

МОДЕЛЮВАННЯ СИЛ ОДНОСТОРОННЬОГО МАГНІТНОГО ТЯЖІННЯ В КОАКСІАЛЬНО-ЛІНІЙНОМУ СИНХРОННОМУ ВІБРАТОРІ ПРИ НЕСИМЕТРИЧНОМУ РОЗТАШУВАННІ ЯКОРЯ

Макогон С.А.

Київський національний університет будівництва і архітектури

Україна, 03037, Київ, пр. Повітрофлотський 31, КНУБА, кафедра Електротехніки та електроприводу
тел. (044) 241-55-65, e-mail: mcogon@ukr.net

Проаналізовано сили одностороннього магнітного тяжіння і тягові характеристики методом скінченних елементів для коаксіально-лінійного синхронного вібратора з зубцевим та беззубцевим статором.

Проанализированы силы одностороннего магнитного притяжения и тяговые характеристики методом конечных элементов для коаксиально-линейного синхронного вибратора с зубчатым и беззубчатым статором.

ВСТУП

Збуджувачі коливань (вібратори) широко використовуються в народному господарстві. Часто необхідно отримати коливання тільки однієї направленості. Традиційна дебалансна конструкція вібратора має ряд суттєвих недоліків, а саме: недовговічність дебалансних валів, підшипників (через значні динамічні навантаження); утворення зайвих бокових коливань (що знижує ККД вібратора) та необхідність в синхронізації обертання дебалансів.

Для зменшення цих недоліків пропонується використовувати електричний вібратор на базі коаксіально-лінійного синхронного двигуна (ВКЛСД) [1-4].

Під час виготовлення деталей двигуна та його складанні, а також у процесі експлуатації при зношенні підшипників чи стрижня якоря може виникнути несиметрія у його розташуванні відносно статора. При цьому виникають електромагнітні сили одностороннього магнітного тяжіння, що притискають якор до статора, збільшуючи тертя у підшипниках та викривлюючи стрижень якоря. Метою роботи є аналіз електромагнітних сил магнітного тяжіння для ВКЛСД двох типів - з зубцевим та беззубцевим статором.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Загальний вигляд створеного ВКЛСД схематично показано на рис. 1. Він складається з: корпусу 1; магнітопроводу 2; струмового шару 3; якоря 4; постійних магнітів (NdFeB) 5; концентраторів 6; стрижня якоря 7; платформи 8; рим-болта 9; втулки з'єднувальної 10; підшипника ковзання 11; пружин 12; скоби 13; фланця 14.

Вібратор є машиною зі беззубцевою структурою магнітопроводу статора. Потужність вібратора складає 1,6 кВт, мінімальний повітряний зазор між статором і якорем – 3 мм, немагнітний – 13 мм, амплітуда коливань – 20 мм, маса рухомої частини – 75 кг.

Для розрахунку електромагнітних сил методом скінченних елементів (МСЕ) було створено тривимірну модель цього вібратора, показану на рис. 2, а. Завдяки симетрії у площині ZX моделювалась тільки половина двигуна. Рух якоря під час коливань (його виділено кольором) відбувається по осі Z. Несиметричність розташування якоря змінювалась шляхом його

пересування по осі X. Задача розглядалась у магніто-статичній постановці при нульових струмах в котушках статора, тому котушки не використовувались для тривимірної моделі.

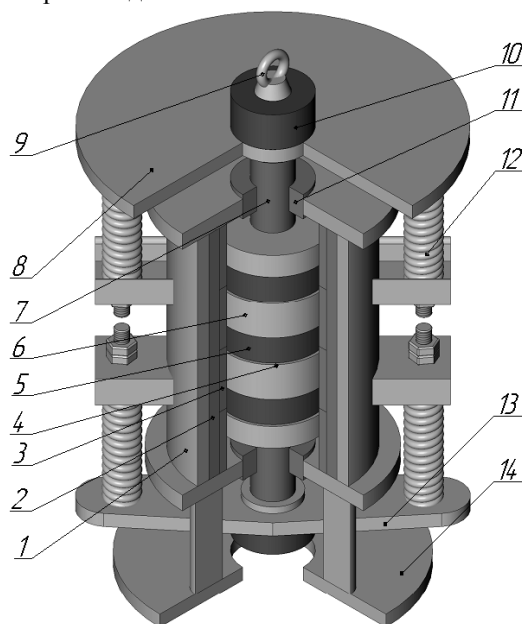


Рис. 1. Загальний вигляд створеного ВКЛСД

Відносна магнітна проникливість сталі прийнята лінійною і становить $\mu = 1000$; для магнітів модуль значення остаточної магнітної індукції $|\mathbf{B}_r| = 1$ Тл, магнітна проникливість $\mu_r = 1,06$, напрямок намагнічування – по вісі Z.

