

Б. С. Стогній¹
М. Ф. Сопель¹
Є. М. Танкевич¹
Г. М. Варський¹
І. В. Яковлєва¹

МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ ВТОРИННИХ КІЛ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

¹Інститут електродинаміки НАН України

Розглянуто високовольтні трансформатори струму як об'єкт моніторингу, визначені чинники, які впливають на технічний стан трансформатора. Доведена необхідність безперервного контролю параметрів їх вторинних кіл. Запропоновано структуру системи моніторингу параметрів вторинних кіл трансформаторів струму, визначено вимоги до вхідних перетворювачів струму та напруги для таких систем.

Ключові слова: трансформатор струму, система моніторингу, параметри вторинного кола.

Вступ

Трансформатори струму (ТС) належать до важливого електротехнічного обладнання та поста-чають первинну інформацію про струми електроенергетичних об'єктів. На використанні цієї інфо-рмації побудована робота систем релейного захисту та автоматики, систем моніторингу, які забез-печують контроль технічного стану та прогнозування ресурсу роботи основного електротехнічно-го обладнання, такого як генератори, силові трансформатори і автотрансформатори, реактори, вимикачі та інше, від яких залежить надійна та ефективна робота електроенергетичної системи в цілому. Як показує досвід експлуатації, пошкодження ТС може призвести до важкої системної аварії з багатомільйонними збитками [1]. Точна, надійна та безпечна робота ТС є необхідною умо-вою якісної роботи згаданих систем. Існуючі системи моніторингу високовольтної ізоляції ТС контролюють основні її параметри та дозволяють своєчасно вивести проблемний апарат із експлу-атації [2]. Але такі системи не контролюють стан вторинних обмоток ТС, які впливають на метро-логічну надійність ТС та безпеку обслуговуючого персоналу. Тому безперервний контроль техні-чного стану вторинних кіл ТС заслуговує на особливу увагу. Зважаючи на тривалі строки експлуа-тації вимірювальних трансформаторів, значення їх навантаження та характеристики ліній зв'язку, ця проблема є актуальною для вітчизняної електроенергетики.

Метою роботи є розроблення структури системи моніторингу параметрів вторинних кіл ТС визначення параметрів вторинних кіл ТС, що підлягають моніторингу, та обґрунтування вимог до вхідних перетворювачів струму і напруги системи.

Характеристика об'єкту моніторингу

Високовольтні ТС для зовнішнього встановлення відрізняються великим різноманіттям кон-струкцій [3]. В залежності від типу первинної обмотки розрізняють ТС з ланковою, U-подібною та римоподібною обмотками. В залежності від класу напруги ТС можуть бути одноступінчатими або каскадними. Кожна з цих конструкцій, крім параметрів магнітної системи, кількості витків пер-винної і вторинної обмоток, відрізняються також заступними схемами, які враховують ємності основної ізоляції, власні ємності вторинних обмоток, ємності між екраном та обмотками ТС тощо. В розрахунку усталених режимів роботи ТС на основній частоті ці ємності зазвичай не врахову-ють через їх незначний вплив на роботу ТС в цих умовах. Але в дослідженнях роботи ТС в пере-хідних режимах ЕЕС, або при розриві вторинної обмотки трансформатора, або при дослідженні точності ТС на вищих гармоніках струму і напруги, які виникають у мережі, ці ємності можуть

суттєво вплинути на процеси в ТС. Так, наприклад, для ТС на напругу 35—150 кВ, які не мають електростатичного екрану між первинною і вторинною обмотками, ємнісний струм через високовольтну ізоляцію суттєво впливає на точність роботи трансформатора, викликаючи додаткову похибку, значення якої залежить від ємності високовольтної ізоляції, напруги і режиму роботи лінії. Для ТС класу точності 0,5 ТФЗМ150А-ІУ1 при напрузі 150 кВ, вторинному струмі 5 А, ємності високовольтної ізоляції 120 пФ та коефіцієнті реактивної потужності лінії $\text{tg } \varphi = 0,5$ вже за 70 % номінального струму повна похибка ТС перевищує 0,5 % [4].

