

## 一种考虑母线短路容量的电压稳定解析方法

邓桂平, 孙元章, 徐 箭

(武汉大学电气工程学院, 湖北省武汉市 430072)

**摘要:** 短路容量是系统电压强度的标志。文中提出一种考虑母线短路容量的电压稳定解析方法, 揭示了母线短路容量与低压负荷母线电压稳定的解析关系。在对电源侧戴维南等值的基础上, 基于配电网的等值负荷模型在不增加系统规模的情况下使电压稳定分析更符合实际。推导得到的保持电压稳定的临界最小短路容量是一个综合性的电压稳定参数, 可以直接全面量化配电网负荷侧的变化对电压稳定的影响。比较临界最小短路容量和实际短路容量可以快速评估母线的电压稳定性, 跟踪二者的变化可以明确区分造成电压失稳的根本原因, 从而为电压稳定控制提供更加明确的参考依据。为母线短路容量应用于广域电压稳定的在线评估和控制提供了强有力的理论支持。

**关键词:** 短路容量; 电压稳定; 戴维南等值; 配电网

**中图分类号:** TM712

### 0 引言

近年来, 电压问题导致大面积停电的事故时有发生, 因而电压稳定问题越来越受到重视<sup>[1-2]</sup>。电压崩溃可能发生在主网或地区网络中, 而且发生得相当突然, 这就要求对电力系统运行状态连续监视, 同时要求快速的系统电压稳定判定。广域测量技术为实现全局性的电压稳定性在线监测创造了条件, 在拥有同步相量的基础上, 很多学者提出在戴维南等值的基础上, 利用本地测量信息进行电压稳定分析与评估<sup>[3-10]</sup>。基本思路为: 依据节点的电源侧戴维南等值阻抗模值等于节点的阻抗模值时, 电压临界稳定, 节点获得网络传输的最大功率, 进而用阻抗模判据或视在功率模判据判定节点的电压稳定裕度, 或进一步采取切负荷控制措施。随着近几年各种节点戴维南等值参数在线跟踪或预估简捷算法的实现<sup>[11-13]</sup>, 戴维南等值成为一种快速评估电压稳定的方法。

电压稳定在一定程度上是负荷稳定, 在引起系统电压失稳的众多因素中, 负荷特性是最直接和关键的因素, 负荷模型的准确与否直接影响电压稳定分析结果和最终的决策方案。目前基于戴维南等值的电压稳定评估大都以输电网为对象, 将整个配电网(包括负荷)当做直接接于输电网高压母线的负荷, 忽略了配电网变压器和线路的阻抗, 这主要是因为详细计及配电网会导致系统规模急剧增大。但是负荷和无功补偿一般接于配电网, 电压跌落频繁、严

重地发生在配电网。文献[14]的研究表明, 高压母线与负荷母线之间的联系阻抗对电压稳定有很大的影响, 1997年S/SE Brazilian大停电事故就是因为配电网的电压失稳扩展至其对应的输电网, 引起直流线路跳闸而造成的<sup>[15]</sup>。

由于将配电网阻抗当做负荷阻抗, 或将配电网的功率损耗当做负荷功率, 采用戴维南等值求取的基于阻抗模或视在功率模的电压稳定指标比当前负荷水平的实际电压稳定裕度要大, 这对及时采取电压紧急控制措施以避免电压失稳不利。

短路容量是系统电压强度的标志, 本文提出一种考虑母线短路容量的电压稳定解析方法, 该方法基于配电网的等值负荷模型保留了配电网阻抗对电压稳定的主要影响。

### 1 母线短路容量解析电压稳定的基础

#### 1.1 短路容量的定义

电力网络中母线短路容量等于该母线的三相短路电流与额定电压的乘积。

在电力系统计算中各物理量习惯采用标么值, 将短路容量简单表示为电压与短路电流之积。短路电流通常考虑为额定电压除以短路处的电抗或阻抗。这样, 在单位电压情况下, 短路容量在数值上就等于系统电纳(或导纳)值, 即为系统戴维南等值电抗(或阻抗)的倒数。

母线短路容量是母线电压强度的标志。短路容量大, 表明母线带负荷能力强, 负荷、并联电容器或电抗器的投切不会引起电压幅值大的变化; 相反, 短路容量小则表明母线带负荷能力弱。

收稿日期: 2008-11-25; 修回日期: 2009-02-03。

## 1.2 配电网的等值

无论电动机负荷、照明或生活用电负荷都不可能直接由 110 kV 或 220 kV 母线供电,因此在负荷模型中需要考虑配电网阻抗的影响。

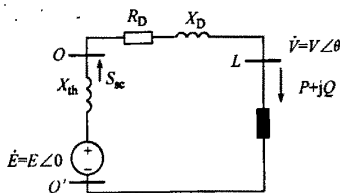
文献[16-17]根据变电站负荷的实际构成情况,提出了物理意义明确的考虑配电网的综合负荷模型,该模型克服了现有模型的不足,可以较完整地模拟负荷与配电网的关系,目前已获得推广应用。

该模型用一条配电网等值线路连接配电系统高压母线和低压负荷/无功补偿母线,这更符合实际配电网和用电负荷/无功补偿装置的关系。而且,配电网等值线路保留了配电网对电压稳定有影响的主要因素又不增加系统规模。

## 2 母线短路容量与电压稳定的解析关系

### 2.1 考虑配电网的等值电路

图 1 所示为等值电路。



左部分  $OO'$  代表电网系统的电源侧戴维南等值电路; $E$  为戴维南等值电势, $X_{th}$  为戴维南等值电抗;相对戴维南等值电抗,戴维南等值电阻可以忽略;右部分  $OLO'$  代表配电网负荷侧的等值电路; $O$  为配电网高压母线; $S_{sc}$  为母线  $O$  的短路容量; $R_D$  为配电网等值线路的电阻; $X_D$  为配电网等值线路的电抗; $L$  为低压负荷母线; $V$  为负荷母线  $L$  的电压; $P+jQ$  为负荷的有功和无功功率

图 1 等值电路  
Fig. 1 Equivalent circuit

### 2.2 短路容量与负荷母线电压稳定的关系

对图 1 所示电路,设  $X_0 = X_{th} + X_D$ ,根据电路理论,可得到如下方程:

$$(V^2)^2 + (2R_D P + 2X_0 Q - E^2)V^2 + (P^2 + Q^2)(R_D^2 + X_0^2) = 0 \quad (1)$$

令:  $a=1, b=2R_D P + 2X_0 Q - E^2, c=(P^2 + Q^2) \cdot (R_D^2 + X_0^2)$ 。式(1)是关于  $V^2$  的二次方程,给定  $(P, Q)$ ,满足  $V^2$  有实解的条件是  $\Delta = b^2 - 4ac \geq 0$ ,其中:  
 $\Delta = -4P^2 X_{th}^2 + (8R_D P Q - 4Q E^2 - 8P^2 X_D) X_{th} - 4(PX_D - QR_D)^2 + E^4 - 4R_D P E^2 - 4QX_D E^2$  (2)

当  $\Delta=0$  时对应图 2 所示  $(P, Q)$  平面的边界曲线  $\Sigma$ 。 $\Sigma$  边界内的所有点满足  $\Delta > 0$ ,为有解域,并且一个  $(P, Q)$  点对应 2 个不同的电压  $V$  解:一个为稳定解  $V_s$ ,另一个为不稳定解  $V_u$ ; $\Sigma$  边界外的点不满足  $\Delta \geq 0$ ,为无解域; $\Sigma$  边界上的点满足  $\Delta = 0$ ,一个  $(P,$

