

Безкорвайний В.С., Сінан Таліб

МЕТОД РОЗРАХУНКУ МАГНІТНИХ ДАТЧИКІВ ДІАГНОСТИКИ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

Пропонується метод розрахунку магнітних датчиків, призначених для систем діагностики зубчастих передач. Метод використовує теорему про взаємність К.М. Поліванова для визначення магнітного потоку, індукованого зубчастим колесом в магнітопроводі датчика. Висока чутливість магнітного датчика дозволяє визначати не тільки наявність зубів зубчастих колес та шестерень, але і їх всілякі дефекти. Дається оцінка чисельних розрахунків за запропонованою методикою з даними натурного експерименту.

Ключові слова: датчик, магнітна система, ферозонд, сердечник, зубчаста передача.

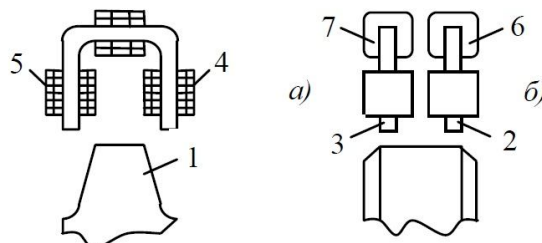
Введення

Системи діагностики зубчастих передач (ЗП) вимагають не тільки вимірювання частоти обертання зубчастих колес та шестерень, але також визначення факту поломки зуба, ступеня зносу зубів, величини биття. Всю цю інформацію можна отримати використовуючи багатофункціональні датчики частоти обертання за рахунок збільшення їх чутливості та ефективності, а також використання сучасних засобів обробки первинної інформації. При цьому датчики частоти обертання будуть також виконувати свої звичайні функції, тобто видавати сигнал на кожен момент проходження зуба під магнітною системою датчика.

З огляду на новий підхід до визначення функції датчиків частоти обертання потрібні нові методи розрахунку їх основних вузлів, чому присвячена ця стаття. Магнітні датчики частоти обертання зубчастих коліс, завдяки таким своїм перевагам як висока чутливість, низький поріг чутливості, механічна міцність, достатній енергетичний рівень вихідних сигналів, температурна і тимчасова стабільність параметрів, висока потенційна здатність розширення функціональних можливостей мають хороші перспективи використання в системах діагностики трансмісій транспортних машин, бурових і гірничодобувних машин, тягових передач тепловозів і електровозів, броньових машин і танків.

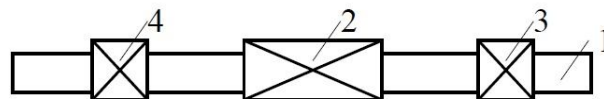
Магнітні системи запропонованих датчиків визначають їх метрологічні характеристики, тому до розрахунку цих пристроїв пред'являється вимога високої точності, універсальності і простоти чисельної реалізації.

Особливості конструкцій магнітних систем датчиків. Універсальність запропонованої конструкції датчиків полягає в тому, що їх можна використовувати для контролю зубчастих коліс (ЗК) різних модулів. Принцип побудови одного з варіантів магнітної системи показаний на рис. 1.



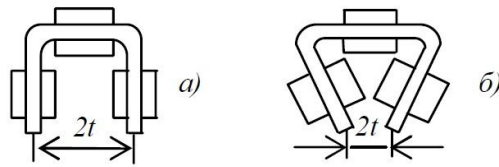
1 – ЗК; 2, 3 – сердечники напівелементів а і б; 4, 5 – вихідні обмотки; 6, 7 – обмотки збудження
Мал. 1. Конструкція магнітної системи датчика (схема полемера)

Магнітна система датчика складається з двох напівелементів а і б, які складаються з сердечників, виконаних з аморфного заліза і розташованих на них обмоток (мал. 2)



1 – сердечник; 2 – обмотки збудження; 3, 4 – вихідні полуобмотки
Мал. 2. напівелемент датчика

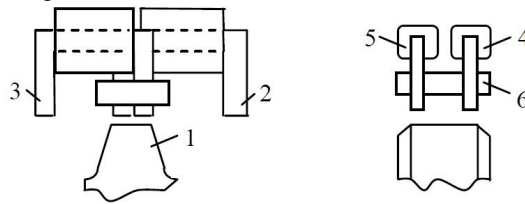
Стрічка з аморфного матеріалу легко деформується (товщина стрічки 25 мкм) і створює можливість змінювати форму сердечників напівелементів. Змінюючи відстань $2t$ (мал. 3), можна підбирати форму сердечників для датчиків ЗК з різним модулем. Збільшуючи або зменшуючи величину $2t$, можна змінювати магнітний потік, індукований зубами, який залежить від модуля ЗК.



Мал. 3. Форми сердечника напівелементу датчика

Магнітопровід датчика, по суті справи, являє собою ферозонд з вигнутими сердечниками і володіє всіма його характеристиками, тобто низьким порогом чутливості і високою стабільністю параметрів. Вигнутий в півкільце сердечник робить датчик малочутливим до полів перешкоди. Низький поріг вимірюваного поля $(0,1-1) \cdot 10^{-6}$ Тл дає можливість виміряти не тільки присутність зуба під датчиком, але також вимірювати параметри магнітного поля, індукованого зубом. Намагнічування ЗК проводиться постійним магнітом, розташованим на діаметрально протилежному боці від датчика. Низький поріг чутливості датчика дозволяє використовувати для намагнічування ЗК магнітне поле Землі.

Вихідні обмотки напівелементів датчика можуть включатися за схемою полемера, при цьому конструкція магнітної системи така, як показано на мал. 1, або за схемою градієнтомера. Конструкція магнітної системи датчика для схеми градієнтомера наведена на мал. 4.



1 – ЗК; 2, 3 – сердечники напівелементів; 4, 5 – котушки збудження; 6 – вихідна котушка.

Мал. 4. Конструкція магнітної системи датчика (градієнтомер)

Вихідний сигнал датчика-градієнтомера пропорційний різниці магнітних потоків у магнітопроводах датчика. Датчики реагують на постійні і низькочастотні магнітні поля, на відміну від індукційних датчиків, у яких сигнал пропорційний першій похідній від складової напруженості магнітного поля.

Особливості розрахунку магнітних систем датчиків. В основу розрахунку магнітних систем датчиків покладена теорема про взаємність Поліванова К.М. [1], яка може бути представлена у вигляді формули для магнітного потоку, індукованого в магнітопроводі системи намагніченим зубом ЗК:

$$\Phi = \frac{\mu_0}{iW} \int_S \varphi \cdot M_n dS, \quad (1)$$

тут M_n – нормальна складова намагніченості на поверхні зуба;

φ – магнітний скалярний потенціал, створений на поверхні зуба сердечником напівелементу датчика з розташованої на ньому вихідної обмоткою з числом витків W , в якій протікає струм i ;
 S – площа поверхні зуба.

Згідно [2] розрахунок магнітного потоку в магнітопроводі напівелементу датчика, індукованого зубом ЗК, проводиться у два етапи. На першому етапі розраховується нормальна складова вектора намагніченості на поверхні зуба ЗК. На другому – визначається функція магнітного потенціалу, створюваного сердечником напівелементу з розташованою на ньому вихідної обмотки з магніторухійною силою iW .

Розрахунок величини M_n на поверхні ЗК рекомендується зробити за методикою, викладеною в [3], шляхом чисельного рішення інтегрального рівняння Фредгольма першого роду:

$$\frac{1}{4\pi} \int_S \frac{M_n dS}{|\vec{r}_Q - \vec{r}_P|} = \varphi_M, \quad (2)$$

тут \vec{r}_Q, \vec{r}_P – вектор, проведений з точки джерела в точку спостереження;

φ_M – потенціал, що створюється постійним магнітом.

