



**Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, О.Ф. Буткевич, М.Ф. Сопель,
В.М. Авраменко, В.Л. Прихно, П.О. Черненко**

Інститут електродинаміки НАН України, Київ

ОРГАНІЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ РЕЖИМІВ ЕНЕРГООБ'ЄДНАННЯ УКРАЇНИ ТА НОВІ МОЖЛИВОСТІ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ



Описано основні результати виконання інноваційного проекту впровадження комплексу засобів системи моніторингу перехідних режимів на об'єктах ОЕС України. Наведено основні технічні характеристики та показники функціонування засобів моніторингу режимів ОЕС. Показана можливість підвищення надійності системи оперативно-диспетчерського керування ОЕС України завдяки використанню вимірів фазових кутів напруги при розв'язанні задач диспетчерського керування. Визначено особливості застосування системи моніторингу перехідних режимів.

Ключові слова: моніторинг, перехідні режими, енергосистема, оперативно-диспетчерське керування.

Однією із основних задач, які наразі стоять перед нашою електроенергетикою, є забезпечення готовності об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України до паралельної роботи з об'єднанням енергосистем європейських країн (УСТЕ). Основним документом, який визначає вимоги до технічних характеристик та організації управління в енергосистемах (ЕС) синхронної зони УСТЕ є «Керівництво з експлуатації» [1]. Особлива увага у вказаному документі приділяється питанням забезпечення якості регулювання частоти та перетоків потужності по міждержавних (міжсистемних) електричних зв'язках, що є необхідною умовою забезпечення надійного та ефективного функціонування всього енергооб'єднання (ЕО). Виконання поставлених задач неможливе без використання сучасних систем моніторингу

нормальних (усталених) та перехідних (зокрема і аварійних) режимів ЕС.

Розробка зазначених систем моніторингу передбачає створення відповідних засобів збору інформації та програмних комплексів для її обробки, які повинні забезпечити виконання цілої низки вимог [1]. Крім того, складовою цією проблеми є визначення місць розташування нових пристроїв реєстрації інформації. Виконання зазначених завдань дасть можливість на якісно новому рівні забезпечити інформаційну підтримку оперативного персоналу ЕС та ЕО, необхідність чого стала очевидною після тяжких системних аварій, які мали місце в ряді енергосистем Америки та Європи в 2003 р. та 2006 р. [2–4]).

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИМІРЮВАНЬ ТА ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ В РЕЄСТРУЮЧОМУ ПРИЛАДІ «РЕГІНА-Ч»

Мова йде про використання нової технології векторного вимірювання режимних пара-



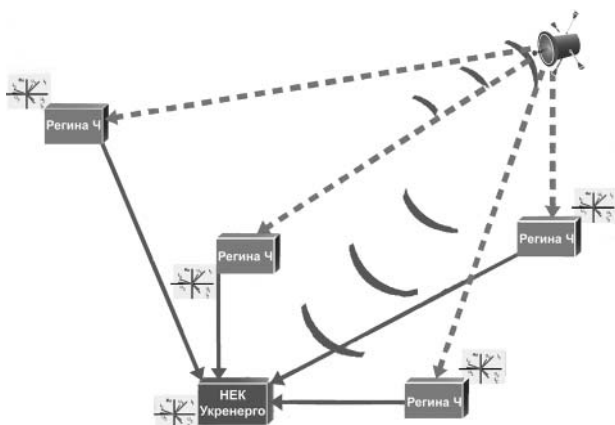


Рис. 1. Спрощена схема системи моніторингу перехідних режимів ЕО

метрів ЕС, яка забезпечує синхронізацію вимірювань шляхом використання супутникової глобальної системи позиціонування (GPS), що надає оперативному персоналу якісно нову інформацію (вектори напруги) [5]. Пристрої синхронізованих вимірювань векторів напруги (використовується абревіатура PMU – *Phasor Measurement Unit*) надають нові можливості для розв'язання низки задач оперативно-диспетчерського та автоматичного керування ЕС та ЕО. В системі збору даних за наявності PMU використовується протокол IEEE C37.118-2005 обміну інформацією. В Інституті електродинаміки НАН України розроблено електровимірювальний реєструючий прилад (ЕВРП) «Регіна-Ч», який за своїми технічними та функціональними характеристиками не має аналогів в Україні і, як засвідчив досвід практичної експлуатації, нічим не поступається кращим закордонними аналогами, а за окремими показниками перевершує їх. Він забезпечує реєстрацію миттєвих значень струмів і напруги, збереження та обробку результатів вимірювань; їх відображення у вигляді, найбільш інформативному для персоналу (текстові повідомлення, графіки, таблиці, осцилограми та ін.), а також передачу інформації на будь-який рівень ієрархії керування з її прив'язкою до сигналів точного часу.

