

Система проєктування Advanced Design System

Посібник з проєктування схем 2.0*

Переклад: Вадим Потапенко

Редагування: Віктор Бутирін, директор, Юнітест

E-mail: Victor_Butyrin@unitest.com

РОЗРОБКА НВЧ-ФІЛЬТРА НА ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ І МІКРОСМУЖКОВОГО НВЧ-ФІЛЬТРА**

Теорія

Мікросмужкові фільтри відіграють важливу роль у вхідних РЧ-трактах, що полягає у придушенні сигналів, що виходять за межі смуги. Вони широко застосовуються у варіантах із зосередженими та розподіленими параметрами як у комерційних виробках, так і у виробках військового призначення. Фільтр є реактивною схемою, що пропускає частоти бажаної смуги й при цьому майже повністю затримує частоти всіх інших смуг. Частота, що відокремлює смугу пропускання від смуги загородження, називається частотою зрізу і позначається f_c . Ослаблення фільтра виражається в децибелах або неперах. Взагалі кажучи, фільтр може мати будь-яку кількість смуг пропускання, розділених смугами загородження. Більшість фільтрів відносяться до чотирьох найбільш поширених типів, а саме: фільтри низьких частот (ФНЧ), високих частот (ФВЧ), смужові і режекторні.

У ідеального фільтра повинні бути відсутні внесені втрати в смугі пропускання, ослаблення в смугі загородження повинно бути нескінченним, а ФЧХ в смугі пропускання має бути лінійною. Ідеальний фільтр неможливо реалізувати, оскільки характеристика ідеального ФНЧ або ФВЧ в частотній області має форму прямокутного імпульсу. Мистецтво розробки фільтрів вимагає йти на компроміси щодо зрізу і крутизни характеристик. Існує три основних методи синтезу фільтрів. Це метод параметрів образу, метод внесених втрат і числовий синтез. Метод параметрів образу — старий і дуже приблизний, тоді як числовий метод синтезу новіший, але при цьому громіздкий. Що стосується методу внесених втрат для розробки фільтрів, то він є оптимальним і більш популярним методом для високочастотних завдань. На рисунку 131 наведена процедура розробки методом внесених втрат.

Оскільки характеристики ідеального фільтра отримати неможливо, мета розробки фільтра — наблизитися до ідеальних вимог з прийнятним допуском. Існує чотири типи апроксимацій, а саме: апроксимація Баттерворта (або максимально

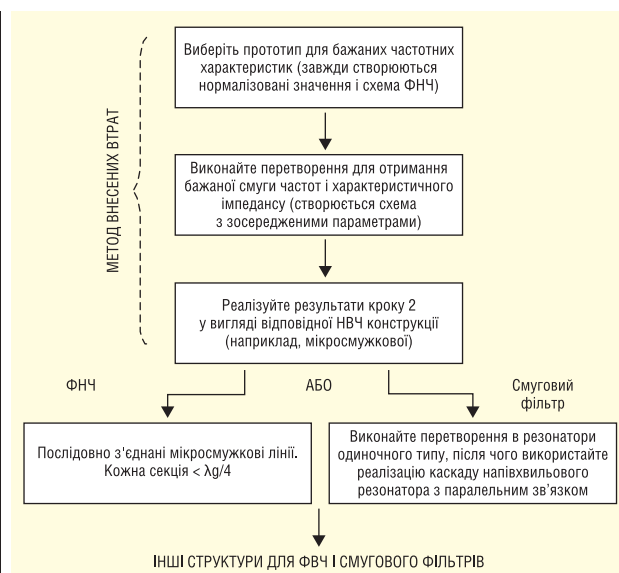


Рис. 131

плоска апроксимація), Чебишева, Бесселя та еліптична. При виборі прототипу фільтра максимально плоска апроксимація (або апроксимація Баттерворта) забезпечує найпоскішу характеристику в смугі пропускання для даного порядку фільтра. При використанні методу Чебишева досягається більш крутий зріз, а характеристика в смугі пропускання буде мати коливання з амплітудою $1 + k^2$. Апроксимації Бесселя засновані на функції Бесселя, яка забезпечує більш крутий зріз, а еліптичні апроксимації призводять до коливань характеристики в смугах пропускання і загородження. Можна вибирати різні апроксимації залежно від завдання і вартості. З позицій характеристики та переліку елементів оптимальним фільтром є фільтр Чебишева. З використанням наведених вище апроксимацій фільтр можна розробити як з зосередженими, так і з розподіленими параметрами.

Розробка НВЧ фільтрів

Першим кроком у розробці НВЧ фільтрів є вибір відповідної апроксимації моделі прототипу виходячи з технічних параметрів.

* Продовження. Початок див. CHIP NEWS, № 6–9, 2025.

** Використовувані ліцензії ADS: Linear Simulation, Momentum Simulation і Layout.

Розрахуйте порядок фільтра з необхідною крутизною характеристики на основі заданих технічних характеристик. Його можна розрахувати наступним чином:

Апроксимація Баттерворта:

$$L_A(\omega') = 10 \log_{10} \{1 + \varepsilon (\omega'/\omega_c)^{2N}\},$$

де $\varepsilon = \{\text{Antilog}_{10} L_A/10\} - 1$ і $L_A = 3$ дБ для апроксимації Баттерворта.

Апроксимація Чебишева:

$$L_A(\omega') = 10 \log_{10} \left\{ 1 + \varepsilon \cos^2 \left[n \cos^{-1} \left(\frac{\omega'}{\omega_1} \right) \right] \right\}, \text{ коли } \omega' \leq \omega_1$$

$$L_A(\omega') = 10 \log_{10} \left\{ 1 + \varepsilon \cosh^2 \left[n \cos^{-1} \left(\frac{\omega'}{\omega_1} \right) \right] \right\}, \text{ коли } \omega' \geq \omega_1,$$

де ω_c — кругова частота зрізу; ω' — кругова частота ослаблення; $L_A(\omega')$ — ослаблення при круговій частоті ω' ; N — порядок фільтра; $\varepsilon = \{\text{Antilog}_{10} L_{Ar}/10\} - 1$ і L_{Ar} — коливання в смузі пропускання.

Наступний крок при розробці фільтра полягає в розрахунку параметрів прототипу фільтра залежно від типу апроксимації. Параметри прототипу для апроксимацій Чебишева і Баттерворта можуть бути отримані за допомогою наведених нижче рівнянь.

