

Министерство образования и науки Российской Федерации **ТОМСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга  
(РЭТЭМ)

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой РЭТЭМ  
\_\_\_\_\_ проф. В.И. Туев

## **САПР И ТЕХНОЛОГИЯ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ И СВЧ УСТРОЙСТВ**

Учебно-методическое пособие для студентов специальности  
**211000.62** – Конструирование и технология электронных средств

### **Лабораторные работы**

Разработчик  
доцент кафедры РЭТЭМ  
\_\_\_\_\_ В.М. Кортаев

**2014**

Коротаев В.М.

САПР и технология оптоэлектронных и СВЧ устройств: учебно-методическое пособие для студентов специальности 211000.62 –  
Конструирование и технология электронных средств. Лабораторные работы /  
В.М. Коротаев. . – Томск: ТУСУР, 2014. – 24 с.

Содержит описания лабораторных работ по разделам курса «САПР и технология оптоэлектронных и СВЧ устройств». В описании работ содержатся необходимые теоретические аспекты и методика выполнения, контрольные вопросы, рекомендуемая литература.

Указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению «Конструирование и технология электронных средств».

© Коротаев В.М., 2014

© Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники ТУСУР, 2014

# 1. Исследование характеристик микрополоскового трехдецибельного направленного ответвителя средствами численного моделирования в среде САПР Microwave Office.

## 1.1 Цель работы

Изучить средств моделирования пассивных СВЧ устройств в пакете **Microwave Office**. Изучить правила ввода схемы устройства и исходных данных, также порядок вывода полученных результатов. Приобрести начальные навыки работы в системе САЕ<sup>1</sup> **Microwave Office** на примере моделирования направленных ответвителей.

## 1.2 Общие сведения о системе Microwave Office [1–3] Назначение.

Среда проектирования Microwave Office была разработана для того, чтобы обеспечить пользователя интуитивным интерфейсом при анализе линейных и нелинейных схем, электродинамическом анализе, а также при проектировании физических слоёв СВЧ устройств. Среда проектирования состоит из следующих ключевых компонентов.

**Главное окно.** Главное окно состоит из заголовка "Microwave Office" и включает все компоненты, которые составляют среду проектирования. **Главное меню и панель кнопок.** **Главное меню** находится вверху экрана, под ним – **панель кнопок**. **Меню** содержит полный набор ниспадающих подменю для доступа ко всем командам, которые запускают на выполнение операции программы. Графическая строка, состоящая из «иконок», называемых **панелью кнопок**, обеспечивает альтернативный и быстрый доступ к большинству наиболее часто используемых команд. Эта **панель кнопок** будет динамически модифицироваться в зависимости от активного окна. Например, если активно окно **Schematic** (схема), то панель кнопок будет обеспечивать работу со схемами. Когда выбрано окно **EM Structure** (электродинамическая структура), то состав кнопок изменится, чтобы обеспечить электродинамический анализ.

Главное меню:

1. **File** – Файл
2. **Edit** – Правка
3. **Project** – Проект
4. **Simulate** – Моделирование
5. **Option** – Настройки
6. **Windows** – Окна
7. **Help** – Справка

---

<sup>1</sup>САЕ – система компьютерного моделирования.

Кроме этого, в левой части экрана расположено окно, в котором с помощью закладок может быть активизировано одно из четырёх проектных меню.

**Закладки** (расположены слева внизу):

А. **Proj** – Проекты

Б. **Elem** – Элементы схем

В. **Var** – Переменные

Г. **Layout** – Топология (расположение/конструкция)

Рассмотрим подробнее каждое проектное меню, активизируемое с помощью выше упомянутых закладок.

**А. Состав ПРОЕКТА (Project View)**

**Project View** (состав проекта) размещён с левой стороны от главного окна и содержит полную иерархическую организацию активного проекта, включая следующие пункты/группы:

1. *Design notes* (замечания к проекту);
2. *Project frequency* (проектные частоты);
3. *Global equations* (глобальные уравнения);
4. Data files (файлы данных);
5. Schematics (схемы устройств);
6. EM Structures (электродинамические структуры);
7. *Conductor materials* (проводящие материалы);
8. *Output equations* (выходные уравнения);
9. *Graphs* (графики);
10. *Optimizer goals* (целевые функции оптимизации);
11. *Yeild goals* (итоговые цели);
12. *Output files* (выходные файлы).

1. **Замечания к проекту (Design Notes)**. Это простой текстовый редактор для документов проекта, который активизируется выбором пункта Design Notes.

2. **Проектные частоты (Project Frequency)**. Проектные частоты специфицируют диапазон частот, который может быть использован как глобальный набор частот по умолчанию для линейного, нелинейного и электродинамического моделирования. Когда создаётся новый проект, частотный диапазон специфицируется по умолчанию.

3. **Глобальные уравнения (Global Equations)**. Группа **Global Equations** содержит любые уравнения и функции, которые создаются, чтобы специфицировать значения параметров.

4. **Файлы данных (Data Files)**. Группа **Data Files** содержит список любых объектов файловых данных, которые могут быть добавлены к проекту. Файлами данных являются обычно файлы S-параметров или некоторые дру-

гие типы файлов, которые содержат параметры многополюсников в частотной области.

**5. Схемы (Schematics).** Группа **Schematics** содержит все схемы, которые добавляются к проекту. **Default CKT Options** (CKT опции по умолчанию) управляют параметрами моделирования, которые применяются ко всем схемам. Одиночный проект **Microwave Office** может включать множество схем.

**6. Электродинамические структуры (EM Structures).** Группа **EM Structures** содержит все электродинамические структуры, которые добавляются к проекту. **Default EM Options** (опции электродинамики по умолчанию) управляют параметрами, которые применяются ко всем электродинамическим структурам. Одиночный проект **Microwave Office** может включать множество электродинамических структур, которые будут группироваться как подпункты группы верхнего уровня **EM Structures**.

**7. Материалы проводников (Conductor Materials).** Свойства материалов, характеризующиеся потерями в планарных проводниках (в электродинамических моделях), специфицируются объектами **Conductor Materials**. По умолчанию материал проводников является идеальным проводником. Вы можете добавить дополнительные материалы.

**8. Выходные уравнения (Output Equations).** Группа **Output Equations** используется для дополнительной обработки любых данных измерений, прежде чем отобразить их в табличной или графической форме.

**9. Графики (Graphs).** **Graphs** представляет "выход" из **Microwave Office**. Существует шесть типов графиков: антенная диаграмма, прямоугольный график, диаграмма Вольперта-Смитта, полярный график, гистограмма и таблица.

**10. Цели оптимизации (Optimization Goals).** **Optimization Goals** используется для ввода желательных спецификаций в проект. Цели могут быть привязаны к любым величинам (measurements) или **Output Equation в Project**.

**11. Результирующие цели (Yield Goals).** **Yield Goals** используется, чтобы ввести желательные спецификации в проект. Цели могут быть привязаны к любым величинам (measurements) или **Output Equation в Project**.

**12. Выходные файлы (Output Files).** Используя опцию **Output File**, результаты моделирования схем и электродинамических структур могут быть записаны в стандартном формате S-параметров. Электродинамические структуры могут также генерировать SPICE-эквивалентные схемы. Результаты нелинейного моделирования могут быть записаны в выходные файлы данных AM-AM и AM-PM.

## **Б. Обзорщик ЭЛЕМЕНТОВ (Element Browser)**

**Element Browser** (обозреватель элементов схемы) активизируется из **Project View** (которое расположено слева от главного окна) щелчком по закладке обозначенной **Elem** в самом низу **Project View**. Этот **Element View**

содержит палитру выбора элементов из каталога элементов. Он разделен на верхнюю и нижнюю секции. Верхняя секция содержит **Element Browser** для просмотра иерархического каталога элементов. **Element Browser**, подобно **Windows Explorer**, помогает пользователям в этом просмотре посредством **Element Groups** (группы элементов) типа **Lumped Elements** (сосредоточенные элементы) или **Microstrip Elements** (микростриповые элементы). Линейные и нелинейные модели элементов могут быть отображены вначале выделением группы элементов в верхней части **Element View**, а затем выбором конкретной модели из нижней половины **Element View**. Пользователи могут переключаться обратно к **Project View** или **Variable View**, щелкая по закладкам, расположенным снизу окна **Element View**.

**В. Обозреватель ПЕРЕМЕННЫХ (Variable Browser) Variable Browser** (обозреватель переменных) активизируется из **Project View** (которое расположено слева от главного окна) щелчком по закладке обозначенной **Var** в самом низу **Project View**. **Variable Browser** отображает текущие значения переменных и параметров элементов для элементов схем в активном проекте. Первые три колонки в **Variable Browser** показывают кнопки, которые указывают на то, что переменные установлены на настройку ("Т"), оптимизацию ("О") или ограничения ("С"). Эти кнопки активизируют переменные для настройки, или оптимизации выбором кнопки, содержащейся в соответствующих колонках. Чтобы ограничить переменную щелкают кнопкой "С" и вводят верхнее и нижнее ограничения в соответствующих колонках. Пользователи могут переключаться обратно к **Project View** или **Element Browser**, щелкая по закладке, расположенной снизу окна **Variable Browser**.

**Г. Обозреватель ТОПОЛОГИИ (Layout Browser) Layout Browser** (обозреватель топологии/расположения/конструкции) активизируется из **Project View** (которое расположено слева от главного окна) щелчком по закладке обозначенной **Layout** (топология) в самом низу **Project View**. **Layout View** состоит из двух секций. Верхняя секция содержит группы **Layer Setup** (установки слоев) и **Cell Libraries** (библиотеки ячеек). Нижняя секция содержит средства управления для активизации и просмотра слоев в окне **Layout**.

**Установка слоёв (Layer setup).** Двойной щелчок по **Layer Setup** открывает диалоговое окно, которое управляет всеми функциями ассоциированными с рисованием слоёв в **Layout view**. Файлы определения процесса (\*.lpf) могут быть импортированы щелчком по этому объекту правой кнопкой мыши.

**Библиотеки ячеек (Cell libraries).** Конфигурация ячеек может быть создана и импортирована из этого меню. Библиотеки ячеек могут быть импор-

тированы в GDSII или DXF. Новые ячейки могут быть созданы в графическом редакторе, активизируемом из этого меню. **Вид слоя (Layer view)**. **Layer View** размещен в нижней части **Draw Browser**. В **Layer view** слои можно показать и скрыть, а также активизировать их для рисования или редактирования.

**Диалоговое окно установки слоёв (Layer setup)**. Двойной щелчок по **Layer Setup** активизирует диалоговое окно, которое управляет установками ряда опций.

### 1.3 Порядок выполнения работы в системе Microwave Office

Изучив необходимые сведения по использованию пакета **Microwave Office** для Windows, выполнить следующее:

- 1) создать новый схемный проект заданного для анализа устройства;
- 2) изобразить схему СВЧ устройства;
- 3) установить параметры анализа и построить графики частотных характеристик СВЧ устройства;
- 4) запустить на анализ и настроить параметры элементов схемы.

#### 1.3.1 Создание нового схемного проекта [закладка: Proj (проекты)]

В главном меню выполнить последовательность действий: Project (проект) /Add\_Schematic /New\_Schematic в окне ввести имя вновь создаваемого файла со схемой электрической принципиальной. То же самое можно сделать, щелкнув левой кнопкой мыши по пункту Schematics, находящемуся в Project View (состав проекта).

