

**№3
1999**

**МІЖНАРОДНИЙ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ
ЖУРНАЛ**



Вимірювальна та
Обчислювальна
Техніка в
Технологічних
Процесах

Міжнародний науково-технічний журнал
**Вимірювальна та обчислювальна
техніка в технологічних процесах**

Заснований в травні 1997 р.

Виходить 4 рази на рік

Хмельницький, 1999, №3(9)

Засновники:

Технологічний університет Поділля (м. Хмельницький)

ВАТ НДІ "Уконд" (м. Хмельницький)

Українська технологічна академія (м. Київ)

Видавець: Технологічний університет Поділля (м. Хмельницький)

Головний редактор І.В. Троцишин

Редакційна колегія:

О.А.Вдовін (Україна, Хмельницький), **В.І.Водотовка** (Україна, Київ),
В.А.Венгржановський (Україна, Хмельницький), **Л.І.Ганзюк** (Україна,
Хмельницький), **Г.Ф.Гордієнко** (Україна, Хмельницький), **В.Б.Дудикевич**
(Україна, Львів), **В.М.Локазюк** (Україна, Хмельницький), **В.В.Календін** (Росія,
Москва), **С.А.Кравченко** (Росія, Санкт-Петербург), **Г.О.Козлик** (Україна, Київ),
В.П.Кожем'яко (Україна, Вінниця), **В.Т.Кондратов** (Україна, Київ),
В.Д.Косенков (Україна, Хмельницький), **І.В.Кузьмін** (Україна, Вінниця),
А.О.Мельник (Україна, Львів), **Ю.Ф.Павленко** (Україна, Харків),
О.М.Петренко (Україна, Хмельницький), **В.О.Піджаренко** (Україна, Вінниця),
С.І.П'ятін (Україна, Хмельницький), **В.П.Ройзман** (Україна, Хмельницький),
В.М.Тарасевич (Україна, Київ), **Ю.О.Скрипник** (Україна, Київ, голова
редакційної колегії), **М.М.Сурду** (Україна, Київ), **Й.І.Стенцель** (Україна,
Северодонецьк).

Відповідальний секретар Л.В. Троцишина

Технічний редактор Л.В. Троцишина

Редактор-коректор В.М. Сарана

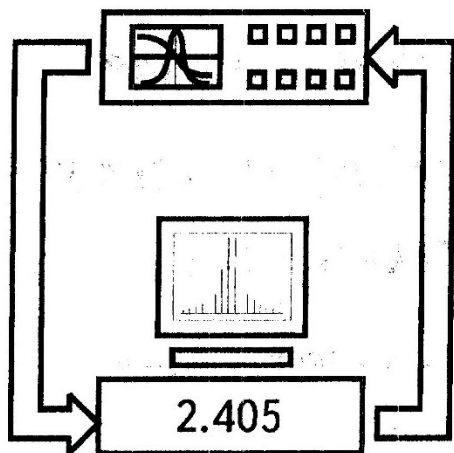
Адреса редакції: Україна, 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська 11, Технологічний університет
Поділля, редакція журналу "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах",
(кімн. 4-331), **тел:** (0382) 72-88-74.

E-mail: vottp@beta.tup.km.ua

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ №2398 від 9 січня 1997 року.

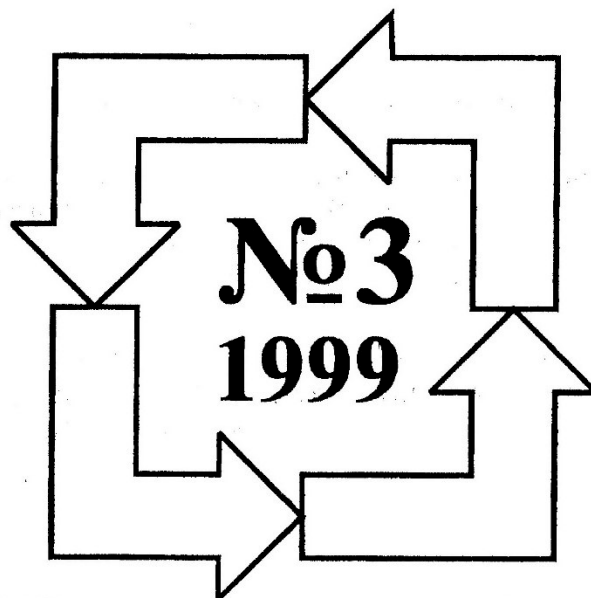
© Технологічний університет Поділля, 1999

© Редакція "Вимірювальна та обчислювальна
техніка в технологічних процесах", 1997



