分别抽取满足 $N_{1i}(\mu_{1i}, \frac{\sigma_{1i}^2}{1i})$ ($i = 1, 2, \dots, nl$) 分布的随机数 $\{x_1, x_2, \dots, x_{nl}\}$, 同时分别抽取满足 $N_{2i}(\mu_{2i}, \frac{\sigma_{2i}^2}{2i})$ ($i = 1, 2, \dots, ng$) 分布的随机数 $\{y_1, y_2,$

..., y_{ng} }。

检验所得样本:如果所得样本中出现负值,也就是说发电机出力或者负荷出现负增长,将这样的样本舍去。

分别对 $\{x_1, x_2, \dots, x_{n1}\}$ 和 $\{y_1, y_2, \dots, y_{ng}\}$ 进行归一化,作为该样本的负荷有功增长系数和发电机有功出力分配系数。

计算每次抽样下 TIC对线路电抗的灵敏度向量 P_{TX} ,并记录下结果。

判断是否达到给定抽样次数,如果达到则结束;未达到则转 ,否则转至下一步。

统计样本空间下的所有灵敏度结果 $\{P_{xi} | i = 1, 2, \dots, N\}$ 。根据概率理论,若某条支路作为最优位置出现的次数越多,该支路可能成为最优安装位置的概率就越高。线路 i 的概率指标如公式 (6) 所示。其中, N_i 表示第 i 条支路为最优位置出现的次数, N 为样本容量, N_b 是安装 TCSC 可选线路数目。

$$P_i = \frac{N_i}{N} \quad (i = 1, 2, \dots, N_b) \quad (6)$$

概率指标 P_i 量化地评价了负荷、发电机出力方向的波动对于选址结果的影响,给出的是各条支路可能作为 TCSC 最优安装位置的一组概率排序结果。当考虑 TCSC 抑制低频振荡和次同步谐振作用时可以从排序结果中选择 TCSC 安装位置,从大到小依次验证,并最终确定 TCSC 的安装位置。本文将仅选择 TCSC 安装在概率指标 P_i 最高的支路上。

3 TCSC定容子问题

电力市场环境下,输电能力的提高直接体现为经济效益的增加,安装不同容量的 TCSC 对于系统最大输电能力有不同程度的提高,为系统带来不同的收益,同时安装容量的大小与设备投资成本直接相关。在 TCSC 安装位置确定后,如何确定其容量使其能够为系统带来最大的经济效益是本节要解决的问题。

3.1 TCSC投资费用函数

根据文献 [6], TCSC 投资成本 c_1 函数表达式为:

$$c_1 = c \cdot I^2 \cdot X_{TCSC} \quad (7)$$

$$c = c_0 + c_1 s + c_2 s^2 \quad (\text{元}/\text{kVar}) \quad (8)$$

其中: c 表示单位容量 TCSC 的投资费用; c_0, c_1, c_2 是常系数; I 取安装 TCSC 线路流过电流幅值; s 是 TCSC 运行时所在支路流过的无功功率值。

3.2 TCSC收益函数

收益函数 c_2 将根据输电能力提高所带来的收益建立数学模型。其数学表达式为:

$$c_2 = c_{2a} + c_{2b} \quad (9)$$

c_{2a} 表示由于输电能力增加带来的额外收入。根据文献 [8], 得到在不同电价下考虑年最大负荷利用小时数时每年的收益情况。 c_{2a} 表达式为:

$$c_{2a} = t(p) \cdot (P_T - P_{T0}) \quad (10)$$

其中, c_{2a} 的单位是元/年; $t(p)$ 是与电价相关的系数; p 表示电价,单位是元/千瓦时; P_T 是系统装设一定容量 TCSC 后的最大输电能力。 P_{T0} 是未装设 TCSC 时系统的最大输电能力。

c_{2b} 表示由于 TCSC 的装设而避免或者延迟新的输电线路建设而为电力系统所带来的收益。根据文献 [8], c_{2b} 的数学表达式为:

$$c_{2b} = r \cdot c_1 \quad (11)$$

式中: c_{2b} 的单位是元/年, r 表示电力工业投资回收率, c_1 表示建设新输电线路的一次性投资费用,它是电网规划者根据系统实际情况,在不安装 FACTS 装置的情况为满足系统需要所应投资建设的新输电线路的费用。

