

基于理想点法的多准则综合灵敏度电压稳定评估指标

李 佳^{1,2}, 刘天琪¹, 陈 亮¹, 李兴源¹, 江东林¹, 史华勃¹

(1. 四川大学 电气信息学院, 四川 成都 610065;

2. 国网四川省电力公司技能培训中心, 四川 成都 610072)

摘要: 针对目前静态电压稳定评估方法多从单一角度、用一种变量与电压的关系进行评估的局限性, 提出一种新的多准则综合灵敏度电压稳定评估指标。该指标基于理想点法, 结合电压/有功功率灵敏度和电压/无功功率灵敏度指标, 从而达到联系有功功率和无功功率的目的。该指标无需标准化处理, 可克服因量纲不同和数值数量级差异造成的结果偏差。为解决理想点法难以选择权重系数的问题, 提出一种能够计及负荷增长方向的权重系数选择方法。通过实际电网算例验证了所提指标的合理性和有效性。

关键词: 电压稳定; 评估指标; 理想点法; 灵敏度分析; 权重系数; 模型

中图分类号: TM 714.2

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.03.018

0 引言

电压稳定是电网安全稳定运行的重要条件之一。随着电网规模的扩大和电力市场化改革的深入, 远距离重负荷输电将使电压稳定问题日益突出。近年来, 国内外发生了多起电压崩溃引起的电网瓦解事故^[1-3], 在破坏正常社会经济政治秩序的同时也造成极大损失。因此, 电压稳定问题已受到越来越多的关注。

目前, 可用于静态电压稳定分析的方法较多, 如潮流多解法、连续潮流法、非线性规划法、灵敏度分析法^[4-11]等。各分析方法衍生出不同的电压稳定评估指标, 某些商用软件如 DSA-VSAT 也已经被开发应用。文献[12]总结了目前常用的 5 种静态电压稳定指标, 即基于 $P-U$ 曲线的电压变化指标、负荷裕度指标、电压/有功功率灵敏度指标和基于 $Q-U$ 曲线电压/无功功率、无功功率裕度指标。其中, 灵敏度指标能反映系统当前运行状态特性并判断系统薄弱节点, 从而进行重点监视; 裕度指标能描述随负荷功率的增长, 系统当前运行点到电压崩溃点的距离, 从而根据系统储备程度评估运行电压的稳定程度。

上述指标均从一个角度(有功功率或无功功率)进行评估分析, 而各指标本质上是相互关联的, 因此文献[12]应用 DSA-VSAT 的结果, 基于电压变化指标和无功功率裕度指标提出了多准则综合电压评价指标。但 2 种指标量纲不同、数量级有差异,

造成分析结果较为依赖权重系数的选取, 同时文中也未给出可靠的权重系数选择依据。本文选取电压/有功功率灵敏度指标和电压/无功功率灵敏度指标作为综合指标, 提出新的多准则综合电压稳定评估指标。该方法能够同时计及有功功率和无功功率对电压稳定的影响, 且选取的综合指标量纲相同, 不需要标准化处理, 能够克服因量纲不同和数值数量级不同而造成结果偏差。同时也提出了一种计及功率增长方式的权重系数选择方法, 利用该方法评估系统电压稳定性能来判断节点电压失稳的原因, 为采取合理的控制措施提供依据。

1 灵敏度指标的计算

1.1 数学模型

灵敏度分析方法以潮流方程为基础, 利用系统中某些量的变化关系, 即它们之间的微分关系来研究系统的电压稳定性。由于该方法物理概念明确、计算简单、易于实现, 因此广泛应用于电压稳定评估^[5]、薄弱节点判定^[9]和无功补偿点选择^[10]等方面。

电力系统的节点功率平衡方程:

$$f(x, u, \alpha) = 0 \quad (1)$$

其中, x 是状态变量, 包括负荷节点的电压、相角和发电机节点的相角; u 是控制变量, 包括发电机节点的有功功率和电压、平衡节点的电压和相角; α 是扰动变量, 包括负荷节点的有功功率和无功功率等。

