



Векторные анализаторы цепей серии Кобальт

Владимир Губа, Олеся Быкова, Ольга Мосина,
Александр Савин (г. Томск)

В декабре 2016 г. в государственный реестр средств измерений включена серия из пятнадцати новых векторных анализаторов цепей отечественной разработки и производства, перекрывающих частотный диапазон от 100 кГц до 110 ГГц.

На любом этапе разработки, производства и приёмки изделий СВЧ-электроники необходимо подтверждать качество продукции. Получить достоверные результаты и удовлетворить все вовлечённые стороны помогают поверенные средства измерений, которые должны находиться на производстве, в отделах технического контроля и метрологии, а также на территории заказчиков. Поверенным может быть только средство измерений утверждённого типа.

В декабре 2016 г. государственный реестр пополнился векторными анализаторами цепей серии Кобальт производства компании «Планар» (г. Челябинск). Испытания с целью утверждения типа проведены специалистами ФБУ «Ростест-Москва» [1].

Приборы позволяют проводить прецизионные измерения электрических параметров радиотехнических цепей и устройств в широком диапазоне частот. Анализаторы отличаются друг от друга верхней границей диапазона рабочих частот, количеством измерительных портов, расположенных на передней панели, наличием соединителей для прямого доступа к входам измерительных и опорных приёмников, а также наличием соединителей для подключения расширителей по частоте. В таблице приведена номенклатура и основные характеристики приборов.

Анализаторы состоят из измерительного блока, выполняющего функцию компаратора, и принадлежностей, к которым относятся измерительные кабели и переходы, а также средства калибровки. Совместно с кабелями для уменьшения риска их повреждения рекомендуется использовать адаптеры-переходы. Средства калибровки применяются для выполнения процедуры, позволяющей устранить неиде-

альность измерительного тракта при определении комплексных коэффициентов передачи и отражения. Для калибровки анализаторов могут использоваться автоматические калибровочные модули, наборы мер с резистивными согласованными нагрузками или с согласованными нагрузками с подвижным поглотителем, а также наборы мер с отрезками прецизионных линий передачи. Пользователь может применять коммерчески доступные принадлежности любых производителей. Рекомендации по подбору комплекта приведены в руководстве по эксплуатации [2]. Пользователю не требуется приобретать принадлежности с каждым отдельным прибором – допускается использовать уже имеющиеся на предприятии. Нужно лишь убедиться, что их метрологические характеристики соответствуют измерительной задаче.

РЕЖИМЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Анализаторы цепей серии Кобальт поддерживают различные режимы измерений:

- S-параметры;
- S-параметры с прямым доступом к приёмникам;
- S-параметры в расширенном диапазоне частот;
- балансные измерения;
- параметры устройств с переносом частоты;
- анализ и фильтрация во временной области;
- абсолютная мощность;
- линейность амплитудной характеристики;
- импеданс;
- напряжение постоянного тока;
- исключение/встраивание цепи.

Результаты отображаются в декартовой и полярной системах, а также на диаграмме Вольперта-Смита.

S-параметры

Схема измерений приведена на рисунке 1. Для исключения влияния устройств, не учтённых в процессе калибровки, можно вводить дополнительную электрическую задержку или программно исключать/встраивать электрические цепи согласно их моделям или данным из файлов описаний. Внесённые значения корректируют плоскость отсчёта измеряемых величин и способствуют повышению точности измерений. Программное обеспечение позволяет изменять значение характеристического импеданса измерительной системы. При изменении импеданса значения S-параметров исследуемых устройств пересчитываются автоматически. Используя функцию преобразования, можно представлять результаты измерений, как Z, Y или инверсные S-параметры.

S-параметры с прямым доступом к приёмникам

Некоторые из представленных приборов имеют переключки для прямого доступа к приёмникам (см. рис. 2). Подобная схема построения анализаторов позволяет выполнять специальные измерительные задачи.

К примеру, прямой доступ к приёмникам является необходимым условием для реализации систем с переменным импедансом (Load Pull Measurement Systems). Внешний вид измерительной системы показан на рисунке 3. Эти системы ориентированы на измерение входной и выходной мощности, коэффициентов передачи и эффективности при исследовании устройств, когда сопротивление источника сигнала и нагрузки отличаются от характеристического импеданса линии передачи. Системы хорошо зарекомендовали себя при разработке и производстве усилителей мощности СВЧ, включая отдельные транзисторы. Также они используются для определения и построения различных моделей на группы устройств и, соответственно, валидации таких моделей.

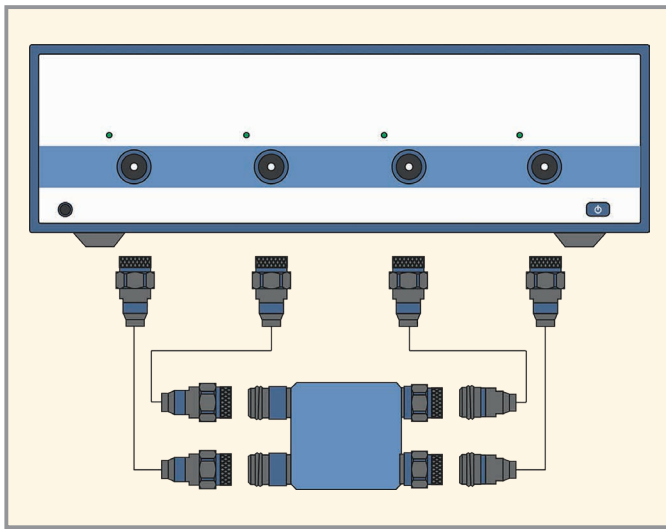


Рис. 1. Одновременное измерение шестнадцати S-параметров четырёхпортового устройства за одно подключение

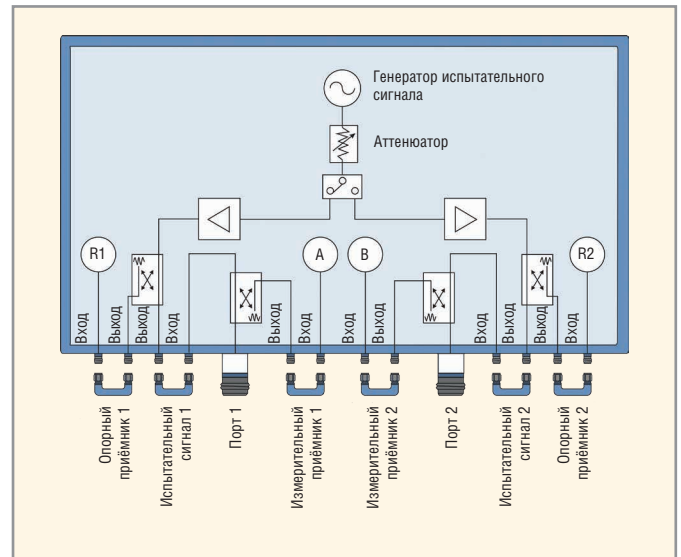


Рис. 2. Расположение перемычек для прямого доступа к приёмникам

Номенклатура и основные характеристики приборов

Анализатор	Диапазон частот; время измерений; количество портов	Выходная мощность; средний уровень шума; SKO трассы	Режимы измерений
C1205	От 100 кГц до 4,8 ГГц; 10 мкс; 2 порта, тип N	От -60 до 10 дБм; -143 дБм/Гц; 0,001 дБ	S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, временная область, напряжение
C1207	От 100 кГц до 7 ГГц; 10 мкс; 2 порта, тип N		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, временная область, напряжение
C1209	От 100 кГц до 9 ГГц; 10 мкс; 2 порта, тип N		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, временная область, напряжение
C2209	От 100 кГц до 9 ГГц; 10 мкс; 2 порта, тип N		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, прямой доступ к приёмникам, временная область, напряжение
C4209	От 100 кГц до 9 ГГц, расширение до 110 ГГц; 10 мкс; 2 порта, тип N		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, расширение диапазона частот, временная область, напряжение
C1409	От 100 кГц до 9 ГГц; 10 мкс; 4 порта, тип N		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, балансные измерения, временная область, напряжение
C2409	От 100 кГц до 9 ГГц; 10 мкс; 4 порта, тип N		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, прямой доступ к приёмникам, балансные измерения, временная область, напряжение
C4409	От 100 кГц до 9 ГГц, расширение до 110 ГГц; 10 мкс; 4 порта, тип N	S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, расширение диапазона частот, балансные измерения, временная область, напряжение	
C1214	От 100 кГц до 14 ГГц; 12 мкс; 2 порта, тип N	От -60 до 10 дБм; -133 дБм/Гц; 0,001 дБ	S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, временная область, напряжение
C1220	От 100 кГц до 20 ГГц; 12 мкс; 2 порта, NMD 3,5 мм		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, временная область, напряжение
C2220	От 100 кГц до 20 ГГц; 12 мкс; 2 порта, NMD 3,5 мм		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, прямой доступ к приёмникам, временная область, напряжение
C4220	От 100 кГц до 20 ГГц, расширение до 110 ГГц; 12 мкс; 2 порта, NMD 3,5 мм		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, расширение диапазона частот, временная область, напряжение
C1420	От 100 кГц до 20 ГГц; 12 мкс; 4 порта, NMD 3,5 мм		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, балансные измерения, временная область, напряжение
C2420	От 100 кГц до 20 ГГц; 12 мкс; 4 порта, NMD 3,5 мм		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, прямой доступ к приёмникам, балансные измерения, временная область, напряжение
C4420	От 100 кГц до 20 ГГц, расширение до 110 ГГц; 12 мкс; 4 порта, NMD 3,5 мм		S-параметры, линейность, импеданс, преобразование частоты, расширение диапазона частот, балансные измерения, временная область, напряжение

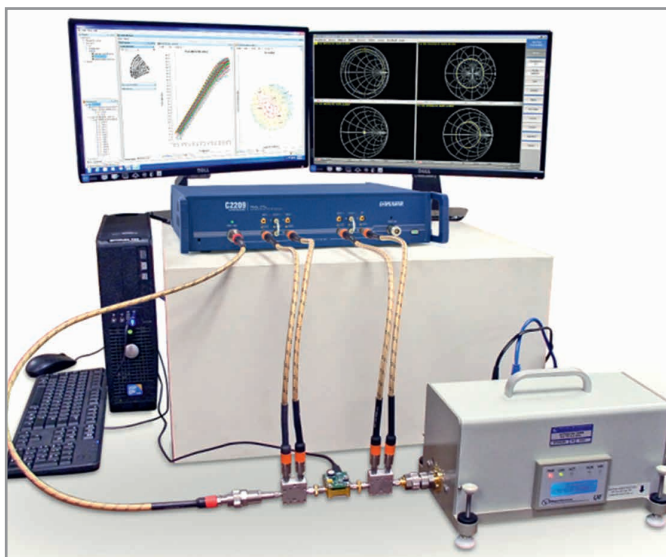


Рис. 3. Измерительная система с переменным импедансом

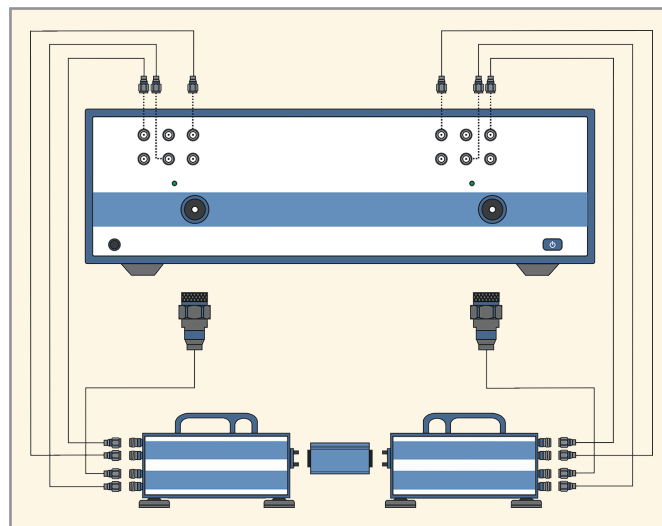


Рис. 4. Измерение S-параметров двухпортового устройства с использованием внешних расширителей

S-параметры в расширенном диапазоне частот

В линейке приборов представлены анализаторы с переключками для подключения расширителей по частоте. Расширители представляют собой внешние преобразователи, имеющие волноводные соединители и перекрывающие диапазон частот от 50 до 110 ГГц. Питание расширителей осуществляется от прибора. Схема измерений приведена на рисунке 4.

Балансные измерения

Функция балансных измерений преобразует небалансные S-параметры в их балансные аналоги путём объединения произвольной пары портов в логический балансный порт. Поддерживаются четыре конфигурации измеряемых устройств с различными комбинациями балансных и небалансных портов. Типы балансных цепей показаны на рисунке 5.

Измеряемые параметры: S-параметры в дифференциальном режиме, коэффициент

ослабления синфазной составляющей, дисбаланс.

Параметры устройств с переносом частоты

С помощью анализаторов цепей возможно выполнение измерений параметров устройств с переносом частоты.

Скалярный метод позволяет определять модуль коэффициента передачи смесителей и других устройств, у которых входная частота не равна выходной. Метод использует режим смещения, когда частота порта приёмника смещена относительно порта источника, и не требует применения внешних смесителей.

Комплексный коэффициент преобразования, конверсионные потери и групповое время запаздывания можно измерять векторным методом. Он требует применения внешнего смесителя и единого гетеродина для внешнего и исследуемого смесителей (см. рис. 6).

Функция подстройки частоты смещения позволяет автоматически подстраивать частоту, компенсируя погрешность установки внутреннего гетеродина в исследуемом смесителе.

Временная область

Приборы поддерживают анализ электрических параметров во временной области.

В программном обеспечении доступна функция преобразования данных из частотной области в отклик устройства во временной области (см. рис. 7). Можно выполнить расчёт оценки импульсной (режим видеосигнала или радиосигнала) или переходной (режим видеосигнала) харак-

