

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 **МикроWave Office**, порядок выполнения работ.

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

*Аннотация* решетки с электронным управлением, устройство СВЧ автоматизированное проектирование, радиотехнический журнал.

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

Рецензент: кафедра радиотехники 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

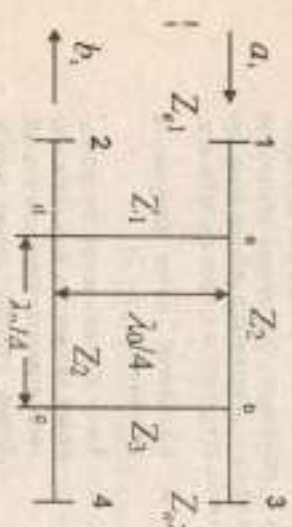
1. Изучение некоторых типов устройств СВЧ, используемых в схемах распределительных трактов антенных решеток.
2. Практическое знакомство с элементами автоматизированного проектирования устройств СВЧ.
3. Приобретение навыков построения математических моделей устройств СВЧ с использованием библиотек базовых элементов.
4. Приобретение навыков работы с программой **МикроWave 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, используемых матричных систем параметров.
- математическое моделирование элементов антенных решеток с элементами автоматизированного проектирования устройств СВЧ

Устройства СВЧ, используемые при выполнении лабораторных работ

### 1. Шлейфовый ответвитель



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

волновыми сопротивлениями  $Z_1, \dots, Z_n$  могут быть выполнены, например, в форме коаксиа. 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 ответ-гель относится к классу квадрупольных.

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

Шифриный направленный ответгель обладает еще одним полез-ным свойством: он дополнительно может обеспечивать согласование при неравных сопротивлениях нагрузок, подключенных к его входному и вы-ходным плечам, а также равные дельта мощности.

На рис. 1 приняты следующие обозначения:  $Z_{in}$  - волновое сопро-тивление входе 1 и 2,  $Z_{out}$  - волновое сопротивление входе 3 и 4,  $Z_1, \dots, Z_4$  - волновое сопротивление отрезков, образующих кольцо шифриного ответ-геля. Если обозначить отношение мощностей на выходе плеч 3 и 4 через  $K_1$ , т.е.  $K = P_3 / P_4$ , то можно показать, что волновые сопротивления  $Z_1$  и  $Z_2$  эквивалентны кольцам могут быть определены по следующим формулам:

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

Эти соотношения позволяют быстро рассчитать шифриный направленный ответгель на резонансной частоте. Для определения полосы рабочих частот и учета влияния высших типов волн необходи-мо более точное моделирование с помощью программы Microwave Office. Рабочая полоса частот шифриного ответгеля может быть су-щественно увеличена, если применить ответгель с тремя шифрилами.

## 2. Кольцевой мост (шрифидное соединение, рис. 2)

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

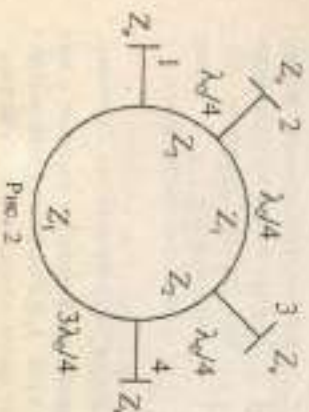


Рис. 2

Кольцевой мост может быть выполнен на основе микроволно-вых, полупроводников, коаксиальных или волноводных линий.

Качественно принцип действия кольцевого моста может быть рассмотрен на основе следующего рассуждения. Волна, поступившая на вход плеча 1, проходит в плечи 2 и 4. Фазовый сдвиг между волна-ми в плечах 2 и 4, очевидно, равен  $\pi/2$ , а в плечах 4 и 1 -  $3\pi/2$ . По-скольку 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 опреде-ляются суперпозицией 2-х волн, одна из которых, при возбуждении входа 1, распространяется от плеча 1 по часовой, а другая - против ча-совой стрелки. Эти волны складываются на выходах 2 и 4 и вычитаются на выходе 3. Следовательно, плечи 1 и 3 развязаны. Наличие фазового сдвига на выходе 3 между волнами, проходящими в плечи 2 и 4, ши-рико используется, например, в балансных смесителях и преобразова-телях частоты с подмагничен-тех или низких гармонических составляю-щих.

