

УДК 620.179.147

Точність вимірювання амплітуди ультразвукових механічних коливань вихрострумовим методом

О.Ф. Закревський

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

Проведено теоретичне дослідження впливу параметрів технологічного процесу виготовлення багат шарових друкованих плат, який застосовують для виготовлення вихрострумових сенсорів з властивістю самокалібрування у складі засобу вимірювання. Показано, що технологічні допуски на виготовлення провідників котушки індуктивності сенсора, загалом, визначають точність калібрувальної характеристики вимірювального пристрою і є основним вузлом вимірювального пристрою, який визначає його точність, що необхідно врахувати на етапі проектування сенсору та вимірювального пристрою шляхом вибору вимірювальної ланки пристрою, її реалізації. Бібл. 6, рис. 3.

Ключові слова: вихрострумовий сенсор, вимірювання параметрів вібрації, плоска квадратна котушка індуктивності.

Вступ

Ультразвукові технології набули широкого застосування в життєдіяльності людини. Особливе значення ці технології відіграють в промисловості, наприклад, розмірна обробка твердих, крихких матеріалів (кварц, скло, сапфір, кремній та ін.) та зварювання пластмасових та металевих деталей в радіоапаратобудуванні [5,6]. Такий параметр, як амплітуда ультразвукових механічних коливань торця накладки ультразвукового випромінювача є визначальним та характеризує ефективність і якість ультразвукової обробки. Існує багато методів контролю та вимірювання зазначеного параметру (серед основних потрібно згадати оптичний, ємнісний та електромагнітний із зосередженими параметрами сенсора) [1].

Одним з перспективних методів вимірювання та контролю амплітуди ультразвукових механічних коливань, з огляду на характерні особливості об'єкту контролю (ОК) (електрофізичні параметри матеріалу ОК та його геометричні характеристики) є вихрострумовий метод. Одним з недоліків цього методу є його багатопараметровість, а саме, вплив попе-

редньо невідомих параметрів на точність вимірювання основного параметру.

Рішення зазначеної проблеми в умовах невизначеності впливу невідомих параметрів системи «ВСП - ОК» є розрахунок та подальше врахування їх впливу [2] і безпосереднє визначення робочої характеристики засобу вимірювання варіюванням вимірювального параметру [4].

Постановка завдання

Застосування методу варіації при вихрострумовому вимірюванні параметрів вібрації висуває ряд технологічних вимог до вихрострумового сенсора, який доцільно виготовляти, застосовуючи технологію багат шарових друкованих плат (БДП). Будь-який технологічний процес характеризується допусками на точність реалізації його операцій, які визначаються рівнем розвитку технології на момент його застосування. Розвиток технології йде шляхом удосконалення існуючих та створення нових на базі нових наукових відкриттів. З огляду на те, що технологічні допуски є невід'ємною особливістю будь-якого технологічного процесу та не можуть бути усуненими і, як наслідок, впливатимуть на точність вимірювання, розглянутого в цій роботі вихрострумового сенсора. Метою цієї роботи є необхідність оцінити міру впливу технологічних характеристик БДП на точність вихрострумового засобу вимірювання амплітуди механічних ультразвукових коливань торця накладки ультразвукового випромінювача та визначити, чи можна нехтувати впливом технологічних допусків БДП та в яких випадках.

Основна частина

Розглянемо конкретні характеристики конкретного технологічного процесу БДП:

- товщина шару БДП: 100 мкм;
- мінімальна ширина провідника: 0.2 мм;
- мінімальна відстань між провідниками: 0.2 мм;
- товщина зовнішніх провідних шарів: 35 мкм;

- зовнішні провідні шари нарощуються до: 50 мкм;
- внутрішні провідні шари: 35 мкм;
- внутрішні провідні шари стравлюються до: 25 мкм;
- допуск на ширину провідника: ± 20 мкм.

Розглянемо конкретний вихрострумний сенсор, виготовлений за технологією БДП, характеристики якої наведені вище. Такий сенсор представляє собою сукупність плоских котушок індуктивності розміщених на кожному окремому шарі БДП. Вимірювальний пристрій працюватиме за фазовим методом виділення корисної інформації, тому доцільно оцінити вплив технологічних допусків виготовлення сенсора на його фазочастотну характеристику (ФЧХ) $\varphi(h)$, яка визначатиметься ввімкненням ВСП в паралельний коливальний контур (П.К.К), що живиться джерелом гармонічного струму. ФЧХ П.К.К у такому випадку визначається так:

$$\operatorname{tg}(\varphi(h)) = \frac{\omega L_1(h)}{R_1(h)} - \frac{1}{\omega C_1 R_1(h)} \quad (1)$$

де ω – кругова частота струму збудження котушки; h – зазор між сенсором та ОК; $L_1(h)$ – індуктивність П.К.К.; $R_1(h)$ – активний опір П.К.К. ввімкнений послідовно з котушкою індуктивності П.К.К; $C_1 = 27$ нФ.

Модель квадратного плоского сенсора (рис. 1), розміщеного над циліндричним ОК записується так [6]:

$$Z_{\text{вн}}(a_1, \Delta a, N, R_{\text{ок}}, h) = 4j\omega\mu_1\mu_0 k_p(R_{\text{ок}}) \times F(a_1, \Delta a, h, N)$$

$a_1, \Delta a$ – внутрішня довжина та крок намотки квадратної котушки; N – кількість витків котушки; $R_{\text{ок}}$ – радіус циліндричного ОК; $j = \sqrt{-1}$; μ_1 – магнітна проникність оточуючого середовища; $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Гн/м; $k_p(R_{\text{ок}})$ – функція врахування крайового ефекту циліндричного ОК; $F(a_1, \Delta a, h, N)$ – функція геометричних параметрів котушки.

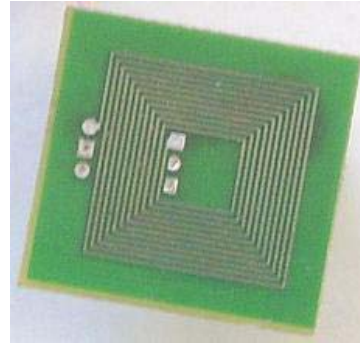


Рис. 1. Квадратний плоский вихрострумний сенсор

Проведемо моделювання квадратної плоскої котушки індуктивності з такими номінальними геометричними параметрами: внутрішня довжина провідника 4,8 мм; крок намотки 0,4 мм; кількість витків 11; товщина провідника 35 мкм; ширина провідника 200 мкм; матеріал провідника мідь. Параметри циліндричного ОК: радіус 10 мм; товщина нескінченна; магнітна проникність матеріалу ОК 1; питома електропровідність матеріалу ОК 1 МСм/м. Номінальний зазор між сенсором та циліндричним ОК 1 мм.

Результати моделювання котушок індуктивності з урахуванням технологічних допусків наведено на рис. 2 та 3. Моделювання проведено для двох граничних випадків: котушка на внутрішньому шарі відхилення допусків провідника в плюс і на зовнішньому – відхилення в допусків на ширину провідника в мінус та внутрішньому за номінальних значень провідника (рис. 2) та побудовано калібрувальні характеристики засобу вимірювання для двох граничних випадків: зовнішня котушка ближче до ОК, внутрішня далі та внутрішня ближче, зовнішня далі і одного номінального випадку (рис. 3). При цьому на графіках зображено три варіанти можливих калібрувальних залежностей пристрою: внутрішня котушка з допусками на ширину плюс ближче до ОК та зовнішня – в мінус далі від ОК (варіант 1); варіант 2 – це варіант 1, тільки котушки міняються місцями; варіант 3 – номінальні розміри котушок. Функціональні калібрувальні залежності для індуктивності ВСП (рис. 2) записуються так:

варіант 1: $L(h) = 0.3292 \cdot h + 1.185$

варіант 2: $L(h) = 0.2419 \cdot h + 1.268$

варіант 3: $L(h) = 0.2856 \cdot h + 1.226$

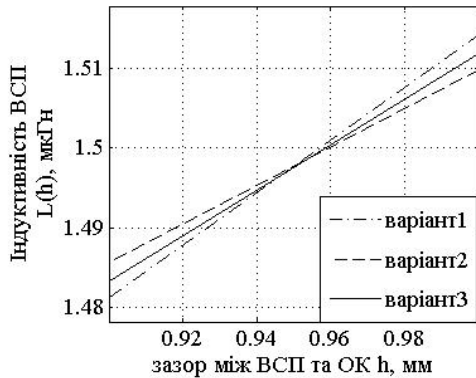


Рис. 2. Індуктивність ВСП як функція частоти

Функціональні калібрувальні залежності ФЧХ П.К.К. пристрою (рис. 3) записуються так:

варіант 1: $\varphi(h) = 3.378 \cdot h - 2.614$

варіант 2: $\varphi(h) = -2.825 \cdot h + 3.274$

варіант 3: $\varphi(h) = 0.228 \cdot h + 0.2283$

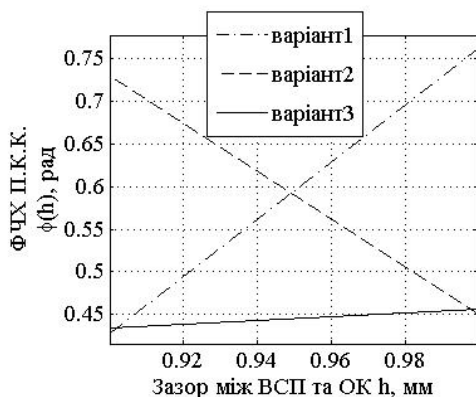


Рис. 3. ФЧХ П.К.К. як функція частоти

Як видно з рис. 2, крутість калібрувальної характеристики змінюється, а саме, для варіанту 1 вона збільшується, а для варіанту 2 вона зменшується порівняно з істинним її значенням (варіант 3). Найбільшу відносну похибку спостерігатимемо на нижній та верхній границі вимірювального діапазону. Максимальна відносна похибка вимірювання амплітуди ультразвукових механічних коливань складатиме: 7,9% (варіант 1) та 7% (варіант 2).

З рис. 3 видно, що крутість калібрувальної характеристики ФЧХ пристрою не тільки змінюється, але й змінює свій знак (варіант 2) порівняно з істинним її значенням (варіант 3).

Найбільшу відносну похибку спостерігатимемо на нижній (варіант 2) та верхній (варіант 1) границі вимірювального діапазону. Максимальна відносна похибка вимірювання амплітуди ультразвукових механічних коливань складатиме: 91% (варіант 1) та 94% (варіант 2).

Тож аналізуючи вираз (1) ФЧХ П.К.К та результати моделювання можна стверджувати, що основним параметром П.К.К, який впливає на точність калібрування вимірювального пристрою є активний опір ВСП. Активний опір ВСП у складі П.К.К визначає його добротність, тобто визначивши добротність П.К.К для кожного з ВСП сенсора можна внести корективи в калібрувальну характеристику вимірювального пристрою. Схемо-технічно це просто реалізується шляхом введення додаткового зворотного зв'язку за амплітудою вихідного сигналу П.К.К, або мікроконтролера у складі вимірювального пристрою.

Висновки

У цій роботі проведено теоретичне дослідження впливу технологічних параметрів процесу виготовлення БДП на точність калібрування вихрострумове пристрою, реалізованого за принципом варіації вимірювального параметру. Як показав результат моделювання, технологічні допуски суттєво впливають на точність калібрування вимірювального пристрою, це визнається вимірювальною ланкою, тому проектуючи засіб вимірювання потрібно на етапі його проектування приймати схемо-технічні рішення щодо вимірювального кола, засобу вимірювання, режиму його роботи та приймати конструктивні рішення, щодо сенсору з метою мінімізації похибки майбутнього вимірювального пристрою. Наведено приклад конкретного рішення зниження впливу даного фактора.

У подальшому планується відкоригувати розроблений сенсор (рис. 1) з урахуванням зазначених у цій роботі особливостей технологічного процесу БДП та схемо-технічних особливостей вимірювального кола засобу вимірювання, розробити прототип вимірювального пристрою.

