

# 统一潮流控制器的动态相量建模与仿真

戚庆茹<sup>1</sup>, 焦连伟<sup>1</sup>, 严 正<sup>2</sup>, 倪以信<sup>2</sup>, 陈寿孙<sup>1</sup>, 吴复立<sup>2</sup>

(1. 清华大学电机系, 北京市 100084; 2. 香港大学电机电子工程学系, 香港)

**摘要:** 为适应系统快速、精确仿真和分析、控制的需要, 运用一种新的建模方法——基于时变傅里叶级数的动态相量法对统一潮流控制器(UPFC)进行建模和仿真。该方法通过忽略系统状态变量所对应的傅里叶级数中那些不重要的项而对原系统进行简化, 并且可以有效地将系统中的连续事件和离散开关事件结合起来。在建模过程中可以根据研究需要提取出 UPFC 暂态模型中的直流分量和需要考虑的各次交流谐波分量。通过与详细时域模型仿真计算结果的比较, 证明了 UPFC 的动态相量模型是精确而有效的, 并且可以大大节省计算时间。

**关键词:** 灵活交流输电系统; 统一潮流控制器; 动态相量模型; 时变傅里叶级数

中图分类号: TM761

## 0 引言

灵活交流输电系统(FACTS)的广泛应用, 促进了对带有 FACTS 装置的大规模电力系统分析方法的研究。由于电力系统的庞大和复杂性以及计算规模和时间的限制, 不可能对系统中所有这些开关器件采用详细的包含阀过程的细致的电磁暂态仿真模型, 而采用过于简化的模型又会缺乏准确性。这一问题已成为含 FACTS 装置的电力系统稳定分析和协调控制的瓶颈。动态相量(dynamic phasors)法就是在此研究需求下出现的。

动态相量法的思想源于传统的平均值法(classical averaging), 是基于时变傅里叶系数而推导的一种建模方法, 其概念在文献[1]中首次引入。随后便出现了有关晶闸管控制串联补偿器(TCSC)<sup>[2]</sup> 和统一潮流控制器(UPFC)<sup>[3]</sup> 的动态相量模型的研究, 但是它们都局限于设备建模或是在小系统中的应用。研究表明, 这种模型在暂态仿真中可以大大提高计算效率而又不失准确性。近几年来, 我国科研人员也逐渐开展了有关研究<sup>[4]</sup>。

UPFC 作为复合型 FACTS 装置, 包含 2 个换流桥。在过去近 10 年中, 已有不少关于 UPFC 动态模型和控制策略方面的理论及仿真研究<sup>[5,6]</sup>。但是, 这些研究中对换流桥的建模大多局限于准稳态模型或过于复杂的模型, 不适于大系统的分析。本文运用动态相量法, 建立基于开关函数描述的换流

桥详细时域动态模型<sup>[5]</sup> 的 UPFC 模型, 并给出了 UPFC 动态相量模型的详细推导, 而且该模型具有可扩展性, 可以依据不同开关控制策略推导相应的动态相量模型。最后给出模型在不同情况下的仿真验证。

## 1 动态相量法建模原理

动态相量法以时变傅里叶级数为基础, 下面简单给出其原理, 详细内容可参看文献[7]。

时域中表示为  $x(\tau)$  的波形, 在任一区间  $\tau \in (t-T, t]$  中, 用时变傅里叶级数可以表示为<sup>[1]</sup>:

$$x(\tau) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X_k(t) e^{j\omega_s \tau} \quad (1)$$

式中:  $\omega_s = 2\pi/T$ ;  $X_k(t)$  为时变傅里叶系数, 在动态相量法中定义为“相”, 不同次数的傅里叶系数为不同的相。

第  $k$  次傅里叶系数为:

$$X_k(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t x(\tau) e^{-jk\omega_s \tau} d\tau = \langle x \rangle_k(t) \quad (2)$$

$X_k(t)$  是时间的函数, 当所研究的窗(宽度为  $T$ )在波形  $x(\tau)$  上沿时间轴移动时, 相量  $\langle x \rangle_k(t)$  就会改变。所以, 动态相量是一种对给定波形上面的“滑动窗”基于时间的傅里叶级数的表示。可以通过忽略级数中不重要的项进行简化, 并将这些相量看做状态变量。这就是动态相量法建模的主要思路。

