

Вимірювання широкосмужових сигналів РЛС і супутникових систем зв'язку

Нотатки щодо застосування

В статті йде мова про використання широкосмужових осцилографів для безпосереднього вимірювання та аналізу сигналів передавачів РЛС і супутникових систем зв'язку X-, Ku- і Ka-діапазонів до 32 ГГц.

Огляд

Тенденцією, що зростає, в системах супутникового зв'язку та радіолокації на ринку аерокосмічної та оборонної промисловості є потреба в розширенні смуги частот сигналів і аналізу та збільшенні коефіцієнта розширення спектра сигналів. Розвиток систем супутникового зв'язку зумовлений вимогами збільшення швидкості передавання даних, тоді як сучасні радіолокаційні системи (РЛС) потребують більшого коефіцієнта розширення спектра, щоб покращити роздільну здатність за дальністю, що, в результаті, призводить до ширших смуг частот модуляції. Сучасні РЛС також використовують складніші формати модуляції сигналів, щоб поліпшити роздільну здатність за дальністю і зменшити ймовірність перехоплення і створення (постановки) завад. Багато РЛС і систем супутникового зв'язку працюють на надвисоких частотах (наприклад, в X-, Ku- або Ka-діапазоні), що сприяє підтримці ширших смуг частот модуляції, збільшенню роздільної здатності, а також отриманню вигоди від використання антен меншого розміру.

У деяких випадках вимоги до ширини смуги частот перевищують значення смуг ПЧ наявних на ринку РЧ-аналізаторів спектра і векторних аналізаторів сигналів. У поєднанні з вищими робочими частотами це створює серйозний набір проблем для інженерів, що займаються випробуванням передавачів РЛС і супутникових систем зв'язку.

ПРОБЛЕМА

Швидке, точне й ефективне з точки зору витрат вимірювання харак-

теристик передавачів РЧ/НВЧ діапазону сучасних РЛС і супутникових систем зв'язку є дуже складним завданням. В деяких випадках (наприклад, при вимірюванні модуля вектора помилки (EVM) передавача систем супутникового зв'язку) вихід передавача не завжди можна виміряти безпосередньо. Інженери часто повинні сподіватися на виготовлений на замовлення перетворювач зі зниженням частоти для перенесення сигналів РЧ/НВЧ-діапазону на частоту ПЧ з метою подальшого вимірювання за допомогою наявного у продажу обладнання.

На жаль, разові витрати на інженерні роботи, пов'язані з розробленням, виготовленням і випробуванням перетворювача, можуть виявитися непродуктивними. Апаратура перетворювача зі зниженням частоти також додає свої власні РЧ-спотворення, які можуть маскувати реальні характеристики передавача сигналів РЧ/НВЧ діапазону, який випробовується. Більш того, може виникнути спотворення, що вносить додатковий внесок у сумарне значення вимірюваного EVM. В результаті складно зрозуміти, яка частина значення EVM отримана з реального виходу передавача. За відсутності інших доступних варіантів інженери залишаються з цією невизначеністю у визначенні похибки вимірювання, яка виникає від цього далеко не ідеального підходу.

РІШЕННЯ

Розв'язання цієї проблеми полягає в знаходженні рішення, яке дасть змогу безпосередньо вимірювати й аналізувати сигнали на виході передавачів РЧ/НВЧ-діапазону без використання

замовленого перетворювача зі зниженням частоти. Ідеальним рішенням для цього завдання є широкосмужовий осцилограф, який може безпосередньо вимірювати й аналізувати сигнали X-, Ku- і Ka-діапазонів (до 32 ГГц) передавачів сучасних РЛС і систем супутникового зв'язку. Використання такого осцилографа не тільки запобігає витратам часу та коштів через використання замовленого перетворювача зі зниженням частоти, а й звільняє від вирішення інших проблем, таких як калібрування апаратних засобів і корекція системних спотворень і похибок у результатах вимірювань.