由公式 (10)、(11) 可知收益函数 c_2 的单位是元/年,而投资费用函数 c_1 的单位是元,二者并不相同。因此对 c_1 值进行换算:

$$c_1 = \cdot c_1 \quad (12)$$

$$= \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (13)$$

式中: \cdot 为现值转年值系数; r 为电力工业投资回收率; n 表示 TCSC 设备经济使用年限。公式 (12) 将 c_1 换算为年投资费用,从而与 c_2 保持一致。

3.3 TCSC定容模型的建立

建立求解 TCSC 最优容量的数学模型如下:

$$\min c_{\text{Total}} = c_1 - c_2 \quad (14)$$

$$\text{s t } g(x) = 0$$

$$l \leq h(x) \leq u$$

$$B(X_{TCSC}) \leq b$$

其中: c_{Total} 是 TCSC 的总投资成本,包括 TCSC 设备投资费用 c_1 和增设 TCSC 装置后的收益 c_2 ; $g(x)$ 是系统潮流平衡方程; $h(x)$ 表示为保证系统安全性所必须加以考虑的运行参数,通常包括线路潮流,发电机有功无功输出等, l 和 u 分别为上述运行参数允许取值范围的上下限。 B 是 TCSC 参数满足的不等式约束条件。

该模型实际上是以总收益最大为目标函数并考

虑各种约束的非线性优化问题。本文利用 matlab6.5 优化工具箱编程实现了 TCSC 定容问题的求解。但上述求解是在发电机出力和负荷增长方向给定的情况下得到的结果。考虑到不确定性因素的影响, 本文仍采用非序贯蒙特卡罗方法进行计算。算法流程与选址子问题类似, 只是需要将 2.2 节中第一步替换为式 (14) 所列的非线性优化问题的求解, 同时将第一步改为对所得 TCSC 容量的统计。TCSC 的最优容量参数值就是各种计算样本所得结果的期望值 \tilde{X} , 如公式 (15) 所示:

$$\tilde{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (15)$$

其中: N 为抽样总数, X_i 为每次抽样得到的最优容量参数值。

4 算例及分析

下面以 IEEE - 118 节点系统为例验证本文方法的有效性。系统共有支路 186 条, 均作为安装 TCSC 可选线路。以支路 15 - 33、19 - 34、30 - 38、23 - 24 为联络线把系统分为区域 A 和区域 B 两部分。假设区域 A 为供电区, 区内 15 台发电机 (不包括平衡机) 均参与有功功率分配, 区域 B 为受电区。负荷增长方式分为非混合增长方式和混合增长方式两类。非混合方式假定只有受电侧区域 B 内增加负荷; 混合增长方式考虑区域 A、B 内所有负荷均参与负荷增长。

在 TCSC 投资成本函数中, 电力工业投资回收率 r 取 0.1, TCSC 经济使用年限取 30 年。根据文献 [6] 参数: $\rho_0 = 153.75$, $\rho_1 = -0.7130$, $\rho_2 = 0.0015$ 。蒙特卡罗仿真生成的样本容量 N 取 10 000, 负荷和发电机出力波动的正态分布函数方差取 $\sigma_{1i} = \sigma_{2i} = 0.01$, $\sigma_{1i} = \sigma_{2i} = 0.1$, $\sigma_{1i} = \sigma_{2i} = 0.2$ 分别进行计算。

为了与考虑不确定因素下结果作对比并同时验证灵敏度指标 P_{TX} 的正确性, 首先给出根据预测负荷得到的确定方向下的灵敏度结果, 如表 1 所示:

表 1 确定方向下灵敏度结果

Tab 1 Results of sensitivities under certain direction

排 序	确定方向下					
	负荷非混合增长方式			负荷混和增长方式		
	$i-j$	P_{TX}	TTC	$i-j$	P_{TX}	TTC
1	30-38	-7.8798	177.37	30-38	-7.4156	142.85
2	38-65	-5.1112	150.30	26-30	-5.9628	125.68
3	8-30	-2.6675	59.98	23-25	-5.7710	102.12
4	26-30	-1.8426	58.80	8-30	-3.5315	93.12
5	1100-103	-1.3596	20.68	8-5	-3.4928	69.63

