

ПРОГРАМНА ФІЛЬТРАЦІЯ ШВИДКОСТІ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ЇЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕНКОДЕРА

Зайченко Ю.М. асистент, Вошкулат О.І., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Для проектування систем керування електричними двигунами часто необхідним є вимірювання швидкості, що в сучасних установках здійснюється за допомогою фото-імпульсного давача (енкодера). Енкодер представляє собою пристрій, який містить вал із закріпленим на ньому диском з рівномірно розташованими по колу отворами, набір світлодіодів та фотоприймачів (оптичних пар), які розміщені по різні сторони диску. При обертанні валу давача, внаслідок наявності у диску рівномірно розташованих отворів, світло від світлодіодів періодично попадає на фотоприймачі, які формують на виході електричні імпульси, частота яких пропорційна швидкості обертання диску. Для вимірювання кутового положення, чи кутової швидкості ротора використовується дві оптичні пари і виконується підрахунок імпульсів їх результуючої послідовності. Зі збільшенням кутової швидкості кількість імпульсів, отриманих від давача зростає, але дискретний характер сигналу вимірюваної швидкості зберігається. Використання такого сигналу в чистому вигляді в якості зворотного зв'язку є неприйнятним, оскільки це може призвести до пульсацій моменту чи навіть до втрати стійкості замкненої системи. Для уникнення негативних явищ, пов'язаних з дискретним характером сигналу швидкості, його потрібно додатково відфільтрувати. Як правило така фільтрація відбувається програмно, в цифровому сигнальному процесорі.

Мета роботи. Реалізувати програмну фільтрацію сигналу швидкості, вимірюваного за допомогою фото-імпульсного енкодера.

Мета і результати досліджень. Оптичні пари енкодера формують «пряму» (А) та «зворотну» (В) послідовності імпульсів. Взаємне геометричне розташування цих оптичних пар використовується так, щоб зсув між вихідними імпульсами послідовностей А та В дорівнював чвертї періоду, що дає можливість визначати напрямок руху. Окрім того, використання двох послідовностей імпульсів дозволяє підвищити розподільчу здатність фото-імпульсних давачів швидкості в чотири рази, для чого на основі сигналів А і В формується одна результуюча послідовність АВ, яка отримується за рахунок виділення передніх та задніх фронтів імпульсів сигналів А і В, як показано на рис.1. Для вимірювання кутового положення чи кутової швидкості виконується підрахунок імпульсів результуючої послідовності АВ.

Третя оптична пара призначена для отримання послідовності імпульсів, яку називають нульовою або Z – послідовністю, і дає можливість здійснювати пошук початкового положення робочого органу чи валу

двигуна, а також корекцію вимірювання кутового положення.

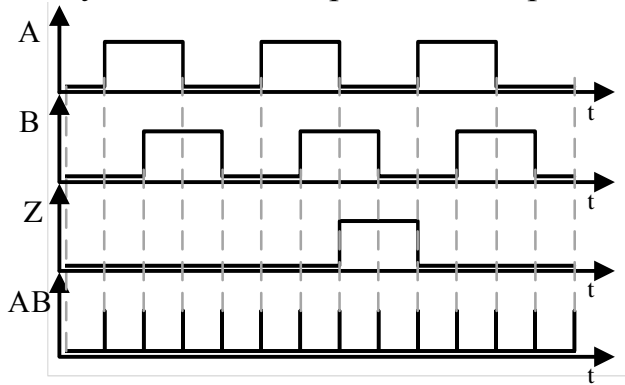


Рисунок 1 – Генерування сигналів енкодером

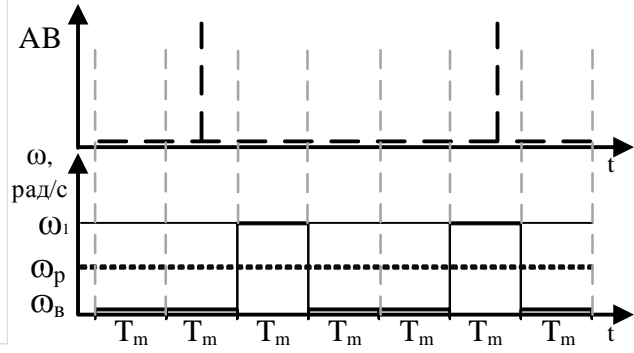


Рисунок 2 – Надходження імпульсів при роботі на малих швидкостях.

