

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет “ЛЭТИ”

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы по дисциплине
“Микроволновая техника”

А.А.Данилин

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ СВЧ АТТЕНЮАТОРОВ НА Р-I-N ДИОДАХ

Санкт-Петербург
2009

В лабораторной работе студенты знакомятся с устройством и принципом действия электрически управляемых микрополосковых СВЧ аттенюаторов (коммутаторов) с полупроводниковыми диодами. Исследуют частотные свойства и регулировочные характеристики трех типов аттенюаторов. Изучаются методы измерения их параметров с помощью автоматизированных анализаторов цепей СВЧ.

1. Полупроводниковые управляемые СВЧ диоды.

Для управления СВЧ сигналами используются коммутационные PIN-диоды. Они представляют собой полупроводниковый элемент, который содержит две сильно легированные p- и n- слои, разделенные высокоомной областью i с электропроводностью собственного типа (база диода). Торцевые слои диода металлизируют и используют в качестве выводов. Два перехода p-i и n-i при приложении обратного напряжения заперты. Диод обладает большим обратным сопротивлением. Схема замещения запертого диода представляет собой конденсатор с параллельным сопротивлением потерь. Емкость диода практически не зависит от СВЧ сигнала, поэтому нелинейность PIN-диода не проявляется в широком диапазоне напряжений. При подаче на диод положительного напряжения смещения переходы отпираются, база диода заполняется свободными носителями ее сопротивление уменьшается. Величина сопротивления диода зависит от тока смещения и меняется в пределах от десятков кОм до единиц и долей Ом. Таким образом, в прямом направлении PIN- диод представляет собой переменный резистор с электрическим управлением. Это свойство используют при создании электрически управляемых коммутаторов и аттенюаторов.

2. Конструкции полупроводниковых аттенюаторов, используемых в лабораторной работе

Для изучения микрополосковых аттенюаторов с полупроводниковыми диодами в лабораторной работе исследуются три схемы включения PIN – диодов – последовательная, параллельная и комбинированная. Аттенюатор с последовательным включением диода представляет собой полосковую линию на диэлектрической подложке (рис.1).

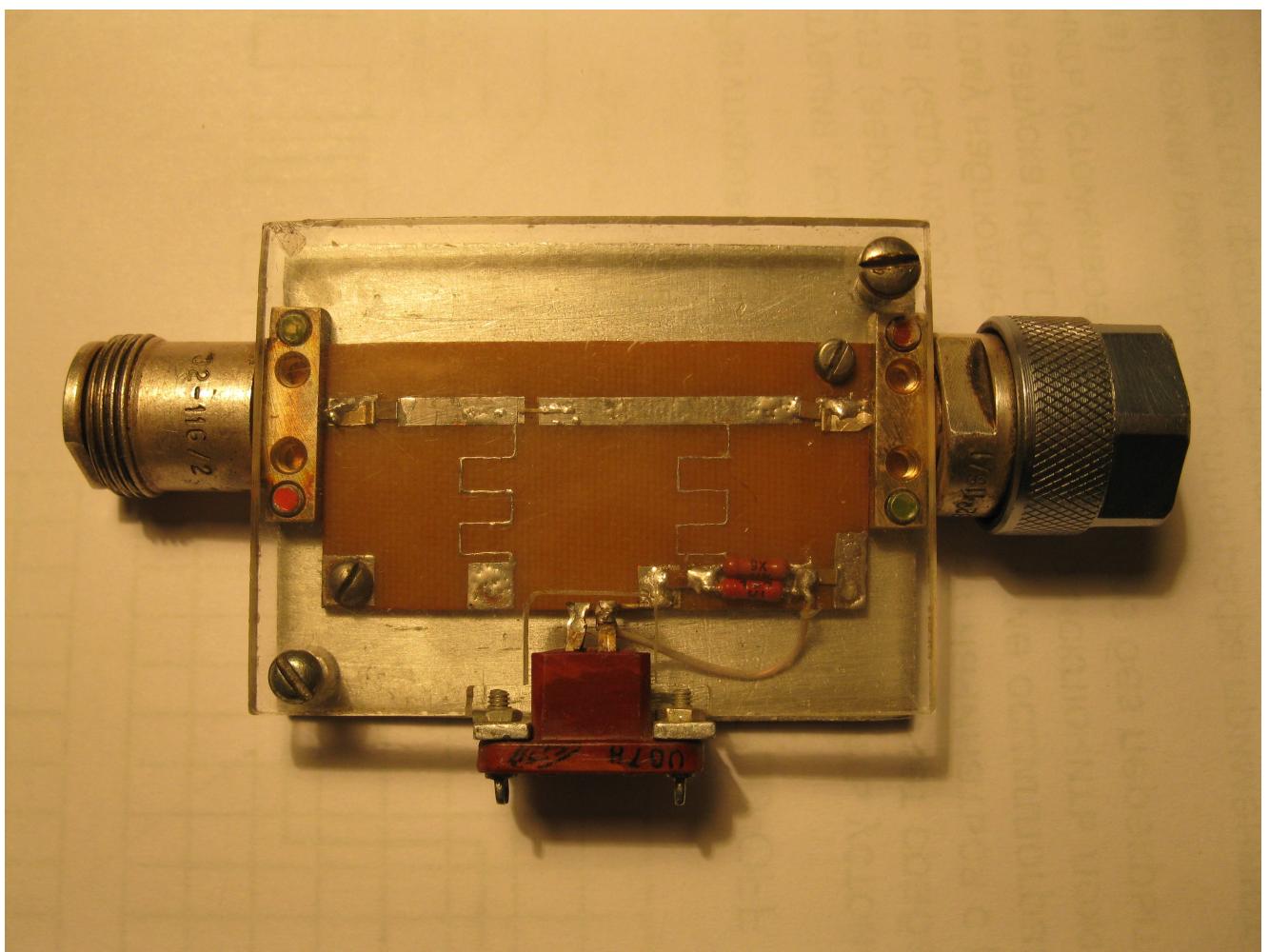


Рис.1. Аттенюатор с последовательным включением диода

Ширина полоска линии 3 мм, что обеспечивает волновое сопротивление 50 Ом. Бескорпусной PIN- диод включен в разрыв полоска. Для подачи на него тока смещения используются две дроссельные меандровые линии, обеспечивающие разделение цепей смещения и СВЧ-сигнала. Для этого служат также два бескорпусных конденсатора, включенных в разрывы линии у входных разъемов.

Схемотехническая модель такого аттенюатора в среде Microwave Office представлена на рис.2. Значения блокировочных емкостей и индуктивность дросселей подобрана ориентировочно, значение параметров PIN-диода задано моделью PINDD из библиотеки MWO.

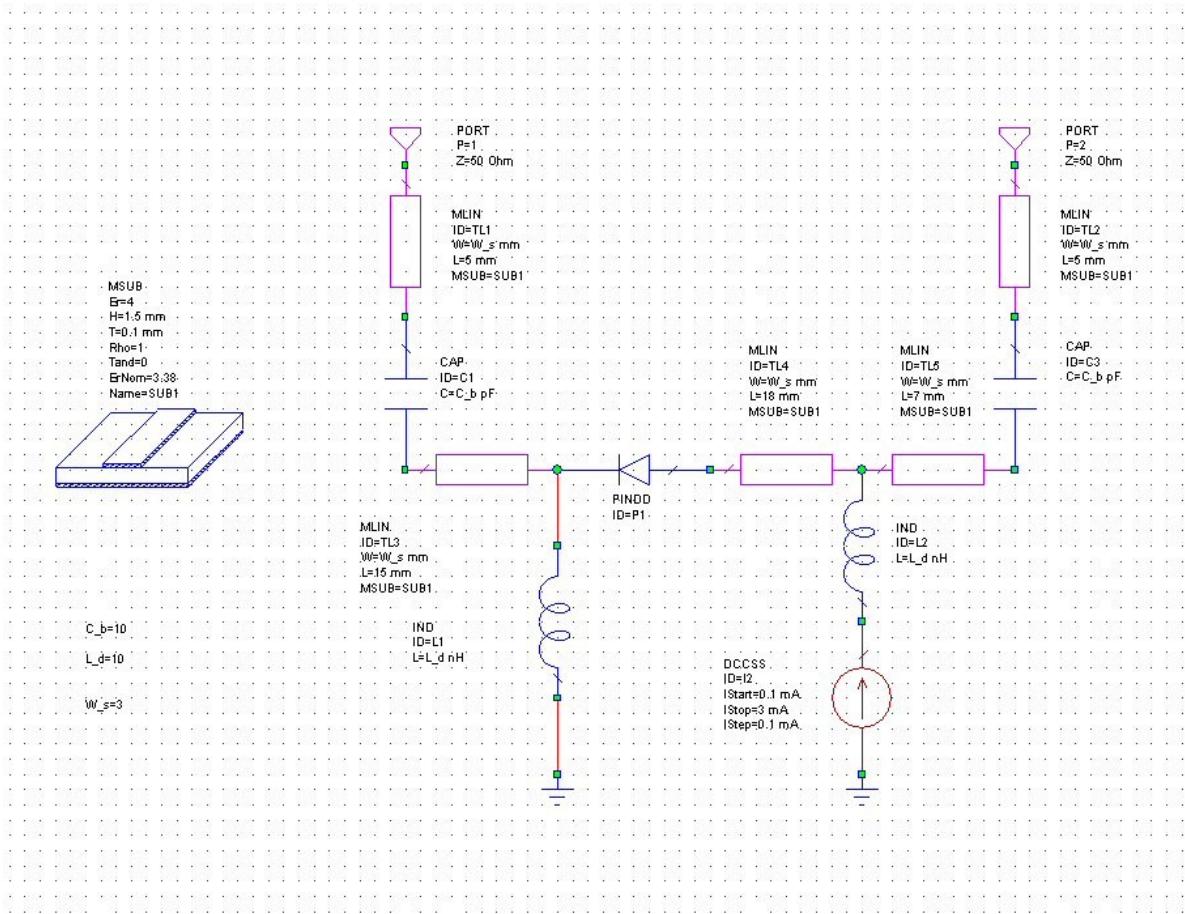


Рис.2. Схема аттенюатора с последовательным включением диода

Параллельное включение диода используют для создания обратной регулировочной характеристики. Сопротивление диода шунтирует линию передачи, поэтому минимальное ослабление вносится при нулевом токе смещения, максимальное – при токе порядка нескольких мА. Вид аттенюатора с параллельным включением диода представлен на рис.3 , а его схема – на рис. 4

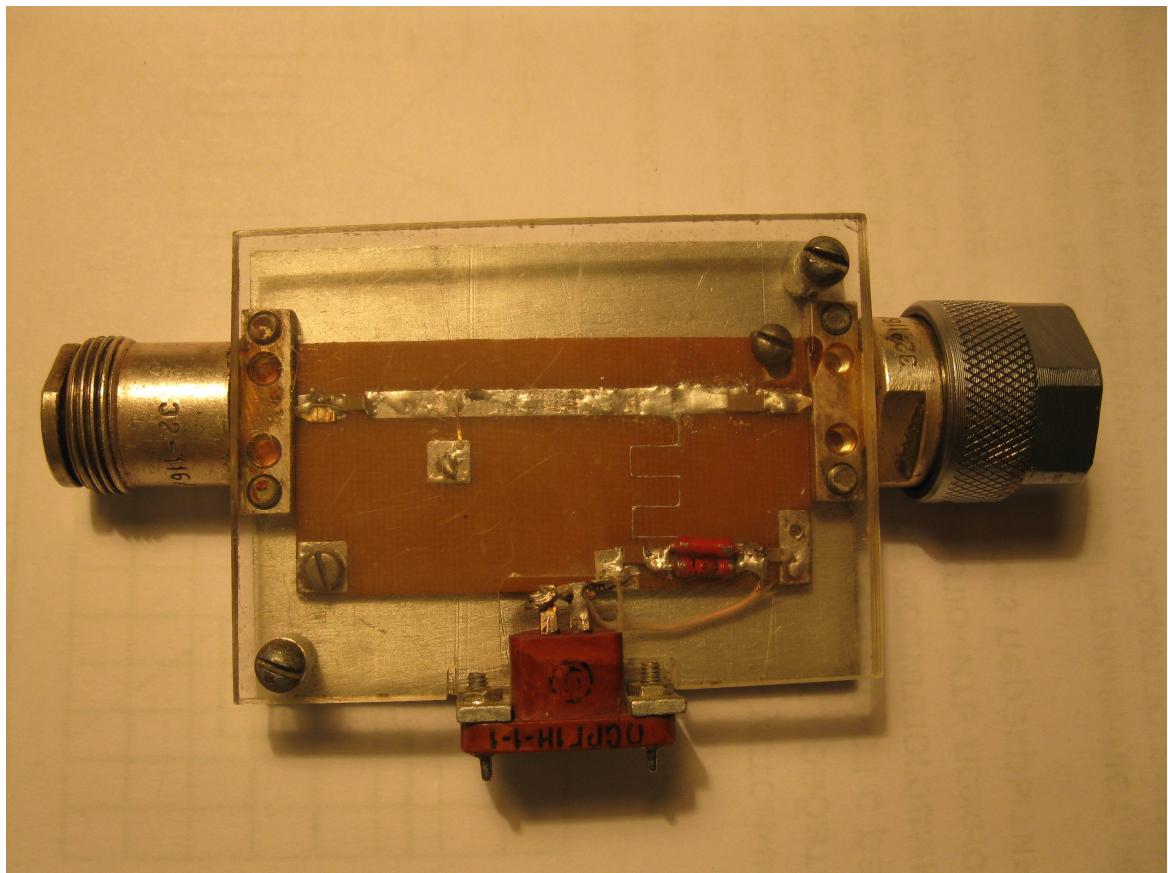


Рис.3. Аттенюатор с параллельным включением диода

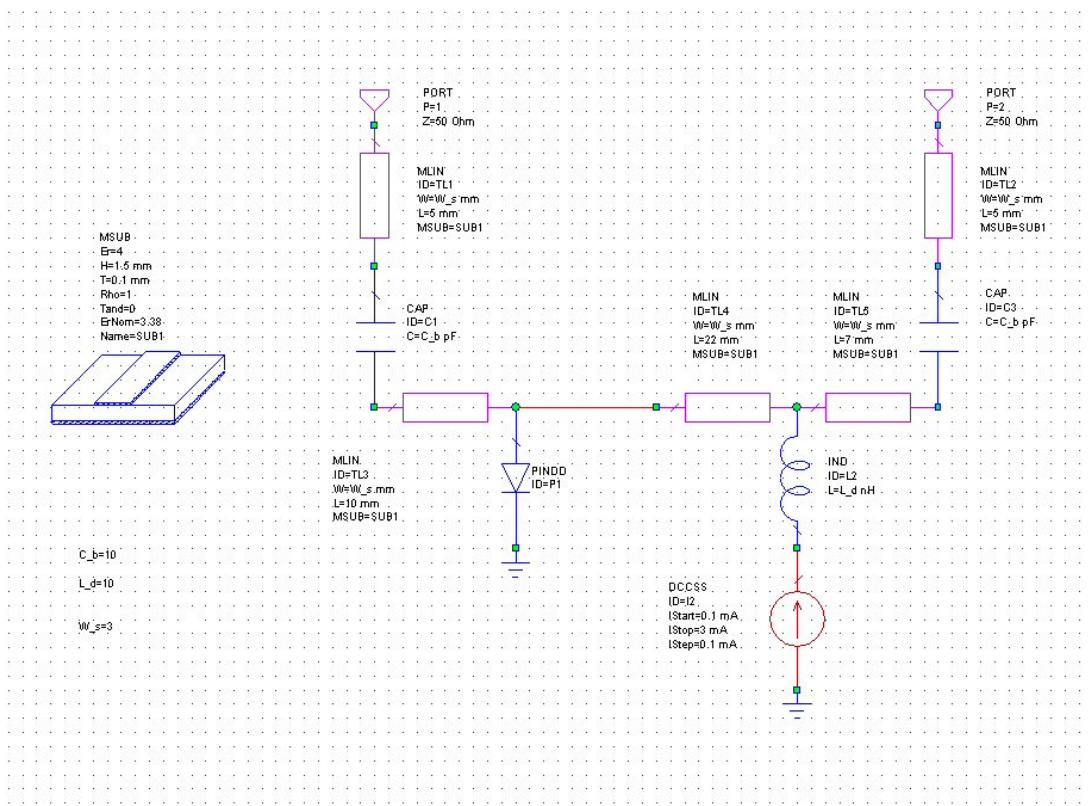


Рис.4. Схема аттенюатора с параллельным включением диода

Для увеличения вносимого ослабления и повышения гибкости управления используют комбинированные схемы включения диодов. На рис. 5 показан вид Г-образного включения двух PIN-диодов. Такая схема позволяет увеличить диапазон изменения ослабления и улучшить согласование аттенюатора.

