

НОВІТНІ ПІДХОДИ ДО ВИМІРЮВАННЯ ПЕРВИННИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Наменюк П.Я., студент, Тимохін О.В., к.т.н.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Процес вимірювання первинних параметрів роботи енергетичних систем, в класичному вигляді ґрунтується на використанні електромагнітних трансформаторів струму. В сучасному світі існують принципово нові методи вимірювання параметрів роботи системи.

Мета роботи. Робота присвячена проблемам вимірюванням первинних параметрів роботи енергетичних систем. Зокрема розглянуто класичний підхід, що ґрунтується на використанні електромагнітних трансформаторів струму, та більш сучасний, що ґрунтується на використанні оптоволоконних ТС. У роботі проведено аналіз недоліків та проблем, виявлених в результаті використання електромагнітних трансформаторів струму та їх вирішення за допомогою використання оптоволоконних ТС. Проведено порівняльний аналіз обох пристроїв, зокрема їхніх переваг та недоліків.

Матеріали і результати досліджень. На сьогодні, більшість вимірів електричних величин у електричних мережах, системах та на станціях, виконуються за допомогою електромагнітних трансформаторів струму, вартість яких становить значну частку вартості всього вимірювального пристрою. Призначення трансформаторів струму — перетворення струму у високовольтній мережі на сигнал низької напруги з ціллю використовувати його для вимірювання, релейного захисту та обліку електроенергії. Аналіз [1, 2, 3] показує, що основними недоліками електромагнітних вимірювальних трансформаторів є:

- низька чутливість при малому струмі;
- залежність точності від зовнішніх магнітних полів;
- висока чутливість до коливань струму;
- високе споживання електроенергії самим пристроєм.
- вплив зовнішніх температурних та погодних умов на точність;

Усунення зазначених недоліків вкрай важливе на об'єктах, робота яких потребує контролю та управління технологічними процесами з перебігом значних електричних струмів (завбільшки до кількох сотень кілоампер). Така ситуація має місце, наприклад, на підприємствах кольорової металургії. Таким чином, можливості традиційних методів вимірювання з використанням електромагнітних трансформаторів струму вже практично повністю вичерпані.

Принципово інший перспективний підхід реалізується в оптико електронних трансформаторах струму, що застосовуються у поєднанні з сучасними цифровими технологіями обробки сигналів та передачі даних [4].

Робота волокно-оптичного трансформатора (ВОТ) заснована на безконтактному оптичному методі вимірювання електричного струму. Метод використовує магнітооптичний ефект Фарадея в кварцовому волоконному світловоді. Якісно принцип роботи ВОТ пояснюється на рис. 1.

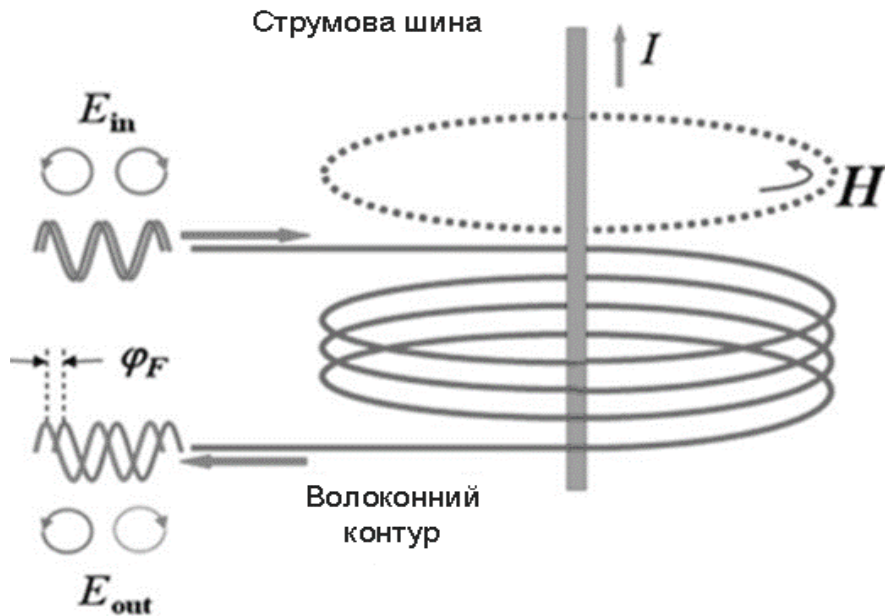


Рисунок 1 – Принцип роботи ВОТ

При поширенні лінійно-поляризованого світла, що знаходиться в магнітному полі, спостерігається обертання площини поляризації світла. І використання ефекту Погкельса, згідно з яким відбувається зміна кута заломлення та поляризації під безпосереднім впливом електричного поля. Якщо сказати дуже просто, то залежно від кута відхилення променя електроніка вираховує струм, що протікає, з урахуванням усіх існуючих похибок.

