

УДК 62-50+007.52 : 621.318.2

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДАТЧИКА ПРОКОВЗУВАННЯ З РЕЄСТРАЦІЄЮ ПОПЕРЕЧНИХ СКЛАДОВИХ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА

Ю.М.Запорожець¹, канд.техн.наук, Ю.П.Кондратенко², докт.техн.наук, О.С.Шишкін³, канд.техн.наук,

¹ – Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Червоногвардійська, 20А, Київ, 02094, Україна,

² – Чорноморський державний університет ім. П.Могилу,
вул. 68-ми Десантників, 10, Миколаїв, 54003, Україна,

³ – ТОВ «Сіклум Україна»,
вул. Амосова, 12, Київ-94, 03110, Україна.

Запропоновано нову модифікацію датчика проковзування на основі вимірювання поперечних складових магнітного поля постійного магніту, який застосовано в магніточутливій системі реєстрації сигналів проковзування. Використовуючи модель магніту з постійним значенням намагніченості, отримано аналітичні формули для поперечних складових його магнітного поля в будь-якій точці простору. Проаналізовано характер просторового розподілу поперечних складових магнітного поля в залежності від параметрів конструкції чутливого елемента й виявлено наявність діапазонів таких співвідношень цих параметрів, які забезпечують лінійність статичної характеристики датчика проковзування. Наведено графіки просторового розподілу поперечних складових магнітного поля і приклади розрахунку статичної характеристики датчика проковзування. Бібл. 11, табл. 1, рис. 5.

Ключові слова: датчик проковзування, магнітне поле, поперечна складова, лінійна характеристика.

Досконалість сенсорних систем роботів є визначальним фактором у забезпеченні здатності адаптивних роботів виконувати свою місію та розв’язувати поставлені завдання [1,6,8]. До основних факторів, що характеризують рівень досконалості цих систем, належать їхня швидкодія, чутливість, надійність та гарантоспроможність [9,10]. Важливу роль для надання роботам адаптивних властивостей відіграють датчики проковзування (ДП), що забезпечують корекцію стискального зусилля захватного пристрою при зміні (або при попередньо невідомій величині) маси об’єкта маніпулювання. Зокрема, у роботі [2] проаналізовано характеристики ДП адаптивних роботів із застосуванням математичної моделі ДП з магніточутливою системою реєстрації сигналів проковзування. Принцип дії такого датчика базується на вимірюванні за допомогою датчика Хола (ДХ) [5] змін складової магнітної індукції B_z (паралельної осі намагніченості магніту) в залежності від відстані ДХ до полюса магніту ζ . Ця відстань є пропорційною величині переміщення об’єкта маніпулювання відносно захватного пристрою при проковзуванні [7].

Кінематична схема такого датчика (як складова кінематичної схеми удосконаленого ДП) показана на рис. 1, де реєструючим (чутливим) елементом є стрижень 1, підпружинений наконечник якого з вільного кінця безпосередньо контактує з об’єктом маніпулювання 8, що буде проковзувати в захватному пристрої робота при недостатній величині стискального зусилля. В корпусі 6 датчика встановлено постійний магніт (ПМ) 3. На стрижні 1 (на одній осі з віссю намагніченості магніту $O_B z_B$) розташований датчик Хола 2, вимірювальна площа якого $a-a'$ зорієнтована паралельно полюсній грані магніту 3. Таким чином, у системі координат $O_B x_B y_B z_B$, пов’язаній з маг-

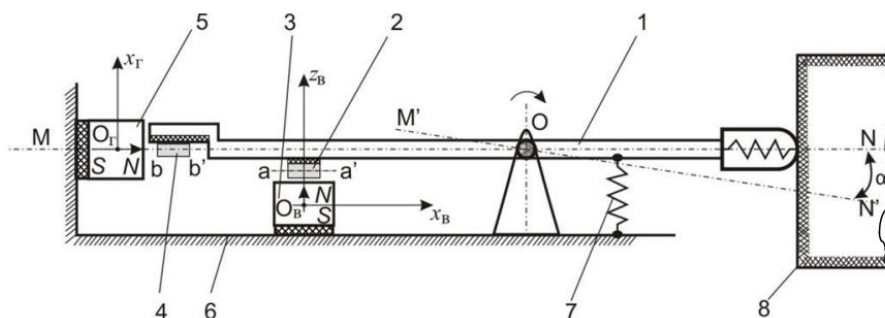


Рис. 1

ніту встановлено постійний магніт (ПМ) 3. На стрижні 1 (на одній осі з віссю намагніченості магніту $O_B z_B$) розташований датчик Хола 2, вимірювальна площа якого $a-a'$ зорієнтована паралельно полюсній грані магніту 3. Таким чином, у системі координат $O_B x_B y_B z_B$, пов’язаній з маг-

нітом 3, цей ДХ вимірює вертикальну (поздовжню) складову індукції B_z .

