

УДК 621.318.23

Чернишов М.М., Бояринцева О.В.Інститут електродинаміки НАН України,
Запорізький державний технічний університет**ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ
З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ
У НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗБУДЖУВАЧАХ**

© Чернишов М.М., Бояринцева О.В., 2000

Стаття присвячена побудові математичних моделей елементів систем із постійними магнітами для керування вібраційними пристроями. Досліджена магнітна система елементів, визначені силові характеристики й оптимізовані габаритні параметри. Показано, що елементи систем із постійними магнітами найбільш повно задовольняють усі вимоги, що висуваються до елементів систем вібраційних пристроїв

Забезпечення підвищення ефективності використання вібраційних пристроїв для автоматичних систем керування технологічними процесами залежить від їх експлуатаційних характеристик та надійності конструктивних частин. Важливою конструктивною частиною вібраційних пристроїв є пружні елементи, які можуть змінювати свої розміри при зміні проектного завдання на навантаження, що є їх основною робочою властивістю. Одним із перспективних напрямків технічного удосконалення та підвищення економічної ефективності вібраційних пристроїв є створення високонадійних елементів систем з постійними магнітами (ЕПМ), які дають змогу здійснювати оперативне, безперервне та адаптивне регулювання вібраційного пристрою на оптимальний режим роботи.

Зараз у низькочастотних електромагнітних збуджувачах (ЕМЗ), вібро-платформах та інших вібраційних пристроях застосовують компактні і прості у виготовленні механічні циліндричні гвинтові пружини й пластинчасті ресори, для яких характерні явища втомленості, повзучості та практично постійна жорсткість. Такі пружини мають короткий термін служби, а перехід вібраційного пристрою на новий режим роботи при їх використанні здійснюється через заміну одних пружин іншими. Тому актуальним є завдання розробки ЕПМ, які б не мали зазначених недоліків [2].

Одним із шляхів вирішення цього завдання є застосування елементів, принцип дії яких полягає у використанні пондеромоторних сил електромагнітного поля і в пружному підвищенні рухомої частини елемента відносно нерухомої. Такі елементи не містять деформованих тіл, довговічні, мають мінімальну дисипацію енергії, відсутність спрацювання, шуму. Застосування електромагнітної керуючої частини дає змогу здійснити безперервне регулювання жорсткістю і робить можливим завдання автоматичного регулювання. Зважаючи на відсутність механічного догляду, між частинами магнітного елемента реальною є можливість передачі віброколивань у закритий об'єм.

Однак разом з тим, до теперішнього часу ЕПМ не знайшли широкого використання. Це зумовлено тим, що багато теоретичних та практичних питань, які пов'язані з керуванням їх пружних властивостей, а також будівництвом математичних моделей розрахунків статистичних та динамічних характеристик, недостатньо розроблені.

Оцінюючи ступінь дослідження, потрібно звернути увагу на практичну необхідність побудови математичних моделей ЕПМ на підставі використання фундаментальних рівнянь теорії магнітного поля, які дозволяють розрахувати їх силові характеристики та оптимізувати масогабаритні показники постійних магнітів (ПМ), обґрунтувати можливості застосування математичних моделей для випадку живлення обмотки керування (ОК) змінною напругою, визначити залежність між параметрами руху рухомої частини та діючими на неї зовнішніми силами, дослідити функціонування вібраційних пристроїв. Все це визначає актуальність проблеми розробки та створення перспективних ЕПМ.

На підставі аналізу методів розрахунку ЕПМ виявлено, що для таких елементів [6] справедливим є принцип суперпозиції компонент сил взаємодії, що визначається наявністю намагніченого об'єму й зовнішнього регульованого струму.

Одержані аналітичні вирази для складових векторів магнітного поля, які визначають силову взаємодію між частинами ЕПМ, і зроблені їх розрахунки, підтверджені експериментальними дослідженнями.

