

УДК 62-50+007.52 : 621.318.2

Ю.П. Кондратенко, д-р техн. наук,

Ю.М. Запорожець, канд. техн. наук

СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СКЛАДОВИХ МАГНІТНОГО ПОЛЯ МАГНІТО-ЧУТЛИВОЇ СИСТЕМИ ДАТЧИКА ПРОКОВЗУВАННЯ НА ОСНОВІ РІВНЯННЯ ЛАПЛАСА

Анотація. На основі рівняння Лапласа отримано аналітичні вирази для вертикальної та обох горизонтальних компонент магнітного поля постійних магнітів, що використовуються в датчиках проковзування сенсорних систем адаптивних роботів. Вимірювання цих компонент за допомогою датчиків Хола, якими оснащені сенсорні системи, надає адаптивному роботу властивості об'ємної чутливості під час маніпулювання різнотипними об'єктами в тривимірному просторі.

Ключові слова: датчик проковзування, постійний магніт, складова магнітного поля, лінійна залежність.

Y.P. Kondratenko, ScD,

Y.M. Zaporozhets, PhD

SYNTHESIS OF MATHEMATICAL MODEL OF MAGNETIC FIELD COMPONENTS OF SLIP DISPLACEMENT GAUGE MAGNETOSENSITIVE SYSTEM BASED ON LAPLACE EQUATION

Abstract. Analytical expressions based on Laplace equation are got for both horizontal and vertical components of magnetic field of permanent magnets used in the slip gauges of adaptive robots sensor systems. Measuring of these components by means of Hall gauges, by which the touch systems are equipped, imparts to adaptive robot the property of volumetric sensitivity while manipulating by various objects in three-dimensional space.

Keywords: slip sensor, permanent magnet, magnetic field components, linear dependence.

Ю.П. Кондратенко, д-р техн. наук,

Ю.М. Запорожець, канд. техн. наук

СИНТЕЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СОСТАВЛЯЮЩИХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТОЧУСТВИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМИ ДАТЧИКА ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ ЛАПЛАСА

Аннотация. На основе уравнения Лапласа получены аналитические выражения для вертикальной и двух горизонтальных компонент магнитного поля постоянных магнитов, используемых в датчиках проскальзывания сенсорных систем адаптивных роботов. Измерение этих компонент с помощью датчиков Холла, которыми оснащены сенсорные системы, придают адаптивному роботу свойства объемной чувствительности при манипулировании различными объектами в трёхмерном пространстве.

Ключевые слова: датчик проскальзывания, постоянный магнит, составляющая магнитного поля, линейная зависимость.

В сучасних сенсорних системах адаптивних роботів досить широко використовуються датчики проковзування та датчики переміщення з магніточутливими елементами на основі постійних магнітів (ПМ) [2,10].

На рис. 1 показано два можливих варіанти подібного сенсорного пристрою для реєстрації сигналу проковзування в [5]. Принцип дії цього датчика проковзування (ДП) полягає у вимірюванні за допомогою датчиків Хола (ДХ) зміни складових магнітної індукції B при їх переміщенні відносно полюсних граней магнітів призматичної форми 3 (або 6), які встановлено у конічній порожнині 2 корпусу датчика. Датчики Хола 4 та 5 закріплені на стрижні 1, підпружинений наконечник якого з вільного кінця безпо-

середньо контактує з об'єктом маніпулювання, що буде проковзувати в захватному пристрої робота при недостатній величині стискального зусилля.

Під час проковзування об'єкта стрижень відхиляється від осі MN у положення MN' , при цьому змінюється значення складової магнітної індукції, вимірювання якої здійснюється відповідним ДХ. Зокрема, датчик 4 вимірює поздовжню складову індукції B_z , тобто паралельну напрямку намагніченості магніту 3, і віддаляється від полюсної грані магніту у перпендикулярному до неї напрямку – уздовж осі z , фіксуючи таким чином сигнал $B_z(z)$. Нехай це буде датчик ДХ- Z .