При проковзуванні об'єкта стрижень, повертаючися навколо осі O , буде переміщуватися з положення MN у положення $M'N'$. При цьому датчик Хола 2 буде віддалятися від полюсної грані магніту 3 у перпендикулярному до неї напрямку (уздовж осі O_{BzB}) на відстань ζ . Значення складової магнітної індукції, яку ДХ вимірює, буде змінюватися і датчик реєструватиме відповідний сигнал $B_z(\zeta)$. У подальшому для цього датчика будемо використовувати позначення ДХ- z .

Реєстрація сигналів проковзування з використанням такого ДХ- z може здійснюватися при реалізації системою керування робота методу спробних рухів [11] або методу неперервного руху захватного пристрою [4]. При цьому в обох варіантах сигнал проковзування (в нашому випадку – відхилення стрижня на деякий кут α) зростає до тих пір, поки внаслідок збільшення стискального зусилля захватного пристрою не припиниться процес проковзування, тобто поки об'єкт маніпулювання не буде надійно зафіксований у захватному пристрої. Після завершення операції маніпулювання (переміщення об'єкту за заданою траєкторією) захватний пристрій відпускає об'єкт, а стрижень датчика проковзування під дією пружного елемента 7 повертається в первинне положення (положення осі MN).

Проведені дослідження показують, що залежність $B_z(\zeta)$ виявляється суттєво нелінійною [2]. Це призводить до необхідності синтезу математичних моделей з високою результуючою розрахунковою складністю й обмежує швидкодію і точність блоків обробки вихідного сигналу такого ДП. Крім того, при значному віддаленні ДХ від полюса величина вихідного сигналу змінюється у відносно обмеженому діапазоні, тобто датчик має порівняно невелику диференційну чутливість [3].

Вказані недоліки мотивували створення удосконаленого конструктивного варіанту ДП, повна кінематична схема якого показана на рис. 1. У корпусі 6 датчика проковзування встановлено додатковий постійний магніт 5 таким чином, що його поздовжня вісь O_{IzI} співпадає з віссю MN стрижня 1. При цьому додатковий датчик Хола 4 закріплено на стрижні вимірювальною площиною $b-b'$ перпендикулярно полюсній грані цього магніту, тобто в площині y_I-z_I системи координат $O_I x_I y_I z_I$, пов'язаної з магнітом 5. На рис. 1 позначена тільки вісь $O_I x_I$, вісь $O_I z_I$, що співпадає з лінією MN , не позначена, а вісь $O_I y_I$ спрямована перпендикулярно площині рисунку. Таким чином, у зазначеній системі координат $O_I x_I y_I z_I$ цей ДХ буде вимірювати горизонтальну (або поперечну) x -складову індукції B_x . В подальшому для цього датчика будемо використовувати позначення ДХ- x , при відхиленні стрижня він буде фіксувати сигнал $B_x(x)$.

При необхідності аналогічним чином може бути побудована схема вимірювання поперечної y -складової індукції датчиком ДХ- y , що реєструватиме, відповідно, сигнал $B_y(y)$.

Доречно зазначити, що поняття «вертикальна» та «горизонтальна» складові індукції мають виключно локальний сенс – відносно полюсної грані відповідного магніту, тобто «вертикальна» складова спрямована паралельно осі O_{BzB} чи осі $O_I z_I$, а «горизонтальна» – перпендикулярно цим осям.

Розподіл поперечних складових магнітного поля над магнітом 5, як буде показано нижче, має якісно інший характер у порівнянні з наведеним у роботі [2] розподілом (над магнітом 3), що дозволяє розширити діапазон і рівень чутливості ДП подібного типу.

