

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет “ЛЭТИ”

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению цикла лабораторных работ по дисциплине
“Микроволновая техника”

Автоматический анализатор параметров
СВЧ цепей Agilent E5062A

Санкт-Петербург
2008

В цикле лабораторных работ изучаются устройство и принцип действия автоматического анализатора СВЧ цепей E5062A серии ENA-L (производитель Agilent Technologies).

Анализаторы цепей серии ENA-L (E5061A- E5062A) обладают базовыми функциональными возможностями по анализу цепей для широкого круга применений в различных отраслях, таких как беспроводные средства связи, кабельное ТВ, автомобильная промышленность, образование и многое другое. Приборы данной серии имеют все необходимые параметры и функции для исследования и разработок и испытаний СВЧ устройств, таких как фильтры, усилители, антенны, кабели и распределительные устройства кабельного ТВ.

1. Структурная схема и принцип действия анализатора E5061A

В цикле лабораторных работ исследуется автоматизированный анализатор цепей фирмы Agilent E5062A. Внешний вид анализатора приведен на рис.1.

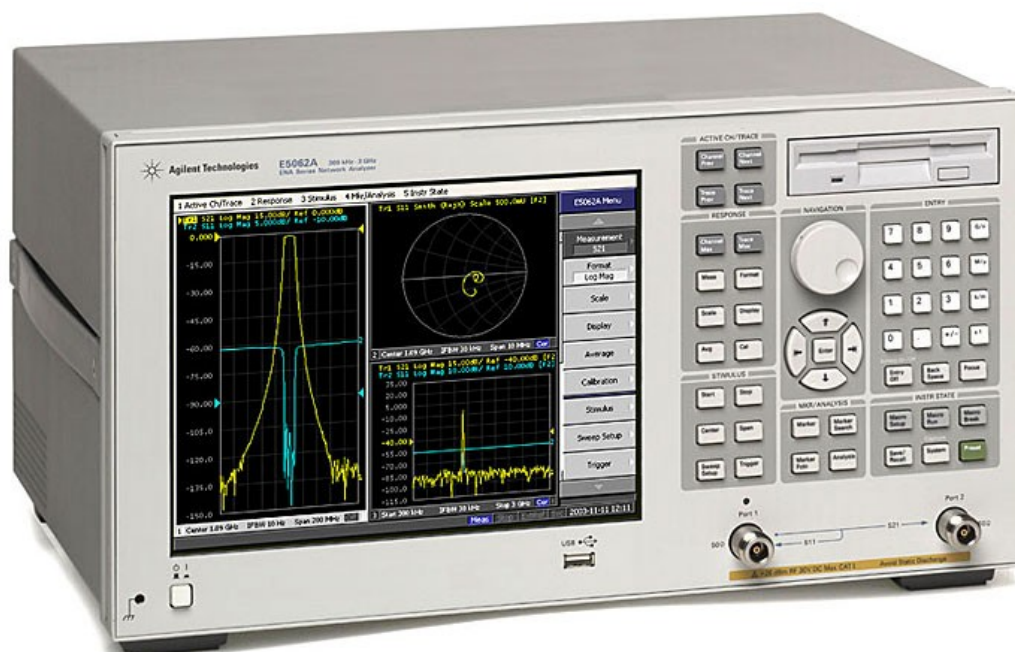


Рис. 1. Внешний вид анализатора E5062A

Основное назначение анализатора – измерение комплексных коэффициентов отражения или передачи СВЧ устройств со стандартными портами ввода/вывода (измерительный блок типа T/R – Transmit/Reflect). Для получения полной матрицы рассеяния двухпортового устройства используют переключение направления прохождения сигнала путем смены входа и выхода исследуемого объекта.

Отличительные свойства приборов серии ENA-L:

- Диапазон рабочих частот: E5061A от 300 кГц до 1,5 ГГц, E5062A от 300 кГц до 3 ГГц
- Импеданс порта 50 или 75 Ом
- Выходная мощность порта источника от -5 до 10 дБм (от -45 до 10 дБм в варианте с расширенным диапазоном мощности)
- Динамический диапазон 115 дБ (при полосе УПЧ 10 Гц)
- Зашумленность графика 0,005- 0,01 дБ
- Типы свипирования линейный, логарифмический, сегментированный
- Экран 10,4-дюймовый цветной, ЖК-индикатор, есть вариант комплектации прибора с сенсорным экраном
- Поддержка блока электронной калибровки ECal
- Прибор имеет 4 независимые измерительные канала, число точек измерения от 2 до 1601

Структурная схема СВЧ тракта прибора представлена на рис.2.

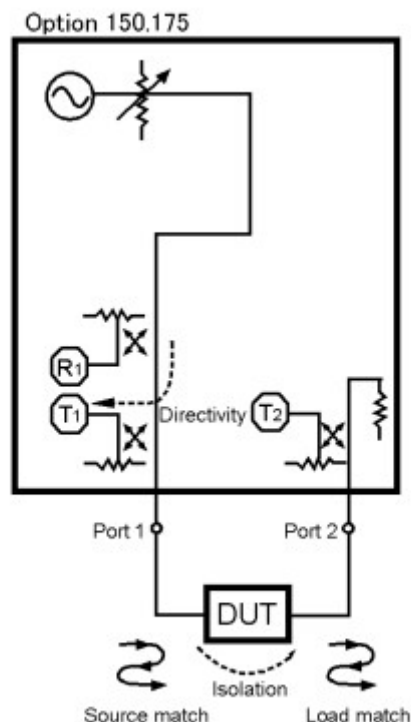
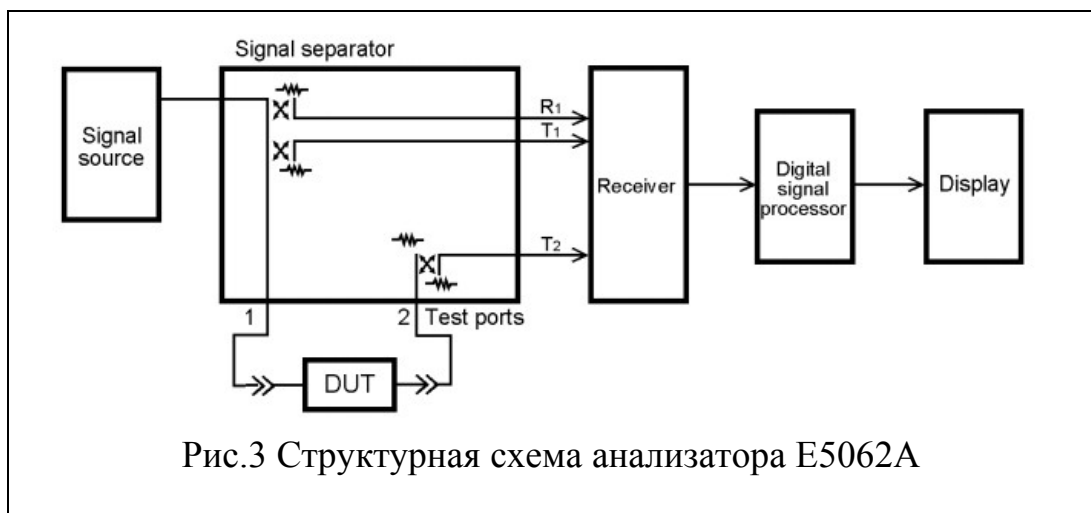


Рис. 2. Структурная схема СВЧ блока анализатора в режиме измерения коэффициента передачи и отражения

Она включает три направленных ответвителя для выделения сигналов падающей волны (R –reference channel), отраженной волны (T1 – test channel 1) и проходящей волны (T2 – test channel 2). Прибор имеет два измерительных порта со стандартными коаксиальными разъемами N типа. Port1 - порт источника (генератора СВЧ) и Port2 - порт нагрузки, куда подключается выход исследуемого устройства (обозначенного DUT – device under test).

Выделенные сигналы, пропорциональные падающей и отраженной (проходящей) волнам, поступают на преобразователи частоты приемника измерительного блока (рис.3).



В дальнейшем измерения отношения комплексных амплитуд производится на низких частотах. Результаты измерения обрабатываются цифровым сигнальным процессором (специализированным персональным компьютером), включающим в себя АЦП, микропроцессорную систему с тактовой частотой 533 МГц, жесткий диск объемом 80 Гб и др.

Программная часть прибора работает в среде Windows 2000, что позволяет использовать разнообразное стандартное программное обеспечение, работать с такими устройствами как мышь и клавиатура, принтер, применять дополнительный видеомонитор, USB флэш-диски и стандартный флоппи- дисковод. Возможно включение прибора в компьютерную сеть (LAN), для чего предусмотрен встроенный Ethernet - адаптер.

Управление прибором производят либо с помощью кнопочного табло, либо командами экранного меню. Предусмотрен способ управления прибором из программ, написанных на языке Visual BASIC for Application (VBA).

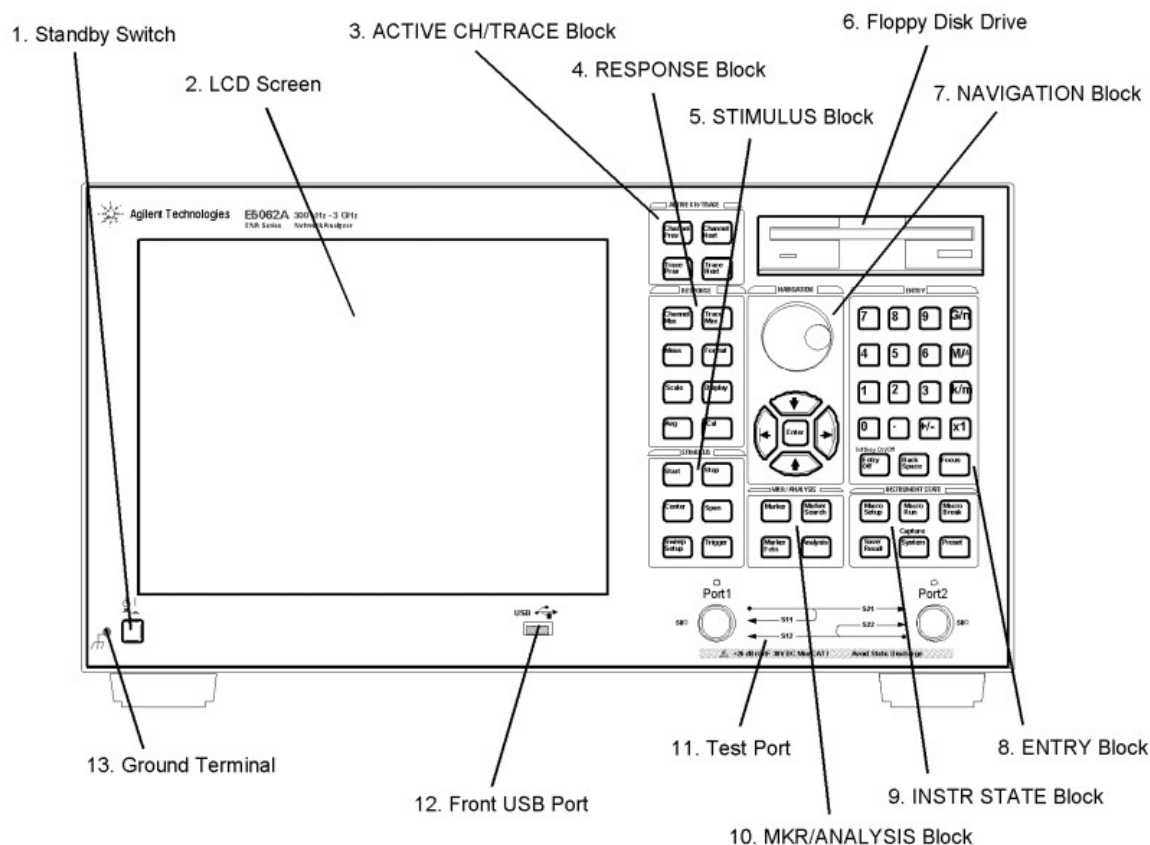


Рис. 4. Органы управления передней панели анализатора

На рис. 4 представлен вид передней панели прибора. Кнопочные элементы управления разделены на блоки, соответствующие их функциональному назначению. Это блок активных каналов и графиков (ACTIVE CH/TRACE Block), блок измерения реакции цепи (RESPONSE Block), блок управления источником сигнала (STIMULUS Block). Кроме этого, предусмотрен блок навигации по меню и плавной установке параметров (NAVIGATION Block), блок установки режима прибора (INSTR STATE Block) и блок управления маркерами и анализа результатов (MKR/ANALYSIS Block). Для ввода числовых параметров предусмотрен блок цифровых клавиш (ENTRY Block). Он содержит также клавиши ввода размерности параметра (для безразмерных используется кнопка x1).

