

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

MARINE ELECTRICAL GENERATING COMPLEXES AND SYSTEMS

Научная статья
УДК 621.314.1
doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-91-97

Применение устройства с пластинчатым оптическим датчиком в судовых информационных системах

Александр Сергеевич Бордюг✉

*Керченский государственный морской технологический университет,
Керчь, Россия, alexander.bordyug@mail.ru* ✉

Аннотация. Волоконно-оптические устройства применяются во многих конструкциях вследствие их небольшого размера и высокой точности. Новые волоконно-оптические устройства снабжены системой Slab Coupled Fiber (SCF). В методе SCF используется резонансная связь между оптическим волокном и пластинчатым волноводом при создании внутриволоконного устройства. Изготовленные с использованием этой технологии устройства состоят из поляризаторов, фильтров и датчиков. Оптоволоконные системы получили применение в системах измерения крутящего момента в нефтегазовой и аэрокосмической отраслях. Применение подобной системы на судах является более дорогостоящим по сравнению с использованием технологий на основе тензодатчиков. Предлагается применение недорогой оптической измерительной системы, основанной на использовании пластинчатых оптических датчиков. Устройства SCF используют D-образное волокно в качестве платформы. Устройства с пластинчатым оптическим датчиком (SCOS) основываются на применении электрооптического датчика. В настоящее время разработан датчик магнитного поля, связанный с D-волоком. Устройство объединяет магнитооптический пластинчатый волновод с D-волоком для измерения магнитных полей. Магнитооптический датчик с пластинчатым сопряжением (MO-SCOS) измеряет магнитные поля до 2 А/м. Благодаря небольшой длине датчик может отображать поля с пространственным разрешением всего 1 мм.

Ключевые слова: оптический датчик, пластина, магнитооптический датчик, пластинчатый оптический датчик, волна

Для цитирования: Бордюг А. С. Применение устройства с пластинчатым оптическим датчиком в судовых информационных системах // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 4. С. 91–97. doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-91-97.

Original article

Application of plate with optical sensors in ship information systems

Alexander S. Bordyug✉

*Kerch State Maritime Technological University,
Kerch, Russia, alexander.bordyug@mail.ru* ✉

Abstract. The article considers application of fiber optic devices in many devices due to their small size and high accuracy. The new fiber optic devices are equipped with a Slab Coupled Fiber (SCF) system. The SCF method uses resonant coupling between an optical fiber and a plate waveguide to

create an intra-fiber device. Devices manufactured with this technology consist of polarizers, filters and sensors. Fiber optic systems have been used in torque measurement systems in the oil and gas industry and in aerospace industry. Using this system on ships is more expensive in comparison with the technologies based on strain gauges. There is offered using inexpensive optical measuring system with plate optical sensors. SCF devices use D-shaped fiber as a platform. Plate optical sensor (SCOS) devices are based on the use of an electro-optical sensor. Today, a D-fiber coupled magnetic field sensor has been developed. The device combines a magneto-optical plate waveguide with a D-fiber to measure magnetic fields. The plate coupled magneto-optical sensor (MO-SCOS) measures magnetic fields up to 2 A/m. Due to its short length the sensor can display fields with a spatial resolution of 1 mm.

Keywords: optical sensor, plate, magneto-optical sensor, plate optical sensor, wave

For citation: Bordyug A. S. Application of plate with optical sensors in ship information systems. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2021;4:91-97. (In Russ.) doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-91-97.

Введение

Мощные микроволновые и электромагнитные импульсы на судах вызывают серьезные опасения по поводу безопасности и надежности электронного оборудования [1–5]. Эти импульсы наблюдаются при применении электромагнитного оружия во время учений военных многих стран мира. Оружие спроектировано для генерации коротких мощных высокочастотных импульсов, способных взаимодействовать с проводящими линиями в электронике и индуцировать большие переходные токи для разрушения чувствительных схем и полупроводниковых устройств. Атака с применением подобного оружия может быстро вывести из строя системы связи, базы данных, системы управления, системы навигации и т. д. Для защиты электроники от такого рода оружия была разработана металлическая защита. Чтобы лучше понять эффективность данного оружия для экранированных электронных схем, необходимы датчики для измерения высокочастотных высокоэнергетических импульсов в непосредственной близости от схемы внутри экранирования без воздействия на электронику, экранирование или значительного изменения полей в пределах цели. Уже разработаны небольшие датчики электрического поля, которые можно разместить внутри металлической защиты для измерения электрических полей [6]. Датчик электрического поля может определить, какая часть поля проникает в экран. Однако электрическое поле внутри экрана не является конечной целью, т. к. ток, наведенный в электронных схемах, разрушит электронику. Датчик магнитного поля может определять ток в проводе путем измерения сопутствующего магнитного поля вокруг провода.

Устройство с пластинчатым оптическим датчиком

В последние годы участились случаи «обесточивания судов» (Blackout) с полной потерей электроэнергии на судах [1], вызванные электрическими неисправностями в энергосистеме судна, которые не были своевременно устранены должным образом. Необходим целостный подход к мониторингу и защите электрооборудования судна. Устройство SCOS работает как оптический модулятор для обнаружения изменений показателя преломления. Данное устройство состоит из пластинчатого волновода и D-образного оптического волокна. За счет связи пластинчатый волновод взаимодействует с оптической мощностью в волокне. При выборе плиты, показатель преломления которой зависит от внешнего фактора, мощность, передаваемая через волокно, модулируется тем же внешним фактором.

Базовое устройство SCOS состоит из магнитооптического пластинчатого волновода толщиной t , расположенного в непосредственной близости от сердцевины оптического волокна (рис. 1). Резонансная связь мод между пластинчатым волноводом и D-образным оптическим волокном формирует основу для измерения SCOS.

Спектр пропускания SCOS состоит из множества периодических провалов передачи, соответствующих длине волн, где свет резонансно связан с оптическим волокном. Рисунок 2 иллюстрирует SCOS, где режимы в сочетании с волокном диспергированы в плите волновода, а соответствующие резонансные провалы наблюдаются в спектре пропускания.

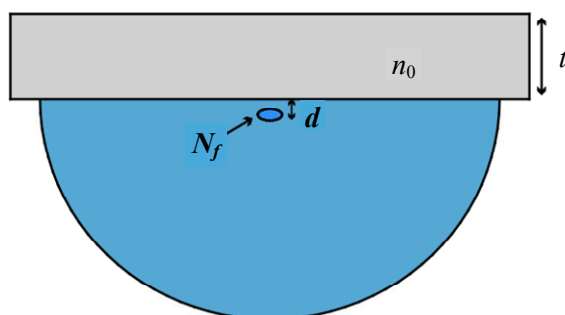


Рис. 1. Базовое устройство SCOS

Fig. 1. Basic device SCOS

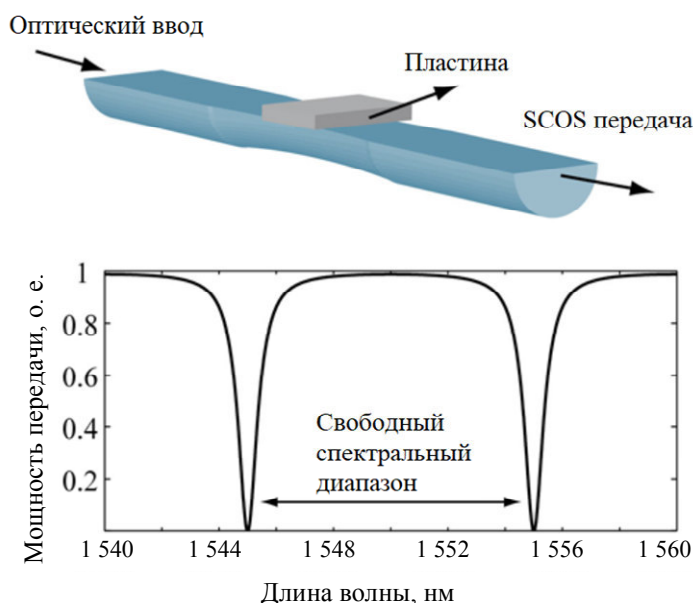


Рис. 2. Устройство SCOS, иллюстрирующее оптический вход в D-волокно и связанный пластинчатый волновод; передача SCOS с выхода D-волокна иллюстрирует резонансные режимы; свободный спектральный диапазон – это интервал между последующими волнами

Fig. 2. Device SCOS device showing D-fiber optical input and coupled plate waveguide; SCOS transmission from D-fiber output illustrates resonant modes; free spectral range is the interval between subsequent waves

Резонансные всплески возникают на длинах волн, где эффективный показатель преломления волокна совпадает с одной из пар в пластинчатом волноводе. Для толстой пластины в парном режиме более высокого порядка эффективный показатель m -й пластины совпадает с показателем волокна, когда длина волны задается выражением

$$\lambda_m = \frac{2t}{m} \sqrt{n_0^2 - N_f^2},$$

где t и n_0 – толщина и показатель преломления материала покрытия соответственно; N_f – показатель преломления волокна (1,451 для D-волокна при $\lambda = 1550$ нм); m – номер пластины.

При изменении внешнего фактора изменяется показатель преломления пластины, спектральное положение провалов пропускания также смещается. Обнаружение изменения высокой частоты в n_0 требует отслеживания соответствующих изменений передаваемой мощности на средней резонансной длине волны. Это включает зондирование на средней резонансной длине волны, где крутизна связи велика (рис. 3). Когда изменение в n_0 вызывает сдвиг на $\Delta\lambda$ в спектре пропускания, выходной сигнал на средней резонансной длине волны модулируется ΔT .

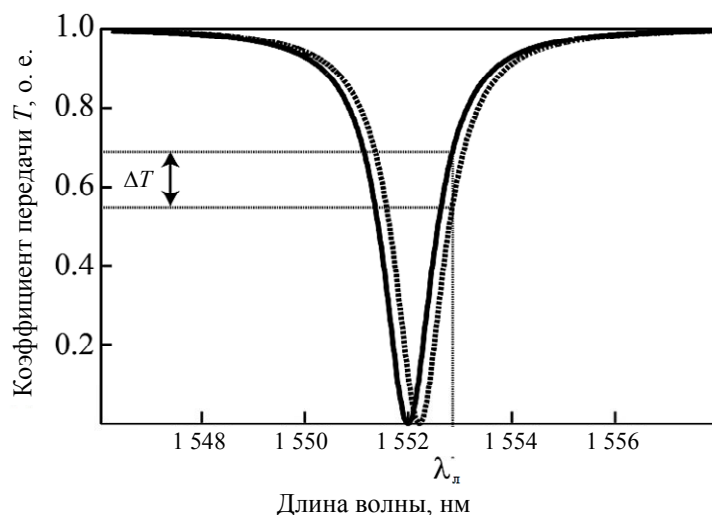


Рис. 3. Небольшой сдвиг в длине волны вызывает заметное изменение выходной мощности передачи для датчика SCOS

Fig. 3. Illustration of a small shift in wavelength causes a noticeable change in the transmit output power for a SCOS sensor

Чтобы связанный волновод мог работать как датчик магнитного поля, он должен испытывать изменение показателя преломления в зависимости от приложенного поля. Магнитооптический эффект Керра помогает количественно оценить изменение показателя в зависимости от магнитного поля H . Эффект Керра иллюстрирует, что гиротропные материалы можно классифицировать по их вектору электрогирации:

$$g = \varepsilon_0 X^{(m)} H,$$

где $X^{(m)}$ – магнитооптическая восприимчивость. Если g (и, следовательно, H) направлены к z , тензор диэлектрической проницаемости в простейшем виде принимает вид:

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 & +jg_z & 0 \\ -jg_z & \varepsilon_1 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_2 \end{pmatrix},$$

где ε_1 и ε_2 – атрибуты материала. Недиagonальные члены чувствительны к магнитному полю, если материал является диамагнитным или парамагнитным. Затем можно написать

$$g_z = fH_z,$$

где f связано с постоянной Верде V ; H_z является приложенным магнитным полем; f может быть

$$f = \frac{\lambda n V}{\pi},$$

где n – показатель преломления материала. В идеальном случае, если бы можно было в полной мере воспользоваться преимуществами надлежащих модальных изменений индекса в пластине, созданных магнитным полем, изменение индекса, созданное полем, можно было бы выразить как

$$f = \frac{\lambda n V}{\pi}.$$

Изменение индекса вызовет сдвиг длины волны; чем больше константа Верде, тем больше сдвиг.

Константы Верде многих магнитооптических материалов известны в инфракрасном диапазоне длин волн. Хотя его константа Верде – соотношение между V и вращением Фарадея – используется для расчета V для двухосевой установки при 1550 нм. Постоянная V напрямую связана с вращением Фарадея β следующим образом:

$$\beta = V \mu H d,$$

где μ – проницаемость ($\mu = \mu_r \mu_0$); d – толщина.

Чтобы измерить фарадеевское вращение образца, испытывают магнитооптический брусок толщиной 500 мкм (рис. 4); он находится между парой индукторов, соединенных последовательно электрически, на определенном расстоянии по оси, приблизительно равном радиусу обмотки катушки (формат катушки Гельмгольца). Эта конфигурация обеспечивает оптимальную однородность магнитного поля в средней точке разделения, сохраняя при этом отклонение менее 6 % в другом месте в пределах зазора между парой индукторов.

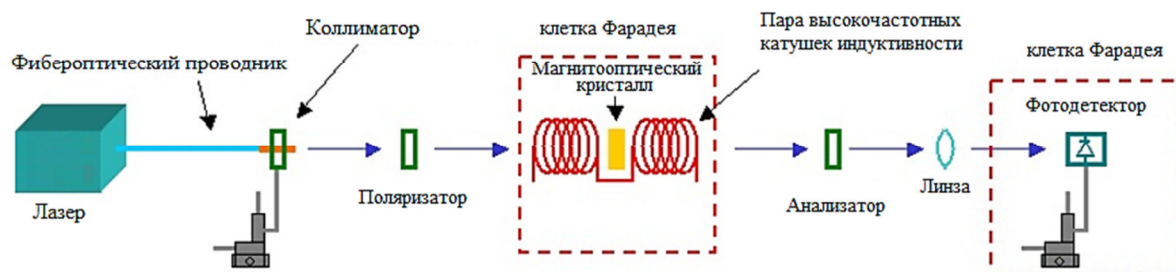


Рис. 4. Экспериментальная установка для определения постоянной Верде

Fig. 4. Experimental unit for determining the Verde constant

Пара поляризатор/анализатор используется для преобразования вращения поляризации в изменение обнаруженной оптической интенсивности. Магнитное поле H в зазоре катушки Гельмгольца:

$$H = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{nI}{R},$$

где I – ток; R – радиус катушки индуктивности; n – количество витков в каждой катушке индуктивности. Измеренный угол поворота θ в зависимости от поля H проиллюстрирован на рис. 5.

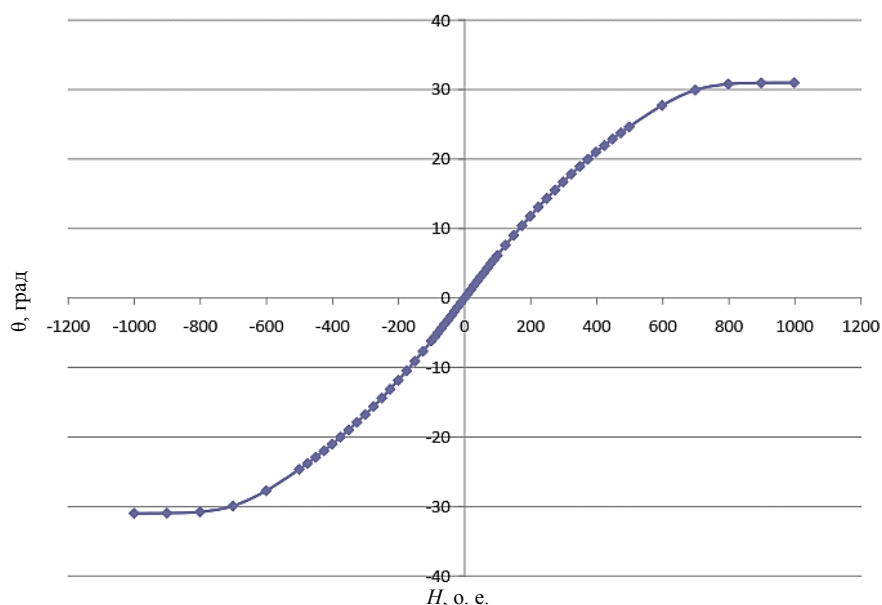


Рис. 5. Измеренное вращение Фарадея в зависимости от приложенного поля

Fig. 5. Measured Faraday rotation in the relation to the field applied

С учетом измеренных значений вращение Фарадея составляет около 0,05 град/Э.

Заключение

В настоящем исследовании рассмотрено устройство, которое можно применять при контроле крутящего момента двигателя либо судовой электроэнергетической системы. Технология SCOS использует преимущества высокочувствительного характера парной связи при отслеживании небольшого изменения индекса в материале плиты. Использование магнитооптической пластины корреляции между напряженностью магнитного поля и индексом пластины повышает эффективность устройства SCOS в качестве датчика магнитного поля.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Доровской В. А., Черный С. Г., Бордюг А. С. Компараторная идентификация частотных характеристик систем автоматического управления судовой энергетической установки // Вестн. Поволж. гос. технолог. ун-та. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2020. № 1 (45). С. 47–57.
2. *Catastrophic failure of a capacitor and explosion in an 11kV harmonic filter on board the passenger cruise vessel RMS Queen Mary 2: Marine Accident Investigation Board Safety Bulletin 4/2010.* Marine Accident Investigation Branch. 6 p.
3. Варжель С. В. Волоконные брегговские решетки. СПб.: Изд-во Ун-та ИТМО, 2015. 65 с.
4. Chernyi S. G., Bordug A. S., Kozachenko L. N., Erofeev P. A., Zhukov V. A. The reliability assessment of functioning of autonomous power system of drilling rigs // Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020 (Moscow, Saint-Petersburg, January 27–30, 2020). Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. P. 259–263.
5. Бордюг А. С. Применение технологии распределенного оптического контроля в судовых электроэнергетических системах // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2021. № 2. С. 75–81.
6. Сметюх Н. П., Черный С. Г., Ениватов В. В., Бордюг А. С. Скалярное многофакторное оценивание диагностических характеристик судовых энергетических систем // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2019. № 12 (557). С. 15–19.

REFERENCES

1. Dorovskoi V. A., Chernyi S. G., Bordiug A. S. Komparatornaia identifikatsiia chastotnykh kharakteristik sistem avtomaticheskogo upravleniia sudovoi energeticheskoi ustanovki [Comparator identification of frequency characteristics of automatic control systems of ship's power plant]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Serii: Radiotekhnicheskie i infokommunikatsionnye sistemy*, 2020, no. 1 (45), pp. 47-57.
2. *Catastrophic failure of a capacitor and explosion in an 11kV harmonic filter on board the passenger cruise vessel RMS Queen Mary 2: Marine Accident Investigation Board Safety Bulletin 4/2010.* Marine Accident Investigation Branch. 6 p.
3. Varzhel' S. V. *Volokonnye breggovskie reshetki* [Fiber Bragg gratings]. Saint-Petersburg, Izd-vo Un-ta ITMO, 2015. 65 p.
4. Chernyi S. G., Bordug A. S., Kozachenko L. N., Erofeev P. A., Zhukov V. A. The reliability assessment of functioning of autonomous power system of drilling rigs. *Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020 (Moscow, Saint-Petersburg, January 27–30, 2020)*. Saint-Petersburg, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. Pp. 259-263.
5. Bordiug A. S. *Primenenie tekhnologii raspredelenno opticheskogo kontrolya v sudovykh elektroenergeticheskikh sistemakh* [Application of technology of distributed optical control in ship electric power systems]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Morskaiia tekhnika i tekhnologiia*, 2021, no. 2, pp. 75-81.
6. Smetiukh N. P., Chernyi S. G., Enivatov V. V., Bordiug A. S. *Skaliarnoe mnogofaktornoe otsenivanie diagnosticheskikh kharakteristik sudovykh energeticheskikh sistem* [Scalar multifactorial assessment of diagnostic characteristics of ship power systems]. *Avtomatizatsiia, telemekhanizatsiia i sviaz' v nefiianoi promyshlennosti*, 2019, no. 12 (557), pp. 15-19.

Статья поступила в редакцию 28.06.2021; одобрена после рецензирования 08.10.2021; принята к публикации 15.10.2021.
The article was submitted 28.06.2021; approved after reviewing 08.10.2021; accepted for publication 15.10.2021.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Александр Сергеевич Бордюг – кандидат технических наук; доцент кафедры электрооборудования судов и автоматизации производства; Керченский государственный морской технологический университет; 298309, Керчь, Орджоникидзе, 82; alexander.bordyug@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Alexander S. Bordyug – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Ship Power Supply and Automation; Kerch State Maritime Technological University; 298309, Kerch, Ordzhonikidze St., 82; alexander.bordyug@mail.ru

