

УДК 004.354.3

Відбивні решітки для сенсорних панелей на поверхневих акустичних хвилях

Шостак О.В., к.т.н., с.н.с. Жовнір М.Ф.

Сенсорні панелі – прозорі та непрозорі пристрої введення і виведення даних, що застосовуються в електронних системах, часто в поєднанні з дисплеями (моніторами), такими як CRT, LCD, LED [1].

Сенсорні екрани на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ) ефективно конкурують з іншими сенсорними технологіями. Це обумовлено високою надійністю, прозорістю та малим часом відклику. Відповідно найбільшого застосування дані екрани знайшли в пристроях громадського користування: платіжних терміналах, інтерактивних музейних виставках, управлінні виробничим процесом [2].

Функціонально в сенсорному екрані можна виділити три частини: сенсор (спеціальна панель або датчики); контролер (керує датчиками і обчислює дані для обчислення координат точки дотику); драйвер (програма, яка виконує необхідні перетворення даних, що надходять від контролера, виконує додаткові обчислення, корегує роботу контролера).

Сформований в контролері високочастотний електричний сигнал поступає на п'єзоелектричні

випромінювачі, що збуджують в скляній пластині поверхневі акустичні хвилі ультразвукового діапазону (рис.1). По периметру екрана розташовані масиви відбивачів, завдяки яким хвилі утворюють координатну сітку X,Y та рівномірно поширюються по всій поверхні екрана [3].

Падаюча хвиля розподіляється відбивачами так, що різні її порції проходять різну відстань до приймача. Під час дотику до поверхні підкладки, частина енергії акустичної хвилі поглинається і розсіюється, що призводить до спотворення форми прийнятого сигналу. [4].

Сигнал підсилюється, аналізується контролером. Переведені в цифрову форму дані передаються на комп'ютер.

В даній роботі представлені результати дослідження моделей решіток для сенсорних панелей на ПАХ та методика розрахунку основних параметрів.

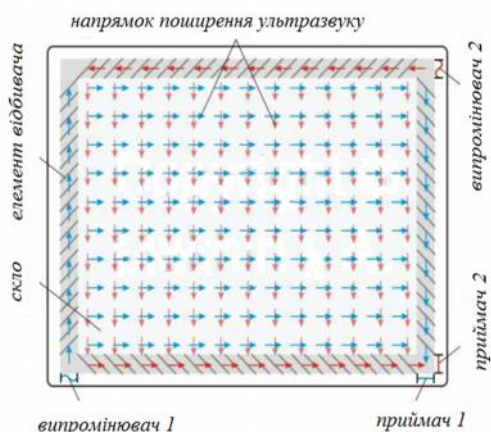


Рис.1. Сенсорний екран на ПАХ

Проведений аналіз базується на моделі відбивної решітки, відповідно до якої припускається, що збудження, викликане кожним окремим елементом відбивача, представляється хвильовою матрицею T_{ij} , пов'язаною з ефективним коефіцієнтом відбиття r .

Решітка складається з однакових електродів з кроком p (рис.2) [5]. На деякій фіксованій частоті ω аналітичний опис збудження в проміжках між електродами містить множник $\exp(\pm jk_0x)$, де k_0 - хвильове число ПАХ на вільній поверхні. Розглядаючи окремий електрод решітки зазначимо, що амплітуди c_1, b_1 розповсюджуються зліва від елемента відбивача, c_2, b_2 - справа від елемента відбивача. Вказані амплітуди вимірюються в точках, розташованих на відстані $p/2$ від центра електрода. Комплексні амплітуди c_1, c_2 пропорційні множнику $\exp(-jk_0x)$.

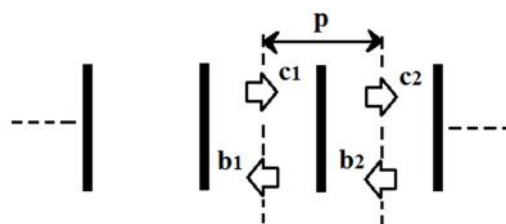


Рис.2. Модель поширення хвилі в періодичній решітці

За допомогою матриці розсіювання S_{ij} виразимо поширені акустичні хвилі від електрода через падаючі хвилі. Врахуємо властивість симетрії, відповідно до якої $S_{22} = S_{21}$, $S_{21} = S_{12}$.

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{12} & S_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Якщо c_1 або b_2 дорівнюють нулю, то S_{11} визначає амплітуду відбитої хвилі, а S_{12} - амплітуду хвилі, що пройшла. Якщо r - коефіцієнт відбиття електрода, а t - коефіцієнт проходження, то виконуються рівності:

$$\begin{aligned} S_{11} &= r \exp(-jk_0p), \\ S_{12} &= t \exp(-jk_0p). \end{aligned} \quad (2)$$

Якщо електрод не збуджує хвилю, то $r=0$ і $t=1$. Припустимо, що втрати потужності відсутні ($b_2 = 0$). Прирівнявши потужність на вході до суми потужностей на виході, отримуємо:

$$|r^2| + |t^2| = 1. \quad (3)$$

При ненульовому значенні амплітуд c_1, c_2, b_1, b_2 із закону збереження енергії справедливе співвідношення:

$$rt^* + tr^* = 0. \quad (4)$$

Об'єднуючи (3) і (4), отримаємо

$$r^2 = t^2 - t/t^*, \quad (5)$$

і використавши (3) знаходимо:

$$r/t = \pm j|r/t|. \quad (6)$$

Отже, коефіцієнти відбиття можна знайти за допомогою коефіцієнта проходження.

Представимо зв'язок хвиль, що поширюються справа від електрода з хвилями, що поширюються зліва, за допомогою хвильової матриці T_{ij} :

$$\begin{bmatrix} c_2 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ b_1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$[T] = \begin{bmatrix} 1/\tau^* & r/t \\ -r/t & 1/\tau \end{bmatrix} \quad (8)$$

де c_1, b_1, c_2, b_2 - амплітуди хвиль зліва та справа від елемента відбивача відповідно, $\tau = S_{12}$ - коефіцієнт проходження для одного елемента періодичної структури, t - коефіцієнт проходження. Відповідно:

$$\tau = t \exp(-jk_0 p) \quad (9)$$

Параметри решітки отримуються шляхом обчислення

даної матриці при каскадному включенні елементів відбивача.

Розглянуто поширення хвилі в решітці кінцевої довжини, що складається з N елементів. Використовуючи хвильову матрицю (1) та враховуючи існування тільки падаючої хвилі ($b_n = 0$), можна знайти амплітуди хвиль на всіх ділянках структури решітки, при цьому справедливі співвідношення для амплітуд хвиль:

$$\begin{aligned} \frac{c_n}{c_1} &= \frac{\sin(N-n)\gamma p - \tau \sin(N-n-1)\gamma p}{\sin N\gamma p - \tau \sin(N-1)\gamma p}, \\ \frac{b_n}{c_0} &= \frac{\tau \sin(N-n)\gamma p}{\sin N\gamma p - \tau \sin(N-1)\gamma p}, \end{aligned} \quad (10)$$

де γ - хвильове число.

Відповідно справедливе співвідношення:

$$[b_0]^2 + [c_N]^2 = [c_0]^2 \quad (11)$$

тобто енергія зберігається [5].

При розрахунку решіток необхідно враховувати тип навантаження. Відбивні решітки створюють у вигляді групи канавок або плівкових відбивачів на поверхні підкладки. Зазвичай на п'єзоелектричній підкладці наявні як електричне, так і механічне навантаження [6, 7].

Однак, якщо підкладка виготовлена з матеріалу з сильним п'єзоэффектом, то механічним навантаженням можна знехтувати і навпаки, зі слабким п'єзоэффектом нехтуємо електричним навантаженням.

Враховуючи те, що в сенсорному екрані хвилі поширюються по підкладці зі слабким п'єзоэффектом, то коефіцієнт відбиття для одного відбивача визначається:

$$r \approx 2j \alpha_r (h/\lambda) \sin(ak), \quad (12)$$

де α_r - дійсна константа, $k \approx k_0$ - хвильове число ПАХ, $\lambda = \frac{2\pi}{k}$ - довжина хвилі, h і a - товщина і ширина електрода відповідно. Припускається, що $h \gg \lambda$. Дана формула застосовується незалежно від того, наскільки близько розташовані електроди. Враховуючи залежність від ширини електрода a , даний коефіцієнт досягає максимальної величини $2j \alpha_r (h/\lambda)$ при $a = \lambda/4$.

В сенсорній панелі на ПАХ випромінювані хвилі відбиваються двома однаковими решітками. Кожен з відбивачів змінює напрямок хвиль на 90° так, щоб сигнал поступив на приймач. Глибина канавок (товщина плівкових відбивачів) становить 1 % від довжини хвилі, ширина - $\lambda/(2\sqrt{2})$, інтервал між відбивними елементами повинен бути кратним довжині хвилі сигналу λ . Доцільно обрати робочу частоту близько 5 МГц. Це пов'язано з тим, що затухання акустичних хвиль збільшується зі збільшенням частоти, що обмежило б розміри сенсорного екрану. Зі зменшенням робочої частоти збільшується

дифракція та зменшується роздільна здатність.

Для відбиття хвиль точно під кутом 90° необхідно врахувати анізотропію підкладки. При цьому кут нахилу елементів відбивачів α визначається із співвідношення:

$$\operatorname{tg} \alpha = v_y / v_x \quad (13)$$

де x співпадає з напрямком поширення ПАХ, α - кут нахилу відбивачів відносно цієї осі (рис.3).

На практиці вимоги до точності кута нахилу α досить високі ($0,1^\circ$), оскільки кутова помилка порушує паралельність хвильового фронту електродам вихідного перетворювача, в результаті чого знижується рівень вихідного сигналу.

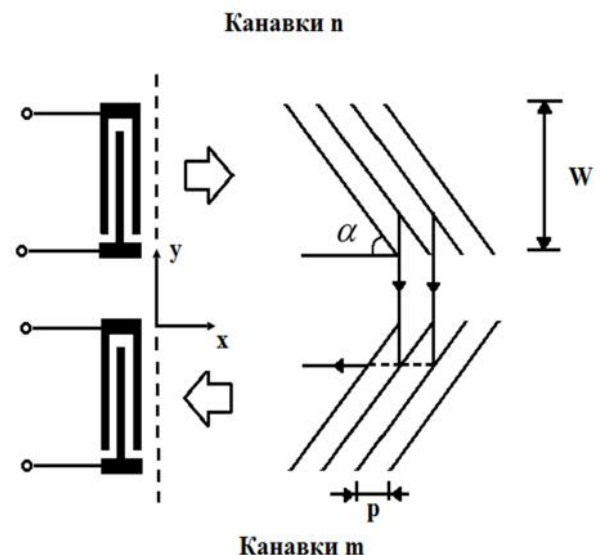


Рис.3. Модель відбиття ПАХ в сенсорній панелі

Література

1. Мухин И.А. Сенсорные экраны – решение проблем // Телевидение и радиовещание. – 2006. – №7. – С.64-66.
2. Touch Systems for Solutions Touched with Innovation: Surface Acoustic Wave Technology(SAW),<http://touchsystems.com/surfaceacousticwave.php>.
3. С. Асмаков. Многообразие сенсорных дисплеев // Компьютер пресс. – 2010. – N8. – С.60-67.
4. М. R. Bhalla, A. V. Bhalla.Comparative Study of Various Touchscreen Technologies //International Journal of Computer Applications. – 2010. – V.6 – No.8.
5. Д. Морган. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах: Пер. с англ.– М.: Радио и связь, 1990. – С. 377-378.
6. Н. Skeie, "Electrical and mechanical loading of a piezoelectric surface supporting surface waves", J. Acoust. Soc. Am. 48, 1098-1109 (1970).
7. Н. Skeie. "Mechanical and electrical reflections in interdigital transducers", IEEE Ultrasonics Symp., 1972. pp. 408-412.