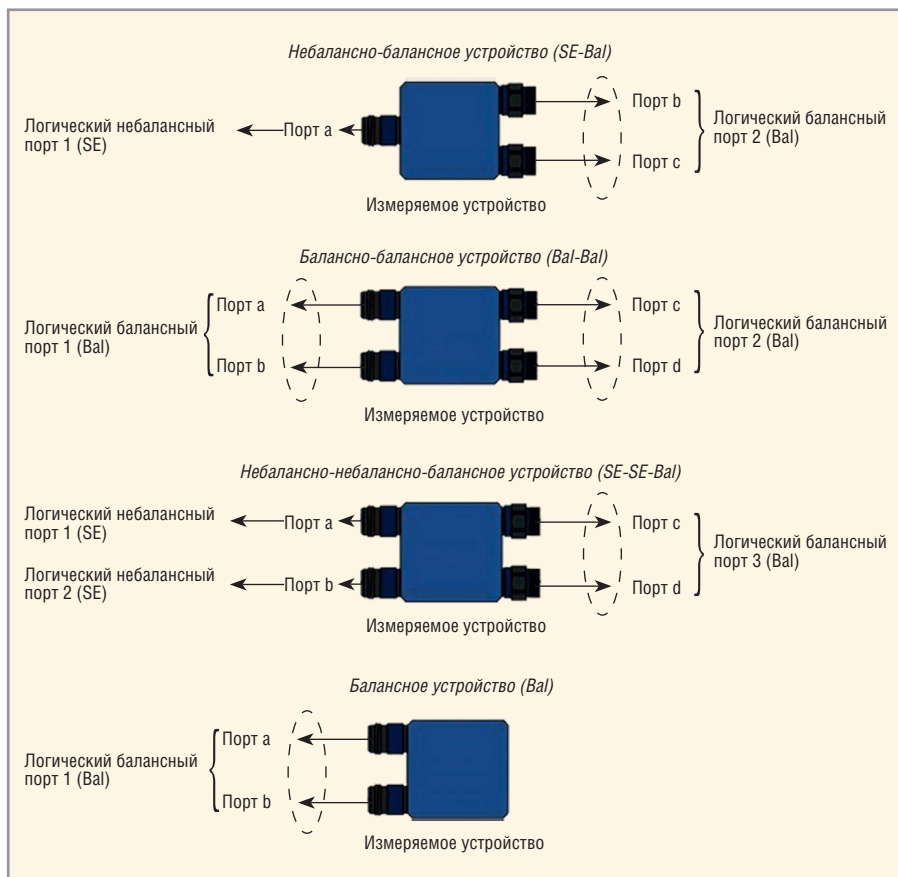


Рис. 5. Типы балансных цепей

теристик в рабочей полосе прибора. Для достижения компромисса между разрешающей способностью и уровнем паразитных боковых лепестков используются различные формы окон. Для устранения нежелательных откликов может применяться функция временной селекции.

ИНТЕРФЕЙС

Анализаторы имеют простой интерфейс, не требующий долговременно-го изучения. В программном обеспечении реализованы функции, упрощающие работу: маркерная система для поиска требуемых значений по заданному критерию, допусковый контроль, математическая и статистическая обработка, фильтрация, сохранение и восстановление измеренных данных и настройки органов управления. Важным преимуществом является возможность удалённого управления программным обеспечением пользователя, адаптированным под конкретные приложения. Используя возможности программирования, пользователь может самостоятельно выбрать, как применять прибор для решения собственных задач.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ АНАЛИЗАТОРОВ

Особое внимание уделено метрологическому обеспечению анализаторов: как способам представления погрешностей, так и автоматизации процесса поверки.

