

Highly selective microstrip basic cells and filters based on them

Grigory M. Aristarkhov, Nikita V. Zvezdinov

Moscow Technical University of Telecommunications and Informatics

Moscow, 111024, Russian Federation

g.aristarkhov2010@yandex.ru

Abstract: *The article describes new selective properties of the basic one- and two-resonator cells of microstrip filters. It is shown that these structures with marginally minimal number of resonators have properties of multiresonator microwave circuits, as it allows to form in them up to six or even more working attenuation poles at finite frequencies. This is achieved in the microstrip structures through the rational combined use of its wave features and schematic methods of these features management, in particular, the realization of a specific degree of electromagnetic couples unbalance on different parts of their length. The authors are examining the construction principles of highly selective multiresonators microstrip filters on the basis of these structures.*

Keywords: *microstrip filter, irregular sections of microstrip lines, unbalanced electromagnetic coupling, poles and zeros of working attenuation.*

Высокоизбирательные микрополосковые базовые ячейки и фильтры на их основе

Аристархов Г.М., Звездинов Н.В.

Московский технический университет связи и информатики

г. Москва, 111024, Российская Федерация

g.aristarkhov2010@yandex.ru

Аннотация: *Исследованы новые селективные свойства базовых одно- и двухрезонаторных ячеек микрополосковых фильтров. Показано, что эти структуры с предельно минимальным числом резонаторов обладают свойствами многорезонаторных СВЧ цепей, т.к. в них формируется до шести и более полюсов рабочего затухания на конечных частотах. Это достигается за счет совместного рационального использования в микрополосковых структурах их волновых особенностей и схемотехнических способов управления ими, в частности, реализацией определенной степени неуравновешенности электромагнитных связей на разных участках их длины. Исследуются принципы построения на основе этих структур высокоизбирательных многорезонаторных микрополосковых фильтров.*

Ключевые слова: микрополосковый фильтр, нерегулярные отрезки микрополосковых линий, неуравновешенные электромагнитные связи, полюсы и нули рабочего затухания.

1. Введение

Как известно, повышение предельной частотной избирательности фильтров, обусловленной ограниченной собственной добротностью их резонаторов, возможно за счет применения структур, в которых формируются полюсы рабочего затухания на конечных частотах. В микрополосковых фильтрах (МПФ) предельная частотная избирательность наступает при числе резонаторов в структуре более пяти [1]. Таким образом, речь идет о повышении частотной избирательности МПФ с существенно ограниченным числом резонаторов. Известно несколько подходов к решению этой задачи в многорезонаторных СВЧ цепях [1-5]. Однако число формируемых полюсов рабочего затухания в этих МПФ обычно не превышает числа резонаторов в структуре. Следовательно, известные схемотехнические способы формирования полюсов рабочего затухания на конечных частотах за счет организации дополнительных электромагнитных связей между несмежными резонаторами [2], а также использования эффекта неравенства фазовых скоростей нормальных волн в системах связанных микрополосковых линий (МПЛ) [3-4] исчерпаны. Это определяет необходимость поиска новых принципов построения МПФ, в которых число формируемых полюсов рабочего затухания в несколько раз превышало бы количество резонаторов в структуре. Представляется, что одним из возможных подходов к решению этой задачи является существенное повышение частотной избирательности самих базовых одно- и двухрезонаторных ячеек МПФ [5-6].

В данном докладе обобщаются результаты исследований и разработки высокоизбирательных МПФ, схемотехническую основу которых составляют базовые ячейки с предельно минимальным числом резонаторов, приобретающие при определенных условиях свойства многорезонаторных СВЧ цепей.