Декілька слів про склад системи моніторингу, реалізованої на базі ЕВРП «Регіна-Ч» (див. рис. 1). Система представляє собою один чи декілька реєстраторів сигналів з багатофункціональними вимірювальними перетворювачами (БВП) (для вимірювання миттєвих значень фазних струмів і напруги та розрахунку інших електричних параметрів, комунікаційний сервер (забезпечує збір, реєстрацію і архівацію даних, які надходять від БВП, надання даних за запитами віддалених споживачів в *on-line* та *off-line* режимах та ін.). Крім того, передбачена установка монітора для оперативної візуалізації зареєстрованих та розрахованих параметрів, блоку гарантованого електроживлення для забезпечення роботи ЕВРП «Регіна-Ч» під час тимчасової перерви електроживлення, комплекту виробів (антена, пристрій синхронізації і т.д.) для прийому сигналів точного часу від GPS та передачі їх в реєстратор. Система об'єднана в локальну обчислювальну мережу, яка поєднує пристрої моніторингу нижнього рівня та сервер збору даних (Fast Ethernet 100 Мбит/с, TCP/IP). Віддалений комп'ютер верхнього рівня встановлюється в диспетчерських центрах (ДЦ) ОЕС (ДП НЕК «Укренерго») та відповідних ЕС для одержання інформації від комунікаційного сервера.

Використання інформації, одержуваної від ЕВРП «Регіна-Ч», надає нові можливості для розв'язання найбільш актуальних задач системного значення, частина яких без таких систем моніторингу не могла бути розв'язана взагалі, а якість результатів розв'язання іншої частини задач не завжди відповідала сучасним вимогам. Мова йде про створення системи моніторингу перехідних режимів (СМПР), а також про можливість вирішення низки задач (рис. 2), що розв'язуються в *off-line* (вичерпний аналіз аварійних подій; верифікація моделей ЕС і ЕО та ін.) та в *on-line* режимах (оцінювання стану ЕС та ЕО, моніторинг низькочастотних коливань режимних параметрів

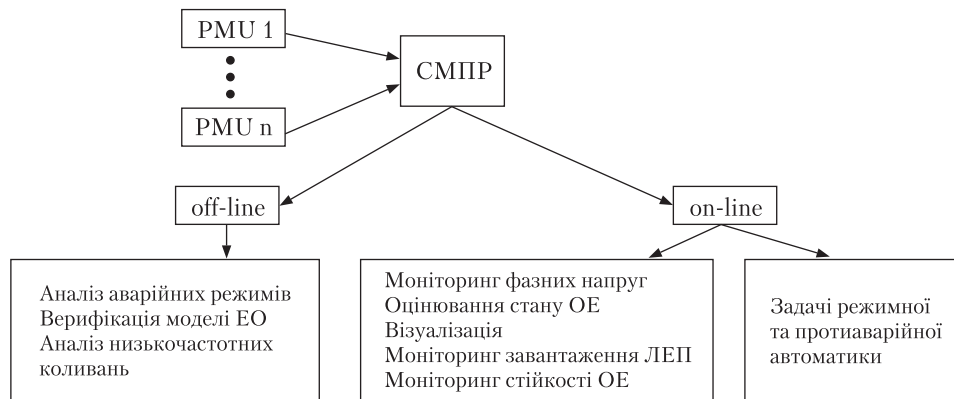


Рис. 2. Перелік задач, які розв'язуються за допомогою СМІР

рів для запобігання коливного порушення стійкості, моніторинг допустимості поточних режимів ЕО та ін.).

ЕВРП «РЕГІНА-Ч»

До основних технічних характеристик та показників функціонування ЕВРП «Регіна-Ч» слід віднести час відновлення всього набору даних, що передаються від БВП на сервер (20 мс); інтервал розрахунку середніх значень даних БВП (від одного до 50 періодів частоти мережі з кроком в один період) та кількість аналогових входів (один перетворювач забезпечує прийом і вимірювання чотирьох струмів (у трьох фазах і нейтралі) і трьох фазних напруг).

При переході на реєстрацію перехідних режимів точність вимірювання частоти становить 1 мГц. При цьому забезпечується можливість формування архівів на сервері з кроком 0,005 Гц, якщо швидкість зміни частоти (зменшення чи збільшення) перевищує уставку 0,005÷2 Гц/с чи якщо діюче значення будь-якої з фазних напруг нижче уставки (величина уставки береться з діапазону 0÷120 %). Тривалість архівних записів складає при записі параметрів режиму до аварії – 100 с; аварійного процесу – до 1 000 с відповідно. Запис ведеться неперервно протягом 72 год в режимі самописця (циклічність і кількість записуваних параметрів в архівах налаштовується фай-

лом конфігурації). В системі передбачено самоконтроль та діагностування технічних засобів, можливість заміни «вмонтованого» програмного забезпечення, «прив'язку» усієї інформації до сигналів точного часу, що надходять від GPS-приймача, та виведення її для візуалізації у відповідності до вимог персоналу (цифрові масиви та текстові повідомлення, графіки та таблиці). Система забезпечує передачу даних на будь-який рівень ієрархії керування.

