

Эффективная верификация анализаторов цепей

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

Традиционно верификация векторных анализаторов цепей требует наличия полного комплекта оригинальных комплектующих: кабелей, переходов и дорогостоящих наборов мер. Этим пользуются многие изготовители, продавая анализатор с дополнительными наборами, которые используются редко. Такая ситуация приводит к излишней финансовой нагрузке на потребителя. Снизить эту нагрузку поможет новый взгляд на верификацию анализаторов.

С помощью термина «верификация» можно характеризовать работы, проводимые при поверке, калибровке или контроле качества функционирования приборов на рабочем месте. Технически верификация – это процесс подтверждения основных метрологических характеристик анализаторов. Самое важное и сложное в верификации – это определение погрешности измерений комплексных коэффициентов передачи и отражения (элементов матрицы рассеяния или S-параметров).

Демонстрация предлагаемой процедуры верификации проводилась на примере отечественного прецизионного векторного анализатора цепей ОБЗОР-804/1 производства компании ПЛАНАР [1]. Диапазон рабочих частот прибора от 300 кГц до 8 ГГц, тип соединителей измерительных портов – N, розетка, волновое сопротивление 50 Ом.

После выполнения калибровки и применения коррекции модель анализатора

можно представить в виде идеального измерителя и пары искажающих адаптеров (см. рис. 1). Опорные плоскости, относительно которых осуществляется отсчёт модуля и фазы измеряемой комплексной величины (S-параметра), определяют плоскости измерений без систематической погрешности.

Систематическая погрешность измерений возникает из-за наличия остаточных искажающих адаптеров, которые появляются вследствие дрейфа характеристик прибора и неидеальности мер, используемых при калибровке. Свойства адаптеров определены их S-параметрами, которые обозначены как E_i^{eff} . Верхний индекс «*eff*» указывает на то, что рассматривается модель анализатора после калибровки и применения коррекции измерений. Если верхний индекс отсутствует, то считается, что параметры относятся к некалиброванному прибору. Более подробно теоретические основы вектор-

ных анализаторов цепей представлены в работе «Теоретические основы векторного анализа цепей в соответствии с МИ 3411-2013» [2].

При верификации детально исследуются такие характеристики, как:

- аппаратные параметры анализатора до калибровки и коррекции E ;
- стабильность аппаратных параметров ΔE ;
- погрешность измерений коэффициента отражения;
- погрешность измерений коэффициента передачи;
- нелинейность тракта отражения;
- нелинейность тракта передачи.

У некоторых пользователей может сложиться впечатление, что для проверки всех параметров требуется огромное количество прецизионного оборудования и много времени. На самом деле, это не так. Используя только три калибровочные меры, один аттенуатор 40 дБ и короткозамкнутую нагрузку, можно определить все необходимые величины. Следует лишь выбрать оптимальный порядок и алгоритм измерений.

Последовательность действий показана на рисунке 2. Для упрощения работы при верификации специалистами компании НПК ТАИР разработано специальное программное обеспечение VNA Performance Test (VNAPT) [3]. Внешний вид программы представлен на рисунке 3.

Процедура начинается с последовательного выполнения двух полных однопортовых калибровок первого порта анализатора. Обычно для реализации калибровки используются три меры коэффициента отражения: нагрузка холостого хода (XX), короткозамкнутая (КЗ) и согласованная (СН) [4]. Плоскость калибровки, или опорная плоскость, находится на выходе соединителя первого порта [5]. Результаты каждой калибровки в виде значений $E_i(f)$ сохраняются для дальнейших расчётов, где f – частота измерений. На практике вместо $E_i(f)$ часто используют специальные обозначения: направленность $E_D(f)$, согласование источника $E_S(f)$ и трекинг отражения $E_R(f)$. По данным двух калибровок определяется стабильность параметров первого порта $\Delta E_i(f)$ с помощью модифицированного метода сравнения [2].



Рис. 1. Внешний вид и модель векторного анализатора цепей ОБЗОР-804/1:

E_D – направленность, E_S – согласование источника, E_L – согласование нагрузки, E_R – трекинг отражения, E_T – трекинг передачи, S_{11} , S_{12} , S_{21} и S_{22} – элементы матрицы рассеяния исследуемого устройства

Аналогичным образом выполняются измерения для второго порта анализатора. Определяются и сохраняются его аппаратные (нескорректированные) параметры и их стабильность.

