

О.В. Кириленко, Б.С. Стогній, М.Ф. Сопель, С.Є. Танкевич

Інститут електродинаміки НАН України, Київ

МОНІТОРИНГ ОБЛАДНАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЗМІННОГО СТРУМУ



Представлено основні результати виконання Інститутом електродинаміки НАН України науково-технічного проекту зі створення системи моніторингу стану обладнання тягових підстанцій залізничного транспорту. Система реалізує автоматизовані процедури з моніторингу і діагностування стану основного електротехнічного обладнання, визначення параметрів режимів його роботи. В кінцевому результаті система дає можливість підвищити надійність роботи систем електропостачання Укрзалізниці та, відповідно, системи організації руху на залізниці.

Ключові слова: електроенергетичне обладнання, тягова підстанція, аварійний режим, автоматизація, моніторинг, діагностика.

Питання забезпечення надійної, економічної та якісної роботи залізниці вирішується великою мірою шляхом організації безперебійного постачання її електричною енергією від тягових підстанцій (ТП), що вимагає проведення їх комплексної автоматизації та інформатизації. Одним з основних напрямів цієї роботи є впровадження на об'єктах Укрзалізниці електровимірювальних реєструючих приладів. Використання їх на ТП стає загальноприйнятною нормою і значно полегшує умови праці обслуговуючого персоналу та підвищує надійність роботи обладнання за рахунок організації постійного контролю режиму роботи цього обладнання та розширення інформаційного забезпечення системи. Технічні дані цих приладів дозволяють вирішувати безліч завдань, пов'язаних з реєстрацією режимів роботи електричних мереж, визначенням електричних і часових параметрів, пошуком пошкоджень на лініях електропередачі, діагностикою електрообладнання і т. ін. Для забезпечення

надійного функціонування електричних мереж залізниці та підвищення рівня безпеки руху поряд з високонадійними реєструючими приладами необхідне також впровадження сучасних інтегрованих комп'ютерних систем і технологій для моніторингу режимів, обліку електроенергії та діагностування стану обладнання електричних мереж на базі реєстрації доаварійних, аварійних та післяаварійних режимів їхнього функціонування з фіксацією роботи систем релейного захисту і автоматики та можливістю передачі експрес-аварійної інформації на всі рівні керування. Найважливішим серед цих завдань є моніторинг електроенергетичного обладнання [1]: силових трансформаторів, силових вимикачів та мереж різної напруги. Таким чином, створення системи моніторингу стану обладнання тягових підстанцій (СМОТП) залізниць є важливим і актуальним завданням. Головною метою створення такої системи є забезпечення надійної роботи систем електропостачання Укрзалізниці та підвищення безпеки руху.

Тягова підстанція — це електроустановка, призначена для перетворення і розподілу елек-

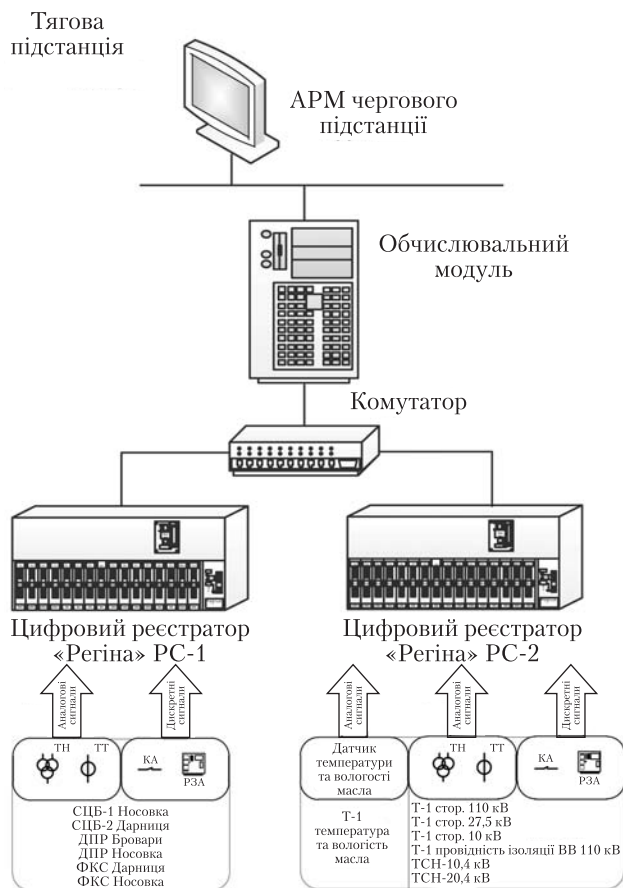


Рис. 1. Структура системи моніторингу стану обладнання тягової підстанції

тричної енергії, пониження рівня електричної напруги з метою передачі її в контактну мережу для забезпечення електричною енергією електровозів. Тягові підстанції бувають постійного і змінного струму. Далі мова піде про ТП змінного струму, яких у структурі Укрзалізниці близько 300. Відстань між ТП зазвичай складає 50–100 км. Номінальна напруга, що подається в контактну мережу – 27,5 кВ. Підстанції змінного струму живляться по лініях напругою 110 або 220 кВ. Крім того, до електричних мереж залізниць підключаються окрім тягового складу і інші важливі споживачі. Мова йде про системи автоматики і телемеханіки для керування світлофорами, стрілками та приладами зв'язку. Для живлення цих споживачів передбачено ви-

користання напруги відповідної якості, що забезпечується від ліній «сигналізація, централізація, блокування» (СЦБ) напругою 6 або 10 кВ, які живляться від мережі власних потреб підстанції. Інші, менш відповідальні споживачі, такі, як прилади опалення та освітлення станцій, переїздів тощо, живляться від фідерів «два проводи – рейка» (ДПР) напругою 27,5 кВ або від спеціальних ліній поздовжнього електропостачання напругою 6 або 10 кВ.

Таким чином, виходячи із особливостей та специфіки ТП Укрзалізниці визначено основне обладнання, для якого передбачається організація процедур моніторингу його стану. Технологічними об'єктами моніторингу створеної системи є основне обладнання ТП змінного струму, до якого відносяться:

- ✦ силові трансформатори;
- ✦ вимірювальні трансформатори;
- ✦ силові вимикачі;
- ✦ пристрої автоматики та релейного захисту;
- ✦ фідери контактної мережі напругою 27,5 кВ;
- ✦ лінії «два проводи – рейка»;
- ✦ лінії «сигналізація, централізація, блокування».

Для технологічного обладнання з напругою 10; 27,5; 110 кВ при реалізації процедури вимірювання електричних величин (струм, напруга, активна і реактивна потужність тощо) введення поточних значень в СМОТП здійснюється по кожній фазі через традиційні або електронні [2] вимірювальні трансформатори струму (ТС) та трансформатори напруги (ТН). Інформація від ТС, ТН, давачів неелектричних параметрів та від щита постійного струму (ЩПС) 110 В надходить до системи без проміжних аналогових вимірювальних перетворювачів. Візуалізація даних СМОТП відбувається на моніторі автоматизованого робочого місця (АРМ) чергового тягової підстанції. Приклад структури такої СМОТП показано на рис. 1.

Моніторинг стану електроенергетичного обладнання проводиться автоматично, під робочою напругою, без участі диспетчера. Оцінка стану силових трансформаторів здійснюється шляхом контролю тангенса кута діелектрич-

них втрат, ємності й повної провідності ізоляції, струмів небалансу ізоляції високовольтних введів; контролю температури трансформаторного масла; контролю вологості трансформаторного масла; контролю роботи механізму регулювання під напругою.

Стан вимірювальних трансформаторів напруги визначається автоматично при проведенні постійного контролю рівня діючих значень напруги кожної фази (або лінійних напруг) низької сторони трансформатора напруги з постійним відстеженням співвідношення між сусідніми фазами (лінійними напругами). Рівень стану силових вимикачів встановлюється за комутаційним ресурсом, механічним ресурсом і часом відключення.

Моніторинг стану систем автоматики і релейного захисту реалізується цифровим реєстратором шляхом визначення аварійних подій з подальшим проведенням аналізу роботи окремих пристроїв автоматики і релейного захисту. Моніторинг фідерів контактної мережі, ліній ДПР, ліній СЦБ передбачає визначення місця пошкодження на цих лініях на основі аналізу даних зареєстрованих аварійних подій. Це проводиться цифровими реєстраторами підсистеми цифрової реєстрації параметрів процесів з подальшою автоматичною трансляцією основних параметрів пошкодження в базу даних СМОТП.

Передбачено, що апаратура СМОТП розташована в приміщенні щита керування ТП і складається з таких підсистем:

- ✦ цифрової реєстрації параметрів процесів;
- ✦ обробки, аналізу та візуалізації даних;
- ✦ зв'язку компонентів СМОТП;
- ✦ синхронізації часу.

Підсистема цифрової реєстрації параметрів процесів проводить реєстрацію первинної інформації від давачів даних параметрів процесів, накопичення та її первинну обробку з метою представлення для подальшого використання в підсистемі обробки, аналізу та візуалізації даних системи моніторингу основного обладнання тягової підстанції.

Підсистема є джерелом інформації про технологічні параметри роботи основного обладнання. На основі цієї інформації визначається факт порушення нормального режиму, оцінка стану та оцінка правильності роботи основного обладнання тягової підстанції. Підсистема забезпечує реєстрацію інформації шляхом осцилографування (запису) миттєвих значень аналогових і дискретних величин з наступним збереженням її в базі даних. Осцилографуванню підлягають: нормальні режими роботи основного обладнання; електромагнітні перехідні процеси, що пов'язані з порушеннями в роботі контактної мережі 27,5 кВ, ліній ДПР, СЦБ; факт зміни положення комутаційних апаратів; спрацювання пристроїв релейного захисту та автоматики; інші параметри роботи основного обладнання, що використовуються при проведенні моніторингу.

Підсистема обробки, аналізу та візуалізації даних призначена для безперервної обробки та аналізу в реальному часі первинної інформації, що надходить від підсистеми цифрової реєстрації параметрів процесів. Ця підсистема реалізує основні функції та алгоритми моніторингу обладнання ТП та забезпечує візуалізацію результатів роботи СМОТП в цілому.

Основою підсистеми є обчислювальний модуль, який виконує обробку вхідних повідомлень та налаштування роботи СМОТП, організовує приймання первинних даних, роботу з базою даних СМОТП, обробку, аналіз та видачу даних для візуалізацію на АРМ чергового ТП тощо. У ході обробки інформації виконуються операції з масштабування (обчислення реальних значень фізичних величин в іменованих одиницях з урахуванням коефіцієнтів трансформації ТС, ТН і т. ін.); обчислення розрахункових величин (активна і реактивна потужність, $\cos \phi$, частота, тангенс діелектричних втрат, повна провідність тощо); порівняння з попереджувальними і аварійними уставками; присвоєння позначок часу подіям (периодичності/зниження сигналів у порівнянні з уставками).

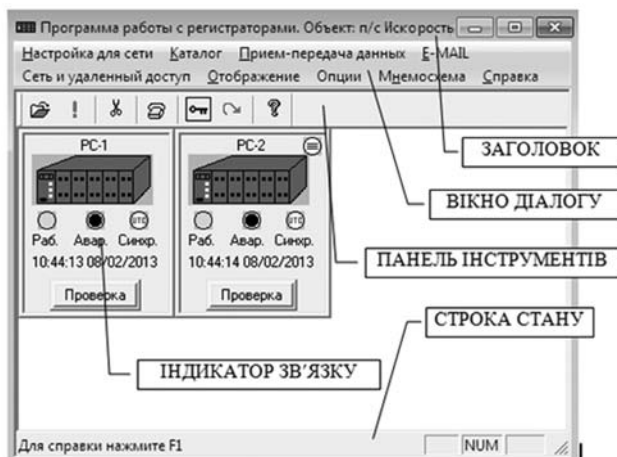


Рис. 2. Діалогове вікно об'єкта



Рис. 3. Шафа системи моніторингу поряд із щитом керування ТП

Для організації роботи підсистеми створено спеціалізоване програмне забезпечення. До складу розроблених програмних засобів комплексу входять:

- ✦ програма прийому і обробки аварійної інформації (Comport.exe);
- ✦ програма аналізу аварійної інформації (Qu.exe);
- ✦ технологічна програма настройки на дані по конкретному об'єкту (Rgsetw.exe).

Загальний вигляд діалогового вікна об'єкту (підстанції) з прийому та обробки аварійної інформації Comport.exe наведено на рис. 2. Зазначене програмне забезпечення дозволяє встановлювати та коригувати параметри реєстрації нормального режиму та уставки запуску цифрового реєстратора; отримувати та проводити первинну обробку файлів аварійних подій; контролювати функціонування підсис-

теми та окремих реєстраторів; формувати масиви аварійної інформації; формувати бібліотеки аварійних подій; організувати процедуру оперативного доступу до будь-якої ділянки осцилограми для детального її розгляду; проводити вимірювання миттєвих та дійсних величин аналогових сигналів на будь-якій ділянці осцилограми з відображенням вимірних значень та визначати величини кутів між синусоїдальними значеннями. Крім того, забезпечується виконання гармонічного аналізу аналогових сигналів та представлення довільного числа графіків з прив'язкою до єдиного часу. Додатково система дозволяє визначати місця пошкодження при коротких замиканнях на лініях електропередачі, величину залишкового ресурсу високовольних вимикачів, автоматично формувати експрес-інформацію за результатами реєстрації аварійної ситуації та передавати таку інформацію на вищі рівні керування.

Підсистема зв'язку компонентів СМОТП забезпечує обмін даними між підсистемами. Як основне обладнання підсистеми використовуються стандартні апаратно-програмні технічні засоби, що застосовуються в локальних обчислювальних мережах з транспортними протоколами TCP/IP.

Робота підсистеми синхронізації часу побудована на принципі приведення локальних таймерів цифрових реєстраторів у відповідність до супутникових сигналів від системи GPS. Це забезпечує однозначність у визначенні часу події, зафіксованої різними підсистемами та формуванні єдиного часу в СМОТП. Розбіжність в часі однієї зафіксованої події різними підсистемами не перевищує 100 мксек. Контроль синхронізації часу елементів СМОТП проводиться підсистемою синхронізації часу циклічно в автоматичному режимі не рідше 1 разу на 10 хвилин.

Живлення СМОТП забезпечується двома незалежними джерелами:

- ✦ основне живлення напругою ~220 В з частотою 50 Гц;

✦ резервне живлення напругою 110 В.

В результаті проведених досліджень створено технічну документацію та виготовлено дослідний зразок СМОТП, що реалізує такі основні функції:

- ✦ контроль та діагностування стану основного технологічного обладнання, відстеження зміни параметрів режимів його роботи;
- ✦ забезпечення оперативного аналізу аварійної ситуації;
- ✦ попередження про можливе виникнення аварійних відмов обладнання;
- ✦ визначення ресурсу роботи обладнання на основі діагностичних даних;
- ✦ прогнозування терміну служби обладнання;
- ✦ визначення місця пошкодження на лініях електрифікованих залізниць.

Нижче наведені загальні технічні характеристики дослідного зразка СМОТП.

Найменування	Значення
Маса основної конструкції, кг, не більше	180
Габаритні розміри основної конструкції (Н × В × L), мм.	2200 × 800 × 600
Напруга живлення, В	
змінна напруга	220 ± 20%
постійна напруга	110 ± 20%
Частота, Гц	50 ± 2%
Споживана потужність, Вт, не більше	200

Дослідний зразок СМОТП перебуває у дослідній експлуатації на тяговій підстанції «Іскорость» Південно-Західної залізниці (рис. 3), де були проведені його остаточні випробування у відповідності з розробленими програмою та методикою. Результати випробувань підтвердили готовність системи до промислового впровадження.

Таким чином, в результаті виконання НТП відповідно до вимог чинних нормативних документів розроблено та створено систему мо-

ніторингу стану обладнання тягових підстанцій змінного струму, що дозволяє значно підвищити ефективність, надійність та безпеку функціонування тягових підстанцій і відповідно організації залізничних перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Стогній Б.С., Сопель М.Ф.* Основи моніторингу в електроенергетиці. Про поняття моніторингу // Техн. електродинаміка. — 2013. — № 1. — С. 62–69.
2. *Стогній Б.С., Кириленко О.В., Танкевич Є.М. та ін.* Інтелектуальний вимірювальний перетворювач та нормативне забезпечення комунікаційного середовища висковольтних електроенергетичних об'єктів // Праці ІЕД НАНУ. — 2014. — Вип. 38. — С. 56–64.

REFERENCES

1. Stognii B.S., Sopol M.F. Osnovy monitoryngu v elektroenergetytsi. Pro ponjattja monitoryngu. *Tehn. elektrody-namika*. 2013, N1: 62–69.
2. Stognii B.S., Kyrylenko O.V., Tankevych S.Ye. ta in. Intelektual'nyj vymirjuval'nyj peretvorjuvach ta normatyvne zabezpechennja komunikacijnogo seredovyshha vysokovol'tnyh elektroenergetychnyh ob'ektiv. *Praci IED NANU*. 2014, Vyp. 38: 56–64.

*А.В. Кириленко, Б.С. Стогній,
М.Ф. Сопель, С.Е. Танкевич*

Інститут електродинаміки НАН України, Київ МОНІТОРИНГ ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВИХ ПОДСТАНЦИЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Представлены основные результаты выполнения Институтом электродинамики НАН Украины научно-технического проекта по созданию системы мониторинга состояния оборудования тяговых подстанций железнодорожного транспорта. Система выполняет автоматизированные процедуры мониторинга и диагностирования состояния основного электротехнического оборудования, определение параметров режимов его работы. В конечном итоге система позволяет повысить надежность работы систем электроснабжения «Укрзалізниця» и, соответственно, системы организации движения на железной дороге.

Ключевые слова: электроэнергетическое оборудование, тяговая подстанция, аварийный режим, автоматизация, мониторинг, диагностика.

*O.V. Kyrylenko, B.S. Stognii,
M.F. Sopol, S.Ye. Tankevych*

Institute of Electrodynamics NAS of Ukraine, Kyiv

**MONITORING EQUIPMENT
OF AC TRACTION SUBSTATIONS**

The main results of Scientific Project on creation of monitoring system of equipment for traction substations of railway transport implemented in the Institute of Electrodynamics NAS of Ukraine are presented. The system is intend-

ed for automated monitoring and diagnostics of the condition of main electrical equipment and assessment of its operation modes. Ultimately, the system allows to increase the reliability of «Ukrzaliznytsia» power supply systems and, accordingly organization of the movement on the railroad.

Keywords: electrical power equipment, traction substation, emergency operation, automation, monitoring, diagnostics.

Стаття надійшла до редакції 15.06.15