

Вінницький національний технічний університет

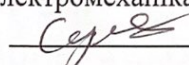
Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем

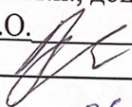
Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

ОПТИЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ

Виконав: студент 4 курсу, групи Е-21бз
спеціальності 141 – «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

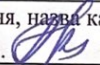
Сухорученко О. О. 

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС

Лесько В.О. 

« 06 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент каф. ЕСС
(наук.ступінь, вч.звання, назва кафедри)

ЕССМ Бабенко О.В. 

« 06 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

« 06 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

«12» 03 2025 р.

З А В Д А Н Н Я **НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Сухорученку Олександру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Оптичні вимірювальні трансформатори»

Керівник роботи к.т.н., доцент каф. ЕСС Лесько В. В.

затверджена наказом вищого навчального закладу від 20.03.2025 року № 97

2. Термін подання студентом роботи 4 червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи:

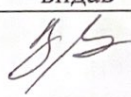
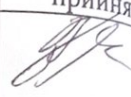
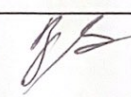
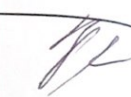
1. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с. 2. «ПТЕ Технічна експлуатація електричних станцій та мереж.» 3. Електричні системи і мережі. Частина 1: навчальний посібник / Ю. В. Малогулко, О. Б. Бурикін, Т. Л. Кацалзе, В. В. Лесько. Вінниця : ВНТУ, 2020. 203 с. 4. Кулик В. В. Типові рішення при проектуванні електричних мереж напругою 110-330 кВ: навчальний посібник / В. В. Кулик, В. В. Тептя, О. Б. Бурикін, О. В. Сікорська. Вінниця: ВНТУ, 2018. 110 с.

Вихідні дані для проведення обчислювальних експериментів:

4. Зміст текстової частини: Вступ. Сучасний стан енергетики України з врахуванням війни. 2 Підходи та методи до вимірювання первинних параметрів електроенергетичних систем 3. Оптичні вимірювальні трансформатори. Охорона праці. Висновки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1 Сучасний стан енергетики України з врахуванням війни. 2 Підходи та методи до вимірювання первинних параметрів електроенергетичних систем 3. Оптичні вимірювальні трансформатори

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконано прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Лесько В. О., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		
Охорона праці	Лесько В. О., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

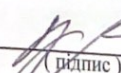
№ з/п	Назва та зміст етапів	Термін виконання етапів роботи	
		початок	кінець
1	Формування та затвердження задач БКР	21.03.2025	24.03.2025
2	Вступ. Огляд літературних джерел	25.03.2025	30.03.2025
3	Сучасний стан енергетики України з врахуванням війни (розділ 1 БКР)	31.03.2025	07.04.2025
4	Підходи та методи до вимірювання первинних параметрів електроенергетичних систем (розділ 2 БКР)	08.04.2025	11.04.2025
5	Оптичні вимірювальні трансформатори (розділ 3 БКР)	12.04.2025	19.04.2025
6	Виконання розділу охорона праці (розділ 4 БКР)	20.04.2025	30.04.2025
7	Формування висновків по роботі	01.05.2025	03.05.2025
8	Оформлення пояснювальної записки	04.05.2025	19.05.2025
9	Виконання графічної частини та оформлення презентації	20.05.2025	27.05.2025
10	Перевірка БКР на плагіат. Попередній захист БКР.	28.05.2025	3.06.2025
11	Рецензування БКР	04.06.2025	09.06.2025
12	Захист БКР	10.06.2025	12.06.2025

Студент


(підпис)

О. О. Сухорученко

Керівник роботи


(підпис)

В. О. Лесько

Анотація

Сухорученко О. О. «Оптичні вимірювальні трансформатори». Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – 65 с. Рис. 10, табл.18, бібліогр. 31.

У роботі розглянуто оптичні вимірювальні трансформатори (ОВТ) в контексті цифровізації енергетики України. Проаналізовано сучасний стан галузі, методи вимірювання параметрів в енергосистемах, особливості будови та переваги ВОТ/ВОП. Визначено перспективи їх впровадження на цифрових підстанціях та охарактеризовано вимоги з електробезпеки при роботі з ОВТ.

Ключові слова: оптичний трансформатор, ВОТ, ВОП, цифрова підстанція, вимірювання, електробезпека.

Annotation

Sukhoruchenko O. O. “Optical measuring transformers”. Bachelor's qualification work. – Vinnytsia: VNTU, 2025. – 65 p. Fig. 10, table 18, bibliography 31.

The paper considers optical measuring transformers (OMT) in the context of digitalization of the energy sector of Ukraine. The current state of the industry, methods of measuring parameters in power systems, structural features and advantages of OMT/OMT are analyzed. The prospects for their implementation at digital substations are determined and the electrical safety requirements when working with OMT are characterized.

Keywords: optical transformer, OMT, OMT, digital substation, measurements, electrical safety.

Зміст

Вступ

1. Сучасний стан енергетики України з врахуванням війни
 - 1.1 Відновлення та розвиток енергетичного сектору
 - 1.2 Перспективи побудови цифрових підстанцій в Україні після перемоги
 - 1.3 Оптичні вимірювальні трансформатори під час реконструкції та будівництва нових підстанцій
 - 1.4 Цифрова підстанція

Висновки по розділу 1

- 2 Підходи та методи до вимірювання первинних параметрів електроенергетичних систем
 - 2.1 Перетворювачі електроенергії
 - 2.2 Вимірювальні трансформатори струму
 - 2.3 Вимірювальні трансформатори напруги
 - 2.4 Трансреактори

Висновки по розділу 2

- 3 Оптичні вимірювальні трансформатори
 - 3.1 Принцип дії, переваги та недоліки вимірювальних оптоволоконних трансформаторів та перетворювачів
 - 3.2 Переваги та недоліки ВОТ/ВОП
 - 3.3 Вибір ВОТ/ВОП для підстанцій

Висновки по розділу 3

- 4 Охорона праці
 - 4.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів
 - 4.2. Електробезпека при роботі з оптичними вимірювальними трансформаторами
 - 4.2. Електробезпека при роботі з оптичними вимірювальними трансформаторами
 - 4.3. Засоби індивідуального та колективного захисту

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

ВСТУП

У сучасній електроенергетиці зростає потреба у впровадженні новітніх технологій, що забезпечують підвищену надійність, точність та швидкодію систем обліку, контролю та захисту. Одним з ключових елементів цих систем є вимірювальні трансформатори, які дозволяють знижувати параметри електричних сигналів до безпечних значень для подальшого аналізу, вимірювання та передачі інформації в системи автоматики. Традиційно використовуються електромагнітні трансформатори струму та напруги, однак у зв'язку з розвитком цифрових технологій, зокрема інтелектуальних мереж (Smart Grid), дедалі більшої уваги набувають оптичні вимірювальні трансформатори.

Оптичні трансформатори базуються на використанні ефектів взаємодії світла з електричним або магнітним полем (ефекти Фарадея, Поккельса та інші). Вони мають ряд істотних переваг: високу точність, широкий динамічний діапазон, електромагнітну сумісність, можливість передачі сигналів на великі відстані без спотворень, відсутність насичення та високу ізоляцію. З огляду на ці переваги, оптичні трансформатори знаходять застосування в передових енергетичних системах, зокрема на цифрових підстанціях, у системах релейного захисту та автоматики.

Актуальність теми. Упровадження оптичних вимірювальних трансформаторів в енергетичну галузь є важливою складовою цифровізації енергетики України, що відповідає світовим тенденціям модернізації електричних мереж. Їх застосування дозволяє підвищити ефективність енергоспоживання, зменшити втрати та забезпечити більш точний контроль режимів роботи електричних мереж. Оскільки ці пристрої є відносно новими, актуальним є аналіз їхніх технічних характеристик, принципів роботи, можливостей інтеграції в існуючу інфраструктуру.

Об'єкт дослідження: Системи вимірювання електричних параметрів в електроенергетиці.

Предмет дослідження: Конструкція, принцип дії, технічні характеристики та області застосування оптичних вимірювальних

трансформаторів.

Мета роботи: Проаналізувати принцип дії та технічні особливості оптичних вимірювальних трансформаторів, оцінити їх переваги та перспективи застосування.

Завдання роботи:

Проаналізувати сучасний стан і тенденції розвитку вимірювальних трансформаторів;

Розглянути фізичні принципи, що лежать в основі роботи оптичних трансформаторів;

Вивчити конструкції та технічні характеристики сучасних моделей;

Оцінити переваги та недоліки оптичних трансформаторів порівняно з традиційними;

Розглянути вимоги охорони праці при експлуатації такого обладнання.

1. СУЧАСНИЙ СТАН ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ З ВРАХУВАННЯМ ВІЙНИ

Стан енергетики України у 2025 році залишається критично важливим, оскільки країна продовжує боротися з наслідками війни з Росією. В умовах постійних атак на енергетичну інфраструктуру, український енергетичний сектор демонструє стійкість і адаптацію до нових викликів.

1.1 Відновлення та розвиток енергетичного сектору

Сектор відновлювальної енергетики продовжує активно розвиватися, незважаючи на складні умови. На початку 2025 року відновлювальні джерела енергії становлять близько 10% енергетичного міксу України, з планами на подальше збільшення їх частки.

Зокрема, сонячна та вітрова енергетика отримують новий імпульс розвитку, оскільки країна прагне зменшити залежність від традиційних джерел енергії.

Атомні електростанції забезпечують близько 50% виробництва електроенергії в Україні, залишаючись найстабільнішим джерелом енергії в умовах війни. Усі енергоблоки працюють на повну потужність, що є важливим фактором для стабільності енергосистеми.

Проте, Запорізька АЕС, найбільша в Україні, залишається під окупацією, що ускладнює ситуацію.

Після численних атак на енергетичну інфраструктуру, Україні вдалося відновити близько 60% пошкодженої генерації. Це стало можливим завдяки злагодженим діям державних органів та енергетиків, а також міжнародній допомозі.

У 2025 році планується ввести в експлуатацію нові потужності, зокрема, близько 1 ГВт нової генерації, що допоможе зменшити дефіцит електроенергії.

Атаки на енергетичну інфраструктуру:

Протягом зими 2024-2025 років Україна зазнала дев'яти масованих атак на енергосистему, але, незважаючи на це, не було масових відключень електроенергії для побутових споживачів. Це свідчить про високу стійкість

енергетичної системи.

Однак, за даними, українська енергетична інфраструктура зазнала збитків у розмірі 14,8 мільярда доларів, що підкреслює серйозність ситуації.

Війна призвела до значних економічних втрат, зокрема, втрата половини доступної генерації електроенергії. Проте, завдяки імпорту електроенергії з ЄС, вдалося стабілізувати ситуацію в пікові моменти.

У 2025 році очікується, що зростання ВВП України сповільниться до 3,3%, що також вплине на енергетичний сектор.

Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР) планує надати Україні близько 1 мільярда євро для відновлення енергетичного сектору в 2025 році, що підкреслює важливість міжнародної підтримки.

У 2025 році Україна планує продовжити впровадження енергоефективних заходів на рівні територіальних громад, щоб знизити енергоспоживання та економити бюджетні кошти. Також триває адаптація енергетичного законодавства до європейських стандартів, що є важливим кроком у напрямку інтеграції з європейським енергетичним ринком.

Таким чином, попри складні умови війни, енергетичний сектор України демонструє стійкість і готовність до відновлення, що є важливим для забезпечення енергетичної безпеки країни.

1.2 Перспективи побудови цифрових підстанцій в Україні після перемоги

Після завершення війни Україна має унікальну можливість модернізувати свою енергетичну інфраструктуру, зокрема через впровадження цифрових підстанцій. Ці технології можуть значно підвищити ефективність, надійність та стійкість енергетичної системи країни.

Ключові аспекти розвитку цифрових підстанцій

1. Фінансування та міжнародна підтримка:

- Україна вже отримала грант у розмірі 11 мільйонів євро від уряду Франції для будівництва першої цифрової підстанції, загальна вартість проекту становитиме 15 мільйонів євро. Це свідчить про міжнародний інтерес та готовність інвестувати в модернізацію української енергетики.

2. Технологічні переваги:

- Цифрові підстанції забезпечують можливість дистанційного моніторингу та діагностики енергетичних мереж в режимі реального часу. Це дозволяє зменшити втрати електроенергії та підвищити надійність постачання. Використання технологій Smart Grid стане важливим кроком у модернізації розподільчих мереж України.

3. Екологічні та економічні вигоди:

- Впровадження цифрових підстанцій сприятиме переходу на відновлювальні джерела енергії, що є важливим аспектом для забезпечення енергетичної незалежності та зменшення викидів вуглецю. Це також відкриває можливості для експорту "чистої" електроенергії до європейських країн.

4. Децентралізація енергетичної системи:

- Цифрові підстанції можуть стати основою для децентралізованої енергетичної системи, що зменшить вразливість до атак і пошкоджень. Це включає розвиток розподілених енергетичних джерел, які можуть працювати автономно в разі збоїв.

Після перемоги Україна має всі шанси стати регіональним лідером у сфері цифрової трансформації енергетики. Інвестиції в цифрові підстанції не лише відновлять зруйновану інфраструктуру, але й виведуть країну на новий рівень сталого розвитку. Завдяки міжнародній підтримці та впровадженню новітніх технологій, Україна може створити ефективну, надійну та екологічно чисту енергетичну систему, що відповідає сучасним вимогам.

1.3 Оптичні вимірювальні трансформатори під час реконструкції та будівництва нових підстанцій

В умовах відновлення енергетичної інфраструктури України після

війни, впровадження новітніх технологій стає ключовим фактором для забезпечення надійності та ефективності електропостачання. Однією з таких технологій є оптичні вимірювальні трансформатори (ОВТ), які пропонують ряд переваг у порівнянні з традиційними електромагнітними трансформаторами. Цей розділ розгляне перспективи використання ОВТ під час реконструкції та будівництва нових підстанцій в Україні.

Переваги оптичних вимірювальних трансформаторів

Висока точність вимірювання: ОВТ забезпечують високу точність вимірювання струму та напруги, що є критично важливим для стабільної роботи енергетичних систем. Вони здатні вимірювати електричні параметри з високою точністю, що зменшує ризик помилок у вимірюваннях.

Стійкість до електромагнітних завад: Оскільки ОВТ не піддаються впливу електромагнітних полів, вони ідеально підходять для використання в умовах, де існує ризик електромагнітних завад, наприклад, у зонах бойових дій або в промислових районах.

Зменшення витрат на обслуговування: Завдяки своїй конструкції, ОВТ потребують менше обслуговування, що може знизити експлуатаційні витрати на підстанціях. Це особливо важливо в умовах обмежених ресурсів, які можуть виникнути під час відновлення.

Модульність та гнучкість:

Оптичні трансформатори мають модульну конструкцію, що дозволяє легко інтегрувати їх у різні конфігурації підстанцій, оптимізуючи простір та обладнання.

Перспективи впровадження в Україні

Модернізація енергетичної інфраструктури: ісля перемоги Україна планує масштабну модернізацію енергетичної інфраструктури, що включає реконструкцію існуючих підстанцій та будівництво нових. Впровадження ОВТ стане важливим елементом цієї модернізації, оскільки вони можуть інтегруватися в нові автоматизовані системи управління.

Підвищення надійності енергетичних систем: Використання ОВТ дозволить підвищити надійність енергетичних систем, що є критично

важливим для забезпечення стабільного електропостачання в умовах можливих нових загроз. Це також сприятиме зменшенню ризиків, пов'язаних із фізичними атаками на енергетичну інфраструктуру.

Інвестиції та міжнародна підтримка: Впровадження нових технологій, таких як ОВТ, може залучити міжнародні інвестиції та підтримку, оскільки країни-партнери зацікавлені в модернізації української енергетики до європейських стандартів. Це може включати фінансування проектів, пов'язаних із впровадженням нових технологій.

Забезпечення якості електроенергії: ОВТ можуть використовуватися для моніторингу якості електроенергії, що є важливим аспектом для промислових споживачів, де навіть короточасні перебої в електропостачанні можуть призвести до значних економічних втрат.

Впровадження оптичних вимірювальних трансформаторів в Україні під час реконструкції та будівництва нових підстанцій має потенціал значно покращити ефективність, надійність та безпеку енергетичної системи. Це не лише відповідає сучасним вимогам до енергетичних технологій, але й сприяє інтеграції України в європейський енергетичний простір, що є важливим кроком на шляху до енергетичної незалежності та стабільності.

1.4 Цифрова підстанція

В даний момент виникає таке питання, чи потрібно у наш кризовий час, що супроводжується дефіцитом фінансування, удосконалювати старі і проваджувати нові технології в електроенергетиці. Особливо перспективними з економічної точки зору, на думку багатьох вчених і фахівців, є напрямок по впровадженню технології "Цифрова підстанція" (ЦПС).

В даний час в світі почалося масове впровадження рішень класу «Цифрова підстанція», заснованих на стандартах серії IEC 61850, реалізуються технології управління Smart Grid, вводяться в експлуатацію додатки автоматизованих систем технологічного управління. Застосування технології "цифрової підстанції" повинно дозволити в майбутньому істотно

скоротити витрати на проектування, пуско-наладку, експлуатацію та обслуговування енергетичних об'єктів.

Першим великим пілотним проектом по впровадженню стандарту IEC 61850 стала підстанція TVA Bradley 500 кВ в США. Мета проекту полягала в перевірці сумісності реалізації стандарту IEC 61850 в пристроях різних виробників. Реалізація проекту дозволила поліпшити сумісність між пристроями різних виробників, підвищити кваліфікацію персоналу мережевої компанії в частині IEC 61850, а також виявити проблеми, що виникають при впровадженні стандарту.

На підстанції Alcala de Henares в Іспанії проведено експериментальне впровадження шини процесу в частині передачі дискретної інформації. Вся інформація про стан комутаційних апаратів, а також команди управління комутаційними апаратами передавалися по цифрових каналах зв'язку за допомогою GOOSE повідомлень.

На ЦПС Osbaldwick 400 кВ у Великобританії проводилися експерименти, мета яких полягала в порівнянні тимчасових характеристик мікропроцесорної релейного захисту (МПРЗА) на базі традиційних трансформаторів струму і МПРЗА на базі цифрових трансформаторів струму з використанням пристроїв, що передають інформацію про миттєвих значеннях струмів і напруг по протоколу IEC 61850-9-2.

Великий розвиток цифрові підстанції отримали в Китаї. Вже в 2006 р. була введена в експлуатацію цифрова підстанція 110 кВ Qujing, Yunnan. А до 2009 р. Китай зайняв лідируюче місце в світі по ЦПС, який щорічно вводить в експлуатацію десятки таких ПС. Міжнародний досвід спорудження таких підстанцій наведено в табл. 1.1.

Сучасні інформаційні технології відкривають можливості інноваційних підходів до вирішення завдань автоматизації та управління енергооб'єктами, дозволяючи створювати підстанції нового типу. Цифрова підстанція – одна із базових технологій Smart Grid. В основу побудови цифрової підстанції покладено заміну численних зв'язків, виконаних проводами, для обміну традиційними аналоговими і дискретними

сигналами на уніфікований обмін цифровими повідомленнями, які забезпечують можливість розподіленої реалізації функцій системи автоматизації підстанції і повну функціональну сумісність інтелектуальних електронних пристроїв різних виробників.

Таблиця 1.1 Міжнародний досвід впровадження ЦПС

Країна	Тип проекту	Кількість	Примітка
Китай	Серійне впровадження	100+	Впроваджуються в основному розробки китайських фірм
США, Канада	Пілотні проекти	До 10 проектів	Реалізовані
Європа	Пілотні проекти	Одиничні проекти в Іспанії, Франції та ін.	Реалізовані
Україна	Пілотні проекти	1-2	В процесі реалізації пілотний проект в «ДТЕК Київські електромережі»

Найбільш повно сьогодні для практичної реалізації відпрацьовано питання обміну інформацією в рамках стандарту IEC 61850 для таких пристроїв і підсистем підстанції, як вимірювальні трансформатори струму і напруги, комутаційні апарати, мікропроцесорні термінали релейного захисту та автоматики, АСДТУ. При цьому питання інтеграції складних видів електротехнічного обладнання і в першу чергу силових трансформаторів, автотрансформаторів і шунтувальних реакторів, вимикачів розглядаються в контексті функцій самостійного аналізу даних і самодіагностики.

Передбачається, що в «розумних» мережах з необслуговуваними підстанціями буде встановлено «інтелектуальні» трансформатори, під якими розуміються трансформатори, які забезпечують максимально можливий контроль стану всіх систем (активної частини, масла, вводів, системи охолодження, РПН, технологічних захистів), самодіагностику і видачу рекомендацій щодо подальших дій у разі появи пошкодження, яке розвивається, або його ненормованого впливу на трансформатор.

Принципово важливим є те, що при цьому трансформатор має

забезпечувати всі режими управління своїми регульованими пристроями (РПН) – автоматичний, ручний місцевий і ручний дистанційний, у тому числі з віддалених центрів управління, з повним контролем правильності виконання команд.

«Інтелектуальний» трансформатор має забезпечувати профілактичну діагностику (самодіагностику) з використанням аналітичного програмного забезпечення на основі показників датчиків, автоматичне управління системою охолодження і автоматичне регулювання напруги під навантаженням залежно від відповідної інформації щодо його зміни енергомережі зони обслуговування ідстанції. Подібний трансформатор виробляє компанія «ABB» який зображено на рис 1.1.



Рисунок 1.1 - Інтелектуальні трансформатори

Система автоматизації енергооб'єкта, побудована за технологією «цифрова підстанція», ділиться на три рівні: «польовий» (рівень процесу), рівень приєднання, станційний.

«Польовий» рівень складається з первинних датчиків для збору як

дискретної інформації та передачі команд управління на комутаційні апарати (micro RTU), так і аналогової інформації. Рівень приєднання об'єднує інтелектуальні електронні пристрої (ІЕУ) управління та моніторингу (контролер приєднання, багатофункціональні вимірювальні прилади, лічильники АСКОЕ, системи моніторингу та трансформаторного устаткування тощо), а також термінали РЗА і локальної ПА.

«Станційний» рівень включає в себе: сервери верхнього рівня (бази даних, SCADA, телемеханіки, збору та передачі технологічної інформації тощо, а також концентратор даних); автоматизоване робоче місце оперативного персоналу (АРМ ОП) підстанції. Цифрові вимірювальні трансформатори передають миттєві значення напруги і струмів за протоколом ІЕС 61850-9-2 пристроям рівня приєднання. Існує два види таких трансформаторів: оптичні та електронні.

Оптичні трансформатори мають більшу перевагу в разі створення систем управління та автоматизації ЦПС, оскільки вони працюють за інноваційним принципом вимірювання, який унеможливорює вплив електромагнітних перешкод. Електронні вимірювальні трансформатори створено на базі традиційних трансформаторів, в яких задіяно спеціалізовані аналогово-цифрові перетворювачі.

Дані про становище комутаційних апаратів та інша дискретна інформація (положення ключів режиму управління, стан ланцюгів обігрівання приводів тощо) збираються за допомогою виносних модулів ПЗО, установлених у безпосередній близькості від комутаційних апаратів. Ці модулі мають релейні виходи для управління комутаційними апаратами і синхронізуються з високою точністю. Дані від виносних модулів ПЗО передаються по волоконно-оптичному зв'язку – частини шини процесу за протоколом ІЕС 61850-8-1 (GOOSE), команди управління на комутаційні апарати – також через модулі відповідно з цим протоколом.

Силове обладнання оснащується набором цифрових датчиків. Існують спеціалізовані системи для моніторингу трансформаторного і елегазового обладнання, які мають цифровий інтерфейс для інтеграції в

АСУТП без використання дискретних входів і датчиків на струм 4–20 мА.

Сучасні комплектні розподільчі пристрої з елегазовою ізоляцією (КРУЕ) оснащуються вбудованими цифровими трансформаторами струму і напруги, а шафи управління в КРУЕ – виносними ПЗО для збору дискретних сигналів. Цифрові датчики розміщують в КРУЕ на заводі–виробнику, що дозволяє спростити процес проектування, а також монтажні та налагоджувальні роботи на об'єкті.

Крім того, до особливостей побудови системи автоматизації енергооб'єкта відноситься об'єднання середнього (концентраторів даних) і верхнього (сервера і АРМ) рівнів у єдиний станційний. Це пов'язано з тим, що дані передаються за спільним протоколом (стандарт ІЕС 61850-8-1), оскільки середній рівень, який раніше перетворював інформацію в єдиний формат для інтегрованої АСУТП, поступово втрачає своє призначення.

Рівень «приєднання» включає в себе ІЕП, які отримують інформацію від пристроїв «польового» рівня, логічно її обробляють і передають керуючі впливи через пристрої «польового» рівня на первинне обладнання, а також на станційний рівень. До цих пристроїв відносяться контролери приєднання, термінали МП РЗА та інші багатофункціональні МП–пристрої.

Важливою відмінною рисою в структурі системи автоматизації за технологією «цифрова підстанція» є її гнучкість. Пристрої для ЦПС може бути виконано за модульним принципом, що дозволяє поєднувати ряд функцій. Гнучкість побудови ЦПС дозволяє передбачати різні рішення з урахуванням особливостей енергооб'єкта.

З виходом змінених норм технологічного проектування ПС 35-750 кВ цифровою є підстанція з високим рівнем автоматизації, в якій практично всі процеси інформаційного обміну між елементами ПС, а також управління роботою ПС здійснюються в цифровому вигляді на основі стандартів серії ІЕС 61850. Іншими словами, в якості визначальної ознаки ЦПС використовується її "тотальна" ІТ-розвиненість, тобто всі процеси інформаційного обміну між елементами програмно-апаратного комплексу

ПС здійснюються в цифровому вигляді. Слід зазначити, що сам стандарт ІЕС 1850 також визначає процес проектування і налагодження, мова опису конфігурації систем автоматизації, методики випробувань обладнання та багато ін. аспекти реалізації та експлуатації ЦПС. Що застосовується до основного силового електрообладнання (високовольтні комутаційні апарати, трансформаторне і реакторне обладнання, системи оперативного постійного і змінного струму та ін.) висувають наступні вимоги:

- використання цифрових трансформаторів струму і трансформаторів напруги з підтримкою протоколу ІЕС 61850-9-2;
- використання систем діагностики та моніторингу стану силових;
- трансформаторів, автотрансформаторів, шунтуючих реакторів, елегазових розподільних пристроїв, маслонаповнених вводів та ін. з підтримкою протоколу ІЕС 61850-8-1;
- використання керованих засобів компенсації реактивної потужності, оснащених контролерами з підтримкою протоколу ІЕС 61850-8-1;
- використання комутаційних апаратів напругою 6-750 кВ, привід яких оснащений вбудованими польовими перетворювачами з підтримкою протоколу ІЕС 61850-8-1 або забезпечення можливості додаткової установки зазначених перетворювачів стороннього виробника;
- використання в щитах постійного струму пристроїв сигналізації та контролю, які підтримують протокол ІЕС 61850-8-1;
- ПТК цифровий ЕС повинен забезпечувати передачу в ПТК цифровий ПС команд управління та результати роботи аналітичних функцій щодо обладнання цифрової ПС (дані визначення стану обладнання, діагностичні дані, дані за результатами достовіризації прийнятої інформації та ін.);
- затримка передачі не повинна перевищувати 100 мс для технологічних потреб і трохи більше 150 мс для корпоративних додатків.

Схема автоматизованої системи диспетчерського технологічного

управління наведено на рис.1.2.

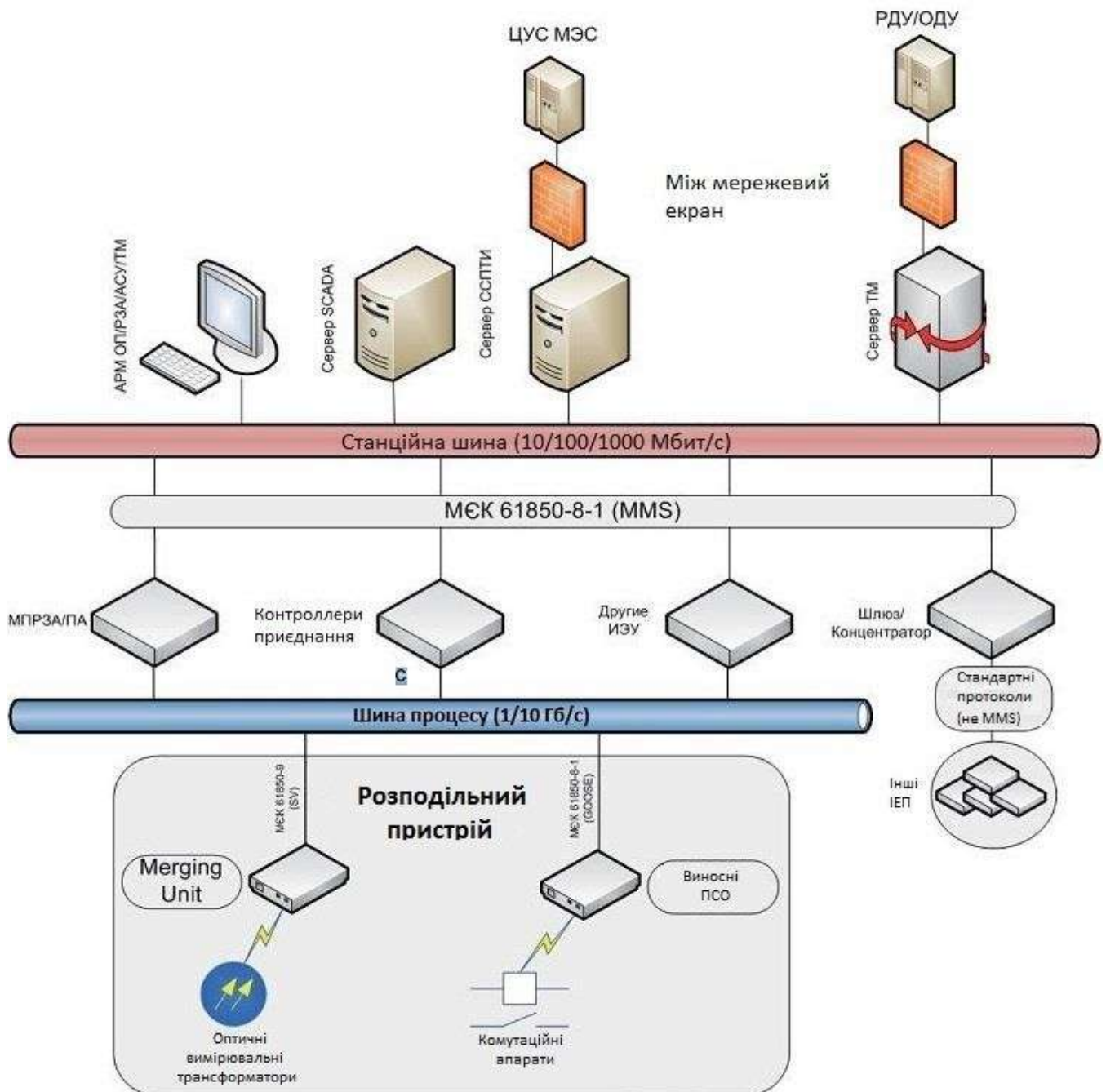


Рисунок 1.2 - Схема автоматизованої системи диспетчерського технологічного управління

Переваги цифрової підстанції:

- швидкодія, перешкодозахищеність, висока пожежо-вибухобезпечність і кологічність;
- використання інноваційних та сучасних стандартів і рішень

забезпечують сумісність різних (ІЕС 61850);

- підвищення точності вимірювань;
- значно менше загальна кількість і номенклатуру обладнання в складі програмно технічного комплексу (ПТК), що знижує обсяг профілактичного обслуговування, скорочує час відновлення працездатності;
- значне скорочення кабельних зв'язків;
- скорочення монтажних і налагоджувальних робіт на 40%, простота;
- проектування, експлуатації та обслуговування, зменшення розмірів ПС;
- зниження кількості модулів вводу / виводу на пристроях АСУ ТП і РЗА;
- зниження вартості компонування конструктиву шафи системи ТМ / АСУ ТП (кабельна продукція, клемні колодки та ін.).

Фактори які впливають на надійність ЦПС:

а) надійність ЛОМ: структура (архітектура побудови і методи резервування) і надійність окремих елементів мережі;

б) Надійність окремих пристроїв:

1) нові елементи: виносні ПЗВ і цифрові трансформатори струму і напруги (оптичні і електронні);

2) традиційні інтелектуальні електронні пристрою: контролери АСУТП, РЗА, ПА, АСКОВЕ. Зазнали істотних змін як в частині введення вихідних даних (прийом GOOSE і SV), так і в частині логічної обробки. Необхідно враховувати затримки в передачі миттєвих значень струму і напруги, затримки передачі GOOSE повідомлень і ряд інших проблем пов'язаних з мережевої природою технологій цифровий підстанції.

в) Надійність системи єдиного часу: Для цифрових підстанцій надійність синхронізації є критично важливої для роботи частини елементів (наприклад, для цифрових трансформаторів струму і напруги).

г) надійність «людського» фактору: Забезпечення функціональної надійності лягає як на виробників, в частині створення надійних пристроїв,

так і на персонал, якому необхідно правильно здійснити налаштування і експлуатацію закладеного функціоналу. При переході до цифрових підстанцій, змінюються підходи до проектування і налагодження обладнання

д) надійність архітектури побудови ЦПС: На надійність ЦПС впливає сукупність архітектурних рішень при побудові систем автоматизації і управління (централізована- децентралізована, з суміщенням в різних функцій автоматизації і управління та інші).

Цифрове проектування

Одною з складових цифрової підстанції являється цифрове проектування. Цифрове проектування це не просто креслення в електронному вигляді, а можливість створення такої проектної документації, яку можна буде завантажувати безпосередньо в пристрої у вигляді файлів конфігурація. Це дає нам вихід на істотно інший рівень типування технічних рішень, а як наслідок – зниження кількості помилок, аварій, підвищення надійності.

Крім того, цифрова передача даних між пристроями це можливість по-новому поглянути на апаратний склад цих систем. Багато технічних рішень на енергооб'єктах приймаються, виходячи з необхідності мати розділені один від одного системи з різним функціональним призначення. Однак коли мова йде про "цифру" і, зокрема, про "оптику", де немає прямого гальванічного зв'язку між різними пристроями, все стає інакше, з'являється необхідність переглянути прийняті нормативи і об'єднати первинні вимірювання для всіх підсистем на єдиній шині.

Висновки по розділу 1

Нарешті, цифрова передача даних це ще і можливість додавання нових функцій в існуючу систему без необхідності її переробки. Можна порівняти це з сучасною електронікою, коли на ту ж апаратну платформу встановлюється нове програмне забезпечення, відкриває доступ до нових функціональних можливостям. Саме в цьому можна побачити потенціал

розвитку і створення рішень, що дозволяють набагато ефективніше використовувати інформацію про роботу обладнання, проводити його діагностику під час його роботи, оптимізувати або повністю автоматизувати проведення планових випробувань обладнання. Реалізація такого проектування реалізується за допомогою програмного пакету SCADA.

2 ПІДХОДИ ТА МЕТОДИ ДО ВИМІРЮВАННЯ ПЕРВИННИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Вимірювання на високій напрузі є одним із найважчих завдань. Для вимірювання діючого та амплітудного значень напруг при стаціонарному та невстановленому режимах запропоновано значну кількість методів та вимірювальних установок. Методи вимірювання високої напруги можна поділити на такі групи:

Електрометричні, в яких використовуються рухові сили, що виникають між електродами в електростатичному полі під впливом напруги. Класичним приладом цього є електрометр.

На цьому принципі побудовано багато вольтметрів, що вимірюють дійсне значення високої напруги.

Вимірювання по випрямленому струму через конденсатор, включений на напругу, що вимірюється.

Вимірювання з використанням неповного розряду, коли спостерігаються явища іонізації, що відбувається під впливом напруги, що вимірюється. На цьому принципі працюють два типи вольтметрів: коронний та вольтметр іонного вітру.

Принцип пристрою першого полягає в тому, що спостерігається поява корони на внутрішньому електроді циліндричного конденсатора зі стисненим повітрям як ізоляція. Поява корони фіксується або візуально, або реєструється поява струму в гальванометрі або телефоні, що включені в ланцюг коронуючого електрода.

У вольтметрі з іонним вітром використовується зміна опору дроту, що охолоджується іонним вітром. Дріт включається до плеча моста Уітстона, і точно визначається зміна його опору. Цей спосіб зумовлює високу точність виміру напруги.

Вимірювання за допомогою дільників напруги, в яких вимірюється приладом тільки частина напруги, підведеного до дільника.

Індикаторами напруги і вимірювальними приладами можуть служити мікроамперметри, електростатичні вольтметри, клідонографи, осцилографи

та ін.

Вимірювання за допомогою розрядників, у яких спостерігається повний розряд, зумовлений напругою, що вимірюється.

З усіх існуючих типів розрядників найбільш поширеними є кульові, для яких існують градувальні таблиці. З їх допомогою визначаються напруга та амплітуда напруги промислової частоти та стандартних імпульсів.

Непрямі методи вимірювання напруги шляхом виміру швидкості руху заряджених частинок під дією напруги, що вимірюється, довжини їх вільного пробігу в речовині, порога ядерної реакції, що викликається пучком прискорених заряджених частинок, і ін.

2.1 Перетворювачі електроенергії

Перетворювач електроенергії - силовий електронний пристрій, який може перетворювати електроенергію з однієї форми в іншу, тобто з змінного струму в постійний і постійного струму в змінний. Перетворювач може виконувати одну або кілька функцій і виробляти вихід, який відрізняється від входу. В основному перетворювачі використовуються для отримання бажаної форми електричної енергії для конкретного навантаження. Перетворювач діє як перетворюючий каскад між джерелом живлення та виходом джерела живлення. [4]

Деякі загальні функції перетворювачів включають зміну величини вхідної напруги, інверсію полярності, створення багатьох вихідних напруг з однієї вхідної напруги, створення напруг змішаної полярності тощо.

Залежно від вхідної та вихідної напруги перетворювачі можна згрупувати в наступні категорії:

- Перетворювач змінного струму в постійний (так званий випрямляч)
- Перетворювач постійного струму в змінний (так званий інвертор)
- Перетворювач постійного струму в постійний (так званий чоппер)
- Перетворювач змінного струму в змінний (так званий регулятор напруги змінного струму)

Первинні прилади, датчики або первинні перетворювачі мають на меті безпосереднє перетворення вимірюваної величини на іншу величину, яка є

зручною для подальшого вимірювання або використання. Вони надають уніфіковані стандартизовані сигнали як вихідні сигнали. У випадках, коли вихідні сигнали не відповідають стандартам, застосовуються нормуючі перетворювачі.

Існує кілька типів первинних перетворювачів, включаючи генераторні, параметричні та механічні перетворювачі. Генераторні перетворювачі перетворюють різні види енергії на електричну енергію, наприклад, термоелектричні, п'єзоелектричні, електрокінетичні, гальванічні датчики та інші.

Механічні первинні перетворювачі, такі як мембранні, манометри, дифманометри, ротаметри та інші, використовують зусилля, яке розвивається чутливим елементом під впливом вимірюваної величини, як вихідний сигнал.

Структурні схеми перетворювачів Схема перетворення прямого типу:

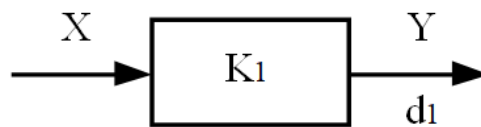


Рисунок 2.1 – Схема перетворення прямого типу

$$Y = K_1 * X$$

$$d\Pi = d_1,$$

де: Y та X – вихідна та вимірювальна величини відповідно; K – коефіцієнт перетворення;

$d\Pi$ та d_i – загальна похибка та похибка ланки перетворювача;

В багатьох вимірювальних пристроях з природними вихідними сигналами, таких як термопари, датчики тиску і розрідження, використовується структурна схема прямого одноразового перетворення. В

цих пристроях вимірювана величина безпосередньо перетворюється на електричний сигнал, переміщення або зусилля. Статична характеристика, погрішність та інші властивості повністю залежать від параметрів самого чутливого елемента.

Схема перетворення послідовного прямого типу:



Рисунок 2.2 – Схема перетворення послідовного прямого типу

$$Y = \prod_{i=1}^n K_i * X$$

$$d\Pi = \sum_{i=1}^n d_i$$

Якщо, схема перетворення прямого типу не може дати необхідного сигналу, то використовується схема послідовного прямого перетворення. Головною перевагою даної схеми, у порівнянні з попередньою, є використання декількох перетворюваних ланок, що дає змогу перетворювати вимірювальний сигнал у вихідний сигнал необхідного рівня або якості. Вихідний сигнал є добутком вимірювальної величини на коефіцієнти усіх ланок. Але, у свою чергу, через це збільшується загальна похибка схеми, так як вона є сумою похибок усіх ланок

Схема перетворення диференціального типу:

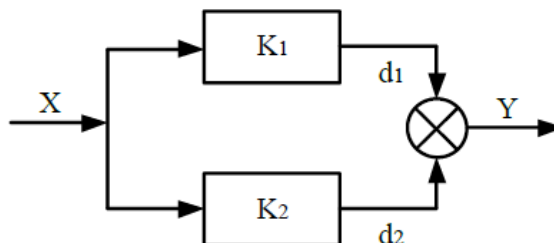


Рисунок 2.3 – Схема перетворення диференціального типу.

$$Y = (K_1 - K_2) * X$$

$$d\Pi = d_1 * \frac{K_1}{K_1 + K_2} + d_2 * \frac{K_2}{K_1 + K_2}$$

У схема перетворення диференціального типу, вхідний сигнал одночасно проходить через два перетворювачі. В результаті цього вихідний сигнал є різницею або сумою (в залежності від знаку сигналів) сигналів, що проходять через перетворювачі. Завдяки цьому можна, наприклад, порівнювати вимірювальну величину з еталонною та в результаті отримувати значення відхилення сигналу. Завдяки цьому можна зменшити значення постійних складових загальної похибки, подвоїти чутливість при подачі вимірювального сигналу на дві перетворюючі ланки та отримати реверсивну статичну характеристику.

Схема перетворення зі ЗЗ:

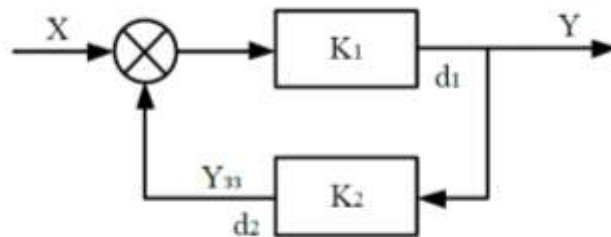


Рисунок 2.4 – Схема перетворення зі ЗЗ

$$Y = \frac{K_1}{1 + K_1 K_2} * X$$

$$d\Pi = d_1 * \frac{1}{1 + K_1 K_2} - d_2 * \frac{1}{1 + 1/K_1 K_2}$$

Схема зі ЗЗ, також відома як компенсаційна схема, є найдосконалішою схемою перетворювачів. За допомогою цієї схеми виконується автоматичне компенсування контрольованої величини за допомогою компенсуючої

величини того ж типу.

Схеми з від'ємним ЗЗ є набагато точнішими за інші схеми перетворювачів. Від'ємний ЗЗ зменшує вплив похибок окремих ланок системи на вихідний сигнал. Але варто зазначити, що ті похибки які знаходяться за межами ЗЗ, мають повний вплив на вихідний сигнал. Тому при проектуванні вимірювальних перетворювачів доцільно забезпечити зворотний зв'язок для якомога більшої кількості ланок. При значенні $K_1, K_2 = 20 \dots 30$, що легко досягне на практиці, загальна похибка перетворення практично визначається лише похибкою δ_2 зворотного зв'язку, що дозволяє значно знизити вимоги до похибки δ_1 прямого каналу.

Датчики зі ЗЗ мають високу чутливість і дозволяють легко змінювати налаштування шляхом зміни коефіцієнтів перетворення зворотного зв'язку.

2.2 Вимірювальні трансформатори струму

Вимірювальний перетворювач струму – це пристрій призначений для перетворення первинного струму в такий вихідний сигнал, інформативні параметри якого функціонально пов'язані з інформативними параметрами первинного струму. Для створення ВПС можна використовувати різноманітні фізичні явища. Нині ВПС зазвичай створюються з урахуванням широко застосовуваного в електротехніці трансформаторного ефекту.

У трансформаторі струму, що є найбільш широко застосовуваним ВПС, в за нормальних умов роботи вихідний сигнал є струмом, практично пропорційним первинному струму та зсунутий по фазі на кут близький до нуля.

В ланцюг послідовно (у розсічення струмопроводу) включається первинна обмотка трансформатора струму, тоді як у вторинну обмотку вмикається певне навантаження (наприклад, вимірювальні прилади та реле). Це забезпечує вторинній обмотці пропорційний струм, який є пропорційним до струму первинної обмотки. [5]

В трансформаторах струму високої напруги первинна обмотка повністю ізольована від вторинної обмотки, яка знаходиться на робочій

напрузі відносно землі. Зазвичай один кінець вторинної обмотки заземлюється, що призводить до того, що потенціал вторинної обмотки наближається до потенціалу землі.

Трансформатори струму за призначенням поділяються на вимірювальні ТС та ТС для захисту. Деякі трансформатори струму можуть поєднувати ці функції.

