

УДК 621.3.038

Є.О. ЗАЙЦЕВ, А.С. ЛЕВИЦКИЙ, І.М. ЖУКИНСЬКИЙ, Б.А. КРОМПЛЯС

Інститут електродинаміки НАН України, Київ

ПЕРЕТВОРЮВАЧ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ГІБРИДНИХ ОПТОЕЛЕКТРОННИХ ВИМІРЮВАЧІВ ПЕРЕМІЩЕНЬ

Розглянуто особливості стабілізації тиску пресування осердя статора потужного турбогенератора з застосуванням блоків силових акумуляторів, які встановлюються на стяжні призми осердя. Показано, що контроль процесу стабілізації тиску можна здійснювати, вимірюючи хід тарілчастих пружин в силовому акумуляторі. Обґрунтовано застосування гібридних оптоелектронних вимірювачів для контролю ходу пружин. До складу вимірювачів входить ємнісний сенсор, вторинний вимірювальний перетворювач з цифровим виходом, оптоелектронний перетворювач інформаційних сигналів та пристрій обробки та реєстрації вимірювальної інформації.

Розроблено та виготовлено макет оптоелектронного перетворювача інформаційних сигналів. Описано принцип дії та алгоритм роботи перетворювача. На діючому макеті перетворювача проведені експериментальні дослідження, які підтвердили його основні технічні характеристики. Максимальна відстань передачі даних з використанням перетворювача становить 30 метрів. Струм споживання перетворювача в неперервному режимі передачі та приймання даних склав до 600 мА при напрузі живлення 5 В. Розроблений оптоелектронний перетворювач інформаційних сигналів може бути використаний як складова частина гібридних оптоелектронних вимірювачів фізичних величин з ємнісними первинними вимірювальними перетворювачами.

Ключові слова: осердя статора турбогенератора, стабілізація зусилля пресування, силові акумулятори, тарілчасті пружини, переміщення, гібридний оптоелектронний вимірювач, оптоелектронний перетворювач інформаційних сигналів.

I.O. ZAITSEV, A.S. LEVYTSKYI, I.M. ZHUKYNSKYI, B.A. KROMPLYAS

Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine

INFORMATION SIGNALS CONVERTER FOR HYBRID OPTO-ELECTRONIC DISPLACEMENT MEASURERS

In this paper, the features of stabilization of pressure of compression of a powerful turbogenerator stator core with the use of power accumulator units, which installed on tightening prisms of the core, have been are considered. It is shown that the control of the stabilization process can be carried out by measuring the displacement of the cone disk springs in the power accumulator. The use of hybrid optoelectronic meters to measure the movement of springs has been are grounded. This meter combines the advantages of fiber optic and microelectronic technologies. And have the advantage that due to high noise immunity of fiber-optic transmission path of the optical signal, galvanic isolation of measurement points and processing of measurement data. The meters include a capacitive sensor, a secondary digital converter with a digital output, an optoelectronic converter and a processing and registration unit of the information signal. Special optoelectronic converters into meters structure are used for realization interface between measuring meters and processing equipment. A optoelectronic transducer of information signals prototype has been created and has been are manufactured. The principle of operation and algorithm of the converter operation with considering the meters source code type has been are described. At the working experimental sample of the converter, experimental investigations have been are carried out, which confirmed it's main technical characteristics. The maximum data transmission distance using the converter is 30 meters. The current consumption of the convector in the continuous mode of data transmission no more 600 mA and voltage supply 5 V. The optoelectronic converter of the information signal can be used as an integral part of the hybrid optoelectronic measurers of physical quantities with capacitive primary measuring transducers.

Key words: turbogenerator stator core, stabilization of pressure of compression, power accumulators, tightening prism, cone disk springs, displacement, hybrid optoelectronic measurer, optoelectronic information signal converter.

Безаварійна та ефективна робота потужних турбогенераторів (ТГ) в значній мірі залежить від стабільності їх основних механічних параметрів, до яких відноситься тиск пресування осердя статора [1, 2,3]. З часом при експлуатації ТГ порушується стабільність і рівномірність сили стискання шихтованого заліза в окремих секторах осердя [4], що може призвести до відносного зміщення листів активної сталі, стирання лакової ізоляції на листах, корозії листів, розпушування та зламу листів в зубцях крайніх пакетів. Іноді аварійні ситуації можуть виникати внаслідок порушення технології пресування шихтованого заліза осердя ТГ турбогенераторів як на стадії виготовлення турбогенератора, так і при виконанні регламентних ремонтних робіт. У разі зниження тиску пресування при роботі ТГ виникає осьова вібрація її сегментів, яка є причиною розвитку ряду характерних дефектів і наступних відмов машини.

Тому проведення контролю стану спресованості осердя статора ТГ під час виготовлення, експлуатації регламентних оглядів, проведення планових ремонтних робіт є засобом забезпечення їх безаварійної та ефективної роботи [4]

Одним із способів, що використовується для стабілізації тиску пресування осердя статора ТГ є застосування силових акумуляторів (СА) з блоками тарілчастих пружин – спеціальних пружинних пристроїв з заданим і регульованим зусиллям, що встановлюються під гайки (або замість гайок) на стяжні призми [1, 4, 5]. Відповідно до прийнятої технології, перед встановленням на статор пружини СА стискаються і фіксуються в стиснутому стані. Після встановлення на призмі пружини СА звільняються і передають запас своєї енергії через натискну плиту активній сталі осердя. На початку, коли зусилля на натискну плиту зі сторони активної сталі відповідають зусиллям від попередньо стиснутих пружин, натискна плита

знаходиться в рівновазі і не зміщується. В подальшому, якщо рівновага порушується, тобто коли тиск зі сторони пружинних елементів виявляється вищим тиску пресування осердя, натискна плита зміщується і тим самим підпресовує осердя. По зміщенню натискної плити на підставі спеціально розробленої моделі статора можна оцінювати стан спресованості осердя[1]. У цьому разі виникає необхідність в вимірюванні зміщення натискної плити. Традиційно такий контроль здійснюють за допомогою стандартних вимірювальних інструментів. Враховуючи те, що на ТГ зазвичай встановлюються десятки СА, процес вимірювання є довготривалим. Через це існує потреба в автоматизованих або автоматичних засобах безпосереднього або непрямого вимірювання зміщення плити. Так непряме вимірювання зміщення натискної плити можна здійснити, вимірюючи хід тарілчастих пружин в СА.

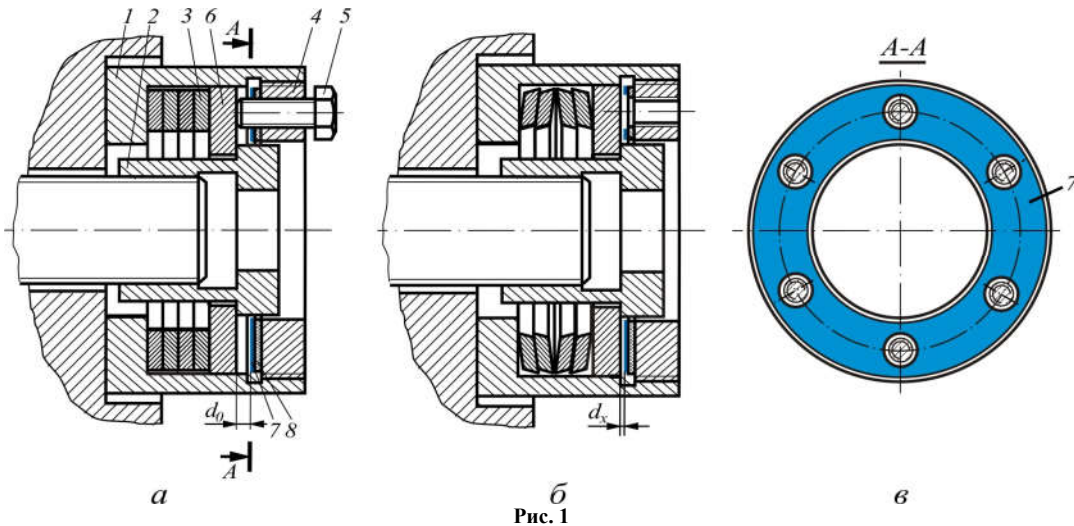


Рис. 1

У роботі [6] запропоновано конструкцію СА, у якому хід тарілчастих пружин вимірюється ємнісним сенсором зі змінним зазором, причому один із електродів сенсора є заземленим елементом СА. Такий СА (рис. 1) складається з корпусу 1, гайки 2, тарілчастих пружин 3, упорного кільця 4, фіксуючих болтів 5, натискного кільця 6, діелектричної пластини 8 із електропровідним тонким шаром 7. Пластина 8 жорстко з'єднана з упорним кільцем 4. Вимірювальний ємнісний сенсор утворений провідним шаром 7 і заземленим натискним кільцем 6. У початковий момент (рис. 1 а), коли тарілчасті пружини стиснуті, зазор у конденсаторі дорівнює d_0 . Електрична ємність C_0 конденсатора, утвореного шаром 7 і заземленим кільцем 6, у цьому випадку визначиться як

$$C_0 = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d_0}, \quad (1)$$

де $\varepsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – діелектрична проникність вакууму; ε – відносна діелектрична проникність; S – площа провідного шару 7 (рис. 1 в).

У міру усадки шихтованого пакета осердя тарілчасті пружини СА будуть розпрямлятися, переміщаючи при цьому кільце 6 і відповідно змінюють зазор d_x між кільцем 6 і шаром 7 (рис. 1 б). Вимірявши ємність C_x при зазорі d_x , можна, з урахуванням формули (1), розрахувати величину ходу пружин ΔL

$$\Delta L = d_0 - d_x = \pi \varepsilon \varepsilon_0 S \left(\frac{1}{C_0} - \frac{1}{C_x} \right). \quad (2)$$

Для роботи з запропонованим ємнісним сенсором використано вторинний вимірювальний перетворювач, описаний в роботах [7, 8]. Перевагами такого типу пристрою з ємнісним сенсором є те, що на нього не впливають електромагнітне поле, намагніченість та температура поверхні заземленого електрода, а від впливу електричних полів сенсор легко захищається електропровідним (металевим) екраном. До недоліків пристрою відноситься досить складна схема вторинного вимірювального перетворювача. Зокрема, у вимірювачах, описаних в [7, 8], застосовується спеціальний трансформатор, вторинна обмотка якого намотується екранованим кабелем, що нетехнологічно. До того ж між сенсором та вторинним перетворювачем використовується дорогий триаксальний кабель (з подвійним екраном). Дистанційність пристрою, тобто відстань між сенсором та вторинним перетворювачем обмежена, і з її збільшенням зростає похибка вимірювання. Зазначені вище недоліки мінімізуються в гібридних оптоелектронних вимірювачах (ГОЕВ) з ємнісними сенсорами, що поєднують переваги волоконно-оптичних кабелів (завадостійкість, дистанційність), мікроелектронних технологій вторинних перетворювачів (малі габаритні розміри, цифровий вихід) та ємнісних сенсорів (завадостійкість, розрахунковість, простоту технології виготовлення). Такі пристрої складаються із вимірювача з цифровим виходом (ВЦВ) (з ємнісним сенсором та вторинним

