

## Моделирование в САПР «Ansys HFSS» и экспериментальное исследование гибридного кольцевого моста дециметрового диапазона частот

Д.С. Клюев<sup>1</sup>, А.А. Кузьменко<sup>1</sup>, А.С. Мальцев<sup>2</sup>,  
Д.В. Мишин<sup>1</sup>, С.Б. Филиппов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики  
443010, Российская Федерация, г. Самара  
ул. Л. Толстого, 23

<sup>2</sup> АО «РКЦ «Прогресс»  
443009, Российская Федерация, г. Самара  
ул. Земеца, 18

В работе изложен алгоритм моделирования в среде Ansys HFSS гибридного кольцевого моста диапазона рабочих частот Д1. Получены электрические характеристики модели. По результатам моделирования создан экспериментальный образец гибридного кольцевого моста.

*Ключевые слова:* гибридный кольцевой мост, моделирование, Ansys HFSS, КСВ, затухание мощности.

Гибридный кольцевой мост для антенно-фидерного устройства (АФУ) космического аппарата (КА) предназначен для обеспечения независимой одновременной работы двух передатчиков, передающих различную телеметрическую информацию на близких частотах диапазона Д1 ( $f_0, f_0 + 12\%$ ) на антенную систему, состоящую из двух антенн. Применение в схеме АФУ КА гибридного кольцевого моста позволяет отказаться от электромеханических переключателей

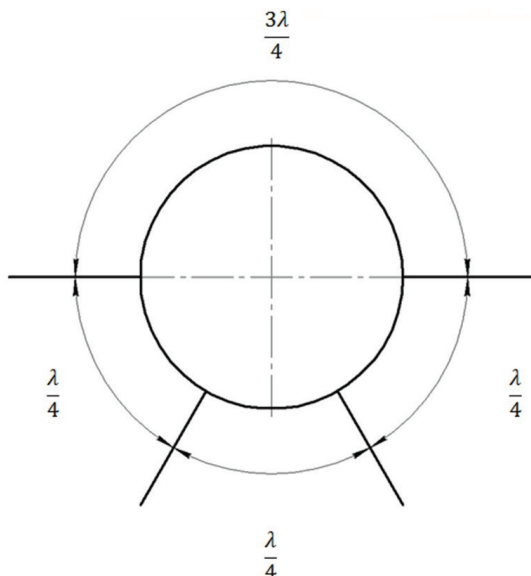


Рис. 1. Схема гибридного кольцевого моста

бортовых передатчиков системы телеметрических измерений, а также формирования и выдачи команд, управляющих его работой, что в значительной мере повышает надежность.

В основу конструкции гибридного кольцевого моста положена классическая схема (рис. 1)  $\lambda/4 \rightarrow \lambda/4 \rightarrow \lambda/4 \rightarrow 3\lambda/4$  в полосковом исполнении, где  $\lambda$  – длина волны в диэлектрике [1].

Согласно теории волновое сопротивление  $W$  токоведущих дорожек кольца должно превышать волновое сопротивление выводов в  $\sqrt{2}$ , то есть при волновом сопротивлении плеч 50 Ом, волновое сопротивление токоведущих дорожек кольца должно быть 70 Ом [2].

Волновое сопротивление полосковой линии определяется выражением (1)

$$W = \frac{100\pi}{\left(1 + \frac{b}{d}\right)\sqrt{\epsilon}}, \quad (1)$$

где  $\sqrt{\epsilon}$  – коэффициент укорочения материала в исполнении несимметричной полосковой линии;  $b$  – ширина дорожки кольцевого моста;  $d$  – толщина диэлектрического материала.

