

УДК 631.362

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МАГНІТОКЕРОВАНИХ КОНТАКТІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФЕРОМАГНІТНИХ ТІЛ

Просвірнін В.І., д.т.н.,

Богатирьов Ю.О., інженер,

Кузнецов І.О., к.т.н.,

Гулевський В.Б., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (06192)42-23-41

**Анотація** – робота присвячена вивченню можливості виявлення феромагнітних тіл в сипких сільськогосподарських матеріалах пристроями на основі магнітокерованих контактів. Отримано залежності, які визначають зміну магнітної індукції в робочій зоні пристрою виявлення на магнітокерованих контактах.

**Ключові слова** – феромагнітні тіла, пристрій виявлення, магнітокерований контакт.

*Аналіз проблеми.* Більшість електромагнітних залізовідділювачів (ЕМЗ), що використовується в сільському господарстві для вилучення феромагнітних тіл (ФМТ) з потоку сипких сільськогосподарських матеріалів працюють в тривалому режимі. Це приводить до нерациональної витрати електроенергії і матеріальних ресурсів.

Для підвищення технічних показників і зниження споживання електроенергії використовуються пристрої виявлення феромагнітних тіл, засновані в більшості своїй на індукційному принципі. Використання даних пристроїв дозволяє змінити режим роботи ЕМЗ, проте приводить до достатньо істотних капітальних витрат. У те й же час представляє інтерес можливість реалізації пристрою виявлення за допомогою інших елементів – магнітокерованих контактів.

*Аналіз досліджень.* Існуючі дослідження [2-5] в області виявлення феромагнітних тіл за допомогою магнітокерованих контактів носять несистемний характер, відсутні детерміновані методики розрахунку параметрів пристроїв виявлення.

*Постановка завдань дослідження.* Для визначення можливості використання магнітокерованих контактів, в якості елементів при-

строїв виявлення ФМТ необхідно розглянути процеси, які відбуваються в магнітному колі при проходженні ФМТ через робочу зону, насамперед зміну величини магнітної індукції в повітряному зазорі.

*Основна частина.* Конструкція пристрою виявлення на магнітокерованих контактах (рис.1.) складається з джерела живлення, намагнічуючої котушки з магнітопроводом, які створюють в робочій зоні постійне магнітне поле, магнітокерованих контактів, реагуючих на зміну поля при внесенні в робочу зону пристрою ФМТ і виконуючого елемента, комутуючого силове коло, наприклад, контактора, який включає ЕМЗ.

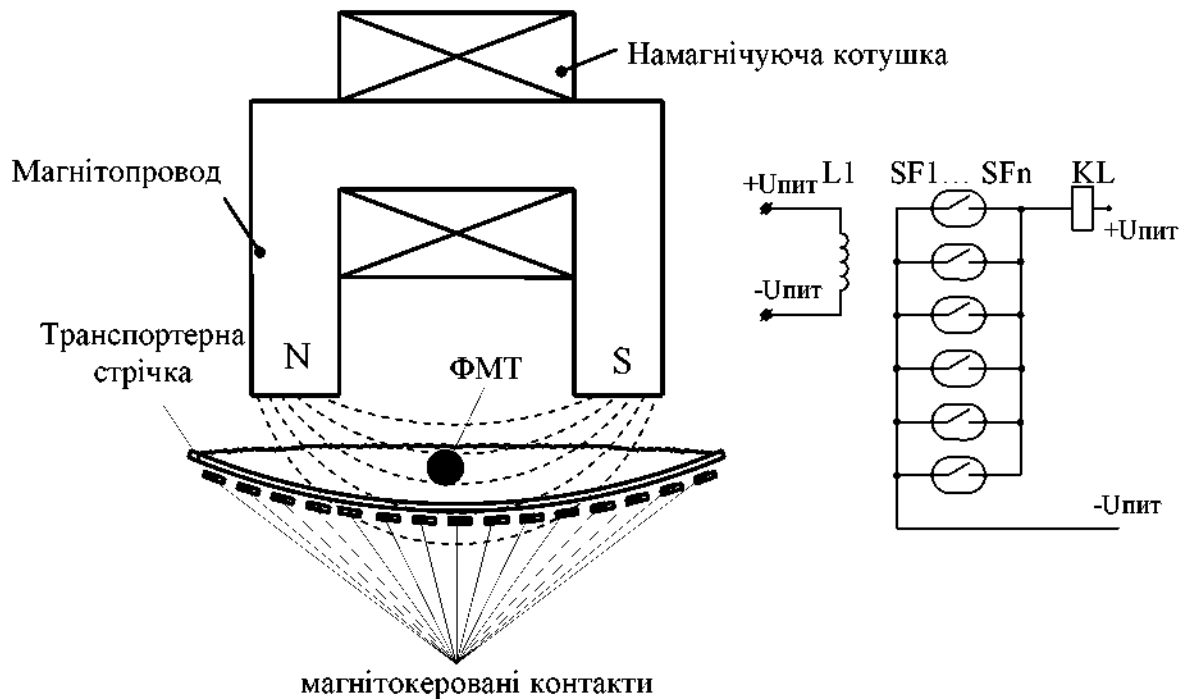


Рис. 1. Конструкція пристрою виявлення ФМТ на магнітокерованих контактах

Зміна параметрів магнітного кола відбувається, внаслідок того що ФМТ є тілом з магнітною проникністю  $\mu$  що у багато разів більше чим магнітна проникність  $\mu_0$  повітряного зазору в результаті чого зменшується його магнітний опір і відбувається збільшення магнітного потоку, що приводить до збільшення магнітної індукції в повітряному зазорі, і як наслідок спрацюванню магнітокерованого контакту.

Схема заміщення магнітного кола пристрою виявлення ФМТ на магнітокерованих контактах представлена на рис. 2.

Розглянемо детальніше процес зміни параметрів в магнітному колі для П-образного магнітопровода. Магнітний потік в колі (рис. 2) до внесення в робочу зону ФМТ визначається за виразом [1]:

$$\Phi_{\infty} = \frac{I \cdot W}{R_{\infty} + R_{\text{м}}}, \quad (1)$$

- де  $IW$  – магніторушійна сила обмотки, ампервітків;  
 $R_{\delta\delta o}$  – магнітний опір повітряного зазору до внесення ФМТ, Гн<sup>-1</sup>;  
 $R_m$  – магнітний опір магнітопровода, Гн<sup>-1</sup>.

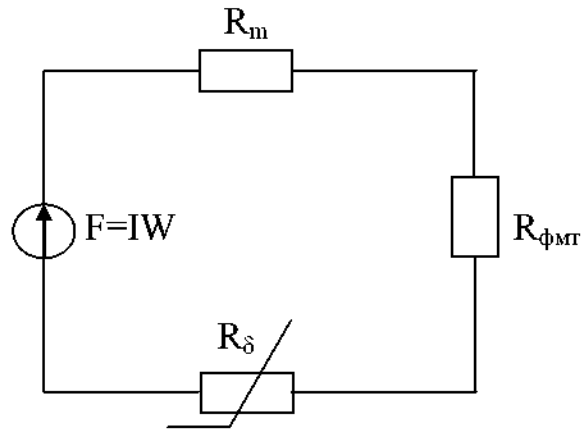


Рис. 2. Схема заміщення магнітного кола пристрою виявлення ФМТ на магнітокерованих контактах

Магнітні опори повітряного зазору і магнітопровода відповідно  $R_{\delta\delta o}$  і  $R_m$  визначаються за виразом (приймаємо поперечний переріз магнітопровода однаковим на всіх ділянках):

$$R_{\delta\delta o} = \frac{l_{\delta}}{\mu_0 \cdot S_{\delta}}, \quad R_m = \frac{l_m}{\mu_m \cdot \mu_0 \cdot S_m} \quad (2)$$

- де  $\mu_0$  – магнітна постійна,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;  
 $\mu_m$  – магнітна проникність матеріалу магнітопровода, Гн/м;  
 $l_{\delta}, l_m$  – довжина повітряного зазору і магнітопровода, м;  
 $S_{\delta}, S_m$  – поперечний переріз повітряного зазору і магнітопровода, м<sup>2</sup>.

