УДК 621.317.616

О.Б. Шарпан, к.т.н., доц.
Національний технічний університет України „КПІ”

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНИХ І ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТЯЖНИХ НЕВЗАЄМНИХ ОБ'ЄКТІВ МОДИФІКОВАНИМ МЕТОДОМ СПЕКТРОМЕТРІЇ

Для прямого вимірювання параметрів фазочастотних характеристик протяжних невзаємних об'єктів, частотних спотворень і часу поширення сигналу в них запропонований модифікований метод спектрометрії. Метод заснований на порівнянні параметрів спектрів вимірювального і копії зондувального сигналів. Розглянуто похибки методу і варіанти його реалізації.

Проблеми вимірювання параметрів частотних і часових характеристик протяжних невзаємних об'єктів. Аналіз публікацій і невирішених завдань. Для оцінки частотних спотворень і часу проходження сигналів у трактах передачі широко використовуються методи на основі визначення параметрів амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик (АЧХ і ФЧХ) [1], [2]. При дослідженні АЧХ і ФЧХ протяжних взаємних об’єктів з рознесеними входом і виходом використовується режим вимірювань, при якому вимірювальний сигнал проходить через досліджуваний об’єкт двічі у прямому і зворотному напрямках і фактично вимірювання виконується в одному пункті [3], [4]. Проблема виникає при дослідженні параметрів протяжних невзаємних об’єктів, вхід і вихід яких неможливо звести в один пункт. Оцінка фазових спотворень сигналів в цьому випадку здійснюється за груповим часом запізнення (ГЧЗ) [5]. Проте в багатьох випадках параметри ФЧХ необхідно визначати прямо. Наприклад при нормуванні фазових спотворень широкосмугових сигналів в каналах зв’язку через ГЧЗ необхідно обумовлювати не лише величину нелінійності ГЧЗ, але й закон його коливальності в діапазоні частот. Принципово можливо одержати нелінійність ФЧХ шляхом інтегрування частотної залежності ГЧЗ [6]. У цьому випадку виникають методичні похибки, величини яких можуть перевищувати допустимі, і тоді одержана характеристика стає неприйнятною для використання [7]. Проте головним є те, що на основі інтегрування частотної залежності нерівномірності ГЧЗ неможливо одержати повну ФЧХ з урахуванням її нелінійності і повного прирощення лінійної складової у смузі частот. Це не дозволяє визначити величину часу поширення сигналу в каналі. Тому актуальним є завдання розробки методів прямого вимірювання параметрів повної ФЧХ протяжних невзаємних об’єктів і часу проходження сигналу в них.

Цілі статті: розроблення основ прямого швидкого вимірювання параметрів АЧХ і ФЧХ протяжних невзаємних об'єктів і часу поширення в них сигналів; аналіз особливостей, варіантів реалізації і точності модифікованого методу спектрометрії, запропонованого для вирішення поставлених завдань.

Пряме вимірювання параметрів АЧХ і ФЧХ протяжних невзаємних об’єктів методом спектрометрії вимірювального і копії тестового сигналів. Для забезпечення прямого вимірювання параметрів ФЧХ просторових невзаємних об’єктів було запропоновано модифікований метод [8], суть якого полягає у порівнянні параметрів вихідного вимірювального сигналу досліджуваного об'єкта (ДО) з параметрами копії вхідного тестового сигналу. Для цього на виході ДО, де виконуються вимірювання, формується опорний сигнал порівняння, спектральні характеристики якого ідентичні спектральним характеристиками тестового сигналу. Причому для визначення параметрів повної ФЧХ також необхідно забезпечувати часову (фазову) синхронізацію цих сигналів. Схема вимірювань на основі спектрометрії вимірювального і копії тестового сигналів наведена на рис. 1.

Спектральні функції вхідного тестового сигналу $S_T(t)$ формувача 1, вихідного вимірювального сигналу $S_в(t-\tau)$ і копії тестового сигналу $S_{КТ}(t)$ формувача 3 відповідно становлять:

$$S_T(j\omega) = F_T[S_T(t)];$$
$$S_в(j\omega) = F_в[S_в(t-\tau)];$$
$$S_{КТ}(j\omega) = F_{КТ}[S_{КТ}(t)],$$

де τ – час поширення сигналу в ДО, а функціонал $F_i[S_i(t)]$ означає функцію спектрального перетворення і-го сигналу.