Найпростішим способом вимірювання кутової швидкості за допомогою фото-імпульсного давача є диференціювання кутового положення:

$$\omega = \theta / T_m \quad (1)$$

де T_m – малий інтервал часу на протязі якого вал давача повертається на кут θ . Ціна одного імпульсу результуючої послідовності АВ енкодера, що має розподільчу здатність N імп/об буде визначатися як

$$\delta\theta = 2\pi / 4N \quad (2)$$

а виміряна кутова швидкість розраховується як:

$$\delta\omega = \frac{\delta\theta}{T_m} = \frac{2\pi n}{4NT_m} \quad (3)$$

де n – кількість імпульсів результуючої послідовності АВ, які надійшли від давача за час $T_m = kT_s$, $k \in \mathbb{Z}$.

При роботі на малих швидкостях може виникнути ситуація, коли на тактах вимірювання швидкості від давача не приходять жодного імпульсу, як це проілюстровано на рис. 2 (де ω_p – реальна, а ω_v – виміряна швидкості). Виміряна на основі послідовностей імпульсів, кутова швидкість може бути представлена графічно, як це показано на рис. 2. Величина виміряної швидкості ω_1 розрахована по (3) при $n=1$ і залежить від розподільчої здатності енкодера N та часу вимірювання T_m .

Для уникнення ефектів, пов'язаних з дискретним характером сигналу швидкості, він фільтрується програмно, в цифровому сигнальному процесорі за допомогою фільтру першого порядку з передаточною функцією:

$$W_f(p) = \frac{1}{\tau p + 1} = \frac{\omega_f}{\omega_m} \quad (4)$$

де τ – стала часу фільтру де ω_m – виміряна кутова швидкість; ω_f – фільтрована швидкість. В дискретній формі запису, при величині такту квантування T_s , вираз (4) можна представити у вигляді різницевого рівняння:

$$\tau(\omega_{f(k+1)} - \omega_{f(k)})T_s = \omega_{m(k+1)} - \omega_{f(k)} \quad (5)$$

Позначивши $k_1 = (\tau - T_s)/\tau$, $k_2 = T_s/\tau$ перепишемо (5) та отримаємо кінцевий вираз для фільтру вигляді:

$$\omega_{f(k+1)} = k_1 \omega_{f(k)} + k_2 \omega_{m(k+1)} \quad (6)$$

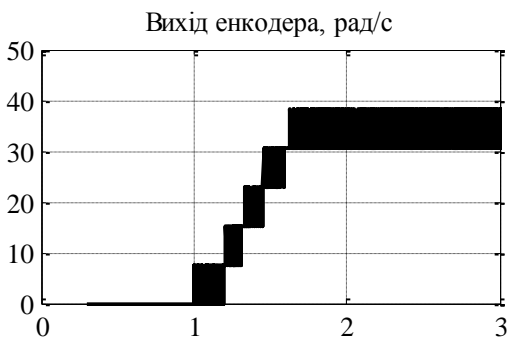


Рисунок 3 – Швидкість, отримана з енкодера

Експериментальна перевірка запропонованого підходу проведена на лабораторному стенді на основі керуючого контролера на базі DSP TMS320LF2406 [1], що має такт квантування $T_s = 200$ мкс. В ході дослідження ненавантажений двигун, до валу якого під'єднано енкодер з розподільчою здатністю $N = 1024$ імпл/об, розганявся до швидкості 35 рад/с. При цьому здійснювалася візуалізація сигналів швидкості, отриманих безпосередньо з енкодера (3), та після

застосування фільтру (6). На рис.1 представлено швидкість отриману за (3). Відзначаємо дискретний характер отриманого сигналу, з величиною 7,67 рад/с.

