

Багатошарні інтегральні схеми надвисокочастотного випромінювання засобів телекомунікації

УДК 004.725.7

Дмитро Чирва, Дмитро Волокітін,
Іван Басюк, Світлана Ковтун¹,
Тетяна Приходько

Національний авіаційний університет, ¹svt.kovtun@gmail.com

Багатошарні (об'ємні) інтегральні схеми НВЧ (ОІС НВЧ) широко використовуються радіоелектронній апаратурі різного призначення. ОІС конструюється із відрізків однорідних ліній. Це обмежує їх застосування в тих випадках, коли потрібно виключити періодичність частотних характеристик.

Для виключення періодичності характеристик та забезпечення заданих нулів передачі доцільно конструювати ОІС на основі неоднорідних ліній з фіксованими полюсами і зміщеними нулями вхідного опору. Матриця опорів $[Z^{\wedge}] = [Z_{11}^{\wedge}, Z_{12}^{\wedge}, Z_{22}^{\wedge}]$ такої лінії виходить в результаті перетворення елемента Z_{11} деякої вихідної лінії. Позначимо через $Z_{11}^{\wedge}, Z_{12}^{\wedge}, Z_{22}^{\wedge}$ елементи матриці опорів вихідної лінії. Щоб забезпечити задані нулі передачі, трансформуємо вхідний опір вихідної лінії наступним чином:

$$Z_{11}^{\wedge}(P) = Z_{11}(P) * (1 + \frac{P^2}{\gamma^2}) + (1 + \frac{P^2}{\Omega_1^2}) \quad (1)$$

де p – комплексна частотна змінна. Якщо $Z_{11}(j\Omega) = 0$, то перетворення (1) відповідає зміщенню нуля елемента Z_{11} із положення $j\Omega$ в положення $j\gamma$. Очевидно, що повторне застосування перетворення (1) до елемента Z_{11} приводить до неоднорідної лінії, яка забезпечує два заданих нуля передачі. Застосовуючи процедуру (1) M раз, отримаємо лінію з нулями $p_k = j\gamma_k$, $k = 1, 2, 3, \dots, M$. Якщо в якості вихідної лінії взяти однорідний відрізок з хвильовим опором W і часом затримки τ , то відповідно до результатів можна

записати: $Z_{11}^{\wedge} = W * \text{cth}(p\tau) * (1 + \frac{P^2}{\gamma_1^2}) + (1 + \frac{P^2}{\Omega_1^2})$; $Z_{12}^{\wedge} = W / \text{sh}(p\tau)$; $p_k = j\gamma_k$

$$Z_{22}^{\wedge} = \phi(p) - 2p * \text{res}[\phi(p)] / (p^2 + \gamma_1^2);$$

$$\phi(p) = W * \text{cth}(p\tau) * (1 + \frac{P^2}{\Omega_1^2}) / (1 + \frac{P^2}{\gamma_1^2}) \quad (2)$$

$$\text{res}[\phi(p)] = W * \text{cth}(j\gamma\tau) * [\gamma_1 * (\Omega_1^2 - \gamma_1^2) / 2j\Omega_1^2]; \quad p_k = j\gamma_k$$

Хвильовий опір лінії, елементи матриці опорів якої визначаються із співвідношення (2), змінюється по наступному закону:

$$W_1(\tau) = W * \Omega_1^2 (1 + K\gamma_1 / \Omega_1) / \gamma_1^2 (1 + K\Omega_1 / \gamma_1) \quad (3)$$

де $K = \text{tg}(\gamma_1\tau) * \text{tg}(\Omega_1\tau)$.

Складемо з пари неоднорідних ліній структуру, в якій за рахунок профільованої діафрагми реалізується врівноважений зв'язок (рис. 1). Для опису моделі введемо фіктивні струми i_1, i_2, i_3, i_4 . Розглянемо властивості утвореної структури з кінців a_1, a_2 .

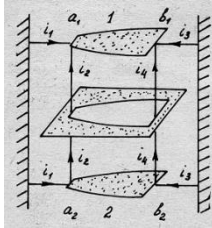


Рис. 1. Пари неоднорідних ліній структури

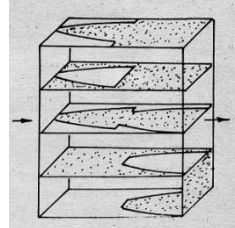


Рис. 2. Інтегральна схема базових елементів

Під впливом струмів i_2, i_4 в лініях 1, 2 виникає непарний вид коливань з напругами $u_1^{(2)} = -u_2^{(2)} = z_{22}^{(0)} i_2; u_1^{(4)} = -u_2^{(4)} = z_{12}^{(0)} i_4$ (4), де $z_{22}^{(0)}, z_{12}^{(0)}$ – компоненти матриці $[z]$ при непарному вигляді коливань. Струми i_1, i_3 викликають в лініях 1, 2 парний вид коливань з напругами $u_1^{(1)} = u_2^{(2)} = z_{11}^{(0)} i_1; u_1^{(3)} = u_2^{(3)} = z_{13}^{(0)} i_3$ (5), де $z_{11}^{(0)}, z_{13}^{(0)}$ – компоненти матриці $[z]$ при парному вигляді коливань.

За позитивний будемо вважати струм, що підходить до лінії, а за негативний – той, що виходить з неї. Тоді повні струми на кінцях a_1, a_2, b_1, b_2 записуються наступним чином $I_{1a} = i_1 + i_2; I_{2a} = i_1 - i_2; I_{1b} = i_3 + i_4; I_{2b} = i_3 - i_4$; (6)

Із умов (6) визначаємо

$$i_1 = (I_{1a} + I_{2a}) / 2; i_2 = (I_{1a} - I_{2a}) / 2; i_3 = (I_{1b} + I_{2b}) / 2; i_4 = (I_{1b} - I_{2b}) / 2 \quad (7)$$

Напруги, створювані на кінцях a_1, a_2 ліній 1, 2 являються сумою напруг окремих коливань: $U_{1a} = u_1^{(1)} + u_1^{(2)} + u_1^{(3)} + u_1^{(4)}; U_{2a} = u_2^{(1)} + u_2^{(2)} + u_2^{(3)} + u_2^{(4)}$ (8)

На основі співвідношень (4), (5), (7), (8) отримуємо

$$U_{1a} = p_{11}^{(1)} I_{1a} + p_{12}^{(1)} I_{2a} + p_{11}^{(2)} I_{1b} + p_{12}^{(2)} I_{2b}; U_{2a} = p_{12}^{(1)} I_{1a} + p_{11}^{(1)} I_{2a} + p_{12}^{(2)} I_{1b} + p_{11}^{(2)} I_{2b} \quad (9)$$

де $p_{11}^{(1)} = (z_{11}^{(0)} + z_{11}^{(0)}) / 2; p_{12}^{(1)} = (z_{11}^{(0)} - z_{11}^{(0)}) / 2; p_{11}^{(2)} = (z_{12}^{(0)} + z_{12}^{(0)}) / 2; p_{12}^{(2)} = (z_{12}^{(0)} - z_{12}^{(0)}) / 2$.

Розглянемо властивості структури з кінців b_1, b_3 . Струми i_2, i_4 викликають непарні коливання $u_1^{(2)} = -u_2^{(2)} = z_{12}^{(0)} i_2; u_1^{(4)} = -u_2^{(4)} = z_{22}^{(0)} i_4$ (10)

де $z_{22}^{(0)}$ - елемент матриці $[z]$ при непарному вигляді коливань.

Струми i_1, i_3 викликають в лініях 1, 2 парний вигляд коливань з напругами

$$u_1^{(1)} = u_2^{(2)} = z_{12}^{(0)} i_1; u_1^{(3)} = u_2^{(3)} = z_{22}^{(0)} i_3 \quad (11)$$

де $z_{22}^{(0)}$ – елемент матриці $[z]$ при парному вигляді коливань.

Напруги, що створюються на кінцях b_1, b_2 ліній 1, 2, визначаються сумою напруги окремих видів коливань

$$U_{1b} = u_1^{(1)} + u_1^{(2)} + u_1^{(3)} + u_1^{(4)}; U_{2b} = u_2^{(1)} + u_2^{(2)} + u_2^{(3)} + u_2^{(4)} \quad (12)$$

На основі співвідношень (7), (10) - (12) отримаємо

$$U_{1b} = p_{11}^{(2)} I_{1a} + p_{12}^{(2)} I_{2a} + p_{11}^{(3)} I_{1b} + p_{12}^{(3)} I_{2b}; U_{2b} = p_{12}^{(2)} I_{1a} + p_{11}^{(2)} I_{2a} + p_{12}^{(3)} I_{1b} + p_{11}^{(3)} I_{2b} \quad (13)$$

де $p_{11}^{(3)} = (z_{22}^{(1)} + z_{22}^{(0)}) / 2$; $p_{12}^{(3)} = (z_{22}^{(1)} - z_{22}^{(0)}) / 2$.

На основі залежностей (9), (13) визначимо матричне рівняння структури з двох зв'язаних неоднорідних ліній

$$\begin{bmatrix} U_{1a} \\ U_{2a} \\ U_{1b} \\ U_{2b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [p]_1 & [p]_2 \\ [p]_2 & [p]_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{1a} \\ I_{2a} \\ I_{1b} \\ I_{2b} \end{bmatrix}; [p]_1 = \begin{bmatrix} p_{11}^{(1)} & p_{12}^{(1)} \\ p_{12}^{(1)} & p_{11}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (14)$$

де матриці-блоки мають вигляд:

Базові елементи формуються зі структури, показаної на рис. 1, після введення відповідних граничних умов для визначених кінців неоднорідних ліній. Інтегральна схема конструюється при каскадному з'єднанні базових елементів, розташованих в різних шарах багатошарового пакета (рис. 2). Отримані результати дозволяють конструювати ОІС НВЧ, що забезпечують нулі передачі в заздалегідь встановлених ділянках частотного діапазону. Отже, є можливість подавати сигнали, що заважають і забезпечують сприятливі умови функціонування як ОІС, так і апаратури в цілому.

Науковий керівник – д.т.н., професор Козловський В.В.