

УДК 621.383.9

В. В. Кухарчук, д. т. н., проф.;

М. Й. Білинська

## ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ЗАСІБ ВИМІРЮВАНЬ КУТА ПОВОРОТУ І КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ

Описано мікропроцесорний оптико-електронний вимірювальний перетворювач кута повороту та куткової швидкості на основі методу просторової модуляції, розглянуто його роботу, виведено функцію перетворення для кута повороту та куткової швидкості.

### Вступ

Зміни в науці й техніці викликані вибухом комп'ютеризованих рішень. Однак, за відсутності точних вхідних даних найскладніша система втрачає адекватність. Такими даними можуть бути точне кутове положення об'єкта обертання (наприклад, вала електричної машини), кутова швидкість, кутове прискорення. Перераховані параметри є необхідними для розробки конструкцій нових промислових систем, а також для підвищення якості та ефективності наявних.

Крім високих метрологічних характеристик сучасні вимірювальні перетворювачі повинні мати високу надійність, тривалий строк роботи, стабільність, малі габаритні розміри, масу та енергоспоживання, сумісність з комп'ютерними засобами обробки інформації, низьку трудомісткість виготовлення і доступну вартість. Цим вимогам максимально відповідають оптико-електронні вимірювальні перетворювачі.

Для вимірювання кута повороту і куткової швидкості перспективним на сьогоднішній день є застосування оптико-електронних засобів вимірювання кутових параметрів на основі методу просторової модуляції [1, 2]. Тому, дана робота спрямована на розробку оптико-електронного засобу вимірювань на основі методу просторової модуляції та виведення для нього функцій перетворення кута повороту та куткової швидкості в цифровий код.

### Вимірювальний перетворювач

Вимірювальний перетворювач на основі методу просторової модуляції реалізує підхід визначення параметрів обертального руху, який полягає в тому, що до випромінювання оптичного діапазону застосовують просторову модуляцію і за просторовим зміщенням випромінювання визначають параметри обертального руху.

Одним з основних елементів такого перетворювача є перетворювач положення, який забезпечує реєстрацію світлового випромінювання відбитого від просторового модулятора.

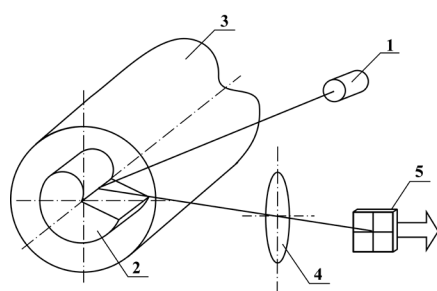


Рис. 1. Просторовий модулятор у формі Архімедової спіралі, розміщений на валу об'єкта контролю

Запропонований вимірювальний перетворювач [3] складається з джерела випромінювання 1, просторового модулятора 2, що має форму Архімедової спіралі, розміщеної на рухомій частині об'єкта вимірювань 3, оптичної системи 4 та позиційно-чутливого детектора (ПЧД) 5. При цьому просторовий модулятор розміщують на валу таким чином, щоб початкова точка відліку модулятора збігалась з головною віссю вала (рис. 1) [4].

Для побудови вимірювального перетворювача пропонується застосувати позиційно-чутливий детектор з чотирма світлочувливими площадками  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , і  $D$ , що ввімкнені в диференціальному режимі роботи. В залежності від перерозподілу випромінювання, що потрапляє на них в результаті відбивання від об'єкта, генеруються відповідні струми  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  і  $I_D$ .

Зміщення центра розподілу інтенсивності світлової плями відносно початкового положення по двох осях координат визначається за формулами (1), (2):

$$y = (U_A + U_B) - (U_C + U_D); \quad (1)$$

$$X = (U_B + U_D) - (U_A + U_C). \quad (2)$$

Таким чином, у випадку початкового положення об'єкта 2 на виході блоку обробки формується нульове значення напруги, а в усіх інших випадках — відмінне від нуля.

За значенням зміщення центра розподілу інтенсивності плями відбитого від об'єкта випромінювання визначають кут повороту рухомої частини об'єкта, а враховуючи масштаб часу, отримують кутову швидкість та кутове прискорення. За наявності вібрації, биття вала світлова пляма буде зміщуватися від початкового положення тим більше, чим більше значення амплітуди зміщення [4].

Таким чином, запропонований вимірювальний перетворювач забезпечує отримання вимірювальної інформації одночасно і про параметри обертального руху, й інші додаткові параметри. Вимірювання амплітуди вібрації та биття відбувається по двох осях координат, що приводить до підвищення чутливості та точності вимірювань.

Структура оптико-електронного вимірювального перетворювача параметрів обертального руху показана на рис. 2. Принцип роботи вимірювального перетворювача такий. Випромінювання від освітлювача 1 потрапляє на розміщений на валу 2 просторовий модулятор 3, відбивається від нього, зазнаючи просторової модуляції, потрапляє через оптичну систему 4 на позиційно-чутливий детектор 5, який реєструє зміщення центра розподілу інтенсивності світлової плями, отриманої в результаті відбивання від модулятора на поверхні об'єкта вимірювань. Далі вимірювальна інформація підсилюється в блоці первинного перетворення 6, оцифровується за допомогою АЦП 7, обробляється мікропроцесором і зберігається в пристрої пам'яті.

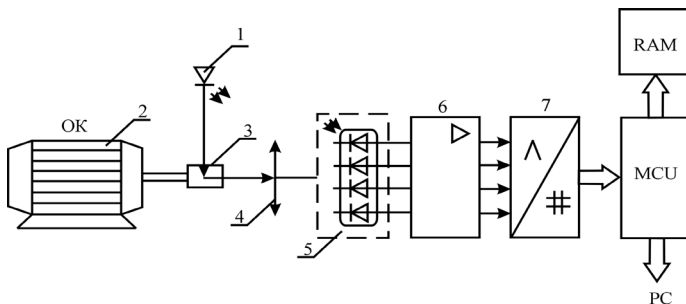


Рис. 2. Структура оптико-електронного вимірювального перетворювача параметрів обертального руху

Елементна база оптико-електронного вимірювального перетворювача складається з диференціального чотириохконтактного фотодіода ФДК 142, підсилювача MAX4383, чотириканального АЦП MAX 115. Отримані значення зміщень по двох осях координат передаються в мікроконтролер ATmega64, який здійснює первинну обробку вимірювальної інформації і її збереження в пристрої пам'яті AS7C3409. Після цього вимірювальна інформація передається на EOM

по USB інтерфейсу, реалізованому на базі мікросхеми FT245BM. Обробка і передача вимірювальної інформації може відбувати як в реальному масштабі часу, так і з накопиченням і наступною обробкою. Числові вимірювальні перетворення здійснюються розробленим програмним забезпеченням.

Такий підхід забезпечує цілий ряд переваг з досить простою конструкцією засобу. За рахунок того, що реєстрація зміщення світлової плями відбувається по двох осях координат, досягається висока чутливість, висока точність вимірювання параметрів обертального руху, а також можливість вимірювати додаткові параметри, а саме досліджувати розподіл биття по колу в залежності від швидкості обертання двигуна, визначати наявність вібрації та лінійних зміщень об'єкта. Крім того, даний засіб вимірювань є безконтактним і має широку область застосування — від електричних машин великої потужності до мікродвигунів. А можливість мікропроцесорної обробки спрощує процедуру вимірювань, забезпечує ефективну передачу і зберігання вимірювальної інформації.

Зазначені переваги дозволяють підвищити точність вимірювань за рахунок зменшення складової похибки, що вноситься вібрацією об'єкта, перетворювач має високу роздільну здатність порядку 2000 значень за оберт. Крім того підвищується швидкодія та розширюється верхня межа вимірювань до 12000 об/хв, що у фотоелектричних частотно-часового перетворення становить до 3000 об/хв. До переваг даного вимірювального перетворювача слід також віднести спрощення конструкції та розширення області застосування [5].

### Виведення функції перетворення для кута повороту та кутової швидкості

Метод просторової модуляції оптичного випромінювання визначає підходи до аналізу отримання вимірювальної інформації та виведення функції перетворення.

Вимірювальне перетворення та обробка вимірювальної інформації відбувається в кілька етапів, що визначаються структурою вимірювального перетворювача.

Випромінювання від джерела направляється на відбивний модулятор, розміщений на об'єкті вимірювань, де зазнає просторової модуляції. Під час обертання модулятора миттєвій кутовій швидкості в кожній точці відповідає миттєва лінійна швидкість, направлена по дотичній. Миттєва лінійна швидкість визначається як відношення дуже малого переміщення  $dS$  до малого проміжку часу  $dt$ , за який відбулося переміщення

$$dv = \frac{dS}{dt}. \quad (3)$$

За миттєвими значеннями лінійної швидкості можна визначити середнє значення лінійної швидкості за проміжок часу  $t$

$$v = \frac{S}{t}. \quad (4)$$

Зв'язок між лінійною і кутовою швидкістю визначається так:

$$\omega = \frac{S}{tR}. \quad (5)$$

Тоді, вимірявши зміщення світлового променя, відбитого від просторового модулятора, за час, можна визначити кутову швидкість об'єкта обертання. Положення центра світлової плями вимірює позиційно-чутливий детектор. У випадку диференціального позиційно-чутливого детектора з чотирма світлочутливими площадками  $A$ ,  $B$ ,  $C$  і  $D$  зміщення світлової плями  $H$  пропорційне різниці напруг (6)

$$H = U_{AB} - U_{CD} = \Delta U. \quad (6)$$

З виразів (4) і (5) визначимо переміщення

$$H = \omega Rt, \quad (7)$$

де  $R = \alpha r$ .

За один повний оберт об'єкта вимірювань світлова пляма на ПЧД проходить певний відрізок шляху і повертається в початкове положення. Таким чином, кожній точці на цьому відрізку можна поставити у відповідність певне кутове положення об'єкта обертання

$$H = \alpha r t \omega = c t \varphi^2. \quad (8)$$

Підставимо (7) у вираз (6)

$$\Delta U = Rt\omega. \quad (9)$$

Для підсилення малих різниць напруги застосовують вимірювальний підсилювач. Підсилений сигнал визначатиметься

$$U = k_n \Delta U = k_n Rt\omega, \quad (10)$$

де  $k_n$  — коефіцієнт підсилення вимірювального підсилювача.

Отримана і підсилена напруга зазнає подальшої обробки, а саме: перетворюється у цифровий код за допомогою 12-розрядного АЦП послідовного наближення

$$N = \frac{k_n \Delta U 2^n}{U_0}, \quad (11)$$

де  $U_0$  — опорна напруга АЦП,  $n$  — розрядність регістра послідовного наближення АЦП.

Тоді, остаточна функція перетворення мікропроцесорного засобу вимірювання кутових параметрів аналітично подається у вигляді:

— для кутової швидкості (з урахуванням (7))

$$N = k_n \frac{Rt2^n}{U_0} \omega, \quad (12)$$

— для кута повороту (з урахуванням (8))

$$N = k_n \frac{c2^n}{U_0} \varphi^2. \quad (13)$$

Тобто, ПЧД визначає положення світлової плями, генеруючи відповідний пропорційний струм, АЦП задає часову дискретизацію, і за цими початковими даними програмне забезпечення ПК розраховує кутове положення в заданий момент часу, а також миттєві та середні значення кутової швидкості за наведеним вище алгоритмом.

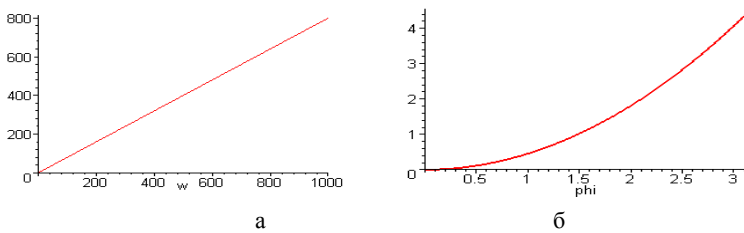


Рис. 3. Теоретична статична характеристика вимірювального перетворювача кута повороту

Теоретична статична характеристика  $N = f(\omega)$  з функції перетворення (12), зображена на рис. 3а. На рис. 3б зображена теоретична статична характеристика  $N = f(\varphi)$ , побудована з функції перетворення (13).

Функції перетворення (12) і (13) є вихідними для отримання аналітичних залежностей для оцінки таких статичних метрологічних характеристик: номінальна функція перетворення, чутливість, похибка нелінійності, адитивна і мультиплікативна складові похибок.

### Висновки

Безконтактність вимірювань, висока швидкодія і чутливість перетворювача досягаються застосуванням позиційно-чутливого детектора. Відсутність впливу моменту інерції сенсора та похибки диференціювання експериментальних даних кута повороту і кутової швидкості дозволяють підвищити точність вимірювань.

До переваг запропонованої структурної схеми також відносяться рівномірність дискретизації, широка область застосування та можливість одночасного вимірювання кількох додаткових параметрів таких як биття, вібрація, нестабільність кутової швидкості. Мікропроцесорна обробка результатів забезпечує швидкий та ефективний збір, передачу і зберігання даних.

Отримані функції перетворення кута повороту та кутової швидкості в цифровий код дозволяють дослідити теоретичні статичні характеристики вимірювального перетворювача та можуть бути використані для виведення аналітичних залежностей статичних метрологічних характеристик.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фукс-Рабинович Л. И., Елифанов М. В. Оптико-электронные приборы. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. — 362 с.
2. Кухарчук В. В., Білинська М. Й. Використання багатопараметричних інтегральних фотоприймальних пристроїв для контролю параметрів обертального руху // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2003. — № 6. — С. 113—115.
3. Патент № 56722А України МКИ G01P3/36 Пристрій для вимірювання кутової швидкості та кутового прискорення / Й. Й. Білинський, В. В. Кухарчук, М. Й. Білинська // Опубл. 2003; Бюл. № 5.
4. Кухарчук В. В., Білинська М. Й. Мікропроцесорна система контролю параметрів обертального руху на основі оптико-електронного вимірювального перетворювача // Вісник Кременчуцького політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. — 2004. — Вип. 2/2004 (25). — С. 42—44.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (2—5. 07.05)

Надійшла до редакції 11.07.05  
Рекомендована до друку 21.07.05

**Кухарчук Василь Васильович** — завідувач кафедри, **Білинська Марина Йосипівна** — аспірант.

Кафедра теоретичної електротехніки та промислової електроніки, Вінницький національний технічний університет