

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ КОАКСІАЛЬНО-ЛІНІЙНОГО СИНХРОННОГО ВІБРАТОРА З МАГНІТНИМ ПІДВІСОМ

Голенков Г.М., к.т.н., Пархоменко Д.І., Макогон С.А., Бондар Р.П.

Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра "Електротехніки та електроприводу"
Україна, 03037, Київ-37, пр. Повітрофлотський, 31

Богаєнко М.В., Попков В.С.

Науково-впроваджувальне підприємство "Промелектрообладнання"

Україна, 03179, Київ, вул. Ірпінська, 63а/125

тел. (044) 459-52-42

Моделюється робота коаксіально-лінійного синхронного вібратора з магнітним підвісом. Отримано електромеханічні параметри та характеристики вібратора для закону регулювання $U/f = \text{const}$. Розрахунок поточкозчеплення виконується на основі розв'язку задачі розподілу електромагнітного поля в активній зоні вібратора та магнітного підвісу.

Моделируется работа коаксиально-линейного синхронного вибратора с магнитным подвесом. Получены электромеханические параметры и характеристики вибратора для закона регулирования $U/f = \text{const}$. Расчет поточкозчепления выполняется на основании решения задачи электромагнитного поля в активной зоне вибратора и магнитного подвеса.

ВСТУП

Відомі конструкції коаксіально-лінійних електромагнітних вібраторів [1] та вібраторів із збудженням від постійних магнітів на основі рідкоземельних матеріалів [2]. Такі вібратори мають переваги над вібраторами з двигунами обертання, амплітуда коливань яких забезпечується дебалансними системами [4]; а також, надійністю роботи та високим ККД через відсутність механічних передач. Тому дані вібратори можуть отримувати широке застосування у будівельному виробництві [4], транспортних системах та автоматичних пристроях [3].

Застосування вібраторів у технологічних процесах, наприклад для занурення паль, шпунтів, установках для без траншейної прокладки підземних комунікацій, для ущільнення бетонних мас та інших, потребує системи керування, що забезпечує резонансні явища, які призводять до зниження затрат електричної енергії та підвищення ККД.

В ході технологічного процесу можуть змінюватись технологічні параметри системи "вібратор-середовище", що призведе до зміни власної частоти її коливань.

Так як резонансна частота f_0 пов'язана з жорсткістю пружного елемента k_n та масою коливальної частини m_c виразом [7]:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_n}{m_c}} \quad (1)$$

та ці параметри конструктивно закладені у вібраторі і впливати на них в ході технологічного процесу ускладнено, то метою даної роботи є розробка конструкції вібратора, яка б дозволила оперативно змінювати власну частоту коливань вібратора та електромеханічні параметри.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ВІБРАТОРА З МАГНІТНИМ ПІДВІСОМ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Електричний вібратор з магнітним підвісом, що пропонується, приводом якого є коаксіально-лінійний синхронний двигун з постійними магнітами (КЛСД) з магнітним підвісом (МП) [5], дозволяє уникнути вище згаданих недоліків. Його конструкція зображена на рис.1, де 1 – корпус, 2 – магнітопровід вібратора, 3 – обмотки вібратора, 4 – магнітопровід підвісу, 5 – обмотки підвісу, 6 – постійні магніти, 7 – концентратори, 8 – стрижень, 9 – підшипники ковзання, 10 – пружні елементи.

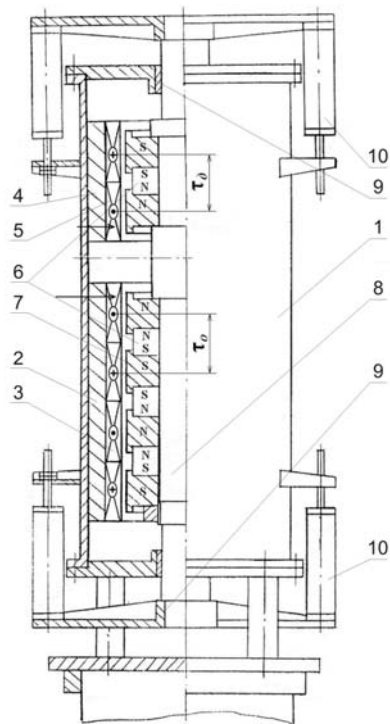


Рис. 1

Схема заміщення на рис. 2, де $R1$ -активний опір обмотки вібратора, $R2$ -активний опір обмотки підвісу, $L1$ та $L2$ – індуктивності (відповідно), ПЧ – перетворювач частоти, ПН – перетворювач напруги.

Робота КЛСД з МП відбувається наступним чином. При подачі змінного струму на обмотки вібратора через перетворювач частоти створюється магнітне поле, що пульсує, яке при взаємодії з полем постійних магнітів призводить до коливання якоря з амплітудою x . При подачі постійної напруги через перетворювач напруги на обмотку статора підвісу виникає магнітний потік, який при взаємодії з полюсами магнітів викликає силу, що діє на ярів підвісу і створює ефект магнітної пружини. Регулювання значення напруги на магнітному підвісі призведе до відповідної зміни значення його жорсткості.

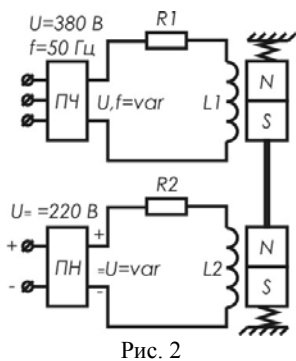
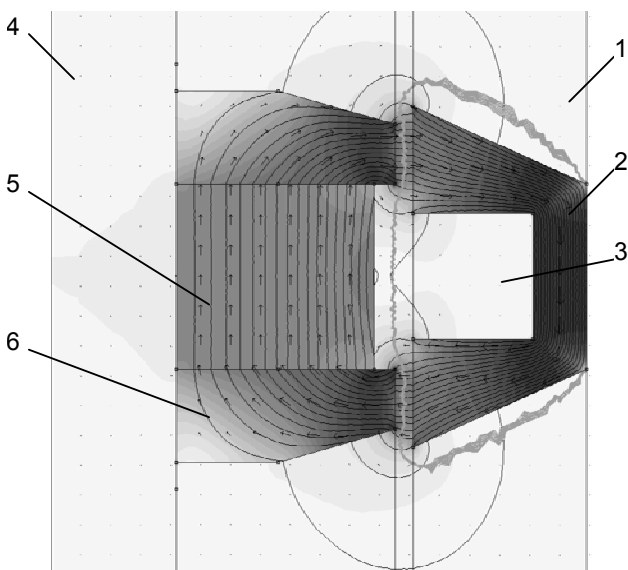


Рис. 2

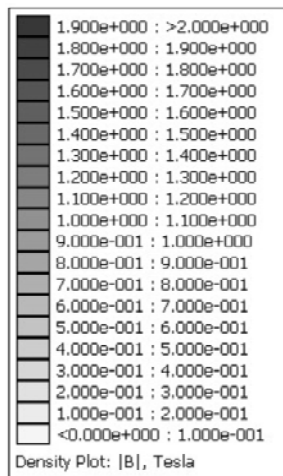
Моделювання магнітного підвісу проводилося методом кінцевих елементів за допомогою програми FEMM [8] (рис. 3), де 1 – корпус, 2 – магнітопровід статора, 3 – обмотка, 4 – стрижень, 5 – постійний магніт, 6 – концентратори. Розподіл магнітної індукції та розрахункових значень векторного потенціалу (ізо-ліній) в осьовому перерізі і тензора натягу Максвелла – величини nT (радіальна компонента) показаний на рис. 3, а. Стрілками показано напрямок магнітного потоку. Розподіл інтенсивності електромагнітного



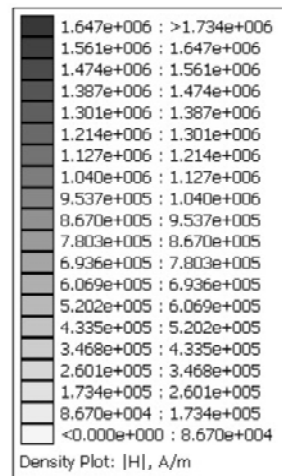
а

поля показаний рис. 3, б. Розраховані значення для кожного з графіків наведені в табл. 1 та табл. 2 відповідно.

