



УДК 681.787

DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-27

## ДАТЧИК ЗНОСУ ЩІТОК КОЛЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ ЗМІННОГО СТРУМУ НА БАЗІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ІНТЕРФЕРОМЕТРУ

Лобода О. І.<sup>1</sup>, к.т.н.<https://orcid.org/0000-0003-1532-3366>Тодоріко О. М.<sup>2</sup>, інженер,Череватенко Л. М.<sup>2</sup>, інженер<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет<sup>2</sup>ВСП "Новокаховський коледж Таврійського державного агротехнологічного університету"e-mail: [aleks\\_lo@i.ua](mailto:aleks_lo@i.ua)

**Анотація** – в даній статті розглянуті потенційні можливості використання елементів волоконної оптики в вимірвальній техніці. Розглянуто теоретичні основи побудови волоконно - оптичних датчиків на основі брегівських решіток. Визначені явища зі зміни спектра відгуку випромінювання - спектрального затемнення і перехресного спотворення. Розглянуто два варіанти брегівських решіток: з гаусовим профілем відображення і з фазним  $\pi$  - зрушенням. З'ясовано, що модуляція спектру пропускання для цих варіантів різні. Також визначено, що необхідно використовувати два оптичних волокна.

Розроблено схему установки і кріплення армованого оптичного волокна в тіло щітки колекторної електричної машини з урахуванням її конструктивних особливостей: місце кріплення утримуючого пристрою, виведення струмоведучих провідників. В ході проведення лабораторних досліджень з'ясовано, що незважаючи на позитивні якості кварцового оптичного волокна по передачі лазерного випромінювання, на колекторі електричної машини залишаються сліди від кварцового скла при стирання щіток. Тому запропоновано використовувати в якості оптичної серцевини полістирол або полікарбонат, хоча оптичні показники у них нижче.

**Ключові слова:** брегівська решітка, датчик, лазерне випромінювання, модель, модуляція, оптичне волокно, спектр, фаза.

**Постановка проблеми.** Ресурс роботи електричної машини з колекторним вузлом визначається ресурсом систем ковзаючого електричного контакту. Існують різні пояснення процесів, що протікають в зоні змінного електричного контакту, засновані на експериментах [1, 2]. Це пов'язано з тим, що процеси механічного тертя і зносу являють собою складну сукупність явищ, в яких беруть участь пружні і пластичні деформації, сили міжчастикового зчеплення, що виникають на контактних ділянках зв'язаних поверхонь, структурні

зміни, термоелектричні і електрохімічні процеси, різного роду процеси сорбції.

**Аналіз останніх досліджень.** Існують різні способи виміру зносу щіток колекторних електричних машин різноманітної потужності і величини. Самий розповсюджений спосіб це коли електромонтер визначає знос щітки по її довжині, але для цього потрібно вийняти саму щітку. Також існують способи по використанню електричних датчиків: замикання контактів при зносі до визначеної довжини, визначення сили притиску щіток. Ще існують способи виміру температури щіток в процесі роботи контактним, або безконтактним способом з використанням терморезисторів або термопар. В останній час використовують в якості датчиків зносу щіток елементи волоконної оптики, а саме оптичне волокно через яке проходить випромінювання (видиме, інфрачервоне, лазерне) або аналіз відбитого від кінця волоконо-оптичного елемента випромінювання.

**Формулювання цілей статті.** Метою даної роботи є розробка теоретичного підґрунтя для створення приладів діагностування щіток колекторних електричних машин на основі волоконнооптичних брегівських решіток.

**Основні матеріали дослідження.** Зміна спектру відгуку масиву волоконно-оптичної брегівської решітки (БР) викликано різними видами перехресних спотворень [3]. Це і "спектральне затінення"  $I_r(\lambda)$ , що описує явище спотворення спектру відбиття БР (рис. 1), що стоять на ближньому кінці ( $БР_1$  і  $БР_2$ ), викликане змінами, які вносяться втратами відбитого випромінювання від брегівських решіток на дальньому кінці ( $БР_{n-1}$  і  $БР_n$ ), а також, перехресне спотворення  $C_r(\lambda)$ , викликана множинністю відгуків, пов'язаних з великим числом БР.

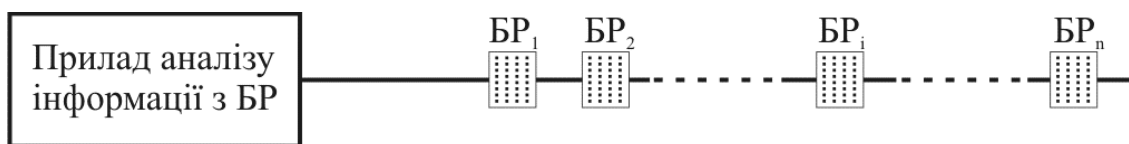


Рис. 1. Структурна схема зосередження однакових брегівської решітки

Результуючий спектр відбиття від  $i$ -ої БР є сумою  $I_r(\lambda)$  і  $C_r(\lambda)$  (1), тому аналітично, таке явище опишеться у вигляді профілю спектру відображення:

$$R_{FBG-ARi}(\lambda, N) = I_r(\lambda) + C_r(\lambda) \quad (1)$$

де  $N$  – кількість решіток;

$I_r(\lambda)$  - "спектральне затінення",  $I_r(\lambda) = [1 - R_{FBG}(\lambda)]^{2(N-1)} R_{FBG}(\lambda)$

$C_r(\lambda)$  - перехресне спотворення.

$$C_r(\lambda) = \frac{(N-1)(N-2)}{2} R_{FBG}(\lambda)^3 [1 - R_{FBG}(\lambda)]^{2N-4}$$

Результуючий спектр відображення масиву брегівських решіток є сумою відбитого від  $N$  БР випромінювання, а для моделювання були обрані БР з гаусовим профілем відображення з кількістю решіток  $N = 4$ . Вихідний профіль спектру відображення масиву представлений на рис. 2. В якості джерела випромінювання використовувалося лазерне випромінювання з довжиною хвилі 1500 нм, тому що затухання, коефіцієнт поглинання, а також витрати енергії значно менші ніж на довжинах хвиль – 810 нм, 940 нм, 980 нм, 1064 нм і 1320 нм. [6]

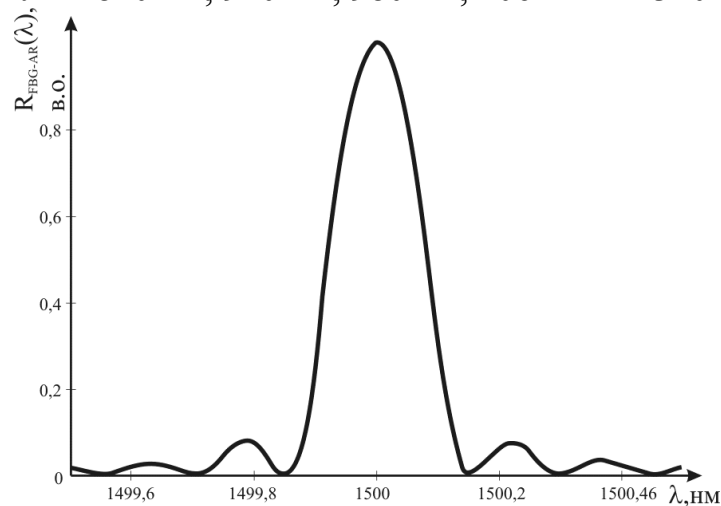
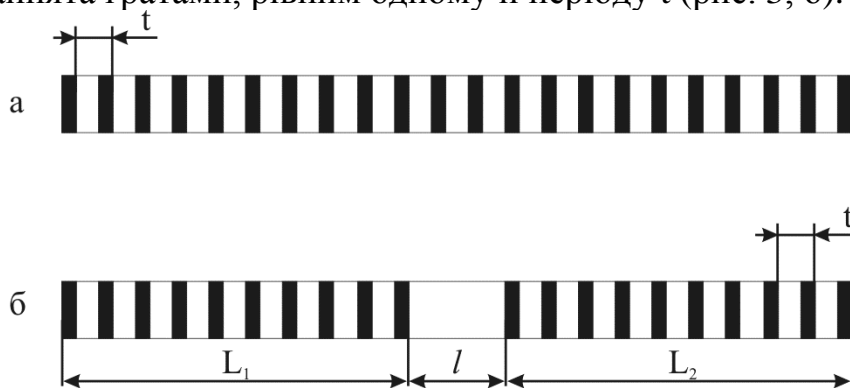


Рис. 2. Вихідний профіль спектру відображення масиву БР при  $N=4$

Волоконні брегівські решітки з фазовим зрушенням привертають дедалі більшу увагу розробників волоконно-оптичних датчиків [3,4], оскільки можуть бути виготовлені за допомогою фазових масок з мінімальними вимогами, що пред'являються до параметрів модуляції коефіцієнта заломлення і рівномірності характеристик його профілю [3,5].

Волоконна брегівська решітка з фазовим  $\pi$  - зрушенням це дві послідовно розташовані БР довжиною  $L_1$  і  $L_2$ , з ділянкою довжиною  $l$ , яка не зайнята ґратами, рівним одному її періоду  $t$  (рис. 3, б).



а - звичайна БР з гаусовим профілем відображення;

б – БР з фазовим  $\pi$  - зрушенням

Рис. 3. Приклади брегівських решіток

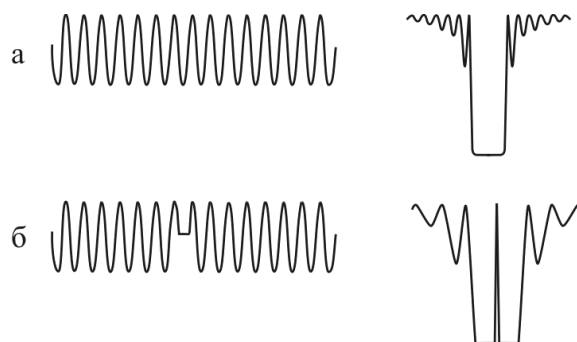
Модуляція коефіцієнту показника переломлення таких ґрат запишеться у вигляді [6]:

$$n(x) = \begin{cases} n_0 + \Delta n \cos\left(\frac{2\pi x}{t} + \frac{\Delta\varphi}{2}\right), & x < 0 \\ n_0 + \Delta n \cos\left(\frac{2\pi x}{t} - \frac{\Delta\varphi}{2}\right), & x \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

де  $\Delta\varphi = \pi$  - значення величини фазового зсуву БР;

$x = 0$  - ділянка БР, де відбувається перескок фази модуляції коефіцієнту показника переломлення, зазвичай це середина БР.

Графічно, така модуляція (в порівнянні із звичайним БР с гаусовим профілем відображення, у якого  $\Delta\varphi = 0$ ) представлена на рис. 4.



а – БР звичайна ( $\Delta\varphi = 0$ ); б - БР з фазовим  $\pi$ -зсувом ( $\Delta\varphi = \pi$ )

Рис. 4. Модуляція коефіцієнту показника переломлення і отримані спектри пропускання

Таке порушення регулярності структури БР приводе до формування в спектрі пропускання  $T(\lambda)$  вузької (декілька десятків МГц) смуги відображення (рис. 3).

В реальній моделі датчику зносу щіток краще розміщати два оптичних волокна, друге волокно з набором брегівських решіток є резервним на випадок обриву основного волокна.

Зазначена схема зручна для досліджень своєю простотою, однак в ній складно реалізувати конструкцію захищеного введення оптичного волокна в тіло щітки, що ускладнює її використання в промисловому зразку. Для досвідченого зразку щітки з БР запропонована така конструкція (рис. 4).

У тілі щітки 7, що торкається колектору електричної машини 8, зроблено отвір 3 на деяку глибину, достатню для вклейки армованого оптичного волокна 4, але меншу за рівень граничного зносу (діаметр отвору в місці вклейки арматури оптичного волокна становить 3,5 мм, а оптичного волокна - 0,7 мм). Клейовий склад 2 підбирається таким чином, щоб забезпечити високу адгезію як до матеріалу щітки, так і до матеріалу арматури оптичного волокна і самого оптичного волокна 1. Положення отвору підбирається таким чином, щоб воно було видалено

від майданчика для притискуючого елемента щіткоутримувача 5 і віднесено щодо області закладення струмоведучого провіднику 6. Похибка виміру буде залежати від не осьового розташування волокна.

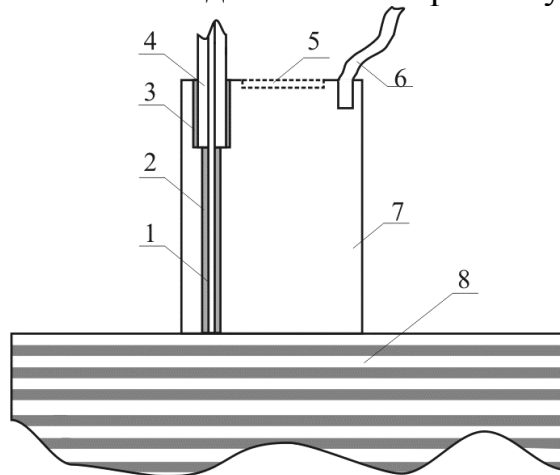


Рис. 4. Схематичне зображення щітки на колекторі електричної машини з розташованим волоконо-оптичним датчиком

Армовані оптичні кабелі відносяться до категорії оптичних кабелі спеціального призначення і широко поширені на ринку телекомунікаційного обладнання. Вони застосовуються в жорстких умовах експлуатації, де велика ймовірність підвищених механічних навантажень або атак гризунів. Ці шнури виготовлені зі спеціального армованого оптичного кабелю з двома гнучкими захисними оболонками з нержавіючої сталі. Оптичне волокно діаметром 0,6 мм додатково захищене шаром кевларових волокон. Оболонка кабелю виготовлена з безгалогенного низькодимного матеріалу, що не поширює горіння.

Для проклеювання армованого волоконо-оптичного шнура краще використовувати двокомпонентний епоксидний клей M-BOND 610 (Large kit 4x25g) фірми Vishay Precision Group, який має високу плинність і адгезію до різного роду пластиків (ПВХ, АБС та інші), скла і вуглецевих матеріалів (вуглепластиком, електротехнічного графіту та інші) як з використанням спеціалізованих добавок, так і без них. Має високу стійкість до високих температур і впливу навколишнього середовища.

Для проведення експериментів в якості оптичного волокна застосовувалося стандартне телекомунікаційне одномодове кварцове волокно SMF-LS фірми Corning з типом волокна NZDSF. Але кварцове скло при стиранні щіток на ламелях колектору залишає свій слід, що згубно впливає на якість колектору. Для того щоб позбутися такого явища пропонується використовувати оптичне волокно з полістиролу, або з полікарбонату.



В ході зносу щіток з волоконо-оптичним датчиком з брегівською решіткою відбувається зміщення ділянки з фазовим зрушенням від центру решітки ( $L_1 = L_2$ ) до її краю ( $L_1 < L_2$ ) рис. 3. В цьому випадку відбувається зміна глибини провалу в профілі спектру відбиття при зміщенні ділянки до краю  $q = (L_1 / (L_1 + L_2)) = 0,25$  глибина провалля зменшується в порівнянні з положенням близьким до центрального ( $q = 0,4$ ). А це дає можливість визначити знос щіток колекторних електричних машин

#### **Висновки.**

1. Розглянуто принцип побудови волоконно-оптичного датчика зносу щіток колекторних машин на основі брегівських решіток.
2. Обґрунтована конструкція модифікації щіток колекторних машин для впровадження в них елементів волоконно-оптичних елементів на основі брегівських решіток.

#### **Список використаних джерел.**

1. Мейер Р. К. К вопросу о работе скользящего контакта. / Р. К. Мейер - ЦБТИ НИИЭП. М., 1960. – 374 с.
2. Хольм Р. Электрические контакты. / Р. Хольм М.: Издательство иностранной литературы. 1961. - 464 с
3. Окоси Т. Волоконно – оптические датчики / Т. Окоси, К. Окамото, М. Оцу, Х Нисихара, К. Кюма, К Хататэ; под ред. Т. Окоси: пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 256 с.
4. Удда Э. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников. / Э. Удда. М.: Техносфера, 2008. – 520 с.
5. Красюк Б. А. Светодиодные датчики / Б. А. Красюк, О.Г. Семенов, А. Г. Шереметьев и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
6. Либенсон М. Н. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Часть I. Поглощение лазерного излучения в веществе. / М. Н. Либенсон, Е. Б. Яковлев, Г. Д. Шандыбина. Под общей редакцией В. П. Вейко – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2008. – 141 с.

### **ДАТЧИК ИЗНОСА ЩЕТОК КОЛЛЕКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА БАЗЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА**

**Лобода А. И., Тодорико А. М., Череватенко Л. М.**

*Аннотация* – в данной статье рассмотрены потенциальные возможности использования элементов волоконной оптики в измерительной технике. Рассмотрены теоретические основы построения волоконно – оптических датчиков на основе брегговских решеток. Определены явления по изменению спектра отклика излучения – спектрального затемнения и перекрестного искажения. Рассмотрены



два варианта брегговских решеток: с гаусовым профилем отражения и с фазным  $\pi$ -сдвигом. Выяснено, что модуляция спектр пропускания для этих вариантов различные. Также определено, что необходимо использовать два оптических волокна.

Разработана схема установки и крепления армированного оптического волокна в тело щетки коллекторной электрической машины с учетом ее конструктивных особенностей: место крепления удерживающего устройства, вывода токоведущих проводников. В ходе проведения лабораторных исследований выяснено, что несмотря на положительные качества кварцевого оптического волокна по передачи лазерного излучения, на коллекторе электрической машины остаются следы от кварцевого стекла при стирании щеток. Поэтому предложено использовать в качестве оптической сердцевины полистирол или поликарбонат, хотя оптические показатели у них ниже.

**Ключевые слова:** брегговская решетка, датчик, лазерное излучение, модель, модуляция, оптическое волокно, спектр, фаза.

## ENGINE BRUSH WEAR SENSOR COLLECTOR MOTORS AC VOLTAGE BASED ON FIBER-OPTICAL INTERFEROMETER

O. Loboda, O. Todoriko, L. Cherevateko

### Summary

In this article the problems connected with the life of brushes of collector electric machines are considered, as well as methods of remote determination of their deterioration without the implementation of disassembly and maintenance. The analysis of existing methods of measuring the wear of brushes of collector electric machines of various power and magnitude is carried out. The main existing methods are observation, when the electrician removes the brush and measures its dimensions, but there are such methods as contact - in case of critical wear, the contacts of the conductors located in the body of the brush, or the change in the pressures of the brush holder, or the change in temperature, which is determined by contact or non-contact method. As a way out of this problem, it is suggested to use the potential opportunities of using fiber optic elements in measuring technology. The theoretical bases of construction of fiber - optic sensors on the basis of the Bregovian lattices are considered. The phenomena of change in the spectrum of the radiation response are determined - spectral eclipse and cross-distortion. Two variants of the Bregian lattices are considered: with a Gaussian mapping profile and with a phase - shift. It was found that the modulation of the spectrum for these variants is different. It is also determined that it is necessary to use two optical fibers.

The scheme of installation and mounting of reinforced optical fiber into the body of the brush of a collector electric machine is developed, taking into account its design features: the mounting point of the retaining device, the output of current conducting conductors. In the course of laboratory studies it was found that despite the positive qualities of quartz optical fiber in the transfer of laser radiation, on the collector of the electric machine are traces of quartz glass when erasing brushes. Therefore, it is suggested to use polystyrene or polycarbonate as an optical core, although their optical characteristics are lower.

**Keywords:** Bregovian lattice, sensor, laser radiation, model, modulation, optical fiber, spectrum, phase.