4712

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УСТРОЙСТВА СВЧ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Методические указания
к лабораторным работам

Рязань 2013

УДК 621.396.67

Устройства СВЧ антенных решеток: методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: А.В. Маторин, Б.В. Кагаленко. Рязань, 2013. 20 с.

Содержат краткие теоретические сведения об устройствах СВЧ, описание программы **Microwave Office**, порядок выполнения работ.

Предназначены для студентов ФРТ, обучающихся по курсу «Антенны с электронным управлением».

Ил. 18. Библиогр.: 3 назв.

Антенные решетки с электронным управлением, устройства СВЧ, автоматизированное проектироваие, параметрический синтез

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра радиоуправления и связи Рязанского государственного радиотехнического университета (зав. кафедрой проф. С.Н. Кириллов)

Устройства СВЧ антенных решеток

Составители: Маторин Александр Васильевич
Кагаленко Борис Васильевич

Редактор Н.А. Орлова
Корректор С.В. Макушина
Подписано в печать 06.09.13. Формат бумаги 60 х 84 1/16.
Бумага газетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,25.
Тираж 50 экз. Заказ 2742
Рязанский государственный радиотехнический университет.
390005,Рязань, ул. Гагарина, 59/1.
Редакционно-издательский центр РГРТУ.

Цели лабораторных работ

1. Изучение некоторых типов устройств СВЧ, используемых в схемах распределительных трактов антенных решеток.

2. Практическое знакомство с элементами автоматизированного проектирования устройств СВЧ.

3. Приобретение навыков построения машинных моделей устройств СВЧ с использованием библиотеки базовых элементов.

4. Приобретение навыков работы с программой **Microwave Office**, обеспечивающей автоматизированный анализ и параметрический синтез многоэлементных устройств СВЧ.

5. Практическое знакомство с методикой конструктивного синтеза устройств СВЧ.

Лабораторные работы выполняются каждым студентом индивидуально, требуют предварительной подготовки в объёме разделов курса, в которых рассматриваются вопросы применения устройств СВЧ в схемах построения распределительных систем антенных решеток:

- схемы построения распределительных систем антенных решеток на основе закрытого тракта и пространственных распределительных систем,

- математическое моделирование элементов антенных решеток с использованием матричных систем параметров,

- элементы автоматизированного проектирования устройств СВЧ.

Устройства СВЧ, используемые при выполнении лабораторных работ

1. *Шлейфный ответвитель*

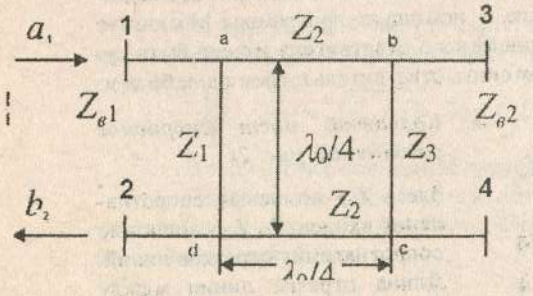

Рис. 1

Такое устройство широко применяется в микрополосковом исполнении, его можно реализовать также на симметричных, полосковых, коаксиальных, волноводных и других одномодовых линиях передачи. Соединительные линии шлейфного ответвителя с волновыми сопротивлениями $Z_1 \ldots Z_3$ могут быть выполнены, например, в форме кольца. Длины отрезков этих линий, соединяющих входные и выходные плечи ответвителя, как указано на рис. 1, выбираются равными четверти длины волны. Устройство обладает двумя плоскостями симметрии,

следовательно, волны b_1 и b_2 сдвинуты по фазе на $\pi/2$, т.е. такой ответвитель относится к классу квадратурных.

Качественно принцип действия шлейфного направленного ответвителя можно объяснить следующим образом. Примем фазу волны, поступающей на вход плеча 1, нулевой. Из плеча 1 часть энергии по пути **ab** поступает в плечо 3, причем волна будет иметь сдвиг по фазе $\pi/2$. В плечо 4 поступает две волны равной амплитуды, одна по пути **abc** , а вторая по пути **adc**. Эти волны синфазны и суммарная волна сдвинута по фазе на π. В плечо 2 также приходят две волны по путям **ad** и **abcd,** но уже противофазные, т.е. плечо 2 оказывается развязанным по отношению плеча 1.

Шлейфный направленный ответвитель обладает еще одним полезным свойством: он дополнительно может обеспечивать согласование при неравных сопротивлениях нагрузок, подключенных к его входному и выходным плечам, а также неравное деление мощностей.

На рис.1 приняты следующие обозначения: $Z_{в1}$- волновые сопротивления входов 1 и 2, $Z_{в2}$- волновые сопротивления входов 3 и 4, $Z_1 \ldots Z_2$- волновые сопротивления отрезков, образующих кольцо шлейфного ответвителя. Если обозначить отношения мощностей на выходе плеч 3 и 4 через K, т.е. $K = P_3 / P_4$, то можно показать, что волновые сопротивления элементов кольца могут быть определены по следующим формулам:

$$Z_3 = Z_{в2}\sqrt{K},\ Z_2 = \sqrt{Z_{в2}Z_{в1}K/(1+K)},\ Z_1 = Z_{в1}\sqrt{K}.$$

Эти соотношения позволяют быстро рассчитать шлейфный направленный ответвитель на резонансной частоте. Для определения полосы рабочих частот и учета влияния высших типов волн необходимо более точное моделирование с помощью программы Microwave Office. Рабочая полоса частот шлейфного ответвителя может быть существенно увеличена, если применить ответвитель с тремя шлейфами.