Таблиця 1



Таблиця 2

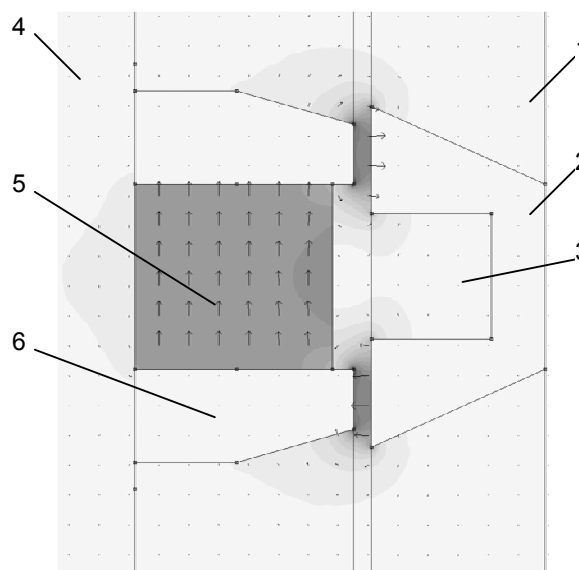


МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ВІБРАТОРА З МАГНІТНИМ ПІДВІСОМ

Електромеханічний процес у системі "вібратор-підвіс" при підключенні обмотки вібратора до змінної напруги для випадку одномасової механічної системи описується наступною системою диференціальних рівнянь записаних у формі Коші:

$$\begin{cases} L_{\text{віб}} \frac{di_{\text{віб}}}{dt} = U_{\text{віб}} - Vi_{\text{віб}} \frac{dL_{\text{віб}}}{dx} - i_{\text{віб}} R_{\text{віб}} - V \frac{d\psi_{0\text{віб}}}{dx}; \\ L_{\text{підв}} \frac{di_{\text{підв}}}{dt} = U_{\text{підв}} - Vi_{\text{підв}} \frac{dL_{\text{підв}}}{dx} - i_{\text{підв}} R_{\text{підв}} - V \frac{d\psi_{0\text{підв}}}{dx}; \\ m \frac{dV}{dt} = i_{\text{віб}} \frac{d\psi_{0\text{віб}}}{dx} + \frac{1}{2} \frac{dL_{\text{віб}}}{dx} i_{\text{віб}}^2 - F_{\text{підв}} - V(c_{\text{віб}} + c_{\text{підв}}) - kx; \\ \frac{dx}{dt} = V, \end{cases} \quad (2)$$

де $L_{\text{віб}}$ – індуктивність вібратора, $-82.227x^2 + 0.1104x + 0.5969$ Гн; $L_{\text{підв}}$ – індуктивність підвісу,



б

Рис. 3

$-67732x^4 + 6.243x^3 + 33.4x^2 + 0.002x + 0.085$ Гн; $U_{\text{віб}}$ – напруга живлення вібратора, $\sqrt{2} \cdot 15f \sin(2\pi ft)$ В; $U_{\text{підв}}$ – напруга живлення підвісу, 200 В; m – маса рухомої частини, 42 кг; $c_{\text{віб}}$ – коефіцієнт демпфування вібратора, 1420 кг/с; $c_{\text{підв}}$ – коефіцієнт демпфування підвісу, 583 кг/с; k – приведений коефіцієнт жорсткості пружин, 267200 Н/м; $R_{\text{віб}}$ – опір в колі вібратора, 9 Ом; $R_{\text{підв}}$ – опір в колі підвісу, 16,6 Ом; $F_{\text{підв}}$ – сила тяги підвісу, $4132.67i_{\text{підв}}x + 134820x$ Н; x – зміщення рухомої частини, мм; V – швидкість рухомої частини, м/с; $i_{\text{віб}}$ – сила струму в колі вібратора, А; $i_{\text{підв}}$ – сила струму в колі підвісу, А.

