

4712

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РИЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

## УСТРОЙСТВА СВЧ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Методические указания  
к лабораторным работам

Рязань, 2013

Устройства СВЧ антенных решеток: методические указания и лабораторные работы / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: А.В. Мирошин, Б.В. Каплинко. Рязань, 2013. 20 с.

Содержит краткие теоретические сведения об устройствах СВЧ, описание программы **Микроваве Office**, порядок выполнения работ.

Предназначение для студентов ФРТ, обучающихся по курсу «Антенны с электронным управлением».  
Ил. 18. Библиогр.: 3 назв.

*Аннотация* решетки с электронным управлением, устройство СВЧ автоматизированное проектирование, радиотехнический 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: **М а т о р и н** Александр Васильевич  
**К а п л и н к о** Борис Васильевич

Редактор Н.А. Орозова  
Корректор С.В. Макушина  
Подписано в печать 06.09.13. Формат бумаги 60 x 84 1/16  
Бумага газетная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,25.  
Тираж 50 экз. Заказ 2242

Рязанский государственный радиотехнический университет.  
390005, Рязань, ул. Фабричная, 59/1.  
Редакционно-издательский центр ФРТУ.

### 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 математических моделей устройств СВЧ с использованием библиотек базовых элементов.
4. Приобретение навыков работы с программой **Микроваве 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 объеме раздела курса, в которых рассматриваются вопросы применения устройств СВЧ в схемах построения распределительных систем антенных решеток.

- схемы построения распределительных систем антенных решеток на основе джонсоновского тракта и простейших радиотехнических систем,
- математическое моделирование элементов антенных решеток с использованием матричных систем параметров.

элементы автоматизированного проектирования устройств СВЧ

Устройства СВЧ, используемые при выполнении лабораторных работ

### 1. Шлейфовый ответвитель

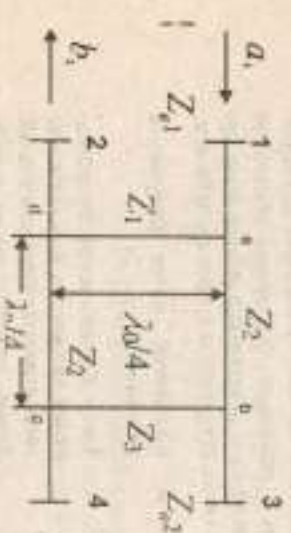


Рис. 1

Такое устройство широко применяется в микроволновом диапазоне, его можно реализовать также на симметричных, поперечно-волновом, коаксиальном, волноводных и других диэлектрических линиях передачи. Со-единительные линии шлейфового ответвителя с

волновыми сопротивлением  $Z_1, \dots, Z_n$  могут быть выполнены, например, в форме коаксиальных линий, соединивших входные и выходные плечи ответвителя, как указано на рис. 1, выбираются различные четверти длины волны. Устройство обладает двумя плоскостями симметрии.

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

Качественно принцип действия шифриного направленного ответчика можно объяснить следующим образом. Примем фазу волны, поступающей на вход пещи 1, нулевой. Из пещи 1 часть энергии по пути  $ab$  поступает в пещю 3, причем волна будет иметь сдвиг по фазе  $\pi/2$ . В пещю 4 поступает две волны равной амплитуды, одна по пути  $abc$ , а вторая по пути  $ade$ . Эти волны сдвиганы и суммируются волна сдвинута по фазе на  $\pi$ . В пещю 2 также приходит две волны по пути  $ad$  и  $abc$ , но уже протифазные, т.е. пещю 2 оказывается развязанным по отношению пещи 1.

Шифриный направленный ответчик, обладая еще одним полезным свойством: он дополнительно может обеспечивать согласование при неравных сопротивлениях нагрузок, подмножествах к его входному и выходным лучам, а также равные дельта мощности.

На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $Z_{in}$  - волновое сопротивление входе 1 и 2,  $Z_{out}$  - волновое сопротивление входе 3 и 4,  $Z_1, \dots, Z_4$  - волновое сопротивление отрезков, образующих кольцо шифриного ответчика. Если обозначить отношение мощностей на выходе пещи 3 и 4 через  $K_1$ , т.е.  $K = P_3 / P_4$ , то можно показать, что волновые сопротивления элементов кольца могут быть определены по следующим формулам:

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

Эти соотношения позволяют быстро рассчитать шифриный направленный ответчик 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 шифриного ответчика может быть существенно увеличена, если применить ответчик с тремя шифридами.

## 2. Кольцевой мост (шифридное сведение, рис. 2)

Здесь  $Z_{in}$  - волновое сопротивление входа,  $Z_1, Z_2, Z_3$  - волновое сопротивление отрезков линий. Длина отрезка линии между входами 1 и 4 составляет  $3\lambda/4$ , остальные длины имеют длину  $\lambda/4$ .

