



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107086568 A

(43)申请公布日 2017.08.22

(21)申请号 201710347116.6

H02J 3/46(2006.01)

(22)申请日 2017.05.17

(71)申请人 杭州意能电力技术有限公司

地址 310012 浙江省杭州市西湖区文三路
251号联强大厦9楼

申请人 国网浙江省电力公司电力科学研究
院
国家电网公司

(72)发明人 罗志浩 尹峰 陈波 丁宁 苏烨
丁俊宏

(74)专利代理机构 浙江翔隆专利事务所(普通
合伙) 33206

代理人 张建青

(51)Int.Cl.

H02J 3/00(2006.01)

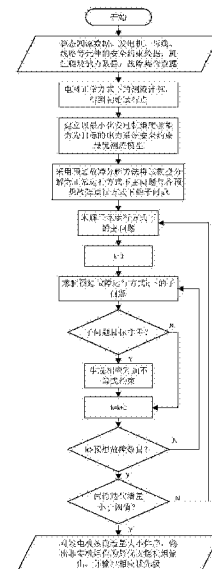
权利要求书4页 说明书8页 附图1页

(54)发明名称

一种基于预想故障分解的电力系统最优支
援机组定位方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于预想故障分解的电力系统最优支援机组定位方法。为稳定电网频率,需选取若干对电网安全稳定起到决定性作用的机组。本发明考虑电网不同预想故障,建立以最小化发电机组爬坡能力为目标的电力系统安全约束最优潮流模型;采用预想故障分解方法将该模型分解为正常运行方式下主问题与各预想故障运行方式下的子问题;通过迭代求解正常运行方式下的主问题和各预想故障运行方式下的子问题实现上述安全约束最优潮流模型的求解;依据步骤求解所得最小发电机组爬坡能力改造量,将改造量非零的发电机组据此进行递减排序,按顺序依次记为优先级递减的最优支援机组,作为结果输出。本发明具有较好的适用性,较好地满足了实际需求。



CN 107086568 A

1. 一种基于预想故障分解的电力系统最优支援机组定位方法,其特征在于包括以下步骤:

步骤1): 加载电力系统的稳态潮流数据,发电机、母线和线路的安全约束数据,发电机爬坡能力数据以及电网预想故障集合数据;

步骤2): 电网正常方式下的潮流计算,得到初始运行点;

步骤3): 基于步骤1)-2) 所得数据,建立以最小化发电机组爬坡能力为目标的电力系统安全约束最优潮流模型;

步骤4): 基于步骤3) 所得模型,采用预想故障分解方法将该模型分解为正常运行方式下主问题与各预想故障运行方式下的子问题,求解正常运行方式下的主问题;

步骤5): 基于步骤4) 所得结果,依次求解各预想故障运行方式下的子问题,并生成相应附加不等式约束,加入步骤4) 所述的主问题中;

步骤6): 计算相邻两轮迭代中步骤4) 所求解主问题的优化结果的增量大小,若其小于给定阈值,则至步骤7); 否则返回步骤5) 继续迭代求解;

步骤7): 依据步骤4) 所得最小发电机组爬坡能力改造量,将改造量非零的发电机组据此进行递减排序,按顺序依次记为优先级递减的最优支援机组,作为结果输出。

2. 根据权利要求1所述的基于预想故障分解的电力系统最优支援机组定位方法,其特征在于,

所述步骤3) 的具体内容为: 以最小化发电机组爬坡能力改造量为优化目标,以及发电机组爬坡能力改造后电网正常运行方式和所有预想故障方式下的潮流方程为等式约束,以电网正常运行方式和所有预想故障运行方式下的发电机爬坡约束、发电机有功出力约束、发电机无功出力约束、节点电压幅值约束和线路热稳定约束为不等式约束,建立一组非线性优化模型。

3. 根据权利要求2所述的基于预想故障分解的电力系统最优支援机组定位方法,其特征在于,

所述的非线性优化模型具体如下:

1) 目标函数

$$\min \left(\sum_{i \in S_G} w_i (\Delta \Pi_{Gi}^+ + \Delta \Pi_{Gi}^-) + p P_{Gs}^0 \right),$$

式中, $\Delta \Pi_{Gi}^+$, $\Delta \Pi_{Gi}^-$ 分别为发电机组 i 正、负爬坡能力的改造量; P_{Gs}^0 为正常运行方式下平衡发电机组的有功出力; w_i, p 分别为爬坡能力改造量和网损的权重系数; S_G 为发电机组的集合;

2) 等式约束

等式约束为不同运行方式下的潮流方程:

$$(1 + \lambda^k) P_{Gi}^k - (1 + \lambda^k) P_{Li}^k - U_i^k \sum_{j \in S_B} U_j^k (G_{ij}^k \cos \delta_{ij}^k + B_{ij}^k \sin \delta_{ij}^k) = 0, k \in S_k,$$

$$Q_{Gi}^k - (1 + \lambda^k) Q_{Li}^k - U_i^k \sum_{j \in S_B} U_j^k (G_{ij}^k \sin \delta_{ij}^k - B_{ij}^k \cos \delta_{ij}^k) = 0, k \in S_k,$$

式中, 变量上标代表运行方式, 其中 0 代表正常运行方式, 其他代表预想故障运行方式;

S_k 为预想故障运行方式的集合; S_B 为母线的集合;

U_i 为母线*i*的电压幅值, $i \in S_B$; U_j 为母线*j*的电压幅值; P_{Gi}, Q_{Gi} 分别为发电机组*i*的有功和无功出力, $i \in S_G$; P_{Li}, Q_{Li} 分别为母线*i*的有功和无功负荷, $i \in S_G$; δ_{ij} 为母线*i* *j*之间的相角差; λ^k 为运行方式*k*下的负荷增长因子,用于描述负荷的波动及其随国民经济的增长; G_{ij}^k, B_{ij}^k 分别为节点导纳矩阵中对应元素的实部和虚部;

