

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

ПЛАНАРНА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СИМУЛЯЦІЯ В ADS**

Система Keysight ADS надає два основних симулятори електромагнітних полів, інтегрованих в це середовище, що дозволяє розробникам легко виконувати електромагнітну симуляцію своїх проєктів. На відміну від схематичних симуляторів, електромагнітні симулятори використовуються на топології (layout).

У цій частині статті описано послідовність дій, яку можуть використовувати розробники для виконання електромагнітної симуляції, використовуючи систему ADS2011 (і пізніші версії).

Приклад 1: мікросмужковий смуговий фільтр

Крок 1. Створення схеми мікросмужкового смугового фільтра

Створіть нове робоче середовище і виберіть одиниці вимірювання mil. Створіть нову комірку електричної схеми та розмістіть компоненти топології смугового фільтра на зв'язаних лініях, як показано на рисунку 43.

Щоб створити цей 5-ланковий мікросмужковий смуговий фільтр на зв'язаних лініях, виконайте наступні дії:

- Вставте компонент MCFIL (Ланка фільтра на зв'язаних лініях) із палітри бібліотеки TLines-Microstrip (Лінії передачі — Мікросмужкові).

- Вставте блок VAR і задайте змінні w1, w2, w3, s1, s2, s3 із наведеними на рисунку 44 значеннями. Змініть значення у компонентів MCFIL, щоб відобразити значення цих змінних у W- і S-параметрах (зверніть увагу, що одиниці вимірювання вказані в mil).
- Задайте наступні довжини компонентів MCFIL:
 - перша і п'ята ланки: 245 mil;
 - друга і четверта ланки: 195 mil;
 - третья (центральна) ланка: 237 mil.
- Задайте підкладку мікросмужкової лінії (MSUB) з наступними значеннями параметрів:
 - H=25 mil (висота діелектрика);
 - Er=9.9 (відносна діелектрична проникність);
 - Cond=4.1E7 (питома електропровідність металу, в цьому випадку задана для золота);

- T=0.7 mil (товщина металу);
- TanD=0.0009 (тангенс кута втрат).
- Вставте на вході та виході два компоненти 50-омного навантаження (Term) з палітри бібліотеки Simulation-S_Param (Симуляція — S-параметри).
- Помістіть контролер SP з палітри бібліотеки Simulation-S_Param і задайте його частоту від 3 до 7 ГГц з кроком 0.01 ГГц.

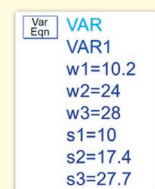


Рис. 43

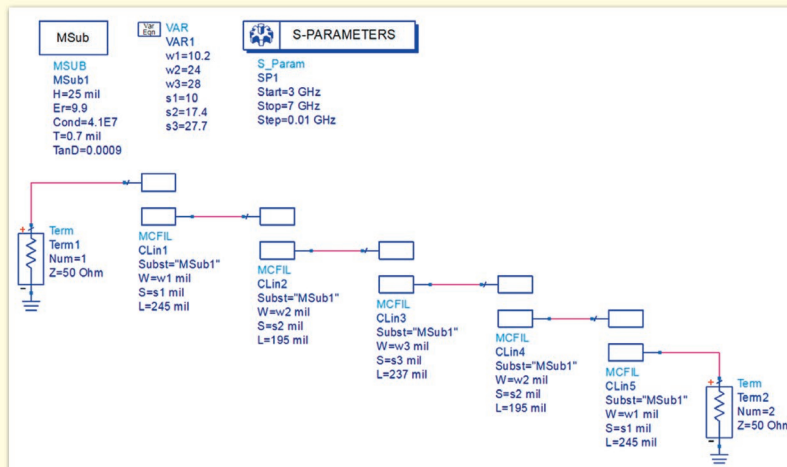


Рис. 43

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

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

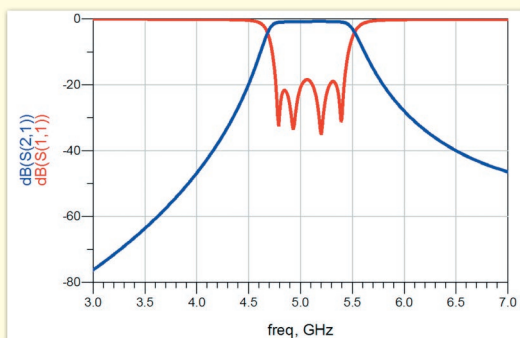


Рис. 45

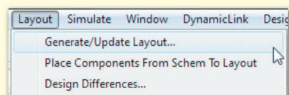


Рис. 46

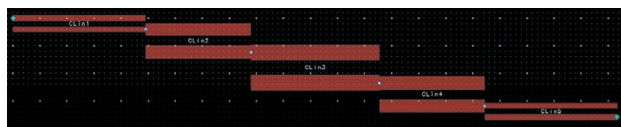


Рис. 47

- Запустіть симуляцію і подивіться на результати. Вони повинні бути подібні до тих, що показані на рис. 45.

Крок 2. Створення топології з електричної схеми

Створіть топологію з електричної схеми, перейшовши в **Layout > Generate/Update Layout** (рис. 46). Натисніть **OK**.

Після цього повинна з'явитися топологія, як показано на рисунку 47, і вид топології буде доданий до списку видів нижче імені комірки, і це ж можна перевірити в головному вікні системи ADS.

Крок 3. Налаштування і запуск електромагнітної симуляції

Щоб запустити електромагнітну симуляцію, нам потрібно все правильно налаштувати. Основні кроки, необхідні для запуску коректної електромагнітної симуляції, наведені нижче:

- Під'єднайте виводи (Pin) в топології, які потім будуть визначені як порти (Port) у вікні налаштування електромагнітної симуляції.

Примітка. Нам не потрібно перетворювати виводи в порти там, де нам не потрібно бачити результати. Це зменшує розмір набору даних симуляції.

- Виберіть відповідний симулятор — Momentum (Метод моментів) або FEM (Метод кінцевих елементів).
- Задайте належне визначення підкладки.
- Задайте план свіпання частот симуляції.
- Задайте характеристики сітки для провідників.
- Створіть EM-модель і символ — це обов'язковий крок, і його можна пропустити, якщо не потрібно виконувати спільну симуляцію електромагнітної моделі топології і схеми, тобто об'єднувати дискретні компоненти з топологією (ця функція пояснюється далі).

