



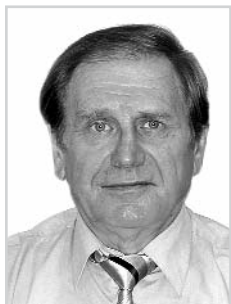
УДК 621.586.772

МОНАСТИРСЬКИЙ З.Я., докт. техн. наук,
ЛЕВИЦЬКИЙ А.С., канд. техн. наук,
КРОМІЛЯС Б.А., канд. техн. наук,
Інститут електродинаміки НАН України

ВОЛОКОННООПТИЧНІ СЕНСОРИ ДЛЯ РЕГУЛЮВАЛЬНО-ЗАПІРНОЇ АРМАТУРИ АЕС

Розглянуто варіанти побудови контрольної-вимірної апаратури на основі волоконно-оптичних сенсорів для регулювально-запірної арматури трубопроводів АЕС, яка може функціонувати в гермозоні реакторів.

МОНАСТИРСЬКИЙ З.Я.



ЛЕВИЦЬКИЙ А.С.



КРОМІЛЯС Б.А.

Д трубопроводної арматури АЕС, відповідно і до її приводу, яка експлуатується в герметичній оболонці реактора, ставляться особливі вимоги до її надійності та здатності зберігати свою працездатність в умовах аварійних ситуацій. Так, згідно з діючими нормами [1] арматура в аварійних умовах "великого витoku" повинна виконувати не менше 5 циклів роботи при температурі до 150 °С (для реакторів ВВЕР-1000). Крім того, конструктивне виконання всіх вузлів цієї арматури повинно забезпечувати можливість її дезактивації рідкими речовинами. Ці та

інші фактори зовнішнього середовища (передусім, підвищений радіоактивний фон), вимоги до обслуговування, значно обмежують застосування засобів електроніки для контрольної-вимірної апаратури (РЗА). Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є створення таких КВЗ, в яких в гермооболонці реактора безпосередньо на РЗА знаходяться лише сенсори, а вся апаратура обробки та аналізу сигналів сенсора, формування керуючих сигналів, розміщується поза оболонкою. Для реалізації цього варіанту необхідно, щоб:

- сенсори та лінії з'єднання задовольняли всім вимогам, поставленим до апаратури в гермозоні;

- кількість ліній з'єднання була мінімальна, враховуючи жорсткий проектний ліміт на кількість кабелів та ліній зв'язку з гермозони;

- довжина ліній зв'язку з сенсором знаходилась в межах 100–600 м.

Виходячи з наведених вимог, реалізувати КВЗ на базі магнітних або ємнісних сигналізаторів обертання вала вкрай проблематично. Для сигналізаторів з магнітними модулями критичним є вимоги до температури і рівня випромінювання та електронні сенсори поля. Для ємнісних сенсорів існує достатньо принципових рішень дистанційного вимірювання їх інформативного параметра, навіть коли його ємність співрозмірна з ємністю підвідних провідників, але це вимагає багатолінійного під'єднання сенсора до вимірної частини блоку та індивідуального екранування цих ліній, що в умовах ліміту на кількість ліній в гермозоні реактора робить цей варіант неможливим без суттєвої модернізації енергоблоку. Крім того, введення багатолінійних джгутів з сигналом, частотою 10–100 кГц вносить додатковий елемент ненадійності через перехресні завади, електромагнітні наводки в екранах і необхідності створення спеціальних контурів заземлення.

Варіантом вирішення цієї проблеми може бути застосування волоконно-оптичних сенсорів (ВОС) з передачею інформативного сигналу по волоконно-оптичному кабелю – (ВОК).

Перспективи застосування волоконно-оптичних інформаційно-вимірних систем та гібридних волоконно-оптичних систем для контролю, діагностики, управління аварійного захисту енергетичного обладнання, в тому числі і для АЕС, детально проаналізовано в [2, 3], аналіз промислових ВОС викладено в [4].

Загальна структурна схема волоконно-оптичної вимірної (сигнальної) системи (ВОС) показана на Рис. 1.

До складу системи входить джерело випромінювання (лазер або світлодіод), волоконно-оптичний кабель ВОК-2, власне волоконно-оптичний сенсор ВОС, оптичний детектор ОптД і електронний блок обробки даних ЕБОД.

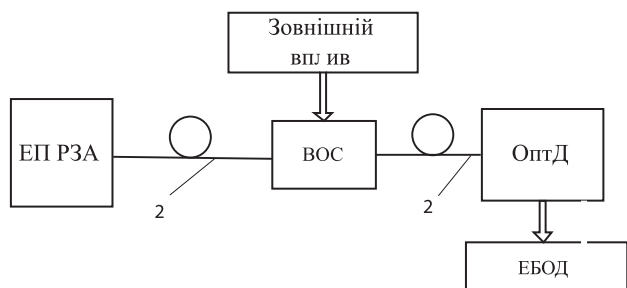


Рис. 1. Структурна схема волоконно-оптичної вимірної системи



Світлове випромінювання від джерела світла через ВОК поступає до сенсора. Сенсор ВОС під дією зовнішнього впливу змінює параметри вхідного світлового потоку. Змінений потік поступає знову ж таки по ВОК на детектор, який формує відповідний електричний сигнал. Електронний блок на основі обробки та аналізу сигналу від оптичного детектора визначає ступінь зовнішнього впливу і формує відповідні рішення або дані.

Побудова КВЗ РЗА із застосуванням ВОС дозволяє [2]:

- усунути вплив електромагнітних полів;
- усунути побічне електромагнітне випромінювання ;
- усунути перехресні завади в лініях зв'язку;
- усунути проблеми, пов'язані з контурним заземленням і напругами зміщення в місцях з'єднання різнорідних провідників;
- усунути проблеми утворення дуги та виникнення іскор;
- забезпечити високу стійкість до екстремальних параметрів, в тому числі і високого рівня радіації;
- застосувати більш тонкий, отже і легший та міцніший від електричного, кабель, або ж збільшити число жил кабелю, не змінюючи кабельний гермовід в зону реактора;
- підвищити ступінь електробезпеки внаслідок того, що оптокабелі виготовляються з діелектричних матеріалів, тому через них немає шляхів для проходження електричного струму.

Фактором, що стримує застосування ВОС і пристроїв на їх базі для спеціалізованих РЗА АЕС є відсутність промислових зразків ВОС та оптико-електронних компонентів для них. Тому розглянемо можливі варіанти виконання ВОС, які мають перспективу серійного виробництва.

Волоконно-оптичні сенсори виконуються по наступних структурах [4]:

- зі зміною характеристик волокна (в тому числі і спеціальних волокон);
- зі зміною параметрів випромінюваного світла;
- з чутливим елементом на торці волокна.

В промисловому масштабі випускаються ВОС обертання, що ґрунтуються на ефекті Саньяка [5] або оптичні гіроскопи.

Однак, вони не можуть застосовуватися в контролерах РЗА по багатьох причинах: складна електроніка, низький рівень інформативного параметра, і найголовніше — неможливість тери-

торіального рознесення на велику відстань електронного блока від власне ВОС та передачі інформативного сигналу по волоконно-оптичному кабелю. Крім того, ВОС на вказаному ефекті дуже важко буде конструктивно спрягти з уже установленими конструктивними рішеннями приводів РЗА.

По аналогії з магнітними та ємнісними сигналізаторами були розроблені конструкції ВОС, що ґрунтуються на модуляції світлового потоку, і з високим рівнем уніфікації механіки цих вузлів.

На Рис. 2 зображена структурна схема волоконно-оптичного сигналізатора, побудованого на принципі модулювання світлового потоку за принципом його відбивання.

Сенсор складається із зубчатого диска 1, волоконно-оптичного кабелю 2, по якому на торець диска 1 подається світло від джерела, роль якого виконує світлодіод 4. Частина світлового потоку через оптичний розгалужувач 3 подається на фотоприймач 5 який під дією цього потоку генерує електричний струм.

На торці плоских зубців диска 1 нанесено світловідбивальне покриття. Диск посаджено на вал, який з'єднується із сигнальним (або вихідним) валом приводу регульовально-запірної арматури. Під час обертання диска в ВОК відбувається модуляція світлового потоку внаслідок відбивання цього потоку від поверхні зубця в ВОК, яка трансформується в модуляцію вихідного сигналу фотоприймального пристрою 5.

В пристрої селекції та відліку 6 з цього сигналу формуються імпульси, число яких прямо пропорційне куту повороту диска 1, а, значить, — і вала приводу РЗА. З оптичної схеми видно, що для досягнення проектною розрізнявальною здатності, площі зубців і впадин мусять бути, в крайньому разі однаковими, а їх лінійні розміри (ширина) більші за діаметр оптоволокна. Це досить суттєво обмежує розрізнявальну здатність такого сигналізатора, тому що збільшення її за рахунок збільшення числа зубців при однакових розмірах можливе тільки за рахунок збільшення діаметра диска, що збільшує габарити сигналізатора. Крім того, операція нанесення відбиваючої поверхні на зубці є операцією технологічно складною, отже, — і дорогою.

Варіант виконання сигналізатора, показаний на Рис. 3 більш технологічний, тому що тут кодуєчий елемент — це вузький плоский диск 9 з рівномірно нанесеними по колу світловідбиваючими площадками 9.1.

В плані виготовлення цей варіант диска більш технологічний, ніж попередній. Крім того,

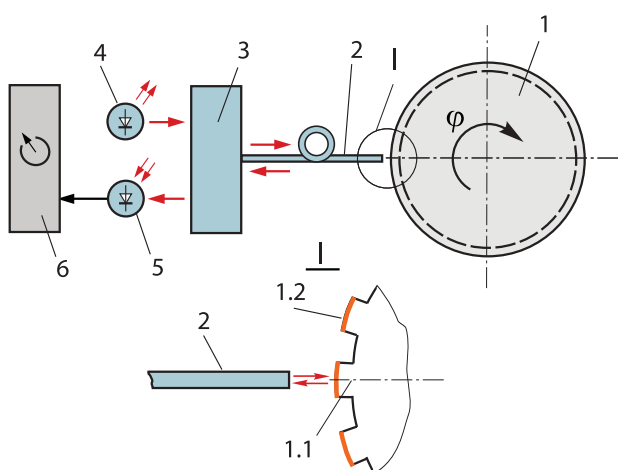


Рис. 2. Схема волоконно-оптичного сигналізатора на принципі відбивання світлового потоку

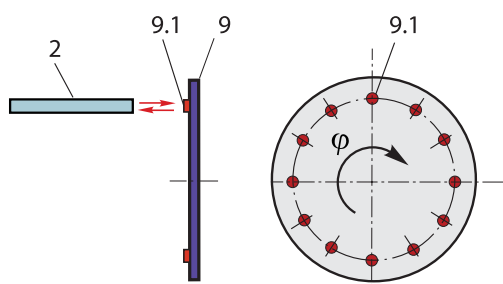


Рис. 3. Волоконно-оптичний сигналізатор з світло-відбиваючими площинками

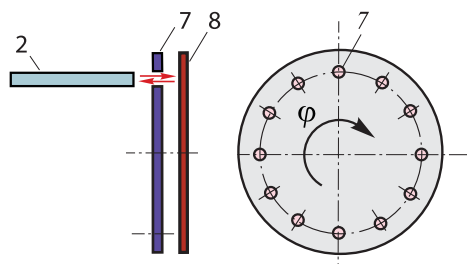


Рис. 4. Волоконно-оптичний сигналізатор з світло-відбиваючим дзеркалом

внаслідок розміщення жили ВОК перпендикулярно до площини диску, сигналізатор може бути виконаний більш компактним.

В сигналізаторі, структурна схема якого показана на Рис. 4, функцію рефлектора світлового потоку виконує нерухоме плоске дзеркало 8.

Елементом, чутливим до кутового переміщення вала, є плоский диск 7 з розташованими по колу кодуєчими отворами. В цьому сигналізаторі промінь світла з кабеля 2 при проходженні через отвір в диску 7 відбивається від дзеркала 8, що при обертанні колеса 7 також спричиняє модуляцію світлового потоку у ВОК і, відповідно, на вході фотоприймача. При правильному виборі розмірів елементів сенсора, в цьому виконанні можна досягти більшої розрізняювальної здатності по куту повороту вала, ніж в попередньому. Тим не менше, у всіх розглянутих варіантах виконання ВОС досягти розрізняювальної здатності, яка вимагається для однооборотної регулювальної арматури, дуже складно, тому основне їх призначення – сигналізатори для багатообертової запірної арматури.

Безсумнівною перевагою всіх розглянутих варіантів є те, що для передачі сигналу від ВОС до апаратури обробки потрібна лише одна жила ВОК. Простота конструктивного виконання дозволяє помістити ВОС в герметичний корпус, який може надійно захистити його від зовнішніх механічних впливів та середовища. Однак, варіанти з модуляцією світлового потоку внаслідок відбивання променів мають і суттєвий недолік – значне згасання відбитого сигналу, яке залежить від стану відбивальної поверхні. Враховуючи також і великі відстані, на які повинен передаватися сигнал, це може призвести до суттєвого

