



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112926762 A

(43) 申请公布日 2021.06.08

(21) 申请号 202110056127.5

H02J 3/00 (2006.01)

(22) 申请日 2021.01.15

(71) 申请人 云南电网有限责任公司

地址 650000 云南省昆明市拓东路73号

(72) 发明人 蒋燕 段睿钦 朱欣春 李秀峰

刘双全 邵其专 吴洋 周彬彬

赵珍玉 苏向阳

(74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司

公司 44202

代理人 郭浩辉 颜希文

(51) Int. Cl.

G06Q 10/04 (2012.01)

G06Q 10/06 (2012.01)

G06Q 30/02 (2012.01)

G06Q 50/06 (2012.01)

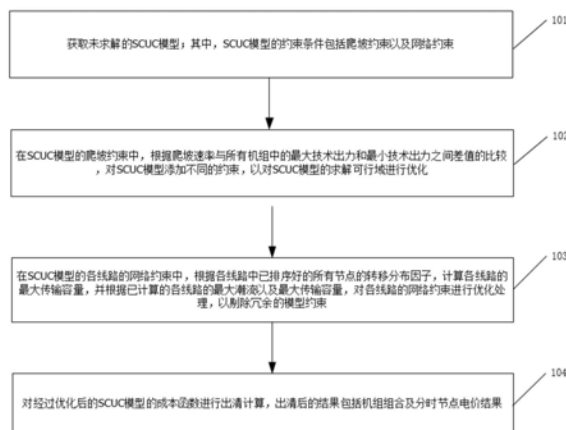
权利要求书5页 说明书12页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于安全约束机组组合模型的出清方法及装置

(57) 摘要

本发明公开了一种基于安全约束机组组合模型的出清方法及装置,通过获取未求解的SCUC模型,并在SCUC模型的爬坡约束中,根据爬坡速率与所有机组中的最大技术出力和最小技术出力之间差值的比较,对SCUC模型添加不同的约束;在SCUC模型的网络约束中,根据各线路的阻塞情况剔除冗余的模型约束;最后,对经过优化后的SCUC模型的成本函数进行出清计算,出清后的结果包括机组组合及分时节点电价结果。通过采用本发明理论,能使出清引擎加快求解SCUC模型,从而提高电力交易中心的出清引擎的计算效率,减少电价结算的时延,节约成本。



1. 一种基于安全约束机组组合模型的出清方法,其特征在于,包括:

获取未求解的SCUC模型;其中,所述SCUC模型的约束条件包括爬坡约束以及网络约束;

在所述SCUC模型的爬坡约束中,根据爬坡速率与所有机组中的最大技术出力和最小技术出力之间差值的比较,对所述SCUC模型添加不同的约束,以对所述SCUC模型的求解可行域进行优化;

在所述SCUC模型的网络约束中,根据各所述线路中已排序好的所有节点的转移分布因子,计算各所述线路的最大传输容量,并根据已计算的各所述线路的最大潮流以及所述最大传输容量,对各所述线路的网络约束进行优化处理,以剔除冗余的模型约束;

对经过优化后的所述SCUC模型的成本函数进行出清计算,出清后的结果包括机组组合及分时节点电价结果。

2. 根据权利要求1所述的基于安全约束机组组合模型的出清方法,其特征在于,所述在所述SCUC模型的爬坡约束中,根据爬坡速率与所有机组中的最大技术出力和最小技术出力之间差值的比较,对所述SCUC模型添加不同的约束,以对所述SCUC模型的求解可行域进行优化,具体为:

计算所述最大技术出力减去所述最小技术出力的差值,以算出第一计算值;

若所述第一计算值少于所述爬坡速率的二分之一,则对所述SCUC模型中添加如下2个第一约束:

$$\sum_{\tau=T_i^{MU}+1}^t u_{i,\tau} \leq I_{i,t}, T_i^{MU} \leq t \leq T$$

$$\sum_{\tau=T_i^{MD}+1}^t u_{i,\tau} \leq 1 - I_{i,t-T_i^{MD}}, T_i^{MD} + 1 \leq t \leq T$$

若所述第一计算值少于所述爬坡速率的二分之三,且所述第一计算值大于或等于所述爬坡速率的二分之一,则对所述SCUC模型中添加如下5个第二约束:

$$P_{i,t-1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) (u_{i,t-1} - (I_{i,t} - u_{i,t}))$$

$$P_{i,t} - P_{i,t-1} \geq - \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} + \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} + \frac{\Delta P_i^U}{2} (u_{i,t} + u_{i,t-1})$$

$$P_{i,t+1} - P_{i,t} \leq -P_i^{\min} I_{i,t} + \left(P_i^{\min} + \Delta P_i^U \right) I_{i,t+1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t} - P_{i,t-1} \leq -P_i^{\min} I_{i,t-1} + \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} - \frac{\Delta P_i^U}{2} (u_{i,t} - (I_{i,t+1} - u_{i,t+1})), 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t-1} - P_{i,t} + P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t-1} - \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t}$$

$$+ P_i^{\max} I_{i,t+1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) (u_{i,t} + u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

若所述第一计算值少于所述爬坡速率的二分之五,且所述第一计算值大于或等于所述爬坡速率的二分之三,则对所述SCUC模型中添加如下6个第三约束:

$$P_{i,t+1} \leq -\left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t} + P_i^{\max}I_{i,t+1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t-1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \Delta P_i^U(u_{i,t-1} - I_{i,t}) - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)u_{i,t} \\ + \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)(I_{i,t+1} - u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t} \leq -\left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t-1} + (P_i^{\max} - \Delta P_i^U)I_{i,t} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)u_{i,t} + \Delta P_i^U(I_{i,t+1} - u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t-1} - P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t-1} + \frac{3}{2}\Delta P_i^U(I_{i,t} - u_{i,t}) - P_i^{\min}I_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t-1} - P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \Delta P_i^U(u_{i,t-1} - I_{i,t}) - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t} - \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t+1} - \frac{\Delta P_i^U}{2}u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t+1} - P_{i,t-1} \leq -P_i^{\min}I_{i,t-1} - \frac{\Delta P_i^U}{2}u_{i,t} + (P_i^{\min} + 2\Delta P_i^U)I_{i,t+1} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

若所述第一计算值大于或等于所述爬坡速率的二分之五,则对所述SCUC模型中添加如下1个第四约束:

$$P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{5}{2}\Delta P_i^U\right)(I_{i,t} - u_{i,t-1}) - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t} \\ + \left(P_i^{\min} + \frac{5}{2}\Delta P_i^U\right)I_{i,t+1} - 2\Delta P_i^U u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

其中, $P_{i,t}^{\max}$ 、 $P_{i,t}^{\min}$ 为机组i在t时段的最大和最小出力; ΔP_i^U 、 ΔP_i^D 为机组i最大上爬坡和下爬坡速率; $I_{i,t}$ 为二进制变量, $I_{i,t}=0$, $I_{i,t}=1$ 分别表示机组i在t时段为停机与开机状态; T_i^{MU} 、 T_i^{MD} 分别表示机组i的最小连续开机时间和停机时间; $u_{i,t}$ 和 $\gamma_{i,t}$ 均为二进制变量,分别代表机组i在t时段启动与停机的动作变量; P_1^{\max} 表示线路1的最大传输容量; T表示优化的总时段数。

