

МАТРИЦЯ РОЗСПОВАННЯ АТЕНЮАТОРА З ЕЛЕКТРОННИМ КЕРУВАННЯМ

Інститут електроніки і систем управління Національного авіаційного університету
Розглянуто виведення матриці розсіювання атенюатора з електронним керуванням на основі розділу структурної схеми атенюатора на сукупність багатополіусників.

Постановка задачі

В статті [1] розглядався атенюатор з електронним керуванням, суть якого полягала у використанні мостів НВЧ і фазовому керуванні розподілом потужності у вихідних плечах моста. Один ступінь атенюатора можна розглядати як восьмиполіусник з матрицею подільника потужності. Всі плечі восьмиполіусника ідеально узгоджені.

В даній статті детально розглядається виведення матриці розсіювання поді-

льника потужності електромагнітної хвилі.

Реалізація теоретичних завдань

Структурну схему атенюатора з електронним керуванням (рис. 1) [2] можна схематично розділити на декілька багатополіусників (рис.2), де М1, М2, М3 – квадратні мости (восьмиполіусники), ЛЗ – лінія затримки, ФО – фазообертач (чотириполіусник).

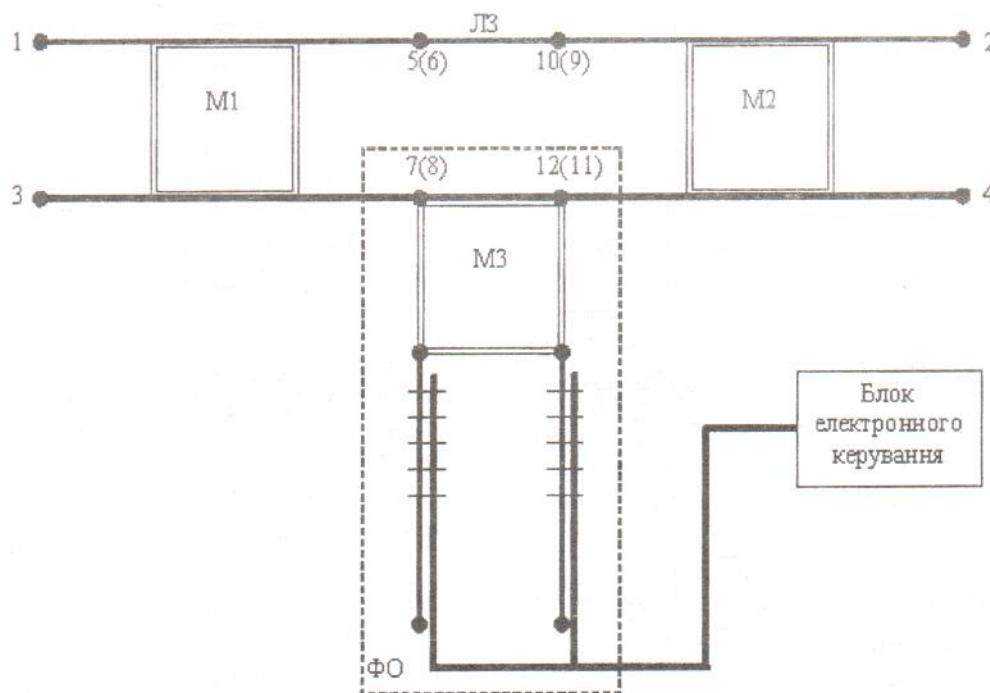


Рис. 1. Структурна схема атенюатора з електронним керуванням

На рис. 1 в дужках позначені плечі, які з'єднуються з плечима попереднього багатополіусника. Керуючись методом

об'єднання багатополіусників [3] запишемо матриці розсіювання окремо для цих чотирьох елементів.

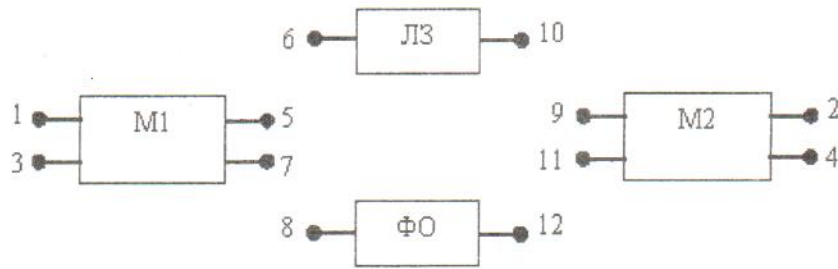


Рис. 2. Схематичне представлення атенюатора з електронним керуванням в вигляді сукупності багатополосників

Матриці розсіювання мостів M1 та M2, як окремо взятих восьмиполосників з нумерацією пліч 1, 2, 3, 4, ідентичні і мають вигляд:

$$S_{1,2}^8 = a \begin{bmatrix} 0 & i & 0 & 1 \\ i & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & i \\ 1 & 0 & i & 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де $a = -\frac{1}{\sqrt{2}}$.

Матриця розсіювання лінії затримки ЛЗ, як чотирьохполосник має вигляд:

$$S_1^4 = \begin{bmatrix} 0 & e^{-i\varphi_1} \\ e^{-i\varphi_1} & 0 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де φ_1 – фазовий зсув, який вносить лінія затримки ЛЗ.

Оскільки фазообертач ФО розглядаємо як чотирьохполосник, то його матриця розсіювання, у випадку коли втратами можна знехтувати, має вигляд:

$$S_2^4 = \begin{bmatrix} 0 & e^{-i\varphi_2} \\ e^{-i\varphi_2} & 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де φ_2 – фазовий зсув, який регулюється фазообертачем ФО.

Введемо умовні позначення: $e^{-i\varphi_1} = b$, $e^{-i\varphi_2} = c$.

Виходячи з формул (1) – (3) і нумерації пліч, приведеної на рис.2, матрицю розсіювання для сукупності багатополосників можна записати наступним чином:

$$S = \begin{bmatrix} S_1 & | & S_2 \\ \hline S_3 & | & S_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & ia & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & ia & 0 & a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & ia & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & ia & 0 & 0 \\ \hline ia & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b & 0 & 0 & 0 \\ a & 0 & ia & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c \\ 0 & ia & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 & ia & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

В цій матриці виокремлено клітинні матриці, через які зв'язуються вхідні і вихідні (падаючі і відбиті) хвилі через вхідні і вихідні плечі атенюатора і окремих багатополосників.

За допомогою рис. 1 складемо матрицю, яка відтворює з'єднання чотирьох багатополосників один з одним:

$$K = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Матрицю атенюатора \hat{S} знаходимо за формулою

$$\hat{S} = -S_2(S_4 - K)^{-1}S_3. \quad (6)$$

Для обчислення оберненої матриці $(S_4 - K)^{-1}$ використаємо відому з матричного числення формулу

$$\hat{S} = - \begin{bmatrix} ia & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & ia & 0 & a & 0 \\ a & 0 & ia & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 & ia & 0 \end{bmatrix} \times (-1) \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & b & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} ia & 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ a & 0 & ia & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & ia & 0 & a \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 & ia \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -a^2b + a^2c & 0 & ia^2b + ia^2c \\ -a^2b + a^2c & 0 & ia^2b + ia^2c & 0 \\ 0 & ia^2b + ia^2c & 0 & a^2b - a^2c \\ ia^2b + ia^2c & 0 & a^2b - a^2c & 0 \end{bmatrix}.$$

$$A^{-1} = (S_4 - K)^{-1} = \frac{1}{\det A} \begin{bmatrix} A_{55} & A_{56} & \dots & A_{5,12} \\ A_{65} & A_{66} & \dots & A_{6,12} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{12,5} & A_{12,6} & \dots & A_{12,12} \end{bmatrix},$$

де $A_{ij} = (-1)^{i+j} M_{ij}$, а $\det A = \sum_{i=5}^{12} a_{ij} A_{ij}$, $j = 5, 6, \dots, 12$.

В результаті розрахунку знаходимо, що $\det A = -1$.

Отже,

$$A^{-1} = (S_4 - K)^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & b & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}.$$

За формулою (6) визначаємо матрицю розсіювання восьмиполосника, який і є власне атенюатором

Підставляючи значення a , b і c отримуємо

$$\hat{S} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & e^{-i\varphi_2} - e^{-i\varphi_1} & 0 & i(e^{-i\varphi_1} + e^{-i\varphi_2}) \\ e^{-i\varphi_2} - e^{-i\varphi_1} & 0 & i(e^{-i\varphi_1} + e^{-i\varphi_2}) & 0 \\ 0 & i(e^{-i\varphi_1} + e^{-i\varphi_2}) & 0 & e^{-i\varphi_1} - e^{-i\varphi_2} \\ i(e^{-i\varphi_1} + e^{-i\varphi_2}) & 0 & e^{-i\varphi_1} - e^{-i\varphi_2} & 0 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Припустимо, що лінія затримки ЛЗ вносить фазовий зсув $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$, а $\varphi_2 = \psi$.

Тоді

$$\hat{S} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & i+e^{-i\psi} & 0 & 1+ie^{-i\psi} \\ i+e^{-i\psi} & 0 & 1+ie^{-i\psi} & 0 \\ 0 & 1+ie^{-i\psi} & 0 & -(i+e^{-i\psi}) \\ 1+ie^{-i\psi} & 0 & -(i+e^{-i\psi}) & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Висновок

Формула (8) і є матрицею розсіювання атенюатора з електронним керуванням. За допомогою матриці (8), змінюючи фазовий зсув ψ , можна визначити ослаблення, яке набуває хвиля, що проходить через атенюатор. Більш широко можна проаналізувати роботу атенюатора за допомогою формули (7) змінюючи фазовий зсув лінії затримки φ_1 , а також фазо-

вий зсув фазообертача $\varphi_2 = \psi$ та використовуючи різні поєднання вхідних та вихідних пліч восьмиполіусника.

Список літератури

1. Ільницький Л. Я., Щербина О. А. Атенюатор з електронним керуванням у системах захисту інформації// Защита информации: Сборник научных трудов. – К.: – НАУ, 2004. – Вип. 2. – С. 128-134.
2. Деклараційний патент на корисну модель № 5366. Атенюатор надвисоких частот з електронним керуванням. Л. Я. Ільницький, О. А. Щербина. Бюл. № 3, від 15.03.2005.
3. Ільницький Л. Я., Савченко О. Я., Сібрुक Л. В. Антени та пристрої надвисоких частот: Підручник для ВНЗ/ За ред. Л. Я. Ільницького. – К.: Укртелеком, 2003. – 496 с.