

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО
ПОЛЯ

В процесі технологічних операцій суднового енергетичного та вантажного обладнання відбувається накопичення статичної електрики в елементах і деталях обладнання, робочих матеріалів і середовищ, що може служити причиною виникнення відмов і збоїв в роботі, а також пожеж і вибухів.

Для контролю електростатики застосовується широкий спектр датчиків на основі різноманітних фізичних принципів роботи, які серійно виробляються промисловістю.

У той же час, застосування існуючих пристроїв виявило їх недостатню стійкість до впливу неконтрольованих дестабілізуючих факторів, що генеруються компактно розташованими об'єктами суднової енергетичної установки [1, 2, 3].

Для пошуку шляхів поліпшення метрологічних характеристик пристроїв контролю електростатичного поля проаналізовані конструкції найпоширеніших типів датчиків обертів [3, 4, 5].

Відомий датчик контролю електростатичного поля, який містить чутливий елемент у вигляді ідентичних сегнетоелектричних електродів - конденсаторів змінної ємності (вариконди), включених в протилежні плечі мосту електричної схеми, ідентичні конденсатори постійної ємності, електричну антену, блок живлення і блок реєстрації (рис. 1) [4].

Недоліки пристрою, які обумовлені використанням сегнетоелектричних електродів – конденсаторів та електричного живлення:

необхідність постійного корегування геометрії та властивостей електродів - конденсаторів в умовах впливу негативних неконтрольованих експлуатаційних та кліматологічних факторів;

необхідність забезпечення додаткових технологічних заходів щодо пожежевибухобезпечності процесу вимірювання;

необхідність компенсації впливу випадкових електромагнітних імпульсівна антену для уникнення створення умов для появи паразитної модуляції інформаційного сигналу;

складність електричної схеми та конструкції;

необхідність використання крім сенсорних елементів, великої кількості додаткових елементів і устаткування.

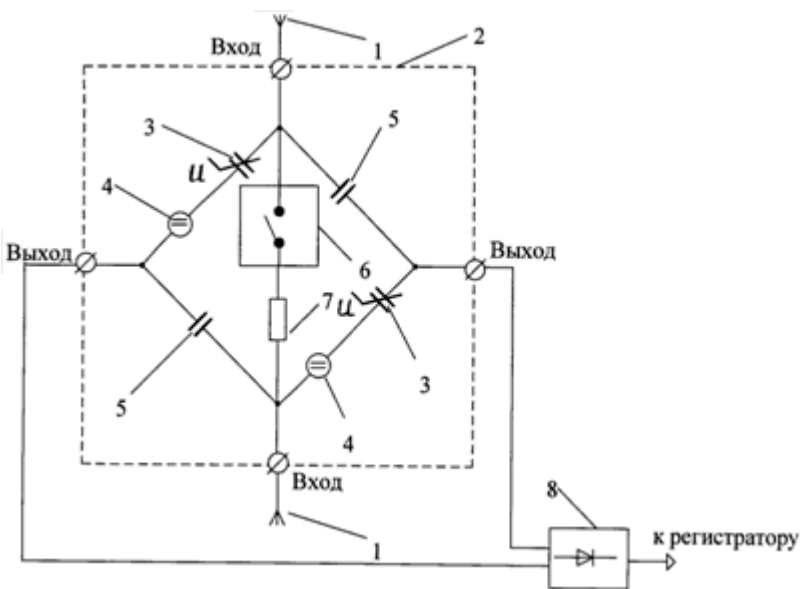


Рис. 1. Датчик контролю електростатичного поля: 1 - електрична антена; 2 – електрична мостова схема; 3 - вариконди; 4 - джерело електричного зсуву варикондів; 5 - конденсатори постійної ємності; 6 - комутатор; 7 - низькоомний резистор; 8 - синхронний детектор

У меншій мірі експлуатаційні та конструктивні фактори впливають на характеристики датчику, який складається з чутливого елемента на основі електродів-конденсаторів з сегнетоелектричної плівки змінної ємності, розташованої на підкладці, зарядочутливого підсилювача, блоку живлення і блоку реєстрації [5].

Недоліки пристрою, які обумовлені використанням електродів-конденсаторів з сегнетоелектричної плівки та електричного живлення: необхідність постійної корекції деградації властивостей сегнетоелектричної плівки, яка використовуються в умовах концентрованого впливу негативних неконтрольованих експлуатаційних факторів;

необхідність забезпечення додаткового захисту тонкої сегнетоелектричної плівки від впливу негативних неконтрольованих експлуатаційних та кліматологічних факторів;

необхідність забезпечення додаткових технологічних заходів щодо пожежебезпечної процесу вимірювання;

складність електричної схеми та конструкції.

В умовах, що склалися, доцільною стала розробка нового схемотехнічного рішення датчику електростатичного поля. Передбачалося, що конструктивне виконання на основі волоконно-оптичних та електрооптичних елементів повинне забезпечити вимірювальному пристрою:

відсутність необхідності корекційних дій з підтримки геометрії та властивостей елементів датчика;

пожежовивбухобезпечність процесу вимірювання;

високий рівень чутливості та швидкодія пристроїв відомих типів.

Для розв'язування поставленої задачі запропонована схема волоконно-оптичного датчика електростатики.

Суть запропонованого схемотехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 2), де зображені предметна котушка 1 та опорна котушка 4.

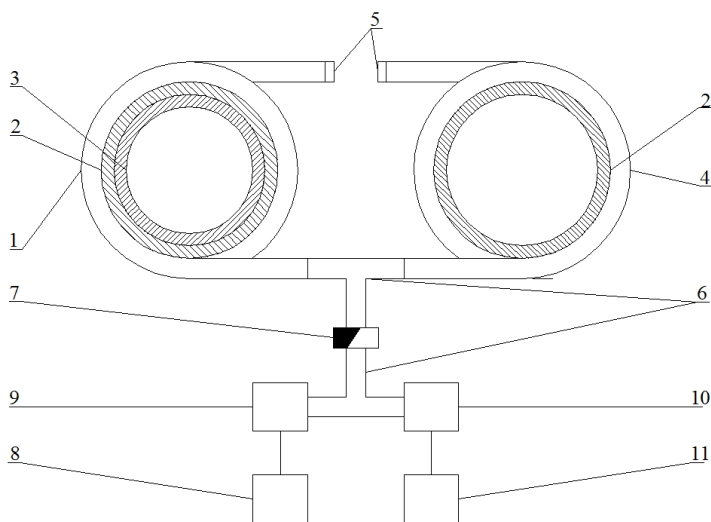


Рис. 2. Волоконно-оптичний датчик електростатичного поля: 1 – предметна котушка; 2 – основа; 3 – контрольований трубопровід; 4 – опорна котушка; 5 – віддзеркалюючий шар з сапфірового скла; 6 – оптичний розгалужувач; 7 – мультиплексор/демультиплексор; 8 – джерело живлення; 9 – джерело випромінювання; 10 – фотоприймач; 11 – блок ресстрації

Котушки намотані на циліндричній основі 2, яка вмонтовується у контрольований трубопровід 3. Кожна з котушок має на вихідному кінці віддзеркалюючий шар з сапфірового скла 5. Від джерела 8 над-

ходить живлення до джерела випромінювання 9. Далі оптичне випромінювання крізь оптичні розгалужувачі 6, та мультиплексор/демультиплексор 7, надходить одночасно до обох котушок. Після відбивання від віддзеркалюючого шару, крізь оптичні розгалужувачі, та мультиплексор/демультиплексор, перетворене випромінювання повертається до фотоприймача 10 та блоку реєстрації 11.

При русі середовища у контрольованому трубопроводі створюється електростатичне поле. В наслідок цього, у предметній котушці змінюються електрооптичні коефіцієнти ніобату літію, з якого вироблено світловод. Це призводить до виникнення у світловоді ефекту Поккельса – явища утворення подвійного променепереломлення в оптичному середовищі.

Наслідком цих процесів є зміна інтенсивності оптичного випромінювання, що проходить крізь предметну котушку, відбивається від віддзеркалюючого шару та повертається назад до мультиплексора/ демультиплексора [5, 6, 7].

Величина зареєстрованої електростатики буде пропорційною до інтенсивності частки оптичного випромінювання, яке відбилося від віддзеркалюючого шару та повернулося до мультиплексора/ демультиплексора. Випромінювання при проході крізь мультиплексор/ демультиплексор, розподіляється за довжинами хвиль.

У статичному режимі (відсутність статичної електрики), випромінювання у прямому напрямку надходить до мультиплексора/демультиплексора. У останньому відбувається розподіл випромінювання за довжинами хвиль, кожна з яких відповідає випромінюванню, що прямуватиме у прямому та зворотному напрямку. Після надходження до предметної та опорної котушок відбувається зменшення частки випромінювання яке обумовлено впливом неконтрольованих негативних експлуатаційних та кліматологічних факторів [5, 6, 7]. Опорна котушка при цьому розташовується поза контрольованим трубопроводом. Решта випромінювання у котушках відбивається від віддзеркалюючого шару та повертається крізь розгалужувачі до мультиплексора/ демультиплексора. До блоку реєстрації сигнали з предметної та опорної надходять з протилежними знаками та методом диференційної селекції калібрування датчику для компенсації впливу неконтрольованих фізичних полів.

У динамічному режимі, тобто появі електростатичного поля при русі середовища у контрольованому трубопроводі, у предметній котушці змінюються електрооптичні коефіцієнти ніобату літію, з якого вироблено світловод. Це призводить до виникнення у світловоді

ефекту Поккельса – явища утворення подвійного променепереломлення в оптичному середовищі.

Наслідком цих процесів є зміна інтенсивності оптичного випромінювання, що проходить крізь предметну котушку, відбивається від віддзеркалюючого шару та повертається назад до мультиплексора/ демультиплексора [5, 6, 7].

Величина зареєстрованої електростатики буде пропорційною до інтенсивності частки оптичного випромінювання, яке відбилосся від віддзеркалюючого шару та повернулося до блоку реєстрації [8].

Випромінювання при проході крізь мультиплексор/ демультиплексор, розподіляється за довжинами хвиль. Подальша обробка випромінювання, що надходить з демультиплексора, дозволить отримати електричний сигнал який буде пропорційний величині електростатичного поля.

Запропоноване схемотехнічне рішення відрізняється тим, що чутливий елемент являє собою предметну та опорну котушки оптичного світловоду з ніобату літію з віддзеркалюючим шаром з сапфірового скла на вихідних кінцях, на циліндричній основі зі сплаву інвар, випромінювання до яких надходить крізь мультиплексор/демультиплексор та оптичні розгалужувачі від джерела лазерного випромінювання та повертається до фотоприймача, зв'язаного з блоком реєстрації.

Таким чином, в розробленому датчику комбінація електрооптичних елементів забезпечує:

- більш стійке до дестабілізуючих факторів перетворення параметрів обертального руху у зміни інформаційного сигналу;

- компенсацію впливу дестабілізуючих факторів на вимірювальний канал датчику;

- пожежевибухобезпечність процесу вимірювання;

- відсутність необхідності постійного корегування геометрії елементів датчика.

Застосування запропонованої моделі датчика, крім того, дозволить підвищити безпеку і ефективність різних типів технологічних процесів у суднової енергетичної установці і судні в цілому. А також проводити контроль та моніторинг накопичення статичного заряду як в суднових нафто- і газопроводах, так при транспортуванні сипучих дрібнодисперсних середовищ.

Пристрій дасть змогу вимірювати напруженості електричного поля в широкому діапазоні від постійного до швидкоперемінного електричних полів при високій чутливості і широкому діапазоні вимірювання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гуляев, Ю.В., Меш, М.Я., Проклов, В.В. Модуляционные эффекты в волоконных световодах и их применение. – М.: Радио и связь, 1991. – 150 с.
2. Аш, Ж. Датчики измерительных систем. В 2 книгах. Кн. 2. Пер. с франц. – М.: Мир, 1992. – 424 с.
3. Гавричев, В. Д., Дмитриев, А. Л. Волоконно-оптические датчики магнитного поля. – СПб: СПбНИУ ИТМО, 2013. – 83 с.
4. Пат. 2485528 Российская Федерация, МПК G01R 29/00. Широкополосное устройство для измерения напряженности электрического поля./ Заявители Гончаров, В. П., Молочков, В. Ф., Филатов, М. М. Патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова" (ФГУП "ВНИИА"); заявл. 28.12.2011; опубл. 20.06.2013, Бюл. №30 (II ч.). – 3 с.
5. Датчик статического электричества. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://poleznaamodel.ru/model/14/147601.html>.
6. Снайдер А., Лав Д. Теория оптических волноводов. – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.
7. Удд, Э. Волоконно-оптические датчики. – М.: Техносфера, 2008. – 520 с.
8. Бусурин, В.И., Носов, Ю.Р. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.