

reduces the cost of measuring equipment through the maintenance of the minimum required number of parameters without reducing the likelihood of a correct assessment of the technical state of communication tools. Also, the influence of metrological reliability of measuring equipment on the value of the complex coefficient of communication technology parameters is determined in determining the sequence of their measurement.

The scientific novelty of the resulted results consists in the fact that the method of substantiation of the sequence and the number of minimum necessary parameters for metrological maintenance of communication tools in the direction of efficiency increase due to the complex estimation of parameters: their importance, number of elements, time, cost and in the justification of the influence metrological reliability of measuring equipment.

The effect of using the methodology in comparison with the known is to reduce by 10-11% of the time of establishing the technical state of communication tools and its cost.

Further development of scientific research is advisable to focus on improving the techniques of maintaining the minimum required nomenclature of measuring equipment for maintenance and ongoing repair of promising digital communication tools.

Key words: metrological service, maintenance, assessment of technical condition, metrological reliability, communication tools.

Надійшла до редакції

18 березня 2018 року

Рецензовано

30 березня 2018 року

УДК 621.389

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Клочко Т. Р., Зорко Є. В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

E-mail: t.klochko@kpi.ua

У статті йдеться про актуальну проблему створення перетворювачів з метою вдосконалення їх характеристик, що сприяє підвищенню роздільної здатності системи, якості отриманого інформаційного сигналу ультразвукової системи діагностики. Запропоновано модель чутливого елемента, який забезпечує розширення частотного діапазону, та тим самим підвищує достовірність інформаційного сигналу, який відображує параметри неоднорідного середовища об'єкта дослідження. Це надає нові можливості при застосуванні подібних випромінювачів для різних типів діагностичних сигналів.

Ключові слова: *чутливий елемент, п'єзоперетворювач, параметр, діагностика, характеристика.*

Вступ

Сучасні прилади ультразвукової діагностики мають перетворювачі різного спрямування та форми, які надають можливість проводити широкий спектр досліджень за допомогою ультразвуку [1, 2, 3, 4]. Це обумовлено можливостями неруйнівної реєстрації координат порушень структури об'єкту. Відомо, що у медичній діагностиці частоту випромінювання ультразвукових хвиль обирають залежно від відстані до структури дослідження, необхідної глибини проникнення ультразвукового сигналу та характеру структури біологічного середовища, чи необхідності пошуку акустичного вікна на об'єкті дослідження тощо [5]. Проте, не зважаючи на численні дослідження зі створення технічних засобів діагностики [6, 7, 8], актуальною проблемою є розробка та модифікації перетворювачів з метою вдосконалення їх характеристик, що сприяє підвищенню роздільної здатності системи, якості отриманого

інформаційного сигналу ультразвукової системи діагностики в об'єкті..

Постановка задачі

Збудження та реєстрування лун-сигналів ультразвукових коливань приладом, працюючим, наприклад, за ефектом Доплера [5], виконують датчиком, який складається з одного чи кількох чутливих елементів (ЧЕ). Вони зазвичай є п'єзоелектричними елементами різної геометричної форми, з різним хімічним складом, вибір цих параметрів залежить від поставленої задачі та області застосування перетворювача, обраного принципу побудови ЧЕ ультразвукової діагностичної системи.

При побудові діагностичних ультразвукових датчиків для медицини необхідно враховувати, що біологічний об'єкт за своєю структурою є неоднорідним, та має різні за характером будови шари, це все значно впливає на характер проходження та точну

локалізацію ультразвукових хвиль в площині випромінювання. Поглинання хвиль у середовищі відбувається за нелінійним законом, та має значну залежність від частоти, відстані до фокальної площини випромінювача та розміру фокальної плями [8, 9, 10].

Точність фокусування ультразвукового пучку випромінювання безпосередньо впливає на якість роздільної здатності системи, що впливає на точність інформаційних даних. Під час проходження коливання, внаслідок дифракційних явищ, ультразвуковий пучок розходить в радіальному напрямку. При віддаленні випромінювання від площини перетворювача інтенсивність пучка зменшується, при цьому значення поперечного січення зростає, це призводить до погіршення роздільної здатності у фронтальному напрямку. Чутливий елемент більшості систем діагностики являє собою один блок, який складається з одного п'єзоелементу, або блоку з декількох з'єднаних між собою кристалів, що є і джерелом випромінювання, і приймачем відбитих лун-сигналів, наприклад, від біологічного об'єкту, в різних відрізках часу. Через те, що звукові хвилі проходять через неоднорідне середовище з приблизно постійною швидкістю, затримка часу між передачею імпульсу і прийомом відбитих сигналів залежить від дальності розташування дослідного об'єкта [8, 9, 11].

Вибір та обґрунтування матеріалу та геометричної форми п'єзоелектричних кристалів впливає на діапазон випромінювання, форму сигналу випромінювання, роздільну здатність, тощо, що загалом впливає на точність інформаційного сигналу. Саме тому, вибір та обґрунтування параметрів чутливого елемента та методики побудови датчику є дуже важливим параметром для ультразвукової діагностичної системи.

Таким чином, для впливу на роздільну здатність з метою її покращення, у перетворювачі вдаються до зміни параметрів випромінювача. Для досягнення кращого фокусування випромінювання доволі часто використовують додаткові фокусуєчі системи [9, 10]. Тому, враховуючи важливість отримання точності та швидкодії діагностики структури об'єктів технічного, біологічного походження, метою цієї роботи є зміна характеристик чутливого елемента перетворювача для систем діагностики об'єкту.

Моделювання чутливого елемента та дослідження його характеристик

У даній роботі запропоновано конструкцію перетворювача дискової ступінчастої форми (матеріал ЦТС-19 [11, 12]). Запропонована конструкція перетворювача передбачає покращення фокусування ультразвукового випромінювання [13], тобто у конструкцію п'єзоелектричного перетворювача покладено форму круглої зональної лінзи. Таким чином, синтезується циліндричний фронт хвилі, при цьому фаза хвилі кожної зони буде відрізнятися на

крок $2\pi n$, де $n=1,2,\dots$, коливальна швидкість такого ЧЕ буде різною в межах об'єму ЧЕ. Одна з переваг такої конструкції перетворювача: є можливість реалізації динамічного фокусування у режимі реального часу, а також можливість одночасного отримання кількох фокальних площин одночасно. Принцип роботи динамічного дефокусування полягає у зміні фокусу системи при зміні частоти збудження п'єзоелектричного перетворювача, тобто утворюються фокальні площини випромінювання залежно від встановленої різної частоти збудження коливань перетворювача [13]. Проте слід зауважити, що на краях кожної із зон ступінчастого кільця таких ЧЕ можуть виникати нелінійні дифракційні явища, які впливають на характеристики випромінювання, тому це потрібно зменшити внаслідок враховування впливу елементів повної конструкції перетворювача. Залежно від частотних характеристик випромінювання відповідно змінюється й форма перетинів розходження променів.

Принциповою різницею такої моделі перетворювача є те, що полоса пропускання при прийманні (реєстрації) відбитого лун-сигнала значно ширша. Отже, це підвищує можливість розширення частотного діапазону приймаючого перетворювача для таких випадків, коли сигнали, які зазвичай проходили повз реєструючий елемент, через різницю частоти відбитого сигналу та характеристики перетворювача не реєструвалися взагалі. Тобто частотна характеристика відбитого сигналу виходила за межі частотної полоси пропускання перетворювача. Водночас, лун-сигнали, пройшовши від об'єкта повз реєструючий елемент, теж мають інформаційний характер про структуру об'єкта дослідження. Така часткова втрата інформації про об'єкт несе за собою спотворення та втрату точності ідентифікації сигналів, а тим самим актуальним є створення нових методів її підвищення. Таким чином, внаслідок розширення динамічного акустичного діапазону на прийманні лун-сигналів перетворювачем підвищується точність та достовірність діагностичного скринінгу.

Задачею дослідження є аналіз впливу геометрії форми ЧЕ на його характеристику $U(B)$ перетворення напруги, що подають на ЧЕ, тобто характеристики пропонованого ЧЕ та порівняння його характеристики з ЧЕ дискової форми.

Отже, було обрано ЧЕ з п'єзокерамічного матеріалу ЦТС-19, оскільки цей матеріал є одним з найбільш поширених матеріалів для датчиків систем діагностики, вибір матеріалу зумовлений його технічними характеристиками та доступністю на ринку [1, 2, 3].