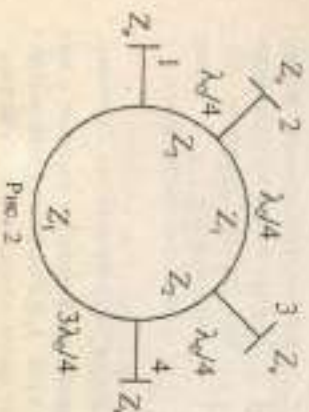


Рис. 2

Кольцевой мост может быть выполнен на основе микроволновых, полупроводниковых, кварцевых или волноводных линий.

Качественно принцип действия кольцевого моста может быть рассмотрен на основе следующего рассуждения. Волна, поступившая на вход пещи 1, проходит в пещи 2 и 4. Фазовый сдвиг между волнами в пещях 2 и 4, очевидно, равен  $\pi/2$ , а в пещях 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 выходах 2 и 4 будет равен  $\pi$ .

Результатующие амплитуды волн на выходах 2, 3 и 4 определяются суперпозицией 2-х волн, одна из которых, при возбуждении входа 1, распространяется от пещи 1 по часовой, а другая - против часовой стрелки. Эти волны складываются на выходах 2 и 4 и вычитаются на выходе 3. Следовательно, пещи 1 и 3 развязаны. Наличие фазового сдвига на выходе между волнами, проходящими в пещи 2 и 4, шифрико используется, например, в баллистических счетчиках и преобразователях частоты с подмагниченными или немагнитными составными шифридами.

Расчет тришрифтовой кольцевой дельта мост может обеспечить и неравное дельта мощностей. Величина мощности, поступающей в каждое из пещи 2 и 4, зависит от выбора кодовых сопротивлений отрезков, образующих кольцо. На центральной частоте в обоих случаях приближенно связь между мощностями  $P_3$  и  $P_4$  на выходах 3 и 4 и волновым сопротивлением  $Z_1$  и  $Z_2$  описывается следующими формулами:

$$Z_{in} / Z_1 = \sqrt{P_3 / P_4}, Z_{in} / Z_2 = \sqrt{P_4 / P_3}.$$

На центральной частоте сдвиг по фазе между волнами в пещях 2 и 4 равен  $\pi$ . Если мощность поступает в пещю 2, то

$$Z_{in} / Z_1 = \sqrt{P_3 / P_4}, Z_{in} / Z_2 = \sqrt{P_3 / P_4}.$$

В этом случае волны, поступающие на входы 3 и 1, сдвиганы. Приведенные соотношения позволяют рассчитать, геофизические соединения на центральной частоте, в том числе для случая неравного дельта мощностей.

## 3. Дискретные фазовращатели на коммутационных диодах

Многопозиционные отразательные фазовращатели часто применяются в виде отрезка линии передачи, шунтированного в ряде сече-



Рис. 3

шестиступенчатый паразитный

В рассматриваемой схеме отрицательного фазовращателя один из коммутационных элементов с инерцией сопротивления невелика ( $r$  и  $l$ ) значительно меньше передних, а остальные элементы имеют высокие сопротивления ( $Kr \gg 1$ ). Они оказывают слабое влияние на фазовый коэффициент отражения. При переключении коммутационных элементов фазовый коэффициент отражения на входе отрицательного фазовращателя изменяется дискретно.

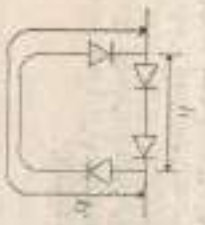


Рис. 4

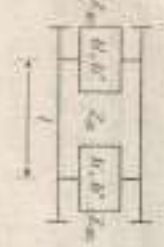


Рис. 5

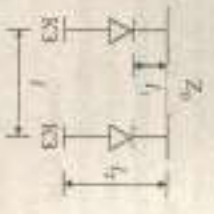


Рис. 6

Проходные фазовращатели должны обеспечивать заданную разность фаз при всех допустимых уровнях входных сигналов и в течение длительного времени.

Одним из вариантов таких устройств является проходной диодный фазовращатель на коммутационных элементах (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  $l_2$  — осуществляется от 0 до  $\pi$  — диодным и переключающим. Вносимое ослабле-

ний коммутационных элементов и, следовательно, или на основе р-и-диодов (рис. 3). Идентичный коммутационный элемент характеризуется первой нормированной сопротивлением  $r$  и  $Kr \gg 1$ , где  $K$  —

ине  $L$ , в таком фазовращателе при паразите качества  $K > 100$  слабо зависит от  $\Delta\psi$ .

Фазовращатели на коммутационных линиях неравномерно используются при  $\Delta\psi \leq \pi/4$ .

Схема двухкомпланного фазовращателя в виде нагруженной линии на образках на рис. 5. Основным параметром этой схемы являются: индуктивная проводимость ( $jb^1, jb^2$ ), эквивалентная длина отрезка линии  $l$  и его волновое сопротивление  $Z_0$ . При этом —

если интереси ступенчатый элемент  $b^1 = -jb^2$ .

В этом случае обеспечиваются почти одинаковые условия прохождения в двух состояниях и радиальная симметричность. Нормально элементов схемы определяются по формулам:

$$b^1 = \text{tg}(\Delta\psi/2), \quad k_0 l = \pi/2, \quad Z_0 = Z_{in} \cos(\Delta\psi/2).$$

Если в качестве коммутационных элементов использовать короткозамкнутые отрезки (рис. 6), то при  $\Delta\psi \ll \pi/2$  длина

$$l_1 = \frac{\alpha \text{ctg}(\text{ctg}(\Delta\psi/2))}{2\pi}, \quad l_2 = \frac{l}{2} - l_1.$$

Такие фазовращатели неравномерно используются при  $\Delta\psi > 45^\circ$ .

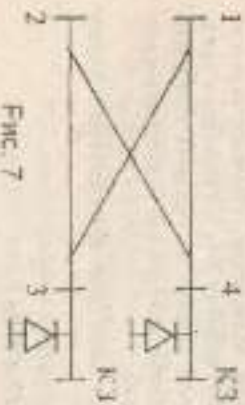


Рис. 7

Несколько преобразований в терминах СВЧ элементов проходных фазовращателей имеют вид (рис. 7).

Доказательство фазовращателя, образованного двумя индуктивными отрезками фазовращателя на коммутационных элементах (рис. 4).

Изменение фазы коэффициента передачи происходит в результате изменения пути прохождения волны по линии  $l_1$  или по линии  $l_2$  — осуществляется от 0 до  $\pi$  — диодным и переключающим. Вносимое ослабление зависит от частоты сигнала и длины отрезков.

Многофункциональный проводной фазоразыскатель выполняет и другие важные функции: осуществляет двухполосные фазоразыскатели. Наиболее распространяется по числу линий является фазоразыскатель, выполняющий по биэлектрической схеме. В этом случае сначала соединяются в проводных сетях, переезд по которым осуществляется джексет в, вторая - в/д, третья - в/д и т.д.

Общая часть фазовых состояний 2<sup>е</sup>, что обеспечивает перекрестные фазы 0 - для джексетов, которая определяется сетями, джексет является фазоразыскатель. Биэлектрический фазоразыскатель может состоять из различных сетей. Обычно состоит с фазовые элементы в или в/д выполняется по местной схеме или на коммутируемых оптических линиях, в сетях с малыми и фазоразыскатель и - в виде фазоразыскатель 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 выполнить проектирование от технического задания до производства не выходя из среды разработки.

При моделировании можно использовать один из методов: линейное моделирование, усовершенствованный гармонический баланс, метод Волнстры и 3-мерное электромагнитное моделирование (EMShield), в последнем случае анализ устройства выполняется на численном решении системы уравнений Максвелла. Результаты могут выводиться в различных графических формах или в таблицах в зависимости от цели проводимого анализа. Можно настроить или оптимизировать устройство и все изменения немедленно и автоматически отражаются на графиках и в таблицах.

При выполнении забуржуазных 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 щелкните на рабочем столе иконку AWR 11. Откроется главное окно Microwave Office, изображенное на рис. 8.



Рис. 8


### Линейное моделирование

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

### Моделирование шифрного ответа

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 выберите имя проекта (например, ВРИДСЕ) и сохраните его.

### Установка единиц измерения и диапазона частот

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

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

3. Откройте вкладку Global Units.

4. В окне Frequency (Частота) установите GHz.

5. В окне Length выберите Metric Units и в окне Length Type установите mm.

6. Откройте вкладку Frequency (Частота).

7. В поле **Date Entry Unit** установите **GHz**.

8. В поле **Moddy Range** выберите **9.5** и поле **Start** (Начальная частота) **10.5** и поле **Stop** (Конечная частота) и **0.1** в окне **Step** (Шаг).  
 Отметьте **Keepase** (Запечатать), 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. Щелкните по значку  (**Add New Schematic**) на панели инструментов.

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

Размещение элементов в схеме

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


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

3. Щелкните по подгруппе **Lines**.

4. Нажмите модель **MLIN**, возьмите проводник проволочный, затем прочтите его в окне схемы и зарисуйте, щелкнув левой кнопкой мыши. Повторите операцию для остальных таких же элементов, разместив их в местах, приблизительно соответствующих их расположению в схеме.

5. Щелкните по подгруппе **Diodes** в окне просмотра элементов.  
 6. Нажмите модель **MMTRES** (уравнение), возьмите проводник проволочный, прочтите его в окне схемы и зарисуйте, щелкнув левой кнопкой мыши. Повторите операцию для остальных таких же элементов.

