

**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. Квєтний (Україна, Вінниця) Кафедрі автоматики та інформаційно-вимірювальної 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. Андреєв, В. Кучерук, В. Поджаренко (Україна, Вінниця) Про точність нелінійного фільтра Н. Дістефano	28
А. Васюра, С. Довгалець (Україна, Вінниця) Рефрактометричні вимірювання з використанням багатошарових оптических хвильоводів .	32
В. Коцюбинський (Україна, Вінниця) Моделювання волокно-оптических 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 Тuan Tu, Р. Анфілов, Н. Филинюк (Україна, Вінниця) Аналитические требования к критериям эффективности информационных устройств	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
I. Микитин, Б. Стадник, А. Озгович (Україна, Львів) Термошумовий термометр	84
А. Кузій (Україна, Львів), I. Басараб (Шеффілд, Великобританія) Аналітична модель прямої задачі електроімпедансної томографії	89
П. Столлярчук, 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-Франковськ) Об одном способе генерирования псевдо-	

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЦИФРОВИХ ТАХОМЕТРІВ

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

Специфічною особливістю тахометрій 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

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

де ω_{sep} — середня кутова швидкість; α_0, t_i — відповідно кут та час повороту дискретного перетворювача кута, який встановлено на валу досліджувемого приводу.

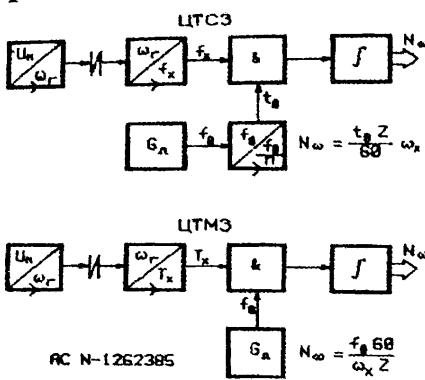
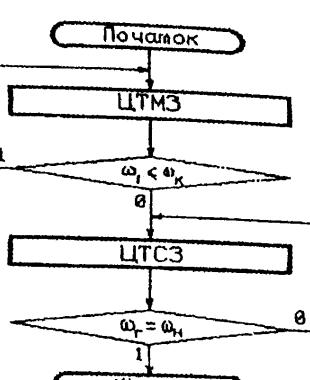
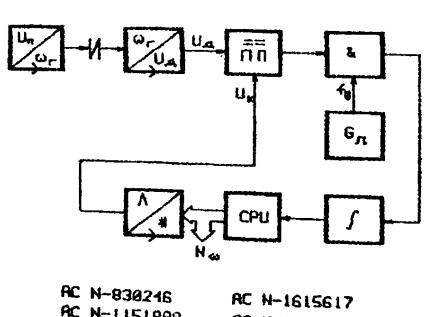
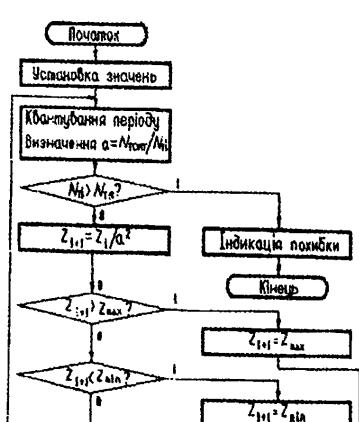
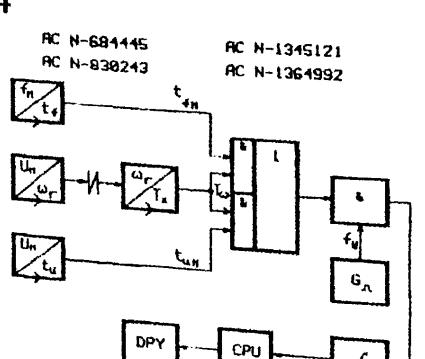
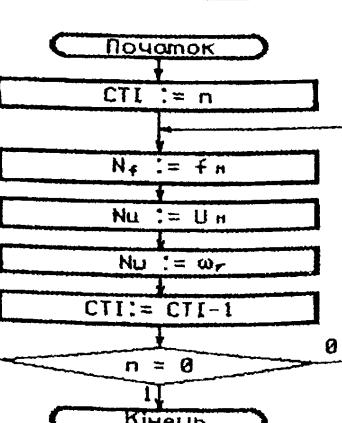
В табл. 1 наведено основні принципи побудови сучасних цифрових тахометрів: структурні схеми, алгоритми роботи, рівняння перетворення.

В залежності від того, який із вище узаних 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 досліджувемого об'єкту за фіксований інтервал часу, який задається зразковою мірою часу.