Довжина повітряного зазору дорівнює:

$$l_{\delta} = s \cdot \psi, \quad (3)$$

- де  $s$  – міжполюсний шаг магнітопровода, м;  
 $\psi$  – коефіцієнт неоднорідності поля.

і тому  $R_{\delta\delta o} = \frac{s \cdot \psi}{\mu_0 \cdot S_{\delta}}$ .

Магнітний потік в магнітному колі при внесенні ФМТ в робочу зону:

$$\Phi_{\text{он}} = \frac{I \cdot W}{R_{\delta\delta \text{он}} + R_m + R_{\text{ФМТ}}} \quad (4)$$

- де  $R_{\delta\delta \text{он}}$  – магнітний опір повітряного зазору після внесення ФМТ, Гн<sup>-1</sup>;

$R_{\text{ФМТ}}$  – магнітний опір ФМТ, Гн<sup>-1</sup>.

$$R_{\delta\delta \text{он}} = \frac{l_{\delta} - l_{\text{ФМТ}}}{\mu_0 \cdot (S_{\delta} - S_{\text{ФМТ}})}; \quad R_{\text{ФМТ}} = \frac{l_{\text{ФМТ}}}{\mu_{\text{ФМТ}} \cdot \mu_0 \cdot S_{\text{ФМТ}}} \quad (5)$$

де  $l_{\phi_{\text{МТ}}}$  – довжина сторони куба, еквівалентного шару радіусом  $R_{\phi_{\text{МТ}}}$ ;

$\mu_{\phi_{\text{МТ}}}$  – магнітна проникність ФМТ;

$S_{\phi_{\text{МТ}}}$  – площа грані куба, еквівалентного шару радіусом  $R_{\phi_{\text{МТ}}}$ .

Об'єм куба еквівалентного шару ФМТ обчислюється за формулою:

$$V_{\phi_{\text{МТ}}} = \frac{4\pi R_{\phi_{\text{МТ}}}^3}{3} \quad (6)$$

$$\text{звідси } l_{\phi_{\text{МТ}}} = \sqrt[3]{V_{\phi_{\text{МТ}}}} = R_{\phi_{\text{МТ}}} \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3}}, \quad S_{\phi_{\text{МТ}}} = l_{\phi_{\text{МТ}}}^2 = R_{\phi_{\text{МТ}}}^2 \left(\frac{4\pi}{3}\right)^{2/3} \quad (7)$$

з урахуванням (3) та (7) вирази (5) приймають вигляд:

$$R_{\delta_{\text{ен}}} = \frac{s \cdot \psi - R_{\phi_{\text{МТ}}} \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3}}}{\mu_0 \cdot \left( S_{\delta} - R_{\phi_{\text{МТ}}}^2 \left(\frac{4\pi}{3}\right)^{2/3} \right)}, \quad R_{\phi_{\text{МТ}}} = \frac{1}{\mu_{\phi_{\text{МТ}}} \cdot \mu_0 \cdot R_{\phi_{\text{МТ}}} \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3}}} \quad (8)$$

Далі визначається абсолютна зміна магнітного потоку:

$$\Phi_{\text{абс}} = \Phi_{\text{ен}} - \Phi_{\delta_0} \quad (9)$$

Відносна зміна магнітного потоку знаходиться з виразу:

$$\Phi_{\text{відн}} = \frac{\Phi_{\text{абс}}}{\Phi_{\delta_0}} \quad (10)$$

Об'єднуючи вищеперелічені вирази, отримуємо, що:

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{відн}} &= \frac{\frac{IW}{R_{\delta_{\text{ен}}} + R_{\text{м}} + R_{\phi_{\text{МТ}}}} - \frac{IW}{R_{\delta_0} + R_{\text{м}}}}{\frac{IW}{R_{\delta_0} + R_{\text{м}}}} = \frac{R_{\delta_0} + R_{\text{м}}}{R_{\delta_{\text{ен}}} + R_{\text{м}} + R_{\phi_{\text{МТ}}}} = \\ &= \frac{\frac{s \cdot \psi}{S_{\delta}} + \frac{l_{\text{м}}}{\mu_{\text{м}} \cdot S_{\text{м}}}}{\frac{s \cdot \psi - R_{\phi_{\text{МТ}}} \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3}}}{S_{\delta} - R_{\phi_{\text{МТ}}}^2 \left(\frac{4\pi}{3}\right)^{2/3}} + \frac{l_{\text{м}}}{\mu_{\text{м}} \cdot S_{\text{м}}} + \frac{1}{\mu_{\phi_{\text{МТ}}} \cdot R_{\phi_{\text{МТ}}} \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3}}}} \quad (11) \end{aligned}$$

Так як в повітряному зазорі:  $\Phi = B \cdot S$  (12)

де  $B$  – магнітна індукція в повітряному зазорі, Тл;

$S$  – переріз повітряного зазору, м<sup>2</sup>.

то відносна зміна магнітної індукції буде дорівнювати:

$$B_{\text{відн}} = \Phi_{\text{відн}} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\phi_{\text{МТ}}}} \quad (13)$$

$$\text{тому } B_{\text{відн}} = \frac{s \cdot \psi + \frac{l_{\text{м}}}{\mu_{\text{м}} \cdot S_{\text{м}} \cdot S_{\delta}}}{S_{\phi_{\text{МТ}}} \left( \frac{s \cdot \psi - R_{\phi_{\text{МТ}}} \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3}}}{S_{\delta} - R_{\phi_{\text{МТ}}}^2 \left(\frac{4\pi}{3}\right)^{2/3}} + \frac{l_{\text{м}}}{\mu_{\text{м}} \cdot S_{\text{м}}} + \frac{1}{\mu_{\phi_{\text{МТ}}} \cdot R_{\phi_{\text{МТ}}} \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3}}} \right)} \quad (14)$$

*Висновки.* Отримана залежність визначає зміну магнітної індукції при внесенні ФМТ до робочої зони пристрою виявлення і доводить теоретичну можливість використання магнітокерованих контактів для побудови пристроїв виявлення ФМТ.

#### Література

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов, изд. 6-е, перераб. и доп. / Л.А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 1973. – 752 с.

2. Букреев В.В. Железоотделитель с комбинированной электромагнитной системой / В.В. Букреев // Технічна електродинаміка. Тем. випуск «Проблеми сучасної електротехніки». - Київ: НАН України, 2004. - Ч. 6. - С. 107-110.

3. Порозов В.А. Металлообнаружители в пищевой промышленности / В.А. Порозов. – М.: «Пищевая промышленность», 1975. – 152 с.

4. Сумцов В.Ф. Электромагнитные железоотделители / В.Ф. Сумцов. – М.: Машиностроение, 1978. – 174 с.

5. Чарыков В. И. Электромагнитные системы очистки сухих и жидких сельскохозяйственных продуктов от металлических примесей: дис.... докт. техн. наук: 05.20.02 / В. И. Чарыков; Сибирский государственный технологический университет – Челябинск – 2005. – 300 с.

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ КОНТАКТОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ТЕЛ

Просвирнин В.И., Богатырев Ю.О., Кузнецов И.О., Гулевский В.Б.

#### *Аннотация*

**Работа посвящена изучению возможности выявления ферромагнитных тел в сыпучих сельскохозяйственных материалах устройствами на основе магнитоуправляемых контактов. Получены зависимости, которые определяют изменение магнитной индукции в рабочей зоне устройства выявления на магнитоуправляемых контактах.**

### THEORETICAL GROUND OF THE USE MAGNET-CONTROLLED CONTACTS FOR EXPOSURE OF FERROMAGNETIC SOLIDS

V. Prosvirnin, Y. Bogatyrev, I. Kuznetsov, V. Gulevsky

#### *Summary*

**The article is dedicated to possible revealing ferromagnetic solids in powdery agricultural substances by means of the devices based on magnetic-controlled contacts. The dependencies determining magnetic induction change in the device working zone based on magnet-controlled contacts are obtained.**