



УКРАЇНА

(19) UA (11) 48344 (13) U
(51) МПК (2009)
G01H 11/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕЛІНІЙНОЇ ДИСИПАТИВНОЇ КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

1

2

(21) u200910607

(22) 19.10.2009

(24) 10.03.2010

(46) 10.03.2010, Бюл.№ 5, 2010 р.

(72) ПУЗЬКО ІГОР ДАНИЛОВИЧ

(73) СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують два режими вимушених коливань, в кожному режимі задають однакові початкові значення і однакові кінцеві значення амплітуд вимушених коливань коливальної системи, вимірюють величини першого і другого часових інтервалів $\Delta_1 t, \Delta_2 t$ відповідно і числа циклів n_1, n_2 в часових інтервалах $\Delta_1 t, \Delta_2 t$ відповідно при зміні амплітуди коливань в кожному часовому інтервалі від початкового до кінцевого значення, частоту сигналу збуджувальної дії в першому режимі змінюють із першою постійною швидкістю V_1 , в другому режимі - із постійною швидкістю V_2 , який **відрізняється** тим, що в

першому і другому режимах фіксують значення середніх частот $\omega_{cp1}, \omega_{cp2}$ відповідно першого і другого діапазонів частот при зміні амплітуди вимушених коливань від постійного початкового значення X_{a1} до постійного кінцевого значення X_{a2} , а визначення резонансної частоти ω_s по s-ій нормальній координаті проводять із співвідношення:

$$\omega_s = \frac{2\pi(n_1 - n_2) + \omega_{cp1}\Delta_1 t - \omega_{cp2}\Delta_2 t}{\Delta_1 t - \Delta_2 t},$$

де:

$$\omega_{cp1} = \frac{1}{2}(\omega_{H1} + \omega_{B1}), \quad \omega_{cp2} = \frac{1}{2}(\omega_{H2} + \omega_{B2});$$

ω_{H1}, ω_{H2} - нижні частоти першого і другого діапазонів частот відповідно;

ω_{B1}, ω_{B2} - верхні частоти першого і другого діапазонів частот відповідно.

Корисна модель відноситься до області машинобудівної, авіаційної і космічної техніки, а саме, до способів визначення параметрів нелінійних дисипативних коливальних систем із кінцевим числом ступенів вільності і може бути, зокрема, застосованою при визначенні моментів інерції механічних коливальних систем.

Відомий спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким задають перше початкове і перше кінцеве значення амплітуди вільних коливань, вимірюють перший і другий часові інтервали зміни амплітуди коливань, вимір першого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому часовому інтервалі проводять при зміні амплітуди вільних коливань від першого початкового значення до першого кінцевого значення, далі задають друге початкове і друге кінцеве значення амплітуд вільних коливань, вимір другого часового інтервалу і числа циклів в цьому часовому інтервалі проводять при зміні амплітуди вільних коливань від другого початкового значення до другого кінцевого значення, після чого змінюють інерційність нелінійної дисипативної ко-

ливальної системи і проводять вищенаведену сукупність операцій по виміру першого і другого часових інтервалів і чисел циклів в кожному часовому інтервалі при зміні амплітуди вільних коливань від її першого початкового значення до першого кінцевого значення, від другого початкового значення до другого кінцевого значення відповідно, а визначення параметра нелінійної дисипативної коливальної системи проводять при урахуванні значень часових інтервалів і чисел циклів в режимах вільних коливань (А. в. св. СССР №1703990, МПКG01H 11/00, 1992).

Недолік відомого способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи - обмежені функціональні можливості, що пояснюється неможливістю визначення параметрів механічної коливальної системи при умові застосування джерел енергії, що мають обмежену потужність.

За найближчий аналог вибрано спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують два режими вимушених коливань коливальної системи, в кожному режимі задають початкове і кінцеве зна-

(13) U

(11) 48344

(19) UA

чення амплітуди коливань нелінійної дисипативної коливальної системи, вимірюють перший і другий часові інтервали і число циклів коливань в першому і другому часових інтервалах при зміні амплітуди коливань в кожному часовому інтервалі від початкового до кінцевого значення, формують два режими вимушених коливань нелінійної коливальної системи, в першому, з яких частоту сигналу збуджувальної дії змінюють із постійною швидкістю V_1 , а в другому - із постійною швидкістю V_2 , в режимах вимушених коливань початкові значення амплітуд коливань задають однаковими і кінцеві значення амплітуд коливань задають однаковими, вимір першого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому інтервалі проводять при зміні частоти сигналу вимушеної дії із першою постійною швидкістю V_1 , вимір другого часового інтервалу і числа циклів коливань в цьому часовому інтервалі проводять при зміні частоти сигналу вимушеної дії із другою постійною швидкістю V_2 ($V_2 \neq V_1$, $V_2 < V_1$ або $V_2 > V_1$), а визначення параметра ω_0 проводять із співвідношення:

$$\omega_0 = \frac{2\pi(n_1 - n_2) + \frac{1}{2}(V_1\Delta_1^2 t - V_2\Delta_2^2 t)}{\Delta_1 t - \Delta_2 t}$$

де: ω_0 - частота вільних коливань лінійної породжувальної системи;

$\Delta_1 t, \Delta_2 t$ - перший і другий часові інтервали відповідно;

n_1, n_2 - числа циклів в першому і другому часових інтервалах відповідно (Патент України на корисну модель № 41550, МПК G01H 11/00, 2009).

Недолік відомого способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи - обмежені функціональні можливості, що пояснюється неможливістю визначення параметрів нелінійної механічної коливальної системи при умові застосування джерел енергії, що мають обмежену потужність із-за відсутності відповідного алгоритму проведення вимірів у режимах вимушених коливань.

В основу корисної моделі поставлене завдання удосконалення способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи шляхом формування нового алгоритму проведення вимірів в режимах вимушених коливань, що забезпечує розширення функціональних можливостей за рахунок можливості визначення параметрів механічної коливальної системи шляхом визначення параметрів при застосуванні джерел енергії, що мають обмежену потужність.

Поставлене завдання вирішується тим, що в способі визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи, за яким формують два режими вимушених коливань, в кожному режимі задають однакові початкові значення і однакові кінцеві значення амплітуд вимушених коливань коливальної системи, вимірюють величини

першого і другого часових інтервалів $\Delta_1 t, \Delta_2 t$ відповідно і числа циклів n_1, n_2 в часових інтервалах $\Delta_1 t, \Delta_2 t$ відповідно при зміні амплітуди коливань в

кожному часовому інтервалі від початкового до кінцевого значення, частоту сигналу збуджувальної дії в першому режимі змінюють із першою постійною швидкістю V_1 в другому режимі - із постійною швидкістю V_2 , згідно з корисною моделлю, в першому і другому режимах фіксують значення середніх частот $\omega_{cp1}, \omega_{cp2}$ відповідно першого і другого діапазонів частот при зміні амплітуди вимушених коливань від постійного початкового значення X_{a1} до постійного кінцевого значення X_{a2} , а визначення резонансної частоти ω_s по s -ій нормальній координаті проводять із співвідношення:

$$\omega_s = \frac{2\pi(n_1 - n_2) + \omega_{cp1}\Delta_1 t - \omega_{cp2}\Delta_2 t}{\Delta_1 t - \Delta_2 t},$$

$$\text{де } \omega_{cp1} = \frac{1}{2}(\omega_{H1} + \omega_{B1}), \omega_{cp2} = \frac{1}{2}(\omega_{H2} + \omega_{B2})$$

ω_{H1}, ω_{H2} - нижні частоти першого і другого діапазонів частот відповідно;

ω_{B1}, ω_{B2} - верхні частоти першого і другого діапазонів частот відповідно.

Застосування запропонованого способу визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи разом з усіма суттєвими ознаками, включаючи відмінні, забезпечує можливість визначення параметрів нелінійної механічної коливальної системи при умові застосування джерел енергії, що мають обмежену потужність, і при реалізації двох режимів вимушених коливань із постійними, але різними швидкостями розгортки частоти сигналу збуджувальної дії.

Розробка нового алгоритму визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи базується на наступних теоретичних аналітичних перетвореннях.

При аналізі процесів у вібраційних машинах при умові взаємодії робочого органа (джерела механічної енергії) з коливальною системою проводиться рішення нелінійних диференціальних рівнянь (система приведена до нормальної форми)

$$\frac{d^2 X_k}{dt^2} + \omega_k^2 X_k = \varepsilon f_k(x, \dot{x}, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}) \quad (1)$$

$$\frac{d^2 X_k}{dt^2} = \varepsilon f(x, \dot{x}, \varphi, \dot{\varphi}) \quad (2)$$

де ε - малий позитивний параметр, що характеризує слабу нелінійність системи;

X_k - координати;

φ - координати обертального руху.

Функції f_k, f визначаються як періодичні з періодом 2π і такі, що диференціюються по аргументах (Пресняков В.К., Филер З.Е. Колебания механической системы, рассматриваемой совместно с двигателем. Динамика и прочность машин, Харьков, изд-во Харьковского университета, - 1971. С.82. Кононенко В.О. Колебательные системы с ограниченным возбуждением, М.: «Наука», - 1964. С. 30-35, 51-58. Кононенко В.О. Нелинейные колебания механических систем. Киев: «Наукова думка», - 1980. С. 90-93, 95-100, 126-130, 201-210).