*INTERNATIONAL
SCIENTIFIC-TECHNICAL
MAGAZINE*

**MEASURING
AND
COMPUTING
DEVICES
IN
TECHNOLOGICAL
PROCESSES**



KHMELNITSKY

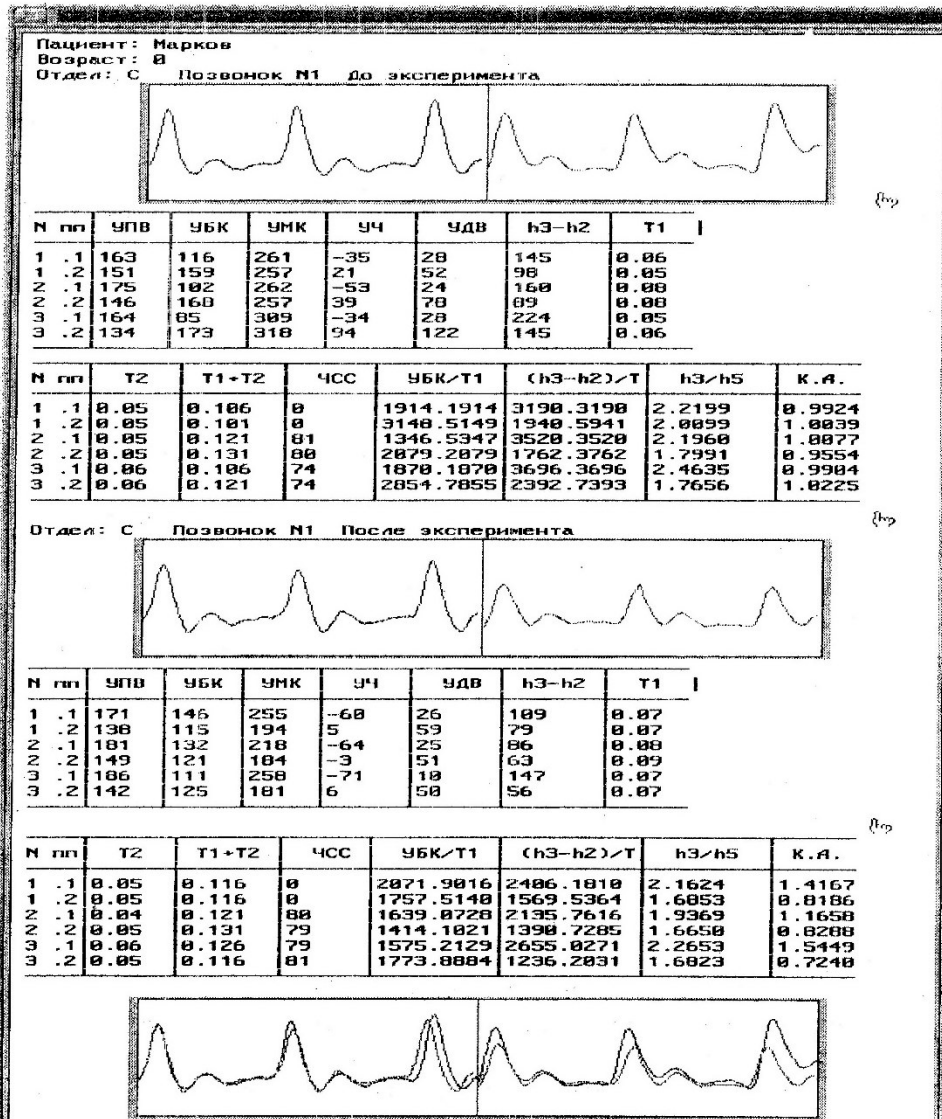


Рис.5. Результаты обработки фотоплетизмографических данных

ФПГ - метод придатный для диагностики стоматологических заболеваний, объективной оценки эффективности их лечения.

Література

1. Прохончуков А.А., Логинова Н.К., Житина Н.А. Функциональная диагностика в стоматологической практике. - М.: Медицина, 1980. - 272 с.
2. Минцер О.П., Молотков В.Н. и др. Биологическая и медицинская кибернетика: Справочник.- К.:Наукова думка,1986.-374 с.
3. Фурно Г. и др. Микрокомпьютерные медицинские системы: Проектирование и применения: Пер. с англ.- М: Мир, 1983 - 546с.
4. Pologe J.A. //Advanc. Oxygen monitor. - 1987. -Vol. 25, № 3.- P. 142 - 153.
5. Кузьмич В.В. Основные принципы и особенности транскутанной "отражательной" оксиметрии // Мед. техника.-1993.- N3.- С. 36-42.

Надійшла до редакції
08. 10. 99 року.

УДК 621. 317. 35

В. Я. Суп'ян, А. В. Рудик, І. В. Барановський

Вінницький державний технічний університет

**ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ПРОЗОРИХ СЕРЕДОВИЩ**

Контроль параметрів та властивостей прозорих середовищ найчастіше ґрунтується на аналізі результату взаємодії електромагнітного випромінювання (що пройшло або відбилося) різних діапазонів частот з самим середовищем (об'єктом контролю). Як об'єкти контролю можуть використовуватись різні рідини та газоподібні речовини, матеріали різної геометричної форми та розмірів, а також вироби,

отримані в ході технологічного процесу (оптико-волоконні кабелі і т.і.). Найбільш чутливими до зміни параметрів або стану об'єкта контролю є оптичні датчики, які входять до складу різних вимірювачів [1]. Практичне використання таких датчиків обмежується впливом зовнішніх факторів (температури, вібрацій, шумів), які змінюють параметри вимірювачів та обумовлюють систематичні та випадкові похибки.

Проблема зменшення похибок вимірювань та впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів виникла з появою перших вимірювачів параметрів об'єктів контролю. Як показали дослідження, у вимірювальній техніці найбільш ефективними є інваріантні методи зменшення похибок, які потребують наявності як мінімум двох каналів у вимірювальній системі [2]. Ідентичність двох каналів вимірювача дозволяє зменшити рівень похибок, що вносяться різними дестабілізуючими факторами. Для виключення впливу різних нестабільностей, які порушують ідентичність каналів вимірювача, використовуються структурно-алгоритмічні методи, зокрема методи періодичного порівняння, комутаційно-модуляційні та інші методи автоматичної корекції похибок вимірювання [3].

В теорії вимірювань доведено, що найбільш чутливими до зміни параметрів об'єкта контролю є фазові методи вимірювання. Однак [4] ряд систем та пристроїв може бути охарактеризовано не фазочастотною характеристикою (ФЧХ) $\varphi = f(\omega)$, а частотною характеристикою групового часу запізнення (ГЧЗ) $t_{gp} = F(\omega)$.

Для вимірювання ГЧЗ використовуються різні методи. В їх основі лежить передача досліджуванним колом (об'єктом контролю) групового сигналу, який складається з декількох гармонічних напруг, та подальше визначення ГЧЗ за фазовим зсувом оригінальної миттєвих значень напруги групового сигналу. Оригінальна групового сигналу в процесі детектування перетворюється в низькочастотне коливання. Таким чином, вимірювання ГЧЗ зводиться до вимірювання фазових зсувів між двома напругами низької частоти.

Вперше був запропонований метод з одним амплітудно-модульованим сигналом (АМС), так званий метод Найквіста. Але при такому методі вимірювання виникає ряд похибок, які спотворюють результат вимірювання [4]. Тому на практиці використовується одна з модифікацій методу Найквіста - метод з придушеною однією боковою або несучою спектральною складовою АМС [5].

В роботі розглянуто деякі варіанти побудови оптичних систем контролю параметрів та стану об'єкта контролю, в яких використовуються двоканальні вимірювачі з автоматичною корекцією похибок на основі збитковості.

На рис.1 наведена структурна схема радіооптичного вимірювача властивостей прозорих середовищ (ГЧЗ об'єкта контролю) на основі акустооптичного модулятора (АОМ), який працює в режимі дифракції Бреґґа.

Вимірювач складається з лазера 1, напівпро-зорого дзеркала 2, відбивальних дзеркал 3 та 6, АОМ 4, розташованого на стабілізуючій платформі 5, оптичного змішувача 7, оптично прозорого об'єкта контролю 8, фотоприймача 9, радіочастотного генератора 10 та електронного фазометра 11.

Рис. 1. Структурна схема радіооптичного вимірювача ГЧЗ об'єкта контролю

Працює вимірювач таким чином. Випромінювання лазера 1 за допомогою напівпрозорого 2 та відбивального 3 дзеркал розділяється на два випромінювання, на шляху одного з яких під відповідним кутом (кутом Бреґґа) встановлено АОМ 4 на стабілізуючій платформі 5. На електричний вхід модулятора подається гармонічна напруга збудження від генератора 10 радіочастотного діапазону (40...100 МГц).

