

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 РЧ-СИСТЕМ**

Система Keysight ADS містить всі необхідні можливості для розробки та симуляції РЧ-систем. Розробка РЧ-систем — важливий і особливо відповідальний етап, спрямований на підтвердження характеристик системи задля досягнення успіху з першого разу. Архітектуру РЧ-системи можна реалізувати за допомогою моделей РЧ-систем, що є в бібліотеці Analog/RF (Аналогові/РЧ-компоненти), як показано на рисунку 111.

Назви бібліотек говорять самі за себе, і розробники можуть вибрати потрібний компонент з відповідної бібліотеки для проєктування своєї системи. Також рекомендується ознайомитися з документацією щодо компонентів системи для кращого розуміння поведінки компонентів, їх обмежень і рекомендованого симулятора.

Приклад 1: розробка системи приймача

- Створіть нове робоче середовище Lab5_RF_System_Design_wrk, відкрийте нову комірку схеми й назвіть її Lab5a_RFSystemDesign.
- Вставте компоненти Amp (Підсилювач) і Mixer2 (Змішувач) з меню палітри бібліотеки компонентів System-Amps & Mixers (Система-Підсилювачі та Змішувачі) і задайте їх характеристики, як показано на рисунку 112.
- Встановіть на вихід змішувача компонент Chebyshev Bandpass filter (смуговий фільтр Чебишева) з меню палітри бібліотеки компонентів Filters-Bandpass (Фільтри-Смугові)

Filters-Bandpass
Filters-Bandstop
Filters-Highpass
Filters-Lowpass
System-Mod/Demod
System-PLL components
System-Passive
System-Switch & Algorithmic
System-Amps & Mixers
System-Data Models

Рис. 111

і задайте його характеристики, як показано на рисунку 112.

- Скопіюйте підсилювач і вставте його двічі після компонента смугового фільтра; змініть наступні параметри (ці

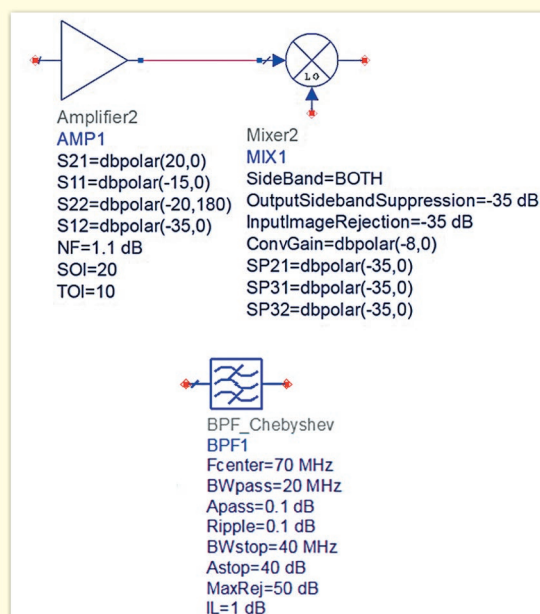


Рис. 112

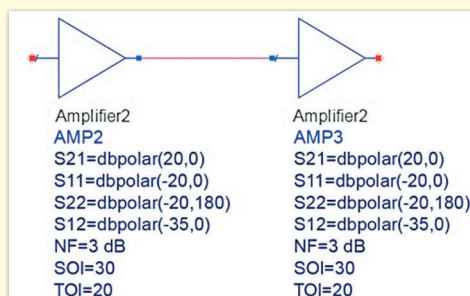


Рис. 113

* Продовження. Початок див. CHIP NEWS, № 6–8, 2025.

** Використовувані ліцензії ADS: RF System Simulation.

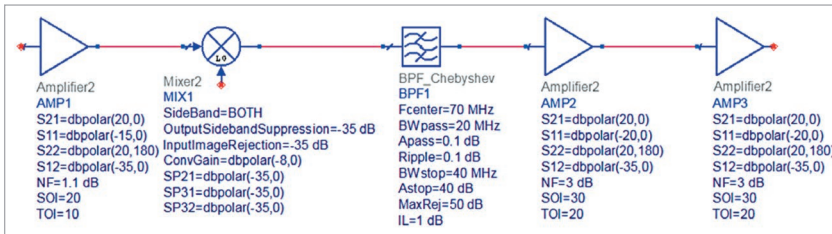


Рис. 114

Під'єднайте джерело P_1Tone до входу приймача, а джерело Osc – до контакту LO компонента змішувача



Рис. 115

підсилювачі будуть використовуватися як 2-каскадний підсилювач ПЧ (рис. 113).