3) 不等式约束

不等式约束包括发电机组爬坡约束

$$\underline{\Pi}_{Gi}^- - \Delta \Pi_{Gi}^- \leq P_{Gi}^k - P_{Gi}^0 \leq \overline{\Pi}_{Gi}^+ + \Delta \Pi_{Gi}^+, i \in S_G, k \in S_k,$$

式中, $\overline{\Pi}_{Gi}^+, \underline{\Pi}_{Gi}^-$ 分别为发电机组*i*原有正、负爬坡能力; P_{Gi}^0 为正常运行方式下发电机组*i*的有功出力, P_{Gi}^k 为运行方式*k*下发电机组*i*的有功出力;

以及其他运行约束,包括节点电压约束、发电机有功及无功出力约束和线路潮流约束

$$\underline{U}_i^k \leq U_i^k \leq \overline{U}_i^k, i \in S_B, k \in S_k,$$

$$\underline{P}_{Gi} \leq P_{Gi}^k \leq \overline{P}_{Gi}, i \in S_G, k \in S_k,$$

$$\underline{Q}_{Gi} \leq Q_{Gi}^k \leq \overline{Q}_{Gi}, i \in S_G, k \in S_k,$$

$$\underline{F}_{ij} \leq F_{ij}^k \leq \overline{F}_{ij}, i, j \in S_B, k \in S_k,$$

式中, F_{ij} 为母线*i*到母线*j*之间线路上的潮流;各变量的上、下划线分别表示对应变量的上限和下限。

4. 根据权利要求3所述的基于预想故障分解的电力系统最优支援机组定位方法,其特征在于,

所述步骤4)的具体内容为:将步骤3)所建立的非线性优化模型分解为1个对应正常运行方式的主问题和对应若干预想故障运行方式的子问题。

5. 根据权利要求4所述的基于预想故障分解的电力系统最优支援机组定位方法,其特征在于,

主问题的具体内容为:

1) 目标函数

$$\min \left(\sum_{i \in S_G} w_i (\Delta \Pi_{Gi}^+ + \Delta \Pi_{Gi}^-) + p P_{Gs}^0 \right),$$

式中, $\Delta \Pi_{Gi}^+, \Delta \Pi_{Gi}^-$ 分别为发电机组*i*正、负爬坡能力的改造量; P_{Gs}^0 为正常运行方式下平衡发电机组的有功出力; w_i, p 分别为爬坡能力改造量和网损的权重系数; S_G 为发电机组的集合;

2) 等式约束

等式约束为正常运行方式下的潮流方程

$$\left(1 + \lambda^0\right) P_{Gi}^0 - \left(1 + \lambda^0\right) P_{Li}^0 - U_i^0 \sum_{j \in S_B} U_j^0 \left(G_{ij}^0 \cos \delta_{ij}^0 + B_{ij}^0 \sin \delta_{ij}^0\right) = 0,$$

$$Q_{Gi}^0 - (1 + \lambda^0) Q_{Li}^0 - U_i^0 \sum_{j \in S_B} U_j^0 (G_{ij}^0 \sin \delta_{ij}^0 - B_{ij}^0 \cos \delta_{ij}^0) = 0,$$

式中,变量上标0代表正常运行方式, S_B 为母线的集合;

U_i 为母线*i*的电压幅值, $i \in S_B$; U_j 为母线*j*的电压幅值; P_{Gi}, Q_{Gi} 分别为发电机组*i*的有功和无功出力, $i \in S_G$; P_{Li}, Q_{Li} 分别为母线*i*的有功和无功负荷, $i \in S_G$; δ_{ij} 为母线*i* *j*之间的相角差; λ^0 为正常运行方式下的负荷增长因子,用于描述负荷的波动及其随国民经济的增长; G_{ij}, B_{ij} 分别为节点导纳矩阵中对应元素的实部和虚部;

3) 不等式约束

不等式约束包括节点电压约束、发电机有功及无功出力约束、线路潮流约束:

$$\underline{U}_i^k \leq U_i^k \leq \overline{U}_i^k, i \in S_B, k \in S_k,$$

$$\underline{P}_{Gi} \leq P_{Gi}^k \leq \overline{P}_{Gi}, i \in S_G, k \in S_k,$$

$$\underline{Q}_{Gi} \leq Q_{Gi}^k \leq \overline{Q}_{Gi}, i \in S_G, k \in S_k,$$

$$\underline{F}_{ij} \leq F_{ij}^k \leq \overline{F}_{ij}, i, j \in S_B, k \in S_k,$$

式中, F_{ij} 为母线*i*到母线*j*之间线路上的潮流;各变量的上、下划线分别表示对应变量的上限和下限。

6. 根据权利要求5所述的基于预想故障分解的电力系统最优支援机组定位方法,其特征在于,

所述步骤5)中,第*k*个预想故障所对应子问题的具体内容为:

1) 目标函数

$$\min J = \sum_{i \in S_G} (\beta_i^{k+} + \beta_i^{k-}),$$

式中, $\beta_i^{k+}, \beta_i^{k-}$ 分别为发电机组*i*正、负爬坡能力松弛变量;

2) 等式约束

等式约束为预想故障运行方式*k*下的潮流方程

$$(1 + \lambda^k) P_{Gi}^k - (1 + \lambda^k) P_{Li}^k - U_i^k \sum_{j \in S_B} U_j^k (G_{ij}^k \cos \delta_{ij}^k + B_{ij}^k \sin \delta_{ij}^k) = 0,$$

$$Q_{Gi}^k - (1 + \lambda^k) Q_{Li}^k - U_i^k \sum_{j \in S_B} U_j^k (G_{ij}^k \sin \delta_{ij}^k - B_{ij}^k \cos \delta_{ij}^k) = 0,$$

式中, S_B 为母线的集合; U_i 为母线*i*的电压幅值, $i \in S_B$; U_j 为母线*j*的电压幅值; P_{Gi}, Q_{Gi} 分别为发电机组*i*的有功和无功出力, $i \in S_G$; P_{Li}, Q_{Li} 分别为母线*i*的有功和无功负荷, $i \in S_G$; δ_{ij} 为母线*i* *j*之间的相角差; λ^k 为运行方式*k*下的负荷增长因子,用于描述负荷的波动及其随国民经济的增长; G_{ij}^k, B_{ij}^k 分别为节点导纳矩阵中对应元素的实部和虚部;

3) 不等式约束

不等式约束包括松弛后的机组爬坡约束

$$\Pi_{Gi}^- - \Delta \Pi_{Gi}^- - \beta_i^{k-} \leq P_{Gi}^k - P_{Gi}^0 \leq \Pi_{Gi}^+ + \Delta \Pi_{Gi}^+ + \beta_i^{k+}, i \in S_G,$$

式中, Π_{Gi}^+ , Π_{Gi}^- 分别为发电机组i原有正、负爬坡能力;

机组爬坡能力松弛变量约束:

$$0 \leq \beta_i^{k-}, 0 \leq \beta_i^{k+}, \quad i \in S_G,$$

以及其他运行约束,包括预想故障运行方式k下节点电压约束、发电机有功及无功出力约束和线路潮流约束:

$$\underline{U}_i^k \leq U_i^k \leq \overline{U}_i^k, i \in S_B,$$

$$\underline{P}_{Gi} \leq P_{Gi}^k \leq \overline{P}_{Gi}, i \in S_G,$$

$$\underline{Q}_{Gi} \leq Q_{Gi}^k \leq \overline{Q}_{Gi}, i \in S_G,$$

$$\underline{F}_{ij} \leq F_{ij}^k \leq \overline{F}_{ij}, i, j \in S_B,$$

式中, F_{ij} 为母线i到母线j之间线路上的潮流;各变量的上、下划线分别表示对应变量的上限和下限。

7. 根据权利要求6所述的基于预想故障分解的电力系统最优支援机组定位方法,其特征在于,

求解上述预想故障运行方式k所对应优化问题,若优化目标J非零,则生成如下不等式约束,加入步骤4)中主问题的不等式约束中:

$$J + \mu^T (u^0 - \hat{u}^k) + \hat{\tau}^T (\Delta \Pi_{Gi}^+ - \Delta \hat{\Pi}_{Gi}^+) + \check{\tau}^T (\Delta \Pi_{Gi}^- - \Delta \hat{\Pi}_{Gi}^-) \leq 0,$$

式中, u^0 , \hat{u}^k 为正常运行方式下控制变量以及步骤4)中求解主问题得到的相对应控制变量的数值;T表示转置;

$\Delta \hat{\Pi}_{Gi}^+$, $\Delta \hat{\Pi}_{Gi}^-$ 分别为步骤4)中求解主问题得到的发电机组i正、负爬坡能力的改造量的数值;

μ , $\hat{\tau}$, $\check{\tau}$ 分别为等式约束的对偶变量,爬坡能力下限约束和上限约束的不等式约束的对偶变量。

一种基于预想故障分解的电力系统最优支援机组定位方法

技术领域

[0001] 本发明属于电力系统技术领域,具体地说是一种基于预想故障分解的电力系统最优支援机组定位方法。

背景技术

[0002] 当前电力建设快速发展,一方面各地电源建设项目仍快速增长,风电、核电的比重逐年上升;另一方面多条特高压线路建成,跨区来电容量占比不断提高。同时全国经济正在进行结构性调整,社会用电结构随之发生了较大的变化。电网日负荷曲线的日益增大,火电机组利用小时数大幅下降,当机组运行负荷降低时,机组热耗大幅上升,机组效率大幅下降。因此当火电机组利用小时数大幅下降,大型火电机组长时间低负荷运行成为电力市场的新常态时,必须要考虑大型火力发电机组的调频能力。

[0003] 在上述需求背景下,火力发电机组要求首先保证自己的安全,同时在主网出现异常情况时具有一定的辅助处理事故的能力。一次调频功能正是火力发电机组在电网出现异常情况下充分利用汽机和锅炉蓄热以及机组的旋转备用容量快速响应频率变化,以弥补电网发电与负荷差距,稳定电网频率。为此,需选取若干对电网安全稳定起到决定性作用的机组,作为上述支援功能的实施主体。

发明内容

[0004] 鉴于此,本发明的目的在于,依据电网内各特高压落地点故障情况下的不同电网响应特征,根据地域给出电网故障时各区域的最佳电源支撑点的位置,用以确定深度调频支援的最优机组选择,作为具备高加出系调频功能的改造目标。

[0005] 本发明采用以下方案实现:一种基于预想故障分解的电力系统最优支援机组定位方法,其特征在于包括以下步骤:

[0006] 步骤1):加载电力系统的稳态潮流数据,发电机、母线和线路的安全约束数据,发电机爬坡能力数据以及电网预想故障集合数据;

[0007] 步骤2):电网正常方式下的潮流计算,得到初始运行点;

[0008] 步骤3):基于步骤1)-2)所得数据,建立以最小化发电机组爬坡能力为目标的电力系统安全约束最优潮流模型;

[0009] 步骤4):基于步骤3)所得模型,采用预想故障分解方法将该模型分解为正常运行方式下主问题与各预想故障运行方式下的子问题,求解正常运行方式下的主问题;

[0010] 步骤5):基于步骤4)所得结果,依次求解各预想故障运行方式下的子问题,并生成相应附加不等式约束,加入步骤4)所述的主问题中;

[0011] 步骤6):计算相邻两轮迭代中步骤4)所求解主问题的优化结果的增量大小,若其小于给定阈值,则至步骤7);否则返回步骤5)继续迭代求解;

[0012] 步骤7):依据步骤4)所得最小发电机组爬坡能力改造量,将改造量非零的发电机组据此进行递减排序,按顺序依次记为优先级递减的最优支援机组,作为结果输出。

[0013] 进一步地,所述步骤3)的具体内容为:以最小化发电机组爬坡能力改造量为优化目标,以及发电机组爬坡能力改造后电网正常运行方式和所有预想故障方式下的潮流方程为等式约束,以电网正常运行方式和所有预想故障运行方式下的发电机爬坡约束、发电机有功出力约束、发电机无功出力约束、节点电压幅值约束和线路热稳定约束为不等式约束,建立一组非线性优化模型。

[0014] 更进一步,所述的非线性优化模型具体如下:

[0015] 1) 目标函数

$$[0016] \quad \min \left(\sum_{i \in S_G} w_i (\Delta \Pi_{Gi}^+ + \Delta \Pi_{Gi}^-) + p P_{Gs}^0 \right),$$

[0017] 式中, $\Delta \Pi_{Gi}^+$, $\Delta \Pi_{Gi}^-$ 分别为发电机组*i*正、负爬坡能力的改造量; P_{Gs}^0 为正常运行方式下平衡发电机组的有功出力; w_i, p 分别为爬坡能力改造量和网损的权重系数; S_G 为发电机组的集合;

[0018] 2) 等式约束

[0019] 等式约束为不同运行方式下的潮流方程:

$$[0020] \quad (1 + \lambda^k) P_{Gi}^k - (1 + \lambda^k) P_{Li}^k - U_i^k \sum_{j \in S_B} U_j^k (G_{ij}^k \cos \delta_{ij}^k + B_{ij}^k \sin \delta_{ij}^k) = 0, k \in S_k,$$

$$[0021] \quad Q_{Gi}^k - (1 + \lambda^k) Q_{Li}^k - U_i^k \sum_{j \in S_B} U_j^k (G_{ij}^k \sin \delta_{ij}^k - B_{ij}^k \cos \delta_{ij}^k) = 0, k \in S_k,$$

[0022] 式中,变量上标代表运行方式,其中0代表正常运行方式,其他代表预想故障运行方式; S_k 为预想故障运行方式的集合; S_B 为母线的集合;

[0023] U_i 为母线*i*的电压幅值, $i \in S_B$; U_j 为母线*j*的电压幅值; P_{Gi}, Q_{Gi} 分别为发电机组*i*的有功和无功出力, $i \in S_G$; P_{Li}, Q_{Li} 分别为母线*i*的有功和无功负荷, $i \in S_G$; δ_{ij} 为母线*i**j*之间的相角差; λ^k 为运行方式*k*下的负荷增长因子,用于描述负荷的波动及其随国民经济的增长; G_{ij}^k, B_{ij}^k 分别为节点导纳矩阵中对应元素的实部和虚部;

[0024] 3) 不等式约束

[0025] 不等式约束包括发电机组爬坡约束

$$[0026] \quad \Pi_{Gi}^- - \Delta \Pi_{Gi}^- \leq P_{Gi}^k - P_{Gi}^0 \leq \Pi_{Gi}^+ + \Delta \Pi_{Gi}^+, i \in S_G, k \in S_k,$$

[0027] 式中, Π_{Gi}^+, Π_{Gi}^- 分别为发电机组*i*原有正、负爬坡能力; P_{Gi}^0 为正常运行方式下发电机组*i*的有功出力, P_{Gi}^k 为运行方式*k*下发电机组*i*的有功出力;

[0028] 以及其他运行约束,包括节点电压约束、发电机有功及无功出力约束和线路潮流约束

$$[0029] \quad \underline{U}_i^k \leq U_i^k \leq \overline{U}_i^k, i \in S_B, k \in S_k,$$

$$[0030] \quad \underline{P}_{Gi} \leq P_{Gi}^k \leq \overline{P}_{Gi}, i \in S_G, k \in S_k,$$

$$[0031] \quad \underline{Q}_{Gi} \leq Q_{Gi}^k \leq \overline{Q}_{Gi}, i \in S_G, k \in S_k,$$

$$[0032] \quad \underline{F}_{ij} \leq F_{ij}^k \leq \overline{F}_{ij}, i, j \in S_B, k \in S_k,$$

[0033] 式中, F_{ij} 为母线 i 到母线 j 之间线路上的潮流; 各变量的上、下划线分别表示对应变量的上限和下限。

[0034] 进一步地, 所述步骤4) 的具体内容为: 将步骤3) 所建立的非线性优化模型分解为1个对应正常运行方式的主问题和对应若干预想故障运行方式的子问题。

[0035] 更进一步地, 主问题的具体内容为:

[0036] 1) 目标函数

$$[0037] \quad \min \left(\sum_{i \in S_G} w_i (\Delta \Pi_{Gi}^+ + \Delta \Pi_{Gi}^-) + p P_{Gs}^0 \right),$$

[0038] 式中, $\Delta \Pi_{Gi}^+$, $\Delta \Pi_{Gi}^-$ 分别为发电机组 i 正、负爬坡能力的改造量; P_{Gs}^0 为正常运行方式下平衡发电机组的有功出力; w_i, p 分别为爬坡能力改造量和网损的权重系数; S_G 为发电机组的集合;

[0039] 2) 等式约束

[0040] 等式约束为正常运行方式下的潮流方程

$$[0041] \quad (1 + \lambda^0) P_{Gi}^0 - (1 + \lambda^0) P_{Li}^0 - U_i^0 \sum_{j \in S_B} U_j^0 (G_{ij}^0 \cos \delta_{ij}^0 + B_{ij}^0 \sin \delta_{ij}^0) = 0,$$

$$[0042] \quad Q_{Gi}^0 - (1 + \lambda^0) Q_{Li}^0 - U_i^0 \sum_{j \in S_B} U_j^0 (G_{ij}^0 \sin \delta_{ij}^0 - B_{ij}^0 \cos \delta_{ij}^0) = 0,$$

[0043] 式中, 变量上标0代表正常运行方式, S_B 为母线的集合;

[0044] U_i 为母线 i 的电压幅值, $i \in S_B$; U_j 为母线 j 的电压幅值; P_{Gi}, Q_{Gi} 分别为发电机组 i 的有功和无功出力, $i \in S_G$; P_{Li}, Q_{Li} 分别为母线 i 的有功和无功负荷, $i \in S_G$; δ_{ij} 为母线 i, j 之间的相角差; λ^0 为正常运行方式下的负荷增长因子, 用于描述负荷的波动及其随国民经济的增长; G_{ij}, B_{ij} 分别为节点导纳矩阵中对应元素的实部和虚部;

[0045] 3) 不等式约束

[0046] 不等式约束包括节点电压约束、发电机有功及无功出力约束、线路潮流约束:

$$[0047] \quad \underline{U}_i^k \leq U_i^k \leq \overline{U}_i^k, i \in S_B, k \in S_k,$$

$$[0048] \quad \underline{P}_{Gi}^k \leq P_{Gi}^k \leq \overline{P}_{Gi}^k, i \in S_G, k \in S_k,$$

$$[0049] \quad \underline{Q}_{Gi}^k \leq Q_{Gi}^k \leq \overline{Q}_{Gi}^k, i \in S_G, k \in S_k,$$

$$[0050] \quad \underline{F}_{ij}^k \leq F_{ij}^k \leq \overline{F}_{ij}^k, i, j \in S_B, k \in S_k,$$

[0051] 式中, F_{ij} 为母线 i 到母线 j 之间线路上的潮流; 各变量的上、下划线分别表示对应变量的上限和下限。

[0052] 所述步骤5) 中, 第 k 个预想故障所对应子问题的具体内容为:

[0053] 1) 目标函数

$$[0054] \quad \min J = \sum_{i \in S_G} (\beta_i^{k+} + \beta_i^{k-}),$$

[0055] 式中, $\beta_i^{k+}, \beta_i^{k-}$ 分别为发电机组 i 正、负爬坡能力松弛变量;

[0056] 2) 等式约束

[0057] 等式约束为预想故障运行方式k下的潮流方程

$$[0058] \quad (1 + \lambda^k) P_{Gi}^k - (1 + \lambda^k) P_{Li}^k - U_i^k \sum_{j \in S_B} U_j^k (G_{ij}^k \cos \delta_{ij}^k + B_{ij}^k \sin \delta_{ij}^k) = 0,$$

$$[0059] \quad Q_{Gi}^k - (1 + \lambda^k) Q_{Li}^k - U_i^k \sum_{j \in S_B} U_j^k (G_{ij}^k \sin \delta_{ij}^k - B_{ij}^k \cos \delta_{ij}^k) = 0,$$

[0060] 式中, S_B 为母线的集合; U_i 为母线i的电压幅值, $i \in S_B$; U_j 为母线j的电压幅值; P_{Gi} , Q_{Gi} 分别为发电机组i的有功和无功出力, $i \in S_G$; P_{Li} , Q_{Li} 分别为母线i的有功和无功负荷, $i \in S_G$; δ_{ij} 为母线i j之间的相角差; λ^k 为运行方式k下的负荷增长因子, 用于描述负荷的波动及其随国民经济增长; G_{ij}^k , B_{ij}^k 分别为节点导纳矩阵中对应元素的实部和虚部;

[0061] 3) 不等式约束

[0062] 不等式约束包括松弛后的机组爬坡约束

$$[0063] \quad \Pi_{Gi}^- - \Delta \Pi_{Gi}^- - \beta_i^{k-} \leq P_{Gi}^k - P_{Gi}^0 \leq \Pi_{Gi}^+ + \Delta \Pi_{Gi}^+ + \beta_i^{k+}, i \in S_G,$$

[0064] 式中, Π_{Gi}^+ , Π_{Gi}^- 分别为发电机组i原有正、负爬坡能力;

[0065] 机组爬坡能力松弛变量约束:

$$[0066] \quad 0 \leq \beta_i^{k-}, 0 \leq \beta_i^{k+}, i \in S_G,$$

[0067] 以及其他运行约束, 包括预想故障运行方式k下节点电压约束、发电机有功及无功出力约束和线路潮流约束:

$$[0068] \quad \underline{U}_i^k \leq U_i^k \leq \overline{U}_i^k, i \in S_B,$$

$$[0069] \quad \underline{P}_{Gi}^k \leq P_{Gi}^k \leq \overline{P}_{Gi}^k, i \in S_G,$$

$$[0070] \quad \underline{Q}_{Gi}^k \leq Q_{Gi}^k \leq \overline{Q}_{Gi}^k, i \in S_G,$$

$$[0071] \quad \underline{F}_{ij}^k \leq F_{ij}^k \leq \overline{F}_{ij}^k, i, j \in S_B,$$

[0072] 式中, F_{ij} 为母线i到母线j之间线路上的潮流; 各变量的上、下划线分别表示对应变量的上限和下限。

[0073] 进一步地, 求解上述预想故障运行方式k所对应优化问题, 若优化目标J非零, 则生成如下不等式约束, 加入步骤4) 中主问题的不等式约束中:

$$[0074] \quad J + \mu^T (u^0 - \hat{u}^k) + \hat{\tau}^T (\Delta \hat{\Pi}_{Gi}^+ - \Delta \hat{\Pi}_{Gi}^+) + \tilde{\tau}^T (\Delta \hat{\Pi}_{Gi}^- - \Delta \hat{\Pi}_{Gi}^-) \leq 0,$$

[0075] 式中, u^0 , \hat{u}^k 为正常运行方式下控制变量(包括母线电压幅值等)以及步骤4) 中求解主问题得到的相对应控制变量的数值; T表示转置;

[0076] $\Delta \hat{\Pi}_{Gi}^+$, $\Delta \hat{\Pi}_{Gi}^-$ 分别为步骤4) 中求解主问题得到的发电机组i正、负爬坡能力的改造量的数值;

[0077] μ , $\hat{\tau}$, $\tilde{\tau}$ 分别为等式约束的对偶变量, 爬坡能力下限约束和上限约束的不等式约束的对偶变量。

[0078] 通过实施上述步骤, 可准确定位对电网安全稳定起到决定性作用的机组, 建立相应机组的优先级顺序, 定位了电网不同故障情况下的最优支援机组, 并给出了机组爬坡能

力的最优改造方案,以最小代价满足了电网故障后的安全特性。

附图说明

[0079] 图1为本发明的流程框图。

具体实施方式

[0080] 下面结合附图及实施例对本发明做进一步说明。

[0081] 本实施例提供一种电力系统暂态严重故障筛选的方法,如图1所示,包括以下步骤:

[0082] 步骤(1):加载电力系统的稳态潮流数据,发电机、母线、线路等元件的安全约束数据,现有发电机爬坡能力数据,以及电网预想故障集合数据;

[0083] 步骤(2):电网正常方式下的潮流计算,得到初始运行点;

[0084] 步骤(3):基于步骤(1)-(2)所得数据,建立以最小化发电机组爬坡能力为目标的电力系统安全约束最优潮流模型;

[0085] 步骤(4):基于步骤(3)所得模型,采用预想故障分解方法将该模型分解为正常运行方式下主问题与各预想故障运行方式下的子问题;求解正常运行方式下的主问题;

[0086] 步骤(5):基于步骤(4)所得结果,依次求解各预想故障运行方式下的子问题,并生成相应附加不等式约束,加入步骤(4)所述主问题中;

[0087] 步骤(6):计算相邻2轮迭代中步骤(4)所求解主问题的优化结果的增量大小,若其小于给定阈值,则至步骤(7);否则返回步骤(5)继续迭代求解;

[0088] 步骤(7):依据步骤(4)所得最小发电机组爬坡能力改造量,将改造量非零的发电机组据此进行递减排序,按顺序依次记为优先级递减的最优支援机组,作为结果输出。

[0089] 在本实施例中,所述步骤(3)具体为,以最小化发电机组爬坡能力改造量为优化目标,以计及发电机组爬坡能力改造后电网正常运行方式和所有预想故障方式下的潮流方程为等式约束,以电网正常运行方式和所有预想故障运行方式下的发电机爬坡约束、发电机有功出力约束、发电机无功出力约束、节点电压幅值约束、线路热稳定约束等安全约束为不等式约束,建立一组非线性优化模型,具体如下:

[0090] 1) 目标函数

$$[0091] \quad \min \sum_{i \in S_G} (w_i (\Delta \Pi_{Gi}^+ + \Delta \Pi_{Gi}^-) + p P_{Gi}^0)$$

[0092] 式中, $\Delta \Pi_{Gi}^+$, $\Delta \Pi_{Gi}^-$ 分别为发电机组*i*正、负爬坡能力的改造量; P_{Gi}^0 为正常运行方式下平衡发电机组的有功出力; w_i , p 分别为爬坡能力改造量和网损的权重系数; S_G 为发电机组的集合。

[0093] 2) 等式约束

[0094] 等式约束为不同运行方式下的潮流方程

$$[0095] \quad (1 + \lambda^k) P_{Gi}^k - (1 + \lambda^k) P_{Li}^k - U_i^k \sum_{j \in S_B} U_j^k (G_{ij}^k \cos \delta_{ij}^k + B_{ij}^k \sin \delta_{ij}^k) = 0, k \in S_k$$

$$[0096] \quad Q_{Gi}^k - (1 + \lambda^k) Q_{Li}^k - U_i^k \sum_{j \in S_B} U_j^k (G_{ij}^k \sin \delta_{ij}^k - B_{ij}^k \cos \delta_{ij}^k) = 0, k \in S_k$$

[0097] 式中,变量上标代表运行方式,其中0代表正常运行方式,其他代表预想故障运行方式; S_k 为预想故障运行方式的集合; S_B 为母线的集合;

[0098] U_i 为母线*i*的电压幅值, $i \in S_B$; U_j 为母线*j*的电压幅值; P_{Gi} , Q_{Gi} 分别为发电机组*i*的有功和无功出力, $i \in S_G$; P_{Li} , Q_{Li} 分别为母线*i*的有功和无功负荷, $i \in S_G$; δ_{ij} 为母线*i j*之间的相角差; λ^k 为运行方式*k*下的负荷增长因子,用于描述负荷的波动及其随国民经济的增长; G_{ij}^k , B_{ij}^k 分别为节点导纳矩阵中对应元素的实部和虚部。

[0099] 3) 不等式约束

[0100] 不等式约束包括机组爬坡约束

$$[0101] \quad \Pi_{Gi}^- - \Delta \Pi_{Gi}^- \leq P_{Gi}^k - P_{Gi}^0 \leq \Pi_{Gi}^+ + \Delta \Pi_{Gi}^+, i \in S_G, k \in S_k$$

[0102] 式中, Π_{Gi}^+ , Π_{Gi}^- 分别为发电机组*i*原有正、负爬坡能力; P_{Gi}^0 为正常运行方式下发发电机组*i*的有功出力, P_{Gi}^k 为运行方式*k*下发发电机组*i*的有功出力;

[0103] 以及其他运行约束,包括节点电压约束、发电机有功及无功出力约束、线路潮流约束等:

$$[0104] \quad \underline{U}_i^k \leq U_i^k \leq \overline{U}_i^k, i \in S_B, k \in S_k,$$

$$[0105] \quad \underline{P}_{Gi}^k \leq P_{Gi}^k \leq \overline{P}_{Gi}^k, i \in S_G, k \in S_k,$$

$$[0106] \quad \underline{Q}_{Gi}^k \leq Q_{Gi}^k \leq \overline{Q}_{Gi}^k, i \in S_G, k \in S_k,$$

$$[0107] \quad \underline{F}_{ij}^k \leq F_{ij}^k \leq \overline{F}_{ij}^k, i, j \in S_B, k \in S_k,$$

[0108] 式中, F_{ij} 为母线*i*到母线*j*之间线路上的潮流;各变量的上、下划线分别表示对应变量的上限和下限。

[0109] 在本实施例中,所述步骤(4)具体为:将步骤(3)所建立的非线性优化模型分解为1个对应正常运行方式的主问题和对应若干预想故障运行方式的子问题。其中,主问题具体为:

[0110] 1) 目标函数

$$[0111] \quad \min \sum_{i \in S_G} (w_i (\Delta \Pi_{Gi}^+ + \Delta \Pi_{Gi}^-) + p P_{Gi}^0)$$

[0112] 式中,变量含义与上述相同。

[0113] 2) 等式约束

[0114] 等式约束为正常运行方式下的潮流方程

$$[0115] \quad (1 + \lambda^0) P_{Gi}^0 - (1 + \lambda^0) P_{Li}^0 - U_i^0 \sum_{j \in S_B} U_j^0 (G_{ij}^0 \cos \delta_{ij}^0 + B_{ij}^0 \sin \delta_{ij}^0) = 0$$

$$[0116] \quad Q_{Gi}^0 - (1 + \lambda^0) Q_{Li}^0 - U_i^0 \sum_{j \in S_B} U_j^0 (G_{ij}^0 \sin \delta_{ij}^0 - B_{ij}^0 \cos \delta_{ij}^0) = 0$$

[0117] 式中,变量上标0代表正常运行方式, S_B 为母线的集合;

[0118] U_i 为母线i的电压幅值, $i \in S_B$; U_j 为母线j的电压幅值; P_{Gi}, Q_{Gi} 分别为发电机组i的有功和无功出力, $i \in S_G$; P_{Li}, Q_{Li} 分别为母线i的有功和无功负荷, $i \in S_G$; δ_{ij} 为母线i j之间的相角差; λ^0 为正常运行方式下的负荷增长因子, 用于描述负荷的波动及其随国民经济的增长; G_{ij}, B_{ij} 分别为节点导纳矩阵中对应元素的实部和虚部。

[0119] 3) 不等式约束

[0120] 不等式约束包括节点电压约束、发电机有功及无功出力约束、线路潮流约束等:

$$[0121] \quad \underline{U}_i^k \leq U_i^k \leq \overline{U}_i^k, i \in S_B, k \in S_k,$$

$$[0122] \quad \underline{P}_{Gi} \leq P_{Gi}^k \leq \overline{P}_{Gi}, i \in S_G, k \in S_k,$$

$$[0123] \quad \underline{Q}_{Gi} \leq Q_{Gi}^k \leq \overline{Q}_{Gi}, i \in S_G, k \in S_k,$$

$$[0124] \quad \underline{F}_{ij} \leq F_{ij}^k \leq \overline{F}_{ij}, i, j \in S_B, k \in S_k,$$

[0125] 式中, F_{ij} 为母线i到母线j之间线路上的潮流; 各变量的上、下划线分别表示对应变量的上限和下限;

[0126] 以及由步骤(5)所生成的一系列不等式约束。

[0127] 在本实施例中, 所述步骤(5)具体为: 第k个预想故障所对应子问题具体为:

[0128] 1) 目标函数

$$[0129] \quad \min J = \sum_{i \in S_G} (\beta_i^{k+} + \beta_i^{k-})$$

[0130] 式中, $\beta_i^{k+}, \beta_i^{k-}$ 分别为发电机组i正、负爬坡能力松弛变量;

[0131] 2) 等式约束

[0132] 等式约束为预想故障运行方式k下的潮流方程。

$$[0133] \quad (1 + \lambda^k) P_{Gi}^k - (1 + \lambda^k) P_{Li}^k - U_i^k \sum_{j \in S_B} U_j^k (G_{ij}^k \cos \delta_{ij}^k + B_{ij}^k \sin \delta_{ij}^k) = 0$$

$$[0134] \quad Q_{Gi}^k - (1 + \lambda^k) Q_{Li}^k - U_i^k \sum_{j \in S_B} U_j^k (G_{ij}^k \sin \delta_{ij}^k - B_{ij}^k \cos \delta_{ij}^k) = 0$$

[0135] 式中, S_B 为母线的集合; U_i 为母线i的电压幅值, $i \in S_B$; U_j 为母线j的电压幅值; P_{Gi}, Q_{Gi} 分别为发电机组i的有功和无功出力, $i \in S_G$; P_{Li}, Q_{Li} 分别为母线i的有功和无功负荷, $i \in S_G$; δ_{ij} 为母线i j之间的相角差; λ^k 为运行方式k下的负荷增长因子, 用于描述负荷的波动及其随国民经济的增长; G_{ij}^k, B_{ij}^k 分别为节点导纳矩阵中对应元素的实部和虚部。

[0136] 3) 不等式约束

[0137] 不等式约束包括松弛后的机组爬坡约束

$$[0138] \quad \Pi_{Gi}^- - \Delta \Pi_{Gi}^- - \beta_i^{k-} \leq P_{Gi}^k - P_{Gi}^0 \leq \Pi_{Gi}^+ + \Delta \Pi_{Gi}^+ + \beta_i^{k+}, i \in S_G$$

[0139] 式中, Π_{Gi}^+, Π_{Gi}^- 分别为发电机组i原有正、负爬坡能力;

[0140] 机组爬坡能力松弛变量约束:

$$[0141] \quad 0 \leq \beta_i^{k-}, 0 \leq \beta_i^{k+}, i \in S_G$$

[0142] 以及其他运行约束, 包括预想故障运行方式k下节点电压约束、发电机有功及无功

出力约束、线路潮流约束等：

$$[0143] \quad \underline{U}_i^k \leq U_i^k \leq \overline{U}_i^k, i \in S_B,$$

$$[0144] \quad \underline{P}_{Gi} \leq P_{Gi}^k \leq \overline{P}_{Gi}, i \in S_G,$$

$$[0145] \quad \underline{Q}_{Gi} \leq Q_{Gi}^k \leq \overline{Q}_{Gi}, i \in S_G,$$

$$[0146] \quad \underline{F}_{ij} \leq F_{ij}^k \leq \overline{F}_{ij}, i, j \in S_B,$$

[0147] 式中, F_{ij} 为母线 i 到母线 j 之间线路上的潮流; 各变量的上、下划线分别表示对应变量的上限和下限。

[0148] 求解上述预想故障运行方式 k 所对应优化问题, 若优化目标 J 非零, 则生成如下不等式约束, 加入步骤 (4) 中主问题的不等式约束集合中:

$$[0149] \quad J + \mu^T (u^0 - \hat{u}^k) + \bar{\tau}^T (\Delta \Pi_{Gi}^+ - \Delta \hat{\Pi}_{Gi}^+) + \tilde{\tau}^T (\Delta \Pi_{Gi}^- - \Delta \hat{\Pi}_{Gi}^-) \leq 0$$

[0150] 式中, u^0, \hat{u}^k 为正常运行方式下控制变量以及步骤 (4) 中求解主问题得到的相对应控制变量的数值; T 表示转置;

[0151] $\Delta \hat{\Pi}_{Gi}^+, \Delta \hat{\Pi}_{Gi}^-$ 分别为步骤 (4) 中求解主问题得到的发电机组 i 正、负爬坡能力的改造量的数值;

[0152] $\mu, \bar{\tau}, \tilde{\tau}$ 分别为等式约束的对偶变量, 爬坡能力下限约束和上限约束的不等式约束的对偶变量。

[0153] 通过实施上述步骤, 给出了机组爬坡能力的最优改造方案, 并据此以最小代价满足了电网故障后的安全特性。作为结果, 上述具体实施步骤给出了电网不同故障下的最优支援机组。

[0154] 以上所述仅为本发明的较佳实施例, 凡依本发明权利要求书保护范围所做的均等变化与修饰, 皆应属本发明的涵盖范围。

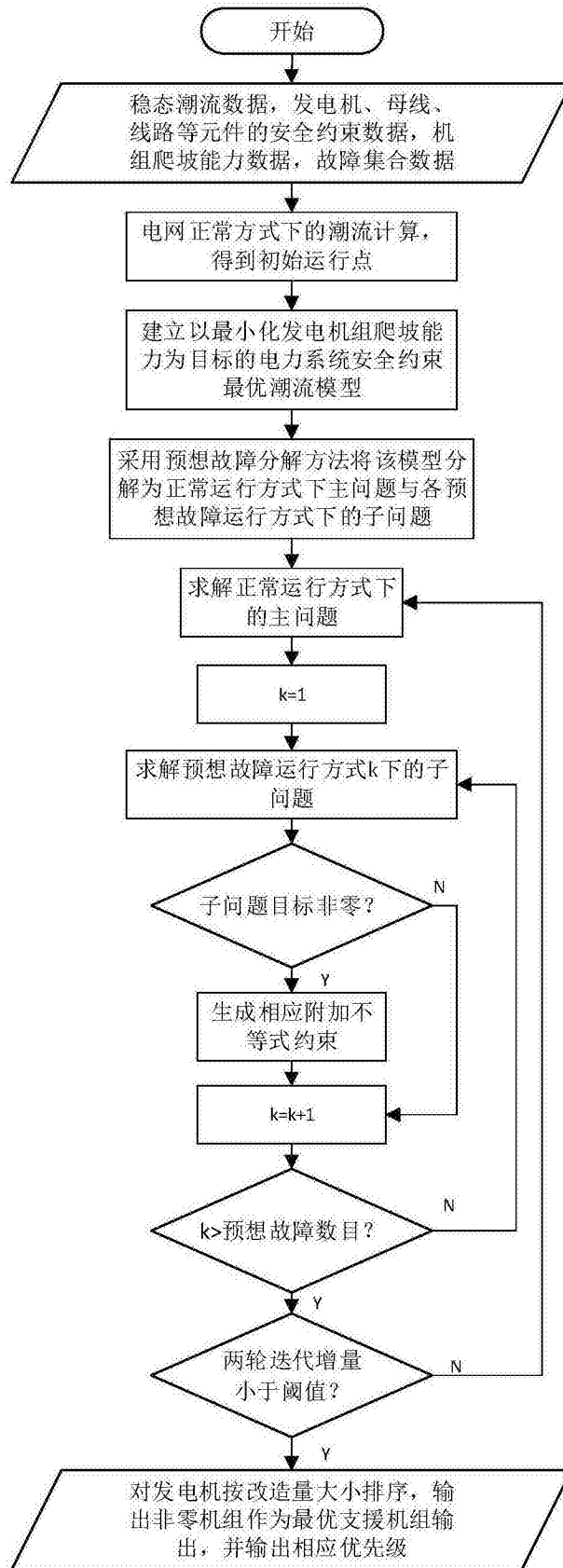


图1