

一种新的含 UPFC的电力系统潮流算法

童强, 彭建春

(湖南大学电气与信息工程学院, 湖南长沙 410082)

摘要: 提出了一种新的 UPFC功率注入模型。基于该模型, 推导了含 UPFC的电网潮流方程, 提出了一种新的算法来求解含 UPFC的电网潮流问题。该算法基于快速解偶法 (FDLF), 包含了两个交替迭代过程, 继承了快速解偶法的基本特性, 雅可比矩阵在迭代过程中保持对称、定常。此外, 采用该潮流计算模型可以直接方便地得到 UPFC控制变量的较佳初始条件, 有利于算法的收敛。通过实例的计算和比较, 最后验证了算法的可靠、快速和准确。

关键词: 统一潮流控制器; 灵活交流输电系统; 潮流计算; 快速解偶法; 功率注入模型

中图分类号: TM744 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)02-0020-04

0 引言

UPFC作为功能最全面的 FACTS设备, 能同时对输电线路影响电力系统潮流的三个主要参数(电压、相角和阻抗)进行实时调节。由于 UPFC等 FACTS装置在输电线路中引入了串联电压源, 改变了原有电力网络无源线性的特征, 在含 UPFC的潮流计算中, 不仅要考虑由 UPFC带来的新的控制变量和内部稳态约束条件, 还要考虑引入的支路边界条件(如支路潮流等于设定值), 进而对传统潮流计算的建模和算法提出了挑战。

随着对 UPFC实现前景的看好, 最近几年, 国内外对潮流计算和优化领域中 UPFC的数学模型的研究兴趣一直在增加, 并取得了一些成果。已经提出的 UPFC的潮流计算模型主要有以下几种形式: 电压源(电流源)模型^[1-3]、功率注入模型^[4,5]、阻抗型模型^[6]、解偶型模型^[7]。解偶模型^[7]的应用只限于 UPFC的特定运行方式, 其它模型在求解时需要修改功率不平衡向量和雅可比矩阵, 并降低了收敛速度。已经提出的这些 UPFC的潮流计算模型绝大多数都是结合牛顿-拉夫逊法来求解电网潮流, 原因是牛顿-拉夫逊法具有二次收敛的特性, 对于含有 UPFC等 FACTS装置的电力系统, 牛顿-拉夫法同样有良好的收敛特性, 并适合用于需要较精确潮流解且规模较大的电力系统。

在电力系统中, 快速解偶法是另一种被广泛使用、收敛可靠的潮流算法。UPFC主要用于高压和超高压电网, 这些网络中的线路电阻远小于电抗, 且进行潮流控制的一般是网络中的主干线或联络线,

适合用快速解偶法计算电网的潮流。但是如何建立合适的含 UPFC的快速解偶形式的电网稳态潮流计算模型, 迄今为止报道很少, 仅见文献[8,9], 主要的原因是网络中加入 UPFC后, 若采用快速解偶算法计算潮流, 则只能进行序列交替迭代来计及 UPFC的影响, 而在 UPFC的等效电路中电压源的相角范围是从 0到 2 π , 这将不可避免地引起采用电源模型的含 UPFC的潮流计算的振荡, 并使由牛顿-拉夫逊法到快速解偶法的简化条件变弱, 这些都使得迭代次数增加、收敛性能变差。文献[8]列出了 UPFC的潮流控制和约束方程组, 以及含 UPFC的电网潮流方程, 通过由牛顿-拉夫逊法推导出快速解偶法一样的简化方式, 得出了含 UPFC的快速解偶形式的潮流计算模型, 该算法在修正方程的系数矩阵中引入了可变元素, 使快速解偶法的优点被削弱, 且收敛性能较差; 文献[9]列出了一种含 UPFC的电网节点功率平衡方程, 在一定假设条件下, 将修正方程的雅可比矩阵经过两次简化, 得到与常规快速解偶法完全相同的系数矩阵, 该算法只是用于 UPFC的控制参数已知的情况下计算电网的潮流分布, 简化过程中所作假设也有一定的局限性, 应用范围较小。

本文基于新的功率注入模型, 将 UPFC引起的附加注入有功和无功功率作为独立的状态变量, 增加由两个支路边界条件组成的方程组, 通过两个交替迭代过程最终求出电网潮流和 UPFC的控制参数。迭代中使用的系数矩阵与常规快速解偶算法完全一样, 保留了原有快速解偶算法的优点, 不仅可大量用在规划设计等离线计算中, 在安全分析和实时控制等在线计算中也能得到广泛应用。