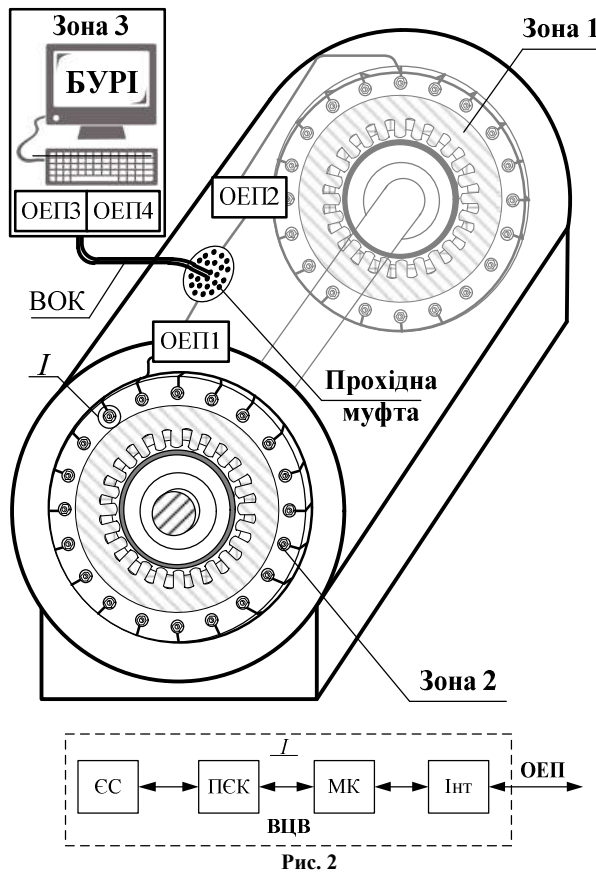


Рис. 2

перетворювачем на малогабаритних мікроелектронних компонентах) та волоконно-оптичного каналу (ВОК), як середовища передачі інформації до апаратно-програмних засобів обробки.

На рис. 2 показано схему вимірювання (в якому застосована технологія ГОЕВ) ходу тарілчастих пружин в СА, встановлених на стяжних призмах ТГ, як зі сторони збуджувача, так і зі сторони турбіни. Враховуючи те, що потужні ТГ мають значну довжину, розміри якої обмежені тільки механічною стійкістю машини, то є доцільним розбити мережу ГОЕВ вимірювачів на декілька зон (рис.2): зону 1 – зі сторони збуджувача, зону 2 – зі сторони турбіни, зону 3 – ізольовану від негативного впливу робочого середовища, в якій розміщуються засоби управління, аналізу й реєстрації інформації (БУРІ). На кожному з СА встановлюється окремий ВЦВ, до складу якого входять: ЄС – ємнісний сенсор; ПСК – перетворювач ємнісний код; МК – мікроконтролер; Інт – інтерфейс UART/Modbus. Цифрові сигнали з кожного ВЦВ в зоні 1 надходять до оптично-електронного перетворювача 1 (ОЕП1), а в зоні 2 – до ОЕП2. Через прохідну муфту із зони 1 сигнали від ОЕП1 з допомогою волоконно-оптичних кабелів надходять до ОЕП3, розміщеному в БУРІ, а від ОЕП2 – до ОЕП4, також розміщеному в БУРІ.

Така конфігурація дає змогу створити заводостійку, дистанційну та малогабаритну

систему вимірювання ходу тарілчастих пружин в СА системи контролю стабілізації зусилля пресування осердя статора ТГ. В разі потреби ВОК можуть використовуватися також і для живлення елементів ГОЕВ, розташованих в ізольованих зонах 1 і 2 [6-9].

При практичній реалізації ГОЕВ такого типу, у зв'язку із різною природою електричних та оптичних сигналів, виникає потреба в розробці спеціальних узгоджувачів цифрових електричних інформаційних сигналів в цифрові оптичні сигнали та у зворотному напрямку.

Метою даної роботи – є розробка схеми та практична реалізація оптоелектронного перетворювача інформаційних сигналів гібридних оптоелектронних вимірювачів ходу тарілчастих пружин СА системи стабілізації зусиль пресування осердя статора потужного ТГ.

Розгляду питань практичної реалізації та використання оптоелектронних перетворювачів інформаційних сигналів для систем передачі даних в волоконно-оптичних мережах присвячено багато робіт, як вітчизняних [10-14], так і зарубіжних фахівців [15-20]. Так у роботах [10,11] запропоновано використання волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів для об'єднаного передавання інформації та енергії до віддаленого електричного та оптоелектронного обладнання систем зв'язку. В роботі [12] розглянуто перспективи використання, методи побудови, математичну модель та структуру волоконно-оптичних інформаційно-енергетичних інтерфейс-каналів, які орієнтовані на спеціалізоване використання при сумісній передачі інформації та енергії за допомогою світла в системах зв'язку. Специфіку практичної реалізації систем живлення та передачі даних для гібридних волоконно-оптичних вимірювачів (ГВОВ) контрольно-діагностичних параметрів гідрогенераторів розглянуто в [9], але в цій роботі не наведено приклади практичної реалізації.

Саме практичній реалізації виключно оптоелектронних перетворювачів інформаційних сигналів присвячені роботи [15-20]. Так в [15] розглянуто практичну реалізацію для цифрових аудіо пристроїв. В [16-19] наведено реалізацію перетворювачів сигналів USB/UART в оптичний сигнал, а в роботах [20] – використанню перетворювачів з одномодовим або багатомодовим волоконно-оптичним каналом. Застосування розглянутих систем в структурі ГОЕВ є неможливим через їхні недоліки, а саме – погану заводостійкість до впливу робочого навколишнього середовища та вібрацій, які виникають при роботі ТГ. Зазначені вище недоліки мінімізуються в волоконно-оптичній системі збору аналогової інформації «Електроніка МС8201» при роботі в системах АСУТП, яка дозволяє циклічно опитувати 16 сенсорів аналогових сигналів [13], та в системі розподілу аналогових даних "Електроніка МС8401", яка призначена для передачі цифрових сигналів по оптоволоконному лінійному тракту з багатоканальним перетворенням цих сигналів в аналогові сигнали на приймальному кінці тракту [14]. Практичне використання системи [13] в структурі системи діагностики електрообладнання детально описано в роботі [21]. Недоліками систем [13,14] є те, що вони призначені для опитування обмеженої кількості с сенсорів, мають значні габарити та в

даний час не випускаються промисловістю.

Отже, розробка схеми та практична реалізація оптоелектронного перетворювачів (ОЕП) інформаційних сигналів для ГЕОВ, в якому будуть ураховані особливості протоколу обміну даних між компонентами ГЕОВ, схема розташування СА системи стабілізації зусиль пресування осердя статора ТГ та вплив робочого навколишнього середовища є актуальною задачею.

Як було зазначено, ОЕП являються частиною системи гібридних оптоелектронних вимірювачів ходу тарілчастих пружин СА системи стабілізації зусилля пресування осердя потужного ТГ (рис. 2). До складу системи входять чотири ОЕП, структура та принципи яких є однаковим.

ОЕП конструктивно складається з двох частин: "OUT" (рис. 3, а), що містить блоки 1-8, та "IN" (рис. 3, б) до складу, якого входять блоки 9-14. Частина "IN" призначена для перетворення коду NRZ в оптичний код для передачі по ВОК, а частина "OUT" для зворотного перетворення оптичного сигналу із ВОК в код типу NRZ. На блок-схемі ОЕП (рис. 3) показано: 1, 14 – гальванічні розв'язки та відповідні інтерфейси; 2,5,6,11 – буфери на логічних елементах; 3, 4 – диференційні ланки; 7 – логічний елемент "АБО"; 8 – волоконно-оптичний передавач; 9 – волоконно-оптичний приймач; 10 – смуговий фільтр; 12 – перетворювач; 13 – аналізатор.

На рис. 4 наведено часові діаграми імпульсів напруги при проходженні через ОЕП.

