



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

Кафедра теоретических основ радиотехники

А. А. Данилин

Векторный анализатор СВЧ цепей Agilent E5062A

Руководство пользователя

Санкт-Петербург
2023 г.

1. АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ПАРАМЕТРОВ СВЧ ЦЕПЕЙ AGILENT E5062A

В данном руководстве приводится основная информация по использованию измерителя параметров СВЧ цепей E5062A серии ENA-L компании Agilent Technologies (в настоящее время Keysight 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.

1.1. Структурная схема и принцип действия анализатора E5062A

Внешний вид анализатора приведен на рис.1.1

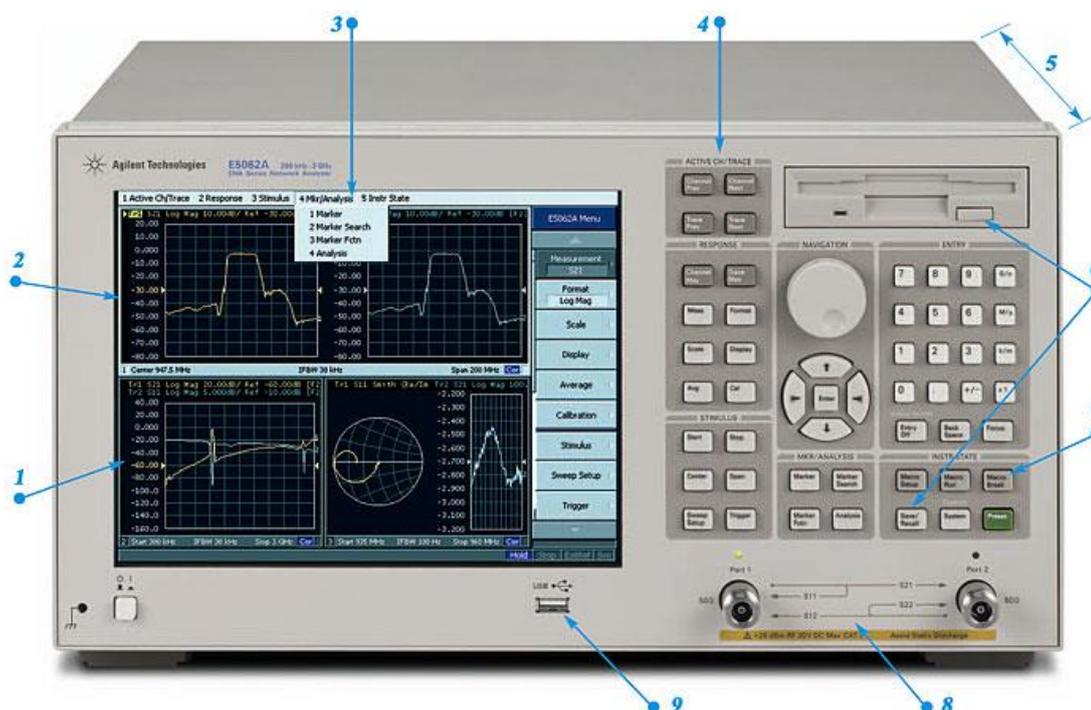


Рис. 1.1. Измеритель коэффициентов передачи и отражения СВЧ устройств E5062A

Основное назначение анализатора – измерение комплексных коэффициентов передачи или отражения СВЧ устройств со стандартными портами ввода/вывода. После подключения исследуемого устройства (обозначаемого обычно как DUT – Device Under Test) к портам определяют только два коэффициента его матрицы рас-

сеяния S_{11} и S_{21} . Для получения полной матрицы рассеяния двухпортового устройства (измерение коэффициентов S_{22} и S_{12}) используют переключение направления прохождения сигнала путем перекоммутации входа и выхода исследуемого объекта.

Особенности векторного анализатора E5062A:

- Диапазон рабочих частот: от 300 кГц до 3 ГГц
- Импеданс порта 50 Ом (коаксиальный N – разъем);
- Выходная мощность сигнала на активном порту: 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
- Число точек измерения от 2 до 1601;

Структурная схема измерительного СВЧ тракта прибора представлена на рис. 1.2. 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. Port 1 - активный порт источника сигнала (генератора СВЧ). Port 2 - порт нагрузки, куда подключается выход исследуемого устройства.

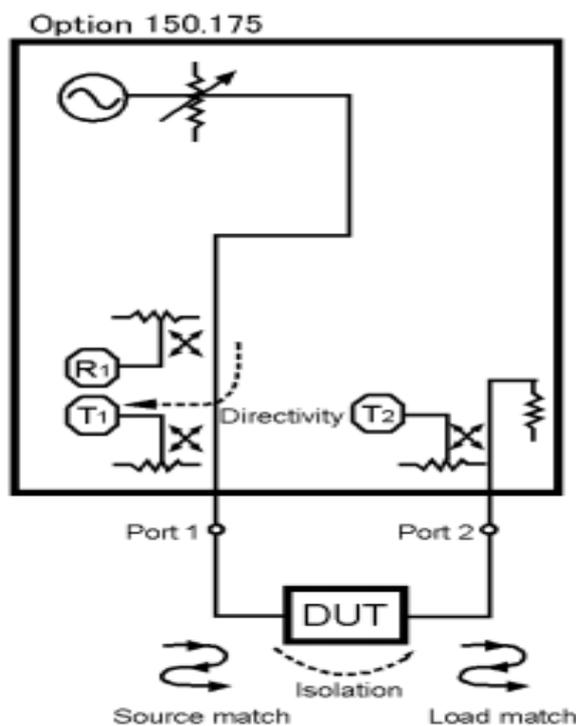


Рис. 1.2. Структурная схема измерительного тракта СВЧ блока анализатора

Выделенные сигналы, пропорциональные падающей и отраженной (проходящей) волнам, поступают на преобразователи частоты приемника измерительного блока (рис.1.3).

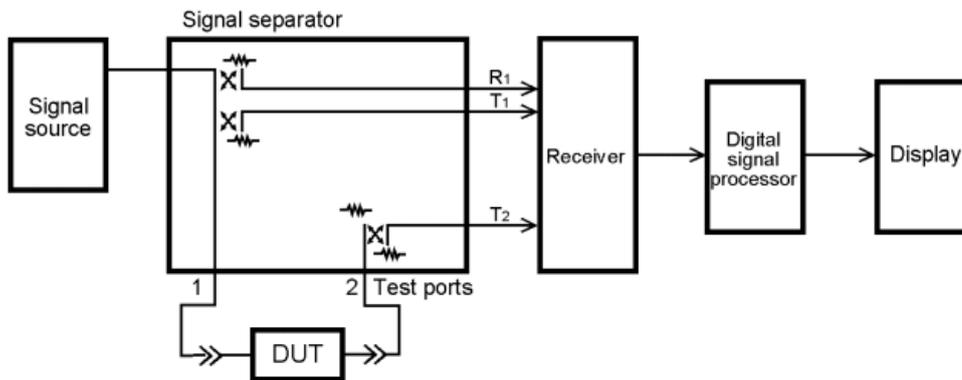


Рис. 1.3. Структурная схема анализатора E5062A

В дальнейшем измерение отношения комплексных амплитуд проходящей/отраженной и падающей волн производится на промежуточной частоте. Результаты измерения обрабатываются цифровым сигнальным процессором, 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 стандартное программное обеспечение, работать с такими устройствами как мышь и клавиатура, принтер, применять дополнительный видеомонитор, USB флэш-диски и стандартный флоппи-дисковод. Предусмотрена возможность включения прибора в компьютерную сеть (LXI), для чего предусмотрены встроенный Ethernet – адаптер и стандартный веб-браузер, совместимый с LXI стандартом.