$Q)$  点对应 2 个相同的  $V$  解,即临界电压  $V_{cr}$ ,并且  $V_{cr} = V_s = V_u$ 。在边界  $\Sigma$  上,负荷功率达到保持电压稳定对应的最大网络传输功率。

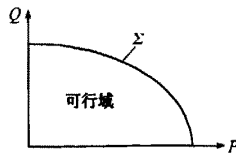


图 2 电压稳定边界  
Fig. 2 Voltage stability boundary

根据以上分析,在  $\Delta \geq 0$  时,由式(1)可解得一个  $(P, Q)$  点对应的  $V_s$  和  $V_u$  分别为:

$$\begin{cases} V_s = \sqrt{\frac{E^2}{2} - QX_{th} - QX_D - PR_D + \frac{\sqrt{\Delta}}{2}} \\ V_u = \sqrt{\frac{E^2}{2} - QX_{th} - QX_D - PR_D - \frac{\sqrt{\Delta}}{2}} \end{cases} \quad (3)$$

由短路容量的定义,母线  $O$  的短路容量  $S_{sc}$  为:

$$S_{sc} = E \frac{E}{X_{th}} = \frac{E^2}{X_{th}} \quad (4)$$

将式(4)代入式(3)得母线短路容量与负荷母线电压的关系式为:

$$\begin{cases} V_s = \left[ \frac{-QE^2}{S_{sc}} - \left( PR_D + QX_D - \frac{E^2}{2} \right) + \left( \frac{-P^2 E^4}{S_{sc}^2} + \frac{(2R_D PQ - QE^2 - 2P^2 X_D) E^2}{S_{sc}} - (PX_D - QR_D)^2 + \frac{E^4}{4} - R_D P E^2 - QX_D E^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \\ V_u = \left[ \frac{-QE^2}{S_{sc}} - \left( PR_D + QX_D - \frac{E^2}{2} \right) - \left( \frac{-P^2 E^4}{S_{sc}^2} + \frac{(2R_D PQ - QE^2 - 2P^2 X_D) E^2}{S_{sc}} - (PX_D - QR_D)^2 + \frac{E^4}{4} - R_D P E^2 - QX_D E^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (5)$$

式(5)的  $S_{sc}$ - $V$  关系曲线如图 3 所示,其中  $E=1, R_D=0.02, X_D=0.06$ ,负荷视在功率幅值  $S_L=0.5$ ,均为标么值,负荷功率因数  $\lambda_{PF}=0.85$ 。

结合上文分析和图 3 可知:

1) 除拐点之外,1 个  $S_{sc}$  对应 2 个不同  $V$  值。 $S_{sc}$ - $V$  曲线的上半支电压稳定,下半支电压失稳,拐点处电压临界稳定。

2) 在  $S_{sc}$ - $V$  曲线的上半支,短路容量越小,则电压越趋近临界稳定点,拐点处对应的短路容量就是保持负荷母线电压稳定的临界最小短路容量。

3) 对于各种变化的负荷功率,总有与之对应的保持电压稳定的临界最小短路容量。当实际短路容

量小于临界最小短路容量时,网络能够传输的最大功率小于负荷功率,负荷母线电压失稳。

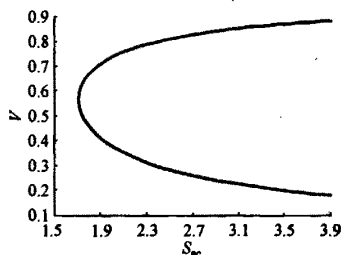


图3  $S_{sc}$ -V 关系曲线  
Fig. 3  $S_{sc}$ -V curve

4) 在本例中,负荷视在功率为 0.5(标么值)时,图 3 中的临界最小短路容量为 1.7,可以看出,当母线短路容量与所带负荷功率的比值小于 3.4 时,母线电压失去稳定。

### 2.3 保持电压稳定的临界最小短路容量的表达式

由式(5)可知, $\Delta=0$  时电压稳定临界点对应的最小短路容量  $S_{sc-min}$  与临界电压  $V_{cr}$  的关系式为:

$$V_{cr} = \sqrt{\frac{-QE^2}{S_{sc-min}} - \left( PR_D + QX_D - \frac{E^2}{2} \right)} \quad (6)$$

临界电压  $V_{cr}$  的另一种表达式为:

$$V_{cr} = \frac{E}{\sqrt{2(1 + \cos(\theta_0 - \theta_L))}} \quad (7)$$

式中:  $\theta_0 = \arctan((X_{th} + X_D)/R_D)$ ,  $\theta_L = \arctan(Q/P)$ 。

联立式(6)和式(7),得到保持电压稳定的临界最小短路容量的表达式为:

$$S_{sc-min} = \frac{2QE^2 \cdot (1 + \cos(\theta_0 - \theta_L))}{(E^2 - 2PR_D - 2QX_D) \cdot \cos(\theta_0 - \theta_L) - 2(PR_D + QX_D)} \quad (8)$$

实际中  $(X_{th} + X_D) \gg R_D$ ,  $\theta_0$  可以近似为  $\pi/2$ , 进一步得到:

$$S_{sc-min} = \frac{2QE^2 \cdot (1 + \sin \theta_L)}{(E^2 - 2PR_D - 2QX_D) \sin \theta_L - 2(PR_D + QX_D)} \quad (9)$$

设负荷视在功率幅值为  $S_L$ , 将  $P = S_L \cos \theta_L$ ,  $Q = S_L \sin \theta_L$  代入式(9), 得到:

$$S_{sc-min} = \frac{2E^2 S_L \sin \theta_L \cdot (1 + \sin \theta_L)}{(E^2 - 2R_D S_L \cos \theta_L - 2X_D S_L \sin \theta_L) \cdot \sin \theta_L - 2(R_D S_L \cos \theta_L + X_D S_L \sin \theta_L)} \quad (10)$$

实际中戴维南等值电势一般波动很小,本文中假设为额定电压。这样,由式(10)可知:保持电压稳

定的临界最小短路容量由配电网负荷侧的配电网阻抗、负荷功率及功率因数共同决定。也就是说,保持电压稳定的临界最小短路容量是一个综合性的电压稳定参数,可以直接量化配电网负荷侧等值阻抗变化、负荷功率变化以及功率因数变化对电压稳定的影响。

## 3 负荷功率、配电网阻抗及负荷功率因数对临界最小短路容量的影响

### 3.1 负荷功率对临界最小短路容量的影响

电压失稳一般发生在重负荷情况下。设电路的参数(标么值)分别为:  $E=1$ ,  $R_D=0.02$ ,  $X_D=0.06$ ,  $\lambda_{PF}=0.85$ 。

图 4 为负荷功率幅值  $S_L$  分别为 0.4, 0.5, 0.6 时短路容量与负荷母线电压  $S_{sc}$ -V 的关系曲线, 3 条曲线的拐点对应的临界短路容量值分别为 1.36, 1.70, 2.11。图 5 为负荷功率幅值与临界最小短路容量  $S_L$ - $S_{sc-min}$  的关系曲线,  $S_L$  为 0.4, 0.5, 0.6 对应的临界最小短路容量值分别为 1.40, 1.75, 2.18。

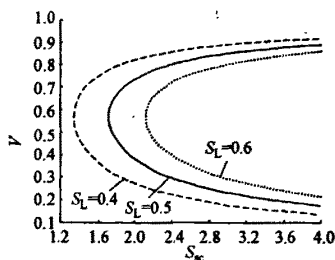


图4 3种负荷功率下的  $S_{sc}$ -V 曲线  
Fig. 4  $S_{sc}$ -V curves under three  $S_L$  values

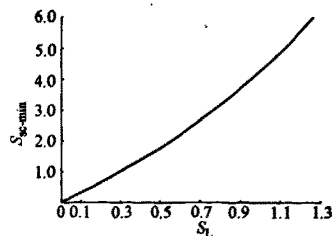


图5  $S_L$ - $S_{sc-min}$  曲线  
Fig. 5  $S_L$ - $S_{sc-min}$  curve

由于推导临界最小短路容量的表达式时将线路阻抗角  $\theta_0$  近似为  $\pi/2$ , 所以表达式得到的临界最小短路容量值约比实际临界最小短路容量值大 3%, 该范围偏差的保守结果合理且有利于电压稳定控制, 另外也证明推导得出的临界最小短路容量的表达式正确。由图 4、图 5 可知:

1) 负荷母线所带的功率越大, 则保持电压稳定

的临界最小短路容量越大;

2) 负荷功率越大, 则负荷增加相同功率时保持电压稳定的临界最小短路容量的增量越大, 即负荷功率越大, 再增加同量的负荷功率对电压稳定的压力越大。

### 3.2 配电网阻抗对临界最小短路容量的影响

高压母线和负荷母线间的配电网阻抗较大, 而且配电网阻抗的电阻/电抗比率较高。通过比较以下3种情况来分析配电网阻抗对保持电压稳定的临界最小短路容量的影响:

1) 情况 1: 配电网电阻  $R_D=0$ , 配电网电抗  $X_D=0$ ; 保持电压稳定的临界最小短路容量为:

$$S_{sc-min} = 2S_L(1 + \sin \theta_L) \quad (11)$$

2) 情况 2:  $R_D=0, X_D \neq 0$ ; 保持电压稳定的临界最小短路容量为:

$$S_{sc-min} = \frac{2E^2 S_L(1 + \sin \theta_L)}{(E^2 - 2X_D S_L \sin \theta_L) - 2X_D S_L} \quad (12)$$

3) 情况 3:  $R_D \neq 0, X_D \neq 0$ ; 保持电压稳定的临界最小短路容量为:

$$S_{sc-min} = \frac{2E^2 S_L \sin \theta_L \cdot (1 + \sin \theta_L)}{(E^2 - 2R_D S_L \cos \theta_L - 2X_D S_L \sin \theta_L) \cdot \sin \theta_L - 2(R_D S_L \cos \theta_L + X_D S_L \sin \theta_L)} \quad (13)$$

图 6 为以上 3 种情况对应的负荷功率幅值与临界最小短路容量  $S_L-S_{sc-min}$  的关系曲线, 其中  $E=1$  (标么值),  $\lambda_{PF}=0.85$ 。

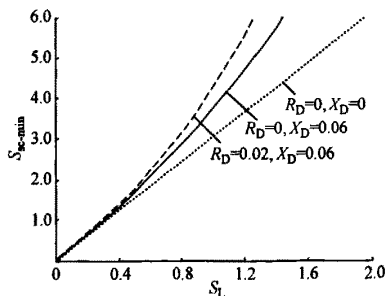


图 6 3 种情况下的  $S_L-S_{sc-min}$  曲线  
Fig. 6  $S_L-S_{sc-min}$  curves under three cases

由图 6 可知:

1) 配电网阻抗使得保持电压稳定的临界最小短路容量变大, 特别是配电网电抗对临界最小短路容量的影响显著, 电压稳定分析中忽略配电网阻抗的影响会使得分析结果比实际情况乐观。

2) 随着负荷功率变大, 配电网阻抗对临界最小短路容量的影响更大。这样, 在重负荷下, 保持电压稳定的临界最小短路容量距离实际的短路容量很

近, 电压已处于紧急危险状况下, 忽略配电网阻抗的电压分析反而给出偏差较大的乐观结果, 这对及时采取电压紧急控制措施以避免电压失稳不利。

### 3.3 负荷功率因数对临界最小短路容量的影响

无功功率缺乏是电压不稳定的主要原因之一。图 7 为负荷功率因数与临界最小短路容量  $\lambda_{PF}-S_{sc-min}$  的关系曲线, 其他参数 (标么值) 为:  $E=1, R_D=0.02, X_D=0.06, S_L=0.5$ 。