Кнопочные элементы управления дублируют соответствующие команды экранного меню (Menu bar) и программируемых экранных клавиш (Softkey menu bar) – см. рис. 5.

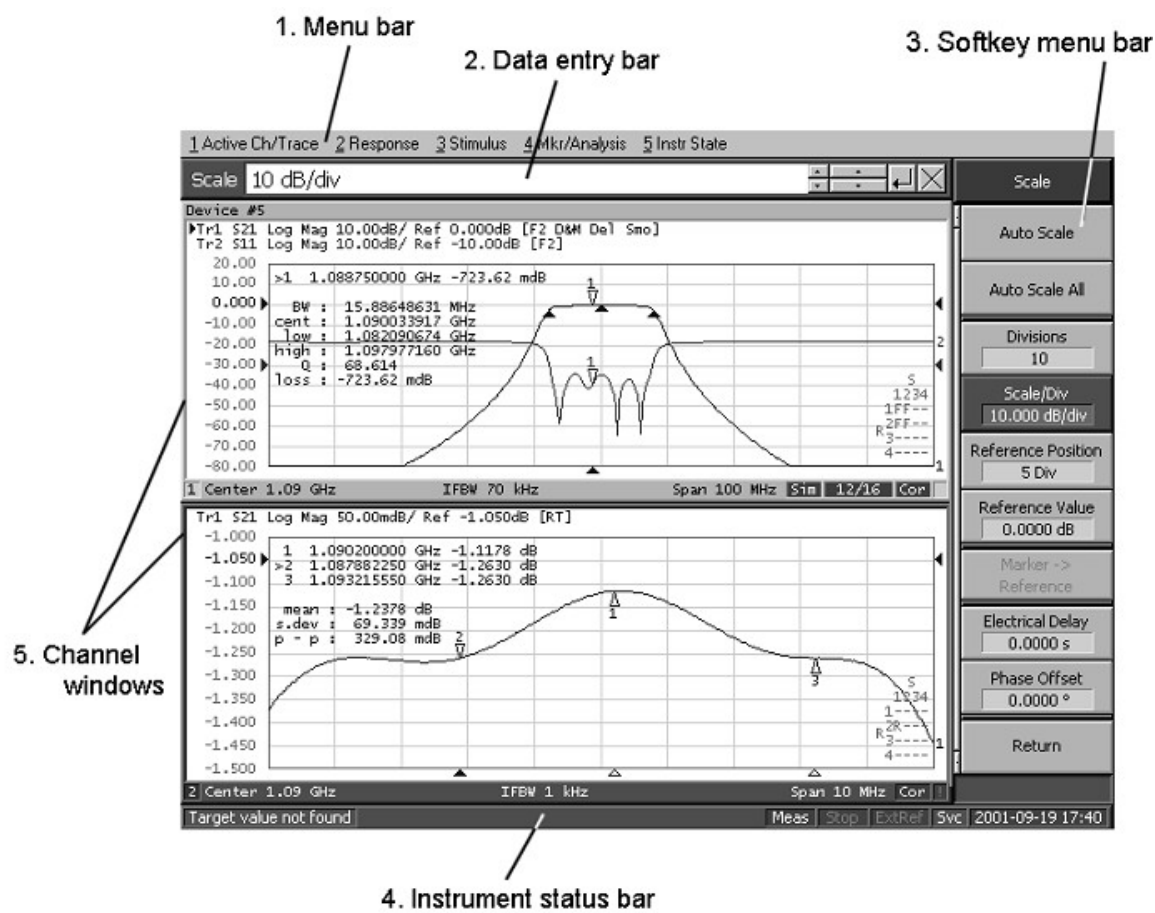


Рис. 5. Вид экрана анализатора цепей в двухканальном режиме измерения

Вид типичного экрана анализатора представлен на рис. 5. Сверху расположена строка меню (menu bar). Меню в строке соответствует блокам кнопок передней панели, а их подменю – кнопкам в этих блоках.

Строка ввода (Data entry bar) предназначена для набора числовых данных с помощью внешней или встроенной клавиатуры или мыши. Строка содержит кнопки пошагового изменения вводимого параметра, кнопку ввода и кнопку закрытия.

Строка состояния прибора (Instrument status bar) отображает приборные сообщения и предупреждения, индикатор отключения обновления экрана, отключения ВЧ выхода, состояние измерения и др. Состояние прибора может быть следующим:

- Setup – происходит процесс установки параметров измерения;
- Hold – Измерение приостановлено;

- Init – происходит инициализация измерения;
- Man – ручной запуск прибора оператором;
- Ext - внешний запуск прибора
- Bus – запуск прибора по шине интерфейса;
- Meas – режим проведения измерений.

Колонка программируемых клавиш (Softkey menu bar) - это основной орган управления прибором. Колонка имеет иерархическую структуру. Клавиши могут содержать подменю, на что указывает треугольная стрелка справа от названия. Программируемые клавиши переключаются нажатием мыши или клавишами блока навигации. Для расширения экрана можно колонку убрать – это делается нажатием кнопки Entry Off.

Окна каналов предназначены для отображения графиков. Активный канал – это окно прибора, в котором можно независимо устанавливать такие параметры, как диапазон качания частоты, масштаб измерения и пр. Окно активного канала выделяется серым цветом обрамления. Переход от окна к окну делается щелчком мыши или клавишами CHANNEL NEXT, CHANNEL PREV. Внутри окна располагаются графики, таблицы численных значений, оцифровка масштабной сетки, маркеры и их данные и пр. Внизу окна располагается строка состояния канала (номер канала, диапазон свипирования частоты, полоса ПЧ). Состояние измерения в канале индицируется в строке состояния так: !- идет процесс измерения, # - недостоверные данные (например условия измерения были изменены, а графики еще не обновлены).

На задней панели прибора установлены разъемы портов (параллельного LPT для подключения принтера, портов USB, клавиатуры и мыши, внешнего видеомонитора. Предусмотрен интерфейс GPIB и Ethernet (LAN), разъем внешнего запуска прибора (Ext Trig), ввод и вывод внешнего и внутреннего опорных сигналов (Ref In, Ref Out).

2. Технические параметры анализатора и его функциональные возможности

Основные технические параметры анализатора цепей СВЧ Е5062А (вариант исполнения - опция 150 – режим измерения T/R в тракте 50 Ом) приведены в таблице 1.

ХАРАКТЕРИСТИКИ	ПАРАМЕТРЫ	ЗНАЧЕНИЯ
ВЫХОД ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПОРТА (ИСТОЧНИК)	Диапазон частот	300 кГц - 3 ГГц
	Разрешающая способность по частоте	1 Гц
	Нестабильность генератора	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$
	Выходная мощность	-5 ... 10 dBm
	Погрешность установки уровня	± 1.0 dB (на уровне 0 dBm)
	Разрешающая способность по уровню	0,05 дБ
	Уровень 2 и 3 гармоник	< -25 dBc (на 5 dBm)
ВХОД ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПОРТА (ПРИЕМНИК)	Максимальная измеряемая мощность	10 дБм
	Развязка каналов	-100 дБ
	Уровень шума на графике при полосе ПЧ 3 кГц	0.005 дБ
	Температурная нестабильность амплитуды	0.01 дБ/град
	Температурная нестабильность фазы	0.1 град/град
	Диапазон установки полос ПЧ	10 Гц ...30 кГц
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ	Динамический диапазон прибора в целом	90 dB при полосе ПЧ 3 кГц, 115 dB при полосе ПЧ 10 Гц
	Входной и выходной импеданс	50 Ом, N разъемы
	Экран дисплея	10,4 дюйма, VGA 640 x 480
	Примерное время измерения	98 мс для 51 точки, 322 мс для 1601 точки
	Количество точек измерения	От 2 до 1601
	Время пересылки данных по интерфейсам (1601 точка)	GPIB – 1522 мс, LAN – 127 мс,

Прибор имеет расширенные функциональные возможности для выполнения измерений и обеспечивает:

- Работу 4-х независимых измерительных каналов с отдельной установкой параметров зондирующего сигнала и режима работы приемника; каждому каналу соответствует экранное окно, в котором может отображаться до 4 графиков данных измерения и до 4-х графиков данных памяти;
- Различные форматы представления данных – линейный и логарифмический модуль, фаза в пределах 360° , расширенная фаза, групповое время запаздывания (ГВЗ), КСВН, круговая диаграмма, вещественная и мнимая части импедансов и адмиттансов, параметров рассеяния. Предусмотрена возможность преобразования S-параметров в эквивалентные сопротивления и проводимости отражения и передачи;
- Измерения с использованием экранных маркеров (до 10 маркеров на каждый график). Они позволяют выводить численные значения интересующих точек графиков, производить поиск максимума, минимума, пиков, полосы пропускания и пр.
- Несколько режимов свипирования по частоте: линейный, логарифмический (для широкополосных устройств), сегментированный – исследование отдельных фрагментов АЧХ (до 201 сегмента), что позволяет уменьшить общее время анализа АЧХ. Для анализа активных устройств можно использовать режим свипирования по мощности на фиксированной частоте. Запуск свипирования может быть непрерывный, ждущий и одиночный с ручным или внешним запуском.
- Обработка результатов измерений позволяет запомнить данные в памяти прибора и производить векторное сложение, вычитание, умножение и деление комплексных измеренных значений и данных памяти, автомасштабирование графиков на экране, вычисление среднего и максимального значений, СКО, размах данных.

Повышение точности измерений достигается различными типами калибровки. Для упрощения этой процедуры можно использовать дополнительный

внешний блок электронной калибровки ECal, управляемый через порт USB на передней панели прибора.

Запоминание состояние прибора, результатов калибровки и измеренных данных производят на жестком диске прибора. Он может быть доступен в локальной сети в виде сетевого диска, что позволяет осуществить доступ с внешнего компьютера. Возможно сохранение данных на гибком флоппи-диске прибора, а также прямая распечатка данных измерения на принтере, подключенному к портам USB или LPT.

