

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по использованию программного пакета

Microwave Office 2002

Часть I. Программа моделирования линейных и нелинейных цепей
VoltaireXL

по дисциплине
«Основы автоматизации проектирования РЭА СВЧ»
для студентов дневной и заочной форм обучения
специальности 7.090.701 - Радиотехника



Севастополь

2003

УДК 621.317.08(075.8)

Методические указания по использованию программного пакета Microwave Office 2002. Часть I. Программа моделирования линейных и нелинейных цепей VoltaireXL. /Сост. В.В. Вертегел. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003. – 24 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам в изучении автоматизации проектирования ВЧ и СВЧ устройств с помощью пакета Microwave Office 2002. Излагаются основные сведения о программном пакете Microwave Office 2002, программе моделирования линейных и нелинейных цепей VoltaireXL, а также приемы работы с ней.

Методические указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности 7.090.701 – Радиотехника в рамках дисциплины “Основы автоматизации проектирования РЭА СВЧ”.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники № ____ от _____ 2003 г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний

Рецензент: А. Г. Бадалов, канд. техн. наук, доцент

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Среда проектирования Microwave Office 2002	4
2. Программа моделирования линейных и нелинейных цепей VoltaireXL	7
2.1. Виды анализа	8
2.2. Установка частоты анализа	8
2.3. Одночастотный анализ	8
2.4. Двухчастотный анализ	8
2.5. Источники сигнала	9
2.6. Задание портовых источников	9
2.7. Задание дискретных источников	9
2.8. Подцепы	10
Приложение 1. Пример анализа фильтра на сосредоточенных элементах	12
Приложение 2. Расчетные параметры моделирования	19

ВВЕДЕНИЕ

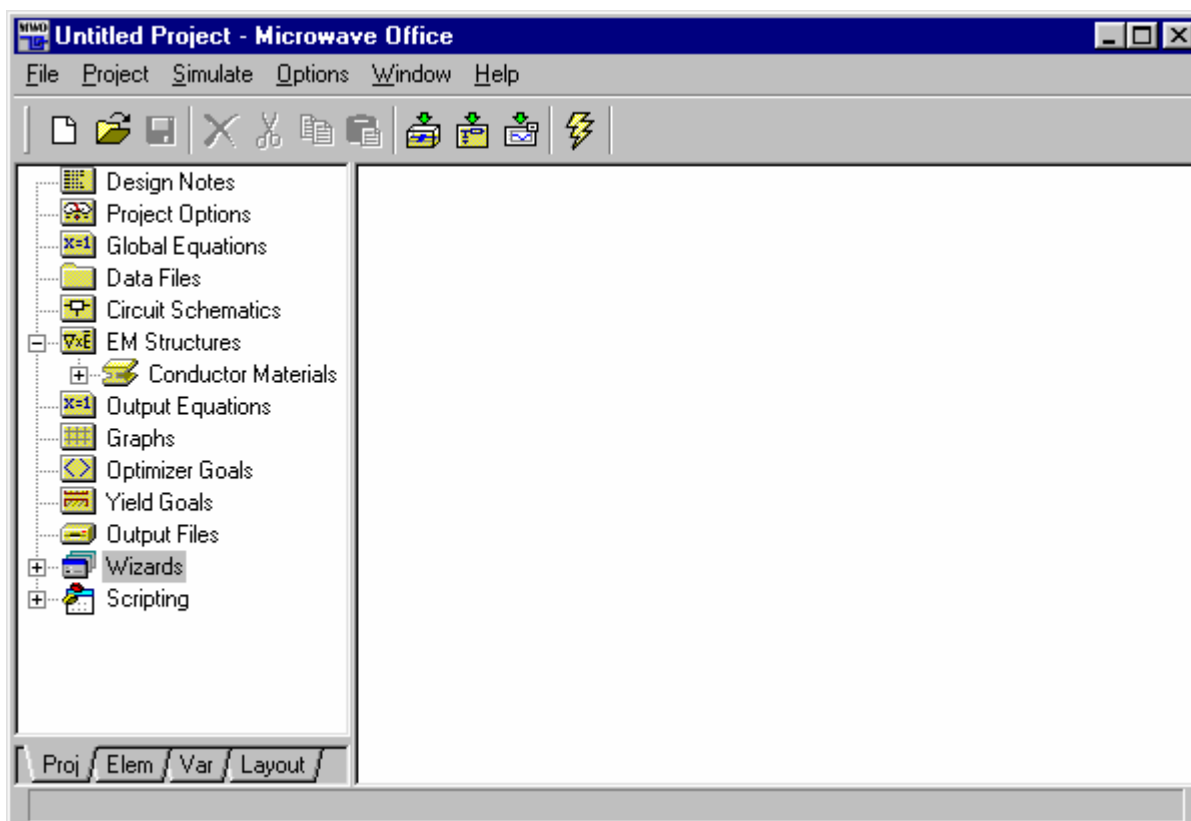
Microwave Office 2002 представляет собой новую версию программного продукта компании AWR. Программа предназначена для моделирования высокочастотных (ВЧ) и микроволновых (СВЧ) устройств. Microwave Office работает под управлением 32-разрядных ОС, таких как Windows 95, 98 и Windows NT. Пакет оптимизирован для работы с этими ОС, что позволяет его эффективно использовать на недорогих PC на базе процессоров Pentium, Celeron и пр..

В пакет входят модуль моделирования линейных и нелинейных цепей **VoltaireXL**, подпрограмма трехмерного электромагнитного моделирования **EMSight** и графический редактор топологий **Layout**. В Microwave Office 2002 также включены утилита **TXLINE** для синтеза коаксиальных и полосковых линий передачи, мастера синтеза фильтров **Filter Synthesis Wizard** и согласованных нагрузок **Load Pull Wizard**, а также поставляемые дополнительно **Visual System Simulator (VSS)** – инструмент для разработки и моделирования коммуникационных систем и интерфейс для связи компьютера с измерительной аппаратурой, позволяющий совместно использовать данные измерений и моделирования. Благодаря этому пакет Microwave Office-2002 является законченной сквозной системой СВЧ проектирования.

Все модули, используемые в пакете Microwave Office, органично связаны между собой в рамках единой программной оболочки. Интерфейс пакета также легок в использовании и интуитивен, как и привычные всем оконные интерфейсы приложений ОС Windows. Общее конструктивное решение создано с использованием новейших методов объектно-ориентированного программирования, результатом чего является эффективное функционирование, надежность и простота в использовании.

1. Среда проектирования Microwave Office 2002

Основное окно программы **Microwave Office 2002** выглядит следующим образом:



Основное окно разделено на две части: Окно просмотра проекта (**Project View**) и Рабочую область (**Workspace**). В верхней части основного окна расположено меню, в котором заложены основные функции и команды работы с проектом, а также панели инструментов, вид и состав которых "интеллектуально" меняется в зависимости от действия, выполняемого пользователем в данный момент времени. Панель инструментов содержит иконки, среди которых:



- Анализ.



- Добавить график.



- Новая схема.



- Новая электромагнитная структура.

Окно просмотра проекта содержит четыре вкладки: **Proj** (проект), **Elem** (элементы), **Var** (переменные) и **Layout** (топология).

На вкладке **Proj** отображается дерево групп и модулей, которые уже используются, а также могут быть использованы в данном проекте. Сюда входят:

Design Notes. Простейший текстовый редактор для добавления текста в проект.

Project Frequency. Определяет диапазон частот, который может быть использован в качестве общих частотных настроек для линейного, нелинейного или электромагнитного проектирования (симуляции). Когда создается новый проект, диапазон частот задается по умолчанию.

Global Equations. Содержит формулы или функции, создаваемые для определения значений параметров.

Data Files. Содержит список всех файлов данных, которые были добавлены в проект. Файлы данных чаще всего представляют собой файлы S-параметров.

Schematics. Содержит принципиальные схемы, добавленные в проект. Опции **Default Ckt Options** контролируют параметры симуляции, применяемые ко всем схемам. Один проект может содержать множество схем.

EM Structures. Содержит все электромагнитные структуры, добавленные в проект. Опции **Default EM Options** контролируют параметры симуляции, применяемые ко всем электромагнитным структурам. Один проект может содержать множество электромагнитных структур.

Conductor Materials. Определяет свойства материалов проводников в электромагнитных структурах. По умолчанию всегда используется идеальный проводник.

Output Equations. Используется для последующей обработки данных до того, как они будут изображены в табличной или графической форме.

Graphs. Представляет "продукты" программы. Это шесть типов графического представления информации: антенные диаграммы, графики в прямоугольных координатах, круговые диаграммы полных сопротивлений (диаграммы Вольперта - Смита), графики в полярных координатах, гистограммы и таблицы.

