

## Дослідження метрологічних характеристик сенсорів кутової швидкості з аналоговим вихідним сигналом

В. О. Поджаренко, П. І. Кулаков, О. П. Войтович

У роботах [1-3] розглянуто фотоелектричні тахометричні перетворювачі (ТП) на основі пари фотодіод-операційний підсилювач, математичну модель фотоелектричного тахометричного перетворювача з низькочастотним вихідним сигналом розглянуто у роботах [4, 5]. Такий перетворювач формує вихідний сигнал напруги, значення якого прямо пропорційне поточному куту повороту ротора в межах одного оберта. Відповідно, шляхом диференціювання вихідного сигналу визначається миттєве значення кутової швидкості, а за допомогою спеціально розробленого алгоритму, який базується на цифровій обробці сигналу в режимі реального часу, визначається амплітуда крутильних коливань ротора. Форма прорізи модулятора та діафрагми (ТП) забезпечує максимально низькочастотний вихідний сигнал пилкоподібної форми, що зумовлює високу верхню межу вимірюваної кутової швидкості. Похибка первинного перетворення «кут повороту - напруга» зумовлена частотними властивостями фотоприймача та виникає внаслідок спаду його частотної характеристики в області верхніх частот. Вона залежить від кутової швидкості валу об'єкту контролю. Моделювання частотних викривлень вихідного сигналу ТП необхідно для оцінки похибки первинного перетворення «кут повороту - напруга» для визначення діапазону зміни контрольованих параметрів, у якому вірогідність контролю суттєво не знижується. Воно проводилось за наступним алгоритмом: відома пилкоподібна залежність освітлюємої площі фоточутливого шару фотодіоду від часу в усталеному режимі роботи об'єкту контролю множиться на коефіцієнт пропорційності між вихідною напругою та площею, в результаті чого отримується вихідна напруга ТП, фотоприймач якого має необмежену смугу пропускання; залежність освітлюємої площі фоточутливого шару фотодіоду, що входить до складу фотоприймача, від часу, розкладається в ряд Фур'є, множиться на коефіцієнт пропорційності між площею та напругою, в результаті отримується апроксимуюча функція вихідної напруги ТП. Похибка апроксимації розраховується за виразом.

$$\varepsilon_A = \left| \frac{U_A - U_I}{U_I} \right| \cdot 100\% . \quad (1)$$

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 визначення 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  $2\pi$ . Враховувалися тільки гармонійні складові вихідної напруги ТП 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. Слід зазначити, що ефективна ширина спектру вихідного сигналу ТП в усталеному режимі роботи об'єкту контролю буде більше, ніж в динамічному режимі, тому як в усталеному 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 цю похибку в усталеному режимі.

Для оцінки верхньої межі перетворюємої кутової швидкості необхідно оцінити відносну похибку квантування вихідного сигналу ТП за допомогою АЦП. Похибка обумовлена частотними властивостями не буде впливати на результат перетворення «кут повороту - напруга» тільки коли вона значно менше похибки квантування. 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

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

де  $n$  - кількість розрядів АЦП. 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  $0.2\pi$  до  $1.8\pi$  при кутовій швидкості 2500 рад/с. При кутовій швидкості 10000 рад/с відносна частотна похибка первинного перетворення не перевищує 0.5 %. 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 призводить до високої похибки визначення кутової швидкості, тому необхідно використовувати АЦП з кількістю ефективних розрядів більше 10.

## Література

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. Podzharenko, V. A. Photoelectric angle converter : Selected papers from the international conference on optoelectronic information technologies / V. A. Podzharenko, P. I. Kulakov // International conference on optoelectronic information technologies, vol. 4425. – Vinnitsa, Ukraine : VSTU, 2001. – P. 452 – 456
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 і НТК / П. І. Кулаков // Контроль і управління у складних системах». –Вінниця. – 1999. –Том 2., С. 228 - 233.