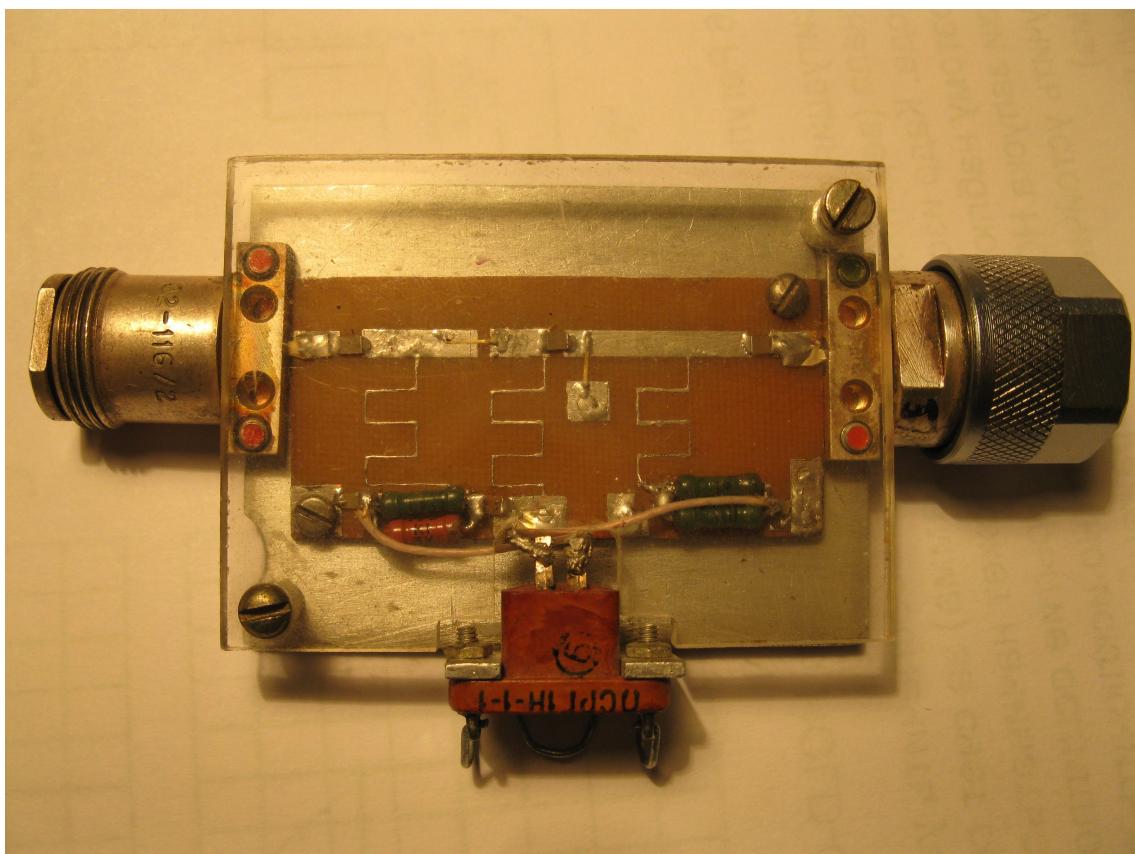


Рис.5. Аттенюатор с двумя диодами

3. Установка режимов работы прибора E5062A и проведение измерений

3.1. Установка числа каналов и графиков.

Первым шагом при работе с прибором является установка количества каналов и вида выводимой информации (расположение графиков). В приборе Agilent E5062A можно использовать от 1 до 4-х каналов. По умолчанию отображается только один канал. Для увеличения количества отображаемых каналов необходимо:

1. Нажать **Display**
2. Нажать **Allocate Channels** и выбрать из списка способ отображения каналов

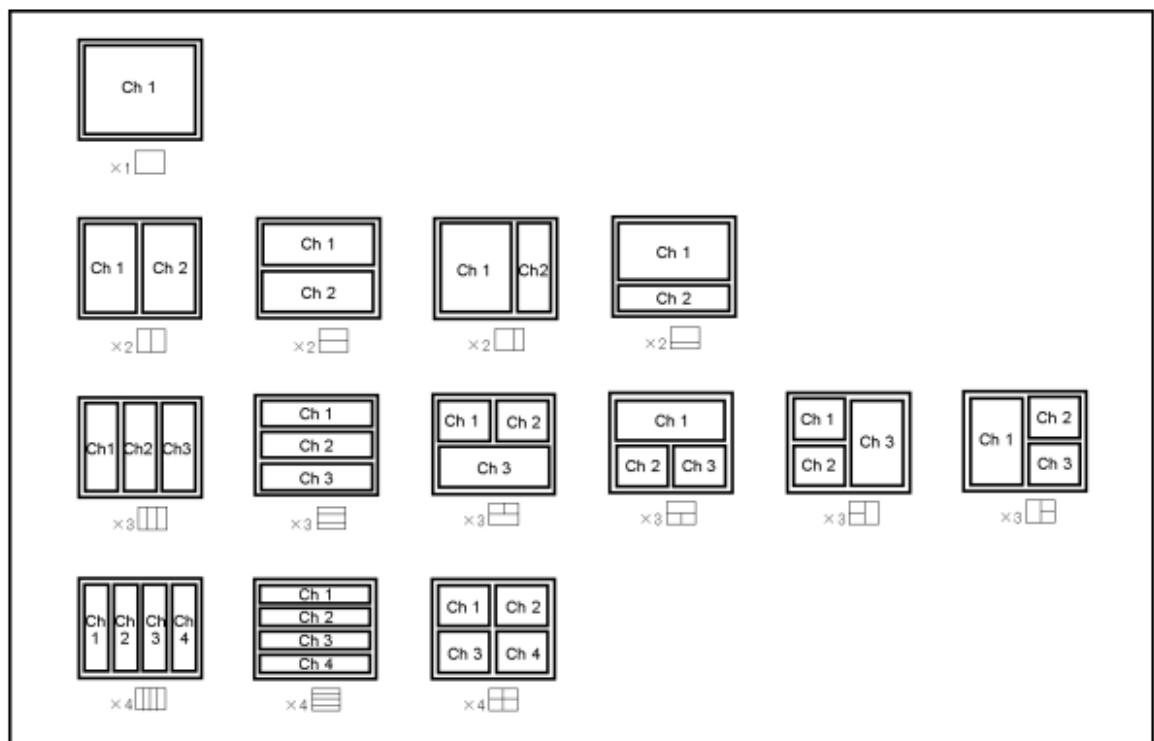


Рис. 6. Возможные шаблоны расположения окон каналов

Внимание: На дополнительных каналах при их создании по умолчанию стоит однократная развёртка (значок # в правом нижнем углу экрана канала). Для прове-

дения измерений, необходимо изменить режим развёртки – установить непрерывный запуск (Continuous) (см. режимы запуска каналов)

Для переключения между каналами можно пользоваться клавишами на лицевой панели прибора **Channel Next** (следующий канал), **Channel Prev** (предыдущий канал), кнопками экранного меню или щелчком правой кнопки мыши на окне требуемого канала.

