

Моделирование и экспериментальное исследование процесса настройки двухзаходной конической логоспиральной антенны системы видеоконтроля

Д.С. Клюев¹, А.А. Кузьменко¹, А.С. Мальцев²,
Д.В. Мишин¹, С.Б. Филиппов²

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

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

В работе представлена модель двухзаходной конической логоспиральной антенны, реализованная в среде Ansys HFSS. Приведен алгоритм расчета согласующего последовательного трансформатора. Получены электрические характеристики модели. По результатам моделирования создан экспериментальный образец двухзаходной конической логоспиральной антенны.

Ключевые слова: двухзаходная коническая логоспиральная антенна, моделирование, Ansys HFSS, согласование, согласующий последовательный трансформатор.

Бортовая аппаратура системы видеоконтроля (БА СВК) задумана как самостоятельный модуль, обеспечивающий пользователю возможность осуществлять дистанционные исследовательские операции, так называемое «интерактивное наблюдение», при отделении космических аппаратов от разгонных блоков. БА СВК включает в себя четыре различных подсистемы: блок системы видеоконтроля, блок обработки данных, высокочастотный блок и антенно-фи-

дерное устройство (АФУ). АФУ состоит из двух антенн и фидерного тракта.

Важным узлом такого АФУ, определяющим его электродинамические характеристики, является широкополосная антенна, излучающая сигналы в дециметровом L-диапазоне частот (от 1010 до 1040 МГц). В качестве широкополосной антенны АФУ была выбрана двухзаходная коническая логоспиральная антенна с числом витков равным двум. Антенна представляет собой две металлические ленты, намотанные и закрепленные на диэлектрическом конусе. Такая форма спиральных лент обеспечивает широкую полосу, а так же широкую диаграмму направленности (ДН) и круговую поляризацию во всех направлениях полусферы. ДН логоспиральной антенны зависит от величины угла при вершине конуса и угла намотки спирали. Логарифмическая двухзаходная антенна с постоянным углом раскрытия в виде планарной спирали, обернутой вокруг диэлектрического конуса, была создана американским ученым Д. Дайсоном (Dyson) в 1958 г. [1].

Модель двухзаходной конической логоспиральной антенны дециметрового L-диапазона, реализованная в САПР «Ansys HFSS» представлена на рис. 1 [2].

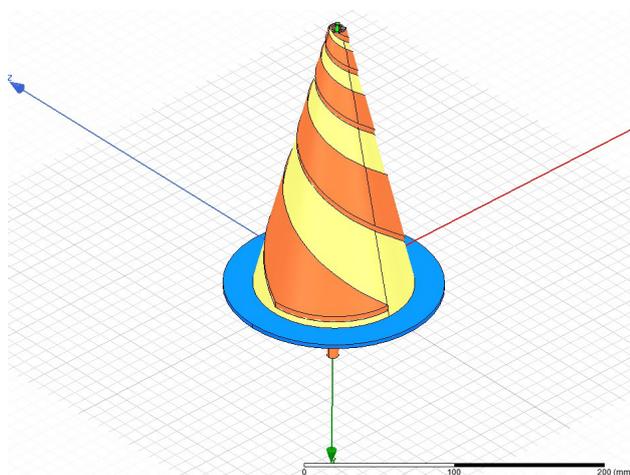


Рис. 1. Модель двухзаходной конической логоспиральной антенны

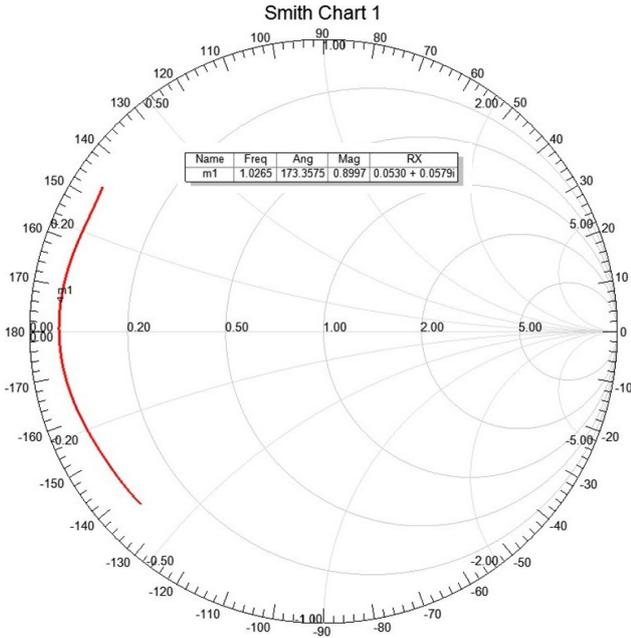


Рис. 2. Расчетное входное сопротивление модели двухзаходной конической логоспиральной антенны

