

УДК 621.317

А. С. Моставлюк, асп.

СИМЕТРИЧНО СТРУКТОРОВАНІ НВЧ ДЕТЕКТОРИ В СИСТЕМНИХ ВИМІРЮВАЧАХ МІКРОХВИЛЬОВИХ ПАРАМЕТРІВ ТРАКТІВ

Запропоновано структурне рішення системних НВЧ детекторних вимірювачів мікрохвильових параметрів трактів з високою метрологічною надійністю та точністю, яке дозволяє зменшити переважну інструментальну похибку рефлектометра та вимірювача затухання.

Вступ

Інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) вимагають від сенсорів та вимірювальних приладів, що є їх структурними складовими, низку спеціальних (системних) вимог, головною з яких є, забезпечення метрологічної надійності. Складність фізичних процесів перетворення НВЧ сигналів зумовлює багатofакторний вплив неінформативних параметрів на точність НВЧ вимірювальних засобів. Підвищення точності системних вимірювальних засобів та її збереження протягом тривалого часу експлуатації стає науково обґрунтованою тенденцією розвитку комп'ютеризованих ІВС та підвищення їх ефективності.

Питання удосконалення метрологічних характеристик ІВС контролю параметрів НВЧ сигналів та трактів їх передачі стають все більш актуальними у зв'язку з розвитком нової галузі техніки — НВЧ енергетики, а також у зв'язку з багатовекторним спрямуванням НВЧ вимірювань в галузі промисловості, сільського господарства та медицини.

Постановка задачі дослідження

Наймасовішими вимірюваннями на всіх етапах життєвого циклу приладів НВЧ діапазону є вимірювання модулів коефіцієнтів відбиття та передачі елементів хвелеводних трактів для підвищення узгодженості, взаєморозв'язків та симетризування [1]. Ці вимірювання здебільшого виконуються рефлектометрами та вимірювачами затухання на напрямлених відгалужувачах. Варто звернути увагу на те, що детекторами НВЧ коливань у вимірювальних каналах згаданих приладів є діодні секції (голівки), стабільність параметрів напівпровідникових діодів, що застосовуються в них, є головним гарантом їх метрологічної надійності та точності. Але параметри детектора – чутливість детектора, наприклад, за струмом, опір в робочій точці, не є стабільними у часі внаслідок процесів старіння, що зумовлені дією факторів зовнішнього середовища. Параметри окремих екземплярів детекторів одного типу помітно відрізняються. Тому при їх заміні потрібно їх повторно градуувати, змінюючи регулювання елементів узгодження діодної секції [2].

Задачею дослідження є пошук можливостей стабілізації положення робочої точки на ВАХ діода та зменшення впливу нестабільних схемних елементів в електричному колі струму прямого зміщення.

Отримані результати

Стабілізація положення робочої точки діода на квадратичній ділянці ВАХ здійснюється за методом структурного симетрування, який запропоновано в [3]. Реалізацію методу також показано на рис. 1. Функціонально НВЧ діоди $VD1$ та $VD2$ охоплено колами $B33$, в яких в спільну гілку двох кіл включено як лінеаризатор коренездобувний перетворювач $K3П$. Сильний $B33$ забезпечує інваріантність коефіцієнтів чутливості детекторів $VD1$, $VD2$ та підсилення підсилювачів $A1$ та $A2$. Дуже слабкий струм прямого зміщення діоду (біля 1 мА) відчутно залежить від опору електричного ключа (комутатора), встановленого в колі $B33$, навіть в стані «ввімкнено». З метою усунення цього недоліку до обох кіл $B33$ через роздільні конденсатори $C1$ та $C2$ приєднано імпульсні генератори $G1$, $G2$, що працюють за часом у протифазі від синхронізуючого імпульсного генератора $G3$.

Імпульсні напруги генераторів створюють зворотні струми зміщення, які запирають почергово діоди, тобто виконують роль комутаторів, що відключають діоди від джерел вимірювальних сиг-

налів, не вносячи завад.

