

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ У СИСТЕМАХ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

© Козевич О.П., 2014

Розглянуті питання оцінки похибок вимірювальних ТС і ТН, що використовуються в системах обліку електроенергії. Проаналізовані залежності похибок від величин реального вторинного навантаження цих трансформаторів. Рекомендовано вимірювальний прилад, що дає змогу виміряти реальне вторинне навантаження трансформаторів.

Ключові слова: вимірювальні ТС і ТН, похибки, вторинне навантаження, метрологічне забезпечення.

In the article questions of error estimation of measuring voltage and current transformers used in electric energy metering systems are discussed. Dependencies of errors on values of real secondary burden of such transformers. Measuring device is recommended capable of measuring real secondary transformer burden.

Key words: measuring Transformers Current and Voltage Transformers, metrological support, secondary transformer burden.

Постановка проблеми

Вирішення проблем покращення надійності, безпеки та енергозбереження в енергосистемах значною мірою залежить від якості та надійності складових систем захисту електромереж та вимірювання споживаної електроенергії, і, зокрема, від характеристик вимірювальних трансформаторів струму (ВТС) та трансформаторів струму релейного захисту (ТСРЗ), які є елементами систем контролю, захисту та автоматичного регулювання в енергомережах.

Вимоги до метрологічних та експлуатаційних характеристик таких трансформаторів регламентуються відповідними стандартами як вітчизняними (ДСТУ, ГОСТ), так і зарубіжними (ANSI, IEC та ін.), і контроль цих характеристик на всіх стадіях виготовлення, монтажу на розподільчих підстанціях та під час експлуатації трансформаторів є важливою частиною метрологічного забезпечення енергосистем.

Аналіз останніх досліджень

Серед спеціалістів побутують два, взаємовиключні підходи до вирішення цих проблем.

Один з них полягає в тому, що необхідно проводити періодичний метрологічний контроль вимірювальних трансформаторів ТС і ТН. Глибина такого контролю цих пристроїв може бути різною, але необхідність його обґрунтовується такими аргументами. За інформацією з достовірних джерел, що ґрунтуються на експериментальних дослідженнях, в США, Швеції, Словаччині і інших країнах 30-40% вимірювальних трансформаторів, що перебувають в експлуатації, мають похибки, які не відповідають їхньому класу [1, 2].

Слід також зауважити, що надійність роботи і похибки вимірювальних трансформаторів, залежать від дотримання експлуатуючими організаціями правил експлуатації. Як відомо, на практиці, далеко не завжди ці правила виконуються.

Що стосується ситуації в Україні, то Держстандарт України встановив міжповірочний інтервал цих пристроїв – 4 роки.

Інший підхід полягає в тому, що контроль вимірювальних ТС і ТН слід проводити тільки на стадії виробництва або після їх капітального ремонту, оскільки зазначені вироби забезпечують стабільність метрологічних характеристик протягом тривалого часу експлуатації.

Обґрунтовуючи цей підхід, фахівці наводять багато переконливих аргументів, серед яких, зокрема, і висока вартість періодичного контролю, і відсутність відповідного обладнання. Зазначається, що фізичні властивості компонентів трансформаторів, використання відповідних ізолюючих середовищ і конструкція ТС і ТН забезпечують стабільність їх метрологічних характеристик протягом тривалого часу.

Було зазначено вище, що не останнє значення тут мають і фінансові витрати.

Так за інформацією ДП НЕК «Укренерго» в Україні є близько 10 тисяч точок комерційного обліку електроенергії і орієнтовна вартість їх повірок кожні чотири роки становитиме близько 120 млн. грн.

Багаторічний досвід експлуатації таких трансформаторів в різних країнах переконливо свідчить, що вимірювальні ТС і ТН всіх типів зберігають метрологічні характеристики протягом усього терміну їх експлуатації у разі дотримання правил їх технічної експлуатації. Це підтверджують дані вибіркового перевірок кількох сотень вимірювальних ТС і ТН з термінами експлуатації від 10 до 40 років, які не виявили непридатних. Це також підтверджують узгоджені дані балансів обліку електроенергії по кожній фазі, отримані за допомогою сучасних багатофункціональних лічильників (клас 0,1; 0,2).

НЕК «Укренерго», яка займається управлінням виробництва, розподілу і споживання електроенергії в Україні, в 2007–2010 рр. збило дані про досвід експлуатації вимірювальної ТС і ТН в Україні та низці зарубіжних країн (див. таблицю).