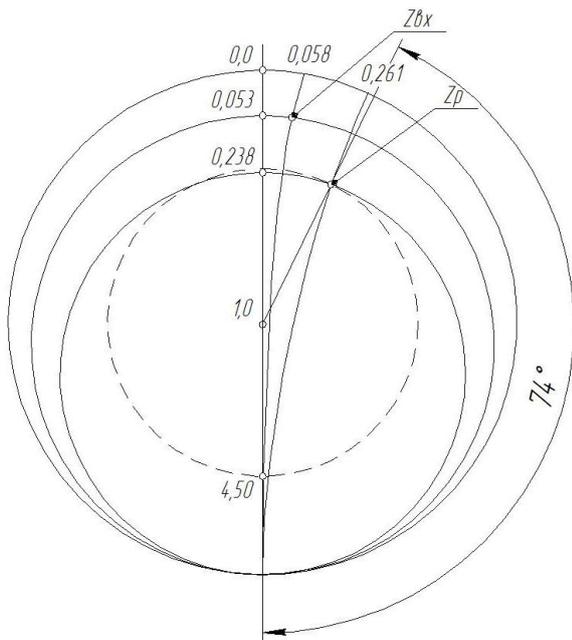


Рис. 3. Расчет длины согласующего трансформатора по диаграмме Вольперта – Смита

Для обеспечения допустимой нормы согласования общей схемы АФУ БА СВК при самых неблагоприятных сочетаниях входных сопротивлений приборов, входящих в данную схему, коэффициент стоячей волны (КСВ) двухзаходной конической логоспиральной антенны должен иметь значения в пределах от 1,05 до 1,35. Для этой цели в конструкцию двухзаходной конической логоспиральной антенны необходимо ввести элемент согласования [2]. Именно такой согласующий элемент получил название транс-

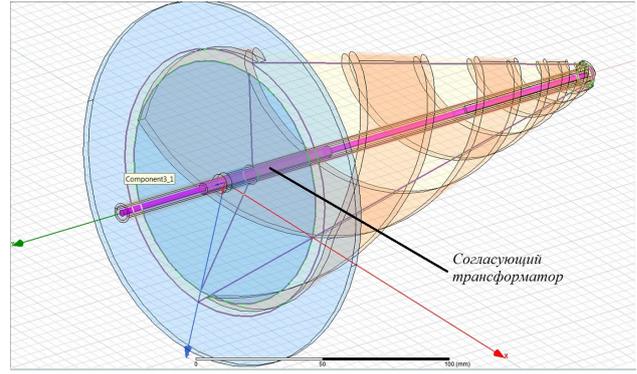


Рис. 4. Модель двухзаходной конической логоспиральной антенны с согласующим трансформатором

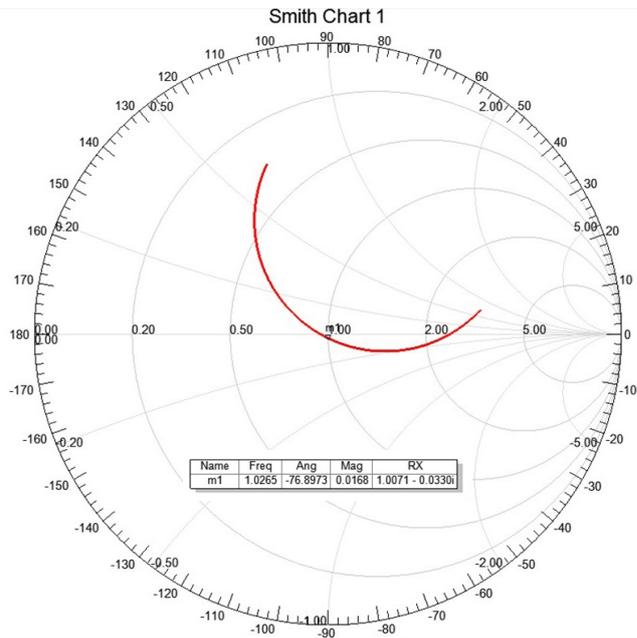


Рис. 5. Входное сопротивление двухзаходной конической логоспиральной антенны с согласующим трансформатором

