

УДК 621-318

В. В. БУКРЕЕВ (канд.техн.наук, доц.)**Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля**
uni@snu.edu.ua

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МАГНИТОМОДУЛЯЦИОННОГО ДАТЧИКА

В статье предложен метод расчета коэффициента преобразования магнитомодуляционного датчика со стержневым сердечником и кольцевым модулятором. Такие датчики целесообразно применять в качестве магниточувствительных элементов в системах обнаружения ферромагнитных тел в потоке угля, перемещающегося на конвейерах угледобывающих и углеобогащительных предприятий. Приведены параметры датчика и результаты его экспериментального исследования.

Информационная система, магнитомодуляционный датчик, магнитный поток, модулятор, коэффициент преобразования.

Введение. Надежность автоматизированного извлечения ферромагнитных тел из угольного потока на транспортере в первую очередь зависит от качества функционирования информационной системы обнаружения ферромагнитных тел. Трудность построения информационной системы заключается в том, что, с одной стороны, датчики обнаружения ферромагнитных тел должны иметь достаточно низкий порог чувствительности (0,1 – 0,5) А/м, а, с другой стороны, они должны иметь высокую помехоустойчивость, так как информационная система функционирует в условиях высокого уровня как магнитных, так и электромагнитных помех [1].

В качестве магниточувствительных элементов в системе контроля угольного потока рациональным является использование стержневых феррозондов [2], которые обладают низким порогом чувствительности $H_{пор.}=0,001$ А/м, большой механической прочностью, временной и температурной стабильностью. Появление аморфных сплавов пермаллоя упростило технологию изготовления феррозондов и уменьшило их стоимость. Для увеличения мощности выходного сигнала датчика предлагается магнитная система, в которой используются стержни прямоугольного сечения и магнитный кольцевой модулятор. Поскольку главным параметром датчика является его коэффициент преобразования, предлагается математическая модель магнитного поля в системе, что является основой для расчета коэффициента преобразования магнитомодуляционного датчика.

Постановка задач исследования. Целью работы является расчет коэффициента преобразования магнитомодуляционного датчика, который используется в магнитной системе устройства обнаружения ферромагнитных тел в угольном потоке.

Материалы исследования. Выходной сигнал феррозондов имеет малую мощность, что создает определенные трудности при борьбе с помехами. Увеличить мощность выходного сигнала феррозондов можно путем увеличения площади сечения их сердечников. Иными словами, повысить эффективность датчиков обнаружения ферромагнитных тел можно за счет использования специальной магнитной системы магниточувствительных элементов; такие элементы называются магнитомодуляционными датчиками.

Предлагается метод расчета магнитных величин, несущих информацию о наличии ферромагнитных тел в немагнитной среде.

В немагнитной среде относительно ферромагнитного датчика перемещается ферромагнитное тело. Это ферромагнитное тело может:

- быть предварительно намагничено системой постоянных магнитов или катушек с током;
- находиться в приложенном внешнем постоянном или переменном магнитном поле;
- намагничиваться полем Земли ($H_3=40$ А/м).

Во всех перечисленных случаях, определяющих принципы построения первичных преобразователей информационной системы, тело будет в большей или меньшей мере намагничено и его магнитное состояние будет характеризоваться вектором намагниченности в объеме ферромагнитного тела. Намагниченность будет или остаточная, или индуцированная внешним полем.

Ферромагнитный датчик представляет собой сердечник с линейными размерами 180x15x5 мм с воздушным зазором длиной 10 мм, в котором расположены два стержня, представляющие собой модулятор. В обмотку модулятора подается напряжение возбуждения частотой 5-10 кГц (рис.1).

Если считать, что ферромагнитное тело в потоке угля имеет форму шара, магнитная проницаемость формы которого $m=3$, то согласно теореме о взаимности [3], магнитный поток в сердечнике магнитомодуляционного датчика будет равен

$$\Phi = \frac{8\mu_0\pi R^2}{3i_K W_R} \cdot H_K \cdot H_3, \quad (1)$$

где H_3 – поле Земли, R – радиус ферромагнитного тела, $i_K W_K$ – намагничивающая сила обмотки, расположенной на сердечнике магнитомодуляционного датчика, H_K – напряженность поля, создаваемого датчиком.