Метою даної статті є формування математичних моделей відповідних поперечних складових магнітного поля на основі представленого в [2] підходу, згідно з яким постійний магніт імітується сукупністю поверхневих „магнітних” зарядів, рівномірно розподілених на обох його полюсних (торцевих) гранях із щільністю, що дорівнює намагніченості J , А/м.

Для теоретичного обґрунтування побудови математичної моделі розглянемо магніточутливу систему, до складу якої входить призматичний магніт розмірами $c \times d \times l$ (рис. 2), де c – ширина, d – довжина, а l – висота магніту. Точка $P(x_p, y_p, z_p)$ є точкою спостереження, що може змінювати своє

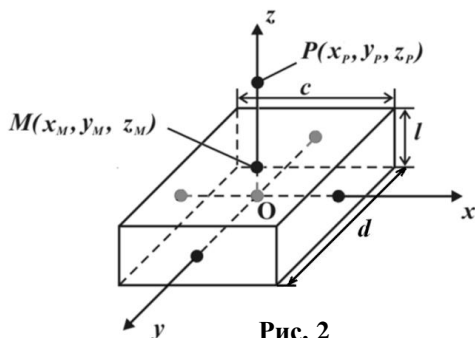


Рис. 2

положення відносно осей Ox , Oy або Oz . Зокрема, на рис. 2 показано випадок, коли точка $P(x_p, y_p, z_p)$ розташована на осі ординат Oz .

Виходячи з визначення складових вектора напруженості магнітного поля H як похідних від потенціалу магнітного поля

$$H_x(P) = -\partial U_M / \partial x_p \quad H_y(P) = -\partial U_M / \partial y_p$$

для простого шару „магнітних” зарядів із щільністю $\sigma_N = +J$ на верхній („північній”) грані S_N магніту та щільністю $\sigma_S = -J$ на нижній („південній”) грані S_S магніту, маємо

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

де U_M – потенціал магнітного поля; P – точка простору, в якій визначаються параметри поля; M – точка інтегрування у межах поверхні полюсних граней S_N та S_S , розташування яких відрізняється значенням координати z_M ; R_{PM} – радіус-вектор, проведений із точки P у точку M

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

що обчислюється з урахуванням $z_M=z_N$ для точок на грані S_N та $z_M=z_S$ – для точок на грані S_S .

Розкриваючи вираз (1), отримуємо

$$H_x(P) = \frac{J}{4\pi} \left\{ \int_{-d/2}^{d/2} dy_M \int_{-c/2}^{c/2} \frac{(x_P - x_M)}{\left[(x_P - x_M)^2 + (y_P - y_M)^2 + (z_P - z_N)^2 \right]^{3/2}} dx_M - \int_{-d/2}^{d/2} dy_M \int_{-c/2}^{c/2} \frac{(x_P - x_M)}{\left[(x_P - x_M)^2 + (y_P - y_M)^2 + (z_P - z_S)^2 \right]^{3/2}} dx_M \right\}.$$

Здійснивши подвійне інтегрування, одержимо складову $H_x(P)$ у наступній формі:

$$H_x(P) = \frac{J}{4\pi} \left[\operatorname{Arsh} \frac{y_P + d/2}{\sqrt{(x_P - c/2)^2 + (z_P - l/2)^2}} - \operatorname{Arsh} \frac{y_P - d/2}{\sqrt{(x_P - c/2)^2 + (z_P - l/2)^2}} - \operatorname{Arsh} \frac{y_P + d/2}{\sqrt{(x_P + c/2)^2 + (z_P - l/2)^2}} + \operatorname{Arsh} \frac{y_P - d/2}{\sqrt{(x_P + c/2)^2 + (z_P - l/2)^2}} - \operatorname{Arsh} \frac{y_P + d/2}{\sqrt{(x_P - c/2)^2 + (z_P + l/2)^2}} + \operatorname{Arsh} \frac{y_P - d/2}{\sqrt{(x_P - c/2)^2 + (z_P + l/2)^2}} + \operatorname{Arsh} \frac{y_P + d/2}{\sqrt{(x_P + c/2)^2 + (z_P + l/2)^2}} - \operatorname{Arsh} \frac{y_P - d/2}{\sqrt{(x_P + c/2)^2 + (z_P + l/2)^2}} \right]. \quad (2)$$

Ураховуючи порядок чергування знаків доданків цієї формули та координатних параметрів у цих доданках, її можна трансформувати до компактного вигляду:

$$H_x(P) = \frac{J_T}{4\pi} \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (-1)^{i+j+k} \times \operatorname{Arsh} \frac{y_P + (-1)^j d/2}{\sqrt{\left[x_P + (-1)^i c/2 \right]^2 + \left[z_P + (-1)^k l/2 \right]^2}}. \quad (3)$$

Друга горизонтальна складова вектора напруженості магнітного поля $H_y(P)$ визначається аналогічно, в результаті в усіх доданках формули (2) змінна y_P та параметр d замінюються, відповідно, на x_P і c та навпаки.