**Замечание:** ориентацию элементов на схеме можно изменить, до его фиксации щелкнув правой кнопкой. Если элемент надрисован, его ориентацию можно изменить, щелкнув по нему правой кнопкой и выбрав в открывшемся меню опцию **Rotate**.

7. Перенесите мышь на элемент, соедините их в схему и добавьте порты в соответствующих местах. Для добавления порта щелкните значок  (Port) и присоедините пары к соответствующей группе схемы.

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

**Замечание:** тип подложки, необходимый для конкретного типа элементов, можно определить, дважды щелкнув по элементу значком левой кнопки, в открывшемся окне редактирования параметров элементов в разделе **Parameters** в последней строке

отображено **Name** (буква) указав имя подложки (в данном случае — **MSUB**).

9. Перетащите выбранный элемент в окно схемы, поместите его на свободное место, например, ниже схемы.

10. Дважды щелкните по элементу **MSUB** в окне схемы.

Откроется окно редактирования параметров подложки. Ведите:  
 $\epsilon_r=2.6$  — относительная диэлектрическая проницаемость;

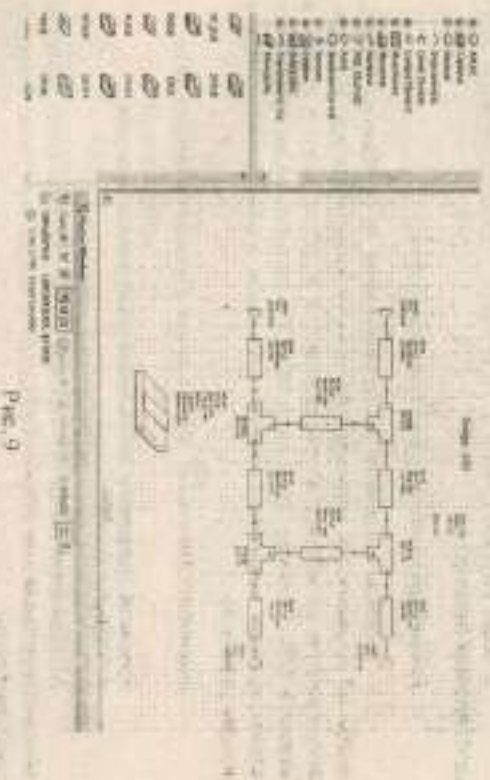


Рис. 9

$H=0.5$  — толщина подложки;

$T=0.02$  — толщина проводника;

$R_{10}=-1$  — удельное сопротивление металла проводника, нормированное к допустимому;

$Tang=0$  — 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


Важное соотношение линий, соединяющих порты с элементами и места и длины, обозначенных на схеме TL7 и TL8, должно равняться **50 Ом**, что соответствует сопротивлению портов. Важное соотношение линий, обозначенных на схеме TL5 и TL6, должно быть близким к **50 Ом** (ср. 02) Ом. Длина всех линий, соединяющих

требники  $L = \lambda/4$ . Рассчитать ширину (W) и длину (L) линий можно с помощью калькулятора, входящего в состав Microsoft Office. Чтобы его открыть, щелкните **Tool**  $\rightarrow$  **FX Calc**, введите центральную частоту, параметры подложки, полное сопротивление линии и электрическую длину линии, соответствующую физической длине  $L = \lambda/4$  ( $90^\circ$ ), и щелкните .


В окне **Physical Length (L)** и **Width(W)** появится значение соответствующих параметров.

#### Редактирование параметров элементов

Для того щелкните последовательно по элементам MLIN, чтобы их выделить. В открывшемся окне введите величину W, соответствующую номинальному сопротивлению и L-длине каждой линии, и нажмите **OK**. Размеры элементов MEE5 автоматически примут соответствующие значения (свойство элементов, в обозначении которых входит значок .

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

Создание графика и добавление измеренных величин

1. Откройте панель **Project**
2. Щелкните по значку  **Add New Graph** (Добавить новый график) на панели инструментов или **Project**  $\rightarrow$  **Add Graph** в выпадающем меню. Откроется окно **New Graph**.
3. Введите имя графика (например, **BRIDGE**) в поле **Graph Name** (Имя графика), выберите **Rectangular** (Трансформальн) в области **Graph Type** (Тип графика) и нажмите **Сreate**.
4. Щелкните правой кнопкой мыши по окну с именем графика (**BRIDGE**) в окне просмотра проекта и выберите **Add Measurement** (Добавить измерение).
5. Выберите **Port Parameters** 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), нажав 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).

