

СИНТЕЗ ЦЕПЕЙ СТЕРЖНЕВОГО ТИПА С НЕСОРАЗМЕРНЫМИ ОТРЕЗКАМИ ОДНОРОДНЫХ ЛИНИЙ

*Бычковский В. А., к. т. н., доцент; Реутская Ю. Ю., ст. преподаватель
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,
г. Киев, Украина*

Цепи стержневого типа (ЦСТ), представляющие собой каскадное соединение линий передачи, широко используются в аппаратуре СВЧ. Значительная часть ЦСТ конструируется из соразмерных отрезков однородных линий [1]. Это ограничивает свободу выбора разработчика и в ряде случаев не позволяет создавать цепи с приемлемыми характеристиками. В статье предлагается другой метод формирования ЦСТ, основанный на каскадном соединении несоразмерных однородных линий (НОЛ). При этом ЦСТ реализуется в виде такого набора НОЛ, который позволяет реализовать заданную функцию ЦСТ.

Опишем НОЛ как обратимые четырехполюсники с матрицами передачи $\|A\|_i$, где $i=1,2,\dots,n$ [1]. Пусть W_i — волновое сопротивление i -той НОЛ; $S_i = j \tan(2\pi l_i / \lambda)$ — переменная Ричардса i -той НОЛ длиной l_i ; λ — длина волны в линиях. Тогда матрицу передачи НОЛ можно записать в виде

$$\|A\|_i = \frac{1}{\sqrt{1-S_i^2}} \begin{vmatrix} 1 & W_i S_i \\ \frac{S_i}{W_i} & 1 \end{vmatrix}. \quad (1)$$

При использовании соразмерных отрезков однородных линий выполняются условия $l_i = l$, $S_i = S = j \tan(2\pi l / \lambda)$ и в процессе синтеза применяется процедура Ричардса. В том случае, когда ЦСТ формируется из НОЛ, процедура Ричардса оказывается бесполезной, поскольку определить порядок следования НОЛ в ЦСТ не представляется возможным. Для решения задачи воспользуемся тем обстоятельством, что при гомоморфных отображениях порядок следования элементов в структуре определяется однозначно. Эта однозначность обусловлена совпадением значения дробно-линейного преобразования в особой точке (ядре гомоморфизма), принадлежащей очередному элементу структуры, со значением дробно-линейного преобразования во всех его особых точках [2].

Пусть $Z_2(S_1, S_2, \dots, S_n)$ — входное сопротивление ЦСТ после извлечения i -той НОЛ. Тогда с учетом соотношения (1) входное сопротивление всей ЦСТ определяется по формуле

$$Z_1(S_1, S_2, \dots, S_n) = \frac{W_i [Z_2(S_1, S_2, \dots, S_n) + W_i S_i]}{S_i Z_2(S_1, S_2, \dots, S_n) + W_i}. \quad (2)$$

На основани формулы (2) можно записать зависимость для входного сопротивления оставшейся части ЦСТ

$$Z_2(S_1, S_2, \dots, S_n) = \frac{Z_1(1, 1, \dots, 1) [Z_1(S_1, S_2, \dots, S_n) - S_i Z_1(1, 1, \dots, 1)]}{Z_1(1, 1, \dots, 1) - S_i Z_1(S_1, S_2, \dots, S_n)} \quad (3)$$

поскольку $W_i = Z_1(1, 1, \dots, 1)$ на основании свойства функции (2) в ядре гомоморфизма [2]. После извлечения первой НОЛ порядок функции $Z_2(S_1, S_2, \dots, S_n)$ понижается. Процедура извлечения НОЛ повторяется и определяются входные сопротивления оставшейся части цепи и волновые сопротивления очередных НОЛ. В конечном итоге все НОЛ будут извлечены из цепи и процедура синтеза будет завершена.

Рассмотрим методику синтеза цепи стержневого типа по входному сопротивлению

$$Z_1(S_1, S_2, S_3) = \frac{400S_1S_2S_3 + 200S_1 + 100S_2 + 50S_3}{4S_1S_3 + 2S_1S_2 + 0.5S_2S_3 + 1}. \quad (4)$$

Анализ формулы (4) показывает, что входное сопротивление описывается тремя частотными переменными. Следовательно, в состав ЦСТ входит три НОЛ. Определяем, какая из НОЛ расположена в цепи первой. Для этого воспользуемся свойствами гомоморфных отображений [2]. Поскольку $Z_1(S_1, 1, S_3) = Z_1(1, 1, 1) = 100$, то первой в ЦСТ расположена НОЛ, которая описывается частотной переменной $S_2 = j \tan(2\pi l_2 / \lambda)$ и имеет волновое сопротивление $W_2 = Z_1(1, 1, 1) = 100$ Ом. Извлекаем из ЦСТ первую НОЛ в соответствии с процедурой (3) и получаем числитель M и знаменатель N соотношения (3):

$$M = \frac{5000(4S_1 + S_3)(1 - S_2^2)}{4S_1S_3 + 2S_1S_2 + 0.5S_2S_3 + 1},$$

$$N = \frac{100(1 + 4S_1S_3)(1 - S_2^2)}{4S_1S_3 + 2S_1S_2 + 0.5S_2S_3 + 1}.$$

Следовательно, входное сопротивление оставшейся части ЦСТ

$$Z_2(S_1, S_3) = \frac{M}{N} = \frac{50(4S_1 + S_3)}{1 + 4S_1S_3}. \quad (5)$$

Определяем, какая из НОЛ расположена в цепи второй. Поскольку $Z_2(S_1, 1) = Z_2(1, 1) = 50$, то второй в ЦСТ расположена НОЛ, которая описывается переменной $S_3 = j \tan(2\pi l_3 / \lambda)$ и имеет волновое сопротивление $W_3 = Z_2(1, 1) = 50$ Ом. Повторяя процедуру, аналогичную (3), получаем числитель P и знаменатель E входного сопротивления Z_3 :

$$P = \frac{10000S_1(1 - S_3^2)}{1 + 4S_1S_3}, \quad E = \frac{50(1 - S_3^2)}{1 + 4S_1S_3}.$$

Следовательно, входное сопротивление оставшейся части ЦСТ

$$Z_3(S_1) = \frac{P}{E} = 200S_1. \quad (6)$$

Значит, последней в ЦСТ расположена НОЛ, которая описывается частотной переменной $S_1 = j \tan(2\pi l_1 / \lambda)$ и имеет волновое сопротивление $W_1 = Z_3(1) = 200$ Ом. Из анализа условий (1) и (6) определяем, что последняя НОЛ короткозамкнута на дальнем конце. Таким образом, в результате синтеза установлено, что ЦСТ короткозамкнута на дальнем конце и состоит из каскадного соединения однородных линий длиной l_2, l_3, l_1 с волновыми сопротивлениями $W_2 = 100$ Ом, $W_3 = 50$ Ом, $W_1 = 200$ Ом.

Полученные результаты показывают, что предложенная методика позволяет конструировать цепи стержневого типа, выполненные из несоразмерных отрезков однородных линий. Они являются более общими и гибкими по сравнению с известными методами [1]. Применение несоразмерных отрезков однородных линий открывает новые возможности при конструировании устройств СВЧ.

Перелік посилань

1. Фильтры и цепи СВЧ / пер. с англ. Л. В. Алексеева, А. Е. Знаменского, В. С. Полякова. — М.: Связь, 1976. — 246 с.
2. Козловский В. В., Бычковский В. А., Свечников Г. С., Згурский А. В. Синтез неоднородных электромагнитных сред / В. В. Козловский, В. А. Бычковский, Г. С. Свечников, А. В. Згурский — Киев: Наукова думка, 1992. — 266 с.

Аннотация

Рассмотрена методика синтеза цепей стержневого типа с несоразмерными отрезками однородных линий. Показана процедура извлечения линий из цепи, определения их волнового сопротивления и порядка расположения в стержневой структуре.

Ключевые слова: синтез цепей, однородные линии, стержневые цепи.

Анотація

Розглянуто методику синтезу кіл стрижневого типу з нерозміреними відрітками однорідних ліній. Показана процедура вилучення ліній з кола, визначення їх хвильового опору і порядку розташування в стрижневій структурі.

Ключові слова: синтез кіл, однорідні лінії, стрижневі кола.

Abstract

Methods of synthesis of rod-type circuits with disproportionate segments of homogeneous lines considered. The procedure of the extraction of lines from the circuit, procedure to determine their characteristic impedance and their order in the arrangement of the core structure shown.

Keywords: synthesis of circuits, uniform lines, rod circuits.