Расширенная кольцевой дельта мост может обеспечить и не-равное дельта мощности. Величина мощности, поступающей в каж-дое из плеч 2 и 4, зависит от выбора коаксиальных сопротивлений отрез-ков, образующих кольцо. На центральной частоте в балансовом при-ближении связь между мощностями  $P_3$  и  $P_4$  на выходах 3 и 4 и волно-вым сопротивлением  $Z_1$  и  $Z_2$  описывается следующими формулами:

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

На центральной частоте сдвиг по фазе между волнами в пле-чах 2 и 4 равен  $\pi$ . Если мощность поступает в плечо 2, то

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

В этом случае волны, поступающие на входы 3 и 1, сдвиганы. Приведенные соотношения позволяют рассчитать, геометриче-ские соединения на центральной частоте, в том числе для случая неравно-го дельта мощности.

## 3. Дискретные фазовращатели на коммутацион-ных диодах

Многопозиционные управляемые фазовращатели часто вы-полняют в виде отрезка линии передачи, шунтированного в ряде сече-



Рис. 3

шестиступенчатый паразит излучения

В рассматриваемой схеме отрицательного фазовращателя для одной из коммутационных элементов с индуктивностью  $r$  и коэффициентом  $K$  (1) эквивалентно равному передаточному элементу индуктивности  $r$  и коэффициентом  $K$  (2). Если оказывать влияние на фазовращатель отрицательным коэффициентом  $K$  (3) при переключении коммутационных элементов фазовращатель превращается в отрицательный фазовращатель.

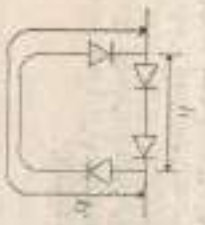


Рис. 4

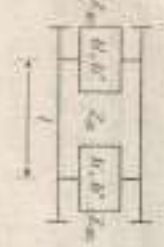


Рис. 5

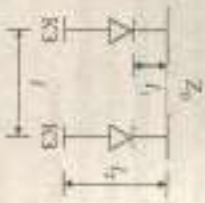


Рис. 6

Проходные фазовращатели должны обеспечивать заданную разность фаз при всех допустимых условиях. Следовательно, их длина и индуктивность должны быть постоянными.

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 разности фаз, проходящих в результате изменения пути прохождения волны по линии  $l_1$  или по линии  $l_2$ , осуществляемой от р-и-диодов и переключаемых элементов. Вносимое ослабле-

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

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

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

Схема двухкоммутационного фазовращателя в виде нагруженной линии на образках на рис. 5. Основным параметром этой схемы являются: индуктивность проводимости  $(jb', jb'')$ , эквивалентная длина отрезка линии  $l$  и его волновое сопротивление  $Z_0$ . При этом —

если интереси ступенчатый элемент  $b' = -b''$ .

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

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

Если в качестве коммутационных элементов использовать короткозамкнутый отрезок

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

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

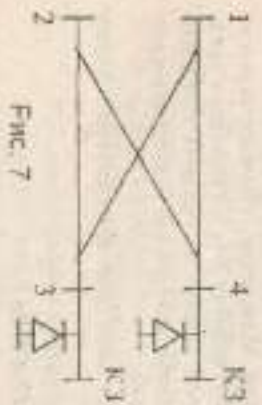


Рис. 7

Несколько раз рассмотренных в терминах СВЧ элементов проходных фазовращателей можно найти (рис. 7).

Доказательство фазовращателя, образованного двумя индуктивными отрезками фазовращателя на коммутационных элементах

мультиметра диодов во впадине радиальной волны. Следовательно, характерной особенностью СВЧ. При коэффициенте отражения отрезков фазовращателя  $|r| = 1$  мощность, рассеиваемая на входе 1, будет проходить на вход 2. Фазы волны, прошедшей на вход 2, определяется фазой коэффициента отражения при входе 1 от радиальной волны.



