

ДО ПИТАННЯ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ У ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Питанням дослідження електродвигунів у перехідних режимах до останнього часу приділялось мало уваги. Однак широке застосування математичних моделей електродвигунів потребує перевірки їх адекватності, а це краще за все робити шляхом порівняння розрахункових динамічних характеристик з експериментальними.

Одним з найважливіших параметрів електродвигунів, який обов'язково входить до математичної моделі, є кутова швидкість обертання, тому високоточне вимірювання кутової швидкості у перехідних режимах є актуальною та важливою проблемою.

В теперішній час відомо багато різних сенсорів кутової швидкості. Найпоширенішими з них є частотні фотоелектричні сенсори, частота вихідного сигналу яких прямо пропорційна кутовій швидкості. У частотний фотоелектричний сенсор входить джерело світла, фотоприймач, модулятор, який уявляє собою диск з прорізами вздовж кола. При обертанні модулятора, світловий потік, що попадає на фотоприймач, змінюється, і на його виході формуються імпульси напруги, частота яких прямо пропорційна кутовій швидкості, тобто здійснюється апаратне диференціювання кута повороту за часом [1].

При вимірюванні за допомогою такого сенсора кутової швидкості у перехідному режимі миттєва кутова швидкість обертання визначається як :

$$\omega = \frac{2 \pi}{z} \frac{1}{\Delta t} \quad (1)$$

де ω - кутова швидкість; Δt - часовий інтервал між двома слідуючими один за одним імпульсами; z - кількість прорізів модулятора.

Тобто миттєва кутова швидкість є величиною зворотно пропорційною часовому інтервалу між двома імпульсами та уявляє собою дискретну функцію часу із змінним кроком, який залежить від вхідної величини. Це приводить до того, що при низьких значеннях кутової швидкості похибка первинного перетворення значно збільшується. Крім того сенсор нечутлив до напрямку обертання.

Для вимірювання кутової швидкості у перехідних режимах також часто використовують тахогенератори. Найбільш точне первинне перетворення кутової швидкості в напругу здійснюють тахогенератори постійного струму, але їх використання обмежено за рядом причин. Залежність вихідної напруги тахогенератора постійного струму від кутової швидкості є нелінійною. При нульовій кутовій швидкості вихідна напруга тахогенератора не дорівнює нулю, тобто він має зону нечутливості. Окрім того вихідна напруга тахогенератора постійного струму має пульсуючу складову, яка обумовлює виникнення додаткової похибки первинного перетворення. Наявність щіткового контакту підвищує момент опору на валу тахогенератора, що робить недоцільним їх застосування для вимірювання кутової швидкості у перехідних режимах електродвигунів малої потужності [2].

Найбільш перспективними для вимірювання кутової швидкості у перехідних режимах електродвигунів малої потужності є фотоелектричні сенсори з безперервним вихідним сигналом. Відомий фотоелектричний сенсор кутової швидкості [3], у якому використовуються два лінійних фотоприймача, вихідна напруга яких з високою точністю прямо пропорційна світловому потоку. Схемотехнічно такі фотоприймачі достатньо легко реалізуються на

основі пари фотодіод - операційний підсилювач [4]. Модулятор сенсора має прорізи у вигляді кільцевих секторів. Діафрагма, яка розташована перед кожним з лінійних фотоприймачів, має теж таку форму. При такій формі прорізів та діафрагми площа отвору, через який світловий потік падає на фоточутливий шар фотоприймача лінійно залежить від кута повороту модулятора. Оскільки світловий потік прямо пропорційний площі отвору, а вихідна напруга лінійного фотоприймача прямо пропорційна світловому потоку, матиме вихідну напругу, яка прямо пропорційно залежить від кута повороту модулятора. Для уникнення похибки первинного перетворення, що обумовлена неточністю виконання діафрагми та прорізів модулятора, проводиться послідовне підключення до виходу сенсора вихідних сигналів лінійних фотоприймачів, які рознесені між собою на певний кут. При цьому на виході сенсора формується сигнал складної форми, крутизна фронтів якого прямо пропорційна кутовій швидкості. Шляхом обчислення першої похідної вихідного сигналу сенсору отримується напруга, що прямо пропорційна миттєвому значенню кутової швидкості.