Визначені і розраховані на ЕОМ регульовані пондеромоторні сили взаємодії між частинами ЕПМ різних конструкцій [1]:

ПМ у формі циліндра з ОК-ПМ у формі циліндра

$$F_Z = F_{Z1}[H_{Z1}(M_1), M_2] \pm F_{Z2}[H_{Z2}I_w, M_2] =$$

$$= -2\pi\mu_0 M_2 \int_0^{D_2/2} \int_{z_0}^{z_0+h_2} \frac{\partial}{\partial z_Q} H_{Z1}(\rho_Q, z_Q) \pm \frac{\partial}{\partial z_Q} H_{Z2}(\rho_Q, z_Q) \rho_Q d\rho_Q dz_Q. \quad (1)$$

ПМ у формі кільця з ОК-ПМ у формі кільця

$$F_Z = -2\pi\mu_0 M_2 \int_{D_{21}/2}^{D_{22}/2} \int_{z_0}^{z_0+h_2} \frac{\partial}{\partial z_Q} H_{Z1}(\rho_Q, z_Q) \pm \frac{\partial}{\partial z_Q} H_{Z2}(\rho_Q, z_Q) \rho_Q d\rho_Q dz_Q, \quad (2)$$

ПМ у формі прямокутної призми з ОК-ПМ у формі прямокутної призми

$$F_Z = -2a_2\mu_0 M_2 \int_{-a_2}^{a_2} \int_{z_0}^{z_0+h_2} \left[\frac{\partial}{\partial z_Q} H_{Z1}(x_Q, z_Q) \pm \frac{\partial}{\partial z_Q} H_{Z2}(x_Q, z_Q) \right] dx_Q dz_Q, \quad (3)$$

Під час використання як рухомої частини ММ тіла

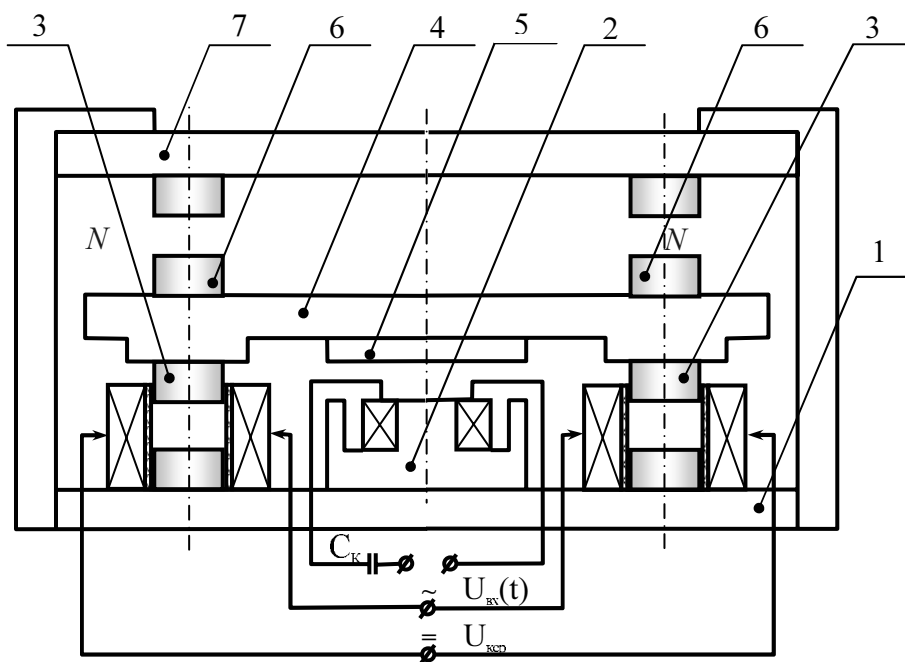
$$F_Z = -2\pi \int_0^{D_M/2} \int_{z_0}^{z_0+h_M} \left\{ \beta_1 \operatorname{sh} \left\{ \gamma_1 \beta_2 \operatorname{th} \left[\gamma_2 (H_{Z1}(\rho_Q, z_Q) \pm H_{Z2}(\rho_Q, z_Q)) \right] \right\} \times \right.$$

$$\left. \times \frac{\gamma_2 \beta_2 \left[\frac{\partial}{\partial z_Q} H_{Z1}(\rho_Q, z_Q) \pm \frac{\partial}{\partial z_Q} H_{Z2}(\rho_Q, z_Q) \right]}{\operatorname{ch}^2 \left\{ \gamma_2 [H_{Z1}(\rho_Q, z_Q) \pm H_{Z1}(\rho_Q, z_Q)] \right\}} \rho_Q d\rho_Q dz_Q. \quad (4)$$

Побудовані математичні моделі ЕПМ для керування вібраційними пристроями, згідно з якими складена програма розрахунку на ЕОМ силових характеристик ЕПМ. На підставі розроблених математичних моделей ЕПМ здійснена оптимізація масогабаритних показників ПМ різних форм за критерієм забезпечення максимуму пондеромоторної сили взаємодії між частинами ЕПМ і мінімальним сумарним об'ємом. Результати розрахунку сил взаємодії між частинами різних конструкцій ЕПМ підтверджуються експериментальними даними з використанням динамометра ДПУ. Різниця між розрахунковими й експериментальними даними становить 12 %.

Експериментальні дослідження для складових напруженості магнітного поля, що спричиняють силову взаємодію, здійснювалися з використанням тесламетра Ф4354/1 з давачем Холла. Різниця між розрахунковими й експериментальними даними становить у середньому 8 % [6].

Здійснений аналіз ЕМЗ і подана його конструкція з системою керування на ЕПМ (див. рисунок), де 1 – нижня основа, 2 – ярмо електромагніта, 3 – регульовані ЕПМ, 4 – віброплатформа, 5 – ярмі електромагніта, 6 – нерегульовані ЕПМ, 7 – верхня основа.



Конструкція ЕМЗ на ЕПМ.

Динаміка ЕМЗ описується системою диференціальних рівнянь другого порядку, що зв'язує електричну і механічну підсистеми й отриману на підставі рівнянь Кірхгофа та принципу Даламбера [1, 4, 8] з урахуванням апроксимації силових характеристик ЕПМ у вигляді гіперболічної залежності

$$\begin{cases} \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{di}{dt} \left(R_A + 2 \frac{dL}{dt} \frac{dz}{dt} \right) + i \left[\frac{d^2 z}{dt^2} \frac{dL}{dz} + \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 \frac{d^2 L}{dz^2} + \frac{1}{C_K} \right] = \frac{dU_{вх}}{dt}, \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} + \alpha \frac{dz}{dt} - nM \frac{BM + CI_W}{D + \dot{z} + z} + nM \frac{BM}{D + \dot{z} - z} = F_{EM}, \end{cases} \quad (5)$$

де $L(z)$ – змінна індуктивність котушки електромагніта; $i(t)$ – струм в ланцюзі живлення котушки; R_A – активний опір котушки електромагніта; $z(t)$ – координата руху віброплатформи; \dot{z} – регульована фіксована відстань між частинами ЕПМ; m – наведена маса віброплатформи; α – наведений коефіцієнт в'язких опорів середовища розташування віброплатформи; n – кількість регульованих і нерегульованих ЕПМ; M – намагніченість ПМ; B, C, D – коефіцієнти апроксимації сумарної пондеромоторної сили; I_w – керувальна дія ампер-витків; C_k – ємність конденсатора; F_{EM} – сила, що діє на якір електромагніта; $nM \frac{BM + CI_w}{D + \dot{z} + z}$ – сумарна силова характеристика регульованих ЕПМ; $nM \frac{BM}{D + \dot{z} - z}$ – сумарна силова характеристика нерегульованих ЕПМ.

Положення статичної рівноваги віброплатформи визначається із умови

$$\begin{cases} mg + nF_{ZH}(z_0) = nF_{ZP}(z_0), & I_w = 0, \\ F_{ZH} = \frac{BM^2}{D + \dot{z} - z}, & F_{ZP} = \frac{BM^2 + MCI_w}{D + \dot{z} + z}. \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow z_0 = \frac{nBM^2}{mg} - \sqrt{\left(\frac{nBM^2}{mg}\right)^2 + (D + \dot{z})^2} < 0. \quad (6)$$

Під час лінеаризації диференціального рівняння механічної підсистеми поблизу положення статичної рівноваги z_0 одержано таке характеристичне рівняння:

$$D(S) = mS^2 + \alpha S + nM \left[\frac{BM + CI_w}{(D + \dot{z} + z_0)^2} + \frac{BM}{(D + \dot{z} - z_0)^2} \right] = A_1 S^2 + A_2 S + A_3. \quad (7)$$

Визначено, що усі коефіцієнти характеристичного рівняння A_1, A_2, A_3 позитивні. І, отже, механічна підсистема, яка має другий порядок, буде стійкою [3, 4].

Показано, що застосування ЕМЗ в системі керування ЕПМ з їх можливістю адаптивного безперервного керування пружними властивостями зумовлює вихід на енергетично оптимальний резонансний режим функціонування з метою побудови замкнених систем зі зворотним зв'язком, що забезпечує створення автоматичних систем керування технологічними процесами.

1. Корн Г., Корн Т. *Справочник по математике для научных работников и инженеров*. М., 1978. 2. Чернышов Н.Н. *Вопросы разработки элементов систем управления вибрационными устройствами на магнитных подвесах* // *Электрический журн.* 1997. № 2. С.52–55. 3. Чернышов Н.Н. *Использование вибрационных устройств с силовыми элементами на постоянных магнитах* // *Техническая электродинамика*. 1998. № 1. С.48–51. 4. Чернышов Н.Н. *Использование элементов систем с постоянными магнитами для управления вибрационными устройствами*. К., 1998. 18 с. (Препр. / НАН Украины. Ин-т электродинамики; № 818). 5. Чернышов Н.Н. *Приближенный расчет объема постоянных магнитов по требуемой жесткости элементов систем управления вибрационными устройствами* // *Техническая электродинамика*. 1998. № 4. С.78–79. 6. Чернышов Н.Н., Богданов Л.Д. *Математические модели элементов систем с постоянными магнитами для расчета их силовых характеристик и оптимизации магнитной системы*. К., 1998. 34 с. (Препр. / НАН Украины.

Ин-т электродинамики; № 819). 7. Чернышов Н.Н., Веринский И.М. Исследование элементов систем с постоянными магнитами при механическом воздействии на их подвижную часть. К., 1998. 27 с. (Препр. / НАН Украины. Ин-т электродинамики; № 817). 8. Yamamura I. Analysis of spring action of the rare earth-cobalt magnets // Proc. 4th. Int. Workshop Rare Earth-Cobalt Magn. and Their Appl. 1979. P.141–148.

УДК 621

KAZIMIERZ JAGIELA, JANUSZ RAK, BEATA JAKUBIEC, MARIAN KEPINSKI
CZESTOCHOWA TECHNICAL UNIVERSITY

ESTIMATED AND ACTUAL SPEED OF INDUCTION MOTOR FED FROM DTC INVERTER

© KAZIMIERZ JAGIELA, JANUSZ RAK, BEATA JAKUBIEC, MARIAN KEPINSKI

INTRODUCTION

Up-to-date frequency converters, which include DTC (Direct Torque Control) inverters [2, 3, 6, 7, 9], do not require an additional tachometer feedback in their control systems. Their performance does not differ from that of d.c. drives. Reconstruction of an electromagnetic torque in a drive with a DTC converter, under condition of wide regulation of the angular speed, is possible because an induction motor model is implemented in the converter microprocessor control system [1, 3, 7, 9]. In the control system architecture, a speed estimator plays a principal role. On the basis of the voltage-current state of the motor, it carries out real-time reconstruction of its speed [8, 9]. Estimation of the speed reconstruction error on the basis of the motor model enables correct control of the drive without measurement of the actual speed, especially in dynamic states. This advantage plays role in design of complex drive systems, because makes it possible to abandon the speed measurement. Determination of relations between the actual and estimated speed is an important problem and can be analyzed with reference to both modeled and real systems. Works [3, 5] present comparison of these speeds obtained from computer simulation carried out for the assumed mathematical model of the drive and estimators of the torque and speed. Another method of analysis of the speed reconstruction accuracy is presented by authors of paper [8], who compare speed from the real system with that calculated from a dynamic model of the motor fed from a DTC converter.

The subject of this paper is evaluation of consistence of the speed estimated numerically by a DTC converter and the actual speed recorded by a computer. To obtain complete information about the electromagnetic state of the drive, we simultaneously recorded the electromagnetic torque generated by the drive loaded by torque containing a component resulting from eccentricity of the mechanical subsystem. Analysis of electromechanical systems of this type is important when DTC converters are installed in metallurgical roller table drives, in which eccentric movements of the rollers occur.