На відміну від датчика ДХ- Z датчик 5 вимірює поперечну складову індукції B_x (або B_y) і переміщується паралельно полюсній грані магніту 6 уздовж осі x (або y , відповідно). Цей датчик назвемо ДХ- X (або ДХ- Y).

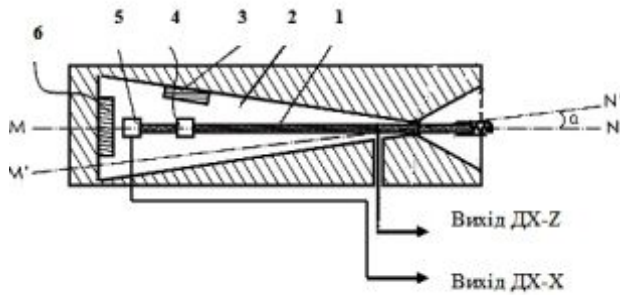


Рис. 1. Схема сенсорного пристрою для реєстрації сигналу проковзування

Очевидно, що чутливість та швидкодія сенсорної системи такого типу є значною мірою обумовлюється досконалістю моделі перетворення первинного впливу у вихідний сигнал, яка покладається в основу побудови цієї системи [8, 9]. Таким чином, для синтезу алгоритму формування керуючого сигналу від магніточутливого елемента ДП на управління діями адаптивного робота необхідно отримати математичну модель залежності складових магнітного поля, що вимірюються датчиками ДХ-Z і ДХ-X (ДХ-Y), від розміщення їх за відповідною координатою.

Оскільки джерелом магнітного поля в розглянутих варіантах ДП є постійні магніти, то саме їхніми властивостями визначається фізична інтерпретація процесу, для якого здійснюється синтез математичної моделі. Відомо [6], що намагнічене тіло як джерело магнітного поля може бути представлено сукупністю „магнітних” зарядів, розподілених в об’ємі тіла зі щільністю

$$\rho_M = - \operatorname{div} \mathbf{J},$$

та зарядів, розподілених на граничній поверхні тіла зі щільністю

$$\sigma_M = J_n,$$

де \mathbf{J} – вектор намагніченості, J_n – його складова, нормальна (перпендикулярна) до граничної поверхні.

Сучасні магніто–тверді матеріали характеризуються великим значення коерцитивної сили H_c і незначною магнітною сприйнятливостю κ . За таких умов, як показано попередніми дослідженнями [3], якщо нема зовнішнього розмагнічувального поля намагніченість \mathbf{J} в об’ємі призматичного ПМ, намагніченого уздовж осі, що проходить перпен-

дикулярно через центр полюсних граней магніту (вісь z), з достатньою точністю можна вважати постійною, тобто такою, що в усюму об’ємі магніту має незмінну z -складову і нульові поперечні (x - та y -) складові

$$J_x = 0, J_y = 0, J_z = J = \text{const.}$$

Тоді об’ємний заряд

$$\operatorname{div} \mathbf{J} = \frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z} = 0.$$

Разом з тим, на бокових гранях призматичного магніту нема поверхневих зарядів, тому що нормальні до цих граней складові вектора намагніченості (J_x та J_y) дорівнюють нулю і залишаються лише поверхневі заряди на полюсних гранях зі щільністю $J_n = J_z = J$.

Таким чином, за вказаних умов ПМ імітується сукупністю поверхневих „магнітних” зарядів, рівномірно розподілених на обох його полюсних (торцевих) гранях із щільністю, що дорівнює намагніченості $\pm J$ А/м. Саме така модель використана в [4] для отримання поздовжньої (z -ої) складової магнітного поля ПМ.

