НОВАЯ АРХИТЕКТУРА ВЕКТОРНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ЦЕПЕЙ: КАК ПОВЫСИТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Д.Боррилл

Архитектура векторных анализаторов цепей (ВАЦ) может базироваться на использовании смесителей либо стробоскопических преобразователей (семплеров). Традиционные дискретные ВАЦ, в которых семплеры коммутируются импульсами, генерируемыми в цепи диода с накоплением заряда (ДНЗ), имеют ограниченный динамический диапазон и не отличаются высокой стабильностью. Альтернативная архитектура предусматривает использование преобразователей на основе нелинейной линии передачи (НЛП). У НЛП-преобразователей есть ряд преимуществ: они не только упрощают архитектуру векторных анализаторов, но и снижают их стоимость. Компания Anritsu использует технологию на основе НЛП для создания сверхкомпактных рефлектометров, которые отличаются меньшими потерями, более высокой временной и температурной стабильностью. Рассмотрим особенности этой перспективной архитектуры и сравним ее с традиционными методами построения ВАЦ.

АРХИТЕКТУРА ТРАДИЦИОННЫХ ДИСКРЕТНЫХ ВАЦ

В векторных анализаторах цепей преобразование сигналов с понижением частоты осуществляется с помощью семплеров, смесителей на гармониках или комбинации этих элементов. Указанные компоненты играют ключевую роль в ВАЦ, поскольку определяют такие параметры, как эффективность преобразования, компрессия приемника, развязка между измерительными каналами и генерация паразитных сигналов на портах испытуемого устройства.

При работе с радиочастотными сигналами в качестве понижающего преобразователя обычно используют смесители. Главным образом это связано с тем, что в смесителях применяется упрощенная гетеродинная схема, а также реализуется более эффективный контроль паразитных сигналов.

Однако при работе в миллиметровом и СВЧ-диапазоне (когда большое значение имеют компрессия приемника и стоимость системы) предпочтение отдается стробоскопическим преобразователям на гармониках. Традиционно в ВАЦ, стробоскопических осциллографах и частотомерах для измерений в СВЧ-диапазоне в качестве ключей используются диоды Шоттки, а для генерации импульсов – диоды с накоплением заряда (ДНЗ).

В дискретных ВАЦ на базе диодов с накоплением заряда динамический диапазон измерений часто ограничен полосой пропускания компонентов, применяемых для развязки измерительных каналов (рис.1).

