

# ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ В ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМАХ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАЦ ANRITSU VectorStar

Ж.-П.Гильме

Применение компонентов на базе нитрида галлия (GaN) в усилителях высокой мощности имеет ряд преимуществ. Компактные и надежные GaN-усилители, способные работать в широком диапазоне частот, обеспечивают выходную мощность в несколько сот ватт. Радары и передатчики, используемые в сфере телекоммуникаций, аэрокосмической и оборонной отраслях, существенно выигрывают от применения GaN-технологии. Но чтобы разрабатываемый на базе нитрида галлия проект успешно перешел от стадии исследования к коммерческой реализации, необходимо провести ряд экспериментов и испытаний. При этом в оборудовании для РЛС нужно регистрировать очень малые изменения фазы и амплитуды импульсных сигналов. Рассмотрим новый метод, значительно упрощающий процесс отслеживания изменений в импульсных выходных сигналах усилителя мощности на базе нитрида галлия.

## РАБОТА GaN-УСИЛИТЕЛЯ В МОДУЛЕ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА РЛС

Принцип действия РЛС заключается в отправке модулированных сигналов в виде последовательности (пачки) импульсов высокой мощности (рис.1). Сигнал отражается от объекта, и характеристики принимаемого сигнала, такие как фаза и амплитуда, анализируются для получения информации об относительном расположении, скорости движения и расстоянии до объекта.

Чтобы РЛС корректно интерпретировала отраженный сигнал, характеристики изначально переданного сигнала должны быть известны и контролироваться с высочайшим уровнем точности. Для этого производителям оборудования РЛС

приходится использовать усилители мощности, свойства которых также известны и стабильны. Важные параметры – коэффициент усиления, нестабильность фазы и амплитуды, амплитудно-частотная

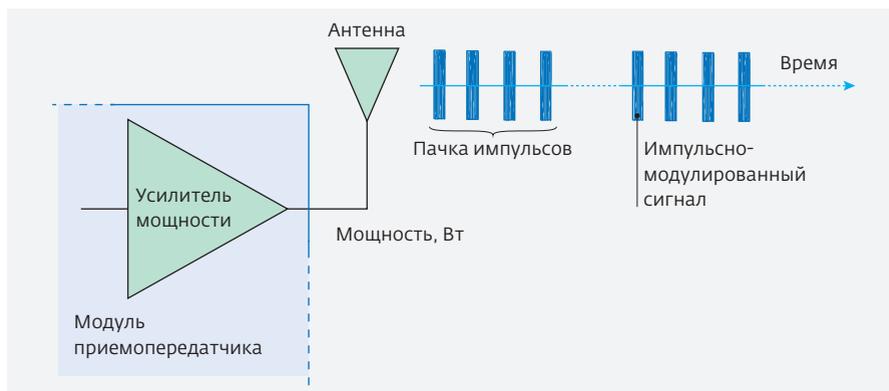


Рис.1. Структурная схема радарного модуля приемопередатчика

характеристика и точка компрессии. Измерять каждый из этих параметров можно при передаче как в импульсном, так и в непрерывном режимах. В настоящее время, когда разрабатывается новое поколение усилителей на базе нитрида галлия, снова вызывают большой интерес методы тестирования вышеуказанных характеристик.

Особенно важным тестом для GaN-усилителей является измерение фазовой и амплитудной нестабильности от импульса к импульсу. В связи с эффектом захвата электронов, возникающим в GaN-материале, данные усилители склонны к слишком высоким уровням нестабильности (рис.2). В радарном оборудовании допустима нестабильность всего в несколько сотых долей децибела для амплитуды и десятых долей градуса для фазы.

Векторный анализатор цепей (ВАЦ) хорошо подходит для измерения малых значений отклонения фазы и амплитуды, поэтому теоретически является оптимальным инструментом для решения данной задачи. Тем не менее результаты традиционных методов тестирования с помощью ВАЦ трудно интерпретировать и неудобно использовать для проверки изменений характеристик последовательности импульсов.

### ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСОВ С ПОМОЩЬЮ ВАЦ

Традиционный векторный анализатор цепей, обычно используемый для измерения S-параметров, показывает хорошие результаты при работе с непрерывными сигналами низкой мощности. Для измерения радарных сигналов, представляющих собой пачки высокоэнергетических импульсов, необходимо адаптировать конфигурацию инструмента.

Новую конфигурацию можно также использовать для тестирования радарного усилителя мощности на базе нитрида галлия (рис.3): ВАЦ должен имитировать импульсы радара, а затем измерять характеристики амплитудной и фазовой нестабильности импульсов после усиления.

Высококачественный ВАЦ оборудован внутренним генератором сигналов для формирования импульсов. В меню ВАЦ в окне конфигурации импульсов можно задавать соответствующие временные параметры. Затем эти импульсы передаются на внешний модулятор, где и формируются необходимые радарные сигналы.

Непосредственно на выходе ВАЦ мощность данных импульсов будет низкая. Чтобы повысить ее до уровня, с которым сможет работать РЧ-усилитель на базе

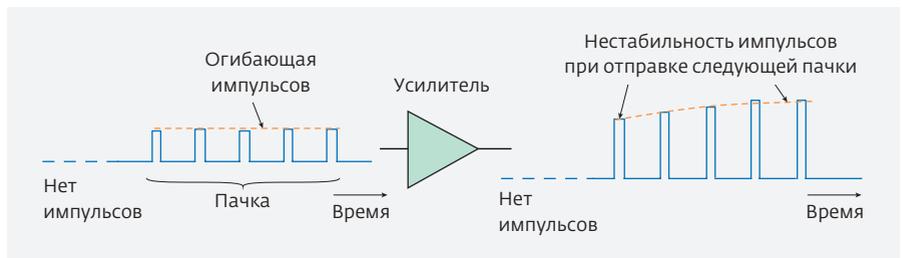


Рис.2. Нестабильность импульсов, вызываемая усилителем на базе нитрида галлия

нитрида галлия, сигнал должен пройти через усилитель, который обычно увеличивает его мощность до десятков дБм.

ВАЦ сравнивает сигналы на входе и выходе тестируемого устройства (ТУ). Для этого входной сигнал с помощью ответвителя направляется на порт опорного приемника ВАЦ (a1) через аттенюатор, а выходной сигнал с GaN-усилителя поступает на измерительный порт 2 ВАЦ (b2), также через аттенюатор.

### ИЗМЕРЕНИЯ В РЕЖИМЕ PP

Вычисляя соотношение сигналов b2/a1, ВАЦ может измерять любые отклонения амплитуды и фазы импульсов, вносимые GaN-усилителем. Как правило, для таких измерений в большинстве анализаторов ВАЦ используется метод, называемый режимом профилирования импульсов (Pulse Profile, PP). Данный режим позволяет анализировать амплитуду и фазу сигналов.

В режиме PP анализируется сразу вся пачка (рис.4). Типовая последовательность импульсов, продолжительностью 6 мс, может состоять из 20 импульсов

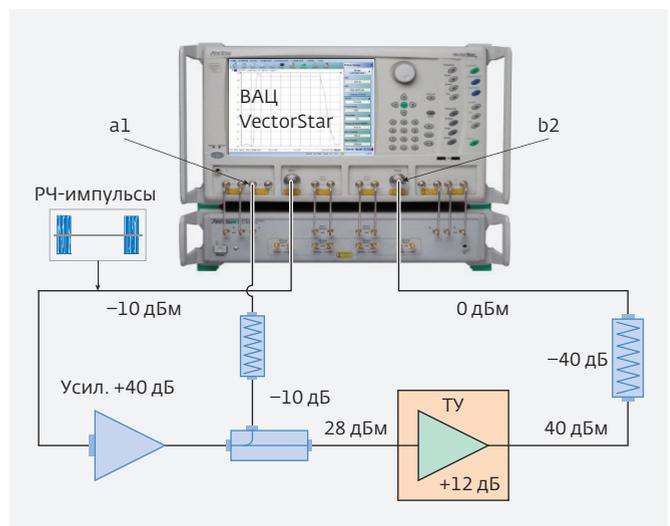


Рис.3. Типовая измерительная система для проверки характеристик высокоэнергетического GaN-усилителя

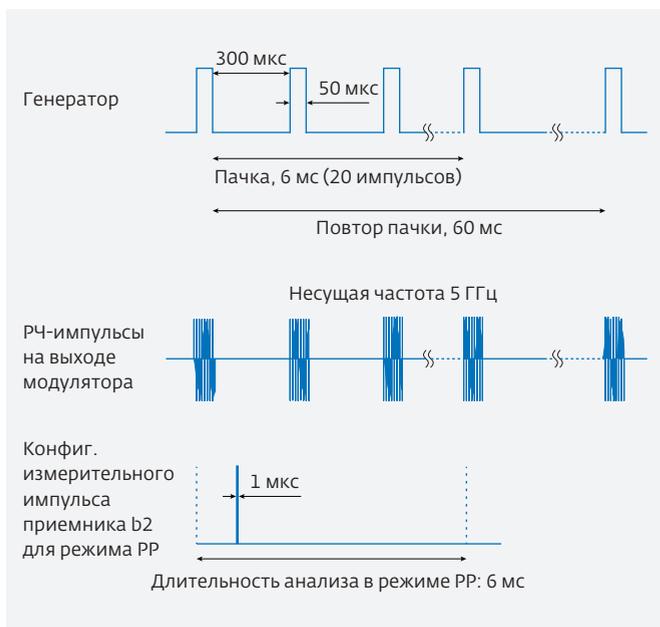


Рис.4. Временные параметры импульсов ВАЦ в режиме PR

длительностью 50 мкс каждый. Окно измерений, в котором отображается форма импульсов, имеет ширину 1 мкс. Это означает, что для адекватного определения характеристик всего сигнала пользователю потребуются провести измерения во множестве точек – обычно 1000 и больше.

Кроме того, чтобы компенсировать шум, нужно получить усредненное значение, выполнив 40 или более циклов измерений. Необходимость многократных циклов увеличивает продолжительность измерений: они часто могут длиться несколько секунд, время зависит от числа точек, количества циклов и ширины окна анализа.

Таким образом, в режиме PR инженер получает характеристики всей пачки импульсов: отображаемые измерения показывают РЧ-энергию, определенную как

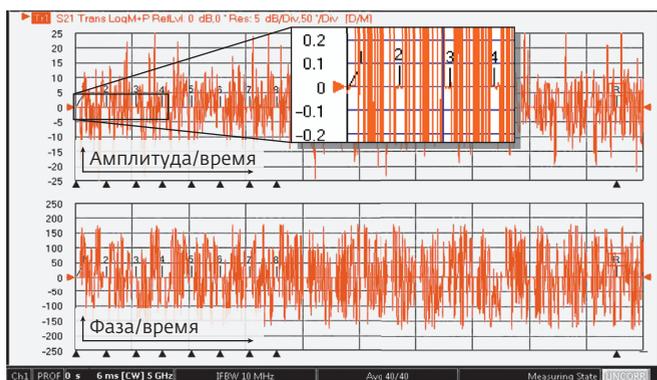


Рис.5. Результаты тестирования в режиме PR

Ch1	Tr1	S21	M1	-R	-5.7057	ms	0.0075	dB,0.03	°
Ch1	Tr1	S21	M2	-R	-5.3874	ms	0.0012	dB,-0.02	°
Ch1	Tr1	S21	M3	-R	-5.0691	ms	0.0009	dB,0.02	°
Ch1	Tr1	S21	M4	-R	-4.7928	ms	0.0006	dB,0.04	°
Ch1	Tr1	S21	M5	-R	-4.4865	ms	0.0044	dB,0.05	°
Ch1	Tr1	S21	M6	-R	-4.1862	ms	-0.0009	dB,0.06	°
Ch1	Tr1	S21	M7	-R	-3.8739	ms	-0.0038	dB,-0.01	°
Ch1	Tr1	S21	M8	-R	-3.5916	ms	-0.0008	dB,0.01	°

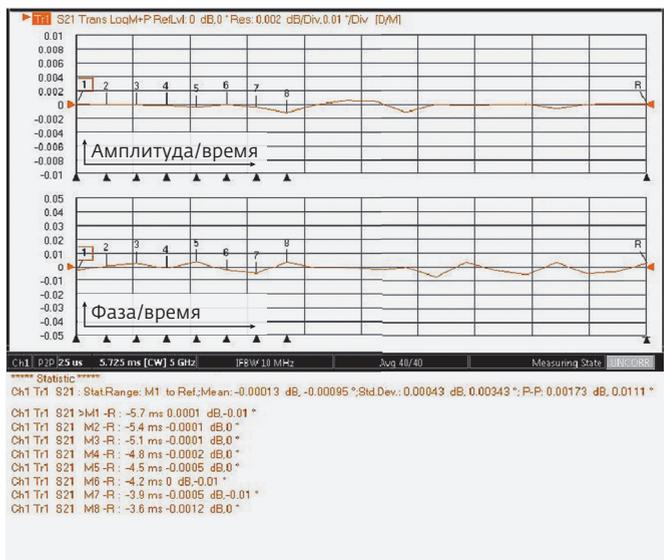
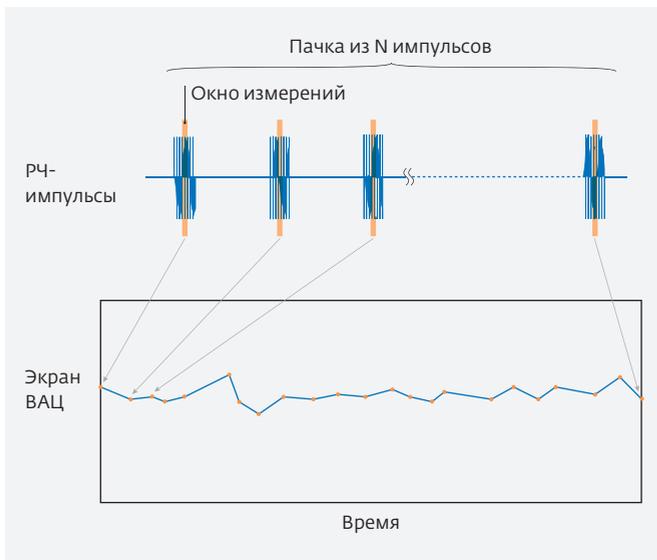
Рис.6. Результаты в таблице, составленной по маркерам

в импульсах, так и в интервалах между ними. На практике это означает, что полученная картина полна шумов и на ней невероятно трудно выделить небольшие изменения в амплитуде и фазе сигнала (рис.5). Чтобы получить полезные данные, пользователь вынужден отмечать каждый импульс маркером, а затем считывать данные импульсов из составленной по маркерам таблицы (рис.6). Ее создание – трудоемкая работа, поскольку инженеру предстоит нанести столько маркеров, сколько значений необходимо измерить.

Результаты измерений по маркерам позволяют выделять даже незначительные изменения параметров, порядка 0,0075 дБ и 0,06°. Однако при таком подходе трудно проследить тенденции, связанные с нестабильностью импульсов в пачке, непосредственно на измерительной трассе, особенно с учетом крайне малых значений изменений. Масштаб кривой измерений можно увеличить (см. рис.5), однако при этом на ней появляются искажения, обусловленные шумом около импульсов.

### ИЗМЕРЕНИЯ В РЕЖИМЕ P2P

Векторный анализатор цепей VectorStar компании Anritsu поддерживает новый метод, позволяющий значительно упростить и ускорить измерение отклонений параметров между соседними импульсами. Этот метод измерений называется режимом последовательности импульсов (Pulse-to-Pulse, P2P). Помимо простоты использования и высокой скорости работы,



**Рис.7.** Схематическое изображение дисплея векторного анализатора цепей VectorStar при измерениях в режиме P2P

**Рис.8.** Результаты измерений в режиме P2P

к преимуществам режима P2P относятся увеличенная точность измерений и возможность передавать результаты в программное обеспечение на ПК.

не может задавать его в произвольных пределах. На практике его максимально допустимая ширина составляет 1 мкс. В режиме P2P ширина окна измерений может быть увеличена, что позволяет рассчитать больше точек и таким образом повысить качество измерений.

Принцип работы режима P2P – снятие измерений только определенного фрагмента импульса и отображение только той информации, которая необходима инженеру. Пользователь выбирает окно, в котором ВАЦ будет проводить измерения, и задает его длительность (рис.7). Отображаемые на экране результаты измерений не содержат шума и помех от других сигналов; получается гладкая измерительная трасса фазы или амплитуды.

Как и в описанном выше режиме PP, можно усреднять экспериментальные данные с использованием многократных циклов измерений, что позволит уменьшить воздействие шумов на отображаемые результаты. Возможно отображение различных параметров: амплитуды, фазы, импеданса и др.

Время операций сбора данных ВАЦ в режиме P2P контролируется внешним сигналом запуска (триггером), который синхронизирован с генератором сигналов. Временные характеристики окна (его смещение и длительность) регулируются в меню анализатора. Окно измерений представлено на экране ВАЦ одной точкой (см. рис.7). В каждом окне анализируется один и тот же фрагмент импульсов. Пользователь выбирает в меню ВАЦ число отображаемых точек и количество импульсов в каждой пачке. Соединяя точки, ВАЦ строит кривую измерения.

Результаты реальных измерений в режиме P2P (рис.8) были получены при использовании сквозного тракта (перемычки), а не GaN-усилителя, чем объясняется столь низкая нестабильность. Тем не менее эти результаты показывают, с какой высокой точностью ВАЦ позволяет измерять отклонения от импульса к импульсу: до мельчайших долей дБм для амплитуды и  $0,01^\circ$  для фазы.

Поскольку количество точек, отображаемых на экране, соответствует количеству анализируемых импульсов, можно построить кривую измерения, например, всего по 20 точкам на пачку, а не по 1000 точек, как требуется в режиме PP. Это существенно уменьшает время измерений.

По сравнению с измерениями, выполненными в режиме PP (см. рис.5), измерительные трассы режима P2P читаются гораздо проще. Так же просто наносятся маркеры. Высокая скорость измерений позволяет ВАЦ отслеживать быстрые изменения в характеристиках компонентов с течением времени.

Кроме того, в режиме PP размер окна измерений зависит от характеристик инструмента – пользователь

Данный усовершенствованный метод измерений позволяет разработчикам усилителей нового поколения на базе нитрида галлия для оборудования РЛС точнее определять характеристики компонента за меньшее время и быстрее выводить на рынок более качественный продукт.