Апроксимація Баттерворта:

$$g_0 = 1,$$

$$g_k = 2 \sin \{ (2k-1)\pi/2n \}, \text{ де } k = 1, 2, \dots, n$$

$$g_{N+1} = 1, \text{ де } n — \text{порядок фільтра.}$$

Апроксимація Чебишева:

Значення елементів можуть бути розраховані наступним чином:

$$\beta = \ln \left(\coth \frac{L_{Ar}}{17.37} \right),$$

де L_{Ar} — коливання в смузі пропускання,

$$\gamma = \sinh \left(\frac{\beta}{2n} \right),$$

$$a_k = \sin \left[\frac{(2^k) - 1\pi}{2n} \right], k = 1, 2, 3, \dots, n,$$

$$b_k = \gamma^2 + \sin^2 \left(\frac{k\pi}{n} \right), k = 1, 2, 3, \dots, n,$$

$$g_1 = \frac{2a_1}{\gamma},$$

$$g_k = \frac{4a_{k-1}a_k}{b_{k-1}g_{k-1}}, k = 1, 2, 3, \dots, n,$$

$$g_{n+1} = 1 \text{ при непарному } n,$$

$$= \coth^2 \left(\frac{\beta}{4} \right) \text{ при парному } n.$$

Після розрахунку параметрів прототипу необхідно перетворити прототип фільтра так, щоб частота та імпеданс відповідали технічним характеристикам. Перетворення можуть бути виконані за допомогою наведених нижче рівнянь.

Для НЧ фільтра:

Після масштабування імпедансу і частоти:

$$C'_k = C_k/R_0\omega_c,$$

$$L'_k = R_0L_k/\omega_c, \text{ де } R_0 = 50 \text{ Ом.}$$

Для схеми з розподіленими параметрами електрична довжина така:

$$\text{Довжина ємнісної ділянки: } Z_l/R_0C_k,$$

$$\text{Довжина індуктивної ділянки: } L_kR_0/Z_{h'},$$

де Z_l — значення низького імпедансу, а Z_h — значення високого імпедансу.

Для смугового фільтра:

Масштабування імпедансу і частоти:

$$L'_1 = L_1Z_0/\omega_0\Delta,$$

$$C'_1 = \Delta/L_1Z_0\omega_0,$$

$$L'_2 = \Delta Z_0/\omega_0C_2,$$

$$C'_2 = C_2/Z_0\Delta\omega_0,$$

$$L'_3 = L_3Z_0/\omega_0\Delta,$$

$$C'_3 = \Delta/L_3Z_0\omega_0,$$

де $\Delta = (\omega_2 - \omega_1)/\omega_0$ — відносна ширина смуги.

Симуляція НЧ фільтрів із зосередженими та розподіленими параметрами в ADS

Номинальні характеристики:

частота зрізу (f_c): 2 ГГц;

ослаблення при $f = 4$ ГГц: 30 дБ ($LA(\omega)$);

тип апроксимації: Баттерворта;

порядок фільтра: $LA(\omega) = 10 \log_{10} \{1 + \varepsilon (\omega/\omega_c)^{2N}\}$,

де $\varepsilon = \{\text{Antilog}_{10} LA/10\} - 1$.

При підставлянні значень $LA(\omega)$, ω і ω_c розраховане значення N буде дорівнювати 4.

Параметри прототипу НЧ фільтра:

Параметри прототипу фільтра розраховуються за допомогою наступних формул:

$$g_0 = 1,$$

$$g_k = 2 \sin \{ (2k-1)\pi/2N \}, \text{ де } k = 1, 2, \dots, N$$

$$\text{і } g_{N+1} = 1.$$

Параметри прототипу для заданих технічних характеристик фільтра:

$$g1 = 0.7654 = C_1; g2 = 1.8478 = L_2;$$

$$g3 = 1.8478 = C_3; g4 = 0.7654 = L_4.$$

Модель фільтра із зосередженими параметрами

Значення зосереджених параметрів НЧ фільтра після масштабування частоти та імпедансу:

$$C'_k = C_k/R_0\omega_c;$$

$$L'_k = R_0L_k/\omega_c, \text{ де } R_0 = 50 \text{ Ом.}$$

В результаті отримуємо такі значення зосереджених параметрів: $C_1 = 1.218$ пФ; $L_2 = 7.35$ нГн; $C_3 = 2.94$ пФ; $L_4 = 3.046$ нГн.

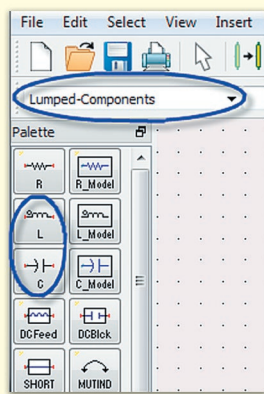


Рис. 132

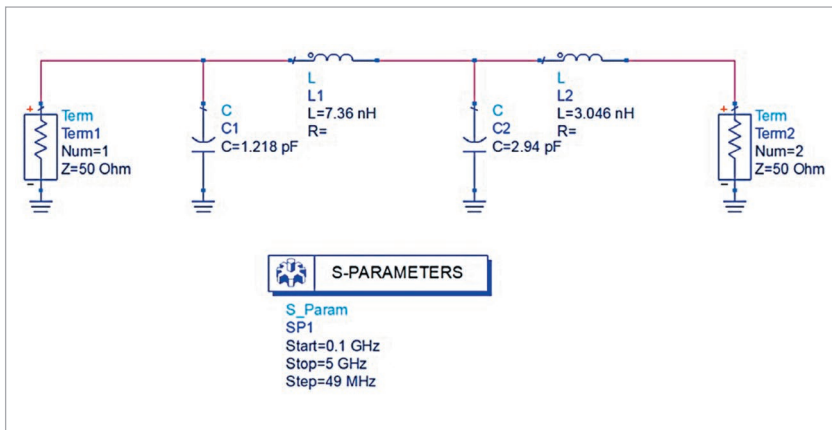


Рис. 133

Модель фільтра з розподіленими параметрами

Для схеми з розподіленими параметрами електрична довжина становить:

довжина ємнісної ділянки (βL_C): $C_k Z_l / R_0$,

довжина індуктивної ділянки (βL_i): $L_k R_0 / Z_l$,

де Z_l — значення низького імпедансу, Z_h — значення високого імпедансу, R_0 — імпеданс джерела і навантаження, ω_c — бажана частота зрізу.

