

УДК 621.317

КОРЕЛОМЕТРИ В ОЦІНЦІ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ

Яненко О.П., Ваганов О.А., Скрипник Ю.О.

Наведено аналіз існуючих кореляційних радіометрів (корелометрів) та представлено новий двоантенний одноканальний корелометр, який дозволяє виявляти глибину статистичного зв'язку між двома випадковими сигналами з підвищеною точністю та чутливістю.

Вступ. Постановка задачі

В техніці часто постає задача визначення кореляційного взаємозв'язку між двома випадковими сигналами від одного джерела випромінювання та оцінки статистичного зв'язку між електромагнітними полями двох незалежних джерел випромінювання. В обох випадках для розв'язання поставленої задачі використовують одно- та двоканальні корелометри з двома приймальними антенами, рознесеними на певну відстань. Існуючий двоканальний корелометр [1] має суттєві недоліки: неможливість створити два ідентичні вимірювальні канали (з однаковими коефіцієнтами підсилення та смугами пропускання), виникнення паразитного зв'язку між вимірювальними каналами, зміщення нуля перемножувача напруг тощо. Одноканальний корелометр [2] також має недоліки: разом із корисним сигналом у вимірювальний тракт потрапляють шумові завади від окремих елементів пристрою, приймальних антен тощо. До того ж, він має вузьку смугу частот. І хоча такий варіант корелометра має суттєву перевагу у порівнянні з двоканальним, а саме – повністю виключено вплив на результат вимірювання не ідентичності каналів (оскільки ця схема - одноканальна), проте все рівно не забезпечує отримання результатів вимірювання з підвищеною точністю та чутливістю.

Актуальним є підвищення точності і чутливості вимірювання потужності корельованих електромагнітних випромінювань, які приймаються рознесеними антенами, що забезпечить надійне виявлення джерела радіовипромінювання на фоні завад або достовірну оцінку глибини статистичного зв'язку між двома шумовими джерелами випромінювання.

Опис технічного рішення

Одним із перспективних варіантів побудови корелометрів є двоантенний одноканальний корелометр (ДОК) [3], в якому відбувається періодична комутація одного з входів; при цьому другий вхід корелометра залишається постійно підключеним до вимірювального тракту. На рис.1 представлена схема ДОК, що складається з приймаль-

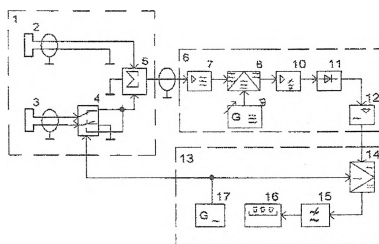


Рис. 1

ного високочастотного блоку 1, блоку проміжної частоти 6 та низькочастотного блоку 13. Приймальний високочастотний блок 1 містить дві симетричні спрямовані на досліджуваний об'єкт антени 2 і 3, двополосний НВЧ-перемикач 4 та НВЧ-суматор 5. Блок проміжної частоти 6 складається з НВЧ-підсилювача 7, змішувача частоти 8, переналаджуваного по частоті гетеродина 9, вузькосмугового підсилювача 10 проміжної частоти, квадратичного детектора 11 та підсилювача 12 низької частоти. Низькочастотний блок 13 містить синхронний детектор 14, фільтр 15 нижніх частот, цифровий вольтметр 16 та генератор 17 низької частоти.

В НВЧ-діапазоні розподіл енергії в спектрі випромінювання визначається законом Релея - Джинса

$$U_v = \beta \frac{\pi v^2}{c^2} KT \quad (1)$$

де U_v - щільність випромінювання на частоті v ; β - коефіцієнт випромінюючої здатності (сірості); c - швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі у вакуумі; K - стала Больцмана; T - термодинамічна температура тіла.

Шумові сигнали, прийняті антенами 2 і 3 (адитивна суміш вузькосмугового шумового сигналу та широкосмугової шумової завади) подають на входи суматора 5. При цьому напруга антени 2 надходить безпосередньо на один із входів суматора 5, на другий вхід якого надходить напруга від антени 3 через перемикач 4.

Якщо напругу шумового сигналу $U_K(t)$ і напругу шумової завади $U_{HK}(t)$ представити в комплексному вигляді $(\dot{U}_K, \dot{U}_{HK})$, то на один із входів суматора 5 впливає сума комплексних напруг

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{K1} + \dot{U}_{HK1} + \dot{U}_{Ш1} \quad (2)$$

де $\dot{U}_{Ш1}$ - власні шуми антени 2.

На інший вхід суматора 5 по черзі, через перемикач 4, надходять різнополярні комплексні напруги з антени 3

$$\dot{U}_2' = \dot{U}_{K2} + \dot{U}_{HK2} + \dot{U}_{Ш2} \quad (3)$$

$$\dot{U}_2'' = -\dot{U}_{K2} - \dot{U}_{HK2} - \dot{U}_{Ш2} \quad (4)$$

де $\dot{U}_{Ш2}$ - власні шуми другої симетричної антени 2.

