

УДК 620.179.147

Измерение параметров ультразвуковых излучателей вихретоковым методом

А.Ф. Закревский

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт",
пр. Победы, 37, Киев-56, 03056, Украина.

Проведено теоретическое исследование чувствительности локальных вихретоковых преобразователей к изменению зазора между сенсором и цилиндрическим электропроводящим торцом насадки ультразвукового излучателя. Исследовались такие информационные параметры сигнала как фаза, амплитуда, время задержки, а конкретно параметры ВТП, которые влияют на упомянутые параметры сигнала: добротность, фаза, постоянная времени. Показано как чувствительность к изменению зазора этих параметров локального ВТП зависит от радиуса цилиндрического объекта контроля и зазора между объектом контроля и сенсором. Исследование показало, что проектируя вихретоковое устройство измерения амплитуды ультразвуковых механических колебаний торца насадки ультразвукового излучателя, необходимо корректно выбирать информационный параметр сигнала и измерительную схему вихретокового преобразователя. Библ. 6, рис. 4.

Ключевые слова: локальный вихретоковый сенсор, катушка индуктивности, чувствительность к изменению зазора, измерение вибрации.

Введение

Измерение параметров ультразвуковых излучателей (УЗИ) – актуальная проблема современности. Обусловлено это бурным развитием ультразвуковых технологий начиная с 80-х годов XX века. Нужно отметить, что используется ультразвук не только в промышленности для интенсификации различных физико-химических процессов, обработки твердых и хрупких материалов, неразрушающей диагностики и контроля, но и в медицине для диагностики и лечения человека [1].

В связи с тем, что торец насадки УЗИ характеризуется конечными радиальными размерами, минимальное значение которого ограничено экономической целесообразностью и составляет порядка 3 мм, возникает проблема повыше-

ния чувствительности вихретокового преобразователя (ВТП) к основному параметру УЗИ, а именно амплитуде механических ультразвуковых колебаний торца насадки УЗИ [2].

Состояние проблемы

Проблема повышения чувствительности ВТП решается путем ограничения магнитного потока рассеивания ВТП и тем самым достигается повышение его помехозащищенности и селективности. Существует несколько путей решения этой проблемы. Это структурный синтез катушек индуктивности ВТП, применение магнитных сердечников и использование локальных ВТП (катушка индуктивности с экранирующим кольцом) [3].

Как отмечено в [4] применение структурного синтеза хотя и позволит повысить концентрацию магнитного поля в зоне контроля, но приводит к усложнению технологической реализации ВТП. Использование магнитных сердечников не только усложняет и увеличивает стоимость процесса изготовления ВТП, но и вносит дополнительные факторы нестабильности, например, температурная чувствительность параметров материала магнитного сердечника. Использование локальных ВТП упрощает технологический процесс их реализации. Влияние экранирующего кольца на чувствительность ВТП к изменению зазора между ВТП и объектом контроля (ОК) на сегодня остается не исследованным.

Постановка задачи

Целью этой работы является поиск способов увеличения чувствительности ВТП к изменению зазора между ВТП и цилиндрическим ОК с малым радиусом. Поиск проводится путем теоретического исследования влияния экранирующего кольца локального ВТП на чувствительность параметров измерительной цепи (добротность, фазо-частотная характеристика, постоянная времени), в состав которой входит локальный ВТП, к изменению зазора между ВТП и цилиндрическим ОК.

Теоретические выкладки

ВТП представляет собой катушку индуктивности, размещенную над ОК. Катушка индуктивности представляет собой последовательное включение реактивного и активного сопротивлений. При размещении катушки индуктивности над ОК будут меняться как активная составляющая ее импеданса, так и реактивная. Следует отметить, что чувствительность импеданса к измеряемому параметру зависит от многих параметров системы «ВТП – ОК», а с увеличением обобщенного параметра $\beta = R_B \sqrt{\omega \mu \mu_0 \sigma}$ (R_B – радиус витка, ω – круговая частота тока питания витка, μ – относительная магнитная проницаемость материала ОК, $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Гн/м, σ – удельная электрическая проводимость материала ОК) чувствительность реактивного сопротивления увеличивается, в то время как чувствительность активного – уменьшается.

В случае измерения амплитуды механических ультразвуковых колебаний ВТП преобразует механическую величину в электрический сигнал. При этом информация о значении измеряемой величины может быть отображена в таких параметрах сигнала как амплитуда, фаза и частота. В зависимости от способа включения ВТП в электрическую цепь различают такие несущие информацию об измеряемой величине параметры электрической цепи как индуктивность, активное сопротивление, добротность, фаза, постоянная времени.

Рассмотрим модель системы «ВТП – ОК» [5]. Импеданс катушки индуктивности с экранирующим кольцом, если такую систему представить как трансформатор, вторичная обмотка которого – экранирующее кольцо, то получим такое выражение для импеданса ВТП:

$$\dot{Z}_1 = R_{11} + \frac{\omega^2 M_{12} M_{21} R_{22}}{R_{22}^2 + (\omega L_{22})^2} + j\omega \left(L_{11} - \frac{\omega^2 M_{12} M_{21} L_{22}}{R_{22}^2 + (\omega L_{22})^2} \right) \quad (1)$$

где L_{11}, R_{11} – индуктивность и активное сопротивление катушки, L_{22}, R_{22} – индуктивность и активное сопротивление экранирующего кольца, M_{21}, M_{12} – взаимные индуктивности между экранирующим кольцом с катушкой и катушкой с экранирующим кольцом; $j = \sqrt{-1}$.

Импеданс катушки индуктивности без экранирующего кольца определяется по (1), при условии, что $L_{22} = M_{12} = M_{21} = R_{22} = 0$.

Чувствительность параметра $\dot{P}(h_B)$ к изменению зазора h_B определяется по формуле:

$$\dot{P}(h_B) = \frac{\partial \dot{P}(h_B)}{\partial h_B} \quad (2)$$

Добротность катушки индуктивности $Q(h_B)$, включенной в параллельный колебательный контур (п.к.к.) определяют по формуле [6]:

$$Q(h_B) = \frac{\sqrt{L_1(h_B)}}{R_1(h_B) \sqrt{C_1}} \quad (3)$$

Фаза п.к.к. $\varphi(h_B)$ [6]:

$$\text{tg}(\varphi(h_B)) = \frac{\omega_c L_1(h_B)}{R_1(h_B)} - \frac{1}{\omega_c C_1 R_1(h_B)} \quad (4)$$

Постоянная времени катушки индуктивности $\tau(h_B)$ [6]:

$$\tau(h_B) = \frac{L_1(h_B)}{R_1(h_B)} \quad (5)$$

Итого, на основе приведенных теоретических выкладок (2) – (5) можно провести сравнительный анализ чувствительности локального ВТП к изменению зазора различных информационных параметров измерительной цепи.

Моделирование

Поскольку цилиндрическая катушка индуктивности ВТП имеет большую чувствительность к изменению зазора при малых радиусах ОК по сравнению с плоской катушкой [5], рассмотрим именно ее. Параметры катушки индуктивности следующие: радиус 3,9 мм, шаг намотки 100 мкм, количество витков 10. Параметры экранирующего кольца: радиус 4,7 мм, смещение кольца относительно верхнего витка катушки 0 мм. Частота гармонического тока питания составляет 1 МГц. Начальный зазор между ОК и ВТП 1 мм. Параметры ОК: удельная электропроводность материала 1 МСм/м, относительная магнитная проницаемость материала 1.

Согласно формулам (2) – (5) проведено математическое моделирование влияния радиуса ОК на чувствительность информационных параметров измерительной цепи к зазору между ОК и ВТП.

На рис. 1 приведено зависимость чувствительности индуктивности ВТП к изменению зазора от радиуса ОК. На рис. 2 изображено зависимость чувствительности добротности п.к.к. к изменению зазора от радиуса ОК. Зависимость чувствительности фазы п.к.к. к изменению зазора приведено на рис. 3.

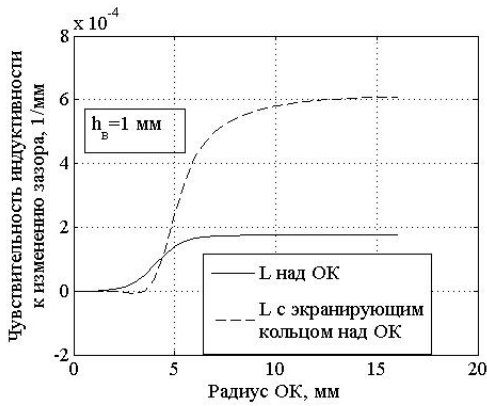


Рис. 1. Зависимость чувствительности индуктивности ВТП к изменению зазора от радиуса ОК (h_B – зазор между ВТП и ОК)

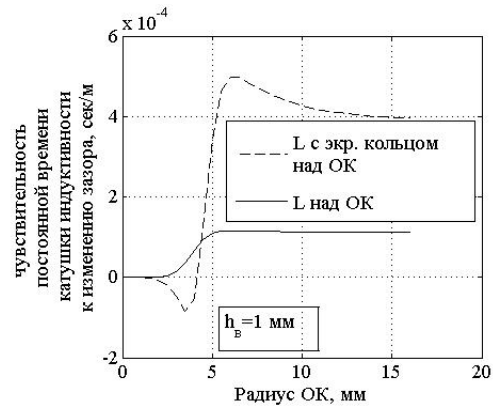


Рис. 4. Зависимость чувствительности постоянной времени ВТП к изменению зазора от радиуса ОК (h_B – зазор между ВТП и ОК)

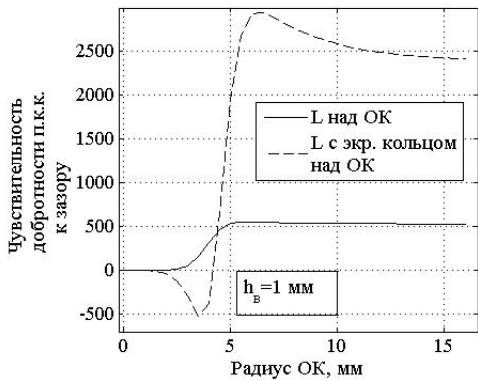


Рис. 2. Зависимость чувствительности добротности п.к.к. к изменению зазора от радиуса ОК (h_B – зазор между ВТП и ОК)

На рис. 4 изображено зависимость чувствительности постоянной времени ВТП к изменению зазора от радиуса ОК.

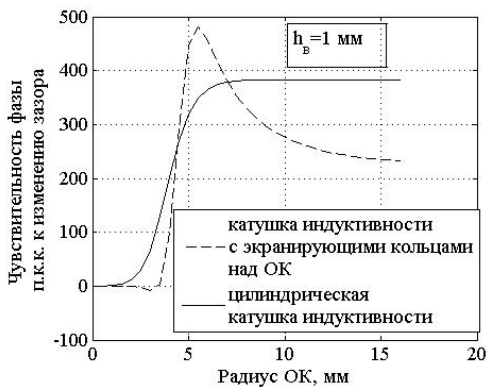


Рис. 3. Зависимость чувствительности фазы п.к.к. к изменению зазора от радиуса ОК (h_B – зазор между ВТП и ОК)

Анализируя результаты моделирования зависимости чувствительности информационных параметров измерительной цепи к изменению зазора видно, что при малых радиусах ОК чувствительность катушки индуктивности с экранирующим кольцом для индуктивности и фазы п.к.к. уменьшается по сравнению с чувствительностью катушки индуктивности без экранирующего кольца, а для добротности и постоянной времени ВТП по абсолютному значению увеличивается.

Выводы

Проведено теоретическое исследование влияния радиуса ОК на чувствительность информационных параметров измерительной цепи к изменению зазора, когда в качестве сенсора используется локальный ВТП. Чувствительность к изменению зазора локального ВТП ведет себя по разному, поэтому нельзя однозначно утверждать, увеличится или уменьшится ее значение, нужно провести исследование конкретных условий для конкретного объекта. Проведенное в этой работе теоретическое исследование показало, что при малых радиусах цилиндрического ОК целесообразно использовать добротность или постоянную времени измерительной цепи в качестве информационного параметра, то есть изменение амплитуды сигнала п.к.к. или временную задержку сигнала в RL-цепи.

Проектируя измерительные приборы, принцип работы которых основан на вихревых токах, выбор измерительной схемы нужно делать исходя из диапазона изменения не только полезных параметров ОК, но и мешающих.

Литература

1. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. // И. П. Голямина. – М.: Издат. «Советская энциклопедия», 1979, – 400 с., ил.
2. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (теорія, практика, історія, освіта). – К.: РТПСАС'2012, 22-29 лютого 2012 р. Теорія та засоби теоретичного використання потужного ультразвуку. – С. 159-160.
3. Гальченко В.Я. Структурный синтез накладных вихретоковых преобразователей с заданным распределением зондирующего поля в зоне контроля. / В.Я. Гальченко, М.А. Воробьев // Дефектоскопия. – 2005. – № 1. – С. 40–46.
4. Смирнов В.И. Методы и средства функциональной диагностики и контроля технологических процессов на основе электромагнитных датчиков / Ульяновский государственный технический университет. // В.И. Смирнов. – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – С. 190. ISBN 5-89146-246-X.
5. Закревський О.Ф. Імпеданс пласкої котушки індуктивності. / О.Ф. Закревський // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Серія – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2012, – Вип. 50. – С. 55-61.
6. Зернов Н.В. Теория радиотехнических цепей: Издание 2-е, переработ. и доп., / Н.В. Зернов, В.Г. Карпов. – Л., «Энергия», 1972. – С. 816

УДК 620.179.147

Вимірювання параметрів ультразвукових випромінювачів вихрострумовим методом**О.Ф. Закревський**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, Київ-56, 03056, Україна.

Проведено теоретичне дослідження чутливості локального вихрострумового перетворювача до зміни зазору між сенсором та циліндричним електропровідним торцем накладки ультразвукового випромінювача. Досліджувались такі інформаційні параметри сигналу як фаза, амплітуда, час затримки, а конкретно параметри ВСП, які впливають на зазначені параметри сигналу: добротність, фаза, постійна часу. Показано як чутливість до зміни зазору згаданих параметрів локального ВСП залежить від радіусу циліндричного об'єкту контролю та зазору між об'єктом контролю та сенсором. Дослідження показало, що проектуючи вихрострумовий пристрій вимірювання амплітуди ультразвукових механічних коливань торця накладки ультразвукового випромінювача, необхідно коректно вибирати інформаційний параметр сигналу та вимірювальну схему вихрострумового пристрою. Бібл. 6, рис. 4.

Ключові слова: локальний Вихрострумовий сенсор, котушка індуктивності, чутливість до зміни зазору, вимірювання вібрації.

UDK 620.179.147

Eddy-current technique for ultrasonic sources parameters measurement

O. F. Zakrevskyi

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
Peremogy Avenue, 37, Kyiv-56, 03056, Ukraine.

Theoretical researches of local Eddy Current Probe sensitivity to gap variance were carried out. Such information parameters of signal as phase, amplitude, delay time, that is, parameters of Eddy Current Probe, which influence on mentioned signal parameters: figure of merit, phase, response time are carried out. It is demonstrated how sensitivity to gap variance of local Eddy Current Probe depends on control object radius and on gap between object and probe. The researches have shown that it is necessary to choose measured parameter of signal correctly, when designing Eddy Current device for ultrasonic mechanical amplitude oscillation measurement. References 6, figures 4.

Keywords: *local Eddy-Current Probe, inductance coil, sensitivity to gap variance, vibration measurement.*

References

1. Goliamina I.P. (1979), [Ultrasonic. Small Encyclopedia]. M.: Published «Sovetskaia encyclopedia». P. 400. (Rus)
2. International Scientific Technical Conference «Radio Engineering Field, Signals, Devices and Systems (Theory, Practice, History, Education)» REFSDS'2012, 22-29 February 2012. Theory and means of theoretical usage of power ultrasonics. pp. 159-160. (Ukr)
3. Galchenko V.Y., Vorobiev M.A. (2005), [Structure synthesis of superimposed Eddy-Current probes with determined sensory field in the control zone. Defectoscopy]. No. 1. pp. 40–46. (Rus)
4. Smirnov V.I. (2001), [Methods and means of functional diagnosis and control of technological processes on the electromagnetic sensors base]. Ulianovsk State technical university. Ulianovsk: UIGTU, P. 190 p. ISBN 5-89146-246-X. (Rus)
5. Zakrevskyi O.F. (2012), [Pancake impedance (in ukrainian)]. Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" Series – Radiotechnique. Radioapparatus building. (ISSN: 0203-6584) no. 50, pp. 55-61. (Ukr)
6. Zernov N.V., Karpov V.G. (1972), [Theory of radio circuits: Publ]. 2nd, revised and augmented, L., «Energia». P. 816. (Rus)

Поступила в редакцию 10 ноября 2012 г.