

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 6 月 18 日 (18.06.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/119012 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 17/50 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/085188

(22) 国际申请日: 2019 年 4 月 30 日 (30.04.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201811517302.0 2018 年 12 月 12 日 (12.12.2018) CN

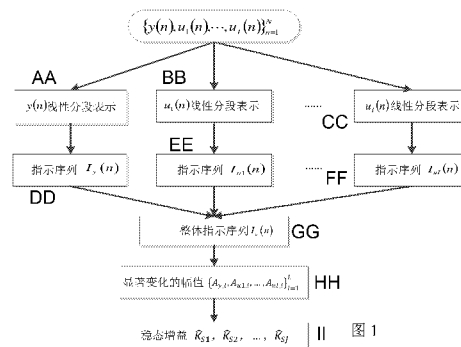
(71) 申请人: 山东科技大学(SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。

(72) 发明人: 王建东(WANG, Jiandong); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 杨子江(YANG, Zijiang); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 王振(WANG, Zhen); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 曹鹏飞(CAO, Pengfei); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 白星振(BAI, Xingzhen); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。 周东华(ZHOU, Donghua); 中国山东省青岛市黄岛区前湾港路 579 号, Shandong 266590 (CN)。

(74) 代理人: 济南圣达知识产权代理有限公司(JINAN SHENGDA INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY)

(54) Title: DYNAMIC SYSTEM STATIC GAIN ESTIMATION METHOD BASED ON HISTORICAL DATA RAMP RESPONSE

(54) 发明名称: 基于历史数据斜坡响应的动态系统静态增益估计方法



AA $y(n)$ linear piecewise representation
BB $u_1(n)$ linear piecewise representation
CC $u_I(n)$ linear piecewise representation
DD Indication sequence $I_y(n)$
EE Indication sequence $I_{u_1}(n)$
FF Indication sequence $I_{u_I}(n)$
GG Integral indication sequence $I_0(n)$
HH Significant variation amplitude equation[1]
II Steady-state gain $K_{S1}, K_{S2}, \dots, K_{SJ}$

(57) Abstract: The present invention relates to a dynamic system static gain estimation method based on a historical data ramp response. The method involves: first, completing the analysis of historical data, and dividing an input time sequence and an output time sequence into short data segments by using a piecewise linear representation method; second, finding a ramp response where input and output are both linear and an amplitude variation is relatively large, wherein a threshold of a relatively large amplitude variation is determined according to a correlation between the amplitude variation and a determination coefficient; and finally, solving a plurality of linear

CO., LTD.); 中国山东省济南市经十路17703号华特广场B308室, Shandong 250061 (CN)。

- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

equations with a relatively large ramp response amplitude variation to obtain an estimated static gain. In the present invention, the effectiveness of the method can be visually verified, such that the problem of a static gain estimation being difficult to be verified by using a system identification method is overcome, thereby avoiding the situation that a deviation between the estimated static gain and an actual gain cannot be determined.

(57) 摘要: 本发明涉及基于历史数据斜坡响应的动态系统静态增益估计方法。该方法首先要完成对历史数据的分析, 采用分段线性表示方法将输入和输出的时间序列分割成短数据段。其次, 找出输入和输出同时呈直线且处于振幅变化较大的斜坡响应, 较大幅度变化的阈值是根据振幅变化与确定系数之间的关系确定的。最后通过求解斜坡响应幅值变化较大的多个线性方程, 得到估计的静态增益。本发明可以通过可视化验证该方法的有效性, 克服了使用系统识别方法难以验证静态增益估计的问题。从而避免了估计的静态增益和实际增益之间偏差无法判断的情况。

基于历史数据斜坡响应的动态系统静态增益估计方法

技术领域

本公开涉及工业大数据分析技术领域，特别是涉及基于历史数据斜坡响应的动态系统静态增益估计方法。

背景技术

本部分的陈述仅仅是提高了与本公开相关的背景技术，并不必然构成现有技术。

静态增益是动态系统的重要信息，动态系统的静态增益通常用于设计反馈控制器、监测过程变化和优化运行性能，静态增益可在动态系统设计阶段获得，而设计阶段和实际操作的条件不同，因此，动态系统的静态增益在实践中往往是不可用的，必须从观察到的数据样本中估计。一种常用的方法就是从输入和输出的稳态值或某些特殊类型的测试中估计动态系统的静态增益。

现有方法存在两个局限性。首先，稳态条件下的数据样本很难获得，对于某些动态系统，不允许做特殊类型的测试。因此，从日常操作收集的数据样本来估计静态增益是可取的。第二，系统辨识技术是基于一个假设条件，假设模型集足够丰富，足以包含真实模型；而且，这种假设在实践中无法证实，也无法找到估计的静态增益和实际增益之间的偏差。

发明内容

为了解决现有技术的不足，本公开提供了基于历史数据斜坡响应的动态系统静态增益估计方法，从隐藏在工业大数据中的相关信息估计动态系统的静态增益。此方法不依赖数据分析，而且也避免了估计的静态增益和实际增益之间偏差无法判断的情况。在模型估计方面有很好的应用价值，可以克服系统辨识的不确定性。

第一方面，本公开提供了基于历史数据斜坡响应的动态系统静态增益估计方法；

基于历史数据斜坡响应的动态系统静态增益估计方法，包括：

采用分段线性表示方法将动态系统的输出时间序列分割成若干个输出时间段；同时，将动态系统的输入时间序列分割成若干个输入数据段；每个数据段均用一条直线表示；

找出输入值和输出值同时均处于各自的直线数据段上且输入值和输出值的振幅变化均超过设定阈值的数据段，此数据段即为目标斜坡响应，将找出的所有输入数据段和所有输出数据段组成具有显著振幅变化的数据段集合；