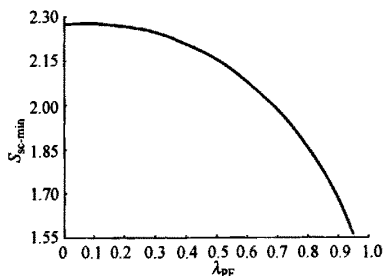


图 7  $\lambda_{PF}-S_{sc-min}$  曲线  
Fig. 7  $\lambda_{PF}-S_{sc-min}$  curve

由图 7 可知: 负荷功率因数越小, 则保持电压稳定的临界最小短路容量越大。这样, 实际中常出现的负荷加重同时无功不足、负荷功率因数变小的情况下, 保持电压稳定的临界最小短路容量加速增大趋近实际短路容量, 从而加剧电压失稳。

## 4 母线短路容量应用于广域电压稳定的在线评估和控制

利用广域测量系统在线获得电源侧的戴维南等值参数、配电网负荷侧的配电网阻抗、负荷功率以及功率因数的基础上, 求取和比较母线当前运行状态的实际短路容量和保持电压稳定的临界最小短路容量, 可以评估母线当前运行状态的电压稳定性。

造成电压失稳的根本原因, 可以来自需求侧负荷的增长, 也可以来自供应侧输电网的问题。前者的标志是保持电压稳定的临界最小短路容量增大而趋近实际短路容量, 后者的标志是实际短路容量减小而趋近临界最小短路容量。跟踪临界最小短路容量和实际短路容量二者的变化, 可以明确区分造成电压失稳的根本原因是需求侧负荷的增长还是供应侧输电网发生问题, 从而为电压稳定控制提供更加明确的参考信息和依据。

## 5 结语

本文母线短路容量解析电压稳定的方法具有以下特点:

1) 揭示了母线短路容量与低压负荷母线电压稳

定的解析关系,为短路容量是系统电压强度的标志提供理论支持;

2)在对输电母线电源侧戴维南等值的基础上,基于配电网的等值负荷模型保留了配电网阻抗对电压稳定的主要影响,在不增加系统规模的情况下,使电压稳定分析更符合实际;

3)推导得到的保持电压稳定的临界最小短路容量是一个综合性的电压稳定参数,可以直接全面量化配电网负荷侧配电网阻抗的变化、负荷功率的变化以及功率因数的变化对电压稳定的影响;

4)跟踪由配电网负荷侧决定的保持电压稳定的临界最小短路容量的变化和由输电网决定的实际短路容量的变化,可以明确区分造成电压失稳的根本原因是需求侧负荷的增长还是供应侧输电网发生问题,从而为电压稳定控制提供更加明确的参考信息和依据。

