



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104779609 B

(45)授权公告日 2016.11.30

(21)申请号 201410857021.5

(22)申请日 2014.12.31

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 104779609 A

(43)申请公布日 2015.07.15

(73)专利权人 国家电网公司  
地址 100031 北京市西城区西长安街86号  
专利权人 国网重庆市电力公司  
北京科东电力控制系统有限责任  
公司

(72)发明人 张林 张继红 刘欣宇 陈涛  
史成钢 冯丽 吴迎霞 金黎明  
万朝辉 张同尊 刘艳 何攻  
尚学伟 翟勇 赵林 余建明

(74)专利代理机构 北京汲智翼成知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11381  
代理人 陈曦 唐莉

(51)Int.Cl.  
H02J 3/00(2006.01)

(56)对比文件  
CN 102801160 A,2012.11.28,  
CN 103138255 A,2013.06.05,  
US 2005/0071050 A1,2005.03.31,  
CN 103036245 A,2013.04.10,  
刘科研等. 互联电网的直流最优潮流分解算  
法研究.《中国电机工程学报》.2006,第26卷(第  
12期),

审查员 曾丽娟

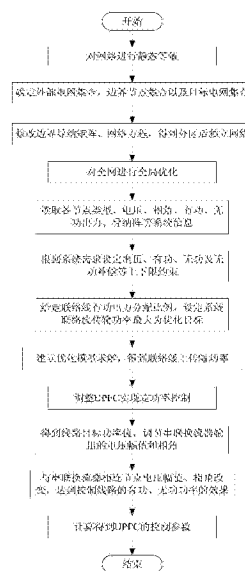
权利要求书1页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

一种用于互联电网的潮流协同控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种用于互联电网的潮流协同控制方法,包括如下步骤:S1,对目标区域的电网边界进行静态等值处理,使与目标区域相连的其他电网部分,与目标区域进行等效剥离;S2,根据目标区域中的网络信息,对目标区域内的互联电网进行全局优化,使互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大;S3,以最大传送功率为定功率,在定功率控制模式下,对统一潮流控制器的控制参数公式进行确定;S4,根据控制参数公式得到目标区域中各个统一潮流控制器的控制参数值,通过对统一潮流控制器中控制参数值的设置,对统一潮流控制器进行协同控制。本发明综合考虑全局信息,通过控制参数值的设定,保证了区域电网内潮流控制器之间的协调一致。



1. 一种用于互联电网的潮流协同控制方法,其特征之处在于包括如下步骤:

S1,对目标区域的电网边界进行静态等值处理,使与目标区域相连的其他电网部分,与目标区域进行等效剥离;

S2,读取目标区域中的网络信息和各节点的系统信息,根据系统需求设定各个要素的上下限约束,得出使互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大的各个要素的取值范围,其中在进行全局优化计算时同时满足定功率全局优化的约束条件和不等式约束条件;

根据各个要素的取值范围,建立优化模型求解,得到互联电网的联络线构成的互联断面最大传送功率;

S3,以互联电网的联络线构成的互联断面最大传送功率为定功率,在定功率控制模式下,确定统一潮流控制器的控制参数公式为:

$$V_B = \frac{\sqrt{(P_e^2 + Q_e^2)(r_{lm}^2 + x_{lm}^2)}}{V_m};$$

$$\varphi_B = \arctg\left(\frac{Q_e}{-P_e}\right) - \arctg\left(\frac{x_{lm}}{r_{lm}}\right) + \theta_m;$$

其中, $V_B$ 为串联电压源的电压, $\varphi_B$ 为串联电压源的相位角, $P_e$ 和 $Q_e$ 分别是节点1和m之间线路的有功功率和无功功率; $r_{lm}$ 是节点1和m之间线路的电阻; $x_{lm}$ 是节点1和m之间线路的感抗; $V_m$ 是节点m的电压; $\theta_m$ 是节点m的电压相位;

S4,根据控制参数公式得到目标区域中各个统一潮流控制器的控制参数值,通过对统一潮流控制器中控制参数值的设置,对统一潮流控制器进行协同控制。

2. 如权利要求1所述的潮流协同控制方法,其特征之处在于:

在所述不等式约束条件中,对于目标区域中互联电网的联络线设定的约束条件为:互联电网的联络线构成的互联断面传送功率以在满足N-1单回线热稳极限前提下的最大有功功率为上限,其中N为正整数。

3. 如权利要求1所述的潮流协同控制方法,其特征之处在于:

在步骤S4中,所述统一潮流控制器为一个或多个。

## 一种用于互联电网的潮流协同控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种潮流协同控制方法,尤其涉及一种用于互联电网的潮流协同控制方法,属于电力系统调度技术领域。

### 背景技术

[0002] 现代电力系统在迅猛发展的同时,也暴露了输电网络脆弱的一面。一系列新的矛盾和问题正日益突出。在互联电网中,运行方式复杂,实际功率分布与理想功率分布可能相差甚远,时常导致电力潮流分布不合理,输电网络功率分布中可能存在较大的自由潮流,降低了输电网络的利用效率,增加了功率损耗;由于受到各种因素的干扰,互联网络区域间线路上功率的流动量不确定,甚至存在潮流振荡现象。在电力市场环境下,为了使系统运行在某一特定的潮流模式下,会限定某些线路的潮流传输容量,以使潮流按照确定的路径和容量进行传输等等。

[0003] 为了适应新的形式下电力系统的安全可靠运行和电力市场的商业化运营的要求,迫切需要通过提高输电网络潮流的可控性和可调节性。人们一直在探索更先进、有效的潮流控制手段。

[0004] 电力网络的潮流分布由系统的注入模式和网络结构参数决定。长期以来,在确定的网络拓扑结构下,电力网络的潮流调整主要依靠改变注入模式。然而,注入模式的改变将影响资源的优化配置,特别是在电力市场的环境下,改变注入模式还将涉及到多方的经济利益,更难于处理。利用改变网络的拓扑结构和网络的参数,对线路的潮流进行调节,人们也制造了一些设备,用于系统的潮流控制,如固定电容补偿装置等。然而这些设备多是基于机械式开关的,响应速度慢,难于实现对系统潮流连续、快速、准确的调节,不能满足现代电力系统潮流调节和其它方面控制的需要。

[0005] 随着现代电力电子技术和其它一些相关技术的发展,灵活交流输电(FACTS)技术的发展为现代电力系统提供了新的控制手段,FACTS是综合电力电子技术、微处理机和微电子技术、通信技术和控制技术而形成的用于控制交流输电的新技术。在FACTS中,统一潮流控制器(UPQC)是用大功率电力电子器件代替传统元件的机械高压开关,从而灵活、快速、准确地改变电压、线路阻抗和功角等系统参数,在不改变网络结构的情况下,大大提高电网的输电能力以及潮流、电压的控制能力和系统的动态性能。

[0006] 在系统运行过程中,UPFC的控制使电力系统增加了新的控制参数和约束条件。采取何种控制策略和如何对UPFC装置进行有效的控制是实现UPFC功能的关键。由于潮流计算的局限性,它所能考虑的约束仅是局部的,而且处理约束的能力也很有限。同时潮流计算的结果只能给出一种可行的系统运行状态,无法得到UPFC最佳的控制模式,更无法考虑多个UPFC之间的协调控制。随着电力系统优化潮流的发展和新形势下潮流控制的不同需求,采用优化方法来寻求UPFC的潮流控制策略是这一问题的发展方向。

### 发明内容

[0007] 本发明所要解决的技术问题在于提供一种用于互联电网的潮流协同控制方法。

[0008] 为实现上述发明目的,本发明采用下述的技术方案:

[0009] 一种用于互联电网的潮流协同控制方法,包括如下步骤:

[0010] S1,对目标区域的电网边界进行静态等值处理,使与目标区域相连的其他电网部分,与目标区域进行等效剥离;

[0011] S2,根据目标区域中的网络信息,对目标区域内的互联电网进行全局优化,使互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大;

[0012] S3,以互联电网的联络线构成的互联断面最大传送功率为定功率,在定功率控制模式下,对统一潮流控制器的控制参数公式进行确定;

[0013] S4,根据控制参数公式得到目标区域中各个统一潮流控制器的控制参数值,通过对统一潮流控制器中控制参数值的设置,对统一潮流控制器进行协同控制。

[0014] 其中较优地,在步骤S2中,所述对目标区域内的互联电网进行全局优化,使互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大包括如下步骤:

[0015] S21,读取目标区域内各节点的系统信息;

[0016] S22,根据系统需求设定各个要素的上下线约束,得出使互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大的各个要素的取值范围;

[0017] S23,根据各个要素的取值范围,建立优化模型求解,得到互联电网的联络线构成的互联断面最大传送功率。

[0018] 其中较优地,在所述不等式约束条件中,对于目标区域中互联电网的联络线设定的约束条件为:互联电网的联络线构成的互联断面传送功率以在满足N-1单回线热稳极限前提下的最大有功功率为上限,其中N为正整数。

[0019] 其中较优地,在步骤S22中,进行全局优化计算时,需要同时满足定功率全局优化的约束条件和不等式约束条件。

[0020] 其中较优地,在步骤S3中,所述控制参数公式为:

$$[0021] \quad V_B = \frac{\sqrt{(P_e^2 + Q_e^2)(r_{lm}^2 + x_{lm}^2)}}{V_m};$$

$$[0022] \quad \varphi_B = \arctg\left(\frac{Q_e}{-P_e}\right) - \arctg\left(\frac{x_{lm}}{r_{lm}}\right) + \theta_m;$$

[0023] 其中, $P_e$ 和 $Q_e$ 分别是节点1和m之间线路的有功功率和无功功率; $r_{lm}$ 是节点1和m之间线路的电阻; $x_{lm}$ 是节点1和m之间线路的感抗; $V_m$ 是节点m的电压; $\theta_m$ 是节点m的电压相位。

[0024] 其中较优地,在步骤S4中,所述统一潮流控制器为一个或多个。

[0025] 本发明所提供的用于互联电网的潮流协同控制方法,通过对网络进行静态等值分析,得到独立网络,在此基础上,综合考虑全局优化,使互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大,满足电力系统对潮流的控制能力要求;除此之外,根据互联电网的联络线构成的互联断面最大传送功率调节UPFC的串联换流器输出电压幅值和相角,获得各个UPFC的控制参数值,通过控制参数值的设定,使系统获得最佳的运行状态,保证了区域电网内潮流控制器之间以及多潮流控制器之间的协调一致,有利于实现系统的协同控制。

## 附图说明

- [0026] 图1为本发明提供的用于互联电网的潮流协同控制方法的流程图；  
 [0027] 图2为本发明中，外部网络节点、内部网络节点和边界连接节点的网络划分结构关系示意图；  
 [0028] 图3为统一潮流控制器的工作原理图；  
 [0029] 图4为UPFC稳态等值电路示意图；  
 [0030] 图5为UPFC稳定运行的相量图；  
 [0031] 图6为本发明提供的含有UPFC的输电线等值电路图。

## 具体实施方式

- [0032] 下面结合附图和具体实施例对本发明的技术内容作进一步的详细说明。  
 [0033] 如图1所示，本发明提供的用于互联电网的潮流协同控制方法，具体包括如下步骤：对网络进行静态等值分析，确定外部电网、边界点以及目标电网的集合。修改边界导纳阵及网络方程，得到分区后的独立网络。在此基础上，对全网进行全局优化，读取各个节点类型、电压、相角、导纳阵、有功出力、无功出力等网络信息，并根据系统所需满足的电压、有功出力、无功出力及无功补偿上下限约束进行全局优化，同时给定联络线传输功率分配比例以及优化的目标函数，得到所需联络线传输功率值（互联电网的联络线构成的互联断面最大传送功率）。根据联络线传输功率值调节统一潮流控制器（UPFC）中串联换流器输出电压幅值和相角，得到UPFC的控制参数值。下面对这一过程做详细具体的说明。  
 [0034] S1，对目标区域的电网边界进行必要的静态等值处理，使与目标区域相连的其他电网部分，与目标区域等效剥离，得到分区后的独立网络。  
 [0035] 在实际的电网中，目标区域内部的电网并不是孤立存在的，而是与外部电网相连接形成一个整体。但是实际计算时，只关心需要仔细研究的部分，对其余部分进行网络化简，以得到所要仔细研究部分网络的电压电流关系。  
 [0036] 在本发明的一个实施例中，以川渝断面为例进行分析，所以与重庆电网连接的湖北电网属于外部节点，为便于利用灵敏度计算，需要进行静态等值，其节点集合用E表示。重庆电网中，与湖北电网直接连接的节点组成边界节点集合，用B表示。其余不和湖北电网直接相连的所有重庆、四川电网节点构成内部节点集合，用I表示。网络划分结构关系如图2所示。  
 [0037] 将重庆、四川、湖北三地电网的节点导纳矩阵所表示的网络方程按照I、B、E集合划分，可以写出用分块矩阵形式表示的网络方程如下：

$$[0038] \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{EE} & \mathbf{Y}_{EB} & \mathbf{0} \\ \mathbf{Y}_{BE} & \mathbf{Y}_{BB} & \mathbf{Y}_{BI} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Y}_{IB} & \mathbf{Y}_{II} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{V}}_E \\ \dot{\mathbf{V}}_B \\ \dot{\mathbf{V}}_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{I}}_E \\ \dot{\mathbf{I}}_B \\ \dot{\mathbf{I}}_I \end{bmatrix} \quad (1)$$

- [0039] 其中，Y表示节点导纳矩阵， $\mathbf{Y}_{EE}$ 表示节点集合E内的节点导纳矩阵，节点导纳矩阵反映的是节点之间的电气连接关系，若两个节点之间没有直接相连，则互导纳为0。

- [0040] 消去(1)外部节点的电压变量 $\dot{\mathbf{V}}_E$ ，得到如下网络方程：

$$[0041] \quad \begin{bmatrix} \tilde{Y}_{BB} & Y_{BI} \\ Y_{IB} & Y_{II} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{V}_B \\ \dot{V}_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{I}_B \\ \dot{I}_I \end{bmatrix}$$

[0042] 其中,  $\tilde{Y}_{BB} = Y_{BB} - Y_{BE} Y_{EE}^{-1} Y_{EB}$ ;  $\tilde{I}_B = \dot{I}_B - Y_{BE} Y_{EE}^{-1} \dot{I}_E$ 。 $\tilde{Y}_{BB}$  是静态等值处理后的边界导纳矩阵,它包括了外部网络简化后产生的等值支路的贡献。

[0043] S2,根据目标区域中的网络信息,对目标区域内的互联电网进行全局优化,使互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大。

[0044] 将目标区域与目标区域相连的其他电网部分进行等效剥离后,对目标区域内的互联电网进行全局优化,使互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大。优化变量包括发电机的功率、统一潮流控制器的控制功率、可投切输电线路等。在本发明的一个实施例中,目标函数为川渝联络线构成的互联断面传送功率最大,公式如下:

$$[0045] \quad f = P_{hw} + P_{hb}$$

[0046] 其中, $P_{hw}$ 为川渝间A联络线的传输功率, $P_{hb}$ 为川渝间B联络线的传输功率。

[0047] 对目标区域内的互联电网进行全局优化,使互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大包括如下步骤:

[0048] S21,读取目标区域内各节点类型、电压、相角、有功出力、无功出力、导纳阵等系统信息。

[0049] S22,根据系统需求设定电压、有功出力、无功出力以及有功补偿等的上下线约束,得出使互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大的各个要素的取值范围。

[0050] 在进行全局优化计算时,需要同时满足定功率全局优化的约束条件和不等式约束条件。其中,满足定功率全局优化的约束条件进行全局优化计算时,需要满足基本的潮流方程,潮流平衡方程式即为定功率全局优化的约束条件。表示为:

$$[0051] \quad \begin{cases} \Delta P_i = P_{Gi} - P_{Li} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) = 0 \\ \Delta Q_i = Q_{Gi} + Q_{Ci} - Q_{Li} - V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) = 0 \end{cases} \quad (i=1,2,\dots,n)$$

[0052] 其中, $P_{Gi}$ 、 $Q_{Gi}$ 分别为发电机有功出力和无功出力; $P_{Li}$ 、 $Q_{Li}$ 分别为节点i有功负荷和无功负荷; $Q_{Ci}$ 为节点i的无功补偿装置的无功出力; $V_i$ 、 $V_j$ 为节点i、j电压幅值; $\delta_{ij}$ 为支路ij两端节点电压的相角差; $G_{ij}$ 、 $B_{ij}$ 为节点导纳矩阵元素的实部与虚部。

[0053] 不等式约束条件主要包括发电机有功出力约束、发电机无功出力约束和电压幅值约束,表达式如下:

$$[0054] \left\{ \begin{array}{l} \underline{P_{Gi}} \leq P_{Gi} \leq \overline{P_{Gi}} \quad i \in S_A \\ \underline{V_i} \leq V_i \leq \overline{V_i} \quad i \in S \\ P_{ij} \leq \overline{P_{ij}} \\ P_{hb} / P_{hw} < 3 \\ P_{hb} + P_{hw} < 39 \\ P_{\text{张恩线}} + P_{\text{盘龙线}} < 26 \\ 4 / 6 < P_{\text{张恩线}} / P_{\text{盘龙线}} < 6 / 4 \end{array} \right.$$

[0055] 其中,  $S_A$ 为有功电源节点的集合;  $S$ 为所有节点的集合;  $\overline{P_{Gi}}$ 、 $\underline{P_{Gi}}$ 分别为有功电源出力的上、下限;  $\overline{Q_{Gi}}$ 、 $\underline{Q_{Gi}}$ 分别为无功电源出力的上、下限;  $\overline{V_i}$ 、 $\underline{V_i}$ 分别为节点电压幅值的上、下限;  $\overline{P_{ij}}$ 为线路输送有功功率上限,  $P_{hb}$ 为川渝间B联络线,  $P_{hw}$ 为川渝间A联络线, 约束为B联络线与A联络线传输功率之比小于3:1, B联络线与A联络线传输功率之和小于上限39。  $P_{\text{张恩线}}$ 和  $P_{\text{盘龙线}}$ 为渝鄂联络线的有功出力, 约束为渝鄂联络线有功出力和小于上限26, 渝鄂联络线有功出力之比小于6比4, 大于4比6。

[0056] 在不等式约束条件中, 为了满足互联电网的安全稳定要求, 对于目标区域中互联电网的联络线设定约束条件为: 互联电网的联络线构成的互联断面传送功率以在满足N-1 (N为正整数) 单回线热稳极限的前提下的最大有功功率为上限。当互联电网中只有单回路运行时, 不会由于功率过大而损坏电力设备, 提高了互联电网的安全稳定性。

[0057] S23, 根据各个要素的取值范围, 建立优化模型求解, 得到互联电网的联络线构成的互联断面最大传送功率。

[0058] 在本发明所提供的实施例中, 根据取得的电压、有功出力、无功出力、有功补偿等各个要素的取值范围, 建立优化模型求解, 得出目标函数  $f = P_{hw} + P_{hb}$  的最大值。其中,  $P_{hw}$ 为川渝间A联络线的传输功率,  $P_{hb}$ 为川渝间B联络线的传输功率。此最大值为互联电网的联络线构成的互联断面最大传送功率。

[0059] S3, 以互联电网的联络线构成的互联断面最大传送功率为定功率, 在定功率控制模式下, 对统一潮流控制器的控制参数公式进行确定, 以保证每一个潮流控制器的控制均满足目标区域电网的调整目标。

[0060] 统一潮流控制器(UPFC)是STATCOM和SSSC在功能上的组合, 两个由GTO实现的电压型换流器共用一个直流电容, 从而使STATCOM与SSSC发生耦合。

[0061] 统一潮流控制器的工作原理图如图3所示。UPFC装置可以看作是一台STATCOM装置和一台SSSC装置的直流侧并联构成。所以UPFC同时具有STATCOM装置与SSSC装置的优点, 即既有很强的补偿线路电压的能力, 又有很强的无功补偿能力。不仅如此, UPFC还具有STATCOM装置和SSSC装置都不具有的功能, 如串联部分既可以吸收、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, 由此来实现控制线路潮流。

[0062] 在标么值下的UPFC动态模型为:

$$[0063] \begin{bmatrix} r_E & -X_E \\ X_E & r_E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{Ex} \\ I_{Ey} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{Et} \\ V_{Et} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} k_E m_E V_{dc} \cos \delta_E \\ k_E m_E V_{dc} \sin \delta_E \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[0064] \begin{bmatrix} r_B & -X_B \\ X_B & r_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{Bx} \\ I_{By} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_B m_B V_{dc} \cos \delta_B \\ k_B m_B V_{dc} \sin \delta_B \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_{Bt} \\ V_{Bt} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[0065] T_u \frac{dv_{dc}}{dt} = k_E m_E (I_{Ex} \cos \delta_E + I_{Ey} \sin \delta_E) - k_B m_B (I_{Bx} \cos \delta_B + I_{By} \sin \delta_B) \quad (4)$$

