



УКРАЇНА

(19) UA (11) 60648 (13) A

(51) 7 B06B1/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИЙ ВІБРАТОР

1

(21) 2003010611

(22) 23 01 2003

(24) 15 10 2003

(46) 15 10 2003, Бюл. № 10, 2003 р.

(72) Пузько Ігор Данилович

(73) СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Електродинамічний вібратор, що містить магнітопровід з обмоткою підмагнічування, установлену в повітряному зазорі магнітопроводу рухому циліндричну котушку, довжина якої більша довжини повітряного зазору, задавальний генератор, форсуючий блок, перший, другий і третій суматори, підсилювач струму, перший і другий блоки диференціювання, коло зворотного зв'язку, яке має послідовно сполучені датчик переміщення рухомої платформи з котушкою і блок зворотного зв'язку, вихід якого сполучений з другим входом другого суматора, вихід якого через підсилювач струму сполучений з обмоткою збудження рухомої котушки, а перший вхід другого суматора сполучений з виходом першого суматора, послідовно з'єднані перший і другий блоки диференціювання, вхід першого з яких через другий підсилювач напруги

2

сполучений з першим входом третього суматора, другий вхід якого через третій підсилювач напруги сполучений з виходом першого блока диференціювання, третій вхід через четвертий підсилювач напруги сполучений з виходом другого блока диференціювання, який відрізняється тим, що він додатково містить перший і другий аперіодичні блоки, блок ділення, перший і другий блоки множення, причому вихід задавального генератора через послідовно з'єднані форсуючий блок і блок ділення сполучений з першим входом першого суматора, другий вхід якого сполучений з виходом третього суматора безпосередньо, а третій вхід - з виходом другого блока множення, один вхід якого сполучений з виходом першого блока диференціювання, а другий вхід через послідовно з'єднані другий аперіодичний блок, перший підсилювач напруги, перший блок множення, перший і другий входи якого об'єднані, і другий аперіодичний блок сполучений з виходом джерела постійної напруги, а вхід «Подільник» блока ділення сполучений з виходом другого аперіодичного блока

Винахід відноситься до області вібраційної техніки, а саме, до електродинамічних збуджувачів коливань і може знайти застосування як джерело механічних коливань в стендах для віброзбудження і моделювання різних типів вібраційних навантажень

Відомим є електродинамічний вібратор, що містить магнітопровід з обмоткою підмагнічування, установлену в повітряному зазорі магнітопроводу рухому циліндричну котушку, довжина якої більше довжини повітряного зазору, задавальний генератор, вихід якого під'єднаний до обмотки рухомої котушки через послідовно сполучені перший і другий суматори, і підсилювач струму, два послідовно сполучених блока диференціювання, виходи кожного з яких сполучені з входами першого суматора, а також коло зворотного зв'язку, що містить послідовно сполучені датчик переміщення циліндричної рухомої котушки вібратора і блок зворотно-

го зв'язку, вихід якого сполучений з другим входом другого суматора, а вихід датчика переміщення рухомої котушки вібратора сполучений з входом першого блока диференціювання і з четвертим входом першого суматора (див. ав. св. СРСР №623585, МПК ВО 6 В 1/04, 1978)

Недоліком відомого пристрою є недостатня точність формування заданого силового навантаження на випробуваний об'єкт, що пояснюється недостатньою точністю прийнятої математичної моделі електродинамічного вібратора, яка враховує тільки механічну частину його функціонування і не враховує процеси, що відбуваються в обмотці рухомої котушки, що призводить до зменшення ККД

Найбільш близьким по технічній суті і результатам, що отримуються, є електродинамічний вібратор, що містить магнітопровід з обмоткою підмагнічування, установлену в повітряному зазорі