上述这些特点为提高电压稳定分析结果的精度、完善分析功能并应用于广域电压稳定的在线评估和控制提供了强有力的理论支持。

## 参考文献

- [1] 傅书通. IEEE PES 2004 会议电网安全问题综述及防止大面积停电事故建议. 电力系统自动化, 2005, 29(8): 1-4.  
FU Shutu. Summary on power system security problems on 2004 IEEE PES meeting and recommendation for developing defence measure. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(8): 1-4.
- [2] 甘德强, 胡江溢, 韩祯祥. 2003 年国家若干停电事故思考. 电力系统自动化, 2004, 28(3): 1-4.  
GAN Deqiang, HU Jiangyi, HAN Zhenxiang. After the 2003 blackouts across several continents. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(3): 1-4.
- [3] HAQUE M H. On-line monitoring of maximum permissible loading of a power system within voltage stability limits. IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution, 2003, 150(1): 107-112.
- [4] HAQUE M H. Use of V-I characteristics as a tool to assess the static voltage stability limit of a power system. IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution, 2004, 151(1): 1-7.
- [5] SMON I, VERBIC G, GUBINA F. Local voltage-stability index using Tellegen's theorem. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(3): 1267-1275.
- [6] MILOSEVIC B, BEGOVIC M. Voltage-stability protection and control using a wide-area network of phasor measurements. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(1): 121-127.
- [7] VERBIC G, GUBINA F. A new concept of voltage-collapse protection based on local phasors. IEEE Trans on Power Delivery, 2004, 19(2): 576-581.
- [8] ALZAHAWI T, SACHDEV M S, RAMAKRISHNA G. A special protection scheme for voltage stability prevention //

Proceedings of 2005 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, May 1-4, 2005, Saskatoon, Canada, 545-548.

- [9] WISZNIEWSKI A. New criteria of voltage stability margin for the purpose of load shedding. IEEE Trans on Power Delivery, 2007, 22(3): 1367-1371.
- [10] 段俊东, 郭志忠. 一种可在线确定电压稳定运行范围的方法. 中国电机工程学报, 2006, 26(4): 113-118.  
DUAN Jundong, GUO Zhizhong. A new method for on-line determination of the capability curves of voltage stability. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(4): 113-118.
- [11] 王芝茗, 王漪, 徐敬友, 等. 关键负荷节点集合电网侧戴维南参数预估. 中国电机工程学报, 2002, 22(2): 16-20.  
WANG Zhiming, WANG Yi, XU Jingyou, et al. Prediction of Thevenin's equivalent parameters on electrical power network side for the muster of key load nodes. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(2): 16-20.
- [12] 李娟, 刘修宽, 曹国臣, 等. 一种面向节点的电网等值参数跟踪估计方法的研究. 中国电机工程学报, 2003, 23(3): 30-33.  
LI Juan, LIU Xiukuan, CAO Guochen, et al. A tracking and estimation method for network equivalent parameters of facing the node. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(3): 30-33.
- [13] 李来福, 柳进, 于继来, 等. 节点戴维南等值参数在线跟踪简洁算法. 中国电机工程学报, 2006, 26(10): 40-44.  
LI Laifu, LIU Jin, YU Jilai, et al. A simple and direct method of on-line tracking Thevenin equivalent parameters of load node. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(10): 40-44.
- [14] TAYLOR C. Power system voltage stability. New York, NY, USA: Mc Graw-Hill, 1994.
- [15] PRADA R B, SOUZA L J. Voltage stability and thermal limit: constraints on the maximum loading of electrical energy distribution feeders. IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution, 1998, 145(5): 573-577.
- [16] 汤涌, 侯俊贤, 刘文焯. 电力系统数字仿真负荷模型中配电及无功补偿与感应电动机的模拟. 中国电机工程学报, 2005, 25(3): 8-12.  
TANG Yong, HOU Junxian, LIU Wenzhou. The modeling of distribution network and VAR compensation and induction motor in the load model for power system digital simulation. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(3): 8-12.
- [17] 汤涌, 张红斌, 侯俊贤, 等. 考虑配电网的综合负荷模型. 电网技术, 2007, 31(5): 34-38.  
TANG Yong, ZHANG Hongbin, HOU Junxian, et al. A synthesis load model with distribution network. Power System Technology, 2007, 31(5): 34-38.