Якщо ми прийемо $Z_l = 10$ Ом і $Z_h = 100$ Ом, то $\beta L_{C1} = 0.153$, $\beta L_{i2} = 0.9239$, $\beta L_{C3} = 0.3695$ і $\beta L_{i4} = 0.3827$.

Оскільки $\beta = 2\pi/\lambda$, фізичні довжини становитимуть: $L_{C1} = 1.68$ мм, $L_{i2} = 10.145$ мм, $L_{C3} = 4.057$ мм і $L_{i4} = 4.202$ мм.

Порядок дій при схемотехнічній симуляції НЧ фільтра з зосередженими параметрами

- Відкрити вікно схеми Schematic ADS.
- З бібліотеки компонентів з зосередженими параметрами виберіть відповідні компоненти, необхідні для схеми фільтра з зосередженими параметрами.
- Натисніть на необхідні компоненти та вставте їх у вікно схеми ADS, як показано на рисунку 132. Створіть модель НЧ фільтра з зосередженими параметрами у вікні схеми з використанням відповідних компонентів із зосередженими параметрами і з'єднайте елементи схеми за допомогою провідників. Введіть розраховані раніше значення компонентів.
- Під'єднайте навантаження до обох портів НЧ фільтра, використовуючи навантаження, вибрані з бібліотеки Simulation-S_Param (Симуляція-S-параметри).
- Вставте контролер симуляції S-параметрів з бібліотеки Simulation-S_Param і задайте для нього такі параметри:
Start (Початкова частота) = 0.1 GHz;
Stop (Кінцева частота) = 5 GHz;
Number of Points (Кількість точок) = 101 (або введіть значення Step Size (Розмір кроку) = 49 MHz).
В результаті буде створено модель фільтра з зосередженими параметрами, як показано на рисунку 133.
- Виконайте симуляцію схеми, натиснувши клавішу **F7** або значок симуляції із зображенням шестерні.
- Після завершення симуляції, ADS автоматично відкриє вікно дисплея даних, в якому будуть відображені результати. Якщо це вікно не відкрилося, натисніть **Window** (Вікно) > **New Data Display** (Новий дисплей даних). У вікні дисплея даних виберіть графік у прямокутній системі координат. При цьому автоматично відкриється вікно вставки атри-

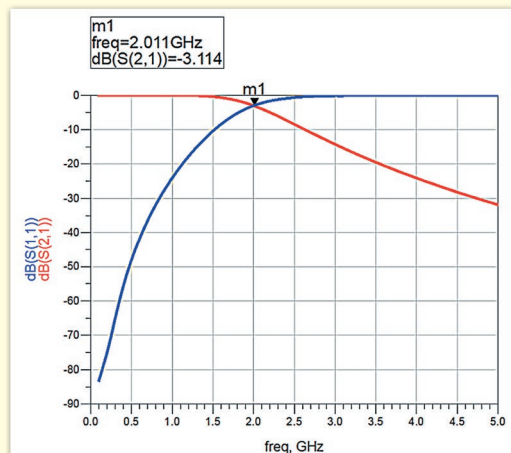


Рис. 134

бутів. Виберіть параметри, графіки яких потрібно побудувати (у нашому випадку графіки $S(1,1)$ і $S(2,1)$ в дБ, і натисніть **Add>>** (Додати>>).

- Натисніть на графік $S(2,1)$ і встановіть на ньому маркер в області 2 ГГц, щоб переглянути графік з відображенням даних, як показано на рисунку 134.

В результаті схемотехнічної симуляції було помічено, що модель НЧ фільтра з зосередженими параметрами має частоту зрізу 2 ГГц і крутизну зрізу, що відповідають технічним характеристикам.

Порядок дій при топологічній симуляції НЧ фільтра з розподіленими параметрами

Розрахуйте фізичні параметри НЧ фільтра з розподіленими параметрами за наведеною вище процедурою розробки фільтра. Розрахуйте ширину ліній передачі з імпедансами Z_l і Z_h для конструкції НЧ фільтра зі ступінчастим імпедансом. У цьому випадку $Z_l = 10$ Ом і $Z_h = 100$ Ом, а ширина відповідних ліній становить 24.7 мм і 0.66 мм при діелектричній проникності 4.6 і товщині 1.6 мм.

Розрахуйте довжину і ширину лінії 50 Ом за допомогою вікна калькулятора ліній ADS (Tools (Інструменти) -> Line Calc (Калькулятор ліній) -> Start Line Calc (Запустити калькулятор ліній)), як показано на рисунку 135.

Лінія з'єднання 50 Ом на вході та виході:

ширина: 2.9 мм;
довжина: 4.5 мм.

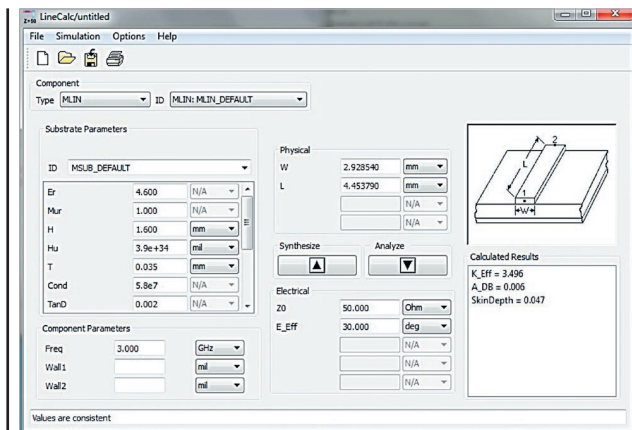


Рис. 135

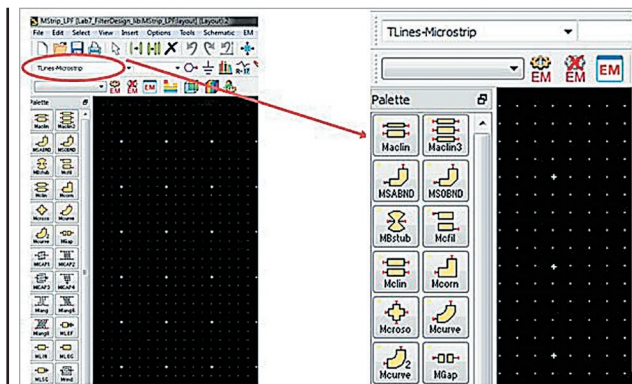


Рис. 136

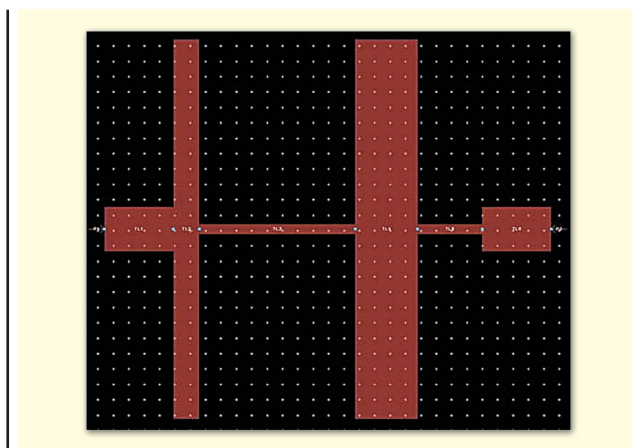


Рис. 137

Створіть модель НЧ фільтра у вікні топології ADS. Модель можна створити, скориставшись доступними бібліотечними компонентами **або** намалювавши прямокутники.

Для створення моделі із застосуванням бібліотечних компонентів виберіть бібліотеку **TLines** (Лінії передачі) — **Microstrip** (Мікросмужкові). Виберіть із бібліотеки відповідну мікросмужкову лінію і вставте її у вікно топології, як показано на рисунку 136.

Завершіть створення моделі, з'єднавши лінії передачі так, щоб сформувався НЧ фільтр зі ступінчастим імпедансом на основі виконаних раніше розрахунків ширини і довжини, як показано на рисунку 137.

Під'єднайте виводи (Pin) на вході та виході, задайте структуру шарів підкладки й налаштуйте ЕМ симуляцію відповідно

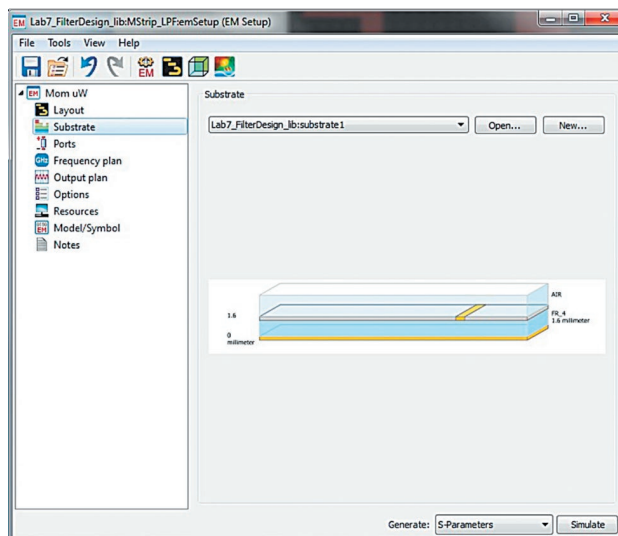


Рис. 138

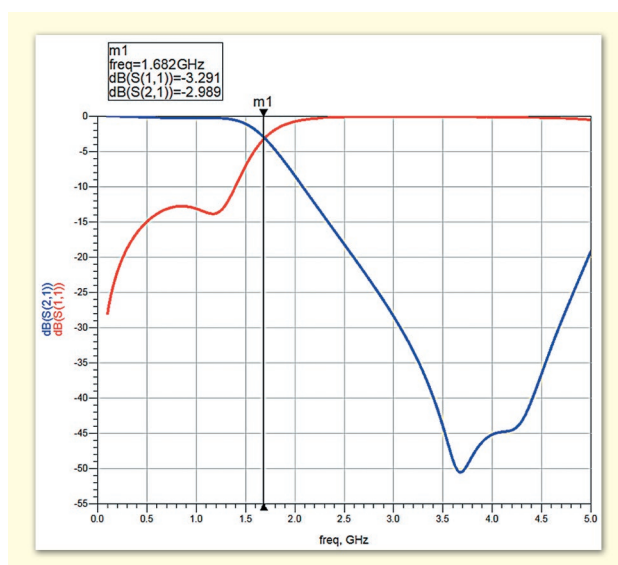


Рис. 139

до наведеного раніше опису в розділі по ЕМ симуляції. Ми повинні використовувати наступні властивості структури шарів:

Er (Діелектрична проникність) = 4.6;

Height (Висота) = 4.6 mm;

Loss Tangent (Тангенс кута втрат) = 0.0023;

Metal Thickness (Товщина металу) = 0.035 mm;

Metal Conductivity (Провідність металу) = Cu (5.8E7 S/m).

У вікні налаштування електромагнітної симуляції перейдіть на вкладку **Options** (Опції) > **Mesh** (Сітка) і увімкніть опцію Edge Mesh (Крайова сітка).

Натисніть кнопку **Simulate** (Симулювати) для перегляду характеристик S11 і S21 (рис. 138).

Можна помітити (рис. 139), що частота зрізу за рівнем 3 дБ зміщена до значення 1.68 ГГц, замість того, щоб дорівнювати 2 ГГц, оскільки наші теоретичні розрахунки не дозволяють точно проаналізувати вплив відкритого кінця і різкої зміни імпедансу в лініях передачі, тому довжини ліній необхідно оптимізувати для отримання бажаної частоти зрізу 2 ГГц.

Ця оптимізація може бути проведена за допомогою симулятора Momentum в ADS або шляхом параметричного співування довжин ємнісних і індуктивних ліній.

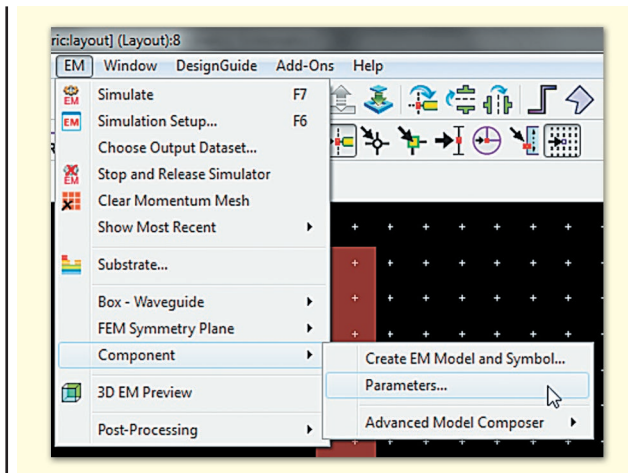


Рис. 140

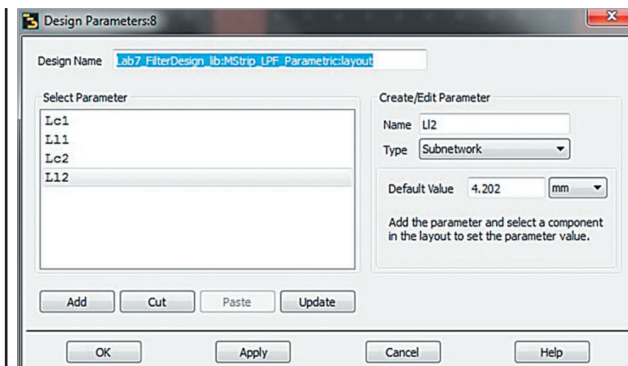


Рис. 141

Параметрична електромагнітна симуляція в ADS 2011

Для того, щоб приступити до параметричної топологічної симуляції, нам необхідно задати змінні параметри, які повинні бути пов'язані з компонентами топології. Натисніть **ЕМ** (Електромагнітна симуляція) > **Component** (Компонент) > **Parameters** (Параметри) відповідно до рисунку 140.

У вікні параметрів, що відкрилося, задайте 4 змінні для ємнісних та індуктивних ліній і введіть їх номінальні значення з відповідними одиницями вимірювання. Задайте **Type** (Тип) = **Subnetwork** (Підсхема) (рис. 141), оскільки ці параметри будуть належати до компонентів бібліотеки мікросмужкових елементів, у якій є параметричний шаблон. Якщо ми хочемо використовувати параметризацію для компонентів на основі полігонів або прямокутників, ми можемо вибрати метод **Nominal/Perturbed** (Номінальні значення/Відхилення), при якому потрібно додатково приділити увагу способу параметризації компонентів.

Коли параметри будуть додані до списку, двічі натисніть на відповідні компоненти і введіть імена відповідних змінних. Зверніть увагу, що тут не потрібно задавати одиниці, оскільки ми їх вже задали в списку змінних параметрів. Приклад для одного з компонентів показаний на рисунку 142.

Після завдання всіх значень параметрів для бажаних компонентів топології ми можемо створити ЕМ модель і символ, які можна потім використовувати для параметричної спільної ЕМ симуляції в схемі. Для створення параметричної моделі й символу для топології, натисніть на опцію **ЕМ** (Електромагнітна симуляція) > **Component** (Компонент) > **Create EM Model and Symbol** (Створити електромагнітну модель і символ) (рис. 143).

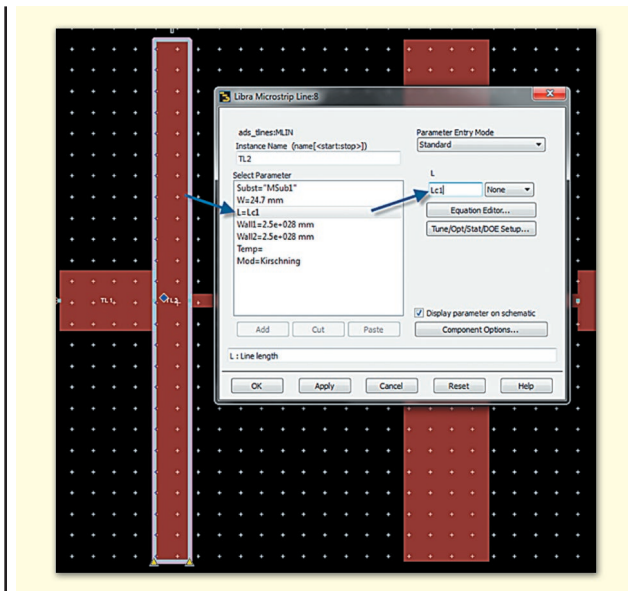


Рис. 142

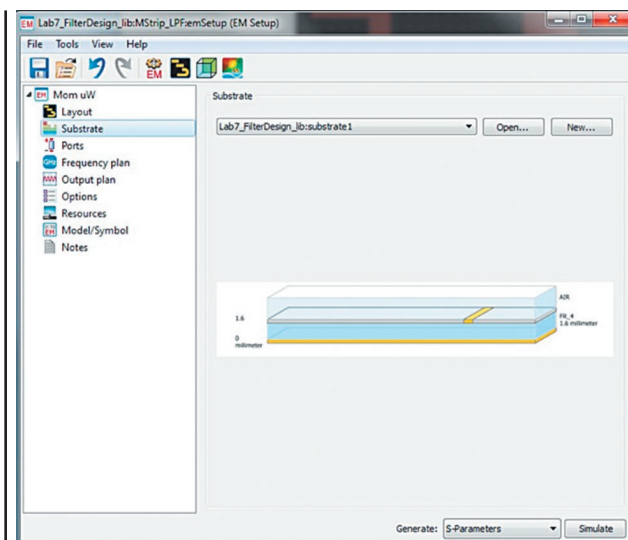


Рис. 143

Після завершення перегляньте вміст вікна ADS, в якому під назвою топологічної комірки відображається назва ЕМ моделі й символу, як показано на рисунку 144.

Відкрийте нову схемотехнічну комірку і, перетягнувши компонент **emModel** (ЕМ модель), вставте його як підсхему. Ви побачите, що задані параметри додаються до компонента **emModel**, для якого може бути потім виконано співування за допомогою звичайного компонента **Parameter Sweep** (Свіпування параметра) у вікні схеми ADS, як показано нижче. У цьому випадку ми задали змінні L1–L4 і зв'язали їх з компонентом **emModel**. Для початку ми виконаємо співування довжини компонентів L2 (1-а індуктивна лінія) від 6.145 до 12.145 з кроком 1.

На цьому етапі ми можемо вирішити налаштувати оптимізацію, а потім оптимізувати змінні топологічного компонента подібно до будь-якої іншої оптимізації схеми. Однак зверніть увагу, що електромагнітна оптимізація займе більше часу в порівнянні з оптимізацією на основі схеми, але створить точнішу характеристику, оскільки електромагнітна симуляція буде виконуватися для кожної комбінації (рис. 145).

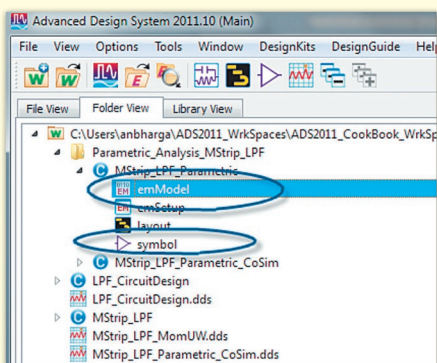


Рис. 144

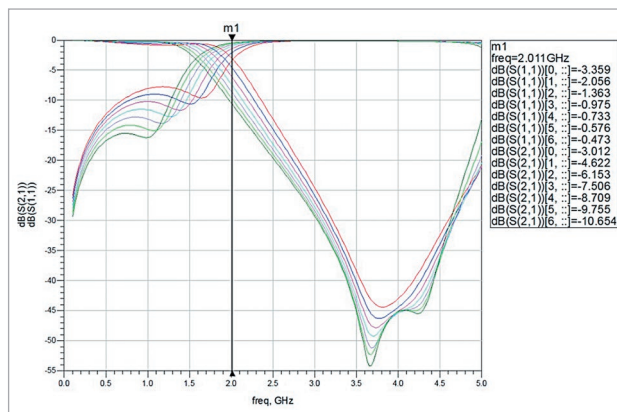


Рис. 146

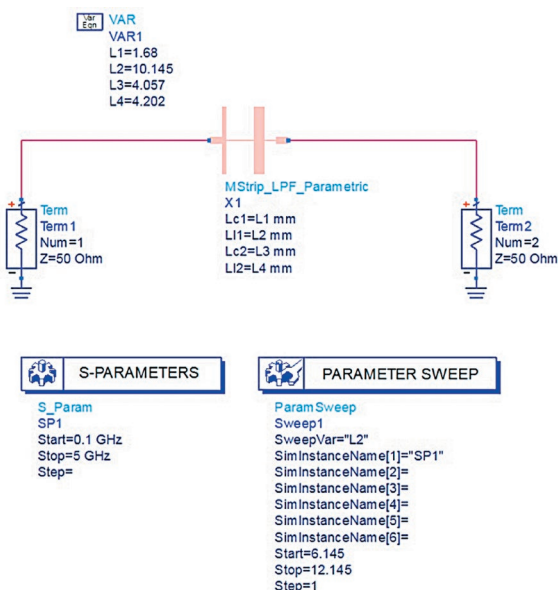


Рис. 145

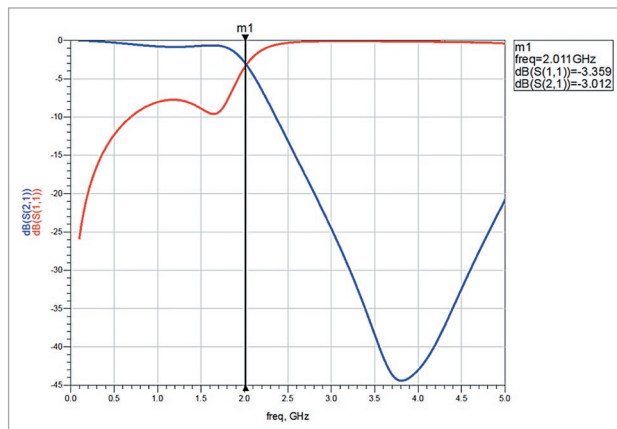


Рис. 147

Параметри прототипу фільтра для апроксимації Чебишева розраховуються за допомогою наведених вище формул.

Параметри прототипу для заданих технічних характеристик фільтра: $g_1 = 1.5963$; $g_2 = 1.0967$; $g_3 = 1.5963$.

Модель фільтра із зосередженими параметрами

Значення зосереджених параметрів смугового фільтра після масштабування частоти та імпедансу:

$$L'_1 = L_1 Z_0 / \omega_0 \Delta,$$

$$C'_1 = \Delta / L_1 Z_0 \omega_0,$$

$$L'_2 = \Delta Z_0 / \omega_0 C_2,$$

$$C'_2 = C_2 / Z_0 \Delta \omega_0,$$

$$L'_3 = L_3 Z_0 / \omega_0 \Delta,$$

$$C'_3 = \Delta / L_3 Z_0 \omega_0,$$

де $Z_0 = 50 \text{ Ом}$, $\Delta = (\omega_2 - \omega_1) / \omega_0$.

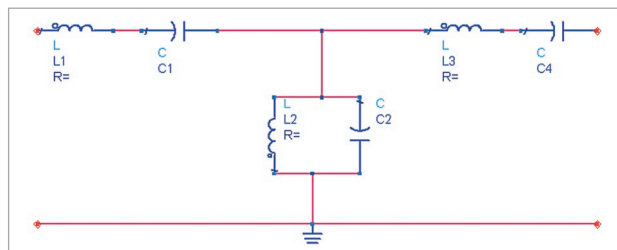


Рис. 148

Натисніть на значок **Simulate** (Симулювати) і побудуйте графік у вікні дисплея даних, щоб побачити, як змінюється характеристика фільтра зі зміною довжини 1-ї індуктивної ланки (рис. 146).

На дисплеї даних ми можемо бачити, що при 1-му значенні свіпування L_2 частота зрізу за рівнем 3 дБ становить 2 ГГц, тобто, видно, що правильне значення $L_2 = 6.145 \text{ мм}$.

Вимкніть свіпування параметра, змініть значення $L_2 = 6.145 \text{ мм}$ і знову виконайте симуляцію, щоб переглянути характеристику фільтра. Якщо від схеми очікуються кращі зворотні втрати, можна виконати її електромагнітну оптимізацію (рис. 147).

В результаті топологічної симуляції було визначено, що після параметричного електромагнітного аналізу частота зрізу за рівнем 3 дБ НЧ фільтра становить 2 ГГц.

Симуляція смугового фільтра із зосередженими та розподіленими параметрами в ADS

Номинальні характеристики:

верхня частота зрізу (f_{c1}): 1.9 ГГц;

нижня частота зрізу (f_{c2}): 2.1 ГГц;

коливання в смузі пропускання: 0.5 дБ;

порядок фільтра: 3;

тип апроксимації: Чебишева.

В результаті отримуємо такі значення зосереджених параметрів: $L'_1 = 63$ нГн; $C'_1 = 0.1004$ пФ; $L'_2 = 0.365$ нГн; $C'_2 = 17.34$ пФ; $L'_3 = 63$ нГн; $C'_3 = 0.1004$ пФ.

Схема смугового фільтра на елементах із зосередженими параметрами наведена на рисунку 148.

Модель фільтра з розподіленими параметрами

Розрахуйте значення j на основі параметрів прототипу наступним чином:

$$Z_0 j_1 = \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2 g_1}},$$

$$Z_0 j_n = \frac{\pi \Delta}{2 \sqrt{g_n - 1 g_n}} \text{ для } n = 2, 3 \dots N,$$

$$Z_0 j_{N+1} = \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2 g_N g_{N+1}}},$$

де $\Delta = (\omega_2 - \omega_1)/\omega_0$, Z_0 = характеристичний імпеданс = 50 Ом.

Значення імпедансів парних і непарних мод можуть бути розраховані наступним чином:

$$z_{0e} = z_0 \left[1 + jz_0 + (jz_0)^2 \right],$$

$$z_{0o} = z_0 \left[1 + jz_0 + (jz_0)^2 \right].$$

Порядок дій при схемотехнічній симуляції смугового фільтра із зосередженими параметрами

Відкрийте вікно схеми ADS і зберіть смуговий фільтр із зосередженими параметрами, як показано на рисунку 149. Задайте наступні налаштування симуляції S-параметрів: від 1 до 3 ГГц з кроком 5 МГц (401 точка).

Натисніть на значок **Simulate** (Симулювати) для перегляду графіка, показаного на рисунку 150.

В результаті схемотехнічної симуляції було визначено, що модель смугового фільтра з зосередженими параметрами має нижню частоту зрізу 1.9 ГГц, верхню частоту зрізу 2.1 ГГц і крутизну зрізу, що відповідають технічним характеристикам.

Порядок дій при топологічній симуляції смугового фільтра із розподіленими параметрами

Розрахуйте значення імпедансів смугового фільтра для непарних і парних мод (Z_{0o} і Z_{0e}) за наведеною вище процедурою розробки фільтра. Синтезуйте геометричні параметри (довжину і ширину) зв'язаних ліній для товщини підкладки 1.6 мм і діелектричної проникності 4.6.

Геометричні параметри зв'язаних ліній для даних значень Z_{0o} і Z_{0e} наступні:

товщина підкладки: 1.6 мм;
діелектрична проникність: 4.6;
частота: 2 ГГц;
електрична довжина: 90 градусів.

Ділянка 1. $Z_{0o} = 36.23$, $Z_{0e} = 66.65$:

ширина = 2.545;
довжина = 20.52;
зазор = 0.409.

Ділянка 2. $Z_{0o} = 56.68$, $Z_{0e} = 44.73$:

ширина = 2.853;
довжина = 20.197;
зазор = 1.730.

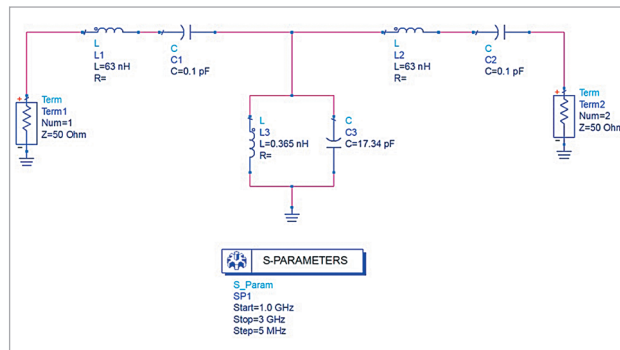


Рис. 149

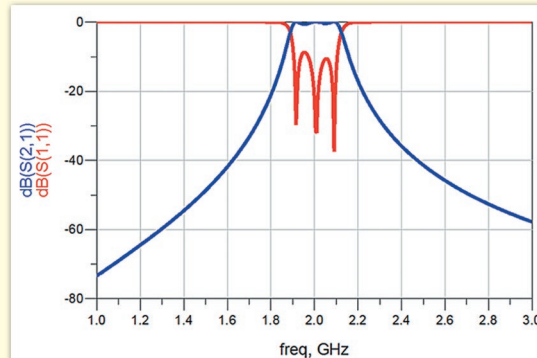


Рис. 150

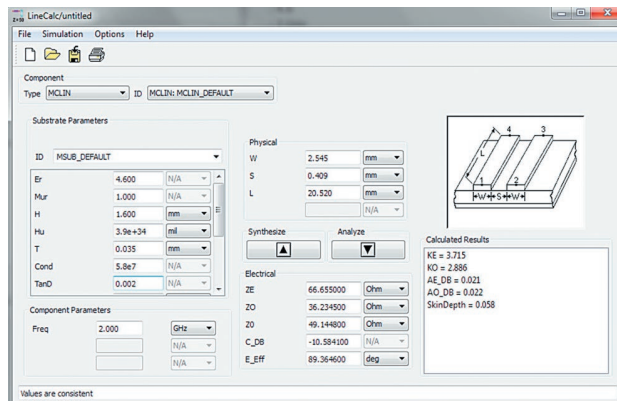


Рис. 151

Ділянка 3. $Z_{0o} = 56.68$, $Z_{0e} = 44.73$:

ширина = 2.853;
довжина = 20.197;
зазор = 1.730.

Ділянка 4. $Z_{0o} = 36.23$, $Z_{0e} = 66.65$:

ширина = 2.545;
довжина = 20.52;
зазор = 0.409.

Розрахуйте довжину і ширину лінії 50 Ом за допомогою вікна **linecalc** (Калькулятор ліній) ADS, як це робилося раніше (рис. 151).

Лінія 50 Ом:
ширина: 2.9 мм;
довжина: 5 мм.

Створіть модель смугового фільтра у вікні топології ADS. Модель можна створити, скориставшись доступними бібліотечними компонентами або намалювавши прямокутники.

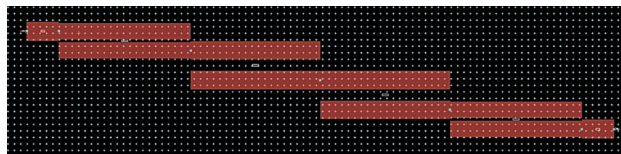


Рис. 152

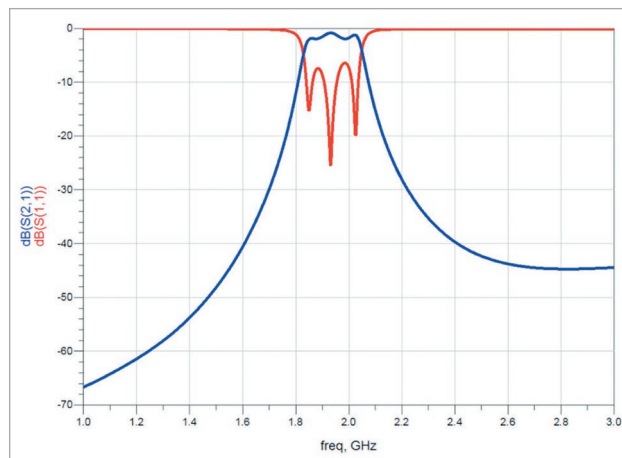


Рис. 153

Для створення моделі із застосуванням бібліотечних компонентів виберіть компонент MCFIL із бібліотеки TLines (Лінії передачі) — Microstrip (Мікросмужкові). Виберіть з бібліотеки відповідний тип мікросмужкової лінії і вставте її у вікно топології, як показано на рисунку 152.

Налаштуйте електромагнітну симуляцію за вказаною раніше процедурою для діелектрика FR4 товщиною 1.6 мм і виконайте симуляцію Momentum від 1 ГГц до 3 ГГц. Не забудьте увімкнути опцію Edge Mesh (Крайова сітка) на вкладці **Options** (Опції) > **Mesh** (Сітка) вікна **EM Setup** (Налаштування електромагнітної симуляції).

Після завершення симуляції побудуйте характеристики S11 і S21 смугового фільтра, як показано на рисунку 153.

Результати для фільтра на елементах із зосередженими параметрами хороші, але необхідна симуляція цієї схеми й, можливо, її повторна оптимізація із застосуванням бібліотек компонентів постачальників, і нам потрібно виконати симуляцію з аналізом виходу придатних, щоб врахувати розкид характеристик, який може бути викликаний допусками зосереджених компонентів.

Що стосується фільтра з розподіленими параметрами, для отримання кращих характеристик смугового фільтра, якщо це буде потрібно через те, що електромагнітна симуляція вказує на невелике погіршення робочих характеристик смугового фільтра, ми можемо додатково оптимізувати його конструкцію, скориставшись схемотехнічним симулятором або електромагнітним симулятором Momentum.

Далі буде

Щоб отримати детальну інформацію щодо продукції компанії Keysight Technologies, звертайтеся до її офіційного дистриб'ютора в Україні — компанії Юнітест:

**01054, м. Київ, вул. Олеся Гончара, 26,
тел.: +38 (044) 272-60-94,
e-mail: web@unitest.com,
www.unitest.com**

CN

СПІВПРАЦЯ ДЛЯ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕГРОВАНОГО ЗОНДУВАННЯ ТА ЗВ'ЯЗКУ ПОКОЛІННЯ PRE-6G

Компанії **Keysight Technologies, Inc.** та **MediaTek** оголосили про співпрацю з метою розвитку технології інтегрованого зондування та зв'язку (Integrated Sensing and Communication, ISAC) на етапі підготовки до 6G. Ця технологія об'єднує передачу даних та функції радіолокаційного зондування в єдиному радіоінтерфейсі, демонструючи вищу спектральну ефективність порівняно з поточними підходами 5G. Цей важливий крок покликаний підтримати ініціативу 6G ISAC, що формується в 3GPP, і є ключовим етапом на шляху до практичного впровадження 6G. Демонстрація цієї розробки відбулась на саміті Brooklyn 6G Summit, що пройшов 5–7 листопада 2025 року.

З еволюцією бездротових мереж у напрямку 6G технологія ISAC стає ключовою можливістю, що дозволяє пристроям здійснювати зв'язок та аналізувати навколишнє середовище, використовуючи один і той самий радіоканал. Поточні методи, такі як вивільнення часових слотів (time-slot blanking), резервують цілі кадри для зондування, що обмежує пропускну здатність та знижує загальну спектральну ефективність. Для масштабного впровадження ISAC потрібен більш гнучкий підхід. Для операторів навіть приріст спектральної ефективності в одиниці відсотків забезпечує значні переваги в пропускій здатності та економії коштів при масштабуванні. Для виробників пристроїв чіткіші механізми планування ISAC у стандартах дають зрозумілу мету для оптимізації чипсетів та майбутньої продуктивності.

Компанія Keysight вирішила це завдання, забезпечивши більш інтелектуальний розподіл радіоресурсів, що дозволяє функціям зондування та зв'язку ефективно співіснувати в межах одного спектра. Співпраця з MediaTek демонструє, що радіолокаційне зондування та передача даних можуть працювати паралельно без погіршення якості, збільшення затримок або зниження пропускну здатності.

Спираючись на досвід у тестуванні та емуляції бездротових систем, Keysight застосувала передові можливості свого портфеля рішень для емуляції мережі (Network Emulation Solutions) для підтримки ефективного спільного використання спектра в майбутніх системах 6G. Результатом стала високопродуктивна платформа ISAC, яка демонструє кращу спектральну ефективність порівняно з поточними підходами 5G. Завдяки цій співпраці MediaTek отримує більшу впевненість у методах інтегрованого зондування та зв'язку, що сприяє підвищенню ефективності мережі та пропускну здатності пристроїв для майбутніх застосувань 6G.

Мінсі Фан (Mingxi Fan), старший генеральний менеджер групи бездротових технологій (Wireless Technology Group) у MediaTek, зазначив: «Інтеграція функцій зондування в радіоінтерфейс забезпечує нову перевагу в економічній ефективності при збереженні продуктивності мережі. Використовуючи чип MediaTek MT2706 та структуру розріджених ресурсних шаблонів радару в поєднанні з передовими рішеннями емуляції мережі від Keysight та динамічним розподілом ресурсів MediaTek 5G, ми успішно продемонстрували можливість вдосконалення ISAC для 6G. Ми з нетерпінням чекаємо на співпрацю з галузевими партнерами над стандартизацією».

www.keysight.com