Якщо говорити про основні метрологічні характеристики, то слід відзначити, що основна зведена похибка вимірювання і розрахунку електричних величин не перевищує $\pm 0,5\%$ в діапазоні 0,2÷6 А в каналах струму та 0÷120 В у каналах напруги; похибка синхронізації вимірювального перетворювача від GPS не перевищує ± 20 мкс (за наявності секундного імпульсу); абсолютна похибка вимірювання частоти не перевищує $\pm 0,001$ Гц; абсолютна похибка вимірювання кута вектора напруги між синусоїдою напруги мережі і синусоїдою 50 Гц, «прив'язаною» до астрономічного часу, складає не більше $\pm 0,2$ градуса.

Систему обладнано апаратурою для передачі виміряних та розрахованих значень виділеним або комутованим каналом зв'язку. Результати синхронізованих вимірювань та обробки інформації записуються та передаються на вищі рівні ієрархії керування (в ДЦ



ЕС та ОЕС України). Аварійна експрес-інформація передається на верхні рівні ієрархії за ініціативою системи моніторингу, не чекаючи запиту.

Прилад «Регіна-Ч» не має жорстких функціональних обмежень і може використовуватись у складі інформаційно-вимірювальних та керуючих систем різного призначення. Це дозволяє, використовуючи якісно нову інформацію у поєднанні з функціональними можливостями ієрархічного оперативного-керуючого комплексу (ІОКК) автоматизованої системи диспетчерського керування (АСДК) ОЕС України [6], забезпечити розв'язання широкого спектру задач оперативного керування.

ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ РМУ ТА НОВІ МОЖЛИВОСТІ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Визначення місць розташування РМУ (ЕВРП «Регіна-Ч») для створення СМПР з метою одержання інформації, яка забезпечить розв'язання комплексу задач оперативного керування ЕО України, є самостійною задачею. Від вибору місць розташування РМУ залежить як можливість виявлення випадків виникнення аномальних режимів, так і можливість розв'язання задач керування режимами ЕС (ЕО). Тому крім створення системи одержання якісно нової інформації потребує розв'язання основна задача — створення засобів (зокрема моделей) для використання синхронізованих вимірів режимних параметрів, насамперед, векторів напруги. Це дає можливість одержати розв'язки найбільш актуальних задач (наприклад, задачі визначення допустимості поточних режимів за запасом статичної стійкості). Але зазначену задачу не можна розв'язувати, не розв'язавши задачі вибору місць розташування ЕВРП «Регіна-Ч» на об'єктах ОЕС України. Тому досягти максимальної ефективності від створення та використання СМПР можна лише за умови системного використання інформації, яка надходить від РМУ, що потребує і відповідного (оптимального) розташування таких пристроїв [7–9].

З огляду на велику різноманітність режимів та змін в топології електричної мережі, на відмінності в інформаційних потребах задач, які наразі розв'язуються засобами ІОКК та будуть розв'язані завдяки надходженню синхронізованих вимірів режимних параметрів, задачу визначення місць розташування РМУ складно формалізувати, проте вже одержано результати, які свідчать про можливість і доцільність використання запропонованого підходу до її розв'язання [7–9]. Задачі, розв'язання яких стає можливим завдяки інформації, одержаної від засобів систем моніторингу (ЕВРП «Регіна-Ч»), можна поділити на задачі, пов'язані з аналізом подій, що відбулися в ЕС (ЕО), та задачі, що безпосередньо стосуються процесу керування.

Задачі, пов'язані з аналізом подій, що відбулися, виконуються в режимі *off-line* на базі одержаної «синхронізованої» інформації. Завдяки наявності «позначок часу», що вказують на час виникнення подій (насамперед час появи дискретних сигналів функціонування пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА) та комутаційних апаратів) значно спрощується аналіз послідовності подій, причин та наслідків технологічних порушень і аварій, які мали місце. Результати такого аналізу дають можливість встановити правильність функціонування і, відповідно, настройки пристроїв РЗА.

Зареєстрована ЕВРП «Регіна-Ч» інформація надає можливість верифікації динамічних моделей як елементів ЕО, так і ЕО в цілому. Завдяки можливості визначення з високою точністю частоти та швидкості її зміни в різних точках ОЕС України з'являється можливість визначення динамічних характеристик ОЕС. З використанням інформації, яка надається СМПР, можна уточнити значення крутизни частотної характеристики ОЕС України, яка є однією з найважливіших її динамічних характеристик, що безпосередньо враховується в процесі оперативного керування, оскільки саме ця характеристика свідчить про спроможність ЕО відновлювати порушення балансу актив-

ної потужності і забезпечувати утримання частоти в допустимих межах. Згідно вимог USTE раптове виникнення в синхронній зоні аварійного небалансу активної потужності величиною в 3 000 МВт не повинно призводити до відхилення частоти понад 180 МГц, причому зазначене відхилення мусить бути компенсоване лише самим *первинним* регулюванням, без використання інших керуючих впливів. Тому одержання інформації щодо крутизни частотної характеристики важливе і в аспекті інтеграції ОЕС України в USTE, оскільки дає можливість завчасно визначити рівень відповідності системи первинного регулювання ОЕС України вимогам USTE (середнє значення крутизни частотної характеристики ЕО Західної Європи становить 25 000 МВт/Гц).

Виконання вимог щодо вимірювання частоти синусоїдального сигналу з абсолютною похибкою, що не перевищує $\pm 0,001$ Гц, можливе лише за умови правильного і раціонального вибору частоти дискретизації сигналу з подальшою апроксимацією переходів синусоїди через нуль, що забезпечує задану точність вимірювань. У результаті досліджень було встановлено, що найприйнятнішою для вимірювання частоти синусоїдального сигналу є частота дискретизації 5 кГц з подальшою апроксимацією переходів синусоїди через нуль степеневим поліномом третього порядку. Перед апроксимацією сигнал піддається фільтрації, в результаті чого виділяється його перша гармоніка, яка і використовується. Діапазон частот, що нормовані для ЕВРП «Регіна-Ч», знаходиться в межах від 45 до 55 Гц.

Задачі, які безпосередньо пов'язані з оперативним керуванням і виконуються в режимі *on-line*, можна поділити на задачі моніторингу та задачі оцінювання поточних режимів. Завдяки можливості візуалізації інформації щодо поточного режиму ОЕС України, одержаної від систем моніторингу різних електроенергетичних об'єктів, диспетчерський персонал має можливість контролювати та правильно його оцінювати. Особливо важливе значення для

розв'язання задач оцінювання та діагностування режимів ЕС та ЕО мають синхронізовані виміри фазних кутів напруги, практичне одержання та використання яких із впровадженням ЕВРП «Регіна-Ч» стало можливим.

Однією із задач, розв'язання якої на базі системи проблемно-орієнтованого моніторингу сприяє підвищенню ефективності режимів ОЕС України, є задача забезпечення ефективного використання пропускнуої спроможності міждержавних та внутрішніх електричних зв'язків ОЕС України. Ефективність використання пропускнуої спроможності перетинів основної електричної мережі ОЕС України залежить від можливості реалізації режимів з максимальними перетоками активної потужності за умови, що величини перетоків ще залишаються допустимими з точки зору порушення стійкості ОЕС. Обмеження зазначених перетоків обумовлюється вимогами забезпечення стійкості ОЕС України у відповідності з чинними керівними вказівками [10], якими передбачено визначення максимально допустимих перетоків активної потужності в контрольованих перетинах, виходячи з найбільш несприятливих (в аспекті запасів стійкості) змін режимів. В результаті для кожного перетину використовується мінімальне з усіх значень максимально допустимих перетоків, одержаних в результаті об'єднання режимів у різний спосіб [7–9, 11].

Використання СМІР разом з іншими задачами дозволяє також вирішити проблему моніторингу низькочастотних коливань режимних параметрів з метою унеможливлення коливного порушення стійкості [7–9]. Загроза коливного порушення стійкості ЕО виникає внаслідок зростання у часі амплітуди таких коливань. Небезпечні низькочастотні коливання пов'язані з протифазними коливаннями на домінуючих власних частотах ЕО (домінуючі власні частоти «належать» домінуючим модам) певних груп синхронних машин (СМ), які можуть виникати при появі навіть малих збурюючих сил, періодична зміна яких відбуватиметься з частотою, близькою до однієї із



домінуючих власних частот ЕО. «Внески» таких домінуючих мод в результуючі амплітуди коливань режимних параметрів ЕО будуть значно більшими від «внесків» інших мод. Тому сам факт об'єднання ЕС на паралельну роботу (прикладом чого є підготовка ОЕС України до паралельної роботи з УСТЕ) апіорі є тим чинником, який може призводити до зміни характеру проблеми стійкості, найбільш суттєво впливаючи на умови функціонування перш за все міжсистемних електричних зв'язків.

Таким чином, були визначені основні критерії вибору місць розташування засобів СМІР:

- ✦ забезпечення спостережуваності, вирішення задач візуалізації, аналізу (*on-line*) та оцінювання стану ЕС та ЕО з необхідною точністю та за умови достатньої обґрунтованості рішень, що приймаються;
- ✦ можливість оцінки допустимості плинного режиму за критерієм забезпечення запасу статичної аперіодичної стійкості за активною потужністю в найбільш «слабких» перетинах ОЕС України;
- ✦ необхідність попередження небезпечного збільшення амплітуд низькочастотних коливань режимних параметрів, що призводить до коливального порушення стійкості ЕО.

ІЄРАРХІЧНИЙ ОПЕРАТИВНО-КЕРУЮЧИЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ

Ієрархічний оперативно-керуючий комплекс (ІОКК) АСДК призначений для комплексного розв'язання задач оперативного розрахунку і оптимізації поточних режимів, у тому числі за умов неповноти та невисокої точності вихідної інформації [6]. Він входить до складу АСДК ЕС та ЕО, реалізує функції керування потужними електроенергетичними об'єктами системного значення. На даний час ІОКК впроваджено у всіх ЕС (Центральна, Дніпровська, Західна, Південно-Західна, Південна, Кримська, Донбаська, Північна) та ДП НЕК «Укренерго».

В процесі оцінювання поточного режиму ІОКК дозволяє вилучати аномальні виміри і

доповнювати відсутні дані за рахунок введення псевдовимірів. Завдяки організації міжмашинного міжрівневого обміну інформацією і розширенню однорівневого зв'язку між сусідніми енергосистемами, впровадженню засобів достовіризації параметрів розрахункових схем та використанню інших можливостей ІОКК забезпечується автоматичне вилучення помилкових даних щодо топології і параметрів розрахункових схем.

Ієрархічний оперативно-керуючий комплекс побудовано як інтегровану ієрархічно розподілену (на відповідних рівнях ієрархії) людино-машинну систему, що функціонує в темпі технологічних процесів, має засоби керування, реєстрації, збору, обробки, відображення, збереження і передачі інформації.

У складі ІОКК на основі єдиної інформаційної бази з уніфікованим графічним багатовіконним інтерфейсом реалізовано:

- ✦ моніторинг режимів роботи електроенергетичного обладнання;
- ✦ формування розрахункових схем;
- ✦ оцінювання стану;
- ✦ побудову моделі режиму для розширеної схеми ЕС (ЕО), що містить фрагменти, спостережуваність яких не забезпечується;
- ✦ розрахунок усталених режимів та тих, що самовстановлюються за частотою;
- ✦ об'єднання режиму за заданими траєкторіями;
- ✦ оптимізацію режимів за активною потужністю у відповідності з критеріями, які прийняті на оптовому ринку електроенергії;
- ✦ оптимізацію режимів за реактивною потужністю.

В ІОКК широко використовуються можливості роботи з графічними зображеннями схем енергосистем і первинних комутацій електричних станцій і підстанцій, що дозволяє проводити аналіз результатів одночасно на всіх трьох рівнях ієрархії.

Комплекс забезпечує підвищення надійності роботи ЕС та ЕО завдяки можливості прийняття диспетчерами ефективних рішень в нор-



мальних, до- та післяаварійних ситуаціях; зменшення втрат електроенергії в електричній мережі внаслідок оптимізації її режимів. Комплекс дозволяє також підвищити ефективність роботи ЕО в цілому шляхом оптимізації його режиму за активною потужністю.

Одним із напрямків використання даних, що надходять від ЕВРП «Регіна-Ч» в нормальних режимах, є покращення результатів розв'язання задачі оцінювання стану ЕО завдяки використанню вимірів фазних кутів напруги (рис. 3). Оцінювання стану є базовою задачею ІОКК АСДК. В результаті її розв'язання формується інформаційна модель поточного режиму [6].

Впровадження в ІОКК блоку оцінювання стану ЕО на основі використання даних вимірів фазних кутів напруги дало можливість значно підвищити надійність АСДК при відмовах окремих каналів одержання інформації; поліпшити обґрунтованість рішень в процесі «відбраковки» результатів вимірів, які мають значні похибки; підвищити ймовірність прийняття правильних рекомендацій при перевірці стану топології мережі; підвищити стійкість обчислювального процесу за рахунок поліпшення властивостей матриць Якобі (внаслідок використання прямих вимірювань незалежних змінних). Таким чином, більш висока точність додаткових вимірів сприяла одержанню і більш адекватної оцінки режимів в цілому.