Дослідження проводились на елементах розміром $\varnothing 62$ мм загальною товщиною 3 мм. При цьому модифікований ЧЕ має поверхню, яка випромінює, у вигляді зональної лінзи зі ступінчастим обниженням товщини у 1; 0,5; 0,5 мм.

При проведенні експерименту досліджено показники характеристики $U(B)$ сигналу, що виникав у ЧЕ у частотному діапазоні від 20 кГц до 170 кГц, від

0,35 МГц до 50 МГц при вхідному сигналі 0,5 В. Діаграму результатів експериментального дослідження ЧЕ наведено на рис. 1.

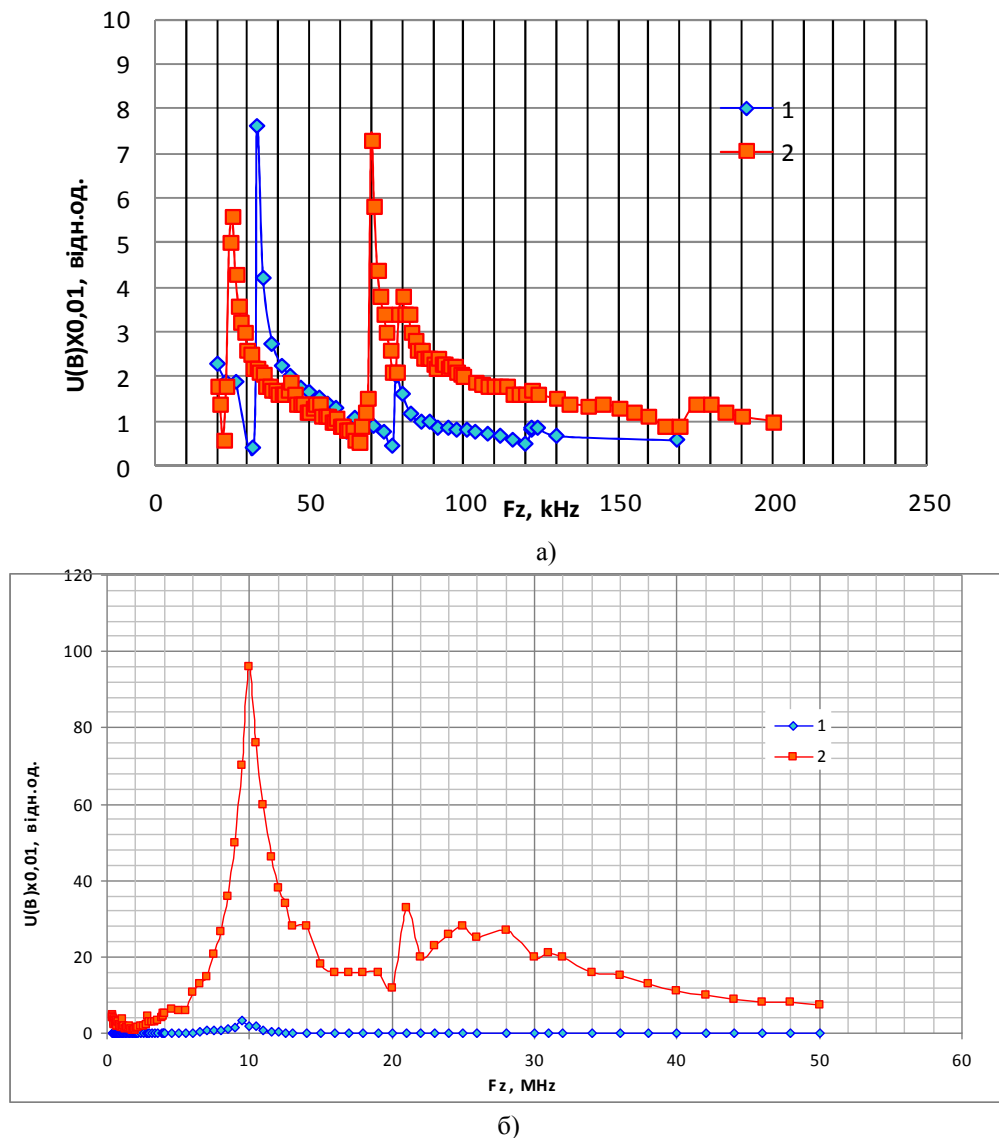


Рис. 1. Залежність характеристики $U(B)$ чутливих елементів, де: а) низькочастотний діапазон роботи чутливих елементів, б) високочастотний діапазон роботи чутливих елементів, 1 – характеристика плоского дискового перетворювача, 2 – характеристика модифікованого перетворювача

Значення амплітуди усіх невказаних частот дорівнюють нулю або наближаються до нього. На рис. 1,а показаний фрагмент характеристики плоского дискового та модифікованого ступінчастого чутливих елементів для порівняння їх роботи у низькочастотному діапазоні.

Отже, для ЧЕ дискової форми основна робоча частота 33 кГц, він майже не працює у високочастотному діапазоні, дуже мале значення характеристики $U(B)$ зареєстровано на частоті випромінювання 9,5 МГц.

Запропонована зміна геометричної форми ЧЕ дозволяє значно розширити частотну полосу пропускання перетворювача. Це важливий параметр при

діагностиці біологічних об'єктів, оскільки БС є дуже неоднорідними, тому при проходженні акустичних променів скрізь середовище об'єкту дослідження, зокрема біологічного об'єкту, промені розсіюються і відлунуються неоднорідно і широкому частково неоднорідному частотному діапазоні, оскільки частота пропускання значно обмежена, частина відбитих лун-сигналів від БО не реєструються датчиком взагалі, вони проходять повз реєструючий елемент, оскільки вони виходять за межі частотного діапазону перетворювача. При цьому частина скринінгової інформації втрачається, що напряму впливає на якість і точність діагностичної інформації, оскільки ЧЕ має дискову ступінчасту форму, при переході

між зонами змінюється фаза на $2\pi n$, де n – кількість меж зон [13].

Характеристика $U(B)$ має ядро виражений екстремум, зональна форма перетворювача випромінює коливання у діапазоні частот відповідним перепаду товщини пластини, товщина диску за ступінчастим обниженням коливається у діапазоні від 3 до 1мм, тобто кожне кільце перетворювача випромінює частоту, залежну від її товщини.

До того ж, перетворююча поверхня елементу має кілька кільцевих поверхонь, внаслідок чого можна отримувати кілька фокусів випромінювання одночасно у доволі широкому частотному діапазоні, що розширює частоту пропускання перетворювача. Так, можливість одночасного отримання трьох фокальних площин значно впливає на кількісну якість діагностичної інформації від об'єкта дослідження.

Порівняння отриманих характеристик модифікованого та плаского дискового перетворювача у низькочастотному діапазоні довело наступне. Характеристика $U(B)$ модифікованого перетворювача має два різких пікових значення на частоті $f = 33$ кГц та частоті $f = 70$ кГц, що є значно ширше в порівнянні з пласким дисковим перетворювачем. Для отримання більш наочної порівняльної характеристики було зроблено суміщену діаграму характеристики плаского перетворювача та модифікованого перетворювача, поєднаний графік наведено на рис. 1,а.

Порівняльний аналіз характеристики $U(B)$ перетворювачів в низькочастотному діапазоні випромінювання доводить ефективність використання ступінчатої форми випромінювача для ультразвукових діагностичних перетворювачів, полоса пропускання модифікованого перетворювача значно ширша та має два різких пікових значення, на відміну від плаского перетворювача, характеристика якого має одне різке пікове значення, що говорить про розширений частотний діапазон робочої частоти модифікованого випромінювача.

Порівняння отриманих характеристик модифікованого та плаского дискового перетворювача у високочастотному діапазоні довело наступне. Характеристика $U(B)$ модифікованого перетворювача має пікове значення на частоті $f = 9,5$ МГц, дисковий перетворювач також має резонанс на частоті $f = 9,5$ МГц. Не зважаючи на однакову резонансну частоту, смуга пропускання модифікованого перетворювача є значно ширшою в порівнянні з пласким дисковим перетворювачем (рис. 1,б).

