

УЛЬТРАЗВУКОВА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДЕФЕКТНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ПІДВИЩЕНОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ

Анотація. В даній статті проведено огляд фокусуючого перетворювача, побудованого з кільцевих п'єзоперетворювачів. Розглянуто спосіб підвищення роздільної здатності в твердотільних матеріалах. Також наведено принцип роботи ультразвукового дефектоскопа та розглянуто спосіб реалізації такого методу на реальному приладі.

Ключові слова: Фокусуючий перетворювач, неруйнівний контроль, п'єзоперетворювач, роздільна здатність.

ВСТУП

Основною задачею розвитку ультразвукової дефектоскопії є підвищення її просторової роздільної здатності, яка є залежною від ряду характеристик дефектоскопу та довжини хвилі використаних для контролю коливань. Вирішення такої задачі можливе двома шляхами: використання ультразвукових коливань більш високих частот (зменшення довжини хвилі) та використання фокусування коливань, що приводить до збільшення роздільної здатності за рахунок росту акустичного тиску в фокусній зоні.

Фокусування ультразвукових коливань в твердому тілі об'єкту контролю неможливе шляхом використання акустичних лінз-концентраторів внаслідок неминучої трансформації хвиль на границі розділу матеріалу контролю та рідини, що використовується для акустичного контакту.

Фокусування коливань в твердому тілі об'єкту контролю можемо реалізувати з допомогою фазокерованої ґратки, яка використовує принцип будови зональної пластини Френеля.

Використання такого перетворювача дозволяє формувати сферичну форму фронту коливань, надходять в задану зону матеріалу об'єкту контролю з розмірами, що не перевищують довжину хвилі та реалізувати прийом коливань відбитих від неоднорідностей в цій зоні.

В даній роботі розглянуто можливість реалізації підвищення просторової роздільної здатності за рахунок фазової вибіркової прийому луно-сигналів, що формуються в наперед заданій зоні контрольованого матеріалу розташованій на осі ультразвукового аналогу зональної пластини Френеля.

Розрахунок геометричних розмірів – радіусів концентричних елементів фазокерованої системи перетворювача виконується згідно наведеної формули:

$$R_i = \sqrt{2 \cdot F \cdot i \frac{\lambda}{8} + i^2 \frac{\lambda^2}{64}}, \quad (1)$$

де i – номер кільця, F – фокусна відстань, λ – довжина хвилі.

При такому розрахунку ширина кожного кільцевого елементу перетворювача вибирається з умови відповідності фазового зсуву прийнятих ним коливань довжині шляху їх розповсюдження.

Товщина всіх п'єзоелектричних елементів фазокерованої ґратки повинна відповідати умові заданої частоти акустичного резонансу коливань при підключенні до них короткого імпульсу напруги.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної статті є теоретичне вивчення системи контролю дефектності сталевих матеріалів. На основі літературного огляду проведено аналіз сучасних систем ультразвукового контролю, їхнього застосування та принципу дії. Виявлено проблематику невисокої роздільної здатності в твердотільних матеріалах. Обрані варіанти для підвищення роздільної здатності даної системи.

МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

П'єзоелектричний перетворювач у вигляді тонкого кільця, коливання якого розповсюджуються в однорідному середовищі, наприклад - в воді чи в твердому тілі, забезпечує фокусування ультразвукових випромінювань вздовж своєї осі [1].

Сферичний або циліндровий хвильові фронти можна синтезувати за допомогою розподілених перетворювачів, але для цього необхідно в сигнали випромінювання окремих елементів перетворювача вносити фазові зсуви або часові затримки, які створюють фронт випромінювання необхідної форми [2].

Фокусуючий перетворювач концентрує енергію акустичного поля в певній області – фокальній зоні, яка при сферичному фокусуванні має вигляд кола, а при циліндричному має вигляд смуги. Перетворювачі, які сфокусовані сферично дають змогу збільшити підвищити роздільну здатність, а циліндрично сфокусовані перетворювачі використовуються для контролю труб і пруткових заготовок [3].

