

ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАТОРА З ОДНОТАКТНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ПРИВОДОМ З ОДНОПОЛУПЕРІОДНИМ ВИПРЯМЛЯЧЕМ

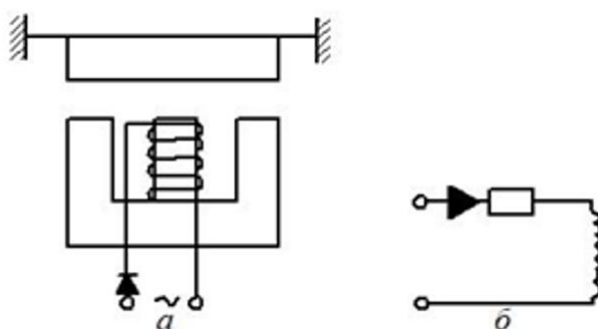
Череватенко Г.І. асистент

*Харківський національний технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка*

м. Харків, Україна

Електромагнітні вібратори знаходять все більше застосування в техніці в якості збудників коливань у різного роду машинах і приладах. Особливо широко використовуються вони в вібротранспортуючих установках і вібровипробувальних стендах. Різним сторонам теорії цього виду механізмів присвячено велику кількість робіт вітчизняних і зарубіжних авторів. Тим часом досі немає достатньо загальної теорії, що охоплює всю сукупність основних електромеханічних процесів вібраторів з електромагнітним збудженням коливань, на основі якої можна було б розробити обґрунтовані інженерні методи їх розрахунку.

Мета цієї роботи вивчення робочого процесу одноктного електромагнітного вібратора з однополуперіодним випрямлячем, що працює від джерела синусоїдальної напруги «необмеженої» потужності (рис. 1, а). Схема заміщення його електричного контуру представлена на рис. 1, б. У завдання дослідження входить визначення закону зміни струму в обмотках магніту, характеру і величини збудює зусилля і закону руху рухомої частини вібратора.



Істотні труднощі сформульованої задачі полягають перш за все в тому, що картина явищ в електромагнітному вібраторі в загальному випадку характеризується складною системою нелінійних диференціальних рівнянь, що описують процеси в електричному ланцюзі і в механічному контурі, що взаємодіють з оброблюваним середовищем. Оскільки при сучасному рівні розвитку математичного апарату рішення цієї системи представляє величезні труднощі, введемо ряд спрощень: 1) магнітне поле вібратора однорідне; 2) магнітний потік розсіювання зневажаємо малий в порівнянні з робочим магнітним потоком; 3) магнітне поле струмів Фуко і втрати енергії, пов'язані з

виникненням цих струмів – не враховуються; 4) наведена маса системи постійна; 5) пружна реакція механічного зв'язку лінійно залежить від деформації; 6) вібратор працює в зоні головного резонансу механічного контуру.

Рівняння (ЕДС). електричного кола з однополуперіодним випрямлячем, активним опором R і індуктивністю L при підключенні її до джерела синусоїдальної напруги:

$$u_M \sin(\omega t + \psi) = (R + R_B)i + \frac{d}{dt}(Li), \quad (1)$$

де u_M – амплітуда напруги мережі, прикладеного до затискачів електричного кола;

ω – кругова частота мережі;

t – час;

ψ – початкова фаза напруги;

i – поточне значення сили струм: в обмотці;

L – індуктивність обмотки магніту;

R_B – опір випрямляча, який для простоти вважається ідеальним ($R_B = 0$ для $i \geq 0$; $R_B = \infty$ для $i < 0$).

Щоб обчислити другий інтеграл, що стоїть в дужках загального рішення рівняння, скористаємося відомим розкладанням показової функції в ряд:

$$e^{\lambda \cos x} \approx I_0(\lambda) + 2 \sum_{n=1,2,\dots}^{\infty} I_n(\lambda) \cos nx, \quad (2)$$

де $I_0(\lambda), I_1(\lambda) \dots$ - модифіковані функції Бесселя (від чисто уявного аргументу).

Тоді, беручи до уваги початкові умови для струму ($i = 0$ при $x = -\psi$), отримуємо:

$$i = (1 - y) \frac{u_M e^{-\lambda \cos x}}{\omega L_0} \\ \left\{ \frac{I_0(\lambda)}{q^2 + 1} [q \sin(x + \psi) - \cos(x + \psi) + e^{-q(x+\psi)}] + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{I_0(\lambda)}{q^2 + (n+1)^2} \{q \sin[(n+1)x + \psi] - (n+1) \cos[(n+1)x + \psi] + [q \sin n\psi + (n+1) \cos n\psi] e^{-q(x+\psi)}\} - \right. \\ \left. \sum_{n=1}^{\infty} \frac{I_0(\lambda)}{q^2 + (n-1)^2} \{q \sin[(n-1)x - \psi] - (n-1) \cos[(n-1)x - \psi] + [q \sin n\psi + (n-1) \cos n\psi] e^{-q(x+\psi)}\} \right\}. \quad (3)$$

Нагадаємо, що при наявності випрямляча ця формула має сенс тільки при $i > 0$.

Як бачимо, закон зміни струму в ланцюзі живлення електромагнітного вібратора, підключеного до джерела синусоїдальної напруги, досить складним чином залежить від всіх параметрів системи, в тому числі і від резонансу в механічному контурі, і від загасання в ньому (через величину фазового кута ψ). Великий вплив надає також співвідношення між величинами R і ωL_0 .

Якщо $q < 0,5$, що звичайно дотримується навіть при регулюванні амплітуди вібрації за допомогою реостата, а $a_1 < 0,7$, що також зазвичай виконується для попередження зіткнення якоря з магнітом при викидах напруги в мережі, то при першому наближенні, у виразі (3) можна опустити всі члени.

Пропорційні функціям Бесселя з індексами $n = 1$ и вище. Тоді:

$$i = (1 - y) \frac{u_M}{\omega L_0} I_0(\lambda) e^{-\lambda \cos x} \left[\frac{q \sin(x+\psi) - \cos(x+\psi) + e^{-q(x+\psi)}}{q^2 + 1} \right], \quad (4)$$

причому кут відсічення випрямляча x_B у цьому випадку може бути визначений з умови рівності нулю виразу, укладеного в квадратні дужки у рівнянні.

Тепер, підставивши рівність в рівняння, знайдемо силу тяги магніту при першому наближенні:

$$P = \frac{L_0}{2S} \left(\frac{u_M}{\omega L_0} \right)^2 I_M(\lambda) e^{-2\lambda \cos x} \left[\frac{q \sin(x+\psi) - \cos(x+\psi) + e^{-q(x+\psi)}}{q^2 + 1} \right]. \quad (5)$$

$$-\psi \leq x \leq x_0$$

Звідси впливає цікавий факт: наявність активного опору в ланцюзі живлення обмотки магніту обумовлює залежність сили тяги магніту від поточного значення зміщення (через λ), тобто перетворює механічний контур з лінійної механічної системи, пружним зв'язком, в нелінійну систему. При зазначених вище значеннях параметрів q и a_1 не лінійність, виявлена виразом (5), не дуже велика, і тому вирішити рівняння зручно методом гармонійного балансу.

Розклавши квадрат виразу, укладеного у квадратні дужки формули (5), в ряд Фур'є і застосувавши до виразу $e^{-2\lambda \cos x}$ розкладання, в якому утримаємо три перших члена, тоді представимо рівняння у вигляді:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + h \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y_c I_0^2(\lambda) (Q + B_1 \sin x + C_1 \cos x + B_2 \sin 2x + C_2 \cos 2x + \dots), \quad (6)$$

$$\text{де } y_c = \frac{L_0}{2CS^2} \left(\frac{u_M}{\omega L_0} \right)^2$$

Список літератури

- 1 Замятін, В. Я. потужні напівпровідникові прилади. Тиристоры : довідник / В.Я. Замятін, Б. В. Кондратьєв, в. м. Петухов. - Москва: Радіо і зв'язок, 1987. - 576 с.
- 2 Попков, О.З. основи перетворювальної техніки: Навчальний посібник для вузів / О. З. Попков. - 2-е вид., стерши. - Москва: МЕТ, 2007. - 200 С.
- 4 Руденко, В. С.перетворювальна техніка / в. с. Руденко, В. Н. Сенько, і. м. Чиженко. - Київ: Вища школа, 1978. - 430 с.: іл.