



УКРАЇНА

(19) UA (11) 50477 (13) U
(51) МПК (2009)
G05B 11/00

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) u200913048

(22) 15.12.2009

(24) 10.06.2010

(46) 10.06.2010, Бюл.№ 11, 2010 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 розгалуження і швидкості розгалуження, аналізують знак сигналу розгалуження та формують знак сигналу керувальної дії протилежним за полярністю знаку сигналу розгалуження, фіксують і запам'ятовують

величину сигналу розгалуження з наступним інвертуванням сигналу керувальної дії в момент часу, в який величина сигналу розгалуження дорівнює нульовому значенню, а величина сигналу швидкості розгалуження не дорівнює нульовому значенню, який **відрізняється** тим, що формування сигналу керувальної дії здійснюють в момент часу, в який величина сигналу розгалуження дорівнює половині величини сигналу розгалуження в той момент часу, коли величина сигналу швидкості розгалуження дорівнює нульовому значенню, і в цей самий момент фіксують і запам'ятовують величину сигналу розгалуження.

Корисна модель стосується машинобудування, авіаційної і 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 керувальної дії (див. ав. св. СРСР №435500, МПК G05B 1/00, 1971р.).

Недоліком відомого способу є недостатня швидкодія, що пояснюється значним часовим інтервалом 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 величини 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 зна-

ченню, а величина швидкості не дорівнює нульовому значенню (див. ав. св. СРСР №1568765, МПК G05B 11/00, 27.11.1996р.).

Недоліком відомого способу є недостатня швидкодія, що пояснюється значним часовим інтервалом наявності перехідного процесу із-за реалізації відповідного алгоритму.

В основу корисної моделі поставлене завдання удосконалення способу автоматичного керування інерційним об'єктом за рахунок збільшення швидкодії способу (зменшення часового інтервалу наявності перехідного процесу) шляхом формування нового алгоритму при проведенні нових додаткових операцій, що приводить до скорочення часу перехідного процесу.

Поставлене завдання вирішується тим, що у відомому способі автоматичного керування об'єктом, за яким формують сигнал керувальної дії пропорційно сумі абсолютних значень сигналів розгалуження і швидкості розгалуження, аналізують знак сигналу розгалуження та формують знак сигналу керувальної дії протилежним по полярності знаку сигналу розгалуження, фіксують і запам'ятовують величину сигналу розгалуження з наступним інвертуванням сигналу керувальної дії в момент часу, в який величина сигналу розгалуження дорівнює нульовому значенню, а величина сигналу швидкості розгалуження не дорівнює нульовому значенню, згідно із корисною моделлю, формування сигналу керувальної дії здійснюють в

UA (19) 50477 (13) U

момент часу, в який величина сигналу розгалуження дорівнює половині величини сигналу розгалуження в той момент часу, коли величина сигналу швидкості розгалуження дорівнює нульовому значенню, і в цей самий момент фіксують і запам'ятовують величину сигналу розгалуження.

Застосування запропонованого способу автоматичного керування об'єктом разом з усіма суттєвими ознаками, включаючи відмінні, забезпечує розширення функціональних можливостей і галузі застосування за рахунок збільшення швидкодії (зменшення часового інтервалу наявності перехідного процесу) шляхом проведення нових операцій по реалізації алгоритму, що сприяє скороченню часового інтервалу наявності перехідного процесу.

$$a_1 X_1(0) + a_2 X_2(0) = 0, \quad X_1(0) = X_2(0) = 0, \quad (1)$$

де $a_1 \neq 0$, $a_2 \neq 0$ - постійні коефіцієнти.

