

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ РЕЄСТРАТОРІВ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ

Місюченко М.О., магістрант, Нестерко А.Б., к.т.н., ст. викл.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Квазіусталений режим роботи енергосистеми характеризується незначними коливаннями величини споживання та генерування, при цьому відсутні будь які значні перехідні процеси. Реальні енергосистеми знаходяться в умовах постійної зміни навантаження і генерування, тому існує безліч факторів які можуть стати причиною появи перехідного процесу і як наслідок появи небезпечних перетоків потужності. Неконтрольовані перехідні процеси є загрозою для стійкого функціонування енергосистеми, а порушення енергопостачання може привести до значних збитків.

Мета роботи. Дослідити підходи до вирішення задачі оперативного аналізу стійкості енергосистеми на основі візуалізації перехідних режимів. Провести аналіз структури програмного забезпечення системи відображення та аналізу перехідних режимів енергосистеми.

Матеріали і результати досліджень. Моніторинг режиму в реальному часі дозволяє поліпшити розуміння перехідних процесів енергосистеми за рахунок синхронізації візуального зображення і реальних параметрів енергосистеми, що має значну перевагу перед візуалізацією в традиційних системах SCADA.

Такий підхід вже застосовується в проектах:

- Bonneville Power Administration була першою організацією, що почала широке впровадження реєстраторів перехідних режимів в підпорядкованій мережі;
- Проект FNET (Frequency monitoring Network), що керується Політехнічним інститутом і університетом штату Вірджинія, Університетом Теннессі та Національною лабораторією Ок-Ридж, що має у своєму складі приблизно 80 недорогих пристроїв реєстрації частоти для збирання синхронних вимірів;

- Незалежний оператор електричних мереж Нью-Йорку (англ. New York Independent System Operator) встановив 48 PMU в штаті Нью-Йорк, для уникнення аварій, подібних тій, що відбулася в енергосистемі США та Канади у 2003 році;

- У 2006 році КНР в рамках Wide Area Monitoring Systems для своїх 6 систем встановила 300 PMU на підстанціях 330 та 500 кВ і на електростанціях. На 2012 рік було заплановано обладнати всі підстанції 500 кВ та всі електростанції потужністю понад 300 МВт. З 2002 року КНР виробляє пристрої своїми силами та за своїми стандартами. Один з типів реєстраторів КНР має вищу частоту вимірювання, ніж передбачено міжнародними стандартами, та застосовується для вимірювання кута ротора генератора з передаванням даних про напругу та струм

збудження, тощо. Всі пристрої об'єднані через власну оптичну мережу та передають дані з середньою затримкою 40 мс;

- Північноамериканська ініціатива (англ. North American Synchrophasor Initiative), раніше відома як The Eastern Interconnect Phasor Project, збирає дані з 120 приладів до системи «Суперфазорний концентратор даних» (англ. Super Phasor Data Concentrator), розташований у Теннессі Веллі Ауторіті. Ця система збору даних наразі є відкритим проектом, відомим як openPDC;

- Міністерство енергетики США профінансувало ряд дотичних дослідницьких проектів, зокрема проект GridStat Університету штату Вашингтон.

В загальному вигляді система збору та обробки даних складається з трьох основних частин: перша приймає оброблені данні від приладів вимірювання і записує їх у базу даних, друга частина обробляє ці данні, перетворює і передає їх до засобів відображення (враховуючи розвиток технологій данні відображаються з використання асинхронних AJAX запитів і є доступ через API сервіс, що дає змогу розробки як мобільного так і десктопного додатку незалежно від середовища виконання Windows, iOS, Android, тощо), третя частина відповідає за перевірку даних і виявлення параметрів які сигналізують про порушення стійкості функціонування енергосистеми. У архітектурі додатку ці частини не є абсолютно ізольованими одна від одної. Кожна з них зв'язана із моделлю (програмною «обгорткою» реляційної бази даних рис. 1).

Початковим етапом аналізу є збір даних. Основним вимірювальним приладом є пристрій вимірювання комплексної амплітуди, більш відомий за назвою «Phasor Measurement Unit (PMU)». Ці пристрої розміщуються у ключових вузлах енергосистеми. В основі роботи PMU лежить синхронізація вимірювань за часом. Для вирішення цієї задачі використовується GPS, що дає можливість синхронізуватись покази приладів з точністю до 1 мкс. [1]. Отримані дані обробляються і записуються єдину у базу даних.

Отримані дані обробляються і аналізуються в режимі реального часу. Зазвичай, при аналізі трифазної енергосистеми, набір комплексних амплітуд обирається, як три середньоквадратичних одиниці. Що графічно представляються як вектори з кутами 0, 120 та 240 градусів. Для спрощення розрахунків можна розглядати багатofазну систему комплексних амплітуд, як збалансовану або, за умови незбалансованості, представити її як систему лінійних збалансованих рівнянь. Такий підхід значно знижує вимоги до складності розрахунків падіння напруги, перетоків потужності та струмів короткого замикання. У контексті аналізу енергосистем фаза представляється у вигляді кута, а амплітуди — у вигляді середньоквадратичних, а не амплітудних значень синусоїди.

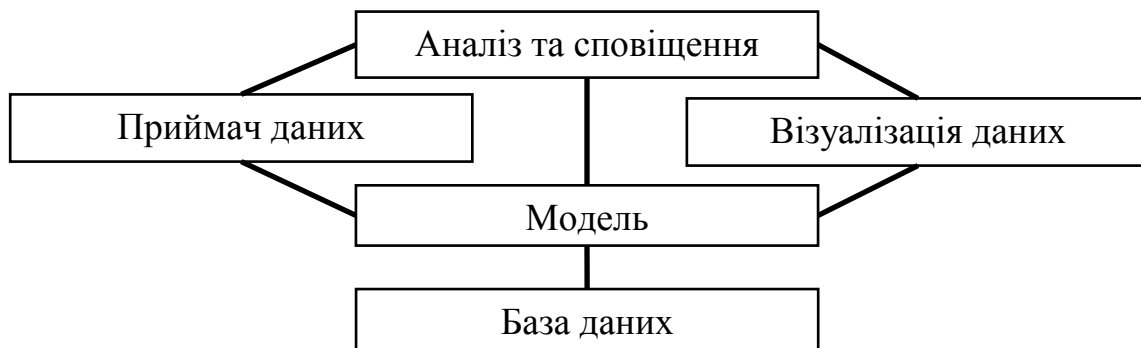


Рисунок 1 – Структура додатку

Технологія PMU використовується у цифрових вимірювальних пристроях для визначення напруги в електричних системах у географічно віддалених ділянках. Різниця між комплексними амплітудами відповідає перетокам потужності та допомагає визначати загрози для стійкості [2] енергосистеми.

Загальна структура реляційної бази даних наведена на рис. 2. База даних складається з таблиці точок з їх географічними координатами і таблиць із параметрами, що контролюється.

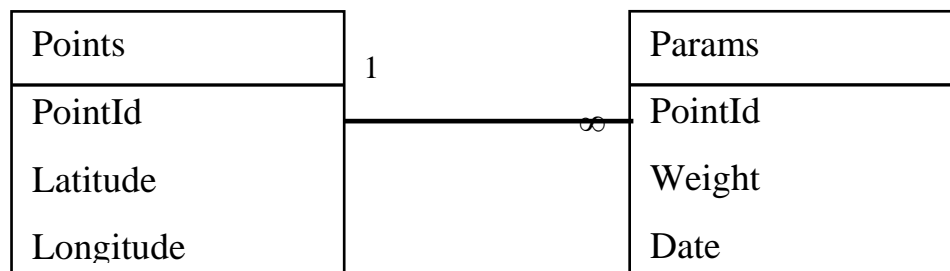


Рисунок 2 – Структура бази даних

Модель представлена набором CRUD (аббревіатура основних операцій при маніпуляції даних: create, read, update, delete) методів для роботи із базою даних.

Загальноприйнятим рішенням у контексті даної задачі є виділення максимальної кількості обчислень пов'язаних із предметною областю в окрему програмну бібліотеку. Це дасть можливість динамічно розширяти функціонал бібліотеки і коригувати вже існуючі алгоритми обчислення не втручаючись у функціонування і архітектуру додатку.

Для візуалізації даних використовується API (англ. Application Programming Interface Прикладний програмний інтерфейс) сервіс що пропонує Google Maps, як показано на рис. 3. Шар карт інтенсивності забезпечує промальовування карт інтенсивності (KI) на стороні клієнта. KI використовується для передачі даних інтенсивності в географічних точках. Коли шар KI включений, на екрані відображається кольорове накладення. За замовчуванням області з більш високою інтенсивністю відображаються червоним кольором, а з більш низькою – зеленим [3].

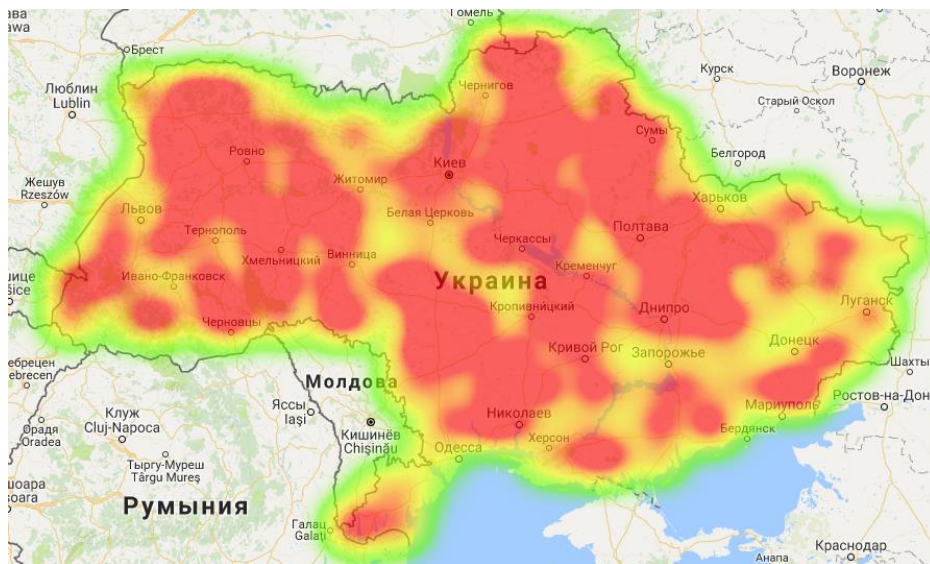


Рисунок 3 – Шар карт інтенсивності

Сучасні тенденції розробки додатків потребують використання API сервісів які при звертанні до них передають серіалізовані JSON (JavaScript Object Notation - текстовий формат обміну даними) об'єкти. Саме це дає можливість розробляти додатки на будь-якій платформі.

Висновок. У даній статті описані підходи до вирішення задачі оперативного аналізу стійкості енергосистеми на основі візуалізації перехідних режимів. Проаналізовано досвід використання і структура програмного забезпечення існуючих систем. Отримані результати дозволяють сформулювати вимоги для розробки програмного забезпечення для візуалізації даних з реєстраторів перехідних режимів в ОЕС України.

Перелік посилань

1. Lattes C. M. G. et al. Processes involving charged mesons // Nature. – 1947. – Т. 159. – №. 4047. – С. 694-697.
2. Синхрофазоры | Schweitzer Engineering Laboratories [електронне посилання] <https://selinc.com/ru/solutions/synchrophasors>
3. Svennerberg G. Beginning Google Maps API 3. – Apress, 2010.
4. Яндульський О. С. Визначення когерентних груп генераторів під час електромеханічних перехідних процесів в електроенергетичній системи / О. С. Яндульський, О. В. Тимохін, Г. О. Труніна, А. Б. Нестерко // Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2015. – № 6. – С. 129-135.