

# МИКРОПОЛОСКОВЫЙ НАПРАВЛЕННЫЙ ОТВЕТВИТЕЛЬ, ВЫПОЛНЕННЫЙ НА ОСНОВЕ ОТРЕЗКОВ ИСКУССТВЕННЫХ ДЛИННЫХ ЛИНИЙ

## THE MICROSTRIP DIRECTIONAL COUPLER ON THE BASIS OF SEGMENTS OF ARTIFICIAL TRANSMISSION LINES

*A. Ostankov  
N. Shchetinin*

### Annotation

Possibilities of implementation of the miniature two-loop microstrip directional coupler on segments of an artificial transmission line of original topology were investigated. The proposed configuration of the directional coupler allows us to receive electrical characteristics, equivalent to traditional topology in the given frequency band.

**Keywords:** the directional coupler, miniaturization, artificial transmission line, the frequency characteristic.

*Останков Александр Витальевич  
Д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО "Воронежский  
государственный технический университет"  
Щетинин Никита Николаевич  
Преподаватель,  
ФКОУ ВО "Воронежский институт  
ФСИН России"*

### Аннотация

Исследована возможность реализации миниатюрного двухшлейфного микрополоскового направленного ответвителя на отрезках искусственной длинной линии оригинальной топологии. Предложенная конфигурация направленного ответвителя позволяет обеспечить электрические характеристики, эквивалентные традиционной топологии в заданной полосе частот.

### Ключевые слова:

Направленный ответвитель, миниатюризация, искусственная длинная линия, частотная характеристика.

Направленные ответвители широко применяются для деления–сложения мощности в различных функциональных узлах СВЧ и антенной техники: частотных разделителях каналов и мультиплексорах, фазовращателях, схемах питания многоэлементных антенн и т.п.

В последние годы появилось большое количество работ, посвященных вопросам миниатюризации микрополосковых линий передачи применительно к коротковолновой части УВЧ и длинноволновой области СВЧ. Так, самым простым способом уменьшения габаритных размеров микрополосковых устройств, в частности шлейфных и гибридных направленных ответвителей, является их реализация с использованием отрезков меандровой линии [1]. Сокращение габаритов при этом ограничено критической плотностью размещения витков проводника, превышение которой приводит к нелинейной зависимости задержки в линии от геометрической длины токоведущей полоски, а также к нарушению согласования линии по сопротивлению [2].

Другой подход, обеспечивающий миниатюризацию направленных ответвителей, заключается в использовании элементов поверхностного монтажа [3]. Следует по-

нимать, что совмещение в комбинированных схемах микрополосковых и навесных элементов не всегда возможно по причине низкой добротности последних. Микрополосковые структуры с фотонной запрещенной зоной так же являются альтернативным и эффективным способом миниатюризации [4].

Однако определенная часть практически апробированных методик реализации подобных устройств требует применения специальных технологий, например выполнения последовательности отверстий различной формы, что является недостатком данного подхода [5].

В работе [6] предложен метод миниатюризации печатных направленных ответвителей с помощью различных типов выборок в экранном проводнике. Метод имеет ограниченные возможности и применяется, главным образом, на УВЧ. Известны варианты конфигурации ответвителей, в которых применены отрезки искусственной длинной линии, в том числе и на сосредоточенных элементах (см., например, [7]).

Таким образом, в настоящее время по-прежнему актуальна задача разработки компактных микрополосковых направленных ответвителей, реализуемых при помо-

щи стандартной технологии изготовления печатных плат, без использования элементов поверхностного монтажа, навесных проводников и межслойных отверстий в подложках.

Цель работы заключается в демонстрации возможности снижения габаритов направленного ответвителя за счет использования отрезков искусственной длинной линии на сосредоточенных элементах по поиску конфигурации ответвителя, осуществляющего равное деление мощности в выходные плечи, развязанные относительно входного плеча.

Как известно, традиционный направленный ответвитель состоит из четырех отрезков линий передачи с длиной, равной четверти длины волны. Использование распределенных четвертьволновых отрезков линии передачи приводит к весьма значительным габаритам устройства, особенно при работе на ВЧ. На рис. 1 приведена конфигурация и указаны габаритные размеры (в мм) традиционного двухшлейфного направленного ответвителя для частотного диапазона 0.85 – 0.95 ГГц, реализованного на диэлектрической подложке R04003С с относительной диэлектрической проницаемостью 3.55, толщиной 0.508 мм и тангенсом угла диэлектрических потерь 0.0027.

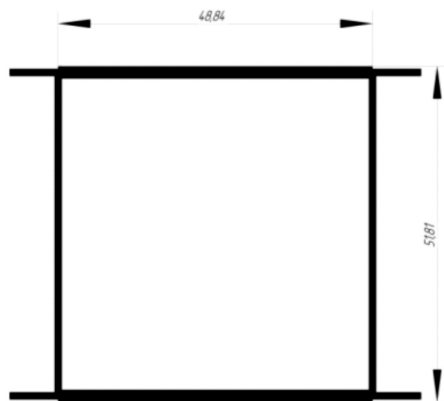


Рис. 1. Исходная конфигурация и габаритные размеры (мм) двухшлейфного направленного ответвителя для диапазона 0.85 - 0.95 ГГц.

Для уменьшения габаритных размеров устройства предлагается выполнить четвертьволновые отрезки в виде искусственных длинных линий с сосредоточенными параметрами, особенностью которых является представленное на рис. 2. совмещение погонных и сосредоточенных индуктивностей и емкостей.

На рис. 3 представлена микрополосковая топология направленного ответвителя на основе искусственных длинных линий, предназначенного для работы в частотном диапазоне 0.85 - 0.95 ГГц с центральной частотой 0.9 ГГц и равномерным делением мощности в выходных плечах. Электродинамическое моделирование процессов

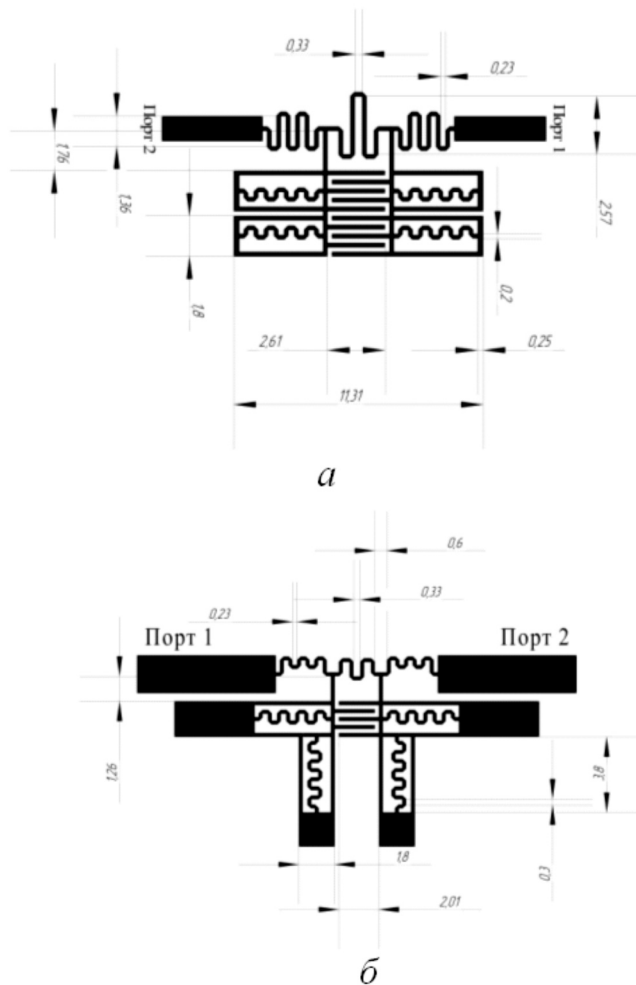


Рис. 2. Топология и геометрические размеры 50-омной (а) и 35-омной (б) искусственных длинных линий.

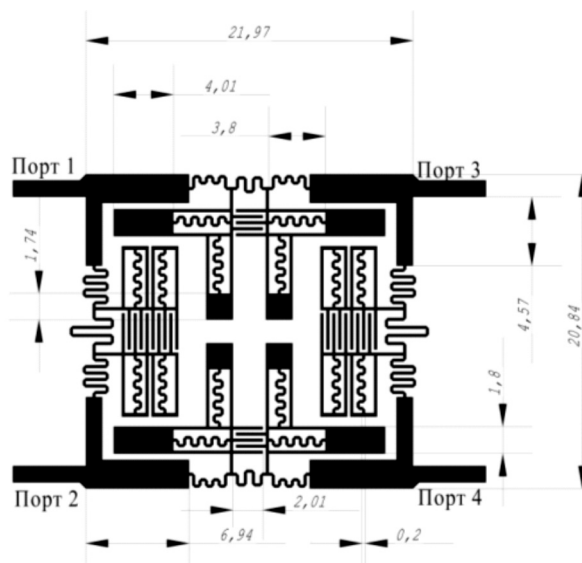
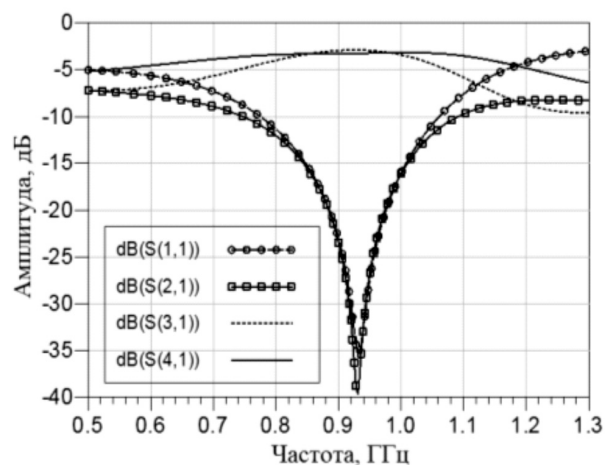


Рис. 3. Предлагаемая конфигурация направленного ответвителя на основе искусственных длинных линий (порт 1 - входное плечо, порты 3 и 4 - выходные плечи).

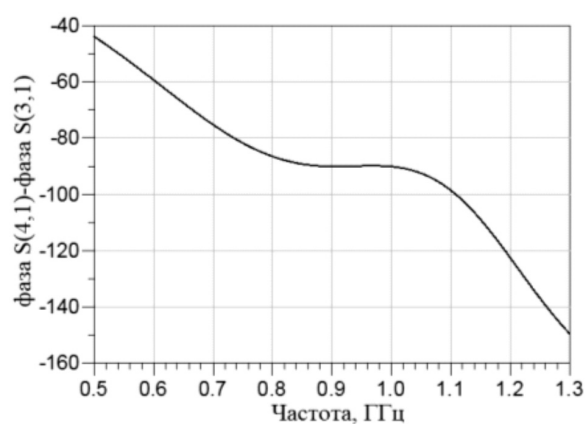
в направленном ответвителе реализовано с помощью ознакомительной версии программного продукта Advanced Design System [8]. Диэлектрическая подложка выполнена с использованием материала RO4003С с указанными выше параметрами.

Результаты электродинамического моделирования свидетельствуют о том, что в полосе частот 0.85 – 0.95 ГГц предлагаемый направленный ответвитель характеризуется неравномерностью коэффициента деления мощности в выходных плечах не более 0.34 дБ и фазовым дисбалансом менее 0.9 (рис. 4). На рабочих частотах развязка между выходными плечами и коэффициент отражения по входу не превышают "минус" 34 дБ. Характеристики разработанного направленного ответвителя на отрезках искусственных линий, в том числе ширина полосы рабочих частот, практически совпадают с характеристиками традиционного ответвителя (рис. 1). Преимущество предложенной топологии состоит в том, что при ее использовании достигается значительное уменьшение габаритных размеров ответвителя и соответственно площади, занимаемой микрополосковой схемой на подложке. В частности, разработанная топология направленного ответвителя использует на диэлектрической подложке площадь, составляющую около 18% от площади традиционной схемы.

Таким образом, предложена конфигурация двухшлейфного направленного ответвителя с равным делением мощности в выходные плечи, развязанные относительно входного плеча. Использование отрезков искусственной длинной линии позволило значительно снизить габариты и площадь схемы ответвителя. Разработанный направленный ответвитель использован в качестве компонента диаграммообразующей схемы (в виде матрицы Батлера) управления диаграммой направленности фазированных антенных решеток.



а



б

Рис.4. Частотные характеристики разработанного направленного ответвителя: амплитудно-частотные или частотные зависимости  $s$ -параметров (а), зависимость сдвига фаз между выходными плечами (б).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гупта, К. Машинное проектирование СВЧ устройств / К. Гупта, Р. Гардж, Р. Чадха. – М.: Радио и связь, 1987. – 432 с.
2. Малютин, Н.Д. Исследование меандровой полосковой линии / Н.Д. Малютин, П.П. Галинский // Известия Томского политехнического института. – 1974. – Т. 210: Энергетика. – С. 21–25.
3. Chiang, Y.C. Design of a wideband lumped-element 3-dB quadrature coupler / Y.C. Chiang, C.Y. Chen // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2001. – vol. 49, no. 3. – pp. 476–479.
4. A uniplanar compact photonic-bandgap (UC-PBG) structure and its applications for microwave circuits / F.R. Yang, K.P. Ma, Y.X. Qian, T. I. Itoh // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques/ – 1999. – vol. 47, no. 8. – pp. 1509–1514.
5. Yang, H.-Y.D. Theory of microstrip lines on artificial periodic substrates / H.-Y.D. Yang // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1999. – vol. 47, no. 5. – pp. 629–635.
6. Size-reduced rectangular patch hybrid coupler using patterned ground plane / S.H. Zheng, S.H. Yeung, W.S. Chan, K.F. Man, S.H. Leung // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2009. – vol. 57, no. 1. – pp. 180–188.
7. Antoniadis, M. A. A broadband Wilkinson balun using microstrip metamaterial lines / M.A. Antoniadis, G.V. Eleftheriades // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. – 2005. – vol. 4, no. 8. – pp. 209–212.
8. ADS 2015.01 Product Release // Keysight Technologies. URL: <http://www.keysight.com/en/pd-2486326/ads-201501?cc=US&lc=eng> (дата обращения: 13.10.2015).