3. Установка режимов работы прибора 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:

- Нажать **Display**
- Нажать **Allocate Channels** и выбрать из списка способ отображения каналов

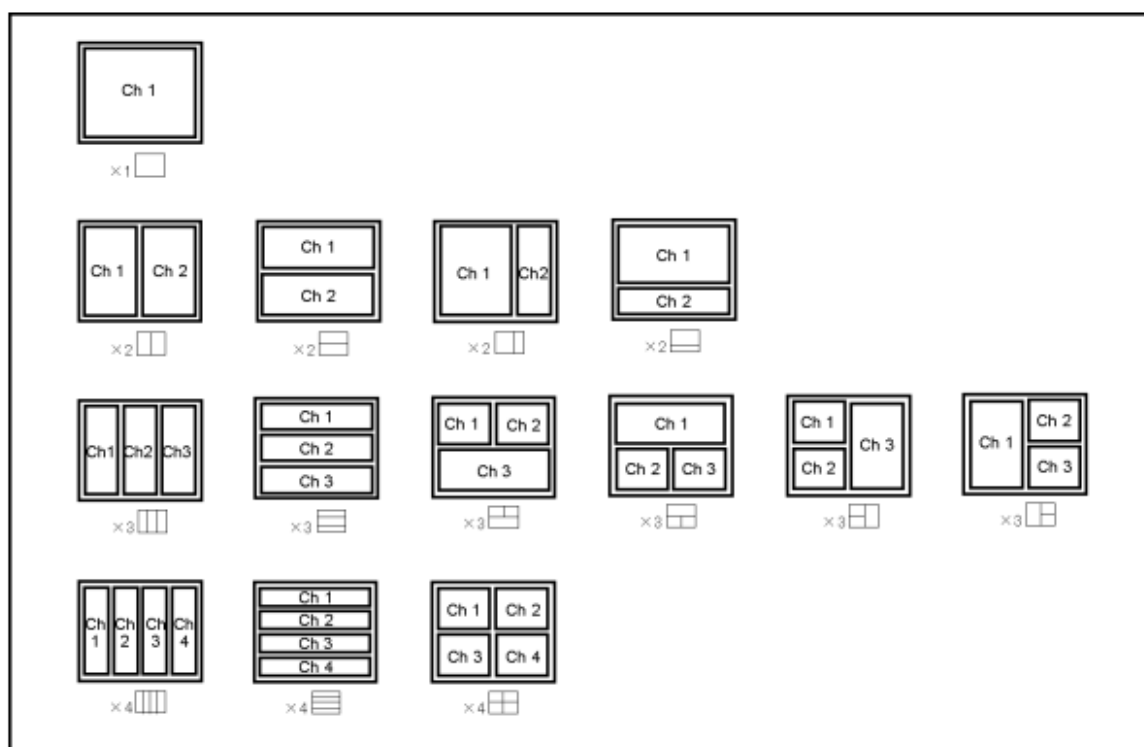


Рис. 6. Возможные шаблоны расположения окон каналов

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

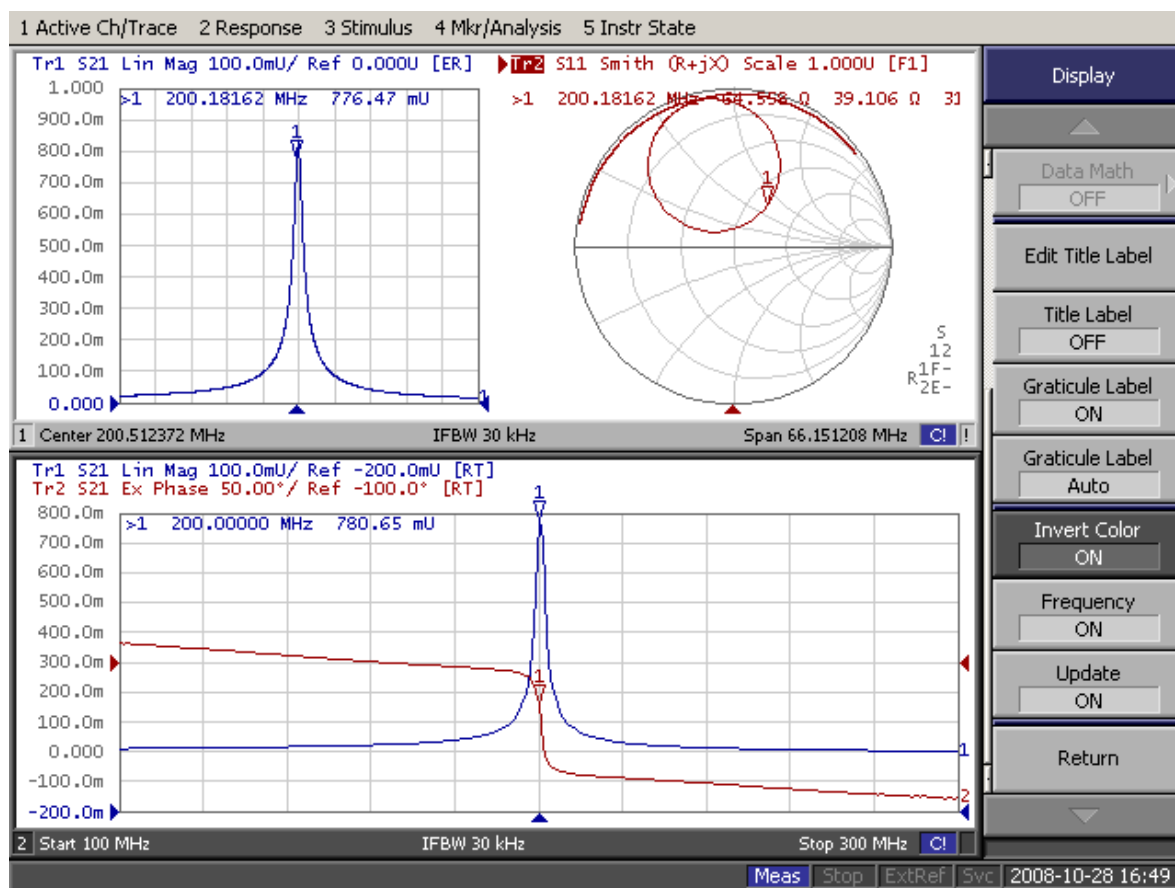


Рис. 7. Отображение на экране 2-х каналов: в первом два графика отдельно, во втором – два графика совмещены.

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.

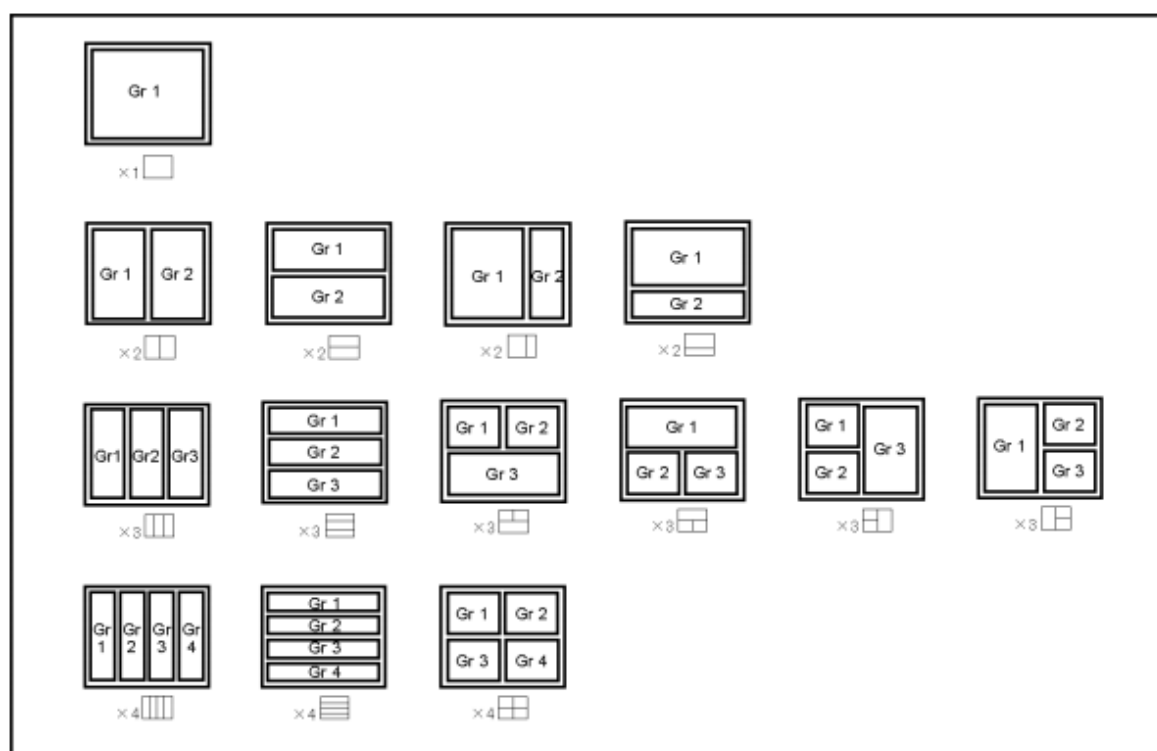


Рис. 8. Возможные шаблоны расположения графиков в окне канала

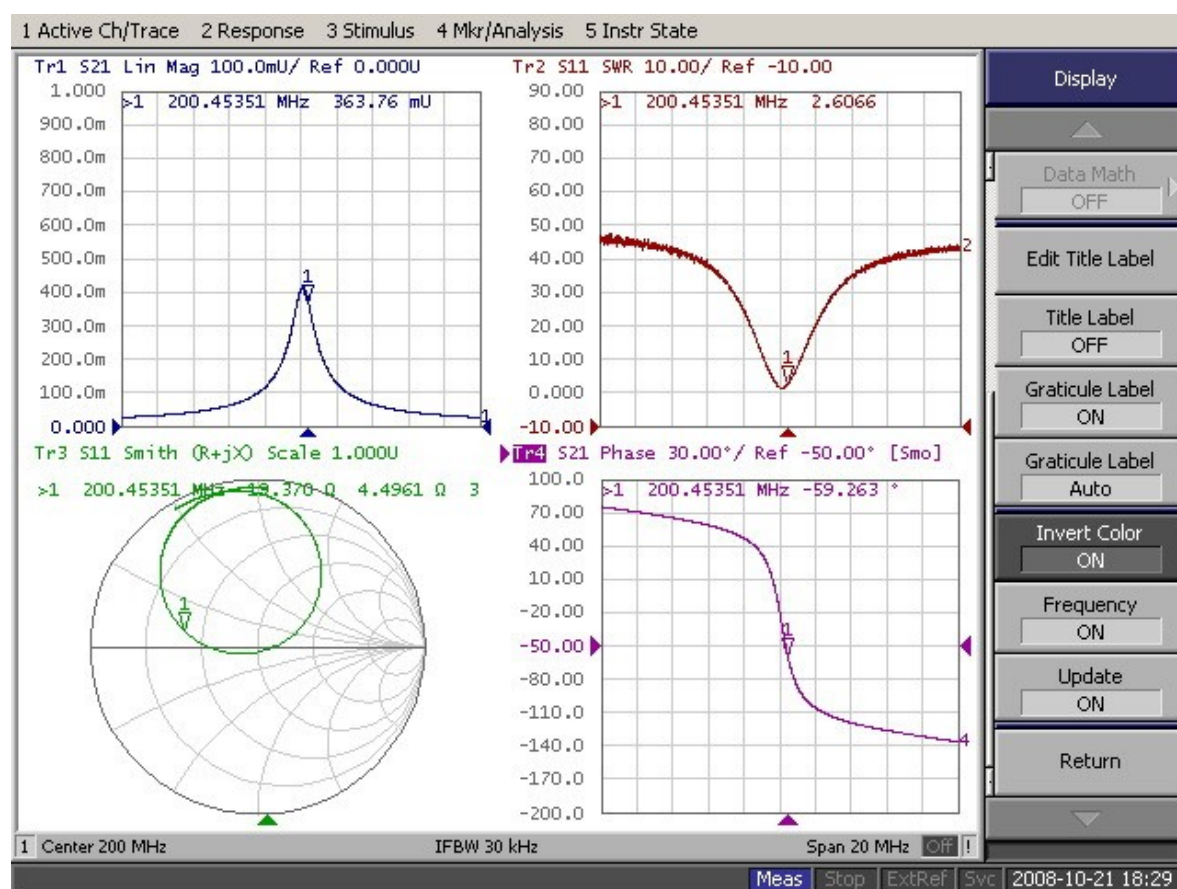


Рис. 9. Отображение в окне одного канала отдельно 4-х графиков

3.2. Режимы (параметры) каналов

Параметры в каждом из каналов устанавливаются независимо. Они являются общими для всех графиков канала: диапазон свипирования, мощность генератора, число частотных точек, режим свипирования, 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 свипирования устанавливается с цифрового блока на лицевой панели прибора. Для установки времени свипирования необходимо:

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

В *автоматическом режиме* прибор самостоятельно выбирает наименьшее время, соответствующее текущим параметрам измерения. В автоматическом режиме имеется возможность установки задержки начала измерения относительно момента запуска свипирования (рис.10). Это время может быть использовано на подготовку объекта исследования.