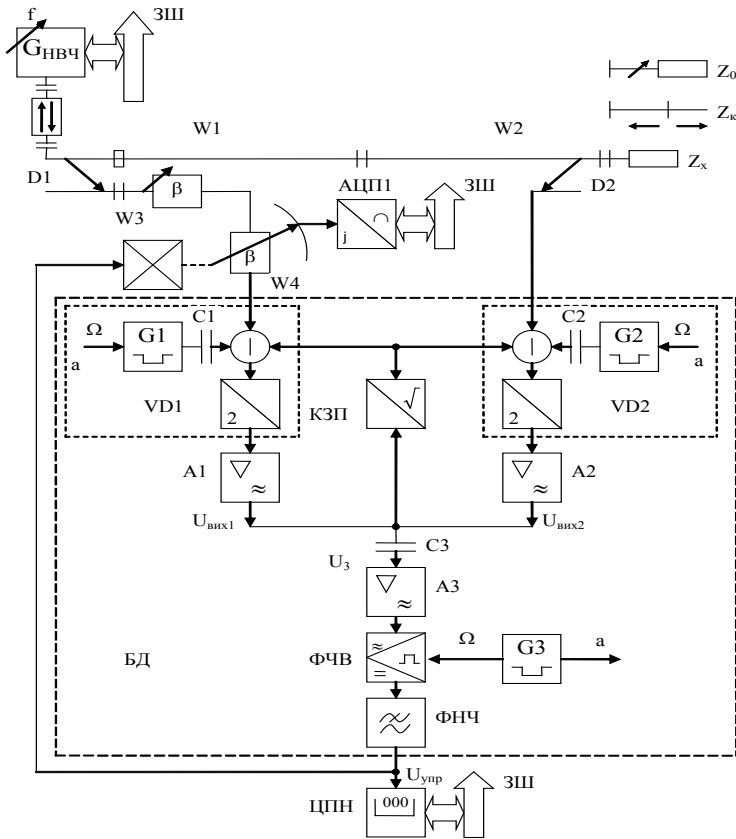


Рис. 1. Структурна схема НВЧ рефлектометра системного призначення (для ІВС параметрів НВЧ трактів)

НВЧ рефлектометр (див. рис. 1) працює таким чином. Керований від ПЕОМ за частотою НВЧ генератор через прямі плечі напрямлених відгалужувачів $W1, W2$ з'єднано з об'єктом вимірювання коефіцієнта відбиття Z_x . В боковому плечі напрямленого відгалужувача $W1$ послідовно включено змінний ослаблювач $W3$ та поляризаційний атенуатор $W4$, який регулюється аналоговим сигналом від виконавчого пристрою ВП (сервопривода). Атенуатор $W4$ обладнано шкалою вимірювання та аналого-цифровим перетворювачем «кут—код» АЦПІ, який з'єднано з загальною шиною ПЕОМ (ЗШ). Детекторна секція $VD1$ приєднана до виходу атенуатора $W4$ для вимірювання вихідної потужності НВЧ генератора $P_{НВЧ}$.

Потужність відбитої від об'єкта Z_x хвилі ЕМП НВЧ через бокове плече ослаблювача $W2$ вимірюється детекторною секцією $VD2$. Рівняння балансу НВЧ потужності на входах детекторних секцій $VD1$ та $VD2$ має вигляд

$$P_{НВЧ} D_1 \beta_3 \beta_4 = P_{НВЧ} |\Gamma_x|^2 D_2, \tag{1}$$

де D_1, D_2 — ослаблення спрямлених відгалужувачів $W1, W2$ (разів); β_3, β_4 — ослаблення елементів тракту $W3$ та $W4$ відповідно; $|\Gamma|$ — модуль коефіцієнтів відбиття хвилі ЕМП від об'єкту вимірювання.

Рівняння балансу сигналів, що надходять з виходів підсилювачів $A1, A2$ вихідних сигналів детекторних секцій $VD1, VD2$ у сусідні напівперіоди частоти Ω надходження синхронізуючих імпульсів, набуває вигляду

$$U_{вих1}(t_1) = U_{вих2}(t_2); \tag{2}$$

$$P_{НВЧ} D_1 \beta_3 \beta_4 S_1|_{t_1} = P_{НВЧ} |\Gamma_x|^2 D_2 S_2|_{t_2}, \tag{3}$$

де S_1, S_2 — коефіцієнти вимірювального перетворення вимірювальних каналів $W3-W4-VD1-A1$ та $W2-VD2-A2$ відповідно;

$$S_1 = S_2 = \frac{1}{S_{\sqrt{K_{ХВ}}}},$$

де $S_{\sqrt{}}$ — чутливість КЗП, $K_{ХВ}$ — постійна хвилеводу.

