

НОВІТНІ ПІДХОДИ ДО ВИМІРЮВАННЯ ПЕРВИННИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

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

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Процес вимірювання первинних параметрів роботи енергетичних систем традиційно базується на використанні електромагнітних трансформаторів струму, які відіграють ключову роль у контролі та моніторингу роботи енергосистем. Цей класичний підхід залишається ефективним, але зі зростанням вимог до точності, надійності та безпеки сучасних енергосистем, виникає потреба в застосуванні більш передових технологій. В останні роки набули поширення нові методи вимірювання, зокрема оптоволоконні трансформатори струму, які забезпечують суттєві переваги над електромагнітними аналогами.

Мета роботи. Метою даної роботи є дослідження проблем вимірювання первинних параметрів енергетичних систем, а також порівняння класичних та сучасних підходів до цього процесу. У роботі розглянуто традиційний підхід, який базується на використанні електромагнітних трансформаторів струму, та сучасний метод із застосуванням оптоволоконних ТС. Проведено детальний аналіз недоліків та проблем, які виникають при використанні електромагнітних трансформаторів. Також описано, як ці проблеми можуть бути вирішені завдяки впровадженню оптоволоконних технологій, що забезпечують вищу точність, надійність, компактність і стійкість до зовнішніх перешкод.

Матеріали і результати досліджень. Відомо, що в ланцюгах релейного захисту та автоматики керування високовольтним обладнанням здійснюється на стороні низької напруги. При цьому для перетворення сигналів високої напруги у НН-сигнали використовуються вимірювальні трансформатори струму (ВТС) та напруги (ВТН). Такі ВТС та ВТН мають ряд недоліків [1, 2, 3]:

- обмежена точність;
- чутливість до перевантажень;
- складність ізоляції та конструкції;
- габарити та вага;
- чутливість до зовнішніх впливів;
- нестабільність характеристик із часом;
- потреба в регулярному технічному обслуговуванні;
- обмежений діапазон вимірювань;
- небезпека підвищених напруг.

У зв'язку з цим виникла потреба створення такого нового виду вимірювальних трансформаторів, як оптоелектронні або, інша їх назва – волоконно-оптичні. Оптоелектронні трансформатори усувають недоліки традиційних трансформаторів, а також є іскро-, вибухобезпечними та економічно вигідними.

В оптоелектронних трансформаторах струму та напруги використовуються магніто-оптичний ефект Фарадея та електрооптичний ефект Поккельса.

Принципова схема ефекту Фарадея показана на рисунку 1.

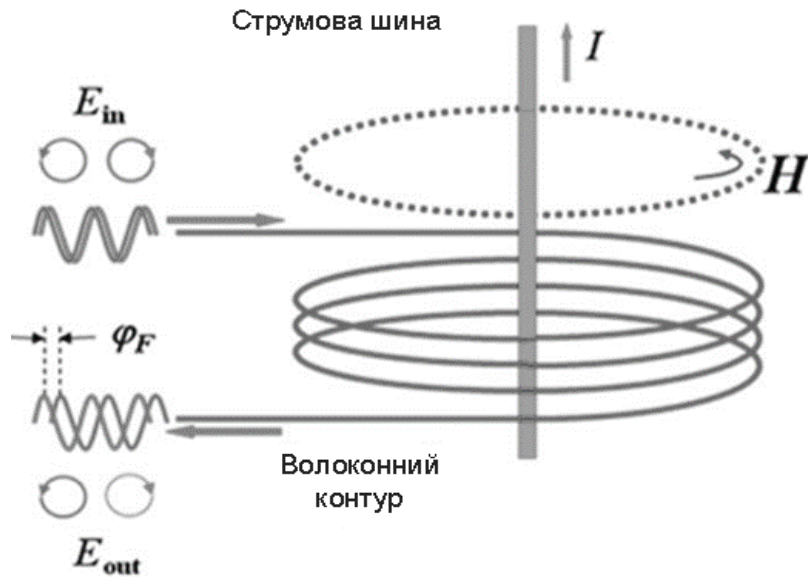


Рисунок 1 – Принцип роботи оптоелектронного перетворювача

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. Простими словами, електроніка обчислює струм, що протікає, виходячи з кута відхилення світлового променя, з урахуванням усіх можливих похибок.

Розглянемо основні принципи будови оптоволоконних трансформаторів та перетворювачів. Наведемо приклад першого принципу побудови, структурну схему якого наведено на рисунку 2.

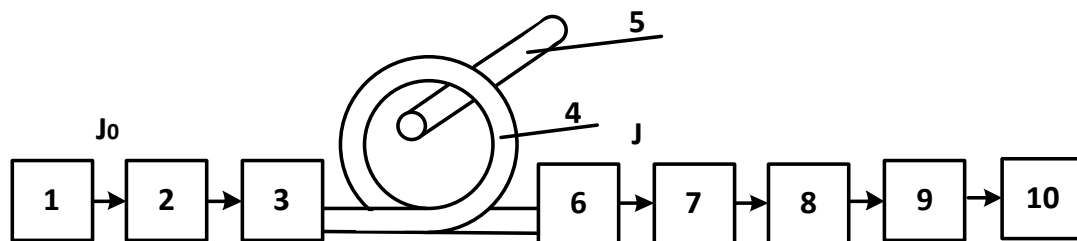


Рисунок 2 – Структурна схема принципу побудови оптоволоконних вимірювальних перетворювачів

На схемі присутні: 1 – лазерний діод; 2 – сполучне оптичне волокно; 3 – поляризатор; 4 – чутливий елемент (виток оптичного волокна); 5 - провідник зі струмом, що створює магнітне поле; 6 – аналізатор; 7 – фотодіод ; 8 – операційний підсилювач; 9 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 10 – рідкокристалічний індикатор.

При протіканні електричного струму I по провіднику створюється контрольоване магнітне поле напруженістю H . Це поле впливає на елемент Фарадея (скручене оптичне волокно) E_F . Створюване лазерним діодом когерентне монохроматичне випромінювання у поляризаторі поляризується в

лінійно поляризовану світлову хвилю. У ЕФ під дією зовнішнього магнітного поля відбувається обертання площини поляризації світла, що розповсюджується вздовж напрямку магнітного поля. Світловий потік з виходу ЕФ проходить через аналізатор і потрапляє на фотодіод потім на вимірювальний блок. Далі відбувається перетворення сигналу через аналого-цифровий перетворювач і на рідкокристалічному індикаторі отримуємо значення контрольованого магнітного поля.

Таким чином, існує можливість фіксувати слабку зміну інтенсивності світлового потоку на вході у фотодіод. Найбільш важливим елементом у цій схемі є чутливий елемент Фарадея, в якому при впливі магнітного поля виникає індукована оптична активність. Цей ефект досягається внаслідок взаємодії магнітних полів світла та електронних орбіталей.

Розглянемо другий принцип, у якому перетворювач призначений для вимірювання сили струму в потужних електрофізичних установках. Структурну схему наведено на рисунку 3.

