

基于 PSS/E 的统一潮流控制器动态建模及仿真

张宁宇¹, 周前¹, 刘建坤¹, 胡昊明¹, 邵敏敏²

(1. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103;

2. 国网江苏省电力公司检修分公司无锡分部, 江苏 无锡 214101)

摘要:文中阐述了 PSS/E 的用户自定义建模原理, 归纳了自定义建模的详细流程。基于等效节点电流注入模型在 PSS/E 中对统一潮流控制器(UPFC)进行了机电暂态建模, 并通过仿真算例进行了验证, 仿真结果表明该 UPFC 仿真模型具有良好的线路潮流和节点电压调节能力, 在三相短路故障后能有效减少系统的功率损失, 并使得系统快速恢复至稳定运行状态。通过工作, 实现了 PSS/E 中基于 UPFC 的电网潮流优化、电压控制及稳定运行的动态仿真。

关键词:PSS/E; 灵活交流输电系统(FACTS); UPFC; 自定义建模; 暂态仿真

中图分类号:TM712

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2016)04-0001-07

灵活交流输电系统(FACTS)自提出以来倍受各国学者的关注, 其本质是基于电力电子技术改造交流输电系统的装置, 可以对交流输电系统中的电压、电抗及相角等参数进行灵活控制, 进而实现对交流系统潮流的直接控制^[1]。统一潮流控制器(UPFC)目前为止控制功能最为强大的串并联型 FACTS 装置, 从诞生伊始就受到电力科研人员的广泛关注。它是由并联补偿的静止无功补偿器和串联补偿的静止同步补偿器相结合组成, 通过改变 UPFC 的控制规律就能分别或同时实现串联补偿、并联补偿和移相等几种不同的功能, 从而对有功、无功和电压分别进行控制; 但 UPFC 在实际电网运行中调节潮流时必然引起输电线路参数(如阻抗值和相位角)的变化, 在一定程度上影响了线路的暂态过程, 进一步影响了电网的静态、暂态稳定性^[2]。因此, 为研究 UPFC 对电网小干扰稳定性、暂态稳定性等的影响, 考虑 UPFC 动态特性的基础上, 建立 UPFC 的暂态模型作为电力系统暂态仿真和分析的基础有着迫切的必要性。文献[2]在 PSCAD 中建立了 UPFC 的电磁暂态模型, 并通过仿真算例进行了验证, 但采用算例规模较小。文献[3]详细推导了多电平型 UPFC 开关周期平均模型和简化开关周期平均模型, 并在 RTDS 中建立了 UPFC 的电磁暂态模型, 但研究的重点在于 UPFC 内部的动态特性。文献[4]在分析 UPFC 装置的电气特性及能量传递关系的基础上, 利用 PSASP 实现了 UPFC 的自定义建模, 但所建模型只局限于潮流计算。文献[5]介绍了混合式潮流控制器的基本原理, 并通过 Matlab/ Simulink 仿真验证了 UPFC 调节电压与功率的功能。文献[6]基于电流预测法实现 UPFC 对线路有功和无功功率的控制, 利用 PSASP 和 C++ 进行混合仿真。文献[7]将 UPFC 应用到配电网潮流控制中, 提出 2 种不同的优化控制策

略, 满足了配电环网潮流调度的要求, 但忽略了 UPFC 动态特性对配电网的影响。文献[8]所述的 UPFC 控制系统在并联侧采用双环解耦控制策略, 串联侧采用三环解耦控制策略, 并对其动态特性进行了研究。

PSS/E^[9-13]是西门子输配电集团开发的商业软件, 是一个集稳态和暂态分析于一体的通用计算平台, 提供了高效方便的二次开发功能。与同类软件相比, PSS/E 有如下几个特点: 数据文件的共享性较高; 数学模型完善; 用户自定义模型功能和程序接口功能; 分析计算功能的多样性; 计算方法的透明性与文档的完整性。该软件目前在电力相关部门、科研机构 and 高等院校得到广泛应用。文献[10]、文献[11]在 PSS/E 上通过 FORTRAN 语言实现了励磁系统自定义建模, 并与其他商业软件的仿真结果进行了对比。文献[12-14]分别对 PSS/E 中的电网元件的稳态和暂态模型进行了分析, 与 PASAP 进行了比较, 此外对 PSS/E 进行暂态仿真计算的原理进行了介绍。目前, PSS/E 模型库中已有 UPFC 的稳态模型, 但无相应的暂态模型, 为利用 PSS/E 强大的暂态仿真功能进行 UPFC 的动态特性研究, 本文基于等效电流注入法设计了详细的 UPFC 机电暂态模型, 并基于 PSS/E 实现了 UPFC 机电暂态的自定义建模, 最后通过算例进行仿真计算, 验证其各种控制效果。

1 UPFC 的基本原理

统一潮流控制器的系统结构图^[15,16]如图 1 所示。

图 1 包括主电路(串联单元、并联单元)和控制单元 2 部分。UPFC 装置的主电路, 由 2 个共用直流侧电容的电压源换流器(VSC)组成, 并分别通过 2 个变压器接入系统。换流器 1 通过变压器 T_{sh} 并联接入系统, 统称并联侧; 换流器 2 通过变压器 T_{sc} 接入系统, 统称串联侧。

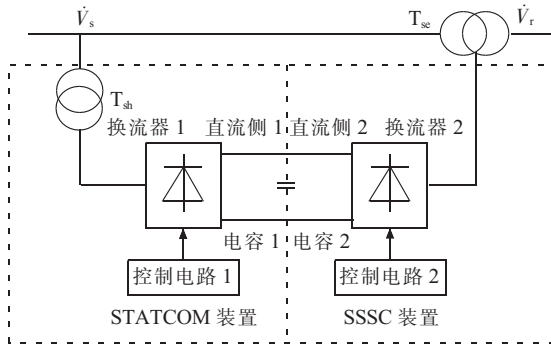


图 1 UPFC 结构原理图

UPFC 装置不仅同时具有静止无功补偿器与静止同步补偿器装置的优点,即既有很强的补偿线路电压的能力,又有很强的补偿无功功率的能力,而且 UPFC 装置具有 2 者都不具有的功能,如可以在 4 个象限运行;既可以吸收、发出无功功率,也可以吸收、发出有功功率,而并联部分可以为串联部分的有功功率提供通道,即 UPFC 装置具有吞吐有功功率的能力,因此具有非常强的控制线路潮流的能力。

2 UPFC 的机电暂态模型

2.1 基于注入电流法的 UPFC 等效模型

忽略 UPFC 并联和串联变压器的等效电阻以及所在线路的对地导纳后,得到如图 2 所示的稳态等值电路^[15]。其中 m 为虚拟节点, \dot{V}_{sh} 和 \dot{V}_{sc} 分别为并联侧和串联侧等效电压源, X_{sh} 和 X_{sc} 分别为并联和串联变压器的等效漏抗, i_s 为流出节点 s 的电流, i_m 为流入节点 m 的电流, i_r 为流入节点 r 的电流, i_{sh} 和 i_{sc} 分别为流过并联和串联侧的电流; R_L 和 X_L 为 UPFC 所在线路的电阻和电抗。

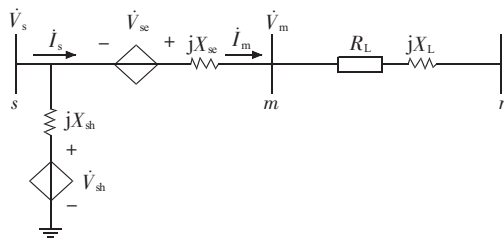


图 2 UPFC 等效电路图

由图 2 可得 i_m 计算公式:

$$i_m = \frac{\dot{V}_s + \dot{V}_{sc} - \dot{V}_m}{jX_{sc}} = \frac{\dot{V}_s - \dot{V}_m}{jX_{sc}} + i_{sc} \quad (1)$$

由节点 s 流向并联侧的电流计算公式:

$$i_{sh} = \frac{\dot{V}_s - \dot{V}_{sh}}{jX_{sh}} \quad (2)$$

根据式(1)、式(2),可将图 2 所示的 UPFC 等效电路图整理为等效注入电流源模型,如图 3 所示。

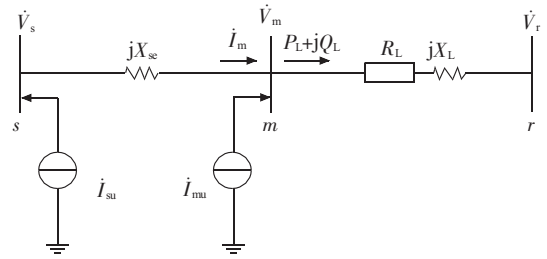


图 3 UPFC 等效注入电流模型

图 3 中, i_{su} 和 i_{mu} 分别为 UPFC 注入到节点 s 和 m 的等效电流,计算公式为:

$$i_{mu} = i_{sc} = \frac{\dot{V}_{sc}}{jX_{sc}} \quad (3)$$

$$i_{su} = -i_{sc} - i_{sh} = -\frac{\dot{V}_s - \dot{V}_{sh}}{jX_{sh}} - \frac{\dot{V}_{sc}}{jX_{sc}} \quad (4)$$

由式(3)、式(4)可知,与原电网相比,UPFC 等效注入电流模型只是增加了节点 s 和 m 的 2 个注入电流,电网结构保持不变,因此潮流计算和暂态仿真时无需对电网的导纳矩阵进行修正,提高了计算效率。考虑到串联侧电压源的有功功率由并联侧电压源提供,为便于求解,可将并联侧电流 i_{sh} 分解为 d 轴和 q 轴 2 个分量,即:

$$i_{sh} = i_{sh,d} + j i_{sh,q} \quad (5)$$

其中, $i_{sh,d}$ 与电压 \dot{V}_s 同相位,可由 P_{sc} 计算得到, $i_{sh,q}$ 与 \dot{V}_s 相位差 90° ,主要用于控制并联侧注入至节点 s 的无功功率。在潮流计算时通常将节点 s 作为 PV 节点处理,因此 $i_{sh,q}$ 可在潮流计算完成后计算得到。

2.2 UPFC 控制建模

2.2.1 串联侧控制

UPFC 串联侧换流器的输出通过变压器向系统注入电压,电压幅值和相角均可控,其中相角在 $0 \sim 360^\circ$ 范围内变化,最终实现线路有功、无功功率的控制,其向量图如图 4 所示。

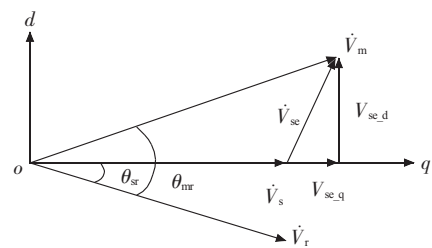


图 4 串联侧控制原理示意图

图 4 中,串联侧注入电压 \dot{V}_{sc} 可分解为与 \dot{V}_s 同相位的纵分量 $V_{sc,d}$ 和与 \dot{V}_s 正交的横分量 $V_{sc,q}$;纵分量 $V_{sc,d}$ 主要影响向量 \dot{V}_s 的幅值,横分量 $V_{sc,q}$ 主要影响向量 \dot{V}_m

的相角。UPFC 所在线路的潮流计算为:

$$P_L = \frac{V_m V_r \sin \theta_{mr}}{X_L} \quad (6)$$

$$Q_L = \frac{V_m (V_m - V_r \cos \theta_{mr})}{X_L} \quad (7)$$

由式(6)、式(7)可见,改变 θ_{mr} 可显著控制线路上传输的有功功率,改变 V_m 可显著控制线路上传输的无功功率;因此,改变 $V_{se,q}$ 就可实现线路有功功率的控制,改变 $V_{se,d}$ 就可实现线路无功功率的控制,得到 PI 控制器实现的 UPFC 串联侧控制器的控制规律,即:

$$V_{se,q} = (K_{kp} + \frac{K_{ip}}{S})(P_{Lref} - P_L) \quad (8)$$

$$V_{se,d} = (K_{kq} + \frac{K_{iq}}{S})(Q_{Lref} - Q_L) \quad (9)$$

式(8)、式(9)中, K_{kp} , K_{ip} 和 K_{kq} , K_{iq} 分别为有功和无功功率控制比例、积分系数; ΔP , ΔQ 分别为有功和无功的控制偏差量; $V_{se,max}$, $V_{se,min}$ 分别为串联侧输入电压的上下限,取决于 UPFC 的容量等参数;对应的串联换流器的控制框图如图 5 所示。

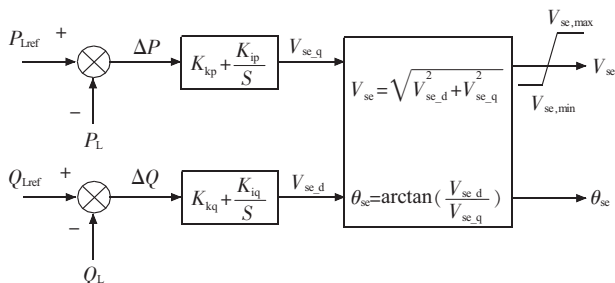


图 5 串联侧整体控制框图

2.2.2 并联侧控制

由上一节分析可知,将并联侧注入电流 \dot{I}_{sh} 以 \dot{V}_s 为参考坐标轴分解为 $I_{sh,d}$, $I_{sh,q}$ 2 个变量后,分别决定并联侧注入的有功功率 P_{sh} ,无功功率 Q_{sh} 。由于并联侧吸收的有功功率取决于串联侧注入电网的有功功率,考虑直流侧电容的情况下,并联侧和串联侧存在以下关系^[4]:

$$C_u V_{dc} = \frac{dV_{dc}}{dt} = P_{sh} - P_{se} \quad (10)$$

式(10)中: V_{dc} 为直流侧电容电压; C_u 为直流侧电容。

式(10)表示当并联侧和串联侧电压源有功功率相等时,直流侧电容电压 V_{dc} 维持恒定,当 2 者不平衡的时候,电容存在充放电的现象。选择直流电容电压为控制目标时,得到并联侧电压源相角 PI 控制器的控制策略,即:

$$I_{sh,d} = (K_{p3} + \frac{K_{i3}}{S})(V_{dcref} - V_{dc}) \quad (11)$$

式(11)中: K_{p3} , K_{i3} 分别为控制环节的比例、积分系数; V_{dcref} 为直流侧电容电压的控制目标值。

以节点 s 的电压幅值 V_s 幅值为控制目标时,得到的 PI 控制策略,即:

$$I_{sh,q} = (K_{p4} + \frac{K_{i4}}{S})(V_{sref} - V_s) \quad (12)$$

式(12)中: K_{p4} , K_{i4} 分别为幅值控制的比例、积分系数; V_{sref} 为节点 s 电压幅值的控制目标值。

结合式(11)、式(12)可得并联侧换流器的控制框图,如图 6 所示。

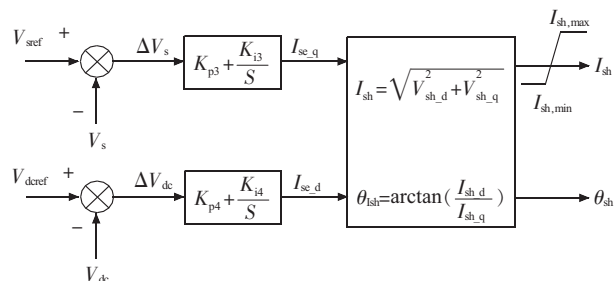


图 6 并联侧整体控制框图

综上所述,式(8—12)构成整个 UPFC 机电暂态的控制回路,得到 UPFC 串、并联侧电压源 \dot{V}_{se} 和 \dot{I}_{sh} 后,代入式(4)、式(5)计算得到 UPFC 的等效注入电流,并与电网代数方程联立求解实现暂态仿真计算。

3 基于 PSS/E 的 UPFC 自定义建模

3.1 PSS/E 动态仿真原理

PSS/E 的动态仿真有常规动态仿真和扩展动态仿真 2 种^[9],中长期动态仿真在扩展动态仿真中实现,主要由动态仿真程序模块实现,其暂态仿真计算程序的结构如图 7 所示。

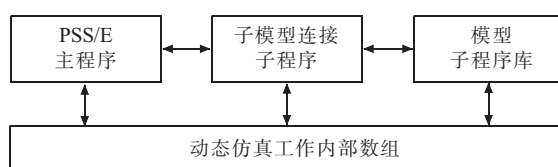


图 7 PSS/E 动态仿真程序结构图

PSS/E 主程序包括以下功能:数据输入与输出、数值积分、网络求解,但与仿真所使用的动态模型的微分方程没有逻辑联系。PSS/E 的动态模型保存在模型子程序库中,每个模型对应一个模型子程序。仿真过程中,主程序根据仿真需要,通过模型连接子程序 CONEC 和 CONET 调用相应的模型子程序。

3.2 UPFC 的自定义建模

UPFC 自定义建模即用 PSS/E 的内部数组表示 UPFC 串联侧和并联侧控制环节间的数学关系,以便主程序读取相关量的值。建模时一般用到以下数组,即 CON, STATE, DSTATE, VAR 和 ICON 数组,分别为常量、状态变量、状态变量的导数、代数变量和整数变量。(1) CON: P_{Lref} , Q_{Lref} , V_{sref} , V_{dcref} 等; (2) STATE/

DSTATE: $V_{se,d}, V_{se,q}, V_{sh}, \theta_{sh}, V_{dc}$; (3) VAR: $\Delta P, \Delta Q, \Delta V_s, \Delta V_{dc}$ 等; (4) ICON: 节点 s, m, r 。

根据 UPFC 相关变量的存储位置, 可对其进行暂态建模, 具体流程如图 8 所示。

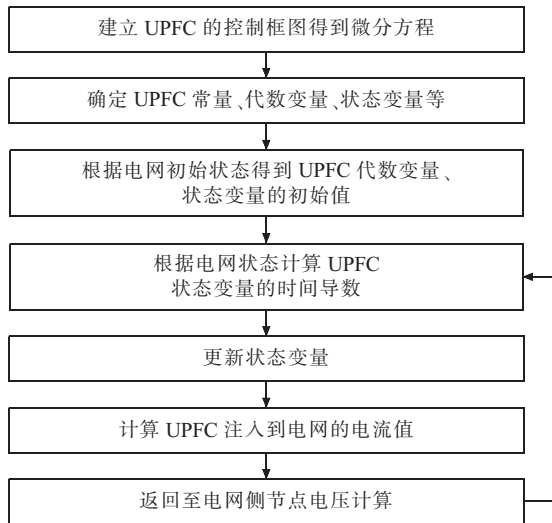


图 8 UPFC 暂态仿真计算流程

3.3 UPFC 自定义模型调用及编译

PSS/E 通过模型连接子程序 CONEC 和 CONET 将动态模型调用到主程序工作空间。CONEC 和 CONET 根据模型子程序中的动态仿真控制标志调用 UPFC 模型, 其中 MODE 标志最为关键, 仿真执行至不同的步骤, CONEC 和 CONET 调用相应 MODE 标志指向的程序块, 主要分为 4 种标志。(1) MODE=1, 初始化 UPFC 的代数变量和状态变量及导数; (2) MODE=2, 计算 UPFC 状态变量对时间的导数; (3) MODE=3, 根据仿真步长, 计算 UPFC 状态变量; (4) MODE=4, 更新 UPFC 状态变量存储地址指针。

UPFC 自定义模型代码编写完成后, 需要对模型进行编译, 先用动态文件生成 CONEC, CONET 文件; 运行批处理文件并编译 UPFC 模型的 FORTRAN 源代码, 生成自定义模型的目标文件 *.obj; 用 load4 链接 obj 文件, 则可生成动态链接库文件 dsusr.dll。在新生成的 dsusr.dll 文件所在目录下运行 PSS/E 动态仿真程序。在仿真过程中, 当系统加载动态文件遇到 UPFC 自定义模型代码时, 机会自动从加载的 dsrudr.dll 动态链接库中调用编译好的自定义模型进行动态仿真, 其流程如图 9 所示。

4 UPFC 仿真与分析

4.1 系统参数设置

仿真系统接线如图 10 所示。以图 10 所示的电网为例, 分别对 UPFC 的电网潮流调节能力和暂态稳定能力进行仿真计算。算例中包括有 23 个节点, 24 条线路, 10 台双绕组变压器, 6 台发电机。所有发电机的动

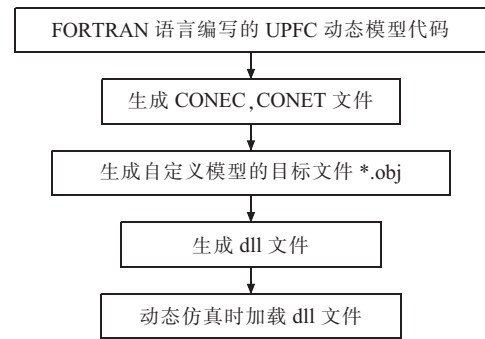


图 9 UPFC 动态模型编译流程

态模型均采用 PSS/E 中 GENROU 模型, 负荷采用恒功率动态模型。

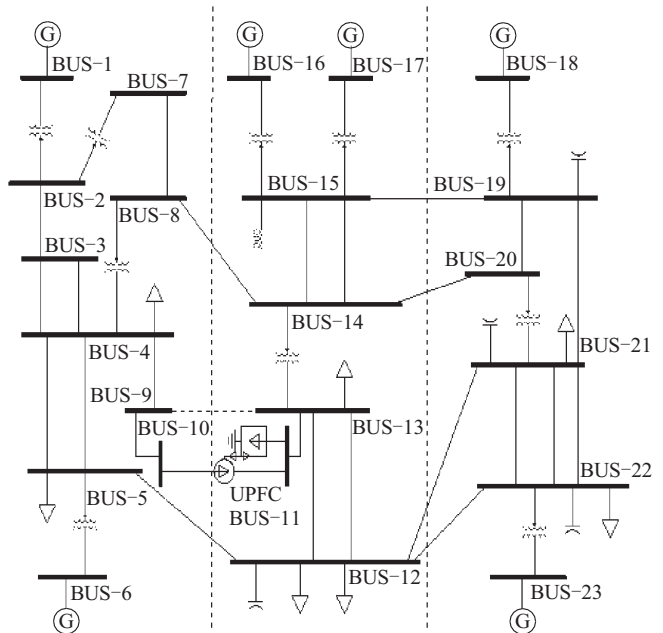


图 10 仿真系统接线

UPFC 安装于节点 10 和 11 之间的线路上, $X_{se} = 0.05, X_{sh} = 0.06, C_u = 0.05, V_{se,max} = 0.8, I_{sh,max} = 0.6$ 。控制策略和控制参数的设计是 UPFC 正常工作的关键, 如选择得不合适, 既无法保证线路电压和功率的稳定, 还可能加速系统崩溃。通过大量的仿真分析得到了比较满意的控制参数: $K_{kp} = 0.4, K_{ip} = 50, K_{kq} = -0.4, K_{iq} = -50, K_{p3} = 2, K_{i3} = 40, K_{p4} = -1, K_{i4} = -200$ 。仿真时, 线路有功功率和无功率初始控制目标设定为: $P_{Lref} = 78 \text{ MW}, Q_{Lref} = -16 \text{ Mvar}$, 由节点 11 流向节点 10 为正; 节点 11 的电压控制目标 $V_{sref} = 0.994 \text{ p.u.}$, 直流侧电压 $V_{dcref} = 1 \text{ p.u.}$ 。

4.2 线路有功功率调节仿真

保持节点 11 和 10 之间线路的无功 $Q_{Lref} = -16 \text{ Mvar}, V_{sref} = 0.994 \text{ p.u.}$ 不变, 当线路有功控制目标 P_{Lref} 分别在 $0 \text{ s}, 1 \text{ s}, 2 \text{ s}, 3 \text{ s}$ 时分别设置为 $60 \text{ MW}, 10 \text{ MW}, -20 \text{ MW}$ 和 30 MW , 对应的线路潮流、节点 11 母线电压 V_s 、直流侧电容电压和 UPFC 串联侧注入电压的波形如图 11 所示。

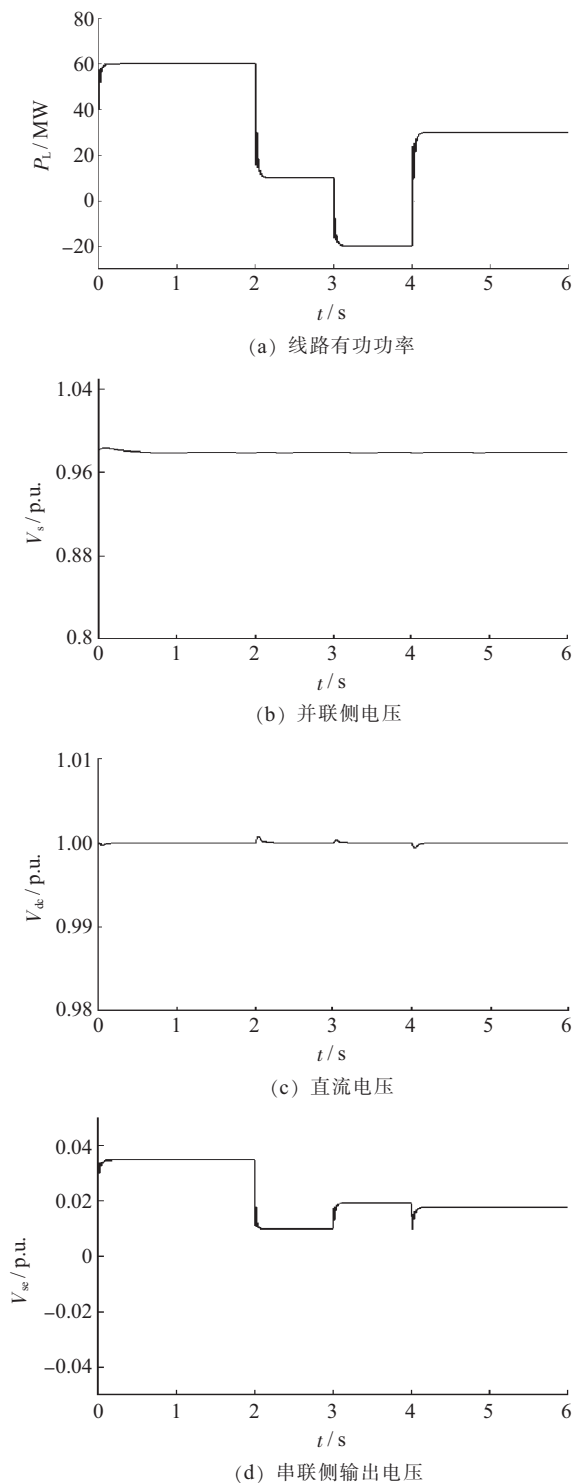


图 11 线路有功功率调节仿真

由图 11 可见,调节线路有功功率时,随着串联电压 V_{se} 幅值的快速调节,线路有功迅速变化至新的控制目标,直流侧母线电压存在短暂的波动后重新稳定,线路无功变化的原因是在控制策略的设计中有功和无功存在一定耦合关系,有功变化时将同时影响串联侧换流器输出电压的幅值和相角,从而影响无功的变化。

4.3 线路无功功率调节仿真

保持 $P_{Lref} = 78 \text{ MW}$, $V_{sef} = 0.994 \text{ p.u.}$ 不变,令线路无功功率分别在 0 s , 1 s , 2 s , 3 s 时分别设置为 40 Mvar ,

20 Mvar , -20 Mvar 和 30 Mvar ,对应的线路潮流、节点 11 母线电压 V_s 、直流侧电容电压和 UPFC 串联侧注入电压的波形如图 12 所示。

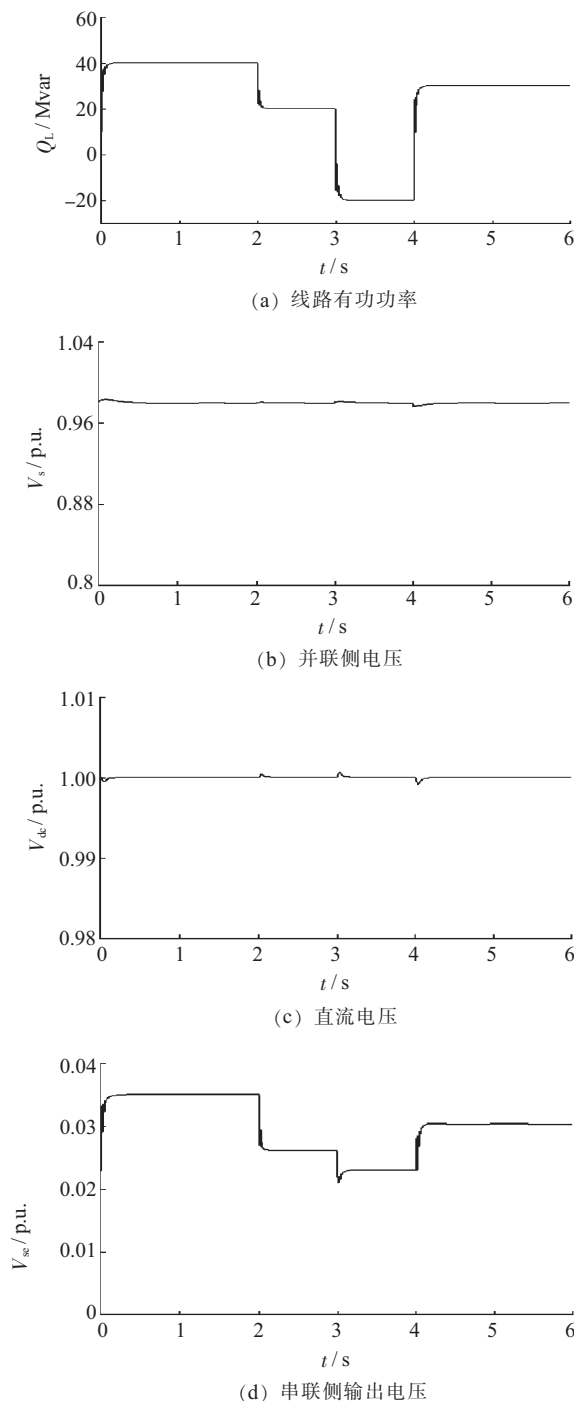


图 12 线路无功功率调节仿真

由图 12 可见,UPFC 通过串联侧电压源 V_{se} 的调节实现线路无功的控制,线路有功功率和 V_s 基本保持不变,直流侧电压 V_{dc} 存在短暂的波动。

4.4 节点电压调节仿真

保持线路有功和无功功率恒定,令 UPFC 并联侧接入节点 11 的电压控制目标在 1 s 和 3 s 分别为 1 p.u. 和 0.97 p.u. ,对应的线路有功、无功、直流侧电压和串联侧电压源的波形如图 13 所示。

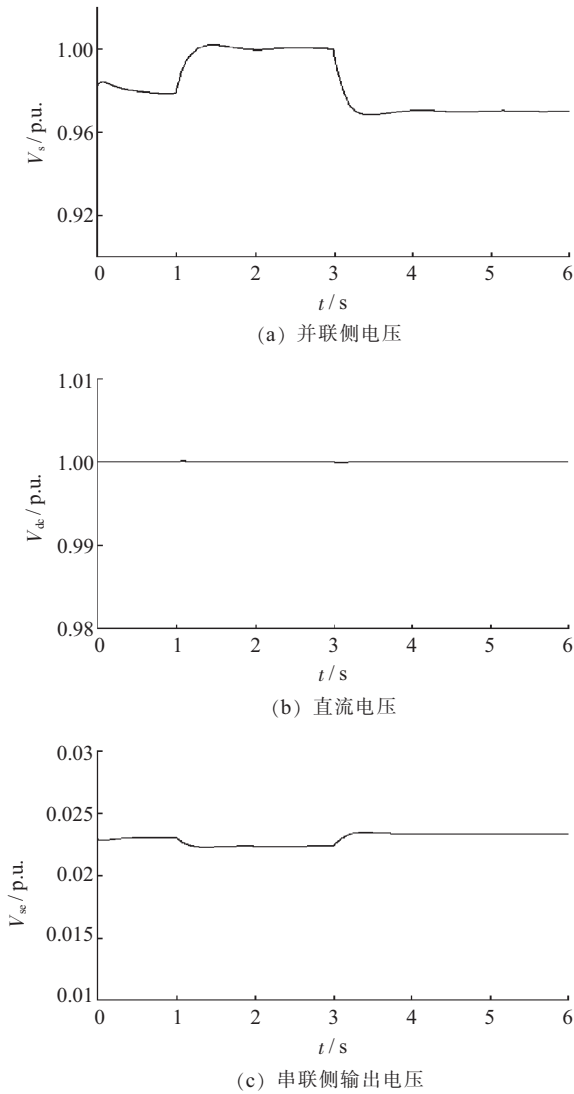


图 13 节点电压调节仿真

由图 13 可见,当节点电压 V_s 控制目标发生变化时,通过并联侧无功功率变化,迅速改变节点电压,实现了 UPFC 的电压控制功能。由于并联侧和串联侧直接的有功交换没有发生变化,因此直流侧电容电压保持恒定。受节点电压 V_s 变化的影响, V_{sc} 发生相应的变化来保持线路无功功率的稳定运行。

4.5 三相短路接地故障暂态仿真

该仿真的目的是验证系统发生故障时 UPFC 对线路有功和无功功率的控制能力以及 UPFC 对系统电压水平的支撑能力。当系统运行至 1 s 时,节点 19 与节点 21 之间的线路靠近节点 21 侧发生三相接地故障,0.1 s 后保护装置动作将该线路切除,对应的无 UPFC 和有 UPFC 2 种情况下,节点 10 和 11 之间的有功功率、无功功率以及节点 11 的电压变化情况如图 14、图 15 所示。

无 UPFC 情况下,发生三相短路接地故障后,节点 11 的电压瞬间跌落至 0.37 p.u.,线路有功和无功功率分别由故障前的 78 MW 和 -16 Mvar 变化至 42 MW

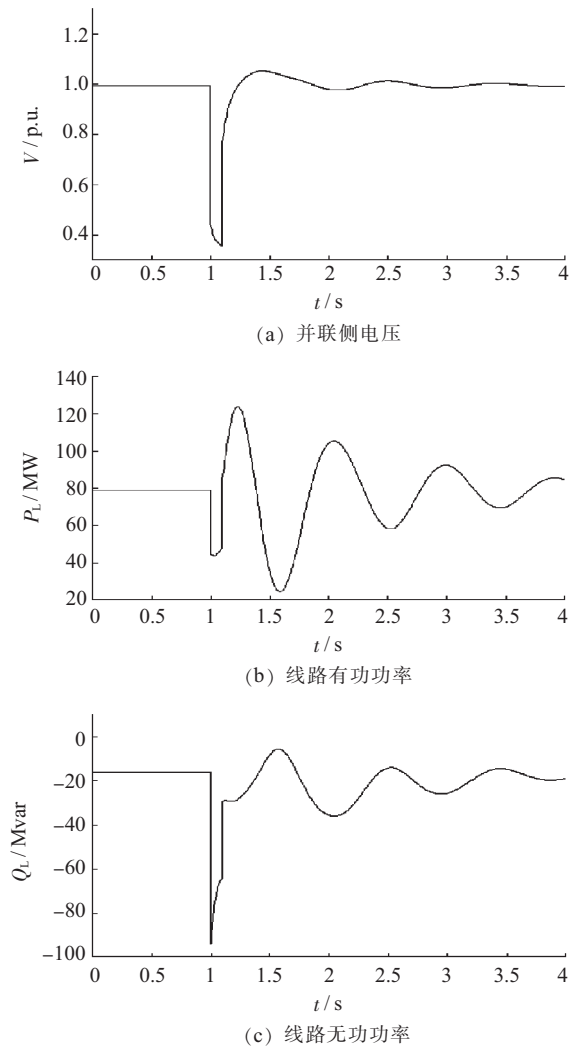
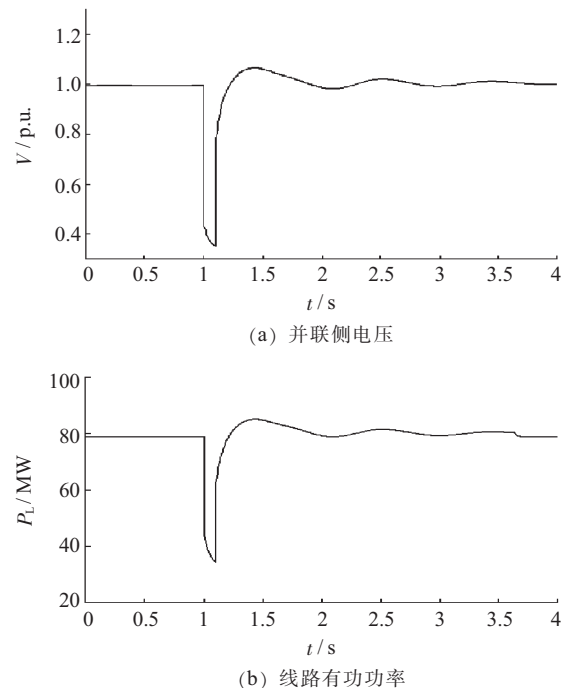
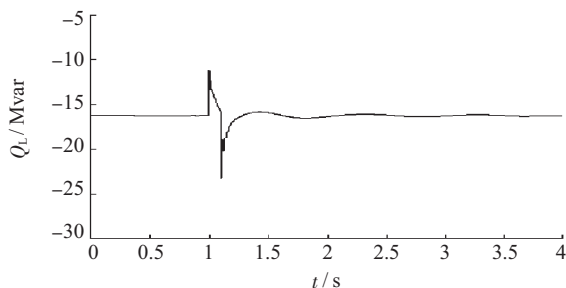


图 14 UPFC 接入前三相短路接地故障情况下线路潮流和母线电压波形



和 -90 Mvar;0.1 s 故障切除后,随着电网电压的升高,线路潮流迅速升高,并出现衰减振荡现象,直至 4 s



(c) 线路无功功率

图 15 UPFC 接入后三相短路接地故障情况下
线路潮流和母线电压波形

时,仍未完全稳定;有 UPFC 情况下,故障切除后约 0.4 s,在 UPFC 控制作用下,线路有功和无功功率基本恢复至故障前的运行状态,可见 UPFC 具有提高系统暂态稳定性的能力。

5 结束语

基于 PSS/E 自定义编程,本文实现 UPFC 的机电暂态建模,并采用算例进行了仿真验证,结果表明本文所建 UPFC 机电模型实现了所在线路的潮流控制、节点电压调节等功能;在系统发生三相短路接地故障后,UPFC 可将线路有功和无功功率在短时间内恢复至故障前的运行状态。因此本文建立的 UPFC 模型既能快速有效地提高系统的暂态稳定性,又能抑制电压的暂降和提高系统的动态性能。

参考文献:

- [1] GYUGYI L, SCHSTRUDER C D, EDRIS A. The Unified Power Flow Controller: a new Approach to Power Transmission Control [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1995, 10(2): 1085-1097.
- [2] 唐爱红,程时杰. 基于 PSCAD/EMTDC 的统一潮流控制器动态仿真模型[J]. 电网技术, 2005, 29(16): 6-10.
- [3] 宋洁莹,冯献强,崔福博,等. MMC-UPFC 动态建模及内部特性仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34: 67-75.
- [4] 姚蜀军,宋晓燕,汪燕. 基于 PSASP 的统一潮流控制器潮流建模与仿真[J]. 华北电力大学学报, 2011, 38(5): 11-16.

- [5] 陈柏超,曾永胜,刘俊博,等. 基于 Sen Transformer 的新型统一潮流控制器的仿真与实验[J]. 电工技术学报, 2012, 27(3): 233-238.
- [6] 陈业飞,李林川,张芳,等. 基于节点电流注入法的 UPFC 潮流控制新方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(2): 69-74.
- [7] 仇志华,徐丙垠,陈青. 基于统一潮流控制器的配电环网潮流优化控制策略[J]. 电网技术, 2012, 36(6): 122-126.
- [8] 刘梨明,康勇,陈坚,等. 统一潮流控制器控制策略的研究与实现[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(10): 114-119.
- [9] PSS/E Program Operation Manual [M]. America: Power Technologies Inc, 2013: 560-590.
- [10] 陈义宣,王晓茹,廖国栋,等. PSS/E 励磁系统的自定义建模[J]. 电网技术, 2009, 33(18): 78-83.
- [11] 钱叶牛,董亚旭,李国庆. 基于 FORTRAN 编程的 PSS/E 用户自定义励磁系统建模[J]. 东北电力大学学报, 2011, 31(4): 101-106.
- [12] 马宁宁,王德林. 风电系统的空气动力 PSS/E 自定义模型[J]. 南方电网技术, 2014, 08(5): 80-83.
- [13] 韩松,徐政,吴小辰,等. PSD-BPA 与 PSS/E 暂态稳定数学模型比较[J]. 南方电网技术, 2010, 04(3): 67-71.
- [14] 徐政,徐琼璟,任雷. BPA 与 PSASP 及 PSS/E 机电暂态仿真的负荷模型比较[J]. 南方电网技术, 2008, 02(5): 32-42.
- [15] 统一潮流控制器技术及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015: 34-46.
- [16] 张宁宇,周前,胡昊明,等. 计及统一潮流控制器的电网随机潮流计算方法[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(6): 32-35.

作者简介:

- 张宁宇(1985),男,山西忻州人,工程师,研究方向为柔性交流输电、电力系统仿真与计算;
- 周前(1978),男,江苏宜兴人,高级工程师,研究方向为研究方向为电力系统分析与计算;
- 刘建坤(1980),男,山东潍坊人,高级工程师,研究方向为电力系统仿真分析、电力系统规划和运行以及柔性交直流输电等;
- 胡昊明(1987),男,江苏南京人,工程师,研究方向为电力系统分析与计算;
- 邵敏敏(1983),男,江苏无锡人,工程师,研究方向为电力系统分析与计算。

Research on Dynamic Model and Simulation of UPFC in PSS/E

ZHANG Ningyu¹, ZHOU Qian¹, LIU Jiankun¹, HU Haoming¹, SHAO Minmin²

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China;

2. Wuxi Division of State Grid Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Wuxi 214101, China)

Abstract: In this paper, the principle of user defined modeling of PSS/E is described, while the detailed process of modeling is summarized. The electromechanical transient model of UPFC is established in PSS/E based on equivalent current injection method. Then a test system is used to verify the correctness of the model by simulations. The result shows that UPFC has an excellent capability in regulating power flows and bus voltages. Therefore, UPFC could reduce the power losses of power grid effectively after a three-phase short circuit fault occurred. At the same time, UPFC is able to recover the system to a stable operation state. As a result of the research, the dynamic simulation of power flow and voltage control by UPFC is realized in PSS/E.

Key words: PSS/E; FACTS; unified power flow controller; self defined; transient simulation