

**BULLETIN 2-3' 2006
ENGINEERING
ACADEMY
OF UKRAINE**



2-3' 2006

ВІСНИК

**ІНЖЕНЕРНОЇ
АКАДЕМІЇ
УКРАЇНИ**

Зміст

Інформаційні системи, обчислювальна та електронна техніка, системи зв'язку та приладобудування	
Башков Е.А., Костюкова Н.С. К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА КОРРЕЛЯЦИИ 2D – ЦВЕТОВЫХ ГИСТОГРАММ	9
Безвесільна О.М., Киричук Ю.В. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОЇ ПОХИБКИ НОВОГО ДИНАМІЧНО-НАСТРОЮВАНОВОГО ГРАВИМЕТРА	13
Воробійов Г.П., Древецький В.В., Кованько В.В. КЕРУВАННЯ ПІДЗЕМНОРУХОМИМ ПРИСТРОЄМ З ГІДРОПНЕВМАТИЧНИМ ПРИВОДОМ	18
Девин Л.Н., Орнатский Д.П., Борковская Л.О., Нимченко Т.В. ПРИМЕНЕНИЕ ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ИЗНАШИВАНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ	24
Зайченко Ю.П., Чуприна Д.В. ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ З ТЕХНОЛОГІЄЮ АТМ	29
Квасников В.П., Асадуллаева А.В., Горяной В.М., Дербенев А.Ф., Купко В.С., Лялько И.С., Морозова Л.М., Шестаков Ю.В., Шевченко Л.А. НОВЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ	35
Коломиец Л.В. Козаченко М.Т. ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛОВ СВЯЗИ	36
Купко В.С., Квасников В.П., Лукин И.В., Ристо В.А., Ковшов С.Б., Косенко О.А. СОЗДАНИЕ ЭТАЛОНА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ОТ НАНОМЕТРОВОГО ДО МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНОВ	42
Кучерук В.Ю., Кулаков П.І., Войтович О.П. МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕНСОРІВ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ	46
Ладыженский Ю.В., Попов Ю.В. ИНТЕРНЕТ-ДОСТУП К СИСТЕМЕ РАСПРЕДЕЛЁННОГО ЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ	50
Ларин В.Ю. ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С КАТУШКАМИ ИНДУКТИВНОСТИ	55
Стадниченко В.Н., Налисный Н.Б., Трошин О.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ ФРИКЦИОННОГО УЗЛА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ	60

УДК 621.313

В.Ю. Кучерук, д. т. н.
П.І. Кулаков, к. т. н.
О.П. Войтович, к. т. н.**МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕНСОРІВ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ**

Вінницький національний технічний університет, e-mail: kucheruk@mail.ru, o_voytovych@mail.ru

Досліджені метрологічні характеристики сенсорів кутової швидкості з адаптивною зміною роздільної здатності. Визначено залежності оптимальної розрізняювальної здатності вимірювального перетворення та оптимальні параметри квантування вихідного сигналу тахометричних перетворювачів для нормування похибок вимірювання.

Постановка проблеми Вимірювання кутової швидкості є досить важливим для визначення характеристик електромоторів. Зокрема, залежність кутової швидкості в часі є вихідною для опосередкованих вимірювань кутового прискорення, моменту інерції ротора, динамічного моменту. Тому актуальною є проблема проектування засобів вимірювань кутової швидкості з нормованими характеристиками.

На загальну похибку вимірювання кутової швидкості в статичному та динамічному режимах впливають похибки квантування та первинного перетворення. Похибка первинного перетворення кутової швидкості обумовлена частотними властивостями фотоприймача і виникає внаслідок спаду його частотної характеристики в області верхніх частот.

Аналіз останніх досліджень

Вимірювання кутової швидкості в сучасній техніці здійснюється за допомогою сенсорів, основаних на тахометричних перетворювачах з нормованими метрологічними характеристиками [1,2]. Застосування сенсорів, що здатні змінювати свої характеристики, в залежності від об'єкту вимірювання, є необхідною умовою розвитку інтелектуальних засобів вимірювань. Тому таке важливе отримання сенсорів кутової швидкості з нормованими метрологічними характеристиками, зокрема з нормованою похибкою вимірювання, що дозволяє значно розширити діапазон вимірювання [3].

Цілі дослідження Відповідно до цього, метою статті є дослідження похибки первинного перетворення «кут повороту-напруга» та похибки квантування аналогово-цифрового перетворення, для визначення діапазону вимірювання, в якому можливе нормування похибки вимірювання кутової швидкості.

Виклад основного матеріалу. Характеристика сенсору кутової швидкості. Було розроблено сенсор кутової швидкості [2, 3], оснований на фотоелектричних тахометричних перетворювачах (ТП) з вихідним аналоговим сигналом, на виході якого отримується пилкоподібна вихідна напруга, що змінюється за формулою:

$$\omega_r(t) = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{k dU}{dt}, \quad (1)$$

де ω_r - кутова швидкість обертання; φ - кут повороту; t - час; k - коефіцієнт пропорційності; U - вихідна напруга тахометричного перетворювача.

Особливістю цього сенсору є можливість вимірювання кутової швидкості в широкому діапазоні, з нормованою похибкою.

В [4] показано, що регулювати похибку можна за допомогою зміни часу t_x . Цього можна досягти, змінюючи кількість інформативних входів мікропроцесора z , тобто зчитування інформації проводиться лише з тих входів мікропроцесора, які задаються програмно.

Моделювання похибки первинного перетворення «кут повороту-напруга», що обумовлена частотними властивостями фотоприймачів. Моделювання частотних викривлень вихідного сигналу ТП необхідно для оцінювання похибки первинного перетворення «кут повороту-напруга», що дозволяє визначити діапазон зміни контрольованих параметрів. Моделювання стосується розробленого ТП з низькочастотним вихідним сигналом і кожного фотоприймача ТП з низькочастотною виготовлення модулятора та діафрагми. Воно проводилось за наступним алгоритмом:

1. Відома пилкоподібна залежність освітлюваної площі фоточутливого шару фотодіоду від часу в усталеному режимі роботи об'єкту контролю множить на коефіцієнт пропорційності між вихідною напругою та площею, в результаті чого отримується вихідна напруга U_1 ТП, фотоприймач фотодіоду, що входить до складу фотоприймача, від часу, розкладається в ряд Фур'є на 1400 скла-

дових, множитья на коефіцієнт пропорційності між площею та напругою, в результаті отримується апроксимуюча функція вихідної напруги ТП U_A . Похибка апроксимації розраховується за виразом

$$\varepsilon_A = \left| \frac{U_A - U_I}{U_I} \right| \cdot 100\% \quad (2)$$

Внаслідок того, що функція зміни площі не є монотонною, похибка апроксимації біля її максимальних та мінімальних значень значно збільшується. Це обумовлює доцільність визначення похибки апроксимації на окремих інтервалах вихідного сигналу ТП, з метою оцінювання інтервалу, на якому похибка апроксимації значно менша за похибку, що обумовлена частотними викривленнями. Слід зазначити, що похибка апроксимації не залежить від періоду вихідного сигналу ТП. Це дає змогу у даному випадку розглядати залежність похибки апроксимації від кута повороту, а не від часу. Один імпульс пилкоподібної вихідної напруги ТП формується за один оберт та відповідає куту повороту валу об'єкту контролю на 2π , що відповідає періоду T_C . На рис. 1 наведено розраховані залежності похибки апроксимації у різних діапазонах зміни кута повороту.

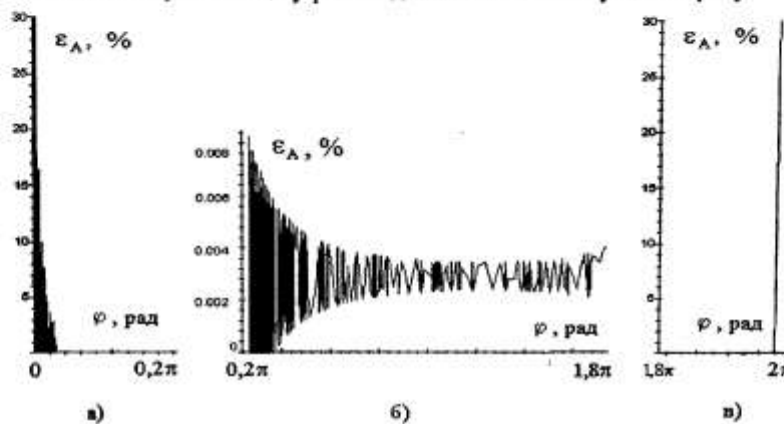


Рис. 1. Залежності похибок апроксимації в різних діапазонах зміни кута повороту

На рис. 1, а наведено залежність похибки апроксимації в діапазоні зміни кута повороту від 0 до 0.2π , що відповідає ділянці періоду вихідного сигналу $0-0.1T_C$, на рис. 1, б - від 0.2π до 1.8π , що відповідає ділянці періоду вихідного сигналу $0.1T_C - 0.9T_C$, на рис. 1, в - від 1.8π до 2π , що відповідає $0.9T_C - T_C$.

З аналізу рис. 1 слідує, що похибка апроксимації на часовому інтервалі від 0.1 до 0.9 періоду вихідного сигналу, не перевищує 0.008 % на границі інтервалу, а на середині інтервалу складає близько 0.004 %. На інтервалах зміни кута повороту від 0 до 0.2π та від 1.8π до 2π похибка апроксимації значно збільшується, що робить недоцільним моделювання частотних викривлень у цих інтервалах.

2. Гармонічні складові вихідної напруги ТП U_R з урахуванням частотних властивостей його фотоприймача та без урахування шумової складової, напруги зміщення та різниці вхідних струмів операційного підсилювача, які не залежать від частоти і якими в даному випадку можна знехтувати, знаходяться з [4].

3. Відносне значення зміни вихідної напруги ТП, що обумовлене частотними викривленнями, яке внаслідок пропорційності вихідної напруги куту повороту дорівнює відносній частотній похибці первинного перетворення «кут повороту-напруга», визначається за виразом

$$\varepsilon_\varphi = \left| \frac{U_I - U_R}{U_I} \right| \cdot 100\% \quad (3)$$

У таблиці 1 наведено часові діаграми вихідного сигналу ТП при різних значеннях кутової швидкості з урахуванням частотних викривлень та без їх урахування, графіки огинаючої розрахованої відносної похибки перетворення «кут повороту напруга». Графіки огинаючої наведено тому як розрахована функція дуже «розбавтана» внаслідок великої кількості гармонічних складових. Аналіз таблиці 1 показав, що в діапазоні зміни кута повороту від 0.2π до 1.8π , похибка первинного перетворення, що зумовлена частотними властивостями фотоприймача, значно перевищує похибку апроксимації. Це обумовлює достовірність отриманих моделюванням результатів.

Таблиця 1.

Відносна частотна похибка первинного перетворення «кут повороту-напруга»

ω , рад/с	τ_{VD} , с	Часові діаграми вихідного сигналу ТП	ϵ_φ , %
1000	10^{-4}		
1000	10^{-5}		
2500	10^{-4}		
2500	10^{-5}		
10000	10^{-5}		

Слід зазначити, що ефективна ширина спектру вихідного сигналу ТП в статичному режимі роботи об'єкту вимірювання буде більше, ніж в динамічному режимі, оскільки в статичному режимі тривалість вихідних імпульсів буде менша, а швидкість зміни вихідної напруги більша, ніж в динамічному. Це свідчить про те, що в динамічному режимі частотна похибка первинного перетворення не буде перебільшувати похибку в статичному режимі.

Моделювання похибки квантування Для оцінки верхньої межі кутової швидкості необхідно оцінити відносну похибку квантування вихідного сигналу ТП за допомогою аналогово-цифрового перетворення. Похибка обумовлена частотними властивостями не буде впливати на результат перетворення «кут повороту - напруга» тільки коли вона значно менше похибки квантування. Як відомо [5], похибка квантування при відсутності випадкових завад розподілена рівномірно, її максимальні значення дорівнюють $\pm q/2$, де q - крок квантування. Є очевидним, що абсолютна похибка визначення кутового положення, що обумовлена квантуванням вихідного сигналу ТП описується виразом

$$\delta_D = (2\pi - \beta)/2^{n+1}, \quad (4)$$

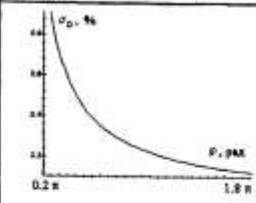
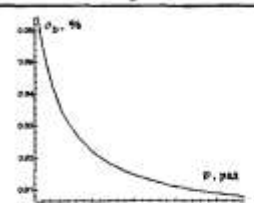
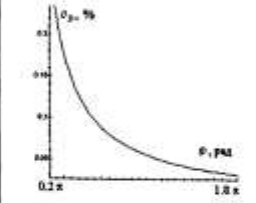
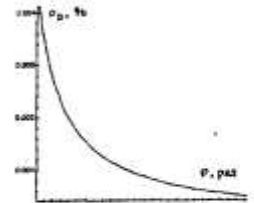
де n - кількість розрядів АЦП; β - кут прорізу модулятора.
Її відносно середньоквадратичне значення [5]

$$\sigma_D = \frac{2\pi - \beta}{2^{n+1} \sqrt{3}\varphi}, \quad (5)$$

Результати розрахунку середньоквадратичного значення цієї похибки при різних значеннях кількості розрядів АЦП наведено у таблиці 2.

Таблиця 2.

Відносна середньоквадратична похибка перетворення «кут повороту - напруга», що зумовлена квантуванням вихідного сигналу ТП

Кількість розрядів	$\sigma_D, \%$	Кількість розрядів	$\sigma_D, \%$
n=8		n=12	
n=10		n=18	

З порівняльного аналізу таблиць 1 та 2 слідує, що при використанні фотодіодів з постійної часу 10^{-4} с, ТП має погані частотні властивості. При кутовій швидкості 2500 рад/с відносна частотна похибка первинного перетворення «кут повороту - напруга» досягає 10%, що обумовлює можливість використання ТП з такими фотодіодами тільки на низьких кутових швидкостях або для визначення кута повороту у статичному режимі. При використанні фотодіодів з постійною часу 10^{-5} с, відносна частотна похибка первинного перетворення не перевищує 0.07% в діапазоні зміни кута повороту від 0.2π до 1.8π при кутовій швидкості 2500 рад/с. При кутовій швидкості 10000 рад/с відносна частотна похибка первинного перетворення не перевищує 0.5%.

Використання 16-ти розрядного АЦП недоцільно на високих кутових швидкостях, оскільки похибка квантування на порядок менша за частотну похибку. Застосування таких АЦП можливе при визначенні малої кутової швидкості. При використанні 12-ти розрядного АЦП похибка квантування значно перевищує частотну похибку майже на всьому діапазоні зміни кута повороту від 0.2π до 1.8π при кутовій швидкості 2500 рад/с. При використанні 8- та 10-ти розрядних АЦП похибка квантування значно більша за частотну похибку, але вони не забезпечують високу розрізняльну здатність за кутом повороту, та малу похибку квантування, що приводить до високої похибки визначення кутової швидкості.

Висновки Досліджено похибку вимірювального первинного перетворення «кут повороту-напруга», показано, що найбільший вплив похибки первинного перетворення, що зумовлена частотними властивостями фотоприймача, спостерігається в діапазоні зміни кута повороту від 0 до 0.2π та від 1.8π до 2π . Проведено моделювання похибки, зумовленої аналогово-цифровим перетворенням. Показано, що для нормування похибки вимірювання необхідно використовувати аналогово-цифрове перетворювання різної розрядності. В подальшому планується дослідження інших похибок, що виникають у сенсорі кутової швидкості з адаптованою зміною розрізняльної здатності.

Список літературних джерел

1. Поджаренко, В. О. Сучасний стан та перспективи розвитку цифрових тахометрів : Матеріали четвертої міжнародної науково-технічної конференції / В. О. Поджаренко, П. І. Кулаков // Контроль і управління в технічних системах – 97. - Вінниця: «Універсум-Вінниця», 1997. – с. 209 - 214.
2. Поджаренко, В. О. Пристрій для вимірювання і контролю кутової швидкості та кута повороту / В.О. Поджаренко, П. І. Кулаков, А.В. Поджаренко, С. А. Шаргородський, Є.В. Почверук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. - № 2. - с. 45 - 50.
3. Поджаренко, В. О. Цифровий тахометричний перетворювач із змінною розрізняльною здатністю / В. О. Поджаренко, П. І. Кулаков, А. В. Поджаренко // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1998. - № 53. - с. 84-90.
4. Поджаренко, В. О. До питання вибору форми модулятора тахометричного перетворювача / В. О. Поджаренко, В. М. Міхалевич, П. І. Кулаков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. - № 1. - с. 12-18.
5. Кулаков, П. І. Математична модель фотоелектричного перетворювача площа-напруга на основі пари фотодіод-операційний підсилювач : Матеріали п'ятої міжнародно ї НТК / П. І. Кулаков // Контроль і управління у складних системах». –Вінниця. – 1999. –Том 2., С. 228 - 233.