Таким чином для складової $H_y(P)$ отримуємо

$$H_y(P) = \frac{J_T}{4\pi} \sum_{k=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (-1)^{i+j+k} \times \operatorname{Arsh} \frac{x_P + (-1)^j c/2}{\sqrt{\left[y_P + (-1)^i d/2 \right]^2 + \left[z_P + (-1)^k l/2 \right]^2}}. \quad (4)$$

Вирази (3) та (4), що визначають горизонтальні складові напруженості поля H_x та H_y , цілком придатні для їхнього розрахунку у будь-якій точці простору як назовні тіла магніту, так і всередині його, у тому числі, безпосередньо у площині полюсних граней, за виключенням тих точок, які знаходяться на лініях ребер полюсних граней.

Для аналізу сформованої математичної моделі (3), (4) проведемо розрахунок значень напруженості магнітного поля H_x над поверхнею зразка феритового магніту з розмірами $c=26,2$ мм; $d=38,0$ мм; $l=10,0$ мм і значенням $J=330$ кА/м. На рис. 3, 4 показано характеристичні поверхні величини

напруженості поля H_x для значень $z_p=10$ мм (рис. 3) та $z_p=15$ мм (рис. 4) над поверхнею магніту (при цьому відстань ζ від полюсної грані складає 5 та 10 мм відповідно).

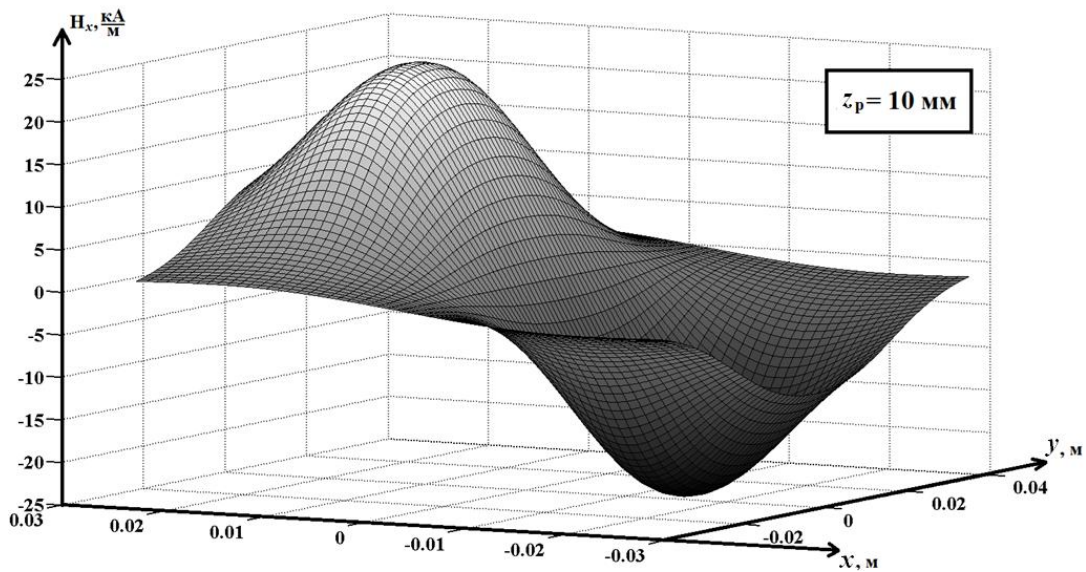


Рис. 3

Аналіз результатів моделювання (рис. 3 та 4) показує, що в безпосередній близькості від магніту (рис. 3) й при більшому віддаленні точки спостереження P від поверхні магніту (рис. 4) характеристична поверхня величини напруженості поля H_x має значні ділянки, зміна напруженості поля H_x на яких (при переміщенні вздовж осі Ox) близька до лінійної.

Крім того, рис. 4 показує, що підбором координати $y_p=\text{const}$, можливо отримати відповідну залежність $H_x(x)$, значна частина якої буде мати високу придатність до лінеаризації. Зокрема, на рис. 5 показано залежність величини напруженості поля $H_x(x)$, яку отримано на основі моделі (2) як лінію характеристичної поверхні, показаної на рис. 3, при $y_p=\text{const}=0$. Із рис. 5 видно, що характеристика напруженості поля $H_x(x)$ має значну лінійну ділянку при $x \in [-0,008; 0,008]$ м.

Якщо позначити через A_U амплітуду лінійної ділянки кривої $H_x(x)$ у загальному інтервалі A_C зміни величини H_x (рис. 5), то в зазначеному діапазоні значень координати x співвідношення (A_U/A_C) складає більше 70 %, тобто для $x \in [-0,008; 0,008]$ м $H_x(x)$ може розглядатися як лінійна функція.

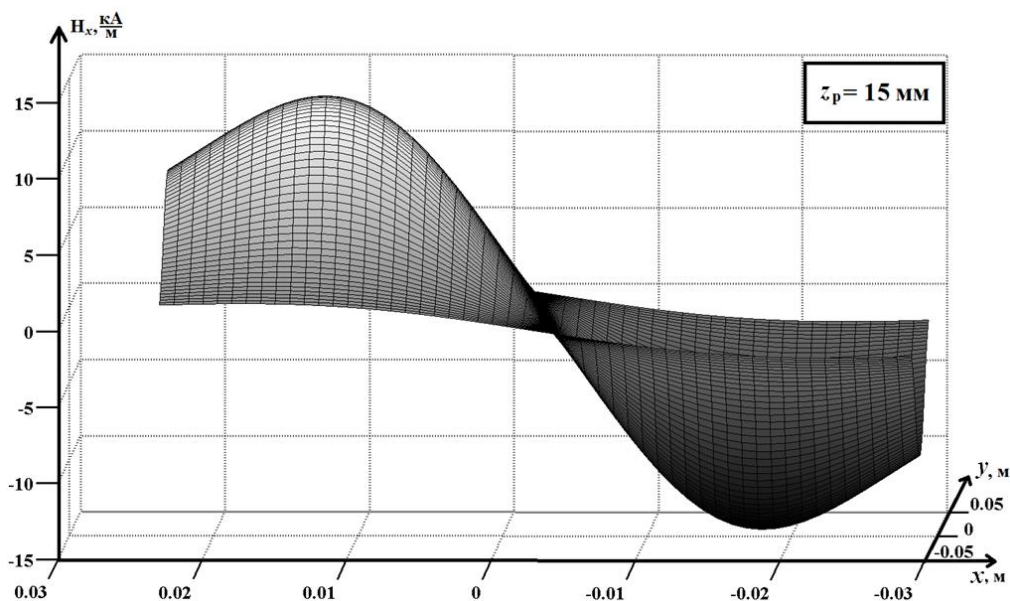


Рис. 4

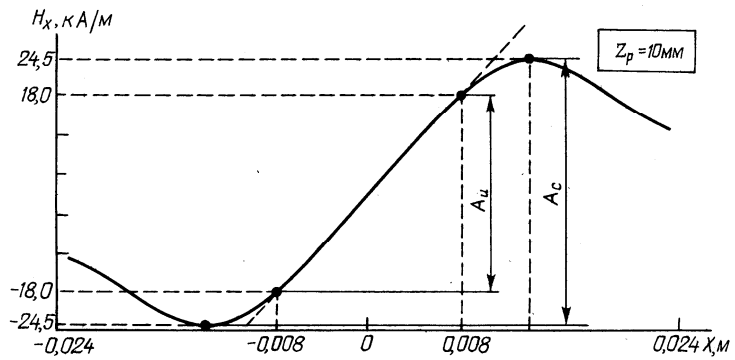


Рис. 5

мм). Таким чином, використовуючи даний підхід, можна визначити оптимальну висоту для вимірювання горизонтальних складових напруженості магнітного поля, тобто висоту розташування датчиків ДХ-х та ДХ-у над поверхнею магніту.

z_p , мм	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
A_u/A_c	0,52	0,68	0,73	0,74	0,73	0,71	0,69	0,66	0,63	0,6

Висновки. Отримана математична модель (3)–(4) дозволяє розраховувати значення горизонтальних складових напруженості магнітного поля при розташуванні датчиків ДХ-х та ДХ-у в довільній точці P над поверхнею магніту, що входить до складу магніточутливої системи ДП. В результаті дослідження та аналізу математичної моделі (3)–(4) встановлено, що величина горизонтальної складової напруженості поля H_x , а відповідно й вихідний сигнал ДП, буде мати значний діапазон з високою придатністю до лінеаризації, тобто з можливістю використання більш 70% загального діапазону зміни вихідного сигналу як «корисного» лінійного сигналу. Використання лінеаризованих функцій для моделі (3)–(4) дозволить значно знизити розрахункову складність процесів обробки вихідного сигналу ДП, що дасть змогу реєструвати сигнал проковзування з підвищеною швидкістю, й, відповідно, більш швидко коригувати величину стискального зусилля. Запропонований підхід забезпечує підвищення надійності та гарантоспроможності ДП і сенсорних систем адаптивних роботів у цілому. В подальшому доцільно спрямувати дослідження на використання результатів даної статті для побудови інформаційно-вимірювальних систем адаптивних роботів, здатних реєструвати напрям проковзування деталі при її зустрічі в процесі маніпулювання з перешкодою.

1. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. – Москва: Техносфера, 2007. – 384 с.
2. Запорожець Ю.М., Кондратенко Ю.П., Шишкін О.С. Тривимірна математична модель для розрахунку магнітної індукції в магніточутливій системі датчика проковзування // Технічна електродинаміка. – 2008. – №5. – С. 76–79.
3. Кондратенко Ю.П., Запорожець Ю.М., Шишкін О.С. Синтез на основі теорії поля математичних моделей магніточутливих датчиків адаптивних роботів // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Серія «Комп'ютерні технології». – Миколаїв: Чорноморський державний університет ім. П.Могили. – 2009. – Т. 106. – Вип. 93. – С. 147–153.
4. Кондратенко Ю.П., Шишкін А.С. Датчики проскальзання в сенсорних системах воєнних роботів // Збірник наукових праць Військового інституту Київського нац. університету ім. Т.Шевченка. – 2007. – Вип.8. – С. 92–97.
5. Маргелов А., Иванов Е. Бесконтактные датчики положения на эффекте Холла и магнито-резистивном эффекте компании Honeywell // Новости электроники. – 2005. – №3. – С. 11–17.
6. Попов Е.П., Клюев В.В. Системы оучствления и адаптивные промышленные роботы. – Москва: Машиностроение, 1985. – 255 с.
7. Патент 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.
8. Kondratenko Yu.P. Measurement methods for slip displacement signal registration // Proceedings of the International Symposium "Measurement Technology and Intelligent Instruments". – Chongqing-Wuhan, China: Published by SPIE, USA, 1993. – Pp. 1451–1461.
9. Kondratenko Yu.P., Shvets E.A., Shyshkin O.S. 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. – Pp. 381–382.
10. Kondratenko Yu.P., Kondratenko V.Yu., 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. – Pp. 99–105.
11. 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. – Pp. 63–76.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДАТЧИКА ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ С РЕГИСТРАЦИЕЙ ПОПЕРЕЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

Ю.М.Запорожец¹, канд.техн.наук, **Ю.П.Кондратенко²**, докт.техн.наук, **А.С.Шышкин³**, канд.техн.наук,

¹ – Институт возобновляемой энергетики НАН Украины,

ул. Червоногвардейская, 20А, Киев, 02094, Украина,

² – Черноморский государственный университет им. П.Могилы,

ул. 68-ми Десантников, 10, Николаев, 54003, Украина,

³ – ООО «Сиклум Украина»,

ул. Амосова, 12, Киев, 03110, Украина.

Предложена новая модификация датчика проскальзывания на основе измерения поперечных составляющих магнитного поля постоянного магнита, примененного в магниточувствительной системе регистрации сигналов проскальзывания. Используя модель магнита с постоянным значением намагниченности, получены аналитические формулы для поперечных составляющих его магнитного поля в любой точке пространства. Проанализирован характер пространственного распределения поперечных составляющих магнитного поля в зависимости от параметров конструкции чувствительного элемента и выявлено наличие диапазонов таких соотношений этих параметров, которые обеспечивают линейность статической характеристики датчика проскальзывания. Приведены графики пространственного распределения поперечных составляющих магнитного поля и примеры расчета статической характеристики датчика проскальзывания. Библ. 11, табл. 1, рис. 5.

Ключевые слова: датчик проскальзывания, магнитное поле, поперечная составляющая, линейная характеристика.

MATHEMATICAL MODEL OF SLIP DISPLACEMENT GAGE WITH REGISTRATION OF TRANSVERSAL CONSTITUENTS OF SENSING ELEMENT MAGNETIC FIELD

Yu.M. Zaporozhets¹, **Yu.P. Kondratenko²**, **O.S. Shyshkin³**,

¹ – Institute of Renewable Energetics of National Academy of Science of Ukraine,

Chervonohvardiiska str., 20A, Kyiv, 02094, Ukraine.

² – Petro Mohyla Black Sea state University,

68 Desantnykiv str., 10, Mykolaiv, 54003, Ukraine,

³ – Enterprise “Ciklum Ukraine”,

Amosova str., 12, Kyiv, 03110, Ukraine.

New modification of slip displacement gage is offered based on measurement of the transverse constituents of magnetic field of permanent magnet applied in magnetosensitive system of the slip signal recording. Due to model of the magnet with the permanent value of magnetization analytical formulas are got for transversal constituents of its magnetic field in any point of space. Character of spatial distribution of magnetic field transversal constituents is analyzed depending on the parameters of sensing element construction and brought out the availability of such ratio ranges of these parameters, which assure linearity of the slip sensor static characteristics. The graphs of the spatial distribution of the transverse magnetic field components and examples of calculation of slip sensor static characteristic are brought. References 11, table 1, figures 5.

Key words: slip sensor, magnetic field, transversal constituent, linear characteristic.

1. Jackson R.H. Newest sensors. – Moskva: Tekhnosfera, 2007. – 384 p. (Rus)

2. Zaporozhets Yu.M., Kondratenko Yu.P., Shyshkin O.S. Three-dimensional mathematical model for calculation of a magnetic induction in magnetosensitive system of slip displacement gage // Tekhnichna elektrodynamika. – 2008. – № 5. – Pp. 76–79. (Ukr)

3. Kondratenko Yu.P., Zaporozhets Yu.M., Shyshkin O.S. Synthesis of mathematical models of adaptive robots magnetosensitive gages on the basis of the field theory // Naukovi pratsi: Naukovo-metodychnyi zhurnal. Seriya “Kompiuterni tekhnologii.” – Mykolaiv: Chornomorskyi derzhavnyi universytet im. P.Mohyla. – 2009. – Part. 106. – Vol. 93. – Pp. 147–153. (Ukr)

4. Kondratenko Yu.P., Shyshkin O.S. Slip displacement sensors for information systems of military robots // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu im.T.Shevchenka. – 2007. – Vyp.8. – Pp. 92–97. (Rus)

5. Margelov A., Ivanov E. Non-contact position sensors based on the Hall effect and magneto-resistive effect of Honeywell company // Novosti elektroniki. – 2005. – №3. – Pp. 11–17. (Rus)

6. Popov E.P., Kliuev V.V. Sensitizing systems and adaptive industrial robots. – Moskva: Mashinostroenie, 1985. – 255 p. (Rus)

7. Patent 79155 Ukraine, MPK B25J 19/02, B25J 13/08. The device for slippage signal recording / Kondratenko Yu.P., Shyshkin O.S., Kondratenko V.Yu. – Zaiavl. 18.04.2005. Opubl. 25.05.2007. Bul. № 7, 2007. (Ukr)

8. Kondratenko Yu.P. Measurement methods for slip displacement signal registration // Proceedings of the International Symposium “Measurement Technology and Intelligent Instruments”. – Chongqing-Wuhan, China: Published by SPIE, USA, 1993. – Pp. 1451–1461.

9. Kondratenko Yu.P., Shvets E.A., Shyshkin O.S. 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. – Pp. 381–382.

10. Kondratenko Yu.P., Kondratenko V.Yu., 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. – Pp. 99–105.

11. 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. – Pp. 63–76.

Надійшла 30.09.2011

Received 30.09.2011