

Автоматизация процесса проектирования антенн и устройств СВЧ в современных программных комплексах электродинамического моделирования

Часть 2. Особенности моделирования ЛПВА в среде CST Microwave Studio

Андрей Пластиков (Москва)

На примере логопериодической вибраторной антенны дециметрового диапазона волн рассмотрен процесс создания модели в программе Microwave Studio с помощью макроса на языке VBA. Выполнено сравнение результатов расчёта модели методом конечных разностей во временной области с характеристиками, полученными в среде EDITFEKO.

ВВЕДЕНИЕ

В первой части статьи [1] была отмечена перспективность использования средств программирования, предоставляемых современными программными комплексами электродинамического анализа СВЧ-структур, на различных стадиях проектирования устройств. На примере логопериодической вибраторной антенны (ЛПВА) описан процесс создания многоэлементной структуры модели в среде EDITFEKO с использованием циклов. В данной статье мы продолжим рассматривать вопрос автоматизации проектирования модели ЛПВА уже в среде CST Microwave Studio [2,3], – дадим краткую характеристику мак-

росам программы, построим модель ЛПВА из металлических цилиндров с геометрией, аналогичной исследованной [1], и сопоставим результаты её расчёта во временной области с характеристиками, полученными в EDITFEKO. Также мы затронем вопросы автоматизированного построения модели ЛПВА полосковой конструкции.

ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО С МАКРОСАМИ В MICROWAVE STUDIO

В среде Microwave Studio, как, впрочем, и в других программных комплексах пакета CST Studio Suite, пользователю предоставляются широкие возможности доступа к управлению программой посредством макросов на языке Visual Basic for Applications (VBA). Соответствующие команды макросов позволяют обращаться и исполнять практически все операции, доступные в обычном интерфейсе САПР, и получать доступ как к стадиям черчения геометрии модели, так и к установке разбиения на ячейки, настройке решающего устройства и обработке результатов. Ниже мы ограничимся использованием макросов только для построения модели антенны.

Создадим новый проект Microwave Studio и выберем, например, шаблон Antenna (Planar). Зададим диапазон частот от 0,9 до 1,5 ГГц (диапазон рабочих частот исследуемой ЛПВА), а также расчёт мониторов полей E-field, H-field и Farfield на частоте 0,9 ГГц.

Зайдём в окно хронологии проекта History List, выделим операции установки диапазона частот и мониторов полей и нажмем кнопку Macro... (см. рис. 1). В появившемся окне введем название создаваемого макроса (например, LPDA). Если здесь же отметить пункт Make globally available, то соответствующий макрос станет доступным для любого проекта, но мы не будем этого делать и оставим его «локальным». После нажатия на кнопку ОК в созданном проекте появится новая вкладка редактора макросов со следующим текстом:

```
' LPDA
Sub Main ()

'@ define frequency range
Solver.FrequencyRange "0.9",
"1.5"

'@ define monitor: e-field
(f=0.9)
With Monitor
.Reset
.Name "e-field (f=0.9)"
.Dimension "Volume"
.Domain "Frequency"
.FieldType "Efield"
.Frequency "0.9"
.Create
End With
...
'@ define farfield monitor:
farfield (f=0.9)
With Monitor
.Reset
.Name "farfield (f=0.9)"
.Domain "Frequency"
.FieldType "Farfield"
.Frequency "0.9"
.Create
End With
End Sub
```

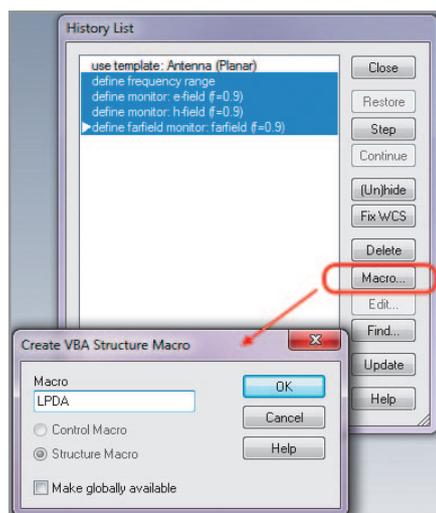


Рис. 1. Создание макроса из выполненных пользователем операций с помощью списка хронологии