(13) A

(11) 60648

(19) UA

магнітопровода рухомою циліндричною котушкою, довжина якої більша довжини повгтряного зазору, задавальний генератор, перший і другий суматори, підсилювач струму, перший і другий блоки диференціювання, коло зворотного зв'язку, що містить послідовно сполучені датчик переміщення рухомою циліндричною котушкою і блок зворотного зв'язку, вихід якого сполучений з другим входом другого суматора, вихід якого через підсилювач струму сполучений з рухомою циліндричною котушкою, вихід датчика переміщення рухомою котушкою сполучений з входом першого блока диференціювання, вихід якого сполучений з входом другого блока диференціювання, перший, другий, третій, четвертий і п'ятий підсилювачі напруги, форсуючий блок, третій блок диференціювання і третій суматор, причому вихід задавального генератора через послідовно з'єднані перший підсилювач напруги і форсуючий блок сполучений з першим входом першого суматора, другий вхід якого через третій блок диференціювання сполучений з виходом третього суматора, перший вхід якого через другий підсилювач напруги сполучений з виходом датчика переміщення рухомою циліндричною котушкою, другий вхід через третій підсилювач напруги сполучений з виходом першого блока диференціювання, а третій вхід через четвертий підсилювач напруги сполучений з виходом другого блока диференціювання, вихід датчика переміщення рухомою циліндричною котушкою через п'ятий суматор сполучений з третім входом першого суматора (див деклараційний патент України на винахід №45161, МПК В06 В 1/04, 2001)

Недоліком відомого пристрою є недостатня точність формування заданого силового навантаження на випробуваний об'єкт, що пояснюється недостатньою точністю прийнятої для формування алгоритму керування математичної моделі електродинамічного вібратора, яка враховує тільки механічні процеси його функціонування і електричні процеси в обмотці котушки збудження і не враховує процеси в обмотці котушки підмагнічування, що також призводить до зменшення ККД електродинамічного вібратора

В основу винаходу поставлене завдання створити такий електродинамічний вібратор, в якому за рахунок нової структурної схеми системи керування, що моделює процеси в механічній системі вібратора - коливання рухомою котушкою і електричній системі вібратора - процеси в обмотках збудження і підмагнічування, підвищується точність формування заданого силового навантаження на випробуваний об'єкт, що призводить також до підвищення ККД електродинамічного вібратора

Поставлене завдання вирішується тим, що електродинамічний вібратор, що містить магнітопровід з обмоткою підмагнічування, установлену в повгтряному зазорі магнітопровода, довжина якої більше довжини повгтряного зазору, задавальний генератор, форсуючий блок, перший, другий і третій суматори, підсилювач струму, перший і другий блоки диференціювання, коло зворотного зв'язку, що містить послідовно сполучені датчик переміщення рухомою платформи з котушкою і блок зворотного зв'язку, вихід якого сполучений з другим входом другого суматора, вихід якого через підси-

лювач струму сполучений з обмоткою збудження рухомою котушкою, а перший вхід другого суматора сполучений з виходом першого суматора, послідовно з'єднані перший і другий блоки диференціювання, вхід першого з яких через другий підсилювач напруги сполучений з першим входом третього суматора, другий вхід якого через третій підсилювач напруги сполучений з виходом першого блока диференціювання, третій вхід через четвертий підсилювач напруги сполучений з виходом другого блока диференціювання, згідно з винаходом, вібратор додатково містить перший і другий аперіодичні блоки, блок ділення, перший і другий блоки множення, причому вихід задавального генератора через послідовно з'єднані форсуючий блок і блок ділення сполучений з першим входом першого суматора, другий вхід якого сполучений з виходом третього суматора безпосередньо, а третій вхід - з виходом другого блока множення, один вхід якого сполучений з виходом першого блока диференціювання, а другий вхід через послідовно з'єднані другий аперіодичний блок, перший підсилювач напруги, перший блок множення, перший і другий входи якого об'єднані, і другий аперіодичний блок сполучений з виходом джерела постійної напруги, вхід «Подільник» блока ділення сполучений з виходом другого аперіодичного блоку

Застосування запропонованого електродинамічного вібратора з усіма суттєвими ознаками, включаючи відмінні, дозволяє формувати задане силове навантаження на випробуваний об'єкт з більш високою точністю, тому що є можливість урахування не тільки механічних процесів коливань рухомою системою вібратора, електричних процесів в обмотці збудження рухомою котушкою, але і електричних процесів в обмотці підмагнічування магнітопровода, що сприяє збільшенню ККД вібратора

Пояснюється це наступним. Розробка алгоритму формування заданого силового навантаження на випробуваний об'єкт при відтворенні вібрації базується на наступних міркуваннях,

