



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **119606** (13) **C2**  
(51) МПК

**G01M 1/22** (2006.01)

**H02K 7/04** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

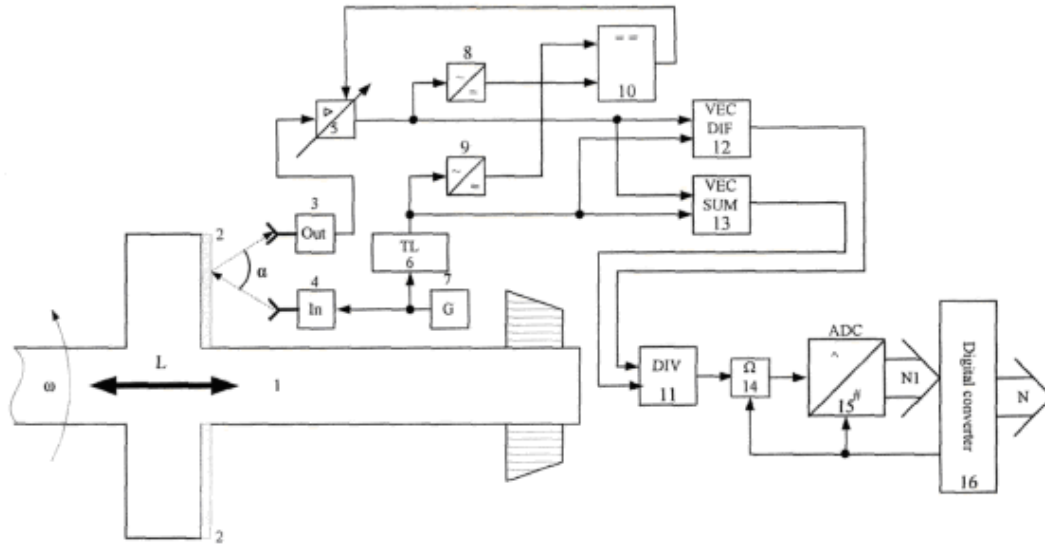
|   |  |
|---|--|
| <p>(21) Номер заявки: <b>а 2017 11327</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>20.11.2017</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>10.07.2019</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: <b>27.05.2019, Бюл.№ 10</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.07.2019, Бюл.№ 13</b></p> | <p>(72) Винахідник(и):<br/><b>Граняк Валерій Федорович (UA),<br/>Кухарчук Василь Васильович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и):<br/><b>ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ<br/>ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,<br/>Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021<br/>(UA)</b></p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:<br/>UA 89369 U, 25.04.2014<br/>UA 48759 A, 15.08.2002<br/>UA 3762 U, 15.12.2004<br/>RU 2054644 C1, 20.02.1996<br/>SU 1755081 A2, 15.08.1992<br/>SU 605139 A, 30.04.1978<br/>SU 1350513 A1, 07.11.1987<br/>US 4135244 A, 16.01.1979<br/>US 3774115 A, 20.11.1973<br/>US 6631640 B2, 14.10.2003</p> |
|---|--|

**(54) ФАЗОВИЙ БЕЗКОНТАКТНИЙ ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ ОСЬОВОГО БИТТЯ РОТОРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ**

**(57) Реферат:**

Винахід належить до вимірювальної техніки та може бути використаний для визначення осьового биття ротора електричних машин. Фазовий безконтактний засіб вимірювання осьового биття ротора електричної машини містить два канали поширення високочастотного сигналу, у одному з яких формується фазовий зсув, який функціонально пов'язаний з осьовим зміщенням ротора. Інший забезпечує опорний сигнал, що за своєю початковою фазою відповідає нульовому осьовому зміщенню ротора. На основі цих каналів здійснюється перетворення осьового зміщення в різницю фаз. Наступна частина засобу реалізує паралельні проміжні операції векторного віднімання та додавання, з подальшим діленням отриманих сигналів між собою, в результаті чого формується рівень напруги, що пропорційний тангенсу зміщення фази інформативного сигналу. Ця напруга у наступній частині схеми перетворюється у двійковий код, на основі якого здійснюється аналітичний розрахунок вимірюваного значення миттєвого осьового зміщення ротора електричної машини. Технічним результатом винаходу є підвищення точності вимірювання.

UA 119606 C2



Винахід належить до вимірювальної техніки та може бути використаний для вимірювання осьового биття ротора електричних машин.

Відомим є пристрій для визначення параметрів коливань ротора, що обертається, описаний в патенті Російської Федерації № 2180435, МПК G01M 1/22, 10.03.2002 р., який складається з

5 котушки, зв'язаного з ротором індуктора та магніту.  
Недоліком цього пристрою є невисока точність вимірювання, що обумовлюється значною залежністю вихідного сигналу (напруги на затискачах котушки) від зовнішніх змінних електромагнітних полів, що неминуче мають місце при роботі силової електричної машини, а також обмежена функціональність, що не дозволяє застосувати його для вимірювання осьового

10 биття ротора електричної машини.  
Відомі також вихрострумові перетворювачі відстані, конструкція та принцип роботи яких детально описана у статті "Математическая модель вихретокового преобразователя для контроля изделий прерывистой структуры", авторів В.А. Полулех та Г.М. Гайнуллина, що була опублікована у науковому журналі "Вестник самарского государственного аэрокосмического

15 университета" - №1, 2010 р. - С. 230-233. Описаний перетворювач може застосовуватися для вимірювання миттєвих осьових зміщень лобового виступу ротора електричної машини, про те суттєвим недоліком цього типу вимірювальних перетворювачів є те, що вони дозволяють здійснювати вимірювання лише на відносно малих (порядку кількох міліметрів) відстанях від

20 об'єкта вимірювання, що обумовлює необхідність жорсткого закріплення сенсора на конструктивних елементах у безпосередній близькості до рухомих частин електричної машини (джерела виникнення вібрації). У свою чергу це неминуче призводить до виникнення значної похибки, оскільки при такому вимірювальному перетворенні отриманий результат буде сумою осьового зміщення ротора та власного віброзміщення сенсора відносно точки відліку системи координат.

25 За найближчий аналог вибрано пристрій для вимірювання радіального биття ротора (патент України № 89369, м. кл. G01M 1/22, опубл. 25.04.2014, бюл. № 8), який містить джерело світла, оптично зв'язане з конденсорною лінзою, яка оптично зв'язана з фокусуною лінзою, мікроконтролер (в подальшому числовий перетворювач), який з'єднаний з індикатором, лінійний фотоприймач, який оптично зв'язаний з фокусною лінзою, вихід якого з'єднаний з фільтром, що

30 з'єднаний із масштабним перетворювачем, який зв'язаний з аналого-цифровим перетворювачем, що з'єднаний з мікроконтролером.  
Недоліком даного пристрою є обмежена функціональність, що не дозволяє застосувати його для вимірювання осьового биття ротора електричної машини та не дозволяє здійснювати вимірювання миттєвих значень віброзміщення, а також низька точність засобу вимірювання, що обумовлюється низькою чутливістю первинного вимірювального перетворення віброзміщення у зміну інтенсивності оптичного сигналу.

35 В основу винаходу поставлено задачу створення фазового безконтактного засобу вимірювання осьового биття ротора електричної машини, в якому за рахунок використання нових елементів та зв'язків забезпечувалася б можливість проміжного перетворення миттєвого значення осьового зміщення ротора електричної машини у параметр електромагнітної хвилі, що характеризувалося б високою чутливістю первинного вимірювального перетворення та достатньою дистанційністю вимірювань, а також реалізовувалося б перетворення проміжного, залежного від осьового зміщення, параметра електромагнітної хвилі у числовий код з достатньо високою точністю та швидкодією.

45 Поставлена задача вирішується тим, що в фазовий безконтактний засіб вимірювання осьового биття ротора електричної машини, який містить лінійний фотоприймач (в подальшому блок приймання електромагнітної хвилі), масштабний перетворювач (в подальшому масштабний перетворювач зі змінним коефіцієнтом підсилення), аналого-цифровий перетворювач та числовий перетворювач введено зразковий високочастотний генератор, блок випромінювання електромагнітної хвилі, відбиваюче покриття, лінію передачі, два випрямлячі, компаратор, блок векторного додавання, блок векторного віднімання, блок ділення, блок аналогової пам'яті, причому вихід зразкового високочастотного генератора з'єднаний з входами

50 блока випромінювання електромагнітної хвилі та лінії передачі, вихід блока приймання електромагнітної хвилі з'єднаний з першим входом масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення, виходи масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення та лінії передачі, відповідно, з'єднані з першими та другими входами блоків векторного додавання та векторного віднімання, вихід масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення з'єднаний з входом першого випрямляча, вихід лінії передачі з'єднаний з входом другого випрямляча, виходи першого та другого випрямляча з'єднані, відповідно, з

60 першим та другим входами компаратора, вихід компаратора з'єднаний з другим входом

масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення, виходи блоків векторного додавання та векторного віднімання, відповідно, з'єднані з першим та другим входами блока ділення, вихід блока ділення з'єднаний з першим входом блока аналогової пам'яті, другий вхід якого з'єднаний з першим виходом числового перетворювача, вихід аналогової пам'яті з'єднаний з першим входом аналого-числового перетворювача, другий вхід якого з'єднаний з першим виходом числового перетворювача, вихід аналого-числового перетворювача з'єднаний з входом числового перетворювача, а другий вихід числового перетворювача є виходом засобу вимірювання.

На кресленні представлено структурну схему пристрою.

Пристрій містить: 3 - блок приймання електромагнітної хвилі; 4 - блок випромінювання електромагнітної хвилі; 5 - масштабний перетворювач зі змінним коефіцієнтом підсилення; 6 - лінія передачі; 7 - зразковий високочастотний генератор; 8, 9 - відповідно, перший та другий випрямлячі; 10 - компаратор; 11 - блок ділення; 12 - блок векторного віднімання; 13 - блок векторного додавання; 14 - блок аналогової пам'яті; 15 - аналого-цифровий перетворювач; 16 - числовий перетворювач; 1 - позначення вала ротора; 2 - позначення відбиваючого покриття на лобовій частині валу ротора, причому вихід зразкового високочастотного генератора 7 з'єднаний з входами блоку випромінювання електромагнітної хвилі 4 та лінії передачі 6, вихід блока приймання електромагнітної хвилі 3 з'єднаний з першим входом масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення 5, виходи масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення 5 та лінії передачі 6, відповідно, з'єднані з першими та другими входами блоків векторного додавання 13 та векторного віднімання 12, вихід масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення 5 з'єднаний з входом першого випрямляча 8, вихід лінії передачі 6 з'єднаний з входом другого випрямляча 9, виходи першого 8 та другого 9 випрямлячів з'єднані, відповідно, з першим та другим входами компаратора 10, вихід компаратора 10 з'єднаний з другим входом масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення 5, виходи блоків векторного віднімання 12 та векторного додавання 13, відповідно, з'єднані з першим та другим входами блоку ділення 11, вихід блоку ділення 11 з'єднаний з першим входом блоку аналогової пам'яті 14, другий вхід якого з'єднаний з першим виходом числового перетворювача 16, вихід блоку аналогової пам'яті 14 з'єднаний з першим входом аналого-цифрового перетворювача 15, другий вхід якого з'єднаний з першим виходом числового перетворювача 16, вихід аналого-цифрового перетворювача 15 з'єднаний з входом числового перетворювача 16, а другий вихід числового перетворювача 16 є виходом засобу вимірювання. Положенням 1 позначений вал ротора з нанесеним на його лобовому виступі відбиваючим покриттям 2.

Пристрій працює наступним чином.

Зі зразкового високочастотного генератора 7 на вхід блока випромінювання електромагнітної хвилі 4 подається сигнал заданої частоти. Цей же сигнал з виходу зразкового високочастотного генератора 7 подається як опорний і на вхід лінії передачі 6, де відбувається його зміщення за фазою на кут, що відповідає нульовому осьовому зміщенню ротора електричної машини. З виходу блока випромінювання електромагнітної хвилі 4 здійснюється напрямлене випромінювання сигналу від зразкового високочастотного генератора 7 хвилі у бік лобового виступу вала ротора 1, на якому нанесене відбиваюче покриття 2. Досягнувши відбиваючого покриття 2, хвиля, що була випромінена блоком випромінювання електромагнітної хвилі 4 відбивається у бік блока приймання електромагнітної хвилі 3. Залежно від величини і знаку осьового зміщення лобового виступу вала ротора 1 змінюється відстань між ним та блоком випромінювання електромагнітної хвилі 4 і блоком приймання електромагнітної хвилі 3. При цьому для інформативного сигналу буде справедливим фундаментальне співвідношення між приростом кута початкової фази при переміщенні електромагнітної хвилі у просторі:

$$\Delta\varphi = \frac{360 \cdot \Delta L}{\lambda},$$

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

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

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

Враховуючи наведені залежності, а також геометрію поширення хвилі від блока випромінювання електромагнітної хвилі 4 до блока приймання електромагнітної хвилі 3, сигнал

на вході останнього матиме додаткове фазове зміщення (в градусах), значення якого залежить від осьового зміщення лобового виступу валу ротора 1 у відповідності з наступним рівнянням перетворення:

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

5 де  $L$  - осьове зміщення;  $\alpha$  - кут між падаючою та відбитою хвилями, що при якісній попередній обробці лобового виступу валу ротора залишається незмінним.

З виходу блока приймання електромагнітного сигналу 3 прийнятий сигнал передається на вхід масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення 5, де відбувається стабілізація його амплітуди, що забезпечується шляхом порівняння сигналів з виходу першого 8 та другого 9 випрямлячів, на входи яких надходять сигнали з виходу масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення 5 та лінії передачі 6, яка здійснюється компаратором 10, на виході якого формуються коректуючий сигнал, пропорційний різниці амплітуд між сигналами з виходів першого 8 та другого 9 випрямлячів. Коефіцієнт пропорційності масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення 5 функціонально залежить від величини коректуючого сигналу, за рахунок чого амплітуда сигналу на його виході вирівнюється з амплітудою опорного сигналу.

Після проміжного перетворення осьового зміщення ротора електричної машини у фазове зміщення інформативного сигналу реалізується знаходження амплітуди векторної суми та векторної різниці між інформативним та опорним сигналами у блоках векторного віднімання 12 та векторного додавання 13, на входи яких надходять сигнали з виходів масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення 5 та лінії передачі 6. Після цього отримані сигнали надходять на блок ділення 11, в результаті чого на його виході формується аналоговий рівень напруги, що пропорційний арктангенсу різниці фаз між інформативним та опорним сигналами. Отримане значення напруги надходить на вхід блока аналогової пам'яті 14, де запам'ятовується при надходженні керуючого сигналу з першого виходу числового перетворювача 16 на його другий вхід, за рахунок чого забезпечується зменшення динамічної похибки вимірювання. З виходу блока аналогової пам'яті 14 запам'ятований сигнал надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача 15, де за сигналом з першого виходу числового перетворювача 16 реалізується операція аналого-цифрового перетворення. З виходу аналого-цифрового перетворювача 15 отриманий двійковий код надходить на вхід числового перетворювача 16, де відбувається остаточний розрахунок значення миттєвого осьового зміщення ротора електричної машини у відповідності з рівнянням перетворення запропонованого засобу вимірювання:

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

35 де  $U_{dif}$  - рівень напруги, що є векторною різницею між інформативним та опорним сигналами;  $U_{sum}$  - рівень напруги, що є векторною сумою інформативного та опорного сигналів.

Розраховане у числовому перетворювачі 16 значення миттєвого осьового зміщення ротора електричної машини виводиться на його другий вихід, що і є виходом фазового безконтактного засобу вимірювання осьового биття ротора електричної машини.

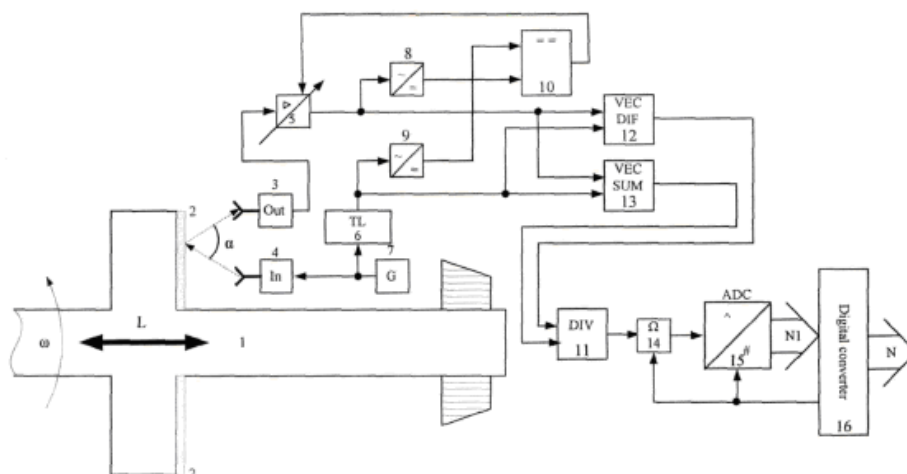
40

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Фазовий безконтактний засіб вимірювання осьового биття ротора електричної машини, який містить блок приймання електромагнітної хвилі, масштабний перетворювач зі змінним коефіцієнтом підсилення, аналого-цифровий перетворювач та числовий перетворювач, який **відрізняється** тим, що як лінійний фотоприймач використано блок приймання електромагнітної хвилі, а як масштабний перетворювач використаний масштабний перетворювач зі змінним коефіцієнтом підсилення, крім того, в нього введено зразковий високочастотний генератор, блок випромінювання електромагнітної хвилі, відбиваюче покриття, лінію передачі, два випрямлячі, компаратор, блок векторного додавання, блок векторного віднімання, блок ділення, блок аналогової пам'яті, причому вихід зразкового високочастотного генератора з'єднаний з входами блока випромінювання електромагнітної хвилі та лінії передачі, вихід блока приймання електромагнітної хвилі з'єднаний з першим входом масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення, виходи масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом

50

- підсилення та лінії передачі, відповідно, з'єднані з першими та другими входами блоків векторного додавання та векторного віднімання, вихід масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення з'єднаний з входом першого випрямляча, вихід лінії передачі з'єднаний з входом другого випрямляча, виходи першого та другого випрямлячів з'єднані, відповідно, з першим та другим входами компаратора, вихід компаратора з'єднаний з другим входом масштабного перетворювача зі змінним коефіцієнтом підсилення, виходи блоків векторного віднімання та векторного додавання, відповідно, з'єднані з першим та другим входами блока ділення, вихід блока ділення з'єднаний з першим входом блока аналогової пам'яті, другий вхід якого з'єднаний з першим виходом числового перетворювача, вихід блока аналогової пам'яті з'єднаний з першим входом аналого-цифрового перетворювача, другий вхід якого з'єднаний з першим виходом числового перетворювача, вихід аналого-цифрового перетворювача з'єднаний з входом числового перетворювача, а другий вихід числового перетворювача є виходом засобу вимірювання.




---

Комп'ютерна верстка С. Чулій

---

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601