

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИМІРЮВАЧІВ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ ТА ТРАКТІВ ВИСОКОГО РІВНЯ ПОТУЖНОСТІ НВЧ-ДІАПАЗОНУ

Ю.П. Белокурський, Ю.В. Козлов, Г.М. Козлова, д.т.н. І.В. Руженцев

Розглянуті стан вимірювачів параметрів сигналів та трактів високого рівня потужності НВЧ-діапазону та перспективи їх подальшого удосконалення.

У теперішній час енергія надвисоких частот (НВЧ) широко використовується у науці, техніці, господарстві, військовій техніці тощо. В багатьох з перелічених галузей застосування потребується вимірювання або контролювання енергетичних параметрів сигналів з використанням різних методів (таблиця 1), реалізованих у вимірювачах потужності НВЧ-сигналів. Це визначає актуальність розгляду анованого у назві питання та **мету статті**.

Таблиця 1

Метод	Вимірювані параметри	Обмеження	Похибки серійних засобів вимірювання	Доцільне використання
Пондеромоторний	Прохідна потужність	Малі значення $ Г_n $ ($ Г_n \leq 0,1$)	1-2 %	Робочий засіб вимірювання, еталон
Спрямованих відгалужувачів	Прохідна потужність, модуль коефіцієнту відбиття	Наявність у тракті побічних коливань, інших типів хвиль	4-10 %	Робочий засіб вимірювання
Калориметричний	Поглинаєма потужність	Наявність перехідних елементів	2,5-6 %	Робочий засіб вимірювання, еталон
Поглинаючої стінки	Апроксимація значення прохідної потужності	Необхідність калібрування по еталону	Похибка залежить від $ Г_n $	Робочий засіб вимірювання
Багатозондовий	Прохідна потужність, параметри навантаження	Пробивна міцність лінії передачі	5-10 %; серійно випускаються на малий та середній рівень потужності	Робочий засіб вимірювання, еталон
На ефекті Холла	Прохідна потужність	Рівень потужності, температурні умови	Серійно не випускаються	Робочий засіб вимірювання

Оптимальність та перспективність методу визначаються [1]:

- оптимальністю моделі вимірювань;
- фізичною реалізованістю в межах відхилень, що допускаються;
- калібровочними можливостями.

Розрізняють вимірювачі поглинаємої та прохідної потужності. З точки зору експлуатації у реальних умовах перевагу мають останні, які вимірюють потужність з урахуванням реального навантаження та мінімізують похибку, пов'язану з неузгодженням лінії передавання. Якщо прилад вимірює прохідну потужність і параметри навантаження, то визначаються всі параметри, які необхідні для користування режимами джерела коливальних сигналів. Такі прилади отримали назву мультиметрів НВЧ [2].

З точки зору застосування НВЧ-сигналів у наукових дослідженнях (системи термоядерного синтезу, прискорення елементарних частинок, вивчення дії електромагнітних коливальних сигналів на матеріали тощо) особливий інтерес являють методи вимірювання параметрів сигналів та трактів НВЧ для високого рівня середньої потужності (більше 10 кВт).

При проектуванні засобів вимірювання на НВЧ при великих рівнях потужності, потрібно взяти до уваги наступні особливості:

- при вимірюванні імпульсної потужності перша особливість і обмеження – це умова близькості до пробійної міцності хвильоводу, наявність підкачування повітря, азоту, елегазу. Отже, засоби вимірювання, що вбудовуються в тракт передавання, не повинні знижувати пробивну міцність;
- у стандартних лініях передавання енергія переноситься на визначених типах хвиль (наприклад, H_{10}). З цього випливає, що конструкція вимірювального вузла не повинна змінювати хвильовий склад. Існування вищих типів хвиль призводить до істотних похибок вимірювання;
- існування побічних коливальних сигналів у спектрі генератора НВЧ [3];
- в умовах сигналів високого рівня потужності відбувається розігрів лінії передавання і вимірювальних елементів. Це необхідно враховувати при виборі методу і конструюванні засобу вимірювання;
- використання нестандартних ліній передавання (геометричні розміри), застосування яких приводить до втрати можливості використання парку вимірювальних приладів і вимірювальних елементів;
- сучасний стан експлуатації вимагає інтеграції засобів вимірювання в систему управління і контролю;
- реалізація калібрувальних можливостей з мінімізацією допоміжних елементів та пристроїв [4].

Таким чином, актуальним є завдання розробки мультиметра НВЧ прохідного типу для високого рівня потужності, з урахуванням перелічених особливостей на основі вдосконалення одного з основних методів вимірювання, які різняться принципами реалізації та потенційними похибками й розглянуті у науково-технічних джерелах [5]: пондеромоторного, направлених відгалужувачів, методу, ґрунтованого на ефекті Холла, поглинаючої стінки та багатозондового.

Пондеромоторний метод хоч і має дуже малі похибки (0,7-1,5 %), але застосування його у робочих умовах практично унеможлиблює його висока чутливість до вібрацій та низька надійність.

Метод *направлених відгалужувачів* має дуже великі похибки при проникненні у вторинний тракт хвиль вищих порядків, паразитних коливань.

