

## ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ НА ПОЛЮСАХ МНОГОРЕЗОНАТОРНОГО МИКРОПОЛОСКОВОГО НАПРАВЛЕННОГО ФИЛЬТРА

К. т. н. Э. Н. Глушеченко

Научно-производственное предприятие «Сатурн»

Украина, г. Киев  
gen-nto@ukr.net

С учетом основных требований к структурной схеме одночастотного микрополоскового многорезонаторного направленного фильтра бегущей волны был осуществлен анализ условий его функционирования. На основании результатов проведенного анализа сформирован алгоритм моделирования параметров уровня сигналов на полюсах такого фильтра в зависимости от количества его резонаторов.

*Ключевые слова:* микрополосковая линия, фильтр, ответвитель, резонатор.

В настоящее время проектирование СВЧ-систем и устройств выполняется на основании предварительно проведенного математического моделирования. Для этого, естественно, необходимы электрические характеристики отдельных узлов и блоков. Однако такая информация имеется далеко не о всех таких устройствах. Например, система параметров однорезонаторного (базового) микрополоскового направленного фильтра бегущей волны (МНФБВ) известна [1], а многорезонаторного МНФБВ — отсутствует. Настоящая работа посвящена формированию системы сигнальных параметров многорезонаторного МНФБВ.

Известно [2], что одночастотный многорезонаторный МНФБВ образован на базе однорезонаторного [1]. Структурная схема такого многорезонаторного фильтра в варианте трехрезонаторного МНФБВ приведена на рис. 1.

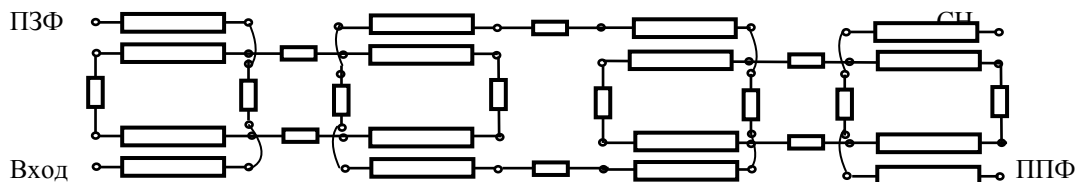


Рис. 1. Структурная схема трехрезонаторного МНФБВ

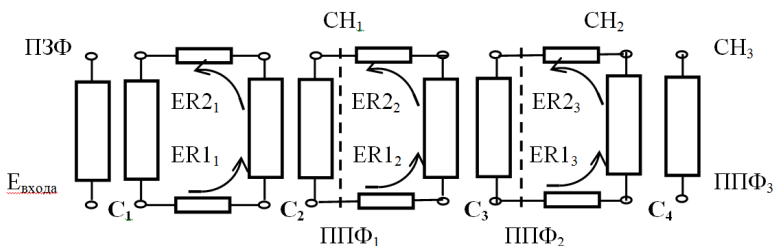


Рис. 2. Упрощенная структурная схема трехрезонаторного МНФБВ

Как видно из рис. 1, одночастотный многорезонаторный МНФБВ представляет собой каскадное соединение ряда кольцевых резонаторов бегущей волны, образованных на основе вторичных каналов составных направленных ответвителей типа «тандем» [3] с переходным ослаблением порядка 3 дБ. С микрополосковой линией передачи (МПЛ) входа и выхода такого МНФБВ, а также между собой кольцевые резонаторы бегущей волны связаны путем электромагнитного взаимодействия. Причем с МПЛ входа и выхода МНФБВ непосредственно взаимодействуют только первый и последний кольцевые резонаторы фильтра. Поэтому для формирования системы сигнальных параметров на полюсах многорезонаторного МНФБВ предлагается использовать (рассматривать) упрощенную структурную схему многорезонаторного МНФБВ, представленную на рис. 2.

На рис. 2 применены следующие обозначения: ПЗФ — полосно-заграждающий фильтр; ППФ — полосно-пропускающий фильтр; СН — согласованная нагрузка;  $C_1...C_4$  — коэффициенты связи по напряжению (попарно) направленных ответвителей на входе и выходе сигнала каждого резонатора;  $ER1, ER2$  — уровни сигнала во вторичных каналах ответвителей (частей кольцевых резонаторов) в начальной и конечной фазах обхода волны по кольцевому резонатору.

Поскольку однорезонаторный МНФБВ является базой для многорезонаторного, то и система его сигнальных параметров может служить основой для формирования системы сигнальных параметров многорезонаторного МНФБВ.

Если предположить, что уровень входного сигнала фильтра нормирован по напряжению и равен единице, то система сигнальных параметров однорезонаторного МНФБВ имеет следующий вид:  $E_{\text{входа}} = 1; CH_1 = CH_2 = CH_3 = 0;$

$$ER2_1 = \frac{C_1 e^{-\alpha\lambda} \sqrt{1-C_2^2}}{1 - e^{-3\alpha\lambda} \sqrt{1-C_1^2} \sqrt{1-C_2^2}}; E_{\text{ППФ1}} = \frac{C_1 C_2 e^{-2\alpha\lambda}}{1 - e^{-3\alpha\lambda} \sqrt{1-C_1^2} \sqrt{1-C_2^2}}; E_{\text{ПЗФ}} = \frac{e^{-\alpha\lambda} \sqrt{1-C_1^2} - e^{-5\alpha\lambda} \sqrt{1-C_2^2}}{1 - e^{-3\alpha\lambda} \sqrt{1-C_1^2} \sqrt{1-C_2^2}},$$

где  $\alpha$  — постоянная затухания МПЛ МНФБВ на единицу длины.

Из рис. 2 очевидно, что

$$E_{\text{ППФ1}} = C_2 \cdot ER1_1 \cdot \exp(-\alpha\lambda); E_{\text{ППФ2}} = C_3 \cdot ER1_2 \cdot \exp(-\alpha\lambda) \text{ и } E_{\text{ППФ3}} = C_4 \cdot ER1_3 \cdot \exp(-\alpha\lambda).$$

Если учесть, что  $E_{\text{ППФ1}} = ER1_2$  и  $E_{\text{ППФ2}} = ER1_3$ , то будут справедливы следующие соотношения:

$$E_{\text{ППФ2}} = C_3 E_{\text{ППФ1}} \exp(-\alpha\lambda); E_{\text{ППФ3}} = C_4 E_{\text{ППФ2}} \exp(-\alpha\lambda) = C_3 C_4 E_{\text{ППФ1}} \exp(-2\alpha\lambda).$$

Несложно заметить, что уровень сигнала на входе каждого кольцевого резонатора определяется уровнем сигнала на выходе однорезонаторного МНФБВ  $E_{\text{ППФ1}}$ , умноженным на коэффициент связи  $C_j$  следующего резонатора с учетом потерь в МПЛ кольцевого резонатора.

Тогда уровень сигнала на ППФ-выходе многорезонаторного МНФБВ можно представить в виде следующего рекуррентного выражения:  $E_{\text{ППФj}} = E_{\text{ППФ1}} \prod_{j=1}^{j=\infty} C_j \exp(-j\alpha\lambda),$

где  $j \geq 2$  — номер кольцевого резонатора в структурной схеме многорезонаторного МНФБВ.

В результате система сигнальных параметров многорезонаторного МНФБВ примет следующий вид:

$$E_{\text{входа}}=1; E_{\text{ППФj}} = \frac{C_1 C_2 e^{-2\alpha\lambda} \prod_{j=1}^{j=\infty} C_j \exp(-j\alpha\lambda)}{1 - \exp(-3\alpha\lambda) \sqrt{1-C_1^2} \sqrt{1-C_2^2}}; E_{\text{ПЗФ}} = \frac{\exp(-\alpha\lambda) \sqrt{1-C_1^2} - \exp(-5\alpha\lambda) \sqrt{1-C_2^2}}{1 - \exp(-3\alpha\lambda) \sqrt{1-C_1^2} \sqrt{1-C_2^2}}; CH_j = 0.$$

Полученная система параметров позволяет вычислить уровень сигнала на полюсах рассмотренного трехрезонаторного МНФБВ. Описанная методика может быть применена и в случае, когда количество резонаторов МНФБВ произвольно и больше трех.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Глушеченко Э. Н. Особенности реализации микрополосковых фильтров с кольцевыми резонаторами бегущей волны // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2012.— № 6.— С.11–15.
2. Патент України на корисну модель UA 105218. Мікросмушковий напрямлений фільтр бігучої хвилі / Е. М. Глушеченко.— 2016, Бюл. № 5.
3. Shelton J. P., Wolf J., Van Wagoner R. Tandem couplers and phase shifters // Microwaves.— 1965, April.— P. 14–19.

E. N. Glushechenko

#### The principle of forming the parameters of signals at the poles of a multiresonator microstrip directional filter

*Taking into account the basic requirements for the structural scheme of a single-frequency microstrip multiresonator directional traveling-wave filter, an analysis of the conditions of its functioning was carried out. Based on the result of the analysis, an algorithm for modeling the signal level parameters at the poles of such a filter was generated depending on the number of its resonators.*

*Keywords: microstrip, filter, coupler, resonator.*