3. 根据权利要求1所述的基于安全约束机组组合模型的出清方法,其特征在于,所述根据各所述线路中已排序好的所有节点的转移分布因子,计算各所述线路的最大传输容量,并根据已计算的各所述线路的最大潮流以及所述最大传输容量,对各所述线路的网络约束进行优化处理,以剔除冗余的模型约束,具体为:

计算所述线路所有节点的转移分布因子,并将所述转移分布因子按从大到小次序排列;

按所述线路的所有机组对所述线路的潮流影响正值的降序或升序,持续累加计算所有机组的最大技术出力的总和;

持续将所述最大技术出力的总和与已知的系统总负荷进行比较,选择当第一次出现所述最大技术出力的总和大于所述系统总负荷的时候,所对应的机组序号;

根据所述机组序号,计算所述线路的最大传输容量;

若所述线路的最大传输容量大于或等于已计算的线路最大潮流,则剔除所述网络约束,否则,保留所述网络约束;

对其他各所述线路重复上述步骤,直至所有所述线路的网络约束均处理完毕。

4. 根据权利要求1所述的基于安全约束机组组合模型的出清方法,其特征在于,所述SCUC模型的约束,包括:

系统平衡约束、系统正备用容量约束、系统负备用容量约束、机组出力上下限约束、机组上坡约束、下坡约束、机组最小启停时间相关约束、机组日调度中电量约束、机组出力约束、机组运行费用约束、启停费用约束及线路潮流约束。

5. 根据权利要求1所述的基于安全约束机组组合模型的出清方法,其特征在于,所述SCUC模型的成本函数为:

以使购电成本最小为优化目标的成本函数。

6. 一种基于安全约束机组组合模型的出清装置,其特征在于,包括:模型获取模块、爬坡约束优化模块、网络约束优化模块和出清模块;

其中,所述模型获取模块用于获取未求解的SCUC模型;其中,所述SCUC模型的约束条件包括爬坡约束以及网络约束;

所述爬坡约束优化模块用于在所述SCUC模型的爬坡约束中,根据爬坡速率与所有机组中的最大技术出力和最小技术出力之间差值的比较,对所述SCUC模型添加不同的约束,以对所述SCUC模型的求解可行域进行优化;

所述网络约束优化模块用于在所述SCUC模型的网络约束中,根据各所述线路中已排序好的所有节点的转移分布因子,计算各所述线路的最大传输容量,并根据已计算的各所述线路的最大潮流以及所述最大传输容量,对各所述线路的网络约束进行优化处理,以剔除冗余的模型约束;

所述出清模块用于对经过优化后的所述SCUC模型的成本函数进行出清计算,出清后的结果包括机组组合及分时节点电价结果。

7. 根据权利要求6所述的基于安全约束机组组合模型的出清装置,其特征在于,所述爬坡约束优化模块还包括爬坡约束计算模块;

所述爬坡约束计算模块用于计算所述最大技术出力减去所述最小技术出力的差值,以算出第一计算值;

若所述第一计算值少于所述爬坡速率的二分之一,则对所述SCUC模型中添加如下2个第一约束:

$$\sum_{\tau=t-T_i^{MU}+1}^t u_{i,\tau} \leq I_{i,t}, T_i^{MU} \leq t \leq T$$

$$\sum_{\tau=t-T_i^{MD}+1}^t u_{i,\tau} \leq 1 - I_{i,t-T_i^{MD}}, T_i^{MD} + 1 \leq t \leq T$$

若所述第一计算值少于所述爬坡速率的二分之三,且所述第一计算值大于或等于所述爬坡速率的二分之一,则对所述SCUC模型中添加如下5个第二约束:

$$P_{i,t-1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) (u_{i,t-1} - (I_{i,t} - u_{i,t}))$$

$$P_{i,t} - P_{i,t-1} \geq - \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} + \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} + \frac{\Delta P_i^U}{2} (u_{i,t} + u_{i,t-1})$$

$$P_{i,t+1} - P_{i,t} \leq -P_i^{\min} I_{i,t} + (P_i^{\min} + \Delta P_i^U) I_{i,t+1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t} - P_{i,t-1} \leq -P_i^{\min} I_{i,t-1} + \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} - \frac{\Delta P_i^U}{2} (u_{i,t} - (I_{i,t+1} - u_{i,t+1})), 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t-1} - P_{i,t} + P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t-1} - \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} \\ + P_i^{\max} I_{i,t+1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) (u_{i,t} + u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

若所述第一计算值少于所述爬坡速率的二分之五,且所述第一计算值大于或等于所述爬坡速率的二分之三,则对所述SCUC模型中添加如下6个第三约束:

$$P_{i,t+1} \leq - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2} \Delta P_i^U \right) u_{i,t} + P_i^{\max} I_{i,t+1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t-1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \Delta P_i^U (u_{i,t-1} - I_{i,t}) - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) u_{i,t} \\ + \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2} \Delta P_i^U \right) (I_{i,t+1} - u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t} \leq - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2} \Delta P_i^U \right) u_{i,t-1} + (P_i^{\max} - \Delta P_i^U) I_{i,t} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) u_{i,t} + \Delta P_i^U (I_{i,t+1} - u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t-1} - P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \frac{3}{2} \Delta P_i^U u_{i,t-1} + \frac{3}{2} \Delta P_i^U (I_{i,t} - u_{i,t}) - P_i^{\min} I_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t-1} - P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \Delta P_i^U (u_{i,t-1} - I_{i,t}) - \frac{3}{2} \Delta P_i^U u_{i,t} - \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t+1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$P_{i,t+1} - P_{i,t-1} \leq -P_i^{\min} I_{i,t-1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t} + (P_i^{\min} + 2\Delta P_i^U) I_{i,t+1} - \frac{3}{2} \Delta P_i^U u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

若所述第一计算值大于或等于所述爬坡速率的二分之五,则对所述SCUC模型中添加如下1个第四约束:

$$P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{5}{2} \Delta P_i^U \right) (I_{i,t} - u_{i,t-1}) - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2} \Delta P_i^U \right) u_{i,t} \\ + \left(P_i^{\min} + \frac{5}{2} \Delta P_i^U \right) I_{i,t+1} - 2\Delta P_i^U u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

其中, $P_{i,t}^{\max}$ 、 $P_{i,t}^{\min}$ 为机组i在t时段的最大和最小出力; ΔP_i^U 、 ΔP_i^D 为机组i最大上爬坡和下爬坡速率; $I_{i,t}$ 为二进制变量, $I_{i,t}=0$, $I_{i,t}=1$ 分别表示机组i在t时段为停机与开机状态; T_i^{MU} 、 T_i^{MD} 分别表示机组i的最小连续开机时间和停机时间; $u_{i,t}$ 和 $\gamma_{i,t}$ 均为二进制变量,分别代表机组i在t时段启动与停机的动作变量; P_1^{\max} 表示线路1的最大传输容量; T表示优化的总时段数。

8. 根据权利要求6所述的基于安全约束机组组合模型的出清装置,其特征在于,所述网络约束优化模块还包括网络约束计算模块;