У роботі [5] відзначається, що лінійні двигуни зі зубцевим статором можуть мати щільність сили на одиницю активної поверхні до трьох разів більшу, ніж з беззубцевим. Тому для порівняння в роботі було також розглянуто модель лінійного двигуна зі зубцевим статором (рис. 2, б).

Для порівняння не тільки сил магнітного тяжіння, але і тягових характеристик двох типів двигунів, в роботі були побудовані двовимірні моделі для цих двигунів за методикою, докладно описаною у [4]. Розрахунок вівся за допомогою МСЕ для значення модуля МРС $|F| = 2130$ А-витків у кожній котушці.

Результати розрахунку тягової сили наведені на рис. 3. З їх аналізу видно, що при зубцевій структурі статора машина має вищі у 2,2-4,8 рази тягові характеристики, ніж при беззубцевій, проте має значну зачіплювальну силу (що діє при нульовому струмі).

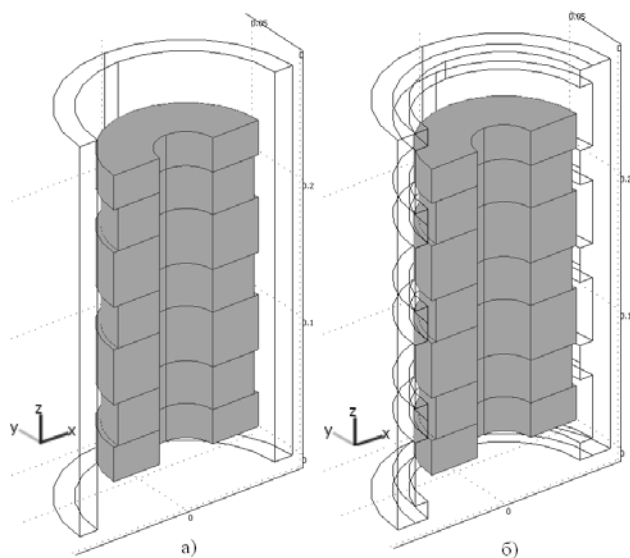


Рис. 2. Тривимірні моделі двигунів з зубцевим (а) і беззубцевим (б) статором при центральному положенні якоря (зміщення $\Delta z = 0$, несиметрія $\Delta x = 0$)

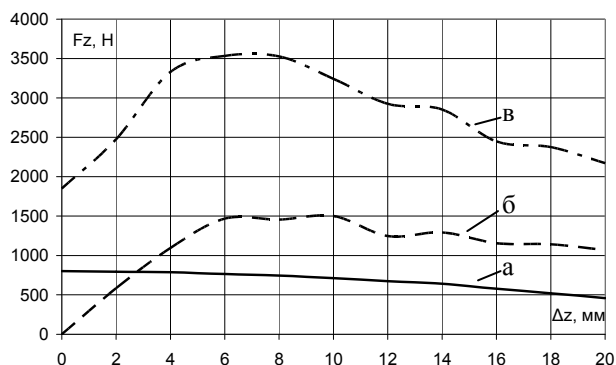


Рис. 3. Розрахункові тягові характеристики. Суцільною лінією (а) показано характеристику для беззубцевої машини, штрихпунктирною (в) – для зубцевої, штриховою (б) – зачіплювальної сили для зубцевої машини

Математична тривимірна модель для розрахунку сил магнітного тяжіння описується таким чином [6].

В області без електричного струму справедливо для напруженості магнітного поля \mathbf{H} :

$$\nabla \times \mathbf{H} = 0. \quad (1)$$

Тоді можливо визначити скалярний магнітний потенціал V_m з відношення:

$$\mathbf{H} = -\nabla V_m. \quad (2)$$

Вираз (2) є аналогічним до виразу для визначення електричного потенціалу для статичних електричних полів.

Використовуючи базове співвідношення між магнітною індукцією \mathbf{B} й напруженістю магнітного поля \mathbf{H} :

$$\mathbf{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \mathbf{H} + \mathbf{B}_r. \quad (3)$$

та враховуючи, що

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad (4)$$

можливо записати рівняння для визначення скалярного магнітного потенціалу:

$$\nabla \cdot (-\mu_0 \cdot \mu_r \cdot \nabla V_m + \mathbf{B}_r) = 0 \quad (5)$$

Інтегрування диференційного рівняння (5) виконувалось за допомогою МСЕ. Розрахунок сил виконувался на основі тензору натягу Максвелла [6].

Було отримано графіки для сил одностороннього магнітного тяжіння $F_x(x, z)$ в залежності від зміщення Δz та несиметрії Δx якоря відносно статора для зубцевої машини (рис. 4) і залежність $F_x(x)$ для обох типів машин (рис. 5).

