

Система проєктування Advanced Design System

Посібник з проєктування схем 2.0*

Переклад: Вадим Потапенко

Редагування: Віктор Бутирін, директор, Юнітест

E-mail: Victor_Butyryn@unitest.com

РОЗРОБКА ВІДГАЛУЖУВАЧА НА ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ ТА МІКРОСМУЖКОВОГО ВІДГАЛУЖУВАЧА**

Теорія

Відгалужувач — це, по суті, пристрій, який розподіляє потужність із вхідного порту на два або більше вихідних портів порівну з мінімальними втратами та з різними або однаковими фазами. Шлейфовий відгалужувач — це відгалужувач з ослабленням 3 дБ та різницею фаз у 90° між двома вихідними портами. Ідеальний шлейфовий відгалужувач, показаний на рисунку 154, являє собою чотириполюсник, ідеально узгоджений на всіх чотирьох портах.

Потужність, що надходить на порт 1, порівну ділиться між портами 2 і 3 зі зсувом фаз 90 градусів. 4-й порт є ізольованим портом, і через нього потужність не проходить. Шлейфовий відгалужувач має високий ступінь симетрії та дозволяє використовувати як вхідний будь-який із чотирьох портів. Вихідні порти розташовані з протилежного боку від вхідного, а ізольований порт — на тому ж боці, що й вхідний. В S-матриці ця симетрія відображається тим фактом, що кожен із рядків може бути представлений перестановкою першого рядка.

На рисунку 155 наведено матрицю [S] ідеального шлейфового відгалужувача.

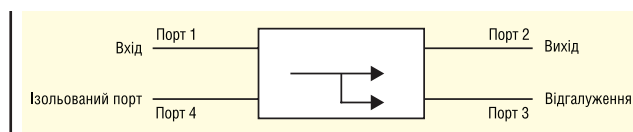


Рис. 154

$$[S] = \frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix}$$

Рис. 155

Основною перевагою такого відгалужувача є простота реалізації, а його недоліки — вузька смуга пропускання через застосування для його реалізації чвертьхвильової лінії передачі, а також неоднорідності, що виникають на переході. Щоб обійти ці недоліки, можна застосувати кілька секцій шлейфового відгалужувача з каскадним з'єднанням, що дозволяє на порядок розширити смугу пропускання, а також збільшити довжину поперечного плеча на 10°–20°, що дає можливість компенсувати втрату потужності через вплив неоднорідності.

Мета

Розробити шлейфовий відгалужувач із зосередженими елементами та розподіленими параметрами для частоти 2 ГГц і виконати симуляцію його характеристик за допомогою ADS.

Розробка шлейфового відгалужувача із зосередженими елементами

За наведеними формулами розрахуйте значення ємностей (C_0 та C_1) і індуктивностей (L), необхідних для моделі із зосередженими параметрами шлейфового відгалужувача, що показана на рисунку 156.

$$\omega = 2\pi f_c$$

$$C_1 = \frac{1}{\omega Z_0 \sqrt{K}}, \text{ де } K = 1 \text{ для відгалужувача 3 дБ,}$$

$$C_0 = \frac{1}{\omega^2 L} C_v$$

$$L = \frac{Z_0}{\omega \sqrt{1 + Z_0 \omega C_1}}$$

де f_c — номінальна частота відгалужувача; Z_0 — характеристичний імпеданс лінії передачі.

Номінальні характеристики проєкту:

номінальна частота $f_c = 2$ ГГц;

кругова частота ω в радіанах $= 2\pi f_c = 1.25 \times 10^{10}$;

характеристичний імпеданс $Z_0 = 50$ Ом.

Підставивши дані значення у наведені вище вирази, отримаємо наступні значення для моделі із зосередженими параметрами:

* Продовження. Початок див. CHIP NEWS, № 6–10, 2025.

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

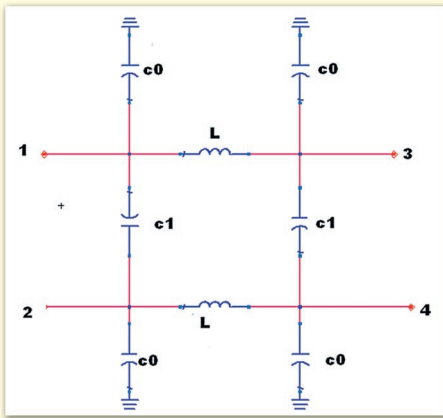


Рис. 156

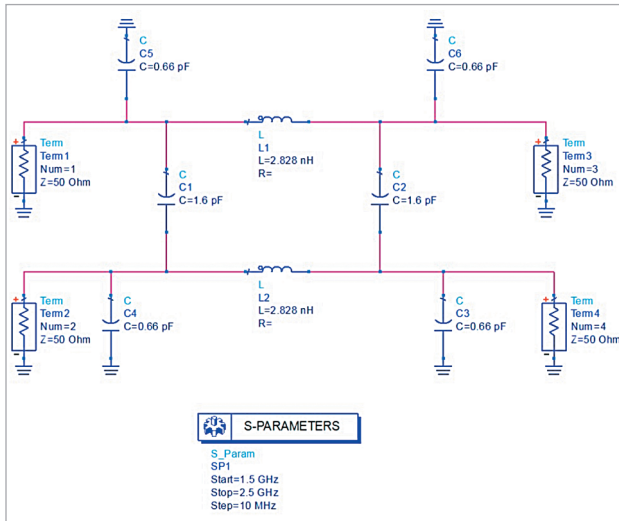


Рис. 157

$C_1 = 1.6 \text{ пФ};$
 $L = 2.8 \text{ нГн};$
 $C_0 = 0.66 \text{ пФ}.$

Порядок дій під час схемотехнічної симуляції

- Відкрийте вікно схеми **Schematic ADS**.
- З бібліотеки компонентів із зосередженими параметрами виберіть відповідні компоненти, необхідні для моделі із зосередженими параметрами. Натисніть на необхідні компоненти та вставте їх у вікно схеми ADS, як показано на рисунку 157.
- Налаштуйте симуляцію S-параметрів для частот від 1.5 ГГц до 2.5 ГГц зі 101 точкою та запустіть симуляцію.
- Після завершення симуляції побудуйте необхідні графіки, щоб переглянути характеристику відгалужувача, як показано на рисунку 158.

Розробка шлейфового відгалужувача з розподіленими параметрами

- Для проекту відгалужувача виберіть відповідну підкладку з товщиною h та діелектричною проникністю ϵ_r . Для даного прикладу ми виберемо наступні параметри діелектрика:
 ϵ_r (Діелектрична проникність) = 4.6;
 Height (Висота) = 1.6 mm;
 Loss Tangent (Тангенс кута втрат) = 0.0023;

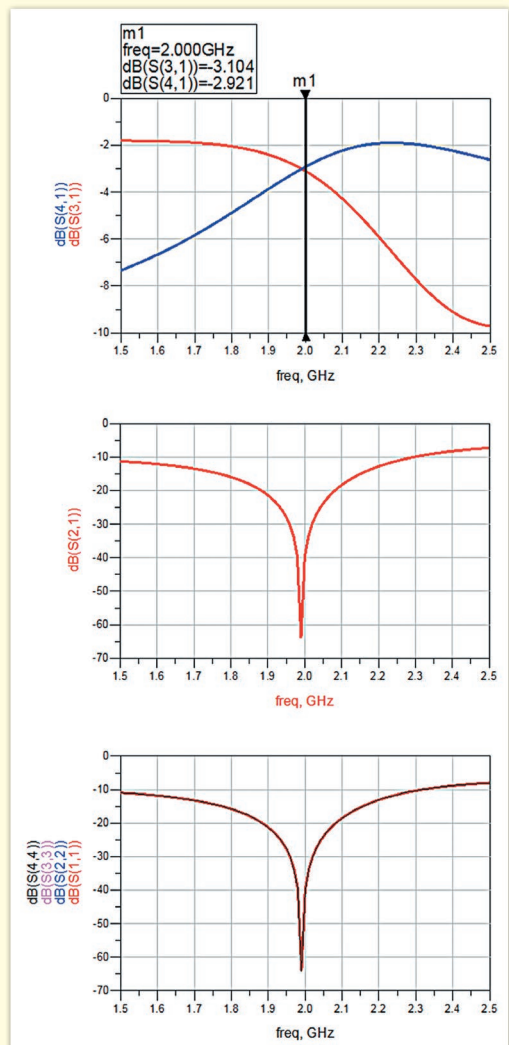


Рис. 158

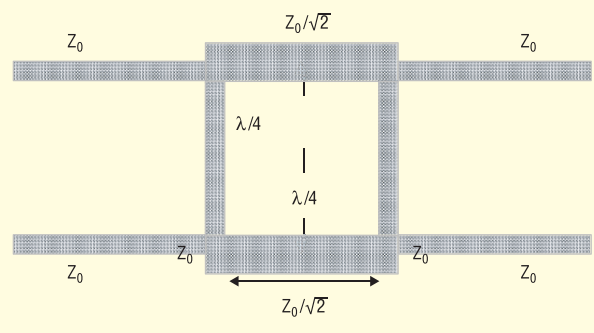


Рис. 159

Metal Thickness (Товщина металу) = 0.035 mm;
 Metal Conductivity (Провідність металу) = 5.8E7 S/m.

- Розрахуйте довжину хвилі λ_g із заданих параметрів частоти наступним чином:

$$\lambda_g = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} f},$$

де c — швидкість світла в повітрі; f — робоча частота відгалужувача; ϵ_r — діелектрична проникність підкладки.

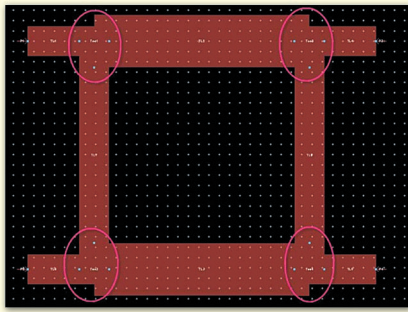


Рис. 160

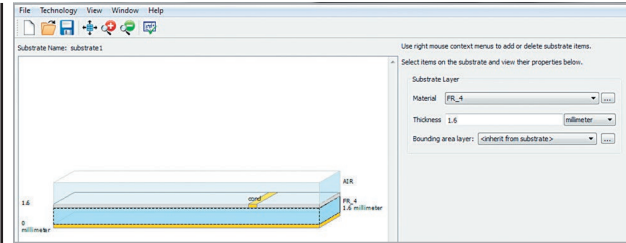


Рис. 161

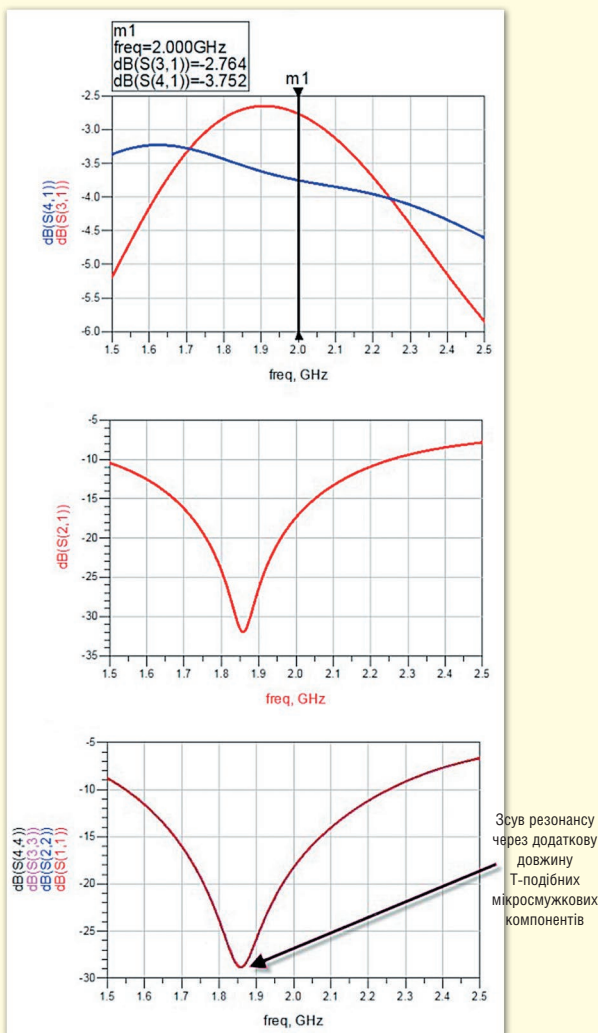


Рис. 162

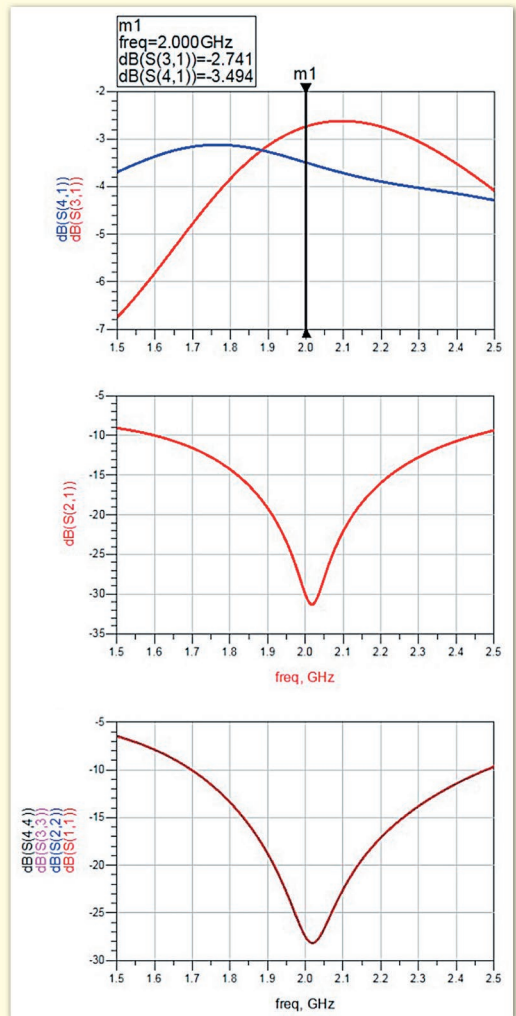


Рис. 163

- Синтезуйте геометричні параметри (довжину та ширину) чвертьхвильових ліній з імпедансами Z_0 та $Z_0/\sqrt{2}$ (Z_0 — характеристичний імпеданс мікросмушкової лінії, прийнятий рівним 50 Ом). Геометрія шлейфового відгалужувача показана на рисунку 159.

Топологічна симуляція в ADS

- Розрахуйте геометричні параметри шлейфового відгалужувача з електричних параметрів, таких як Z_0 та електрична довжина, за наведеною вище процедурою. Геометричні параметри можуть бути синтезовані за допомогою засобу Linesalс, як це було описано в попередніх лабораторних роботах. Геометричні параметри мікросмушкової лінії для імпедансів 50 Ом (Z_0) та 35 Ом ($Z_0/\sqrt{2}$) наступні:
 Лінія 50 Ом:
 ширина — 2.9 мм;
 довжина — 20 мм.
 Лінія 35 Ом:
 ширина — 5.14 мм
 довжина — 19.5 мм
- Створіть модель шлейфового відгалужувача у вікні топології ADS. Модель можна створити, скориставшись доступними компонентами з бібліотеки мікросмушкових компонентів або намалювавши прямокутники.

- Для створення моделі із застосуванням бібліотечних компонентів виберіть бібліотеку TLines (Лінії передачі) — Microstrip (Мікросмужкові). Виберіть із бібліотеки відповідний тип мікросмужкової лінії та вставте її у вікно топології, як показано на рисунку нижче. Для правильного з'єднання ліній нам необхідно додати компонент Microstrip TEE (Т-подібна мікросмужка) у місцях 4 переходів, як у виділених областях, показаних на рисунку 160.
- За допомогою вікна налаштування електромагнітної симуляції задайте властивості діелектрика та провідника за процедурою, описаною в лабораторній роботі з симуляції методом Momentum. Коли властивості будуть належним чином задані, зображення має виглядати, як показано на рисунку 161.
- Задайте частоту симуляції від 1.5 ГГц до 2.5 ГГц, увімкніть Edge Mesh (Крайова сітка) на вкладці **Options** (Опції) > **Mesh** (Сітка) вікна налаштування електромагнітної симуляції та натисніть кнопку **Simulate** (Симулювати).
- Після завершення симуляції побудуйте графік і перегляньте необхідну характеристику. При цьому зверніть увагу, що резонанс зміщений у бік менших частот, як показано на рисунку 162.
- Для компенсації впливу Т-подібних компонентів нам потрібно зменшити розраховані довжини ліній відгалужувача на величину приблизно $w/2$ лінії, що перехрещується. Наприклад, лінія 19.5 мм, 35 Ом повинна мати довжину приблизно 18.2 мм, а вертикальна лінія 19.5 мм, 50 Ом повинна мати довжину 17.1 мм.
- Змініть довжину ліній та знову під'єднайте їх, як показано на рисунку 163. Знову виконайте симуляцію топології з ими ж налаштуваннями. Зауважте, що характеристика наблизилася до бажаної частоти 2 ГГц.

Висновок

Результати для відгалужувача із зосередженими елементами хороші, але необхідна симуляція цієї схеми та, можливо, її повторна оптимізація з застосуванням бібліотек компонентів постачальників. Нам потрібно буде виконати симуляцію з аналізом виходу придатних, щоб врахувати розкид характеристик, який може бути викликаний допусками зосереджених компонентів.

Що стосується відгалужувача з розподіленими параметрами, ми можемо 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. Олеса Гончара, 26,
тел.: +38 (044) 272-60-94,
e-mail: web@unitest.com,
www.unitest.com**

CN

НОВІ ПОТУЖНІ РІШЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ТЕСТУВАННЯ

Компанія **Keysight Technologies, Inc.** оголосила про випуск нової серії потужних системних джерел живлення для автоматизованого тестового обладнання (Automated Test Equipment, ATE), розширивши свій портфель рішень для тестування систем живлення трьома сімействами продуктів: рекуперативними джерелами постійного струму серії RP5900, рекуперативними електронними навантаженнями постійного струму серії EL4900 та системними джерелами живлення постійного струму серії DP5700. Ці рішення нового покоління вирізняються високою густиною потужності, двонаправленою роботою з можливістю рекуперативності та наявністю інтелектуального програмного забезпечення для автоматизації, що дозволяє інженерам ефективніше проводити валідацію розробок і прискорювати виведення продукції на ринок.

У багатьох галузях завдання з валідації систем живлення стають дедалі складнішими. Це зумовлено появою потужніших пристроїв, що потребують розширеного тестування, збільшенням простору в стійках, необхідністю ручного програмування тестів, а також дедалі вищими вимогами до безпеки та екологічної стійкості. Інженерам потрібні АТЕ-рішення, які не лише забезпечують вищу потужність у меншому об'ємі, але й дозволяють автоматизувати складні сценарії тестування, захищати конфіденційні дані та знижувати енергетичні втрати. Новітні джерела живлення Keysight безпосередньо вирішують ці проблеми, дозволяючи інженерам ефективніше перевіряти проекти, розширювати охоплення тестуванням і знижувати операційні ризики.

Нові потужні АТЕ-джерела живлення Keysight мають діапазон потужності від 1.5 до 12 кВт і включають однонаправлені та двонаправлені джерела живлення, а також

рекуперативні електронні навантаження. Завдяки поєднанню високої щільності потужності з надійним програмним забезпеченням для автоматизації, це портфоліо дозволяє інженерам тестувати складні багатокіловатні пристрої з більшою точністю та повторюваністю, використовуючи менше простору та енергії.

Ключові переваги нових потужних АТЕ-джерел живлення:

- **Компактна потужність і максимальна густина.** Нові пристрої забезпечують до 6 кВт у корпусі 1U або 12 кВт у 2U з повною можливістю рекуперативності, що дає у 2–3 рази більше каналів на тій самій площі порівняно з попередніми системами. Висока густина знижує необхідну площу лабораторії, вимоги до охолодження та загальні операційні витрати.
- **Автоматизація, що розширює можливості.** Пакет Automated Power Suite від Keysight дозволяє інженерам автоматизувати складні тести, як-от тривале циклування, емуляція стану заряду акумулятора або відтворення перехідних процесів із незмінно високою точністю, що заощаджує час і збільшує охоплення тестуванням.
- **Вбудована безпека та екологічна стійкість.** Знімна SD-карта пам'яті гарантує безпеку робочих процесів при переході між режимними (закритими) та відкритими лабораторіями, а програмне забезпечення, що відповідає стандарту NIST SP800-171 SSDF, забезпечує безпеку корпоративного рівня. Рекуперативна робота повертає енергію в мережу замість її розсіювання у вигляді тепла, що знижує витрати та сприяє досягненню цілей сталого розвитку.

www.keysight.com