Поле системи поверхневих зарядів у будь-якій точці простору, яка не належить безпосередньо зарядженій поверхні, описується рівнянням Лапласа

$$\Delta \varphi = 0, \text{ або } \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

де φ – потенціал поля, а напруженість поля визначається, відповідно, градієнтом цього потенціалу

$$\mathbf{H} = - \operatorname{grad} \varphi.$$

Розв’язок рівняння (1) при зазначених умовах є потенціалом простого шару зарядів [7], які локалізовані на „північному” S_N та „південному” S_S полюсах магніту:

$$\varphi = \varphi_N - \varphi_S = \frac{J}{4\pi} \int_{S_N} \frac{ds}{R_{PM}} - \frac{J}{4\pi} \int_{S_S} \frac{J ds}{R_{PM}}, \quad (2)$$

де φ_N і φ_S – потенціали зарядів відповідно „північного” та „південного”; R_{PM} – радіус-вектор, проведений із точки спостереження P в точку інтегрування M ,

$$R_{PM} = \sqrt{(x_P - x_M)^2 + (y_P - y_M)^2 + (z_P - z_M)^2}.$$

При цьому $z_M = z_N$ для точок на грані S_N та $z_M = z_S$ для точок на грані S_S .

Складові напруженості магнітного поля визначаються відповідними похідними потенціалів від обох полюсних граней, зокрема для z - складової будемо мати

$$H_z(P) = -\frac{J}{4\pi} \left[\int_{S_N} \frac{\partial}{\partial z_P} \left(\frac{1}{R_{PM}} \right) dS_N - \int_{S_S} \frac{\partial}{\partial z_P} \left(\frac{1}{R_{PM}} \right) dS_S \right]. \quad (3)$$

Виходячи з формули (3), в роботі [4] для призматичного магніту з розмірами поперечного перерізу $c \times d$ і довжиною за напрямком намагніченості (або висотою) l шляхом виконання операцій диференціювання та інтегрування отримано у замкнутій формі вираз z - компоненти поля в будь-якій точці простору

$$H_z(P) = \frac{J}{4\pi} \sum_{i=1}^2 (\pm 1) \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 (-1)^{i+j} \times \arctg \frac{\left[x_P + (-1)^i \frac{c}{2} \right] \left[y_P + (-1)^j \frac{d}{2} \right]}{\left[z_P \mp \frac{l}{2} \right] \sqrt{\left[x_P + (-1)^i \frac{c}{2} \right]^2 + \left[y_P + (-1)^j \frac{d}{2} \right]^2 + \left[z_P \mp \frac{l}{2} \right]^2}}, \quad (4)$$

де перша складова зовнішньої суми (зі знаком „+”) відповідає полю „північної” полюсної грані, для якої координата $z_M = z_N = l/2$, а друга складова (зі знаком „-”) – полю „південної” полюсної грані, для якої координата $z_M = z_S = -l/2$ (початок координат розміщено в центрі магніту).

Отримати вирази для горизонтальних (x - та y -) компонент поля можна аналогічним чином, як і для z -компоненти, тобто, у загальних формулах, аналогічних (3), необхідно виконати відповідні операції диференціювання та інтегрування.

$$H_x(P) = -\frac{J}{4\pi} \left[\int_{S_N} \frac{\partial}{\partial x_P} \left(\frac{1}{R_{PM}} \right) dS_N - \int_{S_S} \frac{\partial}{\partial x_P} \left(\frac{1}{R_{PM}} \right) dS_S \right], \quad (5)$$

$$H_y(P) = -\frac{J}{4\pi} \left[\int_{S_N} \frac{\partial}{\partial y_P} \left(\frac{1}{R_{PM}} \right) dS_N - \int_{S_S} \frac{\partial}{\partial y_P} \left(\frac{1}{R_{PM}} \right) dS_S \right], \quad (6)$$

Проте, простіший варіант полягає в тому, щоб виходячи з формули (4) взяти другу частинну похідну потенціалу $\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\frac{\partial H_z}{\partial z}$ і, скориставшись рівнянням Лапласа (1), знайти частинні первісні відносно відповідно змінних x та y .