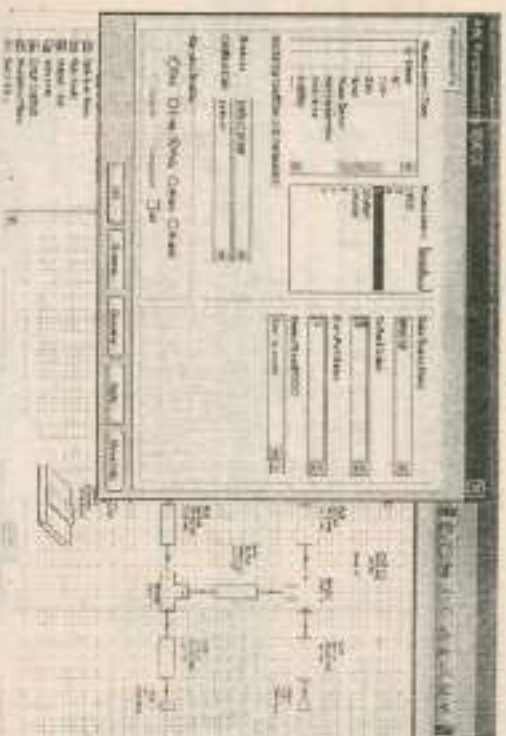



Рис.10

#### Анализ схем

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

Как правило, результаты моделирования не соответствуют требуемым значениям параметров - модули  $S_{11}$  и  $S_{21}$  на центральной частоте должны быть минимальны и (обычно не более  $-20 \dots -50$  дБ), а  $S_{31}$  и  $S_{41}$  - около  $-3$  дБ. В этом случае необходимо воспользоваться инструментом **Tune** (Настраива) для поиска оптимальных параметров в данной схеме, одновременно наблюдая изменения соответствующих графиков.

#### Настройка схем

Обычно для удобства достаточно изменить длину и ширину линий, образующих мост. Целевое значение скорости распространения сигнала, **LT**, **WT** и **W2** и, щелкнув значок  **Equation**, привнести на соответствующее значение (например, **WT=1.25**). Аналогично изменить уравнения для других параметров (рис. 12). Даже небольшие изменения в окне редактирования численные значения параметров схемы не их обозначения. На рис.16 обозначение **W0** привнесло ширину линий, соединяющих порты с входными и выходными, в их длину  $\sim 5$  мм.

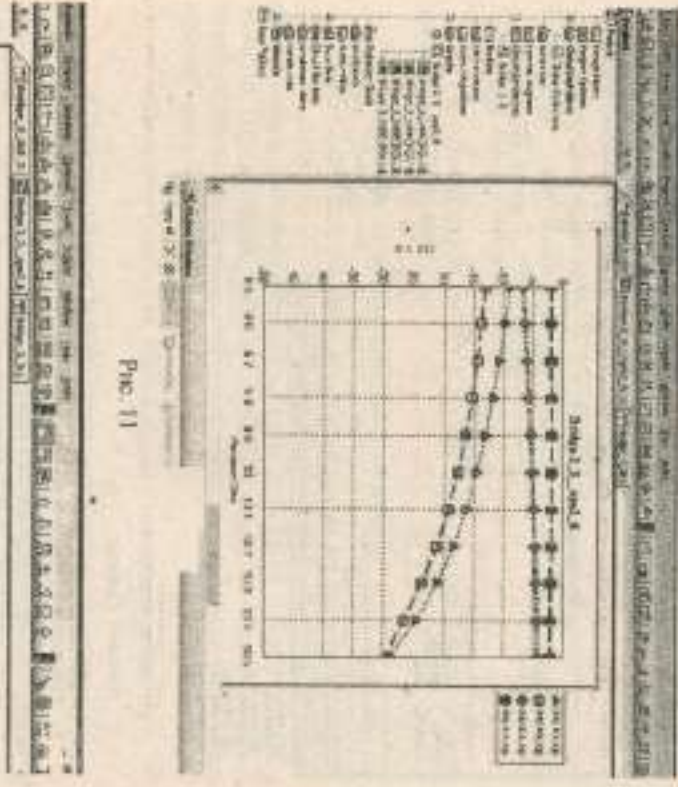


Рис. 11

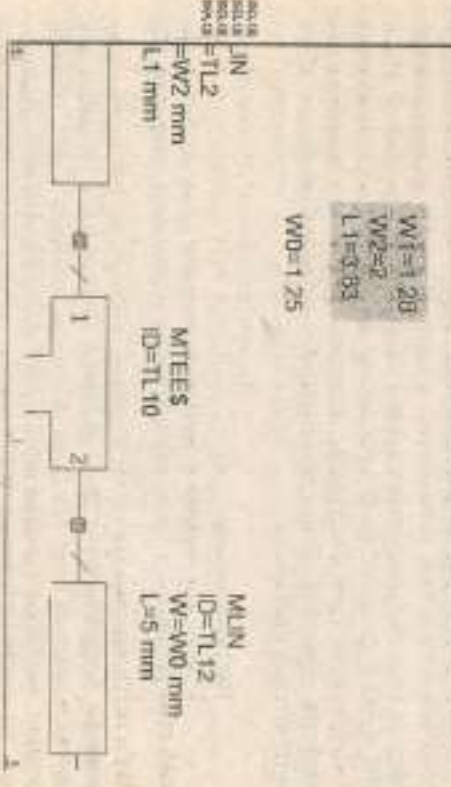


Рис. 12

Шлифовый станок T one Tool (инструмент настройки) и лезвие шлифовального станка в окне среды инструментного редактора с выбором по траектории, поджатием инструмента, получим возможность измерить эти параметры с помощью инструмента T one, который открывается из меню по значку 