КОНТРОЛЬ ЗАВАНТАЖЕННЯ ПЕРЕТИНІВ ОЕС УКРАЇНИ ТА ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ КОЛИВАНЬ

Для дослідження режимів ЕС (ЕО) крім їх моделювання традиційно використовуються натурні експерименти — як пасивні, так і активні. До пасивних можна зарахувати і контрольні виміри режимних параметрів ЕО в період зимового максимуму та літнього мінімуму навантажень, результати обробки яких використовуються як інформаційна основа для планування електричних режимів. Натурні

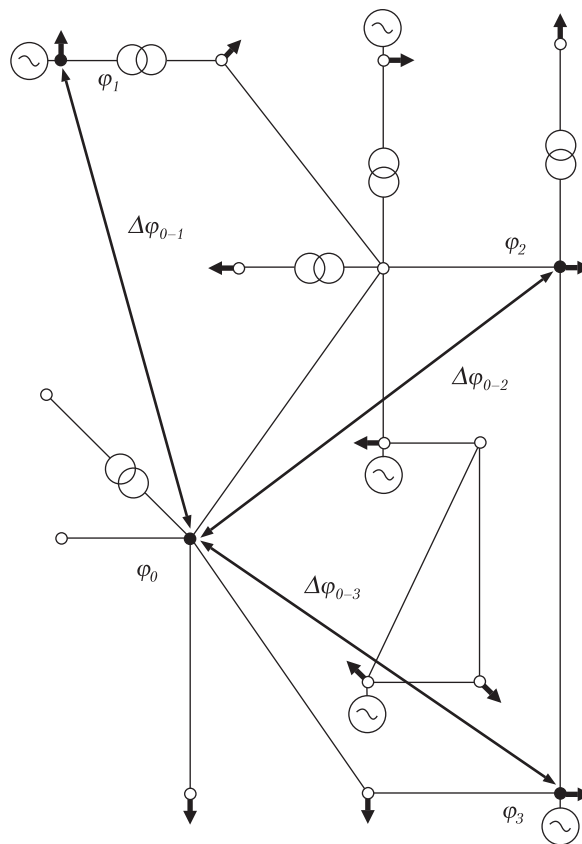


Рис. 3. Графічне зображення використання фазових кутів напруги в ЕО

експерименти завжди слугували засобом перевірки адекватності моделей ЕС, їх здатності відтворювати реальну «поведінку» ЕС. Інша справа, не всі результати моделювання можуть бути перевірені шляхом безпосередніх, прямих натурних випробувань. Тому дослідження режимів ЕС (ЕО) шляхом поєднання математичного моделювання та натурних (пасивних і активних) експериментів залишається до цього часу найбільш конструктивним шляхом одержання інформації щодо властивостей ЕС (ЕО), їхньої «поведінки» при виникненні різних схемно-режимних умов. Важлива роль при цьому відводиться дослідженню умов виникнення низькочастотних коливань режимних параметрів, які безпосередньо пов'язані з динамічними властивостями ЕО, що проявля-

ються, насамперед, через домінуючі власні частоти ЕО. Визначення таких частот для базових схемно-режимних умов функціонування ЕО України є лише однією з низки задач, метою розв'язання яких є забезпечення ефективного демпфірування небезпечних коливань режимних параметрів та унеможливлення коливного порушення стійкості ЕО. Крім того, попереднє визначення згаданих вище груп СМ (протифазні коливання яких можуть відбуватися на домінуючих власних частотах) впливає і на вибір місць розташування пристроїв синхронізованих вимірювань режимних параметрів (перш за все — векторів напруги в різних точках ЕО).

Вичерпну відповідь (за винятком особливих випадків за *О.М. Ляпуновим*) щодо стійкості «в малому» та частот власних коливань вільного руху ЕС (ЕО) за відповідного усталеного режиму можна одержати в результаті визначення власних чисел характеристичної матриці, що відповідає запису в нормальній формі лінеаризованих рівнянь збуреного руху ЕС (ЕО). Проте можливий і інший підхід, який, на відміну від зазначеного вище, крім визначення (*off-line*) власних частот ЕО передбачає також можливість використання обчислювальних процедур обробки інформації (*on-line*) при створенні засобів контролю параметрів поточних режимів з метою убезпечення коливного порушення стійкості ЕО.

За реальних умов функціонування ЕО моніторинг їх домінуючих власних частот (в аспекті виявлення загрози коливного порушення стійкості ЕО) можна забезпечити шляхом спектрального аналізу вибірок даних — результатів «синхронізованого моніторингу» режимних параметрів, що стосуються тих ліній електропередачі (ЛЕП), по різні боки яких (в різних частинах ЕО) знаходяться згадані вище групи СМ. Проте це потребує попереднього (*off-line*) визначення як домінуючих власних частот, так і відповідних ЛЕП ЕО.

Для досягнення зазначеної мети перевірено можливість одержання інформації про домінуючі

власні частоти ЕО та ЛЕП, що розділяють відповідні групи СМ, шляхом спектрального аналізу вибірок миттєвих значень режимних параметрів, одержаних в результаті моделювання електромеханічних перехідних процесів в ЕО. Зазначені процеси обумовлювалися виникненням малих збурень в електричній мережі ЕО. Одержані в результаті такого моделювання вибірки даних містять інформацію, яка позбавлена впливу різних чинників, що мають місце за реальних умов функціонування ЕО. Слід зазначити, що у вибірках даних, які формуються під час «синхронізованого моніторингу» режимних параметрів, відтворюється вплив багатьох чинників. Це потребувало додаткового дослідження різних методів спектрального аналізу в аспекті їх придатності для використання в *on-line* режимі функціонування системи моніторингу. Мова йде про дослідження їх швидкодії та «розрізняючої спроможності», необхідної в разі наявності близьких домінуючих власних частот ЕО.