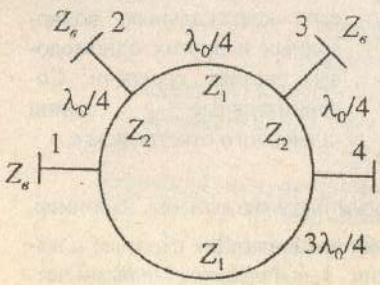

Рис. 2

2. *Кольцевой мост (гибридное соединение, рис. 2)*

Здесь $Z_в$- волновые сопротивления входов, Z_1, Z_2 - волновые сопротивления отрезков линий. Длина отрезка линии между входами 1 и 4 составляет $3\lambda_0/4$, остальные линии имеют длину $\lambda_0/4$.

Кольцевой мост может быть выполнен на основе микрополосковых, полосковых, коаксиальных или волноводных линий.

Качественно принцип действия кольцевого моста может быть рассмотрен на основе следующих рассуждений. Волна, поступившая на вход плеча 1, проходит в плечи 2 и 4. Фазовый сдвиг между волнами в плечах 2 и 1, очевидно, равен $\pi/2$, а в плечах 4 и 1 - $3\pi/2$. Поскольку во втором случае волна проходит по кольцу путь в 3 раза больший, следовательно, фазовый сдвиг между волнами на входах 2 и 4 будет равен π.

Результирующие амплитуды волн на выходах 2, 3 и 4 определяются суперпозицией 2-х волн, одна из которых, при возбуждении входа 1, распространяется от плеча 1 по часовой, а другая - против часовой стрелки. Эти волны складываются на входах 2 и 4 и вычитаются на входе 3. Следовательно, плечи 1 и 3 развязаны. Наличие фазового сдвига на величину π между волнами, проходящими в плечи 2 и 4, широко используется, например, в балансных смесителях и преобразователях частоты с подавлением тех или иных гармонических составляющих.

Рассматриваемый кольцевой делитель может обеспечить и неравное деление мощностей. Величина мощности, поступающей в каждое из плеч 2 и 4, зависит от выбора волновых сопротивлений отрезков, образующих кольцо. На центральной частоте в одномодовом приближении связь между мощностями P_2 и P_4 на выходах 3 и 4 и волновыми сопротивлениями Z_1 и Z_2 описывается следующими формулами:

$$Z_{в0} / Z_1 = \sqrt{P_4 / P_1}\ ,\ Z_{в0} / Z_2 = \sqrt{P_2 / P_1}\ .$$

На центральной частоте сдвиг по фазе между волнами в плечах 2 и 4 равен π. Если мощность поступает в плечо 2 , то

$$Z_{в0} / Z_1 = \sqrt{P_3 / P_2}\ ,\ Z_{в0} / Z_2 = \sqrt{P_1 / P_2}\ .$$

В этом случае волны, поступающие на входы 3 и 1, синфазны.

Приведенные соотношения позволяют рассчитать гибридные соединения на центральной частоте, в том числе для случая неравного деления мощностей.

3. Дискретные фазовращатели на коммутационных диодах

Многопозиционные отражательные фазовращатели часто выполняют в виде отрезка линии передачи, шунтированного в ряде сече-

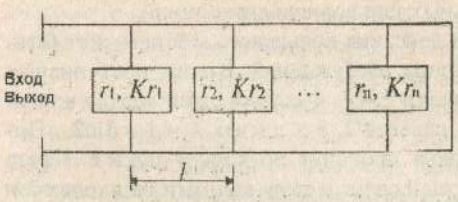

Рис.3

ний коммутационными элементами, выполненными на основе p-i-n -диодов (рис. 3). Идеальный коммутационный элемент характеризуется парой нормированных сопротивлений **r « 1 и Kr » 1**, где **K** – вещественный параметр качества.

В рассматриваемой схеме отражательного фазовращателя один из коммутационных элементов с низким сопротивлением (**r « 1**) закорачивает линию передачи, а остальные элементы имеют высокие сопротивления (**Kr » 1**). Они оказывают слабое влияние на фазу коэффициента отражения. При переключении коммутационных элементов фаза коэффициента отражения на входе отражательного фазовращателя изменяется дискретно.

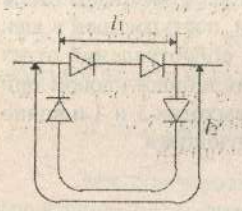

Рис. 4

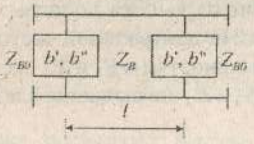

Рис. 5

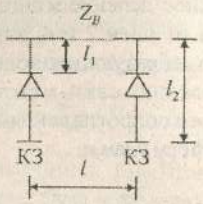

Рис. 6

Проходные фазовращатели должны обеспечивать заданную разность фаз прошедшей волны при двух условиях: согласование входов и минимальное вносимое затухание.

Одним из вариантов таких устройств является проходной диодный фазовращатель на коммутируемых линиях (рис.4.)

Изменение фазы коэффициента передачи:

$$\Delta\psi = k_0(l_2 - l_1),$$

где k_0 – постоянная распространения, происходит в результате изменения пути прохождения волны по линии l_1 или по линии l_2, осуществляемого p-i-n - диодными переключателями. Вносимое ослабление L в таком фазовращателе при параметре качества K>100 слабо зависит от $\Delta\psi$.

Фазовращатели на коммутируемых линиях нерационально использовать при $\Delta\psi \le \pi/4$.

Схема двухпозиционного фазовращателя в виде нагруженной линии изображена на рис.5. Основными параметрами этой схемы являются: шунтирующие проводимости $(jb', jb")$, электрическая длина отрезка линии l и его волновое сопротивление $Z_в$. Практически интересен симметричный случай $b' = -b"$.