Тепер розпочнемо налаштування електромагнітної симуляції, як описано раніше:

- Під'єднайте виводи до входу і виходу структури фільтра (рис. 48).

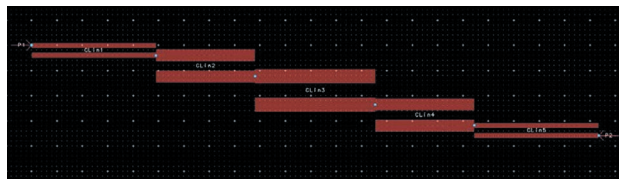


Рис. 48



Рис. 49

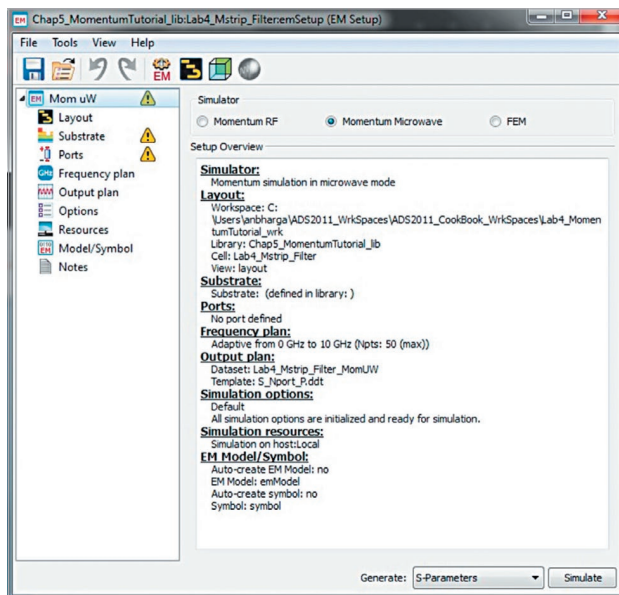


Рис. 50

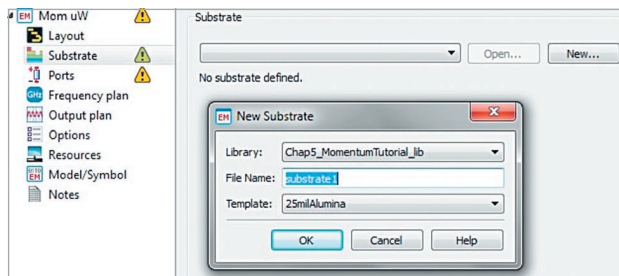


Рис. 51

- Натисніть кнопку налаштування електромагнітної симуляції на панелі інструментів електромагнітної симуляції на сторінці топології, як показано на рисунку 49:
 - З'явиться показане на рисунку 50 вікно налаштування електромагнітної симуляції, в якому ви побачите значок ⚠, що вказує на те, що в налаштуваннях чогось не вистачає. При наведенні покажчика миші на значок ⚠ з'явиться повідомлення про проблему з підкладкою, оскільки ми ще не визначили її.
 - Натисніть на опцію **Substrate** (Підкладка), потім **New** (Новий) і **OK** (рис. 51), щоб підтвердити використання шаблону 25 mil Alumina (керамічна підкладка з оксиду алюмінію), властивості якого можна змінити відповідно до наших завдань.
 - Після натискання кнопки **OK** відкриється редактор підкладки, як показано на рисунку 52. Виберіть ді-

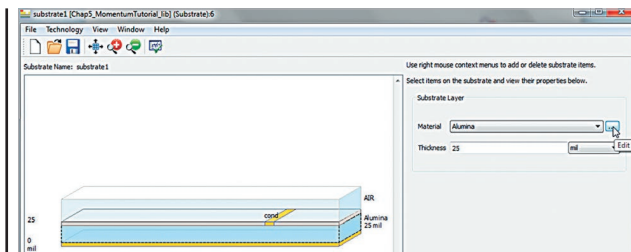


Рис. 52

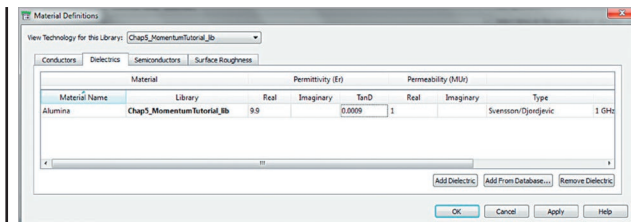


Рис. 53

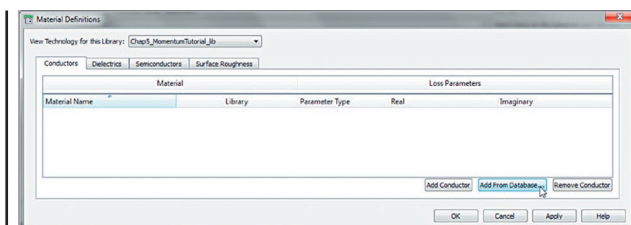


Рис. 54

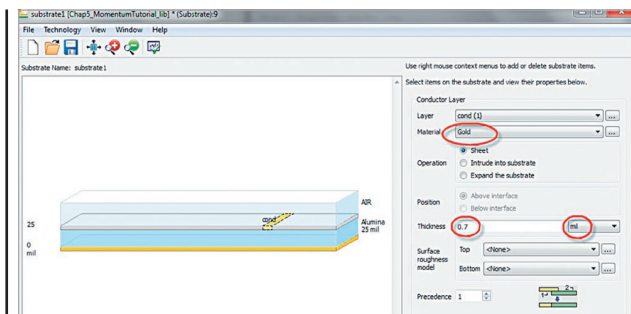


Рис. 55

електрик Alumina і натисніть кнопку «...», на яку вказує курсор миші на знімку екрана на рисунку 52.

- У вікні, що впливає (рис. 53), змініть характеристики діелектрика Alumina так, щоб $Er=9.9$ і $TanD=0.0009$, що збігається зі значеннями, які ми використовували в електричній схемі.
- Перейдіть на вкладку **Conductors** (Провідники), виберіть Add from Database (Додати з бази даних), виберіть зі списку Gold (Золото) і натисніть **OK** (рис. 54).
- Після задання властивостей діелектрика і провідника, натисніть **OK**. У головному вікні задання характеристик підкладки натисніть cond (провідник) у графічній частині вікна, виберіть Gold (Золото) зі списку матеріалів і задайте товщину 0.7 mil (рис. 55).

