

基于统一潮流控制器对电力系统暂态稳定控制的研究

奚江惠 涂光瑜

(华中理工大学电力系 430074 武汉)

摘要 作为灵活交流输电系统(FACTS)重要内容之一的统一潮流控制器(UPFC)可以实现分别或同时地对电力系统参数——电压、输电线路阻抗及两端间相角的控制。文中以一简单系统为例,探讨了统一潮流控制器若干特例形式之一的分接头切换开关对于提高电力系统暂态稳定性的作用,并且给出了仿真结果。

关键词 灵活交流输电系统 统一潮流控制器 分接头切换开关 暂态稳定

0 引言

电力系统在受到大干扰(如短路、断路等)后能经过暂态过程达到新的稳态或恢复原来的状态即具有暂态稳定性;若在受到大扰动后各发电机组转子间一直有相对运动,相对角不断增大,甚至发生振荡,则失去暂态稳定性^[1]。如何提高系统暂态稳定能力是电力系统运行的一个重要的问题。

随着大功率可控硅技术的迅速发展,以大功率可控硅技术为基础的灵活交流输电技术的研究和应用日益受到关注^[2,3]。UPFC就是FACTS内容的组成之一,它的快速动作功能可以用来改善电网的暂态稳定性。本文即是针对UPFC特例形式之一的分接头切换开关利用UPFC数学模型进行研究,亦可适用于单独的可控硅控制的带分接头切换开关的调压装置。

1 UPFC基本概念和分接头切换开关的数学模型

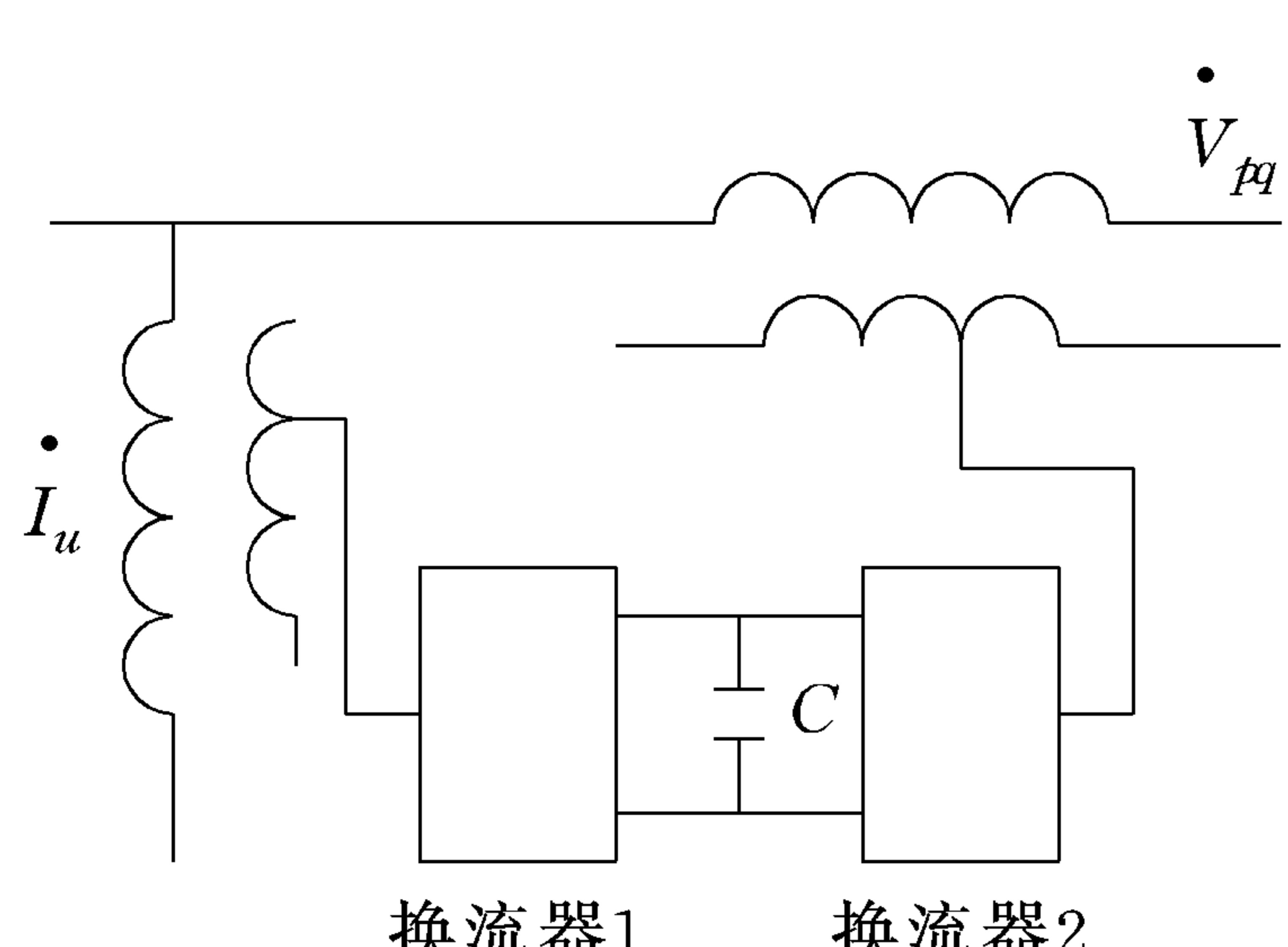


图1 UPFC结构示意图
Fig. 1 Configuration of UPFC

UPFC的基本思路是用大功率可控硅控制装置,采取不同控制策略分别或同时实现串联补偿、并联补偿、移相等系统控制作用。

图1为其结构示意图,图2为其等值电路图^[4]。

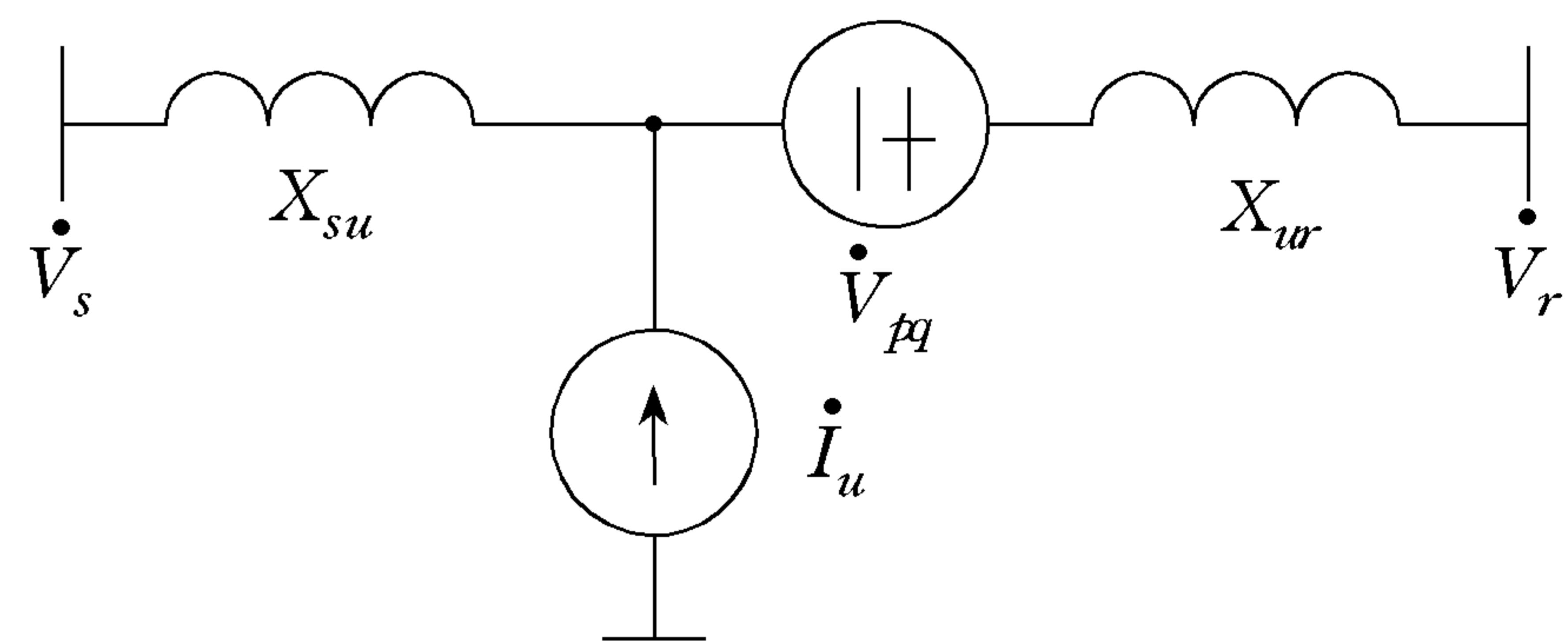


图2 UPFC等值电路图
Fig. 2 Equivalent circuit

图中 \dot{I}_u 为换流器 1 相应电流源; \dot{V}_{pq} 为换流器 2 相应电压源,为幅值、相位均可控的串联控制输出; \dot{V}_s 为送端电压; \dot{V}_r 为受端电压; X_{su} 为送端与 UPFC 间线路阻抗; X_{ur} 为 UPFC 与受端间线路阻抗。

定义换流器 2 的输出电压

$$\dot{V}_{pq} = V_{pqx} - jV_{pqy} \quad (1)$$

其中 V_{pqx} 与 UPFC 安装处的母线电压 \dot{V}_0 同相位,而 $-jV_{pqy}$ 则滞后其 90° 。

当选取 V_{pqx} 和 V_{pqy} 为特殊值则使 UPFC 处于典型操作情况,例如,若取 $V_{pqy} = 0$,仅有 V_{pqx} 可控,则 UPFC 为分接头切换开关;若取 $V_{pqx} = 0$,而 V_{pqy} 可控,则可作移相器;当取 $V_{pqx} = V_{pqy} = 0$,仅换流器 1 产生的无功 Q_c 可控,则可作静止电容器使用,等等。本文就是针对第一种特例情况所作的研究。也即令 $V_{pqy} = 0$, V_{pqx} 可控,即 $\dot{V}_{pq} = \dot{V}_{pqx}$, \dot{V}_{pq} 与 UPFC 安装处母线电压 \dot{V}_0 同相,UPFC 充当分接头切换开关。相量图见图 3。

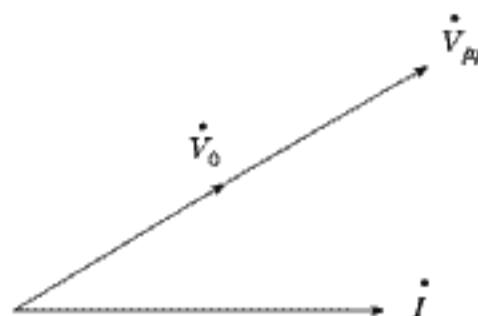


图3 $\dot{V}_{pq} = V_{pqz}$ 时的相量图
Fig. 3 Phasor diagram of Tap-changer

此分接头切换开关的数学模型由(2)式^[6]给出:

$$\begin{aligned} V_{pqz} &= K_1(V_0 - V_{0\text{ref}})\left(K_2 - \frac{K_3}{sD}\right) \\ &\quad - \Delta P_1 \frac{K_4(1 + sT_{d1})(1 + sT_{d3})}{(1 + sT_{d2})(1 + sT_{d4})} \end{aligned} \quad (2)$$

式中 $V_0 - V_{0\text{ref}}$ 为 UPFC 安装处母线电压变化; $V_{0\text{ref}}$ 为给定的 UPFC 安装处母线电压参考值; T_{di} ($i = 1, 2, 3, 4$) 为时间常数; K_i ($i = 1, 2, 3, 4$)、 D 为比例积分系数; s 为微分算子; $\Delta P_1 = P_1 - P_{1\text{ref}}$ 为安装 UPFC 母线上有功变化; P_1 为流过该线路的有功; $P_{1\text{ref}}$ 为给定的该线路有功潮流。

2 仿真

2.1 系统模型

以图 4 所示的简单电力系统模型为例。强行励磁时, 励磁电压的最大值为正常运行时的 2.5 倍, $T_s = 0.35$ s。假定输电线一回线始端发生两相短路接地故障, 考虑在上述参数条件下, 在发电机出口装设 UPFC, 设定其充当分接头切换开关, 研究它对系统暂态稳定的影响, 并设故障 0.2 s 切除。

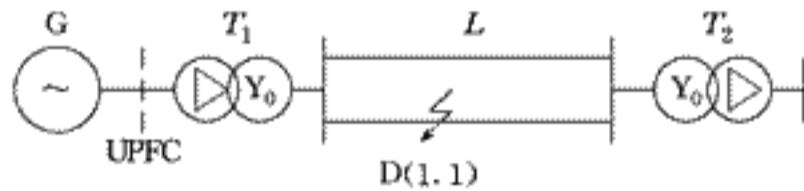


图4 系统模型
Fig. 4 System model

系统参数^[5]列表如表 1。

表 1 系统参数表

Table 1 Parameters of the simple power system

发电机 G	T_1	T_2	L	终端
容量 240 MW	300 MVA	280 MVA		$P_0 = 220$ MW
电压 10.5 kV	10.5/242 kV	220/121 kV		115 kV (定值)
功率因数 0.80				功率因数 0.98
$X_d' = 0.39$				
	$U_s = 14\%$	$U_s = 14\%$	$X_1 = X_2 = 0.42 \Omega/\text{km}$	
	$X_2 = 0.44$		$X_0 = 4X_1$	
			长度 230 km	
			$T_J = 6$ s	

注: T_s 是指强行励磁动作后, 励磁机励磁回路的时间常数, T_J 为发电机惯性时间常数。

2.2 算法

大功率可控硅换流器具有快速动作性能, 可以认为故障一发生, UPFC 即可动作以调节机端电压幅值。

本文选取 UPFC 的分接头切换开关控制方式, 则

$$\dot{V}_{pq} = V_{pqz} \quad (3)$$

则 \dot{V}_{pq} 与母线安装 UPFC 处的电压 \dot{V}_0 同相, 则有 UPFC 安装处母线实际电压 \dot{V}_t 的幅值满足:

$$V_t = V_0 + V_{pqz} \quad (4)$$

在分接头开关数学模型中, 本文选取 $K_1 = 0.4$, $K_2 = 0.5$, $K_3 = 0.2$, $K_4 = 3$, $D = 1$, $T_{d1} = T_{d3} = 0.05$, $T_{d2} = 0.6$, $T_{d4} = 0.4$ 。

由(2)、(3)、(4)式, 对图 4 所示系统采用改进 Euler 法递推计算, 求解发电机功角曲线 ($\delta - t$ 曲线)。

2.3 结果

图 5 (a) 给出对图 4 所示简单系统设置 UPFC 时的 $\delta - t$ 曲线。为了比较 UPFC 的作用, 在图 5 (b) 中给出未设 UPFC 时的 $\delta - t$ 曲线。

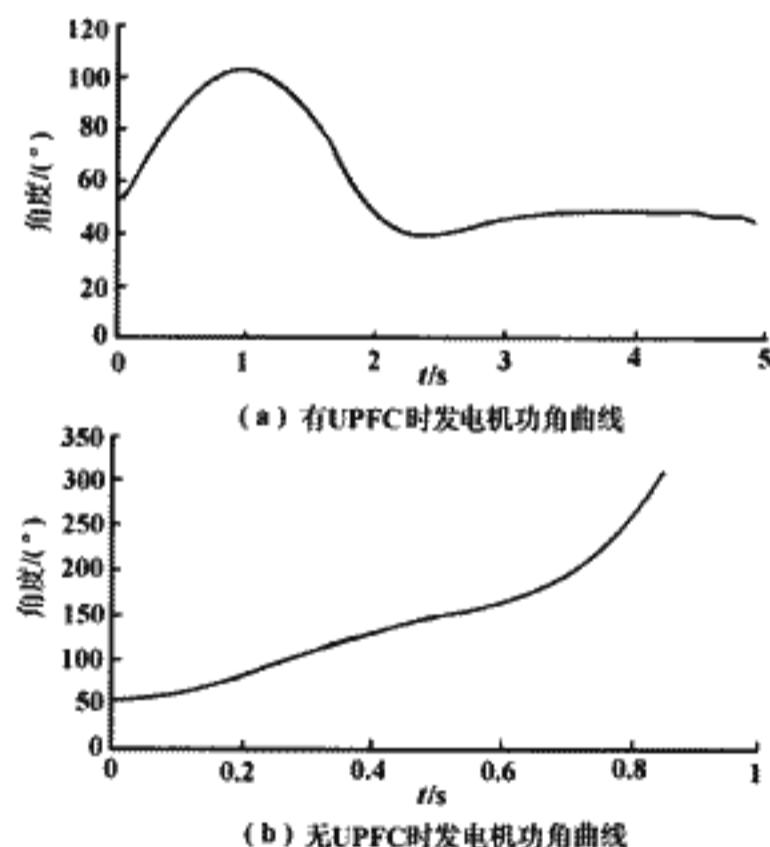


图 5 有、无 UPFC 时发电机功角曲线
Fig. 5 $\delta - t$ curve with UPFC or without UPFC

可以看出, 考虑发电机自动调节励磁系统, 在强励倍数、强励速度给定的情况下, 当文中所示系统的双回输电线路某一回线始端发生两相接地短路时, 若未装设 UPFC, 则故障发生后发电机功角不断增大, 失去暂态稳定; 而装设 UPFC 并使其处于分接头切换开关控制方式时, 则可使系统达到暂态稳定。

3 结论

由仿真结果可知，当发电机的自动调节励磁系统给定后，采用 UPFC 控制，可以在不提高强励倍数、强励速度的情况下，使在一定运行方式及故障类型下不具暂态稳定性的系统保持暂态稳定；而且由于 UPFC 可以实时地从一种方式转换到另一方式，一旦故障发生就可迅速动作，采用文中所述的分接头切换开关控制策略或用 UPFC 的其它控制方式(如移相器方式等)以使系统保持暂态稳定，大大提高了系统暂态稳定性能，它的快速动作性具有传统的慢速分接头投切不可比拟的优越性。

4 参考文献

1 何仰赞等. 电力系统分析(下册). 武汉: 华中理工大学出

- 版社, 1985
- 2 陈淮金. 灵活交流输电系统技术及其应用(一). 电力系统自动化, 1994, 18 (3)
- 3 陈淮金. 灵活交流输电系统技术及其应用(二). 电力系统自动化, 1994, 18 (4)
- 4 Wu Shouyuan, Zhou Xiaoxin, Zhao He et al. Steady State Analysis and Load Flow Calculation of Unified Power Flow Controller in Power System, Beijing (China): International Conference on Power System Tech , 1994. 10
- 5 李光琦. 电力系统暂态分析. 水利电力出版社, 1984

奚江惠, 女, 1974 年生, 在读硕士研究生, 从事柔性输电系统(FACTS)控制理论和方法研究。

涂光瑜, 男, 1941 年生, 教授, 主要从事电力系统控制, 电力系统动态模拟研究。

IMPROVEMENT OF POWER SYSTEM TRANSIENT STABILITY USING UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER

Xi Jianghui, Tu Guangyu

(Huazhong University of Science and Technology, 430074, Wuhan, China)

Abstract Unified power flow controller (UPFC) is one of the important contents of the flexible AC transmission systems (FACTS). The parameters of power system such as voltage, phase and the reactance of the transmission line can be controlled respectively or simultaneously by using UPFC. In this paper, the UPFC with tap-changer is studied to improve power system transient stability and the simulation results on a simple power system are showed.

Keywords flexible AC transmission systems (FACTS) unified power flow controller (UPFC) tap-changer transient stability