Враховуючи, що вираз (4) складається з однотипних доданків, зазначені операції достатньо виконати для одного з них.

Для більшої зручності подальшого розгляду позначимо

$$\left[x_P + (-1)^i \frac{c}{2} \right] = \xi(i) = \xi, \quad \left[y_P + (-1)^j \frac{d}{2} \right] = \eta(j) = \eta, \quad \left[z_P \pm \frac{l}{2} \right] = \zeta_{\pm} = \zeta \quad (7)$$

і, відповідно, $dz_P = d\zeta$, а також

$$\sqrt{\left[x_P + (-1)^i \frac{c}{2} \right]^2 + \left[y_P + (-1)^j \frac{d}{2} \right]^2 + \left[z_P \pm \frac{l}{2} \right]^2} = \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2}.$$

Тоді (4) запишемо так:

$$H_z(P) = \frac{J}{4\pi} \sum_{i=1}^2 (\pm 1) \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 (-1)^{i+j} \times \arctg \frac{\xi(i)\eta(j)}{\zeta_{\mp} \sqrt{\xi^2(i) + \eta^2(j) + \zeta_{\mp}^2}} \quad (8)$$

і введемо „польову” функцію

$$F_{z,\mp}(i, j) = \arctg \frac{\xi(i)\eta(j)}{\zeta_{\mp} \sqrt{\xi^2(i) + \eta^2(j) + \zeta_{\mp}^2}} = \arctg \frac{\xi\eta}{\zeta \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2}} = F_{\zeta}. \quad (9)$$

При взятті похідної від цієї функції по z_p одержимо $\xi = const$ і $\eta = const$, а тому можна позначити $\xi\eta = a$, $\xi^2 + \eta^2 = b^2$ і тоді

$$\frac{\partial F_z}{\partial z_p} = \frac{\partial F_\zeta}{\partial \zeta} = \frac{\partial}{\partial \zeta} \operatorname{arctg} \frac{a}{\zeta \sqrt{b^2 + \zeta^2}}.$$

У такій формі зовсім просто здійснити диференціальні операції, що відповідають рівнянню Лапласа,

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_\zeta}{\partial \zeta} &= \frac{1}{1 + \frac{a^2}{\zeta^2(b^2 + \zeta^2)}} \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{a}{\zeta \sqrt{b^2 + \zeta^2}} \right) = \\ &= \frac{\zeta^2 \rho^2}{\zeta^2 \rho^2 + a^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{a}{\zeta \rho} \right) = \frac{-a(\rho^2 + \zeta^2)}{\rho(a^2 + \rho^2 \zeta^2)} = \\ &= \frac{-\xi\eta(\rho^2 + \zeta^2)}{\rho[(\xi\eta)^2 + \rho^2 \zeta^2]}, \end{aligned}$$

де $\rho = \sqrt{b^2 + \zeta^2} = \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2}$.

Таким чином, отримано ζ -ву частинну похідну ζ -ї „польової” функції

$$f_\zeta = \frac{\partial F_\zeta}{\partial \zeta} = -\frac{\xi\eta(\rho^2 + \zeta^2)}{\rho[(\xi\eta)^2 + \rho^2 \zeta^2]}, \quad (10)$$

яку можна записати як суму двох функцій f_ξ та f_η

$$\begin{aligned} f_\zeta &= -\frac{\xi\eta}{\rho} \left(\frac{1}{\xi^2 + \zeta^2} + \frac{1}{\eta^2 + \zeta^2} \right) = \\ &= -\frac{\xi\eta}{\rho(\xi^2 + \zeta^2)} - \frac{\xi\eta}{\rho(\eta^2 + \zeta^2)} = -(f_\xi + f_\eta). \end{aligned}$$

