

## **АНАЛІЗ РІЗНОВИДІВ ВИЯВЛЕННЯ ЗМІНИ МАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ В ЗОНІ СПРАЦЬОВУВАННЯ ТОЧКОВОГО КОЛІЙНОГО ДАТЧИКА**

### **Вступ**

У нашій країні залишилося багато точкових колійних датчиків (ТКД) за часів СРСР. Це індукційні – ПБМ 56, ДМ88, диференціальний ДП 50 80. Ці датчики були розроблені для гіркової централізації. Є також нова розробка Українського виробника. Це датчики ДЕ 96 з генераторним реєстратором, але вони також застосовуються тільки для контролю заповнення колії на підгірковому парку. Для інших приладів залізничної автоматики, а також інформаційних систем, для яких потрібні ТКД з високою точністю знаходження позиції осі колісної пари, надійного рахунку осей при великих швидкостях, у теперішній час доводиться закупувати за кордоном. Ці ТКД по-перше економічно не вигідно впроваджувати, а по-друге – вони не зовсім пристосовані для наших умов праці. Деякі ТКД, за вимогою їх виробників, взагалі доводиться закупувати разом з системами, що в умовах кризи не припустимо для вітчизняного товаровиробника. В зв'язку з цим потрібно знаходити нові методи підвищення достовірності, швидкодії первинних перетворювачів, а також точності знаходження осі над даною точкою й таким чином удосконалювати існуючі ТКД.

### **Постановка проблеми**

Розробляючи ТКД, найчастіше спрощували конструкцію первинного перетворювача. Так, у ДЕ 96 – це котушка індуктивності, ДП 50 80 – трансформатор з повітряним зазором, ЗР 43 – передавач та приймач радіосигналів. Але колеса колісної пари мають, крім феромагнітної маси, ще й залишкову магнітну індукцію. Крім того, при знаходженні їх у зоні спрацювання точкових первинних датчиків, змінюється величина магнітного поля, джерелом якого є як намагнічена рейка та поле Землі.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Створенню теоретичної та практичної частини первинних точкових датчиків найбільш уваги приділяється в роботах [1-5], але в них мало уваги приділяється підвищенню чутливості датчиків на залишкову намагніченість як колеса колісної пари рухомої одиниці залізничного транспорту, так і на збурення магнітного поля рейки та Землі.

### **Мета роботи**

Підвищення чутливості точкового колійного датчика за рахунок реєстрації зміни величини магнітного поля у зоні спрацювання чутливого елемента під дією залишкового поля колеса колісної пари рухомої одиниці залізничного транспорту та рейки.

## Виклад основного матеріалу

Для створення первинних перетворювачів магнітних величин використовують різні прояви магнітного поля – електричний, механічний, оптичний та ін. Із перетворювачів магнітних величин на електричні найбільш поширеними є індукційні, фероіндукційні, гальваномагнітні та квантові [6].

Гальваномагнітні перетворювачі використовують ефекти, що виникають у речовинах, через які проходить електричний струм при одночасній дії на них магнітного поля. Для перетворення магнітних величин звичайно використовують гальваномагнітні ефекти Холла (магнітогенераторний) та Гаусса (магніторезистивний).

Принцип дії квантових перетворювачів ґрунтуються на використанні атомних, ядерних і електронних резонансних явищ, що виникають при збудженні атомів деяких речовин зовнішнім магнітним полем. За допомогою квантових вимірювальних перетворювачів (ядерних, атомних і електронних) можна вимірювати магнітні величини з похибкою до 0,01 – 0,005% і меншою, але використання їх для створення ТКД з урахуванням їх складної конструкції не доцільно.

Індукційні перетворювачі. Типовим представником індукційних перетворювачів є вимірювальна котушка (ВК). Якщо ВК з площею контуру витка  $S$  і числом витків  $w$  розміщена в магнітному полі (рис. 1), то повний магнітний потік, що зчіплюється з котушкою (потокочеплення) дорівнює наступній величині

$$y = w\Phi = \mu_0 \mu H S w \cos \alpha,$$

де  $H$  – напруженість магнітного поля;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнітна стала;  $\mu$  – відносна магнітна проникність середовища;  $\alpha$  – кут між напрямом вектора  $H$  і нормаллю до площини витків.