7. В поле Data Entry Units установите GHz.

8. В поле Modely Range выберите 9.5 и поле Start (Начальная частота) 10.5 и поле Stop (Конечная частота) и 0.1 в окне Step (Шаг). Отметьте Kerfact (Значения), отметьте Linear (Линейная шкала частот). Нажмите Apply (Применить). В окне Current Range (Текущий диапазон) отображается частотный диапазон и шаг по частоте. Нажмите ОК.

Создание схемы

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


3. Щелкните по подгруппе Lines.

4. Нажмите модель MLIN, нажмите, проведя курсором, затем переместите ее в окно 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 Junctions в окне просмотра элементов.

6. Нажмите модель MMTES (узелник), нажмите, проведя курсором, переместите ее в окно 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 нарисован, 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 соответствующих точек 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

свойство Name будет указывать на подложку (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;

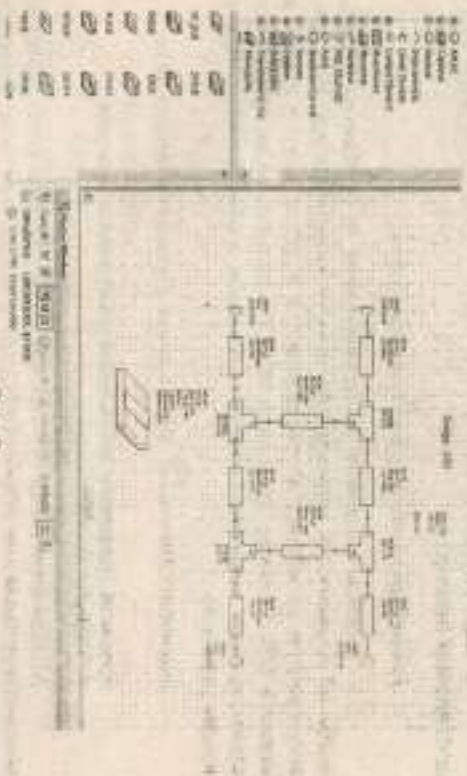


Рис. 9

$H=0.5$  - толщина подложки;

$T=0.02$  - толщина проводника;

$R_{10}=-1$  - удельное сопротивление металла проводника, нормированное к допуст.

$Tang=0$  - тангенс угла потерь в диэлектрике подложки;

$EzNom=2.6$  - номинальная диэлектрическая проницаемость.

Name=SUB1 - имя подложки.

11. Щелкните ОК. 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  $50 \text{ Ом}$ , что соответствует сопротивлению портов. Важное соотношение линий, обозначенных на схеме TL5 и TL6, должно быть близким к  $50 \sqrt{\epsilon_r} (0.2) \text{ Ом}$ . 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) появятся значения 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>Add Graph в выпадающем меню. Откроется окно New Graph.
3. Введите имя графика (например, BRIDGE) в поле Graph Name (Имя графика), выберите Rectangular (Трапециевидный) в области Graph Type (Тип графика) и нажмите Create.
4. Щелкните правой кнопкой мыши по окну 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 входного порта) и в поле From Port Index (Индекс выходного 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).

