

УДК 621.311

В.М. СУЛЕЙМАНОВ, В.А. БАЖЕНОВ, Т.Л. КАЦАДЗЕ

ПІДВИЩЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ НАДІЙНОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ УСТАЛЕНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Анотація. В статті представлена методика архівування та подальшого читання параметрів архівованих режимів електроенергетичних систем, що дозволяє суттєво підвищити розрахункову надійність моделювання переобтяжених режимів. Для пошуку найбільш близького до досліджуваного режиму в банку архівів розроблено математичну модель та алгоритм на базі математичного апарату штучних нейронних мереж Хопфілда.

Ключові слова: розрахункова модель, переобтяжений режим, початкові наближення, архів, асоціативна пам'ять, мережа Хопфілда

ВСТУП

Моделювання усталених режимів електроенергетичних систем складають більшу частину розрахунків як під час експлуатації та управління, так і під час проектування розвитку електроенергетичних систем. Метою такого моделювання є визначення допустимості режимів напруги у вузлах схеми електричної мережі, перетоків потужності в окремих лініях або групах ліній контрольованого перерізу, перевірка можливості передачі заданої потужності, оцінювання сумарних втрат потужності тощо. Моделювання усталених режимів є, як правило, найважливішою складовою вирішення комплексних завдань, таких, наприклад, як вибір експлуатаційних схем електричної системи, регулювання режиму напруги, перерозподіл перетоків потужності в неоднорідних електричних мережах під час оптимізації режиму системи; аналіз статичної та динамічної стійкості електричної системи по відношенню до зовнішніх несприятливих збурень; визначення струмів короткого замикання; розрахунок протікання електромеханічних і тривалих перехідних процесів та багатьох інших задач.

Сучасні програмні комплекси моделювання усталених (квазіусталених) режимів електроенергетичних систем, зазвичай, базуються на математичному апараті методу Ньютона-Рафсона розв'язання систем нелінійних алгебраїчних рівнянь вузлової моделі усталеного режиму електричної системи [1–4]. Разом з тим відомо, що метод Ньютона є дуже чутливим до вибору початкових наближень невідомих модулів та фазових кутів векторів напруг в ітераційному розрахунковому процесі [3, 5, 6]. У більшості практичних випадків для отримання стійкого збіжного ітераційного процесу достатньо обрати номінальні значення невідомих як початкові наближення, наприклад, номінальні напруги незалежних вузлів розрахункової схеми. Проте, у разі розв'язання задач аналізу переобтяжених режимів, зображуючі точки яких знаходяться поблизу межі існування, задача вибору початкових наближень набуває особливої актуальності. Для отримання стійких ітераційних процесів необхідно обрати початкові наближення невідомих параметрів якомога ближче до їх реальних значень.

Суттєвого прискорення одиничних розрахунків усталених режимів електроенергетичних систем можна досягти за умови використання технології архівування та подальшого читання архівів раніш розрахованих режимів енергосистем. Тут, за необхідності розрахунку конкретного переобтяженого режиму, програмний модуль здійснює пошук у банку архівованих зрізів режим, найбільш близький до досліджуваного та приймає початкові наближення невідомих, які відповідають параметрам архівованого режиму. Лише після цього програмний модуль здійснює розрахунок параметрів конкретного режиму електроенергетичної системи.

Задачу пошуку режимного зрізу, максимально наближеного до поточної розрахункової схеми можна розглядати як задачу класифікації із використанням моделей асоціативної пам'яті [7]. Розв'язання зазначеної задачі реалізовано авторами із використанням математичного апарату штучних нейронних мереж Хопфілда.

Мережа Хопфілда являє собою одношарову мережу із симетричними зворотними зв'язками, призначену для реалізації асоціативної пам'яті [8-10]. Структуру мережі Хопфілда у загальному вигляді представлено на рис. 1.

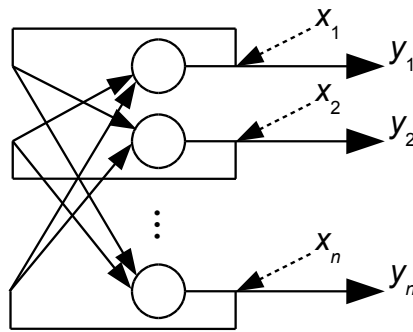


Рис. 1. Архітектура штучної нейронної мережі Хопфілда

Ініціалізація мережі відбувається шляхом подання вхідних сигналів на вихід мережі. Далі, сигнали з виходу мережі подаються на її вхід та перетворюються на нові вихідні сигнали, які знов подаються на вхід мережі. Така операція проводиться циклічно, доки сигнали, які циркулюють у мережі не зафіксуються, а мережа не перейде до одного з можливих усталених станів.

