

Випробування генератора проводились з метою визначення можливостей для застосування для електроімпедансних вимірювань. Для цього опори  $R$  і  $r$ , що імітують опори шкіри і біотканини відповідно, вибирались у широких межах величин. Крім цього, робочі частоти також вибирались у широких межах. Проводились вимірювання напруг  $U_2, U_3, U_4$  і за формулами (4) і (5) розраховувались опори  $R$  і  $r$ . Ці ж опори вимірювались цифровим омметром з похибкою не гірше 0,5%. Результати вимірювань і розрахунків зведено у табл. 1, в якій наведено робочу частоту  $f$ , вимірні напруги  $U_2, U_3, U_4$ , вимірні омметром величини опорів  $R$  і  $r$ , розраховані за результатами вимірювань напруг величини цих опорів  $R_p$  і  $r_p$ , а також подані у відсотках похибки цих опорів відносно вимірних омметром величин опорів.

Одержані експериментальні дані дозволяють зробити висновок, що описаний генератор може забезпечити роздільне вимірювання опорів шкіри і підшкірної біотканини до 200 кОм з похибкою не гірше 5% у діапазоні частот від 200 Гц до 200 кГц.

#### БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. *Rosell, Colominus J., Riu P., Pallas-Areny R., Webster J. G.* Skin impedance from 1 Hz to 1 MHz // IEEE Trans. Biomed. Eng.– 1988.– Vol. BME-35.– P. 649–651.
2. Биологические характеристики тканей человека. Справочник / Березовский В. А. и др.– Киев : Наук. думка.– 1990.– 224 с.
3. *Zhu O., Lionheart W. R. B., Lidgley F. J., McLeod C. N., Paulson K. S., Pidcock M. K.* An adaptive current tomograf using voltage sources // IEEE Trans. Biomed. Eng.– 1993.– Vol. BME-40.– P. 163–168.
4. *Сташук В. Д., Таратун В. А.* Генератор для электроимпедансных измерений биологических объектов // Заявка на патент Украины № 98020632 от 5.02.98.

Надійшла до редколегії 5.03.98.

УДК 621.372.852

РЕПА Ф. М.

### МАЛОГАБАРИТНИЙ ФІЛЬТР З ПЕРЕСТРОЙКОЮ НВЧ НА ПІДВИЩЕНИЙ РІВЕНЬ ПОТУЖНОСТІ

Наведено результати досліджень дворезонаторного з магнітною перестройкою НВЧ фільтра на підвищений рівень потужності. Система охолодження феритової пластини, яка використовується, дозволяє розширити можливості структури без значного погіршення її електродинамічних характеристик.

В роботі [1] розглянуто резонансні явища у відрізку позамежевого хвилеводу (ВПХ) з поперечно намагніченою феритовою пластинкою, що має кінцеву товщину. Наведений метод розрахунку складний, не враховує впливу ліній передач, що подають енергію, а сам фільтр не може виконувати своїх функцій при високих рівнях потужності або працювати замість керованого вимикача.

Розглянемо багат шарову структуру – ферит-діелектричну пластинку (ФДП) кінцевої товщини довжиною  $L = \sum_{i=1}^n l_i$ , де  $l_i$  – товщина  $i$ -го шару, що розміщена у ВПХ (рис. 1) з поперечними розмірами  $a_2 \times b_2$ . Діелектричні шари III і VII повністю заповнюють поперечний переріз ВПХ і виконують роль стінок ( $\epsilon_3, \epsilon_7 = 3,8$ ) кожуха, шари IV і VI – радіопрозора рідинна система охолодження феритової пластинки [2], яка спроможна відводити 35–40 Вт/см<sup>2</sup> тепла. Електричні параметри шарів – товщина та діелектрична проникність синтезовані по методиці [3] таким чином, щоб в заданому діапазоні перестроювання/переключення не породжувались небажані канали проходження енергії.

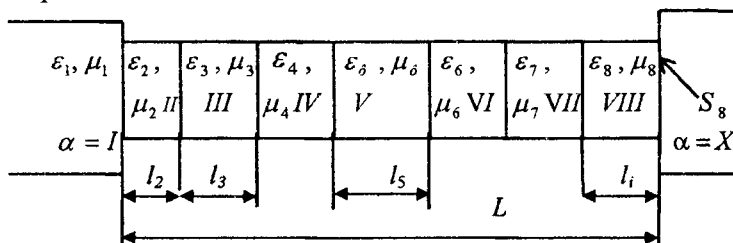


Рис. 1

Для виявлення загальних властивостей даної структури, яка збуджується стороннім струмом з хвилеводу  $\alpha = I$ , спочатку проведемо аналіз базової структури, де за підводящі лінії передачі використовують діелектрично заповнений хвилевід з параметрами  $\epsilon_1$  та  $\mu_1 = 1$ . Тоді, згідно з [4], методом узагальнених матриць достатньо провести аналіз шестишарової магнітно-діелектричної структури. Стала розповсюдження феритового шару визначається як  $K_\phi = \sqrt{K_0^2 \epsilon_\phi \mu_\perp - (\pi/a_2)^2}$ , де  $\mu_\perp = \mu - \mu_a^2/\mu$ ,  $\mu$  і  $\mu_a$  – діагональна і недіагональна компоненти тензора магнітної проникності [5], хвильова провідність феритового шару має вигляд  $Y_{55} = \sqrt{\mu_\phi/\epsilon_\phi} \cdot K_\phi / jk$ , де  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  – довжина хвилі.

