



УКРАЇНА

(19) UA (11) 36671 (13) U
(51) МПК (2006)
G05B 13/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) САМОНАЛАГОДЖУВАЛЬНА СИСТЕМА

1

2

(21) u200801328

(22) 04.02.2008

(24) 10.11.2008

(46) 10.11.2008, Бюл.№ 21, 2008 р.

(72) ХОБІН ВІКТОР АНДРІЙОВИЧ, UA, МАРЧУК
ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ, UA

(73) ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАР-
ЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ, UA

(57) Самоналагоджувальна система, яка містить регулюючий блок, з'єднаний виходом з входом виконавчого механізму, який виходом з'єднаний з першим входом блока множення та входом об'єкта регулювання, підключеного виходом до першого входу суматора, другого входу першого блока параметричного зворотного зв'язку та другого входу другого блока параметричного зворотного зв'язку, інерційний блок, вхід якого з'єднаний з виходом

блока множення, а вихід - з інформаційним входом першого блока запізнення, третім входом суматора та третім входом першого блока параметричного зворотного зв'язку, перший блок запізнення, з'єднаний виходом з четвертим входом суматора, інформаційним входом другого блока запізнення та першим входом другого блока параметричного зворотного зв'язку, вихід якого з'єднаний з другим входом блока множення, другий блок запізнення, вихід якого з'єднаний з першим входом першого блока параметричного зворотного зв'язку, виходом з'єднаного з керуючими входами першого та другого блоків запізнення, яка **відрізняється** тим, що в неї додатково введені фільтри високих частот, крізь які проходять усі вхідні сигнали першого та другого блоків параметричного зворотного зв'язку.

Корисна модель відноситься до енергетичної, хімічної та харчової промисловості і може бути використана для управління об'єктами, наприклад, молотковими дробилками.

Відома система управління об'єктам з запізненням [Авторське свідоцтво СРСР №830295 G05B11/01] яка містить суматор та послідовно з'єднані вимірювач неузгодженості, регулятор, виконавчий механізм, виходом підключений до входу об'єкта управління, послідовно з'єднані інерційна ланка та ланка чистого запізнення, причому вхід інерційної ланки з'єднаний з входом об'єкта управління, а виходи інерційної ланки, ланки чистого запізнення та об'єкта управління підключені до відповідних входів суматора.

Однак спроби використання цієї системи не дали достатньо високих показників якості регулювання в умовах коли постійно змінюється величина коефіцієнту передачі та часу запізнення об'єкта регулювання.

Відома також, обрана як прототип, самоналагоджувальна система [Авторське свідоцтво СРСР №1241192 G05B13/02] яка містить регулюючий блок, з'єднаний виходом з входом виконавчого

механізму, який виходом з'єднаний з першим входом блока множення та входом об'єкта регулювання, підключеного виходом до першого входу суматора, другого входу першого блоку параметричного зворотного зв'язку та другого входу другого блоку параметричного зворотного зв'язку, інерційний блок, вхід якого з'єднаний з виходом блока множення а вихід з інформаційним входом першого блока запізнення, третім входом суматора та третім входом першого блоку параметричного зворотного зв'язку, перший блок запізнення, з'єднаний виходом з четвертим входом суматора, інформаційним входом другого блоку запізнення та першим входом другого блоку параметричного зворотного зв'язку, вихід якого з'єднаний з другим входом блока множення, другий блок запізнення, вихід якого з'єднаний з першим входом першого блоку параметричного зворотного зв'язку, виходом з'єднаного з керуючими входами першого та другого блоків запізнення.

Відома самоналагоджувальна система здійснює компенсацію впливу зміни величин коефіцієнта передачі та часу запізнення за рахунок зміни коефіцієнта передачі та часу запізнення моделі

(13) U

(11) 36671

(19) UA

об'єкта регулювання, яка ввімкнена до основного контуру регулювання системи. Вона складається з блока множення, інерційного блоку та першого блоку запізнення. В системі вихідний сигнал задачника через суматор, регулюючий блок потрапляє на один з входів блока множення та через виконавчий механізм діє на об'єкт регулювання. Вихідний сигнал об'єкта потрапляє на другий вхід суматора. Вихідний сигнал блоку множення через інерційний блок потрапляє на третій вхід суматора і на інформаційний вхід першого блоку запізнення. Коефіцієнт передачі моделі змінюється шляхом подачі на другий вхід блоку множення вихідного сигналу другого блоку параметричного зворотного зв'язку, на входи якого потрапляють вихідні сигнали першого блоку запізнення та об'єкта регулювання. Час запізнення моделі змінюється за рахунок подачі на керуючі входи першого та другого блоків запізнення вихідного сигналу першого блоку параметричного зворотного зв'язку, на входи якого потрапляють вихідні сигнали другого блоку запізнення, об'єкта регулювання та інерційного блоку.

Причиною, що перешкоджає досягненню якісних показників регулювання є те, що відома самоналагоджувальна система не може здійснювати компенсацію впливу зміни величин коефіцієнта передачі та часу запізнення об'єкта регулювання в умовах, коли на об'єкт діють неконтрольовані збурення.

Задача, на вирішення якої спрямовано корисну модель, підвищення показників якості регулювання самоналагоджувальної системи коли потрібно здійснювати компенсацію впливу зміни величин коефіцієнта передачі та часу запізнення об'єкта регулювання в умовах дії на об'єкт неконтрольованих збурень.

Поставлена задача вирішується тим, що у самоналагоджувальній системі яка містить регулюючий блок, з'єднаний виходом з входом виконавчого механізму, який виходом з'єднаний з першим входом блока множення та входом об'єкта регулювання, підключеного виходом до першого входу суматора, другого входу першого блоку параметричного зворотного зв'язку та другого входу другого блоку параметричного зворотного зв'язку, інерційний блок, вхід якого з'єднаний з виходом блока множення а вихід з інформаційним входом першого блоку запізнення, третім входом суматора та третім входом першого блоку параметричного зворотного зв'язку, перший блок запізнення, з'єднаний виходом з четвертим входом суматора, інформаційним входом другого блоку запізнення та першим входом другого блоку параметричного зворотного зв'язку, вихід якого з'єднаний з другим входом блока множення, другий блок запізнення, вихід якого з'єднаний з першим входом першого блоку параметричного зворотного зв'язку, виходом з'єднаного з керуючими входами першого та другого блоків запізнення, згідно з корисною моделлю, в самоналагоджувальну систему додатково введені фільтри високих частот, крізь які проходять усі вхідні сигнали першого та другого блоків параметричного зворотного зв'язку.

Введені зміни в самоналагоджувальну систему значно зменшують вплив неконтрольованих збу-

рень на точність розрахунків у блоках параметричного зворотного зв'язку, що дає високі показники якості регулювання самоналагоджувальної системи в умовах дії на об'єкт регулювання неконтрольованих збурень та зміни величин його коефіцієнта передачі і часу запізнення.

На Фіг.1 приведена блок-схема запропонованої самоналагоджувальної системи.

Самоналагоджувальна система містить регулюючий блок 1, виконавчий механізм 2, об'єкт регулювання 3, суматор 4, інерційний блок 5, перший блок запізнення 6, блок множення 7, другий блок запізнення 8, перший блок параметричного зворотного зв'язку 9, перший та другий блоки множення 10 та 11, суматор 12, інерційний блок 13, інтегратор 14, другий блок параметричного зворотного зв'язку 15, перший та другий детектори 16 та 17, суматор 18, інерційний блок 19, інтегратор 20, задатчик 21, фільтри високих частот 22-26, графіки взаємкореляційних функцій 27-30.