Назва показника	Країна, виробник		
	Україна, Запорізький завод високовольтної апаратури	Швеція, компанія АВВ	Словаччина, Франція, Німеччина
Рекомендації з контролю метрологічних характеристик	Метрологічні характеристики ТС і ТН не змінюються після 15-20 років експлуатації. Повірку слід проводити тільки при випуску з виробництва і після капітального ремонту	Середній термін експлуатації ТТ і ТН становить 30-40 років. На сьогодні в експлуатації знаходяться трансформатори, виготовлені в 40-х роках минулого сторіччя. АВВ виробляє ТС і ТН більше 70 років. Виготовлено більше 150 тис. трансформаторів. Повірку слід проводити тільки при випуску з виробництва і після капітального ремонту	ТС і ТН не підлягають періодичній повірці

З наведеного можна зробити висновок, що метрологічна повірка вимірювальних ТС і ТН не є обов'язковою, що підтверджують практичні результати вимірювань. Необхідно однак зазначити, що ці трансформатори забезпечують свої метрологічні характеристики тільки за дотримання правил їх технічної експлуатації.

Задача досліджень

Задачею досліджень є аналіз впливу потужності вторинного навантаження вимірювальних трансформаторів на величину їх похибок і створення вимірювального пристрою, який може, в реальних умовах експлуатації, виміряти ці параметри.

Виклад основного матеріалу

На практиці це означає, що необхідно суворо контролювати дотримання правил їх технічної експлуатації, а найперше потужність їх вторинного навантаження. Адже відомо, що клас точності трансформаторів залежить від їх навантаження. Якщо цей параметр не контролювати, і він вийде за межі допустимих норм, то похибки цілком справних ТС і ТН також вийдуть за допустимі межі внаслідок порушення правил їх експлуатації.

Відомо, що потужність вторинного навантаження вимірювальних трансформаторів складається з потужності вимірювального приладу плюс потужність, що споживається з'єднувальними провідниками. Слід зазначити, що згідно з вимогами нормативних документів, навантаження вторинних кіл ТН і ТС повинно становити 25–100 % від номінального, тільки тоді вони будуть працювати в своєму класі точності [3,4,5]. Причому похибки зростатимуть, якщо навантаження вийде за межі цього інтервалу .

Факторів, які впливають на неконтрольовану зміну навантаження трансформаторів, може бути багато. Найперше – це повсюдна практика приєднання до обмоток вимірювальних трансформаторів неконтрольованої кількості пристроїв релейного захисту і автоматики, приладів телеметрії тощо.

Це приводить до істотного збільшення потужності навантаження вторинних кіл.

До збільшення потужності навантаження приводить також неконтрольоване збільшення довжини вимірювальних ліній.

Одним з факторів, що може вивести навантаження за нижню межу допустимого інтервалу, є заміна індуктивних лічильників на електронні, потужність споживання яких є на порядок менша. Можуть бути і інші фактори, що істотно змінюють потужність навантаження вимірювальних трансформаторів.

У деяких випадках в результаті дії різних факторів, не врахованих за нормативами, сумарна гранична похибка лічильника електроенергії може в 25–50 разів перевищити номінал його класу точності під час звичайного підсумовування систематичних похибок з одним знаком і в 5–6 разів – під час квадратичного підсумовування [8]. У результаті виходить, що прилад контролю працює з нормованим класом точності тільки в ідеальному випадку, а в реальних умовах експлуатації похибки приладів багаторазово виходять за стандартні величини.

За оцінками спеціалістів, один трансформатор, який працює поза межами свого класу точності, може приносити втрати, що в річному еквіваленті становлять 1000 і більше дол. США [1].

З наведеного вище можна зробити однозначний висновок, що для забезпечення роботи вимірювальних трансформаторів в своєму класі точності необхідно контролювати потужність вторинного навантаження під час реальної роботи трансформатора.

Наскільки нам відомо реально майже ніхто не контролює потужність вторинного навантаження під час реальної роботи трансформатора, оскільки не має можливості це робити – на ринку відсутні необхідні інструменти.

Компанія «Мікро-код», яка вже тривалий час працює на ринку електровимірювальних приладів, що використовуються для вимірювання параметрів електроенергетичних систем, створила прилад, який вирішує цю проблему повністю.

Пропонуємо унікальний прилад, СТ-METER MS, який забезпечує визначення метрологічних характеристик вимірювальних трансформаторів струму (ВТС) ліній електропередач від 6 кВ до 750 кВ під час їх експлуатації в мережі без від'єднання та знеструмлення первинних обмоток.

В основі побудови зазначеного приладу лежить застосування непрямих методів вимірювання, які ґрунтуються на оцінці параметрів схеми зміщення ТС та прогнозуванні, на основі одержаних даних, його поведінки в реальних умовах, і, відповідно, визначенні його метрологічних та експлуатаційних характеристик.

Характерною особливістю цього приладу є його спосіб приєднання до тестованого трансформатора з використання технологічного тестового з'єднання (Test Link), як це показано на рис. 1.

Прилад забезпечує безрозривне під'єднання до вторинного кола реально працюючого ТС без знеструмлення первинної обмотки, після чого знімається технологічне тестове з'єднання, і прилад починає вимірювання необхідних параметрів в реальних умовах експлуатації ТС.

Прилад забезпечує визначення, відображення та зберігання (до 50 повних тестів) таких величин:

- параметрів навантаження вторинної обмотки ВТС;



- активного опору вторинної обмотки;
- вольт-амперної (VA) характеристики збудження вторинної обмотки в координатах напруга/струм/PF;
- струмової та кутової похибок ВТС залежно від робочого струму та параметрів навантаження;
- струму намагнічення вторинної обмотки залежно від струму вторинної обмотки та навантаження із врахуванням активного опору обмотки;
- класу точності ВТС у відповідності до стандартів ГОСТ, IEC, ANSI.

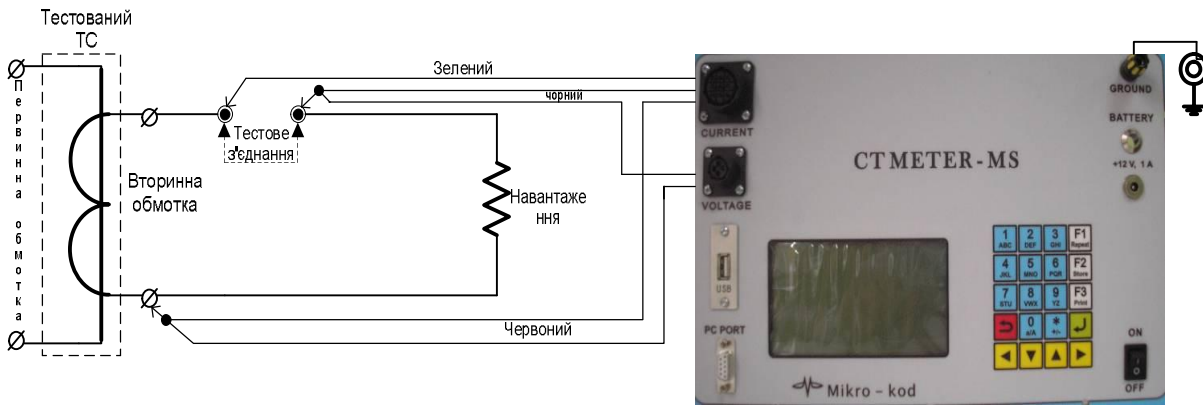


Рис. 1. Унікальний прилад CT-METER MS

Додатково, як діагностичний параметр визначається еквівалентна провідність від вихрових струмів у магнітному осерді та можливих замикань витків обмоток.

Нижче наведені технічні характеристики приладу CT-METER MS

Технічні характеристики:

- Номінальні струми вторинних обмоток ВТС, що тестуються: 1А або 5А;
- Частота мережі : $50 \pm 0,5$ Гц або $60 \pm 0,6$ Гц;
- Діапазон робочих струмів у вторинному колі при яких можуть бути проведені вимірювання параметрів ВТС:
 - для п'ятиампертних ВТС : $[0,2...5]$ А;
 - для одноамперних ВТС: $[0,1...1]$ А;
- Діапазон вимірюваних або встановлених оператором значень індуктивно-резистивних навантажень вторинного кола ВТС:
 - потужність навантаження: $[0...50]$ VA
 - похибка вимірювання: $\pm 5\% \pm 0,3$ VA
 - коефіцієнт втрат навантаження (PF, або $\cos\varphi$) : $[0...1]$
 - похибка вимірювання: $\pm 0,05$;
- Діапазон вимірюваних активних опорів вторинних обмоток ВТС: $[0,05...50]$ Ом похибки вимірювання $\pm 3\% \pm 0.005$ Ом;
- Діапазон вимірюваних струмів намагнічення вторинних обмоток ВТС: $[0,02...5]$ процентів від номінального струму вторинної обмотки;
- Діапазон вимірюваних похибок ВТС:
 - амплітудних похибок сили струму $\pm 5\%$;
 - похибка вимірювання амплітудної похибки : $\pm 0,3 \Delta f$ доп.*
 - кутових похибок: ± 240 кут. хв.
 - похибка вимірювання кутової похибки : $\pm 0,5 \delta$ доп.*
- Тривалість повного тесту від 0,5 до 5 хв.

