



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 78541

(13) U

(51) МПК

G01R 31/02 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2012 10079**

(22) Дата подання заявки: **22.08.2012**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **25.03.2013**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **25.03.2013, Бюл.№ 6**

(72) Винахідник(и):

**Сільвестров Антон Миколайович (UA),
Скринник Олексій Миколайович (UA),
Уманська Катерина Вікторівна (UA),
Гонтар Максим Миколайович (UA)**

(73) Власник(и):

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ",
пр. Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056 (UA)**

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЛІНЕАРИЗОВАНОЇ ВІДНОСНО БАЗОВОГО РЕЖИМУ МОДЕЛІ НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

(57) Реферат:

Спосіб вимірювання параметрів лінеаризованої відносно базового режиму моделі нелінійної динаміки електротехнічних об'єктів включає подачу на вхід об'єкта такого тестуючого сигналу. Визначають зміщені оцінки параметрів лінеаризованої моделі. Проводять експерименти з різними амплітудами (потужностями) тестуючого сигналу. Визначають для кожного експерименту зміщені оцінки параметрів лінеаризованої моделі. Будують регресійні залежності від амплітуди (потужності) тестуючих сигналів для отримання незміщених оцінок параметрів.

UA 78541 U

Корисна модель належить до електротехнічної галузі, а саме до натурних випробувань електротехнічних об'єктів (ЕТО) з метою визначення зручної для подальшої автоматизації лінійної моделі ЕТО в задачах автоматичної стабілізації бажаних режимів роботи ЕТО, в задачах діагностики стану ЕТО по параметрах лінеаризованої моделі, прогнозування якості і надійності функціонування ЕТО та інше (див. наприклад, Круг Г.К., Фатуев В.А. "Применение D-оптимальных планов для восстановления характеристик линейных объектов"// Труды МЭИ, вып. 116, 1972, С. 12-18.; Круг Г.К., Сосулин Ю.А., Фатуев В.А. "Планирование эксперимента в идентификации и электрополяции". М.: Наука, 1977, 150 с.).

Найбільш близький до способу, що заявляється, є спосіб вимірювання параметрів лінеаризованої відносно базового режиму моделі нелінійної динаміки електротехнічного об'єкта, згідно з яким на вхід об'єкта подають тестуючий сигнал, за якого забезпечується лінійна незалежність змінних стану лінеаризованої моделі, які реєструють, за відповідної умови близькості змінних стану об'єкта і моделі однозначно визначають зміщені (внаслідок впливу нелінійності об'єкта) оцінки параметрів лінеаризованої моделі (Круг Г.К., Сосулин Ю.А., Фатуев В.А. Планирование эксперимента в идентификации и электрополяции. М.: Наука, 1977, 150 с.).

В цьому способі, як і в багатьох інших, образно кажучи, параметри нелінійної моделі, як часткові похідні від вихідних змінних по вхідних, що являють собою тангенс кута нахилу дотичної до нелінійності в точці базового режиму, замінюються як би відношенням кінцевих приростів відповідних змінних, яке за великих приростів не відповідає шуканій похідній - істинному параметру лінійної моделі.

В основу корисної моделі поставлена задача визначення зручної автоматизації лінійної моделі, автоматичної стабілізації бажаних режимів роботи, діагностики стану ЕТО по параметрах лінеаризованої моделі, прогнозування якості і надійності функціонування ЕТО та інше, вирішується удосконаленням способу вимірювання параметрів лінеаризованої моделі нелінійної динаміки електротехнічних та інших об'єктів, в якому шляхом виконання додаткової операції прогнозування зміщених оцінок, отриманих для однотипних режимів різної амплітуди тестуючих сигналів і, відповідно до них різної амплітуди відхилень змінних стану від базового режиму об'єкта, в точку, яка відповідає нульовому відхиленню від базового режиму. Новим є те, що додаткові дії забезпечили можливість отримати незміщену оцінку параметрів моделі, лінеаризованої відносно базового режиму.

Випадкову складову похибки, як і в існуючому методі, зменшують вибір спеціального тестуючого сигналу та збільшують вибірки даних.

На фіг. 1 наведено структурну схему системи, яка ілюструє спосіб, що пропонується, де

1 - генератор тестуючих сигналів ΔU різної амплітуди;

2 - нелінійний електротехнічний об'єкт, як відображення сигналів ΔU в Δx_0 ;

3 - лінійна модель об'єкта, як відображення сигналів ΔU в Δx ;

4 - блок формування і мінімізації функціонала нев'язки між виходами об'єкта Δx_0 і моделі Δx по вектору оцінок $\hat{\beta}$ параметрів моделі;

5 - блок формування регресійної залежності зміщених оцінок вектора $\beta_{зм}$ від норми $\|\Delta U\|$ тестового сигналу та розрахунку прогнозованого в точку $\|\Delta U\| = 0$ незміщеного значення оцінки $\beta_{незм}$.

Розглянемо реалізацію заявленого способу та його переваги на ряді прикладів.

Приклад 1

Вихідний сигнал $\Delta x_0(t)$ в об'єкті зв'язаний з трьома вхідними сигналами ΔU_i квадратичною залежністю

$$\Delta x_0(t) = \Delta U_1(t) + \Delta U_2(t) + \Delta U_3(t) + \Delta U_1 \Delta U_2(t) + \Delta U_1 \Delta U_3(t) + \Delta U_1^2(t) + \Delta U_2^2(t) + \Delta U_3^2(t), \quad (1)$$

де невідомі коефіцієнти при всіх змінних одиничні.

Оцінюються коефіцієнти $\beta_i, i = 1, 2, 3$, лінійної частини нелінійної моделі (1) по лінійній моделі (2):

$$\Delta x_0(t) = \beta_1 \Delta U_1 + \beta_2 \Delta U_2 + \beta_3 \Delta U_3 + \varepsilon(t), \quad (2)$$

де $\varepsilon(t)$ - нев'язка лівої та правої частин; ліва частина $\Delta x_0(t)$ задана згідно (1); час приймає

N дискретних значень $t = (k - 1)\Delta t$, $k = \overline{1, N}$; $N = 100$.

Змінні $\Delta U_1(k)$, $\Delta U_2(k)$ експоненти, $\Delta U_3(k)$ - сходянка:

$$\Delta U_1(k) = U_{\max} \left[1 - \exp\left(\frac{-(k-1)}{0,2(N-1)}\right) \right]; \Delta U_2(k) = U_{\max} \left[1 - \exp\left(\frac{-(k-1)}{0,1(N-1)}\right) \right]; \quad (3)$$

$$\Delta U_3(k) = U_{\max} [1(k)],$$

де U_{\max} приймає три значення: 1; 0,5; 0,25.

- Результати розрахунків оцінок β_i , по методу найменших квадратів (МНК) (для точних даних) наведено на фіг. 2, які майже співпадають з результатами (для даних з 10 % білим шумом $\varepsilon(k)$). В обох випадках регресійні залежності β_i від U_{\max} , отримані по МНК, дають значення $\hat{\beta}_i$ близьке до точного значення $\beta_i = 1$. Розрахунок по МНК повної моделі (1) для даних з 10 % шумами приводить до розкиду оцінок $\hat{\beta}_i$ на порядок більший, ніж їх значення $\beta_i = 1$.

Приклад 2

- Задача стабілізації швидкості ДПС з незалежним збудженням.

З теорії електричних машин відома залежність швидкості Ω (рад/с) ДПС від керуючого (I_3 - струм збудження магнітного потоку Φ) і збуджуючого сигналу (момент навантаження або пропорційний до нього струм $I_{я}$ якоря):

$$\Omega(I_3, I_{я}) = \frac{U_{я} - I_{я} \cdot R_{я}}{C_m \Phi(I_3)}, \quad (4)$$

- де C_m - конструктивна стала ДПС, $U_{я}$ - напруга $R_{я}$ - електричний опір якірного кола.

Нехай залежність $C_m \Phi(I_3)$ має наступний вигляд

$$C_m \Phi(I_3) = 2I_3 - 0,2I_3^3, \quad (5)$$

$U_{я} = 220$ В, $R_{я} = 0,5$ Ом; номінальний режим має $I_{30} = 0,5$ А, $I_{я0} = 0,5$ А. В обмеженій області номінального режиму залежність (13) у відхиленнях $\Delta\Omega$, ΔI_3 , $\Delta I_{я}$ від номінальних значень $\Delta\Omega_0$, I_{30} , $\Delta I_{я0}$, набуває вигляду:

$$\Delta\Omega, (\Delta I_3, \Delta I_{я}) = \frac{\partial\Omega}{\partial I_3} \bigg|_{I_{30}, I_{я0}} \cdot \Delta I_3 + \frac{\partial\Omega}{\partial I_{я}} \bigg|_{I_{30}, I_{я0}} \cdot \Delta I_{я} \quad (6)$$

або, з урахуванням (13), (14) та відповідних числових значень параметрів,

$$\Delta\Omega = \frac{-(U_{я0} - I_{я0} \cdot R_{я0}) \cdot (I_3 - 0,6I_{30}^2) - R_{я}(2I_{30} - 0,2I_{30}^3)^2}{(2I_{30} - 0,2I_{30}^3)^2} \cdot \Delta I_{я} = -412,7 \cdot \Delta I_3 - 0,5128 \cdot \Delta I_{я} \quad (7)$$

Швидкість Ω буде стабільною, якщо

- $\Delta\Omega = -412,7 \cdot \Delta I_3 - 0,5128 \cdot \Delta I_{я} \cong 0 \quad (8)$

Звідси розімкнене керування по збуренню набуває вигляду

$$\Delta I_3 = -0,00124 \cdot \Delta I_{я}, \quad (9)$$

яке забезпечує стабільність номінальної швидкості Ω_0 ДПС в межах ΔI_3 , $\Delta I_{я}$, де лінійне рівняння (8) справедливе з точністю до малих другого порядку.

- Згідно до запропонованого способу, з експерименту на ДПС визначимо залежність $\Delta\Omega(I_3)$ за незмінного $I_{я0}$:

Табл. 1

I_3	0,2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,8
Ω	545,93	363,85	314,57	274,06	246,66	248,57	203,9	188,01	174,69	163,36	145,23

За даними табл. 1 обчислимо залежність $\frac{\Delta\Omega}{\Delta I_3}$ від $\| \Delta I_3 \|$

Табл. 2

ΔI_3	0	0,1	0,2	0,3
$-\frac{\Delta \Omega}{\Delta I_3}$	-	-427,66	-430,25	-466

Тепер по МНК апроксимуємо дані табл. 2 квадратичною параболою:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial I_{3i}} \cong \frac{\Delta_i \Omega}{\Delta I_{3i}} = \alpha_0 + \alpha_1 |\Delta I_{3i}| + \alpha_2 \Delta I_{3i}^2, \quad (10)$$

- 5 де α_0 - шукане значення $\frac{\partial \Omega}{\partial I_3} \Big|_{I_{30}, I_{я0}}$, яке для ($I_3 = 0$) дорівнює точному значенню - 412,7-ривняння (7).

За наявності випадкових шумів аналогічний результат, близький до точного, отримаємо шляхом усереднення даних декількох незалежних експериментів.

Приклад 3

- 10 Нелінійне диференціальне рівняння модель Гамерштейна описує динаміку ДПС:

$$\tau_M(I_3) \frac{d\Omega}{dt} + \Omega(t) = f(I_3(t)), \quad (11)$$

де $\tau_M(I_3)$ - електромеханічна стала ДПС:

$f(I_3)$ гіпербола:

$$f(I_3) = \frac{\alpha_0}{I_3}. \quad (12)$$

- 15 Користуючись запропонованим способом, слід визначити коефіцієнти лінеаризованої відносно базового режиму ($\Omega_0, I_{30}, \frac{d\Omega}{dt}$) моделі ДПС:

$$\beta_0 \frac{d\Delta \Omega}{dt} + \Delta \Omega(t) = \frac{df(I_3)}{dI_3} \Big|_{I_{30}} \cdot \Delta I_3(t), \quad (13)$$

де враховуючи залежність (12),

$$\frac{df(I_3)}{dI_3} \Big|_{I_{30}} = \frac{\alpha_0}{I_{30}^2} = \beta_2 = \frac{10}{0,25} = 40 \quad (14)$$

- 20 тобто рівняння (23) набуває вигляду:

$$\beta_0 \frac{d\Delta \Omega}{dt} + \Delta \Omega(t) = \beta_2 \Delta I_3(t). \quad (15)$$

Коефіцієнти β_0 і β_2 підлягають визначенню.

- 25 Виміри у реальній ситуації зашумлені. Тому для досить малих відхилень $\Delta \Omega$ і ΔI_3 від базового режиму співвідношення "шум-сигнал" буде занадто великим. Тому, згідно до даного способу, визначимо по МНК зміщені оцінки $\hat{\beta}_0$ і $\hat{\beta}_2$ для декількох однотипних відхилень різної, але суттєвої, відносно рівня шумів, амплітуди.

Незміщену оцінку β_0 і β_2 отримаємо шляхом апроксимації по МНК регресійних залежностей зміщених оцінок $\hat{\beta}_{0i}$, $\hat{\beta}_{2i}$ від норми (ΔI_{3i}) відхилень ΔI_{3i} :

Нехай $I_{30} = 0,5 \text{ A}$; ΔI_3 сходинок, що приймають значення 0,2A; 0,3A; 0,4A; $\beta_0 = 1$;

- 30 $\beta_1 = 1$; $\alpha_0 = 10$. Зафіксуємо у часі t_k виміри $\Omega(t_k)$, $\frac{d\Omega(t_k)}{dt}$, $I_{30} + \Delta I_3(t_k)$, $k = 0, 1, \dots, N = 100$, і по МНК для кожного i -го відхилення знайдемо для рівняння (15) коефіцієнти β_{2i} (табл. 3).

Табл. 3

N		1	2	3	4	5
β_{2i}		35	28,5	25,66	22,5	20
ΔI_3	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Далі по МНК за даними табл. 3 визначимо коефіцієнти регресійної залежності

$$\beta_{2i} = \eta_0 + \eta_1 |\Delta I_{3i}| + \eta_2 \Delta I_{3i}^2, \quad (16)$$

- 5 де η_0 буде незміщеною оцінкою шуканого коефіцієнта β_2 рівняння (15), близькою до точного значення 40:

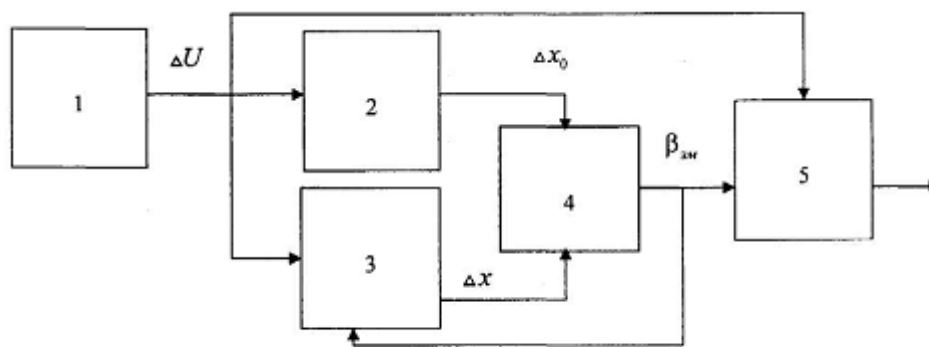
$$\eta_0 \cong \dots 40,9.$$

За наявності випадкових шумів у вимірах $\Omega(t_k)$ і $I_3(t_k)$ аналогічний результат отримаємо шляхом усереднення даних експерименту.

10

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- Спосіб вимірювання параметрів лінеаризованої відносно базового режиму моделі нелінійної динаміки електротехнічних об'єктів, згідно з яким на вхід об'єкта подають такий тестуючий сигнал, за якого забезпечується лінійна незалежність змінних стану лінеаризованої моделі, які реєструють, за відповідної умови близькості змінних стану об'єкта і моделі однозначно визначають зміщені (внаслідок впливу нелінійності об'єкта) оцінки параметрів лінеаризованої моделі, який **відрізняється** тим, що проводять два або більше подібних між собою експерименти з різними амплітудами (потужностями) тестуючого сигналу, визначають для кожного експерименту зміщені, внаслідок впливу нелінійності об'єкта, оцінки параметрів лінеаризованої моделі, для оцінок кожного параметра лінеаризованої моделі будують регресійну залежність від амплітуди (потужності) тестуючого сигналу і, прогнозуючи ці регресивні залежності в точку нульових амплітуд цих сигналів, отримують незміщені оцінки параметрів.



Фиг. 1

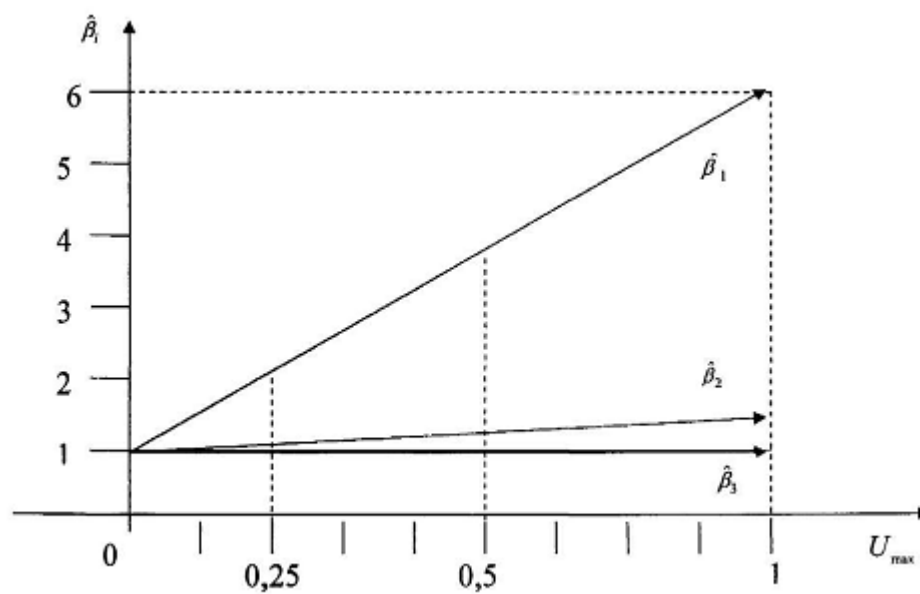


Fig. 2

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601