При верхньому положенні перемикача 3 на виході суматора 4 формується "різницева" напруга

$$\dot{U}_3' = K_1 \cdot (\dot{U}_1 + \dot{U}_2' + \dot{U}_2'') = K_1 \cdot (\dot{U}_{K1} + \dot{U}_{HK1} + \dot{U}_{Ш1} - \dot{U}_{K2} - \dot{U}_{HK2} - \dot{U}_{Ш2} + \dot{U}_2'') \quad (5)$$

де \dot{U}_2'' , K_1 напруга власних шумів та коефіцієнт передачі суматора 5.

У нижньому положенні перемикача 4 на виході суматора 5 формується "сумарна" напруга

$$\dot{U}_3 = K_1 \cdot (\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_\Pi) = K_1 \cdot (\dot{U}_{K1} + \dot{U}_{HK1} + \dot{U}_{\Pi1} + \dot{U}_{K2} + \dot{U}_{HK2} + \dot{U}_{\Pi2} + \dot{U}_\Pi). \quad (6)$$

Автоматичний режим перемикача 4 забезпечується генератором 17. Завдяки цьому на виході суматора 5 формується неперервна напруга, що складається з "пакетів напруг" (5) і (6), які "йдуть" із низькою частотою перемикачів. Оскільки "сумарна" напруга не дорівнює "різницевій", то безперервна "пакетна напруга" являє собою модульовану по амплітуді напругу з коефіцієнтом модуляції

$$m = \frac{\dot{U}_3 - \dot{U}_3'}{\dot{U}_3 + \dot{U}_3'} = \frac{\dot{U}_{K2} + \dot{U}_{HK2} + \dot{U}_{\Pi2}}{\dot{U}_{K1} + \dot{U}_{HK1} + \dot{U}_{\Pi1} + \dot{U}_\Pi}. \quad (7)$$

Модульована шумова напруга надходить в блок проміжної частоти 6, підсилюється підсилювачем 7 й змішується в змішувачі частоти 8 з гармонійною напругою гетеродина 9, частота якого регулюється в діапазоні смуг спектра шумової напруги, що аналізуються. Підсилена в смузі частот підсилювача 10 шумова модульована напруга надходить до детектора 11. В результаті квадратування миттєвих значень "пакетів шумової напруги" і їхнього усереднення фільтром детектора, формується тимчасова послідовність відеоімпульсів з амплітудами

$$U_4' = K_2^2 S_1^2 S_2 K_3^2 (\dot{U}_3')^2 U_5^2, \quad (8)$$

$$U_4'' = K_2^2 S_1^2 S_2 K_3^2 (\dot{U}_3'')^2 U_5^2, \quad (9)$$

де K_2 - коефіцієнт підсилення підсилювача 7; S_1 - крутизна перетворення змішувача частоти 8; S_2 - крутизна перетворення квадратичного детектора 11; K_3 - коефіцієнт підсилення підсилювача 10; U_5 - напруга гетеродина 9.

При піднесенні до квадрату напруг \dot{U}_3' й \dot{U}_3'' , які являють собою алгебраїчну суму комплексних напруг (5) і (6), варто врахувати наступне. Шумові завади за своїми статистичними властивостями між собою є не корельованими. Отже, їхній усереднений добуток дорівнює нулю

$$\overline{U_{HK1} \cdot U_{HK2}} = 0. \quad (10)$$

Також не корельовані між собою шумові сигнали із шумовими завадами, оскільки вони є об'єктами різної статистичної природи, а тому

$$\overline{U_{HK} \cdot U_K} = 0. \quad (11)$$

Корельовані між собою тільки шумові сигнали, що приймаються двома симетричними антенами 2 і 3, причому ступінь кореляції визначається ко-

ефіцієнтом взаємної кореляції. Виходячи з цих міркувань, амплітуди відеоімпульсів (8) і (9) з урахуванням (5) і (6) матимуть вигляд

$$U_4' = K_1^2 K_2^2 K_3^2 S_1^2 S_2^2 U_5^2 \cdot \left(\overline{U_{HK1}}^2 + \overline{U_{HK2}}^2 + \overline{U_{K1}}^2 + \overline{U_{K2}}^2 + \overline{U_{ш1}}^2 + \overline{U_{ш2}}^2 + \overline{U_{п}}^2 - 2 \cdot \rho \overline{U_{K1}} \cdot \overline{U_{K2}} \right), \quad (12)$$

$$U_4'' = K_1^2 K_2^2 K_3^2 S_1^2 S_2^2 U_5^2 \cdot \left(\overline{U_{HK1}}^2 + \overline{U_{HK2}}^2 + \overline{U_{K1}}^2 + \overline{U_{K2}}^2 + \overline{U_{ш1}}^2 + \overline{U_{ш2}}^2 + \overline{U_{п}}^2 + 2 \cdot \rho \overline{U_{K1}} \cdot \overline{U_{K2}} \right), \quad (13)$$

де ρ - коефіцієнт взаємної кореляції шумових сигналів на частоті гетеродина 9; $\overline{U_{HK1}}^2, \overline{U_{HK2}}^2$ - дисперсії шумових завад у смузі проміжних частот $\Delta\omega_{п}$; $\overline{U_{K1}}^2, \overline{U_{K2}}^2$ - дисперсії шумових сигналів у тій же смузі частот; $\overline{U_{K1}}, \overline{U_{K2}}$ - середньоквадратичні напруги шумових сигналів.

Підсилювачем 12 з часової послідовності відеоімпульсів (12) і (13) виділяється й підсилюється напруга низькочастотної огинаючої

$$U_5 = K_4 \cdot \frac{U_4'' - U_4'}{2} \cdot \text{sign} \sin 2\pi Ft + U(t), \quad (14)$$

де K_4 - коефіцієнт підсилення підсилювача 12; F - частота генератора 17; $\text{sign} \sin 2\pi Ft$ - прямокутна обвідна відеоімпульсів; $U(t)$ - шуми детектора 11 та промислові перешкоди.

Низькочастотна напруга (14) випрямляється синхронним детектором 14, що управляється разом з перемикачем 4 тим самим генератором 17. Випрямлена напруга через фільтр 15, у якому придушуються шуми детектора 11 і промислові перешкоди, реєструється вольтметром 16. Випрямлена напруга з урахуванням (12) і (13)

$$U_6 = 2K_1^2 K_2^2 K_3^2 K_4 K_5 S_1^2 S_2^2 S_3 U_5^2 \rho \cdot \overline{U_{K1}} \cdot \overline{U_{K2}}, \quad (15)$$

де S_3 - крутизна перетворення детектора; K_5 - коефіцієнт передачі фільтра.

Перестроюючи частоту гетеродина 9, реєструють вихідну напругу, що пропорційна корельованій частині шумових сигналів у смузі частот (задається гетеродином 9). Результат частотного аналізу можна надати як

$$U_7 = K \cdot \rho(\omega) \cdot \overline{U_{K1}} \cdot \overline{U_{K2}}, \quad (16)$$

де $K = 2K_1^2 K_2^2 K_3^2 K_4 K_5 S_1^2 S_2^2 S_3 U_5^2$ - результуючий коефіцієнт перетворення; $\rho(\omega)$ - коефіцієнт взаємної кореляції шумових сигналів на частоті налагодження блоку проміжної частоти 6.

Отже, за результатами вимірювань (16) можна одержати інформацію про ступінь кореляції шумових сигналів на різних ділянках частотної характеристики досліджуваного об'єкта. При цьому результат вимірювання буде позбавлений шумових завад.

Висновки

Двоантенний одноканальний корелометр дозволяє позбавити результат вимірювання від власних шумів двох симетричних антен, виключає вплив від не ідентичності каналів, а також дозволяє одержати інформацію про

ступінь кореляції сигналів, що приймаються, на різних ділянках частотної характеристики досліджуваного об'єкта. Завдяки періодичній зміні полярності одного з сигналів, що приймаються, забезпечується визначення кореляційного взаємозв'язку з підвищеною точністю та чутливістю. Окрім того розширено частотний діапазон вимірювань шляхом використання широко-смугових елементів і ланок, а також одноканального гетеродинного перетворення частот двох НВЧ-сигналів.

Пристрій може бути використаний для визначення кореляційного зв'язку між випромінюваннями точок енергетичних меридіанів людини, що дасть змогу діагностувати низку складних захворювань і визначати дозування електромагнітного опромінення під час лікування хворих методами міліметрової резонансної терапії.

Перспективою подальшого розвитку є можливість за цим способом глибше вивчати структуру електромагнітного каркаса живих організмів, одержувати нову інформацію щодо характеру когерентного випромінювання біологічних об'єктів.

Література

- 1 Скрипник Ю.О., Манойлов В.П., Яненко О.П. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ-діапазону: Навч. посібник. – Житомир: ЖІТІ, 2001. -- 374 с.
- 2 Головка Д.Б., Скрипник Ю.О., Яненко О.П. Надвисокочастотні методи та засоби вимірювання фізичних величин.: Навч. посібник. – К: Либіль, 2003. – 328 с.
- 3 Ваганов О.А., Скрипник Ю.О., Яненко О.П. Побудова кореляційного радіометра для оцінки впливу текстальних матеріалів на організм людини. Матеріали VI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів в зб. «Наукові розробки молоді на сучасному етапі». – Київ: КНУТД, т. II, 2007. – С.20

Ключові слова: корелометр, радіометрія, кореляційний радіометр	
Яненко А.Ф., Ваганов А.А., Скрипник Ю.А.	Yanenko O.P., Vaganov O.A., Skripnik J.O.
Коррелометры в оценке свойств материалов	Correlometers are in estimation of properties of materials
Приведен анализ существующих корреляционных коррелометров и представлен новый коррелометр, который позволяет обнаруживать глубину статистической связи между двумя случайными сигналами с повышенной точностью и чувствительностью.	An analysis of existent correlation correlometers is resulted and a new correlometer which allows to find out the depth of statistical connection between two casual signals with enhanceable exactness and sensitiveness is presented.