

Випробування систем РЛС, радіоелектронної боротьби (РЕБ) і радіотехнічної розвідки (РТР): загальні проблеми випробувань Рекомендації щодо застосування

**Адаптований переклад українською та технічне редагування:
Віктор Бутирін, директор, Юнітест
E-mail: Victor_Butyryn@unitest.com**

У цій статті увага буде зосереджена на випробувальному обладнанні, яке допоможе розв'язати проблеми, з якими можна можна зустрітися під час проектування систем РЛС, РЕБ, РТР.

ВСТУП

Історія сучасних радіолокаційних систем сягає корінням 1940 року, коли ВМФ США розробив те, що стало потім називатися системами радіовиявлення і визначення дальності (RADAR). Наразі сфера застосування цієї технології простягається від пристроїв відчинення дверей у супермаркетах, що використовуються повсюдно і являють собою простий індикатор рухомих цілей (moving target indicator, МТІ), до дуже складних корабельних радіолокаційних систем (РЛС) із фазованою антенною решіткою для керування вогнем.

В оборонній промисловості нещодавно з'явилися дві нові галузі — радіотехнічна розвідка (РТР) і радіоелектронна боротьба (РЕБ). Системи РТР використовуються для виділення інформації з сигналів радіолокаційних систем противника з метою визначення методів боротьби з потенційними загрозами, які пов'язані з цими радіолокаційними сигналами: від кораблів, від літаків, від ракет тощо.

Під час тестування компонентів, вузлів і систем РЛС, РЕБ і РТР часто виникає безліч проблем. Ситуація ускладнюється тим, що всі РЛС працюють в

умовах дедалі більшого забруднення радіочастотного спектра сигналами завод. Так, радіоефір у міських умовах може містити незліченну кількість джерел випромінювання у ВЧ- і НВЧ-діапазонах, які є потенційними джерелами завод. До них можна віднести інфраструктуру систем бездротового зв'язку, бездротові комп'ютерні мережі та РЛС цивільного призначення.

У цій статті увага буде зосереджена на випробувальному обладнанні, яке допоможе Вам розв'язати проблеми, з якими Ви, ймовірно, зустрінетеся під час проектування системи. Через складність теми, що розглядається, спочатку буде надано короткий огляд основ радіолокації та проблем, пов'язаних із системами РЕБ і РТР. Далі будуть розглянуті три основні теми: генерація випробувальних сигналів, приклад штучного випробувального полігона, оцінка та аналіз сигналів РЛС (рис. 1).

Недоліком РЛС першого покоління є значні втрати потужності між переданим імпульсом і прийнятим ехо-сигналом. Переданий сигнал повинен відбитися від цілі і повернутися назад до приймача без будь-якого посилення. Один зі шляхів розв'язання цієї пробле-

ми полягає в передачі довгих імпульсів і накопиченні більшої ніж у коротких загальної енергії в прийнятому ехо-сигналі. Таким чином, довші імпульси забезпечують більшу дальність дії РЛС для таких антени і підсилювача потужності переданого сигналу.

Важливою характеристикою РЛС є її роздільна здатність, пов'язана з тривалістю імпульсу. Здатність розрізняти малі об'єкти дає змогу РЛС отримувати більш детальну картину цілі. РЛС, яка дозволяє розрізняти деталі розміром менше одного метра, дає набагато більше інформації про цілі, що наближаються. РЛС із роздільною здатністю в 100 метрів може бачити одну ціль великого розміру, яку неможливо відрізнити від кількох малих цілей, що складають компактне утворення.

Якщо імпульс РЛС має велику тривалість, ехо-сигнали, відбиті від сусідніх цілей, можуть перекриватися в часі. Для РЛС це виглядає як одна велика ціль, а не кілька окремих дрібніших цілей. Тому, щоб отримати високу роздільну здатність РЛС, бажано використовувати коротші імпульси.

Тобто ми бачимо, що оптимальний діапазон дії РЛС та її роздільна здатність включають конфліктуєчі критерії. Кращий діапазон дії радару потребує довгого імпульсу, тоді як краща роздільна здатність потребує короткого імпульсу.

Для вирішення проблеми оптимізації співвідношення дальність/роздільна

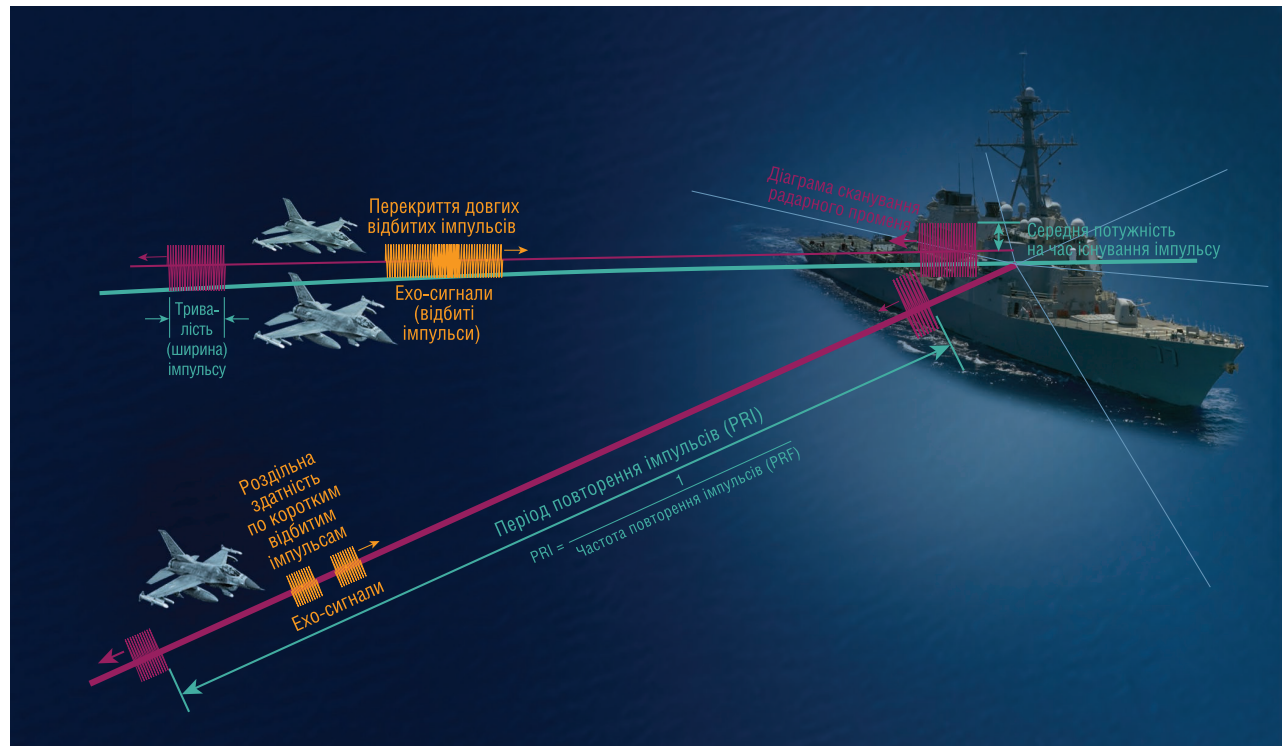


Рис. 1. Терміни та визначення, що стосуються імпульсу РЛС

здатність багато РЛС використовують стиснення імпульсів або модуляцію. Внутрішньоімпульсна лінійна частотна модуляція (ЛЧМ) являє собою систему, що забезпечує простоту модуляції і демодуляції. Частотна модуляція (ЧМ) усередині імпульсу, що здійснюється пилоподібною лінійно зростаючою напругою, створює ЛЧМ-імпульс. ЛЧМ-імпульс потім випромінюється так само, як випромінювався б не стиснутий за тривалістю імпульсу.

Приймач РЛС використовує спеціальний фільтр із високою лінійністю групової затримки, яка протилежна напрямку частотної модуляції в імпульсі. Такий фільтр уповільнює зміну частоти в низькочастотній ділянці ЛЧМ і дозволяє високочастотній частині ЛЧМ раніше з'явитися на виході фільтра. У результаті довгий імпульс із великою повною потужністю виявляється стиснутим у короткий імпульс, який легко розпізнається серед інших імпульсів (рис. 2).

Стиснення імпульсу або модуляція дає й інші переваги з погляду однозначного визначення дальності. Щоб побачити ці переваги, слід розглянути частоту повторення імпульсів (pulse-repetition frequency (PRF)).

Частота повторення імпульсів залежить від дальності дії РЛС. Надсилання нових імпульсів, перш ніж повернуться відбиті раніше надіслані імпульси, може викликати невизначеність відгуку на ехо-сигнал. У загальному випадку

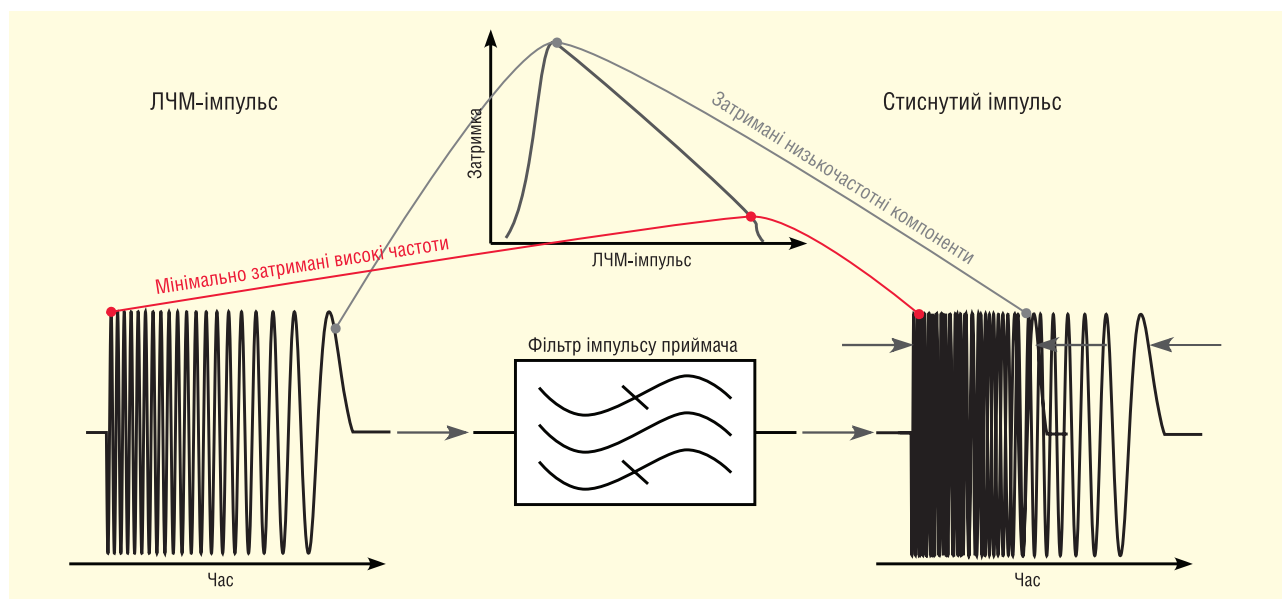


Рис. 2. Стиснення ЛЧМ імпульсу

найпростіше послати імпульс і чекає, поки не будуть прийняті всі можливі відбиті сигнали (ехо-сигнали), і тільки після цього посылати наступний імпульс. Забезпечення однозначності вимірювання дальності визначає інтервал між послідовними імпульсами (період або частоту повторення імпульсів).

Однак є багато випадків, коли нижча частота повторення погіршує загальні характеристики РЛС. Наприклад, може виявитися, що краще мати вищу частоту повторення для швидшого оновлення екранного зображення, коли РЛС стежить за літаком, що швидко летить. У цьому разі можна допустити неоднозначність зворотного сигналу на користь швидшого оновлення екрана.

Один зі способів виключення заважаючих ехо-сигналів, і що надходять не з потрібної дальності, полягає у використанні стробування за часом або за дальністю (рис. 3). При цьому відбувається вимикання або вмикання приймача РЛС, що дає змогу ігнорувати ехо-сигнали від об'єктів, які або занадто близькі, або перебувають за межами потрібної дальності. Прикладом може слугувати стробування за часом, що дає змогу ігнорувати ехо-сигнали, відбиті від носа корабля, на якому встановлено РЛС. Подібно до цього, РЛС ракети може використовувати тимчасове стробування для ігнорування ехо-сигналів від об'єктів, що знаходяться на відстані, яка перевищує максимальний діапазон дії ракети.

Як згадувалося раніше, стиснення імпульсу може бути використано для виключення невизначеності між послідовними імпульсами. Додавання циф-

рової модуляції до кожного імпульсу дає змогу ввести унікальне кодування сусідніх імпульсів. Використання цифрової модуляції, такої як двофазна маніпуляція (bi-phase keying), дає змогу кодувати імпульси так, що затримку на подвійне проходження кожного імпульсу в прямому та зворотному напрямках легко й однозначно виміряти завдяки унікальному кодуванню кожного імпульсу, що використовується як засіб розділення імпульсів.

Іншою важливою властивістю багатьох РЛС є їхня здатність вимірювати доплерівські зміщення частоти під час відбиття сигналів від рухомих цілей. Вимірювання зміщення частоти ВЧ носійної частоти або зміщення фази залежно від часу дає змогу деяким РЛС точно визначати швидкість руху цілі. Індикатори рухомих цілей (МТІ) використовують доплерівське зміщення частоти зворотного ехо-сигналу для виявлення руху.

ОСНОВИ СИСТЕМ РТР/РЕБ І ЩО З ЦЬОГО ВИПЛИВАЄ

Різноразмірні конструктивні особливості, які впливають на обрану імпульсну послідовність РЛС, несуть багато інформації про характер платформи, підключеної до РЛС. Так, низька частота повторення і велика тривалість імпульсів можуть вказувати на те, що РЛС сканує простір у сотні миль, тоді як висока частота повторення і короткі імпульси можуть вказувати на те, що зона сканування РЛС самонаведення ракети становить одну або дві милі. Система РТР отримує з цього найрізноманітнішу інформацію.

Подібно до цього, характеристики сканування РЛС можуть також дати цінну інформацію про загрози в локальному середовищі (рис. 4). Наприклад, спостереження за амплітудою сигналу залежно від часу може виявити тип антени, якою сканує радар, і діаграму сканування. Ці відомості корисні для визначення, що саме радар випромінює, і як він використовується.