Соответственно ширина дорожки определяется выражением:

$$b = \left(\frac{100\pi}{W\sqrt{\epsilon}} - 1\right)d. \quad (2)$$

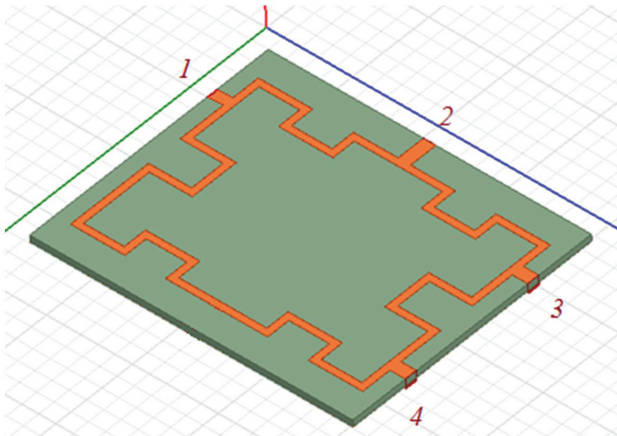


Рис. 2. Модель гибридного кольцевого моста в Ansys HFSS

Измеренный экспериментально коэффициент укорочения в несимметричной линии для материала Флан-10 составляет 2,53.

С учетом этого коэффициента укорочения ширина выводов составляет для  $W = 50 \text{ Ом}$ :

$$b = \left( \frac{100\pi}{50 \cdot 2,53} - 1 \right) 2 = 2,74 \text{ мм.}$$

Для токоведущей дорожки кольца при  $W = 70 \text{ Ом}$ :

$$b_{\kappa} = \left( \frac{100}{70 \cdot 2,53} - 1 \right) 2 = 1,38 \text{ мм.}$$

Поскольку частоты работы передатчика составляют 625 и 645 МГц, длину волны электро-

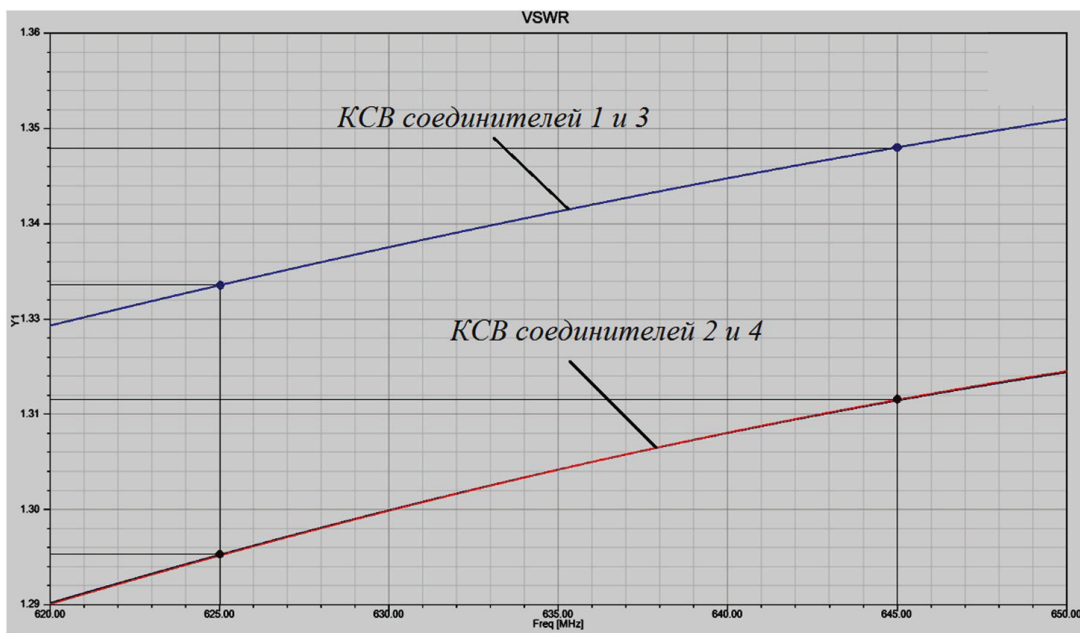


Рис. 3. КСВ с соединителями 1, 2, 3 и 4 модели гибридного кольцевого моста

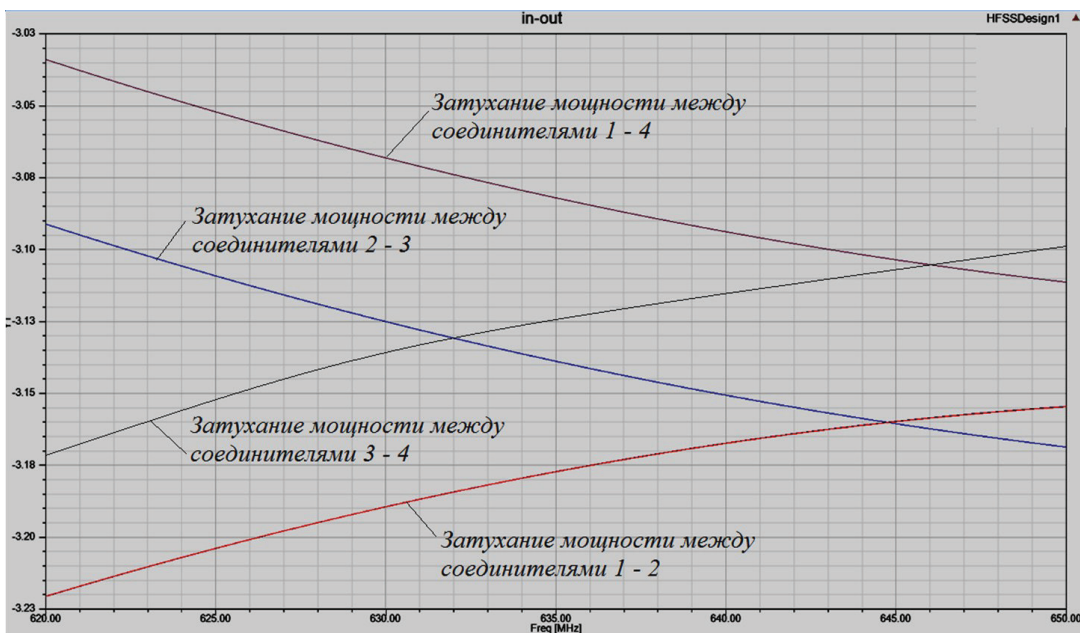


Рис. 4. Затухание мощности между соединителями 1-2, 1-4, 2-3, 3-4 модели гибридного кольцевого моста

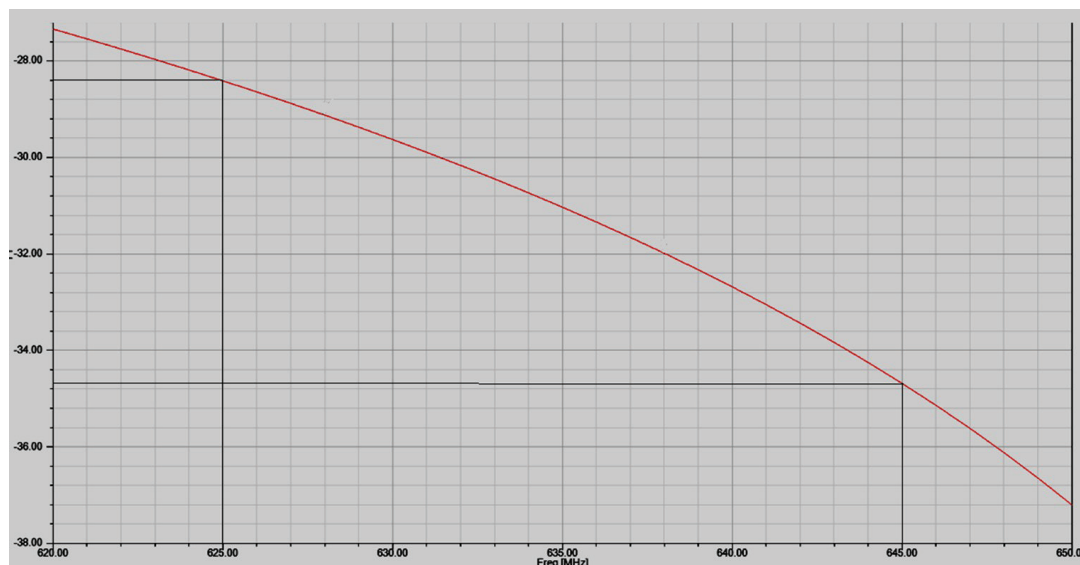


Рис. 5. Затухание мощности между соединителями 1-3 и 2-4

магнитных волн в диэлектрике определим по формуле:

$$\lambda = \frac{30000}{f\sqrt{\epsilon}} = \frac{30000}{635 \cdot 2,53} = 18,7 \text{ см.} \quad (3)$$

Модель гибридного кольцевого моста, реализованная в САПР «Ansys», представлена на рис. 2, а ее расчетные электрические характеристики представлены на рис. 3-5.

