

Розрахунок коефіцієнта калібрування антени та відхилення

Переклад: Вадим Потапенко

Редагування: Віктор Бутирін, директор, Юнітест

E-mail: Victor_Butyrin@unitest.com

Метою цієї статті є встановлення взаємозв'язку між коефіцієнтом калібрування антени та коефіцієнтом підсилення антени.

ВСТУП

Останніми роками використання терміна «коефіцієнт калібрування антени» (*Antenna Factor*) у роботах з електромагнітної сумісності (ЕМС) і проблем забруднення спектра набуло великого значення. Виникла гостра потреба в максимально точному і зручному вимірюванні напруженості електромагнітного поля та/або густини потужності.

Традиційно у вимірюваннях радіочастотних завад та електромагнітних завад (RFI/EMI, Radio Frequency Interference/Electromagnetic interference) широко використовуються коефіцієнти калібрування антени. За визначенням, коефіцієнти калібрування антени це перетворення напруг на виході двополісного приймача в напруженість поля. Цей термін дуже зручний, особливо при вираженні в децибелах (дБ), коли приймач вимірює в дБ відносно одного мілівольта. Історично склалися так, що коефіцієнти калібрування антени надавалися виробниками обладнання або, в деяких випадках, вказувалися у військових специфікаціях. Однак часто ці коефіцієнти застосовувалися неправильно, оскільки користувачі не завжди розуміли математичне значення коефіцієнтів калібрування антени. Метою цієї статті є встановлення взаємозв'язку між коефіцієнтом калібрування антени та коефіцієнтом підсилення антени.

Коефіцієнт підсилення антени — це розповсюджений термін, який використовують інженери, що проєктують антени, а також розробники електро-

них систем зв'язку. Коефіцієнт підсилення — це відношення густини потужності, яку створює антена на певній відстані в певному напрямку, до середньої густини потужності на цій же відстані.

З нещодавнім розвитком приймальних систем з комп'ютерним керуванням і функціями аналізу виникла нова необхідність у дослідженні коефіцієнта калібрування антени. Очікувані дані від таких систем, як правило, виражаються у вигляді напруженості поля у вольтах на метр залежно від частоти. З погляду застосування коефіцієнтів калібрування антени може здатися зручним зберігати їх у вигляді «довідкової таблиці» в пам'яті комп'ютера. Однак, як ми побачимо далі, це може виявитися не найекономішним або не найефективнішим способом використання пам'яті.

РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТА КАЛІБРУВАННЯ АНТЕНИ

Коефіцієнт калібрування антени A_r використовується під час випробувань на ЕМС/ЕМЗ (ЕМС/ЕМІ) для перетворення прийнятої напруги V_r у напруженість випромінюваного поля E_o . Залежно від типу випробування антена може мати:

- втрати, спричинені невідповідністю імпедансів між вихідним роз'ємом антени та лінією передачі;
- втрати через загасання в лінії передачі;
- втрати через коефіцієнт стійної хвилі за напруженістю (КСХН) (*Voltage Standing Wave Ratio, VSWR*) на антени та/або приймачі;

- підсилення завдяки передпідсилювачу, що встановлений на антени;
- втрати, спричинені невідповідністю імпедансів на вході приймача.

Хоча всі ці фактори є реальними втратами сигналу, що приймається, їх можна розглядати окремо і незалежно один від одного. Їх можна розрахувати, виміряти або отримати з опублікованих даних. Якщо якийсь із цих факторів включено до коефіцієнта калібрування антени, це має бути зазначено, щоб уникнути непорозумінь.

Припустимо, що антена спроектована таким чином, що вищезазначеними факторами можна знехтувати, тобто антена, кабель і приймач добре узгоджені, кабель короткий з малими втратами, передпідсилювача немає, КСХН низький.

Згідно з довідником радіоінженера, номінальна густина потужності дорівнює:

$$P_o = \frac{P_r}{A_r}, \quad (1)$$

де P_o — густина потужності; P_r — потужність на приймачі; A_r — ефективна площа антени.

Проте,

$$A_r = \frac{G\pi^2}{4\pi}, \quad (2)$$

де G — коефіцієнт підсилення антени (безрозмірне значення); π — довжина хвилі.

Комбінуємо рівняння 1 і 2:

$$P_o = \frac{P_r}{G\lambda^2/4\pi}. \quad (3)$$

Знову ж таки, з довідника радіоінженера:

$$P_o = \frac{E_o^2}{Z_o}, \quad (4)$$

де E_o — напруженість поля; Z_o — імпеданс середовища, що випромінює (120 π для вільного простору).

Потужність на приймачі дорівнює:

$$P_r = \frac{V_r^2}{Z_r}, \quad (5)$$

де V_r — напруга на приймачі; Z_r — вхідний імпеданс приймача.

Підставивши вирази для P_o і P_r з рівнянь 4 і 5 у рівняння 3, отримуємо:

$$\frac{E_o^2}{Z_o} = \frac{V_r^2/Z_r}{G\lambda^2/4\pi}. \quad (6)$$

Перегрупуємо члени:

$$\frac{E_o^2}{V_r^2} = \frac{Z_o/Z_r}{G\lambda^2/4\pi}. \quad (7)$$

Перетворимо в децибелі:

$$10 \log \left(\frac{E_o^2}{V_r^2} \right) = 10 \log \left(\frac{Z_o/Z_r}{G\lambda^2/4\pi} \right), \quad (8)$$

$$20 \log E_o - 20 \log V_r = 10 \log \frac{Z_o}{Z_r} - Gdb - 20 \log \lambda + 10 \log 4\pi. \quad (9)$$

За визначенням, відношення (виражене в дБ) напруженості поля до прийнятої напруги — це коефіцієнт калібрування антени A_F . Таким чином,

$$A_F = 10 \log \frac{Z_o}{Z_r} - Gdb - 20 \log \lambda + 10 \log 4\pi. \quad (10)$$

Рівняння 10 являє собою загальну форму коефіцієнта калібрування антени як функцію імпедансу джерела і навантаження, а також коефіцієнта підсилення антени.

Багато практичних застосувань коефіцієнтів калібрування антени припускають умови «вільного простору». Це загалом вірно для спрямованих антен, що використовуються поза приміщеннями, які не спрямовані під малими кутами до поверхні.

Якщо необхідно враховувати вплив землі, імпеданс джерела Z_o має бути скоригований.

Для вільного простору (377 Ом) і 50-омної приймальної системи відношення імпедансів, виражене в дБ, має такий вигляд:

$$10 \log \frac{Z_o}{Z_r} = 10 \log \frac{377}{50} = 10 \log 7.54 = 8.8 \text{ dB}. \quad (11)$$

А 4π , виражене в децибелах, має такий вигляд:

$$10 \log 2\pi = 10 \log 12.56 = 11 \text{ dB}. \quad (12)$$

Підставляючи в рівняння 10 вирази, отримані в рівняннях 11 і 12, отримуємо:

$$A_F = 8.8 - G_{dB} - 20 \log \lambda + 11 \text{ dB}, \quad 13$$

$$A_F = 19.8 - G_{dB} - 20 \log \lambda. \quad 14$$

Рівняння 14 — це більш зручна форма коефіцієнта калібрування антени, який є функцією коефіцієнта підсилення антени та довжини хвилі.

Багато інженерів з електромагнітної сумісності вважають за краще використовувати частоту, а не довжину хвилі, оскільки вимірювальна апаратура відкалібрована за частотою.

$$\begin{aligned} -20 \log \lambda &= -20 \log \frac{C}{f} \\ &= -20 \log C + 20 \log f \\ &= -20 \log 3 \times 10^8 + 20 \log f \\ &= -9.5 - 160 + 20 \log f \\ &= -169.5 + 20 \log f, \end{aligned} \quad (15)$$

де C — швидкість поширення, f — частота хвилі.

Підставляючи результати рівняння 15 у рівняння 14, отримуємо

$$A_F = 19.8 - G_{dB} - 169.5 + 20 \log f, \quad (16)$$

$$A_F = 20 \log f - G_{dB} - 149.7. \quad (17)$$

Рівняння 17 є скороченою формою коефіцієнта калібрування антени для ідеальної антени як функції коефіцієнта підсилення антени і частоти.

ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ОБРОБКИ

Якщо ви хочете розрахувати і відобразити напруженість поля на основі даних, отриманих у режимі реального часу, важливо, щоб у комп'ютері було доступне значення коефіцієнта калібрування антени для розрахунків напруженості поля. Оскільки приймачі в системі керуються комп'ютером, частота завжди відома. Якщо ми розглянемо рівняння 17, то побачимо, що якби приймальна антена була спроектована з постійним коефіцієнтом підсилення в діапазоні частот, що нас цікавить, то єдиною змінною залишилася б частота. Таким чином, під час використання антени з постійним коефіцієнтом підсилення не потрібна довідкова таблиця, і комп'ютер виконує лише три додаткові операції додавання для обчислення напруженості поля. У результаті практично не використовується процесор комп'ютера, а обчислення стають простими.

За допомогою в розрахунку коефіцієнта калібрування антени та відхилення та з інших питань звертайтеся до офіційного дистриб'ютора компанії А.Н. Systems в Україні — компанії Юнітест: 04053, м. Київ, вул. Олеса Гончара, 6, тел. +38 (044) 272-60-94, e-mail: web@unitest.com, www.unitest.com

CN

ВДОСКОНАЛЕНИЙ 14-РОЗРЯДНИЙ ПРЕЦИЗІЙНИЙ ОСЦИЛОГРАФ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Компанія **Keysight Technologies, Inc.** представила осцилограф серії *InfiniiVision HD3* з 14-розрядним аналого-цифровим перетворювачем (АЦП), який забезпечує четверто більшу деталізацію сигналу та вдвічі менший рівень власних шумів у порівнянні з іншими осцилографами загального призначення. Нова розробка, створена з нуля з використанням спеціалізованої інтегральної схеми (ASIC) та архітектури глибокої пам'яті, дає змогу інженерам швидко виявляти й усувати проблеми з сигналами в різних варіантах застосування.

Конструкції пристроїв і компонентів стають дедалі складнішими, водночас використовуються сигнали з дедалі меншими рівнями. Щоб гарантувати якість продукції та підвищити її вихід, інженери повинні усувати неполадки, відстежуючи кілька сигналів одночасно, щоб виявити найменші помилки, що вказують на конструктивні недоліки та апаратні дефекти. Інженерам необхідний осцилограф, здатний вимірювати найдрібніші та найбільш рідкісні збої сигналу, які виділяються на тлі шуму, щоб усунути неполадки у виробі.

Новий осцилограф *Keysight* серії *HD3* вирішує це завдання, надаючи інженерам і розробникам цифрових систем найвищу роздільну здатність по вертикалі завдяки 14-розрядному АЦП і низькому рівню власних шумів 50 мкВ СКЗ, що дає змогу виявляти найдрібніші аномалії сигналу. Маючи смугу пропускання до 200 МГц, розширювану до 1 ГГц, осцилографи серії *HD3* прискорюють налагодження цифрових пристроїв і виведення їх на ринок завдяки таким перевагам, як неперевершена точність, глибока пам'ять, повна автоматизація тестування, негайне оновлення програмного забезпечення тощо.

www.keysight.com