Інші аспекти вимірювання широкосмужових сигналів РЛС і систем супутникового зв'язку, які зазвичай становлять певні труднощі для інженерів, такі:

- Створення спеціалізованих/прикладних широкосмужових сигналів. Традиційно створювати такі сигнали для випробування передавачів було складно, оскільки часто вони не підтримувалися наявним у продажу обладнанням. У результаті інженери були змушені розробляти спеціалізоване випробувальне обладнання, витрачаючи на це багато часу і коштів.
- Аналіз спеціалізованих/прикладних широкосмужових сигналів. Сигнали РЛС і систем супутникового зв'язку можуть мати спеціалізовані або прикладні формати, і можуть вимагати певною мірою спеціалізований аналіз сигналів.

Знаходження технічного рішення для випробувань на основі обладнання, наявного в продажу, за допомогою якого можна створювати й аналізувати спеціалізовані/прикладні сигнали з використанням вбудованих програмних засобів, тому є першочерговим завданням.

Одне таке технічне рішення, пропонує компанія Keysight, включає високопродуктивний осцилограф серії 90000X сімейства Infiniium, векторний генератор сигналів серії PSG, генератор сигналів довільної форми (ДФФ) M8190A і програмне забезпечення век-

торного аналізу сигналів (VSA). У такому поєднанні ця комбінація апаратних і програмних засобів забезпечує інженерів можливостями та гнучкістю, які їм необхідні для проведення вимірювань широкосмугових сигналів РЛС і систем супутникового зв'язку.

Широкосмуговий осцилограф серії 90000X дає змогу безпосередньо вимірювати й аналізувати широкосмугові сигнали на виходах передавачів РЛС і систем супутникового зв'язку. З істинною аналоговою смугою пропускання 32 ГГц він забезпечує точність вимірювання в реальному часі для безпосереднього вимірювання сигналів на виходах передавачів, не вимагаючи використання зовнішнього перетворювача зі зниженням частоти. Аналіз у часовій області може використовуватися для вимірювання характеристик передавача в імпульсних режимах (наприклад, фронту/зрізу, тривалості імпульсу).

M8190A — це модульний вимірювальний прилад, скомпонований у базовому блоці шини AXIe. Він використовується для генерації широкосмугових сигналів під час випробувань нових РЛС і систем супутникового зв'язку. Як прецизійний 1- або 2-канальний генератор СДФ (сигналів довільної форми) з роздільною здатністю ЦАП, що дорівнює 14 біт за частот дискретизації до 8 Гвиб/с і 12 біт — до 12 Гвиб/с (від 2 до 4 біт більше, як порівняти з тим, що доступне наразі), він забезпечує чудові характеристики сигналів. M8190A також має пам'ять сигналів до 2 Гвиб/канал (у 30 разів більше, ніж у наявних генераторів СДФ), що дає змогу інженерам створювати довгі реалістичні сценарії, як-от імітація сигналів РЛС. Вихідний тракт із шириною смуги частот 5 ГГц (на рівні -3 дБ) дає змогу використовувати його як і генератор модульованих I/Q сигналів, і генератор сигналів ПЧ.

Генератор сигналів серії PSG забезпечує високу якість сигналів. Широкосмугові I/Q входи спрощують його використання під час вимірювань сигналів РЛС і систем супутникового зв'язку. При з'єднанні генератора сигналів серії PSG і M8190A забезпечується гнучкість, необхідна для створення спеціалізованих/прикладних сигналів РЛС і широкосмугових модульованих сигналів (наприклад, QPSK і 16QAM) для систем супутникового зв'язку. Ці сигнали можуть використовуватися для випробувань обладнання в лабораторіях, не вимагаючи застосування дорогого спеціалізованого випробувального обладнання.

Під час випробування компонентів випробовуваного пристрою (ВП) M8190A

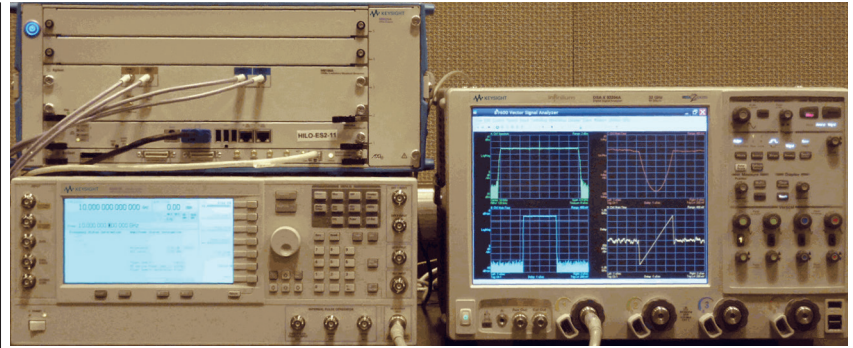


Рис. 1. Типова випробувальна установка, яка використовується для створення й аналізу широкосмугових сигналів РЛС і систем супутникового зв'язку

генерує широкосмугові I/Q сигнали, які надходять на I/Q входи генератора серії PSG. Генератор серії PSG генерує потім НВЧ-сигнал, який буде використовуватися для ВП як сигнал стимулу. Потім вихід ВП під'єднують до осцилографа 90000X, де і проводять вимірювання сигналів. На рисунку 1 показано типову випробувальну установку, яка використовується для створення й аналізу широкосмугових сигналів РЛС і систем супутникового зв'язку: широкосмуговий генератор сигналів довільної форми (зліва вгорі), генератор сигналів серії PSG із широкосмуговими I/Q входами (зліва внизу), широкосмуговий осцилограф серії 90000X із програмним забезпеченням векторного аналізу сигналів (праворуч). Під час вимірювання сигналів функціонально закінченого передавача потрібно просто під'єднати осцилограф до його виходу.

СПЕЦІАЛІЗОВАНІ/ПРИКЛАДНІ ВИМІРЮВАННЯ

Створення спеціалізованих/прикладних сигналів і проведення спеціалізованих/прикладних вимірювань сигна-

лів РЛС і систем супутникового зв'язку можна значно спростити, використовуючи MATLAB під час генерації сигналів з метою створення модельованих форм сигналів, які потім завантажуються в генератор СДФM8190A. Тут вони синтезуються в диференціальні I/Q сигнали, які надходять на зовнішні I/Q входи генератора сигналів PSG. Після цього генеруються модульовані РЧ/НВЧ-випробувальні сигнали.

Спеціалізовані функції MATLAB, що визначаються користувачем, також можна використовувати всередині осцилографа 90000X і застосувати до сигналу, що відображається (наприклад, для обчислення огинальної імпульсного РЧ-сигналу). Завдяки цьому огинальну імпульсного РЧ-сигналу можна виміряти і відобразити. Попередньо налаштовані вимірювання осцилографа 90000X можна використовувати для вимірювання фронту, зрізу, тривалості імпульсу і викиду на фронті імпульсних РЧ-сигналів РЛС (рис. 2). У цьому випадку глибока пам'ять збору даних осцилографа 90000X (2 Гвиб) відіграє важливу роль у забезпеченні здатності захоплювати й аналізувати велику кількість імпульсів РЛС.



Рис. 2. Огинальна імпульсного РЧ сигналу та вимірювання тривалості фронту на огинальній

Сегментована пам'ять оптимізує кількість імпульсів РЛС, яку можна захопити і проаналізувати, з огляду на об'єм доступної пам'яті осцилографа. Фактично, це дозволяє користувачеві збільшувати масштаб імпульсу і фіксувати лише час «увімкнення» імпульсу (коли імпульс існує), ігноруючи час «вимкнення» імпульсу (коли імпульс не існує). Зауважимо, що поки сегментована пам'ять може використовуватися функціями MATLAB, що визначаються користувачем, така можливість недоступна для програми векторного аналізу.

ЛЕГКИЙ ПЕРЕХІД ДО ВИМІРЮВАННЯ З ДОПОМОГОЮ ОСЦИЛОГРАФА

Хоча для випробування РЧ-пристроїв традиційно використовувалися аналізатори спектра і векторні аналізатори сигналів, проблеми, пов'язані з проведенням вимірювань сигналів сучасних РЛС і систем супутникового зв'язку, стали катализатором переходу інженерів до широкосмугових осцилографів. На щастя, програмне забезпечення векторного аналізу (VSA) компанії Keysight працює всередині осцилографа 90000X і здатне спростити цей процес переходу, надаючи інженерам найкраще з обох сфер: функціональність та інтерфейс користувача векторного аналізатора сигналів і доступ до широкосмугових можливостей осцилографа, який забезпечує проведення вимірювань на частотах до 32 ГГц для широкосмугових вимірювань сигналів РЛС і систем супутникового зв'язку. За допомогою знайомого інтерфейсу користувача VSA дозволяє інженерам задавати традиційні параметри РЧ-сигналів (наприклад, смугу огляду і смугу пропускання) в осцилографі. Потім VSA обробляє дані, зібрані осцилографом, і виводить оцифровані результати на екран, використовуючи відображення амплітуди і фази векторного аналізатора сигналів. Програмне забезпечення VSA також здатне проводити аналіз у частотній і тимчасовій сферах для вимірювання спектра РЧ/НВЧ-сигналів, частотних і фазових характеристик (наприклад, частотних і фазових характеристик радіоімпульсу з ЛЧМ (лінійною частотною модуляцією) або характеристик стрибкоподібного перебудування частоти, що відображаються на спектрограмі РЧ-сигналу) та EVM (рис. 3).

Крім того, програмне забезпечення VSA підтримує багато видів стандартів

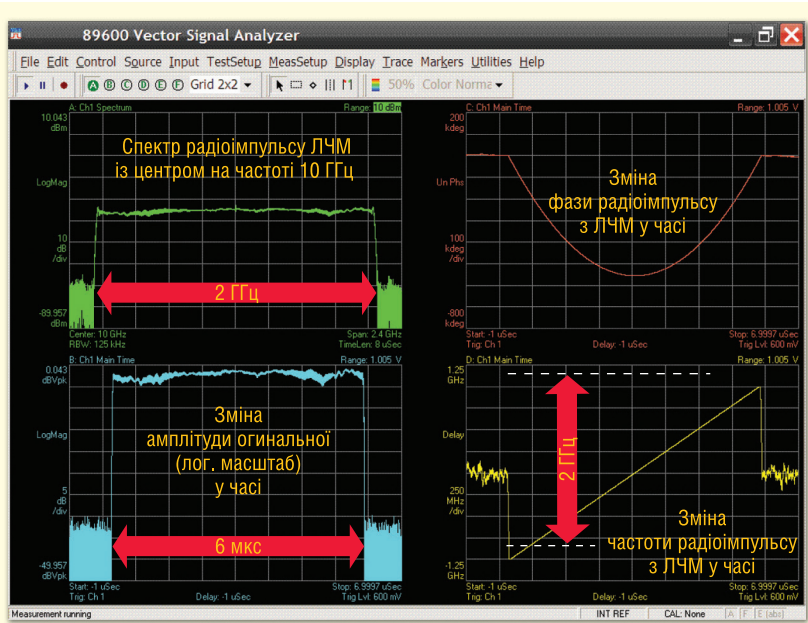


Рис. 3. Приклад вимірювання характеристик широкосмугового радіоімпульсу з ЛЧМ РЛС з використанням програмного забезпечення векторного аналізу сигналів в осцилографі 90000X

сигналів і форматів модуляції з метою демодуляції таких форматів сигналів, як QPSK, 16QAM і 64 QAM, які використовуються в системах супутникового зв'язку та інших додатках. Такий аналіз дає інженерам більше засобів вивчення характеристик апаратних засобів передавачів РЛС і систем супутникового зв'язку.