Примітка. Для провідника з кінцевою товщиною (Thick conductor) параметр cond (провідник) задається як Sheet (плоский). Ви також можете вибрати Intrude into substrate (Проникнути в підкладку) або Expand the substrate (Потовщити підкладку). Якщо провідник заданий як Sheet (плоский), то нам необхідно використовувати додаткове розбиття сітки в області країв

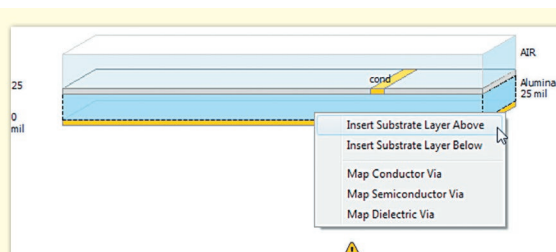


Рис. 56

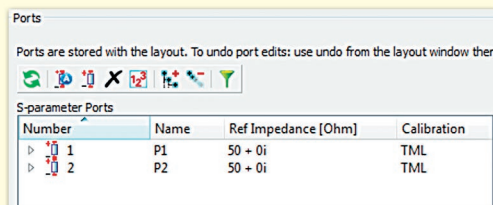


Рис. 57

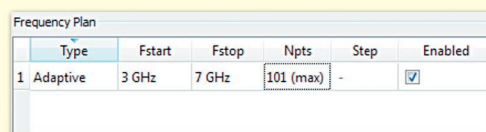


Рис. 58

(опція Edge Mesh) згідно з описаним нижче. Якщо ми задаємо його як провідник з кінцевою товщиною (Thick conductor), то опцію додаткового розбиття сітки Edge Mesh можна не включати.

- Після завершення задання параметрів підкладки натисніть Save (Зберегти) і закрийте вікно редактора підкладки.

Примітка. Натиснувши правою кнопкою миші на графічне зображення у вікні редактора підкладки, можна додавати додаткові діелектричні шари, перехідні отвори тощо (рис. 56).

- Тепер у вікні налаштування електромагнітної симуляції не повинно бути жодних попереджувальних значків ⚠. Якщо ви все ще бачите такий значок, спробуйте навести на нього курсор миші, щоб дізнатися, яка помилка була зроблена при виконанні описаних вище кроків.
- Щоб перевірити призначення двох портів (по одному для кожного розміщеного в топології виводу), натисніть **Ports** (Порти) у вікні налаштування електромагнітної симуляції, як показано на рисунку 57.
- Натисніть **Frequency Plan** (План сканування частот) і встановіть параметр Sweep Type (Режим сканування частоти) в Adaptive (Адаптивний), $Fstart=3$ GHz, $Fstop=7$ GHz і $Npts=101$ (рис. 58).

Примітка. Adaptive (Адаптивний) — кращий режим сканування частоти при електромагнітній симуляції, на відміну від Linear (Лінійний) при схемотехнічній симуляції.

Ви можете додати більше діапазонів, натиснувши кнопку Add (Додати).

- Натисніть **Options** (Опції), перейдіть на вкладку **Mesh** (Сітка), встановіть прапорець Edge Mesh (Ущільнення сітки на краях), інші поля залиште в їхньому стані за замовчуванням (рис. 59).

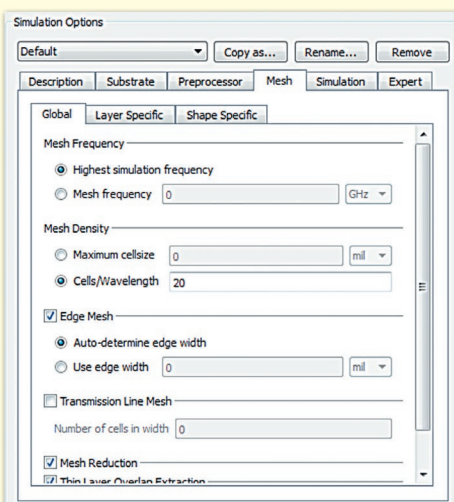


Рис. 59

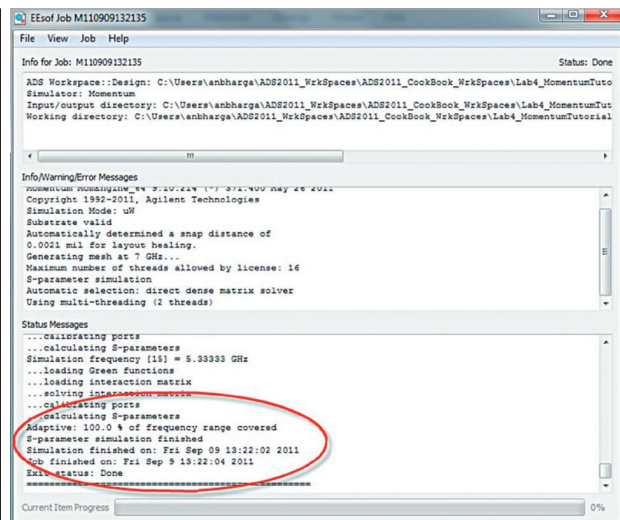


Рис. 62

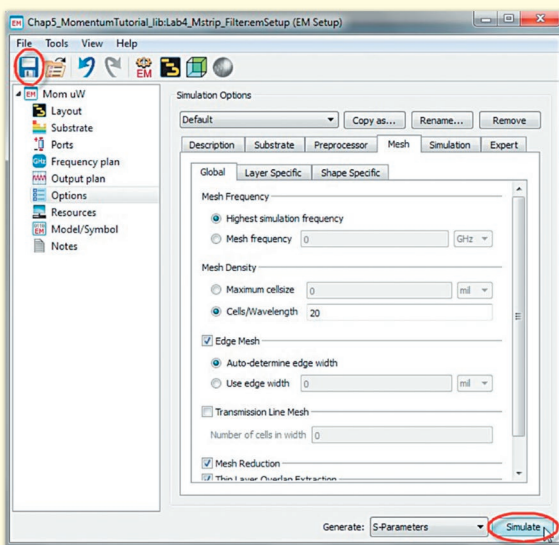


Рис. 60

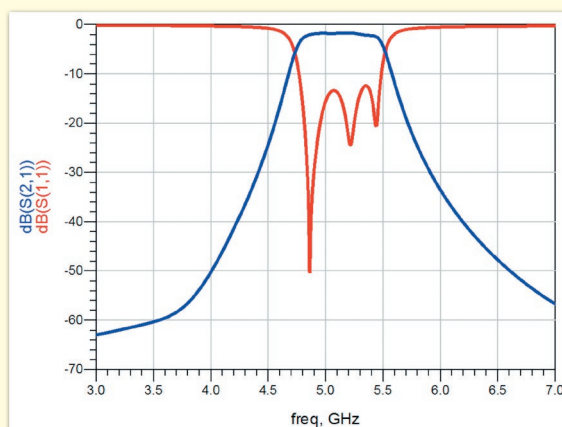


Рис. 63

завершення симуляції і точки частоти, необхідні для досягнення збіжності результатів при виконуваному нами свіпванні частоти, наприклад, 15 точок частоти в наведеному прикладі симуляції. Це сталося тому, що ми вибрали адаптивний (Adaptive) режим свіпвання частоти, і симуляція автоматично зупиняється при досягненні збіжності результатів (рис. 62).

- Дисплей даних симуляції Momentum відкриється автоматично. Видаліть всі графіки й вставте новий графік в прямокутній системі координат, виберіть для показу при відповідному запиті параметри $S(1,1)$ і $S(2,1)$ в дБ (dB) (рис. 63).

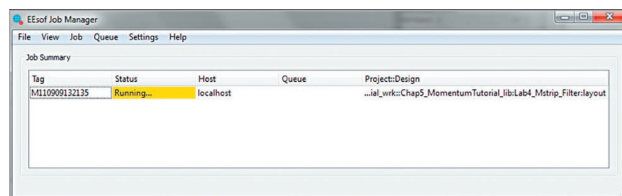


Рис. 61

- Тепер, коли ми завершили налаштування електромагнітної симуляції, натисніть кнопку **Save** (Зберегти), а потім кнопку **Simulate** (Симулювати) в правому нижньому куті вікна налаштування електромагнітної симуляції (рис. 60).
- Після цього відкриються наступні два вікна: **Job Manager** (Керування завданнями) і **Momentum Simulation Status** (Стан симуляції Momentum), як показано на рисунку 61:
 - Вікно **Job Manager**: в ньому відображається стан завдання симуляції. Після завершення симуляції його стан зміниться на Done (Виконано).
 - Вікно **Momentum Simulation Status**: в ньому відображається стан симуляції. У ньому відображається час

При виконанні адаптивного свіпвання частоти система ADS генерує два файли з наборами даних: один для точок, в яких проводиться симуляція (в нашому випадку це 15 точок частоти), другий, з додаванням в кінці суфікса «_a», який означає відображувану на графіку адаптивну апроксимовану поліномом раціональну криву. Для візуалізації даних рекомендується використовувати набір даних з додаванням в кінці суфікса «_a».

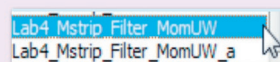


Рис. 64

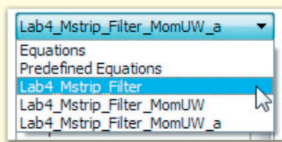


Рис. 65

Крок 4. Порівняння результатів електромагнітної та схмотехнічної симуляції

Останній крок — порівняти результати електромагнітної та схмотехнічної симуляції. Щоб побачити обидва результати на одному графіку, двічі клацніть по графіку Momentum і виберіть у списку, що розкривається, набір даних для схеми. Він повинен мати однакове з коміркою ім'я (наприклад, Lab4_Mstrip_Filter) (рис. 65). Виберіть для відображення параметри S(1,1) і S(2,1) в дБ. Спостерігати за реакцією схмотехнічної симуляції та симуляції Momentum можна на рисунку 66.

Приклад 2: розробка і симуляція мікросмужкової антени

Теорія

Мікросмужкова антена у своїй найпростішій конфігурації складається з випромінювальної пластини, яка розташовується на одній стороні діелектричної підкладки, при цьому на другій стороні підкладки знаходиться заземлювальна площина. Провідники випромінювальної пластини зазвичай виготовляються з міді або золота і можуть мати практично будь-яку форму. Проте, для спрощення аналізу і прогнозування характеристик антени зазвичай використовуються традиційні форми. Випромінювальні елементи та лінії живлення зазвичай виготовляються методами фотолітографії з подальшим травленням на діелектричній підкладці. Типова конфігурація мікросмужкової антени показана на рисунку 67.

Випромінювальна пластина може мати квадратну, прямокутну, круглу, еліптичну або будь-яку іншу форму. Квадратна, прямокутна і кругла форми найбільш поширені завдяки простоті аналізу і виготовлення. Серед переваг мікросмужкових антен в порівнянні з традиційними антенами НВЧ-діапазону можна виділити:

- малу вагу, невеликий об'єм;
- низьку вартість виготовлення;
- простоту масового виробництва;
- можливість реалізації лінійної та кругової поляризації за допомогою простих ліній живлення;

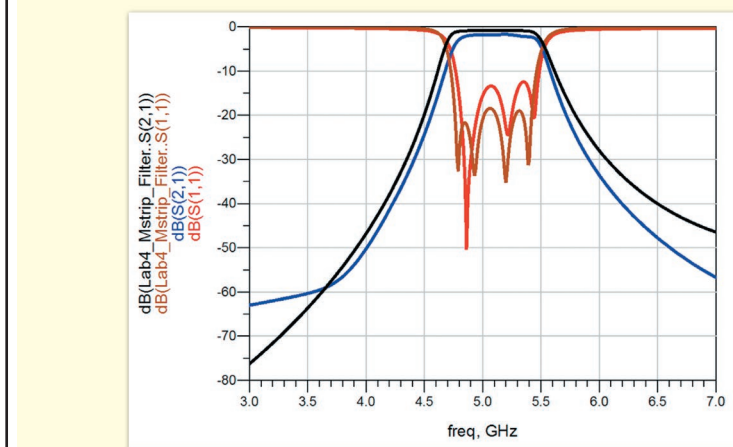


Рис. 66

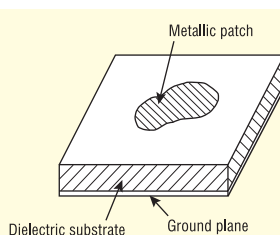


Рис. 67

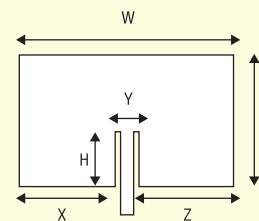


Рис. 68

- простоту інтеграції з IC НВЧ-діапазону;
- можливість виготовлення ліній живлення та узгоджувальних кіл одночасно з антенними структурами.

Завдяки простоті розробки й виготовлення мікросмужкові антени знаходять широке застосування — від військового до комерційного. Такі антени активно застосовуються у виробках для РЛС з фазованою антенною решіткою, а також у виробках, що вимагають гострої спрямованості та малого поперечного розміру променя.

Мета

Спроекувати мікросмужкову антену на 2.4 ГГц і симулювати її характеристики, використовуючи систему ADS 2011 (або більш пізньої версії).

Крок 1. Розрахунок розмірів мікросмужкової антени

Виберіть підходу для розробки мікросмужкової антени підкладки з товщиною h і відносною діелектричною проникністю ϵ_r . У цьому випадку ми будемо використовувати наступний діелектрик:

- висота (Height): 1.6 мм;
- товщина металу (Metal Thickness): 0.7 mil (1/2 унції міді на кв. фут);
- відносна діелектрична проникність ϵ_r : 4.6;
- Тангенс кута втрат (TanD): 0,001;

- питома електропровідність (Conductivity): $5.8E7$ См/м.

Розрахуйте фізичні параметри мікросмужкової антени, геометрія якої показана на рисунку 68, використовуючи наведену формулу.

Ширина і довжина випромінювальної поверхні обчислюється за формулою:

$$W = L = \frac{c}{(2f\sqrt{\epsilon_r})} = 29.2 \text{ мм},$$

де $c = 3 \times 10^8$ м/с — швидкість світла; $f = 2.4$ ГГц — частота; $\epsilon_r = 4.6$ — відносна діелектрична проникність.

Глибина занурення лінії живлення всередину випромінювальної поверхні обчислюється за формулою:

$$H = 0.822 \times L/2 = 12 \text{ мм}$$

Інші розміри:

$$Y = W/5 = 5.8 \text{ мм};$$

$$X = Z = 2W/5 = 11.7 \text{ мм}.$$

Крок 2. Створення геометрії мікросмужкової антени

- Створіть нове робоче середовище, назвіть його **Lab5_PatchAntenna_wrk**.
- Відкрийте нову топологічну комірку і назвіть її **Patch_Antenna**.
- Використовуйте команди **Insert > Polygon** і **Insert > Coordinate Entry** для введення координат, щоб задати необхідні для побудови геометрії

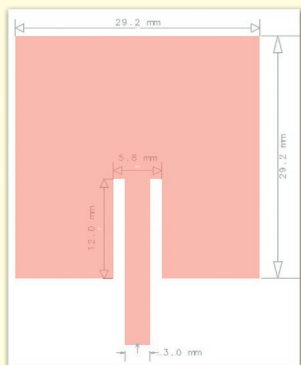


Рис. 69

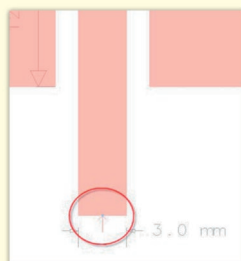


Рис. 70

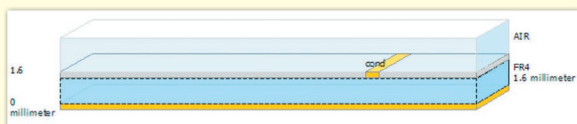


Рис. 71

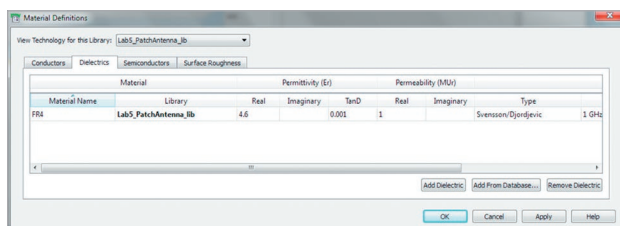


Рис. 72

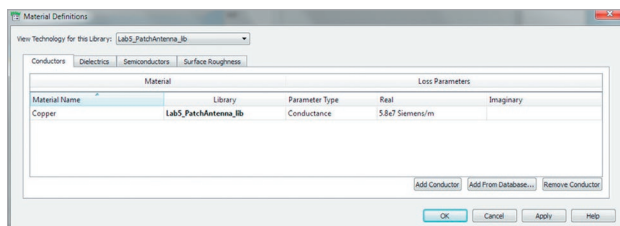


Рис. 73

мікросмужкової антени точки згідно з проведеними обчисленнями (рис. 69).

Крок 3. Симуляція антени

Під'єднайте вивід у точці живлення антени, як показано на рисунку 70. Після цього виконайте наступні дії:

- Перейдіть у вікно налаштування електромагнітної симуляції, натисніть **Substrate** (Підкладка) і **New** (Новий), щоб прийняти як шаблон підкладки з алюмооксидної кераміки 25 mil Alumina. Задайте параметри підкладки, як показано на рисунку 71, відредагуйте висоту підкладки за замовчуванням, значення відносної діелектричної проникності, тангенса кута втрат і висоти провідників, задавши як матеріал для них Copper (Мідь) — виберіть його зі списку Add from Database (Додати з бази даних) (рис. 72 і 73). Зміна назви діелектрика не є обов'язковою, оскільки вона не впливає на симуляцію.
- Задайте **Simulation Frequency range** (Діапазон частот симуляції) від 2.1 до 2.7 ГГц при адаптивному співуванні частоти (Adaptive) і додайте за допомогою кнопки Add (Додати) нову точку (Single) на частоті 2.4 ГГц, як показано на рисунку 74.

