



РУКОВОДСТВО ПО ПРИМЕНЕНИЮ

Добавление описания
комплекта калибровочных мер
в программное обеспечение
S2VNA или S4VNA

Содержание

1 Общие сведения	4
1.1 Введение	4
1.2 Основные понятия	5
1.3 Комплекты калибровочных мер	7
1.3.1 Комплект коаксиальных мер	7
1.3.2 Комплект волноводных мер	9
1.4 Назначение комплектов калибровочных мер	11
1.5 Метод определения калибровочной меры моделью	12
1.5.1 Модель калибровочной меры	12
1.5.2 Модель коаксиальной меры	13
1.5.3 Модель волноводной меры	16
1.6 Метод определения калибровочной меры данными	20
1.7 Классы и подклассы калибровочных мер	21
1.8 Виды калибровок	24
2 Добавление комплекта мер в ПО анализатора	29
2.1 Добавление комплекта мер в таблицу	30
2.2 Добавление в ПО комплекта мер, определенных моделью	32
2.2.1 Определение коаксиальных мер моделью	32
2.2.2 Определение волноводных мер моделью	35
2.2.3 Определение и редактирование мер в ПО	37
2.2.3.1 Добавление/Удаление мер в таблице	37
2.2.3.2 Копирование/Вставка мер	37
2.2.3.3 Единицы измерения смещения	37
2.2.3.4 Порядок мер в таблице	38
2.3 Добавление в ПО комплекта мер, определенных данными	39
2.3.1 Добавление строки таблицы	41
2.3.2 Удаление строки таблицы	41
2.3.3 Стирание таблицы	41
2.3.4 Формат данных в таблице	42
2.3.5 Реверс портов	42

Содержание

2.4 Назначение классов калибровочным мерам	43
2.4.1 Назначение классов для коаксиальных мер	43
2.4.2 Назначение классов для волноводных мер	44
2.4.3 Назначение классов мерам в ПО	45
2.4.4 Функция строгого соответствия классам	46
2.4.4.1 Применение функции для коаксиальных мер	47
2.4.4.2 Применение функции для волноводных мер	47
2.4.5 Функция группового назначения номера порта	48
2.4.6 Удаление мер из таблицы классов	49
2.5 Редактирование таблицы комплектов мер	50
2.5.1 Выбор комплекта мер для редактирования	50
2.5.2 Редактирование наименования и описания комплекта мер	50
2.5.3 Отмена изменений predetermined комплектов мер	50
2.5.4 Удаление пользовательских комплектов мер	51
2.5.5 Сохранение комплектов мер в файле	51
2.5.6 Загрузка комплекта мер из файла	52
3 Приложение	53
3.1 Модели ошибок измерения	54
3.1.1 Однопортовая модель ошибок	54
3.1.2 Двухпортовая модель ошибок	55
3.1.3 Трехпортовая модель ошибок	57
3.1.4 Четырехпортовая модель ошибок	59

1 Общие сведения

1.1 Введение

Документ содержит инструкцию по добавлению описания пользовательских комплектов калибровочных мер в программное обеспечение (далее ПО) S2VNA/S4VNA, которое используется для работы с векторными анализаторами цепей (далее ВАЦ). Документ ориентирован на случаи, когда необходимый калибровочный комплект отсутствует в списке predetermined комплектов ПО.

В данной инструкции представлен пошаговый процесс добавления нового калибровочного комплекта в S2VNA/S4VNA. В качестве примера для демонстрации процедуры используются коаксиальный 6750F40 производства ООО «ПЛАНАР» и волноводный СК4W-WR62-35F-35F производства ООО «НПК ТАИР» калибровочные комплекты, параметры и структура которых также приведены в документе для упрощения настройки и дальнейшего использования.

Настоящий документ предназначен для инженеров и технических специалистов, которые самостоятельно добавляют калибровочные комплекты в ПО S2VNA/S4VNA для проведения калибровки с помощью калибровочных мер.

ВНИМАНИЕ!

Данный документ является результатом творческого труда и интеллектуальной деятельности сотрудников предприятия-изготовителя ООО «ПЛАНАР». Не допускается использование данного документа, равно как и его части, без указания наименования предприятия-изготовителя.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ коммерческое использование данного документа, равно как и его части без письменного согласия предприятия-изготовителя.

1.2 Основные понятия

Калибровочные меры – это прецизионные физические устройства с известными электрическими параметрами, используемые для определения погрешностей в измерительной системе. Во время калибровки анализатор измеряет частотные параметры меры и математически сравнивает результаты с определениями этих мер, что позволяет обнаружить ошибки в измерительной системе и рассчитать калибровочные коэффициенты.

Комплект мер – это набор калибровочных мер с определенным типом соединителей и с определенным волновым сопротивлением. Тип калибровочной меры определяет категорию физических устройств, к которой относится мера, используемая для определения ее параметров. Анализатор поддерживает следующие типы калибровочных мер:

- холостой ход (далее ХХ)
- короткое замыкание (далее КЗ)
- фиксированная нагрузка
- скользящая нагрузка
- перемычка/линия
- неизвестная перемычка
- мера, определенная данными (S-параметрами)

Тип соединителя калибровочной меры указывается в наименовании меры и является справочной информацией. ПО не учитывает этот параметр, однако для удобства рекомендуется следовать стандартному обозначению:

- -F- для соединителя типа "розетка" (female)
- -M- для соединителя типа "вилка" (male)



Рисунок 1 – Пример типов соединителей

Например, мера КЗ с соединителем типа «розетка» обозначается как Short –F–.

Определение калибровочной меры – это математическое описание ее параметров.

ПО анализатора поддерживает два метода определения меры:

- моделью
- данными

1.3 Комплекты калибровочных мер

1.3.1 Комплект коаксиальных мер



Рисунок 2 – Комплект коаксиальных калибровочных мер 6750F40

Комплект 6750F40 включает в себя 9 калибровочных мер:

№	Мера	Наименование	Тип соединителя (-ей)
1	Мера «XX»	6650F27-KF	розетка
2	Мера «XX»	6650F27-KM	вилка
3	Мера «K3»	6750F40-DF	розетка
4	Мера «K3»	6750F40-DM	вилка
5	Мера «Согласованная нагрузка»	6650F27-LF	розетка
6	Мера «Согласованная нагрузка»	6650F27-LM	вилка
7	Переход	MA6767B-11	вилка-вилка
8	Переход	MA6767A-11	розетка-розетка
9	Переход	MA6767C-11	розетка-вилка

Основные параметры комплекта:

- волновое сопротивление: 50 [Ом]
- максимальная мощность: 0,5 [Вт]
- частотный диапазон: от 0 до 40 [ГГц]

Все данные приведены на основании [паспорта](#) комплекта 6750F40.

1.3.2 Комплект волноводных мер



Рисунок 3 – Комплект волноводных калибровочных мер СК4W-WR62-35F-35F

Комплект СК4W-WR62-35F-35F включает в себя:

№	Мера	Наименование
1	Переход коаксиально-волноводный	ADP3C-WR62-35F
2	Переход коаксиально-волноводный	ADP3C-WR62-35F
3	Нагрузка короткозамкнутая	SRT2E-WR62-35F
4	Отрезок волновода длиной $1/4\lambda$	SHM4C-WR62
5	Отрезок волновода длиной $1/8\lambda$	SHM4B-WR62
6	Отрезок волновода длиной $1/8\lambda$	SHM4D-WR62

Основные параметры комплекта:

- диапазон рабочих частот: от 11,9 до 18 [ГГц]
- вносимые потери коаксиально-волноводных переходов: не более 0,2 [дБ]

- КСВН коаксиально-волноводных переходов: не более 1,2
- номинальная длина отрезка волновода $1/8\lambda$: 3,33 [мм]
- номинальная длина отрезка волновода $1/4\lambda$: 6,67 [мм]
- номинальная длина отрезка волновода $1/8\lambda$: 10 [мм]

1.4 Назначение комплектов калибровочных мер

Назначение калибровочного комплекта коаксиальных мер 6750F40

Комплект предназначен для калибровки ВАЦ в диапазоне частот от 0 до 40 [ГГц] при измерении устройств с коаксиальными соединителями типа 2.92 [мм], розетка-вилка.

Назначение калибровочного комплекта волноводных мер СК4W-WR62-35F-35F

Комплект предназначен для калибровки ВАЦ при измерении устройств с волноводным трактом сечением 15,799x7,899 [мм].

1.5 Метод определения калибровочной меры моделью

1.5.1 Модель калибровочной меры

В данном методе модель калибровочной меры представлена в виде эквивалентной цепи, по которой вычисляются ее S-параметры. Модель используется для мер типа XX, КЗ, фиксированная нагрузка и перемычка/линия.

Для XX, КЗ и фиксированной нагрузки используется однопортовая модель (см. на рисунке ниже).

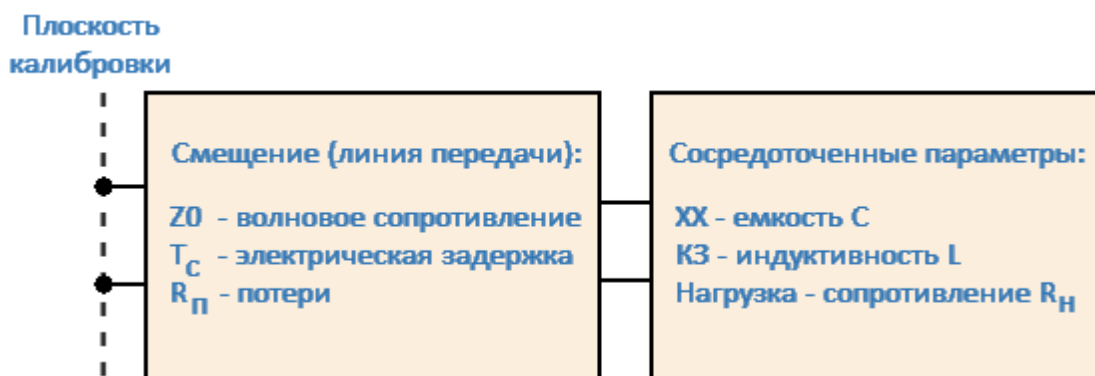


Рисунок 4 – Модель однопортовой меры

Для перемычки/линии используется двухпортовая модель (см. на рисунке ниже).

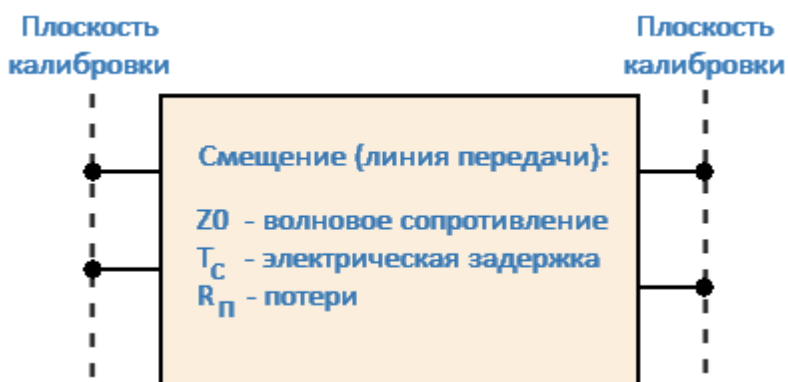


Рисунок 4 – Модель двухпортовой меры

Модели, применяемые для коаксиальных и волноводных мер, имеют существенные различия. Основной особенностью волноводных мер является отсутствие четко определенного коэффициента отражения у открытого конца волновода, из-за чего меры типа XX в таких комплектах не применяются.

1.5.2 Модель коаксиальной меры

На рисунке ниже представлен пример таблицы определения коаксиальных мер моделью.

	Мера			Частота		Смещение				
	N	Тип	Наименование	F min	F max	Задержка	Z0	Потери	Среда	H/W
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

Импеданс нагрузки	C0·1e-15 Ф	C1·1e-27 Ф/Гц	C2·1e-36 Ф/Гц ²	C3·1e-45 Ф/Гц ³
		L0·1e-12 Гн	L1·1e-24 Гн/Гц	L2·1e-33 Гн/Гц ²

Рисунок 5 – Таблица определения коаксиальных мер моделью

Описание числовых параметров модели эквивалентной цепи коаксиальной калибровочной меры представлено в таблице ниже.