Optimization Goals. Используется для введения требуемых спецификаций проекта. Данные этой группы могут быть привязаны к любым измерениям или выходным формулам (Output Equations) в проекте.

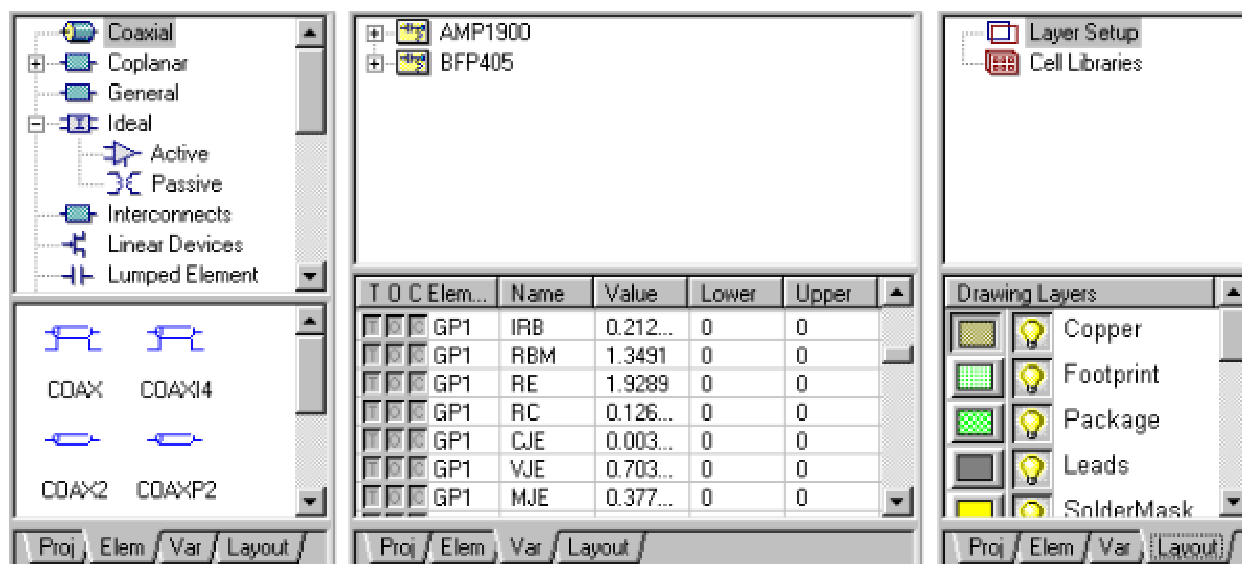
Yield Goals. Используется для введения требуемых спецификаций для оптимизации производительности. Данные этой группы могут быть привязаны к любым измерениям или выходным формулам (Output Equations) в проекте.

Output Files. Результаты симуляции цепи и электромагнитной симуляции могут быть записаны в стандартных форматах S-параметров с использованием опции выходных файлов (Output Files). Электромагнитные структуры, кроме того, могут создавать цепи, эквивалентные SPICE. Результаты нелинейной симуляции могут быть записаны в выходные файлы данных в формате AM-AM и AM-PM.

Wizards. Содержит программы разработчики (мастера) фильтров (**Filter Synthesis Wizard**) и согласованных нагрузок (**Load Pull Wizard**). Используя мастер синтеза фильтров пользователь может не выходя из среды проектирования разработать ФНЧ, ФВЧ, полоснопропускающие и полоснозаграждающие фильтры с различной аппроксимацией частотных характеристик. Мастер синтеза согласованных нагрузок позволяет синтезировать нагрузки путем изменения импеданса настроечных элементов.

Scripting. Позволяет создать и исполнять макросы и утилиты для автоматизации разработки сложных проектов в среде Microwave Office. Среда разработки макросов (Script Development Environment) поддерживает Visual Basic с возможностью отладки кода.

При двойном щелчке на каждой из групп в случае, если группа не пустая, на дереве проекта отображается список модулей используемых данной группой. Двойной щелчок на каждом модуле открывает соответствующее окно просмотра в рабочей области Microwave Office или диалоговое окно, руководящее последующими действиями пользователя. Удобной подсказкой являются также контекстные меню, появляющиеся при нажатии правой клавиши мыши на любом объекте проекта и предлагающие на выбор список возможных дальнейших действий.



На вкладке **Elem** отображается дерево используемых библиотек моделей элементов для построения схематических модулей: портов, источников, сосредоточенных и распределенных, линейных и нелинейных, идеальных и неидеальных элементов, а также внешних импортируемых библиотек моделей и подсхем. Все модели объединены в соответствующие группы, содержание которых отражается в нижней части вкладки. Для выбора элемента необходимо выбрать группу, к которой относится элемент в верхней части вкладки **Elem**, а затем выбрать конкретную модель из нижней части.

Добавление того или иного элемента в схему проекта производится привычным методом Drag-and-Drop (возьми-и-брось), а редактирование параметров - или в списке прямо на схеме, или в специальном диалоговом окне, открывающемся при двойном щелчке на элементе.

Контекстное меню, появляющееся при нажатии правой клавиши на библиотечном элементе, подсказывает возможные действия над ним, а также содержит команду вызова справки об этом элементе.

Вкладка **Var** содержит текущие значения переменных и параметров элементов для схемных элементов активного проекта, а также их статус, например, возможность изменения при оптимизации или при работе с инструментом **Tuner**. Первые три колонки содержат кнопки, показывающие, что переменные выставлены в режим настройки (tuning - "T"), оптимизации (optimization - "O") или ограничения (constraints - "C"). Режимы настройки и оптимизации задаются активизацией соответствующих кнопок. Для того, чтобы ограничить переменную необходимо щелкнуть кнопку "C" и ввести верхнее и нижнее ограничение в колонках **Lower** и **Upper** соответственно.

Вкладка **Layout** состоит из двух секций. Верхняя секция содержит группы **Layer Setup** (установка слоя) и **Cell Libraries** (библиотеки элементов). Нижняя секция содержит рычаги активизации и просмотра слоя в окне разметки. Щелкните дважды **Layer Setup** чтобы открыть диалоговое окно, контролирующее все функции, связанные с рисованием слоев. Щелкнув по **Layer Setup** правой клавише, вы сможете импортировать файлы определения процесса (*.lpf).

С помощью меню **Cell Libraries** можно создавать и импортировать элементы разметки. Библиотеки элементов могут быть импортированы в форматах GDSII или DXF. Новые элементы можно создавать в графическом редакторе, который можно активировать из этого меню.

Рабочая область (**Workspace**) – правая часть основного окна, в которой пользователь изображает схему проектируемого устройства, создает чертеж электромагнитной структуры, редактирует топологию полосковой платы. В ней также отображаются графики выходных параметров проектируемого устройства.

Создание новой схемы, электромагнитной структуры, добавление графика возможно путем выбора в строке меню пункта **Project** соответственно **Add Schematic**, **Add EM Structure**, **Add Graph** или выбора соответствующей иконки в панели инструментов.

Пункт меню **Simulate** позволяет выбрать один из режимов работы программы: анализ схемы, настройка элементов, оптимизация параметров элементов и пр. В пункте **Option** пользователь имеет возможность установить параметры проекта, схемы, электромагнитной структуры, топологии полосковой платы, единиц измерения и пр. Пункт **Window** позволяет представлять Рабочую область в удобном для пользователя виде. В нем также имеется пункт активизации утилиты **TXLINE**, Справка о пользовании средой проектирования Microwave Office 2002 представлена в пункте меню **Help**.

2. Программа моделирования линейных и нелинейных цепей **VoltaireXL**

Модуль **VoltaireXL** предназначен для моделирования линейных и нелинейных цепей. В отличие от существующих программ, **VoltaireXL** оптимизирован для ВЧ и СВЧ устройств и использует новейшую технологию моделирования. Программа включает в себя технологии нелинейного моделирования методом одночастотного и многочастотного гармонического баланса, применение рядов Вольтера (статических и динамических); смешанный анализ (называемый еще методом матричных преобразований); улучшенный, высокоскоростной линейный анализ и высокоскоростной шумовой анализ, включая анализ фазовых шумов и шумов смесителей, а также нелинейный анализ устойчивости.

В то время, как существующие симуляторы гармонического баланса построены на основе алгоритмов, изначально разработанных специально для моделирования аналоговых цепей, **VoltaireXL** был разработан специально для ВЧ и СВЧ устройств. Это делает симулятор значительно более скоростным, чем существующие программы: возможна даже настройка простых нелинейных цепей с гармоническим балансом в реальном времени.

Многие возможности **VoltaireXL** просто недоступны в существующих симуляторах. Например, анализ с применением рядов Вольтера, который фактически в 10-100 раз быстрее, чем техника многочастотного гармонического анализа, является самым быстрым способом анализа интермодуляции (нелинейных искажений) в околосигнальных цепях. Кроме того, этот вид анализа легко интегрируется с линейным анализом, что позволяет оптимизировать коэффициент шума и другие линейные характеристики, путем моделирования с учетом интермодуляции. Симулятор использует динамические (изменяющиеся во времени) ряды Вольтера для смешанного интермодуляционного анализа, и это является единственным точным способом решения данной задачи. Анализ методом частотного баланса также занимает свое место. Функция многочастотного анализа в **VoltaireXL** использует новейшие технологии моделирования. Поэтому многочастотный анализ, который был до боли медленным в прошлом, стал заметно быстрее.

VoltaireXL использует сверхбыструю, объектно-управляемую аппроксимацию, которая позволяет пользователям настраивать цепи в реальном времени, используя “ползунки”, которые управляют значениями параметров. Скорость проведения линейного, нелинейного и шумового анализа необычайно высока благодаря тому, что вычисления формируются непосредственно на основе эквивалентной схемы, без промежуточного построения цепи соединений. Более того, благодаря способу формирования вычислений возможно настраивать и оптимизировать параметры цепи даже в очень больших и сложных цепях, что является одной из самых поразительных возможностей симулятора **VoltaireXL**. Модуль линейного анализа в частотной области

включает обширную библиотеку моделей (более 450) сосредоточенных и распределенных элементов. Сюда входят полосковые, микрополосковые и копланарные, а также многие другие распространенные элементы, используемые для построения высокочастотных схем.

2.1. Виды анализа

Любая схема, включающая в себя нелинейные элементы, требует нелинейного моделирования. **VoltaireXL** автоматически использует нужный метод моделирования в зависимости от поставленной задачи и от того, содержит ли схема нелинейные элементы. Линейные и нелинейные измерения могут быть проведены как на линейных, так и на нелинейных цепях.

Когда проводится линейный анализ нелинейной цепи, симулятор автоматически рассчитывает линейную характеристику, в первую очередь, рассчитывая точку смещения по постоянному току цепи, а затем, линиаризируя цепь относительно вычисленной точки смещения. Это позволяет проводить любые линейные измерения как в линейных, так и на нелинейных цепях. В процессе проведения линейного анализа нелинейной цепи все источники обнуляются, кроме источников постоянного тока.

С другой стороны, нелинейные измерения не требуют наличия в цепи нелинейных компонент. Любое нелинейное измерение может быть проведено на линейной цепи. Когда нелинейное измерение проводится на цепи, не имеющей нелинейных элементов, используется более эффективный линейный анализ. Очень полезным приложением этой возможности является включение источников сигнала в линейную цепь. Например, источник прямоугольных колебаний может быть подключен к линейной схеме схемной платы, при чем можно пронаблюдать результирующие перекрестные искажения, связанные с источником сигнала, используя нелинейные временные измерения.

2.2. Установка частоты анализа

Оболочка моделирования позволяет устанавливать качание частоты на уровне проекта. Качание частоты на уровне проекта используется для моделирования линейных цепей внутри проекта. По умолчанию диапазон частот нелинейного анализа совпадает с качанием частоты проекта. Очень часто желательно провести нелинейный анализ в одной или нескольких точках на оси частот в то время, как линейный анализ будет произведен во многих точках. Для решения подобных задач предусмотрена установка качания частоты нелинейной симуляции для каждой схемы в отдельности. Для установки качания частоты дважды щелкните узел **Nonlinear Frequencies** (“нелинейные” частоты) в дереве проекта под узлом данной схемы. При линейной симуляции линейной цепи всегда используется качание частоты проекта.

Частоты в установках для “нелинейных” частот используются для определения основной частоты анализа методом гармонического баланса. Фактические частоты, используемые при гармоническом анализе, определяются основной частотой и числом гармоник, определенным для анализа.

2.3. Одночастотный анализ

Одночастотный анализ методом гармонического баланса включает в себя симуляцию цепи на основной частоте, на целых кратных основной частоты и при постоянном токе. Для проведения одночастотного анализа методом гармонического баланса методом гармонического анализа необходимо задать основную частоту и полное число гармоник. Входной сигнал в этом случае может быть синусоидальным, прямоугольным, пилообразным, треугольным колебанием или последовательностью импульсов.

2.4. Двухчастотный анализ

Двухчастотный анализ методом гармонического баланса используется для определения характеристики схемы при возбуждении на двух различных основных частотах. Классическим примером применения анализа методом двухчастотного гармонического анализа является анализ смесителя, когда одна частота используется для моделирования гетеродина, а другая – для моделирования высокочастотного входного сигнала. “Нелинейные” частоты, определенные в

Nonlinear Frequencies, контролируют первую основную частоту так же, как и при одночастотном анализе. Вторая основная частота определяется включением в схему источников, которые определяют частоту второго тона. Наличие элемента, определяющего второй тон автоматически вызывает проведение двухчастотного анализа методом гармонического баланса.

Существует два типа источников, которые могут быть использованы для определения основной частоты второго тона. Первый тип используется в тех случаях, когда разницей между частотами является фиксированное смещение по частоте. Этот тип источника требует определения дельты частоты. Второй, более общий, случай требует определения фактического значения частоты, которая будет использована в качестве основной частоты второго тона. Основная частота второго тона может быть определена как константа, либо как функция основной частоты первого тона. Чтобы определить основную частоту второго тона таким образом, введите выражение для основной частоты второго тона, используя в качестве переменной `_FREQH1` (с обязательным сохранением регистра). Например, двухчастотный анализ с фиксированной дельтой частоты в 0.1 ГГц между тонами может быть задан введением выражения `_FREQH1+0.1` в качестве параметра частоты для источника (в допущении, что в качестве единиц измерения частоты для данного проекта заданы ГГц (GHz)).

2.5. Источники сигнала

Симуляция гармонического баланса контролируется источниками, определяемыми в схеме. Существует два основных типа источников: портовые и дискретные. Портовые источники включают в себя сопротивление источника (обычно 50 Ом) в то время, как дискретные источники не включают в себя сопротивления источника.

Портовые источники преследуют две цели. Они обеспечивают метод задания источника мощности, а также определяют входы и выходы цепи, что позволяет использовать ее в качестве подцепи другой схемы. Существует два типа портов: пассивные и сигнальные. Пассивные порты могут быть использованы в качестве нагрузок согласования или как входы и/или выходы линейных цепей. Сигнальные порты могут быть использованы для задания источника для линейного либо нелинейного анализа. Дискретные источники представляют собой источники напряжения или тока. Обычно дискретные источники используются для смещения цепи, а портовые источники – для задания сигналов в цепи, хотя дискретные источники тоже могут быть использованы в качестве источников сигналов.

В иерархических схемах при проведении анализа используются только источники верхнего уровня. Это позволяет сохранять источники на различных уровнях модели для тестовых целей, исключая их влияние на симуляции верхнего уровня.

2.6. Задание портовых источников

Существует несколько различных типов портов, определяющих возбуждения для симуляции. Каждый порт вводится как уникальный портовый элемент и может быть добавлен в схему перетаскиванием из окна элементов (закладка **Elem**). Альтернативным способом является следующее: тип источника можно изменить, дважды кликнув портовый элемент и нажав кнопку **Change Port Type** (изменить тип порта) в диалоговом окне редактирования элемента. После этого появится новое диалоговое окно, в котором можно будет выбрать необходимые параметры портового источника. Здесь можно сконфигурировать порт как согласованную нагрузку или источник, выбрать все возможные конфигурации возбуждения.

2.7. Задание дискретных источников

Существует два типа дискретных источников. Первый тип портов всегда использует частоту первого тона в качестве основной частоты (в частности, постоянный ток) и могут быть использованы как при одночастотном, так и при двухчастотном анализе. Второй тип определяет вторую частоту, использующуюся при двухчастотном анализе. В имени таких источников последним знаком всегда является 2. Присутствие одного из таких источников автоматически вызывает применение двухчастотного анализа.

2.8. Подцепи

Voltaire XL позволяет интуитивно конструировать цепи с иерархией, используя подцепи. Подцепи всегда обозначают блок цепи, который включается в конструкцию цепи путем указания на имя цепи, расположенной где-либо в другом месте проекта. Хотя тип информации в подцепи невиден для пользователя, подцепь может реализовать любой из типов блоков цепи, приведенных ниже.

Файлы данных. Файлы данных чаще всего представляют собой файлы S-параметров. Каждый объект файла данных представлен как подпункт в группе Data Files (Файлы Данных) в дереве проекта. Каждый объект файла данных имеет уникальное имя в проекте. Имя файла данных приводится рядом с иконкой файла данных в дереве проекта. Путь к файлу, представленному объектом файла данных приводится после имени в скобках “[]”.

Измеряемые S-параметры (или результаты измерений в других форматах) включаются в цепь как подцепь. Чтобы добавить файл данных как подцепь, сначала необходимо добавить его в проект как объект файла данных. После того, как объект файла данных добавлен в проект, он автоматически добавляется в список подцепей, которые могут быть добавлены в цепь. Для получения дополнительной информации следует обратиться к главе “Среда проектирования Microwave Office 2002”.

Диапазон частот, содержащийся в файле данных должен быть достаточно широким для того, чтобы покрыть полосу частот симуляции цепи. Если данные имеют более узкую полосу частот, система экстраполирует частотную характеристику файла данных, что может привести к получению неверных результатов.

Часто гармоники при моделировании имеют заметно более высокие частоты, чем имеющиеся в файлах данных. Хотя теоретически это приводит к ненадежным результатам из-за экстраполяции данных на частоты гармоник, на практике это часто не составляет серьезной проблемы, так как большинство реальных нелинейных устройств имеют паразитные емкости, которые стремятся уменьшить уровень высших гармоник. В случае, когда нет реальных нелинейных устройств (например, когда импульсный источник воздействует на линейную цепь) наличию данных для частот высших гармоник необходимо уделить больше внимания.

Схемы. Подцепью может быть еще одна цепь в проекте. Включение другой схемы дает неограниченное количество уровней иерархии, так как эта схема, в свою очередь, тоже может включать в себя другие подцепи. Единственное ограничение состоит в том, что подцепь не может прямо или опосредованно включать сама себя.

Таблицы соединений. Подцепью может быть таблица соединений. Входящая в данный проект. Подцепи в таблице соединений могут состоять из других таблиц соединений, что дает возможность произвольно смешивать схемы и таблицы соединений в описании схемы.

Электромагнитные структуры. Подцепью может быть результат электромагнитной симуляции. Если электромагнитная структура является частью проекта, необходимо только включить ее как подцепь в схему или таблицу соединений. Как правило, диапазон частот, используемый для электромагнитной симуляции, определяется для каждой отдельной электромагнитной структуры в проекте. В процессе проектирования цепи с электромагнитной структурой данные о частотах, используемых при проектировании, (напр. частоты проекта) автоматически интерполируются (или экстраполируются) из данных электромагнитной симуляции. Диапазон частот, используемый для моделирования электромагнитной структуры, должен быть достаточно широк для того, чтобы покрыть полосу частот моделирования цепи. Если электромагнитная симуляция имеет более узкую полосу частот, система должна экстраполировать частотную характеристику электромагнитной структуры, что может привести к получению неверных результатов.

Требования для высокой частоты. Решение методом гармонического баланса требует расчета линейных компонентов цепи при постоянном токе, на основной частоте и указанном числе гармоник основной частоты. Например, одночастотный анализ методом гармонического баланса на 10 Гц с применением 8 гармоник потребует расчета линейной части цепи при постоянном токе, на 10 Гц, 20 Гц, 80 Гц. Поэтому использование подцепей при нелинейной симу-

ляции требует особого внимания. Требования к файлам данных и электромагнитным структурам описаны выше. Поведение подцепей, реализующих схемы или таблицы соединений, на высоких частотах не должно составлять частных проблем для симулятора (кроме случая, когда эти подцепи также содержат файлы данных или электромагнитные структуры; в этом случае необходимо обратиться к требованиям, описанным выше).

Требования для постоянного тока. Когда при нелинейной симуляции используются подцепи, нелинейный симулятор должен быть в состоянии предсказать поведение подцепи при постоянном токе. Симулятор может экстраполировать в постоянный ток, но очень важно, чтобы в файле данных была точка, имеющая частоту достаточно низкую для того, чтобы такая экстраполяция не была совсем бессмысленной. В противном случае, возможно, стоит вручную добавить такую точку в файл данных, основываясь на любой доступной информации о поведении устройства при постоянном токе.

Поведение подцепей, реализующих схемы или таблицы соединений, при постоянном токе не должно составлять частных проблем для симулятора (кроме случая, когда эти подцепи также содержат файлы данных или электромагнитные структуры; в этом случае необходимо обратиться к требованиям, описанным выше).

Взаимосвязи. Портовые сопротивления подцепи не используются, когда подцепь соединяется с другой подцепью. Единственными значениями портовых нагрузок, которые будут влиять на результат симуляции, будут значения портовых нагрузок высшего уровня иерархии. Пользователь может определять значения портовых нагрузок и в то же время осуществлять соединения подцепей любым образом.

Когда подцепь соединяется с другой подцепью, должны быть задействованы все ее оконечные узлы. Хотя иногда наличие “болтающихся” узлов допустимо, это часто приводит к численным ошибкам. Для схемы внешние клеммы подцепи идентифицируются через портовые элементы. Каждый портовый элемент позволяет устанавливать сопротивление на выходных клеммах.

Для большинства элементов не существует ограничений на топологию или соединения. Исключение составляет только параллельное подключение некоторых измерительных элементов, источников, портов, а также некоторых нелинейных элементов. Например, вольтметр или источник нельзя подключать параллельно с портом. Обычно, это не составляет проблемы, так как в подобном подключении нет смысла: сам порт может быть использован в качестве вольтметра, а источник в этом случае закорачивает порт. В случае, если элемент подключен против правил появится сообщение об ошибке с указанием элемента, который необходимо подсоединить иначе. В большинстве случаев причиной ошибки являются избыточная точка измерения, источник, закороченный другим источником или измерительным элементом. В любом случае, чтобы обойти существующее ограничение, пользователь может поставить небольшой резистор последовательно с “мешающим” элементом.

Приложение 1

ПРИМЕР АНАЛИЗА ФИЛЬТРА НА СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Шаг 1: Создание нового проекта

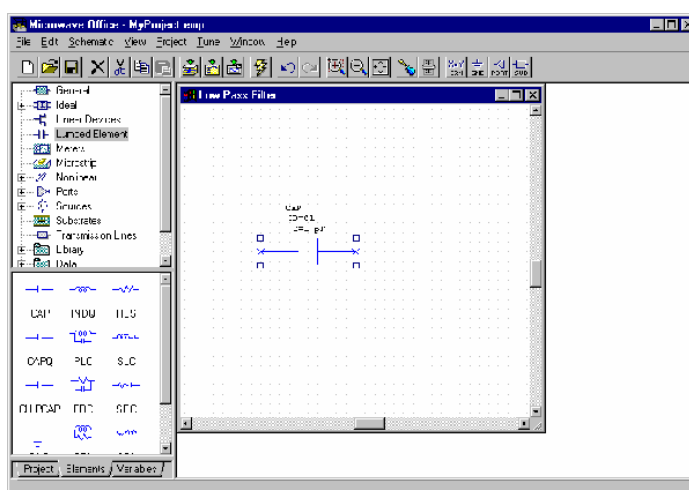
Из меню File (файл) выберите New Project (новый проект).

Шаг 2: Создание новой схемы

Откройте меню File (файл) и из Add Schematic (добавить схему) выберите New Schematic (новая схема). В форме Create New Schematic, введите название для новой схемы, печатая имя вместо Untitled 1 **Low Pass Filter** (Фильтр нижних частот) для этой схемы. Нажмите ОК

Шаг 3: Активизируйте просмотр элементов

Выберите закладку Elements (элементы). внизу проектного окна.

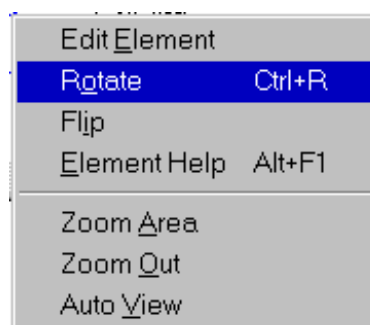
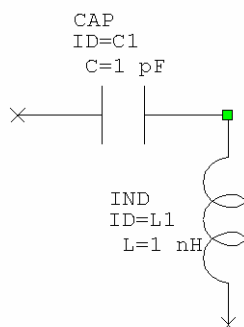


Шаг 4: Выбор элементов схемы

Выберите из списка в верхнем окне Lumped Elements (элементы с сосредоточенными параметрами). Далее выберите CAP (конденсатор) и не отпуская левую клавишу мыши перетащите этот элемент на окно схемы с именем Low Pass Filter (Фильтр нижних частот). Установите элемент, щелкнув левой клавишей мыши.