На втором этапе верификации к измерительным портам анализатора подключается фазостабилизированный кабель СВЧ, который выполняет функцию меры перемены. Измерение параметров кабеля выполняется при двух уровнях выходной мощности: номинальной, установленной перед верификацией, и максимальной, согласно эксплуатационной документации. Нелинейность тракта определяется как отношение коэффициентов передачи кабеля СВЧ без коррекции при разной выходной мощности. Далее при номинальной мощности вычисляются трекинг передачи $E_r(f)$ и согласование нагрузки $E_L(f)$ для двух направлений зондирования источника сигнала в соответствии с калибровкой UXYZ (неизвестная переключатель) семейства TRL [4, 6]. Для расчёта необходимо использовать результаты первых однопортовых калибровок обоих пор-

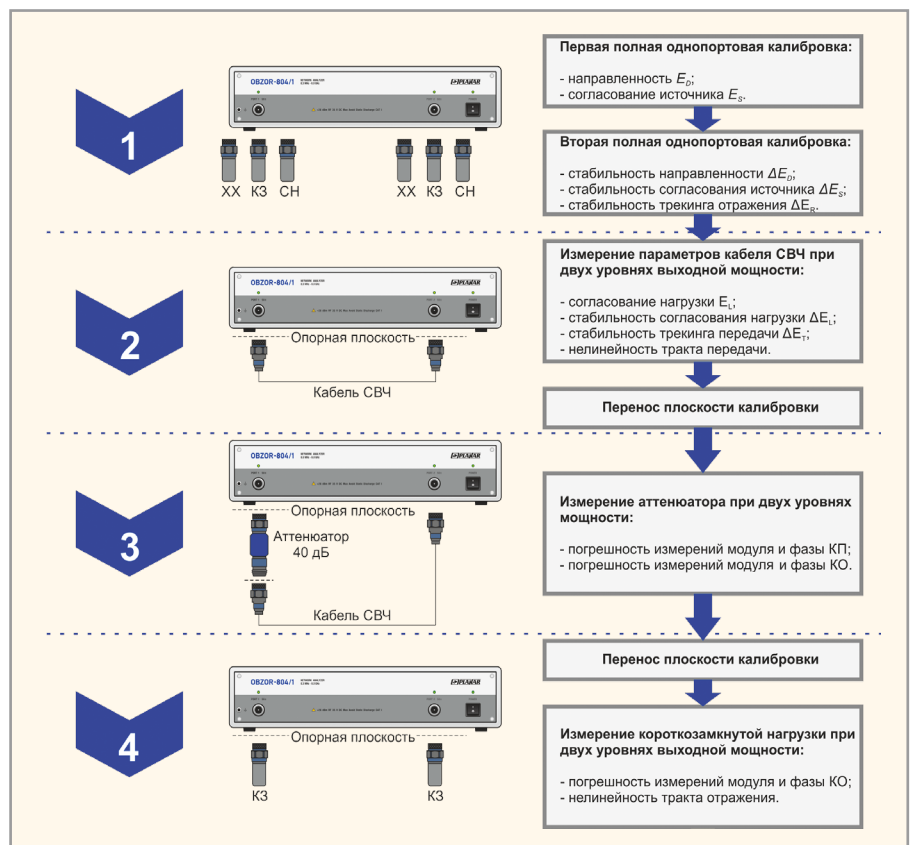


Рис. 2. Последовательность действий при верификации

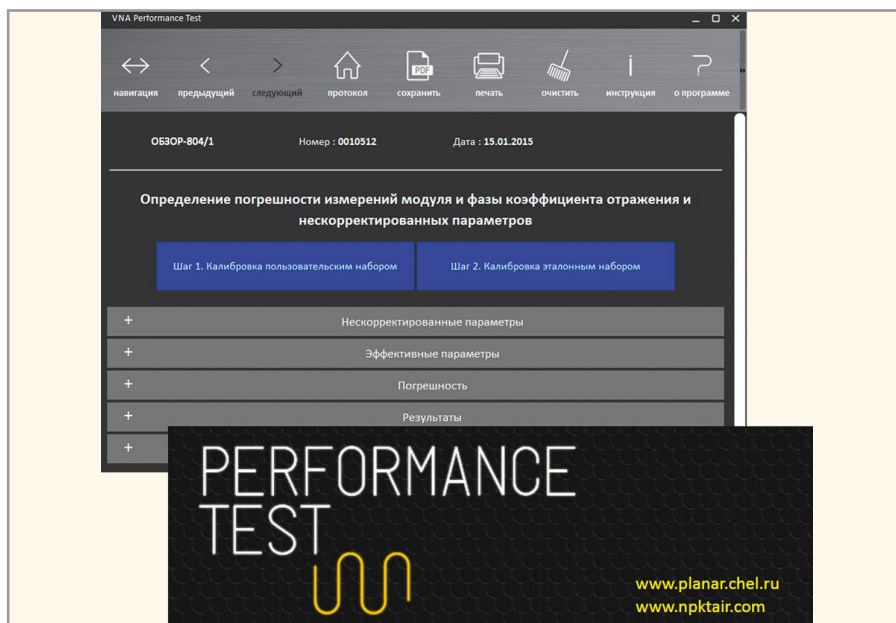


Рис. 3. Программное обеспечение VNA Performance Test

тов анализатора, выполненных на первом этапе верификации.