© О.Б. Шарпан, 2005

При синхронізації формувачів сигналів 1 і 3, що забезпечується системою часової (фазової) синхронізації 7, виконується умова $S_T(j\omega) = S_{КТ}(j\omega)$. Тоді частотна залежність комплексного коефіцієнта передачі ДО визначається як

$$K_{ДО}(j\omega) = S_в(j\omega)/S_{КТ}(j\omega) \rightarrow \{K_{ДО}(\omega);\ \Psi_{ДО}(\omega)\}. \qquad (1)$$

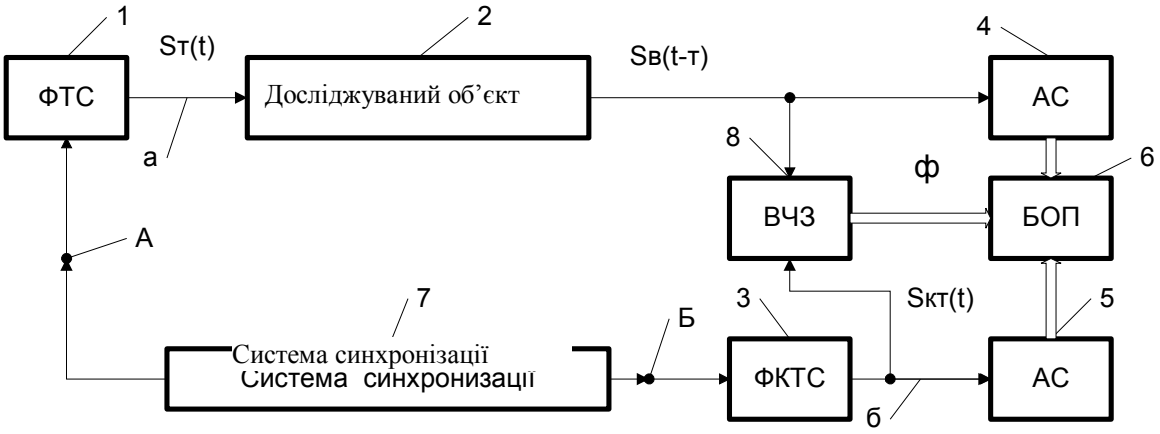


Рис. 1. Схема вимірювань параметрів ДО відносно часових і спектральних параметрів копії тестового сигналу:
1 – формувач тестового сигналу, 2 – досліджуваний об'єкт, 3 – формувач копії тестового сигналу, 4, 5 – аналізатори спектрів, 6 – блок обчислення параметрів, 7 – система часової (фазової) синхронізації тестового і копії тестового сигналів, 8 – вимірювач часу запізнення

Одержання АЧХ $K_{ДО}(\omega)$ зводиться до обчислення співвідношення

$$K_{ДО}(\omega) = S_в(\omega)/S_{КТ}(\omega) = A_в(\omega)/A_{КТ}(\omega), \quad (2)$$

а ФЧХ $\Psi_{ДО}(\omega)$ визначається як

$$\Psi_{ДО}(\omega) = \arg[S_в(j\omega)] - \arg[S_{КТ}(j\omega)] - \omega\tau = -\omega\tau + \psi_{нв}(\omega) - \psi_{нКТ}(\omega). \quad (3)$$

В (2) і (3) маємо частотні залежності таких параметрів: обвідних амплітудних спектрів вихідного сигналу ДО $A_в(\omega)$ і копії тестового сигналу $A_{КТ}(\omega)$; лінійної частини ФЧХ $\omega\tau$, де час поширення сигналу τ дорівнює тангенсу кута нахилу лінійної частини ФЧХ до осі частот; нелінійної частини ФЧХ $\psi_{нв}(\omega) - \psi_{нКТ}(\omega)$; нелінійності фазового спектра вихідного сигналу ДО $\psi_{нв}(\omega)$; нелінійності фазового спектра сигналу формувача 3 $\psi_{нКТ}(\omega)$.