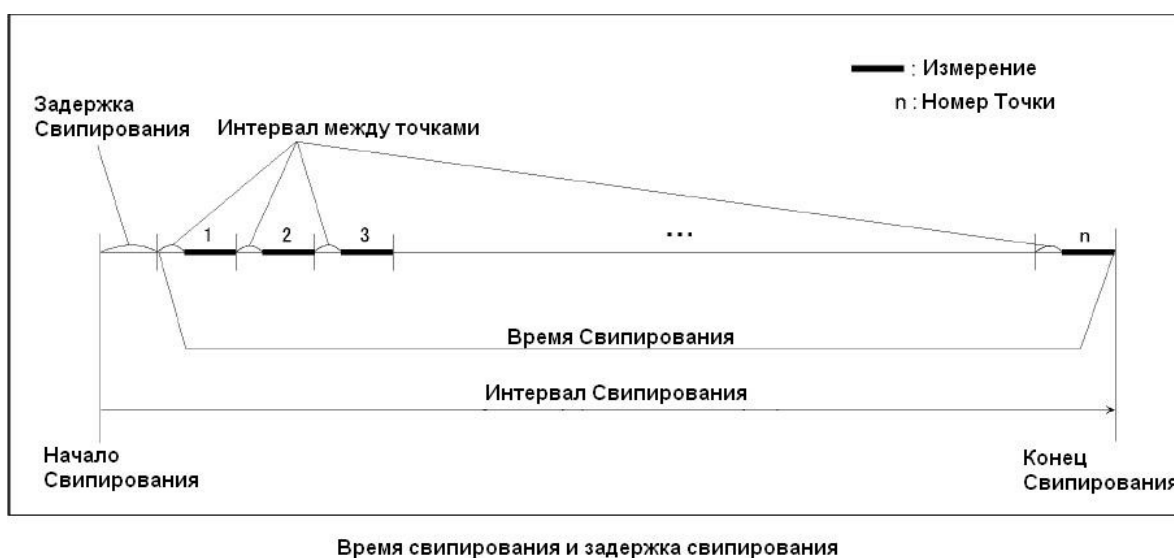


Рис. 10. Параметры закона свипирования по частоте

Для автоматической установки времени свипирования необходимо:

- Выбрать необходимый активный канал
- Нажать **Sweep Setup**
- Нажать **Sweep Time**
- Нажать **0 x1** (ввод нуля активизирует автоматический выбор времени, x1 означает ввод числа без единицы измерения)

Установка выходной мощности генератора:

Установка мощности генератора влияет на режим активных и нелинейных объектов. Уровень мощности выбирается из диапазона -5 дБм ... 10 дБм. Для установки уровня мощности требуется:

- Выбрать необходимый канал
- Нажать **Sweep Setup**
- Нажать **Power**
- Ввести значение выходной мощности при помощи клавиш цифровой панели

Свиппирование по мощности:

В приборе предусмотрен режим исследования активных устройств на одной частоте при свиппировании мощности генератора. Для установки частоты на которой происходит Свиппирование

- Нажать **Sweep Setup**
- Нажать **Power**
- Нажать **CW Freq** и ввести необходимую частоту

Для установки свиппирования по мощности требуется включить выходной сигнал генератора (например, если он был отключен системой защиты). Для это необходимо:

- Нажать **Sweep Setup**
- Нажать **Power**
- Нажать **RF Out** (Каждое нажатие этой клавиши производит переключение между двумя состояниями вкл. (on) и выкл. (off), которые индицируются на статусной панели прибора, находящейся в нижнем углу экрана.)

Установка закона изменения частоты:

Позволяет выбрать закон изменения частоты, для чего необходимо:

- Нажать **Sweep Setup**
- Нажать **Sweep Type**
- Выбрать необходимый закон

Linear – изменение частоты в линейном масштабе (стандартный режим измерения)

Log – изменение частоты в логарифмическом масштабе, что удобно при измерениях в широкой полосе частот

Segment – в данном режиме весь частотный диапазон составляется из различных поддиапазонов (сегментов). Это позволяет сократить время измерения и облегчить сравнения разных частотных участков характеристики.

Power - режим свипирования по мощности на фиксированной частоте

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 развертку в состояние ожидания (Idle- остановка свиппирования)

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

Continuous – режим непрерывной развертки

Hold All Channels – устанавливает развертки всех каналов в режим ожидания

Continuous Disp Channels – режим непрерывной развертки для всех отображаемых каналов

Имя канала (заголовок окна):

В приборе введена возможность ввода названия канала (заголовка окна), что удобно при последующем сохранении результатов измерения в файл данных или графиков.

Для задания (изменения) заголовка окна необходимо:

- Выбрать требуемый канал
- Нажать **Display**
- Нажать **Edit Title Label**. На экране появится диалоговое окно клавиатуры для ввода заголовка. Используя экранную клавиатуру, ввести заголовок окна, после чего нажать **Enter**
- Нажать клавишу Title Display для включения вывода заголовка в верхнюю часть окна канала

Режим оцифровки шкал графиков канала:

Включение/отключение оцифровки вертикальной шкалы в декартовой системе координат. Может быть полезно для увеличения полезной площади окна. При отключенной оцифровке шкалы можно наблюдать значение исследуемых параметров при помощи маркеров. Для включения/отключения оцифровки шкал:

- Выбрать необходимый канал
- Нажать **Display**
- Нажать **Graticule Label**

Кроме отключения, в этом пункте меню можно менять вид выводимых значений:

Auto – вывод абсолютных значений измеряемого параметра,

Relative – вывод значений относительно установленного опорного уровня (reference level), вводимого дополнительно.

Режим гашения вывода значений частоты:

В данном режиме с экрана убирается вся информация о частотах, на которых проводится измерение (используется при возникновении необходимости скрыть рабочий диапазон исследуемого устройства)

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

Гашение частоты автоматически деактивируется, при использовании клавиш [Start], [Stop], [Center] и [Span]. Для «полного» гашения, необходимо отключить эти кнопки, нажатием клавиши [SoftKeyOn/Off].

Установка полосы пропускания усилителя ПЧ для каждого канала:

Для установки полосы пропускания необходимо:

- Выбрать требуемый канал
- Нажать **Avg**
- Нажать **IF Bandwidth**
- Ввести значение полосы пропускания в пределах 10 Гц...30 кГц

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 ($-180^0 \dots 180^0$)
 - Расширенный формат фазы ($-\infty \dots \infty$)
 - Формат положительной фазы ($0 \dots 360^0$)
 - 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 $-\infty$ до $+\infty$	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
Линейный формат	Измеряемая величина	безразмерно	Коэффициент отражения
КСВ	$\frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}}$	безразмерно	Измерение параметров стоячей волны

Тип	Данные по Оси Y	Единицы измерения	Измеряемые величины
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.

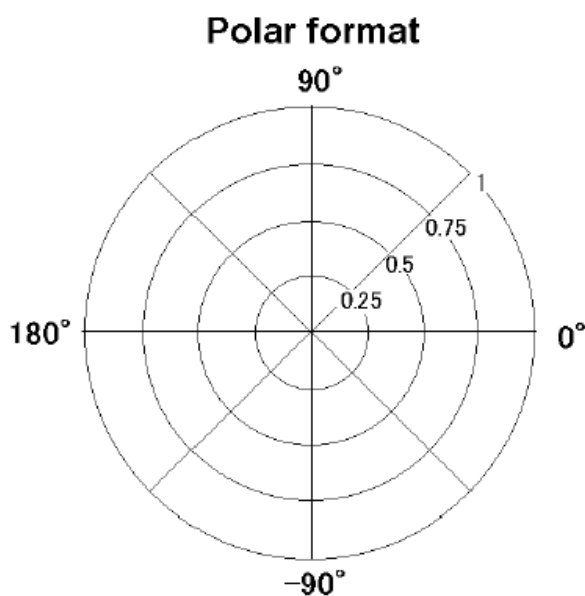


Рис. 11. Полярная диаграмма

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 (Гн) или ёмкость (Ф)
- Проводимость (См), 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

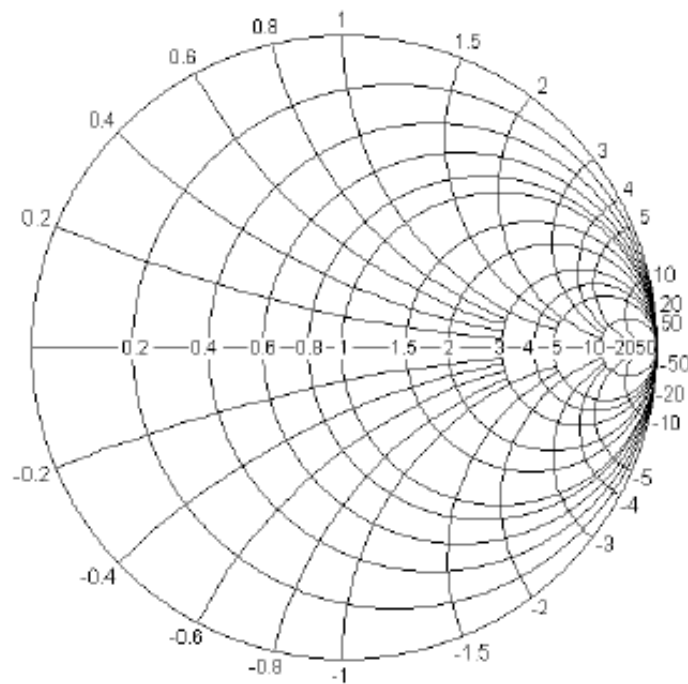


Рис. 12. Круговая диаграмма

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**).

4. Калибровка анализатора цепей СВЧ E5062A

Калибровка прибора представляет собой процедуру исключения систематических погрешностей, возникающих за счет неидеальности СВЧ тракта.

Все погрешности измерения параметров СВЧ устройств измерений делятся на три основных типа:

- 1) Погрешности дрейфа
- 2) Случайные погрешности
- 3) Систематические погрешности

Погрешности дрейфа

Погрешности дрейфа вызваны отклонениями в работе измерительного прибора (измерительной системы), которые возникают уже после калибровки. Главные причины – тепловое расширение соединений кабелей и тепловой дрейф преобразователя частоты прибора. Эти ошибки могут быть уменьшены, если периодически выполнять калибровку в процессе измерений или поддерживать устойчивую окружающую температуру во время измерений.

Случайные погрешности

Случайные погрешности не могут быть устранены при калибровке. Эти ошибки подразделяются по причине возникновения на:

- Внутренние шумы прибора;
- Ошибки, возникшие в результате многократного подсоединения к разъемам прибора.

Погрешность, вызванную внутренними шумами, можно уменьшить с помощью увеличения мощности источника сигнала, сужения полосы пропускания, ис-

пользования режимов усреднения и сглаживания. Погрешность, связанная с непостоянством свойств соединителей, возрастает при длительной эксплуатации прибора, поэтому стремятся к уменьшению числа коммутаций на разъемах портов.

Систематические погрешности

Систематические погрешности вызваны несовершенством СВЧ тракта прибора (направленные ответвители и др.) и внешних соединителей (кабели, разъемы, крепления, и т.д.). Эти погрешности повторяющиеся и практически не меняются во времени. Их можно уменьшить с помощью калибровки. Для СВЧ тракта вида рис. 2 можно выделить шесть типов систематических погрешностей:

- Неидеальная направленность ответвителей (Directivity). Погрешность, связанная с направленностью, возникает в результате проникновения падающей волны в тракт измерения отражённой волны (E_d).

