

# Рішення Mini-Circuits для систем зв'язку, безпеки, спеціальних та аерокосмічних застосувань

**Олег Колотун**, менеджер з продукції ВЧ/НВЧ напрямку, компанія «Віаком»  
E-mail: oleg.kolotun@biakom.com

**У цій статті пропонується до вашої уваги продукція та приклади рішень компанії Mini-Circuits для систем зв'язку, безпеки, спеціальних та аерокосмічних застосувань у ВЧ/НВЧ та мікрохвильовому (HF&mW) діапазонах хвиль. Приділено особливу увагу опису використання продукції Mini-Circuits в спеціальних системах активного ураження, таких як РЕБ та протидія БПЛА, і також у радарях з активною фазовою антенною решіткою (АФАР).**

Компанія Mini-Circuits була заснована ще в 1969 році. Сьогодні вона є глобальним лідером з розробки, виробництва та дистрибуції ВЧ та НВЧ компонентів, що використовуються у широкому діапазоні частот — від DC до 100 ГГц в різних сферах застосувань: комерційних, індустріальних, спеціальних, військово-космічних тощо.

Компанія Mini-Circuits пропонує наступну продукцію:

- адаптери;
- генератори, керовані напругою (VCO's);
- підсилювачі;
- фазові детектори;
- атенюатори;
- IQ модулятори/демодулятори;
- Т-образні змішувачі;
- фазообертачі;
- кабелі для тестування;
- детектори потужності;
- суматори;
- вимірювачі потужності;
- неаправлені відгалужувачі;
- дільники потужності;
- DC з'єднувачі;
- дроселі ВЧ;
- фільтри (balloons);
- перемикачі;
- з'єднувачі з фіксованим імпедансом;
- узгоджувальні навантаження;
- обмежувачі;

- трансформатори;
- частотні змішувачі;
- налагоджувальні комплекти;
- індуктивності.

Продукція компанії Mini-Circuits постачається до багатьох країн та має попит у широкого спектра замовників світового рівня, й тому має різні варіанти виконання: безкорпусні (Die), корпусні (MMICs), мультичипові, модульні, а також у вигляді тестувальних плат.

Продукція виробляється за такими основними технологіями:

- LDMOS, GaAs, GaN pHEMT (high power);
- E-, D-Mode GaAs pHEMT (low noise);
- GaAs HBT, InGaP HBT (Low phase noise).

Замкнуті цикли контролю якості виробництва, випробування на надійність

забезпечують тривалий термін служби продукції, її високі характеристики та 100% готовність до застосування. Виробництво компанії Mini-Circuits сертифіковане за стандартами ISO-9001:2000, ISO-14001.

Як конкурентоспроможний та надійний виробник, компанія продовжує вдосконалювати проектування та виробництво своєї продукції на ринку сучасних ВЧ/НВЧ технологій.

## ЗАСТОСУВАННЯ ПРОДУКТІВ MINI-CIRCUITS

Продукція компанії Mini-Circuits знайшла застосування у різноманітних галузях як в аерокосмічних, морських, наземних радарних системах, системах спеціального призначення, супутниках зв'язку, стільникових мережах, так і у наукових експериментах та медицині, а саме:

- WiMax;
- ADS;
- CATV
- Cellular Wireless;
- RFID;
- Radars (terrestrial, marine, aerospace);
- Medical Equipment;

## СЛОВНИК

**АФАР** — активна фазова антенна решітка (Active Electronically Scanned Array, AESA)

**ПФАР** — пасивна фазована антенна решітка (Passive Electronically Scanned Array, PESA)

**ФАР** — фазована антенна решітка

**ADS** — спеціальні системи активного ураження (Active Denial System)

**HF&mW** — ВЧ/НВЧ та мікрохвильовий діапазон хвиль

**РСА** — радари з синтезованою апертурою антени (Synthetic Aperture Radar, SAR)

**РЕБ** — радіоелектронна боротьба

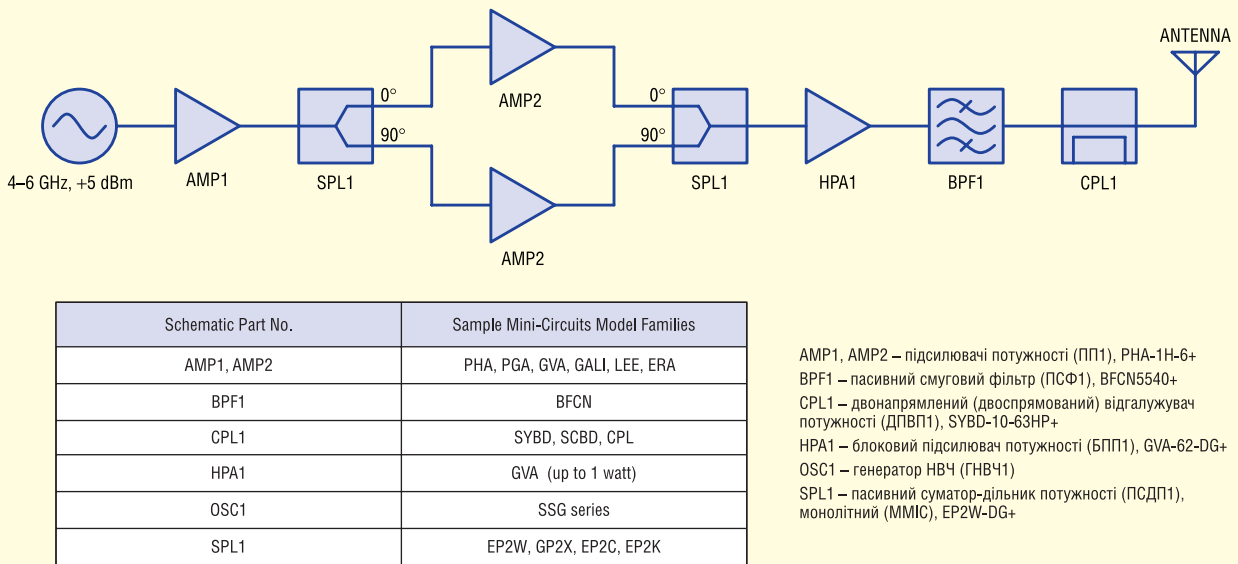


Рис. 1. Блок-схема каналу підсилювача С-діапазону 4–6 ГГц із застосуванням продуктів Mini-Circuits

- Test Equipment;
- Receivers;
- Transmitters;
- Satellite.

до застосування компоненти Mini-Circuits:

- блок-схема НВЧ підсилювача 4–6 ГГц (рис. 1) з посиланням на рекомендовані для застосування НВЧ компоненти Mini-Circuits;

- блок-схема побудови 8-канальної АФАР (рис. 2);

• програмне забезпечення.  
 Компанія Mini-Circuits ставить до довговічності продукту як до невід’ємної частини своїх зобов’язань перед

**ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ, ТЕХНІЧНА ПІДТРИМКА, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ MINI-CIRCUITS**

Розробникам ВЧ/НВЧ продукції компанія Mini-Circuits допомагає отримати оптимальні рішення їхніх проєктів, а саме: пропонуються приклади блок-схем, розрахунку параметрів кінцевих виробів і рекомендації щодо застосування конкретних продуктів компанії у відповідних проєктах.

Для оптимізації та зменшення термінів розробки ВЧ/НВЧ виробів Mini-Circuits пропонує наступні інженерні рішення:

- розрахунок схем і кіл підсилювачів;
- розширений пошук компонентів схем (Yoni2 Advanced Search);
- моделювання зразків виробів;
- EZ-Sample – безплатна онлайн програма підтримки для запиту зразків радіочастотних компонентів Mini-Circuits, у якій пропонується широкий вибір компонентів для поверхневого монтажу для безплатного зразка, і яка допомагає перевірити продукт та допомогти прийняти обґрунтоване рішення щодо його застосування у важливих проєктах;
- X-Microwave – НВЧ продукти X-діапазону (8–12 ГГц);
- приклади блок-діаграм, схем підсилювачів, де вказані рекомендовані

