

配电网静止同步补偿器的非线性控制方法

汤 赐

(长沙理工大学 可再生能源电力技术湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114)

摘要: 通过对系统电路结构的分析获得了多变量、强耦合、非线性的系统模型。提出一种配电网静止同步补偿器 (DSTATCOM) 的非线性控制方法, 不仅实现了交流侧瞬时电压与交流侧瞬时电流之间强耦合关系的消除, 而且解决了直流侧电压因其非线性特性而存在难以快速稳定的问题, 并保证了 DSTATCOM 交流侧瞬时电流和直流侧瞬时电压均能稳态无差地跟踪各自的期望值信号; 基于瞬时无功功率的定义获得了无功电流在 dq 坐标系下的期望值信号。实验结果表明, DSTATCOM 采用所提非线性控制方法后, 配电网公共连接点电压和 DSTATCOM 直流侧电压均能及时、有效地调整到其期望值。

关键词: 静止同步补偿器; 强耦合; 非线性; 控制方法

中图分类号: TM 714.3

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2011)03-0018-05

0 引言

随着电力电子装置的广泛应用, 电力系统的电能质量问题越来越受到关注^[1-5]。作为改善电能质量的电力电子装置, 配电网静止同步补偿器 (DSTATCOM) 的主要功能是支撑配电网公共连接点 (PCC) 电压^[6-7], 其直流侧电压的稳定也是 DSTATCOM 安全有效工作的保证。

文献[8]提出了一种 STATCOM 用于维持接入点电压的变结构神经网络控制方法。针对主电路功率器件存在“死区”效应, 文献[9]提出了一种 STATCOM 的单周控制新方法。但上述 2 种方法均没有讨论 STATCOM 输出电压和输出电流间的耦合关系。通过分析 dq 坐标系中 DSTATCOM 数学模型的特点, 文献[10]引入了基于瞬时功率平衡的直接电压控制策略, 并提供了一种模糊自适应 PI 控制方法。该方法虽然具有算法简单、实用性强等优点; 但对于 DSTATCOM 输出电流的控制而言, 它属于开环控制, 无法保证 DSTATCOM 输出电流稳态无差地跟踪其期望值信号。文献[11]提出了一种 DSTATCOM 的前馈解耦控制方法, 同时实现了支撑配电网 PCC 电压与稳定 DSTATCOM 直流侧电压的目标。但上述 4 种方法均没有考虑 DSTATCOM 直流侧电压因其非线性特性而难以实现快速稳定的问题。针对上述方法的不足之处, 本文提出了一种 DSTATCOM 的非线性控制方法。

1 系统建模

图 1 为系统主电路, 图中, u_g, L_g, R_g 为配电网电压 (对称、无畸变)、电感、电阻; L_{L1}, R_{L1} 和 L_{L2}, R_{L2} 均为连接于 PCC 处固定容量的电感、电阻, 其中前者用以模拟敏感性负载, 后者用以模拟大容量电感性负载; S 用来控制 L_{L2} 和 R_{L2} 是否接入配电网; L, R 为连接电抗器的电感、电阻 (包含开关器件的开关损耗), i_s 为流经 L 和 R 的电流; DSTATCOM 由二电平电压源型变流器构成, u_s 为其交流侧电压, C 为直流侧大电容的电容值, R_C 用来等效直流侧损耗, u_{DC}, i_{DC} 为直流侧电压、电流, i_{RC} 为流经 R_C 的电流。

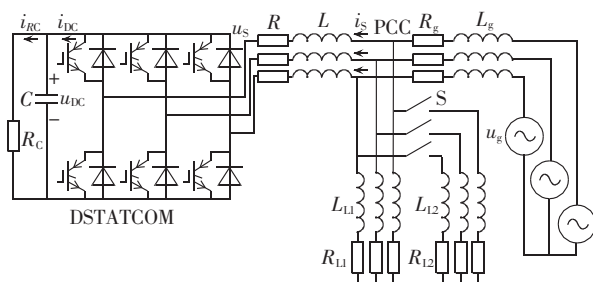


图 1 系统主电路

Fig.1 Topology of system circuit

由图 1 可得 DSTATCOM 交流侧在三相 abc 坐标系中的方程:

$$\begin{cases} u_a = L \frac{di_{sa}}{dt} + R i_{sa} + u_{sa} \\ u_b = L \frac{di_{sb}}{dt} + R i_{sb} + u_{sb} \\ u_c = L \frac{di_{sc}}{dt} + R i_{sc} + u_{sc} \end{cases} \quad (1)$$