Далі кожний з сигналів (2) перетворюється одноканальною схемою періодичного порівняння $C3-A3-ФЧВ-ФНЧ$. Через роздільний конденсатор $C3$ проходить змінна складова сигналів $U_{вих1}$ та $U_{вих2}$, яка в [3] визначається як «обвідна знаку періодичного процесу»

$$U_3(t) = \frac{1}{2}(U_{m1} - U_{m2}) \text{sign} \sin(\Omega t + \Phi), \tag{4}$$

де U_{m1}, U_{m2} — амплітуда обвідної; Φ — початкова фаза обвідної.

Сигнал (4) підсилюється широкосмуговим підсилювачем $A3$, випрямляється фазочутливим випрямлячем ФЧВ на опорній частоті Ω та фільтрується ФНЧ, отримуючи сигнал постійного струму, полярність якого залежить від знаку різниці амплітуд ($U_{m1} - U_{m2}$). Таким чином, отримуємо сигнал керування

$$U_{\text{кер}} = S_0 \frac{U_{m1} - U_{m2}}{2}, \tag{5}$$

де $S_0 = K_3 K_{\text{ФЧВ}} K_{\text{ФНЧ}}$ — крутизна перетворення сигналів (2) одноканальним трактом: K_3 — коефіцієнт підсилення підсилювача $A3$, $K_{\text{ФЧВ}}$ — коефіцієнт перетворення ФЧВ; $K_{\text{ФНЧ}}$ — коефіцієнт передачі ФНЧ.

Враховуючи (3), сигнал керування (5) набуває вигляду

$$U_{\text{кер}} = \frac{1}{2} P_{\text{НВЧ}} S_0 (D_1 \beta_3 \beta_4 S_1 - |\Gamma_x|^2 D_2 S_2). \tag{6}$$

Виконаємо операцію калібрування кінцевої точки вимірювальної шкали. Для цього замість елемента Z_x встановлюємо короткозамикач $Z_{\text{кз}}$ (металеве дзеркало), який має коефіцієнт відбиття $|\Gamma|_{\text{кз}} = 1$, та регулюємо (зменшуємо) ослаблення сигналу генератора ослаблювачем $W3$, встановивши атенюатор $W4$ вручну на позначку «1», поки сигнал керування (6) набуде нульового значення

$$\frac{1}{2} P_{\text{НВЧ}} K_0 (D_1 \beta_3 \beta_4 - D_2) = 0, \tag{7}$$

де $K_0 = S_0 S_{\text{сим}}$ — коефіцієнт вимірювального перетворення рефлектометра; $S_{\text{сим}} = S_1 S_2$ — чутливість симетричних каналів квадратування.

Візьмемо до уваги, що показник шкали «1» атенюатора $W4$ $n_{\text{шк}} = S_{\text{шк}} \beta_4$ ($S_{\text{шк}}$ — чутливість шкали), тобто $\beta_4 = \frac{1}{S_{\text{шк}}}$. В такому разі рівняння (7) має розв'язок, якщо $D_1 \beta_3 = D_2 = D$.

З'єднаємо вихід блока детекторів БД із входом ВП, коли зафіксовано значення нуля цифрового показника нуля ЦПН, тобто операція калібрування кінцевої точки шкали рефлектометра виконана.

Операцію встановлення нульової відмітки шкали виконуємо, підключаючи калібрований елемент Z_0 зі значенням $|\Gamma|_0 \approx 0$ ($K_{\text{смU}} \approx 1,01$), тобто отримуємо взірцево узгоджене навантаження.

Таким чином, вихідним сигналом рефлектометра є кут повороту ϕ пластини поляризаційного атенюатора $W4$, який визначають за його шкалою або за АЦП1 «кут—код». Рівняння (7) дає змогу визначити функцію вимірювального перетворення рефлектометра