1 UPFC的工作原理

UPFC的工作原理如图 1 所示,它由两个背靠背的电压源型换流器组成,两个换流器通过一普通直流环节(电容器组)连接起来,换流器 1 在 UPFC 输入端由一个并联变压器耦合到系统中,换流器 2 由一个与线路串联的变压器耦合到线路中,直流环节电压可维持不变。换流器 2 通过向线路注入一个大小和相位可控的交流电压而实现 UPFC 的主要功能,它可以向线路注入有功和无功功率,无功功率由换流器 2 自身提供,有功功率由换流器 1 通过直流环节提供,因此换流器 1 从系统吸收的有功功率等于两个换流器的损耗加上换流器 2 所需要的有功功率之和。换流器 1 剩余的容量可用来向系统提供无功功率以维持输入端电压水平。

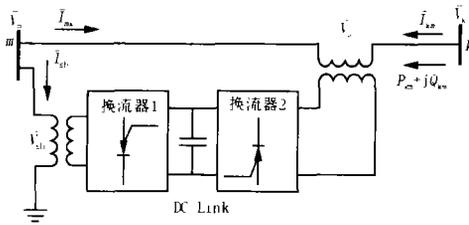


图 1 UPFC 的结构原理图

Fig 1 UPFC architecture

2 UPFC的等效电路

UPFC可以用图 2 所示的等值电路表示。UPFC 的串联部分被等效为一个理想电压源 \bar{V}_s , UPFC 的并联部分被等效为一个理想电流源 \bar{I}_{sh} , 通常情况下 UPFC 的损耗相对较小可以忽略。理想电压源的大小 V_s 和相角 δ_s 可以控制 ($V_{smin} < V_s < V_{smax}$, $0 < \delta_s < 2\pi$)。理想电流源 \bar{I}_{sh} (I_{sh} , N_{sh} , N_{sh} 是换流器 1 的电流容量)也可控,在图 2 中它被分解为两个分量:一个是与 \bar{V}_m 同相的分量 I_r , 由换流器 2 与系统交换的有功功率和 UPFC 的损耗确定;另一个是与 \bar{V}_m 正交的分量 I_q , 由它提供无功功率维持所在节点的电压水平。

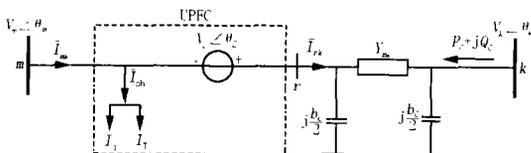


图 2 UPFC 的等效电路图

Fig 2 Equivalent circuit of UPFC

设线路 $m - k$ 上的潮流 $P_{km} + jQ_{km}$ 被控制,等于给定值 $P_C + jQ_C$

忽略 UPFC 的损耗时,换流器 1 从系统吸收的有功功率等于换流器 2 注入线路的有功功率,即满足以下约束条件: $V_m I_r = \text{Re}[\bar{V}_s \bar{I}_k^*]$ 。此约束表示 UPFC 既不吸收也不发出有功功率,所以在节点 r 处流经线路的有功功率 P_{rk} 等于 P_{mk} 。

于是含 UPFC 的线路有功、无功潮流如下:

$$P_{mk} = (V_m^2 + V_s^2) G_{mk} + 2V_m V_s G_{mk} \cos(\delta_s - \delta_m) - V_k V_s [G_{mk} \cos(\delta_s - \delta_k) + B_{mk} \sin(\delta_s - \delta_k)] - V_m V_k (G_{mk} \cos \delta_{mk} + B_{mk} \sin \delta_{mk}) \quad (1)$$

$$Q_{mk} = -V_m I_q - V_m^2 (B_{mk} + b_C/2) - V_m V_s [G_{mk} \sin(\delta_s - \delta_m) + (B_{mk} + b_C/2) \cos(\delta_s - \delta_m)] - V_m V_k (G_{mk} \sin \delta_{mk} - B_{mk} \cos \delta_{mk}) \quad (2)$$

$$P_{km} = V_k^2 G_{mk} - V_k V_s [G_{mk} \cos(\delta_s - \delta_k) - B_{mk} \sin(\delta_s - \delta_k)] - V_m V_k (G_{mk} \cos \delta_{mk} - B_{mk} \sin \delta_{mk}) \quad (3)$$

$$Q_{km} = -V_k^2 (B_{mk} + b_C/2) + V_k V_s [G_{mk} \sin(\delta_s - \delta_k) + B_{mk} \cos(\delta_s - \delta_k)] + V_m V_k (G_{mk} \sin \delta_{mk} + B_{mk} \cos \delta_{mk}) \quad (4)$$

