

# 参与 AVC 调节的 STATCOM 电压控制策略设计与仿真

徐 箭<sup>1</sup>,袁志昌<sup>2</sup>,汪龙龙<sup>1</sup>,林建熙<sup>3</sup>,杨银国<sup>3</sup>

(1. 武汉大学 电气工程学院,湖北 武汉 430072;2. 清华大学 电机工程与应用电子技术系,北京 100084;  
3. 广东电网公司电力调度控制中心,广东 广州 510600)

**摘要:**研究了静止同步补偿器(STATCOM)参与自动电压控制(AVC)调节的控制策略。提出了基于系统电压变化、电网故障判断等信息的一系列 STATCOM 控制模式及不同控制模式的逻辑判断标准。设计实现了 STATCOM 与站内固定电容器组相互协调的一级电压控制策略及 STATCOM 与远方控制信号相互协调的二级电压控制策略。在一级电压控制策略中,对于不同控制模式的 STATCOM,通过使固定电容器组的静态无功功率置换出 STATCOM 的动态无功功率,从而增大了系统的动态无功功率储备。在二级电压控制策略中,通过 STATCOM 对远方控制信号的响应,从而实现了 STATCOM 对非接入点母线电压的支撑。IEEE 39 节点系统模型上的仿真结果验证了上述控制策略的合理性。

**关键词:**静止同步补偿器;自动电压控制;协调控制策略;控制模式;固定电容器;远方控制信号

**中图分类号:** TM 761

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.10.017

## 0 引言

自动电压控制(AVC)能够实现系统电压的分层分区控制,在优化电压质量、提高系统电压安全水平等方面取得了理想的效果<sup>[1-4]</sup>。合理的静止同步补偿器(STATCOM)控制策略能够在提高系统电压质量的同时储备较大的无功容量,从而增强系统抵御电压突变的能力,提高系统的动态电压稳定水平<sup>[5-7]</sup>。因此,STATCOM 参与 AVC 的调节是实现 STATCOM 合理控制、提高系统电压稳定水平的重要途径。

近年来,关于 AVC 及 STATCOM 控制策略的研究比较多。在 AVC 方面,国外研究机构主要是以法国 EDF 为代表的三级电压控制模式<sup>[8-10]</sup>,国内主要是以清华大学电机系电力系统调度自动化实验室为代表的基于“软分区”的三级电压控制模式<sup>[11-13]</sup>。在 STATCOM 的控制策略方面,关于 STATCOM 自身的控制策略及与有载调压变压器(ULTC)、静止无功补偿器(SVC)及晶闸管投切电容器(TSC)等无功调节设备协调控制的研究也较多<sup>[14-18]</sup>。但对于将 AVC 与 STATCOM 的控制策略相结合,形成分层的 STATCOM 控制策略的研究,国内外尚无此方面的研究。

针对目前 ±200 Mvar 级 STATCOM 投运以来在系统控制策略上暴露出的一些问题和不足<sup>[14]</sup>,如 STATCOM 在运行中出现的不能与站内无功设备协调控制、无功储备不足、不能参与区域内非接入点的母线电压控制等问题,有必要在参与 AVC 调节的 STATCOM 控制策略方面进行进一步研究。本文提出了一种 STATCOM 参与 AVC 调节的控制策略,设计

了 STATCOM 分别在恒无功模式、稳态调压控制模式、暂态电压控制模式(此 3 种控制模式为站内控制模式)下与电容器组协调控制的一级电压控制策略和 STATCOM 在不同的站内控制模式下与远方控制信号相互协调的二级电压控制策略。

## 1 STATCOM 基本控制模式

本文设计提出了恒无功模式、稳态调压控制模式、暂态电压控制模式、远方控制模式 4 种 STATCOM 控制模式及不同控制模式所对应的判断标准,如图 1 所示(图中电压为标么值)。

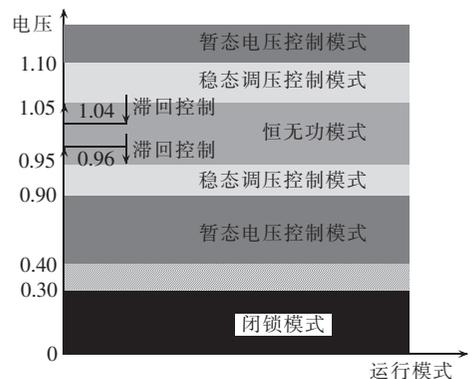


图 1 STATCOM 控制模式选择逻辑

Fig.1 Logic of STATCOM control mode selection

**a.** 当 STATCOM 接入系统时,首先判断前一时间 STATCOM 是否闭锁,若未闭锁,则判断接入点母线任意一相电压有效值是否跌落至 0.3 p.u. 以下,若高于该值,则装置进入相应的控制模式,若低于该值,则控制结束,装置闭锁。处于闭锁状态的 STATCOM 接入点电压若上升到 0.4 p.u. 以上,则 STATCOM 解锁,进入相应的控制模式。

收稿日期:2015-01-15;修回日期:2015-08-07  
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51477122)  
Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51477122)

**b. 恒无功模式:**当 STATCOM 接入点母线电压  $U_{\text{line}} \in [0.95 \text{ p.u.}, 1.05 \text{ p.u.}]$  时, STATCOM 进入恒无功模式。处于恒无功模式的 STATCOM 恒定输出一无功量(为了使 STATCOM 留有最大的动态无功备用且运行损耗最小,恒定无功输出值一般设为 0 或较小容量的感性输出状态),对于系统在该状态下受到的扰动不响应。处于恒无功模式的 STATCOM 在保证接入点母线电压合格的前提下储备最大的动态无功容量。

**c. 稳态调压控制模式:**当 STATCOM 接入点母线电压  $U_{\text{line}} \in [0.9 \text{ p.u.}, 1.1 \text{ p.u.}]$  且  $U_{\text{line}} \notin [0.95 \text{ p.u.}, 1.05 \text{ p.u.}]$  时, STATCOM 进入稳态调压控制模式。处于稳态调压控制模式的 STATCOM 无功功率输出值根据系统电压的变化而在一定范围内进行自动调节。稳态调压控制模式使 STATCOM 在电压基本合格的前提下储备较大的动态无功容量。

**d. 暂态电压控制模式:**当接入点母线任意一相电压有效值跌落至 0.9 p.u. 以下而仍大于 0.3 p.u. 或者任意一相电压跌落速度大于设定值  $K_{dU/dt}$  ( $K_{dU/dt} = 2 \sim 3 \text{ p.u./s}$ ) 时,认为发生远端短路故障, STATCOM 进入暂态电压控制模式;若任意一相电压有效值升高到 1.1 p.u. 以上, STATCOM 进入暂态电压控制模式。处于暂态电压控制模式的 STATCOM 将输出容量的上下限设为容性 200 Mvar 到感性 200 Mvar,有助于装置尽快实现无功功率满发,应对暂态故障时的动态无功支撑需求。暂态过程判断逻辑见图 2,  $u_{\text{meas}}$  为电压瞬时值,  $U_{\text{ms}}$  为电压有效值,  $T_s$  为采样时间步长。

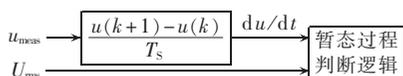


图 2 暂态过程判断逻辑

Fig.2 Logic of transient process judgment

**e. 远方控制模式:**当 STATCOM 接收到远方 AVC 控制指令时,若其控制模式处于恒无功模式或者稳态调压控制模式,则 STATCOM 进入远方控制模式,允许其按照远方控制指令发出无功功率。处于远方控制模式的 STATCOM 在保证接入点母线电压不越限的原则下,按照远方 AVC 控制信号发出相应的无功功率,从而对区域内故障节点母线起到电压支撑作用。

## 2 STATCOM 参与 AVC 调节的一级电压控制

该控制策略即 STATCOM 在不同站内控制模式下与电容器组的协调控制,属于本地控制。控制目标为:在保证 STATCOM 接入点母线电压稳定的同时,使系统储备最大的动态无功容量。

