

UPFC 混成控制器设计及其对四川电网稳定性的改善

孙琳¹, 谢桦², 梅生伟¹, 庞晓艳³, 李明节³

(1. 清华大学电机工程与应用电子技术系, 北京 100084; 2. 北京交通大学电气工程学院, 北京 100044;
3. 四川电力调度局, 四川 成都 610016)

摘要: 作为典型的远距离输电系统, 四川电网存在严重的暂态稳定问题. 为提高其稳定性, 首先运用非线性鲁棒控制理论建立了含外部干扰的统一潮流控制器(Unified Power Flow Controller)动态模型. 在此模型的基础上, 基于脉宽调制(Pulse width modulation)控制技术, 提出一类新型混成反馈控制策略, 即 UPFC 串联逆变器的导通角采用非线性 H_∞ 控制策略, 其余串、并联控制(调制比和导通角)均采用常规的比例积分(Proportional-Integral)控制. 进一步对上述混成控制律中的某些不可测变量进行本地化, 保证了控制律的工程实用性. 仿真结果表明文中所设计的 UPFC 控制器较常规 PID 控制更有效地改善四川电网的动态品质, 提高其暂态稳定性.

关键词: 暂态稳定; 统一潮流控制器(UPFC); 非线性 H_∞ 控制; 混成控制

中图分类号: TM712 **文献标识码:** A

Hybrid controller design for unified power flow controller and its application in Sichuan power grid

SUN Lin¹, XIE Hua², MEI Sheng-wei¹, PANG Xiao-yan³, LI Ming-jie³

(1. Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

3. Sichuan Electric Power Control Center, Chengdu Sichuan 610016, China)

Abstract: As a typical long-distance transmission system, Sichuan system has an undesirable power flow distribution, which has seriously infringed on its security. In order to improve its stability, a dynamic model considering external disturbances is proposed by the nonlinear robust control theory. Then based on PWM technology, a novel hybrid control strategy for UPFC is built. A nonlinear H_∞ law is designed for control phase of the series converter. While for the other three control variables(modulation ratios and control phase), conventional PI control is adopted. Furthermore, based completely on the locally measurable variables, the proposed controller could be very practical. Simulation studies have verified its effectiveness to improve the dynamic quality and transient stability of Sichuan system.

Key words: transient stability; unified power flow controller; nonlinear H_∞ control; hybrid control

1 引言(Introduction)

1992 年, L. Gyugi 博士在全面研究静态无功补偿器^[1]、可控串联补偿器^[2]和移相等传统 FACTS 装置后, 提出了统一潮流控制器(Unified Power Flow Controller, 简称 UPFC)的概念^[3]. 与其它灵活交流输电设备相比, UPFC 在运行过程中能调控设备接入点的电压, 又可快速调节线路的有功和无功功率, 因此使得系统运行更加灵活. 也正是因为 UPFC 所具备的优越功能, 其控制器的设计引起了众多研究者的兴趣^[4-7]. 其中文献[6]采用常规 PID 控制, 文献[7]则在建立 UPFC 动态的基础上, 基于微分几何控

制方法设计了 UPFC 的非线性控制器. 上述控制方法, 无论是古典调节原理的 PI 控制, 还是现代控制理论的非线性控制均是基于已知参数和固定结构的模型, 即没有考虑系统运行中的不确定性. 而实际上, UPFC 在其运行过程中要受到或弱或强的外界干扰的影响, 如切机、切负荷、故障情况下网络结构和参数的变化等. 再者所建 UPFC 模型的不准确性、参数误差和量测误差等也都对 UPFC 形成广义的干扰, 而这些干扰难以用微分方程精确描述. 因此, UPFC 控制器设计的一个重大课题是如何在保证系统稳定的前提下最大程度地抑制干扰对系统期望输

出的影响,即使闭环系统具有最强的鲁棒性.另一方面,由于UPFC的数学模型和控制结构的复杂性,应用一般非线性鲁棒控制仍然难以构造控制器.基于以上因素,本文基于微分几何动态扩张理论^[8]及 H_∞ 方法^[9,10],同时结合常规的PI控制,提出一类新型的UPFC混成控制策略;进一步针对四川电力系统作为长距离送端系统从而安全稳定问题十分突出的状况,本文系统性给出了四川系统500kV输电网UPFC安装设计方案.仿真结果表明本文所提出的UPFC混成控制器比常规控制能有效地提高四川系统的安全运行水平,改善其动态品质.