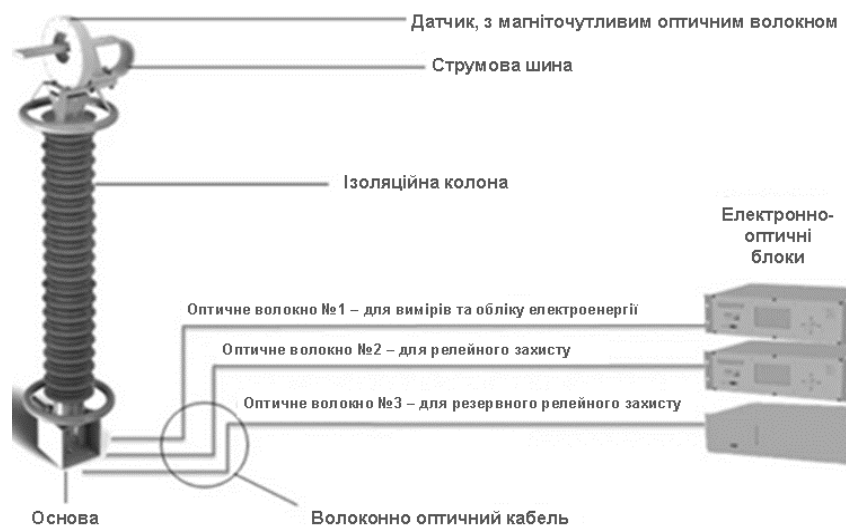


Рисунок 2 – Принцип роботи оптичного ТС у вигляді оптичної колони

У більшості випадків оптичні ТС є оптичною колоною (рисунок 2), всередині якої розташовується оптичний сенсор, який являє собою фіксовану кількість витків оптичного волокна, зміною числа волоконних витків можна ефективно керувати чутливістю перетворювача та відповідно змінювати межі вимірювання електричного струму. На практиці дана особливість уможливує вимірювання струмів від сотень міліампер до сотень кілоампер. Вони розміщені

перпендикулярно до шини по якій проходить первинний струм. При цьому немає жодного фізичного контакту шини та сенсора. Далі волокна проходять через полімерний ізолятор на оптичний крос (розміщений внизу колони) [5].

Сенсорний елемент (оптичне волокно) ВОТ під час роботи зазнає значних впливів довкілля, зокрема робочий діапазон температур може становити мінус 60°C...+60°C. Забезпечення класу точності ВОТ 0.2S у таких жорстких умовах вимагає від чутливого світловода хороших температурних властивостей за чутливістю до вимірюваного струму [6].

На рис 3 наведено температурну характеристику струмової чутливості світловодів, що використовуються у сенсорних елементах ВОТ. По осі Y відкладено значення еталонного струму, що вимірюється ($I=3,125$ А, погрішність відтворення $<0.1\%$) при різних температурах чутливого світловоду.

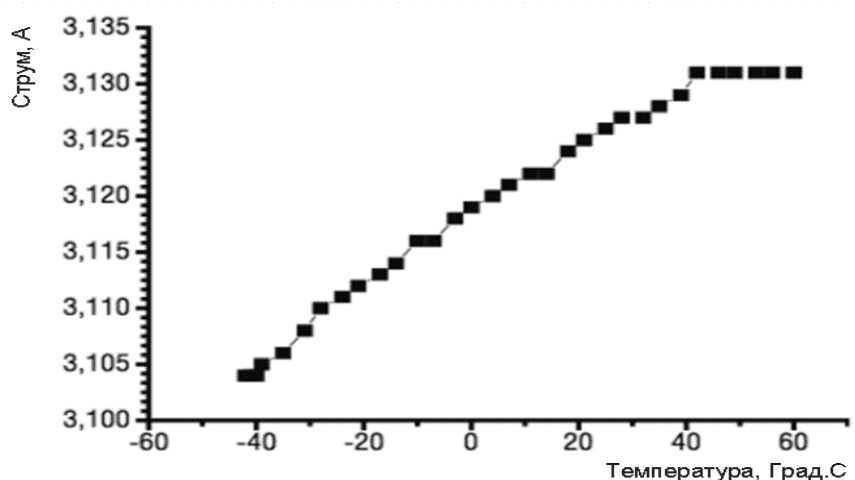


Рисунок 3 – Температурна характеристику струмової чутливості світловодів, що використовуються у ВОТ

