

**Вимірювання коефіцієнта шуму методом Y-фактора**  
**Практичний посібник із використання аналізаторів сигналів і спектра Ceyear 4052 /**  
**4082**

## 1. Вступ

Сучасні радіочастотні (RF) та мікрохвильові приймачі розробляються для виявлення надзвичайно слабких сигналів із мінімальним внесенням додаткового шуму. Здатність приймача або радіочастотного компонента зберігати співвідношення сигнал/шум (SNR) зазвичай характеризується **коефіцієнтом шуму (Noise Figure, NF)**.

Коефіцієнт шуму є одним із найважливіших параметрів для оцінювання характеристик малошумних підсилювачів (LNA), вхідних трактів приймачів, перетворювачів частоти, супутникових приймачів, радіолокаційних систем і обладнання бездротового зв'язку. Чим менше значення коефіцієнта шуму, тим вища чутливість приймача та більша ймовірність виявлення слабких сигналів.

**Метод Y-фактора** є галузевим стандартом для вимірювання коефіцієнта шуму. У цьому методі використовується каліброване джерело шуму, яке формує два точно визначені рівні шуму. Порівнюючи вихідний шум досліджуваного пристрою (DUT) у цих двох режимах роботи, аналізатор автоматично обчислює як коефіцієнт шуму (Noise Figure), так і коефіцієнт підсилення (Gain) досліджуваного пристрою.

Аналізатори сигналів і спектра **Ceyear 4052** та **Ceyear 4082** оснащені вбудованим програмним застосунком для вимірювання коефіцієнта шуму, який автоматизує весь процес вимірювання. Після завантаження каліброваних даних **ENR (Excess Noise Ratio, надлишкове шумове відношення)** та калібрування вимірювальної системи аналізатор автоматично керує послідовністю вимірювань і відображає залежності коефіцієнта шуму та коефіцієнта підсилення від частоти в обраному діапазоні.

У цій прикладній примітці наведено практичний посібник із виконання вимірювань коефіцієнта шуму за допомогою аналізаторів **Ceyear 4052/4082**. Запропонована методика відповідає послідовності дій, продемонстрованій у навчальному відео, і покликана допомогти користувачам швидко виконувати точні та відтворювані вимірювання.

