



УКРАЇНА

(19) UA (11) 57349 (13) U  
(51) МПК (2011.01)  
G05B 11/00  
G05B 11/14 (2011.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

**ОПИС**  
**ДО ПАТЕНТУ**  
**НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

**(54) СПОСІБ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ**

1

2

(21) u201008962

(22) 19.07.2010

(24) 25.02.2011

(46) 25.02.2011, Бюл.№ 4, 2011 р.

(72) ПУЗЬКО ІГОР ДАНИЛОВИЧ

(73) СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб автоматичного керування об'єктом, за яким формують сигнал керувальної дії, пропорційний сумі абсолютних значень сигналів розгалу-

ження і швидкості розгалуження, фіксують і запам'ятовують величину сигналу розгалуження і величину сигналу швидкості розгалуження при нульовому значенні сигналу розгалуження, який відрізняється тим, що при формуванні сигналу керувальної дії полярність останнього вибирають протилежною полярності сигналу швидкості розгалуження.

Корисна модель відноситься до області машинобудування, авіаційної і ракетно-космічної техніки і може бути використана для керування інерційними об'єктами, де необхідна швидка обробка сигналу збуджувальної дії.

Відомий спосіб автоматичного керування об'єктом, згідно з яким формують керувальну дію в момент рівняння нульовому значенню лінійної комбінації величини і швидкості розгалуження, запам'ятовуванні у вищевказані моменти часу величини розгалуження і інвертуванні сигналу керувальної дії (див. ав. св. СРСР № 435500, МПК G05B 1/00, 1971 р.).

Недоліком відомого способу є обмежені функціональні можливості, що пояснюється недостатньою швидкодією за рахунок значного часового інтервалу наявності перехідного процесу.

За прототип вибрано спосіб автоматичного керування об'єктом, згідно з яким формують сигнал керувальної дії в момент нульового значення лінійної комбінації величини і швидкості розгалуження, запам'ятовуванні у вище вказаний момент часу величину розгалуження і інвертуванні сигналу керувальної дії, причому сигнал керувальної дії формують пропорційно значенню величини і швидкості розгалуження, значення яких беруть по абсолютній величині, аналізують знак розгалуження і формують знак сигналу керувальної дії протилежним знаку розгалуження, а інвертування сигналу керувальної дії проводять в момент часу, в який величина розгалуження дорівнює нульовому значенню, а величина швидкості не дорівнює нульовому значенню (див. ав. св. СРСР № 1568765, МПК G05B 11/00, 27.11.1996 р.).

Недоліком відомого способу є складність формування сигналу керувальної дії, що пояснюється необхідністю формування сигналу керувальної дії на двох ділянках при зміні полярності при переході від одної ділянки до іншої, а також недостатня швидкодія.

В основу корисної моделі поставлене завдання удосконалення способу автоматичного керування інерційним об'єктом шляхом спрощення технологічного процесу формування сигналу керувальної дії без зміни полярності цього сигналу, а також зменшення часового інтервалу наявності перехідного процесу.

Поставлене завдання вирішується тим, що у відомому способі автоматичного керування об'єктом, по якому формують сигнал керувальної дії, пропорційний сумі абсолютних значень сигналів розгалуження і швидкості розгалуження, фіксують і запам'ятовують величину сигналу розгалуження і величину сигналу швидкості розгалуження при нульовому значенні сигналу розгалуження, згідно із корисною моделлю, при формуванні сигналу керувальної дії полярність сигналу вибирають протилежною полярності сигналу швидкості розгалуження.

Принцип розробки нового способу автоматичного керування об'єктом базується на наступних теоретичних поясненнях.

На фіг. наведено фазовий портрет реалізації запропонованого способу.

Розглянемо систему автоматичного керування об'єктом, який знаходиться в початковому положенні (стані), в якому величина розгалуження  $X_1$  і швидкість  $X_2$  розгалуження дорівнюють нульовому значенню, а саме:

(19) UA (11) 57349 (13) U

$$X_1(0)=0; X_2(0)=\frac{dX_1(0)}{dt}. \quad (1)$$

При цьому лінійна комбінація величини розгалуження  $X_1(0)$  і швидкості  $X_2(0)$  розгалуження дорівнює нульовому значенню

$$a_1 \cdot X_1(0) + a_2 \cdot X_2(0) = 0, X_1(0) = X_2(0) = 0, \quad (2)$$

де  $a_1, a_2$  - постійні коефіцієнти.

При виконанні умови (2) запам'ятовується нульове розгалуження  $X_1(0)=0$ , а сигнал керувальної дії дорівнює також нульовому значенню.