所述网络约束计算模块用于计算所述线路所有节点的转移分布因子,并将所述转移分

布因子按从大到小次序排列；

按所述线路的所有机组对所述线路的潮流影响正值的降序或升序,持续累加计算所有机组的最大技术出力的总和；

持续将所述最大技术出力的总和与已知的系统总负荷进行比较,选择当第一次出现所述最大技术出力的总和大于所述系统总负荷的时候,所对应的机组序号；

根据所述机组序号,计算所述线路的最大传输容量；

若所述线路的最大传输容量大于或等于已计算的线路最大潮流,则剔除所述网络约束,否则,保留所述网络约束；

对其他各所述线路重复上述步骤,直至所有所述线路的网络约束均处理完毕。

9. 根据权利要求6所述的基于安全约束机组组合模型的出清装置,其特征在于,所述 SCUC模型的约束,包括：

系统平衡约束、系统正备用容量约束、系统负备用容量约束、机组出力上下限约束、机组爬坡约束、下爬坡约束、机组最小启停时间相关约束、机组日调度中电量约束、机组出力约束、机组运行费用约束、启停费用约束及线路潮流约束。

10. 根据权利要求6所述的基于安全约束机组组合模型的出清装置,其特征在于,所述 SCUC模型的成本函数为：

以使购电成本最小为优化目标的成本函数。

一种基于安全约束机组组合模型的出清方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及电力市场出清技术领域,尤其涉及一种基于安全约束机组组合模型的出清方法及装置。

背景技术

[0002] 随着中国电力市场改革步伐的加快,全国各地的电力现货交易市场的规模不断扩大,交易中心的输配电价、配售电等业务亦不断完善。在电力交易市场中,现货交易一般通过竞价方式确定电能交易的数量和价格。现货交易包括日前交易、日内交易和实时交易等。在电力现货市场的环境下,交易中心的出清引擎的优化计算目标是社会福利最大化,这其中包括考虑电网的安全和发电机组状态。因此,交易中心的出清引擎求解安全约束机组组合(Security Constrained Unit Commitment, SCUC)模型,是现货市场环境下编制发电计划的核心环节。

[0003] 然而,对于交易中心而言,下午一点,出清引擎开始进行出清计算,五点前须发布交易结果,但由于电力系统过于庞大,模型复杂度过高,出清引擎在实际计算中难以保障五点前发布交易结果。此外,在安全约束机组组合模型的约束中,由于电网传输特性限制,在一些不会达到爬坡上下限的情况中,爬坡约束的设置导致求解存在冗余的计算量;同时,很多线路潮流上下限约束自始至终也没有生效,单纯依赖商业求解器的预处理难以有效剔除这些约束,导致模型求解速度降低。而对于以上问题,现有技术通过等式约束优化、平衡约束优化和重新定义约束优化等方法,对安全约束机组组合模型的约束进行优化,以减少冗余约束。但以上优化方法都是基于数学角度出发,忽略模型所表达的具体含义,对模型处理的情况仅具有较强的普适性。但对于实际的安全约束的机组组合问题中,模型中的约束存在固有的物理意义,模型的系数之间存在耦合关系。此外,由于SCUC问题的特殊性,基本不会出现等式约束的冗余现象,等式约束的规模缩减对SCUC问题并无有效改善。

[0004] 因此,随着社会的不断发展,电力系统将会更加复杂,社会也会对电网提出更高强度的需求,这要求电力交易市场的出清引擎必须实现快速求解安全约束机组组合模型。

发明内容

[0005] 本发明实施例提出一种基于安全约束机组组合模型的出清方法及装置,能提高电力市场交易中心出清引擎的计算速度,减少时延带来的损失。

[0006] 本发明实施例提供一种基于安全约束机组组合模型的出清方法,包括:

[0007] 获取未求解的SCUC模型;其中,所述SCUC模型的约束条件包括爬坡约束以及网络约束;

[0008] 在所述SCUC模型的爬坡约束中,根据爬坡速率与所有机组中的最大技术出力和最小技术出力之间差值的比较,对所述SCUC模型添加不同的约束,以对所述SCUC模型的求解可行域进行优化;

[0009] 在所述SCUC模型各线路的网络约束中,根据各所述线路中已排序好的所有节点

的转移分布因子,计算各所述线路的最大传输容量,并根据已计算的各所述线路的最大潮流以及所述最大传输容量,对各所述线路的网络约束进行优化处理,以剔除冗余的模型约束;

[0010] 对经过优化后的所述SCUC模型的成本函数进行出清计算,出清后的结果包括机组组合及分时节点电价结果。

[0011] 进一步的,所述在所述SCUC模型的爬坡约束中,根据爬坡速率与所有机组中的最大技术出力和最小技术出力之间差值的比较,对所述SCUC模型添加不同的约束,以对所述SCUC模型的求解可行域进行优化,具体为:

[0012] 计算所述最大技术出力减去所述最小技术出力的差值,以算出第一计算值;

[0013] 若所述第一计算值少于所述爬坡速率的二分之一,则对所述SCUC模型中添加如下2个第一约束:

$$[0014] \quad \sum_{\tau=T_i^{MU}+1}^t u_{i,\tau} \leq I_{i,t}, T_i^{MU} \leq t \leq T$$

$$[0015] \quad \sum_{\tau=T_i^{MD}+1}^t u_{i,\tau} \leq 1 - I_{i,t-T_i^{MD}}, T_i^{MD} + 1 \leq t \leq T$$

[0016] 若所述第一计算值少于所述爬坡速率的二分之三,且所述第一计算值大于或等于所述爬坡速率的二分之一,则对所述SCUC模型中添加如下5个第二约束:

$$[0017] \quad P_{i,t-1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) (u_{i,t-1} - (I_{i,t} - u_{i,t}))$$

$$[0018] \quad P_{i,t} - P_{i,t-1} \geq - \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} + \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} + \frac{\Delta P_i^U}{2} (u_{i,t} + u_{i,t-1})$$

$$[0019] \quad P_{i,t+1} - P_{i,t} \leq -P_i^{\min} I_{i,t} + (P_i^{\min} + \Delta P_i^U) I_{i,t+1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0020] \quad P_{i,t} - P_{i,t-1} \leq -P_i^{\min} I_{i,t-1} + \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} - \frac{\Delta P_i^U}{2} (u_{i,t} - (I_{i,t+1} - u_{i,t+1})), 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0021] \quad P_{i,t-1} - P_{i,t} + P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t-1} - \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} + P_i^{\max} I_{i,t+1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) (u_{i,t} + u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

[0022] 若所述第一计算值少于所述爬坡速率的二分之五,且所述第一计算值大于或等于所述爬坡速率的二分之三,则对所述SCUC模型中添加如下6个第三约束:

$$[0023] \quad P_{i,t+1} \leq - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2} \Delta P_i^U \right) u_{i,t} + P_i^{\max} I_{i,t+1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0024] \quad P_{i,t-1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \Delta P_i^U (u_{i,t-1} - I_{i,t}) - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) u_{i,t} + \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2} \Delta P_i^U \right) (I_{i,t+1} - u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0025] \quad P_{i,t} \leq -\left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t-1} + \left(P_i^{\max} - \Delta P_i^U\right)I_{i,t} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)u_{i,t} + \Delta P_i^U(I_{i,t+1} - u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0026] \quad P_{i,t-1} - P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t-1} + \frac{3}{2}\Delta P_i^U(I_{i,t} - u_{i,t}) - P_i^{\min} I_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0027] \quad P_{i,t-1} - P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \Delta P_i^U(u_{i,t-1} - I_{i,t}) - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t} - \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t+1} - \frac{\Delta P_i^U}{2}u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0028] \quad P_{i,t+1} - P_{i,t-1} \leq -P_i^{\min} I_{i,t-1} - \frac{\Delta P_i^U}{2}u_{i,t} + \left(P_i^{\min} + 2\Delta P_i^U\right)I_{i,t+1} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

[0029] 若所述第一计算值大于或等于所述爬坡速率的二分之五,则对所述SCUC模型中添加如下1个第四约束:

$$[0030] \quad P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{5}{2}\Delta P_i^U\right)(I_{i,t} - u_{i,t-1}) - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t} \\ + \left(P_i^{\min} + \frac{5}{2}\Delta P_i^U\right)I_{i,t+1} - 2\Delta P_i^U u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

[0031] 其中, $P_{i,t}^{\max}$ 、 $P_{i,t}^{\min}$ 为机组i在t时段的最大和最小出力; ΔP_i^U 、 ΔP_i^D 为机组i最大上爬坡和下爬坡速率; $I_{i,t}$ 为二进制变量, $I_{i,t} = 0$, $I_{i,t} = 1$ 分别表示机组i在t时段为停机与开机状态; T_i^{MU} 、 T_i^{MD} 分别表示机组i的最小连续开机时间和停机时间; $u_{i,t}$ 和 $\gamma_{i,t}$ 均为二进制变量,分别代表机组i在t时段启动与停机的动作变量; P_1^{\max} 表示线路1的最大传输容量; T表示优化的总时段数。

[0032] 进一步的,所述根据各所述线路中已排序好的所有节点的转移分布因子,计算各所述线路的最大传输容量,并根据已计算的各所述线路的最大潮流以及所述最大传输容量,对各所述线路的网络约束进行优化处理,以剔除冗余的模型约束,具体为:

[0033] 计算所述线路所有节点的转移分布因子,并将所述转移分布因子按从大到小次序排列;

[0034] 按所述线路的所有机组对所述线路的潮流影响正值的降序或升序,持续累加计算所有机组的最大技术出力的总和;

[0035] 持续将所述最大技术出力的总和与已知的系统总负荷进行比较,选择当第一次出现所述最大技术出力的总和大于所述系统总负荷的时候,所对应的机组序号;

[0036] 根据所述机组序号,计算所述线路的最大传输容量;

[0037] 若所述线路的最大传输容量大于或等于已计算的线路最大潮流,则剔除所述网络约束,否则,保留所述网络约束;

[0038] 对其他各所述线路重复上述步骤,直至所有所述线路的网络约束均处理完毕。

[0039] 进一步的,所述SCUC模型的约束,包括:

[0040] 系统平衡约束、系统正备用容量约束、系统负备用容量约束、机组出力上下限约束、机组上爬坡约束、下爬坡约束、机组最小启停时间相关约束、机组日调度中电量约束、机组出力约束、机组运行费用约束、启停费用约束及线路潮流约束。

[0041] 进一步的,所述SCUC模型的成本函数为:

[0042] 以使购电成本最小为优化目标的成本函数。

[0043] 相应的,本发明实施例提供一种基于安全约束机组组合模型的出清装置,其特征

在于,包括:模型获取模块、爬坡约束优化模块、网络约束优化模块和出清模块;

[0044] 其中,所述模型获取模块用于获取未求解的SCUC模型;其中,所述SCUC模型的约束条件包括爬坡约束以及网络约束;

[0045] 所述爬坡约束优化模块用于在所述SCUC模型的爬坡约束中,根据爬坡速率与所有机组中的最大技术出力和最小技术出力之间差值的比较,对所述SCUC模型添加不同的约束,以对所述SCUC模型的求解可行域进行优化;

[0046] 所述网络约束优化模块用于在在所述SCUC模型各线路的网络约束中,根据各所述线路中已排序好的所有节点的转移分布因子,计算各所述线路的最大传输容量,并根据已计算的各所述线路的最大潮流以及所述最大传输容量,对各所述线路的网络约束进行优化处理,以剔除冗余的模型约束;

[0047] 所述出清模块用于对经过优化后的所述SCUC模型的成本函数进行出清计算,出清后的结果包括机组组合及分时节点电价结果。

[0048] 进一步的,所述爬坡约束优化模块还包括爬坡约束计算模块;

[0049] 所述爬坡约束计算模块用于计算所述最大技术出力减去所述最小技术出力的差值,以算出第一计算值;

[0050] 若所述第一计算值少于所述爬坡速率的二分之一,则对所述SCUC模型中添加如下2个第一约束:

$$[0051] \quad \sum_{\tau=T_i^{MU}+1}^t u_{i,\tau} \leq I_{i,t}, T_i^{MU} \leq t \leq T$$

$$[0052] \quad \sum_{\tau=T_i^{MD}+1}^t u_{i,\tau} \leq 1 - I_{i,t-T_i^{MD}}, T_i^{MD} + 1 \leq t \leq T$$

[0053] 若所述第一计算值少于所述爬坡速率的二分之三,且所述第一计算值大于或等于所述爬坡速率的二分之一,则对所述SCUC模型中添加如下5个第二约束:

$$[0054] \quad P_{i,t-1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) (u_{i,t-1} - (I_{i,t} - u_{i,t}))$$

$$[0055] \quad P_{i,t} - P_{i,t-1} \geq - \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} + \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} + \frac{\Delta P_i^U}{2} (u_{i,t} + u_{i,t-1})$$

$$[0056] \quad P_{i,t+1} - P_{i,t} \leq -P_i^{\min} I_{i,t} + (P_i^{\min} + \Delta P_i^U) I_{i,t+1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0057] \quad P_{i,t} - P_{i,t-1} \leq -P_i^{\min} I_{i,t-1} + \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} - \frac{\Delta P_i^U}{2} (u_{i,t} - (I_{i,t+1} - u_{i,t+1})), 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0058] \quad P_{i,t-1} - P_{i,t} + P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t-1} - \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} + P_i^{\max} I_{i,t+1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) (u_{i,t} + u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

[0059] 若所述第一计算值少于所述爬坡速率的二分之五,且所述第一计算值大于或等于所述爬坡速率的二分之三,则对所述SCUC模型中添加如下6个第三约束:

$$[0060] \quad P_{i,t+1} \leq -\left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t} + P_i^{\max} I_{i,t+1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0061] \quad P_{i,t-1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \Delta P_i^U (u_{i,t-1} - I_{i,t}) - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)u_{i,t} \\ + \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)(I_{i,t+1} - u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0062] \quad P_{i,t} \leq -\left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t-1} + (P_i^{\max} - \Delta P_i^U)I_{i,t} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)u_{i,t} + \Delta P_i^U (I_{i,t+1} - u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0063] \quad P_{i,t-1} - P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t-1} + \frac{3}{2}\Delta P_i^U (I_{i,t} - u_{i,t}) - P_i^{\min} I_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0064] \quad P_{i,t-1} - P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \Delta P_i^U (u_{i,t-1} - I_{i,t}) - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t} - \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t+1} - \frac{\Delta P_i^U}{2}u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0065] \quad P_{i,t+1} - P_{i,t-1} \leq -P_i^{\min} I_{i,t-1} - \frac{\Delta P_i^U}{2}u_{i,t} + (P_i^{\min} + 2\Delta P_i^U)I_{i,t+1} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

[0066] 若所述第一计算值大于或等于所述爬坡速率的二分之五,则对所述SCUC模型中添加如下1个第四约束:

$$[0067] \quad P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{5}{2}\Delta P_i^U\right)(I_{i,t} - u_{i,t-1}) - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t} \\ + \left(P_i^{\min} + \frac{5}{2}\Delta P_i^U\right)I_{i,t+1} - 2\Delta P_i^U u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

[0068] 其中, $P_{i,t}^{\max}$ 、 $P_{i,t}^{\min}$ 为机组 i 在 t 时段的最大和最小出力; ΔP_i^U 、 ΔP_i^D 为机组 i 最大上坡和下爬坡速率; $I_{i,t}$ 为二进制变量, $I_{i,t} = 0$, $I_{i,t} = 1$ 分别表示机组 i 在 t 时段为停机与开机状态; T_i^{MU} 、 T_i^{MD} 分别表示机组 i 的最小连续开机时间和停机时间; $u_{i,t}$ 和 $\gamma_{i,t}$ 均为二进制变量, 分别代表机组 i 在 t 时段启动与停机的动作变量; P_1^{\max} 表示线路 1 的最大传输容量; T 表示优化的总时段数。

[0069] 进一步的,所述网络约束优化模块还包括网络约束计算模块;

[0070] 所述网络约束计算模块用于计算所述线路所有节点的转移分布因子,并将所述转移分布因子按从大到小次序排列;

[0071] 按所述线路的所有机组对所述线路的潮流影响正值的降序或升序,持续累加计算所有机组的最大技术出力的总和;

[0072] 持续将所述最大技术出力的总和与已知的系统总负荷进行比较,选择当第一次出现所述最大技术出力的总和大于所述系统总负荷的时候,所对应的机组序号;

[0073] 根据所述机组序号,计算所述线路的最大传输容量;

[0074] 若所述线路的最大传输容量大于或等于已计算的线路最大潮流,则剔除所述网络约束,否则,保留所述网络约束;

[0075] 对其他各所述线路重复上述步骤,直至所有所述线路的网络约束均处理完毕。

[0076] 进一步的,所述SCUC模型的约束,包括:

[0077] 系统平衡约束、系统正备用容量约束、系统负备用容量约束、机组出力上下限约束、机组上坡约束、下坡约束、机组最小启停时间相关约束、机组日调度中电量约束、机

组出力约束、机组运行费用约束、启停费用约束及线路潮流约束。

[0078] 进一步的,所述SCUC模型的成本函数为:

[0079] 以使购电成本最小为优化目标的成本函数。

[0080] 实施本发明实施例,具有如下有益效果:

[0081] 本发明实施例提供的一种基于安全约束机组组合模型的出清方法及装置,通过获取SCUC模型,并在SCUC模型的爬坡约束中,根据爬坡速率与所有机组中的最大技术出力和最小技术出力之间差值的比较,对SCUC模型添加不同的约束,以对SCUC模型的求解可行域进行优化;在SCUC模型的网络约束中,根据各线路中已排序好的所有节点的转移分布因子,计算各线路的最大传输容量,并根据已计算的各线路的最大潮流以及最大传输容量,对各线路的网络约束进行优化处理,以剔除冗余的模型约束;对经过优化后的SCUC模型的成本函数进行出清计算,出清后的结果包括机组组合及分时节点电价结果。通过采用本发明实施例,能使出清引擎加快求解SCUC模型,从而提高电力交易中心的出清引擎的计算速度,减少电价结算的时延,节约成本。

[0082] 进一步的,按线路的所有机组对线路的潮流影响正值的降序或升序,持续累加计算所有机组的最大技术出力的总和;持续将最大技术出力的总和与已知的系统总负荷进行比较,选择当第一次出现最大技术出力的总和大于系统总负荷的时候,所对应的机组序号;根据机组序号,计算线路的最大传输容量;若线路的最大传输容量大于或等于已计算的线路最大潮流,则剔除网络约束,否则,保留网络约束;对其他各线路重复上述步骤,直至所有线路的网络约束均处理完毕。通过采用本实施例方案,合理的针对现实情况对线路的网络约束进行处理,进一步优化SCUC模型约束,提高出清速度。

附图说明

[0083] 图1是本发明提供的基于安全约束机组组合模型的出清方法的一种实施例的流程示意图;

[0084] 图2是本发明提供的基于安全约束机组组合模型的出清装置的一种实施例的装置示意图。

具体实施方式

[0085] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0086] 请参见图1,图1是本发明提供的基于安全约束机组组合模型的出清方法的一种实施例的流程示意图;如图1所示,基于安全约束机组组合模型的出清方法的具体步骤包括步骤101至步骤104:

[0087] 步骤101:获取未求解的SCUC模型;其中,SCUC模型的约束条件包括爬坡约束以及网络约束;

[0088] 在本实施例中,SCUC模型为一个数学模型,模型中有许多约束条件,其中就包括爬坡约束以及网络约束。这些约束都具有电力方面的物理意义。

[0089] 在本实施例中,这些约束包括:系统平衡约束、系统正备用容量约束、系统负备用容量约束、机组出力上下限约束、机组上爬坡约束、下爬坡约束、机组最小启停时间相关约束、机组日调度中电量约束、机组出力约束、机组运行费用约束、启停费用约束及线路潮流约束。

[0090] 步骤102:在SCUC模型的爬坡约束中,根据爬坡速率与所有机组中的最大技术出力和最小技术出力之间差值的比较,对SCUC模型添加不同的约束,以对SCUC模型的求解可行域进行优化。

[0091] 在本实施例中,在SCUC模型的爬坡约束中,根据爬坡速率与所有机组中的最大技术出力和最小技术出力之间差值的比较,对SCUC模型添加不同的约束,以对SCUC模型的求解可行域进行优化,具体为:

[0092] 计算最大技术出力减去最小技术出力的差值,以算出第一计算值;

[0093] 若第一计算值少于爬坡速率的二分之一,则对SCUC模型中添加如下2个第一约束:

$$[0094] \quad \sum_{\tau=T_i^{MU}+1}^t u_{i,\tau} \leq I_{i,t}, T_i^{MU} \leq t \leq T$$

$$[0095] \quad \sum_{\tau=T_i^{MD}+1}^t u_{i,\tau} \leq 1 - I_{i,t-T_i^{MD}}, T_i^{MD} + 1 \leq t \leq T$$

[0096] 若第一计算值少于爬坡速率的二分之三,且第一计算值大于或等于爬坡速率的二分之一,则对SCUC模型中添加如下5个第二约束:

$$[0097] \quad P_{i,t-1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) (u_{i,t-1} - (I_{i,t} - u_{i,t}))$$

$$[0098] \quad P_{i,t} - P_{i,t-1} \geq - \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} + \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} + \frac{\Delta P_i^U}{2} (u_{i,t} + u_{i,t-1})$$

$$[0099] \quad P_{i,t+1} - P_{i,t} \leq -P_i^{\min} I_{i,t} + (P_i^{\min} + \Delta P_i^U) I_{i,t+1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0100] \quad P_{i,t} - P_{i,t-1} \leq -P_i^{\min} I_{i,t-1} + \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} - \frac{\Delta P_i^U}{2} (u_{i,t} - (I_{i,t+1} - u_{i,t+1})), 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0101] \quad P_{i,t-1} - P_{i,t} + P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t-1} - \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} \\ + P_i^{\max} I_{i,t+1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) (u_{i,t} + u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

[0102] 若第一计算值少于爬坡速率的二分之五,且第一计算值大于或等于爬坡速率的二分之三,则对SCUC模型中添加如下6个第三约束:

$$[0103] \quad P_{i,t+1} \leq - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2} \Delta P_i^U \right) u_{i,t} + P_i^{\max} I_{i,t+1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0104] \quad P_{i,t-1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \Delta P_i^U (u_{i,t-1} - I_{i,t}) - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) u_{i,t} \\ + \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2} \Delta P_i^U \right) (I_{i,t+1} - u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0105] \quad P_{i,t} \leq -\left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t-1} + \left(P_i^{\max} - \Delta P_i^U\right)I_{i,t} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)u_{i,t} + \Delta P_i^U(I_{i,t+1} - u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0106] \quad P_{i,t-1} - P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t-1} + \frac{3}{2}\Delta P_i^U (I_{i,t} - u_{i,t}) - P_i^{\min} I_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0107] \quad P_{i,t-1} - P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \Delta P_i^U (u_{i,t-1} - I_{i,t}) - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t} - \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t+1} - \frac{\Delta P_i^U}{2}u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0108] \quad P_{i,t+1} - P_{i,t-1} \leq -P_i^{\min} I_{i,t-1} - \frac{\Delta P_i^U}{2}u_{i,t} + \left(P_i^{\min} + 2\Delta P_i^U\right)I_{i,t+1} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

[0109] 若第一计算值大于或等于爬坡速率的二分之五,则对SCUC模型中添加如下1个第四约束:

$$[0110] \quad P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{5}{2}\Delta P_i^U\right)(I_{i,t} - u_{i,t-1}) - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t} \\ + \left(P_i^{\min} + \frac{5}{2}\Delta P_i^U\right)I_{i,t+1} - 2\Delta P_i^U u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

[0111] 其中, $P_{i,t}^{\max}$ 、 $P_{i,t}^{\min}$ 为机组*i*在*t*时段的最大和最小出力; ΔP_i^U 、 ΔP_i^D 为机组*i*最大上坡和下爬坡速率; $I_{i,t}$ 为二进制变量, $I_{i,t}=0$, $I_{i,t}=1$ 分别表示机组*i*在*t*时段为停机与开机状态; T_i^{MU} 、 T_i^{MD} 分别表示机组*i*的最小连续开机时间和停机时间; $u_{i,t}$ 和 $\gamma_{i,t}$ 均为二进制变量,分别代表机组*i*在*t*时段启动与停机的动作变量; P_1^{\max} 表示线路1的最大传输容量; T 表示优化的总时段数。

[0112] 在本实施例中,约束是一种概念数学,通常分为等式约束和不等式约束。对目标(成本)函数求解,但解必须满足一定的约束条件的范围,而既能满足约束条件,且满足目标计算函数的所有解,则组成该目标计算函数的可行域。对于电力系统中计及安全约束的机组组合,本身具有许多复杂的约束条件,而导致SCUC难以求解的一个主要原因是需要处理多时段的模型,虽然时段增多,模型的变量与规模仅仅线性增加,但模型的求解速率会呈现指数级上涨。对于一些机组,由于电网传输特性限制,在一些线路不会达到爬坡上下限,因此对应的爬坡约束存在紧缩的可能。对于SCUC模型的爬坡约束条件,机组的爬坡速率约束会对模型产生较大影响。因此,当机组最大和最小技术出力的差值较小时,整个SCUC模型优化的可行域也相对较小,此时仅需要添加少量约束便可以使得模型可行域重新定义。随着机组最大和最小技术出力的差值增加,SCUC模型的可行域也不断增加,此时需要添加更多的约束对可行域进行重新定义,从而考虑了约束的固有物理意义,灵活的根据线路不同情况改变目标函数的解的可行域,从而使得scuc模型求解过程缩短了时间,加速出清引擎的出清效率。

[0113] 步骤103:在SCUC模型的各线路的网络约束中,根据各线路中已排序好的所有节点的转移分布因子,计算各线路的最大传输容量,并根据已计算的各线路的最大潮流以及最大传输容量,对各线路的网络约束进行优化处理,以剔除冗余的模型约束。

[0114] 在本实施例中,根据各线路中已排序好的所有节点的转移分布因子,计算各线路的最大传输容量,并根据已计算的各线路的最大潮流以及最大传输容量,对各线路的网络约束进行优化处理,以剔除冗余的模型约束,具体为:计算线路所有节点的转移分布因子,并将转移分布因子按从大到小次序排列;按线路的所有机组对线路的潮流影响正值的降序

或升序,持续累加计算所有机组的最大技术出力的总和;持续将最大技术出力的总和与已知的系统总负荷进行比较,选择当第一次出现最大技术出力的总和大于系统总负荷的时候,所对应的机组序号;根据机组序号,计算线路的最大传输容量;若线路的最大传输容量大于或等于已计算的线路最大潮流,则剔除网络约束,否则,保留网络约束;对其他各线路重复上述步骤,直至所有线路的网络约束均处理完毕。

[0115] 在本实施例中,爬坡约束属于单机约束,机组相互之间的爬坡约束没有影响,单机推导出的紧缩约束也适用于所有机组。但不同于单机约束,潮流上下限的约束是属于系统约束,其反映了机组之间的关系,不能通过爬坡约束的方法实现紧缩约束。电力系统中的网络约束是存在固有物理意义的约束,即电力传输需要被限制在传输容量之下。由于电网规划与城市发展原因,一部分线路可能永远不会出现传输阻塞的情况。另外,存在一部分线路,当这些线路阻塞时,一定存在一条或多条线路出现阻塞的情况。对于这两种线路,均可以通过预处理的方式来削减模型约束的规模。由于计算前系统总负荷已知,依据线路传输

容量公式 $-P_l^{\max} \leq \sum_{i=1}^N G_{l-i} P_{i,t} - \sum_{k=1}^K G_{l-k} D_{k,t} - SL_l^+ + SL_l^- \leq P_l^{\max}$ 可知,影响线路潮流的主要因素为

$P_{l,i}^F = \sum_{i=1}^N G_{l-i} P_{i,t}$, 当 $P_{l,i}^F$ 最大时,线路潮流 $P_{l,i}^{\text{line}}$ 最大。在未知发电机功率输出的情况下,可以依据

转移分布因子对线路最大传输容量进行判断。具体步骤如下:

[0116] 找到各线路1所有节点的转移分布因子 $G_{1-1,2,3,\dots}$,并将这些转移分布因子按从大到小次序排列。排列后的数据反映了各机组i每输送1MW电对线路1从大到小的潮流影响情况。按机组i对线路1降序或升序的潮流影响正值,累加计算各机组的最大技术出力 P_i^{\max} 。若累加一定数量的机组后第一次出现 $\sum_i P_i^{\max} > \sum_h D_{h,t}$, 则寻找节点i作为计算线路的最大传输容量,其计算公式如下:

$$[0117] \quad \sum_{k=1}^{i-1} P_{l,k}^F P_k^{\max} + P_{l,i}^F \left(\sum_h D_{h,t} - \sum_{k=1}^{i-1} P_k^{\max} \right) - \sum_{n,h} G_{l-n} D_{h,t}$$

[0118] 然后,判断线路最大潮流 $P_{l,i}^{\text{line}}$ 是否小于线路传输容量,如果小于则剔除该线路网络约束,若不小于,则保留约束。重复验证其他线路,当所有线路验证完毕后,实现对所有线路的网络约束的优化,从而进一步优化模型求解可行域,提高出清引擎的出清效率。

[0119] 步骤104:对经过优化后的SCUC模型的成本函数进行出清计算,出清后的结果包括机组组合及分时节点电价结果。

[0120] 当SCUC模型优化完毕,出清引擎在出清时间节点前,对模型的成本函数进行求解,在优化后的约束条件下,出清引擎更快的找到SCUC模型的解。这些解满足各种物理意义的约束条件,包含了实时的节点电价、符合条件的次日的开机机组组合、每台机组每15分钟的发电出力曲线等。

[0121] 作为本实施例的另一种举例,SCUC模型的成本函数为:以使购电成本最小为优化目标的成本函数。

[0122] 在本实施例中,模型的计算是以最小化购电成本目标为成本函数,在约束条件下,

进行求解计算的。其计算公式为: $\min \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T [C_{i,t}(P_{i,t}) + C_{i,t}^U + C_{i,t}^D]$

[0123] 请参见图2,是本发明提供的基于安全约束机组组合模型的出清装置的一种实施例的装置示意图;基于安全约束机组组合模型的出清装置,包括:模型获取模块201、爬坡约束优化模块202、网络约束优化模块203和出清模块204;

[0124] 其中,模型获取模块201用于获取未求解的SCUC模型;其中,SCUC模型的约束条件包括爬坡约束以及网络约束;

[0125] 爬坡约束优化模块202用于在SCUC模型的爬坡约束中,根据爬坡速率与所有机组中的最大技术出力和最小技术出力之间差值的比较,对SCUC模型添加不同的约束,以对SCUC模型的求解可行域进行优化;

[0126] 网络约束优化模块203用于在SCUC模型各线路的网络约束中,根据各线路中已排序好的所有节点的转移分布因子,计算各线路的最大传输容量,并根据已计算各线路的最大潮流以及最大传输容量,对各线路的网络约束进行优化处理,以剔除冗余的模型约束;

[0127] 出清模块204用于对经过优化后的SCUC模型的成本函数进行出清计算,出清后的结果包括机组组合及分时节点电价结果。

[0128] 在本实施例中,爬坡约束优化模块202还包括爬坡约束计算模块,爬坡约束计算模块用于计算最大技术出力减去最小技术出力的差值,以算出第一计算值;

[0129] 若第一计算值少于爬坡速率的二分之一,则对SCUC模型中添加如下2个第一约束:

$$[0130] \quad \sum_{\tau=T_i^{MU}+1}^t u_{i,\tau} \leq I_{i,t}, T_i^{MU} \leq t \leq T$$

$$[0131] \quad \sum_{\tau=T_i^{MD}+1}^t u_{i,\tau} \leq 1 - I_{i,t-T_i^{MD}}, T_i^{MD} + 1 \leq t \leq T$$

[0132] 若第一计算值少于爬坡速率的二分之三,且第一计算值大于或等于爬坡速率的二分之一,则对SCUC模型中添加如下5个第二约束:

$$[0133] \quad P_{i,t-1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) (u_{i,t-1} - (I_{i,t} - u_{i,t}))$$

$$[0134] \quad P_{i,t} - P_{i,t-1} \geq - \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} + \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} + \frac{\Delta P_i^U}{2} (u_{i,t} + u_{i,t-1})$$

$$[0135] \quad P_{i,t+1} - P_{i,t} \leq -P_i^{\min} I_{i,t} + (P_i^{\min} + \Delta P_i^U) I_{i,t+1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0136] \quad P_{i,t} - P_{i,t-1} \leq -P_i^{\min} I_{i,t-1} + \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} - \frac{\Delta P_i^U}{2} (u_{i,t} - (I_{i,t+1} - u_{i,t+1})), 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0137] \quad P_{i,t-1} - P_{i,t} + P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t-1} - \frac{\Delta P_i^U}{2} u_{i,t-1} - \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) I_{i,t} + P_i^{\max} I_{i,t+1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2} \right) (u_{i,t} + u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

[0138] 若第一计算值少于爬坡速率的二分之五,且第一计算值大于或等于爬坡速率的二分之三,则对SCUC模型中添加如下6个第三约束:

$$[0139] \quad P_{i,t+1} \leq -\left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t} + P_i^{\max}I_{i,t+1} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0140] \quad P_{i,t-1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \Delta P_i^U(u_{i,t-1} - I_{i,t}) - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)u_{i,t} \\ + \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)(I_{i,t+1} - u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0141] \quad P_{i,t} \leq -\left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t-1} + (P_i^{\max} - \Delta P_i^U)I_{i,t} - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)u_{i,t} + \Delta P_i^U(I_{i,t+1} - u_{i,t+1}), 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0142] \quad P_{i,t-1} - P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t-1} + \frac{3}{2}\Delta P_i^U(I_{i,t} - u_{i,t}) - P_i^{\min}I_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0143] \quad P_{i,t-1} - P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\min} + \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t-1} - \Delta P_i^U(u_{i,t-1} - I_{i,t}) - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t} - \left(P_i^{\min} - \frac{\Delta P_i^U}{2}\right)I_{i,t+1} - \frac{\Delta P_i^U}{2}u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

$$[0144] \quad P_{i,t+1} - P_{i,t-1} \leq -P_i^{\min}I_{i,t-1} - \frac{\Delta P_i^U}{2}u_{i,t} + (P_i^{\min} + 2\Delta P_i^U)I_{i,t+1} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

[0145] 若第一计算值大于或等于爬坡速率的二分之五,则对SCUC模型中添加如下1个第四约束:

$$[0146] \quad P_{i,t+1} \leq \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{5}{2}\Delta P_i^U\right)(I_{i,t} - u_{i,t-1}) - \left(P_i^{\max} - P_i^{\min} - \frac{3}{2}\Delta P_i^U\right)u_{i,t} \\ + \left(P_i^{\min} + \frac{5}{2}\Delta P_i^U\right)I_{i,t+1} - 2\Delta P_i^U u_{i,t+1}, 1 \leq t \leq T-1$$

[0147] 其中, $P_{i,t}^{\max}$ 、 $P_{i,t}^{\min}$ 为机组 i 在 t 时段的最大和最小出力; ΔP_i^U 、 ΔP_i^D 为机组 i 最大上坡和下爬坡速率; $I_{i,t}$ 为二进制变量, $I_{i,t} = 0$, $I_{i,t} = 1$ 分别表示机组 i 在 t 时段为停机与开机状态; T_i^{MU} 、 T_i^{MD} 分别表示机组 i 的最小连续开机时间和停机时间; $u_{i,t}$ 和 $\gamma_{i,t}$ 均为二进制变量, 分别代表机组 i 在 t 时段启动与停机的动作变量; P_1^{\max} 表示线路 1 的最大传输容量; T 表示优化的总时段数。

[0148] 在本实施例中,网络约束优化模块 203 还包括网络约束计算模块;网络约束计算模块用于计算线路所有节点的转移分布因子,并将转移分布因子按从大到小次序排列;按线路的所有机组对线路的潮流影响正值的降序或升序,持续累加计算所有机组的最大技术出力的总和;持续将最大技术出力的总和与已知的系统总负荷进行比较,选择当第一次出现最大技术出力的总和大于系统总负荷的时候,所对应的机组序号;根据机组序号,计算线路的最大传输容量;若线路的最大传输容量大于或等于已计算的线路最大潮流,则剔除网络约束,否则,保留网络约束;对其他各线路重复上述步骤,直至所有线路的网络约束均处理完毕。

[0149] 在本实施例中,SCUC模型的约束,包括:

[0150] 系统平衡约束、系统正备用容量约束、系统负备用容量约束、机组出力上下限约束、机组上坡约束、下坡约束、机组最小启停时间相关约束、机组日调度中电量约束、机组出力约束、机组运行费用约束、启停费用约束及线路潮流约束。

[0151] 在本实施例中,SCUC模型的成本函数为:以使购电成本最小为优化目标的成本函数。

[0152] 由上可见,本发明实施例提供了一种基于安全约束机组组合模型的出清方法及装置,通过获取SCUC模型,并在SCUC模型的爬坡约束中,根据爬坡速率与所有机组中的最大技术出力和最小技术出力之间差值的比较,对SCUC模型添加不同的约束,以对SCUC模型的求解可行域进行优化;在SCUC模型各线路的网络约束中,根据各线路中已排序好的所有节点的转移分布因子,计算各线路的最大传输容量,并根据已计算的各线路的最大潮流以及最大传输容量,对各线路的网络约束进行优化处理,以剔除冗余的模型约束;对经过优化后的SCUC模型的成本函数进行出清计算,出清后的结果包括机组组合及分时节点电价结果。通过采用本发明实施例,能使出清引擎加快求解SCUC模型,从而提高电力交易中心的出清引擎的计算速度,减少电价结算的时延,节约成本。

[0153] 进一步的,计算线路所有节点的转移分布因子,并将转移分布因子按从大到小次序排列;按线路的所有机组对线路的潮流影响正值的降序或升序,持续累加计算所有机组的最大技术出力的总和;持续将最大技术出力的总和与已知的系统总负荷进行比较,选择当第一次出现最大技术出力的总和大于系统总负荷的时候,所对应的机组序号;根据机组序号,计算线路的最大传输容量;若线路的最大传输容量大于或等于已计算的线路最大潮流,则剔除网络约束,否则,保留网络约束;对其他各线路重复上述步骤,直至所有线路的网络约束均处理完毕。通过采用本实施例方案,合理的针对现实情况对线路的网络约束进行处理,进一步优化SCUC模型约束,提高出清速度。

[0154] 以上所述是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也视为本发明的保护范围。

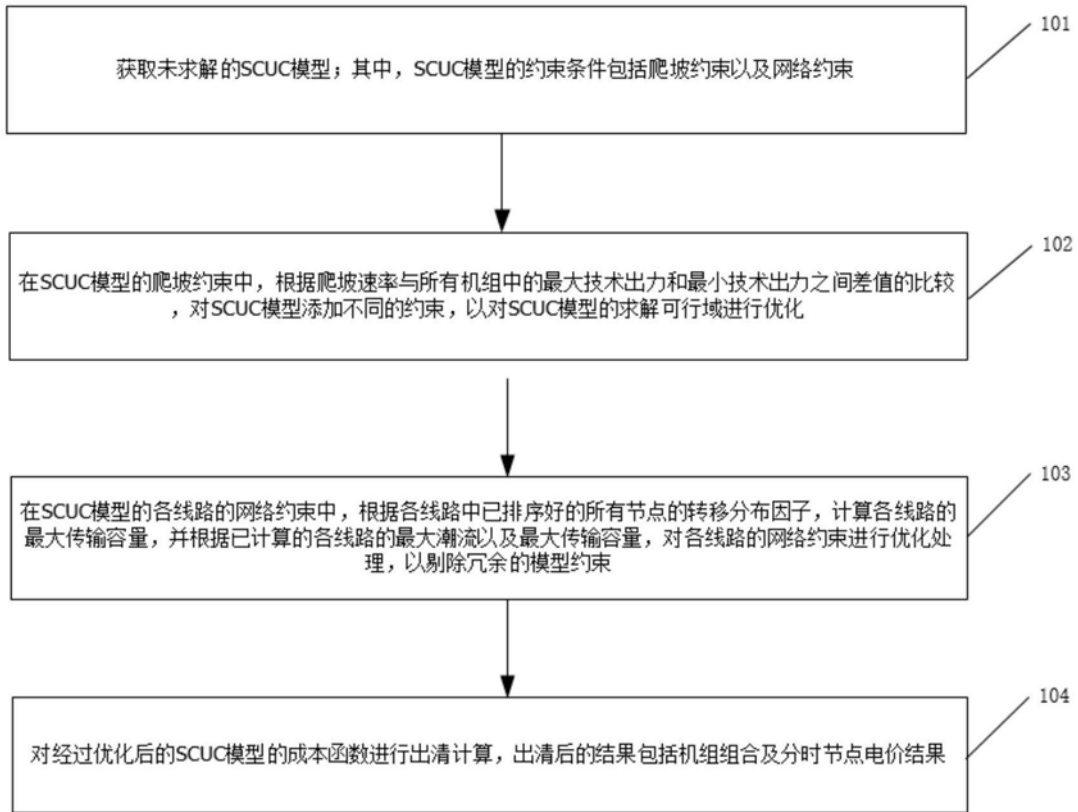


图1

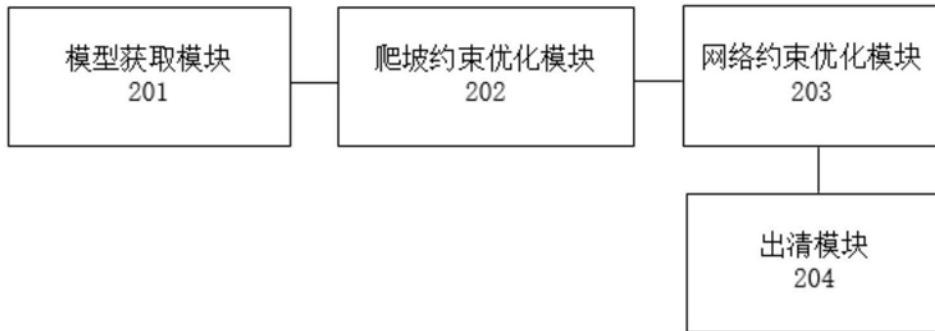


图2