При умові (1) запам'ятовується нульове розгалуження $X_1(0) = 0$, а сигнал керувальної дії дорівнює нульовому значенню. Нехай в деякий момент t_0 часу, що прийнятий за початковий, формується початкове розгалуження $X_{10}(t_0) \neq 0$,

$$X_{20} = \frac{dX_{10}}{dt} \neq 0.$$

$$a_1 X_{10} + a_2 X_{20} \neq 0, \quad (2)$$

тому запам'ятовування сигналу керувальної дії не відбувається, а переміщення об'єкта має місце тільки під впливом початкових умов X_{10} , X_{20} .

$$a_1 X_{11}(t_1) + a_2 X_{21}(t_1) = 0, \quad X_{21} = \frac{dX_{11}}{dt}. \quad (3)$$

В нашому випадку $X_{11} > 0$, $X_{21} < 0$ ($a_1 > 0$, $a_2 > 0$) сигнал розгалуження і швидкості дорівнює нульовому значенню.

$$U(t_2) = U_2 = -(|X_{12}| + |X_{22}|). \quad (4)$$

Сигнал U_2 підтримуємо постійним до моменту t_3 часу, в який значення розгалуження X_{13} дорівнює нулю ($X_{13} = 0$), а значення швидкості розгалуження із-за інерційності системи (об'єкта) не дося-

$$U_3 = -U_2 = (|X_{12}| + |X_{22}|). \quad (5)$$

Коефіцієнти a_1 , a_2 необхідно вибрати таким чином, щоб в наступний момент t_4 часу при виконанні умови

$$a_1 X_{14} + a_2 X_{24} = 0, \quad (6)$$

де $X_{14} = 0$, $X_{24} = 0$, буде запам'ятований нульовий сигнал керувальної дії $-U_4 = 0$.

Якщо динаміка системи, для якої формується вищевказаний алгоритм, описується диференціальним рівнянням другого порядку, то починаючи із

$$T = t_{02} + t_{23} + t_{34}, \quad (7)$$

Розробка нового алгоритму реалізації заявленого способу базується на наступних теоретичних поясненнях.

На Фіг.1 наведено фазовий портрет системи реалізації способу прототипу, на Фіг.2 наведено фазовий портрет системи при реалізації запропонованого способу. Розглянемо систему автоматичного керування об'єктом, що знаходиться в початковому стані, тобто коли величина розгалуження X_1 і швидкість розгалуження X_2 дорівнюють нулю,

$$\text{а саме: } X_1(0) = 0 \text{ і } X_2 = \frac{dX_1}{dt} = 0.$$

При цьому лінійна комбінація величини розгалуження і швидкості розгалуження дорівнюють нульовому значенню:

Припустимо, також, що $X_{10} > 0$, $X_{20} > 0$ і на фазовій площині $X_2 = f(X_1)$ початкове положення системи фіксують в першому квадранті.

Лінійна комбінація X_{10} , X_{20} в момент t_0 часу має не нульове значення:

Величина сигналу керувальної дії дорівнює нулю. Таке переміщення об'єкта відбувається до моменту t_1 часу, в який лінійна комбінація розгалуження і швидкості досягає нульового значення:

На фазовій площині для точки фазової траєкторії для моменту t_2 часу $X_{12} > 0$, $X_{22} < 0$, $a_1 > 0$, $a_2 > 0$.

При виконанні умови (3) формується сигнал керувальної дії, що дорівнює величині:

гло нульового значення ($X_{23} \neq 0$, $X_{23} < 0$). В момент t_3 часу інвертують сигнал U_2 керувальної дії і величина сигналу дорівнює значенню:

моменту t_4 переміщення системи не відбувається тобто при $t \geq t_4$ $X_{14} = 0$, $X_{24} = 0$.

Таким чином, перехідний процес в такій системі триває в часовому інтервалі

$$\text{де } t_{02}=t_2-t_0, t_{23}=t_3-t_2, t_{34}=t_4-t_3 \quad (8)$$

Проведемо теоретичний аналіз запропонованого способу автоматичного керування об'єктом.