В деякий момент  $t_n$  часу, що прийнятий за початковий, формується початкове розгалуження

$$X_{1n} = X_1(t_n) \neq 0, X_{2n} = X_2(t_n) \neq 0, \text{ де } X_{2n} = \frac{dX_1(t_n)}{dt}.$$

Припустимо також, що  $X_{1n} > 0, X_{2n} > 0$  і на фазовій площині  $X_2 = f(X_1)$  початкове положення системи фіксують в першому квадранті.

Лінійна комбінація  $X_{1n}, X_{2n}$  в момент  $t_n$  часу приймає ненульове значення

$$a_1 \cdot X_{1n} + a_2 \cdot X_{2n} \neq 0, \quad (3)$$

тому запам'ятовування сигналу керувальної дії не відбувається, а переміщення об'єкта має місце тільки під впливом початкових умов  $X_{1n}, X_{2n}$ . Величина сигналу керувальної дії дорівнює нульовому значенню. Таке переміщення об'єкта відбувається до моменту  $t_1$  часу, в який розгалуження приймає нульове значення, а швидкість розгалуження має ненульове значення

$$a_1 \cdot X_{11} + a_2 \cdot X_{21} = a_1 \cdot 0 + a_2 \cdot X_{21} \neq 0, \text{ де } X_{11} = X_1(t_1), X_{21} = X_2(t_1). \quad (4)$$

При умові (4) формується сигнал керувальної дії, що дорівнює величині

$$(|X_{11}| + |X_{21}|) = |X_{21}| \quad (5).$$

Проведемо теоретичний аналіз запропонованого способу автоматичного керування об'єктом.

Розглянемо математичну модель системи автоматичного керування у вигляді неоднорідного диференціального рівняння другого порядку

$$A \frac{d^2 X}{dt^2} + B \frac{dX}{dt} + CX = f(t), \quad (6)$$

де  $A$  - інерційний коефіцієнт;  $B$  - коефіцієнт опору;  $C$  - коефіцієнт жорсткості;  $f(t)$  - сигнал зовнішньої дії.

Однорідне диференціальне рівняння, що відповідає (6), має вигляд

$$A \frac{d^2 X}{dt^2} + B \frac{dX}{dt} + CX = 0. \quad (7)$$

Рішення диференціального рівняння (7) визначають у вигляді

$$X = X_a \exp(St),$$

де  $X_a$  - амплітудне значення;  $S$  - корінь характеристичного рівняння.

Характеристичне рівняння для визначення двох коренів  $S_1, S_2$  має вигляд

$$AS^2 + BS + C = 0. \quad (8)$$

Корені  $S_1, S_2$  квадратного рівняння (8) мають вигляд

$$S_1 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A};$$

$$S_2 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}. \quad (9)$$

При умові, якщо  $\sqrt{B^2 - 4AC} > 0$ , корені  $S_1, S_2$  характеристичного рівняння дійсні, різні і від'ємні.

При цьому рішення диференціального рівняння (7) має вигляд:

$$x(t) = C_1 \exp(S_1 t) + C_2 \exp(S_2 t), \quad (10)$$

де  $C_1, C_2$  - постійні коефіцієнти.

Значення коефіцієнтів  $C_1, C_2$  визначаються початковими умовами

$$X_1(0) = C_1^{(0)} \exp(S_1 \cdot 0) + C_2^{(0)} \exp(S_2 \cdot 0) = C_1^{(0)} + C_2^{(0)}, \quad (11)$$

$$X_2(0) = \dot{X}_1(0) = \frac{dX_1(0)}{dt} = C_1^{(0)} S_1 \exp(S_1 \cdot 0) + C_2^{(0)} S_2 \exp(S_2 \cdot 0) = C_1^{(0)} S_1 + C_2^{(0)} S_2 \quad (12)$$

При заданні  $X_1(0), X_2(0)$  на підставі (11), (12) отримуємо значення  $C_1^{(0)}, C_2^{(0)}$  із системи рівнянь

$$\left. \begin{aligned} C_1^{(0)} + C_2^{(0)} &= X_1(0) \\ S_1 C_1^{(0)} + S_2 C_2^{(0)} &= X_2(0) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