邓桂平(1981—),女,通信作者,博士研究生,主要研究方向:电力系统电压稳定分析与控制. E-mail: smile1248@sohu.com

孙元章(1954—),男,教授,博士生导师,长江学者特聘教授,主要研究方向:电力系统分析、非线性控制、鲁棒控制。

徐箭(1980—),男,讲师,主要研究方向:电力系统稳定分析与控制。

(下转第 38 页 continued on page 38)

- to Power Systems, September 12-16, 2004, Ames, IA, USA: 920-926.
- [9] EHSANI A, RANJBAR A M, JAFARI A. Reliability evaluation of deregulated power system considering competitive electricity market. *Iranian Journal of Science & Technology: Transaction B Engineering*, 2007, 31(B6): 603-616.
- [10] TRAN T, CHOI J, JEAN D, et al. Sensitivity analysis of probabilistic reliability evaluation of IEEE MRTS using TRELSS // *Proceedings of the 8th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*, September 12-16, 2004, Ames, IA, USA: 76-81.
- [11] ETTORE B, ENRICO C, GAO C, et al. A game theory simulator for assessing the performances of competitive electricity markets. *Electric Power Systems Research*, 2008, 78(2): 217-227.
- [12] 郭永基. 电力系统可靠性分析. 北京: 清华大学出版社, 2003: 50-55.
- [13] 杨力俊, 郭联哲, 谭忠富. 几种发电商市场力评估指标的对比分析. *电网技术*, 2005, 29(2): 28-33.
- YANG Lijun, GUO Lianzhe, TAN Zhongfu. Comparison and analysis of several market power assessment indices for power generation company. *Power System Technology*, 2005, 29(2): 28-33.
- [14] Reliability Test System Task Force of the Application of Probability Methods Subcommittee. IEEE reliability test system. *IEEE Trans on Power Apparatus and Systems*, 1979, 98(6): 2047-2054.
- 姚颖蓓(1984—), 女, 通信作者, 硕士研究生, 主要研究方向: 电力市场. E-mail: yingbei.yao@gmail.com
- 高赐威(1977—), 男, 副教授, 主要研究方向: 电力市场和电力规划.
- 李 扬(1961—), 男, 教授, 主要研究方向: 电力市场和需求侧管理.

### Influence of Generator Capacity Withholding on Power System Adequacy

YAO Yingbei, GAO Ciwei, LI Yang, WAN Qiulan

(Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** With regarding to the capacity withholding problem in a power market, a model maximizing the profit of the power producer under nodal price mechanism is proposed and the game between the producers is solved with an iterative approach. With this model, the impacts of capacity withholding on system adequacy are evaluated based on Monte-Carlo simulation. Moreover, the impacts of transmission constraints and market concentration on power system reliability are studied and the countermeasures for improving the system adequacy by reducing capacity withholding are proposed. The theory and the approach are illustrated by the IEEE RTS-79 system.

This work is supported by Special Fund of the National Basic Research Program of China (No. 2004CB217905).

**Key words:** capacity withholding; Monte-Carlo simulation; power system adequacy; electricity market

(上接第 19 页 continued from page 19)

### A New Voltage Stability Analysis Method by Considering Short Circuit Capacity

DENG Guiping, SUN Yuanzhang, XU Jian

(Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** Short circuit capacity is a measure of the robustness of power system voltage. A new method is proposed to use short circuit capacity analyzing voltage stability. The analytical relationship between the short circuit capacity and the voltage stability of the low-voltage load bus is derived. Based on the Thevenin's equivalent for the power source side, the voltage stability analysis with the equivalent load model for the distribution network well matches the actual situation without adding the scale of simulation system. The derived critical minimal short circuit capacity for maintaining voltage stability can directly quantify all the effects on voltage stability due to the changes of the distribution load side, which is a comprehensive voltage stability parameter. By comparing the actual short circuit capacity and the critical minimal short circuit capacity, the voltage stability of the bus could be fast assessed. By tracking the changes of the two capacities, the main reason causing the voltage instability can be determined. Therefore it will provide a clear guide for the voltage stability control. The work is theoretical support for applying short circuit capacity on the on-line assessment and control of wide-area voltage stability.

**Key words:** short circuit capacity; voltage stability; Thevenin's equivalent; distribution network