

ДОБРОТНІСТЬ І СПЕКТРАЛЬНО-ФАЗОВІ ПАРАМЕТРИ МІКРОСМУЖКОВИХ ФІЛЬТРІВ З РЕЖИМОМ БІЖУЧОЇ ХВИЛІ

К. т. н. Е. М. Глушеченко

Науково-виробниче підприємство «Сатурн»

Україна, м. Київ

gen-nto@ukr.net

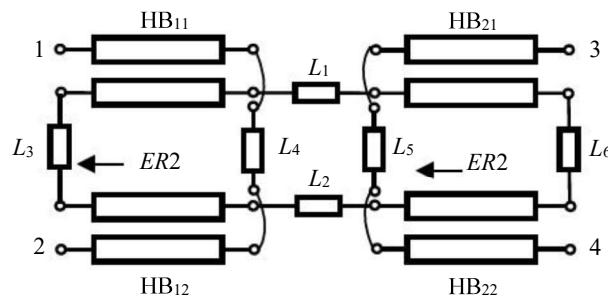
Для формування характеристик мікросмушкового напрямленого фільтра біжучої хвилі його структурна схема сформована з напрямлених НВЧ-відгалужувачів типу «тандем». Визначення спектра частот, фазових станів та добротності таких фільтрів обґрунтоване аналізом стану НВЧ-сигналів у кільцевому резонаторі з режимом біжучої хвилі, сформованому з вторинних каналів відгалужувачів та чвертьхвильових відрізків ліній передачі.

Ключові слова: НВЧ, мікросмушкова лінія, відгалужувач, фільтр, біжуча хвиля, добротність, фаза, спектр.

Мікросмушковий напрямлений фільтр біжучої хвилі (МНФБХ) — це НВЧ-пристрій, основним елементом якого є кільцевий резонатор біжучої хвилі. МНФБХ утворюється двома тридецибельними напрямленими відгалужувачами (НВ) типу «тандем» [1], вторинні канали яких утворюють замкнений кільцевий резонатор біжучої хвилі з електричною довжиною 2λ (λ — довжина хвилі на резонансній частоті f_0). МНФБХ є багатофункціональним пристроєм, оскільки одночасно реалізує функції смуго-пропускального фільтра (СПФ), смуго-загороджувального фільтра (СЗФ), а також розв'язувального (узгоджувального) елемента НВЧ-тракту.

Амплітудно-частотні характеристики та параметри розсіювання (S -матриця) МНФБХ достатньо докладно розглянуті у роботі [2]. Водночас для сучасних НВЧ-пристроїв, у складі яких є такі фільтри на мікросмушкових передавальних лініях (МСЛ), важливе значення мають добротність та спектрально-фазові характеристики. Розглянемо їх у цій роботі.

Для аналізу спектрально-фазових станів МНФБХ скористаємося його структурною схемою, представленою на рисунку.



Структурна схема мікросмушкового МНФБХ:

1 — вхід; 2 — СЗФ; 3 — СПФ; 4 — узгоджене навантаження;

$ER1$, $ER2$ — НВЧ-сигнал у кільцевому резонаторі, відповідно, на вході та виході каналу 1–2 фільтра;

HB_{11} , HB_{12} та L_3 , L_4 — відповідно, відгалужувачі та $\lambda/4$ -відрізки МСЛ модифікованого НВ1;

HB_{21} , HB_{22} та L_5 , L_6 — те ж саме для модифікованого НВ2

Фази НВЧ-сигналів на полюсах МНФБХ будемо розглядати з огляду на те, що фаза сигналу на його вході $\varphi_1=0$. Слід також враховувати, що напрямлені відгалужувачі на двох пов'язаних МСЛ з бічним зв'язком є пристроями другого типу з подвійною симетрією та протиспрямованим відгалуженням сигналу [3, с. 25–30]. З урахуванням цього фаза НВЧ-сигналу $ER1$, відгалуженого в кільцевій резонатор на резонансній частоті через відгалужувач з перехідним ослабленням 3 дБ, дорівнюватиме $\varphi_{ER1} = -180^\circ$, а НВЧ-сигнал, відгалужений з кільцевого резонатора через аналогічний відгалужувач у СПФ-канал МНФБХ (полюс 3) матиме фазовий зсув $\varphi_2 = \varphi_{ER1} - 180^\circ = -360^\circ \equiv 0$.

При проходженні НВЧ-сигналу по кільцевому резонатору з електричною довжиною $\ell_2 = n\lambda$ (де n — ціле число) маємо $\varphi_{ER2} = \varphi_{ER1} = -180^\circ$, а після відгалуження $ER2$ через відгалужувач з

ослабленням 3 дБ у СЗФ-каналі (полнос 2) має місце фазовий зсув НВЧ-сигналу $\varphi_2 = \varphi_{ER2} - 180^\circ = -360^\circ \equiv 0$. У каналі 4, враховуючи ER1, фазовий зсув $\varphi_4 = -180^\circ \equiv 0$.