Беручи до уваги умову, що внутрішні резонанси відсутні, проведемо аналіз системи в області близької до резонансної частоти по s -ій нормальній координаті

$\left(\omega_s \approx \frac{p}{q} \omega \right)$, де p, q - взаємно прості числа;

ω - середня за період коливань швидкість (середня частота по діапазону частот).

Рішення системи (1), (2) рівнянь має вигляд

$$\left. \begin{aligned} X_s &= X_a \sin \psi + \varepsilon U_{1s} \left(X_a, \Theta, \omega, \varphi \right) + \dots, \\ X_k &= \varepsilon U_{1k} \left(X_a, \Theta, \omega, \varphi \right) + \dots, (k \neq s), \\ \psi &= \frac{p}{q} \varphi + \Theta, \\ \frac{d\varphi}{dt} &= \omega_{cp} + \varepsilon V_1(X_a, \Theta, \omega, \varphi) + \dots \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для функцій X_a, Θ, ω_{cp} мають місце рівняння

$$\left. \begin{aligned} \frac{dX_a}{dt} &= \varepsilon A_1(X_a, \Theta, \omega) + \varepsilon^2 A_2 + \dots, \\ \frac{d\Theta}{dt} &= \omega_s - \frac{p}{q} \omega + \varepsilon B_1(X_a, \Theta, \omega) + \varepsilon^2 B_2 + \dots, \\ \frac{d\omega}{dt} &= \varepsilon C_1(X_a, \Theta, \omega) + \varepsilon^2 C_2 + \dots \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Приймаючи умову $p = q = 1$ для першого наближення система рівнянь має вираз

$$\frac{dX_a}{dt} = \varepsilon A_1, \quad \frac{d\Theta}{dt} = \omega_s - \omega_{cp} + \varepsilon B_1, \quad \frac{d\omega_{cp}}{dt} = \varepsilon C_1. \quad (5)$$

Проведемо нескладні перетворення системи (5).

1) Проведемо операцію ділення лівих і правих частин першого і другого рівняння системи (5)

$$\frac{\frac{d\Theta}{dt} - \omega_s + \omega_{cp}}{\frac{dX_a}{dt}} = \frac{\varepsilon B_1}{\varepsilon A_1}. \quad (6)$$

Після нескладних перетворень (6) отримаємо таке рівняння

$$d\Theta - \omega_s dt + \omega_{cp} dt = \frac{B_1}{A_1} dX_a. \quad (7)$$

де $d\Theta = 2\pi n dt$, n - число циклів.

Після інтегрування лівої і правої частини (7) отримаємо таке співвідношення

$$2\pi n - \omega_s \Delta t + \omega_{cp} \Delta t = \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a \quad (8)$$

При проведенні операції по отриманню (8) не було застосовано третє рівняння системи (5).

При застосуванні другого і третього рівнянь системи (5) отримаємо таке співвідношення

$$d\Theta - \omega_s dt + \omega_{cp} dt = \frac{B_1}{C_1} d\omega_{cp}. \quad (9)$$

Однак при застосуванні першого і третього рівнянь системи (5) отримаємо таке співвідношення

$$d\omega_{cp} = \frac{C_1}{A_1} dX_a \quad (10)$$

При застосуванні (9), (10) отримаємо співвідношення

$$d\Theta - \omega_s dt + \omega_{cp} dt = \frac{B_1}{C_1} \cdot \frac{C_1}{A_1} dX_a = \frac{B_1}{A_1} dX_a. \quad (11)$$

тобто співвідношення (7) і (11) однакові.

Таким чином, рівняння (8) отримано при умові урахування всіх трьох рівнянь системи (5).

На підставі рівняння (8) отримаємо систему двох рівнянь

$$\left. \begin{aligned} 2\pi n_1 - \omega_s \Delta_1 t + \omega_{cp1} \Delta_1 t &= \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a, \\ 2\pi n_2 - \omega_s \Delta_2 t + \omega_{cp2} \Delta_2 t &= \int_{X_{a1}}^{X_{a2}} \frac{B_1}{A_1} dX_a \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

де: n_1, n_2 - числа циклів (періодів) коливань в часових інтервалах $\Delta_1 t, \Delta_2 t$ відповідно при реалізації режимів вимушених коливань із різними швидкостями розгортки частоти при зміні амплітуди коливань від початкового значення X_{a1} до кінцевого значення X_{a2} ;

$\omega_{cp1}, \omega_{cp2}$ - середні частоти діапазонів частот, що відповідають часовим інтервалам $\Delta_1 t, \Delta_2 t$ відповідно при зміні амплітуди вимушених коливань від амплітудного значення X_{a1} до амплітудного значення X_{a2} .

Із системи рівнянь (12), (13) отримаємо співвідношення для визначення резонансної частоти ω_s по s -ій нормальній координаті

$$\omega_s = \frac{2\pi(n_1 - n_2) + \omega_{cp1} \Delta_1 t - \omega_{cp2} \Delta_2 t}{\Delta_1 t - \Delta_2 t},$$

Спосіб визначення параметрів нелінійної дисипативної коливальної системи реалізують на підставі наступного алгоритму.

1) Формують режим вимушених коливань досліджуваної нелінійної коливальної системи. В цьому режимі частоту сигналу збуджувальної дії змінюють із першою постійною швидкістю V_1 , задають початкове X_{a1} і кінцеве X_{a2} значення амплітуди вимушених коливань.

2) Вимірюють і реєструють перший часовий інтервал $\Delta_1 t$ і число n_1 циклів коливань в цьому часовому інтервалі при зміні амплітуди вимушених коливань від початкового значення X_{a1} до кінцевого значення X_{a2} при зміні частоти вимушених коливань із швидкістю V_1 .

3) Реєструють середню частоту ω_{cp1} діапазону частот, що відповідає зміні амплітуди вимушених коливань від значення X_{a1} до значення X_{a2} при зміні частоти вимушених коливань із швидкістю V_1 .

4) Формують другий режим вимушених коливань досліджуваної коливальної системи. В цьому режимі частоту сигналу збуджувальної дії змінюють із другою постійною швидкістю V_2 , задають початкове X_{a1} і кінцеве значення X_{a2} амплітуди вимушених коливань.

5) Вимірюють і реєструють другий часовий інтервал $\Delta_2 t$ і число n_2 циклів коливань в цьому часовому інтервалі при зміні амплітуди вимушених коливань від початкового значення X_{a1} до кінцевого значення X_{a2} при зміні частоти вимушених коливань із постійною швидкістю V_2 .

6) Реєструють середню частоту ω_{cp2} діапазону частот, що відповідає зміні амплітуди вимушених коливань від значення X_{a1} до значення X_{a2} при зміні частоти вимушених коливань із швидкістю V_2 .

Новим в наведеному алгоритмі є проведення операцій вимірювання, реєстрації і запам'ятовування першої і другої середніх частот ω_{cp1} , ω_{cp2} діапазонів частот, перша із яких відповідає діапазону частот, що фіксується при зміні частоти сигналу збуджувальної дії із першою швидкістю V_1 , а друга відповідає діапазону частот, що фіксується при зміні частоти сигналу збуджувальної дії із другою постійною швидкістю V_2 при умові реєстрації зміні амплітуди вимушених коливань від постійного початкового значення X_{a1} до постійного кінцевого значення X_{a2} .

Спосіб визначення параметра нелінійної дисипативної коливальної системи реалізують наступним чином.

1) Установлюють досліджувальний об'єкт на рухомій платформі вібростенда.

2) Послідовно реалізують перший і другий режими вимушених коливань досліджуваного об'єкта, в кожному з яких фіксують постійне початкове значення амплітуди вимушених коливань і постійне кінцеве значення амплітуди вимушених коливань об'єкта.

3) При реалізації першого режиму вимушених коливань установлюють першу постійну швидкість V_1 зміни частоти сигналу збуджувальної дії, при реалізації другого режиму установлюють другу постійну швидкість V_2 зміни частоти сигналу збуджувальної дії.

4) В першому і другому режимах вимірюють, фіксують і реєструють величини часових інтервалів $\Delta_1 t, \Delta_2 t$ і відповідні числа n_1, n_2 циклів коливань в цих часових інтервалах при зміні амплітуди вимушених коливань об'єкта від постійного початкового значення X_{a1} до постійного кінцевого значення X_{a2} .

5) В першому і другому режимах вимірюють, фіксують і реєструють середні частоти ω_{cp1} , ω_{cp2} відповідно діапазонів частот при зміні амплітуди вимушених коливань від постійного початкового значення X_{a1} до постійного кінцевого значення X_{a2} при різних швидкостях $V_1, V_2 (V_1 \neq V_2)$ розгортки частоти сигналу збуджувальної дії.

6) За допомогою вимірювально-обчислювального комплексу (комп'ютерної системи) проводять обробку зареєстрованих сигналів $\Delta_1 t, \Delta_2 t, n_1, n_2, \omega_{cp1}, \omega_{cp2}$ і на підставі отриманого нового аналітичного співвідношення визначають значення параметра досліджуваного об'єкта при умові обмеженої потужності застосованого джерела енергії.