$$n_{\text{шк}} = S_{\text{шк}} |\Gamma_x|^2; \tag{8}$$

$$n_{\text{АЦП}} = S_{\text{АЦП}} |\Gamma_x|^2. \tag{9}$$

Останні рівняння підтверджують інваріантність результату вимірювання щодо значень $P_{\text{НВЧ}}$, K_0 , D_1 , D_2 , β_3 , якщо на відрізу всього часу вимірювання (калібровка – визначення вимірювальної величини $|\Gamma_x|$) вказані значення є постійними. Оскільки ФНЧ є інтегральною ланкою, система автоматичного управління атенюатором не має похибки статизму, бо інтегратор знаходиться в колі ВЗЗ. З урахуванням адитивної похибки, яка зумовлена можливим люфтом в якійсь ланці механізму виконуючого пристрою ВП, функція вимірювального перетворення набуває вигляду

$$n_{\text{АЦП}} = S_{\text{АЦП}} |\Gamma_x|^2 \pm \Delta n. \tag{10}$$

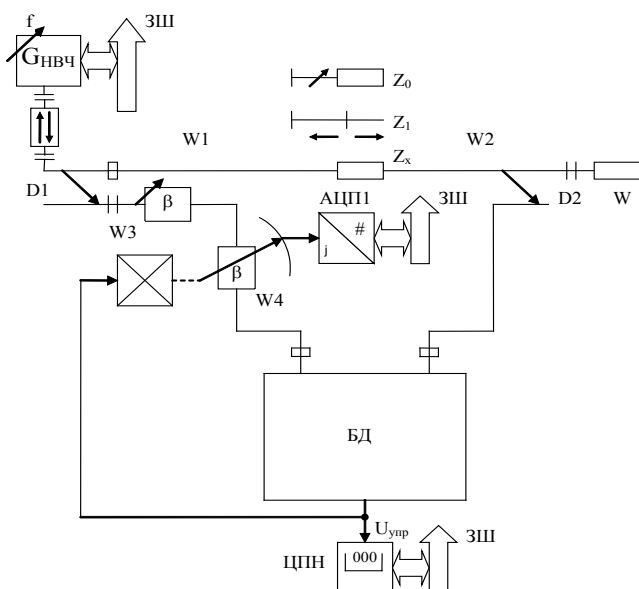


Рис. 2. Структурна схема НВЧ вимірювача затухання системного призначення (для ІВС параметрів НВЧ трактів)

Рефлектометр нескладно налагодити як вимірювач затухання ЕМП НВЧ в елементах трактів. Для цього потрібно встановити об'єкт вимірювання між прямими плечами спрямлених відгалужувачів $W1$ і $W2$, встановивши відгалужувач $W2$ в напрямі відгалуження до хвилі, що пройшла до виходу об'єкта вимірювання. Змінними елементами для встановлення нуля та калібрування кінцевого показника шкали вимірювача служать елементи Z_1 (відрізок регулярного хвилеводу) та Z_0 (поляризаційний атенуатор). Інші функціональні блоки рефлектометра використовуються без будь-яких змін (рис. 2).

Висновки

Симетрично структуровані НВЧ детектори в системних вимірювачах мікрохвильових параметрів трактів та їх елементів завдяки своїй високій метрологічній

надійності та точності дозволяють зменшити переважну інструментальну похибку рефлектометра та вимірювача затухання, а саме:

- виключити похибку, пов'язану з не ідентичністю вимірювальних каналів;
- виключити похибку, пов'язану з нестабільністю потужності НВЧ генератора;
- надати можливість підсилення імпульсних вимірювальних сигналів широкосмуговими підсилювачами змінного струму, які мають стабільні коефіцієнти підсилення та відсутність дрейфу нуля;
- виключити похибку застосованого для лінеаризації функції вимірювального перетворення КЗП;
- визначити тривалість вимірювального циклу за умови стабільності ряду параметрів та величин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Жилинскас Р. П. Измерители отношения и их применение в радиоизмерительной технике. — М: Сов. радио, 1975. — 320 с.
2. Захарія Й. А. Основи надвисокочастотних радіовимірювань. — К: Вища школа, 1972. — 344 с.
3. Водотовка В. І., Моставлюк А. С. Автоматична система контролю розсіяного ЕМП НВЧ: інваріантний сенсор випромінювання від мікрохвильового технологічного обладнання // Вісник Вінницького політехнічного інституту — 2007. — № 1. — С. 20—24.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом III Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007)» (31.05—2.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.09.07
Рекомендована до друку 04.10.07

Моставлюк Антоніна Сергіївна — аспірант кафедри проектування та конструювання радіоелектронних засобів.

Хмельницький національний університет