

# 1. X – модели неоднородностей

## 1.1. Особенности X - моделей

X – модели являются моделями неоднородностей, полученными на основе электромагнитного моделирования. Эти модели объединяют возможности электромагнитного (высокая точность) и линейного (высокое быстродействие, возможность проведения настройки, оптимизации и статистического анализа) моделирования. Имена всех X – моделей оканчиваются на X (например, MTEEX, MSTEPX, MBEND90X), по которым их легко отличить от других моделей.

Для X – моделей в электромагнитном моделировании создается база данных, которая сохраняется на диске, и затем используется в линейном моделировании. База данных представляет собой набор данных (таблицу) для ряда частотных точек. Данные для частот, лежащих между этими точками, в линейном моделировании получаются с помощью интерполяции.

Электромагнитное моделирование для X – модели выполняется в N – мерной системе параметров. Чтобы ограничить размер базы данных, которая загружается в оперативную память, параметры модели разделены на четыре группы, описанные в следующей таблице:

Параметры	Описание
Independed (Независимые)	Параметры, которые при моделировании изменяются точно так же, как и параметры любого элемента схемы в линейном моделировании
Scalable (Масштабируемые)	Параметры, аналогичные независимым, которые изменяются через масштабирование структуры для различных размеров
Fixed (Фиксированные)	Параметры, которые остаются постоянными для любого проекта и не изменяются в процессе моделирования
Statistical (Статистические)	Параметры, которые не изменяются в процессе моделирования, но могут обрабатываться в пределах допусков при статистическом анализе

**Замечание.** Описание параметров, которые имеет X – модель, и группы, к которым они относятся, приводятся в описании соответствующей модели в каталоге элементов.

### Независимые параметры.

В электромагнитном моделировании для изменяющихся независимых параметров создается база данных, в которой сохраняются еще три константы, определяющие тип параметра (видимо определяющих, можно ли этот параметр настраивать, оптимизировать и ограничивать). При создании базы данных выбирается рабочий диапазон и количество значений для каждой независимой переменной (частотные точки и значения параметров при автозаполнении выбираются автоматически), и для каждой выбранной точки выполняется электромагнитное моделирование. При линейном моделировании с использованием X – модели для всех частот, заданных в проекте, проверяется, попадают ли они в диапазон базы данных X - модели. Если заданные частоты не попадают в диапазон имеющейся базы данных, для них автоматически выполняется электромагнитное моделирование, и эти точки добавляются к сохраняемой на диске базе данных.

Общее количество электромагнитных моделирований определяется количеством частотных точек, количеством параметров и количеством их значений. Например, если задано три независимых параметра  $w_1$ ,  $w_2$  и  $w_3$  с восемью значениями для каждого параметра и задано десять частотных точек, то требуется  $8*8*8*10=5120$  электромагнитных моделирований. Поэтому число независимых параметров сводится к минимуму.

### Масштабируемые параметры.

Масштабируемые параметры – это параметры, которые могут быть изменены без создания новой базы данных. Этот тип параметров масштабирует электромагнитную структуру так, что решение модели может быть связано с масштабируемым частотным решением. В результате, когда таблица данных создана с содержанием масштабируемого решения, модель не должна создавать частное решение. Например, модель MTEEX, созданная для одной толщины подлож-

ки, может использоваться для других толщин, если использовалось масштабирование относительно толщины подложки  $h$ . Масштабируемые параметры не увеличивают количество данных в базе. При наблюдении процесса автозаполнения  $X$  – модели частоты, отображаемые в окне процесса, могут сильно отличаться от частот, заданных в проекте, из-за частотного масштабирования.

### **Фиксированные параметры.**

Эти параметры не изменяются и остаются постоянными в любом проекте. Нельзя пытаться настраивать фиксированные параметры, т.к. это приведёт к созданию новой базы данных для каждого, изменённого при настройке, значения.

### **Статистические параметры.**

Статистические параметры – это параметры, которые не изменяются в проекте, но могут варьироваться в пределах допусков. При создании базы данных этот тип параметра рассматривается, как фиксированный. Для варьирования значения такого параметра при моделировании используется зависимость первого порядка. Этот метод годится только для небольших отклонений от номинального значения. В случае модели микрополосковой линии единственным статистическим параметром является диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_r$ . Это могут быть отклонения, обусловленные частотной или температурной зависимостью диэлектрической проницаемости. Рекомендуются небольшие отклонения менее 10%, но статистический анализ нормально работает и при отклонениях менее 20%.

## **1.2. Ограничения верхней частоты**

Реактивности неоднородности определяются запасённой энергией в структуре при отсутствии высших мод. Если частота приближается к частоте отсечки первой высшей моды, то структура уже не пригодна для проектирования микросхем обычным образом. Верхняя частота, до которой можно использовать такие модели, принята равной 80% от частоты отсечки первой высшей моды, которая возникает в неоднородности. Например, в микрополосковой линии с толщиной подложки, малой по сравнению с длиной волны, первая высшая мода колебаний возникает при эффективной ширине самого широкого проводника, равной половине длине волны. Приблизительно эту частоту можно определить из выражения

$$F_c = Z_0 * c / (12 * H * 377)$$

где  $Z_0$  – волновое сопротивление линии с  $W/H=4.0$ ;  
 $c$  – скорость света в выбранных единицах измерения.

Верхняя частота определяется как 80% от расчётной частоты, т.е.

$$F_{max} = 0.8 * Z_0 * c / (12 * H * 377)$$

Для частот выше этой максимальной частоты используется экстраполяция, основанная на результатах, полученных для модели. При этом пользователю выводится сообщение, указывающее, что полученные результаты не основаны на электромагнитном моделировании. Обычно это ограничение не нарушается при линейном моделировании и может нарушаться при нелинейном моделировании с использованием гармонического баланса для некоторых гармоник.

## **1.3. Автозаполнение $X$ – модели**

Все  $X$  – модели используют таблицу данных, сгенерированную для модели на определённой подложке. В этой таблице сохраняются результаты электромагнитного моделирования для определённого набора значений входных независимых переменных. При использовании такой модели для заданных в проекте значений переменных результаты определяются с помощью интерполирования.

Для некоторых типичных подложек эти таблицы сгенерированы фирмой AWR и включены в пакет Microwave Office. Эти таблицы сохранены в двоичных файлах в папке ...EM\_Models, расположенной в корневом каталоге Microwave Office. Все эти файлы имеют расширение .emx. Имена файлов выбираются так, чтобы по ним можно было определить назначение модели. Например, MS06\_00.emx означает: открытый конец микрополосковой линии (сокращение от Microstrip Open) на подложке с  $\epsilon_r=6.0$ . Все файлы, сгенерированные в AWR, в имени файла содержат значение диэлектрической проницаемости. При создании нового файла его имя состоит из сокращённого имени модели (например, MSO для открытого конца микрополосковой линии) к которому добавляется три цифры (начиная с 000), чтобы файл был уникальным.

Все X – модели имеют скрытый по умолчанию параметр **AutoFill** (т.е. этот параметр не отображается в списке параметров на схеме возле элемента). Если значение этого параметра равно нулю, то автозаполнение базы данных не производится и, если базы данных нет, то моделирование прекращается с предложением заполнить базу данных. Если же значение параметра отлично от нуля (обычно единица), то автоматически производится заполнение базы данных, если она отсутствует. При желании этот параметр можно сделать видимым в списке параметров элемента следующим образом. Дважды щёлкните по элементу X – модели на схеме. В открывшемся окне нажмите на кнопку **Show Secondary** в правом нижнем углу окна, затем нажмите на кнопку **Display** в верхней части окна, уберите галочку в столбце **Hide** напротив параметра **AutoFill** и нажмите **OK**.

Есть два способа заполнения интерполяционной таблицы модели на основе электромагнитного моделирования.

В первом способе можно просто добавить X – модель в схему и начать моделирование. При этом способе автоматически генерируется только часть таблицы, необходимая для текущего набора независимых параметров.

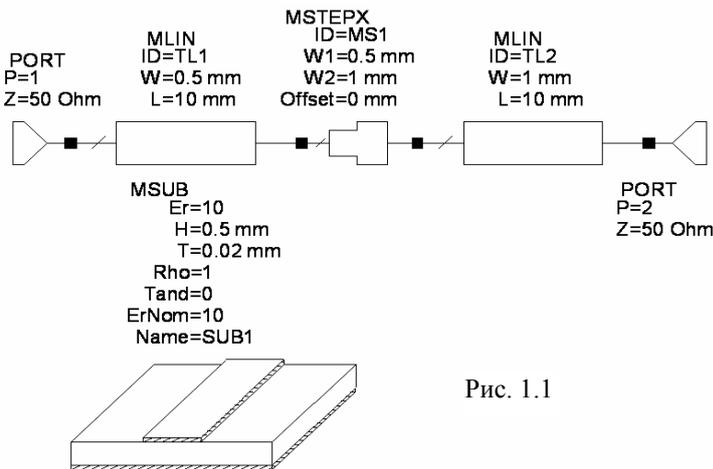


Рис. 1.1

Тем не менее, для заполнения этой части таблицы может потребоваться довольно много времени и процесс моделирования схемы может продолжаться довольно долго. Для примера на рис. 1.1 показана схема проекта для моделирования соединения двух отрезков микрополосковых линий с учётом реактивности скачка. Схема состоит из двух элементов **MLIN** с шириной проводника 0.5 и 1.0 мм, между которыми вставлена X-модель **MSTEPX**. Дважды щёлкните по подложке **MSUB** и установите нужное значение **Er** (на рис.1.1  $\epsilon_r=10$ ), толщину подложки **H** (на рис.1.1  $H=0.5$ ) и толщину проводника **T** (на рис.1.1  $T=0.02$ ). Поочерёдно, дважды щёлкая по элементам схемы **MLIN**, установите нужные параметры этих элементов (длину и ширину проводников), как показано на рис. 1.1. Дважды щёлкните по элементу **MSTEPX** и в открывшемся диалоговом окне **Element Options** установите ширину входного и выходного проводников. Затем в этом же окне нажмите кнопку **Show Secondary** (Показать вторую),

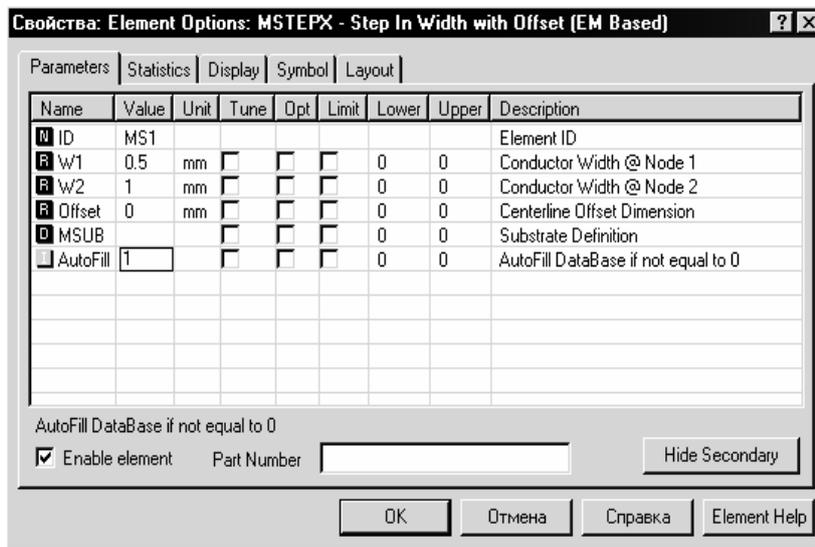


Рис. 1.2

введите значение параметра **AutoFill**, равное единице (см. рис. 1.2), и нажмите **OK**.