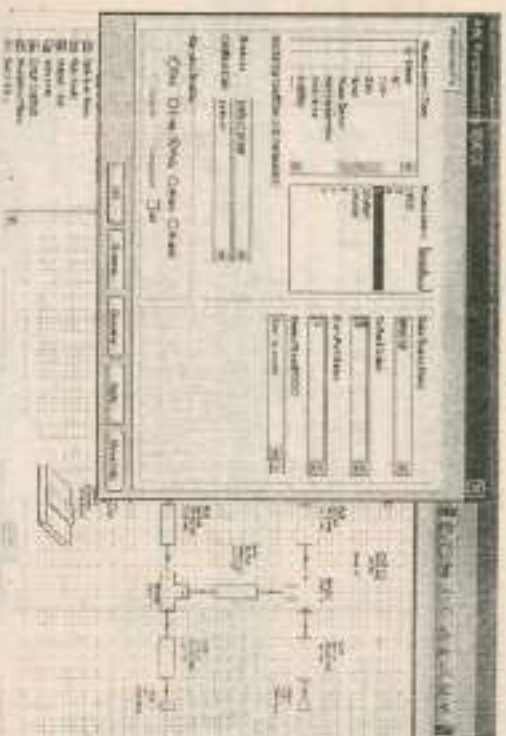



Рис.10

#### 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 S11 и S21 на центральной частоте должны быть минимальны и (обычно не более  $-20 \dots -50$  дБ), а S31 и S41 - около  $-3$  дБ. В этом случае необходимо воспользоваться инструментом Tune (Настройка), чтобы автоматически изменить параметры в данной схеме, одновременно наблюдая изменения соответствующих графиков.

#### Настройка схем

Обычно для инструмента достаточно указать длину и ширину линий, образующих мост. Целью является ввести обозначения (например, L1, W1 и W2), щелкнув значок  Equation, привнести на соответствующие значения (например, W1=L2B). Аналогично запишемся уравнения для других параметров (рис. 12). Даже небольшие изменения в окне редактирования значительно изменят параметры элементов схемы на их обозначениях. На рис.16 обозначение W0 привнесло ширину линий, соединяющих порты с входными и выходными, в их длину  $\sim 5$  мм.

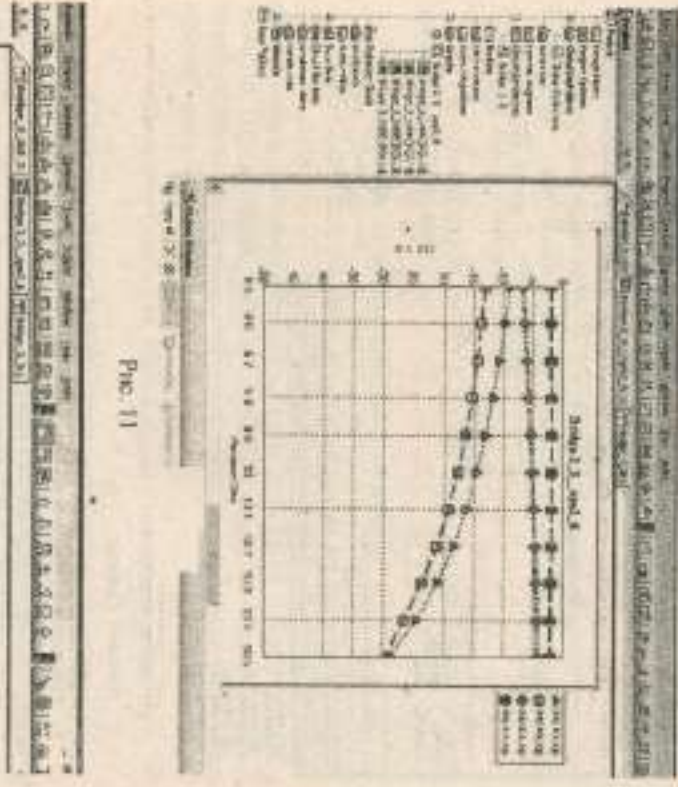


Рис. 11

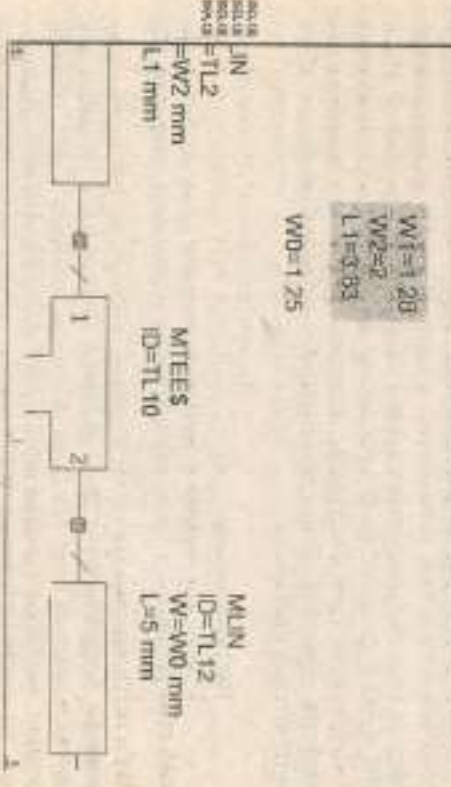


Рис. 12

Шлиссельгусь запуске **T time T odd** (инструмент настройки) и затем, шельсгусь увеличиваются в окне экрана инструмента в поле отобрать с крестиком до прозрачности, подержать инструмент, получить возможность измерить эти параметры с помощью инструмента **T time**, который открывается ищущим по значению.

В результате настройки получены (рис. 13)

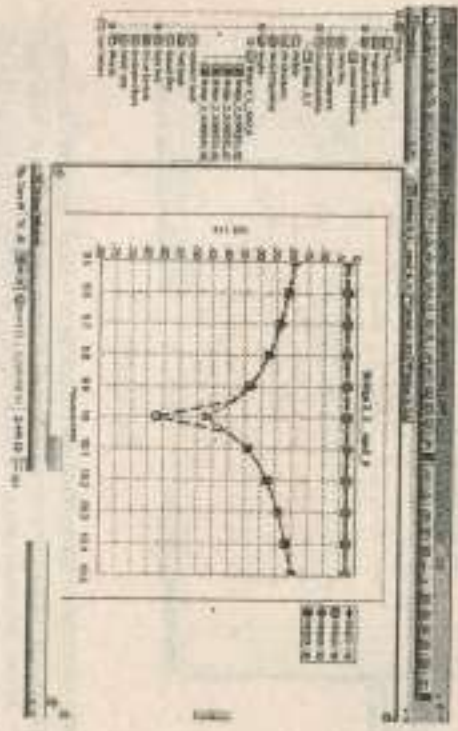


Рис. 13

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 **Measurement**, назначьте графики **S31** и **S41** положение **Right**, затем, выделите **Left 1**, в окне **Limits** выберите 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).





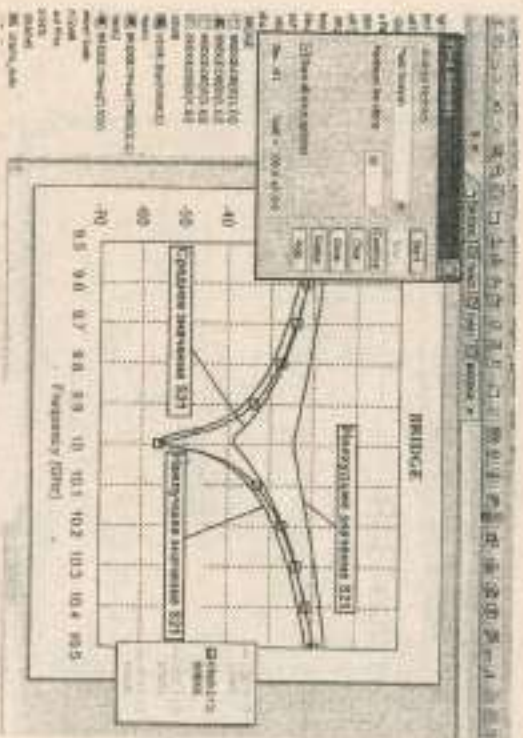


Рис. 16

#### Построение графика зависимости KCB от частоты

В среде Микроволн Office необходимо построить график функции, построенных от рассчитанных параметров, например, зависимость KCB по величине частоты.

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

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

Поэтому Gamma = S11, а в программе можно задать оператор отрисовки S11, необходимо иметь соответствующие атрибуты. Это реализуется с помощью команды Output E equations:

1. В панели Project выберите панель кнопки по группе Output Equations, затем нажмите левой кнопкой New Output E equations.
2. В открывшемся окне New Output E equations выберите имя уравнения (например, VSWR\_eqn) и нажмите Create. Откроется окно VSWR\_eqn.
3. Выберите Draw>Add Output E equation. Откроется окно Add Measurement E equation.

4. В окне Variable name выберите имя новой переменной, тогда же введите  $S_{11}$ , которое будет использоваться для расчета KCB (например, Gamma2, если необходимо использовать KCB по величине входа и выходной волны).

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

6. В окне Measurement indicators 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). Нажмите на стрелку справа от них, затем выберите Apply. В окне VSWR\_eqn появится имя уравнения, ориентированное к курсору. Выберите левой кнопкой, в окне VSWR\_eqn появится уравнение, соответствующее параметрам S22 и Gamma2.

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

8. Выберите по значению Add New Graph на панели инструментов.

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

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



Рис. 17

11. В открывшемся окне Add Measurement to 'VSWR' отметьте Output Equations и выберите Measurement Type, Output E equations и выберите Data Source Name и VSWR в окне Equation Name. Выберите OK.

12. Выберите панель кнопки меню по группе Graphs, и нажмите на кнопку Add Measurement. Откроется диалоговое окно Add Measurement 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).

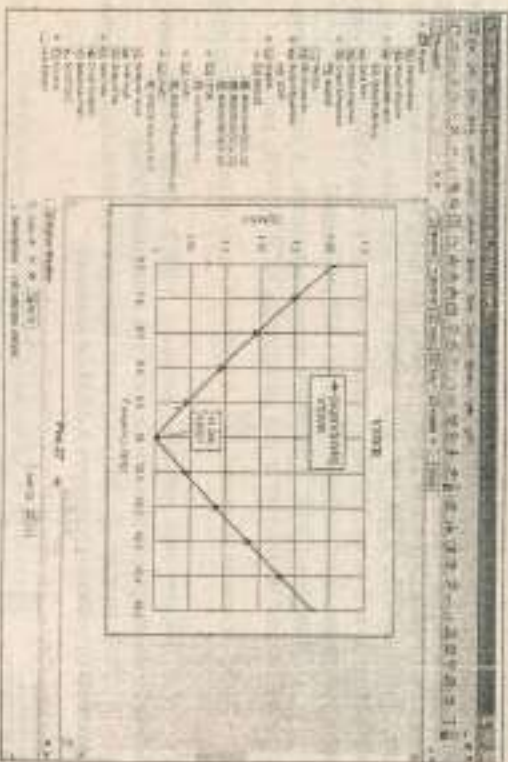


Рис. 18

**Заключение:** в основном верстка. Микроинструмент Office спускает дан КСВ можно получить извольного режиме – с помощью той же операционной системы, например, для S11.

### Подготовка вычислений работы

1. Формулы вычисляемых параметров заданы на вычисление параметров программы.
2. Перенести данные в рабочую тетрадь.
3. Изучить математический интерфейс программы Микроинструмент.

### Объяснение

4. С помощью вычислений Микроинструмент рассчитывает параметры вычисления параметров работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы.
5. Запустить программу Микроинструмент. Проверить в расчётах отсутствие ошибок. Проверить в расчётах отсутствие ошибок. Проверить в расчётах отсутствие ошибок.
6. С помощью вычислений Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы.
7. Формулы вычисления параметров работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы.
8. Значения результатов вычисления в рабочей тетради.

### Отчет должен содержать:

- 1) список, используемые данные и результаты вычисления параметров работы программы.
- 2) таблицу результатов вычисления параметров работы программы.
- 3) результаты вычисления параметров работы программы.

### Контрольные вопросы

1. Принцип действия шифратора (параметры) отключены.
2. Формулы вычисления параметров работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы.
3. Методика расчётов параметров работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы.
4. Параметры, обеспечивающие работу программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы.
5. Принцип действия шифратора (параметры) отключены.
6. Методика расчётов параметров работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы. Микроинструмент рассчитывает параметры работы программы.

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 полноволновых устройств/ под ред. В.И. Волынова. М.: Радио и связь, 1987.
3. Рязанов В.Д., Потанин Ю.В., Курочкин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью программы Microwave Office. М.: СОЛОН-Пресс, 2003.