

互联电网自动电压控制系统协调变量设计

苏辛一, 张雪敏, 何光宇, 梅生伟

(清华大学电机系电力系统国家重点实验室, 北京市 100084)

摘要: 随着互联电网的联系不断增强, 区域间电压、无功的弱耦合假设将不再成立。基于该假设设计的区域自动电压控制(AVC)系统如果不采取合理的协调策略, 可能造成无功分布不合理, 甚至控制振荡和不稳定等严重后果。基于对区域间联络线节点灵敏度关系的分析, 提出了 AVC 系统间的一种新的协调变量——区域电压控制偏差(VACE)。该协调变量能够区分出无功扰动发生在本区域还是相邻区域, 并能反映出本区域对相邻区域无功影响的方向和大小。利用该协调变量作为考核指标, 可以方便地实现区域 AVC 系统的协调, 明确各区域的控制责任, 明显减小区域间的相互影响。新英格兰 39 节点系统的算例仿真说明, 考虑 VACE 指标后, 互联区域 AVC 系统的控制振荡得到抑制, 区域发电机无功裕度分布更加均匀合理。

关键词: 自动电压控制; 协调变量; 考核指标; 区域电压控制偏差

中图分类号: TM761

0 引言

自 1972 年法国电力公司(EDF)开始提出并实施二级电压控制以来, 自动电压控制(AVC)系统已在国内外区域电网中广泛应用, 在优化电压质量、提高系统安全水平、减小网损、减轻调度员劳动强度方面取得了理想的效果^[1-2]。目前实施的 AVC 系统往往针对所管辖的区域独立控制, 设计时认为相邻区域或不同等级电网无功耦合较弱, 没有考虑 AVC 系统间的协调。

但是, 随着电力系统的发展, 各区域之间的联络线逐渐增多; 而且, 按当前电网行政管理体制划分的控制分区与实际控制分区并不一致, 区域边界处的耦合可能较大。这使得原来在设计二级电压控制、三级电压控制时无功分区之间的弱耦合假设难以得到保证。如果不进行恰当的协调, 可能发生控制振荡, 甚至引起振荡失稳。而且, 无协调时各区域的动态无功储备不合理, 这一方面会导致网损增加, 另一方面会使某些区域发电机组过早达到限值, 丧失电压调节能力, 进而影响电网的稳定水平。

为了克服区域间耦合加强带来的问题, 20 世纪 80 年代中期 EDF 及一些学者开始协调二级电压控制的研究^[1,3-4], 实际是在更大范围的区域内通过求解优化问题, 统一调度发电机的无功出力。但这在国内分层分区调度体制下难以实施。文献[5-6]提

出为了消除联络线潮流变化对原有二级电压控制的效果, 在二级电压控制器上附加联络线无功潮流变化量的反馈信号。这要求联络线无功潮流变化必须是单调且可预测的, 否则效果不理想。文献[7]提出 2 种方案: 一是让与相邻区域耦合较强的机组不参与 AVC 调节, 在减小区域间相互影响的同时也减小了本区域的可调能力; 二是使本区域 AVC 在计算控制指令时, 先近似计算相邻区域 AVC 的控制响应, 这需要完整地获取相邻区域的控制算法、计算模型和实时量测数据, 具体实施中存在困难。

针对国内多级调度的体制, 文献[8-9]提出了一个实施方案: 由上级电网调度中心通过协调变量来指导和考核各下级电网调度中心。下级电网 AVC 系统除了满足本级电网的控制目标外, 还需要实时跟踪由上级电网给出的协调变量的设定值。

上述方案通过协调变量对不同区域、不同等级 AVC 的控制责任进行划分, 交换信息量少, 不涉及各 AVC 系统的具体控制逻辑, 工程上是可行的。由于协调效果须通过协调变量的给定、追踪、考核来实现, 因此协调变量的选取很关键。协调变量往往选取关口电压或关口联络线无功(功率因数)^[10-11]。

然而, 问题是关口电压或关口无功并非单独由某个区域的负荷波动和控制来决定, 而是多个互联系统的行为共同决定的。用多个区域共同影响的变量来指导并考核单个区域是不公平、不合理的。采用关口电压或关口无功作为协调变量仍有控制振荡和无功储备不均衡的问题, 因此需要一种指标区分无功扰动发生在本区域还是相邻区域, 并衡量本区

域控制动作对相邻区域无功影响的方向和大小。如无功扰动发生在相邻区域,则本区域应尽量保持不动作,通过相邻区域的控制调节消除无功扰动的影响,由此达到明确区域控制责任、减小耦合的目的。

1 联络线节点灵敏度关系

不失一般性,假设所研究的本区域电网(简记为 I 区域)通过 M 条联络线与外部电网(简记为 E 区域)连接起来,如图 1 所示。

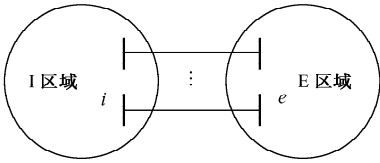


图 1 互联网示意图

Fig. 1 Sketch map of interconnected power systems

无论 E 区域的无功负荷和发电机出力发生何种变化,都将通过 E 区域的联络线节点的电压变化间接地影响 I 区域。因此,首先分析 E 区域联络线节点 e 的电压变化对 I 区域联络线节点 i 的电压以及联络线无功潮流的影响。

在有功、无功潮流解耦的假设下,电压对无功变化的影响关系可由潮流计算快速分解法增广后的 $Q-V$ 迭代方程表示^[12]:

$$-\begin{bmatrix} \mathbf{B}_D & \mathbf{B}_{DG} & \mathbf{B}_{Di} \\ \mathbf{B}_{GD} & \mathbf{B}_G & \mathbf{B}_{Gi} \\ \mathbf{B}_{iD} & \mathbf{B}_{iG} & \mathbf{B}_i & \mathbf{B}_{ie} \\ & & \mathbf{B}_{ei} & \mathbf{B}_e & \mathbf{B}_{eR} \\ & & & \mathbf{B}_{Re} & \mathbf{B}_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{V}_D \\ \Delta \mathbf{V}_G \\ \Delta \mathbf{V}_i \\ \Delta \mathbf{V}_e \\ \Delta \mathbf{V}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{Q}_D \\ \Delta \mathbf{Q}_G \\ \Delta \mathbf{Q}_i \\ \Delta \mathbf{Q}_e \\ \Delta \mathbf{Q}_R \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: \mathbf{B} 为系统节点电纳; i 代表 I 区域侧的联络线节点; e 代表 E 区域侧的联络线节点; D 代表 I 区域中所有除联络线节点外的 PQ 节点; G 代表 I 区域中所有除联络线节点外的 PV 节点以及平衡节点; R 代表 E 区域所有除联络节点外的节点。

将式(1)中下标为 D 的节点消去,得到:

$$-\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{B}}_G & \tilde{\mathbf{B}}_{Gi} \\ \tilde{\mathbf{B}}_{iG} & \tilde{\mathbf{B}}_i & \mathbf{B}_{ie} \\ & \mathbf{B}_{ei} & \mathbf{B}_e & \mathbf{B}_{eR} \\ & & \mathbf{B}_{Re} & \mathbf{B}_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{V}_G \\ \Delta \mathbf{V}_i \\ \Delta \mathbf{V}_e \\ \Delta \mathbf{V}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{Q}_G \\ \Delta \mathbf{Q}_i \\ \Delta \mathbf{Q}_e \\ \Delta \mathbf{Q}_R \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $\tilde{\mathbf{B}}_i = \mathbf{B}_i - \mathbf{B}_{iD}(\mathbf{B}_D)^{-1}\mathbf{B}_{Di}$ 。

设只有 E 区域发生无功扰动, I 区域发电机机端电压及负荷无功不改变,即

$$\Delta \mathbf{Q}_i = \mathbf{0} \quad (3)$$

$$\Delta \mathbf{V}_G = \mathbf{0} \quad (4)$$

将式(3)和式(4)代入式(2)可得到节点 i 对节

点 e 的电压灵敏度:

$$\mathbf{C}_{ie} = \frac{\Delta \mathbf{V}_i}{\Delta \mathbf{V}_e} = -\tilde{\mathbf{B}}_i^{-1}\mathbf{B}_{ie} = \tilde{\mathbf{B}}_i^{-1}\mathbf{b}_i \quad (5)$$

式中: \mathbf{b}_i 为以各联络线电纳为对角元的 M 维方阵。

由式(5)可知,节点 i 对节点 e 的灵敏度与联络线上的电抗、I 区域的电网结构以及支路电抗有关。

下面来考察联络线无功的情况。通过联络线流入 I 区域节点 i 的无功可由下式得到:

$$\mathbf{Q}_i = (\mathbf{b}_i + \mathbf{b}_c)\mathbf{V}_i^2 + (\mathbf{g}_i \sin \theta_{ie} - \mathbf{b}_i \cos \theta_{ie})\mathbf{V}_i \mathbf{V}_e \quad (6)$$

式中: \mathbf{b}_c 为各联络线 $1/2$ 充电电纳组成的 M 维对角阵。

一般,联络线两端相角差 θ_{ie} 较小,可近似认为 $\sin \theta_{ie} \approx 0, \cos \theta_{ie} \approx 1$,于是式(6)简化后得到:

$$\mathbf{Q}_i = (\mathbf{b}_i + \mathbf{b}_c)\mathbf{V}_i^2 - \mathbf{b}_i \mathbf{V}_i \mathbf{V}_e \quad (7)$$

在额定运行点 $\mathbf{V}_i^0 = \mathbf{V}_e^0 = \mathbf{1}$ (或者是其他指定运行点)附近线性化,并忽略高阶小量,有

$$\Delta \mathbf{Q}_i = 2(\mathbf{b}_i + \mathbf{b}_c)\Delta \mathbf{V}_i - \mathbf{b}_i \Delta \mathbf{V}_e - \mathbf{b}_i \Delta \mathbf{V}_i \quad (8)$$

将式(5)代入式(8)得到:

$$\Delta \mathbf{Q}_i = (\mathbf{b}_i \mathbf{C}_{ie} - \mathbf{b}_i + 2\mathbf{b}_c \mathbf{C}_{ie})\Delta \mathbf{V}_e \quad (9)$$

根据前面的分析可知,式(9)给出的是 E 区域发生无功扰动,本区域 I 的 PV, PQ 节点的电压和无功分别保持不变时 \mathbf{V}_e 与 \mathbf{Q}_i 变化量之间的关系。

2 区域电压控制偏差指标

控制区域间协调的问题最先出现在自动发电控制(AGC)系统中。2 个互联的系统如果只采用系统频率或联络线交换功率作为控制追踪目标,则当一个区域负荷发生波动,2 个区域发电机组将同时动作,不利于频率和联络线计划功率恢复。AGC 系统中定义了区域控制偏差(ACE)^[13]:

$$\delta_{ACE} = (P_T - P_{ref}) + B(f - f_{ref}) \quad (10)$$

当 B 等于区域自然频率特性系数时,可区分出功率扰动是发生在区域内还是区域外。每个区域负责处理本区域的负荷扰动,并在紧急情况下给予相邻区域以临时性支援,这兼顾了各控制区的自身利益,体现了公平的调频原则。

尽管电压与频率相比是一个本地补偿的问题,但在区域联系紧密下无功波动的相互影响较大。可以借鉴 ACE 的思想和形式,通过指标描述电压控制分区间相互影响的大小,将本区域联络线节点电压和联络线无功写成线性组合的形式,定义区域电压控制偏差(VACE):

$$\mathbf{I}_{VACE} = (\mathbf{Q}_i - \mathbf{Q}_{iref}) + \mathbf{E}_1(\mathbf{V}_i - \mathbf{V}_{iref}) \quad (11)$$

式中: \mathbf{Q}_{iref} 和 \mathbf{V}_{iref} 分别为联络线本区域侧流入无功和节点电压的设定值。

将 VACE 指标写成增量形式:

$$\Delta I_{VACE} = \Delta Q_i + E_1 \Delta V_i \quad (12)$$

将式(5)和式(9)代入式(12),得

$$\Delta I_{VACE} = (b_1 C_{ie} - b_1 + 2b_c C_{ie}) \Delta V_e + E_1 C_{ie} \Delta V_e = (b_1 C_{ie} - b_1 + 2b_c C_{ie} + E_1 C_{ie}) \Delta V_e \quad (13)$$

选择恰当的 E_1 使得:对任意外部无功扰动,本区域 VACE 不变,即

$$\Delta I_{VACE} = 0, \forall \Delta V_e \in \mathbf{R}^m \quad (14)$$

由式(13)可知:

$$b_1 C_{ie} - b_1 + 2b_c C_{ie} + E_1 C_{ie} = 0 \quad (15)$$

由式(15)可得:

$$E_1 = b_1 C_{ie}^{-1} - b_1 - 2b_c \quad (16)$$

将式(5)代入式(16),有

$$E_1 = \tilde{B}_i - b_1 - 2b_c \quad (17)$$

按式(17)选择 E_1 的意义是,无论外部区域 E 的无功如何波动,只要 I 区域的无功分布不变(PQ 节点的 Q 或 PV 节点的 V 不发生改变),则 A 区域的 VACE 值保持不变。VACE 有如下几个性质:

1) 与 ACE 一样,通过 VACE 考核标准可以判断无功扰动是发生在区域内还是区域外,每个控制区只负责控制本区域内的无功扰动,使考核公平。

2) VACE 指标为正,说明与参考值相比,本区域电压偏低或从外部吸收无功过多,无功补偿不足;VACE 指标为负,说明本区域电压偏高或向外部注入无功过多,无功补偿过剩。

3) 如果控制后,VACE 指标等于 0,则说明本区域的负荷无功变化对相邻区域的影响已经消除。理想情况下,当相邻区域通过控制,将各自的 VACE 指标维持在 0 附近时,区域等效于解耦,并且联络线电压和无功达到了参考设定值。

4) VACE 具有与无功相同的单位,且计算简便,易于考核。

3 基于 VACE 指标的 AVC 协调

区域电网 AVC 在算法实现上,除了要控制本区域内关键节点电压以及其余优化指标外,还要将 VACE 指标控制在一个接近于 0 的范围,以达到区域间协调的目的。下面给出区域内 AVC 机组对 VACE 指标的控制灵敏度。

用类似第 1 节的推导可以得到如下的关系:

$$\Delta Q_i = (b_1 - C_{ei} b_1 + 2b_c) \Delta V_i \quad (18)$$

于是,本区域联络线电压发生变化时,有

$$\Delta I_{VACE} = \Delta Q_i + E_1 \Delta V_i = (b_1 - C_{ei} b_1 + 2b_c) \Delta V_i + (\tilde{B}_b - b_1 - 2b_c) \Delta V_i = (\tilde{B}_b - C_{ei} b_1) \Delta V_i$$

因此,本区域侧联络线电压对 VACE 指标的灵敏度为:

$$C_{VACEi} = \frac{\Delta I_{VACE}}{\Delta V_i} = \tilde{B}_b - C_{ei} b_1 \quad (19)$$

根据各 AVC 控制节点对节点 i 的电压灵敏度 $C_{iG} = \Delta V_i / \Delta V_G$,可以得到各 AVC 控制节点对 VACE 指标的灵敏度:

$$C_{VACEG} = C_{VACEi} C_{iG} \quad (20)$$

各区域的 AVC 不需要改变原有优化目标,仅仅需要在原有的优化问题中加入以下约束条件,以实现 VACE 的控制:

$$-\delta \leq I_{VACE} + C_{VACEG} \Delta V_G \leq \delta \quad (21)$$

式中: δ 为要求指标达到的最大偏差。

δ 要根据实际情况取合适的值。如果取值过小,可能导致新的优化问题无解;如果取值过大,则达不到协调的目的。

4 算例分析

研究算例采用新英格兰 39 节点系统。全系统通过 1-2, 3-4, 16-17 这 3 条联络线分为 2 个互联的区域,如图 2 所示。

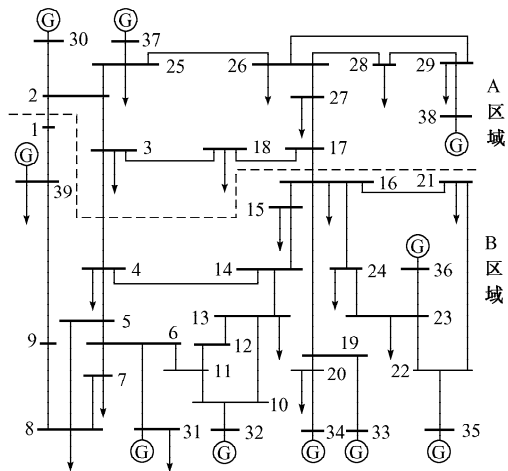


图 2 新英格兰 39 节点系统
Fig. 2 New England 39 bus system

首先验证 VACE 指标的有效性。设联络线电压、无功参考值都取潮流初始断面值。令初始时刻后的 10 个断面 B 区域发生无功扰动, PQ 节点 7, 15, 24 的无功负荷依次增加 10 Mvar(0.1); 后 10 个断面 A 区域发生无功扰动, PV 节点 37, 38 的 V 设定值依次增加 1 kV(0.01)。

由图 3、图 4 可以看出,当 B 区域无功负荷增加时, B 区域 VACE 值线性增长,表示区域无功补偿不足,从相邻区域吸收过多无功。同时, A 区域由于没有发生无功扰动, VACE 值保持恒定。当 A 区域发电机机端电压设定值逐渐增加时, A 区域的 VACE 值线性减小,表示区域无功补偿过剩,向相

邻区域注入过多无功,同时 B 区域由于没有发生无功扰动,VACE 值保持恒定。

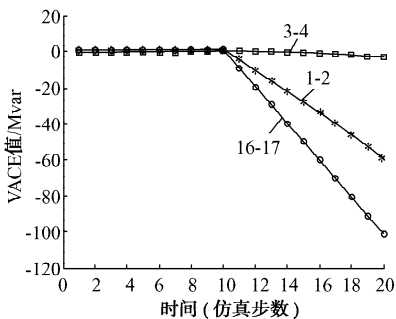


图3 区域 A 的 VACE 值变化
Fig.3 VACE curves of region A

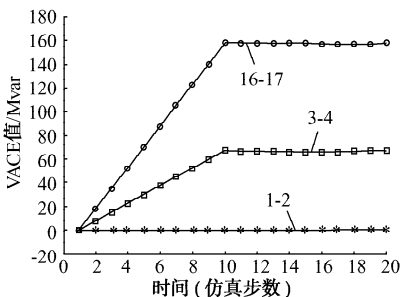


图4 区域 B 的 VACE 值变化
Fig.4 VACE curves of region B

从图 4 中可见,B 区域的 1-2 联络线 VACE 值始终保持不变,这是由于与 1 号节点相连的 39 号节点(PV 节点)阻断了无功负荷扰动对其的影响。

下面比较协调前后的控制效果。假设 2 个区域都装有 AVC 系统,采用常规二级电压控制算法^[14]。选择 A 区域的关键节点为{3,27},控制发电机为{30,37};B 区域的关键节点为{7,13},控制发电机为{39,32,33,34,35,36}。选择靠近边界的关键节点是为了模拟区域间较强的耦合。

方案 A:对于每一个潮流断面,2 个控制器各自计算出控制指令并同时作用于下一个断面。

方案 B:通过 VACE 值来协调,在方案 A 优化问题中增加式(21)的约束条件,其余条件不变。

设 t_1 时刻(第 20 号断面),B 区域 15 号节点无功负荷突然增加 100 Mvar(1),两区域控制器同时动作。协调前后 2 个区域的二级电压控制器对各自区域内关键节点电压设定值的追踪效果如图 5 和图 6 所示。可见,协调之后的关键节点电压更接近设定值,并且电压的波动更小。

在没有协调的情况下,2 个区域的发电机都出现了较明显的控制振荡,经过近 10 次调节才平息振荡;在考虑协调的情况下,振荡得到显著抑制,通过 3 次调节就可以消除负荷增加引起的关键节点电压