Трансформатори струму для вимірювань призначаються для передачі вимірювального сигналу до приладів. Вони встановлюються в ланцюгах ВН або в ланцюгах з великими значеннями струму, тобто в ланцюгах, в яких неможливе безпосередньо включення вимірювальних приладів. До вторинної обмотки ТС для вимірювань підключаються різні вимірювальні прилади.

ТС для захисту використовуються для передачі вимірювального струму до різних пристроїв захисту та управління.

ТС в установках високої напруги необхідні навіть у випадках, коли зниження вимірювального струму для приладів або реле не потрібно, адже вони виконують роль ізолювання вимірювальних приладів, або приладів захисту від ланцюгів ВН.

Класифікація ВТС

Залежно від роду струму ВТС поділяються на ВТС змінної та постійної напруги. У роботі розглядатимуться ВТС змінного струму для установок та мереж з номінальною частотою струму 50 Гц.

За призначенням ВТС поділяються на ВТС для вимірювань та ВТС для захисту. Останні можуть призначатися до роботи лише у встановилися (статичних) режимах чи в і перехідних (динамічних) режимах.

Залежно від виду перетворення ВТС діляться на перетворювачі струму в струм, струму в напругу (наприклад, трансреактори, магнітні трансформатори струму), струму в неелектричну величину (наприклад, світловий потік). При цьому за способом представлення вихідної інформації ВТС поділяються на аналогові та дискретні.

Одновиткові ТС(рис. 2.5) розподіляються на дві групи: без власної

первинної обмотки та ТС із власною первинною обмоткою. Однообмоткові трансформатори струму без власної первинної обмотки можуть бути реалізовані вбудованими, шинними або роз'ємними.

Вбудований трансформатор струму типу 1 складається з магнітопроводу, на який намотана вторинна обмотка. У нього відсутня первинна обмотка, яку замінює струмопровідний стрижень. У цьому типі трансформатора струму відсутні ізоляційні елементи між обмотками, оскільки роль ізоляції виконує прохідний ізолятор. [7]

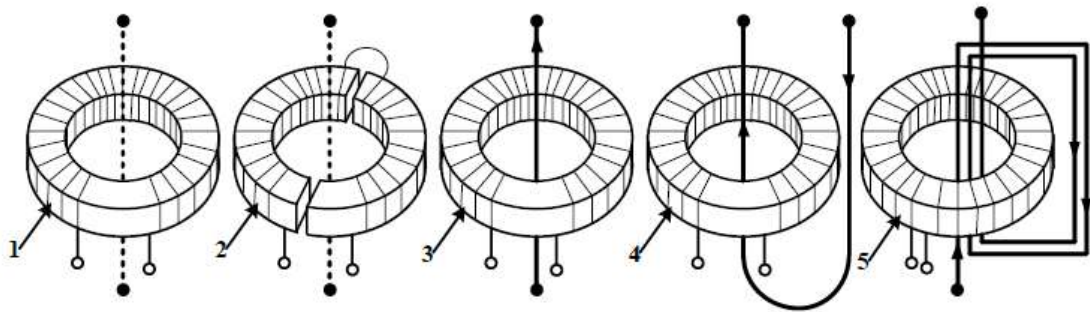


Рисунок 2.5 – Схема ТС; первинна обмотка ТС; - шина

У трансформаторі струму шинного типу роль первинної обмотки виконує одна або кілька шин розподільного пристрою, а при монтажі вона проходить через прохідний ізолятор.

Трансформатори струму з кількома обмотками (рис. 2.5) можуть бути виготовлені у таких варіантах: [5]

Обмотка розміщена на магнітопроводі, який використовується як первинна обмотка. Ця обмотка складається з катушок.

З петлевою первинною обмоткою (5), що складається з кількох витків.

Зі зв'язаними первинними обмотками, конструктивне розташування яких нагадує ланки ланцюга. У цьому випадку внутрішня ізоляція трансформатора струму розподіляється між первинною і вторинною обмотками.

При первинній обмотці у формі обода внутрішня ізоляція в основному застосовується до первинної обмотки

Основні параметри та характеристики трансформатора струму

Основні параметри та характеристики ТС відповідно до [6] це:

1. Номінальна напруга — визначається як значення лінійної напруги, за якої, в нормальних умовах, повинен працювати ТС, вона зазначається в паспорті трансформатора струму. У випадку вітчизняних трансформаторів струму використовується шкала номінальних напруг у кіловольтах. Значення напруг цієї шкали знаходиться в межах від 0,66 до 750 кВ.

2. Номінальний первинний струм I_{1H} — визначається як струм, що протікає у первинній обмотці трансформатора, зазначається в паспорті ТС. У випадку вітчизняних трансформаторів струму використовується шкала номінальних первинних струмів у амперах. Значення струмів цієї шкали знаходиться в межах від 1А до 40кА.

ТС, які мають I_{1H} рівний: 15, 30, 75, 150, 300, 600, 750, 1200, 1500, 3000, 6000А, зобов'язані мати можливість безперервно працювати з найбільшим первинним робочим струмом відповідно 16, 32, 80, 160, 320, 630, 800, 1250, 1600, 3200 та 6300 А. У випадку, коли первинний струм не входить до зазначених діапазонів, найбільший первинний струм буде рівним I_{1H} .

3. Номінальний вторинний струм I_{2H} — струм, який протікає у вторинній обмотці трансформатора. Він не повинен перевищувати 1 або 5А. Також варто зазначити що вторинний струм рівний 1А дозволяється лише трансформаторам з I_{1H} не більше 4 кА. У деяких випадках допускається виготовлення ТС з вторинним струмом 2 або 2.5 А.

Вторинне навантаження z_{2H} — повний опір вторинного ланцюга ТС, враховуючи коефіцієнт потужності.

Номінальним вторинним навантаженням ТС $z_{2H,ном}$ рахується таке значення вторинного навантаження, за якого, враховуючи коефіцієнт потужності, зберігається необхідний клас точності ТС.

У випадку вітчизняних трансформаторів струму використовується шкала номінальних вторинних навантажень у вольт-амперах та коефіцієнті потужності 0.8. Значення струмів цієї шкали знаходиться в межах від 1 до 120 ВА.

Значення вторинного навантаження в Омах розраховуються наступним чином:

$$Z_{2H.ном} = \frac{S_{2H.ном}}{I_{2H}}$$

5. Коефіцієнт трансформації – відношення первинного та вторинного струмів ТС.

6. Струми електродинамічної та термічної стійкості – вони характеризують стійкість трансформатора до теплових та механічних впливів.

Струм електродинамічної стійкості I_d – це значення максимальної амплітуди струму КЗ, яку ТС може витримати протягом усього часу його протікання. Струм I_d визначає можливість ТС протидіяти впливам струму КЗ.

Термічною стійкістю ТС є відношення струму термічної стійкості до діючого значення I_{1H} .

Температура струмопровідних частин ТС при струмі термічної стійкості не повинна перевищувати: 200 °С для струмопровідних частин алюмінію; 250 °С для струмопровідних частин з міді та її сплавів, що стикаються з органічною ізоляцією або олією, та 300 °С для струмопровідних частин з міді та її сплавів, що не стикаються з органічною ізоляцією або олією. При визначенні зазначених значень температури слід виходити з початкових значень, що відповідають тривалій роботі трансформатора струму при номінальному струмі.

Значення струмів електродинамічної та термічної стійкості ТС державним стандартом не нормуються. Однак вони повинні відповідати електродинамічній та термічній стійкості інших апаратів високої напруги, що встановлюються в одному ланцюгу з трансформатором струму.

Принципова схема ТС

На рис. 2.6 зображена схема електромагнітного ТС. З даної схеми ми бачимо, те що ключовими компонентами перетворення струму є дві обмотки,

первинна (1) і вторинна (2), що розташовані на спільному магнітопроводі (3). Первинна обмотка підключається послідовно у струмопровід ВН (4). До вторинної обмотки підключаються усі необхідні вимірювальні прилади та/або реле. [7]

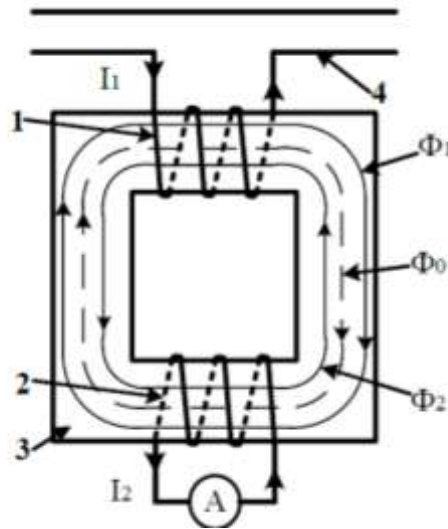


Рисунок 2.6 – Принципова схема трансформатора струму.

Весь трансформатор струму умовно розділяють на 2 ланцюги. Первинний ланцюг, до якого входить первинна обмотка разом зі струмопроводом ВН. Та вторинний ланцюг, до якого входить вторинна обмотка та підключені до неї прилади або реле.

2.3 Вимірювальні трансформатори напруги

Вимірювальні трансформатори напруги призначені для можливості вимірювання високої напруги електроустановок змінного струму шляхом зниження цієї напруги для подачі на захисні реле, вимірювальні прилади та системи автоматики.[8]

За відсутності вимірювальних трансформаторів знадобилося б застосовувати прилади та реле з великими габаритними розмірами, оскільки потрібна надійна ізоляція від високої напруги, яка збільшує розміри пристроїв. Виготовити таке обладнання практично неможливо, оскільки напруги ліній можуть досягати величини 110 кВ.

Вимірювальні трансформатори для вимірювання напруги дають можливість застосовувати стандартні звичайні прилади для вимірювання електричних параметрів, при цьому збільшуючи їх діапазон вимірювання. Захисні реле, що підключаються через ці трансформатори, можуть застосовуватися для звичайного виконання.

Гальванічна розв'язка, яку забезпечують трансформатори шляхом відокремлення вимірювального ланцюга від високої напруги, дозволяє створити необхідний рівень безпеки обслуговуючого персоналу.

Такі трансформатори знайшли свою популярність у пристроях високої напруги. Від їхнього якісного функціонування залежить ступінь точності обліку витрати електричної енергії та електричних вимірювань, а також автоматичних аварійних систем та захисних реле.

Класифікація ВТН

Вимірювальні трансформатори класифікуються за декількома ознаками та параметрами. Розглянемо основні з таких ознак та параметрів.

За кількістю фаз:

- Однофазні.
- Трифазні.

Кількість обмоток:

- Триобмоткові.
- Двообмоткові.

Методом охолодження:

- З повітряним охолодженням (сухі).
- З оливним охолодженням.

Місця монтажу: Внутрішні (для монтажу усередині приміщень).

Зовнішні (для встановлення зовні приміщень). Для розподільчих пристроїв.

За класами точності: 0,2; 0,5; 1; 3.

Принципова схема трансформатора напруги

Вимірювальні трансформатори влаштовані аналогічно знижуючим силовим трансформаторам, і складаються з металевого сердечника,

виконаного з листової електротехнічної сталі, та двох обмоток (первинна, вторинна). Трансформатори можуть оснащуватися декількома вторинними обмотками, залежно від конструкції та вимог до трансформатора.[8]

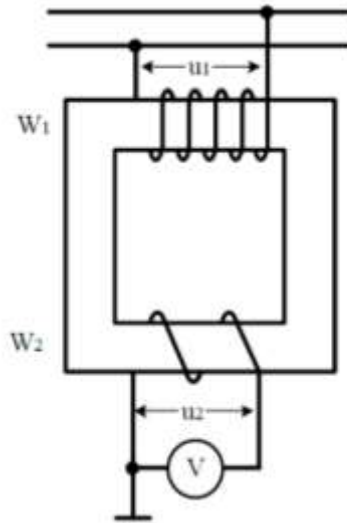


Рисунок 2.7 – Принципова схема трансформатора напруги.

До первинної обмотки підключається висока напруга, з вторинної обмотки знімається напруга вимірювальними пристроями. Коефіцієнт трансформації такого пристрою дорівнює відношенню первинної високої напруги до номінального значення вторинної напруги.

Якби трансформатор функціонував абсолютно без втрат і з абсолютною точністю, то обидві напруги на обох обмотках збігалися б по фазі, і коефіцієнт трансформації дорівнював би одиниці. Однак на практиці коефіцієнт трансформації завжди менше одиниці, тому що завжди є деякі втрати енергії під час роботи трансформатора.

Основні параметри та характеристики трансформатора напруги

Номінальні первинні напруги ТН відповідають шкалі номінальних лінійних напруг, за винятком однофазних ТН, які призначені для підключення в зірку із заземленою нейтраллю первинної обмотки. Для таких ТН встановлені номінальні первинні напруги, що відповідають фазним напругам мереж: $35000/\sqrt{3}$; $10000/\sqrt{3}$ В.

Номінальні вторинні напруги основних вторинних обмоток складають

100 або $100/\sqrt{3}$ В.

Вторинне навантаження ТН – потужність навантаження підключеного до вторинного кола при номінальній вторинній напрузі.

Номінальним вторинним навантаженням ТН рахується таке значення вторинного навантаження, за якого, враховуючи коефіцієнт потужності, зберігається необхідний клас точності.

Відповідно до допустимої похибки в певних умовах роботи, ТН поділяються на чотири класи точності: 0.2, 0.5, 1.0 і 3.0. Трансформатори класу 0.2 використовуються як еталонні і лабораторні, трансформатори класу 0.5 використовуються для живлення лічильників. Трансформатори класу 1.0 і 3.0 використовуються для підключення щитових вимірювальних приладів.

Для живлення систем релейної захисту використовуються трансформатори класу 0.5, 1.0 і 3.0 в залежності від типу захисту.

Похибки трансформаторів напруги залежать від розміру магнітопроводу, властивостей сталі, конструкції та поперечного перерізу дроту обмотки, підключеного навантаження та первинної напруги. Щоб зменшити похибки, використовуються менші щільність струму в обмотках і нижчу індукцію в осерді порівняно з силовими трансформаторами.

2.4 Трансреактори

Трансреактором називається пристрій, що має властивості трансформатора і реактора (дроселя). Звідси і походить назва цього електротехнічного пристрою.

Трансреактор, як і дросель змінного струму, виконується на магнітопроводі з немагнітним зазором. Він містить одну первинну обмотку та одну або більше вторинних обмоток. Первинна обмотка трансреактора включається в послідовний ланцюг, яким протікає змінний струм. У цьому є аналогія з трансформатором струму, первинна обмотка якого також включається послідовно в ланцюг вимірювання струму. При цьому в трансформаторі струму вторинна обмотка обов'язково повинна бути замкнута - або через ланцюг вимірювального приладу, або через будь-який інший ланцюг з малим опором, інакше на затискачах вторинної обмотки

може виникнути висока напруга, яка здатна вивести трансформатор струму з ладу. Висока напруга виникає з таких причин. У нормальному режимі роботи трансформатора струму магнітні потоки первинної та вторинної обмоток взаємно врівноважуються, і магнітний потік, що результує, близький до нуля. При цьому індукція у магнітопроводі також близька до нуля. При розмиканні ланцюга вторинної обмотки магнітний потік первинної обмотки нічим не врівноважується, індукція зростає в сотні разів (вона обмежується тільки магнітним насиченням сталі магнітопроводу), і напруга вторинної обмотки також зростає.

У трансреакторі (як і в дроселі), завдяки наявності немагнітного (повітряного) зазору в магнітопроводі, насичення магнітопроводу настає при значно більших струмах, ніж у трансформаторі струму, тому тут вторинна обмотка може бути розімкнена. При цьому напруга вторинної обмотки U_2 трансреактора пропорційна

величині струму первинної обмотки. А коефіцієнт пропорційності визначається як добуток реактивного опору первинної обмотки R_L та коефіцієнта трансформації n , тобто $U_2 = n * R_L * I_1$, а оскільки $R_L = 2\pi f * L$, отримаємо підсумкову формулу:

$$U_2 = n * 2\pi f * L * I_1$$

Трансреактори широко застосовуються в пристроях релейного захисту ліній електропередач, як прилади, що перетворюють струм в напругу. При цьому здійснюється гальванічна розв'язка приладів релейної автоматики від високої напруги ЛЕП. Трансреактор також зручно використовувати для вимірювання величини струму в ланцюгу за допомогою вольтметра.

Висновки по розділу 2

Важливим питанням в процесі керування електроенергетичними об'єктами є вимірювання режимних параметрів цих об'єктів. Основними режимними параметрами є напруга на шинах та струми відгалужень.

Підходи до вимірювання можуть бути різними залежно від потреби та умов вимірювання. Класичними підходами є використання спеціальних вимірювальних трансформаторів струму та напруги, які дозволяють вимірювати режимні параметри в нормальному та аварійному режимах роботи електроенергетичного об'єкта. Також застосовують трансреактори та оптоволоконні вимірювальні трансформатори.

Класичні вимірювальні трансформатори струму та напруги мають як свої переваги так і недоліки. Переваги та недоліки відрізняються залежно від конструкції конкретного вимірювального трансформатора. Так, до переваг одновиткових ТС можна віднести простоту пристрою; низьку вартість; малі габарити; стійкість до струмів КЗ. Також, слід відзначити, можливість зміни термічної стійкості за рахунок зміни перетину струмопровідного стрижня. До недоліків таких ТС слід віднести невисоку точність при невеликих вимірюваних струмах.

Перевагою багатовиткових ТС є підвищений клас точності у порівнянні із одновитковими. До недоліків слід віднести складність конструкції, схильність первинної обмотки до перенапруг між витками та низьку стійкість до струмів КЗ.

До переваг вимірювальних трансформаторів напруги слід віднести простоту конструкції, надійність, низька вартість в порівнянні з іншими типами вимірювальних пристроїв; порівняно висока стійкість до струмів КЗ, а також, як і для ТС, є можливість зміни термічної стійкості шляхом зміни перетину струмопровідного стрижня. До недоліків вимірювальних ТН слід віднести невисоку точність при невеликих вимірюваних напругах; обмежений динамічний діапазон вимірювання; потребу у відповідних захисних заходах для запобігання перевантаженню та пошкодженню при великих напругах; значний вплив зовнішніх електромагнітних завад, що

впливають на точність вимірювань.

До переваг трансреакторів слід віднести високу точність вимірювань, особливо в області низьких струмів і напруг; широкий динамічний діапазон вимірювання, що дозволяє точно вимірювати як низькі, так і високі значення струму та напруги; здатність працювати при високих перевантаженнях та струмах КЗ; менша схильність до впливу зовнішніх електромагнітних Завад. Також варто відзначити що, використання трансреакторів може забезпечувати компактніше рішення порівняно з вимірювальними трансформаторами струму та напруги.

До недоліків трансреакторів слід віднести складність конструкції і виготовлення, що може призводити до вищої вартості в порівнянні з іншими пристроями вимірювання; вимагають більшої уваги до електричної безпеки та обслуговування; певна чутливість до механічних впливів, вібрацій та зовнішніх факторів, що може вплинути на точність вимірювань.

Важливо відзначити, що переваги та недоліки розглянутих засобів вимірювання режимних параметрів електроенергетичних об'єктів можуть варіюватись залежно від конкретних моделей, а також від вимог та умов експлуатації.

3 ОПТИЧНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ТРАНСФОРМАТОРИ

Вже більше століття в енергетиці та промисловості при високовольтних вимірах змінних струмів використовують електромагнітні ВТС, робота яких заснована на явищі електромагнітної індукції, відкритому Фарадеєм ще у 1831р. Інше явище, відкрите ним же 1845 р. – поворот площини поляризації лінійно поляризованого світла, у постійному магнітному полі. Це явище, назване на честь автора ефекту Фарадея, стало першим та ключовим доказом взаємозалежності оптичних та електромагнітних явищ і чекало свого великомасштабного технічного застосування понад 150 років.

Перші роботи по створенню оптичних датчиків струму на основі цього ефекту проводились ще у 70-х роках минулого століття. У ті ж роки у світі з'явилося і перше промислове ОВ, яке намагалися використовувати як для дистанційної передачі оптичних сигналів, так і для чутливих елементів волоконно-оптичних датчиків струму. Однак технологія на той час не була достатньо зрілою, щоб створити конкурентоспроможну нову промислову модель ВОТ. [12]

Перші закордонні серійні ВОТ були представлені на канадській виставці у 2006р. Канадська компанія NxtPhase Corporation, один із світових на сьогодні лідерів у серійному виробництві ВОТ та ВОП, а також оптичних трансформаторів напруги, представила тоді свій перший високовольтний ВОТ типу NXST.

На цей час термінологія за пристроями даного виду ще остаточно не встановилася. У літературі зустрічаються різні найменування: "оптичні", "магнітооптичні", "оптоелектронні", "оптоволоконні", "волоконнооптичні", "оптикоелектричні" та інші подібні визначення даних трансформаторів, перетворювачів або датчиків струму. Строго кажучи, зазначені пристрої не є в традиційному сенсі трансформаторами струму (масштабними перетворювачами), а відносяться швидше до виду перетворювачів, що перетворюють змінний або постійний струм великого масштабу у

відповідний йому вимірювальний сигнал іншого роду та/або виду (наприклад, уніфікований сигнал струму або напруги, код, цифровий результат тощо). Будемо називати всі ці пристрої коротко ВОТ або ВОП.

3.1 Принцип дії, переваги та недоліки вимірювальних оптоволоконних трансформаторів та перетворювачів

Серійні високовольтні вимірювальні оптичні трансформатори (ВОТ) і перетворювачі (ВОП) вже кілька років використовуються в енергетиці різних країн, відкривши нову еру обліку електроенергії в електроенергетиці та в промисловості, причому як для змінних, так і постійних або імпульсних струмів. [9]

Конструкція та характеристики ВОТ/ВОП

Принцип дії ВОТ/ВОП ґрунтується на ефекті Фарадея. Поляризовані світлові хвилі, що розповсюджуються по оптичному волокну навколо провідника зі струмом у прямому та зворотному напрямку, в результаті впливу магнітного поля, накопичують невзаємний фазовий зсув φ , пропорційний вимірюваному струму I , рівний:

$$\varphi = 4 * V * N * I,$$

де V - стала Верде;

N - число витків оптоволокна навколо провідника з вимірюваним струмом.

Електронний блок перетворює вимірюваний фазовий зсув у пропорційний вихідний аналоговий сигнал напруги/струму або цифровий потік даних.

Стандартна схема ВОТ/ВОП складається з чутливого елемента, який представляє собою кілька витків оптоволокна, розташованих у жорсткій захисній оболонці з немагнітного матеріалу. Для ВОТ цим чутливим елементом є струмова головка, а для ВОП - вимірювальна петля. Електронно-оптичний блок встановлюється для прямого з'єднання з чутливими елементами (у випадку ВОП) або через оптичні кроси (у випадку ВОТ). (рис. 3.1).

ЕОБ, вбудованим лазером і поляризатором (лінійним і круговим), генерує оптичний сигнал на виході. Цей світловий сигнал направляється по оптичному волокну до чутливого елемента. У чутливому елементі під дією магнітного поля площина поляризації повертається на певний кут (кут Фарадея). Після цього світловий сигнал виходить з чутливого елемента і повертається назад у ЕОБ.

На демодуляторі, який складається з фотодіода та фазового детектора, оптичний сигнал перетворюється у електричний. Після цього за допомогою АЦП даний сигнал оцифровується і у вигляді масива даних надходить до дискретного інтерфейсного виходу ЕОБ. Далі за допомогою ЦАП та підсилювача утворюються нормовані аналогові вихідні сигнали для аналогового інтерфейсу ЕОБ. Завдяки цьому, на виході ЕОБ з'являється інформація у форматі, необхідному для подальшого використання - аналоговому чи дискретному.

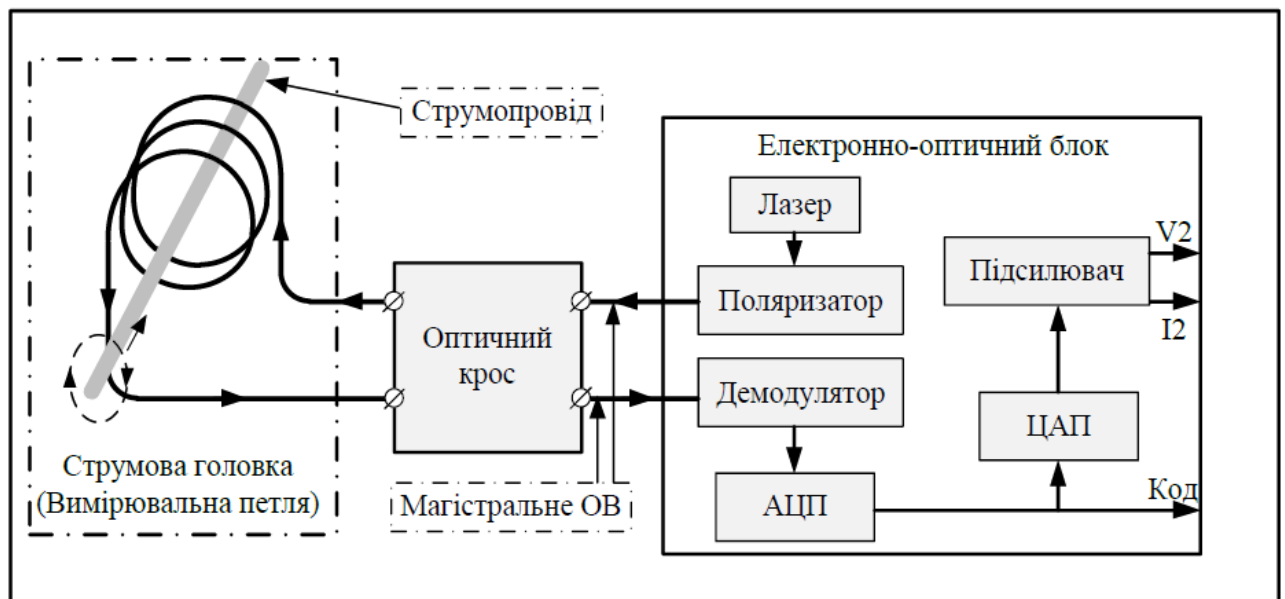


Рисунок 3.1 – Спрощена структурна схема ВОТ/ВОП (інтерфейси: V2 – потенційний вихід (напруга), I2 – струмовий вихід, Код – вихід АЦП)

У випадку, коли з технологічних причин чутливий елемент повинен бути значно віддалений від ЕОБ, наприклад на високовольтних підстанціях, використовується магістральний оптичний волоконний зв'язок, який зберігає

поляризацію, а також кросовий блок (кабельний бокс), який забезпечує підключення чутливого елемента до ОВ. Організація обладнання та функції ЕОБ різні у кожного виробника та складаються у відповідності до вимог замовлення.

Наприклад, ЕОБ може містити годинник, мікропроцесор, пам'ять, що дозволяє йому перетворювати отримані від АЦП, в реальному часі, коди на результати вимірювань струмів та похідних гармонік. Ці результати можуть накопичуватись у пам'яті протягом різних інтервалів часу і видаватись за допомогою цифрового інтерфейсу у цифрову мережу обліку. Таким чином, ВОТ або ВОП можуть легко інтегруватись у різні системи, наприклад підстанції, згідно зі стандартами, замінюючи використання окремих вимірювальних пристроїв, таких як амперметри, ватметри, електричні лічильники та інші пристрої зі струмовими ланцюгами. [9] [10]

Конструкція струмових головок для ВОТ залежить від типу високовольтних шин, на які вони будуть встановлені на об'єкті обліку. На рисунку 3.2 показані три різновиди струмових головок від виробника ВОТ/ВОП - компанії NxtPhase Corporation (Канада), призначені для різних типів шин.

Струмові головки в ВОТ розташовуються на верхній частині ізоляційних колон, які виконують кілька функцій одночасно. По-перше, вони служать опорою для шини з головкою, забезпечуючи її стійкість. По-друге, вони захищають оптичний волоконний кабель від впливу зовнішнього середовища. Оптичний волоконний кабель проходить всередині колони від головки до кросового блоку, який зазвичай розташований внизу колони. Крім того, колона надає додаткову електричну ізоляцію для кросового блоку і захищає персонал, який працює з оптичними волокнами поблизу основи колони. Колона має спіралеподібну форму циліндра з висотою, що відповідає вимогам, і виготовлена з композитного матеріалу, такого як склопластик, який має високу ізоляційну та антикорозійну властивості. Колону укладають у захисну оболонку, наприклад, із силіконової гуми, що забезпечує не тільки стійкість колони до пошкоджень при перевезенні, але і її вандалостійкість,

гідрофобність та стійкість до забруднення. Колони встановлюють на місцеві опорні конструкції у відкритих розподільних пристроях підстанцій.

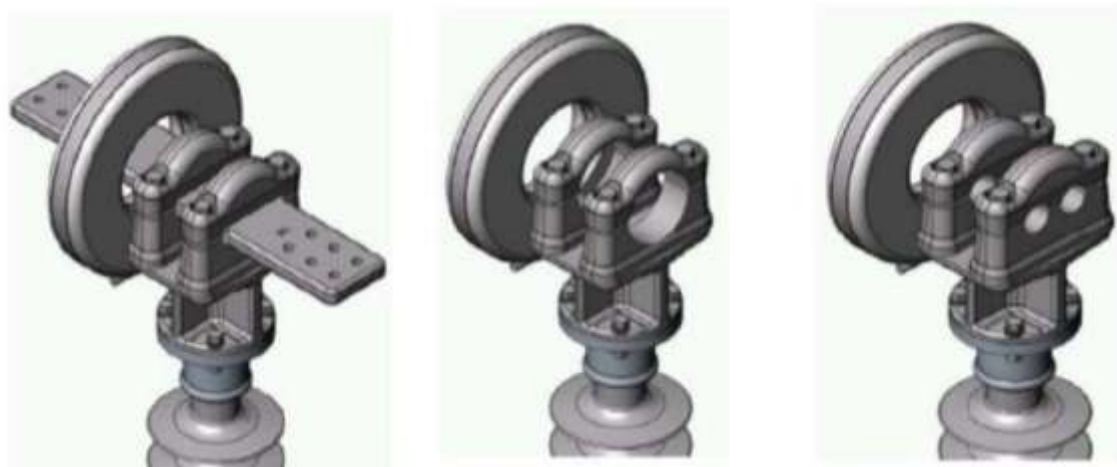


Рисунок 3.2 – Конструкція струмових головок ВОТ виробництва фірми NxtPhase: а) для плоскої шини;
б) для одиночної круглої шини;
в) для спарених круглих шин



Рисунок 3.3 – Конструкція ізоляційної колони з пристроєм ВОТ.

Замість стандартної струмової головки, в ВОП використовується вимірювальна петля, яка має індивідуально підбрану форму та розмір для конкретної струмоведучої шини, де потрібно виміряти струм (рис. 3.4). Щоб захистити оптоволокну, що проходить у петлі, від механічних та зовнішніх впливів, його розміщують у гнучкій захисній оболонці, а потім у

неметалевому трубопроводі з обмеженим радіусом вигину. На відміну від ВОТ, які використовуються на підстанціях ВН для вимірювання рівня змінного струму промислової частоти, ВОП застосовуються, переважно, для визначення рівня струму на потужних енергоємних виробництвах різних галузей промисловості. На рисунку 3.4 представлені різні варіанти вимірювальної петлі для ВОП.



Рисунок 3.4 – Конструкція та монтаж вимірювальної петлі для ВОП типу NXCT-F3 (а,б) компанії NxtPhase, типу LKCO-60 (в) компанії DynAmp та FOCS (г) компанії ABB на потужних технологічних шино проводах.

Метрологічні та технічні характеристики ВОТ та ВОП нормуються міждержавним стандартом для електромагнітних ТС. Специфічні характеристики ВОТ та ВОП, включаючи вимоги до їх конструкції, тестування, точності вимірювання гармонік (для систем вимірювання, захисту та контролю якості електроенергії), аналогового та цифрового інтерфейсу, нормуються стандартом міжнародної електротехнічної комісії.

Розглянемо коротко характеристики серійних ВОТ і ВОП з прикладу окремих виробів провідних світових виробників:

- ВОТ типу NXCT компанії NxtPhase розрахований на вимірювання струму промислової частоти силою до $I_{1\max} \leq 4000$ А з класом точності не гірше 0,2S для номінальних напруг 69, 115, 138, 230, 345, 400, 500 або 765кВ. В залежності від напруги висота-вага ізоляційної колони змінюється від 1,55м - 49кг до 5,28м - 95кг. Односекундний струм термічної стійкості дорівнює 63

кА, струм динамічної стійкості – 170 кА; умови експлуатації: ізоляційна колона $\{-50^{\circ}\text{C} \dots 55^{\circ}\text{C}\}$, ЕОБ $\{-5^{\circ}\text{C} \dots 40^{\circ}\text{C}\}$; комплект електроніки - два шасі 428x457x177 мм; живлення ЕОБ від джерела постійного струму напругою 70-170В потужністю $P_{\text{ном}} = 135\text{Вт}$; інтерфейс: $V_2=4\text{В}$ (вимірювання), $I_2=1\text{А}$ зі смугою пропускання від 10Гц до 6кГц (можливість вимірів до 100 гармонік);

ВОП типу NXCT-F3 компанії NxtPhase розрахований на вимірювання з класом точності не гірше 0,2S (в діапазоні від 1 до 120% номінального струму з урахуванням температури, вібрації, процесів складання) змінного $I_{1\text{max}} \leq 100\text{кА}$ або постійного $I_{1\text{max}} \leq 600\text{кА}$ струму, напругою 6-42 кВ без розриву струмопровідної шини та в умовах обмеженого простору; умови експлуатації: вимірювальний оптичний датчик струму (ВОДС) $\{-50^{\circ}\text{C} \dots 60^{\circ}\text{C}\}$, ЕОБ $\{-5^{\circ}\text{C} \dots 40^{\circ}\text{C}\}$; розміри-вага: ЕОБ 482x457x233мм - 44кг,

ВОДС-менше 5кг; живлення ЕОБ 110-130 В постійного струму; інтерфейс: $V_2=10\text{В}$ та $I_2=1\text{А}$ зі смугою пропускання до 6кГц (можливість вимірювань до 100 гармонік);

- ВОП типу LKCO-60 компанії DynAmp розрахований на вимірювання постійних струмів $I_{1\text{max}} \leq 60\text{кА}$ з точністю не гірше за 0,1%; ЕОБ живиться від джерела змінного струму частотою 47-62Гц та напругою 95-265В і має уніфіковані вихідні сигнали: струмовий I_2 зі значенням 3мА на 1кА, потенціальний V_2 зі значенням 1В на 1кА, а також $V_2=0 \dots 10$ на всю шкалу вимірюваного струму I_1 ; додатково ВОП може бути оснащений частотним інтерфейсом (10 кГц на повну шкалу), уніфікованим струмовим інтерфейсом 4-20 мА та цифровим інтерфейсом; умови експлуатації: ВОДС $\{-40^{\circ}\text{C} \dots 80^{\circ}\text{C}\}$, ЕОБ $\{-10^{\circ}\text{C} \dots 40^{\circ}\text{C}\}$.

- ВОП типу FOCS компанії ABB розрахований на вимірювання постійних струмів $I_{1\text{max}} \leq 500\text{кА}$ у двох напрямках з точністю не гірше 0,1% (в діапазоні від 1 до 120% номінального струму); смуга пропускання – 4кГц; інтерфейс: $V_2 = 0 \dots 1\text{В}$, уніфікований струмовий сигнал 0 (4) - 20 мА, цифровий канал PowerLINK, цифрова шина PROFIBUS; умови експлуатації: ВОДС $\{-40^{\circ}\text{C} \dots 85^{\circ}\text{C}\}$, ЕОБ $\{-20^{\circ}\text{C} \dots 55^{\circ}\text{C}\}$.

У ВОДС LKCO-60 і FOCS використовується не прохідна схема

вимірювання кута Фарадея поляризованого світлового сигналу (див. рис.3.1), а реверсивна схема, при якій світловий сигнал відбивається від дзеркала, розташованого в кінці вимірювальної петлі і повертається назад в ЕОБ по тому ж шляхи, яким він вводився в ОВ. Виробники мають запатентовані системи повної компенсації похибок для такої схеми реверсивного вимірювання. Слід зазначити, що апаратні, алгоритмічні та програмні рішення у конкретних ВОТ/ВОП всіх виробників є, зазвичай, комерційною таємницею, що зумовлено високими витратами на розробку цієї новітньої техніки, великою конкуренцією на світових ринках високих технологій і високою вартістю самих виробів.

3.2 Переваги та недоліки ВОТ/ВОП

Основні переваги ВОТ/ВОП: [11]

Здатність масштабувати та вимірювати як змінний (до 100 кА), так і постійний або імпульсний (до 600 кА) струм різних рівнів напруг (до 800 кВ).

Оптико-електронне малоінерційне перетворення світлових сигналів без гістерезису, магнітних втрат, магнітного насичення і залишкового намагнічування, що характерно для електромагнітних пристроїв, і забезпечення високої точності вимірювань.

Великий динамічний діапазон (0,1-120% від номінального струму) і висока точність (похибка не більше 0,1 - 0,2%) для вимірювання та захисту струмових ланцюгів; при цьому один і той же виріб може використовуватися при 10-кратно різних первинних номінальних струмах за рахунок електронного перенастроювання коефіцієнтів перетворення.

Можливість інтеграції у різні цифрові системи з можливим використанням великої кількості різних інтерфейсів: аналогових (за напругою, струмом, уніфікованим струмовим сигналом), дискретних (за частотою, кодом) та цифрових (з передачею цифрових результатів вимірювань) з виключенням впливу вторинного навантаження на процеси вимірювання, що є характерним для електромагнітних пристроїв.

Повна еколого-, пожежо-, вибухо- та електробезпека завдяки

відсутності шкідливих речовин та електропровідних матеріалів у виробках, а також використанню малопотужних світлових сигналів, що унеможливлюють іскріння та загоряння в непередбачених ситуаціях (наприклад, при обриві ліній живлення).

Вироби володіють високою надійністю в умовах електромагнітних перешкод, що дозволяє їх встановлювати в складних електромагнітних середовищах без потреби в попередньому аналізі та корекції.

Довговічність, стабільність та повторюваність метрологічних та технічних параметрів виробів; низька вразливість до механічних впливів та змін температури, які зазвичай впливають на метрологічні характеристики.

Малі розміри та маса, що спрощують монтаж і дозволяють встановлювати вироби в обмеженому просторі у будь-якому положенні, з використанням кріплення на опору або підвішування до шини.

Простота та надійність конструкції ВОДС, висока надійність та самодіагностика електронно-оптичних блоків, що зменшує вимоги до технічного обслуговування та перевірки виробів.

Всі ці переваги є наслідком застосування в виробках малопотужних поляризованих світлових сигналів, що поширюються в ОВ, поміщеному в магнітне поле вимірюваного струму, безконтактного впливу поля на дані сигнали через ефект Фарадея і електронної цифрової обробки результатів вимірювань.

Обмеженням застосування ВОТ на даний момент є:

- Висока вартість, яка враховуючи науково-технічний прогрес, буде неухильно знижуватися;
- Відсутність норм проектування подібних систем з урахуванням досвіду експлуатації даних пристроїв, які будуть створюватися з часом;

У зв'язку з описаними вище перевагами, а також відсутністю критичних недоліків ВОТ поступово витіснятимуть електромагнітні трансформатори.

3.3 Вибір ВОТ/ВОП для підстанцій

Аналізуючи розглянуті вище характеристики серійних ВОТ і ВОП з

прикладу виробів різних виробників, при побудові нових підстанції, на напругу 10кВ, потрібно обрати вимірювальний оптичний перетворювачі. Для прикладу NXCT-F3.

Перетворювач NXCT-F3 складається з наступних частин:

- від одного до трьох (залежно від специфікації замовлення) оптичних датчиків струму з оптичною петлею, що розмикається;
- датчика температури;
- електронного блоку, що містить модуль управління, оптико-електронні модулі, мікропроцесорні модулі цифрової обробки сигналів, дискретні, аналогові та цифрові виходи;
- блоку живлення та підсилювача струму (залежно від специфікації замовлення).

Вихідні сигнали для вимірювання та захисту формуються на низькорівневому аналоговому виході (LEA) та високорівневому аналоговому виході (HEA), а також на цифровому інтерфейсі відповідно до технічної документації заводу-виробника. Оптичні датчики струму з'єднані з електронним блоком за допомогою магістральних та фідерних кабелів.

Перетворювачі NXCT-F3 випускаються у двох варіантах виконання, що відрізняються рядом технічних характеристик - перетворювачі без зворотного зв'язку (виконання А) і перетворювачі зі зворотним струмовим зв'язком, що компенсує вимірюваний струм вимірювальної оптичної петлі (виконання CL).

У перетворювачах NXCT-F3 забезпечена можливість заміни блока живлення, підсилювача струму та електронного блоку за умови введення індивідуальних даних оптичних датчиків струму, що записуються в електронний блок (файл, що поставляється виробником), без додаткового калібрування (повірки).

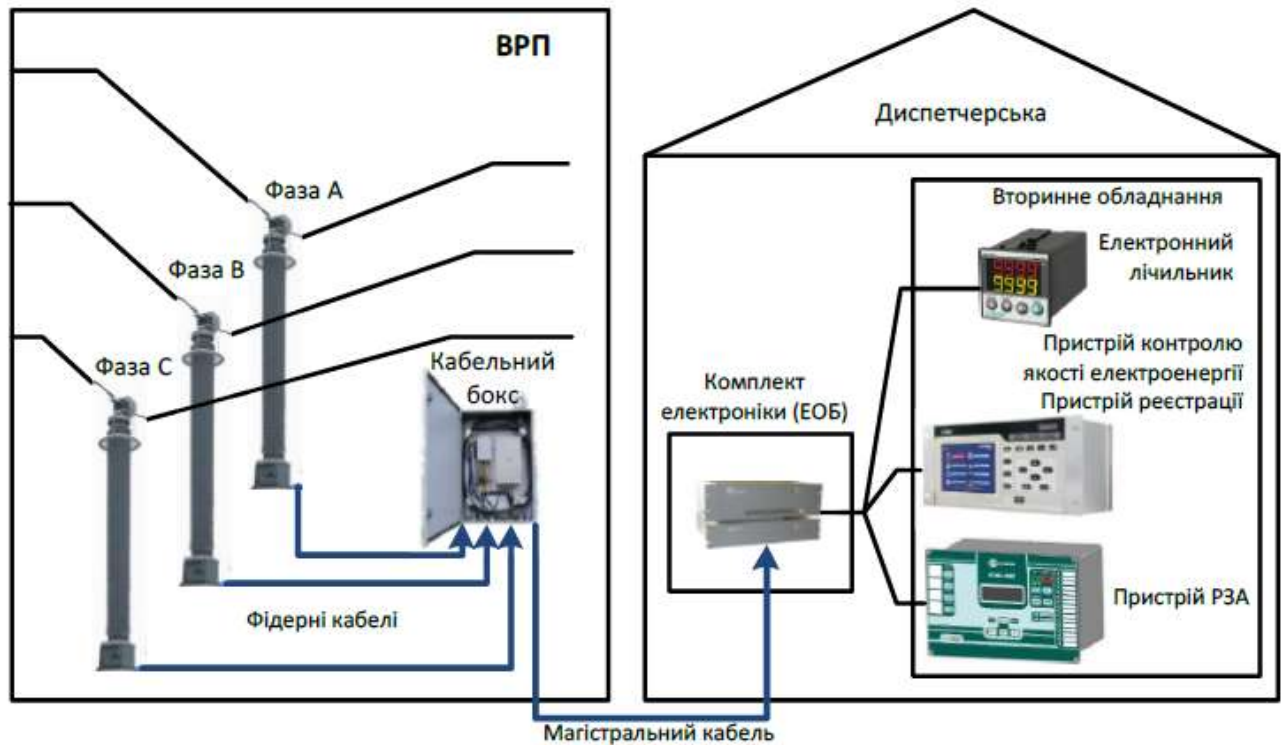


Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд оптичного датчика струму із вимірювальною петлею



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд електронного блоку та блоку живлення з підсилювачем струму.

На рисунку 3.7 показана схема підключення перетворювача NXCT-F3 до трьохфазної мережі.



Метрологічні та технічні характеристики ВОП NXСТ-F3

Діапазони вимірюваних величин, технічні характеристики, а також межі основних похибок вимірювань, що допускаються, показані в таблиці 3.1.

Метрологічні характеристики унормовані з урахуванням впливу програмного забезпечення.

