

# 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

У цій статті представлені початкові відомості для нових користувачів ADS 2011. ADS 2011 організовує роботу з проєктування у вигляді робочих середовищ (workspaces).

### ПОЧАТОК РОБОТИ З СИСТЕМОЮ ПРОЄКТУВАННЯ ADS 2011

Щоб почати роботу з проєктування, нам необхідно створити нове робоче середовище<sup>1</sup>.

#### Крок 1. Створення робочого середовища

- Запустіть ADS 2011 і в головному вікні виберіть **File > New > Workspace**. Введіть бажане ім'я робочого середовища. Зверніть увагу, що ім'я робочого середовища і шлях до його розташування не повинні містити пробілів. Натисніть **Next** (рис. 1).

- Виберіть бібліотеки, які будуть включені в робоче середовище. ADS за замовчуванням надає бібліотеку аналогових/ПЧ-компонентів (Analog/RF) і бібліотеку компонентів цифрової обробки сигналів (DSP), і їх можна вибирати за потреби при проєктуванні в робочому середовищі. Бібліотеки компонентів, що постачаються з ADS, можна додавати, натискаючи на посилання Add User Favorite Library/PDK (Додати обрану користувачем бібліотеку/Бібліотеку технологічного процесу). Всі бібліотеки постачальників компонентів надаються в архівному форматі zip і розташовуються в наступній папці: `<ADS_install_dir>/oalibs/componentLib/folder` (рис. 2).
- Задайте ім'я бібліотеки, в якій ви хочете організувати роботу. Ім'я цієї бібліотеки не повинно збігатися з іменами бібліотек виробників компонентів або сторонніх розробників. Це новий спосіб організації схем/топологій розробок в ADS 2011, і кожне робоче середовище може містити кілька бібліотек, в яких ми можемо організувати нашу роботу, що складається з декількох технологій, наприклад, GaAs, GaN, InP, SiGe тощо. Хоча для кожної

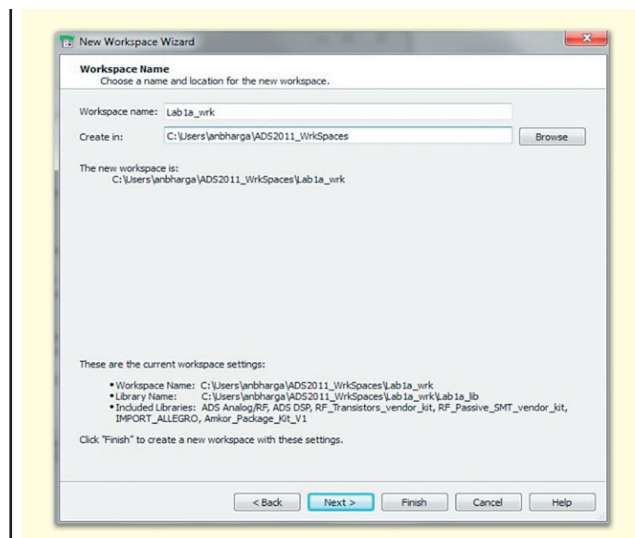


Рис. 1

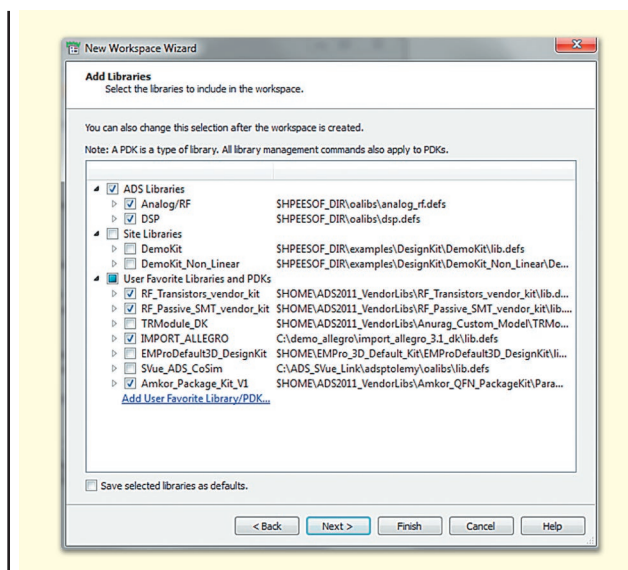


Рис. 2

<sup>1</sup> Використовувані ліцензії ADS: Linear Simulation.

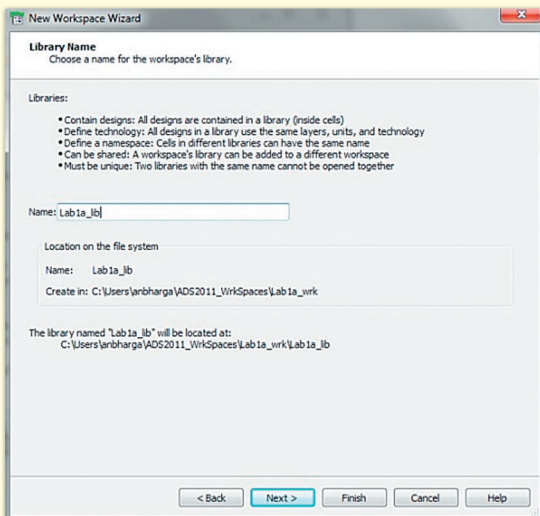


Рис. 3

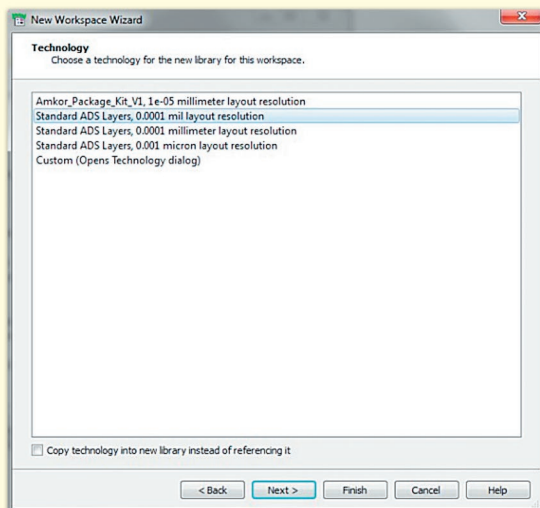


Рис. 4

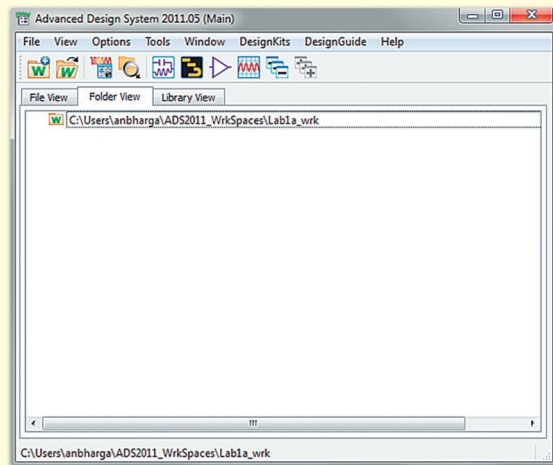


Рис. 5

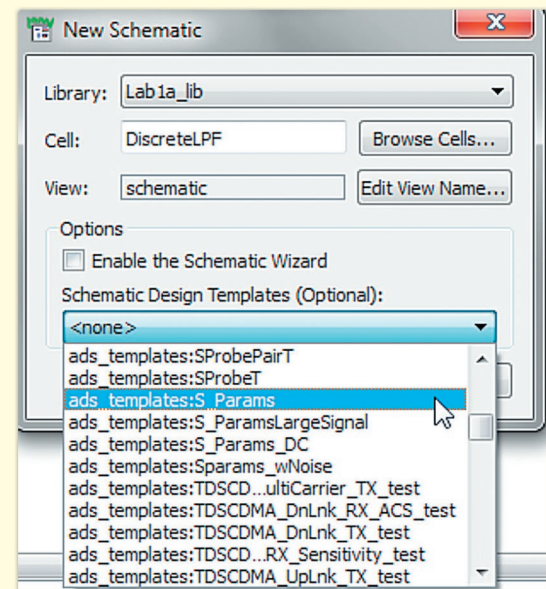


Рис. 6

технології передбачена окрема бібліотека, ADS2011 надає можливість використовувати ці розробки в рамках однієї основної розробки для реалізації проектів з використанням декількох технологій. Слід зазначити, що в ADS2011 одиниці вимірювання для схем і топологій можуть застосовуватися в різних технологіях, і рекомендується в рамках одного проекту не використовувати різні одиниці вимірювання, тобто mil (міл), mm (мм), um (мкм) і т. д. Натисніть **Next** (рис. 3).

- Виберіть бажані одиниці вимірювання для використання в процесі проектування. У даному прикладі ми вибираємо mil з роздільною здатністю топології 0.0001 mil (рис. 4).
- Натисніть **Next**, перегляньте зведену інформацію про робоче середовище і натисніть **Finish**. З'явиться порожнє робоче середовище, як показано на рисунку 5. Тепер ми готові створювати схеми або топології в новому робочому середовищі.

## Крок 2. Створення електричної принципової схеми

Зазвичай проектування електричного кола починається з введення його принципової схеми. Щоб почати проектування

схеми, можна вибрати **File > New > Schematic** або натиснути на значок схеми на панелі інструментів головного вікна.

- Введіть бажане ім'я комірки (наприклад, Discrete LPF (ФНЧ на дискретних елементах)) і виберіть шаблон проектування схеми **ads\_templates:S\_Params** (для симуляції S-параметрів). Вибір шаблону не є обов'язковим, але його наявність корисна, оскільки він економить зусилля з налаштування проекту для симуляції. Натисніть **OK** (рис. 6).
- Повинна з'явитися нова сторінка схеми з двома 50-омними навантаженнями й контролером S-параметрів з налаштуваннями частоти за замовчуванням. Якщо шаблон не був обраний під час створення нової схеми, ми можемо розмістити необхідні для симуляції S-параметрів компоненти, перейшовши у відповідну категорію симуляції, наприклад, Simulation-S\_Param (S-параметри), Simulation-HB (гармонійний баланс) тощо (рис. 7).
- Тепер почнімо створювати електричну схему. Перейдіть до бібліотеки **Lumped with Artwork** (Елементи з зосередженими параметрами у вигляді графічних зображень), як показано на рисунку 8, розмістіть компоненти **L\_Pad**

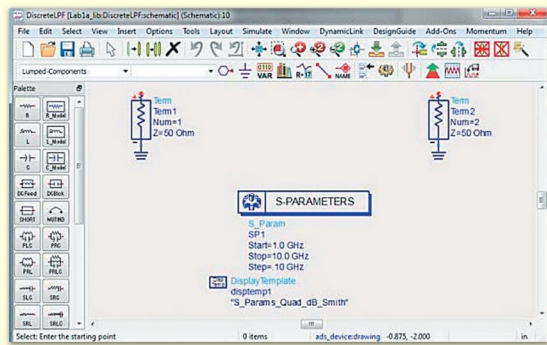


Рис. 7

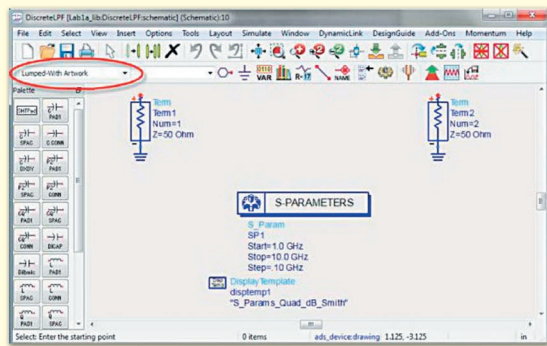


Рис. 8

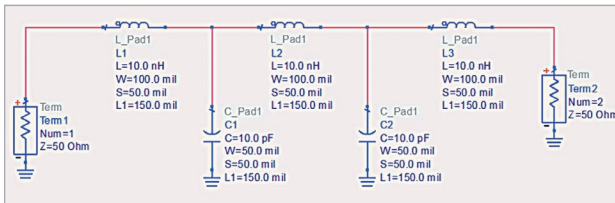


Рис. 9

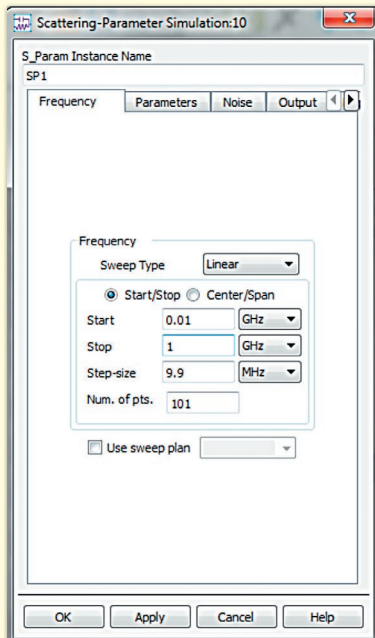


Рис. 10

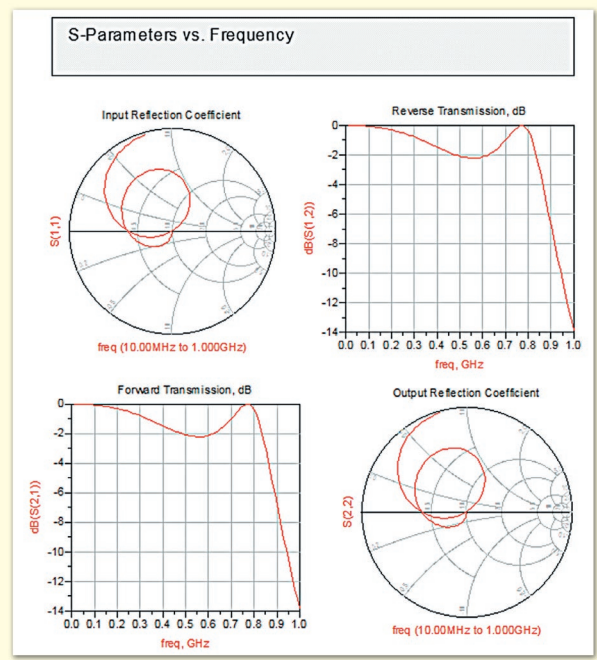


Рис. 11

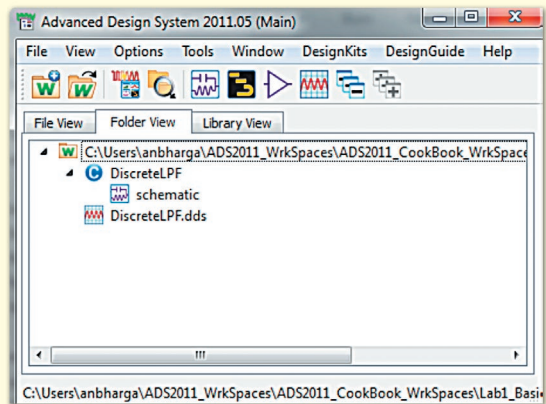



Рис. 12

і  $C\_Pad$  на схемі так, щоб сформувати топологію фільтра нижніх частот (ФНЧ).  $L\_Pad$  і  $C\_Pad$  — це звичайні індуктивності й конденсатори, але вони також містять інформацію про посадкове місце, і розробники можуть ввести бажані значення ширини, довжини та зазора для кожного компонента, які потім можуть бути використані для розробки друкованої плати (рис. 9).

- Двічі клацніть по контролеру S-параметрів  і задайте наступні значення параметрів:  
**Start** (Початкова частота) = 0.1 GHz;  
**Stop** (Кінцева частота) = 1 GHz;  
**Num. of points** (Кількість точок) = 101 (розмір кроку буде розрахований автоматично). Натисніть **OK** (рис. 10).
- Для запуску симуляції натисніть на значок **Simulate** (або натисніть клавішу F7).
- По завершенні відкриється дисплей даних з результатами симуляції, як показано на рисунку 11.
- Збережіть проект, щоб зберегти всю виконану роботу, і переконайтеся в наявності в головному вікні комірки схеми й дисплея даних (<ім'я\_файла>.dds) (рис. 12).

ПІДЛАШТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ<sup>2</sup>

Часто розраховані вручну значення не забезпечують оптимальних характеристик, і необхідно змінити номінали компонентів. Це можна зробити двома способами: підлаштуванням (*Tuning*) або оптимізацією (*Optimization*).

## Що таке підлаштування?

Підлаштування — це спосіб, при якому змінюють значення параметрів компонентів і спостерігають вплив цих змін на характеристики схеми. Це спосіб вручну досягти необхідних характеристик схеми, який добре працює в певних випадках.

## Що таке оптимізація?

Оптимізація — це автоматизована процедура досягнення необхідних характеристик схеми, при якій ADS може змінювати значення параметрів компонентів схеми для досягнення конкретних цілей оптимізації. Зверніть увагу, що при постановці цілей слід бути обережним, вони повинні бути практично досяжними, інакше їх не вдасться реалізувати. Крім того, значення параметрів компонентів, що оптимізуються, повинні знаходитися в межах допустимих значень, і ці межі повинні задаватися розробниками з урахуванням практичних обмежень (рис. 13).

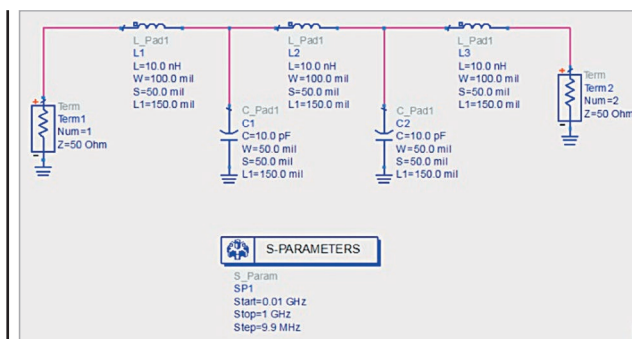


Рис. 13

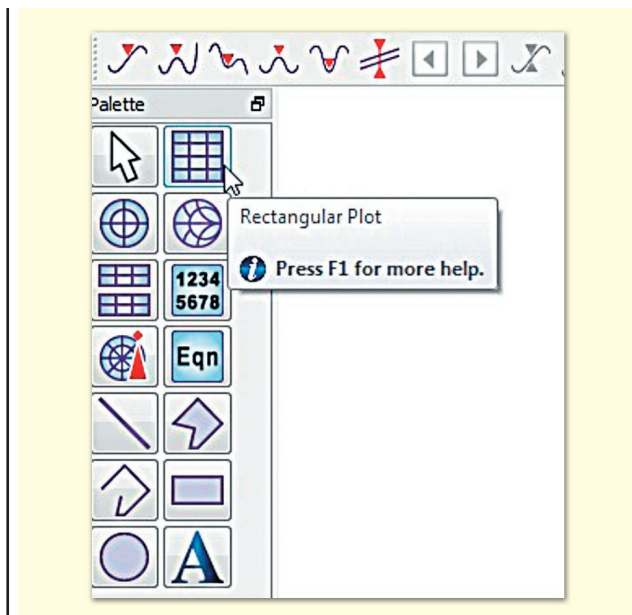



Рис. 14

## Виконання підлаштування в ADS 2011

Візьмімо приклад електричної принципової схеми ФНЧ, яку ми розробили в розділі «Початок роботи з системою проектування ADS 2011», і підлаштуємо значення параметрів компонентів, щоб покращити характеристики схеми.

- Відкрийте схему ФНЧ. Видаліть компонент Display Template (Шаблон виведення даних) і запустіть симуляцію.
- На дисплеї даних видаліть всі графіки й вставте новий графік в прямокутній системі координат (*rectangular plot*) (рис. 14).
- Клацніть на сторінці дисплея даних, виберіть  $S(1,1)$  і  $S(2,1)$  у вікні, що випливає, і натисніть кнопку **Add>>** (Додати), при наступному запиті як одиниці вимірювання виберіть dB (дБ) (рис. 15).
- Натисніть **OK**, щоб побачити дисплей даних, як на рисунку 16.
- Натисніть на значок Tune Parameter (Параметри підлаштування) на сторінці схеми .
- Нам потрібно зробити значення параметрів компонентів такими, що підлаштовуються, щоб побачити їх вплив на характеристики схеми. Клацніть на значеннях індуктивності та ємності компонентів у схемі ФНЧ, і вони будуть додані до Майстра підлаштування (*Tune wizard*). Якщо клацнути на компоненті, з'явиться опція вибору «L» або «C» тощо для підлаштування. Встановіть максимальні зна-

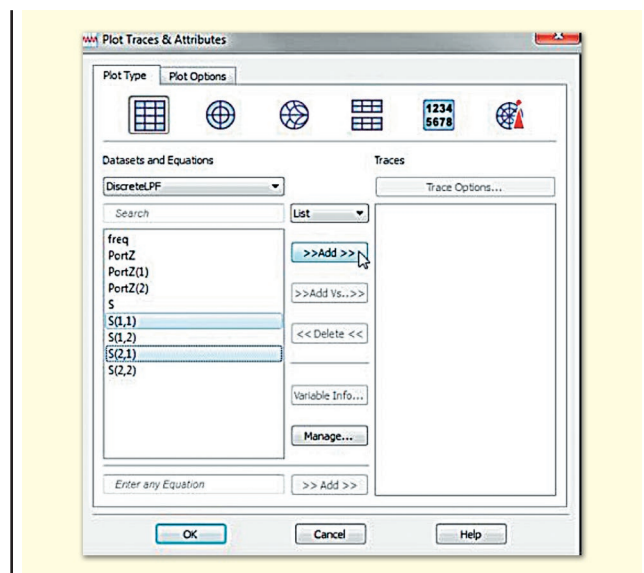


Рис. 15

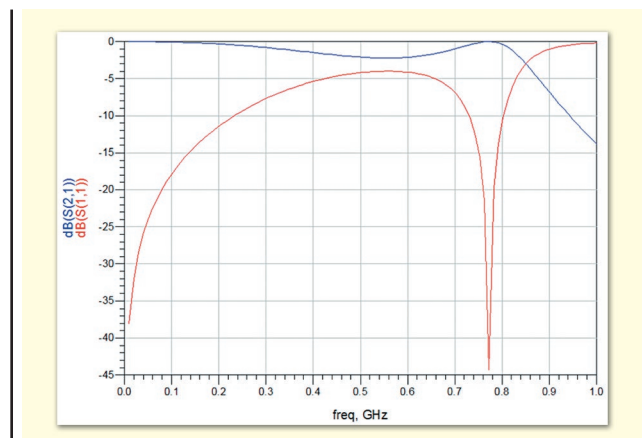


Рис. 16

<sup>2</sup> Використовувані ліцензії ADS: Linear Simulation.