将式(1)泰勒展开, 并忽略高阶项得:

$$f_x \Delta x + f_u \Delta u + f_\alpha \Delta \alpha = 0 \quad (2)$$

其中, f_x 、 f_u 、 f_α 分别是功率平衡方程对状态变量、控制变量和扰动变量的偏微分矩阵。

由式(2)可得:

$$\Delta x = -(f_x)^{-1} f_u \Delta u - (f_x)^{-1} f_\alpha \Delta \alpha \quad (3)$$

式(3)可简写为:

收稿日期: 2013-03-06; 修回日期: 2014-01-08
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2011-AA05A119); 国家自然科学基金资助项目(51037003)
Project supported by the National High Technology Research and Development of China(863 Program)(2011AA05A119) and the National Natural Science Foundation of China(51037003)

$$\Delta x = S_{xu} \Delta u + S_{xx} \Delta \alpha \quad (4)$$

其中, S_{xu} 是状态变量对控制变量的灵敏度矩阵; S_{xx} 是状态变量对扰动变量的灵敏度矩阵。

由式(4)可知, 控制变量或扰动变量的变化会引起状态变量的变化, 灵敏度矩阵的对角线元素则反映了同一节点控制变量或扰动变量与状态变量之间的相关性。

1.2 电压稳定评估的灵敏度法

常规潮流模型下, 系统节点功率平衡方程可写为:

$$\begin{cases} \Delta P_i = P_{is} - U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) = 0 \\ \Delta Q_i = Q_{is} - U_i \sum_{j=1}^n U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中, ΔP_i 是节点 i 的有功不平衡功率; ΔQ_i 是节点 i 的无功不平衡功率; P_{is} 和 Q_{is} 分别是节点 i 注入的有功功率、无功功率; G_{ij} 和 B_{ij} 分别是节点导纳矩阵第 i 行第 j 列元素的电导和电纳; U_i 是节点 i 电压幅值; $\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$ 是节点 i 和节点 j 之间的电压相角差。

由式(5)泰勒展开, 并忽略高阶项得:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta P}{\partial U} \\ \frac{\partial \Delta Q}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta Q}{\partial U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta U \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中, ΔP 是节点有功功率变化量; ΔQ 是节点无功功率变化量; $\Delta \theta$ 是节点电压相角变化量; ΔU 是节点电压幅值变化量;

$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta P}{\partial U} \\ \frac{\partial \Delta Q}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta Q}{\partial U} \end{bmatrix}$ 是常规潮流模型的雅可比矩阵。

为计算负荷无功功率对节点电压的影响, 通常假设负荷有功功率不变^[11], 即 $\Delta P = 0$, 可求得负荷无功功率的变化对电压的影响为:

$$\Delta U = \left(-\frac{\partial \Delta Q}{\partial \theta} \frac{\partial \Delta P}{\partial \theta} \frac{\partial \Delta P}{\partial U} + \frac{\partial \Delta Q}{\partial U} \right)^{-1} \Delta Q \quad (7)$$

其中, $\left(-\frac{\partial \Delta Q}{\partial \theta} \frac{\partial \Delta P}{\partial \theta} \frac{\partial \Delta P}{\partial U} + \frac{\partial \Delta Q}{\partial U} \right)^{-1}$ 是电压/无功功率灵敏度矩阵。当负荷节点无功功率需求增加(或减小)时, 该节点电压下降(或升高), 则系统是电压稳定的; 否则, 电压不稳定。

为计算负荷有功功率对节点电压的影响, 通常假设无功功率不变, 即 $\Delta Q = 0$, 负荷有功功率的变化对电压的影响为:

$$\Delta U = \left(-\frac{\partial \Delta P}{\partial \theta} \frac{\partial \Delta Q}{\partial \theta} \frac{\partial \Delta Q}{\partial U} + \frac{\partial \Delta P}{\partial U} \right)^{-1} \Delta P \quad (8)$$