Серед недоліків методу, оснований на *ефекті Холла*, потрібно виділити розігрів напівпровідника та, як наслідок, зміну параметрів датчика та збільшення похибки на високих рівнях потужності; проникнення НВЧ коливань по сигнальних провідниках, яке приводить до детектування у вхідних каскадах підсилювачів.

Метод *поглинаючої стінки* достатньо детально вивчений. Серед його недоліків, крім високої інерційності, можна виділити так звану "конструктивну апроксимацію" [6].

Для *багатозондового* метода детально відпрацьовані та доведені до відносної досконалості вимірювальні перетворювачі (вимірювач потужності, що реалізує даний метод, доведений до рівня еталонного [7]), в той час як алгоритми подальшої обробки вимірювальних сигналів глибоко не аналізувались в сенсі оптимальності [8]. Це зумовлює вдосконалення багатозондового метода шляхом розроблення бібліотеки алгоритмів та вирішуючих правил, тобто забезпечення адаптації до конкретних умов вимірювання.

Для вирішення цього завдання необхідно порівняти різні алгоритми за якимось критерієм. В якості такого критерію пропонується використовувати критерій стійкості (відношення похибки вимірювального перетворення до результуючої похибки). Поставлене завдання доцільно вирішувати із застосуванням статистичного моделювання з використанням аналітичних моделей процесу вимірювання багатозондовим методом.

За критерієм стійкості пропонується ітеративний алгоритм визначення параметрів, для якого визначені початкові умови. Отримані результати (рис. 1) дозволяють зробити висновок, що ітеративні алгоритми є найбільш прийнятні за вибраним критерієм.

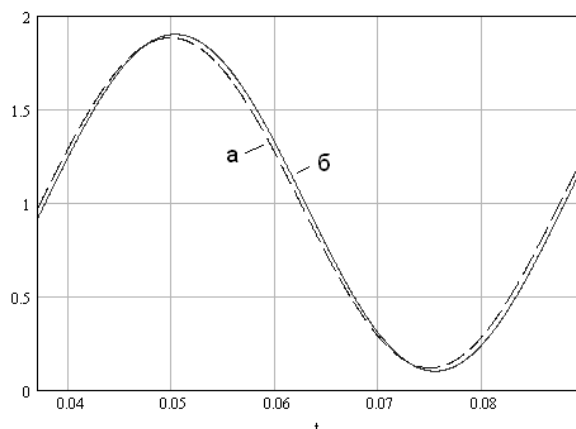


Рис. 1 Характеристика розподілу стоячої хвилі
(а – розподіл, отриманий з використанням ітеративного алгоритму;
б – реальний розподіл)

Кількість операцій виконання ітеративного алгоритму залежить від вибору початкових умов по фазі коефіцієнта відбиття.

Висновок. Результати попередніх розрахунків та тестового моделювання [9] показують перспективність багатозондового метода з точки зору вдосконалення реалізованих у ньому алгоритмів обробки вимірювальних сигналів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бондаренко И. К., Гимпилевич Ю. Б. Некоторые тенденции в развитии автоматизированных измерительных средств СВЧ-диапазона// Республ.межвед. науч.-техн. сборник. – Харьков. – 1988. – Вып. 86. – С.65-75.
2. Механников А. И., Перепелкин В. А. Микроволновый мультиметр и алгоритмы его работы// Измерительная техника. – 1994. – №3. – С.52-56.
3. Побочные колебания электровакуумных приборов СВЧ: Обзоры по электронной технике. –М.: 1970. – 180 с.
4. Чуйко В. Г. Стандартизация ваттметров СВЧ и методы их поверки// Измерительная техника. -1995. -№2. – С. 63-66.
5. Измерение мощности на СВЧ/ Билько М. И., Томашевский А. К., Шаров П. П., Баймуратов Е. А. – М.: Сов. радио, 1976. – 168 с.
6. Перепелкин В. А. Погрешность рассогласования ваттметров СВЧ проходящей мощности// Измерительная техника. – 1979. — №10. - С. 65-66.
7. Механников А. И., Перепелкин В. А. Синтез проходных приемных приемных преобразователей для многозондового радиотехнического эталона диапазона СВЧ// Измерительная техника. – 1997. – №4. – С. 56-59.
8. Перепелкин В.А., Механников А.И. Об устойчивости алгоритмов микроволновых мультиметров// Измерительная техника. – 1995. – №6, - С. 40-43.
9. Козлов Ю.В. Разработка алгоритмов измерения энергетических параметров сигналов при наличии побочных колебаний в трактах// Материалы международ. научно-техн. конф. студентов, аспирантов и ученых "Молодежь и современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2006" – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. – С. 126.

Белокурсский Юрий Павлович, старший викладач Харківського Національного університету радіоелектроніки. Галузь наукових інтересів – метрологія та вимірювальна техніка.

Козлов Юрій Валентинович, аспірант Харківського Національного університету радіоелектроніки. Галузь наукових інтересів – метрологія та вимірювальна техніка.

Козлова Ганна Миколаївна, студентка Харківського Національного університету радіоелектроніки. Галузь наукових інтересів – метрологія та вимірювальна техніка.

Руженцев Ігор Вікторович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Харківського Національного університету радіоелектроніки. Галузь наукових інтересів – метрологія та вимірювальна техніка.