

№ 3. ВІДДІЛ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА СИСТЕМ

та

№ 4. ВІДДІЛ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

УДК 621.311.4

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ЗМІННОГО СТРУМУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Б.С. Стогній, акад. НАН України, **О.В. Кириленко**, акад. НАН України, **М.Ф. Сопель**, канд. техн. наук, **С.Є. Танкевич**, канд. техн. наук
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна
tank@ied.org.ua

Представлено основні результати виконання науково-технічного проекту у відділах моделювання електроенергетичних об'єктів та систем і автоматизації електричних систем за 2014 рік, який мав за мету розроблення системи моніторингу стану обладнання тягових підстанцій (СМОТП) залізничного транспорту, що призначена для автоматизованого моніторингу та діагностування стану основного електротехнічного обладнання та оцінювання режимів його роботи. Бібл. 5, рис. 3, таблиця.

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

Проблема забезпечення надійної, економічної та якісної роботи залізниць вирішується переважно за допомогою їх безперебійного постачання електричною енергією від тягових підстанцій (ТП), що вимагає, в свою чергу, їх комплексної автоматизації та інформатизації, одним з основних напрямів яких є впровадження на цих об'єктах електровимірювальних реєструючих приладів. Використання їх на ТП стає загальноприйнятою нормою і значно полегшує умови праці обслуговуючого персоналу та підвищує надійність обладнання за рахунок постійного контролю режимів його роботи та інформаційного забезпечення. Технічні дані цих приладів дають можливість вирішувати безліч завдань, пов'язаних з реєстрацією режимів роботи електричних мереж, визначенням електричних і часових параметрів, пошуком пошкоджень на лініях електропередавання, діагностикою електрообладнання, і багатьох інших. Оскільки електричні мережі “Укрзалізниці” належать до класу територіально розподілених електричних об'єктів [1] то, як свідчить наявний досвід провідних країн світу, для забезпечення їх надійного функціонування та високого 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 та автоматики і можливістю передачі експрес-аварійної інформації на всі вищі рівні керування. Чільне місце серед цих завдань належить також моніторингу електроенергетичного обладнання [3]: силових трансформаторів, силових вимикачів та мереж різної напруги. Робота електричного обладнання ТП має перебувати під постійним контролем обслуговуючого персоналу, систем протиаварійної автоматики і релейного захисту. Таким чином, створення системи моніторингу обладнання тягових підстанцій (СМОТП) залізниць є важливим і актуальним завданням. Головною метою створення такої системи є забезпечення надійної роботи систем електропостачання Укрзалізниці, підвищення на цій основі безпеки руху.

Тягова підстанція – електроустановка, призначена для перетворення і розподілу елек-

тричної енергії, а також для пониження електричної напруги з метою передачі її в контактну мережу для забезпечення електричною енергією електровозів. Тягові підстанції бувають постійного і змінного струмів. Далі мова піде про ТП змінного струму. На таких підстанціях, на відміну від ТП постійного струму, відсутні перетворюючі агрегати для випрямлення струму. Відстань між ТП зазвичай становить 50–100 км. Номінальна напруга, що подається в контактну мережу, – 27,5 кВ. Підстанції змінного струму живляться по лініях напругою 110 або 220 кВ. Первинні обмотки трансформаторів з'єднані в «зірку», нейтраль заземлюється. Вторинні обмотки з'єднані в «трикутник», фаза С заземлюється і з'єднується з рейками залізниці без будь-яких комутаційних апаратів. Напруга фаз А і В через відкритий розподільний пристрій подається в контактну мережу двох шляхів відповідно, а також в лінію «два проводи – рейка» (ДПР) для живлення нетягових споживачів. Як правило, силові трансформатори на таких підстанціях мають третю обмотку – 6, 10, рідше 35 кВ, оскільки на залізниці є безліч інших споживачів, крім електровозів. Мова йде про автоматику і телемеханіку дороги – світлофори, стрілки, зв'язок. Ці споживачі вимагають якісної та стабільної напруги, для їх постачання прокладаються лінії «сигналізація, централізація, блокування» (СЦБ) напругою 6 або 10 кВ, які живляться через підвищувальний трансформатор 0,23(0,4)/6(10) кВ від мережі власних потреб підстанції. Також існують інші споживачі – опалення та освітлення станцій, переїздів тощо, а також сторонні споживачі. Для їх підключення використовуються або фідери ДПР напругою 27,5 кВ, або спеціальні лінії поздовжнього електропостачання напругою 6 або 10 кВ.

Таким чином, виходячи з особливостей ТП Укрзалізниці визначено основне обладнання, що потребує моніторингу його стану. Тобто технологічним об'єктом моніторингу створеної системи є основне обладнання ТП змінного струму, а саме: силовий трансформатор; вимірювальні трансформатори напруги; силові вимикачі; пристрої автоматики та релейного захисту; фідери контактної мережі напругою 27,5 кВ; лінії «два проводи – рейка»; лінії «сигналізація, централізація, блокування».

Вимірювання параметрів технологічного процесу, параметрів роботи основного обладнання виконуються цифровими реєстраторами від первинних давачів, що об'єднані у відповідну підсистему. Сигнали від давачів технологічних (неелектричних) параметрів обладнання, що характеризують його стан (температура, вологість трансформаторного масла), допускається вводити за допомогою уніфікованих аналогових сигналів постійного струму. Візуалізація даних СМОТП відбувається на моніторі автоматизованого робочого місця (АРМ) чергового тягової підстанції. Приклад структури такої СМОТП показано на рис. 1.

Для технологічного обладнання з напругою 10; 27,5; 110 кВ при вимірюванні електричних величин (струму, напруги, активної і реактивної потужностей тощо) введення поточних значень в СМОТП здійснюється по кожній фазі від традиційних або електронних [2] вимірювальних трансформаторів струму (ТС) та напруги (ТН) у пристрої відповідної підсистеми. Інформація від ТС, ТН, давачів неелектричних параметрів та від щита постійного струму (ЩПС) 110 В надходить до системи без проміжних аналогових вимірювальних перетворювачів.

Для забезпечення визначення відстані до місця пошкодження в мережах з ізольованою нейтраллю трансформатор, який живить лінію СЦБ, на стороні 10 кВ повинен мати схему «зірка» з виведеною нейтраллю та мати можливість її заземлення через роз'єднувач з дистанційним керуванням. Лінії СЦБ, що підлягають контролюванню та визначенню місця пошкодження, повинні мати трансформатори струму в кожній фазі.

Моніторинг стану електроенергетичного обладнання здійснюється автоматично, під робочою напругою, без участі людини.

Моніторинг стану силових трансформаторів виконується за рахунок контролю тангенса кута діелектричних 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.

Для визначення стану вимірювальних трансформаторів напруги здійснюється постійний автоматичний контроль рівня діючих значень напруги кожної фази (або лінійних напруг) низької сторони трансформатора напруги з постійним відстеженням співвідношення між сусідніми фазами (лінійними напругами).

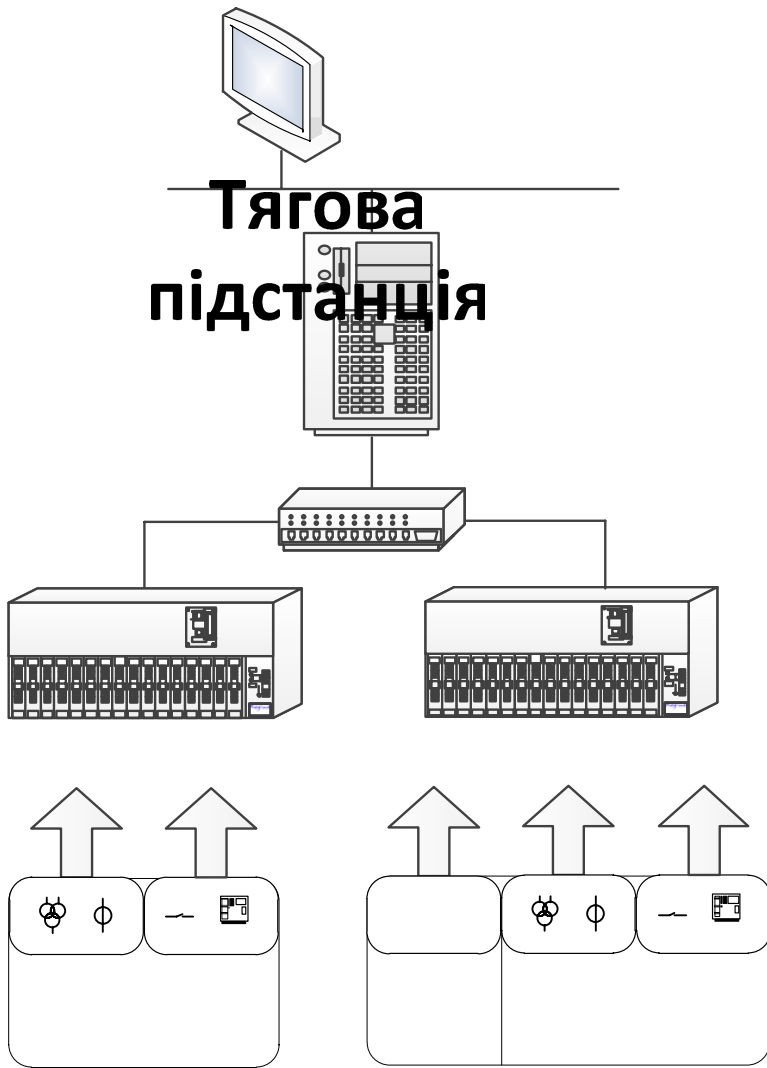


Рис. 1

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

Давачами підсистеми є ТС та ТН приєднань, струми збігання високовольтних введів силового трансформатора, струми від давача температури та вологості трансформаторного масла, напруга ЩПС.

Підсистема є джерелом інформації про технологічні параметри роботи основного обладнання, які базуються на окремих локальних цифрових реєстраторах, що поєднуються в підсистему за допомогою локальної обчислювальної мережі. Обмін інформацією з іншими компонентами базується на транспортному протоколі TCP/IP. На основі цієї інформації забезпечується можливість визначення порушення нормального режиму і оцінки стану та правильності роботи основного обладнання тягової підстанції. Підсистема забезпечує реєстрацію інформації шляхом осцилографування (запису миттєвих значень аналогових і дискретних величин) з подальшим зберіганням її в базі даних. Осцилографуванню підлягають нормальні режими роботи основних приєднань: електромагнітні перехідні процеси, що пов'язані з порушеннями в роботі контактної мережі 27,5 кВ, ліній ДПР, СЦБ; зміна положення комутаційних апаратів; робота пристроїв релейного захисту та автоматики; інші параметри роботи основного обладнання, що можуть бути використані для моніторингу.

Перелік аналогових сигналів від приєднань, що надходять до цифрових реєстраторів

ТН

ТТ

КА

Датчик температури та вологості масла

ТН

ТТ

Моніторинг стану силових вимикачів проводиться за комутаційним ресурсом, механічним і часом відключення.

Моніторинг стану автоматики і релейного захисту досягається за рахунок реєстрації цифровим реєстратором аварійної події з подальшим аналізом роботи пристроїв автоматики і релейного захисту.

Моніторинг стану контактної мережі, ліній ДПР, ліній СЦБ досягається за рахунок визначення місця пошкодження на цих приєднаннях на основі аналізу зареєстрованих аварійних подій цифровими реєстраторами підсистеми цифрової реєстрації параметрів процесів з автоматичною трансляцією основних параметрів пошкодження в перелік подій бази даних СМОТІ.

Апаратура СМОТІ розрахована на розміщення в приміщенні щита керування ТП і складається з таких підсистем:

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

Цифровий реєстратор «Регіна» РС-1

Цифровий реєстратор «Регіна» РС-2

Обчислювальний модуль

Комутатор

- три фазні напруги приєднань: 110 кВ; 27,5 кВ (для напруги 27,5 кВ підключення лінійних напруг), 10 кВ (лінії СЦБ);
- три фазні струми приєднань: 110 кВ, 27,5 кВ, 10 кВ (лінії СЦБ);
- струми фідерів контактної мережі;
- струми ліній СЦБ;
- струми збігання високовольтних введів силового трансформатора;
- струми від давача температури та вологості трансформаторного масла;
- напруга ЩПС міжполюсна та стосовно «землі».

Передбачена можливість задання часу загальної тривалості запису осцилограм та тривалості доаварійного режиму. Всі цифрові реєстратори мають такі характеристики:

- час запису аварійних подій (аварійних, до- та післяаварійних) – не менше 15 с;
- припустима кратність струму (до номінального струму КЗ) – не менше 40;
- максимальна основна приведена похибка реєстрації та відображення – не більше 1%;
- частота реєстрації – не менше 1000 Гц;
- визначення гармонічного складу струмів та напруг – до дев'ятої гармоніки включно.

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. Така підсистема виконує основні функції та алгоритми моніторингу основного обладнання ТП і візуалізує результати роботи СМОТП у цілому.

Основою підсистеми є обчислювальний модуль, на якому виконуються задачі обробки вхідних повідомлень, налагодження роботи СМОТП, приймання первинних даних, робота з базою даних СМОТП, обробка, аналіз та видача даних для візуалізації на автоматизованому робочому місці чергового ТП тощо. Обмін інформацією з іншими компонентами СМОТП базується на транспортному протоколі TCP/IP. В частині стеження за станом основного обладнання виконуються наступні функції моніторингу:

- стану силового трансформатора;
- стану вимірювальних трансформаторів напруги;
- стану вимикачів змінного струму 10; 27,5; 110 кВ;
- стану автоматики та релейного захисту;
- фідерних вимикачів та фідерів контактної мережі, ліній ДПР, ліній СЦБ.

У ході обробки інформації виконуються такі операції:

- масштабування (обчислення реальних значень фізичних величин в іменованих одиницях з урахуванням коефіцієнтів трансформації ТС, ТН і т.д.);
- обчислення розрахункових величин (активна і реактивна потужності, $\cos \phi$, частота, тангенс діелектричних втрат, повна провідність тощо);
- порівняння з попереджувальними й аварійними уставками;
- присвоєння позначок часу подіям (перевищення/зниження сигналів у порівнянні з уставками).

Робота підсистеми супроводжується спеціалізованим програмним забезпеченням, що серед іншого дає змогу виконувати: задання та корекцію параметрів реєстрації нормального режиму; задання та корекцію уставок запуску ЦР; отримання, первинну обробку файлів аварійних подій; контроль функціонування підсистеми та окремих ЦР; формування масивів аварійної інформації; формування бібліотеки аварійних подій; оперативний доступ до будь-якої ділянки осцилограми для детального її розгляду; вимірювання миттєвих та справжніх величин аналогових сигналів на будь-якій ділянці осцилограми з відображенням вимірних значень на екрані дисплея та роздрукованих; вимірювання кутів між синусоїдальними значеннями; гармонічний аналіз аналогових сигналів; вибір довільного числа графіків для суміщення на одній часовій осі; визначення місця пошкодження при коротких замиканнях на лініях електропередачі; визначення залишкового ресурсу високовольтних вимикачів; автоматичне формування експрес-інформації за результатами реєстрації аварійної ситуації; передавання експрес-інформації на вищі рівні керування; ведення нормального режиму.

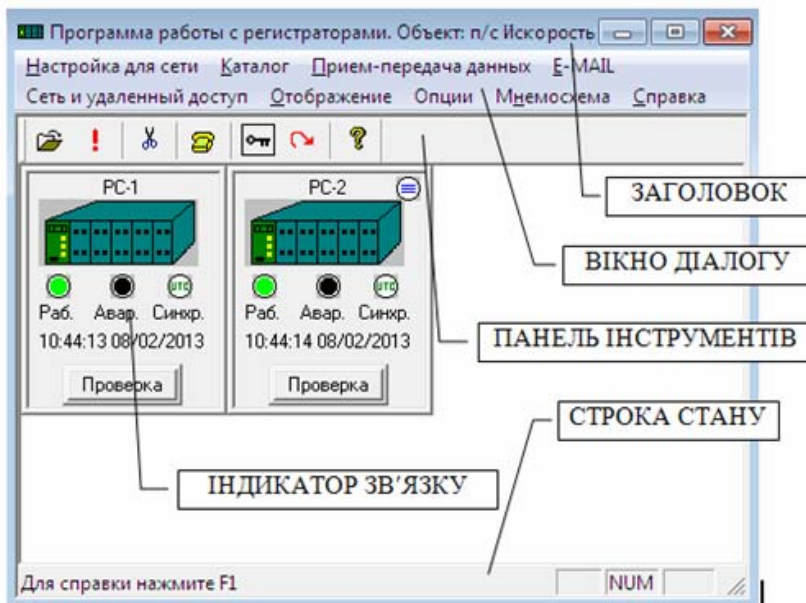


Рис. 2

компонентів СМОТП призначена для організації обміну даними між підсистемами. Як основне обладнання підсистеми застосовані стандартні апаратно-програмні технічні засоби для організації локальних обчислювальних мереж з транспортними протоколами TCP/IP, які обираються на етапі проектування. Передбачена можливість подальшого розвитку СМОТП в частині передавання даних моніторингу на вищі рівні керування.

Підсистема синхронізації часу базується на приведенні локальних таймерів цифрових реєстраторів у відповідність до супутникових сигналів від системи *GPS*, з метою однозначного визначення часу події, зафіксованої різними підсистемами, та формування єдиного часу в СМОТП. Підсистема синхронізації часу виконується окремим комплексом програмно-технічних засобів (ПТЗ) у складі: антени зв'язку з сателітами; перетворювачів сигналу (приймачів), обладнання для створення мережі; мережі передачі даних точного часу.

Розбіжність у часі однієї зафіксованої події різними підсистемами не перевищує 100 мкс. Підсистема синхронізації часу циклічно автоматично не менше одного разу на 10 хв проводить контроль синхронізації часу елементів СМОТП.

Таким чином, на основі проведених досліджень було виготовлено дослідиний зразок шафи моніторингу системи моніторингу стану обладнання тягової підстанції (ШМ СМОТП). Цифрові реєстратори є основними елементами ШМ СМОТП. Блоки введення аналогових сигналів, введення і виведення дискретних сигналів забезпечують гальванічну розв'язку вхідних ланцюгів один від одного, від шин живлення і корпусу блока. Опір ізоляції всіх незалежних вхідних аналогових сигналів ланцюгів відносно корпусу і між собою в знеструмленому стані при температурі оточуючого повітря 20 °C і відносній вологості до 80 % складає не менше 100 МОм. Ізоляція вхідних ланцюгів від ТС і ТН витримує без пробоя і перекриття протягом хвилини випробувальну напругу 1,5 кВ змінного струму частоти 50 Гц.

Живлення ШМ СМОТП забезпечується двома незалежними джерелами: основне живлення напругою ~ 220 В з частотою 50 Гц; резервне живлення напругою 110 В.

Живлення від мережі напругою ~ 220 В подається на блок живлення, де перетворюється в постійну напругу, рівну 24 В, і надходить через діодний модуль на кола живлення. При втраті основного живлення діодний модуль здійснює автоматичний перехід на резервне живлення від мережі 110 В.

Шафа моніторингу системи моніторингу стану обладнання тягової підстанції призначена для роботи в закритому опалювальному приміщенні з такими умовами навколишнього середовища: температура навколишнього повітря від +5 до +60 °C; атмосферний тиск від 630 до 800 мм рт. ст.; відносна вологість повітря не більше 80 %; запилення повітря не більше 0,75 мг/м.

До складу програмних засобів комплексу входять: програма прийому і обробки аварійної інформації (*Comport.exe*); програма аналізу аварійної інформації (*Qu.exe*); технологічна програма настроювання на об'єкт (*Rgsetw.exe*).

Діалогове вікно об'єкта (підстанції) програми прийому та обробки аварійної інформації *Comport.exe* показано на рис. 2. За його допомогою програма приймає, обробляє та відсилає на вищі рівні керування аварійну інформацію.

Підсистема зв'язку

У таблиці наведено загальні технічні характеристики ШМ СМОТП.

Шафа моніторингу СМОТП (рис. 3) є складним програмно-технічним комплексом, в якому змонтовані наступні складові частини: цифрові реєстратори «Регіна»; клемники аналогових сигналів; клемники дискретних сигналів; клемник живлення і сигналізації; блоки випробувальні; модулі підключення дискретних сигналів; блоки живлення $\cong 220 \text{ В}/= 24 \text{ В}$; інвертор $=24 \text{ В}/\sim 220 \text{ В}$; комутатор; пристрій синхронізації часу; модуль обчислювальний; модуль сигналізації; аналізатор; датчик температури та вологості; діодний модуль; реле проміжне; автоматичні вимикачі; розетка, лампа, світлосигнальні індикатори.

За загальними вимогами безпеки та за способом захисту від ураження електричним струмом комплекс відповідає вимогам відповідних стандартів [4, 5]. Корпус шафи заземлений на загальну шину заземлення. Комплекс із закритими кришками є безпечним. Електрична ізоляція вхідних (крім входів ТС і ТН) і вихідних ланцюгів витримує без пробою і перекриття протягом 1 хв випробувальну напругу 1,5 кВ змінного струму частотою 50 Гц. Ізоляція вхідних кіл від ТС і ТН витримує без пробою і перекриття протягом хвилини випробувальну напругу 2,5 кВ змінного струму частотою 50 Гц.

У результаті виконання НТП розроблені програма та методика випробувань дослідного зразка СМОТП, що визначає обсяг, послідовність та методику проведення випробувань. Методика складається з дев'яти розділів: загальні положення програми випробувань; загальні вимоги до умов, забезпечення і проведення випробувань; вимоги безпеки; метрологічне забезпечення випробувань; обсяг і порядок випробувань; засоби випробувань; методика випробувань; проведення випробувань; оформлення результатів випробувань і звітність. Програма описує обсяг та послідовність проведення випробувань дослідного зразка системи моніторингу стану обладнання тягової підстанції.

Випробування дослідного зразка проводилися з метою перевірки відповідності основних технічних характеристик і функціональних можливостей СМОТП вимогам технічного завдання, а також перевірки відповідності робочої технічної документації, правильності застосування матеріалів і комплектуючих виробів та готовності дослідного зразка СМОТП до дослідної експлуатації. Проведені випробування підтвердили відповідність дослідного зразка СМОТП вимогам, встановленим у технічному завданні на його розробку.

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



Рис. 3

1. Сердинов С.М. Анализ работы и повышения надежности устройств энергоснабжения электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1975. – 366 с.
2. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Танкевич С.М., Сопель М.Ф., Блінов І.В., Рибіна О.Б., Танкевич С.С., Гречко В.В. Интеллектуальний вимірювальний перетворювач та нормативне забезпечення комунікаційного середовища високовольтних електроенергетичних об'єктів // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2014. – Вип. 38. – С. 56–64.
3. Стогній Б.С., Сопель М.Ф. Основи моніторингу в електроенергетиці. Про поняття моніторингу // Техн. електродинаміка. – 2013. – № 1. – С. 62-69.
4. ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. Введ. 01.01.92.
5. ГОСТ 12.2.007.0-75. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. Введ. 01.01.78.

УДК 621.311.4

Б.С. Стогний, акад. НАН України, **А.В. Кириленко**, акад. НАН України, **М.Ф. Сопель**, канд. техн. наук, **С.Е. Танкевич**, канд. техн. наук
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Система мониторинга состояния оборудования тяговых подстанций переменного тока железнодорожного транспорта

Представлены основные результаты выполнения научно-технического проекта в отделах моделирования электроэнергетических объектов и систем и автоматизации электрических систем за 2014 год. Цель проекта – разработка системы мониторинга состояния оборудования тяговых подстанций железнодорожного транспорта, которая предназначена для автоматизированного мониторинга и диагностирования состояния основного электротехнического оборудования и оценки режимов его работы. Библиография: 5, рис. 3, таблица.

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

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

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Equipment condition monitoring system of AC traction substation for railway transport

The basic results of science project implementation during 2014 are presented. The project was carried by departments of electrical energy object and systems modeling and energy systems automation. The project was intended to develop equipment condition monitoring system of AC traction substation for railway transport. The system is intended for automated monitoring and diagnostics of the condition of main electrical equipment and assessment of its operation modes. References 5, figures 3, table.

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

Надійшла 8.04.2015

Received 8.04.2015

№ 5. ВІДДІЛ ЕЛЕКТРИЧНИХ І МАГНІТНИХ ВИМІРЮВАНЬ

УДК 621.317

ЗАВАДОСТІЙКИЙ ПРЕЦИЗІЙНИЙ КАНАЛ ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАТИВНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ІМПЕДАНСОМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ

В.Г. Мельник, канд. техн. наук, **О.В. Сліцький**, асп.

Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна
melnik@ied.org.ua

Викладено результати досліджень, отримані у відділі електричних і магнітних вимірювань у 2014 р., у напрямку підвищення точності та завадостійкості імпедансометричних каналів. Втрічі підвищено інформаційний ККД та зменшено нелінійність перетворення. Библиография: 5, рис. 9.

Ключові слова: вимірювання, імпеданс, похибка, нелінійність, аналого-цифровий перетворювач.

Вступ. Канал перетворення інформативних сигналів з виходів вимірювального кола (або вторинного перетворювача сенсорів) імпедансометричних засобів є найважливішою частиною вимірювальної системи, що визначає її чутливість, розрізнявальну здатність, швидкодію і завадостійкість. Лінійність характеристики перетворення цього каналу в основному або значною мірою визначає досягнуту точність приладів. При розробці мережевих систем збору даних і управління, а також портативних приладів для оперативного контролю важливими вимогами є підвищення його завадостійкості, спрощення апаратури, зменшення енергоспоживання та вартості.