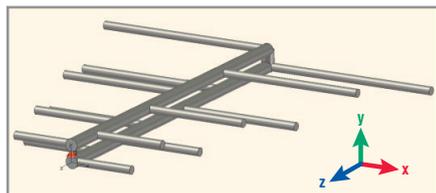


Рис. 2. Созданная модель ЛПВА с дискретным источником возбуждения

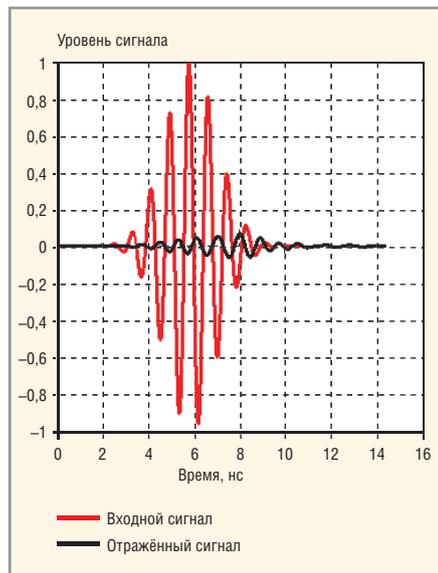


Рис. 3. Поданный на вход антенны и отражённый сигналы

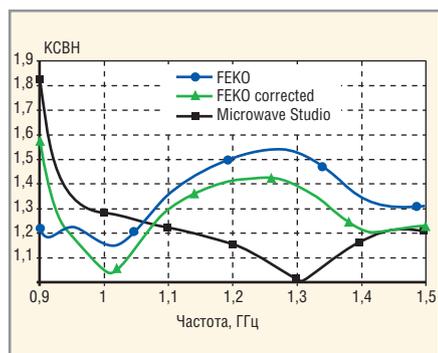


Рис. 4. Частотная зависимость КСВН

Данные команды характеризуют выполненные в CAD-интерфейсе действия пользователя на языке макросов и включают обязательную конструкцию *Sub Main ... End Sub*, в теле которой записываются команды. Комментарии выделяются апострофом в начале строки. Команды, характеризующие свойства установленных мониторов поля, записаны внутри конструкции *With Monitor ... End With*. Подобный синтаксис характерен для большинства команд VBA в Microwave Studio. Если отказаться от использования подобных конструкций, то потребуется перед каждым свойством вписывать название соответствующего объекта макроса, в нашем случае – Monitor.

По аналогии с полученным текстом, дополним макрос мониторами дальнего поля на частотах от 1 до 1,5 ГГц с шагом 0,1 ГГц перед директивной *End Sub*. Вызвав модифицированный таким образом макрос из появившегося пункта LPDA в меню Macros или непосредственно из окна редактора, можем убедиться, что в проекте появились новые мониторы поля.

Возможность создания макроса из операций списка хронологии присутствует и в программе Ansoft HFSS и представляется достаточно эффективным способом знакомства с самим языком программирования и конкретными командами.

НАПИСАНИЕ МАКРОСА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ЛПВА

Текст программы, осуществляющей построение модели ЛПВА, напомним непосредственно в теле созданного макроса сразу после установки всех мониторов поля. Вначале следует задать исходные данные и определить используемые в программе переменные. Первое осуществляется в теле конструкции *BeginHide ... EndHide* следующим образом:

```
StoreDoubleParameter "r_feed", 3
' Радиус линии питания
StoreDoubleParameter "r_vibrator", 2 ' Радиус вибраторов
StoreDoubleParameter "tau", 0.84
StoreDoubleParameter "sigma", 0.12
StoreDoubleParameter "N", 7
' Число вибраторов в одном полотне
StoreDoubleParameter "l1", 30
' Длина наименьшего вибратора
StoreDoubleParameter "raznos", 8
' Расстояние между центрами линий питания
StoreDoubleParameter "dh", 2
```

Здесь параметр *dh* определяет вынос торца линии питания за ось первого вибратора. В реальных конструкциях антенн необходимо выполнить условие $dh > r_vibrator$.

