

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАДРАТУРНЫХ И СИНХФАЗНО-ПРОТИВОФАЗНЫХ СВЧ ДЕЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ**

*Константин Якубович Аубакиров*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств инноватики и метрологии, тел. (383) 361-07-31, e-mail: aubakirov1949@mail.ru

*Илья Вадимович Вершеня*

Новосибирский государственный технический университет, 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, обучающийся, тел. (383) 346-08-34, e-mail: vershenya99@mail.ru

*Анна Евгеньевна Жукова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, обучающийся, тел. (383)361-07-31, e-mail: zhukova19972010@mail.ru

Представлены результаты электромагнитного моделирования и экспериментального исследования 3-ДБ квадратурных направленных ответвителей с лицевой связью, выполненных на диэлектрических материалах толщиной ( $t = 0,762$  мм,  $\epsilon_r = 3,47$ ), а также синхфазно – противофазного кольца длиной  $\lambda$  на материале ФАФ-4 ( $t = 1,5$  мм,  $\epsilon_r = 2,55$ ) в составе систем суммирования и деления мощности в ДЦВ диапазоне эти устройства показали хорошие результаты.

**Ключевые слова:** квадратурные направленные ответвители, кольцо длиной  $\lambda$ , электромагнитное моделирование.

## **MODELING OF QUADRATURE AND SYNCHASE-ANTI-PHASE MICROWAVE POWER DIVIDERS**

*Konstantin Ya. Aubakirov*

Siberian State University Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10, Plakhotnogo St., Ph. D., Associate professor of special devices and technologies, phone: (383) 361-07-31, e-mail: aubakirov1949@mail.ru

*Ilya V. Vershenya*

Novosibirsk State Technical University, 630092, Russia, Novosibirsk, 20, Karl Marx St., student, phone: (383) 346-08-34, e-mail: vershenya99@mail.ru

*Anna E. Zhukova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10, Plakhotnogo St., student of the department of special devices and technologies, phone: (383) 361-07-31, e-mail vershenya99@mail.ru

The paper proposes a methodology for designing bridge devices designed for dividing and summing power in the microwave range.

**Key words:** quadrature directional couplers, ring length, electromagnetic modeling.

## Введение

Мостовые схемы сложения сигналов транзисторных усилителей основываются на использовании синхфазных, синхфазно – противофазных и квадратурных устройств деления и суммирования мощности [1,2,3,4]. При этом электрическая развязка и согласование входов (выходов) мостового устройства (МУ) приобретает решающее значение для обеспечения качественных показателей усилителей дециметрового диапазона (ДЦВ), в частности, передающих устройств цифрового телевизионного вещания (DVB-T).

## Результаты

На рис.1 представлена электродинамическая модель квадратурного направленного ответвителя (НО), выполненная на материале Rogers толщиной ( $t = 0,762$  мм) и относительной диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon_r = 3.47$ ), с лицевой связью [5]. Ширина области связи ( $w$ ) составляет 3,15мм. Для выравнивания фазовых скоростей синхфазного и противофазного типов волн в топологии предусмотрены элементы замедляющей структуры [2].