ПРИКЛАД: ШИРОКОСМУГОВИЙ СИГНАЛ З МОДУЛЯЦІЄЮ 16QAM

Крім вимірювання сигналів РЛС, те саме вимірювальне обладнання, наявне в продажу, можна використовувати для широкого кола інших застосувань, включно із системами супутникового зв'язку. Розглянемо, наприклад, широкосмуговий сигнал (ширина смуги частот 1.76 ГГц) з модуляцією 16QAM. Він створюється й аналізується з використанням тієї ж самої випробувальної установки, створеної на базі обладнання, наявного в продажу, як показано на рисунку 1. MATLAB використовується для створення сигналу з модуляцією 16QAM, який завантажується в генератор СДФ M8190A. Як показано на рисунку 4, програмне забезпечення VSA, що працює в осцилографі, використовується для демодуляції сигналу з модуляцією 16QAM. У чотирьох квадрантах дисплея програми векторного аналізу сигналів (VSA) показано: діаграму констеляції (сузір'я) (зліва вгорі), спектр сигналу Х-діапазону (10 ГГц (зліва внизу), залежність EVM від часу (праворуч

вгорі) та підсумкове значення EVM (праворуч внизу). У цьому прикладі залишкове значення EVM отримано в результаті об'єднання генератора СДФ, генератора сигналів серії PSG з широкосмуговими I/Q входами і цифрового осцилографа зі смугою пропускання 32 ГГц.

Нагадаємо, що EVM є індикатором амплітудних і фазових спотворень сигналів із цифровою модуляцією. У цьому випадку залишкове значення EVM приблизно дорівнює 1.17%, що дуже добре для модульованого сигналу з шириною смуги частот 1.76 ГГц в Х-діапазоні (10 ГГц). Якщо порівнювати з наявним обладнанням, то значення EVM, яке може бути досягнуте за такої швидкості передавання даних, становить зазвичай від 2 до 3%, що є результатом значно більших значень похибки та невизначеності вимірювання.

КОРОТКИЙ ВИКЛАД РЕЗУЛЬТАТІВ

Використання зовнішніх перетворювачів зі зниженням частоти для вимірювання характеристик сигналів широкосмугових передавачів РЛС і систем супутникового зв'язку може зажадати великих витрат часу і коштів. Цей підхід може виявитися неоптимальним для поліпшення можливостей дослідження справжніх характеристик передавачів РЧ/НВЧ-діапазону. Осцилограф 90000X компанії Keysight надає практичну альтернативу: засіб безпосеред-

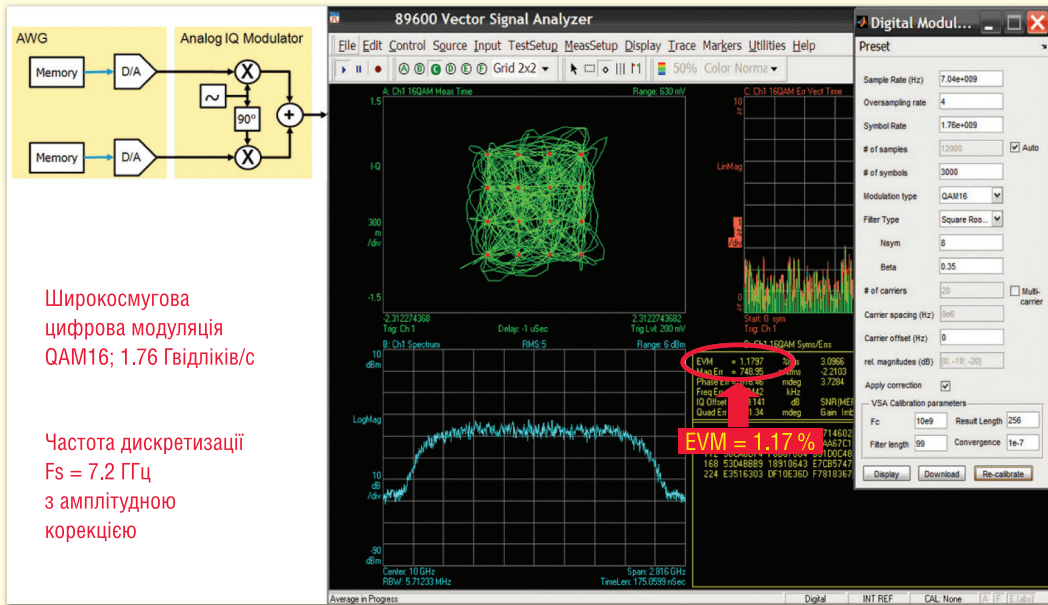


Рис. 4. Використання програмного забезпечення VSA, що працює в осцилографі, для демодуляції сигналу з модуляцією 16QAM

нього вимірювання та аналізу характеристик передавачів РЧ/НВЧ-діапазону для РЛС і систем супутникового зв'язку.