通过具有显著振幅变化的数据段集合，估计静态增益。

作为一种可能的实现方式，所述将动态系统的输出时间序列分割成若干个输出时间段的

具体步骤为:

将时间序列 $\{y(n)\}_{n=1}^N$ 分离为 M 个数据段 $\{y(n)\}_{n=n_1}^{n_2-1}$, $\{y(n)\}_{n=n_2}^{n_3-1}$, $\dots$, $\{y(n)\}_{n=n_M}^N$, 对于第 m 个数据段 $\{y(n)\}_{n=n_m}^{n_{m+1}-1}$, n_m 表示第 m 段中第一个数据样本, $m \in [1, M]$, $n_{m+1} - n_m - 1$ 为第 m 段数据段中的样本总数;

用线性回归模型来描述:

$$y(n) = a_m + b_m n + e(n);$$

其中, a_m 表示第 m 段数据段的初始值, b_m 表示第 m 段数据段的斜率, $e(n)$ 是干扰; 假设 $e(n)$ 是具有零均值和方差为 σ_e^2 的白噪声; 得到拟合线性方程:

$$\hat{y}(n) = \hat{a}_m + \hat{b}_m n;$$

其中, $\hat{y}(n)$ 、 $\hat{a}_m$ 和 $\hat{b}_m$ 分别是 $y(n)$ 、 a_m 和 b_m 的估计值, 用 M 表示数据段个数;

M 的估计值 $\hat{M}$:

$$\hat{M} = \arg \max_M \frac{\log \frac{L(M-1)}{L(M)} - \log \frac{L(M)}{L(M+1)}}{\log \frac{L(M-1)}{L(M)} + \log \frac{L(M)}{L(M+1)}};$$

其中, $L(M)$ 为拟合误差损失函数:

$$L(M) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=n_m}^{n_{m+1}-1} (y(n) - \hat{a}_m - \hat{b}_m n)^2.$$

作为一种可能的实现方式, 将动态系统的输入时间序列分割成若干个输入数据段:

采用分段线性表示方法将输入的时间序列 $\{u_i(n)\}_{n=1}^N$ 分割为 M 个数据段 $\{u_i(n)\}_{n=n_1}^{n_2-1}$, $\{u_i(n)\}_{n=n_2}^{n_3-1}$, $\dots$, $\{u_i(n)\}_{n=n_M}^N$; 时间序列 $\{u_i(n)\}_{n=1}^N$ 的分段个数 M , M 的估计值:

$$\hat{M} = \arg \max_M \frac{\log \frac{L(M-1)}{L(M)} - \log \frac{L(M)}{L(M+1)}}{\log \frac{L(M-1)}{L(M)} + \log \frac{L(M)}{L(M+1)}}.$$

作为一种可能的实现方式, 找出输入值和输出值同时均处于各自的直线数据段上且输入值和输出值的振幅变化均超过设定阈值的数据段, 此数据段即为目标斜坡响应, 将找出的所有输入数据段和所有输出数据段组成具有显著振幅变化的数据段集合的具体步骤为:

对于输出来说, 计算第 m 段的振幅变化量:

$$A_{y,m} = \hat{y}(n_{m+1} - 1) - \hat{y}(n_m),$$

引入序列:

$$\{I_y(n)\}_{n=n_m}^{n_{m+1}-1} = \begin{cases} 1, & A_{y,m} \geq A_{y,0}, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中, $A_{y,0}$ 为 y 显著幅度变化的阈值;

对于输入来说, 计算每个数据段的振幅变化值 $A_{u_i,m}$, 同样引入序列:

$$\{I_{u_i}(n)\}_{n=n_m}^{n_{m+1}-1} = \begin{cases} 1, & A_{u_i,m} \geq A_{u_i,0}, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中, $A_{u_i,0}$ 为 u_i 显著幅度变化的阈值;

整体序列:

$$I_0(n) = \prod_{i=1, \dots, I} I_{u_i}(n) \cdot I_y(n),$$

保留整体序列 $I_0(n) = 1$ 的数据段, 当 $I_0(n) = 1$ 时, 表示输入输出同时处于幅度变化超过设定阈值且同时处于直线数据段上, 将有显著振幅变化的数据段组成一个集合 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_I,l}\}_{l=1}^L$ 。

作为一种可能的实现方式, 通过具有显著振幅变化的数据段集合, 估计静态增益的具体步骤为:

步骤 3.1: 通过最小二乘法估计 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_I,l}\}_{l=1}^L$ 的静态增益 $K_1, K_2, \dots, K_I$;

K 是由 $K_1, K_2, \dots, K_I$ 组成的 I 维向量, K 的估计 $\hat{K}$ 是由最小二乘法得到的:

$$\hat{K} = (A_u^T A_u)^{-1} A_u^T A_y.$$

从 K 的高斯分布, 估计 K 的置信区间;

步骤 3.2: 找出 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_I,l}\}_{l=1}^L$ 中 $A_{y,l}$ 与其估计值 $\hat{A}_{y,l} = A_u \hat{K}$ 偏差最大的数据段第 l_0 段, 如果该段幅值变化满足不等式:

$$|A_{y,l_0} - \hat{A}_{y,l_0}| \geq \delta_y,$$

则将 $\{A_{y,l_0}, A_{u_1,l_0}, \dots, A_{u_I,l_0}\}$ 从 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_I,l}\}_{l=1}^L$ 中移除, 其中 δ_y 是用户选择的参数, 表示 A_{y,l_0} 和 $\hat{A}_{y,l_0}$ 最大偏差的可接受水平。

