

[文章编号] 1003—4684(2020)05-0035-06

系统补偿的区域电力市场环境下 AGC 方法研究

马艺菡, 赵熙临, 龚 梦, 张大恒, 姚业佩

(湖北工业大学 电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 针对电力市场环境对 AGC 的影响问题,以三区域互联电力系统为研究对象进行讨论。首先,构建三区域互联 AGC 模型,对模型预测控制在 AGC 中的应用进行了分析;然后,考虑到 MPC 在不同系统中控制效果的差异性,提出了一种基于系统补偿的控制方法,拟通过补偿环节的设计以改变系统结构,使 MPC 能够适应控制对象的变化;在此基础上,根据电力市场环境下配电网与发电厂签订供电合同的两种控制需求,在 AGC 系统中增加配电网参与矩阵以及区域参与矩阵的概念,对所提方法进行验证。MATLAB 仿真表明,相比于传统 MPC,增加补偿环节后系统能够具备更好的控制效果。

[关键词] 电力市场; 电力分配; 区域互联; 自动发电控制; 模型预测控制; 系统补偿

[中图分类号] TM761 [文献标识码] A

电力行业由以往垄断的经营模式转变为现在开放的电力市场模式给工业用电和居民用电提供了更多的选择和更好的服务。开放的电力市场环境使 AGC 过程更加重要,对 AGC 的二次调频功能的要求也越来越高,所以对其控制方式的研究已成为 AGC 研究的重要方向^[1-2]。

常规的比例积分(PID)控制器仍然是 AGC 系统控制的主流^[3]。传统的 PI 控制器比较简单且容易应用到 AGC 系统中,但随着电网复杂程度的增加,容易造成系统超调过高,产生频率振荡^[4]。文献[5]提出一种基于社会学习自适应细菌觅食算法的优化比例积分微分(PID)控制器,文献[6]提出一种利用遗传算法优化 PID 控制器,并通过仿真验证以上方法的有效性。文献[7]描述了一种基于分数阶 PID 控制的 AGC 系统,验证了分数阶 PID 控制器比传统 PID 控制器有更好的鲁棒性和自适应性。文献[8]提出一种新的分数阶模糊 PID 控制策略,并验证了该方法在互联 AGC 系统中有更好的控制性能。通过分析不难发现,基于 PID 的复合控制方式机理较为复杂,对于复杂系统来说不便于在线实施。

模型预测控制(MPC)被成功地应用于工业控制中,是一种基于模型的闭环优化控制策略,可以预测未来动态模型,不断优化控制作用和误差的反馈矫正^[9]。研究表明 MPC 控制比其它控制方式具有更好的控制性能,适用于不确定性的 AGC 系统。

文献[10]讨论了在实际电力系统中一种基于 MPC 的 AGC 方案。文献[11-12]验证了分布式 MPC 控制多区域 AGC 系统的可行性。

电力市场开放使 AGC 系统更加复杂,在传统的计划经济模式下,AGC 机组进行频率调整只是出于确保电力系统运行稳定的目的而受到了足够的重视,没有从经济的角度去考虑。而开放式的电力市场建立后,厂网逐渐分离,电厂通过报价参与市场竞争,争取以最高的成交价以及最低的运行成本多发电^[13]。厂网自由交易,交易的多样性使 AGC 系统结构上呈现不确定性,对 AGC 调度策略和控制策略提出了更高的要求。

本文提出在常规 MPC 控制系统基础上,串联一个补偿环节以解决厂网自由交易过程中 AGC 系统呈现的不确定性所带来的负面影响。

1 区域互联电网 AGC 模型构建

加大规模的电力系统由若干相互连接的控制区域组成,控制区域之间由联络线连接,每个区域都由发电厂和配电网组成。在研究问题的基础上,本文提出的三区域 AGC 模型如图 1 所示,变量为:频率偏差, $\Delta\omega$; 等效惯性常数, M^a ; 区域负载阻尼系数, D ; 下垂特性, R^f ; 调速器时间常数, T_G ; 涡轮机时间常数, T_{CH} ; 频率偏差因数, B_i ; 合同内总的负荷需求, ΔP^c ; 合同外总的符合需求, ΔP^a ; 蒸汽阀位置增

[收稿日期] 2020—07—02

[基金项目] 国家自然科学基金(61473116)

[第一作者] 马艺菡(1995—),女,河南南阳人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为电力系统及其自动化