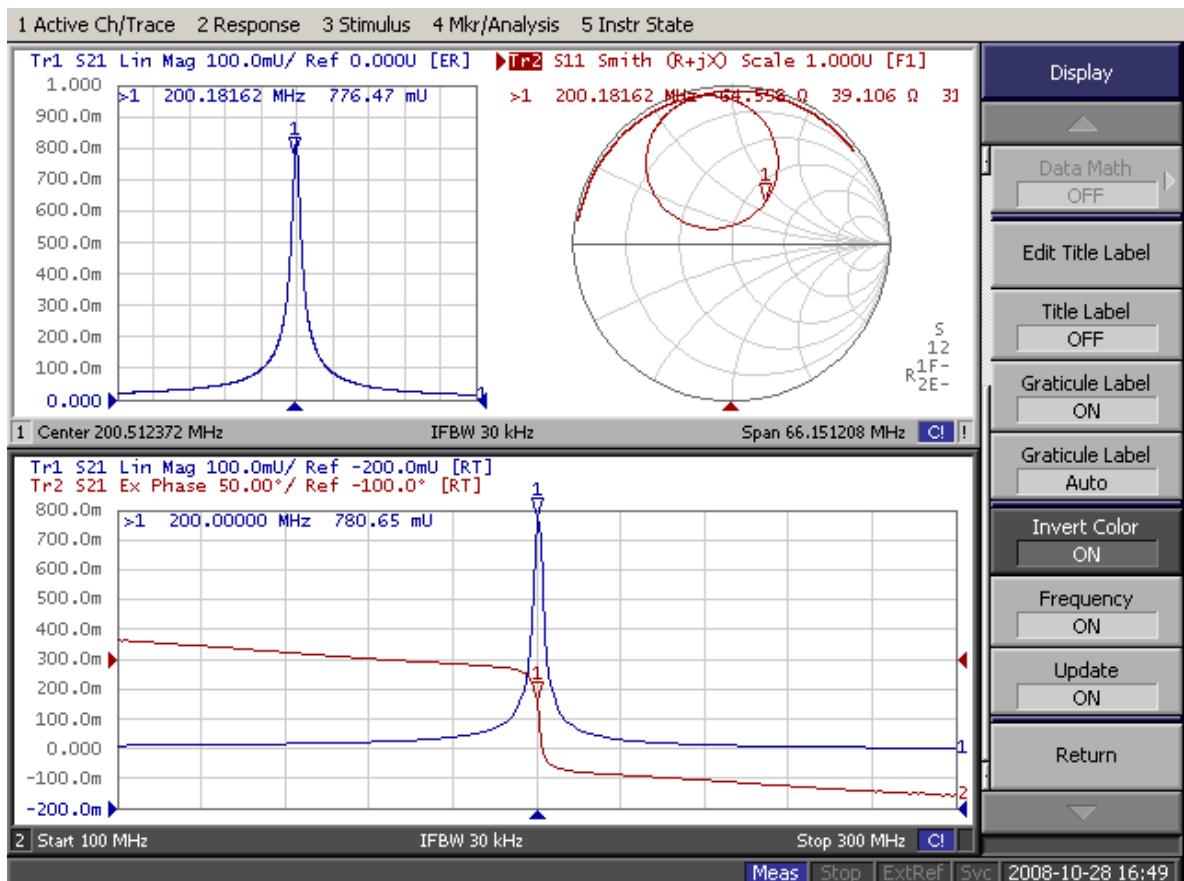


Рис. 7. Отображение на экране 2-х каналов: в первом два графика отдельно, во втором – два графика совмещены.

В каждом канале имеется возможность отображения до 4-х графиков, которые можно накладывать друг на друга, либо выводить в отдельной рамке. Это удобно использовать для просмотра сразу нескольких характеристик исследуемого элемента. Для выбора количества отображаемых графиков в активном канале необходимо:

- Нажать **Display**
- Нажать **Number of Traces**
- Нажать требуемую цифровую клавишу 1...4

Установка расположения рамок графиков производится аналогично каналам:

- Нажать **Display**
- Нажать **Allocate Traces**

- Выбрать из списка способ отображения графиков.

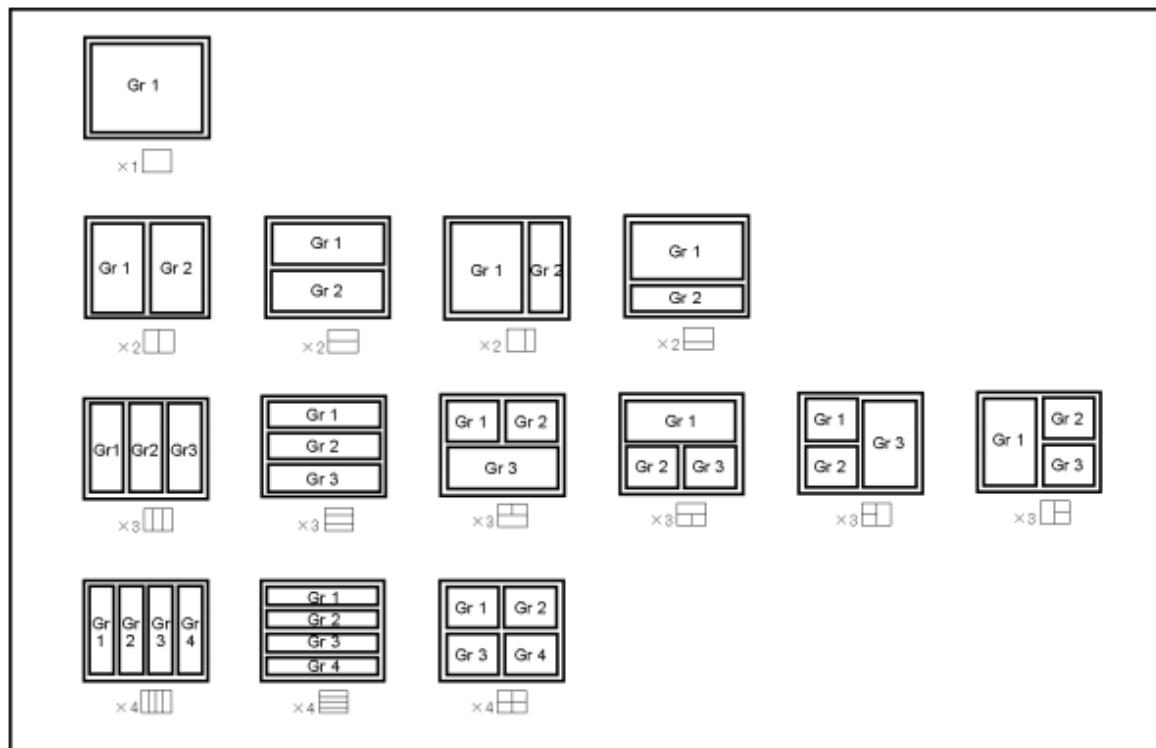


Рис. 8. Возможные шаблоны расположения графиков в окне канала

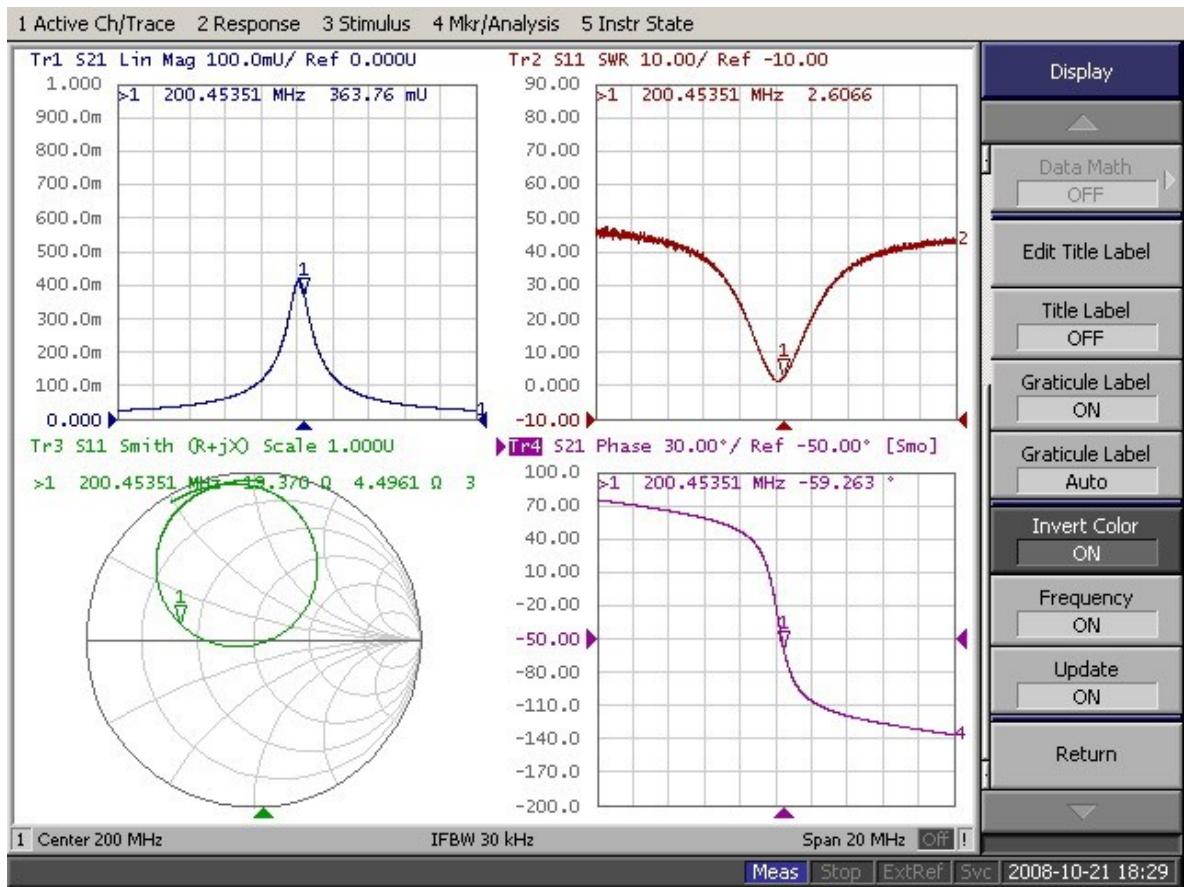


Рис. 9. Отображение в окне одного канала отдельно 4-х графиков

3.2. Режимы (параметры) каналов

Параметры в каждом из каналов устанавливаются независимо. Они являются общими для всех графиков канала: диапазон свиппирования, мощность генератора, число частотных точек, режим свиппирования, полоса ПЧ, калибровка, режим запуска.

Установка частотного диапазона:

- Нажать **Display**
- Нажать **Frequency**

Установить частотный диапазон можно несколькими способами:

- Ввести клавишами **Start** и **Stop** и цифровыми клавишами начальную и конечную частоту диапазона.
- Нажать клавишу **Center** и цифровыми клавишами ввести значение центральной частоты.
- Клавишей **Span**+цифровые клавиши можно устанавливать ширину диапазона относительно центральной частоты.

- Установка диапазона качания с помощью маркеров. Для этого необходимо:
 1. В окне канала, в котором должен быть изменён диапазон, поместить активный маркер на активном графике в положение, соответствующее нижнему, верхнему или центральному значению нового диапазона частот.
 2. Нажать клавишу **Marker Fctn**.
 3. Выбрать программируемую клавишу:

Marker —> Start Присваивает нижнему значению диапазона значение частоты в точке маркера.

Marker —> Stop Присваивает верхнему значению диапазона значение частоты в точке маркера.

Marker —> Center Присваивает центральному значению диапазона значение частоты в точке маркера на текущем активном графике.

Частотный диапазон измерения, как правило, должен совпадать с частотным диапазоном калибровки. При расширении частотного диапазона измерения относительно диапазона калибровки, прибор автоматически проведёт интерполяцию калибровочных данных. Это позволит провести измерения, но приведёт к некоторому увеличению их погрешности. Область калибровки при этом отмечается жёлтым квадратом, а в правом нижнем углу загорается значок ?.

Установка количества точек:

Увеличение числа точек ведёт к уменьшению погрешности дискретности, но уменьшает скорость измерения, при которой не наблюдается динамических искажений. Число точек устанавливается в пределах 2...1601, при этом автоматически меняется и время измерения (если установлен режим Sweep Time – AUTO).

Для изменения числа точек необходимо:

- Выбрать канал
- Нажать Sweep Setup
- Нажать Points
- Используя цифровые клавиши, ввести нужное число точек

Установки режима свиппирования:

В приборе имеется возможность выбора одного из 4-х установленных типов свиппирования генератора:

Тип свиппирования	Пояснение
Linear	Свиппирование по частоте в линейном масштабе
Log	Свиппирование по частоте в логарифмическом масштабе
Segment	Свиппирование по частотным сегментам
Power	Свиппирование по уровню мощности в линейном масштабе на фиксированной частоте

Для установки режима свиппирования:

- Нажать **Sweep Setup**
- Нажать **Sweep Type**
- Выбрать необходимый тип свиппирования

Установка времени свиппирования (время анализа):

Предусмотрено два режима установки времени свиппирования: ручной и автоматический.

В *ручном* режиме, время свиппирования устанавливается с цифрового блока на лицевой панели прибора. Для установки времени свиппирования необходимо:

- Выбрать активный канал
- Нажать **Sweep Setup**
- Нажать **Sweep Time**
- Ввести время свиппирования в секундах

Режимы запуска канала (triggering):

При измерении прибор начинает работу (запускается) от одного из возможных источников запуска. Необходимо выбрать источник запуска (для всего прибора), а также тип запуска каждого канала.

Для выбора источника запуска необходимо:

- Нажать **Trigger**
- Нажать **Trigger Source**
- Выбрать источник запуска канала:

Internal – запуск канала производится непрерывно от внутреннего источника (внутренняя развертка)

External – запуск канала производится от внешнего источника (внешняя развертка). В качестве источника используется сигнал, подаваемый на вход внешнего запуска.

Manual – запуск канала производится вручную нажатием кнопки **Trigger** (однократная развертка)

Bus – запуск канала по команде интерфейса от сети, в которую включен прибор (программный запуск командой *TRG).

Для выбора типа запуска необходимо:

- Выбрать требуемый канал
- Нажать **Trigger**
- Выбрать требуемый тип запуска:

Hold – устанавливает развёртку в состояние ожидания (Idle- остановка свиппирования)

Single – режим однократной развёртки – прибор в состоянии готовности к запуску (Initiate). После запуска прибор переходит в состояние ожидания

Continuous – режим непрерывной развёртки

Hold All Channels – устанавливает развёртки всех каналов в режим ожидания

Continuous Disp Channels – режим непрерывной развёртки для всех отображаемых каналов

3.3. Режимы (параметры) графиков.