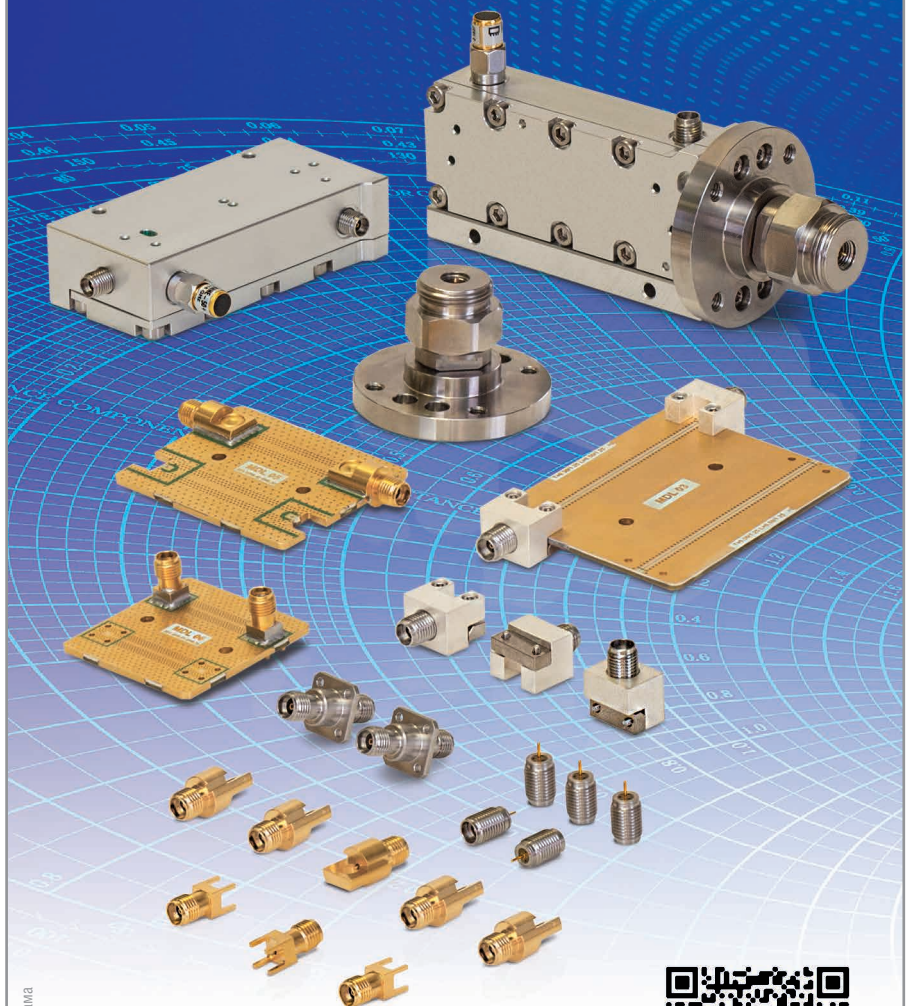
Погрешности измерений

Пределы абсолютной погрешности измерений коэффициентов передачи и отражения представлены в виде формул. Подобный подход привёл к единому способу описания погрешности и позволил расширить диапазоны измерений указанных величин. Аналитическая формулировка отражает математическую модель векторного анализатора и является более корректной с физической точки зрения.

Наряду с формулами в эксплуатационной документации приводятся альтернативные способы представления погрешности: в виде графиков и аппроксимирующих ступенчатых кривых. На рисунках 8 и 9 показаны два способа представления погрешностей коэффициентов отражения и передачи. Для обеспечения максимальной повторяемости результатов измерений даны соответствующие рекомендации по подключе-

Элементы СВЧ тракта

- Направленные ответвители
- Переходы панельные в тракте 3,5 мм
- Переходы в тракте 2,92 мм:
 - Блочные
 - Торцевые
 - Торцевые экранированные
 - Вертикальные экранированные



