

УДК 621.317

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗАСОБІВ З ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИМИ ІНДУКЦІЙНИМИ ДАТЧИКАМИ

Т.П. КАЛАМЄЄЦЬ

Київський національний університет технологій та дизайну

У роботі розглянуто засоби, в яких використовуються диференціальні індукційні датчики для аналізу складу матеріалів та середовищ за допомогою автогенерації зонduючих магнітних полів. Розглянуті засоби можуть бути використані для дистинційного виявлення та фіксації місцезнаходження металевих предметів в малопровідних середовищах

Диференціальні індукційні датчики використовують в пристроях для дистанційного виявлення металевих предметів в діелектричних або малопровідних середовищах. Їх котушки випромінюють змінне магнітне поле, яке глибоко проникає в досліджуване середовище. Металеві предмети, які знаходяться в зоні дії цих полів перевипромінюють за рахунок індукованих струмів, магнітне поле, яке діє на датчик, змінюючи його електричні параметри. Складність виявлення і фіксації металевих предметів, особливо малих розмірів або малої ваги, заключається в необхідності вимірювання з високою точністю малих змін амплітуди, фази або частоти струмів котушок, які збуджують зонduюче магнітне поле.

Об'єкти та методи дослідження

Було проведено аналіз існуючих схем засобів, що використовують диференціальні індукційні датчики. В схемах, наведених в [1] перевипромінюване магнітне поле змінює частоту або фазу струмів, що генеруються. Пристрої з диференціальними індукційними датчиками, що наведені в [2] є найбільш чутливими. В цьому випадку одна котушка диференціального датчика використовується для випромінювання, а інша – для прийому. Параметри котушок в відсутності шуканого об'єкта обираються однаковими. У пристрої для дистанційного виявлення металевих предметів [3] температурна та часова нестабільність частоти вимірювального автогенератора і опорного генератора не дозволяють достовірно зареєструвати малі інформаційні зміни частоти коливального контуру, а значить, частоти автогенератора від наявності металевого предмета. При віддалених предметах або підвищеній провідності фонового середовища інформативні зміни частоти співрозмірні з частотними флуктуаціями обох генераторів, що ускладнює оцінку значення різницевої частоти.

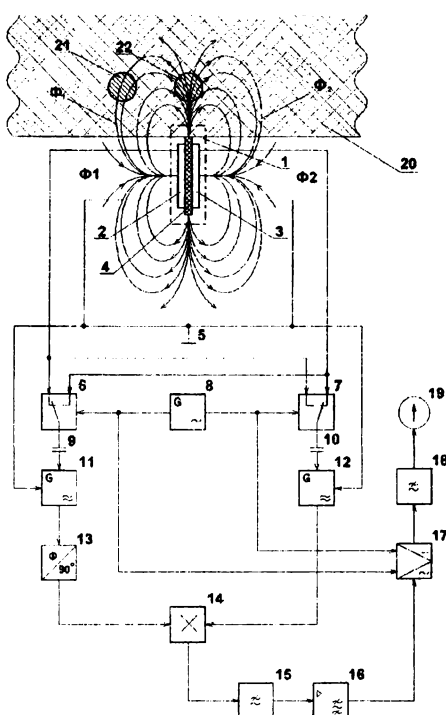
Недоліком відомих пристроїв є невисока точність знаходження металевих предметів через порушення встановленої рівності струмів, які протікають через зустрічно включені котушки диференціального датчика. Рівність струмів важко забезпечити при всіх можливих розлагодженнях коливального контуру відносно початкової частоти автогенератора через нелінійну залежність між резонансним струмом котушки датчика і вихідною напругою автогенератора.

Постановка завдання

Забезпечення більш високої чутливості і точності пристроїв з диференціальними індукційними датчиками для виявлення металевих предметів на провідному фоні досліджуваного середовища, що забезпечить виявлення малорозмірних металевих деталей і достовірну фіксацію їх місцезнаходження в досліджуваному просторі.

Результати та їх обговорення

Пристрій [4], схема якого представлена на рисунку, містить диференціальний датчик 1, який складається з двох плоских котушок 2 і 3, розміщених співвісно на одній діелектричній основі 4; зальна заземлена шина 5; автоматичні перемикачі 6 і 7; мультівібратор 8; конденсатори 9 і 10; автогенератори 11 і 12; квадратурний фазообертач 13; перемножувач напруг 14; фільтри нижніх частот 15 і 18; вибірковий підсилювач 16, налаштований на частоту перемикачів мультівібратора; фазочутливий випрямляч 17; індикатор 19. Позицією 20 позначено досліджуване середовище, позицією 21 вказано положення шуканого металевго предмета, а позицією 22 – положення шуканого предмета при зміщенні диференціального індукційного датчика ліворуч до отримання нульового сигналу на індикаторі.



Функціональна схема пристрою для виявлення металевих предметів

При однакових частотах автогенераторів через обидві котушки протікають однакові синфазні струми, які утворюють зустрічні магнітні поля по осі диференціального датчика. На торцях датчика формуються два вузько спрямованих ножеподібних магнітних потоки, зондуючих досліджуване середовище.

Частота автогенераторів задається індуктивностями котушок диференціального датчика і послідовно з'єднаними конденсаторами, включеними в частотозадаючі ланцюги цих автогенераторів. Так як індуктивності котушок і ємності конденсаторів однакові, то і частоти автогенераторів також однакові. В процесі пошуку металевий предмет попадає в змінне магнітне поле котушки 2, індукція якого в центрі плоскої котушки

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1 W_1}{2R_K} = \frac{\mu_0 P'_M}{2R_K F_1}, \tag{1}$$

де μ_0 – магнітна проникливість повітря; P'_M – магнітний момент, що створюється струмом I_1 котушки 2; W_1 – число витків котушки 2; R_K – середній радіус котушки 2; F_1 – площа котушки 2.

В результаті взаємодії котушки з металевим предметом за рахунок індукованих в ньому струмів магнітна індукція котушки зменшується на значення

$$\Delta B_1 = -\left(\frac{\mu_0}{2\pi}\right)^2 \left(\frac{q}{l^6}\right) P'_M, \quad (2)$$

де q – коефіцієнт, який враховує форму і електричні властивості шуканого предмета; l – відстань до шуканого предмета.

Якщо шуканий предмет має круглу форму, то при врахуванні електропровідних і феромагнітних властивостей шуканого предмета коефіцієнт

$$q'' = \frac{2\pi}{3} R_{II}^3 \left[\frac{\frac{pR_{II}^2}{5\rho}}{1 + \frac{p\mu_0 R_{II}^2}{16\rho}} - \frac{2(\mu - 1)}{\mu\mu_0} \right], \quad (3)$$

де μ – магнітна проникливість металевого предмета; ρ – питомий електричний опір шуканого предмета 21; R_{II} – радіус шуканого предмета; p – оператор Лапласа.

При цьому магнітна індукція котушки 2 диференціального датчика зростає за рахунок феромагнітних властивостей предмета.

Так як в загальному випадку коефіцієнт q є комплексною функцією, то і відносна зміна магнітної індукції також є комплексною величиною

$$\delta_1(p) = \frac{\Delta B_1}{B_1}. \quad (4)$$

Повний (комплексний) опір котушки 2 без урахування омичного опору і міжвиткової ємності можливо представити у вигляді:

$$Z(p) = pL_1 [1 + \delta_1(p)], \quad (5)$$

де L_1 – індуктивність котушки 2 без впливу металевого предмета.

Резонансна частота послідовного ланцюга із індуктивності L_1 і ємності конденсатора C_1 9 визначається виразом

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 L_1 [1 + \delta_1(p) + \delta'_1(p)]}}, \quad (6)$$

де $\delta'_1(p)$ – реакція провідності середовища.

Резонансна частота послідовного ланцюга із ємності конденсатора C_2 10 і індуктивності L_2 котушки 3, яка не відчуває реакції від шуканого предмету, стає рівною

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_2 L_2 [1 + \delta''(p)]}}, \quad (7)$$

де $\delta''(p)$ – реакція провідності середовища в зоні дії магнітного потоку котушки 3.

Параметри котушок вибираються однаковими ($L_1=L_2$), ємності конденсаторів також однаковими ($C_1=C_2=C$). Через просторову близькість магнітних полів Φ_1 і Φ_2 реакція провідності досліджуваного середовища буде практично однаковою ($\delta'(p)=\delta''(p)=\delta(p)$). Тому частоти автогенераторів близькі і повинні розрізнятися тільки за рахунок реакції від шуканого предмета $\delta_1(p)$ на одну із котушок диференціального датчика.