### 2.1 恒无功模式下 STATCOM 与电容器组的协调控制

当 STATCOM 处于恒无功模式时, STATCOM 对

于系统在该状态下受到的扰动不进行响应,保持原状态,电容器组也保持原状态,不进行动作。

### 2.2 稳态调压控制模式下 STATCOM 与电容器组的协调控制

当 STATCOM 处于稳态调压控制模式时,为保证装置储备足够的动态无功容量,稳态调压的可用容量设有上下限;装置输出容量的容性上限略小于 1 台电容器组,设为  $Q_{\text{cmax}}$ ;感性上限略小于 1 台电抗器组,设为  $Q_{\text{amax}}$ 。相应控制策略流程如图 3 所示。图中,  $Q_{\text{stat}}$  为 STATCOM 无功输出值;  $Q_c$  为 1 台电容器组的无功输出容量;  $Q_{\text{cremain}}$  为系统中未投入的电容器组数;  $Q_{\text{lim}}$  为 STATCOM 初始限值;  $Q_{\text{lack}}$  为电容器组投入后系统所缺无功。

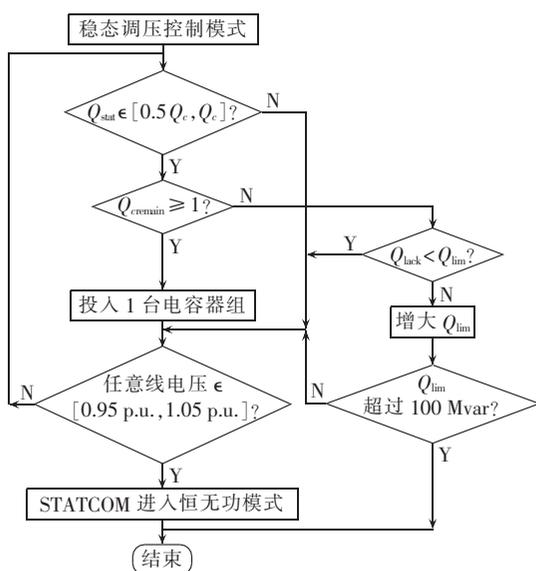


图 3 STATCOM 与电容器组的协调控制逻辑

Fig.3 Logic of coordinative control between STATCOM and capacitors

其控制策略为:首先由测量系统检测站内所有电容器组的投切状态。当系统任意相电压  $U_{\text{line}} \in [0.9 \text{ p.u.}, 1.1 \text{ p.u.}]$  且  $U_{\text{line}} \notin [0.95 \text{ p.u.}, 1.05 \text{ p.u.}]$ , 而 STATCOM 容性输出已达初始容性上限时,若站内有电容器组处于断开状态,则根据无功功率缺额投入相应的电容器组数;若站内全部电容器组均处于闭合状态,则将 STATCOM 的容性上限逐渐上调为 2 台电容器组的容量,若系统电压在装置的容性输出再次达到设定上限且持续一段时间后仍然不能满足要求,则继续升高容性上限。为了使系统留有较大的动态无功备用,容性上限的最大值一般不得超过装置额定容量的一半。当系统电压高于设定值而 STATCOM 感性输出已达初始感性上限时,原理类似。

STATCOM 在稳态调压控制模式下与电容器组协调控制,使系统储备了较大的动态无功备用容量。STATCOM 与电容器组有/无协调控制时  $Q_{\text{lack}}$  (系统

无功缺额)与  $Q_{\text{stat}}$  (STATCOM 无功备用容量)的关系坐标图如图 4 所示。图中,①、②分别表示 STATCOM 与电容器组无协调控制和有协调控制时  $Q_{\text{stat}}$  与  $Q_{\text{lack}}$  的关系曲线。

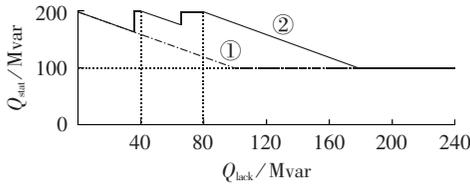


图 4 STATCOM 与电容器组有/无协调控制的无功备用容量对比图

Fig.4 Comparison of reactive power reserve between with and without coordinative control between STATCOM and capacitors

假设初始检测时有 2 台电容器组尚未投入。由图 4 可知,当 STATCOM 输出无功功率在 [20 Mvar, 40 Mvar] 时,投入 1 台电容器组,置换出 STATCOM 的动态无功,依此类推直到电容器组全部投入,系统电压满足要求。由曲线①、曲线②可知,加入控制策略之后,STATCOM 的动态无功备用容量相较于未加入控制策略时要显著增加。