3 UPFC的功率注入模型

由上述 UPFC 所在线路的潮流方程 (1) ~ (4), 可以得到图 3 所示 UPFC 的功率注入模型。

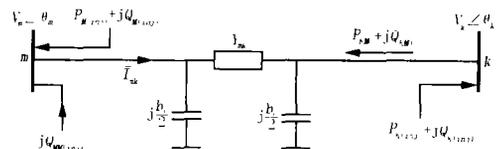


图 3 UPFC 的功率注入模型

Fig 3 Power injection model of UPFC

$P_{KM0} + jQ_{KM0}$ 可以看作是含 UPFC 的线路的自然潮流,只与节点 m 和 k 的电压大小和相角有关,与不含 UPFC 的线路的潮流表达式完全一样:

$$P_{KM0} = P_{KM0}(V_m, V_k, \delta_m, \delta_k) = G_{mk} V_k^2 - V_m V_k (G_{mk} \cos \delta_{km} + B_{mk} \sin \delta_{km}) \quad (5)$$

$$Q_{KM0} = Q_{KM0}(V_m, V_k, \delta_m, \delta_k) = - (B_{mk} + b_C/2) \cdot V_k^2 + V_m V_k (B_{mk} \cos \delta_{km} - G_{mk} \sin \delta_{km}) \quad (6)$$

$P_M^{(inj)}$ 、 $Q_M^{(inj)}$ 、 $P_K^{(inj)}$ 、 $Q_K^{(inj)}$ 和 $Q_{MM}^{(inj)}$ 是与 UPFC 的影响等效的节点附加注入功率。其中, $P_M^{(inj)}$ 、 $Q_M^{(inj)}$ 、 $P_K^{(inj)}$ 、 $Q_K^{(inj)}$ 是经过含 UPFC 的线路分别流进节点 m 和 k 的等效注入有功功率和无功功率,由它们控制线路 $m - k$ 上的潮流。

$Q_{MM}^{(inj)}$ 是换流器 1 注入系统的无功功率,由它维持所在节点 m 的电压水平, $Q_{MM}^{(inj)} = -V_m I_q$ 。

当 UPFC 控制节点 m 的电压时, m 成为 PV 节

点, $Q_{MM(ij)}$ 和 $Q_{M(ij)}$ 不在修正方程组中被考虑; 当 UPFC 不控制节点 m 的电压时, $Q_{MM(ij)}$ 为 0 或者一个给定值, m 当作 PQ 节点来处理。

其余各附加注入有功功率和无功功率如下:

$$P_{M(ij)} = -G_{mk}V_s^2 - 2V_mV_sG_{mk}\cos(\delta_s - \delta_m) + V_kV_s[G_{mk}\cos(\delta_s - \delta_k) + B_{mk}\sin(\delta_s - \delta_k)] \quad (7)$$

$$Q_{M(ij)} = V_mV_s[G_{mk}\sin(\delta_s - \delta_m) + (B_{mk} + b_c/2)\cos(\delta_s - \delta_m)] \quad (8)$$

$$P_{K(ij)} = V_kV_s[G_{mk}\cos(\delta_s - \delta_k) - B_{mk}\sin(\delta_s - \delta_k)] \quad (9)$$

$$Q_{K(ij)} = -V_kV_s[G_{mk}\sin(\delta_s - \delta_k) + B_{mk}\cos(\delta_s - \delta_k)] \quad (10)$$

