

СПЕЦІАЛЬНІ РОЗРОБКИ

УДК 621.317

Я.В. Савенко,

кандидат технічних наук

Ф.М. Репа,

кандидат технічних наук, доцент

К.В. Заїчко

ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРОРАДІОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ У МІЛІМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ

У статті представлено результати дослідження функціональних та конструктивних особливостей радіометричної системи міліметрового діапазону з функцією аналізу спектральної характеристики випромінення об'єкта. Розглянуто застосування спектрорадіометричної системи для локального визначення об'єктів за їх спектральною характеристикою в міліметровому діапазоні.

Ключові слова: радіометрична система, міліметровий діапазон, локалізація об'єкта, спектральна характеристика об'єкта.

В статье представлены результаты исследования функциональных и конструктивных особенностей радиометрической системы миллиметрового диапазона с функцией анализа спектральной характеристики излучения объекта. Рассмотрено применение спектрорадиометрической системы для локального определения объектов по их спектральной характеристике в миллиметровом диапазоне.

Ключевые слова: радиометрическая система, миллиметровый диапазон, локализация объекта, спектральная характеристика объекта.

Paper presents the results of functional and structural features of millimeter wave radiometric system with the function of analyzing the spectral characteristic of the object radiation. It has been proposed the application of the spectral radiometric system for the local determination of the objects based on their spectral characteristics in the millimeter range.

Keywords: radiometric system, millimeter range, object localization, object spectral response

1. Фізичні основи спектрорадіометричної локалізації об'єктів у міліметровому діапазоні

Спектрорадіометрична система призначена для проведення вимірювання й наступного аналізу спектра випромінення об'єктів. Результатом аналізу є просторовий розподіл повної енергії об'єкта. За отриманими характеристиками об'єкта визначається його локальне положення. Система призначена для роботи в режимі реального часу й реєстрування швидких динамічних характеристик спектрів і застосовується як основна вимірювальна ланка системи локального визначення об'єктів у міліметровому діапазоні.

Сутність методу локалізації об'єкта, у якому використовується приймач, полягає в наступному. Випромінювання об'єкта, що перебуває в далекій зоні, приймається спрямованою антеною зразка рупор, рупор-лінза, відкритий кінець надрозмірного променеводу. По надрозмірному променеводу (рис. 1) або квазіоптичній лінії передачі з малими втратами випромінювання надходить на вхід приймача, за допомогою якого здійснюється аналіз спектра прийнятого випромінювання. За допомогою перемикача по тому ж тракту передається випромінювання з відомою радіаційною температурою для калібрування приймача.

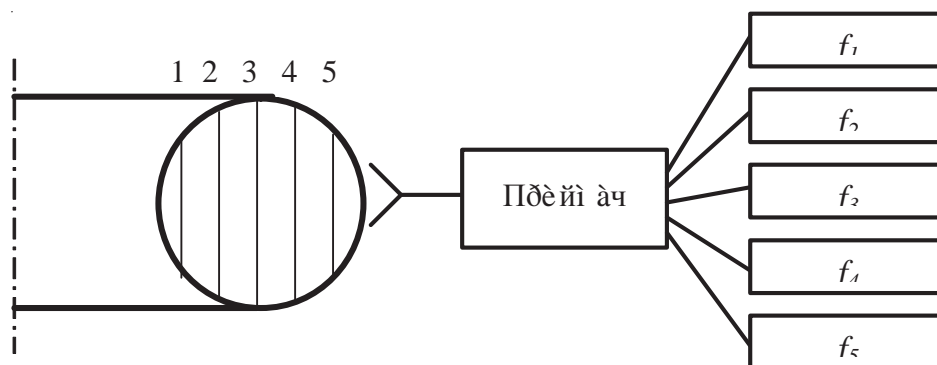


Рис. 1. Схема аналізу спектра потужності випромінювання об'єкта

У зв'язку з тим, що вартість проведення одного вимірювання дуже значна, із цих аналізаторів найбільш перспективними є ті, які забезпечують багаторазовий і досить швидкий аналіз спектра випромінювання розряду. По-перше, це Фур'є-спектрометр, супергетеродинний радіометр і скануючий поліхроматор. Водночас, оскільки профіль $T_c(r)$ зазвичай гладкий, для його визначення достатньо виміряти часові залежності радіаційної температури випромінювання одночасно на декількох частотах, що відповідають заздалегідь обраним точкам уздовж великого радіуса тора. Для ідентифікації випромінювання й визначення радіаційних втрат енергії із об'єкта необхідно провести панорамний аналіз випромінювання в широкому діапазоні частот. Це можна зробити за допомогою скануючого Фур'є-спектроскопа або набору радіометрів, які налаштовані на окремі діапазони. Градування приймача впливає на точність вимірів у цьому завданні. Здійснюється вона від антени до детектора, при цьому використовується широкоапертурний випромінювач із відомою радіаційною температурою.