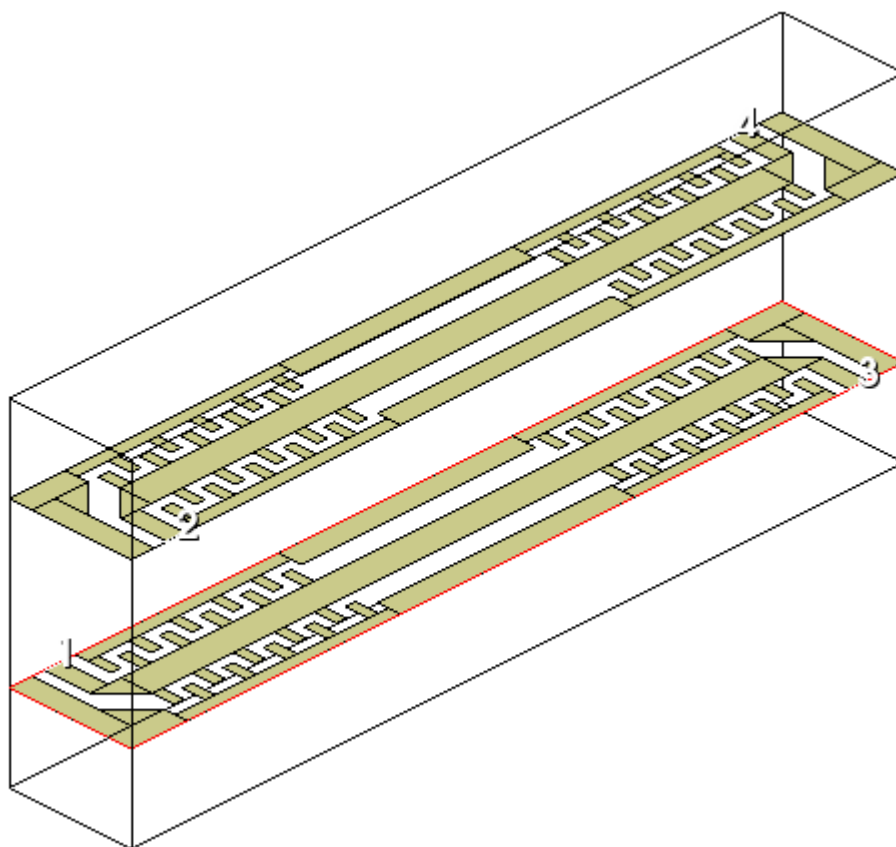


Рис. 1. 3D электромагнитная модель 3дБ – НО, диэлектрический слой ( $t = 0,762$  мм) показан при 20 – кратном увеличении относительно воздушных зазоров.

На рис.2 представлены частотные характеристики структуры, где  $S(1,2), S(1,3)$  коэффициенты передачи из плеча 1 в 2, 3, а VSWR – коэффициент стоячей волны. Модель этой структуры приведена на рис. 1, а на рис. 3 представлен соответствующий макет.

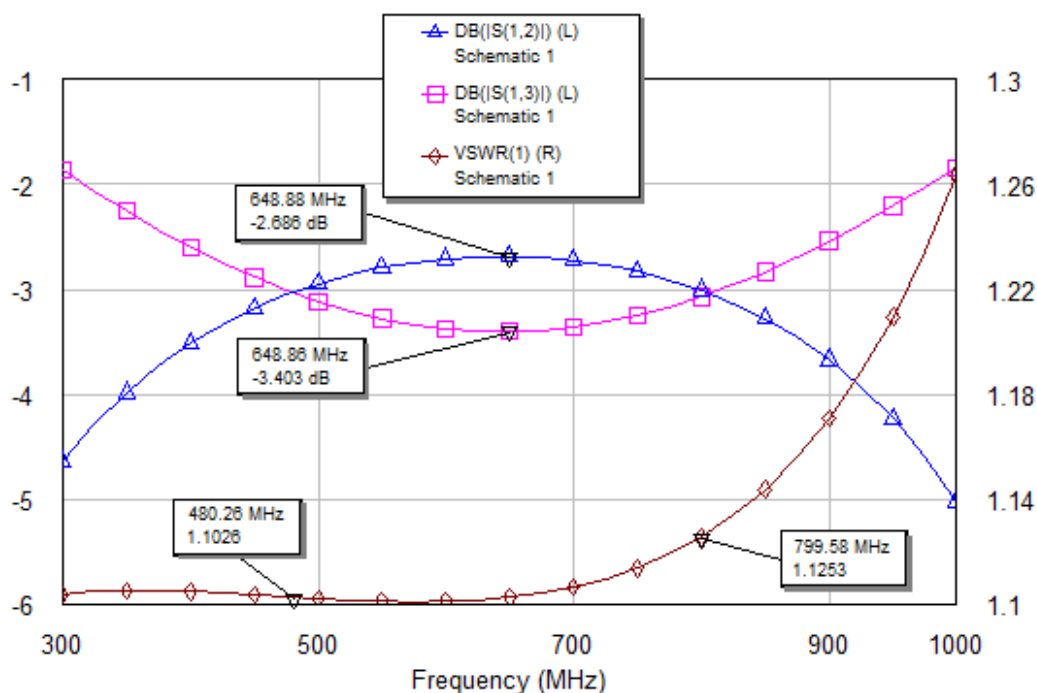


Рис.2. Частотные характеристики 3дБ – НО с коррекцией фазовой скорости электромагнитной волны синхфазного возбуждения.



Рис.3. Экспериментальный образец 3дБ – НО с лицевой связью

Электрическая модель кольца длиной  $\lambda$  представлена на рис. 4, где звено на связанных линиях реализовано в виде 3дБ – НО с лицевой связью, но рассчитанного для волнового сопротивления  $Z_{\text{в}}$  равного 70,71 Ом.

На рис. 5 изображена электродинамическая модель структуры, представленной на рис. 4 [5]. Частотные характеристики структуры (рис. 5) представлены на рис.6, где  $S(i,i)$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) коэффициенты отражения в соответствующих плечах, а  $S(2,3)$  развязка между плечами 2,3.

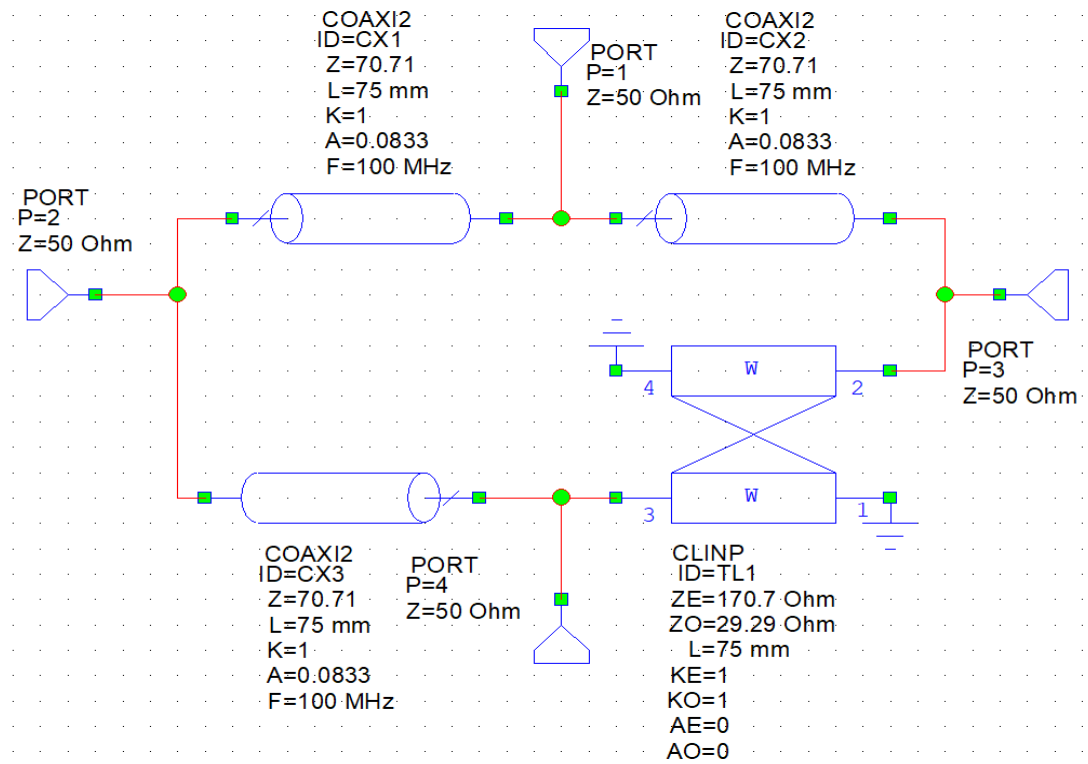


Рис.4. Электрическая модель кольца длиной  $\lambda$

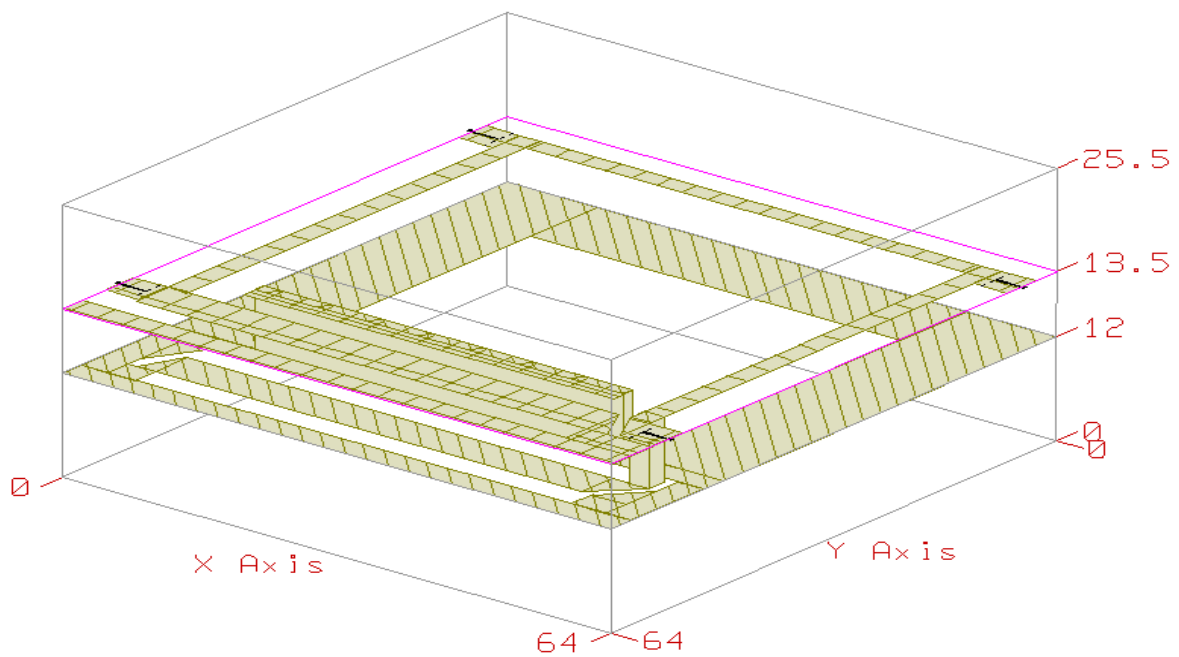


Рис.5. 3D электромагнитная модель кольца длиной  $\lambda$

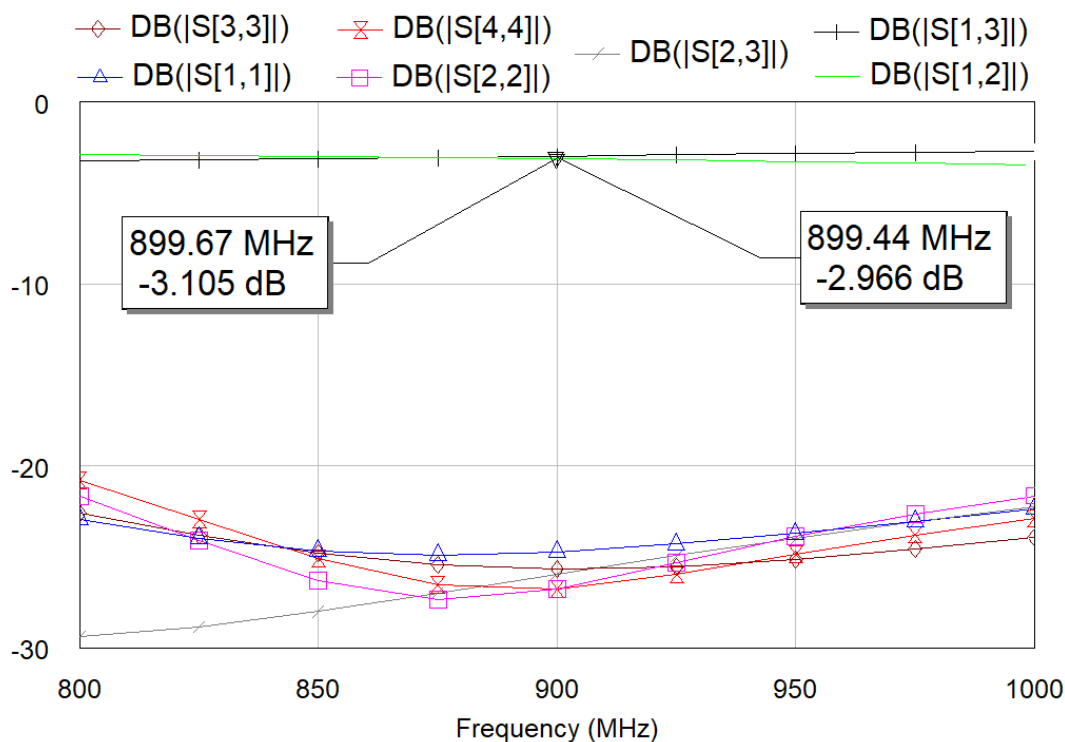


Рис.6. Частотные характеристики кольца длиной  $\lambda$

### Заключение

Квадратурные НО с лицевой связью требуют воздушного зазора над печатными проводниками, расположенного между экранами. Величина этого воздушного промежутка  $h$  должна быть не менее 6 мм для материала Rogers и 12 мм для ФАФ-4. Кольцо длиной  $\lambda$  для расширения диапазона рабочих частот по развязке 2 и 3 выходов МУ нуждается в дальнейшей оптимизации геометрических размеров топологии.

Достигнутая направленность рассмотренных МУ в диапазоне от  $-23$  до  $-25$  дБ вполне приемлема для решения практических задач.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устройства сложения и распределения мощностей высокочастотных колебаний / В.В. Заенцев, В.М. Катушкина, С.Е. Лондон, З.И. Модель; под ред. З.И. Моделя. – М.: Сов. Радио, 1980. – 296 с.
2. Микроэлектронные устройства СВЧ: учеб. пособие / Г.И. Веселов, Е.Н. Егоров, Ю.Н. Алехин и др.; под ред. Г.И. Веселова. – Москва : Высшая школа, 1988.–280 с.
3. Теория и применение устройств СВЧ: учеб. пособие для вузов / В.А. Неганов, Г.П. Яровой; под ред. В.А. Неганова. – Москва : Радио и связь, 2006. – 719 с.
4. Широкополосные радиопередающие устройства / О.В. Алексеев, А.А. Головков, В.В. Полевой и др.; под ред. О.В. Алексеева. – Москва : Радио и связь, 1978.–304 с.
5. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office / В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин; под ред. В.Д. Разевига. – Москва: СОЛОН – Пресс, 2003. – 496 с.

© К. Я. Аубакиров, И. В. Вершеня, А. Е. Жукова, 2020