Установка измеряемых параметров для каждого графика:

Прибор E5062A в каждой точке измеряет два параметра матрицы рассеяния S11 и S21(их амплитуды и фазы). Для каждого графика требуется указать вид индицируемого параметра. На одном графике может отображаться как один параметр, так и два сразу. Для выбора измеряемого параметра:

- Выбрать необходимый канал и график

- Нажать Meas
- Выбрать требуемый параметр матрицы рассеяния (S11 или S21)

Выбор формата выводимых данных:

Прибор позволяет отображать на графиках измеряемые параметры в следующих форматах:

- Прямоугольная (декартова) система координат
 - Линейная шкала амплитуды
 - Логарифмическая шкала амплитуды
 - Стандартный формат фазы (-180⁰...180⁰)
 - Расширенный формат фазы (-∞...∞)
 - Формат положительной фазы (0...360⁰)
 - Групповое время запаздывания (ГВЗ)
 - КСВ
 - Формат вывода вещественной и мнимой части параметра
- Полярная система координат
- Диаграмма Смита

Прямоугольная система координат:

Тип	Данные по Оси Y	Единицы измерения	Измеряемые величины
Логарифмическая шкала	Измеряемая величина	дБ	Обратные потери Вносимые потери
Стандартный формат фазы	Фаза в пределах от -180 ⁰ до 180 ⁰	град	Изменение фазы
Расширенный формат фазы	Фаза в пределах от -∞ до +∞	град	Изменение фазы
Формат положительной фазы	Фаза в пределах 0 ⁰ до 360 ⁰	град	Изменение фазы
Формат групповой задержки	Сигнал, задержанный внутри исследуемого устройства	сек	Групповая задержка

Тип	Данные по Оси Y	Единицы измерения	Измеряемые величины
Линейный формат	Измеряемая величина	безразмерно	Коэффициент отражения
KCB	$\frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}}$	безразмерно	Измерение параметров стоячей волны
Формат вещественных данных	Вещественная часть измеряемых комплексных параметров	безразмерно	
Формат комплексных данных	Мнимая часть измеряемых комплексных параметров	безразмерно	

Полярная система координат:

Выводятся частотная зависимость (годограф) комплексного параметра в следующих форматах:

- Линейный модуль параметра и его фаза
- Логарифмический модуль величины и фаза
- Вещественные и комплексные части параметра (выводятся с помощью маркера)

В данном формате отсутствует отображение частот, на которых проводятся измерения (рис.11). Определить частоту можно только при помощи маркера.

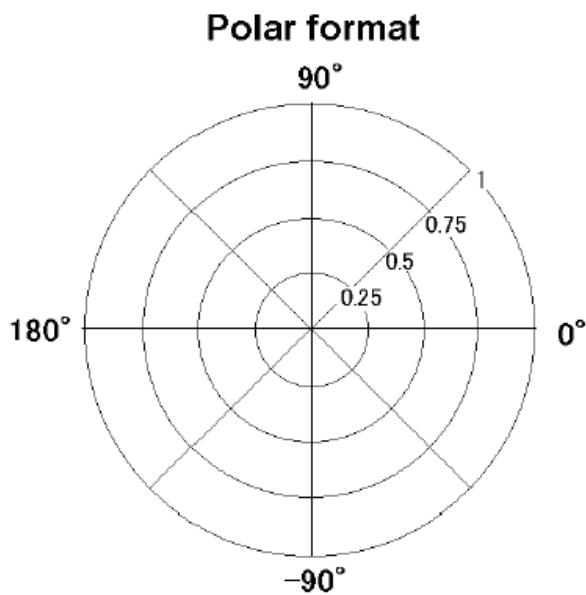


Рис. 11. Полярная диаграмма

Диаграмма Смита (круговая диаграмма).

Это полярная система координат для коэффициента отражения с наложенной сеткой вещественной и мнимой частями полных сопротивлений или проводимостей.

Форматы вывода:

- Линейный модуль и фаза
- Логарифмический модуль и фаза
- Вещественные и комплексные части
- Сопротивление (Ом), реактивное сопротивление и индуктивность (Γ н) или ёмкость (Φ)
- Проводимость (C_m), реактивная проводимость и ёмкость или индуктивность

Последние данные являются расчетными и выводятся при помощи маркера. Для их расчета требуется предварительно ввод волнового сопротивления тракта Z_0 .

Smith chart format

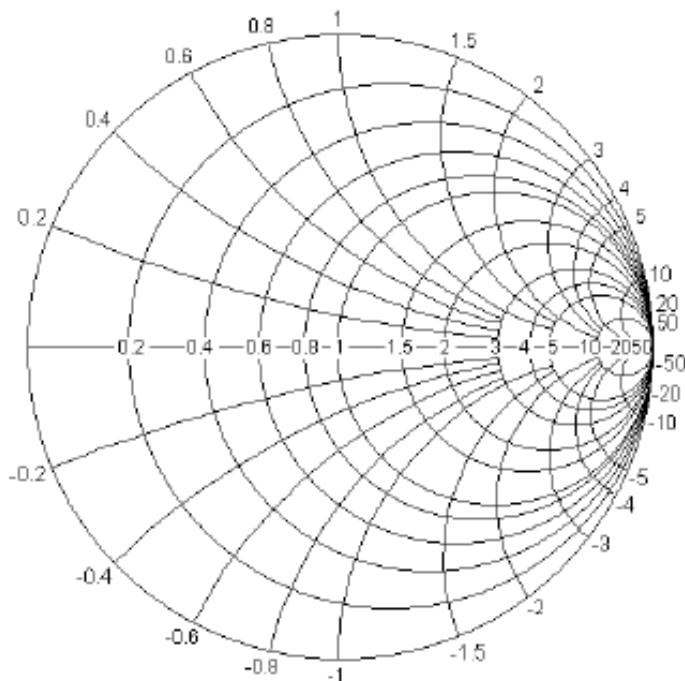


Рис. 12. Круговая диаграмма

Для выбора формата отображения необходимо:

- Указать необходимый канал и график
- Нажать **Format**
- С помощью программируемой клавиши выбрать требуемый формат вывода данных

Lin Mag - Прямоугольная система координат, линейный формат

Log Mag - Прямоугольная система координат, логарифмическая шкала

Phase Прямоугольная система координат, стандартный формат фазы – значения в пределах -180 ...180 градусов

Group Delay Прямоугольная система координат, формат ГВЗ

Smith - Lin / Phase	Диаграмма Смита, линейный модуль и фаза
Smith - Log / Phase	Диаграмма Смита, логарифмический модуль и фаза
Smith - Real / Imag	Диаграмма Смита, вещественные и комплексные части
Smith - R + jX	Диаграмма Смита, сопротивление, реактивное сопротивление и индуктивность или ёмкость
Smith - G + jB	Диаграмма Смита, проводимость, реактивная проводимость и ёмкость или индуктивность
Polar - Lin / Phase	Полярная система координат, линейный модуль и фаза
Polar - Log / Phase	Полярная система координат, логарифмический модуль и фаза
Polar - Real / Imag	Полярная система координат, вещественные и комплексные части
SWR	Прямоугольная система координат, КСВ
Real	Прямоугольная система координат, вещественная часть параметра
Imaginary	Прямоугольная система координат, мнимая часть параметра
Expand Phase	Прямоугольная система координат, «расширенный» формат фазы, в котором исключены броски фазы на 360 градусов
Positive Phase	Прямоугольная система координат, формат положительной фазы – фазовый угол изменяется в пределах 0 -360 градусов

Установка масштаба графиков

Предусмотрено два режима установки масштабов – автоматический (автоподстройка) и ручной. В режиме автоподстройки, прибор подбирает масштаб осей графика для наилучшего отображения измеряемых данных. Устанавливаются начало координат (опорный уровень) и цена деления шкалы. Для включения автоподстройки необходимо:

- Выбрать требуемые канал и график
- Нажать **Scale**
- Нажать **Auto Scale**

Если необходимо провести автоподстройку для всех графиков в канале

- Выбрать требуемый канал
- Нажать **Scale**
- Нажать **Auto Scale All**

В ручном режиме для декартовой системы координат допускается установка вида оси Y . Регулируются 4 параметра:

- Число делений по оси Y (**Divisions**) - от 4 до 30 – устанавливается для всех графиков канала.
- Цена деления (**Scale/Div**) масштабной сетки по оси Y активного графика
- Положение опорного уровня (**Reference Position**) активного графика. Указывается номер деления шкалы, принятый для опорного значения.
- Значение опорного уровня (**Reference Value**)

Для ввода параметров требуется:

- Выбрать требуемый канал и график
- Нажать **Scale**
- Нажать программируемую клавишу, соответствующую параметру установки масштаба.

