УДК 681.7.068

РОЗПОДІЛЕНА КОМПЮТЕРИЗОВАНА ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ

С.В. Окоча

Національний авіаційний університет, вул Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, тел. (044) 406-74-35, e-mail: nau_307@ukr.net

Запропоновано використання багатоканального прийому сигналів волоконно-оптичного міжмодового інтерферометра (МВІ) з метою підвищення точності вимірювань. Розроблена розгалужена вимірювальна схема на основі МВІ для оптичного контролю поверхні.
Ключові слова: контроль, волоконно-оптична система, геометрична форма, поверхня деталі, інтерферометр.

Предложено использование многоканального приема сигналов волоконно-оптического межмодового интерферометра (МВИ) с целью повышения точности измерений. Разработанная разветвлена измерительная схема на основе МВИ для оптического контроля поверхности.
Ключевые слова: контроль, волоконно-оптическая система, геометрическая форма, поверхность детали, интерферометр.

There is offered the use of multichannel reception of signals of fibro-optical intermode interferometer with the purpose of increase of exactness of measuring. The developed is ramified measuring chart on the basis of interferometer for optical control of surface.
Keywords: control, fibre optical system, geometrical form, surface of detail, interferometer.

Оптичні системи контролю геометричних розмірів об'єктів у порівнянні з електромеханічними мають більш високу швидкодію. Для контролю виробів з точністю, порівняної з довжиною хвилі світла, надають перевагу використанню явищ інтерференції та дифракції світла.

Високою чутливістю відрізняються датчики інтерферометричного типу, які досліджуються найбільш активно. Одна з особливостей інтерферометричних датчиків використання характеристик напівпровідникового лазера.

У випадку впливу дестабілізуючих факторів на багатомодовий світловід довжиною L когерентним джерелом із частотою ω, на виході світловода виникає плямиста (спекл) картина – як результат інтерференції багатьох мод. Якщо на приймач надходить лише частина випромінювання (плямистої картини) площею S, то інтенсивність $I(L,S)$ реєстрованого ним випромінювання можна записати у вигляді [1]:

$$I(L,S) = I_0(1+\rho_0+\rho_1), \qquad (1)$$

де $I_0 = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} A_i^2 \int_S E_i^2 ds$; $\rho_0 = \frac{1}{l_0}\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{N} A_i A_k^* \left\{\int_S E_i E_k^* ds\right\} \cos\psi_{ik}^0$ при $i \neq k$ - постійна складова; $\rho_1 = \frac{1}{l_0}\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{N} A_i A_k^* \left\{\int_S E_i E_k^* ds\right\} \cos\psi_{ik}^0 \delta\psi_{ik}$ при $i \neq k$ – сигнальна складова.

У формулі (1) різниці фаз інтерферуючих мод ψ_{ik} представлені у вигляді двох, що складаються $\psi_{ik} = \psi_{ik}^0 + \delta\psi_{ik}$. Доданок ψ_{ik}^0 – аквазістатична частина різниць фаз мод, пов'язана з параметрами мод і зовнішніх умов світловода (температура, тиск і т.д.), зміни яких визначають феднг сигналу міжродового волоконного інтерферометра (МВІ). Величини $\delta\psi_{ik}$ визначаються швидкодіючими впливами на волокно і, як правило, є незначними ($\delta\psi_{ik} << 1$).

Розглядємо лише складову ρ_1, оскільки вона містить інформацію про впливи й може бути легко виділена із сигналу (1) за допомогою фільтрації в діапазоні робочих частот.

Складова $\delta\psi_{ik}$ обумовлена двома причинами:

1) сигнальними впливами, які необхідно виміряти;

2) паразитними збурюваннями волокна, що попадають у частотний діапазон корисних сигналів.

Таким чином, отримуємо: $\delta\psi_{ik} = \delta\psi_{ik}^{S} + \delta\psi_{ik}^{n}$.

Величину сигнального впливу позначимо через S, а сукупну величину впливів завад через n. Тоді складову ρ_1 сигналу МВІ можна представити у вигляді двох доданків:

$$\rho_1 = K_S S + K_n n = \rho_S + \rho_n, \qquad (2)$$

де коефіцієнти K_S та K_n обчислюються за формулами:

$$K_S = \frac{1}{l_0}\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{N}\left(A_i A_k^* \left\{ \int_S E_i E_k^* ds \right\} \sin\psi_{ik}^0 \cdot K_{ik}^S \right),$$
$$K_n = \frac{1}{l_0}\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{N}\left(A_i A_k^* \left\{ \int_S E_i E_k^* ds \right\} \sin\psi_{ik}^0 \cdot K_{ik}^n \right). \qquad (3)$$

У формулах (3) введені коефіцієнти чутливості різниці фаз мод до впливів: $K_{ik}^S = \left(S\psi_{ik}^S / S\right)$, $K_{ik}^n = \left(S\psi_{ik}^n / n\right)$.

