

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СЕКТОРНИХ ФАЗОВАНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Богомолов М. Ф., к.т.н., доцент; Антипенко Р. В., к.т.н., доцент;
Киричок О. В., аспірант

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Секторні фазовані перетворювачі (ФП) широко використовуються в ультразвуковій (УЗ) медичній діагностиці, забезпечуючи можливість кутового сканування, яке має ряд переваг в порівнянні з лінійним і конвексним скануванням, але має й свої недоліки, більшість з яких пов'язані з формуванням акустичних полів ФП, які в істотній мірі впливають на якість отриманого зображення об'єкта [1].

Фазований УЗ-перетворювач представляє собою лінійну антенну решітку смужкових п'єзоелементів, розташованих еквідистантно в одній площині з кроком менше довжини хвилі [1]. Електричне управління рухом променя, сформованого матрицею, здійснюється за допомогою фазуючого пристрою, який забезпечує введення відповідних затримок часу у випромінюючі і приймальні кола окремих п'єзоелементів матриці.

Для розрахунку діаграм спрямованості ФП запозичимо методи з теорії радіолокації [2]. Розглянемо формування акустичного поля ФП у вигляді матриці смужкових елементів з шириною апертури l , що містить N елементів шириною a кожен. Акустичне поле зміщень U_{Σ} у площині сканування в точці спостереження M знаходимо як результат суперпозиції акустичних полів від кожного з елементів за формулою:

$$U_{\Sigma} = \sum_{n=1}^N U_0 \cdot j_l(\Theta_n) \cdot \exp(ikr_n),$$

де U_0 — початкова амплітуда зміщень; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ — хвильове число поздовжньої хвилі в об'єкті дослідження; r_n — відстань від n елемента матриці до точки спостереження; $j_l(\Theta_i)$ — діаграма направленості поздовжньої хвилі для одиничного елемента матриці:

$$j_l(\Theta_n) = \cos(\Theta_n) \cdot \frac{\sin(ak \cdot \sin(\Theta_n/2))}{ak \cdot \sin(\Theta_n/2)},$$
$$\Theta_n = \arctg\left(\frac{r_0 \cdot \sin \Theta_M - (N/2 - n - 1/2) \cdot m}{r_0 \cdot \cos(\Theta_M)}\right),$$

де Θ_M — кут сканування (напрямок основного пелюстка діаграми направленості матриці); Θ_n — кут точки спостереження щодо n -го елемента; r_0 — відстань від центрального елемента до точки спостереження; m — крок одиничних елементів матриці ФП.

При моделюванні по даній методиці в середовищі *Mathcad* (програма передбачає можливість трансформаційних змін конструктивних особливостей матриці, відключення окремих елементів, розрахунок характеристик

акустичних полів, а також візуалізація акустичного поля в площині сканування) отримали наступні результати:

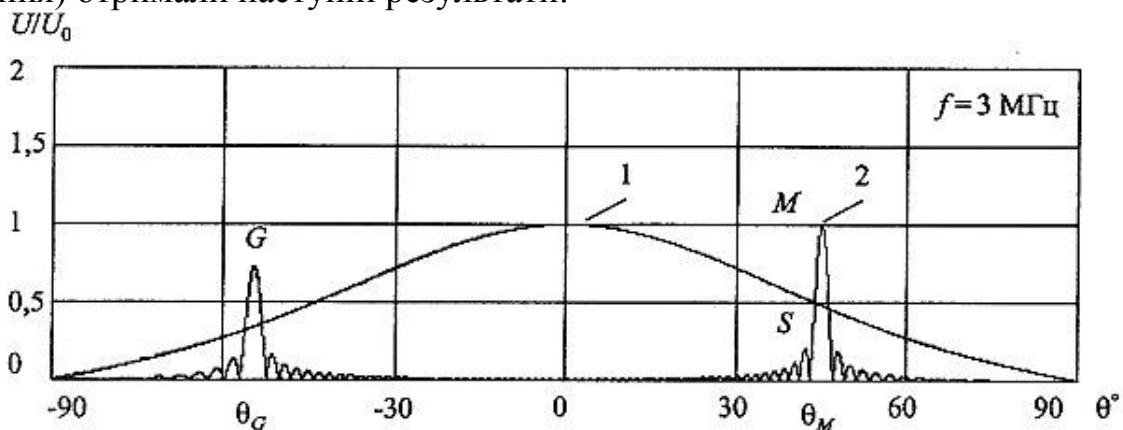


Рис. 1. Акустичне поле одиничного елемента матриці (крива 1) і ФП (крива 2), M — основний пелюсток, G — додатковий пелюсток, S — бічні пелюстки.

Як бачимо, отримані результати чудово узгоджуються з теоретичними і практично знятими характеристиками секторних фазованих перетворювачів, описаними в [2]. Тобто, можна зробити висновок, що програма (і модель, закладена в програму) об'єктивно моделює ФП. Підрахунок за допомогою програми для конкретних характеристик перетворювачів дає результати що з незначною похибкою відрізняються від практично отриманих кривих, аналогічних зображенням на рис. 1 [1].

Також, ми можемо бачити утворення додаткового пелюстка, що може призводити до помилкової діагностики і необ'єктивної оцінки досліджуваних об'єктів. Дана модель в подальшому дозволить вивчати цю проблему і шукати шляхи її вирішення, тому робота, проведена в статті надзвичайно актуальна для розвитку сучасної медичної діагностики.

Література:

1. Воскресенский И. Д. Проектирование фазированных антенных решеток / И. Д. Воскресенский. — М. : Радиотехника, 2003. — 632 с.
2. Ультразвук в медицине. Физические основы применения / Под ред. К. Хилла, Дж. Бэмбера, Пер. с англ. под ред. Л. Р. Гаврилова, В. А. Хохловой, О. А. Сапожникова — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 544 с.