步骤 3.3: 重复步骤 3.1 和 3.2, 直到找不到幅值偏差大于 δ_y 的数据段; 此时, 估计的静态增益矢量表示为 $\hat{K}_{S_1}$, 其中 S_1 是当前步骤结束时得到幅度显著变化的集合, 即 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_I,l}\}_{l \in S_1}$ 。

步骤 3.4: 剩余的具有显著变化幅值的数据段集合为:

$$\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l=1}^L - \{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l \in S_1},$$

重复步骤 3.1 到步骤 3.3，直到剩余集合中数据段数目小于 l ，最后，获得静态增益 $\hat{K}_{S_1}$ ， $\hat{K}_{S_2}$ ， $\dots$ ， $\hat{K}_{S_j}$ 。

与现有技术相比，本公开的有益效果是：通过可视化验证该方法的有效性，克服了使用系统识别方法难以验证静态增益估计的问题。

附图说明

构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本申请的进一步理解，本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请，并不构成对本申请的不当限定。

图 1 为本发明的基于工业大数中斜坡响应的动态系统静态增益估计流程图；

图 2 (a) -图 2 (d) 为本发明具体实施示例中的采样数据样本图；

图 3 (a) -图 3 (f) 为本发明具体实施示例中的计算数据图。

具体实施方式

应该指出，以下详细说明都是示例性的，旨在对本申请提供进一步的说明。除非另有指明，本文使用的所有技术和科学术语具有与本申请所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

需要注意的是，这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式，而非意图限制根据本申请的示例性实施方式。如在这里所使用的，除非上下文另外明确指出，否则单数形式也意图包括复数形式，此外，还应当理解的是，当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时，其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

专业术语解释：

所述动态系统，是指状态随时间而变化的系统。所述静态增益，是指从一个稳态到新的稳态，系统的单位变化程度。

所述斜坡响应，是指一个输入量的变化斜率从零跃增到某有限值引起的时间响应。

所述输出时间序列，是指输出数值按其发生的时间先后顺序排列而成的数列。

所述输入时间序列，是指输入变量值按其发生的时间先后顺序排列而成的数列。

实施例一

如图 1 所示，基于历史数据斜坡响应的动态系统静态增益估计方法，包括：

步骤 1：将输出 y 和输入 u_i 的时间序列分割成短数据段，每个数据段用一条直线表示。我们采用分段线性表示方法描述输出 y 的分段。

将时间序列 $\{y(n)\}_{n=1}^N$ 分离为 M 个短数据段 $\{y(n)\}_{n=n_1}^{n_2-1}$, $\{y(n)\}_{n=n_2}^{n_3-1}$, $\dots$, $\{y(n)\}_{n=n_M}^N$ 。对于第 m 个数据段 $\{y(n)\}_{n=n_m}^{n_{m+1}-1}$, n_m 表示第 m 段中第一个数据样本, $m \in [1, M]$, $n_{m+1} - n_m - 1$ 为第 m 段数据段中的样本总数;

用线性回归模型来描述:

$$y(n) = a_m + b_m n + e(n),$$

其中, a_m 表示第 m 段数据段的初始值, b_m 表示第 m 段数据段的斜率, $e(n)$ 是干扰; 假设 e 是具有零均值和方差为 σ_e^2 的白噪声; 得到拟合线性方程:

$$\hat{y}(n) = \hat{a}_m + \hat{b}_m n;$$

其中, $\hat{y}(n)$ 、 $\hat{a}_m$ 和 $\hat{b}_m$ 分别是 $y(n)$ 、 a_m 和 b_m 的估计值, 用 M 表示数据段个数;

M 的估计值 $\hat{M}$:

$$\hat{M} = \arg \max_M \frac{\log \frac{L(M-1)}{L(M)} - \log \frac{L(M)}{L(M+1)}}{\log \frac{L(M-1)}{L(M)} + \log \frac{L(M)}{L(M+1)}},$$

其中, $L(M)$ 为拟合误差损失函数:

$$L(M) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=n_m}^{n_{m+1}-1} (y(n) - \hat{a}_m - \hat{b}_m n)^2.$$

步骤 2: 从数据段中找出输入和输出同时处于直线上且振幅变化较大的斜坡响应。

对于第 m 个数据段 $\{y(n)\}_{n=n_m}^{n_{m+1}-1}$, 这段数据的振幅变化量:

$$A_{y,m} = \hat{y}(n_{m+1} - 1) - \hat{y}(n_m).$$

引入指示序列:

$$\{I_y(n)\}_{n=n_m}^{n_{m+1}-1} = \begin{cases} 1, & A_{y,m} \geq A_{y,0} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases},$$

其中, $A_{y,0}$ 为 y 显著幅度变化的阈值。

构造一个确定系数 D_m , 当 D_m 的值越接近 1, 说明拟合度越高。 D_m 与 $A_{y,m}$ 可用一种关系近似表示 $D_m \approx 1 - \frac{\sigma_e^2}{\sigma_e^2 + \frac{1}{12} A_{y,m}^2}$, 若给定 D_m 的下界 $D_0 = 0.8$, 可得到 $A_{y,0}$ 的值。

同理, 计算输入的振幅变化量和指示序列 $\{I_{u_i}(n)\}_{n=n_m}^{n_{m+1}-1}$, 得到 u_i 显著幅度变化的阈值 $A_{u_i,0}$ 。

那么整体序列为:

$$I_0(n) = \prod_{i=1, \dots, I} I_{u_i}(n) \cdot I_y(n),$$

保留整体序列 $I_0(n) = 1$ 的数据段, 当 $I_0(n) = 1$ 时, 表示输入输出同时处于幅度变化较大

且为直线的数据段上,所有这些显著的振幅变化的数据段组成一个集合 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l=1}^L$ 。