- Погрешность, связанная с перекрестным (crosstalk) проникновением сигналов (неидеальная развязка каналов -Isolation); она появляется при проникновении побочных сигналов в тракт измерения прошедшего сигнала (E_x).

- Рассогласование источника – Source Match. Погрешность возникает из-за того, что отраженный от испытуемого устройства сигнал переотражается от направленного ответвителя отраженной волны и поступает опять на вход (E_s).

- Рассогласование нагрузки (Load Match). При переотражении сигнала от нагрузки измерительного порта (вход направленного ответвителя прошедшей волны) в измерительный канал попадает не вся мощность прошедшего через устройство сигнала.

- Ошибка из-за неравномерности ЧХ канала отражения (Tracking error) (E_T). Она возникает из-за неодинаковости частотных характеристик измерительного и опорного каналов для коэффициента отражения

- Ошибка, зависящая от неравномерности ЧХ канала передачи (E_t). Она связана с неодинаковостью ЧХ измерительного и опорного каналов для коэффициента передачи.

Калибровка прибора предназначена для уменьшения этих погрешностей и проводится с использованием комплекта калибровочных мер, включающих на-

грузки холостого хода и короткого замыкания (XX – OPEN, КЗ – SHORT), пере-
мычку (THRU) и согласованные нагрузки (CH - LOAD).

В зависимости от измерительной задачи, применяют различные типы калиб-
ровок

**Калибровка частотной неравномерности и направленности порта ис-
точника с использованием нагрузок XX/КЗ(OPEN/SHORT)**

При такой калибровке устраняются систематические погрешности, связан-
ные с направленностью (E_d) и неравномерностью ЧХ канала отражения(E_r). Схе-
матически погрешности отражены на графе рис.6.

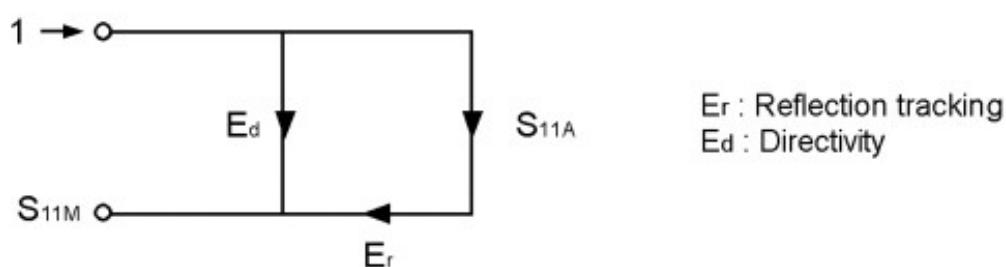


Рис. 13. 1-портовая модель погрешности СВЧ тракта анализатора
цепей СВЧ

Калибровка ведется по измеряемому параметру S_{11} . Этапы проведения ка-
либровки:

- 1) В правом меню выбрать подменю Calibrate.
- 2) Выбрать тип калибровки из двух вариантов:
 - **Response (Open)** - с подключением XX
 - **Response (Short)** - с подключением КЗ
- 3) Подключить XX или КЗ к исследуемому порту и нажать **Open** или **Short** соответственно для начала калибровочных измерений. Нажать **Done** для завершения калибровки
- 4) Если дополнительно требуется провести калибровку изоляции E_x , то нужно подключить согласованную нагрузку к порту и нажать **Load** (Optional).

Калибровка частотной неравномерности передачи с использованием перемычки (THRU)

При такой калибровке устраняются погрешности несовершенной изоляции (E_x) и неравномерности ЧХ канала прохождения (E_t).

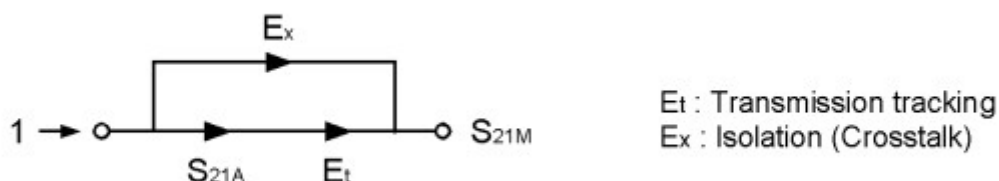


Рис. 14. 2х-портовая модель погрешности СВЧ тракта анализатора цепей СВЧ

Калибровка ведется по параметру S21. Этапы проведения калибровки:

- 1) В подменю Calibrate выбрать пункт **Response (THRU)**.
- 2) Соединить порт 1 и порт 2 с помощью перемычки – отрезка линии передачи.
- 3) Нажать **Thru** для начала калибровки.
- 4) Если требуется провести калибровку изоляции E_x , то нужно подключить две согласованные нагрузки к портам 1 и 2 и нажать **Load (Optional)**.
- 5) Нажать **Done** для завершения калибровки.

Полная 1-портовая калибровка (1-Port Calibration)

После этой калибровки исключаются погрешности согласования источника (E_s), направленности (E_d) и неравномерности ЧХ канала отражения (E_r).

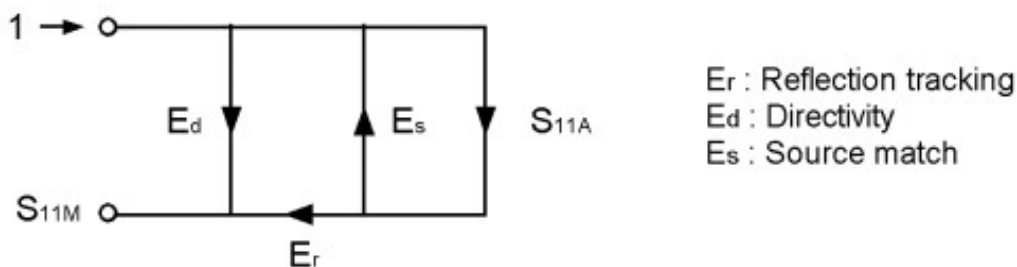


Рис. 15. Полная 1-портовая модель погрешности СВЧ тракта

Этапы проведения калибровки:

- 1) В правом меню выбрать подменю **Calibrate**.

- 2) Выбрать тип калибровки **1-Port Cal**.
- 3) Подключить ХХ к измерительному порту и нажать **Open** для начала калибровочных измерений.
- 4) Подключить КЗ к измерительному порту и нажать **Short**.
- 5) Подключить согласованную нагрузку к порту и нажать **Load**.
- 6) Нажать **Done** для завершения калибровки.

Расширенная калибровка (Enhanced Response)

При такой калибровке исправляются все систематические погрешности, кроме погрешности рассогласования нагрузки (Load match) – рассогласование НО проходящей волны. Используется полный набор калибровочных мер (SHORT/OPEN/LOAD/THRU).

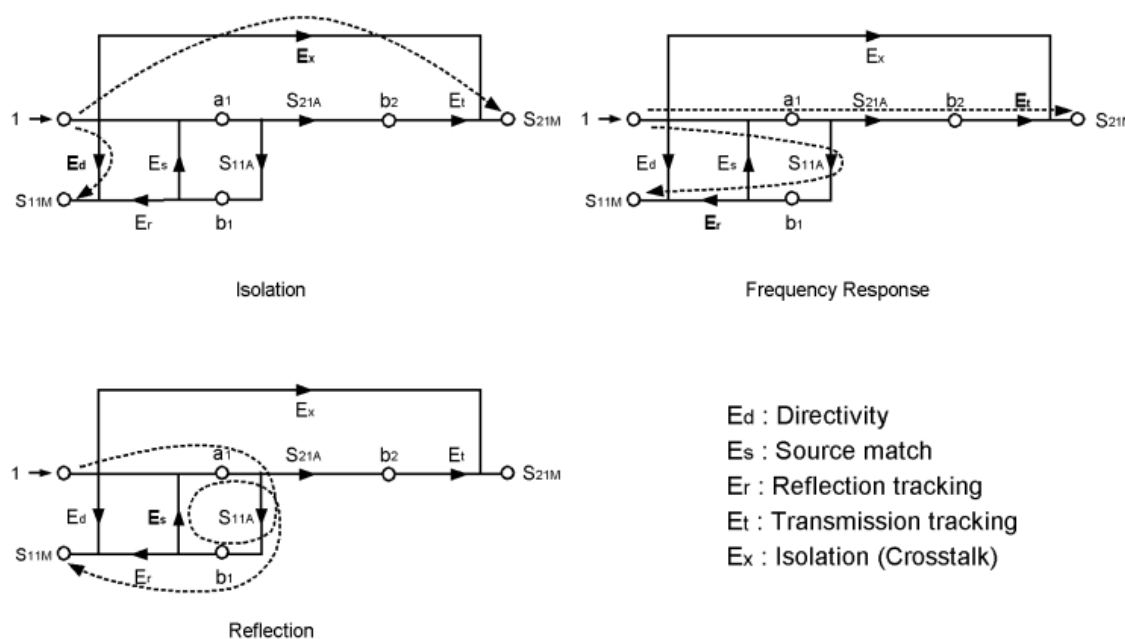


Рис. 16. Расширенная 2х-портовая модель погрешностей СВЧ тракта

Этапы проведения калибровки

- 1) В правом меню выбрать подменю **Calibrate**.
- 2) Выбрать тип калибровки **Enhanced Response**.
- 3) Подключить ХХ к порту источника и нажать **Open** для начала калибровочных измерений.

- 4) Подключить КЗ к измерительному порту и нажать **Short**.
- 5) Подключить согласованную нагрузку к порту и нажать **Load**.
- 6) Соединить два порта с помощью линии передачи и нажать **Thru**.
- 7) Если требуется провести калибровку изоляции, то нужно подключить согласованные нагрузки к портам и нажать **Isolation (Optional)**.
- 8) Нажать **Done** для завершения калибровки.

Состояние выполнения коррекции погрешностей для каждого канала отображается в строке состояния прибора символами, указанными в таблице 2.

Таблица 2

Символ	Состояние выполнения коррекции погрешностей
Cor (синий цвет)	Коррекция погрешностей включена для всех каналов
Cor (серый цвет)	Коррекция погрешностей включена для некоторых каналов
Off	Коррекция погрешностей выключена
---	Коррекция погрешностей включена, но нет данных калибровки
C?	Коррекция погрешностей включена и используется интерполяция(или полоса ПЧ, уровень мощности, параметры свипирования отличаются от того состояния, которое было при калибровке)
C!	Коррекция погрешностей включена и используется экстраполяция

Состояние выполнения коррекции погрешностей для каждого графика (используемый тип калибровки) указывается в строке состояния графика символами в квадратных скобках, приведенными в табл. 3. Если ни один из представленных выше символов не отображается на экране, для данного графика коррекция ошибок не производится.

Таблица 3

Символ	Тип калибровки
RO	Калибровка частотной неравномерности по нагрузке XX
RS	Калибровка частотной неравномерности по нагрузке КЗ
RT	Калибровка частотной неравномерности по перемычке
ER	Расширенная калибровка
F1	1-портовая калибровка

Индикация использованных методик калибровки в каждом канале отображается в виде матрицы в правом нижнем углу экрана при вызове свойств калибровки (для активного канала надо нажать клавиши Calibration -> Property). S – порт источника, R –порт приемника.

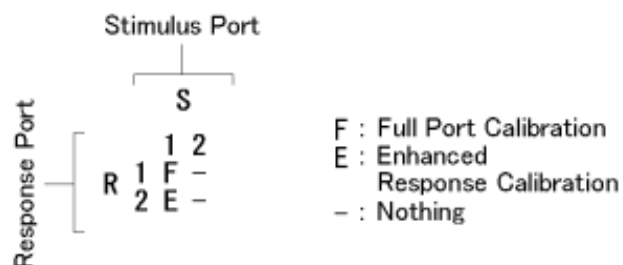


Рис. 17. Пример индикации свойств калибровки

F: полная калибровка порта (**1-Port Calibration**)

R: калибровка частотной неравномерности (**OPEN/SHORT**)

E: расширенная калибровка (**Enhanced Response**)

- : нет калибровки

5. 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 свипирования) 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)* ¹
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** \rightarrow **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).