В этом случае обеспечиваются почти одинаковые полосы пропускания в двух состояниях и наилучшая широкополосность. Номиналы элементов схемы определяются по формулам:

$$b' = \mathrm{tg}(\Delta\psi/2),\ k_0 l = \pi/2,\ Z_в = Z_{в0}\cos(\Delta\psi/2).$$

Если в качестве коммутируемых элементов использовать короткозамкнутые отрезки линий (рис.6), то при $\Delta\psi < \pi/2$ длина короткозамкнутых отрезков:

$$l_1 = \frac{arctg\left(ctg\left(\Delta\psi/2\right)\right)}{2\pi},\ l_2 = \frac{l}{2} - l_1.$$

Такие фазовращатели нерационально использовать при $\Delta\psi >$ >45°.

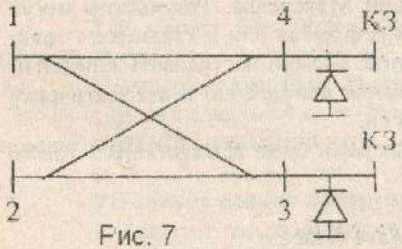

Рис. 7

Весьма распространенными в трактах СВЧ являются проходные фазовращатели мостового типа (рис. 7).

Двухпозиционный фазовращатель образован включением двух идентичных отражательных фазовращателей на коммутационных диодах во взаимно развязанные выходы 3-децибельного квадратурного моста СВЧ. При коэффициенте отражения отражательных фазовращателей $|\Gamma| = 1$ мощность, подаваемая на вход 1, будет проходить на вход 2. Фаза волны, прошедшей на вход 2, определяется фазой коэффициента отражения применяемых отражательных фазовращателей.

Многопозиционный проходной фазовращатель выполняют в виде каскадного соединения двухпозиционных фазовращателей. Наиболее рациональным по числу диодов является фазовращатель, выполненный по бинарной схеме. В этом случае каскадно соединяются **p** проходных секций, первая из которых обеспечивает дискрет π, вторая - $\pi/2$, третья - $\pi/4$ и т.д.

Общее число фазовых состояний 2^p, что обеспечивает перекрытие фазы **0 - 2л** с дискретом, который определяется секцией, дающей наименьший фазовый сдвиг. Бинарный фазовращатель может состоять из разнотипных секций. Обычно секции с фазовым сдвигом π или $\pi/2$ выполняются по мостовой схеме или на коммутируемых отрезках линий, а секции с малыми фазовыми сдвигами - в виде фазовращателей на нагруженных линиях.

Краткие сведения о программе Microwave Office

Microwave Office – это инструмент для анализа высокочастотных устройств, позволяющий автоматизировать процесс их проектирования. **Microwave Office** позволяет полностью выполнять проектирование от технического задания до производства не выходя из среды разработки.

При моделировании можно использовать один из методов: линейное моделирование, усовершенствованный гармонический баланс, ряды Вольтерра и 3-мерное электромагнитное моделирование (**EMSight**); в последнем случае анализ устройства базируется на численном решении системы уравнений Максвелла. Результаты могут выводиться в различных графических формах или в таблицах в зависимости от цели проводимого анализа. Можно настраивать или оптимизировать устройства и все изменения немедленно и автоматически отражаются на графиках и в топологии.

При выполнении лабораторных работ будет использоваться только линейное моделирование.

Запуск программы Microwave Office

Чтобы запустить программу Microwave Office:
нажмите команду **Пуск** и выберите **Программы > AWRDE 10 > AWR Design Environment 10** или дважды щёлкните на рабочем столе иконку **AWR 11**. Откроется главное окно **Microwave Office**, изображенное на рис. 8.

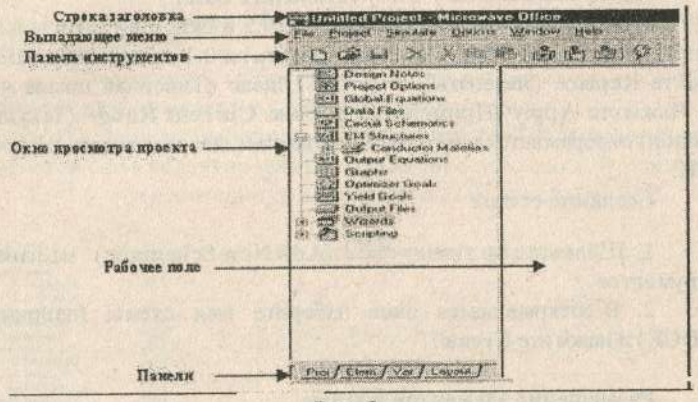

Рис. 8

Линейное моделирование

Используется для цепей, не содержащих нелинейные элементы. Методом узловых потенциалов рассчитываются комплексные значения коэффициентов матриц рассеяния, сопротивлений, проводимостей и множество других параметров линейных многополюсников, а также параметров, производных от этих величин (например, КСВ).

Моделирование шлейфного ответвителя

Для создания нового проекта

1. Запустите программу **Microwave Office**.

2. Выберите **File> New Project** или щелкните по значку (**New Project**).

3. Выберите **File>Save Project As.**

4. В открывшемся окне **Save As** наберите имя проекта (например, **BRIDGE**) и сохраните его.

Установка единиц измерения и диапазона частот

1. Нажмите панель **Project** в нижней части левого окна, чтобы открыть окно просмотра проекта.

2. Дважды щёлкните по группе **Project Options** (Опции проекта). Откроется диалоговое окно **Project Options**.

3. Откройте закладку **Global Units.**

4. В окне **Frequency** (Частота) установите **GHz.**

5. В окне **Length** отметьте **Metric Units** и в окне **Lendth Type** установите **mm.**

6. Откройте закладку **Frequencies** (Частоты).

7. В поле **Data Entry Units** установите **GHz.**

8. В поле **Modify Range** наберите 9.5 в окне **Start** (Начальная частота), 10.5 в окне **Stop** (Конечная частота) и 0.1 в окне **Step** (Шаг), отметьте **Replace** (Заменять), отметьте **Linear** (Линейная шкала частот). Нажмите **Apply** (Применить). В окне **Current Range** (Текущий диапазон) отображается частотный диапазон и шаг по частоте. Нажмите **OK**.

Создание схемы

1. Щёлкните по значку (**Add New Schematic**) на панели инструментов.

2. В открывшемся окне наберите имя схемы (например, **BRIDGE**) и нажмите **Create**.

Размещение элементов в схеме

1. Нажмите панель **Elements** и откройте меню **Circuit Elements**.

2. Щёлкните по значку + слева от группы **Microstrip** в окне просмотра элементов.

3. Щёлкните по подгруппе **Lines** .

4. Найдите модель **MLIN**, пользуясь полосой прокрутки, затем переместите её в окно схемы и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой мыши. Повторите операцию для остальных таких же элементов, разместив их в местах, приблизительно соответствующих их расположению в схеме.

5. Щёлкните по подгруппе **Junctions** в окне просмотра элементов.

6. Найдите модель **MMTEE$** (тройник), пользуясь полосой прокрутки, переместите её в окно схемы и зафиксируйте, щёлкнув левой кнопкой мыши. Повторите операцию для остальных таких же элементов .

Замечание: *ориентацию элемента на схеме можно изменять до его фиксации щелчком правой кнопки. Если элемент зафиксирован, его ориентацию можно изменять, щелкнув по нему правой кнопкой и выделив в открывшемся меню опцию* ***Rotate.***

7. Перемещая мышью элементы, соедините их в схему и добавьте порты в соответствующем порядке. Для добавления порта щелкните значок (**Port**) и присоедините порт к соответствующей точке схемы.

8. Чтобы добавить подложку, щёлкните по группе **Substrates** (подложки) в окне просмотра элементов.

Замечание: *тип подложки, необходимой для конкретного типа элементов, можно определить, дважды щелкнув по этому элементу левой кнопкой; в открывшемся окне редактирования параметров элементов в закладке* **Parameters** *в последней строке*

столбца **Name** *будет указан тип подложки (в данном случае –* **MSUB**).

9. Перетащите выбранный элемент в окно схемы, поместите его на свободном месте, например, ниже схемы.

10. Дважды щёлкните по элементу **MSUB** в окне схемы. Откроется окно редактирования параметров подложки. Введите:

E_r=2.6 – относительная диэлектрическая проницаемость;

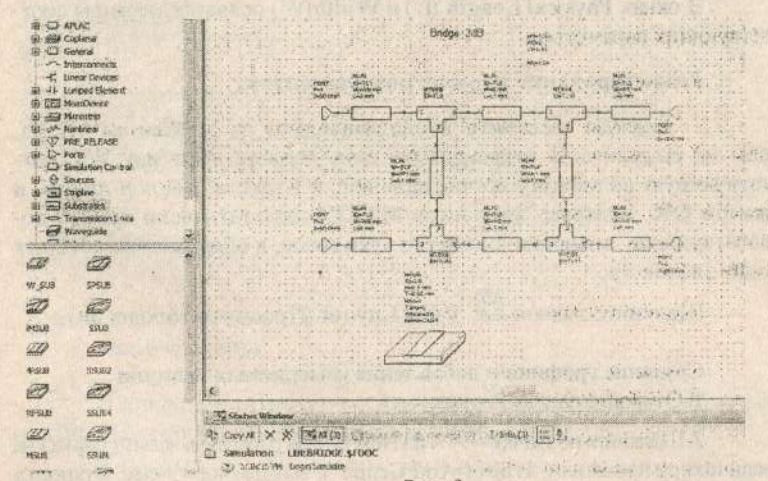

Рис. 9

H=0.5 – толщина подложки;

T=0.02 – толщина проводника;

R_{to}=1 – удельное сопротивление металла проводника, нормированное к золоту;

Tang=0 – тангенс угла потерь в диэлектрике подложки;

ErNom=2.6 – номинальная диэлектрическая проницаемость;

Name=SUB1 – имя подложки.

11. Щелкните **OK**. Схема готова (рис.9).

Расчет параметров элементов схемы

Волновое сопротивление линий, соединяющих порты с элементами моста и линий, обозначенных на схеме **TL7** и **TL8**, должно равняться **50 Ом**, что соответствует сопротивлениям портов. Волновое сопротивление линий, обозначенных на схеме **TL5** и **TL6**, должно быть близким к **50*sqrt(2) Ом**. Длина всех линий, соединяющих

тройники – $L=\lambda/4$. Рассчитать ширину (**W**) и длину (**L**) линий можно с помощью калькулятора, входящего в состав **Microwave Office**. Чтобы его открыть, щелкните **Tools >TXLine**, введите центральную частоту, параметры подложки, волновое сопротивление линии и электрическую длину линии, соответствующую физической длине $L=\lambda/4$ (90^0), и щелкните .

В окнах **Physical Length (L)** и **Width(W)** появятся значения соответствующих параметров.

Редактирование параметров элементов

Дважды щёлкните последовательно по элементам **MLIN**, чтобы их выделить. В открывшемся окне введите величину **W**, соответствующую волновому сопротивлению и **L**-длине каждой линии, и нажмите **OK**. Размеры элементов **MTEE$** автоматически примут соответствующие значения (свойство элементов, в обозначение которых входит значок **$**).