其中, $\left(-\frac{\partial \Delta P}{\partial \theta} \frac{\partial \Delta Q}{\partial \theta} \frac{\partial \Delta Q}{\partial U} + \frac{\partial \Delta P}{\partial U} \right)^{-1}$ 是电压/有功功率灵敏度矩阵。当负荷节点有功功率增加(或减小)时, 该节点电压下降(或升高), 则系统电压稳定; 否则, 电压不稳定。

通过上述分析可知, 电压/有功功率灵敏度指标和电压/无功功率灵敏度指标的模值越小, 说明有功功率或无功功率变化引起的电压变化越小; 反之, 灵敏度指标模值越大, 电压变化越大。显然, 过大的模值不利于电压稳定。

无论是电压/有功功率灵敏度指标还是电压/无功功率灵敏度指标都建立在一种功率变化而另一种功率不变的基础上, 这不符合实际运行工况。实际上, 负荷的有功功率和无功功率按某种关系增长, 即功率的增长方式^[13]。

1.3 电压/有功功率灵敏度指标与负荷裕度指标的比较分析

对同一节点而言, 电压/有功功率灵敏度模值越大的运行点越接近临界点, 负荷裕度越小, 如图1所示。

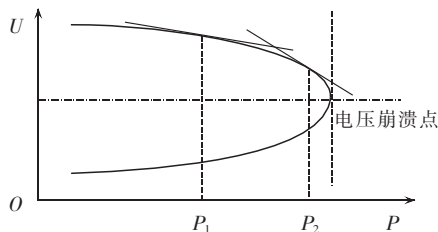


图1 某节点的 $P-U$ 曲线图

Fig.1 $P-U$ curve of a node

由图1可知, 运行点 P_1 的灵敏度模值小于 P_2 , 由灵敏度指标判定运行点 P_1 电压稳定程度高于 P_2 ; 同时, 在相同极限传输功率下, 运行点 P_1 对应的负荷裕度大于 P_2 , 由负荷裕度判据判定灵敏度指标判定运行点 P_1 电压稳定程度高于 P_2 。因此, 对同一节点的电压/有功功率灵敏度指标等价于负荷裕度指标。

当评估不同节点间的电压稳定性时, 因为节点间的电压稳定鲁棒性不同, 会导致截然相反的评估结果, 如图2所示。用电压/有功功率灵敏度指标评估时, 节点 a 的电压稳定程度优于节点 b ; 用负荷裕度指标评估时, 节点 b 的电压稳定程度优于节点 a 。2种指标的评估结果相反。

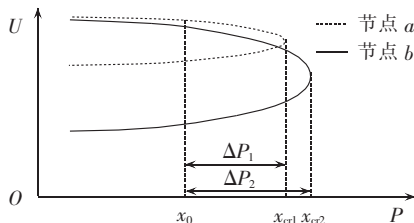


图2 多节点的 $P-U$ 曲线图

Fig.2 $P-U$ curve of multiple nodes

虽然节点 b 能够承担较重的负荷, 但运行点处微小的有功功率增量都会引起较大的电压下降, 对

节点处用电设备不利,尤其是感应电动机。电压下降会导致感应电动机吸收的无功功率增加,形成电压下降正反馈,可能引起节点电压失稳,进而扩展到相邻的电动机,引起区域电压失稳,最终导致电压崩溃。因此,电压/有功功率灵敏度指标在电压稳定评估中很有意义。

2 基于理想点法的多准则综合灵敏度电压稳定评估指标

电压/有功功率灵敏度指标和电压/无功功率灵敏度指标分别从有功功率和无功功率 2 个角度评估了电压稳定性,都属于“极小型”指标,而且量纲相同,不存在某个指标数量级过大而影响分析结果的问题,不需要标准化处理。为此,本文选取了电压/有功功率灵敏度指标和电压/无功功率灵敏度指标,并用理想点法将其综合为多准则综合灵敏度指标。

