

УДК 620.179

## ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТО-АКУСТИЧНОГО МЕТОДУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

© Карпаш О. М., Криничний П. Я., Вісков О. В., 2000  
Науково-виробнича фірма "ЗОНД", м. Івано-Франківськ

### *Запропоновано спосіб підвищення чутливості електромагніто-акустичного методу контролю шляхом використання спеціальних фазоманіпульованих сигналів.*

При проведенні неруйнівного контролю ультразвуковим методом акустична хвиля збуджується в перетворювачі за допомогою п'єзопластини і розповсюджується в об'єкт контролю через шар контактної рідини. Але при контролі об'єктів, поверхня яких має значне корозійне пошкодження, виникає проблема забезпечення надійного акустичного контакту між п'єзоелектричним перетворювачем та поверхнею виробу. До таких об'єктів, в основному, відносяться вироби, що вже значний час перебувають в експлуатації, а саме: бурове та нафтогазове обладнання, посудини, що працюють під тиском, резервуари для зберігання нафтопродуктів тощо.

Тим не менше, існують методи неруйнівного контролю, які мало чутливі до якості поверхні. До таких методів відноситься електромагніто-акустичний (ЕМА) метод. Суть його полягає в тому, що акустична хвиля збуджується індуктивною котушкою, яка знаходиться в потужному електромагнітному полі, безпосередньо на поверхні виробу. Але крім вказаних переваг даний метод має й ряд суттєвих недоліків, серед яких низька чутливість та громіздкість обладнання.

При застосуванні електромагніто-акустичного методу, через його низьку чутливість, з'являється нова проблема – виявлення луно-сигналу, що знаходиться нижче порогового рівня чутливості приймального тракту дефектоскопа. В роботі [1] вводиться нове поняття – чутливість до виявлення сигналу, замаскованого шумом. Ця чутливість повинна характеризуватися співвідношенням рівнів луно-імпульсу й білого шуму (співвідношенням сигнал-шум).

Такого роду проблеми, як підвищення чутливості приладу, комплексно вирішують при використанні відомих в радіотехніці складномодульованих сигналів і методів їх обробки – оптимальної фільтрації, синхронного детектування або накопичення.

Ідея підвищення чутливості при електромагніто-акустичному контролі полягає у використанні складномодульованих сигналів (кодових послідовностей) при формуванні акустичного сигналу та методів оптимальної фільтрації при обробці ехо-імпульсів. Щодо кодових послідовностей, то вибір

зупинено на фазоманіпульованих сигналах, модульованих двійковими кодовими послідовностями – кодами Баркера.

Розглянемо одну із задач неруйнівного контролю – вимірювання товщини стінки.

ЕМА-перетворювач збуджує ультразвукову хвилю, яка розповсюджується по нормалі до поверхні об'єкту контролю. При досягненні донної поверхні хвиля зазнає перше відбиття і, повернувшись до зовнішньої поверхні, індукується на ЕМА-перетворювачі. Одночасно хвиля зазнає відбиття від зовнішньої поверхні і знову розповсюджується в напрямку донної. Цей процес повторюється декілька разів до повного затухання акустичної хвилі в матеріалі. При цьому різниця в часі між двома імпульсами від донної поверхні є прямо пропорційна товщині об'єкту, яка визначається як півдобуток часу на швидкість розповсюдження ультразвукових коливань в матеріалі. При цьому задача дефектоскопії зводиться до виявлення ехо-імпульсів на фоні завад. Зміна частоти або амплітуди сигналів при цьому вирішального значення не має.

Таким чином, при товщинометрії для переносу основної одиниці інформації – одного біта (одного періоду УЗ коливань) – в самому простому випадку достатньо подати сигнал необхідної тривалості з постійними амплітудою й частотою. Якщо приймач виявить цей сигнал, то на його виході буде сигнал з рівнем +1, якщо не виявить, то сигнал з рівнем -1. При цьому інформації з рівнем +1 відповідає точно визначений кодовий сигнал. Приймач містить фільтр, налаштований на цей сигнал, причому всім рештам сигналам відповідає рівень -1.

В загальному випадку кодовий сигнал описується виразом

$$s(t) = \sum_{n=1}^N A_n q_n(t) \cos[(\omega_0 + \omega_n)t + \varphi_n], \quad (1)$$

де  $q_n(t)=0$  при  $(n-1)\tau < t < n\tau$ ,  $q_n(t)=1$  поза цим інтервалом.

Сигнал  $s(t)$  містить 1 біт інформації. Він складається з елементарних однорідних сигналів – сегментів довжиною  $\tau$ , число яких дорівнює  $N$ . Сегменти можуть відрізнятися за амплітудою  $A_n$ , частотою

$\omega_n$  і фазою  $\varphi_n$ . Для нас, практично, насамперед цікавим буде випадок двійкового кодування сигналу зміщенням фази. При цьому в виразі (1) приймаємо  $A_n=1, \omega_n=0$ . Тоді отримуємо, що

$$s(t) = \sum_{n=1}^N q_n(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_n). \quad (2)$$

Двійкове кодування зміщенням фази передбачає два значення фазової постійної:  $\varphi_n=0$  та  $\varphi_n=\pi$ . Сусідні елементи сигналу можуть мати взаємно зворотні значення фази (рис. 1).

Приймач кодованого сигналу повинен включати узгоджений фільтр, імпульсний відклик якого  $h(t)$  є дзеркальним відображенням сигналу  $s(t)$ , що приймається, тобто  $h(t)=s(-t)$ . Вихідний сигнал узгодженого фільтра

$$c(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau) s(\tau - t) dt \quad (3)$$

має гострий центральний максимум (рис. 2).

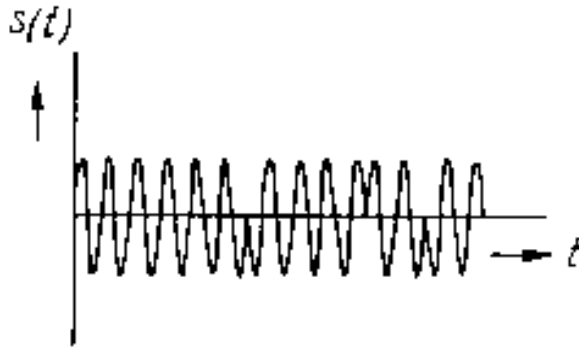


Рис. 1. Сигнал, кодований за принципом двійкового кодування зміщенням фази (семиеlementний код Баркера).

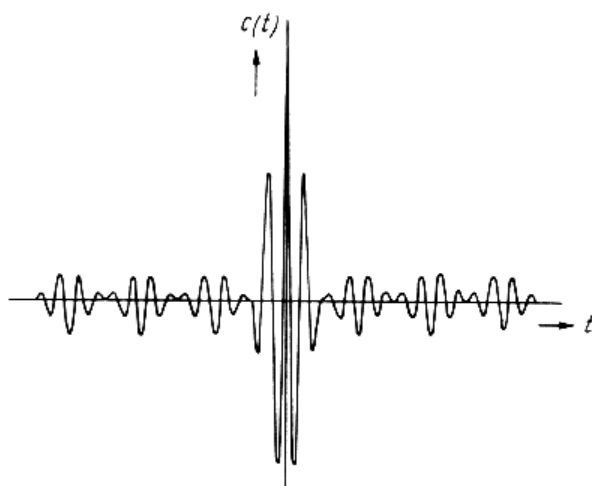


Рис. 2. Автокореляційний сигнал семиеlementного коду Баркера.

Під двійковим кодом слід розуміти послідовність чисел 1 і -1, яку вибирають таким чином, щоб при фазовій постійній  $\varphi_n=0$  для коду 1 і  $\varphi_n=\pi$  для коду -1 в виразі (2) автокореляційна функція (3) мала гострий максимум. Наприклад, для послідовності  $\{s_n\}=\{1, 1, 1, -1, -1, 1, -1\}$  (так званий семиеlementний код Баркера) на рис. 1 приведено кодований сигнал, а на рис. 2 його автокореляційна функція.

Якщо код Баркера складається з  $N$  елементів, то при осциляціях автокореляційної функції на рівні 1 основному максимуму відповідає висота  $N$ . Коди з такими властивостями а також огинаючі автокореляційної функції приведені в табл. 1. Максимальна довжина коду Баркера складає  $N=13$ . Більшу довжину можна отримати безпосереднім сумуванням кодів Баркера.

Таблиця 1 - Коди Баркера (рівень 1 позначено як "+", рівень -1 - як "-").

| Число елементів | Код                           | Автокореляція             |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------|
| 2               | ++                            | + 2 +                     |
| 2               | +-                            | - 2 -                     |
| 3               | ++-                           | -0 3 0-                   |
| 4               | ++-+                          | +0+ 4 +0+                 |
| 4               | +++ -                         | -0+ 4 +0-                 |
| 5               | +++ -+                        | +0+0 5 0+0+               |
| 7               | +++ -+-                       | -0-0-0 7 0-0-0-           |
| 11              | +++ - - - - - - - - -         | -0-0-0-0-0 11 0-0-0-0-0-  |
| 13              | +++ - - - - - - - - - - - - - | +0+0+0+0+0 13 +0+0+0+0+0+ |

Таким чином, як видно з табл. 1, використання фазомодульованих кодом Баркера сигналів дозволяє в 13 раз (22 дБ) покращити чутливість ЕМА-методу.

Запропонований спосіб можна реалізувати в апаратурі електромагніто-акустичного контролю, використовуючи для генерування та фільтрації прийнятих сигналів фільтри на поверхневих акустичних хвилях.

1. Качанов В. К. Использование радиолокационных сигналов и методов их обработки в ультразвуковой дефектоскопии композиционных материалов // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - 1995. - № 2. - С. 3-17.