

考虑电动机负荷的静态电压稳定分析

任杰桢¹, 鞠平¹, 赵娟², 余一平¹, 孙建华², 梁伟¹

(1. 河海大学 能源与电气学院, 江苏 南京 210098; 2. 河南省电力调度通信中心, 河南 郑州 450052)

摘要: 电力负荷是电力系统的重要组成部分, 采用不同的负荷模型所得系统静态电压稳定结果也有所差异。针对负荷的动态特性, 将电动机负荷模型直接运用于连续潮流计算, 负荷功率因数随着负荷增长方式的变化而变化, 从而更能反映负荷实际。该方法计算简单, 易于实现。仿真算例和实际算例的计算分析验证了所提算法的有效性。结果表明, 考虑电动机负荷时的电压稳定性好于恒定功率负荷, 电动机比例下降有利于静态电压稳定性。

关键词: 电力负荷; 电压稳定; 电动机; 稳定性; 模型

中图分类号: TM 712

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.05.022

0 引言

随着电能需求的日益增长和电力系统的日益复杂, 电压失稳事故时有发生, 引起了业内人士的广泛关注^[1-12]。目前, 静态电压特性的计算方法较多, 如非线性规划法、奇异值分解法、特征值分析法、灵敏度分析法等, 这些方法大都将电力网络的潮流极限作为静态电压稳定极限。

电动机是电力负荷的重要组成部分, 在工业负荷中其所占比例可高达 90%。近期的电压稳定研究中, 人们逐渐认识到负荷特性对电压稳定的重要性^[13-25], 并对电动机负荷特性的影响进行了一些研究。文献[13]针对 3 种静态负荷模型, 采用连续潮流法计算系统的鞍结分岔点和奇异诱导分叉点, 但没有计及电动机负荷。文献[23]提出变导纳法将电动机的静态等值参数运用于电力系统 $P-U$ 曲线的计算。文献[24]根据经典电动机稳态模型, 研究基于复合模型的连续潮流计算。但是文献[23-24]没有考虑负荷变化的影响, 负荷增长方式采用恒功率因数方式, 实际上这要求负荷成分为单一的, 难以反映系统实际的运行状态。

本文将电动机的负荷模型直接应用于连续潮流计算, 且负荷功率因数随着负荷增长方式的变化而变化, 从而更能反映负荷实际, 计算结果更为合理。

1 电动机模型

对于电压稳定分析, 电动机采用三阶机电暂态模型, 其表达式为:

收稿日期: 2013-07-24; 修回日期: 2014-03-21
基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(51137002); 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2011AA05A103)
Project supported by the Major Program of National Natural Science Foundation of China(51137002) and the National High Technology Research and Development Program of China (863 Program)(2011AA05A103)

$$\begin{cases} \frac{dE'_d}{dt} = -[E'_d + K_z(X - X')I_q] / \tau'_{d0} - (\omega_r - 1)E'_q \\ \frac{dE'_q}{dt} = -[E'_q - K_z(X - X')I_d] / \tau'_{d0} + (\omega_r - 1)E'_d \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{d\omega_r}{dt} = (T_E - T_M) / \tau_j \\ T_E = K_p(E'_d I_d + E'_q I_q) \end{cases} \quad (2)$$

$$K_p = \frac{P_{M0}^*}{P_{M0}} = \frac{Q_{M0}^*}{Q_{M0}} \quad (3)$$

$$P_{M0} = P_0 P_{MP} \quad (4)$$

$$T_M = K_L[\alpha + (1 - \alpha)(1 - s)^P] \quad (5)$$

$$K_L = \frac{P_{M0}^*}{\alpha + (1 - \alpha)(1 - s_0)^P} \quad (6)$$

其中, $E' = E'_d + jE'_q$ 为电动机暂态电动势; ω_r 为转子转速; τ'_{d0} 为转子绕组时间常数; τ_j 为转动惯量时间常数; T_E 和 T_M 分别为电磁转矩和机械负载转矩; K_z 为等值电路中将机组本身基值的阻抗转换为系统基值阻抗的系数; K_p 为将系统基值标么值转换为电动机本身基值标么值的系数; K_L 为电动机负荷率系数; I_d 和 I_q 分别为定子电流 d 、 q 轴分量; α 为与转速无关的阻力矩系数; P 为与转速有关的阻力矩方次; X 为转子稳态电抗; X' 为转子暂态电抗; P_{M0}^* 为以电动机容量为基准的电动机初始有功功率标么值; Q_{M0}^* 为以电动机容量为基准的电动机初始无功功率标么值; P_0 为节点初始负荷有功功率; Q_0 为节点初始负荷无功功率; P_{MP} 为电动机比例; s 为电动机滑差; s_0 为初始滑差。

电动机稳态等值电路如图 1 所示。

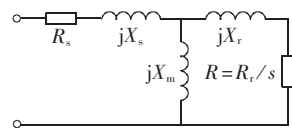


图 1 电动机稳态等值电路图

Fig.1 Steady-state equivalent circuit of motor

忽略定子电阻 R_s , 令 $R = R_r / s_0$, $X_{sm} = X_s + X_m$, $X_p =$

$X_s X_r + X_s X_m + X_m X_r$, 则有:

$$P_{M0}^* = \frac{U_0^2 X_m^2 R}{X_{sm}^2 R^2 + X_p^2} \quad (7)$$

其中, U_0 为电动机端初始电压。

通过以上表达式求取电动机的稳态值, 并由式(8)得出电动机的滑差 s , 代入式(9)求出电动机功率。令 $X_1 = X_s + X_r$, 则:

$$s = 1 - \omega_r \quad (8)$$

$$\begin{cases} P_M = \frac{U^2 R_r s}{R_r^2 + (X_1 s)^2} / K_p \\ Q_M = \left(\frac{U^2}{X_m} + P_M \frac{s}{s_{cr}} \right) / K_p \end{cases} \quad (9)$$

其中, R_r 为转子电阻; X_r 为转子电抗; X_s 为定子电抗; X_m 为励磁电抗; s_{cr} 为临界滑差, $s_{cr} = R_r / X_1$; U 为电动机机端电压。

2 单台电动机的静态电压特性

就一台电动机而言, 在第 1 节方程中令 $K_z = 1$ 、 $K_p = 1$ 。电动机的静态电压参数如下: $X_m = 3.5$ p.u., $R_r = 0.02$ p.u., $X_r = 0.12$ p.u., $s_0 = 0.0116$ p.u., $\tau'_{d0} = 0.576$ s, $\tau_j = 2.0$ s, $\alpha = 0.15$, $P = 2$ 。改变电压即可绘制出电动机静态电压特性曲线, 如图 2 所示, 图中电压、功率均为标幺值。

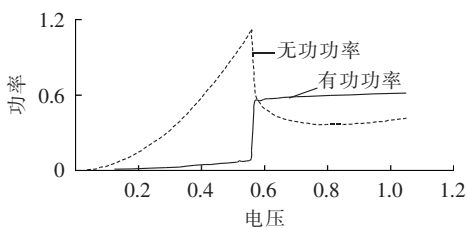


图 2 电动机的静态电压特性

Fig.2 Static voltage characteristics of motor

从图 2 可以看出电动机静态电压特性的特点:

a. 正常运行时, 电动机的有功功率随电压降低而略有减小, 无功功率则随电压下降先下降再上升, 呈“凹”型变化;

b. 在电压下降到 $U_{cr} = 0.56$ p.u. 时出现堵转, 此后有功功率急剧下降, 而无功功率急剧上升;

c. 堵转之后, 有功和无功功率均随电压下降而下降, 但无功功率远远大于有功功率。

显然, 任何静态负荷模型 (ZIP) 均无法描述电动机的上述特性, 所以在连续潮流中只考虑静态负荷, 而不考虑电动机负荷, 会影响静态电压稳定计算的准确性。

3 考虑电动机负荷的改进连续潮流算法

传统的连续潮流没有考虑电动机, 其负荷增长方式为恒功率因数负荷增长, 这与实际情况不太符合。为此, 本文改进的连续潮流算法如下。

(1) 基态潮流的计算。根据电网原始数据, 求取各节点基态电压 U_0 。

(2) 连续潮流的预估。这时首先要设定步长、负荷增长方式, 然后通过参数化预估各节点电压 U' 。考虑以下 3 种负荷增长情况。

a. 系统中仅某节点负荷增长, 节点负荷为:

$$\begin{cases} P_L = P_{si} + P_{di} \\ Q_L = Q_{si} + Q_{di} \end{cases} \quad (10)$$

b. 系统中某区域负荷增长, 区域负荷为:

$$\begin{cases} P_L = \sum_{i \in n_{zone}} (P_{si} + P_{di}) \\ Q_L = \sum_{i \in n_{zone}} (Q_{si} + Q_{di}) \end{cases} \quad (11)$$

c. 全系统负荷增长, 系统总负荷为:

$$\begin{cases} P_L = \sum_{i \in n_{system}} (P_{si} + P_{di}) \\ Q_L = \sum_{i \in n_{system}} (Q_{si} + Q_{di}) \end{cases} \quad (12)$$

其中, n_{zone} 表示区域; n_{system} 表示全系统; P_L 、 Q_L 分别为负荷有功、无功功率; P_{si} 、 Q_{si} 分别为第 i 个节点的静态负荷有功、无功功率; P_{di} 、 Q_{di} 分别为第 i 个节点的电动机负荷有功、无功功率。

负荷变化方式如下:

$$\begin{cases} \Delta P_L = k \\ \Delta Q_L = k \frac{Q_L}{P_L} \end{cases} \quad (13)$$

假定相应发电机增加的出力为:

$$\begin{cases} \Delta P_G = l \\ \Delta Q_G = 0 \end{cases} \quad (14)$$

则有:

$$\begin{cases} \Delta P_i = \Delta P_{Gi} - \Delta P_{Li} \\ \Delta Q_i = \Delta Q_{Gi} - \Delta Q_{Li} \end{cases} \quad (15)$$

其中, k 、 l 为常数。

需要指出的是, 在连续潮流的计算中, 电压不断降低, 所以电动机的功率因数是变化的, 因此式(13)中 P_L 、 Q_L 也在变化, 即负荷增长方式随功率因数的变化而变化, 并非以恒功率因数方式增长, 从而更准确地反映系统的运行状态。

(3) 预估潮流的校正。实际电网中, 节点负荷由静态负荷与电动机负荷两部分组成。电动机模型应用于连续潮流时, 需要注意 2 点: 一是状态变量 E'_d 、 E'_q 、 ω_r 不会突变, 所以每当电压变化后, 状态变量经过一段时间将进入新的稳态, 以此作为下一次电压变化时状态变量的初值; 二是如果电动机堵转, 则停止计算。

根据节点电压 U_i , 可以求取电动机功率 P_{di} 、 Q_{di} 和静态负荷 P_{si} 、 Q_{si} 。

电动机比例为:

$$P_{MPi} = \frac{P_{di}}{P_{di} + P_{si}} \quad (16)$$

连续潮流的基本方程如下:

$$P_{Gi}-\sum_j U_i U_j (G_{ij} \cos \theta_{ij}+B_{ij} \sin \theta_{ij})-P_{si}-P_{di}+$$
$$\lambda \Delta P_i\left[P_{MPi}+(1-P_{MPi})\left(\frac{U_i}{U_{i0}}\right)^2\right]=0$$

(17)

$$Q_{Gi}-\sum_j U_i U_j (G_{ij} \sin \theta_{ij}-B_{ij} \cos \theta_{ij})-Q_{si}-Q_{di}+$$
$$\lambda \Delta Q_i\left[P_{MPi}+(1-P_{MPi})\left(\frac{U_i}{U_{i0}}\right)^2\right]=0$$

(18)

$$\left\{\begin{array}{l} P_{Li}=P_{si}+P_{di}-\lambda \Delta P_i\left[P_{MPi}+(1-P_{MPi})\left(\frac{U_i}{U_{i0}}\right)^2\right] \\ Q_{Li}=Q_{si}+Q_{di}-\lambda \Delta Q_i\left[P_{MPi}+(1-P_{MPi})\left(\frac{U_i}{U_{i0}}\right)^2\right] \end{array}\right.$$

(19)

其中,λ 为负荷变化因子。

(4) 重复步骤(2)、(3),即可获得静态电压特性。

4 仿真算例分析

本文首先以 IEEE 57 节点系统为例,来研究不同负荷模型以及不同电动机参数对静态电压稳定的影响。

4.1 负荷类型的影响

考虑以下 3 种负荷,对比分析静态电压稳定:

- a. 负荷由恒阻抗(Z)组成;
- b. 负荷由静态负荷(Z+P)组成,将负荷节点分为 3 类,见表 1;
- c. 负荷由恒阻抗与电动机(Z+M)组成,即将表 1 的恒功率负荷改为电动机负荷。

表 1 系统负荷组成的分类
Tab.1 Classification of system loads

节点类型	负荷组成	节点号
I 类	70% 恒阻抗负荷+	10,12,15,17,18,28,30,
	30% 恒功率负荷	43,49,52,54
II 类	50% 恒阻抗负荷+	8,9,14,16,19,23,25,29,
	50% 恒功率负荷	32,35,41,44,50,56,57
III 类	40% 恒阻抗负荷+	3,5,6,13,20,27,31,33,
	60% 恒功率负荷	38,42,47,51,53,55

负荷增长方式为节点 47 负荷增长,采用以上 3 种负荷模型得到的 λ-U 曲线如图 3 所示,图中 U 为标么值,后同。对应的电压稳定指标见表 2,表中临界电压 U_{cr} 为标么值,后同。

由图 3 和表 2 结果可得如下结论。

- a. 全部 Z 模型时,不存在电压稳定问题。
- b. Z+M 模型与 Z+P 模型相比,临界电压 U_{cr} 差

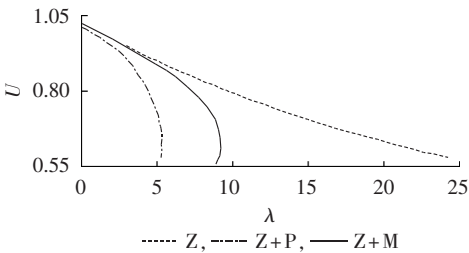


图 3 不同负荷种类的 λ-U 曲线
Fig.3 λ-U curves for different load types

表 2 不同负荷组成的临界点对比
Tab.2 Comparison of critical points among different load compositions

负荷模型	U _{cr}	λ _{max}
Z	—	—
Z+P	0.6139	5.3746
Z+M	0.6264	9.2966

别不大,但极限 λ_{max} 明显提高,即 Z+M 模型的静态电压稳定性好于 Z+P 模型。分析其原因,电动机在电压下降至堵转电压之前,其无功需求呈“凹”型,即无功需求小于恒功率负荷。

4.2 电动机参数的影响

在 4.1 节计算结果的基础上,将电动机参数 P_{MP}、τ_j、τ_{do}、S₀、R_r、X_r、X_s、X_m 分别增加 15%,分析各参数对节点 47 静态电压稳定的影响,如表 3 所示。

表 3 电动机参数的影响
Tab.3 Effect of induction motor parameters

变化的参数	ΔU _{cr}	Δλ _{max}
P _{MP}	+1.80%	-5.40%
τ _j	0	0
τ _{do}	+0.62%	+2.19%
S ₀	+1.82%	+0.11%
R _r	+0.56%	+2.52%
X _r	+1.66%	-0.75%
X _s	+1.74%	-0.77%
X _m	-1.64%	+0.83%

从表 3 可见:参数对临界电压 U_{cr} 的影响不大;惯性时间常数 τ_j 对静态电压稳定几乎没有影响;电动机比例 P_{MP} 对极限 λ_{max} 的影响较为明显,随着 P_{MP} 的增加,静态电压稳定性变差。

5 河南电网实例分析

河南电网是华中电网的主要负荷中心之一。近年来河南电网负荷增长迅速,局部地区的电压稳定性日益突出,在某些极端情况下,存在电压失稳的风险。

5.1 负荷类型的影响

河南电力调度控制中心 2011 年开展了河南电网广域实测负荷建模工作,根据负荷中电动机比例的不同,大致将河南电网各节点负荷组成分为 2 类,见表 4。本次计算基于河南电网 2011 年冬季大负荷的数据,负荷水平 25560 MW。与 IEEE 57 节点系统分析类似,对 Z、Z+P、Z+M 3 种负荷模型情况下静态电压稳定计算结果进行对比。

表 4 河南电网负荷组成
Tab.4 Load composition of Henan Grid

节点类型	负荷组成
I 类	62% Z+38% P(或 M)
II 类	50% Z+50% P(或 M)

以节点 839(豫武陟)为例,负荷增长方式为豫焦新地区(节点 839 所在区域)负荷增长,以上 3 种负

荷模型得到的 $\lambda-U$ 曲线如图 4 所示,对应的电压稳定指标如表 5 所示。

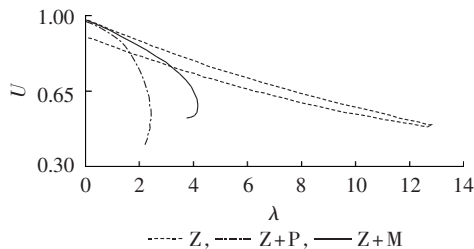


图 4 节点 839 的 $\lambda-U$ 曲线
Fig.4 $\lambda-U$ curve of node 839

表 5 不同负荷模型的结果对比
Tab.5 Comparison of results among different load models

负荷模型	U_{cr}	λ_{max}
Z	0.488 5	12.858 4
Z+P	0.539 3	2.462 6
Z+M	0.585 5	4.193 9

从图 4 和表 5 可见:河南电网负荷节点采用 Z+M 模型与采用 Z+P 模型相比,临界电压 U_{cr} 差别不大,但极限 λ_{max} 明显提高,即 Z+M 模型的静态电压稳定性好于 Z+P 模型;河南电网采用恒阻抗负荷模型时存在一个极限很大很尖的鼻点,其原因可能是河南电网的构成比 IEEE 57 节点系统要复杂得多,而且负荷增长方式为区域增长。

5.2 电动机参数的影响

在 5.1 节计算结果的基础上,将电动机参数 P_{MP} 、 τ_j 、 τ'_{d0} 、 s_0 、 R_r 、 X_r 、 X_s 、 X_m 分别增加 15%,分析各参数对河南电网静态电压稳定的影响,如表 6 所示。

表 6 电动机参数的影响
Tab.6 Effect of induction motor parameters

变化的参数	ΔU_{cr}	$\Delta \lambda_{max}$
P_{MP}	+2.58 %	-12.56 %
τ_j	0	0
τ'_{d0}	-0.17 %	-0.52 %
s_0	+2.36 %	-0.07 %
R_r	-2.43 %	-0.15 %
X_r	+1.69 %	-2.51 %
X_s	+1.74 %	-3.20 %
X_m	-5.29 %	+2.86 %

从表 6 可以得到与表 3 相似的结论。略有变化的是,励磁电抗 X_m 对电压的影响较为明显;电动机比例 P_{MP} 对极限 λ_{max} 的影响有所增强。

6 结论

a. 提出了计及电动机负荷特性的变功率因数的连续潮流方法,计算简单、易于实现、符合实际。

b. 通过计算分析了负荷模型对静态电压稳定的影响,结果表明计及电动机负荷模型的静态电压稳定

性好于恒功率模型。

c. 通过计算分析了电动机参数对静态电压稳定的影响,结果表明惯性时间常数对静态电压稳定几乎没有影响,电动机比例下降对静态电压稳定具有明显的正面影响。

参考文献:

[1] TAYLOR C W. Power system voltage stability[M]. New York, USA:McGraw-Hill Inc,1994:51-63.

[2] 汤涌. 电力系统电压稳定性分析[M]. 北京:科学出版社,2011:5-12.

[3] 周双喜,朱凌志,郭锡玖. 电力系统电压稳定性及其控制[M]. 北京:中国电力出版社,2004:168-178.

[4] 许琦. “N-1”预想事故下满足静态电压约束的快速 ATC 算法[J]. 电力自动化设备,2011,31(8):81-85.

XU Qi. Fast ATC algorithm with voltage stability constraint for N-1 contingency[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(8):81-85.

[5] 卢秀琼,严伟,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.

[6] 朱凌志,周双喜. 电压稳定分析的潮流算法研究[J]. 电力系统自动化,2000,24(5):1-4.

ZHU Lingzhi,ZHOU Shuangxi. Study on power flow arithmetic for voltage stability analysis[J]. Automation of Electric Power Systems,2000,24(5):1-4.

[7] 曹国云,王强,刘丽霞. 电压稳定分析中降阶潮流雅克比矩阵的研究[J]. 中国电机工程学报,2008,28(4):42-47.

CAO Guoyun,WANG Qiang,LIU Lixia. Research on power flow reduced Jacobian matrix for voltage stability analysis[J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(4):42-47.

[8] 随慧斌,赵建国,李可军,等. 考虑不均衡区域负荷增长的在线电压稳定评估[J]. 电力自动化设备,2011,31(3):57-61.

SUI Huibin,ZHAO Jianguo,LI Kejun,et al. On-line voltage stability assessment considering uneven growth of regional load[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(3):57-61.

[9] 郑飞平,刘宝柱. 电压稳定临界参数的异步接替求取策略[J]. 电力自动化设备,2011,31(3):98-102.

ZHENG Feiping,LIU Baozhu. Determination of voltage stability critical parameters by asynchronous succession strategy[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(3):98-102.

[10] 余娟,李文沅,颜伟. 静态电压稳定风险评估[J]. 中国电机工程学报,2009,29(28):40-46.

YU Juan,LI Wenyuan,YAN Wei. Risk assessment of static voltage stability[J]. Proceedings of the CSEE,2009,29(28):40-46.

[11] 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.

[12] 王正风,胡晓飞. 静态功角稳定和静态电压稳定判据分析[J]. 电力自动化设备,2008,28(2):61-64.

WANG Zhengfeng,HU Xiaofei. Analysis of static angularity and voltage stability criteria[J]. Electric Power Automation Equip-

