

电压稳定临界参数的异步接替求取策略

郑飞平, 刘宝柱

(华北电力大学 电气与工程学院, 北京 102206)

摘要: 在负荷导纳模型潮流算法基础上, 提出了一种基于负荷导纳动态步进的静态电压稳定临界参数的异步接替求取策略。策略 1: 功率极大值点的快速求取策略, 通过跟踪求取逼近过程中的戴维南等值阻抗, 并将其对应导纳模值累计于该计算点的负荷导纳值后进行下一次计算, 可从初始点快速、不等步地过渡到临界点附近, 获得最接近临界点的功率极大值点。策略 2: 临界参数的准确计算策略, 从功率极大值点开始, 利用等步长增/减负荷导纳值的方式获得准确的电压稳定临界参数。策略 3: 过渡策略, 提出的方向判断系数实现了策略 1 向策略 2 的有效过渡, 使得总体计算效率和计算精度得到了有机协调。多个算例验证了该求取策略的有效性和准确性。

关键词: 电力系统; 电压稳定; 功率-电压曲线; 临界参数; 接替策略

中图分类号: TM 712

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2011)03-0098-05

0 引言

针对电力系统在新世纪发展中的诸多挑战, 智能电网应运而生, 并将影响未来电网发展的战略格局和趋势。智能电网要求有实时监测和预警分析系统运行状态的能力, 从而及时作出快速响应^[1]。而基于 $P-U$ 曲线的电压稳定研究将为智能电网中电压失稳预警单元^[2]提供有力的技术支持, 可作为电网的快速响应及做出合理应对策略的有效分析基础。

$P-U$ 曲线临界参数的快速、准确求取是电压稳定性研究的重要内容。为克服临界点处雅可比矩阵奇异造成潮流计算收敛困难的问题, 国内外学者研究成果丰硕。当前方法主要为连续潮流法^[3-11]、非线性规划法^[12-15]、潮流多解法^[16]、零特征根法^[17-18]、负荷导纳法^[19-20]及其他方法^[21-24]。

本文在负荷导纳法潮流计算模型的基础上, 提出了一种基于负荷导纳动态步进求取电压稳定临界参数的新策略。该策略具有以下几个显著的特点。

a. 由初始点向最接近临界点的功率极大值点过渡过程(即策略 1)体现为动态步进性。借助跟踪求取的戴维南等值参数, 将研究节点当前计算点的戴维南等值阻抗和下一计算点的负荷导纳值相配合, 得到一系列在 $P-U$ 曲线上在距离临界点较远处步长变化大、接近临界点时步长相应变小的非均匀排列点集, 并能过渡到 $P-U$ 曲线的下半支。

b. 由功率极大值点向临界点的计算过程(即策略 2)特点是计算的准确性。等步长的过渡过程实现了临界参数的精确捕捉, 克服了利用插值求取临界参数计算精度不高的缺陷。

c. 策略 1 的计算过程与策略 2 的计算过程之间

的接替(即策略 3)具有自适应性, 表现为在由策略 1 得到的功率极大值点处, 利用摄动法计算戴维南等值参数时的数据信息, 建立了方向判断系数, 其符号性质可为策略 2 提供有效的逼近方向, 实现策略 1 和策略 2 间的平滑衔接和成功过渡。

上述特点为电压稳定临界参数的快速、准确求取奠定了有力的技术基础, 可为实时在线评估电压稳定性提供一个新的分析工具。

1 等值系统的跟踪求取

在从初始运行点向临界点逼近的过程中, 研究节点负荷不断增加, 对应于某一状态, 可将研究节点所在系统其余部分进行戴维南等值, 形成等值电路, 如图 1(a)所示。由于过渡过程中负荷逐渐加重, 将导致从该节点所在系统其余部分戴维南等值参数的变化, 因此, 需要对逼近过程进行等值系统的跟踪计算。

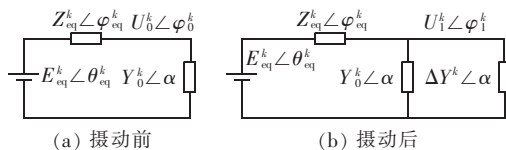


图 1 摄动前和摄动后的等值系统

Fig.1 Equilant systems before and after perturbation

在图 1(a)中, E_{eq}^k 和 θ_{eq}^k 分别为第 k 状态的戴维南等值电势模值和相角, Z_{eq}^k 和 φ_{eq}^k 分别为第 k 状态的戴维南等值阻抗模值和阻抗角, α 为功率因数角的负值, Y_0^k 为在第 k 个状态下负荷导纳模值。

初始状态即 $k=0$ 时, 负荷导纳值选取为

$$Y_0^0 = \frac{\tilde{S}_0^*}{(U_0^0)^2} = \frac{P_0 - jQ_0}{(U_0^0)^2} \quad (1)$$

式中, $\tilde{S}_0 = P_0 + jQ_0$ 为初始状态下研究节点的复功率, U_0^0

为初始状态的电压模值。

其他状态即 $k \geq 1$ 时,负荷导纳模值选取为

$$Y_0^k = Y_0^{k-1} + 1/Z_{eq}^{k-1} = |Y_0^0| + \sum_{i=0}^{k-1} 1/Z_{eq}^i \quad (2)$$

其中, Z_{eq}^i 为第 i 状态求得的戴维南等值阻抗模值。

对于图 1(a) 状态进行负荷导纳模值摄动,如图 1(b) 所示,得到摄动后的节点电压 $U_1^k \angle \varphi_1^k$ 。

根据摄动前后的量可得:

$$E_{eq}^k \angle \theta_{eq}^k = U_0^k \angle \varphi_0^k + U_0^k \angle \varphi_0^k Y_0^k \angle \alpha Z_{eq}^k \angle \varphi_{eq}^k \quad (3)$$

$$E_{eq}^k \angle \theta_{eq}^k = U_1^k \angle \varphi_1^k + U_1^k \angle \varphi_1^k (Y_0^k + \Delta Y^k) \angle \alpha Z_{eq}^k \angle \varphi_{eq}^k \quad (4)$$

设 $Y_1^k = Y_0^k + \Delta Y^k$, 从而可以计算该状态下的戴维南等值参数:

$$E_{eq}^k \angle \theta_{eq}^k = \frac{U_0^k U_1^k (\angle \varphi_0^k + \varphi_1^k) (Y_1^k - Y_0^k)}{U_1^k \angle \varphi_1^k Y_1^k - U_0^k \angle \varphi_0^k Y_0^k} \quad (5)$$

$$Z_{eq}^k \angle \varphi_{eq}^k = \frac{U_0^k \angle \varphi_0^k - U_1^k \angle \varphi_1^k}{U_1^k \angle \varphi_1^k Y_1^k \angle \alpha - U_0^k \angle \varphi_0^k Y_0^k \angle \alpha} \quad (6)$$

2 负荷导纳动态步进的异步接替策略

在求取临界点的过程中,不但要保证其计算过程的快速性,而且要保证计算结果的准确性。本文以负荷导纳法为基础,采用如下的负荷导纳动态步进的异步接替策略。

2.1 策略 1——最接近临界点的功率极大值点 ($P_{max}, U_{max}, Y_{max}$) 的快速求取策略

基于负荷导纳法潮流计算模型,提出如下最接近临界点的功率极大值点 ($P_{max}, U_{max}, Y_{max}$) 快速求取策略:从初始运行点 (P_0, U_0, Y_0) 以大步长快速向临界点 (P_{cr}, U_{cr}, Y_{cr}) 附近过渡,过渡到最接近临界点的功率极大值点 ($P_{max}, U_{max}, Y_{max}$),从而能够有效地保证其快速性。下面是其具体步骤。

a. 读入计算系统数据(包括支路数据、节点数据、待研究负荷节点及求取进程控制参数等)。

b. 形成节点导纳矩阵,进行初始潮流计算,记录研究节点初始有功功率 P_0 和节点电压 $U_0^0 \angle \varphi_0^0$,计算功率因数角的负值 α ,由式(1)计算研究节点初始状态下的导纳值 Y_0^0 。

c. 将负荷导纳值 Y_0^0 加入节点导纳矩阵中与研究节点对应的自导纳元素中,并将该节点对应的复功率置为零。

d. 对步骤 **b** 中的 Y_0^0 进行摄动,并且将摄动量 ΔY_0^0 加入节点导纳矩阵研究节点对应的自导纳元素中,进行潮流计算,得到研究节点摄动后的电压 $U_1^0 \angle \varphi_1^0$,然后从自导纳元素中减去该摄动量。

e. 将摄动前后研究节点电压 $U_0^0 \angle \varphi_0^0, U_1^0 \angle \varphi_1^0$ 和负荷导纳值 $Y_0^0, Y_0^0 + \Delta Y_0^0$ 代入式(5)与式(6),求得戴维南等值参数。

f. 将戴维南等值阻抗模值 Z_{eq} 取倒数、阻抗角取 α 后加到节点导纳矩阵对应的自导纳元素中,进行潮流计算,得到下一个计算状态的电压 $U_0^k \angle \varphi_0^k$,记录此状态的电压值并利用下式求取有功功率 P_0^k :

$$P_0^k = (U_0^0)^2 G_0^k = (U_0^0)^2 Y_0^k \cos \alpha \quad (7)$$

g. 判断 $P_0^{k+1} < P_0^k$ 是否成立:若不成立,则将 k 加 1, Y_0^k 置换为 Y_0^{k+1} ,之后返回步骤 **c** 继续;若成立,则计算结束,保存此时的计算数值 (P_0^k, U_0^k, Y_0^k),即为所求的功率极大值点数据 ($P_{max}, U_{max}, Y_{max}$)。

由上述算法可知,主循环步骤 **c**~**g** 主要包括每个计算点摄动前后的潮流计算、戴维南等值参数的计算环节,摄动后的潮流计算初值可取摄动前结果,故计算量很小,计算效率较高。

2.2 策略 2——临界参数 (P_{cr}, U_{cr}, Y_{cr}) 的准确计算策略

由策略 1 得到的一系列计算点,可以采用文献 [25] 中所提插值法得到,但明显丧失了计算精度。为了准确获得电压稳定的临界参数 (P_{cr}, U_{cr}, Y_{cr}),本文采用小量、等步长的变化研究节点的导纳值,逐步向临界点过渡,可以准确得到电压稳定临界点。同时,在计算中可以方便处理发电机无功功率越界问题。由于功率极大值点与临界点之间已很接近 [22,25],故本策略可以通过少量的逼近计算,即可较快地得到临界参数。

2.3 策略 3——策略 1 向策略 2 的过渡策略

由 2.1 节得到功率极大值点,一般不会恰好为临界点,其可能位于临界点的上半支(如图 2(a) 所示),也可能位于下半支(如图 2(b) 所示)。因此,为了准确获得临界点,需以此功率极大值点继续向临界点逼近,此时需要判定功率极大值点相对于临界点的位置。利用该点摄动前后的功率值和电压值,定义如下方向判断系数:

$$K^k = (U_1^k - U_0^k) (P_1^k - P_0^k) \quad (8)$$

其中, P_0^k, U_0^k 分别为第 k 个计算点摄动前的有功功率和电压模值, P_1^k, U_1^k 为摄动后的有功功率和电压模值。

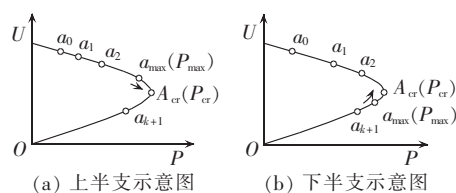


图 2 上半支和下半支功率极大值点计算示意图

Fig.2 Calculation of maximal power point for upside and downside branches

若为上半支点,如图 2(a) 所示 a_{max} 点,其对应功率值 P_{max} 未越过 A_{cr} 点对应的临界点功率值 P_{cr} ,此时的负荷导纳值 Y_{max} 小于临界点处功率对应的负荷导纳值 Y_{cr} ,对应于式(8)的方向判断系数小于 0,为了得到临界参数,则需转入策略 2:即以 a_{max} 点为初始点,用等步长的方式从 Y_{max} 开始增加负荷导纳值后作潮流计算,直到获得临界参数 (P_{cr}, U_{cr}, Y_{cr})。

若为下半支点,如图 2(b) 中 a_{max} 点,其对应功率值 P_{max} 已越过 A_{cr} 点对应的临界功率值 P_{cr} ,此时的负荷导纳值 Y_{max} 大于临界点处对应的负荷导纳值 Y_{cr} ,对应于式(8)的方向判断系数大于 0,为了得到临界参数,则需转入策略 2:即以 a_{max} 点为初始点,用等步

长的方式从 $Y_{\max}$ 开始减少负荷导纳值后作潮流计算,直到获得临界参数($P_{\text{cr}}, U_{\text{cr}}, Y_{\text{cr}}$)。

3 算例仿真

3.1 IEEE 30 节点系统算例

表 1 给出了该系统 30 号节点功率极大值点的动态步进求解过程(表中功率、电压均为标么值,下同)。功率极大值点为 2 号计算点,此时方向判断系数小于 0,表明此点为上半支点。

表 1 IEEE 30 节点系统 30 号节点功率极大值点数据

Tab.1 Maximum power points of bus 30 on IEEE 30-bus system

计算点	P_0^k	U_0^k	K^k	$P_{\max}$
1	0.10600	1.00590	-5.1000×10^{-6}	否
2	0.49330	0.62770	-2.0800×10^{-6}	是
3	0.42350	0.39550	2.0520×10^{-6}	否

表 2 列出了以计算点 2 作为等步长计算初始点的临界点求取过程。因计算点 2 位于上半支,故应逐点增加研究节点负荷导纳值,经 3 次计算即求得临界点参数: $P_{\text{cr}}, U_{\text{cr}}, Y_{\text{cr}}$ (0.494 40, 0.603 80, 1.377 70)。表 3 给出了本文方法、插值法^[25]、连续潮流法计算结果的对比数据。

表 2 IEEE 30 节点系统 30 号节点临界参数数据

Tab.2 Critical parameters of bus 30 on IEEE 30-bus system

等步长点	P^k	U^k	Y^k	P_{cr}
1	0.49430	0.61560	1.32520	否
2	0.49440	0.60380	1.37770	是
3	0.49430	0.59230	1.43020	否

表 3 IEEE 30 节点系统 30 号节点对比数据

Tab.3 Comparison of critical parameters between methods for bus 30 on IEEE 30-bus system

方法	P_{cr}	U_{cr}	Y_{cr}
插值法	0.51720	0.59680	1.46313
本文方法	0.49440	0.60380	1.37770
连续潮流法	0.49436	0.60378	1.35601

3.2 IEEE 118 节点系统算例

表 4 给出了该系统 96 号节点功率极大值点的动态求解过程。功率极大值点为 3 号计算点,对应的方向判断系数大于 0,表明此点为下半支点。

表 4 IEEE 118 节点系统 96 号节点功率极大值点数据

Tab.4 Maximum power points of bus 96 on IEEE 118-bus system

计算点	P_0^k	U_0^k	K^k	$P_{\max}$
1	0.38000	0.98520	-4.1600×10^{-6}	否
2	7.50580	0.75560	-2.0800×10^{-6}	否
3	8.87060	0.51310	3.7730×10^{-4}	是
4	7.35210	0.34140	1.0900×10^{-6}	否

由表 4 可知,计算点 3 位于下半支,应以减小导纳值的等步长方式来计算临界点。表 5 中列出了该系统 96 号节点求取临界点的等步长计算过程,到第 10 个等步长计算点时,功率值出现减小,则第 9 点

对应的: $P_{\text{cr}}, U_{\text{cr}}, Y_{\text{cr}}$ (8.964 9, 0.566 0, 31.537 7)即为临界参数。表 6 给出了本文方法、插值法^[25]、连续潮流法计算结果的对比数据。

表 5 IEEE 118 节点系统 96 号节点临界参数数据

Tab.5 Critical parameters of bus 96 on IEEE 118-bus system

等步长点	P^k	U^k	Y^k	P_{cr}
1	8.89840	0.52150	38.35610	否
2	8.91090	0.52590	37.50380	否
3	8.92750	0.53250	36.65150	否
4	8.93710	0.53700	35.79920	否
5	8.94540	0.54160	34.94690	否
6	8.94900	0.54390	34.09460	否
7	8.95470	0.54810	33.24230	否
8	8.96420	0.55280	32.39000	否
9	8.96490	0.56600	31.53770	是
10	8.96480	0.56650	30.68540	否

表 6 IEEE 118 节点系统 96 号节点对比数据

Tab.6 Comparison of critical parameters between methods for bus 96 on IEEE 118-bus system

方法	P_{cr}	U_{cr}	Y_{cr}
插值法	8.95780	0.57260	29.37342
本文方法	8.96490	0.56600	31.53770
连续潮流法	8.96487	0.56602	30.08391

3.3 算例小结

a. 由表 1、4 可见,从初始运行点到最接近临界点的功率极大值点仅需很少量(2~3 次)过渡计算,验证了基于负荷导纳动态步进的电压稳定临界参数求取策略具有明显的快速性。

b. 由表 2、5 可见,以功率极大值点作为等步长计算的初始点,仅需进行少量计算即可得到临界参数。其中算例 1 系统中仅需要 3 次就可得到临界参数,算例 2 系统经过 10 次计算即可确定临界参数,表明等步长计算次数不随系统节点个数的增加有明显增加,经过验证其他系统也存在类似情况。同时,由于功率极大值点和临界点较为接近,在等步长计算过程中可以采用定雅可比矩阵技术,进一步提高计算效率。

c. 由表 3、6 可见,本文所提方法与插值计算相比具有非常高的准确性,与连续潮流法计算结果一致也验证了本文方法的正确性。

4 结论

a. 提出了基于导纳步进的异步接替快速求取电压稳定临界参数的策略;策略 1 保证了由初始状态快速过渡到临界点附近,得到最大功率点;策略 2 保证了临界参数计算的准确性;策略 3 实现了策略 1 向策略 2 的有效过渡和衔接,保证了整体求解策略的顺利完成。

b. 多个算例系统验证了本文所提方法在计算速度和结果方面的优越性,可以为实时在线分析电力系统电压稳定问题提供一个新的支持工具。

c. 该方法同时获取临界参数(P_{cr}, U_{cr}, Y_{cr}),不但可以利用常规的(P_{cr}, U_{cr}),而且可以利用(U_{cr}, Y_{cr})或(P_{cr}, Y_{cr})空间上参考分析电压稳定,做到了分析的多样化和普遍性。

参考文献:

- [1] 余贻鑫, 梁文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(1): 7-11.
YU Yixin, LUAN Wenpeng. Smart grid[J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25(1): 7-11.
- [2] UHLEN K, WARLAND L. Concepts for intelligent monitoring and control of power grids by use of new measurement technologies[J]. CIGRE Session, 2004, 34(7): 5-10.
- [3] AJJARAPU V, CHRISTY C. The continuation power flow: a tool for steady state voltage stability analysis[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1992, 7(1): 416-423.
- [4] CHIANG H D, FLUECK A J, SHAH K S, et al. CPFLOW: a practical tool for tracing power system steady state stationary behavior due to load and generation variations[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(2): 623-634.
- [5] BEDRINANA M, BEDOYA D, CASTRO C A. Hybrid method for calculating the maximum loading point using continuation load flow and nonlinear programming techniques[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2007, 9(7): 1929-1934.
- [6] 周双喜, 冯治鸿, 杨宁. 大型电力系统 PV 曲线的求取[J]. 电网技术, 1996, 20(8): 4-8.
ZHOU Shuangxi, FENG Zhihong, YANG Ning. Seeking PV curves in bulk power system[J]. Power System Technology, 1996, 20(8): 4-8.
- [7] 刘焕志, 李扬, 陈霄. 基于连续潮流的输电网可用输电能力计算[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(12): 5-8.
LIU Huanzhi, LI Yang, CHEN Xiao. Available transfer capability calculation based on continual power flow for transmission network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(12): 5-8.
- [8] 李增国, 王锐, 邢卫荣. 基于连续潮流和模态分析的电压稳定性分析[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(9): 81-84.
LI Zengguo, WANG Rui, XING Weirong. Voltage stability analysis based on continuation power flow and modal analysis[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(9): 81-84.
- [9] 文学鸿, 袁越, 鞠平. 静态电压稳定负荷裕度分析方法比较[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(5): 59-62.
WEN Xuehong, YUAN Yue, JU Ping. Comparison between CPF and PDIP for voltage stability margin evaluation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(5): 59-62.
- [10] 王成山, 魏伟. 一种改进的步长控制连续性潮流计算方法[J]. 电工技术学报, 2004, 19(2): 58-63.
WANG Chengshan, WEI Wei. An improved continuation method with controlled step size[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004, 19(2): 58-63.
- [11] 张尧, 张建设, 袁世强. 求取静态电压稳定极限的改进连续潮流法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2005, 17(2): 22-25.
ZHANG Yao, ZHANG Jianshe, YUAN Shiqiang. Improved continuation power flow algorithm for obtaining the limit of static voltage stability[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2005, 17(2): 22-25.
- [12] 李勇, 张勇军, 刘巍, 等. 电压稳定极限点的快速判定及其灵敏度算法[J]. 电网技术, 2008, 32(18): 47-51.
LI Yong, ZHANG Yongjun, LIU Wei, et al. Fast determination of voltage stability critical point and its sensitivity algorithm[J]. Power System Technology, 2008, 32(18): 47-51.
- [13] PARKER C J, MORRISON I F. Application of an optimization method for determining the reactive margin from voltage collapse in reactive power planning[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(3): 1473-1481.
- [14] 郭瑞鹏, 韩祯祥, 王琴. 电压崩溃临界点的非线性规划模型及算法[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(4): 14-17.
GUO Ruipeng, HAN Zhenxiang, WANG Qin. Nonlinear programming model & algorithm for point of collapse[J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(4): 14-17.
- [15] 黄海伦, 韦化, 阳育德. 电压稳定约束的最优潮流研究[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(3): 26-29.
HUANG Hailun, WEI Hua, YANG Yude. Study on optimal power flow with voltage stability constraints[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(3): 26-29.
- [16] 程浩忠, 徐利野直人. 估算最接近电压稳定极限的简化方法[J]. 电网技术, 1996, 20(4): 15-18.
CHENG Haozhong, NAOTO Yorino. A simplified method to evaluate closest voltage stability limits[J]. Power System Technology, 1996, 20(4): 15-18.
- [17] ALVARADO F L, JUNG T H. Direct detection of voltage collapse condition[C]//Bulk Power System Voltage Phenomena: Voltage Stability and Security. [S.l.]: EPRI, 1989: 23-28.
- [18] 郭瑞鹏, 韩祯祥. 电压崩溃临界点计算的改进零特征根法[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(5): 63-66.
GUO Ruipeng, HAN Zhenxiang. An improved zero eigenvalue method for point of collapse[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(5): 63-66.
- [19] 韩肖清, 侯媛媛, 韩肖宁. 基于 PSASP/UIP 节点 PV 曲线的快速求取[J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(5): 45-49.
HAN Xiaoqing, HOU Yuanyuan, HAN Xiaoning. Fast method of getting PV curve based on PSASP/UIP[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2008, 20(5): 45-49.
- [20] 张尧, 宋文南, 贺家李. 临近电压稳定极限的潮流和静稳极限算法[J]. 中国电机工程学报, 1994, 14(6): 17-24.
ZHANG Yao, SONG Wennan, HE Jiali. An algorithm for the load flow solution close to the voltage stability limit and the determination of static voltage stability limit[J]. Proceedings of the CSEE, 1994, 14(6): 17-24.
- [21] 彭志炜, 胡国根, 韩祯祥. 电力系统 PV 曲线的追踪与极值分叉点的确定[J]. 电网技术, 1997, 21(8): 13-16.
PENG Zhiwei, HU Guogen, HAN Zhenxiang. Tracing power system PV curve and searching for bifurcation points[J]. Power System Technology, 1997, 21(8): 13-16.
- [22] 刘宝柱, 于继来. 基于阻抗动态步进的 PVZ 曲线快速求解[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(9): 104-109.
LIU Baozhu, YU Jilai. Fast computation of PVZ curves with impedance dynamic steps[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(9): 104-109.
- [23] 张尧, 曾绍标, 王琴, 等. 节点 PV 曲线的快速求解方法[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(9): 19-22.
ZHANG Yao, ZENG Shaobiao, WANG Qin, et al. A fast method for calculation of PV curve[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(9): 19-22.
- [24] 江伟, 王成山, 余贻鑫, 等. 电压稳定裕度对参数灵敏度求解的新方法[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(2): 13-18.
JIANG Wei, WANG Chengshan, YU Yixin, et al. A new method to compute the sensitivity of loading margin to voltage collapse with respect to parameters[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(2): 13-18.
- [25] 张燕飞. 基于负荷导纳动态步进的节点 PV 曲线求取方法研究[D]. 北京: 华北电力大学电气与电子工程学院, 2009.
ZHANG Yanfei. A study on computation of PV curves based on admittance dynamic step in load bus[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2009.

(编辑: 李 玲)

方向为电力系统分析、运行与控制(E-mail:hbdzhengfeiping@163.com);

作者简介:

郑飞平(1984-),男,陕西绥德人,硕士研究生,主要研究

刘宝柱(1974-),男,黑龙江拜泉人,副教授,博士,主要从事无功、电压分析与控制的研究工作。

Determination of voltage stability critical parameters by asynchronous succession strategy

ZHENG Feiping, LIU Baozhu

(School of Electrical & Electronic Engineering, North China Electric
Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Based on the power flow algorithm of load admittance model, an asynchronous succession strategy for determining the critical parameters of static voltage stability by dynamic steps is proposed based on the load admittance. The strategy 1 is for fast determination of maximal power point; by tracing calculation of Thevenin's equivalent impedance on the process approaching the critical point, which is accumulated to the initial load admittance value for next calculation. Accordingly, the transition from the initial point to the proximity of critical point is very quick with unequal steps and the maximal power point close to critical point is obtained. The strategy 2 is for exact determination of critical parameters; the maximum power point can be used as the beginning to compute the critical parameters of voltage stability by equal steps of load admittance. The strategy 3 is for transition from the strategy 1 to the strategy 2; directional determination factor is created to achieve the valid transition. Several examples show its validity and accuracy.

Key words: power system; voltage stability; power-voltage curve; critical parameters; succession strategy