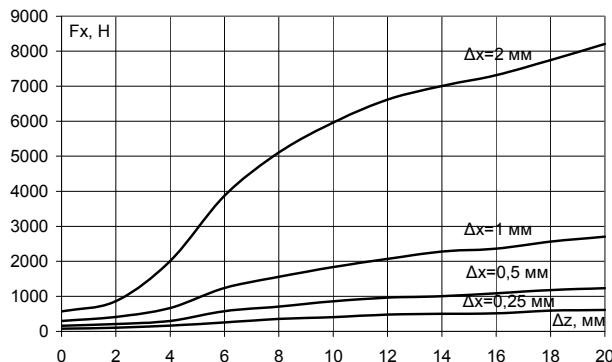


Рис. 4. Сімейство характеристик $F_x(x, z)$ для двигуна зі зубцевим статором

Аналізуючи тягові характеристики на рис. 4, бачимо, що $F_x(x, z)$ для зубцевого двигуна суттєво залежить від зміщення Δz якоря під час руху і збільшується з віддаленням від центру, досягаючи свого максимуму в крайньому положенні. Для беззубцевої машини аналогічної залежності не виявлено; сила майже не змінюється в залежності від Δz .

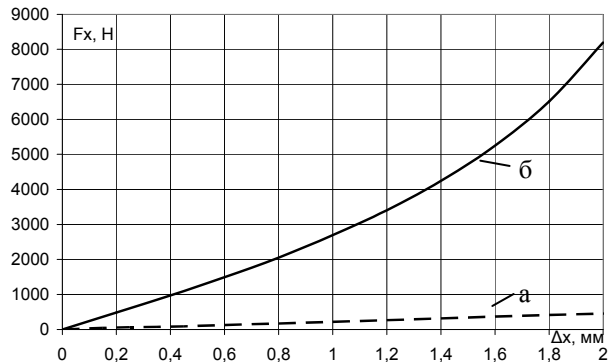


Рис. 5. Залежність $F_x(x)$ для двигуна з беззубцевим (а) та зубцевим (б) статором при $\Delta z = 20$ (крайне положення)

З рис. 5 видно, що $F_x(x)$ для беззубцевого двигуна зростає майже лінійно на всьому діапазоні моделювання, а для зубцевого – приблизно до значення $\Delta x = 1$ мм, а далі нелінійно. Сила одностороннього магнітного тяжіння для зубцевої машини перевищує силу для беззубцевої в 9-12 разів на проміжку до 1 мм і в 13-18 разів на проміжку від 1 до 2 мм за рахунок суттєво меншого, у порівнянні з беззубцевою маши-

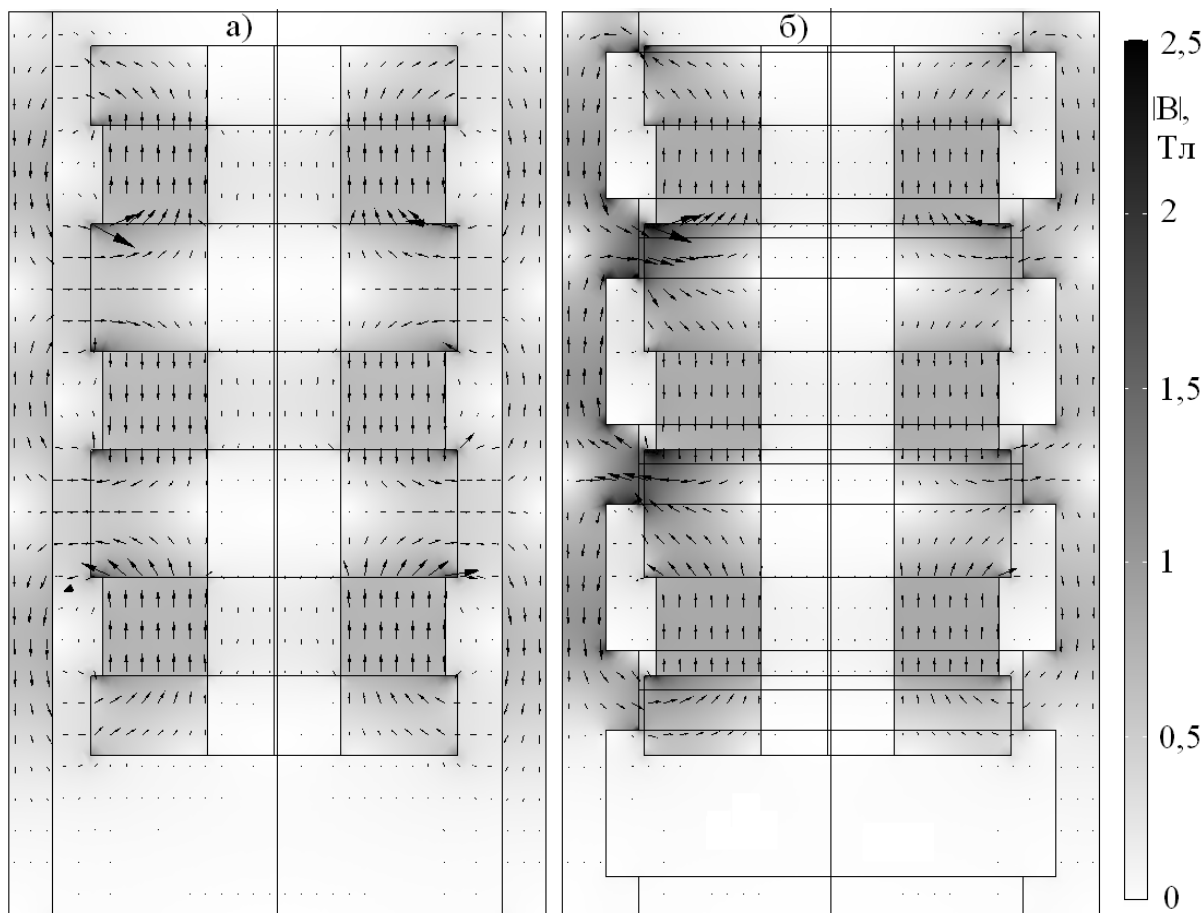


Рис. 6. Значення модуля магнітної індукції $|B|$ (кольором) та напрям магнітного потоку (стрілками) для беззубцевої (а) і зубцевої (б) машини при зміщенні $\Delta z = 20$ мм і несиметрії $\Delta x = 1$ мм

ною, немагнітного зазору між якорем та статором.

На рис. 6 показано значення модуля магнітної індукції для обох типів машин. Видно, що у беззубцевої машини (а) сталь майже не насичена і картина розподілу $|B|$ приблизно симетрична. У зубцевої машини (б) спостерігається насичення сталевих частин якоря і статора в області меншого немагнітного зазору і має місце суттєва несиметрія у розподілі $|B|$.

ВИСНОВКИ

1. Тягова характеристика при постійному струмі для вібратора з зубцевим статором перевищує у 2,2-4,8 разів характеристику для вібратора зі беззубцевим статором, проте у нього спостерігається значна величина зачіплювальної сили, яка досягає 40% від значення тягової сили.

2. Сила одностороннього магнітного тяжіння для вібратора зі зубцевим статором перевищує силу для вібратора з беззубцевим статором у 9-18 разів. Ця різниця у значенні сил обумовлена значно меншим мінімальним немагнітним зазором у разі зубцевого статора - змінювався при моделюванні від 3 до 1 мм, а для беззубцевого - від 13 до 11 мм.

3. У залежності від положення якоря при коливанні сила одностороннього магнітного тяжіння змінюється приблизно лінійно для беззубцевого статора, а для зубцевого - нелінійно і залежить від конфігурації зубців на статорі і якорі.

4. Зазначимо, що для уточнення дії сил одностороннього магнітного тяжіння при роботі вібратора потрібно провести моделювання з врахуванням струмів в обмотках статора.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Богаєнко М.В., Бондар Р.П., Голенков Г.М., Голуб В.П., Макогон С.А., Павленко П.В., Попков В.С. Віброзбудувач. Декларативний патент на корисну модель №14111 заявка № а 2005 10789 від 15.11.2005.
- [2] Богаєнко М.В., Голенков Г.М., Голуб В.П., Павленко П.В., Попков В.С., Чомкалова І.О. Віброзанурювач. Декларативний патент на винахід №20031213225 від 17.01.2005.
- [3] Голенков Г.М., Бондар Р.П., Макогон С.А., Богаєнко М.В., Попков В.С. Моделювання роботи електричного вібратора з коаксіально-лінійним індукційним двигуном при різних законах регулювання // Технічна електродинаміка. - 2007. - №2 - С. 54 - 59.
- [4] Голенков Г.М., Бондар Р.П., Макогон С.А., Подольцев А.Д., Богаєнко Н.В., Попков В.С. Численний расчёт магнітного поля и основних характеристик електровібратора на основе коаксіально-лінійного двигателя с постійними магнітами. - Харьков: "Електротехніка і електромеханіка" №1, 2007. - С. 8 - 12.
- [5] S. Chevailler. Comparative study and selection criteria of linear motors. PhD thesis. Suisse, EPLF, 2006. - p. 167.
- [6] AC/DC module users guide. COMSOL AB, 2006. - 164 pp.

Надійшла 12.05.2008