Експериментально доведено, що стійке розв'язання задач із використанням мереж Хопфілда гарантується у разі, коли загальна кількість образів, які зберігаються у пам'яті мережі задовольняє умові

$$P \leq \frac{N}{2 \ln N} \quad (1)$$

Розглянемо розв'язання задачі розпізнавання образів архівованих зрізів режимів електроенергетичних систем із використанням мереж Хопфілда для тестової схеми електричної системи IEEE-30, представленої на рис. 2.

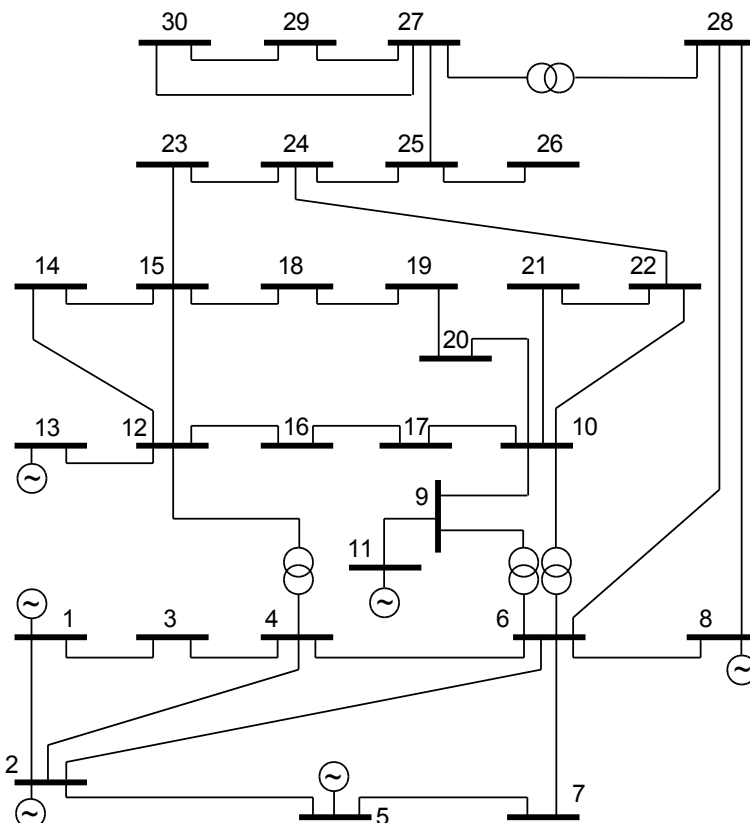


Рис. 2. Тестова схема IEEE-30

Переобтяження режиму здійснюється шляхом збільшення навантаження у вузлах розрахункової схеми. Це означає, що мережа Хопфілда, яка буде зберігати інформацію про архівовані режими має містити 30 нейроподібних елементів. Така мережа, відповідно до (1), зможе зберегти інформацію про чотири образи зрізів переобтяжених режимів.

Нехай банк архівованих зрізів містить інформацію про чотири переобтяжені режими, отримані шляхом збільшення навантаження у таких вузлах схеми:

- 1) 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16;
- 2) 4, 6, 7, 9, 10, 20, 21, 22, 28;
- 3) 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22;
- 4) 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30.

Такі режими умовно можна представити у вигляді діаграм образів наведених на рис. 3. Тут затемнені комірки відповідають вузлам із збільшеними навантаженнями. Рахунок комірок здійснюють зліва направо, починаючи із верхнього лівого кута.

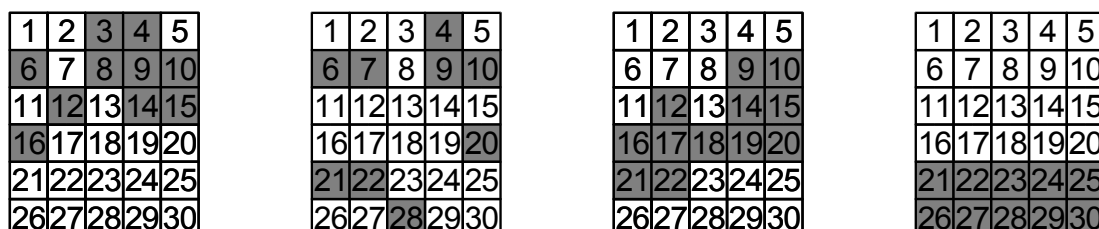


Рис. 3. Діаграми образів архівованих зрізів переобтяжених режимів

Нехай тепер необхідно реалізувати розрахунок характеристик переобтяженого режиму електричної системи, який характеризується збільшеними навантаженнями у вузлах 6, 10, 12, 18, 20, 21, 22, 24, 27, 28, 29 та 30. Для цього у банку архівованих режимів необхідно знайти переобтяжений режим, найбільш близький до шуканого.

Відповідний досліджуваному режиму сигнальний вектор подають на вихід мережі. Проходження цих сигналів через нейронну мережу призводить до перетворення сигналів на виході. Послідовність циклічних перетворень сигналів на виході мережі Хопфілда умовно наведена на рис. 4.

