

# Дослідження електроенергетичних систем на основі діакоптичного підходу та макромодельовання в сучасних комп'ютерних середовищах

Оксана Гоголюк<sup>(1)</sup>, Роман Корецький<sup>(2)</sup>, Вадим Пташник<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Кафедра теоретичної та загальної електротехніки,

<sup>(2)</sup>кафедра інженерного матеріалознавства та прикладної фізики, Національний університет "Львівська політехніка", УКРАЇНА, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, E-mail: [oph@polynet.lviv.ua](mailto:oph@polynet.lviv.ua), [koreckii\\_roman@mail.ru](mailto:koreckii_roman@mail.ru), [ptashnykproject@rambler.ru](mailto:ptashnykproject@rambler.ru)

Abstract – In the paper problems of mathematical modeling of electric power systems using modern computer environments based on macromodeling and diakoptic principles and prospects of their research on uni- and multiprocessor computers are discussed. The question of electric power systems splitting on several parts with the purpose of their further analysis by means of parallel processing and development of corresponding parallel algorithms, possibility and expediency of available computer tools usage for their practical implementation are considered.

Ключові слова – електроенергетична система, макромодельовання, середовище комп'ютерного моделювання.

## I. Вступ

На сучасному етапі актуальною є проблема удосконалення методів і засобів аналізу перехідних процесів електроенергетичних систем (ЕЕС) шляхом розвитку й удосконалення моделей їх елементів та засобів їх досліджень. Рівень розвитку сучасної комп'ютерної техніки та інформаційних технологій забезпечує реальні можливості побудови достатньо адекватних математичних моделей і макромоделей практично всіх елементів електроенергетичних систем та електромеханічних перетворювачів, електромагнітних апаратів, ліній електропередачі тощо [1, 3].

За останні роки стало досить важко покращувати можливості та характеристики обчислювальних машин з одним процесором в силу фізичних особливостей, які накладають обмеження на розвиток обчислювальної техніки. В зв'язку з цим значно зросла увага до методів паралельної обробки інформації. На основі використання методів паралельної обробки рядом авторів були розроблені спеціальні цифрові симулятори (моделюючі пристрої), призначені для аналізу ЕЕС та отримано хороші результати в пришвидшенні процесу розрахунків. Динамічний аналіз є основним засобом моделювання ЕЕС, проте, в той ж самий час, устаткування силової електроніки, передавальні системи високої напруги постійного струму, статичні компенсатори реактивної потужності вимагають покращеного моделювання електромагнітних перехідних процесів.

Наявні комп'ютерні і програмні засоби, які використовувались до цього часу, не завжди могли вирішити задачі, пов'язані з великовимірністю досліджуваних електроенергетичних систем, і, як наслідок, із затримками та неузгодженостями комп'ютерного часу за умови довготривалого аналізу складних електроенергетичних систем. Окрім цього,

спостерігаються постійно зростаючі вимоги до цифрового моделювання електромагнітних перехідних процесів в реальному масштабі часу. Було створено цифрові моделюючі пристрої на основі цифрових сигнальних DSP-процесорів, які показали адекватні результати моделювання та хорошу швидкодію. Проте, в процесі експлуатації таких пристроїв виявлено обмеження в працездатності, оперативності, гнучкості та застосовності до різних видів ЕЕС. У зв'язку з цим виникла необхідність аналізу можливостей поділу ЕЕС на частини з метою подальшого їх аналізу засобами паралельної обробки інформації, розроблення відповідних паралельних алгоритмів, можливості й доцільності використання наявних комп'ютерних засобів для їх практичної реалізації.

## II. Комп'ютерні середовища математичного моделювання ЕЕС

Існує низка платформ, на базі яких розвиваються середовища та спеціальні моделюючі пристрої, призначені для аналізу електроенергетичних систем. Кожна з таких платформ, як наприклад, MATLAB/Simulink, EMTP, PSCAD/EMTDC, POWERSYS, PFLOW, RDTs, Ptolemy, має свої переваги та недоліки і може бути використана для вирішення конкретних задач [3, 4].

Протягом останніх 30-ти років програма EMTP стала найбільш широко використовуваною комерційною програмою в промисловості. На даний момент оновлене середовище EMTP-RV є кінцевим результатом згаданої програми, яке володіє покращеними обчислювальними можливостями. Пакет призначений для моделювання електромагнітних, електромеханічних систем та систем керування, вирізняється широким розмаїттям обчислювальних можливостей, включаючи аналіз електромагнітних та електромеханічних перехідних процесів, які тривають від мікро- до декількох секунд (перехідні процеси під час вдарення блискавки, моніторинг ізоляції, крутильні коливання валу, застосування вузлів силової електроніки у електроенергетичних системах). Програма створена з використанням такої мови програмування як Fortran-95 з Microsoft Visual Studio Environment, дозволяє застосування об'єктно-орієнтованих методів програмування та призначена для дуже швидких розрахунків динамічних систем, що передбачає використання спеціально виділених блоків пам'яті. Відкриті коди

програми надають користувачу можливість використовувати ускладнені методи та розширювати бібліотеку моделей її елементів. Програма володіє покращеними методами для аналізу нелінійних моделей, дає швидку збіжність процесу інтегрування, не містить топологічних обмежень на структуру схеми, дозволяє створення та аналіз великих та надвеликих мереж, і, як, наслідок, під моделей з довільним рівнем ієрархії.

Перспективним є RTDS Simulator, який може виконувати повністю цифрове моделювання електроенергетичних систем на основі алгоритмів, закладених в середовища типу EMTP (ATP, PSCAD), що не використовуються для аналізу процесів в реальному режимі часу. RTDS Simulator володіє перевагами устаткування, яке використовується для паралельної обробки інформації і містить спеціальні-модулі-процесори. RTDS Simulator володіє програмою з графічним інтерфейсом, яке передбачає використання окремих модулів для обробки інформації, включає численні моделі елементів ЕЕС та систем керування для відтворення окремих тестових випадків та експлуатаційних режимів. Програма створена на основі мови JAVA, і підтримує різні обчислювальні платформи, включаючи персональні комп'ютери.

Середовища ATP, Power Systems Analysis Framework (PSAF) та PSCAD/EMTDC, так само як і вище згадані програми, використовуються для розрахунку перехідних процесів ЕЕС, володіють бібліотекою математичних моделей елементів і є орієнтованими на роботу з однопроцесорними системами.

### III. Перспективи використання макромоделювання та діакоптики для дослідження ЕЕС

Аналіз опису бібліотек переважної більшості комп'ютерних середовищ свідчить про недосконалість математичних моделей елементів ЕЕС, вбудованих у їх структуру. Створення програмного забезпечення для розрахунку часових характеристик складних неоднорідних ЕЕС на основі використання підходів макромоделювання, декомпозиції та діакоптики може покращити використання математичних моделей ЕЕС з високим ступенем адекватності з метою швидкого дослідження в реальному режимі часу для їх оперативного контролю.

Розроблення власної комп'ютерної програми розрахунку, яка б дозволяла використовувати для опису їх компонент сучасні дискретні макромоделі, які враховують польові і хвильові властивості модельованих об'єктів та детальні математичні моделі елементів та її реалізація на паралельних структурах є перспективним засобом дослідження ЕЕС [2].

Обчислювальні проблеми паралельного аналізу часових характеристик електроенергетичних систем вимагають формування спеціальних математичних моделей і всієї схеми ЕЕС, і її частин – підсхем. Значну увагу розв'язанню зазначених проблем приділено вітчизняними і іноземними вченими Пуховим Г.Є., Шидловською Н.А., Мостовяком І.В., Михайлович Г.О. та ін., які заклали теоретичні засади для організації паралельних обчислень на сучасній комп'ютерній техніці. У 70–80-х роках ХХ ст. Хечтел Г.Д., Санджованні-Вінченцеллі А., Норенков І.П., Петренко А.І., Сліпченко В.Г., Єлізаренко Г.М. та ін. виявили певні недоліки діакоптичного підходу, які потребують розв'язку в наш час [1].

Дослідження і використання дискретних макромоделей динамічних систем є одним зі способів покращення швидкодії при моделюванні систем різної природи за допомогою засобів комп'ютерного моделювання. Використання макромоделювання для створення моделей електроенергетичних систем дасть можливість проводити їх ефективно та швидко моделювання з можливістю дослідження типових режимів та процесів. Використання сучасних комп'ютерних середовищ передбачає розширення їх бібліотек шляхом введення нових моделей і макромоделей у їх структуру та створення нових методів та алгоритмів для їх побудови на основі розпаралелення обчислень.

### Висновок

У статті розглянуто проблеми моделювання електроенергетичних систем за допомогою сучасних комп'ютерних середовищ з використанням макромоделювання та діакоптики та перспективу їх дослідження на одно- та багатопроцесорних комп'ютерних системах.

### References

- [1] П. Г. Стахів, О.П. Гоголюк “Пришвидшений розрахунок перехідних процесів з використанням дискретних макромоделей компонент на прикладі електроенергетичних систем” // Технічна електродинаміка, тем. випуск “Проблеми сучасної електротехніки”, 2008, Ч. 7, с. 17–21.
- [2] Y. Kowada, I. Iyoda, N. Sato, A. Yamazaki “A Study on Parallel Processing of Electro-Magnetic Transient Simulation”// IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 3, August 1995, pp.1505–1510.
- [3] N. Watson, J. Arrilaga Power systems electromagnetic transients simulation (IEE power and energy series; no. 39), 2003, 419 p.
- [4] K.K. Chu, N. V. Ngan “A Novel Approach for Implementing Power Systems Analysis and Simulation Tools”//Int. J. Engng Ed. Vol. 17, No. 3, 2001, pp. 312–320.