

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.1.2>

УДК 621.396

КОМПАКТНЫЕ ДЕЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ

Льу Куанг Хынг

Вьетнамский морской университет, 484 Lach Tray, Хайфон, Вьетнам

Статья поступила в редакцию 15 декабря 2020 г.

Аннотация. В статье описывается ряд компактных делителей мощности – направленные ответвители на четвертьволновых отрезках, кольцевой делитель и мост Уилкинсона. Делители мощности в их стандартном исполнении могут занимать значительную площадь на малых частотах. Это может негативно сказаться на их применении в некоторых приложениях. Поэтому для устранения этого недостатка, вместо привычных отрезков мы использовали искусственные линии передачи, которые состоят из индуктивности и емкости в микрополосковом исполнении. Используя такой подход, были получены конструкции компактных делителей. Так, направленный ответвитель на таких линиях имеет площадь на 78.8% меньше, чем у обычной конструкции, кольцевой делитель – на 80.3% и мост Уилкинсона – на 67.7%. Для всех компактных конструкции следует отметить негативный момент – это сужение полосы частот.

Ключевые слова: материал, микрополосковая линия, диэлектрик, подложка, миниатюризация.

Abstract. This article describes a range of compact power dividers - quarter-wave directional couplers, ring divider and Wilkinson coupler. Power dividers in their standard design can take up a significant area at low frequencies. This can adversely affect their use in some applications. Therefore, to eliminate this drawback, instead of the usual sections, we used artificial transmission lines, which consist of inductance and capacitance in a microstrip design. Using this approach, constructions of compact divisors were obtained. So the directional coupler on such lines has an area of 78.8% less than that of a conventional design, a ring divider by 80.3% and a Wilkinson

coupler by 67.7%. For all compact designs, a negative point should be noted - this is a narrowing of the frequency band.

Key words: material, microstrip line, dielectric, substrate, miniaturization.

Введение

Требования к делителям мощности обычно определяются областью их применения. В составе фазированных антенных решеток делители-сумматоры мощности должны обеспечивать необходимое амплитудно-фазовое распределение в выходных плечах для формирования решеточной диаграммы направленности. Классический мост Уилкинсона состоит из двух сегментов линий передачи с электрической длиной, равной четверти длины волны в линии, каждый из которых подключен к одному из двух входов, соединенных друг с другом через активное сопротивление R . Направленные ответвители могут обладать минимальным количеством шлейфов, равным двум. Двухшлейфный ответвитель состоит из четырех четвертьволновых отрезков, волновые сопротивления которых определяются в зависимости от соотношения выходных мощностей. Кольцевой делитель похож на двухшлейфный ответвитель, но при этом между крайними выходами расстояние оказывается $\frac{3}{4}$ длины волны. Двухшлейфный ответвитель получен путем усовершенствования обычной конструкции, к которой подключены четвертьволновые отрезки.

Распределение четвертьволновых отрезков линии передачи приводит к значительным габаритам устройства, особенно при работе в нижней части СВЧ диапазона. Чем ниже будет рабочая частота устройства, тем больше габариты, поэтому разработчики прибегают к миниатюризации, чтобы уменьшить их габариты, при этом также стараются сохранить характеристики на прежнем уровне. Поэтому сегодня ученые всего мира проводят исследования, связанные с производством компактной конструкции с сохранением эффективности. Многие интересные работы можно найти в библиотеке IEEE. В [1] размеры соединителя уменьшены за счет квазицентрированных элементов, в [2]

эквивалентных линиях передачи, в [3] U-образных контейнерах, в [4] периодических емкостных нагрузках, в [5] асимметричных T-образных конструкциях, в [6,7,8] фильтрах нижних частот, в [9] системах замедления, [10,11] искусственных линиях электропередач, в [12,13] фрактальных структурах, в [14] высокоомных элементах. В данной статье исследование будет сосредоточено на использовании компактных конструкций для получения компактного делителя с центральной частотой 1 ГГц.