Потенціал, що створюється котушками, розташованими на осерді, розраховується у такій послідовності. Визначається потенціал, що створюється вихідними обмотками без сердечників. Виконується це в локальних координатах u, v, w за наступною формулою [5]:

$$\varphi_K = \frac{1}{4\pi} \int_{-c_K}^{c_K} \int_{-b_K}^{b_K} \int_{-a_K}^{a_K} \frac{\tau v' du' dv' dw'}{[(u-u')^2 + (v-v')^2 + (w-w')^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

тут u', v', w' – координати джерела;

v' – координата, спрямована по осі котушки;

τ – поверхнева щільність струму котушки.

На другому етапі враховується вплив сердечника. Сердечник є тонкою пластинкою (товщина 25-50 мкм) тому при розрахунку потенціалу, який він створює використовується теорія розподілу магнітного заряду на тонких незамкнених провідних поверхнях [4]. Відповідно до цієї теорії, якщо потенціал поверхні тонкої пластини дорівнює φ_0 , то за наявності потенціалу, обумовленого струмом у котушках, виходить

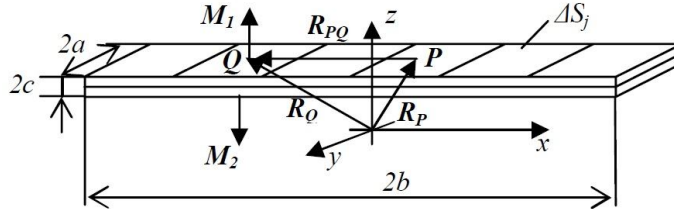
$$\varphi_k + \frac{1}{4\pi} \int_S \frac{(M_{n1} + M_{n2}) dS}{R_{PQ}} = \varphi_0, \quad (4)$$

де φ_k – потенціал, що створюється обмотками з струмом;

M_{n1}, M_{n2} – нормальні складові намагніченості на двох сторонах пластини (мал. 5);

R_{PQ} – модуль вектора, проведеного з точки джерела в точку спостереження;

S – площа поверхні пластини.



Мал. 5. Ділянка магнітопроводу датчика в глобальній системі координат x, y, z .

Інтегральне рівняння вирішується методом модифікованих квадратур при розбитті площини, що лежить посередині між поверхнями пластини на елементарні прямокутні майданчики.

Рівняння (4) зводиться до системи лінійних рівнянь:

$$\varphi_{ki} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N-1} \sigma_j \frac{1}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} \Delta S_j + \sigma_j \left(\Delta a_j \operatorname{arcsch} \frac{\Delta b_j}{\Delta a_j} + \Delta b_j \operatorname{arcsch} \frac{\Delta a_j}{\Delta b_j} \right)_{|j=i} = \varphi_{0i}, \quad (5)$$

де ΔS_j – площа елементарної площадки;

$\Delta a_j, \Delta b_j$ – розміри елементарних майданчиків, на які розбивається площа сердечника;

$\sigma_i = M_{n1i} + M_{n2i}$; \vec{r}_i, \vec{r}_j – радіус-вектори точок спостереження і джерела;

N – кількість елементарних майданчиків.

Після визначення σ_i , значення M_{n1i}, M_{n2i} визначаються шляхом вирішення наступної системи рівнянь [4] для кожної i -ої елементарної площадки:

$$\begin{aligned} M_{n1i} + M_{n2i} &= \sigma_i; \\ M_{n1i} - M_{n2i} &= \varepsilon_i, \end{aligned}$$

$$\text{де } \varepsilon_i = 2H_{ni} + \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^K \frac{\sigma_j \cos(\vec{n}, \vec{R}_{PQ})}{R_{PQ}^2} \Delta S_j, \quad (6)$$

тут H_{ni} – нормальна складова напруженості магнітного поля, яка створюється обмоткою зі струмом на i -му елементарному майданчику;

\vec{n} – одиничний вектор нормальний до поверхні осердя;

K – кількість елементарних майданчиків датчика.

Звісно, якщо магнітопровід датчика складається з однієї пластини, то останній доданок в (6) обертається в нуль, так як $\cos(\vec{n}, \vec{R}_{PQ}) = 0$.