由以上表达式和分析可见, UPFC 的等效节点附加注入功率只是系统状态变量 (节点电压大小和相角) 和 UPFC 的控制变量 V_s 、 δ_s 的函数。在列写修正方程组的时候只需要添加两个状态变量和相应的潮流方程, 就可以求解含 UPFC 的电网潮流分布。本文中选取 $P_{K(ij)}$ 和 $Q_{K(ij)}$ 作为引入 UPFC 而增加的状态变量, 知道 $P_{K(ij)}$ 和 $Q_{K(ij)}$ 后, 通过联立式方程 (9) ~ (10) 可以直接求出 UPFC 的控制参数 V_s ($V_s = \sqrt{(P_{K(ij)}^2 + Q_{K(ij)}^2) / (G_{mk}^2 + B_{mk}^2)} / V_k$) 和 δ_s , 进而可以求出 $P_{M(ij)}$ 、 $Q_{M(ij)}$ (注: 也可利用式 (9) ~ (10) 通过牛顿法求出控制变量的增量, 但在这里联立求解更精确、方便)。

4 含 UPFC 的潮流计算

当 UPFC 连接在线路 $m - k$ 上节点 m 处时, 含 UPFC 的电网潮流方程可列写如下:

$$P_{Gi} - P_{Li} = \sum_j V_i V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (11)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Li} = \sum_j V_i V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (12)$$

$i = 1, 2, K, n; i \neq m, k$

$$P_{Gm} - P_{Lm} + P_{M(ij)} = \sum_j V_m V_j (G_{mj} \cos \delta_{mj} + B_{mj} \sin \delta_{mj}) \quad (13)$$

$$Q_{Gm} - Q_{Lm} + Q_{M(ij)} + Q_{MM(ij)} = \sum_j V_m V_j (G_{mj} \sin \delta_{mj} - B_{mj} \cos \delta_{mj}) \quad (14)$$

$$P_{Gk} - P_{Lk} + P_{K(ij)} = \sum_j V_k V_j (G_{kj} \cos \delta_{kj} + B_{kj} \sin \delta_{kj}) \quad (15)$$

$$Q_{Gk} - Q_{Lk} + Q_{K(ij)} = \sum_j V_k V_j (G_{kj} \sin \delta_{kj} - B_{kj} \cos \delta_{kj}) \quad (16)$$

式中: n 是系统总的节点数。 P_{Gi} 、 Q_{Gi} 是节点的电源输入功率, P_{Li} 、 Q_{Li} 是节点 i 的负荷需求功率。

可见式 (11) ~ (16) 的右边与不含 UPFC 时的潮流方程完全一样, 因此修正方程式可以写作:

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ U/U \end{bmatrix} \quad (17)$$

经化简后有:

$$\begin{cases} U/U = B U \\ Q/U = B U \end{cases} \quad (18)$$

式 (18) 与不含 UPFC 时常规快速解偶法的修正方程式的形式完全一样, 且系数矩阵 B 和 B 与常规快速解偶法中的系数矩阵完全一样。

$P_{K(ij)}$ 、 $Q_{K(ij)}$ 是经输电线路 $m - k$ 注入节点 k 的, 因此有:

$$P_{K(ij)} = P_{KM0}(V_m, V_k, \delta_m, \delta_k) - P_C \quad (19)$$

$$Q_{K(ij)} = Q_{KM0}(V_m, V_k, \delta_m, \delta_k) - Q_C \quad (20)$$

从而, 可将含 UPFC 的潮流计算分为两个交替迭代过程, 步骤如下:

1) 原有系统状态变量和节点附加注入功率都采用平直启动初始条件 (节点附加注入功率的初值设为 0), 将初值代入潮流方程式 (11) ~ (16) 求出功率不平衡向量。

2) 求解修正方程式 (18), 得出系统状态变量 (U 和 U/U) 的新值。

3) 将系统状态变量的新值代入相应方程, 由式 (19)、(20) 可以得到节点附加注入功率 $P_{K(ij)}$ 和 $Q_{K(ij)}$ 的新值, 然后通过联立求解式 (9) 和式 (10) 可以得到 UPFC 控制变量 V_s 、 δ_s 的新值, 进而可以求出 $P_{M(ij)}$ 、 $Q_{M(ij)}$ 的新值。

4) 将以上附加注入功率和系统状态变量的新值代入潮流方程, 求出式 (18) 中新功率不平衡向量, 判断是否满足收敛条件, 若不, 则进入下一次的迭代, 即返回步骤 2)。

5 算例分析

为验证所提算法的正确性, 本文对不同规模和运行条件下的电力系统进行了测试。这里用于分析比较的是电源和负荷功率经修改后的常用 5 节点和 IEEE-14 节点系统, 几种状态下的收敛情况如表 1 和表 2 所示, 潮流收敛精度取 10^{-5} , UPFC 同时控制线路潮流和母线电压, 所有的结果显示, 本文所提的算法具有较好的收敛性能和较高的精确性。

表 1 5节点系统潮流计算的收敛次数比较

Tab 1 Comparison of calculation times in 5-bus system

状态	方法 0	方法 1	方法 2	方法 3
1	5	11	11	11
2	7	14	39	24
3	9	16	-	28

表 2 IEEE-14节点系统潮流计算的收敛次数比较

Tab 2 Comparison of calculation times in

IEEE-14 bus system

状态	方法 0	方法 1	方法 2	方法 3
1	4	9	9	9
2	6	12	36	22
3	7	16	-	25

注:方法 0是文献[1]中建立在电压源模型基础上含 UPFC的普通牛-拉法,方法 1和 2分别是文献[8]、文献[9]所述含 UPFC的快速解偶法,方法 3是本文的算法。状态 1指系统中不含 UPFC,状态 2是系统中加有一个 UPFC,状态 3是系统中加有两个 UPFC。表中“-”表示不收敛。

可以看出,系统中不含 UPFC时,方法 1、2、3就成为常规快速解偶法。由于方法 1是在 UPFC的控制参数给定时计算电网潮流分布,虽然收敛性能接近常规快速解偶法,但其应用受到限制,因为实际中通常给定的是控制目标,控制参数是未知的。方法 2收敛性能较差,特别是含多个 UPFC时可能不收敛,因为多个 UPFC之间控制变量的作用会相互影响造成迭代增加。

牛顿型潮流算法对初值敏感,不合适的状态变量初始值的选择将降低牛顿型潮流算法的收敛速度,严重的将引起振荡甚至发散;在常规的极坐标潮流方程中,所有节点电压之间的相角差都假设为较小,而在 UPFC的等效电路中电压源的相角范围是从 0到 2,这将不可避免地引起采用电源模型的潮流计算的振荡,并使由牛顿-拉夫逊法到快速解偶法的简化条件变弱,这些都是造成如方法 2等的潮流算法迭代次数趋于增加甚至发散的原因。本文采用 UPFC的功率注入模型,选择节点附加注入功率作为新增加的状态变量,可以自然得到较佳的初值,并避免了 UPFC的控制变量引起的计算振荡。

需要特别注意的是,含 UPFC的潮流计算中,还应该考虑对 UPFC控制变量的越限作出合适的处理。以上内容限于篇幅这里不详细讨论。

6 结论

本文通过对 UPFC基本原理和等效电路的分析,提出了一种 UPFC的功率注入模型以及含 UPFC的电网潮流新算法。该功率注入模型考虑了所在线

路的对地电纳,比通常采用的功率注入模型^[3,4]精确,且直观、简单、通用,适用于 UPFC的多种运行方式和所有的 FACTS设备。本文含 UPFC的潮流算法是基于与快速解偶算法相结合,所采用的雅可比矩阵同无 UPFC时的常规快速解偶算法完全相同,在迭代过程中保持对称、定常,因而求解速度快、便于编程实现;选择节点附加注入功率作为子迭代的状态变量,容易确定 UPFC的控制参数和状态变量的较佳初始条件,改善了收敛性能。

参考文献:

- [1] Fuerte-Esquivel C R, Acha E, et al A Comprehensive Newton-Raphson UPFC Model for the Quadratic Power Flow Solution of Practical Power Networks [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15 (1): 102-109.
- [2] Lee S H, Chu C C, Chang D H, et al Comprehensive UPFC Models for Power Flow Calculation in Practical Power Systems [A]. Power Engineering Society Summer Meeting 2001. 27-32.
- [3] Nampetch P, Singh S N, Surapong C Modeling of UPFC and Its Parameters Selection [A]. Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Power Electronics and Drive System. 2001. 77-83.
- [4] Noroozian M, Angquist L, Ghandhari M, et al Use of UPFC for Optimal Power Flow Control [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1997, 12 (4): 1629-1634.
- [5] XIAO Ying, Song Y H, Sun Y Z Versatile Model for Power Flow Control Using FACTS Devices [A]. Proceedings of the 3th International Conference on Power Electronics and Motion Control, PE-EMC. 2000. 868-874.
- [6] 段献忠,陈金富,凌煦.潮流计算中 FACTS元件模型选择研究 [J]. 电工技术学报, 1999, 14 (3): 65-69.
DUAN Xian-zhong, CHEN Jin-fu, LING Xu Study on Models of FACTS Devices in Power Flow Calculation [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 1999, 14 (3): 65-69.
- [7] FANG Da-zhong, DONG Lian-ying, Chung T S Development of New Techniques for Power Flow Analysis of Power System with UPFCs [A]. Proceedings of the 5th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, AP-SCOM. Hong Kong: 2000. 120-123.
- [8] 陈淮金,白中.含 UPFC电力系统的潮流计算研究 [J]. 电力系统自动化, 1996, 20 (3): 23-27.
CHEN Huai-jin, BAI Zhong Load Flow Studies for Power Systems Equipped with UPFC [J]. Automation of Electric Power Systems, 1996, 20 (3): 23-27.
- [9] 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 [J]. 电力系统及其自动化学报, 1996, 8 (3): 1-6.
XU Yan, LINai-hu, WANG Hai-feng, et al Model of Power Flow Control Based on Unified Power Flow Controller [J]. Proceedings of the EPSA, 1996, 8 (3): 1-6.

