



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104810862 A

(43) 申请公布日 2015. 07. 29

(21) 申请号 201510240877. 2

(22) 申请日 2015. 05. 12

(71) 申请人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市四牌楼 2 号

(72) 发明人 李璐 张强 李金文 张凯锋
郭小江 郭强 张玉红 孙玉娇

(74) 专利代理机构 江苏永衡昭辉律师事务所
32250

代理人 王斌

(51) Int. Cl.

H02J 3/46(2006. 01)

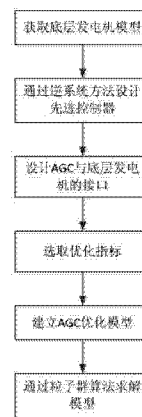
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种计及发电机先进控制器的电力系统 AGC 优化方法

(57) 摘要

本发明公开了一种计及发电机先进控制器的电力系统 AGC 优化方法,属于电力系统控制技术领域。首先,基于逆系统系统方法设计发电机先进汽门控制器,其次,根据底层发电机控制器特性差异,以区域性能指标最优为目标,建立优化模型,并求解出分配策略,进而形成下发给底层发电元件的 AGC 有功调节指令。本发明符合电力系统自动发电控制过程的运行现状,能有效提高现有 AGC 系统效率,使得区域性能更佳。



1. 一种计及发电机先进控制器特性的电力系统 AGC 优化方法, 其特征在于该方法包含以下步骤:

步骤 A, 基于逆系统方法设计底层发电机先进控制器;

步骤 B, 设计底层发电机先进控制器与区域 AGC 的接口;

步骤 C, 计及底层发电机先进控制器特性的区域 AGC 优化, 求解出分配策略, 包括如下步骤:

步骤 C-1, 选取区域 AGC 优化目标;

步骤 C-2, 以机组技术参数限制、AGC 分配系数关系及控制性能评价标准为约束条件, 建立 AGC 分配系数优化模型;

步骤 C-3, 采用粒子群优化算法求解 AGC 分配系数优化模型。

2. 如权利要求 1 所述的计及发电机先进控制器特性的电力系统 AGC 优化方法, 其特征在于步骤 A 具体步骤如下:

步骤 A-1, 获取带有调速器的底层发电机结构化模型;

步骤 A-2, 基于逆系统方法设计底层发电机角速度非线性汽门控制器;

步骤 A-2-1, 选取角速度为控制器的输出被控变量;

步骤 A-2-2, 对控制器输出变量求导直到表达式显含逆系统补偿器的输出, 并求解逆系统补偿器的输出;

步骤 A-2-3, 将逆系统补偿器串联在发电机子系统之前构造出伪线性系统, 将步骤 A-2-2 中控制器输出变量的最终倒数定义为伪线性系统的虚拟控制输入;

步骤 A-2-4, 利用极点配置算法, 得出状态反馈控制, 将状态反馈控制代入逆系统补偿器求得角速度汽门控制模式下的非线性控制律。

3. 如权利要求 1 所述的计及发电机先进控制器特性的电力系统 AGC 优化方法, 其特征在于步骤 B 具体步骤如下:

在底层发电机先进控制器与区域 AGC 之间加入接口, 使底层发电机先进控制器正常接收区域 AGC 下发的指令, 跟踪有功参考值, 具体做法是, 将原动机输出的机械功率作为反馈变量, 构成 PID 有功闭环控制回路, 跟踪有功参考值。

4. 如权利要求 1 所述的计及发电机先进控制器特性的电力系统 AGC 优化方法, 其特征在于步骤 C-1 中区域 AGC 优化目标是区域动态性能最好, 调节时间最短。

5. 如权利要求 1 所述的计及发电机先进控制器特性的电力系统 AGC 优化方法, 其特征在于步骤 C-3 具体步骤如下:

步骤 C-3-1, 初始化 AGC 分配系数;

步骤 C-3-2, 初始化粒子群优化算法参数, 包括粒子总数、粒子维度、学习因子、惯性因子的上下限、最大迭代次数以及所需优化参数的上下限;

步骤 C-3-3, 初始化各粒子的各维变量;

步骤 C-3-4, 计算适应度函数, 更新各粒子参数;

计算当前 AGC 分配系数及各粒子当前参数值组合下的适应度函数值, 通过粒子间个体最优值的比较, 确定全局最优值, 根据优化模型的约束条件更新各粒子的位置和速度;

步骤 C-3-5, 判断是否满足迭代终止条件;

若当前粒子迭代满足粒子群优化算法收敛条件或是达到最大迭代次数, 则保存当前情

况下的 AGC 优化分配系数及其适应度函数值,进入步骤 C-3-6;否则,返回步骤 C-3-4;
步骤 C-3-6:寻优结束。

一种计及发电机先进控制器的电力系统 AGC 优化方法

技术领域

[0001] 本发明属于电力系统控制技术领域,涉及一种计及发电机先进控制器的电力系统 AGC 优化控制方法。

背景技术

[0002] 电力系统自动发电控制(以下简称 AGC)是通过调节电力系统中本地控制区域内的发电机有功功率,使本地控制区域与其他控制区域的联络线功率偏差和系统频率偏差满足运行要求,从而保证电网安全、优质运行。

[0003] 目前实际电网运行中,底层发电机一般基于传统比例-积分-微分控制器(Proportion Integration Differentiation Controller)进行汽门开度控制,进而调节有功出力。AGC 在分配区域总调节指令时,考虑到底层元件都采用同一种控制器,往往按照平均分配系数,或者按照发电机可调容量进行调节量分配。然而,当底层发电机元件控制器特性有差别时,如某些机组采用先进汽门控制器,某些采用传统 PID 控制器时,AGC 分配策略就需要计及这种控制器特性的差异来调整,从而有效提高现有 AGC 系统利用效率,使得区域性能更加,而目前这方面尚没有相关研究。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提出一种计及发电机先进控制器特性的电力系统 AGC 优化方法。该方法基于电力系统的分层控制特性,底层通过采用先进控制器改善元件性能,而区域 AGC 控制,在分配总调节指令时,根据底层发电机控制器调节特性差异,以区域性能指标最优为目标,建立优化模型,通过粒子群优化算法求解出分配策略,进而形成下发给各个底层发电机元件的 AGC 有功调节指令,从而使得区域性能更佳,本发明在电力系统中具有较高的实用价值。

[0005] 本发明提出的计及发电机先进控制器特性的电力系统 AGC 优化方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤 A,基于逆系统方法设计底层发电机先进控制器;

[0007] 步骤 B,设计底层发电机先进控制器与区域 AGC 的接口;

[0008] 步骤 C,计及底层发电机先进控制器特性的区域 AGC 优化,求解出分配策略,包括如下步骤:

[0009] 步骤 C-1,选取区域 AGC 优化目标;

[0010] 步骤 C-2,以机组技术参数限制、AGC 分配系数关系及控制性能评价标准为约束条件,建立 AGC 分配系数优化模型;

[0011] 步骤 C-3,采用粒子群优化算法求解 AGC 分配系数优化模型。

[0012] 本发明提出的计及发电机先进控制器特性的电力系统 AGC 优化方法,其特点在于:

[0013] (1) 该发明的底层发电机控制器采用的是非线性逆控制器,与传统的 PI 控制器相

比,该控制器调节性能较为优良。

[0014] (2) 该发明设计了底层非线性汽门控制器与 AGC 的接口,在元件层面加入了有功闭环控制回路,非线性汽门控制器可以与区域 AGC 控制进行数据传输。

[0015] (3) 该发明在 AGC 分配策略中计及了底层发电机汽门控制器特性上的差异,与一般的等分配系数或等可调容量分配相比,更体现了控制器特性上的差异,有利于提高电网整体控制效果。

[0016] 本发明将发电机控制器调节特性的差异纳入到电力系统自动发电控制 AGC 的考虑中,以优化电力系统区域控制性能为目标,通过调整 AGC 分配策略来达到最优的效果,且本发明中的 AGC 分配优化思路不局限于底层发电机控制器种类,具有一定的通用性。本发明符合电力系统自动发电控制过程的运行现状,能有效提高现有 AGC 系统利用效率,使得区域性能更加,在电力系统自动发电控制领域具有一定的应用前景。

附图说明

[0017] 图 1 是本发明的系统流程框图;

[0018] 图 2 是本发明所设计的角速度非线性汽门控制器的结构框图,图中, ω 是发电机的转子角速度, ω_r 是转子角速度参考值, u 是逆系统补偿器输入信号, P_H 和 P_m 为原动机输出的机械功率, P_e 是发电机电磁功率, u_v 是逆系统补偿器的输出信号, k_1, k_2 为状态反馈系数,变量下标带 0 者表示该变量的稳态值,变量正上方带 \cdot 表示该变量的导数。

[0019] 图 3 是本发明所设计的 AGC 接口环节, P_{ref} 为 AGC 下发给底层发电机汽门控制器的参考值, Σ 代表求和, u^* 为新的逆系统补偿器输入信号;

[0020] 图 4 是本发明采用粒子群优化算法求解模型的流程图。

具体实施方式

[0021] 下面结合附图对本发明作详细说明:

[0022] 如图 1 所示的本发明系统流程框图;

[0023] 本发明针对的电力系统中的发电机组包含发电机、励磁系统、汽轮机及其调速系统三部分。本发明计及先进控制器的电力系统 AGC 控制方法,其实现步骤如下:

[0024] 步骤 A, 基于逆系统方法设计底层发电机先进控制器;

[0025] 步骤 A-1, 选取合适的底层控制器;

[0026] 本实施例选取角速度非线性汽门控制器,首先获取带有调速器的发电机结构化模型如下:

$$[0027] \begin{cases} \frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_0 \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_0}{2H} [P_H + C_{ML} P_{m0} - P_e] \\ \frac{dP_H}{dt} = \frac{1}{T_\Sigma} (-P_H + C_H P_{m0} + C_H u_v) \end{cases}$$

[0028] 式中, δ 是发电机的转子角, ω 是发电机的转子角速度, H 为发电机的惯性时间常数, P_H 和 P_m 为原动机输出的机械功率, C_H 为高压缸分配系数, C_{ML} 是中压和低压缸分配系数,

P_e 是发电机电磁功率, T_Σ 为汽门控制系统等效时间常数, u_v 是逆系统补偿器的输出信号。所有变量下标带 0 者表示该变量的稳态值, 变量正上方带 \cdot 表示该变量的导数。

[0029] 步骤 A-2, 基于逆系统方法设计角速度非线性汽门控制器;

[0030] 步骤 A-2-1, 选取发电机转子角速度为输出被控变量;

[0031] $y = \omega$

[0032] 步骤 A-2-2, 对输出变量 y 求导直到表达式显含逆系统补偿器的输出信号 u_v

$$[0033] \quad \ddot{y} = \frac{d\dot{\omega}}{dt} = \frac{\omega_0}{2H} [\dot{P}_H - \dot{P}_e] = \frac{\omega_0}{2H} \left[\frac{1}{T_\Sigma} (-P_H + C_H P_{m0} + C_H u_v) - \dot{P}_e \right]$$

[0034] 解得 u_v 为:

$$[0035] \quad u_v = \frac{2HT_\Sigma}{C_H \omega_0} \ddot{y} - P_{m0} + \frac{1}{C_H} P_H + \frac{T_\Sigma}{C_H} \dot{P}_e$$

[0036] 其中, $\dot{P}_e = \frac{d}{dt} [E'_q I_q + E'_d I_d - (x'_d - x'_q) I_q I_d]$ 。式中, E'_q 为发电机 q 轴暂态电动势,

E'_d 为发电机 d 轴暂态电动势, I_q 为发电机机端电流 q 轴分量, I_d 为发电机机端电流 d 轴分量, x'_q 为发电机 q 轴暂态电抗, x'_d 为发电机 d 轴暂态电抗。

[0037] 步骤 A-2-3, 将逆系统补偿器串联在发电机子系统之前构造出伪线性系统, 并定义虚拟控制输入 $u = \ddot{y}$, 可得到伪线性系统的状态方程如下:

$$[0038] \quad \begin{cases} \frac{d\omega}{dt} = \dot{\omega} \\ \frac{d\dot{\omega}}{dt} = u \end{cases}$$

[0039] 步骤 A-2-4, 利用极点配置算法, 得出状态反馈控制如下:

$$[0040] \quad \mu = -k_1 (\omega - \omega_r) - k_2 \dot{\omega}$$

[0041] 其中, k_1, k_2 为状态反馈系数, ω_r 为转子角速度参考值。

[0042] 将状态反馈控制代入逆系统补偿器可求得角速度汽门控制模式下的非线性控制律:

$$[0043] \quad u_v = \frac{2HT_\Sigma}{C_H \omega_0} \left[-k_1 (\omega - \omega_r) - k_2 \dot{\omega} \right] - P_{m0} + \frac{1}{C_H} P_H + \frac{T_\Sigma}{C_H} \dot{P}_e \\ = \varphi \left(\omega, P_H, \dot{\omega}, P_e, \omega_r \right)$$

[0044] 最后, 得到的角速度非线性汽门控制器的结构框图如图 2 所示。

[0045] 步骤 B, 设计底层发电机角速度汽门控制器与区域控制器 AGC 的接口, 步骤如下:

[0046] 在发电机先进汽门控制器与区域 AGC 之间加入接口, 使得汽门控制器可以正常接收 AGC 下发指令, 跟踪有功参考值。具体做法是, 将原动机机械功率 P_m 作为反馈变量, 构成 PID 有功闭环控制回路, 使其可以跟踪有功参考值, AGC 接口框图如图 3 所示。

[0047] 其中, P_{ref} 为 AGC 下发给底层发电机汽门控制器的有功参考值, Σ 代表求和, u^* 为新的逆系统补偿器输入信号。

[0048] 步骤 C, 计及底层发电机先进控制器特性的 AGC 优化方法, 步骤如下:

[0049] 步骤 C-1, 选取区域控制 AGC 优化目标。

[0050] 本实施例以两区域互联系统为例, AGC 优化目标是区域动态性能最好, 调节时间最短。

$$[0051] \quad \min \left(\int_0^{T_s} t(|ACE_1| + |ACE_2|) dt \right)$$

[0052] 式中 \min 表示求目标函数的最小值, T_s 表示优化时间范围, ACE_1 表示电网区域 1 的区域控制偏差 (Area Control Error, ACE), ACE_2 表示电网区域 2 的区域控制偏差。

[0053] ACE 的计算公式如下:

$$[0054] \quad ACE = [\sum P_{ti} - (\sum I_{oj} - \Delta I_{oj})] + 10B[f - (f_0 + \Delta f_t)]$$

[0055] 式中, $\sum P_{ti}$ 为控制区所有联络线交换功率的实际测量值之和; $\sum I_{oj}$ 为控制区与外区的功率交易计划之和; B 为控制区的频率响应系数, 为负值 (MW/0.1Hz); f 为系统频率的实际值; f_0 为系统频率的额定值; ΔI_{oj} 为偿还无意交换电量而设置的交换功率偏移; Δf_t 为校正时差而设置的频率偏移。

[0056] 步骤 C-2, 以机组技术参数限制、AGC 分配系数等量关系及控制性能评价标准为约束条件, 建立 AGC 分配系数优化模型:

$$[0057] \quad \min \left(\int_0^{T_s} t(|ACE_1| + |ACE_2|) dt \right)$$

$$[0058] \quad \text{s. t. } f(\Delta f, \Delta P_{tie}, a, b) = 0$$

$$[0059] \quad a + b = 1$$

$$[0060] \quad 0 < a, b$$

$$[0061] \quad P_{imin} < P_i < P_{imax} \quad (i \leq n)$$

$$[0062] \quad \Delta v_{imin} < \Delta P_i < \Delta v_{imax}$$

$$[0063] \quad CPS1_j > 110\% \quad (j = 1, 2)$$

[0064] 约束条件 $f(\Delta f, \Delta P_{tie}, a, b) = 0$ 表示整体电力系统电气联接关系, Δf 表示电网频率与额定值的偏差, ΔP_{tie} 表示区域之间联络线传输功率与额定功率的偏差, a, b 为 AGC 分配系数, P_i, P_{imin}, P_{imax} 分别表示机组 i 实际有功出力、机组最小技术出力、机组最大技术出力, n 表示机组台数, $\Delta P_i, \Delta v_{imin}, \Delta v_{imax}$ 分别为机组 i 机组出力单位时间改变量、机组出力最小改变率、机组出力最大改变率, $CPS1_j$ 表示区域 j 的控制性能评价标准 1 (Control Performance Standards 1, CPS1), 按 NERC 标准要求, AGC 控制目标之一要使得区域 CPS1 指标大于 100%, 为保留一定的裕度, 本实施例中要求 $CPS1_j > 110\%$ 。

[0065] CPS1 指标值的计算公式为:

$$[0066] \quad CPS1 = \left(2 - AVG \left(\frac{ACE \times \Delta f}{-10B \times \varepsilon^2} \right) \right) \times 100\%$$

[0067] 式中, ε 为一年时段内互联电力系统实际频率与标准频率偏差的 1min 平均值的均方根, 用下式表示:

$$[0068] \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\Delta f_i)^2}{m}}$$

[0069] 式中, m 为一年时间段中的分钟数; Δf_i 为第 i 分钟的频率偏差; ε 作为频率控制目标值, 是一个长期的考核指标, 在互联电力系统中, 各控制区的 ε 值均相同, 且为一固定常数。

[0070] 步骤 C-3, 采用粒子群优化算法 (PSO) 求解 AGC 分配系数优化模型。采用粒子群优化算法求解模型的流程图如图 4 所示:

[0071] 步骤 C-3-1, 初始化 a, b ;

[0072] 选定一组分配系数的初始值。

[0073] 步骤 C-3-2, PSO 算法参数初始化;

[0074] 初始化粒子总数、粒子维度、学习因子、惯性因子的上下限、最大迭代次数以及所需优化参数的上下限。

[0075] 步骤 C-3-3, 初始化所有粒子的各维变量;

[0076] 各粒子在变量范围内随机产生一个初始值。

[0077] 步骤 C-3-4, 计算适应度函数, 更新各粒子参数;

[0078] 利用各粒子当前参数值, 计算当前 AGC 分配系数及各粒子当前参数值组合下的适应度函数值。通过粒子间个体最优值的比较, 确定全局最优值。根据优化模型的约束条件更新各粒子的位置和速度。

[0079] 步骤 C-3-5, 判断是否满足迭代终止条件;

[0080] 若当前粒子迭代满足 PSO 算法收敛条件或是达到最大迭代次数, 则保存当前情况下的 AGC 优化分配系数及其适应度函数值, 进入步骤 C-3-6; 否则, 返回步骤 C-3-4。

[0081] 步骤 C-3-6: 寻优结束。

[0082] 由此即求解出分配策略, 进而形成下发给底层发电机元件的 AGC 有功调节指令。

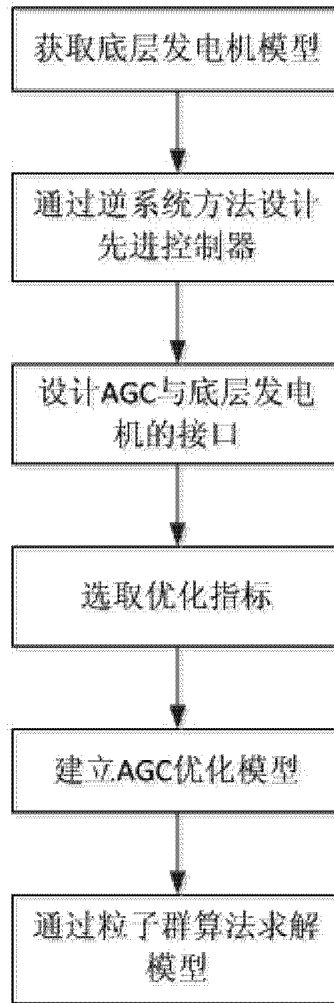


图 1

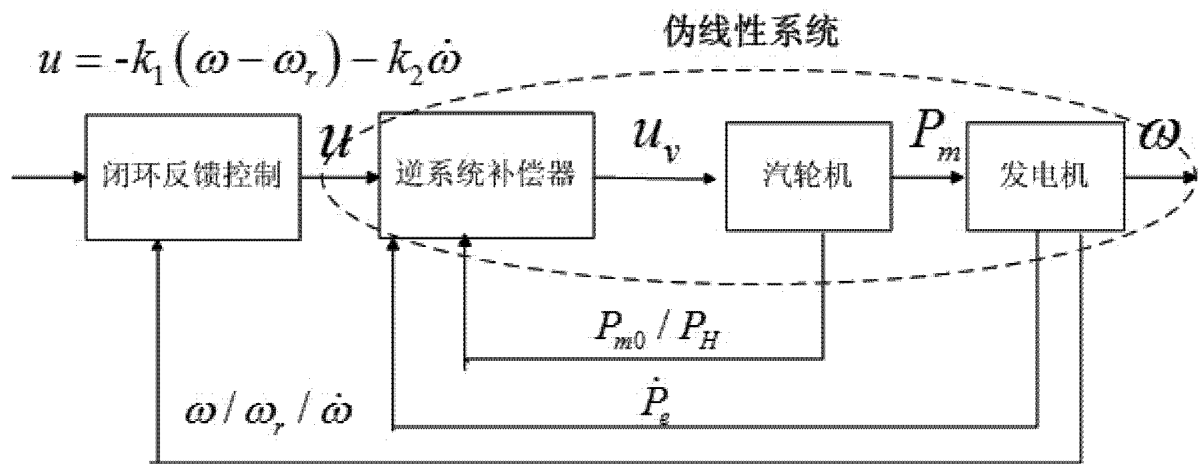


图 2

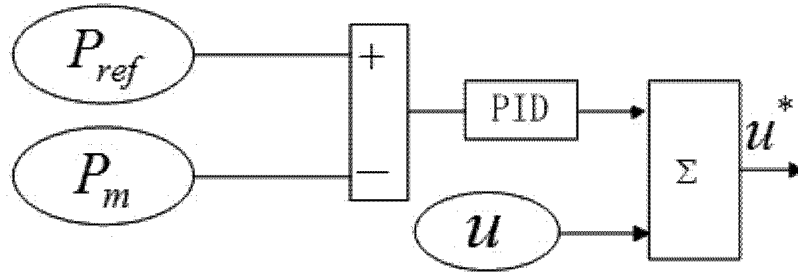


图 3

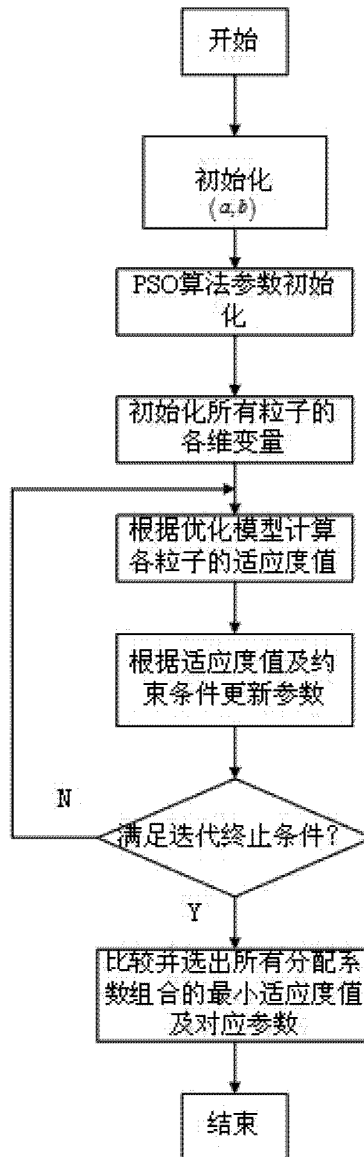


图 4