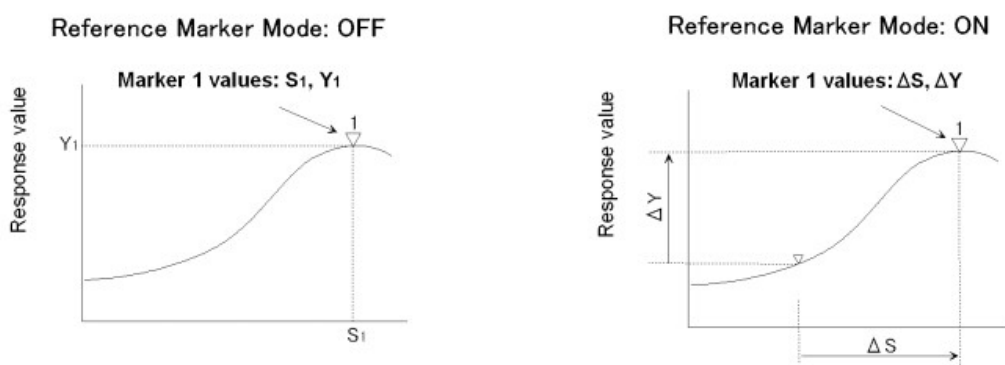


Рис. 18. Режим дельта-маркера

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).

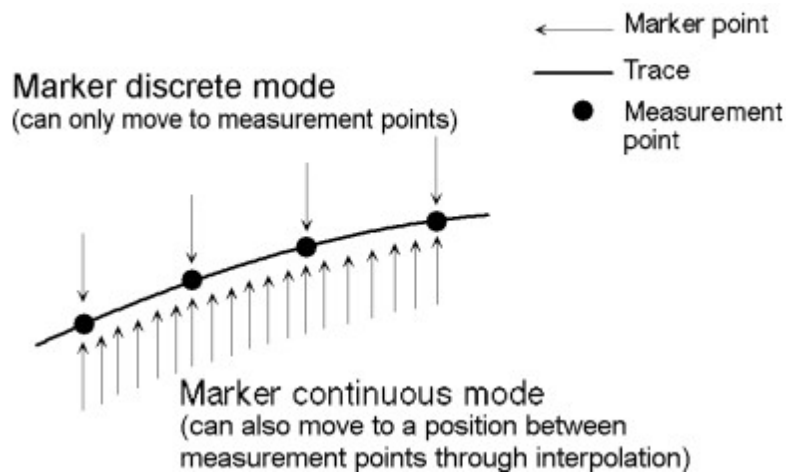


Рис. 19. Дискретный режим маркера

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

Установка режима связанности маркеров на различных графиках

Установка и перемещение маркеров может производиться в режиме связанности для всех графиков в одном канале (в одном положении по оси X) или независимо для каждого графика (рис.20).

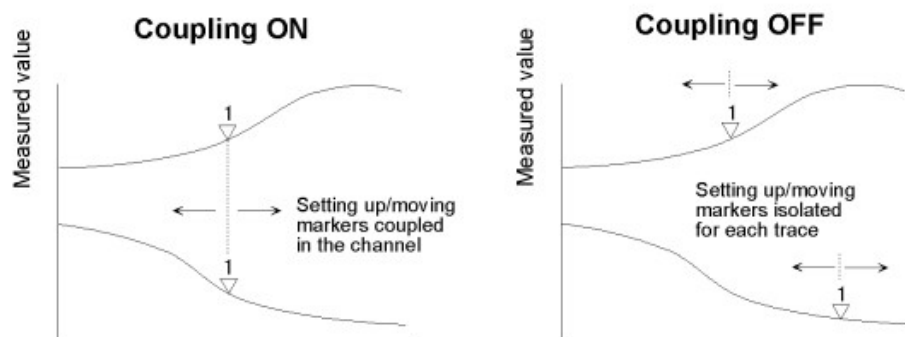


Рис. 20. Связь маркеров

Для включения или выключения функции связанности маркеров необходимо:

- Выбрать требуемые канал и график
- Нажать клавишу **Marker Fctn**.
- Нажать клавишу **Couple** для включения или выключения режима связанности

Вывод таблицы значений для маркеров во всех каналах

В приборе имеется возможность вывода таблицы значений для всех маркеров во всех отображаемых каналах. Для этого требуется:

- Нажать клавишу Marker Fctn.
- Нажать клавишу Marker Table.

В нижней части экрана появляется таблица маркеров (номер маркера, номер графика, частота, значение параметра).

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 свипирования (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.)

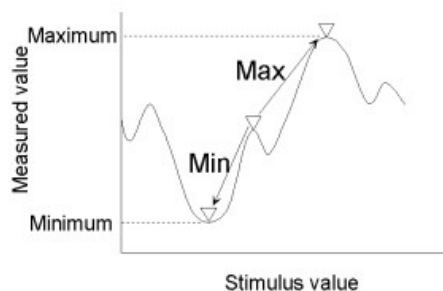


Рис. 21. Поиск максимума или минимума

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

Поиск целевого значения (Target Search)

Целью является точка на графике, которой соответствует введенное значение измеряемой величины. Цели можно разделить на две группы по наклону графика: положительный (Positive) и отрицательный (Negative) (рис. 22)

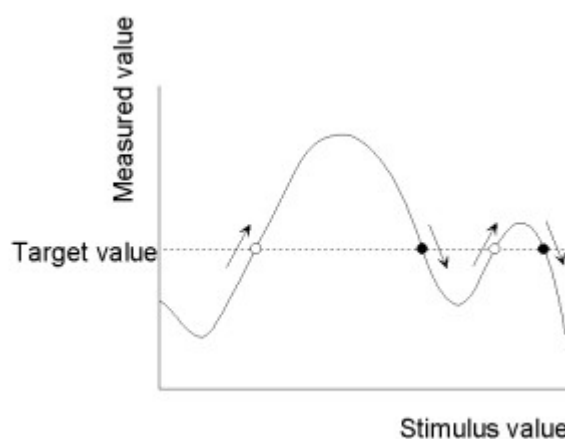


Рис. 22. Поиск заданного значения

смотрено три способа выполнения поиска цели:

Поиск цели (**Search Target**) - Маркер будет перемещаться в ближайшую слева или справа точку графика с целевым значением измеряемой величины

Поиск слева (**Search Left**) - Выполняется поиск ближайшей точки слева от активного маркера

Поиск справа (**Search Right**) - Выполняется поиск ближайшей точки справа от активного маркера (рис.23)

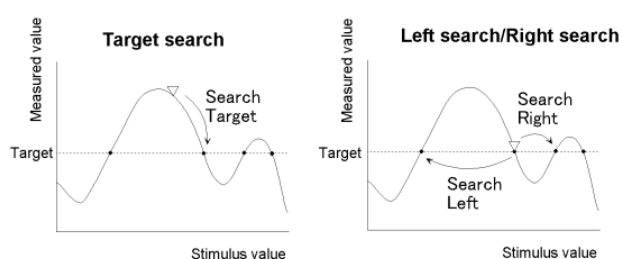


Рис. 23. Поиск заданного значения справа или слева от активного маркера

Выполнение поиска цели:

- Нажать клавишу **Marker Search**.
- Нажать клавишу **Target**.
- Нажать клавишу **Target Value** и в появившейся зоне ввода ввести требуемое целевое значение.

- Нажать клавишу **Target Transition**.
- Выбрать вид наклона графика в точке (**Positive/Negative/ Both**)
- Нажать соответствующую программируемую клавишу для перемещения маркера в точку цели (**Search Target/Search Left/Search Right**)

Поиск пика (локального максимума или минимума)

Функция поиска пика позволяет переместить маркер в точку локального пика на графике. Пики можно разделить на две группы, показанные на рис. 24:

- Положительный пик (**Positive**) Пик, значение измеряемой величины, в котором больше, чем в точках измерения по обеим сторонам от него (полярность пика положительная).
- Отрицательный пик (**Negative**) Пик, значение измеряемой величины, в котором меньше, чем в точках измерения по обеим сторонам от него (полярность пика отрицательная).

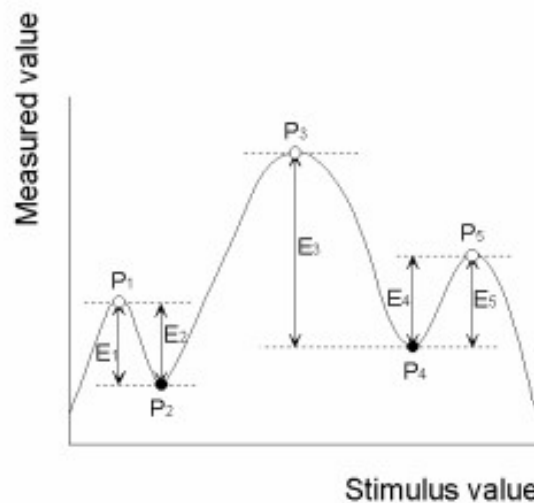


Рис. 24. Поиск локального пика на графике

Предусмотрено три способа выполнения поиска пика.

- Поиск пика (**Search Peak**) Маркер будет перемещён в пик графика с максимальным значением измеряемой величины, если указана положительная (**Positive**) или любая (**Both**) полярность пика, либо в пик графика

с минимальным значением измеряемой величины, если указана отрицательная (**Negative**) полярность пика.

- Поиск слева (**Search Left**) Выполняется поиск слева от маркера, затем маркер перемещается на первый встретившийся пик.
- Поиск справа (**Search Right**) Выполняется поиск справа от маркера, затем маркер перемещается на первый встретившийся пик.(рис.25)

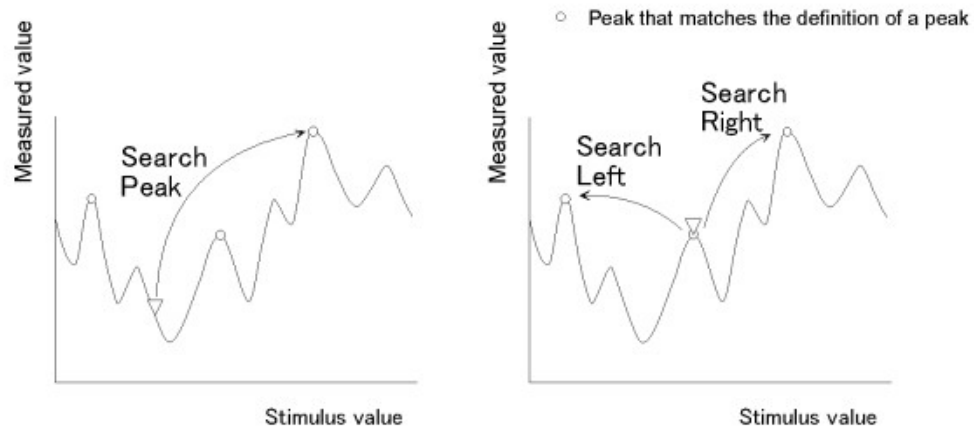


Рис. 25. Поиск положительного пика на графике

Выполнение поиска пика:

- Нажать клавишу **Marker Search**.
- Нажать клавишу **Peak**.
- Нажать клавишу **Peak Excursion** и в появившейся зоне ввода ввести требуемое значение нижнего предела пикового отклонения..
- Нажать клавишу **Peak Polarity**.
- Выбрать полярность пика в точке (**Positive/Negative/ Both**)
- Нажать соответствующую программируемую клавишу для перемещения маркера в точку пика (**Search Peak/Search Left/Search Right**)

Поиск полосы пропускания. Обработка данных.