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

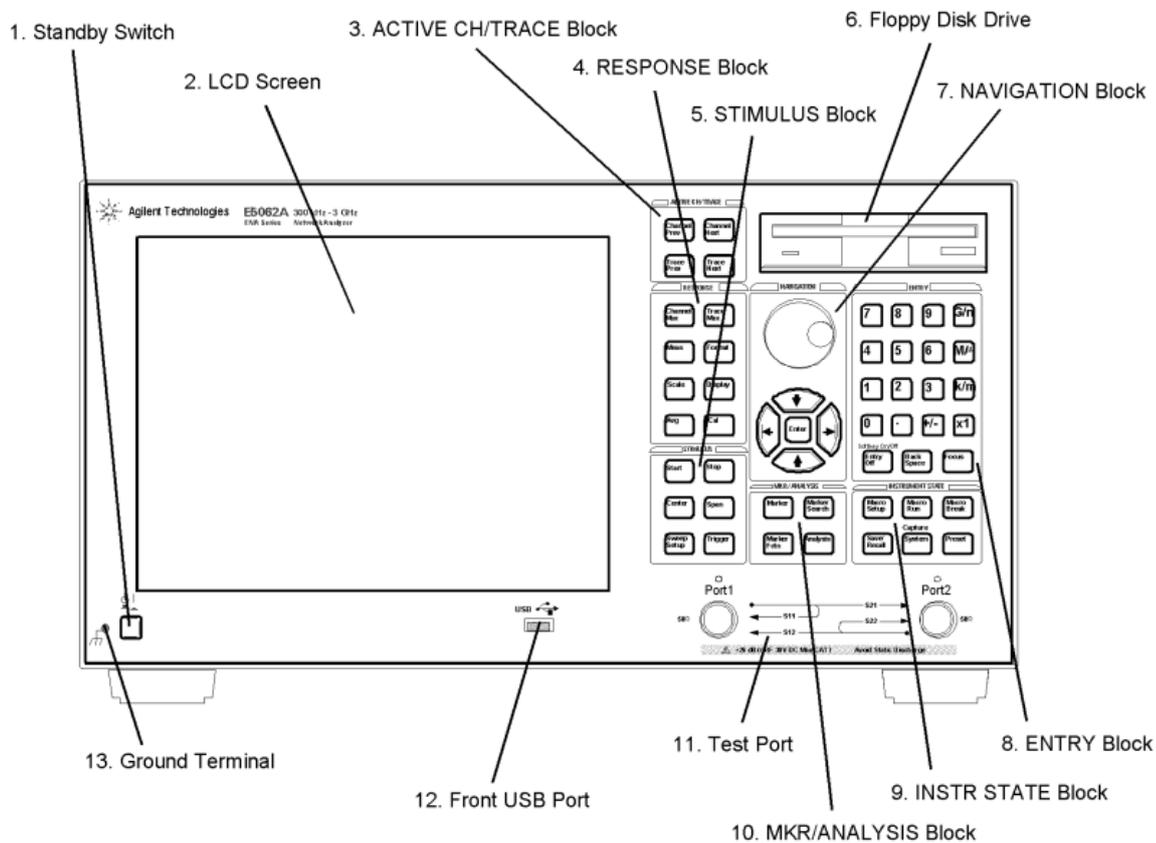


Рис. 1.4. Органы управления передней панели анализатора

На рис 1.4 представлен вид передней панели прибора. Кнопочные элементы управления разделены на блоки, соответствующие их функциональному назначению. Это блок выбора активных каналов и графиков (ACTIVE CH/TRACE Block), блок режимов измерения (RESPONSE Block), блок управления генератором (STIMULUS Block). Кроме этого, предусмотрен блок навигации по меню и плавной установке параметров с помощью колесика и кнопок со стрелками (NAVIGATION Block), блок установки режима прибора (INSTR STATE Block) и блок управления маркерами (MKR/ANALYSIS Block). Для ввода числовых параметров предусмотрен блок цифровых клавиш (ENTRY Block). Он содержит также клавиши ввода размерности параметра, для безразмерных параметров используется кнопка x1.

На задней панели прибора установлены разъемы - параллельного порта LPT для подключения принтера, портов USB, клавиатуры и мыши, внешнего видеомонитора. Предусмотрены разъемы интерфейсов GPIB и Ethernet (LAN), разъемы внешнего запуска прибора (Ext Trig), ввода и вывода внешнего и внутреннего опорных сигналов (Ref In, Ref Out).

Кнопочные элементы управления дублируют соответствующие команды экранного меню (Menu bar) и программируемых экранных клавиш (Softkey menu bar). Вид типичного экрана анализатора представлен на рис. 1.5.

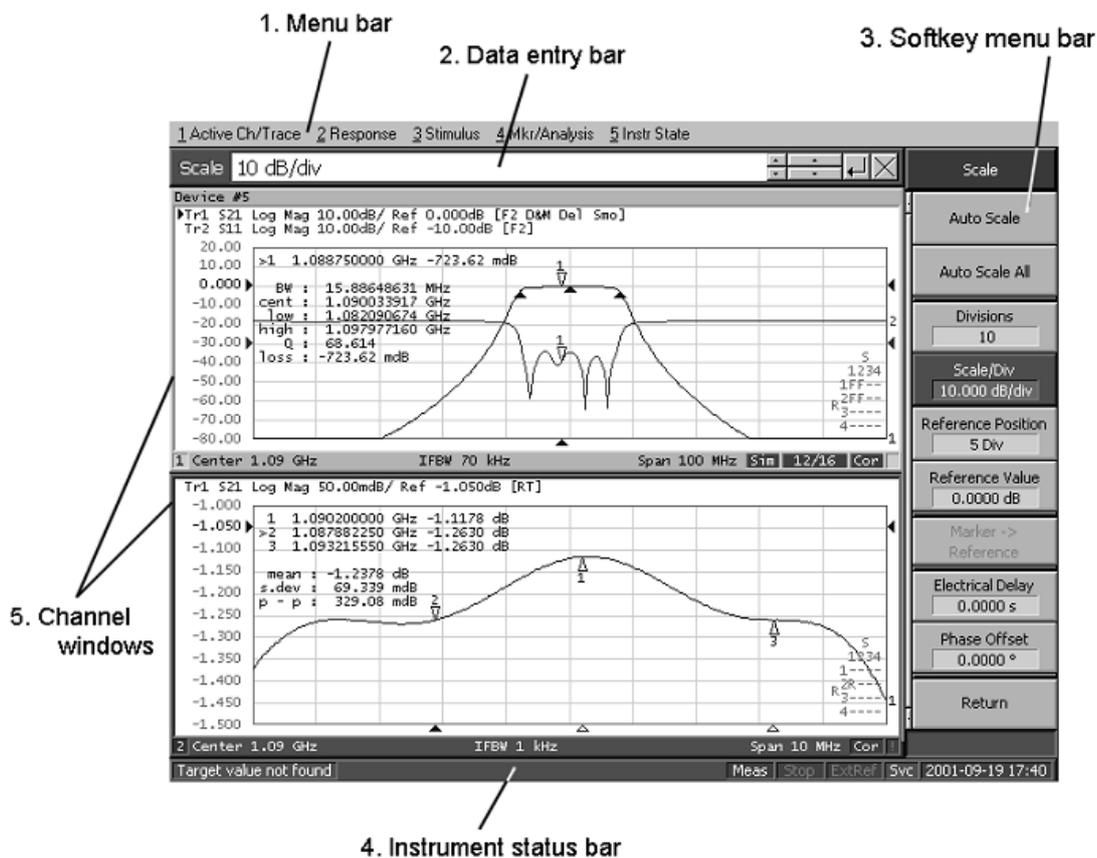


Рис. 1.5. Вид экрана анализатора цепей в двухканальном режиме измерения (Сверху расположена строка меню (Menu bar). Меню в строке соответствует блокам кнопок передней панели, а их подменю – кнопкам в этих блоках. Строка ввода (Data entry bar) предназначена для набора числовых данных с помощью внешней или встроенной клавиатуры или мыши. Строка содержит кнопки пошагового изменения вводимого параметра, кнопку ввода и кнопку закрытия.

Строка статуса прибора (Instrument status bar) отображает приборные сообщения и предупреждения, содержит индикаторы обновления экрана, отключения ВЧ выхода, текущее 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 полезной площади экрана можно колонку убрать – это делается нажатием кнопки Entry Off.

1.2. Технические параметры анализатора

Основные технические параметры анализатора цепей СВЧ E5062A (вариант исполнения - опция 150 – режим измерения T/R в тракте 50 Ом приведены в таблице 1.

Таблица 1

| ХАРАКТЕРИСТИКИ | ПАРАМЕТРЫ | ЗНАЧЕНИЯ | |
|---------------------------------------|--|---|---|
| ВЫХОД ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПОРТА (ИСТОЧНИК) | Диапазон частот | 300 кГц - 3 ГГц | прибор имеет расширенные функции она является основным средством для выполнения измерений и обеспечивает: |
| | Разрешающая способность по частоте | 1 Гц | |
| | Нестабильность генератора | $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ | |
| | Выходная мощность | -5 ... 10 дБм | |
| | Погрешность установки уровня | ± 1.0 дВ (на уровне 0 дБм) | |
| | Разрешающая способность по уровню | 0,05 дБ | |
| | Уровень 2 и 3 гармоник | < -25 дВс (на 5 дБм) | |
| 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 | |
| ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ | Диапазон установки полос ПЧ | 10 Гц ... 30 кГц | |
| | Динамический диапазон прибора в целом | 90 дБ при полосе ПЧ 3 кГц, 115 дБ 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) | GPIO – 1522 мс, LAN – 127 мс, | |

рений и обеспечивает:

- Работу 4-х независимых измерительных канала с отдельной установкой параметров сигнала генератора и режима работы приемника; каждому каналу соответствует экранное окно, в котором может отображаться до 4 графиков данных измерения и до 4-х графиков данных из памяти;
- Различные форматы представления данных – линейный и логарифмический масштаб модуля измеряемого параметра, 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;

- Измерения с использованием экранных маркеров (до 10 маркеров на каждый график). Они позволяют выводить численные значения интересных 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 дополнительный *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, среднеквадратического отклонения и размаха данных.