Обчислення спектральних функцій $S_в(j\omega)$ і $S_{КТ}(j\omega)$ забезпечується аналізаторами спектра 4 і 5. Їх вихідні сигнали подаються на входи блока обчислення параметрів (БОП) 6, в якому реалізується визначення параметрів АЧХ і ФЧХ відповідно з виразами (2) і (3).

При спектрометрії на основі суцільних спектрів, для обчислення лінійної частини ФЧХ $\omega\tau$ необхідно також визначати затримку τ вихідного сигналу $S_в(t-\tau)$ ДО відносно сигналу $S_{КТ}(j\omega)$ формувача 3; вона вимірюється блоком 8. У такому режимі час проходження сигналу в ДО вимірюється прямо без застосування параметрів ФЧХ.

Якщо використовуються вимірювальні сигнали з дискретними спектрами, визначення шуканих параметрів можна виконувати за допомогою селективних вимірювачів амплітуд і фаз [8]. При цьому не потрібний додатковий вимірювач часу 8, тому що АЧХ і повна ФЧХ визначаються за гармоніками сигналів, що попадають у смугу пропускання ДО. У такому варіанті вимірювань час проходження сигналу визначається опосередковано через величину тангенса кута нахилу лінійної частини повної ФЧХ до осі частот (далі – нахилу ФЧХ).

Похибки методу. Методичні похибки цього варіанту вимірювань обумовлюються неідентичністю амплітудних і фазових спектрів тестового і копії тестового сигналів, похибками їх синхронізації та похибками вимірювання часу запізнення сигналу і нелінійності ФЧХ внаслідок фазових спотворень вимірювального сигналу в ДО. Вони визначаються як

$$\Delta K_{ДО}(\omega)/K_{ДО}(\omega) = \Delta A_{ТКТ}(\omega)/A_{КТ}(\omega), \quad (4)$$

$$\Delta\Psi_{ДО}(\omega) = \Delta\psi_{н(ТКТ)} + (\Delta\tau_ф)\omega + (\Delta\tau_Т)\omega = \Delta\Psi_н(\omega) + \Delta\Psi_{л1}(\omega) + \Delta\Psi_{л2}(\omega), \quad (5)$$

де: $\Delta A_{ТКТ}(\omega) = A_Т(\omega) - A_{КТ}(\omega)$ – неідентичність обвідних амплітудних спектрів;

$\Delta\Psi_н(\omega) = \Delta\psi_{н(ТКТ)}(\omega)$ – похибка визначення нелінійної частини ФЧХ, що викликана неідентичністю фазових спектрів сигналів $S_Т(t)$ і $S_{КТ}(t)$;

$\Delta\Psi_{л1}(\omega) = (\Delta\tau_ф)\omega$ – похибка визначення параметрів ФЧХ, що викликана похибкою $(\Delta\tau_ф)$ синхронізації сигналів $S_Т(t)$ і $S_{КТ}(t)$;

$\Delta\Psi_{л2}(\omega) = (\Delta\tau_Т)\omega$ – похибка визначення параметрів ФЧХ і часу проходження сигналу через частотні спотворення вимірювального сигналу в ДО.

Похибки через неідентичність спектрів сигналів. В таблиці наведені узагальнені результати досліджень автора щодо спектральних характеристик формувачів коротких імпульсів на тунельних діодах і лавинних транзисторах. Ці дані одержані для випадку запуску формувачів гармонічним вхідним сигналом з амплітудою 1 В і частотою 200 кГц.

Із таблиці видно, що кращі характеристики за всіма показниками мають формувачі IV типу, що виконані за схемою послідовного з'єднання двостабільного тригера на трьох паралельно з'єднаних тунельних діодах і одновібратора на транзисторі в лавинному режимі роботи. При використанні більш швидкісних формувачів, наприклад на діодах з накопиченням заряду, ці параметри будуть кращими. Тобто досягнута похибка вимірювань нерівномірності АЧХ і нелінійності ФЧХ становить відповідно долі дБ і долі-одиниці градусів. Це цілком задовільно для більшості застосувань [8].

Похибка через неточність синхронізації генераторів. Наші дослідження показують, що потенційно досяжна точність синхронізації сигналів у просторово рознесених пунктах за фазою синхросигналу становить 1–1,5^o і обмежується, головним чином, похибками внаслідок неузгодженості елементів цієї системи [10]. Враховуючи це, а також наявну неідентичність і взаємну нестабільність порогів запуску формувачів сигналів, з точки зору забезпечення потрібної точності визначення параметрів ФЧХ (величини $\Delta\Psi_{л1}(\omega)$) необхідно використовувати режими синхронізації з контролем синхронізму за вихідними сигналам формувачів тестового і копії тестового сигналів (між точками а і б на схемі рис. 1). При цьому вибір контрольних частот системи фазування 7 здійснюється за рекомендаціями роботи [11], виходячи із потрібної точності вимірювань нахилу ФЧХ і однозначності фазування сигналів в усьому частотному діапазоні.

Похибка через частотні спотворення. Складова $\Delta\Psi_{л2}(\omega)$ викликана впливом частотних спотворень вихідного сигналу через нерівномірність АЧХ і нелінійність ФЧХ ДО. Внаслідок спотворень форми вихідного сигналу і копії тестового сигналів відрізняються. Момент появи "центру тяжіння" вихідного сигналу, а саме відносно нього слід визначати час проходження сигналу в ДО [1], [2], не співпадає з моментом закінчення вимірювань часу пристроєм 8. Пояснюється це тим, що не можна узгодити відповідність порогу спрацювання формувача завершення вимірювань ВЧЗ з моментом часу, що відповідає центру тяжіння імпульсу. Навіть у тому випадку, якщо гіпотетично можна було б забезпечити первісно таку збіжність, з часом вона порушується внаслідок динамічних змін характеристик ДО і нестабільності порогу запуску ВЧЗ 6. Тому похибка $\Delta\tau_Т$ визначення величини τ завжди існує. Це обмежує точність розглянутого варіанту вимірювань.

Таблиця

Основні параметри спектральних характеристик сигналів генераторів гармонік на тунельних діодах і лавинних транзисторах

Характеристики	Тип формувача імпульсів генератора гармонік*			
	I	II	III	IY
Амплітуда гармонік на навантаженні 75 Ом, мВ	0.5 (k ≤200)			3÷7
Нерівномірність амплітудного спектра, дБ	± 3 ±1.5÷2 k = 100 ±20		± 3	± 0.8 k = 1÷200
Максимальна неідентичність нелінійних частин фазових спектрів у діапазоні частот f = f_o ±5 Мгц	± 12	± 5	± 4 $f_o \geq$ 13 МГц	± 0.5 $f_o \geq$ 7 МГц
(f_o – центральна частота), градусів	± 23	± (10÷12) $f_o \leq$ 8 МГц		± 2 $f_o \leq$ 2 МГц

Нестабільність фазового спектра, що приведена до першої гармоніки	амплітудна, градусів/В	20	0.1
	режимна, градусів/В	5	0.1
	температурна, градуси/^{o}С	0.03	0.025
Взаємна нестабільність фазових спектрів, що викликана старінням тунельних діодів, (за 8 годин), градусів		±(2.5÷4)	±(1 ÷ 2)
Флуктуаційна нестабільність взаємного часового положення імпульсів пари генераторів, нс		±(2.5÷3.5)	±0.05

*Тип формувача
I – двостабільний тригер на одному тунельному діоді;
II – двостабільний тригер на трьох тунельних діодах;
III – послідовно включені двостабільний і одностабільний тригери на трьох тунельних діодах;
IV– послідовно включені двостабільний тригер на трьох тунельних діодах і одновібратор на транзисторі у лавинному режимі роботи.

Пряме вимірювання нелінійності ФЧХ і часу проходження сигналу в ДО на основі використання двох опорних сигналів. Для підвищення точності й забезпечення можливості одночасного роздільного вимірювання нелінійності ФЧХ і часу проходження сигналу запропоновано інші варіанти реалізації цього методу, які базуються на використанні двох джерел копії тестового сигналу [12]–[14]. Узагальнена схема побудови вимірювальної системи надана на рис. 2.

В даному випадку вимірювання здійснюються відносно двох опорних сигналів, які є копією тестового зондувального сигналу. Один сигнал (на виході формувача 3) синхронізується з зондувальним сигналом формувача 1, що, як і в попередньому випадку, забезпечується за допомогою системи синхронізації 7. Другий опорний сигнал на виході формувача 10 співпадає у часі з моментом "центру тяжіння" вихідного вимірювального сигналу ДО. Це забезпечує блок затримки 9, який керується сигналом з виходу блоку обчислення параметрів 6. У даному випадку блок 6 забезпечує визначення нелінійності ФЧХ.