Після визначення величин M_{n1i}, M_{n2i} знаходиться функція потенціалу, що входить у формулу (1), з наступного співвідношення:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi} \int_{S_1} \frac{M_{n1} dS_1}{R_{PQ}} + \frac{1}{4\pi} \int_{S_2} \frac{M_{n2} dS_2}{R_{PQ}},$$

де S_1, S_2 – поверхні магнітопроводу датчика.

Вихідна напруга датчика знаходиться зі співвідношення

$$U_{m2} = 8f \cdot \Phi,$$

де f – частота збудження;

Φ – магнітний потік в магнітопроводі.

Результати чисельних розрахунків за пропонованою методикою відрізняються від даних натурального експерименту не більше, ніж на 8-11%.

Висновки

1. Основою розрахунку магнітних датчиків є теорема про взаємність К.М. Поліванова, яка дозволяє розраховувати магнітний потік в осерді датчика, індукований зубчастим колесом.

2. Розрахунок магнітного потенціалу, створюваного сердечником датчика з обмоткою, можна проводити, вважаючи сердечник датчика тонкої пластиною, шляхом вирішення інтегрального рівняння Фредгольма методом модифікованих квадратур.

Література

1. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники. Ч.3. – М.: Энергия, 1975. – 120 с.
2. Калашникова О.Н. Система и магнитный метод для обнаружения ферромагнитных тел в немагнитных средах: дис. канд. техн. наук: 05.11.03 / Калашникова О.Н. – Харьков, 2003. – 161 с.
3. Гандур М.М. Анализ магнитных систем датчиков скорости вращения с постоянными магнитами: дис. канд. техн. наук: 05.09.92 / Гандур М.М. – М., 1992. – 120 с.
4. Методы расчета электростатических полей / [Миролюбов Н.Н., Костенко М.В, Левинштейн М.Л., Тиходеев Н.Н.]. – Высшая школа, 1963. – 414 с.
5. Яковенко В.В. Магнитные датчики механических величин / Датчики и методы повышения их точности: учеб. пособие - К.: Вища школа, 1989. – С. 57-109.

References

1. Polivanov K.M. Teoreticheskie osnovy jelektrotehniki. Ch.3. – M.: Jenergija, 1975. – 120 s.
2. Kalashnikova O.N. Sistema i magnitnyj metod dlja obnaruzhenija ferromagnitnyh tel v nemagnitnyh sredah: dis. kand. tehn. nauk: 05.11.03 / Kalashnikova O.N. – Har'kov, 2003. – 161 s.
3. Gandur M.M. Analiz magnitnyh sistem datchikov skorosti vrashhenija s postojannymi magnitami: dis. kand. tehn. nauk: 05.09.92 / Gandur M.M. – M., 1992. – 120 s.
4. Metody rascheta jelektrostaticheskikh polej / [Miroljubov N.N., Kostenko M.V, Levinshtejn M.L., Tihodeev N.N.]. – Vysshaja shkola, 1963. – 414 s.
5. Jakovenko V.V. Magnitnye datchiki mehanicheskikh velichin / Datchiki i metody povyshenija ih tochnosti: ucheb. posobie - K.: Vishha shkola, 1989. – S. 57-109.

Предлагается метод расчета магнитных датчиков, предназначенных для систем диагностики зубчатых передач. Метод использует теорему о взаимности К.М.Поліванова для определения магнитного потока, индуцированного зубчатым колесом в магнитопроводе датчика. Высокая чувствительность магнитного датчика позволяет определять не только наличие зубьев зубчатых колес и шестерен, но и их всевозможные дефекты. Дается оценка численных расчетов по предлагаемой методике с данными натурного эксперимента.

Ключевые слова: датчик, магнитная система, феррозонд, сердечник, зубчатая передача.

The method of calculation of magnetic sensors designed for diagnostic systems gear is proposed. The method uses the reciprocity theorem of K.M.Polivanov to determine the magnetic flux induced in the magnetic gear wear. The high sensitivity of the magnetic sensor allows determine not only the presence of teeth of gears and pinions, but also all kinds of defects. The estimation of the numerical calculations by the proposed method to the data of field experiment is given.

Keywords: sensor, magnetic system, ferroprobe, core, gear.

Безкорвайный В.С. аспірант кафедри «Електромеханіка» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Сінан Таліб, аспірант кафедри «Електромеханіка» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Рецензент: Яковенко В.В. докт.техн.наук, професор СНУ ім.В.Даля.

METHOD OF CALCULATION THE MAGNETIC SENSORS OF DIAGNOSIS GEARINGS

The method of calculation of magnetic sensors designed for diagnostic systems gear is proposed. The method uses the reciprocity theorem of K.M.Polivanov to determine the magnetic flux induced in the magnetic gear wear. The high sensitivity of the magnetic sensor allows determine not only the presence of teeth of gears and pinions, but also all kinds of defects. The estimation of the numerical calculations by the proposed method to the data of field experiment is given.

Keywords: sensor, magnetic system, ferroprobe, core, gear.

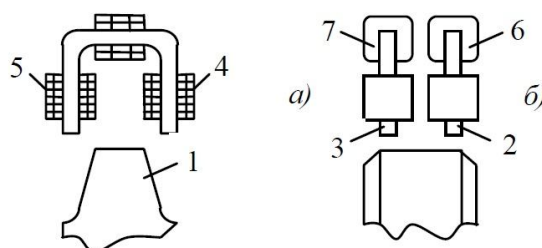
Introduction

Diagnostic systems gear require not only measure the speed gears and pinions, but also determine whether the tooth breakage, wear of the teeth, the values of the beats. All this information can be obtained using a multi-speed sensor by increasing their sensitivity and efficiency, and the use of modern means of processing of information. In this case, the speed sensor will also perform their normal functions, that is, to provide a signal on each tooth at the time of the passage of the magnetic sensor system.

In view of the new approach to the definition of speed sensors require new methods of calculating their basic units, which is devoted to this article. The magnetic speed sensor gear, thanks to its advantages such as high sensitivity, low threshold, mechanical strength, sufficient energy level output, temperature and time stability of parameters, high potential ability to extend the functionality to have good potential use in diagnostic transmissions transport vehicles, drilling and mining machinery, traction gears diesel and electric locomotives, armored vehicles and tanks.

The magnetic system of the proposed sensors determine their metrological characteristics, so the calculation of these devices are requirements of high accuracy, versatility, and ease of numerical implementation.

Design features of the magnetic sensor systems. Versatility is offered by the construction of sensors that can be used to control the various modules of gears. The principle of construction of one embodiment of the magnetic system shown in Fig. 1.



1 – gear; 2, 3 – half-cell cores *a* and *b*; 4, 5 – output windings; 6, 7 – field winding
Fig. 1. The design of the magnetic sensor system (Scheme polemera)

The magnetic sensor system consists of two half-cells *a* and *b*, which consist of cores made of amorphous iron and windings disposed thereon (Fig. 2).



1 – core; 2 – field winding; 3, 4 – weekend poluobmotki
Fig. 2. The half-cell sensor

Band of amorphous material is easily deformed (tape thickness 25 microns) and creates the ability to change the shape of half-cell cores. By changing the distance $2t$ (Fig. 3), can be selected to form the cores of sensors with different gear module. By increasing or decreasing the size $2t$, you can change the magnetic flux induced by the teeth, which depends on the module gear.

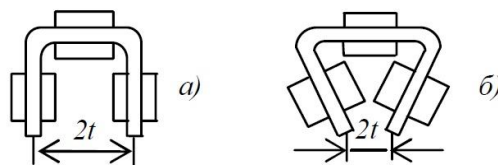
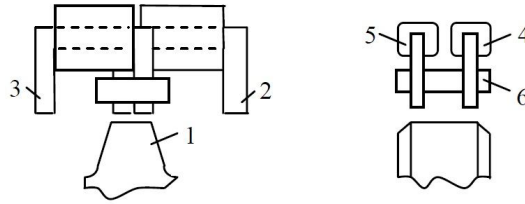


Fig. 3. Forms the core half-cell sensor

The magnetic core sensor, in fact, is a ferroprobe with curved cores and has all its characteristics, that is, low-threshold, high stability parameters. Curved semi-circle in the core makes the sensor insensitive to interference fields. Low threshold measured field $(0,1-1) \cdot 10^{-6}$ T makes it possible to measure not only the presence of the tooth below the sensor, but also to measure the parameters of the magnetic field induced by tooth. Magnetisation gear produced by a

permanent magnet located on the diametrically opposite side of the sensor. Low threshold sensitivity of the sensor can be used to magnetize the gear Earth's magnetic field.

Output winding half-cell sensor can be activated by polemer circuit, wherein the magnetic system design such as shown in Fig. 1 or by gradientomer scheme. The design of the magnetic sensor system for the gradientomer scheme shown in Fig. 4.



1 – gear; 2, 3 – half-cell cores; 4, 5 – excitation coil; 6 – output coil.
Fig. 4. The design of the magnetic system of the sensor (gradiometer)

The sensor output signal proportional to the difference gradientomera-magnetic flux in the magnetic sensor. The sensors and the constant low frequency magnetic fields, in contrast to the inductive sensor whose output is proportional to the first derivative of the magnetic field component.

Features of the calculation of the magnetic sensor systems. The calculation of the magnetic sensor systems put the reciprocity theorem Polivanova K.M. [1] which can be represented by the formula for the magnetic flux induced in the magnetic system magnetized tooth gear:

$$\Phi = \frac{\mu_0}{iW} \int_S \varphi \cdot M_n dS, \quad (1)$$

here M_n – the normal component of the magnetization on the tooth surface;

φ – magnetic scalar potential is created on the surface of the tooth core half cell sensor disposed on the output winding it with the number of turns W , which current flows i ;

S – surface area of the tooth.

According to [2], the calculation of the magnetic flux in the magnetic sensor half cell induced tooth gear is performed in two stages. At the first stage the normal vector component of the magnetization on the surface of the gear tooth. On the second - defined function of the magnetic potential created by the half-cell core with an arrangement of output winding magnetomotive force with iW .

Calculation M_n on the surface of the gear is recommended by the method described in [3], by numerically solving the Fredholm integral equation of the first kind:

$$\frac{1}{4\pi} \int_S \frac{M_n dS}{|\vec{r}_Q - \vec{r}_P|} = \varphi_M, \quad (2)$$

here \vec{r}_Q, \vec{r}_P – vector from the source point to the observation point;

φ_M – potential generated by a permanent magnet magnetizing gear.

The potential created by the coils disposed on the core, is calculated in the following sequence. Determined by the potential created by the output windings without cores. This is done in the local coordinates u, v, w by the following formula [5]:

$$\varphi_K = \frac{1}{4\pi} \int_{-c_K}^{c_K} \int_{-b_K}^{b_K} \int_{-a_K}^{a_K} \frac{\tau v' du' dv' dw'}{\left[(u-u')^2 + (v-v')^2 + (w-w')^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

here u', v', w' – coordinates of the source;

v' – coordinate axis direction coil;

τ – the surface density of the coil current.

The second stage is taken into account the influence of the core. The core is a thin plate (thickness 25-50 microns) so the calculation of the potential that it creates use of the theory of distribution of magnetic charge is not closed on thin conductive surfaces [4]. According to this theory, if the surface potential of the wafer is φ_0 then in the presence of potential due to the current in the coils is obtained

$$\varphi_K + \frac{1}{4\pi} \int_S \frac{(M_{n1} + M_{n2}) dS}{R_{PQ}} = \varphi_0, \quad (4)$$

where φ_K – potential generated by the windings with current;

M_{n1}, M_{n2} – normal components of the magnetization on the two sides of the plate (Fig. 5);

R_{PQ} – the module of vector drawn from a point source to the point of observation;

S – surface area of the plate.

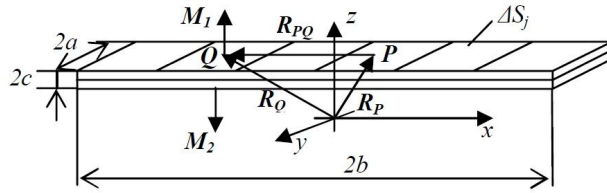


Fig. 5. Plot the magnetic sensor in the global coordinate system x, y, z .

The integral equation is solved by the modified quadratures in the division plane, which lies midway between the surfaces of the rectangular plate on the elementary playground.

Equation (4) is reduced to a system of linear equations:

$$\varphi_{ki} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N-1} \sigma_j \frac{1}{|\bar{r}_i - \bar{r}_j|} \Delta S_j + \sigma_j \left(\Delta a_j \operatorname{arcsch} \frac{\Delta b_j}{\Delta a_j} + \Delta b_j \operatorname{arcsch} \frac{\Delta a_j}{\Delta b_j} \right)_{j=i} = \varphi_{oi}, \quad (5)$$

where ΔS_j – area of the unit area;

$\Delta a_j, \Delta b_j$ – dimensions elementary areas into which the core area;

$\sigma_i = M_{ni} + M_{n2i}$; \bar{r}_i, \bar{r}_j – radius vectors of observation and source;

N – the number of elementary areas.

After determining the σ_i , value M_{ni}, M_{n2i} determined by solving the following equations [4] for each i -th elementary area:

$$M_{ni} + M_{n2i} = \sigma_i;$$

$$M_{ni} - M_{n2i} = \varepsilon_i,$$

$$\text{where } \varepsilon_i = 2H_{ni} + \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^K \frac{\sigma_j \cos(\bar{n}, \bar{R}_{PQ})}{R_{PQ}^2} \Delta S_j, \quad (6)$$

here H_{ni} – normal component of the magnetic field created by a current-carrying coil on the i -th elementary area;

\bar{n} – the unit vector normal to the surface of the core;

K – the number of elementary areas of the sensor.

Naturally, if the magnetic sensor consists of a single plate, the last term in (6) goes to zero, as $\cos(\bar{n}, \bar{R}_{PQ}) = 0$.

After determining the values of M_{ni}, M_{n2i} is a function of potential, part of the formula (1), from the following relationship:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi} \int_{S_1} \frac{M_{n1} dS_1}{R_{PQ}} + \frac{1}{4\pi} \int_{S_2} \frac{M_{n2} dS_2}{R_{PQ}},$$

where S_1, S_2 – the surface of the magnetic sensor.

The sensor output voltage from the relation

$$U_{m2} = 8f \cdot \Phi,$$

where f – excitation frequency;

Φ – magnetic flux in the yoke.

The numerical results by the proposed method are different from those of natural experiment is not more than 8-11%.

References

1. Polivanov K.M. Teoreticheskie osnovy jelectrotehniki. Ch.3. – M.: Jenergija, 1975. – 120 s.
2. Kalashnikova O.N. Sistema i magnitnyj metod dlja obnaruzhenija ferromagnitnyh tel v nemagnitnyh sredah: dis. kand. tehn. nauk: 05.11.03 / Kalashnikova O.N. – Har'kov, 2003. – 161 s.
3. Gandur M.M. Analiz magnitnyh sistem datchikov skorosti vrashhenija s postojannymi magnitami: dis. kand. tehn. nauk: 05.09.92 / Gandur M.M. – M., 1992. – 120 s.
4. Metody rascheta jelectrostaticheskikh polej / [Miroljubov N.N., Kostenko M.V, Levinshtejn M.L., Tihodeev N.N.]. – Vysshaja shkola, 1963. – 414 s.
5. Jakovenko V.V. Magnitnye datchiki mehanicheskikh velichin / Datchiki i metody povyshenija ih tochnosti: ucheb. posobie - K.: Vishha shkola, 1989. – S. 57-109.

Bezkorovaynyy V.S. - Post-graduate student "Electromechanics" East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl.
Sinan Talib – Post-graduate student "Electromechanics" East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl.

Reviewer: V. Yakovenko Doctor of Science Professor of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University