2.1 理想点法^[12,14]

理想点法是综合评价方法的一种,能够客观、公正、合理地评价被评价对象。在理想点法中,假设 m 个评价指标,每个指标的最优值被定义为理想点 $\mathbf{X}^*=(x_1^*,x_2^*,\cdots,x_m^*)$,第 i 个被评价对象对每个指标的实际值为 $\mathbf{X}_i=(x_{i1},x_{i2},\cdots,x_{im})$ 。用 $\mathbf{X}_i$ 与理想点 $\mathbf{X}^*$ 之间的加权距离来评估第 i 个被评价对象在所有被评价对象中的是否最优。通常情况下采用欧氏距离,即:

$$y_i = \sum_{j=1}^m \omega_j (x_{ij} - x_j^*)^2 \quad (9)$$

其中, y_i 是第 i 个被评价对象的欧氏距离; ω_j 是第 j 个评价指标的权重系数; x_{ij} 是第 i 个被评价对象的第 j 个评价指标的计算值; x_j^* 是第 j 个评价指标的理想点。

显然,电压/有功功率灵敏度指标和电压/无功功率灵敏度指标都是“极小型”指标,基于电压/有功功率灵敏度指标和电压/无功功率灵敏度指标的欧氏距离越小,电压稳定程度越高。

2.2 多准则综合灵敏度电压稳定评估指标

根据灵敏度算法和理想点法,综合电压/有功功率灵敏度指标和电压/无功功率灵敏度指标得到新的多准则综合灵敏度电压稳定评估指标为:

$$y_i = \omega_1 \left(\frac{dU_i}{dP_i} - x_1^* \right)^2 + \omega_2 \left(\frac{dU_i}{dQ_i} - x_2^* \right)^2 \quad (10)$$

其中, y_i 是节点 i 的多准则综合灵敏度电压稳定评估值; ω_1 是电压/有功功率灵敏度指标的权重系数; ω_2 是电压/无功功率灵敏度指标的权重系数; $\omega_1 + \omega_2 = 1$ 。

新的多准则综合灵敏度电压稳定评估指标选择了电压/有功功率灵敏度指标和电压/无功功率灵敏度指标进行综合,能同时计及运行点处有功

率、无功功率对电压稳定的影响。而且这种指标选取办法使权重系数有了明确的物理意义,为克服权重系数难以选择、单靠经验猜测提供了可能。

2.3 权重系数的选择

设负荷的有功功率、无功功率按一定比例增长^[13],增长方式为:

$$\frac{\Delta Q_i}{\Delta P_i} = \tan \varphi_i \quad (11)$$

其中, ΔP_i 和 ΔQ_i 分别是负荷的有功功率增长量和无功功率增长量;为方便叙述,引入负荷增长的功率因数角 φ_i ,以描述负荷增长的比例关系。

令系统的负荷增量为:

$$\begin{cases} \Delta P_i = m_1 dP_i \\ \Delta Q_i = m_2 dQ_i \end{cases} \quad (12)$$

其中, m_1 是有功功率增长系数; m_2 是无功功率增长系数。

将式(12)代入式(11)得:

$$\frac{m_2 dQ_i}{m_1 dP_i} = \frac{\sin \varphi_i}{\cos \varphi_i} \quad (13)$$

将式(13)代入到式(9),得:

$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{1}{m_1} \\ \omega_2 = \frac{1}{m_2} \end{cases} \quad (14)$$

再计及权重系数约束,可得:

$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{\cos \varphi_i}{\sin \varphi_i + \cos \varphi_i} \\ \omega_2 = \frac{\sin \varphi_i}{\sin \varphi_i + \cos \varphi_i} \end{cases} \quad (15)$$

式(15)给出了一种多准则综合灵敏度电压稳定评估指标下权重系数的选择方法。该方法从实际工况出发,以负荷的增长方式为依据,节点负荷类型不同,其权重系数不同,符合运行实际,有一定的理论依据,克服了权重系数难以选择的问题。