П'єзоперетворювачі, які складаються з декількох кільцеподібних перетворювачів різного радіусу, який зображений на рисунку 1, мають декілька переваг, головною з них є: відсутність великого затухання коливань, яке присутнє при переході границь середовищ, таких як: концентратор – вода і вода – об'єкт контролю. Це виникає із-за того, що відсутня лінза концентратора, яка спотворює значні затухання коливань.

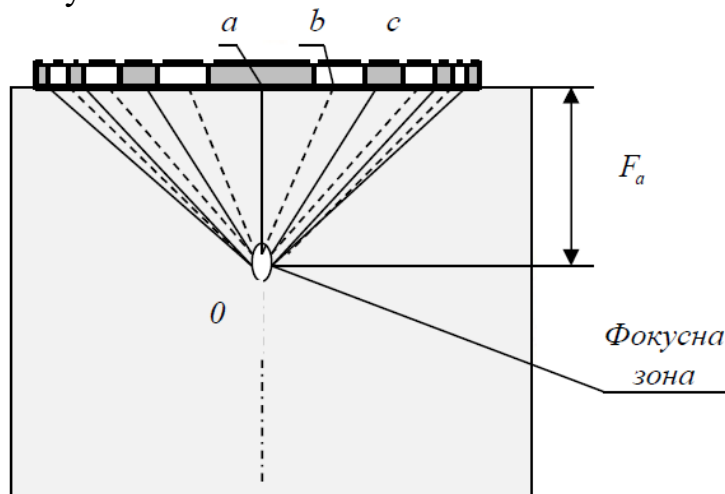


Рисунок 1. Ультразвуковий фокусуючий перетворювач на основі набору перетворювачів кільцевої форми.

F_a – фокусна відстань, a, b, c – умовні центри кілець, O – фокальна «пляма»

Перетворювач має n -ну кількість кілець. Кожне кільце повинно збуджуватися з певною затримкою, починаючи з першого кільця. Відстань між кожним сусіднім кільцем може бути мінімальною, наприклад – 1 мм. Ширина кілець може бути однаковою, наприклад 1 мм для контролю об'єктів зі сталі при частоті коливань 1 МГц.

Фокусуєчий перетворювач, який побудований з набору кілець не має обмежень для глибини розташування фокусної відстані на відміну від такого же перетворювача, побудованого на основі концентратора [4].

Головним недоліком перетворювача, побудованого з набору кілець є складність реалізації такої системи. При прийомі сигналу необхідно регулювати фазовий зсув. Головною ж перевагою є те, що ми можемо керувати моментами збудження кожного кільця і тим самим змінювати фокусну відстань.

Розрахунок радіусів кільцевих п'єзоперетворювачів можна виконати врахувавши те, що радіус R до центра фокусної зони від середини кожного кільця повинен відрізнятись на ціле число довжини хвилі коливань, що і забезпечить збіг фаз збуджених коливань в певній фокусній зоні на глибині F .

На рисунку 2 представлено функціональну схему на основі фокусуєчого перетворювача, побудованого з декількох кільцевих п'єзоперетворювачів.

