

## СИНТЕЗ ЕЛЕКТРИЧНОГО ІМІТАТОРА ФАЗОВАНОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ З ВРАХУВАННЯМ ВЗАЄМОДІЇ ВИПРОМІНЮВАЧІВ

Синтезовано структуру електричного імітатора фазованої антенної решітки з врахуванням взаємодії через середовище. Наведено приклади функціональних схем.

При створенні автоматизованих систем формування діаграми спрямованості і керування гідроакустичними фазованими антенними решітками (ФАР) постає завдання перевірки працездатності апаратурного комплексу і оцінки ефективності його алгоритмів фазування безпосередньо в лабораторних умовах. Оскільки використати реальну антену як об'єкт керування в лабораторії, як правило, неможливо (через низку технічних причин, головними серед яких є великі масогабаритні показники гідроакустичних антен і необхідність занурення під час роботи в водне середовище) в цій статті для вищевказаних потреб пропонується електричний імітатор (аналог) ФАР з адекватними характеристиками. Відзначимо, що автори відомих робіт з цього питання обмежуються двома [1] або трьома [2] електроакустичними перетворювачами, що не дозволяє побудувати електричний аналог для багатоеlementної ФАР з взаємодіючими випромінювачами.

Для синтезу електричного імітатора скористаємось відомою [3] аналітичною моделлю ФАР з резонансними перетворювачами малих хвильових розмірів:

$$F_n = k_n U_n = W_n (Z_{Mn} + Z_{nn}) + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^N W_n Z_{mn}, \quad (1)$$

де  $W_n$  — коливальні швидкості на активній поверхні випромінювачів;  $U_n$  — електричні напруги, що подаються на випромінювачі;  $F_n$  — електромеханічні сили, що збуджують перетворювачі;  $k_n$  — коефіцієнти електромеханічної трансформації;  $Z_{nn}$  і  $Z_{mn}$  — власні та взаємні опори випромінювання перетворювачів;  $Z_{Mn}$  — комплексні механічні опори випромінювачів, які взагалі складаються з послідовно з'єднаних опорів механічних втрат  $r_{Mn}$ , еквівалентної маси  $M_{\text{еквл}}$  і еквівалентної гнучкості  $C_{\text{еквл}}$  [4];  $N$  — кількість перетворювачів в антенній решітці,  $m, n = 1, N$ .

Аналіз системи рівнянь (1) свідчить, що за своєю структурою вона ідентична опису багатозв'язкових електричних кіл за методом контурних

струмів [5], при цьому всі механічні величини, що входять до неї, можна замінити їхніми електричними аналогами. Проте синтезувати електричну схему безпосередньо виходячи з системи (1) для  $N > 3$  не уявляється можли-

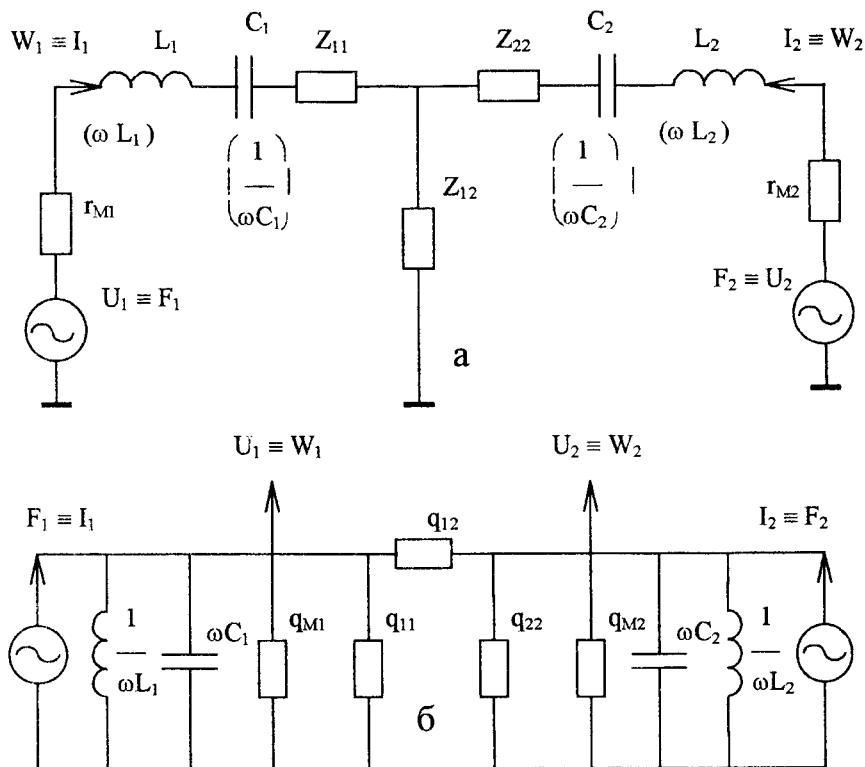
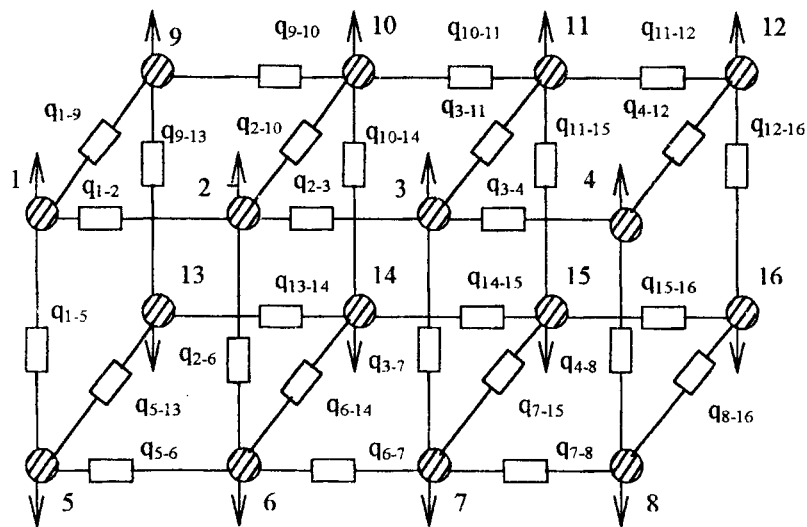
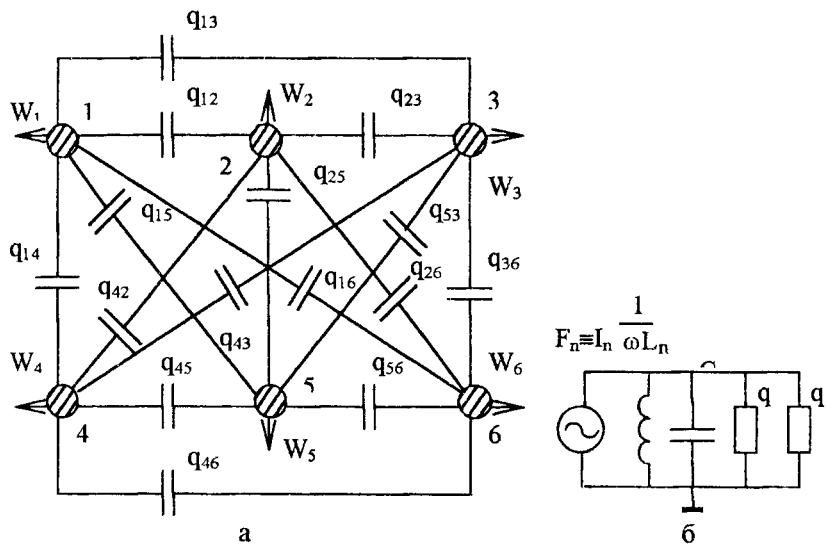


Рис. 1

вим. Завдання суттєво спрощується, якщо скористатися дуальністю електричних кіл [2] і перетворити багатозв'язкову систему (1) на структуру, яка описується за методом вузлових потенціалів. Розглянемо це на прикладі електричного аналога пари взаємодіючих через середовище перетворювачів (рис. 1а) [1], припускаючи, що їхні вхідні реактивності зкомпенсовано,  $Z_{12} = Z_{21}$ ,  $\kappa_n = 1$ . Зазначимо, що аналогами коливальних швидкостей  $W_1$ ,  $W_2$  в цій схемі є струми  $I_1$ ,  $I_2$ , а аналогами сил  $F_1$ ,  $F_2$  — напруги  $U_1$ ,  $U_2$ . Користуючись дуальністю електричних кіл, цю схему можна перетворити на паралельне з'єднання гілок (рис. 1б), для яких є справедливими відповідності:

$U_{1,2} \rightarrow I_{1,2}; I_{1,2} \rightarrow U_{1,2}; r_{M1,2} \rightarrow q_{M1,2}; \omega L_{1,2} \rightarrow 1/\omega L_{1,2}; 1/\omega C_{1,2} \rightarrow \omega C_{1,2}; Z_{12} \rightarrow q_{12};$   
 $Z_{11} \rightarrow q_{11}; Z_{22} \rightarrow q_{22},$  де  $q_{M1,2}$  — активні провідності перетворювачів 1, 2;  $q_{12}$  —



В  
 Рис. 2

взаємна провідність випромінювання;  $q_{11}$  і  $q_{22}$  — власні провідності випромінювання першого і другого перетворювачів;  $\omega$  — робоча частота. Як видно з рис. 1б, взаємний зв'язок перетворювачів тепер можна імітувати провідністю  $q_{12}$ , ввімкненою між паралельними коливальними контурами, що імітують коливальні системи перетворювачів. У випадку багатоеlementної ФАР електричний аналог, очевидно, буде представляти собою систему паралельних контурів, що описуються за методом вузлових потенціалів і зв'язаних один з одним провідностями  $q_{mn}$ :

$$I_n = U_n (q_{Mn} + q_{nn}) + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^N U_m q_{mn}, \quad (2)$$

де  $U_n$  і  $I_n$  — напруги у вузлах і струми в колах джерел струмів відповідно (рис. 1б).

Система рівнянь (2) за структурою аналогічна (1), проте в ній тепер аналогами коливальних швидкостей на поверхні перетворювачів є напруги  $U_n$ , а аналогами сил — струми  $I_n$ . Як видно, живлення системи зв'язаних контурів здійснюється джерелами струмів  $I_n$ .

На рис. 2 наведено структури електричних імітаторів для 6-елементної ФАР (рис. 2а) і для 16-елементної антени (рис. 2в), в якій враховуються тільки найближчі зв'язки між випромінювачами. Коливальні системи кожного з них умовно показано у вигляді заштрихованих кіл (рис. 2б). У першій схемі (рис. 2а) взаємний зв'язок між випромінювачами (гнучкість) імітується ємностями зв'язку, у другій — взаємні зв'язки показано для загального випадку.

Для перевірки і випробувань системи фазування 20-елементної ФАР було розроблено електричний імітатор за схемою, показаною на рис. 2в. Параметри  $q_{mn}$  і  $q_{nn}$  розраховувались згідно [3] для взаємодіючих через середовище перетворювачів, решта величин відповідали характеристикам коливальної системи трубних резонаторів ( $\omega = 2512$  рад/с), що мають малі хвильові розміри.

Імітатор було реалізовано в стандартному корпусі 440x120x460 за розмірами і успішно використано як аналог ФАР під час налагодження багатоканальної системи фазування.

Таким чином, проведені дослідження дозволили створити досить простий і компактний прилад, що дозволяє імітувати практично будь-які характеристики і структури гідроакустичних ФАР.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. *Короченцев В. И., Пятов А. П., Субботин А. Г.* Анализ взаимодействия преобразователей в антенной решетке // Акустический журнал.— 1985.— Вып. 5.— Т. 31.— С. 606—609.
2. *Хьюттер Т.* Двадцать лет развития гидроакустики // Зарубежная радиоэлектроника.— 1973.— № 3.— С. 3—23.
3. *Смарышев М. Д.* Направленность гидроакустических антенн.— Л. : Судостроение.— 1976.— 278 с.
4. *Свердлов Г. М.* Прикладная гидроакустика.— Л. : Судостроение.— 1973.— 274 с.
5. *Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В., Страхов С. В.* Основы теории цепей.— М. : Энергия.— 1965.— 444 с.

Надійшла до редколегії 25.03.95

УДК621.375(024)

ТАРАБАРОВ С. Б.

### МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СХЕМ МЕТОДОМ ФОРМУВАННЯ КОМПАКТНОЇ МАТРИЦІ ПРОВІДНОСТЕЙ

Розглянуто алгоритм поступового формування матриці провідностей схеми у відповідності до «виросування» схеми електричного кола, що моделюється, з облямленим попередньої системи рівнянь, а також видаленням з неї рівнянь, що не потрібні для її подальшого формування. Показано, що алгоритм забезпечує відчутну економію пам'яті та практично лінійну залежність витрат часу моделювання від розміру схеми.

Електронні кола часто моделюють системою алгебраїчних рівнянь (САР). Витрати на розв'язування останньої методом Гауса – найбільш економічного з методів розв'язування САР – кубічно залежать від числа  $n$  рівнянь і при великій їх кількості можуть виявитися чималими. Для зменшення витрат часу можуть бути використані методи розв'язування розріджених САР, а також методи діаоптики [1, 2]. Проте це пов'язане з проблемою оптимальної обробки ненульових елементів матриці системи чи оптимального розбиття схеми, що моделюється, на складові частини. Одержуване розв'язання часто має багато зайвої інформації, оскільки при моделюванні елект-