Литература

1. *Закревський О. Ф.* Вимірювання амплітуди механічних коливань ультразвукового частотного діапазону (Огляд). / *О. Ф. Закревський* – Електроніка та Зв'язок (ISSN 1811-4512). – 2012, – № 2(67), с. 41-50

2. *Закревский А. Ф.* Вихретоковый метод измерения параметров объекта контроля. / А. Ф. Закревский – Электроника и связь (ISSN 1811-4512). – 2011, – № 6(65), с. 11-15.
3. *Закревский А. Ф.* Влияние магнитных свойств материала на измерение амплитуды механических колебаний цилиндрического объекта контроля ультразвукового частотного диапазона вихретоковым методом / А. Ф. Закревский – Бюллетень Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» серия – Приборостроение (ISSN 0321-2211). – 2012, – № 43, стр. 87-94
4. *Закревский А. Ф.* Применение метода вариации при вихретоковом измерении параметров вибрации. / А. В. Мовчанюк, А. Ф. Закревский – Вестник СевНТУ. Автоматизация и контроль процессов. – 2012, – № 125, с. 23-27.
5. *Свиридов А. П.* Ультразвуковая обработка радиотехнических деталей. / А. П. Свиридов, В. А. Волосатов. – «Энергия» Л., 1969. – 120 с.
6. *Холопов Ю. В.* Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов. / В. А. Холопов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 224 с. ISBN 5-217-00270-0

УДК 620.179.147

Точность измерения амплитуды ультразвуковых механических колебаний вихретоковым методом

А.Ф. Закревский

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

Проведено теоретическое исследование влияния технологических параметров технологического процесса изготовления многослойных печатных плат, который применяют для изготовления вихретоковых сенсоров со свойством самокалибровки в составе измерительного устройства. Показано, что технологические допуски на изготовление проводников катушки индуктивности сенсора, в общем, определяют калибровочную характеристику измерительного прибора и является основным узлом измерительного устройства, который определяет его точность, что необходимо учитывать на этапе проектирования сенсора измерительного устройства путем выбора измерительной цепи устройства, ее реализации. Библ. 6, рис. 3.

Ключевые слова: *вихретоковый сенсор, измерение параметров вибрации, плоская квадратная катушка индуктивности.*

UDC 620.179.147

The accuracy of ultrasonic mechanical amplitude oscillation measurement by eddy-current technique

O. F. Zakrevskyi

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

There are theoretical researches of multilayer printed circuit board technological parameters influence on the accuracy of measurement devices, as this process is used to produce an Eddy-Current sensor with selfcalibration feature, which appears in the measurement device. It is shown that the accuracy of technological process determines the accuracy of the eddy-current measurement device calibration characteristic, which determines the accuracy of the device all in all. It must be taken into account when sensor and measurement device are designing by choosing measurement scheme of the measurement device correctly. References 6, figures 3.

Keywords: *Eddy-Current probe, measurement of vibration parameters, square pancake.*

References

1. *Zakrevskiy O.F.* (2012), [Ultrasonic mechanical amplitude oscillation measurement (Overview)]. *Electronics and Communication* (ISSN 1811-4512). No 2(67), pp. 41-50. (Ukr)
2. *Zakrevskiy O.F.* (2011), [Eddy-Current Technique for control objects parameters measurement]. *Electronics and Communication* (ISSN 1811-4512). – no 6(65), pp. 11-15. (Rus)
3. *Zakrevskiy O.F.* (2012), [Influence of stuff magnetic features on cylindrical control objects ultrasonic mechanical oscillation measurement by Eddy-Current Technique]. *Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" Series – Instrument Making* (ISSN 0321-2211). no 43, pp. 87-94 (Ukr).
4. *Movchanuk A.V., Zakrevskiy O.F.* (2012), [Variation method usage to Eddy-Current measurement of vibration parameters]. *Journal of the Sevastopol National Technical University. Series: Automation of Processes and Control*. No 125, pp. 23-27 (Rus)
5. *Sviridova A.P., Volosatov V.A.* (1969), [Ultrasonic processing of radio components]. «Energia» L., P.120. (Rus)
6. *Holopov Yu. V.* (1988), [Ultrasonic welding of plastics and metals]. L.: Mashinostroenie. Leningr. department. P. 224. ISBN 5-217-00270-0 (Rus)

Поступила в редакцию 14 декабря 2012 г.