Режим поиска полосы предназначен для определения полосы пропускания, центральной частоты, точек отсечки (со стороны верхней и нижней частоты), до-

бротности (Q) и потерь (ослабления). Поиск ведется относительно уровня активного маркера. Определения параметров, используемых при поиске полосы, приведены на рис. 26 и в таблице 5.

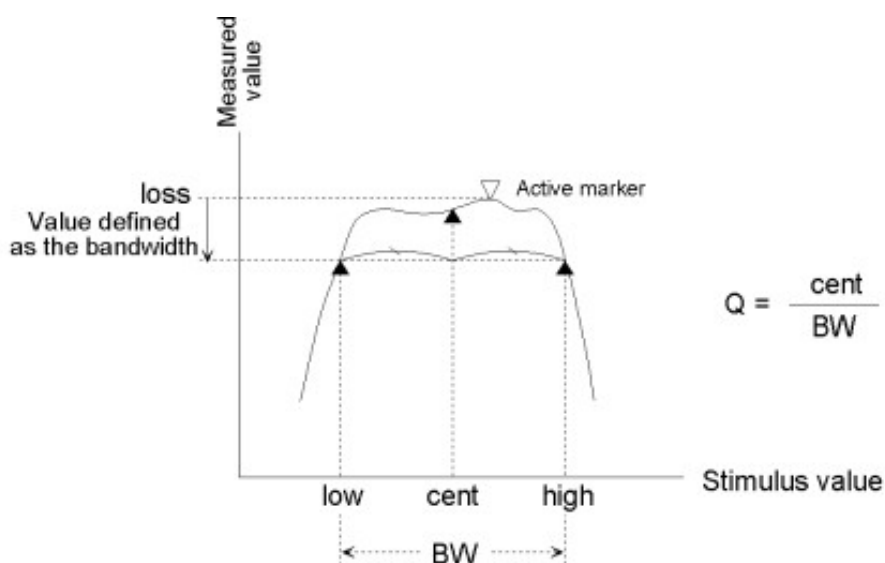


Рис. 26. Параметры полосы пропускания ППФ

Таблица 5

Параметр полосы	Определение
<u>Вносимые потери (loss)</u>	Измеряемая величина в точке активного маркера в момент включения поиска полосы
<u>Нижняя частота отсечки (low)</u>	Нижняя частота полосы пропускания по установленному уровню. Этот уровень отсчитывается относительно значения величины в точке активного маркера.
<u>Верхняя частота отсечки (high)</u>	Верхняя частота полосы пропускания по установленному уровню.
<u>Центральная частота (cent)</u>	Средняя частота между точками нижней и верхней частотами отсечки $(\frac{high + low}{2})$
<u>Полоса (BW)</u>	Разность частот между точками нижней и верхней частоты отсечки $(high - low)$.
<u>Добротность(Q)</u>	Отношение центральной частоты к полосе частот $(cent/BW)$

Для реализации режима поиска полосы необходимо:

- Поместить активный маркер в отсчетную точку на графике (максимум АЧХ). Значение вносимых потерь принимается равным измеренному значению в этой точке активного маркера
- Нажать клавишу **Marker Search**.
- Нажать клавишу **Bandwidth Value Peak**.

В левой верхней части поля графика на экране отобразятся шесть параметров полосы (рис. 27).

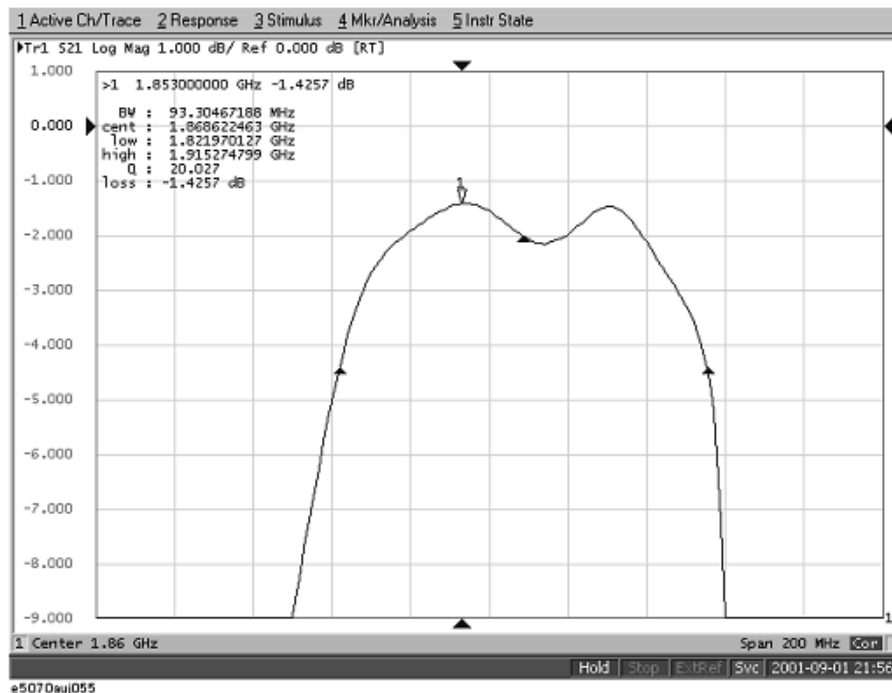


Рис. 27. Результаты поиска полосы ППФ

Определение статистических параметров графика

Режим позволяет определить статистические характеристики графика (среднего значения, стандартного отклонения и диапазона изменения от пика к пику (p – p)). Рисунок 28 и таблица 6 иллюстрируют определение статистических характеристик

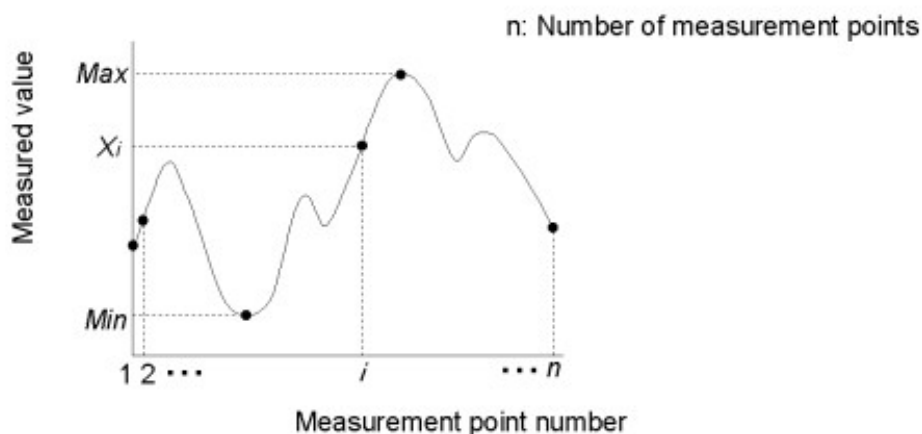


Рис. 28. Параметры, используемые при вычислении статистических данных графика

Таблица 6

Элемент статистических данных	Определение
Среднее значение (mean)	$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ <p>n: число точек; x_i: измеренное значение в i-й точке измерения</p>
Стандартное отклонение (s. dev)	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \langle x_i - mean \rangle^2}{n - 1}}$ <p>n: число точек; x_i: измеренное значение в i-й точке измерения</p>
Диапазон изменения пик-пик (p-p)	$Max - Min$ <p>(Max: наибольшее измеренное значение; Min: наименьшее измеренное значение)</p>

Отображение статистических данных:

- Выбрать активный канал и требуемый график.
- Нажать клавишу **Marker Fctn**.
- Нажать клавишу **Statistics**.

Определение параметров RF фильтров (потери, неравномерность и ослабление)

В этом режиме используют 4 маркера (рис.29). По графику определяют следующие параметры фильтров: потери (Loss) – минимальное значение в полосе между маркерами 1 и 2, неравномерность (Ripple) – разница между максимальным и минимальным значениями в промежутке между маркерами 1 и 2, ослабление (Attenuation) – разница между минимальным значением из промежутка маркеров 1 - 2 и максимальным значением из промежутка маркеров 3 – 4.

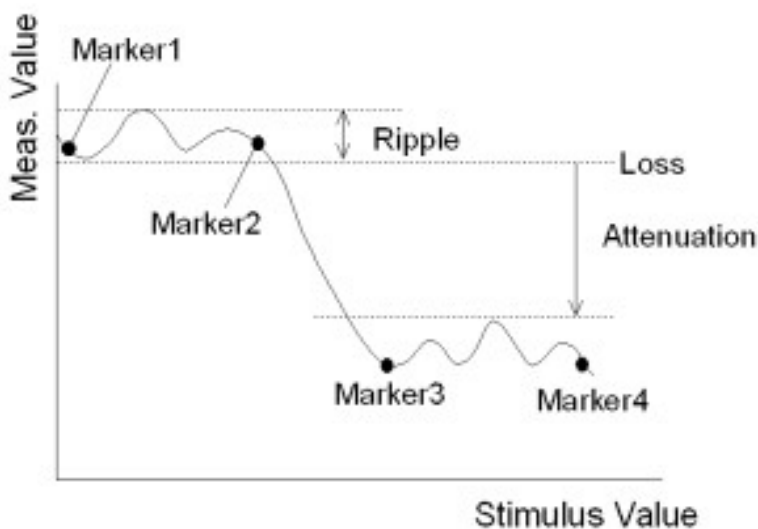


Рис. 29. Параметры, используемые при анализе АЧХ радиофильтров

Отображение параметров фильтров:

- Выбрать активный канал и требуемый график.
- Нажать клавишу **Marker Fctn**.
- Нажать клавишу **RF Filter Stats**.
- Последовательно установить на графике позиции маркеров с 1 по 4.

Сравнение графиков/математическая обработка данных

Каждый график измеренных данных, который выводится на экран, может быть сохранен в памяти прибора (график памяти). График памяти можно использовать для сравнения графиков на экране или для выполнения комплексных математических действий над запомненными и измеренными данными.

Предусмотрены следующие математические действия:

Data / Memory Деление измеренных данных на данные графика памяти. Эта функция может использоваться для определения отношения двух графиков (например, для определения усиления или ослабления).

Data * Memory Умножение измеренных данных на данные графика памяти.

Data - Memory Вычитание данных графика памяти из измеренных данных. Эта функция может использоваться, например, для вычитания измеренной и запомненной векторной величины поправки (например, направленности) из последующих результатов измерения характеристик устройства.

Data + Memory Сложение измеренных данных и данных графика памяти. Запоминание данных графика в память и выполнение математических действий производится следующим образом:

- Выбрать активный канал и требуемый график.
- Нажать клавишу **Display**.
- Нажать клавишу **Data > Mem** для запоминания данных графика в память.
- Нажать клавишу **Data Math**.
- Выбрать математическое действие над данными, нажав программируемую клавишу: **OFF** Прекращает математическую обработку данных (математические действия не выполняются).

Data /Mem Производит деление измеренных данных на данные графика памяти, результат операции выводится вместо графика измеренных данных.

Data * Mem Производит умножение измеренных данных на данные графика памяти, результат операции выводится вместо графика измеренных данных.

Data - Mem Производит вычитание данных графика памяти из измеренных данных, результат операции выводится вместо графика измеренных данных.

Data + Mem Производит сложение измеренных данных и данных графика памяти, результат операции выводится вместо графика измеренных данных.

Для выбора типа данных, отображаемых на графике необходимо нажать клавишу **Display** и в подменю выбрать тип данных, отображаемых на экране:

Data Отображает на экране только график измеренных данных.

Mem Отображает на экране только график памяти, запомненный нажатием клавиши **Data** → **Mem**.

Data & Mem Отображает на экране одновременно график измеренных данных и график памяти. При этом предоставляется удобная возможность сравнения графика измеренных данных и графика памяти на экране.