На першому етапі працездатність даного підходу було перевірено на тестових схемах ЕС [8, 9]. Одержані результати дали цілком задовільну збіжність з одержаними раніше (іншими методами) значеннями домінуючих власних частот ЕС. При моделюванні електромеханічних перехідних процесів в ЕС збурення початкового режиму в різних точках ЕС здійснювалося у вигляді 3-фазних коротких замикань різної тривалості, починаючи з 0,02 с. Тривалість перехідних процесів становила 20 с, крок чисельного інтегрування брався рівним 0,02 с, формування вибірок режимних параметрів здійснювалося з дискретністю 0,02 с. В подальшому даний підхід було також застосовано для перевірки можливості визначення домінуючих власних частот ОЕС України [8]. Попередній аналіз одержаних результатів дав можливість виділити окремі домінуючі власні частоти, які присутні в частотному спектрі коливань потоків активної потужності по ЛЕП, що входять до складу різних контрольованих перетинів електричної мережі ОЕС України.



Рис. 4. Місця впровадження СМІР в ЕО України

В подальшому при виконанні більш масштабних досліджень електромеханічних перехідних процесів в ОЕС України з'являються підстави для визначення перетинів основної мережі, які в першу чергу потребуватимуть реалізації «синхронізованого моніторингу» режимних параметрів і таким чином будуть розширені місця встановлення РМУ.

В ДП НЕК «Укренерго» за тих чи інших умов, зокрема у ремонтних режимах, найбільш напруженими вважають шість основних перетинів електричної мережі ОЕС України:

- ✦ Захід – Вінниця, який забезпечує видачу потужності Хмельницької та Рівненської АЕС у дефіцитний регіон і далі на схід;
- ✦ Вінниця – Південно-Українська АЕС;
- ✦ південний перетин, який відділяє від ОЕС частину Дніпровської та Південної енергосистеми з Кримською енергосистемою;
- ✦ зв'язки ОЕС – Одеса з Молдовою;
- ✦ ОЕС – Крим;
- ✦ Дніпро – Донбас.

В роботі проведено дослідження вибраних перетинів під кутом зору контролю їхнього завантаження за допомогою синхронізованих вимірів різних кутів напруги. За основу взято реальний режим ОЕС України [11]. Крім вищезазначених першочергових задач, розв'язання яких стає можливим внаслідок створення і впровадження СМІР, з'являється також можливість реалізації моніторингу (перш за все – відповідних моделей) допустимості поточних режимів за умови забезпечення динамічної стійкості і, нарешті, вже практично може ставитися питання про створення якісно нових систем протиаварійної автоматики.

Таким чином, перший етап масштабного впровадження РМУ в ОЕС України був підпорядкований розв'язанню найбільш актуальних задач оперативного керування шляхом створення засобів та елементів проблемно-орієнтованої системи моніторингу її режимів [7, 8, 11, 12]. До таких задач слід віднести оцінюван-



ня стану ЕС та ОЕС України, про що йшлося вище, визначення допустимості плинних режимів ОЕС за запасами статичної стійкості та попередження зростання амплітуд небезпечних в аспекті порушення стійкості низькочастотних коливань режимних параметрів, обумовлених зростанням амплітуд відповідних складових, частоти яких відповідають домінуючим власним частотам вільних коливань ОЕС України.

У відповідності з інформаційними потребами зазначених задач були визначені основні критерії вибору місць розташування засобів СМНР. На рис. 4 вказано місця розстановки РМУ для першої черги СМНР.

ВИСНОВКИ

Впровадження в ОЕС України ЕВРП «Регіна-Ч» дало можливість створити передумови для якісного розвитку системи оперативного та автоматичного керування ОЕС України на основі організації синхронізованих високоточних вимірювань параметрів режимів ОЕС, зокрема векторів напруги (модулі та фази) в різних «точках» ОЕС. Для синхронізації вимірювань використано сигнали єдиного часу, що надходять від супутникової системи навігації та визначення положення (GPS). Створено додаткові можливості для проведення вичерпного аналізу аварійних подій, верифікації моделей ЕС (ЕО), покращення результатів розв'язання задачі оцінювання стану ЕО та реалізації моніторингу низькочастотних коливань режимних параметрів з метою завчасного унеможливлення коливного порушення стійкості ЕО. Створено умови для подальшого розвитку СМНР в ОЕС України. Одержання якісної нової інформації у вигляді синхронізованих вимірів фазних кутів напруги дає можливість перейти до більш надійної оцінки (в реальному часі оперативного керування) граничного завантаження контрольованих перетинів електричної мережі ОЕС України, тим самим сприяти ефективному використанню їх пропускної спроможності.

