

[控制系统]

自抗扰控制下配电网自组织多模 决策调度算法

文/国网浙江省电力公司宁波供电公司 王 栋 周仁才 鲍 眺 曹 华

配电网多模决策调度可以提高电网的自组织决策能力,从而提高配电网的电力配置和调度的效率。由于配电网受到用户节点之间和参量内部特征的干扰影响较大,调度性能不好,因而提出一种基于自抗扰控制的配电网自组织多模决策调度算法。构建配电网自组织多模决策调度的目标函数和约束参量模型,进行自抗扰控制设计提高配电网调度中的抗干扰能力,以此实现配电网调度模型改进。仿真结果表明,采用该方法进行调度,能降低配电网的电能开销,提高用电效率,输电配电的准确度和可靠度得到提高。

电力网络是保障国计民生的一项基础设施，配电网的高效决策调度能有效提高电网的配电效率的同时，降低电能损耗和开销。电力网络是由大量电力传输路由分发节点组成，在配电网电能调度过程中，受到电网的内部节点之间的干扰较为严重，导致电能调度存在着自相关扰动，需要进行自相关扰动抑制控制，提高配电网的调度和多模决策控制能力，因而研究配电网的多模决策算法具有重要意义。

配电网多模决策调度可以提高电网的自组织决策能力,从而提高配电网的电力配置和调度的效率。本文提出一种基于自抗扰控制的配电网自组织多模决策调度算法,构建了配电网自组织多模决策调度的目标函数和约束参量模型,进行自抗扰控制设计提高配电网调度中的抗干扰能力,以此实现了对配电网调度模型的改进。最后通过仿真试验进行了性能测试,得出有效性结论。

配电网自组织多模决策调度的目标函数和约束参量模型

1. 问题描述和配电网自组织多模决策调度的目标函数

为了实现对配电网自组织多模决策调度, 首

先分析配电网的网络结构和约束参量模型, 基于 PSO 的分布式自组网原理, 得到配电网多模块调度采用的是电网的信息节点和数据负载的多模块关系模型, 可将其表述为

$$f_1(SC_1^j, SC_2^j, \dots SC_n^j) = SS_i, SC_n^j \in C_{sc} \quad (1)$$

$$f_2 (SS_1^k, SS_2^k, \dots SS_m^k) = SA_k, SS_m^k \in C_{ss} \quad (2)$$

其中, C_{SC} 、 C_{SS} 分别表示配电网进行多模决策调度过程中的自适应轮换调度测量集合。

分析配电网的多模决策调度的目标函数特征需求,采用无向图分析方法。采用以下的相关符号表示网络中的异构节点,其中

$$M_{N(n+M+1)} = \begin{bmatrix} X_{1,1} & \cdots & X_{1,n} & X_{1,n+1} & \cdots & X_{1,n+m} & y_1 \\ & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ \vdots & & X_{N,1} & \cdots & X_{N,n} & X_{N,n+1} & \cdots & X_{N,n+m} & y_N \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(3)表示 N 条记录的电网中的功率、电压及电流等特征数据集,考虑到物联网无线配电网用户节点行为(数据接收、处理、输出及融合等)的交互历史数据和交互时间变化,考虑到一个传送节点(中间节点) S ,自组织多模配电网用户系统的节点自适应轮换调度测量模型可以表示为

$$z_k^i = h_k^i(x_k, u_k) + v_k^i, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

式中, i ($i=1, 2, \dots, M$) 表示相应于自组织多模

配电网用户的参数。配电网自组织多模决策调度的三通道模型表述为

$$\begin{cases} \dot{\varphi}_a = -(b_1 + \Delta b_1)\dot{\varphi}_a - (b_2 + \Delta b_2)\varphi_a - (b_3 + \Delta b_3)\delta_\varphi + fd_1 \\ \dot{\psi}_a = -(b_1 + \Delta b_1)\dot{\psi}_a - (b_2 + \Delta b_2)\psi_a - (b_3 + \Delta b_3)\delta_\psi + fd_2 \\ \dot{\gamma}_a = -(d_3 + \Delta d_3)\delta_\gamma + fd_3 \end{cases} \quad (5)$$

式中, φ_a 、 ψ_a 、 γ 为配电网多模决策调度的线性多变量; $\dot{\varphi}_a$ 、 $\dot{\psi}_a$ 、 $\dot{\gamma}$ 为无网络结点变量结构体的电压参量; $\ddot{\varphi}_a$ 、 $\ddot{\psi}_a$ 、 $\ddot{\gamma}$ 为配电网多模决策调度的电流参数变量; b_1 、 b_2 、 b_3 、 d_3 为每个传输调度集的已知系数; Δb_1 、 Δb_2 、 Δb_3 、 Δd_3 为未确定系数; fd_1 、 fd_2 、 fd_3 为配电网的用户特征点附近的干扰参量; δ 、 δ_ψ 、 δ_γ 为簇首节点集发送的功率特征参量的控制输入。这里视配电网多模决策调度下的扰动为非线性高斯色噪声扰动, 进一步整理可得到

$$\begin{cases} \ddot{\varphi}_a = -b_1\dot{\varphi}_a - b_2\varphi_a - b_3\delta_\varphi + \rho_1 \\ \ddot{\psi}_a = -b_1\dot{\psi}_a - b_2\psi_a - b_3\delta_\psi + \rho_2 \\ \ddot{\gamma}_a = -d_3\delta_\gamma + \rho_3 \end{cases} \quad (6)$$