Реклама



ООО «НПК ТАИР»
+7 (3822) 901163

www.npktair.com
tairtomsk@gmail.com



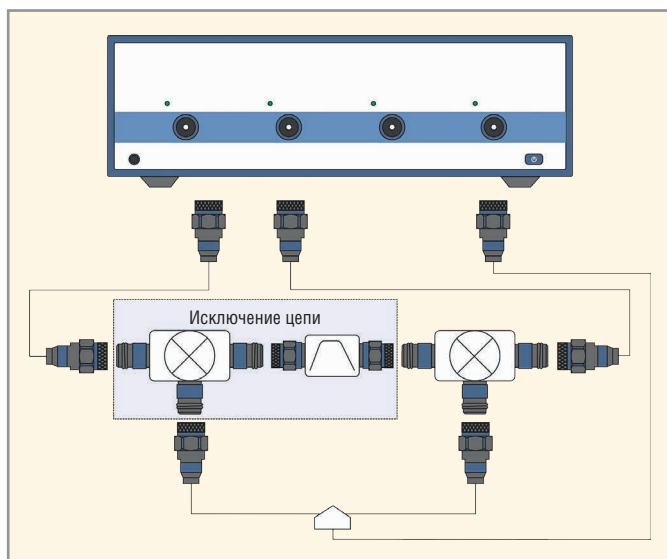


Рис. 6. Измерение параметров смесителя с помощью четырёхпортового прибора

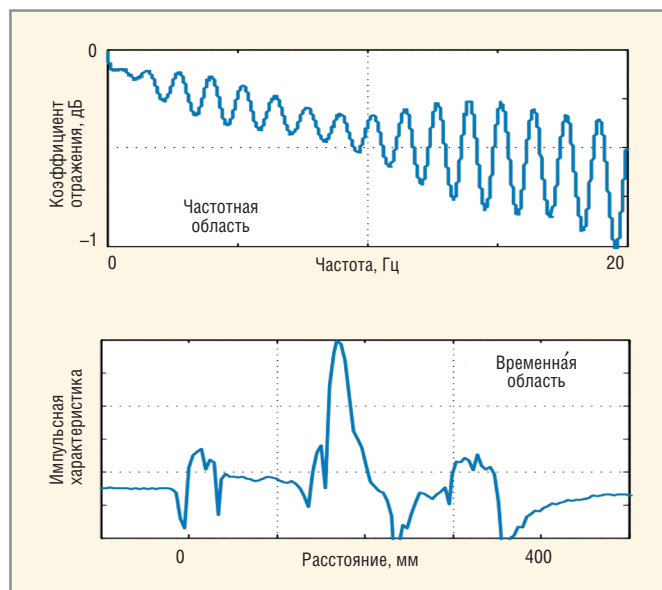


Рис. 7. Расчёт импульсной характеристики цепи

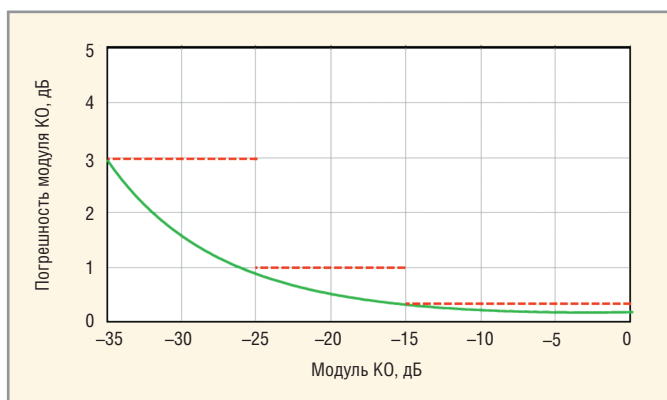


Рис. 8. Погрешность измерений модуля коэффициента отражения

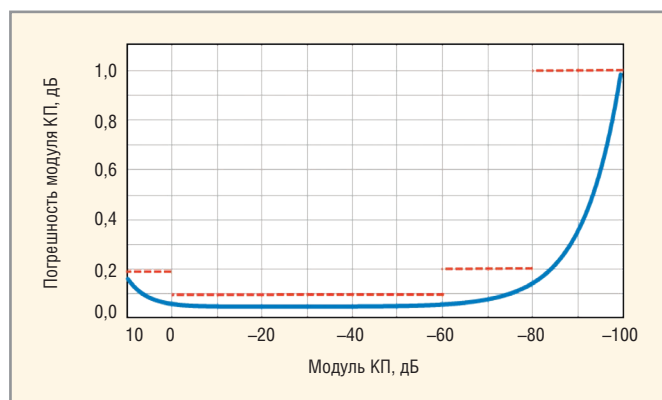


Рис. 9. Погрешность измерений модуля коэффициента передачи

нию устройств и оперативной проверке качества их соединителей.

VNA Performance Test

Было разработано специализированное программное обеспечение VNA Performance Test, позволяющее в любой момент времени провести верификацию прибора с требуемым комплектом принадлежностей для подтверждения его характеристик.

В программном обеспечении VNA Performance Test использованы распространённые и простые решения – кнопки, поля для ввода, таблицы и графики. Наличие встроенной инструкции позволяет выполнить проверку без обращения к руководствам по эксплуатации или иным документам. Случайные действия пользователя не приведут к утрате результатов измерений или сбою в работе.

За проверку приборов одного типа отвечает отдельный программный модуль с набором тестов и инструкций. Каждый модуль обладает общи-

ми чертами: внешний вид, основные функции и управляющие элементы, справка.