[0066] 其中,x表实部,y表是虚部,式(2)~(4)共同构成了标么制下的UPFC动态模型。式中阻抗 $Z_B$ 和 $Z_E$ 分别等值串联和并联变压器的阻抗及对应的换流器功率损耗; $k_E$ 和 $k_B$ 为UPFC的两个参数; $m_E$ 和 $m_B$ 分别为并联和串联换流器的调制比,; $T_u$ 为UPFC的时间常数; $\delta_E$ 和 $\delta_B$ 是正弦控制波形的相位; $v_{dc}$ 为直流电容电压的瞬时值, $\dot{V}_{Et}$ 和 $\dot{V}_{Bt}$ 是折算到换流器侧的UPFC的端电压。

[0067] 在稳态运行时,UPFC作为无源元件,必须保持电容电压为常数,即: $\text{Re}[\dot{V}_E \dot{I}_E^* - \dot{V}_B \dot{I}_B^*] = 0$ ,

其中, $\dot{V}_E$ 和 $\dot{V}_B$ 分别是并联换流器和串联换流器的输出电压, $\dot{I}_E$ 和 $\dot{I}_B$ 分别是并联换流器和串联换流器的电流。

[0068] 因此,在稳态运行情况下,UPFC可以由两条阻抗与理想电压源串联的支路表示,其中并联支路电流 $\dot{I}_3$ 总可以分解为 $\dot{I}_t$ 和 $\dot{I}_q$ 两个分量,UPFC稳态等值电路如图4所示。 $\dot{I}_t$ 和 $\dot{I}_q$ 两个分量分别于节点电压 $\dot{V}_{Et}$ 同相和垂直。 $\dot{I}_q$ 是并联支路的无功分量,其作用相当于STATCOM,为系统提供并联无功补偿; $\dot{I}_t$ 是并联支路电流的有功分量,其作用是从交流系统吸收或向交流系统注入有功功率,以保证直流电压 $v_{dc}$ 为常数,从而实现串联电压源 $\dot{V}_B$ 相位的360度调整。这种情况下UPFC中直流电容贮存的电场能量既不增加也不减少,因而直流电压为常数。

[0069] 由于公式: $\text{Re}[\dot{V}_E \dot{I}_E^* - \dot{V}_B \dot{I}_B^*] = 0$ 的约束,独立控制变量由4个变为3个,即:

$$[0070] \left. \begin{array}{l} 0 \leq V_B \leq V_{B\max} \\ 0 \leq \varphi_B \leq 2\pi \\ 0 \leq I_q \leq I_{q\max} \end{array} \right\}$$

[0071] 其中, $\varphi_B$ 为串联电压源的相位角; $V_{B\max}$ 和 $I_{q\max}$ 是与UPFC额定容量相关的常数。UPFC稳定运行的相量图如图5所示。

[0072] 统一潮流控制器控制与参数计算中UPFC主要控制功能有电压控制、相角控制及线



路电抗控制。其中,电压控制主要包括:如果UPFC并联部分的无功功率独立进行控制,则此时UPFC相当于静止同步补偿器提供无功补偿,起到支撑节点电压的目的。相角控制主要包括:如果UPFC采用相角控制模式,负载需要的有功功率通过串联侧的注入电压来补偿,在不必调控输电线路两端电压相位的情况下,可连续调控输电线路传输有功功率的大小,使电力系统中功率流向以及大小经济合理。线路电抗控制主要包括:如果令串联部分的注入电压向量同线路电流垂直,则此时UPFC相当于串联补偿装置。它既能连续调控、又能双向补偿(升高和降低电压),且在合适的控制下不会引发LC振荡,是一项先进的调控电网节点电压、补偿线路感抗、增强电力系统传输功率极限、提高电力系统稳定性的非常有效的先进技术。

[0073] 这几种功能组合起来,就可以充分发挥UPFC的强大功能。线路电抗控制和相角控制是相互关联的功能,可以集成为一个通用控制器将线路有功功率和无功功率控制到需要的水平。另一方面,UPFC的并联补偿部分既可以执行独立的无功补偿功能来控制电压,也可以同通用控制器相互协调,共同控制线路潮流。UPFC的几种控制功能可以实时地从一种功能转换到另一种。这种功能上的灵活性使得UPFC在解决电力系统的多种问题方面具有很大的潜力。

[0074] 含有统一潮流控制器(UPFC)的输电线等值电路如图6所示,在忽略UPFC串联变压器等值电抗的情况下,未考虑UPFC的容量约束问题,采用附加节点注入功率的基本方法,将UPFC与电力系统解耦。这种算法可以方便的与传统的牛顿法潮流计算相结合。计算中,由于UPFC能独立于其串联补偿而向系统提供并联补偿,故UPFC并联变压器所连接的节点电压幅值可以控制为定值,也可以将补偿的无功功率控制为定值;UPFC的串联补偿可以同时控制两个运行变量,因而将UPFC所在线路输送的有功功率和无功功率控制为定值。

[0075] 设UPFC将线路输送功率控制为: $P_{m1} + jQ_{m1} = P_c + jQ_c$ ;