3 仿真分析

以某实际电网为例,比较了几种常用的评估指标,再应用本文提出的多准则综合电压稳定指标进行计算,验证了其合理性和有效性。

该实际电网总出力 $4\,070 + j982.6 \text{ MV} \cdot \text{A}$,总负荷 $1\,694 + j661 \text{ MV} \cdot \text{A}$,电压等级涵盖了 $1 \sim 500 \text{ kV}$,共有母线 87 条,其中 500 kV 母线 5 条, 220 kV 母线 24 条。由于节点众多,本文仅对该区 220 kV 以上节点进行了电压稳定评估。

3.1 几种常用指标的比较

文献[12]总结了常用的电压稳定评估指标及方法,本文以实际电网正常工况为例分别进行计算,结果如图 3—6 所示。

图 3 和图 4 分别为电压/有功功率、电压/无功功率灵敏度指标的评估结果,这 2 种指标为“极小值”型指标,其模值越小,稳定程度越高,越大越不稳定。图 5 和图 6 为裕度指标的评估结果,由裕度指标的物理意义可知,模值越大越稳定。

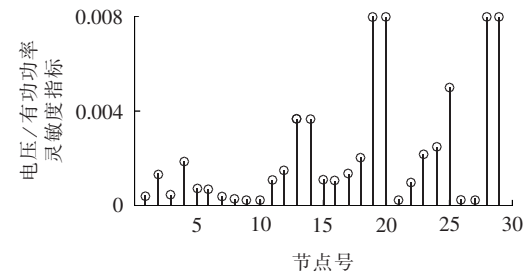


图 3 电压/有功功率灵敏度指标评估结果
Fig.3 Result of voltage/active-power sensitivity index evaluation

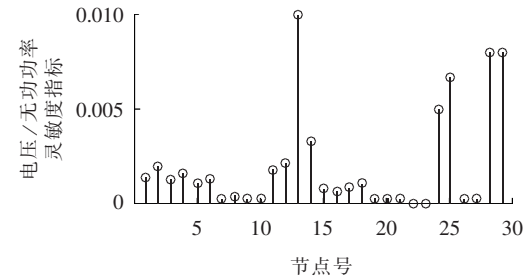


图 4 电压/无功功率灵敏度指标评估结果
Fig.4 Result of voltage/reactive-power sensitivity index evaluation

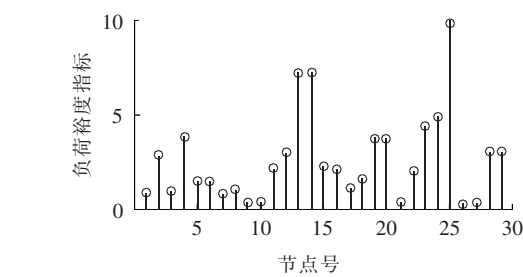


图 5 负荷裕度指标评估结果
Fig.5 Result of load margin index evaluation

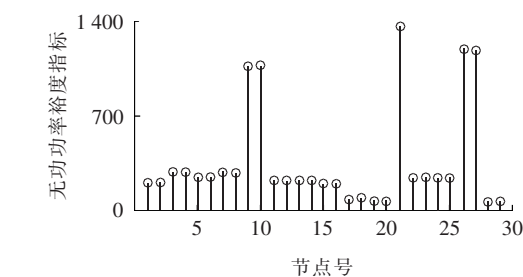


图 6 无功功率裕度指标评估结果
Fig.6 Result of reactive power margin index evaluation

比较图 3—6 可得如下结论。
a. 不同的评估指标评估结果存在差异,其原因是:单纯以有功功率评估电压时,会忽略节点的无功功率支持;而单纯以无功功率评估电压时,又无

法计及节点处的有功功率传输能力。现有的常用评估指标,仅单一从有功功率或无功功率角度考虑,不够全面,需要一种能同时计及有功功率、无功功率的电压稳定评估指标。

b. 节点 24、25 负荷虽有较好的裕度指标,但其运行点处受到扰动时,电压变化幅度较大,与 1.3 节中负荷裕度指标和灵敏度指标分析相一致。

c. 电压/有功功率指标和电压/无功功率灵敏度指标数量级相同,但与负荷裕度指标或无功功率裕度指标的数量级差距很大。如果选用其他指标进行综合,将出现“大数吃掉小数”、结果偏向“大数”一方的情况^[15],与文献^[12]所得结论一致。

3.2 多准则综合灵敏度电压稳定评估指标

图 7 为不同功率增长比例时,多准则综合灵敏度电压稳定评估指标对该实际电网进行评估的结果。

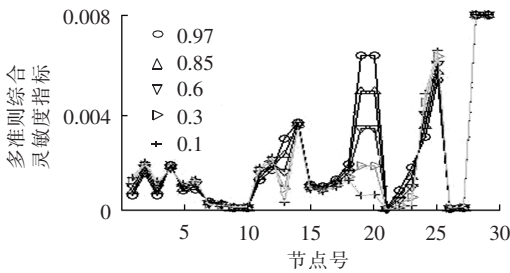


图 7 不同功率增长比例评估结果对比
Fig.7 Comparison of evaluation results among different power growth ratios

从图 7 中可以得出如下结论。
a. 节点 7、8、9、10、26、27 为系统的电压稳定节点,节点 28 和节点 29 是该电网电压最薄弱节点,多准则综合灵敏度指标与其他指标的判断结果一致。在地理接线图上也可以看出,节点 28 和节点 29 位于主网末端,远离电源点,负荷较重且无功功率不足,易发生电压失稳,应重点监控。

b. 随着负荷增长的功率因数逐渐下降(从 0.97 降到 0.1),负荷无功功率对电压稳定的影响逐渐增大。节点 25 逐渐成为新的电压弱节点。相反,功率因数越高,越应该关注其负荷有功功率的增长情况,如节点 19 和节点 20。此时,投入无功补偿装置对电压稳定的作用不大。相比其他单一方法,该方法能够给出节点不稳定的原因是来自有功功率还是无功功率,从而及时采取正确控制措施。

4 结论

a. 新的多准则综合灵敏度电压稳定评估指标在当前运行点的基础上,能同时计及有功功率和无功功率对电压的影响,弥补现有评估指标的不足。
b. 选取灵敏度指标作为综合项,不需要标准化处理,克服了量纲和数量级差异带来的评估差异。

c. 给出了一种多准则综合灵敏度电压稳定评估指标下权重系数的选择方法。相比其他单一方法,该方法能够计及功率增长方向对电压稳定的影响,给出节点不稳定的原因是来自有功功率还是无功功率,从而为及时采取正确的控制措施提供依据。

参考文献:

- [1] 户秀琼,颜伟,余娟,等. 交直流系统的静态电压稳定预防控制[J]. 电力自动化设备,2013,33(1):35-39.
HU Xiuqiong,YAN Wei,YU Juan,et al. Preventive control of static voltage stability for AC/DC power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(1):35-39.
- [2] 薛禹胜,肖世杰. 从印度大停电透视电力系统的广义阻塞[J]. 电力系统自动化,2012,36(16):1-8.
XUE Yusheng,XIAO Shijie. Through the India's blackout to perceive the generalized congestions in power systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(16):1-8.
- [3] 杨冬,刘玉田. 中国未来输电网架结构初探[J]. 电力自动化设备,2010,30(5):1-5.
YANG Dong,LIU Yutian. Preliminary discussion on China transmission backbone in the future[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(5):1-5.
- [4] 余贻鑫,王成山. 电力系统稳定性的理论与方法[M]. 北京:科学出版社,1999:244-247.
- [5] FLATABO N,OGNEDAL R,CARLSEN T. Voltage stability condition in a power transmission system calculation by sensitivity methods[J]. IEEE Trans on Power Systems,1990,5(4):1286-1293.
- [6] 代飞,崔挺,徐箭,等. 基于综合灵敏度分析的电压校正控制[J]. 电力自动化设备,2011,31(12):15-20.
DAI Fei,CUI Ting,XU Jian,et al. Voltage correction control based on comprehensive sensitivity analysis[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(12):15-20.
- [7] 康勇,李华强,郑武,等. 基于能量灵敏度矩阵和模糊聚类分析的电压控制分区[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(12):69-72.
KANG Yong,LI Huaqiang,ZHENG Wu,et al. Voltage control partitioning based on energy sensitivity matrix and fuzzy clustering analysis[J]. Power System Protection and Control,2011,39(12):69-72.
- [8] 魏震波,刘俊勇,朱国俊,等. 电力系统脆弱性理论研究[J]. 电力自动化设备,2009,29(7):38-42.
WEI Zhenbo,LIU Junyong,ZHU Guojun,et al. Power system vulnerability[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(7):38-42.
- [9] SCHLUETER R A,HU I,CHANG M W,et al. Method for determining proximity to voltage collapse[J]. IEEE Trans on Power Systems,1991,6(1):285-292.
- [10] 李斌,刘天琪,李兴源. 分布式电源接入对系统电压稳定性的影响[J]. 电网技术,2009,33(3):84-88.
LI Bin,LIU Tianqi,LI Xingyuan. Impact of distributed generation on power system voltage stability[J]. Power System Technology,2009,33(3):84-88.
- [11] 周双喜,朱凌志,郭锡久,等. 电力系统电压稳定性及其控制[M]. 北京:中国电力出版社,2003:227-228.
- [12] 高鹏,石立宝,姚良忠,等. 辨识电网薄弱节点的多准则综合电压稳定指标[J]. 电网技术,2009,33(19):26-31.
GAO Peng,SHI Libao,YAO Liangzhong,et al. A multi-criterion integrated voltage stability index for weak buses identification[J]. Power System Technology,2009,33(19):26-31.
- [13] GAO B,MORISON G K. Towards the development of a systematic approach for voltage stability assessment of large-scale power systems[J]. IEEE Trans Power Systems,1996,11(3):1314-1324.
- [14] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京:科学出版社,2007:14-29.
- [15] 胡兵,李清朗. 现代科学工程计算基础[M]. 成都:四川大学出版社,2003:8-10.

作者简介:



李 佳

李 佳(1982-),女,山东济南人,讲师,博士研究生,研究方向为电力系统分析计算与稳定控制(E-mail:scumail@foxmail.com);
刘天琪(1962-),女,四川成都人,教授,博士研究生导师,研究方向为电力系统分析计算与稳定控制、高压直流输电、调度自动化(E-mail:tlqiu@sohu.com)。

Multi-criterion integrated-sensitivity voltage stability evaluation index based on ideal point method

LI Jia^{1,2},LIU Tianqi¹,CHEN Liang¹,LI Xingyuan¹,JIANG Donglin¹,SHI Huabo¹

(1. School of Electrical and Information,Sichuan University,Chengdu 610065,China;

2. State Grid Sichuan Technical Training Center,Chengdu 610072,China)

Abstract: Aiming at the shortage that the present static voltage stability methods only consider the relationship between one variable and voltage from single perspective,a multi-criterion integrated-sensitivity index is proposed for voltage stability evaluation,which,based on ideal point method,integrates the voltage/active-power sensitivity index and the voltage/reactive-power sensitivity index to combine the active power with the reactive power. Without standardization,it eliminates the errors caused by the difference of dimension and magnitude. The ideal point method is incapable of selecting weight coefficient,aiming at which,a weight coefficient selection method considering load increment direction is proposed. A practical grid case verifies the rationality and effectiveness of the proposed index.

Key words: voltage stability; evaluation index; ideal point method; sensitivity analysis; weight coefficient; models