Крім простого накопичення даних РТР про РЛС і її платформу, відомості про радар можуть сприяти покращенню та направленню розвитку техніки РЕБ. Наприклад, комбінації ехо-сигналів можуть бути синтезовані і передані на приймач РЛС раннього попередження для відображення технічних ресурсів, які фізично там відсутні. Ракети можуть відстежувати помилкові ехо-сигнали РЛС, які впливають на їх стробування по дальності і змушують ігнорувати цілі. Інформація про доплерівське зміщення частоти також може бути використана для обману обладнання цілевказування.

ПРОБЛЕМИ ВИПРОБУВАННЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ РЛС І РЕБ

Наведений вище огляд деяких питань проєктного характеру, пов'язаних з обладнанням РЛС, РТР і РЕБ проливає світло на рівень складності використовуваних схем. Випробування сучасних радіолокаційних систем висувують унікальні вимоги до випробувального та вимірювального обладнання. Далі коротко обговорюються деякі загальні проблеми, що виникають у процесі випробувань.

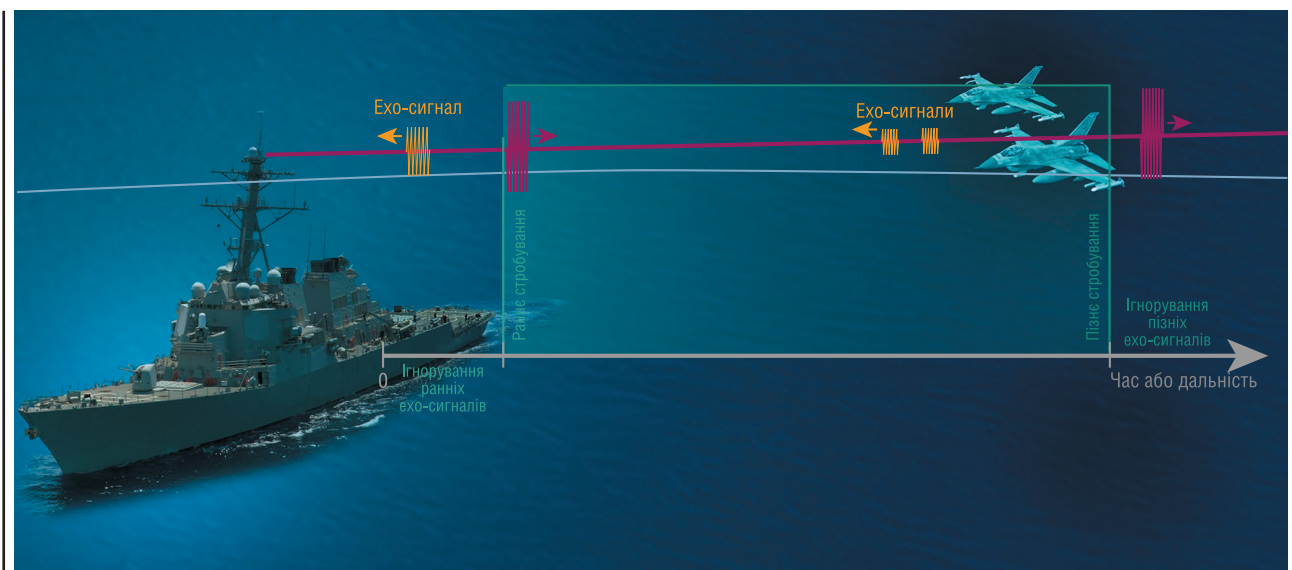


Рис. 3. Часове стробування або стробування за дальністю

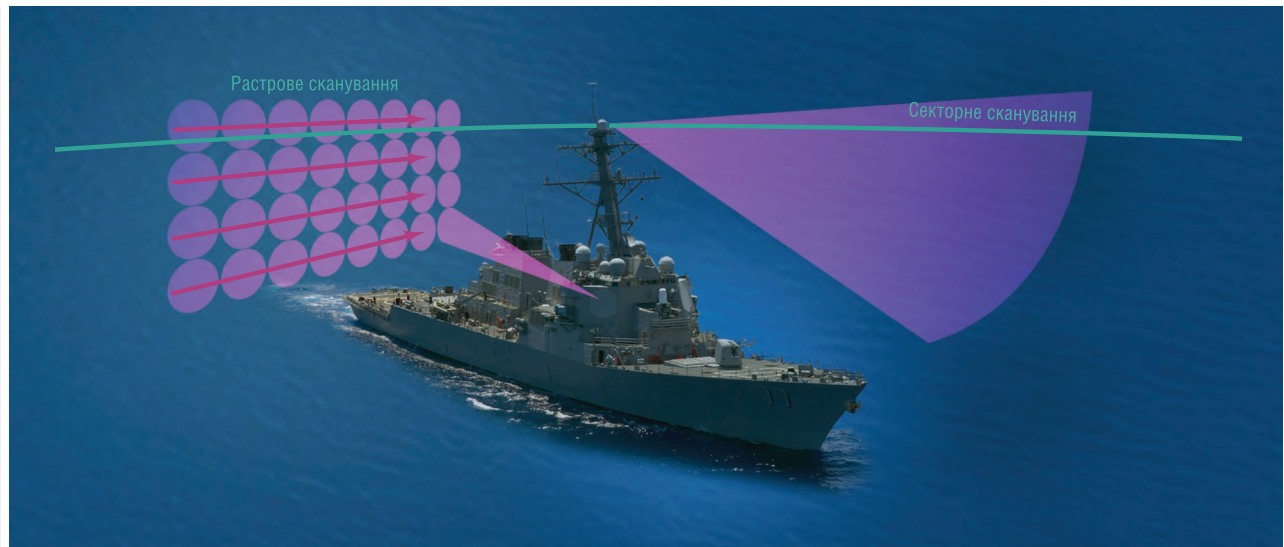


Рис. 4. Діаграми сканування антени

Для багатьох сигналів РЛС характерні широкі смуги частот. Для ЛЧМ або модульованих імпульсів можуть знадобитися смуги частот в декілька ГГц, що вимагає широкосмугового випробувального обладнання.

Іншою загальною вимогою до випробувального обладнання для РЛС є низький рівень фазового шуму. Доплерівські РЛС часто вимірюють швидкість зміни фази в часі, оскільки їхні радіолокаційні імпульси можуть бути недостатньо довгими, щоб проінтегрувати цикли різниць частоти. При виконанні цих прецизійних вимірювань змін фази фазовий шум має бути дуже низьким, що висуває жорсткі вимоги до характеристик фазового шуму вимірювальних приладів.

Аналогічно іншою проблемою для випробувальних систем РЛС можуть бути високі вимоги до динамічного діапазону. Зазвичай ці вимоги виникають через великі втрати сигналу на шляху поширення від передавача до прийому зворотного ехо-сигналу.

Як ми бачили досі, багато переваг використання стиснення імпульсів для кращої роздільної здатності та однозначного визначення дальності часто викликають необхідність синтезу складних форм випробувальних сигналів. Надалі рівень складності збільшується у зв'язку з необхідністю врахування доплерівських зміщень для РЛС, які визначають швидкість.

Ще однією проблемою, що стоїть перед розробниками РЛС, є поширене використання РЛС, характеристики яких визначаються програмним забезпеченням. Багато сучасних типів РЛС вимагають тестових сигналів і вимірювань не тільки в традиційній ана-

логовій формі на ВЧ, а й у цифрових форматах. Таке багатоформатне випробування може становити реальну проблему за необхідності отримання хорошої відповідності між результатами вимірювань цифрових сигналів і аналоговими вимірюваннями.

Повномасштабне випробування системи часто є основною проблемою для обладнання РЛС, РТР і РЕБ. І насамперед це зазвичай питання вартості випробувального обладнання. Наприклад, для моделювання доплерівських зміщень, заважаючих ехо-сигналів, та інших елементів сигналу під час випробування бортової корабельної РЛС керування вогнем може знадобитися корабель і декілька випробувальних літаків. Користування такими тестовими платформами можуть легко коштувати десятки тисяч доларів на годину, щоб коректно виконати випробування системи цілевказування.

І нарешті, багато РЛС використовують системи з фазованою антенною решіткою. Ці антенні системи використовують розподіл моментів часу приходу хвильового фронту серед багатьох антенних портів для керування положенням головної пелюстки діаграми спрямованості антени. Це вимагає тестових сигналів і вимірювань, що забезпечують багато каналів, фазово-когерентних і фазорегульованих джерел сигналів або аналізаторів. Так звана випробувальна система для багатоканальної антенної решітки (multichannel array test system) ставить перед інженерами-випробувачами РЛС цілком реальні проблеми.

Розглянувши деякі з основ радіолокаційних систем і пов'язані з ними про-

блеми випробувань, тепер слід звернути увагу на унікальні властивості випробувального обладнання компанії Keysight, яке значно полегшує розв'язання деяких складних випробувальних завдань. Спочатку розглянемо генерацію тестових сигналів для РЛС.

ГЕНЕРАЦІЯ ТЕСТОВИХ СИГНАЛІВ

У багатьох випадках під час розроблення та виробництва РЛС потрібні широкосмугові мікрохвильові генератори сигналів. Їх зазвичай використовують для таких застосувань, як підстанова стабілізованого гетеродина (STALO), випробування когерентного гетеродина (COHO) та імітація випромінювання цілі.

Створення точної моделі сигналів, які приймає РЛС, може виявитися досить складним завданням. На щастя, сучасні генератори сигналів і генератори сигналів довільної форми, що використовують цифрове оброблення сигналів (ЦОС), здатні створювати модельовані сигнали джерел випромінювання та електромагнітну обстановку з реалістичним погіршенням якості передавання і спотвореннями в тракті поширення сигналів, які точно моделюють віддалені цілі. Одне важливе зауваження: під час використання звичайних універсальних генераторів сигналів і генераторів сигналів довільної форми модельовані сигнали зазвичай не є когерентними щодо приймача РЛС. Незважаючи на це, некогерентні сигнали є ефективним засобом тестування пасивних РЛС, мультистатичних РЛС і систем радіоелектронної протидії (ЕСМ).

Генератори сигналів довільної форми та джерела сигналів компанії Keysight

Справжня перевага генератора сигналів довільної форми (AWG) полягає в його здатності відтворювати практично будь-які форми сигналів, наявні в його пам'яті (рис. 5). Наприклад, AWG, який здатний одночасно забезпечити і високу роздільну здатність, і широку смугу частот, спрощує моделювання ситуації, коли РЛС випромінює, а цілі розсіюють сигнал у межах певного тестового діапазону, що імітує сотні кубічних миль повітряного простору.

У минулому смуга частот була основним обмеженням для більшості генераторів сигналів довільної форми. У найостанніших моделях цю проблему значною мірою вирішено для багатьох застосувань. Наприклад, генератор сигналів довільної форми M8190A забезпечує роздільну здатність 14 біт при частотах дискретизації до 8 Гвб/с і 12 біт — при частотах дискретизації до 12 Гвб/с. Завдяки цьому забезпечується можливість генерації сигналів у смугах частот до 5 ГГц, вільних від ефекту накладення. Використовуючи техніку комбінування і перетворення частоти, можна отримати навіть ширші смуги частот, вільні від ефекту накладення.

Ймовірно, більш важливим параметром при виборі генератора сигналів довільної форми, є динамічний діапазон, вільний від паразитних складових (SFDR). На нього впливає бітова роздільна здатність (число біт), що забезпечується цифро-аналоговим перетворювачем (ЦАП) всередині генератора сигналів довільної форми. Також він залежить від якості схеми перетворення частоти, яка переносить сигнал довільної форми в мікрохвильовий діапазон частот.

Теоретично кожен біт роздільної здатності ЦАП може давати максимум 6.02 дБ SFDR. Однак, на практиці для ЦАП часто використовується термін «ефективне число бітів» (ENOB), або «еквівалентне число бітів». З урахуванням проблем, пов'язаних із нелінійністю перетворення ЦАП, дійсне збільшення SFDR буде меншим на біт, ніж теоретичне значення 6.02 дБ.

Широкопasmовий ЦАП також зазнають втрат через явище, яке характеризується спадом плоскої частини АЧХ у межах смуги пропускання, що ще більше знижує динамічний діапазон на високочастотному кінці смуги. Крім того, функція дискретизації має спад характеристики за законом $\sin x/x$. Тому частотна характеристика генератора сигналів довільної форми спа-

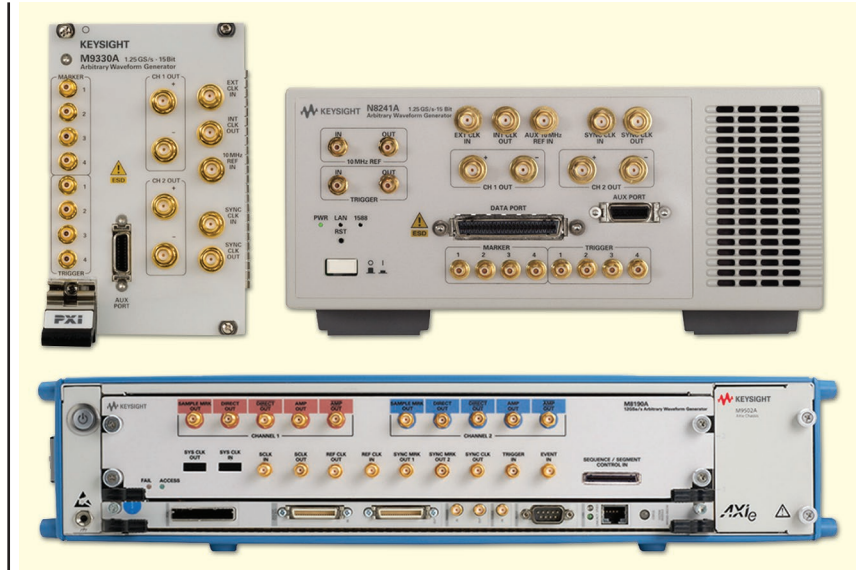


Рис. 5. Генератори сигналів довільної форми компанії Keysight

дає зі збільшенням частоти; але оскільки цей спад є властивістю, притаманною функції дискретизації, він не береться до уваги під час формування SFDR. Таким чином, 75 дБ SFDR в загальному випадку характеризує найнижчу частоту діапазону. На найвищій частоті динамічний діапазон зазвичай нижчий на 5–7 дБ.