- TOI=20;
 - SOL=30;
 - NF=3 dB (дБ).
 - По завершенні схема набуде вигляду, подібного до показаного на рисунку 114.
 - Тепер нам залишилося під'єднати джерела РЧ-сигналу і гетеродина й налаштувати симуляцію для спостереження за відгуком системи. Вставте джерела P_1Tone та Osc з бібліотеки Sources-Freq Domain (Джерела-Частотна область) і задайте їх характеристики, як показано на рисунку 115 (зверніть увагу на список PhaseNoise (фазовий шум) в характеристиках джерела Osc).
 - Вставте компонент HB simulation controller (Контролер симуляції методом гармонійного балансу) з бібліотеки Simulation-HB (Гармонійний баланс) і задайте його характеристики, як показано на рисунку 116.
- Порада.** Дотримуйтесь загальних рекомендацій у разі симуляції з більш ніж одним джерелом (або тоном): канал частоти з більш потужним сигналом слід задавати першим, тобто компоненти, що належать до різних частот, повинні розташовуватися за зменшенням потужності. Якщо тони або джерела мають однакову потужність, розробник може вирішити сам, яку частоту задавати першою.

HARMONIC BALANCE

HarmonicBalance

HB1

MaxOrder=7

Freq[1]=2.33 GHz

Freq[2]=2.4 GHz

Order[1]=5

Order[2]=5

Рис. 116

- Після завершення схема системи приймача має виглядати, як показано на рисунку 117.
- Збережіть схему і натисніть на значок **Simulate** (Симулювати). Вставте у вікно дисплея даних графік у прямокутній системі координат, зі списку вимірювань додайте «vout» і виберіть «Spectrum in dBm» (Спектр в дБм) для перегляду вихідного спектра (рис. 118).

Додаткове зауваження. Спробуйте розмістити мітку провідника в різних точках і переглянути спектр у цих вузлах.

Приклад 2: симуляція фазового шуму

Симуляція фазового шуму дуже важлива для систем приймачів. У наведеному нижче прикладі показано, як виконувати аналіз фазового шуму

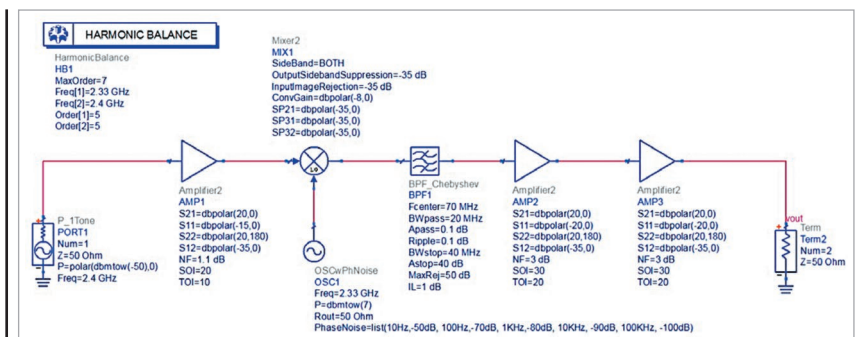


Рис. 117

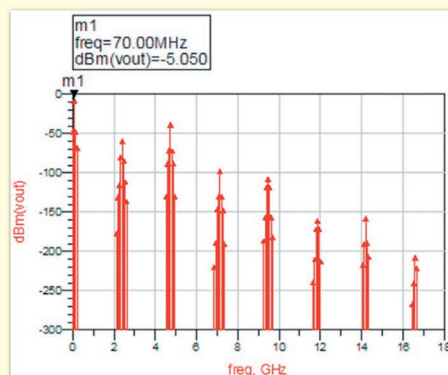


Рис. 118

за допомогою симуляції методом гармонійного балансу в системі ADS:

- Клацніть правою кнопкою на **Lab5a_RFSysDesign**, потім натисніть **Copy Cell** (скопіювати комірку).
- У вікні, що відкрилося, задайте нову назву: **Lab5b_RFSysDesign_PhaseNoise**.
- Відкрийте схему цієї щойно скопійованої комірки й вставте в неї блок **NoiseCon** (Контролер шуму) з бібліотеки **Simulation-HB** (Симуляція-Гармонійний баланс).
- Подвійним клацанням миші відкрийте властивості блоку **NoiseCon** і задайте наступні параметри:
 - Вкладка **Freq** (Частота):
 - Sweep Type = Log (Тип скіпування: логарифмічний);
 - Start = 10 Hz, Stop = 100 kHz (Початкова частота = 10 Гц, Кінцева частота = 100 кГц);
 - параметр Num. of pts. (кількість точок) автоматично прийме значення 5, вказуючи на 5 частот аналізу шуму, а саме 10 Гц, 100 Гц, 1 кГц, 10 кГц і 100 кГц, що збігається з тим, що ми задаємо в генераторі, який використовується як джерело сигналу гетеродина в системі.
 - Вкладка **Nodes** (Вузли):
 - Зі списку, що випадає, виберіть Pos Node = vout, що є вихідним вузлом, на який ми встановили мітку в лабораторній вправі раніше;
 - натисніть **Add** (Додати).
 - Вкладка **Phase Noise** (Фазовий шум):
 - Phase Noise Type = Phase Noise Spectrum (Тип фазового шуму: Спектр фазового шуму);
 - у полі Specify Phase Noise Carrier (Задайте носійну фазового шуму) задайте значення Frequency (Частота) рівним 70 MHz. Замість цього ми також можемо задати Carrier mixing indices (Індекси змішування носійних) як {-1,1} тощо.
- Натисніть **OK**. Тепер наш контролер шуму налаштований правильно. Нам залишилося виконати ще одну додаткову дію, приєднавши цей контролер шуму до нашого контролера симуляції методом гармонійного балансу.
- Двічі клацніть по компоненту **HB controller** (Контролер симуляції методом гармонійного балансу) і перейдіть на вкладку **Noise** (Шум):
 - перевірте опцію **Noise Cons** (Контролери шуму);
 - зі списку, що випадає, Edit (Редагування) виберіть NC1 (ім'я контролера шуму);
 - натисніть **Add** (Додати);
 - натисніть **OK** і закрийте вікно властивостей контролера симуляції методом гармонійного балансу.
- Запустіть симуляцію. Відкриється нове вікно дисплея даних. Вставте новий графік в прямокутній системі координат і виберіть відображення «vout» в дБм, щоб переглянути той самий спектр, що і в попередній лабораторній роботі.
- Вставте новий графік у прямокутній системі координат, виберіть для побудови «rptx» (тобто фазовий шум) і в опціях графіка змініть налаштування X-axis (Вісь X) на Log (Логарифмічна). Натисніть **OK**, щоб переглянути графік фазового шуму за різних зміщень (рис. 119).

Приклад 3: двотональна симуляція системи приймача

Виконання двотональної симуляції також має особливе значення для аналізу на системному рівні. Наведений тут приклад показує, як виконувати двотональну симуляцію систем на основі частотного перетворення:

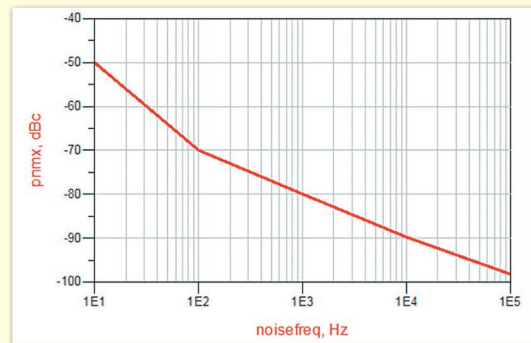


Рис. 119

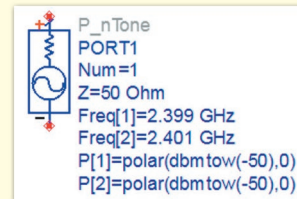


Рис. 120

- Клацніть правою кнопкою на **Lab5a_RFSysDesign**, потім натисніть **Copy Cell** (скопіювати комірку).
- У вікні, що відкрилося, введіть ім'я: **Lab5c_RFSysDesign_2Tone** і натисніть **OK**.
- Відкрийте схему щойно скопійованої комірки. Для виконання двотональної симуляції нам необхідно замінити джерело **P_1Tone**, яке зараз використовується в якості РЧ-джерела. Видаліть однотональне джерело і вставте в схему джерело **P_nTone** з бібліотеки **Sources-Freq Domain** (Джерела-Частотна область).
- Двічі клацніть на джерелі **P_nTone** і відредагуйте властивості, як зазначено на рисунку 120:
 - натисніть на **Freq[1]** (Частота 1) і введіть частоту 2.399 GHz, натисніть **Apply** (Застосувати)
 - Натисніть кнопку **Add** (Додати), щоб додати частоту 2-го тону з ім'ям **Freq[2]** і введіть значення частоти 2.401 GHz, натисніть **Apply** (Застосувати);
 - натисніть на **P[1]**, що є потужністю 1-го тону, введіть **polar(dBm,tow(-50),0)** і натисніть **Apply** (Застосувати);
 - натисніть кнопку **Add** (Додати), щоб додати потужність 2-го тону і введіть таке ж значення, як у 1-го тону. Зверніть увагу, що для двотонального тестування потужності обох тонів обов'язково мають бути од-

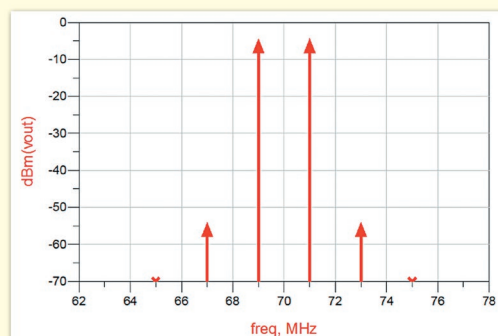


Рис. 121

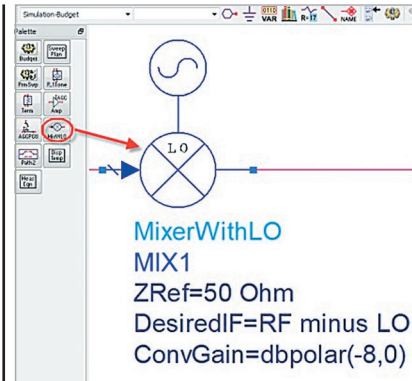


Рис. 122

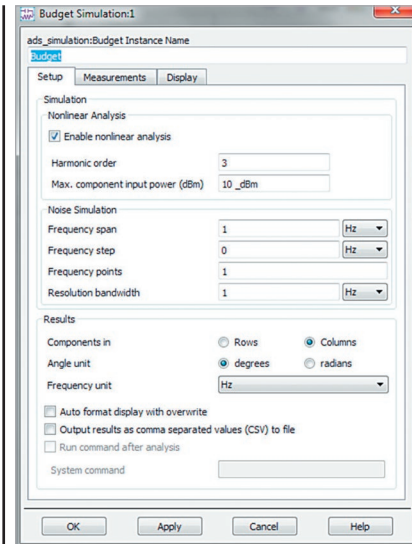


Рис. 123

наковими; інакше аналіз буде невірним.

- Тепер, оскільки в схемі у нас є три джерела частот, ми повинні змінити симулятор гармонійного балансу, щоб задати ці три частоти для правильного обчислення продуктів змішування. Двічі клацніть по контролеру симуляції методом гармонійного балансу і задайте три частоти в наступному порядку:
 - Freq[1] = 2.33 GHz;
 - Freq[2] = 2.399 GHz;
 - Freq[3] = 2.401 GHz.
- Натисніть кнопку **Simulate** (Симулювати), щоб запустити симуляцію, після чого збільште масштаб за допомогою значка збільшення графіка на дисплеї даних в області 70 МГц, щоб переглянути результати двотональної симуляції, як показано на рисунку 121.

Приклад 4: аналіз бюджету РЧ-системи

Проведення аналізу бюджету РЧ-системи дуже корисно для визначення

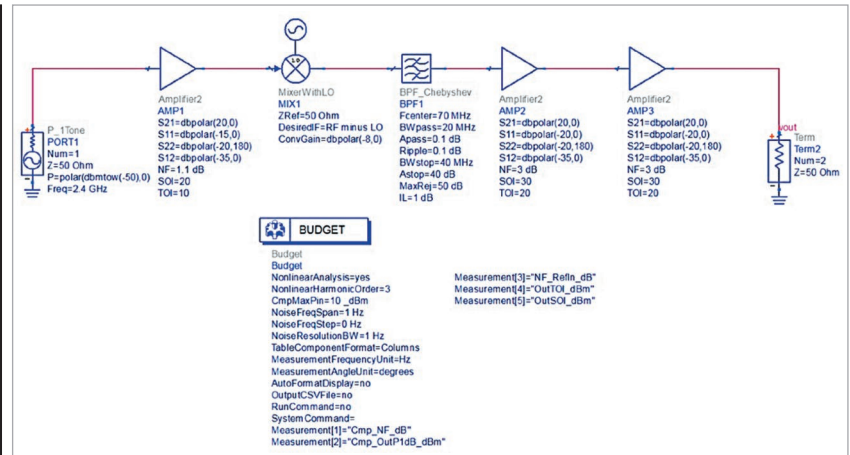


Рис. 124

характеристик поведінки системи та аналізу того, як вона поводить себе під час передачі сигналу від одного компонента до іншого. Найпростіший спосіб виконання аналізу бюджету РЧ-системи — застосування контролера аналізу бюджету, який містить понад 40 видів вбудованих вимірювань бюджету, забезпечуючи простоту використання.

Одним з фундаментальних правил, які необхідно виконувати при застосуванні контролера аналізу бюджету, є те, що слід пам'ятати, що система повинна містити тільки компоненти з двома портами, за винятком файлів S2P і підсилювача з АРП (автоматичним регулюванням підсилення) і керуванням потужністю. Бібліотека системи ADS Simulation-Budget (Симуляція-Бюджет) містить спеціальний змішувач з внутрішнім гетеродином, тому стає можливим виконувати аналіз супергетеродинних систем.

Крок 1. Модифікація проекту РЧ-системи

- Скопіюйте копію **Lab5a_RFSysDesign**, натиснувши на неї правою кнопкою миші та вибравши Copy Cell (Скопіювати копію), і задайте

нове ім'я: **Lab5d_RFSysDesign_Budget**.

- Для аналізу бюджету нашої системи приймача нам необхідно замінити змішувач і компонент джерела сигналу гетеродином на компонент змішувача з гетеродином з бібліотеки Simulation-Budget (Симуляція-Бюджет), як показано на рисунку 122.

Змініть наступні параметри:

ConvGain=dbpolar(-8,0);

Desired IF = RF minus LO.

- Видаліть контролер симуляції методом гармонійного балансу і вставте контролер Budget (Бюджет) з бібліотеки Simulation-Budget (Симуляція-Бюджет), двічі клацніть по ньому і змініть параметри на вкладці Setup (Налаштування), як показано нижче. На вкладці Measurements (Вимірювання) виберіть вимірювання, як показано на рис. 123 (а саме: Cmp_NF_dB, Cmp_OutP1 dB_dBm, NF_RefIn_dB, OutTOI_dBm, OutSOI_dBm).

Крок 2. Виконання аналізу бюджету

Схема в цілому повинна виглядати подібно до показаної на рисунку 124. Натисніть кнопку **Simulate** (Симулювати):

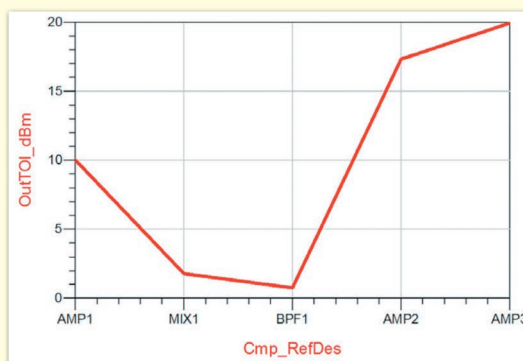


Рис. 125

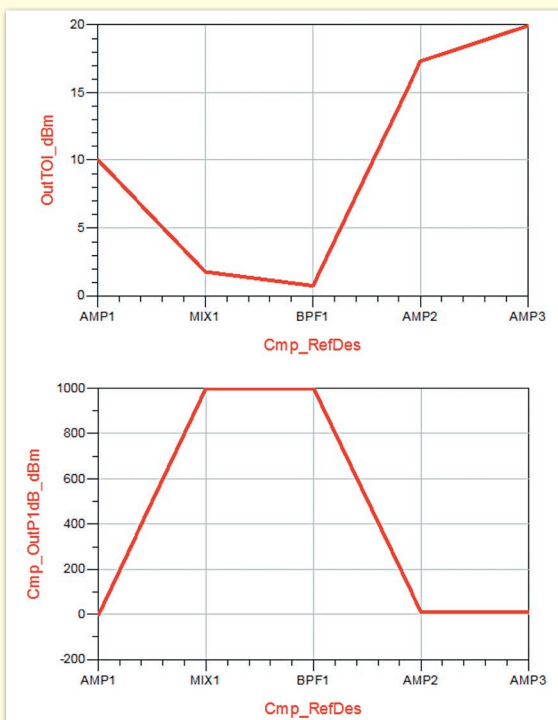


Рис. 126

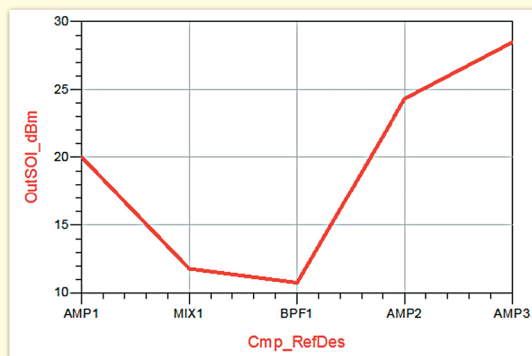


Рис. 127

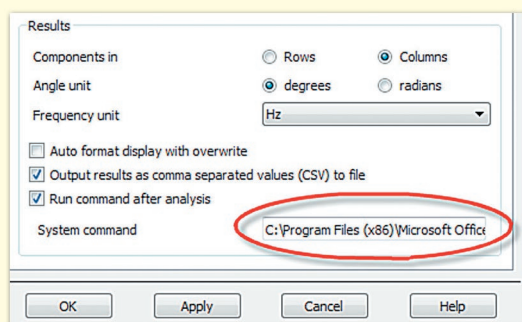


Рис. 128

- Вставте на сторінку дисплея даних графік у прямокутній системі координат. Зі списку вимірювань виберіть OutTOI_dBm, натисніть кнопку Add Vs>> (Додати аргумент) і виберіть Cmp_RefDes для відображення вимірювань бюджету по відношенню до імен компонентів, так

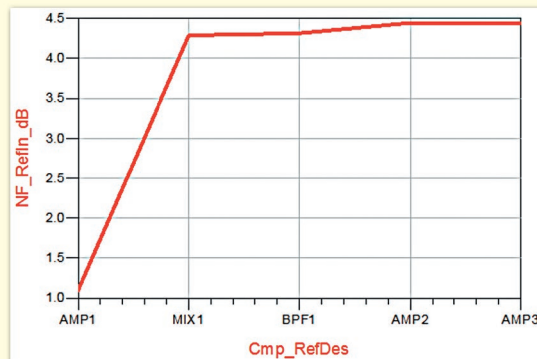


Рис. 129

42	Meas_Name	AMP1	MIX1	BPF1	AMP2	AMP3
43	Cmp_NF_dB	1.131617	8.036397	1.021553	3.021827	3.021827
44	Cmp_OutP1dB_dBm	-0.63804	1000	1000	9.366897	9.366965
45	NF_Refln_dB	1.1	4.285689	4.312709	4.441894	4.443175
46	OutTOI_dBm	10	1.755889	0.729914	17.30733	19.91895
47	OutSOI_dBm	20	11.75589	10.72991	24.30329	28.46084
48						

Рис. 130

щоб було простіше переглядати результати, що належать до компонентів з певними іменами, що застосовуються в схемі проекту РЧ-системи (рис. 125). (Зверніть увагу на вісь X, на якій мають відобразитися імена компонентів системи).

- Аналогічно, додайте OutSOI_dBm, Cmp_OutP1 dB_dBm, NF_Refln_dB по відношенню до Cmp_ResDes, щоб переглянути інші вимірювання бюджету, як показано на рисунках 126, 127 і 128.

Питання: чому коефіцієнт шуму приймача становить 4.5 дБ? Це занадто багато чи відповідає очікуванням?

Спробуйте порівняти його з теоретичними розрахунками із застосуванням виразу коефіцієнта каскадного шуму.

Приклад 5: експорт результатів аналізу бюджету РЧ-системи в Excel

Контролер аналізу бюджету системи ADS дає змогу експортувати результати симуляції бюджету в програму Microsoft Excel. Для доступу до даної функції двічі клацніть по блоку **Budget Controller** (Контролер аналізу бюджету) і виберіть опції, як показано нижче. Також нам необхідно ввести шлях до програми Excel.exe відповідно до параметрів установки.

У наведеному нижче випадку шляхом є C:\Program Files (x86)\Microsoft Office\Office12\Excel.exe (рис. 129).

При натисканні на значок **Simulate** (Симулювати) відкриється програма Excel з результатами нашої симуляції бюджету. Прокрутіть вниз сторінку Excel і зверніть увагу на результати симуляції бюджету, показані на знімку екрана на рисунку 130.

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

СН