### 2.3 暂态电压控制模式下 STATCOM 与电容器组的协调控制

当 STATCOM 处于暂态电压控制模式时,由于电容器组的投切时间较长,在短时间内来不及动作,故在暂态电压控制模式中,STATCOM 与电容器组的协调控制策略为:电容器组不动作,STATCOM 根据系统的无功功率缺额发出相应的无功,直至达到额定输出容量。

### 3 STATCOM 参与 AVC 调节的二级电压控制

在目前的 AVC 调节方式中,电网被划分成若干解耦的控制区域,整个控制系统分为 3 个层次:一级电压控制、二级电压控制和三级电压控制。三级电压控制为系统级控制,以全系统的经济运行作为优化目标;二级电压控制为区域级控制,以保证接入点母线电压等于设定值为目标;一级电压控制为本地控制,由站内电压控制器执行二级区域控制中心下发的控制命令,实现电压的自动调节。

STATCOM 参与 AVC 调节的二级电压控制策略即 STATCOM 在不同站内控制模式下与远方控制模式的协调控制,属于区域控制。其控制目标为:在优先保证 STATCOM 接入点母线电压合格的原则下,通过对 STATCOM 的无功输出量进行控制,使得区域内故障节点的电压得到提升。通过此协调控制,可以有效地提高区域内紧急情况下的系统电压水平,减小系统因故障或突然增加大量负荷引起的系统电压失稳等问题,从而大幅提高了系统的电压稳定性。

在该调节过程中,当区域中非接入点母线电压发生异常时,由 AVC 发出相应的电压控制信号,STATCOM 接收该信号后对自身控制模式进行判断,若条件允许,则立即参与非中枢母线的电压调节过程。相应的控制策略流程如图 5 所示(当电压小于 0.3 p.u. 时,STATCOM 处于闭锁模式,不属于正常运行状态,因此仅考虑电压大于 0.3 p.u. 的逻辑过程)。

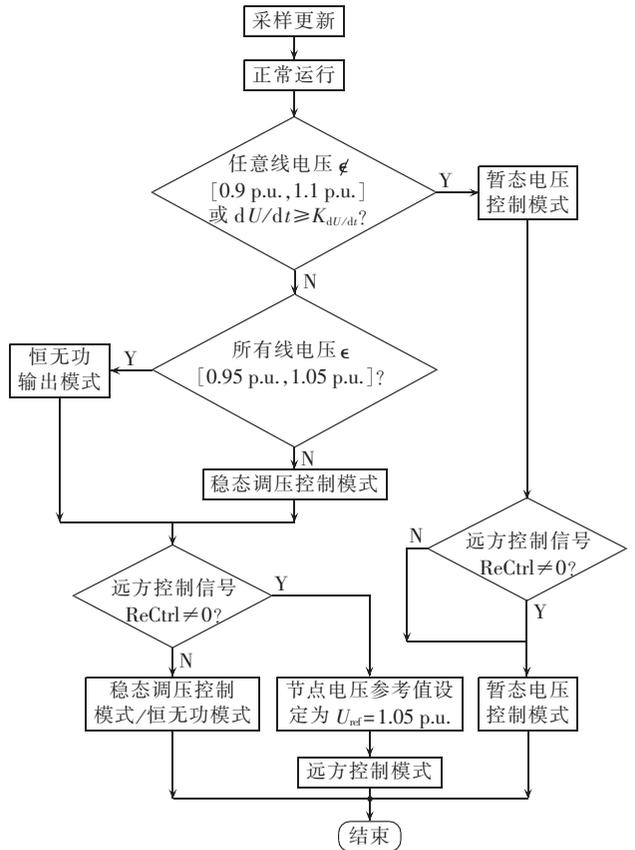


图 5 参与二级电压控制的 STATCOM 控制策略流程

Fig.5 Control strategy of STATCOM participating in second-level voltage control

其控制策略为:当 STATCOM 接入点母线电压处于基本合理的范围 [0.9 p.u., 1.1 p.u.] 内(即 STATCOM 处于恒无功模式或稳态调压控制模式)时,远方控制信号的优先级要高于 STATCOM 所处控制模式的优先级,若 STATCOM 收到远方控制信号,则在保证接入点母线电压不越限(不高于 1.1 p.u. 或不低于 0.9 p.u.)的前提下,STATCOM 按照远方控制信号的要求来发出无功功率,直至达到额定输出功率;当接入点母线电压偏离合理范围时,STATCOM 迅速动作,进入暂态电压控制模式,发出大量无功,对接入点母线电压起到提升作用,此时站内控制模式的优先级要高于远方控制信号的优先级,STATCOM 对远方控制信号不予以响应。