Функція $f_\xi = \frac{\xi\eta}{\rho(\xi^2 + \zeta^2)}$ являє собою частинну похідну по ζ від первісної ζ -ї „польової” функції

$$F_\xi = -\operatorname{Arsh} \frac{\eta}{\sqrt{\xi^2 + \zeta^2}}, \quad (11)$$

в чому неважко переконатись шляхом прямого диференціювання:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \xi} F_\xi &= \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\operatorname{Arsh} \frac{\eta}{\sqrt{\xi^2 + \zeta^2}} \right) = \\ &= \frac{\eta}{\sqrt{1 + \frac{\eta^2}{\xi^2 + \zeta^2}}} \frac{\xi}{(\xi^2 + \zeta^2)^{3/2}} = \frac{\xi\eta}{\rho(\xi^2 + \zeta^2)} = f_\xi. \end{aligned}$$

Аналогічно знайдемо первісну η -ву „польову” функцію для f_η

$$F_\eta = -\operatorname{Arsh} \frac{\xi}{\sqrt{\eta^2 + \zeta^2}}. \quad (12)$$

Таким чином, отримано систему функцій $\{F_\xi; F_\eta; F_\zeta\}$, які є компонентами „польового” вектора $\mathbf{F}_\rho = \vec{i}F_\xi + \vec{j}F_\eta + \vec{k}F_\zeta$ і задовольняють рівнянню

$$\operatorname{div} \mathbf{F}_\rho = \frac{\partial F_\xi}{\partial \xi} + \frac{\partial F_\eta}{\partial \eta} + \frac{\partial F_\zeta}{\partial \zeta} = 0. \quad (13)$$

Разом з тим, природно, витримується співвідношення $\operatorname{rot} \mathbf{F}_\rho = 0$, тобто

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_\zeta}{\partial \eta} - \frac{\partial F_\eta}{\partial \zeta} &= 0; \quad \frac{\partial F_\xi}{\partial \zeta} - \frac{\partial F_\zeta}{\partial \xi} = 0; \\ \frac{\partial F_\eta}{\partial \xi} - \frac{\partial F_\xi}{\partial \eta} &= 0, \end{aligned} \quad (14)$$

що, знову ж таки, перевіряється прямим диференціюванням.

Співвідношення (13) і (14) означають, що вектор \mathbf{F}_ρ є градієнтом деякої потенціальної функції Φ , тобто

$$\mathbf{F}_\rho = -\operatorname{grad} \Phi.$$

Надалі, повертаючись до первинних змінних, зазначених у (7), відповідно до структури формули z -компоненти поля (4) можемо одразу записати кінцеві вирази для x - та y -компонент:

$$\begin{aligned} H_x(P) &= \frac{J}{4\pi} \sum_1^2 (\mp 1) \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (-1)^{i+j} \times \\ &\times \operatorname{Arsh} \frac{y_p + (-1)^j \frac{d}{2}}{\sqrt{\left[x_p + (-1)^i \frac{c}{2} \right]^2 + \left(z_p \mp \frac{l}{2} \right)^2}}, \end{aligned} \quad (15)$$

$$H_y(P) = \frac{J}{4\pi} \sum_1^2 (\mp 1) \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (-1)^{i+j} \times \\ \times \operatorname{Arsh} \frac{x_p + (-1)^i \frac{c}{2}}{\sqrt{\left[y_p + (-1)^j \frac{d}{2} \right]^2 + \left(z_p \mp \frac{l}{2} \right)^2}}. \quad (16)$$

Із отриманих виразів для 3-вимірної моделі поля постійного магніту можна одержати формулу для горизонтальної складової поля в 2-вимірній (плоскій) задачі, для чого в (15) та (16) використовується еквівалентне подання функції *Arsh* логарифмічною формою [1]:

$$\operatorname{Arsh}(t) = \ln(t + \sqrt{t^2 + 1}).$$

Тоді формули (15) та (16) після очевидних перетворень набувають вигляду

$$H_x(P) = \frac{J}{4\pi} \sum_1^2 (\mp 1) \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (-1)^{i+j} \ln \left[y_p + (-1)^j \frac{d}{2} \right] + \\ + \sqrt{\left[x_p + (-1)^i \frac{c}{2} \right]^2 + \left[y_p + (-1)^j \frac{d}{2} \right]^2 + \left(z_p \mp \frac{l}{2} \right)^2}, \quad (17)$$