Механічне переміщення рухомою котушкою збудження електродинамічного вібратора відповідає в операційній формі наступному диференційному рівнянню другого порядку, а саме

$$(mp^2 + bp + c)X(p) + R(p) = B_n(p)I_k I_k(p), \quad (1)$$

де

m - маса рухомою системою вібратора разом з випробуваним об'єктом,

b - коефіцієнт демпфування,

c - коефіцієнт жорсткості підвіски рухомою системою вібратора,

$X(p)$ - операційне зображення переміщення рухомою системою вібратора

$R(p)$ - операційне зображення сили реакції, що діє між випробуваним об'єктом і платформою вібратора, жорстко з'єднаною з рухомою котушкою,

$B_n(p)$ - операційне зображення магнітної індукції в повгтряному зазорі магнітопровода, що формується при надходженні струмів обмотки підмагнічування вібратора,

l_k - довжина дроту обмотки котушки збудження,

$I_k(p)$ - операційне зображення струму, що протікає в обмотці рухомої котушки збудження вібратора,

$p = d/dt$ - оператор диференціювання

Електричні процеси в замкнутому колі обмотки рухомої котушки вібратора моделюється диференціальним рівнянням першого порядку, що в операційній формі має вигляд

$$(pL_k + r_k)I_k(p) = U_k(p) - B_n(p)I_k X(p)p, \quad (2)$$

де

L_k - індуктивність обмотки рухомої котушки збудження,

r_k - опір обмотки рухомої котушки збудження,

$U_k(p)$ - операційне зображення напруги, що подається для живлення струмом обмотки збудження рухомої котушки. Електричні процеси в замкнутому колі обмотки котушки підмагнічування для створення магнітної індукції в повітряному зазорі магнітопровода вібратора моделюються диференціальним рівнянням першого порядку, що в операційній формі має вигляд

$$I_n(p)(pL_n + r_n) = U_n(p), \quad (3)$$

де

L_n - індуктивність обмотки котушки підмагнічування,

r_n - опір обмотки котушки підмагнічування,

$I_n(p)$ - операційне зображення струму, що протікає в обмотці підмагнічування,

$U_n(p)$ - операційне зображення напруги, що подається для живлення струмом обмотки підмагнічування

Приймаючи до уваги Закон Ома для магнітного кола в операційній формі

$$I_n(p)W_n = B_n(p)S_k / G, \quad (4)$$

де

W_n - число витків обмотки підмагнічування,

$B_n(p)$ - операційне зображення магнітної індукції в повітряному зазорі,

G - магнітна провідність повітряного зазору, де знаходиться обмотка рухомої котушки,

S_k - площа поперечного перерізу обмотки рухомої котушки, що перетинається магнітними силовими лініями магнітного потоку обмотки підмагнічування

Приймаючи до уваги рівняння (3) і співвідношення (4), отримаємо рівняння в операційній формі відносно $B_n(p)$

$$(pL_n + r_n)B_n(p) = K_n U_n(p), \quad (5)$$

де

$$K_n = \frac{GW_n}{S_k}$$

Приймаючи до уваги рівняння (1), (2), (5) отримаємо рівняння для визначення операційного зображення сили $R(p)$ реакції, що дорівнює зада-

ному силовому навантаженню на випробуваний об'єкт

$$mp^2 X(p) + \left[b + \frac{K_n^2 I_n^2 U_n^2(p)}{(pL_n + r_n)^2 (pL_k + r_k)} \right] pX(p) + cX(p) + R(p) = \\ = \frac{I_k K_n U_n(p) U_k(p)}{(pL_n + r_n)(pL_k + r_k)} \quad (6)$$

Для формування співвідношення

$$R(p) = K_u U_k(p), \quad K_u = K_n I_k \quad (7)$$

необхідно сформувати структурну схему, алгоритм функціонування якої відповідає співвідношенню (6), а саме необхідно сформувати компенсаційну напругу для компенсації окремих додаткових сил

$$mp^2 X(p), \quad bx(p), \quad \frac{K_n^2 I_n^2 U_n^2(p)}{(pL_n + r_n)^2 (pL_k + r_k)}, \quad cx(p)$$