Розглянемо розгалужену вимірювальну систему на основі міжмодового волоконно-оптичний інтерферометра для оптико-цифрової системи, яка контролює елементи поверхні деталі, до яких доходить світлова хвиля [1]. Принципова схема системи з використанням міжмодового волоконно-оптичного інтерферометра для оптичного контролю поверхні (рис. 1) включає: 1 – джерело лазерного випромінювання; 2 –волоконно-оптичний розгалужувач; 3 – активне оптичне волокно; 4 – багатомодовий волоконно-оптичний сенсор; 5 – об'єкт, поверхня якого підлягає контролю; 6 – фотоприймальна матриця; 7 – блок обробки сигналів (на основі персонального комп'ютера).

Поле світлового пакета, що розповсюджується в світловоді, представлено в наступному вигляді:

$$E(t,r,z) = \frac{1}{2}\{eA(t,z)U(r)\times$$
$$\times \exp\left[i(\omega_0 t - \beta' z)\right] + компл.узгодж.\},$$

де e - ортогональна поляризація моди; $U(r)$ - профільна функція, що описує розподіл поля моди по перетину світловода; ω_0 - несуча частота введеного хвильового пакету.

Випромінювання лазера накачування за допомогою багатомодового волоконного розгалуджувача направляється у відповідний відрізок активного світловоду (на рис. 1 позначено стрілками). У якості дихроїчного дзеркала, що має великий коефіцієнт відбиття на лінії генерації лазера λ_S і пропускання на довжині хвилі випромінювання лазера накачування λ_F, може застосовуватися Брегівський відбивач, сформований безпосередньо у світловоді. На основі вузькосмугової оптичної фільтрації інтерферометра виконується виділення сигналу [2], після обробки якого визначаються координати точок поверхні.

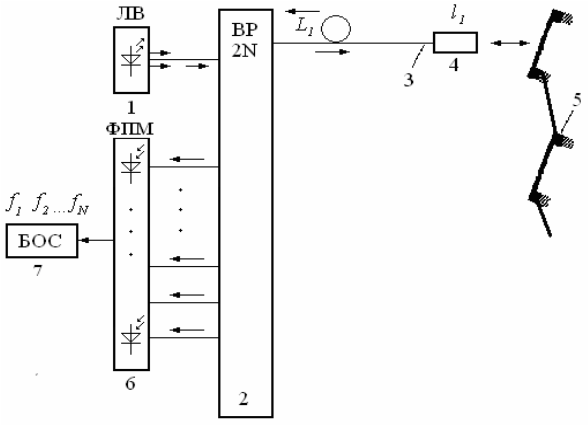


Рисунок 1 – Розгалужена вимірювальна система на основі міжмодового волоконно-оптичного інтерферометра для оптичного контролю форми поверхні об'єкта

Для розгляду переваг багатоканального прийому введемо простий принцип ухвалення рішення про реєстрацію впливу на МВІ: якщо модуль вихідного сигналу (у робочій смузі частот) перевищує деякий заданий рівень X_0, то фіксується наявність впливу на світловід.

Зміни $\delta\psi_{ik}^0$ від зовнішніх умов [3] визначаються змінами параметрів світловода, процесами взаємодії мод і подвійного променезаломлення та на практиці в кожний даний момент є фактично непередбаченими, тобто можуть бути представлені як випадкові величини. Тому, використовуючи центральну граничну теорему при великому числі подвійних сум, що складаються в (3), значення K_S і K_n у конкретний момент часу можна описати незалежними випадковими величинами, при нормальному законі розподілу з нульовим середнім і деякою дисперсією σ_K^2.

Корисний вплив S вважається регулярним, а n у момент виміру також може бути представлено центрованою гаусовою випадковою величиною з дисперсією σ_n^2. Тоді складова ρ_S в (2) представляється гаусовою

випадковою величиною із середнім квадратичним відхиленням $\sigma = S\sigma_K$.

Для спрощення міркувань і більшої їх наочності вважаємо, що S і n мають одну розмірність, і введемо параметр $A^2 = S^2/\sigma_n^2$, що має сенс у відношенні до потужності віношення сигнал/шум для впливу на міжродовий волоконно-оптичний інтерферометр (МВІ). У противному випадку необхідне введення більш складного й менш наочного параметра, що характеризує рівні завад та корисного впливу, але сутність результатів від цього не зміниться. Тоді значення складової ρ_n представляється добутком незалежних гаусових величин n і K_n, а дисперсія $\sigma = S\sigma_K = A\sigma_n\sigma_K$.