Параметр	Описание
Минимальная и максимальная частоты Fmin, Fmax	Значения минимальной и максимальной частоты меры, определяющие рабочий диапазон частот, в пределах которого характеристики меры обеспечиваются с заданной точностью.
Электрическая задержка Tc	<p>Значение электрической задержки в одном направлении [с]. Определяется как время распространения сигнала в линии передачи в одном направлении. Задержка может быть измерена или получена математически делением точно известной физической длины на скорость распространения сигнала в линии.</p> <p>Для мер, имеющих смещение в виде коаксиальной воздушной линии или волновода, вместо электрической задержки может быть использована длина [м]. Для</p>

Параметр	Описание
	<p>пересчета необходимо использовать формулу для коаксиальной воздушной линии:</p> $T_c = \frac{\sqrt{\epsilon_r} l}{c},$ <p>где l — длина линии [м],</p> <p>c — скорость света в вакууме $2,9979 \cdot 10^8$ [м/с],</p> <p>ϵ_r — диэлектрическая проницаемость воздуха 1.000649.</p>
Волновое сопротивление Z0 для смещения	<p>Волновое сопротивление линии передачи [Ω], выступающее в качестве смещения. В коаксиальном тракте указывается реальное значение волнового сопротивления линии, обычно равное 50 Ω или 75 Ω.</p>
Среда	<p>Тракт смещения. В данном случае коаксиал.</p>
Потери смещения Rп	<p>Значение потерь смещения за счет скин-эффекта при распространении сигнала в одну сторону [Ω/с].</p> <p>Потери в коаксиальной линии определяются путем измерения потерь L[дБ] на частоте 1 ГГц. Измеренные значения подставляются в формулу:</p> $R_{\Pi}[\Omega/c] = \frac{L \cdot Z_0}{10 \log_{10}(e) \cdot T_c} = \frac{L[\text{дБ}] \cdot Z_0[\Omega]}{4.3429[\text{дБ}] \cdot T_c[\text{с}]}$
Импеданс нагрузки Rн	<p>Сопротивление нагрузки [Ом] для меры типа фиксированная нагрузка. В коаксиальном тракте указывается реальное значение, обычно равное 50 Ω или 75 Ω.</p>
Краевая ёмкость С (C0, C1, C2, C3)	<p>Краевая ёмкость С (C0[Ф], C1[Ф/Гц], C2[Ф/Гц²], C3[Ф/Гц³]) меры ХХ, вызывающая дополнительный сдвиг фазы коэффициента отражения на высоких частотах, который учитывается при моделировании в виде полинома третьей степени, описывающего частотную</p>

Параметр	Описание
	<p>зависимость величины паразитной краевой ёмкости, и имеет вид:</p> $C = C_0 + C_1 \cdot f + C_2 \cdot f^2 + C_3 \cdot f^3 ,$ <p>где f — частота [Гц],</p> <p>C_0, \dots, C_3 — коэффициенты полинома.</p>
<p>Паразитная индуктивность L (L0, L1, L2, L3)</p>	<p>Паразитная индуктивность L (L0[Гн], L1[Гн/Гц], L2[Гн/Гц²], L3[Гн/Гц³]) меры КЗ, вызывающая дополнительный сдвиг фазы коэффициента отражения на высоких частотах, который учитывается при моделировании в виде полинома третьей степени, описывающего частотную зависимость величины паразитной индуктивности, и имеет вид:</p> $L = L_0 + L_1 \cdot f + L_2 \cdot f^2 + L_3 \cdot f^3 ,$ <p>где f — частота [Гц],</p> <p>L0, ...L3 — коэффициенты полинома.</p>

1.5.3 Модель волноводной меры

Открытый конец волновода обеспечивает возвратные потери вследствие излучения, величина которых может существенно меняться при отражении от оборудования и оснастки, находящихся поблизости. По этой причине волноводные меры ХХ не применяются на практике. Взамен в состав волноводных калибровочных комплектов включают четвертьволновые отрезки волновода, которые обеспечивают фазовый сдвиг коэффициента отражения на 90° в середине рабочего диапазона частот волновода. В случае использования вставки в процессе калибровки по смещенной мере КЗ сдвиг фазы коэффициента отражения на каждой из частот может быть с высокой точностью рассчитан по формуле для дисперсии в волноводе:

$$\phi_f [^\circ/\text{M}] = \frac{360 \cdot f}{c} \sqrt{1 - \left(\frac{F_{cut_off}}{f}\right)^2}$$

где f – текущая частота,

F_{cut_off} – критическая частота,

c – скорость света в вакууме $2,9979 \cdot 10^8$ [м/с].

Пример таблицы модели волноводного комплекта мер из ПО анализатора приведен на рисунке ниже.

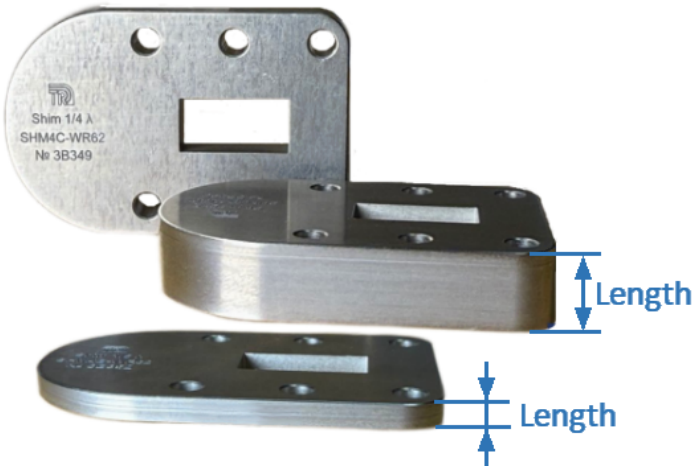
	Мера			Частота		Смещение				
	N	Тип	Наименование	F cut off	2F cut off	Length	Z0	Потери	Среда	H/W
↑	1									
	2									
	4									
	6									
	7									

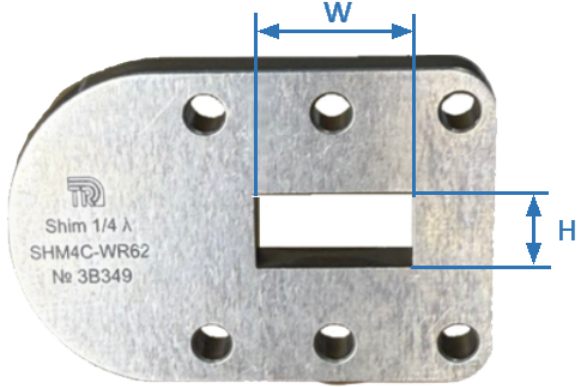
Импеданс нагрузки	C0·1e-15 Ф	C1·1e-27 Ф/Гц	C2·1e-36 Ф/Гц²	C3·1e-45 Ф/Гц³
	L0·1e-12 Гн	L1·1e-24 Гн/Гц	L2·1e-33 Гн/Гц²	L3·1e-42 Гн/Гц³

Рисунок 6 – Таблица определения волноводных мер моделью

Описание числовых параметров модели эквивалентной цепи волноводной калибровочной меры представлены в таблице ниже.

Параметр	Описание
<p>Критическая частота Fcut_off</p>	<p>Значение указывает минимальную частоту, при которой в волноводе может распространяться основная мода TE₁₀. Ниже этой частоты волновод не может передавать сигнал, так как волны переходят в режим затухания.</p> <p>Критическая частота волновода достигается при длине волны λ_{cp} в волноводе, равной его удвоенной ширине:</p> $F_{cut_off} = \frac{c}{2 \cdot W} = \frac{2,9979 \cdot 10^8}{2 \cdot 0,0158} = 9,487 [\text{ГГц}] ,$ <p>где W [м] – ширина волновода.</p>  <p>Рисунок 7 – Определение ширины волновода W</p>
<p>Удвоенная критическая частота 2Fcut_off</p>	<p>Значение указывает границу, после которой в волноводе могут начать распространяться высшие моды, наличие которых создает паразитные эффекты, такие как переотражения и интерференции, что негативно сказывается на точности измерений.</p> <p>Таким образом, удвоенная критическая частота 2Fcut_off = 18.974 [ГГц].</p>
<p>ВНИМАНИЕ! Не путайте Fcut_off и 2Fcut_off с минимальной и максимальной рабочей частотой волновода, которые обычно задаются производителем с запасом относительно критичной частоты.</p>	
<p>Длина волноводной</p>	<p>Значение указывает физическую длину волновода [м]. Реальная задержка сигнала в волноводе зависит от частоты</p>

Параметр	Описание
<p>линии Length</p>	<p>и вычисляется в программе.</p>  <p>Рисунок 8 – Определение длины волноводной линии волновода Length</p> <p>Для пересчета в электрическую задержку [с] необходимо воспользоваться следующей формулой:</p> $T_{wg} = \frac{Length}{\sqrt{1 - \left(\frac{F_{cut_off}}{F}\right)^2}},$ <p>где Fcut_off – критическая частота;</p> <p>F – центральная частота.</p>
<p>Волновое сопротивление Z0 для смещения</p>	<p>Характеристическое волновое сопротивление линии передачи [Ω], в волноводном тракте равно величине 1 [Ω].</p>
<p>Среда</p>	<p>Тракт смещения. В данном случае волновод.</p>
<p>Потери смещения Rp_wg</p>	<p>Значение [Ω/с] устанавливается равным нулю, если производитель волноводной меры не предоставил данные по потерям.</p>

Параметр	Описание
<p>Отношение высоты к ширине волновода Н/W</p>	<p>Значение определяет отношение сторон волновода:</p>  <p>Рисунок 9 – Отношение высоты Н к ширине волновода W</p> <p>Этот параметр необходим для расчета потерь в волноводе, если значение потерь смещения $R_{п_wg}$ задано не нулевым:</p> $\alpha l \approx R_{п_wg} \cdot T_{wg} \cdot \sqrt{\frac{F}{F_{cut_off}}} \cdot \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \cdot \frac{1 + \frac{2H}{W} \cdot \left(\frac{F_{cut_off}}{F}\right)^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{F_{cut_off}}{F}\right)^2}},$ <p>где T_{wg} – электрическая задержка;</p> <p>F_{cut_off} – критическая частота;</p> <p>F – центральная частота.</p>
<p>Импеданс нагрузки R_n</p>	<p>Значение определяет сопротивление нагрузки $[\Omega]$ для меры типа фиксированная нагрузка. В волноводном тракте указывается условная величина 1 $[\Omega]$.</p>

1.6 Метод определения калибровочной меры данными

Калибровочная мера определяется с помощью таблицы S-параметров, в которой каждая строка содержит значения частоты и S-параметров меры. Пользователь может вручную ввести данные в таблицу или загрузить файл в формате Touchstone. Для однопортовых мер используются файлы *.S1P, а для двухпортовых мер – *.S2P.

Пример таблицы для однопортовой меры, в которой содержатся значения одного параметра – S11, представлен на рисунке ниже.

	Частота	ЛогАмпл(S11)	Арг(S11)
1	100 МГц	-72.787048 дБ	-81.262337 °
2	142 МГц	-73.105217 дБ	-73.001213 °
3	184 МГц	-73.401093 дБ	-68.920891 °
4	226 МГц	-73.522011 дБ	-69.604721 °
5	268 МГц	-74.114647 дБ	-71.739487 °
6	310 МГц	-74.996819 дБ	-68.262627 °
7	352 МГц	-75.853287 дБ	-61.784962 °
8	394 МГц	-76.821373 дБ	-47.679676 °
9	436 МГц	-76.847404 дБ	-35.937126 °
10	520 МГц	-76.088585 дБ	-35.785435 °

Рисунок 10 – Пример таблицы S-параметров калибровочной однопортовой меры "Нагрузки"

Пример таблицы для двухпортовой меры, содержащей значения всех четырех параметров – S11, S21, S12, S22, представлен на рисунке ниже.

