МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

ЛОБОДА ПЕТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.31

ПОБУДОВА МОДЕЛІ ТЕЛЕМЕХАНІЧНОГО УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛЬЧИМ ПРИСТРОЄМ 35/10/6 кВ

141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Автореферат

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль

2018

Роботу виконано на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: старший викладач кафедри електричної інженерії
Чубатий Юрій Олегович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

Консультант: доктор технічних наук, професор кафедри електричної інженерії
Андрійчук Володимир Андрійович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

Рецензент: кандидат технічних наук, старший викладач кафедри фізики
Сіткар Оксана Андріївна,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

Захист відбудеться 27 грудня 2018 р. о $14^{.00}$ годині на засіданні екзаменаційної комісії № 36 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, навчальний корпус № 7, ауд. 310

ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ

Актуальність теми. Актуальність роботи визначається підвищеними вимогами до систем телемеханічного управління відкритими розподільчими пристроями, а саме до діагностики, моніторингу великої кількості різних за своєю природою параметрів, якими характеризується робота розподільчого пристрою в цілому та окремих його частин (силових, вимірювальних трансформаторів, роз'єднувачів, обмежувачів перенапруги, вимикачів, різноманітних лічильників, що ведуть облік енергоресурсів, датчиків, які контролюють роботоздатність обладнання розподільчого пристрою тощо) і необхідністю енергозбереження при забезпеченні належної якості електроенергії, яка подається споживачам.

Розвиток електричних мереж, пов'язаних з ними розподільчих пристроїв, що змінюють параметри електроенергії, яка передається від генеруючих підприємств до споживачів сприяє планомірному підйому економіки України. Нагальність цього питання пов'язана з тим, що діючі мережі в деяких випадках вже вичерпали свій ресурс, розвивалися випадково і тому мають складну конфігурацію, яка іноді порушує надійність живлення споживачів. У таких умовах введення в дію нових підстанцій потребує попереднього ретельного дослідження стану існуючої мережі і виявлення можливості приєднання до неї додаткових споживачів. Максимальне використання мереж, які вже функціонують, при їх розвитку дає можливість значно заощадити обмежені капітальні вкладення, але, з іншого боку, додаткове завантаження мережі веде до збільшення втрат електроенергії, обмеженню в забезпеченні споживачів потрібною кількістю електроенергії. Крім того, це може викликати порушення технічних норм щодо якості електроенергії, особливо в мережах 35, 10, 6 кВ.

Таким чином, обрання кращого варіанту розвитку мережі виконується на підставі детального техніко-економічного аналізу. При його виконанні слід враховувати нові економічні умови, в яких енергетичні об'єкти вже перебувають не лише у державній, а й частково приватній власності. Фірми-володарі електричних мереж дозволять приєднання нових підстанцій до них тільки в тих випадках, коли це не зменшить їх прибуток від основної діяльності, а в перспективі – мало б підвищити його. При цьому повинні виконуватися вимоги забезпечення достатнього рівня надійності і безперервності електропостачання споживачів, потрібної гнучкості схеми, яка забезпечує її пристосованість до різних режимів розподілу потужності, в тому числі при аварійних і планових відключеннях.

Тому дослідження, спрямовані на аналіз режимів роботи розподільчими пристроями, розробку методів їх функціонального діагностування, управління роботою розподільчих пристроїв методами телемеханіки і на підставі цього розробку моделей телемеханічного керування розподільчими пристроями різної напруги, дозволять підвищити їх експлуатаційну надійність.

Мета і завдання дослідження.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є моделювання кращого в техніко-економічному розумінні варіанту відкритого розподільчого пристрою 35/10/6 кВ з можливістю телемеханічного управління його роботою.

Для досягнення цієї мети поставлено наступні *задачі дослідження*:

1. Дослідити процеси роботи розподільчого пристрою 35/10/6 кВ.
2. Розробити модель функціонального діагностування компонентів, що входять у склад розподільчого пристрою та ліній електропередач, які до нього під'єднані.
3. Розробити модель телемеханічного управління роботою розподільчого пристрою 35/10/6 кВ.

Об'єкт дослідження – електричні процеси, що відбуваються при роботі розподільчого пристрою 35/10/6 кВ та лініях електропередач, під'єднаних до нього.

Предмет дослідження – закономірності процесів роботи розподільчого пристрою 35/10/6 кВ та лініях електропередач, під'єднаних до нього.

Наукова новизна роботи.

Наукова новизна роботи полягає у можливості завчасного виявлення та попередження зношення ізоляції ліній електропередач, під'єднаних до розподільчого пристрою, контролю та діагностуванні роботи складових елементів розподільчого пристрою по різних їх робочими характеристиками без порушення роботи пристрою в цілому та можливості дистанційного керування.

Практична значущість роботи.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що на основі розробленої моделі пункту телемеханічного управління розподільчим пристроєм 35/10/6 кВ, можна проектувати роботу згаданих розподільчих пристроїв, діагностувати і контролювати параметри його компонентів. На базі отриманих математичних моделей розроблені комп'ютерні програми розрахунків параметрів пристроїв діагностування та попередження аварійних ситуацій, що можуть виникати при роботі складових частин розподільчого пристрою. Використання таких математичних моделей дозволяє підвищувати експлуатаційну надійність не лише розподільчого пристрою, а й ліній електропередач, під'єднаних до нього.

Апробація.

Основні положення роботи і її результати доповідалися на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 28-29 листопада 2018 р. (Тернопіль 2018 р.)

Структура роботи.

Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань (32 найменування).

Загальний обсяг текстової частини – 95 сторінок, 11 таблиць, 24 рисунки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано загальну характеристику роботи: стан розробки наукової проблеми й актуальність, мету і завдання роботи, об’єкт та предмет дослідження, описану наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів.

У першому розділі «Аналітична частина» проведений аналіз законодавчих аспектів у сфері роботи та управління електроенергетикою показав, що цій галузі надається важливого, проте не зовсім достатнього значення. Реконструкція, повна або часткова заміна спрацьованого обладнання підстанцій потребує швидшого проведення та повинна виконуватися сукупно із впровадженням систем телемеханічного управління роботою підстанцій.

Коротко приведені основні характеристики основного електротехнічного обладнання відкритого розподільчого пристрою 35/10/6 кВ, а саме силових трансформаторів, автотрансформаторів, роз'єднувачів, обмежувачів перенапруг, вимикачів.

Розглянуто питання застосування телеметричних систем у енергетичній галузі. Система телеметрії спільно з системами і пристроями управління утворює в результаті систему телемеханіки, яка здатна ефективно вирішувати як завдання достовірного контролю стану технологічного процесу та обладнання, так і завдання ефективного управління всім технологічним комплексом.

Особливістю розроблюваної систем телемеханіки є її комплексність: безліч істотно різнотипних параметрів (температура зовнішнього середовища, тиск, температура масла в трансформаторах, тиск та концентрація газів у маслі трансформаторів, електричні параметри і т. д.). Така комплексність, як правило, поєднується з широким спектром частотно-часових характеристик параметрів промислових об'єктів, що будуть телеметруватися. В результаті виникає необхідність локалізації інтегральних оцінок за групами устаткування і введення локального управління в окремих технологічних перетинах всього виробничого процесу.

В області розробки програмних засобів спостерігається тенденція розробки універсального інструменту, який дозволяє фахівцеві швидко і ефективно вирішувати проблеми збору, обробки, представлення інформації та управління промисловими об'єктами, а також пристосуватися до особливостей процесу.

Розробка систем телемеханіки (СТ) (включаючи програмні і апаратні засоби), які дозволяють на їх основі створювати сучасні SCADA-системи (система збору даних і оперативного диспетчерського управління), забезпечує високоефективний рівень сучасного виробництва.

У другому розділі «Науково-дослідна частина» приведено розв’язок основних задачі системи телемеханіки для відкритого розподільчого пристрою 35/10/6 кВ.

Весь комплекс СТ повинен забезпечувати вирішення таких основних завдань, як:

• поточний контроль стану окремих блоків і вузлів основного та допоміжного обладнання, що забезпечує функціонування промислового об’єкта;

• поточний контроль параметрів процесів в окремих технологічних зрізах;

• комплексний контроль процесу в окремих групах технологічного обладнання;

• забезпечення своєчасної сигналізації про виникнення аварійних ситуацій.

Ядром системи телемеханіки має бути телеметрична система, призначена для виконання наступних функцій:

• вимірювання групи параметрів, що характеризують стан окремих вузлів та безпосередньо процесів, що відбуваються в них;

• представлення результатів вимірювань у формі, зручній для подальших операцій;

• збору даних про стан окремих блоків і вузлів промислового обладнання і про поточні параметри процесів у них;

• обробки даних з метою отримання інформації про стан окремих вузлів промислового обладнання і характер протікання процесу в окремих його вузлах;

• перетворення результатів обробки до виду, що забезпечує оперативне сприйняття людиною-оператором інформації про поточний стан процесу за допомогою дисплея чи іншої системи сигналізації;

• ведення архіву даних про процес з метою ретроспективного аналізу ходу протікання процесів у промисловому об’єкті;

• сигналів, що попереджають про порушення режиму і виникненні аварійної ситуації;

• вирішення діагностичних завдань з метою визначення та своєчасної локалізації місця виникнення порушення режиму, що змінює характер протікання процесу.

Проведено вдосконалення методики розробки автоматичної системи діагностики ЛЕП. Для попередження раптових відключень внаслідок пошкодження ізоляторів ЛЕП виконувалося завдання проведення автоматичної системи діагностики, яка зводилася до виявлення та подання інформації про часткові розряди і дозволяє:

• визначати стан ізоляторів ЛЕП по кожній фазі під робочою напругою з точністю до опори і постановкою діагнозу по градації: „Норма”, „Передаварійний стан”, „Аварія”;

• реєструвати наявність коротких замикань в лінії, визначаючи місце аварії з точністю до опори;

• реєструвати удари блискавки, визначаючи місце з точністю до опори.

У третьому розділі «Технологічна частина» виконано моделювання автоматичної системи діагностики і керування обладнанням розподільчого пристрою.

Розроблено можливість, щоб система розширеної стаціонарної діагностики базувалася на результатах проведення сукупності «on-line» тестів, виконуваних на працюючому трансформаторі в автоматизованому режимі.

Сучасна система розширеного моніторингу, силових трансформаторів, діагностики обладнання розподільчого пристрою виконує моніторинг: часткових розрядів згідно IEC 60270 - 2000-12 „Методи високовольтних випробувань – вимірювання часткових розрядів”, струмів трьох фаз трансформатора (сторона ВН або НН) – $I_ф$, напруги трьох фаз, (сторона ВН і НН) – $U_ф$, струмів провідності вводів – $I_п$, струмів нульової послідовності – I_0 , температури верхній і нижній частині бака трансформатора ($t_В$ і $t_н$ відповідно), вологості Н і температури t навколишнього повітря, струмів витоку – $I_в$, реєстрації хімічного складу розчинених у трансформаторному маслі газів: (H_2 – водень, CH_4 – метан, CO_2 – вуглекислий газ , C_2H_6 – етан, C_2H_4 – етилен, C_2H_2 – ацетилен, CO – окис вуглецю, O_2 – кисень). Після діагностики проводиться запис виміряних вище величин до бази даних (БД). Розроблено оригінальний математичний апарат, який розраховує: величину тангенса кута втрат вводів tg(δ) і величини їх ємності С1, деформацію обмоток трансформатора на основі оперативного розрахунку параметра Z_k після електродинамічних впливів на обмотки трансформатора і уточнювати „образи дефектів” за результатами реєстрації розчинених газів і вологи в трансформаторному маслі.

Збережені в БД результати моніторингу зазначених параметрів, тобто оброблені за спеціальними алгоритмами даних, забезпечують оперативну діагностику вищевказаного обладнання і прогнозування залишкового ресурсу силових трансформаторів.