#### 1.3.2 «Рисование» схемы [закладка: Elem (элементы схемы)] В окне Element Browser (обозреватель элементов)

выполнить последовательность действий: Transmission\_Lines /Physical /TLINP. Выбрать мышью элемент TLINP, переместить его на схемное поле и задать параметры линии: волновое сопротивление  $Z_0$ , эффективную диэлектрическую проницаемость  $E_{eff}$  и геометрическую длину  $L$ . «Рисование» сосредоточенного элемента (индуктивности). В окне **Element Browser** выполнить последовательность действий: Lumped\_Element (сосредоточенный элемент) / Inductor/ IND. Выбрать мышью элемент IND [In-ductor (Closed Form)] и переместить его на схемное поле, задать параметры индуктивности. Вращение элемента: выделив мышью элемент, щёлкнуть правой кнопкой и из появившегося контекстного меню выбрать пункт Rotate (вращение). Подсоединение входного и выходного плеч (портов). Из набора кнопок выбрать и щёлкнуть мышью по кнопке **Port**, переместить изображение плеча (порта) на схемное поле и задать его параметры (волновое сопротивление  $Z$ ). Подключение «земли». Из набора кнопок выбрать и щёлкнуть мышью по кнопке **GND** (ground – «земля»), переместить изображение «земли» на схемное поле. Удаление элементов. Выделив левой кнопкой мыши элемент, удалить его, нажав комбинацию клавиш Ctrl-X.

**1.3.3 Установка параметров анализа схемы и построение графиков частотных характеристик** Установка диапазона проектных частот [закладка: Proj (проекты)]. Начиная с главного меню выполнить последовательность действий: Option /Set Project Frequency /Start(GHz)=4 Stop(GHz)=15 Step(GHz)=0.01 Apply ОК. То же самое можно сделать, щелкнув левой кнопкой мыши по пункту Project Frequency, находящемуся в **Project View** (состав проекта) вторым по списку. Построение графиков частотных характеристик. Создать графическое поле. Начиная с главного меню выполнить последовательность действий: Project /Add\_Graph /Rectangular (прямоугольный). Дать имя графическому полю. То же самое можно сделать, щелкнув правой кнопкой мыши по пункту Graphs находящемуся в **Project View** (состав проекта) девятым по списку. Желательно для построения АЧХ и ФЧХ создать отдельные графические поля. Ввести график в графическое поле. Начиная с главного меню выполнить последовательность действий: Project /Add\_Measurement /Meas.\_Type: Port\_parameters Measurement: S From\_port\_index: 2 To port index: 1. Для построения АЧХ выбрать Complex\_modifier: Mag. (амплитуда), а для построения ФЧХ выбрать Complex\_modifier: Angle (угол). В заключение нажать кнопки: Apply (применить) ОК.

**1.3.4 Запуск на анализ и настройка параметров элементов схемы** Запуск на анализ. Из главного меню выполнить последовательность действий: Simulate /Analyze (синоним – F8). Настройка параметров элементов схемы. Выбрать из набора кнопок кнопку с изображением отвёртки – **Tune Tool** (инструмент настройки) и, щелкнув по ней мышью, навести изменившийся курсор мыши на настраиваемый параметр элемента схемы (при этом цвет текста изменится с черного на синий). Теперь, чтобы появилось окно тюнера (Variable Tuner), необходимо щелкнуть мышью по кнопке **Tune** из набора кнопок. Далее, перемещая движок в этом окне, можно наблюдать в других соответствующих окнах, как изменяется варьируемый параметр схемного элемента и вместе с ним все частотные характеристики схемы

## 1.4 Задание

Провести численное моделирование ЗдБ направленного ответвителя (НО) типа Ланге являющегося восьмиполосником реализованном на отрезках связанных микрополосковых линий (рис.1), в **Microwave Office**, рассчитать и построить амплитудно-частотные характеристики в диапазоне 4–15 ГГц, выражаемые через следующие S-параметры:  $|S_{11}|$  (коэффициент отражения),  $|S_{21}|$  (связь),  $|S_{31}|$  (рабочее затухание),  $|S_{41}|$  (развязка). Волновые сопротивления всех подводящих линий (портов) принять равным 50 Ом. Все графики построить в нескольких окнах (основываясь на соображениях информативности и удобства сравнения),

объяснив поведение АЧХ. Для тех же  $S$ -параметров построить фазочастотные зависимости, выявив величину разности фаз в диагональных выходных плечах (портах) 2 и 3

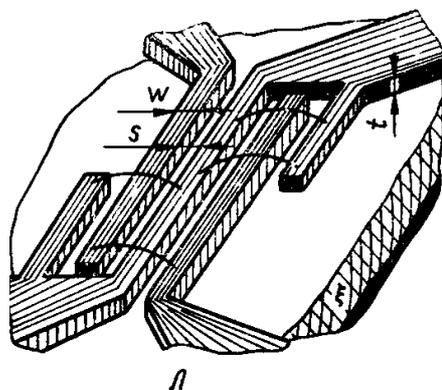


Рис.1

**1.4.1.** Создать новый схемный проект заданного для анализа устройства.

В проекте обычно бывает несколько схем, использующих одну и ту же подложку. Поэтому поместим элемент подложки в глобальные определения, откуда он будет доступен для всех схем.

1. В окне просмотра проекта дважды щёлкните по **Global Definitions**, откроется окно глобальных определений.
2. В левом окне откройте окно просмотра элементов, щёлкнув мышкой по кнопке **Elements** в нижней части левого окна.
3. Щёлкните мышкой по группе **Substrates**, чтобы отобразить элементы подложек.
4. Перетащите элемент **MSUB** в окно глобальных определений и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить его.
5. Дважды щёлкните мышкой по элементу **MSUB** и в открывшемся окне свойств элемента введите: **Er=10, H=0.5 mm, T=0.025 mm, Tand=0.001** и **ErNom=10**. Нажмите **ОК**.

**1.4.2.** Изобразить схему СВЧ устройства.

Теперь создадим схему ответвителя Ланге. Эта схема будет состоять только из одного элемента, и её будем использовать, чтобы правильно подобрать значения параметров этого элемента.

1. Щёлкните мышкой по значку Add New Schematic на панели инструментов и создайте схему с именем Lange Coupler.
2. В окне просмотра элементов раскройте группу Microstrip и щёлкните мышкой по под-группе PwrDivider.
3. Перетащите в окно схемы элемент **MLANGE** в окно схемы и щёлкните левой кнопкой мышки, чтобы закрепить его.

4. Щёлкните мышкой по значку Port на панели инструментов и подключите порт к плечу 1 элемента MLANGE. Аналогично подключите порт к плечу 2. Затем подключите порты к плечам 3 и 4, два раза щёлкая мышкой, чтобы развернуть эти порты на 180 градусов. Полученная схема показана на рис. 2

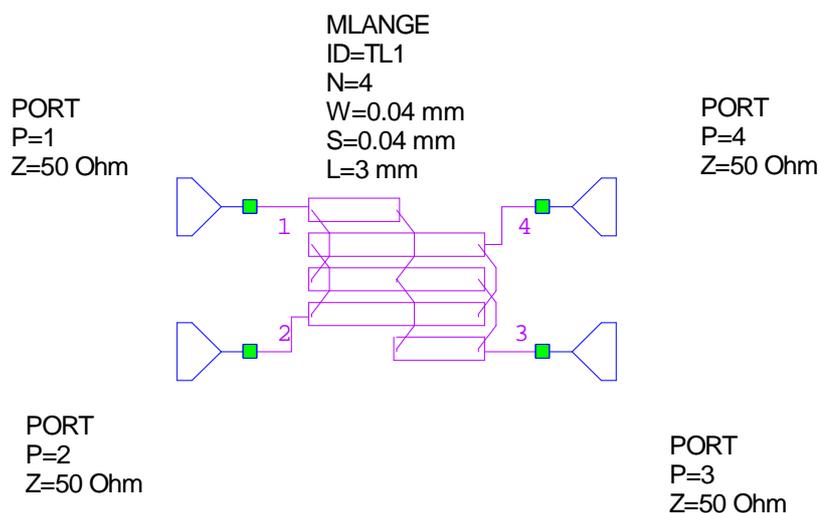


Рис.2

**1.4.3.** Установить параметры анализа и построить графики частотных характеристик СВЧ устройства

5. Щёлкните мышкой по значку Add New Graph на панели инструментов и создайте прямо-угольный график с именем Lange Coupler S Parameters.
6. Откройте окно просмотра проекта, щёлкнув мышкой по панели Project в левой нижней части окна.
7. Щёлкните правой кнопкой мышки по имени созданного графика в окне просмотра проек-та и выберите Add Measurement.
8. В открывшемся окне в области Measurement Type отметьте Linear>Port Parameters, в области Measurement отметьте S, в поле Data Source Name введите Lange Coupler, в по-ля To Port Index и From Port Index введите 1, отметьте dB и нажмите Apply. Затем в по-ле To Port Index поочерёдно введите 2, 3 и 4, нажимая после каждого ввода Apply.
9. Нажмите ОК.

**1.4.4.** Запустить на анализ и настроить параметры элементов схемы.

10. Щёлкните по значку Analyze на панели инструментов
11. Щёлкните мышкой по значку Tune Tool на панели инструментов и, щёлкая мышкой, назначьте параметры W, S и L элемента MLANGE для настройки

12. Добейтесь за счет варьирования параметров  $W$ ,  $S$  равного деления мощности между плечами 2 и 3. Результирующие характеристики отобразите на графиках.
13. Рассчитайте и изобразите на графике фазочастотные характеристики коэффициентов передачи в плечи 2 и 3 направленного ответвителя.
14. Исследуйте согласующие свойства НО. Для этого создайте новую схему с НО и варьируемыми нагрузками в плечах 2 и 3. входным узлом 1 и выходным 4. Результаты отобразите на графиках коэффициентов отражения и передачи НО.

**1.4.5** Составить отчет, защитить и сдать его преподавателю.

### **1.5 Контрольные вопросы**

1. Как называется отрезок связанных линий с 3-дБ связью?
2. Какие функции на СВЧ может выполнять отрезок связанных линий?
3. Перечислить основные параметры отрезка связанных линий в терминах матрицы рассеяния? Как они связаны с основными параметрами направленного ответвителя?

### **Список использованных источников**

1. В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office под ред. В.Д. Разевига.- М.: СОЛОН-Пресс, 2003.- 469с.: ил.- (Серия «Системы проектирования»).

## 2. Исследование характеристик функциональных устройств СВЧ средствами численного моделирования в среде САПР Microwave Office.

### 2.1 Цель работы

Используя пакет анализа и моделирования СВЧ устройств **Microwave Office**, выполнить анализ согласованных устройств управления амплитудой, фазой и коммутации.

### 2.2 Порядок выполнения работы в системе Microwave Office

Изучив необходимые сведения по использованию пакета **Microwave Office** для Windows [1], выполнить следующее:

- 1) создать схемные проекты заданных для анализа схем на связанных линиях;
- 2) изобразить в каждом проекте схему устройства;
- 3) установив параметры анализа СВЧ устройств, создать окна для построения семейства графиков частотных характеристик. Графики АЧХ и ФЧХ строятся в отдельных окнах.