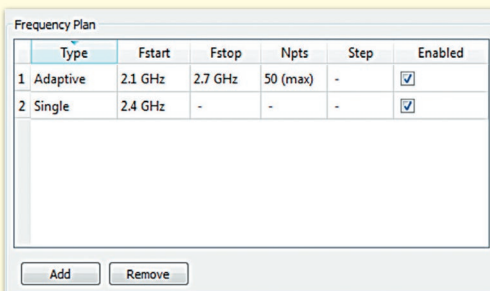


Рис. 74

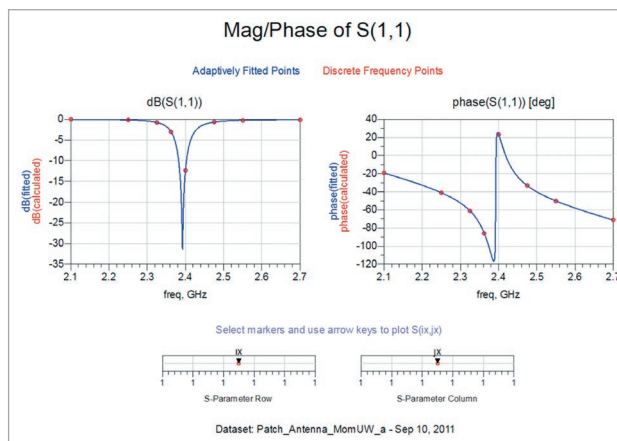


Рис. 75

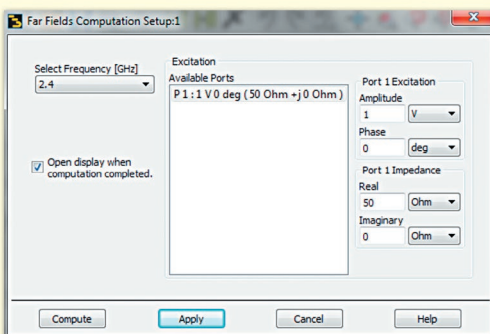


Рис. 76

- Натисніть **Simulate** (Симулювати) і перегляньте результати симуляції на дисплеї даних (рис. 75).

Крок 4. Діаграма спрямованості антени

- Для діаграми спрямованості антени в дальній зоні перейдіть до команди меню **EM → Post Processing → Far Field**, виберіть бажану частоту (наприклад, 2.4 ГГц) і натисніть **Compute** (Обчислити) (рис. 76).
- Буде проведено обчислення в дальній зоні, результати якого будуть відображені у вікні постобробки, як показано на рисунку 77. Щоб побачити всі необхідні дані, можна використовувати команду **Window > Tile**, потім за допомогою розташованих внизу вкладок перейти до **Plot Properties** (Властивості графіка) і потім вибрати **Far Field > Antenna Parameters** (рис. 77).
- Перейдіть на вкладку **Far Field Cut** (Зріз дальньої зони) і натисніть кнопку **Display Cut in data display** (Показати зріз на дисплеї даних) (рис. 78).

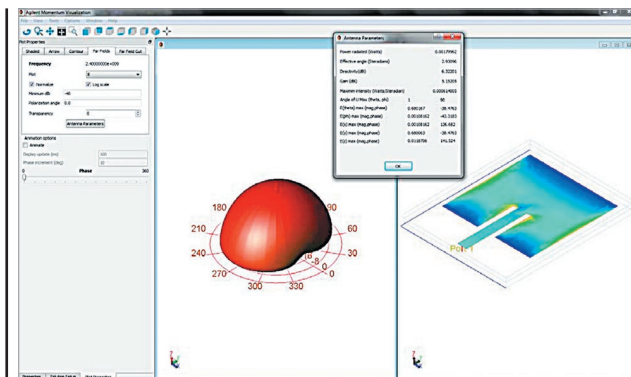


Рис. 77

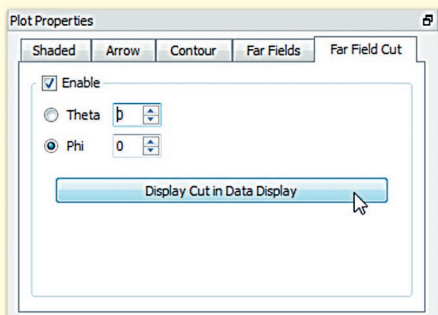


Рис. 78

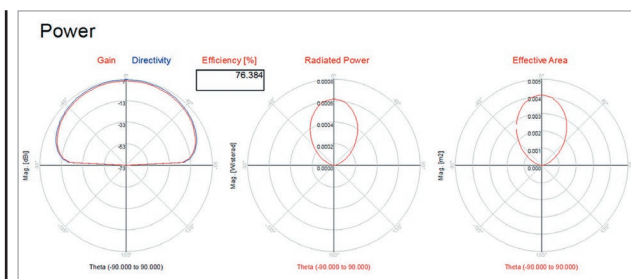


Рис. 79

- По завершенні ми отримаємо можливість побачити зріз дальньої зони на стандартному дисплеї даних, як показано на рисунку 79.

Приклад 3: спільна електромагнітна/схемотехнічна симуляція

Що таке спільна електромагнітна/схемотехнічна симуляція?

Часто на топології потрібна наявність дискретних компонентів, таких як R, L, C, транзистори, діоди тощо, проте вирішувачі електромагнітної симуляції не можуть проводити симуляцію таких дискретних компонентів безпосередньо. Тому ми використовуємо спільну симуляцію, в рамках якої створюємо топологічний елемент, а потім розміщуємо його в схемі для складання дискретних компонентів.

Типовий процес спільної електромагнітної/схемотехнічної симуляції

- Під'єднайте виводи в тому місці топології, де нам необхідно створити з'єднання з дискретними компонентами.
- Задайте структуру шарів та інші стандартні налаштування електромагнітної симуляції, такі як Mesh (Сітка), Simulation Frequency range (Діапазон частот симуляції) тощо.

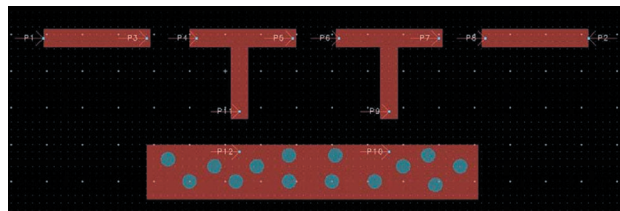


Рис. 80

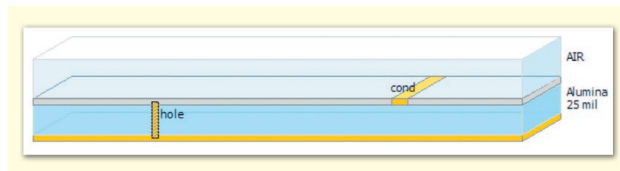


Рис. 81

- Створіть модель електромагнітної симуляції та символ для цього топологічного елемента.
- Вставте цей топологічний елемент в схему і під'єднайте необхідні дискретні компоненти.
- Налаштуйте відповідні параметри схемотехнічної симуляції. Якщо це не було зроблено раніше, буде виконана симуляція методом Momentum або FEM. В іншому випадку ті ж самі дані симуляції будуть використані повторно.

Крок 1. Створіть топологію, де буде виконуватися спільна симуляція

- Створіть топологію вручну або згенеруйте її зі схеми, користуючись описами з попередніх розділів.
- Розмістіть виводи скрізь, де нам необхідно створити з'єднання або змонтувати дискретні компоненти в рамках топології.
- У цьому випадку ми використовували шар cond для провідників і шар hole для перехідних отворів, щоб створити з'єднання із «землею» (рис. 80).
- Створіть підкладку 25 mil Alumina з параметрами $\epsilon_r = 9.9$, $\tan D = 0.0009$ і матеріалом Gold (Золото) для шару cond з питомою електропровідністю $4.1E7$ і товщиною 0.7 mil. Шар hole, призначений в якості VIA (перехідні отвори), також має питому електропровідність золота, як це показано в графічній частині вікна (рис. 81).

Порада. Щоб включити перехідні отвори (VIA) в підкладку, натисніть правую кнопку миші на Alumina в графічній частині вікна підкладки (рис. 81) й натисніть **Map Conductor VIA** (Призначити перехідні отвори з електропровідного матеріалу).

- Задайте план свіпуювання частот відповідно до вимог для схемотехнічної симуляції. Наприклад, в нашому випадку ми залишимо його від 0.01 до 1 ГГц зі 101 точкою (рис. 82).

Примітка. Якщо нам необхідно встановити нелінійні компоненти, такі як транзистори, на які необхідно подавати зміщення постійного струму, то симуляція Momentum повинна починатися з 0 Гц, щоб коректно враховувати постійну складову струму.

Крок 2. Створення компонента спільної електромагнітної/схемотехнічної симуляції та символу

- Для налаштування спільної електромагнітної/схемотехнічної симуляції перейдіть до опції Model/Symbol (Модель/Символ) і виберіть **Create EM Model when...** (Створити модель електромагнітної симуляції, коли...) і **Create**

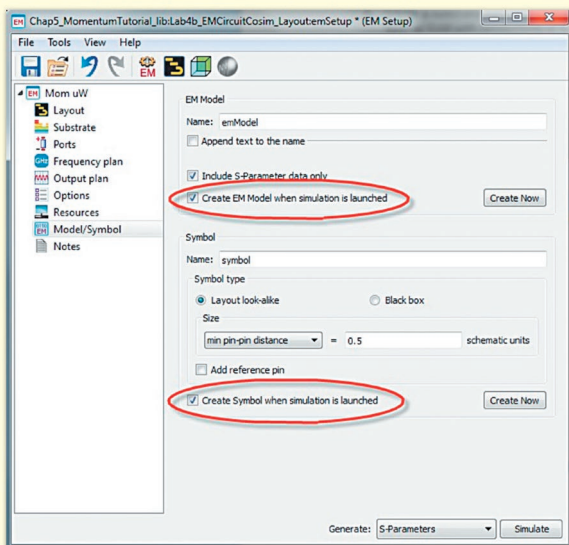


Рис. 82

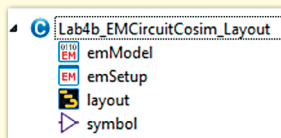


Рис. 83

Symbol when... (Створити символ, коли...), як показано на знімку екрана (рис. 83).

- За допомогою цих опцій будуть створені база даних і символ електромагнітної симуляції, які потім будуть використовуватися в процесі спільної електромагнітної/схемотехнічної симуляції.
- Розмір символу можна відрегулювати за допомогою задання опції **Size** → **min pin-pin distance**, а також схематичних одиниць вимірювання = 0.1, 0.2 тощо; в даному прикладі ми задамо їх рівними 0.5, щоб задати розумний розмір символу при його розміщенні в схемі.
- Якщо ви бажаєте виконати електромагнітну симуляцію спільно зі схемотехнічною, натисніть кнопку **Create Now** (Створити зараз) для електромагнітної моделі та символу або спочатку натисніть на значок **Simulate** (Симулювати), щоб виконати симуляцію Momentum... будь-який з цих способів підійде...
- Натисніть кнопку **Simulate**, щоб почати симуляцію Momentum.

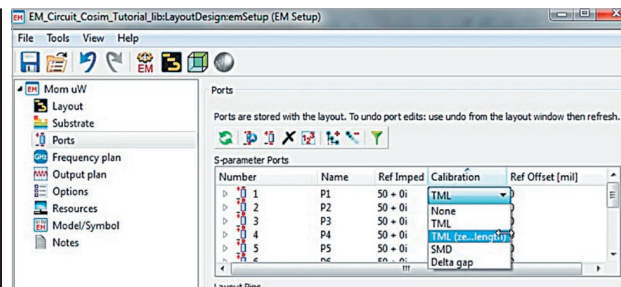


Рис. 84

Крок 3. Процес симуляції та генерації бази даних

- Коли ми виконуємо симуляцію Momentum, у вікні стану можна помітити попередження, подібне до наведеного нижче:
- У цьому повідомленні просто стверджується, що калібрування не може виконуватися для портів, розміщених всередині структури, і зазвичай ми можемо ігнорувати такі попередження.

The port setup needed to be corrected:
Calibration will not be used for port "P11" (pin "P11" is not on the edge between a conductive and a nonconductive region).

(Необхідно виправити налаштування порту: калібрування не буде використовуватися для порту "P11" (вивід "P11" не знаходиться на межі електропровідної та неелектропровідної областей)).

- Якщо необхідний особливий вид калібрування, це можна зробити за допомогою опції **Ports** (Порти) у вікні налаштування електромагнітної симуляції, як показано на знімку екрана на рисунку 84.
- Коли симуляція буде завершена, відкриється дисплей даних Momentum, проте на нього нам не потрібно дивитися в даний момент, оскільки дискретні компоненти ще не встановлені в топології. Проте, іноді краще переглянути результати, щоб побачити, який вид перехресних зв'язків існує між різними областями топології без встановлених компонентів. Іноді ми припиняємо подальший аналіз, виявивши між областями небажаний зв'язок, який спричиняє погіршення робочих характеристик нашого пристрою.
- Переглянувши головне вікно системи ADS, ми виявимо появу видів **emModel** і **symbol** під коміркою, в рамках якої виконується симуляція. Для спільної електромагнітної/схемотехнічної симуляції ми використовуємо вид **emModel**.
- Відкрийте нову схемотехнічну комірку і перетягніть вид **emModel** з головного вікна до цієї схемотехнічної комірки. Виберіть символ топології, натисніть **Choose view for**



КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИБАРИ

АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ
продаж • навчання • сервіс

ТОВ "ЮНІТЕСТ"
вул. Олеса Гончара, 26
01054, м. Київ, Україна
тел: +38 (044) 272-60-94
тел./факс: +38 (044) 272-60-95
e-mail: web@unitest.com
http://www.unitest.com



Авторизований дистриб'ютор

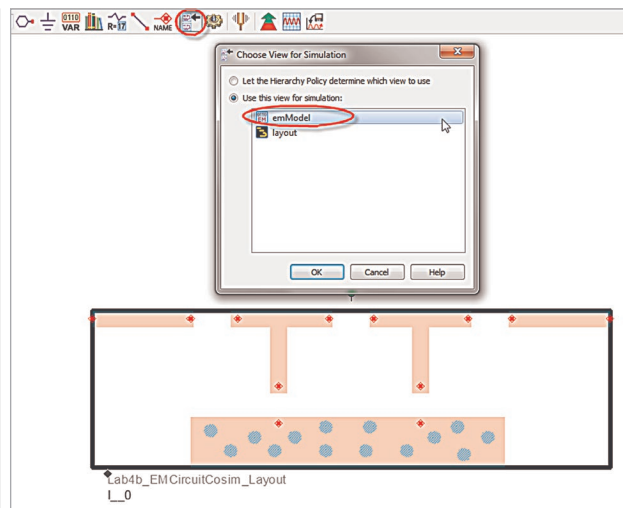


Рис. 85

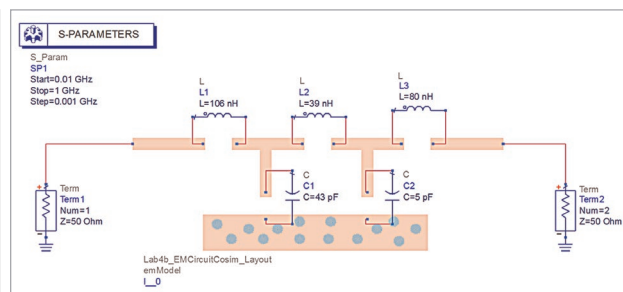


Рис. 86

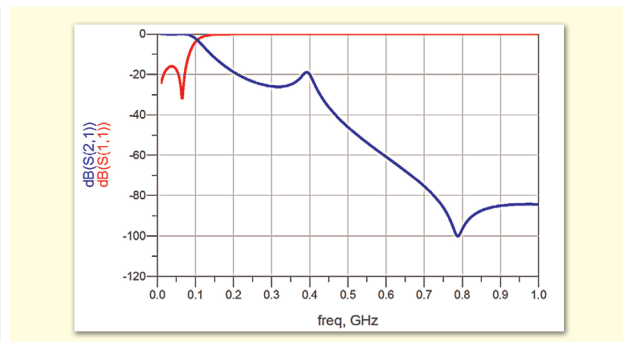


Рис. 87

simulation (Виберіть вид для симуляції) і виберіть **emModel** зі списку, як показано на рисунку 85.

- Вставте необхідні дискретні компоненти в схему і під'єднайте їх до топологічного елемента, як показано на знімку екрана на рисунку 86.
- Натисніть на значок **Simulate** в редакторі схем і вставте графік в прямокутній системі координат, щоб подивитися значення параметрів $S(1,1)$ і $S(2,1)$, як показано на рисунку 87.

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

НАЙБІЛЬША В СВІТІ КОМЕРЦІЙНА СИСТЕМА КВАНТОВОГО КЕРУВАННЯ

Компанія **Keysight Technologies** поставила найбільшу в світі комерційну систему квантового керування (Quantum Control System, QCS) в Національний інститут передових промислових наук і технологій (Advanced Industrial Science and Technology, AIST) в Японії. Система була інтегрована в Глобальний центр досліджень і розробок для бізнесу з використанням квантових і ШІ-технологій (Global Research and Development Center for Business by Quantum-AI Technology, G-QuAT). Тепер вона стане частиною нової випробувальної платформи в G-QuAT, яка розширить межі можливого в області квантових обчислень як за масштабом, так і за продуктивністю.

Всі квантові комп'ютери вимагають системи керування для переходу від класичного світу коду і кабелів до квантового світу фотонів і кубітів. У міру зростання розмірів, складності та продуктивності квантових комп'ютерів вимоги до системи керування стають все більш суворими. Будь-який недолік в її роботі може знизити можливості квантового комп'ютера, тому для AIST було критично важливо вибрати правильного партнера для цього ключового компонента.

Завдяки раннім інвестиціям в масштабовану архітектуру компанія Keysight змогла створити систему керування, здатну підтримувати передові квантові комп'ютери. Численні тести підтвердили, що вона відповідає суворим вимогам щодо рівня шуму, часової синхронізації та фазової когерентності.

Ця подія робить Keysight першим комерційним постачальником системи керування, що підтримує понад 1000 кубітів, і доводить, що її QCS здатна справлятися із завданнями масштабування квантових комп'ютерів наступного покоління.

Доктор Masahiro Horibe (Masahiro Horibe), заступник директора G-QuAT, AIST, заявив: «Розроблена тут система керування на 1000 кубітів — це революційний пристрій, перший і найбільший у своєму роді, створений завдяки видатним інженерним можливостям Keysight у відповідь на наші передові технічні вимоги. Розвиток квантових технологій вимагає не тільки теоретичного прогресу, але і складного інженерного забезпечення. Ця система дозволила досягти точної синхронізації, керування і зчитування складних багатоканальних сигналів, зробивши можливими масштабні операції з кубітами. Це наочна демонстрація того, як інженерія прокладає шлях майбутньому квантових технологій. Ми висловлюємо глибоку повагу до можливостей компанії Keysight у сфері розробок і з великим нетерпінням чекаємо на подальші технологічні інновації».

Доктор Ерік Холланд (Eric Holland), генеральний менеджер Keysight Quantum Engineer Solutions, додав: «Системи керування відіграють життєво важливу роль у квантових обчисленнях, виступаючи як двосторонній міст між класичним і квантовим світами. Для нас велика честь і радість співпрацювати з AIST G-QuAT, надаючи апаратні та програмні інструменти, необхідні для досягнення важливого рубежу — квантового комп'ютера на 1000 кубітів, що є ключовим кроком на шляху до практичного застосування квантових технологій у бізнесі».

www.keysight.com