В ручном режиме для полярной системы координат и диаграммы Смита устанавливается только один параметр – величина радиуса внешней окружности (**Scale/Div**).

3.4. Измерения с использованием маркеров.

Маркер – это электронная метка на графике , которая позволяет:

- Считывать численное значение измеренной величины (абсолютное или относительное значение)
- Перемещение маркера в нужную точку графика (режим маркерного поиска)

- Анализ данных графика с целью определения его параметров (полосы пропускания, неравномерности и пр.)
- Изменение параметров генератора (например, установка диапазона свип-пиорования) или масштаба отображения (например, значения опорного уровня) с использованием маркера.

Каждому маркеру соответствует значение частоты (значение по оси X в формате прямоугольных координат) и значение результата измерения (значение по оси Y в формате прямоугольных координат). В формате диаграммы Смита и в полярных координатах каждому маркеру соответствует частота и два значения результата измерения (амплитуда и фаза). Прибор позволяет размещать на каждом графике до 10 маркеров.

Добавление маркеров на график активного окна.

- Выбрать требуемые канал и график
- Нажать **Marker**.
- выбрать маркер с помощью программируемых клавиш **Marker 1-4**. Они включают один из маркеров 1-4, если он был выключен; или делают маркер 1-4 активным.

More Markers - Marker 5-9 Включает маркер с номером 5-9, если он был выключен; делает маркер 5-9 активным.

Ref Marker - включает опорный маркер, если он был выключен; делает опорный маркер активным.

Для выключения маркеров необходимо нажать клавишу **Clear Marker Menu** и выбрать одну из программируемых клавиш:

All OFF – выключение всех маркеров на активном графике;

Marker1 – 9 - выключает один из 9 маркеров;

Ref Marker - выключает опорные маркеры на активном графике

Считывание абсолютного значения данных в точке маркера

Перемещение маркера по графику осуществляют манипулятором мышь или регулятором на цифровой панели. В поле ввода данных активного маркера можно менять значение частоты. Это позволяет перемещать маркер по графику в нужную частотную точку, вводя ее координату с помощью цифровых клавиш. Завершать ввод можно нажатием клавиш со стрелками или щелчком мыши по указателю с правой стороны зоны ввода.

В графиках с прямоугольными координатами формат вывода результата измерения в точке маркера всегда соответствует формату данных графика по оси Y. В других координатах можно выбрать один из нескольких форматов представления численных значений измеренной величины (таблица 4).

Таблица 4. Показания в точке маркера в формате диаграммы Смита или полярной диаграммы.

Программируемая клавиша для выбора формата данных	Значение измеряемой величины в точке маркера	
	Основное	Дополнительное
Smith - Lin/Phase	Линейная амплитуда	Фаза
Smith - Log/Phase	Логарифм, амплитуда	Фаза
Smith - Real/Imag	Действительная часть	Мнимая часть
Smith-R + jX	Активное сопротивление	Реактивное сопротивление* ¹
Smith-G + jX	Проводимость (действительная часть проводимости)	Восприимчивость (мнимая часть проводимости)
Polar - Lin/Phase	Линейная амплитуда	Фаза
Polar - Log/Phase	Логарифм, амплитуда	Фаза
Polar - Real/Imag	Действительная часть	Мнимая часть

Считывание относительного значения данных измерения

В приборе предусмотрен режим вывода данных измерений относительно опорного значения, задаваемого маркером специального типа. Он называется опорный маркер - Ref Marker.

Нажатие клавиши **Marker** —> **Ref Marker** позволяет поместить опорный маркер в положение, в котором находится в данный момент активный маркер. После

этого относительный режим включится автоматически. В противном случае режим относительных измерений вводится клавишей **Ref Marker Mode**.

В относительном режиме значение частоты и измеряемая величина отображаются на экране в относительных величинах, отсчитанных от точки, в которой находится опорный маркер (рис.18).

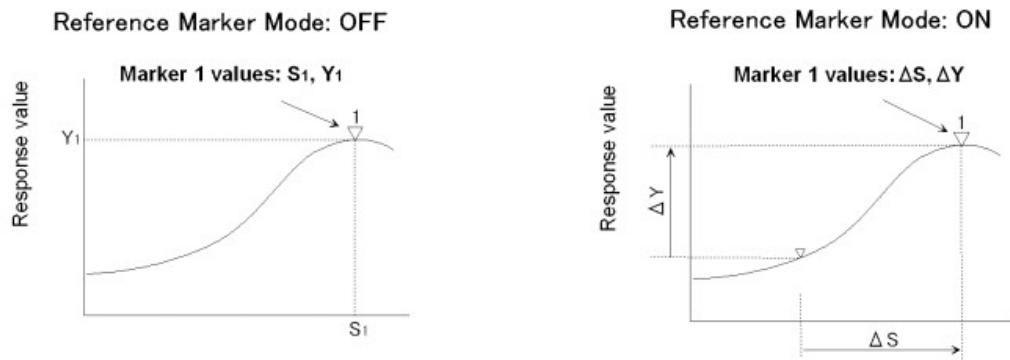


Рис. 18. Режим дельта-маркера

Дискретный режим позиционирования маркера

Если включен дискретный режим (**Discrete ON**), то маркер перемещается только по точкам, в которых проводилось измерение. Если указано конкретное числовое значение частоты, маркер помещается в точку измерения, ближайшую к этому значению по оси X. Если дискретный режим выключен (**Discrete OFF**) - маркер может размещаться и в области между точками, в которых проводилось измерение (рис.19).

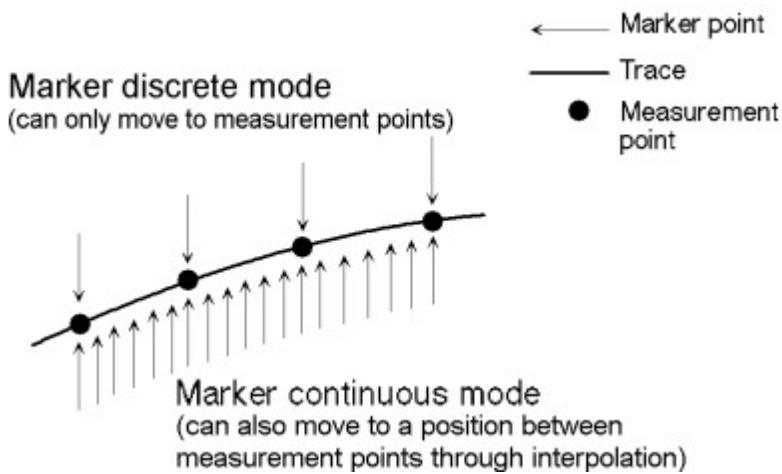


Рис. 19. Дискретный режим маркера

Включение и выключение дискретного режима маркера производится следующим образом - необходимо:

- Выбрать требуемые канал и график
- Нажать клавишу **Marker Fctn.**
- Нажать клавишу **Discrete ON|OFF** для включения или выключения дискретного режима

Режим маркерного поиска (Marker Search).

В приборе реализован режим установки маркера в точку, удовлетворяющую заданному критерию поиска:

1. Максимальное значение параметра
2. Минимальное значение
3. Целевая точка с указанным значением параметра
4. Пиковое значение параметра

Установка диапазона поиска позволяет искать точку установки маркера как в полном диапазоне качания частоты (по умолчанию), так и в частичном (**Partial Search**). Для этого требуется:

- Нажать клавишу **Marker Search.**
- Нажать клавишу **Search Range.**
- Вторично нажать клавишу **Search Range.**

- Нажать клавишу **Start** и ввести нижний предел поиска
- Нажать клавишу **Stop** и ввести верхний предел поиска

Поиск можно осуществлять один раз, а также автоматически повторять его на каждом цикле свиппирования (Search Tracking). Включать и выключать этот режим можно так:

- Нажать клавишу **Marker Search**.
- Нажать клавишу **Search Range**.
- Нажать клавишу **Tracking** для включения или выключения режима автоматического поиска.

