

静止同步补偿器的双环控制系统设计

章勇高^{1,2}, 康 勇¹, 刘黎明¹, 朱鹏程¹, 刘小圆¹

(1. 华中科技大学 电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074;

2. 华东交通大学 电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 静止同步补偿器(STATCOM)的主要功能是支撑节点电压,同时直流侧电容电压稳定也是 STATCOM 装置安全运行的保证。介绍了 STATCOM 装置的数学模型和运行原理,提出了一种新的控制策略。采用电流前馈环节加比例积分(PI)调节系统控制直流电容电压,节点电压控制采用 PI 调节和一定的下垂比例因子组成的自动电压调整控制策略。详细探讨了控制系统的设计方法和过程。仿真以及 7.5 kV·A 物理模型的实验结果表明,能够快速有效地将节点电压控制在允许范围内波动,直流电容电压得到有效控制,证明了控制系统的正确性和控制器设计的有效性。

关键词: 静止同步补偿器; 双环控制; 电流前馈控制; 下垂特性

中图分类号: TM 761

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)10-0062-05

0 引言

电压源变换器相对晶闸管变换器具有更加优越的性能,使得基于电压源变换器的灵活交流传输系统在电力系统中的应用更加广泛,静止同步补偿器(STATCOM)就是其中的一种^[1-4]。STATCOM 的主要功能是通过向电力系统注入适当的感性和容性无功功率支撑接入点的节点电压,提高电力系统的灵活性、可靠性以及暂态和静态稳定性。另外,为保证 STATCOM 安全运行,控制直流电容电压的稳定也是非常必要的。

节点电压和直流电容电压的稳定是 STATCOM 控制系统的 2 大功能,实现这些功能的控制策略很多,总体而言有 2 大类:一类是智能控制,如鲁棒自适应控制、体液免疫学习控制等;另一类是 PI 解耦控制^[5-10]。智能控制能够解决模型参数未知情况下的控制问题,充分考虑了装置的非线性特性,但对装置研制而言控制系统实现较为困难。STATCOM 装置中常采用 PI 解耦控制,传统的 PI 解耦控制将节点电压维持在指定参考值,这样必然以降低调节速度为代价,然而在系统的正常运行情况下,允许节点电压存在一定波动(通常为 5%)。

为加快系统响应速度,提高系统动态性能和稳定性,本文提出一种新型 STATCOM 双环 PI 解耦控制系统。在传统 PI 控制基础上,直流电容电压/有功调节控制外环中加入电流前馈,节点电压/无功调节控制外环中采用自动电压下垂控制。文中介绍了基于三相 PWM 逆变器的 STATCOM 数学模型并提出新型双环 PI 解耦控制系统,详细探讨了控制系统的参数设计过程和设计方法,所有的设计参数在实

验装置和仿真模型中得以验证。实验和仿真结果表明,STATCOM 能够快速有效地将节点电压控制在允许的范围内,直流电容电压得到有效的控制,电力系统具有良好的动态和稳态性能,说明 STATCOM 控制系统的设计是正确而有效的。

1 STATCOM 的数学模型

图 1 所示为 STATCOM 接入电力系统的基本结构图,它的核心结构是一个三相 PWM 逆变器,逆变器通过并联变压器接入电网。三相 PWM 逆变器主电路开关器件采用 IGBT 和二极管反并联,且视为理想开关,由开关函数 S_n ($n=a, b, c$, 分别表示三相)反映。 u_{ia} 、 u_{ib} 和 u_{ic} 代表着 PWM 逆变器的三相输出电压, L_1 和 R_1 分别代表滤波电感器和并联变压器的等效电感值和电阻值, C 表示逆变器直流侧电容值, R_L 是 STATCOM 装置直流侧的等效负载,表示有功损耗。

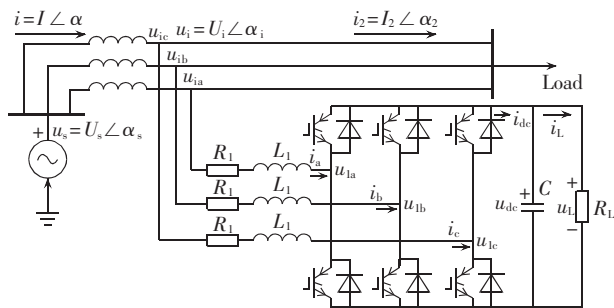


图 1 含 STATCOM 的电力系统结构

Fig.1 Power system with STATCOM

根据基尔霍夫定律,逆变器的状态方程式为

$$R_1 + L_1 \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{ia} \\ i_{ib} \\ i_{ic} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{ia} - u_{la} \\ u_{ib} - u_{lb} \\ u_{ic} - u_{lc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$i_{dc} = s_a i_{ia} + s_b i_{ib} + s_c i_{ic} \quad (2)$$

$$C \frac{dU_{dc}}{dt} = i_{dc} - i_L \quad (3)$$

其中 $S_n=1$ (上桥臂导通) 或 $S_n=-1$ (下桥臂导通); 式(1)(2)(3)分别为电压状态方程、直流侧电流方程和直流电压方程。

考虑三相平衡,根据变换前后电压不变的原则,由三相静止到两相同步旋转坐标变换关系式如下^[9]:

$$T_{abc \rightarrow dq} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$A = \cos \omega t, B = \cos (\omega t - 2\pi/3), C = \cos (\omega t + 2\pi/3) \\ D = -\sin \omega t, E = -\sin (\omega t - 2\pi/3), F = -\sin (\omega t + 2\pi/3)$$

定义电网三相电压 u_{ia}, u_{ib}, u_{ic} 合成矢量为 d 轴,利用式(4)变换式(1)(2)得到:

$$L_1 \frac{di_{ld}}{dt} = -R_1 i_{ld} + \omega L_1 i_{lq} + u_{id} - u_{ld} \quad (5)$$

$$L_1 \frac{di_{lq}}{dt} = -\omega L_1 i_{ld} - R_1 i_{lq} + u_{iq} - u_{lq}$$

$$i_{dc} = 3(s_d i_{ld} + s_q i_{lq})/2 \quad (6)$$

式中 ω 为电力传输系统的角频率。

图 2 所示为式(3)(5)(6)构成的逆变器系统模型框图。

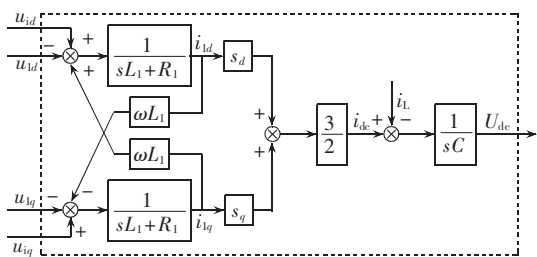


图 2 逆变器系统模型框图

Fig.2 Model of PWM inverter

2 STATCOM 的控制系统

STATCOM 对电力系统的电压调节主要通过向接入点吸收或者注入无功功率,稳定接入点的节点电压 U_i ,防止传输线路功率因数下降,避免电力系统由于节点电压的深度下陷而崩溃。为使 STATCOM 能稳定安全运行,直流侧必须有一个固定的直流电压源 U_{dc} ,故 STATCOM 还必须向电网吸收有功功率以补偿线路和开关损耗。因此,STATCOM 控制系统必须具有稳定接入点电压 U_i 和直流侧电容电压 U_{dc} 2 个功能,通过控制逆变器输出电流的 d, q 分量实现。

传统的双环解耦控制策略中电流内环和电流外环均采用 PI 控制器,其控制目标是将控制量稳定在某一个定值,然而在系统正常运行情况下,允许接入点的电压存在一定偏差(通常为 5%)。本文在传统 PI 解耦控制基础上引入了负载电流前馈环节作为干扰信号调节 d 轴电流,以便更好地稳定直流电容电压值,在节点电压控制系统的电压外环则采用电压下垂控制,允许节点电压在传输线路上无功功率发生变化时存在一定幅值的波动,以提高控制系统响应速度。图 3 为改进的双环解耦控制系统框图。

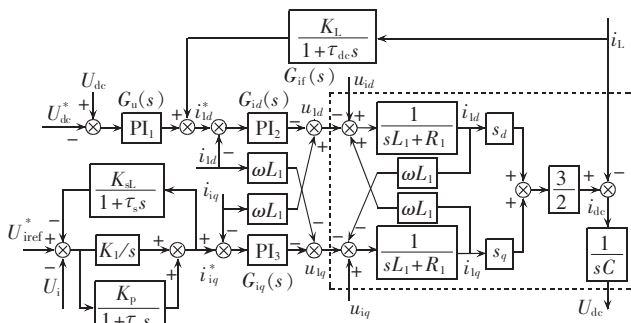


图 3 双环解耦控制系统框图

Fig.3 Double close-loop decoupling control system

图 3 中直流电容电压控制系统由电压外环 $G_u(s)$ 和电流内环 $G_{id}(s)$ 构成,为提高电容电压的控制精度和速度,引入负载电流 i_L 作为前馈控制共同构成 d 轴控制系统,电压调节器 $G_u(s)$ 输出和负载电流前馈 $G_{if}(s)$ 作为 d 轴电流指令值。即电流前馈加电压外环和电流内环构成了直流电容电压控制系统。其中电容电压控制器 $G_u(s)$ 和电流内环控制系统 $G_{id}(s)$ 都是采用传统的 PI 控制器。

节点电压控制系统也由电压外环和电流内环构成,与传统的双环控制策略不同,电压外环采用了电压下垂的自动电压调整策略,电压下垂控制由 PI 调节和一个下垂因子组成,电流内环 $G_{iq}(s)$ 采用传统 PI 调节。自动电压调整策略允许节点电压存在一定的幅值波动(本文设计为 5%),可提高控制系统响应速度。本文提出的改进型双环解耦控制系统不仅具有很好的暂态性能而且能够大幅提高系统稳定性。

3 双环控制系统设计

图 3 表明控制系统由电流控制器 $G_{id}(s), G_{iq}(s)$, 电容电压控制器 $G_u(s)$, 电流反馈控制器 $G_{if}(s)$ 和直接下垂控制器组成,本节详细探讨这些控制器设计。

3.1 电流控制器设计

图 3 表明 d 轴和 q 轴电流控制器 $G_{id}(s), G_{iq}(s)$ 都采用 PI 控制,其信号通道相同,统一记为 $G_{idq}(s)$ 。为接近实际情况,考虑 PWM 逆变器的延时和反馈通道的滤波特性, dq 轴电流控制系统见图 4。

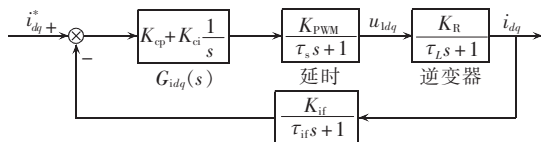


图 4 电流控制器

Fig.4 Current controller

图中, $\tau_L = L/R$ 为电感时间常数; $K_R = 1/R$; K_{PWM} 表示整流器的放大倍数; τ_s 代表变换器的延时,等于开关周期的一半; K_{if}, τ_{if} 分别是反馈通道的放大系数和时间常数; $G_{idq}(s)$ 为 PI 调节器, K_{cp}, K_{ci} 分别为 PI 调节器的比例和积分系数, $\tau_c = K_{cp}/K_{ci}$ 。

电流控制器的开环传递函数为

$$W_{oi}(s) = \frac{K_{ci}K_{PWM}K_RK_{if}(\tau_{cs}+1)}{s(\tau_{Ls}+1)(\tau_{ss}+1)(\tau_{ifs}+1)} \quad (7)$$

令 $\tau_c = \tau_L = L/R$, 变换器延时 τ_s 和时间常数 τ_{if} 很小, 用一阶惯性系统代替二阶环节, 经变换闭环传递函数

$$W_{ci} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (8)$$

$$\xi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{K\tau_{sf}}}, \quad \omega_n = \sqrt{\frac{K}{\tau_{sf}}}$$

$$\tau_{sf} = \tau_s + \tau_{if}, \quad K = K_{ci}K_{PWM}K_RK_{if}$$

二阶系统在阻尼比 $\xi = 0.707$ 时系统的超调量和调节时间最佳。可计算出相应的增益 K , 求得电流调节器的 PI 参数 K_{ci} 和 K_{cp} 。

3.2 电容电压控制器设计

图 5 所示为电容电压控制系统。

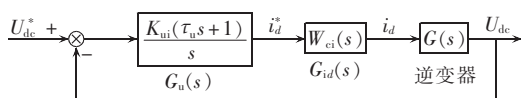


图 5 U_{dc} 电容电压控制器

Fig.5 DC-link capacitor voltage controller

根据文献[10]得到输入电流与输出直流电压之间的传递函数为

$$G(s) = K_0 \frac{1-s\tau_z}{1+s\tau_p} \quad (9)$$

式中 $K_0 = 3R_L U_m / (4U_{dc})$; $\tau_p = 0.5 R_L C$; $\tau_z = L/R_i$, $R_i = U_m / I_m$ 表示逆变器的输入电阻 (U_m 、 I_m 分别为逆变器输入电压、电流幅值)。

$G_u(s)$ 采用 PI 调节器, 表达式为

$$G_u(s) = K_{ui} \frac{\tau_u s + 1}{s} \quad (10)$$

式中 $\tau_u = K_{up} / K_{ui}$ (K_{up} 、 K_{ui} 分别为 PI 调节器的比例和积分系数)。

图 5 中电流闭环控制器 $W_{ci}(s)$ 使 d 轴电流 i_d 在暂态过程中变化很小, 即在电容电压大波动以前已完成了调节过程。用一阶惯性环节近似代替二阶系统, $W_{ci}(s)$ 可以表示为 $1/(2\tau_{sf}s+1)$ 。电压控制器的开环传递函数为

$$W_{ou}(s) = \frac{K_{ui}K_u(\tau_u s + 1)(1-\tau_z s)}{s(1+\tau_p s)(2\tau_{sf}s+1)} \quad (11)$$

假设 $\tau_u = \tau_p$, $K_1 = K_{ui}K_u$, 则闭环传递函数为

$$W_{cu} = \frac{K_1(1-\tau_z s)/(2\tau_{sf})}{s^2 + \frac{1-\tau_z K_1}{2\tau_{sf}}s + \frac{K_1}{2\tau_{sf}}} \quad (12)$$

式(12)中 τ_z 对于控制系统的暂态峰值时间和上升时间影响很小, 可以忽略不计。则闭环传递函数可写成

$$W_{ci} = \frac{K_1/(2\tau_{sf})}{s^2 + \frac{1-\tau_z K_1}{2\tau_{sf}}s + \frac{K_1}{2\tau_{sf}}} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (13)$$

$$\xi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2K_1\tau_{sf}}(1-\tau_z K_1)}, \quad \omega_n = \sqrt{\frac{K_1}{2\tau_{sf}}}$$

根据 3.1 节方法, 同样可以计算 $\xi = 0.707$ 时电

压控制器的 PI 参数 K_{ui} 和 K_{up} 。

3.3 电流前馈控制器设计

图 3 所示的直流电压控制系统中引入了一个电流前馈环节, 其目的是提高系统的响应速度以及避免电压超调过大。 K_L 根据 STATCOM 输入与输出功率平衡关系求得:

$$p_i = i_{dc} U_{dc} = u_{ld} i_{ld} + u_{lq} i_{lq} = p_o \quad (14)$$

通常情况下, dq 坐标变换中 $u_{lq} = 0$ 。可算出 K_L 得:

$$K_L = \frac{i_{ld}}{i_{dc}} = \frac{U_{dc}}{u_{ld}} \quad (15)$$

电流前馈支路中加入了一阶滤波环节, 惯性环节的时间常数 τ_{dc} 取 1~8 ms。

3.4 直接下垂控制器设计

为提高控制系统的响应速度, 允许节点电压存在一定的幅值波动, 节点电压控制器不采用直接 PI 调节而采用自动电压调整模式 (见图 3)。 K_{SL} 为直接下垂因子, 根据系统所需的下垂特性确定, 其定义为

$$K_{SL} = \frac{I_{Cmax}}{\Delta U_{Cmax}} = \frac{I_{Lmax}}{\Delta U_{Lmax}} \quad (16)$$

式中 ΔU_{Cmax} 为输出最大容性电流 I_{Cmax} 时节点电压降落; ΔU_{Lmax} 为输出最大感性电流 I_{Lmax} 时节点电压上升。

一阶惯性滤波环节可提高电压调节的性能指标, 其时间常数 $\tau_R = 1/(K_1 K_{SL})$, 通常取 $\tau_R = 20 \sim 150$ ms, $\tau_s = 10 \sim 50$ ms, K_p 为很小或者为 0。

4 仿真系统和实验装置参数

STATCOM 仿真和试验系统结构模型见图 6。

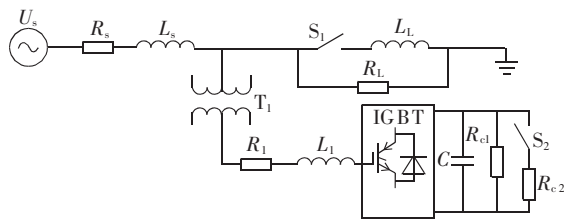


图 6 实验系统和仿真模型

Fig.6 Simulation and experiment system

系统参数为: STATCOM 额定容量 $P_s = 7.5$ kV·A; 系统相电压 $U_s = 220$ V; 电网频率 $f = 50$ Hz; 传输线等效电阻 $R_s = 0.01 \Omega$, 等效电感 $L_s = 3$ mH; 并联变压器变比和连接为 2:5/Y- Δ ; 滤波电感的等效电阻 $R_1 = 0.01 \Omega$, 等效电感 $L_1 = 6$ mH; 直流侧电容 $C = 8000 \mu F$; 电压 $U_{dc} = 400$ V。直流侧电容负载 R_{c1} 、 R_{c2} 模拟 STATCOM 系统的有功需求, $R_{c1} = 1$ k Ω , $R_{c2} = 40 \Omega$ 。传输线上负载 L_L 模拟系统的无功需求, $L_L = 27$ mH。PWM 逆变器开关频率取 5.4 kHz, 直接下垂因子取 5%。根据第 3 部分控制器的设计方法可计算控制系统参数为: 电流控制器 PI 参数, $K_{ci} = 142$ 、 $K_{cp} = 8.52$; U_{dc} 电压控制器 PI 参数, $K_{ui} = 0.463$ 、 $K_{up} = 1.4$; 前馈控制器参数, $K_L = 1.76$ 、 $\tau_{dc} = 1$ ms; 节点电压控制器参数, $K_{SL} = 4.27$ 、 $\tau_R = 20$ ms、 $K_i = 11.7$ 、 $K_p = 0.9$ 、 $\tau_s = 30$ ms。

5 仿真和实验结果分析

本文采用 Matlab 进行了建模仿真研究,并在 7.5 kV·A 的实验台架上进行实验。控制系统采用 DSPTMS 320F 240 实现空间矢量 PWM 控制,实验波形由示波器 DL750 捕获(限于篇幅略)。

5.1 无功功率的阶跃响应

$t=0.3\text{ s}$ 时开关 S_1 闭合,线路负载由阻性变为感性; $t=0.5\text{ s}$ 时开关 S_1 打开,线路负载由电感性变为电阻性。此过程 STATCOM 需要向线路注入或吸收一定的无功功率,以稳定节点电压水平,仿真波形如图 7~9 所示。

图 7 为有 STATCOM 和无 STATCOM 调节时节点电压的仿真比较。无 STATCOM 调节作用时,节点电压在 $t=0.3\text{ s}$ 时从 220 V 直线下降到 205 V,对电网产生很大的冲击,并且下降是不可恢复的;有 STATCOM 调节时,节点电压在下降后马上恢复到控制水平,降低对电网的冲击。结果表明,STATCOM 的调节作用显著而有效。

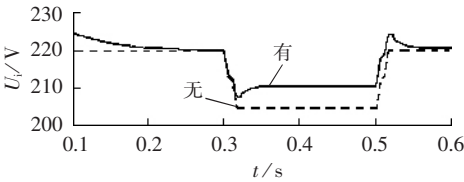
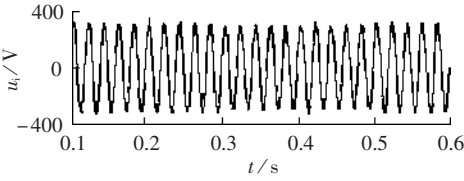
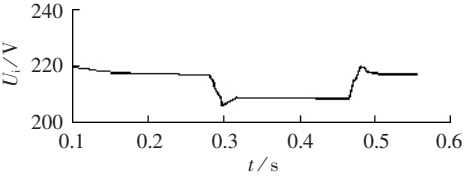


图 7 有、无 STATCOM 的节点电压比较
Fig.7 Comparison of node voltages with and without STATCOM

图 8 是节点电压的无功功率阶跃响应仿真曲线。 $t=0.3\text{ s}$ 时,开关 S_1 闭合,一个电感值为 27 mH 的无功负载接入传输线路中,节点电压直线下降然后上升到约 210 V; $t=0.5\text{ s}$ 时,开关 S_1 打开,无功负载解列,节点电压又从 210 V 回复到 220 V。实验波形表明无功需求消失时节点电压恢复到约 222 V。仿真和实验结果表明,节点电压具有约 5% 的下垂特性。



(a) 瞬时值

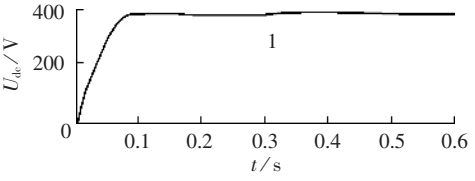


(b) 有效值

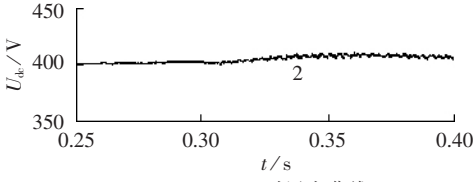
图 8 接入端节点电压的无功响应仿真结果
Fig.8 Simulation response of node voltage to step change in reactive power

无功功率阶跃变化时,直流侧电容电压的响应

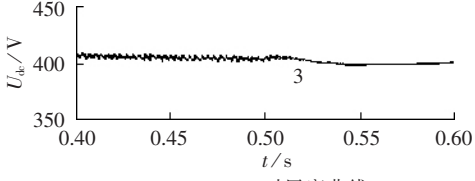
曲线如图 9 所示。曲线 2 和曲线 3 分别是直流侧电压(曲线 1)在 0.3 s 和 0.5 s 响应过程的展宽曲线。按照系统运行分析,直流侧电容电压的波动主要是由系统的有功需求引起。由于本文的直流电压控制系统中引入了负载电流前馈控制环节,使得在无功调节时直流侧电容电压也存在很小的抖动,但无功调节的速度可以得到很大提高。



(a) U_{dc} 响应曲线



(b) 0.3 s 时展宽曲线

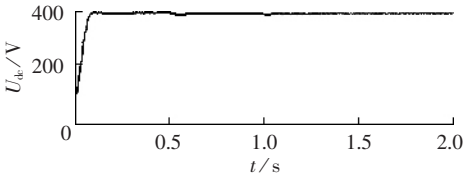


(c) 0.5 s 时展宽曲线

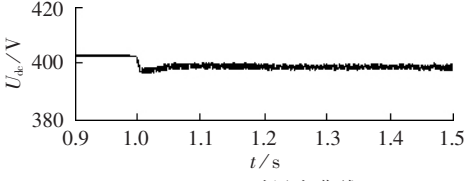
图 9 无功阶跃变化的直流侧电容电压响应仿真结果
Fig.9 Simulation response of DC-link capacitor voltage to step change in reactive power

5.2 直流负载的阶跃变化

开关 S_2 闭合,直流负载由 1 k Ω 突变为 40 Ω ,必然导致直流侧电容电压的下降,图 10 所示为直流侧电容电压在直流侧负载突增情况下的仿真结果曲线,其中曲线(b)是曲线(a)在 $t=1\text{ s}$ 时的展宽。从曲线(a)可以看出,直流侧电容电压在一个很小的短暂下降后恢复。



(a) U_{dc} 仿真曲线



(b) 1 s 时展宽曲线

图 10 直流负载阶跃变化时直流电压仿真结果
Fig.10 Simulation response of DC-link capacitor voltage to step change in load of DC bus

图 11 的曲线(a)和曲线(b)分别是 STATCOM 调节时 d 轴和 q 轴电流响应的仿真结果。由图可见:

d 轴电流和直流侧电容电压调节有关,即 d 轴电流主要控制 STATCOM 的有功输出; q 轴电流和节点电压控制有关,即 q 轴电流主要控制 STATCOM 的无功输出。然而,仿真和实验波形表明:在直流侧电容电压的调节过程中 q 轴电流会出现很小的波动,节点电压的调节过程中 d 轴电流也会出现很小的波动。其原因是,调节 d 轴电流时,三相 PWM 逆变器的输出电流会发生波动,从而导致 q 轴电流波动,此现象也会发生在 q 轴电流调节过程中。

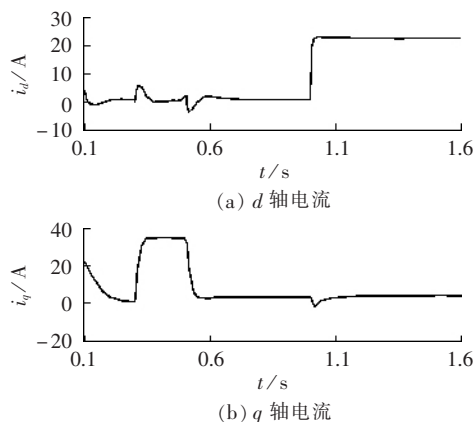


图 11 逆变器输出电流的仿真结果

Fig.11 Simulation results of inverter output current

6 结论

本文详细介绍了三相 PWM 逆变器 STATCOM 的数学模型和运行原理,提出了直流侧电容电压采用电流前馈加 PI 环的控制系统以及节点电压采用直接电压下垂控制系统的控制策略。这种新型双环控制系统包括了电流控制器、直流电容电压控制器、前馈控制器及直接下垂控制器,文中详细地探讨了这 4 个控制器的设计方法和设计步骤。实验和仿真结果证明:有功调节中的电流前馈控制器和节点电压调节中的下垂控制特性大幅缩短了调节的暂态过程时间,提高了系统的调节速度,节点电压在系统有功和无功阶跃变化时都能有效地控制在允许的运行范围内,使得电力系统具有很好的动态和稳态性能;

说明了电流前馈加 PI 调节以及自动电压下垂调节的控制系统是正确而有效的。进一步的工作是在已经研制的 STATCOM 实验装置的基础上研制统一潮流控制器的实验室物理模型。

参考文献:

- [1] IEEE PES Working Group. FACTS applications[M]. New York: IEEE Press, 1996.
- [2] HINGORANI N G, GYUGUYI L. Understanding FACTS: concepts and technology of flexible AC transmission systems[M]. New York: IEEE Press, 2000.
- [3] ESCOBAR G, ALEKSANDAR M S, MATTAVELLI P. An adaptive controller in stationary reference frame for D-STATCOM in unbalanced operation[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 2004, 51(2): 401-409.
- [4] HAQUE M H, KUMKRATUG P. Application of Lyapunov stability criterion to determine the control strategy of a STATCOM [J]. IEE Proc-Gener Transm Distrib, 2004, 151(3): 415-420.
- [5] HAMMAD A E. Analysis of power system stability enhancement by static var compensators[J]. IEEE Trans on Power Syst, 1986, 1(4): 222-227.
- [6] LERCH E, POVH D, XU L. Advanced SVC control for damping power system oscillations [J]. IEEE Trans on Power Syst, 1991, 6(2): 524-535.
- [7] KANNAN S, JAYARAM S, SALAMA M M A. Real and reactive power coordination for a unified power flow controller[J]. IEEE Trans on Power Syst, 2004, 19(2): 1454-1461.
- [8] CHANG C T, HSU Y Y. Design of UPFC controllers and supplementary damping controller for power transmission control and stability enhancement of a longitudinal power system[J]. IEEE Proceedings C, 2002, 149(4): 463-471.
- [9] XIONG Jian, KANG Yong, DUAN Shan-xu. Simplified control circuit of three phase PWM rectifier[C]//Applied Power Electronics Conference and Exposition. Dallas, USA: IEEE, 1999: 229-233.
- [10] 杨德刚, 赵良炳, 刘润生. 三相高功率因数整流器的建模及闭环控制[J]. 电力电子技术, 1999(5): 49-51.

YANG De-gang, ZHAO Liang-bing, LIU Run-sheng. Modelling and closed-loop controller design of a three-phase high-power-factor rectifier[J]. Power Electronics Technology, 1999(5): 49-51.

(责任编辑: 柏英武)

作者简介:

章勇高(1975-),男,江西临川人,讲师,博士研究生,研究方向为电力电子与电力传动(E-mail: z.y.gao@163.com);

康勇(1965-),男,湖北武汉人,教授,博士研究生导师,研究方向为电力电子与电力传动(E-mail: ykang@lhust.edu.cn)。

Double-loop control design of STATCOM

ZHANG Yong-gao^{1,2}, KANG Yong¹, LIU Li-ming¹, ZHU Peng-cheng¹, LIU Xiao-yuan¹

(1. Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;

2. East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: STATCOM (STATic synchronous COMpensator) is mainly to support busbar voltage and maintain the stability of DC-link capacitor voltage. The operational principle and mathematical model of STATCOM are introduced. A novel control strategy is proposed, which uses current feed-forward loop and PI (Proportional-Integral) loop in regulation system to control the DC capacitor voltage while the automatic busbar voltage control is composed of PI and scaling factors of droop characteristic. The control system design is discussed. The simulation and experiment on a 7.5 kV · A system indicate that the DC capacitor voltage and busbar voltage can be controlled efficiently, which proves the correct control system and the effective controller design.

Key words: static synchronous compensator; double-loop control; current feed-forward; droop characteristic