其中, $u_z (z=a, b, c)$ 为配电网 PCC 的瞬时电压; i_{sz} 和 u_{sz} 分别为 DSTATCOM 交流侧的瞬时电流和瞬时电压。

收稿日期: 2010-06-30; 修回日期: 2011-01-19

基金项目: 电力系统安全运行与控制湖南省高校重点实验室基金项目; 长沙理工大学基金项目 (1198001)

Project supported by the Fund of Key Laboratory of Hunan Province about Power System Operation and Control and the Fund of Changsha University of Science and Technology (1198001)

由式(1)可得 DSTATCOM 交流侧在两相静止坐标系(即 $\alpha\beta$ 坐标系)中的方程:

$$\begin{cases} u_\alpha = L \frac{di_{s\alpha}}{dt} + Ri_{s\alpha} + u_{s\alpha} \\ u_\beta = L \frac{di_{s\beta}}{dt} + Ri_{s\beta} + u_{s\beta} \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)可得 DSTATCOM 交流侧在两相同步旋转坐标系(即 dq 坐标系)中的方程:

$$\begin{cases} u_d = L \frac{di_{sd}}{dt} - \omega Li_{sq} + Ri_{sd} + u_{sd} \\ u_q = L \frac{di_{sq}}{dt} + \omega Li_{sd} + Ri_{sq} + u_{sq} \end{cases} \quad (3)$$

其中, ω 为配电网的基波角频率。

为简化运算, 现将 d 轴固定在配电网 PCC 的电压矢量上, 因此有

$$\begin{cases} u_d = u \\ u_q = 0 \end{cases} \quad (4)$$

结合式(3)(4), 有

$$\begin{cases} u = L \frac{di_{sd}}{dt} - \omega Li_{sq} + Ri_{sd} + u_{sd} \\ 0 = L \frac{di_{sq}}{dt} + \omega Li_{sd} + Ri_{sq} + u_{sq} \end{cases} \quad (5)$$

式(5)即为 DSTATCOM 交流侧在 dq 坐标系中的数学模型。显然, 由式(5)可知, 控制 DSTATCOM 交流侧的瞬时电压 u_{sd}, u_{sq} 即可实现对 DSTATCOM 交流侧的瞬时电流 i_{sd}, i_{sq} 的控制; 但由于耦合项 $\omega Li_{sq}, \omega Li_{sd}$ 的存在, 因此 u_{sd}, u_{sq} 难以实现对 i_{sd}, i_{sq} 快速、精准的控制。这意味着支撑配电网 PCC 电压与稳定 DSTATCOM 直流侧电压将因 DSTATCOM 输出电压和输出电流之间的耦合关系而无法同时有效实现。

由图 1 可得 DSTATCOM 直流侧的方程:

$$i_{DC} = C \frac{du_{DC}}{dt} + i_{RC} \quad (6)$$

从配电网 PCC 处流入连接电抗器和 DSTATCOM 的瞬时有功功率 p 为^[12]

$$p = \frac{3}{2} |u| i_{sd} \quad (7)$$

其中, $|u|$ 为配电网 PCC 的电压矢量 u 的模。

为简化分析, 现忽略 R 的影响, 即忽略开关器件损耗和连接电抗器损耗。根据能量守恒定律, DSTATCOM 直流侧的瞬时功率应等于从配电网 PCC 处流入的瞬时有功功率 p , 因此有

$$\frac{3}{2} |u| i_{sd} = u_{DC} i_{DC} \quad (8)$$

结合式(6)(8), 有

$$\frac{3}{2} |u| i_{sd} = u_{DC} C \frac{du_{DC}}{dt} + u_{DC} i_{RC} \quad (9)$$

式(9)即为 DSTATCOM 直流侧在 dq 坐标系中的数学模型。显然, 由于等式右边 $u_{DC} C \frac{du_{DC}}{dt}$ 项的存在, 式(9)具有典型的非线性特性。这意味着即使消除了式(5)中耦合项 $\omega Li_{sq}, \omega Li_{sd}$ 的影响, 采用常规的