2. Частотные свойства базовых ячеек

Исследуем потенциальные селективные возможности широко применяемых на практике базовых ячеек МПФ (рис. 1), в которых проявляются новые свойства за счет совместного использования в их структурах ря-

да волновых особенностей и схемотехнических приемов управления ими. Так, например, в модифицированной однорезонаторной четырехпроводной четвертьволновой структуре (рис. 1,а и рис. 2) с усиленной электромагнитной связью между плечами резонатора возможно формирование до шести полюсов рабочего затухания на конечных частотах за счет совместного использования эффекта неравенства фазовых скоростей нормальных волн, эффекта смыкания основной и паразитной полос пропускания вследствие применения нерегулярных отрезков связанных МПЛ, а также реализации определенной степени неуравновешенности электромагнитных связей между смежными МПЛ на разных участках длины структуры. При этом формируется удвоенное число нулей рабочего затухания в полосе пропускания.



Рис. 1. Базовые ячейки микрополосковых фильтров

Fig. 1. Basic cells of microstrip filters

В двухрезонаторной «плотно упакованной» структуре, также выполненной на основе четырех четвертьволновых связанных МПЛ (рис. 1,б и рис. 3), но с другими краевыми условиями на их концах, формируется более шести полюсов рабочего затухания. Здесь помимо эффекта неравенства фазовых скоростей нормальных волн и реализации определенной степени неуравновешенности электромагнитных связей на разных участках длины структуры совместно с ними применен прием «рокировки» полюсов рабочего затухания [5].

Приведенные выше результаты численного электродинамического 3D моделирования одно- и двухрезонаторных ячеек МПЛФ свидетельствуют об уникальных селективных свойствах этих структур. Отметим, что реализуемая этими компактными структурами частотная избирательность является достаточной для решения многих практических задач.

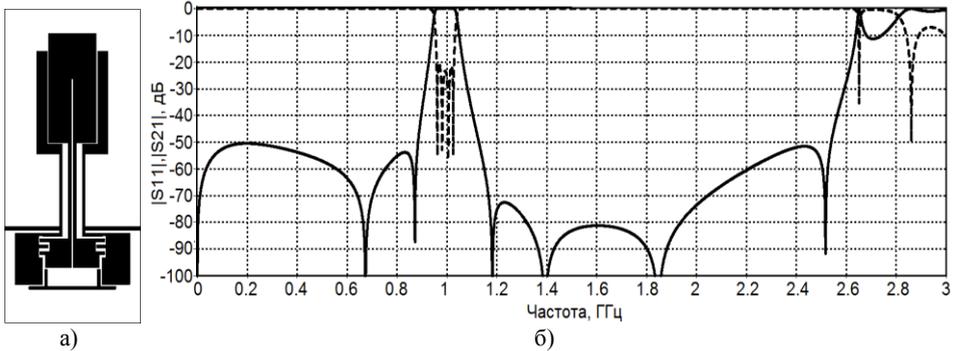


Рис. 2. Однорезонаторный микрополосковый фильтр, обладающий свойствами многорезонаторных цепей

Fig. 2. One-resonator microstrip filter which has properties of multiresonator circuits

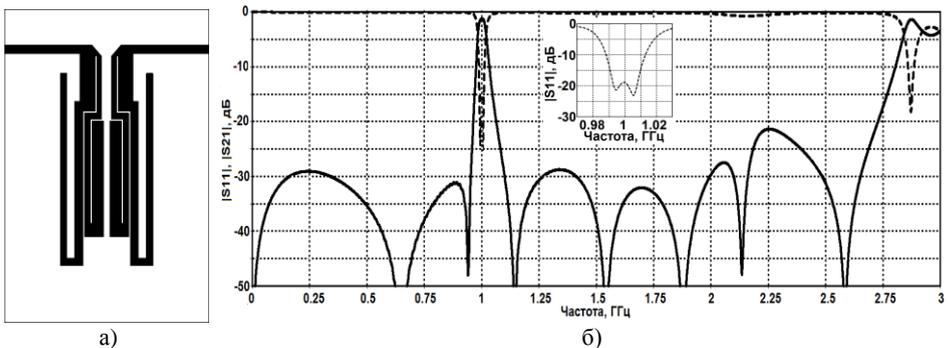


Рис. 3. Двухрезонаторный микрополосковый фильтр с «рокировкой» полюсов затухания

Fig. 3. Two-resonator microstrip filter with “castling” of working attenuation poles