Повышение точности измерений достигается различными типами калибровки. Для автоматизации этой процедуры можно использовать дополнительный внешний блок электронной калибровки ECal, управляемый через порт USB на передней панели прибора.

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

1.3. Установка режимов работы анализатора E5062A и проведение измерений

1.3.1. Установка числа каналов и графиков.

Первым шагом при работе с прибором является установка количества каналов и вида выводимой информации в окне канала (расположение графиков). В приборе E5062A «канал» – это отдельный режим работы прибора, в котором можно независимо устанавливать такие параметры, как диапазон качания частоты, масштаб измерения и др. В приборе Agilent E5062A можно использовать от 1 до 4-х каналов. По умолчанию используется один канал. Окна каналов предназначены для отображения измерительной информации. В каждом канале можно открыть от 1 до 4 окон. 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 так: **!** - идет процесс измерения, **#** - недостоверные данные (например условия измерения были изменены, а графики еще не обновлены).

Один из каналов в данный момент является *активным*. Окно активного канала выделяется серым цветом обрамления. Выбор активного канала делается клавишами **Channel Next**, **Channel Prev**, клавишами на лицевой панели прибора **Channel Next** (следующий канал), **Channel Prev** (предыдущий канал), кнопками экранного меню или щелчком правой кнопки мыши на окне выбранного канала.

Для увеличения количества отображаемых каналов необходимо:

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

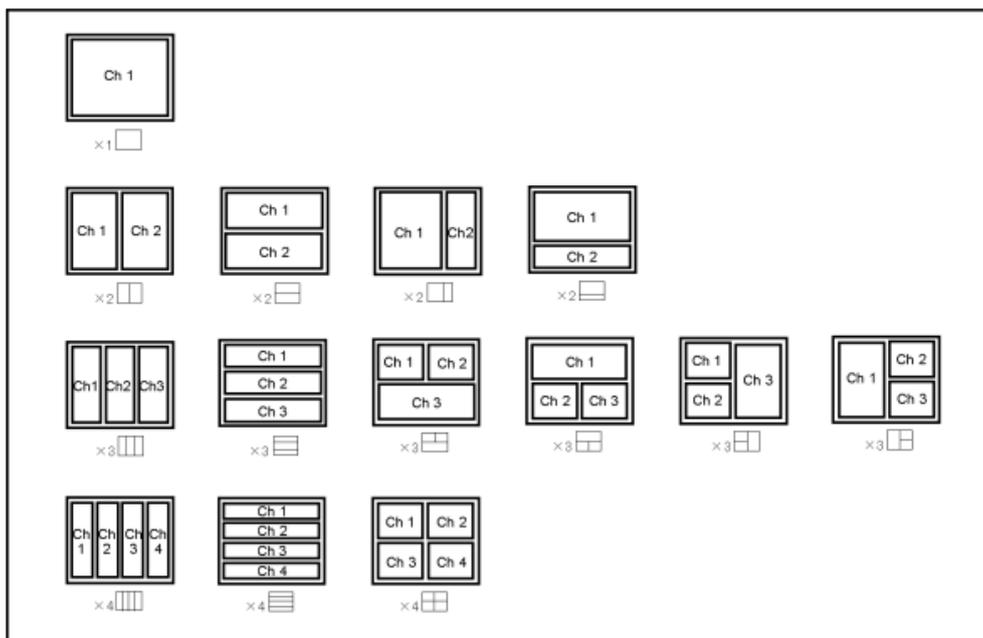


Рис. 1.6. Возможные шаблоны расположения окон каналов

Внимание: При активизации дополнительных каналов по умолчанию предусмотрен однократный запуск развертки **Single** (значок # в правом нижнем углу экрана канала). Для проведения измерений, необходимо изменить режим запуска на **Continuous** – режим непрерывной развёртки.

Для этого необходимо:

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

Continuous – режим непрерывной развёртки. Если число дополнительных каналов больше одного, используйте клавишу **Continuous Disp Channels**– режим непрерывной развёртки для всех отображаемых каналов.

В каждом канале имеется возможность отображения до 4-х графиков (**Traces**), которые можно совмещать в одной диаграмме, либо выводить в отдельном окне (рис.1.6). Для выбора количества отображаемых графиков в активном канале необходимо:

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

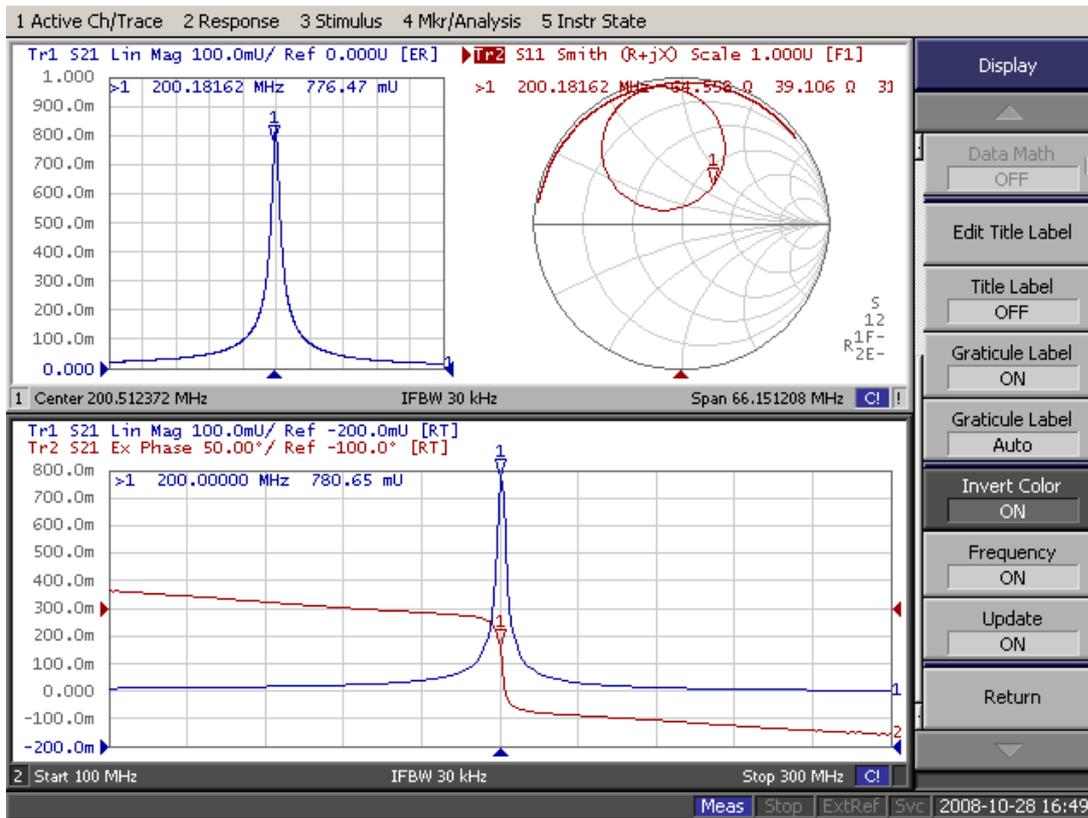


Рис. 1.7. Отображение на экране 2-х каналов: в первом два графика раздельно, во втором – два графика совмещены.

Установка расположения рамок графиков производится аналогично каналам:

- Нажать **Display**.
- Нажать **Allocate Traces**.
- Выбрать из списка способ отображения графиков.

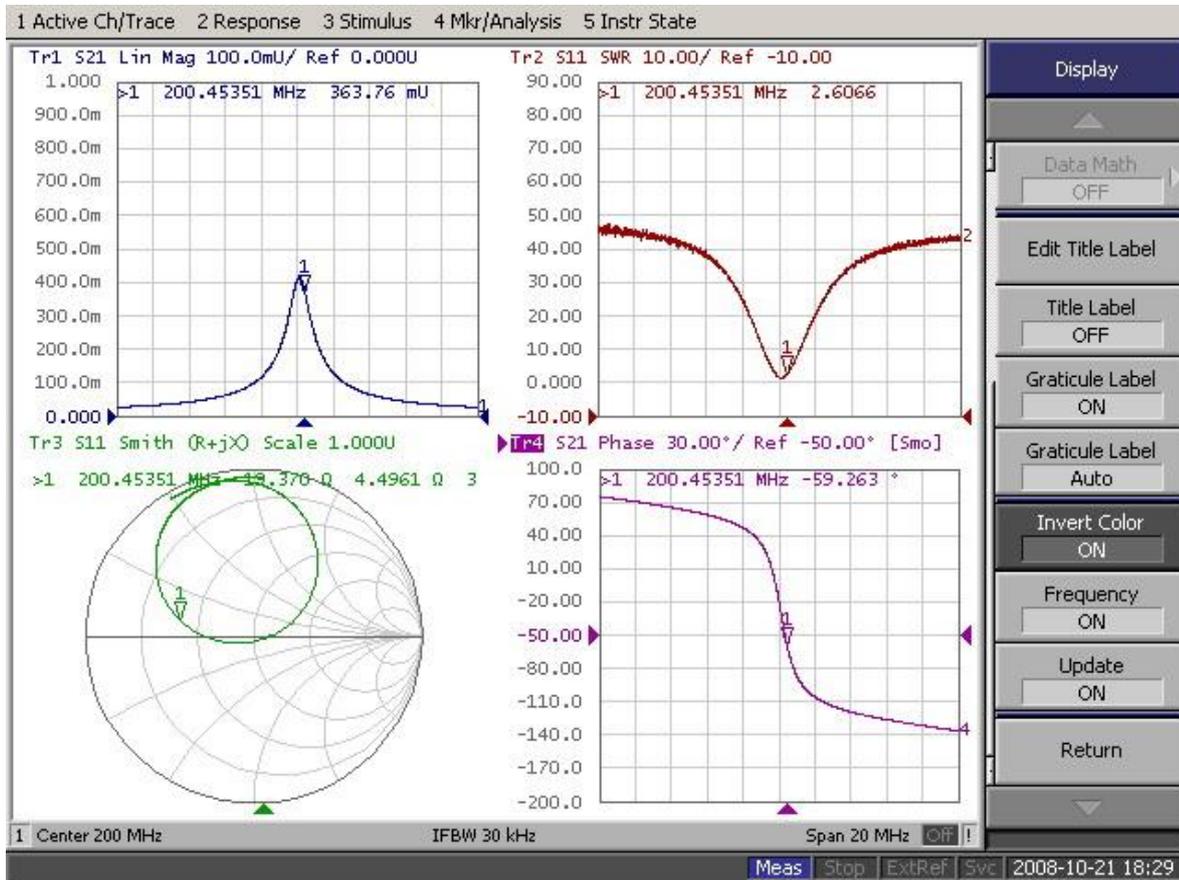


Рис. 1.8. Отображение в окне одного канала 4-х графиков

1.3.2. Режимы и параметры каналов

Параметры в каждом из каналов устанавливаются независимо. Они являются общими для всех графиков канала:

- частотный диапазон свипирования,
- число частотных точек,
- режим и время свипирования,
- режим запуска.
- мощность генератора качающейся частоты,
- полоса ПЧ,
- данные калибровки.

1.3.3. Установка частотного диапазона:

Установить частотный диапазон можно несколькими способами, указав частоты явно, или при помощи маркеров.

Для явного указания частот:

- Нажать пункт меню **Stimulus**.
- 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** и цифровыми клавишами установить ширину диапазона

качания частоты.

Установка диапазона качания с помощью *маркеров*. Для этого необходимо:

- В окне активного канала с помощью мыши поместить маркер на активном графике в положение, соответствующее выбранному нижнему, верхнему или центральному значению устанавливаемого диапазона частот.
- Нажать клавишу **Marker Fctn**.
- Выбрать нужную 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 активном графике.

Частотный диапазон измерения, как правило, должен совпадать с частотным диапазоном калибровки. При изменении частотного диапазона измерения относительно диапазона предыдущей 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 «?».

1.3.4. Установка количества точек:

Число точек устанавливается в пределах 2...1601. Большое число точек ведёт к уменьшению погрешности дискретности графиков, но 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.

1.3.5. Установка режима свипирования:

В приборе имеется возможность выбора одного из 4-х установленных типов управления частотой (свипирования) генератора:

Таблица 2

| Тип свипирования | |
|------------------|--|
| Linear | Свипирование по частоте в линейном масштабе |
| Log | Свипирование по частоте в логарифмическом масштабе |
| Segment | Свипирование по частотным сегментам |

| | |
|--------------------------|--|
| Тип свиппирования | |
| Power | Свиппирование по мощности в линейном масштабе на фиксированной частоте |

Для установки режима свиппирования:

- Нажать **Sweep Setup**.
- Нажать **Sweep Type**.
- Выбрать необходимый тип свиппирования.
 - **Linear** – изменение частоты в линейном масштабе (стандартный режим измерения, подходит в большинстве случаев).
 - **Log** – изменение частоте 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 свиппирования по мощности на фиксированной частоте.

1.3.6. Установка времени свиппирования (время анализа ЧХ):

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.

В автоматическом режиме (**Sweep Time – AUTO**) прибор самостоятельно выбирает наименьшее время, соответствующее минимальным динамическим искажениям измеряемых характеристик. Для автоматической установки времени свиппирования необходимо:

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

1.3.7. Установка выходной мощности генератора:

Установка мощности генератора необходима при исследовании активных и нелинейных объектов. Уровень мощности в приборе E5062A можно задать в диапазоне -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.

В приборе предусмотрен режим исследования активных устройств на одной частоте при *свиппировании мощности генератора*. Для установки частоты, на которой происходит свиппирование надо:

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

Для работы режима свиппирования по мощности надо включить выходной сигнал генератора:

- Нажать **Sweep Setup**.
- Нажать **Power**.
- Нажать **RF Out** (Каждое нажатие этой клавиши производит переключение между двумя состояниями вкл. (ON) и выкл. (OFF), которые индицируются в нижнем углу экрана).

1.3.8. Режимы запуска (triggering):

Прибор начинает выполнять измерения по сигналу 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 по команде интерфейса измерительной системы (программный запуск командой *TRG).

Для выбора типа запуска необходимо:

- Выбрать требуемый канал.
- Нажать **Trigger**.
- Выбрать требуемый тип запуска:
 - **Hold**– 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.

1.3.9. Установка полосы пропускания усилителя ПЧ:

Для установки полосы пропускания необходимо:

- Выбрать требуемый канал.
- Нажать **Avg**.
- Нажать **IF Bandwidth**.
- Ввести значение полосы пропускания в пределах 10 Гц...30 кГц. Узкая полоса ПЧ позволяет снизить уровень шумов на графике, но увеличивает требуемое время измерения (в автоматическом режиме **Sweep Time** – AUTO).

1.4. Режимы и параметры графиков

1.4.1. Установка вида измерения для выводимых данных:

Прибор E5062A в каждой частотной точке измеряет два комплексных параметра матрицы рассеяния S_{11} и S_{21} (их амплитуды и фазы). Для каждого графика требуется указать вид индицируемого параметра. На одной диаграмме 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 (S_{11} или S_{21}).

1.4.2. Выбор формата выводимых данных

Прибор позволяет отображать на графиках измеряемые параметры в следующих форматах:

- Прямоугольная система системы координат:
- Полярная система координат
- Диаграмма Смита

Прямоугольная система координат:

Таблица 3

| Тип | Данные по Оси Y | Единицы измерения | Измеряемые величины |
|---------------------------------|--|-------------------|--|
| Логарифмическая шкала | Модуль измеряемого параметра | дБ | Обратные потери Вносимые потери или коэффициент усиления |
| Линейный формат | Модуль измеряемого параметра | Отн. единицы | Коэффициенты отражения и передачи |
| Стандартный формат фазы | Фаза в пределах от -180° до 180° | град | Аргумент измеряемого параметра |
| Расширенный формат фазы | Фаза в пределах от $-\infty$ до $+\infty$ | град | Аргумент измеряемого параметра |
| Формат положительной фазы | Фаза в пределах 0° до 360° | град | Аргумент измеряемого параметра |
| Формат групповой задержки (ГВЗ) | Время задержки сигнала в исследуемом устройстве | сек | Групповая задержка |

| Тип | Данные по Оси Y | Единицы измерения | Измеряемые величины |
|----------------------------|---|-----------------------|---|
| КСВН (SWR) | $\frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}}$ | Безразмерная величина | Параметр согласования порта исследуемого устройства |
| Формат вещественных данных | Вещественная часть измеряемого комплексного параметра | безразмерно | |
| Формат комплексных данных | Мнимая часть измеряемого комплексного параметра | безразмерно | |

Полярная система координат:

Выводятся частотная зависимость (годограф) комплексного параметра (рис. 1.9). 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. Определить частоту на графике можно только при помощи маркера.

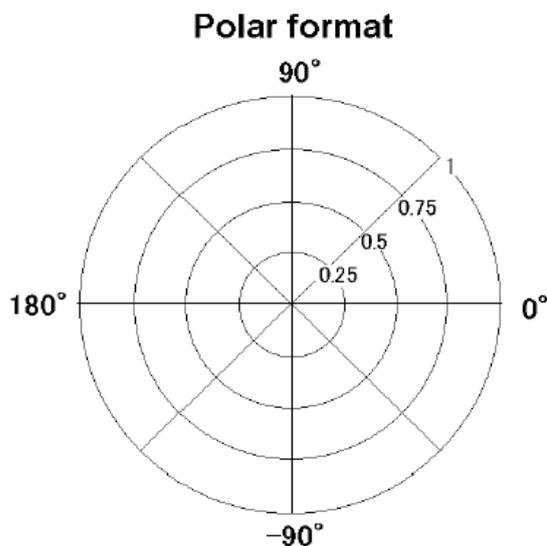


Рис. 1.9. Полярная диаграмма

Диаграмма Смита (круговая диаграмма).

Это полярная система координат для измеренного коэффициента отражения с наложенной сеткой вещественной и мнимой частями полных сопротивлений или проводимостей (рис. 1.10). Форматы вывода:

- Линейный модуль и фаза.
- Логарифмический модуль и фаза.
- Вещественные и комплексные части входного сопротивления.
- Сопротивление (Ом), реактивное сопротивление и индуктивность (Гн) или ёмкость (Ф).
- Проводимость (См), реактивная проводимость и ёмкость или индуктивность.

Последние 3 параметра являются расчетными и выводятся при помощи маркера. Для их нормировки требуется предварительно ввести значение волнового сопротивления тракта Z_0 .

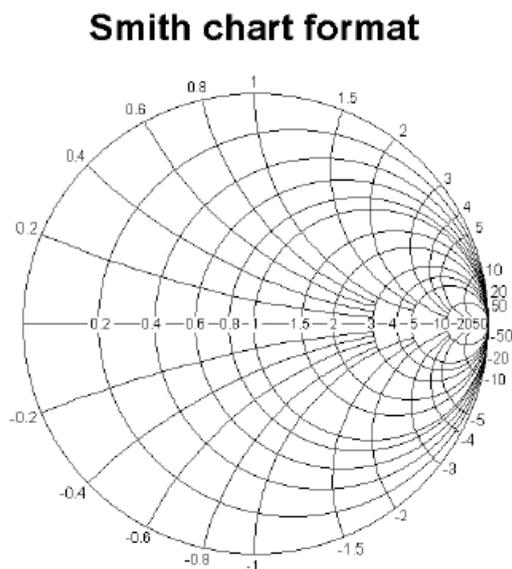


Рис. 1.10. Круговая диаграмма

Для выбора формата отображения необходимо:

- Указать необходимый канал и график.
- Нажать **Format**.
- С помощью программируемой клавиши выбрать формат вывода данных:
 - Lin Mag – Прямоугольная система координат, линейный формат.
 - Log Mag – Прямоугольная система координат, логарифмическая шкала.
 - Phase – Прямоугольная система координат, стандартный формат фазы – в пределах $-180 \dots 180$ 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 параметра.
- 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.
- Polar - Log / Phase – Полярная система координат, логарифмический модуль.
- Polar - Real / Imag – Полярная система координат, вещественные и комплексные части параметра.
- SWR – Прямоугольная система координат, КСВН.
- 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 (0 -360 градусов).

1.4.3. Установка масштаба графиков по вертикали

В приборе предусмотрено два режима установки масштабов – автоматический (автоподстройка) и ручной. В режиме автоподстройки прибор сам подбирает масштаб оси Y (цену деления шкалы **Scale/Div**), устанавливает начало координат (опорный уровень **Reference Value**) и его положение на сетке экрана (**Reference Position**) для наилучшего отображения измеряемых данных. 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 регулируются 4 параметра оси Y:

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

Для ввода этих параметров требуется:

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

Для полярной системы координат и диаграммы Смита в ручном режиме устанавливают только один параметр – величину радиуса внешней окружности (**Scale/Div**).

1.5. Калибровка анализатора цепей СВЧ E5062A

Калибровка прибора представляет собой процедуру исключения систематических погрешностей, возникающих за счет несовершенства как внутреннего СВЧ измерительного тракта прибора, так и внешних соединителей (кабели, разъемы, крепления, и т.д.). Эти погрешности повторяющиеся и мало меняются во времени. Их уменьшают (исключают) при калибровке измерительного тракта прибора. Для СВЧ тракта вида рис. 1.2 можно выделить шесть типов систематических погрешностей:

- Неидеальная направленность ответвителей (**Directivity, E_d**). Погрешность, возникающая в результате проникновения падающей волны в тракт измерения отражённой волны.

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

- Рассогласование источника (**Source Match, E_s**). Погрешность возникает из-за того, что отраженный от испытуемого устройства сигнал переотражается от направленного ответвителя отраженной волны.

- Рассогласование нагрузки (**Load Match, E_s**). При переотражении сигнала от входа направленного ответвителя прошедшей волны в измерительный канал попадает не вся мощность прошедшего через устройство сигнала.

- Ошибка из-за неравномерности ЧХ канала отражения (**Reflection Tracking error, E_r**). Она возникает из-за разности частотных характеристик измерительного и опорного каналов при измерении коэффициента отражения.

- Ошибка, зависящая от неравномерности ЧХ канала передачи (**Transmission Tracking error, E_t**). Она связана с неодинаковостью ЧХ измерительного и опорного каналов при измерении коэффициента передачи.

Калибровка прибора предназначена для уменьшения этих погрешностей и проводится с использованием комплекта калибровочных мер, включающих нагрузки холостого хода и короткого замыкания (XX – OPEN, КЗ – SHORT), перемычку (THRU) и согласованные нагрузки (CH - LOAD). Общий вид калибровочных мер для разъема типа N представлен на рис. 1.11.

Нагрузка XX представляет собой фрагмент разъёма с отсутствующим центральным контактом и глухой задней стенкой, либо с отверстием в ней. Нагрузка КЗ имеет центральный проводник, закороченный на заднюю стенку. Согласованная нагрузка имеет центральный проводник, между которым и задней стенкой размещен поглощающий материал – резистор 50 Ом.

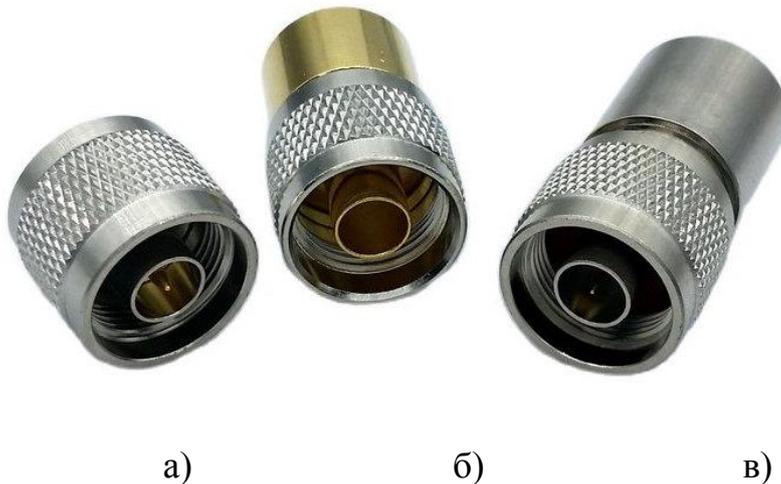


Рис. 1.11. Внешний вид калибровочных мер.

а) КЗ (Short)

б) XX (Open)

в) Согласованная нагрузка (Load)

Соединительный переходник (перемычка) Female-Female представляет собой два ответных разъёма, соединенных (рис.1.12). Такой переходник часто называют «бочонок».



Рис. 1.12. Соединительный переходник Female-Female

Калибровка ведется обязательно с соединительными кабелями, используемыми для подключения объекта исследования. Калибровочные элементы присоединяют к разъемам этих кабелей.

В зависимости от вида измерительной задачи, применяют различные типы калибровок, приведенных в таблице 3:

Таблица 3

| Метод калибровки | Используемые стандарты | Погрешности | Измеряемые параметры | Свойства калибровки |
|---|--|--|----------------------|---------------------------------------|
| Простая калибровка активного порта (Response Calibration) | •OPEN •SHORT (опционально LOAD при измерении изоляции порта) | Учитываются 2 погрешности: •Reflection Tracking (Er) •Directivity (Ed)*3 | S11 | •Средняя точность, быстрая калибровка |
| Простая калибровка «на проход» (Response Calibration) | •THRU (опционально LOAD при измерении изоляции порта) | Учитываются 2 погрешности: •Transmission Tracking (Et) •Isolation (Ex)*3 | S21 | |
| Полная однопортовая калибровка 1-Port Calibration | •OPEN •SHORT •LOAD | Учитываются 3 погрешности: •Directivity (Ed) •Source Match (Es) •Reflection Tracking (Er) | S11 | •Высокая точность |
| Расширенная двухпортовая калибровка (Enhanced Response Calibration) | •OPEN •SHORT •LOAD •THRU | Учитываются 5 погрешностей: •Directivity (Ed1) •Isolation (Ex21) •Source Match (Es1) •Transmission Tracking (Et21) •Reflection Tracking (Er1) | S11,S21,S12,S22 | •Высокая точность |
| Полная двухпортовая калибровка (Full 2-Port Calibration) | •OPEN •SHORT •LOAD •THRU ECal module (2-port/4-port) | Учитываются все 12 погрешностей: •Directivity (Ed1,Ed2) •Isolation (Ex21,Ex12)*3 •Source Match (Es1,Es2) •Load Match (El1,El2) •Transmission Tracking | S11,S21,S12,S22 | •Наивысшая точность калибровки |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | (Et21,Et12) •Reflection Tracking (Er1,Er2) | | |
|--|--|--|--|--|

1.5.1. Простая калибровка активного порта (Response OPEN/ SHORT)

При такой калибровке устраняются систематические погрешности, связанные с направленностью (E_d) и неравномерностью ЧХ канала отражения (E_r). Калибровка ведется по измеряемому параметру S_{11} , для ее выполнения надо:

- В правом меню выбрать подменю **Calibrate**.
- Выбрать тип калибровки **Response (Open)**.
- Подключить нагрузку XX к активному порту и нажать **Open**.
- Нажать **Done**.
- Выбрать тип калибровки **Response (Short)**.
- Подключить нагрузку КЗ к порту и нажать **Short**.
- Нажать **Done** для завершения калибровки.

Если дополнительно требуется провести калибровку изоляции E_x , то нужно подключить согласованную нагрузку к порту и нажать **Load (Optional)**, затем **Done** для завершения калибровки.

1.5.2. Простая калибровка коэффициента передачи (Response THRU)

При такой калибровке устраняются погрешности неравномерности ЧХ канала прохождения (E_t) и несовершенной изоляции (E_x). Калибровка ведется по параметру S_{21} . Этапы проведения калибровки:

- В подменю **Calibrate** надо выбрать пункт **Response (THRU)**.
- Соединить порт 1 и порт 2 с помощью перемычки – отрезка линии передачи.
- Нажать **Thru**.
- Нажать **Done** для завершения калибровки.

Если требуется провести калибровку изоляции E_x , то нужно подключить две согласованные нагрузки к портам 1 и 2 и нажать **Load (Optional)**, затем **Done** для завершения калибровки

1.5.3. Полная однопортовая калибровка (1-Port Calibration)

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

Этапы проведения калибровки:

- В правом меню выбрать подменю **Calibrate**.
- Выбрать тип калибровки **1-Port Cal**.
- Подключить XX к измерительному порту и нажать **Open**.
- Подключить КЗ к измерительному порту и нажать **Short**.

- Подключить согласованную нагрузку к порту и нажать **Load**.
- Нажать **Done** для завершения калибровки.

1.5.4. Расширенная калибровка (Enhanced Response)

Здесь корректируются все систематические погрешности, кроме погрешности рассогласования нагрузки (Load match) – рассогласование НО проходящей волны. Эту погрешность исключают при полной двухпортовой калибровке, что возможно только для прибора с двумя активными портами (автоматизированный анализатор СВЧ цепей).

При расширенной калибровке используется полный набор калибровочных мер (**SOLT - SHORT/OPEN/LOAD/THRU**).

Этапы проведения калибровки:

- В правом меню выбрать подменю **Calibrate**.
- Выбрать тип калибровки **Enhanced Response**.
- Подключить ХХ к порту источника и нажать **Open**.
- Подключить КЗ к измерительному порту и нажать **Short**.
- Подключить согласованную нагрузку к порту и нажать **Load**.
- Соединить порты с помощью отрезка линии передачи и нажать **Thru**.
- Если требуется провести калибровку изоляции, то нужно подключить согласованные нагрузки к каждому порту и нажать **Isolation (Optional)**.
- Нажать **Done** для завершения калибровки.

Текущее состояние коррекции погрешностей для каждого канала отображается в строке состояния внизу экрана символами, указанными в таблице 4.

Таблица 4

| Символ | Состояние 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 |

Вид использованной коррекции погрешностей для каждого графика (используемый тип калибровки) указывается в строке состояния графика вверху окна символами в квадратных скобках (таблица 5). Если ни один из представленных выше сим-

волов не отображается на экране, для данного графика коррекция ошибок не производится.

Таблица 5

| Символ | Тип калибровки |
|--------|---|
| RO | Калибровка частотной неравномерности по нагрузке XX |
| RS | Калибровка частотной неравномерности по нагрузке KЗ |
| RT | Калибровка частотной неравномерности по переключке Thru |
| F1 | 1-портовая калибровка |
| ER | Расширенная калибровка |

1.6. Измерения с использованием маркеров

Маркер – это электронная метка на графике, которая позволяет:

- считывать с графика численное значение измеренной величины (абсолютное или относительное значение);
- выполнить автоматическое перемещение маркера в нужную точку графика (режим маркерного поиска);
- произвести анализ графика с целью определения его параметров (полосы пропускания, неравномерности и пр.);
- упростить установку параметров измерения (например, диапазона свипирования) или масштаба отображения (например, значения опорного уровня).

Каждому маркеру в формате прямоугольных координат соответствует значение частоты (по оси X) и значение результата измерения (по оси Y). В формате диаграммы Смита и в полярных координатах каждому маркеру соответствует частота и два значения результата (модуль и фаза). Прибор позволяет размещать на каждом графике от 1 до 10 маркеров. В каждый момент работы прибора один из маркеров является активным, его можно перемещать мышью, колесиком и стрелками панели навигации. Предусмотрен режим относительных измерений, в котором один из маркеров является опорным (**Ref Marker**), относительно которого отсчитывается значение активного маркера.

1.6.1. Добавление маркеров на график активного окна.

Для активизации маркера надо:

- Выбрать требуемые канал и график;
- нажать **Marker**;
- выбрать желаемый маркер с помощью программируемых клавиш **Marker 1 (2...4)**. Они включают нужный маркер или активизируют уже включенный маркер.

Клавиши **More Markers** => **Marker 5 (6...9)** аналогичным образом включают маркеры с номерами 5-9. Клавиша **Ref Marker** включает или активизирует опорный маркер.

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

- **All OFF** – выключение всех маркеров на активном графике;
- **Marker 1 (2... 9)** - выключает один из 9 маркеров;
- **Ref Marker** - выключает опорные маркеры на активном графике

1.6.2. Считывание абсолютного значения данных в точке маркера

Ручное позиционирование маркера по графику осуществляют манипулятором, мышью или колесиком на цифровой панели. В поле ввода данных активного маркера можно вводить численное значение частоты, перемещая маркер в нужную точку графика.

В графиках с прямоугольными координатами значение маркера соответствует формату данных графика по оси Y. В других координатах можно выбрать один из нескольких форматов представления численных значений измеренной величины (таблица 6).

Таблица 6

| 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 |
| 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 |

1.6.3. Режим относительных маркерных измерений (дельта-маркер)

В приборе предусмотрен режим вывода данных измерений относительно опорного значения, задаваемого маркером специального типа (опорный маркер **Ref Marker**). Режим относительных измерений вводится клавишей **Ref Marker Mode**.

Нажатие клавиши **Marker** => **Ref Marker** позволяет поместить опорный маркер в точку, в которой в данный момент находится активный маркер. При этом относи-

тельный режим включится автоматически. Активный маркер становится дельта-маркером. Значения частоты и измеряемого параметра дельта-маркера отображаются в величинах, отсчитанных от точки опорного маркера (рис.1.11).

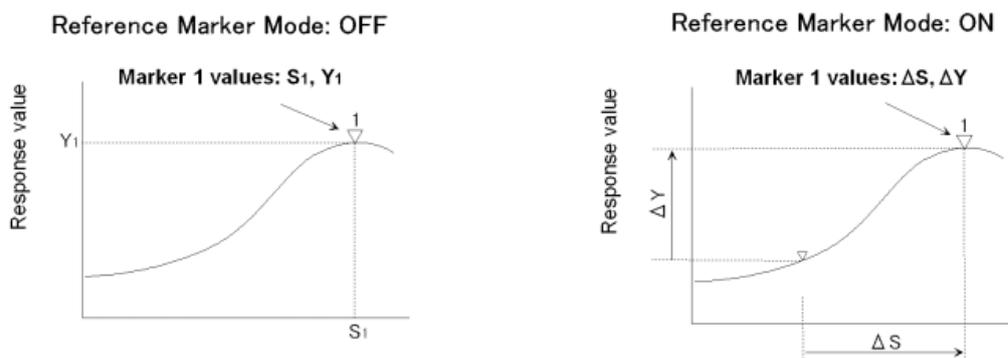


Рис. 1.11. Режим дельта-маркера

1.6.4. Установка режима связи маркеров на различных графиках

Перемещение маркеров может производиться в режиме «связи» (**Couple On**) для всех графиков канала (в одном положении по оси X) или независимо для каждого графика (рис.1.12).