ЛІТЕРАТУРА

1. *UCTE Operation Handbook*. <http://www.ucte.org>, UCTE, Brussels, 2004.
2. Обсуждение проблем надежности и безопасности в электроэнергетике // Энергетик. — 2005. — № 8. — С. 9–10.
3. Проблемы надежности и безопасности энергоснабжения в условиях либерализации и дерегулирования в электроэнергетике // Энергетик. — 2005. — № 8. — С. 2–8.
4. Гриценко А.В., Семенюк В.М., Савченко Е.В. Энергосистемы Украины и Европы. Когда и как объединяться? // Энергетика та електрифікація. — 2007. — № 7. — С. 3–9.
5. Стогий Б.С., Ущатовський К.В., Мольков А.Н., Сопель М.Ф., Павловський В.В., Пилипенко Ю.В. Система глобального мониторинга, синхронизация и регистрация системных параметров ОЕС Украины — основа нового качества автоматизированного и оперативного управления // Энергетика та електрифікація. — 2006. — № 4. — С. 8–11.
6. Кириленко О.В., Прихню В.Л., Черненко П.О. Разработка иерархического оперативно-управляющего комплекса и внедрение его в энергообъединении Украины // Наука та інновації. — 2008. — № 6. — С. 12–25.
7. Буткевич О.Ф., Кириленко О.В. Першочергові завдання проблемно-орієнтованої системи моніторингу режимів ОЕС України // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». — 2007. — № 597. — С. 129–135.
8. Стогий Б.С., Буткевич А.Ф., Зорин Е.В., Левкошок А.В., Чижевський В.В. Проблемно-ориентированный мониторинг режимов энергообъединения // Техн. електродинаміка. — 2008. — № 6. — С. 52–59.
9. Butkevych O., Kyrylenko O. Power System Operation Control Based on Synchronized Phasor Measurements // Przegląd Elektrotechniczny. — 2008. — № 4. — P. 77–79. (Poland).
10. ГKD 34.20.575-2002. Стійкість енергосистем. Керівні вказівки. — К.: КВІЦ, 2002. — 48 с.
11. Авраменко В.М., Юнеєва Н.Т., Сангінова О.В. Використання синхронізованих віддалених вимірів напруги для оцінки рівня стійкості енергосистеми // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Збірник наукових праць. — Київ, 2007. — Вип. 18. — С. 47–52.
12. Черненко П.О. Оперативне уточнення граничної потужності, що передається високовольними лініями енергосистеми // Матеріали науково-практичної конференції за міжнародною участю «Європейські орієнтири муніципального управління». Київ: Видавничо-поліграфічний центр Академії муніципального управління, Ч. 2. — 2008. — С. 216–219.



Б.С. Стогий, А.В. Кириленко,
А.Ф. Буткевич, М.Ф. Сопель, В.Н. Авраменко,
В.Л. Прихно, П.А. Черненко

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА
РЕЖИМОВ ЭНЕРГООБЪЕДИНЕНИЯ УКРАИНЫ
И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Описаны основные результаты выполнения инновационного проекта внедрения комплекса средств системы мониторинга переходных режимов на объектах ОЭС Украины. Приведены основные технические характеристики и показатели функционирования средств мониторинга режимов ОЭС. Показана возможность повышения надежности системы оперативно-диспетчерского управления ОЭС Украины благодаря использованию измерений фазовых углов напряжения при решении задач диспетчерского управления. Определены особенности системы мониторинга переходных режимов.

Ключевые слова: мониторинг, переходные режимы, энергосистема, оперативно-диспетчерское управление.

B.S. Stogniy, O.V. Kyrylenko,
O.F. Butkevych, M.F. Sopol, V.M. Avramenko,
V.L. Prihno, P.O. Chernenko

MONITORING'S ORGANIZATION
OF THE UKRAINIAN INTERCONNECTED POWER
SYSTEM OPERATIONAL CONDITIONS
AND NEW POSSIBILITIES
FOR DISPATCHING PROBLEMS' SOLVING

The basic results of the innovation project implementation related to the application of complex of monitoring system's means designed to monitoring of the transitive operational conditions of Ukrainian IPS objects are described. The basic technical characteristics and parameters of means designed to IPS operational conditions' monitoring are presented.

The possibility of Ukrainian IPS dispatching system reliability increase due to the use of measurements of voltage phase angles for the purpose of dispatching problems' solving is shown. Peculiarities of the monitoring system for transitive operational conditions are defined.

Key words: monitoring, transitive operational conditions, power system, operation control.

Надійшла до редакції 15.05.09.