На додаток до числа біт і втрат SFDR через функції дискретизації, перетворення вверх на частоту мікрохвильового діапазону створює іншу низку проблем при створенні корисних сигналів. Це підвищувальне перетворення може виконуватися або внутрішніми засобами джерела сигналу, або за допомогою окремого зовнішнього пристрою. Може здатися простішим виконати підвищувальне перетворення сигналу на потрібну частоту за допомогою гетеродина (LO) з фіксованою частотою, використовуючи змішувач і пару фільтрів. Але практично гармоніки гетеродина і продукти перетворення часто комбінуються з корисним сигналом і створюють внутрішньосмугові комбінаційні складові, які можуть істотно обмежити SFDR.

Багато РЛС вимірюють фазові зміщення від імпульсу до імпульсу для отримання даних про доплерівське зміщення частоти або про швидкість цілі. Щоб уникнути додавання небажаного фазового шуму під час перетворення частоти вверх, генератор сигналів повинен також мати низький рівень фазового шуму.

Компанія Keysight пропонує повний набір генераторів сигналів і генераторів сигналів довільної форми з чудовими характеристиками SFDR і фазового шуму. Наприклад, аналоговий генератор сигналів E8257D серії PSG має найкращі в

галузі характеристики фазового шуму, майже -143 дБн/Гц (тип.) для сигналу частотою 1 ГГц за відстроювання від носійної 10 кГц (опція UNY). Для перетворення вверх аналоговий генератор серії PSG можна також конфігурувати з внутрішнім змішувачем, або із зовнішнім змішувачем і подвоювачем частоти.

Мікрохвильовий векторний генератор сигналів E8267D серії PSG має входи I/Q-модуляції та забезпечує перекриття за частотою до 44 ГГц (і вище із зовнішніми змішувачами). Входи модуляції сумісні з генератором сигналів довільної форми M8190A. Працюючи спільно, ці два вимірювальних прилади з високими характеристиками можуть виробляти сигнали зі смугою 2 ГГц, з частотою до 44 ГГц і з чудовими характеристиками SFDR і фазового шуму.

Іншим способом полегшення багатьох із цих проблем є пряме цифрове перетворення вгору, яке забезпечується кращими із сучасних генераторів сигналів довільної форми. Широкопasmовий генератор сигналів довільної форми, використовуючи цей спосіб, дає змогу безпосередньо генерувати сигнали ПЧ. У двоканальному генераторі сигналів довільної форми M8190A кожен канал має окремі пристрій цифрового перетворення вгору, і ці канали можна використовувати в «зв'язаному режимі», щоб отримати фазово-когерентні вихідні сигнали. Такі параметри, як носійна частота, амплітуда і форма сигналу, можна встановлювати незалежно, а комплексні дані I і Q перетворюватимуться з підвищенням частоти в потрібний діапазон частот цифровими методами, забезпечуючи чудову якість сигналу,

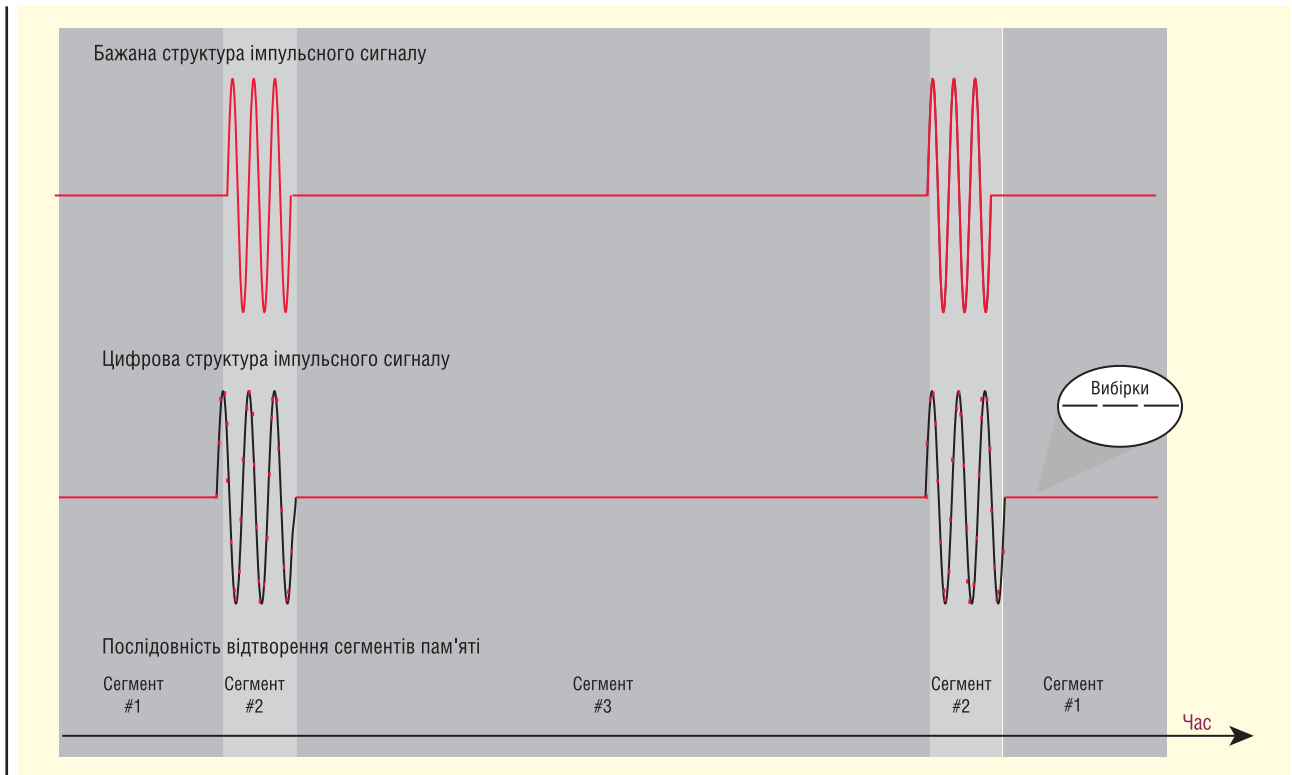


Рис. 6. Сегментування сигналу, формування послідовностей і сценаріїв

з SFDR, що сягає 80 дБн і рівнем гармонійних спотворень, що не перевищує -72 дБн (обидва значення є типовими).

Інший важливий предмет для обговорення при виборі генератора сигналів довільної форми або векторного генератора сигналів з можливостями генерації сигналів довільної форми — конфігурація пам'яті. Будь-який із цих типів приладів створює сигнали за допомогою відтворення цифрової інформації з пам'яті. Додавання стандартних або опціональних можливостей завдання послідовностей і режимів відтворення може ще більше підвищити ефективність використання генератора сигналів.

Найпростіший підхід до організації пам'яті сигналів полягає у використанні одного великого блоку високошвидкісної пам'яті з довільною вибіркою і відтворенні сигналів з цієї пам'яті. Це добре працює в разі одноразових імпульсів або дуже коротких ВЧ-подій; але за високих швидкостей передавання даних, необхідних для підтримки частоти дискретизації 12 ГГц і роздільної здатності 12 біт, сигнал має бути дуже коротким.

Щоб забезпечити триваліший час відтворення, деякі виробники розширили цей підхід з метою забезпечення можливості роботи з великими дисковими масивами (RAID-системами) ¹.

Підхід із використанням одного великого блоку пам'яті відтворення сиг-

налів дуже обмежений у застосуванні, оскільки більшість ВЧ-сигналів є періодичними за своєю природою. Навіть при використанні обсягу пам'яті, що обчислюється терабайтами, з RAID-масиву, час послідовного відтворення може бути обмежений кількома секундами сигналу.

Рішення полягає в тому, щоб для сигналів, що повторюються, таких як імпульсні послідовності РЛС, організувати більш ефективні можливості доступу до пам'яті. Для підтримки генерації повторюваних сигналів швидка пам'ять відтворення сигналів може бути організована таким чином, щоб дозволити відтворювати сегменти сигналу у вигляді циклів або нескінченної послідовності. Розширені можливості генерації послідовностей, як-от умовний перехід, дають змогу створювати дуже складні сегменти та сценарії. Крім того, деякі генератори сигналів компанії Keysight забезпечують динамічне керування послідовностями, яке підтримує пряий доступ до сегментів пам'яті сигналу в реальному часі. При об'єднанні цих можливостей керування з пам'яттю сигналів, досить великою, щоб забезпечити зберігання до 2 Гвиб на вихідний канал генератора сигналів довільної форми (M8190A), стає можливим реалізація дуже склад-

них і реалістичних сценаріїв сигналів з тривалим часом відтворення.

Після того як обрано джерело сигналу зі смугою частот, SFDR, рівнем фазового шуму і можливостями керування послідовностями, що відповідають вимогам розв'язуваної задачі, наступним завданням є створення цифрового еквівалента потрібної форми сигналу з використанням програмних засобів, таких як Signal Studio або SystemVue компанії Keysight чи MATLAB компанії The MathWorks (рис. 6).

Основні характеристики Signal Studio для створення імпульсів

Ця спеціалізована версія програмного забезпечення Signal Studio (N7620B) підтримує великий масив форм імпульсів і діаграм спрямованості антен, імпортованих або визначених за допомогою програмних засобів.

Параметри імпульсу:

- тривалість фронту і спаду;
- форма перепаду;
- джитер;
- структура по тривалості імпульсу;
- внутрішньоімпульсна модуляція.

Параметри імпульсної послідовності:

- число повторень імпульсів;
- період повторення імпульсів (PRI) або частота повторення імпульсів (PRF);

¹ RAID: масив недорогих/незалежних жорстких дисків з надмірністю інформації.

- структури PRI: пакетна, лінійно змінювана, така, що хитається, ступінчасто змінювана;
- джитер PRI: з гаусівським, рівномірним або U-подібним розподілом;
- волюція PRI: пилкоподібна, трикутна або синусоїдальна;
- масштабування амплітуди;
- зміщення частоти;
- зміщення фази;
- додаткова тривалість вимкненого стану.

Внутрішньоімпульсна модуляція:

- ступінчаста AM;
- коди Баркера (сім типів);
- BPSK і QPSK, визначається користувачем;
- внутрішньоімпульсна частотна модуляція (лінійна або нелінійна);
- QPSK і QPSK, визначається користувачем;
- багатозанні коди.

Діаграми сканування антени:

- кругова;
 - конічна;
 - визначається користувачем;
 - двонаправлена растрова;
 - односпрямована растрова;
 - двоспрямована секторна;
 - односпрямована секторна.
- #### Структури випромінювання антени:
- прямокутна;
 - косинус (п'ять різновидів);
 - Блекмана і точне Блекмана;
 - Хеммінга;
 - триелементна (Three-term);
 - визначається користувачем.

Просте створення імпульсів для генераторів сигналів компанії Keysight

Залежно від застосування, імпульсні сигнали РЛС використовують широкий набір характеристик: тривалість імпульсу; період повторення імпульсів (PRI) або його зворотна величина — частота повторення імпульсів (PRF); модуляція і багато інших. Створення прийнятних випробувальних сигналів вимагає серйозних зусиль, і синтез імпульсних випробувальних сигналів в подальшому ускладнений бажаною системою діагностики: для випробування функцій вимірювання швидкості може бути потрібне доплерівське зміщення частоти або зміщення фаз від імпульсу до імпульсу, для випробування системи РТР може бути потрібна симуляція діаграми сканування антени. Щоб задовольнити ці потреби, програмні засоби повинні підтримувати формування численних структур імпульсних послідовностей для створення сигналів і забез-

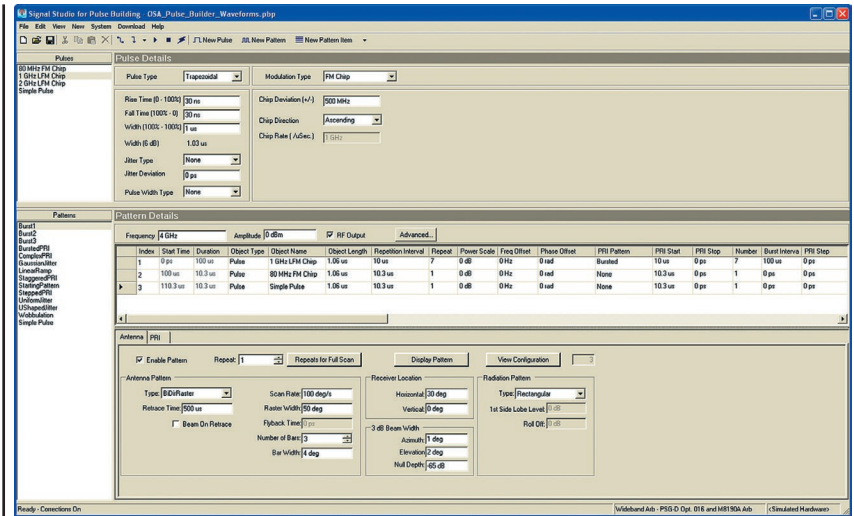


Рис. 7. Програма Signal Studio компанії Keysight для створення імпульсів

печувати широке розмаїття характеристик антен, які можна застосувати для синтезованих сигналів.

Розуміючи складність цих завдань, компанія Keysight розробила програму Signal Studio для створення імпульсів (N7620B) (рис. 7). Ця програма дає змогу легко вводити основні параметри як для простих імпульсів зі станами увімкнено/вимкнено, так і для складних спеціалізованих стиснених імпульсів, в тому числі таких, які визначаються користувачем.

Для тестування компонентів, передачачів і приймачів РЛС, програма Signal Studio для створення імпульсів дає змогу задавати параметри, такі як період повторення імпульсів (PRI), число повторень імпульсів, джитер періоду повторення і волюцію PRI. Доступні моделі PRI охоплюють: постійну, лінійно змінювану, таку, що хитається, ступінчасто змінювану. Джитер PRI можна визначити з гаусівським, рівномірним або U-подібним розподілом. Можна вибрати пилкоподібну, трикутну або синусоїдальну волюцію PRI. Ці можливості дають змогу проводити низку тестів приймача:

- тестування реакції системи на створення шляхом створення структур тривалості імпульсу з джитером;
- тестування вікна селекції за дальністю і роздільної здатності за дальністю/ доплерівської неоднозначності за допомогою складних моделей PRI;
- тестування режимів селектора рухомих цілей (MTI) і обробки доплерівського зміщення шляхом введення зміщення частоти і фази;
- тестування здатності придушення заважаючих ехо-сигналів шляхом створення спеціальних імпульсів із заважаючими ехо-сигналами.

Параметри кожного імпульсу, які знаходяться в бібліотеці, можуть бути об'єднані в моделі імпульсних послідовностей для синтезу складних наборів моделей випромінювань РЛС. Після того, як параметри імпульсу введені, наступний крок полягає в завантаженні даних форми сигналу в генератор сигналів довільної форми або генератор сигналів. Після цього тестові сигнали будуть готові для відтворення.

Моделювання діаграм антен

Програма Signal Studio для створення імпульсів дає змогу моделювати безліч діаграм антен, які можна застосувати до сигналів. Ця властивість особливо корисна для прикладних завдань, пов'язаних із РТР і РЕБ, коли тестовані системи мають бути поміщені в середовище, насичене сигналами, що імітують реальні цілі. Багато з цих систем РТР і РЕБ використовують дані з діаграми антени для ідентифікації конкретних цілей та загроз, сигнали від яких отримано.

Діаграми антен РЛС є певною мірою унікальними, оскільки вони зазвичай включають сканування або переміщення антенного променя залежно від використання РЛС (рис. 8). Наприклад, корабельна РЛС може мати кругову діаграму сканування, щоб відобразити об'єкти на поверхні океану в усіх напрямках. Реактивний винишувач для своєї погодної РЛС використовує, ймовірно, сканування переднього сектору. Керована ракета дальньої дії може використовувати фазовану антенну решітку для РЛС цілевказання, а ракета, запущена з корабля, могла б використовувати РЛС із конічним скануванням.

Для випробування систем РТР і РЕБ, які реагують на такі типи цілей та за-

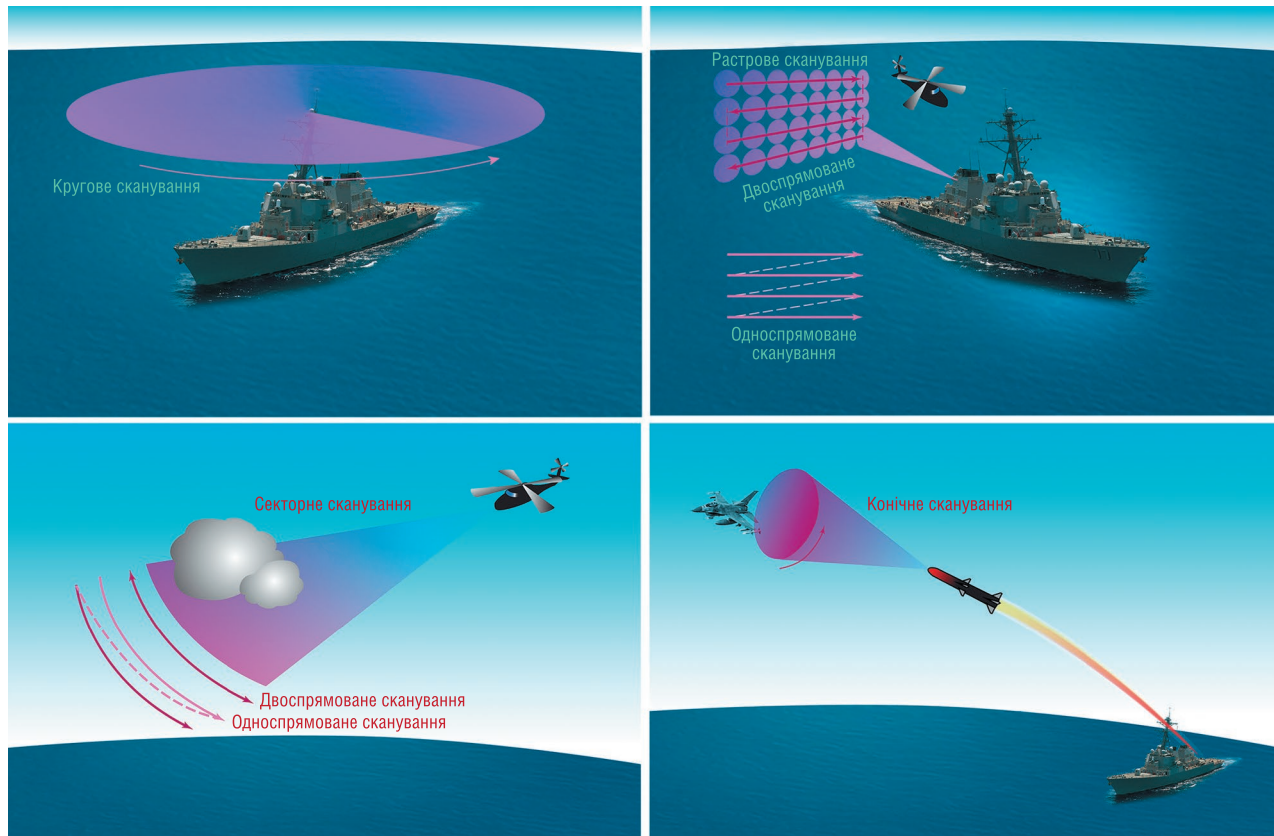


Рис. 8. Діаграми сканування антен

гроз, необхідна можливість формування такої структури імпульсів, яка б імітувала скануючу РЛС.

Програма Signal Studio для створення імпульсів компанії Keysight підтримує різноманітні діаграми сканування, включно з круговою, яка зазвичай використовується на кораблях, секторною, що використовується в літаках, конічною, яка часто використовується в ракетах, і растрове сканування, яке зазвичай застосовують у системах цілевказання з фазованими решітками.

Щоб точно симулювати скануючу антену, необхідно брати до уваги вплив бічних пелюсток діаграми спрямованості антени. Оскільки всі спрямовані антени РЛС мають кінцеві розміри, вони створюють бічні пелюстки деякої форми, які розташовані поза віссю головної пелюстки діаграми спрямованості. Таким чином, коли РЛС сканує зону огляду, бічні пелюстки випереджають головну пелюстку, потім працює головна пелюстка, і нарешті знову бічні пелюстки.

Імітація сигналів, що представляють комбінацію амплітудної модуляції, викликану скануванням антени та її бічними пелюстками, з модуляцією обвідної імпульсу і внутрішньою модуляцією стиснення імпульсу, може виявитися складним завданням.

За допомогою програми Signal Studio для створення імпульсів компанії Keysight спрощує розв'язання цієї задачі, даючи змогу задавати рівні бічних пелюсток антени, вказувати кути, положення цілі, швидкість сканування, ширину променя і швидкість спаду (рис. 9).

Пакет Signal Studio for Pulse Building дає змогу задавати діаграму спрямованості антени, використовуючи популярні

вікна просторового перетворення. Вікна Блекмана, Хеммінга, Хеннінга, прямокутне, триелементне (Three-term), косинусне і навіть програмоване доступні для опису просторового розподілу енергії.

Бібліотеки імпульсних послідовностей

Необхідність генерації імпульсних послідовностей із багатим набором

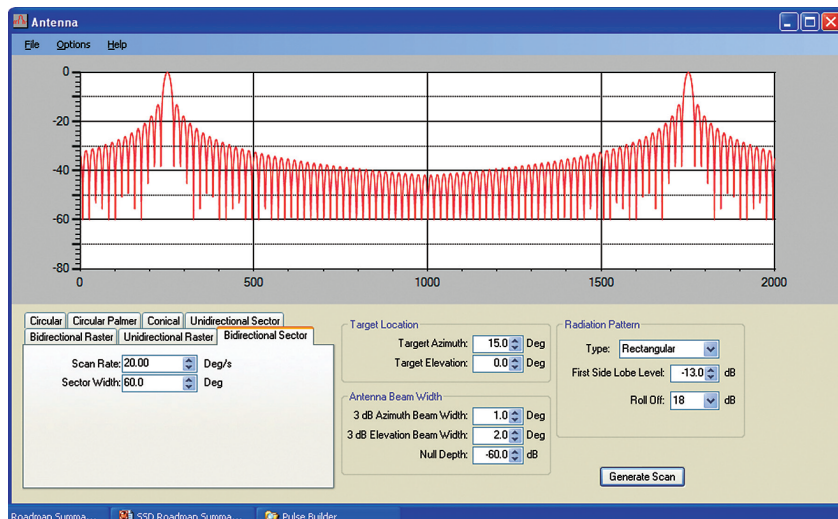


Рис. 9. Моделювання діаграми сканування антени в програмі Signal Studio для створення імпульсів

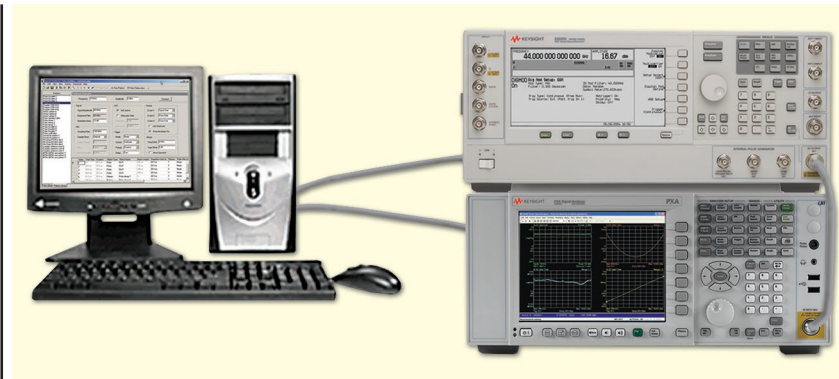


Рис. 10. Цифрові попередні спотворення за допомогою генератора сигналів серії PSG компанії Keysight

властивостей для імітації складних середовищ систем РТР продовжує зростати в міру ускладнення устаткування, призначеного для автоматичного реагування на множинні загрози. Багато організацій створили каталоги випромінювань від різних радіолокаційних джерел. Це дає змогу заздалегідь запрограмувати системи РТР і системи цілевказання, щоб вони відповідним чином реагували на кожну загрозу.

Програма Signal Studio для створення імпульсів забезпечує зв'язок із популярними базами даних, включно з електронними таблицями Microsoft®Excel, для полегшення імпорту характеристик імпульсів. Ця зручна функція імпорту полегшує генерацію реалістичних сценаріїв виконання завдань систем РТР з метою тестування РЛС і обладнання радіоелектронної протидії.

Широкопasmові попередні спотворення

З точки зору динамічного діапазону, відтворення записів сценаріїв виконання завдання дуже схоже на відтворення аналогового запису музики. Вузкий динамічний діапазон запису знижує його корисність як тестового сигналу для визначення відгуку РЛС або систем РТР.

Генератори сигналів довільної форми і генератори сигналів компанії Keysight мають найкращий з доступних динамічний діапазон (SFDR), який є ключовим критерієм вибору для багатьох застосувань. Щоб зробити ці прилади ще більш корисними, компанія Keysight надає можливість розширення їхніх робочих характеристик за допомогою введення цифрових широкопasmових попередніх спотворень імпульсу РЛС (рис. 10).

Нелінійні ефекти в ЦАП і компонентах, що з'являються в результаті, можуть спотворити структуру імпульсів через інтермодуляцію частотних складових, що утворюють імпульс. Інтермодуляційні

складові значно зменшують динамічний діапазон тестового сигналу.

Використання цифрових попередніх спотворень сигналу, синтезованих за допомогою програми Signal Studio для створення імпульсів (Pulse Building), дає змогу придумати ці інтермодуляційні складові для отримання неперевершеного динамічного діапазону або, навпаки, посилити їх для тестування меж робочого режиму.

За допомогою зовнішнього аналізатора сигналів компанії Keysight, такого як N9030A, синтезована структура тестових імпульсів аналізується, і компоненти попередніх спотворень додаються до джерела для компенсації нелінійності впробувальній системі. Ця складна випробувальна система проста у використанні, автоматично визначає і застосовує необхідні корекції для вимірювання, що мінімізує продукти інтермодуляційних спотворень (IMD).

Тепер можна бачити, як генератори сигналів компанії Keysight за допомогою програми Pulse Building можуть створювати детальні структури імпульсів РЛС, і як це обладнання дає фахівцям із систем РЛС або РТР очевидну конкурентну перевагу при створенні обладнання для вирішення відповідальних завдань. Деякі переваги можна розглянути на прикладі штучного випробувального полігона.

Далі буде

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,
http://unitest.com**

CN

ГЕНЕРАТОР ВЕКТОРНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЩІЛЬНИХ ШИРОКОСМУГОВИХ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ДОДАТКІВ

Компанія **Keysight Technologies, Inc.** представила новий компактний чотирьоканальний генератор векторних сигналів (VSG), що здатний генерувати сигнали до 8.5 ГГц зі смугою модуляції 960 МГц на канал. N5186A MXG — це високопродуктивний VSG наступного покоління в портфоліо генераторів сигналів Keysight серії X, що забезпечує створення численних, індивідуально складних сигналів, необхідних для щільних широкопasmових багатоканальних застосувань.

Технології бездротового зв'язку і радіолокації, що розвиваються, вимагають більш високого частотного покриття з використанням складних схем модуляції, таких як MIMO, формування променя і мультиплексування, для максимізації пропускної здатності даних. Для тестування цих застосувань потрібні прилади для генерації сигналів, які підтримують відмінну якість модуляції при роботі з великою смугою пропускання. Для досягнення більш високих частот, більшої пропускної здатності і більш складних схем модуляції інженерам-розробникам мереж і конструкторам зазвичай потрібно більше місця на стенді для додаткового випробувального обладнання і пристосувань.

Keysight N5186A MXG вирішує цю проблему шляхом спрощення складних налаштувань за рахунок зменшення кількості зовнішніх підключень і до чотирьох каналів в компактному форм-факторі 2U. Як перший в світі генератор сигналів з вбудованим рефлектометром, N5186A MXG забезпечує надзвичайно точні сигнали для пристрою, що тестується (DUT).

Забезпечуючи стабільні та повторювані результати, генератор векторних сигналів N5186A MXG є ідеальним рішенням для широкого спектру комерційних та аерокосмічних оборонних застосувань. Спеціальні інтегральні схеми (ASIC) ЦАП MXG використовують DDS для передачі точних сигналів, щоб мінімізувати спотворення і відповідати новим стандартам проектування компонентів і модулів. Крім того, вбудований рефлектометр прискорює процес налаштування, коригуючи відповідність DUT, що дозволяє скоротити час тестування.

www.keysight.com