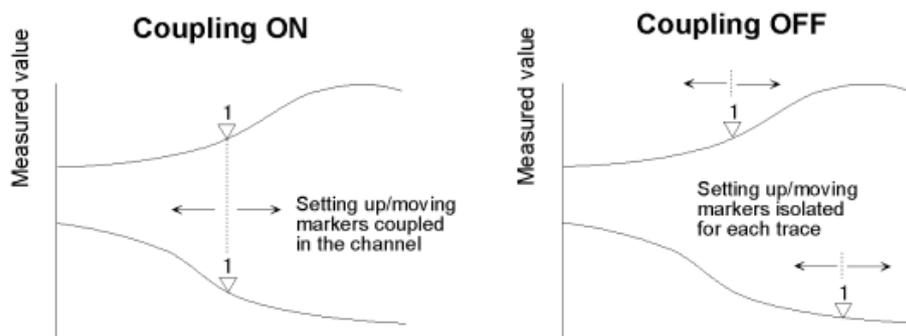


Рис. 1.12. Связанные маркеры

Для включения или выключения функции связи маркеров необходимо:

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

1.6.5. Вывод таблицы значений для маркеров во всех каналах

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

- Нажать клавишу **Marker Fctn**;

- Нажать клавишу **Marker Table**.

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

1.6.6. Режим маркерного поиска

При анализе графиков удобно использовать режим **Marker Search**. Он позволяет установить маркер в точку, удовлетворяющую заданному критерию поиска:

- Максимальное значение параметра.
- Минимальное значение параметра.

В приборе предусмотрены и более сложные виды поиска: установка маркера в точку с указанным численным значением параметра, установка в точку локального максимума/минимума и др.

Для поиска максимального или минимального значения надо:

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

1.6.7. Определение параметров полосно-пропускающих фильтров (ППФ)

Режим предназначен для поиска рабочей полосы пропускания, центральной частоты, точек отсечки (верхней и нижней частот полосы пропускания), добротности (Q) и потерь (ослабления) устройств с АЧХ вида ППФ (таблица 7).

Таблица 7

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

Определения параметров, используемых при поиске полосы, приведены на рис. 1.13.

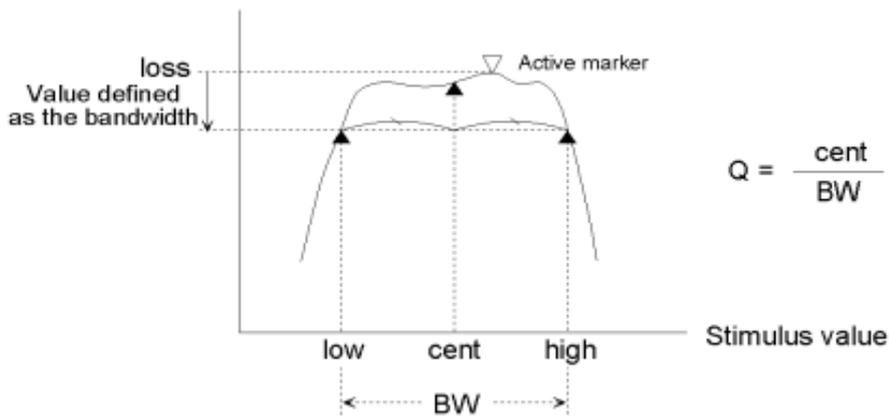


Рис. 1.13. Параметры АЧХ полосового фильтра (ППФ)

Поиск параметров ведется относительно точки активного маркера по величине спада АЧХ на границе полосы. Этот спад задается командой **Marker Search => Bandwidth Value** (по умолчанию -3дБ).

Для реализации режима поиска полосы необходимо:

- Выбрать активный канал и требуемый график.
- Оставить на экране единственный **маркер 1**, для чего надо отключить лишние маркеры (при их наличии) в пункте **Clear Marker Menu**.
- Поместить маркер в максимум АЧХ. Это удобно сделать процедурой поиска максимума **Marker Search => Max**. Значение вносимых потерь (**loss**) фильтра принимается равным значению АЧХ в этой точке.
- Нажать клавиши **Marker Search => Bandwidth On**.

Прибор автоматически установит 3 дополнительных метки (в виде ▲) в характерные точки АЧХ (центральная частота и две граничные частоты полосы пропускания), рассчитает параметры фильтра и выведет их в левую верхнюю часть поля графика (рис. 1.14).

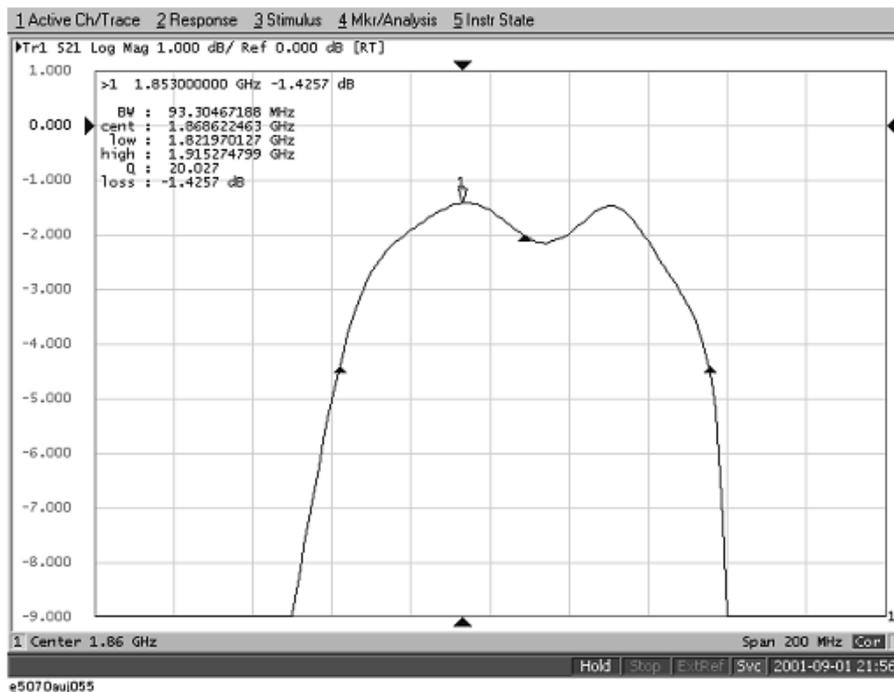


Рис. 1.14. Результаты поиска полосы ППФ

1.6.8. Определение параметров фильтров НЧ

В этом режиме используют 4 маркера, которые устанавливают вручную на характерные точки АЧХ ФНЧ. Маркеры 1 и 2 устанавливают на границе плоского участка АЧХ, маркеры 3 и 4 - в области заграждения ФНЧ (рис.1.15). Прибор автоматически определяет и выводит на дисплей следующие параметры фильтров:

- потери (**loss**) – минимальное значение АЧХ в полосе между маркерами 1 и 2,
- неравномерность АЧХ (**Ripple** или **p-p**) - разницу между максимальным и минимальным значениями в полосе между маркерами 1 и 2,
- ослабление фильтра в полосе заграждения (**Attenuation** или **reject**) – разницу между минимальным значением из промежутка маркеров 1 - 2 и максимальным значением из промежутка маркеров 3 – 4.

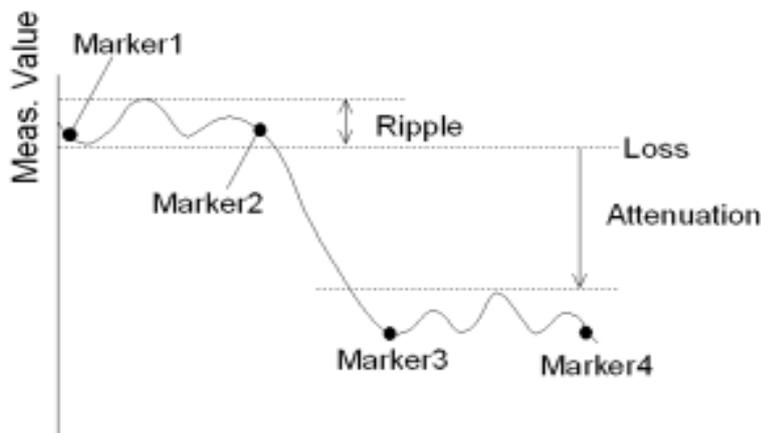


Рис. 1.15. Расположение маркеров при анализе АЧХ ФНЧ

Для реализации режима поиска параметров ФНЧ надо:

- Выбрать активный канал и требуемый график.
- Нажать клавишу **Marker Fctn**.
- Нажать клавишу **RF Filter Stats**.
- Вручную последовательно установить на графике маркеры с 1 по 4, в позиции, указанные на рис.1.15.

Прибор выведет в левой верхней части экрана значение частот и уровней четырех маркеров, а также результаты расчета трех параметров ФНЧ, указанных выше.

1.7. Сохранение графиков во внутренней памяти прибора

Каждый график, который выводится на экран, можно сохранить в памяти прибора. График памяти можно использовать для сравнения графиков на экране или для выполнения математических действий над запомненными и измеренными данными.

Для запоминания данных графика необходимо:

- Выбрать активный канал и требуемый график.
- Нажать клавишу **Display**.
- Нажать клавишу **Data => Mem** для помещения графика в память.