Порівняльний аналіз характеристик вихідних сигналів перетворювачів у високочастотному діапазоні випромінювання доводить ефективність використання зональної форми випромінювача для ультразвукових діагностичних перетворювачів. Смуга пропускання модифікованого перетворювача значно розширена, на відміну від плаского перетворювача, смуга пропускання якого майже унеможливує ефективне використання таких перетворювачів у системах діагностики.

Показник добротності є також важливою характеристикою перетворювачів будь-якого типу, оскільки описує резонансні явища коливальної системи [9, 10, 14].

Добротність визначається як:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}, \quad (1)$$

де f_0 – резонансна частота систем, Δf - полоса частот на заданому рівні (наприклад на рівні 0,7 від амплітуди на резонансній частоті) [23].

Змінювати акустичну добротність перетворювача можливо лише на стадії виготовлення конструкції перетворювача, на електричну добротність впливають параметри електричних ланок, тому впливати на неї можливо через зміну налагодження електроакустичного тракту датчику.

Добротність безпосередньо пов'язана з амплітудно-частотною характеристикою, а саме з частотою пропускання Δf , тобто, чим вище добротність випромінювача, тим більш вузькою буде полоса пропускання частот та більша роздільна здатність. Водночас, смугу пропускання та показник добротності потрібно підбирати залежно від поставленої задачі, оскільки низька чи висока добротність ЧЕ може впливати як позитивно, так і негативно на загальну ефективність використання перетворювачів.

Підвищення добротності викликає збільшення амплітуди коливання п'єзоелементу, як наслідок, збільшується чутливість приладу. Значне збільшення добротності перетворювача небажано при імпульсному режимі роботи, оскільки це заважає якісній реєстрації пакету імпульсів, що йдуть один за одним, при досить великій добротності коливання пластини довго не затухає, при цьому фронт імпульсів розмивається, що значно погіршує променеву роздільну здатність перетворювача, тому при великій добротності вірним рішенням буде використання окремих перетворювачів в постійному режимі для прийому та випромінювання коливальних сигналів.

Якщо визначимо добротність модифікованого перетворювача в низькочастотному діапазоні роботи на частоті 70 кГц на рівні 0,7 від пікового значення частоти, то отримаємо значення

$$Q_{nm} = \frac{f_0}{\Delta f} = \frac{70}{8} = 8,75.$$

Отримана добротність 8,75 є середнім значенням добротності, отже, дає можливість використання такого перетворювача як у постійному, так і в імпульсному режимі, що значно розширює спектр застосування цього перетворювача.

Для порівняння даних розрахуємо добротність плаского перетворювача на максимальному піковому значенні амплітуди на рівні 0,7 від його резонансу:

$$Q_{nd} = \frac{f_0}{\Delta f} = \frac{33}{5} = 4,125.$$

Отже, збільшення добротності на модифікованому перетворювачі майже в 2 рази, а точніше в 2,12 рази, може підвищувати чутливість перетворювача.

Розрахунки добротності плаского ЧЕ не проводимо через те, що його практично неможливо використовувати у високочастотному діапазоні (рис. 1,б).

Визначення добротності модифікованого перетворювача на резонансній частоті 9,5 МГц на рівні 0,7 від резонансної частоти

$$Q_{vm} = \frac{9,5}{3,5} = 2,7$$

Отримане значення добротності 2,7 також дає можливість підвищення ефективності застосування цього ЧЕ для різних режимів роботи перетворювача.

Полоса пропускання частотного перетворювача, як вже описувалось вище впливає на якість реєстрації інформаційного сигналу, тобто на достовірність результатів діагностики. Дуже короткі імпульси (а саме такі імпульси використовують в ультразвуковій діагностиці) мають найбільш широкий частотний спектр випромінювання. Саме тому для прийому таких імпульсів без спотворення та втрати інформаційної точності необхідно мати достатньо широку полосу пропускання. При цьому потрібно розуміти, що розширена полоса пропускання частот характерна для коливальної системи з низькою добротністю, що погіршує інші характеристики датчику.

Розширити полосу пропускання без зниження чутливості можливо шляхом раціонального вибору електричної та акустичної добротності п'єзоперетворювача. Широкопосмуговість перетворювача дозволяє отримати прийом та випромінювання акустичних імпульсів без спотворення їх форми та покращення параметрів прийому відбитого випромінювання.

Смугу пропускання $\Delta f = (f_2 - f_1)$ визначають на основі АЧХ як:

$$K(f_1) = K(f_2) = \frac{K_{max}}{\sqrt{2}}$$

Але на практиці полосу f зазвичай оцінюють на рівні -6 Дб від максимального значення коефіцієнта подвійного перетворювача K_{max} , який відповідає резонансній частоті [15].

Порівнюємо абсолютну та відносну полосу пропускання дискового плаского та модифікованого перетворювачів.

$$\text{Абсолютна смуга пропускання} \quad 2\Delta\omega = S_a \quad (2)$$

$$\text{Відносна смуга пропускання:} \quad \frac{2\Delta\omega}{\omega_0} = S_0, \quad (3)$$

де $\omega = 2\pi f$.

Отже, через вираз (2) отримаємо значення абсолютної смуги пропускання S_a :

$$S_a = 2 \cdot 2\pi(f_2 - f_1),$$

а також значення відносної смуги пропускання S_0 :

$$S_0 = \frac{2(2\pi \cdot f_2 - 2\pi \cdot f_1)}{2\pi \cdot f_0} = \frac{2(f_2 - f_1)}{f_0}.$$

Якщо проаналізувати числові значення абсолютної та відносної смуг пропускання, котрі визначимо для стандартного та модифікованого чутливих елементів, отримаємо наступне: смуга пропускання модифікованого чутливого елемента розширюється на 17,8 МГц порівняно з смугою пропускання плаского дискового чутливого елемента. Це надає нові можливості при застосуванні подібних випромінювачів для різних типів діагностичних сигналів. Водночас, отримані характеристики потрібно підбирати, враховуючи залежності між добротністю та частотним діапазоном конкретного перетворювача.

Висновки

У роботі запропоновано модель чутливого елемента, що призначений для роботи у складі перетворювача систем ультразвукового скринінгу. Експериментальні дослідження характеристик цього елемента підтвердили можливість розширення динамічного діапазону перетворювача без розмиття резонансної частоти. Досліджено характеристики добротності для традиційного плаского дискового та запропонованого модифікованого перетворювачів. Тому запропонована модель модифікованого перетворювача є придатною для використання у практиці ультразвукової діагностики різних об'єктів.

У подальших дослідженнях необхідно проаналізувати характер розподілу акустичного тиску в полі випромінювання з урахуванням зональної форми запропонованого модифікованого випромінювача.

Роботу було виконано за підтримки МОН України НДР ДР 0117U004263.

Література

1. Аналіз світового ринку медичного обладнання [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу: <http://www.uaeconomic.com/ulens-1345-1.html>.
2. УЗІ датчики для Philips [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ultrasound-probe.com/sensor/sensor-model/uzi-datchiki-dlja-philips/>.
3. Датчики для УЗІ усіх виробників [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ultrasound-probe.com/sensor/>.
4. Дідковський В.С., Лейко О.Г., Савін В.Г. Електроакустичні п'єзокерамічні перетворювачі. Навч. посібник. Кіровоград: «Імекс ЛТД», 2006. – 448 с.
5. Kremkau F.W. Doppler ultrasound: principles and instruments. 2nd ed. Philadelphia; L. etc.: W.B. Saunders Co., 1995. 373 p..

6. Тимчик, Г.С. Відчутники контрольно-вимірних систем. / Г.С. Тимчик, В.І. Скицюк, М.А.Вайнтрауб, Т.Р. Ключко. Київ: НТУУ «КПІ», 2008. – 240 с., іл.
7. Осипов Л.В. Ультразвуковые диагностические приборы: Практическое руководство для пользователей./ Л.В. Осипов. М.: Видар, 1999. – 256 с.
8. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. Учеб. [для мед. спец. вузов – 3-е изд. испр.] М.: Высш. Школа, 1999. – 616 с.
9. В. К. Цапенко, Ю. В. Куц. Основы ультразвукового неруйнівного контролю: підруч. Київ : НТУУ «КПІ», 2009.
10. Королев М.В., Карпельсон А.Е. Широкополосные ультразвуковые преобразователи. М.: Машиностроение, 1982.-157 с.
11. Альтшуллер Г.Б. Кварцевые генераторы: Справочное пособие./ Г.Б. Альтшуллер, Н.Н. Елфимов. М.: Радио и связь, 1984. – 232 с.
12. Пьезоэлектрические материалы и элементы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.elapiezo.ru/Catalogs/Catalog_of_piezoceramic.pdf.
13. Зорко С. В., Ключко Т.Р. Метод підвищення точності перетворювачів для ультразвукової діагностики // Погляд у майбутнє приладобудування: 11-ая Всеукраїнська науково – практична конференція студентів та аспірантів, м. Київ, 15 – 16 травня 2018 р. НТУУ «КПІ». 2018. С. 344 – 347.
14. Земляков В.Л., Ключников С.Н. Контроль электроакустических пьезопреобразователей акустических антенных решеток по электрическим измерениям // Инженерный вестник Дона, №3 (2017) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4295.
15. Зацепин А.Ф. Акустический контроль. Часть II Физические основы ультразвуковой дефектометрии : Учеб./ А.Ф. Зацепкин. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ – УПИ», 2006. – 117 с.

УДК 621.389

Т.Р. Ключко, С.В. Зорко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Статья посвящена актуальной проблеме создания пьезоэлектрических преобразователей с целью совершенствования их характеристик, которые способствуют повышению разрешения системы. Отмечено, что качество полученного информационного сигнала ультразвуковой системы диагностики зависит от характеристик первичных чувствительных элементов преобразователей.

Предложена модель первичного чувствительного элемента, который в результате применения геометрической формы обеспечивает расширение частотного диапазона преобразователя. Тем самым такая модель повышает достоверность информационного сигнала, который отображает параметры неоднородной среды объекта исследования. Это дает новые возможности при применении подобных излучателей для различных типов диагностических сигналов.

Предложенная модель модифицированного преобразователя пригодна для использования в практике ультразвуковой диагностики различных объектов.

В дальнейших исследованиях необходимо проанализировать характер распределения акустического давления в поле излучения с учетом зональной формы предложенного модифицированного излучателя.

Ключевые слова: чувствительный элемент, пьезопреобразователи, параметр, диагностика, характеристика.

T. Klotchko, Ye. Zorko

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

INFLUENCE OF GEOMETRIC PROPERTIES OF SENSITIVE ELEMENTS ON CHARACTERISTICS OF PIEZOELECTRIC SENSORS

Introduction. The article is devoted to the actual problem of creating piezoelectric sensors in order to improve their characteristics, which contribute to increasing the resolution of the system. It is noted that the quality of the received information signal of the ultrasound diagnostic system depends on the characteristics of the primary sensing elements of the sensors.

Modelling of a sensitive element and studying its characteristics. Choosing and substantiating the material and geometric shape of piezoelectric crystals affects the radiation range, the shape of the radiation signal, resolution, etc., which generally affects the accuracy of the information signal. That is why the choice and justification of the parameters of the sensing element and the method of constructing the sensor is a very important parameter for the ultrasound diagnostic system.

A model of a primary sensing element is proposed, which, as a result of using a geometric shape, provides an extension of the frequency range of the converter. Thus, such a model increases the reliability of the information signal, which displays the parameters of the inhomogeneous medium of the object of investigation. This gives new possibilities when using such radiators for different types of diagnostic signals.

If we analyze the numerical values of the absolute and relative bandwidths that we define for the standard and modified sensitive elements, we obtain the following: the bandwidth of the modified sensing element expands in comparison with the bandwidth of the plane disk sensitive element. This provides new opportunities for the application of similar emitters for different types of diagnostic signals. At the same time, the obtained characteristics should be selected, taking into account the dependencies between the quality factor and the frequency range of a particular sensor.

Conclusion. Proposed model of the modified converter is suitable for use in the practice of ultrasound diagnostics of various objects.

In further research it is necessary to analyze the character of the distribution of acoustic pressure in the radiation field, taking into account the zonal form of the proposed modified radiator.

Keywords: sensing element, piezoelectric sensor, parameter, diagnostics, characteristic.

Надійшла до редакції

27 квітня 2018 року

Рецензовано

14 травня 2018 року