步骤 3: 由输入和输出有显著振幅变化的斜坡响应估计静态增益。

步骤 3.1: 通过求解多个线性方程组,估计 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l=1}^L$ 的静态增益 $K_1, K_2, \dots, K_l$ 。 K 是由 $K_1, K_2, \dots, K_l$ 组成的 l 维向量, K 的估计是由最小二乘法得到的:

$$\hat{K} = (A_u^T A_u)^{-1} A_u^T A_y。$$

从 K 的高斯分布,可以估计 K 的置信区间。

步骤 3.2: 找出振幅变化 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l=1}^L$ 中 $A_{y,l}$ 与其估计值 $\hat{A}_{y,l} = A_u \hat{K}$ 之间偏差最大的数据段 l_0 , 如果该段幅值变化满足不等式:

$$|A_{y,l_0} - \hat{A}_{y,l_0}| \geq \delta_y,$$

则将 $\{A_{y,l_0}, A_{u_1,l_0}, \dots, A_{u_l,l_0}\}$ 从 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l=1}^L$ 中移除, 其中 δ_y 是用户选择的参数, 表示 A_{y,l_0} 和 $\hat{A}_{y,l_0}$ 之间最大差的可接受水平。

步骤 3.3: 重复步骤 3.1 和 3.2, 直到找不到振幅变化偏差大于 δ_y 的数据段。估计的静态增益矢量表示为 $\hat{K}_{S_1}$, 其中 S_1 是本步骤结束时得到幅度显著变化的集合, 即 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l \in S_1}$ 。

步骤 3.4: 此时, 剩余的具有显著变化幅值的数据集合为:

$$\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l=1}^L - \{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l \in S_1},$$

重复步骤 3.1-3.3, 直到剩余显著幅度变化的数据段数目小于 I 。最后, 获得多组静态增益估计 $\hat{K}_{S_1}, \hat{K}_{S_2}, \dots, \hat{K}_{S_j}$ 。

本实施例中各步骤的结果都可以通过目测相关图形来验证准确性。例如, 查找到的斜坡响应, 可以通过检查输入和输出数据段是否在直线上来验证查找的准确性。

实施例二

本实施例的目的是提供一种大型 300 MW 燃煤发电机组静态增益估计方法。

为了实现上述目的, 本实施例提供了一种大型 300 MW 燃煤发电机组静态增益估计方法, 包括以下步骤:

采集机组中产生的有功功率作为输出, 采集主蒸汽流量的控制器输出和主蒸汽压力作为输入, 得到数据样本;

将输出和输入的时间序列分割成短数据段，每个数据段用一条直线表示；
从数据段中找出输入和输出同时处于直线上且振幅变化较大的斜坡响应；
由输入和输出有显著振幅变化的斜坡响应估计燃煤发电机组的静态增益。
以下是本发明所述方法在具体示例中的应用。

以某大型 300 MW 燃煤发电机组为例，在采样周期 $h=1s$ 的情况下，采集了机组中的有功功率 (y) 数据样本作为系统输出、主蒸汽流量的控制器输出 (u_1) 和主蒸汽压力 (u_2) 数据样本作为系统输入。估计 u_1 和 y 的静态增益 G_1 及 u_2 和 y 的静态增益 G_2 。

第一步，在 2018 年 5 月 31 日，采用分段线性表示方法对一个小时的数据样本进行分段。图 2(a)和图 2(b)为 $\{y(n)\}_{n=1}^{N=3600}$ 的时序图，计算出 $\hat{M} = 3$ ，表示将一小时数据样本分为 3 段。类似地，可以得到 $\{u_1(n)\}_{n=1}^{N=3600}$ 和 $\{u_2(n)\}_{n=1}^{N=3600}$ 的分段结果，如图 2(c)和图 2(d)所示。

第二步，找到 y 、 u_1 和 u_2 的数据段同时处于振幅变化很大的直线上的斜坡响应。利用 5 月 1 日 10 小时数据样本，计算振幅变化 $A_{y,m}$ 和确定系数 D_m ，以及白噪声 e 的方差估计 $\sigma_e^2 = 0.1835$ 。

已知 $\sigma_e^2 = 0.1835$ 和 $D_0 = 0.8$ ，计算出 y 的显著振幅变化阈值为 $A_{y,0} = 2.9675MW$ 。相应的可以计算出 u_1 和 u_2 的阈值分别为 $A_{u_1,0} = 2.5984\%$ 和 $A_{u_2,0} = 0.208MPa$ 。

表 1 为输出 y 和输入 u_1 、 u_2 的数据段振幅变化量。对于图 2(a)中 y 的三个数据段，其振幅的变化都大于 $A_{y,0}$ ；对于图 2(c)中的 u_1 ，前三个振幅变化大于 $A_{u_1,0}$ ；对于图 2(d)中的 u_2 ，五个振幅变化中只有两个值大于 $A_{u_2,0}$ 。根据总指示序列 $I(n)$ ，得到三段输入和输出同时有显著振幅变化的数据段：[1, 658]，[1136, 1677]和[1678, 2305]。得到 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, A_{u_2,l}\}_{l=1}^3$

第三步，从集合 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, A_{u_2,l}\}_{l=1}^3$ 中估计静态增益组，如图 3(a)、图 3(b)和图 3(c) 所示，选择 $A_{y,l}$ 和 $\hat{A}_{y,l}$ 之间最大偏差的可接受水平 $\delta_y = \frac{1}{3}A_{y,0} = 0.9892MW$ ，表 2 给出了三组静态增益估计及其置信区间。如图 3 (d)、图 3 (e) 和图 3 (f) 所示 $A_{y,l}$ 和 $\hat{A}_{y,l}$ 之间偏差都小于 δ_y 。说明此方法估计静态增益的有效性。