PI 控制方法仍然无法有效实现 DSTATCOM 直流侧电压的快速控制。

综合式(5)(9), 即可得 DSTATCOM 交、直流侧的统一数学模型:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{sd} \\ \dot{i}_{sq} \\ \dot{u}_{DC} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} i_{sd} + \omega i_{sq} \\ -\frac{R}{L} i_{sq} - \omega i_{sd} \\ \frac{3|u|}{2Cu_{DC}} i_{sd} - \frac{i_{RC}}{C} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u - u_{sd} \\ -u_{sq} \end{bmatrix} \quad (10)$$

由于式(10)中只有 $u - u_{sd}$ 和 $-u_{sq}$ 2 个输入量, 因此也只能选择 2 个输出量: 选择 u_{DC} 实现保持直流侧电压稳定的目标, 选择 i_{sq} 满足支撑配电网 PCC 电压的需要。先定义状态变量如下: $x_1 = i_{sd}, x_2 = i_{sq}, x_3 = u_{DC}$ 。再定义输入变量如下: $u_1 = u - u_{sd}, u_2 = -u_{sq}$ 。最后定义输出变量如下: $y_1 = i_{sq}, y_2 = u_{DC}$ 。因此式(10)可改写为

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}_1(\mathbf{x})u_1 + \mathbf{g}_2(\mathbf{x})u_2 \\ y_1 = h_1(\mathbf{x}) \\ y_2 = h_2(\mathbf{x}) \end{cases} \quad (11)$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ u_{DC} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} f_1(\mathbf{x}) \\ f_2(\mathbf{x}) \\ f_3(\mathbf{x}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L}x_1 + \omega x_2 \\ -\frac{R}{L}x_2 - \omega x_1 \\ \frac{3|u|}{2Cx_3}x_1 - \frac{i_{RC}}{C} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{g}_1(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{g}_2(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$h_1(\mathbf{x}) = x_2, \quad h_2(\mathbf{x}) = x_3 = u_{DC}$$

其中, $\mathbf{x}$ 为 3 维状态向量, $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ 、 $\mathbf{g}_1(\mathbf{x})$ 和 $\mathbf{g}_2(\mathbf{x})$ 均为 3 维光滑向量场, $h_1(\mathbf{x})$ 和 $h_2(\mathbf{x})$ 则为 $\mathbf{x}$ 的标量函数。

由式(11)可得 DSTATCOM 的非线性模型, 如图 2 所示。图中, 因 $\mathbf{g}_1(\mathbf{x})$ 和 $\mathbf{g}_2(\mathbf{x})$ 中的元素均为常数, 与状态向量 $\mathbf{x}$ 无关, 故 $\mathbf{x}$ 与 $\mathbf{g}_1(\mathbf{x})$ 、 $\mathbf{g}_2(\mathbf{x})$ 之间的连线均已省略。

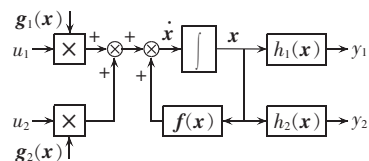


图 2 DSTATCOM 的非线性模型

Fig.2 Nonlinear model of DSTATCOM

2 DSTATCOM 的非线性控制系统

由上述分析可知, DSTATCOM 具有多变量、强耦合、非线性的特性, 为此, 本文采用非线性控制方法实现 DSTATCOM 同时支撑配电网 PCC 电压与稳定 DSTATCOM 直流侧电压的双重目的。DSTATCOM 的非线性控制系统主要由 2 部分组成: 采用非线性控制律完成解耦和非线性消除的任务; 基于瞬时无功

率的定义获得 i_{S_q} 的期望值信号 $i_{S_q}^*$ 。

2.1 非线性控制律

由式(11)可推得:

$$\dot{y}_1 = -\frac{R}{L}x_2 - \omega x_1 + \frac{1}{L}u_2 \quad (12)$$

$$\dot{y}_2 = \frac{3|u|}{2Cx_3}x_1 - \frac{i_{RC}}{C} \quad (13)$$

显然,式(12)中的 $\dot{y}_1$ 与输入量 u_2 之间为显性关系;而式(13)中的 $\dot{y}_2$ 与输入量 u_1 之间无显性的数学表达式,因此需对 $\dot{y}_2$ 求导,可得:

$$\ddot{y}_2 = -\frac{3R|u|}{2LC} \frac{x_1}{x_3} + \frac{3\omega|u|}{2C} \frac{x_2}{x_3} - \frac{9|u|^2}{4C^2} \frac{x_1^2}{x_3^2} + \frac{3|u|i_{RC}}{2C^2} \frac{x_1}{x_3^2} - \frac{1}{C} \frac{di_{RC}}{dt} + \frac{3|u|}{2LC} \frac{1}{x_3} u_1 \quad (14)$$

由式(14)可知,此时 $\ddot{y}_2$ 与输入量 u_1 之间已为显性关系。

结合式(12)(14)可得:

$$\begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{bmatrix} = P(x) + Q(x) \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$P(x) = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L}x_2 - \omega x_1 \\ A_1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$Q(x) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \\ \frac{3|u|}{2LC} \frac{1}{x_3} & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

为实现 DSTATCOM 的解耦和非线性消除的目的,现引入 2 个新的输入量(控制量) v_1, v_2 ,且与原有的 2 个输入量(控制量) u_1, u_2 之间满足:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = Q^{-1}(x) \left(-P(x) + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \right) \quad (18)$$

其中, $Q^{-1}(x)$ 为 $Q(x)$ 的逆矩阵,且

$$Q^{-1}(x) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{2LC}{3|u|}x_3 \\ L & 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

结合式(15)(18)可知,2 个新的输入量 v_1, v_2 与 $\dot{y}_1, \ddot{y}_2$ 之间是简单的线性关系,如式(20)所示:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = v_1 \\ \ddot{y}_2 = v_2 \end{cases} \quad (20)$$

为保证稳态时 DSTATCOM 交流侧的瞬时电流 i_{S_q} 和直流侧的瞬时电压 u_{DC} 均能无差地跟踪各自的期望值 $i_{S_q}^*, u_{DC}^*$, 令 2 个新的输入量 v_1, v_2 为^[13]

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{y}_1^* - k_{11}e_1 - k_{12} \int e_1 dt \\ \ddot{y}_2^* - k_{21}\dot{e}_2 - k_{22}e_2 - k_{23} \int e_2 dt \end{bmatrix} \quad (21)$$

其中, $e_1 = y_1 - y_1^* = i_{S_q} - i_{S_q}^*, e_2 = y_2 - y_2^* = u_{DC} - u_{DC}^*$; 常系数 k_{11}, k_{21} 和 k_{22} 是用以实现 y_1, y_2 分别对 y_1^*, y_2^* 的渐近跟

踪,以及稳态误差为 0 的目标;常系数 k_{12} 和 k_{23} 是用来消除参数变化所引起的误差,提高系统的鲁棒性。

结合式(20)(21)可知,动态过程中 DSTATCOM 2 个输出量 y_1, y_2 (即 i_{S_q} 和 u_{DC}) 的跟踪误差 e_1, e_2 为

$$\begin{cases} \ddot{e}_1 + k_{11}\dot{e}_1 + k_{12}e_1 = 0 \\ \ddot{e}_2 + k_{21}\dot{e}_2 + k_{22}e_2 + k_{23}e_2 = 0 \end{cases} \quad (22)$$

利用必须确保式(22)中极点在复平面左半侧的条件^[14],即可求出常系数 $k_{11}, k_{12}, k_{21}, k_{22}$ 和 k_{23} 。

将式(21)代入式(18)后,可得非线性控制律为

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = Q^{-1}(x) \left(-P(x) + \begin{bmatrix} \dot{y}_1^* - k_{11}e_1 - k_{12} \int e_1 dt \\ \ddot{y}_2^* - k_{21}\dot{e}_2 - k_{22}e_2 - k_{23} \int e_2 dt \end{bmatrix} \right) \quad (23)$$

考虑到 y_2 (即 u_{DC}) 的期望值 y_2^* (即 u_{DC}^*) 为固定值(用以保证 PWM 调制的成功和 DSTATCOM 的安全稳定运行),式(23)可简化为

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = Q^{-1}(x) \left(-P(x) + \begin{bmatrix} \dot{y}_1^* - k_{11}e_1 - k_{12} \int e_1 dt \\ -k_{21}\dot{e}_2 - k_{22}e_2 - k_{23} \int e_2 dt \end{bmatrix} \right) \quad (24)$$

由式(24)可得 DSTATCOM 的非线性控制模型,如图 3 所示。

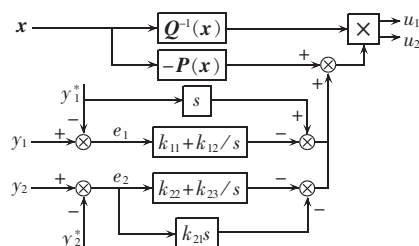


图 3 DSTATCOM 的非线性控制模型

Fig.3 Nonlinear control model of DSTATCOM

2.2 期望值信号 $i_{S_q}^*$ 的获取

从配电网 PCC 处流入连接电抗器和 DSTATCOM 的瞬时无功功率 q 为^[12]

$$q = \frac{3}{2} |u| i_{S_q} \quad (25)$$

可知,瞬时无功功率 q 发生改变时,若 i_{S_q} 保持不变,则配电网 PCC 的瞬时电压也会相应发生改变(即反映为 $|u|$ 发生改变);为了保证 $|u|$ 维持不变,需要相应地控制 i_{S_q} 来跟踪 q 的变化,因此可得 $i_{S_q}^*$:

$$i_{S_q}^* = \frac{q^*}{|u^*|} \quad (26)$$

其中, q^* 为 q 的期望值信号,可以通过计算系统无功需求获得。

2.3 基于非线性控制律的 DSTATCOM 控制模型

结合图 2、3 和式(26),可得基于非线性控制律的 DSTATCOM 控制模型,如图 4 所示。

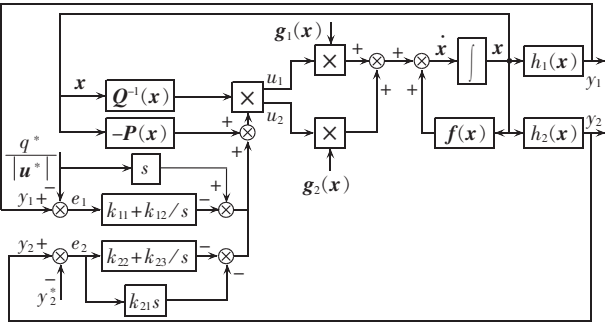


图 4 基于非线性控制律的 DSTATCOM 控制模型
Fig.4 DSTATCOM control model based on nonlinear control law

3 实验验证

为验证 DSTATCOM 的非线性控制方法的正确性和有效性,本文就 DSTATCOM 未采用解耦控制系统、采用文献[11]所设计的解耦控制系统、采用本文所设计的非线性控制系统 3 种情况下的工作性能进行了对比实验研究。相关参数如表 1~4 所示。为模拟配电网 PCC 电压跌落,通过闭合开关 S 使得大容量感性负载投入配电网。相关实验结果如图 5~7 所示。

表 1 配电网参数

Tab.1 Parameters of distribution network

参数	数值
配电网线电压 u_g	380 V
配电网工频 f_g	50 Hz
配电网电阻 R_g	0.05 Ω
配电网电感 L_g	0.03 mH

表 2 负载参数

Tab.2 Parameters of loads

参数	数值
敏感性负载的电阻 R_{L1}	5 Ω
敏感性负载的电感 L_{L1}	0.02 mH
敏感性负载的容量 P	50 kW
大容量负载的电阻 R_{L2}	0.05 Ω
大容量负载的电感 L_{L2}	0.6 mH
大容量负载的容量 Q	50 kvar

表 3 连接电抗器和 DSTATCOM 的参数

Tab.3 Parameters of linking reactor and DSTATCOM

参数	数值
连接电抗器的电阻 R	0.05 Ω
连接电抗器的电感 L	0.3 mH
IGBT 的开关频率 f_m	10 kHz
PWM 调制方法	SVPWM
直流侧电容 C	10 000 μ F
直流侧电阻 R_c	10 k Ω
直流侧电压 u_{DC}	800 V

表 4 图 4 中 5 个参数的数值

Tab.4 Values of five parameters in fig.4

参数	数值	参数	数值
k_{11}	2.14	k_{22}	0.12
k_{12}	32.3	k_{23}	103
k_{21}	0.96		

由图 5(a)可知,当大容量感性负载投入配电网后、DSTATCOM 投入运行前,配电网 PCC 的电压因受大容量无功负荷的冲击而下降;投入 DSTATCOM 后, u_a 很快就回升。但由于没有采用解耦控制系统,支撑配电网 PCC 电压与稳定直流侧电压将因 DSTATCOM 输出电压和输出电流之间的耦合关系而无法同时有效实现,即表现为:侧重于对配电网 PCC 电压的快速支撑时(见图 5(a)),DSTATCOM 的直流侧电压将

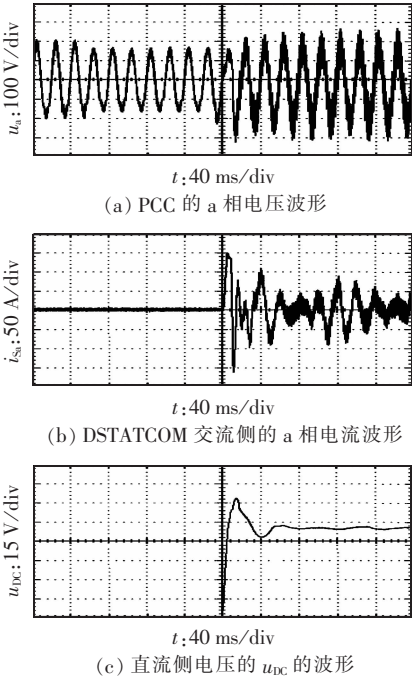


图 5 DSTATCOM 未采用解耦控制系统时的实验结果
Fig.5 Experimental results of DSTATCOM without decoupling control system

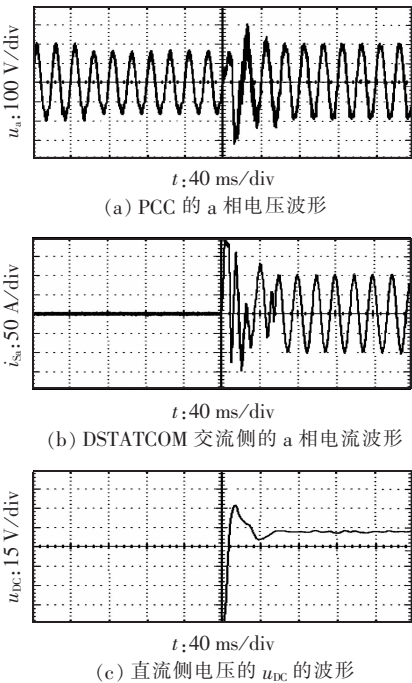


图 6 DSTATCOM 采用解耦控制系统时的实验结果
Fig.6 Experimental results of DSTATCOM with decoupling control system

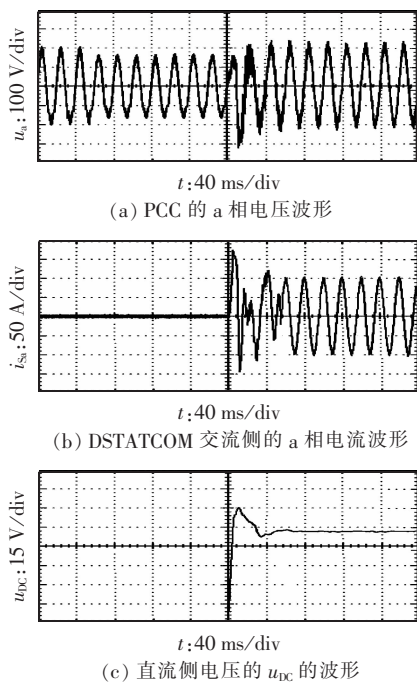


图 7 DSTATCOM 采用非线性控制系统时的实验结果

Fig.7 Experimental results of DSTATCOM with nonlinear control system

出现较大幅度和较长时间的波动(见图 5(c)),进而影响到 PWM 调制效果,最终表现为 DSTATCOM 输出电流(见图 5(b))和配电网 PCC 电压(见图 5(a))含有大量谐波分量。

由图 6 可知,DSTATCOM 采用解耦控制系统后,其工作性能有了明显改善,具体表现为配电网 PCC 电压经过 3 个工频周期左右能够恢复到期望值(见图 6(a)),DSTATCOM 直流侧电压的波动幅度和时间(见图 6(c))比图 5(c)所示要小,即快速支撑配电网 PCC 电压与稳定 DSTATCOM 直流侧电压可以同时有效实现。

由图 7 可知,DSTATCOM 采用本文所提出的非线性控制方法后,其工作性能比采用解耦控制系统后的工作性能更加优良,具体表现为配电网 PCC 电压不仅经过一个半工频周期即恢复到期望值(见图 7(a)),而且其动态过程中的超调量也比图 6(a)所示大为减少;DSTATCOM 直流侧电压的波动幅度和时间(见图 7(c))也比图 6(c)所示要小。

4 结论

DSTATCOM 的主要功能是支撑配电网 PCC 电压,同时其直流侧电压的稳定也是 DSTATCOM 安全有效工作的保证。但支撑配电网 PCC 电压与稳定直流侧电压常因 DSTATCOM 输出电压和输出电流之间的耦合关系而无法同时有效实现;且 DSTATCOM 直流侧电压还因其非线性特性而难以实现快速稳定。为此,本文设计了一种 DSTATCOM 的非线性控制系统,该控制系统主要由 2 部分组成:采用非线性

控制律完成解耦和非线性消除的任务;基于瞬时无功功率的定义获得 i_{sq} 的期望值信号 i_{sq}^* 。相关实验结果验证了本文所设计的 DSTATCOM 非线性控制系统的正确性和有效性。

参考文献:

- [1] 王兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制与无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,1998:4-6.
- [2] 罗安. 电网谐波治理与无功补偿技术及装备[M]. 北京:中国电力出版社,2006:1-4.
- [3] 姚舜,罗安,唐杰,等. 新型静止无功发生器的 Fuzzy-PI 控制[J]. 电力科学与技术学报,2007,22(2):43-47.
- [4] 帅智康,罗安,舒适,等. 注入式混合型有源电力滤波器的研究[J]. 电力科学与技术学报,2008,23(1):43-49.
- [5] 范瑞祥,马亮,罗安,等. 谐波与无功综合补偿装置的控制策略[J]. 电力自动化设备,2008,28(8):14-19.
- [6] 陶礼学,姚钢,周荔丹,等. 基于 IGBT 的 ± 10 kvar STATCOM 装置设计[J]. 电力自动化设备,2006,26(5):61-65.
- [7] 杨宝峰,刘永和. 基于 MLCR-CSC 的 STATCOM 控制[J]. 电力自动化设备,2008,28(8):1-4.
- [8] 唐杰,罗安,周柯. 静止同步补偿器电压控制器的设计与实现[J]. 电工技术学报,2006,21(8):103-106,116.
- [9] 刘定国,罗安,帅智康. 单周控制静止同步补偿器的死区补偿策略[J]. 电工技术学报,2007,22(12):159-163.
- [10] 唐杰,罗安,欧剑波,等. 配电静止同步补偿器的模糊自适应 PI 控制策略[J]. 电工技术学报,2008,23(2):120-126.
- [11] 汤赐,罗安. 配电网静止同步补偿器的前馈解耦控制策略[J]. 电力自动化设备,2010,30(6):40-44.
- [12] SCHAUDER C,MEHTA H. Vector analysis and control of advanced static var compensators[J]. IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution,1993,140(4):299-306.
- [13] GEORGIU G,PIOUFLE B L. Nonlinear speed control of a synchronous servomotor with robustness[C]//Proceedings of European Power Electronics Conference. Florence,Italy:IEE,1991:42-48.
- [14] 王孝武. 现代控制理论基础[M]. 北京:机械工业出版社,2006:78-80.

(实习编辑:李 莉)

作者简介:

汤 赐(1978-),男,湖南湘潭人,讲师,博士,研究方向为电力电子技术在电力系统中的应用(E-mail:tangci2679@126.com)。

Nonlinear control method of DSTATCOM

TANG Ci

(Key Laboratory for Power Technology of Renewable Energy Sources,
Hunan Province, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: The system model with multiple variables, strong coupling and nonlinearity is established by system circuit analysis and a nonlinear control method is presented for STATCOM, which eliminates the strong coupling of instantaneous voltage and instantaneous current at its AC side, quickly makes its DC-side voltage stable, and tracks without error the expected steady-state signals of AC-side current and DC-side voltage. The expected reactive current of DSTATCOM in dq coordinates is obtained based on the definition of instantaneous reactive power. Experimental results show that, with the proposed nonlinear control method, the PCC voltages of grid and the DC-side voltage of DSTATCOM can be effectively regulated to their expected values in time.

Key words: static synchronous compensator; strong coupling; nonlinearity; control method