Поиск максимума или минимума графика

Предусмотрена возможность поиска максимального или минимального значения величины на графике и перемещения в эту точку маркера (рис. 21.)

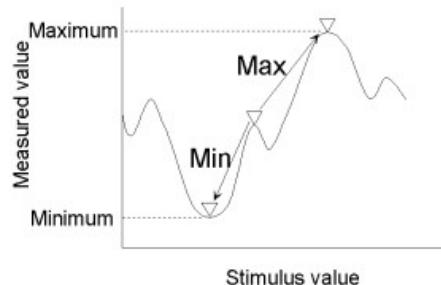


Рис. 21. Поиск максимума или минимума

- Нажать клавишу **Marker Search**.
- Нажать клавишу **Max (Min)**.

3.5. Вывод и сохранение данных

В приборе предусмотрено сохранение следующих типов данных:

- Состояние прибора (State) - запоминаются установленные параметры прибора. При последующей загрузке прибор воспроизводит запоменное состояние;

- Состояние и данные калибровки (State & Cal) - запоминаются установленные параметры и массив калибровочных коэффициентов;
- Состояние и данные графиков (State & Trace) – запоминаются установленные параметры прибора и массив данных графиков с учетом калибровки;
- Состояние, данные калибровки и графиков (All) – запоминаются все данные.

Сохранение производится в файлах на жестком диске или флоппи – диске.

Процедура сохранения включает в себя выбор запоминаемой информации:

- Нажать клавишу **Save/Recall**.
- Нажать клавишу **Save Types**.
- Нажать программируемую клавишу, соответствующую выбору типа запоминаемой информации.

Процедура выбора канала и запоминаемого графика :

- Нажать клавишу **Save/Recall**.
- Нажать клавишу **Channel/Trace** и выбрать запоминаемые графики – все для всех каналов (**All**) или только отображаемые на экране (**Disp Only**).

Процедура сохранения состояния прибора:

- Нажать клавишу **Save/Recall**.
- Нажать клавишу **Save State**.
- Нажать программируемую клавишу имени файла сохранения. По умолчанию это имя State01.sta ... State08.sta или Autorec.sta. Последний файл используется для автоматической конфигурации прибора при загрузке системы. Возможен ввод другого имени файла (клавиша **FileDialog**).
- Нажать клавишу **Save**

Процедура вызова состояния прибора:

- Нажать клавишу **Save/Recall**.
- Нажать клавишу **Recall State**.

- Нажать программируемую клавишу имени файла сохранения. По умолчанию это имя State01.sta ... State08.sta или Autorec.sta. Последний файл используется для автоматической конфигурации прибора при загрузке системы. Возможен ввод другого имени файла (клавиша **File Dialog**).
- Нажать клавишу **Open**.

Прибор имеет также режим сохранения и восстановления состояния только активного канала.

Запоминание данных графиков можно сделать в файле типа CSV (текстовый файл с разделителем - запятой). Формат запомненной информации по строкам: номер активного канала, номер активного графика, строка заголовка (шапка данных), строки данных – (частота, данные)

Процедура запоминания данных графика:

- Выбрать канал и график.
- Нажать клавишу **Save/Recall**.
- Нажать **Save Trace Data** и в диалоговом окне ввести имя файла и место его расположения.

Сохранение и распечатку результатов измерения удобно делать в виде образов экрана. Это можно сделать :

- В виде графического файла формата .bmp (256 color) , .png;
- В виде прямой печати на принтер, установленный и подключенный к прибору;
- В виде образа в буфере Windows.

При сохранении используется флооппи – дисковод или жесткий диск.

Имя файла и его расположение выбирают в стандартном диалоговом окне сохранения. Ввод имени производят с помощью внешней или экранной клавиатуры. Последнюю вызывают находящейся в окне диалога кнопкой “Input from the front panel”.

Процедура запоминания образа экрана:

- Выбрать вид изображения – с черным или белым фоном (**System –Invert Image Off/On**).
- Нажать клавишу **System/Capture** – образ экрана при этом сохраняется в памяти прибора (в буфере обмена).
- Для записи образа в файл нажмите **Dump Screen Image**. В окне диалога указать расположение и имя файла и нажать **Save**. Будет запомнен тот образ экрана, который присутствует в момент нажатия клавиши **System/Capture**.

4. Задание и указания к выполнению лабораторной работы

В лабораторной работе выполняется исследование частотных характеристик коэффициента передачи (ослабления) аттенюаторов СВЧ на полупроводниковых диодах. Исследуются три конструкции аттенюаторов – с последовательным включением диода, с параллельным диодом и комбинированная схема. Для измерения используется автоматический анализатор цепей СВЧ E5062A. Подробное описание прибора и методы его использования описаны в руководстве по лабораторной работе «Автоматический анализатор параметров СВЧ цепей Agilent E5062A»

4.1. Подготовка установки к работе

Включите прибор и установить максимальный диапазон качания частоты. Подключите соединительные кабели и проверьте калибровку прибора в максимальной полосе частот при прямом соединении портов.

Установите один канал измерений и два окна с горизонтальным разделением экрана. Выведите в одно окно модуль коэффициента передачи в логарифмическом масштабе (S21 Log Mag) и КСВН (S11 SWR) в другое. Проведите калибровку прибора по коэффициенту передачи (Thru). Затем подключите образцовые нагрузки КЗ (Short) и ХХ (Open) на порт 1 и проведите калибровку прибора по коэффициенту отражения.

Прибор готов к проведению измерений.

4.2. Измерение частотных характеристик СВЧ аттенюаторов

Подключите к прибору аттенюатор с последовательно установленным диодом. Измерьте его частотные характеристики (ослабления и КСВН) при максимальном токе через диод (порядка 3 мА) - режим минимального ослабления. Сохраните данные частотных характеристик в файле и сделайте скриншот (в инверсном цвете – с белым фоном).

С помощью маркера измерьте вносимое ослабление на частоте 1 ГГц.

Меняя ток через диод в пределах 0-3 мА, измерьте зависимость ослабления (регулировочная характеристика) и КСВН на частоте 1 ГГц . Запишите данные измерений, по ним постройте регулировочную характеристику.

Используя модель аттенюатора в среде Microwave Office (файл Stripline_PIN_1_ser.emp), рассчитайте и постройте частотные и регулировочные характеристики аттенюатора. Сравните их с измеренными.

Повторите измерения для аттенюатора с параллельным включением диода. Режим минимального ослабления в нем достигается при нулевом токе смещения, максимальное ослабление - при токе порядка 3 мА. Используя модель аттенюатора Stripline_PIN_1_par.emp, рассчитайте и постройте частотные и регулировочные характеристики аттенюатора. Сравните их с измеренными.

В заключение измерьте параметры комбинированного аттенюатора - с параллельным и последовательным включением диодов. Подберите токи смещения так, чтобы получить минимальное и максимальное ослабление на частоте 1 ГГц. Зафиксируйте частотные характеристики для этих двух случаев.

Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать описание последовательности действий при калибровке и измерении параметров СВЧ аттенюаторов, набор скриншотов и таблиц численных данных измерения и расчета в Microwave Office, краткие выводы.

Список литературы

1. Данилин А.А. Измерения в технике СВЧ: Учеб. пособие для вузов.- М.: Радиотехника, 2008.-184с
2. Дворяшин Б.В. Метрология и радиоизмерения / Учеб. Пособие для студентов ВУЗов, -М:, Издательский центр «Академия», 2005. - 304с
3. Метрология и радиоизмерения / Учебник для ВУЗов. /Под ред. В.И.Нефедова, -М:, Высшая школа, 2003.

4. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения. - М.: Высш. шк., 1986.
5. Измерения в электронике. Справочник /Под ред. В.А. Кузнецова. - М.: Энергоатомиздат, 1987.-512 с.
6. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине “Измерения на СВЧ”.А.А.Данилин, В.Н.Малышев, М.Л.Тылевич. -ЛЭТИ.- Л.:1990.- 28с.