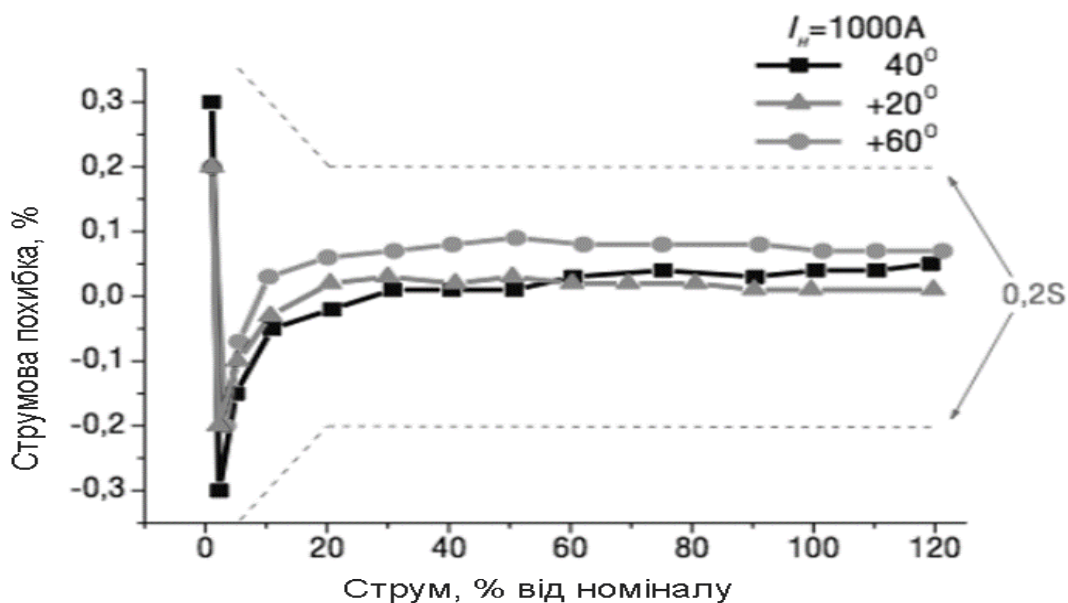


Рисунок 4 – Результати порівняння класичного трансформатора КНТ-05 (клас точності 0.05%) з ВОТ за різних температур чутливого елемента

З рис. 4 видно, що в діапазоні 100 градусів інтегральна зміна показань

ВОТ (магніто-оптичної чутливості світловоду) становить менше 1% за високого ступеня лінійності температурної залежності. Такі високі температурні властивості дозволяють без контролю температури чутливого елемента, в діапазоні температур 100 градусів, отримувати похибку вимірювання $\leq \pm 0.5\%$ [7].

Графіки наведені для струмового номіналу 1000 А за трьох температур в камері: - 40 °С, +20 °С, +60 °С Штрихова лінія показує межі похибки, допустимі для трансформаторів струму класу точності 0.2S.

Висновки:

1. Через нелінійність кривої намагнічування магнітопроводу електромагнітні трансформатори струму, які нині використовуються в розподільчих мережах, принципово не можуть забезпечити задовільні метрологічні характеристики в перехідних режимах. В умовах сьогоденної динаміки промислового розвитку це серйозний недолік.

2. Технологічні втрати електроенергії, викликані роботою систем обліку, захисту та протиаварійної автоматики при переході на ВОТ знизяться у 2–5 разів за рахунок можливості з'єднання їх із цифровими каналами зв'язку.

3. Використання ВОТ дозволяє вимірювати параметри електричного струму без додаткового споживання енергії з лінії.

4. Менша вага та габарит у порівнянні з аналоговими зразками.

5. Так як у конструкції немає ні масла, ні газу, ні паперу, то такі ТТ мають підвищені показники безпеки.

6. Результати експериментів із заміни електромагнітних вимірювальних трансформаторів струму на ВОТ, підтвердили всі теоретичні викладки роботи і показали, що точність виміру підвищилася на (10–18) % за рахунок зменшення впливу перехідних процесів.

7. Із мінусів можна виявити поки що досить високу вартість цих виробів. Надалі всі недоліки будуть виявлені лише у процесі дослідної експлуатації.

Перелік посилань

1. Dorf R. C., Bishop R. H. Modern control systems. Pearson Education, Limited, 2013. 1048 с.

2. Пристрій та принцип дії трансформаторів струму. Електротехніка. URL: <https://eleksun.com.ua/uk/blog/article/yak-pracyuye-transformator-strumu-prystriy-ta-pryncyp-diyi-transformatoriv-strumu> (дата звернення: 13.10.2022).

3. Принципи роботи трансформаторів струму та їх класифікація. Статті компанії «ЕлМісто». "ЕлМісто". URL: <https://elmisto.com.ua/ua/a166701-printsipy-raboty-transformatorov.html> (дата звернення: 09.10.2022).

4. Fidanboyly K., Etendioglu H. Fiber optic sensors and their applications.

5. Оптические ТТ, устройство и принцип работы. URL: <http://surl.li/dhagm> (дата звернення: 14.10.2022).

6. Interferometric Fiber-Optic Electric Current Sensor for Industrial Application / N. I. Starostin та ін. *Key Engineering Materials*. 2010. Т. 437. С. 314–318.

7. Старостин Н. Волоконно-оптические преобразователи тока. *Цифровая подстанция*.