

НЕДУЖКО М.А. , МАКСИМЯК П.П.,  
ЛОМАНЕЦЬ В.С., БУЧКОВСЬКИЙ І.А.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Запропоновано оптико-електронний пристрій, який дозволяє автоматизувати процес інтерференційних вимірювань, підняти точність та зменшити вплив зовнішніх факторів на результат вимірювань. Приведена блок-схема пристрою та описано принцип його дії.

Інтерференційні методи контролю параметрів матеріалів та виробів широко застосовуються в наукових та заводських лабораторіях [1]. Серед цих методів можна виділити методи, що зводяться до вимірювання контрастності інтерференційної картини. Так, в роботі [2] обґрунтована методика контролю плоских та сферичних шорстких поверхонь і приведена практична схема приладу, що дозволяє вимірювати середньоквадратичне відхилення профілю поверхні від базової лінії  $R_q$ . Суть даного методу полягає в наступному. Відбиті від досліджуваної поверхні промені інтерференційно складаються з променями, відбитими від еталонного дзеркала. Контрастність зображення інтерференційної картини, тобто її максимальне  $I_{\max}$  та мінімальне  $I_{\min}$  значення, однозначно визначає дисперсію фази граничного поля, а отже і шуканий параметр  $R_q$ . Цей метод забезпечує контроль шорстких поверхонь з параметром  $R_q$  в межах від 0.002 до 0.1 мкм.

Для достовірної реєстрації значень  $I_{\max}$  та  $I_{\min}$  необхідно, щоб площадка фотоприймача була рівномірно освітлена. Тобто, в площині реєстрації, що обмежена розмірами фотоприймача, відсутні інтерференційні смуги. Це можливо тільки в тому випадку, коли напрямки розповсюдження хвиль, що інтерферують, строго спів-

падають. Але ця умова порушується під впливом наявних зовнішніх факторів та при заміні досліджуваного зразка. Тобто, виникає необхідність юстування приладу перед кожним вимірюванням. Прискорення процесів вимірювання та підняття їх точності вимагає необхідність автоматичного утримання нульової інтерференційної смуги. Крім того, щоб усунути вплив флуктуацій лазерного пучка на точність вимірювань, значення  $I_{\max}$  та  $I_{\min}$  необхідно реєструвати майже одночасно. Розв'язок подібної задачі приведений в роботі [3], де було запропоновано зміщувати змішувач пучків випромінювання в двох взаємно перпендикулярних напрямках за допомогою електродвигунів, і, таким чином, здійснювати утримання нульової смуги. Але цей метод має деякі недоліки. Наприклад, двигуни мають велику інерційність, вібрують і т.п.

Нами пропонується методика утримання нульової інтерференційної смуги, вільна від згаданих недоліків. Розв'язування цієї задачі досягається шляхом керування орієнтацією мікрооб'єктива, що формує зображення на об'єкті дослідження, за допомогою двох електромагнітів. Блок-схема пристрою, що реалізує цей підхід, зображена на рис.1.

Працює пристрій наступним чином. Випромінювання, яке є результатом інтерференції, реєструється чотирьохплощадковим фотоприймачем ФП. Для автоматизації вимірювання значень  $I_{\max}$  та  $I_{\min}$  в схему приладу введений п'єзокерамічний модулятор. Під дією прикладеної до модулятора напруги він зазнає механічної деформації і зміщує закріплене на ньому дзеркало в межах до 2 мкм. Повздовжнє зміщення дзеркала викликає зміну оптичного шляху однієї з двох хвиль, що інтерферують. Таким чином змінюється різниця їх фаз і, внаслідок цього, інтенсивність результуючого поля. Якщо до модулятора прикласти періодично змінну в часі напругу, інтенсивність буде здійснювати періодичні коливання. Якщо при цьому амплітуда напруги, прикладеної до модулятора, буде більше значення, достатнього для зміни фази однієї хвилі на  $\pi$ , то максимальне та мінімальне значення цих коливань будуть рівні  $I_{\max}$  та  $I_{\min}$  інтерференційної картини. В даному випадку модуляція

випромінювання здійснюється шляхом подачі на п'єзокерамічний модулятор синусоїдальної напруги частотою 50 Гц.