У початковому стані, при синхронному режимі роботи аналізаторів спектра 4 і 5, БОП 6 визначає нелінійність ФЧХ з деяким лінійним частотним трендом $(\Delta\tau_T)\omega$, що обумовлений неспівпадінням центрів тяжіння сигналів $S_в(t-\tau)$ і $S_{КТ}(t-\tau)$. Маємо:

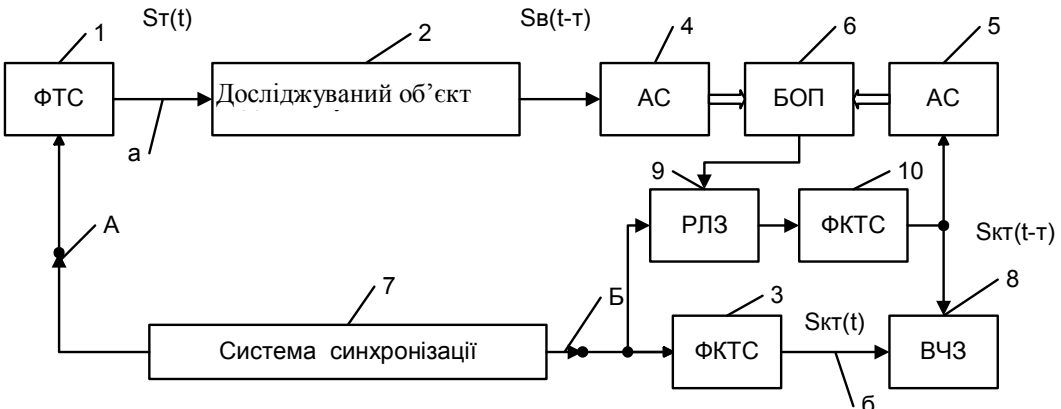
$$\Psi_{БОП}(\omega) = (\Delta\tau_T)\omega + \Psi_{нДО}(\omega), \qquad (6)$$

де $\Psi_{нДО}(\omega)$ частотна залежність нелінійності ФЧХ ДО, яка визначається за обраним критерієм мінімуму середнього квадратичного або середнього арифметичного відхилення.

Блок 6 формує сигнал керування, який подається у блок затримки 9. Під впливом цього сигналу величина τ_9 затримки сигналу запуску формувача 10 буде змінюватись до тих пір, поки не забезпечиться умова мінімуму виразу $\Psi\psi_{БОП}(\omega)$. Маємо залежність

$$\min\left[\Psi_{БОП}(\omega)\right] = \left[(\Delta\tau_T - \tau_9)\omega + \Psi_{нДО}(\omega)\right] \to \Psi_{нДО}(\omega) \; при \tau_9 \to \Delta\tau_T .$$
$$t \to \infty$$

Після завершення перехідних процесів величина затримки сигналу в РЛЗ 9 дорівнює величині часу проходження вимірювального сигналу у ДО, тобто виконується умова $\tau_9 = \tau$. Таким чином цей час може бути визначений або за величиною затримки τ_9 у блоці 9 (якщо її зручно визначити), або за допомогою вимірювача часових інтервалів 8.



Система синхронізації

Рис. 2. Схема вимірювань параметрів ДО відносно часових і спектральних параметрів двох опорних сигналів:
1 – формувач тестового сигналу, 2 – досліджуваний об'єкт, 3, 10 – формувачі копії тестового сигналу, 4, 5 – аналізатори спектрів, 6 – блок обчислення параметрів, 7 – система часової (фазової) синхронізації і копії тестового сигналів, 8 – вимірювач часу запізнення, 9 – регульована лінія затримки

Якщо запуск формувачів сигналів здійснюється гармонічними сигналами, блок затримки 9 є фазообертачем, що працює на фіксований частоті. Це спрощує засоби вимірювань і режим їх роботи.

Окрім підвищення точності, перевагами режиму роботи з двома опорними генераторами є те, що забезпечується роздільне комплексне вимірювання нелінійності ФЧХ і часу поширення сигналу в ДО. В цьому режимі зручно виконувати налагодження роботи каналів зв'язку і спостерігати за еволюціями частотних характеристик (при розімкненому контурі зворотного зв'язку системи регуляції затримки).