	Частота	ЛогАмпл(S11)	Арг(S11)	ЛогАмпл(S21)
1	100 МГц	-14.0022361 дБ	0.167938861 °	-0.17559774 дБ
2	142 МГц	-13.9898979 дБ	-0.696823968 °	-0.174533898 дБ
3	184 МГц	-13.9692179 дБ	-1.2527619 °	-0.175463358 дБ
4	226 МГц	-13.9606067 дБ	-1.70623342 °	-0.176625331 дБ
5	268 МГц	-13.9346643 дБ	-2.25173413 °	-0.177144605 дБ
6	310 МГц	-13.9119492 дБ	-2.80304032 °	-0.177732246 дБ
7	352 МГц	-13.8996945 дБ	-3.43407106 °	-0.176992931 дБ
8	394 МГц	-13.8884205 дБ	-3.8883557 °	-0.176877768 дБ
9	436 МГц	-13.902884 дБ	-4.26567879 °	-0.17738117 дБ

Рисунок 11 – Пример таблицы S-параметров калибровочной двухпортовой меры "Перемычки"

1.7 Классы и подклассы калибровочных мер

В процессе добавления комплекта калибровочных мер в ПО анализатора необходимо назначить классы и подклассы для каждой меры, входящей в набор. Эта операция может быть пропущена, если комплект мер добавляется с помощью файла с математическим описанием комплекта (*.ckd). В этом случае классы и подклассы уже назначены производителем. В остальных случаях операция производится вручную.

ПРИМЕЧАНИЕ Файл *.ckd входит в комплект поставки комплекта мер производства ООО «ПЛАНАР» или ООО «НПК ТАИР». Файлы сторонних производителей мер не совместимы с этим форматом.

Классы калибровочных мер

После определения калибровочных мер, выполняется процедура назначения им классов.

Класс калибровочной меры определяет ее роль в процессе калибровки, метод калибровки и привязку к номеру порта(-ов) анализатора цепей. Одной мере может быть назначен один или несколько классов, что позволяет использовать её в различных методах и на разных портах.

Назначение классов проводится индивидуально для каждого комплекта калибровочных мер.

В таблице ниже представлены классы калибровочных мер для двухпортового анализатора цепей.

Классы мер для двухпортового анализатора

Методы калибровки	Наименование класса	Порт
Полная двухпортовая калибровка, Полная однопортовая калибровка, Двухпортовая однонаправленная калибровка, Нормализация передачи, Нормализация отражения.	ХХ	1, 2
	КЗ	1, 2
	Нагрузка	1, 2
	Перемычка	1-2
TRL калибровка	TRL-перемычка	1-2

Методы калибровки	Наименование класса	Порт
LRL калибровка	TRL-отражатель	1, 2
LRM калибровка	TRL-линия/нагрузка	1-2

В таблице ниже представлены классы калибровочных мер для четырехпортового анализатора цепей.

Классы мер для четырехпортового анализатора

Методы калибровки	Наименование класса	Порт
Полная 2/3/4-портовая калибровка, Полная однопортовая калибровка, Двухпортовая однонаправленная калибровка, Нормализация передачи, Нормализация отражения.	XX	1, 2, 3, 4
	КЗ	
	Нагрузка	
	Перемычка	
TRL/LRL/TRM/LRM калибровка	TRL-перемычка	1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4, 3-4
	TRL-линия/нагрузка	
	TRL-отражатель	1, 2, 3, 4

Например, назначение мере "КЗ –F–" класса " КЗ Порт 1" означает, что данная мера используется для калибровки первого порта в следующих методах калибровки: полная 2/3/4-портовая, полная однопортовая, однонаправленная двухпортовая, и нормализация.

ПРИМЕЧАНИЕ Назначение классов изменяет наименования мер на программных кнопках калибровки.

Назначение классов калибровочных мер выбранного комплекта мер производится в таблице классов, пример которой представлен на рисунке ниже.

Класс	Порт	Подкласс 1	Подкласс 2	Подкласс 3	Подкласс 4	Подкласс 5	Подкласс 6	Подкласс 7	Подкласс 8
XX	1								
	2								
	3								
	4								
КЗ	1								
	2								
	3								
	4								
Нагр.	1								
	2								
	3								
	4								
Перен.	1-2								
	1-3								
	1-4								
	2-3								

Рисунок 12 – Пример таблицы классов калибровочных мер

Подклассы калибровочных мер

Подклассы служат для назначения одного класса нескольким мерам. Каждый класс мер может содержать до 8 подклассов.

ПРИМЕЧАНИЕ Назначение подклассов мер изменяет программные кнопки калибровки. Кнопка измерения заменяется кнопкой перехода в меню подклассов, которое содержит кнопки измерения нескольких мер.

Один подкласс используется, если известна мера, а также ее тип соединителей, присвоенный каждому порту, либо если математические модели мер с соединителями типа "вилка" и "розетка" одинаковы. Такой подход упрощает структуру меню калибровки.

Также возможно использование двух и более подклассов, что позволяет:

- выбирать меру в процессе калибровки, из имеющихся в калибровочном комплекте классов, например, между типами соединителей "вилка" и "розетка", скользящей нагрузкой или неизвестной перемычкой;
- выполнять калибровку с отдельным частотным диапазоном. Если требуемый частотный диапазон калибровки превышает диапазон рабочих частот некоторых калибровочных мер, то используется метод разбиения на несколько непересекающихся поддиапазонов, с использованием в каждом из них отдельной калибровочной меры. В каждом поддиапазоне используется TRL-линия/нагрузка с отличающейся длиной, для которой выполняется условие разности фаз от 20° до 160° между ней и опорной линией. В самом низкочастотном диапазоне применяется согласованная нагрузка. Общая полоса частот всех мер должна покрывать весь частотный диапазон калибровки.

1.8 Виды калибровок

Процесс калибровки измерительной установки, включающей анализатор, кабели и адаптеры, повышает точность измерений, вычисляя и корректируя систематические ошибки измерения, вызванные несовершенством установки. Описание моделей ошибок см. в [приложении](#).

Для двухпортового анализатора применяются следующие виды калибровок:

1. Нормализация отражения и передачи

- **Нормализация отражения (R0 или RS)** – простейший метод калибровки для измерения коэффициента отражения (S_{11} или S_{22}). Для его выполнения требуется измерение одной из калибровочных мер: КЗ или ХХ. Этот метод корректирует только ошибку E_r .

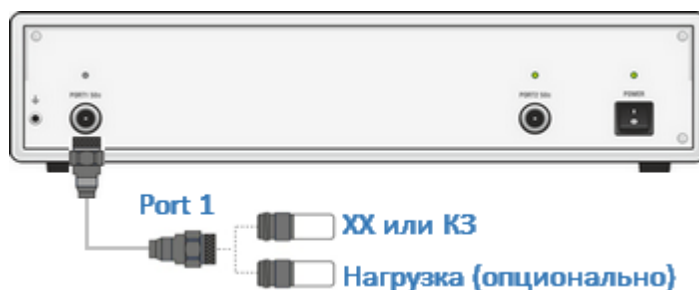


Рисунок 13 – Калибровка нормализации отражения

- **Нормализация передачи (RT)** – простейший метод калибровки для измерения коэффициента передачи (S_{21} или S_{12}). Для его выполнения необходимо измерение калибровочной меры перемычки. Этот метод корректирует только ошибку E_t .



Рисунок 14 – Калибровка нормализации передачи

2. **Полная однопортовая калибровка (SOL)** применяется при однопортовом измерении отражения. Метод SOL, основанный на использовании таких мер,

как Short, Open и Load. Это позволяет компенсировать три основные ошибки однопортовой модели: Ed, Es, Er.

В волноводных трактах из-за сложности реализации меры XX вместо метода SOL применяются метод SSL (Short-Short-Load), а также метод SSS (Short-Short-Short). Данные виды калибровки комплектов не имеют в ПО выделенного раздела меню, а проводятся в разделе меню "Полн. 1-порт".

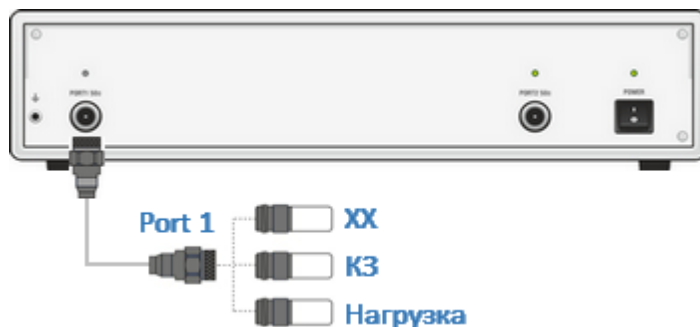


Рисунок 15 – Полная однопортовая калибровка

- 3. Однонаправленная двухпортовая калибровка (OP)** применяется при измерении отражения и передачи в одном направлении, например, только для измерения S_{11} и S_{21} . Этот метод обеспечивает высокую точность при измерении отражения и среднюю точность при измерении передачи. Однонаправленная калибровка позволяет корректировать следующие ошибки: Ed, Es, Er и Et.

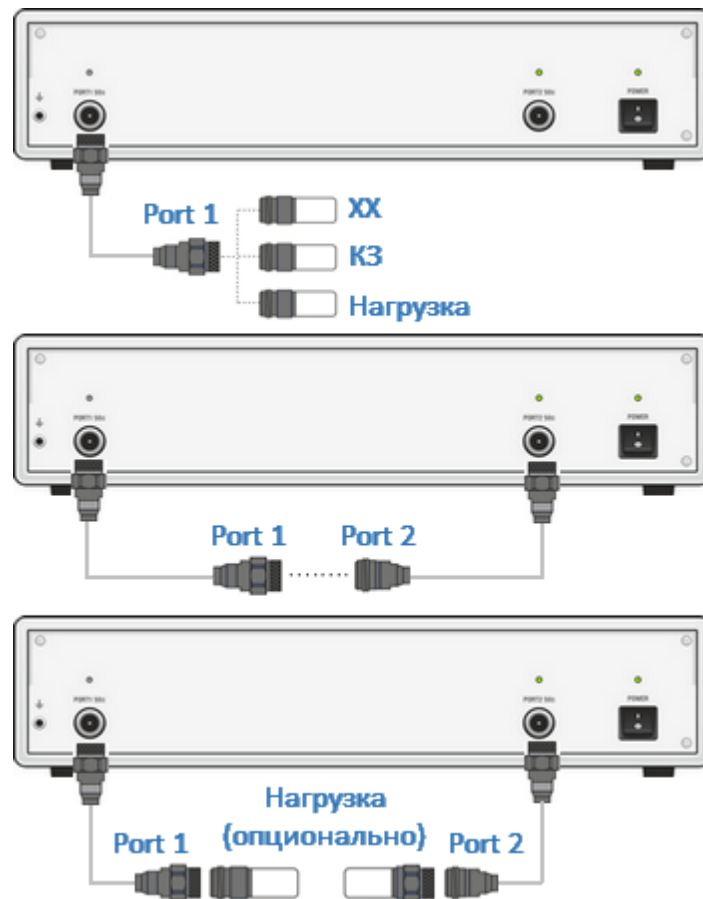


Рисунок 16 – Однонаправленная двухпортовая калибровка

- 4. Полная двухпортовая калибровка (SOLT)** используется для измерения полной матрицы S-параметров двухпортового устройства. Этот метод, основанный на использовании таких мер, как Short, Open, Load и Thru, гарантирует высокую точность калибровки. Полная двухпортовая калибровка корректирует все двенадцать ошибок двухпортовой модели ошибок: E_{d1} и E_{d2} , E_{s1} и E_{s2} , E_{r1} и E_{r2} , E_{t1} и E_{t2} , E_{l1} и E_{l2} , E_{x1} и E_{x2} .

В волноводных трактах семейства SOLT применяется метод SSLT (Short-Short-Load-Thru), который использует нулевую перемычку для непосредственного соединения фланцев двух волноводов. Калибровка SSLT также проводится в разделе меню "n-port SOLT калибровка" и требует назначения классов мер таким образом, чтобы классы XX, K3 и Нагрузка соответствовали трем смещенным мерам K3.