OFF Графики не отображаются.

Перерасчёт выводимых параметров

Возможно использовать функцию перерасчёта измеренных параметров для преобразования S-параметров (S_{ab}) к следующим величинам:

1. Эквивалентное (нормированное) сопротивление (Z_r) или эквивалентная (нормированная) проводимость (Y_r) (как параметры отражения)

$$Z_r = Z_{0a} \times \frac{1 + S_{ab}}{1 - S_{ab}}, Y_r = \frac{1}{Z_r};$$

2. Эквивалентное (нормированное) сопротивление (Z_t) или эквивалентная (нормированная) проводимость (Y_t) (как параметры прохождения)

$$Z_t = \frac{2 \times \sqrt{Z_{0a} \times Z_{0b}}}{S_{ab}} - (Z_{0a} + Z_{0b}); Y_t = \frac{1}{Z_t};$$

3. Обратный S-параметр ($\frac{1}{S_{ab}}$).

Здесь Z_{0a} - характеристическое сопротивление для порта а, Z_{0b} - характеристическое сопротивление для порта b (Z_0 считаем равным 50 Ом).

Включение режима пересчета:

- Выбрать активный канал и требуемый график.
- Нажать клавишу **Analysis**.
- Нажать клавишу **Conversion**.

- Нажать клавишу **Conversion** еще раз, чтобы включить состояние ON функции перерасчёта.

Для выбора вида преобразования :

- Выбрать активный канал и требуемый график.
- Нажать клавишу **Analysis**.
- Нажать клавишу **Conversion**.
- Нажать клавишу **Function**.
- Нажать программируемую клавишу, соответствующую требуемому параметру.

6. Вывод и сохранение данных

В приборе предусмотрено сохранение следующих типов данных:

- Состояние прибора (State) - запоминаются установленные параметры прибора. При последующей загрузке прибор воспроизводит запомненное 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 флорпи – 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 **File Dialog**).

- 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 флоппи – 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**.
- Для распечатки запомненного изображения можно использовать принтер, подключенный к параллельному порту LPT или последовательному порту USB. Принтер должен быть установлен в системе (**System-Printer Setup**). Распечатки делается в пункте **System-Print**.

7. Связь прибора с внешними устройствами и измерительными системами

Прибор обеспечивает связь с компьютером и измерительными системами нескольких типов интерфейсов. Для включения в систему по интерфейсу GPIB (IEEE 488 или КОП) требуется указать аппаратный адрес прибора (в интервале 0 ..30). Для этого используется пункт **System-Misc Setup – GPIB Setup-Talker/Listner Address**. Само подключение осуществляют с использованием платы сопряжения USB-GPIB (например, Agilent 82357A USB-GPIB Interface). Конфигурирование интерфейса осуществляется в пункте меню **System-Misc Setup-GPIB Setup-System Controller Configuration**.

Для конфигурации интерфейса локальной сети Ethernet (LAN) требуется установить IP адрес прибора, задать его имя и разрешить доступ в сеть. Установка проводится в пункте меню **System-Network Setup**. Конфигурирование сети осуществляется обычным способом в диалоговом окне Windows при нажатии кнопки **Network Configuration**. Тут же устанавливается IP адрес прибора в LAN и адрес шлюза. При необходимости можно запретить подключение в сеть (**Properties-Disable/Enable**). Для установки имени компьютера и его рабочей группы используется пункт **System-Network Identification**.

При правильно установленных параметрах соединения в сети появляется устройство с указанным именем. Проверка правильного конфигурирования осуществляется в пункте LAN Dialog. В нем выводится статус соединения (Normal или FAULT) и IP адрес.

Для управления прибором по сети предусмотрены Web Server и VNC Server. Web сервер позволяет получить удаленный доступ к прибору с помощью обычного Internet Explorer. Для этого на компьютере необходимо указать лишь адрес прибора. Сервер передаст страничку, на которой можно посмотреть и отредактировать сетевые установки прибора (View&Modify Configuration), получить копию экрана (Get Image) и распечатать ее (Print Display).

Для управления прибором по LAN в приборе использован программный продукт Virtual Network Computing (VNC). Это программный продукт для удаленного управления компьютерами (<http://www.realvnc.com/>) включает VNC сервер, запускаемый на приборе, и VNC viewer – программу, запускаемую на удаленном компьютере. Вьюер позволяет получить на экране компьютера изображение экрана прибора и управлять его меню с помощью клавиатуры и мыши. Количество компьютеров, одновременно соединенных с сервером, может быть большим. Для части из них функция управления может быть заблокирована, что превращает их в удаленные демонстрационные дисплеи. Вьюер позволяет обмениваться содержимым буфера (clipboard) с сервером, что можно использовать для рассылки данных измерений и пр.

VNC Server , установленный в приборе, может быть сконфигурирован в пункте **System-Misc Setup-Network Setup – VNC Server Configuration**. Доступны следующие опции –

- установка пароля доступа к серверу;
- выбор порта, по которому осуществляется HTTP протокол обмена данными;
- тип доступа – можно позволить доступ только с указанных локальных машин в сети (Access Control);
- ограничение активности клиентов от мыши, клавиатуры, возможности обмена по буферу (clipboard updates), полное отключение ввода команд от локальных клиентов.

8. Задание и указания к выполнению лабораторных работ

Перед выполнением лабораторной работы необходимо изучить описание прибора и методик его использования, изложенные в разделах 3-7 описания.

8.1. Калибровка и подготовка прибора к работе

Включить прибор и установить максимальный диапазон качания частоты 300 кГц ...3 ГГц. Подключить соединительные кабели и проведите стандартную калибровку прибора в максимальной полосе частот.

Включите один канал прибора (см. п.3.1) и установите максимальную полосу обзора (п. 3.2). Проведите стандартные типы калибровки, предусмотренных для прибора E5062A и описанных в п. 4 описания лаб.работы:

- Калибровка источника сигнала для исключения погрешностей, связанных с неидеальной направленностью (E_d) и неравномерностью ЧХ канала отражения(E_r). Для калибровки войдите в пункт меню Calibrate и используйте оконечные нагрузки: КЗ для пункта подменю Calibrate-Response(Short) и XX для пункта Calibrate-Response (Open). Для большей точности отсчета фазы устанавливайте нагрузки на конце соединительного кабеля. Результаты калибров-

ки контролируйте по индикатору калибровки канала Calibration- Property –On (Off).

- Калибровка коэффициента передачи для исключения погрешностей, связанных с несовершенной изоляцией (E_x) и неравномерностью ЧХ канала передачи (E_t). Используйте прямое соединение портов прибора через кабели и разъемный переход. Результаты калибровки контролируйте по индикатору калибровки канала Calibration- Property –On (Off).

Прибор откалиброван в максимальной полосе частот и готов к работе.

8.2. Исследование проходного СВЧ резонатора

Для наблюдения частотной характеристики резонатора включите его на проход и выведите в окно графики модуля (дБ) и фазы коэффициента передачи S21 во всей полосе частот (пункты меню Meas, Format - см. п.3.3). Выберите удобный для наблюдения масштаб графиков (пункт Scale). Сохраните скриншот графика (System-Dump Screen Image) в инвертированном виде (Display-Invert Color-On - см. п.6) в файл на внешнем USB –диске.

Определите частоту первого резонанса и настройте канал на работу вблизи этой частоты. Сделать это удобнее с помощью маркеров. (Использование маркеров подробно описано в п.5). Установите маркер слева от АЧХ резонатора и сделайте эту частоту начальной. Также поступите и с конечной частотой. Затем выведите и поместите опорный маркер (Ref Marker) в максимум АЧХ (Marker-Search-Max).

Включите логарифмический масштаб графика S21 по вертикали. Активируйте маркеры 1 и 2 а и поместите их на 3 дБ ниже максимума АЧХ. Отсчитайте рабочую полосу резонатора по уровню -3 дБ. Включите автоматический поиск полосы пропускания (Marker-Search- Bandwidth – On) по уровню -3 дБ и проверьте полученный результат. Запишите полученные данные резонатора (резонансная

частота, полоса, добротность). Сохраните скриншот графика АЧХ и численные данные АЧХ и ФЧХ (Save Trace Data). По численным данным программой Excel постройте результаты измерений.

Проверьте влияние калибровки на АЧХ резонатора. Выключите коррекцию калибровки (Calibrate -Correction - Off) и запишите полученную АЧХ в память (Display-Data –Mem). Затем включите корректировку и выведите на график две АЧХ резонатора - при включенной и выключенной калибровке (Display-Data &Mem). Результат зафиксируйте в виде скриншота.

Выведите на экран 4 графика для коэффициента отражения и коэффициента передачи:

- модуль S21
- фаза S21
- КСВН
- круговая диаграмма S11

Подберите удобные для наблюдения масштабы графиков и сохраните результат в виде скриншота (в инверсном цвете – с белым фоном) и в численном виде.

8.3. Исследование полосно-пропускающего СВЧ фильтра

Установите в измерительный тракт прибора полосовой СВЧ фильтр. Проведите анализ его АЧХ в максимальной полосе качания и определите рабочую область частот фильтра. Включите маркер и с его помощью установите начальную и конечную частоты обзора (Marker Function-Marker-Start/Stop. Постройте в активном канале частотные характеристики модуля S21 в логарифмическом масштабе, фазу S21 в разных форматах (Phase, Expand Phase, Positive Phase а также групповое время запаздывания фильтра Group Delay), КСВН (SWR) и диаграмму Смита для коэффициента отражения S11. Сохраните данные в файле и скриншоте.

Во втором канале получите два графика – модуля S21 и КСВН в полосе частот, соответствующих полосе пропускания фильтра (в диапазоне S21 0 – 3 дБ и

КСВН не более 4...5). Для работы второго канала его надо запустить ((Trigger-Continuous), так как при создании канала по умолчанию он находится в задержанном (Hold) состоянии. Сохраните данные в файле и сделайте скриншот экрана канала.

С помощью маркеров измерьте полосу пропускания фильтра по уровню -3 дБ от максимума и по уровню КСВН=2.5. Используйте как один маркер так и два маркера в режиме Ref Marker Mode – On. Включите режим Bandwidth - On и определите параметры фильтра в полосе пропускания по характеристике S21 и КСВН. Получите статистические параметры графиков (Statistics, Flatness, RF Filter Stats – On/Off – см. п.5).

8.4. Работа в сети (по указанию преподавателя).

Исследуйте работу прибора в сети. Для этого просмотрите сетевые установки прибора и, при необходимости, скорректируйте их (Network Setup – Network configuration, Network Identification). Проверку корректности подключения к сети проведите в пункте LAN Dialog.

Включите Web Server и проверьте установку параметров VNC Server. Запустите на компьютере Internet Explorer и откройте веб-страничку прибора по его IP-адресу.

Просмотрите пункты конфигурации прибора в сети и получите изображение экрана. Запустите VNC viewer (Browser Web Control) и опробуйте удаленный режим управления прибором.

Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать описание последовательности действий при калибровке и измерении параметров резонатора и фильтра, набор скриншотов и таблиц численных данных измерения и построенные по этим данным графики коэффициентов отражения и передачи, краткие выводы.

Список литературы

1. Дворяшин Б.В. Метрология и радиоизмерения / Учеб. Пособие для студентов ВУЗов, -М.: Издательский центр «Академия», 2005. - 304с
2. Метрология и радиоизмерения / Учебник для ВУЗов. /Под ред. В.И.Нефедова, -М.: Высшая школа, 2003.
3. Данилин А.А. Измерения в технике СВЧ -М.: Радиотехника, 2008. 182с
4. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения. - М.: Высш. шк., 1986.
5. Мирский Г.З. Электронные измерения. - М.: Радио и связь, 1986.
6. ВЧ анализаторы цепей Agilent E5061-E5062 серии ENA. Руководство по эксплуатации.