### 2.3 Задание

2.3.1 Рассчитать 3 дБ направленный ответвитель на связанных линиях (Ланге) с центральной частотой 8 ГГц. Параметры подложки  $h = 0.5$  мм,  $\epsilon = 10$ ,

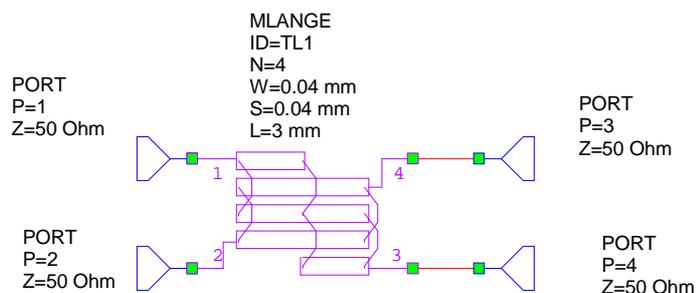


Рис.1

2.3.2 Введя в рабочих плечах НО на отрезках СЛ с 3-дБ связью идеальные отражающие реактивные нагрузки – КЗ и ХХ – получим идеальный фазовращатель (фазовый манипулятор), у которого амплитуда выходного сигнала при изменении состояния КЗ/ХХ почти не меняется, а фаза вращается на 180 град (рис.). Убедиться в этом, построив графики АЧХ  $|S_{21}|$  для режимов КЗ и ХХ в одном окне, а также ФЧХ  $\varphi_{21} = \arg(S_{21})$  для режимов КЗ и ХХ в другом окне.

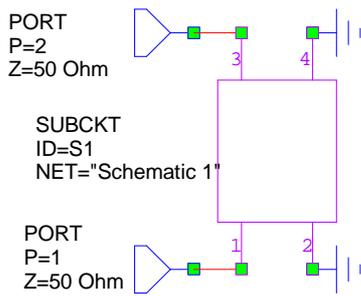


Рис.2

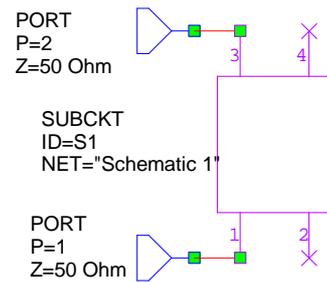


Рис.3

2.3.3 Введя в диагональные плечи отрезка СЛ резистивные нагрузки (LOAD) – получим аттенуатор, у которого при синхронном изменении номиналов резисторов (50...1500 Ом) фаза почти не меняется, а амплитуда выходного сигнала изменяется значительно. Убедиться в этом, построив графики АЧХ  $|S_{21}|$  в одном окне, а ФЧХ  $\phi_{21}=\arg(S_{21})$  в другом окне.

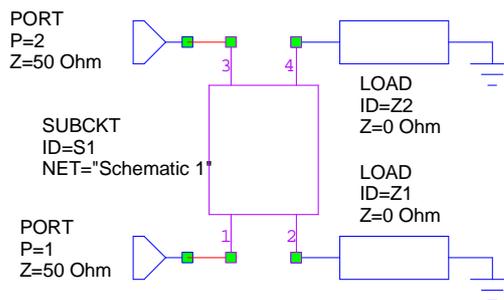


Рис.4

2.3.4. Создать схему антенного переключателя.

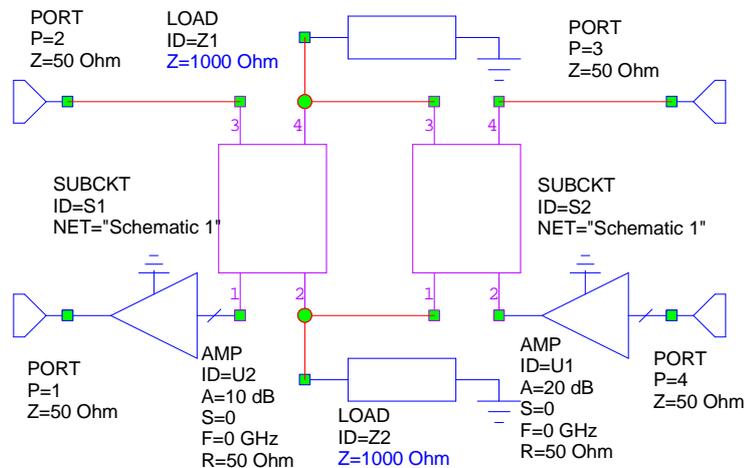


Рис.5

2.3.4.1 Создать эквивалентную схему переключателя в режиме, когда работает приемник. Рис.6

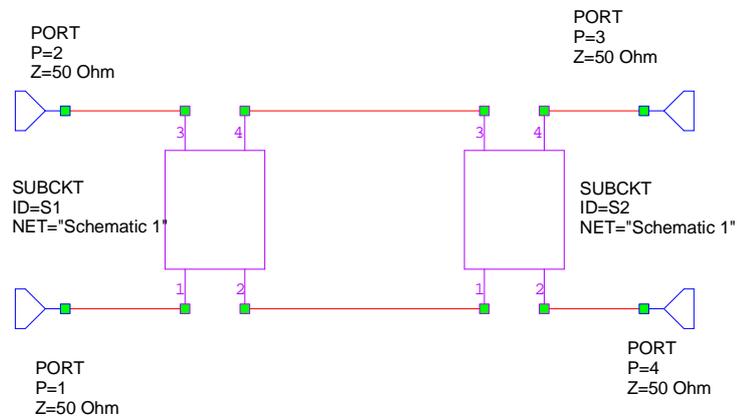


Рис.6

Вывести на график коэффициент передачи  $S_{13}$  и для сравнения  $S_{14}$  и  $S_{24}$

2.3.4.2 Создать эквивалентную схему переключателя в режиме, когда работает передатчик. Рис.7