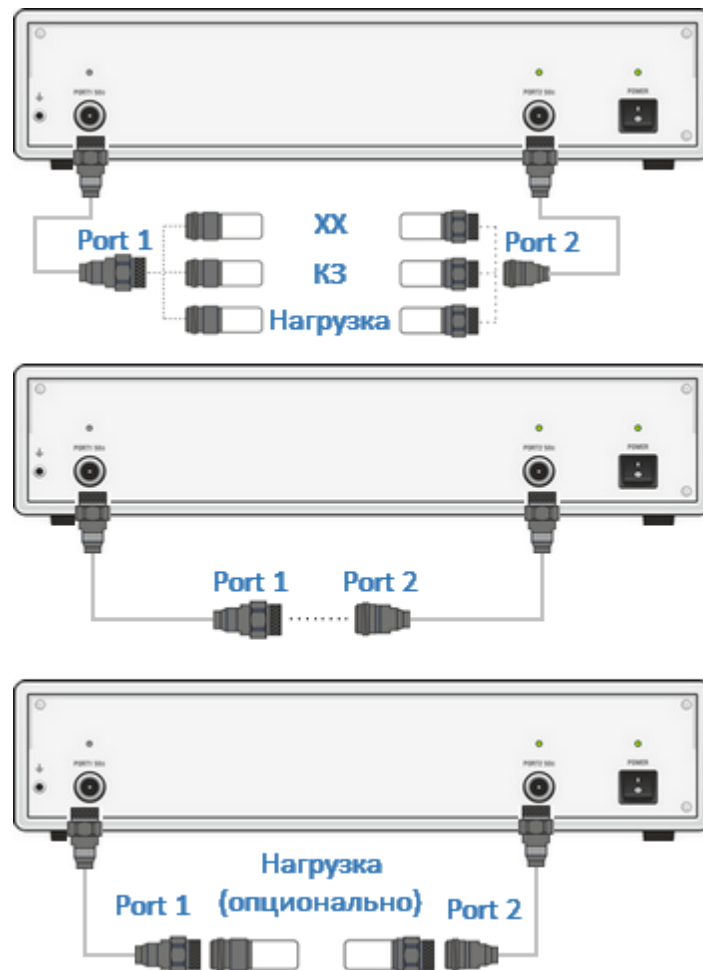


Рисунок 17 – Полная двухпортовая калибровка

При выборе калибровочного комплекта для калибровки SOLT важно учитывать, что наилучшую точность обеспечит комплект, в котором параметры мер наиболее точно определены.

- 5. TRL калибровка** (Thru, Reflect, Line) используется для измерения полной матрицы S-параметров двухпортового устройства. В дополнение к TRL, поддерживаются модификации LRL (Line, Reflect, Line) и LRM (Line, Reflect, Match). Если частотный диапазон TRL-калибровки превышает диапазон рабочих частот используемых калибровочных мер, применяется опция Multiline TRL – калибровки, в которой используются несколько линий различной длины, но при этом полоса частот не разделяется на поддиапазоны. Вместо этого все линии используются одновременно во всей полосе калибровки.

TRL калибровка корректирует все двенадцать ошибок двухпортовой модели ошибок: $Ed1$ и $Ed2$, $Es1$ и $Es2$, $Er1$ и $Er2$, $Et1$ и $Et2$, $EI1$ и $EI2$, $Ex1$ и $Ex2$. Доступность данного типа калибровки зависит от модели анализатора.

TRL калибровка волноводного тракта предпочтительнее, чем SSLT, так как она проще: волноводные меры TRL легко реализуемы, а ограниченность полосы частот не является недостатком из-за того, что волновод так же имеет ограниченную полосу частот по своей природе.

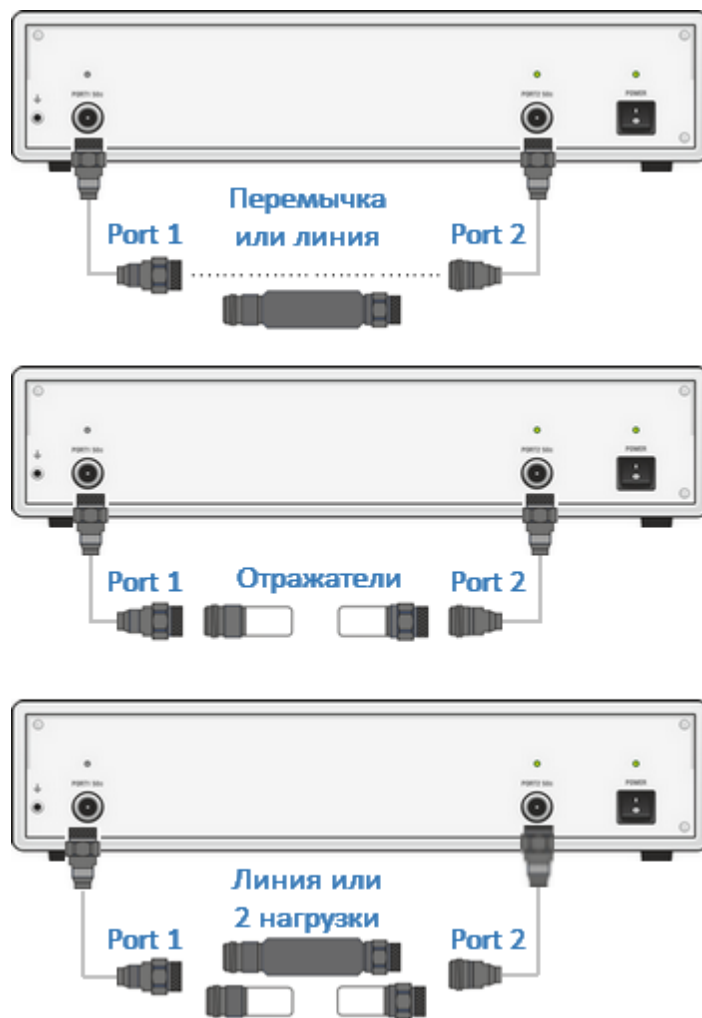


Рисунок 18 – Калибровка TRL

Для TRL калибровок точность калибровки определяется в основном качеством изготовления мер.

2 Добавление комплекта мер в ПО анализатора

Добавление нового комплекта в ПО возможно выполнить двумя способами:

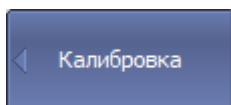
1. Комплект мер добавляется с помощью файла с математическим описанием комплекта (*.ckd) или сохраненного ПО другого анализатора производства ООО «ПЛАНАР», на котором данный комплект уже корректно добавлен.
2. Комплект мер добавляется в ручном режиме. Параметры мер вводятся с бумажного носителя или загружаются из файла Touchstone.

ПРИМЕЧАНИЕ Файл *.ckd входит в комплект поставки комплекта мер производства ООО «ПЛАНАР» или ООО «НПК ТАИР». Файлы сторонних производителей мер не совместимы с этим форматом.

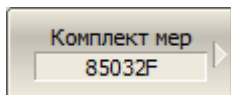
ПРИМЕЧАНИЕ Для добавления калибровочного комплекта в ПО анализатора наличие самого прибора не требуется, достаточно выполнить действия, описанные в разделах далее.

2.1 Добавление комплекта мер в таблицу

ПО анализатора содержит таблицу, вмещающую до 64 различных комплектов калибровочных мер, которая состоит как из predetermined, так и пользовательских комплектов.



Для перехода к таблице комплектов калибровочных мер нажмите программные кнопки:



Калибровка > Комплект мер

Таблица комплектов мер используется для выбора и редактирования комплектов мер. Наименование выбранного комплекта, указанное в столбце "Наименование", отображается на кнопках в меню калибровки. В столбце "Описание" представлена краткая информация о комплекте, а галочка в столбце "Выбрать" используется для его выбора при калибровке. В таблице также содержатся не редактируемые информационные поля: признаки predetermined и измененного комплекта мер, счетчик мер в комплекте.

	Наименование	Описание	Выбрать	Предопред.	Изменен	Число мер
31	N1801	Type-N 50Ω SOLT 18GHz Cal Kit (CMT)	<input type="checkbox"/>	Да	Нет	5
32	S2611	3.5mm 26.5GHz SOLT Cal Kit (CMT)	<input type="checkbox"/>	Да	Нет	5
33	T4311	RPC-2.92 40 GHz SOLT Cal Kit [Jack] (CMT)	<input type="checkbox"/>	Да	Нет	5
34	Z5411	RPC-2.40 50 GHz SOLT Cal Kit [Jack] (CMT)	<input type="checkbox"/>	Да	Нет	5
35	N1802	Type-N Male 50Ω SOLT 18GHz Cal Kit (CMT)	<input type="checkbox"/>	Да	Нет	5
36						
37						
38						

Рисунок 19 – Пример таблицы комплектов мер

Загрузка комплекта мер из файла *.ckd

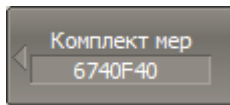
Загрузка нового комплекта мер осуществляется только из файла с расширением *.ckd.

ПРИМЕЧАНИЕ

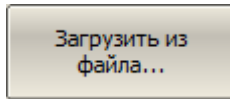
Файл *.ckd входит в комплект поставки комплекта мер производства ООО «ПЛАНАР» или ООО «НПК ТАИР». Файлы сторонних производителей мер не совместимы с этим форматом.

В таблице комплектов мер щелкните мышкой по пустой строке (см. рисунок выше) и загрузите из файла новый комплект. Наименование и описание

комплекта добавляется в отмеченную строку таблицы. При этом присвоение классов и подклассов вручную не требуется.



Для загрузки комплекта мер из файла нажмите программную кнопку **Загрузить из файла...**



Выберите файл *.ckd.

Добавление нового комплекта вручную

1. В таблице комплектов мер дважды щелкните мышью по свободной ячейке в столбце "Наименование" и введите название комплекта с помощью клавиатуры.
2. В столбце "Описание" укажите сечение коаксиального тракта соединителя, тип калибровки, частотный диапазон и производителя.

После добавления комплекта необходимо вручную определить для него калибровочные меры.

Пример заполнения таблицы для коаксиального калибровочного комплекта 6750F40 показан на рисунке ниже.

	Наименование	Описание	Выбрать	Предопред.	Изменен	Число мер
32	S2611	3.5mm 26.5GHz SOLT Cal Kit (CMT)	<input type="checkbox"/>	Да	Нет	5
33	T4311	RPC-2.92 40 GHz SOLT Cal Kit [Jack] (CMT)	<input type="checkbox"/>	Да	Нет	5
34	Z5411	RPC-2.40 50 GHz SOLT Cal Kit [Jack] (CMT)	<input type="checkbox"/>	Да	Нет	5
35	6740F40	2.92mm SOLT 40GHz Cal Kit (Planar)	<input checked="" type="checkbox"/>	Нет	Да	9
36						
37						
38						

Рисунок 20 – Пример таблицы коаксиального калибровочного комплекта 6750F40

2.2 Добавление в ПО комплекта мер, определенных моделью

2.2.1 Определение коаксиальных мер моделью

Определение мер комплекта 6750F40 приведено в его [паспорте](#). Каждая мера в комплекте определяется собственным набором параметров, включая минимальную $F_{min} = 0$ и максимальную $F_{max} = 40$ ГГц частоты, которые устанавливаются для всех мер калибровочного комплекта.

- Мера **XX** определяется параметрами:
 - электрическая задержка **Tc**
 - потери смещения **Rп**
 - волновое сопротивление **Z0** для смещения
 - краевая ёмкость C, где **C0**, **C1**, **C2**, **C3** – коэффициенты полинома

Мера	Параметры						
	$C0 \cdot 10^{-15}$ Ф	$C1 \cdot 10^{-27}$ Ф/Гц	$C2 \cdot 10^{-36}$ Ф/Гц ²	$C3 \cdot 10^{-45}$ Ф/Гц ³	Offset Delay пс	Offset Loss ГΩ/с	Offset Z0 Ω
розетка	42,9684	729,336	-31,7551	0,6628	14,8487	3,4628	50
вилка	44,1578	71,4204	-0,1716	0,2048	14,8487	3,39	50

Краевая ёмкость C
 Электрическая задержка Tc
 Потери смещения Rп
 Волновое сопротивление Z0 для смещения

Рисунок 21 – Параметры мер XX для комплекта 6750F40

- Мера **K3** определяется параметрами:
 - электрическая задержка **Tc**
 - волновое сопротивление **Z0** для смещения
 - потери смещения **Rп**
 - паразитная индуктивность L, где **L0**, **L1**, **L2**, **L3** – коэффициенты полинома

Мера	Параметры						
КЗ	$L0 \cdot 10^{-12}$ Гн	$L1 \cdot 10^{-24}$ Гн/Гц	$L2 \cdot 10^{-33}$ Гн/Гц ²	$L3 \cdot 10^{-42}$ Гн/Гц ³	Offset Delay пс	Offset Loss ГΩ/с	Offset Z0 Ω
розетка	-11,2831	1910,57	-85,3145	1,0864	16,6963	2,0059	50
вилка	8,7413	-1036,9	41,5223	-0,5055	16,6963	2,5639	50

Паразитная индуктивность L
Электрическая задержка T_c
Потери смещения R_p
Волновое сопротивление Z_0 для смещения

Рисунок 22 – Параметры мер КЗ для комплекта 6750F40

- Мера **Нагрузка** определяется параметрами:
 - электрическая задержка T_c и потери смещения R_p , равные 0
 - волновое сопротивление Z_0 для смещения
 - импеданс нагрузки R_n .

