

ФАЗОВИЙ БЕЗКОНТАКТНИЙ МЕТОД ТА ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ ОСЬОВОГО ЗМІЩЕННЯ РОТОРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано новий безконтактний метод вимірювання осьового зміщення ротора електричної машини у режимі реального часу та розроблено структурну схему засобу вимірювання, що його реалізує.

Ключові слова: вимірювання, осьове зміщення, електрична машина, засіб вимірювання, інформативна хвиля, різниця фаз.

Abstract

A new contactless method of measuring the axial displacement of a rotor of an electric machine in real time is proposed, and a structural scheme of the measuring instrument that implements it is developed.

Keywords: measurement, axial displacement, electric machine, measuring instrument, informative wave, phase difference.

Динамічний аналіз механічних параметрів силових електричних машин у режимі технологічного процесу є неодмінною складовою перспективного напрямку підвищення надійності та зменшення експлуатаційних витрат за рахунок побудови сучасних систем діагностування. Можна зробити висновок, що розробка високоточних методів та безконтактних засобів вимірювання миттєвого осьового зміщення ротора електричної машини у режимі реального часу технологічного процесу є актуальною науково-прикладною задачею.

Основною проблемою, що потребує вирішення при застосуванні оптичних методів вимірювання осьового віброзміщення є наявність суттєвого впливу неінформативних впливних величин на інформативний сигнал. Про те, виходячи з фізичних властивостей повітря [2], що, очевидно, знаходиться у просторі між випромінювачем, ОВ(об'єктом вимірювання) та приймачем, його коефіцієнти відносної діелектричної та магнітної проникностей є мало змінними. Фазова швидкість інформативного сигналу у такій системі буде мати доволі високу стабільність. Це обумовлює доцільність використання у якості проміжного інформативного параметру фазове зміщення інформативної хвилі.

Суттєвими проблемами, що виникатимуть при побудові засобу вимірювання, який реалізуватиме проміжне вимірювальне перетворення осьового зміщення ротора у зміщення фази інформативного сигналу є наявність значної фазоамплітудної похибки, та невисока чутливість засобу. Тож, фазовий безконтактний метод вимірювання осьового зміщення ротора електричної машини повинен включати як алгоритм компенсування фазоамплітудної похибки, так і новий метод вимірювання різниці фаз, що забезпечуватиме підвищену чутливість.

Проблема компенсації фазоамплітудної похибки може бути вирішена шляхом забезпечення змінного коефіцієнту підсилення інформативного сигналу на виході приймача, що дозволить забезпечити його стабілізацію не залежно від зовнішніх збурюючих факторів. Причиною виникнення фазоамплітудної похибки є різність амплітуд між інформативним та опорним каналами, а також при певних умовах зовнішні збурення можуть викликати зміну амплітуди опорного сигналу, тож у якості критерію стабілізації доцільно використати амплітуду опорного сигналу. При такому підході на виході приймача доцільно розмістити лінійний підсилювач з керованим коефіцієнтом підсилення, значення якого корегуватиметься у режимі реального часу за рахунок сигналу зворотного зв'язку, що являтиме собою різницю між амплітудою інформативного та опорного сигналів.

В загальному принцип роботи системи стабілізації амплітуди сигналу на виході приймача можна уявити як, сигнал заданої частоти що подається з генератора на вхід випромінювача з виходу

випромінювача формується напрямлене випромінювання хвилі у бік лобового виступу валу ротора, на якому нанесене відбиваюче покриття. Досягнувши відбиваючого покриття, хвиля, що була випромінена відбивається у бік приймача. Залежно від величини і знаку осьового зміщення лобового виступу валу ротора змінюється відстань між ним та випромінювачем і приймачем. Для інформативного сигналу буде справедливим фундаментальне співвідношення між приростом кута початкової фази при переміщенні електромагнітної хвилі у просторі:

$$\Delta\varphi = \frac{360 \cdot \Delta L}{\lambda}, \quad (1)$$

де $\Delta\varphi$ та ΔL – відповідно, приріст кута початкової фази та приріст лінійної координати у напрямку поширення хвилі; λ – довжина електромагнітної хвилі, що пов'язана з її частотою наступним співвідношенням:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (2)$$

де f – частота інформативного сигналу; c – швидкість поширення оптичного сигналу у повітрі (вакуумі).

Враховуючи (1) та (2), а також геометрію поширення хвилі від випромінювача до приймача, сигнал на вході приймача матиме додаткове фазове зміщення (в градусах), значення якого залежить від осьового зміщення лобового виступу валу ротора у відповідності з наступним рівнянням перетворення:

$$\varphi = \frac{2 \cdot 360 \cdot L \cdot f}{c \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, \quad (3)$$

де L – осьове зміщення; α – кут між падаючою та відбитою хвилями.

З виходу приймача прийнятий сигнал передається на вхід масштабного перетворювача, де відбувається стабілізація його амплітуди, що забезпечується шляхом порівняння сигналів з виходу першого та другого випрямлячів, яка здійснюється компаратором з аналоговим виходом, на виході якого формується коректуючий сигнал, що пропорційний різниці амплітуд між сигналами з виходів першого та другого випрямлячів.

Проблема низької чутливості може бути розв'язана за рахунок застосування спеціального методу вимірювання різниці фаз, який не передбачатиме проміжне перетворення різниці фаз у часовий інтервал. Це дозволить використати у якості інформативного сигналу сигнал підвищеної частоти.

Враховуючи бажані характеристики каналу різниці фаз, вимірювання останньої можна здійснювати шляхом отримання проміжних векторних величин, пов'язаних з інформативним та опорним сигналами. При використанні синусоїдальних хвиль, опорний та інформативний сигнали описуватимуться гармонічною функцією і на виході матимуть однакову амплітуду. Пов'язавши систему відліку часу з опорним сигналом, математично можна представити їх у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} U_1(t) &= U_m \sin(\omega t), \\ U_2(t) &= U_m \sin(\omega t + \varphi). \end{aligned} \quad (4)$$

У цьому випадку амплітуда їх векторної суми буде рівною:

$$U_{sum} = 2U_m \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right), \quad (5)$$

,а амплітуда векторної різниці інформативного та опорного сигналів:

$$U_{dif} = 2U_m \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right). \quad (6)$$

Функціональні залежності (5) та (6), забезпечують перетворення різниці у пов'язаний з нею рівень постійної напруги, та враховуючи особливості синусоїди, при безпосередньому вимірюванні сигналів U_{sum} та U_{dif} з подальшим розрахунком φ матиме місце зменшення чутливості засобу вимірювання. Тож у якості проміжного сигналу доцільніше використати іншу, залежну від різниці фаз φ величину.

Поділивши (6) на (5), отримаємо:

$$\frac{U_{dif}}{U_{sum}} = \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right). \quad (7)$$

На відмінно від функції \cos та \sin , функція tg характеризується зростанням чутливості при наближенні до граничних значень діапазону зміни аргумента, Враховуючи (7), рівняння перетворення каналу різниці фаз при використанні запропонованого підходу матиме вигляд:

$$\varphi = 2\operatorname{arctg}\left(\frac{U_{dif}}{U_{sum}}\right). \quad (7)$$

Принцип роботи засобу вимірювання, що реалізує фазовий безконтактний метод осьового зміщення ротора електричних машин окрім проміжного перетворення осьового зміщення та стабілізації амплітуди інформативного сигналу, знаходить амплітуду векторної суми та векторної різниці між інформативним та опорним сигналами у блоках векторного віднімання та векторного додавання. Після цього отримані сигнали надходять на блок ділення, в результаті чого на його виході формується аналоговий рівень напруги, що пропорційний арктангенсу різниці фаз між інформативним та опорним сигналами. Отримане значення напруги оцифровується та поступає на вхід числового перетворювача, де відбувається остаточний розрахунок миттєвого осьового зміщення ротора електричної машини у відповідності з рівнянням перетворення запропонованого засобу вимірювання:

$$L = \frac{c \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \operatorname{arctg}\left(\frac{U_{dif}}{U_{sum}}\right)}{360 \cdot f}. \quad (8)$$

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано новий метод вимірювання різниці фаз гармонічних сигналів, який за рахунок відсутності проміжного перетворення різниці фаз у часовий інтервал характеризується підвищеною чутливістю при вимірюванні різниці фаз височастотних сигналів.

2. Запропоновано новий фазовий безконтактний метод вимірювання осьового зміщення ротора електричної машини, який за рахунок використання оптичної інформативної хвилі та використання нового методу вимірювання різниці фаз гармонічних сигналів, що не передбачає проміжного перетворення останньої у часовий інтервал, дозволяє забезпечити високу точність та чутливість вимірювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кухарчук В. В. Моніторинг, діагностування, та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія / В. В. Кухарчук, С. Ш. Качив, В. Г. Мадьяров та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 168 с.
2. Поплавко Ю. М. Фізика діелектриків : підручник / Ю. М. Поплавко. За загальною редакцією ак. НАН України Ю. І. Якименка. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015 – 572 с.

Орлов Назарій Максимович — студент групи МНТ-17б, факультет інфокомунікацій радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mnt17b.orlov@gmail.com

Граняк Валерій Федорович — канд. тех. наук, асистент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет

Orlov Nazariy M. — Department of Infocommunications Radio Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : mnt17b.orlov@gmail.com

Graniak Valery F. — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Theoretical Electrical Engineering and Electrical Measurement, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia