

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра дискретной математики и
информационных технологий

**РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОГРАММЫ 3D
МОДЕЛИРОВАНИЯ ANSOFT HFSS, РЕАЛИЗУЮЩЕГО
РАСЧЕТ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ ВОЛНОВЕДУЩИХ
СИСТЕМ МОЩНЫХ ЭВП СВЧ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 421 группы
направления 09.03.01 — Информатика и вычислительная техника
факультета КНиИТ
Помыкалова Виталия Михайловича

Научный руководитель

д. т. н., профессор

В. А. Твердохлебов

Заведующий кафедрой

к. ф.-м. н., доцент

Л. Б. Тяпаев

Саратов 2016

ВВЕДЕНИЕ

Во входных и выходных трактах мощных приборов СВЧ для согласования с волноводами стандартного сечения используются ступенчатые переходы, которые могут представлять собой отрезки прямоугольного волновода с разной длиной и высотой.

Обычно расчет размеров ступенчатых волноводных переходов (далее СВП) осуществляется с помощью приближенных соотношений, учитывающих один тип волны. Дальнейший расчет и уточнение размеров могут быть осуществлены с помощью программ 3D моделирования электромагнитных полей, например, ANSOFT HFSS [4].

Актуальность работы заключается в разработке программных средств для расчета функциональных узлов волноведущих систем приборов СВЧ.

Приборы СВЧ широко применяются в радиосвязи, радиолокации, телевидении, радионавигации, многоканальной радиопередаче, кибернетике, метрологии, в аэродромных системах, космической связи, в управлении воздушным движением гражданской авиации и так далее.

Целью данной работы является написание программного модуля, автоматизирующего процесс моделирования и расчет характеристик СВП в программе ANSOFT HFSS [4].

Основные задачи:

- изучение классического метода синтеза СВП с чебышёвской частотной характеристикой;

- разработка алгоритма построения графической модели СВП на основе результатов синтеза;

- освоение технологии разработки плагинов для ANSOFT HFSS [4] на языке программирования Python [6];

- разработка плагина для ANSOFT HFSS [4] на языке Python [6], реализующего алгоритм синтеза, построения и расчета электродинамических характеристик СВП.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Первая глава «Общие сведения о согласовании передающих линий», вторая глава «Реализация классического метода синтеза СВП с чебышёвской частотной характеристикой» и глава три «Разработка программного модуля для HFSS».

Основное содержание работы

1. Общие сведения о согласовании передающих линий. Задача согласования передающих линий называется согласованием активных нагрузок и возникает, когда необходимо состыковать две линии передачи с разными поперечными сечениями. Устройство, которое применяется для согласования соединения двух линий передачи, называется переходом. Различают плавные переходы, когда размеры поперечного сечения изменяются плавно, и ступенчатые. Если не наложено никаких ограничений на длину перехода, то может быть достигнуто сколь угодно малое рассогласование в любой полосе частот. Однако на практике требуется, чтобы длина перехода была минимальной при заданном допустимом рассогласовании, полосе пропускаемых частот и перепаде волновых сопротивлений.

Самым простым ступенчатым переходом является четвертьволновый трансформатор, но он имеет ограниченную ширину полосы пропускания. Полосой пропускания называется диапазон частот, в пределах которого амплитудно-частотная характеристика достаточно равномерна для того, чтобы обеспечить передачу сигнала без существенного искажения его формы. Для её расширения при улучшении качества согласования применяют многоступенчатые трансформаторы. Необходимая форма частотной характеристики согласования обеспечивается выбором волновых сопротивлений ступенек [2].

Ступенчатым переходом называется каскадное соединение (цепочка) из n отрезков передающих линий (ступенек), имеющих, в общем случае, одинаковую длину и различные волновые сопротивления. Схема ступенчатого перехода приведена на рисунке 1. Число ступенек в переходе на единицу меньше числа скачков волнового сопротивления. Предполагается, что система не имеет активных потерь [1].

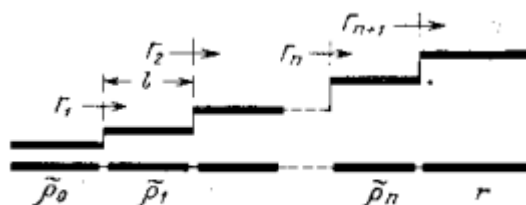


Рисунок 1 – Схема ступенчатого волноводного перехода

В настоящее время теория СВЧ применяется в различных целях. Пер-

воначально назначением СВП было согласование двух активных сопротивлений. Более глубокие исследования в этой области показали, что синтез ступенчатых переходов подчиняется строгим законам того же типа, что и синтез лестничных систем с сосредоточенными постоянными. Отличается лишь в выборе частотной переменной [2].

При применении СВП для согласования двух передающих линий обычно заданы перепад волнового сопротивления R , полоса пропускания W_{Π} (или же граничные длины волн полосы пропускания Λ_{Π} и $\Lambda_{-\Pi}$) и допуск на рассогласование Γ . Искомыми параметрами являются число ступенек n , их длина l и их высота b .

В точной теории ступенчатых переходов различают два направления: классический метод синтеза и метод неопределенных коэффициентов. Метод неопределенных коэффициентов применим только к системам, содержащим не более четырех ступенек. При большем числе ступенек громоздкость получаемых выражений является препятствием для использования данного метода [3].

Классический метод синтеза применим к системам с произвольным количеством ступенек, но требует большой точности вычислений в промежуточных расчетах. Именно поэтому данный метод хорошо сочетается с использованием вычислительных машин [3].

2. Реализация классического метода синтеза СВП с чебышёвской частотной характеристикой. Наиболее распространены ступенчатые переходы с чебышёвскими и максимально плоскими частотными характеристиками коэффициента отражения. Первые рассчитываются с помощью полиномов Чебышёва и имеют оптимальное соотношение между полосой согласования, допуском на рассогласование и длиной перехода [1].

Рассматриваемые ступенчатые переходы представляют собой обратимые, реактивные и антисимметричные четырехполюсники, волновая матрица передачи которых имеет вид

$$[T] = \begin{bmatrix} ReT_{11} + iImT_{11} & \sqrt{|T_{11}|^2 - 1} \\ \sqrt{|T_{11}|^2 - 1} & ReT_{11} - iImT_{11} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Обратимость, реактивность и антисимметрия четырехполюсника приводят к следующим связям между его параметрами:

— реактивность

$$\begin{aligned} T_{11} &= T_{22}^*, \\ T_{12} &= T_{21}^*; \end{aligned} \quad (2)$$

— обратимость

$$T_{11}T_{22} - T_{12}T_{21} = 1,$$

откуда

$$|T_{11}|^2 = 1 + |T_{12}|^2;$$

— антисимметрия

$$T_{12} = T_{21} \quad (3)$$

причем из 2 и 3 следует

$$ImT_{12} = 0$$

Таким образом, по известному значению T_{11} определяется вся матрица $[T]$. Удобнее перейти от матрицы $[T]$ к классической матрице передачи $[a]$. Она выглядит следующим образом

$$[a] = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{R}}(ReT_{11} + T_{21}) & i\sqrt{R}ImT_{11} \\ i\frac{1}{\sqrt{R}}ImT_{11} & \sqrt{R}(ReT_{11} - T_{21}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Рабочим затухание называется затухание, вносимое четырехполюсником в его рабочих условиях [1]. В случае классического метода синтеза ступенчатых переходов рабочее затухание определяется по формуле 5.

$$L = |T_{11}|^2 = 1 + h^2 T_n^2 \left(\frac{\cos \theta}{S} \right) = 1 + h^2 T_n^2(x) \quad (5)$$

где $T_n(x) = \cos(n \arccos(x)) (n = 1, 2, 3, \dots)$,

θ — электрическая длина ступени,

h — амплитудный множитель,

S — масштабный множитель.

Заданными параметрами при классическом методе синтеза являются граничные длины волн полосы пропускания Λ_{Π} и $\Lambda_{-\Pi}$, сечение волновода на входе b_{in} и выходе b_{out} , общая длина перехода L и коэффициент стоячей волны по напряжению $VSWR$. Искомыми параметрами являются количество ступенек n , их длины и высоты.

Классический метод синтеза СВП с чебышёвской частотной характеристикой был реализован на языке программирования Python [6], как подпрограмма в составе программного модуля для ANSOFT HFSS [4].

3. Разработка программного модуля для HFSS. HFSS - это мощный пакет программ, который вычисляет многомодовые S-параметры и электромагнитные поля в трехмерных пассивных структурах произвольной формы [5].

В последние 5 лет именно программа HFSS, в разработке которой приняли участие фирмы Hewlett Packard, Agilent и Ansoft, заняла лидирующее положение в мире проектирования СВЧ устройств. HFSS первой из коммерческих программ показала всю мощь электродинамических методов расчета. Она поставила на новую основу и принципы обучения такому сложному предмету, как электродинамика [5].

Для расчёта параметров какого-либо устройства в программе HFSS требуется построить его графическую модель, задать свойства материалов и граничные условия на поверхностях. Для этого используются встроенные в HFSS средства.

Введём систему обозначений размеров разрабатываемого СВП таким образом, чтобы была возможность быстро перестраивать графическую модель и осуществлять параметрические исследования (рисунок 2).

Для наиболее полного и однозначного описания конструкции СВП, который изображен на рисунке 2, можно использовать, например, следующий набор размеров:

$a = 7.2mm$ — ширина волновода;

$b_{in} = 3.4mm$ — высота волновода на входе;

$b_{out} = 1mm$ — высота волновода на выходе;

$Lb_{in} = 20mm$ — длина входной части волновода;

$Lb_{out} = 20mm$ — длина выходной части волновода;

$b_1 = 2.68mm$ — высота первой ступеньки;

$b_2 = 1.85mm$ — высота второй ступеньки;

$b_3 = 1.28mm$ — высота третьей ступеньки;

$Lb_1 = 3.23mm$ — длина первой ступеньки;

$Lb_2 = 3.13mm$ — длина второй ступеньки;

$Lb_3 = 3mm$ — длина третьей ступеньки.

В HFSS встроена возможность сохранения в виде скрипта процесса со-

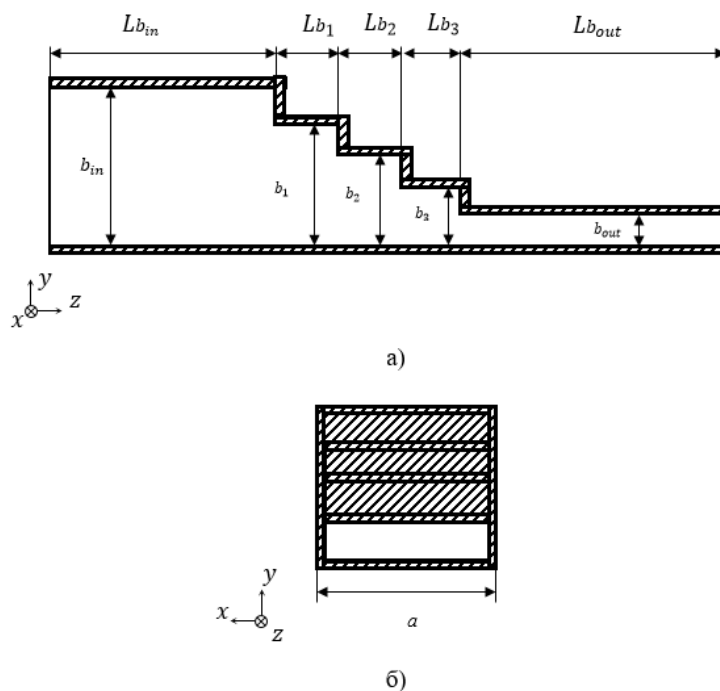


Рисунок 2 – СВП: а) - поперечный разрез в плоскости YOZ; б) - поперечный разрез в плоскостях А-А

здания графических моделей и расчёта их параметров для дальнейшего использования и модификации. Скрипт может быть написан на языках программирования Python, Visual Basic или JavaScript. Для реализации был выбран язык программирования Python.

Был реализован программный модуль, осуществляющий предварительный расчет размеров СВП по заданным характеристикам, построение графической модели СВП и расчет ЭДХ. Программный модуль оформлен в виде встраиваемого в HFSS приложения.

Рабочее окно приложения, предназначенное для предварительного синтеза размеров СВП представлено на рисунках 3 и 4. Построенное графическое изображение СВП с заданными портами и плоскостью симметрии приведено на рисунке 5. На рисунке 6 приведены результаты расчетов S-параметров СВП в виде графиков (коэффициенты отражения S_{11} и коэффициенты передачи S_{21}).

Data-in

Boundary wavelengths:		Height cross-section:		Total length of transition and VSWR:	
lambda0(mm)	8.68628	bin(mm)	3.4	L(mm)	9.75
lambda1(mm)	25.82538	bout(mm)	1	VSWR	1.2

Other variables

Dbin(mm)	16.4	Lbin(mm)	20
Dbout(mm)	16.4	Lbout(mm)	20
a(mm)	7.2		

Buttons: Calculate, Generate, Reset, Cancel

Рисунок 3 – Рабочее окно приложения. Входные данные

The number, length and height of the steps:

n	3
Lb1(mm)	3.23
Lb2(mm)	3.13
Lb3(mm)	3.0
b1(mm)	2.68
b2(mm)	1.85
b3(mm)	1.28

Button: OK

Рисунок 4 – Рабочее окно приложения. Результат расчета

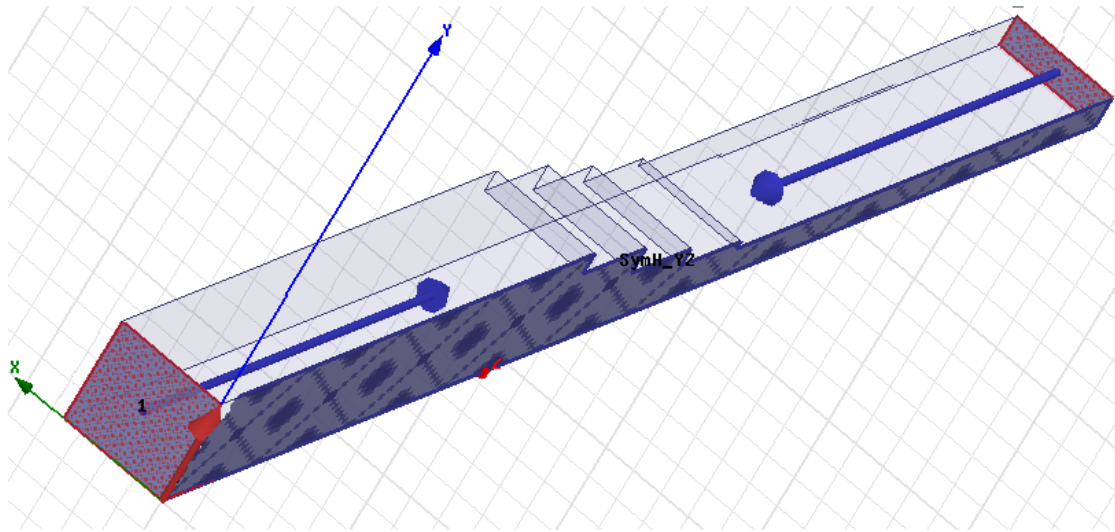


Рисунок 5 – Графическая модель СВП в HFSS

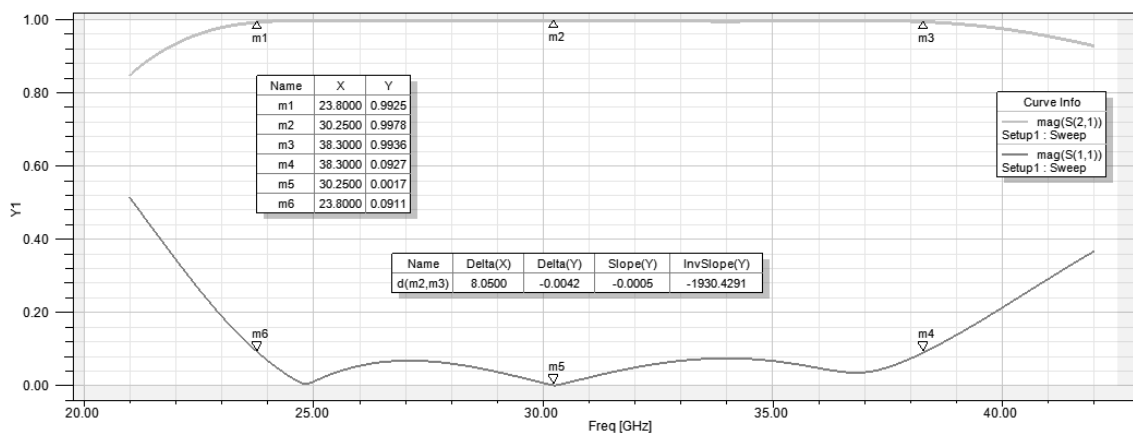


Рисунок 6 – Рассчитанные S-параметры в виде графиков

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы был изучен и программно реализован в виде подпрограммы на языке программирования Python [6] классический метод синтеза СВП с чебышёвской частотной характеристикой; разработан алгоритм построения графической модели СВП на основе результатов синтеза; освоена технология разработки плагинов для ANSOFT HFSS [4] на языке программирования Python [6], а также, используя встроенную в программу ANSOFT HFSS [4] возможность управлять с помощью скрипта процессом моделирования и расчета СВЧ устройств, был автоматизирован синтез, графическое моделирование и определение ЭДХ СВП, путем разработки плагина на языке программирования Python [4]. Данный плагин может быть эффективно использован при разработке ламп бегущей волны О-типа.

По результатам бакалаврской работы подготовлен и принят доклад на международную конференцию «Компьютерные науки и информационные технологии».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Фельдштейн А. Л, Явич Л. Р. Синтез четырехполюсников и восьмиполусников на СВЧ (изд. 2-е) — М.: Связь, 1971. — 388 с.
- 2 Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ (изд. 2-е) — М.: Высшая школа, 1970. — 440 с.
- 3 Семёнов Н. А. Техническая электродинамика. Учебное пособие для вузов - М., «Связь», 1973. - 480 с.
- 4 Система электродинамического моделирования и проектирования HFSS [Электронный ресурс] URL: <http://www.ansys.com/Products/Simulation+Technology/Electronics/Signal+Integrity/ANSYS+HFSS> (дата обращения: 03.04.2016)
- 5 Банков С.Е., Курушин А. А, Разевиг В. Д. Анализ и оптимизация СВЧ структур с помощью HFSS - М, СОЛОН-Пресс, 2004. - 283 с.
- 6 Python 3.5.1 documentation [Электронный ресурс] URL: <https://docs.python.org/3/> (дата обращения: 08.01.2016)