表 1 本发明具体实施示例中样本数据信息表

y	$A_{y,m}$	$[n_m, n_{m+1} - 1]$
	22.5366	[1,1135]
	6.4357	[1136,1677]

	8.4425	[1678,3600]
u_1	$A_{u_1,m}$	$[n_m, n_{m+1} - 1]$
	9.8769	[1,1061]
	-4.9753	[1062,2316]
	3.3184	[2317,3143]
	-0.5690	[3144,3600]
u_2	$A_{u_2,m}$	$[n_m, n_{m+1} - 1]$
	0.2285	[1,658]
	-0.1032	[659,1104]
	1.0254	[1105,2305]
	-0.1267	[2306,2998]
	0.1449	[2999,3600]

表 2 本发明具体实施示例中静态增益计算结果和置信区间表

组别	静态增益	估计值	置信区间
#1	K_1	1.8781	[1.8452,1.9110]
	K_2	18.9280	[18.6216,19.2344]
#2	K_1	2.3132	[2.2720,2.3544]
	K_2	22.7161	[22.2615,23.1707]
#3	K_1	2.2287	[2.1840,2.2735]
	K_2	15.7881	[15.3865,16.1896]

实施例三

本实施例的目的是基于实施例二所述静态增益估计方法，提供了一种反馈控制器设计方法。具体包括以下步骤：

采集机组中产生的有功功率作为输出，采集主蒸汽流量的控制器输出和主蒸汽压力作为输入，得到数据样本；

将输出和输入的时间序列分割成短数据段，每个数据段用一条直线表示；

从数据段中找出输入和输出同时处于直线上且振幅变化较大的斜坡响应；

由输入和输出有显著振幅变化的斜坡响应估计燃煤发电机组的静态增益；

将所述静态增益用于所述发电机组的反馈控制器设计。

以设计一种大型 300 MW 燃煤发电机组的某一阶加延迟系统的反馈控制器为例，反馈控制器 $C(s)$ 限定为 PI 形式，那么反馈控制器可以表示为： $C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$ ；假设一阶加延迟系统 $G(s) = \frac{K}{Ts+1} e^{-\tau s}$ 的时间常数 T 和延迟 τ 已知。所述反馈控制器设计方法包括以下步骤：

采集其相关的输出(y)、和输入(u)的数据样本；

将输出 y 和输入 u 的时间序列分割成短数据段，每个数据段用一条直线表示；

从数据段中找出输入 u 和输出 y 同时处于直线上且振幅变化较大的斜坡响应；

由有显著振幅变化的输入和输出的斜坡响应估计出动态系统的静态增益 K ；由已知的系统时间常数 T 和延迟 τ ，及求得的静态增益 K ；使用 Ziegler-Nichols 参数整定法，根据经验整定公式，计算出反馈控制器参数 K_p 和 T_i ；

完成控制器的参数设计，得到反馈控制器： $C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$ 。

上述实施例二和三中涉及的各步骤均与实施例一相对应，具体实现方法可参照实施例一。

以上所述仅为本申请的优选实施例而已，并不用于限制本申请，对于本领域的技术人员来说，本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的保护范围之内。

1、基于历史数据斜坡响应的动态系统静态增益估计方法，其特征是，包括：

采用分段线性表示方法将动态系统的输出时间序列分割成若干个输出时间段；同时，将动态系统的输入时间序列分割成若干个输入数据段；每个数据段均用一条直线表示；

找出输入值和输出值同时均处于各自的直线数据段上且输入值和输出值的振幅变化均超过设定阈值的数据段，此数据段即为目标斜坡响应，将找出的所有输入数据段和所有输出数据段组成具有显著振幅变化的数据段集合；

通过具有显著振幅变化的数据段集合，估计静态增益。

2、如权利要求 1 所述的方法，其特征是，所述将动态系统的输出时间序列分割成若干个输出时间段的具体步骤为：

将时间序列 $\{y(n)\}_{n=1}^N$ 分离为 M 个数据段 $\{y(n)\}_{n=n_1}^{n_2-1}$ ， $\{y(n)\}_{n=n_2}^{n_3-1}$ ， $\dots$ ， $\{y(n)\}_{n=n_M}^N$ ，对于第 m 个数据段 $\{y(n)\}_{n=n_m}^{n_{m+1}-1}$ ， n_m 表示第 m 段中第一个数据样本， $m \in [1, M]$ ， $n_{m+1} - n_m - 1$ 为第 m 段数据段中的样本总数；

用线性回归模型来描述：

$$y(n) = a_m + b_m n + e(n);$$

其中， a_m 表示第 m 段数据段的初始值， b_m 表示第 m 段数据段的斜率， $e(n)$ 是干扰；假设 $e(n)$ 是具有零均值和方差为 σ_e^2 的白噪声；得到拟合线性方程：

$$\hat{y}(n) = \hat{a}_m + \hat{b}_m n;$$

其中， $\hat{y}(n)$ 、 $\hat{a}_m$ 和 $\hat{b}_m$ 分别是 $y(n)$ 、 a_m 和 b_m 的估计值，用 M 表示数据段个数；

M 的估计值 $\hat{M}$ ：

$$\hat{M} = \arg \max_M \frac{\log \frac{L(M-1)}{L(M)} - \log \frac{L(M)}{L(M+1)}}{\log \frac{L(M-1)}{L(M)} + \log \frac{L(M)}{L(M+1)}};$$

其中， $L(M)$ 为拟合误差损失函数：

$$L(M) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=n_m}^{n_{m+1}-1} (y(n) - \hat{a}_m - \hat{b}_m n)^2.$$