### 4 仿真实验

为了验证所提电压控制策略的正确性,在

PSCAD 平台上搭建接入  $\pm 200$  Mvar STATCOM 的 IEEE 39 节点系统仿真模型。仿真模型中各节点负荷为 50% 电动机负荷加 50% 恒阻抗负荷(其中,节点 15 为 400 MV·A 电动机负荷加 300 MV·A 恒阻抗负荷,节点 16 为 300 MV·A 电动机负荷加 120 MV·A 恒阻抗负荷,其余负荷功率不变,恒阻抗负荷功率因数均为 0.9),STATCOM 接在区域中枢节点 15 上,短路故障及突然增加负荷均发生在同区域的节点 16 上<sup>[1]</sup>,仿真模型如图 6 所示。

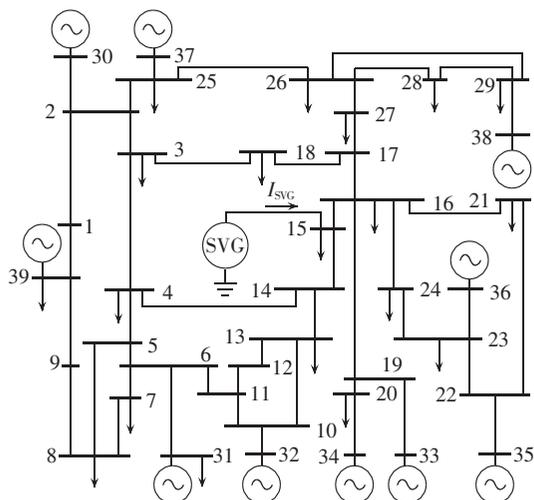


图 6 接入 STATCOM 的 IEEE 39 节点系统仿真模型

Fig.6 Simulation model of IEEE 39-bus system with STATCOM

仿真过程中,3 s 时系统发生三相短路故障,故障持续 0.2 s;4 s 时系统发生单相接地短路故障,故障持续 0.15 s;5 s 时系统突然增加大量恒阻抗负荷(600 MV·A,功率因数为 0.5),整个仿真过程持续 7 s。

#### 4.1 STATCOM 参与一级电压控制的仿真实验

在上述仿真条件下,STATCOM 与电容器组有/无协调过程时的接入点中枢母线电压(标么值)及 STATCOM 无功输出量分别如图 7、图 8 所示。

由仿真波形可知,对于有协调控制策略的系统,当 STATCOM 处于稳态电压控制模式时,通过 STATCOM 与电容器组的协调控制,电容器组逐个投入,以置换出 STATCOM 的动态无功出力,直到电压

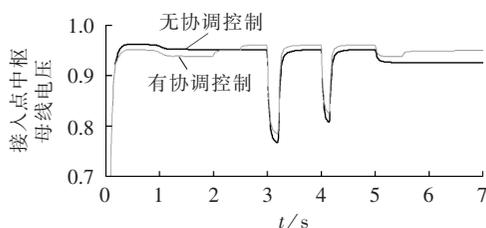


图 7 STATCOM 与电容器组有/无协调过程的中枢母线电压

Fig.7 Voltage of central bus with and without coordinative control between STATCOM and capacitors

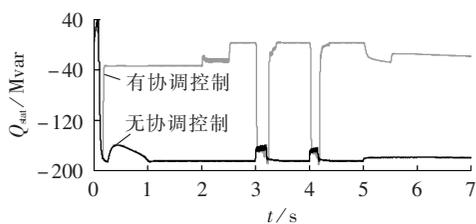


图 8 STATCOM 与电容器组有/无协调过程的无功输出量

Fig.8 Reactive power output of system with and without coordinative control between STATCOM and capacitors

满足要求[0.95 p.u., 1.05 p.u.]，此时 STATCOM 输出较小的无功功率,系统能够储备较大的动态无功容量;对于无协调控制的系统,系统所缺无功首先由 STATCOM 提供,电容器组暂时不参与调节,直到 STATCOM 无功输出达到额定值,此系统储备动态无功容量较少,应对故障能力较差。

