

UPFC 的模型与控制器研究

颜 伟 朱继忠 孙洪波 徐国禹

(重庆大学电气工程系 400044 重庆)

摘 要 考虑了两侧逆变器的脉宽和相角的控制输入,以五阶非线性微分方程组来描述 UPFC 的动态过程,提出利用串联侧输出电压的横分量和纵分量以及并联侧输出电流的横分量和纵分量来分别控制线路有功、线路无功、节点电压和直流侧电容电压,设计了 UPFC 的反馈控制系统。较全面地仿真了 UPFC 在系统故障过程中的暂态特性以及 UPFC 的功率控制和电压调节的性能,分析了 UPFC 直流侧电容量、变压器电抗值以及 UPFC 的控制参数对电力系统稳定性的影响。

关键词 FACTS UPFC 动态建模 暂态稳定

分类号 TM 761 TM 743

0 引言

全面分析统一潮流控制器(UPFC)的各类参数对电力系统稳定性和动态品质的影响,是研制大容量 UPFC 装置的一个十分重要的研究方向。研究 UPFC 装置在系统故障中对系统电压的支撑能力、对线路功率的调节能力以及对直流侧电容电压变化的影响等,对含 UPFC 的实际电力系统的运行尤为重要。

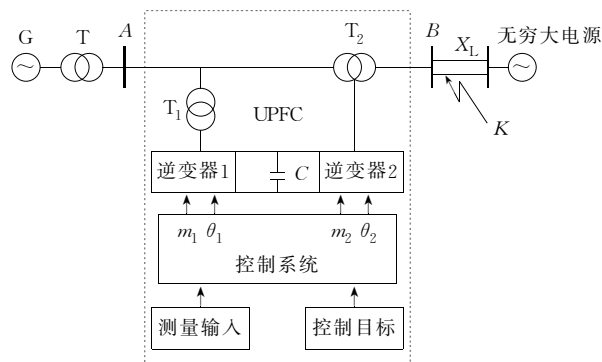
目前,对 UPFC 的研究还很不完善,文献[1~3]研究了含 UPFC 的潮流解算问题以及优化潮流的分析问题,主要基于 UPFC 的静态等效模型;文献[4,5]讨论了 UPFC 对电力系统暂态性能的影响,但并没有涉及 UPFC 本身的动态过程;文献[6]考虑了 UPFC 逆变器的相位和幅值的调节过程,建立了 UPFC 的动态模型,并以串联逆变器输出电压的横分量和纵分量来分别调节线路的有功和无功,以并联逆变器输出电压的幅值和相位来分别调节节点电压和直流电容电压。

本文在 UPFC 的动态模型中,引入了两侧逆变器的脉宽与相角的控制输入,提出以串联侧输出电压的横分量和纵分量以及并联侧输出电流的横分量和纵分量作为调节量,分别控制线路有功、线路无功、节点电压幅值和直流电容电压,通过 UPFC 与网络的关系,将控制输入与调节量结合起来,实现了 UPFC 的反馈控制,而且,在稳定直流电容电压的反馈控制中,还引入 UPFC 两侧的有功不平衡量,使直流电容电压的稳定控制得以很好地实现。

1 UPFC 的动态建模

设 UPFC 安装在发电机出口升压变压器的高

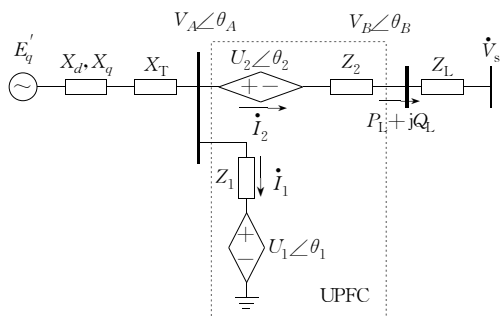
压母线侧,经双回线与无穷大系统相连。它的接入方式和等值电路如图 1 和图 2 所示。



θ_1, θ_2 逆变器交流侧电压相位的控制输入
 m_1, m_2 控制逆变器输出电压幅值的调制比

图1 UPFC的基本结构

Fig. 1 The principle diagram of UPFC



U 直流侧电容电压和逆变器输出电压幅值; V 节点电压幅值

图2 UPFC的等效电路

Fig. 2 Equivalent circuit of UPFC

设 UPFC 装置的两个电压型逆变器都采用正弦脉宽调制(SPWM),若只考虑基波分量,UPFC 两侧逆变器的交流电压幅值与直流电容电压的关系^[6]可以表示为:

$$U_1 = m_1 U_C \quad (1)$$

$$U_2 = m_2 U_C \quad (2)$$

其中 U_C 为直流侧电容电压幅值。

通过调节两个逆变器的脉宽调制比 m_1 和 m_2 , 可以控制交流侧输出电压幅值 U_1 和 U_2 ; 调节相角控制输入 θ_1 和 θ_2 , 可以控制交流侧输出电压相位。对逆变器的这种幅值和相位调节的动态过程, 可以用一阶惯性环节来等效^[7], 它们的微分方程可以写为:

$$T_{m1} \frac{dm_1}{dt} = -m_1 + m_{10} + u_{m1} \quad (3)$$

$$T_{m2} \frac{dm_2}{dt} = -m_2 + m_{20} + u_{m2} \quad (4)$$

$$T_{\theta_1} \frac{d\theta_1}{dt} = -\theta_1 + \theta_{10} + u_{\theta_1} \quad (5)$$

$$T_{\theta_2} \frac{d\theta_2}{dt} = -\theta_2 + \theta_{20} + u_{\theta_2} \quad (6)$$

式中 $T_{m1}, T_{m2}, T_{\theta_1}, T_{\theta_2}$ 为惯性时间常数; $m_{10}, m_{20}, \theta_{10}, \theta_{20}$ 为两侧逆变器的脉宽调制比和相角给定值; $u_{m1}, u_{m2}, u_{\theta_1}, u_{\theta_2}$ 为两侧逆变器的脉宽调制比和相角的控制输入变量。

在逆变器的动态调节过程中, 随着两侧逆变器交流侧输入有功的变化, 两侧不平衡有功出现, 直流侧电容将进行充放电, 直流电压随之而改变。考虑直流电容的充放电过程, 可以用一阶微分方程表示为^[7]:

$$\frac{dU_C}{dt} = \frac{P_1 + P_2}{CU_C} \quad (7)$$

其中 P_1, P_2 分别为两侧逆变器的有功输入; C 为逆变器直流侧电容量。

综合式(3)~式(7), 就可以用五阶微分方程来描述 UPFC 的动态过程。

2 UPFC 的控制器设计

通常认为, UPFC 的并联侧用于节点电压 V_A 的幅值调节和直流侧电容电压 U_C 的稳定控制, 串联侧用于线路有功 P_L 和无功 Q_L 的控制。但是, 如何采用比较合适的反馈控制量来实现 UPFC 的控制目标还是个难题。下面将通过含 UPFC 的简单系统的稳态行为的定性分析, 来设计 UPFC 的控制器。

对图 2 所示的简单系统, 设 UPFC 两侧吸收的有功和无功为:

$$P_1 + jQ_1, P_2 + jQ_2$$

两侧电压和电流表示为:

$$\dot{I}_1 = I_{1x} + jI_{1y}, \dot{I}_2 = I_{2x} + jI_{2y}$$

$$U_1 \angle \theta_1 = U_1 (\cos \theta_1 + j \sin \theta_1)$$

$$U_2 \angle \theta_2 = U_2 (\cos \theta_2 + j \sin \theta_2)$$

由基本电路方程可知, 两侧有功功率和线路功率可以表示为:

$$P_1 = I_{1x} U_{1\text{ref}} \cos \theta_{1\text{ref}} + I_{1y} U_{1\text{ref}} \sin \theta_{1\text{ref}} \quad (8)$$

$$P_2 = I_{2x} U_{2\text{ref}} \cos \theta_{2\text{ref}} + I_{2y} U_{2\text{ref}} \sin \theta_{2\text{ref}} \quad (9)$$

$$P_L = I_{2x} (V_A \cos \theta_A - U_{2\text{ref}} \cos \theta_{2\text{ref}}) + I_{2y} (V_A \sin \theta_A - U_{2\text{ref}} \sin \theta_{2\text{ref}}) \quad (10)$$

$$Q_L = I_{2x} (V_A \sin \theta_A - U_{2\text{ref}} \sin \theta_{2\text{ref}}) - I_{2y} (V_A \cos \theta_A - U_{2\text{ref}} \cos \theta_{2\text{ref}}) \quad (11)$$

考虑稳态时 UPFC 两侧的有功平衡, 有:

$$P_1 + P_2 = 0 \quad (12)$$

考虑含 UPFC 的网络方程, 有:

$$V_A \cos \theta_A - U_{2\text{ref}} \cos \theta_{2\text{ref}} - I_{2x} (R_2 + R_L) + I_{2y} (X_2 + X_L) - V_s = 0 \quad (13)$$

$$V_A \sin \theta_A - U_{2\text{ref}} \sin \theta_{2\text{ref}} - I_{2x} (X_2 + X_L) - I_{2y} (R_2 + R_L) = 0 \quad (14)$$

$$U_A \cos \theta_A - U_{1\text{ref}} \cos \theta_{1\text{ref}} - I_{1x} R_1 + I_{1y} X_1 = 0 \quad (15)$$

$$U_A \sin \theta_A - U_{1\text{ref}} \sin \theta_{1\text{ref}} - I_{1x} X_1 - I_{1y} R_1 = 0 \quad (16)$$

考虑发电机的电势方程(发电机采用 E_q' 恒定模型), 有:

$$E_q' = V_{Aq} + (X_q + X_T)(I_{1d} + I_{2d}) \quad (17)$$

$$0 = V_{Ad} - (X_d' + X_T)(I_{1q} + I_{2q}) \quad (18)$$

其中 $I_{1d}, I_{1q}, I_{2d}, I_{2q}, V_{Ad}, V_{Aq}$ 分别为相量 $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{V}_A$ 在 d, q 坐标轴的分量, 可以通过坐标变换, 用 $I_{1x}, I_{1y}, I_{2x}, I_{2y}, U_A, \theta_A$ 来表示; 在变量 $U_1, U_2, \theta_1, \theta_2$ 的下标中加了“ref”, 表示它们是稳态参考值。

显然, 如果给定系统参数 E_q', V_s, δ 和控制目标 P_L, Q_L, V_A , 则可由式(10)~式(18), 确定控制量 $U_{1\text{ref}}, \theta_{1\text{ref}}$ 和 $U_{2\text{ref}}, \theta_{2\text{ref}}$ 。相反, 若已知任意 3 个控制量, 或者另外引入 3 个控制方程, 则可确定所有的控制量和控制目标, 因此, 可以通过下面的分析来设计 UPFC 的控制器。

对图 2 的简单系统, 若并联侧电流 $\dot{I}_1$ 以 $\dot{V}_A$ 为参考分解为 $I_{1P} + jI_{1Q}$, 线路潮流 Q_L, P_L 和并联侧的注入功率 Q_1, P_1 可以表示为:

$$P_L = V_B^2 G_L + V_B V_s (B_L \sin \theta_B - G_L \cos \theta_B) \quad (19)$$

$$Q_L = V_B^2 B_L - V_B V_s (B_L \cos \theta_B + G_L \sin \theta_B) \quad (20)$$

$$Q_1 = V_A I_{1Q} \quad (21)$$

$$P_1 = V_A I_{1P} \quad (22)$$

其中 $G_L - jB_L = 1/(R_L + jX_L)$ 。

由于 G_L 远小于 B_L , 所以由式(19)、式(20)可以看出: P_L 主要受 θ_B 的影响, 在 $\pi/2$ 范围内, 随 θ_B 增大而增大; Q_L 主要受 V_B 的影响, 随 V_B 增大而增大。若以 $\dot{V}_A$ 为参考, 将串联侧输出电压相量 $\dot{U}_2$ 分解为 $U_{2Q} + jU_{2P}$, 那么 U_{2P} 主要影响 θ_B , 且 θ_B 随 U_{2P} 的增大而增大, 从而 P_L 随 U_{2P} 的增大而增大; U_{2Q} 主要影响 V_B , 且 V_B 随 U_{2Q} 的增大而增大, 从而 Q_L 随 U_{2Q} 的增大而增大。由式(21)可以看出, 随 I_{1Q} 的增大, 注入节点 A 的无功反而越小(I_1 的方向是从节点 A 向外流), V_A 的幅值也就越小。因此, 如果用传统的 PI 控制方法来设计相应的控制器, 那么节点电压和潮流的控制可以表示为:

$$U_{2P}(t) = K_{1P} \Delta P_L(t) + K_{2P} \int_0^t \Delta P_L(\tau) d\tau \quad (23)$$

$$U_{2Q}(t) = K_{1Q} \Delta Q_L(t) + K_{2Q} \int_0^t \Delta Q_L(\tau) d\tau \quad (24)$$

$$-I_{1Q}(t) = K_{1V} \Delta V_A(t) + K_{2V} \int_0^t \Delta V_A(\tau) d\tau \quad (25)$$

$$\Delta V_A(t) = V_A - V_{A \text{ set}}$$

$$\Delta P_L(t) = P_L - P_{L \text{ set}}$$

$$\Delta Q_L(t) = Q_L - Q_{L \text{ set}}$$

其中 $\Delta V_A(t)$, $\Delta P_L(t)$, $\Delta Q_L(t)$ 分别是节点电压、线路有功和无功的测量偏差; $V_{A \text{ set}}$, $P_{L \text{ set}}$, $Q_{L \text{ set}}$ 分别为电压、有功和无功的设定值; K_{1P} , K_{1Q} , K_{1V} 为比例环节的放大倍数; K_{2P} , K_{2Q} , K_{2V} 为积分环节的放大倍数。

另外, 从式(22)可以知道, I_{1P} 越大, UPFC 并联侧的注入有功越多, 但是, 并不知道 UPFC 两侧的不平衡有功的大小。由式(7)可知, UPFC 直流侧的电容电压 U_C 的稳定, 是由两侧的不平衡有功决定的, 如果直接用 U_C 相对其设定值的偏差 ΔU_C 作为调节 I_{1P} 的反馈量, 进而试图调节不平衡有功和稳定电容电压 U_C , 这显然难以实现; 同样, 文献[6]直接以 ΔU_C 作为调节 UPFC 并联侧输出电压相角 θ_1 的反馈量, 并以此来稳定电容电压 U_C , 可以想象, 这也是很难实现的。实际上, 从以上分析可知, UPFC 两侧的有功是否平衡, 才是稳定 U_C 的关键。所以, 我们总希望 UPFC 两侧的有功能够在动态过程中尽可能地保持平衡; 而且还希望 U_C 稳定在设定值上不变。如果同时以两侧的不平衡有功 $P_1 + P_2$ 和 ΔU_C 作为调节 I_{1P} 的反馈量, 应该说, 我们的目的是可以达到的。因此, 同样以 PI 控制方法来设计稳定 U_C 的控制环节, 可以表示为:

$$I_{1P}(t) = K_{1CU} \Delta U_C(t) + K_{2CU} \int_0^t \Delta U_C(\tau) d\tau + K_{1CP} \Delta P(t) + K_{2CP} \int_0^t \Delta P(\tau) d\tau \quad (26)$$

其中 $\Delta U_C(t) = U_C(t) - U_{C \text{ set}}$; $\Delta P(t) = P_1(t) + P_2(t)$; $U_{C \text{ set}}$ 为直流电容电压的设定值; K_{1CU} , K_{1CP} 为比例环节的放大倍数; K_{2CU} , K_{2CP} 为积分环节的放大倍数。

由式(23)~式(26)可知, 根据控制目标的偏差量 $\Delta V_A(t)$, $\Delta P_L(t)$, $\Delta Q_L(t)$, $\Delta U_C(t)$, $\Delta P(t)$, 可以确定调节量 I_{1P} , I_{1Q} , U_{2Q} , U_{2P} , 通过坐标变换, 可以表示为 I_{1x} , I_{1y} , U_2 , θ_2 , 联立方程(10)~式(18), 求解方程组, 就可以确定 UPFC 两侧逆变器交流输出的需要值 $U_{2\text{ref}}$, $\theta_{2\text{ref}}$, $U_{1\text{ref}}$, $\theta_{1\text{ref}}$, 考虑到逆变器的调制器的作用, 式(1)、式(2)和 UPFC 的动态模型方程(3)~式(6), 可以设:

$$U_{2\text{ref}} = (m_{20} + u_{m2})U_C \quad (27)$$

$$\theta_{2\text{ref}} = \theta_{20} + u_{\theta2} \quad (28)$$

$$U_{1\text{ref}} = (m_{10} + u_{m1})U_C \quad (29)$$

$$\theta_{1\text{ref}} = \theta_{10} + u_{\theta1} \quad (30)$$

那么, 根据式(27)~式(30), 就可以确定 UPFC 的 4 个控制输入 u_{m1} , u_{m2} , $u_{\theta1}$, $u_{\theta2}$, 从而也就完成了 UPFC 的控制器设计。具体过程见图 3。

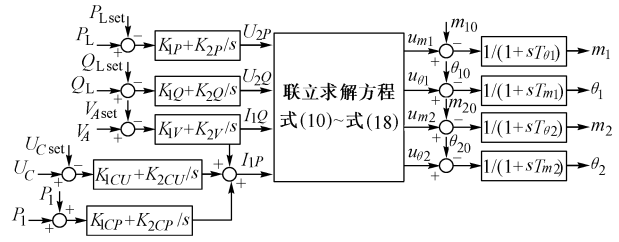


图 3 UPFC 的控制系统框图

Fig. 3 Block diagram of control system in UPFC

3 UPFC 装置的暂态仿真研究

为了详细研究 UPFC 装置的动态过程, 以图 1 所示的单机-无穷大系统为例, 对 UPFC 装置的各种参数变化及其对系统稳定性的影响进行了较深入的计算机仿真研究。暂态过程中, 没有考虑发电机的励磁调节系统和原动机的调速系统的动态过程, 考虑发电机的转子运动方程, 有:

$$\frac{d\delta}{dt} = \Delta\omega \quad (31)$$

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{2\pi f_N}{H} (P_T - P_e - D \Delta\omega) \quad (32)$$

$$P_e = V_A(I_{1x} + I_{2x})\cos\theta_A + V_A(I_{1y} + I_{2y})\sin\theta_A \quad (33)$$

其中 P_T 为原动机的机械功率; f_N 为额定频率; $\Delta\omega$ 为角速度; P_e 为发电机的电磁功率。

联立方程(1)~式(20)、式(23)~式(33), 就可以对含 UPFC 的简单系统的动态过程进行详细研究。通过仿真, 考察了 UPFC 对系统暂态稳定性

的影响、UPFC 的电压调节和潮流控制功能及 UPFC 的控制参数和变压器电抗对稳定性的影响。

3.1 UPFC 对系统暂态稳定性的影响

对图 1 的简单系统,设在 K 点一回线路发生三相对称短路,故障时间持续 0.1 s , 0.3 s 后重合闸成功。设系统及 UPFC 参数为 $E_q' = 1.6$, $X_d' = 0.256$, $X_T = 0.1$, $X_q = 1.003$, $X_L = 0.6$, $V_s = 1.0$, $\delta_0 = 50.363^\circ$, $H = 20\text{ s}$, $D = 8$, $R_L = 0.1$, $R_1 = 0.05$, $R_2 =$

0.05 , $X_1 = 0.2$, $X_2 = 0.1$, $T_{m1} = 0.5$, $T_{m2} = 0.5$, $T_{\theta 1} = 0.8$, $T_{\theta 2} = 0.8$, $K_{1V} = 0.2$, $K_{2V} = 100$, $K_{1P} = 0.02$, $K_{2P} = 6$, $K_{1Q} = 0.4$, $K_{2Q} = 20$, $C = 1$, $K_{1CU} = 0.01$, $K_{2CU} = 5$ 。仿真结果如图 4,对比图 5 可以看出,UPFC 可以很好地改善系统的暂态稳定性。另外,从图 6、图 7 可以看出,如果没有引入不平衡功率,不仅直流电容电压得不到稳定,而且也不能控制节点电压 V_A 和线路潮流 P_L, Q_L 。

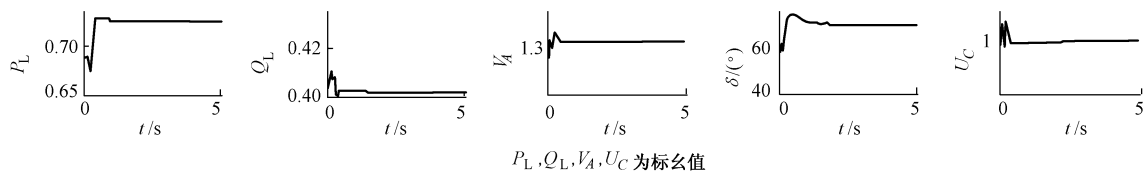


图 4 含 UPFC 的暂态仿真
Fig. 4 Transient simulation with UPFC

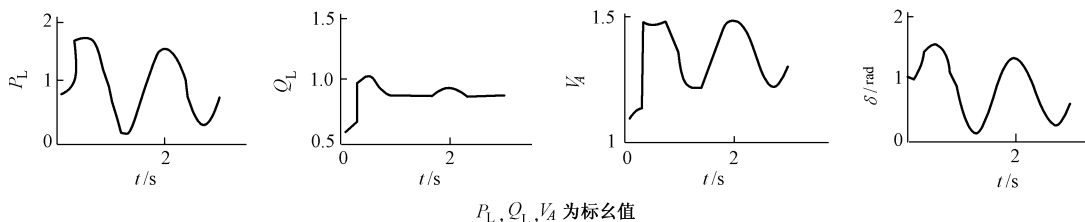


图 5 不含 UPFC 的暂态仿真
Fig. 5 Transient simulation without UPFC

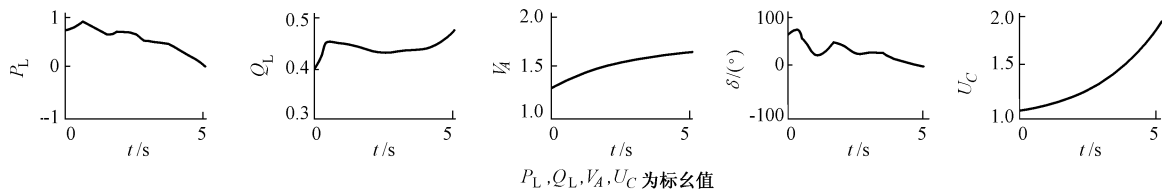


图 6 UPFC 控制中不引入两侧不平衡功率且放大倍数较小时的暂态仿真
Fig. 6 Transient simulation without imbalance active power in UPFC's feedback control and with less amplifications

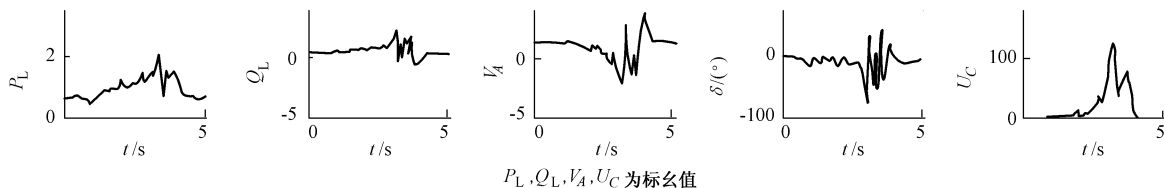


图 7 UPFC 控制中不引入两侧不平衡功率且放大倍数较大时的暂态仿真
Fig. 7 Transient simulation without imbalance active power in UPFC's feedback control and with larger amplifications

3.2 UPFC 的电压调节和潮流控制功能

仿真中,有功设定值 $P_{L\text{ set}}$ 在 0 s , 3 s , 7 s 时分别为 0.5 , 0.8 , 1.1 ;无功设定值 $Q_{L\text{ set}}$ 在 0 s , 3 s , 7 s 时分别为 0.3 , 0.5 , 0.8 ;电压设定值 $V_{A\text{ set}}$ 为 1.3 。仿真结果如图 8,从中可以看出,UPFC 具有良好的电压调节和潮流控制功能,它能够快速、有效地控制系统的潮流和电压。

3.3 UPFC 的控制参数对稳定性的影响

为了观察各个控制参数对系统暂态稳定的影响,采用与前面相同的故障形式和处理过程。首先调整各个控制参数,使系统具有较好的暂态稳定性,然后固定其它参数,调整一个参数,观察有功 P_L 、无功 Q_L 、节点电压 V_A 、电容电压 U_C 、功角 δ 的变化情况。仿真中发现,比例环节的放大倍数 (K_{1P} , K_{1Q} , K_{1V} ,

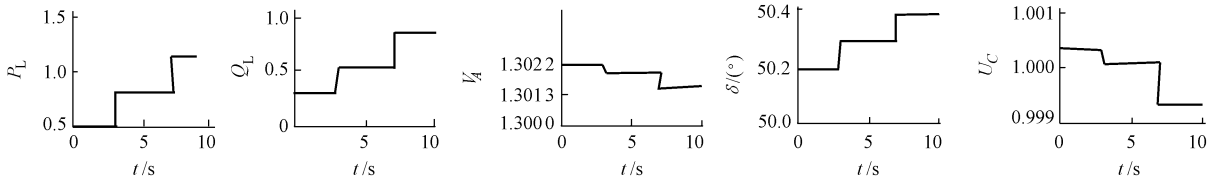


图 8 UPFC 的功率控制和电压调节特性

Fig. 8 Power control and voltage regulation characteristic of UPFC

K_{1CU} , K_{1CP}) 比积分环节的放大倍数小得多, 它们对系统稳定性的影响不明显。积分环节的放大倍数 K_{2P} , K_{2Q} , K_{2V} 的调节表现出良好的解耦特性。 K_{2P} 主要影响 P_L 和 δ , K_{2P} 较小时, P_L 和 δ 的稳定性较差, 见图 9; K_{2Q} 主要影响 Q_L , K_{2Q} 较小时 Q_L 偏离设定值较大, K_{2Q} 较大时对 δ 的稳定性有些负面影响, 见图 10; K_{2V} 主要影响 V_A , K_{2V} 较小时, V_A 稳定性较差, 见图 11; K_{2CU} 对 U_C 有些影响, K_{2CU} 较小时 U_C 偏离设定值较远, 但是 K_{2CU} 对 U_C 的稳定性几乎没有影响, 见图 12; K_{2CP} 对 P_L , Q_L , V_A , U_C , δ 的稳定性的影响都很大, K_{2CP} 必须很大才有可能使 P_L , Q_L , V_A , U_C , δ 稳定 (见图 13), 从它的影响也说明了要稳定 U_C 而引入 UPFC 两侧不平衡有功的重要性。

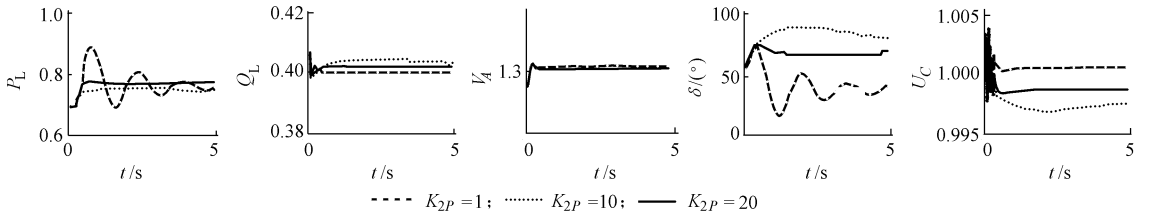
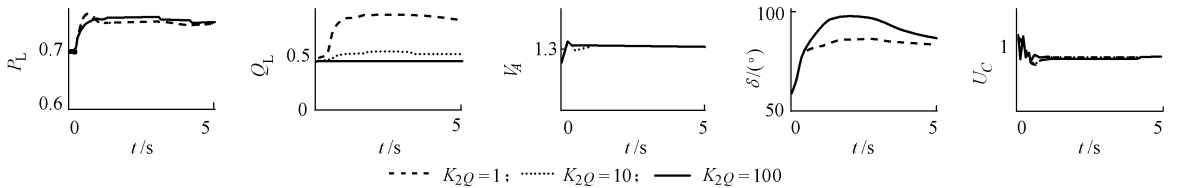
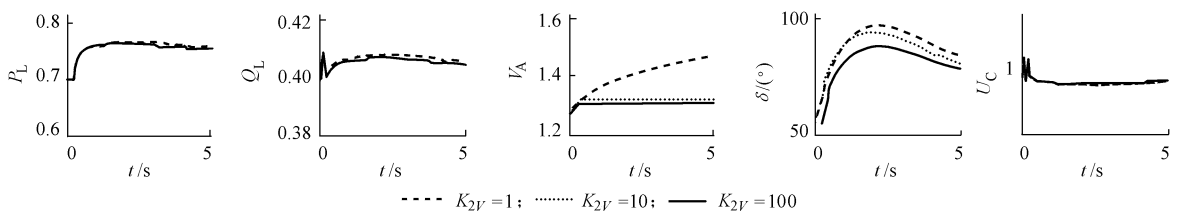
3.4 变压器电抗值及直流电容值对稳定性的影响

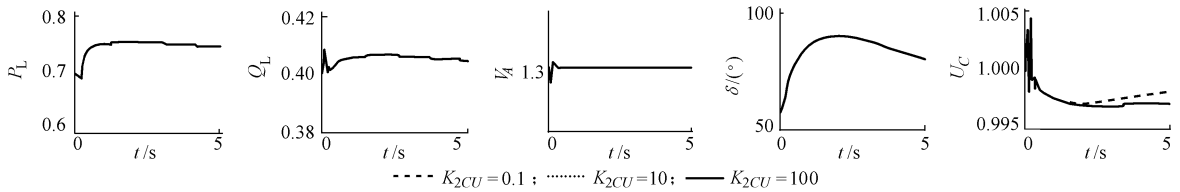
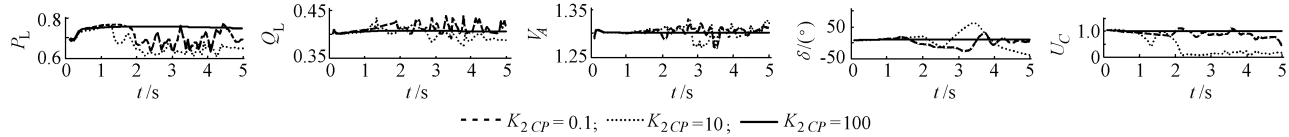
经考察, 当变压器电抗值 X_1 从 0.1 变至 0.2, X_2 从 0.1 变至 0.3, 直流电容 C 从 0.5 变至 2 时, 它们的变化对系统的稳定性无明显影响。限于篇幅, 略去了 5 个仿真结果图。

4 结论

a. 暂态仿真结果表明, 本文设计的控制系统具有良好的解耦控制特性, 能够显著地改善系统的稳定性, 能够有效地控制线路潮流和节点电压。

b. 在稳定和调节直流电容电压的反馈环节中, 引入了 UPFC 两侧的有功不平衡量和电容电压偏差量, 使得直流电容电压在动态过程中, 既能保持良

图 9 不同 K_{2P} 值时的暂态仿真结果Fig. 9 The transient simulation results versus K_{2P} 图 10 不同 K_{2Q} 值时的暂态仿真结果Fig. 10 The transient simulation results versus K_{2Q} 图 11 不同 K_{2V} 值时的暂态仿真结果Fig. 11 The transient simulation results versus K_{2V}

图 12 不同 K_{2CU} 值时的暂态仿真结果Fig. 12 The transient simulation results versus K_{2CU} 图 13 不同 K_{2CP} 值时的暂态仿真结果Fig. 13 The transient simulation results versus K_{2CP}

好的稳定性,又能使它不偏离设定值。文中还通过分析和算例,说明了只用电容电压的偏差作为反馈来稳定电容电压是不能达到目的的。

c. 直流电容值和 UPFC 两侧变压器电抗值对系统稳定性没有明显的影响。

d. 控制参数 K_{2P} , K_{2Q} , K_{2V} 对线路有功、无功和节点电压的调节表现出良好的解耦特性。 K_{2P} 主要影响有功和功角, K_{2P} 较小时,有功和功角的稳定性较差; K_{2Q} 主要影响无功, K_{2Q} 较小时,线路无功偏离设定值较大; K_{2V} 主要影响节点电压, K_{2V} 较小时,电压稳定性较差。另外, K_{2CU} 较小时,电容电压偏离设定值较远,但对电容电压的稳定几乎无明显影响; K_{2CP} 对稳定直流电容电压起关键性的作用,同时它也决定了 UPFC 能否达到控制目标,为此,要求放大倍数 K_{2CP} 的值必须很大。

参考文献

1 徐 琰,李乃湖,王海风,等. 基于统一潮流控制器 (UPFC) 的电力系统稳态潮流控制的模型和算法. 电力系统及其自动化学报, 1996, 8(3)

- 2 罗春雷,孙洪波,徐国禹. 含 PQV 节点的潮流计算在 UPFC 中的应用研究. 电力系统自动化, 1997, 21(4)
- 3 Noroozian M, Angquist L, Ghandhari M, et al. Use of UPFC for Optimal Power Flow Control. IEEE Trans on PWRD, 1997, 12(4)
- 4 溪江惠,涂光瑜. 基于统一潮流控制器对电力系统暂态稳定控制的研究. 电力系统自动化, 1997, 21(3)
- 5 罗春雷,孙洪波,徐国禹. UPFC 动态建模与最优控制. 电力系统自动化, 1997, 21(11)
- 6 章良栋,岑文辉,刘 为. UPFC 的模型及控制器研究. 电力系统自动化, 1998, 22(1)
- 7 孙元章,刘建政,杨志平,等. ASVG 动态建模与暂态仿真研究. 电力系统自动化, 1996, 20(1)

颜 伟,男,1968 年生,博士研究生,主要从事电力系统运行与控制的研究。

朱继忠,男,1966 年生,教授,主要从事电力系统运行与规划的研究。

孙洪波,男,1966 年生,教授,主要从事电力系统规划及人工智能的应用研究。

STUDY ON MODEL AND CONTROLLER OF UPFC

Yan Wei, Zhu Jizhong, Sun Hongbo, Xu Guoyu
(Chongqing University, 400044, Chongqing, China)

Abstract Considering the control inputs of pulse width and phase angle of inverters on both sides, the five-order differential equation set is proposed to describe dynamic behavior of UPFC. The feedback control system of UPFC is designed by using horizontal and vertical components of the output voltage on series side and output current on shunt side to respectively control active and reactive power through line, bus voltage and DC side capacitance voltage. The transient characteristics, capability of voltage regulation and power control are simulated. The influence of DC side capacitance value, transformer reactance and controller parameters on power system stability is analyzed.

Keywords FACTS UPFC dynamic modeling transient stability