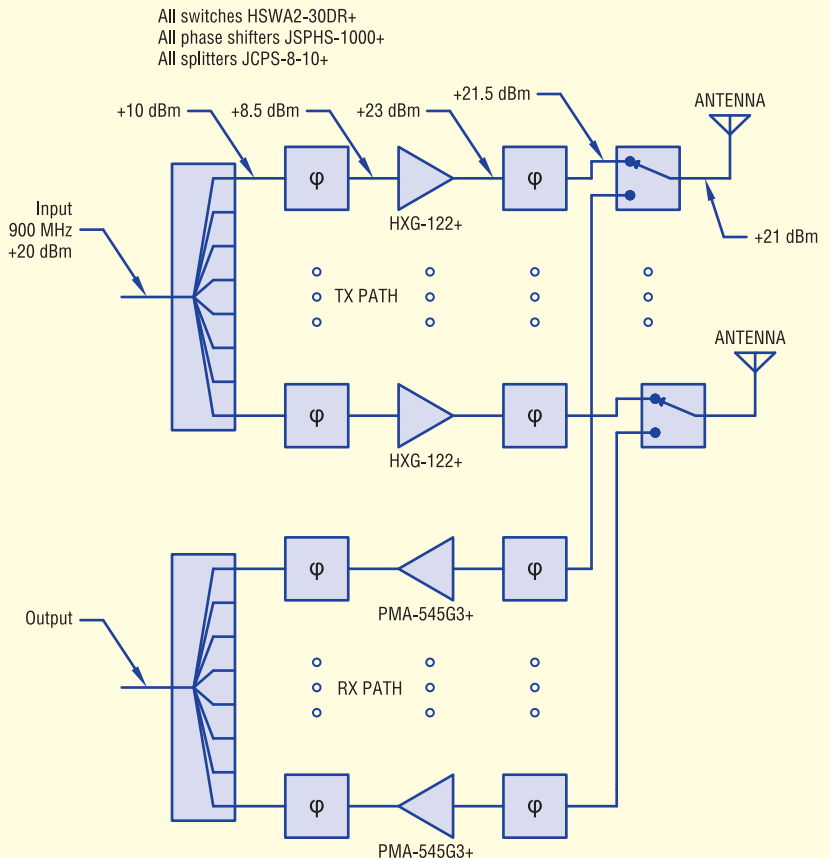


Рис. 1. Блок-схема багатоканальної АФАР з використанням продукції Mini-Circuits HF&MW



**Рис. 3. Переносні системи ADS**

## НАПРЯМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РАДАРІВ З АФАР

Компанія Mini-Circuits не стоїть на місці та постійно розробляє та впроваджує передові технології в наступних напрямках розвитку радарів з АФАР, а саме:

- широке впровадження в радарних великої кількості активних елементів, застосування нових чіпів (MMICs) та модулів;
- побудова АФАР з великими розмірами розкриття антени, у тому числі нееквідистантних ФАР з гостроспрямованими антенами, розташованими в межах цілої півкулі Землі (глобальний радіотелескоп);
- розробка методів та технічних засобів послаблення шкідливих впливів взаємного зв'язку між елементами АФАР;
- розвиток теорії синтезу та методів машинного проектування АФАР;
- розробка теорії та впровадження в практику нових методів обробки інформації, прийнятої елементами АФАР та використання цієї інформації для керування, зокрема для автоматичного фазування елементів (ФАР, що самофазуються) та зміни форми ДС (адаптивні ФАР), РСА з синтезованою апертурою антени;



**Рис. 5. Приклад використання ADS на стаціонарних платформах (PAVE PAWS Radar Clear AFS, Аляска)**

клієнтами. Технічна підтримка продукту здійснюється протягом усього терміну служби. Ця політика Mini-Circuits заслужила довіру розробників протягом останніх 50 років, і компанія, як і раніше, прихильна до зміцнення цієї довіри зі збереженням стабільності й надалі.

### АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ ММІС MINI-CIRCUITS ДЛЯ РАДАРІВ З АФАР, ПФАР, РАДІОНАВІГАЦІЇ, ADS ТА КОСМІЧНИХ СИСТЕМ РСА

Компанія Mini-Circuits пропонує до застосування різноманітні серії своїх продуктів для кожної складової частини кінцевого виробу. Залежно від технічних вимог розробнику пропонується обрати оптимальний НВЧ продукт.

Сучасні радары з АФАР та ПФАР можуть забезпечувати дальність виявлення більш ніж 250 км. До радара прикладається весь набір картографування із можливістю розпізнавання цілей та їх координат, тобто для вирішення широкого спектра завдань. Такі радары можуть забезпечити більше ніж 1 000 годин напрацювання на відмову.

MMICs сучасних радарів з АФАР працюють з напругою 3–5 В, максимум 50 В. Така напруга не має високих вимог до експлуатації. Застосування в апаратурі радарів з АФАР MMICs в корпусному виконанні значно збільшує надійність системи. Використовувати цю

технологію можна для радарів в гелікоптерах, перспективних літаках дальньої авіації, наземних системах ППО та морських системах, а також системах РЕБ для БПЛА.

Авіаційну технологію АФАР успішно застосовують у морських локаторах. Як ніколи, флоту сьогодні потрібна велика кількість нових середніх кораблів класу «корвет». Запропонований радар з антеною у вигляді піраміди, що складається з декількох узгоджених АФАР, найбільш технічно придатний для застосування на суднах такого типу. Такий радар дозволяє забезпечити круговий огляд і цим посилити інформаційне поле судна аж до огляду на 360 градусів по азимуту.

Анени з АФАР для телекомунікацій і наземних, морських та бортових радарів мають різноманітні поширені застосування фазованих решіток (виявлення та ураження цілей і живої сили супротивника).

Одним із нових можливих застосувань цих антен є системи активного ураження (короткочасної шоккової дії міліметрового діапазону хвиль (частоти до 95 ГГц)). ADS можуть бути інтегровані як у переносні вироби (рис. 3), так і в мобільні (військовий Humvee з фазованою антенною решіткою, яка здатна обертатися на 360° та встановлена на верхній частині автомобіля на платформі (рис. 4), а також використовуються на стаціонарних платформах (рис. 5).



**Рис. 4. Мобільні системи ADS**

- розробка методів керування незалежним рухом окремих променів у багатопробієвих АФАР.

## ПЕРЕВАГИ ПРОДУКТІВ MINI-CIRCUIT

Радари з АФАР можуть сканувати простір з більшою частотою і виявляти повітряні об'єкти на значно більшій відстані, ніж імпульсно-доплерівські станції. Змінюючи фази сигналів, що випромінюються різними прийнятно-передаючими модулями, вони формують потужний спрямований промінь. Щоб керувати випромінюванням, саму антену повертати не потрібно, тому радари з АФАР не мають рухомих частин, що спрощує їх технічне обслуговування.

Продукти компанії Mini-Circuits мають такі переваги:

- широкий частотний діапазон (від DC до 100 ГГц);
- сучасні технології;
- надійність, високий рівень якості згідно зі стандартами ISO;
- висока інженерно-технічна підтримка, у т. ч. програмне забезпечення;
- широкий спектр сфер застосувань;
- широкий спектр продукції — від фільтрів до генераторів та підсилювачів MMICs.

Кожен розробник, що застосовує продукцію Mini-Circuits має можливість отримати оперативний доступ до документації та наборів розробника, гарантоване оперативне постачання зразків, якість, надійність і довговічність.

## НОВА ПРОДУКЦІЯ MINI-CIRCUITS

Ассортимент продукції Mini Circuits постійно поповнюється новими пропозиціями. Нова продукція та інженерні рішення надані у *каталозі 2021* на сайті виробника:

- WVA-71863HP+ (конекторний WR12, лінійний підсилювач середньої потужності, діапазон частот 71–86 ГГц, 50 Ом, P<sub>sat</sub> = +24.5 дБм, G = 39 дБ);
- SSG-44G-RC (USB широкополосний Ethernet генератор сигналів 0.1–44 ГГц, –40 ... +17 дБм).
- ISC-2425-25+ генератор сигналів — 2.4–2.5 ГГц, –30 ... +25 дБм;
- сумісний (Plug&Play) з підсилювачем ZHL-2425-250X+;
- режекторні фільтри BFHK-Series (Low-Pass, High-Pass, Band-Pass, Band-Stop, Diplexers, Triplexers);

- безвідбивні фільтри до 40 ГГц (Reflectionless Filters);
- коаксіальні навантаження до 65 ГГц, ANNE-50E+;
- підсилювачі до 86 ГГц, WVA-71863HP+ тощо.

Широкий вибір корпусів продукції наведено в каталозі Mini-Circuits та *на сайті компанії «Віаком»*:

Компанія Mini Circuits має одну з найкращих репутацій серед передових виробників сучасних компонентів для електроніки. Без апаратури, що випускається під торговою маркою Mini-Circuits, неможливо організувати якісну роботу телекомунікаційних систем як цивільного, так і спеціального призначення.

Основними принципами компанії були і залишаються:

- надійність, високий рівень якості згідно стандартів ISO;
- широкий частотний діапазон DC до 100 ГГц;
- сучасні технології;
- висока інженерно-технічна підтримка, у т. ч. програмне забезпечення;
- широкий спектр галузей застосувань;
- широкий спектр продукції — від фільтрів до генераторів та підсилювачів MMICs;
- доступна вартість електронних компонентів;
- оперативна доставка товарів.

Все це дозволяє Mini Circuits користуватися довірою у споживачів та незалежним авторитетом у конкурентів.

**Більш детальну інформацію про продукцію, Data Sheet та каталог продукції Mini-Circuits можна отримати в компанії ТОВ «Віаком»:**  
тел.: (044) 507-02-02,  
e-mail: [info@biakom.com](mailto:info@biakom.com),  
<https://biakom.com>

Література:

1. Каталог Mini-Circuits. 2021. [https://www.minicircuits.com/pdfs/Complete%20Catalog\\_2021\\_Digital.pdf](https://www.minicircuits.com/pdfs/Complete%20Catalog_2021_Digital.pdf)
2. Майкл Д. Саймон. Твердотільні радіочастотні системи високої потужності (ADS). 2015 р. <https://cuashub.com/en/content/uk-mod-unveils-rf-directed-energy-weapon-rfdew/>
3. Каталог Mini-Circuits. 2019. <https://biakom.com/products/linecard/627-mini-circuits>
4. Modelithics and Mini-Circuits Expand Partnership With New High-Accuracy Simulation for Mini-Circuits Amplifiers. 2020. <https://www.microwavejournal.com/search?q=Mini-Circuits>

## 3.5-ВТ ММІС РА

Новий 3.5-ватний підсилювач потужності MMIC від компанії **Mini-Circuits** забезпечує широкий динамічний діапазон зі значним запасом для сигналів з високим рівнем PAPR у діапазоні від 8 до 12 ГГц. Коефіцієнт підсилення майже 30 дБ робить PMA5-123-3W+ чудовим драйверним каскадом для імпульсних або лінійних систем. Ця модель випускається в компактному корпусі 5×5 мм у стилі QFN, що ідеально підходить для вбудовування в компактні друковані плати і відповідає високим вимогам SWaP. Ця модель ідеально підходить для радарів X-діапазону, бездротових і VSAT-систем тощо!

## ПРЯМИЙ КУТОВИЙ ХВИЛЕВІД ДО КОАКСІАЛЬНОГО КАБЕЛЮ

Розширена лінійка адаптерів від компанії **Mini-Circuits** тепер містить прямокутні адаптери для переходу з хвильоводів WR10, WR12 і WR15 на гніздові роз'єми 1.0 і 1.85 мм. Ці адаптери охоплюють V, E і W діапазони, що дозволяє використовувати їх у різних типах систем, зокрема для наземного тестування (over-the-air, OTA), систем зв'язку E-діапазону тощо. Низькі втрати на внесення і винятковий VSWR забезпечують неперевершену ефективність передачі. Всі моделі відрізняються прецизійною мікрообробкою і позолоченою конструкцією в міцній, компактній, прямокутній конфігурації.

## ДЖЕРЕЛО РАДІОЧАСТОТНОЇ ЕНЕРГІЇ ПОТУЖНІСТЮ 50 ВТ

Надійне, автономне джерело радіочастотної енергії від компанії **Mini-Circuits** для діапазону 2.45 ГГц ISM, RFS-2G42G5050X+ має коефіцієнт підсилення 53 дБ і вихідну радіочастотну потужність від 0.5 до 50 Вт. Ця конструкція включає вбудоване джерело сигналу з інтегрованим моніторингом, захистом і керуванням, і все це в одному компактному модулі (4.33×2.56×0.62"). RFS-2G42G5050X+ є досить універсальною, щоб працювати з широким спектром промислових систем опалення, обробки матеріалів та медичних застосувань. Система включає в себе зручний графічний інтерфейс користувача і комплексний API з інструкціями з програмування для Windows® і Linux®.

[www.minicircuits.com](http://www.minicircuits.com)