В результаті акустооптичної взаємодії лазерного випромінювання з частотою f_0 та акустичної хвилі збудження з частотою F на виході модулятора за рахунок дифракції випромінювання лазера з'являються дифраговані промені ± 1 порядків. Промені нульового порядку в розглянутому вимірювачі не використовуються. Дифрагований промінь $+1$ порядку має частоту $f_0 + F$, а промінь -1 порядку - частоту $f_0 - F$.

Ці промені на виході АОМ випромінюються під кутом Бреґґа $\theta = \arcsin \frac{\lambda}{2\Lambda}$, де $\lambda = \frac{v}{f_0}$ -

довжина хвилі випромінювання, що падає; $\Lambda = \frac{V}{F}$ - довжина акустичної (ультразвукової) хвилі; v та V - відповідно, швидкість світла та швидкість ультразвуку в кристалі модулятора.

При порівняно невеликому значенні кута $\theta \leq 20^\circ$ можна забезпечити просторову фільтрацію променів на виході модулятора 4. За допомогою дзеркала 6 та оптичного змішувача 7 відбувається суміщення променя, який має частоту $f_0 + F$, з променем лазерного випромінювання. Таким чином, на виході оптичного змішувача можна отримати двочастотний досліджуваний сигнал:

$$U_7(t) = E_0 \cos(\omega_0 t + \Delta\varphi_2^0 + \Delta\varphi_3^0 + \Delta\varphi_7^0) + E_1 \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \Delta\varphi_2^1 + \Delta\varphi_4^1 + \Delta\varphi_6^1 + \Delta\varphi_7^1 + \Delta\varphi_{10}^1], \quad (1)$$

де $\omega_0 = 2\pi f_0$; $\Omega = 2\pi F$; $\Delta\varphi_2^0, \Delta\varphi_3^0, \Delta\varphi_7^0$ - фазові нестабільності, що вносяться напівпрозорим та

відбивальним дзеркалами 2 та 3 і оптичним змішувачем 7 в промінь випромінювання лазера: $\Delta\varphi_2^1, \Delta\varphi_4^1, \Delta\varphi_6^1, \Delta\varphi_7^1, \Delta\varphi_{10}^1$ – фазові нестабільності, що вносяться напівпрозорим дзеркалом 2, АОМ 4, відбивальним дзеркалом 6, оптичним змішувачем 7 та генератором радіочастотного діапазону (за рахунок відхилення частоти) в дифрагований промінь +1 порядку:

Промені, що сумістились, проходять через оптично прозорий об'єкт контролю 8 та інтерферують на апертурі фотоприймача 9 [6]. Їх детектування фотоприймачем (у випадку квадратичного режиму) дозволяє отримати на виході фотоприймача напругу, яка має вигляд [7]:

$$U_{9,1}(t) = b_1 E_0 E_1 \gamma(\omega_0) \gamma(\omega_0 + \Omega) \cos \{ \Omega t + \varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0) + \Delta\varphi_2^1 - \Delta\varphi_2^0 + \Delta\varphi_4^1 + \Delta\varphi_6^1 - \Delta\varphi_3^0 + \Delta\varphi_7^1 - \Delta\varphi_7^0 + \Delta\varphi_{10}^1 + \Delta\varphi_9 \}, \quad (2)$$

де b_1 – коефіцієнт, що характеризує чутливість фотоприймача 9; E_0 та E_1 – інтенсивність випромінювання лазера та дифрагованого променя +1 порядку дифракції; $\gamma(\omega_0)$ та $\gamma(\omega_0 + \Omega)$ – коефіцієнти, що враховують послаблення випромінювання лазера та дифрагованого променя +1 порядку дифракції; $\varphi_8(\omega_0 + \Omega)$ та $\varphi_8(\omega_0)$ – фазові зсуви, які вносяться оптично прозорим об'єктом контролю на відповідних складових променів, що сумістились; $\Delta\varphi_9$ – фазовий зсув, що вноситься фотоприймачем 9.

Гармонічна напруга радіочастотного генератора 10 та вихідна напруга фотоприймача 9 надходять на входи електронного фазометра 11. Фазовий зсув, який вимірюється фазометром без врахування постійних фазових набігань в каналах за рахунок нерівності довжини шляху проходження променями та при нульовій початковій фазі напруги генератора 10, визначається співвідношенням:

$$\varphi_{\text{вим},1} = \varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0) + \Delta\varphi_2^1 - \Delta\varphi_2^0 + \Delta\varphi_4^1 + \Delta\varphi_6^1 - \Delta\varphi_3^0 + \Delta\varphi_7^1 - \Delta\varphi_7^0 + \Delta\varphi_9. \quad (3)$$

З співвідношення (3) виходить, що фазові нестабільності, які виникають в каналах вимірювача, віднімаються. В зв'язку з цим нестабільності, що виникають за рахунок зміни температури та вібрацій в елементах, крізь які проходять промені нульового та першого порядків дифракції (2 та 7), корельовані та взаємно виключаються: $\Delta\varphi_2^1 = \Delta\varphi_2^0$ та $\Delta\varphi_7^1 = \Delta\varphi_7^0$. Похибку, що вноситься АОМ 4 $\Delta\varphi_4^1$, можна зменшити при встановленні його на стабілізуючій платформі 5.

Однак похибки, що виникають: за рахунок зміни температури та вібрацій дзеркала 3, яка дорівнює $\Delta\varphi_3^0$, та дзеркала 6, яка дорівнює $\Delta\varphi_6^1$, не виключаються з результату вимірювань. Крім того, впливає на результат вимірювання і фазовий зсув, внесений фотоприймачем 9. Тому результат вимірювання кута фазового зсуву буде визначатися співвідношенням:

$$\varphi_{\text{вим},1} = \varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0) + \Delta\varphi_4^1 + \Delta\varphi_6^1 - \Delta\varphi_3^0 + \Delta\varphi_9, \quad (4)$$

а результат вимірювання ГЧЗ оптично прозорого об'єкта контролю – співвідношенням:

$$t_{\text{сп},1}(\Omega) = \frac{\varphi_{\text{вим},1}}{\Omega} = \frac{\varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0)}{\Omega} + \frac{\Delta\varphi_4^1 + \Delta\varphi_6^1 - \Delta\varphi_3^0 + \Delta\varphi_9}{\Omega} = t_{\text{сп},3}(\Omega) + \Delta t_{\text{сп},1}(\Omega). \quad (5)$$

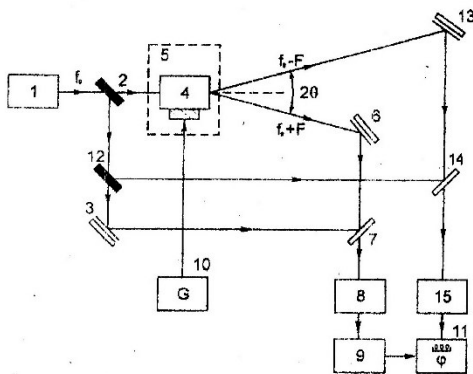


Рис. 2. Структурна схема двоканального радіооптичного вимірювача ГЧЗ об'єкта контролю які визначаються такими співвідношеннями:

$$U_{9,2}(t) = b_2 E_0 E_1 \gamma(\omega_0) \gamma(\omega_0 + \Omega) \cos \{ \Omega t + \varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0) + \Delta\varphi_2^1 - \Delta\varphi_2^0 + \Delta\varphi_4^1 - \Delta\varphi_{12}^0 + \Delta\varphi_6^1 - \Delta\varphi_3^0 + \Delta\varphi_7^1 - \Delta\varphi_7^0 + \Delta\varphi_{10}^1 + \Delta\varphi_9 \}, \quad (6)$$

$$U_{15,2}(t) = b_2 E_0 E_{-1} \gamma(\omega_0) \gamma(\omega_0 - \Omega) \cos \{ \Omega t + \Delta\varphi_2^0 - \Delta\varphi_2^{-1} - \Delta\varphi_4^{-1} + \Delta\varphi_{12}^0 - \Delta\varphi_{13}^{-1} + \Delta\varphi_{14}^0 - \Delta\varphi_{14}^{-1} - \Delta\varphi_{10}^{-1} + \Delta\varphi_{15} \}, \quad (7)$$

де b_2 – коефіцієнт, що характеризує чутливість фотоприймача 15; E_{-1} – інтенсивність випромінювання

Похибку вимірювання ГЧЗ $\Delta t_{\text{сп},1}(\Omega)$ можна дещо зменшити

при використанні двоканального радіооптичного вимірювача, структурна схема якого наведена на рис.2. Вона відрізняється від попередньої тим, що в неї додатково введені напівпрозоре дзеркало 12, відбивальне дзеркало 13, оптичний змішувач 14 та фотоприймач 15, які є елементами опорного оптичного каналу.

Відбивальне дзеркало 13 використовується для променя -1 порядку дифракції. За допомогою напівпрозорого дзеркала 12 та оптичного змішувача 14 формується двочастотний досліджуваний сигнал другого (опорного) каналу, який інтерферує на апертурі додаткового фотоприймача 15.

В режимі квадратичного детектування променя на виході фотоприймачів 9 та 15 отримуємо напруги,

дифрагованого променя -1 порядку дифракції; $\gamma(\omega_0 - \Omega)$ - коефіцієнт, що враховує послаблення випромінювання дифрагованого променя -1 порядку дифракції; $\Delta\varphi_{15}$ - фазовий зсув, що вноситься фотоприймачем 15 в опорному каналі; $\Delta\varphi_{12}^0$ - фазова нестабільність, що вноситься напівпрозорим дзеркалом 12 в промінь лазера; $\Delta\varphi_{13}^0, \Delta\varphi_{14}^0, \Delta\varphi_{14}^{-1}$ - фазові нестабільності, що вносяться відбивальним дзеркалом 13 та оптичним змішувачем 14 в дифрагований промінь -1 порядку та випромінювання лазера.

Вихідні напруги фотоприймачів 9 та 15 надходять на входи електронного фазометра 11. Фазовий зсув, який вимірюється фазометром, визначається співвідношенням:

$$\varphi_{\text{вим.2}} = \varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0) + \Delta\varphi_2^1 + \Delta\varphi_2^{-1} - 2\Delta\varphi_2^0 + \Delta\varphi_4^1 + \Delta\varphi_4^{-1} - 2\Delta\varphi_{12}^0 + \Delta\varphi_6^1 + \Delta\varphi_6^{-1} + \Delta\varphi_{13}^{-1} - \Delta\varphi_3^0 + \Delta\varphi_7^1 - \Delta\varphi_7^0 - \Delta\varphi_{14}^0 + \Delta\varphi_{14}^{-1} + \Delta\varphi_{10}^1 + \Delta\varphi_{10}^{-1} + \Delta\varphi_9 - \Delta\varphi_{15}. \quad (8)$$

З врахуванням кореляції нестабільностей, що вносяться спільними для променів першого та друго-го каналів вимірювача елементами 2, 7 та 14 ($\Delta\varphi_2^1 + \Delta\varphi_2^{-1} = 2\Delta\varphi_2^0$; $\Delta\varphi_7^1 = \Delta\varphi_7^0$; $\Delta\varphi_{14}^0 = \Delta\varphi_{14}^{-1}$), співвідношення (8) можна переписати таким чином:

$$\varphi_{\text{вим.2}} = \varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0) + \Delta\varphi_4^1 + \Delta\varphi_4^{-1} - 2\Delta\varphi_{12}^0 + \Delta\varphi_6^1 + \Delta\varphi_6^{-1} + \Delta\varphi_{13}^{-1} - \Delta\varphi_3^0 + \Delta\varphi_{10}^1 + \Delta\varphi_{10}^{-1} + \Delta\varphi_9 - \Delta\varphi_{15}. \quad (9)$$

Крім того, в останньому співвідношенні корельовані (але взаємно не виключаються) фазові нестабільності $\Delta\varphi_{10}^1 = \Delta\varphi_{10}^{-1} = \Delta\varphi_{10}$, що вносяться генератором 10 за рахунок відхилення частоти, а на результат вимірювання впливають також фазові нестабільності АОМ 4, напівпрозорого дзеркала 12, відбивальних дзеркал 3, 6 та 13 і фотоприймачів 9 та 15 $\Delta\varphi_{\text{фот}} = \Delta\varphi_9 - \Delta\varphi_{15}$. В цьому випадку результат вимірювання ГЧЗ оптично прозорого об'єкта контролю буде визначатися співвідношенням:

$$t_{\text{сп.2}}(\Omega) = \frac{\varphi_{\text{вим.2}}}{\Omega} = \frac{\varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0)}{\Omega} + \frac{\Delta\varphi_4^1 + \Delta\varphi_6^1 - \Delta\varphi_3^0 + \Delta\varphi_9}{\Omega} + \frac{\Delta\varphi_4^{-1} - 2\Delta\varphi_{12}^0 + \Delta\varphi_{13}^{-1} + 2\Delta\varphi_{10}^{-1} - \Delta\varphi_{15}}{\Omega} = t_{\text{сп.8}}(\Omega) + \Delta t_{\text{сп.1}}(\Omega) + \Delta t_{\text{сп.2}}(\Omega). \quad (10)$$

Однак похибки $\Delta t_{\text{сп.1}}(\Omega)$ та $\Delta t_{\text{сп.2}}(\Omega)$, що виникають за рахунок зміни температури та вібрацій елементів схеми вимірювача, в будь-якому разі не виключаються з результату вимірювання. Вказані похибки можна виключити при введенні в двоканальну систему додаткової структурно-алгоритмічної збитковості.