Розглянемо математичну модель системи автоматичного керування у вигляді неоднорідного

$$A \frac{d^2 X}{dt^2} + B \frac{dX}{dt} + CX = f(t) \quad (9)$$

де A - інерційний коефіцієнт;
 B - коефіцієнт опору;
 C - коефіцієнт жорсткості;

$$A \frac{d^2 X}{dt^2} + B \frac{dX}{dt} + CX = 0. \quad (10)$$

Рішення диференціального рівняння (10) визначають у вигляді $x = X_a \exp(St)$, де X_a - амплітудне значення; S - корінь характеристичного рівняння.

$$AS^2 + BS + C = 0. \quad (11)$$

Корені квадратного рівняння (11) мають вигляд

$$S_1 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}; S_2 = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}. \quad (12)$$

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

$$x(t) = C_1 e^{S_1 t} + C_2 e^{S_2 t}, \quad (13)$$

де C_1, C_2 - сталі коефіцієнти.

$$X_1(t) = C_1 e^{S_1 t} + C_2 e^{S_2 t} = C_1 e^{S_1 t} + C_2 e^{S_2 t}, \quad (14)$$

$$X_2(t) = \frac{dX_1}{dt} = C_1 S_1 e^{S_1 t} + C_2 S_2 e^{S_2 t} = C_1 S_1 e^{S_1 t} + C_2 S_2 e^{S_2 t}. \quad (15)$$

При задані $X_1(0), X_2(0)$ на підставі (14), (15) отримаємо значення C_1, C_2 із системи рівнянь

$$\left. \begin{aligned} C_1 + C_2 &= X_1(0) \\ S_1 C_1 + S_2 C_2 &= X_2(0) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

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

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

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & X_1(0) \\ S_2 & X_2(0) \end{vmatrix} = X_2(0) - S_1 X_1(0), \quad (17)$$

диференціального рівняння другого порядку (вводимо позначення, що відповідають позначенням прототипу)

$f(t)$ - зовнішня збуджувальна дія.

Однорідне диференціальне рівняння, що відповідає (4), має вигляд

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

При цьому рішення диференціального рівняння (10) має вигляд

Значення постійних коефіцієнтів C_1, C_2 визначаються початковими умовами

$$\begin{aligned} C_1^e &= \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{S_2 X_{10} - X_{20}}{s_2 - s_1}, \\ C_2^e &= \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{X_{20} - S_1 X_{10}}{s_2 - s_1}. \end{aligned} \quad (18)$$

В момент t_1 часу фіксують значення $X_1(t_1)=X_{11}$
при умові $X_2(t_1)=X_{21}=0$, а саме

$$X_{11} = C_1^e \exp(s_1 t_1) + C_2^e \exp(s_2 t_1) = \frac{S_2 X_{10} - X_{20}}{s_2 - s_1} \exp(s_1 t_1) + \frac{X_{20} - S_1 X_{10}}{s_2 - s_1} \exp(s_2 t_1). \quad (19)$$

В момент t_2 часу при умові $X_1(t_2)=X_{12} = \frac{1}{2} X_{11}$
фіксують значення $X_{22}=X_2(t_2)$, тобто

$$X_{12} = \frac{1}{2} \left[\frac{S_2 X_{10} - X_{20}}{s_2 - s_1} \exp(s_1 t_2) + \frac{X_{20} - S_1 X_{10}}{s_2 - s_1} \exp(s_2 t_2) \right]. \quad (20)$$

Починаючи з моменту t_2 часу переміщення динамічної системи об'єкта відбувається під дією сили, яка визначається величиною U_2 , а саме

$$U_2 = -(|X_{12}| + |X_{22}|), \quad (21)$$

а траєкторія руху відповідає неоднорідному диференціальному рівнянню

$$A \frac{d^2 X}{dt^2} + B \frac{dX}{dt} + CX = -(|X_{12}| + |X_{22}|), \quad (22)$$

рішення якого має вигляд

$$X(t) = C_1^e \exp(s_1 t) + C_2^e \exp(s_2 t) + U_2, \quad (23)$$

$$\frac{dX}{dt} = \dot{X}(t) = C_1^e s_1 \exp(s_1 t) + C_2^e s_2 \exp(s_2 t). \quad (24)$$

при початкових умовах X_{12}, X_{22} .