Із виходів фотоприймача сигнали частотою 50 Гц поступають на суматори  $\Sigma_1$  і  $\Sigma_2$ . Суматор  $\Sigma_1$  формує два сигнали  $U_x$  і  $U_y$  для керування електромагнітами. Принцип формування цих сигналів пояснює рис.2.

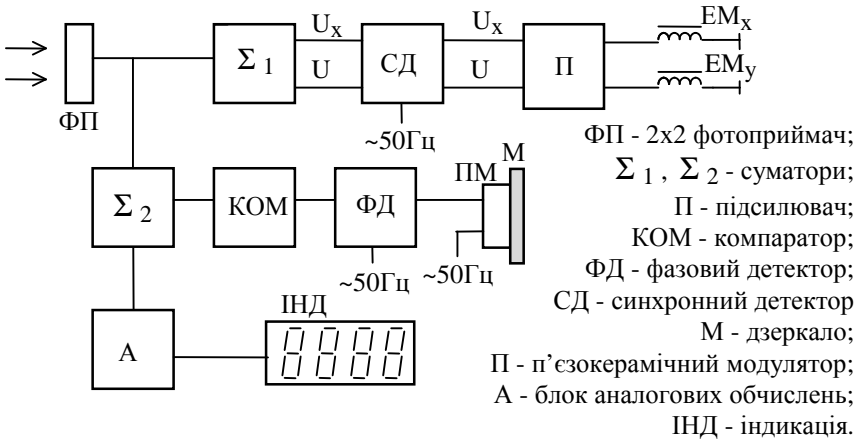


Рис.1. Блок-схема пристрою підтримки нульової інтерференційної смуги.

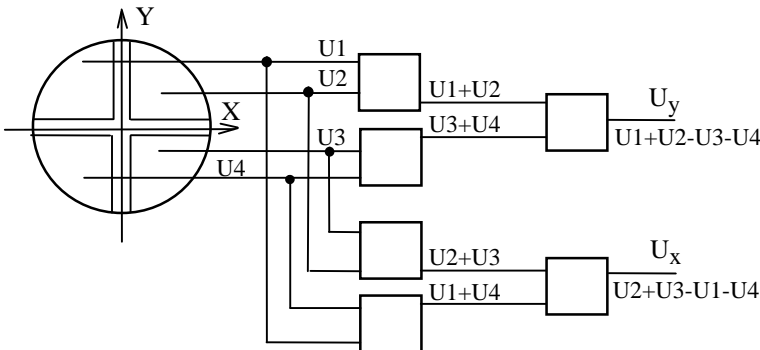


Рис.2. Формування сигналів  $U_x$  та  $U_y$ .

Сигнали з двох площадок фотоприймача, що лежать в одній напівплощині відносно вісі ОУ сумуються, а потім з цієї суми віднімаються сигнали з двох інших площадок фотоприймача. Таким чином формується сигнал  $U_x$ . Аналогічно формується сигнал  $U_y$ , тільки пари площадок, сигнали з яких сумуються, розділені віссю ОХ. Суматори збудовані на операційних підсилювачах за стандартною схемою [4].

Якщо виконується умова співвісності хвиль, поверхня фотоприймача освітлена рівномірно, сигнали з усіх площадок однакові, тому вихідні сигнали  $U_x$  і  $U_y$  рівні нулю. При порушенні цієї умови в площині фотоприймача з'являються інтерференційні смуги і сигнали  $U_x$  та  $U_y$  на виходах суматорів приймають не нульові значення. Після перетворення вони поступають на електромагніти, що змінює напрямок розповсюдження однієї хвилі, і система повертається в попередній стан.

Для отримання напруги керування та інформації про її знак застосовано синхронні детектори *СД*, на входи яких поступають сигнали  $U_x, U_y$ , а на входи синхронізації – напруга модуляції. На виходах синхронного детектора утворюються сигнали керування, які після підсилення до необхідного рівня у двоканальному підсилювачі *П* подаються на електромагніти  $Em_x$  та  $Em_y$ .

Суматор  $\Sigma_2$  сумує сигнали з усіх площадок фотоприймача. З його виходу сигнал поступає на блок аналогової обробки, де проводиться визначення величини  $R_q$ , яке виводиться на індикацію, або поступає на АЦП та заводиться в ЕОМ.

Розглянемо форму сигналу на виході суматора  $\Sigma_2$ . Хвиля, яка реєструється фотоприймачем, є результатом інтерференції двох когерентних хвиль. Інтенсивність такої хвилі описується виразом:

$$I = a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\Delta\Psi), \quad (1)$$

де  $a_1, a_2$  - амплітуди об'єктної та опорної хвиль;  $\Delta\Psi$  - різниця фаз цих хвиль в точці реєстрації. При виконанні умови співпадання напрямків розповсюдження хвиль, що інтерферують,  $\Delta\Psi$  буде однаковим по всій площині фотоприймача.

Якщо подати напругу на п'єзокерамічний модулятор, то, за

рахунок поперечного зміщення дзеркала, у виразі (1) з'являється додаткова різниця фаз  $\Delta\Phi$ . Повздовжнє зміщення дзеркала пов'язане лінійною залежністю з величиною прикладеної до модулятора напруги. Оскільки до модулятора прикладена синусоїдальна напруга, ця різниця фаз буде:

$$\Delta\Phi = K(u) \sin w t , \quad (2)$$

де  $K(u)$  - коефіцієнт, пропорційний амплітуді напруги модуляції;  $w$  - частота напруги модуляції. Вираз (1) прийме вигляд:

$$I = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos (\Delta\Psi + K(u) \sin w t) . \quad (3)$$

Якщо коефіцієнт  $K(u) < \pi$ , то інтенсивність  $I$  змінюється з часом так, як показано на рис.3а. Як тільки  $K(u)$  стане більшим за  $\pi$ , в максимумах та мінімумах функції  $I(t)$  з'являються перегини (рис.3б). Відбувається так зване подвоєння частоти. При цьому максимумами та мінімумами функції  $I(t)$  відповідають максимумам та мінімумам інтерференційної картини. Після вимірювання цих значень шляхом відповідних розрахунків маємо можливість визначити  $R_q$ . Цю функцію виконує блок аналогових обчислень  $A$  (рис.1).

Для правильної роботи синхронного детектора необхідна рівність фаз сигналу з фотоприймача та сигналу модуляції. Проте, внаслідок присутності члену  $\Delta\Psi$  у виразі (3), ці фази можуть не співпадати. Більше того,  $\Delta\Psi$  залежить від взаємної орієнтації оптичних частин приладу і може змінюватись з часом випадковим чином. Тому у пристрій була введена схема автоматичної підтримки фази. Ця схема складається з компаратора  $KOM$  (рис.1) та фазового детектора  $\PhiД$ . Компаратор  $KOM$  містить амплітудний селектор, на виході якого утворюються вузькі імпульси в максимумах функції  $I(t)$  (рис.3в). При зміні початкової фази  $\Delta\Psi$  форма кривої  $I(t)$  змінюється (рис.3г). При цьому змінюється відстань між вихідними імпульсами компаратора (рис.3д), що поступають на фазовий детектор. Фазовий детектор формує напругу керування  $U_c$ , яка сумується з модулюючою напругою та подається на модулятор.

В склад фазового детектора входить два високовольтні біполярні транзистори. На їх колектори подається напруга модуляції  $U_{\text{мод}}$  (рис.3е). На бази транзисторів поступають імпульси  $U_{\text{и}}$ . З приходом цих імпульсів виконується заряд ємності, підключеної до емітерів транзисторів, струмом, пропорційним миттєвому значенню

модулюючої напруги в момент приходу імпульсу. Таким чином, напруга на ємності  $U_C$  буде залежати від положення керуючих імпульсів відносно миттєвого значення модулюючої напруги і, внаслідок цього, від різниці фаз сигналу фотоприймача та сигналу модуляції. Напруга  $U_C$  створює у виразі (3) додатковий член:

$$I = a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\Delta\Psi + K(u)\sin \omega t + \Theta) \quad (4)$$

