

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТА НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМУНІКАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Б.С. Стогній, акад. НАН України, **О.В. Кириленко**, акад. НАН України, **Є.М. Танкевич**, докт. техн. наук, **М.Ф. Сопель**, канд. техн. наук, **І.В. Блінов**, канд. техн. наук, **О.Б. Рибіна**, канд. техн. наук, **С.Є. Танкевич**, канд. техн. наук, **В.В. Гречко**, асп.
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Представлено основні результати виконання відділами моделювання електроенергетичних об'єктів та систем та автоматизації електричних систем у 2013 році науково-технічного проекту. Мета проекту – створення інтелектуального вимірювального перетворювача струму та напруги, що характеризується функціональною, електромагнітною, інформаційною та метрологічною сумісністю з цифровими АСК ТП електричних підстанцій, і формування нормативної бази комунікаційного середовища останніх. Бібл. 9, рис. 7, табл. 3.

Ключові слова: вимірювальний перетворювач, цифровий вихід, автоматизована система керування, сумісність, комунікаційне середовище.

В основу національних програм перспективного розвитку електроенергетики провідних країн світу покладено нову технологічну платформу побудови енергосистем, що отримала назву Smart Grid, тобто побудови інтелектуальних енергосистем. Основна ідея створення таких систем – це надійне, енергоефективне та якісне енергопостачання, яке ґрунтується на зростанні ролі керування як провідного фактора інноваційного розвитку електроенергетики і побудови високопродуктивної інформаційно-обчислювальної інфраструктури, що має стати серцевиною енергосистеми. При цьому інформація, насамперед, оперативна вимірювальна, набуває ролі головного чинника підвищення енергоефективності та якості керування, а процеси та засоби її одержання, збирання та обробки, взаємообміну нею стають основою розробки і впровадження нового технологічного базису інтелектуальної електроенергетики 21 століття за концепцією Smart Grid [1].

Базовим елементом інтелектуальної енергетики є «цифрова» підстанція, де отримання, передавання, обробка інформації здійснюються у цифровому вигляді. Основними ознаками такої підстанції є інтелектуалізація первинного обладнання, розвинена комунікаційна мережа, автоматизація експлуатації та керування [8]. Необхідною умовою побудови та розвитку цифрових підстанцій та інтелектуальних енергосистем є впровадження первинних інтелектуальних вимірювальних перетворювачів (ІВП) струму та напруги, що являють собою основне джерело вимірювальної інформації для систем моніторингу, захисту та керування таких підстанцій і базову ланку сучасних інформаційних технологій.

У загальному випадку давачем струму ІВП можуть бути: шунт, електромагнітний трансформатор струму (ТС) з шунтом у вторинній обмотці, пояс Роговського, давач Холла, магнітооптичний давач на основі використання ефекту Фарадея та інші; а давачем напруги, крім електромагнітних і ємнісних трансформаторів напруги (ТН), можуть бути різного роду подільники: ємнісні, резистивні, ємнісно-резистивні. Також як давачі напруги можуть бути використані електрооптичні давачі, основані на ефекті Покельса. Однак можна вважати, що в найближчому майбутньому найбільш масовими високовольтними давачами струму та напруги в електроенергетиці, особливо у вітчизняній, все ж залишаться давачі, побудовані за принципом трансформаторного ефекту – трансформатори струму та трансформатори напруги. Беручи до уваги, що такі апарати ще й добре досліджені, а також існування в країні промислової бази їх виробництва, у цій роботі за основу ІВП взято саме давачі електромагнітного типу – ТС і ТН.

Виходячи з основних вимог міжнародних та вітчизняних нормативних документів, функціонального призначення ІВП, сукупності та обсягів задач, що виконуються вторинними системами, до складу яких вони входять, та характеристик середовища, в якому вони працюють, досліджено та сформульовано загальні технічні вимоги до ІВП електроенергетики [2].

Інтелектуальні вимірювальні перетворювачі мають задовольняти вимогам до сучасних засобів автоматизації: комплексне і системне розв'язання задач автоматизації; забезпечення можливості вирішення специфічних проблем стандартними апаратними і програмними засобами з використанням структур відкритих систем; максимальне урахування потреб споживача при серійному виробництві; готовність до безпосереднього використання, розширення та модернізації.