此外,由仿真波形可知,当 STATCOM 与电容器组有协调控制时,系统的电压水平要高于无协调系统;发生故障后,有协调控制策略的系统电压跌落幅度及恢复时间均要小于无协调控制策略系统。

为了反映 STATCOM 的无功备用状况,在此引入 STATCOM 无功容量备用率  $K$  ( $0 \leq K \leq 1$ ),  $K$  值越大,系统动态无功备用率越大,函数如式(1)所示:

$$K = 1 - \frac{Q_{\text{stat}}}{Q_{\text{re}}} \quad (1)$$

其中,  $Q_{\text{re}}$  为 STATCOM 额定容量。

STATCOM 与电容器组有/无协调过程的无功容量备用率如图 9 所示。

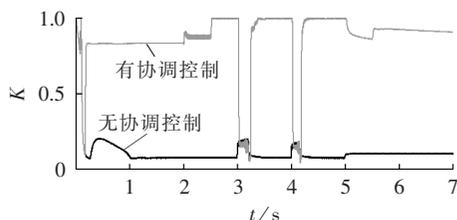


图 9 STATCOM 与电容器组有/无协调的无功容量备用率

Fig.9 Reactive power capacity reserve rate of system with and without coordinative control between STATCOM and capacitors

由仿真波形可知,STATCOM 与电容器组有协调控制的  $K$  值要远大于无协调控制,即有协调控制时的 STATCOM 无功备用率要远高于无协调控制的 STATCOM 无功备用率。

#### 4.2 STATCOM 参与二级电压控制的仿真实验

在上述仿真条件下,STATCOM 与远方控制信号有/无协调过程时接入点中枢母线电压(标么值)、故障节点母线电压(标么值)及 STATCOM 的无功输出量波形图分别如图 10—12 所示。

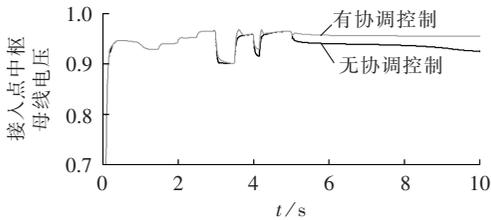


图 10 STATCOM 与远方控制信号有/无协调过程时中枢母线电压

Fig.10 Voltage of central bus with and without coordinative control between STATCOM and remote control signal

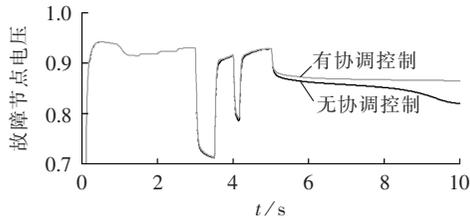


图 11 STATCOM 与远方控制信号有/无协调过程时故障节点电压

Fig.11 Voltage of faulty node with and without coordinative control between STATCOM and remote control signal

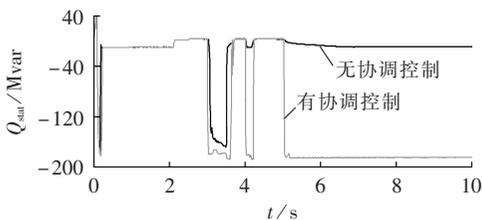


图 12 STATCOM 与远方控制信号有/无协调过程时的无功输出量

Fig.12 Reactive power output of system with and without coordinative control between STATCOM and remote control signal

STATCOM 参与 AVC 二级电压控制的调节过程时,无功输出量不仅受到接入点中枢母线电压的控制,还要受到区域内非接入点母线电压的影响。当区域内非接入点母线电压低于 0.9 p.u. 时,AVC 发出控制信号,若此时 STATCOM 处于恒无功模式或者稳态调压控制模式,则 STATCOM 接收 AVC 控制信号,增大无功输出量,起到提高系统母线电压、防止系统电压失稳的作用。由图 10—12 可知,在发生短路故障时,由于 STATCOM 接入点及故障点电压均发生跌落(小于 0.9 p.u.),STATCOM 迅速发出大量无功功率,优先对 STATCOM 接入点中枢母线电压起到支撑作用;在发生突增大量负荷时,此时,STATCOM 接入点中枢母线电压处于基本合理范围[0.9 p.u., 1.1 p.u.]内,故障点电压发生跌落(小于 0.9 p.u.),通过协调控制,STATCOM 发出大量的无功功率,起到了提升整个系统电压水平、防止电压失稳的作用。

STATCOM 不参与 AVC 二级电压的调节过程时,无功输出量仅受接入点中枢母线电压控制,STATCOM 不参与区域内其余母线电压的调节过程。

由图 10—12 可知,在发生短路故障和突增大量负荷时,当接入点中枢母线电压在基本合理范围之内时,STATCOM 仅发出少量无功功率提升接入点中枢母线电压水平,对故障点电压跌落无响应;仅当接入点中枢母线电压低于 0.9 p.u. 时,STATCOM 发出大量无功,此过程不能起到提升整个系统电压水平、抑制非接入点母线电压失稳的作用。

## 5 结论

参与 AVC 调节的 STATCOM 电压控制策略包括 STATCOM 参与 AVC 调节的一级电压控制策略和二级电压控制策略。主要结论如下。

a. 在 STATCOM 参与 AVC 调节的一级电压控制中,STATCOM 分别在恒无功模式、稳态调压控制模式、暂态电压控制模式下与电容器组进行协调控制。该控制策略在保证中枢母线电压质量的同时,使系统储备最大的动态无功容量,增强了中枢母线电压应对故障的能力,提高了系统的电压水平及电压稳定性。

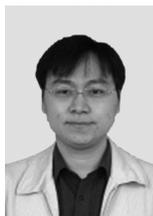
b. 在 STATCOM 参与 AVC 调节的二级电压控制中,STATCOM 分别在恒无功模式、稳态调压控制模式、暂态电压控制模式下与远方控制信号进行协调控制。该控制策略能够在保证中枢母线电压质量的同时,通过对 STATCOM 的无功功率输出进行控制,使非接入点母线电压得到支撑,从而提高了区域电压的稳定水平。

## 参考文献:

- [1] 陈刚,马爱军,张继红,等. AVC 分散控制模式下的变电站电压无功控制研究[J]. 电网技术,2010,34(12):187-192.  
CHEN Gang,MA Aijun,ZHANG Jihong,et al. Voltage and reactive power control in substation under decentralized control mode of AVC[J]. Power System Technology,2010,34(12):187-192.
- [2] 唐茂林,庞晓艳,李旻,等. 计及梯级电站的省地一体化 AVC 系统研究及实现方案[J]. 电力自动化设备,2009,29(6):119-123.  
TANG Maolin,PANG Xiaoyan,LI Min,et al. Integrative AVC system of provincial-regional grid with cascade hydropower stations[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(6):119-123.
- [3] CORSI S,POZZI M,SABELLI C,et al. The coordinated automatic voltage control of the Italian transmission grid-part I: reasons of the choice and overview of the consolidated hierarchical system [J]. IEEE Transactions on Power Systems,2004,19(4):1723-1732.
- [4] 宋越,程浩忠,张健,等. 基于多目标模块度的多层次电压控制分区方法[J]. 电力自动化设备,2015,35(1):153-158.  
SONG Yue,CHENG Haozhong,ZHANG Jian,et al. Multi-level voltage control partitioning based on multi-objective modularity [J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(1):153-158.
- [5] 赵香花,陈远华,刘文华,等. 一种星链接式 STATCOM 不平衡补偿的新拓扑[J]. 电力自动化设备,2014,34(2):108-113.  
ZHAO Xianghua,CHEN Yuanhua,LIU Wenhua,et al. New topology for unbalance compensation of cascaded STATCOM with star configuration[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34

- (2):108-113.
- [6] 周建丰, 顾亚琴, 韦寿祺. SVC 与 STATCOM 的综合比较分析[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(12):57-60.  
ZHOU Jianfeng, GU Yaqin, WEI Shouqi. Comprehensive comparative of SVC and STATCOM[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(12):57-60.
- [7] RAO P, CROW M L, YANG Z. STATCOM control for power system voltage control applications[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, 15(4):1311-1317.
- [8] PAUL J P, LEOST J Y, TESSERON J M. Survey of the secondary voltage control in France: present realization and investigations [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1987, 2(2):505-511.
- [9] PIRET J P, ANTOINE J P, STUBBE M, et al. The study of a centralized voltage control method applicable to the Belgian system[R]. Paris, France: CIGRE, 1992.
- [10] SANCH A J L, FERNANDEZ J L, CORTES A et al. Secondary voltage control: analysis, solutions and simulation results for the Spanish transmission system[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1996, 11(2):630-638.
- [11] 郭庆来, 孙宏斌, 张伯明, 等. 基于无功源控制空间聚类分析的无功电压分区[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(10):36-40.  
GUO Qinglai, SUN Hongbin, ZHANG Boming, et al. Power network partitioning based on clustering analysis in Mvar control space[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(10):36-40.
- [12] 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[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(22):83-87.  
GUO Qinglai, SUN Hongbin, ZHANG Boming, et al. Research and development of AVC system for power networks of Jiangsu Province[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(22):83-87.
- [13] 孙宏斌, 张伯明, 郭庆来, 等. 基于软分区的全局电压优化控制系统设计[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(8):16-20.  
SUN Hongbin, ZHANG Boming, GUO Qinglai, et al. Design for global optimal voltage control system based on soft identification of secondary control zones [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(8):16-20
- [14] 黄伟雄, 刘锦宁, 王永源, 等. 35 kV  $\pm$ 200 Mvar STATCOM 系统总体设计[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(10):136-142.  
HUANG Weixiong, LIU Jinning, WANG Yongyuan, et al. Overall design of 35 kV  $\pm$ 200 Mvar STATCOM system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(10):136-142.
- [15] 袁志昌, 柳勇军, 黎小林, 等. 兼顾阻尼抑制和电压支撑的动态无功补偿装置控制方法[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(10):74-78.  
YUAN Zhichang, LIU Yongjun, LI Xiaolin, et al. Control dynamic reactive power compensator with damping control and voltage control[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(10):74-78.
- [16] 陈栋, 涂春鸣, 罗安, 等. SVC 与 STATCOM 联合运行协调控制设计与仿真[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(19):76-80.  
CHEN Dong, TU Chunming, LUO An, et al. Coordinated control design and simulation of joint operation for SVC with STATCOM[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(19):76-80.
- [17] EL-MOURS I M S, BAK-JENSEN B, ABDEL-RAHMAN M H. Coordinated voltage control scheme for SEIG-based wind park utilizing substation STATCOM and ULTC transformer[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2011, 2(3):246-255.
- [18] 刘锦宁, 刘洋, 何伟斌, 等.  $\pm$ 200 Mvar 静止同步补偿器的电网电压控制策略[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(5):29-35.  
LIU Jinning, LIU Yang, HE Weibin, et al. Grid voltage control of  $\pm$ 200 Mvar STATCOM[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(5):29-35.

#### 作者简介:



徐箭

徐箭(1980—),男,湖北咸宁人,副教授,博士,主要研究方向为电力系统暂态稳定、大规模风电并网分析与控制(E-mail:xujian@whu.edu.cn);

袁志昌(1980—),男,江西吉安人,副教授,博士,主要研究方向为柔性交流输电技术、电力系统稳态仿真(E-mail:yuanzc@mail.tsinghua.edu.cn);

汪龙(1988—),男,湖北襄阳人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统分析与运行(E-mail:wanglonglong1225@126.com)。

## Design and simulation of voltage control strategies for STATCOM participating in AVC

XU Jian<sup>1</sup>, YUAN Zhichang<sup>2</sup>, WANG Longlong<sup>1</sup>, LIN Jianxi<sup>3</sup>, YANG Yinguo<sup>3</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. Guangdong Power Grid Power Dispatching Control Center, Guangzhou 510600, China)

**Abstract:** The control strategies of STATCOM participating in the AVC (Automatic Voltage Control) are researched and a series of STATCOM control modes with corresponding logic judgment standards based on the information of system voltage variation and grid fault diagnosis are put forward. The first-level coordinative voltage control of STATCOM and in-station fixed capacitors and the second-level coordinative voltage control of STATCOM and remote control signal are designed and implemented. The strategy of first-level control replaces the dynamic reactive power of STATCOM in different control modes with the static reactive power of fixed capacitors to increase the dynamic reactive power reserve of system, while the strategy of second-level control supports the bus bar voltage of non-accessing points by the response of STATCOM to remote control signal. The rationality of the proposed control strategies is verified by the simulative results of IEEE 39-bus system model.

**Key words:** STATCOM; automatic voltage control; coordinative control strategy; control mode; fixed capacitor; remote control signal