[通信作者] 赵熙临(1969—),男,山东郓城人,工学博士,湖北工业大学教授,研究方向为电力系统及其自动化

量变化, ΔP_v ; 负荷基准设定值变化量, ΔP_{ref} ; 发电机输出增量变化, ΔP_{mech} ; 联络线(i 区与 j 区)刚度系数 T_{ij} ; 地区 i 和 j 之间的联络线潮流, P_{tie}^{ij} ; 区域 i 与其他区域之间的总联络线功率潮流, ΔP_{tiei} 。每个区域由两个发电厂和一个配电网组成, 区域之间由联络线互联。 Δ 表示稳态偏差。

发电厂和配电网的交易合同有多种形式。为使交易合同可视化, 引入配电网参与矩阵(DISCO Participation Matrix, DPM)的概念, 矩阵行数等于发电厂的数量, 列数等于配电网的数量。DPM 中的元素是合同参与因子(contract participation factor,

cpf), 代表某一个配电网与某一个发电厂之间合同电量的系数, 则有

$$\sum_{i=1}^n cpf_{ij} = 1, \forall j = 1, 2, 3, \dots, q$$

其中: n 为发电厂的数量; q 为配电网的数量。与图 1 中三区域 AGC 系统对应的 DPM 为:

$$DPM = \begin{bmatrix} cpf_{11} & cpf_{12} & cpf_{13} \\ cpf_{21} & cpf_{22} & cpf_{23} \\ cpf_{31} & cpf_{32} & cpf_{33} \\ cpf_{41} & cpf_{42} & cpf_{43} \\ cpf_{51} & cpf_{52} & cpf_{53} \\ cpf_{61} & cpf_{62} & cpf_{63} \end{bmatrix}$$

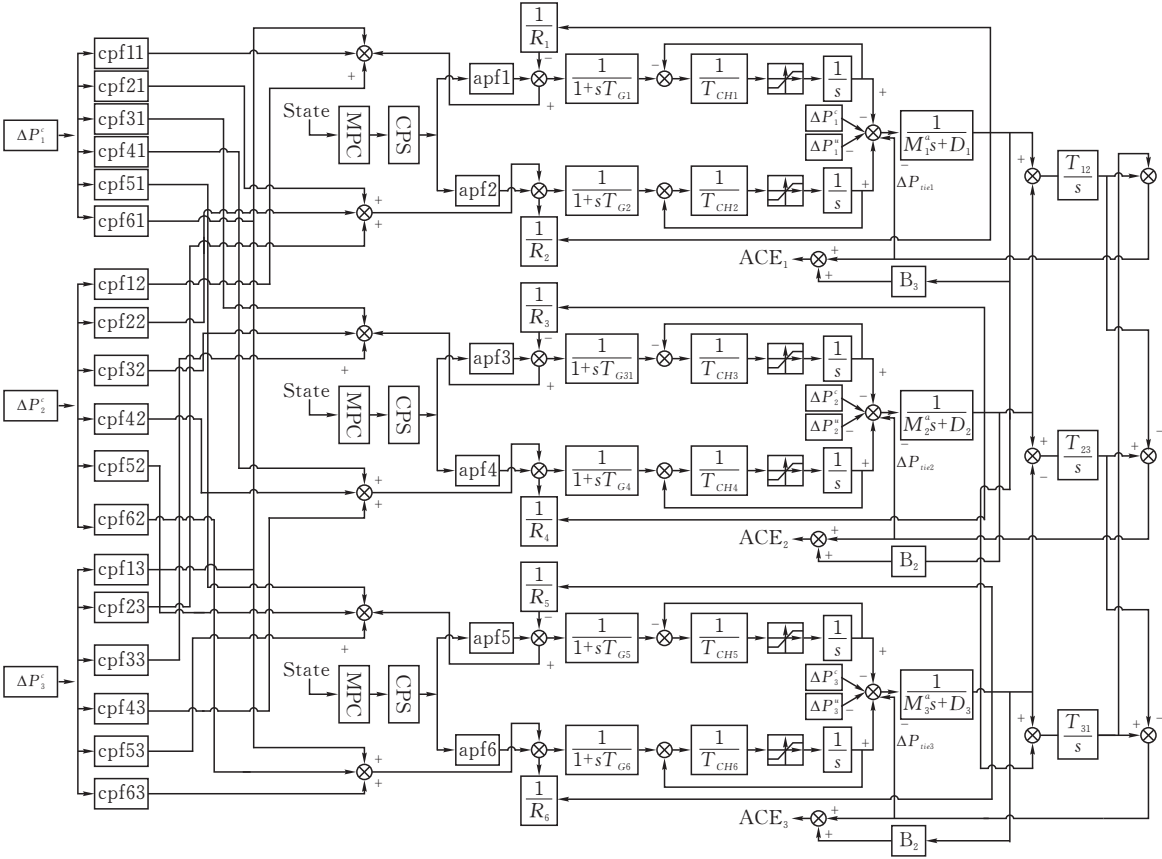


图 1 三区域互联 AGC 系统

配电网的所需电量若超过合同电量, 超出合同的负荷就由同区域的发电厂来供应, 一个区域由两个发电厂组成, 所以提出区域参与矩阵(Area Participation Matrix, APM), 矩阵中的元素为区域参与因数(area participation factor, apf), 由此来解决超出负荷在区域内发电厂分布的问题。

与图 1 中三区域 AGC 系统对应的 APM 为:

$$APM = \begin{bmatrix} apf_1 & & & & & \\ apf_2 & & & & & \\ & apf_3 & & & & \\ & apf_4 & & & & \\ & & apf_5 & & & \\ & & apf_6 \end{bmatrix},$$

$apf_1 + apf_2 = 1, apf_3 + apf_4 = 1, apf_5 + apf_6 = 1$ 则每个发电厂的输出功率偏差的期望值为:

$$\Delta P_i^E = cpf_{i1} \Delta P_1^c + cpf_{i2} \Delta P_2^c + cpf_{i3} \Delta P_3^c + apf_i \Delta P_i^n$$

那么整个系统可以被描述成矩阵的形式:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1^E \\ \Delta P_2^E \\ \Delta P_3^E \\ \Delta P_4^E \\ \Delta P_5^E \\ \Delta P_6^E \end{bmatrix} = DPM \begin{bmatrix} \Delta P_1^c \\ \Delta P_2^c \\ \Delta P_3^c \end{bmatrix} + APM \begin{bmatrix} \Delta P_1^n \\ \Delta P_2^n \\ \Delta P_3^n \end{bmatrix}$$

DPM 矩阵也用于计算互联区域之间的联络线偏差, 控制区域之间由联络线连接。联络线功率偏差

$$\Delta P_{tiei}^E = P_i^{out} - P_i^{in}$$

其中 P_i^{out} 是区域 i 中发电厂输出的总功率, P_i^{in} 是区域 i 中配电网从其他区域获得的总功率。

区域控制误差 (Area Control Error, ACE) 作为负荷频率控制的信号, 表示为总的频率偏差 $\Delta\omega_i$ 和偏差因子 B_i 的乘积与联络线功率偏差的和:

$$ACE_i = B_i \Delta\omega_i + \Delta P_{tiei}$$

$$\mathbf{A}_{ii} = \begin{pmatrix} -\frac{D_i}{M_i^a} & \frac{1}{M_i^a} & \frac{1}{M_i^a} & 0 & 0 & -\frac{1}{M_i^a} \\ 0 & -\frac{1}{T_{CH2i-1}} & 0 & \frac{1}{T_{CH2i-1}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_{CH2i}} & 0 & \frac{1}{T_{CH2i}} & 0 \\ -\frac{1}{R_{2i-1}^f T_{G2i-1}} & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{CH2i-1}} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{R_{2i}^f T_{G2i}} & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_{CH2i}} & 0 \\ \sum_M T_{ij} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \mathbf{B}_{ii} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{apf_{2i-1}}{T_{G2i-1}} \\ \frac{apf_{2i}}{T_{G2i}} \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{F}_{ii} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{cpf_{2i-1,1}}{T_{G2i-1}} & \frac{cpf_{2i-1,2}}{T_{G2i-1}} & \frac{cpf_{2i-1,3}}{T_{G2i-1}} \\ \frac{cpf_{2i,1}}{T_{G2i}} & \frac{cpf_{2i,2}}{T_{G2i}} & \frac{cpf_{2i,3}}{T_{G2i}} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{G}_{ii} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{M_i^a} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{E}_{ii} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{M_i^a} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{A}_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sum_M T_{ij} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_{ij} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T, \mathbf{C}_{ii} = [B_i \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0], \mathbf{x}_i = [\Delta\omega_i, \Delta P_{mech2i-1}, \Delta P_{mech2i}, \Delta P_{v2i-1}, \Delta P_{v2i}, \Delta P_{tiei}]^T$$

x_i 是状态变量, $u_i = \Delta P_{refi}$ 是控制输入量, $\omega_i = \Delta P_i^u$ 是合同额外的负载需求, 可以看做是扰动输入。