Щелкните значок **View Layout** (Просмотр топологии).

Создание графика и добавление измеряемых величин

1. Откройте панель **Project**.

2. Щёлкните по значку **Add New Graph** (Добавить новый график) на панели инструментов или **Project>Add Graph** в выпадающем меню. Откроется окно **New Graph**.

3. Введите имя графика (например, **BRIDGE**) в поле **Graph name** (Имя графика), выберите **Rectangular** (Прямоугольный) в области **Graph Type** (Тип графика) и нажмите **Create**.

4. Щёлкните правой кнопкой мыши по окошку с именем графика (**BRIDGE**) в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement** (Добавить измерение).

5. Выберите **Port Parameter** в **списке Measurement Type, S** в списке **Measurement, BRIDGE** в поле **Data Source** Name, **1** в поле **To Port Index** (Индекс выходного порта) и в поле **From Port Index** (Индекс входного порта), нажимая на стрелки справа от этих полей, отметьте **DB** в области **Result Type и Mag** в области **Complex Modifier**, нажмите **Apply**.

6. Выберите **2** в поле **To Port Index** и нажмите **Apply**.

7. Выберите **3** в поле **To Port Index** и нажмите **Apply**.

8. Выберите **4** в поле **To Port Index** и нажмите **Apply**.

9. Нажмите **OK** (рис.10).

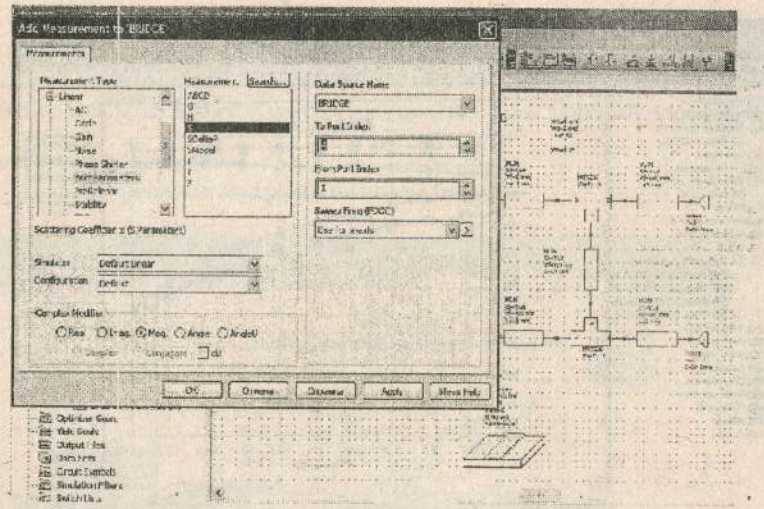

Рис.10

Анализ схемы

Щёлкните по значку **Analyze** на панели инструментов. Результаты анализа отображаются на графике (рис. 11).

Как правило, результаты моделирования не соответствуют требуемым значениям параметров - модули **S11** и **S21** на центральной частоте должны быть минимальными (обычно не более -30…-50 дБ), а **S31** и **S41** – около -3 дБ. В этом случае необходимо воспользоваться инструментом **Tune** (Настройка), дающим возможность изменять параметры элементов схемы, одновременно наблюдая изменения соответствующих графиков.

Настройка схемы

Обычно для настройки достаточно изменять длину и ширину линий, образующих мост. Целесообразно ввести обозначения (например, **L1, W1** и **W2**) и, щелкнув значок **Equation**, присвоить им соответствующие значения (например,**W1=1.28**). Аналогично записываются уравнения для других параметров (рис. 12). Далее необходимо заменить в окне редактирования численные значения параметров элементов схемы на их обозначения. На рис.16 обозначение **W0** присвоено ширине линий, соединяющих порты с входами моста, а их длина – 5 mm.

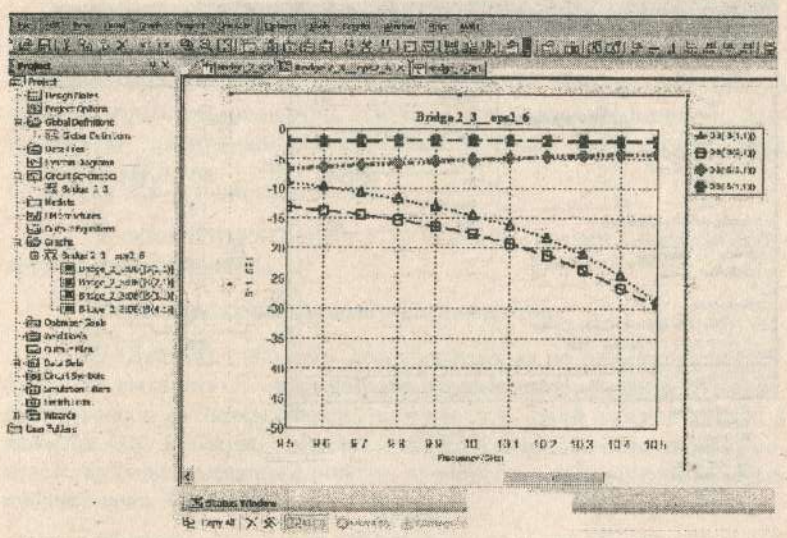

Рис. 11

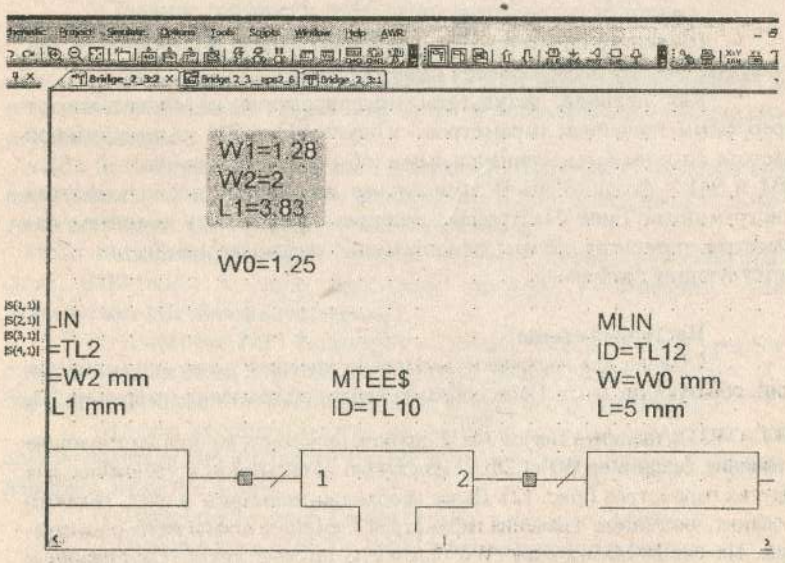

Рис. 12

Щёлкнув значок **Tune Tool** (инструмент настройки), и затем, щелкнув появившимся в окне схемы инструментом в виде отвёртки с крестиком по параметрам, подлежащим настройке, получим возможность изменять эти параметры с помощью инструмента **Tune**, который открывается щелчком по значку .

В результате настройки получаем (рис. 13)

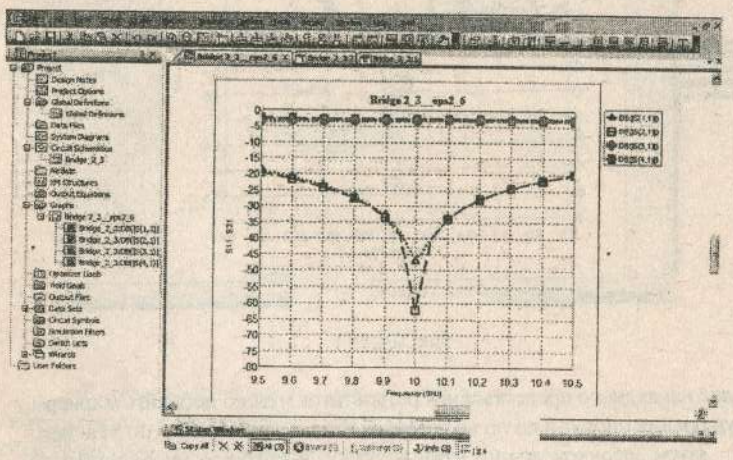

Рис. 13

Чтобы сделать результаты моделирования более наглядными, целесообразно графики, соответствующие параметрам **S31** и **S41**, привязать к правой **Y**-оси. Для этого, щелкнув правой кнопкой по полю графика и щелкнув **Properties**, в открывшемся окне откройте закладку **Measurements**, назначьте графикам **S31** и **S41** положение **Right**, затем, выделив **Left 1**, в окне **Limits** уберите флажок в окошке **Auto limits** и в окошках **Min** и **Max** поставьте **-70** и **-10.**

Затем проделайте такую же операцию для правой **Y** –оси **(Right-1)**, задав пределы **-7** и **-1**. Таким способом достигается удобный вид координатной сетки на графике.

В общем случае число делений на левой и правой осях может быть произвольным; для получения удобного вида достаточно, чтобы соотношение между ними было кратным (рис. 14).

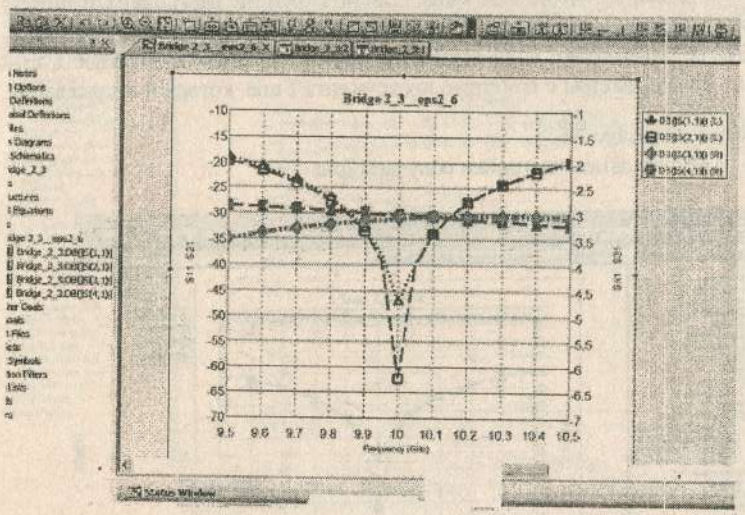

Рис. 14

Для более наглядного представления результатов можно добавить маркеры, щелкнув правой кнопкой по полю графика и выделив опцию **Add Marker.**

Затем щелчком мыши указать точку, в которую необходимо поместить маркер.

Анализ влияния погрешности изготовления элементов схемы

Среда **Microwave Office** даёт возможность смоделировать влияние неточности изготовления элементов схемы на её параметры. Поскольку разброс параметров при изготовлении изделия носит случайный характер, при моделировании необходимо задать параметры закона распределения ошибки изготовления (например, размера) соответствующего элемента.

Выясним, например, как влияет изменение размера **W** линии **TL2** на параметр **S21.** Для этого:

1. В подгруппе **Graph** примените команду **Toggle Enable** ко всем графикам, кроме **S21.**
2. Вставьте в поле параметров элемента **TL2** значение **W=2 mm**, полученное в процессе настройки моста (рис. 15).

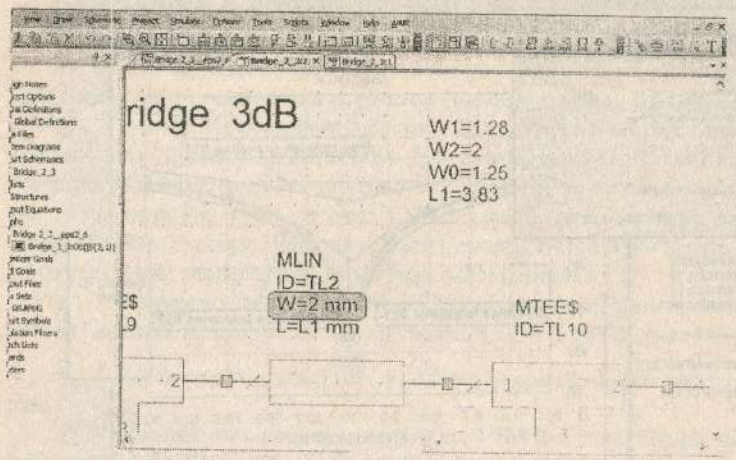

Рис. 15

3. Дважды щёлкнув по элементу **TL2**, откройте окно параметров этого элемента, в нём закладку **Statistics**, отметьте окошки **Use** и **In%** , вставьте процент разброса параметров (например, 5) в окошко **Tol** (допуск). В окне **Distribution** (закон распределения) имеется возможность изменения закона распределения моделируемой величины. Оставьте опцию **Normal** (Нормальный закон распределения).

4. Щелкнув правой кнопкой в поле графика, откройте окно **Properties** и в нём закладку **Yield Data**; щёлкните в ней окошки **Show Traces, Mean, Show Range** и в активировавшемся окне выберите опцию **Max/Min**.

5. Щелкните **Simulate>Yield Analysis**.

6. В открывшемся окне **Yield Analysis** введите в поле **Maximum Iterations** число итераций (например, 50) и щелкните кнопку **Start**. В результате моделирования получим графики (рис. 16).

Замечание: надписи на графике добавлены при его редактировании.

Как видно, сравнительно небольшое отклонение размера W от оптимального (в нашем примере +- 0,1 мм.) приводит к существенному изменению развязки между 1-м и 2-м плечами моста. Поэтому при конструировании такого устройства целесообразно назначать размер W, при котором величина **S21** будет соответствовать среднему значению развязки.

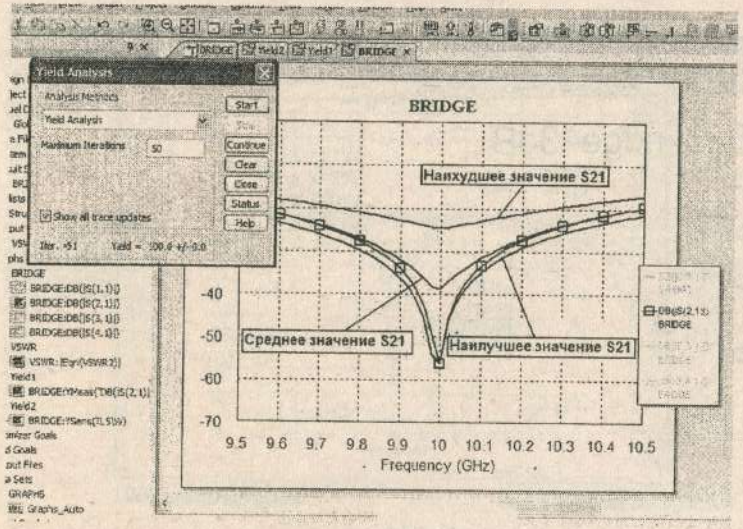

Рис. 16

Построение графика зависимости КСВ от частоты

В среде **Microwave Office** возможно построение графиков других функций, производных от рассчитанных параметров, например, зависимости КСВ по входам моста от частоты.

Как известно, КСВ (**VSWR**) связано с коэффициентом отражения (**Gamma**):

VSWR= (1+Gamma)/(1-Gamma).

Поскольку **Gamma ≡ Sii,** а в процессе моделирования определяется **Sii,** необходимо иметь соотношение, связывающее эти величины. Это реализуется с помощью опции **Output Equations:**

1. В панели **Project** щёлкните правой кнопкой по группе **Output Equations,** затем щелкните левой кнопкой **New Output Equations .**

2. В открывшемся окне **New Output Equations** введите имя уравнения (например, **VSWR_equ**) и нажмите **Create.** Откроется окно **VSWR_equ.**

3. Щёлкните **Draw>Add Output Equation.** Откроется окно **Add MeasurementEquation .**

4. В окне **Variable name** введите имя новой переменной, тождественной S_{ii}, которая будет использована для расчёта КСВ (например, **Gamma2,** если необходимо вычислить КСВ по второму входу многополюсника).

5. В окне **Measurement Type** отметьте **Port parameters и** в окне **Data Sours Name** откройте имя источника (в нашем случае – **BRIDGE**).

6. В окне **Measurement** щёлкните **S,** в области **Complex Modifier** отметьте **Mag , 2** в поле **To Port Index** (Номер выходного порта) и **2** в поле **From Port Index** (Номер входного порта), нажимая на стрелки справа от них, затем нажмите **Apply.** В окне **VSWR_equ** появится прямоугольник, «прилипший» к курсору. Щёлкните левой кнопкой; в окне **VSWR_equ** появится уравнение, связывающее параметры **S22** и **Gamma2.**

7. Нажмите **Ctrl E** и наберите второе уравнение, в котором переменная **Gamma2** используется для вычисления КСВ (**VSWR** , рис. 17).

8. Щёлкните по значку **Add New Graph** на панели инструментов.

9. Введите имя графика, например, **VSWR** в поле **Graph name,** выберите **Rectangular** в области **Graph Type** и нажмите **Create.**

10. В панели **Project** щелкните правой кнопкой мыши по названию нового графика и выберите **Add Measurement.**

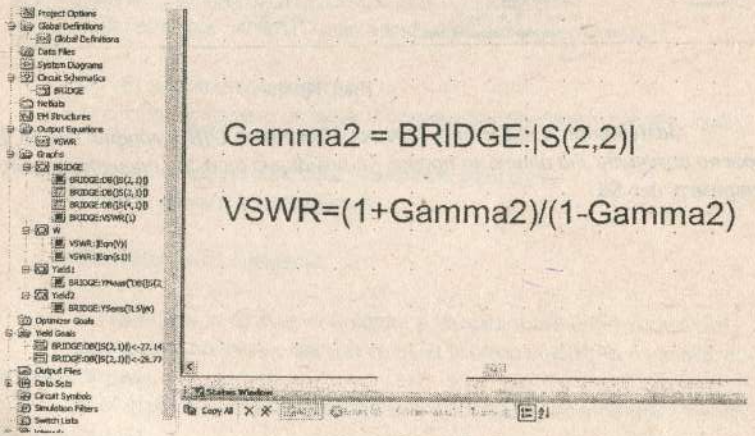

Рис.17

11. В открывшемся окне «**Add Measurement to 'VSWR'**» отметьте **Output Equations** в окошке **Measurement Type, Output Equations1** в окошке **Document Name** и **VSWR** в окошке **Equation Name.** Щёлкните **OK.**

12. Щёлкните правой кнопкой по полю графика, в появившемся окне щёлкните опцию **Properties,** откройте закладку **Labels.** В окне **Choose**

Axis отметьте **Left 1** и в окошке **Selected Axis Label** введите **VSWR2.** Щёлкните **OK**.

13. Щелкните **Analyze** на панели инструментов. Появится график зависимости КСВ от частоты(рис. 18).

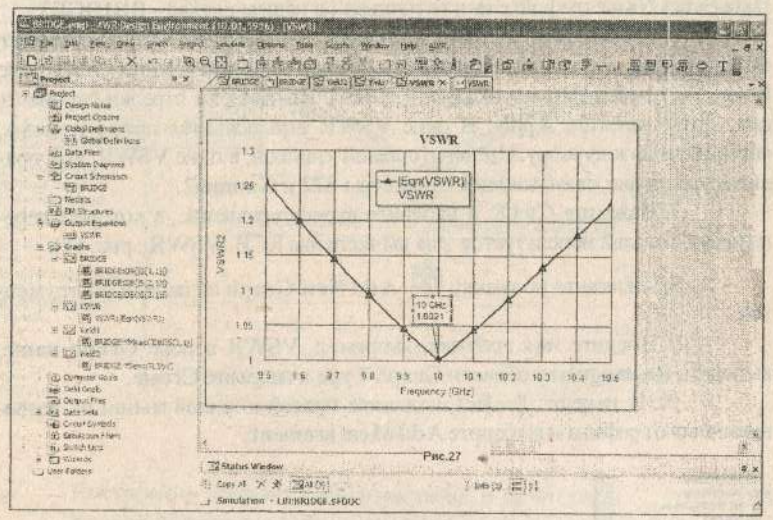

Рис. 18

Замечание: в последних версиях ***Microwave Office*** *график для КСВ можно получить значительно проще – с помощью той же процедуры, что, например, для* ***Sii.***

Порядок выполнения работы

1. Получить индивидуальный вариант задания на выполнение работы у преподавателя.

2. Переписать задание в рабочую тетрадь.

3. Изучить пользовательский интерфейс программы **Microwave Office**.

4. С использованием материалов настоящего пособия выполнить предварительный расчёт параметров элементов исследуемого устройства СВЧ. Результаты занести в рабочую тетрадь.

5. Запустить программу **Microwave Office**. Набрать в рабочем окне заданную схему устройства с использованием микрополосковых элементов. Рассчитать размеры элементов. Запустить моделирование.

6. С помощью элемента **Tune** обеспечить выполнение требований, сформулированных в задании.

7. Дополнительные задания:

- расчёт влияния погрешности изготовления ,
- расчёт зависимости КСВ или КБВ от частоты.

8. Занести результаты моделирования в рабочую тетрадь.

Отчёт должен содержать:

1) схему, исходные данные и результаты предварительного расчёта;

2) топологию устройства с указанием размеров;

3) результаты моделирования.

Контрольные вопросы

1. Принцип действия шлейфного направленного ответвителя.

2. Фазовые соотношения для волн на выходе шлейфного направленного ответвителя.

3. Матрица рассеяния гибридного кольца при равных сигналах на выходах.

4. Параметры, обеспечивающие неравное деление мощностей на выходах.

5. Принцип действия гибридного кольца.

6. Матрица рассеяния гибридного кольца при равных сигналах на выходах.

7. Принцип действия и схема реализации дискретного фазовращателя на коммутируемых линиях.

8. Принцип действия и схема реализации дискретного фазовращателя на основе нагруженной линии.

9. Принцип действия и схема реализации проходных дискретных фазовращателей мостового типа.

Библиографический список

1. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. М.: Радио и связь, 1982.

2. Справочник по расчёту и конструированию СВЧ полосковых устройств/ под ред. В.И. Вольмана. М.: Радио и связь, 1987.

3. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью программы **Microwave Office,** М.: СОЛОН-Пресс, 2003.