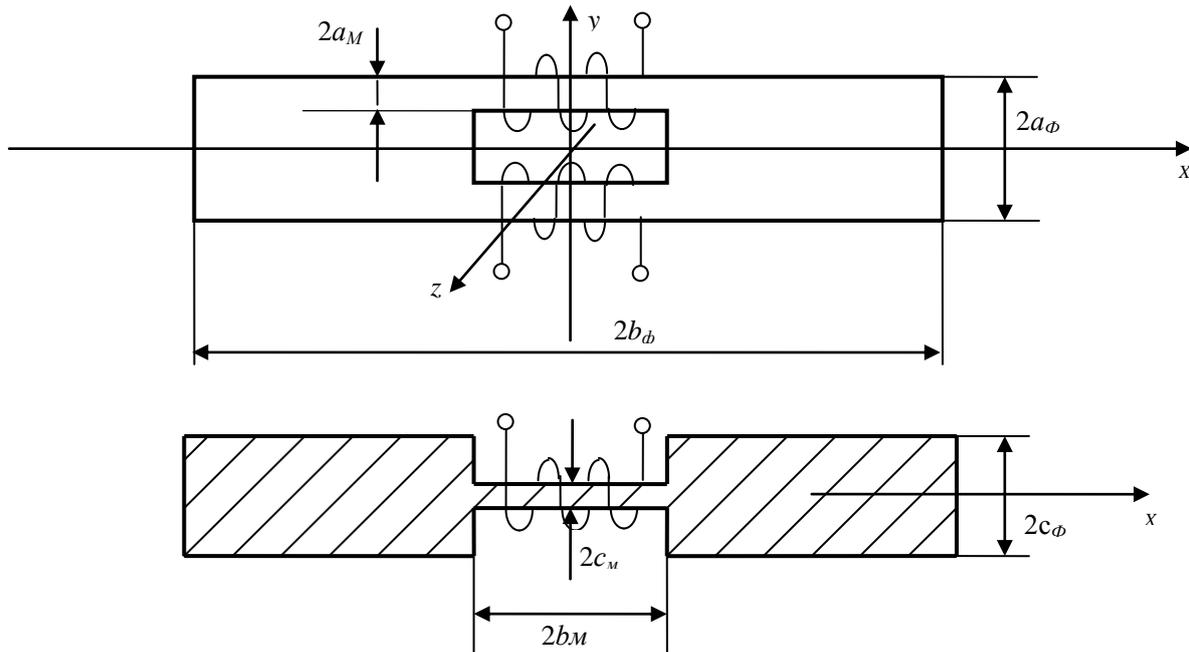


Рисунок 1 – Конструкция магнитомодуляционного датчика

Так как $a_\phi \gg c_\phi$, то в первом приближении магнитный поток в сердечнике магнитомодуляционного датчика будет равен

$$\Phi = \frac{\mu_0 R^3}{3} \left(\frac{1}{b_M} + \frac{1}{b_\phi} \mu_\phi \right) H_3 \left[\operatorname{arctg} \frac{(x-x_j)(y-y_j)}{(z-c_\phi)A_j} \Big|_{-a_\phi}^{b_\phi} - \operatorname{arctg} \frac{(x-x_j)(y-y_j)}{(z+c_\phi)A_j} \Big|_{-a_\phi}^{b_\phi} \right], \quad (2)$$

$$A_j = \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 + (z-z_j)^2},$$

здесь x, y, z – координаты точки наблюдения; μ_ϕ – относительная магнитная проницаемость сердечника.

Максимальное значение поток Φ принимает при $x=0, y=0$, которое равно

$$\Phi \approx \frac{\mu_0 R^3}{3} \left(\frac{1}{b_M} + \frac{1}{b_\phi} \mu_\phi \right) H_3 \left[\operatorname{arctg} \frac{a_\phi b_\phi}{(z-c_\phi)A_\phi} - \operatorname{arctg} \frac{a_\phi b_\phi}{(z+c_\phi)A_\phi} \right], \quad (3)$$

$$A_\phi = \sqrt{a_\phi^2 + b_\phi^2 + (z-c_\phi)^2}.$$

Результаты расчета магнитного потока в сердечнике магнитомодуляционного датчика, индуцированного магнитным полем Земли H_3 , позволяют заключить, что увеличение $2b_\phi$ не приводит к существенному увеличению коэффициента преобразования датчика. Существенным фактором, влияющим на коэффициент преобразования магнитомодуляционного датчика, являются параметры a_ϕ и c_ϕ .

Если принять допущения о том, что обмотка возбуждения модулятора питывается от источника тока, а выходная обмотка находится в режиме холостого хода, то выходное напряжение модулятора будет равно

$$U_2 = W_2 S \frac{d}{dt} (B_a - B_b), \quad (4)$$

где B_a, B_b – значения магнитной индукции в стержнях модулятора; W_2 – количество витков выходной обмотки; S – площадь сечения сердечников модулятора.

Индукцию в сердечниках модулятора можно представить так

$$B_a = B(H + H_0); \quad B_b = B(H - H_0), \quad (5)$$

где H – напряженность поля возбуждения, H_0 – напряженность измеряемого поля. Тогда (4) переписывается так

$$U_2 = W_2 S \frac{d}{dt} [B(H + H_0) - B(H - H_0)]. \quad (6)$$

Режим работы модулятора характерен тем, что напряженность измеряемого поля много меньше напряженности поля возбуждения ($H \gg H_0$). Тогда зависимости (5) можно разложить в ряд Тейлора

$$B_a = B(H) + \frac{dB}{dH} H_0 + \frac{1}{2} \frac{d^2B}{dH^2} H_0^2 + \dots$$

$$B_b = B(H) - \frac{dB}{dH} H_0 + \frac{1}{2} \frac{d^2B}{dH^2} H_0^2 + \dots$$
(7)

и выходное напряжение модулятора будет равно

$$U_2 \approx 2W_2S \frac{d}{dt} \left(\frac{dB}{dH} H_0 \right).$$
(8)

Поскольку

$$\frac{dB}{dH} = \mu_0 \mu_g(H),$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; $\mu_g(H)$ - относительная магнитная проницаемость сердечника модулятора, (8)

можно записать так

$$U_2 = 2W_2S\mu_0 \frac{d\mu_g(H)}{dt} H_0.$$
(9)

Существует несколько видов аппроксимации зависимости $B(H)$. Для сердечников модулятора можно использовать арктангенсную аппроксимацию [4]

$$B = \frac{2}{\pi} \arctg \frac{H}{H_S},$$
(10)

где H_S - напряженность магнитного поля насыщения сердечников модулятора.

При дифференцировании (10) получаем

$$\frac{dB}{dH} = \mu_0 \mu(H) = \frac{2}{\pi} \frac{B_S}{H_S} \frac{1}{1 + \left(\frac{H}{H_S} \right)^2},$$
(11)

здесь B_S - индукция насыщения сердечников.

Таким образом, можно записать

$$\mu(H) = \mu_S \frac{1}{1 + \left(\frac{H}{H_S} \right)^2},$$
(12)

где $\mu_S = \frac{2}{\mu_0 \pi} \frac{B_S}{H_S}$.

При синусоидальном токе возбуждения модулятора $i = I_m \sin \omega t$ напряженность магнитного поля в сердечниках модулятора также изменяется по синусоидальному закону

$$H(t) = H_m \sin \omega t,$$
(13)

где $H_m = \frac{I_m W_1}{l}$, W_1 - число витков обмотки возбуждения, l - длина сердечников модулятора, ω - угловая частота тока возбуждения.

При подстановке (13) в (12) получается

$$\mu_g(H) = \mu_S \frac{1}{1 + \frac{H_m^2}{H_S^2} \sin^2 \omega t}.$$
(14)

Следовательно

$$\frac{d\mu_g(H)}{dt} = \mu_S \frac{H_m^2}{H_S^2} \frac{\sin 2\omega t \cdot \omega}{\left(1 + \frac{H_m^2}{H_S^2} \sin^2 \omega t \right)^2}.$$
(15)

Выходной сигнал модулятора при измерении напряженности поля H_0 будет равен

$$U_2 = 2W_2 S \mu_0 \mu_S \frac{H_m^2}{H_S^2} \frac{\sin 2\omega t \cdot H_0 \cdot \omega}{\left(1 + \frac{H_m^2}{H_S^2} \sin^2 \omega t\right)^2}. \quad (16)$$

Соответственно коэффициент преобразования магнитомодуляционного датчика с кольцевым модулятором определяется следующим соотношением

$$k_\Phi = \frac{U_{2m}}{H_0} = 2W_2 S \mu_0 \mu_S \omega \frac{H_m^2}{H_S^2} \frac{1}{\left(1 + \frac{H_m^2}{H_S^2} \sin^2 \omega t\right)^2}. \quad (17)$$

Определена функция преобразования магнитомодуляционного датчика и диапазон измерения напряженности магнитного поля. Порог чувствительности магнитомодуляционного датчика составляет 0,02 А/м, коэффициент преобразования 0,2 Вм/А.

Экспериментальные исследования проводились для магнитомодуляционных датчиков, имеющих следующие параметры: $2a_\Phi=20-40$ мм; $2b_\Phi=100-300$ мм; $2c_\Phi=5-10$ мм; $2a_M=2,5-4$ мм; $2b_M=30-40$ мм; $2c_M=5-0,1$ мм; $\mu_\Phi=47-255$; $W_1=200$ витков; $W_2=200$ витков. Экспериментально определялись коэффициент преобразования магнитомодуляционного датчика и его порог чувствительности. Полученные в эксперименте значения находились в диапазонах $K_\Phi=0,09-0,28$ Вм/А; порог чувствительности 0,012–0,028 А/м.

При сравнении расчетных данных и результатов эксперимента установлено, что расхождение между ними не превышает 7%.

Для возможности контроля по всей ширине транспортера используется несколько магнитомодуляционных датчиков, образующих магнитную систему информационного устройства обнаружения ферромагнитных тел в угольном потоке.

Выводы. Предложен метод расчета коэффициента преобразования магнитомодуляционного датчика, который является основным элементом конструкции магнитной системы информационного устройства обнаружения ферромагнитных тел в угольном потоке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашникова О.Н. Система обнаружения ферромагнитных тел в потоке угля / Калашникова О.Н., Криеренко А.Г., Букреев В.В. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Зб. наук. пр. – Хмельницький: ТУП, 2002. – Вип. №9 (2002). – Т.1. – С.76-79.
2. Калашникова О.Н. Датчик обнаружения ферромагнитных тел автоматических систем управления / Калашникова О.Н., Криеренко А.Г., Букреев В.В. // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск "Проблеми сучасної електротехніки". – 2002. – Ч.5. – С. 112-113.
3. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники / Поливанов К.М. – Ч.3 – М.: Энергия, 1975. – 120 с.
4. Беркман Р.Я. Об общности и существенных различиях в анализе условий возбуждения магнитных модуляторов феррозондов/ Беркман Р.Я., Мартынюк-Лотоцкий Р.Е. // Элементы систем отбора и передачи информации. – К.: 1985. – С. 95-103.

Надійшла до редколегії 11.04.2011

Рецензент: І.П.Заболотний

В.В. БУКРЕЄВ

Східноукраїнський національний університет
імені Володимира Даля

V. BUKREYEV

The East-Ukraine Volodymyr Dahl National University

Розрахунок коефіцієнта перетворення магнітотодуляційного датчика. У статті запропонований метод розрахунку коефіцієнта перетворення магнітотодуляційного датчика із стрижньовим сердечником і кільцевим модулятором. Такі датчики доцільно застосовувати як магніточутливі елементи в системах виявлення ферромагнітних тіл в потоці вугілля, що переміщується на конвеєрах вугледобувних і вуглезбагачувальних підприємств. Приведені параметри датчика і результати його експериментального дослідження.

Інформаційна система, магнітотодуляційний датчик, магнітний потік, модулятор, коефіцієнт перетворення.

Calculation of Transformation Coefficient of Magnetic Modulation Sensor. The authors propose a method for calculating of transformation coefficient of magnetic modulation sensor with rod-type core and ring modulator. Such sensors are appropriate to use as a magnetically sensitive elements in the systems detecting ferromagnetic bodies in the flow of coal moving on conveyors of coal-mining and coal-separating enterprises. Parameters of the sensor and the results of its experimental investigation are shown.

Information system, magnetic modulation sensor, magnetic flux, modulator, transformation coefficient.