Також для ІВП як засобу введення вимірюваного сигналу у вторинні системи, насамперед у релейний захист, встановлюються такі додаткові специфічні вимоги:

- здатність працювати в умовах великих кратностей амплітуд вхідних сигналів;
- висока точність вимірювального перетворення в широкому динамічному та частотному діапазонах;
- здатність правильно працювати в електричних мережах зі змінними частотою та формою вхідних сигналів;
- забезпечення заданої точності вимірювання, електричної міцності та стійкості функціонування за умов впливів сильних електричних та магнітних полів на електроенергетичних об'єктах (ЕЕО);
- забезпечення спеціальних вимог до джерел живлення, включно з забезпеченням функціонування ІВП струму протягом деякого часу після виникнення аварії;
- вихідні сигнали вимірювального та захисного виходів у нормальному та аварійному режимі ЕЕО повинні являти собою послідовність миттєвих значень вимірюваних фазних струмів контрольованого приєднання і представлятися у вигляді цифри в системі шістнадцятиричного кодування;
- конструкція цифрового інтерфейсу, цифрові протоколи обміну інформацією між ІВП та мікропроцесорними засобами вимірювання, захисту і автоматики підстанції мають відповідати вимогам стандартів ІЕС 60044-7, 60044-8 [6] і серії стандартів ІЕС 61850 [5].

Виходячи з зазначеного, сформульовано основні технічні вимоги до ІВП струму на напругу 330 кВ та складене технічне завдання на розробку «Інтелектуальний вимірювальний перетворювач струму та напруги для високовольтних електроенергетичних об'єктів на напругу 330 кВ».

У табл. 1 наведено перелік метрологічних характеристик (МХ) такого ІВП та їх числових значень в робочих умовах застосування.

Результати попередніх досліджень дали змогу розробити концепцію побудови ІВП струму та напруги. У такому комплексному засобі вимірювання крім сприйняття і масштабного перетворення струмів та напруг ЕЕО здійснюються їх нормування, аналого-цифрове перетворення (АЦП), попередня обробка за допомогою вбудованого в первинний перетворювач електронного модуля, ряд функцій типу інтелектуальної поведінки (зміна алгоритму функціонування на основі оцінювання ситуації, програмна корекція похибок вимірювання, зміна характеристик вихідного сигналу відповідно до потреб вторинних систем, аналіз метрологічної придатності, самодіагностика), а також високопродуктивний зв'язок з іншими електронними пристроями АСК ЕЕО.

У ході проведених досліджень були визначені складові та розроблена структурна схема ІВП струму та напруги (рис. 1). Конструктивно ІВП складається з ряду компонентів: трьох фазних ТС ($ТС_A$, $ТС_B$, $ТС_C$) та трьох фазних ТН ($ТН_A$, $ТН_B$, $ТН_C$), призначених для первинного вимірювального перетворення струмів та напруг контрольованого електричного приєднання в пропорційні їм вторинні струми та напруги; проміжних перетворювачів (ПП) струм/напруга та напруга/напруга (I/U , U/U) для нормування вихідних сигналів давачів для їх безпосереднього використання в АЦП; блока АЦП вимірювальних сигналів; мікропроце-

соро як засобу оброблення вимірювальної інформації; чотирьох Ethernet контролерів для формування кадру передачі вимірювальних даних до вторинних систем ЕЕО по волоконно-оптичних лініях зв'язку (ВОЛЗ).

Таблиця 1

Назва МХ	Робочі умови застосування	Значення МХ
<i>Усталений режим</i>		
Межі допустимих похибок:		
вимірювальні виходи		
струмової, %	$(0,01-0,05)I_{\text{НОМ}}$ $0,2I_{\text{НОМ}}$ $(1,0-1,2)I_{\text{НОМ}}$	$\pm 3,0$
кутової, мін.		$\pm 1,5$ $\pm 0,5$
кутової, мін.	$(1,0-1,2)I_{\text{НОМ}}$	± 180
		± 90 ± 30
захисний цифровий вихід		
струмової, %	$I_{\text{НОМ}}$	$\pm 2,0$
кутової, мін.		± 120
повної, %		$\pm 5,0$
захисні аналогові виходи		
струмової, %	$I_{\text{НОМ}}$	$\pm 1,0$
кутової, мін.		± 60
повної, %		$\pm 5,0$
<i>Перехідний режим</i>		
Межа допустимого значення максимальної миттєвої похибки для нормованого робочого циклу «включення-виключення», %	Кратність номінального симетричного струму КЗ $K_{\text{ssc}}=10$. Постійна часу асиметричного струму КЗ $T_p=0,08$ с	
захисний цифровий вихід		10
захисні аналогові виходи		Не нормується

Разом із цифровими виходами ІВП також передбачено аналогові виходи для видачі сигналу вимірювальної інформації аналоговим системам захисту, автоматики та керування ЕЕО, що модернізуються. Передача інформації про струм та напругу контрольованого ЕЕО в цифровому вигляді здійснюється за допомогою виділених каналів ВОЛЗ. Живлення електронної частини ІВП забезпечується від акумуляторних батарей власних потреб підстанцій і виконується мідними жилами в складі оптоволоконного кабелю.