式中, $\rho_1 = -\Delta b_1\dot{\varphi}_a - \Delta b_2\varphi_a - \Delta b_3\delta_\varphi + fd_1$, $\rho_2 = -\Delta b_1\dot{\psi}_a - \Delta b_2\psi_a - \Delta b_3\delta_\psi + fd_2$, $\rho_3 = -\Delta d_3\delta_\gamma + fd_3$ 为不确定项。由此构建了配电网自组织多模决策调度的目标函数构建, 通过多变量约束参量分析和求解, 实现控制优化。

2. 配电网的多模决策调度的约束参量分析

在上述构建了配电网自组织多模决策调度的目标函数的基础上, 构建配电网的多模决策调度的约束参量模型, 配电网自组织多模决策调度的动态约束参量问题描述为

$$x(k+1) = A(k)x(k) + \Gamma(k)w(k) \quad (7)$$

$$z_i(k) = H_i(k)x(k) + u_i(k), \quad i=1, 2, \dots, M \quad (8)$$

其中, $x(k) \in R^{n1}$ 为网络系统中动态扩展状态信息, $A(k) \in R^{mm}$ 为配电网进行多模决策调度的状态转移矩阵, 不考虑配电网进行多模决策调度的不确定因素时, 得到进行智能配电过程中的鲁棒PID控制器参数集, 配电网决策调度中的线性化的小扰动特征误差向量形式为

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = e_2 \\ \dot{e}_2 = M_n^{-1}u - M_n^{-1}h_n(\varphi_a, \dot{\varphi}_a) - \ddot{\varphi}_{ad} \end{cases} \quad (9)$$

通过上述方程联立, 求得配电网进行多模决策调度的约束参量的跟踪误差, 此时将几何控制域中的自抗扰控制的矢量特征面定义为

$$s = ce_1 + e_2 \quad (10)$$

则

$$\dot{s} = c\dot{e}_1 + \dot{e}_2 = c\dot{e}_2 + \dot{e}_2 \quad (11)$$

根据Lyapunove稳定性原理, 进行自抗扰控制的输出误差令为

$$\dot{s} = 0 \quad (12)$$

考虑系统存在不确定因素, 在实际的配电网多模决策调度的自抗扰控制中, 计算纵向调度参数, 得到控制约束参量达到配电网平衡的条件为

$$u_0 = -\text{sgn}(M_n) \bar{\rho}(t) - \text{sgn}(s) \quad (13)$$

均设阈值为零, 则总的输出特征矢量为

$$\begin{aligned} u &= u_{eq} + u_0 \\ &= h_n(\varphi_a, \dot{\varphi}_a) + M_n\ddot{\varphi}_{ad} - M_nce_2 \\ &\quad - \text{sgn}(M_n) \bar{\rho}(t)\text{sgn}(s) \end{aligned} \quad (14)$$

根据上述目标函数进行优化求解, 实现配电网的多模决策调度。

自抗扰控制及多模决策调度算法实现

在上述构建配电网自组织多模决策调度的目标函数和约束参量模型的基础上, 进行配电网的多模决策调度算法改进设计, 提高配电网的电力配置和调度的效率。为了克服传统方法的弊端, 本文提出一种基于自抗扰控制的配电网自组织多模决策调度算法。配电网受到用户节点之间和参量内部特征的干扰影响较大, 进行自抗扰控制设计提高配电网调度中的抗干扰能力, 以此实现配电网调度模型改进。假设每个二维多层时隙中配电网的起始节点 CH_i ($i \in C_i$) 延迟环节的干扰信息用传递函数表述为

$$\gamma(s) = \frac{e^{-Lms}}{(\lambda_1 s + 1)} R(s) + \frac{(\lambda_2 s + L_m)s}{(\lambda_2 s + 1)} D(s) \quad (15)$$

每个传输调度集 S_i ($i=1, 2, \dots, L$) 满足 C_1 ($C_1 \subseteq C, C_1 \neq \emptyset$), 当网络的簇首节点集发送的配电信息不准确时, 存在干扰误差方程

$$\frac{\gamma(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G_0(s)e^{-\tau s}}{1 + G_c(s)G_m(s) + G_c(s)(G_0(s)e^{-\tau s} - G_m(s)e^{-Lms})} \quad (16)$$