В процесі аналізу спектральної картини слід врахувати, що основним елементом МНФБХ є кільцевий резонатор біжучої хвилі. Він має електричну довжину $\ell_1 = 2\lambda$, яка збігається з центральною частотою відгалужувачів, що утворюють МНФБХ. Таким чином, у цьому кільцевому резонаторі біжучої хвилі поширюється як хвиля основної моди з частотою f_0 , так і інші спектральні компоненти (наприклад, з частотою $f_c = f_0/2$).

Теоретично є можливим виникнення в кільцевому резонаторі та інших спектральних компонентах резонансної частоти f_0 МНФБХ. Однак всі відгалужувачі з центральною частотою f_0 , що утворюють МНФБХ, мають напівоктавний діапазон Δf робочих частот, тобто для всіх відгалужувачів робочою є смуга $\Delta f_1 \leq 0,4f_0$ [3, с. 75–81]. Водночас всі можливі спектральні компоненти кільцевого резонатора біжучої хвилі є кратними цілому числу довжини хвиль з частотою f_0 . Тому через будь-який з відгалужувачів МНФБХ до кільцевого резонатора може бути введений або з нього може бути виведений НВЧ-сигнал із частотою тільки лише в смузі $\Delta f = f_0 \cdot (1 \pm 0,2)$.

У МНФБХ довжина резонансного кільця, як зазначено раніше, $\ell = 2\lambda$, а коефіцієнти зв'язку за напругою відгалужувачів НВ₁ та НВ₂ рівні, тобто $C_1 = C_2 = C$. Тому відповідно до [1] сигнал за напругою в СПФ-каналі (полнос 3) фільтра на резонансній частоті визначено як

$$E_3^0 = \frac{C^2 \exp(-\alpha \ell / 2)}{1 - (1 - C^2) \exp(-\alpha \ell)}, \quad (1)$$

а на нерезонансній частоті

$$E_3^1 = \frac{C^2 \exp(-[\alpha \ell + j\theta] / 2)}{1 - (1 - C^2) \exp(-[\alpha \ell + j\theta])}, \quad (2)$$

при цьому електрична довжина резонансного кільця в точках половинного спаду потужності $\ell = 2\lambda + \theta = 2\pi + \theta$, де θ — фазова постійна.

Навантажена добротність фільтра визначається як $Q = f_0 / \Delta f = f_0 / (f_2 - f_1) = 0,5f_0 / (f_0 - f_1) = 2\pi\theta_1$, де θ_1 та f_1 — значення у точках половинного спаду потужності, Δf — смуга пропускання за рівнем 3 дБ, тобто половинної потужності [4, с. 200 – 202].

Прирівнявши абсолютні значення (тобто за модулем) правих частин виразів (1) і (2), а також припустивши, що значення θ є малим, отримуємо вираз визначення добротності МНФБВ:

$$Q = \frac{2\pi\sqrt{1 - C^2} \cdot \exp(-\alpha \ell / 2)}{1 - (1 - C^2) \exp(-\alpha \ell)}. \quad (3)$$

Отримані в результаті проведеного дослідження вирази фазових станів у каналах фільтра, спектральна картина сигналів у смузі його пропускання та вираз визначення добротності дозволяють істотно доповнити систему параметрів мікросмужкових направлених фільтрів. Відомі ж раніше з [2] вирази для сигналів у СПФ- та СЗФ-каналах аналогічних пристроїв дозволяють обчислити втрати у тих же каналах за формулою $P_n = 20 \lg(E_1 / E_n)$. Таким чином, отримано максимально повну систему параметрів для моделювання складних пристроїв на МПЛ, що містять фільтри з резонаторами біжучої хвилі.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Shelton J.P., Wolf J., Van Wagoner R. Tandem couplers and phase shifter. *Microwaves*, 1965, p. 14–19.
2. Глушеченко Э.Н. Микрополосковый направленный фильтр бегущей волны. *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, 2003, № 3, с. 35–36.
3. Малорацкий Л.Г., Явич Л.Р. *Проектирование и расчет СВЧ элементов на полосковых линиях*. Москва, Сов. радио, 1972.
4. Малорацкий Л.Г. *Микроминиатюризация элементов и устройств СВЧ*. Москва, Сов. радио, 1976.

Е. М. Glushechenko

Q factor and spectral-phase parameters of microstrip traveling wave filters

To form the characteristics of the microstrip directional traveling wave filter, its block diagram is formed from directional microwave couplers of the tandem type. The study justifies the determination of the frequency spectrum, phase states and Q factor of such filters by the analysis of the state of microwave signals in a ring resonator with a traveling wave mode formed from secondary channels of couplers and quarter-wave segments of transmission lines.

Keywords: microwave, microstrip line, coupler, filter, traveling wave, Q factor, phase, spectrum.