

## Проверка сложных компонентов и поиск неисправностей с помощью анализатора цепей

Тестирование и диагностика электронных узлов и компонентов, применяемых в современных системах связи и РЛС, может оказаться очень сложной задачей. Для ее решения может потребоваться измерение характеристик различных устройств в широком частотном диапазоне. Зачастую для ВЧ-устройств приходится измерять такие параметры, как вносимые потери и потери на отражение, используя для этого свипирование по частоте. Если устройство или система не отвечает требованиям по техническим характеристикам, инженер должен выполнить диагностику, выявить и заменить неисправные компоненты для восстановления функциональности и достижения нужных параметров. Этот процесс может занимать много времени и не исключает ошибки. Альтернативная методика, доступная современным инженерам, заключается в выполнении анализа во временной области с помощью векторного анализатора цепей (VNA). Измерения во временной области позволяют оценить уровень проблемы и локализовать ее, упрощая тем самым процесс диагностики и помогая инженерам правильно оценить характеристики своих устройств.

Афси МОАВЕНИ (Afsi MOAVENI)

### Основы измерений во временной области

Измерения во временной области играют важную роль, помогая инженерам выявлять причины проблем в сложных современных электронных системах. Чтобы понять, как это делается, необходимо исследовать взаимосвязь между измерениями в частотной области и преобразованиями во временную область.

Анализ во временной области полезен для определения рассогласования в линиях передачи. Когда ВЧ- или СВЧ-сигнал распространяется по линии передачи, часть энергии сигнала отражается от неоднородностей или дефектов этой линии. С помощью функции анализа во временной области можно установить местоположение этих дефектов по оси времени  $X$  и амплитуду отраженного сигнала (или  $S_{11}$ ) по оси  $Y$ . Зная скорость распространения сигнала в линии, можно определить расстояния до найденных дефектов.

Измерения любого одно- или двухпортового устройства можно представить во временной или в частотной области. Следовательно, если измерение выполнено в одной области, его результаты можно преобразовать в другую область с помощью преобразования Фурье. ПФ предоставляет универсальный метод решения проблем, что дает возможность инженерам исследовать результаты измерения с совершенно

разных точек зрения. Если измерение выполнялось во временной области, преобразование Фурье позволяет представить результаты в частотной области. И наоборот, если данные получены в частотной области, обратное преобразование Фурье (ОПФ) позволяет пересчитать их во временную область. Возможность одновременного отображения данных во временной и частотной областях является мощным инструментом для анализа и решения проблем. Для доступа к таким возможностям необходим измерительный прибор с поддержкой соответствующей функциональности.

### Доступ во временную область

Хотя и динамический рефлектометр (TDR), и векторный анализатор цепей способны отображать дефекты линии передачи во временной области, микропрограммное обеспечение анализатора поддерживает математические функции ОПФ. В результате векторный анализатор цепей позволяет отображать данные во временной области, в частотной области или в обеих областях.

Векторный анализатор цепей в первую очередь является прибором, работающим в частотной области, он может измерять характеристики отражения и передачи одно- и двухпортовых устройств. Используя скорректированные данные, измеренные в частотной области, анализатор позволяет рассчитать



Рис. 1. Ручной комбинированный анализатор Agilent FieldFox

отклик схемы на импульс или на перепад с помощью ОПФ и отобразить эти характеристики в виде зависимости от времени. Поскольку векторный анализатор цепей использует узкополосные измерительные приемники, его динамический диапазон обычно шире, чем у динамических рефлектометров на основе осциллографа. Кроме того, анализатор имеет

функцию измерения во временной области для устройств с ограниченной полосой пропускания. Некоторые векторные анализаторы цепей могут даже выступать в роли анализаторов антенно-фидерных систем (АФС) (рис. 1). Однако его также можно использовать в качестве анализатора спектра и анализатора цепей. Кроме того, он предоставляет дополнительную функциональность измерителя мощности, независимого генератора сигналов, векторного вольтметра, анализатора помех, регулируемого источника постоянного тока и GPS-приемника. Работая в режиме анализатора АФС, векторный анализатор цепей может выполнять преобразование из частотной во временную область, одновременно вычисляя физическое расстояние до точки повреждения. Такая функциональность помогает инженерам быстро выявлять повреждение линий передачи в полевых условиях.

### Пример измерения с помощью рупорной антенны

В качестве примера рассмотрим схему, показанную на рис. 2. Она используется для исследования результатов эфирных измерений в частотной и временной областях с помощью рупорной волноводной антенны X-диапазона и отдельной металлической пластины, расположенной возле антенны. Рупорная антенна с большим коэффициентом усиления подключена коротким отрезком волновода WR-90 к волноводно-коаксиальному переходу, обеспечивающему соединение с векторным анализатором цепей. Анализатор откалиброван по отраженному сигналу (S11) в плоскости подключения перехода к порту прибора. Он измеряет влияние всех компонентов, показанных на рис. 2, а также влияние других объектов окружающей среды. Металлическая пластина площадью 0,3 м<sup>2</sup> изготовлена из алюминия и установлена на штативе перед антенной. Расстояние от металлической пластины до антенны изменяют, чтобы исследовать характеристики в частотной и временной областях.

