

УДК 621.7

## ГИБРИДНЫЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*Е. А. ЗАЙЦЕВ, А. С. ЛЕВИЦКИЙ, \*В. Е. СИДОРЧУК*

Институт электродинамики НАН Украины

\*Киевский национальный торгово-экономический университет

Киев, Украина

## HYBRID FIBER-OPTIC METERS OF MECHANICAL PARAMETERS FOR ELECTRICAL EQUIPMENT FAULT DIAGNOSTICS SYSTEMS

*I. O. ZAITSEV, A. S. LEVYTSKYI, V. I. SYDORCHUK*

### Аннотация

Описана структура гибридного волоконно-оптического измерителя (ГВОИ) контрольно-диагностических параметров электрооборудования. Предложено для передачи питания к первичным преобразователям, размещенным в изолированной зоне, использовать информационно-энергетический канал, реализованный на основе технологий "Wavelength-Division Multiplexing".

### Ключевые слова:

генератор, контрольно-диагностические параметры, гибридный волоконно-оптический измеритель, емкостной сенсор, информационно-энергетический канал.

### Abstract

In this paper was proposed the structure of hybrid fiber-optic meter of electrical equipment parameters for control and diagnostics systems. For power transfer to the primary converters located in the isolated zone, use the information-energy channel, implemented on the basis of the technologies "Wavelength-Division Multiplexing".

### Key words:

hydrogenerator, control and diagnostic parameters, hybrid fiber-optic meter, capacitive sensor, information-energy channel, electrical equipment.

Путём повышения производительности нового и уже существующего электрооборудования (ЭО) является создание новых методов и средств технической диагностики ЭО. Особенностью технической диагностики является использование гаммы специализированных измерительных преобразователей для регистрации контрольно-диагностических параметров, характеризующих работу оборудования. При использовании специализированных измерительных преобразователей на работающем энергетическом оборудовании присутствует ряд проблем, препятствующих получению высокой точности при измерении диагностических параметров, возникает необходимость обеспечения помехоустойчивости к воздействию мощных электромагнитных полей. Задача повышения помехоустойчивости первич-

ных измерительных преобразователей, линий передачи информации и вторичных преобразователей может быть решена за счет применения волоконно-оптических световодов.

Следует отметить, что применение сенсоров, построенных на использовании оптических эффектов в качестве первичных волоконно-оптических преобразователей физических параметров, в энергетическом оборудовании затруднено рядом недостатков. Один из них – это низкий уровень стандартизации и унификации оптических чувствительных элементов. Для их создания используются специализированные оптические элементы и волокна, технология изготовления которых еще недостаточно освоена [1]. Кроме того, обеспечение заданных метрологических характеристик требует сложной процедуры калибровки. Как результат – относительно высокая стоимость, что значительно ограничивает широкое применение. С другой стороны, подавляющее большинство специализированных первичных преобразователей емкостного типа [2] обеспечивают необходимые метрологические характеристики.

Поэтому перспективным для построения систем технической диагностики энергетического оборудования является использование гибридных волоконно-оптических измерителей (ГВОИ) [1, 3, 4]. ГВОИ конструктивно состоят из волоконно-оптического канала (ВОК) и традиционных сенсоров, как чувствительных элементов (первичных преобразователей).

При реализации систем технической диагностики электрооборудования с ограничениями на количество линий, или с ограничениями на общий диаметр таких линий, целесообразно использование информационно-энергетических (ИЭ) ВОК, в которых передача информации и питания путем волнового оптического мультиплексирования WDM (Wave division multiplexing) [5–7] осуществляется по совместному волоконно-оптическому кабелю.

Целью доклада является обзор технического решения для практической реализации гибридных волоконно-оптических сенсоров измерителей контрольно-диагностических параметров систем технической диагностики электрооборудования с питанием через общий волоконно-оптический канал.

Применение ВОК в структуре систем технической диагностики позволяет достичь:

- 1) *высокого уровня защищенности* от воздействия внешних электромагнитных полей и межканальных наводок;
- 2) *уменьшение габаритов и массы* по сравнению с использованием металлических линий проводной связи в 3–5 раз;
- 3) *взрывобезопасности* благодаря возможности использования специальных типов ВОК в среде с температурой самовоспламенения до 450–600° С (смесь водорода, метана, пропана и подобных газов с воздухом) [1];



4) *повышение достоверности* контроля благодаря получению информации о состоянии отдельных узлов в виде кодированных световых сигналов;

5) *низкий уровень шумов*, как результат передачи измерительной информации через ВОК;

6) *секретности передачи информации*: излучение в окружающее пространство ВОК почти отсутствует, а изготовление отводов оптической энергии без разрушения кабеля невозможно;

7) *потенциально низкой стоимости* (замена дорогих цветных металлов (медь, свинец) на материалы с неограниченным сырьевым ресурсом (стекло, кварц, полимеры) для изготовления ВОК).

Использование технологии WDM позволяет, по сравнению с традиционными разделенными ВОК, для передачи измерительной информации и питания получить ряд преимуществ:

- обеспечение объединенного передачи энергетического питания, данных управления и измерительной информации;
- обеспечение повышенной информационной защищенности канала;
- повышение пропускной способности ВОК;
- возможность организации двусторонней связи;
- наращивание информационной емкости уже проложенных оптических линий связи;

– осуществление передачи различных видов данных на разных несущих волнах от различных типов первичных преобразователей к общей системе управления работой ГВОИ;

– использование оптического волокна ( $\varnothing$  200–1000 мкм), в котором кроме передачи информации реализуется передачи энергии питания оптическим потоком высокой мощности путем волнового оптического мультиплексирования.

В [6] описано использование ИЭ ВОК, который функционирует аналогично обычной волоконно-оптической линии, за исключением того, что в устройстве предусмотрено полностью автономное дистанционное питание приемного блока от оптического энергетического канала при оптической мощности  $P_{pow} = 90$  мВт на длине волны  $\lambda_{pow} = 785$  нм при этом для передачи данных использованы длина волны  $\lambda_{inf} = 658$  нм и мощность  $P_{inf} = 5$  мВт.

Если использовать емкостные сенсоры [8] как первичные преобразователи в системах технической диагностики при контроле изменения физических параметров узлов гидрогенераторов, то по описанному принципу [5, 6, 9] можно реализовать ГВОИ воздушного зазора между статором и ротором, биения вала, усилия в стяжных призмах, величины взаимного сдвига секторов поставного статора и усилия прессования сердечника статора. В этом случае получается сочетание высокой помехоустойчивости ИЭ ВОК между сенсорами и вторичными преобразователями и самых сен-



соров с простотой реализации последних [8]. Разработана схема ГВОИ для систем технической диагностики приведена на рис. 1.

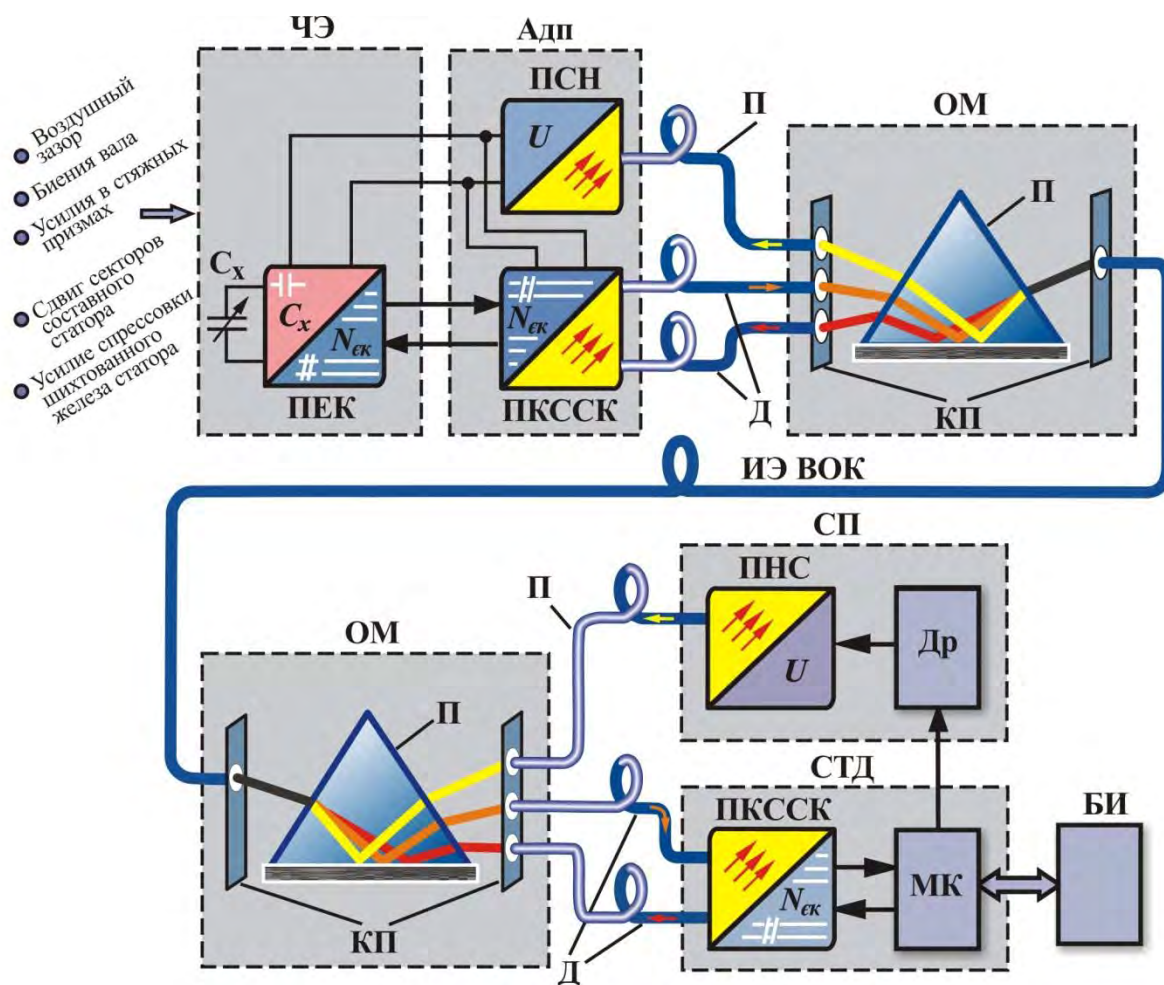


Рис. 1. ГВОИ контрольно-диагностических параметров систем технической диагностики с питанием через общий волоконно-оптический канал: ЧЭ – чувствительный элемент; ПЕК – преобразователь емкость-код; ПКССК – преобразователь код-свет и свет-код (коммуникационная подсистема); ИЭ ВОК – информационно-энергетический волоконно-оптический канал; Адаптер; П – ВОК питания; Д – ВОК данных; П – призма; КП – пластина для крепления ВОК; СП – система питания; ПНС и ПСН – преобразователь напряжение-свет и свет-напряжение, Др – блок управления работой ПНС; Ом – оптический мультиплексор; МК – микроконтроллер, СТД – система технической диагностики; Би – блок отображения диагностической информации

Система, которая показана на рис. 1 работает следующим образом. Первичный измерительный преобразователь неэлектрических физических величин – чувствительный элемент ЧЭ, который преобразует указанную величину в цифровой код типа NRZ. Далее коммуникационная подсистема ПКССК обеспечивает сбор измерительной информации (закодированной в цифровом коде) и ее преобразования в модулированный оптический сигнал.

Этот сигнал затем передается через ОМ по волоконно-оптическому кабелю в зону обработки, где с помощью ОМ и ПКССК (с использованием фотоприемника) преобразуется в электрический сигнал с последующим усилением до необходимого логического уровня цифровых сигналов для МК СТД, где происходит обработка информационных данных.

В случае передачи сигналов с МК СТД к измерительным преобразователям система работает аналогично. При этом для устранения влияния внешних воздействий (электромагнитные поля, температура и т. д.), возникающие в изолированной зоне во время работы энергетического оборудования, средства обработки информационных сигналов с первичных преобразователей отнесены на безопасное расстояние.

Особенностью предложенной схемы является то, что для питания узлов первичного преобразователя, передачи данных от первичного преобразователя и данных управления работой первичного преобразователя используется одна ВОК. Основным элементом ОМ при этом является оптическая призма, в которой за счет дисперсии, т. е. зависимости показателя преломления от длины волны оптического излучения, происходит пространственное разделение (или объединения для обратного направления) оптических волн.

В ГВОИ используются три оптических канала, работающие на следующих длинах оптического излучения:  $\lambda_1$  (питание),  $\lambda_2$  (измерительная информация) и  $\lambda_3$  (данные управления). Торец волоконного световода (ИЭ ВОК), по которому передается оптическое излучение трех каналов, располагается на пластине крепления. С торца ИЭ ВОК оптическое излучение падает на призму. В призме происходит пространственное разделение оптического излучения в зависимости от длины волны и отклонение каждой спектральной составляющей на определенный угол. Пространственные координаты выхода оптических волн определенных спектральных составляющих, можно определить исходя из формул для расчета траекторий лучей в треугольной призме [10].

Предложенная схема построения ГВОИ для систем технической диагностики с емкостными сенсорами может быть использована для решения задач мониторинга состояния электроэнергетического оборудования и создание средств измерения контрольно-диагностических параметров оборудования электростанций для повышения эффективности работы оборудования с возможностью продления срока его эксплуатации

### **Вывод**

Применение ГВОИ с емкостными сенсорами контрольно-диагностических параметров систем технической диагностики оборудования является перспективным направлением повышения надежности и безопасности эксплуатации электроэнергетического оборудования. При необходимости размещения первичных преобразователей на значительном расстоянии от средств обработки (изолированной зоне) их питание может осуществляться с помощью оптической энергии, передаваемой через ин-



формационно-энергетический ВОК, реализованный на основе технологий "Wavelength-Division Multiplexing".

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Задворнов, С. А.** Исследование методов построения гибридных волоконно-оптических измерительных систем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 01.04.01. – М. : 2009. – 23 с.
2. **Левицкий, А. С.** Гібридні волоконно-оптичні вимірювачі контрольно-діагностичних параметрів гідроенергетичних параметрів гідроенергетичних параметрів / А. С. Левицкий, Є. О. Зайцев // Гідроенергетика України. – 2015. – № 3–4. – С. 32–33.
3. **Ключников, А. А.** Волоконно-оптические информационно-измерительные системы – путь к повышению надежности эксплуатации генераторов АЭС, ТЭС и ГЭС / А. А. Ключников, А. С. Левицкий, Г. М. Федоренко // Проблемы безопасности атомных станций і Чернобиля. – 2012. – Вип. 18. – С. 57–65.
4. **Rosolem, J. B.** Optical system for hydrogenerator monitoring / J.B. Rosolem, C. Florida, J. Sanz // Proc. International Council for Power Electroenergetical Systems CIGRE 2010. – Paris (France) – 2010. – P. 1–8.
5. **Wang, M. R.** Wavelength-division multiplexing and demultiplexing on locally sensitized single-mode polymer microstructure waveguides / M. R. Wang [et. al.] // Optics letters. – 1990 – vol. 15, No. 7 – P. 363–365.
6. **Маліновський, В. І.** Інформаційна мережа з об'єднаними оптичними інтерфейс-каналами: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.05. – Вінниця, 2010. – 20 с.
7. Wavelength Division Multiplexed Optical Interconnect Using Short Pulses / B. E. Nelson [et. al.] // IEEE Journal of selected topics in quantum electronics, vol. 9, no. 2, March/April 2003 – С. 486–491/
8. **Левицкий, А. С.** Контроль стану потужних гідро- та турбогенераторів за допомогою ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів / А. С. Левицкий, Г. М. Федоренко, О. П. Грубой. – Київ : Ін-т електродинаміки НАН України, 2011 – 242 с.
9. **Turán, J.** Optically powered fiber optic sensors / J. Turán, Љ.Ovseník, J. Turán // Acta Electrotechnica et Informatica. – 2005. – No. 3, Vol. 5. – P. 1–7.
10. **Ландсберг, Г. С.** Преломление в призме : элементарный учебник физики / Г. С. Ландсберг. – 13-е изд. – М. : Физматлит, 2003. – Т. 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика. – С. 231–232.

E-mail: [zaitsev@i.ua](mailto:zaitsev@i.ua)  
[lev@ied.org.ua](mailto:lev@ied.org.ua)  
[sudorchyk@ipnet.ua](mailto:sudorchyk@ipnet.ua)