а саме:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ S_1 & S_2 \end{vmatrix} = S_2 - S_1;$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} X_1(0) & 1 \\ X_2(0) & S_2 \end{vmatrix} = S_2 X_1(0) - X_2(0) \quad (14)$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & X_1(0) \\ S_1 & X_2(0) \end{vmatrix} = X_2(0) - S_1 X_1(0)$$

$$C_1^{(0)} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{S_2 X_1(0) - X_2(0)}{S_2 - S_1};$$

$$C_2^{(0)} = \frac{X_2(0) - S_1 X_1(0)}{S_2 - S_1}. \quad (15)$$

Рівняння (10) при урахуванні (15) приймає вигляд

$$x(t) = \frac{S_2 X_1(0) - X_2(0)}{S_2 - S_1} \exp(S_1 t) + \frac{X_2(0) - S_1 X_1(0)}{S_2 - S_1} \exp(S_2 t). \quad (16)$$

Розгалуження  $X(t)$  переміщення продовжується до моменту  $t_1$ , часу, в який величина розгалуження  $X(t)$  дорівнює нульовому значенню, а величина швидкості  $\frac{dX}{dt}$  розгалуження не дорівнює нульовому значенню

$$X_{11} = X_1(t_1) = \frac{S_2 X_1(0) - X_2(0)}{S_2 - S_1} \exp(S_1 t_1) + \frac{X_2(0) - S_1 X_1(0)}{S_2 - S_1} \exp(S_2 t_1) = 0 \quad (17)$$

$$X_{21} = \frac{dX_1(t_1)}{dt} = \frac{S_1(S_2 X_1(0) - X_2(0))}{S_2 - S_1} \exp(S_1 t_1) + \frac{S_2(X_2(0) - S_1 X_1(0))}{S_2 - S_1} \exp(S_2 t_1) \quad (18)$$

Подальше переміщення системи по фазовій траєкторії на фазовій площині від точки  $X_{11}=0, X_{12} \neq 0$  до точки  $X_{11}=0, X_{22}=0$  відбувається під дією сили, яка дорівнює величині

$U_{12}=(|X_{11}|+|X_{21}|)=|X_{21}|$ , (19)  
де  $X_{21}$  визначається співвідношенням (18)

$$X_{21} = \frac{S_1(S_2 X_1(0) - X_2(0))}{S_2 - S_1} \exp(S_1 t_1) + \frac{S_2(X_2(0) - S_1 X_1(0))}{S_2 - S_1} \exp(S_2 t_1), \quad (20)$$

а  $X_{11}=0$  визначається співвідношенням (17).

Тепер розгалуження переміщення (траєкторія руху) відповідає диференціальному рівнянню

$$A \frac{d^2 X}{dt^2} + B \frac{dX}{dt} + CX = |X_{21}|, \quad (21)$$

рішення якого має вигляд

$$x(t) = C_1^{(2)} \exp(S_1 t) + C_2^{(2)} \exp(S_2 t) + \frac{|X_{21}|}{C}, \quad (22)$$

$$\frac{dx}{dt} = S_1 C_1^{(2)} \exp(S_1 t) + S_2 C_2^{(2)} \exp(S_2 t) \quad (23)$$

при початкових умовах

$$X(t_1) = X_{11} = 0;$$

$$\frac{dX(t_1)}{dt} = X_{21} \neq 0. \quad (24)$$

Визначаємо коефіцієнти  $C_1^{(2)}$ ,  $C_2^{(2)}$  при застосуванні (22), (23), (24) при  $t=t_1$ ,

$$\left. \begin{aligned} X_{11} &= C_1^{(2)} \exp(S_1 t_1) + C_2^{(2)} \exp(S_2 t_1) + \frac{|X_{21}|}{C} = 0, \\ X_{21} &= S_1 C_1^{(2)} \exp(S_1 t_1) + S_2 C_2^{(2)} \exp(S_2 t_1) \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \exp(S_1 t_1) & \exp(S_2 t_1) \\ S_1 \exp(S_1 t_1) & S_2 \exp(S_2 t_1) \end{vmatrix} = (S_2 - S_1) \exp[(S_1 + S_2)t_1]; \quad (26)$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} -\frac{|X_{21}|}{C} & \exp(S_2 t_1) \\ -|X_{21}| & S_2 \exp(S_2 t_1) \end{vmatrix} = -|X_{21}| \exp(S_2 t_1) \left[ \frac{S_2}{C} - 1 \right]; \quad (27)$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \exp(S_1 t_1) & -\frac{|X_{21}|}{C} \\ S_1 \exp(S_1 t_1) & -|X_{21}| \end{vmatrix} = -|X_{21}| \exp(S_1 t_1) \left[ 1 - \frac{S_1}{C} \right]; \quad (28)$$

$$C_1^{(2)} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-|X_{21}| \exp(S_2 t_1) \left[ \frac{S_2}{C} - 1 \right]}{(S_2 - S_1) \exp[(S_1 + S_2)t_1]} = \frac{-|X_{21}| \left[ \frac{S_2}{C} - 1 \right]}{(S_2 - S_1) \exp(S_1 t_1)}; \quad (29)$$

$$C_2^{(2)} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-|X_{21}| \exp(S_1 t_1) \left[ 1 - \frac{S_1}{C} \right]}{(S_2 - S_1) \exp[(S_1 + S_2)t_1]} = \frac{-|X_{21}| \left[ 1 - \frac{S_1}{C} \right]}{(S_2 - S_1) \exp(S_2 t_1)}; \quad (30)$$

Розгалуження переміщення  $X(t)$  продовжується до моменту  $t_2$  часу, для якого  $X_{12}=0$ ,  $X_{22}=0$ .

Таким чином, як відмічено у дослідженні [Емельянов С.В. Системы автоматического управления с переменной структурой. М.: Наука, с. 64], час наявності перехідного процесу для фазової траєкторії запропонованого способу автоматичного керування об'єктами буде зменшений при порівнянні з відомим способом за рахунок більш високої швидкості розгалуження, а формування сигналу керувальної дії однієї полярності без її зміни приводить до спрощення технологічного режиму керування об'єктом.

Спосіб автоматичного керування об'єктом реалізують на підставі наступного алгоритму.

1. Формують режим вільного переміщення досліджуваної системи під дією початкового значення величини розгалуження і швидкості розгалуження.

2. Фіксують і запам'ятовують в деякий момент часу величину сигналу швидкості при нульовому значенні сигналу розгалуження; в цей же момент часу формують сигнал керувальної дії, причому полярність сигналу керувальної дії протилежна полярності сигналу швидкості розгалуження.

3. Сигнал керувальної дії формують рівним по модулю значенню швидкості розгалуження при нульовому значенню розгалуження.

Новим в технологічному режимі реалізації способу автоматичного керування об'єктом є проведення операції формування сигналу керувальної дії тільки на одній ділянці при виборі полярності цього сигналу протилежним полярності сигналу швидкості розгалуження при нульовому значенні розгалуження.

Спосіб автоматичного керування об'єктом реалізують таким чином.

1. Установлюють випробуваний об'єкт на рухому платформу вібростенда електродинамічного типу при жорсткому з'єднанні з платформою (в вихідному стані платформа вібростенда урівноважена).

2. Формують на вібростенді сигнал керувальної дії за рахунок надходження скачка постійного струму в обмотку рухомої котушки збудження вібростенда.

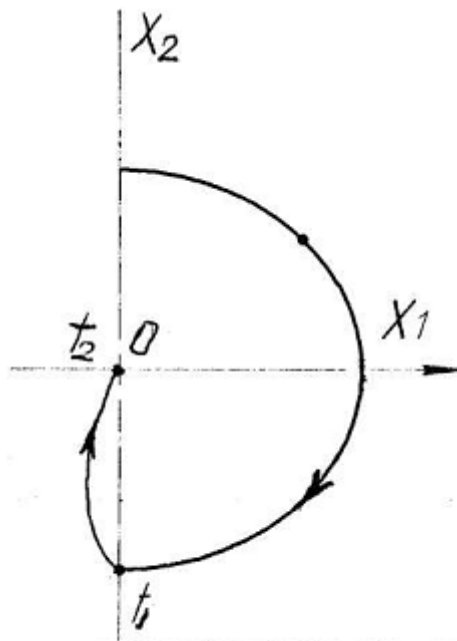
3. Реєструють і запам'ятовують величину сигналу розгалуження і швидкість розгалуження за допомогою датчиків, установлених на об'єкті.

4. При нульовому значенню сигналу розгалуження фіксують і запам'ятовують значення сигналу швидкості розгалуження.

5. Формують сигнал керувальної дії в момент часу, в який величина сигналу розгалуження дорівнює нульовому значенню; полярність сигналу керувальної дії протилежна полярності сигналу швидкості розгалуження.

6. В момент часу при нульовому значенні сигналу розгалуження і сигналу швидкості розгалуження величину сигналу керувальної дії установлюють по значенню, яке дорівнює нулю.

Таким чином, при використанні даної корисної моделі не виникає необхідність у формуванні сигналу керувальної дії при переході від одної ділянки до іншої при зміні полярності, що значно спрощує цілому технологічний процес способу автоматичного керування об'єктом.



Фиг.