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

- **Data** – Отображает на экране только текущий график измеренных данных;
- **Mem** – Отображает на экране только график, предварительно запомненный в памяти прибора;
- **Data & Mem** – Отображает на экране одновременно и график измеренных данных и график памяти. Это удобная возможность сравнения графиков на одной диаграмме.
- **OFF** – Графики не отображаются.

В приборе предусмотрена возможность выполнения простых математических операций с текущим графиком и графиком памяти. Для этого надо:

- Нажать клавишу **Data Math**.
- Задать математическое действие над данными, нажав соответствующую программируемую клавишу. Клавиша **OFF** прекращает математическую обработку данных.

Предусмотрены следующие математические действия:

- **Data /Mem** – деление измеренных данных на данные графика памяти. Результат операции выводится вместо графика измеренных данных. Эта функция может использоваться для определения отношения двух графиков (например, для определения усиления или ослабления в линейном масштабе графиков).
- **Data * Mem** – умножение измеренных данных на данные графика памяти, результат операции выводится вместо графика измеренных данных.
- **Data - Mem** – вычитание данных графика памяти из измеренных данных. Эта функция может использоваться для определения отношения двух графиков в логарифмическом масштабе
- **Data + Mem** – сложение измеренных данных и данных графика памяти, результат операции выводится вместо графика измеренных данных.

1.8. Сохранение данных измерений

Процедура запоминания численных данных графика:

- Надо выбрать активный канал и нужный график;
- Нажать клавишу **Save/Recall**.
- Нажать **Save Trace Data** и в диалоговом окне ввести имя файла и место его расположения.
- Нажать клавишу **Save**.

Запоминание численных данных выполняется в формате текстового файла (тип *. CSV). Данные выводятся по строкам в следующем формате (пример с выводом данных двух графиков):

```
"# Channel 1"
```

```
"# Trace 1"
```

```
Frequency, Formatted Data, Formatted Data
```

```
+3.000000000000E+005, +1.41837599227E-002, +1.43446459328E-006
```

```
+4.279850000000E+007, +1.41275293412E-002, +2.02407834551E-004
```

```
+8.529700000000E+007, +1.41334093048E-002, +4.00643331604E-004
```

```
+1.277955000000E+008, +1.41240661092E-002, +6.09250514670E-004
```

```
+1.702940000000E+008, +1.41402155348E-002, +8.05620003993E-004
```

В заголовке файла выводятся: номер активного канала, номер активного графика, строка заголовка (шапка данных). Далее выводятся колонки частоты и данных графиков, разделенных запятой.

При чтении такого файла в Excel численные данные попадут в одну строку в текстовом виде. Для разделения их по столбцам необходимо выделить строку численных данных и вызвать мастер разделения текста по столбцам **Данные => Текст по столбцам**. Далее указать формат данных – **с разделителями**, разделитель – **запятая**, формат данных столбца – **общий**. Затем выделите все ячейки с численными данными и укажите формат ячеек – экспоненциальный, число десятичных знаков => 10. Теперь по этим данным можно построить точечный график частотных зависимостей измеренных параметров.

Запоминание (скриншот) образа окна с графиками возможно в виде файла формата *.bmp (256 color), *.png. или в виде образа экрана в буфере Windows. 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”**.

Для запоминания образа окна надо:

- Выбрать вид изображения – с черным или белым фоном (**Display –Invert Color On/Off**).
- Нажать клавишу **System/Capture** – образ экрана при этом сохраняется в буфере Windows.

- Для записи образа в файл нажмите **Dump Screen Image**. В окне диалога необходимо указать расположение и имя файла и нажать **Save**. Будет запомнен тот образ экрана, который присутствует в момент нажатия клавиши **System/Capture**.

1.9. Сохранение режима работы прибора

В приборе предусмотрено сохранение следующих данных режима прибора:

- 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 данных.
- Состояние и данные графиков (**State & Trace**) – запоминаются установленные параметры прибора и массив данных графиков.
- Состояние, данные калибровки и графиков (**All**) – запоминаются все данные.

Данные записываются в файлы на жестком диске прибора или внешнем USB накопителе.

Для сохранения состояния прибора надо:

- Нажать клавишу **Save/Recall**.
- Нажать клавишу **Save State**.
- Нажать программируемую клавишу с именем 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**.

Для сохранения данных графиков надо:

- 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 вызова состояния прибора, сохраненном в файле:

- Нажать клавишу **Save/Recall**.
- Нажать клавишу **Recall State**.
- Нажать программируемую клавишу имени файла состояния (State01.sta ... State08.sta). Возможен ввод другого имени файла (клавиша **File Dialog**).

- Нажать клавишу **Open**.

Если прибор переводится в исходное состояние нажатием кнопки **Preset**, то устанавливается режим «по умолчанию» (Default). Параметры этого режима приведены в таблице 8.

Таблица 8

| Key Operation | Default Value | Примечание |
|--|-------------------------------------|--|
| Start | 300 kHz | Установка начального частотного диапазона |
| Stop | 3000 MHz | |
| Center | 1500 MHz | |
| Span | 2997 MHz | |
| Measurement | S11 | Вид измеряемой величины и ее формат вывода |
| Format | Log Mag | |
| Divisions | 10 | Параметры экрана |
| Scale/Div | 10.000 dB/div | |
| Reference Position | 5 Div | |
| Reference Value | 0.0000 dB | |
| Allocate Channels | 1 | |
| Number of Traces | 1 | Установка числа каналов и числа графиков |
| Display | Data | Формат вывода данных |
| IF Bandwidth | 30 kHz | Полоса УПЧ |
| Correction | OFF | Параметры режима калибровки |
| Calibrate => Response (Open) | Port 1 (S11) | |
| Response (Short) | Port 1 (S11) | |
| Response (Thru) | Ports 2-1 (S21) | |
| Enhanced Response | Ports 2-1 (S21, S11) | |
| Continuous | Continuous (Ch1) Hold (Ch2 to 4) | Режим работы генератора |
| Trigger Source | Internal | Режим запуска |
| Sweep Time | AUTO | Время свипирования частотного диапазона |
| Points | 201 | Количество частотных точек |
| Power | 0 dBm | Мощность генератора |
| Marker 1 | Marker 1 неактивен | Активизируется первым нажатием клавиши Marker |

Оглавление

| | |
|---|----|
| 1. АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ПАРАМЕТРОВ СВЧ ЦЕПЕЙ AGILENT E5062A | 2 |
| 1.1. Структурная схема и принцип действия анализатора E5062A | 2 |
| 1.2. Технические параметры анализатора | 7 |
| 1.3. Установка режимов работы анализатора E5062A и проведение измерений | 9 |
| 1.3.1. Установка числа каналов и графиков. | 9 |
| 1.3.2. Режимы и параметры каналов | 12 |
| 1.3.3. Установка частотного диапазона: | 12 |
| Для явного указания частот: | 12 |
| 1.3.4. Установка количества точек: | 13 |
| 1.3.5. Установка режима свипирования: | 13 |
| 1.3.6. Установка времени свипирования (время анализа ЧХ): | 14 |
| 1.3.7. Установка выходной мощности генератора: | 15 |
| 1.3.8. Режимы запуска (triggering): | 15 |
| 1.3.9. Установка полосы пропускания усилителя ПЧ: | 16 |
| 1.4. Режимы и параметры графиков | 17 |
| 1.4.1. Установка вида измерения для выводимых данных: | 17 |
| 1.4.2. Выбор формата выводимых данных | 17 |
| 1.4.3. Установка масштаба графиков по вертикали | 20 |
| 1.5. Калибровка анализатора цепей СВЧ E5062A | 21 |
| 1.5.1. Простая калибровка активного порта (Response OPEN/ SHORT) | 24 |
| 1.5.2. Простая калибровка коэффициента передачи (Response THRU) | 24 |
| 1.5.3. Полная однопортовая калибровка (1-Port Calibration) | 24 |
| 1.5.4. Расширенная калибровка (Enhanced Response) | 25 |
| 1.6. Измерения с использованием маркеров | 26 |
| 1.6.1. Добавление маркеров на график активного окна. | 26 |
| 1.6.2. Считывание абсолютного значения данных в точке маркера | 27 |
| 1.6.3. Режим относительных маркерных измерений (дельта-маркер) | 27 |
| 1.6.4. Установка режима связи маркеров на различных графиках | 28 |
| 1.6.5. Вывод таблицы значений для маркеров во всех каналах | 28 |
| 1.6.6. Режим маркерного поиска | 29 |
| 1.6.7. Определение параметров полосно-пропускающих фильтров (ППФ) | 29 |
| 1.6.8. Определение параметров фильтров НЧ | 31 |
| 1.7. Сохранение графиков во внутренней памяти прибора | 32 |
| 1.8. Сохранение данных измерений | 34 |
| 1.9. Сохранение режима работы прибора | 35 |