форматора сопротивлений, который широко используется в СВЧ-технике. В конструкции антенны предусмотрены два элемента настройки: последовательный согласующий трансформатор сопротивлений, симметрирующая щель $\lambda / 4$.

В процессе отработки согласования антенны с линией передачи определяются:

- волновое сопротивление трансформатора;
- диаметр и длина трансформатора.

Основным элементом согласования является трансформатор сопротивлений.

Для определения параметров такого трансформатора необходимо располагать точными данными по входному сопротивлению $Z_{вх}$ антенны, т. к. даже незначительная погрешность приводит к серьезным отклонениям от ожидаемого результата.

Расчетное входное сопротивление модели двухзаходной конической логоспиральной ан-

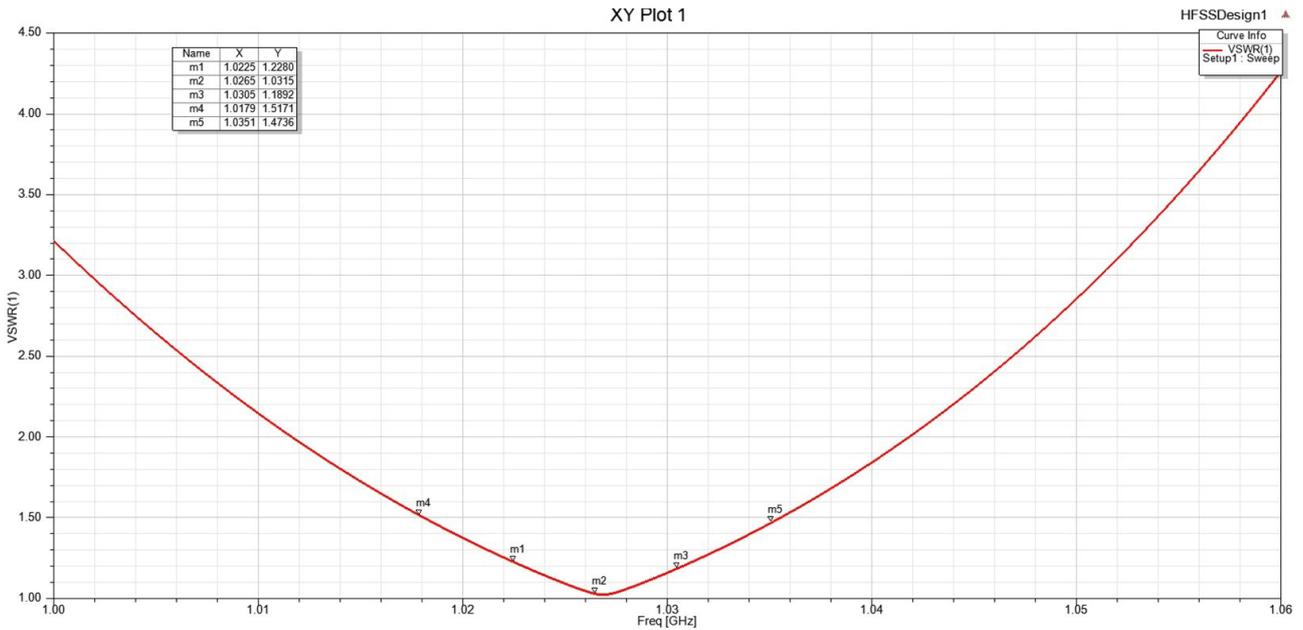
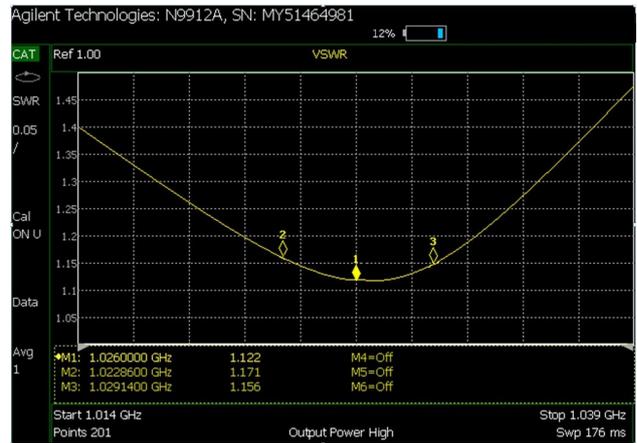


Рис. 6. КСВ двухзаходной конической логоспиральной антенны с согласующим трансформатором



а)



б)

Рис. 7. Экспериментальный образец конической логоспиральной антенны с согласующим трансформатором (а); КСВ экспериментального образца конической логоспиральной антенны с согласующим трансформатором (б)

тены представлено на рис. 2. $Z_{вх} = R_n + X_n = 0.053 + j0.058$.

Волновое сопротивление согласующего трансформатора определяется формулой [3]:

$$\rho_{тр} = \frac{W}{\sqrt{R_n - R_n^2 - X_n^2}} = \frac{50}{\sqrt{0.053 - 0.053^2 - 0.058^2}} = 11,12 \text{ Ом.} \tag{1}$$

Определим длину трансформатора:

$$N = \sqrt{\frac{1 - R_n}{R_n - R_n^2 - X_n^2}} = 4,50, \tag{2}$$

$$Z_p = Z_{вх} N = 0.238 + j0.261. \tag{3}$$

Именно на этой окружности лежит Z_p (рис. 3).

Длина трансформатора $L_{тр} = 74^\circ$ или $0,197\lambda = 57.6 \text{ мм}$ ($f = 1026.5 \pm 4 \text{ МГц}$).

Таким образом, сопротивление на выходе согласующего трансформатора:

$$R_{тр} = N\rho_{тр} = 4.50 \cdot 11.12 = 50.04 \text{ Ом.} \tag{4}$$

Волновое сопротивление коаксиальной линии определяется выражением:

$$\rho_{тр} = 138 \lg\left(\frac{D}{d}\right). \tag{5}$$

При внутреннем диаметре экрана коаксиальной линии $D = 6 \text{ мм}$ диаметр согласующего последовательного трансформатора составит: $d = 4,98 \text{ мм}$.

Расчетные характеристики модели двухзаходной конической логоспиральной антенны с согласующим трансформатором представлены на рис. 4–6.

По результатам моделирования был создан опытный образец спиральной антенны (рис. 7, а), согласующий последовательный трансформатор и проведена экспериментальная отработка, которая показала достаточно хорошее совпадение электрических характеристик (рис. 7, б) с результатами моделирования.

Разработка принципов моделирования и алгоритмов расчета электрических характеристик позволит создавать новые оптимальные конструкции антенн и существенно снизить материально-временные затраты на опытное производство, экспериментальные исследования, конечную доводку и настройку антенн, разрабатываемых для различных частотных диапазонов радиотехнических систем космических аппаратов, ракет-носителей, разгонных блоков.

Список литературы

1. Dyson J.D. The log-spiral antenna in simple arrays // Proc. of 11th University Symp. USAF Antenna Res. and Program. Illinois, October 1961.
2. Разработчик системы HFSS ANSYS [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ansys.com>.
3. Дорохов А.П. Расчет и конструирование антенно-фидерных устройств. Харьков: Издательство Госуниверситета, 1960. 451 с.
4. Филиппов С.Б. Разработка и исследование двухзаходных конических логоспиральных антенн радиотехнических систем космических аппаратов: дис. ... канд. техн. наук. Самара: ПГУТИ, 2016.

Modeling and experimental study of the tuning process of a two-input conical log-spiral antenna of the video control system

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

In work the model of the two-way conical logospiral aerial implemented in the environment of Ansys HFSS is provided. The algorithm of calculation of the coordinating consecutive transformer is given. Electric characteristics of model are received. By results of modeling the experimental sample of the two-way conical logospiral aerial is created.

Keywords: the two-way conical logospiral aerial, moderating, Ansys HFSS, approval coordinating the consecutive transformer.