Программа автоматически устанавливает параметры анализатора, такие как частотный диапазон, количество точек по частоте, уровень выходной мощности и полосу пропускания фильтра промежуточной частоты.

VNA Performance Test предоставляет возможность проверки анализаторов в автоматическом режиме. Возможна также проверка и без использования автоматизации – вручную.

Форма представления результатов универсальна и соответствует рекомендациям международных документов по метрологии. VNA Performance Test отображает результаты измерений в виде таблиц и графиков. Все графики поддерживают возможность масштабирования. Для их анализа удобно использовать реализованные в программе маркеры. Полученные результаты могут быть сохранены в файл и/или напечатаны в форме протокола.

Заключение о соответствии формируется автоматически по результатам проведения каждой операции.

Программное обеспечение поддерживает несколько методов определения погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения, в зависимости от доступной эталонной базы.

- Метод 1 (метод сравнения) – с использованием эталонного набора калибровочных мер.
- Метод 2 (прямой) – с использованием верификационного набора мер.
- Метод 3 (прямой) – при помощи фиксированного аттенюатора, с ослаблением не менее 30 дБ, и нагрузки короткозамкнутой со смещением с известными метрологическими характеристиками (для сокращения количества аттенюаторов при проверке и имитации измерений в широком диапазоне коэффициента передачи измерения выполняются при двух уровнях выходной мощности).

- Метод 4 (прямой) – при помощи отдельных мер коэффициентов отражения с известными метрологическими характеристиками, такими как нагрузки согласованные, рассогласованные и/или полного отражения, параметры которых отличаются от мер при «калибровке» прибора.

С помощью прямых методов определяются абсолютные погрешности путём сравнения измеренных и действительных значений параметров исследуемых устройств. Методика измерений, основанная на методе сравнения калибровок, представлена в МИ 3411-2013. Она позволяет определять отдельные составляющие погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения. Принцип метода состоит в последовательном проведении двух калибровок одного и того же анализатора с помощью двух разных средств (эталонного и пользовательского наборов мер) и поэлементном сравнении полученных данных. МИ 3411-2013 также может быть использована для определения погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения для анализаторов в волново-

де с сечением, отличающимся от измерительных портов.

Автоматизация поверки, заложенная и опробованная на этапе испытаний, поможет быстрее проводить рутинные операции и анализировать полученные данные. Также за счёт автоматизации снижается не только суммарное время проверки прибора, но и требования к квалификации персонала. Сложные математические вычисления выполняются автоматически, без участия пользователя.

Ручной метод может быть использован при поверке анализаторов в ограниченном диапазоне их применения. В этом случае поверитель может самостоятельно назначать контролируемые точки или диапазоны, не противоречащие указанным в методике поверки. Фиксацию результатов измерений допускается проводить согласно требованиям и в форме, предусмотренной системой качества организации, выполняющей поверку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Векторные анализаторы цепей серии Кобальт зарегистрированы под

номером 65960-16 в реестре средств измерений [3]. Приборы могут быть поверены и полноценно эксплуатироваться на всех этапах разработки и производства СВЧ-электроники, включая работы по государственным контрактам.

По своим характеристикам, включая стабильность, динамический диапазон и скорость измерений, векторные анализаторы цепей серии Кобальт не уступают аналогам от известных зарубежных производителей и, в некоторых случаях, даже превосходят их.

ЛИТЕРАТУРА

1. Испытано! Анализаторы цепей векторные. www.rostest.ru/news/72264/.
2. Анализаторы цепей векторные. Руководство по эксплуатации. www.planarchel.ru/Products/Measurement%20instrument/c1220/user_manual_Cobalt_part1_rus.pdf.
3. Свидетельство об утверждении типа средств измерений. Анализаторы цепей векторные C1205, C1207, C1209, C1214, C1220, C1409, C1420, C2209, C2409, C2220, C2420, C4209, C4409, C4220, C4420. www.planarchel.ru/sertifikaty/certificate_cobalt.pdf.