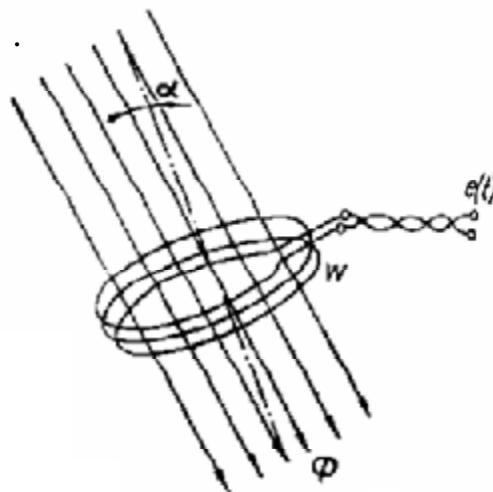


Рис. 1. Вимірювальна котушка в магнітному полі

При зміні потоку в контурі ВК наводиться ЕРС

$$e = -\frac{dj}{dt} = -w \left( \frac{d\Phi}{dt} \right).$$

Якщо магнітне поле рівномірне, то

$$e = -wS \left( \frac{dB}{dt} \right) \cos \alpha,$$

а коли, крім цього, магнітна проникність середовища в усіх точках, охоплених контуром витків котушки, є однаковою і сталою в часі, то

$$e = -wS\mu_0\mu \left( \frac{dH}{dt} \right) \cos \alpha.$$

Отже, наведена у ВК ЕРС при певних умовах може бути мірою магнітного потоку, індукції або напруженості магнітного поля.

Значення ЕРС, що наводиться у ВК, при інших рівних умовах залежить від добутку  $wS$ . У загальному випадку котушка може бути багатошаровою з різним значенням  $S$  окремих витків. Тому усереднене значення  $wS$ , що має назву сталої вимірювальної котушки  $K_{wS}$ , визначається експериментально у відомому магнітному полі.

Вимірювальні котушки можна застосовувати для магнітних вимірювань у постійному чи змінному магнітних полях. До першого випадку можна віднести швидкий прохід колісної пари над ВК. Тоді за проміжок часу  $t_2-t_1$  буде

$$\Delta\Phi = w\Delta\Phi = \int_{t_1}^{t_2} e dt = R \int_{t_1}^{t_2} i dt = RQ,$$

де  $i$  – струм;  $Q$  – кількість електрики;  $R$  – опір усього кола ВК, включаючи опір вимірювального приладу.

Отже, вимірявши імпульс ЕРС або імпульс струму (кількість електрики) і знаючи  $R$ , можна визначити зміну потоку, а при вище згаданих умовах також зміну індукції або зміну напруженості магнітного поля.

Для вимірювань у змінному періодичному магнітному полі, якщо під ВК установити випромінювач змінного поля, то

$$E_{cp} = \frac{E}{K_\phi} = 4f\phi_{max} = 4fw\Phi_{max},$$

де  $\Phi_{max}$  і  $\phi_{max}$  – амплітуди потоку і певного потокозчеплення відповідно;  $E$  і  $E_{cp}$  – діюче і середнє значення ЕРС;  $f$  – частота;  $K_\phi$  – коефіцієнт форми кривої.

Стаціонарні вимірювальні котушки виконують звичайно плоскими, прямокутного перерізу з парним числом шарів обмотки так, щоб початок і кінець її були в одному місці посередині котушки.

Окремим різновидом індукційного перетворювача є магнітний потенціометр, що призначений для вимірювання різниці магнітних потенціалів у двох точках простору.

Потенціометр являє собою плоску котушку на гнучкому або жорсткому каркасі однакового перерізу з рівномірно намотаною обмоткою. Число шарів витків є парне, щоб можна було вивести кінці обмотки з середини потенціометра (рис. 2). Потенціометри з гнучким каркасом (рис. 2, а) можна застосувати для виміру різниці магнітних потенціалів між будь – якими двома точками магнітного поля, а із жорстким (рис. 2, б) – між двома точками на відстані  $l$  між торцями потенціометра.

Якщо на одиницю довжини  $dl$  потенціалометра по його осі припадає  $w$  витків, то потокозчеплення з витками  $w dl$  буде

$$d\varphi = \mu_0 H_l w S dl,$$

де  $H_l$  – тангенціальна складова напруженості магнітного поля до осі потенціометра;  $S$  – площа перерізу потенціометра

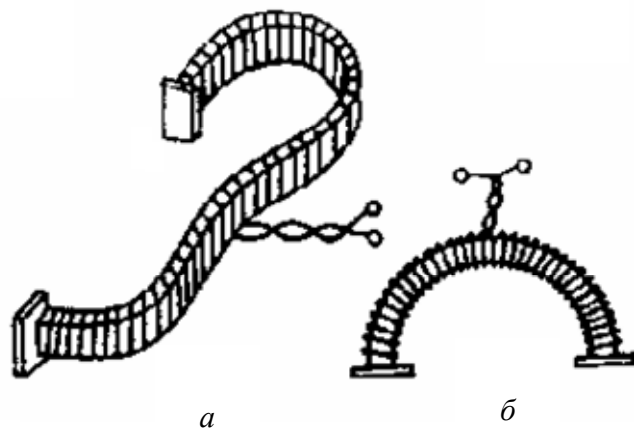


Рис 2. Види магнітних потенціометрів.

Якщо  $S$  і  $w$  незмінні по всій довжині потенціометра, то повне потокозчеплення його витків

$$\varphi = w S \mu_0 \int_A^B H_l dl = K_{\Pi} F_l,$$

де  $F_l$  – різниця магнітних потенціалів між точками простору  $A$  і  $B$ ;  $K_{\Pi} = w S \mu_0$  – стала потенціометра.

Одним із різновидів індукційних перетворювачів є фероіндукційні перетворювачі (ферозонди), принцип дії яких полягає у використанні зміни магнітного стану феромагнетика, намагнічуваного змінним магнітним полем збудження, при накладанні сталого магнітного поля, індукція якого вимірюється.

Існує кілька видів ферозондів, які відрізняються між собою способом збудження й просторовою орієнтацією магнітних полів (ферозонди з поздовжнім і поперечним збудженням), формою феромагнітного осердя (стержневі, кільцеві, трубчасті), використанням основної чи другої гармоніки ЕРС та інші.

Найбільш поширеними є двострижневі ферозонди з поздовжнім збудженням. Такі ферозонди мають два ідентичних пермалоевих стрижні з нанесеними на них намагнічуючими обмотками  $w_1$ , увімкненими зустрічно – послідовно (рис. 3). Вимірювальна обмотка  $w_2$  охоплює обидва стрижні. Амплітуда напруженості намагнічуючого поля ферозонда має бути достатньою для намагнічування стрижнів практично до насичення і значно більшою за напруженість досліджуваного поля  $H_x$ .

При повній ідентичності обох половин перетворювача і відсутності досліджуваного поля, ЕРС, наведена у вимірювальній обмотці, внаслідок симетрії потоків дорівнює нулю. За наявності підмагнічувального (вимірювального) поля, в напрямку якого розміщені стрижні ферозонда, симетрія потоків порушується і тому у вимірювальних обмотках з'являється ЕРС вищих парних гармонік (непарні гармоніки віднімаються). Наведена ЕРС є мірою досліджуваного поля  $H_d$ . При зміні напрямку підмагнічуючого поля на протилежний фаза вихідної ЕРС змінюється на 180 град.

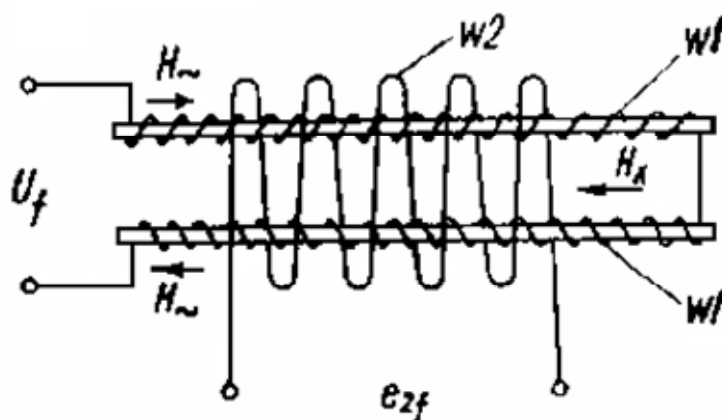


Рис. 3. Двострижневий ферозонд з поздовжнім збудженням

Оскільки у вихідному сигналі такого перетворювача переважає амплітуда другої гармоніки, то вони звичайно носять назву ферозондів другої гармоніки.

Ферозонди є винятково чутливими перетворювачами. За їх допомогою можна вимірювати напруженість магнітного поля від  $10^{-6}$  А/см з похибкою 1 – 2 %. За допомогою ферозондів можна також вимірювати напруженість змінного поля, але за умови, що частота збудження хоча б на порядок перевищуватиме частоту вимірюваного поля.

**Гальваномагнітні перетворювачі.** Гальваномагнітні ефекти спостерігаються при розміщенні провідника або напівпровідника із струмом у магнітному полі і полягають у зміні їх електричного стану або властивостей. До них, зокрема, відносять ефект утворення ЕРС (ефект Холла) і ефект зміни електричного опору (ефект Гаусса). Перетворювачі, побудовані на ефекті Холла, звичайно

називають генераторами Холла або магнітогенераторами, а перетворювачі, побудовані на другому ефекті, – магнітрезисторами.

Ці ефекти можуть спостерігатися в будь – якому провіднику чи напівпровіднику, проте найкраще вони виявляються в матеріалах з чисто електронною або дірковою провідністю (германій, кремній, вісмут, арсенід індію, антимонід індію), з яких і виготовляють гальваномагнітні перетворювачі. Гальваномагнітні ефекти відчутніші в матеріалах з високою рухомістю носіїв струму й низькою їх концентрацією.

Якщо тонку прямокутну пластинку розмістити в магнітному полі і до вузьких бокових граней підвести струм, то на широких – утворюється ЕРС і її опір зростає.

Утворення зазначених ефектів пояснюється дією сил Лоренца на рухомі носії струму в магнітному полі. Під дією цих сил траєкторія руху носіїв струму змінюється, електрони зміщуються до бокових граней, внаслідок чого на них утворюється електричні потенціали. Разом з тим збільшується шлях, який проходять носії струму, що рівносильно зменшенню їх рухомості і збільшенню опору пластинки.

Отже, обидва ефекти утворюються одночасно, але проявляються вони не в однаковій мірі, що істотно залежить від форми і співвідношення геометричних розмірів перетворювача.

Перетворювач Холла являє собою чотириполюсник, виконаний у вигляді тонкої пластинки (рис 4). Якщо через таку пластинку проходить електричний струм і одночасно діє магнітне поле, вектор магнітної індукції якого перпендикулярний до площини пластинки, то на протилежних бокових гранях, паралельних напрямку струму, утворюється ЕРС Холла:

$$E_{хл} = R_{хл} \frac{IB}{d},$$

де  $R_{хл}$  – стала Холла, значення якої залежить від властивостей матеріалу пластинки;  $I$  – керуючий струм перетворювача;  $B$  – магнітна індукція;  $d$  – товщина пластинки.

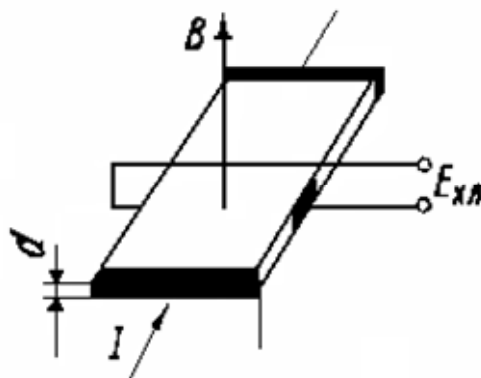


Рис. 4. Перетворювач Холла

ЕРС Холла може бути сталою або змінною залежно від того, в яке поле поміщений перетворювач і яким струмом він живиться. Якщо індукція досліджуваного поля і струм живлення постійні, то  $E_{хл}$  – стала. Якщо індукція поля постійна, а струм живлення змінний (і навпаки), то  $E_{хл}$  буде змінною і тієї ж частоти, що й частота змінної вхідної величини.