При відсутності сигнального впливу, тобто $S = 0$ (присутні тільки завади), значення модуля вихідного сигналу МВІ $x^{(0)}$ задається тільки модулем від складової завад $x^{(0)} = |\rho_n|$. Якщо значення $x^{(0)}$ перевищить поріг X_0, відбудеться помилкове спрацьовування вирішальної системи – "викид" складової завад прийнятий за результат інформативного впливу. При наявності впливу S значення сигналу МВІ $x^{(S)}$ визначається модулем $x^{(S)} = |\rho_S + \rho_n|$. У цьому випадку помилкове рішення – "втрата сигналу" – може відбутися, якщо значення $x^{(S)}$ виявиться меншим від X_0:

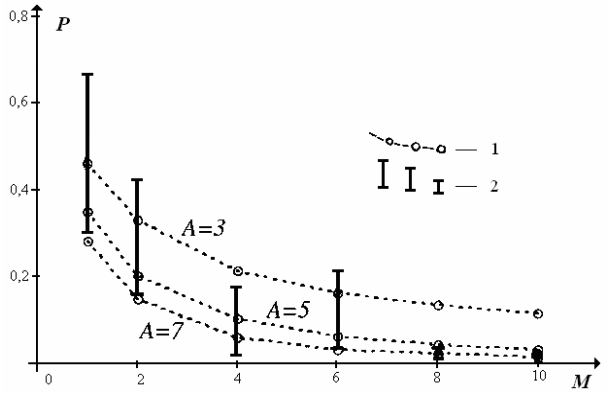
$$\begin{cases} S = 0, & x^{(0)} = |\rho_n| = |K_n n| \\ & x^{(0)} < X_0 - \textit{вірно}, \quad x^{(0)} > X_0 - \textit{помилка}; \\ S \neq 0, & x^{(S)} = |\rho_S + \rho_n| = |\rho_S + K_n n| \\ & x^{(0)} > X_0 - \textit{вірно}, \quad x^{(0)} < X_0 - \textit{помилка}. \end{cases} \quad (4)$$

У випадку багатоканального прийому з підсумовуванням модулів сигналів M фотодіодів ситуація аналогічна, але значення сигналу МВІ тоді описується більш складною комбінацією випадкових величин:

$$\begin{cases} S = 0, & x^{(0)} = \sum_{i=1}^{M} |K_n n| \\ & x^{(0)} < X_0 - \textit{вірно}, \quad x^{(0)} > X_0 - \textit{помилка}; \\ S \neq 0, & x^{(S)} = \sum_{i=1}^{M} |\rho_S + K_n n| \\ & x^{(S)} > X_0 - \textit{вірно}, \quad x^{(S)} < X_0 - \textit{помилка}, \end{cases} \quad (5)$$

де ρ_S^i, K_n^i, n — незалежні центровані гаусові випадкові величини із середніми квадратичними відхиленнями σ, σ_K, $\sigma_n = \sigma/(A \cdot \sigma_K)$ відповідно (при цьому обумовлюється, що умови діафрагмування і рівні коливань інтенсивності для фотоприймачів рівноцінні).

Графік залежності імовірності помилки від кількості фотоприймачів представлено на рис. 2.



1 – за теоретичними розрахунками; 2 – за експериментом (розкид визначається урахуванням всіх можливих комбінацій із M приймачів при $M \neq 0$)

Рисунок 2 – Імовірність P помилки при реєстрації впливу на МВІ в залежності від числа каналів фотоприймача

Дані, які отримані від вимірювальної системи, дозволяють контролювати форму і розміри деталі. Датчики фіксують поверхню об'єкта у вигляді масиву чисел (точок), елементи якого характеризують інтенсивність світлового потоку.

ВИСНОВКИ

Використання багатоканального методу прийому сигналів міжмодового інтерферометра підвищує точність обробки результатів вимірювання за рахунок зниження імовірності похибки розпізнавання сигналів завад інтерферометра як інформаційних.

1. Письма в ЖТФ / [О.И. Котов, Л.Б. Лиокумович, С.И. Марков и др.] // - 1999. - Т. 25. – В. 12. – С. 44-50. 2. Квантовая электроника / Б.А. Усиевич, В.А. Сычугов, О. Парье, Д.Х. Нурлигараев // 33. – №8, (695) - 2003. 3. Письма в ЖТФ / [Л.И. Косарева, О.И. Котов, Л.Б. Лиокумович и др.]. – 2000. – Т. 26. – В. 2. – С. 53-63

Поступила в редакцію 09.12.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Квасніков В.П.