$$H_y(P) = \frac{J}{4\pi} \sum_1^2 (\mp 1) \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (-1)^{i+j} \ln \left[x_p + (-1)^i \frac{c}{2} \right] + \\ + \sqrt{\left[x_p + (-1)^i \frac{c}{2} \right]^2 + \left[y_p + (-1)^j \frac{d}{2} \right]^2 + \left(z_p \mp \frac{l}{2} \right)^2}. \quad (18)$$

Здійснивши в (17) і (18) граничний перехід до нескінченності по координаті y , будемо мати $H_y(P) = 0$ і

$$H_x(P) = \frac{J}{4\pi} \sum_1^2 (\mp 1) \sum_{i=1}^2 (-1)^i \times \\ \times \ln \left[\left[x_p + (-1)^i \frac{c}{2} \right]^2 + \left(z_p \mp \frac{l}{2} \right)^2 \right]. \quad (19)$$

Для прикладу на рис. 2 наведено розраховані згідно з (19) графіки розподілу $H_x(x)$ у відносних одиницях $h_x = H_x/J$ для магніту зі співвідношенням розмірів $c/l = 2$ на відстані по вертикалі від N -полюса $\delta = (z_p - l/2)/l$: лінія 1 – 0,50 в.о.; 2 – 0,25 в.о.; 3 – 0,10 в.о.; 4 – 0,05 в.о.

На всіх кривих (рис. 2) звертає на себе увагу чітко виражена майже лінійна ділянка залежності $h_x(x)$ над більшою частиною ширини магніту, а також різке зростання напруженості поля біля його краю. Перший із цих факторів є зручним для формування пропорційного керуючого сигналу щодо величини проковзування, тоді як другий фактор може бути застосований як сигнал досягнення граничного або аварійного зміщення.

Таким чином, у процесі проведених авторами досліджень отримана повнофункціональна модель магнітного поля постійних магнітів, що використовуються в конструкціях сенсорних систем адаптивних роботів для формування сигналів проковзування та переміщення у 3-вимірному просторі об'єктів, з якими маніпулюють адаптивні роботи, що забезпечує їм властивості об'ємної чутливості.

Відомі на даний час датчики проковзування в більшості випадків реєструвати сигнали проковзування об'єктів у захватних пристроях адаптивних роботів в напрямку сили тяжіння. Саме властивість об'ємної чутливості запропонованого авторами схематичного рішення магніточутливого датчика дозволяє реєструвати сигнали проковзування в будь-яких напрямках, що створює передумови для проведення досліджень з реєстрації проковзування при зіткненні об'єкта маніпулювання з перешкодами в динамічному просторовому середовищі.

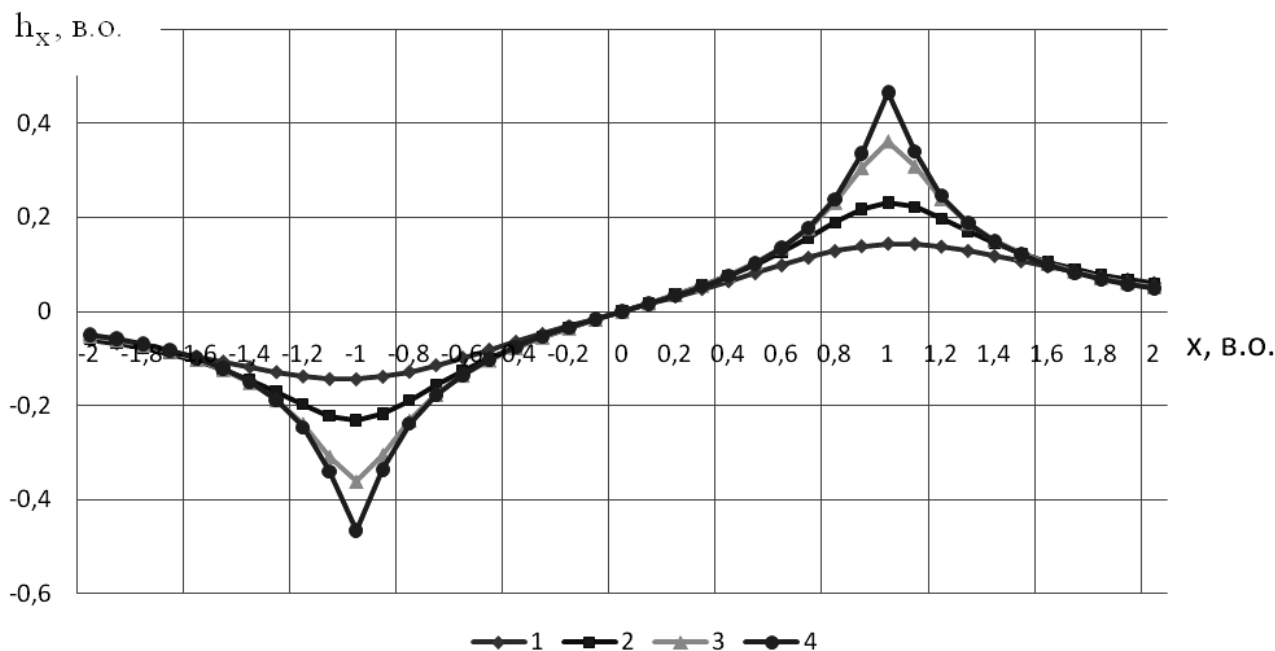


Рис. 2. Графіки розподілу $H_x(x)$ у відносних одиницях $h_x = H_x/J$ для магніту зі співвідношенням розмірів $c/l = 2$ на відстані по вертикалі від N -полюса $\delta = (z_p - l/2)/l$:
лінія 1 – 0,50 в.о.; 2 – 0,25 в.о.; 3 – 0,10 в.о.; 4 – 0,05 в.о.

Список використаної літератури

1. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев – М.: Наука, 1981. – 720 с.
2. Джексон Р.Г. Новейшие датчики / Джексон Р.Г. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.
3. Запорожец Ю.М. Исследование полей постоянных магнитов и разработка методов их расчета в магнитных системах силовых электротехнических устройств: дис. канд. техн. наук: 05.09.05 / Запорожец Юрий Михайлович. – К.: Ин-т эл.динамики АН УССР, 1983. – 228 с.
4. Запорожець Ю.М. Тривимірний математична модель для розрахунку магнітної індукції в магніточутливій системі датчика проковзування / Ю.М. Запорожець, Ю.П. Кондратенко, О.С. Шишкін // Технічна ел.динаміка. – 2008. – № 5. – С. 76–79.
5. Пат. 79155 Україна, МПК В25J 19/02, В25J 13/08. Пристрій для реєстрації сигналу проковзування / Кондратенко Ю.П., Шишкін О.С., Кондратенко В.Ю. – Заявл. 18.04.2005. – Опубл. 25.05.2007. Бюл. № 7. 2007.

6. Тамм И.Е. Основы теории электричества / Тамм И.Е. – М.: Наука, 1976. – 616 с.
7. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики / А.Н. Тихонов, А.А. Самарский – М.: Наука, 1977. – 736 с.
8. Kondratenko Y.P., Kondratenko V.Y., Shvets E.A., Shyshkin O.S. Adaptive Gripper Devices for Robotic Systems // Mecha-Tronics and Robotics (M&R-2007): Proceeding of Intern. Scientific-and-Techno-logical Congress (October 2-5, 2007). – Saint-Petersburg: Polytechnical University Press, 2008. – P. 99–105.
9. Kondratenko Y.P., Shvets E., Shyshkin O. Modern Sensor Systems of Intelligent Robots Based on the Slip Displacement Signal Detection // Annals of DAAAM for 2007 & Proceeding of the 18th Int. DAAAM Symp. "Intelligent Manufacturing and Automation", Published by DAAAM International, Vienna, Austria, 2007. – P. 381–382.
10. Ueda M. and Iwata K. Tactile Sensors for an Industrial Robot to Detect a Slip // Proceedings of the Second International Symposium on Industrial Robots. – Chicago: IIT Research Institute. – 1972. – IL. P. 63–76.

Отримано 17.02.2012

References

1. Bronshteyn I.N. Spravochnik po matematike dlia inzhenerov i uchashchihsia vtuzov – Moscow: Nauka, 1981. – 720 p. [in Russian].

2. Jackson R.H. Newest sensors. – Moscow: Tekhnosfera, 2007. – 384 p. [in Russian].

3. Zaporozhets Y.M. Issledovanie poliei postoiannyh magnitov I razrabotka metodov ih raschiota v magnitnyh sistemah silovyh eliektrotiehnichieskih ustroystv: dis. kand. tieh. nauk: 05.09.05. – Kiev: Institut eliektrodinamiki AN USSR, 1983. 228 p. [in Russian].

4. Zaporozhets Y.M., Kondratenko Y.P., Shyshkin O.S. Tryvymirna matematychna model dlia rozrahunku magnitnoi induktsii v magnitochutlyvii systemi datchyka prokovzuvannia // Tekhnichna elektrodynamika. – 2008. – № 5. – P.76–79 [in Ukrainian].

5. Patent 79155 Ukraine, MPK B25J 19/02, B25J 13/08. Prystrii dlia reiestratsii sygnalu prokovzuvannia / Kondratenko Y.P., Shyshkin O.S., Kondratenko V.Y. – Zayavl. 18.04.2005. – Opubl. 25.05.2007. Bul.№7, 2007 [in Ukrainian].

6. Тамм I.Ye. Osnovy tieorii eliektричiestva – Moscow: Nauka, 1976. – 616 p. [in Russian].

7. Tihonov A.N. Uravneniia matematichieskoi fiziki. – Moscow: Nauka, 1977. – 736 p. [in Russian].

8. Kondratenko Y.P., Kondratenko V.Y., Shvets E.A., Shyshkin O.S. Adaptive Gripper Devices for Robotic Systems // MECHATRONICS AND ROBOTICS (M&R-2007): Proceeding of Intern. Scientific-and-Technological Congress (October 2-5, 2007). – Saint-Petersburg: Polytechnical University Press, 2008. – P. 99–105 [in English].

9. Kondratenko Y.P., Shvets E., Shyshkin O. Modern Sensor Systems of Intelligent Robots Based on the Slip Displacement Signal Detection // Annals of DAAAM for 2007 & Proceeding of the 18th Int. DAAAM Symp. "Intelligent Manufacturing and Automation", Published by DAAAM International, Vienna, Austria, 2007. – P. 381–382 [in English].

10. Ueda M. and Iwata K. Tactile Sensors for an Industrial Robot to Detect a Slip // Proceedings of the Second International Symposium on Industrial Robots. – Chicago: IIT Research Institute. – 1972. – IL. P. 63–76 [in English].



Запорожець

Юрій Михайлович,
канд.техн.наук, ст.наук.
співр. Інституту віднов-
люваної енергетики НАН
України,
Київ 94, Україна
вул.Червоногвардійська,
20,А, тел. (044) 537-26-57
E-mail:
umz-286@bigmir.net



Кондратенко

Юрій Пантелійович,
д-р техн.наук, професор
Чорноморськ. держ. ун-т
ім. П. Могили,
Україна. Миколаїв 03, вул.
68-ми Десантників, 10,
тел. (0512) 46-40-74
E-mail:
y_kondratenko@rambler.ru