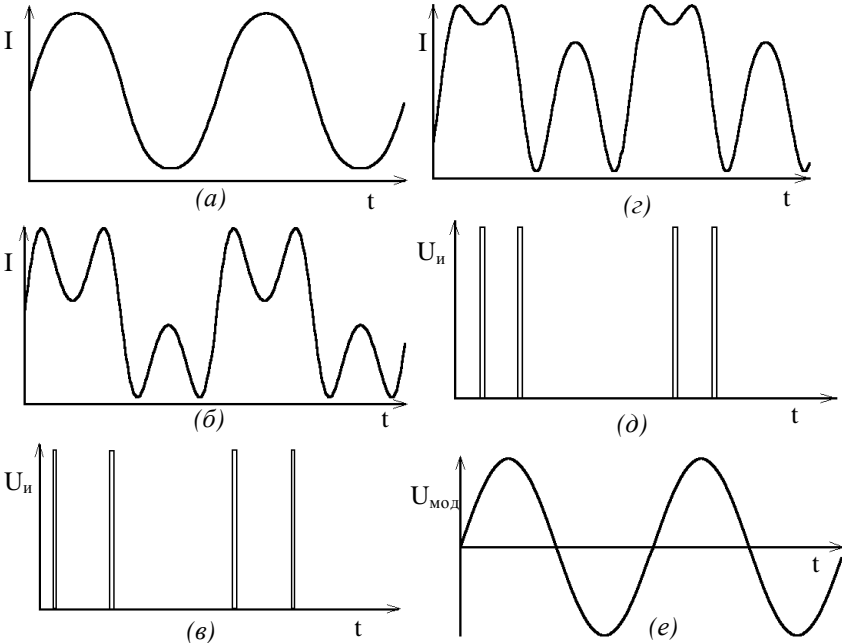


Рис.3. (а),(б),(г) - залежність інтенсивності інтерференційної картини від часу при різних початкових фазах та амплітудах напруги модуляції; (в),(д) - імпульси на виході компаратора; (е) - напруга модуляції.

При правильній роботі схеми підтримки фази виконується рівність:  $\Delta\Psi = -\Theta$ . Початковому стану ( $\Delta\Psi = 0$ ) відповідає значення  $U_C = 0$ . При цьому середина керуючих імпульсів буде відповідати значенню  $U_{\text{мод}} = 0$ . При виникненні зсуву фаз ( $\Delta\Psi \neq 0$ ) змінюється відстань між керуючими імпульсами, напруга на ємності  $U_C$  зростає чи зменшується, в виразі (4) виникає член  $\Theta = -\Delta\Psi$  і система знов

переходить в стан рівноваги. Таким чином підтримується постійна різниця фаз, що необхідно для роботи синхронного детектора.

Описаний пристрій утримання нульової смуги дозволяє усунути неспіввісність хвиль, що інтерферують, при появі в площині реєстрації до 2.5 інтерференційних смуг. Цей пристрій може бути використаний в різноманітних інтерференційних приладах, що працюють по принципу вимірювання контрастності інтерференційної картини, наприклад при дослідженні фазово неоднорідних об'єктів, дисперсних середовищ та при інших інтерференційних вимірюваннях, де виникає задача утримання нульової інтерференційної смуги.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник / Под ред. Клюева В.В.- М.: Машиностроение, 1986.- С.488.
2. Angelsky O.V., Buchkovsky I.A., Maksimyak P.P. and Perun T.O. A Fast Interference Method for Measuring the Degree of Surface Roughness // J. Mod. Opt.- 1991 - №38 - С.1-4.
3. А.с. №599723 (СССР). Устройство для измерения показателя преломления светорассеивающей среды /Ангельский О.В., Бучковский И.А., Максимьяк П.П., Перун Т.О. //Открытия. Изобретения. - 1990. - №38.
4. Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях. Справочник. - К.: Техніка, 1983. - С.212.

#### SUMMARY

**NEDUZHKO M.A.**, MAKSIMYAK P.P.,  
LOMANETZ V.S., BUCHKOVSKY I.A.

#### **AUTOMATIZATION OF INTERFERENCE MEASUREMENTS**

An optical-electronic device is proposed for automatization of interference measurement providing increased accuracy and diminished effect of the environmental factors on the experimental data. A block diagram of the device is represented, and the operating principle of it is discussed.