动态相量法具备以下 2 个重要特性:

### a. 相量微分特性

对于第  $k$  阶傅里叶系数, 其微分形式满足:

$$\frac{dX_k}{dt}(t) = \left| \frac{dx}{dt} \right|_k (t) - jk\omega_s X_k(t) \quad (3)$$

公式证明可参见文献[7]。

### b. 相量乘积特性

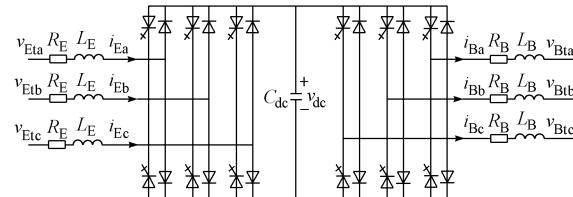
对于  $x(t)$  和  $q(t)$  的乘积, 有:

$$\langle xq \rangle_k = \sum_i \langle x \rangle_{k-i} \langle q \rangle_i \quad (4)$$

动态相量建模的实质是保留对应变量的傅里叶系数中相对较大的系数项, 抓住系统的主要特征。建模过程中保留傅里叶一次项系数还是保留直流分量系数, 要视研究需要而定。基于动态相量法建模的特点, 可以看出这种方法主要适用于: ①传统相量分析时, 相量本身动态不可忽略, 即传统准稳态假定不满足的情况; ②含晶闸管元件等的电力电子设备建模, 如 FACTS, HVDC。

## 2 UPFC 动态相量法建模

UPFC 由变压器和换流桥构成的串联侧和并联侧通过直流电容器耦合而成。其详细电路见图 1。



$v_E, v_B$  分别为 UPFC 并联侧和串联侧的交流电压;  $R_E, L_E$  分别为并联侧每相桥臂的电阻和电感;  $R_B, L_B$  分别为串联侧每相桥臂的电阻和电感

图 1 UPFC 详细三相电路图

Fig. 1 Detailed three-phase UPFC circuit diagram

这里假设已考虑了 UPFC 中的交流量与直流量的标幺折算, 在此基础上给出 UPFC 并联侧、串联侧和直流部分的时域动态方程。并假设: ①系统中的电压电流满足三相平衡条件, 为工频正弦波; ②理想阀元件, 正向漏电流为 0; ③各桥臂上的参数(电阻、电抗)平衡。

### 2.1 UPFC 的时域动态模型<sup>[5]</sup>

首先看并联侧电路(串联侧可以同理推导), 以 a 相为例, 其等值电路如图 2 所示。

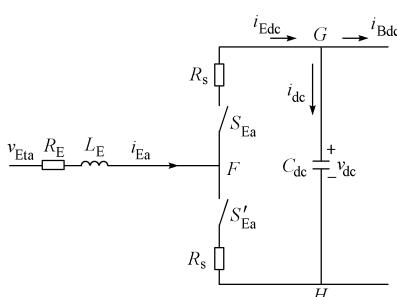


图 2 并联换流器的 a 相等值电路图

Fig. 2 Equivalent circuit of phase a of VSC-E

为简单起见, 将  $i(t), v(t)$  简写为  $i$  和  $v$ , 有:

$$L_E \frac{di_{Ea}}{dt} + R_E i_{Ea} = v_{Eta} - v_{Fa} \quad (5)$$

式中:

$$v_{Fa} = (i_{Ea} R_s + v_{dc}) S_{Ea} + i_{Ea} R_s S_{Ea}' + v_{Hn}$$

$S_{Ea}, S_{Ea}'$  分别为 a 相 2 个桥臂的开关函数, 并且满足:

$$S_{Ea} + S_{Ea}' = 1 \quad (6)$$

若系统交流侧满足三相平衡, 可推导得到:

$$v_{Hn} = -\frac{1}{3} v_{dc} \sum_{j=a,b,c} S_{Ej} \quad (7)$$

可以看出, 为描述系统中的离散开关事件, 需要借助开关函数来描述 UPFC 模型。以并联侧为例:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_E \frac{di_{Ea}}{dt} = -(R_E + R_s)i_{Ea} - v_{dc}S_{Ea} + \frac{v_{dc}}{3} \sum_{j=a,b,c} S_{Ej} + v_{Eta} \\ L_E \frac{di_{Eb}}{dt} = -(R_E + R_s)i_{Eb} - v_{dc}S_{Eb} + \frac{v_{dc}}{3} \sum_{j=a,b,c} S_{Ej} + v_{Etb} \\ L_E \frac{di_{Ec}}{dt} = -(R_E + R_s)i_{Ec} - v_{dc}S_{Ec} + \frac{v_{dc}}{3} \sum_{j=a,b,c} S_{Ej} + v_{Etc} \end{array} \right. \quad (8)$$

而开关函数  $S_{Ej}$  为周期函数, 与脉宽调制(PWM)控制有关, 要针对实际的开关控制策略对开关函数进行描述。开关函数模型尽管物理意义比较清楚, 但是这种模型较为复杂且不易分析和实现。结合下面要进行的动态相量建模, 我们用每一个开关周期内  $S_{Ej}$  的平均值构成的波形的基波来代替  $S_{Ej}$ , 同理, 串联侧也是如此。分别用  $d_{Ej}, d_{Bj}$  来代替上面的  $S_{Ej}$  和  $S_{Bj}$ , 可得(具体可参见文献[5]):

$$\left\{ \begin{array}{l} d_{Ej} = \frac{m_E}{2} \cos(\omega t - \delta_E - \Delta_j) + \frac{1}{2} \\ d_{Bj} = \frac{m_B}{2} \cos(\omega t - \delta_B - \Delta_j) + \frac{1}{2} \end{array} \right. \quad (9)$$

式中:  $m_E, \delta_E$  分别为并联换流器的调制比和触发角;  $m_B, \delta_B$  分别为串联换流器的调制比和触发角;

$$\Delta_j = \begin{cases} 0 & j = a \\ \frac{2\pi}{3} & j = b \\ \frac{4\pi}{3} & j = c \end{cases}$$

最后, 可以得到 UPFC 交流部分的动态方程为:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_E \frac{di_{Ea}}{dt} = -(R_E + R_s)i_{Ea} - \frac{m_E}{2}v_{dc} \cos(\omega t - \delta_E) + v_{Eta} \\ L_E \frac{di_{Eb}}{dt} = -(R_E + R_s)i_{Eb} - \frac{m_E}{2}v_{dc} \cos\left(\omega t - \delta_E - \frac{2}{3}\pi\right) + v_{Etb} \\ L_E \frac{di_{Ec}}{dt} = -(R_E + R_s)i_{Ec} - \frac{m_E}{2}v_{dc} \cos\left(\omega t - \delta_E - \frac{4}{3}\pi\right) + v_{Etc} \\ L_B \frac{di_{Ba}}{dt} = -(R_B + R_s)i_{Ba} + \frac{m_B}{2}v_{dc} \cos(\omega t - \delta_B) - v_{Bta} \\ L_B \frac{di_{Bb}}{dt} = -(R_B + R_s)i_{Bb} + \frac{m_B}{2}v_{dc} \cos\left(\omega t - \delta_B - \frac{2}{3}\pi\right) - v_{Btb} \\ L_B \frac{di_{Bc}}{dt} = -(R_B + R_s)i_{Bc} + \frac{m_B}{2}v_{dc} \cos\left(\omega t - \delta_B - \frac{4}{3}\pi\right) - v_{Btc} \end{array} \right. \quad (10)$$

参看图2, 可得到直流电容器动态方程为:

$$C_{dc} \frac{dv_{dc}}{dt} = i_{dc} = i_{Edc} - i_{Bdc} = \sum_{j=a,b,c} (i_{Ej}d_{Ej} - i_{Bj}d_{Bj}) \quad (11)$$

## 2.2 三相平衡条件下 UPFC 动态相量模型

第2.1节中给出了UPFC在时域范围内的动态方程。下面根据动态相量的计算公式推导其相应的动态相量方程。推导过程中, 交流侧电流只考虑基频分量, 直流电压只考虑直流分量, 对于开关函数考虑直流分量和基频分量。

首先看并联侧a相, 由动态相量微分特性:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \frac{di_{Ea}}{dt} \right|_1 = j\omega \langle i_{Ea} \rangle_1 + \frac{d \langle i_{Ea} \rangle_1}{dt} \\ \left| \frac{di_{Ea}}{dt} \right|_{-1} = jk\omega \langle i_{Ea} \rangle_{-1} + \frac{d \langle i_{Ea} \rangle_{-1}}{dt} \end{array} \right. \quad (12)$$

$i_{Ea}(t)$ 为实数信号, 有 $\langle i_{Ea} \rangle_{-k} = \langle i_{Ea} \rangle_k^*$ , 所以:

$$\begin{aligned} \frac{dI_{Ea}}{dt} &= -j\omega I_{Ea} - \frac{1}{L_E}(R_E + R_s)I_{Ea} - \\ &\quad \frac{1}{L_E} \frac{m_E}{4} \langle v_{dc} \rangle_0 e^{-j\delta_E} + \frac{1}{L_E} V_{Eta} \end{aligned} \quad (13)$$

同理, 对于b,c相, 有:

$$\begin{aligned} \frac{dI_{Eb}}{dt} &= -j\omega I_{Eb} - \frac{1}{L_E}(R_E + R_s)I_{Eb} - \\ &\quad \frac{1}{L_E} \frac{m_E}{4} \langle v_{dc} \rangle_0 e^{-j(\delta_E + \frac{2}{3}\pi)} + \frac{1}{L_E} V_{Etb} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \frac{dI_{Ec}}{dt} &= -j\omega I_{Ec} - \frac{1}{L_E}(R_E + R_s)I_{Ec} - \\ &\quad \frac{1}{L_E} \frac{m_E}{4} \langle v_{dc} \rangle_0 e^{-j(\delta_E + \frac{4}{3}\pi)} + \frac{1}{L_E} V_{Etc} \end{aligned} \quad (15)$$

同理可以推导串联侧。直流部分的动态相量方程为:

$$\frac{d \langle v_{dc} \rangle_0}{dt} = \left| \frac{dv_{dc}}{dt} \right|_0 = \frac{1}{C_{dc}} \left| \sum_{j=a,b,c} (i_{Ej}d_{Ej} - i_{Bj}d_{Bj}) \right|_0 \quad (16)$$

式中:

$$\begin{aligned} \langle (i_{Ea}d_{Ea} - i_{Ba}d_{Ba}) \rangle_0 &= \langle i_{Ea}d_{Ea} \rangle_0 - \langle i_{Ba}d_{Ba} \rangle_0 = \\ &I_{Ea1} \langle d_{Ea} \rangle_{-1} + I_{Ea1}^* \langle d_{Ea} \rangle_1 - I_{Ba1} \langle d_{Ba} \rangle_{-1} - I_{Ba1}^* \langle d_{Ba} \rangle_1 \end{aligned} \quad (17)$$

同时, 由傅里叶级数求解公式可以得到:

$$\begin{aligned} \langle d_{Ea} \rangle_0 &= \frac{1}{2}, \langle d_{Ea} \rangle_1 = \frac{m_E}{4} e^{-j\delta_E}, \langle d_{Ea} \rangle_{-1} = \frac{m_E}{4} e^{j\delta_E} \\ \langle d_{Ba} \rangle_0 &= \frac{1}{2}, \langle d_{Ba} \rangle_1 = \frac{m_B}{4} e^{-j\delta_B}, \langle d_{Ba} \rangle_{-1} = \frac{m_B}{4} e^{j\delta_B} \end{aligned} \quad (18)$$

将式(18)代入式(16)中, 可以得到直流部分的动态相量方程:

$$\begin{aligned} \frac{dV_{dc0}}{dt} &= \frac{1}{C_{dc}} \frac{3m_E}{2} \cos \delta_E I_{Ea1}^r - \frac{1}{C_{dc}} \frac{3m_E}{2} \sin \delta_E I_{Ea1}^i - \\ &\quad \frac{1}{C_{dc}} \frac{3m_B}{2} \cos \delta_B I_{Ba1}^r + \frac{1}{C_{dc}} \frac{3m_B}{2} \sin \delta_B I_{Ba1}^i \end{aligned} \quad (19)$$

考虑到三相平衡条件, 可以将三相方程化简为仅用a相来表示, 并将相量分开为实部和虚部表示, 加上直流部分的方程, 最后可得:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dI_{Ea1}^r}{dt} = -\frac{R_E + R_s}{L_E} I_{Ea1}^r + \omega I_{Ea1}^i - \frac{m_E}{4L_E} \cos \delta_E V_{dc0} + \frac{V_{Eta}}{L_E} \\ \frac{dI_{Ea1}^i}{dt} = -\omega I_{Ea1}^r - \frac{R_E + R_s}{L_E} I_{Ea1}^i + \frac{m_E}{4L_E} \sin \delta_E V_{dc0} + \frac{V_{Eta}}{L_E} \\ \frac{dI_{Ba1}^r}{dt} = -\frac{R_B + R_s}{L_B} I_{Ba1}^r + \omega I_{Ba1}^i + \frac{m_B}{4L_B} \cos \delta_B V_{dc0} - \frac{V_{Bta}}{L_B} \\ \frac{dI_{Ba1}^i}{dt} = -\omega I_{Ba1}^r - \frac{R_B + R_s}{L_B} I_{Ba1}^i - \frac{m_B}{4L_B} \sin \delta_B V_{dc0} - \frac{V_{Bta}}{L_B} \\ \frac{dV_{dc0}}{dt} = \frac{1}{C_{dc}} \frac{3m_E}{2} \cos \delta_E I_{Ea1}^r - \frac{1}{C_{dc}} \frac{3m_E}{2} \sin \delta_E I_{Ea1}^i - \\ \quad \frac{1}{C_{dc}} \frac{3m_B}{2} \cos \delta_B I_{Ba1}^r - \frac{1}{C_{dc}} \frac{3m_B}{2} \sin \delta_B I_{Ba1}^i \end{array} \right. \quad (20)$$

式(20)即为UPFC最终的动态相量方程, 为5阶方程, 写成矩阵形式为:

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{AX} + \mathbf{BU} \quad (21)$$

式中:  $\mathbf{X} = [I_{\text{Ea1}}^r \quad I_{\text{Ea1}}^i \quad I_{\text{Ba1}}^r \quad I_{\text{Ba1}}^i \quad V_{\text{dc0}}]$ ;  $\mathbf{U} = [V_{\text{Ea1}}^r \quad V_{\text{Ea1}}^i \quad V_{\text{Ba1}}^r \quad V_{\text{Ba1}}^i]$  为 UPFC 两端的交流电压相量;  $m_E, m_B, \delta_E, \delta_B$  为控制参数, 可由 UPFC 的控制系统给出。

### 3 仿真结果

由以上推导得出的动态相量模型, 利用 MATLAB 中的 SIMULINK 实现了在简单系统中的 UPFC 动态仿真。如图 2 所示, UPFC 参数为:  $V_{\text{Ea}} = 170 \text{ V}$ ,  $V_{\text{Ba}} = 10 \text{ V}$ ,  $\omega = 2\pi \times 60$ ,  $R_E = 0.1 \Omega$ ,  $R_B = 0.1 \Omega$ ,  $R_s = 0$ ,  $L_E = 500 \mu\text{H}$ ,  $L_B = 500 \mu\text{H}$ ,  $C_{\text{dc}} = 1 \text{ mF}$ 。为验证动态相量模型的有效性, 本文进行了典型扰动情况下的仿真, 并将其结果与 EMT(电磁暂态模型)仿真结果进行了比较。

#### 3.1 算例 1

假设并联侧和逆变侧的调制比发生变化:  $t = 0.05 \text{ s}$  时, 并联侧调制比  $m_E$  由最初的 0.3 阶跃到 0.7, 串联侧调制比  $m_B$  由最初的 0.6 跳变到 0.3, 两者在  $t = 0.1 \text{ s}$  时恢复初始值。观察此扰动下系统各量的变化过程, 仿真结果见图 3。

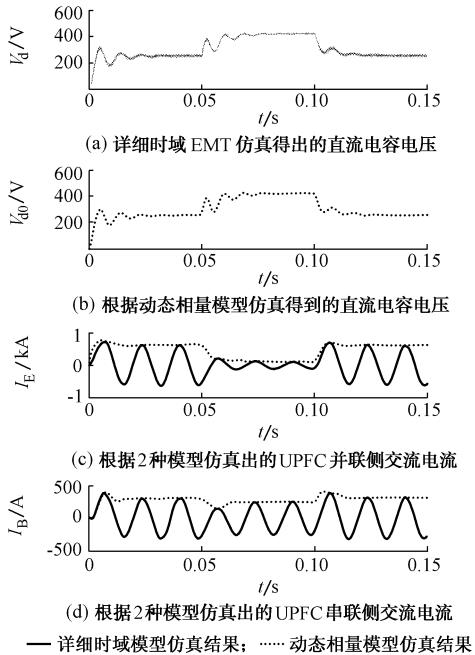


图 3 UPFC 动态相量模型仿真结果(算例 1)  
Fig. 3 Computer test results 1 of UPFC

可以看出, 在算例 1 给定的扰动下, 动态相量模型仿真出的各个变量的变化可以很好地“包络”详细时域仿真结果。

#### 3.2 算例 2

给并联侧电压施加扰动:  $t = 0.05 \text{ s}$  时, 电压  $v_{\text{Ea1}}$

的幅值由初始的 170 V 下降到 140 V, 然后  $t = 0.1 \text{ s}$  时恢复到初始值。仿真结果如图 4 所示。

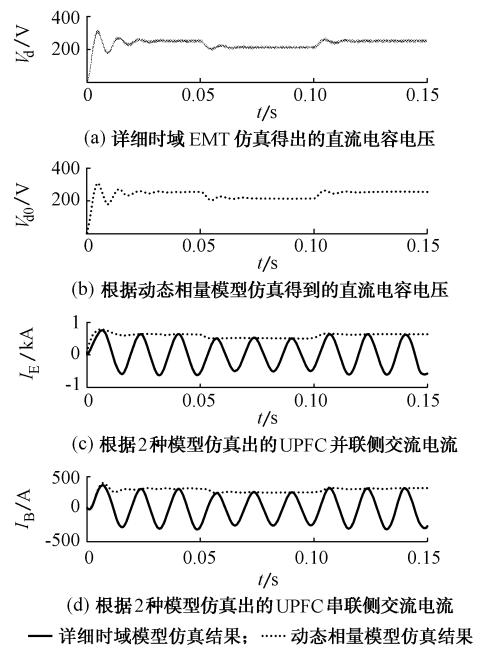


图 4 UPFC 动态相量模型仿真结果(算例 2)

Fig. 4 Computer test results 2 of UPFC

从图 4 可以看出, 在交流侧电压发生扰动的情况下, 动态相量模型的计算结果也可以很好地“包络”详细时域仿真结果, 可以描述各个变量的动态变化过程。

由上述算例的仿真结果可以看出, 根据 UPFC 动态相量模型仿真得出的结果与详细时域仿真得到的结果可以很好地吻合, 动态相量模型的计算结果可以“包络”详细时域仿真结果。

此外, 从计算中发现, 运用详细时域模型与动态相量法模型在计算时间上有很大差异, 具体计算时间如表 1 所示。

表 1 2 种模型计算时间的比较  
Table 1 Comparison of the calculation time of the two models

模型	计算时间/s	
	算例 1	算例 2
EMT 仿真模型	46.43	20.58
动态相量模型	0.48	0.12

以上实验结果表明, 动态相量法既节省计算时间, 大大减少了计算量, 又可保持系统的非线性, 精确反映系统的动态变化过程, 从而可望在大规模电力系统仿真中推广应用。

### 4 结论

本文介绍了一种新的元件动态建模方法——动

态相量法,对 UPFC 进行了动态相量建模并进行了仿真验证。动态相量法建立元件模型是介于详细时域模型(如 EMTP 中所用)和简化的准稳态模型之间的一种建模方式。通过以上的模型推导和仿真结果比较,可以得出如下结论:

a. UPFC 的动态相量模型可以很好地反映模型的主要动态特性;

b. 动态相量法可以填补电力系统中电磁暂态模型和机电暂态模型之间的空缺,通过它可以将电磁暂态和机电暂态很好地结合起来;

c. 动态相量模型由于考虑了相量的动态,故而比准稳态模型准确,并且比详细时域模型简单易用;

d. 运用动态相量模型进行仿真,可以大大提高计算速度,节省计算时间。

所以,动态相量模型的出现为将来的大系统仿真及计算分析打下了基础。可以把这种方法扩展到各种 FACTS 设备和 HVDC 换流器的建模中,并将它们与传统的电力系统暂态稳定程序接口,在此基础上对整个系统进行各种情况下的分析、仿真和控制器设计。

## 参 考 文 献

- 1 Sanders S R, Noworolski J M, Liu X Z, et al. Generalized Averaging Method for Power Conversion Circuits. IEEE Trans on Power Electronics, 1991, 6(2): 251~259
- 2 Mattavelli P, Verghese G C, Stankovic A M. Phasor Dynamics of Thyristor-controlled Series Capacitor Systems. IEEE Trans on

Power Systems, 1997, 12(3): 1259~1267

- 3 Stankovic A M, Mattavelli P, Caliskan V, et al. Modeling and Analysis of FACTS Devices with Dynamic Phasors. In: IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Singapore: 2000. 1440~1446
- 4 Huang Shengli, Zhou Xiaoxin. Analysis of Balanced and Unbalanced Faults in Power Systems Using Dynamic Phasors. In: ICEE-PES/CSEE, POWERCON2002. Kunming (China): 2002. 1550~1557
- 5 Niaki A N, Iravani M R. Steady State and Dynamic Models of Unified Power Flow Controller (UPFC) for Power System Studies. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(4): 1937~1943
- 6 Huang Zhenyu, Ni Yixin, Shen C M, et al. Application of United Power Flow Controller in Interconnected Power Systems—Modeling, Interface, Control Strategy, and Case Study. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(2): 817~823
- 7 戚庆茹,焦连伟,陈寿孙,等 (Qi Qingru, Jiao Lianwei, Chen Shousun, et al).运用动态相量法对电力电子装置建模与仿真初探 (Application of the Dynamic Phasors in Modeling and Simulation of Electronic Converters). 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(9):6~10

戚庆茹(1978—),女,博士研究生,主要研究方向为 FACTS 在电力系统中的应用、HVDC、电力系统动态分析。E-mail: qiqingru99@mails.tsinghua.edu.cn

焦连伟(1969—),男,博士,讲师,主要研究方向为电力系统分析与控制、电能质量、FACTS 在电力系统中的应用。

严 正(1964—),男,博士,研究员,从事电力系统最优潮流计算及暂态稳定分析方面的研究工作。

## MODELING AND SIMULATION OF UPFC WITH DYNAMIC PHASORS

Qi Qingru<sup>1</sup>, Jiao Lianwei<sup>1</sup>, Yan Zheng<sup>2</sup>, Ni Yixin<sup>2</sup>, Chen Shousun<sup>1</sup>, Felix F. Wu<sup>2</sup>

(1. Tsinghua University, Beijing 100084, China)

(2. The University of Hong Kong, Hong Kong, China)

**Abstract:** In modern large-scale interconnected power system, FACTS devices play an important role. A newly developed method, dynamic phasors method in modeling power electronic devices is discussed in this paper. This approach is based on time-varying Fourier coefficient series of the system variables. By truncating unimportant higher order series and keep only those significant series, the dynamic phasors model can catch the dynamic behavior of the original detail model. This method is able to combine continuous and discrete events of the system effectively and filter out required components (dc or ac of certain frequency) from power electronic device transient mode. Dynamic phasors method presents a new point of view for FACTS devices modeling. In particular, two typical examples and their simulation results are presented to show the effectiveness of this method.

This project is supported by National Key Basic Research Special Fund of China (No. G1998020305) and the Research Grant Council (RGC), Hong Kong SAR Government.

**Key words:** FACTS; UPFC; dynamic phasors model; time-varying Fourier coefficients