变化,各发电机的无功调节幅度也有所减小。由于协调的方案约束了各自区域发电机内动作对相邻区域影响的大小,减少了不必要的超调和反复调节。

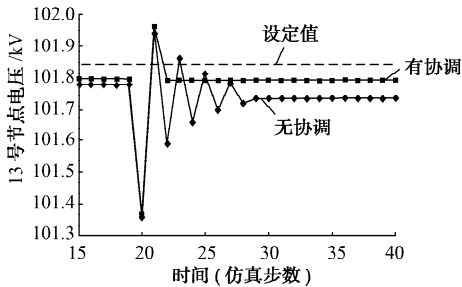


图5 B 区域关键节点(13 号节点)电压曲线对比
Fig.5 Voltage curves comparison of pilot bus (bus 13) in region B

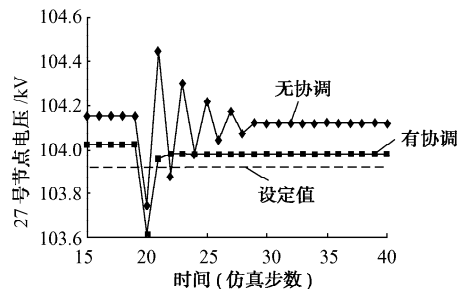


图6 A 区域关键节点(27 号节点)电压曲线对比
Fig.6 Voltage curves comparison of pilot bus (bus 27) in region A

在没有协调的情况下,2 个区域的无功裕度分布不平衡(接近 50%最合理),A 区域的无功发电接近下限(无功裕度 18.4%),B 区域的无功发电接近上限(无功裕度 65.6%)。采用 VACE 指标协调后,2 个区域的无功裕度趋向于更均衡(A,B 区域的无功裕度分别为 27.2%和 63.3%)。由于无功分布更合理,使得全网有功网损减小,网损共减少了 0.1 MW,折合为 0.2%。

从这个算例可看出,控制 VACE 后区域 AVC 的协调可达到预期效果,即优化无功储备,抑制控制振荡,减小网损。如果有上级 AVC 进行协调,可通过下发优化后的联络线参考值,实现区域间合理的无功支援,以达到全网无功储备的优化分布。

5 结语

本文提出的 AVC 系统之间的协调变量(指标) VACE 物理意义明确、计算方便、可操作性强,可以定量描述电压控制分区间的相互影响。以 VACE 作为协调变量,能够解决协调方案执行的有效性、方便性以及执行情况考核的公正性等一系列问题。

但需要指出的是,设定值是否合理决定着下级 AVC 能否达到 VACE 的考核指标,也决定着是否

可以实现无功解耦控制和无功支援的协调目标。因此,如何确定具体的协调方案,继而给出合理的联络线电压、无功设定值 Q_{iref} 和 V_{iref} 是工程实用化要进一步研究和解决的问题。

参考文献

- [1] PAUL J P, LEOST J Y, TESSERON J M. Survey of the secondary voltage control in france: present realization and investigations. *IEEE Trans on Power Systems*, 1987, 2(2): 505-511.
- [2] 郭庆来,孙宏斌,张伯明,等. 江苏电网 AVC 主站系统的研究和实现. *电力系统自动化*, 2004, 28(22): 83-37.
GUO Qinglai, SUN Hongbin, ZHANG Boming, et al. Research and development of AVC system for power networks of Jiangsu Province. *Automation of Electric Power Systems*, 2004, 28(22): 83-37.
- [3] VU H, PRUVOT P, LAUNAY C. An improved voltage control on large-scale power system. *IEEE Trans on Power Systems*, 1996, 11(3): 1295-1303.
- [4] 郭庆来,孙宏斌,张伯明,等. 协调二级电压控制的研究. *电力系统自动化*, 2005, 29(23): 19-24.
GUO Qinglai, SUN Hongbin, ZHANG Boming, et al. Study on coordinated secondary voltage control. *Automation of Electric Power Systems*, 2005, 29(23): 19-24.
- [5] ILIC M D, LIU X, LEUNG G. Improved secondary and new tertiary voltage control. *IEEE Trans on Power Systems*, 1995, 10(4): 1851-1862.
- [6] 盛戈晔,涂光瑜,罗毅,等. 考虑控制区域间影响的二级电压控制. *电力系统自动化*, 2002, 26(15): 27-32.
SHENG Gehao, TU Guangyu, LUO Yi, et al. Secondary voltage control considering interaction among neighboring control zones. *Automation of Electric Power Systems*, 2002, 26(15): 27-32.
- [7] SANCHI J L, FERNANDEZ J L, CORTES A, et al. Secondary voltage control: analysis, solutions and simulation results for the Spanish transmission system. *IEEE Trans on Power Systems*, 1996, 11(2): 630-638.
- [8] 孙宏斌,郭庆来,张伯明. 大电网自动电压控制技术的研究与发

展. *电力科学与技术学报*, 2007, 22(1): 7-12.

- SUN Hongbin, GUO Qinglai, ZHANG Boming. Research and prospects for automatic voltage control techniques in large-scale power grids. *Journal of Electric Power Science and Technology*, 2007, 22(1): 7-12.
- [9] 郭庆来,王蓓,宁文元,等. 华北电网自动电压控制与静态电压稳定预警系统应用. *电力系统自动化*, 2008, 32(5): 95-98, 107.
GUO Qinglai, WANG Bei, NING Wenyuan, et al. Applications of automatic voltage control system in north china power grid. *Automation of Electric Power Systems*, 2008, 32(5): 95-98, 107.
- [10] 苏家祥,廖亨利,袁文谦,等. 地、县两级电网 AVC 系统分层联合协调控制. *继电器*, 2008, 36(10): 36-39.
SU Jiaxiang, LIAO Hengli, YUAN Wenqian, et al. Multilayer united controlling by the region and county's AVC. *Relay*, 2008, 36(10): 36-39.
- [11] 邹根华,郭玉金,姚诸香,等. 大电网省地协调自动电压控制 (AVC) 的研究. *华中电力*, 2008, 21(3): 9-11.
ZOU Genhua, GUO Yujin, YAO Zhuxiang, et al. Study on coordinated automatic voltage control for large-scale power networks. *Central China Electric Power*, 2008, 21(3): 9-11.
- [12] 张伯明,陈寿孙. *高等电力网络分析*. 北京:清华大学出版社, 1996.
- [13] JALEELI N, VANSLYCK L S, EWART D N, et al. Understanding automatic generation control. *IEEE Trans on Power Systems*, 1992, 7(3): 1106-1122.
- [14] CONEJO A, AGUILAR M J. Secondary voltage control: nonlinear selection of pilot buses, design of optimal control law, and simulation results. *IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution*, 1998, 145(1): 77-81.

苏辛一(1984—),男,通信作者,博士研究生,主要研究方向:电力系统控制理论及应用. E-mail: suxy02@mails.tsinghua.edu.cn

张雪敏(1979—),女,博士,讲师,主要研究方向:电力系统分析与控制。

何光宇(1972—),男,博士,副教授,主要研究方向:电力系统经济运行及优化理论在电力系统中的应用。

A New Coordination Variable for Automatic Voltage Control of Interconnected Power Systems

SU Xinyi, ZHANG Xuemin, HE Guangyu, MEI Shengwei

(State Key Lab of Power System, Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: As the interconnection of power networks becoming increasingly meshed, the assumption of weak coupled reactive power and voltage control between areas is no longer correct. If regional control systems operate uncoordinatedly, some adverse consequences may occur, such as unreasonable reactive power distribution, control oscillation or even instability. Based on sensitivity analysis, a new coordination variable named VACE is proposed. The new coordination variable can distinguish whether a disturbance occurs inside or outside the region and indicate the magnitude and direction of reactive power exchange. Using VACE as an examination index, coordinated AVC can be implemented easily. The responsibility of control is clear and the negative effect between different AVC systems can be reduced. The simulation results of the New England System show that with VACE index under consideration, control oscillation is effectively attenuated and higher reactive power reserve is achieved.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50525721).

Key words: automatic voltage control (AVC); coordination variable; examination index; voltage/Var area control error (VACE)