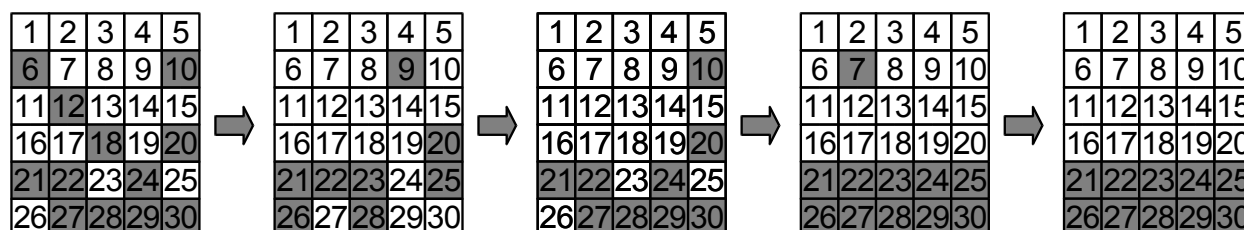


Рис. 4. Послідовність перетворень вихідних сигналів мережі Хопфілда

Таким чином, для надійної реалізації ітераційного розрахунку переобтяженого робочого режиму електричної системи тестової схеми IEEE-30 необхідно використовувати дані четвертого архівованого режиму як початкові наближення невідомих параметрів.

Зазначимо, що для представленого способу кодування зрізів архівованих та досліджуваних режимів за допомогою бінарних векторів можна запропонувати інший, можливо, навіть, більш простий спосіб реалізації пошуку на базі обчислення відстані Геммінга. Проте, для більш складних способів кодування інформації про переобтяження електроенергетичних систем апарат штучних нейронних мереж Хопфілда дозволить найбільш ефективно організувати асоціативну пам'ять та реалізувати пошук архівованого зрізу режиму, найбільш близького до поточного досліджуваного.

ВИСНОВКИ

1. Розрахункові моделі аналізу усталених (квазіусталених) режимів електроенергетичних систем, які базуються на математичному апараті методу Ньютона, є чутливими до вибору початкових наближень невідомих, що ускладнює їх використання для аналізу переобтяжених режимів, зображуючи точка яких знаходиться поблизу границі існування режиму.

2. З метою підвищення розрахункової надійності моделей аналізу режимних параметрів електроенергетичних систем запропоновано підхід, який базується на архівуванні зрізів та подальшому читанню даних режимів, найбільш близьких до поточних досліджуваних.

3. Розроблена модель асоціативної пам'яті зрізів архівованих режимів, яка базується на апараті штучних нейронних мереж Хопфілда. Така модель дозволяє організувати ефективний пошук в банку архівованих зрізів режимів, найближчі до поточних досліджуваних.

4. Застосування розробленої моделі асоціативної пам'яті проілюстровано на прикладі пошуку в банку архівованих зрізів режимів тестової схеми IEEE-30, що підтвердило ефективність запропонованого методу організації асоціативної пам'яті.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бартоломей П. И. Вычислительные модели потокораспределения в электрических системах / Б. И. Аюев, В. В. Давыдов и др. Под ред. П. И. Бартоломея. – М.: Наука, 2008. – 256 с.
2. 2. Электрические сети и системы / Под ред. В. А. Веникова, В. А. Строева. – М.: Высшая школа, 1998. – 512 с.
3. 3. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
4. 4. В. Цысин Проект RESET. Обзор существующих программных средств расчета и анализа электрических режимов энергосистем / Режим доступа: <http://www.ca-reset.org/library/presentations/TransmissionPlanningSoftwareOverview.pdf>
5. 5. Грицай М. А. Существование режима электроэнергетической системы / Под ред. В. М. Посталя. – Кишинев: Штиинца, 1987. – 122 с.
6. 6. Сулейманов В. Н., Кацадзе Т. Л. Модуль оценки режимных характеристик сетей энергосистем в среде экспертной системы EXYLEN в условиях чрезвычайных ситуаций // Электроника и связь – 2000, №8, Т. 2, с.178-180.
7. 7. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж. Ф. Люгер. - 4-е изд. – М.; Спб.; К.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 864 с
8. 8. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.
9. 9. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. : Пер. с англ. / Саймон Хайкин. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.
10. 10. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей: пер. с англ. / Роберт Каллан. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 287 с.

Надійшла до редакції 15.11.2013р.

СУЛЕЙМАНОВ ВІКТОР МИКОЛАЙОВИЧ – к.т.н., професор, професор кафедри електричних мереж та систем, національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна.

БАЖЕНОВ ВОЛОДИМИР АНДРІЙОВИЧ – к.т.н., доцент, доцент кафедри електричних мереж та систем, національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна.

КАЦАДЗЕ ТЕЙМУРАЗ ЛУАРСАБОВИЧ – к.т.н., доцент, доцент кафедри електричних мереж та систем, національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна.