

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИКОРИСТАННЯ СИНХРОФАЗОРІВ

Нестерко А.Б., к.т.н., ст. викл., Чекотун В.Г., студент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Сьогодні надзвичайно важливою є надійність електричного постачання, і для її підвищення необхідно мати якісну систему моніторингу параметрів електромережі в реальному часі. Традиційна система контролю та збору даних (SCADA) виявляється неспроможною до відображення динамічних процесів в реальному часі через несинхронність вимірювань системних параметрів, що за певних обставин призводить до неправильного спрацювання керуючих апаратів [1, 2]. Щоб запобігти цьому виникає необхідність вимірювати, зберігати і обробляти в реальному часі такі параметри електромережі як частоту, модуль напруги та кути зсуву фаз. Через збільшення кількості відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) гостро стає потреба швидко виявляти місця пошкоджень в мережі та контролювати виникнення ізольованих частин мережі (острівних режимів) [3].

Мета роботи. Метою даної роботи є огляд засобів, які є можливим вирішенням вищезазначених проблем, а саме синхрофазорів. Вони є засобами виміру параметрів електромережі, таких як напруга, кут фаз, частота, що застосовуються для моніторингу електромережі. В статті будуть розглянуті принципи дії синхрофазорів та методи застосування систем на їх основі в електромережах [3-6].

Матеріали і результати досліджень. Області застосування синхрофазорів можна розділити на: операції в мережі в реальному часі; системи планування та аналізу; управління зі зворотнім зв'язком [4]. Для демонстрації принципу роботи синхрофазора розглянемо синусоїдну хвилю та її синхрофазорне представлення на рис. 1.

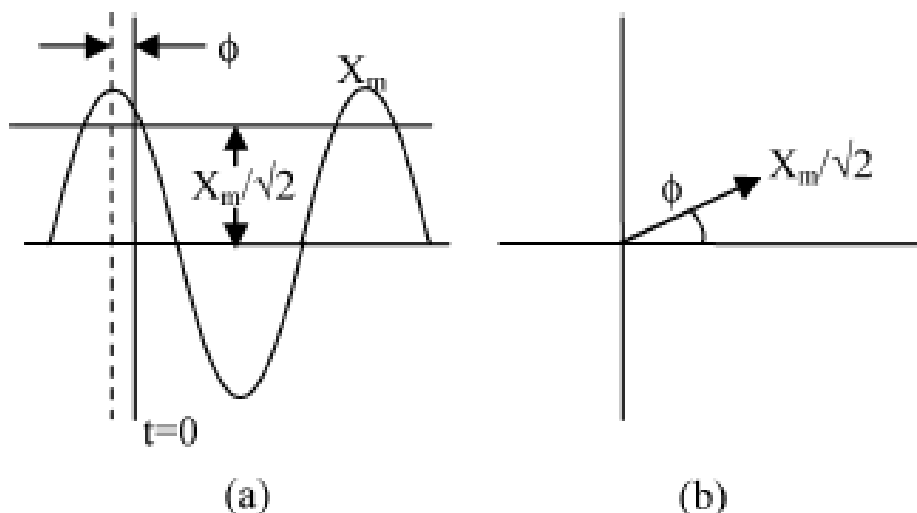


Рисунок 1 – Принцип дії синхрофазора: (а) Синусоїдальний сигнал, (б) синхрофазорне представлення.

Як відомо, синусоїдальну хвилю можна представити за допомогою виразу:

$$x(t) = X_m \sin(\omega t + \phi)$$

В формулі (1) X_m – амплітудне значення хвилі, ω – частота хвилі, ϕ – кут між точкою відліку та часом позитивного піку. З певним часовим кроком, більш відомим як «часове вікно», синхрофазор замірює дані хвилі і оновлює свої параметри представлення хвилі, які і видає в якості вихідних даних. За допомогою зв'язку з системами глобального позиціонування (GPS) стає доступним вимір напруги та струму синхронно в точні моменти часу [7].

З синхрофазорів, дані передаються до централізованого Phasor Data Concentrator (PDC) зберігача фазових даних, який може зберігати і обробляти отриману інформацію. За допомогою PDC можливе також архівування даних, прийняття на їх основі рішень та керування системою, відправка повідомлень електронною поштою в разі настання аварійних подій. Схема роботи PDC зображена на рис. 2.

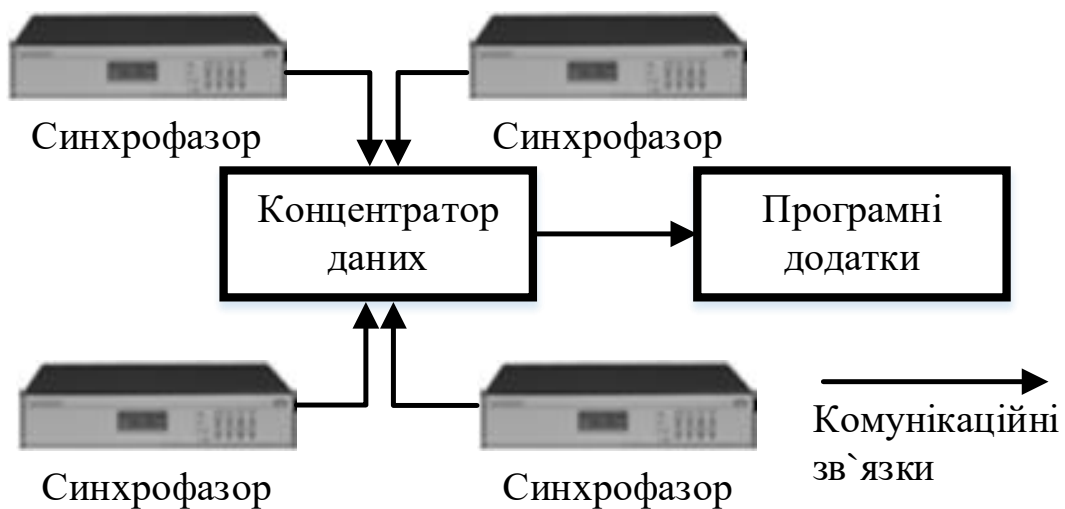


Рисунок 2 – Структура зв'язків синхрофазорів з PDC

Розглянемо PDC-систему на прикладі додатку openPDC [8, 9]. Додаток складається з 3-х рівнів: Вихідний, Діючий, Вхідний рівні.

Вхідний рівень в реальному часі зчитує потоки даних від синхрофазорів або інших PDC. При чому OpenPDC підтримує різні протоколи передачі для прийому інформації від синхрофазорів. Серед підтримуваних протоколів є наступні: IEEE C37.118-2005 та 2011, IEEE1344, BPA PDCStream, Virginia Tech FNET, Macrodyne, SEL Fast Message, та ін.

Діючий рівень концентрує та оброблює інформацію. Крім цього, даний рівень надає наступні важливі функції: підрахунки не виміряних PMU параметрів в реальному часі та детектування подій. Обрахунки в реальному

часі застосовуються для визначення, наприклад, активної і реактивної потужностей. Детектування подій в реальному часі використовується для того щоб впевнитись, що вхідні дані не виходять за певні дозволені межі.

Вихідний рівень отримує всі обчислені та вхідні параметри, і відправляє їх до систем зберігання, наприклад, системи Historian. На рис. 3 зображено приклад зареєстрованої зміни частоти та модуля напруги протягом періоду в один день за допомогою збору даних з синхрофазорів та передачі їх в OpenPDC [8].

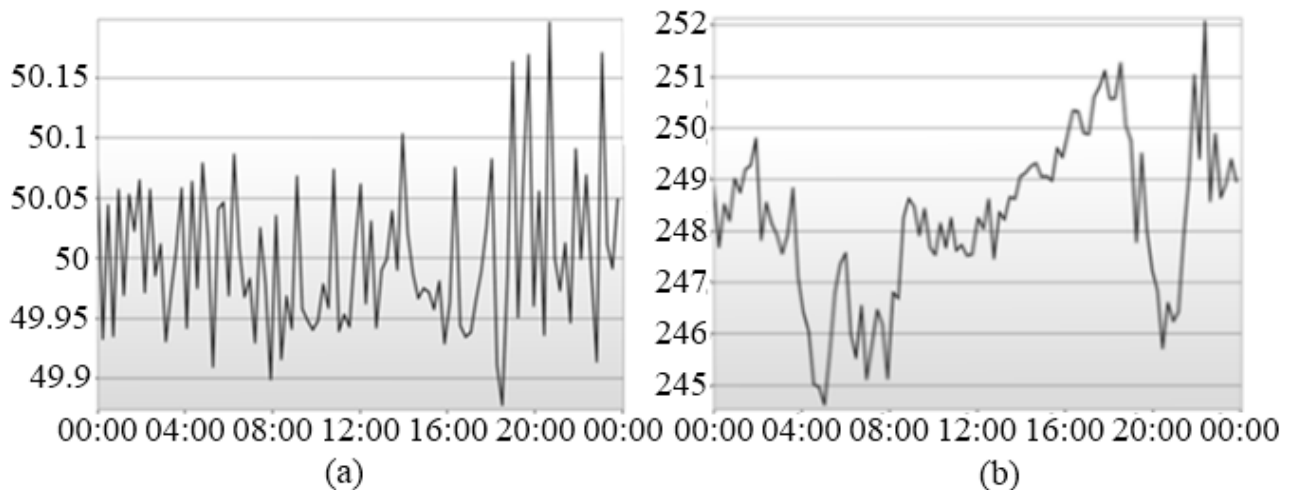


Рисунок 3 – Вимірювання частоти (a) та напруги (b) завантажені з OpenPDC

З використанням даних отриманих від PMU в реальному часі, переданих до централізованого PDC можна створити Wide Area Measurement System (WAMS) «Систему моніторингу перехідних режимів» яка є більш ефективною для безпечних і ефективних операцій в електромережі порівняно зі SCADA-системою. Головні проблеми традиційних SCADA-систем полягають у необхідності наявності терміналів дистанційного доступу на всіх підстанціях та невеликій швидкості оновлення інформації, в результаті чого прийняття швидких і правильних рішень у разі несправності базуючись на даній системі є проблематичним. Крім цього SCADA-системи не можуть використовуватися для спостереження динамічних характеристик електромережі [6].

Порівняння систем WAMS на основі PMU (синхрофазори) та SCADA наведено в табл.1 [4]:

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика систем

Система	SCADA	PMU
Швидкість	1 оновлення в 2-4с	10-60 оновлень/с
Синхронізація	Ні	Так
Вимірювання кутів фаз	Ні	Так
Призначення	Локальний моніторинг і контроль	Моніторинг і контроль на великому просторі

Для SCADA систем характерні певні недоліки такі як: відсутність синхронізації вимірів, відсутність вимірів кутів фаз, невелика швидкість оновлення даних. Перечислені недоліки не дозволяють реалізувати на основі SCADA системи WAMS високої ефективності [4]. В той же час, сучасні синхрофазори завдяки переліченим якостям дозволяють створювати системи моніторингу перехідних режимів [4, 6].

Застосування систем моніторингу і контролю які базуються на синхрофазорних вимірювальних засобах мають великий потенціал в покращенні стабільності мереж [3, 4]. Серед застосувань можна виділити наступні:

Моніторинг електромережі: Вимірювання перетоків активної і реактивної потужності в лініях займає певний час, від секунд до хвилини через необхідність стабілізації для вимірів. Проте синхрофазорні системи є динамічними у часі й дозволяють значно скоротити час вимірів потужностей, вдосконалити точність та швидкість рішень, допомогти в знаходженні хибних даних та помилок в схемах з'єднань.

Система контролю електромережі: Завдяки невеликим затримкам у часі, дані з синхрофазорів в реальному часі значно краще підходять для прийняття рішень по контролю електромережі. Завдяки використанню PMU можна зменшити коливання частоти в електромережі, що є одним з найбільш значних результатів застосування WAMS[6].

Захист електромережі: Вимірювальні прилади, такі як синхрофазори можуть суттєво підвищити рівень надійності мережі. Вони здатні покращити вирішення чисельних проблем надійності електромереж, перш за все завдяки високій швидкодії. Наприклад, наявність в мережі некомпенсованих низькочастотних коливань має негативні довготривалі наслідки та обмежує пропускну здатність. Зазвичай вони наявні в мережах великої потужності які з'єднані слабшими лініями по яким протікають великі потоки потужності. Зазвичай, ці низькочастотні коливання викликають поступові наростаючі зміни. Широка мережа синхрофазорів завдяки своїм вихідним даним в реальному часі може використовуватись в системах стабілізації частоти в зворотному зв'язку [3].

Захист ВДЕ при від'єднанні від мережі. Для генераторів відновлюваних джерел енергії таких як: вітрогенератори, фотопанелі, малі гідроелектростанції та теплові станції на біомасі що є з'єднаними з мережею надзвичайно важливим є захист від мережевих пошкоджень. Основною метою захисту від мережевих пошкоджень є перешкоджання розпаду енергостистеми на частини й утворення «остівців потужності». Пошкодження з утворенням відокремленої частини мережі показано на рис. 4.

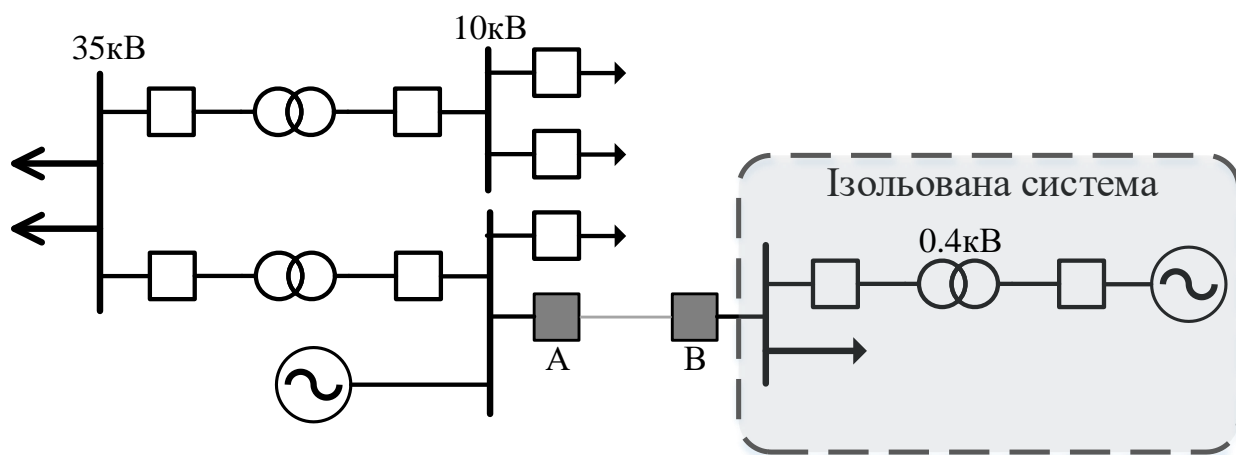


Рисунок 4 – Відокремлення частини мережі в результаті пошкодження лінії

Синхрофазори можна використати для вирішення проблеми знаходження таких розривів [3]. Отримані дані можна використати для порівняння частоти та кута зсуву фаз відокремленого генератора, та решти мережі. Якщо частота генератора та сама як і частота мережі, то кут зсуву фаз генератора буде повторювати кут зсуву фази мережі з певними відхиленнями. Якщо генератор став відокремленим від мережі кути зсуву фаз з великою вірогідністю будуть відрізнятися. Визначивши це, можна стверджувати що стався розрив мережі [10]. Визначення «острівця потужності» з використанням синхрофазорів задля «безперервної перевірки синхронізації» показано на рис. 5

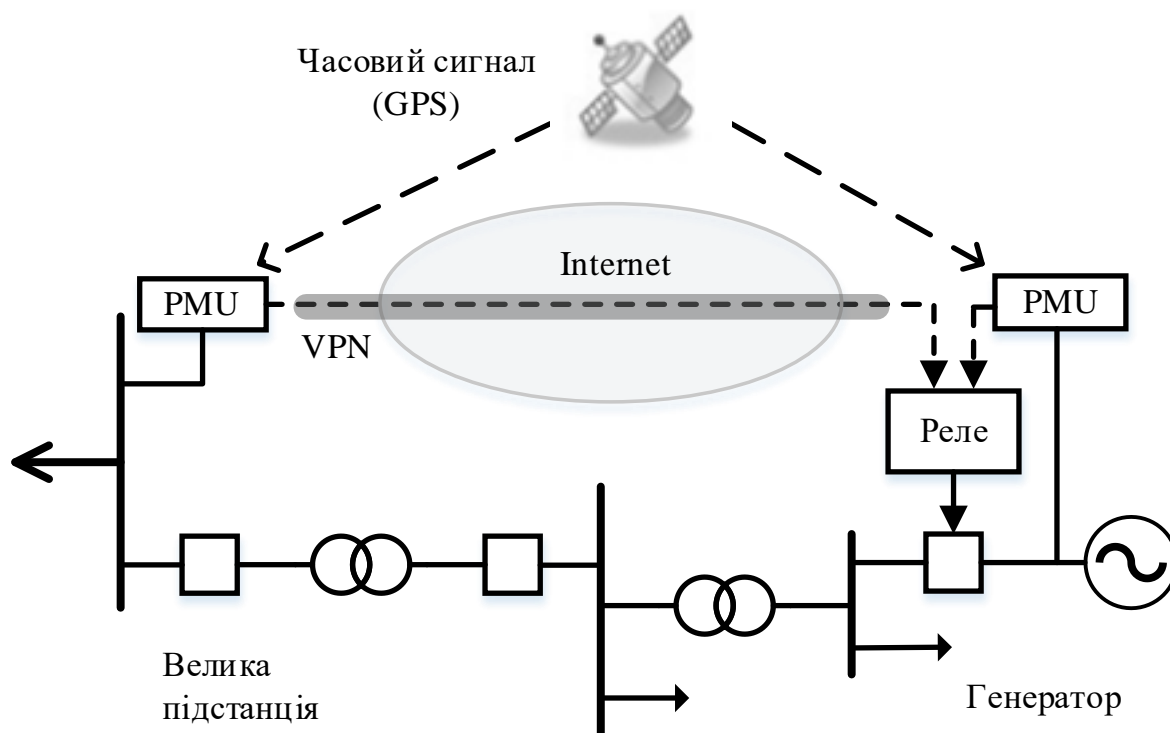


Рисунок 5 – Запропонована структура системи виявлення «острівців потужності» з використанням синхрофазорів

Висновки. Рішення, які базуються на використанні синхрофазорів наразі досліджуються і застосовуються у всьому світі в електромережах усіх потужностей. Синхрофазори мають можливість синхронізації за допомогою систем геопозиціонування, дозволяють вимірювати кути зсуву фаз а також постачати іншу важливу інформацію та рахувати втрати в мережі в реальному часі. Використання синхрофазорів значно покращує якість та точність збору даних з елементів електромережі.

Застосування синхрофазорних засобів дають необхідні можливості для розгортання «розумних мереж». Порівняно з системами SCADA системи контролю та моніторингу побудовані на основі синхрофазорів (PMU) та концентраторів даних (PDC) мають переваги у швидкості оновлення, числу вимірюваних параметрів та наявності синхронізації.

Перелік посилань

1. Kosterev N. Model validation for the WSCC system outage / Kosterev N, Taylor W, Mittelstadt A. // IEEE TransPower Syst 14(3). – 1999. – Pp. 967–979.
2. Baldick R. Initial review of methods for cascading failure analysis in electric power transmission systems IEEE PES CAMS task force on understanding, prediction, mitigation and restoration of cascading failures / Baldick R, Chowdhury B, Dobson I et al // In: Proceedings of IEEE PES general meeting, Pittsburgh, USA – 2008. – 8 p.
3. Rajeev. Applications of PMU in renewable energy generation / Rajeev, Aneesh & Shanmugarajeshwaran, R. & Poonurangam, T. & Sreevalsan, E. – 2016. – Pp. 294–297.
4. M. U. Usman. Applications of synchrophasor technologies in power systems / M. U. Usman and M. O. Faruque // Journal of Modern Power Systems and Clean Energy. – 2019. – Vol. 7, No 2. – Pp. 211–226.
5. Chenine. Implementation of an experimental wide-area monitoring platform for development of synchronized phasor measurement applications / Chenine, Moustafa & Vanfretti, Luigi & Bengtsson et al. – 2011.
6. M. Golshani. Implementation of Wide Area Monitoring Systems and laboratory-based deployment of PMUs / M. Golshani, G. A. Taylor, I. Pisica and P. Ashton. – 2013. – Pp. 1–6.
7. Singh. Applications of phasor measurement units (PMUs) in electric power system networks incorporated with FACTS controllers. / Singh, Binti & Sharma, Nikhlesh & Tiwari, AN & Verma, KS & Singh, Sn // International Journal of Engineering, Science and Technology. – 2011.
8. N. Gellerman. User interface for situational awareness of openPDC / N. Gellerman, P. Ranganathan, R. Vallakati and A. Mukherjee // Pullman, WA, – 2014. – Pp. 1–6.
9. Müller. Interfacing Power System and ICT Simulators: Challenges, State-of-the-Art, and Case Studies / Müller, Sven & Georg, Hanno & Nutaro et al // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2016.
10. D. M. Laverty. Loss-of-mains protection system by application of phasor measurement unit technology with experimentally assessed threshold settings / D. M. Laverty, R. J. Best and D. J. Morrow // IET Generation, Transmission & Distribution, – 2015. – Vol. 9, No 2. – Pp. 146–153.