表 1 中给出了灵敏度排在前 5 的支路所在位

置。TTC 表示各支路安装相同容量 TCSC 后的最大输电能力的提高量, 单位是 MW。对比结果可知: 安装 TCSC 大幅度提高了 TTC, 并且灵敏度指标 P_{TX} 绝对值最大处对应的 TTC 的提高最明显。由此说明灵敏度指标正确性。

下面给出考虑不确定性因素下, TCSC 的选址方案。分别计算负荷非混合增长和混和增长两种方式下, 以及在正态分布方差不同情况下的概率指标。如表 2 所示。表中给出了概率指 P_i 标排在前 5 位的支路所在位置。从表中可见, 考虑不确定因素影响时, 随着正态分布方差的变化, 概率指标 P_i 发生了明显变化。对比表 1 和表 2 结果可以看出, 当方差越小时, 所得的概率结果越接近于负荷预测得到的确定方向下的结果: 当 $\sigma^2 = 0.01$ 时, 支路 30 - 38 处 P_i 值最大, 这与表 1 结果一致; 当 $\sigma^2 = 0.1$ 和 $\sigma^2 = 0.2$ 时, 结果产生较大差异, 并且 σ^2 越大, 与表 1 区别越大。当方差 σ^2 相同时, 考虑负荷增长方式不同得到的结果也不一样。如当方差 $\sigma^2 = 0.1$ 时, 非混合方式下的 P_i 最大值出现在支路 100 - 103 处, 而混和方式出现在支路 68 - 81 处。

表 2 考虑不确定因素下 TCSC 选址结果

Tab 2 Locations of TCSC considering uncertain factors

方差 σ^2	考虑不确定因素下					
	负荷非混合增长方式			负荷混和增长方式		
	排序	$i-j$	$P_i\%$	排序	$i-j$	$P_i\%$
0.01	1	30-38	25.85	1	30-38	18.22
	2	68-81	15.05	2	26-30	13.85
	3	100-103	13.80	3	68-81	12.95
	4	26-30	8.10	4	8-5	10.86
	5	85-86	5.25	5	100-103	5.10
0.1	1	100-103	21.23	1	68-81	18.43
	2	8-30	18.16	2	100-103	11.32
	3	38-37	10.03	3	8-30	10.76
	4	68-81	7.83	4	8-5	8.49
	5	30-38	5.26	5	17-31	4.72
0.2	1	100-103	16.27	1	100-103	12.54
	2	68-81	14.74	2	8-5	10.40
	3	85-86	11.21	3	68-81	9.14
	4	38-37	7.33	4	8-30	6.38
	5	17-31	5.12	5	85-86	5.16

由上述算例可以看出, 不确定因素对于选址结果的影响是十分明显的, 同时这也说明考虑不确定性因素是十分必要的。当电网规划者得到预测结果后, 按照本文方法可以得到 TCSC 更丰富更准确的选址信息。当规划安装两个 TCSC 时, 假设系统负荷增长方式为混和增长方式并且正态分布方差为 0.2, 那么根据概率指标 P_i , 应选择其最大值所在位

置支路 100 - 103 和 8 - 5 作为 TCSC 安装位置。

下面求解 TCSC 的最优容量。根据公式 (13), 计算得现值转年值系数 $=0.1061$ 。 $t(p)$ 的选取可以根据系统实际电价情况而确定, 根据文献 [8], 本文假设 $t(p) = 0.176$ 。 c_{2b} 在迭代过程中为常值。当考虑负荷和发电机出力波动不确定因素影响时, 抽样次数 N 取 10 000。每次抽样均调用非线性规划问题求解程序, 统计计算结果。根据公式 (15) 得到 TCSC 最优容量期望值, 如表 3 所示。同时, 表中对比了根据负荷预测得到的未装设 TCSC 和在所选位置按所求最优容量值装设 TCSC 时的系统 TTC, 并给出了最小投资成本。

表 3 TCSC 定容结果

Tab 3 Results of the optimal parameters of TCSC

安装位置	期望值 X_{TCSC}	未装设时 TTC (MW)	装设后 TTC (MW)	总投资成本 (百万元/年)
100 - 103	0.032 55	2 030.11	2 279.18	- 3.802 601
8 - 5	- 0.004 27			

5 结论

选择 TCSC 最优位置及其容量对于电力系统规划部门来说是十分重要的。本文以最大输电能力对于 TCSC 在网络中位置的灵敏度为基础, 利用非序贯蒙特卡罗法和支路的概率指标 P_i 量化地评价了负荷和发电机出力不确定因素对于 TCSC 选址的影响, 并给出 TCSC 备选安装位置。在位置已知情况下, 采用将非线性优化同蒙特卡罗法相结合的方法求解出 TCSC 最优容量。从算例中可以看出:

a 基于灵敏度指标的 TCSC 位置优化方法是可行和有效的。

b 不确定性因素对于 FACTS 选址影响是明显的, 在选择 FACTS 装置安装位置时必须加以考虑。

c 选择不同的 TCSC 容量对于投资和收益是有影响的, 运用本文方法可以找到 TCSC 最优容量值。

值得指出的是本文给出的结果仅考虑了 TCSC 对提高系统输电能力的影响, 而没有更多关注与 TCSC 相关的次同步谐振、低频振荡等技术问题。但这并不影响本文结果的应用价值。在实际应用中, 需要对利用本文给出的 TCSC 优化位置及容量进行进一步的技术分析、论证。若论证结果表明所推荐

结果存在技术上的不可行性, 则可以利用本文方法继续给出下一个 TCSC 的优化结果, 以保证选择的 TCSC 对提高电力系统输电能力最为有效。

参考文献:

- [1] Hingorani N G Flexible AC Transmission [J]. IEEE Spectrum, 1993, (4): 40-45.
- [2] 吴国红, 贺家李, 余贻鑫, 等. FACTS 装置最佳设置点的选择指标 [J]. 电力系统自动化, 1998, 22 (9): 57-60.
WU Guo-hong, HE Jia-li, YU Yi-xin, et al An Index for Optimal Location of FACTS Device [J]. Automation of Electric Power Systems, 1998, 22 (9): 57-60.
- [3] Singh S N, David A K 有 FACTS 装置的电力系统在电力市场环境下的最优调度 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (4): 20-24, 44.
Singh S N, David A K Optimal Transmission Dispatch with Optimizing FACTS Device in Open Power Market [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (4): 20-24, 44.
- [4] Lie T T, HUI Hai-long Optimal Dispatch in Pool Market with FACTS Devices [A]. Power Engineering Society General Meeting, 2004. 135-140.
- [5] WANG Feng, Shrestha G B. Allocation of TCSC Devices to Optimize Total Transmission Capacity in a Competitive Power Market [J]. IEEE, 2001.
- [6] Cai L J, Erlich I, Stamtis G Optimal Choice and Allocation of FACTS Devices in Deregulated Electricity Market Using Genetic Algorithms [A]. Power Systems Conference and Exposition, IEEE PES 2004: 201-207.
- [7] Greene S, Dobson I, Alvarado F L. Sensitivity of the Loading Margin to Voltage Collapse with Respect to Arbitrary Parameters [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, (12): 262-272.
- [8] Habur K, O'leary D. FACTS-Flexible AC Transmission Systems, for Cost Effective and Reliable Transmission of Electrical Energy [Z].

收稿日期: 2005-09-19; 修回日期: 2005-10-24

作者简介:

王成山 (1943 -) 男, 长江学者特聘教授, 博士生导师, 主要从事电力系统安全性分析、城市电网规划和配电系统自动化等方面的研究工作; E-mail: cswang@tju.edu.cn

陈光远 (1982 -) 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统安全性与稳定性方面的研究工作;

魏 炜 (1976 -) 男, 博士研究生, 主要从事电力系统安全性与稳定性方面的研究工作。

Optimal location and parameters of TCSC considering load and generator output uncertainties

WANG Cheng-shan, CHEN Guang-yuan, WEI Wei, YANG Jian-lin
(Tianjin University, Tianjin 300072, China)

(下转第 60 页 continued on page 60)

点,还能精确地确定突变点的位置。

参考文献:

- [1] 肖湘宁. 电能质量分析与控制 [M]. 北京:中国电力出版社, 2004.
XIAO Xiang-ning Analysis and Control of Power Quality [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [2] Yang H T, Liao C C. A De-noising Scheme for Enhancing Wavelet-based Power Quality Monitoring System [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2001, 16(3): 353-359.
- [3] Xu Y S, Weaver J B, Healy D M, et al. Wavelet Transform Domain Filters: a Spatially Selective Noise Filtration Technique [J]. IEEE Trans on Image Processing, 1994, 3(6): 747-758.
- [4] 徐朝伦. 基于子波变换和模糊数学的图象分割研究 [D]. 北京:北京理工大学, 1998.
XU Chao-lun Studies on Image Segmentation Based on Wavelet Transform and Fuzzy Sets [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 1998.
- [5] 徐长发, 李国宽. 实用小波方法 [M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2004.
XU Chang-fa, LI Guo-kuan. Practical Wavelet Method [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2004.
- [6] Ruskai M B, Beylkin G, Coifman R. Wavelets and Their Applications [M]. Jones and Bartlett Publishers, 1992.
- [7] Mallat S, Zhong S. Characterization of Signals from Multiscale Edges [J]. IEEE Trans PAMI, 1992, 14(7): 710-732.
- [8] Mallat S, Hwang W L. Singularity Detection and Processing with Wavelets [J]. IEEE Trans on Information Theory, 1992, 38(2): 617-643.
- [9] Antonini M, Barlaud M, Mathieu P, et al. Images Compression Through Wavelet Transform Coding [J]. IEEE Trans on Image Processing, 1992, 1(2): 205-220.
- [10] 周忠来, 施聚生, 栗苹. 小波变换去噪方法在声目标识别系统中的应用研究 [J]. 现代引信, 1998, (4): 19-25.
ZHOU Zhong-lai, SHI Ju-sheng, LI Ping. The Research on the De-noising Method of Wavelet Transform for Acoustic Target Identification [J]. Modern Fuze, 1998, (4): 19-25.
- [11] 唐良瑞, 黄心渊. 一种基于人眼视觉特性的图像压缩方法 [J]. 电视技术, 2000, (12): 5-7.
TANG Liang-rui, HUANG Xin-yuan. A Method of Image Compression Based on the Human Visual Character [J]. TV Engineering, 2000, (12): 5-7.

收稿日期: 2005-08-31; 修回日期: 2005-10-19

作者简介:

唐良瑞 (1966 -), 男, 博士, 副教授, 从事小波分析、信号处理、多媒体通信和电力系统通信方面的研究工作; E-mail: tangliangrui@163.com

陈常洪 (1980 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统通信、无线通信等。

A new method based on wavelet transformation for detecting distortion point of electrical power system profile with noises

TANG Liang-rui, CHEN Chang-hong, QI Bing

(Dept of Information Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: The analysis of power quality disturbances is the basis to improve the power quantity, and its key problem is how to accurately detect and position the occurrence time of the form of power mutation with noises. This paper proposes a signal processing algorithm that carries on the threshold filter and the correlation enhancement to high frequency data of wavelet transformation, then makes use of the mold biggest to detect saltation. This algorithm can not only well eliminate noise, but also validly strengthen the point of discontinuity information. It provides advantageous condition for following saltation detection. The simulation experiment result indicates that this algorithm has high precision and reliability in the strong noise jamming situation.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 60402004).

Key words: power quality; disturbances analysis; wavelet transform; signal enhancement

(上接第 55 页 continued from page 55)

Abstract: The application of TCSC can effectively increase the transfer capability, reduce the network loss and improve the system stability. Due to the expensive cost, the researches on the locations and parameters of TCSC become very important. In this paper, the combination of non-sequential Monte Carlo simulation and sensitivity index is utilized to ascertain locations of TCSC to be selected, which aims to maximize the transfer capability considering load and generator output uncertainties. After the locations are ascertained, the total income of TCSC investment is maximized to find the optimal parameters, in which non-sequential Monte Carlo algorithm is also used to consider the uncertain factors. The application on an IEEE-118 bus system shows that the proposed method is a feasible and effective way to get the locations and parameters of TCSC.

Key words: transfer capability; TCSC; static voltage stability; Monte Carlo simulation