

ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНСТИТУТ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ  
НАН УКРАЇНИ ТА МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ УКРАЇНИ

**«КОНТРОЛЬ І УПРАВЛІННЯ  
В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ»  
(КУТС-97)**

Книга за матеріалами четвертої  
міжнародної науково-технічної конференції  
м. Вінниця, 21—23 жовтня 1997 року

Том 2

«УНІВЕРСУМ—Вінниця»

## Зміст

Р. Квстний (Україна, Вінниця) Кафедрі автоматики та інформаційно-вимірjuвальної техніки двадцять п'ять років . . . . .	3
В. Папінов (Україна, Вінниця) Вдосконалення високочастотного метода вимірювань неелектричних величин . . . . .	8
А. Васюра, В. Папінов (Україна, Вінниця) Спосіб автоматизованого проектування високочастотних ємнісних вологомірів. . . . .	13
В. Бурій (Україна, Вінниця) Розробка рефрактометричного способу визначення показника заломлення рідини . . . . .	18
П. Молчанов (Україна, Вінниця) Моделювання активних вимірювальних перетворювачів. . . . .	23
М. Андреев, В. Кучерук, В. Поджаренко (Україна, Вінниця) Про точність нелінійного фільтра Н. Дістефано . . . . .	28
А. Васюра, С. Довгалець (Україна, Вінниця) Рефрактометричні вимірювання з використанням багатопарових оптичних хвильоводів. . . . .	32
В. Коцюбинський (Україна, Вінниця) Моделювання волокно-оптичних вимірювальних перетворювачів в полі дії факторів збурення . . . . .	39
О. Зралко (Україна, Вінниця) Розрахунок системи зв'язку на основі антенних полів низької частоти . . . . .	43
В. Поджаренко, П. Кулаков (Україна, Вінниця) Сучасний стан та перспективи розвитку цифрових тахометрів . . . . .	49
Ле Туан Ту, Р. Анфілов, Н. Филинюк (Україна, Вінниця) Аналітичні вимоги до критеріям ефективності інформаційних пристроїв . . . . .	56
В. Дубовой (Україна, Вінниця) Інформаційні потоки в моделюванні інформаційних систем . . . . .	63
Ю. Скрипник, В. Здоренко (Україна, Київ) Стан та перспективи розвитку ультразвукових систем контролю товщини матеріалів та виробів. . . . .	70
Г. Повещенко, Ю. Чеховий (Україна, Київ) До розрахунку автохвиль горіння . . . . .	77
І. Микитин, Б. Стадник, А. Озгович (Україна, Львів) Термошумовий термометр . . . . .	84
А. Кузій (Україна, Львів), І. Басараб (Шеффілд, Великобританія) Аналітична модель прямої задачі електроімпедансної томографії . . . . .	89
П. Столярчук, В. Яцук, М. Микийчук (Україна, Львів) Кодо-керовані високоомні міри опору . . . . .	93
В. Засименко (Україна, Львів) Нові пірометричні засоби вимірювання температури скла . . . . .	97
М. Микийчук (Україна, Львів) Шляхи вдосконалення метрологічного забезпечення вимірювачів температури . . . . .	104
В. Кожем'яко, Г. Лисенко, В. Суприган (Україна, Вінниця) Оптичні цифрові методи та засоби паралельної обробки зображень . . . . .	108
В. Лужецький, Е. Яремчук (Україна, Вінниця), П. Крокос (Україна, Івано-Франковск) Об одном способе генерирования псевдо-	

## СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЦИФРОВИХ ТАХОМЕТРІВ

Поджаренко В.О., Кулаков П.І. (Україна, Вінниця)

Специфічною особливістю тахометрії є вимога високої точності вимірювання: в більшості випадків вимірювання швидкостей обертання повинні виконуватись з точністю на один-два порядки вище, ніж вимірювання інших параметрів руху. В останній час ця вимога накладається ще на динамічний режим роботи тахометра, обумовлюючи ще одну вимогу — високу швидкодію.

Важливим елементом вимірювального кола кутової швидкості є тахометричний перетворювач. В сучасних вимірюваннях, в основному використовуються два види тахометричних перетворювачів — частотні та амплітудні, інформативними параметрами вихідного сигналу яких є, відповідно, частота (період) та амплітуда.

Нині найточнішими вважаються дискретні методи вимірювання кутової швидкості. Вони ґрунтуються на квантуванні сигналів за рівнем та дискретизації у часі [1].

В основі побудови цифрових тахометрів лежить визначення лічильними методами відношення

$$\omega_{\text{сер}} = \frac{\alpha_0}{t_i}, \quad (1)$$

де  $\omega_{\text{сер}}$  — середня кутова швидкість;  $\alpha_0, t_i$  — відповідно кут та час повороту дискретного перетворювача кута, який встановлено на валу досліджуемого приводу.