В результате настройки получим (рис. 13)

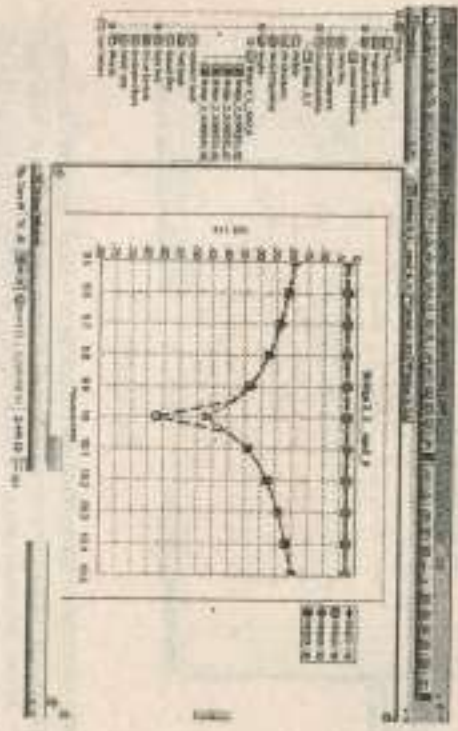


Рис. 13

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 откорректируйте закладку Measurements, назначьте графики S31 и S41 положение Right, лезвие, выделите Left 1, в окне Limits убедитесь флажок в окошке Auto limits и в окошках Min и Max поставьте -70 и -10.

Затем определите 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).



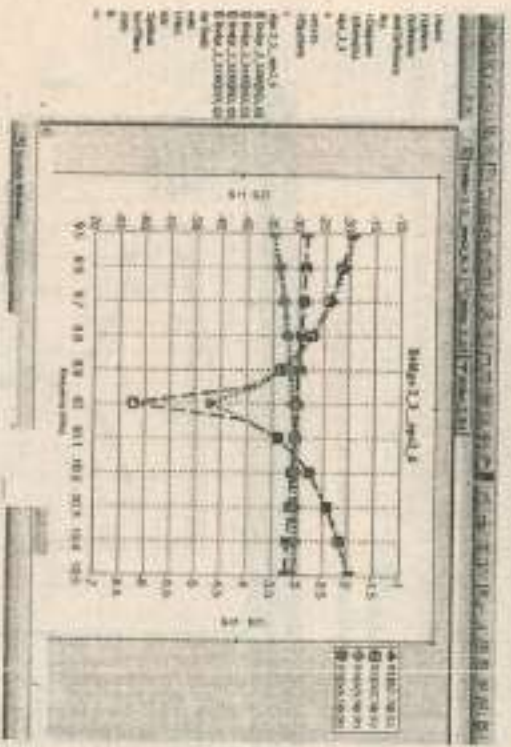


Рис. 14

Для более наглядного представления результатов можно добавить, например, изюминку правой кнопки мыши по полю графика и выделить опцию **Add Marker**. Затем сделать мышиный ухват, то есть, в которую необходимо поместить маркер.

#### Анализ влияния дисперсности изготовления элементов схемы

Средн Мировые Office-дизайнеры обладают, как правило, крупным опытом изготовления элементов схемы на реальных платах. Поэтому при выборе параметров при изготовлении изделия носят случайный характер, при моделировании необходимо задать параметры зазора, процентные отклонения для срезающих (транзистор, резистор) соответствующего элемента.

Важным параметром, как размер изготовления паза впа W или TL2 на параметр S21, является:

1. В параметре **Gap** указывается ширина **Toggle Enable** по оси **gap** (см., рис. 14).
2. В параметре в поле параметров зазора **TL2** значение **W** ~ 2 мм, изменение в процессе настройки места (рис. 15).

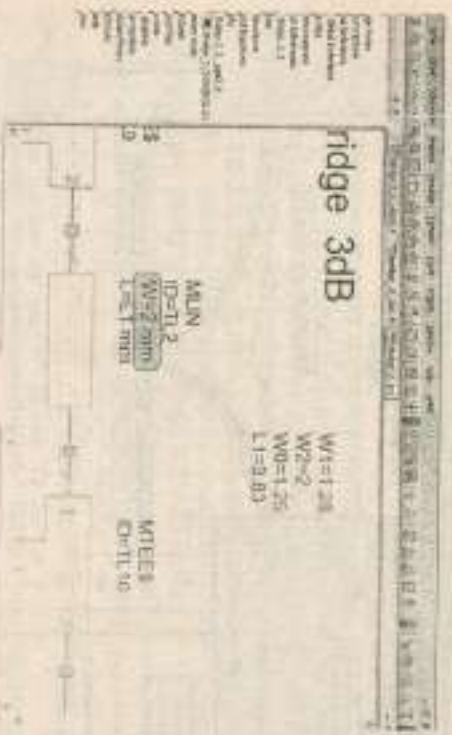


Рис. 15

3. Для анализа влияния на параметр TL2, отполируйте его параметры этого элемента, в поле параметра **Stat loss**, выберите опцию **Use 1 (10%)**, значение параметра **разброс параметров (параметр 3)** в опцию **100 (горячий)**. В опции **Distribution** (выбор распределения) выберите процентность отклонения, фактически, можно выбрать незначительное. Опциите опцию **Normal** (Нормальное распределение).

4. Шелестит правой кнопкой в поле графика, отпустить опцию **Plot** **ort** и в поле параметра **Yield Data**, изменить в поле опции **Show T-plot**, **Mean**, **Show Range** и в соответствующем поле набирать опцию **All/Max/Min**.

#### -5. Изменить Stimulate -> Yield Analysis

6. В открывшемся окне **Yield Analysis** изменить в поле **Maximum Iterations** значение параметра (параметр 50) и изменить кнопку **Start** в параметре **Mode** (параметр по умолчанию) (рис. 16).

**Завершение работы на этапе разработки: при этом по-**

**доставляется.**

Как видно, спроектировано некое устройство передачи **W** от одного терминала к другому **+ 0,1 mm** (размер и качество) и наоборот, **dist** - некий параметр между **1e-0 2** и **1e-0 2** (значения). Поэтому при проектировании также учитывать некое значение **сдвиг** **W** или которая величина **S21** будет соответствовать специально выбрано параметру.

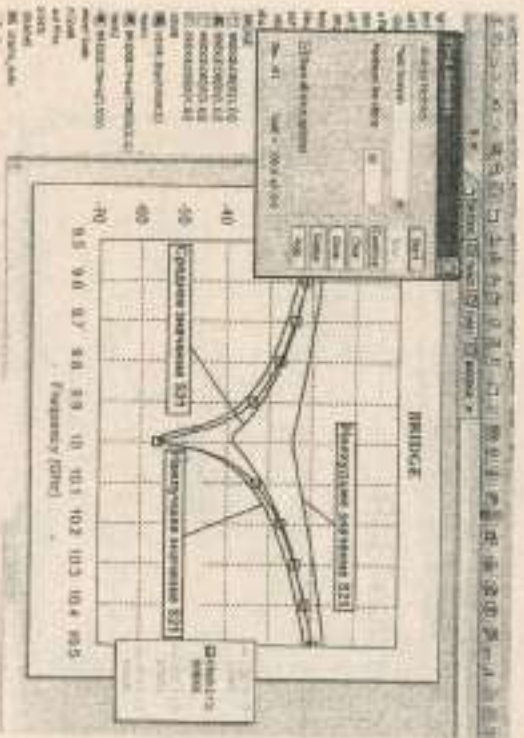


Рис. 16

#### Построение графика зависимости КСВ от частоты

В среде Microwave Office необходимо построить график функции, построенных от рассчитанных параметров, например, зависимость КСВ по входной части от частоты.

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

$$VSWR = (1 + \text{Gamma}) / (1 - \text{Gamma})$$

Поэтому Gamma = S11, а в программе можно задать оператор отчета S11, необходимо иметь соответствующие атрибуты. Это реализуется с помощью option Output E equation:

1. В панели Project выберите опцию кнопки по группе Output Equation, затем нажмите кнопку New Output E equation.

2. В появившемся окне New Output E equation выберите имя уравнения (например, VSWR\_eqn) и нажмите Create. Откроется окно VSWR\_eqn.

3. Выберите Draw>Add Output Equation. Откроется окно Add Measurement Equation.

4. В окне Variable name выберите имя новой переменной, тогда же введите  $S_{11}$ , которое будет использоваться для расчета КСВ (например, Gamma2, если необходимо использовать КСВ по входной части и наоборот).

5. В окне Measurement Type выберите Port parameter и в окне Data Source Name выберите имя источника (в данном случае – BRIDGE).

6. В окне Measurement indicator выберите S, в области Complex Modifier выберите Mag, 2 в поле To Port Index (номер выходного порта) и 2 в поле From Port Index (номер входного порта). Нажмите на стрелку справа от них, затем выберите Apply. В окне VSWR\_eqn появится имя уравнения, применительно к курсору. Выберите новую кнопку, в окне VSWR\_eqn появится уравнение, сформулированное параметрами S22 и Gamma2.

7. Нажмите Ctrl E и выберите второе уравнение, в котором требуется Gamma2, используйте для вычисления КСВ (VSWR, рис. 17)

8. Выберите по значению  $\frac{1}{1 - \text{Gamma2}}$  Add New Graph на панели инструментов.

9. Выберите имя графика, например, VSWR в поле Graph name, выберите Rectangular область Graph Type и нажмите Create.

10. В панели Project выберите опцию кнопки меню по умолчанию нового графика и выберите Add Measurement.



Рис. 17

11. В открывшемся окне Add Measurement to 'VSWR' выберите Output Equation и выберите Measurement Type, Output Equation и нажмите Done или Name и VSWR в окне Equation Name. Выберите OK.

12. Выберите опцию кнопки по меню Graph area, и нажмите на окне Add Measurement Project files, откройте панель Label. В окне Choose

Axis operation Left 1 in window Speed Axis Label inside VSWR2, Measure OK.

13. Measure  $\beta$  Analyze на панели инструментов. Появится график зависимости КСВ от частоты (рис. 18).

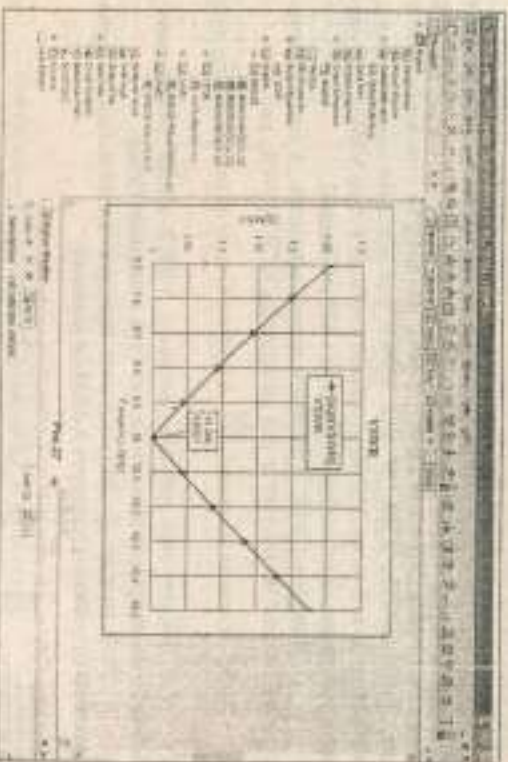


Рис. 18

**Заключение:** в основном все так. Микроанализ Office спуска дан КСВ можно проводить поочередно по мере освоения, или, наоборот, для S11.

### Подготовка вычислений работы

1. Формулы вычисляемых параметров записать на вычисление работы программы.
2. Проверить данные в рабочую тетрадь.
3. Изучить пользовательский интерфейс программы Микроанализ.

### Office

4. С помощью анализа программы настроить описанные вычисления программы и расчет параметров элементов последующего устройства СВЧ. Результаты занести в рабочую тетрадь.
5. Запустить программу Микроанализ. Проверить в расчётах отсутствие ошибок устройства с использованием микроанализа элементов. Проверить размеры элементов. Запустить моделирование.
6. С помощью элемента Time обеспечить вычисление временных, электромагнитных и других.
7. Дополнительные задания:
  - расчет влияния неидеальности изготовления,
  - расчет зависимости КСВ или КДВ от частоты.
8. Занести результаты моделирования в рабочую тетрадь.

### Отчет должен содержать:

- 1) список, используемые данные и результаты программных расчетов;
- 2) описание устройства с указанием размеров;
- 3) результаты моделирования.

### Контрольные вопросы

1. Принцип действия штекерной (разъемной) антенны.
2. Формулы соотношения для волн на выходе штекерной антенны и ее индуктивности.
3. Метрическая характеристика индуктивной волны при разных типах на выходах.
4. Параметры, обеспечивающие равномерное деление мощности на выходах.
5. Принцип действия гибридного кода.
6. Метрическая характеристика кода при разных типах на выходах.

7. Принципы действия и схема реализации дискретного фазоразделителя на комбинированных линиях.
8. Принципы действия и схема реализации дискретного фазоразделителя на основе нагруженной линии.
9. Принципы действия и схема реализации проходных дискретных фазоразделителей мостового типа.

**Библиографический список**

1. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. М.: Радио и связь, 1982.
2. Стровочник по расчёту и конструированию СВЧ полосковых устройств/ под ред. В.И. Волынова. М.: Радио и связь, 1987.
3. Раевский В.Д., Потанин Ю.В., Курочкин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью программы Microwave Office. М.: СОЛОН-Пресс, 2003.