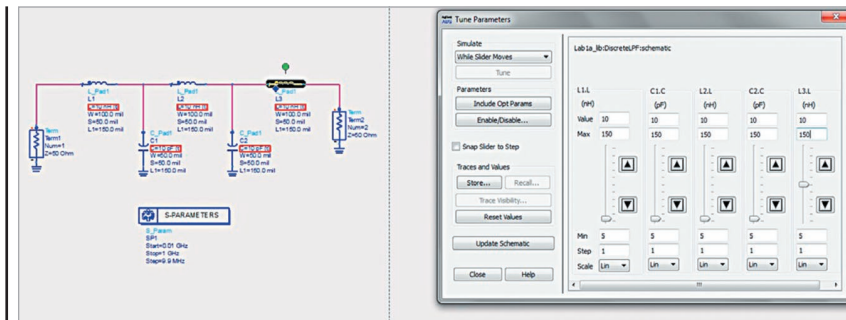


Рис. 17

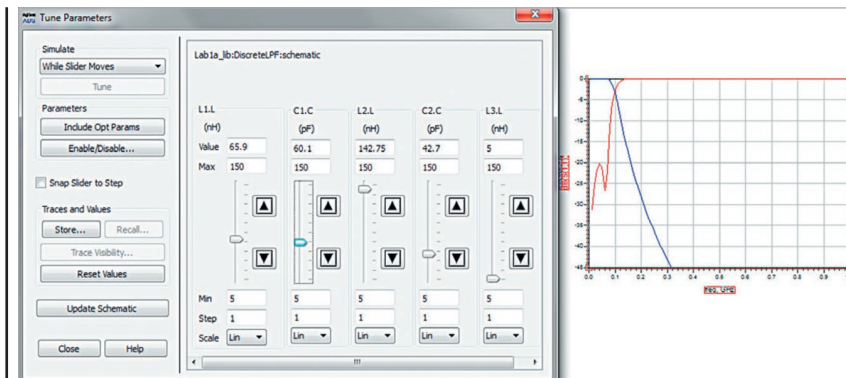


Рис. 18

чення для всіх компонентів на 150, щоб забезпечити достатній діапазон підлаштування значень (рис. 17).

- Розмістіть вікно з повзунками підлаштування і дисплей даних поруч і почніть переміщати повзунки значень параметрів компонентів, спостерігаючи відповідні зміни графіків (рис. 18).
- Зверніть увагу, що у Майстра підлаштування є багато інших функцій:
  - Можна зберігати тимчасові стани підлаштування, натискаючи значок **Store** (Зберегти), щоб зберігати проміжні стани підлаштування, і повернутися до будь-якого зі збережених станів, натискаючи кнопку **Recall** (Повернути). Ці стани зникнуть після

закриття майстра. Кожен збережений стан буде відображати зафіксовану криву у вікні графіка.

- Можна встановити прапоречко **Snap Slider to Step** (Прив'язати повзунок до кроку), щоб повзунок переміщався з певним розміром кроку, вказаним у полі Step (Крок) під повзунком.
- Значення параметрів можуть змінюватися в лінійному (Linear) або логарифмічному (Log) форматі.
- Ми можемо увімкнути/вимкнути підлаштування параметра, натиснувши кнопку **Enable/Disable**.
- Якщо збережено багато проміжних станів, то для поліпшення наочності можна вмикати/вимикати деякі графіки.

- Після досягнення бажаних або найкращих результатів з можливих, можна натиснути кнопку **Update Schematic** (Оновити схему), щоб внести знайдені при підлаштуванні значення параметрів в електричну принципову схему. Якщо ви випадково натиснете кнопку **Close** (Закрити), з'явиться вікно, що впливає, із запитом, чи хочете ви оновити схему.
- Після завершення підлаштування натисніть кнопку **Close** (Закрити) і перегляньте у вікні схеми та на дисплеї даних значення параметрів компонентів, отримані при підлаштуванні відгуку.

## Виконання оптимізації в ADS 2011

Тепер давайте подивимося, як можна виконати оптимізацію цієї схеми ФНЧ, щоб отримати бажані характеристики без необхідності виконувати ручну роботу.

Оптимізація в ADS — це процес, що складається з 3 етапів:

- постановка цілей оптимізації;
  - розміщення контролера оптимізації, вибір типу оптимізатора і кількості ітерацій;
  - підготовка значень параметрів компонентів до оптимізації.
- Зробимо копію комірки схеми, для якої ми проводили підлаштування, щоб можна було на ній же виконати оптимізацію, а також порівняти відгуки схеми, підлаштованої вручну, і схеми, оптимізованої системою ADS:
- Перейдіть до головного вікна, клацніть правою кнопкою миші на комірці, яку потрібно скопіювати, і виберіть **Copy Cell** (Копіювати комірку) (рис. 19).
  - З'явиться нове вікно, що впливає, в якому ми можемо задати нове ім'я для скопійованої комірки, назвемо її **DiscreteLPF\_Opt**. Зверніть увагу:

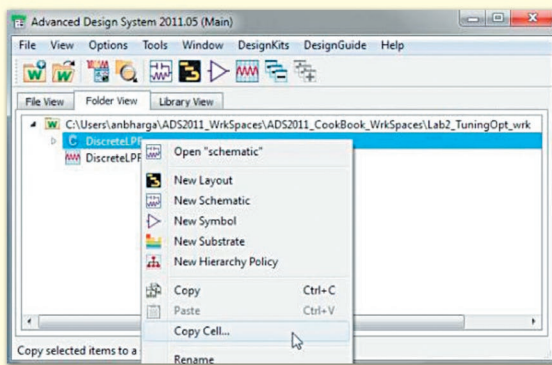


Рис. 19

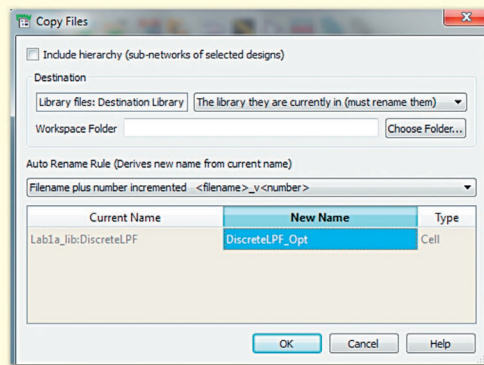


Рис. 20

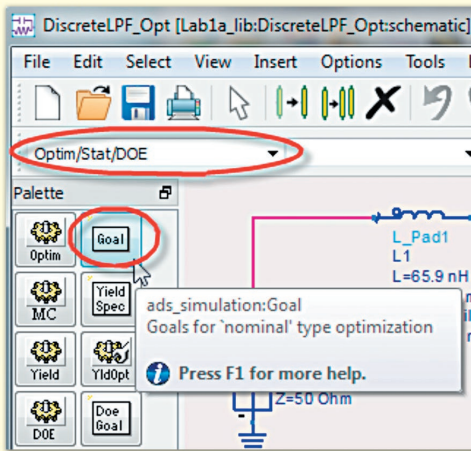


Рис. 21

якщо комірка, що копіюється, має ієрархічні елементи, то слід використовувати опцію Include Hierarchy... (Включити ієрархічні елементи), і якщо в нашому робочому середовищі є папки, ми можемо скопіювати її в певну папку, натиснувши кнопку Choose Folder (Вибрати папку). Після завершення зазначених вище дій натисніть кнопку ОК (рис. 20).

- Поверніться до головного вікна і переконайтеся, що комірка тепер скопійована і відображається в списку з новим ім'ям, яке ми задали в процесі копіювання (рис. 21).
- Відкрийте вид схеми цієї нової скопійованої комірки.

### Постановка цілей оптимізації

- Перейдіть до палітри бібліотеки **Opt/Stat/DOE** (Оптимізація/Статистика/Планування експерименту) і розмістіть компонент **Goal** (Ціль) на схемі, як показано на рисунку 22.
- Двічі клацніть по компоненту **Goal** (Ціль) і введіть параметри наступним чином:

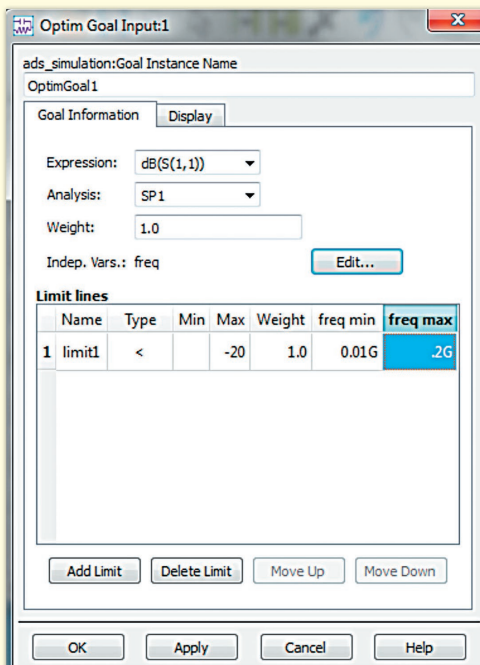


Рис. 22

- Expression =  $\text{dB}(S(1,1))$  (те саме, що відображається по осі Y на графіку).
- Analysis = SP1 (ім'я контролера S-параметрів, доступного на нашій схемі).
- Натисніть кнопку **Edit** (Редагувати) навпроти **Independent Var** (Незалежна змінна) і натисніть **Add Variable** (Додати змінну) у вікні, що впливає, потім введіть **freq** як ім'я змінної. **freq** — це ключове слово для позначення частоти, яка відкладається по осі X графіка, по якій ми будемо задавати цілі оптимізації.
- Виберіть «менше» (<) в **Limits** → **Type** і введіть **-20**, щоб встановити  $\text{dB}(S(1,1))$  нижче -20 (одиниця вимірювання дБ вже визначена у виразі  $S(1,1)$ , тому нам не потрібно визначати її знову для -20).
- Введіть значення 0.01G (0.01 ГГц) для мінімальної частоти **freq min** (це початкова частота, яку ми встановили в контролері S-параметрів), введіть значення 0.2G (0.2 ГГц) для **freq max** (це максимальна частота, до якої ми хочемо, щоб виконувалася ціль по S11).

- Розмістіть ще одну ціль (Goal) і давайте візьмемо для оптимізації  $\text{dB}(S(2,1))$ , тобто коефіцієнт передачі.
- Повторіть ті самі кроки, що і при визначенні цілі для  $S(1,1)$ , за винятком того, що ми можемо натиснути кнопку **Add limit** (Додати межу), щоб також задати критерій для смуги загородження.
- У першій межі (limit1) задайте критерій для смуги пропускання  $> -1$  від мінімальної частоти **freq min** = 0.01G (0.01 ГГц) до максимальної частоти **freq max** = 0.2G (0.2 ГГц).
- У другій межі (limit2) задайте Type (Тип) «менше» (<)  $-30$  від мінімальної частоти **freq min** = 0.4G (0.4 ГГц) до максимальної частоти **freq max** = 1G (1 ГГц). (Максимальна частота симуляції не повинна перевищувати значення, задане в контролері S-параметрів).
- Ми можемо додати більше меж, якщо це необхідно для формування відгуку схеми, наприклад, для типово-

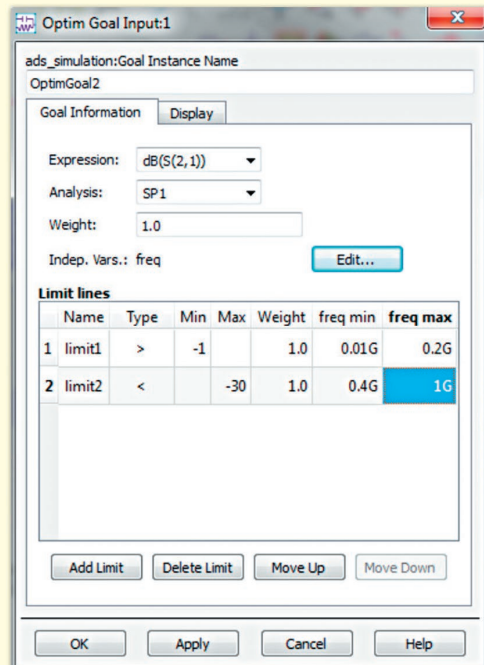


Рис. 23

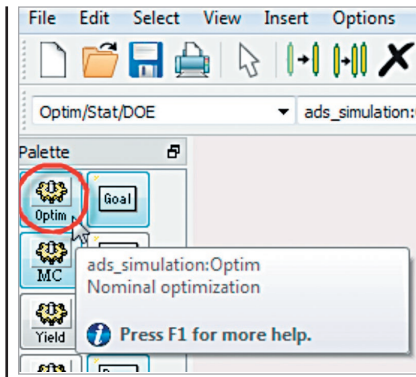


Рис. 24

го смугового фільтра у нас буде три межі для  $S(2,1)$ , а саме: 1-а — для нижньої смуги загородження, 2-а — для верхньої смуги загородження і 3-я — для основної смуги пропускання.

- Після завершення введення значень вікно цілі  $S(2,1)$  буде виглядати, як показано на рисунку 23.

### Налаштування контролера оптимізації

- Розмістіть на електричній схемі контролер оптимізації з бібліотеки **Opt/Stat/DOE** (Оптимізація/Статистика/Планування експерименту), як показано на рисунку 24.
- Двічі клацніть по контролеру оптимізації й задайте наступні параметри:
  - Optimization Type (Тип оптимізації) = Gradient (Градiєнт);
  - Number of Iterations (Кількість ітерацій) = 2000.
- Перейдіть на вкладку **Display** (Відображення) і виберіть **Clear All** (Очистити все), що скасує вибір усіх опцій.
- Виберіть опції **Optim Type** (Тип оптимізації) і **Max. Iteration** (Максимальна кількість ітерацій), щоб ми бачили на схемі тільки необхідні опції для цього компонента.
- Натисніть **OK**, після цього схема повинна прийняти вигляд, як показано на рисунку 25.

### Задання параметрів компонентів, які будуть оптимізуватися

Останній крок, який нам залишилося зробити, щоб почати оптимізацію, — це задати параметри компонентів для оптимізації, значення яких потім будуть змінені системою ADS в процесі оптимізації:

- Перейдіть до розділу **Simulate** > **Simulation Variables Setup** (рис. 26).
- Натисніть на вкладку **Optimization** (Оптимізація) у вікні налаштування змінних (це вікно змінних — єдине місце, де задаються компоненти, які

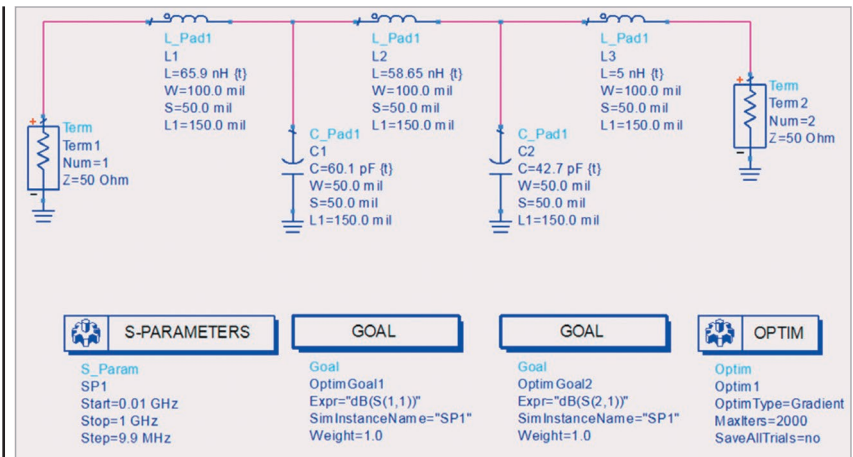



Рис. 25

будуть підлаштовуватися, оптимізуватися або для яких будуть встановлюватися допуски для виконання статистичного аналізу) (рис. 27).

У стовпці **Optimize** встановіть пропорції для всіх компонентів «L» і «C», які будуть оптимізуватися, і задайте їх мінімальні (min) і максимальні (max) значення на свій розсуд (переконайтеся, що межі значень реалістичні). У стовпці **Format** ми також можемо вибрати інші формати при заданні діапазонів значень параметрів компонентів. Натисніть **OK**.

### ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ

- Натисніть на значок **Optimize** (Оптимізувати)  на панелі інструментів електричної схеми (поруч зі значком **Tune** (Налаштування)).
- Відкриється вікно **Optimization Sockrip** (Панель оптимізації), в якому ми побачимо, як оптимізується схема і змінюються значення компонентів для досягнення поставлених нами цілей. Для оптимізації знадобилося 27 ітерацій (у вашому випадку може бути інакше, оскільки це залежить від відгуку на початкові значення параметрів компонентів вашої схеми,

з яких ви почали оптимізацію), щоб досягти поставлених нами цілей. Процес оптимізації зупиниться, як тільки будуть досягнуті наші цілі, в іншому випадку він буде тривати, поки не буде досягнута максимальна межа ітерацій. Якщо ми досягли максимальної межі ітерацій до того, як досягли цілей, нам слід перевірити наступне:

- Чи реалістичні цілі?
- Чи не наближаємо ми до мінімальних або максимальних значень параметрів компонентів (повзунки вказуватимуть на це)?
- Якщо ми наближаємося до мінімальних і максимальних меж значень параметрів компонентів, то можна натиснути кнопку **Edit variable** (Редагувати змінну) і змінити мінімальне/максимальне значення, якщо це можливо.

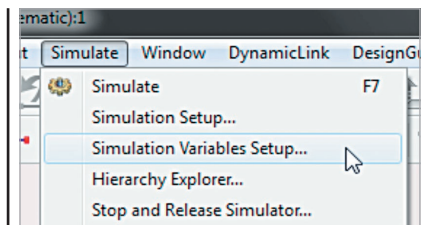


Рис. 26

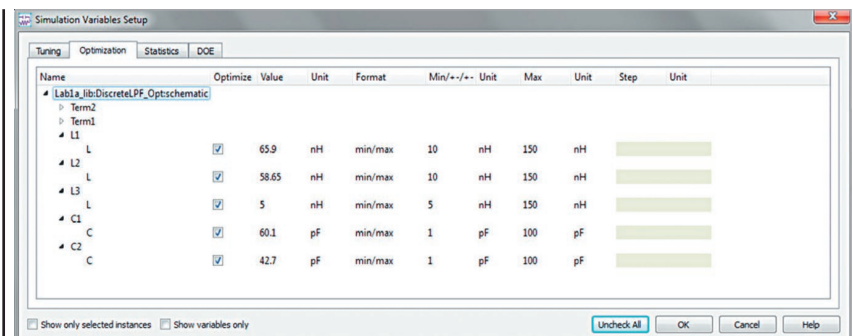


Рис. 27

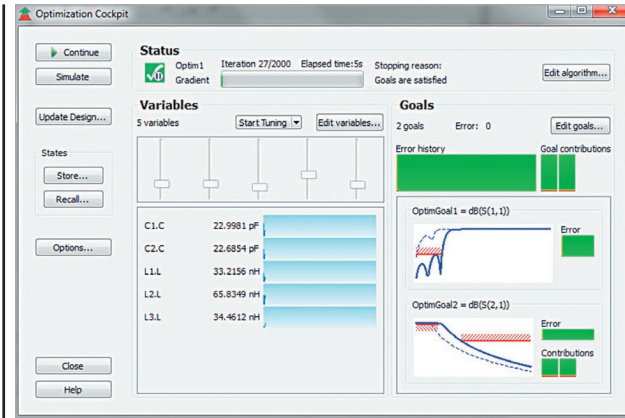


Рис. 28

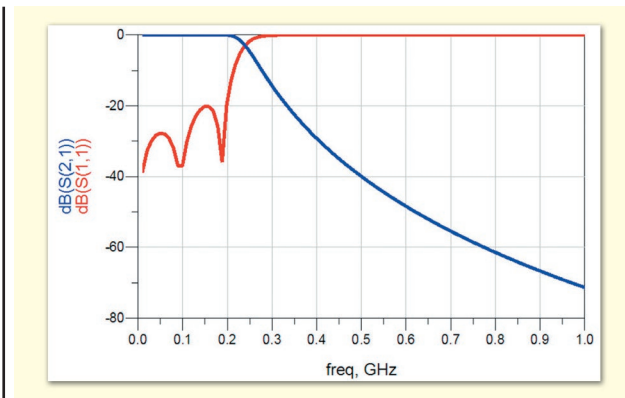



Рис. 29

- Можна збільшити кількість ітерацій, натиснувши кнопку Edit Algorithm (Редагувати алгоритм).
- Можна змінити налаштування цілей оптимізації, натиснувши кнопку Edit goals (Редагувати цілі) (рис. 28).

У вікні Optimization Cockpit (Панель оптимізації) є багато інших цікавих функцій, як згадувалося раніше, за допомогою яких ми можемо призупинити оптимізацію, налаштувати значення самостійно, відредагувати цілі на льоту тощо... Спробуйте вивчити ці можливості у зручний для вас час.

- Натисніть кнопку Close (Закрити) і виберіть опцію Update the Design (Оновити проект), коли з'явиться запит.
- Виведіть графіки для S11 і S21 на дисплей даних і перевірте відповідність характеристик електричної схеми нашим цілям. На цих графіках можна розмістити маркери, використовуючи або панель інструментів Marker (Маркер) на дисплеї даних , або перейшовши в меню Marker (рис. 29).
- Збережіть всю виконану роботу, вибравши File (Файл) > Save All (Зберегти все) в головному вікні ADS.

**Важливо:** Кожне окреме налаштування можна зберегти як шаблон для подальшого використання в ADS, включно з дисплеєм даних (який можна вставити на сторінку дисплея даних за допомогою опції **Insert > Template**).

## СИМУЛЯЦІЯ МЕТОДОМ ГАРМОНІЙНОГО БАЛАНСУ<sup>3</sup>

### Основи гармонійного балансу

Гармонійний баланс — це метод аналізу в частотній області, призначений для симуляції спотворень в нелінійних колах і системах. Він добре підходить для симуляції та аналізу

Налаштування цілей оптимізації (Optimization Goals), включаючи цілі оптимізації та контролер (Controller), можна помістити на нову порожню електричну схему, а потім зберегти як власний шаблон, вибравши **File → Save Design as Template** (Зберегти проєкт як шаблон). Це заощадить час на налаштування цих параметрів у майбутніх проєктах.

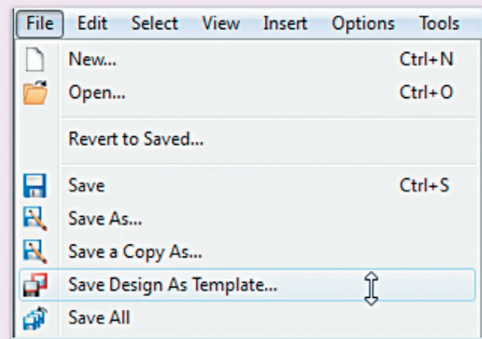


Рис. 30

Цей шаблон можна вставити в будь-який новий проєкт і в будь-яке робоче середовище, вибравши **Insert > Template** і вибравши раніше збережений шаблон.

Зверніть увагу, що змінні оптимізації будуть різними в кожному проєкті, тому нам потрібно перевизначити значення параметрів компонентів, які будуть оптимізуватися, і встановити їх межі.

Також для досягнення бажаних характеристик може знадобитися внести зміни в цілі/технічні вимоги.

проблем в аналогових РЧ- і НВЧ-пристроях, оскільки для цих пристроїв найбільш природним є аналіз в частотній області. Ви можете проводити аналіз підсилювачів потужності, множувачів частоти, змішувачів, модуляторів і багатьох інших пристроїв в режимі великих синусоїдальних сигналів.

Симуляція методом гармонійного балансу дає змогу виконувати багатотональну симуляцію схем, в яких відбувається інтермодуляційне перетворення частоти. Це містить перетворення частоти між гармоніками. Гармоніки можуть генеруватися не тільки самою схемою, але і кожне джерело сигналу (збуджувальний вплив) також може виробляти гармоніки або бічні смуги слабого сигналу. Збуджувальний вплив може включати до 12 гармонійно не пов'язаних джерел. Сумарна кількість частот в системі обмежується тільки такими практичними міркуваннями, як обсяг пам'яті, обсяг файлу підкачки й швидкість симуляції.

Метод гармонійного балансу є ітераційним. Він ґрунтується на припущенні, що для заданого синусоїдального збудження існують стаціонарні рішення, які з задовільною точністю можуть бути апроксимовані за допомогою ряду Фур'є з кінцевим числом членів. Відповідно, напруги в вузлах схеми набувають вигляду набору амплітуд і фаз для всіх частотних складників. Струми, що течуть з вузлів схеми в лінійні елементи, включаючи всі елементи з розподіленими параметрами, розраховуються за допомогою прямого лінійного аналізу в частотній області. Струми, що течуть з вузлів в нелінійні елементи, розраховуються в часовій області. Для перетворення з часової в частотну область застосовується узагальнене перетворення Фур'є.

<sup>3</sup> Використовувані ліцензії ADS: Non-Linear Simulation (НБ)

Отримане за допомогою методу гармонійного балансу рішення апроксимується усіченим рядом Фур'є, і даний метод за своєю суттю не здатний відобразити процеси, що не встановилися. Похідну за часом можна точно обчислити з граничними умовами  $v(0) = v(t)$ , що автоматично задовольняється для всіх ітерацій.

Апроксимація за допомогою усіченого ряду Фур'є +  $N$  рівнянь схеми дають залишкову (*residual*) функцію, яка мінімізується.

Система з  $N \times M$  нелінійних алгебраїчних рівнянь вирішується відносно коефіцієнтів Фур'є за допомогою методу Ньютона, а внутрішня лінійна задача вирішується за допомогою:

- прямого методу (методу виключення Гаусса) для невеликих задач;
- методу на підпросторі Крилова (наприклад, узагальненого методу мінімального залишку GMRES (*Generalized Minimal Residual Method*)) для задач більшої розмірності.

Нелінійні пристрої (транзистори, діоди тощо) в методі гармонійного балансу оцінюються (дискретизуються) в часовій області й перетворюються в частотну область за допомогою швидкого перетворення Фур'є.

Щоб успішно виконати аналіз методом гармонійного балансу:


- Додайте компонент симуляції методом гармонійного балансу в електричну схему і двічі клацніть по ньому для редагування його параметрів.

Заповніть поля на вкладці Freq (Частота):

- Задайте принаймні одну основну частоту і кількість (порядок) гармонік, які будуть враховуватися при симуляції.  
Переконайтеся, що для всіх основних частот проекту, що представляють інтерес, задані визначення частот. Наприклад, для змішувачів слід включити визначення частот RF і LO.
- Якщо задано більше однієї основної частоти, задайте максимальний порядок комбінаційних складових. Це обмежить їх кількість, яка буде враховуватися при симуляції. Більш детальну інформацію про цей параметр дивіться в розділі «Гармоніки й максимальний порядок комбінаційних складових» з документації по симуляції методом гармонійного балансу в системі ADS.
- Для прискорення процесу симуляції можна скористатися отриманими раніше рішеннями. Докладнішу інформацію дивіться в розділі «Повторне використання результатів симуляції» з документації по методу гармонійного балансу в системі ADS.
- Ви можете виконати розрахунки розподілу характеристик по компонентах схеми як частину процесу симуляції. Інформацію про аналіз розподілу по компонентах дивіться в розділі «Використання симуляторів схеми для аналізу РЧ-систем» з документації з використання симуляторів схеми.

- Ви можете виконати аналіз в режимі малого сигналу. Увімкніть опцію Small-signal (Малий сигнал) і заповніть поля на вкладці Small-Sig. Детальну інформацію див. в розділі «Метод гармонійного балансу для змішувачів».
- Ви можете виконати аналіз нелінійних шумів. Виберіть вкладку Noise (Шум), увімкніть опцію Nonlinear noise (Нелінійні шуми) і заповніть поля діалогових вікон Noise (1) і Noise (2).
- Якщо ваша розробка містить компоненти NoiseCon, виберіть вкладку Noise (Шум), увімкніть опцію NoiseCons і заповніть поля.
- Якщо ваша розробка містить компонент OscPort, увімкніть Oscillator (Генератор) і заповніть поля вкладки Osc. Метод гармонійного балансу для симуляції генераторів спеціально орієнтований на симуляцію схем генераторів.

### Лабораторна робота: процес симуляції методом гармонійного балансу

- Створіть нове робоче середовище з ім'ям Lab2\_HBSimulation\_wrk.
- Створіть нову комірку електричної схеми (назвіть її SystemAmp) і помістіть в схему модель **Amp** (Підсилювач) з палітри бібліотеки **System-Amps and Mixers** (Система – Підсилювачі та змішувачі) (рис. 31).
- Двічі клацніть по компоненту Amp (Підсилювач) і задайте наступні параметри моделі підсилювача:  
S21 = dbpolar(20,0);  
S11 = dbpolar(-20,0);  
S22 = dbpolar(-20,180);  
S12 = dbpolar(-35,0);  
TOI = 20.
- Помістіть джерело P\_1Tone з палітри бібліотеки **Sources-Freq Domain** (Джерела – Частотна область) і задайте наступні параметри джерела (рис. 32):  
P = polar(dbmtow(pin),0)  
Freq = 5 GHz  
dbmtow() є функцією, яка перетворює введені нами в джерелі значення потужності в dBm (дБм) у вати для проведення внутрішніх обчислень.
- Помістіть компонент Term з палітри бібліотеки **Simulation-HB** (Симуляція – Гармонійний баланс) після підсилювача (Amplifier) і виконайте з'єднання, як показано на рисунку 33.
- Клацніть по значку **Wire Label** (Мітка провідника)  введіть ім'я **vout** і клацніть по контакту «+» компонента **Term**, як показано на рисунку 33.
- Помістіть контролер симуляції методом гармонійного балансу з палітри бібліотеки **Simulation-HB** і задайте частоту Freq = 5 GHz (рівну заданій в джерелі 1-Tone).
- Клацніть по значку **VAR** на панелі інструментів і визначте нову змінну зі значенням pin, що дорівнює -20.

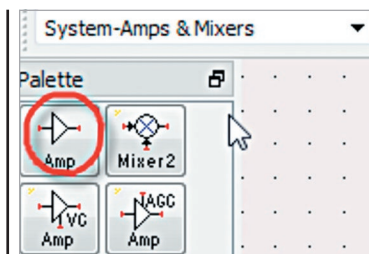


Рис. 31

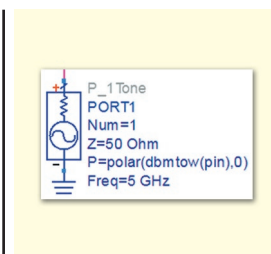


Рис. 32

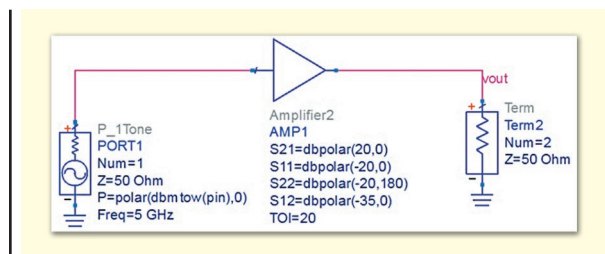


Рис. 33

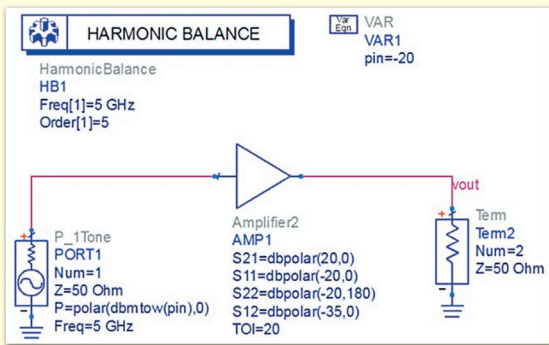


Рис. 34

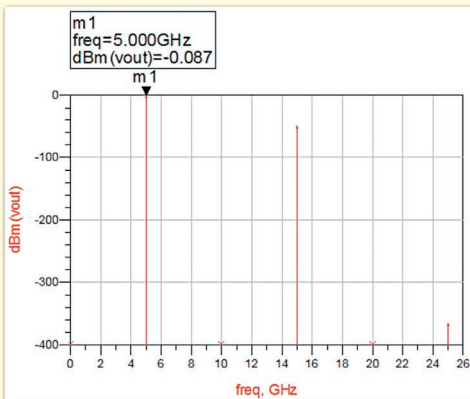


Рис. 35

- Після цього схема прийме вигляд, представлений на рисунку 34.
- Запустіть процес симуляції та побудуйте графік на дисплеї даних, вибравши «vout» з доступного списку та вибравши одиниці вимірювання «Spectrum in dBm» (Амплітудний спектр в дБм). Перегляньте зображення на дисплеї даних (рис. 35).

**Лабораторна робота: симуляція свіпвання потужності**

- Створіть копію комірки, натиснувши правою кнопкою миші на комірку, що вже існує, і вибравши команду Copy Cell (Копіювати комірку) (рис. 36).
- Дайте комірці нове ім'я, наприклад, SystemAmp\_PSWeeper.
- Відкрийте схему цієї скопійованої комірки і двічі клацніть по контролеру симуляції методом гармонійного балансу.
- Перейдіть на вкладку Sweeper (Свіпвання) і введіть:

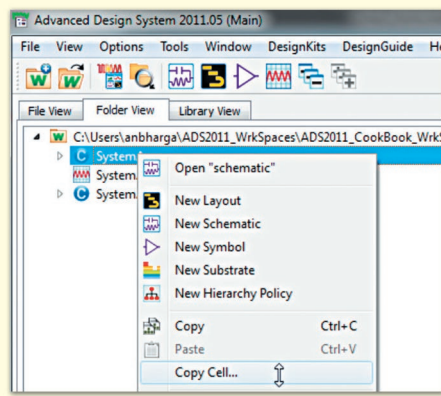


Рис. 36

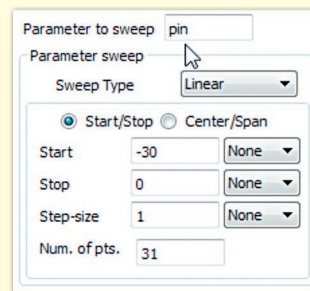


Рис. 37

- **Parameter to Sweep** = pin (Параметр, що свіпується);
- **Start** = -30 (Початок);
- **Stop** = 0 (Кінець);
- **Step-size** = 1 (Розмір кроку).

За допомогою цих налаштувань ми задаємо свіпання параметра pin (вхідної потужності) від -30 до 0 дБм з кроком 1 дБм (рис. 37).

- Запустіть процес симуляції, вставте новий графік в прямокутній системі координат (Rectangular plot), виберіть «vout» як параметр для відображення на графіку, виберіть «Fundamental tone in dBm over all sweep values» (Основний тон в дБм по всьому діапазону свіпання). Перегляньте зображення на дисплеї даних (рис. 38):
- Вставте Eqn (Вираз) на дисплей даних і задайте вираз для розрахунку кривої підсилення для підсилювача:
  - Gain = dBm(vout[:,1]) — pin (рис. 39);
  - вставте новий графік у прямокутній системі координат (Rectangular plot), клацніть на меню, що впливає,



**КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ**

АВТОРИЗОВАНИЙ ДИСТРИБ'ЮТОР В УКРАЇНІ  
продаж • навчання • сервіс

ТОВ «ЮНІТЕСТ»  
вул. Олесь 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



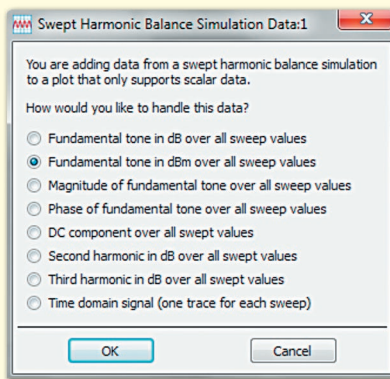


Рис. 38

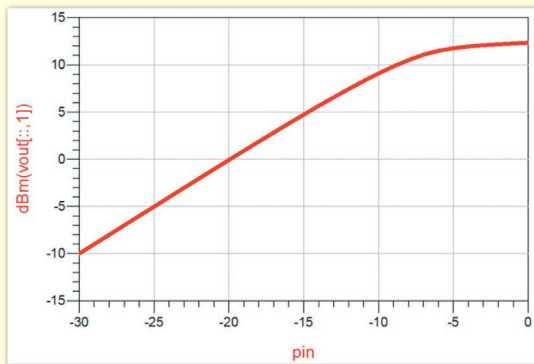


Рис. 39

Datasets and Equations (Набори даних і вирази), виберіть **Equations** (Вирази);

- Приділіть час розгляду значення  $\text{dBm}(\text{vout}[:,1])$ , що відображається по осі Y. Доступний як «vout» набір даних є двовимірним масивом, першим аргументом якого є потужність, що свіпується (pin), а другим — частотні тони (5 гармонік відповідно до заданого в контролері гармонійного балансу НВ, тобто Order (Порядок) = 5).
- Щоб краще зрозуміти індексування масиву, двічі клацніть по графіку, виберіть «vout» і натисніть кнопку **Variable Info** (Інформація про змінну) для перегляду докладної інформації про дані, доступні в вузлі «vout», як показано на рисунку 41.

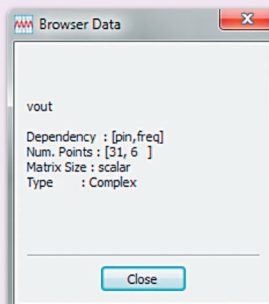


Рис. 41

- Додайте «vout» на графік, як ми вже робили раніше, і виберіть ту саму опцію додавання основного тону в дБм по всьому діапазону свіпування...

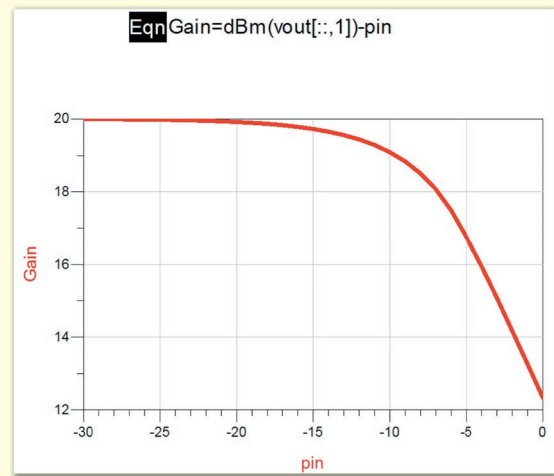


Рис. 40

- виберіть **Gain** (Підсилення) (або будь-яке ім'я, яке було задано у виразах);
- натисніть **OK** для побудови характеристики підсилення Gain, як показано на рисунку 40.

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

- Тепер на графіку повинні відобразитися дві криві. Клацніть по позначенню осі Y одного з графіків, після чого з'явиться можливість його редагування. Замініть позначення на  $\text{dBm}(\text{vout}[:,3])$ , щоб побачити криві основної частоти і одночасно з нею — третьої гармоніки.
- Щоб переглянути значення на кривих, помістіть маркер лінії (Line Marker). Відзначте крутизну графіків основної частоти й третьої гармоніки (крутизна графіка третьої гармоніки втричі більша, ніж в основної частоти) (рис. 42).

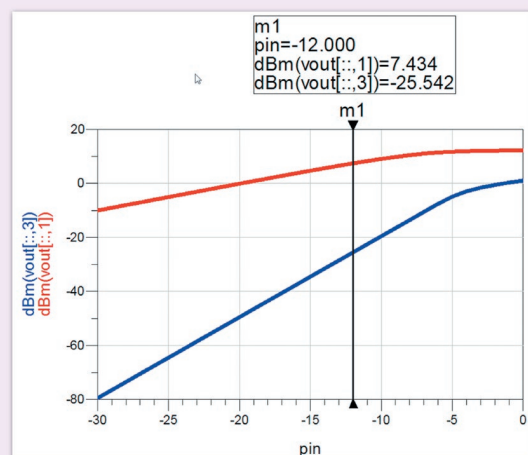


Рис. 42