Система розв'язувалась чисельно за допомогою системи комп'ютерної алгебри *Octave* [9]. На рис. 4 показані графіки залежності амплітудних значень зміщення (X) від частоти при $U_{\text{віб}}/f = \text{const}$ та $U_{\text{підв}} = \text{const}$ (а - графік для випадку використання вібратора з механічними пружинами, б - для випадку використання вібратора з механічними пружинами та магнітним підвісом при $U_{\text{підв}} = 200$ В).

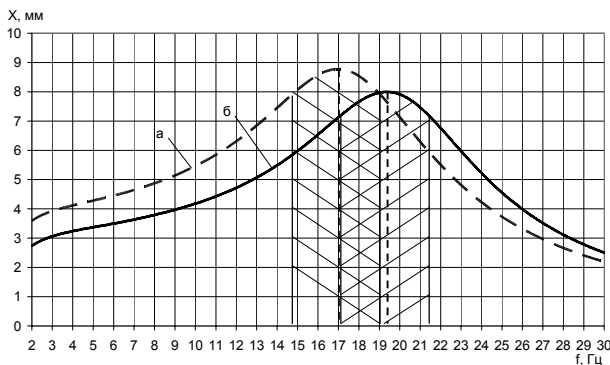


Рис. 4

На рис. 5 показаний графік залежності жорсткості магнітного підвісу від підведеної до нього потужності.

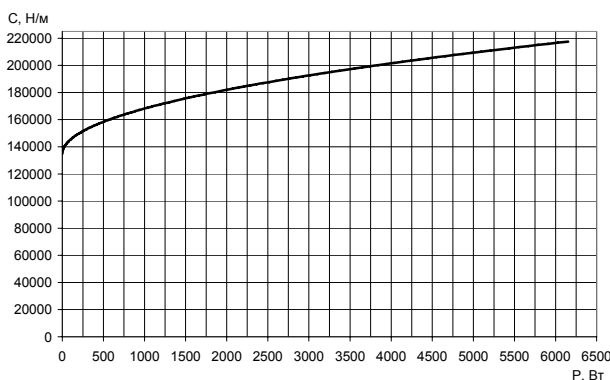


Рис. 5

ВИСНОВКИ

1. Розроблена конструкція електричного вібратора з МП дозволяє оперативно змінювати його електромеханічні параметри та резонансні властивості.

2. Різниця між значеннями резонансних частот для випадків використання вібратора з магнітним підвісом та без нього складає 2,4 Гц.

3. Найбільш ефективним буде застосування магнітного підвісу в тих технологічних процесах, де зміна власної частоти системи незначна.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Богаєнко М.В., Голенков Г.М., Голуб В.П та ін. Вібробуджувач. Деклараційний патент на винахід №20031213225 від 17.01.2005.
- [2] Богаєнко М.В., Бондар Р.П., Голенков Г.М та ін. Вібробуджувач. Деклараційний патент на корисну модель №14111, заявка № а 2005 10789 від 15.11.2005.
- [3] J.F. Gieras, Z.J. Piech. Linear Synchronous Motors. Transportation and Automation Systems // CRC Press LIS Boca Ration. Florida, N.Y. Corporate Blvd., D.C. – 2000.
- [4] Бауман В.А., Быховский И.И., Гольдштейн Б.Г. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1970. – 547 с.
- [5] Богаєнко М.В., Бондар Р.П., Голенков Г.М та ін. Вібробуджувач. Деклараційний патент на корисну модель №24757, заявка № и 2007 02975 від 21.03.2007.
- [6] Азабель Г.Г., Блехман И.И., Быховский И.И и др. Вибрации в технике: Вибрационные процессы и машины. – М.: Машиностроение, 1981. – Т.4. – 509 с.
- [7] Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 512 с.
- [8] <http://www.femm.foster-miller.net>
- [9] <http://www.octave.org>

Надійшла 29.07.2007