

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації
виробництва та інженерної екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Кондратюк Денис Сергійович

УДК 620.93

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування технічних засобів моніторингу відключень та відхилень
напруги на вводах сільських споживачів**

141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Савченко Л.Г.

к.і.н., доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Кондратюк Денис Сергійович. Обґрунтування технічних засобів моніторингу відключень та відхилень напруги на вводах сільських споживачів. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В даному дипломному проєкті запропоновано структуру системи моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів. Система містить пристрої контролю кількості та тривалості відключень і відхилення напруги на вводах споживачів і в контрольних точках мережі, пристрої збирання та передавання даних і блок опрацювання даних, який дає змогу опрацьовувати дані із зазначених пристроїв і виводити інформацію диспетчеру електромережевої компанії. Виходячи з отриманих даних визначено кількісний склад елементів системи моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів.

Розроблено технічні засоби моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів, зокрема, пристрій контролю кількості та тривалості відключень електроенергії та контролю рівня відхилення напруги на вводах споживачів, алгоритми їхньої роботи та роботи система моніторингу відключень і відхилення напруги. Алгоритми роботи пристрою контролю кількості та тривалості відключень електроенергії та контролю рівня відхилення напруги на вводах споживачів дають змогу виявляти переривання напруги, відхилення напруги нижче й вище за припустимий рівень, перевантаження й коротке замикання у внутрішній мережі споживача, фіксувати факт і час їхньої появи, тривалість, а також надсилати цю інформацію про них диспетчеру електричної мережі та споживачеві.

Ключові слова: пристрій контролю, електрична мережа, напруга, відключення, електроенергія.

ANNOTATION

Kondratiuk Denis Sergeyeovich. Substantiation of technical means for monitoring outages and voltage deviations at rural consumers' entrances. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for the bachelor's degree in the specialty 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics". – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In this thesis project, the structure of the system for monitoring outages and voltage deviations at the inputs of rural consumers is proposed. The system includes devices for monitoring the number and duration of outages and voltage deviations at consumer inputs and at control points of the network, data collection and transmission devices, and a data processing unit that allows processing data from these devices and displaying information to the dispatcher of the power grid company. Based on the data obtained, the quantitative composition of the elements of the system for monitoring outages and voltage deviations at the inputs of rural consumers was determined.

Technical means for monitoring outages and voltage deviations at the inlets of rural consumers were developed, in particular, a device for monitoring the number and duration of power outages and controlling the level of voltage deviation at consumer inlets, algorithms for their operation and the operation of the system for monitoring outages and voltage deviations. The algorithms of operation of the device for monitoring the number and duration of power outages and controlling the level of voltage deviation at consumer inputs make it possible to detect voltage interruptions, voltage deviations below and above the permissible level, overloads and short circuits in the consumer's internal network, record the fact and time of their occurrence, duration, and send this information to the power grid dispatcher and the consumer.

Keywords: control device, power grid, voltage, outage, electricity.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ.....	8
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ НОВИХ СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ВІДКЛЮЧЕНЬ НА ВВОДАХ СІЛЬСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ.....	16
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ КІЛЬКОСТІ ТА ТРИВАЛОСТІ ВІДКЛЮЧЕНЬ І ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ.....	27
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	35

ВСТУП

Забезпечення надійного електропостачання сільських споживачів за умови постачання їм якісної електричної енергії є необхідною умовою ефективного розвитку всього сільського господарства. Одним з основних показників надійності електропостачання є час перерв у подачі електроенергії. При цьому в середньому перерви в сільських мережах досягають близько 100 годин на рік. Важливим показником якості електроенергії (ПКЕ) є повільна зміна напруги, а фактично відхилення напруги від нормованого значення. Відсутність систем моніторингу, що дають змогу здійснювати контроль фактичних значень кількості та тривалості відключень живлення споживачів, рівня відхилення напруги на вводах споживачів, не дає змоги вчасно реагувати на відмови в електричних мережах і на погіршення якості електроенергії, що постачається сільським споживачам. Усе це призводить, у випадку виробничих сільськогосподарських споживачів, до недовипуску і зниження якості продукції, а у випадку з комунально-побутовими споживачами - до зниження комфортності проживання в сільській місцевості, що, в комплексі з іншими причинами, призводить до відтоку населення з села. Моніторинг відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів є інструментом, що дає змогу не тільки скоротити час перерв в електропостачанні та своєчасно регулювати якість електричної енергії, що постачається, досліджувати режими роботи мережі, а й служить необхідною частиною для побудови інтелектуальних розподільчих мереж, здатних значно знизити витрати на функціонування електричних мереж. Тому розробка технічних засобів моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських електричних мереж споживачів є актуальним завданням для підвищення ефективності систем електропостачання сільських споживачів.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка технічних засобів моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів 0,4 кВ, що дають змогу, завдяки оперативному реагуванню, скорочувати час перерв в електропостачанні та час невідповідності якості електроенергії, що постачається сільським споживачам.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено і вирішено такі завдання:

- розробити способи моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів;
- розробити технічні засоби моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів, алгоритми їхньої роботи.

Об'єкт дослідження: є системи електропостачання, які живлять сільськогосподарських виробничих споживачів.

Предмет дослідження: відключення та відхилення напруги на вводах сільських споживачів, їх тривалість і засоби їх моніторингу

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко Л. Г., **Кондратюк Д. С.** Основні показники ефективності систем електропостачання сільських споживачів та їхній моніторинг. Збірник тез IX-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. м. Житомир, 5 квітня 2023 року. Житомир : ЖАТФК. С. 188-190.
2. Савченко Л. Г., **Кондратюк Д. С.** Експериментальні дослідження розробленого пристрою контролю кількості та тривалості відключень і відхилення напруги. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науковопедагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. С. 159-162.

Практичне значення одержаних результатів. Реалізація розроблених способів і технічних засобів у вигляді системи моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів забезпечує підвищення ефективності систем електропостачання завдяки скороченню часу одержання інформації про пошкодження і часу на її розпізнавання, що призводить до скорочення часу перерв в електропостачанні.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 36 сторінка комп'ютерного тексту, містить 1 таблиця і 12 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ

1.1 Основні показники ефективності систем електропостачання сільських споживачів та їхній моніторинг

Підвищення ефективності систем електропостачання сільських споживачів, починаючи від приватних будинків у населених пунктах і закінчуючи великими агропромисловими об'єктами, є актуальним і досить складним завданням для енергопостачальних організацій. Це зумовлено віддаленістю енергоспоживачів від точок розподілу електроенергії, зношеністю енергообладнання (ліній електропередач, трансформаторних підстанцій), а також нестачею спеціалістів, залучених до обслуговування цього виду обладнання. Зрештою, це призводить до зростання числа виходу з ладу обладнання та збільшення перерв в електропостачанні, внаслідок яких енергопостачальні організації зазнають збитків через ліквідацію наслідків аварій, а споживачі - через порушення технологічного процесу, спричинені припиненням подачі електричної енергії. Також можливі ситуації, в яких постачання електроенергії сільськогосподарським споживачам може приносити економічні збитки енергопостачальній організації, тому що витрати на обслуговування споживача можуть перевищувати одержувані доходи від продажу електроенергії. У таких випадках підвищення ефективності систем електропостачання стає першочерговим завданням для всіх учасників ринку, як для постачальника електричної енергії, так і для кінцевого споживача, надаючи останньому надійне електропостачання зі встановленими показниками якості

електричної енергії (ЯЕ). Вирішенням цього завдання займаються багато вітчизняних учених, такі як Карташев І.

І., Тульський В.М., Виноградов А.В., Бородин М.В., Садулаєв Н. Н., Папков Б.В., а також велика кількість публікацій, присвячена цій тематиці, надана іноземними фахівцями: Kabalci Y., Siano P., Zhou J і багатьох інших. До розв'язання цієї проблеми долучено багато виробничих організацій, включно з такими інноваційними гігантами, як корпорації ABB, General Electric і Schneider Electric.

Під системою електропостачання (СЕР), згідно з ПУЕ (7-е видання), розуміють сукупність електроустановок, призначених для забезпечення споживачів електричною енергією. Інакше кажучи, це сукупність джерел і систем перетворення, передавання та розподілу електричної енергії, до якої не входять самі споживачі.