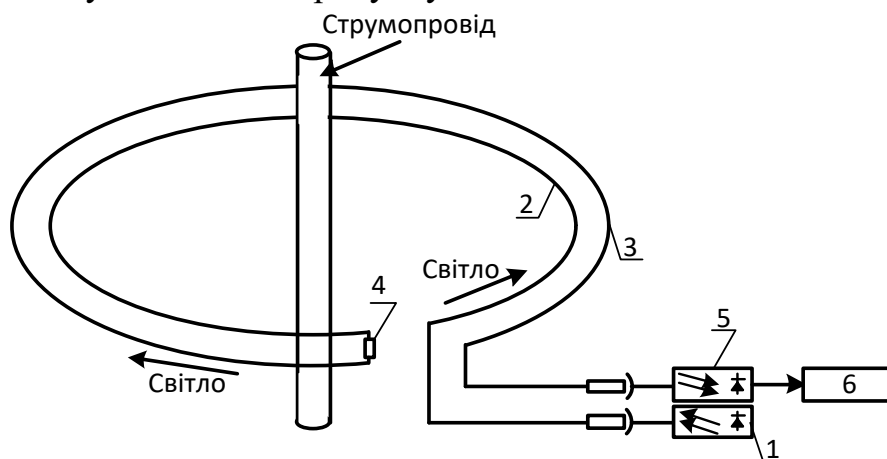


Рисунок 3 – Пристрій для вимірювання великих струмів

Він містить: джерело лінійно поляризованого світлового випромінювання 1; два витки світловодів 2, 3; поляризаційно-нечутливий з'єднувач світловодів 4; аналізатор 5 та реєстратор 6.

Витки світловодів охоплюють струмопровід з вимірюваним струмом у протилежних напрямках. Джерело світлового випромінювання оптично підключене до входу першого світловода, вихід якого через з'єднувач світловодів оптично підключено до входу другого світловода, вихід другого світловода оптично підключений до аналізатора, який, у свою чергу, підключений до реєстратора. Принцип роботи пристрою аналогічний вищеприступаному. Пристрій призначений для вимірювання сили струмів потужних електрофізичних установках. Він дозволяє вимірювати силу струму до 10 МА.

В результаті аналізу принципів побудови сучасних оптоелектронних трансформаторів струму можна зробити висновок, що розвиток оптичних технологій вимірювання первинних параметрів електричних мереж є найбільш перспективним напрямом, як з точки зору науки, так і в економічному плані

Висновок. Оптиковолоконні трансформатори представляють новітній підхід до вимірювання первинних параметрів енергетичних систем, який має значні

переваги порівняно з традиційними електромагнітними вимірювальними трансформаторами. Основою їх роботи є використання магніто-оптичного ефекту Фарадея та електрооптичного ефекту Поккельса, що забезпечує високоточне вимірювання параметрів електричного струму і напруги з мінімальними втратами та похибками.

Однією з ключових переваг оптоволоконних трансформаторів є їхня здатність працювати в умовах значних електромагнітних завад. Це дозволяє зберігати точність вимірювань навіть у складних умовах експлуатації. Додатково, такі трансформатори забезпечують значно ширший динамічний діапазон вимірювань, що дозволяє ефективно працювати як з низькими, так і з високими значеннями струмів і напруг.

Ще одним важливим аспектом є компактність і легкість монтажу оптоволоконних трансформаторів. Вони значно менші і легші за свої електромагнітні аналоги, що знижує витрати на установку та обслуговування. Також, відсутність металевих провідників у оптичних системах робить їх іскро- та вибухобезпечними, що підвищує загальний рівень безпеки на енергетичних об'єктах.

Окрім цього, оптоволоконні трансформатори мають високий ступінь надійності та довговічності. Вони не піддаються впливу таких факторів, як старіння ізоляційних матеріалів, корозія металевих елементів або деградація магнітопроводів, що дозволяє значно збільшити термін їх служби.

Отже, оптоволоконні трансформатори є перспективним напрямом розвитку вимірювальних систем у енергетиці, оскільки вони поєднують високу точність, надійність, безпеку та економічну ефективність. Перехід до оптичних технологій дозволяє вирішити більшість проблем, пов'язаних із використанням застарілих електромагнітних трансформаторів, забезпечуючи сучасні енергетичні системи більш ефективними засобами вимірювань, адаптованими до нових вимог і умов 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. V.P. Gubin et Al, "Use of Spun optical fibers in current sensors", Quantum Electronics, vol. 36, no. 3, pp. 287-291, 2006.
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. R.I. Laming and D.N. Payne, "Electric Current Sensors Employing Spun Highly Birefringent Optical Fibers", *Journal of Lightwave Technology* vol. 7, no. 12, pp. 2084-2094, 1989.
8. Bohnert K., Gabus P., Kostovic J., Brändle H. Optical fiber sensors for the electric power industry. *Optics and Laser in Engineering*. 2005; 43: 511–526.