На рис. 3а показана измеренная частотная характеристика системы в трех ситуациях: две с металлической пластиной возле антенны и одна без нее. Желтая кривая соответствует измерению без металлической пластины. Измеренная характеристика S11 демонстрирует

некоторые пульсации, вызванные взаимодействием между разными линиями передачи и отражениями от окружающих объектов. Синяя кривая показывает частотную характеристику с металлической пластиной, установленной на расстоянии 1,7 м от рупорной антенны. Обратите внимание на большую пульсацию S11 по сравнению с ситуацией при отсутствии пластины. Оранжевая кривая соответствует случаю, когда пластина установлена на расстоянии 1,2 м от антенны: пульсации становятся еще больше, поскольку сигнал, отраженный от антенны, имеет при этом большую амплитуду.

Хотя расположенный вблизи антенны металлический предмет может отрицательно влиять на характеристики системы (выводя их за допустимые пределы), исследование одной только частотной характеристики не дает глубокого понимания исходных причин проблемы. Поэтому важную роль играет исследование во временной области.

На рис. 3б показана временная характеристика той же антенной системы, полученная с помощью анализатора FieldFox, обладающего функциями анализа во временной области. При измерении без металлической пластины (желтая кривая) пики, связанные с отражением сигнала от окружающих объектов, малы по сравнению с пиками от перехода и антенны. Это измерение дает хорошую точку отсчета при установке новой системы и подходит для сравнения по мере добавления в систему новых антенн и конструктивных элементов.

Также на рисунке представлена характеристика во временной области, соответствующая расположению металлической пластины вблизи антенны. На расстоянии 1,7 м (синяя кривая) измерение показало большой пик, вызванный отражением от металлической пластины. Меньший пик справа соответствует отражению от ножек штатива. Если придвинуть штатив с пластиной до 1,2 м (оранжевая кривая), характеристика во временной области показывает эквивалентный сдвиг этих пиков во времени. Эти измерения демонстрируют, что пики, связанные с переходом и с антенной, являются статическими, поскольку эти компоненты во время тестирования оставались неизменными. Кроме того, при приближении пластины к антенне наблюдается заметное увеличение амплитуды пика, связанного с пластиной. Это происходит из-за уменьшения потерь в среде, поскольку сигнал проходит меньшее расстояние.

### Применение стробирования для получения частотной характеристики без влияния окружающих объектов

В примере с рупорной антенной неравномерность частотной характеристики обусловлена отражениями от окружающих объектов. В некоторых случаях это необходимо для получения параметров системы без влияния окружающих объектов. В такой ситуации очень полезной может оказаться функция стробирования во временной области, которая отфильтровывает конкретные отражения. В сущ-

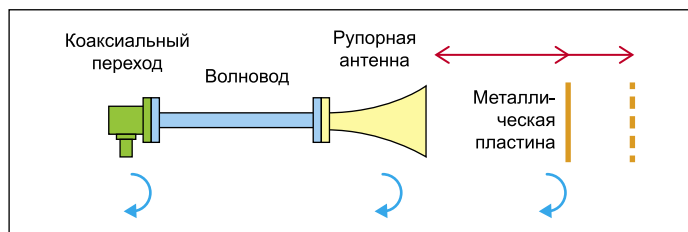


Рис. 2. Схема, используемая для выполнения эфирных измерений в частотной и временной областях с помощью рупорной антенны X-диапазона

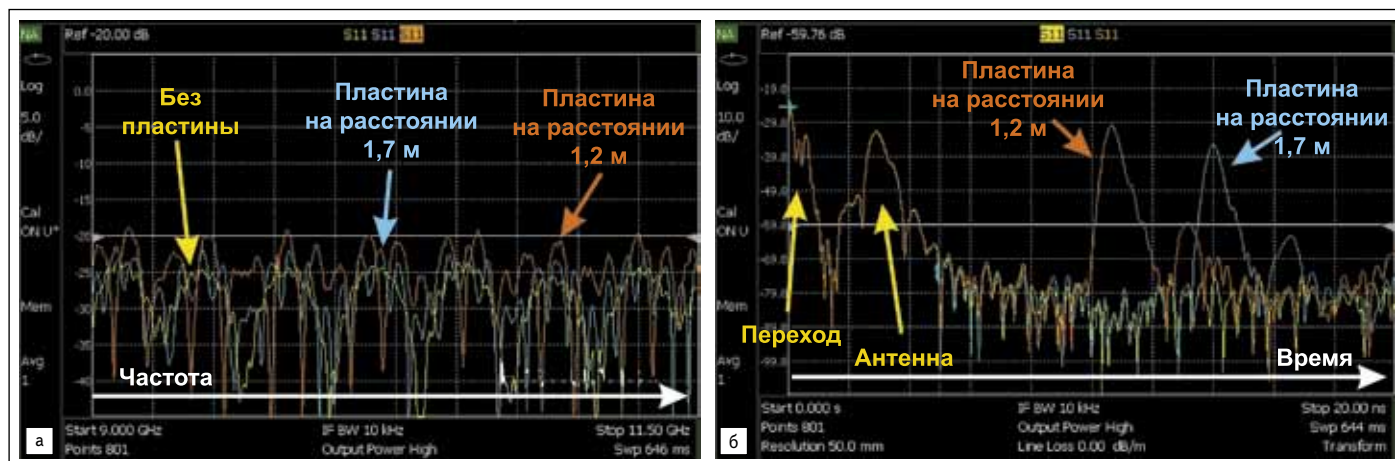


Рис. 3. Измеренная передаточная характеристика антенны X-диапазона при трех условиях измерения: а) в частотной области; б) во временной области

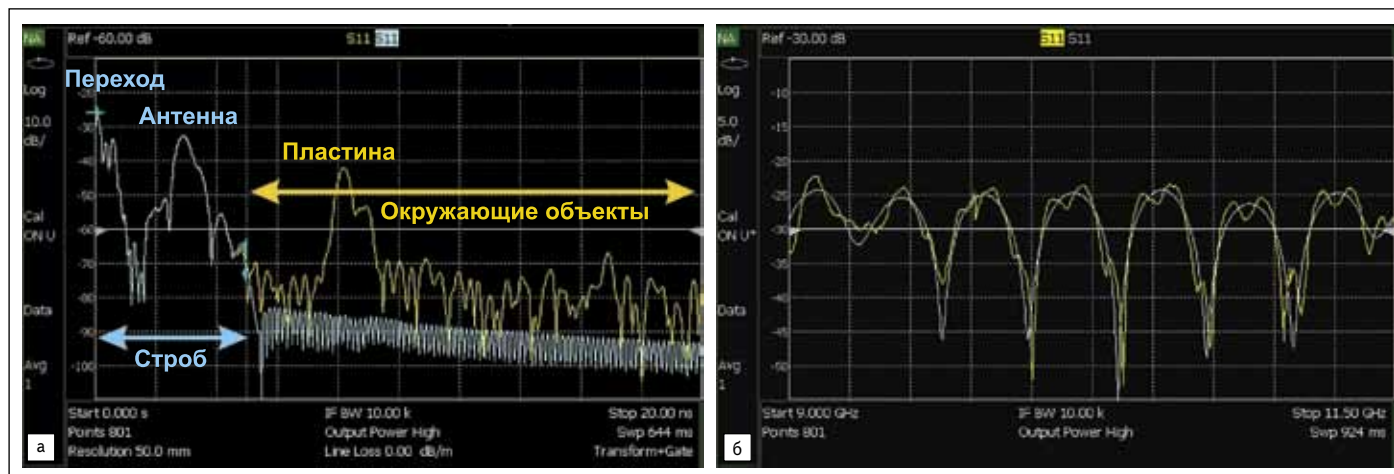


Рис. 4. Характеристики антенной системы X-диапазона, полученные с функцией стробирования и без нее: а) во временной области; б) в частотной области

ности, стробирование создает временной фильтр, который удаляет нежелательные отражения из временной характеристики. После устранения нежелательной реакции можно наблюдать частотную характеристику оставшихся устройств.

Теперь продолжим рассмотрение примера с антенной. На рис. 4а показана характеристика во временной области, полученная с функцией стробирования и без нее. В данном случае был настроен полосовой фильтр, который устраняет влияние металлической пластины и окружающих объектов. Желтая кривая соответствует исходному измерению и содержит пик отражения от металлической пластины. Синяя кривая показывает характеристику во временной области с полосовым фильтром, отфильтровывающим все сигналы справа от антенны. При использовании этого полосового фильтра вре-

менная характеристика содержит только отражения от перехода и антенны. Кроме того, с помощью режекторного фильтра можно удалить одиночный пик или группу пиков.

На рис. 4б показано сравнение исходной характеристики, включающей отражения от пластины и окружающих объектов (желтая кривая), с характеристикой, полученной после применения стробирующего фильтра (синяя кривая). На графике характеристики после применения стробирования наблюдается снижение пульсаций в измеряемом диапазоне частот благодаря подавлению отражений от окружающих объектов. Стробирование является очень мощным инструментом для исследования параметров отражения и передачи компонентов и систем. Оно позволяет удалять нежелательные составляющие из измерений в любой области.

## Заключение

Хотя измерения в частотной области незаменимы для получения информации о функционировании системы, измерения во временной области очень важны для выявления исходных причин любых проблем (например, местоположения и масштаба проблемы). Ручной векторный анализатор цепей способен отображать данные, полученные в частотной и временной областях, а также временные характеристики одно- и двухпортовых компонентов и систем — и все это он может делать в полевых условиях. Такие возможности очень ценны для радиоинженеров, тестирующих и ремонтирующих сложные компоненты и узлы, предназначенные для применения в современных системах связи и РЛС.