Переменные объявляются стандартным для языка Visual Basic способом, например:

```
Dim alpha As Double ' Половина угла при вершине ЛПВА
Dim zO() As Double ' Массив z-координат центров вибраторов
```

Для массивов впоследствии необходимо доопределить их размерность:

```
ReDim zO(N)
```

Далее следует определить объявленные переменные:

```
alpha=Atnd((1-tau)/4/sigma)
zO(1)=-dh
For k=2 To N
    zO(k)=...
Next k
...
```

Теперь можно приступить к вводу команд построения элементов модели антенны. Создадим новый компонент и активируем глобальную систему координат:

```
Component.New "component1"
WCS.ActivateWCS ("global")
```

В первой части статьи мы использовали модель ЛПВА, составленную из проволочных сегментов. Аналогичный тип ячеек разбиения модели присутствует и в решающем устройстве I-solver в программе Microwave Studio (с 2011 г.). Но ниже мы построим более точную, с точки зрения получаемых результатов электродинамического анализа, структуру антенны, составленную непосредственно из цилиндрических поверхностей.

Итак, построим линию питания в виде идеально проводящего металлического цилиндра, располагаемого вдоль оси OZ:

```
With Cylinder
    .Reset
    .Name ("feed")
    .Component ("component1")
    .Material ("PEC")
    .Axis ("z")
    .Outerradius (r_feed)
    .Innerradius (0)
    .Xcenter (0)
    .Ycenter (0)
    .Zcenter (0)
    .Zrange (0, zO(N))
    .Segments (0)
    .Create
End With
```

Команды, характеризующие свойства цилиндра, записываются внутри уже знакомой нам конструкции типа *With Cylinder ... End With*. Черчение цилиндров-вибраторов, параллельных

оси OX, осуществим аналогичным образом в цикле *For... Next*. Теперь последовательно объединим каждый из построенных вибраторов с линией питания посредством операции вида `Solid.Add «component1:feed», «component1:vibrator_1»`, где `vibrator_1` является названием цилиндра-вибратора.

С помощью команд преобразования геометрии `Transform` создадим второе полотно ЛПВА, осуществив поворот исходного на 180°, и перенесём его на заданное расстояние от исходного. Заметим, что при копировании первого полотна второму полотну (т.е. его копии) автоматически присваивается название `feed_1`.

Построим короткозамыкающий цилиндр радиусом `r_feed`, соединяющий концы линий питания со стороны наибольших вибраторов. Объединим имеющиеся в модели элементы геометрии в один и переименуем его в `LPDA`:

```
Solid.Rename "component1:feed",
"LPDA"
```

Возбуждение модели ЛПВА осуществим посредством дискретного порта сопротивлением 75 Ом, хотя при необходимости можно реализовать и близкое к реальной антенне возбуждение волноводным коаксиальным портом. Итак, выберем две точки центров торцов линий питания в плоскости XY:

```
Pick.PickCenterpointFromPoint
"component1:LPDA" , "0", "0", "0"
Pick.PickCenterpointFromPoint
"component1:LPDA"
, "0", "raznos", "0"
```

Введём в структуру сам порт с помощью конструкции `With DiscretePort... End With` и запустим программу. Возможно, что для корректного функционирования такого макроса потребуются запустить его два раза подряд, т.к. при первом запуске в память проекта могут не занестись используемые переменные. После исполнения команд макроса в окне `Microwave Studio` появится модель анализируемой ЛПВА (см. рис. 2).

Для повышения точности расчётов, вручную скорректируем границы окружающего антенну пространства, введя в поле `Distance` окна `Background properties` значение 170 мм, что составляет около половины длины волны на частоте 0,9 ГГц, а также параметры ме-

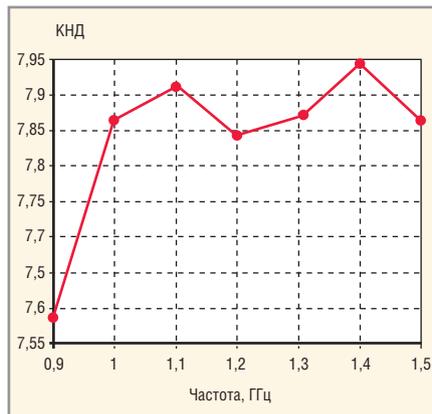


Рис. 5. Частотная зависимость КНД в направлении оси антенны

ширования модели. Запустим проект на расчёт посредством решающего устройства во временной области `T-solver`, проводящего анализ задачи методом конечных разностей во временной области (`finite difference time domain, FDTD`) [2, 4].

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА МОДЕЛИ: СОПОСТАВЛЕНИЕ С ФЕКО

На рисунках 3–7 представлены результаты расчёта построенной структуры антенны. На рисунке 3 приведены падающий на вход антенны и отражённый сигналы. Частотная зависимость КСВН показана на рисунке 4 сплошной кривой. Если сопоставить данный график с аналогичной зависимостью, рассчитанной для исследуемой антенны в первой части статьи (она показана синим цветом), можно

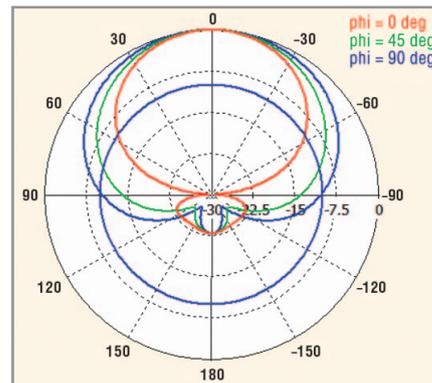


Рис. 6. Нормированная диаграмма направленности антенны на частоте 1,2 ГГц в логарифмическом масштабе

отметить существенное различие. Оно, главным образом, связано с тем, что используемая модель одномерных проволочных сегментов не учитывает азимутальную неравномерность тока на проводниках двухпроводной линии питания с относительно малой величиной волнового сопротивления. Аналогичным образом, погрешность при расчёте двухпроводной линии дают, например, расчёты и в свободно распространяемой программе расчёта проволочных антенн `MMANA` [5], использующей идентичный метод.

В работе [5] предложен метод снижения погрешности расчёта двухпроводной линии питания, который подразумевает введение в модель скорректированных размеров проводников линии. В этом случае значение радиуса проводников линии питания (при не-

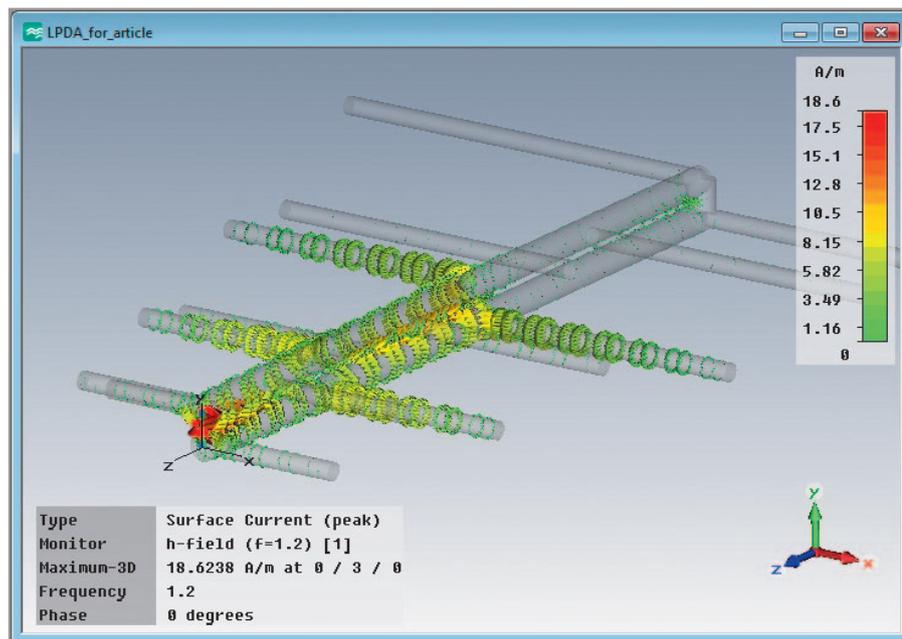


Рис. 7. Распределение поверхностных токов на частоте 1,2 ГГц

изменном расстоянии между их центрами) составляет около 3,6 мм вместо исходных 3 мм. Рассчитанная для такой модели в EDITFEKO частотная зависимость КСВН представлена на рисунке 4 кривой зелёного цвета. По сравнению с исходным графиком в [1] она немного приблизилась к результату, полученному в Microwave Studio.

Рассчитанный в Microwave Studio график частотной зависимости коэффициента направленного действия в направлении оси антенны (см. рис. 5) также заметно отличается от полученной в FEKO зависимости [1] и имеет уровни примерно на 30% выше. Однако формы самих диаграмм направленности (ДН), по крайней мере для центральных частот рабочего диапазона и в области полупространства $z > 0$, вполне сопоставимы. На рисунке 6 изображена нормированная ДН ЛПВА в трёх плоскостях, рассчитанная в Microwave Studio для частоты 1,2 ГГц. Ширина ДН по уровню -10 дБ во всех трёх плоскостях совпадает с результатами, полученными в FEKO, с точностью до одного градуса. На рисунке 7 показано распределение поверхностных токов на центральной частоте рабочего диапазона.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ЛПВА В МИКРОПОЛОСКОВОМ ИСПОЛНЕНИИ

Используя предложенную методику программирования модели ЛПВА в программе Microwave Studio, можно осуществлять построение структур антенн, выполненных не только из

труб или стержней, но и, например, полосковых, изготавливаемых по печатной технологии на двухстороннем фольгированном диэлектрике, или более сложных конструкций двухполяризационных пирамидальных ЛПВА.

При помощи написанной на VBA программы-макроста построения модели антенны автором был спроектирован облучатель зеркальной антенной системы, работающий более чем в восьмикратной полосе частот по одной линейной поляризации поля [6]. Соответствующая логопериодическая антенна имеет $N = 47$ вибраторов (в каждом полотне) и выполнена по печатной технологии (см. рис. 8).

«Запрограммировать» построение модели микрополосковой ЛПВА можно и в среде EDITFEKO. Однако, как и в рассмотренном [1] случае антенны проволочной конструкции, при этом необходимо учитывать требования сопряжения элементов – примитивов структуры, которые вызваны невозможностью объединения нескольких объектов геометрии в один. То есть для получения адекватного меширования полоскового полотна ЛПВА необходимо создавать его как единый элемент модели (polygon) либо осуществлять построение линии питания по кусочкам для сопряжения треугольников разбиения на общих гранях (см. рис. 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доступный в среде CST Microwave Studio язык макросов предоставляет

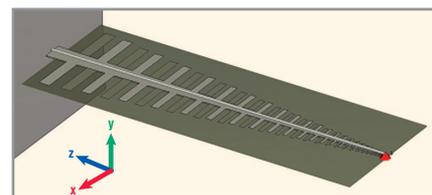


Рис. 8. Модель облучателя в виде микрополосковой ЛПВА, построенная при помощи макроста

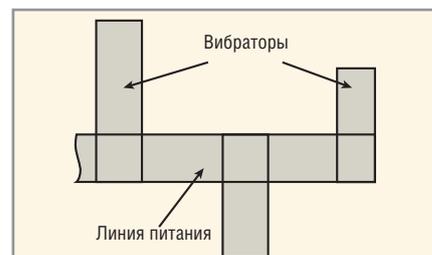


Рис. 9. Пример построения модели микрополосковой ЛПВА как набора нескольких параллелограммов в среде EDITFEKO

пользователю широкие возможности для ускорения процесса проектирования устройств в пределах самой программы. Предложенная методика создания модели многоэлементной антенны особенно эффективна при разработке сверхширокополосных ЛПВА с большим числом элементов или серии из нескольких логопериодических антенн, рассчитанных на работу в разных частотных диапазонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пластиков А. Автоматизация процесса проектирования антенн и устройств СВЧ в современных программных комплексах электродинамического моделирования. Часть 1. Логопериодическая вибраторная антенна. Современная электроника. 2012. № 3. ЛС. 64–67.
2. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. МЭИ, 2012.
3. www.cst.com.
4. Yee K.S. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. IEEE Trans. on AP. 1966. Vol. 14. No. 4. PP. 302–307.
5. Яцкевич В.А., Александров В.С. Проектирование логопериодических вибраторных антенн. Антенны. 2005. Вып. 7–8 (98–99). С. 3–12.
6. Пластиков А.Н. Коган Б.Л. Проектирование однозеркальной антенной системы с логопериодическим облучателем для радиоинтерферометра. Тезисы докладов на 16-й МНТК «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика». МЭИ, 2010. С. 100–101.