Аналіз результатів моделювання роботи ТС як окремого, так і у групі, яке проводилось на створених в Matlab/Simulink схемах з використанням розроблених matlab-моделей ТС, які враховують зазначені вище ємності, показав, що для оцінювання стану вторинних кіл ТС і його високовольтної ізоляції необхідно безперервно контролювати струм у обмотці і напругу на ній, що дозволить своєчасно визначати аварійні режими роботи трансформатора, такі як коротке замикання, підвищене (або зменшене) навантаження, розмикання вторинної обмотки. Крім того, доцільно контролювати струм у заземлюючому вторинному обмотку провіднику. Контроль цього струму дає змогу оцінювати величину ємності ізоляції і прогнозувати її стан.

ТС має одну спільну первинну і декілька вторинних обмоток, які намотані кожна на своєму осерді. Зазвичай високовольтні ТС мають до 5 вторинних обмоток (окрім ТС типу ТФБ-110(220), які можуть мати до 7 вторинних обмоток) — 1 (2) обмотки для вимірювання і 4 (3) обмотки для захисту. Таким чином, для контролю вторинних кіл одного ТС необхідно в регістраторі сигналів (РС) системи моніторингу (СМ) мати 10 аналогових входів (5 струмових і 5 входів по напрузі). ТС встановлюють у кожен фазу високовольтної лінії, утворюючи трифазну групу ТС. Отже, для контролю вторинних кіл такої групи необхідно мати 30 аналогових входів у регістраторі сигналів і один-два входи для контролю нульового струму трифазної групи ТС.

Технічний стан ТС оцінюється за багатьма критеріями, специфічними для цього виду устаткування, які визначаються такими експлуатаційними чинниками:

- час експлуатації;
- кількість к. з. у первинному колі;
- кількість розмикань вторинних обмоток;
- величина навантаження вторинних обмоток: збільшене навантаження (розмикання вторинної обмотки), зменшене навантаження (зовнішні і внутрішні замикання вторинної обмотки);
- несиметрія навантаження вторинних обмоток трифазної групи ТС;
- величина струму через ємність основної ізоляції;
- тангенс кута діелектричних втрат основної ізоляції ($\text{tg } \delta$);
- ємність основної ізоляції (С1);
- динаміка зміни $\text{tg } \delta$ і С1;
- температурну залежність $\text{tg } \delta$.

Таким чином, для створення функціонально повної СМ технічного стану ТС необхідно проводити як моніторинг високовольтної ізоляції, так і моніторинг вторинних кіл ТС.

Характеристика основних частин системи моніторингу

Робота СМ параметрів вторинних кіл ТС (СМПВК ТС) побудована на вимірюванні в них струмів та напруг, які характеризуються широким динамічним діапазоном і наявністю аперіодичних складових в аварійних режимах роботи трансформаторів. Тому до входних перетворювачів струму (ВПС) РС висувають, як правило, жорсткі вимоги як до масогабаритних показників, так і до їх точності. За мінімальних розмірів ВПС повинні забезпечувати для змінної складової струмову похибку, що не перевищує 0,1 %, і кутову похибку не більше 10 мінут при роботі як в усталеному, так і перехідному режимі за наявності аперіодичної складової з постійною часу до 0,1 с в діа-

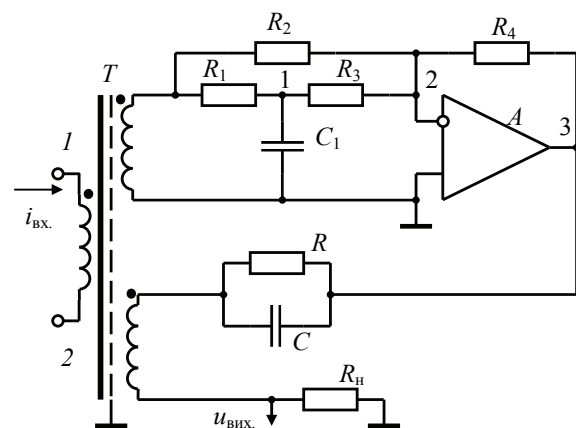


Рис. 1. Спрощена електрична схема ВПС

пазоні від 0,01 до 20 кратного вхідного струму та повинні забезпечувати гальванічну розв'язку вхідних і вихідних кіл. При цьому найбільша похибка по аперіодичній складовій не повинна перевищувати 5...10%. Крім того, ВПС мають створювати мінімальне навантаження (менше 1 ВА) для вторинних обмоток ТС. Поставлена задача може бути розв'язана за допомогою перетворювачів, побудованих по схемі трансформатора струму з негативним зворотним зв'язком (трансформатор струму з «нульовим» потоком). Практична схема ВПС, який реалізує цей принцип, показана на рис. 1. За рахунок великого коефіцієнта підсилення підсилювача А у колі зворотного зв'язку в осерді перетворювача Т підтримується магнітний потік близький до нуля. За рахунок цього і забезпечуються надзвичайно високі метрологічні характеристики ВПС.