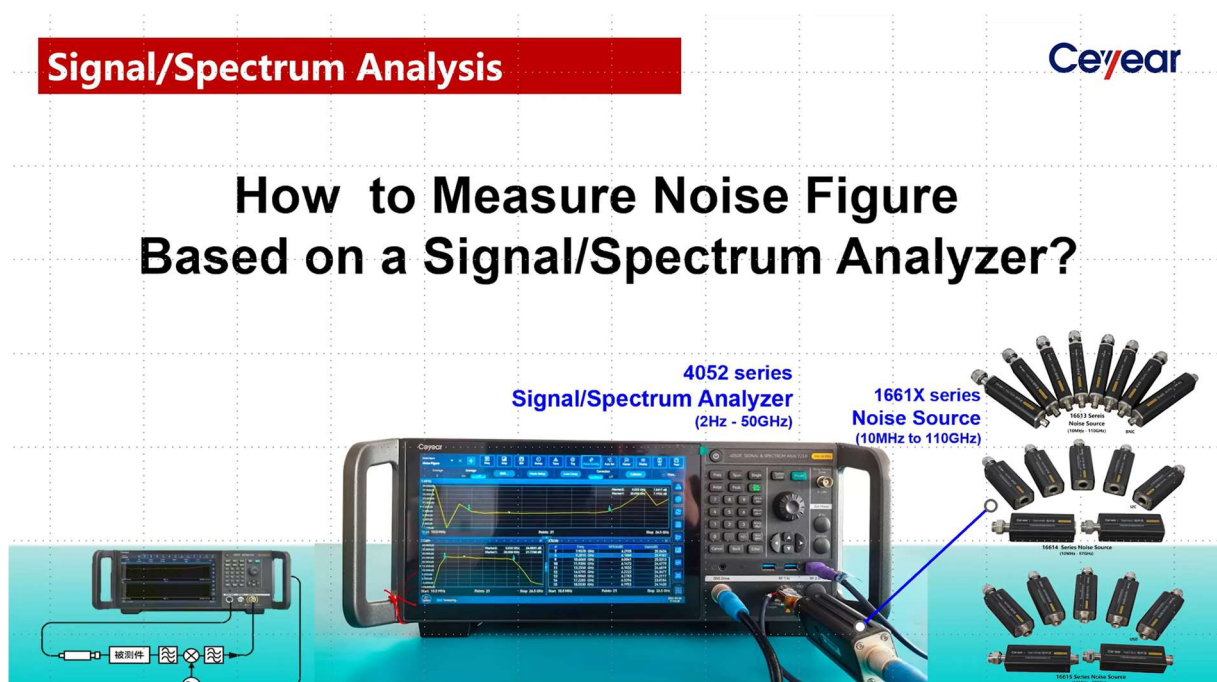


Рисунок 1. Загальна схема вимірювання коефіцієнта шуму за допомогою аналізатора сигналів і спектра Ceyear 4052/4082.

## 2. Принцип методу Y-фактора

Метод **Y-фактора** є найпоширенішим способом вимірювання **коефіцієнта шуму (Noise Figure, NF)** радіочастотних (RF) і мікрохвильових пристроїв. Цей метод стандартизований, простий у реалізації та забезпечує високу точність результатів за умови використання каліброваного джерела шуму.

Аналізатори сигналів і спектра **Ceyear 4052** та **Ceyear 4082** використовують цей метод для автоматичного визначення як **коефіцієнта шуму (Noise Figure)**, так і **коефіцієнта підсилення (Gain)** досліджуваного пристрою (**Device Under Test, DUT**). Після налаштування параметрів вимірювання та завершення калібрування системи всі необхідні обчислення виконуються аналізатором автоматично.

### 2.1 Основний принцип вимірювання

Метод **Y-фактора** ґрунтується на порівнянні вихідної шумової потужності досліджуваного пристрою (**DUT**) за двох відомих рівнів вхідного шуму.

Каліброване джерело шуму працює у двох режимах:

- **Холодний стан (Noise OFF)** — вихідний сигнал відповідає рівню теплового шуму за еталонної температури **290 K**.
- **Гарячий стан (Noise ON)** — вихідний сигнал містить точно відому додаткову шумову складову, величина якої визначається **надлишковим шумовим відношенням (Excess Noise Ratio, ENR)**.

Аналізатор вимірює вихідну шумову потужність досліджуваного пристрою в обох режимах і обчислює відношення між двома отриманими значеннями шумової потужності.

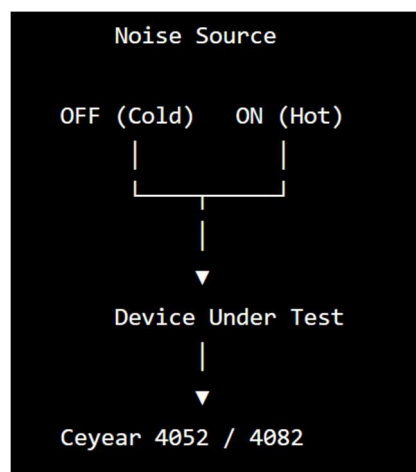


Рисунок 2. Основний принцип вимірювання методом Y-фактора з використанням каліброваного джерела шуму.

### 2.2 Надлишкове шумове відношення (ENR)

**Надлишкове шумове відношення (Excess Noise Ratio, ENR)** визначає різницю між **гарячим (Hot)** і **холодним (Cold)** шумовими станами каліброваного джерела шуму.

Кожне джерело шуму постачається з індивідуальною таблицею калібрування **ENR**, у якій наведено значення ENR залежно від частоти.

Перед початком вимірювань ці калібрувальні дані необхідно завантажити в аналізатор. Надалі значення ENR використовуються під час калібрування вимірювальної системи та подальшого розрахунку коефіцієнта шуму.

Використання некоректних даних ENR безпосередньо впливає на точність результатів вимірювання.



Рисунок 3. Завантаження калібрувальних даних ENR джерела шуму.

## 2.3 Обчислення Y-фактора

Аналізатор вимірює два значення вихідної шумової потужності:

- **P<sub>Hot</sub>** — вихідна шумова потужність, коли джерело шуму увімкнене (**Noise ON**).
- **P<sub>Cold</sub>** — вихідна шумова потужність, коли джерело шуму вимкнене (**Noise OFF**).

Відношення цих двох вимірних значень називається **Y-фактором (Y-Factor)**.

$$Y = \frac{P_{Hot}}{P_{Cold}}$$

Виміряне значення **Y-фактора** разом із калібрувальними даними **ENR** використовується аналізатором для внутрішнього розрахунку **коефіцієнта шуму (Noise Factor)** досліджуваного пристрою (**DUT**).

У звичайному режимі роботи виконання будь-яких ручних обчислень не потрібне.

## 2.4 Коефіцієнт шуму

Спочатку аналізатор обчислює **коефіцієнт шуму (Noise Factor, F)**, після чого перетворює його на **коефіцієнт шуму в децибелах (Noise Figure, NF)**.

$$NF = 10 \log_{10}(F)$$

Отримане значення коефіцієнта шуму (Noise Figure, NF) відображається разом із коефіцієнтом підсилення (Gain) досліджуваного пристрою (DUT) у вибраному діапазоні частот.

Повністю автоматизований процес обчислення мінімізує ймовірність помилок оператора та суттєво скорочує час, необхідний для виконання точних вимірювань коефіцієнта шуму.



Рисунок 4. Автоматичне обчислення коефіцієнта шуму та коефіцієнта підсилення методом Y-фактора.

## 2.5 Підсумок

Метод **Y-фактора** поєднує використання каліброваного джерела шуму з двома відомими шумовими станами та автоматизований алгоритм вимірювання, реалізований в аналізаторах **Ceyear 4052/4082**. Після завантаження калібрувальних даних **ENR** і завершення калібрування вимірювальної системи аналізатор автоматично керує послідовністю вимірювань, обчислює **Y-фактор** і відображає коефіцієнт шуму (Noise Figure) та коефіцієнт підсилення (Gain) досліджуваного пристрою (DUT) без необхідності виконання будь-яких ручних обчислень.

## 3. Вимірювальне обладнання

Перед виконанням вимірювання коефіцієнта шуму необхідно переконатися, що все потрібне вимірювальне обладнання наявне та правильно підключене. Точність вимірювання залежить не лише від самого аналізатора, а й від якості та стану калібрування допоміжного обладнання, яке використовується під час випробувань.

Вимірювальна система, описана в цій прикладній примітці, складається з аналізатора сигналів і спектра **Ceyear 4052/4082**, каліброваного джерела шуму, досліджуваного пристрою (**Device Under Test, DUT**) та високоякісних радіочастотних з'єднувальних кабелів із хвильовим опором **50 Ω**.

Для забезпечення високої точності вимірювання коефіцієнта шуму слід використовувати лише високоякісні допоміжні засоби вимірювання та аксесуари.

### 3.1 Необхідне обладнання

Таблиця 1. Перелік обладнання, яке використовується в цій прикладній примітці.

| Обладнання                                                 | Призначення                                                                |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Аналізатор сигналів та спектру Ceyear 4052 або Ceyear 4082 | Вимірювання коефіцієнта шуму та коефіцієнта посилення                      |
| Каліброване джерело шуму                                   | Генерує стани шуму "Гарячий" та "Холодний", необхідні для методу Y-фактора |
| Пристрій, що тестується (DUT)                              | Характеризується радіочастотний компонент                                  |
| Коаксіальний кабель(і) радіочастотного типу 50 Ом          | Підключає джерело шуму, тестований пристрій та аналізатор                  |
| Джерело живлення постійного струму (за потреби)            | Забезпечує живлення активних тестованих пристроїв                          |

### 3.2 Аналізатор сигналів і спектра Ceyear 4052 / 4082

Аналізатори **Ceyear 4052** та **Ceyear 4082** оснащені вбудованим програмним застосунком для вимірювання коефіцієнта шуму (**Noise Figure Measurement**), який автоматизує весь процес вимірювання.

Аналізатор виконує такі функції:

- керування джерелом шуму;
- обробку калібрувальних даних **ENR**;
- калібрування вимірювальної системи;
- автоматичне обчислення **Y-фактора**;
- розрахунок **коефіцієнта шуму (Noise Figure)**;
- вимірювання **коефіцієнта підсилення (Gain)**;
- відображення та збереження результатів вимірювання.

Завдяки цьому значно скорочується час виконання вимірювань і мінімізується ймовірність помилок оператора.



Рисунок 5. Аналізатор сигналів і спектра Ceyear 4052/4082, який використовується для вимірювання коефіцієнта шуму.

Перед початком вимірювання необхідно переконатися, що досліджуваний пристрій працює в штатному режимі живлення (з нормальними параметрами зміщення) та досяг теплової стабільності.



Рисунок 7. Типова схема підключення досліджуваного пристрою (DUT) для вимірювання коефіцієнта шуму.

### 3.5 Радіочастотні з'єднання

Якість радіочастотних з'єднань безпосередньо впливає на точність вимірювання.

Для отримання найкращих результатів рекомендується:

- використовувати високоякісні радіочастотні кабелі з хвильовим опором **50  $\Omega$** ;
- за можливості мінімізувати довжину кабелів;
- уникати використання зайвих радіочастотних адаптерів;
- перед використанням перевіряти та очищувати радіочастотні роз'єми;
- переконатися, що всі з'єднання надійно затягнуті.

Дотримання цих рекомендацій дає змогу зменшити невизначеність, спричинену неузгодженістю імпедансів, і підвищити відтворюваність результатів вимірювань.

### 3.6 Загальна підготовка до вимірювання

Перед початком вимірювання необхідно переконатися, що:

- аналізатор завершив рекомендований час прогрівання;
- вибрано правильний програмний застосунок для вимірювання **коефіцієнта шуму (Noise Figure)**;
- каліброване джерело шуму підключено правильно;
- досліджуваний пристрій (**DUT**) увімкнений і працює в штатному режимі;
- калібрувальні дані **ENR** доступні для використання.

Після виконання цих перевірок можна розпочинати калібрування вимірювальної системи та виконання вимірювань коефіцієнта шуму.

## 4. Порядок виконання вимірювання

У цьому розділі описано повну процедуру вимірювання **коефіцієнта шуму (Noise Figure)** за допомогою аналізатора сигналів і спектра **Ceyear 4052/4082**. Послідовність дій відповідає методиці, продемонстрованій у навчальному відео, і може використовуватися як практичний посібник для проведення типових лабораторних вимірювань.

## 4.1 Запуск програмного застосунку для вимірювання коефіцієнта шуму

Увімкніть аналізатор і дочекайтеся завершення рекомендованого часу прогрівання.

У головному меню вимірювань виберіть програмний застосунок **Noise Figure Measurement**.

Після запуску застосунку на екрані аналізатора відобразиться спеціалізований інтерфейс для вимірювання **коефіцієнта шуму**, у якому можна налаштувати всі необхідні параметри вимірювання.

Перед продовженням роботи переконайтеся, що вибрано правильний режим вимірювання.

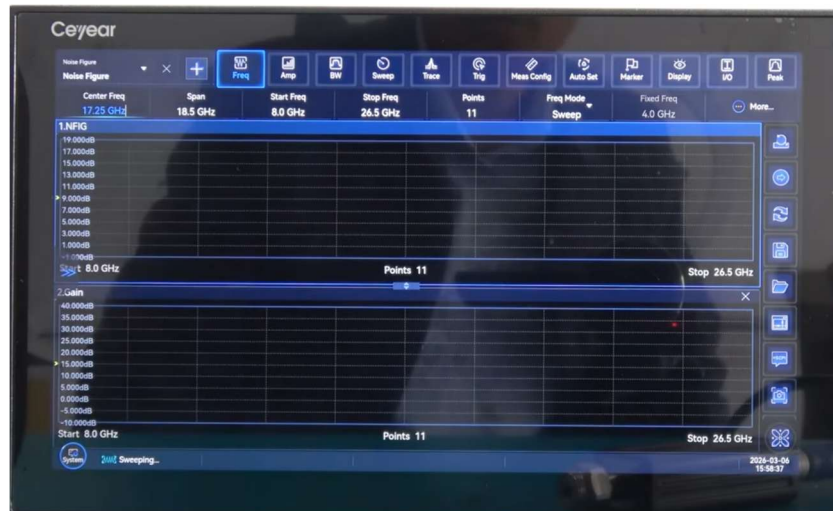


Рисунок 8. Запуск програмного застосунку для вимірювання коефіцієнта шуму (Noise Figure Measurement).

## 4.2 Налаштування параметрів вимірювання

Налаштуйте параметри вимірювання відповідно до робочого діапазону частот досліджуваного пристрою (DUT).

Типові параметри вимірювання включають:

- **початкову частоту (Start Frequency);**
- **кінцеву частоту (Stop Frequency);**
- **смугу частот (Frequency Span);**
- **кількість точок вимірювання (Number of Measurement Points)** — якщо цей параметр застосовується.

Виберіть діапазон частот, який повністю охоплює робочу смугу досліджуваного пристрою.

Після введення всіх параметрів уважно перевірте правильність налаштувань перед переходом до наступного етапу вимірювання.

## 4.3 Завантаження калібрувальних даних ENR

Завантажте калібрувальні дані **ENR**, що постачаються разом із каліброваним джерелом шуму.

Аналізатор використовує цю таблицю калібрування для компенсації частотної залежності характеристик джерела шуму.

Переконайтеся, що:

- вибрано правильний файл калібрування **ENR**;
- діапазон частот відповідає технічним характеристикам джерела шуму;
- відображені значення **ENR** відповідають даним, наведеним у калібрувальному сертифікаті.

Використання некоректних калібрувальних даних **ENR** призводить до зниження точності вимірювання.



Рисунок 9. Завантаження калібрувальних даних ENR.

#### 4.4 Виконання калібрування вимірювальної системи

Після завантаження калібрувальних даних **ENR** та перевірки вимірювальної конфігурації виконайте калібрування вимірювальної системи.

Під час цього процесу аналізатор автоматично керує джерелом шуму та визначає характеристики всієї вимірювальної системи.

Дочекайтеся повідомлення аналізатора про успішне завершення калібрування.

Якщо під час калібрування виникла помилка, перевірте:

- радіочастотні з'єднання;
- працездатність джерела шуму;
- правильність завантажених калібрувальних даних **ENR**.



Рисунок 10. Виконання калібрування вимірювальної системи.



Рисунок 11. Успішне завершення калібрування вимірювальної системи.

## 4.5 Підключення вимірювальної системи та запуск вимірювання

Підключіть вимірювальну систему в такій послідовності:

1. Підключіть каліброване джерело шуму до входу досліджуваного пристрою (**DUT**).
2. Підключіть вихід досліджуваного пристрою до радіочастотного входу аналізатора.
3. За потреби подайте живлення на досліджуваний пристрій.
4. Перевірте правильність усіх радіочастотних з'єднань.

Перед початком вимірювання переконайтеся, що досліджуваний пристрій працює в штатному режимі, а всі радіочастотні роз'єми надійно затягнуті.



Рисунок 12. Виконання вимірювання коефіцієнта шуму.

## 4.6 Перегляд результатів вимірювання

Після завершення вимірювання аналізатор автоматично відображає:

- коефіцієнт шуму (Noise Figure);
- коефіцієнт підсилення (Gain);
- частотну вісь;
- інформацію маркерів.

Використовуйте маркери для визначення точних значень коефіцієнта шуму та коефіцієнта підсилення на будь-якій частоті.

За потреби повторіть вимірювання, щоб перевірити відтворюваність отриманих результатів.



Рисунок 13. Перегляд результатів вимірювання коефіцієнта шуму з можливістю маркерних вимірювань



Рисунок 14. Таблиця результатів вимірюваних значень коефіцієнта шуму та підсилення

## 4.7 Збереження результатів вимірювання

Після підтвердження правильності результатів вимірювання збережіть їх для подальшого використання.

Залежно від конфігурації аналізатора результати можуть бути збережені у вигляді:

- знімка екрана;
- даних вимірювальної кривої (Trace Data);
- файлу вимірювання.

Збереження результатів дає змогу переглянути їх у майбутньому або використати під час підготовки технічної документації чи звітів про вимірювання.

## 4.8 Підсумкова послідовність виконання вимірювання

Повна процедура вимірювання коефіцієнта шуму (Noise Figure) складається з таких етапів:

1. Запустити програмний застосунок **Noise Figure Measurement**.
2. Налаштувати діапазон частот вимірювання.
3. Завантажити калібрувальні дані **ENR**.
4. Виконати калібрування вимірювальної системи.
5. Підключити вимірювальну систему та розпочати вимірювання.
6. Переглянути результати вимірювання коефіцієнта шуму (Noise Figure) та коефіцієнта підсилення (Gain).
7. Зберегти результати вимірювання.

Дотримання наведеної послідовності забезпечує точне, відтворюване та надійне вимірювання коефіцієнта шуму за допомогою аналізатора сигналів і спектра **Ceyear 4052/4082**.

## 5. Рекомендації щодо виконання вимірювань

Точність вимірювання коефіцієнта шуму (Noise Figure) залежить не лише від правильного налаштування аналізатора, а й від ретельної підготовки вимірювальної системи та дотримання належних умов проведення вимірювань. Дотримання наведених нижче рекомендацій допоможе забезпечити точні, відтворювані та надійні результати вимірювань.

### 5.1 Забезпечте достатній час для прогрівання обладнання

Перед виконанням калібрування дайте аналізатору та всьому активному вимірювальному обладнанню достатньо часу для досягнення теплової стабільності.

Температурний дрейф може впливати як на характеристики аналізатора, так і на досліджуваній пристрій (DUT), що призводить до зміни виміряного значення коефіцієнта шуму (Noise Figure).

### 5.2 Використовуйте правильні калібрувальні дані ENR

Завжди перевіряйте, що файл калібрування **ENR** відповідає підключеному джерелу шуму.

Використання неправильних калібрувальних даних **ENR** є однією з найпоширеніших причин неточних результатів вимірювання коефіцієнта шуму (Noise Figure).

Якщо в лабораторії використовується декілька джерел шуму, рекомендується чітко ідентифікувати файл калібрування для кожного з них, щоб запобігти помилкам оператора.

### 5.3 Мінімізуйте втрати в радіочастотному тракті

Використовуйте високоякісні радіочастотні кабелі з хвильовим опором **50 Ω** мінімально можливої практичної довжини.

За можливості уникайте використання зайвих адаптерів і перехідників, оскільки кожне додаткове радіочастотне з'єднання збільшує **втрати на вставлення** та **невизначеність, пов'язану з неузгодженістю імпедансів**.

Регулярно перевіряйте стан і очищуйте радіочастотні роз'єми, щоб забезпечити стабільність і високу точність вимірювань.

## 5.4 Перевірте робочі режими досліджуваного пристрою

Перед виконанням калібрування та вимірювання переконайтеся, що досліджуваний пристрій (DUT) працює у штатному режимі.

Для активних пристроїв необхідно перевірити:

- напругу живлення;
- струм зміщення;
- робочу температуру;
- робочу радіочастоту.

Неправильні режими живлення або зміщення можуть суттєво вплинути як на **коефіцієнт підсилення (Gain)**, так і на **коефіцієнт шуму (Noise Figure)** досліджуваного пристрою.

## 5.5 Виконуйте повторне калібрування після зміни вимірювальної конфігурації

Щоразу, коли змінюється будь-який елемент вимірювальної конфігурації — зокрема радіочастотний кабель, джерело шуму, досліджуваний пристрій (DUT) або адаптер, — перед виконанням нових вимірювань необхідно повторно виконати калібрування вимірювальної системи.

Результати калібрування є дійсними лише для тієї вимірювальної конфігурації, в якій це калібрування було виконано.

## 5.6 Перевіряйте відтворюваність результатів вимірювання

Після виконання калібрування рекомендується повторити вимірювання щонайменше один раз.

Стабільні значення **коефіцієнта шуму (Noise Figure)** та **коефіцієнта підсилення (Gain)** свідчать про те, що вимірювальна система працює стабільно, а калібрування виконано правильно.

Істотні відмінності між результатами повторних вимірювань зазвичай вказують на нестабільний режим роботи досліджуваного пристрою (DUT), неякісні радіочастотні з'єднання або помилки під час виконання процедури калібрування.

## 5.7 Зберігайте як дані вимірювання, так і знімки екрана

Після завершення вимірювання рекомендується зберегти як **дані вимірювання (measurement trace)**, так і **знімок екрана** аналізатора.

Це забезпечує повне документування результатів вимірювання та спрощує їх подальше порівняння, аналіз або пошук і усунення можливих несправностей.

## 5.8 Підсумок

Дотримання наведених рекомендацій дає змогу мінімізувати невизначеність вимірювань і підвищити відтворюваність результатів під час вимірювання **коефіцієнта шуму (Noise Figure)** за допомогою аналізаторів сигналів і спектра **Ceyear 4052/4082**.

## 6. Висновок

Метод **Y-фактора** є галузевим стандартом для точного вимірювання **коефіцієнта шуму (Noise Figure)** радіочастотних і мікрохвильових компонентів. У поєднанні з каліброваним джерелом шуму він забезпечує достовірне визначення як **коефіцієнта шуму**, так і **коефіцієнта підсилення (Gain)** досліджуваного пристрою (**Device Under Test, DUT**).

Аналізатори сигналів і спектра **Ceyear 4052** та **Ceyear 4082** оснащені спеціалізованим програмним застосунком **Noise Figure Measurement**, який автоматизує весь процес вимірювання, включаючи обробку калібрувальних даних **ENR**, калібрування вимірювальної системи, керування процесом вимірювання та розрахунок результатів.

Як показано в цій прикладній примітці, процедура вимірювання є простою та складається лише з кількох основних етапів: налаштування аналізатора, завантаження калібрувальних даних **ENR**, виконання калібрування приймального тракту, підключення досліджуваного пристрою (**DUT**) і запуску вимірювання. Після цього аналізатор автоматично обчислює та відображає **коефіцієнт шуму (Noise Figure)** і **коефіцієнт підсилення (Gain)** у вибраному діапазоні частот.

Дотримання процедури вимірювання та рекомендацій, наведених у цьому документі, дає змогу інженерам виконувати точні, відтворювані та ефективні вимірювання коефіцієнта шуму, придатні для використання в науково-дослідних лабораторіях, під час виробничих випробувань, верифікації продукції та сервісного обслуговування.



**SEA-CEYEAR**

**Kölner Straße 201-203, 51149, Köln, Germany**

[tm@sea-ceyear.com](mailto:tm@sea-ceyear.com)