



УДК 520.628

Д. А. Бабичев, В. А. Тупик, А. В. Селуянова

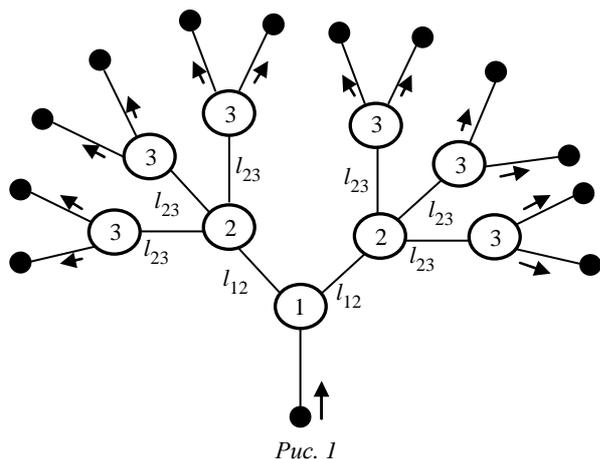
Математическая модель и анализ фрактальной антенны дипольного типа

Описывается математическая модель микрополосковой линии передачи дипольного типа. Рассматриваются свойства данного типа антенн. Созданная математическая модель позволяет оценить количество итераций, необходимых для получения заданных частотных характеристик.

Фрактальная антенна, широкополосность, математическая модель

Антенны дипольного типа характеризуются параллельным разветвлением на каждой итерации. При таком разветвлении в центральной узловой точке напряжение U_0 оказывается одинаковым для всех подходящих к нему каналов. Если разветвление на n каналов симметрично и все выходы подключены к одинаковым нагрузкам, то токи во всех выходных каналах $I_i (i=1, \dots, n)$ равны между собой: $I_i = I_0/n$.

Схематично антенна дипольного типа изображена на рис. 1.



Предположим, что разветвление производится симметрично на n каналов. Все выходные каналы имеют одинаковые сопротивления. Тогда токи и напряжения во входном плече U_1 и I_1 соответственно, а токи и напряжения в выходных плечах U_2 и I_2 . Для параллельного разветвления

$U_1 = U_2$, $I_1 = nI_2$ и поэтому матрица передачи, связывающая токи и напряжения на входе и одном из выходов, принимает вид

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_2 \\ I_2 \end{pmatrix}, \text{ или } \begin{pmatrix} U_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = A_i \begin{pmatrix} U_2 \\ I_2 \end{pmatrix}, A_i = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & n \end{pmatrix}.$$

С помощью матриц передачи элементов анализ процесса прохождения сигнала с общего входа на какой-либо выход симметричной схемы фрактальной антенны дипольного типа, являющейся многополюсником, сводится к анализу каскадной схемы, состоящей из четырехполюсников.

Для описания свойств антенн данного типа создана математическая модель микрополосковой линии передачи (рис. 2). Здесь A_i – матрица передачи фрактального элемента, $B_{i,i+1}$ – матрица передачи узла ветвления микрополосковой линии передачи.

Одиночную ветку микрополосковой линии передачи дипольного типа можно представить в виде последовательного соединения четырехполюсников (рис. 3).

Одновременно схему на рис. 3 можно упростить и представить в виде последовательного соединения четырехполюсников (рис. 4).

Матрицу передачи для рис. 3 можно записать с помощью выражения

$$M_{\Pi\Sigma} = A_{11} B_{12} A_{21} B_{23} A_{31} B_{34} A_{41},$$

а матрица передачи для рис. 4 будет выглядеть следующим образом:

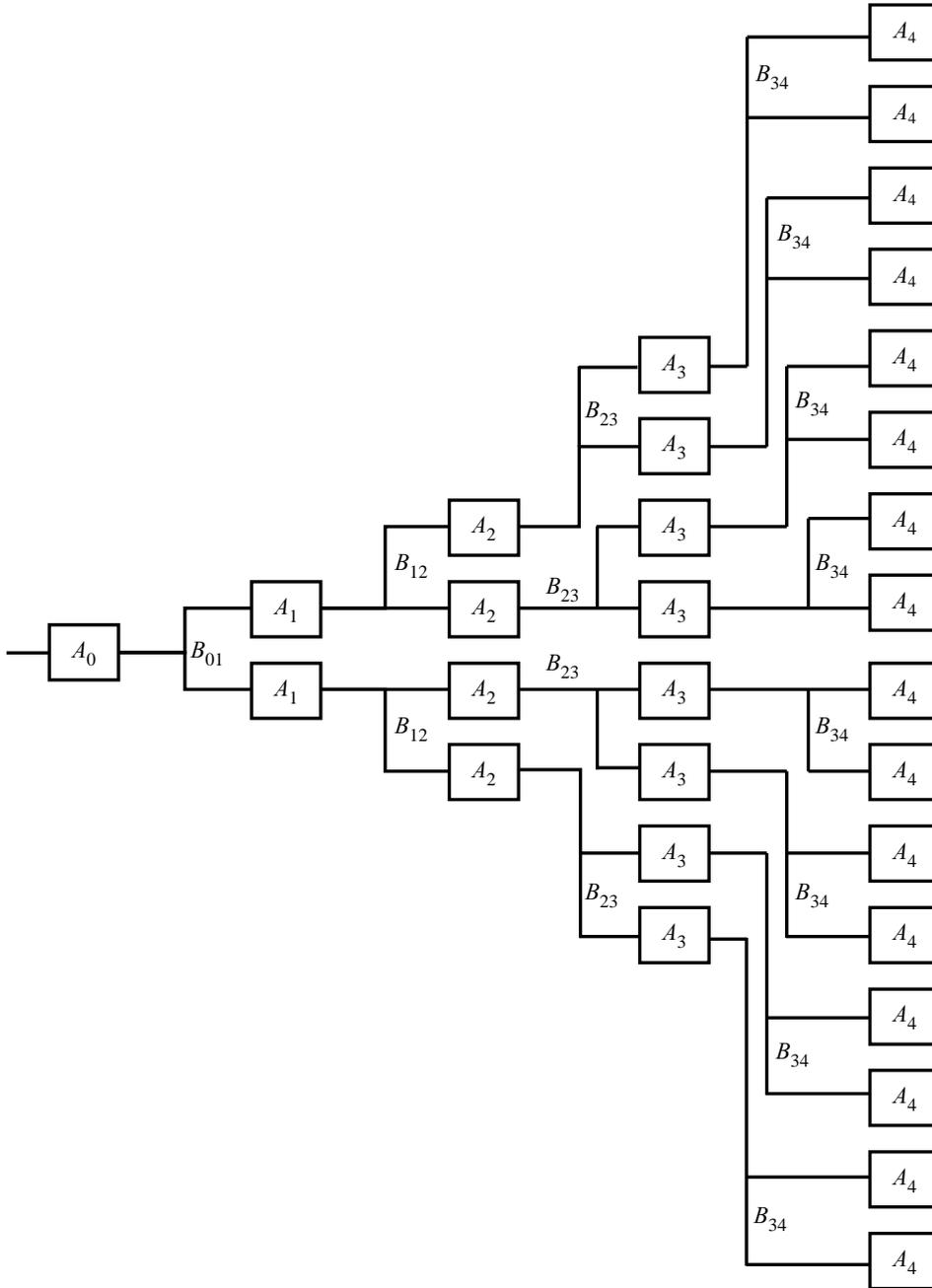


Рис. 2

$$M_{\Pi\Sigma} = A_1 A_2 A_3 A_4.$$

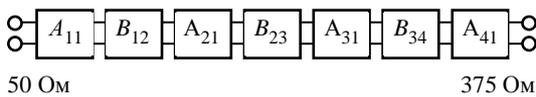


Рис. 3



Рис. 4

Введем следующие условные обозначения:
k – количество ветвей деления;

i – количество итераций;
n – изменение сопротивления одиночного элемента.

В этом случае в обобщенном виде можно записать:

$$M_{\Pi\Sigma} = \prod_1^i A_i,$$

$$\left| \frac{U_i}{I_i} \right| = M_{\Pi\Sigma} \left| \frac{U_i}{I_i} \right|.$$

Вычислим комплексное сопротивление фрактального элемента *A_i* :

$$\frac{1}{Z_{\text{общ}}i} = \frac{1}{Z_{i0}} + \frac{1}{Z_{i0}} + \frac{1}{Z_{i0}} + \frac{1}{Z_{i0}} + \dots (k^i \text{ раз}),$$

$$Z_{\text{общ}}i = n^i \frac{Z_1}{k^i}.$$

Следовательно,

$$U_{\text{общ}}i = I_{\text{общ}}i Z_{\text{общ}}i = I_1 n^i \frac{Z_1}{k^i} = n^i \frac{Z_1}{k^i},$$

$$\begin{vmatrix} U_1 \\ I_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} k^i/n^i & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} U_i \\ I_i \end{vmatrix}.$$

Как известно из [см. лит.]:

$$Z_{\text{вх}} = \frac{AZ_{\text{out}} + B}{CZ_{\text{out}} + D}.$$

Следовательно,

$$\frac{n^i}{k^i} = 7,5.$$

Одновременно для одиночной ветки микрополосковой линии передачи дипольного типа справедливо выражение:

$$\begin{vmatrix} U_1 \\ I_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} k^i/n^i & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} U_i \\ I_i \end{vmatrix} \text{ или } (7,5)^i = n.$$

Ставя главным условием получения широкополосной антенны и максимального согласования одновременно одиночной ветки микрополосковой линии передачи и фрактальной микрополосковой структуры в целом, получаем зависимость $n_k(i)$ (рис. 5).

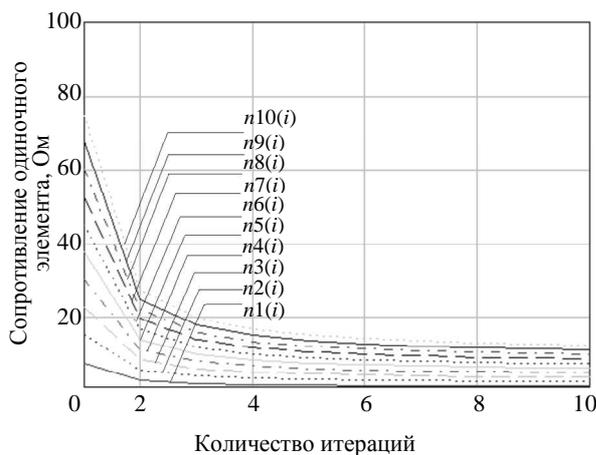


Рис. 5

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. С ростом количества ветвлений увеличивается рассогласованность одиночной ветки фрактальной микрополосковой линии передачи и

фрактальной микрополосковой линии передачи и фрактальной структуры в целом.

2. Для уменьшения рассогласования необходимо увеличивать количество итераций фрактальной антенны.

Антенна является устройством передачи энергии от питающего фидера в окружающее пространство. Качественно данное свойство антенны иллюстрирует рис. 6.

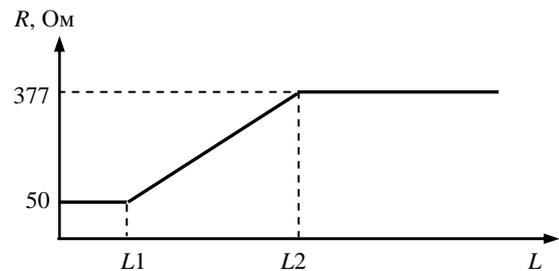


Рис. 6

Для оценки количественного улучшения согласования антенны с окружающим пространством с введением фрактальности выполним следующие преобразования:

$$\frac{n^i}{n^{i+1}} = \frac{7,5^i}{7,5^{i+1}} = \frac{1}{7,5} = 7,5^{-1} = 7,5^{-i-1} = 7,5^{\frac{1}{i^2+i}}.$$

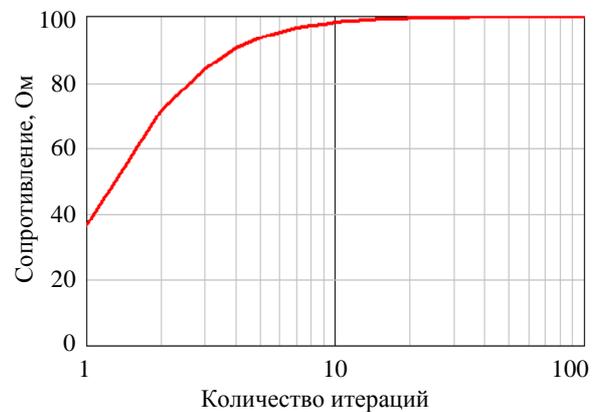


Рис. 7

Количество ветвей деления k	Число итераций i				
	1	2	3	4	5
2	7.5	2.74	1.96	1.65	1.5
3	15	5.48	3.92	3.3	3
4	22.5	8.22	5.88	4.95	4.5
5	30	10.96	7.84	6.6	6
Улучшение согласования, %	36	71	84	91	

Количественные характеристики улучшения согласования антенны приведены на рис. 7 и в таблице.

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. На 5-й итерации достигается 91 % улучшения характеристик широкополосного согласования нагрузки.

2. Самый большой скачок улучшения согласования происходит на 2-й и 3-й итерациях, при дальнейшем увеличении количества итераций улучшение происходит существенно медленнее.

Описанная математическая модель позволяет оценить количество итераций, необходимых для получения заданных частотных характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Сазонов Д. М., Гридин А. Н., Мишустин Б. А. Устройства СВЧ. М.: Высш. шк., 1981.

D. A. Babichev, V. A. Tupik, A. V. Seluyanov

MATHEMATICAL MODEL AND ANALYSIS FRACTAL ANTENNA DIPOLE TYPE

This article the mathematical model of a microstrip transmission line dipole type. We consider the characteristics of this type of antennas. Described by a mathematical model to estimate the number of iterations required to obtain the desired frequency characteristics.

Fractal antenna, broadband, mathematical model