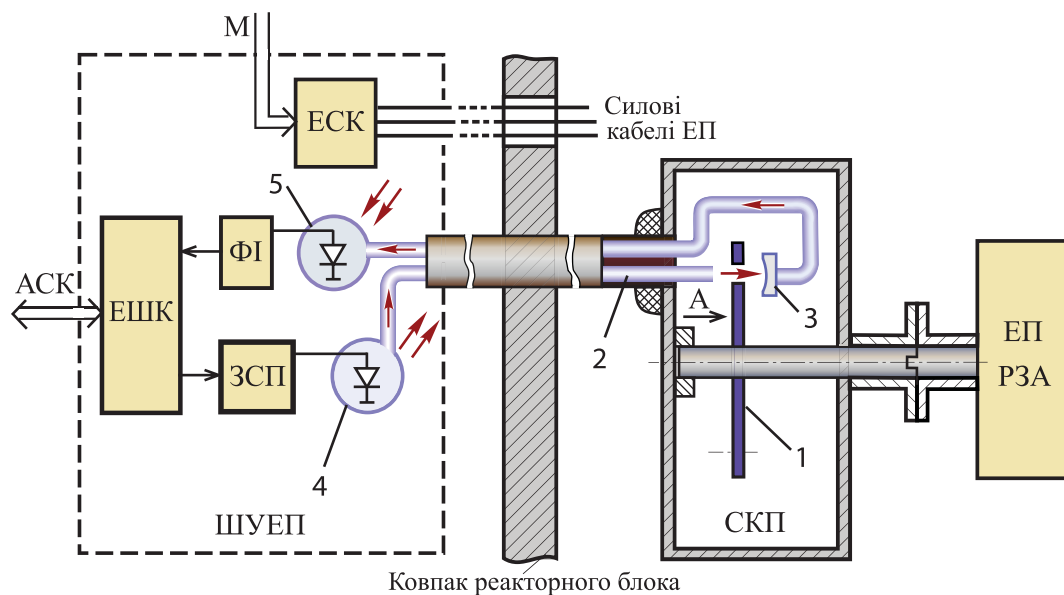


Рис. 5. Схема контролера КВА з ВОС та передавальним і приймальним ВОК



зниження співвідношення амплітуди модульованого сигналу до фонового рівня. Може виникнути необхідність в посиленні сигналу безпосередньо на виході з гермозони реактора. Це суттєво ускладнює апаратуру контролера арматури.

В контролері арматури з ВОС, функціональна схема якого зображена на Рис. 5, вказані вище недоліки суттєво зменшені за рахунок розподілу жил ВОК на передавальну і приймальну, а модуляція світлового потоку здійснюється за рахунок повного маскування потоку збудження фотоприймача.

На валу сигналізатора кута повороту вала – СКП, що з'єднаний з валом електроприводу арматури – ЕПРЗА, кріпиться кодувальний диск 1 з отворами, розміщеними по колу. Світловий потік джерела світла 4, яке збуджується генератором світлового потоку ЗСП, по передавальній жилі ВОК-2 поступає на вхід фотоприймача 5 по приймальній жилі ВОК тільки при проходженні отвору кодувального диска 1 напроти торця передавальної жили. Лінза 3 служить для фокусування потоку з отвору на приймальну жилу. При обертанні диска на виході фотоприймача формуються імпульси струму без постійної складової, що значно спрощує побудову формувача ФІ лічильних імпульсів для електронного шляхового контролера – ЕШК арматури. В більшості випадків тут буде достатньо звичайного порогового елемента, наприклад, триггера Шмідта. ЕШК на основі підрахунку числа імпульсів визначає кут обороту вала приводу арматури і формує відповідні команди для схеми комутації ЕСК, з виходів якої через силові кабелі подається живлення на двигун приводу арматури.

В запропонованій схемі затухання модульованого сигналу визначається лише параметрами

ВОК, і воно є суттєво меншим, ніж в попередніх варіантах. Крім того, амплітуда модульованого сигналу також суттєво вища, що дає змогу передавати сигнал ВОС на значно більші відстані, які можуть задовольнити проектні вимоги до побудови шляхових контролерів для спеціалізованих РЗА АЕС. Для кодера кута повороту на просвіт значно послаблюються вимоги до співвідношення розмірів маски і отвору, тому в цьому виконанні ВОС можна реалізувати значно вищу розрізнявальну здатність – порядку $0,5^\circ$, що цілком може задовольняти вимоги до вимірювачів кута повороту вала однообертової регулювальної арматури гермозони реактора АЕС. Сам ВОС має достатньо просту структуру, щоб забезпечити мінімум обслуговування його в гермозоні реактора АЕС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Крижановский О.Г. Трубопроводная арматура для блоков локализации оболочки АЭС с реактором ВВЭР-1000 // Арматуростроение. – 2006. – № 4. – С. 60–61.
2. Ключников А.А., Левицкий А.С., Федоренко Г.М. Волоконно-оптические информационно-измерительные системы – путь к повышению надежности эксплуатации генераторов АЭС, ТЭС и ГЭС // Проблемы безопасности атомных станций и Чернобиля. – 2012. – Вып. 18. – С. 57–64
3. Левицкий А.С., Федоренко Г.М. Повышение надежности и безопасности эксплуатации мощных гидрогенераторов путем использования волоконно-оптических информационно-измерительных систем // Гидроэнергетика Украины. – 2011. – № 3–4. – С. 18–22.
4. Жижин В. Волоконно-оптические датчики: перспективы промышленного применения. // Электронные компоненты. – 2010. – № 12. – С. 17–23.
5. Листвин В., Логозинский В. Миниатюрные волоконно-оптические датчики вращения. Конструкция, технология, характеристики. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2006. – № 8. – С. 72–76.

© Монастирський З.Я., Левицький А.С., Кромпляс Б.А., 2013