Із системи рівнянь(20) при урахуванні початкових умов X_{12}, X_{22} для $t=t_2$ визначаємо коефіцієнти C_1^e, C_2^e

$$C_1^e = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad C_2^e = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad (25)$$

де

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} X_{12} - U_2 & \exp(s_2 t_2) \\ \dot{X}_{12} & S_2 \exp(s_2 t_2) \end{vmatrix} = (X_{12} - U_2) S_2 \exp(s_2 t_2) - \dot{X}_{12} \exp(s_2 t_2), \quad (26)$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \exp(s_1 t_2) & X_{12} - U_2 \\ S_1 \exp(s_1 t_2) & \dot{X}_{12} \end{vmatrix} = \dot{X}_{12} \exp(s_1 t_2) - (X_{12} - U_2) S_1 \exp(s_1 t_2), \quad (27)$$

$$\begin{aligned} &= (S_2 \exp(s_2 t_2) - S_1 \exp(s_1 t_2)) \exp(s_1 t_2) \\ \Delta &= \begin{vmatrix} \exp(s_1 t_2) & \exp(s_2 t_2) \\ S_1 \exp(s_1 t_2) & S_2 \exp(s_2 t_2) \end{vmatrix} = S_2 \exp(s_1 t_2) \exp(s_2 t_2) - S_1 \exp(s_1 t_2) \exp(s_2 t_2) \\ &= (S_2 - S_1) \exp(s_1 t_2) \exp(s_2 t_2) \end{aligned} \quad (28)$$

Таким чином, при урахуванні (23), (25), (26), (27), (28) розгалуження переміщення $X(t)$ визнача-

$$C_1^{(2)} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{\kappa_{12} - U_2 \zeta_2 \exp(\zeta_2 t_2) \dot{X}_{12} \exp(\zeta_2 t_2)}{S_2 \exp(\zeta_1 t_2) \exp(\zeta_2 t_2) - S_1 \exp(\zeta_1 t_2) \exp(\zeta_2 t_2)}; \quad (29)$$

$$= \frac{\exp(\zeta_2 t_2) [\kappa_{12} - U_2 \zeta_2 - \dot{X}_{12}]}{\exp(\zeta_2 t_2) [S_2 \exp(\zeta_1 t_2) - S_1 \exp(\zeta_1 t_2)]} = \frac{\kappa_{12} - U_2 \zeta_2 - \dot{X}_{12}}{\exp(\zeta_1 t_2) [S_2 - S_1]};$$

$$C_2^{(2)} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\kappa_{12} - \kappa_{12} - U_2 \zeta_1 \exp(\zeta_1 t_2) \dot{X}_{12} - \kappa_{12} - U_2 \zeta_1}{\exp(\zeta_1 t_2) [S_2 - S_1] \exp(\zeta_2 t_2)} = \frac{\dot{X}_{12} - \kappa_{12} - U_2 \zeta_1}{S_2 - S_1 \exp(\zeta_2 t_2)}; \quad (30)$$

$$X(t) = \frac{\kappa_{12} - U_2 \zeta_2 - \dot{X}_{12}}{S_2 - S_1 \exp(\zeta_1 t_2)} \exp(\zeta_1 t) + \frac{\kappa_{12} - \kappa_{12} - U_2 \zeta_1}{S_2 - S_1 \exp(\zeta_2 t_2)} \exp(\zeta_2 t) + U_2. \quad (31)$$

Переміщення $X(t)$ (31) продовжується до моменту t_3 часу, в який величина розгалуження дорі-

внює нульовому значенню, а величина швидкості розгалуження не дорівнює нульовому значенню

$$X_{13} = X(t_3) = \frac{\kappa_{12} - U_2 \zeta_2 - \dot{X}_{12}}{S_2 - S_1} \exp(\zeta_1 t_3) + \frac{\kappa_{12} - \kappa_{12} - U_2 \zeta_1}{S_2 - S_1} \exp(\zeta_2 t_3) + U_2 = 0. \quad (32)$$

Подальше переміщення системи відбувається під дією сили $U_3 = U_2$

$$X(t) = C_1^{(3)} \exp(\zeta_1 t) + C_2^{(3)} \exp(\zeta_2 t) + U_2; \quad (33)$$

$$\dot{X}(t) = C_1^{(3)} S_1 \exp(\zeta_1 t) + C_2^{(3)} S_2 \exp(\zeta_2 t) \quad (34)$$

при початкових умовах

$$X(t_3) = X_{13} = 0, \quad \dot{X}(t_3) = X_{23} \neq 0. \quad (35)$$

Визначимо із (33), (34), (35) коефіцієнти $C_1^{(3)}$,

$C_2^{(3)}$ при $t = t_3$

$$X_{13} = 0 = C_1^{(3)} \exp(\zeta_1 t_3) + C_2^{(3)} \exp(\zeta_2 t_3) + U_2; \quad (36)$$

$$X_{23} = C_1^{(3)} S_1 \exp(\zeta_1 t_3) + C_2^{(3)} S_2 \exp(\zeta_2 t_3); \quad (37)$$

$$C_1^{(3)} = \frac{\Delta_1^{(3)}}{\Delta^{(3)}}, \quad C_2^{(3)} = \frac{\Delta_2^{(3)}}{\Delta^{(3)}} \quad (38)$$

де

$$\Delta_1^{(3)} = \begin{vmatrix} U_2 & \exp(\zeta_2 t_3) \\ X_{23} & S_2 \exp(\zeta_2 t_3) \end{vmatrix} = U_2 S_2 - X_{23} \exp(\zeta_2 t_3); \quad (39)$$

$$\Delta_2^{(3)} = \begin{vmatrix} \exp(\zeta_1 t_3) & U_2 \\ S_1 \exp(\zeta_1 t_3) & X_{23} \end{vmatrix} = \kappa_{23} - U_2 S_1 \exp(\zeta_1 t_3); \quad (40)$$

$$\Delta^{(3)} = \begin{vmatrix} \exp(\zeta_1 t_3) & \exp(\zeta_2 t_3) \\ S_1 \exp(\zeta_1 t_3) & S_2 \exp(\zeta_2 t_3) \end{vmatrix} = S_2 - S_1 \exp(\zeta_1 t_3) \exp(\zeta_2 t_3) = S_2 - S_1 \exp(\zeta_1 + \zeta_2 t_3); \quad (41)$$

$$C_1^{(3)} = \frac{\Delta_1^{(3)}}{\Delta^{(3)}} = \frac{U_2 S_2 - X_{23} \exp(\zeta_2 t_3)}{S_2 - S_1 \exp(\zeta_1 t_3) \exp(\zeta_2 t_3)} = \frac{U_2 S_2 - X_{23}}{S_2 - S_1} \exp(-S_1 t_3); \quad (42)$$

$$C_2^{(3)} = \frac{\Delta_2^{(3)}}{\Delta^{(3)}} = \frac{\kappa_{23} - U_2 S_1}{S_2 - S_1} \exp(-S_2 t_3). \quad (43)$$

Розгалуження переміщення $X(t)$ продовжується до моменту t_4 часу, для якого $X_{14}=0$, $X_{24}=0$.

Таким чином, як відмічено в дослідженні (див. Ємельянов С.В. Система автоматического управления с переменной структурой М.: Наука, 1967г., с. 64), час наявності перехідного процесу для фазової траєкторії запропонованого способу автоматичного керування об'єктом буде зменшений при порівнянні з відомим способом, тому що для любого $X_1(t)$ абсолютна величина швидкості зміни координат розгалуження на фазовій траєкторії корисної моделі більше в порівнянні з часом на фазовій траєкторії способу прототипу.

Спосіб автоматичного керування об'єктом реалізують на підставі наступного алгоритму

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

2. Фіксують і запам'ятовують величину сигналу розгалуження в момент часу, в який величина швидкості розгалуження дорівнює нульовому значенню.

3. Фіксують і запам'ятовують величину сигналу розгалуження в момент часу, в який величина сигналу розгалуження дорівнює половині величини сигналу розгалуження при нульовому значенні сигналу швидкості розгалуження.

4. В момент часу, в який величина розгалуження переміщення дорівнює значенню половини величини розгалуження при нульовому значенню швидкості розгалуження, формують сигнал керуальної дії, знак якого протилежний знаку сигналу розгалуження, а величина сигналу керуальної дії пропорційна сумі абсолютних значень величин розгалуження і швидкості розгалуження.

5. Фіксують і запам'ятовують величину сигналу швидкості і розгалуження в момент часу порівнян-

ня нульовому значенню величини розгалуження і в цей момент часу проводять інвертування сигналу керуальної дії.

Новим в алгоритмі реалізації способу автоматичного керування об'єктом є проведення операції формування сигналу керуальної дії в момент часу, в якій величина розгалуження дорівнює половині величині розгалуження при нульовому значенню швидкості 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 урівнована).

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

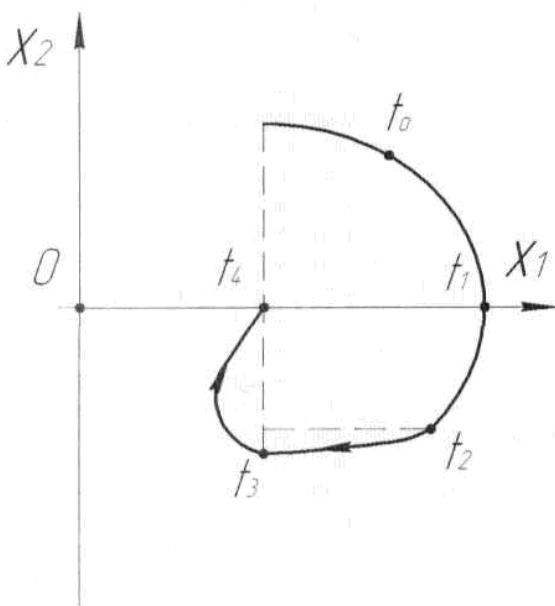
3. Реєструють і запам'ятовують величину розгалуження і швидкість розгалуження за допомогою датчиків, установлених на об'єкті.

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

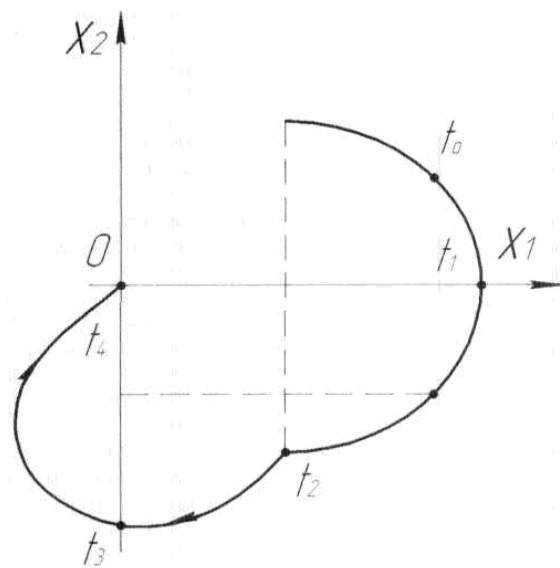
5. Формують сигнал керуальної дії при фіксації і запам'ятовуванні значення сигналу розгалуження в момент часу, в який величина сигналу розгалуження дорівнює значенню, яке в свою чергу дорівнює половині значення сигналу розгалуження при нульовому значенні швидкості.

6. В момент часу при нульовому значенні розгалуження інвертують сигнал керуальної дії.

7. При нульовому значенні розгалуження і швидкості розгалуження величину сигналу керуальної дії установлюють рівною нулю.



Фиг.1



Фиг.2