1. Мост Уилкинсона

Стандартный делитель Вилкинсона состоит из двух четвертьволновых сегментов с волновым сопротивлением 70 Ом, связанных сопротивлением с номинальным значением 100 Ом. Топология стандартного моста без резистора представлена на рисунке 1. Площадь такого устройства на центральной частоте 1 ГГц составляет 1085 мм². Материалом подложки является широко распространенный и дешевый СВЧ-материал ФР-4: диэлектрическая проницаемость 4,4, толщина 1 мм. График S-параметров представлен на рисунке 2,3.

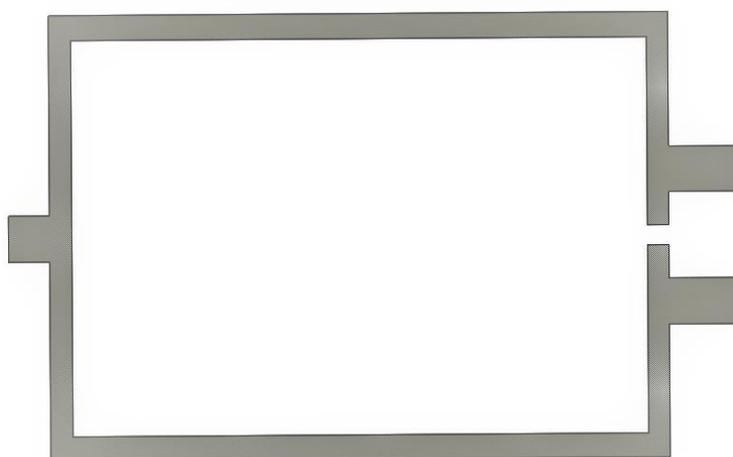


Рис. 1. Топология делителя Уилкинсона.

По уровню согласования «минус» 10 дБ определена рабочая полоса частот устройства, она равна 685 МГц. АЧХ показывает, что сигнал на выходах имеет одинаковую фазу. Кроме того, коэффициенты передачи имеют одинаковые значения на центральной частоте - 3,1 дБ. Четвертьволновой отрезок можно заменить компактными элементами в виде компактных структур. На рисунке 4

представлена топология такой структуры с сравнением четвертьволнового отрезка. Если сравнить характеристики обычной линии и предлагаемой структуры, то можно увидеть, что на центральной частоте и в ее малой окрестности они имеют идентичные характеристики (рис. 5,6).

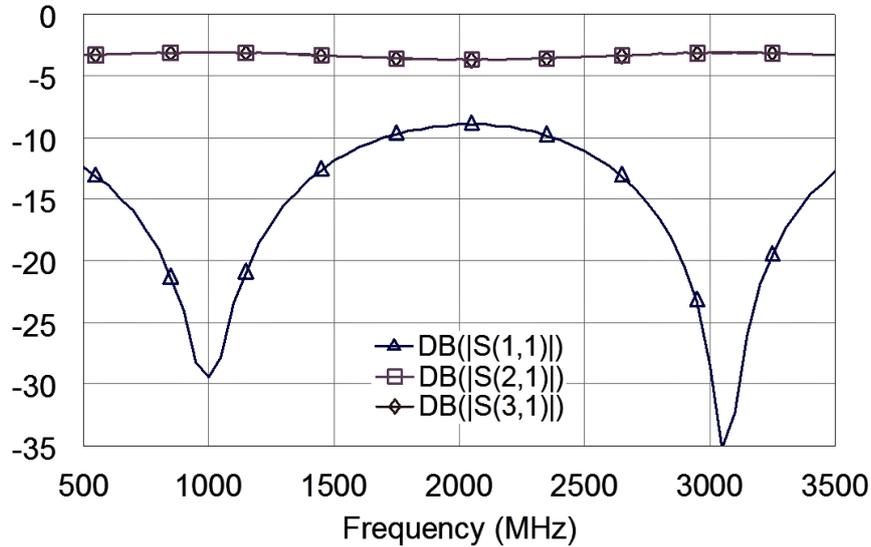


Рис. 2. S-параметры от частоты.

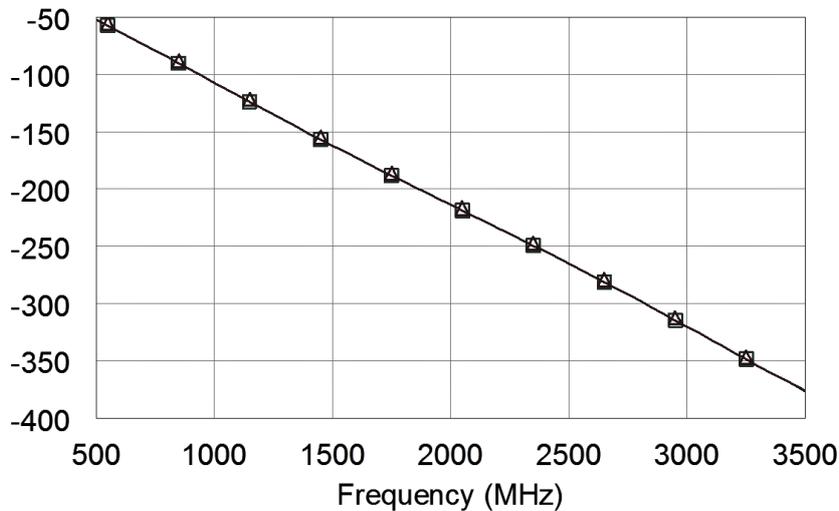


Рис. 3. Значения фаз на выходах устройства.

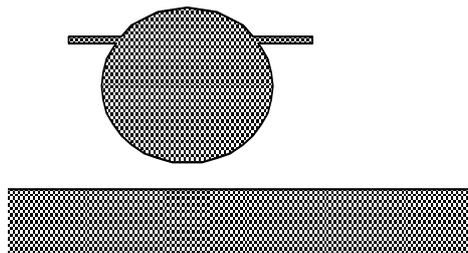


Рис. 4. Топология компактной структуры и четвертьволнового отрезка.

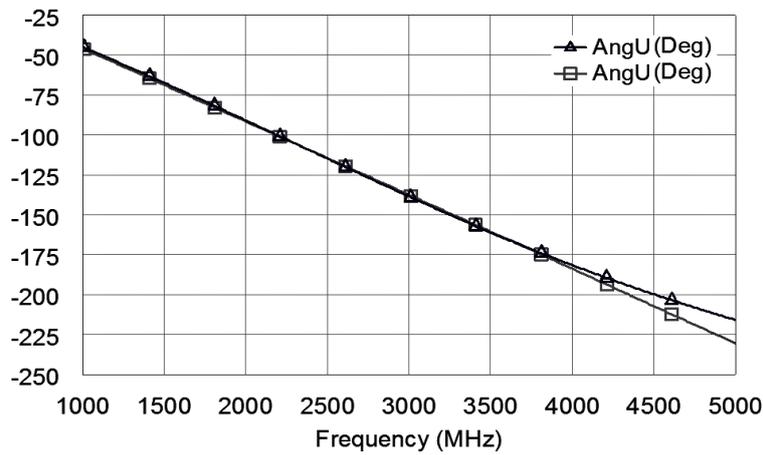


Рис. 5. Сравнение набега фазы отрезка и структуры.

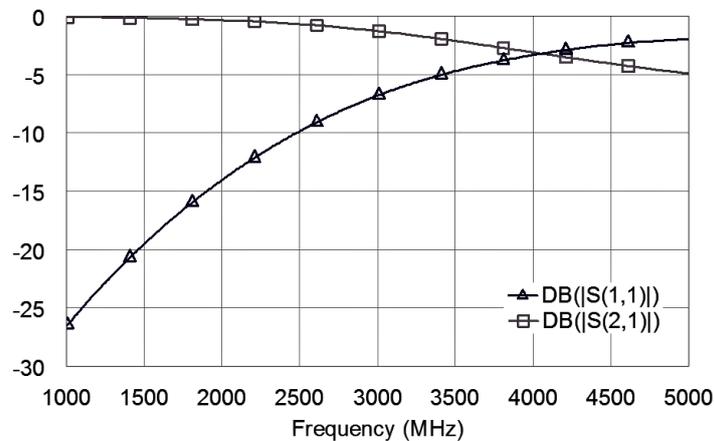


Рис. 6. График S-параметров от частоты.

Использование компактных конструкций позволили миниатюризировать конструкцию перегородки. Поэтому для уменьшения его конструкции были заменены четвертьволновые отрезки на предложенную структуру и проведена оптимизация всей конструкции с целью получения оптимальных характеристик. После установки всех элементов площадь с 1085 мм^2 уменьшилась до $350,4 \text{ мм}^2$ (на 67,7% меньше). По результатам электродинамического моделирования, рабочая полоса частот устройства составляет 68 МГц, когда входной сигнал лучше -15 дБ. На рис. 7 показана топология компактного моста Уилкинсона без резистора. На рис. 8,9 показаны характеристики такого моста.

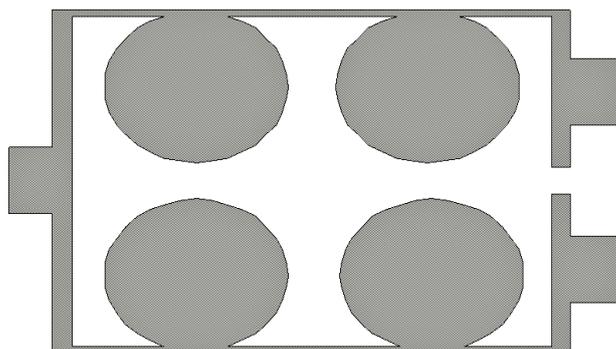


Рис. 7. Компактный мост Уилкинсона.

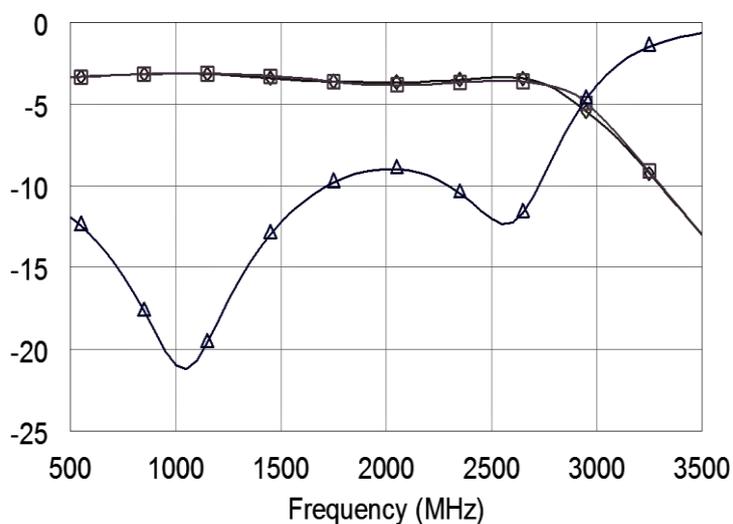


Рис. 8. График S-параметров от частоты.

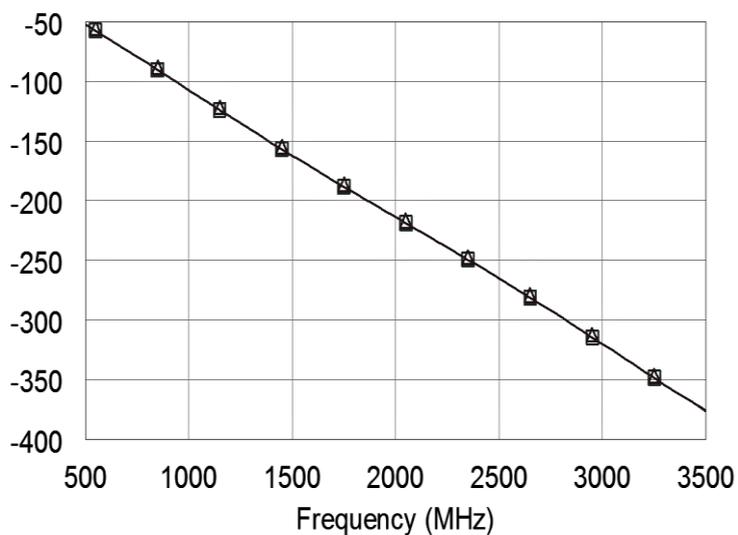


Рис. 9. График фаз от частоты.

По уровню согласования «минус» 15 дБ была определена рабочая полоса частот устройства, она равна 618 МГц. ФЧХ показывает, что сигнал на выходах имеет одинаковую фазу. Кроме того, коэффициенты передачи имеют одинаковые значения на центральной частоте - 3,2 дБ. Появление дисбаланса и сужения полосы связано с амплитудно-частотной характеристикой компактных конструкций. Для удобства сравнения характеристики сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Сравнение стандартной и компактной конструкции.

Параметры	Стандартный	Компактный
Полоса частот согласования –15 дБ, МГц	685	617
Площадь, мм ²	1085	350.4

2. Направленный ответвитель

Известно, что стандартный ответвитель с двумя шлейфами при делении мощности поровну состоит из двух сегментов по 35 Ом и двух сегментов по 50 Ом. В качестве материала подложки был выбран дешевый материал FR4 с диэлектрической проницаемостью 4,4 и толщиной 1 мм. Этот материал был разработан Центральным стандартом подключения 1 ГГц. Площадь такого устройства составляла 2060 мм². При помощи такого же подхода в миниатюризации был получен компактный направленный ответвитель. После замены всех сегментов на компактные конструкции мы получили компактную конструкцию ответвителя на центральной частоте 1000 МГц. Площадь такого устройства составляет 435 мм², а рабочий диапазон частот равен 61 МГц. Топология показана на рисунке 10, а характеристики - на рисунке 11. Сравнить стандартный и компактный ответвитель можно по данным в таблице 2. Площадь компактного ответвителя на 78.8% меньше, чем у стандартного.

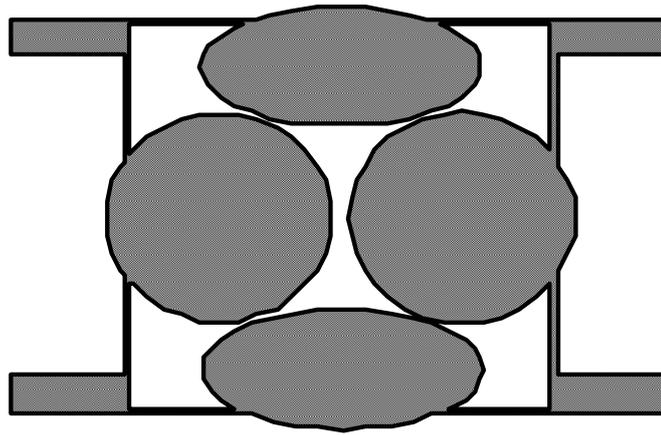


Рис. 10. Топология компактного ответвителя.

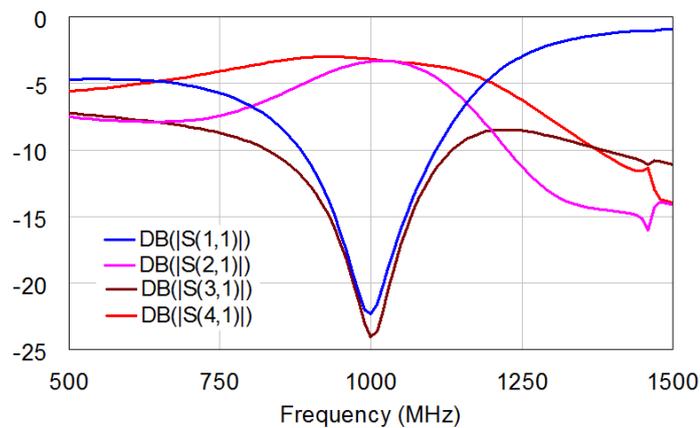


Рис. 11. График S-параметров от частоты.

Таблица 2. Сравнение компактного и стандартного ответвителей.

Параметры	Стандартный	Компактный
Полоса частот согласования -20 дБ, МГц	110	61
Площадь, мм ²	2060	435

3. Кольцевой ответвитель

Первым этапом работ было создание кольцевого направленного ответвителя на стандартных участках и рабочей частоте 1000 МГц. В данном случае материал подложки представлял собой диэлектрик с диэлектрической проницаемостью 4,4, толщиной 1 мм и потерями в диэлектрике 0,02. На

рисунке 12 показана топология кольцевого ответвителя с центральной частотой 1 ГГц. Частотные зависимости для этой конструкции показаны на рисунке 13. Площадь такого устройства составляет 3976 мм^2 , а полоса частот, оцененная на уровне развязки 20 дБ, составляет 370 МГц.

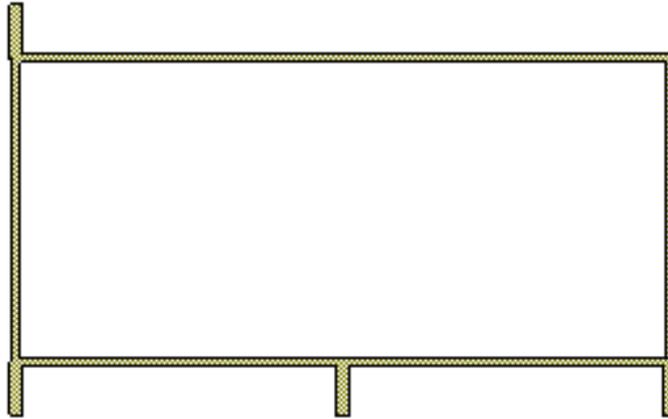


Рис. 12. Топология стандартного кольцевого ответвителя.

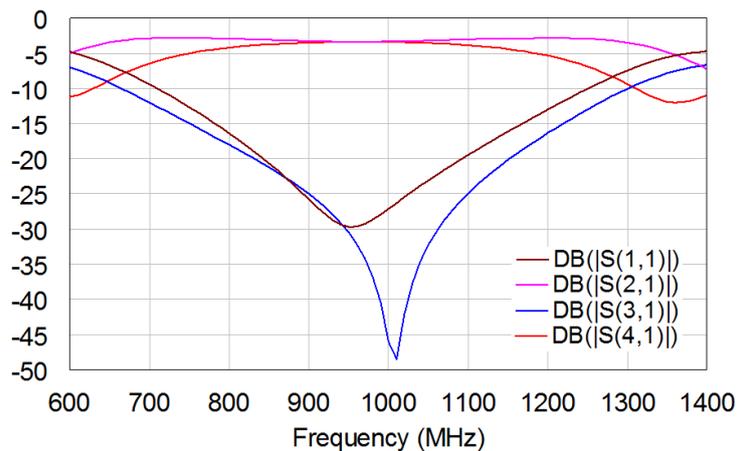


Рис..13. График S-параметров от частоты.

Для уменьшения габаритов применяются такие же компактные структуры, как и в разделе 1. Эти конструктивные элементы имеют идентичные характеристики на центральной частоте кольцевого направленного ответвителя. Поэтому каждый четвертьволновой отрезок постепенно заменялся этими элементами. В результате была получена компактная топология кольцевого направленного ответвителя. Его топология показана на рисунке 14. Площадь такого устройства составляет 890 мм^2 , а рабочая полоса частот равна значению 225 МГц. Это на 40% меньше стандартной конструкции. При этом площадь

устройства на 77,6% меньше площади стандартного исполнения. Полученные в результате расчета частотные характеристики показаны на рисунке 15.

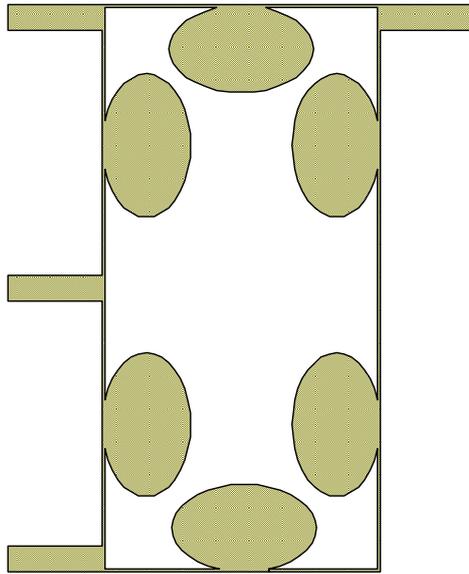


Рис.14. Топология компактного ответвителя.

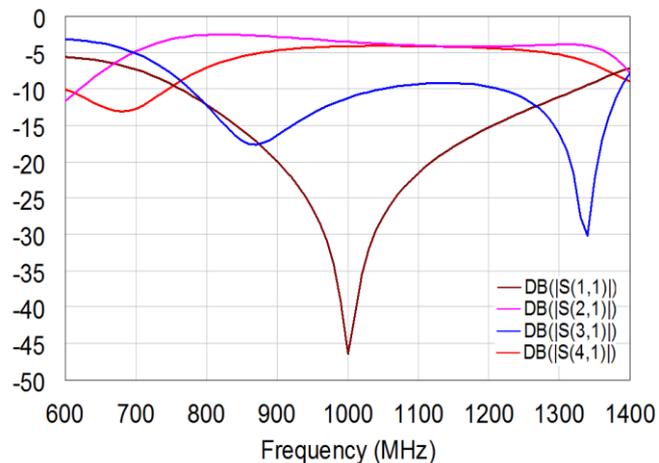


Рис. 15. График S-параметров от частоты.

Видно, что разбаланс выходных сигналов увеличился, но амплитудно-фазовые зависимости находятся на приемлемом уровне. Также следует отметить, что внутреннее пространство используется неэффективно для миниатюризации, по этой причине высокопрочные элементы конструкции подверглись изменению, а именно их изгибу при сохранении той же длины. Модифицированная топология компактного кольцевого направленного ответвителя показана на рисунке 16. Частотные характеристики, полученные в

результате расчета, показаны на рисунке 17.

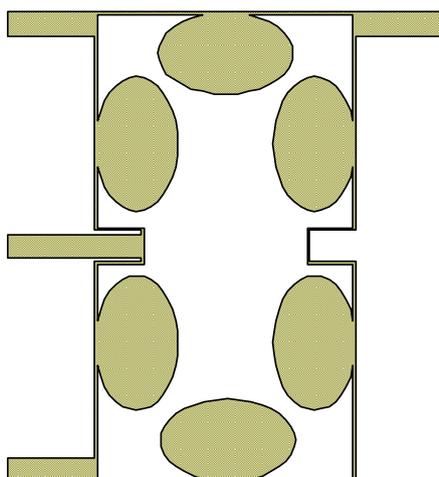


Рис. 16. Топология компактного кольцевого ответвителя.

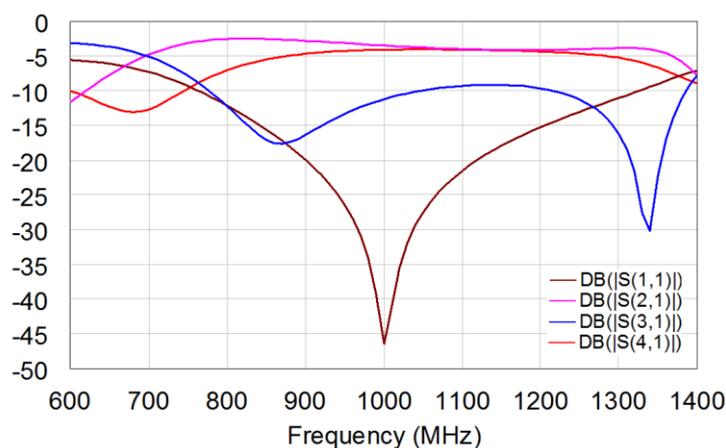


Рис.17. График S-параметров от частоты.

Компактный ответвитель на центральную частоту 1000 МГц. Площадь такого устройства составляет 784 мм², а рабочая полоса частот равна значению 225 МГц. Эта площадь устройства на 80,3% меньше площади стандартной конструкции. Для сравнения результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3. Сравнение компактного и стандартного ответвителей.

Параметры	Стандартный	Компактный
Полоса частот согласования –20 дБ, МГц	370	225
Площадь, мм ²	3976	784

Заключение

В статье представлено моделирование компактной конструкции делителя Уилкинсона с центральной частотой 1 ГГц. В данной статье предлагается использовать компактные структуры, продольные размеры которых меньше стандартных линий. Поэтому при замене габариты устройства уменьшаются. Делитель на частоту 1 ГГц после замены всех сегментов компактными структурами уменьшил занимаемую площадь на 67,7%. Возможна дальнейшая миниатюризация, которая потребует оптимизации всей конструкции. Миниатюризация привела к потере характеристик из-за использования неоднородных структур. Направленный ответвитель с двумя подключаемыми шлейфами при помощи такого же подхода удалось уменьшить на 78.8%, а кольцевой делитель – на 80.3%.

Литература

1. Liao S.-S., Peng J.-T. Compact planar microstrip branch-line couplers using the quasi-lumped elements approach with nonsymmetrical and symmetrical T-shaped structure. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 2006. Vol.54. P.3508-3514.
2. Letavin D.A. Miniature microstrip branch line coupler with folded artificial transmission lines. *AEU – International Journal of Electronics and Communications.* 2019. Vol.99. P.8-13. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2018.11.016>.
3. Letavin D.A. Compact branch-line coupler based on an inductor and a u-shaped capacitor. *19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2018.* 2018. P.195-198. <https://doi.org/10.1109/EDM.2018.8435096>.
4. Eccleston K.W., Ong S.H.M. Compact planar microstripline branch-line and rat-race couplers. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 2003. Vol.51. No.10. P.2119-2125. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2003.817442>
5. Liao S.-S., Sun P.-T., Chin N.-C., Peng J.-T. A novel compact-size branch-line coupler. *IEEE Microw. Wireless Compon.Lett.* 2005. Vol.15. P. 588-590.

<https://doi.org/10.1109 / LMWC.2005.855378>

6. Letavin D.A. Compact crossover based on low-pass filter. *19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2018*. July 2018. P.192-194.
<https://doi.org/10.1109/EDM.2018.8434978>.
7. Letavin D.A. Compact microstrip three-loop coupler. *2017 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium*. Italy, ACES 2017, Ma. 2017. <https://doi.org/10.23919/ROPACES.2017.7916036>.
8. Letavin D.A. Miniature branch-line coupler structure analysis. *18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2017*. July 2018. P.99-101.
<https://doi.org/10.1109/EDM.2017.7981717>.
9. Wang J., Wang B.Z., Guo Y.-X., Ong L.-C., Xiao S. A compact slow-wave microstrip branch-line coupler with high performance. *IEEE Microw. Wireless Compon.Lett.* 2007. Vol.17. P.501-503.
<https://doi.org/10.1109/LMWC.2007.899307>
10. Letavin D.A. Compact dual-frequency microstrip branch-line coupler using artificial transmission lines. *19th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM 2018*. July 2018. P.185-188.
<https://doi.org/10.1109/EDM.2018.8434988>.
11. Letavin D.A. Two methods for miniaturization of stub quadrature couplers. *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2018. Vol.63. P.933-935. <https://doi.org/10.1134/S1064226918080107>
12. Ghali H., Moselhy T.A. Miniaturized fractal rat-race, branch-line, and coupler-line hybrids. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 2004. Vol. 52. P.2513-2520.
13. Letavin D.A. Five-stub directional device with substantially reduced overall dimensions. *2018 IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean, RADIO 2018*. <https://doi.org/10.23919/RADIO.2018.8572386>.
14. Tang C.W., Chen M.-G. Synthesizing microstrip branch-line coupler with

predetermined compact size and bandwidth. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, 2007. Vol.55. P.1926-1934. [https://doi.org/10.1109 / TMTT.2007.904331](https://doi.org/10.1109/TMTT.2007.904331)

Для цитирования:

Лыу Куанг Хынг. Компактные делители мощности. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2021. №1. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.1.2>