До даних на виході ІВП пред'являються особливі вимоги. Так, похибка синхронізації за часом для вибіркового миттєвих значень струмів та напруг повинна бути в діапазоні ± 4 мкс. При цьому за основну частоту дискретизації сигналу приймається 80 вибірок за період промислової частоти для захисту і моніторингу.

Кадр інформації, який формується контролером Ethernet, містить інформацію про параметри трифазної напруги, напруги нейтралі, трифазних струмів для систем вимірювання, трифазних струмів для систем захисту, струм ну-

льової послідовності, дані про номінальні параметри, а також два 16-тибітних машинних слова, що відображають поточний стан обладнання.

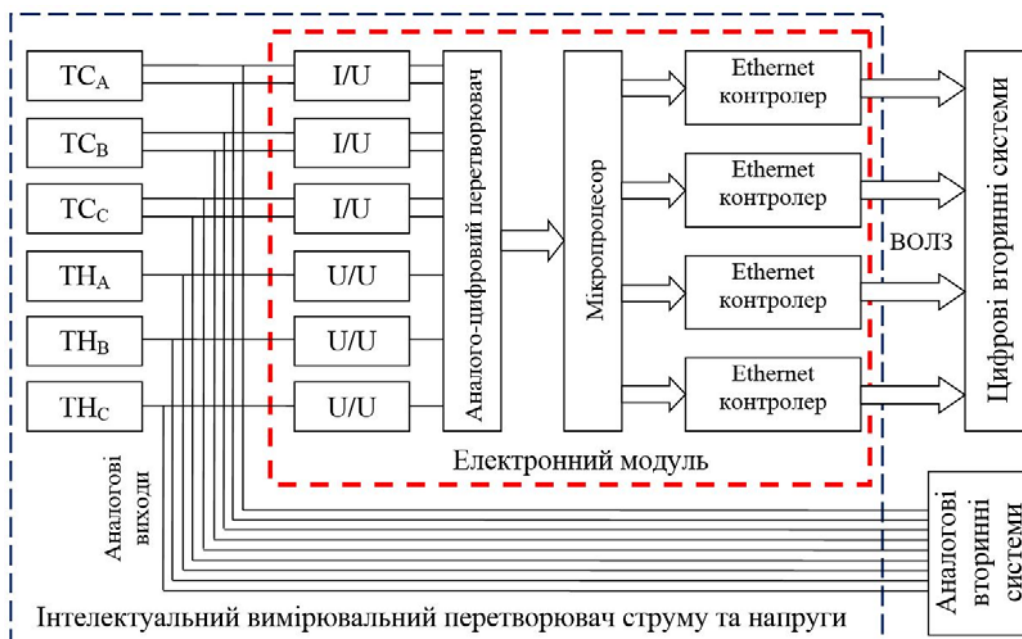


Рис. 1

Системи самодіагностики і метрологічної придатності періодично формують інформацію про характеристики функціонування ІВП.

Умови роботи ТС як давача у складі ІВП, у першу чергу, відрізняються зниженим та стабільним за часом вторинним навантаженням, що дає змогу створювати високонадійні вимірювальні перетворювачі з поліпшеними метрологічними характеристиками, стабільними за часом, динамічним і частотним діапазонами зміни струму, дає можливість оптимізувати їхні конструктивні параметри, зменшити розміри, матеріалоемність і ціну [7, 9].

ІВП має забезпечувати роботу вимірювальних пристроїв у нормальних режимах роботи, а також роботу пристроїв релейного захисту й автоматики в аварійних режимах роботи ЕЕО, які характеризуються наявністю в первинному струмі аперіодичних складових з великою постійною часу. Точність ІВП у нормальному режимі роботи повинна відповідати класу точності 0.2S (вимірювальний вихід), точність в аварійних режимах роботи – класу точності 5TRP (захисний вихід), що відповідає повній похибці 5 % при номінальному первинному струмі граничної точності і 10 % повної максимальної похибки за наявності аперіодичної складової в струмі короткого замикання. Такі жорсткі вимоги за точністю не можливо забезпечити єдиним електромагнітним давачем струму. Тому у складі ІВП мають бути різні електромагнітні давачі: один, призначений для вимірювання, а другий – для захисту.

Як показали проведені дослідження, для осердь вимірювальних ТС доцільніше використовувати нанокристалічні матеріали (наприклад, сплав ММ-11N “Мелта”), ніж електротехнічні сталі (марки 3413 “НЛМЦ”). Масогабаритні показники такої електромагнітної системи ТС будуть меншими завдяки кращій характеристиці намагнічування нанокристалічних матеріалів (рис. 2) у порівнянні з електротехнічними сталями при малій напруженості поля.

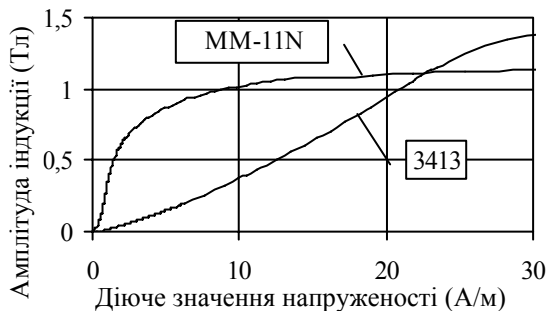


Рис. 2

Розрахунки параметрів осердь виконувались з такими вихідними даними: клас точності 0,2S; найбільша напруга $U_m = 330$ кВ; номінальний первинний струм $I_{pr} = 1000$ А; номінальна частота $f_r = 50$ Гц; коефіцієнт безпеки приладів $KF = 5$; номінальний вторинний струм $I_{sr} = 1$ А; номінальна (вихідна) потужність $S_r = 1$ ВА; коефіцієнт потужності вторинного навантаження $\cos\phi = 1$.

Результати розрахунків параметрів електромагнітних систем давачів струму з осердями з різних магнітних матеріалів при різних номінальних потужностях наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Номінальна потужність, ВА	Коефіцієнт потужності вторинного навантаження	Площа поперечного перерізу осердя, см ²	Довжина середньої лінії осердя, м	Активний опір вторинної обмотки, Ом
<i>Електротехнічна сталь марки 3413</i>				
30	0,8	243,639	1,62	10,18
1	1,0	11,431	1,23	2,89
0,33	1,0	8,97	1,22	2,67
<i>Нанокристалічний сплав ММ-11N</i>				
30	0,8	5,865	1,2	2,32
1	1,0	0,46	1,15	1,31
0,33	1,0	0,345	1,14	1,24

Критерієм оптимальності розрахованих параметрів ТС прийняті вага осердя і його вартість. Залежності між вагою осердя вимірювального ТС, виготовленого з електротехнічної сталі або нанокристалічного сплаву, і номінальною потужністю представлені на рис. 3, де лінія \blacklozenge позначає електротехнічну сталь (3413), а \bullet – нанокристалічний сплав (ММ-11N)).

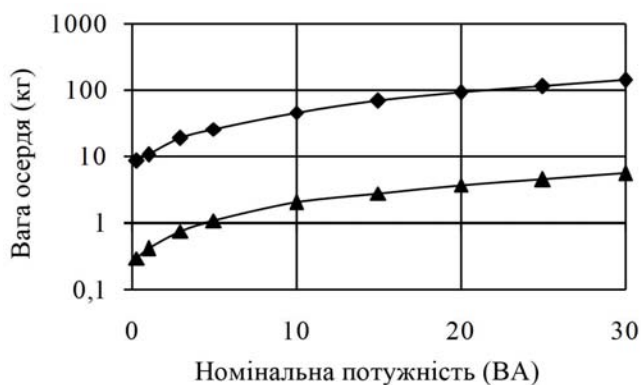


Рис. 3

сока у порівнянні з електротехнічною сталлю індукція насичення) дають змогу створювати вимірювальні ТС із заданим коефіцієнтом безпеки. Це дозволяє надійно захистити електронну частину ІВП від великих перенапруг, що виникають на вторинній обмотці давача, при значних струмах короткого замикання в аварійних режимах роботи ЕЕО.

З іншого боку, висока вартість нанокристалічних матеріалів призводить до того, що вартість електромагнітної системи ТС на основі порівнюваних матеріалів є практично однаковою. Цікавою з економічної точки зору є і залежність між номінальною потужністю ТС і загальною вартістю проводу вторинної обмотки та осердя з нанокристалів або електротехнічної сталі (рис. 4, де лінія \blacklozenge позначає електротехнічну сталь (3413), а \bullet – нанокристалічний сплав (ММ-11N)).

Для визначення параметрів захисних ТС класу точності 5P величини $U_m, I_{pr}, f_r, I_{sr}, S_r, \cos \varphi$ залишились незмінними, а коефіцієнт граничної точності прийнято $ALF=20$. Результати розрахунків електромагнітних систем ТС із осердями, виготовленими з різних матеріалів, наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Номінальна потужність, ВА	Коефіцієнт потужності вторинного навантаження	Площа поперечного перетину осердя, см ²	Довжина середньої лінії осердя, м	Активний опір вторинної обмотки, Ом
<i>Електротехнічна сталь марки 3413</i>				
30	0,8	5,635	1,195	2,293
1	1,0	0,322	1,14	1,221
0,33	1,0	0,23	1,134	1,164
<i>Нанокристалічний сплав ММ-11N</i>				
30	0,8	6,21	1,203	2,365
1	1,0	0,506	1,153	1,336
0,33	1,0	0,345	1,142	1,235

Оскільки нанокристалічний сплав має індукцію насичення ($B_s=1,1-1,2$ Тл), меншу за електротехнічну сталь ($B_s=1,8-2,0$ Тл), то необхідний для забезпечення необхідної повної похибки ТС перетин осердя з нанокристалічного сплаву і його вага є більшими (рис. 5, де лінія \blacklozenge позначає електротехнічну сталь (3413), а \bullet – нанокристалічний сплав (ММ-11N)). Співвідношення перетинів осердь захисних трансформаторів приблизно рівне співвідношенню індукцій насичення магнітних матеріалів, з яких вони виконані. Крім того, за рахунок більшої магнітної проникності осердя з нанокристалічного сплаву більш чутливі до наявності аперіодичної складової в первинному струмі. Навіть невелика за величиною, але значна за тривалістю аперіодична складова може призвести до насичення нанокристалічного осердя, а отже, і до значного збільшення похибки такого трансформатора.

Геометричні розміри й вага нанокристалічного осердя ТС набагато менші, ніж у осердя ТС із електротехнічної сталі (рис. 3). Це призводить до зменшення активного опору, індуктивності розсіювання й власної ємності вторинної обмотки, що сприяє розширенню частотного діапазону вимірюваних струмів і поліпшенню динамічних характеристик трансформатора.

Крім того, особливості характеристики намагнічування нанокристалічного сплаву (висока магнітна проникність, відносно невисока

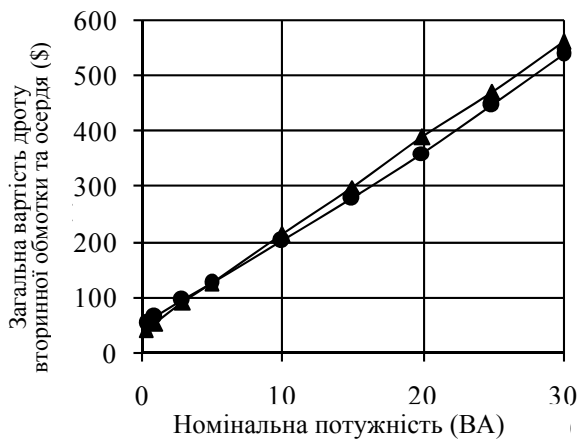


Рис. 4

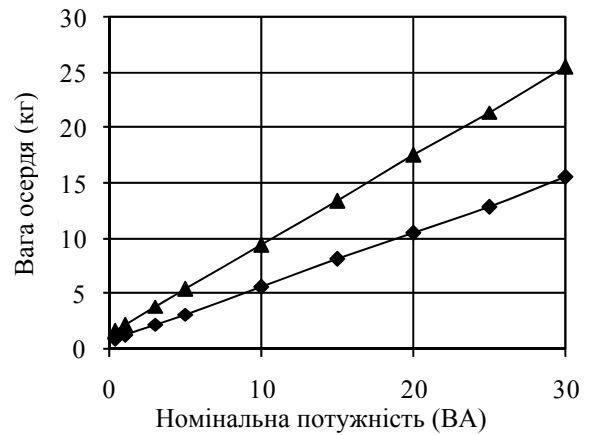


Рис. 5

Для усунення впливу залишкової індукції на роботу електромагнітного давача ІВП доцільно виконувати його осердя з суцільним немагнітним зазором. Мала величина вторинного навантаження дає змогу створити перетворювач із нормованими метрологічними характеристиками як в усталених, так і в перехідних режимах. Повна приведена похибка за аперіодичною складовою такого перетворювача не перевищує 5 %, а його похибка за періодичною складовою менша за 0,5 %.

Виконані дослідження електромагнітної системи та вторинного навантаження давачів струму ІВП показали, що при проектуванні давачів, призначених для вимірювань, доцільніше виконувати їх осердя з нанокристалічного сплаву, що має високу стабільність магнітних характеристик як у частотному, так і температурному діапазонах. Для давачів, призначених для захисту, доцільно виконувати осердя з електротехнічної сталі з суцільним немагнітним зазором, що забезпечує мінімальні похибки як в усталених, так і в перехідних режимах роботи.

Електронно-програмний модуль (ЕПМ) інтелектуального вимірювального перетворювача призначений для реєстрації змінних напруг та струмів, які надходять від первинних перетворювачів струму і напруги, перетворення аналогової інформації у цифрову форму, попередньої обробки та передачі зареєстрованої і обробленої інформації до пристроїв релейного захисту та автоматики, систем реєстрації, вимірювання та на вищій рівні керування.

У рамках цієї роботи виготовлено дослідний зразок ЕПМ, що складається з модулів аналогового перетворення сигналів, АЦП, обробки та передачі інформації, об'єднаних у одному корпусі (рис. 6). Блоки вводу аналогових сигналів забезпечують гальванічну розв'язку вхідних кіл один від одного, від шин живлення і корпусу блока. Опір ізоляції всіх незалежних вхідних аналогових сигналів кіл відносно корпусу і між собою у знеструмленому стані при температурі оточуючого середовища 20 °С і відносній вологості до 80 % складає не менше 100 МОм. Ізоляція вхідних кіл від ТС і ТН витримує без пробою і перекриття протягом хвилини випробувальну напругу 1,5 кВ змінного струму частоти 50 Гц. Потужність, споживана ЕПМ, не перевищує 200 ВА.

ЕПМ має такі характеристики:

- допустима кратність струму (до номінального первинного струму) – не менше 20;
- максимальна основна приведена похибка реєстрації та відображення – не більше 1%;
- частота реєстрації – 1000 та 5000 Гц.

Підведення аналогових сигналів від давачів до ЕПМ виконується мідним багатожильним проводом перерізом 2,5 мм².

Програмне забезпечення ЕПМ дає змогу реєструвати сигнали безперервно, в міру їх надходження від вхідних давачів, а обробка сигналів виконується у фоновому режимі. Передбачена робота ЕПМ у нормальному й аварійних режимах.



Рис. 6

В ЕПМ використано два види модулів аналогового перетворення сигналів: модуль проміжних перетворювачів струм-напруга (ППСН) та модуль проміжних перетворювачів напруга-напруга (ППНН).

Проміжні перетворювачі побудовані за схемою трансформатора струму зі зворотним зв'язком, яка найбільше підходить для використання у мікропроцесорних пристроях. Такі перетворювачі мають високу точність як в усталених режимах роботи, так і перехідних, широку смугу пропускання від сотих часток герца до десятків (сотень) кілогерців, що дає змогу одночасно викорис-

товувати їх для реєстрації миттєвих значень сигналів, у схемах вимірювання параметрів режимів, для релейного захисту та автоматики. Незначне споживання по інформаційних колах (вхідних колах струму та напруги), висока точність і стабільність параметрів при серійному виробництві, малі габарити та ціна вигідно відрізняють їх від інших типів перетворювачів.

До модулів аналогового перетворення сигналів ІВП висувають жорсткі вимоги щодо масогабаритних показників і точності перетворювачів. Так, при мінімальних розмірах ППСН і ППНН мають забезпечувати для змінної складової струмову похибку, що не перевищує 0,01 %, і кутову похибку не більше 1-3 мін. при роботі як в усталеному, так і перехідному режимі за наявності аперіодичної складової з постійною часу до 0,1 с. При цьому найбільша похибка за аперіодичною складовою не повинна перевищувати 3 %.

Передбачено самодіагностику ЕПМ і видачу інформації про його стан на зовнішню сигналізацію. Контроль працездатності модуля може здійснюватися безпосередньо на підстанції з комп'ютера верхнього рівня (сервера), а також з клієнтського комп'ютера.

У роботі розроблено основні положення проведення випробувань на функціональну сумісність ІВП з іншими інтелектуальними електронними пристроями (ІЕП) у складі АСК ЕЕО. Мета таких випробувань полягає в перевірці потоку даних у комунікаційних каналах щодо організації доступу, формату кадру передавання даних, синхронізації за часом, форми сигналу і його рівня, визначення реакції на помилки. До таких випробувань належать: перевірка синтаксису, перевірка комунікаційного стеку, відповідність загальним вимогам стандарту ІЕС 61850. Результати цих випробувань записуються у визначеній формі, що має назву PICS (інформація про можливість введення в дію). Розроблена методика випробувань дозволяє як відпрацювати підходи до інтеграції ІВП у АСК ЕЕО, так і виявляти потенційні джерела проблем, що можуть виникнути в процесі їх інтеграції.

На рис. 7 (U_1 – напруга на вході еталонного АЦП; R_1 – навантаження для високоточного регулювання напруги U_1 ; R_1+R_2 – номінальне вторинне навантаження еталонного ТС) показана схема метрологічних випробувань струмового виходу ІВП. Випробування цифрового виходу ІВП виконують при нормальних умовах експлуатації і при номінальних характеристиках [3].

Зі схеми видно, що метою метрологічних випробувань є отримання значень похибок випробовуваного ІВП. Нижче представлено алгоритм опосередкованих вимірювань його струмової та фазної похибок. Виконується дискретне перетворення Фур'є періодичних сигналів $i_1(t_n)$ та $i_2(n)$:

$$I_1(f) = \sum_{n=0}^{kT/T_s-1} i_1(t_n) e^{-j \cdot 2\pi \cdot f \cdot t_n}; \quad I_2(f) = \sum_{n=0}^{kT/T_s-1} i_2(n) e^{-j \cdot 2\pi \cdot f \cdot t_n}.$$

де i_1 – первинний струм; i_2 – вторинний струм цифрового виходу (на виході ЕПМ); n – позначення набору даних; t_n – час, за який здійснюється вибірка значень первинних струмів і напруг n -го набору даних; k – число підсумовуваних періодів; T_s – проміжок часу між двома вибірками первинного струму.

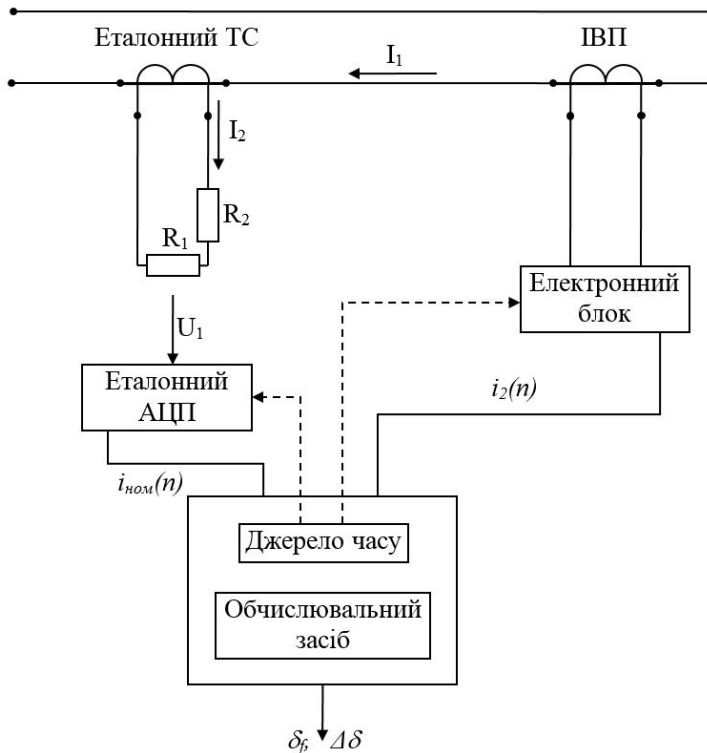


Рис. 7

Для гармоніки h використання наведених співвідношень при $f = f_h = h \cdot f_{\text{НОМ}}$ дає наступні комплексні коефіцієнти:

$$I_1(f_n) = |I_1(f_n)| \cdot e^{-j \cdot \delta_{1,h}};$$

$$I_2(f_n) = |I_2(f_n)| \cdot e^{-j \cdot \delta_{2,h}}.$$

Струмова δ_f та фазова $\Delta\delta$ похибки при номінальній частоті $f_{\text{НОМ}}$ обчислюються зі значенням $h = 1$:

$$\delta_f = 100 \cdot \frac{K_{\text{НОМ}} \cdot |I_2(f_1)| - |I_1(f_1)|}{|I_1(f_1)|},$$

$$\Delta\delta = \delta_{2,1} - \delta_{1,1}.$$

Розроблено програму випробувань ЕПМ інтелектуального вимірювального перетворювача струму та напруги, що визначає обсяг, послідовність та методику проведення випробувань.

За розробленою методикою в Центрі випробувань засобів автоматизації

в електроенергетиці ІЕД НАН України проведено випробування ЕПМ ІВП, які підтвердили відповідність отриманих експериментально характеристик електронно-програмного модуля ІВП вимогам, встановленим в технічному завданні на його розробку.

ЕПМ пройшов дослідну експлуатацію в Кримській енергетичній системі на підстанції «Сімферопольська – 330 кВ», що засвідчено відповідним актом та протоколом випробувань. У цих документах підтверджена відповідність технічних характеристик електронно-програмного модуля ІВП регламентованим у технічному завданні.

Для забезпечення стандартизованого та ефективного впровадження ІВП на ЕЕО сформовано шляхом гармонізації та адаптації відповідних міжнародних стандартів національну нормативну базу в частині інформаційної взаємодії ІЕП різних виробників у складі систем вимірювання, моніторингу, захисту та автоматики на ЕЕО. Подано проекти восьми національних стандартів (ДСТУ) під загальною назвою «Комунікаційні мережі і системи на підстанціях» на затвердження до Мінекономрозвитку України, деякі з них вже набули чинності [4].

У результаті виконання науково-технічного проекту вирішено важливе для електроенергетики наукове завдання розробки науково-технічних основ побудови інтелектуального вимірювального перетворювача струму та напруги в складі високовольтної цифрової підстанції. Сформульовано технічні вимоги до давачів інформації та електронно-програмного модуля перетворювача, спроектовано електромагнітні системи давачів, виготовлено і встановлено в дослідну експлуатацію на підстанції напругою 330 кВ електронно-програмний модуль. Впровадження ІВП на ЕЕО сприятиме прискоренню набуття ОЕС України характеристик та показників функціонування сучасного енергооб'єднання, що повністю відповідає вимогам енергооб'єднання європейських країн ENTSO-E.

1. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44–50.
2. Танкевич Є.М., Варський Г.М., Яковлева І.В., Танкевич С.С. Вплив стандарту МЭК 61850 на вимоги до первинних вимірювальних перетворювачів струму та напруги // Техн. електродинаміка. Темат. вип. "Проблеми сучасної електротехніки". – 2010. – Ч. 2. – С. 53–56.
3. Танкевич Є.М., Танкевич С.С., Блінов І.В. Особливості випробувань високовольтних адаптивних вимірювальних перетворювачів струму та напруги // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. Спец. вип. Ч. 2: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАН України, 2011. – С. 97–104.

4. *Комунікаційні мережі та системи на підстанціях. Частина I. Вступ і огляд*: ДСТУ ІЕС/TR 61850-1:2013 / І. Блінов, А. Гінайло, В. Гінайло, О. Кириленко, С. Танкевич. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – V, 32 с. – (Національний стандарт України).
5. *Communication networks and systems in substations*: IEC 61850. – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2011. – 1850 p. – (International Standard).
6. *Instrument transformers*: IEC 60044. – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2003. – 740 p. – (International Standard).
7. *Javora R., Stefanka M., Mahonen P., Niemi T., Rintamaki O. Protection In MV Networks Using Electronic Instrument Transformers // 20th International Conference on Electricity Distribution: Prague. – 8-11 June 2009. – Paper No 0168.*
8. *Vadiati M., Basirifar M., Shahbazi B. Future trends in Smart Grid by applying digital modern substations // Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT), 2011 IEEE PES. – 2011. – P. 1–6.*
9. *Varskyi H., Tankevych S., Hrechko V. Design Features of Electromagnetic Transducer as a Part of Electronic Current Transformer // Intelligent Energy and Power Systems IEEE International Conference on. – 2014. – Kyiv. – P. 107–109.*

УДК 621.314.22.08

Б.С. Стогний, акад. НАН України, **А.В. Кириленко**, акад. НАН України, **Е.Н. Танкевич**, докт. техн. наук, **І.В. Блінов**, канд. техн. наук, **О.Б. Рыбина**, канд. техн. наук, **М.Ф. Сопель**, канд. техн. наук, **С.Е. Танкевич**, канд. техн. наук, **В.В. Гречко**, асп.

Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Интеллектуальный измерительный преобразователь и нормативное обеспечение коммуникационной среды высоковольтных электроэнергетических объектов

Представлены основные результаты выполнения в 2013 году научно-технического проекта отделами моделирования электроэнергетических объектов и систем и автоматизации электрических систем. Цель проекта – создание интеллектуального измерительного преобразователя тока и напряжения, который характеризуется полной информационной и электромагнитной совместимостью с цифровыми автоматизированными системами управления электроэнергетическими объектами и является основным поставщиком цифровой измерительной информации для таких систем. Библ. 9, рис. 7, табл. 3.

Ключевые слова: электронный измерительный преобразователь, цифровой выход, автоматизированная система управления, совместимость, коммуникационная среда.

B.S. Stognii, O.V. Kyrylenko, Ye.M. Tankevych, I.V. Blinov, O.B. Rybina, M.F. Sopol, S.Ye. Tankevych, V.V. Hrechko

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

Intelligent instrument transformer and regulatory support of communication networks and systems of high voltage electric power objects

The basic results of Science Project implementation during 2013 are presented. The project was carried by departments of electrical energy objects and systems modeling and energy systems automation, and was intended to create an intelligent current and voltage transducer, which is characterized by a complete electromagnetic compatibility and interoperability with digital substation automation systems. It is the main supplier of digital measurement information for such systems. References 9, figures 7, tables 3.

Key words: electronic instrument transformer, digital output, substation automation system, interoperability, communication network.

Надійшла 19.05.2014

Received 19.05.2014