[0076] 其中, $P_c$ 和 $Q_c$ 为互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大时,节点m和节点1之间的有功功率和无功功率,当以互联电网的联络线构成的互联断面最大传送功率为定功率时, $P_c$ 和 $Q_c$ 为常数。

$$[0077] \quad P_{1m} = \left( \frac{P_c^2 + Q_c^2}{V_m^2} + b_{1m0}^2 V_m^2 + 2b_{1m0} Q_c \right) r_{1m} - P_c$$

$$[0078] \quad Q_{1m} = -V_1 I_q - V_1 [((1 - b_{1m0} x_{1m}) P_c + b_{1m0} r_{1m} Q_c) V_m^{-1} + b_{1m0}^2 r_{1m} V_m] \sin \theta_{1m} - \\ ((b_{1m0} r_{1m} P_c - (1 - b_{1m0} x_{1m}) Q_c) V_m^{-1} - (2 - b_{1m0} x_{1m}) b_{1m0} V_m) \cos \theta_{1m}]$$

[0079] 其中, $P_{1m}$ 和 $Q_{1m}$ 分别是节点1和m之间线路的有功功率和无功功率; $r_{1m}$ 和 $b_{1m0}$ 分别是节点1和m之间线路的电阻和电纳; $V_1$ 和 $V_m$ 分别是节点1和m的电压; $\theta_{1m}$ 是两端电压的相角差。UPFC从节点1抽出的功率可以用节点电压和支路功率表达而与UPFC的控制参数 $V_B$ 和 $\varphi_B$ 无关,经UPFC所在的线路从节点m抽出的功率被UPFC控制为常数 $P_c$ 和 $Q_c$ 。经UPFC所在输电线路流出节点m的功率为:

$$[0080] \quad P_{m1} + jQ_{m1} = \dot{V}_m \left( \frac{\dot{V}_m - \dot{V}_1}{r_{1m} + jX_{1m}} + jb_{1m0} \right)^* - \dot{V}_m \left( \frac{\dot{V}_B}{r_{1m} + jX_{1m}} \right)^* = P_c + jQ_c$$

[0081] 令

$$[0082] \quad P_f + jQ_f = \dot{V}_m \left( \frac{\dot{V}_m - \dot{V}_l}{r_{lm} + jx_{lm}} + jb_{lm0} \right)^*$$

[0083] 则：

$$[0084] \quad P_e + jQ_e = (P_c - P_f) + j(Q_c - Q_f) = -\dot{V}_m \left( \frac{\dot{V}_B}{r_{lm} + jx_{lm}} \right)^*$$

[0085] 求解出来为：

$$[0086] \quad V_B = \frac{\sqrt{(P_e^2 + Q_e^2)(r_{lm}^2 + x_{lm}^2)}}{V_m}$$

$$[0087] \quad \varphi_B = \arctg\left(\frac{Q_e}{-P_e}\right) - \arctg\left(\frac{x_{lm}}{r_{lm}}\right) + \theta_m$$

[0088] 其中， $P_e$ 和 $Q_e$ 分别是节点1和m之间线路的有功功率和无功功率； $r_{lm}$ 是节点1和m之间线路的电阻； $x_{lm}$ 是节点1和m之间线路的感抗； $V_m$ 是节点m的电压； $\theta_m$ 是节点m的电压相位。

[0089] 由此得到互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大时UPFC的控制参数公式，即UPFC最佳的控制模式下的控制参数公式。

[0090] S4，根据控制参数公式得到目标区域中各个统一潮流控制器的控制参数值，通过对统一潮流控制器中控制参数值的设置，使统一潮流控制器在最佳的控制模式运行。

[0091] 在本发明所提供的实施例中，统一潮流控制器的控制参数公式是在互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大时求得的，通过获得控制参数公式中涉及到的统一潮流控制器的各个变量（有功功率、无功功率、电压幅值和电压相位），可以得到UPFC最佳的控制模式下的控制参数值，通过控制参数值的设定，使系统获得最佳的运行状态，保证了区域电网内潮流控制器之间以及多潮流控制器之间的协调一致，能够实现协同控制，有利于系统的统一调度和经济运行要求。在系统运行过程中可以综合考虑多个UPFC之间的协调控制，在本发明的一个实施例中，在川渝间A联络线和川渝间B联络线各设置一个UPFC，综合考虑两个UPFC之间的协调控制，使系统获得最佳的运行状态。根据目标区域中的网络信息，对目标区域内的互联电网进行全局优化，使互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大，如表1-1所示，各物理量均以标么值表示。

[0092]

B 联络线		有功功率 (P)	无功功率 (Q)
		23.9263	2.4771
		电压幅值	电压相位
首段节点	川洪遂洪侧抗	1.007881767	-1.062059329
末端节点	渝板桥 500-1	0.992169932	-1.196057004
A 联络线		有功功率 (P)	无功功率 (Q)
		15.0737	-0.9016
		电压幅值	电压相位
首段节点	川黄岩 500	0.994621133	-1.028314885
末端节点	渝黄万 II 万高抗	0.999664716	-1.142805655

[0093] 表1-1 UPFC的控制目标

[0094] 根据UPFC的控制参数公式,利用表1-1数据,可以得到该断面下,UPFC的控制参数值如表1-2所示。

[0095]

	$V_B$	$\Phi_B$
B联络线	0.0083	114.5419
A联络线	0.013	-63.0929

[0096] 表1-2UPFC的控制参数值

[0097] 通过控制参数值的设定,使系统获得最佳的运行状态。

[0098] 综上所述,本发明所提供的用于互联电网的潮流协同控制方法,通过对网络进行静态等值分析,确定外部电网、边界点以及目标电网的集合,修改边界导纳阵及网络方程,得到分区后的独立网络。在此基础上,对全网进行全局优化,读取各个节点的网络信息,并根据系统所需满足的电压、有功出力、无功出力及无功补偿上下限约束进行全局优化,使互联电网的联络线构成的互联断面传送功率最大,综合考虑全局优化,满足电力系统对潮流的控制能力要求;除此之外,根据互联电网的联络线构成的互联断面最大传送功率调节UPFC的串联换流器输出电压幅值和相角,得到UPFC的控制参数公式,根据UPFC的控制参数公式和相关信息获得各个UPFC的控制参数值,通过控制参数值的设定,使系统获得最佳的运行状态,保证了区域电网内潮流控制器之间的协调一致,能够实现协同控制,有利于系统的统一调度和经济运行要求。

[0099] 以上对本发明所提供的用于互联电网的潮流协同控制方法进行了详细的说明。对本领域的技术人员而言,在不背离本发明实质精神的前提下对它所做的任何显而易见的改动,都将构成对本发明专利权的侵犯,将承担相应的法律责任。

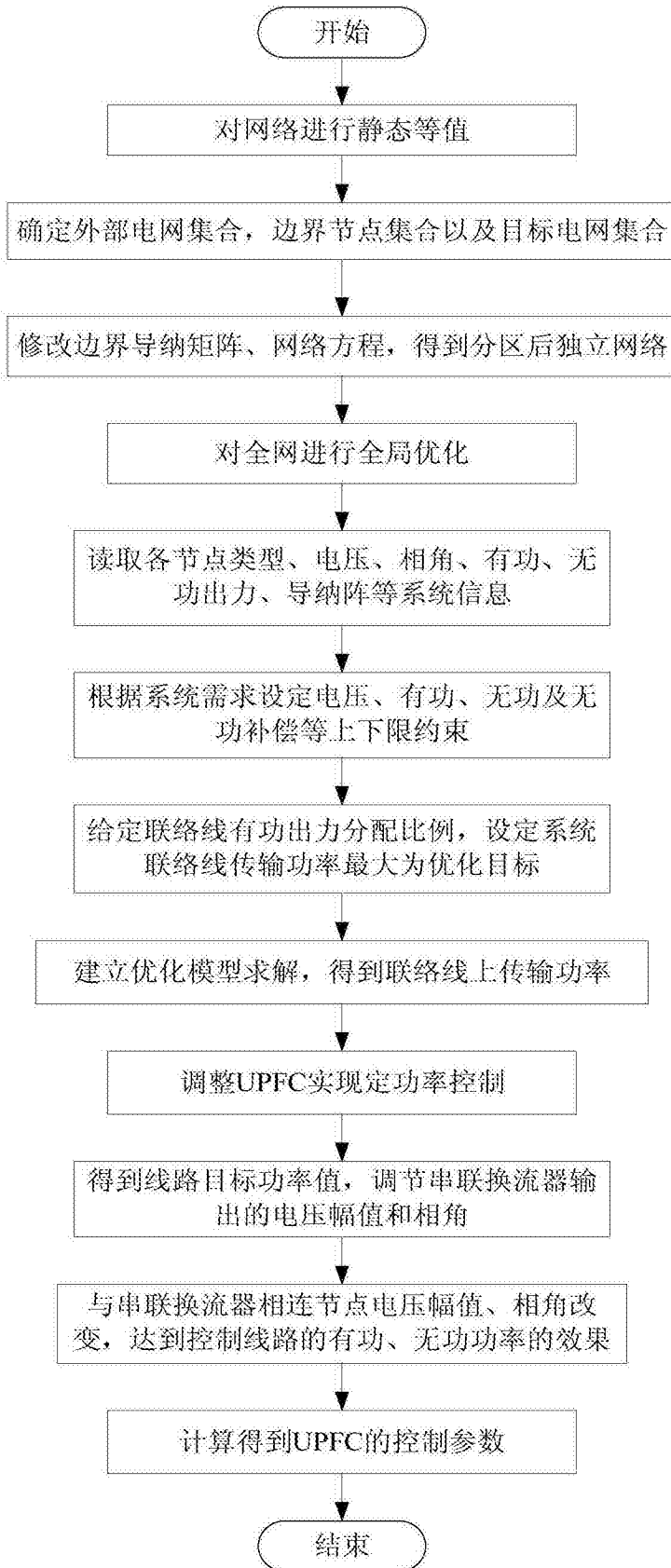


图1

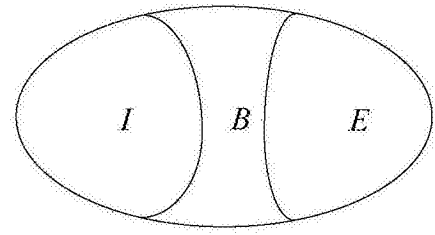


图2

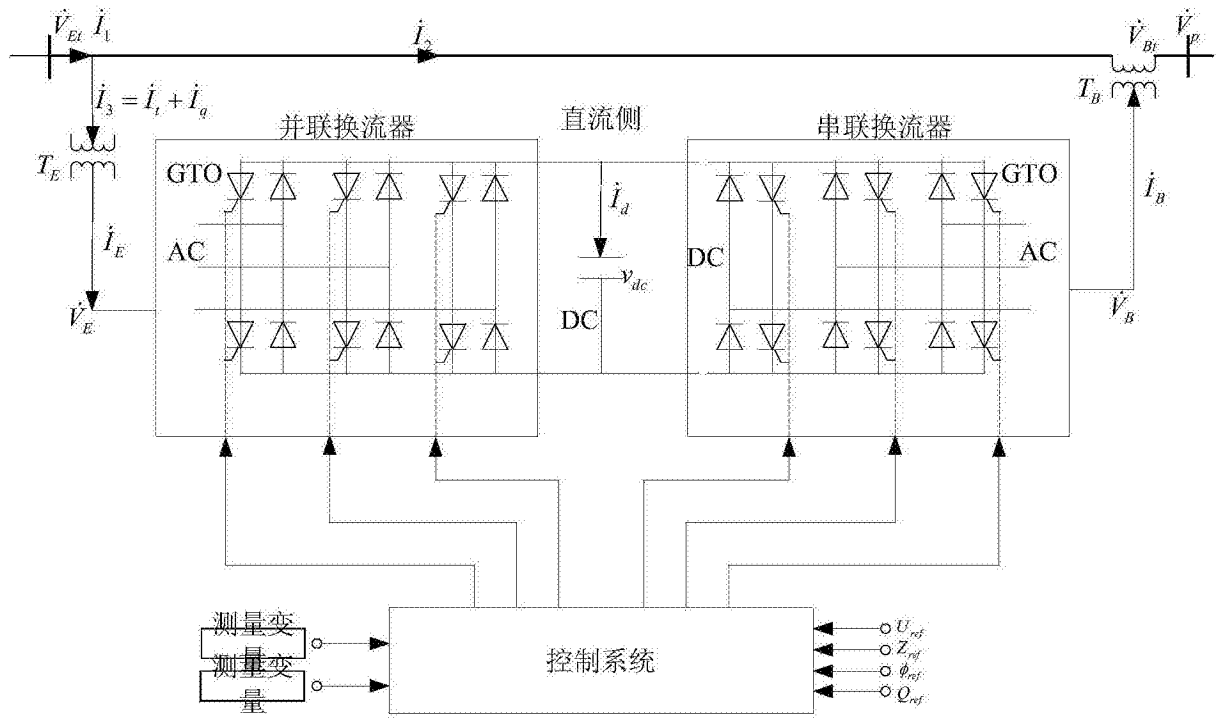


图3

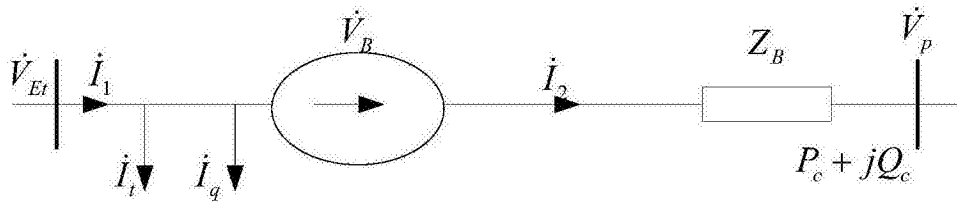


图4

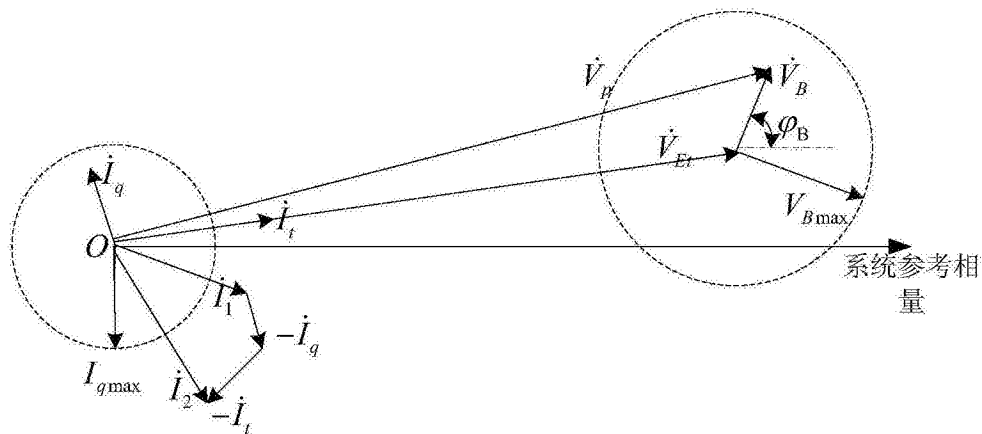


图5

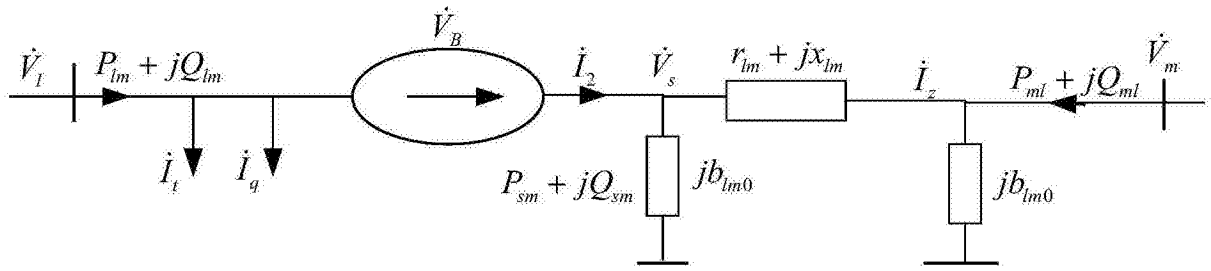


图6