3. Многорезонаторные МПФ

Традиционно повышение порядка передаточной характеристики МПФ достигается применением двух способов: каскадированием базовых ячеек или наращиванием числа резонаторов в структуре. Однако в случае реализации МПФ на основе выше рассмотренных модифицированных базовых ячеек возникает ряд специфических особенностей, которые с одной стороны, ограничивают применение этих способов, а с другой, открывают

принципиально новые возможности в создании высокоизбирательных МПФ. Так, при каскадировании ячеек негативно проявляются несанкционированные распределенные электромагнитные связи между ними, которые «разрушают» частотные свойства самих базовых ячеек, обуславливая вырождение полюсов рабочего затухания. Напротив, при наращивании числа резонаторов в структуре, существенно расширяется [6-7] полоса пропускания МПФ, что открывает новые возможности в создании высокоизбирательных широкополосных и сверхширокополосных фильтров.

Представляется, что одним из возможных способов наращивания порядка МПФ, при котором сохраняются свойства базовых ячеек, является их гальваническое примыкание по всей или на большей части их длины. На рис. 4 представлены результаты численного электродинамического 3D моделирования структуры МПФ, выполненной на основе гальванического примыкания двух однорезонаторных ячеек с дополнительной связью между входной и выходной МПЛ. Эта дополнительная связь расщепляет полюсы затухания в области верхних частот и приближает к полосе пропускания наиболее удаленный от нее полюс затухания в области нижних частот.

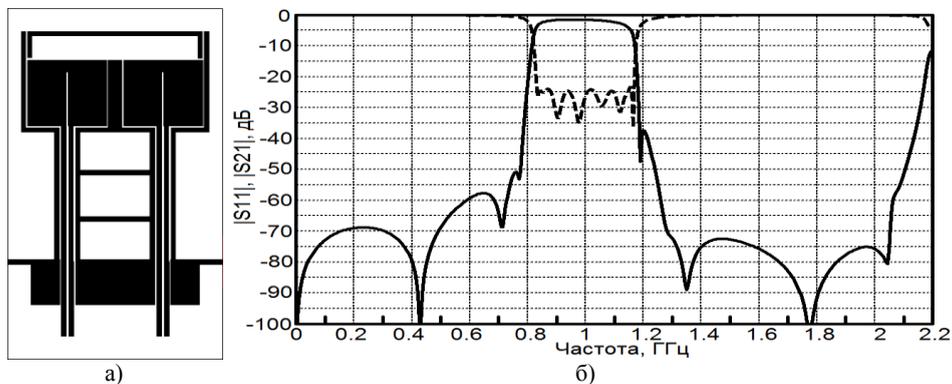


Рис. 4. Микрополосковый фильтр на основе примыкания ячеек

Fig. 4. Microstrip filter based on abutting cells

4. Заключение

В многосвязанных четвертьволновых структурах с существенно ограниченным числом резонаторов возможно формирование значительного количества полюсов рабочего затухания на конечных частотах. При

этом число полюсов затухания в несколько раз превышает количество полуволновых резонаторов в структуре, что обеспечивает повышенную частотную избирательность МПФ. Это достигается совместным рациональным использованием волновых особенностей многомодовых структур, а также схмотехнических способов расщепления полюсов рабочего затухания. Важно отметить, что полюсы затухания должны быть определенным образом распределены на частотной оси. Совмещение или перекрытие полюсов затухания обуславливает их вырождение. Показано, что на основе предложенных структур базовых ячеек и применения способа их гальванического примыкания возможна реализация высокоизбирательных МПФ при минимальном числе резонаторов. Кроме того, эти структуры не содержат короткозамыкающих на экран элементов, а минимальные расстояния между МПЛ $S \geq 0,15$ мм, что определяет их высокую технологичность.

Список литературы

- [1] Справочник по элементам полосковой техники // Мазепова О.И., Мещанов В.П., Прохорова Н.И. и др., Под ред. А.Л. Фельдштейна. –М.: Связь. 1979. -336с.
- [2] Lancaster J. M., Hong J.-S. Theory and experiment of novel microstrip slow-wave open-loop resonator filters // IEEE Trans. MTT. 1997. V.45. №12. P.2358-2365.
- [3] Аристархов Г.М., Чернышев В.П. Косвенный синтез микрополосковых фильтров на сонаправленных шпилечных резонаторах с полюсами затухания на конечных частотах // Радиотехника и электроника. 1987. Т. 32. №6. С. 1168-1175.
- [4] Аристархов Г.М., Звездинов Н.В., Чернышев В.П. Микрополосковые фильтры на сонаправленных шпилечных резонаторах с повышенной частотной избирательностью // Радиотехника. 2014. № 10. С. 22-28.
- [5] Аристархов Г.М., Звездинов Н.В. Селективные свойства микрополосковой секции на двух сонаправленных шпилечных резонаторах с неуравновешенными электромагнитными связями // Антенны. 2016. №2. С. 76-82.
- [6] Аристархов Г.М., Звездинов Н.В. Высокоизбирательные микрополосковые фильтры на основе структур с предельно минимальным числом резонаторов // Труды международной конференции “Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий” “REDS-2016”. Москва. 2016. Т. 1. С. 6-9.
- [7] Аристархов Г.М., Звездинов Н.В. Принципы построения сверхширокополосных высокоизбирательных микрополосковых фильтров // Материалы международной научно-технической конференции “Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения” “INTERMATIC-2015”. 1-5 декабря 2015г. Москва. МИРЭА. Ч. 5. С. 15-17.

References

- [1] [Reference of the elements stripline technology]. Mazepova O.I., Meshchanov V.P., Prokhorov N.I. et al., (Ed. by A.L. Feldstein) -M.: Svyaz. 1979. -336s. (In Russian).

[2] Lancaster J. M., Hong J.-S. Theory and experiment of novel microstrip slow-wave open-loop resonator filters // *IEEE Trans. MTT*. 1997. vol.45. №12. pp.2358 - 2365.

[3] Aristarkhov G.M., Chernyshev V.P. [Indirect synthesis of microstrip filters at collinear hairpin resonators with working attenuation poles at finite frequencies]. *Radiotekhnika i elektronika*. 1987. vol. 32. №6. pp.1168 - 1175. (In Russian).

[4] Aristarkhov G.M., Zvezdinov N.V., Chernyshev V.P. [Microstrip filters resonators with high frequency selectivity employing codirectional hairpin resonators]. *Radiotekhnika*. 2014. № 10. pp. 22 - 28. (In Russian).

[5] Aristarkhov G.M., Zvezdinov N.V. [The selective properties of the microstrip sections on two codirectional hairpin resonators with unbalanced electromagnetic coupling]. *Antenny*. 2016. №2. pp. 76 - 82. (In Russian).

[6] Aristarkhov G.M., Zvezdinov N.V. [High selectivity microstrip filters based on structures with the minimum permissible number of the resonators] *Proceedings of the International Conference «Radio-electronic devices and systems for Infocommunication technologies» «REDS-2016»*. Moscow. 2016. vol. 1. pp. 6 - 9. (In Russian).

[7] Aristarkhov G.M., Zvezdinov N.V. [Principles of construction of ultra-wideband microstrip high selectivity filters] *Proceedings of the international scientific-technical conference «Fundamental problems of radio-electronic instrument» «INTERMATIC-2015»*. 1-5 december 2015. Moscow. MIREA. part 5. pp. 15 - 17. (In Russian).