* Δf доп. і δ доп.- граничні допустимі значення струмової та кутової похибок ВТС певного класу точності.

- Табличне та графічне відображення даних вимірювань та обчислень:
 - графіки: VA-характеристики (рис. 2) і залежності струмової та кутової похибок від струму вторинної обмотки ВТС (рис. 3);
 - таблиці: дані вимірювань опору вторинної обмотки, параметрів навантаження, значень напруги, струму та PF в обраних точках VA-характеристики, а також значення струмової та кутової похибок для струмів 5, 20, 100, 120 та 200 процентів від номінального (1А або 5А).

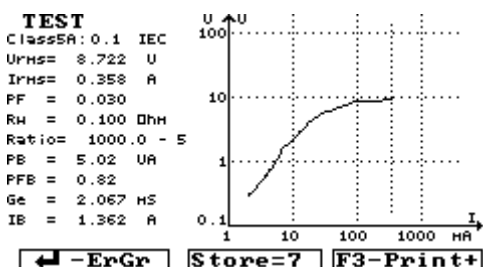


Рис. 2. VA-характеристики

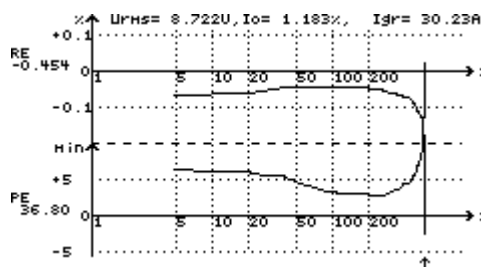


Рис. 3. Залежності струмової та кутової похибок від струму вторинної обмотки ВТС

СТ-METER MS –це портативний, повністю автоматизований прилад із автономним живленням від акумуляторної батареї. Простий в експлуатації, надійний та швидкодіючий.

Конструктивні характеристики та живлення:

- Пластикова валізка 150×275×350 мм, 5кг.
- Кабелі для під'єднання до ВТС.
- Інтерфейс оператора – графічне рідкокристалічне табло (320×240 точок) та 20-клавішна символно-цифрова клавіатура.
- Цифровий інтерфейс – RS-232 та USB для під'єднання принтера та комп'ютера.
- Акумуляторна батарея 12,6 В, 4 ампер-години.
- Зарядний пристрій від мережі 90–260В, 45–65 Гц.

Висновки

На основі проведених досліджень вдалося створити унікальний вимірювальний прилад, який здатен вимірювати метрологічні характеристики вимірювальних трансформаторів струму (ВТС) ліній електропередач від 6 до 750 кВ під час їх експлуатації в мережі без від'єднання та знеструмлення первинних обмоток. Це дозволить реально підвищити надійність, безпеку електроенергетичних систем та знизити втрати під час вимірювань спожитої електроенергії.

1. Раскулов Р.Ф. Трансформаторы напряжения 3–35 кВ. Факторы, влияющие на погрешности // *Новости ЭлектроТехники*. – 2011. – № 1(67). 2. Киселев В. В. Результаты диагностики характеристик измерительных трансформаторов напряжения на местах их эксплуатации / В. В. Киселев, Н. А. Боярин, А. П. Старцев, К. К. Романов // 2-я научно-практическая конференция «Метрология электрических измерений в электроэнергетике»: Информационные материалы, Москва, 15–19 апреля 2002 г. – М., 2002. 3. МЭК 61869-1. Измерительные трансформаторы. Часть 1: Общие требования. Изд. 1.0 2007-10. 4. ГОСТ 7746-2001. Трансформаторы тока. Общие технические условия. 5. ГОСТ 1983–2001. Трансформаторы напряжения. Общие технические условия. 6. Е.Г. Зенина. Влияние условий эксплуатации на погрешности измерительных преобразователей тока ISSN 2305-7815. *Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 10, Иннов. деят. Вып. 7. 2012 стр.78-80.*