$\Delta P^c = [\Delta P_1^c, \Delta P_2^c, \Delta P_3^c]^T$ 是合同内负载需求向量, 区域 i 总的合同内负载需求为 $\Delta P_{ii}^c = \Delta P_i^c$, y_i 是输出, 代表区域 i 的 ACE。

另外, 由于汽轮机的物理限制, 每个汽轮机的发电速率受到约束, 这可能会对负载频率控制 (Load Frequency Control, LFC) 产生影响, 一般热单位的发电速率约束 (Generation Rate Constraint, GRC) 被限制为 $10\%/min^{[14]}$:

$$|\Delta P_{mech2i-1}| = \left| \frac{\Delta P_{v2i-1} - \Delta P_{mech2i-1}}{T_{CH2i-1}} \right| \leq 0.0035 \text{ p.u. MW/s}$$

$$|\Delta P_{mech2i}| = \left| \frac{\Delta P_{v2i} - \Delta P_{mech2i}}{T_{CH2i}} \right| \leq 0.0035 \text{ p.u. MW/s}$$

负载标准值被限制^[15]为:

$$|\Delta P_{refi}| \leq 0.3 \text{ p.u. MW}$$

考虑到研究系统中厂网自由交易, 交易的多样性等带给 AGC 系统结构上的不确定性影响, 对模型预测控制提出了更高要求。由于 MPC 控制器的控制对象模型的不确定性变化, 这就需要在传统 MPC 控制上增加新的控制策略以对该变化进行补偿。

在分布式三区域互联 AGC 系统中区域 i 的状态方程可以描述为:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) &= \mathbf{A}_{ii}x_i(t) + \mathbf{B}_{ii}u_i(t) + \mathbf{F}_{ii}\Delta P^c + \mathbf{G}_{ii}\Delta P_{tiei} + \\ &\mathbf{E}_{ii}\omega_i(t) + \sum (A_{ij}x_j(t) + \mathbf{B}_{ij}u_j(t)) \\ y_i &= \mathbf{C}_{ii}x_i(t) \end{aligned}$$

其中

2 控制策略

将电力市场开放环境下多区域互联 AGC 系统合同内和合同外负载需求的负荷频率问题, 转化为大规模系统在外部扰动和约束条件下的跟踪控制问题。即每个区域设计一个控制器, 通过控制器使系统能够保持稳定, 使得每个区域的区域控制误差 ACE, 频率偏差 $\Delta\omega$ 以及联络线功率偏差 ΔP_{tie} 在满足发电速率约束和负载标准值的情况下维持在一定的期望值。由于 MPC 针对不同系统产生的控制效果不同, 根据本文所搭建的三区域互联 AGC 系统模型, 在 AGC 系统的每个区域中增加了一个补偿环节, 跟原 MPC 形成串联结构形式, 并通过对串联环节的参数优化、选择, 使其更适合所建系统模型, 以获取最佳的控制效果^[16]。

2.1 补偿环节

根据系统特征, 设计补偿环节为:

$$\frac{bs^2 + cs + d}{s + a}$$

该环节的设计具有通用型特征, 可根据优化算法进行参数的选择, 如当选择参数 $a=0$ 时, 补偿环节等

效为一个串联的 PID 控制器,形成控制器串级架构;当参数 $a=b=d=0$ 时,补偿环节等效为一个增益环节;当参数 $a=b=c=0$ 时,补偿环节等效为一个积分环节。为使补偿环节最优配适三区域互联 AGC 系统,采用粒子群(Partical Swarm Optimization, PSO)算法对补偿环节的参数进行优化,得出一组最优参数。

2.2 模型预测

对于三区域 AGC 系统中的每个区域,均采用分布式 MPC 控制方式,其优化问题可以描述为:

$$\min_{u-i(\tau)} J_i(x_i(t), u-i(\tau))$$
$$J_i(x_i(t), u-i(\tau)) = \int_t^{t+T_p} (\|\bar{x}_i(\tau; x(t), t) - x_{id}\|_{Q_i}^2 + \|\bar{u}(\tau)_i\|_{R_i}^2) d\tau$$

上式中

$$\bar{x}_i'(t) = A_{ii}x-i(t) + B_{ii}u-i(t) + F_{ii}\Delta P^c + G_{ii}\Delta P_{ci}^c + E_{ii}\omega_i(t) + \sum_{j \neq i} (A_{ij}x-j(t) + B_{ij}u-j(t))$$
$$\bar{x}_i(t; x_i(t), t) = x_i(t)$$
$$\left| \frac{\bar{x}_{i4}(\tau) - \bar{x}_{i2}(\tau)}{T_{CH2i-1}} \right| \leq 0.0035 \text{ p.u.MW/s}, \tau \in [t, t+T_p]$$
$$\left| \frac{\bar{x}_{i5}(\tau) - \bar{x}_{i3}(\tau)}{T_{CH2i}} \right| \leq 0.0035 \text{ p.u.MW/s}, \tau \in [t, t+T_p]$$
$$|\bar{u}_i(\tau)| \leq 0.3 \text{ p.u.MW}, \tau \in [t, t+T_p]$$

其中, $\bar{x}_i(\tau; x_i(t), t)$ 是从时间 t 的实际状态 $x_i(t)$ 开始并由给定开环输入函数 $\bar{u}_i(\tau)$ 驱动的第 i 个区域的预测轨迹。 x_{id} 是第 i 个区域状态的期望值, T_p 是一个有限的预测范围。 $Q_i \in IR^{n_i \times n_i}$ 和 $R_i \in IR^{n_i \times n_i}$ 表示对称和正定权重矩阵,可以自由选择。通过尝试法和误差法^[14]选定:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \begin{bmatrix} 100 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 100 \end{bmatrix},$$
$$R_1 = R_2 = R_3 = 1$$

3 仿真分析

考虑到实际问题中合同内供电和合同外供电的两种情况,对三区域互联 AGC 系统进行仿真,对比了采用 PID 控制器、分布式 MPC 控制器和增加了补偿环节的分布式 MPC 控制器这三种控制方式的控制效果。通过 PSO 算法对补偿环节进行参数优化,粒子群规模采用 50 个粒子迭代 50 次,经过优化后各区域选取参数为 $a_i=0, b_i=30, c_i=5.5, d_i=0$ 的补偿环节,仿真都采用 $T=1\text{ s}$ 的采样时间、 $N_p=10$ 的预测范围和 $N_c=4$ 的控制范围。电力市场开

放环境下的三区域互联 AGC 系统的参数见表 1。

表 1 三区域互联 AGC 模型参数

区域 1	区域 2	区域 3
$D_1=2$	$D_2=2.75$	$D_3=2$
$R_1^f=R_2^f=1$	$R_3^f=R_4^f=1$	$R_5^f=R_6^f=1$
$M_1^a=3.5$	$M_2^a=4$	$M_3^a=3.75$
$T_{CH1}=45,$	$T_{CH3}=40,$	$T_{CH5}=12,$
$T_{CH2}=10$	$T_{CH4}=35$	$T_{CH6}=40$
$T_{G1}=35,$	$T_{G1}=25,$	$T_{G1}=35,$
$T_{G2}=32$	$T_{G2}=32$	$T_{G2}=30$
$B_1=1$	$B_2=1$	$B_3=1$
$T_{12}=T_{13}=7.54$	$T_{21}=T_{23}=7.54$	$T_{31}=T_{32}=7.54$

3.1 配电网与发电厂自由合同交易,没有额外需求

此时发电厂和配电网按照合同上的购电交易,根据优化过的一般配电要求进行参数选取,即严格遵守 DPM 矩阵上的参数进行电力分配,取:

$$\text{DPM} = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}$$

设每一个区域配电网合同内所需的负荷变化量为 0.06 p.u.MW ,即

$$\Delta P_1^c = \Delta P_2^c = \Delta P_3^c = 0.06 \text{ p.u.MW}$$
$$\Delta P_1^u = \Delta P_2^u = \Delta P_3^u = 0 \text{ p.u.MW}$$

动态响应分析:由图 2、图 3 的仿真波形图可以看出,在三区域互联 AGC 系统中,对分布式 MPC 控制方式加了补偿环节后,超调量降低且无反向超调,调节时间也大幅降低,其控制效果明显优于其他两种控制方式。即采用基于分布式 MPC 控制的具有补偿环节的控制方式较其他两种方式超调量更小,阶跃响应能够更快稳定下来,可以证明该方法的有效性。

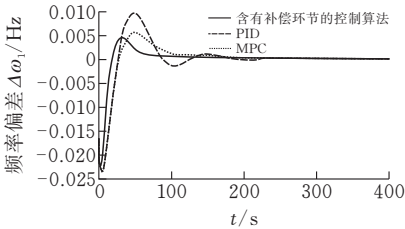
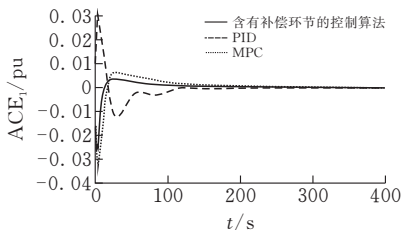
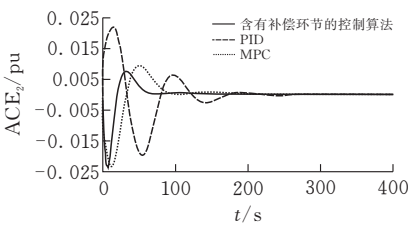


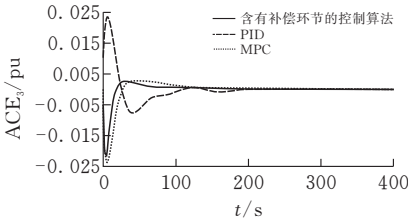
图 2 系统频率偏差响应



(a) 区域 1



(b)区域 2



(c)区域 3

图 3 ACE 响应曲线

3.2 配电网与发电厂自由合同交易,配电网有额外负荷需求

此时,配电网与发电厂之间除了严格按照合同购电交易外,根据优化过的一般配电要求进行参数选取,各区域要负责满足本区域内配电网所需的额外电量,选取:

$$\text{DPM} = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.2 & 0.2 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}, \text{APM} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix}$$

设合同内每个配电网所需负荷的变化量^[15]为 $\Delta P_1^c = \Delta P_2^c = \Delta P_3^c = 0.06\text{p.u.MW}$, 合同外每个配电网所需额外电量的变化量为:

$$\Delta P_1^u = 0.01\text{p.u.MW}, \Delta P_2^u = 0.02\text{p.u.MW},$$
$$\Delta P_3^u = 0.02\text{p.u.MW}$$

动态响应分析:可以将合同外所需的电量偏差看作是一种扰动因素,由图 4 和图 5 可以看出,相较于其他两种控制方式,增加了补偿环节的分布式 MPC 控制效果最好,能够在有外界扰动的情况下保持超调量最小,以最快的时间进入稳态,仿真结果证明了本文提出的基于 MPC 控制的具有补偿环节的控制方式在三区域互联 AGC 系统的有效性。

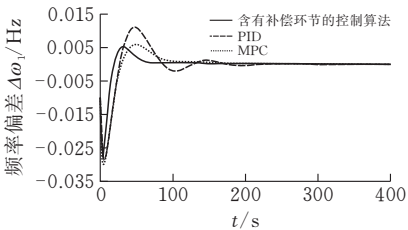
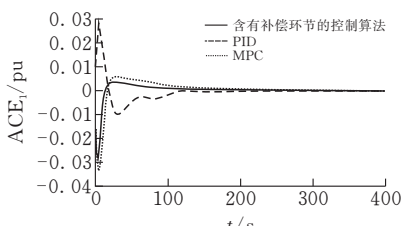
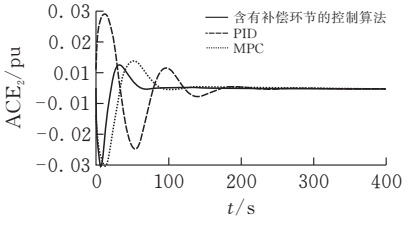


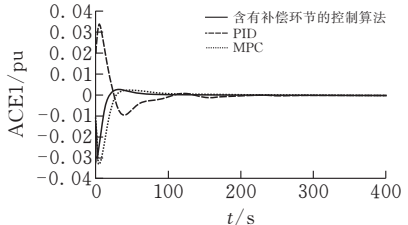
图 4 系统频率偏差响应



(a)区域 1



(b)区域 2



(c)区域 3

图 5 ACE 响应曲线

4 结论

在 MATLAB 中搭建了三区域互联 AGC 系统的模型,并在每个区域中增加一个补偿环节,改变系统结构后再采用 MPC 控制方式。对比本文提出的控制方式、传统 PID 控制方式以及常规 MPC 控制方式这三种情况,仿真结果表明,本文提出的控制方式能明显的降低的超调量并且能更快进入稳态,具有更好的控制效果。

[参 考 文 献]

[1] 胡泽春, 谢旭, 张放, 等. 含储能资源参与的自动发电控制策略研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(29): 5080-5087.

[2] Apostolopoulou D, Dominguez-García A D, Sauer P W. An assessment of the impact of uncertainty on automatic generation control systems[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2016, 31(4):2657-2665.

[3] Mohapatra S K, Dash B S, Dash P M. Application of GSA optimized PI controller parameters in automatic generation control for interconnected power system [C]// International Conference on Signal Processing, 2017.

[4] 颜伟, 赵瑞锋, 赵霞, 等. 自动发电控制中控制策略的研究发展综述[J]. 电力系统保护与控制, 2013(8):

- 149-155.
- [5] 谢平平,李银红,刘晓娟,等.基于社会学习自适应细菌觅食算法的互联电网 AGC 最优 PI/PID 控制器设计[J].中国电机工程学报,2016,36(20):5440-5448,5720.
- [6] Panda S, Yegireddy NK. Automatic generation control of multi-area power system using multi-objective non-dominated sorting genetic algorithm-II[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2013, 53(4):54-63.
- [7] 杨平,董国威.互联电网 AGC 的分数阶 PID 控制[J].电力系统及其自动化学报,2013,25(3):124-129.
- [8] Arya Y, Kumar N. BFOA-scaled fractional order fuzzy PID controller applied to AGC of multi-area multi-source electric power generating systems[J]. Swarm & Evolutionary Computation, 2017, 32:202-218.
- [9] 付鹏武,周念成,王强钢,等.基于时滞模型预测控制算法的网络化 AGC 研究[J].电工技术学报,2014,29(4):188-195.
- [10] Mc Namara P, Milano F. Efficient implementation of MPC-based AGC for real-world systems with low inertia[J]. Electric Power Systems Research, 2018, 158:315-323.
- [11] 林威,刘东,李庆生,等.基于分布式模型预测控制的主动配电网区域协同控制[J].南方电网技术,2016,10(12):10-15.
- [12] Yan Y, Zhang Y, Liu X. Distributed MPC strategy with application to AGC in the presence of variable speed wind turbine[C]// 2015 34th Chinese Control Conference (CCC). IEEE, 2015.
- [13] 李滨,李星辰,白晓清,等.电力市场下配电网可中断负荷控制策略研究[J].中国电机工程学报,2018,38(22):6573-6582.
- [14] Mohamed T H, Bevrani H, Hassan A A, et al. Decentralized model predictive based load frequency control in an interconnected power system[J]. Energy Conversion & Management, 2011, 52(2):1208-1214.
- [15] Venkat A N, Hiskens I A, Rawlings J B, et al. Distributed MPC strategies with application to power system automatic generation control[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2008, 16(6):1192-1206.
- [16] 赵熙临,林震宇,付波,等.预测优化 PID 方法在含风电电力系统 AGC 中的应用[J].电力系统及其自动化学报,2019,31(3):16-22.

Research on a AGC Method Based on the System Compensation under Deregulated Environment

MA Yihan, ZHAO Xilin, GONG Meng, ZHANG Daheng, YAO Yepi

(School of Electrical and Electronic Engin., Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China)

Abstract: The deregulated power market has brought new challenges to the traditional automatic generation control (AGC). In this paper, the influence of the power market environment on the AGC was studied with the three-area interconnected power system as the research object. First, the three-area interconnected AGC model was constructed, and the application of model predictive control (MPC) in AGC was analyzed. Then a control method based on system compensation (CPS) was put forward. It was designed to change the system structure through the design of compensation link, so that the MPC controller has better control effect. According to the power market environment, the two control requirements of the power supply contract between the distribution companies (DISCO) and the generation companies (GENCO) were taken as an example to verify the proposed method. And the concept of the DISCO Participation Matrix (DPM) and the Area Participation Matrix (APM) was added in the AGC system. The MATLAB simulation shows that the system can have better control effect compared to the traditional MPC after the increase of the compensation link.

Keywords: deregulated power market; power distribution; area interconnected power system; automatic generation control; model predictive control; system compensation

[责任编辑:张岩芳]