За допомогою цього сенсора можливе вимірювання кутової швидкості у перехідних режимах електродвигунів малої потужності, але він має погані частотні властивості. Вихідний сигнал сенсора є періодичним, і його частота дорівнює добутку кількості прорізів модулятора на усталену частоту обертання модулятора. Оскільки смуга пропускання лінійних фотоприймачів обмежена, то при певній частоті обертання модулятора похибка первинного перетворення, що обумовлена частотними властивостями фотоприймачів, значно підвищується. Крім того складна форма вихідного сигналу обумовлює складний алгоритм обчислення його похідної.

Для значного підвищення верхньої граничної частоти первинного перетворення кутової швидкості в крутизну фронта вихідного сигналу сенсору пропонується виконати прорізь модулятора так, щоб за один оберт валу на виході сенсору формувалася тільки один імпульс пилоподібної форми. На рисунку наведено схематичне креслення модулятора з такою прорізю.

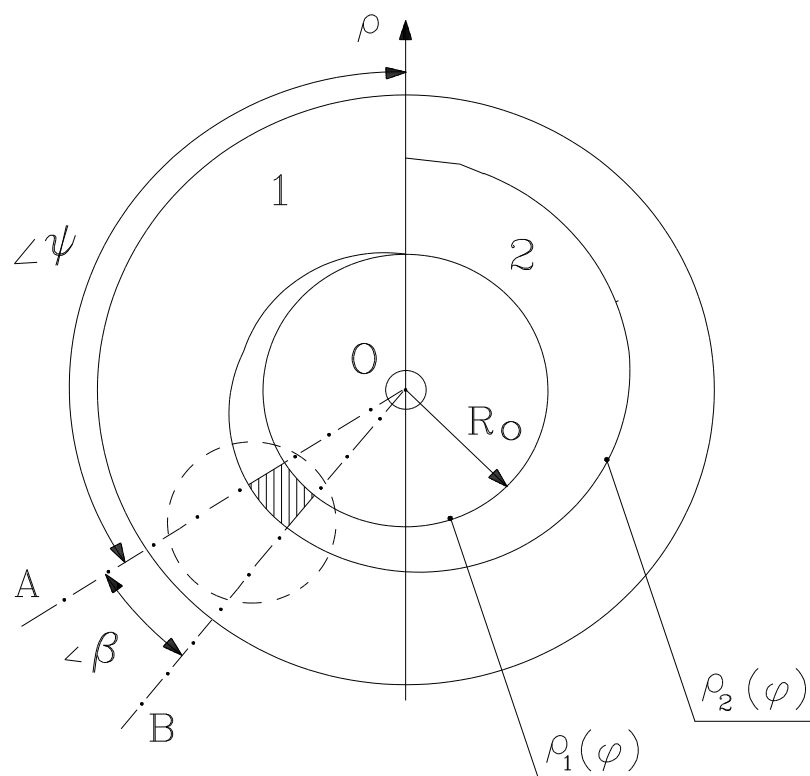


Рис. Модулятор сенсора кутової швидкості.
1 - диск модулятора; 2 - прорізь модулятора.

Фоточутливий шар лінійного фотоприймача показано штриховою лінією. Форма прорізи діафрагми обмежена промінями А та В (показано штрих-пунктирними лініями), кут між якими β . Площу отвору, через яку світло попадає на фоточутливий шар лінійного фотоприймача, заштриховано. Конфігурація прорізи обмежена двома кривими $\rho_1(\varphi)$ та $\rho_2(\varphi)$, аналітичні вирази для яких у полярних координатах відносно вісі ρ з полюсом О, який співпадає з центром модулятора, описуються виразами :

$$\rho_1(\varphi) = R_0 \quad (2)$$

$$\rho_2(\varphi) = \sqrt{R_0^2 + a\varphi} \quad (3)$$

де a - постійний коефіцієнт; φ - кутова координата; R_0 - радіус кола $\rho_1(\varphi)$.

Аналітичні вирази кривих (3) та (4) були визначені за умови отримання лінійної залежності площі отвору через який світловий потік попадає на фоточутливий шар лінійного фотоприймача від кута ψ , що утворений віссю ρ та променем А.

Ця залежність описується виразом :

$$S(\psi) = \frac{1}{2} \int_{\psi}^{\psi+\beta} (\rho_2^2(\varphi) - \rho_1^2(\varphi)) d\varphi = \frac{a}{2} \int_{\psi}^{\psi+\beta} \varphi d\varphi = \frac{a\beta}{2} \psi + \frac{a\beta^2}{4}, \psi \in [0, 2\pi - \beta] \quad (4)$$

де S - площа заштрихованого на рис. отвору.

Аналітичний вираз для залежності вихідної напруги сенсора кутової швидкості від часу :

$$U(t) = k \left(\frac{a\beta}{2} \psi(t) + \frac{a\beta^2}{4} \right), \psi \in [0, 2\pi - \beta] \quad (5)$$

де $\psi(t)$ - закон зміни кутової швидкості за часом; $U(t)$ - вихідна напруга сенсора; k - коефіцієнт пропорційності; t - час.

Проводячи нескладні перетворення, отримуємо рівняння перетворення сенсора :

$$\omega(t) = \frac{d\psi(t)}{dt} = \frac{2}{ka\beta} \frac{dU(t)}{dt}, \psi \in [0, 2\pi - \beta] \quad (6)$$

Вище наведені співвідношення справджуються тільки в діапазоні кутів повороту променя А відносно вісі ρ від 0 до $2\pi - \beta$. В діапазоні кутів від $2\pi - \beta$ до 2π формується задній фронт пилоподібного імпульсу. Цей фронт описується квадратичною функцією та не є інформативним. Його тривалість визначається кутом β розкриття діафрагми. У зв'язку з тим, що цей кут значно менший за 2π , втратою вимірювальної інформації, обумовленою заднім фронтом пилоподібного імпульсу можна знехтувати.

Сенсор кутової швидкості, в якому застосовується вище описаний модулятор має малі розміри і завдяки цьому малий момент опору на валу, добрі частотні властивості, безперервність вихідного сигналу. Це обумовлює доцільність використання такого сенсора для вимірювання кутової швидкості у перехідних режимах електродвигунів малої потужності. При використанні у складі лінійного фотоприймача фотодіода ФД-24К (постійна часу 10^{-5} с, діаметр фоточутливого слою 10 мм) та операційного підсилювача К544УД2А розрахункова максимальна кутова швидкість, первинне перетворення якої в крутизну фронту вихідного сигналу сенсора, з відносною похибкою 1 %, яка обумовлена частотними властивостями лінійного фотоприймача, складає 8200 рад/с.

ЛІТЕРАТУРА

1. Потапов Л.А., Зотин В.Ф. Испытания микроэлектродвигателей в переходных режимах.- М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Арменский Е.В., Фалк Г.Б. Электрические микромашины.-М.: Высш.шк., 1985.
3. Кулаков П.И., Поджаренко В.А. “Датчик угловой скорости и углового ускорения” / Proceeding of the second international scientific and technical conference “Unconventional electromechanical and electrotechnical systems”, volume 2, p. 489-494. Schecin, Poland, 1996
4. Аксененко М.Д., Бараночников М.Л., Смолин О.В., . Микроэлектронные фотоприемные устройства. - М.: Энергоатомиздат, 1984.