Шаг 5: Поворот элементов

Выберите элемент IND (катушка индуктивности) и перетащите его в окно схемы. Нажмите правую клавишу мыши, чтобы повернуть элемент на угол в 90-градусов (не опуская его пока в схему). Установите элемент, отпустив левую клавишу мыши. После установки элемента его можно снова повернуть или редактировать из выпадающего меню:



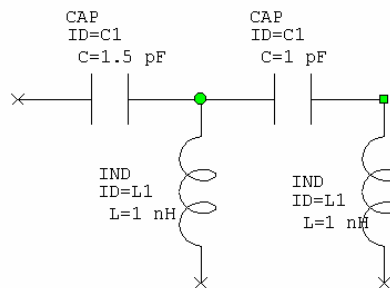
Установите индуктивность, как показано на рисунке. Соединение с имеющейся схемой произойдет автоматически, если два полюса обращены друг к другу.

Шаг 6: Копирование и вставка элементов схемы

Выделите два элемента CAP и IND рисунка пунктирный прямоугольник вокруг них, удерживая нажатой левую клавишу мыши. Из меню Edit (правка) выберите Copy (копировать). Затем из меню Edit (правка) выберите команду Paste (вставка), чтобы получить второе изображение. (Вы можете так же использовать клавиши Ctrl+C для копирования и Ctrl+V для вставки). Установите элементы как показано на рисунке. Далее следует добавить дополнительный конденсатор, чтобы сделать эту схему симметричной. Этого можно добиться, выбрав конденсатор из закладки Elements (элементы) и перетащив его в окно схемы.

Шаг 7: Соединения элементов

Используйте средство трассировки для того, чтобы соединить оба свободных полюса катушек индуктивности. Для этого подведите курсор на зеленый квадратик, означающий узел одной из катушек. Когда курсор превратится в спиральку, щелкните левой клавишей мыши и тащите пунктирную линию к другому полюсу. Затем следует щелкнуть еще раз, после чего знаки "X" превратятся в зеленые круги и появится линия, соединяющая эти полюса. Соединение установлено.



Шаг 8: Редактирование параметров элементов

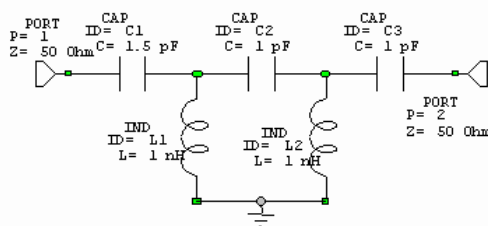
Количественные параметры элементов можно редактировать вызывая меню редактирования параметров при помощи двойного щелчка мыши, когда курсор установлен на изображении выбранного элемента. Параметры указываются в верхнем левом углу диалогового окна. Выберите C и установите Value (величина) равную 1.5 pF (пФ). Вы можете аналогично отредактировать параметр ID (C1, C2, C3, и т.д.), которые используются для описания других элементов. Затем выберите Constrained (ограничения), установите нижний предел 0 pF и верхний предел 3 pF. Наконец установите галочки у Tune (подстройка) и Optimize (оптимизация). Нажмите OK.

Другой путь, для редактирования величин параметров элементов – установить курсор на тексте параметра и щелкнуть два раза. После этого появиться окно, в котором можно редактировать требуемый параметр.

Шаг 9: Завершение создания схемы

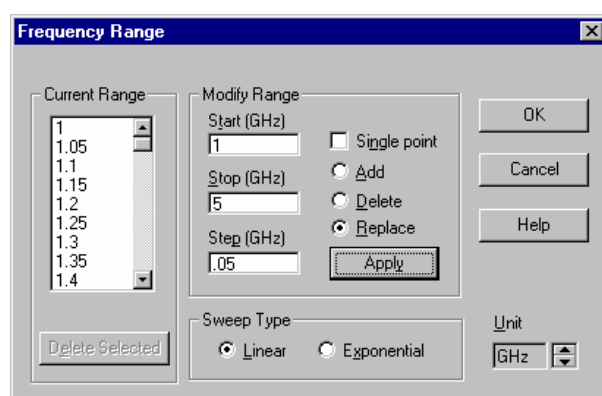
Для завершения схемы фильтра нужно добавить порты на входе, выходе и землю. Добавьте пару полюсов на входе и выходе, щелкнув левой клавишей на кнопке , расположенной в панели элементов. Подобно другим элементам цепи, они могут вращаться нажатием правой

кнопки мыши. Добавьте элемент “Земля” нажатием кнопки , расположенной в линейке элементов. Вы получите схему, подобную приведенной ниже.



Шаг 10: Задание диапазона частот

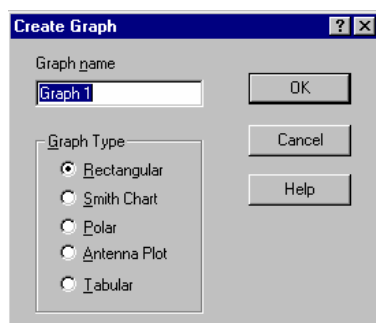
Для задания рабочего диапазона частот сначала перейдите обратно в Проект нажимая на закладку Project (Проект), расположенную внизу основного окна. Наведите курсор на Project Frequency (Частота проекта) вверху окна и дважды щелкните. Появится форма Frequency Range:



Введите начальную частоту Start 1 GHz (ГГц), конечную частоту Stop 5 GHz и шаг 0.05 GHz. Нажмите кнопку Apply (применить). Нажмите OK.

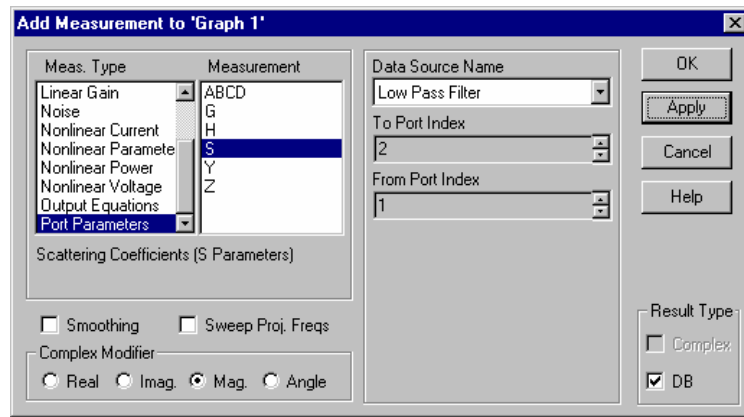
Шаг 11: Добавление графика

Для добавления в Проект графика, из меню Project (проект) выберите Add Graph (добавить график). Установите Rectangular (прямоугольная) система координат и нажмите OK.



Шаг 12: Выбор измеряемых параметров

Задайте расчетные параметры для первого графика. Для этого щелкните правой клавишей на строке Graph1 и выберите Add Measurement (добавить расчетную характеристику). Другой способ: из меню Project выберите Add Measurement. Появится следующее окно диалога:

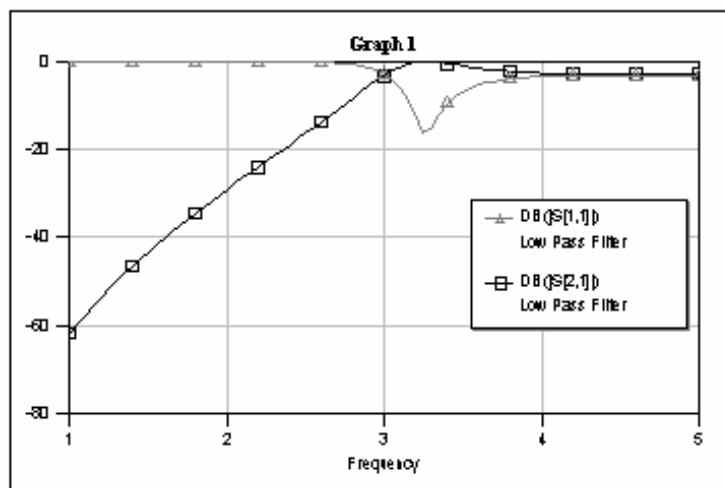


Из Meas. Type (тип вычислений), выберите Port Parameters (Параметры порта)

- Для Measurement (расчет) выберите S-параметры
- Из Data Source Name выберите Low Pass Filter или All Sources
- Для установки первого индекса в S To Port Index, выберите 1
- Для установки второго индекса в S From Port Index, выберите 1
- В Result Type (тип результата) установите DB (дБ)
- Нажмите Apply (применить) чтобы добавить вычисление S11 в дБ.
- Далее измените первый индекс To Port Index на число 2.
- Нажмите Apply (применить) для добавления вычисления S21 в дБ.
- Нажмите OK.

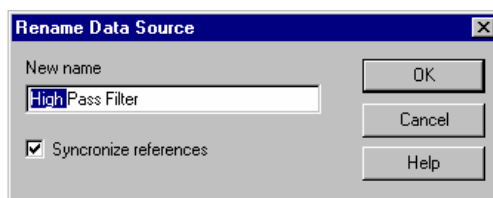
Шаг 13: Анализ цепи

Расчет выбранных параметров проводится после нажатия кнопки . В окне Graf1 построится график, изображенный ниже. Двойное нажатие на легенде позволяет ее буксировать ее в нужное место и изменить линию графика. Для этого нужно в форме Grid Format Options выбрать закладку Traces (траектории) где можно выбрать формы маркеров, изменить стиль линии и цвета, или сделать другие модификации.



Шаг 14: Переименование схемы

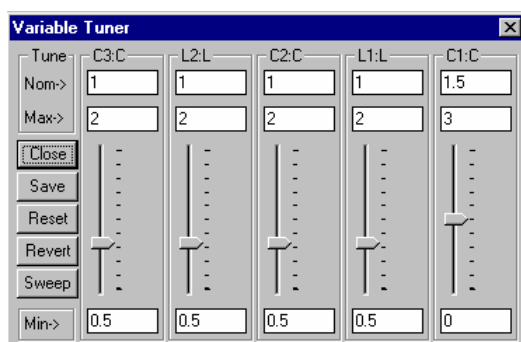
Для изменения названия схемы выделите её старое название **Low Pass Filter** из окна Проекта и нажмите правой клавишей мыши и из появившегося меню выберите команду Rename Schematic (Переименовать схему.) Наберите новое имя, например, **High Pass Filter** (Фильтр верхних частот) и нажмите кнопку ОК. Вы увидите, что новое имя цепи автоматически появится во всех документах проекта.



Шаг 15: Настройка цепи

Нажмите на кнопку . Это вызовет окно Variable Tuner (Настройка переменных). Настройка переменных используется для подстройки в реальном времени ранее введенных величин так, что все изменения характеристик будут немедленно видны на графике. Из основного меню Window (Окно) выберите High Pass Filter. Для того чтобы выбрать конкретные элементы для подстройки, нажмите на кнопку, которая похожа на отвертку. Затем, используйте ее для того, чтобы включить нужный элемент в Тюнер. Например, L или C.

Примечание: Каждый параметр элемента, выбранный для регулирования становится синим и создается движок в окне Variable Tuner. Выберите все 5 параметров элементов для регулирования. Тюнер переменных должен выглядеть похожим на следующий:



Попытайтесь отрегулировать параметры так, чтобы получить следующий результат:

- [S11] - не более 14 dB выше 3 GHz
- [S21]- не менее 20 dB от 2 GHz

Шаг 16: Использование окна просмотра

Прежде чем оптимизировать параметры цепи необходимо задать варьируемые параметры и ввести ограничения на их величины. Это может быть выполнено на схеме при редактировании параметров элемента (как указано выше на шаге 8). Альтернативный и более быстрый путь - использовать окно просмотра. Для этого щелкните на закладке Variables. После этого появятся введенные величины. Выделите пункт High Pass Filter в верхней половине окна просмотра. Окно должно выглядеть похожим на это:

T	O	C	Element	Name	Value	Lower	Upper
			C1	C	0.98	0	3
			L1	L	1.55	0	3
			C2	C	0.57	0	3
			L2	L	1.53	0	3
			C3	C	1.09	0	3
			P1	Z	50	0	0
			P2	Z	50	0	0

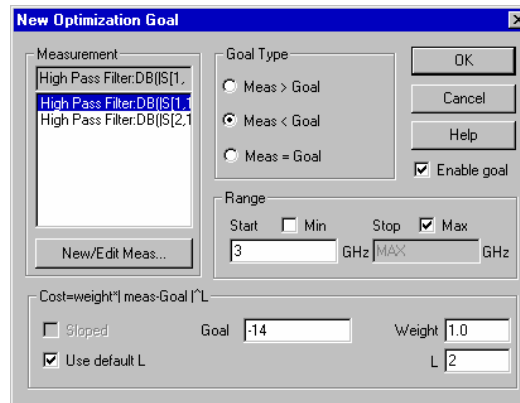
Кнопки “Т”, “О” и “С” используются для того, чтобы включить или отключить соответственно Tuning (Настройку), Optimization (Оптимизацию) и Constraints (Ограничения) параметров введенных элементов.

Колонка Element (Элемент) включает идентификаторы ID для каждого из введенных элементов.

- Нажмите "Т" чтобы включить этот элемент в Тюнер переменных.
- Нажмите "О" и "С" для каждого параметра L и C.
- Оставьте неизменяемыми только Z параметры портов.
- Введите верхнее ограничение 3 nH (нГн) и 3 pF (пФ) для каждого L и C элементов, соответственно.
- Закройте Тюнер переменных, щелкнув на крестик в верхнем правом углу.

Шаг 17: Оптимизация параметров схемы

Для оптимизации параметров схемы из меню Project выберите Add Opt Goal (Добавить условия оптимизации).



Установите первую цель оптимизации выбирая:

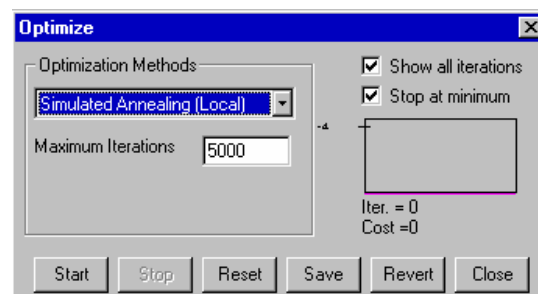
- **Measurement:** DB[S[1,1]] (Оптимизируемая характеристика)
- **Goal Type:** Meas < Goal (Критерий оптимизации)
- **Range:** 3 для MAX (Диапазон частот, в котором должно выполняться условие оптимизации)
- **Goal** (Цель оптимизации): -14 (dB)

Нажмите ОК.

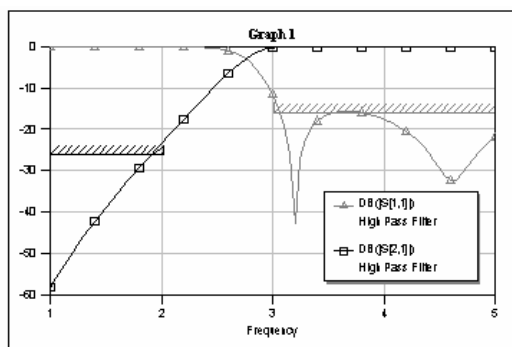
Повторите процесс с целью добиться того, чтобы $S_{21} < 25$ дБ в диапазоне 0-2 ГГц.

Шаг 18: Запуск оптимизации

Из главного меню Project выберите Optimize. Установите галочку в окошке Show All Iterations (показать все итерации). Выберите необходимый метод оптимизации из Optimization Methods (методы оптимизации) из появившегося списка. Нажмите Start (старт).



Форма вычертит функцию ошибки (или Cost). Когда Cost = 0 нажмите кнопку Stop. Оптимизация завершена.



На Graph1 (график 1) переместите полосы оптимизации (цели оптимизации) вниз на несколько дБ. Это позволяет при других условиях провести оптимизацию.

Шаг 19: Сохранение всего проекта

Для сохранения всего проекта на диске из меню File выберите Save или Save As и введите имя проекта, а также выберите каталог, в который будет записан файл проекта.

Приложение 2

РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Circle. Результаты каждого из расчетов этой группы изображаются на диаграмме Смита. Результатом вычисления являются параметры одной или нескольких окружностей.

MMCIRC Constant Impedance Mismatch Circle. Изображает в плоскости полных сопротивлений контур, обеспечивающий постоянное рассогласование с использованием указанного порта. Рассогласование определяется как потери на отражение (**Return loss**) в децибелах. Контур рассогласования представляется на диаграмме Смита, нормированной на 50 Ом, и все порты, кроме рассогласовываемого (**Port to mismatch**), завершаются конечными нагрузками, определенными для данной цепи.

NFCIR Noise Figure Circles. Изображает в плоскости источника контур, обеспечивающий постоянный коэффициент шума (шум-фактора) для данного источника. Значение **Fmin** определяет значение коэффициента шума в центре первого контура.

SCIR1 Input Stability Circles. Изображает окружности стабильности входного сигнала на диаграмме Смита. Окружность стабильности входного сигнала – это контур в плоскости источника, показывающий значения конечной нагрузки источника (**Source Name**), обеспечивающие единичное значение коэффициента отражения на выходе. Коэффициент отражения на входе, меньший единицы, служит признаком стабильного устройства, в то время как коэффициент отражения на выходе, больший единицы, – потенциально нестабильного.

SCIR_IJ Stability Circle at Port I for $|\Gamma|=1$ at J. Изображает взаимную стабильность между двумя портами. Это контур в плоскости I (**Stability Circle Port**), указывающий значения конечных нагрузок, при которых коэффициент отражения плоскости J ($|\Gamma|=1$ port) имеет единичную величину. Все остальные порты завершаются конечными нагрузками, определенными в данной цепи. Коэффициент отражения меньше единицы служит признаком стабильного устройства, а больше единицы – потенциально нестабильного.

SMAP Source Mapping Circles. Изображает контур полных сопротивлений порта “TO” (**Map to port**), которые являются следствием полных сопротивлений порта “FROM” (**Map from port**). Результатом измерения является изображение искривленной диаграммы Смита полных сопротивлений порта “FROM” в плоскости отражения порта “TO”.

Linear. Линейные параметры

K Stability Factor. Коэффициент устойчивости, определяемый выражением:

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|},$$

где $\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$.

Необходимыми и достаточными условиями безусловной стабильности являются следующие: $K > 1$ и $B1 > 1$. Результатом вычисления является действительное значение. Результат изображается на графике в прямоугольных координатах или в виде таблицы.

B1 Auxiliary Stability Factor. Вспомогательный коэффициент устойчивости, определяемый выражением:

$$B1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2,$$

Δ была определена выше.

GD Group Delay Measurement. Используется для вычисления групповой задержки между любыми двумя портами.

GM1 Simultaneous Match at Input. Вычисляет коэффициент отражения, которому должен соответствовать коэффициент отражения на входе, чтобы достичь одновременного согласования соединений на входе и выходе. Представляется как коэффициент отражения в системе

на 50 Ом. Это измерение не зависит от полных сопротивлений, определенных в цепи. Результатом вычисления является комплексное число. Может изображаться на диаграмме Смита, графике в полярных координатах или в виде таблицы. Величина, угол, действительная и мнимая часть также могут отдельно представляться на графике в прямоугольных координатах.

GM2 Simultaneous Match at Output. Вычисляет коэффициент отражения, которому должен соответствовать коэффициент отражения на выходе, чтобы достичь одновременного согласования соединений на входе и выходе.

Godd Odd Mode Gamma. Вычисляет коэффициент отражения одного из пары портов, которые возбуждаются четными модами. Под возбуждением четными модами подразумевают следующее: существуют два равных по амплитуде источника в противофазе, которые подключены к паре портов.

MU1 Geometric Stability Factor (Load). Вычисляет геометрический коэффициент стабильности четырехполюсника, то есть расстояние от центра диаграммы Смита до ближайшей неустойчивой точки плоскости выходной нагрузки. Необходимым и достаточным условием безусловной стабильности четырехполюсника является: $MU1 > 1$.

MU2 Geometric Stability Factor (Source). Вычисляет геометрический коэффициент стабильности, то есть расстояние от центра диаграммы Смита до ближайшей неустойчивой точки плоскости входного источника.

VSWR Voltage Standing Wave Ratio. Отношение напряжений стоячей волны, определяемое выражением:

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma_0|}{1 - |\Gamma_0|}.$$

Γ_0 определяется как коэффициент отражения данного порта при том, что все остальные порты завершаются оконечными нагрузками, определенными для данной цепи.

YIN Input Admittance at a Port. Измеряет полную входную проводимость порта, при том, что все остальные порты завершаются оконечными нагрузками, определенными для данной цепи.

ZIN Input Impedance at a Port. Вычисляет полное входное сопротивление при том, что все остальные порты завершаются оконечными нагрузками, определенными для данной цепи.

Linear Gain. Параметры линейного усиления

GA Available Gain. Номинальный коэффициент усиления по мощности – отношение мощности на выходе цепи к мощности на выходе источника. Результат может быть выведен на графике в прямоугольной системе координат или в виде таблицы.

GMax Maximum Available Gain. Для безусловно стабильного четырехполюсника вычисляет максимальный коэффициент усиления по мощности преобразователя в виде:

$$GMax = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} (K - \sqrt{K^2 - 1}).$$

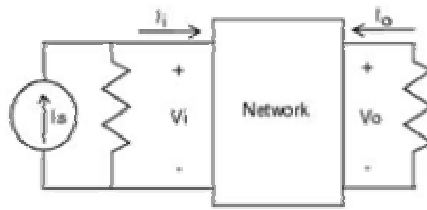
GP Operating Power Gain. Коэффициент усиления по мощности, вычисляемый как отношение мощности на нагрузке к мощности, поступающей от источника.

GT Transducer Power Gain. Отношение мощности на нагрузке к номинальной мощности источника.

ISG Current Gain from Input Current Source. Коэффициент усиления по току, определяемый выражением:

$$ISG = \frac{I_0}{I_s}.$$

Это измерение можно использовать для того, чтобы вычислять коэффициент усиления между любыми двумя портами многопортовой цепи.



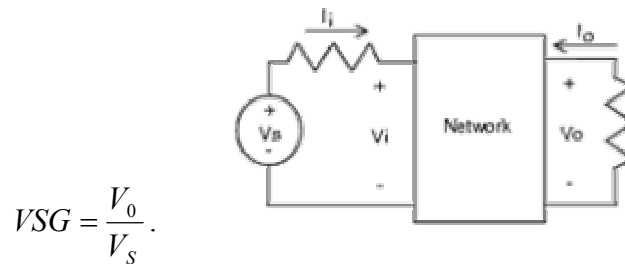
ITG Current Gain from Input Terminal. Определяется выражением для токов предыдущего рисунка:

$$ISG = \frac{I_o}{I_i}.$$

MSG Maximum Stable Gain. Максимальный коэффициент стабильного усиления, достижимый для потенциально нестабильного устройства в виде:

$$MSG = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}.$$

VSG Voltage Gain from Input Voltage Source. Коэффициент усиления по напряжению в виде:



$$VSG = \frac{V_o}{V_s}.$$

VTG Voltage Gain from Input Terminal. Коэффициент усиления по напряжению в виде (см. предыдущий рисунок):

$$VTG = \frac{V_o}{V_i}.$$

Noise. Параметры шума

NF Noise Factor. Измеряет шум-фактор цепи как отношение. Чтобы получить коэффициент шума в децибелах, необходимо применить опцию 'dB'.

NFMin Minimum Noise Figure. Минимальный шум-фактор как отношение. Коэффициент шума в случае согласования источника.

NMEAS Noise Measure. Изображает шум-фактор бесконечного каскада цепей.

$$NMEAS = \frac{NF - 1}{1 - \frac{1}{G_a}},$$

где NF – шум-фактор, G_a – номинальный коэффициент усиления.

RN Noise Resistance. Вычисляет шумовое сопротивление ненормированного четырехполюсника. Один из трех коэффициентов, необходимых для определения шумовых свойств четырехполюсника.

TE Equivalent Input Noise Temperature. Вычисляет эквивалентную температуру входного шума четырехполюсника в Кельвинах.

TN Equivalent Output Noise Temperature. Вычисляет эквивалентную температуру выходного шума четырехполюсника в Кельвинах.

Связь между шумовыми параметрами и шум-фактором:

$$F = F_{\min} + \frac{G_N}{R_S} |Z_S - Z_{OPT}|^2 = F_{\min} + \frac{R_N}{G_S} |Y_S - Y_{OPT}|^2.$$

Nonlinear Current. Параметры нелинейного тока

IVCurve I-V Curve Trace. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) – измерение, требующее наличия в цепи измерительного элемента IVCURVE. Результат выводится на графике в прямоугольной системе координат.

IVDLL I-V Dynamic Load Line IVDLL. Используется для построения графика динамической ВАХ в прямоугольных координатах. Обычно строится на одном графике с обычной ВАХ.

Icomp Current Harmonic Component. Измеряет гармоническую составляющую тока, измеряемого с помощью амперметра или на порту. Результатом является комплексное значение. Чтобы получить постоянный ток, используют **harmonic index** равный нулю. Для получения тока на основной частоте – равный единице.

IcompSP Current Harmonic Component. То же с качанием по мощности.

Iharm Frequency Domain Current. Измеряет спектр тока с помощью амперметра или на порту. Результатом является спектр комплексных значений всех составляющих тока на каждой частоте гармоники.

Itime Time Domain Current. Измеряет ток во временной области с помощью амперметра или на порту. Результатом является колебание во времени натуральных величин тока.

Nonlinear Parameters. Нелинейные параметры

Gcomp (Large Signal Gamma (Sweep over frequency)) используется для измерения коэффициента отражения при большом сигнале. Коэффициент отражения может быть определен на любой из гармонических частот, хотя наиболее общее значение будет соответствовать основной частоте. Измерение предполагает, что в направлении измерения источники отсутствуют. Результат может быть отображен на диаграмме Смита, полярном графе или в табличной форме. Среди указываемых параметров – индексы гармоники (h1,h2), коэффициент свилирования по частоте. Величина, угол, действительная или мнимая составляющие могут также быть отображены на прямоугольном графе.

GcompSP (Large Signal Gamma (Sweep over power)) может использоваться для измерения коэффициента отражения при большом сигнале. Это измерение аналогично Gcomp за исключением того, что свипирование (перебор) ведется не по частоте, а по мощности. Среди указываемых параметров – индекс гармоники (от 0 до 1024), коэффициент свипирования по мощности. Для большей информации относительно этого измерения, см. Gcomp.

Ycomp (Large Signal Admittance(Sweep over frequency)) используется для измерения полной проводимости при большом сигнале. Полная проводимость может быть определена любой из гармонических частот, хотя наиболее общее значение будет соответствовать основной частоте. Измерение предполагает, что в направлении измерения источники отсутствуют. Результат может быть отображен на диаграмме Смита, полярном графе или в табличной форме. Среди указываемых параметров – индекс гармоники (от 0 до 1024). Величина, угол, действительная или мнимая составляющие могут также быть отображены на прямоугольном графе.

Zcomp (Large Signal Impedance (Sweep over frequency)) используется для измерения полного сопротивления при большом сигнале. Полное сопротивление может быть определено на любой из гармонических частот, хотя наиболее общее значение будет соответствовать основной частоте. Измерение предполагает, что в направлении измерения источники отсутствуют. Результат может быть отображен на диаграмме Смита, полярном графе или в табличной форме. Среди указываемых параметров – индексы гармоники (h1,h2), коэффициент свипирования по частоте. Величина, угол, действительная или мнимая составляющие могут также быть отображены на прямоугольном графе.

Nonlinear Power. Параметры нелинейной мощности

DCRF (DC to RF Efficiency (%) (Sweep over frequency)) вычисляет эффективность (КПД) как отношение DC и RF мощностей цепи. DC мощность вычисляется как общая DC мощность всех источников цепи. RF мощность вычисляется для указанного в разделе Power Out Component элемента. КПД (DC-RF) определяется как:

$$DCRF = \left(\frac{P_{out}}{P_{DC}} \right) \cdot 100\%,$$

где P_{out} - мощность, измеренная на указанном элементе (обычно выходная), P_{dc} – общая DC мощность, предоставленная всеми источниками цепи. Результат может быть отображен на прямоугольном графе или в табличной форме.

DCRF_SP (DC to RF Efficiency (%) (Sweep over power)) параметр, аналогичный DCRF за исключением того, что перебор ведется не по частоте, а по мощности. Результат может быть отображен на прямоугольном графе или в табличной форме.

IM3_SP (Maximum 3rd Order IM Product (dBm) (Sweep over power)) автоматически вычисляет величину интермодуляционных помех третьего рода, которые формируются от двух близко расположенных тонов. Измерение возвращает наибольшую величину из существующих в пределах частот $2f_1 - f_2$ или $2f_2 - f_1$. Используется, чтобы упростить измерение интермодуляционных помех третьего порядка. Результат может быть отображен на прямоугольном графе или в табличной форме.

LSSnm (Large Signal S Parameter at harmonic (Sweep over frequency)) используется для вычисления S параметров при большом сигнале. Вычисление требует, чтобы порт "From" был портом возбуждения и все другие порты были завершающими портами. Например, измерение полной системы S параметров для двух портов требовало бы двух отдельных моделирований, причем одно моделирование использует как возбуждающий порт 1 (для измерения S_{21} и S_{11}), а второе - порт два (для измерения S_{12} и S_{22}). Это измерение также позволяет выбор частоты гармоник, используемой для портов, указываемых в разделах "From" и "To". Данное моделирование позволяет измерять такие параметры, как потери на преобразование или усиление в смесителях и умножителях. Результат может быть отображен на диаграмме Смита, в полярном графе или в табличной форме. Величина, угол, действительные или мнимые составляющие могут также быть отображены на прямоугольном графе.

LSSnm2 (Large Signal S Parameter at Harmonic (2-Tone, Sweep over frequency)) параметр, аналогичный LSSnm, используемый при двухтоновом моделировании.

LSSnmSP (Large Signal S Parameter at Harmonic (Sweep over power)) параметр, аналогичный LSSnm, свипирование (перебор) ведется по мощности.

LSSnm2SP (Large Signal S Parameter at Harmonic (2-Tone, Sweep over power)) параметр, аналогичный LSSnm, используемый при двухтонном моделировании, свипирование (перебор) ведется по мощности.

PAE (Power-Added Efficiency (%) (Sweep over frequency)) вычисляет эффективность (КПД) добавочной мощности цепи. Мощность RF вычисляется для указанного элемента.

PAE вычисляется, как :

$$PAE = \left(\frac{P_{out} - |P_{in}|}{P_{dc}} \right) \cdot 100\%,$$

где P_{out} - выходная мощность, P_{in} - входная мощность, и P_{dc} – общая мощность всех источников в схеме. Результат может быть отображен на прямоугольном графе или в табличной форме.

PGain (Power Gain at Fundamental (Sweep over frequency)) - вычисляет усиление по мощности G_T преобразователя в условиях большого сигнала. Усиление по мощности преобразователя – отношение мощности, поставленной нагрузке к мощности, отдаваемой источником.

Усиление по мощности определяется, как:

$$G_T = \frac{P_{Power_delivered_to_the_load}}{P_{Power_available_from_the_source}}$$

И входная и выходная мощность измеряются на основной частоте. Результат может быть отображен на прямоугольном графе или в табличной форме.

PT (Total Power (Sweep over frequency)) измеряет полную мощность, поставленную указанному элементу, включая DC мощность на всех гармониках. Полная мощность имеет вид:

$$PT = \sum_h P(f_h).$$

Результат может быть отображен на прямоугольном графе или в табличной форме.

Pcomp (Power Harmonic Component (Sweep over frequency)) используется, чтобы измерить гармоническую составляющую мощности в линии или порте. Значение мощности выдается как комплексная величина, измеренная на частоте гармоники. Чтобы получить DC мощность, используйте индекс гармоники (Harmonic index: 0...1024), равный нулю, для мощности на основной частоте используйте индекс гармоники, равный единице. Величина, угол, действительные или мнимые составляющие могут быть отображены на прямоугольном графе. Результат может также быть отображено на полярном графе или табличной сетке.

Pharm (Frequency Domain Power) используется для получения энергетического спектра. Величина, угол, действительные или мнимые составляющие могут быть отображены на прямоугольном графе. Результат может также быть отображено на полярном графе или табличной сетке.

Ptime (Instantaneous Power Ptime) используется для измерения мгновенной мощности на указанном элементе. Результат может быть отображен на прямоугольном графе или в табличной форме.

Nonlinear Voltage. Параметры нелинейного напряжения

Vcomp (Voltage Harmonic Component (Sweep over frequency)). Это измерение используется для измерения гармонической составляющей напряжения. Значение напряжения текущего компонента возвращено как комплексная величина, измеренная на частоте гармоники (чтобы получить действующее значение, нужно поделить на $\sqrt{2}$). Чтобы получить DC напряжение, используйте индекс гармоники (Harmonic index: 0...1024), равный нулю, для напряжения на основной частоте используйте индекс гармоники, равный единице. Величина, угол, действительные или мнимые составляющие могут быть отображены на прямоугольном графе. Результат может также быть отображено на полярном графе или табличной сетке.

Vharm (Frequency Domain Voltage) используется для получения энергетического спектра.. Величина, угол, действительные или мнимые составляющие могут быть отображены на прямоугольном графе (чтобы получить действующее значение, нужно поделить на $\sqrt{2}$). Результат может также быть отображено на полярном графе или табличной сетке.

Vtime (Time domain voltage Vtime) используется для измерения напряжения во временной области. Значение напряжения выдается как комплексная величина. Для анализа с одним тоном, будут отображены два периода волны. Результат может быть отображен на прямоугольном графе или в табличной форме.