Всі ці вимірювання можуть бути зроблені під робочою напругою, тобто 35/10/6 кВ.

Запропоновано вирішення завдання локація можливого місця пошкодження ЛЕП. По різниці у часі фіксації сигналу від часткових розрядів (ЧР) у двох суміжних реєстраторах визначається фізична координата виникнення ЧР в повітряній лінії. Точність такого визначення становить ± 20 м при синхронізації по GPS, ± 2 м при синхронізації по оптоволокну, похибки визначені з інструкції до приладу OVM-3, яким фіксуються дані сигнали.

У четвертому розділі «Проектно-конструкторська частина» виконано обґрунтування моделі програмно-технічного комплексу автоматизованої системи моніторингу (АСМ) трансформаторів 35/10 кВ 10/6 кВ. Вона має відкриту трирівневу архітектуру, як по каналах зв'язку, так і програмно-апаратного забезпечення і дозволяє розширювати функціональні можливості АСМ шляхом додавання нових датчиків, інтелектуальних контролерів, алгоритмів обробки сигналів і діагностування нових об'єктів електротехнічного призначення відкритого розподільчого пристрою.

Перший (І) – верхній рівень АСМ організований як підсистема на основі стаціонарної робочої станції, виконаної на базі комп'ютера, джерела безперебійного живлення, промислової локальної мережі на базі інтерфейсу RS-485.

Другий (II) – нижній рівень АСМ. Організований на базі інтелектуальних контролерів-збирачів даних з датчиків встановлених на трансформаторах. Територіально підсистеми нижнього рівня розподілені так, що можуть бути об'єднані з підсистемою верхнього рівня по локальній промислової мережі на базі інтерфейсу RS-485.

Третій рівень (III) – рівень датчиків, встановлених стаціонарно на конкретному силовому і високовольтному обладнанні відкритого розподільчого пристрою 35/10/6 кВ.

Параметри, які контролюються та методи, які використовують для контролю наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Контрольований параметр	Використовуваний метод контролю
Стан головної ізоляції	Вимірювання та аналіз ЧР в ізоляції трансформатора. Виявлення типу дефекту, кореляція інтенсивності ЧР і типу виявленого дефекту з даними хроматографії.
Контроль стану вводів	Контроль струмів провідності вводів. Відключення трансформатора при виникненні передаварійній ситуації, контроль ЧР.
Контроль опору обмоток фаз	Вимірювання та аналіз струму в нейтралі трансформатора. Виявлення несиметрії опорів обмоток, що виникає при порушенні форми обмоток після впливу струмів КЗ.
Контроль роботи системи охолодження	Вимірювання та аналіз струму в нейтралі трансформатора. Виявлення несиметрії опорів обмоток, що виникає при порушенні форми обмоток після впливу струмів КЗ.

Запропонована у дипломному проекті система діагностики (моніторингу) та телемеханічного управління основного обладнання відкритого розподільчого пристрою 35/10/6 кВ та ЛЕП, що підходять до нього, дасть змогу оперативно отримувати інформацію про стан роботи розподільчого пристрою, вчасно виявляти та попереджувати дефекти та аварійні стани, контролювати стан

ізоляції на ЛЕП, у силових трансформаторах, іншому обладнанні розподільчого пристрою.

У п'ятому розділі «Спеціальна частина» проведено прогноз економічну ефективність системи моніторингу та телемеханічного управління силових трансформаторів у розподільчих пристроях 35/10/6 кВ.

Для розрахунку зменшення ступеня відмови при застосуванні систем діагностики і моніторингу під робочою напругою повинно бути враховано значення ступеня виявлення більшості дефектів. Проте моніторинг значного числа параметрів обладнання лише протягом декількох років може дати достовірний результат. Тому може бути зроблена тільки приблизна оцінка, заснована на досвіді застосування систем діагностики і моніторингу в Україні та інших країнах Європи.

При тривалому спостереженні виділення розчинених у трансформаторному маслі газів при дефектах, прискорення старіння через підвищеного вмісту вологи в маслі або аномального нагріву в результаті дефектів охолоджувальної системи, ймовірність виявлення параметрів, що визначатимуть ступінь дефектів складає, орієнтовно, 70-80 %.

Система діагностики і моніторингу на базі термічної моделі, видає попередження у разі виникнення проблем з системою охолодження (тобто відмова вентиляторів і маслонасосів, забруднення охолоджувачів). При такому підході ймовірність визначення ступеня дефектів – більше 95%.

У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» проведено визначення економічного ефекту від впровадження пристрою діагностування, проведено розрахунок економічної ефективності від експлуатації нового обладнання, розроблено шляхи зниження сумарних річних витрат.

У сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто організаційні заходи з електробезпеки в електроустановках, проведено розрахунок занулення експериментальної ділянки та здійснено теоретичну організацію цивільного захисту на досліджуваному об'єкті.

У восьмому розділі «Екологія» розглянуто основні поняття екологічного моніторингу та запропоновані заходи практичного застосування моніторингу навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

На підставі виконаних досліджень в дипломній роботі зроблено наступні висновки:

1. Проаналізовано законодавчі аспекти управління електроенергетикою, характеристики електротехнічного обладнання відкритого розподільчого пристрою 35/10/6 кВ, особливості застосування телеметричних систем у сучасній енергетичній галузі, задачі системи телемеханіки для відкритого розподільчого пристрою 35/10/6 кВ. Проведені порівняльні характеристики існуючих аналогічних установок, розроблених в різних європейських країнах.

2. Запропоновано методики розробки автоматичної системи діагностики ЛЕП по дистанційній реєстрації часткових розрядів, яка дозволяє визначати дефекти ізоляції з точністю до ± 20 м при синхронізації по GPS, ± 2 м при синхронізації по оптоволокну (середня відносна похибка не перевищує 3%), а місце аварії з точністю до опори.

3. Знайшли подальший розвиток методики розробки автоматичної системи розширеної діагностики і керування обладнанням розподільчого пристрою, що базуються на результатах проведення сукупності «on-line» тестів, що виконуються на працюючому обладнанні в автоматизованому режимі з максимальною абсолютною похибкою ±3,5 % і середньою відносною похибкою менше 5 %.

4. Вдосконалено методику діагностики та телемеханічного управління трансформаторами 35/10 кВ 10/6 кВ. Розроблено алгоритм можливого аналізу контролю стану роботи силових трансформаторів.

5. Діагностика роботи трансформаторів 35/10 кВ 10/6 кВ проводиться автоматизованою системою моніторингу з відкритою трирівневою архітектурою, що дозволяє розширювати її функціональні можливості шляхом додавання нових датчиків, інтелектуальних контролерів, алгоритмів обробки сигналів і діагностування нових об'єктів електротехнічного призначення відкритого розподільчого пристрою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лобода П.В., Чубатий Ю.О. Побудова моделі телемеханічного управління розподільчим пристроєм 35/10/6 кВ. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2018. – С. 49.

АНОТАЦІЯ

Лобода П.В. Побудова моделі телемеханічного управління розподільчим пристроєм 35/10/6 кВ, 141 – Електроенергетика, електротехніка

та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

У дипломній роботі приведено результати теоретичних досліджень для вирішення науково-технічного завдання, яке полягає в побудові моделі телемеханічного управління розподільчим пристроєм 35/10/6 кВ з метою підвищення експлуатаційних показників його роботи.

Ключові слова: електрична мережа, телемеханічна система, силовий трансформатор, лінія електропередачі, електротехнічне обладнання.

ANNOTATION

Loboda Petro. Construction of models of telemechanical management by switchgear 35/10/6 kV, 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2018.

In the diploma paper the results of theoretical researches for solving the scientific and technical task, which consists in the construction of a model of telemechanical control of a 35/10/6 kV switchgear in order to increase the operational performance of its operation.

Key words: electrical network, telemechanical system, power transformer, power line, electrical equipment.