Вхідний перетворювач напруги (ВПН) вторинної обмотки ТС будується за такою самою схемою, як і ВПС, розглянутий вище, за виключенням первинної обмотки, яка для ВПН виконується багатovitковою. В коло первинної обмотки включається додатковий баластний високоточний резистор R_B , що забезпечує перетворення вхідної напруги у струм, який вимірюється як було описано вище. Описаний принцип вимірювання вторинних струмів і напруг реалізований у РС «Регіна».

Для моніторингу параметрів вторинних кіл ТС необхідно контролювати струм і напругу кожної вторинної обмотки трансформатора. Якщо будувати таку систему у вигляді окремого пристрою, знадобляться значні апаратні затрати, що буде економічно не вигідно. Але на багатьох електроенергетичних об'єктах України встановлені моніторингові апаратно-програмні комплекси «Регіна» [5], в яких необхідна інформація про струми вторинних обмоток ТС вже присутня, а їх обчислювальні потужності дозволяють також реалізувати функції моніторингу параметрів вторинних кіл ТС.

СМ параметрів вторинних кіл ТС інтегрується у апаратно-програмний комплекс «Регіна» (рис. 2). До складу основних технічних засобів цього комплексу, що забезпечують отримання (реєстрацію) необхідної інформації на рівні об'єкту моніторингу входять:

— один з реєстраторів сигналів РС з блоками вимірювальних перетворювачів ВП для вимірювання миттєвих значень фазних струмів і напруги та розрахунку параметрів;

— комунікаційний сервер для збору і архівації даних, які надходять від ВП, прийому сигналів точного часу від GPS-приймача, надання даних за запитами віддаленого комп'ютера, надання інтерфейсів для передачі даних в on-line та off-line режимах;

— монітор для оперативної візуалізації зареєстрованих та розрахованих параметрів;

— блок гарантованого електроживлення для забезпечення роботи комплексу «Регіна» під час тимчасової перерви електроживлення;

— комплект виробів (антена, пристрій синхронізації та ін.) для прийому сигналів точного часу від GPS;

— локальна обчислювальна мережа, яка поєднує ВП та інші пристрої моніторингу нижнього рівня і сервер збору даних (Fast Ethernet 100 Мбіт/с, TCP/IP).

Основними компонентами кожного комплексу «Регіна» є РС. До складу РС у загальному випадку можуть входити: ВП, модуль введення-виведення дискретних сигналів (МВВДС), обчислювальний модуль. Напруга електроживлення кожного РС — 220 В змінного або постійного струму.

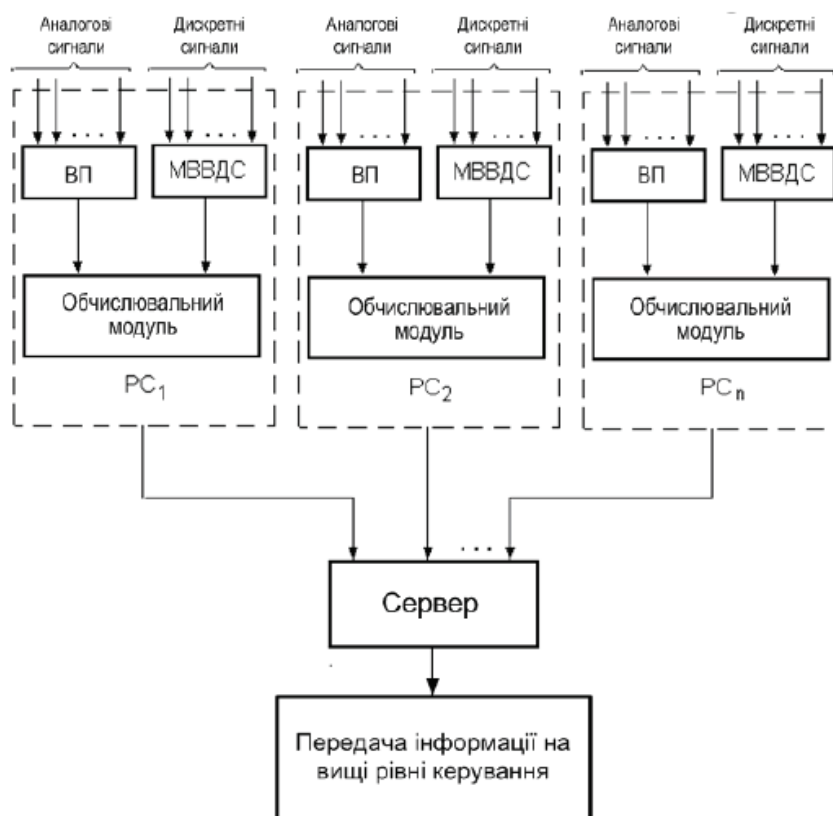
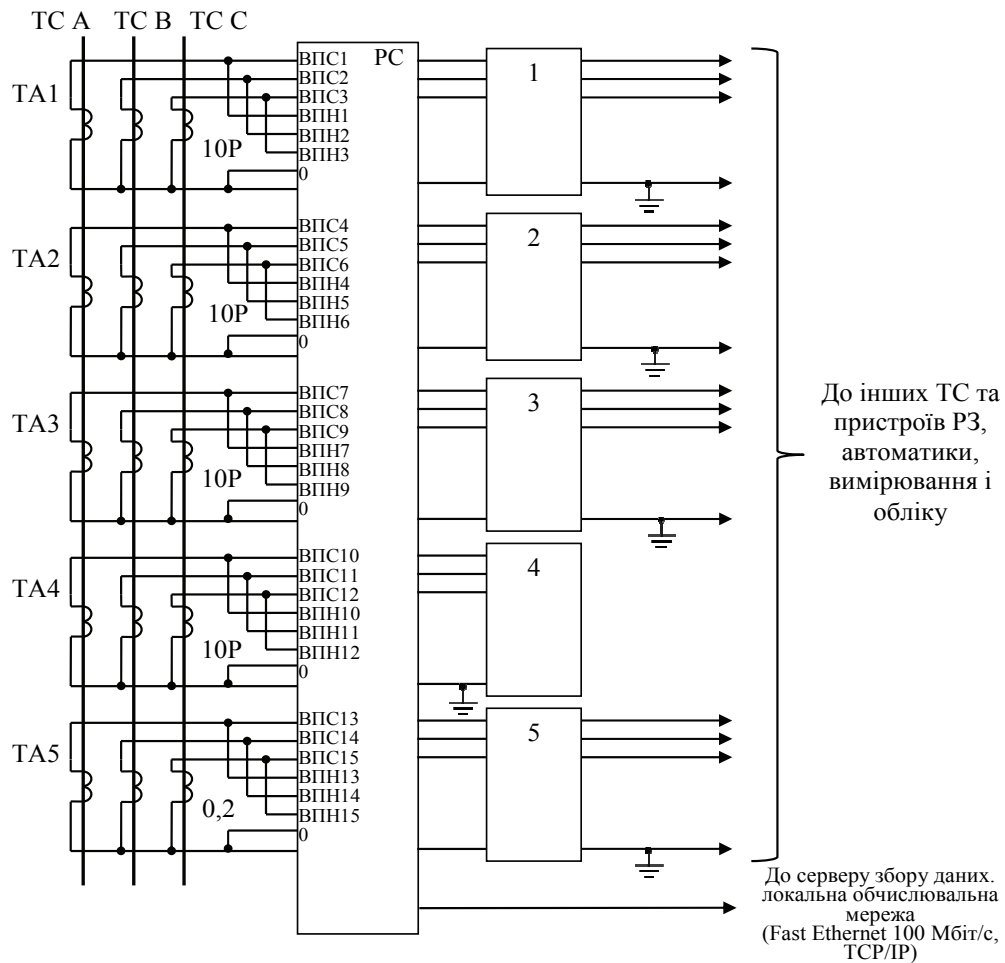


Рис. 2. Структура комплексів «Регіна»

РС фіксує електричні сигнали змінного та постійного струму і напруги, а також дискретні сигнали типу сухий контакт або потенціалні. Кількість (n) необхідних реєстраторів (PC_1, PC_2, \dots, PC_n) визначається кількістю сигналів, що підлягають реєстрації та обробці. Один РС передбачає реєстрацію до 32 аналогових сигналів.

Сервер забезпечує зберігання в БД зареєстрованої й обробленої інформації та її передачу іншим програмам, що безпосередньо не входять до складу комплексу «Регіна», а також забезпечує передачу інформації на будь-які вищі рівні ієрархії керування (сервер комплексу «Регіна» може також формувати дані і для WEB-серверу).

Виходячи із завдань та функцій, які має виконувати система моніторингу параметрів вторинних кіл трансформаторів струму, можливості встановлення додаткових давачів струму та, беручи до уваги викладене вище, запропонована така структура СМПК ТС (рис. 3), яка використовує можливості комплексу «Регіна».



1 – основний захист; однофазне АПВ (ОАПВ); 2,3 – пристрій резервування відмови вимикачів (УРОВ) і протиаварійна автоматика ліній; 4 – диференціальний захист шин; 5 – лічильник; вимірювальні прилади (амперметри, ватметри, варметри); протиаварійна автоматика; телевимірювання

Рис. 3. Під'єднання РС до групи ТС

Підключення РС (див. рис. 3), який використовується у СМПК ТС, до групи контрольованих ТС А, ТС В і ТС С має відбуватись у першу чергу. Тобто входні перетворювачі РС повинні бути першими у вторинних колах ТС. Вторинні струми від обмоток ТС через ВПС РС надходять на пристрої релейного захисту, автоматики і обліку. У цьому випадку ВПН1—ВПН15 РС будуть вимірювати падіння напруги на всьому вторинному колі кожної обмотки у точці, найближчій до групи ТС. Це дозволяє уникнути прокладання додаткових контрольних кабелів для вимірювання напруги на обмотках ТС. Додаткові давачі ємнісного струму ДТ, включені у заземлюючі провідники трансформаторів, дозволяють контролювати високовольтну ізоляцію ТС. Інформація про напруги фаз лінії отримується з інших РС комплексу «Регіна».

Розроблені алгоритми та програми для СМПК ТС дозволяють:

1. Контролювати величину навантаження кожної вторинної обмотки ТС, включно із лініями зв'язку, попереджати оператора про вихід навантаження із допустимих меж, що призводить до збільшення похибок вимірювання та метрологічної відмови ТС.

2. Визначати несиметрію навантаження у групі ТС, яка впливає на точність роботи ТС, особливо у перехідних режимах роботи.

3. Визначати і попереджати про аварійний режим обриву у вторинному колі ТС, який супроводжується перенапругами, небезпечними для вторинного обладнання та життя обслуговуючого персоналу.

4. Попереджати про коротке замикання у вторинному колі трансформатора, при якому вторинний струм повністю або частково не поступає на вхід вторинного обладнання (метрологічна відмова).

5. Контролювати точність вторинних обмоток ТС відносно одна одної, поступове погіршення якої викликане погіршенням магнітних характеристик одного із осердь.

6. За наперед визначеними вольт-амперними характеристиками ТС та кутом магнітних втрат у осердях трансформатора обчислювати повну, струмову та кутову похибки ТС для кожної вторинної обмотки. Передбачена можливість врахування цих даних при обчислюванні коригувальних поправок до результатів вимірювання, що забезпечує роботу ТС у більш високому класі точності.

7. Визначати тангенс кута діелектричних втрат основної ізоляції ($\operatorname{tg} \delta$), ємність основної ізоляції ($C1$), небаланс струмів провідності ізоляції трифазної групи ТС, динаміку зміни $\operatorname{tg} \delta$ і $C1$, температурну залежність $\operatorname{tg} \delta$.

Висновок

Інтеграція функцій моніторингу параметрів вторинних кіл і високовольтної ізоляції ТС у систему моніторингу стану електротехнічного обладнання електричної підстанції, побудованої на основі моніторингових апаратно-програмних комплексів «Регіна», дозволяє спростити їх реалізацію і забезпечити функціонально повний контроль технічного стану ТС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Московский блэкаут. Кто виноват и что делать? [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.nkj.ru/archive/articles/6345/>.
2. Апаратно-программный комплекс непрерывного диагностирования основной изоляции трансформаторов тока и высоковольтных вводов силовых трансформаторов / Б. С. Стогний, Ю. В. Пилипенко, М. Ф. Сопель, В. Л. Тутик // Праці Інституту електродинаміки НАН України : зб. наук. пр. — 2010. — Вип. 26. — С. 38—46.
3. Бажанов С. А. Маслонаполненные трансформаторы тока / С. А. Бажанов — Москва. : Энергоатомиздат, 1983. — 80 с.
4. Варский Г. М. Влияние межобмоточной емкости на точность работы высоковольтного трансформатора тока // Технічна електродинаміка. — 2014. — № 4. — С. 58—60.
5. Система збору та обробки інформації, що реєструється комплексами «Регіна-Ч» / [Б. С. Стогний, О. В. Кириленко, О. Ф. Буткевич та ін.] // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України : зб. наук. пр. — 2011. — Вип. 29. — С. 35—46. — Бібліогр. : 12 назв. — укр.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 2.11.2015

Стогний Борис Сергійович — академік НАН України, д-р техн. наук, професор, завідувач відділу автоматизації електричних систем;

Сопель Михайло Федорович — канд. техн. наук, старший наук. співробітник, пров. наук. співробітник відділу автоматизації електричних систем;

Танкевич Євгеній Миколайович — д-р техн. наук, старший наук. співробітник, пров. наук. співробітник відділу автоматизації електричних систем;

Варський Григорій Мстиславович — канд. техн. наук, старший наук. співробітник відділу автоматизації електричних систем, e-mail: gregvar@ukr.net;

Яковлєва Інна Всеволодівна — канд. техн. наук, старший наук. співробітник, старший наук. співробітник відділу автоматизації електричних систем; e-mail: ivya@ied.org.ua.

Інститут електродинаміки НАН України, Київ

B. S. Stognii¹
M. F. Sopol¹
Ye. M. Tankevych¹
H. M. Varskyi¹
I. V. Yakovlieva¹

Monitoring of Secondary Circuit Parameters of Current Transformers of Electrical Power Object Control Systems

¹Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine

Current high-potential transformers as installation of monitoring are observed, factors which influence availability index of product of the transformer are defined. Necessity of the continuous control of parameters of their secondary circuits is shown. The structure of system of monitoring of parameters of secondary circuits of current transformers is offered, demands to entry converters of a current and voltage for such systems are defined.

Keywords: current transformer, monitoring system, parameters of secondary circuit.

Stognii Borys S. — Academician of NAS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng), Professor, Head of the Department of Electrical Systems Automation;

Sopol Mykhailo F. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Assistant, Leading Staff Scientist of the Department of Electrical Systems Automation;

Tankevych Yevgenii M. — Dr. Sc. (Eng.), Senior Research Assistant, Leading Staff Scientist of the Department of Electrical Systems Automation;

Varskyi Hryhorii M. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Staff Scientist of the Department of Electrical Systems Automation, e-mail: gregvar@ukr.net;

Yakovlieva Inna V. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Assistant, Senior Staff Scientist of the Department of Electrical Systems Automation, e-mail: ivya@ied.org.ua

Б. С. Стогний¹
М. Ф. Сопель¹
Е. Н. Танкевич¹
Г. М. Варский¹
И. В. Яковлева¹

Мониторинг параметров вторичных цепей трансформаторов тока систем управления электроэнергетических объектов

¹Институт электродинамики НАН Украины

Рассмотрены высоковольтные трансформаторы тока как объект мониторинга, определены факторы, которые влияют на техническое состояние трансформатора. Показана необходимость непрерывного контроля параметров их вторичных цепей. Предложена структура системы мониторинга параметров вторичных цепей трансформаторов тока, определены требования к входным преобразователям тока и напряжения для таких систем.

Ключевые слова: трансформатор тока, система мониторинга, параметры вторичной цепи.

Стогний Борис Сергеевич — академик НАН Украины, д-р техн. наук, профессор, заведующий отдела автоматизации электрических систем;

Сопель Михаил Федорович — канд. техн. наук, старший научн. сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела автоматизации электрических систем;

Танкевич Евгений Николаевич — д-р техн. наук, старший научн. сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела автоматизации электрических систем;

Варский Григорий Мстиславович — канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела автоматизации электрических систем, e-mail: gregvar@ukr.net;

Яковлева Инна Всеволодовна — канд. техн. наук, старший научн. сотрудник, старший научный сотрудник отдела автоматизации электрических систем, e-mail: ivya@ied.org.ua