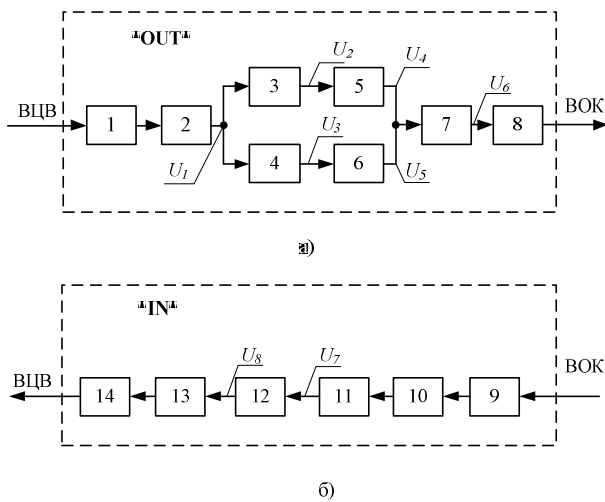


Рис. 3

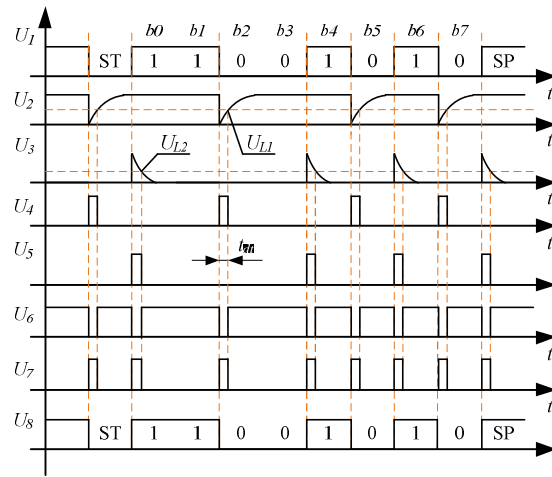


Рис. 4

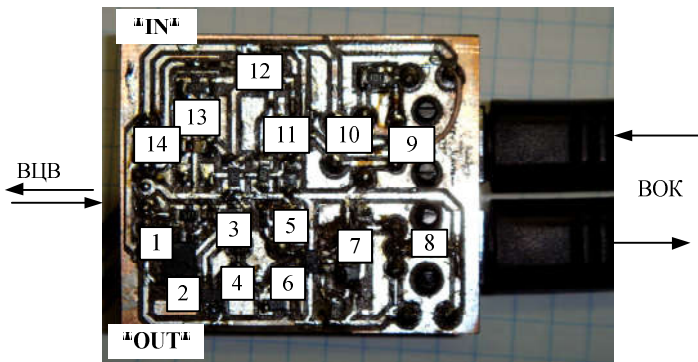


Рис. 5

На рис. 5 показано зовнішній вигляд діючого макету ОЕП для гібридних електронно-оптичних вимірювачів ходу тарілчастих пружин СА систем стабілізації пресування осердя статора ТГ. Позначення на рис. 5 повністю аналогічні позначенням на рис. 2 для запропонованої структури ОЕП.

Принцип дії ОЕП наступний. На вхід "IN" ОЕП, призначеного для перетворення сигналів в NRZ-код в відповідні імпульсні послідовності для модуляції оптичного потоку, поступають інформаційні дані від ВЦВ.

Для забезпечення для гальванічної розв'язки між логічними мікросхемами ОЕП та загальною шиною до якої під'єднані ВЦВ в зонах 1, 2 та БУРІ в зоні 3 на вході "IN" та на виході "OUT" ОЕП використовується в якості гальванічної розв'язки оптрон ACFL-5211T виробництва Broadcom [22]. Для здешевлення вартості перетворювача може бути використаний оптрон H11L1 виробництва Motorola [23] або інші елементи, що призначені для гальванічної розв'язки цифрових логічних сигналів.

Далі з виходу гальванічної розв'язки інформаційний сигнал поступає на мікросхему MAX485 виробництва Maxim Integrated [24], яка в ОЕП використовується для узгодження інтерфейсів. Конструктивно гальванічна розв'язка і мікросхема інтерфейсу показана як 1 на рис. 3 а для "OUT" та 14 на рис. 3 б для "IN" в загальній структурі ОЕП.

З виходу 1 інформаційний сигнал в NRZ-код поступає на вхід 2, що виконує функцію буферного каскаду узгодження й вирівнювання фронтів сигналу до рівня ТТЛ. В якості 2 використано логічну мікросхему буфера на тригері Шмітта SN74LVC1G17 виробництва Texas Instruments Incorporated [25]. 3

виходу 2 сигнал U_1 (рис. 4) в NRZ-кодi рівня ТТЛ направляється на дві диференційні ланки 3 і 4, що разом із логічними мікросхемами 5 та 6 призначені для формування імпульсів тривалістю t_{dt} рівня ТТЛ.

В якості 5 і 6 використовуються логічні мікросхеми буферів на тригері Шмітта з інвертуючим (SN74LVC1G14) та не інвертуючим (SN74LVC1G17) виходом виробництва Texas Instruments [25]. Діаграми сигналів U_2 і U_3 відповідно на виході диференційної ланки 3 і 4 та вихідних сигналів U_4 і U_5 на виходах 5 і 6 приведені на рис. 4. За допомогою 7 імпульсні сигнали із виходів 5 і 6 об'єднуються в один модулюючий сигнал U_4 (рис. 4), який являє собою кодову комбінацію. В якості 7 використано логічний елемент "І-АБО" SN74LVC1G02 виробництва Texas Instruments [25], який фактично реалізує "Штрих Шеффера".

З виходу 7 імпульсні сигнали безпосередньо подаються на волоконно-оптичний передавач 8 ОЕП, який перетворює електричний імпульсний сигнал в оптичний сигнал та вводить в волоконно-оптичний канал ВОК, що з'єднує два парно працюючі ОЕП для передачі оптичного сигналу по волоконно-оптичному кабелю до блоку БУРІ в зоні 3 (рис. 2).

В якості 8 використано волоконно-оптичний передавач HFBR-1505CFZ виробництва Broadcom [26], що розміщений в металевому корпусі. Застосування металевого корпусу та рознімача типу SMA 905/906 забезпечують стабільність оптичного зв'язку в складних умовах дії вібрацій, впливу електромагнітного поля, температури та вологості. Для здешевлення вартості може бути використаний будь-який інший волоконно-оптичний передавач із аналогічними характеристиками перетворення електричного імпульсного сигналу в модульований оптичний потік. Наприклад, в дослідному зразку (рис. 5) використано волоконно-оптичний передавач TOTx177 виробництва Toshiba [27] із стандартним роз'ємом EIAJ RC-5720B (ToshLink).

Далі оптичний модульований потік імпульсним сигналом приймається із ВОК волоконно-оптичний приймачем 9, що входить в "OUT" ОЕП та використовується для перетворення оптичного сигналу в відповідні йому за формою електричні імпульси. В якості 8 використано волоконно-оптичний передавач HFBR-2505 виробництва Broadcom [26], з характеристиками аналогічними передавачу HFBR-1505. У цьому разі в дослідному зразку (рис. 5), також використано більш дешевий аналог – волоконно-оптичний приймач TORx177 виробництва Toshiba [27] із стандартним роз'ємом EIAJ RC-5720B (ToshLink).

Для виділення електричних імпульсів із отриманого від 9 електричного сигналу використовується смуговий фільтр 10. Відфільтрований сигнал з 10 підсилюється та реконструюється за фронтами до рівня ТТЛ за допомогою 11. В якості 11 використано логічну мікросхему буфера на тригері Шмітта SN74LVC1G17 виробництва Texas Instruments [25].

Сигнал U_7 з виходу 11 за допомогою 12 перетворюється на сигнал U_7 NRZ-кода, який є ідентичним сигналу U_1 . Перетворювач 12 реалізовано на логічному елементі Д-тригера SN74LVC1G80 виробництва Texas Instruments [25]. Сигнал NRZ-кода поступає на вхід 13, де сигнал аналізується на полярність. У випадку, коли середня потужність сигналу з NRZ-кодом для послідовності пакетів даних більша за встановлений поріг, то сигнал передається без змін на вхід 14, в іншому випадку сигнал спочатку інвертується, а потім передається на вхід 14.

Для зменшення негативного впливу дії перехідних процесів, що відбуваються при включенні системи вимірювачів ГОЕВ (рис. 2) в структурі ОЕП може бути при необхідності реалізована затримка включення живлення модулю на мікросхемі TS5A3159 виробництва Texas Instruments [28] із застосуванням відповідної затримки на включення, наприклад побудованої на базі RS-ланки та логічної мікросхеми – буфера на тригері Шмітта типу SN74LVC1G17 виробництва Texas Instruments [25].

Мінімізація дії електромагнітних завад на ОЕП досягається за рахунок використання мініатюрних логічних мікросхем серії 74LVC в корпусі SOT23, що в свою чергу, дозволяє реалізувати надійний захист від впливу електромагнітних завад та вібрацій.

За необхідності габаритні розміри ОЕП можуть бути зменшені на 30-60% за рахунок застосування логічних мікросхем серії в корпусі μ QFN [25].

При проведенні експериментальних досліджень дослідного зразка (рис. 5) було встановлено: що максимальна дальність передачі даних може становити до 30 метрів (при використанні запропонованих волоконно-оптичних передавача та приймача); струм споживання ОЕП в неперервному режимі передачі та приймання даних склав до 600мА при напрузі живлення 5 В.

Висновки

1. Запропонований ОЕП може бути використаний для гібридних оптоелектронних вимірювачів ходу тарілчастих пружин силових акумуляторів систем стабілізації пресування осердя статора ТГ, що дозволить визначити зміщення натискної плити по відношенню до корпусу статора і відповідно оцінити стан осердя.

2. Перевагою запропонованої структури ОЕП є можливість його використання в робочому середовищі ТГ.

3. Мінімізація розмірів ОЕП за рахунок застосування мікроелектронних технологій дозволила мінімізувати вплив потужного електромагнітного поля та зменшити споживання ОЕП в порівнянні із аналогами в 5 раз.

Література

1. Зозулін Ю. В. Створення нових типів та модернізація діючих турбогенераторів для теплових електричних станцій / Ю. В. Зозулін, О. Є. Антонов, В. М. Бичік та ін. Х.: ПФ «Колегіум», 2011. – 228 с.
2. Шумилов Ю.А. Вибродиагностика как составляющая часть мониторинга технического состояния силовых агрегатов электростанций / Ю.А. Шумилов, Б.М. Демидюк., А.В. Штогрин // Праці ІЕД НАНУ. – 2008. – Вип. 19. – С. 76-80.
3. Зайцев Є.О. Система моніторингу ступеня спресованості осердя статора з ємнісними гібридними волоконно-оптичними вимірювачами // Збірник матеріалів ІХ-ої Українсько-польської науково-практичної конференції „Електроніка та інформаційні технології”, 28 – 31 серпня 2017 р., смт. Чинадієво, Закарпатська обл., Україна. – Л.: ВЦ ЛНУ ім. І.Франка, 2017. – С. 178 –180.
4. Левицький, А.С. Контроль стану потужних гідро- та турбогенераторів за допомогою ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів / А.С. Левицький, Г.М. Федоренко, О.П. Грубой. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2011. – 242 с.
5. Иванов, В. В. О способе стабилизации плотности прессования активной стали турбогенераторов / В. В. Иванов, В. Н. Петров, Г. В. Ростик // Энергетик. - 2009. - N. 8. - С. 29-30
6. Левицький А. С., Федоренко Г. М. Силовий акумулятор для стабілізації зусилля пресування осердя статора генератора з ємнісним датчиком контролю ступеня стиску / А.С.Левицький, Г. М. Федоренко // Гідроенергетика України. – 2010. – №1. – С.21–24.
7. А.с. 1536188 СССР, МПК G01B 7/00. Емкостный измеритель расстояния до заземленной поверхности / Борщев П. И., Красиленко А. В., Лежоев Р. С. и др. – №4433708/24 – 28; заявл. 31.05.88.; опубл. 15.01.90, Бюл. №2.
8. Левицький А. С. Створення ємнісного вимірювача повітряного зазору між ротором та статором в потужних гідроенергетиках / А.С. Левицький, А.І. Новік, Є.Ю. Неболюбов // Праці ІЕД НАНУ. – 2009. – Вип. 26. – С. 54–62.
9. Зайцев Є. О. Способи живлення гібридних волоконно-оптичних вимірювачів контрольно-діагностичних параметрів гідроенергетик / Є.О. Зайцев, А.С. Левицький // Гідроенергетика України. – 2017. – №1-2 – С. 14 – 19
10. Семенов А.Б. Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях связи / А. Б. Семенов. – М.: КомпьютерПресс, 1998. – 302 с.
11. Маліновський В. І. Організація каналів в оптичних геоінформаційно-енергетичних мережах / В. І. Маліновський, В. П. Кожем'яко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2008. – №2 (12). – С. 19–25.
12. Маліновський В. І. Волоконно-оптичні канали для об'єданого передавання інформації та енергетичного живлення / В. І. Маліновський, В. П. Кожем'яко // Оптико-електрон. інформ.-енерг. технології. – 2010. – № 2. – С. 244–255.
13. Паспорт: устройство сбора аналоговых данных "Электроника МС 8201": ТУ 11-БК0.305.049ТУ-85. – М.: Электроника., 1984. – 40 с.
14. Паспорт: устройство распределения аналоговых данных "Электроника МС 8401": ТУ 11-БК0.305.048ТУ-85. – М.: Электроника., 1984. – 36 с.
15. Wiazania M. Przedłużacz do cyfrowego toru audio AVT-514R, AVT-514OC, AVT-514CO/ M. Wiazania // Elektronika Praktyczna – 2003. – №6. – 37-40.
16. FT232 - Fibre Optic Interface. USB-Serial converter with a pair of fibre Tx/Rx. URL: <http://www.qoo.by/3ie7> (accessed: 24.12.2017)
17. USB-Serial Fiber Bridge. URL: <http://www.IORelay.com> (accessed: 24.12.2017)
18. USO 4013 USB-to-serial/optical converter. URL: <http://www.qoo.by/3ie6> (accessed: 24.12.2017)
19. Isolated Duplex Multimode Fiber to RS422(4 Wire Full Duplex) or RS485(2 Wire Half Duplex) Serial Converter. URL:<http://www.rs485.com/index.html>(accessed: 24.12.2017)
20. CMU 100 Fiber Optic to RS232 Converter. URL: <http://www.qoo.by/3ie3> (accessed: 24.12.2017)
21. Жукинский И.Н. Волоконно-оптический интерфейс в адаптивной системе диагностики электроустановок / И.Н. Жукинский, И.В. Логвиненко, И.Ю. Скрипник, Л.В. Цымбурская. // Микропроцессорные средства и системы, – 1988. – №5. – С. 82–83.
22. Technical Data. ACFL-5211T-000E 1MbD Dual-channel, Bi-directional Optocoupler., USA, 2015. URL: <http://www.goo.gl/xwwaf4> (accessed: 24.12.2017)
23. Technical Data. Optoisolators Logic Output. URL: <https://www.promelec.ru/pdf/h1111.pdf> (accessed: 24.12.2017)
24. Technical Data. MAX481/3/5/7 Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422. URL: <http://www.maximintegrated.com>. (accessed: 24.12.2017)
25. Technical Data. Little Logic Guide. URL: <http://www.ti.com/lit/sg/scyt129f/scyt129f.pdf> (accessed: 24.12.2017)
26. Technical Data. HFBR-1515BFZ/2515BFZ Full Metal Fiber Optic Transmitters and Receivers., USA, 2011. URL: <https://docs.broadcom.com/docs/AV02-1413EN> (accessed: 24.12.2017)
27. Fiber-optic devices TOSLINK., Japan, 2008. URL: <https://media.digikey.com/pdf/data%20sheets>

/toshiba%20pdfs/fiber-optic%20devices%20toslink.pdf(accessed:24.12.2017)

28. Manual. TS5A3159 1-Ω SPDT Analog Switch., USA, 2014. URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ts5a3159.pdf> (accessed: 24.12.2017)

References

1. Zozulin Yu. V. Stvorenniya novix tipiv ta modernizaciya diyuchix turbogeneratoriv dlya teplovix elektrichnix stancij /Yu. V. Zozulin, O. E. Antonov, V. M. Bichik ta in . X.: PF «Kolegium», 2011. – 228 s.
2. Shumilov Yu.A. Vibrodiagnostika kak sostavlyayushhaya chast' monitoringa texnicheskogo sostoyaniya silovyx agregatov e'lektrostancij/ Yu.A. Shumilov, B.M Demidyuk., A.V. Shtogrin //Praci IED NANU. – 2008. – №. 19. – S. 76-80.
3. Zaitsev E.O. Sistema monitoringu stupenya spresovanosti oserdya statora z emnisnimi gibridnimi volokonno-optichnimi vimiryuvachami// Zbirnik materialiv IX-oi Ukrain's'ko-pol's'koї naukovo-praktichnoi konferencii „Elektronika ta informacijni tehnologii”, 28 – 31 serpnja 2017 r., smt. Chinadijevo, Zakarpats'ka obl., Ukraina. – L.: VC LNU im. I.Franka, 2017.– S. 178 –180.
4. Levic'kij, A.S. Kontrol' stanu potuzhnx gidro- ta turbogeneratoriv za dopomogoyu emnisnix vimiryuvachiv parametriv mexanichnix defektiv / A.S. Levic'kij, G.M. Fedorenko, O.P. Gruboj. – K.: In-t elektrodinamiki NAN Ukraїni, 2011. – 242 s.
5. Ivanov, V. V. O sposobe stabilizacii plotnosti pressovaniya aktivnoj stali turbogeneratorov / V. V. Ivanov, V. N. Petrov, G. V. Rostik // E'nergetik. - 2009. - N. 8. - S. 29-30
6. Levic'kij A. S., Fedorenko G. M. Silovij akumulyator dlya stabilizacii zusillya presuvannya oserdya statora generatora z emnisnim datchikom kontrolyu stupenya stisku / A.S.Levic'kij, G. M. Fedorenko // Hidroenergetika Ukraїni. – 2010. – №1. – S.21–24.
7. A.s. 1536188 SSSR, MPK G01B 7/00. Emkostnyj izmeritel' rasstoyaniya do zazemlennoj poverxnosti / Borshhev P. I., Krasilenko A. V., Lezhov R. S. i dr. – №4433708/24 – 28; zayavl. 31.05.88.; opubl. 15.01.90, Byul. №2.
8. Levic'kij A. S. Stvorenniya emnisnogo vimiryuvacha povitryanogo zazoru mizh rotorom ta stato-rom v potuzhnx gidrogeneratorax / A.S. Levic'kij, A.I. Novik, E.Yu. Nebolyubov // Praci IED NANU. – 2009. – Vip. 26. – S. 54–62.
9. Zaitsev E. O. Sposobi zhivlennya gibridnix volokonno-optichnix vimiryuvachiv kontrol'no-diaagnostichnix parametriv gidrogeneratoriv / E.O. Zaitsev, A.S. Levic'kij // Hidroenergetika Ukraїni. – 2017. – №1-2 – S. 14 – 19
10. Semenov A.B. Volokonnaya optika v lokal'nyx i korporativnyx setyax svyazi / A. B. Semenov. – M.: Komp'yuterPress, 1998. – 302 s.
11. Malinov'skij V. I. Organizaciya kanaliv v optichnix geoinformacijno-energetichnix mrezhax / V. I. Malinov'skij, V. P. Kozhem'yako // Informacijni tehnologii ta komp'yuterna inzheneriya. – 2008. – №2 (12). – S. 19–25.
12. Malinov'skij V. I. Volokonno-optichni kanali dlya ob'ednanogo peredavannya informacii ta energetichnogo zhivlennya / V. I. Malinov'skij, V. P. Kozhem'yako // Optiko-elektron. inform.-energ. tehnologii. – 2010. – № 2. – S. 244–255.
13. Pasport: ustrojstvo sbora analogovyx dannyx "E'lektronika MS 8201": TU 11-BK0.305.049TU-85. – M.: E'lektronika., 1984. – 40 s.
14. Pasport: ustrojstvo raspredeleniya analogovyx dannyx "E'lektronika MS 8401": TU 11-BK0.305.048TU-85. – M.: E'lektronika., 1984. – 36 s.
15. Wiazania M. Przedluzacz do cyfrowego toru audio AVT-514R, AVT-514OC, AVT-514CO/ M. Wiazania // Elektronika Praktyczna – 2003. – №6. – 37-40.
16. FT232 - Fibre Optic Interface. USB-Serial converter with a pair of fibre Tx/Rx. URL: <http://www.qoo.by/3ie7> (accessed: 24.12.2017)
17. USB-Serial Fiber Bridge. URL: <http://www.IORelay.com> (accessed: 24.12.2017)
18. USO 4013 USB-to-serial/optical converter. URL: <http://www.qoo.by/3ie6> (accessed: 24.12.2017)
19. Isolated Duplex Multimode Fiber to RS422(4 Wire Full Duplex) or RS485(2 Wire Half Duplex) Serial Converter. URL:<http://www.rs485.com/index.html>(accessed: 24.12.2017)
20. User Manual: CMU 100 Fiber Optic to RS232 Converter. URL: <http://www.qoo.by/3ie3> (accessed: 24.12.2017)
21. Zhukinskij I.N. Volokonno-opticheskij interfejs v adaptivnoj sisteme diagnostiki e'lektroustanovok / I.N. Zhukinskij, I.V. Logvinenko, I.Yu. Skripnik , L.V. Cymburskaya. // Mikroprocesornye sredstva i sistemy, – 1988. – №5. – S. 82–83.
22. Technical Data. ACFL-5211T-000E 1MbD Dual-channel, Bi-directional Optocoupler., USA, 2015. URL: <http://www.google.com/xwwaf4> (accessed: 24.12.2017)
23. Technical Data. Optoisolators Logic Output. URL: <https://www.promelec.ru/pdf/h1111.pdf> (accessed: 24.12.2017)
24. Technical Data. MAX481/3/5/7 Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422. URL: <http://www.maximintegrated.com>. (accessed: 24.12.2017)
25. Technical Data. Little Logic Guide. URL:<http://www.ti.com/lit/sg/scyt129f/scyt129f.pdf> (accessed: 24.12.2017)
26. Technical Data. HFBR-1515BFZ/2515BFZ Full Metal Fiber Optic Transmitters and Receivers., USA, 2011. URL: <https://docs.broadcom.com/docs/AV02-1413EN> (accessed: 24.12.2017)
27. Product guide: Fiber-optic devices TOSLINK., Japan, 2008. URL: <https://media.digikey.com/pdf/data%20sheets/toshiba%20pdfs/fiber-optic%20devices%20toslink.pdf>(accessed: 24.12.2017)
28. Manual. TS5A3159 1-Ω SPDT Analog Switch., USA, 2014. URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ts5a3159.pdf> (accessed: 24.12.2017)

Рецензія/Peer review : 03.11.2017 р. Надрукована/Printed :14.01.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією