

兼顾阻尼抑制和电压支撑的动态无功补偿装置控制方法

袁志昌¹, 柳勇军², 黎小林², 许树楷²

(1. 清华大学 电机工程与应用电子技术系, 北京 100084;

2. 南方电网科学研究院, 广东 广州 510080)

摘要: 提出一种兼顾抑制低频功率振荡和提高暂态电压稳定性的动态无功补偿装置控制方法。首先通过一个典型的含有动态无功补偿装置的系统分析了阻尼低频功率振荡和保持母线电压稳定 2 个控制目标相互影响的机理。在此基础上提出在电压控制和阻尼控制两者出现矛盾的时候, 通过协调优化算法, 选取最优的无功控制指令, 防止阻尼控制引起电网电压超标。在典型电网系统中开展了仿真研究, 结果表明所提方法可以实现电压控制和阻尼控制的协调, 在确保电压控制效果的前提下尽可能抑制低频功率振荡。

关键词: 动态无功补偿装置; 暂态电压稳定; 低频功率振荡; 补偿; 控制

中图分类号: TM 714.3

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.10.013

0 引言

动态无功补偿装置^[1-3]是现代电力电子技术在电力系统中的典型应用, 包括以晶闸管为开关器件的静止无功补偿器(SVC)和以可关断器件(IGBT、IGCT)为开关器件的静止同步无功发生器(STATCOM)^[4-6], 这些设备可以帮助电网实现动态无功连续调节、提高电网电压稳定水平、抑制线路低频功率振荡, 是电网实现可控化和智能化的主要手段之一。

从国内外应用情况看, 动态无功补偿装置主要用于提高受端负荷中心的无功支撑和电压稳定控制, 在这种场合通常采用恒电压控制。随着研究的深入和应用的推广, 利用动态无功补偿装置抑制低频功率振荡的研究受到关注^[7-16]。低频功率振荡的发生会危及电力系统的稳定运行^[8], 随着大区电网的互联和电力系统规模的扩大, 低频振荡日趋严重, 且出现了频率更低、危害更大的区间低频振荡现象, 对动态无功补偿装置进行二次附加阻尼控制^[9-16]是解决低频功率振荡问题的一种有效手段。

当动态无功补偿装置需要同时解决输电线路低频功率振荡和电压稳定问题时, 面临一个难题, 因为阻尼低频功率振荡和保持母线电压稳定这 2 个控制目标对动态无功补偿装置的无功输出要求往往不完全一致, 而采用母线频率或线路功率作为反馈进行阻尼控制时, 在一个振荡周期内有 2 个 1/4 周期时间里阻尼控制和电压控制对无功方向的需求相反。现有的控制方法未能有效解决两者的协调问题, 往往因为过于追求阻尼控制的效果而造成电压大范围波动、超出许可范围甚至引起电压失稳问题。现有的一些动态无功补偿装置的阻尼控制方法由于没能解决与电压稳定控制的协调配合问题, 控制效果都不理想。

1 动态无功补偿装置控制方法

典型的动态无功补偿装置控制方法可以用图 1 表示, 其中根据电网的电压 U_{pcc} 、频率 f_{pcc} 、功率 P_{line} 等信息计算无功电流参考值 i_{qref} 的环节通常被称为系统级控制, 而图中的其他部分通常被称为装置级控制。装置级控制由 2 条支路构成: 一条是无功电流反馈环节, 无功电流参考值 i_{qref} 和测量值 i_q 的差值经过 PI 调节器 (K_{p1} 、 K_{i1} 分别为比例系数和积分系数), 再累加上有功电流测量值 i_d 与连接电抗 ωL 的乘积, 得到 STATCOM 需要输出的 q 轴电压 e_q ; 另一条是有功电流反馈环节, 有功电流参考值 i_{dref} 和测量值 i_d 的差值经过 PI 调节器 (K_{p2} 、 K_{i2} 分别为比例系数和积分系数), 再累加上无功电流测量值 i_q 与连接电抗 ωL 的乘积, 得到 STATCOM 需要输出的 d 轴电压 e_d 。有功电流支路通常用来控制 STATCOM 的直流电容电压值保持恒定, 因此 i_{dref} 来自于直流电压 U_{dk} 的 PI 控制结果, U_{dkref} 为直流电压参考值, K_{p3} 、 K_{i3} 分别为直流电压 PI 控制器的比例系数和积分系数。

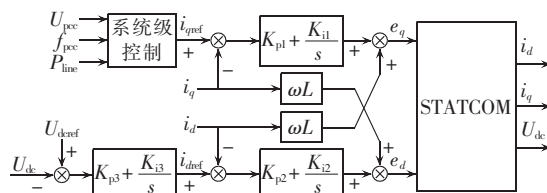


图 1 STATCOM 典型控制方法原理框图

Fig.1 Schematic diagram of typical STATCOM control

根据不同的应用场景, 动态无功装置需要向电网提供有差异的控制功能。动态无功装置应用于受端负荷中心时, 主要向电网提供动态无功支撑和暂态电压稳定控制, 其系统及控制通常采用图 2 所示的恒电压控制。计算接入电网点的电压 U_{pcc} 与参考电压 U_{ref} 的差值 ΔU , 该差值 ΔU 经过超前滞后校正和



图 2 恒电压控制原理图

Fig.2 Principle of constant voltage control

PI 调节计算出所需的无功电流指令值 i_{qref} 。

随着研究的深入和应用的推广,利用动态无功补偿装置抑制低频功率振荡的研究受到关注。图 3 所示是最简单的利用动态无功补偿装置抑制低频功率振荡的控制方法,这种方法中,首先测量电网点的频率 f_{pcc} ,计算 f_{pcc} 与参考频率 f_{ref} 的差值 Δf ; Δf 经过一阶惯性函数、超前滞后校正、带限幅的增益环节计算出所需的无功电流指令值 i_{qref} 。有时也用受控线路的功率值 P_{line} 替代频率进行反馈阻尼控制。其基本原理是根据受控线路的功率或频率的变化,按照简单的 PI 反馈控制器调节无功补偿装置的输出,通过实时改变接入点的电压来调节线路的传输功率,当线路传输功率降低时,使无功补偿装置发出容性无功、支撑母线电压以提高传输功率,相反当线路传输功率增大时,使无功补偿装置吸收感性无功、降低母线电压以降低传输功率。

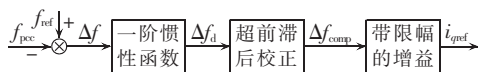


图 3 阻尼控制原理图

Fig.3 Principle of damping control

这种控制方法存在一个问题,抑制线路低频功率振荡的同时可能造成接入点母线电压的振荡。这是因为线路传输有功功率降低时,消耗无功功率相应降低,接入点母线电压会升高,此时为了抑制功率振荡需要提高线路传输功率,这是通过注入容性无功实现的,然而容性无功的注入会进一步提高接入点电压;类似地,当线路传输功率增加时,接入点电压会随着线路消耗的无功功率增加而降低,图 3 所示的控制方法要求无功补偿装置吸收感性无功,这将进一步降低系统电压。可见,图 3 所示方法在抑制线路功率振荡的同时,可能加剧接入点母线电压的振荡,这对保持电网的电压稳定是非常不利的。

图 4 为另外一种常见的抑制低频功率振荡的方法。这种方法中,计算受控线路频率测量值与参考频率的差值 Δf , Δf 依次通过一阶惯性、超前滞后校正和带限幅的增益得到阻尼控制所需的电压附加分量 U_{damp} ,将该附加分量 U_{damp} 引入如图 2 所示的恒电压控制中,其后的控制流程与图 2 所示方法相同。在这

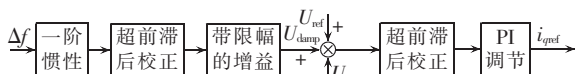


图 4 附加阻尼控制原理图

Fig.4 Principle of supplementary damping control

种方法中,阻尼控制是通过附加频率的反馈量来实现的,因此也被称为附加阻尼控制。当线路发生低频功率振荡时,电压分量相对较小,功率振荡分量占据主导,其控制效果类似于图 3 所示的方法,同样无法避免阻尼控制对电压稳定控制的负面影响。

2 阻尼控制与电压控制的关系

本文通过图 5 所示的简单系统分析动态无功补偿装置应用于抑制低频功率振荡和电压稳定控制时面临的问题。图 5 系统由单机无穷大系统加装 STATCOM 构成,发电机采用经典二阶模型,暂态电抗后的电动势 E' 恒定,相位为 δ ,暂态电抗和变压器的电抗之和为 X_G ,发电机输出有功和无功分别为 P_e 、 Q_e 。无穷大系统的电压为 $U \angle \alpha$ 。不失一般性,假设 STATCOM 接入传输线路中间,距离发电机母线的阻抗为 X_L ,距离电网母线的阻抗为 X_S 。记 STATCOM 并网电压为 $U_s \angle 0^\circ$,流入 STATCOM 的电流为 $I_s \angle -90^\circ$, $I_s < 0$ 表示 STATCOM 向电网注入容性无功, $I_s > 0$ 表示 STATCOM 吸收感性无功。

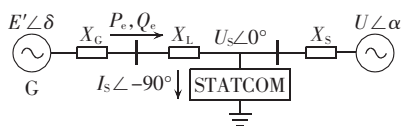


图 5 有动态无功补偿的单机无穷大系统

Fig.5 Single-machine infinite system with STATCOM

首先假设 STATCOM 未投入运行,此时系统就是一个单机无穷大系统,其状态方程为:

$$\begin{cases} M \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e - D(\omega - 1) \\ \frac{d\delta}{dt} = \omega - 1 \\ P_e = \frac{E' U \sin \delta}{X_\Sigma} \end{cases} \quad (1)$$

其中, M 为发电机转动惯量, ω 为发电机角频率, P_m 为发电机机械功率, P_e 为发电机输出功率, D 为发电机阻尼系数, $X_\Sigma = X_G + X_L + X_S$ 。

假设稳态运行时发电机的功角为 δ_0 ,在小扰动的激励下,发电机的功角、频率、电压都会出现低频振荡,可以通过计算功角、频率和电压的扰动量来考察三者之间的相位关系。由式(1)推导可得:

$$\begin{cases} \Delta\omega = \frac{d\Delta\delta}{dt} \\ \Delta|U| = \frac{-E_1 E_2 \sin \delta_0}{\sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos \delta_0}} \Delta\delta \end{cases} \quad (2)$$

其中, $E_1 = X_S E' / X_\Sigma$, $E_2 = (X_G + X_L) U / X_\Sigma$ 。

可见,发生低频振荡时,线路上电压幅值的振荡相位与功角的振荡相位相反,而角频率的振荡相位是功角振荡相位的微分,即滞后功角振荡相位 90° 。

其相位关系如图 6 所示(电压为标么值)。

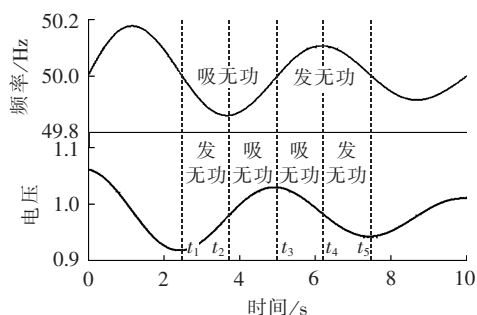


图 6 低频振荡时的电压和频率相位关系

Fig.6 Curve of voltage vs. frequency during low-frequency oscillation

STATCOM 投入运行后,线路传输功率 P_e 由式(3)决定:

$$P_e = \frac{E' U \sin(\delta - \alpha)}{X_\Sigma} - \frac{E' I_s X_s \sin \delta}{X_\Sigma} \quad (3)$$

其中,等号右边第 1 项为无 STATCOM 时的线路传输功率,第 2 项为 STATCOM 向系统注入无功电流 I_s 后对传输功率的改变量。可见,改变 STATCOM 无功电流的方向,可以改变线路传输功率的幅值,进而实现对发电机的阻尼控制。根据式(3),当振荡过程中频率高于额定频率时,需要增加线路传输功率以维持发电机能量平衡,此时 STATCOM 应该发无功;当频率低于额定频率时,需要减小线路传输功率,此时 STATCOM 应该吸无功。这一关系如图 6 中的频率曲线所示, t_1 至 t_3 时段内,STATCOM 应该吸无功, t_3 至 t_5 时段,STATCOM 应该发无功。

而对于电压稳定控制,当电压低于稳态值时,STATCOM 应该发无功以提高并网点电压;当电压高于稳态值时,STATCOM 应该吸收无功以降低并网点电压。这一关系如图 6 中的电压曲线所示, t_1 至 t_2 和 t_4 至 t_5 这 2 个时段应该发无功, t_2 至 t_4 时段内应该吸无功。

可见,由于振荡时角频率的相位与电压幅值的相位之间相差 90° ,造成阻尼低功率振荡和保持母线电压稳定这 2 个控制目标对动态无功补偿装置的无功输出要求不完全一致,在一个振荡周期内有 2 个 $1/4$ 周期时间里阻尼控制和电压控制对无功方向的需求相反,如图 6 中 t_1 至 t_2 时段、 t_3 至 t_4 时段。

3 协调阻尼和电压的优化控制方法

本文提出一种动态无功补偿设备的电压和阻尼协调控制方法,可以兼顾电力系统对动态稳定和电压稳定的控制要求。该方法将受控母线电压和频率作为动态无功补偿设备的控制输入信号,在电压控制和阻尼控制两者出现矛盾的时候,通过协调优化算法,选取最优的无功控制指令,防止阻尼控制引起

电网电压超标,实现电压和阻尼协调控制。

图 7 所示为协调控制方法的原理图,输入信息为受控母线的电压和频率值,经由电压稳定控制、阻尼控制和协调控制 3 个模块计算出动态无功装置所需的无功电流参考值。

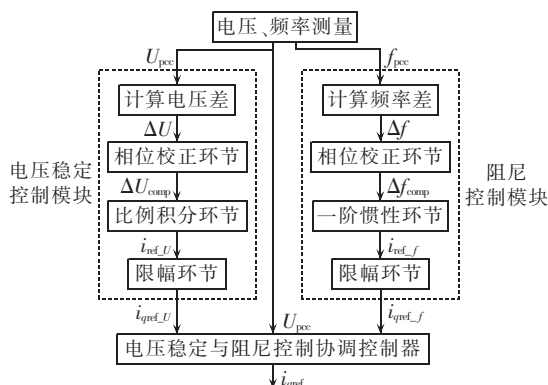


图 7 电压和阻尼协调控制方法

Fig.7 Coordinated damping control and voltage control

图 7 中电压稳定控制、阻尼控制 2 个模块内部的控制结构与图 2、图 3 所示结构相同。对控制性能有关键影响的协调控制模块的控制算法如下。

(1) 将接入点电压 U_{pcc} 、电压控制所需的无功量 i_{qref_U} 、阻尼控制所需的无功量 i_{qref_f} 输入到电压控制和阻尼控制协调控制模块。

(2) 条件 1: 动态无功补偿装置接入点母线电压 U_{pcc} 低于 0.9 p.u. 或高于 1.1 p.u. 时,可判定系统偏离稳定状态较大,此时电压控制是首要目标,选取电压控制模块的输出作为动态无功补偿装置的无功参考值,即 $i_{qref} = i_{qref_U}$ 。

(3) 条件 2: U_{pcc} 高于 0.9 p.u. 而低于 1.1 p.u. 时,按以下逻辑依次判断阻尼控制与电压控制之间是否存在矛盾。

a. 如果母线电压与参考电压的差值 ΔU 小于 -0.05 p.u. (即偏离稳态电压的最大许可值,该值可根据现场需要调整),且阻尼控制模块的输出 i_{qref_f} 大于 0,这意味着电压已跌落至稳态允许值之下,而此时阻尼控制仍要求动态无功补偿装置吸收感性无功,可以判断 2 种控制模式对无功的需求存在矛盾,此时以电压控制为优先,选取电压控制模块的输出作为动态无功补偿装置的无功参考值,即 $i_{qref} = i_{qref_U}$ 。

b. 如果母线电压与参考电压的差值 ΔU 大于 0.05 p.u.,同时阻尼控制模块的输出 i_{qref_f} 小于 0,这意味着电压已升高至稳态允许值之上而同时阻尼控制却要求动态无功补偿装置发出容性无功,同样地,可以判断 2 种控制模式对无功的需求存在矛盾,此时优先保证电压控制,选取 $i_{qref} = i_{qref_U}$ 。

c. 若 a、b 2 种条件均不成立,则可判断该时刻

电压控制和阻尼控制对无功的需求不存在矛盾,为了保证阻尼控制的效果,优先选取阻尼控制模块的输出作为动态无功补偿装置的无功参考值,即 $i_{qref}=i_{qref_f}$ 。

(4) 动态无功补偿装置无功参考值 i_{qref} 发送至下一级(装置级)控制器,控制装置无功输出。

4 仿真分析

在如图 5 所示的单机无穷大系统对本文所提的电压和阻尼协调控制策略开展仿真研究。STATCOM 接入输电线路中间位置。仿真系统中发电机参数(以发电机额定容量和额定电压为基值)为: $X_d=1.8$, $X_q=1.7$, $X_1=0.2$, $R_a=0.002$, $X'_d=0.3$, $X'_q=0.55$, $T'_{d0}=8$ s, $T'_{q0}=0.4$ s, $X''_d=0.25$, $X''_q=0.25$, $T''_{d0}=0.03$ s, $T''_{q0}=0.05$ s, 容量为 600 MV·A, $H=6.5$ MW·s/(MV·A)。线路参数(以发电机额定容量和额定电压为基值)为: $X_C=0.3$, $X_L=0.5$, $X_S=0.2$ 。STATCOM 参数(以自身额定容量和额定电压为基值)为:容量为 100 Mvar, 无功响应时间为 20 ms, 连接电抗为 0.15 。发电机未考虑励磁和调速系统,且阻尼力矩系数相对较小,发生线路故障时引起低频功率振荡。

为了便于比较,仿真研究了无 STATCOM 控制器、有 STATCOM 并按频率反馈进行阻尼控制、有 STATCOM 并按照电压阻尼协调控制 3 种情况。图 8 给出了接入点母线电压情况,图 9 给出了母线频率情况,两图纵轴均为标幺值。从图 8 可以看出采用按频率反馈的阻尼控制后,电压波动的阻尼大幅改善,但是在振荡的前 2 个周期内,电压的振荡幅度明显大于无功 STATCOM 控制器的情况,这体现了恒电压控制与阻尼控制对 STATCOM 无功需求不完全一致的矛盾。采用了电压和阻尼协调控制后,当电压超出稳态允许范围以外且恒电压控制与阻尼控制

不一致时,优先保证恒电压为目标,因此在振荡的前 2 个周期内,电压振荡的波峰被有效地“削”平了,避免出现欠压或过压。从图 9 的频率振荡情况看,采用电压和阻尼协调控制策略后,其对阻尼的改善效果略差于按频率反馈控制,但是两者均较无功 STATCOM 时有明显改善。从总体效果看,电压和阻尼协调控制策略牺牲了部分阻尼控制效果,换取了电压不出现过压和欠压,这种折中是值得的。

5 结论

电网发生低频功率振荡时,角频率的相位与电压幅值的相位之间相差约 90° ,造成阻尼低频功率振荡和保持母线电压稳定这 2 个控制目标对动态无功补偿装置的无功输出要求不完全一致,在一个振荡周期内有 2 个 $1/4$ 周期时间里阻尼控制和电压控制对无功方向的需求相反。为了兼顾阻尼控制和电压控制这 2 种目标,可以根据动态无功补偿装置接入点的电压和频率值实时判断 2 种控制目标是否出现矛盾。当 2 种控制所需无功方向相反时,应该优先选取稳定电压作为控制目标,这样做的结果会牺牲部分阻尼控制的效果,但是可以确保电压控制的稳定。

参考文献:

- [1] GYUGY I L. Power electronics in electric utilities: static var compensators[J]. Proceedings of the IEEE, 1988, 76(4): 483-494.
- [2] 王仲鸿,沈斐,吴铁铮. FACTS 技术研究现状及其在中国的应用与发展[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(19): 1-5.
WANG Zhonghong, SHEN Fei, WU Tiezheng. FACTS applications in China and its developing trends[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(19): 1-5.
- [3] 王平,何源森,邱宇峰,等. 电力系统输电通道大容量静止无功补偿系统研究及其应用[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(10): 10-18.
WANG Ping, HE Yuansen, QIU Yufeng, et al. Research and application of high capacity static var system for transmission path of electric power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(10): 10-18.
- [4] 刘文华,宋强,滕乐天,等. 基于集成门级换向晶闸管与链式逆变器的 ± 50 Mvar 静止同步补偿器[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(15): 55-60.
LIU Wenhua, SONG Qiang, TENG Letian, et al. ± 50 Mvar STATCOM based on chain circuit converter employing IGCT's[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(15): 55-60.
- [5] 张振华,江道灼. 基于模块化多电平变流器的 STATCOM 研究[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(2): 62-66.
ZHANG Zhenhua, JIANG Daozhuo. STATCOM based on modularized multilevel converters[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(2): 62-66.
- [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, 2007, 27(12): 57-60.
ZHOU Jianfeng, GU Yaqin, WEI Shouqi. Comprehensive comparative analysis of SVC and STATCOM[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(12): 57-60.

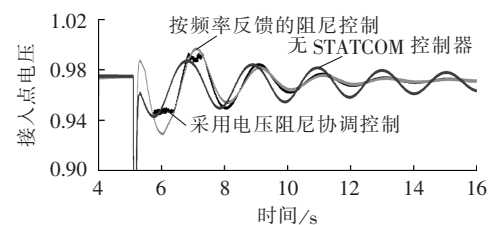


图 8 STATCOM 接入点电压曲线

Fig.8 Voltage curve of PCC

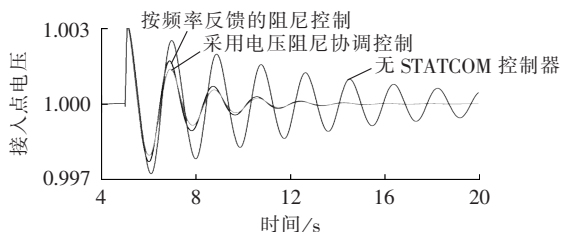


图 9 STATCOM 接入点频率曲线

Fig.9 Frequency curve of PCC

- [7] 栗春,马晓军,姜齐荣,等. STATCOM 提高系统暂态稳定及阻尼的动模实验研究[J]. 中国电机工程学报,1999,19(12):36-40.
LI Chun,MA Xiaojun,JIANG Qirong,et al. Transient stability enhancement and damping improvement by STATCOM-physical experimental study[J]. Proceedings of the CSEE,1999,19(12):36-40.
- [8] 王海风,李乃湖,陈珩,等. 静止无功补偿器阻尼电力系统振荡(上)——理论分析[J]. 中国电机工程学报,1996,16(3):190-195.
WANG Haifeng,LI Naihu,CHEN Heng,et al. Static var compensator in damping power system oscillations[J]. Proceedings of the CSEE,1996,16(3):190-195.
- [9] 王强,姜齐荣,沈斐,等. 迭代学习控制用于 STATCOM 阻尼区域间振荡的研究[J]. 电网技术,1999,23(3):1-5.
WANG Qiang,JIANG Qirong,SHEN Fei,et al. Using iterative learning control to damp power swing with the help of STATCOM[J]. Power System Technology,1999,23(3):1-5.
- [10] 杨晓东,房大中,刘长胜,等. 阻尼联络线低频振荡的 SVC 自适应模糊控制器研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(1):55-63.
YANG Xiaodong,FANG Dazhong,LIU Changsheng,et al. An adaptive SVC fuzzy controller for damping tie-link lower frequency oscillation[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(1):55-63.
- [11] XIE Xiaorong,LI Jian,XIAO Jinyu,et al. Inter-area damping control of STATCOM using wide-area measurements[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation,Restructuring and Power Technologies,2004. Hong-kong,China:IEEE,2004:222-227.
- [12] 蒋平,栗楠. PSS 和 SVC 联合抑制次同步振荡[J]. 电力自动化设备,2010,30(7):40-45.
JIANG Ping,LI Nan. Restraint of subsynchronous oscillation with PSS and SVC[J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(7):40-45.
- [13] 胡晓波,陈中,杜文娟,等. 利用含储能装置的 STATCOM 阻尼电力系统多模态振荡[J]. 电力自动化设备,2008,28(11):8-12.
HU Xiaobo,CHEN Zhong,DU Wenjuan,et al. STATCOM with ESS to damp power system multi-mode oscillations[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(11):8-12.
- [14] 李晓慧,吴华仁,刘晶晶. 广域阻尼控制器和 STATCOM 控制器协调设计[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(16):121-125.
LI Xiaohui,WU Huaren,LIU Jingjing. Coordinated design of wide area damping controller and STATCOM controller[J]. Power System Protection and Control,2011,39(16):121-125.
- [15] 蒋平,叶慧,吴熙. 基于留数的静止同步补偿器附加阻尼鲁棒控制[J]. 电网技术,2012,36(10):131-135.
JIANG Ping,YE Hui,WU Xi. Residue-based robust control method for additional damping controller of static synchronous compensator[J]. Power System Technology,2012,36(10):131-135.
- [16] 叶慧,吴熙,桂国亮. 并联双通道 STATCOM 附加阻尼控制抑制低频振荡研究[J]. 江苏电机工程,2011,30(4):30-33.
YE Hui,WU Xi,GUI Guoliang. Research on the additional damping control of STATCOM with parallel double channel to restrain frequency oscillation[J]. Jiangsu Electrical Engineering,2011,30(4):30-33.

作者简介:

袁志昌(1980-),男,江西吉安人,助理研究员,博士,主要研究方向为柔性交流输电技术、电力系统稳定仿真(E-mail: yuanzc@mail.tsinghua.edu.cn)。

Control of dynamic reactive power compensator with damping control and voltage control

YUAN Zhichang¹,LIU Yongjun²,LI Xiaolin²,XU Shukai²

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

2. China Southern Power Grid Company,Guangzhou 510080,China)

Abstract: A control method of dynamic reactive power compensator is proposed,which coordinates the suppression of low-frequency power oscillation and the voltage stability. The interaction of two control objectives,damping control and voltage control,are analyzed based on a typical power grid with a dynamic reactive power compensator and an optimization algorithm is proposed,which selects the optimal reactive power reference when there is conflict between two control objectives to prevent the grid over-voltage caused by damping control. Simulative results show its effectiveness.

Key words: dynamic reactive compensator; transient voltage stability; low-frequency power oscillation; compensation; control