- ment,2008,28(2):61-64.
- [13] 廖国栋,王晓茹. 基于广域量测的电压稳定在线监测方法[J]. 中国电机工程学报,2009,29(4):8-13.
LIAO Guodong,WANG Xiaoru. An on-line voltage stability monitoring method based on wide area measurement system[J]. Proceedings of the CSEE,2009,29(4):8-13.
- [14] 周雪松,侯明,马幼捷. 不同负荷模型在电压稳定中的分岔研究[J]. 天津理工大学学报,2008,24(2):70-72.
ZHOU Xuesong,HOU Ming,MA Youjie. Bifurcation research about different load model used in voltage stability[J]. Journal of Tianjin University of Technology,2008,24(2):70-72.
- [15] PAL M K. Voltage stability conditions considering load characteristics[J]. IEEE Transactions on Power Systems,1992,7(1):243-249.
- [16] SHIN J R,KIM B S,CHAE M S,et al. Improvement of precise P/V curve considering effects of voltage-dependent load models and transmission losses for voltage stability analysis[J]. IEE Proceedings-Generation,Transmission and Distribution,2002,149(4):384-388.
- [17] VARGAS L M,JATSKEVICH J,MARTI J R. Induction motor loads and voltage stability assessment using PV curves[C]//Power & Energy Society General Meeting,2009. PES'09. Calgary, AB, Canada;IEEE,2009:1-7.
- [18] 张元鹏,周双喜,王利锋. 静态电压稳定分析中的动态元件模型及其实现[J]. 中国电机工程学报,2000,20(3):66-70.
ZHANG Yuanpeng,ZHOU Shuangxi,WANG Lifeng. The model of dynamical components and its realization of study on static voltage stability analysis[J]. Proceedings of the CSEE,2000,20(3):66-70.
- [19] 鞠平,马大强. 电力系统负荷建模[M]. 2版. 北京:中国电力出版社,2008:43-51.
- [20] 陈谦,孙建波,蔡敏. 考虑配电网络综合负荷模型的参数确定[J]. 中国电机工程学报,2008,28(16):45-50.
CHEN Qian,SUN Jianbo,CAI Min. Parameters determination of synthesis load model considering distribution network connection[J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(16):45-50.
- [21] 付红军,鞠平,孙冉. 广域电力系统负荷建模的对比研究[J]. 电力系统自动化,2010,34(5):43-47.
FU Hongjun,JU Ping,SUN Ran. Comparative studies on load modeling in wide area power systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(5):43-47.
- [22] 金飞林,程浩忠. 计入负荷动态模型确定电压稳定临界电压的方法[J]. 电力系统自动化,1998,22(8):48-51.
JIN Feilin,CHENG Haozhong. Computation of critical voltage of voltage stability using dynamic load model[J]. Automation of Electric Power Systems,1998,22(8):48-51.
- [23] 王新宝,韩祯祥. 计及电动机静态特性的PV曲线分析[J]. 电力系统自动化,2004,28(2):32-36.
WANG Xinbao,HAN Zhenxiang. PV curves analysis considering the static characteristic of induction motor[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(2):32-36.
- [24] LI S H,CHIANG H D,LIU S. Analysis of composite load models on load margin of voltage stability[C]//International Conference on Power System Technology,2006. PowerCon 2006. Chongqing, China;IEEE,2006:1-7.
- [25] 牟晓明,李志民. 一种计算电压稳定边界的两阶段潮流方法[J]. 电力自动化设备,2013,33(3):72-77.
MOU Xiaoming,LI Zhimin. Two-stage power flow method for calculating voltage stability margin[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(3):72-77.

作者简介:



任杰桢

任杰桢(1987-),男,江苏江阴人,硕士研究生,研究方向为电力系统静态电压稳定与低压减载(E-mail:renjiezhen1987@163.com);

鞠平(1962-),男,江苏靖江人,副校长,教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为电力系统建模与控制(E-mail:pju@hhu.edu.cn)。

Static voltage stability analysis considering motor loads

REN Jiezheng¹,JU Ping¹,ZHAO Juan²,YU Yiping¹,SUN Jianhua²,LIANG Wei¹

(1. College of Energy and Electrical Engineering,Hohai University,Nanjing 210098,China;

2. Henan Electric Power Dispatching & Communication Center,Zhengzhou 450052,China)

Abstract: Power load is an important component of power system and the system static voltage stabilities calculated based on different load models will be different. According to the dynamic characteristics of load,the motor load model is directly applied in the continuous power flow calculation,which is simple and easy to implement,while reflects better the actual load due to the power factor varying with the change of load increase mode. The simulative and calculative results of case study show its effectiveness. Analysis verifies that,the voltage stability calculation considering motor load is better than that only considering constant power loads and the decrease of motor load proportion is favorable to the static voltage stability.

Key words: electric loads; voltage stability; electric motors; stability; models