Мера	Параметры
Нагрузка	Offset Z0, Ω
Розетка	50
Вилка	50

Волновое сопротивление Z_0 для смещения

Рисунок 23 – Параметры мер Нагрузка для комплекта 6750F40

- Мера **Переключатель/линия** определяется параметрами:
 - потери смещения R_p , которые равны 0
 - электрическая задержка T_c
 - волновое сопротивление Z_0 для смещения

Для комплекта в примере параметры переключателя/линии не указаны, поэтому она будет являться неизвестной.

- Мера **Неизвестная переключатель** – это переход с неизвестной электрической длиной, параметры которого рассчитываются ПО анализатора во время калибровки.

Добавьте определения калибровочных мер комплекта 6750F40 в ПО анализатора вручную. В результате корректного добавления, таблица

определения мер, соответствующая этому комплекту должна выглядеть так, как представлено на рисунке ниже.

N	Мера		Частота		Задержка	Смещение			H/W
	Тип	Наименование	F min	F max		Z0	Потери	Среда	
1	XX	OPEN -M-	0 Гц	40 ГГц	14.849 пс	50 Ω	3.39 ГΩ/с	Коакси	
2	КЗ	SHORT -M-	0 Гц	40 ГГц	16.696 пс	50 Ω	2.5639 ГΩ/с	Коакси	
3	Нагр.	LOAD -M-	0 Гц	40 ГГц	0 с	50 Ω	0 Ω/с	Коакси	
4	Неизв. прич	UNKNOWN THRU	0 Гц	40 ГГц	ABTO			Коакси	
5	КЗ	SHORT -F-	0 Гц	40 ГГц	16.696 пс	50 Ω	2.0059 ГΩ/с	Коакси	
6	XX	OPEN -F-	0 Гц	40 ГГц	14.849 пс	50 Ω	3.4628 ГΩ/с	Коакси	
7	Нагр.	LOAD -F-	0 Гц	40 ГГц	0 с	50 Ω	0 Ω/с	Коакси	
8	Неизв. прич	UNKNOWN THRU	0 Гц	40 ГГц	ABTO			Коакси	
9	Неизв. прич	UNKNOWN THRU	0 Гц	40 ГГц	ABTO			Коакси	

Импеданс нагрузки	C0·1e-15 Ф	C1·1e-27 Ф/Гц	C2·1e-36 Ф/Гц ²	C3·1e-45 Ф/Гц ³
	L0·1e-12 Гн	L1·1e-24 Гн/Гц	L2·1e-33 Гн/Гц ²	L3·1e-42 Гн/Гц ³
	44.1578	71.4204	-0.1716	0.2048
50 Ω	8.7413	-1036.9	41.5223	-0.5055
	-11.2831	1910.57	-85.3145	1.0864
50 Ω	42.9684	729.336	-31.7551	0.6628

Рисунок 24 – Таблица определения мер комплекта 6750F40 в ПО

2.2.2 Определение волноводных мер моделью

Каждая мера определяется собственным набором параметров, включая критическую частоту **Fcut_off** = 9,488 ГГц и удвоенную критическую частоту **2Fcut_off** = 18,975 ГГц, которые устанавливаются для всех мер калибровочного комплекта.

- Мера **КЗ** определяется параметрами:
 - длина волноводной линии **Length**, равная ширине волновода [м]
 - волновое сопротивление **Z0** для смещения, равное 1 [Ω]
 - потери смещения **Rп**, равные 0 [Ω/с]
 - отношение сторон волновода **H/W**
- Мера **Перемычка/линия** определяется параметрами:
 - длина волноводной линии **Length**, равная ширине волновода [м]
 - волновое сопротивление **Z0** для смещения, равное 1Ω
 - потери смещения **Rп**, равные 0 [Ω/с]
 - отношение сторон волновода **H/W**
- Мера **Фиксированная нагрузка** определяется параметрами:
 - длина волноводной линии **Length**, равная ширине волновода [м]
 - волновое сопротивление **Z0** для смещения, равное 1 [Ω]
 - потери смещения **Rп**, равные 0 [Ω/с]
 - отношение сторон волновода **H/W**
 - импеданс нагрузки **Rн**, равный 1 [Ω]
- Мера **Скользящая нагрузка** определяется параметрами:
 - волновое сопротивление **Z0** для смещения, равное 1 [Ω]
 - отношение сторон волновода **H/W**

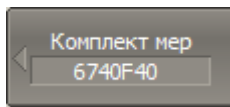
В результате корректного добавления, таблица определения мер, соответствующая этому комплекту должна выглядеть так, как представлено на рисунке далее.

N	Мера		Частота		Смещение			Среда	H/W
	Тип	Наименование	F cut off	2F cut off	Length	Z0	Потери		
1	КЗ	Short	9.488 ГГц	18.975 ГГц	0 м	1 Ω	0 Ω/c	Волнов	0.5
2	КЗ	1/4L Short	9.488 ГГц	18.975 ГГц	6.654 мм	1 Ω	0 Ω/c	Волнов	0.5
3	КЗ	1/8L Short	9.488 ГГц	18.975 ГГц	3.308 мм	1 Ω	0 Ω/c	Волнов	0.5
4	КЗ	3/8L Short	9.488 ГГц	18.975 ГГц	9.999 мм	1 Ω	0 Ω/c	Волнов	0.5
5	Прмч/Линия	FlushThru	9.488 ГГц	18.975 ГГц	0 м	1 Ω	0 Ω/c	Волнов	0.5
6	Прмч/Линия	1/4 Line	9.488 ГГц	18.975 ГГц	6.654 мм	1 Ω	0 Ω/c	Волнов	0.5

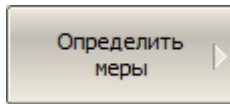
Импеданс нагрузки	C0·1e-15 Ф	C1·1e-27 Ф/Гц	C2·1e-36 Ф/Гц ²	C3·1e-45 Ф/Гц ³
	L0·1e-12 Гн	L1·1e-24 Гн/Гц	L2·1e-33 Гн/Гц ²	L3·1e-42 Гн/Гц ³
	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	0	0	0

Рисунок 25 – Таблица определения мер комплекта СК4W-WR62-35F-35F в ПО

2.2.3 Определение и редактирование мер в ПО

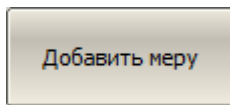


Для перехода к таблице определения калибровочных мер нажмите программные кнопки:

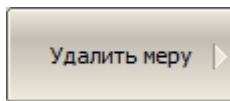


Калибровка > Комплект мер > Определить меры

2.2.3.1 Добавление/Удаление мер в таблице



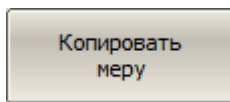
Для добавления меры в таблицу определения калибровочных мер нажмите программную кнопку **Добавить меру**.



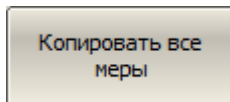
Для удаления меры из таблицы определения калибровочных мер выберите ее и нажмите программную кнопку **Удалить меру**.

Далее подтвердите удаление.

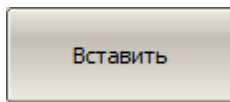
2.2.3.2 Копирование/Вставка мер



Для копирования меры (мер) во внутренний буфер выберите соответствующую строку в таблице определения калибровочных мер и нажмите программную кнопку:

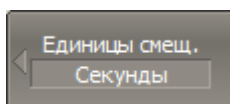


Копировать меру или **Копировать все меры**

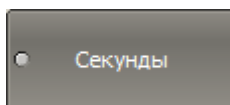


Для вставки меры (мер) из внутреннего буфера нажмите программную кнопку **Вставить**.

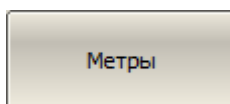
2.2.3.3 Единицы измерения смещения



Для переключения единиц измерения смещения в таблице определения мер нажмите программные кнопки:

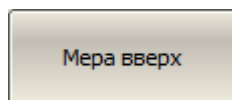


Единицы смещ. > [Секунды | Метры]

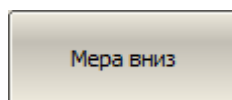


Для коаксиальных мер используются секунды, а для волноводных – метры.

2.2.3.4 Порядок мер в таблице



Для изменения порядка меры в таблице нажмите программную кнопку **Мера вверх** или **Мера вниз**.

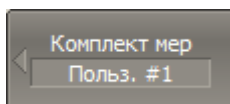


2.3 Добавление в ПО комплекта мер, определенных данными

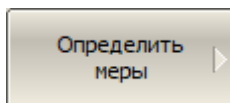
Для метода определения меры данными параметры модели не заполняются. Вместо этого загружаются S-параметры из файла Touchstone, которые можно просматривать и редактировать в отдельной таблице (см. рисунок ниже).

	Частота	ЛогАмпл(S11)	Arg(S11)
1	100 МГц	0.0132773152 дБ	168.779776 °
2	142 МГц	0.00277002951 дБ	164.215311 °
3	184 МГц	-0.00809547805 дБ	159.587086 °
4	226 МГц	-0.0148986478 дБ	154.967383 °
5	268 МГц	-0.0228282518 дБ	150.328022 °
6	310 МГц	-0.027757861 дБ	145.685974 °
7	352 МГц	-0.0321870778 дБ	141.050277 °
8	394 МГц	-0.0379617115 дБ	136.420444 °
9	436 МГц	-0.0410935821 дБ	131.796645 °
10	478 МГц	-0.0459742988 дБ	127.168278 °

Рисунок 26 – Таблица S-параметров меры КЗ



Для перехода к определению мер выбранного комплекта, нажмите программные кнопки:



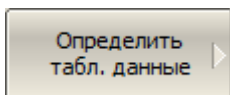
Калибровка > Комплект мер > Определить меры

Для добавления меры, определенной данными, установите в таблице тип меры "Табличные данные" (см. рисунок ниже). После этого программная кнопка "Определить табл. данные" станет активной.

Мера			Частота	
N	Тип	Наименование	F min	F max
1	Неопр	Без назв.	0 Гц	999 ГГц

Мера			Частота	
N	Тип	Наименование	F min	F max
1	Табл. данные	Без назв.	0 Гц	999 ГГц

Рисунок 27 – Установка типа меры "Табличные данные"



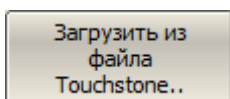
Чтобы открыть таблицу S-параметров меры, нажмите программную кнопку:

Определить табличные данные

При выборе однопортовой меры таблица будет содержать значения S11, а при выборе двухпортовой значения всех четырех параметров – S11, S21, S12, S22.

Тип таблицы (для однопортовой или двухпортовой меры) определяется перед ее заполнением:

- при загрузке данных из файла формата Touchstone (*.S1P или *.S2P)



Для загрузки данных из файла Touchstone нажмите программную кнопку **Загрузить из файла Touchstone...**

Выберите тип файла в открывшемся окне (*.S1P или *.S2P) и укажите имя файла.