По результатам моделирования был создан экспериментальный образец гибридного кольцевого моста (рис. 6), электрические характеристики которого в значительной мере соответствуют расчетным и удовлетворяют требованиям:

– КСВ на соединителях кольцевого моста: не более 1,5;

– величина затухания мощности между соединителями 1-2, 1-4, 2-3, 3-4: не более 3,5 дБ;

– величина затухания мощности между соединителями 2-4, 1-3: не менее 20 дБ.

Электрические характеристики экспериментального образца гибридного кольцевого моста представлены в табл. 1-3.

В настоящее время разработка новых конструкций приборов СВЧ АФУ КА ведется преимущественно с помощью экспериментальных исследований. Экспериментальными исследо-

Таблица 1

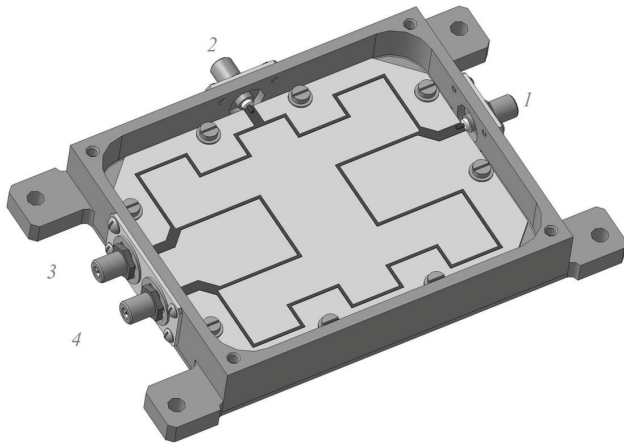
|               | Соединители |      |      |      |
|---------------|-------------|------|------|------|
|               | 1           | 2    | 3    | 4    |
| КСВ (625 МГц) | 1,09        | 1,15 | 1,13 | 1,14 |
| КСВ (645 МГц) | 1,21        | 1,23 | 1,26 | 1,25 |

Таблица 2

|   | Соединители |      |
|---|-------------|------|
|   | 2-4         | 1-3  |
| Величина затухания мощности (625 МГц), дБ | 30,2        | 29,8 |
| Величина затухания мощности (645 МГц), дБ | 33,8        | 33,4 |

Таблица 3

|   | Соединители |     |     |     |
|---|-------------|-----|-----|-----|
|   | 1-2         | 1-4 | 2-3 | 3-4 |
| Величина затухания мощности (625 МГц), дБ | 3,1         | 3,1 | 3,1 | 3,2 |
| Величина затухания мощности (645 МГц), дБ | 3,3         | 3,2 | 3,2 | 3,3 |



**Рис. 6.** Экспериментальный образец гибридного кольцевого моста

ваниями возможно добиться необходимых результатов, однако это требует изготовления определенного количества экспериментальных образцов, необходимых для определения оп-

тимальной конструкции, обеспечивающей необходимые электрические характеристики. Разработка принципов моделирования и алгоритмов расчета электрических характеристик позволит создавать новые конструкции приборов СВЧ и существенно снизить материально-временные затраты на опытное производство, экспериментальные исследования, конечную доводку и настройку приборов СВЧ, разрабатываемых для различных частотных диапазонов радиотехнических систем КА.

### Список литературы

1. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: уч. для радиотех. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1988. С. 111–113.
2. Неганов В.А., Яровой Г.П. Теория и применение устройств СВЧ: уч. пособ. для вузов. М.: Радио и связь, 2006. С. 556–559.

## Modeling in CAD «Ansys HFSS» and experimental study of a hybrid ring bridge of the decimeter frequency range

*D.S. Klyuev, A.A. Kuzmenko, A.S. Malcev,  
D.V. Mishin, S.B. Philippov*

In work the algorithm of modeling in the environment of Ansys HFSS of the hybrid ring bridge of range of operating frequencies D1 is stated. Electric characteristics of model are received. By results of modeling the experimental sample of the hybrid ring bridge is created.

*Keywords:* hybrid ring bridge, moderating, Ansys HFSS, KSV, attenuation of power.