Осцилограф можна об'єднати з генератором СДФ М8190А і генератором сигналів серії PSG. Разом вони дають змогу створювати й аналізувати випробувальні сигнали на фізичному рівні. Спеціалізовані/прикладні форми сигналів можна згенерувати за допомогою MATLAB і потім завантажити в генератор СДФ М8190А, об'єднаний з генератором сигналів серії PSG, для створення випробувального сигналу. За допомогою осцилографа 90000X сигнали на виходах передавачів можна виміряти, використовуючи програмне забезпечення VSA компанії Keysight, функції MATLAB, що визначаються користувачем, або вбудовані можливості аналізу в тимчасовій ділянці осцилографа. Для сучасних РЛС і систем супутникового зв'язку, що використовують ширші смуги частот і вищі робочі частоти, безпосереднє і точне вимірювання сигналів на виході передавачів з використанням осцилографа 90000X стає основним засобом поліпшення можливостей дослідження істинних характеристик передавачів, що дає змогу заощадити час і допомогати скоротити кількість дорогих циклів розроблення.

Радимо також звернути увагу на супутні додатки та продукти компанії Keysight.

Супутні додатки:

- вимірювання сигналів систем MIMO, аналіз і тестування модуляції фізичного рівня.

Супутні вироби компанії Keysight:

- цифровий осцилограф DSOX93204A зі смугою пропускання 32 ГГц і опціями:
 - 02G, глибина пам'яті 2 Гвб/канал;
 - 062, MATLAB (базовий пакет);
 - 010, функція, що визначається користувачем;
- генератор сигналів довільної форми М8190А;
- програмне забезпечення векторного аналізу сигналів 89601В/ВN (VSA) з опціями:
 - 200, базовий векторний аналіз сигналів;
 - 300, підключення апаратних засобів;
 - АYA, гнучкий аналіз модуляції;
- векторний генератор сигналів E8267D з опціями:
 - 520 або 532, діапазон частот від 250 кГц до 20 ГГц або 31.8 ГГц;
 - 016, широкопasmові диференціальні зовнішні диференціальні входи I/Q;
 - Н18, широкопasmова модуляція в смузі не більше ніж 3.2 ГГц.

Більш детальну інформацію щодо продукції компанії Keysight Technologies можна отримати, звернувшись до офіційного дистриб'ютора в Україні — компанії Юнітест:

**04053, м. Київ,
вул. Олеса Гончара, 6,
тел. +38 (044) 272-60-94,
e-mail: web@unitest.com,
www.unitest.com**

СN

ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДЖЕРЕЛ ВИСОКОЇ ЩІЛЬНОСТІ

Компанія **Keysight Technologies, Inc.** представила багатоканальний високочотний вимірювач щільності джерел (SMU) серії PZ2100 — нове рішення SMU, що надає інженерам-розробникам цифрових технологій 20 прецизійних каналів SMU в стійці висотою 1U для прискорення визначення характеристик інтегральних схем (IC).

Інженери-розробники цифрових пристроїв повинні підключати і тестувати кілька портів на одному пристрої, що тестується, протягом усього циклу проектування, щоб усунути несправності і визначити продуктивність IC. Без високопродуктивних автоматизованих рішень для визначення характеристик інженери ризикують зривати терміни виконання замовлень, оскільки їм доводиться перевіряти складні багатопортові конструкції, використовуючи складні тестові установки з низькою щільністю.

SMU серії PZ2100 усуває цей ризик, надаючи інженерам-конструкторам рішення для SMU високої щільності, яке можна масштабувати до 20 каналів SMU в компактній стійці висотою 1U. Воно також прискорює час виходу на ринок завдяки гнучким опціям програмного забезпечення, спрощеній системній інтеграції та синхронізації, а також можливостям вимірювання для конкретних застосувань. Це дозволяє зосередити більше часу на визначенні характеристик і менше — на синхронізації.

www.keysight.com