采用自抗扰控制, 得到配电网通过干扰抑制后的输出为 $G_m(s) = G_0(s)$, $t_m = \tau$, 网络结点变量结构体反馈特征信息为

$$H(s) + \gamma(s) = G_m(s)U(s) \quad (17)$$

采用时滞二自由度决策模型计算配电网在受到持续扰动下的多模决策调度输出模型, 输出为

$$F(x) + \sum_{i=1}^N v_i^2(x) = v^T(x)v(x) \quad (18)$$

假设 $f_i(x_i; \theta_i)$ 为配电网中时滞矢量为 θ_i (1、2...n) 的可靠性界定分布函数, 最小梯度下降下配

电网的自组织多模特征状态方程为

$$\begin{cases} \sigma_1(\varphi_a, \dot{\varphi}_a) = \frac{1}{1 + e^{-(\omega_{11}\varphi_a + \omega_{12}\dot{\varphi}_a)}} \\ \sigma_2(\varphi_a, \dot{\varphi}_a) = \frac{1}{1 + e^{-\int (\omega_{21}\varphi_a + \omega_{22}\dot{\varphi}_a) dt}} \\ \sigma_3(\varphi_a, \dot{\varphi}_a) = \frac{1}{1 + e^{-d(\omega_{31}\varphi_a + \omega_{32}\dot{\varphi}_a)}} \end{cases} \quad (19)$$

式中, $\int(\cdot)dt$ 是样本输入的多变量控制的积分项, 在配电网的调度控制中为一个鲁棒性跟踪控制参量; 而 $d(\cdot)$ 是微分符号, 假设配电网的自组织多模调度的输出矢量 $vF(x)$ 是二阶梯度 $v^2F(x)$ 的第 k 次迭代值。根前馈补偿得到 $F(x_{k+1})$ 在偏导数为零处取极小值, 采用 Lyapunov 泛函, 得到二自由度控制下的配电网的汇集节点结合满足

$$g_k + A_k \Delta x_k = 0 \quad (20)$$

通过构造李雅普诺夫泛函, 解得

$$x_{k+1} = x_k - A_k^{-1} g_k \quad (21)$$

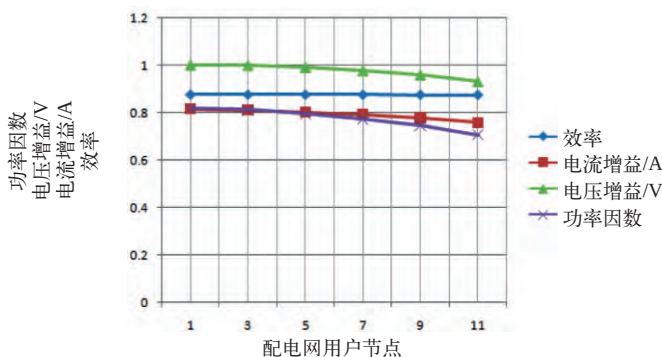
配电网生成新的调度矢量集合 m_{agg} 并传送至基站, 基于双模鲁棒预测控制, 设 $F(x)$ 为负载神经元的输出, 即

$$x_{k+1} = x_k - [J^T(x_k)J(x_k) + \mu_k I]^{-1} J^T(x_k) v(x_k) \quad (22)$$

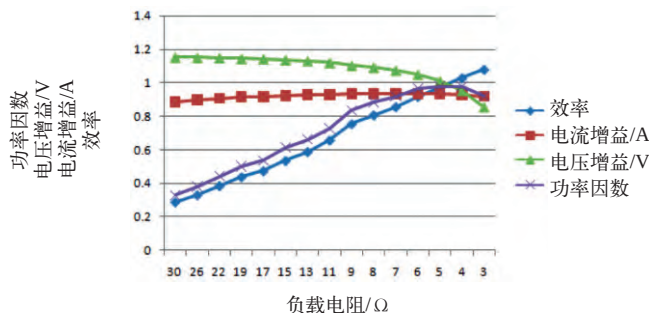
则持续扰动下通过自抗扰控制, 得到调度矢量集第 f 个分量为, 当 $S(x)$ 很小时, $v^2F(x)$ 可以近似表示为

$$[v^2F(x)]_{kf} \cong 2J^T(x_k)J(x_k) \quad (23)$$

根据上述调度算法改进设计, 实现配电网调度性能的提升。



(a) 不同用户节点



(b) 不同负载

图 性能测试

仿真实验与分析

为了测试自抗扰控制下配电网自组织多模决策调度算法在提高配电网的配电调度能力方面的应用性能, 进行仿真实验, 采用 NetLogo V4.1RC5 仿真工具进行仿真平台设计, 设置一个 $500 \text{ km} \times 100 \text{ km}$ 的配电网的用户覆盖区域, 试验执行 1 000 轮调度轮次进行配电网的信息特征采集和干扰抑制, 通过自抗扰控制提高抗干扰能力, 在此基础上实现配电网的自组织多模决策调度, 以不同用

户节点下通过配电网调度后的配电效率、功率因数、电压及电流等参量为测试指标, 得到不同负载和不同用户节点下的参量测试仿真输出结果如下图所示。从上图可见, 采用本文所设计的方法进行配电网的多模决策调度, 能降低配电网的电能开销, 提高用电效率, 输电配电的准确度和可靠性得到提高。EA

(收稿日期: 2016.04.06)

(编辑: 杨得润)