Розглянемо один з інваріантних методів автоматичної корекції похибок у вимірювачі, структурна схема якого наведена на рис.3. Вона відрізняється від попередньої (рис.2) тим, що в неї додатково введені АОМ 16, генератор комутаційних імпульсів (ГКІ) 17, електронний комутатор 18 та подвоювач частоти 19.

В такому вимірювачі відбивальне дзеркало 6 та оптичний змішувач 7 використовуються для отримання двочастотного досліджуваного сигналу у вимірювальному каналі, а відбивальне дзеркало 13 та оптичний змішувач 14 - для отримання двочастотного досліджуваного сигналу в опорному каналі. Таким чином, на виході оптичних змішувачів отримаємо такі сигнали:

$$U_7(t) = E_{4,1} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \Delta\varphi_2^1 + \Delta\varphi_4^1 + \Delta\varphi_6^1 + \Delta\varphi_7^1 + \Delta\varphi_{10}^1] + E_{16,-1} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \Delta\varphi_2^{-1} + \Delta\varphi_3^{-1} + \Delta\varphi_{16}^{-1} + \Delta\varphi_7^{-1} + \Delta\varphi_{10}^{-1}];$$

$$U_{14}(t) = E_{4,-1} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \Delta\varphi_2^{-1} + \Delta\varphi_4^{-1} + \Delta\varphi_{13}^{-1} + \Delta\varphi_{14}^{-1} + \Delta\varphi_{10}^{-1}] + E_{16,1} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \Delta\varphi_2^1 + \Delta\varphi_3^1 + \Delta\varphi_{16}^1 + \Delta\varphi_{14}^1 + \Delta\varphi_{10}^1].$$

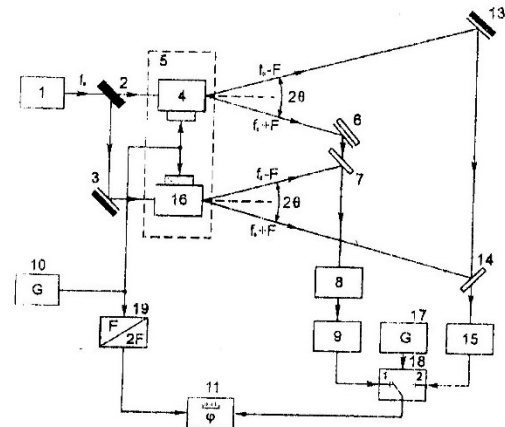


Рис. 3. Структурна схема двоканального радіооптичного вимірювача ГЧЗ об'єкта контролю з автоматичною корекцією похибки

В режимі квадратичного детектування променів на виході фотоприймачів 9 та 15 отримаємо напруги, які визначаються такими співвідношеннями:

$$U_{9,3}(t) = b_1 E_{4,1} E_{16,-1} \gamma(\omega_0 + \Omega) \gamma(\omega_0 - \Omega) \cos\{2\Omega t + \varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0 - \Omega) + \Delta\varphi_2^1 - \Delta\varphi_2^{-1} + \Delta\varphi_4^1 - \Delta\varphi_4^{-1} + \Delta\varphi_6^1 - \Delta\varphi_6^{-1} - \Delta\varphi_3^{-1} + \Delta\varphi_7^1 - \Delta\varphi_7^{-1} + \Delta\varphi_{10}^1 - \Delta\varphi_{10}^{-1} + \Delta\varphi_9\}; \quad (11)$$

$$U_{15,3}(t) = b_2 E_{4,-1} E_{16,1} \gamma(\omega_0 + \Omega) \gamma(\omega_0 - \Omega) \cos\{2\Omega t + \Delta\varphi_2^{-1} - \Delta\varphi_2^1 + \Delta\varphi_4^{-1} - \Delta\varphi_4^1 - \Delta\varphi_{13}^{-1} + \Delta\varphi_{13}^1 + \Delta\varphi_{14}^{-1} - \Delta\varphi_{14}^1 + \Delta\varphi_{10}^{-1} - \Delta\varphi_{10}^1 + \Delta\varphi_{15}\}. \quad (12)$$

Напруги з виходів фотоприймачів 9 $U_{9,3}(t)$ та 15 $U_{15,3}(t)$ подаються на електронний комутатор 18, що перемикається імпульсами з ГКІ 17, частота повторення (комутації) яких $\Omega_k < \Omega$.

В перший напівперіод комутації електронний фазометр 11 вимірює кут фазового зсуву між напругами $U_{9,3}(t)$ та $U_{19}(t) = U_{m19} \cos(2\Omega t + \Delta\varphi_{19})$, а у другий напівперіод - кут фазового зсуву між

напругами $U_{19}(t)$ та $U_{15,3}(t)$, де U_{m19} та $\Delta\varphi_{19}$ – відповідно, амплітуда та фазова нестабільність вихідної напруги подвоювача частоти 19. Таким чином:

$$\varphi_{ам.3}^1 = \varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0 - \Omega) + \Delta\varphi_2^1 - \Delta\varphi_2^{-1} + \Delta\varphi_4^1 - \Delta\varphi_4^{-1} + \Delta\varphi_{16}^1 - \Delta\varphi_{16}^{-1} + \Delta\varphi_6^1 - \Delta\varphi_6^{-1} + \Delta\varphi_7^1 - \Delta\varphi_7^{-1} + \Delta\varphi_{10}^1 - \Delta\varphi_{10}^{-1} + \Delta\varphi_9 - \Delta\varphi_{19}; \quad (13)$$

$$\varphi_{ам.3}^2 = \Delta\varphi_2^1 - \Delta\varphi_2^{-1} - \Delta\varphi_4^1 + \Delta\varphi_4^{-1} - \Delta\varphi_{16}^1 + \Delta\varphi_{16}^{-1} + \Delta\varphi_3^1 - \Delta\varphi_{14}^{-1} + \Delta\varphi_{14}^1 - \Delta\varphi_{10}^{-1} + \Delta\varphi_{10}^1 - \Delta\varphi_{15} + \Delta\varphi_{19}. \quad (14)$$

З врахуванням кореляції нестабільностей, що вносяться спільними для променів першого та другого каналів вимірювача елементами 2, 7 та 14, з співвідношень (13) та (14) отримаємо:

$$\varphi_{ам.3}^1 = \varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0 - \Omega) + \Delta\varphi_{M,1} + \Delta\varphi_6^1 - \Delta\varphi_3^{-1} + \Delta\varphi_9 - \Delta\varphi_{19}; \quad (15)$$

$$\varphi_{ам.3}^2 = -\Delta\varphi_{M,2} - \Delta\varphi_{13}^{-1} + \Delta\varphi_3^1 - \Delta\varphi_{15} + \Delta\varphi_{19}, \quad (16)$$

де $\Delta\varphi_{M,1} = \Delta\varphi_4^1 - \Delta\varphi_{16}^{-1}$, $\Delta\varphi_{M,2} = \Delta\varphi_4^1 - \Delta\varphi_{16}^1$ та $\Delta\varphi_{10}^1 = \Delta\varphi_{10}^{-1}$ – відповідні фазові нестабільності, що вносяться однотипними елементами вимірювача (акустооптичними модуляторами) в промені +1 та -1 порядків дифракції в першому та другому каналах вимірювача.

Відбивальне дзеркало 3 є спільним елементом для формування променів -1 та +1 порядків дифракції, тому $\Delta\varphi_3^1 = \Delta\varphi_3^{-1}$. Акустооптичні модулятори 4 та 16, розташовані на спільній стабілізаційній платформі 5, також є спільними елементами для променів першого і другого каналів, тому $\Delta\varphi_{M,1} = \Delta\varphi_{M,2}$.

При роботі електронного фазометра 11 за алгоритмом усереднення (складання) результатів вимірювання в перший та другий напівперіоди комутації з співвідношень (15) та (16) отримаємо:

$$\varphi_{ам.3} = \varphi_{ам.3}^1 + \varphi_{ам.3}^2 = \varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0 - \Omega) + \Delta\varphi_6^1 - \Delta\varphi_{13}^{-1} + \Delta\varphi_9 - \Delta\varphi_{15}. \quad (17)$$

Фазові нестабільності, що вносяться ідентичними відбивальними дзеркалами 6 та 13 в каналах променів, близьких по частоті, протифазні та корельовані між собою, тому можна вважати, що $\Delta\varphi_6^1 \approx \Delta\varphi_{13}^{-1}$. Крім того, можна вважати, що фазовий зсув $\Delta\varphi_{оп} = \Delta\varphi_9 - \Delta\varphi_{15}$, внесений однотипними фотоприймачами 9 та 15, приблизно дорівнює нулю.

Таким чином, результат вимірювання ГЧЗ оптично прозорого об'єкта контролю визначається тільки фазовим зсувом, що вноситься саме об'єктом контролю 8, тобто $t_{сп.3}(\Omega) = \frac{\varphi_{ам.3}}{2\Omega} = \frac{\varphi_8(\omega_0 + \Omega) - \varphi_8(\omega_0 - \Omega)}{2\Omega} = t_{сп.8}(\Omega)$.

Введення додаткового каналу, в якому використовується інформація про нестабільності елементів вимірювача, дозволяє суттєво зменшити вплив вібрацій та температурних змін на точність вимірювання ГЧЗ (кута фазового зсуву) оптично прозорого об'єкта контролю 8.

Подальший розвиток структур оптичних вимірювачів повинний спрямовуватись на виключення впливу неінформативних параметрів об'єкта контролю на результат вимірювання. Так, при вимірюванні інших фізичних параметрів (кількості речовини або його концентрації) фазовий зсув, що вноситься об'єктом контролю, залежить від показника заломлення власне речовини, показника заломлення розчинника та фазової затримки, що вноситься розчинником. В розглянутих структурних схемах виявити ці залежності можна при введенні в опорний канал оптично прозорої кювети з розчинником. В цьому випадку можна реалізувати компенсаційний метод вимірювання, переміщуючи АОМ опорного каналу на величину ΔL та використовуючи електронний фазометр 11 як нуль-індикатор. Тоді точність

вимірювання може бути збільшена в $m = 2 \frac{\Lambda}{\lambda}$ разів [6, 8].

Додаткових досліджень потребують питання впливу неідентичності фазових характеристик фотоприймачів та нелінійних спотворень в оптичних та радіотехнічних сигналах на результат вимірювання. Ймовірно, що і ці похибки доцільно компенсувати структурно-алгоритмічними методами.

Література

1. Красюк Б. А., Семенов О. Г., Изместьев А. Г. Светодиодные датчики. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
2. Петров Б. Н., Викторов В. А., Лункин Б.В., Совлуков А. С. Принцип инвариантности в измерительной технике. – М.: Наука, 1976. – 243 с.
3. Таланчук П. М., Скрипник Ю. О., Дубровний В. О. Засоби вимірювання в автоматичних інформаційних та керуючих системах. – К.: Райдуга, 1994. – 672 с.
4. Рудик А. В. Вимірювання нелінійності фазочастотної характеристики електричного кола // Вісник ВПІ. – 1996. – №4. – С. 61-65.
5. А. с. 177974 СССР. Способ измерения идентичности фазовых характеристик четырёхполюсников / В. Я. Сурьян // Бюл. изобр. – 1966. – №2.
6. Рудик А. В., Суп'ян О. В. Акустооптичний спосіб вимірювання малих переміщень // Вісник ВПІ. – 1995. – №2. – С. 58-62.

7. Патент №18058 (Україна). Фазометр оптичного діапазону/В.Я. Суп'ян, О.В. Суп'ян, А.В. Рудик//Бюл. винах. -1997. - №16.

8. Рудик А.В., Суп'ян Я.В. Інваріантний метод автоматичної корекції похибок вимірювання малих переміщень//Контроль і управління в складних системах: Матеріали 5-ої міжнародної НТК - Вінниця. -1999. - Т.2. - С. 196-202.

Надійшла до редакції
17. 10. 99 року.

УДК 539.2

І.Б. Кузнецов

Центр стандартизації і метрології озброєння та військової техніки Збройних Сил України

М.А. Зенкін

Київський державний університет технологій та дизайну

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕТОД СЕНСОРНОЇ ДІАГНОСТИКИ СТАДІЇ ПЕРЕДРУЙНУВАННЯ ПОВЕРХНІ МЕТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ І ВУЗЛІВ МАШИНОБУДУВАННЯ, АПАРАТУРА ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

Контроль структурно-фазової (с.-ф.) однорідності поверхні деталей та вузлів машинобудування здійснюється на даний час переважно металографічними методами [1]. Ці методи є руйнівними. Їх результати ґрунтуються на суб'єктивних оцінках фахівця, який здійснює контроль.

Для оцінки стану поверхні деталей і вузлів також можуть використовуватися емісійні та зондуючі методи аналізу поверхні. Всі вони вимагають використання дорогого та малопродуктивного вакуумного устаткування, що робить їх непридатними для виробничих і експлуатаційних умов [2,3].

На даний час все більш широке використання для діагностики металевої поверхні знаходить енергетичний метод, що заснований на оцінці аномалій розподілу поверхневого потенціалу над місцями локалізації с.-ф. неоднорідностей [4]. Основою методу є ефект виникнення різниці поверхневих потенціалів $U(t)$ в зоні контактування двох металів: металу, з якого виготовлено деталь, що контролюється, і металу, з якого виготовлено вимірювальний електрод.

Відомо, що при температурі $T > 0$ К всередині кристалічної решітки металу виникає хаотичний рух електронів. З підвищенням температури до $T = 300$ К електрони, які вільно рухаються, починають емісувати з поверхні металу, створюючи над нею низькотемпературну електронну плазму.

Мікродеформації і неоднорідності, які знаходяться на поверхні металу, виникають під дією випадкових факторів і зовнішнього середовища та змінюють інтенсивність емісії. На інтенсивність емісії електронів також чинять вплив діючі і залишкові напруги першого та другого роду [4].

Фіксуючи зміни інтенсивності емісії з поверхні металу можна одержувати інформацію про параметри мікродеформації на його поверхні [4].

Діагностика мікродеформації полягає у виявленні мікродеформації та вимірювання її параметрів. Технічна реалізація цього методу полягає у вимірюванні різниці потенціалів між ділянкою поверхні, що діагностується, та елементом, що зондує, датчика в середовищі іонізованого повітря під дією малопотужного плутонієвого джерела іонізуючого випромінювання.

Практичне впровадження здійснюється за двома основними напрямками. Перший напрямок полягає в розробці і організації серійного виробництва приладів інтегральної оцінки с.-ф. неоднорідності металевої або напівпровідникової поверхні, діагностики адгезійної здатності та товщинометрії тонких плівок на початкових стадіях їх виникнення.

Другий напрямок полягає в розробці локальних вимірювачів с.-ф. неоднорідності металевої і напівпровідникової поверхні на основі дискримінуючих вимірювачів, з'єднаних з ЕОМ, і виробництві дослідної партії діагностичних комплексів. Вони дозволяють визначити характер напружено-деформованого стану за проекціями тензора напруг в об'ємі тонкого ($0,1 \dots 10$ мкм) шару металевої поверхні з відносною мікродеформацією $0,5 \times 10^{-3} \dots 1,0 \times 10^{-10}$ на ранніх стадіях виникнення с.-ф. неоднорідностей поверхні, покритих оксидними плівками і адсорбованими забрудненнями.

Виділення корисної інформації щодо с.-ф. неоднорідностей поверхні, що діагностується, із сукупності діючих факторів здійснюється на основі методу нелінійної фільтрації випадкових марковських процесів в ході сканування сенсорним датчиком по поверхні, що діагностується. Для обробки, подання і реєстрації інформації в комплексі може використовуватись ПЕОМ типу IBM PC/AT.

В процесі одержання текстової інформації щодо досліджуваної поверхні реєструється положення умовної крапки поверхні в трикоординатному просторі. Виміряні значення проекцій мікродеформацій дозволяють спостерігати характер об'ємних деформацій тонкого поверхневого шару реальних деталей і вузлів. Особливо важливо знати реальний розподіл деформацій в зонах руйнування деталей та вузлів машинобудування при проведенні або розслідуванні причин подій.

Розроблена конструкція трирізцевої головки для вібраційного точіння з приводом обертання від заготовки. Особливістю конструкції є атоматичне врізання і відведення інструмента, яке забезпечується кулачковим механізмом. Визначені залежності геометричних характеристик кулачкового механізму від обертаючого момента заготовки, а також зони пристрою подріблення стружки при надійному автоматичному відведенні головки.

УДК 534.282:549.004

Визначення пружних та демпфуючих характеристик деталей прецизійного та вимірювального устаткування/В.І. Кондратюк//Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 1999. -№3. -С.46-47:Іл. 4. Бібліогр.: 3 назв.

Розроблена методика дозволяє оцінити та зіставити демпфуючі та пружні характеристики різних матеріалів. Методика впроваджена на НВО "Ротор" і використовується для вхідного контролю гірських порід, які використовуються для виготовлення деталей прецизійного та вимірювального устаткування.

УДК 681.542.4

Вимірювальна система метрологічної атестації вологомірів матеріалів/С.Г. Брюнин, В.І. Водотовка, Ф.М. Рєпа//Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 1999. -№3. -С.47-49: Іл. 1. Бібліогр.: 2 назв.

Запропоновано алгоритм вимірювання для комп'ютерно-вимірювальної системи метрологічної атестації вологомірів матеріалів, який дозволяє виключити із результатів вимірювань похибку нуля масовимірювальних каналів, величину зміни підсилення кожного із каналів, складові маси мікрохвильової камери висушування і коефіцієнта перетворення каналів з їх мультиплікативними похибками.

УДК 621.317

Спосіб визначення моменту опору електричних машин та пристрій для його реалізації/В.Ю. Кучерук //Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 1999. -№3. -С.49-52:Іл. 3. Бібліогр.: 6 назв.

Запропоновано спосіб визначення залежності моменту опору від кутової швидкості електричних машин, який є основою для подальшого удосконалення методів і алгоритмів оцінки приведенного моменту інерції, параметрів дисбалансу ротора, механічної характеристики.

УДК 621.383

Дослідження оптичної чутливості арсенід-галієвих польових транзисторів із бар'єром Шоткі при умові власного поглинання випромінювання/М.Г. Тарновський, В.С. Осадчук, О.В. Осадчук//Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 1999. -№3. -С.52-55:Іл. 4. Бібліогр.: 3 назв.

Проведено теоретичне дослідження основних фотоелектричних явищ, що виникають в арсенід-галієвих польових транзисторах з бар'єром Шоткі в умовах власного поглинання випромінювання. Встановлено, що фотоелектричні властивості таких транзисторів обумовлюються тільки фотогальванічним ефектом, який виявляється на переході активний шар - підкладка, внаслідок чого зменшується товщина збудженої області, яка існує на межі цього переходу зі сторони активного шару, що призводить до збільшення товщини активного шару та зміни характеристик транзистора.

УДК 621.528

Оптичні методи оцінки мікроциркуляції в щелепно-лицьовій області/В.П.Кожем'яко, С.В.Павлов, О.С.Барило, Я.О.Гальченко//Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 1999. -№3. -С.56-60:Іл. 5. Бібліогр.: 5назв.

Розглянуто оптичні методи оцінки мікроциркуляції в щелепно-лицьовій області. Комплексний аналіз дозволяє одержати досить повну інформацію про стан мікроциркуляторного русла. Приведено експериментально-клінічне обґрунтування методу дослідження кровопостачання органів тканин щелепно-лицьової області, яке є новим напрямком в розвитку функціональних методів дослідження в терапевтичній, хірургічній та ортопедичній стоматології, що дозволяє ставити та вирішувати важливі проблемні питання в фізіології.

УДК 621. 317. 35

Пристрій для вимірювання властивостей прозорих середовищ /В.Я. Суп'ян, А.В. Рудик, І.В. Барановський//Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 1999. - №3. -С.60-65:Іл. 3. Бібліогр.: 8назв.

Показано, що радіооптичні вимірювачі можна використовувати для контролю параметрів та стану оптично прозорого об'єкта контролю, які виражаються через груповий час запізнення.

Розглянуто декілька варіантів побудови радіооптичних вимірювачів, серед яких запропоновано вимірювач на основі двоканальної структури з автоматичною корекцією похибок вимірювання на основі збитковості.

УДК 539.2

Енергетичний метод сенсорної діагностики стадії передруйнування поверхні металевих деталей і вузлів машинобудування, апаратура для його реалізації/І.Б. Кузнецов, М.А. Зенкін//Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 1999. -№3. -С.65-67:Іл. 1. Бібліогр.: 4назв.

Запропоновано використання енергетичного методу сенсорної діагностики, що базується на оцінці аномалій розподілу поверхневого потенціалу над місцями локалізації структурно-фазових неоднорідностей, для визначення стадії передруйнування поверхні металевих деталей. Наведено алгоритм вирішення задачі за допомогою діагностичного комплексу.

УДК 620.179

Цифровий інфранизькочастотний канал товщиноміра листових сталевих матеріалів і конструкцій/І.М. Бучма//Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 1999. -№3. -С.69-73:Іл. 2. Бібліогр.: 5назв.

ABSTRACTS

Efficiency increase of neutron's method application in the process of electric networks optimal control/V.V.KULIK//MCTTP. - 1999. - №3.- P. 11-15: Figs.2. Refs.:5 titles.

The article deals with the application of Neutron's method of the second order to realize automatic analysis module of electric networks (EN) normal modes (NM) within software complex designed for power losses optimization in EN. The article also considers measures aimed at the increase of its functional abilities within the limits of mathematic model of NM analysis with Neutron's iteration.

The usage of object-oriented methodology permitted to increase the efficiency of algorithmic realization of suggested methods and install more efficient module for EN normal modes calculation. Due to this the efficiency of optimization process and adaptation level of optimal control has approached the real conditions of electric networks operation.

The analysis of heating of a hardening surface in technological process of manufacturing of metal glasses/F.I. Skoropad, B.I. Stadnyk//MCTTP. - 1999. - №3.- P. 19-25: Figs.4. Refs.:7 titles.

With the purpose of use in measuring engineering of metal glasses the technological features of their manufacturing are analysed and the correlation between thermal and geometric parameters is determined.

Principles of construction of measuring means using magnetostrictions the converter/N.I. Chichikalo//MCTTP. - 1999. - №3.- P. 25-28: Figs.5. Refs.:5 titles.

The executed analysis of a principle of action and used property of the converter of force has allowed to define (determine) the basic tasks, which decision has enabled to realize principles of construction of measuring means using магнітоупругий the converter. The realization of the listed tasks has ensured a number (line) of small-sized sensitive elements with controllable ranges: 0 - 5, 0 - 30 and 0 - 90 tons distinguished from known static characteristic, close to linear on the given range, which have found wide application for gauges of loading in devices and monitoring systems of weight of raw material, semifinished items and that of similar components.

Short historical review of development of scientific branch "Negatronics"/N.A. Filiniuk//MCTTP. - 1999. - №3.- P. 38-43: Figs.3. Refs.:30 titles.

Main stages of development of negatronics are considered in the article. The review is based on analysis of research results in branch of creation of negatrons and devices based on negatrons that use various physical effects in gas, vacuum and semiconductors. Merits and demerits of worked out negatrons are generalized. Role of various scientific trends in branch of negatronics is noted.

Determination of geometric parameters of the three cutters head cam mechanism for vibration turning with the blank rotation drive/G.E. Yukhymenko//MCTTP. - 1999. - №3.- P. 44-46: Figs.4. Refs.:5 titles.

The design of the three cutters head cam mechanism for vibration turning with the blank rotation drive was developed. The characteristic feature of the design is automatic head cutting-in and tapping which is provided by the cam mechanism. Dependence of the cam mechanism geometric characteristics on the blank torque as well as on the steady chip grinding zone under reliable automatic head tapping are defined.

Measuring system for the metrologic attestation the gauge of moisture materials/S.G. Brunin, V.I. Vodotovka, F.M. Repa//MCTTP. - 1999. - №3.- P. 47-49: Figs.1. Refs.:2 titles.

The algorithm of measurements for the compute-measuring system of the metrologic of certification the gauge of moisture of materials permitting to exclude from an outcome of measurements an error of zero mass measuring of channels, magnitude of a modification of an amplification each from channels component masses of the microwave oven of drying and conversion coefficient of channels with their multiply errors is offered.

Method of a resistance moment determination of electrical machines and device for it realization/V.Yu. Kucheruk//MCTTP. - 1999. - №3.- P. 49-56: Figs.3. Refs.:6 titles.

The method of determination of a resistance moment dependence from an angular velocity of electrical machines is offered which is a basis for further improvement of methods and algorithms of an evaluation of the indicated inertia moment, parameters of a rotor bias, mechanical performance.

Optical Methods of Microcirculation Appraisal in the Jaw-Facial Region/V.P. Kozhemyako, S.V. Pavlov, A.S. Barilo, Y.O. Halchenko//MCTTP. - 1999. - №3.- P. 56-60: Figs.5. Refs.:5 titles.

In the article the optical method of microcirculation appraisal in jaw-facial region is opened. The optoelectronic complex is submitted which works in infra-red area of a spectrum and registers a degree of microcirculation in jaw-facial region. The recommendations for use of the given method by the doctor are given.

Devices for the measuring of limpid environments characteristics /V.Ya. Supjan, A.V. Rudik, I.V. Baranovskyy//MCTTP. - 1999. - №3.- P. 60-65: Figs.3. Refs.:8 titles.

The paper describes the radio-optic measuring devices, which may be use for the control of parameters and condition of optic-limpid control object. This parameters may be express through the group time delay. Consideration some structural diagrams of the radio-optic measuring devices, one of this base on the two-channel structure with the automatic correction measuring mistake on the base of surplus.

The sensor diagnostics power method of predeformation stage of a surface of metal details and units of mechanical engineering equipment for its realization/I. Kuznetsov, M. Zenkin//MCTTP. - 1999. - №3.- P. 65-67: Figs.1. Refs.:4 titles.

The sensor diagnostics power method of distribution of superficial potential anomalies above places of localization structural - phase non-homogeneous, for definition of a surface predeformation stage of metal details is offered to use. The algorithm of a task decision with the help of a diagnostic complex is given.

Digital infrasonic channel of thicknesmeter of steel sheet material and construction/I.M. Buchma//MCTTP. - 1999. - №3.- P. 69-73: Figs.2. Refs.:5 titles.

Method of digital analogue (DA) transformation output signals of thermalcompensated parametric eddy-current probe are examined. Mode of DA transformation relative difference amplitudes alternating signals underlie of this method.