При пошуку малорозмірних предметів зміни резонансної частоти LC -ланцюга малі. З іншого боку між котушками диференціального індукційного датчика існує тісний індуктивний зв'язок. В цих умовах при малих відносних змінах реактивних параметрів ($\delta_1(p) \rightarrow 0$) має місце явище захоплення частоти двох автогенераторів з близькими параметрами. Через це виникає зона нечутливості при використанні різницевої частоти в якості інформативного параметра автогенераторного диференціального датчика. Однак, в режимі автозахоплення частот, коли зберігається рівність частот двох автогенераторів ($f_1=f_2=f$) різко змінюється фазовий зсув напруги розлагодженого автогенератора відносно напруги опорного автогенератора [5]. Але при цьому важко відокремити інформаційні зміни фазового зсуву від початкового апаратного фазового зсуву, який обумовлений неідентичністю часових затримок в ланцюгах зворотного зв'язку автогенераторів.

При вказаних на рисунку положеннях автоматичних перемикачів шуканий предмет діє на котушку 2 диференціального датчика, яка утворює резонансний ланцюг разом з конденсатором 9 для автогенератора 11. В результаті дії виникає відносне частотне розлагодження резонансного ланцюга, яке згідно (6) і (7)

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\frac{1}{\sqrt{C_1 L_1 [1 + \delta_1(p) + \delta'(p)]}} - \frac{1}{\sqrt{C_2 L_2 [1 + \delta''(p)]}}}{\frac{1}{\sqrt{C_2 L_2 [1 + \delta''(p)]}}} \quad (8)$$

Враховуючи, що $C_1 L_1 = C_2 L_2$, а $\delta_1(p) \ll 1$, отримаємо значення відносного частотного розлагодження

$$\frac{\Delta f}{f} \cong 0,5 \delta_1(p). \quad (9)$$

Фазовий зсув, який виникає внаслідок розлагодження резонансного ланцюга

$$\Delta \varphi = \arctg Q \frac{2 \Delta f}{f} \cong Q \delta_1(p), \quad (10)$$

де Q – добротність резонансного ланцюга.

З урахуванням фазового зсуву (10) представимо вихідні напруги автогенераторів в вигляді:

$$U_1 = U_m \sin(2\pi ft + \varphi_1 + \Delta \varphi), \quad (11)$$

$$U_2 = U_m \sin(2\pi ft + \varphi_2), \quad (12)$$

де φ_1 і φ_2 – початкові фази автогенераторів.

В результаті перетворень в схемі і з урахуванням значення $\Delta\phi$, його залежності від параметрів датчика, розмірів і відстані до шуканого предмета вимірювана напруга

$$U_p = S_p \frac{2R_K F(\mu - 1) R_{\Pi}^3}{3\mu l^6}, \quad (13)$$

де S_p – результуюча крутизна перетворення автогенераторної схеми.

Диференціальний датчик переміщується відносно досліджуваного середовища до отримання нульового показу індикатора. Це означає, що шуканий предмет знаходиться в площині, що розділяє зондуючі магнітні поля $\Phi 1$ і $\Phi 2$. При подальшому переміщенні датчика за знаком відхилення вказівника індикатора можливо судити про склад шуканого предмета (кольоровий чи чорний метал), а за величиною відхилення – про розміри предмета і глибину його знаходження.

Висновки

Перевагою запропонованого пристрою є його висока чутливість за рахунок усунення часового та температурного дрейфу нуля. Тільки при наявності металевого предмета в зоні дії диференціального індукційного датчика з'являється змінна складова фазового зсуву між напругами синхронізованих автогенераторів.

Висока розрізнявальна здатність і усунення впливу провідного фону досліджуваного середовища досягнутого за рахунок зондування двома близько розміщеними магнітними полями, які формуються хоч і фізично різними, але практично однаковими синхронізованими за частотою змінними струмами з рівними амплітудами. Найменше порушення симетрії магнітних полів викликає поява інформаційного сигналу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Арш Э.Н. Автогенераторные методы и средства измерений. – М.: Машиностроение. – 1979. – С.60–63
2. Абрамзон Г.В., Обоишев Ю.П. Индукционные измерительные преобразователи переменных магнитных полей. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – С.76–80
3. Щедрин А.И. Металлоискатели для поиска кладов и реликвий. – М.: Арбат–Информ. – 1998. – С.41–45
4. Патент України №48646, МПК G01V 3/08. Пристрій для дистанційного виявлення металевих предметів / Скрипник Ю.О., Шевченко К.Л., Каламєць Т.П., Іванченко О.В. Бюл. пром. влас.–2010. – №6.
5. Полулях К.С. К теории фазогенераторного преобразователя. –Измерительная техника, 1970, №1, с.54–57.

Надійшла 12.07.2010