(下转第 34页 continued on page 34)

- 1210-1219.
- [6] Richard B, Robert A. Analyzing Reliability, a Simple Yet Rigorous Approach [Z].
- [7] 刘娜,高文胜,谈克雄,等.大型电力变压器的故障树的构建及分析[J].中国电力,2003,34(2):33-36.
LU Na, GAO Wen-sheng, TAN Ke-xiong, et al. The Establishment and Analysis of Fault Tree for Huge Electric Power Transform [J]. Electric Power, 2003, 34(2): 33-36.
- [8] 韩小涛,尹项根,张哲.故障树分析法在变电站通信系统可靠性分析中的应用[J].电网技术,2004,28(1):56-67.
HAN Xiao-tao, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe. The Application of FTA for the Reliability Analysis of Substation Communication System [J]. Power System Technology, 2004, 28(1): 56-57.
- [9] LU Lan. Safety Engineering[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2003.
- [10] 罗毅.电力系统安全监控的理论及方法研究(博士学位论文)[D].武汉:华中科技大学,2004.
LUO Yi. An Investigation on Theory and Method of Security Monitoring of the Power System, Doctoral Dissertation [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004.

收稿日期: 2005-06-01; 修回日期: 2005-06-22

作者简介:

宋福龙(1979-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统事故监控、故障诊断研究;E-mail: sfl825@163.com

罗毅(1966-),男,副教授,从事EMS和DMS的研究;

涂光瑜(1941-),男,教授,博导,长期从事电力系统运行与控制研究。

FTA-based fault chains monitoring research in power system

SONG Fu-long, LUO Yi, TU Guang-yu, LUO Jin-shan

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

Abstract: The large-area blackout in power system is caused by complex and consistent fault sequences. It is very important in complex power system fault monitoring if establishing the fault model and analyzing the fault sequences result in faults before the occurrence of faults. According to the theory of fault chains monitoring and the method of FTA, this paper establishes power system fault model. Based on the model of qualitative analysis, fault chains of the disabled system is obtained. The power system typical radiant net fault chains and loop net fault chains are quantitatively analyzed. Finally, it takes the New England system as an example to test the theory is available and accurate.

Key words: FTA; fault chains; power system security

(上接第 23 页 continued from page 23)

收稿日期: 2005-06-10

作者简介:

童强(1974-),男,硕士研究生,研究方向为FACTS方面的分

析计算及电力电子在电力系统中的应用;E-mail: tonghongqiang@sina.com

彭建春(1964-),男,教授,博士生导师,主要从事电力市场研究及优化运行和智能控制。

A novel method for power flow calculation of power system with UPFC

TONG Qiang, PENG Jian-chun

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: A new and versatile power injection model for the unified power flow controller (UPFC) is presented in this paper. Based on the model, the bad flow equations of power system in which the UPFCs are embedded and derived. The new algorithm is developed based on the fast decoupled load flow (FDLF). In the method, Jacobian matrix keeps constant during the iterative process and two sequential iterative process are required. In addition, to retain the basic properties of the FDLF technique, the method provides comparatively good initial conditions of UPFC control variables directly and simply. The numerical examples indicate that the proposed algorithm is reliable, efficient and accurate.

Key words: UPFC; FACTS; load flow calculation; FDLF; power injection model