- при вводе данных вручную с помощью диалогового окна при добавлении первого ряда

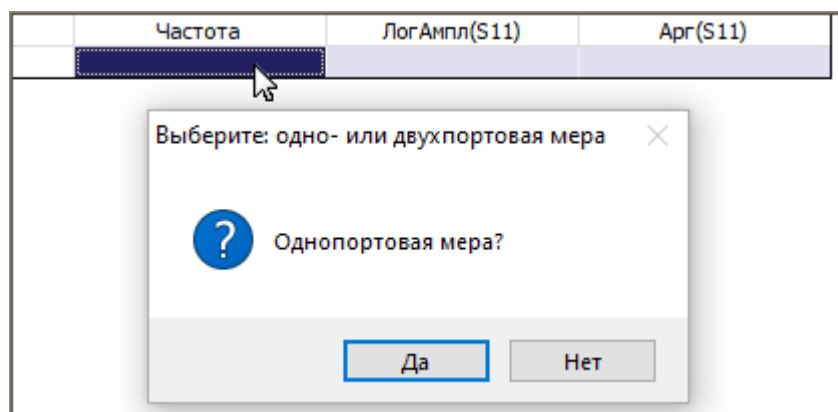
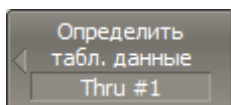
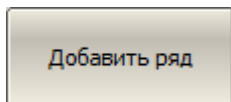


Рисунок 28 – Выбор формата таблицы S-параметров меры

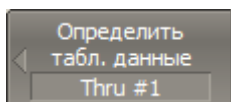
2.3.1 Добавление строки таблицы



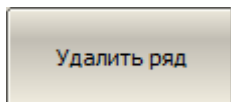
Для добавления строки из таблицы S-параметров калибровочных мер нажмите программную кнопку **Добавить ряд.**



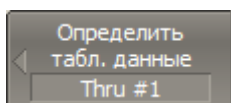
2.3.2 Удаление строки таблицы



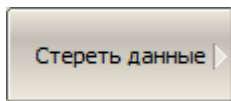
Для удаления строки из таблицы S-параметров калибровочных мер нажмите программную кнопку **Удалить ряд.**



2.3.3 Стирание таблицы



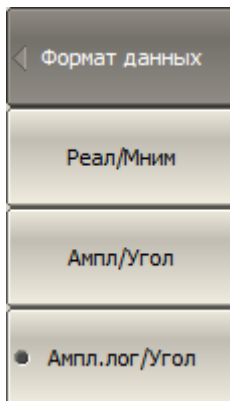
Для удаления всех данных из таблицы S-параметров калибровочных мер нажмите программную кнопку **Стереть данные.**



2.3.4 Формат данных в таблице

Данные в таблице могут быть представлены в трех форматах:

- действительная и мнимая части
- линейная амплитуда и фаза (°)
- логарифмическая амплитуда (дБ) и фаза в градусах (°)

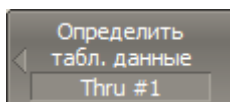


Для выбора формата таблицы S-параметров калибровочных мер нажмите программные кнопки:

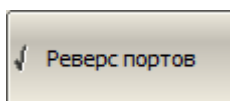
Формат > [Реал/Мним | Ампл/Угол | Ампл.лог/Угол]

2.3.5 Реверс портов

При калибровке двухпортовой меры считается, что порт 1 (S11) подключен к порту с наименьшим номером, а порт 2 (S22) — к порту с наибольшим номером. Если двухпортовый эталон необходимо перевернуть, используйте функцию реверса портов.



Для реверса/отмены реверса портов двухпортовых мер нажмите программную кнопку **Реверс портов**.



2.4 Назначение классов калибровочным мерам

2.4.1 Назначение классов для коаксиальных мер

После определения калибровочных мер выполняется процедура назначения им классов в соответствии с таблицей, представленной на рисунке ниже.

Класс	Порт	Подкласс 1	Подкласс 2	Подкласс 3
XX	1	1. OPEN -M-	6. OPEN -F-	
	2	1. OPEN -M-	6. OPEN -F-	
	3	1. OPEN -M-	6. OPEN -F-	
	4	1. OPEN -M-	6. OPEN -F-	
КЗ	1	2. SHORT -M-	5. SHORT -F-	
	2	2. SHORT -M-	5. SHORT -F-	
	3	2. SHORT -M-	5. SHORT -F-	
	4	2. SHORT -M-	5. SHORT -F-	
Нагр.	1	3. LOAD -M-	7. OPEN -F-	
	2	3. LOAD -M-	7. OPEN -F-	
	3	3. LOAD -M-	7. OPEN -F-	
	4	3. LOAD -M-	7. OPEN -F-	
Перем.	1-2	4. UNKNOWN THRU	8. UNKNOWN THRU	9. UNKNOWN THRU
	1-3	4. UNKNOWN THRU	8. UNKNOWN THRU	9. UNKNOWN THRU
	1-4	4. UNKNOWN THRU	8. UNKNOWN THRU	9. UNKNOWN THRU
	2-3	4. UNKNOWN THRU	8. UNKNOWN THRU	9. UNKNOWN THRU
	2-4	4. UNKNOWN THRU	8. UNKNOWN THRU	9. UNKNOWN THRU
	3-4	4. UNKNOWN THRU	8. UNKNOWN THRU	9. UNKNOWN THRU

Рисунок 29 – Таблица классов коаксиальных мер

Наименования мер вносятся в ячейки таблицы путем их выбора из общего списка мер комплекта (см. рисунок ниже). Каждая строка таблицы соответствует классу мер, указанному в двух левых столбцах.

Класс	Порт	Подкласс 1	Подкласс 2	Подкласс 3
XX	1	1. OPEN -M-	6. OPEN -F-	
	2	1. OPEN -M-		
	3	1. OPEN -M-		
	4	1. OPEN -M-		
КЗ	1	2. SHORT -M-		
	2	2. SHORT -M-		

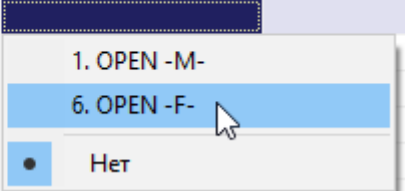


Рисунок 30 – Пример назначения класса

Если в классе используется единственная мера, то она указывается в колонке "Подкласс 1". Если несколько мер для одного класса – заполняются колонки "Подкласс 2", "Подкласс 3", и так далее.

ПРИМЕЧАНИЕ При назначении двух и более подклассов для одного класса мер, программная кнопка измерения меры

заменяется кнопкой перехода в меню подклассов, которое содержит список всех мер данного класса.

2.4.2 Назначение классов для волноводных мер

Назначение классов калибровочных мер производится с учетом типа калибровочного комплекта и метода калибровки. Отличие волноводного калибровочного комплекта от коаксиального заключается в особом назначении классов мер в выбранном комплекте калибровочных мер:

- Для комплекта, предназначенного для SSL(T) калибровки, используются две меры КЗ с различной величиной смещения. Оптимальная разность фаз двух мер КЗ на центральной частоте калибровки составляет 180 градусов, что дает разность смещений равную $1/4$ длины волны. Поэтому волноводные комплекты мер ООО «ПЛАНАР» содержат меры КЗ, смещенные на $1/8\lambda$ и $3/8\lambda$.

Класс	Порт	Подкласс 1
XX	1	3. $1/8$ Offset Short
	2	3. $1/8$ Offset Short
КЗ	1	5. $3/8$ Offset Short
	2	5. $3/8$ Offset Short

Рисунок 31 – Таблица классов волноводных мер для SSL калибровки

- Для комплекта, предназначенного для SSS(T) калибровки, требуется назначение классов мер таким образом, чтобы классам XX, КЗ и Нагрузка соответствовали три смещенные меры КЗ.

Класс	Порт	Подкласс 1	Подкласс 2
XX	1	1. Short	
	2	1. Short	
	3	1. Short	
	4	1. Short	
КЗ	1	2. $1/4\lambda$ Short	
	2	2. $1/4\lambda$ Short	
	3	2. $1/4\lambda$ Short	
	4	2. $1/4\lambda$ Short	
Нагр.	1	3. $1/8\lambda$ Short	4. $3/8\lambda$ Short
	2	3. $1/8\lambda$ Short	4. $3/8\lambda$ Short
	3	3. $1/8\lambda$ Short	4. $3/8\lambda$ Short
	4	3. $1/8\lambda$ Short	4. $3/8\lambda$ Short

Рисунок 32 – Пример назначения классов волноводным мерам для SSST калибровки

- Для комплекта, предназначенного для TRL калибровки, требуется наличие только мер коэффициента отражения, обычно КЗ, коэффициента передачи и отрезка волноводной линии передачи. Четвертьволновая вставка идеально

подходит в качестве такого отрезка по критерию обеспечения фазового сдвига в пределах от 20° до 160°:

$$20 < \frac{360 \cdot f \cdot \Delta L}{c} < 160$$

где c – скорость волны в линии, равная $c = 2.9979 \cdot 10^8$ [м/с];

$$\Delta L = L_1 - L_0;$$

L_0 – длина опорной линии. В качестве опорной выбирается самая короткая линия комплекта калибровочных мер. В данном случае используется перемычка нулевой длины;

L_1 – длина TRL-линии, равная физической длине перемычки.

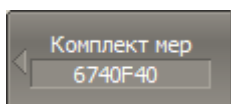
Тогда разность фаз между TRL-линией и перемычкой должна быть не менее 20° на нижней частоте и не более 160° на верхней частоте калибровки.

Пример таблицы с назначением классов волноводным мерам представлен на рисунке ниже.

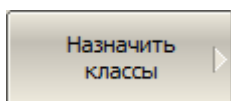
TRL Перемыч	1-2	1. WG FlushThru
	1-3	
	1-4	
	2-3	
	2-4	
	3-4	
TRL Отраж	1	2. WG Short
	2	2. WG Short
	3	
	4	
TRL Лин/Нагр	1-2	3. WG 1/4 Line
	1-3	
	1-4	
	2-3	
	2-4	

Рисунок 33 – Пример таблицы назначения классов волноводным мерам для TRL калибровки

2.4.3 Назначение классов мерам в ПО



Для перехода к таблице классов калибровочных мер нажмите программные кнопки:

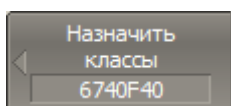


Калибровка > Комплект мер > Назначить классы

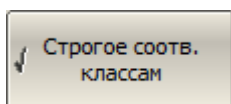
2.4.4 Функция строгого соответствия классам

Функция служит для ограничения типа мер, доступных в каждом классе по признаку соответствия (см. таблицу ниже).

N	Класс мер	Типы мер
1	ХХ	ХХ, Табл. данные (1 порт)
2	КЗ	КЗ, Табл. данные (1 порт)
3	Нагрузка	Нагрузка, Скользящая нагрузка, Табл. данные (1 порт)
4	Перемычка	Перемычка/Линия, Табл. данные (2 порт)
5	TRL Перемычка	Перемычка/Линия, Табл. данные (2 порт)
6	TRL Отражатель	ХХ, КЗ, Табл. данные (1 порт)
7	TRL Линия/Нагрузка	Нагрузка, Перемычка/Линия



Для отключения и повторного включения функции строгого соответствия классам нажмите программную кнопку **Строгое соотв. классам.**



2.4.4.1 Применение функции для коаксиальных мер

Если функция отключена, то мере возможно назначить любой класс, как показано на рисунке ниже.

Класс	Порт	Подкласс 1	Подкл
XX	1		
	2	<ul style="list-style-type: none"> 1. OPEN -M- 2. SHORT -M- 3. LOAD -M- 4. UNKNOWN THRU 5. SHORT -F- 6. OPEN -F- 7. LOAD -F- 8. UNKNOWN THRU 9. UNKNOWN THRU 	
	3		
	4		
Нагр.	1		
	2		
	3		
	4		
Перем.	1-2		
	1-3		
	1-4		
	2-3		
	2-4		
	3-4	<input checked="" type="radio"/> Нет	

Рисунок 34 – Пример назначения любого класса калибровочной мере КЗ

2.4.4.2 Применение функции для волноводных мер

Для волноводных калибровочных комплектов рекомендуется отключить функцию строгого соответствия классам. Это связано с особенностями назначения классов в волноводной калибровке: вместо пары мер XX и КЗ используется пара смещенных мер КЗ. При активированной функции строгого соответствия классам выбор нужного варианта становится невозможным, так как система будет требовать соответствия мер стандартным классам, как представлено в таблице в п. [Функция строгого соответствия классам](#).

Отключение функции позволяет выбрать необходимый для калибровочной меры класс (см. рисунок ниже).

Класс	Порт	Подкласс 1	Подкл
XX	1	1. Short	
	2	<ul style="list-style-type: none"> 1. Short 2. 1/4L Short 3. 1/8L Short 4. 3/8L Short 5. FlushThru 6. 1/4 Line 	
	3		
	4		
Нагр.	1		
	2		
	3		
	4		
Перем.	1-2		
	1-3		
	1-4	Нет	

Рисунок 35 – Пример назначения любого класса калибровочной мере XX

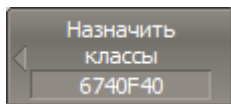
2.4.5 Функция группового назначения номера порта

Функция служит для автоматического назначения одной меры всем портам конкретного класса при ее назначении хотя бы одному порту.

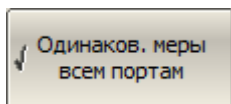
Если функция включена, то класс для меры ХХ с соединителем типа «вилка» будет выглядеть, как показано на рисунке ниже.

Класс	Порт	Подкласс 1
	1	1. OPEN -M-
XX	2	1. OPEN -M-
	3	1. OPEN -M-
	4	1. OPEN -M-

Рисунок 36 – Пример назначения одной меры всем портам класса



Для включения/отключения функции группового назначения номера порта нажмите программную кнопку **Одинаков. меры всем портам.**



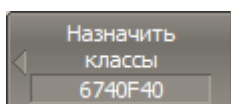
2.4.6 Удаление мер из таблицы классов

Для удаления меры в таблице классов:

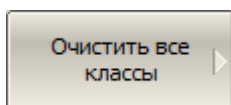
- Щелкните по ячейке, из которой нужно удалить меру, или выберите ее с помощью клавиш навигации, затем нажмите на клавиатуре "Enter".
- В открывшемся меню выберите строку "Нет", чтобы удалить меру в ячейке.

Класс	Порт	Подкласс 1
XX	1	
	2	
КЗ	1	6. OPEN -F-
	2	2. OPEN -M-
Нагр.	1	<input checked="" type="radio"/> Нет
	2	

Рисунок 37 – Пример удаления меры из таблицы классов



Для удаления всех мер в таблице классов нажмите программную кнопку **Очистить все классы**.



2.5 Редактирование таблицы комплектов мер

2.5.1 Выбор комплекта мер для редактирования

Выбор для редактирования комплекта мер осуществляется выделением строки синим цветом в таблице комплектов мер.

	Наименование	Описание	Выбрать	Предопред.	Изменен	Число мер
32	S2611	3.5mm 26.5GHz SOLT Cal Kit (CMT)	<input type="checkbox"/>	Да	Нет	5
33	T4311	RPC-2.92 40 GHz SOLT Cal Kit [Jack] (CMT)	<input type="checkbox"/>	Да	Нет	5
34	Z5411	RPC-2.40 50 GHz SOLT Cal Kit [Jack] (CMT)	<input type="checkbox"/>	Да	Нет	5
35	6740F40	2.92mm SOLT 40GHz Cal Kit (Planar)	<input checked="" type="checkbox"/>	Нет	Да	9
36						
37						
38						

Рисунок 38 – Выбор калибровочного комплекта в таблице комплектов мер

ПРИМЕЧАНИЕ Галочка в столбце "Выбрать" не играет роли при выборе комплекта для редактирования, она служит для выбора комплекта мер при калибровке.

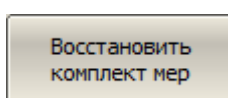
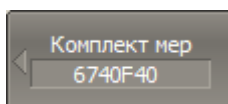
2.5.2 Редактирование наименования и описания комплекта мер

Для редактирования ячеек в таблице "Наименование" и "Описание" выполните следующие действия:

- дважды нажмите левой кнопкой мыши по ячейке "Наименование" или "Описание" в таблице, либо выберите ее с помощью клавиш навигации и нажмите «Enter»
- введите текст с помощью клавиатуры

2.5.3 Отмена изменений предопределенных комплектов мер

Нажмите на строку с необходимым комплектом в таблице комплектов мер или выберите ее с помощью клавиш навигации "↑" и "↓".

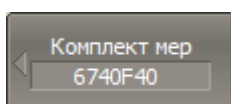


Для отмены изменений предопределенного комплекта мер нажмите программную кнопку **Восстановить комплект мер**.

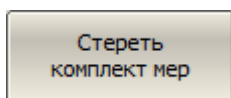
ПРИМЕЧАНИЕ Предопределенный комплект мер невозможно стереть, но можно восстановить, при условии, что он был изменен, то есть когда в полях "Предопределен" и "Изменен" установлен признак "Да".

2.5.4 Удаление пользовательских комплектов мер

В таблице комплектов мер выберите строку с необходимым комплектом.



Для удаления из таблицы пользовательского комплекта мер нажмите программную кнопку **Стереть комплект мер**.



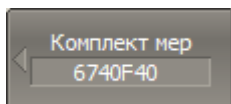
ПРИМЕЧАНИЕ Пользовательский комплект мер невозможно восстановить, но можно стереть, то есть, когда в поле "Предопределен" установлен признак "Нет".

2.5.5 Сохранение комплектов мер в файле

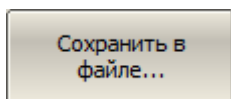
Сохранение комплекта мер в файле *.skd предназначено для копирования комплекта мер в другую строку таблицы или для переноса файла между анализаторами.

Команда не требуется для сохранения изменений, вносимых пользователем в определение комплекта мер, так как они сохраняются автоматически.

В таблице комплектов мер выберите строку с необходимым комплектом.



Для сохранения комплекта мер в файле нажмите программную кнопку **Сохранить в файле...**



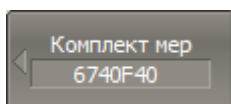
Укажите имя файла.

2.5.6 Загрузка комплекта мер из файла

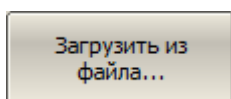
Загрузка комплекта мер осуществляется из файла, сформированного с помощью функции [сохранения комплектов мер в файле](#) или внешнего USB flash накопителя.

ПРИМЕЧАНИЕ Файл *.ckd входит в комплект поставки комплекта мер производства ООО «ПЛАНАР» или ООО «НПК ТАИР». Файлы сторонних производителей мер не совместимы с этим форматом.

В таблице комплектов мер выберите строку с необходимым комплектом.



Для загрузки комплекта мер из файла нажмите программную кнопку **Загрузить из файла...**



Выберите файл *.ckd.

3 Приложение

Для анализа систематических ошибок в анализаторах цепей используют модели ошибок в виде сигнальных (направленных) графов.

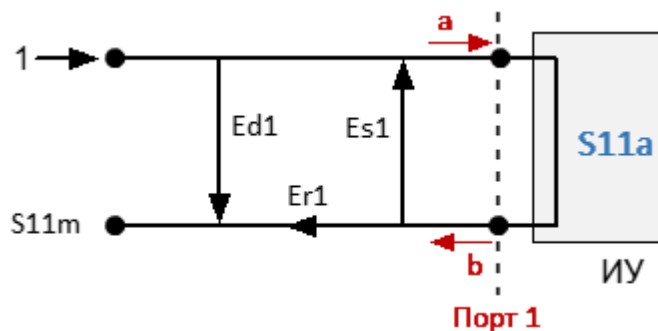
Раздел содержит описание следующих моделей ошибок:

- [однопортовая модель ошибок](#)
- [двухпортовая модель ошибок](#)
- [трехпортовая модель ошибок](#)
- [четырёхпортовая модель ошибок](#)

3.1 Модели ошибок измерения

3.1.1 Однопортовая модель ошибок

При измерении коэффициента отражения однопортового ИУ используется один порт анализатора. Сигнальный граф модели ошибок анализатора для порта 1, показан на рисунке ниже. Для порта 2 сигнальный граф ошибок аналогичен.



a – падающая волна, **b** – отраженная волна

S11a – истинное значение коэффициента отражения

S11m – измеренное значения коэффициента отражения

Рисунок 39 – Однопортовая модель ошибок анализатора

На результат измерения на порту 1 влияют следующие три систематических ошибки измерения:

- **Ed1** – направленность;
- **Es1** – согласование источника;
- **Er1** – трекинг отражения.

Для нормировки принято значение стимула, равное 1. Все значения, используемые в модели, являются комплексными.

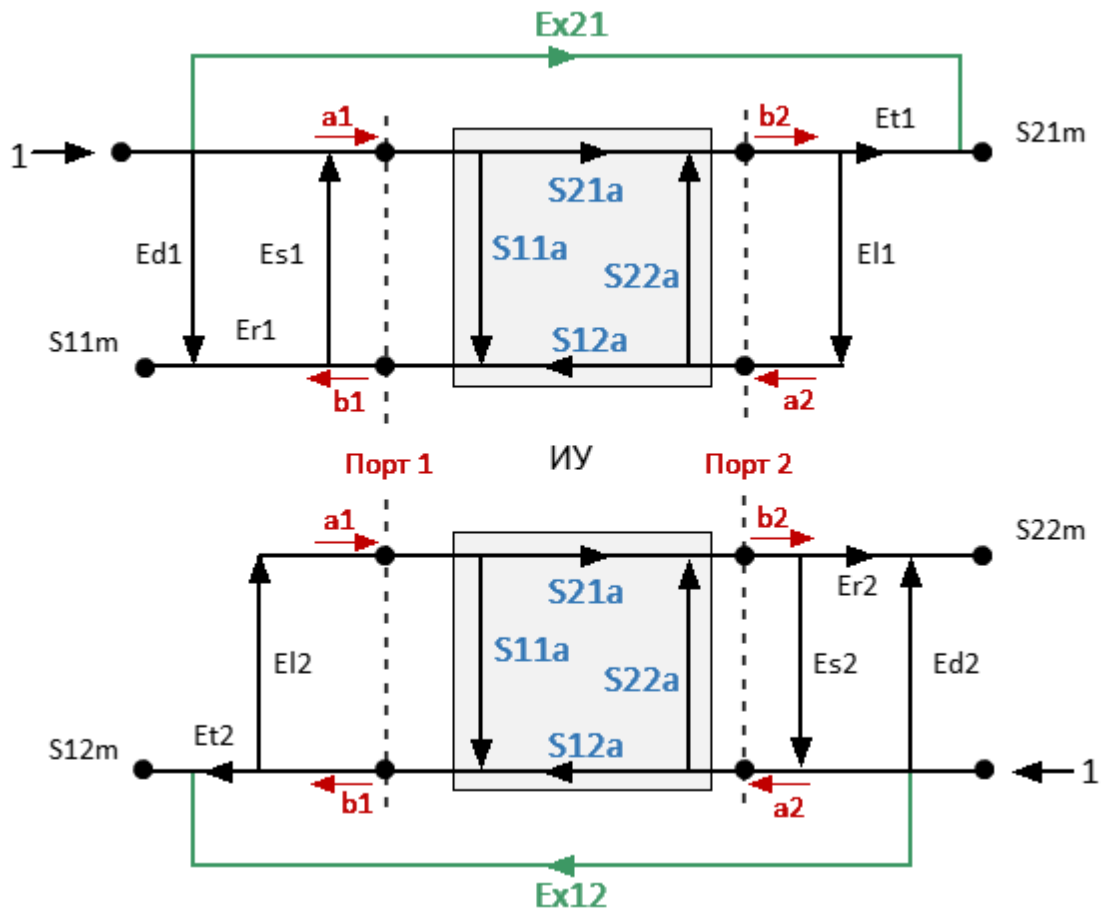
После определения трех ошибок **Ed1**, **Es1**, **Er1** в каждой частотной точке с помощью полной однопортовой калибровки, можно вычислить (математически устранить ошибки из измеренного значения S11m) фактическое значение коэффициента отражения S11a.

Существуют упрощенные методы, которые позволяют устранить влияние только одной или двух из трех систематических ошибок.

3.1.2 Двухпортовая модель ошибок

При измерении двухпортовых устройств используют два сигнальных графа. Один сигнальный граф соответствует случаю, когда источником сигнала является порт 1, второй – когда источником сигнала является порт 2.

Сигнальные графы влияния ошибок измерения в двухпортовой системе представлены на рисунке ниже.



a1, a2 — падающие волны, b1, b2 — отраженные волны

S11a, S21a, S12a, S22a — истинные значения параметров ИУ

S11m, S21m, S12m, S22m — измеренные значения параметров ИУ

Рисунок 40 – Двухпортовая модель ошибок анализатора

Для нормировки принято значение стимула, равное 1. Все значения, используемые в модели, являются комплексными. На результат измерения в двухпортовой системе влияют двенадцать систематических ошибок измерения.

В таблице ниже приведены систематические ошибки двухпортовой модели.