**Замечание.** Вторая страница этого окна отличается от первой только наличием параметра **AutoFill**. Кнопка **Show Secondary** в этом окне заменяется кнопкой **Hide Secondary** (Скрыть вторую).

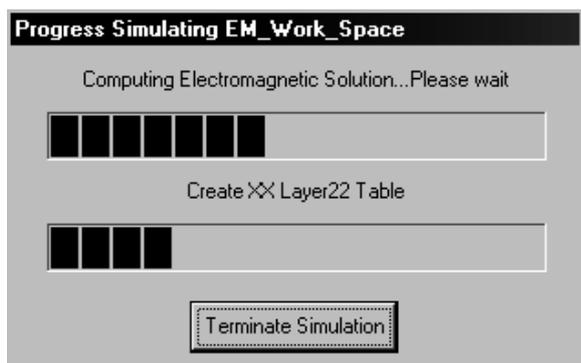


Рис. 1.3

щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Начнёт выполняться электромагнитное моделирование, ход которого будет отображаться в открывшемся окне рис. 1.3. По окончании моделирования будет выведен график KstU, а на диске в папке ...EM\_Models появится файл Mss000.emx. Если теперь в проекте изменять значение диэлектрической проницаемости подложки, то будут заполняться новые базы данных для этих подложек и на диске появятся файлы Mss001.emx, Mss002.emx, Mss003.emx и т.д. Файл Mss000.emx можно теперь переименовать, например, в Mss10\_0.emx, где 10\_0 указывает, для какой диэлектрической проницаемости подложки создан этот файл. Но буквы Mss и расширение emx менять нельзя.

Второй способ заключается в автозаполнении таблицы полностью. Времени для автозаполнения таблицы потребуется заведомо ещё больше, но этот процесс не требует вмешательства пользователя и может быть выполнен в любое свободное время.

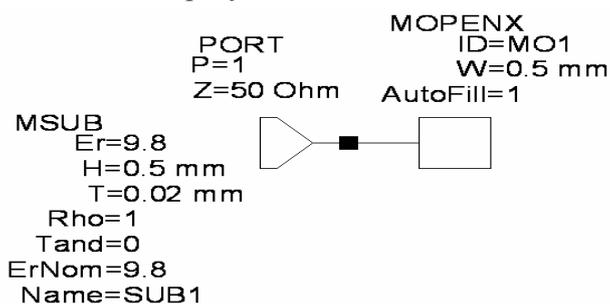


Рис. 1.4

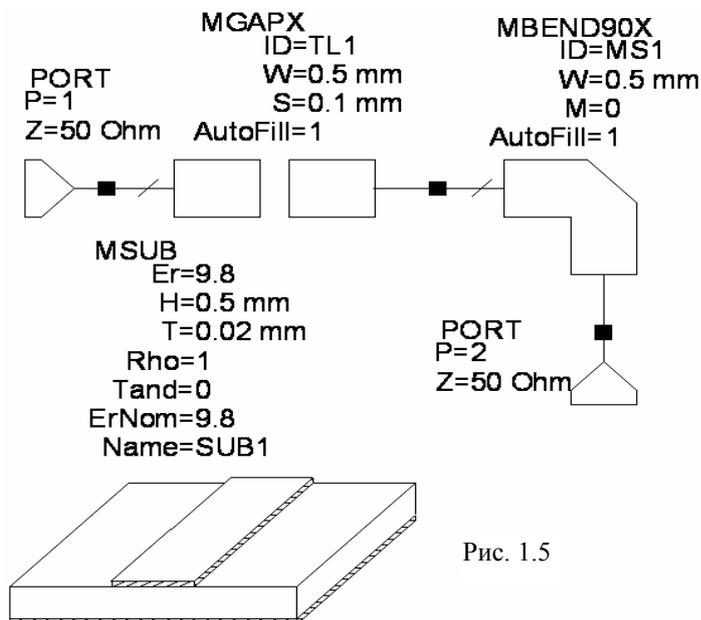


Рис. 1.5

Введите частоты проекта, дважды щёлкнув левой кнопкой мышки по группе **Project Options** в окне просмотра проекта, и, в открывшемся окне введите начальную и конечную частоты и шаг по частоте, нажмите **Apply** и **OK**. Создайте график, например, **KstU**, щёлкнув по значку **Add Graph** на панели инструментов. Добавьте единицы измерения, щёлкнув по значку **Add Measurement** на панели инструментов, и выбрав **Linear** в окне списка **Meas. Type**, **VSWR** в окне списка **Measurement** и имя схемы в **Data Source Name**. Нажмите **Apply** и **OK**. Сделав это,

**Замечание.** Установка КЭШа более чем 50 Мбайт, увеличивает скорость электромагнитного моделирования. Чтобы изменить размер КЭШа, выберите **Options > Environment Options** в выпадающем меню и затем выберите **Cache Manager**.

Чтобы автозаполнить таблицу, нужно создать схему, включающую элемент, для которого нужно заполнить таблицу. Для примера на рис. 1.4 показана схема для автозаполнения модели разомкнутого конца микрополосковой линии (модель **MOPENX**), а на рис. 1.5 – схема для автозаполнения сразу двух моделей: зазора (**MGAPX**) и изгиба (**MBEND90X**) в микрополосковой линии. В параметрах подложки установите значение диэлектрической проницаемости (**Er**), как фиксированный параметр (т.е. постоянный для любых проектов на этой подложке). В схеме обязательно должны быть определены измеряемые величины (т.е. сделано всё, что необходимо для проведения анализа, например, график и т.д.). Затем для скрытого параметра автозагрузки **Autofill**, должно быть установлено не нулевое значение (обычно еди-

ница). Обратиться к этому параметру можно, дважды щёлкнув левой кнопкой мышки по элементу в схеме и затем нажав кнопку **Show Secondary**.

После установки параметра **Autofill** в ненулевое значение, начинайте моделирование. Microwave Office будет заполнять таблицу для введённых номинальных параметров подложки. Этот процесс может быть весьма длительным и рекомендуется его выполнять в свободное время. Во время заполнения базы данных не рекомендуется, чтобы компьютер использовался для других целей.

**Замечание.** Как только начинается электромагнитное моделирование, в проекте создаётся электромагнитная структура моделируемой неоднородности, которая в окне просмотра проекта отображается как подгруппа с именем **EM\_Work\_Space** в группе **EM Structures**. Если после начала электромагнитного моделирования остановить процесс, нажав кнопку **Terminate Simulation** в окне рис. 1.3 и затем запустить его снова, то можно наблюдать, как изменяется топология в процессе автозаполнения базы данных. Для этого дважды щёлкните по подгруппе **EM\_Work\_Space**, чтобы открыть окно электромагнитной структуры. Если затем щёлкнуть по кнопке **3D View**, то можно наблюдать трёхмерную структуру. После этого начните процесс моделирования, щёлкнув по значку **Analyze** на панели инструментов.

После заполнения таблицы в папке `...\EM_Models` будет создан новый `emx`-файл для данной подложки, который можно переименовать так, чтобы его имя давало больше информации о назначении файла.

В папке `...\Examples\XModels` имеется пример `Microstrip Autofill.emp` автозаполнения для всех  $X$  – моделей микрополосковой линии. Этот пример представляет собой шаблон, в котором могут быть созданы базы данных для всех микрополосковых  $X$  – моделей на подложке с заданным значением диэлектрической проницаемости. Параметр `Autofill` в этом примере сделан видимым в списке параметров элементов и установлен равным единице. Этот шаблон упрощает процедуру создания проекта для автозаполнения микрополосковых  $X$  – моделей. Чтобы его использовать:

- 1) Загрузите этот проект из папки `...\Examples\XModels` и откройте окно схемы **Autofill Microstrip**, дважды щёлкнув по этой группе в окне просмотра проекта.
- 2) Введите требуемые параметры подложки.
- 3) Значения номинального параметра **ErNom** и соответствующее ему нормальное значение **Er** должны быть установлены одинаковыми, чтобы избежать вывода на экран предупреждения или ошибки в конце моделирования. Например, если для **ErNom** введено значение **1.23**, то и для **Er** так же нужно ввести **1.23**.
- 4) Отобразите 3-х мерное изображение электромагнитной структуры, если хотите видеть различные структуры, которые моделируются. Для этого сначала дважды щёлкните по объекту **EM\_Work\_Space** в окне просмотра проекта и затем щёлкните по значку **3D View** на панели инструментов.
- 5) Выполните моделирование проекта, щёлкнув по значку **Analyze** на панели инструментов.

Полное время заполнения базы данных для всех  $X$  – моделей микрополосковой линии зависит от типа компьютера и занимает, по крайней мере, 4 часа.

Аналогичный пример-шаблон имеется и для автозаполнения всех  $X$  – моделей компланарного волновода. Это пример `CPW Autofill.emp` в той же папке `...\Examples\XModels`. Использовать этот шаблон можно точно так же, как и пример-шаблон для микрополосковой линии. Время заполнения базы данных для всех  $X$  – моделей компланарного волновода более 10 часов.

**Замечание.** Эксперименты с  $X$  – моделями в установленной версии Microwave Office 2002 показали, что при обоих способах производится полное автозаполнение  $X$  - модели.

## 2. Файлы данных

В Microwave Office можно импортировать в проект или связывать с проектом файлы данных, которые являются текстовыми файлами. Файлы данных могут использоваться для различных целей. Здесь рассматриваются только файлы данных, которые можно использовать в схемах в качестве подсхем. Эти файлы содержат элементы матриц многополюсника (схемы, узла или элемента), которые получены расчётным или экспериментальным путём.

Каждый импортированный файл данных отображается как подгруппа в группе **Data**

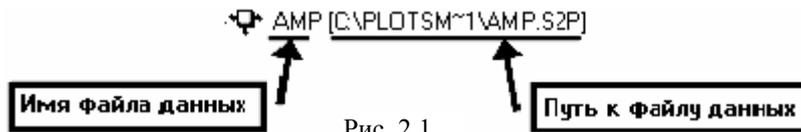


Рис. 2.1

**Files** в окне просмотра проекта с указанием имени файла (для импортированных файлов) и пути к нему (для связанных файлов), как показано

на рис. 2.1.

Файлы данных могут быть написаны в необработанном (raw) формате или в формате Touchstone.

### 2.1. Необработанный формат

Необработанный (raw) формат файлов данных используется для чтения данных из текстового файла, записанных в виде строк и столбцов. Этот формат обеспечивает простой способ



Рис. 2.1

для импортирования данных из крупномасштабных таблиц, полученных в математических программах или на измерительных установках. Файл с необработанным форматом содержит только числа. В таком файле не содержится информации о том, какой тип матрицы он содержит, в какой форме представлены комплексные числа, какие единицы измерения используются. Поэтому, как именно должны читаться данные из файлов с необработанным форматом, должен определить пользователь в диалоговом окне

**Raw Data Format** (рис. 2.1). Чтобы открыть это окно, выберите **Options > Project Options** в выпадающем меню или дважды щёлкните по группе **Options > Project** в окне просмотра проекта и затем, в открывшемся окне, нажмите на панель **Raw Data Format** в верхней части окна. Поля этого диалогового окна описаны в следующей таблице.

Поле	Описание
Data Type (Тип данных)	Определяет, какой тип данных содержит файл со свободным форматом. Можно выбрать S-, Y- или Z-параметры.
Ref. Impedance	Если файл данных содержит S-параметры, то должен быть определён Reference Impedance. По умолчанию принимается значение 50 Ом, наиболее часто встречающееся значение для S-параметров.
Norm. Impedance	Если файл данных содержит Y- или Z-параметры, то должен быть определён Normalization Impedance (нормирующий импеданс). По умолчанию его значение принимается равным 50 Ом. Для ненормированных Y- или Z-параметров значение Norm. Impedance должно быть 1.

Matrix Size (Размер матрицы)	<p>Позволяет или вам самим указать число входов N-полюсника или позволить это сделать программе.</p> <p>Если вы сами указываете размер матрицы, то первым числом в первой строке файла должна быть указана частота, для которой записаны элементы первой матрицы. Вслед за частотой записываются элементы матрицы N-полюсника для этой частоты. После записи последнего элемента первой матрицы записывается частота для второй матрицы, за ней элементы второй матрицы и т.д. В этом случае все элементы матрицы не обязательно должны находиться в одной строке. Также, число столбцов в различных строках не обязательно должно быть одинаковым и частота для каждой матрицы не обязательно должна быть в первом столбце.</p> <p>Если вы позволяете определить число входов программе, то все элементы матриц в файле должны быть обязательно записаны в одной строке. Первым числом в каждой строке должна быть частота, для которой определена матрица.</p>
Format (Формат)	<p>Позволяет определить, в каком формате записаны комплексные элементы матрицы. Комплексные числа из файла читаются как два вещественных числа из двух соседних столбцов в одной строке. Действительные данные могут читаться как одно число. Могут использоваться следующие форматы данных:</p> <p>Real/Imag: <math>x+ju</math>, записывается как <math>x</math> <math>y</math></p> <p>Mag/Angle(экспоненциальный формат): <math> x *exp(j*theta)</math>, записывается как <math> x </math> <math>theta</math></p> <p>DB и Mag/Angle: <math>20*log( x )*exp(j*theta)</math>, записывается как <math>20*log( x )</math> <math>theta</math></p> <p>Real: <math>x</math>, записывается как <math>x</math></p> <p>dB: <math>20*log( x )</math>, записывается как <math>20*log( x )</math></p>
Data Order (Порядок данных)	<p>Определяет, как записаны элементы матрицы в файле, по строкам или по столбцам.</p> <p><b>Row Major</b> – элементы матрицы N-полюсника записаны по строкам. Например, для четырёхполюсника элементы S-матрицы будут прочитаны в проект в следующем порядке: S11, S12, S21, S22.</p> <p><b>Column Major</b> – элементы матрицы N-полюсника записаны по столбцам. Например, для четырёхполюсника элементы S-матрицы будут прочитаны в проект в следующем порядке: S11, S21, S12, S22.</p>
File Units (Единицы измерения в файле)	<p>Определяет единицы измерения, которые приняты в файле данных (они могут отличаться от используемых в проекте). Например, если частота определена в КГц, то значение частоты 10 будет преобразовано при чтении в проект как 10.000 Гц. Единицы измерения угловых единиц используются только, если угловые единицы используются в записи элементов матриц. Для установки нужных единиц измерения используйте стрелки справа от поля ввода соответствующей единицы.</p>

Обратите внимание, что все файлы данных с необработанным форматом в проекте должны использовать один и тот же формат, и что числа в строке должны быть отделены пробелом или табуляцией. Следующий пример показывает типовой файл с необработанным форматом для четырёхполюсника, в котором элементы комплексной матрицы записаны по строкам в алгебраической форме:

```
f1 ReS11 ImS11 ReS12 ImS12 ReS21 ImS21 ReS22 ImS22
f2 ReS11 ImS11 ReS12 ImS12 ReS21 ImS21 ReS22 ImS22
f3 ReS11 ImS11 ReS12 ImS12 ReS21 ImS21 ReS22 ImS22
```

Тот же пример при записи элементов матриц по столбцам имеет вид:

```
f1 ReS11 ImS11 ReS21 ImS21 ReS12 ImS12 ReS22 ImS22
f2 ReS11 ImS11 ReS21 ImS21 ReS12 ImS12 ReS22 ImS22
f3 ReS11 ImS11 ReS21 ImS21 ReS12 ImS12 ReS22 ImS22
```

В этих двух примерах число входов можно позволить определить программе.

