

DOI: 10.33955/2307-2180(2)2020.22-24

УДК 621.179.1

ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ МЕТАЛЕВИХ ПРУТКІВ

Measuring System for Non-Destructive Testing of Metal Rods



Д. П. Орнатський, доктор технічних наук, професор,
О. О. Кривокульська, асистент,
e-mail: kryvokul@ukr.net
О. О. Бурбела, асистент,
e-mail: burbela-olga@ukr.net
О. Д. Близнюк, старший викладач,
e-mail: nau_409@ukr.net
Національний авіаційний університет, м. Київ

D. P. Ornatsky, doctor of technical sciences, professor,
O. O. Krivokulska, assistant,
e-mail: kryvokul@ukr.net
O. O. Burbela, assistant,
e-mail: burbela-olga@ukr.net
O. D. Bliznyuk, senior lecturer,
e-mail: nau_409@ukr.net
National Aviation University, metro Kyiv

Контроль параметрів металевих виробів методом вихрового струму неруйнівного керування законною електромагнітною індукцією набув сьогодні широкого поширення завдяки високій чутливості, широкому діапазону частот, здатності керувати механічними властивостями, однорідності матеріалу, як магнітна, так і немагнітна, контрольна і т.д.

The control parameters of metal products using the eddy current method of nondestructive testing based on electromagnetic induction law is now widespread. Due to the high sensitivity over a wide frequency range of the ability to control the mechanical properties, uniformity of material, both magnetic and non-magnetic materials, beskonechnosti, high reliability, automation, process control, etc.

The object of study is the process of interaction of external electromagnetic fields with defects in heterogeneity of structure in metal rod, causing a deformation of microtubuli currents and, accordingly, their influence on the inductance coil of the sensor. So, according to the law of electromagnetic induction eddy currents induced by an external electromagnetic field will be asking a private field that will oppose the external field that will lead to a change in inductance of the sensor coil. Therefore, the most informative param-

eter in this case is the relative change in inductance of the sensor.

In the known designs use differential transformer sensors, transmission type, which differ in complexity of implementation, but have high sensitivity. In existing works not enough attention on improving of the metrological characteristics. Modern means of microstraava flaw detectors in the overwhelming number are for scientific research, but little attention is paid to tools that can be used in industrial processes, through a complex measurement process in the existing funds and the large volume of the software during automatic processing of information.

In the presented work there is a system for nondestructive testing of metal bars with deprivation of the above-mentioned disadvantages, which would provide high metrological characteristics in a wide frequency range, separate measurement of impedance components of the sensor, which allows the reduction of methodological errors of determination of the main characteristics of the output signal of microstraava sensors.

The scientific result is created sambalanco pavement system based on electronic dharamtala model of a vortex sensor with high metrological characteristics, which allows you to create real-time signal proportional to the amount of damage that will give you the opportunity to increase productivity in the quality control bar of metal products in a production environment.

Ключові слова: неруйнівний контроль, вихроструміві датчики, схема дефектоскопа, похибки.

Keywords: nondestructive testing, eddy current sensors, flaw detector scheme, errors.

Існує три основні методи побудови приладів, які працюють з вихрострумівими датчиками. До першого відносять амплітудний метод, принцип дії якого полягає у вимірюванні модуля імпедансу вихрострумівого датчика та його зміни, але це відбувається, як правило, на високих частотах, у межах резонансу, що обмежує його практичне використання поверхневими дефектами деталі. До другої групи методів відносять прилади, принцип дії яких полягає у визначенні змін фази та амплітуди напруги на виході двох деференціально включених кату-

шок приймача, в яких змінюється коефіцієнт трансформаторного зв'язку з досліджуваною деталлю (трансформаторні датчики). Основною їх перевагою є простота вимірювального обладнання. До недоліків відносять складність реалізації датчика.

Цей метод використовується зазвичай для поверхневих дефектоскопів деталей, у тому числі складної форми.

До третьої групи методів відносять прилади, які дозволяють вимірювати квадратурні складові імпедансу вихрострумівих датчиків у широкому діапазоні

частот з високою точністю. Це мостовий метод вимірювання, який дозволяє збільшити чутливість. Варіанти реалізації цього методу відрізняються методами зрівноваження (повного чи неповного) з використанням компенсуючої котушки, ідентичної котушці збудження з еталонним зразком досліджуваного матеріалу або без нього. Перевагою таких приладів, порівняно з попередніми, є також більш широкий діапазон робочих частот, висока точність вимірювання. Цей метод є найбільш точним, універсальним, широкополосним, дає можливість виміряти складові імпедансу датчика в широкому діапазоні частот та широкому динамічному діапазоні з високою чутливістю. Недоліком такого методу є більш складна реалізація, зумовлена необхідністю ідентичності котушок.

Мета цієї роботи — створити систему для неруйнівного контролю металевих прутків з позбавленням зазначених вище недоліків, яка б забезпечила високі метрологічні характеристики в широкому діапазоні частот за роздільного вимірювання складових імпедансу датчика та дозволила зменшити методичні похибки визначення основних характеристик вихідних сигналів вихрострумів датчиків.

Функціональну схему дефектоскопа з електронною моделлю датчика та порівнянням струмів представлено на рис. 1.

Дефектоскоп, представлений на рис. 1, може бути збалансований регулюванням C_0 , R_0 , наприклад, за допомогою аналогових перемножувачів, умови рівноваги $U_{\Sigma} = 0$, є частотно незалежним та взаємно незалежним за $R_1 \cdot R_2 = \text{const}$, що забезпечує швидке зрівноваження.

Для забезпечення високої точності зрівноваження необхідно зменшити вплив таких факторів:

- * паразитної ємності датчика C_x ;
- * синфазної напруги $U_{\text{сф}}$, яка виникає через наявність корельованих шумів у напрузі зміщення операційних підсилювачів ОП₁, ОП₂ та через «спільні контури заземлення»;
- * зсуву фаз, що виникає під дією операційного підсилювача ОП₁ у робочому діапазоні частот.

Для зменшення впливу паразитної ємності датчика в структуру вимірювальної ланки було введено аналоговий інвертор $[-1]$, який послідовно з корельовальною ємністю C_{k1} включено паралельно датчику. При цьому компенсація паразитної ємності датчика C_x відбувається у такий спосіб: спочатку на бездефектній зоні об'єкта вимірювання відбувається зрівноваження схеми шляхом регулювання конденсатора C_0 та резистора R_0 ; потім частота тестового сигналу збільшується, і ми знову досягаємо рівноваги регулюванням конденсатора C_{k1} ; якщо при цьому частота тестового сигналу буде не менше ніж в 10 разів перевищувати максимальну частоту робочого діапазону системи, то похибка від паразитної ємності датчика буде меншою від однієї соті відсотка (0,01%).

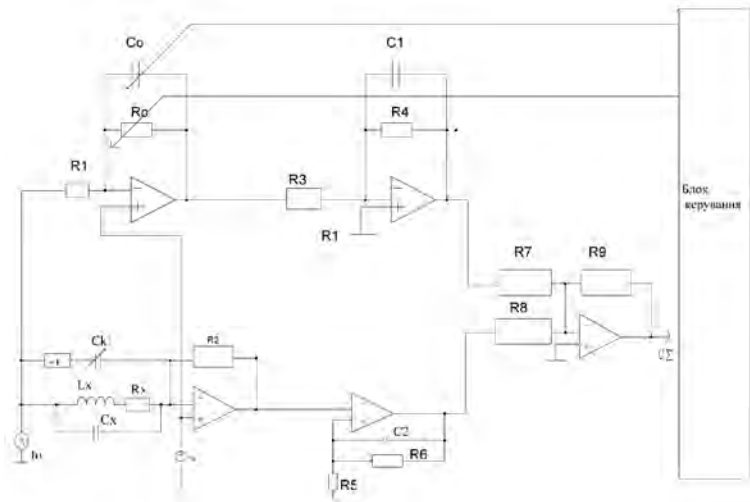


Рис. 1. Схема дефектоскопа з порівнянням напруг
Fig. 1. Schematic of the flaw detector with voltage comparison

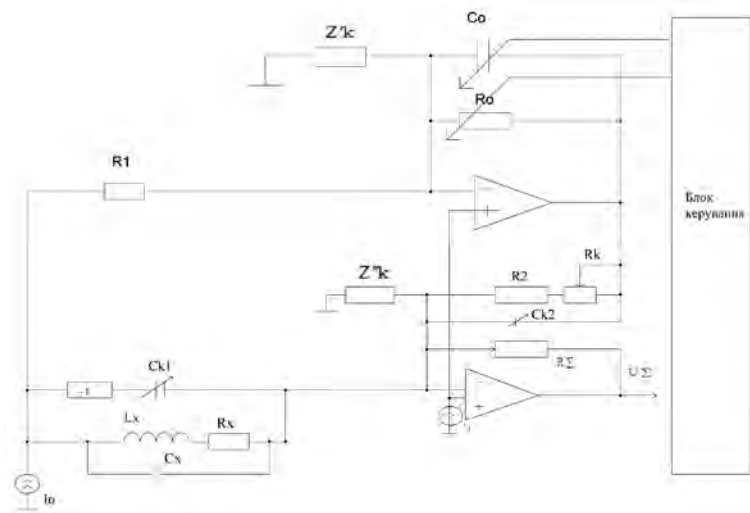


Рис. 2. Компенсаційна схема з імітацією еталонної індуктивності на основі реального інтегратора з електронним регулюванням параметрів
Fig. 2. Compensation scheme with simulation of inductive model based on real integrator with electronic parameter control

Для того, щоби зменшити похибку, зумовлену синфазною напругою $e_{сф}$ (рис. 2), необхідно досягти рівності коефіцієнтів шуму каскадів на ОП₁, ОП₂. Але така рівність може бути лише на постійному струмі, тобто, коли всі опори є резисторами. Уведення додаткових опорів z'_k, z''_k дозволяє зменшити цей вплив, але аналіз співвідношень $K_{ш1}, K_{ш2}$ свідчить, що це можливо лише на фіксованих частотах, що не має практичного сенсу. Для того, щоби розширити діапазон частот, треба використати схему з порівнянням напруг [1] (рис. 1).

Компенсація паразитної ємності відбувається у такий самий спосіб, як і в попередньому випадку. А щодо синфазної напруги, то степінь її пригнічення буде спричинятися неідентичністю зсуву фаз каскадами на ОП₁, ОП₃ та ОП₂, ОП₄.

Для забезпечення ідентичності фазочастотних характеристик підсилювачів на ОП₃ та ОП₄ мають бути виконані такі співвідношення:

$$R_3 = R_4 = R_5 = R_6, \quad (1)$$

$$C_2 = 2C_1. \quad (2)$$

А для зменшення неідентичності фазочастотних характеристик на каскадних ОП₁ та ОП₂:

$$R_1 = R_2, \quad (3)$$

$$|z_g| = |z_0|. \quad (4)$$

Коефіцієнти шуму:

$$K_{ш1} = R_1 / (z_0 + R_1), \quad (5)$$

$$K_{ш2} = z_g / (z_g + R_2), \quad (6)$$

$$R_2 / z_g = z_0 / R_1, \quad (7)$$

$$R_2 = (z_0 \cdot z_g) / R_1, \quad (8)$$

$$K_{ш2} = \frac{z_g}{z_g + \frac{z_0 \cdot z_g}{R_1}} = \frac{z_y R_1}{z_y R_1 + z_0 \cdot z_g} = \frac{R_1}{R_1 + z_0} = K_{ш1}. \quad (9)$$

Тобто у стані рівноваги $K_{ш2} = K_{ш1}$ в широкому діапазоні частот.

ВИСНОВКИ

Отже, запропонована схема дозволяє в широкому діапазоні частот скомпенсувати основні методичні похибки вихрострумове дефектоскопа мостового типу з електронним імітатором еталонної індуктивності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання / В.М. Учанін. — Львів: СПЛОМ (Overhead eddy current converters of double differentiation / V.M. Uchanin. — Lviv: SPLOM), 2013. — 268.
2. Экспериментальная механика: В 2-х книгах: Книга 1. 341 Пер. с англ. / Под ред. А. Кабаяси. — М.: Мир (Experimental Mechanics: In 2 Books: Book 1. 341 Per. with English / Ed. A. Kobayashi. — M.: Mir), 1990. — 616 с/р.
3. Экспериментальная механика: В 2-х книгах: Книга 2. 341 Пер. с англ. / Под ред. А. Кабаяси. — М.: Мир (Experimental Mechanics: In 2 Books: Book 2. 341 Per. with eng. / Ed. A. Kobayashi. — M.: Mir), 1990. — 616 с/р.
4. Вимірювальні засоби сигналів акустичної емісії при дослідженні процесу чистого точіння алюмінієвих сплавів / Вологдіна О., Девін Л., Німченко Т., Орнатський Д. Восточно-Європейський журнал передових технологій (Measuring means of acoustic emission signals in the study of the process of pure grinding of aluminum alloys / Vologdin O., Devin L., Nimchenko T., Ornatskiy D. Eastern European Journal of Advanced Technologies). — 2005. — № 6(18). — С/Р. 127—130.
5. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений / УМО по образованию в области автоматки, электроники, микроэлектроники и радиотехники. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа (Tartakovsky D.F., Yastrebov A.S. Metrology, standardization and measurement tools / WMO for education in automation, electronics, microelectronics and radio engineering. — 2nd ed., Remaking. and ext. — M.: High school), 2008. — 210 с.
6. Маевський С.М., Бабак В. П., Щербак Л. М. Основа побудови систем аналізу сигналів у неруйнівному контролі: Навч. посібник для студ. вузів, які навчаються за спец «Фізичні методи та прилади інтроскопії». — К.: Либідь (Mayevsky S.M., Babak V.P., Shcherbak L.M. Basis of building signal analysis systems in nondestructive control: Educ. study guide. Universities studying for the specialty «Physical methods and devices of introscopy». — K.: Libid), 1993. — 200 с.
7. Сурду М.Н., Мельник В.Г., Орнатский О.А. / В кн.: «Техника электрических измерений». — К.: Паук, думка (Surdu M.N., Melnik V.G., Ornatsky O.A. / In the book: The technique of electrical measurements. — K.: — Pauk, dumka). — 1979. — С. 41—48.
8. Патент на корисну модель 42920, G 01N27/90 Учалін В.М., Чернелевський В.В. (Utility model patent 42920, G 01N27 / 90 Uchalin V.M., Chernelevsky V.V.).
9. Патент на корисну модель 69095, G 01N27/90 Учалін В.М. (Utility model patent 69095, G 01N27 / 90 Uchalin V.M.).
10. Патент на корисну деталь 63503, G 01N27/90 Трушаков Д.В., Мартинов В.В. (Utility Part Patent 63503, G 01N27 / 90 D.V. Trushakov, V.V. Martinov).
11. Патент на винахід 62570, G 01N27/00 Гамалій В.Ф., Пашченко В.Ф., Трушаков Д.В. (Patent for Invention 62570, G 01N27/00 Gamaliy V.F., Pashchenko V.F., Trushakov DV).

Отримано / received: 23.02.2020.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. В.С. Єременком (Україна).
 Prof. V.S. Yeremenko, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.