

УДК 621.391

## Конвольвери на поверхневих акустичних хвилях

Скочок Д.В., к.т.н., с.н.с. Жовнір М.Ф.

Функціональні пристрої на ПАХ широко застосовуються для формування та оброблення інформаційних сигналів [1, 2].

В даній роботі представлено результати дослідження конвольверів на ПАХ, в яких використовуються нелінійні властивості матеріалу підкладки, на поверхні якої поширюються поверхневі акустичні хвилі.

За своєю структурою акустичний конвольвер на ПАХ складається із звукопроводу з напиленими зустрічно-штировими перетворювачами (ЗШП), між якими розташований параметричний електрод у вигляді однорідної металеві плівки на поверхні звукопроводу, на зворотній стороні якого напилена шина (рис.1)[2]. Такі конвольвери мають нескладну конструкцію і забезпечують кореляційне оброблення широкосмугових сигналів, при цьому накладаються обмеження тільки на тривалість сигналу і ширину смуги пропускання. Крім цього, вони менш чутливі до змін параметрів оточуючого середовища, ніж більшість пристроїв на ПАХ.

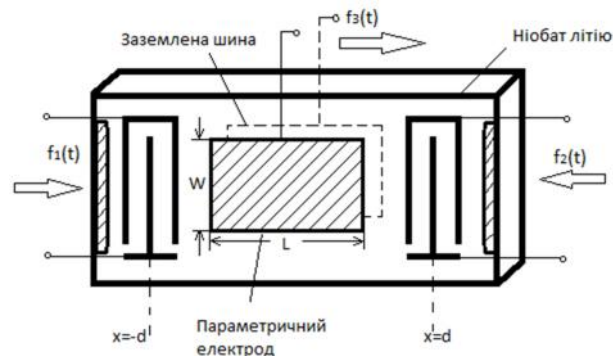


Рис.1.

При вхідних гармонічних сигналах з частотами  $\omega_1$  та  $\omega_2$  і низьких рівнях потужності поверхневі акустичні хвилі, що збуджуються за допомогою ЗШП можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} a_1(t, x) &= A_1 \cos(\omega_1 t - \beta_1 x); \\ a_2(t, x) &= A_2 \cos(\omega_2 t - \beta_2 x), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $A_1$  і  $A_2$  – амплітуди;  $\beta_1 = \omega_1/v$  і  $\beta_2 = \omega_2/v$  – хвильові числа;  $v$  – швидкість ПАХ.

Однак, в результаті нелінійності виникають складові  $a_1^2(t, x)$  і  $a_2^2(t, x)$ , що пропорційні квадратам основних, а також складова ПАХ

$$\begin{aligned} a_1(t, x) a_2(t, x) &= \\ &= \frac{1}{2} A_1 A_2 \cos[(\omega_1 + \omega_2)t + (\beta_2 - \beta_1)x] + \\ &+ \frac{1}{2} A_1 A_2 \cos[(\omega_1 - \omega_2)t - (\beta_1 + \beta_2)x] \end{aligned} \quad (2)$$

Кожному із цих складових рівняння (2) відповідає електричне поле на поверхні п'єзоелектричного звукопроводу. Параметричні електроди конвольвера дозволяють селективно зчитувати електричне поле, відповідне кожному з цих складових.

Якщо частоти  $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ , то параметричний електрод зчитує сигнал з частотою  $2\omega$  згідно співвідношення (2), а амплітуда вихідного сигналу пропорційна добутку амплітуд вхідних сигналів. Такий параметричний перетворювач називається виродженим конвольвером, в якому змішування сигналів найбільш ефективно при однакових частотах вхідних сигналів.

Якщо частоти вхідних сигналів різні, то просторовий період складової з сумарною частотою  $\omega_1 + \omega_2$  згідно співвідношення (2) дорівнює  $2\pi/(\beta_2 - \beta_1)$ . Цю складову можна селективно зчитувати параметричним електродом, який має вигляд решітки електродів з кроком  $2p$ , подібної до ЗШП, а конвольвер називається невиродженим (рис.2)[2]. Тоді, при  $\omega_1 - \omega_2 = \pm \pi v/p$ , частота вихідного сигналу дорівнює  $\omega = \omega_1 + \omega_2$ .

Оцінюючи можливості використання конвольверів для оброблення сигналів, необхідно розглянути вхідні сигнали більш загального вигляду.

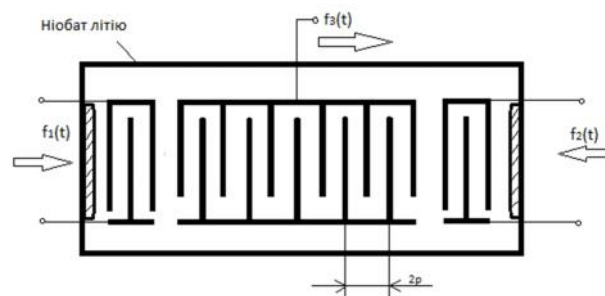


Рис.2

В такому випадку сигнали  $f_1(t)$  і  $f_2(t)$  подаються на вхідні перетворювачі конвольвера. Як і у випадку гармонічних сигналів, вихідний сигнал конвольвера буде визначатися головною складовою, пропорційною добутку миттєвих значень. Вихідний сигнал  $f_3(t)$  на параметричному електроді конвольвера пропорційний інтегралу від добутку:

$$f_3(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t - x/v) f_2(t + x/v) dx. \quad (3)$$

Тут передбачається, що тривалість вхідних сигналів кінцева. Отже, добуток відмінний від нуля тільки в кінцевій області  $x$ , причому границі параметричного електрода знаходяться, принаймні, в цьому інтервалі. При  $\tau = t - x/v$  співвідношення (3) приймає вигляд:

$$f_3(t) = v \int_{-\infty}^{\infty} f_1(\tau) f_2(2t - \tau) d\tau \quad (4)$$

Це рівняння визначає згортку функцій  $f_1(t)$  і  $f_2(t)$  з точністю до коефіцієнта 2, який вказує на стиснення в часі. Якщо не враховувати цього стиснення, то

вихідний сигнал конвольвера формально буде збігатися з вихідним сигналом лінійного фільтра, незважаючи на те, що робота останнього заснована на нелінійному ефекті. Вихідний сигнал лінійного фільтра представляє собою згортку вхідного сигналу з імпульсною характеристикою. В конвольвері роль імпульсної характеристики виконує один із вхідних сигналів, що називається опорним, який поступає від керованого генератора. Так, конвольвер спільно з генератором опорного сигналу може виконувати функцію узгодженого фільтра у широкосмугових системах зв'язку.

Ефект стиснення сигналу у часі, що спостерігається в конвольвері, фізично пояснюється тим, що відносна швидкість поширення двох поверхневих акустичних хвиль дорівнює  $2v$ , а не  $v$ , як в лінійних пристроях на ПАХ. У разі такого застосування опорний сигнал повинен збігатися з оберненим у часі ідеальним вхідним сигналом. Конвольвери особливо зручні для узгодженої фільтрації сигналів та дозволяють довільно змінювати систему кодування, ширину смуги і центральну частоту.

Ефективна дія змішування двох хвиль відбувається в виродженому конвольвері. Його конструкція дозволяє змішувати хвилі різних частот. В невиродженому конвольвері параметричний електрод виготовляється з врахуванням частоти.

Оскільки конвольвер працює фактично як лінійний фільтр, то його можна використовувати в якості узгодженого фільтра. Так, конвольвер разом з генератором опорного сигналу може замінювати узгоджений фільтр. У випадку такого використання опорний сигнал повинен співпадати з оберненим у часі ідеальним вхідним сигналом. Незважаючи на нелінійний механізм функціонування, конвольвер обробляє вхідний сигнал в лінійному режимі, як впливає із виразу (4). У цьому випадку, одночасного існування на вході сигналу і шуму, відношення на виході яких буде таке ж, як і у лінійному узгодженому фільтрі. Обмеженням є те, що сигнал оброблюється належним чином тільки тоді, коли він подається одночасно з опорним сигналом і відповідно два сигнали перекриваються в параметричній області. Але якщо час приходу сигналу не відомий, то опорний сигнал потрібно періодично повторювати. Результати показують, що з точністю до спотворень, викликаних стисненням у часі, ідеальний конвольвер може забезпечити точно такий самий вихідний сигнал, як і узгоджений фільтр, незалежно від моменту приходу сигналу, якщо вважати, що на цей сигнал накладається шум. Для цього затримка в параметричній області конвольвера повинна перевищувати в два рази тривалість опорного сигналу. Таким чином конвольвер дозволяє довільно змінювати систему кодування та за

необхідності змінювати ширину смуги і центральну частоту.

Було з'ясовано, що для гармонічних вхідних сигналів з однаковою частотою  $\omega$  вихідна напруга холостого ходу на частоті  $2\omega$  може бути представлена у вигляді [2].:

$$U = \sqrt{P_{s1}P_{s2}} M/W \quad (5)$$

Потужності  $P_{s1}$  і  $P_{s2}$  поверхневих хвиль вважаються малими, а ширина параметричного електрода  $W$  припускається рівною апертурам перетворювачів. Постійна величина  $M$  залежить тільки від властивостей матеріалу і орієнтації підкладки і зазвичай вибирається такою, щоб дане рівняння давало середньоквадратичне значення напруги холостого ходу. Вихідна напруга не залежить від частоти вхідного сигналу і від довжини параметричного електрода. Значення  $M$  необхідно визначати експериментально, змінюючи вихідні напруги конкретних пристроїв і результати теоретичних розрахунків значень  $M$  для ніобат-літійу задовільно узгоджуються з експериментальними даними. Для виготовлення підкладки вибирають саме той матеріал з вказаним зрізом, оскільки, маючи сильну нелінійність, він забезпечує невелике затухання ПАХ і дозволяє зменшити дифракційне розширення пучка. Єдиний матеріал який забезпечує велике значення  $M$ , є кераміка PZT, однак цей матеріал не знайшов широкого застосування через великі втрати ПАХ.

Величиною, яка б показувала ефективність приладу є коефіцієнт білінійності  $C$ , який зв'язує потужності сигналів, що підводяться до приладу, з потужністю вихідного сигналу. При розрахунку  $P_1$ ,  $P_2$  і  $P_0$ , де  $P_1$  і  $P_2$  нормальні потужності генераторів гармонічних сигналів, підключених до входів, а  $P_0$  вихідна потужність, потрібно враховувати наявність узгоджених кіл, за допомогою яких забезпечують максимальну ефективність конвольвера. То ж, якщо прилад є білінійним, то коефіцієнт білінійності можна представити наступним чином:

$$C = 10 \lg(P_0/P_1P_2). \quad (6)$$

Цю формулу можна використовувати до будь-якого білінійного приладу, включаючи деякі типи конвольверів без акустичної нелінійності та до приладу, характеристики якого залежать від ефектів розповсюдження ПАХ.

Можна реалізувати ще один метод оброблення сигналів, якщо один вхідний сигнал подати на ЗШП, а другий – на параметричний електрод. У цьому випадку, при відповідному виборі частот вхідних сигналів, в результаті нелінійності конвольвера збуджується друга ПАХ, напрямок поширення якої протилежний напрямку поширення падаючої ПАХ. Ця хвиля може бути прийнята вхідним ЗШП або додатковим ЗШП, розміщеним на тому же кінці звукопроводу. Якщо на параметричний електрод подати

короткий імпульс, то вихідний сигнал буде відповідати зворотному у часі сигналу вхідного ЗШП. Таким чином, кореляційне оброблення кодованого сигналу можна здійснити, використавши опорний сигнал такої же форми, якщо перед цим в іншому конвольвері здійснити перетворення у часі опорного сигналу.

Акустоелектроника. Физико-технологические основы и применение: Справ. пособие: В 2 т. –Харьков: ООО «Компания СМІТ», 2007. – том.1. – 552 с.

2. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах: Пер. с англ.- М.: Радио и связь, 1990.-416с.

### Література

1. Поляков П.Ф., Хорунжий В.А.,  
Поляков В.П.