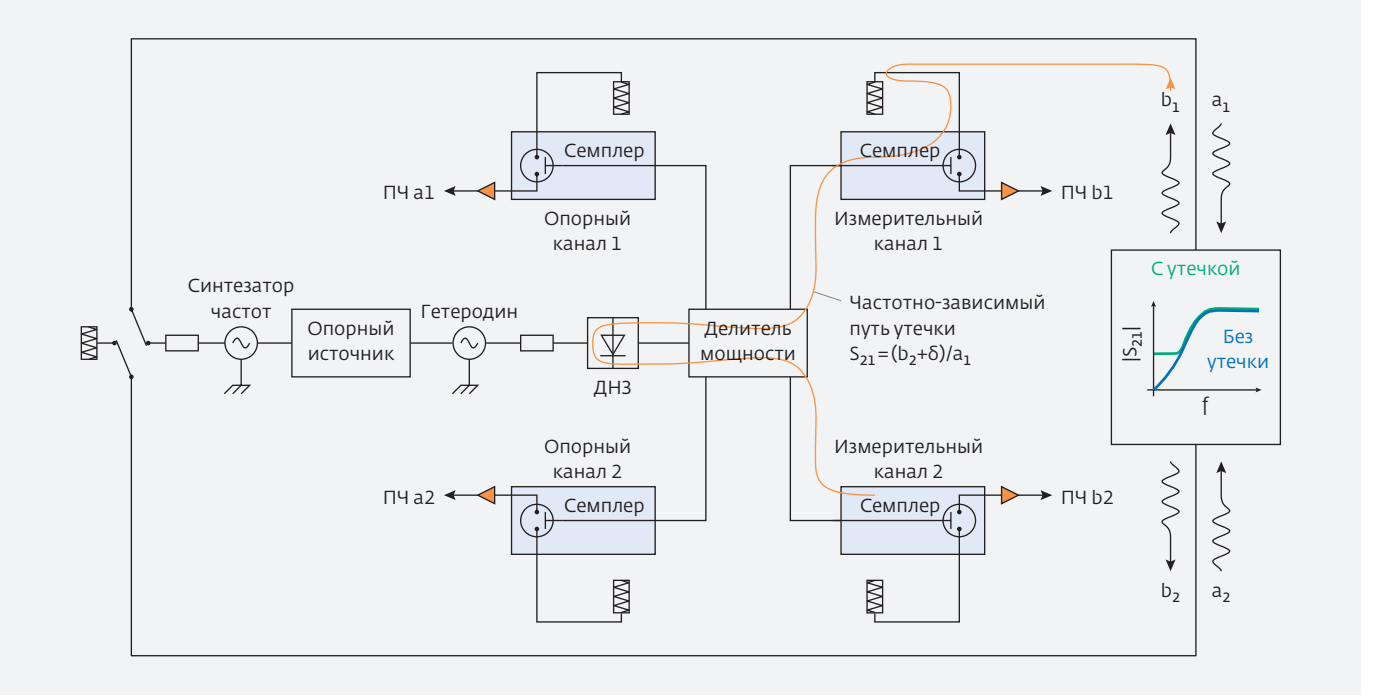

Рис.1. Пути утечки сигналов между измерительными каналами в ВАЦ на базе диодов с накоплением заряда

Для подавления утечки сигналов в таких ВАЦ используются широкополосные компоненты в выходных цепях делителя мощности. Более того, поскольку эти сигналы – частотно-зависимые, их невозможно устранить путем калибровки. В результате, динамический диапазон сужается. Ограничение динамического диапазона затрудняет снятие характеристик устройств с высоким коэффициентом отражения (например, фильтров верхних частот), а также устройств, в которых нужно измерить частотную зависимость слабосвязанных сигналов (например, перекрестное затухание).

Пользователям также приходится мириться с низкой стабильностью ВАЦ (как кратковременной, так и долговременной) при широкополосных измерениях в следующих случаях:

- в крупных измерительных комплексах, содержащих разнообразные дискретные компоненты (рефлектометры, приемники, устройства формирования сигнала, соединительные кабели, волноводы и т.п.);
- при измерениях схем с высокочастотным мультиплексированием;
- при измерениях сложных приемных схем, например, преобразователей частоты гармоник или сложных гетеродинных распределительных цепей.

При измерениях в миллиметровом диапазоне значительно более эффективной по сравнению с традиционной архитектурой ВАЦ оказывается технология нелинейных линий передачи (НЛП).

ТЕХНОЛОГИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ

Технология НЛП широко применяется в цифровых осциллографах, схемах формирования импульсов и за много лет доказала свою эффективность и надежность. Компания Anritsu ее усовершенствовала, приспособив для использования в высокочастотном диапазоне, и разработала новейшую компонентную базу, в том числе монолитные широкополосные направленные мосты, мультиплексоры и другие ключевые элементы. Это позволило создать стробоскопические смесители и распределенные генераторы гармоник на базе НЛП для применения в ВАЦ с масштабируемым частотным диапазоном.

В общем виде нелинейные линии передачи представляют собой распределенные устройства, по которым передаются нелинейные электромагнитные волны, такие как ударные волны и солитоны. Прохождение ударных волн по НЛП напоминает поведение морских волн непосредственно перед ударом о берег.

Простейшие НЛП состоят из линий передачи с высоким входным сопротивлением и варакторных диодов (варакторов). Они формируют передающую среду, в которой фазовая скорость и, соответственно, временная задержка являются функцией мгновенного напряжения на диодах (рис.2). Чем меньше напряжение, тем ниже фазовая скорость и больше задержка сигнала, передаваемого по нелинейной линии передачи. И наоборот, чем выше напряжение, тем больше

фазовая скорость и меньше временная задержка. НЛП обеспечивают сжатие фронта подаваемого на вход напряжения трапецеидальной формы, в результате чего на выходе формируется ступенчатое напряжение с большим содержанием гармоник.

За счет сжатия времени спада сигнала технология НЛП позволяет генерировать цепочку очень коротких импульсов в миллиметровом и СВЧ-диапазоне частот, используемых для стробоскопических приемников (рис.3). Основную роль в формировании этих импульсов играет дифференцирующая цепь, которая преобразует ступенчатый выходной сигнал НЛП в импульсный.