Таким чином, згідно з визначенням, запропонованим Виноградовим О.В., "ефективність системи електропостачання – це характеристика функціонування сукупності джерел і систем перетворення, передавання та розподілу електричної енергії з позиції забезпечення споживачів електричною енергією з мінімально можливими витратами за умови дотримання заданих параметрів якості електроенергії та надійності електропостачання, а також дотримання термінів і якості технологічних приєднань".

Надійність електропостачання є одним з основних критеріїв ефективності електропостачання. Відповідно до ПУЕ всі електроприймачі за надійністю електропостачання поділяються на три категорії: I, II, III. Під надійністю системи електропостачання розуміється безперервне забезпечення споживачів електроенергією відповідно до графіка електроспоживання та за схемою, яка передбачена для тривалої експлуатації. Системна надійність включає в себе надійність генерації електроенергії, надійність постачання електростанцій паливно-енергетичними ресурсами, надійність основної електричної мережі, а також участь споживачів у забезпеченні стійкості та живучості СЕР. Надійність

електропостачання залежить від системної надійності, тобто надійності постачання електроенергії в пункти живлення розподільних електричних мереж (РЕМ), надійності РЕМ загального користування, а також надійності зовнішніх і внутрішніх схем електропостачання конкретних споживачів електричної енергії.

У багатьох роботах виокремлюють такі чинники, що визначають надійність системи електропостачання:

- 1) Забезпеченість електростанцій первинними енергоресурсами;
- 2) Надійність електроенергетичних об'єктів;
- 3) Структура побудови СЕП, що включає конфігурацію й параметри взаємозв'язків і взаємозалежностей основного устаткування (об'єктів) систем, співвідношенням централізації та децентралізації перетворення, передання та розподілу електроенергії;
- 4) Принципи й рівні резервування та запасів усіх видів;
- 5) Управління СЕП, яке містить усі господарства, а також їхні функції, які визначають вплив на електрообладнання, прилади та апарати і оцінюються показниками якості електроенергії.

Під якістю електроенергії (ЯЕ) розуміють сукупність її властивостей, що визначають вплив на електрообладнання, прилади та апарати й оцінюються показниками якості електроенергії (ПЯЕ). Усі показники та норми якості електричної енергії в точках передавання електричної енергії користувачам електричних мереж регламентується стандартом. Він установлює 9 показників ЯЕ: відхилення частоти, повільні зміни напруги, коливання напруги та флікер, несинусоїдальність напруги, несиметрія напруг у трифазних системах, напруга сигналів, переданих електричними мережами, переривання напруги, провали напруги та перенапруги, імпульсні напруги.

Необхідно розуміти, що надійність електропостачання і якість електроенергії взаємопов'язані і впливають один на одного. Очевидно, що за низької надійності електропостачання забезпечення високої якості електричної

енергії неможливе в принципі і навпаки. Так низька ЯЕ знижує надійність системи електропостачання через збільшення ризику виходу з ладу обладнання. І якщо не використовувати засоби підвищення, виникає замкнене коло: зі зниженням надійності електропостачання зменшується якість електроенергії, що, своєю чергою, спричиняє підвищену аварійність обладнання, що є зниженням надійності електропостачання. У результаті можуть виникнути такі явища в СЕП, як "колапс якості (напруги, частоти)", "лавина ненадійності", "порушення стійкості паралельної роботи", "розвал системи" тощо. Також у функціонуванні СЕП мають враховуватися численні невизначеності в системі, що виникають унаслідок увімкнення та вимкнення навантажень у мережі. Тому надійне електропостачання та висока якість електричної енергії є основними параметрами, що визначають ефективну систему електропостачання.

Так, у багатьох роботах для визначення ефективності систем електропостачання використовують узагальнений показник, що складається з показників ефективності силової частини СЕП та ефективності функціонування вторинних кіл СЕП. Показниками ефективності роботи силової частини систем ЕС є коефіцієнт якості, що характеризує зміну ЯЕ на виході систем електропостачання, та енергетичний коефіцієнт, що визначає ступінь ефективності передачі електроенергії за запропонованою схемою ЕС. А ефективність роботи вторинних кіл характеризується коефіцієнтом функціонування СЕП, що визначає рівень автоматизації, системи обліку, надійності та захисту. Головним недоліком запропонованого підходу у визначенні ефективності СЕП є те, що він враховує тільки технічні параметри систем електропостачання, і не враховує економічну сторону роботи систем електропостачання.

Як один із критеріїв ефективності СЕП пропонують використовувати мінімум втрат електроенергії. У цьому підході враховується величина втрат електроенергії загалом у мережі в нормальному режимі, а також збільшення втрат і можливе зниження споживання електроенергії в аварійному і

післяаварійному режимі. Очевидно, що цього критерію явно недостатньо для повного визначення ефективності системи електропостачання.

У деяких роботах для визначення ефективності СЕП пропонується включати ціну на електроенергію. Цей підхід передбачає, що електропостачальна організація орієнтована стосовно СЕС на отримання максимальної оплати за електричну енергію, тоді як для споживача ефективність, навпаки, пов'язана з мінімальними витратами за споживану електроенергію.

Знаходження балансу між цими крайнощами є показником ефективності СЕП. На практиці цей підхід не відображає ефективність системи електропостачання з боку зниження витрат на обслуговування СЕП.

Велику роботу з визначення ефективності виконано в Китайській Народній Республіці. В цих роботах проводять розрахунок ефективності на основі робіт і беруть у розрахунок такі дані: кількість відпущеної електроенергії, кількість підключених споживачів, вартість електроенергії, вартість витраченої праці, а також ВВП на душу населення. Інтерес викликає останній показник, оскільки він, на думку авторів, вказує на важкі умови, що не дає змоги підвищити ефективність СЕП.

1.2. Способи та технічні засоби моніторингу якості електричної енергії, що постачається сільським споживачам

Основними завданнями, що здійснюються вимірювачами показників якості електроенергії, є:

1. виявлення перешкод у СЕС, включно з визначенням типу спотворення ЯЕ і його рівня;
2. Реєстрація вимірних числових характеристик спотворення ЯЕ з метою оброблення та відображення результатів;

3 Оцінка вимірних значень показників якості електроенергії на відповідність допустимим відхиленням від норм, установлених вимогами ДСТУ;

4. визначення джерела перешкод;

5. Проведення комерційних розрахунків між постачальником і споживачем електричної енергії.

Залежно від тривалості спостереження можна виділити два види організації контролю ЯЕ: постійний і періодичний. Постійний контроль (моніторинг) ЯЕ відрізняється від періодичного в безперервності часу вимірювань і подальшого опрацювання отриманих результатів. Тобто, моніторинг якості електроенергії - це систематичне спостереження, оцінка та прогноз рівнів кондуктивних електромагнітних завад в електроенергетичних мережах з метою контролю відповідності (або невідповідності) КЕЕ вимогам режиму СЕС та/або встановленим вимогам.

Моніторинг ЯЕ є невід'ємною частиною для створення інтелектуальної системи електропостачання (Smart Grid), що базується на сучасних засобах контролю та управління мережами ЕС, тому що на основі статистичної бази даних попередніх вимірів дає змогу спрогнозувати процеси в СЕС та очікувані рівні ПКЕ. Що своєю чергою, завдяки вчасно застосованим заходам щодо недопущення економічних збитків постачальнику або споживачу електроенергії, дає змогу запобігти розвитку аварійних ситуацій. Так, наприклад, у деяких роботах описується застосування моніторингу ЯЕ в електропостачальній організації Jacksonville Electric Authority (JEA), розташованій у Джексонвіллі, Флорида, США. Моніторинг на момент написання статті проводили за допомогою аналізаторів ЯЕ ION7650 or ION8600 компанії Schneider Electric у 17 точках виробництва електроенергії, у 73 - передавання та розподілу енергії і в 92 - на великих промислових об'єктах. У процесі моніторингу ЯЕ компанії вдалося запобігти виходу з ладу 4-х великих

трансформаторів. JEА оцінює економічний збиток від можливих непопереджених аварій у 4 мільйони доларів США.

Засоби вимірювання, що використовуються для моніторингу ЯЕ, мають відповідати певним вимогам, які визначають умови, за яких системи вимірювання (СВ) ПKE повинні нормально функціонувати в межах основної похибки, за забезпечення належного рівня безпеки від ураження електричним струмом. Загальні вимоги висуваються щодо: конструктивного виконання; кліматичних впливів; електроживлення; вхідних каналів; принципу дії; зберігання результатів вимірювання; відображення результатів вимірювань.

Характеристики, якими повинні володіти прилади для вимірювання ПKE:

1. Конструктивне виконання, що включає ступінь захисту оболонки від проникнення твердих предметів, пилу і води відповідно до стандартів IЕС 60529 або ДСТУ;

2. Робота в різних кліматичних умовах. ЗІ ПKE повинні нормально функціонувати за температур від -30 до $+40$ °С і відносної вологості до 90 %.

3. Електроживлення. СВ ПKE повинні забезпечувати можливість підключення як до мережі змінної напруги 57,7 В, 100 В, 220 В, при цьому функціонування приладу повинне здійснюватися і за провалів напруги та короткочасних перенапруг.

4. Вхідні канали. Вимірювання ПKE повинно проводитися в трьох фазах контрольованої мережі із заземленою або ізольованою нейтраллю;

5. Безперервне вимірювання ПKE. Також прилади повинні мати достатню за об'ємом енергонезалежну пам'ять, що дає змогу довго зберігати результати вимірювань.

6. Відображення результатів вимірювань;

7. Захист від несанкціонованого доступу;

8. Можливість інформаційного обміну.

Висновки по розділу

Застосування технічних засобів моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів дасть змогу скоротити витрати на експлуатацію системи електропостачання системи, витрати на покриття збитків і компенсаційні витрати, що буде здійснено за рахунок скорочення часу перерв в електропостачанні споживачів і часу виходів показників якості електроенергії за нормативні значення. Тому розробка технічних засобів моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів є актуальним завданням.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ НОВИХ СПОСОБІВ ТА ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ ВІДКЛЮЧЕНЬ НА ВВОДАХ СІЛЬСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ

Згідно з багатьма роботами, час відновлення електропостачання після відмов складається з таких складових: час отримання інформації, час на розпізнавання інформації, час на ремонт, час на

узгодження увімкнення та увімкнення. Інтервал часу отримання інформації можна скоротити застосуванням системи моніторингу контрольованої мережі. Система моніторингу автоматично повідомляє диспетчеру про відключення на конкретних ділянках електричної мережі, враховує кількість і тривалість даних відключень. Датчики такої системи моніторингу відключень в електричній мережі можуть розташовуватися на вводі споживачів або в декількох точках мережі, наприклад на початку, середині та наприкінці лінії електропередачі, а також на шинах трансформаторної підстанції залежно від можливого збитку від недовідпуску електроенергії споживачам.

Розроблено спосіб моніторингу відключень за допомогою встановлення датчиків моніторингу на вводах споживачів. Ці датчики можуть бути окремими пристроями або інтегрованими в лічильники електричної енергії. На рисунку 2.1 зображено схему датчика обліку кількості та тривалості відключень (ОКТО).

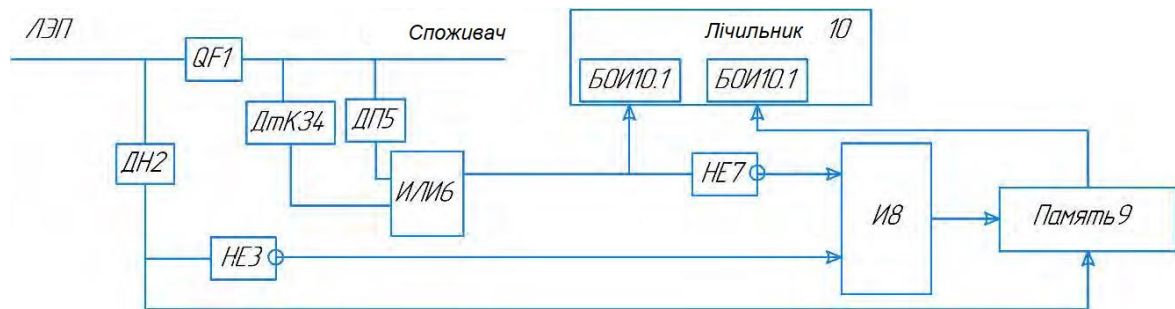


Рис. 2.1. Пристрій контролю кількості та тривалості відключень

Схема датчика містить автоматичний вимикач QF1, датчик напруги ДН2, датчик короткого замикання ДтКК34, датчик перевантаження ДП5, лічильник електроенергії з блоком оброблення інформації - Лічильник 10, елемент НЕ3, НЕ7, елемент АБО 6, елемент И 8, Пам'ять 9, Елемент БОИ 10(1), елемент БОИ 10(2).

У нормальному режимі роботи напруга присутня в лінії електропередачі, перевантаження або коротке замикання відсутнє у внутрішній мережі споживача, внаслідок чого на виході датчика напруги ДН 2 сигнал присутній, а на виходах елементів ДТК 34 і ДП 5 відсутній. У цьому разі на виході елемента АБО 6 сигнал відсутній, а елемент НЕ 7 подає сигнал на елемент И8. Оскільки на датчику напруги ДН 2 сигнал присутній, на виході елемента НЕ3 сигнал відсутній. Елемент И8 не подає сигнал на пам'ять 9. Сигнал на пам'ять 9 буде подано тільки в тому випадку, коли будуть два сигнали від елементів НЕ 3 і НЕ 7. При цьому сигнал з виходу датчика напруги ДН2 подається на скидання елемента Пам'ять 9. Схема не запускається.

У момент зникнення напруги на ввіді споживача зникає сигнал з виходу елемента ДН 2 і, відповідно, з'являється сигнал на виході НЕ 3, що подається на елемент И 8. Оскільки сигнали на виходах датчика струму короткого замикання ДТК3 4 і датчика перевантаження ДП 5 відсутні, то на елементі И 8 присутні два сигнали від елементів НЕ 3 і НЕ 7, що приводить до увімкнення елемента И 8, який буде запам'ятовуватись елементом Пам'ять 9 та передаватись до лічильника електроенергії, а саме до блоку оброблення інформації БОИ 10(2).

БОИ 10(2) запам'ятовує факт вимкнення і його тривалість. Сигнал про вимкнення передається інформаційним каналом на сервери електромережевої компанії, де проводиться обробка цієї інформації для подальшого її використання. У разі відновлення напруги на лінії електропередачі датчик ДН 2 зафіксує її наявність і "скине" елемент ПАМ'ЯТЬ 9, схема повернеться у вихідний стан. Діаграму сигналів на виходах елементів цього пристрою під час вимкнення напруги на ввіді споживача наведено на рис. 2.2.

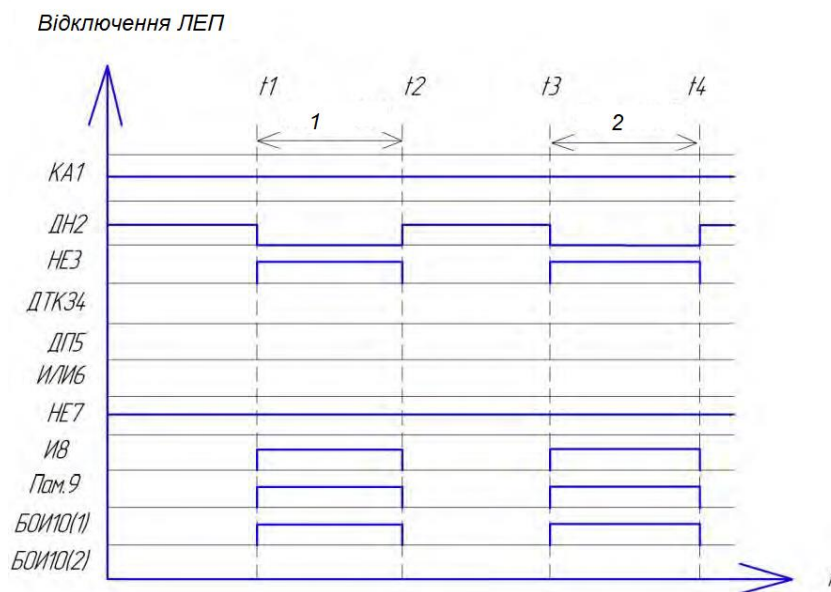


Рис. 2.2. Діаграма сигналів на виході елементів ОКТО під час відключення напруги на ввіді споживача

