

# Вибір конструктивних параметрів трикомпонентного індукційного перетворювача для магнітодинамічного дефектоскопа залізничних рейок

*Г. Р. Трохим*

Лабораторія вібродіагностики, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,  
Львів, Україна  
george@ipm.lviv.ua

*П. Б. Дуб*

Лабораторія вібродіагностики, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,  
Львів, Україна  
dicma@ipm.lviv.ua

*І. М. Яворський*

Інститут телекомунікації Технологічно-природничого університету; Бидгощ, Польща.  
javor@atr.bydgoszcz.pl

## Анотація

Представлено один з можливих підходів до розробки трикомпонентного індукційного перетворювача для магнітодинамічної дефектоскопії залізничних рейок, який дозволяє оптимізувати та узгодити його електричні та геометричні характеристики.

## 1. Вступ

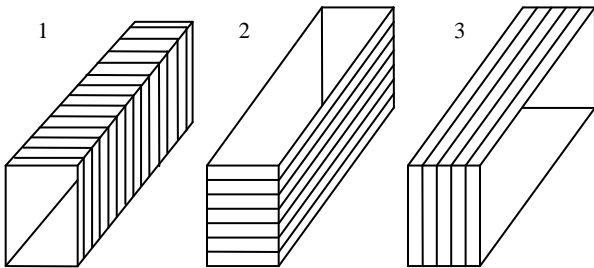
Використання методів теорії періодично корельованих випадкових процесів при магнітодинамічній дефектоскопії залізничних рейок у випадку реєстрації поздовжньої компоненти магнітного поля (МП) [1] навіть для одномірного сигналу показало задовільні можливості покращення співвідношення сигнал/шум. Отримані результати можуть бути покращені використанням більшої кількості інформативних каналів. За додатковими проєкціями повного вектора відповідної дефекту просторової магнітної аномалії повніше відобразатимуться кореляційні властивості результатів його сканування на фоні майже

періодичного процесу, викликаного наявністю підкладок. Для досягнення вказаних результатів необхідно розробити трикомпонентний індукційний перетворювач, взаємноортогональні намоти якого охоплюватимуть однакові призматичні об'єми простору, будучи при цьому взаємноортогональними та володіючи однаковими електромагнітними параметрами перетворення магнітного потоку в е. р. с. корисного сигналу.

## 2. Основні вихідні твердження та методика розрахунку

У [2] було показано необхідність рознесення центрів індукційних перетворювачів (ІП) окремих компонент трикомпонентного індукційного давача для магніто динамічної діагностики рейок. В якості робочої гіпотези, було прийнято, що для забезпечення ідентичності перетворення характеристик магнітного поля в електричний сигнал окремими компонентами намоти окремих ІП мають охоплювати однаковий об'єм простору.

У випадку виконання таких намотів на взаємноортогональних гранях куба це твердження не викликало б сумнівів, до того ж об'єм був би той самий. Однак, таке розв'язання неможливо зrealізувати на практиці навіть для давачів вільного простору як у [3], де окремі ІІ виконують у вигляді прямокутних рамок з мінімальним відхиленням від квадрата, отримуючи з тим можливість вставити рамки меншою стороною всередину більшої, а таким чином отриману систему встановити на горизонтальну рамку зверху вже без суміщення з її центром. Для випадку рейкової дефектоскопії навіть таке рішення не прийнятне, що і було представлено в [2]. Додатковою проблемою для досягнення ідентичності окремих компонент в цьому випадку при однаковому об'ємі охоплення виступає відмінність в кількості витків при виконанні намотів одношаровими та різна площа одного витка.



*Рисунок 1:* Схематичне зображення компонентування трикомпонентного індукційного перетворювача: 1 – ІІ поперечної до напрямку руху горизонтальної складової МП, 2 – ІІ вертикальної складової МП (нормальної до поверхні головки ЗР), 3 – ІІ тангенціальної (вздовж ЗР) складової.

### 2.1. Задання вихідних усталень

Так з рис.1 видно, що для поперечної горизонтальної складової МП (1) кількість витків намоту буде значно більшою від решти. Найменшою вона буде для ІІ тангенціальної поздовжньої складової МП (3). Таким чином, ставиться задача забезпечення

ідентичності характеристик трьох ІІ виконаних одношаровими намотами на трьох прямокутних призмах, де довша грань відповідає ширині головки рейки, найкоротша грань - допустимій дискретності представлення сигналу від рейки по довжині (на максимальній швидкості руху і для вибраної частоти дискретизації АЦП), а середня – допустимим віддаленням від поверхні головки рейки.

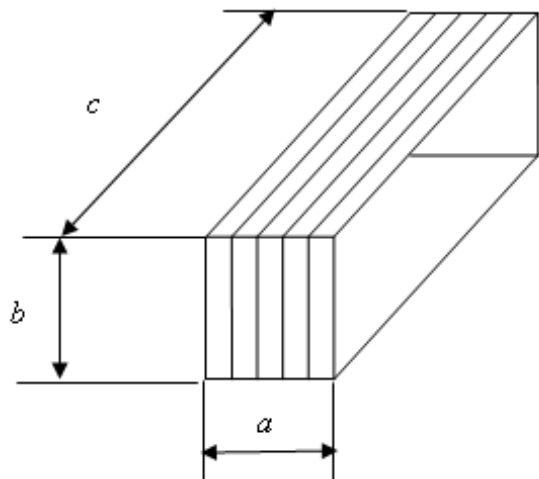
### 2.2. Задання геометричних розмірів компоненти ІІ

Виберемо геометричні розміри компонент ІІ:

- За поперечною складовою МП (за шириною головки рейки) – 80 мм.
- За поздовжньою – 5 мм.,
- За нормаллю до поверхні головки – 10 мм.

### 2.3. Розрахунок кількості витків та індуктивності

Розрахунок почнемо від котушки з найменшою кількістю витків. Очевидно, це буде ІІ поздовжньої компоненти і довжина соленоїда при цьому буде найменша, що за вибраного мінімального діаметру дроту (0,2 мм) дасть 25 витків намоту.



*Рисунок 2:* ІІ тангенціальної (вздовж ЗР) складової.

За даними [4] використаємо точну формулу для прямокутного соленоїда:

$$L = \frac{\mu_0}{\pi} w^2 \frac{bc}{a} \left[ \frac{a}{b} \ln \frac{c+v}{a} + \frac{a}{c} \ln \frac{b+u}{a} - \left( \frac{a}{b} - \frac{b}{a} \right) \ln \frac{c+s}{u} - \left( \frac{a}{c} - \frac{c}{a} \right) \ln \frac{b+s}{v} - \frac{b}{a} \ln \frac{c+t}{b} - \frac{c}{a} \ln \frac{b+t}{c} + \frac{2a^2}{3bc} - \frac{1}{3} \left( 2 \frac{a}{c} - \frac{c}{a} \right) \frac{v}{b} - \frac{1}{3} \left( 2 \frac{a}{b} - \frac{b}{a} \right) \frac{u}{c} + \frac{1}{3} \frac{2a^2 - t^2}{abc} s + \frac{1}{3} \frac{t^3 - b^3 - c^3}{3abc} + 2 \left( \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{bc}{as} \right) \right], \quad (1)$$

де  $s = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$ ;  $t = \sqrt{b^2 + c^2}$ ;  $u = \sqrt{a^2 + b^2}$ ;  $v = \sqrt{a^2 + c^2}$  (на рис. 2-4 показано, які розміри у кожному випадку треба розуміти під  $a, b, c$ ).

Громізdkість даної формули не має вирішального значення для проектних розрахунків на комп'ютері. У табличному процесорі запрограмуємо цю формулу, задавши всі геометричні величини котушки як константи.

Для реалізованої при вибраному діаметрі дроту кількості витків  $w = 25$  за формулою (1) отримаємо значення індуктивності 47 мкГн.

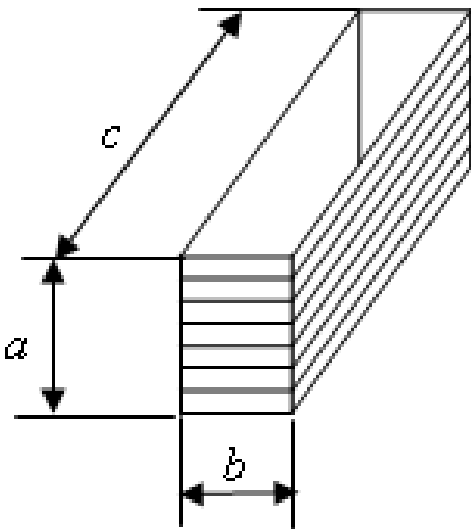


Рисунок 3: ІІІ нормальної (вертикальної) складової.

При розрахунку ІІІ для вертикальної компоненти МП (рис. 3) для діаметру дроту надамо приросту величиною 0,015 мм. Близьке значення індуктивності  $L = 48$  мкГн отримаємо при 38 витках, намотаних дротом з діаметром 0,25 мм.

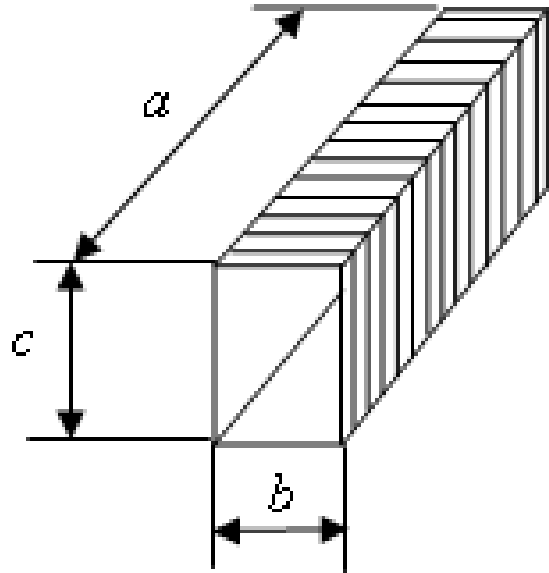


Рисунок 4: ІІІ поперечної (до напрямку руху) складової.

Для поперечної компоненти 47 мкГн індуктивності буде отримано при 250 витках намоту за діаметру дроту 0,32 мм.

Для даних варіантів намоту отримаємо наступні еквівалентні площі для чутливості окремих компонент:

Таблиця 1: Параметри компонент

| Компонента  | Кількість витків | Індуктивність, мкГн | Діаметр дроту, мм | Еквівалентна площа, м <sup>2</sup> |
|-------------|------------------|---------------------|-------------------|------------------------------------|
| Поперечна   | 250              | 47                  | 0,32              | 0,0125                             |
| Вертикальна | 38               | 48                  | 0,25              | 0,0152                             |
| Поздовжня   | 25               | 47                  | 0,2               | 0,02                               |

За даними таблиці 1 видно, що найбільший коефіцієнт перетворення матиме класична тангенціальна компонента, а різницю чутливості решти ІП (в 1,6 – 1,3 рази) можна легко буде компенсувати електронним підсиленням сигналу.

Можливу різницю еквівалентних ємностей намоту усунемо виставленням частот власних резонансів додатковими ємностями навантаження. Таким чином можна досягнути майже повної ідентичності передавальних частотних характеристик. Відповідно підвищиться і надійність ідентифікації типів дефектів.

### 3. Обговорення

Запропонована авторами структура трикомпонентного давача з розміщенням окремих просторових компонент в одній площині та рознесенні їх геометричних центрів за напрямом сканування основана на особистому практичному досвіді побудови ІП та обробки отриманих з них сигналів, зокрема, і у випадку вимірювальних лиж магнітодинамічного рейкового дефектоскопа. Тим не менше, запропонована одношарова конструкція намотів та рівність об'ємів окремих компонент, рівно як і пропозиція вирівнювання коефіцієнтів перетворення за допомогою підсилювачів та вирівнювання власних індуктивностей окремих компонент не претендують на всеохоплюючу оптимальність. Так, вибраний критерій однаковості об'ємів при його деякому послабленні дозволяє сумістити геометричні центри, але це призведе до зниження ремонтпридатності такого перетворювача.

### 4. Висновок

Запропонована методика розрахунку трикомпонентного ІП для магнітодинамічної дефектоскопії залізничних рейок дозволяє оптимізувати та узгодити електричні характеристики ІП з геометричними вимогами практичної реалізації.

### 5. Посилання

- [1] Ісаєв І.Ю., Нічога В.О., Трохим Г.Р., Яворський І.М. Використання методів теорії періодично корельованих процесів для виявлення дефектів залізничної колії на ранній стадії їх зародження / *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. – № 4, 5 (37). – 2002. – С. 110-113.
- [2] Трохим Г.Р. До побудови трикомпонентного індукційного перетворювача для магнітного вагона-дефектоскопа / *Праці III науково-технічної конференції "Обчислювальні методи і системи перетворення інформації" (25-26 вересня 2014 р.)*, Львів. 2014. - 3 с. (у друці).
- [3] Гнатюк А.С., Дуб П.Б., Мизюк Л.Я., Нічога В.А., Ясиновий А.С. Индукционные преобразователи для измерения гармонических и импульсных магнитных полей в электроразведочной технике // *Геофизическая аппаратура*. - 1991. - Вып.95. - С. 39-48.
- [4] Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. *Расчет индуктивностей: Справочная книга*. — 3-е издание, переработанное и дополненное. Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1986. — 488 с.