Градування приймача здійснюється за потужністю випромінювання, яке накопичене в камері, де знаходиться об'єкт, і нагріте до відомої температури. Якщо зв'язок спектрометра із цим випромінювачем і об'єктом залишається незмінним, то локальну температуру можна виміряти з похибкою, що не перевищує 10 %.

Завдяки використанню цього метода й застосуванню для вимірювання супергетеродинних радіометрів, на багатьох установках було показано, що з відносних вимірів потужності випромінювання об'єкта можна визначити радіальний профіль температури з похибкою не більше 10 %, якщо використати для градування апаратури дані лазерної або рентгенівської діагностики про температуру центральної області.

Перші успішні абсолютні вимірювання профілю радіаційної температури випромінювання на частоті f_2 виконані на установці Alcator. Ці дані виявилися в

задовільній узгодженості з результатами лазерної, рентгенівської та зондової діагностики.

2. Функціональні особливості спектродіаметричної системи

Приймач побудований за супергетеродинною схемою з подвійним перетворенням частоти. Це дозволяє одержати високу чутливість, рівномірність характеристик у всьому частотному діапазоні й максимальній розв'язці між каналами. Спрощена структурна схема приймача представлена на рис. 2.

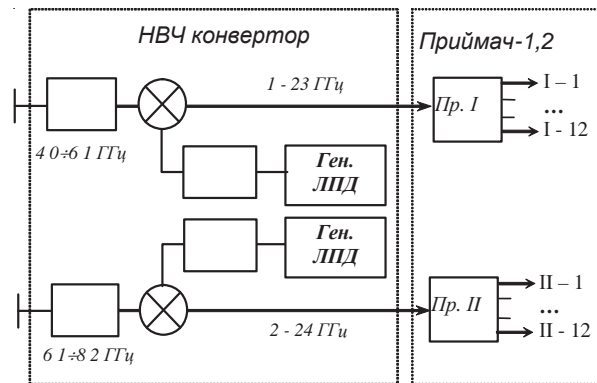


Рис. 2. Структурна схема приймача: СПФ – смугопропускні фільтри, ФВЧ – фільтр верхніх частот, БЗ – балансні змішувачі, ген. ЛПД – генератор на ЛПД-діоді, Пр. I, II – блоки 12-канальних приймачів

Такий приймач має високу стабільність характеристик. До його складу входить НВЧ-конвертор (8 мм), також приймач може комплектуватися аналогічними конверторами, що працюють в діапазоні від 8 до 2 мм. Блоки 12-канальних приймачів можуть використатися як самостійні пристрої для аналізу ВЧ шумів плазми в діапазоні 1÷24 ГГц.

Приймач за своїми технічними характеристиками відповідає сучасному рівню аналогічних західних моделей і може бути конкурентоспроможним, особливо з урахуванням його вартості стосовно аналогів.

Основними розробниками у країнах СНД й виробниками приймачів цього класу є Росія (Москва, Новосибірськ) та Україна (Київ, Харків).

На підставі проведеного аналізу відомих розробок були обрані дві моделі аналогічних приймачів: Heterodyne Radiometer For ESE Measurements (розробка інституту Max-Planck, Німеччина) і Radiometer for diagnostics ESE (Франція). До уваги бралися приймачі, які найбільш часто використовують для подібних вимірювань.

Розроблений приймач за сукупністю основних параметрів не поступається аналогам, а за модуляційною чутливістю перевищує їх. Також у ньому реалізовано ряд додаткових функцій:

- плавне регулювання коефіцієнта підсилення ППЧ;
- можливість підключення до одного конвертора двох блоків прийому для збільшення спектральної роздільності;
- електронне керування вхідним обмежником приймачів.

До складу приймача входять такі блоки:

1) комплект приймально-перетворювальних НВЧ модулів-конверторів (ППМ), кожний із яких містить у собі балансний змішувач на основі бар'єрних діодів Шоткі, гетеродин на основі діода Ганна або лавино-пролітний діод, помножувач частоти гетеродина, широкосмуговий підсилювач проміжної частоти (ПЧ) і стабілізатори напруги живлення.

2) блоки приймачів-1,2 призначені для поділу широкої смуги ПЧ, яка сформована в ППМ, на ряд різночастотних каналів з наступним детектуванням і посиленням сигналів у кожному каналі.

3) системи захисту апаратури від перевантаження сигналами, що надходять на входи ППМ і ППЧ.

Особливі умови роботи приймача – у режимі виміру для поліпшення спектральної роздільності в обмеженому діапазоні частот два блоки ППЧ можуть бути підключені до одного ППМ через узгоджений дільник потужності в діапазоні 1–24 ГГц.

Приймач встановлюється на амортизованій платформі в захисний кожух. При установці у вимірювальний комплекс до виходу кожного каналу приймача підключається система реєстрації. Реєстрація здійснюється за допомогою вбудованих у ПЕОМ (РС) багатоканальних плат аналогово-цифрових перетворювачів з тактовою частотою ~ 60 МГц і оперативною пам'яттю 256 Мб.

Весь приймач виконаний у трьох корпусах: в одному розташований НВЧ конвертор, у двох інших приймачі: 1 та 2. Інформація з конструкції НВЧ конвертора є закритою. Конструктивно приймач-1 не відрізняється від приймача-2, відмінність полягає в різних частотах приймання каналів і, відповідно, параметрів розгалужувача. Розглянемо конструкцію приймача-1.

Приймач виконаний за блочно-модульним принципом. Така побудова забезпечує легкий доступ до кожного каналу приймача при його налаштуванні і є оптимальною за електромагнітною сумісністю між каналами усередині приймача (як показав досвід конструювання аналогічного приладу, тільки при такій побудові виходить найбільша розв'язка між каналами приймання). У приймачі паралельно до бічних стінок у вертикальному положенні встановлені 12 блоків каналів прийому й один блок широкосмугового малошумного підсилювача МШП.

Кожний функціонально закінчений вузол приймача збирається в окремому закритому корпусі. Це потрібно для того, щоб уникнути наведень при роботі приймача (приймач працює в складних електромагнітних умовах). Також така побудова дозволяє досягти максимальної (розрахункової) чутливості приймача. Всі сигнальні з'єднання усередині приймача здійснюються твердим коаксіалом, радіус скривлення якого не менше 2 см.

Кожний канал прийому збирається на власній базі, яка являє собою пластину, де у трьох точках встановлені кріпильні елементи, два з них також є напрямними при установці й зніманні блоку. Загальний вигляд типового каналу прийому наведений на рис. 3.

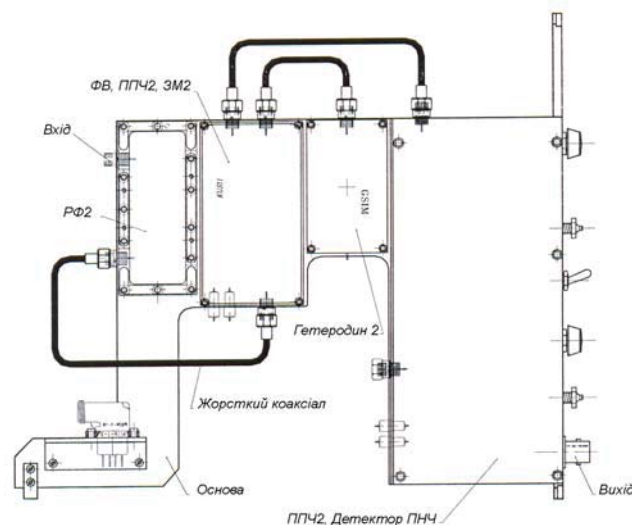


Рис. 3. Загальний вигляд типового каналу прийому

На базі модуля каналу змонтовано всі блоки каналу приймання, починаючи із режекторного фільтра РФ і закінчуючи вихідним підсилювачем низької частоти ПНЧ. Ширококутовий МШП розташований у першому відсіку, на окремій основі. На цій же основі розташовані обмежувач і вхід приймача.

Висновки

Дослідження спектрорадіометричної системи міліметрового діапазону на основі класичних методів вимірювання потужностей НЗВЧ та на основі чутливих методів вимірювання потужності НЗВЧ дозволило обґрунтувати вимоги до інформаційних систем локалізації об'єктів у міліметровому діапазоні.

Розроблений приймач застосовується в системах локалізації об'єктів на основі реєстрації та спектрального аналізу випромінювання об'єктів. Якщо в цьому приймачі збільшити постійний час інтегрування, після детектора, він може застосовуватися для вирішення ряду інших завдань, таких як визначення якісного та кількісного складу речовин, що входять до складу об'єкта локалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яковенко В.М. Твердотельная электроника миллиметровых и субмиллиметровых волн / В.М. Яковенко. – Х. : ИРЭ, 1988. – 173 с.
2. Измерения на миллиметровых и субмиллиметровых волнах : Методы и техника / Р.А. Валитов, С.Ф. Дюбко, Б.И. Макаренко и др. ; под ред. Р.А. Валитова, Б.И. Макаренко. – М. : Радио и связь, 1984. – 296 с.
3. Многолучевые системы пассивного радиовидения миллиметрового диапазона / Ю.А. Пирогов, В.В. Гладун, В.С. Иванов, Д.А. Тищенко, Е.Н. Терентьев. – М. : Издательство физического факультета МГУ, 1999.
4. Козлова А.И. Физические поля биологических объектов / А.И. Козлова // Вестник Академии Наук СССР. – 1983. – № 8.

Отримано 09.04.2013