В табл. 1 наведено основні принципи побудови сучасних цифрових тахометрів: структурні схеми, алгоритми роботи, рівняння перетворення.

В залежності від того, який із вище указаних параметрів вимірюється, розрізняють цифрові тахометри середнього значення (ЦТСЗ) та цифрові тахометри миттєвого значення (ЦТМЗ) (табл. 1.1).

В ЦТСЗ методом підрахунку імпульсів первинного тахоперетворювача визначають кут повороту валу досліджуемого об'єкту за фіксований інтервал часу, який задається зразковою мірою часу.

Принципи побудови тахометрів

Таблиця 1

Структурна схема	Алгоритм	Рівняння перетворення
<p>1</p> <p>ЦТСЗ</p> <p>ЦТМЗ</p> <p>AC N-1262385</p> <p><math>N_{\omega} = \frac{t_x Z}{60 \omega_x}</math></p> <p><math>N_{\omega} = \frac{f_x 60}{\omega_x Z}</math></p>	<p>2</p>	$\omega_{kr} = \frac{\beta}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(\frac{\alpha}{t_x}\right)^2 t_x^2 - 2}$ $\alpha = \frac{(2 - \sqrt{2})^2}{2}$ $\beta = \frac{2\pi f_x}{16 Z^2 t_x}$
<p>3</p> <p>AC N-830246</p> <p>AC N-1151888</p> <p>AC N-1352371</p> <p>AC N-1615617</p> <p>AC N-1345121</p>		$Z_{1+1} = Z_1 / a^2$ $a = N_{\omega_{ном}} / N_{t_i}$
<p>4</p> <p>AC N-684445</p> <p>AC N-830243</p> <p>AC N-1345121</p> <p>AC N-1364992</p>		$\omega_{A1} = \omega_{\varphi} + \Delta\omega_U + \Delta\omega_f$ $\omega_{A2} = \omega_{\varphi} - \Delta\omega_U - \Delta\omega_f$ $\omega_{A3} = \omega_{\varphi} + \Delta\omega_U - \Delta\omega_f$ $\omega_{A4} = \omega_{\varphi} - \Delta\omega_U + \Delta\omega_f$

В ЦТМЗ здійснюється вимірювання періоду вихідного сигналу первинного тахометричного перетворювача, шляхом квантування його імпульсами від генератору зразкової частоти.

У першому випадку методом підрахунку імпульсів від частотного тахометричного перетворювача з одночасним кодуванням результату визначають частоту обертання валу за фіксований зразковий часовий інтервал. Тахометри, що реалізують такий метод вимірювання ефективно працюють в області високих частот обертання.

Для зменшення похибок таких тахометрів перспективним є застосування вагових методів підвищення точності [2], суть яких полягає у наступному.

Особливістю класичних ЦТСЗ є те, що інформація про фазу досліджуемого сигналу використовується тільки в моменти початку та закінчення вимірювань. Інформація про фазу сигналу в проміжних точках не використовується. Це вказує на принципову можливість подальшого підвищення точності вимірювання кутової швидкості шляхом використання інформації про фазу інформативного сигналу на протязі всього інтервалу вимірювання. Таку можливість мають цифрові тахометри у яких інформативний сигнал аналогового тахометричного перетворювача додатково квантується за рівнем з метою підвищення розрізнявальної здатності і в яких можливе управління розрізнявальною здатністю по відповідному алгоритму. Це дає можливість одержувати інформацію про фазу сигналу, тобто використовувати осереднюючі вікна.

Більш високими метрологічними характеристиками в області низьких частот наділені методи, що ґрунтуються на інформативності періоду вихідного сигналу тахометричного перетворювача  $T_x$ . Проте при вимірюванні високих частот обертання похибки вимірювання значно зростають [3] і залежать також від динамічних характеристик досліджуемого об'єкту.

Застосування засобів комп'ютерної техніки при вимірюванні кутової швидкості дозволяє поєднати два вище згаданих методи вимірювання. А саме алгоритмічно вибирати необхідний режим роботи — ЦТСЗ чи ЦТМЗ (табл. 1.2), для чого початково визначається критична кутова швидкість  $\omega_{кр}$ , для якої похибки обох режимів однакові. При досягненні об'єктом вимірювання кутової швидкості  $\omega_{кр}$ , здійснюється перехід на необхідний режим роботи. Таким шляхом можна досягнути нормування похибки в межах досить широкого діапазону зміни вхідної величини, що має особливе значення при проведенні динамічних вимірювань.

Застосування комп'ютерної техніки дозволяє також реалізувати адаптивні тахометри. Значення  $\omega_{KP}$  для різних типів двигунів, тобто для різних сталих часу  $\tau$  записуються у постійний запам'ятовуючий пристрій. При зміні об'єкту дослідження змінюється перший період інформативного сигналу, а звідси, і значення  $\omega_{KP}$ . Тобто цифровий тахометр адаптується під об'єкт дослідження [4]. Якщо  $\omega_x < \omega_{KP}$ , то тахометр працює в режимі ЦВМЗ, а при  $\omega_x > \omega_{KP}$  — в режимі ЦТСЗ.

У роботі [5] наведено аналіз похибок ЦТМЗ. Основним висновком цієї роботи є те, що для кожного значення вимірюємої кутової швидкості є оптимальне число штрихів первинного тахометричного перетворювача, при якому результуюча середньоквадратична похибка вимірювання мінімальна. Оптимальне число штрихів знаходиться із виразу

$$z_{\text{опт}} = \frac{\pi^4 \sqrt{6} \sqrt{2 \varepsilon_{\text{max}} f_0}}{\omega_{\text{сер}}^4 \sqrt{\omega_{\text{сер}}^2 + 6 \Delta \alpha_0^2 f_0^2}}, \quad (2)$$

де  $z_{\text{опт}}$  — оптимальне число штрихів модулятора,  $\omega_{\text{сер}}$  — вимірюєма кутова швидкість,  $f_0$  — частота опорного генератора,  $\Delta \alpha_0$  — результуюча середньоквадратична похибка нанесення штрихів тахометричного перетворювача,  $\varepsilon_{\text{max}}$  — максимальне прискорення досліджуемого механізму.

З вище сказаного слідує, що змінюючи число штрихів модулятора, тобто змінюючи розрізнявальну здатність тахометричного перетворювача, можна мінімізувати похибку вимірювання для будь якого значення кутової швидкості.

Промислові частотні фотоелектричні тахометричні перетворювачі мають фіксовану кількість штрихів, яку не можна змінювати. Тому актуальне завдання розробки тахометричного перетворювача, у якому можливо управління його розрізнявальною здатністю у процесі вимірювання.

У роботах [6, 7] запропоновано алгоритм зміни розрізнявальної здатності  $Z_{i+1}$  (табл. 1.3) за умов, коли відоме попереднє значення  $Z_i$ , а також з використанням інформації, що несе код  $N_{\tau}$ . Застосування такого алгоритму роботи цифрового тахометру зменшує надлишковість інформації, що, в свою чергу дає змогу більш раціонально використовувати пам'ять комп'ютера. Але первинний перетворювач

цотто тахометра має високу нелінійність перетворення що обумовлює неможливість досягнення високої розрізняювальної здатності.

Нині на кафедрі “Метрології та промислової автоматики” розроблено первинний тахометричний перетворювач, з високою лінійністю характеристики перетворення, в якому є можливість змінювати розрізняювальну здатність в широкому діапазоні.

Модулятор тахометричного перетворювача виконаний з прорізу, форма якої обмежена кривими, рівняння яких у полярних координатах, полюс яких співпадає з центром модулятора, описуються наступними співвідношеннями

$$\rho_1(\varphi) = R_0, \quad (3)$$

$$\rho_2(\varphi) = \sqrt{R_0^2 + a\varphi}, \quad (4)$$

де  $R_0$ ,  $a$  - константи;  $\varphi$  - поточна кутова координата, а діафрагма, яка розташована перед лінійним фотоприймачем, має прорізь, форма якої обмежена промінями, кут між якими  $\beta$ , та які починаються в центрі модулятора.

При обертанні модулятора на виході лінійного фотоприймача, що реалізовано на основі пари фотодіод - операційний підсилювач, буде формуватися напруга, яка описується виразом

$$U_{\Phi} = \begin{cases} S_I R \frac{I}{r^2} a \frac{\beta}{2} \varphi + S_I R \frac{I}{r^2} a \frac{\beta^2}{4}, \varphi \in [0, 2\pi - \beta] \\ -S_I R \frac{I}{r^2} a \frac{2\pi - \beta}{2} \varphi + S_I R \frac{I}{r^2} a \frac{(2\pi - \beta)^2}{4} + S_I R \frac{I}{r^2} a \pi^2, \varphi \in [2\pi - \beta, 2\pi] \end{cases} \quad (5)$$

де  $U_{\Phi}$  - вихідна напруга лінійного фотоприймача,  $S_I$  - інтегральна струмова чутливість фотодіоду,  $R$  - опір резистору у колі зворотнього зв'язку операційного підсилювача,  $I$  - сила світла,  $l$  - відстань від джерела світла до освітлюємої поверхні,  $a$  - конструктивний коефіцієнт, який залежить від розмірів прорізи модулятора.

За один оберт валу формується тільки один імпульс пилкоподібної форми, що обумовлює добрі частотні властивості тахометричного перетворювача. Як слідує з (5), крутизна фронтів напруги  $U_{\Phi}$  прямо пропорційна кутовій швидкості [8].

Кутова швидкість та вихідна напруга зв'язані між собою співвідношенням

$$\omega(t) = \begin{cases} \frac{2l^2}{S_1 R a l \beta} \frac{dU_\phi}{dt}, \varphi \in [0, 2\pi - \beta] \\ \frac{2l^2}{S_1 R a l (2\pi - \beta)} \frac{dU_\phi}{dt}, \varphi \in [2\pi - \beta, 2\pi] \end{cases} \quad (6)$$

Для перетворення крутизни фронтів у частоту слідування імпульсів використовується помножувач частоти, що складається з компаратора напруг, в коло від'ємного зворотнього зв'язку якого послідовно включені лічильник імпульсів та цифро-аналоговий перетворювач. На неінвертуючий вхід компаратора подається вихідна напруга лінійного фотоприймача. При співпаданні вихідної напруги фотоприймача з напругою на інвертуючому вході компаратора, формується імпульс, який інкрементує двійковий код лічильника імпульсів. Вихід цифро-аналогового перетворювача під'єднано до інвертуючого входу компаратору.

При зміні опорної напруги цифро-аналогового перетворювача змінюється крок квантування вихідної напруги лінійного фотоприймача, що еквівалентно зміні розрізнявальної здатності по куту повороту валу об'єкту досліджень. На виході компаратора напруг формується послідовність імпульсів, частота яких прямо пропорційна кутовій швидкості, з коефіцієнтом пропорційності, який керується опорною напругою цифро-аналогового перетворювача.

В теперішній час проводяться також роботи по розробці інтелектуального цифрового тахометра на основі вище описаного первинного тахометричного перетворювача, в якому здійснюється автоматичне керування розрізнявальною здатністю на основі прогнозування миттєвого значення кутової швидкості.

В табл. 1.4 наведено структурну тахометра, що дозволяє здійснювати адаптивні вимірювання інформативного параметру в умовах зміни вхідних електричних величин об'єкту вимірювання. Такі тахометри також є перспективними під час сертифікації виробів електротехнічної промисловості.

## ВИСНОВКИ

Для зменшення похибки ЦТСЗ тахометрів перспективним є застосування вагових методів підвищення точності.

З метою нормування та мінімізації похибки вимірювання розрізнявальної здатність тахометричного перетворювача треба змінювати.

В теперішній час найбільш перспективними є цифрові тахеометри з первинними перетворювачами із плавною зміною розрізнявальною здатністю.

Наступним етапом розвитку цифрових тахеометрів є інтелектуальні тахеометри, в первинних перетворювачах яких розрізнявальна здатність буде змінюватись автоматично в залежності від прогнозу значення миттєвої кутової швидкості.

Для сертифікації електромеханічних перетворювачів енергії перспективними є тахеометри з адаптацією під зміну вхідних величин об'єкту дослідження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Поджаренко В.А. Системное проектирование тахеометров. // избыточные системы счисления, моделирование, обработка данных и системное проектирование в технике преобразования информации. Учеб.пособие. - К. : Выща шк.-1990.- С. 5-61 / Новое в науке и технике - студентам и учащимся; Вып. 18:.
2. Патюков В.Г., Чмых М.К. Оптимальный алгоритм измерения частоты — «Известия высших учебных заведений. Приборостроение» 1976, №3, с.21 - 24.
3. Поджаренко В.О., Кухарчук В.В. Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка: Навч. посібн. -К.:УМК ВО, 1991. - 240 с.
4. Поджаренко В.О. Дослідження та розробка інтелектуальних вимірювальних систем характеристик електромеханічних перетворювачів енергії: Дис...докт. техн. наук. - Винниця, -1995. -356 с.
5. Андрощук В. В. Анализ погрешностей цифровых тахеометров // Измерительная техника, 1979, №7, - с. 32-34.
6. Кулаков, П. І. Інтелектуалізований сенсор кутової швидкості : Матеріали міжнародного симпозиума / П. І. Кулаков, А. В. Поджаренко // Наука и предпринимательство. – Винниця - Львов, 1996. – с. 26.
7. Кулаков, П. И. Новый датчик угловой скорости для динамических измерений : Матеріали 3-тої української конференції з автоматичного керування / П. И. Кулаков, В. А. Поджаренко // Автоматика – 96. - Севастополь, 1996. – с. 17.
8. Поджаренко, В. А. Устройство для динамических измерений угловой скорости : Матеріали научно-технической конференции с международным участием / В. А. Поджаренко, П. И. Кулаков, А. И. Колесник // Приборостроение - 96. - Судак, 1996. – с. 37.