Таблиця 3.1 – Метрологічні та технічні характеристики ВОП NXСТ-F3

Параметр	Значення	Примітка
Класи напруг, кВ	6 ... 42	
Діапазон номінальних первинних струмів, А	100 ... 80000	
Межі основної відносної похибки коефіцієнта масштабного перетворення при частоті змінного струму 50 ± 5 Гц по виходу LEA (виконання CL), %	0.1	Первинний струм, % номінального значення 1 – 150

Межі основної відносної похибки коефіцієнта масштабного перетворення постійного струму по виходу LEA (виконання CL), %	0.1	Первинний струм, % номінального значення 1 – 200
Клас точності за частоти змінного струму 50±5 Гц (виконання А)	0.25	
Межі основних відносних похибок коефіцієнта масштабного перетворення змінного струму (виконання А), %	± 0,75 ± 0,35 ± 0,20	Первинний струм, % номінального значення: 1 5 20-200
Межа додаткової похибки коефіцієнта масштабного перетворення, що допускається, викликаній зміною температури від мінус 50°C до плюс 55°C, не більше, %	±0,1	Для постійного та змінного струмів
Номінальні значення вихідних сигналів виходу LEA при номінальному навантаженні 5000 Ом; 2,0 нФ, В	±10,0 ± 4,0	Постійного струму; Змінного струму;
Номінальні значення вихідних сигналів після виходу HEA (виконання А), А	1 5	2,5 ВА при навантаженні 2.5 Ом; 2,5 ВА при навантаженні 0.1 Ом
Габаритні розміри, не більше, мм (довжина x ширина x висота)	406 x 406 x 153 483 x 457 x 133 483 x 457 x 89	Оптичний датчик струму із вимірювальною петлею; Електронний блок; Блок живлення із підсилювачем струму
Маса датчиків та блоків перетворювача, не більше, кг	9 7.3 10	Оптичний датчик струму з вимірювальною петлею (Виконання А/CL); Електронний блок; Блок живлення із підсилювачем струму
Максимальна сумарна довжина магістральних та фідерних кабелів, не більше, м	1000 100	Для виконання А; Для виконання CL
Напруга живлення електронних блоків, В	від 70 до 150 від 90 до 230	Постійного струму; Змінного струму
Потужність, не більше, Вт	60	
Середній термін служби, не менше, років	30	

Примітка:

1. Номінальне значення первинного струму встановлюється за допомогою програми, що постачається виробником.
2. Межі основних похибок коефіцієнта масштабного перетворення змінного струму, що допускаються, відповідають класу точності 0,2S.

На нових підстанціях перетворювачі NXCT-F3 може замінити усі трансформатори для напруги 10кВ, а саме ТПЛ–10/300; ТПЛ–10/400; ТПЛ–10/600; ТПОЛ–10/600; ТПОЛ–10/800; ТППЛ – 10/600; ТПШП-10/3000; ТПЛМ-10/400; ТПШЛ–10/3000.

Завдяки використанню даного ВОП ми отримаємо наступні переваги:

- Збільшення класу точності з 0.5S (для ТС типу ТПЛ-10), до класу точності 0.1 (для ВОП типу NXCT-F3)
- Можливість використання одного типу пристрою для усіх значень вимірюваних струмів на підстанції, на напрузі 10 кВ. Що, на мою думку, дозволяє спростити та пришвидшити заміну трансформатора, що вийшов з ладу, адже можна зберігати на складі підстанції запасний трансформатор, та, у разі необхідності, в оперативному порядку замінити пошкоджений трансформатор на новий.
- Спрощення та пришвидшення установки за рахунок менших габаритно- вагових параметрів ВОП.
- Збільшення стійкості до електромагнітних перешкод таких як електромагнітні поля, інтерференція та шуми. Це може сприяти покращенню надійності та стійкості вимірювальної системи.

На напругу 110кВ, замість ТС типу ТВТ–110 600/5, які використовуються на даній підстанції, можна обрати вимірювальний оптичний трансформатор типу NXCT

Переваги завдяки використанню даного ВОТ аналогічні вищеописаним перевагам для ВОП NXCT-F3. Схема підключення продемонстрована на рисунку 3.7.

Метрологічні та технічні характеристики ВОТ NXCT

Діапазони вимірюваних величин, технічні характеристики, а також межі основних похибок вимірювань, що допускаються, показані в таблиці 3.2.

Метрологічні характеристики унормовані з урахуванням впливу програмного забезпечення.

Таблиця 3.2 – Метрологічні та технічні характеристики ВОР NXСТ.

Параметр	Значення	Примітка
Класи напруг, кВ	69 ... 765	
Діапазон номінальних первинних струмів, А	100 ... 4000	
Струм термічної стійкості, кА	63	
Струм динамічної стійкості, кА	170	
Межі основної відносної похибки коефіцієнта масштабного перетворення при частоті змінного струму 50 ± 5 Гц, %	0.2S	В діапазоні від 1 до 200% від номінального первинного струму
Межі допустимих основних похибок по куту фазового зсуву при частоті струму 50 ± 5 Гц, %	0.2S	В діапазоні від 1 до 200% від номінального первинного струму
Значення вихідних сигналів	1.0; 5.0 А 4.0; 200 мВ	По виходу HEA По виходу LEA
Значення навантаження по виходах, не більше	2.5 ВА 5 кОм; 2.0 нФ	По виходу HEA По виходу LEA
Габаритні розміри, не більше, мм (довжина x ширина x висота)	406 x 406 x 153 483 x 457 x 133 483 x 457 x 89	Оптичний датчик струму із вимірювальною петлею; Електронний блок; Блок живлення із підсилювачем струму
Маса датчиків та блоків перетворювача, не більше, кг	9 7.3 10	Оптичний датчик струму з вимірювальною петлею Електронний блок; Блок живлення із підсилювачем струму
Напруга живлення електронних блоків, В	від 70 до 150 від 90 до 230	Постійного струму; Змінного струму
Споживана потужність, не більше, Вт	60	
Середній термін служби, не менше, років	30	

Примітка:

1. Номінальне значення первинного струму встановлюється за допомогою програми, що постачається виробником.

Висновки по розділу 3

Оптичні вимірювальні трансформатори та перетворювачі є сучасними технологіями у для вимірювання струму електроенергетичних об'єктів. У порівнянні з вимірювальними електромагнітними трансформаторами, ВОТ та ВОП мають наступні переваги:

- оптичні трансформатори і перетворювачі мають високу ізоляційну здатність. Їх основою є оптичні волокна, які не проводять електричний струм. Це дозволяє повністю виключити можливість електричних завад та пробойів.

- ВОТ/ВОП мають широкий вимірювальний діапазон. Вони здатні вимірювати як дуже низькі, так і дуже високі значення струму і напруги. Наприклад, оптичний перетворювач може забезпечувати точні вимірювання струму від 1 до 10 000 А з точністю до 0,2%. Це дозволяє ефективно контролювати та керувати енергетичними системами різного масштабу, використовуючи одну модель ВОТ/ВОП.

- оптичні трансформатори і перетворювачі мають компактні розміри і легкість установки. Оптичні волокна набагато тонші і гнучкіші, ніж обмотки, які застосовуються в електромагнітних трансформаторах. Це спрощує розміщення та підключення ВОТ/ВОП.

Слід відзначити, що застосування ВОТ /ВОП доцільно в умовах модернізації при заміні первинних вимірювальних перетворювачів струму. При цьому слід відзначити.

що завдяки своїм перевагам ВОТ та ВОП стають все більш привабливим вибором для енергетичних компаній, що прагнуть підвищення надійності, точності та ефективності своїх систем.

Під час реконструкції та будівництва нових підстанцій 110/10кВ запропоновано використання вимірювальних оптичних трансформаторів, наприклад, типу NXCT, на напругу 110 кВ. ВОТ NXCT має наступні характеристики: номінальна первинна напруга – від 69 до 765 кВ;

номінальний первинний струм – від 100А до 4кА; клас точності 0.2S. На напругу 10кВ запропоновано вимірювальний оптичний перетворювач NXCT-F3 з наступними характеристиками: номінальна первинна напруга – від 6 до 42 кВ; номінальний первинний струм – від 100А до 80кА; клас точності – 0.1 або 0.2S в залежності від виконання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Під час монтажу, експлуатації та обслуговування оптичних вимірювальних трансформаторів персонал може зазнавати впливу низки шкідливих і небезпечних виробничих факторів, що характерні для галузі електроенергетики. Їх своєчасне виявлення та оцінка є важливою складовою системи охорони праці.

Електричний струм є одним із головних небезпечних факторів під час роботи з електроустановками. Ураження можливе внаслідок пошкодження ізоляції, дотику до струмопровідних частин, порушення правил експлуатації тощо. Високовольтні кола, що застосовуються у вимірювальних трансформаторах, становлять особливу небезпеку. Згідно з Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС), персонал повинен мати відповідну групу з електробезпеки (наказ Мінпраці України № 33 від 09.01.1998 р.).

Оптичне випромінювання, зокрема інфрачервоне (ІЧ) та лазерне, використовується в деяких типах оптичних трансформаторів. У разі недотримання правил безпечної роботи можливі ураження органів зору або шкіри. Регламент роботи з лазерним обладнанням встановлено в ДСТУ EN 60825-1:2017 «Безпека лазерних виробів».

Температурні фактори виникають при перегріванні обладнання або його частин. Контакт з перегрітими поверхнями може призвести до опіків. Згідно з Державними санітарними нормами та правилами охорони праці при роботі з обладнанням, що випромінює тепло, працівники мають бути забезпечені ЗІЗ (спецодяг, рукавиці).

Механічні небезпеки включають ризики отримання травм під час монтажу, демонтажу або переміщення важких компонентів трансформатора. До типових загроз належать падіння інструментів, здавлення, порізи тощо. Безпечне виконання таких робіт регламентується Правилами охорони праці під час виконання робіт на висоті (НПАОП 0.00-1.15-07).

Також необхідно враховувати психофізіологічні навантаження, пов'язані з високим рівнем відповідальності та необхідністю концентрації уваги при роботі з високовольтними системами. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» (в редакції від 01.07.2022), роботодавець зобов'язаний створити безпечні умови праці та забезпечити дотримання гігієнічних нормативів (статті 13, 19, 20).

4.2. Електробезпека при роботі з оптичними вимірювальними трансформаторами

Оптичні вимірювальні трансформатори, хоча й мають електричну розв'язку між високовольтною та вторинною сторонами, є частиною високовольтного електрообладнання і потребують суворого дотримання правил електробезпеки під час монтажу, обслуговування та експлуатації.

Відповідно до Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС), персонал, який виконує роботи з електрообладнанням, повинен мати відповідну групу з електробезпеки (не нижче III для робіт у електроустановках до 1000 В, IV — для робіт у високовольтних установках). Роботи дозволяється виконувати лише після проходження інструктажу з охорони праці та перевірки знань правил електробезпеки.

Основними заходами електробезпеки є:

Заземлення струмопровідних частин обладнання, які можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції (відповідно до ДСТУ EN 50522:2014 — "Заземлення електроустановок").

Захист від прямого та непрямого дотику до струмоведучих частин, що реалізується за допомогою оболонок, кожухів, блокувань, ізоляції та попереджувальних знаків.

Контроль справності ізоляції та опір заземлення — згідно з вимогами ПУЕ (Правила улаштування електроустановок).

Використання переносного заземлення, особливо при обслуговуванні відключеного обладнання, яке може опинитися під напругою внаслідок наведення.

Під час роботи поблизу оптичних трансформаторів категорично заборонено виконувати будь-які дії без зняття напруги, за винятком спеціальних вимірювань, дозволених за відповідним нарядом-допуском.

Роботи підвищеної небезпеки повинні виконуватись бригадою з не менше як двох осіб, відповідно до НПАОП 40.1-1.32-01 — Правила безпечної експлуатації електроустановок.

Кожен працівник зобов'язаний дотримуватись вимог Закону України «Про охорону праці», зокрема ст. 14 — щодо обов'язків працівника: використовувати засоби захисту, проходити навчання і не допускати порушень правил безпеки.

4.3. Засоби індивідуального та колективного захисту

Під час виконання робіт з оптичними вимірювальними трансформаторами працівники мають бути забезпечені відповідними засобами індивідуального та колективного захисту для зниження рівня небезпеки та запобігання нещасним випадкам.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

До основних ЗІЗ, необхідних для роботи з електрообладнанням, належать:

Діелектричні рукавички — для захисту рук від ураження електричним струмом;

Ізолювальне взуття (діелектричні калоші або боти) — для захисту від струму через ноги;

Захисні окуляри або щитки — при роботі з лазерним або інфрачервоним випромінюванням;

Спеціальний одяг з вогнестійких матеріалів — для захисту від електричної дуги;

Засоби захисту органів слуху, якщо рівень шуму перевищує допустимі норми;

Каски або захисні шоломи — при монтажі трансформаторів або виконанні робіт на висоті.

ЗІЗ мають відповідати ДСТУ EN 60903:2018 (рукавички), ДСТУ EN

ISO 20345:2019 (взуття) та іншим стандартам, визначеним у НПАОП 0.00-4.26-96 – Типові норми безплатної видачі спецодягу, спецвзуття та ЗІЗ.

Засоби колективного захисту (ЗКЗ):

До ЗКЗ належать технічні та організаційні заходи, що забезпечують безпечні умови праці:

Огородження струмоведучих частин, включаючи кожухи, кожуховані шафи, бар'єри;

Попереджувальні написи та сигнальні знаки, встановлені у місцях підвищеної небезпеки;

Системи заземлення та зрівнювання потенціалів, що забезпечують безпечне розсіювання струму;

Автоматичні пристрої захисту (реле, автоматичні вимикачі, УЗО) — запобігають коротким замиканням та перевантаженням;

Плакати з охорони праці та схеми електроустановок, що мають бути доступними в місцях проведення робіт;

Захисне блокування — наприклад, механізми, що унеможливають доступ до трансформатора при наявності напруги.

Відповідно до статті 8 Закону України «Про охорону праці», роботодавець зобов'язаний за власні кошти забезпечити працівників засобами захисту, організувати навчання з їхнього використання та слідкувати за своєчасною заміною.

Також всі працівники повинні пройти інструктаж з охорони праці відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 – Порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.

4.4. Протипожежна безпека в електроустановках

Протипожежна безпека при експлуатації оптичних вимірювальних трансформаторів є важливою складовою охорони праці, оскільки електроустановки, особливо високовольтні, становлять підвищений ризик виникнення пожеж через короткі замикання, іскріння, перевантаження та порушення ізоляції.

Відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2004) та Закону України «Про пожежну безпеку», роботодавець зобов'язаний створити умови, що унеможливляють виникнення та поширення пожеж.

Основні причини пожеж в електроустановках:

Пошкодження ізоляції кабелів;

Короткі замикання в трансформаторах або електричних з'єднаннях;

Порушення технологічного режиму роботи;

Залишення обладнання під напругою без нагляду;

Використання несертифікованих чи несправних електроприладів.

Основні заходи протипожежного захисту:

Регулярний технічний огляд трансформаторів та їх елементів для виявлення нагрівання, іскріння або запаху горілого;

Використання автоматичних пристроїв захисту (вимикачів, запобіжників, реле), які мають вимикати живлення при аварійних режимах;

Утримання електроустановок у справному стані, ізоляція має відповідати нормам ПУЕ (Правила улаштування електроустановок);

Наявність вогнегасників (вуглекислотних або порошкових) у місцях встановлення електрообладнання згідно з ДСТУ EN 3-7:2014;

Заборона зберігання легкозаймистих матеріалів поблизу трансформаторних відсіків;

Навчання персоналу діям у разі виникнення пожежі та проведення протипожежних інструктажів.

У разі загоряння електроустановки необхідно:

Негайно знеструмити об'єкт;

Використовувати лише електробезпечні засоби пожежогасіння (категорично заборонено використовувати воду!);

Повідомити керівництво та служби ДСНС.

Згідно зі ст. 13 Закону України «Про охорону праці», роботодавець зобов'язаний впровадити пожежно-технічні заходи, передбачити плани евакуації та забезпечити працівників інструкціями щодо пожежної безпеки.

ВИСНОВКИ

Під час роботи над бакалаврською кваліфікаційною роботою було досліджено різні теми та питання, які були об'єднані у відповідні розділи.

Перший розділ присвячено сучасному стану енергетики України з врахуванням війни. Було розглянуто та проаналізовано основну інформацію про їхню структуру та роботу. замикання, що дозволило оцінити роботу підстанції в різних режимах.

У другому розділі було розглянуто та проаналізовано основні методи вимірювання первинних параметрів та підходи до їх вимірювання. У цьому розділі було детально проаналізовано різні масштабуючі перетворювачі, зокрема ТС та ТН. Було досліджено принцип їх роботи, будову, характеристики, переваги та недоліки. Це дозволило оцінити їхню ефективність та вибрати найбільш оптимальні варіанти для конкретної підстанції.

Третій розділ дослідження був присвячений оптоволоконним трансформаторам та перетворювачам. У цьому розділі були розглянуті їхні характеристики, переваги та недоліки. Також були надані короткі характеристики серійних ВОТ і ВОП з прикладу окремих виробів різних виробників та способи підключення даних приладів. Були розглянуті приклади ВОП та ВОТ для будівництва нових та реконструкції існуючих підстанцій, та проаналізовано їх метрологічні та технічні характеристики.

В четвертому розділі розглянуто електробезпеку при роботі з оптичними вимірювальними трансформаторами, проведено аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шалагінов В. І., Кочергін О. І. Трансформаторні підстанції та їх будівництво. К.: Вища школа, 1988.
2. Міщенко М. Трансформаторні підстанції. Теорія та практика: Навч. посіб. К.: Аспект-Поліграф, 2010.
3. Праховник М.В. Електроенергетичні системи та мережі: Підручник. К.: Видавничий дім "Сам", 2015.
4. Коваль А. О. Вимірювальні перетворювачі : конспект лекцій. Харків, 2018. 40 с.
5. ДСТУ ІЕС 60044-1:2008 «Трансформатори вимірювальні. Частина 1. Трансформатори струму»
6. Williams K. L. Fundamentals of current transformers. *Electrical/Electronics Insulation Conference*, Rosemont, IL, USA.
7. Mallett M. B. High-Voltage Power-Transformer Design. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*. 1943. Т. 62, № 8. С. 526–531. URL: <https://doi.org/10.1109/t-aiee.1943.5058737>
8. C D. R., Bishop R. H. Modern control systems. Pearson Education, Limited, 2011. 1104 с.
9. Rao Y. J., Huang S. Applications of fiber optic sensors. *Fiber optic sensors*. 2017. С. 397–434. URL: <https://doi.org/10.1201/9781420053661-10>.
10. Rian, I.U. (2018) Experimental comparision of Conventional and non-conventional optical current transformers; Norwegian University of science and technology.
11. Буйновський В. В., Бурик В. В. Оптичні трансформатори струму. *Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики"*. 2020. С. 7. URL: <http://jour.fea.kpi.ua/article/view/196591>.
12. Закон України «Про охорону праці» — <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>

13. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС) – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98>
14. НПАОП 0.00-1.15-07 – Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0571-07>
15. ДСТУ EN 60825-1:2017 – Безпека лазерних виробів.
16. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
17. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.
18. ДНАОП 1.1.10-1.01-97 Правила безпечної експлуатації електроустановок. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=21826.
19. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
20. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.
21. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.
22. . ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.
23. . ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
24. . ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

25. . ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.
26. . НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
27. . ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: <https://dwg.ru/dnl/15125>.
28. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.
29. . ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.
30. . ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.
31. . Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>.

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ) РОБОТИ

Назва роботи: «Оптичні вимірювальні трансформатори»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота

(кваліфікаційна робота, курсовий проект (робота), реферат, аналітичний огляд, інше (зазначити))

Підрозділ: Кафедра електричних станцій та систем

(кафедра, факультет (інститут), навчальна група)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ЕСС Лесько В. О.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

StrikePlagiarism	
Оригінальність	81,04
Загальна схожість	18,96

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи

Автор Сух
(підпис)

Сухорученко Л.М.
(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Робота допущена до захисту

Особа, відповідальна за перевірку [підпис]
(підпис)

Вишневський С.Я
(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби)

(підпис)

(прізвище, ініціали, посада)

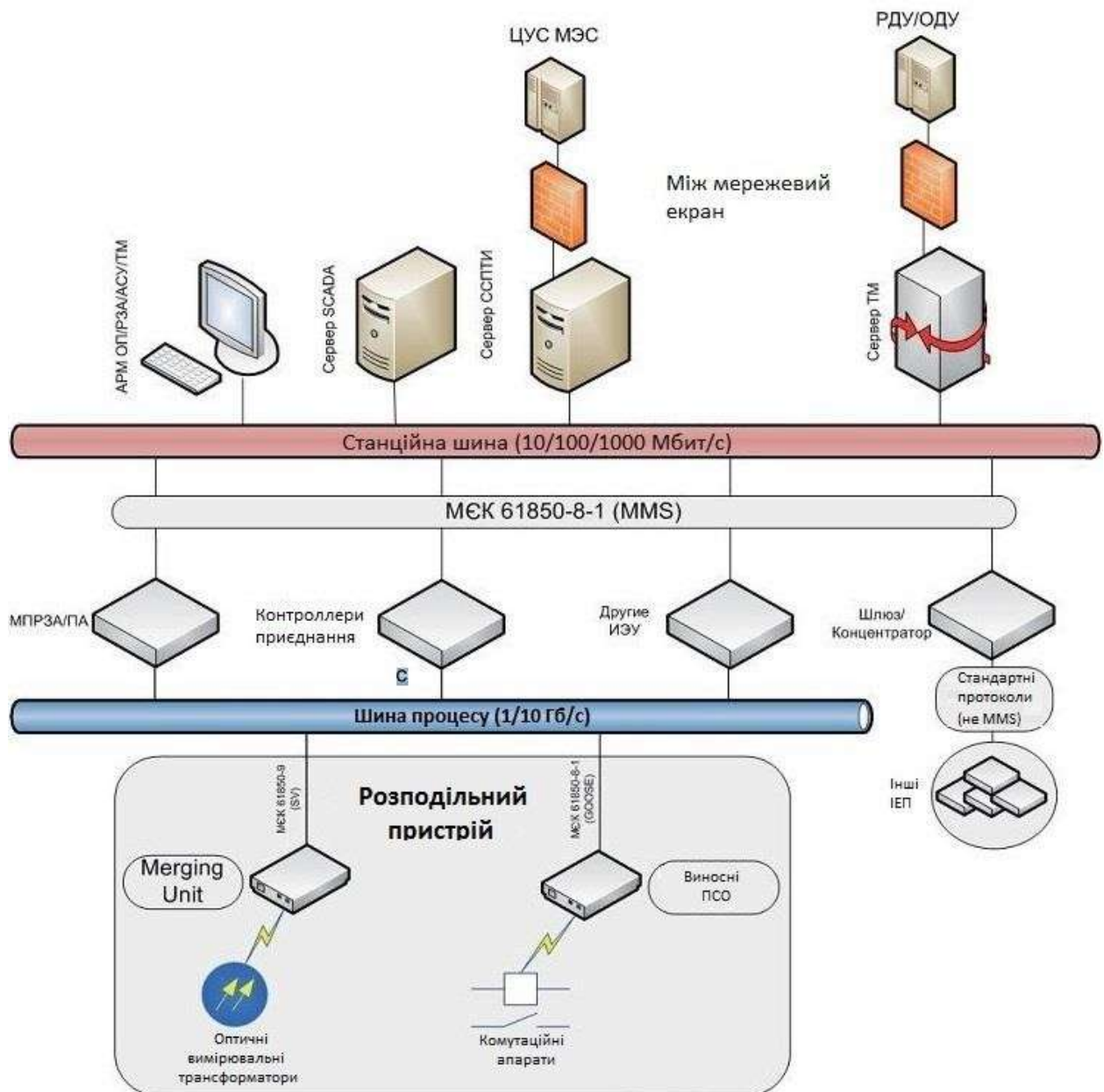
Додаток
Ілюстративна частина

Таблиця 1.1 Міжнародний досвід впровадження ЦПС

Країна	Тип проекту	Кількість	Примітка
Китай	Серійне впровадження	100+	Впроваджуються в основному розробки китайських фірм
США, Канада	Пілотні проекти	До 10 проектів	Реалізовані
Європа	Пілотні проекти	Одиничні проекти в Іспанії, Франції та ін.	Реалізовані
Україна	Пілотні проекти	1-2	В процесі реалізації пілотний проект в «ДТЕК Київські електромережі»



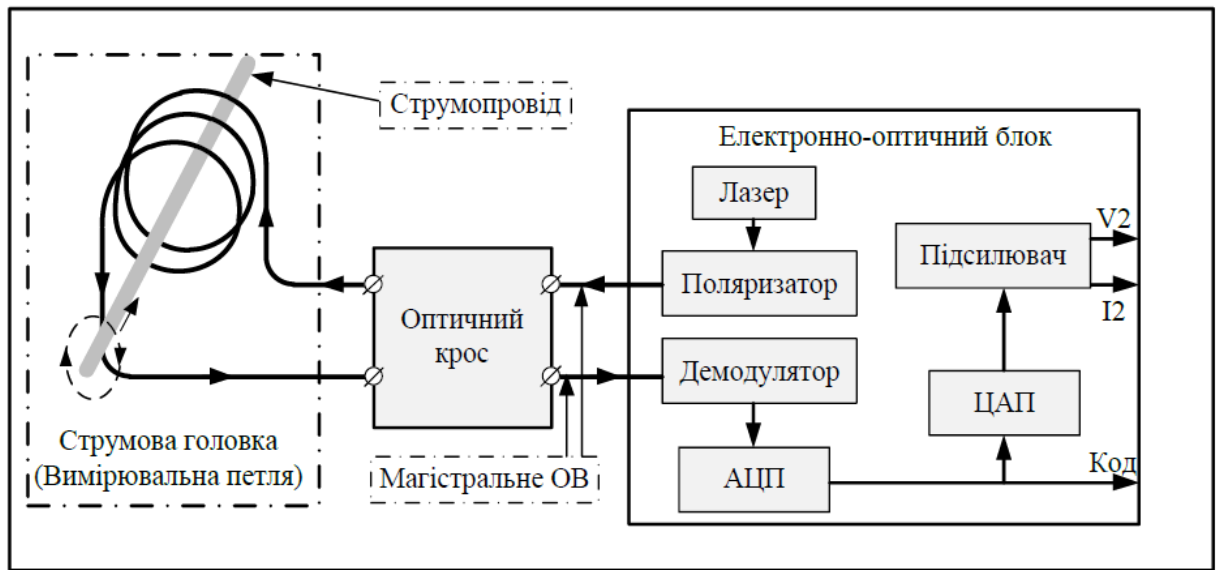
«Інтелектуальний» трансформатор має забезпечувати профілактичну діагностику (самодіагностики) з використанням аналітичного програмного забезпечення на основі показників датчиків, автоматичне управління системою охолодження і автоматичне регулювання напруги під навантаженням залежно від відповідної інформації щодо його зміни енергомережі зони обслуговування ідстанції. Подібний трансформатор виробляє компанія «ABB» який зображено на рис 1.1.



Переваги цифрової підстанції:

- швидкодія, перешкодозахищеність, висока пожежо-вибухобезпечність і кологічність;
- використання інноваційних та сучасних стандартів і рішень забезпечують сумісність різних (IEC 61850);
- підвищення точності вимірювань;
- значно менше загальна кількість і номенклатуру обладнання в складі програмно технічного комплексу (ПТК), що знижує обсяг профілактичного обслуговування, скорочує час відновлення працездатності;
- значне скорочення кабельних зв'язків;
- скорочення монтажних і налагоджувальних робіт на 40%, простота;
- проектування, експлуатації та обслуговування, зменшення розмірів ПС;
- зниження кількості модулів вводу / виводу на пристроях АСУ ТП і РЗА;

– зниження вартості компонування конструктиву шафи системи - ТМ / АСУ ТП (кабельна продукція, клемні колодки та ін.).



Спрощена структурна схема БОТ/ВОП (інтерфейси: V2 – потенційний вихід (напруга), I2 – струмовий вихід, Код – вихід АЦП)



Конструкція струмових головок БОТ виробництва фірми NxtPhase: а) для плоскої шини;

б) для одиночної круглої шини;

в) для спарених круглих шин



Конструкція ізоляційної колони з пристроєм ВОТ



Рисунок 3.4 – Конструкція та монтаж вимірювальної петлі для ВОП типу NXCT-F3 (а,б) компанії NxtPhase, типу LKCO-60 (в) компанії DynAmp та FOCS (г) компанії ABB на потужних технологічних шино проводах.

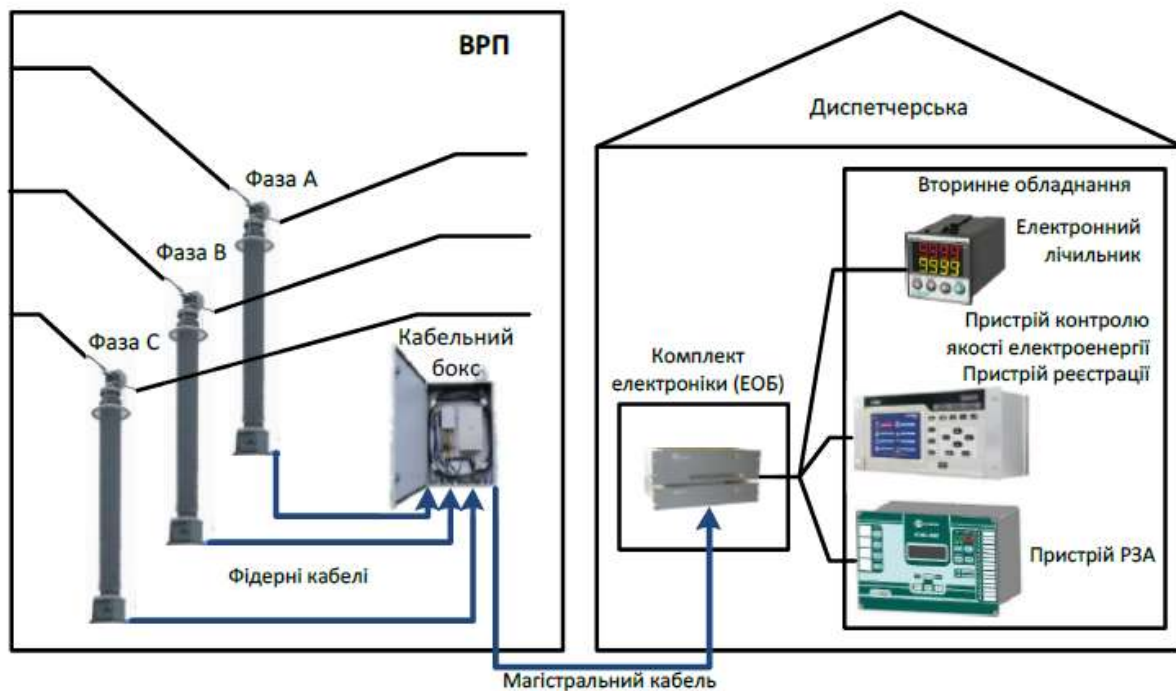


схема підключення перетворювача NXCT-F3 до трьохфазної мережі.

В роботі було розглянуто розглянуто електробезпеку при роботі з оптичними вимірювальними трансформаторами, проведено аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів.