

УДК 621.385.69

## **Вимірювання середньої потужності НВЧ - перетворювача**

*Цимбал О.О., Грамарчук Ю.О., к.т.н., доц. Кобак М.М.*

Основоположною рисою науково-технічного прогресу є використання електроніки у всіх галузях господарства. Здійснення та вдосконалення вимірювань різних параметрів нерозривно пов'язані з історією розвитку науки і техніки. В наш час безперервно зростає кількість та різноманіття вимірюваних фізичних величин, параметрів технологічних процесів, характеристик сигналів та кіл, неухильно ускладнюються методи отримання, обробки та використання вимірюваних сигналів, зростає роль наукового приладобудування і т.д.

Серед всіх фізичних величин дуже важливе місце має електрична потужність, що являє собою загальні властивості в якісному відношенні для електричних кіл та енергетичних систем, їх станів і процесів, які в них протікають, але також в кількісних відношеннях індивідуальна для кожного електричного кола, приймача та джерела енергії.

Енергія надвисоких частот широко застосовується в різноманітних галузях промисловості, зокрема при контролі параметрів, налаштуванні та ремонті НВЧ - апаратури та в системах зв'язку GSM, CDMA, Bluetooth. Потребується

вимірювання або контролювання енергетичних параметрів сигналів з використанням різних методів, реалізованих у вимірювачах потужності НВЧ – сигналів. Фактично всі вони засновані на еквівалентному перетворенні енергії вихідних електромагнітних коливань в інший вид енергії, зручний для вимірювання.

Сучасні вимірювачі потужності дозволяють проводити вимірювання таких потужнісних параметрів: середня, імпульсна, пікова потужність, відношення пікової та середньої потужності.

НВЧ – хвилі поширюються не лише у самому провіднику (кабелі чи смужковій лінії), але і просторі навколо нього, що в результаті зумовлює необхідність враховувати в проектуванні НВЧ – перетворювача геометричних особливостей та електромагнітної сумісності [1].

Надвисокочастотні вимірювання – вимірювання характеристик поля НВЧ – діапазону (потужність, щільність потоку, поляризація). Ефективність приймально – передавальних пристроїв залежить від коливального контуру, що розташований в вихідному каскаді пристрою. Майже всі пристрої НВЧ

використовують модуль (датчик), що перетворює НВЧ – коливання в сигнал, що досліджується [2].

Для цього існує декілька видів, реалізованих у вимірювачах потужності НВЧ – сигналів (табл. 1) [3].

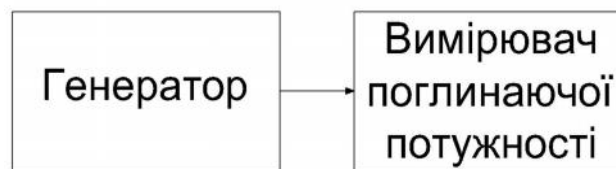
Таблиця 1. Методи вимірювання потужності НВЧ – сигналів

| Метод                      | Параметр вимірювання              |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Пондеромоторний            | Прохідна потужність               |
| Спрямованих відгалужувачів | Модуль коефіцієнту відбиття       |
| Калориметричний            | Поглинаюча потужність             |
| Поглинаючої стінки         | Апроксимована прохідна потужність |
| Багатозондовий             | Навантаження прохідної потужності |
| На ефекті Холла            | Прохідна потужність               |

За способом під'єднання до передавального тракту класифікують ватметри проходячого типу та поглинаючого. Перші представляють собою чотирьохполюсник, в якому поглинається невелика частина загальної потужності. Другі, що представляють собою двухполюсник, підключаються на кінці передавальної лінії, і в ідеальному випадку в ньому поглинається вся потужність падаючої хвилі.

Окрім цього є основні види перетворювачів, такі як:

- терморезисторні;
- термопари;
- діодні детектори.



а)



б)

Рис. 1. Способи вимірювання потужності ватмертом: а – поглинаючого типу; б – проходячої потужності.

Кожному типу перетворювача притаманні свої переваги, функціональні можливості та обмеження в застосуванні [4].

Основна задача проектування перетворювача потужності полягає у перетворенні потужності надвисокочастотного каналу в постійний струм або сигнал низької частоти, що вимірюються та перераховуються з урахуванням калібрувальних даних детектора в значення потужності сигналу.

Вимірювання, пов'язані з використанням терморезисторів або термопар оцінюють теплову потужність сигналу НВЧ, що розсіюється на чутливому елементі і

можуть безпосередньо вимірювати середню потужність і їм притаманний малий динамічний діапазон.

Широкопasmові перетворювачі на діодних детекторах дозволяють вимірювати потужність НВЧ – коливань з високою роздільною здатністю по часу, оскільки вони дозволяють оцінювати середнє значення на інтервалах, що багатократно перевищують період повторень сигналу.

Діодний детектор випрямляє НВЧ – сигнал та проводить інтегрування результату на ФНЧ. Основною перевагою діодного перетворювача є чутливість, що дозволяє вимірювати такі низькі рівні потужності, як 100 пВт, так і високі, до 10 кВт.

Для зменшення напруги, що поступає на діод використовується ємнісний зв'язок (Рис. 2).

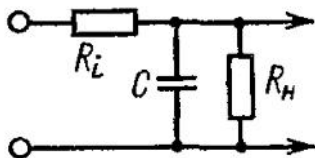


Рис. 2. Еквівалентна схема діодного датчика

Напруга подається на діод та випрямляється, а опір навантаження шунтується конденсатором, напруга на якому перераховується в значення імпульсної або середньої потужності. В процесі роботи конденсатор заряджається при потраплянні імпульсу і розряджається в проміжках між ними. Заряд проходить швидше розряду у зв'язку з тим, що внутрішній опір діода менший за опір навантаження. Протягом періоду

напруга на ємності стає постійною і процес вважається встановленим.

Особливістю або недоліком останнього типу вимірювань є притаманна нелінійність закону перетворення, пов'язана з нелінійними властивостями діоду. У зв'язку з цим, при побудові алгоритмів вимірювань у лінійному вигляді важливим є лінеаризація датчиків – перетворювачів НВЧ.

Для неперервного гармонічного сигналу нелінійність може бути скоригована для отримання істинного середньоквадратичного значення потужності. Якщо розкласти рівняння, що описує поведінку діода в ступеневий ряд, то побачимо, що випрямлене значення вихідної напруги є функцією квадрату напруги вхідного сигналу до рівня сигналу, що відповідає потужності не більш ніж - 20 дБм. В такому динамічному діапазоні вихідна напруга пропорційна значенню рівня вихідної потужності. Ця нелінійність безперервного гармонічного сигналу може бути скоригована задля виведення істинного середньоквадратичного значення потужності. При перевищенні цього значення потужності процес випрямлення стає більш лінійним, а вихідна напруга переходить до функції вхідної напруги. Це призводить до появи обмежень при використанні перетворювача на діодному детекторі при вимірюванні параметрів потужності імпульсно-модульованих сигналів. На Рис. 3 показано взаємозв'язок імпульсної і середньої потужності. У прикладі використаний

простий імпульс тривалістю 10 мкс з періодом повторення 40 мкс, отже, різниця імпульсної і середньої потужності дорівнює 6,02 дБ. Дана величина може бути внесена до вимірювача як величина компенсації ослаблення, щоб на дисплеї відображалася імпульсна потужність (діюче значення потужності імпульсів).

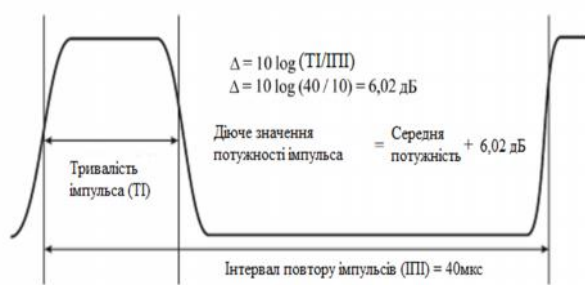


Рис. 3. Використання вимірювача середньої потужності для визначення імпульсної потужності

Для цього доцільним є використання мікроконтролерного керування в вимірювачі НВЧ – потужності. Основне призначення МК у вимірювачі НВЧ - потужності – це обробка вимірюваних даних та керування процесом вимірювання. При цьому до МК пред'являються певні вимоги: наявність аналого-цифрового перетворювача (перетворює вхідну напругу в цифровий сигнал), МК повинен мати необхідну обчислювальну потужність, забезпечувати виведення результату. Нелінійність датчиків обробляється цифровим способом. Отже можна обійтись без важких схемних рішень при обчисленні необхідної величини.

Прикладом такого портативного вимірювача НВЧ потужності є

пристрій на основі МК ATmega 128. Антена приймає НВЧ випромінювання і попадає на термістор вимірювальної головки (ввімкнена в резистивний міст Уітстона. В результаті збалансований міст розбалансовується та сигнал подається на інструментальний підсилювач, що знаходиться в МК. З виходу МК перетворені дані передаються в незалежну пам'ять, перетворюються в відповідні коди та виводяться на екран.

Після вимірювань можна передати дані із зовнішньої пам'яті через інтерфейс УАПІ МК в комп'ютер, але спочатку необхідно узгодити рівні між МК і послідовним портом (СОМ) комп'ютера. Для МК необхідні п'ятивольтні рівні. Для цих цілей застосовується мікросхема перетворення рівнів MAX 232.

У даній роботі передбачається використовувати вимірювальний перетворювач М5 - 38, призначений для вимірювання малої потужності НВЧ в хвилеводних трактах П-подібного перетину. Цей перетворювач має наступні основні характеристики: діапазон частот перетворювача 5,64-16,7 ГГц, максимальна вимірювана потужність 10 мВт, коефіцієнт ефективності перетворювача в діапазоні частот дорівнює 1 (похибка 6%), коефіцієнт стоячої хвилі входу перетворювача 1,5, чутливість перетворювача не менше 5 Ом / мВт. При подачі СВЧ потужності на перетворювач частина потужності не поглинається термістором, а відбивається за рахунок неповного узгодження перетворювача з іншим

вимірювальним трактом. Потужність, що підводиться до перетворювача дорівнює:

$$P_{\text{под}} = P_{\text{мосту}} (1 + |G_T|^2) / \eta \quad (1)$$

де  $P_{\text{пад}}$  - потужність, що подається на вхід;  $P_{\text{мосту}}$  - потужність, яка вимірюється вихідним ваттметром термісторного моста;  $\eta$  - коефіцієнт ефективності перетворювача.

Вимірювання характеристик термістора в вимірювальній голівці показали, що залежність НВЧ потужності від напруги розбалансу моста на частоті 9ГГц має лінійний характер.

Перспективним рішенням є поєднання такого вимірювального детектора потужності НВЧ – сигналу з датчиком, що може бути проінтегрований для застосування з комп'ютерними засобами обробки інформації (USB - датчик).

До їх складу входить НВЧ – детектор, пристрій корекції передаточної характеристики з навантаженням, аналогово – цифровий перетворювач, узгоджений інтерфейс.

### Висновки

Встановлено, що існує багато методів вимірювання потужності електричних сигналів. Різновиди цих методів залежать від тих класифікаційних ознак, що характеризують частотний діапазон, спосіб перемноження фізичних

величин, особливості навантаження тощо.

Запропоновано використання вимірювача середньої потужності НВЧ – сигналів, побудованого за принципом використання діодного детектору та мікроконтролерного керування для налаштування та контролю НВЧ – пристроїв, у тому числі в лабораторних та дослідницьких цілях.

### Література

1. Овчарук А. А., Фазовий аналогово – цифровий перетворювач НВЧ – діапазону, Вісник ХНУ – 2011, №5, – с. 155.
2. Зацепін П. М. Вимірювач потужності НВЧ випромінювання на основі мікроконтроллера, – 2010, – с. 112.
3. Білокурський Ю. П. Сучасний стан та перспективи розвитку вимірювачів параметрів сигналів та трактів високого рівня потужності НВЧ – діапазону.
4. Загородній А. С., Визначення імпульсної потужності сигналів НВЧ за допомогою вимірювача середньої потужності, 2011 р., Доклади ТУСУРа, 2, ст. 241.