На втором этапе также вычисляются стабильности согласования нагрузки $\Delta E_r(f)$ и трекинга передачи $\Delta E_t(f)$ с помощью модифицированного метода сравнения. Для его реализации необходимо рассчитать параметры искажающих адаптеров $E_r(f)$ и $E_t(f)$, используя результаты вторых однопортовых калибровок.

Отметим, что после выполнения калибровки UXYZ опорные плоскости находятся на выходе соединителей измерительных портов анализатора. Таким образом, все найденные параметры E_r и ΔE_r характеризуют исключительно качество прибора.

Второй этап верификации заканчивается переносом плоскости калибровки на один из выходов кабеля СВЧ, к которому планируется подключать аттенюатор (см. рис. 2). Перенос осуществляется программно и не требует дополнительных измерений. Для этого следует реализовать калибровку вида TXYZ семейства TRL [6]. В качестве матрицы передачи переключки при расчёте используется единичная матрица вида $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, которая задаёт модель непосредственного соединения измерительного порта анализатора и кабеля СВЧ.

На третьем этапе верификации, после коррекции TXYZ и переноса плоскости калибровки, подключается аттенюатор 40 дБ, как это показано на рисунке 2. Измерение параметров S_{21} , S_{12} и S_{11} аттенюатора выполняется при двух уровнях выходной мощности: номинальной и уменьшенной на 20 дБ. Смещение мощности относительно номи-

нального значения расширяет диапазон проверки коэффициента передачи при верификации.

Четвёртый заключительный этап верификации начинается с переноса плоскости калибровки. После выполнения коррекции UXYZ по результатам предыдущих измерений, к портам анализатора, вместо кабеля СВЧ, последовательно подключается нагрузка короткозамкнутая, как указано на рисунке 2. Измерение S_{11} и S_{22} нагрузки проводится при двух уровнях выходной мощности: номинальной и максимальной. Нелинейность определяется как отношение коэффициентов отражения нагрузки для каждого порта при разной выходной мощности. При номинальной мощности выполняется расчёт абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов отражения S_{11} и S_{22} , как разность измеренного и действительного (известного) значений нагрузок на каждой частоте.

Таким образом, за несколько действий, при минимальном количестве мер и подключений, определяются присутствующие анализатору ключевые характеристики, к которым относятся погрешности измерений коэффициентов передачи и отражения. При этом отсутствует потребность в наличии полного комплекта анализатора для верификации.

Отметим, что полученные характеристики определяют максимальную достижимую точность измерений с помощью анализатора. Использование любых дополнительных кабелей и переходов будет лишь увеличивать погрешность. Найденных характеристик достаточно для объективной

оценки качества и сравнения приборов различных изготовителей.

Многолетний опыт разработки и производства векторных анализаторов цепей, глубокое понимание их математических моделей совместно с изучением вопросов распространения сигналов по внутренним электрическим цепям позволили разработать альтернативный метод верификации. Основным преимуществом предлагаемого подхода является упрощение и снижение стоимости работ за счёт:

- корректного выбора эталонного оборудования;
- снижения требований к квалификации операторов;
- уменьшения ошибок операторов;
- автоматизации измерений.

Несмотря на кажущуюся сложность представленной процедуры, с помощью разработанного программного обеспечения [3] можно быстро и качественно выполнить верификацию используемого прибора.

Статья будет полезной радиоинженерам и метрологам, чья деятельность связана с использованием анализаторов на этапе разработки, производства или приёмки электронных изделий. Предлагаемое решение позволит значительно упростить процедуру проверки и сделать её доступной широкой аудитории пользователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Векторный анализатор цепей ОБОЗОР-804/1. Руководство по эксплуатации. www.planar.chel.ru/Products/Measurement%20instrument/obzor-804/.
2. Теоретические основы векторного анализа цепей в соответствии с МИ 3411-2013. www.npktair.com/sites/default/files/vna.pdf.
3. Метрологическое программное обеспечение VNA Performance Test. Руководство по применению. vnapt.tiwri.com.
4. Губа В.Г., Ладур А.А., Савин А.А. Классификация и анализ методов калибровки векторных анализаторов цепей. Тез. докл. Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2011. № 2 (24). С. 149–155.
5. IEEE Std 287-2007 IEEE Standard for Precision Coaxial Connectors (DC to 110 GHz). www.ieeeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4317507&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F4317505%2F4317506%2F04317507.pdf%3Ftp%3D%26isnumber%3D4317506%26arnumber%3D4317507.
6. Network Analyzer Error Models and Calibration Methods by Doug Rytting. Agilent Technologies.

