

можливих каналів проникнення перешкоди; для кожного можливого каналу проникнення перешкоди проводиться енергетичний аналіз і одночасно розраховують норми частотно-територіального рознесення наступним чином: знаходиться допустиме значення потужності перешкоди на вході приймача-рецептора перешкоди, яке визначають через захисне відношення сигнал-перешкода і значення потужності корисного сигналу; при розрахунку норм частотно-територіального рознесення радіоелектронних засобів використовується мінімальне значення потужності корисного сигналу, яке відповідає чутливості приймача-рецептора перешкоди; розрахунок територіального рознесення РЕЗ при нульовій розстройці; проведення розрахунку норм частотно-територіального рознесення з урахуванням частотної розстройки, з побудовою відповідних графіків.

Розглянуто основні моделі поширення радіохвиль, що використовуються при розрахунку радіоліній в області прямої видимості. Показано, що для таких розрахунків доцільно використовувати відбивну модель Введенського в межах області її застосування, яка завищує рівень сигналу в точці приймання стосовно його реального значення, що не є критичним при проведенні розрахунків норм частотно-територіального рознесення. Достовірність результатів розрахунків при використанні моделі Введенського підтвержені під час проведення натурних випробувань. При розрахунку потужності перешкоди на відстанях, що виходять за межі прямої видимості необхідно користуватися дифракційними розрахунковими співвідношеннями або співвідношеннями, що описують тропосферне розсіювання радіохвиль.

Визначено, що на малих відстанях, на яких формула Введенського не працює, цілком припустимо вважати, що множник послаблення під час поширення радіохвиль наближається до одиниці, тобто при розрахунках норм частотно-територіального рознесення його можна не враховувати. Але в межах області застосування формули Введенського його необхідно враховувати в обов'язковому порядку. Недотримання цього правила призводить до появи помилки при розрахунку значення потужності завади (її завищення) та до завищення розрахункових значень частотного рознесення радіоелектронних засобів при розробці норм частотно-територіального рознесення радіоелектронних засобів, що працюють у діапазоні дециметрових хвиль.

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КОЛИВАНЬ

Т. С. Остафійчук, С. В. Климченко, к.т.н. Ю. О. Крихтін,
ХНУПС імені Івана Кожедуба, м. Харків

Побудова перспективних інформаційно-вимірювальних систем передбачає вибір їх складових, а саме: сенсорів (первинних вимірювальних перетворювачів); пристроїв формування сигналів (переважно, електричних),

один з інформаційних параметрів яких є пропорційним розміру вимірюваної фізичної величини; пристроїв обробки сигналів; засобів відображення вимірювальної інформації.

Однією з найбільш розповсюджених вимірюваних величин, що характеризує інтенсивність електромагнітних коливань, у першу чергу, у високочастотному (ВЧ) та надвисокочастотному (НВЧ) діапазонах, є потужність. Типові структурні схеми побудови ватметрів ВЧ та НВЧ відомі, проте проблемним питанням кожного разу є, наприклад, вибір потрібної моделі сенсора, оскільки його метрологічні та інші характеристики визначатимуть метрологічні властивості ватметра в цілому. При цьому варто зазначити, що вимірювальні блоки ватметрів для всіх або практично всіх моделей сенсорів від певного виробника, як правило, є уніфікованими.

Класифікація засобів вимірювання потужності електромагнітних коливань, зокрема її графічна (рис. 1) та описова частини, представлені в доповіді, дають можливість систематизувати різноманітні засоби вимірювання потужності та сприяють правильному вибору типу (моделі) засобу вимірювання потужності залежно від частотного діапазону, інтенсивності сигналу, заданої точності вимірювань тощо. Від правильного вибору ватметра залежить достовірність отриманих результатів і ефективність роботи радіотехнічних систем в цілому.



Рис. 1. Класифікація засобів вимірювання потужності електромагнітних коливань

В основу наведеної класифікації покладено наступні ознаки (критерії):

- метод перетворення енергії;
- рівень потужності;
- тип лінії передачі;
- схема побудови сенсора;

- вид вимірюваної потужності;
- частотний діапазон.

Першою і найважливішою ознакою класифікації є метод перетворення енергії. Саме від нього залежить принцип роботи вимірювального приладу. За цією ознакою засоби вимірювання потужності поділяються на калориметричні та некалориметричні. Калориметричні прилади визначають потужність через перетворення електромагнітної енергії в тепло, яке далі вимірюється і перераховується у відповідне значення потужності. До них належать сухі, проточні та мікрокалориметри, які використовують у лабораторних або еталонних вимірюваннях. Некалориметричні засоби, навпаки, базуються на електричних чи термічних ефектах у чутливому елементі. До них відносяться болометри, термісторні, термоелектричні та діодні сенсори, що забезпечують вимірювання потужності в широкому частотному і динамічному діапазонах.

Другою ознакою класифікації є рівень потужності, який визначає, для яких сигналів призначений той чи інший прилад. За цією ознакою вимірювачі поділяються на засоби для малих, середніх і великих потужностей. Для малих потужностей ($P \leq 10$ мВт), використовують діодні, болометричні та термісторні сенсори, оскільки вони мають високу чутливість і дають змогу фіксувати навіть незначні зміни сигналу. У діапазоні середніх потужностей (10 мВт $< P \leq 10$ Вт) застосовуються термопарні сенсори, які поєднують прийнятну точність і стабільність показів. Для великих потужностей ($P > 10$ Вт) найкраще підходять калориметричні ватметри, здатні безпечно поглинати енергію сигналу і достатньо точно визначати його середню потужність. Такий розподіл допомагає вибирати оптимальний тип приладу для конкретних умов вимірювань.

Наступною ознакою класифікації є тип лінії передачі, до якої підключається вимірювальний прилад. Залежно від конструкції та частотного діапазону лінії поділяють на коаксіальні та хвилеводні. Коаксіальні лінії передачі, що застосовуються для вимірювання ВЧ і НВЧ потужності, мають стандартні хвильові опори 50 Ом, 75 Ом або 93 Ом. Найпоширенішим є 50-омний стандарт, який забезпечує оптимальне узгодження між вимірювальною апаратурою та джерелом сигналу у широкому діапазоні частот (від постійного струму (0 Гц) до 120 ГГц). Їх застосовують як в лабораторних, так і в польових умовах, де потрібна гнучкість і компактність з'єднань. Хвилеводні лінії використовуються в тих випадках, коли втрати в коаксіальних кабелях стають значними. Робочий діапазон частот вітчизняних хвилеводних ватметрів становить від 5,6 ГГц до 78,3 ГГц, для закордонних – від 8,2 ГГц до 220 ГГц. Хвилеводним трактам не притаманна гнучкість, проте вони забезпечують мінімальні втрати енергії та мінімальний знос приєднувальних елементів (фланців), а отже, стабільну роботу за будь-якого рівня потужності.

За принципом проходження енергії вимірювальні пристрої (приймальні перетворювачі) бувають прохідного та поглинаючого типів. У перших частина потужності відбирається для вимірювання через спрямовані відгалужувачі, тоді

як основна енергія сигналу проходить далі лінією передачі. Такий принцип дозволяє контролювати потужність безпосередньо під час роботи передавача або антенної системи, що зручно при налагодженні та технічному обслуговуванні радіотехнічних комплексів. У ватметрах поглинаючого типу енергія сигналу поглинається вимірювальним елементом і перетворюється в тепло або електричний сигнал у сенсорі. Як недолік, застосування цих пристроїв потребує перекомутації та/або зміни режиму роботи системи.

Важливою ознакою класифікації є вид вимірюваної потужності. У практиці вимірювань розрізняють середню, імпульсну та пікову потужність. Середня потужність показує усереднене значення енергії сигналу за певний час і найчастіше використовується під час перевірки працездатності передавальних пристроїв. Імпульсна потужність характеризує короточасні сплески енергії, які притаманні радіолокаційним або імпульсним системам. Такі сигнали мають велику миттєву потужність, але малу середню, тому для їх вимірювання застосовують швидкодіючі сенсори та цифрові прилади. Пікова потужність показує максимальне значення сигналу за певний проміжок часу і використовується для визначення перевантажень у підсилювачах або антенних трактах. Сучасні ватметри здатні одночасно вимірювати всі три види потужності, що робить вимірювання більш точними та універсальними.

За частотним діапазоном засоби вимірювання потужності поділяються на низькочастотні (НЧ), ВЧ та НВЧ. Прилади НЧ працюють у діапазоні до 30 МГц і застосовуються переважно для вимірювання потужності сигналів у системах зв'язку та енергетичних установках. Прилади ВЧ охоплюють діапазон від 30 МГц до 3 ГГц і є найбільш поширеними у лабораторних та вимірювальних комплексах. Прилади НВЧ використовуються для вимірювань у діапазоні від 3 ГГц до 300 ГГц, тобто в умовах, де робоча довжина хвилі є дуже малою. Такі прилади мають спеціальну конструкцію, часто з хвилеводними або комбінованими сенсорами, що забезпечують мінімальні втрати та прийнятну точність. Поділ за частотою дозволяє правильно підібрати вимірювальний пристрій відповідно до діапазону роботи системи й вимог до точності.

Отже, класифікація засобів вимірювання потужності дає змогу впорядкувати різноманіття сучасних приладів за їхнім принципом дії, рівнем потужності, типом лінії передачі, схемою побудови первинного перетворювача, видом вимірюваної потужності та частотним діапазоном. Такий підхід допомагає правильно обрати необхідний прилад для конкретного завдання та забезпечити задану точність отриманих результатів. Знання класифікаційних ознак є важливим для практичної діяльності фахівців з інформаційно-вимірювальних технологій у радіотехніці, адже від цього залежить якість вимірювань і стабільність роботи радіоелектронних систем. У Збройних Силах України правильний вибір та використання засобів вимірювання потужності має велике значення для метрологічного контролю техніки, забезпечення надійності зв'язку і точності радіолокаційних систем.