Наименование	Источник сигнала	
	Порт 1	Порт 2
Направленность	Ed1	Ed2
Согласование источника	Es1	Es2
Трекинг отражения	Er1	Er2
Трекинг передачи	Et1	Et2
Согласование нагрузки	EI1	EI2
Изоляция	Ex1	Ex2

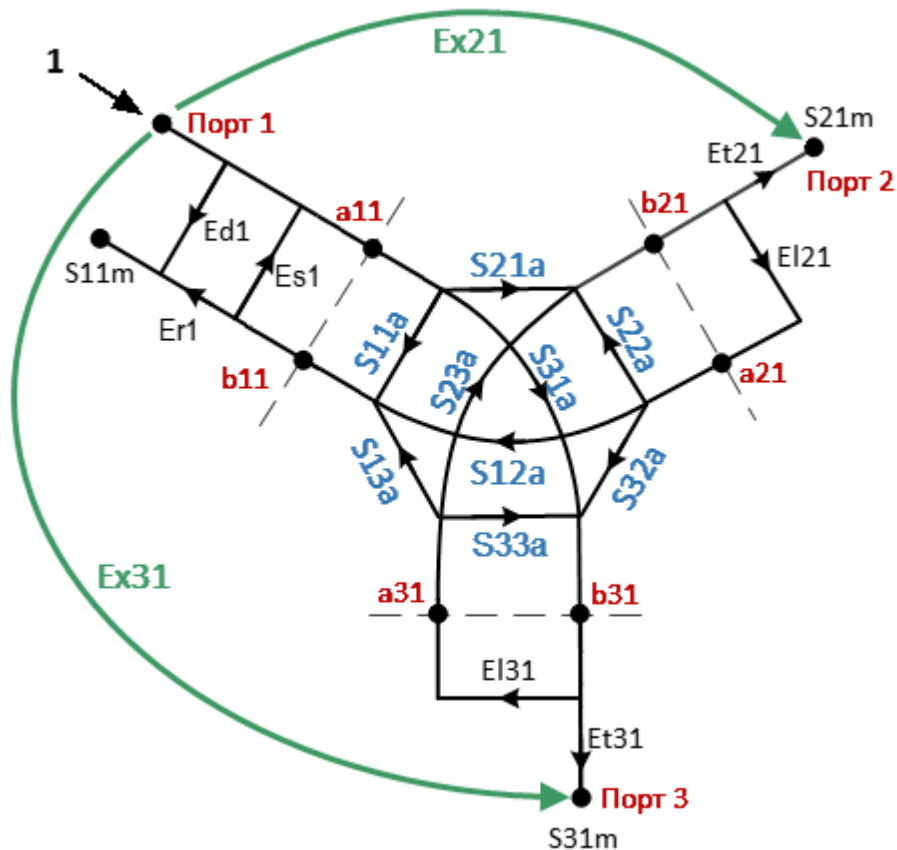
После определения всех двенадцати систематических ошибок для каждой частоты измерения с помощью двухпортовой калибровки можно вычислить фактическое значение S-параметров: S11a, S21a, S12a, S22a.

Существуют упрощенные методы, которые позволяют устранить влияние только одной или нескольких из двенадцати систематических ошибок.

ПРИМЕЧАНИЕ При использовании двухпортовой калибровки, вычисление любого из S-параметров требует всех четырех измерений S11m, S21m, S12m, S22m, поэтому для обновления одного или всех S-параметров анализатор должен выполнить два сканирования: сначала с портом 1 в качестве источника сигнала, а затем с портом 2 в качестве источника сигнала.

3.1.3 Трехпортовая модель ошибок

При измерении трехпортовых устройств используется три сигнальных графа. Каждый граф соответствует своему порту-источнику сигнала. Сигнальный граф отражающий влияние ошибок, когда источником сигнала является порт 1, представлен на рисунке ниже.



$S_{11a}, S_{12a}, S_{13a}, S_{21a}, S_{22a}, S_{23a}, S_{31a}, S_{32a}, S_{33a}$ — истинные значения параметров ИУ

$S_{11m}, S_{12m}, S_{21m}, S_{22m}, S_{23m}, S_{31m}, S_{32m}, S_{33m}$ — измеренные значения параметров ИУ

Рисунок 41 – Трехпортовая модель ошибок анализатора

Для нормировки принято значение стимула, равное 1. Все значения, используемые в модели, являются комплексными. На результат измерения в трехпортовой системе влияют двадцать семь систематических ошибок измерения.

В таблице ниже приведены систематические ошибки трехпортовой модели.

Наименование	Источник сигнала		
	Порт 1	Порт 2	Порт 3
Направленность	Ed1	Ed2	Ed3
Согласование источника	Es1	Es2	Es3
Трекинг отражения	Er1	Er2	Er3
Трекинг передачи	Et21, Et31	Et12, Et32	Et13, Et23
Согласование нагрузки	El21, El31	El12, El32	El13, El23
Изоляция	Ex21, Ex31	Ex12, Ex32	Ex13, Ex23

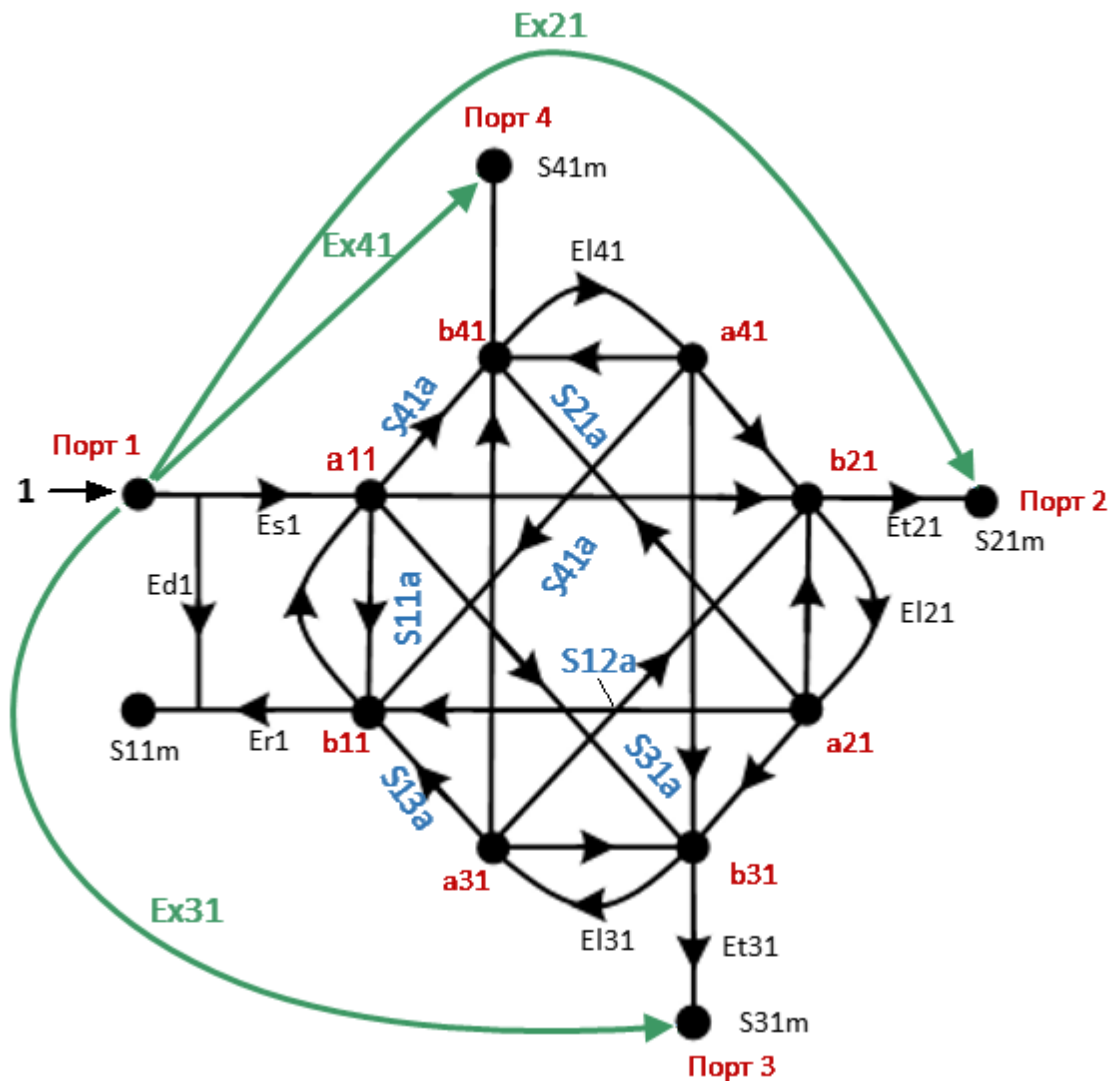
ПРИМЕЧАНИЕ Систематические ошибки приведены для тройки портов 1, 2 и 3. Для остальных троек портов (2, 3, 4; 1, 3, 4; ...) они аналогичны.

После определения всех двадцати семи ошибок в каждой частотной точке с помощью трехпортовой SOLT или TRL калибровки можно вычислить фактическое значение S-параметров: S11a, S21a, ... S33a.

ПРИМЕЧАНИЕ При использовании трёхпортовой калибровки, вычисление любого из S-параметров требует знания всех девяти измерений S11m, S21m, S31m, ... S33m, поэтому для обновления одного или всех S-параметров анализатор должен выполнить три сканирования, в которых каждый порт должен быть источником сигнала.

3.1.4 Четырехпортовая модель ошибок

При измерении четырехпортовых устройств используется четыре сигнальных графа. Каждый граф соответствует своему порту-источнику сигнала. Сигнальный граф отражающий влияние ошибок при подачи сигнала на порт 1, представлен на рисунке ниже.



$S_{11a}, S_{12a}, S_{13a}, S_{14a}, S_{21a}, S_{22a}, S_{23a}, S_{24a}, S_{31a}, S_{32a}, S_{33a}, S_{34a}, S_{41a}, S_{42a}, S_{43a}, S_{44a}$ — истинные значения параметров ИУ

$S_{11m}, S_{12m}, S_{13m}, S_{14m}, S_{21m}, S_{22m}, S_{23m}, S_{24m}, S_{31m}, S_{32m}, S_{33m}, S_{34m}, S_{41m}, S_{42m}, S_{43m}, S_{44m}$ — измеренные значения параметров ИУ

Рисунок 42 – Четырехпортовая модель ошибок анализатора

Для нормировки принято значение стимула, равное 1. Все значения, используемые в модели, являются комплексными. На результат измерения в четырехпортовой системе влияют сорок восемь систематических ошибок измерения.

В таблице ниже приведены систематические ошибки четырехпортовой модели.

Наименование	Источник сигнала			
	Порт 1	Порт 2	Порт 3	Порт 4
Направленность	Ed1	Ed2	Ed3	Ed4
Согласование источника	Es1	Es2	Es3	Es4
Трекинг отражения	Er1	Er2	Er3	Er4
Трекинг передачи	Et21, Et31, Et41	Et12, Et32, Et42	Et13, Et23, Et43	Et14, Et24, Et34
Согласование нагрузки	EI21, EI31, EI41	EI12, EI32, EI42	EI13, EI23, EI43	EI14, EI24, EI34
Изоляция	Ex21, Ex31, Ex41	Ex12, Ex32, Ex42	Ex13, Ex23, Ex43	Ex14, Ex24, Ex34

После определения всех сорока восьми ошибок в каждой частотной точке с помощью четырехпортовой SOLT или TRL калибровки можно вычислить фактическое значение S-параметров: S11a, S21a, ... S44a.

ПРИМЕЧАНИЕ При использовании четырёхпортовой калибровки, вычисление любого из S-параметров требует знания всех шестнадцати измерений S11m, S21m, ... S44m, поэтому для обновления одного или всех S-параметров анализатор должен выполнить четыре сканирования, в которых каждый порт должен быть источником сигнала.

Техническая поддержка

+ 7 (351) 729-97-77 (многоканальный)
support@planarchel.ru

Представительства

г. Москва

ул. Одесская, д. 2 Башня «А», 18 этаж, офис 107
+7 (495) 645-01-94

г. Санкт-Петербург

ул. Блохина, д. 9, офис 300В
+7 (812) 218-14-15

г. Новосибирск

ул. Добролюбова, д. 2а, офис 318
+7 (923) 229 0091



planarchel.ru
8 800 222 12 11
vna@planarchel.ru

г. Челябинск
ул. Елькина, д. 32
+7 (351) 72-99-777