Перетворювачі Холла найчастіше виготовляють у вигляді тонких пластинок ( $d=0,1 - 0,5$  мм) або плівок. Плівкові перетворювачі разом з выводами виготовляють випаровуванням у вакуумі вихідної речовини, яка осаджується тонким шаром на ізоляційній підкладці. Вони можуть бути надзвичайно малих розмірів ( до часток квадратного міліметра).

У гальваномагнітному перетворювачі ЕРС Холла спричиняє поперечне електричне поле Холла, яке зрівноважує сили Лоренца. У перетворювачах Холла носії зарядів, зміщені силою Лоренца, будуть рухатися паралельно до бокових граней пластинки і зміна довжини їх шляху буде незначною. Тому в таких конструкціях ефект Гаусса проявляється слабо. Для сильного прояву ефекту Гаусса треба, щоб електричне поле Холла було слабке або зовсім відсутнє, тоді буде максимальне викривлення траєкторії руху носіїв заряду. Цього досягають підбором відповідної конструктивної форми перетворювача.

Останнім часом розроблено нові гальваномагнітні перетворювачі – магнітодіоди, що являють собою напівпровідниковий діод з несиметричним  $p - n$ -переходом, в яких провідність однієї області значно вища, ніж іншої. У магнітному полі опір такого діода збільшується пропорційно індукції, що приводить до зменшення струму через діод, а при забезпеченні незмінної сили струму – до збільшення спаду напруги на діоді. Чутливість таких перетворювачів у десятки разів вища за чутливість перетворювачів Холла і Гаусса.

Прикладом часткового застосування цих приладів може слугувати розроблений та запатентований як у Росії, так і в Україні [7] ТКД індукційного типу. У цій розробці використовується високочастотний модулятор, який працює на першій гармоніці. Але це перший крок у виявленні зміни магнітної індукції в зоні спрацьовування точкового колійного датчика при швидкості рухомого складу залізничного транспорту більше 200 кілометрів за годину.

## **Висновки**

За допомогою індукційних та гальваномагнітних перетворювачів можна створювати нові ТКД, причому необов'язково їх застосовувати окремо як основний датчик, але ними можна доповнювати вже існуючі ТКД і таким чином удосконалювати їх конструкцію.

## **Список літератури**

1. Данилов А.И. Устройство контроля перегона с использованием счетчика осей производства фирмы "Сименс" // Автоматика, телемеханика и связь. – 1995. – №10. – С.10-11.

2. Ульянов В.М. Индуктивные датчики в системах ж.д. автоматики // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 2. – С. 13-16
3. Прилипко А.А., Гриднев В. Н. Разработка датчиков контроля прохождения осей подвижных единиц /Сб. науч. тр. ХИИТ. – 1989. – Вып. 10. – С. 37 – 40.
4. Бухгольц В.П., Красовский Г.А., Штанке А.Э. Путевые датчики контроля подвижного состава на рельсовом транспорте. – М.: Транспорт, 1976. – 96 с.
5. Кириленко А.Г., Груша А.В. Счетчики осей в системах железнодорожной автоматики и телемеханики: Учеб. пособие – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2003. 75 с.
6. Электрические измерения. / Под ред. А.В. Фремке, Е.М. Душина. – Л.: Энергия, 1980. – 392 с.
7. Пат. 21955 Україна, МКІ<sup>6</sup> В 61 L 1/08, В 61 L 1/16. Колійний індуктивний датчик: Пат. 21955 Україна, МКІ<sup>6</sup> В 61 L 1/08, В 61 L 1/16 / М.М. Бабаєв, О.Ф. Демченко, Л.О. Ісаєв, А.А. Прилипко, Ю.В. Соболев (Україна). – № 94086638; Заявл. 11.08.94; Опубл. 30.04.98, Бюл.№ 2. – 3 с.