Інший варіант оброблення результатів вимірювань передбачає алгоритмічне обчислення поправок при одержанні зазначених частотних характеристик без зміни часу затримки сигналу запуску формувача 10 [13]. В даному варіанті блок 6 є обчислювальним засобом, який також забезпечує обчислення величини тренда нелінійності ФЧХ відповідно з виразом (6), з наступним виключенням його впливу на нелінійність ФЧХ і додаванням до величини нахилу ФЧХ, визначеного за результатами вимірювання часу проходження сигналу блоком 8.

Слід зазначити, що якщо необхідно вимірювати лише нелінійну складову ФЧХ, що досить часто буває на практиці, забезпечувати часову синхронізацію тестового і копії тестового сигналів не потрібно; у цьому випадку необхідно забезпечувати синхронізацію „центрів тяжіння" вихідного і копії тестового сигналів.

Висновки:

1. Пряме вимірювання параметрів ФЧХ і АЧХ протяжних невзаємних об'єктів і часу проходження сигналу в них можливе при використанні модифікованого методу спектрометрії, сутність якого полягає у формуванні на виході ДО копії тестового зондувального сигналу, амплітудні і фазові спектри якого ідентичні спектрам тестового сигналу в робочому частотному діапазоні ДО.
2. Для визначення параметрів повної ФЧХ необхідно виконувати фазову синхронізацію тестового вхідного і копії тестового сигналів; при визначенні нелінійності ФЧХ необхідно здійснювати синхронізацію "центрів тяжіння" вихідного і копії тестового сигналів.
3. Методичні похибки визначення параметрів АЧХ і ФЧХ обумовлені неідентичністю амплітудних і фазових спектрів тестового і копії тестового сигналів, похибками фазування цих сигналів у просторово рознесених пунктах, частотними спотвореннями вимірювального сигналу в ДО. Похибка визначення нерівномірності АЧХ становить долі дБ, нелінійності ФЧХ – одиниці і долі градусів (у залежності від робочого частотного діапазону ДО), похибки синхронізації сигналів становлять одиниці градусів на частоті синхросигналу.
4. Запропоновано нові варіанти реалізації методу спектрометрії на основі використання двох джерел копії тестового сигналу. Одне джерело синхронізується з тестовим сигналом, а інше – з вихідним вимірювальним сигналом за критеріями мінімуму нелінійності ФЧХ. У такому режимі забезпечується одночасне пряме вимірювання нелінійності ФЧХ і часу проходження сигналу в ДО і усувається похибка вимірювань через частотні спотворення вимірювального сигналу.
5. Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку полягають у підвищенні точності вимірювань шляхом покращення ідентичності амплітудних і фазових спектрів джерел тестових і копії тестових сигналів, підвищення точності систем їх фазової синхронізації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *K.D.D.* Are group delay times and/or phase delay time useful parameters for defining low distortion transmission? // IEEE Transactions on Communications / Vol. Com 21. – dec. 1973. – P. 1440–1448.

2. *Miller M.* Signal delay // IEEE Transactions on Communications / Vol. Com 23. – 1975. – P. 1375–1378.
3. *Маевский С.М., Баженов В.Г., Батуревич Е.К., Куц Ю.В.* Методы и аппаратура для измерения кумулятивных фазовых сдвигов в четырехполюсниках большой электрической длинны // Материалы второго всесоюзного совещания «Точные измерения энергетических величин переменного тока, напряжения, мощности, энергии и угла сдвига фаз» – Л.: 1982. – С. 115–116.
4. *Маевский С.М., Баженов В.Г., Батуревич Е.К., Куц Ю.В.* Применение методов фазометрии для прецизионного измерения расстояний. – К.: Выща школа. 1983. – 75 с.
5. *Бакланов И.Г.* Тестирование и диагностика систем связи. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 264 с.
6. *Гойжевский В.А., Дворский В.Я., Трилис В.Г.* Интегрирование группового времени запаздывания // Измерение параметров радиотехнических сигналов и цепей. – Красноярск: СО АН СССР. – 1977.
7. *Дворский В.Я.* О погрешности интегрирования группового времени запаздывания // Вестник КПИ. Сер. радиотехники и электроакустики. – 1974. – № 11. – С. 175–177.
8. *Гойжевский В.А., Дворский В.Я., Трилис В.Г., Шарпан О.Б.* Исследование линейных четырехполюсников с помощью дискретного множества частот // Радиотехнические измерения в физических исследованиях. – М.: Наука. – 1977. – С. 57–60.
9. А.С. 678686 СССР, МКИ Н 04 в 3/46. Измеритель амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик четырехполюсников / В.А. Гойжевский, В.Г. Трилис, О.Б. Шарпан (СССР). – № 2560095/18–09; Заявлено 26.12.77; Опубл. 05.08.79, Бюл. № 29. – 2 с.
10. *Левина А.Ф., Шарпан О.Б.* Погрешности фидерной части системы взаимного фазирования // Измерение параметров радиотехнических сигналов и цепей. – Красноярск : СО АН СССР. – 1977. – С. 76–79.
11. *Шарпан О.Б., Маглеванная Н.И.* Фазирование многочастотных сигналов пространственно разнесенных генераторов гармоник // Изв. ВУЗов СССР – Радиоэлектроника. – Т. XXVI. – № 9. – 1983. – С. 62–64.
12. А.С. 1002983 (СССР), МКИ G 01 R 27/28. Измеритель параметров фазочастотной характеристики четырехполюсника / В.Я. Дворский, О.Б. Шарпан (СССР). № 3339789/18–21; Заявлено 28.09.81; Опубл. 07.03.83, Бюл. № 9. – 3 с.
13. А.С. 1190306 СССР, МКИ G 01 R 27/28. Измеритель параметров фазочастотной характеристики четырехполюсника./ В.Я. Дворский, О.Б. Шарпан (СССР). № 3629536/24–21; Заявлено 27.07.83; Опубл. 07.01.85, Бюл. № 41. – 4 с.
14. А.С. 1241157 СССР, МКИ G 01 R 27/28. Измеритель параметров фазочастотной характеристики четырехполюсника. / В.Я. Дворский, О.Б. Шарпан (СССР). № 3717618/24–21; Заявлено 02.04.84; Опубл. 30.06.86, Бюл. 24. – 4 с.

ШАРПАН Олег Борисович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичних основ радіотехніки Національного технічного університету України „КПІ”.

Наукові інтереси:
- фазові радіотехнічні та вимірювальні системи;
- медичні електронні прилади та системи.

Подано 13.03.05

Шарпан О.Б. Дослідження частотних і часових характеристик протяжних невзаємних об'єктів модифікованим методом спектрометрії

Шарпан О.Б. Исследование частотных и временных характеристик протяженных невзаимных объектов модифицированным методом спектрометрии

Sharpan O.B. The research of frequency and time characteristics of spatially extended objects by the modified method of spectrometry

УДК 621.317.616

Дослідження частотних і часових характеристик протяжних невзаємних об'єктів модифікованим методом спектрометрії / О.Б. Шарпан

Для прямого вимірювання параметрів фазочастотних характеристик протяжних невзаємних об'єктів, частотних спотворень и часу поширення сигналу в них запропонований модифікований метод спектрометрії. Метод заснований на порівнянні параметрів спектрів вимірювального і копії зондувального сигналів. Розглянуто похибки методу и варіанти його реалізації.

УДК 621.317.616

Исследование частотных и временных характеристик протяженных невзаимных объектов модифицированным методом спектрометрии / О.Б. Шарпан

Для прямого измерения параметров фазочастотных характеристик протяженных невзаимных объектов, частотных искажений и времени распространения сигналов в них предложен модифицированный метод спектрометрии. Метод основан на сравнении параметров спектров измерительного и копии зондирующего сигналов. Рассмотрены погрешности методов и варианты его реализации.

УДК 621.317.616

The research of frequency and time characteristics of spatially extended objects by the modified method of spectrometry / O.B. Sharpan

It is offered the modified method of spectrometry for direct measurement of phase response parameters of spatially extended objects, frequency distortions and time of signal passage through them. The method is based on comparison of parameters of measuring signal and probing signal copy spectra. Errors of methods and variants of its realization are considered.