DOI 10.31891/2307-5732-2023-321-3-195-198
УДК 004.02:621.9.08: 681.2.083

ХРУЛЬОВ МИКОЛА
Черкаський державний технологічний університет
https://orcid.org/0000-0001-8532-0967
e-mail: m.khrulov@chdtu.edu.ua
КРИВОУС ГЕННАДІЙ
Черкаський державний технологічний університет
https://orcid.org/0000-0002-5589-9020
e-mail: h.v.kryvous.asp@chdtu.edu.ua

СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНОЇ ШВИДКОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗАГОТОВКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТИПУ ІНДУКТОСИН

У статті розглянуто спосіб виміру лінійної швидкості переміщення заготовки за допомогою вимірювального перетворювача типу індуктосин. Вимірювання лінійної швидкості переміщення заготовки пропонується проводити шляхом вимірювання кутової швидкості ротора індуктосину відносно магнітного поля, що створюється ортогональними статорними обмотками.

Застосування запропонованого способу вимірювання лінійної швидкості переміщення заготовки дозволить суттєво підвищити точність вимірювання за рахунок компенсації динамічної похибки та знизити вартість вимірювачів переміщення на основі індуктосину за рахунок реалізації функції визначення швидкості на основі 8-розрядних мікроконтролерів.

Ключові слова: метод вимірювання, вимірювання швидкості переміщення, вимірювальний перетворювач, індуктосин.

KHRULOV MYKOLA, KRYVOUS HENNADII
Cherkasy State Technological University

THE LINEAR SPEED OF THE WORKPIECE MOVEMENT MEASURING METHOD THAT AN INDUCTOSYN-TYPE MEASURING TRANSDUCER USING

The article considers a method for measuring the linear speed of movement of the workpiece using an inductosyn-type measuring transducer. To ensure the implementation of technological processes, it is required to maintain the values of technological parameters within the specified limits. One of the important parameters of many technological processes is the speed of movement of the working body relative to the workpiece. One of the areas of application of speed sensors are numerical control systems, in which speed sensors are used to control the electric drive. Currently, a significant amount of CNC equipment is in operation, in which movement meters that use the transformation of angular displacement into phase and are made on the basis of primary transducers such as inductosyn, resolver, rotating transformer or selsyn are used.

It is proposed to measure the linear speed of the workpiece movement using an inductosyn type measuring transducer by measuring the angular velocity of the inductosyn rotor, which is defined as the difference of the angular velocity of the rotating magnetic field created by the stator windings and the angular velocity of the rotor, relative to the rotating magnetic field of the stator. It is noted that if the direction of rotation of the magnetic field and the direction of rotation of the rotor is matching, and if the angular velocities of rotation of the magnetic field and the rotor are equal, the proposed method for measuring the linear velocity of the workpiece cannot be used. The application of the proposed method will allow to eliminate additional devices, that is necessary to determine the speed of movement of the workpiece, for example, tachometers, which will significantly reduce the cost of movement speed meters based on inductosyn.

Keywords: measurement method, movement speed measurement, transducer, inductosyn.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Для забезпечення виконання технологічних процесів потрібно підтримувати значення технологічних параметрів у заданих межах. Одним із важливих параметрів багатьох технологічних процесів є швидкість переміщення робочого органу відносно заготовки.

Однією з сфер застосування датчиків швидкості є системи числового програмного управління (ЧПУ), в яких датчики швидкості застосовуються для керування електроприводом. У той же час датчики швидкості можуть застосовуватися для компенсації динамічної похибки вимірювання переміщення робочого органу відносно заготовки [1]. В даний час в експлуатації знаходиться значна кількість обладнання з ЧПУ, в якому застосовуються вимірювачі переміщення, що використовують перетворення кутового переміщення у фазу і виконані на основі первинних перетворювачів типу індуктосин, резольвер, трансформатор що обертається або сельсин. Таким чином, завдання вимірювання лінійної швидкості переміщення за допомогою вимірювального перетворювача типу індуктосин актуальне і представляє певний науковий і практичний інтерес.

Аналіз досліджень та публікацій

Принцип роботи вимірювального перетворювача типу індуктосин описаний в [2–4]. В [5] пропонується використовувати резольвер для визначення положення ротора відносно статора і подальшого обчислення швидкості на підставі виконаних вимірювань. В [6] для визначення малих швидкостей обертання пропонується використовувати резольвер в режимі пульсуючого поля.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є розробка способу вимірювання лінійної швидкості переміщення заготовки за допомогою вимірювального перетворювача типу індуктосин.

Виклад основного матеріалу

Вимірювання лінійної швидкості переміщення заготовки за допомогою вимірювального перетворювача типу індуктосин пропонується проводити шляхом вимірювання кутової швидкості ротора індуктосину.

Можливі два режими роботи індуктосину, режим пульсуючого поля і режим поля, що обертається. У другому режимі статорні обмотки живляться синусоїдальними і косинусоїдальними напругами рівної амплітуди [3], за рахунок чого створюється магнітне поле, що обертається. У випадку, що розглядається в цій статті, індуктосин працює в режимі поля, що обертається.

Відомо, що при обертанні рамки в постійному магнітному полі магнітний потік, що проходить через рамку, періодично змінюється [8], при цьому в рамці, що обертається, виникає синусоїдальна Е.Р.С.

Е.Р.С., що виникає в рамці, визначається так [8]:

$$e(t,\omega) = B \cdot S \cdot N \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

де $e(t,\omega)$ – Е.Р.С., що виникає в рамці внаслідок зміни магнітного потоку, що проходить через рамку;

B – магнітне поле;

S – площа рамки;

N – кількість витків рамки;

ω – кутова швидкість обертання рамки відносно магнітного поля;

t – час.

Позначимо добуток $B \cdot S \cdot N \cdot \omega$ через $e_{\max}(\omega)$ [8]:

$$e_{\max}(\omega) = B \cdot S \cdot N \cdot \omega, \quad (2)$$

де $e_{\max}(\omega)$ – амплітудне значення синусоїдальної Е.Р.С., що виникає в рамці.

Тоді вираз (1) [8] можна подати у вигляді:

$$e(t,\omega) = e_{\max}(\omega) \cdot \sin(\omega t) \quad (3)$$

На кінцях рамки виникає напруга $U(t,\omega)$ [8], що відповідає Е.Р.С. $e(t,\omega)$ і збігається з нею за фазою:

$$U(t,\omega) = U_{\max}(\omega) \cdot \sin(\omega t), \quad (4)$$

де $U(t,\omega)$ – напруга, що виникає на кінцях рамки;

$U_{\max}(\omega)$ – амплітудне значення напруги, що виникає на кінцях рамки.

Розглянемо спосіб виміру кутової швидкості ротора індуктосину, що пропонується. Магнітне поле індуктосину, що обертається, створюється за рахунок живлення двох ортогонально розташованих статорних обмоток індуктосину напругами, що реалізують функції:

$$U_{\sin}(t) = U_A \sin(\omega_s t)$$
$$U_{\cos}(t) = U_A \cos(\omega_s t),$$

де $U_{\sin}(t)$ – напруга живлення синусної статорної обмотки;

$U_{\cos}(t)$ – напруга живлення косинусної статорної обмотки;

U_A – амплітуда напруги живлення статорних обмоток;

ω_S – кутова частота напруги живлення статорних обмоток і, відповідно, кутова швидкість обертання магнітного поля, що створюється статорними обмотками.

Відносно статора обертається ротор індуктосина з кутовою швидкістю ω_r. Осі обертання магнітного поля та ротора збігаються. Кутова частота обертання ротора відносно магнітного поля визначиться як:

$$\omega_{rs} = \omega_s - \omega_r, \quad (5)$$

де ω_{rs} – кутова швидкість обертання ротора відносно магнітного поля, що обертається, і відповідно, кутова частота вихідної синусоїдальної напруги ротора;

ω_s – кутова частота напруги живлення статорних обмоток, і, відповідно, кутова швидкість обертання магнітного поля відносно статора;

ω_r – кутова швидкість обертання ротора відносно статора..

Оскільки $\omega = 2\pi f$ [7], вираз (5) можна подати у вигляді:

$$f_{rs} = f_s - f_r, \quad (6)$$

де f_{rs} – частота обертання рамки відносно магнітного поля, що обертається, і відповідно, частота вихідної синусоїдальної напруги ротора;

f_s – частота напруги живлення статорних обмоток, і, відповідно, частота обертання магнітного поля відносно статора;

f_r – частота обертання ротора відносно статора.

За рахунок обертання ротора відносно магнітного поля, що обертається (рис. 1) відповідно до (4), в роторній обмотці створюється вихідна напруга $U_{out}(t,\omega_{rs})$:

$$U_{out}(t,\omega_{rs}) = U_{\max}(\omega_{rs}) \cdot \sin(\omega_{rs}\, t + \varphi)$$

де $U_{out}(t,\omega_{rs})$ – напруга вихідного сигналу роторної обмотки;

φ – зсув фази напруги вихідного сигналу роторної обмотки по відношенню до напруги живлення статорної обмотки, наприклад, синусної. Визначається положенням ротора відносно статорних обмоток.

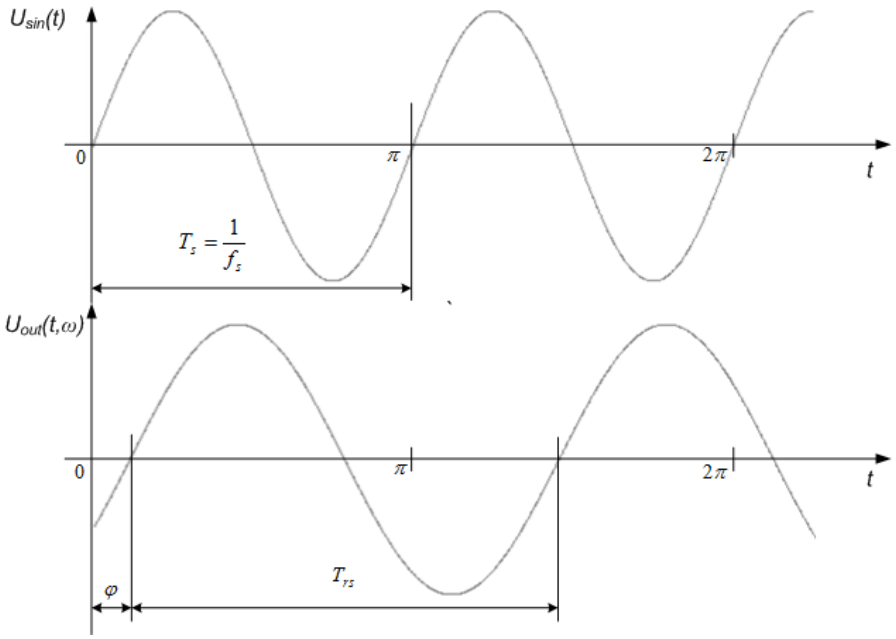

Рис. 1. Вимірювання швидкості заготовки за допомогою вимірювального перетворювача типу індуктосин

Лінійна швидкість переміщення заготовки може бути визначена таким чином:

$$V_{лін} = k_v f_r, \tag{7}$$

де $V_{лін}$ – лінійна швидкість переміщення заготовки;

k_v – коефіцієнт, що зв'язує лінійну швидкість переміщення заготовки та частоту обертання ротора, визначається конструкцією механічної частини верстатного обладнання.

Частота напруги живлення статорних обмоток f_s протягом часу не змінюється, тобто є константою. Тоді на основі формул (6) та (7) лінійну швидкість переміщення заготовки можна визначити як:

$$V_{лін} = k_v\left(C - f_{rs}\right) \tag{8}$$

де C - константне значення, що дорівнює частоті напруги живлення статорних обмоток f_s.

З урахуванням $f = \frac{1}{T}$ [8], вираз (8) можна подати у вигляді:

$$V_{лін} = k_v\left(C - \frac{1}{T_{rs}}\right), \tag{9}$$

де T_{rs} – період вихідної синусоїдальної напруги роторної обмотки.

Таким чином, для визначення лінійної швидкості переміщення заготовки за допомогою вимірювального перетворювача типу індуктосин, достатньо виміряти період T_{rs} вихідної напруги синусоїдальної роторної обмотки і виконати розрахунок відповідно до формули (8) або (9).

Зазначимо, що при збігу напрямку обертання магнітного поля та напрямку обертання ротора, і при $\omega_r \to \omega_s$, або інакше $\omega_{rs} \to 0$, відповідно до (2), буде мати місце $\lim\limits_{\omega_r \to \omega_s} e(t,\omega) = 0$. Тобто при рівності кутової швидкості магнітного поля, що обертається, і кутової швидкості роторної обмотки, кутова швидкість роторної обмотки відносно магнітного поля дорівнюватиме 0, тоді, в силу (2), амплітудне значення Е.Р.С. $e_{\max}(\omega)$, що виникає в роторній обмотці, і, відповідно, амплітудне значення напруги

$U_{\max}(\omega)$ на кінцях роторної обмотки дорівнюватимуть 0. Це накладає обмеження на використання способу визначення лінійної швидкості переміщення заготовки за допомогою вимірювального перетворювача типу індуктосин, що пропонується. Пропонований спосіб дозволяє забезпечити необхідну точність вимірювання швидкості переміщення заготовки за виконання умови $\omega_s >> \omega_r$.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку

Розглянутий спосіб вимірювання лінійної швидкості переміщення заготовки може бути застосований для компенсації динамічної похибки методу виміру переміщення за допомогою вимірювального перетворювача типу індуктосин [1], що дозволить підвищити точність вимірювання переміщення заготовки.

В [9] запропоновано на основі 8-розрядних мікроконтролерів, наприклад, сімейства AVR або PIC реалізувати функції формування живлення статорних обмоток та вимірювання положення заготовки по відповідній осі координат. Додатково мікроконтролер може виконувати і функцію вимірювання швидкості переміщення заготовки.

Використання розглянутого способу дозволить виключити додаткові пристрої, необхідні для визначення швидкості переміщення заготовки, наприклад, тахометри, що дозволить істотно знизити вартість систем керування рухом заготовки.

Література

1. Хрулев Н.В., Кривоус Г.В. Способ компенсации динамической погрешности метода измерения перемещения при помощи измерительного преобразователя типа индуктосин, основанного на измерении сдвига фазы. Вісник Черкаського державного технологічного університету (Технічні науки). 2021. № 2. С. 39–48.

2. Robert W. Tripp, James L. Winget United States Patent US2799835 Position measuring transformer. May 18, 1955.

3. Устройство 2С42–65 : руководство по эксплуатации 3.035.090 РЭ. 1991. Ч. 1.

4. Synchro/resolver conversion: handbook. Data Device Corporation 105 Wilbur Place, Bohemia, New York 11716-2482. URL: https://www.ddc-web.com/documents/synhdbk.pdf

5. Russ Ether, Mark B. Hanson United States Patent US7578185B2. Resolver-based wheel speed sensor and method of using same. Aug. 25, 2009.

6. Günter Schwesig, Albrecht Donat United States Patent US005260650A Method and apparatus for detecting low rotational speeds using a resolver. Nov. 9, 1993.

7. Бойко В.С., Бойко В.В., Видолоб Ю.Ф. Теоретичні основи електротехніки 6 підручник : у 3 т. Т. 1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами К. : ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2004. 272 с.

8. Соколович Ю.А., Богданова Г.С. Фізика : навчально-практ. довідник. Х. : Видавництво «Ранок», 2010. 384 с.

9. Хрулев Н. В. Структура микроконтроллерного измерителя перемещения на основе индуктосина. Вісник Хмельницького національного університету (Технічні науки). 2015. № 1. С. 136–139.

References

1. Hrulev N.V., Krivous G.V. Sposob kompensacii dinamicheskoj pogreshnosti metoda izmerenija peremeshhenija pri pomoshhi izmeritel'nogo preobrazovatelja tipa induktosin, osnovannogo na izmerenii sdviga fazy. Visnik Cherkas'kogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu (Tehnichni nauki). 2021. № 2. S. 39–48..

2. Robert W. Tripp, James L. Winget United States Patent US2799835 Position measuring transformer. May 18, 1955.

3. Ustroistvo 2S42–65 : rukovodstvo po ekspluatatsyy 3.035.090 RЭ. 1991. Ch. 1.

4. Synchro/resolver conversion: handbook. Data Device Corporation 105 Wilbur Place, Bohemia, New York 11716-2482. URL: https://www.ddc-web.com/documents/synhdbk.pdf

5. Russ Ether, Mark B. Hanson United States Patent US7578185B2. Resolver-based wheel speed sensor and method of using same. Aug. 25, 2009.

6. Günter Schwesig, Albrecht Donat United States Patent US005260650A Method and apparatus for detecting low rotational speeds using a resolver. Nov. 9, 1993.

7. Boiko V.S., Boiko V.V., Vydolob Yu.F. Teoretychni osnovy elektrotekhniky 6 pidruchnyk : u 3 t. T. 1: Ustaleni rezhymy liniinykh elektrychnykh kil iz zoseredzhenymy parametramy K. : IVTs "Vydavnytstvo «Politekhnika»", 2004. 272 s.

8. Sokolovych Yu.A., Bohdanova H.S. Fizyka : navchalno-prakt. dovidnyk. Kh. : Vydavnytstvo «Ranok», 2010. 384 s.

9. Hrulev N. V. Struktura mikrokontrollernogo izmeritelja peremeshhenija na osnove induktosina. Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu (Tehnichni nauki). 2015. № 1. S. 136–139.