3、如权利要求 1 所述的方法，其特征是，将动态系统的输入时间序列分割成若干个输入数据段：

采用分段线性表示方法将输入的时间序列 $\{u_i(n)\}_{n=1}^N$ 分割为 M 个数据段 $\{u_i(n)\}_{n=n_1}^{n_2-1}$ ， $\{u_i(n)\}_{n=n_2}^{n_3-1}$ ， $\dots$ ， $\{u_i(n)\}_{n=n_M}^N$ ；时间序列 $\{u_i(n)\}_{n=1}^N$ 的分段个数 M ， M 的估计值：

$$\hat{M} = \arg \max_M \frac{\log \frac{L(M-1)}{L(M)} - \log \frac{L(M)}{L(M+1)}}{\log \frac{L(M-1)}{L(M)} + \log \frac{L(M)}{L(M+1)}}.$$

4、如权利要求 1 所述的方法，其特征是，找出输入值和输出值同时均处于各自的直线数据段上且输入值和输出值的振幅变化均超过设定阈值的数据段，此数据段即为目标斜坡响应，将找出的所有输入数据段和所有输出数据段组成具有显著振幅变化的数据段集合的具体步骤为：

对于输出来说，计算第 m 段的振幅变化量：

$$A_{y,m} = \hat{y}(n_{m+1} - 1) - \hat{y}(n_m),$$

引入序列：

$$\{I_y(n)\}_{n=n_m}^{n_{m+1}-1} = \begin{cases} 1, & A_{y,m} \geq A_{y,0} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases},$$

其中， $A_{y,0}$ 为 y 显著幅度变化的阈值；

对于输入来说，计算每个数据段的振幅变化值 $A_{u_i,m}$ ，同样引入序列：

$$\{I_{u_i}(n)\}_{n=n_m}^{n_{m+1}-1} = \begin{cases} 1, & A_{u_i,m} \geq A_{u_i,0} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases};$$

其中， $A_{u_i,0}$ 为 u_i 显著幅度变化的阈值；

整体序列：

$$I_0(n) = \prod_{i=1, \dots, I} I_{u_i}(n) \cdot I_y(n),$$

保留整体序列 $I_0(n) = 1$ 的数据段，当 $I_0(n) = 1$ 时，表示输入输出同时处于幅度变化超过设定阈值且同时处于直线数据段上，将有显著振幅变化的数据段组成一个集合 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_I,l}\}_{l=1}^L$ 。

5、如权利要求 1 所述的方法，其特征是，通过具有显著振幅变化的数据段集合，估计静态增益的具体步骤为：

步骤 3.1：通过最小二乘法估计 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_I,l}\}_{l=1}^L$ 的静态增益 $K_1, K_2, \dots, K_I$ ；

K 是由 $K_1, K_2, \dots, K_I$ 组成的 I 维向量， K 的估计 $\hat{K}$ 是由最小二乘法得到的：

$$\hat{K} = (A_u^T A_u)^{-1} A_y^T A_y;$$

从 K 的高斯分布，估计 K 的置信区间；

步骤 3.2：找出 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_I,l}\}_{l=1}^L$ 中 $A_{y,l}$ 与其估计值 $\hat{A}_{y,l} = A_u \hat{K}$ 偏差最大的数据段第 l_0

段, 如果该段幅值变化满足不等式:

$$|A_{y,l_0} - \hat{A}_{y,l_0}| \geq \delta_y,$$

则将 $\{A_{y,l_0}, A_{u_1,l_0}, \dots, A_{u_l,l_0}\}$ 从 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l=1}^L$ 中移除, 其中 δ_y 是用户选择的参数, 表示 A_{y,l_0} 和 $\hat{A}_{y,l_0}$ 最大偏差的可接受水平;

步骤 3.3: 重复步骤 3.1 和 3.2, 直到找不到幅值偏差大于 δ_y 的数据段; 此时, 估计的静态增益矢量表示为 $\hat{K}_{S_1}$, 其中 S_1 是当前步骤结束时得到幅度显著变化的集合, 即 $\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l \in S_1}$;

步骤 3.4: 剩余的具有显著变化幅值的数据段集合为:

$$\{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l=1}^L - \{A_{y,l}, A_{u_1,l}, \dots, A_{u_l,l}\}_{l \in S_1},$$

重复步骤 3.1 到步骤 3.3, 直到剩余集合中数据段数目小于 l , 最后, 获得静态增益 $\hat{K}_{S_1}$, $\hat{K}_{S_2}, \dots, \hat{K}_{S_j}$ 。

6、一种大型 300 MW 燃煤发电机组静态增益估计方法, 其特征在于,

采集机组中产生的有功功率作为输出, 采集主蒸汽流量的控制器输出和主蒸汽压力作为输入, 得到数据样本;

将输出和输入的时间序列分割成短数据段, 每个数据段用一条直线表示;

从数据段中找出输入和输出同时处于直线上且振幅变化较大的斜坡响应;

由输入和输出有显著振幅变化的斜坡响应估计燃煤发电机组的静态增益。

7、一种大型 300 MW 燃煤发电机组反馈控制器设计方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

采集机组中产生的有功功率作为输出, 采集主蒸汽流量的控制器输出和主蒸汽压力作为输入, 得到数据样本;

将输出和输入的时间序列分割成短数据段, 每个数据段用一条直线表示;

从数据段中找出输入和输出同时处于直线上且振幅变化较大的斜坡响应;

由输入和输出有显著振幅变化的斜坡响应估计燃煤发电机组的静态增益;

将所述静态增益用于所述发电机组的反馈控制器设计。

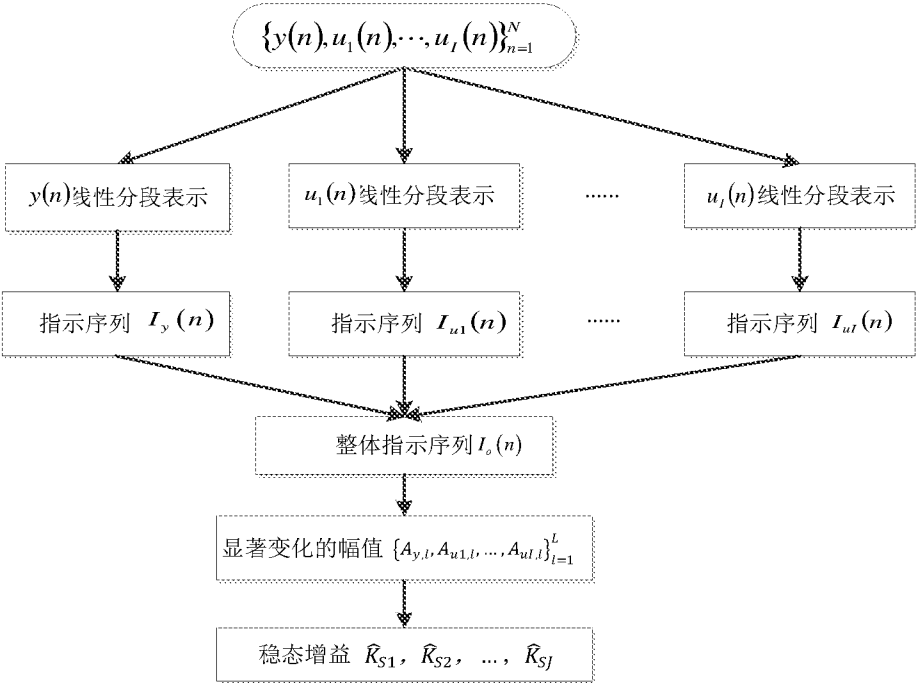


图 1

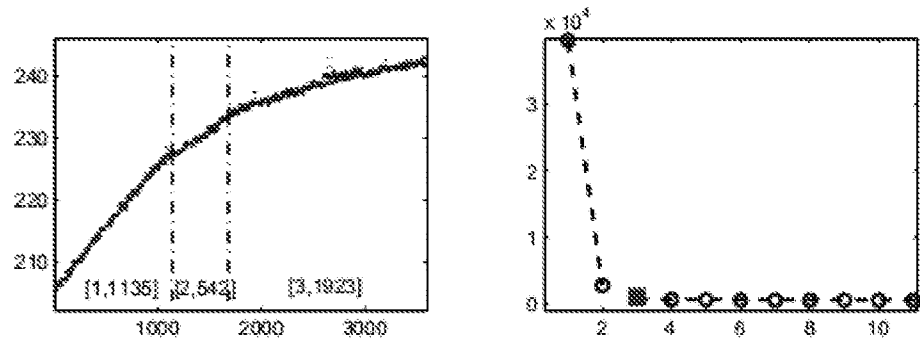


图 2 (a) 图 2 (b)

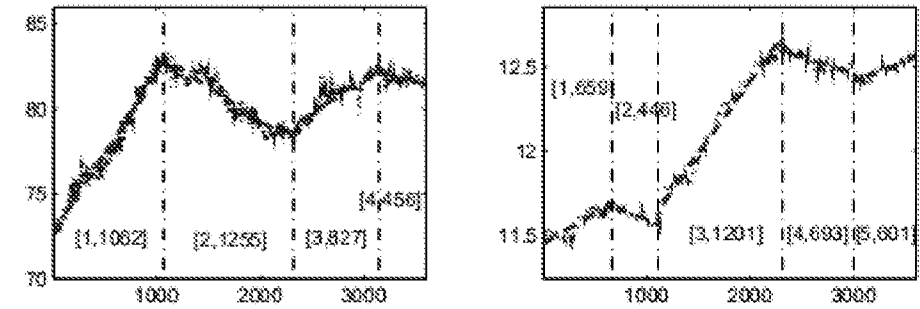


图 2 (c) 图 2 (d)

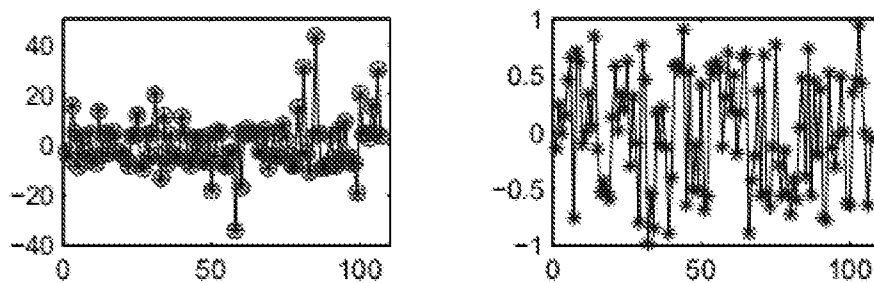


图 3 (a) 图 3 (b)

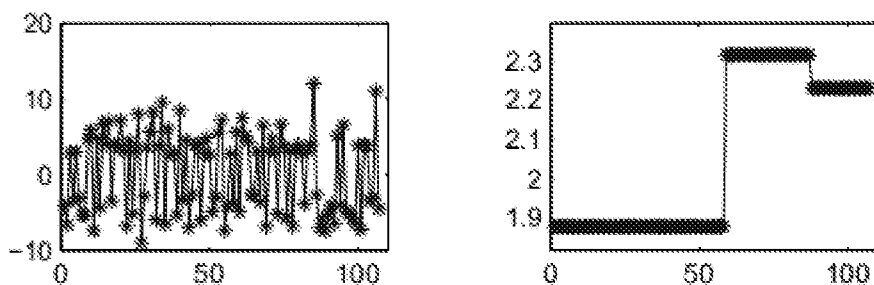


图 3 (c) 图 3 (d)

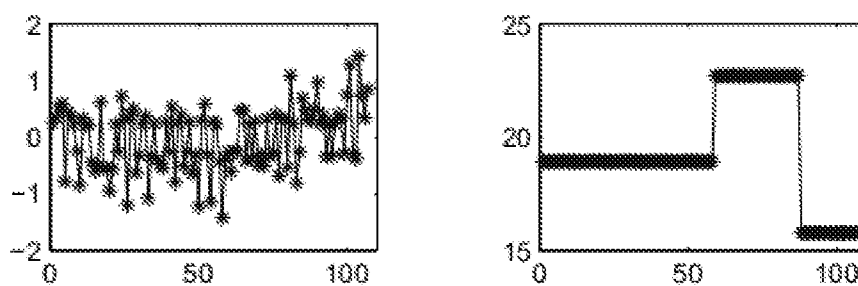


图 3 (e) 图 3 (f)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/085188

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06F 17/50(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G06F Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI, GOOGLE: 输入, 振幅, 静态增益, 输出, 蒸汽, 斜坡响应, 功率, 直线, input, output, swing, static gain, steam, power, line				
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT				
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
PX	CN 109635431 A (SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 16 April 2019 (2019-04-16) claims 1-5, and descriptions, paragraphs [0096]-[0102]	1-7		
A	CN 105275508 A (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE OF STATE GRID HENAN ELECTRIC POWER COMPANY et al.) 27 January 2016 (2016-01-27) description, paragraphs [0031]-[0054]	1-7		
A	CN 102012017 A (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY (BAODING)) 13 April 2011 (2011-04-13) entire document	1-7		
A	CN 108549346 A (SHANDONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY et al.) 18 September 2018 (2018-09-18) entire document	1-7		
A	US 2017058715 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 02 March 2017 (2017-03-02) entire document	1-7		
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border: none;"> * Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top; border: none;"> "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family </td> </tr> </table>			* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family			
Date of the actual completion of the international search 15 August 2019		Date of mailing of the international search report 11 September 2019		
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088 China Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer Telephone No.		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/085188

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109635431	A	16 April 2019	None			
CN	105275508	A	27 January 2016	None			
CN	102012017	A	13 April 2011	None			
CN	108549346	A	18 September 2018	None			
US	2017058715	A1	02 March 2017	CN	106481458	A	08 March 2017
				JP	2017072125	A	13 April 2017
				EP	3156617	A1	19 April 2017

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/085188

A. 主题的分类 G06F 17/50 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																				
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G06F 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI, GOOGLE: 输入, 振幅, 静态增益, 输出, 蒸汽, 斜坡响应, 功率, 直线, input, output, swing, static gain, steam, power, line																				
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 109635431 A (山东科技大学) 2019年 4月 16日 (2019 - 04 - 16) 权利要求1-5, 说明书第0096-0102段</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105275508 A (国网河南省电力公司电力科学研究院等) 2016年 1月 27日 (2016 - 01 - 27) 说明书第0031-0054段</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102012017 A (华北电力大学保定) 2011年 4月 13日 (2011 - 04 - 13) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 108549346 A (山东科技大学等) 2018年 9月 18日 (2018 - 09 - 18) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2017058715 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2017年 3月 2日 (2017 - 03 - 02) 全文</td> <td>1-7</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 109635431 A (山东科技大学) 2019年 4月 16日 (2019 - 04 - 16) 权利要求1-5, 说明书第0096-0102段	1-7	A	CN 105275508 A (国网河南省电力公司电力科学研究院等) 2016年 1月 27日 (2016 - 01 - 27) 说明书第0031-0054段	1-7	A	CN 102012017 A (华北电力大学保定) 2011年 4月 13日 (2011 - 04 - 13) 全文	1-7	A	CN 108549346 A (山东科技大学等) 2018年 9月 18日 (2018 - 09 - 18) 全文	1-7	A	US 2017058715 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2017年 3月 2日 (2017 - 03 - 02) 全文	1-7
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
PX	CN 109635431 A (山东科技大学) 2019年 4月 16日 (2019 - 04 - 16) 权利要求1-5, 说明书第0096-0102段	1-7																		
A	CN 105275508 A (国网河南省电力公司电力科学研究院等) 2016年 1月 27日 (2016 - 01 - 27) 说明书第0031-0054段	1-7																		
A	CN 102012017 A (华北电力大学保定) 2011年 4月 13日 (2011 - 04 - 13) 全文	1-7																		
A	CN 108549346 A (山东科技大学等) 2018年 9月 18日 (2018 - 09 - 18) 全文	1-7																		
A	US 2017058715 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 2017年 3月 2日 (2017 - 03 - 02) 全文	1-7																		
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																				
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																				
国际检索实际完成的日期 2019年 8月 15日		国际检索报告邮寄日期 2019年 9月 11日																		
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		受权官员 刘娟 电话号码 86-(10)-53961619																		

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/085188

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	109635431	A	2019年 4月 16日	无	
CN	105275508	A	2016年 1月 27日	无	
CN	102012017	A	2011年 4月 13日	无	
CN	108549346	A	2018年 9月 18日	无	
US	2017058715	A1	2017年 3月 2日	CN 106481458 A	2017年 3月 8日
				JP 2017072125 A	2017年 4月 13日
				EP 3156617 A1	2017年 4月 19日