Принципи побудови тахометрів

Таблиця 1

Структурна схема	Алгоритм	Рівняння перетворення
1  ЦТСЗ $N_{\omega} = \frac{t_n}{60} \omega_x$ ЦТМЗ $N_{\omega} = \frac{f_n}{60} \omega_x$ RC N-1262395		$\omega_r = \frac{\theta}{15} \sqrt{\left(\frac{4}{3}\right)^2 T_1^2 - 2}$ $d = \frac{(2 - \theta)^2}{2}$ $\beta = \frac{2\pi f_n}{15 Z^2 t_n}$
3  RC N-830246 RC N-1151888 RC N-1352371		$Z_{1,i+1} = Z_1 / a^2$ $a = N_{\text{топ}} / N_t$
4  RC N-684445 RC N-830243 RC N-1345121 RC N-1364992		$\omega_{A1} = \omega_{\phi} + \Delta U + \Delta f$ $\omega_{A2} = \omega_{\phi} - \Delta U - \Delta f$ $\omega_{A3} = \omega_{\phi} + \Delta U - \Delta f$ $\omega_{A4} = \omega_{\phi} - \Delta U + \Delta f$

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 дослідженого 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 розрізнювальної здатності і в яких можливе управління розрізнювальною 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 дослідженого 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 ω_{kp} , для якої похибки обох режимів однакові. При досягненні об'єктом вимірювання кутової швидкості ω_{kp} , 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 ω_{KP} для різних типів двигунів, тобто для різних сталих часу τ записуються у постійний запам'ятовуючий пристрій. При зміні об'єкту дослідження змінюється перший період інформативного сигналу, а звідси, і значення ω_{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 ЦСЗ.

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

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

де $z_{\text{опт}}$ — оптимальне число штрихів модулятора, ω_{sep} — вимірюєма кутова швидкість, f_0 — частота опорного генератору, $\Delta\alpha_0$ — результируча середньоквадратична похибка нанесення штрихів тахометричного перетворювача, ε_{\max} — максимальне прискорення досліджувемого механізму.

З вище сказаного слідує, що змінюючи число штрихів модулятора, тобто змінюючи розрізновальну 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 розрізновальною здатністю у процесі вимірювання.

У роботах [6, 7] запропоновано алгоритм зміни розрізновальної здатності Z_{i+1} (табл. 1.3) за умов, коли відоме попереднє значення Z_i , а також з використанням інформації, що несе код N_t . 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 розрізнювальної здатності.

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

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

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

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

де R_o , a - константи; φ - поточна кутова координата, а діафрагма, яка розташована перед лінійним фотоприймачем, має прорізь, форма якої обмежена проміннями, кут між якими β , 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

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

де U_Φ - 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 освітлюемої поверхні, a - конструктивний коефіцієнт, який залежить від розмірів прорізі модулятора.

За один оберт валу формується тільки один імпульс пилко-подібної форми, що обумовлює добре частотні властивості тахометричного перетворювача. Як слідує з (5), крутизна фронтів напруги U_Φ прямо пропорційна кутовій швидкості [8].

Кутова швидкість та вихідна напруга зв'язані між собою співвідношенням

$$\omega(t) = \begin{cases} \frac{2l^2}{S_I Ral\beta} \frac{dU_\Phi}{dt}, & \varphi \in [0, 2\pi - \beta] \\ -\frac{2l^2}{S_I Ral(2\pi - \beta)} \frac{dU_\Phi}{dt}, & \varphi \in [2\pi - \beta, 2\pi] \end{cases} \quad (6)$$

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 вход 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 розрізнювальної здатності по куту повороту валу об'єкту досліджень. На виході компаратора напруга 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 розрізнювальною здатністю на основі прогнозування миттевого 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 розрізнювальну здатність тахометричного перетворювача треба змінювати.

В теперішній час найбільш перспективними є цифрові тахометри з первинними перетворювачами із плавною зміною розрізнювальною здатністю.

Наступним етапом розвитку цифрових тахометрів є інтелектуальні тахометри, в первинних перетворювачах яких розрізнювальна здатність буде змінюватись автоматично в залежності від прогнозу значення миттєвої кутової швидкості.

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

ЛІТЕРАТУРА

1. Поджаренко В.А. Системное проектирование тахометров. // 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. - Винница, -1995. -356 с.
5. Андрощук В. В. Анализ погрешностей цифровых тахометров // Измерительная техника, 1979, №7, - с. 32-34.
6. Кулаков, П. І. Інтелектуалізований сенсор кутової швидкості : Материалы международного симпозиума / П. І. Кулаков, А. В. Поджаренко // Наука и предпринимательство. – Винница - Львов, 1996. – с. 26.
7. Кулаков, П. И. Новый датчик угловой скорости для динамических измерений : Материалы 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 : Материалы научно-технической конференции с международным участием / В. А. Поджаренко, П. И. Кулаков, А. И. Колесник // Приборостроение - 96. - Судак, 1996. – с. 37.