Кроме того, технология НЛП обеспечивает распределенное генерирование гармоник в широком диапазоне частот. Поскольку основными функциями векторных анализаторов цепей являются формирование сигналов и их выборка, технология НЛП отлично подходит для этих приборов.

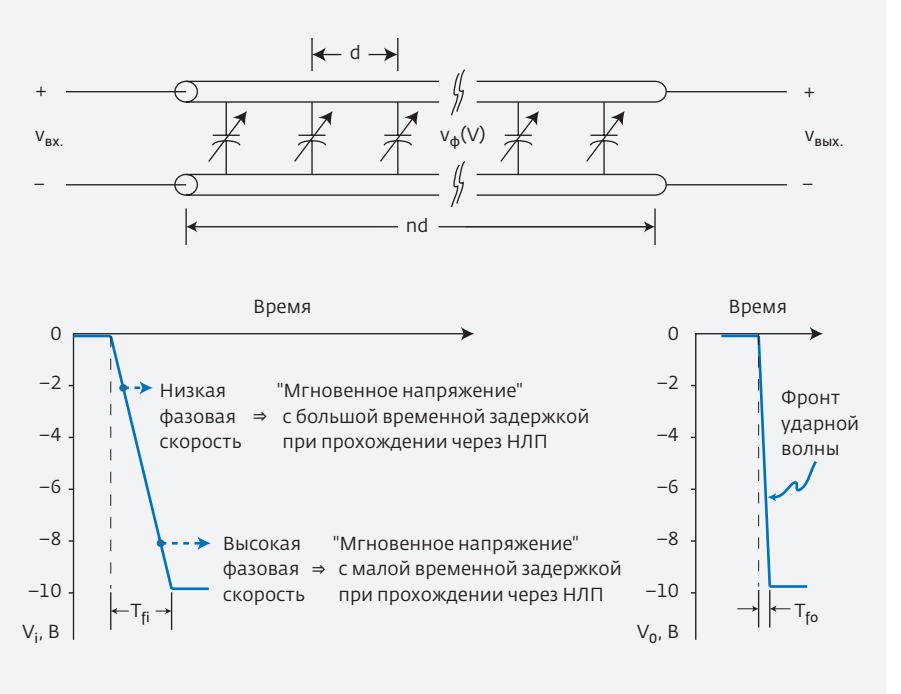

Рис.2. Передача электромагнитных волн по НЛП

ВАЦ НА БАЗЕ НЛП

Семплеры на базе НЛП значительно расширяют возможности ВАЦ: увеличивается доступный диапазон частот синтезатора и гетеродина, а также повышается эффективность межканальной развязки, что, в свою очередь, расширяет динамический диапазон. Для подавления утечки сигналов в каналах ВАЦ на базе НЛП используют усилители, фильтры и развязывающие устройства (рис.4).

Одним из дополнительных преимуществ семплеров на базе НЛП является интегрирование ключевых элементов (стробоскопических приемников, распределенных генераторов гармоник, направленных мостов и др.) в единой монолитной конструкции, что обеспечивает высокую температурную стабильность системы. В результате, модули рефлектометров получаются весьма компактными, что позволяет дополнительно снизить колебания температуры (рис.5). Таким образом достигается высокая стабильность характеристик (как кратковременная, так и долговременная) и исключается необходимость в частой калибровке. За счет отказа от применения СВЧ-разъемов для соединения различных компонентов рефлектометра удается улучшить рабочие характеристики (вследствие сокращения потерь и отражений) и повысить надежность системы.

Компактные габариты НЛП-рефлектометров позволяют реализовать приложения, в которых использование ВАЦ было затруднено или невозможно, в том числе:

- высокочастотное тестирование на полупроводниковой пластине, когда требуется, чтобы порты ВАЦ находились в непосредственной близости от испытуемого устройства (прямое подключение рефлектометра к зонду позволяет повысить направленность

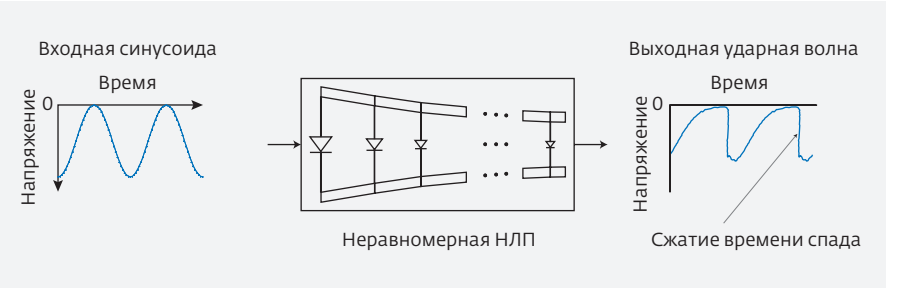

Рис.3. Сжатие времени спада сигнала и формирование цепочки стробирующих импульсов

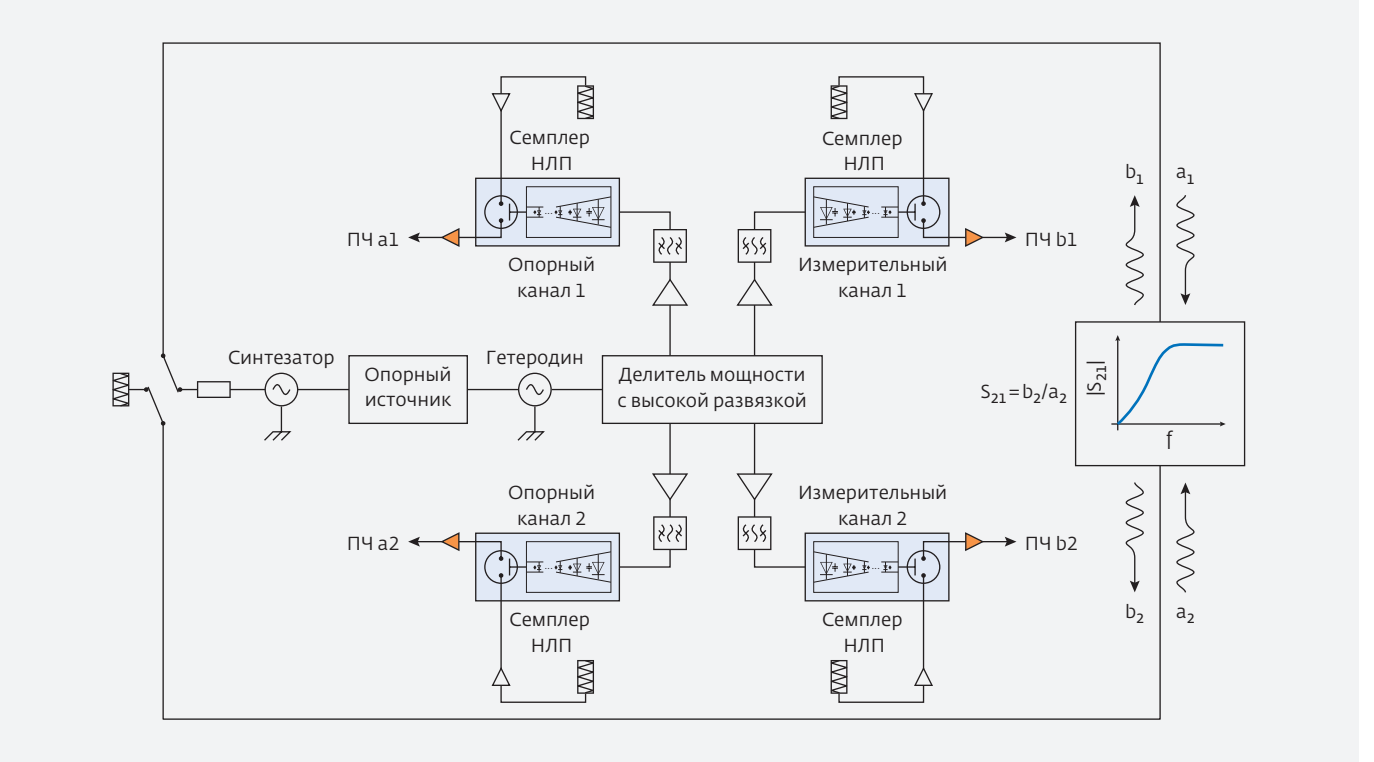

Рис.4. Архитектура ВАЦ на базе НЛП

ВАЦ, выходную мощность портов и стабильность системы);

- тестирование плотно расположенных на полупроводниковой пластине портов;
- экономичный способ тестирования компонентов в производственных условиях;
- тестирование высокочастотных устройств в полевых условиях при помощи портативного ВАЦ.

НЛП-преобразователи обеспечивают чрезвычайно широкую полосу пропускания, вплоть до субмиллиметровых длин волн (рис.6). Перекрываемый диапазон частот ограничен только полосой пропускания коаксиального разъема и количеством НЛП-цепей умножителя частоты.

В прежних архитектурах для расширения диапазона частот ВАЦ необходимо было объединять два независимых диапазона с помощью крупного внешнего сумматора, что отрицательно сказывалось на направленности и выходной мощности ВАЦ. Использование НЛП-семплеров в сочетании с направленным мостом позволяет улучшить направленность ВАЦ.

Высокая временная и температурная стабильность рефлектометров на базе НЛП (благодаря их монолитной конструкции) обеспечивают отсутствие температурных градиентов в самом модуле и направленном мосте, производящем выборку сигнала. Эти приборы демонстрируют значительно лучшую повторяемость измерений и меньший температурный дрейф по сравнению с классическими смесителями и преобразователями на базе ДНЗ.

БОЛЬШЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ, МЕНЬШЕ СТОИМОСТЬ

Компания Anritsu впервые представила на рынке технологию НЛП в 2009 году. С тех пор удалось существенно

Рис.5. Модуль расширения частотного диапазона (до 145 ГГц) на базе НЛП (вес 365 г, объем – в 50 раз меньше обычного модуля миллиметрового диапазона)

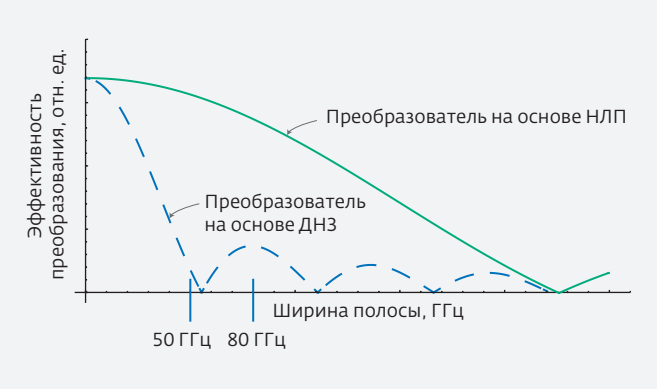

Рис.6. Сравнение полосы пропускания преобразователей на базе НЛП и ДНЗ

улучшить характеристики и уменьшить габариты системных компонентов, что позволило выпустить однокристальный ВАЦ на базе НЛП и расширить область применения подобных модулей. В настоящее время отмечается высокий спрос на высокопроизводительные системы с широким набором функций по минимально возможной цене. Специально для таких потребителей компания Anritsu в середине 2014 года представила линейку ShockLine – семейство векторных анализаторов цепей на базе НЛП-технологии, которые по своим характеристикам соответствуют полнофункциональным настольным ВАЦ при более низкой цене.

В линейке ShockLine реализован совершенно новый подход к конструкции ВАЦ, поскольку эти приборы не содержат ни дисплея, ни клавиатуры. Все модели семейства управляются дистанционно по локальной сети. Для ручного тестирования устройств анализаторы ShockLine поддерживают удобный графический интерфейс. Чтобы получить доступ к интерфейсу, пользователю нужно подключить монитор, клавиатуру и мышь. Небольшое шасси высотой 2U позволяет легко устанавливать приборы в серверные стойки. Однако компактная конструкция прибора не сказывается на его характеристиках. Так, например, векторный анализатор цепей ShockLine MS46522A обладает скоростью развертки 70 мкс на точку, динамическим диапазоном более 110 дБ и скорректированной направленностью более 42 дБ.

Разработка принципиально нового класса ВАЦ, оптимизированного для бюджетных приложений в сфере проектирования, производства и образования, показала преимущества технологии нелинейных линий передачи, на основе которой созданы эти приборы. Дальнейшее развитие данного направления позволит более широко использовать векторные анализаторы цепей не только в научных лабораториях, но и на производстве.