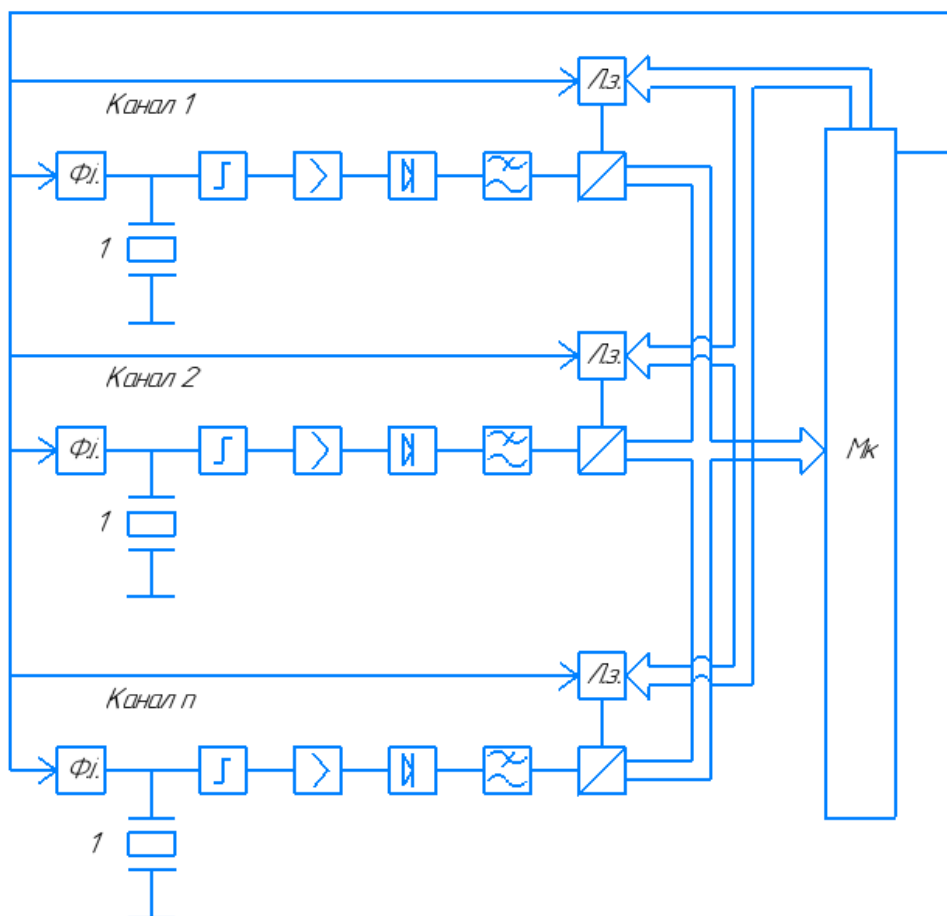


Рисунок 2. Функціональна схема фокусуєчого перетворювача, побудованого з кільцевих п'єзоперетворювачів.

Ф.і. – формувач імпульсу; Л.з. – кервана лінія затримки; Мк – мікроконтролер, 1 – елемент ґратки.

Збудження кожного елемента реалізується за рахунок того, що ми подаємо короткий імпульс з мікроконтролера на формувач імпульсу, далі сигнал йде на елемент ґратки I , де формується радіоімпульс коливань, а з нього сигнал йде на двосторонній обмежувач, для того, щоб великий сигнал не пройшов на вхід тракту. Наступним кроком сигнал подається на підсилювач, коефіцієнт підсилення якого вибирається з необхідної роздільної здатності сигналу. Детектор і фільтр виділяють відео-імпульс – огинаючу радіосигналу, яка розраховується за формулою:

$$A(t) = A_m [1 - \cos(\frac{2\pi f}{3} t)] \cos 2\pi ft \quad (2)$$
$$0 \leq t \leq \frac{3}{f}$$

де f – частота ультразвукових коливань.

Приєм коливань з фокусної зони кожним елементом перетворювача і його перетворення в тракті і наступне кодування в АЦП, реалізується таким чином, щоб луно-сигнал відповідав фокусній зоні. Для цього момент синхронізації формується затримкою імпульсу синхронізуючого роботи системи імпульсу відповідно до затримки коливань на шляху їх розповсюдження. При цьому АЦП кожного елемента синхронізується вихідним сигналом окремих ліній затримки. Встановлення коду затримок кожної лінії затримки реалізується з допомогою програмно-керованого мікроконтролера перед виконанням операції контролю.

ВИСНОВКИ

В даній системі реалізується просторове виділення сигналу відбитого від дефекту в наперед заданій зоні – фокусній зоні фазокерованого дискретного перетворювача. Певним недоліком такого принципу реалізації контролю є відсутність фокусування ультразвукових хвиль на фокусній зоні, що не приводить до збільшення акустичного тиску коливань в місці розташування дефекту. Використання фокусування збуджених коливань приведе до ускладнення системи порівняно з використаною в роботі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] И. Н. Каневский. Фокусирование звуковых и ультразвуковых волн. М. «Наука» 1977 336 с.
- [2] Цапенко В.К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник/ В. К. Цапенко, Ю. В. Куц; – Київ: НТУУ “КПІ”.- 2009. - 431 с.
- [3] Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
- [4] Маєвський С.М. Фазовимірювальні системи неруйнівного контролю: навч. посіб. / С. М. Маєвський – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 288 с.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Маєвський С.М.