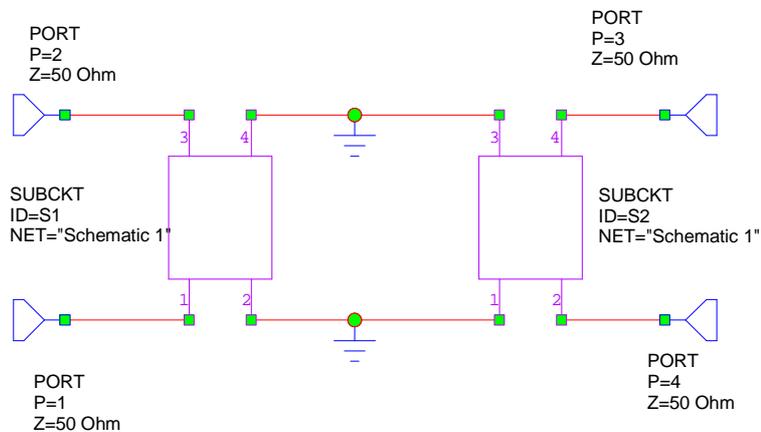


Рис.7

Вывести на график коэффициент передачи  $S_{34}$  и для сравнения  $S_{13}$  и  $S_{24}$

2.4. Составить отчет, защитить и сдать его преподавателю

## 2.5. Контрольные вопросы

1. Как называется отрезок связанных линий с 3-дБ связью?

2. Какие функциональные устройства могут быть реализованы на 3 дБ направленных ответвителях?
3. Объяснить принцип работы отражательного аттенюатора на 3 дБ НО?
4. Объяснить принцип работы отражательного фазовращателя на 3 дБ НО?
5. Объяснить принцип работы антенного переключателя на 3дБ НО?.
6. Какой полупроводниковый СВЧ элемент может быть использован в качестве управляемой реактивной (емкостной) нагрузки?
7. Каково назначение и основные параметры СВЧ аттенюатора?
8. Какой полупроводниковый СВЧ элемент может быть использован в качестве управляемой активной (резистивной) нагрузки?

**Список использованных источников**

1. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office, М.: Солон.– 2003.– 500 с.

### **3. Определение основных параметров активного элемента СВЧ по одночастотным и двухчастотным нелинейным характеристикам его модели..**

#### **3.1 Цель работы**

Используя пакет анализа и моделирования СВЧ устройств **Microwave Office**, выполнить анализ динамических и спектральных характеристик усилительного элемента при одночастотном и двухчастотном воздействии с целью изучения свойств модели усилительного элемента и получения его основных энергетических параметров.

#### **3.2 Порядок выполнения работы в системе Microwave Office**

Изучив необходимые сведения по использованию пакета **Microwave Office** для Windows [1] и материалы лекций по моделированию усилителей мощности выполнить следующее:

- 1) создать схемный проект для моделирования статических ВАХ и нагрузочной характеристики усилительного элемента заданного его нелинейной моделью;
- 2) добавить в этот же проект в отдельном окне схему для определения нелинейных характеристик усилительного элемента, задав соответствующий порт для моделирования при одночастотном воздействии;
- 3) добавить в этот же проект в отдельном окне схему для определения нелинейных характеристик усилительного элемента, задав соответствующий порт для моделирования при двухчастотном воздействии;
- 4) установив параметры анализа СВЧ устройств, создать окна для построения графиков характеристик проиллюстрировав результаты на графиках динамических характеристик и в спектральной областях представления сигналов при одночастотном и двухчастотном воздействии .
- 5) исследовать величину выходной мощности по критерию компрессии коэффициента передачи на 1 дБ при разных нагрузках для одночастотного воздействия. (три нагрузки: с симметричным использованием ВАХ, с доминирующим влиянием насыщения тока и доминирующим влиянием отсечки тока )
- 6) определить уровни выходной мощности при заданных значениях интермодуляционных искажений (-30 дБн, -40 дБн) и  $OIP_3$ .

#### **3.3 Задание**

3.3.1 Рассчитать вольтамперные характеристики заданной нелинейной модели полевого транзистора СВЧ. Рис.1

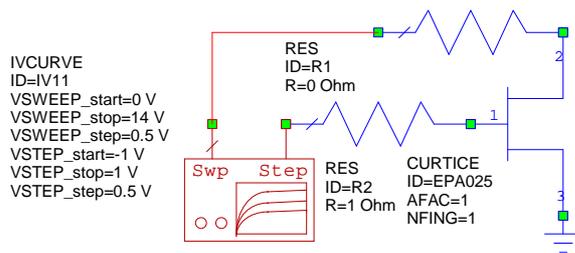


Рис.1

3.3.2 Рассчитать и вывести на график динамическую нагрузочную характеристику схемы с одночастотным воздействием. Рис.2

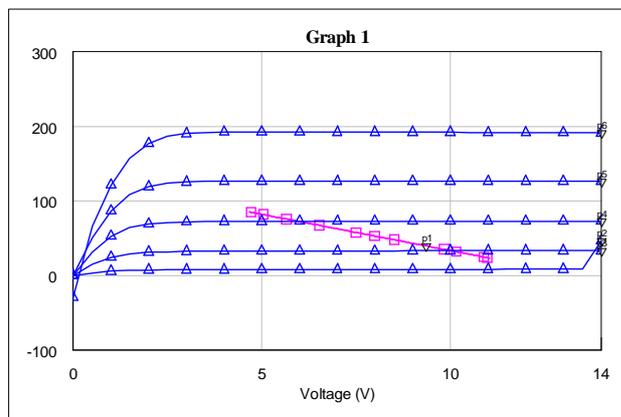


Рис.2

3.3.3 Рассчитать и вывести на график спектр выходного сигнала при одночастотном воздействии. Примерный вид характеристики показан на Рис.3

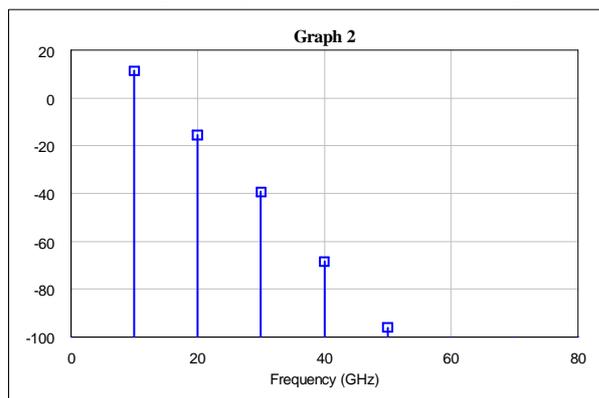


Рис.3

3.3.4. Рассчитать и вывести на график динамическую характеристику при одночастотном воздействии. Примерный вид характеристики показан на Рис.4

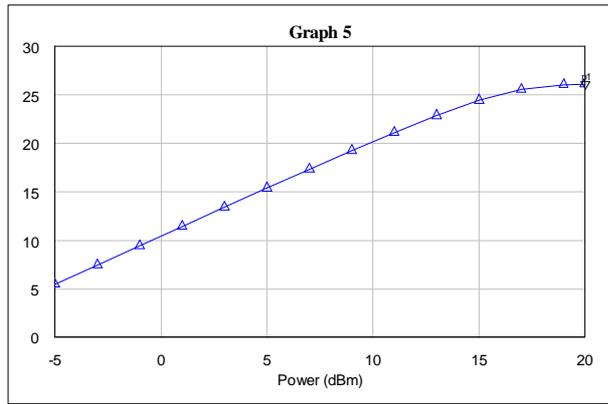


Рис.4

3.3.5 . Рассчитать и вывести на график спектр выходного сигнала при двухчастотном воздействии. Примерный вид характеристики показан на Рис.5

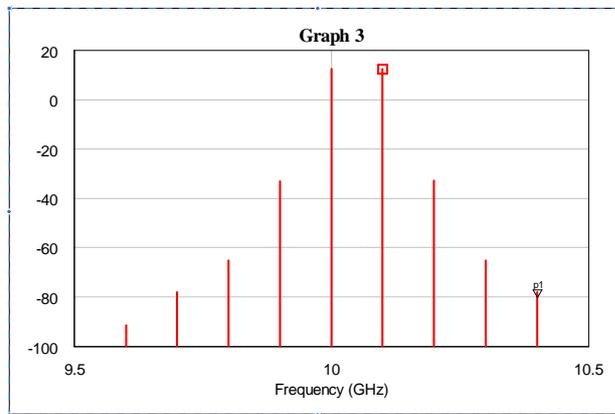


Рис.5

3.3.6 Рассчитать и вывести на график динамические характеристики при двухчастотном воздействии. Примерный вид характеристики показан на Рис.6

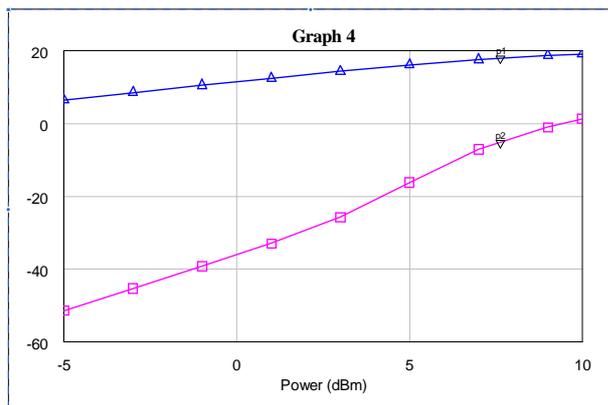


Рис.6

3.3.7 По результатам моделирования определить уровни выходной мощности - при одночастотном воздействии по критерию сжатия на 1 дБ

- при двухчастотном воздействии по заданному уровню нелинейных искажений третьего порядка (-30дБ, -40дБ)

**3.4.** Составить отчет, защитить и сдать его преподавателю

### **3.5. Контрольные вопросы**

1. Какими основными параметрами характеризуется нелинейный усилительный элемент и усилитель мощности?
2. Определение максимальной выходной мощности по критерию компрессии коэффициента передачи на 1дБ?
3. Каким параметром устанавливается связь уровня выходной мощности и нелинейных искажений третьего порядка для усилительного элемента в квазилинейном режиме?
4. Как можно определить  $OIP_3$  при наличии динамических характеристик нелинейного усилительного элемента при двухчастотном воздействии?
5. Как можно определить  $OIP_3$  при наличии спектральных характеристик нелинейного усилительного элемента при двухчастотном воздействии?

### **Список использованных источников**

1. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office, М.: Солон.– 2003.– 500 с.

## **4. Исследование характеристик балансного усилителя на квадратурных направленных ответвителях типа Ланге.**

### **4.1 Цель работы**

Используя пакет анализа и моделирования СВЧ устройств **Microwave Office**, выполнить анализ частотных передаточных и согласующих свойств одиночного и балансного усилителя, используя импортирование файлов данных и введение подсхем узлов.

### **4.2 Порядок выполнения работы в системе Microwave Office**

Изучив необходимые сведения по использованию пакета **Microwave Office** для Windows [1] и материалы лекций по моделированию усилителей выполнить следующее:

- 1) создать схемный проект;
- 2) импортировать файл данных малосигнальных параметров рассеяния заданного усилительного элемента;
- 3) на основе модели усилительного элемента как четырехполюсника, заданного файлом данных малосигнальных параметров рассеяния, создать в этом проекте в отдельном окне схему однокаскадного одиночного усилителя с согласующими цепями по входу и выходу ;
- 4) в отдельном окне создать схему 3 дБ направленного ответвителя Ланге с центральной частотой  $f_0=10$  ГГц
- 5) на основе подсхемы однокаскадного одиночного усилителя с согласующими цепями по входу и выходу (п/п 3) и подсхемы направленного ответвителя создать в этом же проекте в отдельном окне схему балансного усилителя.
- 6) в отдельном окне создать схему 2х-каскадного усилителя из одиночных каскадов
- 7) в отдельном окне создать схему 2х-каскадного усилителя из балансных каскадов
- 8) установив параметры анализа СВЧ усилителя ( $f_0=10$  ГГц; полоса частот  $\Delta f=5-15$  ГГц) создать окна(в необходимом количестве) для построения графиков характеристик позволяющих контролировать усиление и согласование созданных схем в зависимости от частоты.

### **4.3 Задание**

4.3.1 Рассчитать и вывести на графики характеристики одиночного однокаскадного усилителя. Рис.1

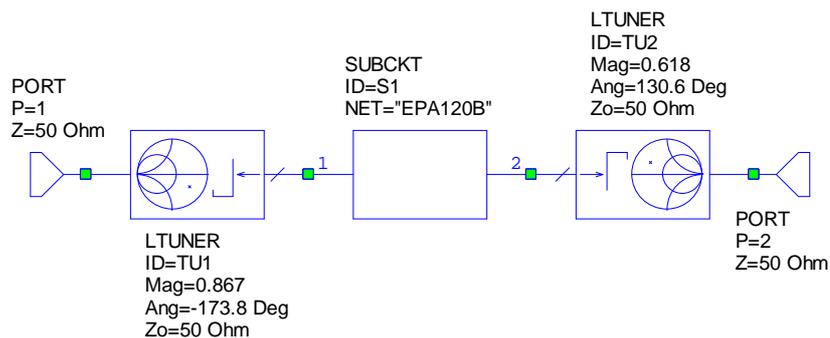


Рис.1

4.3.2 Рассчитать 3 дБ направленный ответвитель на связанных линиях (Ланге) с центральной частотой 10 ГГц. Параметры подложки  $h = 0.5$  мм,  $\epsilon = 10$ , Рис.2

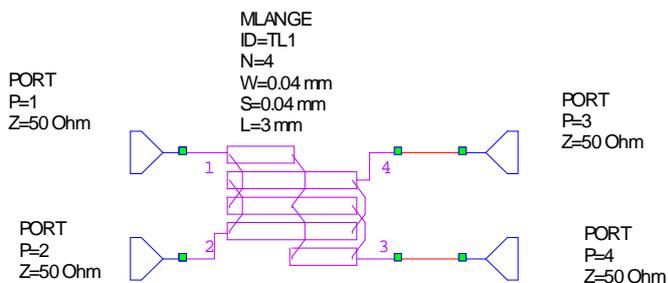


Рис.2

4.3.3 Рассчитать и вывести на графики характеристики 2-х каскадного усилителя, каждый каскад которого представляет собой усилитель Рис.1.

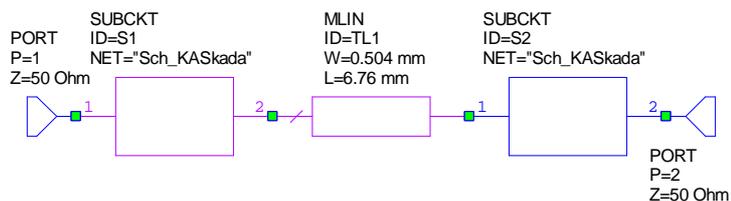


Рис.3

4.3.4. Рассчитать и вывести на графики характеристики балансного каскада усилителя. Рис.4

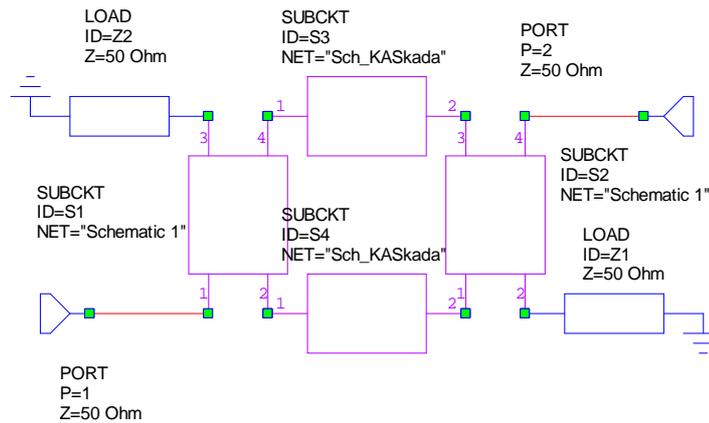


Рис.4

4.3.5 Рассчитать и вывести на графики характеристики 2-х каскадного усилителя, каждый каскад которого представляет собой балансный усилитель Рис.4

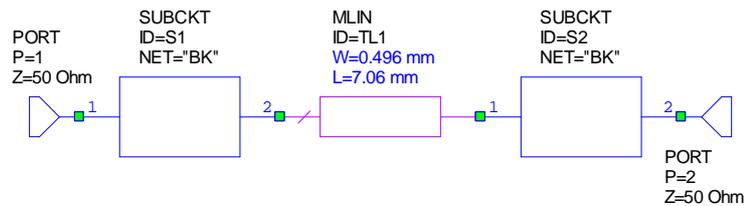


Рис.5

4.3.6 Сравнить частотные характеристики двух вариантов 2-хкаскадных усилителей. Сделать выводы.

4.4. Составить отчет, защитить и сдать его преподавателю

#### 4.5. Контрольные вопросы

1. Какими свойствами обладает балансный каскад по сравнению с одиночным усилителем?
2. За счет чего в балансном каскаде обеспечивается согласование по входу и выходу?
3. Что можно сказать про коэффициент усиления и выходную мощность балансного каскада по сравнению с одиночным усилителем в каждом из его плеч при их идентичности?

#### Список использованных источников

1. Разевиг В.Д., Потапов Ю.В., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office, М.: Солон.– 2003.– 500 с.