Тоді будемо мати

$$R(p) = \frac{K_n I_k U_n(p) U_k(p)}{(pL_n + r_n)(pL_k + r_k)}, \quad (8)$$

Для виконання умов (7) необхідно провести корекцію напруги $U_k(p)$ з виходу задавального генератора, а саме сформувати $U_k^*(p)$

$$U_k^*(p) = \frac{K_n I_k U_n(p) U_k(p)}{(pL_n + r_n)(pL_k + r_k)} U_k(p) \cdot \\ \cdot \left[\frac{(pL_n + r_n)(pL_k + r_k)}{U_n(p)} \right] \cong K_n I_k U_k(p), \quad (9)$$

На кресленні (фіг.) приведена структурна схема електродинамічного вібратора

Електродинамічний вібратор містить магнітопровід 1 з обмоткою підмагнічування 2, джерело 3 постійного струму, установлену в повітряному зазорі магнітопровода 1 рухому циліндричну котушку 4 з обмоткою збудження 5, задавальний генератор 6, перший і другий суматори 7, 8 відповідно, підсилювач 9 струму, датчик 10 переміщення рухомої платформи разом з котушкою 4 і обмоткою 5 збудження, блок 11 зворотного зв'язку, перший і другий блоки 12, 13 диференціювання, перший, другий, третій, четвертий підсилювачі 14, 15, 16, 17 напруги відповідно, форсуючий блок 18, перший і другий аперіодичні блоки 19, 20 відповідно, блок 21 ділення, перший, другий блоки 22, 23 множення відповідно, третій суматор 24

Блоки і елементи електродинамічного вібратора з'єднані таким чином

Вихід задавального генератора 6 через послідовно з'єднані форсуючий блок 18 і блок 21 ділення сполучений з першим входом першого суматора 7, вихід якого через послідовно з'єднані другий суматор 8 і підсилювач 9 струму сполучений з обмоткою 5 збудження, що розташована на рухомій котушці 4 вібратора

На рухомій платформі (на схемі не позначена) вібратора розташований випробуваний об'єкт і датчик 10 переміщення рухомої платформи з котушкою збудження

Вихід датчика 10 переміщення рухомої платформи через блок 11 зворотного зв'язку сполучений з другим входом другого суматора 8, а через

другий підсилювач 15 напруги - з першим входом третього суматора 24

Вихід датчика 10 переміщення через послідовно з'єднані перший і другий блоки 12, 13 диференціювання відповідно і четвертий підсилювач 17 напруги сполучений з третім входом третього суматора 24, другий вхід якого через третій підсилювач 16 напруги сполучений з виходом першого блока 12 диференціювання, а вихід третього суматора 24 сполучений з другим входом першого суматора 7, третій вхід першого суматора 7 сполучений з виходом другого блока 23 множення, один вхід якого сполучений з виходом першого блока 12 диференціювання, а другий вхід - з виходом джерела 3 постійної напруги, що формує струм підмагнічування, через послідовно з'єднані другий аперіодичний блок 20, перший підсилювач 14 напруги, перший блок 22 множення, другий вхід якого об'єднаний з його першим входом, і перший аперіодичний блок 19. Вхід «Подільник» блока 21 ділення сполучений з виходом другого аперіодичного блока 20

Електродинамічний вібратор функціонує таким чином

Живлення обмотки 5 збудження рухомої котушки відбувається за рахунок струму з виходу підсилювача 9 струму. Рухомої котушка разом з обмоткою 5 збудження, платформою вібратора і випробуваним об'єктом переміщується за рахунок дії електромагнітної сили, що пропорційна величині струму на виході підсилювача 9 струму

Механічне переміщення рухомої платформи відбувається по закону, що відповідає співвідношенню (1), електричні процеси в замкненому колі обмотки 5 збудження відповідають співвідношенню (2), електричні процеси в замкненому колі обмотки підмагнічування відповідають співвідношенням (3), (5)

Коло зворотного зв'язку, що містить датчик 10 переміщення рухомої платформи разом з котушкою, обмоткою 5 збудження, випробуваним об'єктом і блок 11 зворотного зв'язку, вводиться для створення електромагнітної підвіски платформи з коефіцієнтом жорсткості "с"

Для реалізації співвідношення (7) формується структурна схема, алгоритм функціонування якої відповідає співвідношенню (6)

Така структурна схема має вигляд, що відповідає зображеному на фігурі

На виході задавального генератора 6 формується сигнал, що в операційній формі дорівнює $U_k(p)$. Сигнал $U_k(p)$ через форсуючий блок 18, передатна функція якого дорівнює $(pL_k + r_k)$ надходить на вхід «Подільник» блока 21 ділення, на вхід «Подільник» якого надходить сигнал $U_n(p)$ з виходу джерела 3 постійної напруги після проходження через другий аперіодичний блок 20, передатна функція якого дорівнює $(pL_n + r_n)^{-1}$

Сигнал з виходу блока 21 ділення надходить на перший вхід першого суматора 7. На другий вхід першого суматора 7 надходить сигнал з виходу третього суматора 24

На третій вхід першого суматора 7 надходить сигнал з виходу другого блока 23 множення, на

один вхід якого надходить сигнал з виходу датчика 10 переміщення рухомої платформи вібратора після проходження через перший блок 12 диференціювання, а на другий вхід надходить сигнал $U_n(p)$ з виходу джерела 3 постійної напруги після проходження через другий аперіодичний блок 20, передатна функція якого дорівнює $(pL_n + r_n)^{-1}$, перший підсилювач 14 напруги, передатна функція якого дорівнює $K_n I_k$, перший блок 22 множення, перший аперіодичний блок 19, передатна функція якого дорівнює $(pL_k + r_k)^{-1}$

На третій вхід третього суматора 24 надходить сигнал з виходу датчика 10 переміщення рухомої платформи після проходження через послідовно з'єднані перший і другий блоки 12 і 13 диференціювання і четвертий підсилювач 17 напруги з передатною функцією, що дорівнює m на другий вхід третього суматора 24 надходить сигнал з виходу першого блока 12 диференціювання після проходження через третій підсилювач 15, передатна функція якого дорівнює «b». На перший вхід третього суматора 24 надходить сигнал з виходу датчика 10 переміщення рухомої платформи після проходження через другий підсилювач 15 напруги, передатна функція якого дорівнює «с»

Сигнал з виходу блока 21 ділення, що дорівнює в операційній формі величини

$U_{21}(p) = U_k^*(p) = K_n I_k U_k(p)$, надходить на перший вхід першого суматора 7, на другий вхід якого надходить сигнал з виходу третього суматора 24, що дорівнює в операційній формі величини $m p^2 U_{10}(p) + b p U_{10}(p) + c U_{10}(p)$, а на третій вхід першого суматора 7 надходить сигнал з виходу другого блока 23 множення, що дорівнює в операційній формі величини $\frac{K_n^2 I_k^2 U_n^2(p)}{(pL_n + r_n)^2 (pL_k + r_k)}$

Сигнал з виходу першого суматора 7, що дорівнює в операційній формі величини $U_7(p)$

$$U_7(p) = K_n I_k U_k(p) + m p^2 U_{10}(p) + b p U_{10}(p) + m p^2 U_{10}(p) + b p U_{10}(p) + c U_{10}(p) + \frac{K_n^2 I_k^2 U_n^2(p)}{(pL_n + r_n)^2 (pL_k + r_k)} \quad (10)$$

де $U_{10}(p)$ - операційне зображення сигналу на виході датчика 10 переміщення, після проходження через другий суматор 8 і підсилювач 9 струму надходить в обмотку 5 рухомої котушки 4, формуючи в обмотці 5 струм, який забезпечує виникнення сили, що діє на рухому котушку 4 з платформою вібратора і випробуваним об'єктом

Сигнал з виходу датчика 10 переміщення рухомої платформи вібратора після проходження через блок 11 зворотного зв'язку надходить на другий вхід другого суматора 8, формуючи електромагнітну підвіску рухомої системи вібратора

Приймаючи до уваги співвідношення (6) і (10) (ми не враховуємо сигнал зворотного зв'язку для стабілізації статичного положення рухомої системи вібратора) маємо співвідношення в операційній формі

$$R(p) = K_u U_k(p),$$

тобто сипова дія на випробуваний об'єкт пропорційна сигналу $U_k(p)$ на виході задавального генератора

Таким чином, нові блоки і функціональні зв'язки формують таку функціональну схему кодування електродинамічним вібратором, яка збільшує точ-

ність формування навантажень на випробуваний об'єкт, що задається сигналом на виході задавального генератора, шляхом урахування електричних процесів, що відбуваються в електричному колі, в якому формується струм підмагнічування магнітопрвода електродинамічного вібратора