У разі, якщо у внутрішній мережі споживача з'являється струм КЗ, а напруга в ЛЕП не зникає, схема працює таким чином. Поява струму КЗ фіксується датчиком короткого замикання ДТКЗ 4, який подає сигнал на елемент ИЛИ6, який передає сигнал на елемент НЕ 7 і в блок оброблення інформації БОИ10(1), що фіксує факт короткого замикання у внутрішній мережі споживача та його тривалість. Водночас сигнал на виході елемента НЕ 7 буде відсутній під час струму КЗ або перевантаження. А оскільки коротке замикання у внутрішній мережі споживача спричинить провал напруги на введенні, то на виході датчика ДН 2 сигнал зникне, тоді як на виході елемента НЕ 3 він з'явиться і буде подано на один із входів елемента И8. Але оскільки сигналу на другому вході немає, елемент И8 не увімкнеться і сигналу на його

виході не з'явиться. Після спрацювання комутаційного апарата коротке замикання зникне, а за ним і сигнал з виходу ДТКЗ 4. У цей час рівень напруги на вводі відновиться, з'явиться сигнал на виході ДН 2 і елемент НЕ 3 не увімкнеться. Елемент И8, у такому разі, знову не спрацює. Таким чином, блок опрацювання інформації БОИ10(1) зафіксує факт короткого замикання у внутрішній мережі споживача без вимкнення напруги на вводі. Діаграма сигналів на виходах елементів цього пристрою в разі короткого замикання у внутрішній мережі споживача наведена на рис. 2.3.

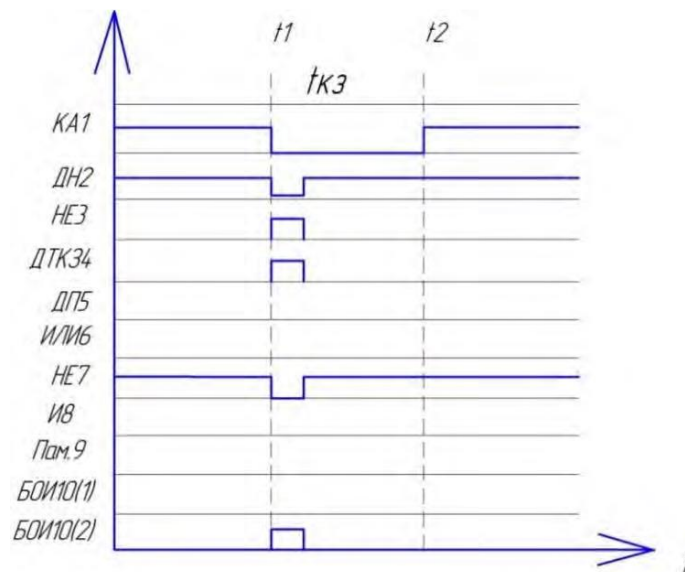


Рис. 2.3. Діаграма сигналів на виході елементів ОКТО при короткому замиканні у внутрішній мережі споживача

У разі якщо під час КЗ у внутрішній мережі споживача відбудеться вимкнення автоматичного вимикача (QF), що живить лінію ЛЕП, то схема працюватиме так. У разі появи КЗ на виході елемента ДТКЗ 4 з'являється сигнал, який, як у попередньому випадку, подається через елемент АБО 6 на вхід елемента НЕ 7 і блок оброблення інформації БОИ10(1), що фіксує факти КЗ і перевантажень у внутрішній мережі споживача. На виході елемента НЕ 7 сигнал у період присутності струму КЗ буде відсутній. Своєю чергою, коротке замикання викличе провал напруги на вводі споживача, що призведе до появи сигналу на виході елемента НЕ 3. Але, оскільки сигнал буде присутнім тільки на одному вводі елемента И8 (з елемента НЕ 3), то елемент И 3 не спрацює. Під

час відключення КА, що живить лінію ЛЕП, напруга на вводі споживача зникне. У цьому разі зникне КЗ, ДТКЗ 4 вимкнеться і через елементи АБО 6 і НЕ 7 подасть сигнал на И8. У цей час датчик напруги ДН 2 не спрацює і елемент НЕ 3 також подасть сигнал на елемент И9. У результаті чого будуть подані сигнали на обидва входи М, який подасть сигнал на Пам'ять 9. БОИ 10(2) зафіксує факт і тривалість відключення напруги на вводі споживача. Інформація про ці факти зберігатиметься в БОИ і буде передана інформаційними каналами диспетчеру. Діаграму сигналів на виходах елементів для цього режиму наведено на рис. 2.4.

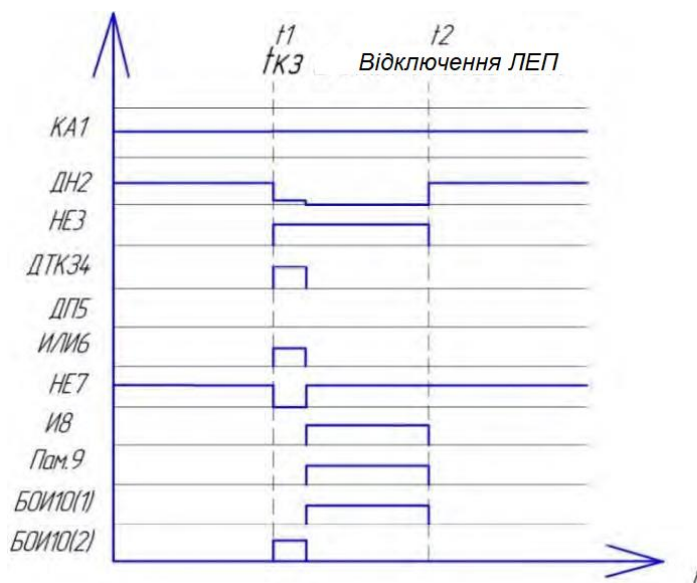


Рис. 2.4. Діаграма сигналів на виході елементів ОКТО в разі КЗ у мережі споживача і подальшого неселективного вимкнення комутаційного апарата, що живить ЛЕП

У разі перевантаження внутрішньої мережі споживача схема працюватиме так. У разі появи перевантаження на виході датчика перевантаження ДП 5 з'явиться сигнал, який буде подано на елемент ИЛИ6, а з нього на вхід елемента НЕ 7. Далі сигнал передається в блок обробки інформації БОИ10 (1), який фіксує факти к.з. і перевантажень у внутрішній мережі споживача. Своєю чергою елемент НЕ 7 не передаватиме сигнал на елемент И8 під час присутності струму перевантаження. Оскільки напруга на вводі залишається в нормованому значенні, сигнал із датчика напруги ДН 2 не

зникне, а на виході елемента НЕ 3 не з'явиться. Таким чином, сигнал буде присутній тільки на одному ввіді елемента И8, що не приведе його в дію. Таким чином, у цьому режимі роботи блоком обробки інформації БОИ10(1) буде зафіксовано факт перевантаження в мережі споживача. Діаграму сигналів на виходах елементів для цього режиму наведено на рис. 2.5.

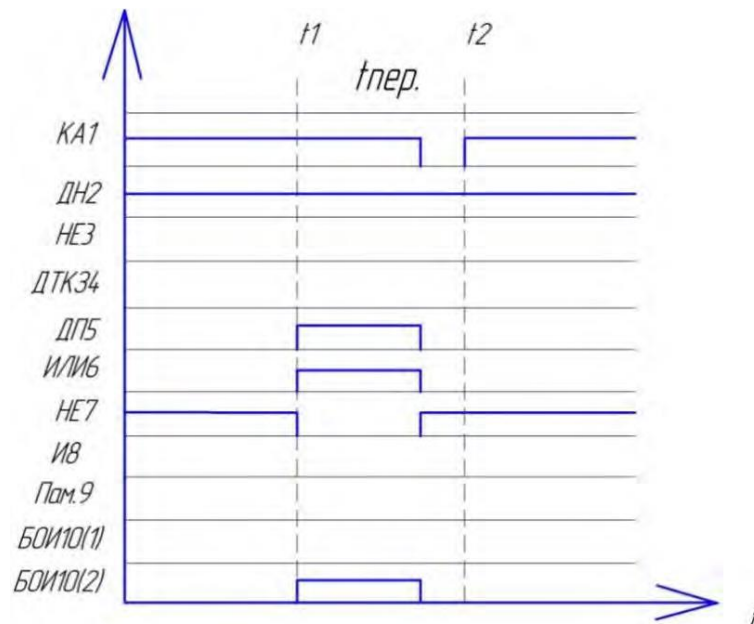


Рис. 2.5. Діаграма сигналів на виході елементів ОКТО при перевантаженні в мережі споживача

Ситуація, коли відбувається неселективне вимкнення автоматичного вимикача, що живить лінію електропередачі, під час перевантаження в мережі споживача, загалом аналогічна ситуації під час неселективного спрацьовування його в разі КЗ у внутрішній мережі споживача, з тією різницею, що сигнал на вхід елемента ИЛИ6 буде подано не з елемента ДТКЗ 4, а з датчика ДП 5. У цьому випадку так само, як і в описаному раніше, блоком БОИ 10 (2) буде зафіксовано відключення в ЛЕП, а блоком БОИ 10 (1) - перевантаження в мережі споживача.

Історія обліку кількості та часу відключень зберігається в пам'яті блоку обробки інформації БОИ10(2), а факти короткого замикання та перевантажень у внутрішній мережі споживача - в блоці БОИ10(1) у вигляді протоколів, а також може передаватись до бази даних через інформаційний канал або

автоматизовану інформаційно-вимірювальну систему комерційного обліку електричної енергії (АІСКВЕ), або інфраструктуру інтелектуальних лічильників. Якщо БОИ10 (1) і БОИ10 (2) вбудовані в Лічильник 10, то на інформаційному дисплеї лічильника може відображатися інформація про кількість спожитої електроенергії, її вартість, тариф, кількість і тривалість відключень за заданий період часу. Якщо блоки опрацювання інформації розроблені окремими від лічильника модулями, то інформація про кількість і тривалість відключень може бути надана на їхніх інформаційних дисплеях. Таким чином, розроблений пристрій дає змогу автоматично здійснювати облік кількості спожитої електроенергії, облік кількості та тривалості відключень електроенергії, контроль та облік аварійних ситуацій у мережі споживача.

На рис. 2.6 наведено схему спрощеного варіанта ОКТО

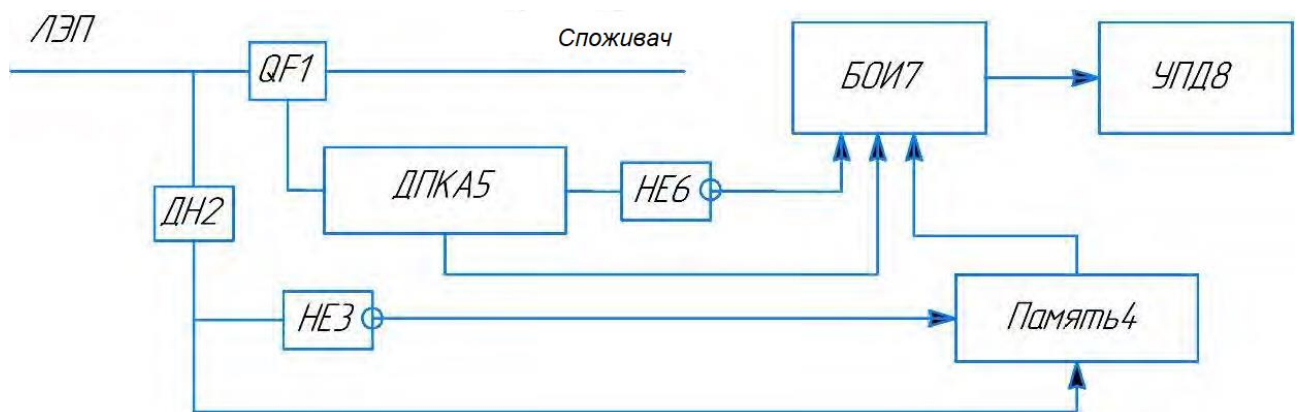


Рис. 2.6. Пристрій контролю кількості та тривалості відключень із використанням датчика положення комутаційного апарата

Спрощений варіант пристрою кількості та тривалості відключень передбачає заміну ДТКЗ і ДП на датчик положення комутаційного апарата ДПКА. ДПКА дає змогу фіксувати вимкнення комутаційного апарата без зазначення причини (ручне або внаслідок аварійної ситуації в мережі споживача).

Даний варіант пристрою обліку кількості та тривалості відключень реагує тільки на наявність або відсутність напруги на вводі споживача. У разі відсутності напруги сигнал про це надходить у блок обробки інформації БОИ та

передається диспетчеру. Так само може фіксуватися увімкнений - вимкнений стан КА. Ця схема не дає змоги виявляти випадки неселективного спрацьовування комутаційних апаратів, що живлять ЛЕП, під час перевантажень і КЗ у внутрішній мережі споживача. У разі якщо комутаційний апарат споживача обрано невірно, це може призвести не тільки до втрати напруги у всій живильній лінії, а й до пожежонебезпечних ситуацій у споживачів. Тому більш раціональним є все ж таки перший варіант схеми.

Пристрої обліку кількості та тривалості відключень, описані в першому варіанті, у разі встановлення на кожному вузлі обліку дають змогу контролювати наявність напруги на вводах кожного споживача. У разі зникнення напруги цей пристрій дає змогу передати необхідну інформацію диспетчеру електромережевої організації про місце і характер пошкодження. Цей пристрій дає змогу визначити характер пошкодження, а саме, чи є воно зникненням напруги у споживача, спричиненим зовнішніми або внутрішніми пошкодженнями. Причому пристрій дає змогу уточнити тип внутрішнього пошкодження, а саме, перевантаження або коротке замикання з подальшим вимкненням комутаційного апарату тільки на вводі споживача або на всій ЛЕП. Таким чином, цей пристрій дає змогу підвищити надійність електропостачання шляхом моніторингу його ключового показника: перерв в електропостачанні, а також скоротити час на отримання і розпізнавання інформації про пошкодження.

Спільне використання способів моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів, структура системи моніторингу

Найбільшу ефективність електропостачання дає змогу досягти спільне використання моніторингу відключень і відхилення напруги.

Дешевшим, порівняно з варіантом, у якому контролюються всі показники якості електроенергії (застосування лічильника з контролем ПКЕ) і використанням інтегрованого в лічильник пристрою контролю кількості та

тривалості вимкнення, але в більшості випадків достатнім за набором функцій, є варіант пристрою, показаний на рис. 2.7.

Спосіб і пристрій, показаний на рис. 2.7, містять у собі всі функції способу і пристрою обліку кількості та тривалості відключень, а також дають змогу враховувати як контрольований показник КЕ тільки рівень відхилення напруги на ввіді споживача. Пропонований варіант можна застосувати без інтеграції його в лічильник електроенергії, що якраз і дасть змогу здешевити варіант пристрою. Датчики підвищеної напруги ДповН і зниженої напруги ДпонН видають сигнал про відхилення напруги від нормованого показника. Інформація про невідповідність відхилення напруги надходить на блок оброблення інформації БОИ10 і за допомогою пристрою передавання даних одним з інформаційних каналів (JPS, JPRS, Glonass, радіо...) передається в диспетчерську електромережевої компанії (ДЕК).

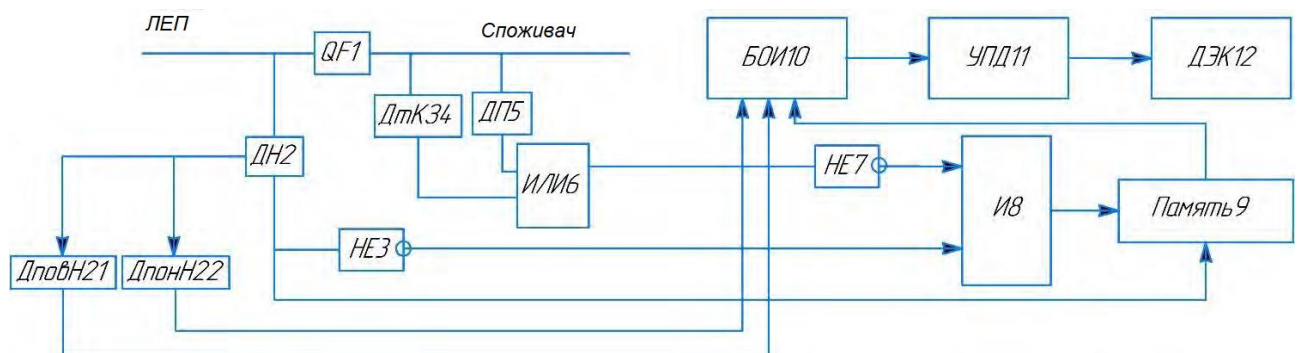


Рис. 2.7. Пристрій контролю кількості та тривалості відключень електроенергії та відхилення напруги

На рис. 2.8 показано вдосконалений варіант пристрою контролю кількості та тривалості відключень електроенергії та контролю рівня відхилення напруги на вводах споживачів, відмінністю якого є:

- Використання датчика наявності напруги, за допомогою якого можливо зафіксувати вимкнення ввідного комутаційного апарата на стороні споживача;
- Пристрій приймання та передавання даних, що дає змогу не тільки передавати інформацію для диспетчерської електромережевої організації, а й

використовувати зворотний зв'язок для аналізу стану системи, виконання за потреби певних команд, а також тарифного регулювання;

– Пристрій також оснащений блоком зберігання архівних даних і РК дисплеєм для відображення інформації.

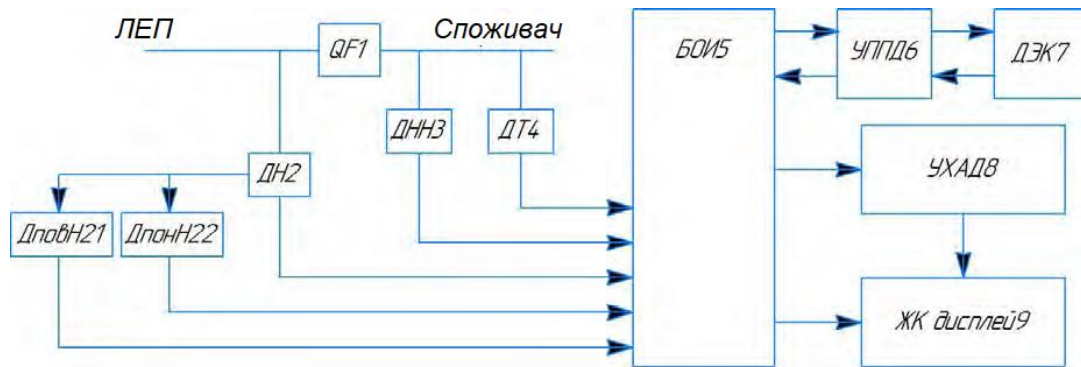


Рис. 2.8 Вдосконалений варіант пристрою контролю кількості та тривалості відключень електроенергії та контролю рівня відхилення напруги на вводах споживачів (ПККТВіВН)

На рис. 2.9 представлено систему моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів, тобто фактично систему моніторингу надійності електропостачання та якості електроенергії - СМНіЯ.

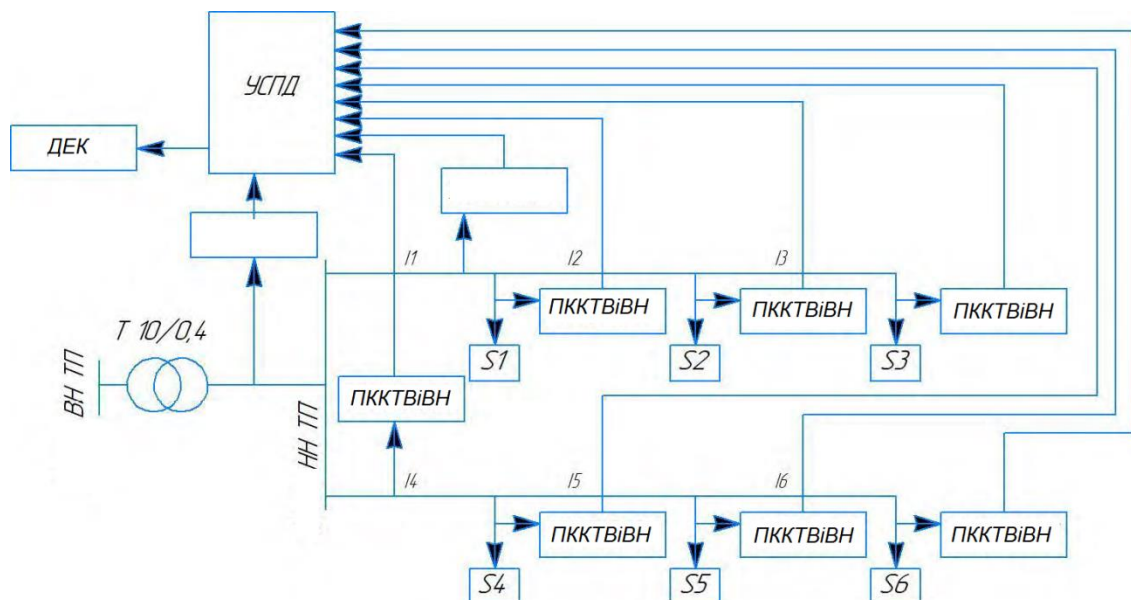


Рис. 2.9. Згідно з рисунком ТП – трансформаторна підстанція; ПККТВіВН – пристрій контролю кількості та тривалості відключень і відхилення напруги;

$S_1...S_n$ - споживачі; ДЕК – диспетчерська електромережевої компанії; УЗіДН – пристрій збирання та передавання даних.

Система моніторингу відключень і відхилення напруги побудована на ієрархічному способі і працює таким чином. Інформація від кожного споживача електроенергії за допомогою ПККТВіВН каналом зв'язку збирається в УСПД, яке є пунктом агрегування. Кожен пункт агрегування відповідає за певну кількість електроспоживачів, розташованих в одному районі. Далі інформація через магістральні канали зв'язку надходить до диспетчерської електромережевої компанії (ДЕК), де проводиться аналіз отриманих даних і ухвалюється рішення щодо усунення несправності, яка склалася, щодо режиму напруги в лініях ЛЕП, необхідності регулювання напруги, а також щодо відправлення ремонтних бригад. На трансформаторній підстанції також можливе встановлення УККПОіОН, що приєднується до його ТП. Цей пристрій реєструє відхилення і зникнення напруги на шинах ТП і передає цю інформацію в ДЕК через УСПД. Аналогічним чином працюють ПККТВіВН, встановлені на вихідних ЛЕП від ТП. Вони контролюють відхилення і зникнення напруги на початку ЛЕП.

Висновки по розділу

Якщо не ставити завдання контролю відхилення напруги, і якщо лінії не мають резервного живлення, то контроль відключень у них можна здійснити дешевшим способом - встановивши пристрої контролю наявності напруги на шинах ТП і на лініях, що відходять. Тоді в разі зникнення напруги на одній із ліній можна було б судити про перерви в електропостачанні споживачів, під'єднаних до неї. У разі зникнення напруги на шинах ТП можна говорити про перерву в електропостачанні у всіх підключених до ТП споживачів. Але цей спосіб неприйнятний, якщо ЛЕП оснащені засобами АВР, засобами секціонування, і якщо необхідно контролювати так само рівень відхилення

напруги на вводах споживачів. Тому більш функціональним є варіант системи, в якому пристроями ПКТВіВН оснащуються вводи всіх споживачів. Застосування цієї системи додатково дає змогу виявляти деякі режими мережі, виявити які іншими способами буває важко.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ КІЛЬКОСТІ ТА ТРИВАЛОСТІ ВІДКЛЮЧЕНЬ І ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ

Експериментальний зразок пристрою контролю кількості та тривалості відключень і відхилення напруги пропонується виконати на базі мікроконтролера Arduino. Використання цих мікроконтролерів дає змогу створити прототипи електроніки з відкритим вихідним кодом, що базуються на гнучкому, простому у використанні апаратному та програмному забезпеченні. Мікроконтролер на платі програмується з використанням мови програмування Arduino (на основі Wiring) і середовища розробки Arduino (на основі Processing). Проекти Arduino можуть бути як автономними, так і взаємодіяти з програмним забезпеченням під час роботи на комп'ютері (наприклад, Flash, Processing, MaxMSP).

Крім мікроконтролера експериментальний зразок ПКТВтаВН міститиме такі електронні компоненти:

- Модуль Micro SD-карти;
- Модуль передачі інформації;
- Модуль годинника реального часу;
- РК Дисплей;
- Акумуляторна батарея;
- Блок живлення 220 В/5 В; – 2 трансформатори напруги; – Трансформатор струму.

Слід зазначити, що для всіх розглянутих технологій передавання даних (GPRS, LoRa, NB-IoT) буде використовуватися один і той самий набір компонентів, окрім модуля передавання інформації, який для кожного типу зв'язку буде свій. У разі використання мережі GSM як технології передавання даних, ПККТВтаВН.

матиме у своїй структурі модуль GSM GPRS A6, при використанні NB-IoT - модуль RAK8212-NBM, при використанні LoRa - модуль LRTX-868-PCB-CAAT. При використанні мережі LoRa також необхідно передбачити в структурі СМНіК базову станцію (УСПД) LPWAN LRST-868-VGA-2.

Електричне з'єднання елементів експериментального зразка ПККТВтаВН за технології передавання даних GPRS представлено на рис. 3.1.

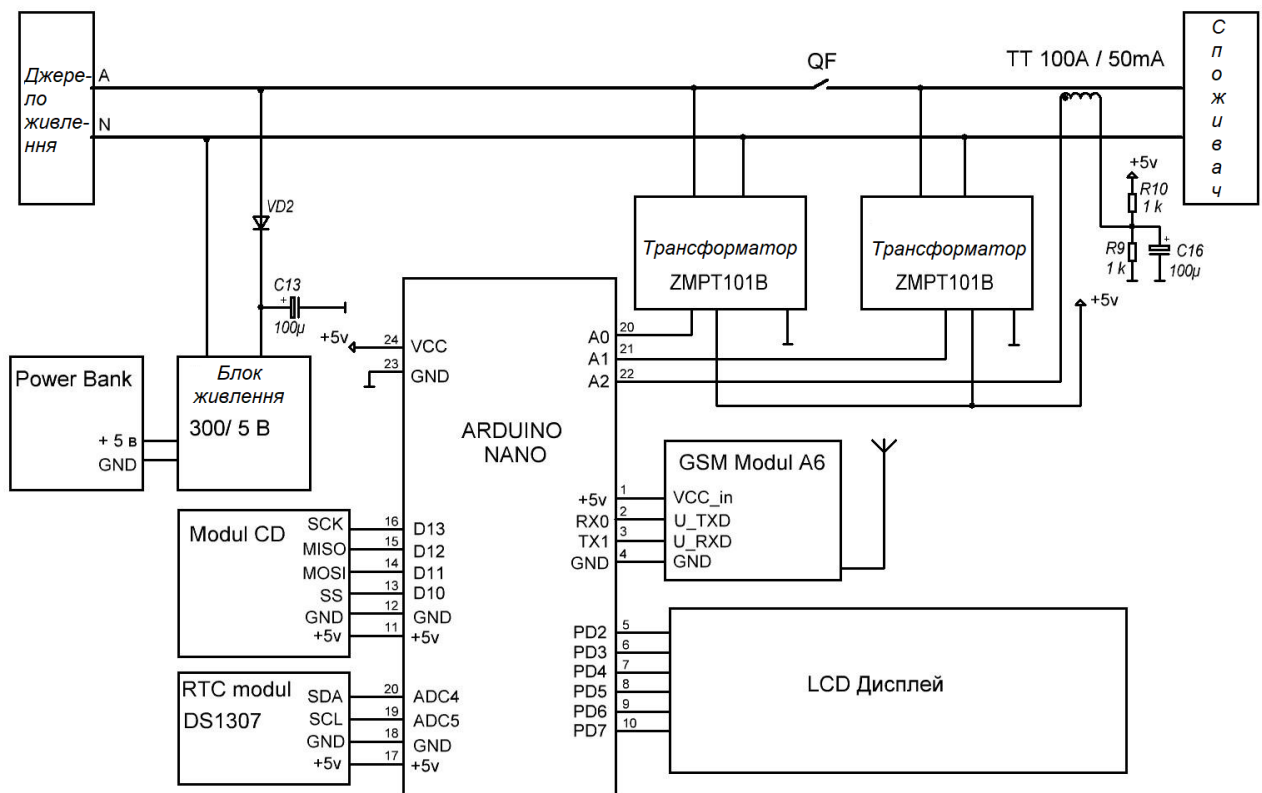


Рис. 3.1. Схема з'єднань елементів ПККТВтаВН на контролері Arduino V3 ATmega 328 за технології передавання даних GPRS

На рис. 3.2 представлено зовнішній вигляд зібраного експериментального зразка.

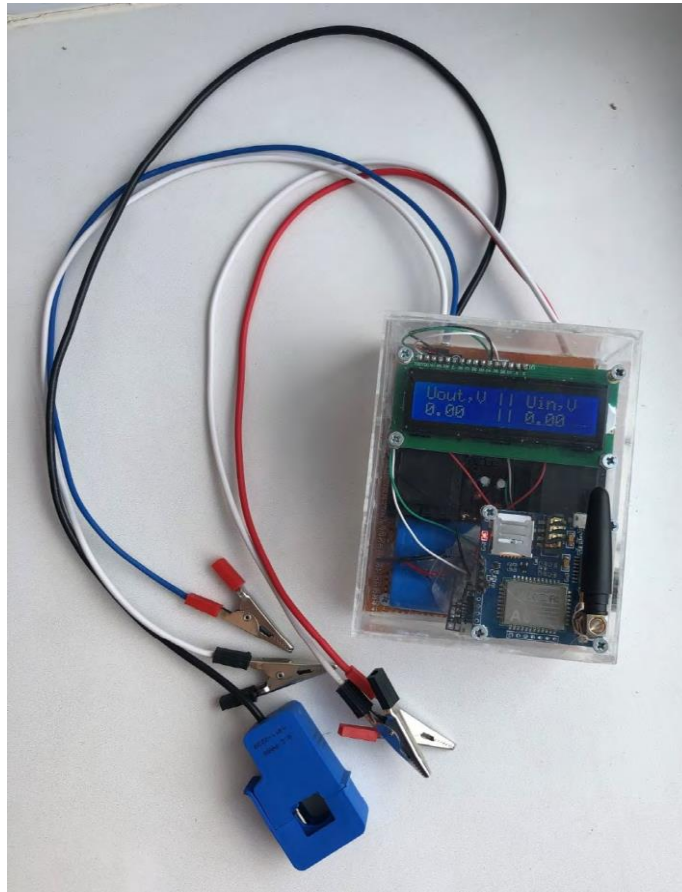


Рис. 3.2. Зовнішній вигляд зібраного експериментального зразка ПККТВтаВН

Представлений зразок ПККТВтаВН передбачений для встановлення в шафі обліку електроенергії разом із лічильником електроенергії, що дає змогу забезпечити фізичний захист від несанкціонованого доступу. Перед встановленням пристрою також необхідно провести обстеження електричних мереж на правильний вибір захисної апаратури і для зняття реальних режимів роботи самої мережі. Для цього було розроблено таймер-електролічильник мобільний портативний, що дає змогу проводити це обстеження без відключення споживачів від мережі.

Таким чином, ПККТВтаВН за технології передавання даних GPRS можна зібрати з комплектувальних виробів, зазначених вище, згідно зі схемою з'єднань, зазначених на рисунку 4.1. У разі вибору інших технологій передавання даних модуль GSM GPRS А6 замінюється на модулі RAK8212-NBM або LRTX-868-PCB-CAAT для NB-IoT або LoRa відповідно. Також

необхідно зазначити, що в разі використання технології передавання даних LoRa структурна схема СМНіК має передбачити базову станцію LPWAN LRST-868-VGA-2.

Лабораторні випробування розробленого пристрій контролю кількості та тривалості відключень електроенергії та контролю рівня відхилення напруги (ПККТВтаВН) проводилися таким чином. Пристрій підключали до блоку імітації введення споживача і навантаження як це показано на рис. 1, здійснювали калібрування пристрою за значеннями струму і напруги з використанням аналізатора якості електроенергії Ресурс UF2М як контрольного приладу. На моніторі пристрою відображалися дата, значення струму навантаження, значення напруги на ввіді та у внутрішній мережі.



Рис. 3.3. Підключення ПККТВтаВН до блоку імітації введення споживача та навантаження.

Після проведення калібрування та налаштування приладу моделювалися такі режими: 1. вимкнення зовнішнього живлення, тобто зникнення напруги на живильній лінії з різною тривалістю часу; 2. вимкнення автоматичного вимикача від струмів КЗ; 3. вимкнення автоматичного вимикача від струмів перевантаження; 4. вимкнення автоматичного вимикача вручну; 5. відхилення напруги на живильній лінії більш як на 10% у більший бік; 6. відхилення

напруги на живильній лінії більш як на 10% у менший бік; 7. зміна значення струму навантаження; 7. зміна значення струму навантаження; 7.

Результати випробувань показано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Проведення випробувань ПККТВтаВН

№	Модельований режим	Результат роботи пристрою	Кількість повторень	примітки
1	Вимкнення зовнішнього живлення, тобто зникнення напруги на лінії живлення	СМС із текстом "Відключення на ЛЕП" направлено на контрольний номер. Виконано відлік часу відключення. У разі повторних вимкнень час кожного вимкнення виведено окремо і визначено їхню суму.	25	Усі повторення успішно. Режим записано в пам'ять пристрою.
2	Вимкнення автоматичного вимикача від струмів к.з.	СМС із текстом "Вимкнення вводу від КЗ" направлено на контрольний номер. Відображення відсутності струму навантаження та напруги на внутрішній мережі на моніторі	25	Усі повторення успішно. Режим записано в пам'ять пристрою.
3	Вимкнення автоматичного вимикача від струмів перевантаження.	СМС із текстом "Вимкнення вводу від перевантаження" направлено на контрольний номер. Відображення відсутності струму навантаження та напруги на внутрішній мережі на моніторі	25	Усі повторення успішно. Режим записано в пам'ять пристрою.
4	Вимкнення автоматичного вимикача вручну	Немає дії Відображення відсутності струму навантаження і напруги на внутрішній мережі на моніторі	25	Усі повторення успішно. Режим записано в пам'ять пристрою.
5	Відхилення напруги в	СМС із текстом "Відхилення напруги	25	Усі повторення

	живильній лінії більш ніж на 10% у більший бік	понад +10%" направлено на контрольний номер		успішно. Режим записано в пам'ять пристрою.
6	Відхилення напруги в живильній лінії більш ніж на 10% у менший бік	СМС з текстом "Відхилення напруги більше -10%" направлено на контрольний номер	25	Усі повторення успішно. Режим записано в пам'ять пристрою.
7	Зміна значення струму навантаження	Немає дії, значення струму і напруги на живильній ЛЕП і у внутрішній мережі виведені на монітор.	25	Усі повторення успішно. Режим записано в пам'ять пристрою. Є можливість побудови графіка навантаження.

Висновки по розділу

Таким чином, розроблений ПККТВтаВН підтвердив свою працездатність на стенді для моделювання електричної мережі 0,38 кВ, що містить засоби моніторингу вимкнень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів. Зразок пристрою успішно виконав усі закладені в нього функції, як-от контроль вимкнення зовнішнього енергопостачання, спрацьовування комутаційного апарата з різних причин, відхилення напруги вище або нижче за допустимий рівень, а також зміни значення струму навантаження. Експериментальний зразок пристрою передано в дослідну експлуатацію.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень запропоновано структуру системи моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів. Система містить пристрої контролю кількості та тривалості відключень і відхилення напруги на вводах споживачів і в контрольних точках мережі, пристрої збирання та передавання даних і блок опрацювання даних, який дає змогу опрацьовувати дані із зазначених пристроїв і виводити інформацію диспетчеру електромережевої компанії. Отримано розрахункові параметри середньостатистичної сільської електричної мережі 0,38 кВ, згідно з якими для середньостатистичної мережі потужність трансформатора, встановленого на трансформаторній підстанції 10/0,4 кВ, прийнято за 160 кВА, кількість ліній електропередач, під'єднаних до однієї трансформаторної підстанції – 2 шт, протяжність однієї лінії – 0,922 км, кількість споживачів, під'єднаних до однієї лінії – 14 шт. Виходячи з отриманих даних визначено кількісний склад елементів системи моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів.

Розроблено технічні засоби моніторингу відключень і відхилення напруги на вводах сільських споживачів, зокрема, пристрій контролю кількості та тривалості відключень електроенергії та контролю рівня відхилення напруги на вводах споживачів, алгоритми їхньої роботи та роботи система моніторингу відключень і відхилення напруги. Алгоритми роботи пристрою контролю кількості та тривалості відключень електроенергії та контролю рівня відхилення напруги на вводах споживачів дають змогу виявляти переривання напруги, відхилення напруги нижче й вище за припустимий рівень, перевантаження й коротке замикання у внутрішній мережі споживача, фіксувати факт і час їхньої появи, тривалість, а також надсилати цю інформацію про них диспетчеру електричної мережі та споживачеві. Алгоритми роботи системи моніторингу відключень і відхилення напруги

дають змогу мережі виявити появу аварійних режимів роботи електромережі (зокрема, обрив проводу, коротке замикання тощо) і своєчасно на них реагувати. Розроблено та випробувано експериментальний зразок пристрою контролю кількості та тривалості відключень електроенергії та контролю рівня відхилення напруги на вводах споживачів. Багаторазові випробування в різних режимах засвідчили застосовність запропонованого способу моніторингу якості електроенергії та працездатність експериментального зразка. Експериментальний зразок перебуває в дослідній експлуатації, яка показує його успішну роботу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тігарєва Т.Г. Електротехніка. Одеса: Одеська державна академія будівництва та архітектури. 2016. 195 с.
2. Охріменко В.М. Споживачі електричної енергії. Харків: (ХНУМГ ім. О. М. Бекетова). 2019. 286 с.
3. Коваленко О.І, Л.Р. Коваленко Л.Р., Мунтян В.О.,Радько І.П Основи електропостачання сільського господарства. Мелітополь : ТОВ Видавничий будинок ММД, 2011. 462 с.
4. Дурняк Б.В., Чумакевич В.О., Майба Т.М., Яцун А.М. Основи електропостачання АПК. Львів : Українська академія друкарства, 2017. 544 с.
5. Sims R.E.H. Energy-smart farming: Efficiency, renewable energy and sustainability. Sawston: Burleigh Dodds Science Publishing, 2022. 371 p.
6. Akagi Hirofumi, Watanabe Edson Hirokazu, Aredes Mauricio. Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning. 2nd ed. Wiley, 2017. 744 p.
7. Bleiwas D.I. Estimates of electricity requirements for the recovery of mineral commodities, with examples applied to sub-Saharan Africa. U.S. Geological Survey Open-File Report, 2011. 100 p.
8. Electrical Power Supply and Distribution. Washington: 2005. 125 с.
9. Linsley T. Basic Electrical Installation Work. Amsterdam: Elsevier. 2005. 292 p.
10. Lange M., Focken U. Physical Approach to Short-Term Wind Power Prediction. Springer, 2005. 220 p.
11. Бондаренко В.О., Черкашина В.В. Конструкції ліній електропередачі. Бондаренко В.О., Черкашина В.В. Конструкції ліній електропередачі. Навчальний посібник. – Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Факт, 2020. 174 с.
12. Бурбело М.Й. Проектування систем електропостачання. Приклади розрахунків. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2005. 148 с.

13. Волянський Р.С. Системи вимірювання, обліку та керування енерговикористанням. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 120 с.

14. Давиденко В.А., Давиденко Н.В. Системи електропостачання. Рівне: НУВГП, 2018. 32 с.