При цьому прийняті наступні позначення: x - вихідний сигнал задатчика 21; f - неконтрольоване збурення; y - вихідний сигнал об'єкта регулювання 3; g - вихідний сигнал інерційного блоку 5; z - вихідний сигнал першого блоку запізнення 6; q - вихідний сигнал другого блоку запізнення 8; U - керуюча дія або вихідний сигнал виконавчого механізму 2; λ_1, λ_2 - вихідні сигнали відповідно другого та першого блоків параметричного зворотного зв'язку; R - кореляційна функція; γ - часовий зсув; K_0, τ_0 - коефіцієнт посилення та час запізнення об'єкту регулювання 3; K_m, τ_m - коефіцієнт посилення та час запізнення моделі; $\Delta t, \Delta R$ - зсув часу зсуву та взаємкореляційної функції.

До складу першого блоку параметричного зворотного зв'язку входять перший та другий блоки множення 10 та 11, суматор 12, інерційний блок 13, інтегратор 14.

До складу другого блоку параметричного зворотного зв'язку входять перший та другий детектори 16 та 17, суматор 18, інерційний блок 19, інтегратор 20. У якості детекторів 16 та 17 використовуються квадратичні детектори.

Система працює наступним чином.

На виході задатчика 21 формується сигнал задання $x(t)$ - у загальному випадку стаціонарний центрований випадковий процес. На виході суматора 4 формується сигнал помилки $\epsilon(t)$, перетворюючи який регулюючий блок 1 сумісно з виконавчим механізмом 2 формує управляючу дію $U(t)$. Управляюча дія $U(t)$ потрапляє на вхід об'єкта регулювання 3, який описується передаточною функцією

$$W_0(p) = \left\{ K_0(t) \left[\prod_{i=1}^n (a_{0i}p + 1) \right]^{-1} \right\} e^{-p\tau_0(t)} \quad (1)$$

де $K_0(t), \tau_0(t)$ - коефіцієнт передачі та час запізнення об'єкта регулювання 3,

a_{0i} - коефіцієнти характеристичного рівняння об'єкта регулювання 3,

p - оператор Лапласа,

i на вхід моделі об'єкта з передаточною функцією

$$W_M(p) = W_M^I(p) \cdot W_M^3(p) \quad (2)$$

де $W_M^I(p)$, $W_M^3(p)$ - передаточні функції інерційної та запізнювальної частин моделі об'єкта регулювання.

Модель об'єкта із змінним коефіцієнтом передачі $K_M(\lambda_1)$ і часом запізнення $\tau_M(\lambda_2)$ утворена послідовно з'єднаними блоком множення 7, визначаючим коефіцієнт передачі $K_M(\lambda_1)$ моделі, інерційним блоком 5 n-го порядку з передаточною функцією

$$W_M^I(p) = \left\{ K_M(\lambda_1) \left[\prod_{i=1}^n (a_i p + 1) \right]^{-1} \right\} \quad (3)$$

де $K_M(\lambda_1)$ - коефіцієнт передачі моделі об'єкта регулювання,

a_{mi} - коефіцієнти характеристичного рівняння моделі об'єкта регулювання,

$$\varepsilon(p) = U(p) \left[W_O(p) - W_M(p) + W_M^I(p) \right] = U(p) \left\{ K_M(\lambda_1) \left[\prod_{i=1}^n (a_i p + 1) \right]^{-1} \right\} \quad (6)$$

визначається тільки властивостями інерційного блоку 5 та не залежить від запізнення в об'єкті регулювання 3.

Завдяки виключенню часу запізнення $\tau_o(t)$ з замкнутого контуру управління збільшується стійкість та якість перехідних процесів в системі. Однак, якщо параметри $K_o(t)$ та $\tau_o(t)$ нестационарні, то умова (5) у загальному випадку не виконується і вираз (6) стає невірним. Блоки параметричного зворотного зв'язку 9 та 15 призначені для настройки параметрів відповідно $\tau_M(\lambda_2)$ та $K_M(\lambda_1)$ при змінненні у часі параметрів $K_o(t)$ та $\tau_o(t)$.

Принцип роботи першого блоку параметричного зворотного зв'язку пояснюється графіками, котрі приведені на Фіг.2.

Так як $x(t)$ - стаціонарний центрований випадковий сигнал, то і $y(t)$, $g(t)$, $q(t)$ вихідні сигнали об'єкта регулювання 3, інерційного блоку 5 та другого блоку запізнення 8 також стаціонарні центровані випадкові сигнали із взаємкореляційними функціями

$$R_{yg}(\gamma) = M[y(t)g(t-\gamma)] \quad (7)$$

$$R_{yq}(\gamma) = M[y(t)q(t-\gamma)] \quad (8)$$

де M - символ операції математичного очікування,

γ - часовий зсув.

Якщо передаточна функція інерційного блоку 5 відповідає передаточній функції інерційної частини об'єкта регулювання 3, то графіки функцій $R_{yg}(\gamma)$ та $R_{yq}(\gamma)$ мають вид симетричних кривих, максимуми яких мають координати відповідно

$$\text{Argmax}[R_{yg}(\gamma)] = \tau_o(t); \gamma \in (-\infty; \infty)$$

$$\text{argmax}[R_{yq}(\gamma)] = 2\tau_M(\lambda_2) - \tau_o(t); \gamma \in (-\infty; \infty)$$

та при $\tau_o(t) = \tau_M(\lambda_2)$ рівновіддалені від точки $\gamma=0$.

Графіки функцій $R_{yg}(\gamma)$ та $R_{yq}(\gamma)$ при $\tau_o(t) = \tau_M(\lambda_2)$ мають вид кривих відповідно 27 та 28 на Фіг.2. При $\gamma=0$, $R_{yg}(\gamma) - R_{yq}(\gamma) = 0$. Якщо $\tau_o(t)$ зміниться (наприклад, збільшиться) на $\Delta\tau$, то максимуми функцій

λ_1 - вихідний сигнал другого блоку параметричного зворотного зв'язку 15,

p - оператор Лапласа.

Та першим блоком запізнення 6 з передаточною функцією

$$W_M(p) = e^{-p\tau_M(\lambda_2)} \quad (4)$$

де $\tau_M(\lambda_2)$ - час запізнення моделі об'єкта регулювання,

λ_2 - вихідний сигнал першого блоку параметричного зворотного зв'язку 9,

p - оператор Лапласа.

Якщо

$$W_O(p) = W_M(p), \text{ тобто } K_O(t) = K_M(\lambda_1), \quad (5)$$

$\tau_o(t) = \tau_M(\lambda_2)$, та $a_{oi} = a_{mi}$, тоді помилка регулювання ε

$R_{yg}(\gamma)$ та $R_{yq}(\gamma)$ відповідно змістяться на $\Delta\tau$ і функції R_{yg} та R_{yq} будуть мати вигляд кривих відповідно 29 та 30 на Фіг.2, тобто у точці $\gamma=0$ значення функцій відрізняються один від одного на величину

$$\Delta R[\tau_o(t) - \tau_M(\lambda_2)] = R_{yg}(\gamma) - R_{yq}(\gamma) \quad (9)$$

Отже, величина ΔR характеризує відхилення часу запізнення $\tau_M(\lambda_2)$ моделі об'єкта регулювання від часу запізнення $\tau_o(t)$ об'єкта регулювання 3 і може бути використана для настройки часу запізнення $\tau_M(\lambda_2)$ моделі об'єкта регулювання при змінненні часу запізнення $\tau_o(t)$ об'єкта регулювання 3.

Перший блок параметричного зворотного зв'язку 9 працює наступним чином. Перший та другий блоки множення 10 та 11 розраховують відповідно добутки сигналів $y(t)g(t)$ та $y(t)q(t)$, котрі були пропущені крізь фільтри високих частот 24, 25 та 26 відповідно. Так як сигнали $y(t)$, $g(t)$, $q(t)$ - стаціонарні, то

$$\Delta R = M[y(t)g(t)] - M[y(t)q(t)] = M[y(t)g(t) - y(t)q(t)] \quad (10)$$

Різниця $y(t)g(t) - y(t)q(t)$ формується на виході суматора 12, а оцінка математичного очікування на інтервалі усереднювання T_{13} розраховується інерційним блоком 13 з передаточною функцією

$$W_{13}(p) = \frac{1}{T_{13}p + 1}$$

де T_{13} - стала часу інерційного блоку 13.

Величина T_{13} вибирається у діапазоні $T_{13} = (5 \dots 10) / \omega_c$, де ω_c - частота зрізу системи.

Розрахована на виході інерційного блоку оцінка сигналу ΔR інтегрується інтегратором 14. Сигнал λ_2 з виходу інтегратора 14 потрапляє на управляючі входи блоків запізнення 6 та 8. Запізнення $\tau_M(\lambda_2)$ змінюється до тих пір, поки сигнал ΔR не дорівнюватиме нулю. При цьому згідно (7), (8) та Фіг.2 $\tau_M(\lambda_2) = \tau_o(t)$.

Для настройки коефіцієнта передачі $K_M(\lambda_1)$, при змінненні коефіцієнта передачі $K_o(t)$ об'єкта регулювання 3, призначений другий блок параметричного

зворотного зв'язку 15, який працює наступним чином.

Сигнал $y(t)$ з виходу об'єкта регулювання 3 та сигнал $z(t)$ з виходу першого блока запізнення 6 проходять крізь фільтри високих частот 22 та 23 відповідно та зводяться до квадрату квадратичними детекторами 16 та 17. Вихідні сигнали детекторів 16 та 17 потрапляють на входи суматора 18, який розраховує їх різницю. Вихідний сигнал суматора 18 потрапляє на вхід інерційного блоку 19 з передаточною функцією

$$W_{19}(p) = \frac{1}{T_{19}p + 1}$$

де T_{19} - стала часу інерційного блоку 19.

На виході інерційного блоку 19 формується сигнал ΔD різниці дисперсій сигналів $y(t)$ та $z(t)$ у відповідності з виразом

$$D_y = M[y^2(t)], \quad D_z = M[z^2(t)] \quad (11)$$

$$\Delta D = D_y - D_z = M[y^2(t)] - M[z^2(t)] = M[y^2(t) - z^2(t)] \quad (12)$$

Оцінка математичного очікування розраховується інерційним блоком 19 на інтервалі усереднювання T_{19} , котрий вибирається у діапазоні $T_{19} = (5 \dots 10) / \omega_c$, де ω_c - частота зрізу системи.

Сигнал ΔD пропорційний різниці коефіцієнтів передачі об'єкта регулювання 3 та його моделі $K_0(t) - K_M(\lambda_1)$, що слідує з наступних виразів:

$$\Delta D = D_y - D_z = (K_0^2 - K_M^2) \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \left[\prod_{i=1}^n (a_i p + 1) \right]^{-1} S_M(\omega) d\omega \quad (17)$$

Сигнал ΔD інтегрується інтегратором 20 та діючи на другий вхід блока множення 7, змінює коефіцієнт передачі моделі об'єкта регулювання до тих пір, поки сигнал ΔD не дорівнюватиме нулю. При цьому у відповідності з (12) та (17) $K_M(\lambda_1) = K_0(t)$.

Сталі часу інтегрування інтеграторів 14 та 20 визначають швидкість настройки часу запізнення τ_m та коефіцієнту передачі K_M моделі об'єкта регулювання. З міркувань стійкості процесу настройки коефіцієнта K_M моделі об'єкта регулювання сталу часу T_{20} інтегратора 20 слід обирати із умови $T_{20} = (4 - 5) \tau_0$, де τ_0 оцінка середнього значення часу запізнення τ_0 об'єкта регулювання 3. Оцінку τ_0 можна прийняти рівною максимально можливому значенню $\tau_{0 \max}$ з усього діапазону вимірювання часу запізнення $\tau_0(t)$ об'єкта регулювання 3.

$$D_y = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty |W_0(j\omega)|^2 S_M(\omega) d\omega \quad (13)$$

$$D_z = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty |W_M(j\omega)|^2 S_M(\omega) d\omega \quad (14)$$

де $W_0(j\omega)$, $W_M(j\omega)$ - передаточні функції об'єкта регулювання 3 та його моделі в частотній області;

$S_M(\omega)$ - функція спектральної густини управляючої дії $U(t)$.

Так як статичні коефіцієнти передачі K_0 , K_M не залежать від частоти ω , а чисте запізнення в блоці запізнення 6 не впливає на величину дисперсії сигналу на його виході, то вираз (13), (14) можна переписати у вигляді

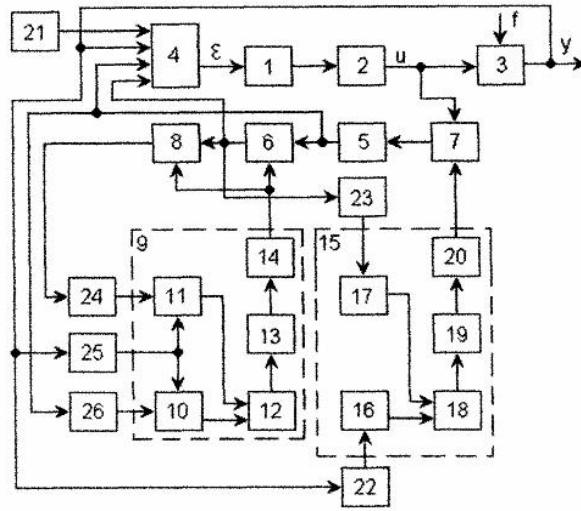
$$D_y = K_0^2 \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \left[\prod_{i=1}^n (a_{0i} p + 1) \right]^{-1} S_M(\omega) d\omega \quad (15)$$

$$D_z = K_M^2 \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \left[\prod_{i=1}^n (a_{Mi} p + 1) \right]^{-1} S_M(\omega) d\omega \quad (16)$$

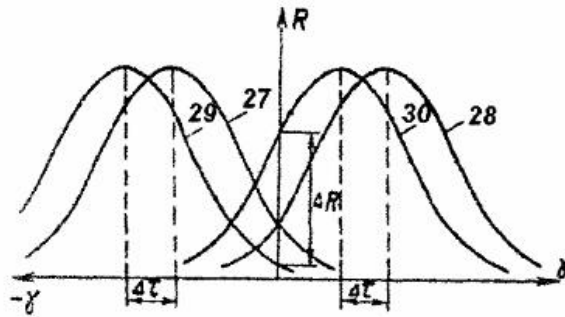
тобто при $a_{0i} = a_{Mi}$ будемо мати

Величина сигналу ΔD (див.17) впливає на процес настройки часу запізнення τ_m моделі об'єкта регулювання. При $\Delta D \neq 0$, оцінка ΔR (див.10) залежить не тільки від різниці $\tau_0(t) - \tau_m(\lambda_2)$, але й від величини оцінки сигналу ΔD . Один із можливих шляхів зменшення цього впливу полягає в виборі сталої часу T_{14} інтегратора 14 по величині у 3-5 разів більшої величини сталої часу T_{20} інтегратора 20. При цьому процес настройки коефіцієнта передачі K_M моделі об'єкта регулювання закінчується раніше процесу настройки часу запізнення τ_m моделі об'єкта регулювання і не впливає на нього.

Дана система була досліджена шляхом моделювання на ЕВМ. Результати моделювання показують достатньо високі швидкодію та точність процесів настройки $K_M(\lambda_1)$ та $\tau_m(\lambda_2)$, наслідком чого є висока якість управління, яке забезпечує система при змінних у часі $K_0(t)$ та $\tau_0(t)$ та при дії на об'єкт регулювання 3 неконтрольованого збурення f .



Фиг. 1



Фиг. 2