Відповідно до (3) величину дискретності можна зменшити, збільшивши час вимірювання T_m . Вплив збільшення часу вимірювання на результат вимірювання представлено на рис. 4 та рис. 5 для $T_m = 400$ мкс, $T_m = 600$ мкс відповідно.

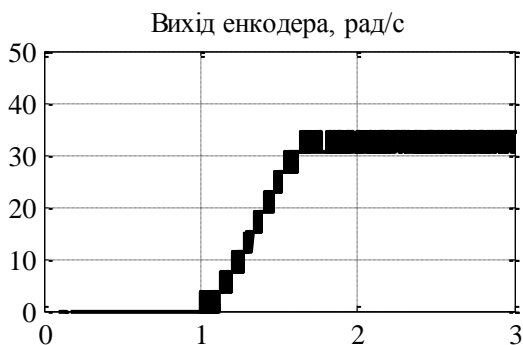


Рисунок 4 – Швидкість, отримана з енкодера при $T_m = 400$ мкс

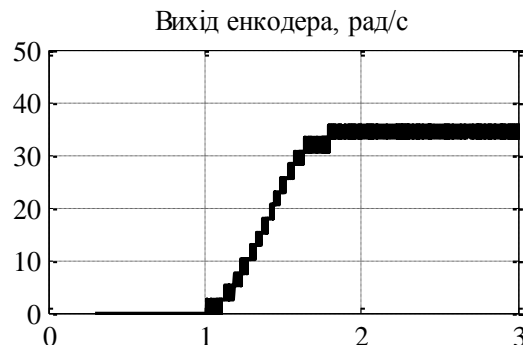


Рисунок 5 – Швидкість, отримана з енкодера при $T_m = 600$ мкс

Як підтверджують наведені графіки, збільшення часу підрахунку імпульсів дає можливість зменшити дискретизацію вимірювання, проте отриманий результат все ще не бажаний для використання в якості зворотного зв'язку.

Розглянемо застосування програмної фільтрації сигналу з енкодера за допомогою (6). На рис. 6-7 представлено відфільтрований сигнал швидкості для сталих часу фільтра $\tau = 400$ мкс та $\tau = 600$ мкс відповідно.



Рисунок 6 – Відфільтрована швидкість при $\tau = 400$ мкс



Рисунок 7 – Відфільтрована швидкість при $\tau = 600$ мкс

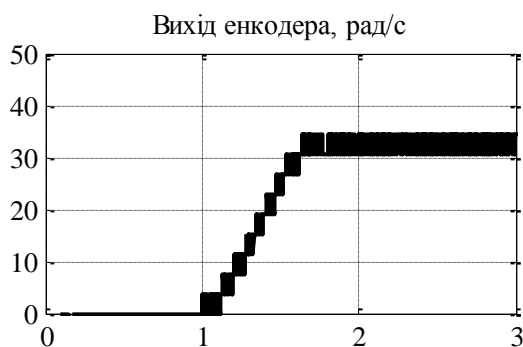


Рисунок 8 – Вихід енкодера та задовільна форма відфільтрованої швидкості

Отже, для того, щоб отримати якомога коректніший сигнал зворотного зв'язку за швидкістю, необхідно підібрати такі значення сталої часу фільтра та часу підрахунку імпульсів, які забезпечують прийнятний характер вихідного сигналу. На рис. 8 представлено результат вимірювання швидкості при оптимальних значеннях $\tau = 800$ мкс та часу вимірювання $T_m = 400$ мкс.

Висновки. Запропоновано застосувати цифровий фільтр першого порядку для отримання коректного сигналу швидкості, вимірної фотоімпульсним енкодером. Для спроектованого фільтру здійснено практичну реалізацію на мікроконтролері, перевірено експериментально, та підібрано задовільні параметри налаштування. Отриманий вихідний сигнал має вигляд, придатний для використання в якості зворотного зв'язку за швидкістю при проектуванні системи керування електричними двигунами.

Перелік посилань

1. TMS320LF2406A [Електронний ресурс] // Texas Instruments. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320lf2406a.pdf>