На рис. 2а зображено результати розрахунків для симетричної однорезонаторної перестроюваної структури, які при відсутності шарів III, VII, IV, VI для вказаних в роботі [1] параметрів повністю з ними співпадають. Як видно з рис.1, структура з параметрами  $l_5/a_1 = 0,06$ ;  $l_4/a_1 = 0,32$ ;  $l_3/a_1 = 0,1$ ;  $l_2/a_1 = 0,1$ ;  $a_2/a_1 = 2,5$ ;  $L/a_1 = 0,4$  в межах зміни відносної магнітної проникності  $\mu/\mu_a$  від 0 до 0,8 має явно виражений резонансний характер. При змінюванні магнітного поля від  $H_0 = 0$  А/м до 130 кА/м резонансна частота структури змінюється на 30%, повністю перекриваючи смугу частот в області межовості ПХВ. Введення радіопрозрачної системи охолодження лише незначно (<12%) підвищує витрати структури.

Урахування зв'язку з підводящими лініями передачі у вигляді незаповнених обмежених хвилеводів з поперечним перерізом  $a_1 \times b_1$  здійснюється по розробленій нами електродинамічній методиці [6] розрахунку багаторезонансних структур в ПХВ. Після зшивання полів на границях  $S_i$  ( $i = 1...8$ ) кожного суміжного об'єму – шару ( $\alpha = I - IX$ ), система інтегральних рівнянь відносно дотичних складових магнітного поля методом Галеркіна зведена до системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР)

$$\left. \begin{aligned} \sum_{p=1}^P [e_{1p}(Y_{pq11}^I + Y_{pq11}^{II}) + e_{2p}Y_{pq12}^{II}] &= h_q \\ \sum_{p=i}^P [e_{1p}Y_{pq21}^{II} + e_{2p}(Y_{pq22}^{II} + Y_{pq22}^{III}) + e_{3p}Y_{pq23}^{III}] &= 0 \\ \vdots \\ \sum_{p=1}^P e_{7p}Y_{pq87}^{VIII} + e_{88p}(Y_{pq88}^{VIII} + Y_{pq88}^{IX}) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $Y_{pq\beta\gamma}^\alpha = \int_{(S_\beta)}^{\rightarrow} E_q^{II} [n_\beta^\alpha \times H_\gamma^\alpha \{E_p^{II}\}] dS_\beta$ ,  $H_\gamma^\alpha \{E_p^{II}\}$  – складова вектора магнітного поля  $H^\alpha \{E_\tau^i\}$ , що зумовлена складовою дотичного електричного поля  $\vec{E}_\tau$  на відповідній  $i$ -й границі при  $\beta = 1...8$  та  $\gamma = 1...8$ ;  $n_\beta^\alpha$  – зовнішня по відношенню до об'єму  $\alpha$  нормаль до площини  $S_\beta$ ;  $p = 1, 2 \dots q, \dots P$  – число хвиль, що враховують на границі шару,  $Y_{pq\phi}^\alpha = K_\phi / j\omega\mu_\perp$  – нормована  $Y$ -провідність феритового шару,  $\omega$  – кругова частота.

Решта  $Y$ -параметрів системи (1) має вигляд, аналогічний приведеним в роботі [6].

Згідно [6], для достатньої точності розрахунків рішення СЛАР досить обмежитись однією хвилею на границях зчленування кожного шару, тобто  $p = 1$ .

Експериментальний дворезонаторний фільтр (дві ФП охоплені системою охолодження), виконаний подібно до згаданого в роботі [1], з тією лише різницею, що введення додаткових діелектричних шарів незначно збільшує повздовжні розміри між феритовими шарами фільтра і габарити пристрою в цілому.

Таким чином, розрахунок характеристик багатошарової дворезонаторної системи (11 шарів) зводиться до одержання з розрахунку системи (1) коефіцієнтів  $e_{pq}$  полів на границях  $S_i$  зчленованих відрізків ферит-діелектричних хвилеводів, яка у разі однохвильового наближення для дворезонаторної структури має порядок  $10 \times 10$ . Знайдені комплексні коефіцієнти  $e_{pq}$  повністю визначають елементи матриці розсіювання.

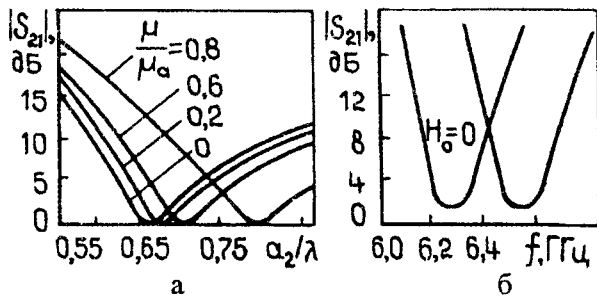


Рис. 2

Результати розрахунків модуля одного із елементів матриці розсіювання

– коефіцієнта передачі –  $|S_{21}| = \frac{4a_1}{\pi a_2} \sqrt{\frac{b_2 a_1}{b_1 a_2}} \cdot \cos(0,5 \frac{\pi a_1}{a_2}) / \left[ \left( \frac{a_1}{a_2} \right)^2 - 1 \right] \cdot |e_8|$

наведено на рис. 2б. В окремому випадку при  $\epsilon_2 = \epsilon_3 = \epsilon_4 = \epsilon_6 = \epsilon_8 = \epsilon_9 = \epsilon_{10} = 1$  результати співпадають з даними роботи [1]. Розрахунки показують, що смуга пропускання фільтра складає 2,9%, КСВН = 1,3, витрати в смузі пропускання зберігались сталими при перестроюванні в діапазоні 4,4%. Зниження частотної нерівномірності АЧХ модуля  $|S_{21}|$  в смузі пропускання ВПХ можливо шляхом правильного відбору параметрів діелектричних шарів. Для цього необхідно в результаті досліджень подібних конструкцій проаналізувати інформацію про вплив товщини нерезонансних шарів III, VII,

IV, VI на нерівномірність АЧХ. Другий шлях – застосування нерівнотовщинних феритових пластинок, зв'язок яких зумовлює більш тонку компенсацію небажаних міжшарових відбиттів, і водночас знижує повздовжні розміри фільтра.

На високих частотах, де ПХВ починає розповсюджувати хвилі, У-провідності, що входять до складу СЛАР і враховують взаємодію полів між сусідніми шарами, повинні вмішувати замість гіперболічних функцій тригонометричні. Тут перший небажаний канал проходження сигналу з'являється на частотах, що в 1,5 рази перевищують критичну частоту ПХВ.

Врахування витрат, пов'язаних з неідеальністю використаних матеріалів – пластинок, стінок хвилеводу може бути проведене з достатньою для практичних цілей точністю по методиці, приведеній, наприклад, в роботах [7, 8].

Таким чином, дворезонансний фільтр, використовуючи систему термоохолодження аналогічну [2], може працювати на підвищених рівнях імпульсної потужності (декілька десятків кіловат), практично забезпечивши високі електродинамічні характеристики, а запропонований метод розрахунку, заснований на методі використання властивих векторних функцій – проводити аналіз подібних структур в широкій смузі частот, яка також включає область розповсюдження хвиль у ВПХ.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бергер М. Н., Капилович Б. Ю., Ручкан Л. Н. СВЧ фільтр с магнитной перестройкой на запредельном волноводе // Радиотехника.– 1981.– № 8.– С. 75–77.
2. А. с. 1508880 (СССР), МКИ Н 01 L 23/18. Полупроводниковый прибор / А. Н. Небосенко, Н. Л. Небосенко, Ф. М. Рена и др.– Заявлено 27.07.87, № 4289560. Опубл. в Б.И., 1989, № 21.
3. Куц С. Н., Кравец Е. Н., Рена Ф. М. Синтез волноводно-диэлектрических резонаторов на запредельных волноводах // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Радиотехника.– 1986.– Вып. 23.– С. 20–22.
4. Сазонов Д. М., Гридин А. Н., Мишустин Б. А. Устройства СВЧ.– М. : Высш. школа, 1981.– 295 с.
5. Гуревич А. Г., Мелков Г. А. Магнитные колебания и волны.– М. : Физмат-лит, 1994.– 464 с.
6. Рена Ф. М., Небосенко Ю. А. Расчет многозвенных волноводно-диэлектрических структур в отрезке запредельного волновода // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Радиотехника.– 1991.– Вып. 28.– С.24–26.
7. Коваленко А. Н., Козлов А. Ю. К расчету потерь в экране микрополосковых структур // Радиотехника и электроника.– 1991.– Т. 36.– № 2.– С. 196–198.
8. Ильинский А. С., Зарубанов В. В. Метод расчета потерь в диэлектрике для основного и высших типов волн полосковых линий // Радиотехника и электроника.– 1982.– Т. 26.– № 5.– С. 1035–1036.

Надійшла до редакції 15.04.98.