Если размер матрицы был определён пользователем, то первый пример может быть записан, например, в следующем виде:

f1 ReS11 ImS11 ReS12 ImS12 ReS21 ImS21  
 ReS22 ImS22 f2 ReS11 ImS11 ReS12 ImS12  
 ReS21 ImS21 ReS22 ImS22 f3 ReS11 ImS11  
 ReS12 ImS12 ReS21 ImS21 ReS22 ImS22

При такой записи файла число входов должно быть обязательно указано пользователем (2 входа, т.е. четырёхполюсник).

## 2. 2. Формат Touchstone

Формат файла Touchstone позволяет вводить элементы G-, H-, S-, Y- или Z-матриц. В файле этого формата содержится вся информация о типе содержащихся в нём данных. Поэтому пользователю не требуется вводить какую либо информацию о типе данных, в отличие от файлов с необработанным форматом. Файлы в формате Touchstone начинаются с заголовка, в котором описывается формат элементов матриц, которые записаны в этом файле.

В любом месте файла данных можно вставлять комментарии, которым должен предшествовать восклицательный знак. Комментарий сохраняется до конца строки.

Синтаксис заголовка следующий:

# HZ|KHZ|MHZ|GHZ|THZ G|H|S|Y|Z MA|DB|RI [Rx]

где “|” отделяет обязательные элементы заголовка, а [ ] – не обязательный элемент.

Каждый элемент заголовка определяется следующим образом:

Элемент заголовка	Описание
#	Означает начало заголовка
HZ KHZ GHZ MHZ THZ	Определяет единицы измерения частоты в файле данных (должна быть выбрана только одна единица)
G H S Y Z	Определяет тип матриц в файле данных (должен быть выбран только один)
MA DB RI	Определяет, в какой форме представлены комплексные переменные (должна быть выбрана только одна)
[Rx]	Здесь x – вещественное число, которое определяет reference impedance

Примеры заголовков:

# GHZ S MA R 50  
 # MHZ S DB  
 # HZ Z RI

Синтаксис данных цепи следующий, где m – количество частотных точек, n – порядок матрицы:

```
<частота 1> <строка 1>
[<продолжение строки 1>]
<строка 2>
[<продолжение строки 2>]
-----
<строка n>
[<продолжение строки n>]
<частота 2> <строка 1>
[<продолжение строки 1>]
<строка 2>
[<продолжение строки 2>]
-----
<строка n>
[<продолжение строки n>]
-----
<частота m> <строка 1>
```

```
[<продолжение строки 1>]
<строка 2>
[<продолжение строки 2>]
-----
<строка n>
[<продолжение строки n>]
```

Следующий пример показывает файл данных в формате Touchstone для четырёхполюсника:

```
# GHZ S MA R 50
! Freq      S11          S21          S12          S22
f1 ReS11 ImS11 ReS21 ImS21 ReS12 ImS12 ReS22 ImS22
f2 ReS11 ImS11 ReS21 ImS21 ReS12 ImS12 ReS22 ImS22
f3 ReS11 ImS11 ReS21 ImS21 ReS12 ImS12 ReS22 ImS22
```

При составлении файла в формате Touchstone необходимо соблюдать следующие правила:

- Reference impedance нужно определять только для S-параметров. Если этот импеданс не определён, то по умолчанию принимается 50 Ом.
- G – и H – параметры поддерживаются только для четырёхполюсников.
- MA означает, что комплексные данные представлены в экспоненциальной форме (модуль, фаза). Фаза всегда задаётся в градусах. DB означает, что модуль выражен в децибелах по формуле  $20 \cdot \lg(\text{модуля})$ . RI означает, что комплексные данные представлены в алгебраической форме (действительная часть, мнимая часть).
- Матрицы записываются по строкам, за исключением матриц четырёхполюсников, которые записываются по столбцам.
- Каждый элемент матрицы – комплексное число, которое записывается как два вещественных числа, разделённых пробелом.
- Каждая строка может содержать максимум четыре элемента матрицы (8 вещественных чисел). Если матрица содержит более четырёх элементов, т.е. это многополюсник, то оставшиеся элементы записываются на следующей строке.
- Каждая строка матрицы должна начинаться с новой строки.
- На первом месте в строке матрицы должна стоять частота, для которой определена матрица.
- Расширением файла обычно являются  $g??, h??, s??, y??, z??$ , где знаки ? заменяют любой допустимый символ. Для файла, содержащего S-матрицы, расширения могут быть  $s1p, s2p, \dots, s9p, s10, s11, \dots, s99$ . Эти расширения соответствуют количеству портов от 1 до 99. Например, имя файла данных в формате Touchstone может быть `Attr20.s2p`. Здесь s означает, что файл содержит S-матрицы, 2 означает, что матрица описывает цепь с двумя портами (т.е. четырёхполюсник), буква p является сокращением от слова “parameters” и может быть опущена. Однако расширение не используется для определения типа и размера матрицы. Все необходимые сведения содержатся в заголовке файла, а для определения размера матрицы из файла читается первая матрица, определяется её размер и он используется для остальных матриц. Это означает, что максимальный размер матрицы, которая может читаться из файла, ограничивается только аппаратными средствами компьютера. Указанная форма расширений файлов принята только для удобства их систематизации пользователем.

## 2. 3. Добавление файлов данных в проект

Чтобы добавить файл данных в проект (т.е. импортировать файл данных):

1. Если вы добавляете файл данных в необработанном формате, выберите в выпадающем меню **Options > Project Options** или дважды щёлкните по группе **Project Options** в

окне просмотра проекта и в открывшемся диалоговом окне откройте страницу **Raw Data Format** (см. рис. 2.1). Введите требуемые значения в поля на этой странице диалогового

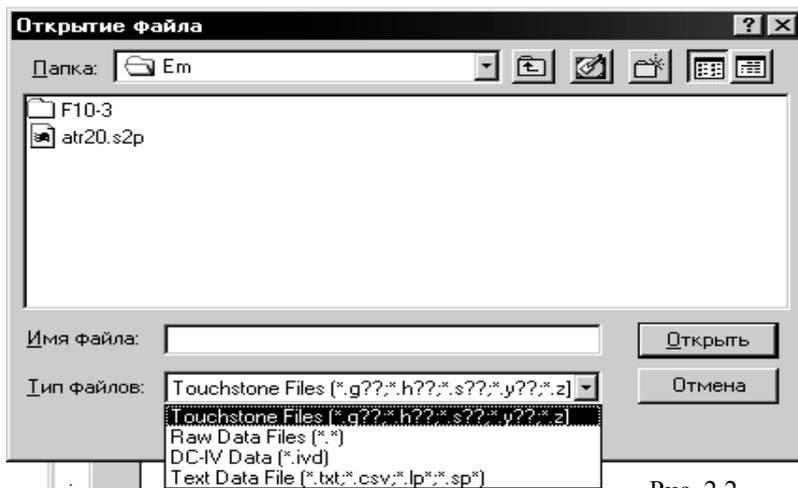


Рис. 2.2

**Тип файлов** и выберите нужный формат файла. Щёлкнув по кнопке справа от поля **Папка**, найдите нужный файл, выделите его в списке файлов (на рис. 2.1 это единственный файл atr20.s2p) и нажмите **Открыть**. Добавленный в проект файл данных будет отображён в окне просмотра проекта как подобъект в группе **Data Files**.

Чтобы вставить импортированный файл данных в схему в качестве подсхемы, откройте окно просмотра элементов, нажав на панель **Elem** в нижней части левого окна, щёлкните по группе **Subcircuits** и переместите файл данных в схему, как и любой другой элемент. Схема со вставленным файлом данных в качестве подсхемы (элемент SUBCKT) показана на рис. 2.3.

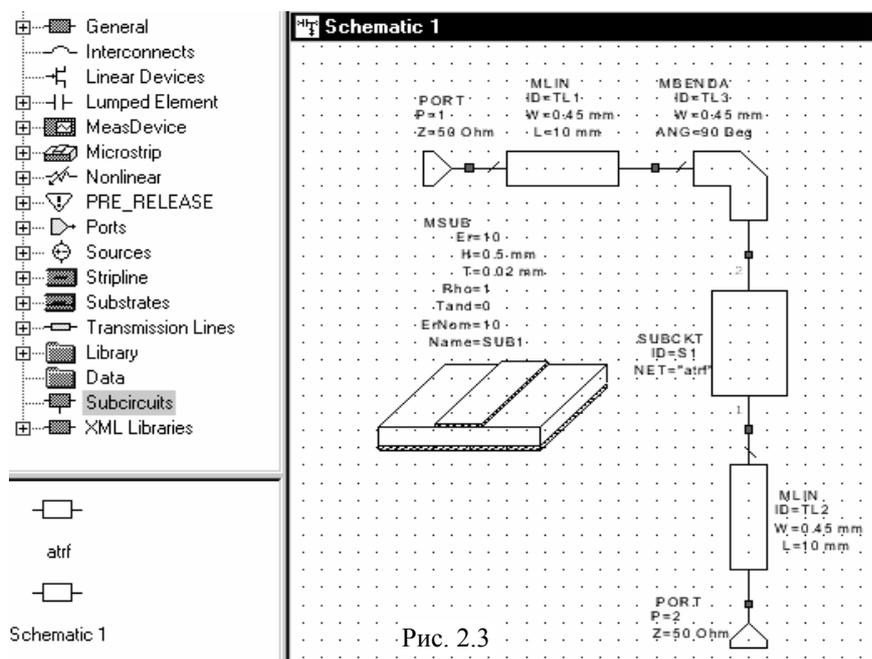


Рис. 2.3

**Замечание.** Обратите внимание, если теперь из схемы удалить файл данных, то из проекта он автоматически не удаляется и остаётся в группе **Data Files** в окне просмотра проекта. Чтобы удалить файл данных из проекта, щёлкните по нему в окне просмотра проекта правой кнопкой мышки и выберите **Delete Data File**. Аналогично, если файл данных удалить из проекта (из группы **Data Files** в окне просмотра), то из схемы он автоматически не удаляется.

Как только файл данных импортирован в проект, с ним можно выполнять следующие действия:

Операция	Описание
Просмотр файла данных	Дважды щёлкните по подобъекту файла данных в окне просмотра проекта. Откроется окно редактора файла (см. рис. 2.4), в котором можно просмотреть и отредактировать файл данных.
Редактирование файла данных	Текст в файле данных может быть отредактирован, используя стандартные методы редактирования в Windows (выделение, копирование, вставка и т.д.). Редактор файла данных ведёт себя точно так же, как Блокнот Windows.

Удалить файл данных из проекта	Выделите подобъект файла данных в окне просмотра проекта, щёлкнув по нему мышкой. Затем выберите <b>Edit &gt; Delete</b> в выпадающем меню. Или щёлкните по подобъекту файла данных в окне просмотра проекта правой кнопкой мышки и выберите <b>Delete Data File</b> в выпадающем меню.
Переименовать файл данных	Щёлкните правой кнопкой мышки по подобъекту файла данных в окне просмотра проекта и выберите <b>Rename Data File</b> в выпадающем меню.
Сохранить файл данных	Файл данных можно сохранить под тем же именем или под любым другим. Для этого щёлкните правой кнопкой мышки по подобъекту файла данных в окне просмотра проекта и выберите <b>Export Data File</b> .

```

atf
!freq-unit param-type data-format keyword impedance-ohms
# GHZ S DB R 50
!-----
!Freq DBS11 AngS11 DBS21 AngS21 DBS12 AngS12 DBS22 AngS22
4 -11.27 -69.462 -17.56 179.78 -17.56 179.78 -11.27 -69.462
5 -11.057 -77.243 -18.364 146.42 -18.364 146.42 -11.057 -77.243
6 -10.525 -88.095 -18.761 112 -18.761 112 -10.525 -88.095
7 -10.013 -101.53 -18.933 76.036 -18.933 76.036 -10.013 -101.53
8 -9.7108 -116.32 -19.039 38.631 -19.039 38.631 -9.7108 -116.32
9 -9.65 -131.06 -19.181 0.32028 -19.181 0.32028 -9.65 -131.06
10 -9.7261 -144.84 -19.386 -38.304 -19.386 -38.304 -9.7261 -144.84
11 -9.8062 -157.75 -19.636 -76.91 -19.636 -76.91 -9.8062 -157.75
12 -9.8594 -170.46 -19.917 -115.39 -19.917 -115.39 -9.8594 -170.46
13 -9.9704 176.66 -20.228 -153.55 -20.228 -153.55 -9.9704 176.66
14 -10.224 164.08 -20.55 168.98 -20.55 168.98 -10.224 164.08
15 -10.59 152.72 -20.814 132.67 -20.814 132.67 -10.59 152.72
16 -10.901 143.12 -20.903 97.802 -20.903 97.802 -10.901 143.12
17 -10.933 134.91 -20.686 64.264 -20.686 64.264 -10.933 134.91
18 -10.515 126.74 -20.035 31.558 -20.035 31.558 -10.515 126.74

```

Рис. 2.4

## 2.4. Связывание файла данных с проектом

Вместо того чтобы файл данных добавлять к проекту, его можно связать с проектом. Разница в том, что при добавлении файла данных к проекту, данные из файла на диске читаются в память только один раз и сохраняются в памяти, откуда они затем берутся при любом запуске анализа схемы. При связывании файла с проектом, данные из файла на диске читаются при каждом запуске анализа. Иногда это бывает удобнее. Например, если моделируется схема, содержащая какое либо устройство (фильтр, смеситель или другое), которое уже изготовлено и элементы матрицы которого измеряются на измерительной установке. В этом случае файл данных с измерительной установки может записываться на жёсткий диск компьютера. Если этот файл данных связать с проектом Microwave Office, то, производя настройку устройства на измерительной установке, можно наблюдать, как будет изменяться характеристика всей схемы проекта.

Чтобы связать файл данных с проектом:

1. Выберите **Project > Add Data File > Link To Data File** в выпадающем меню или щёлкните правой кнопкой мышки по группе **Data File** в окне просмотра проекта и выберите **Link To Data File**. Откроется диалоговое окно **Открытие файла** (рис. 2.2).
2. Щёлкните по кнопке справа от поля **Тип файлов** и выберите нужный формат файла. Щёлкнув по кнопке справа от поля **Папка**, найдите нужный файл, выделите его в списке файлов и нажмите **Открыть**. Связанный с проектом файл данных будет отображён в окне просмотра проекта как подобъект в группе **Data Files**.

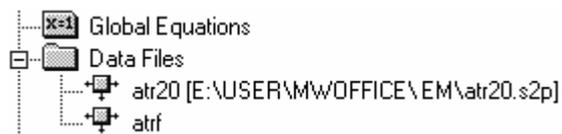


Рис. 2.5

**Замечание.** Для добавленного в проект файла данных в окне просмотра проекта отображается только имя файла, а для связанного – не только имя, но и путь к файлу. На рис. 2.5 файл atr20 связан с проектом, а файл atrf добавлен к проекту.

Как только файл данных связан с проектом, с ним можно выполнять те же действия, что и с добавленным файлом. Кроме того, если связанный файл данных имеет необработанный формат, ему можно присвоить атрибут “только для чтения”. Для этого нужно щёлкнуть правой кнопкой мышки по подобиъекту этого файла данных в окне просмотра проекта и выбрать **Read Only** во всплывающем меню.

#### **Замечания.**

1. Обратите внимание, если файл данных имеет не обработанный формат (raw), то перед его импортированием в проект или перед его связыванием с проектом, необходимо установить нужные значения полей на странице **Raw Data Format** в диалоговом окне **Project Options**, как описано в разделе 2.1.
2. Редактировать (и создавать) файлы данных можно не только в окне редактора файла данных в Microwave Office, но и в любом подходящем текстовом редакторе, например в Блокноте Windows или в Фотоне DOS.

## Оглавление

1. X – модели неоднородностей.....	1
1.1. Особенности X - моделей.....	1
1.2. Ограничения верхней частоты.....	2
1.3. Автозаполнение X – модели .....	2
2. Файлы данных.....	6
2.1. Необработанный формат .....	6
2. 2. Формат Touchstone.....	8
2. 3. Добавление файлов данных в проект .....	9
2.4. Связывание файла данных с проектом.....	11