2 考虑干扰的UPFC动态模型 (Dynamic model of UPFC considering disturbances)

图1为接在系统中的UPFC原理结构图.由此图可知,UPFC由两个电压型逆变器构成,二者之间通过直流电容耦合,并分别通过并联变压器和串联变压器与输电线相连.在下文中,并联逆变器,并联变压器和直流电容称为UPFC的并联部分,而串联逆变器,串联变压器和直流电容称为UPFC的串联部分.

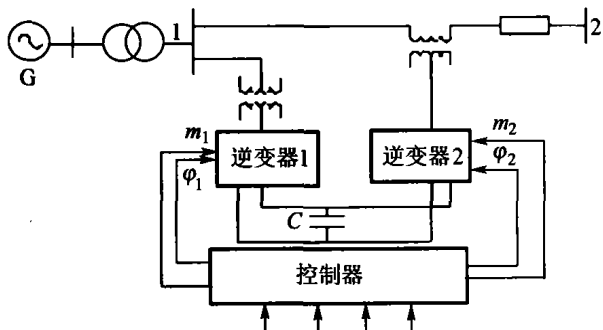


图1 UPFC的结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of UPFC

图2为UPFC的等效电路图. UPFC由并联部分和串联部分两部分组成,其作用可以分别用两个同步电压源等效.

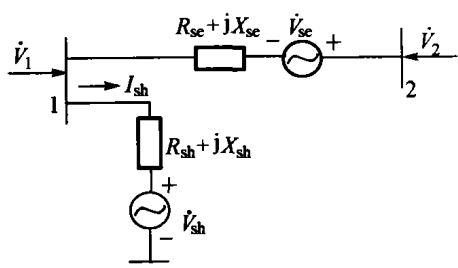


图2 UPFC等效电路

Fig. 2 Equivalent circuit of UPFC

图1和2中, $\dot{V}_1$ 和 $\dot{V}_2$ 为节点1和节点2的电压相量,其幅值和相角分别为 V_1, θ_1 和 V_2, θ_2 ; $\dot{V}_{sh}$ 和

$\dot{V}_{se}$ 为UPFC并联侧和串联侧等效电压源的电压相量,其幅值和相角分别为 V_{sh}, θ_{sh} 和 V_{se}, θ_{se} ; $R_{sh} + jX_{sh}$ 为并联部分的等效阻抗, $R_{se} + jX_{se}$ 为串联部分的等效阻抗; C 为直流电容,其电压值为 V_C .

若忽略装置的自身损耗,则并联侧从系统吸收的有功功率为

$$P_{sh} = \operatorname{Re} \left[\left(\frac{\vec{V}_1 - \vec{V}_{sh}}{jx_{sh}} \right)^* \vec{V}_{sh} \right] = \frac{1}{x_{sh}} V_{sh} V_1 \sin(\theta_1 - \theta_{sh}), \quad (1)$$

而串联逆变器注入系统的有功功率为

$$P_{se} = \operatorname{Re} \left[\left(\frac{\vec{V}_1 - \vec{V}_2 + \vec{V}_{se}}{jx_{se}} \right)^* \vec{V}_{se} \right] = \frac{1}{x_{se}} V_{se} (V_1 \sin(\theta_1 - \theta_{se}) - V_2 \sin(\theta_2 - \theta_{se})). \quad (2)$$

考虑直流电容 C 的动态过程,由UPFC控制潮流的原理可知

$$\left(C \frac{dV_C}{dt} \right) V_C = P_{sh} - P_{se}. \quad (3)$$

本文考虑UPFC的两个逆变器均采用PWM控制技术.装置的并联与串联部分逆变器的输入信号均为幅值调制比和并联部分与串联部分电压与同步信号的相角差,分别用 m_1, φ_1 和 m_2, φ_2 表示.则 m_1, m_2 与UPFC等效输出电压的幅值关系如下

$$V_{sh} = m_1 V_C, \quad (4)$$

$$V_{se} = m_2 V_C. \quad (5)$$

若将UPFC接入节点 i 的电压作为PWM的同步信号,则 φ_1, φ_2 与UPFC等效输出电压的相角有如下关系

$$\varphi_1 = \theta_1 - \theta_{sh}, \quad (6)$$

$$\varphi_2 = \theta_1 - \theta_{se}. \quad (7)$$

将式(1),(2),(4)~(7)代入式(3),并加以整理得UPFC的动态方程如下

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{1}{C} \left[\frac{1}{x_{sh}} m_1 V_1 \sin \varphi_1 - \frac{1}{x_{se}} m_2 \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)} \cos(\alpha + \theta_1 - \varphi_2) \right]. \quad (8)$$

$$\text{其中 } \alpha = \arctg \frac{V_1 \cos \theta_1 - V_2 \cos \theta_2}{V_1 \sin \theta_1 - V_2 \sin \theta_2}.$$

图1中,发电机的转子运动方程式如下:

$$\begin{cases} \frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_0, \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_0}{H} (P_m - P_e) - \frac{D}{H} (\omega - \omega_0). \end{cases} \quad (9)$$

其中, δ 是发电机转子运行角, δ_0 为其初始值; ω 为发电机转速, $\omega_0 = 2\pi f_0$ 为发电机额定同步转速; P_m 和 P_e 分别为发电机机械功率和电磁功率; D 为阻尼系数; H 为转动惯量。

综合式(8),(9),并考虑外部干扰后得到系统动

$$F(x, u, w) = \begin{pmatrix} \omega - \omega_0 \\ \frac{\omega_0}{H}(P_m - P_e) - \frac{D}{H}(\omega - \omega_0) + \frac{K_1}{H}w_1 \\ \frac{1}{C}(\frac{1}{x_{sh}}m_1V_1\sin\varphi_1 - \frac{1}{x_{se}}m_2\sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2\cos(\theta_1 - \theta_2)}\cos(\alpha + \theta_1 - \varphi_2)) + \frac{K_2}{C}w_2 \end{pmatrix}.$$

应用微分几何控制理论^[9]分析得知,若输出信号仅考虑功角差,即 $y = \Delta\delta$, 则难以通过状态反馈精确线性化方法或零动态方法设计控制器. 以下我们将采用动态扩张的方法将线性化的状态方程扩展到更高维的状态空间^[8]. 定义积分变换如下

$$\begin{cases} \xi_1 = \int_0^t \Delta V_C dt, \\ \xi_2 = \int_0^t \int_0^t \Delta V_C d^2t. \end{cases} \quad (11)$$

这里 $\Delta V_C = V_C - V_{Cref}$, V_{Cref} 为直流电容稳态运行值. 从而有

$$\begin{cases} \dot{\xi}_1 = \Delta V_C, \\ \dot{\xi}_2 = \xi_1. \end{cases} \quad (12)$$

综合(10)与(12)可得扩张后的系统

$$\begin{cases} \dot{x} = F(x, u, w), \\ \dot{\xi}_1 = \Delta V_C, \\ \dot{\xi}_2 = \xi_1. \end{cases} \quad (13)$$

对于系统(13),选择新的输出信号

$$y = h(x, \xi_1, \xi_2) =$$

$$\Delta\delta + \xi_2 = \delta - \delta_0 + \int_0^t \int_0^t \Delta V_C d^2t. \quad (14)$$

构造坐标变换 $z = \Phi(x, \xi_1, \xi_2)$ 如下

$$\begin{cases} z_1 = \delta - \delta_0 + \xi_2, \\ z_2 = \omega - \omega_0 + \xi_1, \\ z_3 = \frac{\omega_0}{H}(P_m - P_e) - \frac{D}{H}(\omega - \omega_0) + \Delta V_C, \\ z_4 = \xi_1, \\ z_5 = \xi_2. \end{cases} \quad (15)$$

这里 $z = [z_1, z_2, z_3, z_4, z_5]^T$. 经简单计算可知,

Jacobi矩阵 $\frac{\partial \Phi}{\partial (x, \xi_1, \xi_2)}$ 可逆,因此 Φ 是微分同胚. 则在新坐标系 z 下状态方程(13)可转化为以下形式

态模型为

$$\dot{x} = F(x, u, w). \quad (10)$$

其中,状态向量 $x = [\delta \quad \omega \quad V_C]^T$, 控制向量 $u = [m_1 \quad \varphi_1 \quad m_2 \quad \varphi_2]^T$,

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2, \\ \dot{z}_2 = z_3 + \frac{K_1}{H}w_1, \\ \dot{z}_3 = v + \frac{K_2}{C}w_2, \\ \dot{z}_4 = \mu(z), \\ \dot{z}_5 = z_4. \end{cases} \quad (16)$$

其中

$$\mu(z) = \Delta V_C |_{(x, \xi_1, \xi_2) = \Phi^{-1}(z)}, \quad (17)$$

$$v = -\frac{\omega_0}{H}\dot{P}_e - \frac{D\omega_0}{H}(P_m - P_e) + \frac{D^2}{H^2}(\omega - \omega_0) + \dot{V}_C. \quad (18)$$

若假定系统(16)所含的子系统

$$\begin{cases} \dot{z}_4 = \mu(0, 0, 0, z_4, z_5), \\ \dot{z}_5 = z_4 \end{cases} \quad (19)$$

在 $z = 0$ 渐近稳定,则可以通过考察(16)的线性 z 系统

$$\begin{cases} \dot{\bar{z}} = A\bar{z} + B_1w + B_2w, \\ y = C\bar{z} \end{cases} \quad (20)$$

的 H_∞ 控制问题,来近似地得到系统(16)的一类鲁棒控制律^[11].

这里

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ K_1/H & 0 \\ 0 & K_2/C \end{bmatrix},$$

$$C = [1 \quad 0 \quad 0], \bar{z} = [z_1 \quad z_2 \quad z_3]^T,$$

$$B_2 = [0 \quad 0 \quad 1]^T, w = [w_1 \quad w_2]^T.$$

3 UPFC 混成控制策略(Hybrid control strategy of UPFC)

3.1 混成控制器基本结构(Basic structure of hybrid controller)

UPFC 的控制器共有 4 个控制变量 m_1, φ_1, m_2 和 φ_2 , 每个控制变量均有各自的控制策略. 考虑到

模型(13)的复杂性,运用现有的非线性控制理论无法对所有的控制变量均采用先进的控制方法.同时由于串联逆变器的控制相位 φ_2 决定 UPFC 串联部分对系统的作用^[6],因此本文提出了混成控制的策略,即对控制变量 m_1, φ_1, m_2 采用常规 PI 控制,而对 φ_2 则采用先进的非线性 H_∞ 控制器.图3给出了 UPFC 混成控制器结构图.

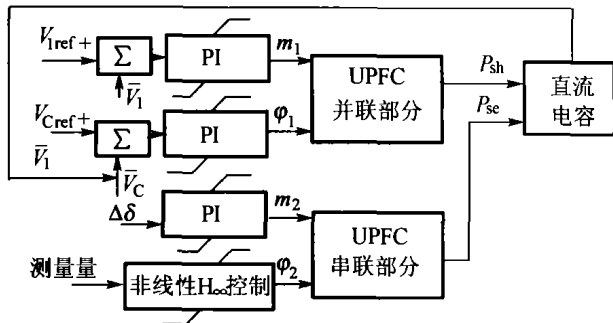


图3 UPFC混成控制器基本结构

Fig.3 Basic structure of UPFC hybrid controller

3.2 串联逆变器导通角 φ_2 的非线性 H_∞ 控制 (Nonlinear H-infinity control for the fire angle of series converter φ_2)

根据线性 H_∞ 控制原理^[9],得到系统(20)的线性 H_∞ 控制规律如下

$$v^* = K^* \bar{z} = -B_2^T P^* \bar{z}. \quad (21)$$

其中, $K^* = B_2^T P^* = [k_1^* \ k_2^* \ k_3^*]$, P^* 为Riccati方程的正定解

$$A^T P + PA + \frac{1}{\gamma^2} PB_1 B_1^T P - PB_2 B_2^T P + C^T C = 0. \quad (22)$$

将式(21)代入式(18),得串联逆变器的控制相位 φ_2 的控制律为

$$\begin{aligned} \varphi_2(t) = & \alpha + \theta_1(t) - \\ & \arccos\left(\frac{x_{se}}{m_2 \sqrt{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)}}\right) \left(\frac{m_1 V_1}{x_{sh}} \sin \varphi_1 + \right. \\ & C(k_1^* (\Delta\delta + \int_0^t \Delta V_C dt) + \\ & k_2^* (\int_0^t \Delta V_C dt + \Delta\omega) + k_3^* (\Delta V_C + \frac{\omega_0}{H} \Delta P_e - \frac{D}{H} \Delta\omega) + \\ & \left. \frac{D^2}{H^2} \Delta\omega - \frac{D}{H} \frac{\omega_0}{H} \Delta P_e - \frac{\omega_0}{H} \dot{P}_e)\right). \end{aligned} \quad (23)$$

Riccati 方程(22)存在正定解 P^* 是 H_∞ 控制能够实现的前提条件,而 P^* 显然又受矩阵 B_1 和参数 γ 的影响.从系统(14)可以看出, B_1 表示干扰输入通道的“增益”矩阵,一定程度上表征了干扰的强

度,而参量 γ 则代表 H_∞ 控制器干扰抑制的水平.一般地讲, γ 越小,干扰抑制的水平越高.但由于计算复杂性,我们难以达到最小的 γ 值.通常的做法是寻找一个恰当的 γ ,即实现所谓 H_∞ 次优控制.本文的方法即属此例.

3.3 控制量 φ_1, m_1 和 m_2 的常规 PI 控制 (Conventional PI control for control variables φ_1, m_1 and m_2)

由图3可知,UPFC的并联侧实现两个基本控制功能,即直流电压控制和母线电压控制.因此, φ_1 和 m_1 的常规 PI 控制分别取直流电容电压和接入点母线电压的测量值 V_C, V_1 与二者的参考值 V_{Cref}, V_{1ref} 之差作为两个控制器的输入信号^[6],其控制律表达式如下:

$$\varphi_1 = \frac{1}{1 + T_1 s} (K_{p1} + \frac{K_{i1}}{s}) (V_{Cref} - V_C), \quad (24)$$

$$m_1 = \frac{1}{1 + T_2 s} (K_{p2} + \frac{K_{i2}}{s}) (V_{1ref} - V_1). \quad (25)$$

另外,从改善系统稳定性的角度出发,串联侧选择发电机转子角偏差 $\Delta\delta$ 作为 PI 控制器的输入信号用以控制 m_2 , 即

$$m_2 = \frac{1}{1 + T_3 s} (K_{p3} + \frac{K_{i3}}{s}) \Delta\delta. \quad (26)$$

3.4 控制变量本地化 (Localization of control variables)

为了实现式(23)所示的控制规律,需要测得发电机有功功率 P_e 及其转子角增量 $\Delta\delta$. 若将变压器看作发电机的内阻抗,则 P_e 和 P_{e0} 可以用线路的电磁功率 P_l 及其初始值 P_{l0} 近似;另外,由于 $\Delta\omega$ 可测,故 $\Delta\delta$ 可用式 $\Delta\delta = \int_0^t \Delta\omega dt$ 求得.

4 仿真结果 (Simulation results)

仿真系统如图4所示,由图可知,四川电网通过500 kV 线路与华中电网联网运行以后,形成了长距离弱联系的送电模式,其安全稳定问题十分突出.因此本文考虑在洪沟变电站安装 UPFC 装置,即并联变压器与母线洪沟并联,串联变压器接入线路洪沟-南充的首端.取 Riccati 方程中的参量 $\gamma = 2$,从而计算得 φ_2 的非线性 H_∞ 控制器的增益系数为 $k_1^* = 2.7098, k_2^* = 5.3869, k_3^* = 4.9029$. 另外,变量 φ_1, m_1 和 m_2 的 PI 控制器的比例及积分系数分别取值如下: $K_{p1} = 5, K_{i1} = 0.1, K_{p2} = 0.05, K_{i2} = 0.1, K_{p3} = 20, K_{i3} = 1, T_1 = T_2 = T_3 = 0.01$.

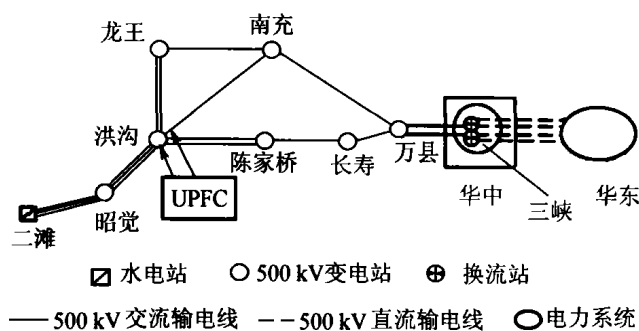


图4 四川电网500kV主接线图

Fig. 4 500 kV main circuits of Sichuan power grid

假设洪沟-陈家桥双回线中的一条线路发生三相永久性故障,即0s时发生三相短路接地故障,0.1s后切除此线路。仿真工具采用中国电力科学院的PSASP软件。图5、图6分别给出系统安装UPFC后,分别采用常规PID控制以及本文所设计的混成控制两种情况下洪沟处的电压曲线以及龚嘴厂-葛洲坝大江电厂的相对功角曲线。其中,龚嘴厂位于四川电网,而葛洲坝大江电厂位于华中电网。电压基值均取500kV。

由以上仿真结果可知,在双回线洪沟-陈家桥中的一条线路发生大干扰的情况下,若采用UPFC的常规PID控制,系统将在第一摆就失去稳定。当采用本文所设计的混成控制后,系统保持稳定。且在不配合任何切机、切负荷的情况下,系统中主要母线的电压有较好的动态品质。

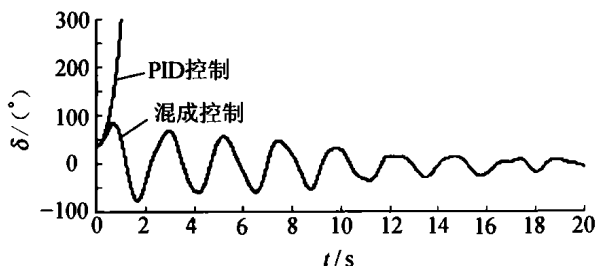
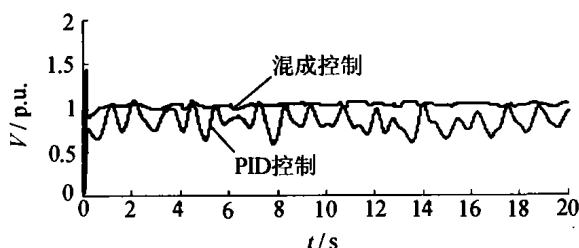
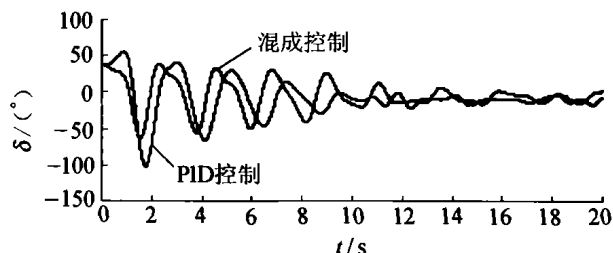
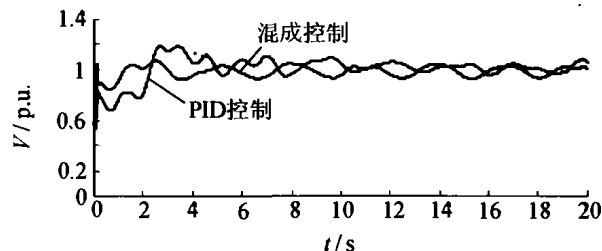
图5 龚嘴厂-葛洲坝大江电厂相对功角曲线
Fig. 5 Relative rotor angle of Gongzui and Gezhouba power station图6 洪沟电压曲线
Fig. 6 Voltage of Honggou

图7、图8给出了昭觉-洪沟三回线中的一条线路发生三相永久性故障情况下,UPFC采用PID

控制和混成控制两种情况系统的动态响应。

由图7可知,在此故障情况下,两种控制器均可以调节系统达到稳定。但是采用混成控制器时,系统的动态性能明显优于采用PID控制时的情况。图8给出了洪沟母线处的电压曲线,由此图可知,UPFC混成控制器和常规PID控制器相比,前者能够使电压更快的达到某一恒定值,并能够更有效的阻尼电压振荡。

图7 龚嘴厂-葛洲坝大江电厂功角曲线
Fig. 7 Relative rotor angle of Gongzui and Gezhouba power station图8 洪沟电压曲线
Fig. 8 Voltage of Honggou

5 结论(Conclusion)

本文首先建立了含外部干扰的UPFC动态模型,然后运用动态扩张和 H_∞ 控制理论设计了UPFC的混成控制器。最后,将本文所设计的控制器用于四川电网进行仿真,结果表明本文提出的混成控制策略在维持母线电压稳定和阻尼线路功率振荡方面效果显著。还须指出的是,由于在对串联逆变器的控制相位 φ_2 设计先进的非线性 H_∞ 控制器时,其它3个控制变量 m_1 、 φ_1 和 m_2 直接作为输入量处理,因此,此类混成控制器的设计方法及其反馈系统的综合性能在理论方面仍需进行更加深入的讨论。此外,在以后的工作中,我们还将进一步改善UPFC的动态模型,并对其所有控制变量进行更为系统性地控制器设计。

参考文献(References):

- [1] FARDANSEH B, HENDERSON M, SHPERLING B, et al. *Convertible Static Compensator: Application to the New York Transmission System* [M]. Paris, France: CIGRE, 1998: 14-103.

- [2] GYUGYI L, SCHAUDER C D, SEN K K. Static synchronously series compensator: a solid-state approach to the series compensation of transmission line [J]. *IEEE Trans on Power Delivery*, 1997, 12(1): 406 - 417.
- [3] GYUGYI L. Unified power-flow control concept for flexible AC transmission system [J] // *IEE Proceedings-C*, 1992, 139(4): 323 - 331.
- [4] MIHALIC R, ZUNCO P, POVH D. Basic control of unified power flow controller [J]. *IEEE Trans on Power Delivery*, 1996, 11(1): 485 - 491.
- [5] LIMYINGCHAROEN S, ANNAKKAGE U D, PAHALAWATHITHA N C. Effects of unified power flow controllers on transient stability [J] // *IEE Proc - Generation Transmission and Distribution*, 1998, 145(2): 182 - 188.
- [6] HUANG Zhenyu, NI Yixin, SHEN C M, et al. Application of unified power flow controller in interconnected power systems-modeling, interface, control strategy, and case study [J]. *IEEE Trans on Power Systems*, 2000, 15(2): 817 - 824.
- [7] 谢桦, 梅生伟, 徐政等. 统一潮流控制器的非线性控制和对电力系统稳定性的改善[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(19): 1 - 5.
(XIE Hua, MEI Shengwei, XU Zheng, et al. Nonlinear control for UPFC to improve transient stability of power systems [J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2001, 25(19): 1 - 5.)
- [8] LIU F, MEI S W, LU Q. SDM hybrid control approach for nonlinear systems and its application to power systems [C] // *Int Conf on Power System Technology Proceedings*. Kunming, China: [s. n.], 2002, 2: 944 - 948.
- [9] LU Q, SUN Y Z, MEI S W. *Nonlinear Control Systems and Power System Dynamics* [M]. U. S.: Kluwer Academic Publisher, 2001.
- [10] 梅生伟, 申铁龙, 刘康志. 现代鲁棒控制理论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
(MEI Shengwei, SHEN Tielong, LIU Kangzhi. *Modern Robust Control Theory* [M]. Beijing: Tsinghua Publisher, 2003.)
- [11] 孙琳. 统一潮流控制器的控制与应用研究[D]. 清华大学硕士论文, 2003.
(SUN Lin. *Control and application research of UPFC* [D]. Beijing: Tsinghua University, 2003.)

作者简介:

孙琳 (1978—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为 Flexible AC transmission systems 控制, E-mail: zhuzhu01@mails.tsinghua.edu.cn;

谢桦 (1970—), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为电力系统控制, E-mail: xiehua@dq.njtu.edu.cn;

梅生伟 (1964—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统控制, E-mail: meishengwei@mail.tsinghua.edu.cn;

庞晓艳 (1968—), 女, 高级工程师, 现从事电力系统运行分析工作, E-mail: xypang@sohu.com;

李明节 (1963—), 男, 高级工程师, 现从事电力系统运行分析工作, E-mail: mjli@sohu.com.

下 期 要 目

- 动态区间系统的最优保性能控制——LMI 方法 毛维杰, 刘征宇
- 可拓自适应混杂控制研究 何 斌, 朱学锋
- 跳跃扩散股价的最优投资组合选择 郭文旌
- 基于神经网络的鲁棒自适应逆飞行控制器设计 朱家强, 朱纪洪, 郭锁凤, 孙增圻
- 基于 LMI 的约束系统 H_∞ 控制及其滚动优化实现 陈 虹, 韩光信, 刘志远
- 具分布参数的随机 Hopfield 神经网络的指数稳定(英文) 邓飞其, 赵碧蓉, 罗 琦
- 一类非最小相位系统分层递阶多模型解耦控制器 王 昕, 李少远, 岳 恒
- 多模型多传感器信息融合 Kalman 平滑器 孙书利
- 网站竞争模型的定性分析 吴 红, 王远世
- 铜转炉生产操作模式智能优化 胡志坤, 彭小奇, 桂卫华, 姚俊峰, 张卫华
- 电压型变频器、三相交流异步电动机传动系统稳定性判断方法 黄松清
- 非线性系统神经网络自适应控制的发展现状及展望 孙富春, 李 莉, 孙增圻
- 基于 Internet 的遥操作系统带观测器的反馈控制 陈启宏, 费树岷, 宋爱国
- 进化粒子滤波算法及其应用 莫以为, 萧德云