

ФРАКТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И НЕЙРОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

А. Н. Кагдин, Д. А. Джапарова, К. И. Терехов

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор Д. Ю. Муромцев

Ключевые слова и фразы: моделирование электрических сетей; нейронные сети; распределительные электрические сети; фрактальное моделирование.

Аннотация: Рассмотрены основные предпосылки к использованию фракталов и нейронных сетей при моделировании электроэнергетических систем. Показаны преимущества и недостатки данных способов моделирования. Представлены топологические размерности сетей при распределении электрической энергии. Дано описание фрактальных свойств областей устойчивости электроэнергетических систем. Проанализированы возможности прогнозирования поведения электроэнергетических систем при помощи нейронных сетей. Обсуждены дальнейшие перспективы использования фракталов в моделировании.

Современные электроэнергетические системы представляют собой высокоразвитые системы с многоуровневой иерархической структурой [1]. Для «умного» управления такой сложной, разветвленной и нелинейной системой необходимо использование инновационных подходов. Сформулируем концепцию функционирования сложных систем [2]:

- 1) динамика системы имеет детерминированный характер, то есть доминирующими в ней являются детерминированные процессы;
- 2) развитие системы не имеет цели, явно сформулированной и осмысленной одним или несколькими индивидами, и происходит в результате доминантно-конкурентно-кооперативных взаимодействий ее элементов и подсистем;
- 3) процессы в системе носят синергетический характер и ее устойчивое равновесное (гомеостатическое) состояние по тем или иным показателям является скорее исключением, чем правилом;
- 4) нормально функционирующая, то есть жизнеспособная система, даже в отсутствие внешних возмущений, характеризуется собственным

Кагдин Алексей Николаевич – аспирант кафедры «Электроэнергетика», e-mail: lexeu90@yandex.ru; Джапарова Динара Амангельдиевна – аспирант кафедры «Электроэнергетика»; Терехов Кирилл Игоревич – студент, ТамбГТУ, г. Тамбов.

сложным динамическим поведением (в этом контексте понятие оптимального состояния системы лишено смысла, можно говорить лишь о ее оптимальном динамическом поведении);

5) разнообразие динамического поведения системы не обязательно обусловлено сложностью ее структуры, и многие процессы эффективно описываются динамическими моделями с низкой размерностью.

Искусственные нейронные сети, они же коннекционистские или связевые системы представляют собой устройства, использующие огромное число элементарных условных рефлексов. Уже сейчас искусственные нейронные сети применяются для решения очень многих задач обработки изображений, управления роботами и непрерывными производствами [3].

Модель нейронной сети может быть разделена на три типа [4]: прямого распространения используется в областях с прогнозированием и распознаванием образов; с обратной связью (дискретная модель Хопфилда – для оптимизации вычислений и ассоциативной памяти); самоорганизующиеся (адаптивная резонансная теория (ART) и модель Кохонена – для кластерного анализа).

Нейронные сети вошли в практику как решение задач прогнозирования и управления. Это определяется несколькими причинами:

– богатые возможности. Нейронные сети – мощный метод моделирования, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости;

– простота в использовании. Нейронные сети учатся на примерах. Пользователь нейронной сети подбирает данные, а затем запускает алгоритм обучения, автоматически воспринимающий структуру данных [5, 6].

Прогнозирование на нейронных сетях обладает рядом недостатков. Как правило, необходимо около 100 наблюдений для создания приемлемой модели. Зачастую такое количество исторических данных недоступно. Построение удовлетворительной модели на нейронных сетях возможно и в условиях нехватки данных. Модель уточняется по мере доступности свежих данных. Другой недостаток – значительные затраты по времени и другим ресурсам (обучение сети может занимать довольно много времени). К достоинствам относится удобный способ модифицирования модели по мере того, как появляются новые наблюдения [5, 6].

Распределение электрической энергии в разветвленных электрических системах связано с топологической размерностью сетей, которая имеет фрактальный характер. Например, задача построения электрических подстанций различного уровня напряжений, обеспечивающих надежность распределения электрической энергии, может быть решена как задача синтеза соответствующей топологии сети нужной фрактальной размерности.

Фрактальная геометрия позволяет создавать эвристически продуктивные модели, которые способны обнаруживать и имитировать как линейные, так и нелинейные эффекты, возникающие в результате краткого или долгосрочного взаимодействия ряда фракталов [7].

Фрактал – это бесконечно самоподобная геометрическая фигура, каждый фрагмент которой повторяется при уменьшении масштаба. В этом смысле электросетевая структура напоминает фрактальную конструкцию.

Область устойчивости (существования режима) электроэнергетических систем (ЭЭС) в пространстве нерегулируемых параметров X имеет ярко выраженный фрактальный характер. Данное свойство можно показать на примере схем ЭЭС простой структуры (рис. 1). Уравнения установившегося режима в полярных координатах узловых напряжений могут быть записаны в следующем виде [8]:

$$f_i(X) = P_i - U_i^2 \sum_{k=0}^n y_{ik} \sin \alpha_{ik} - U_i \sum_{k=0}^n U_k y_{ik} \sin(\delta_i - \delta_k - \alpha_{ik}), \quad i \neq k;$$

$$X = [\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n]^T; \quad \alpha_{ik} = \alpha_{ki} = \arctg \frac{g_{ik}}{b_{ik}},$$

где

$$y_{ik} = \sqrt{g_{ik}^2 + b_{ik}^2}; \quad g_{ik} = \frac{R_{ik}}{R_{ik}^2 + X_{ik}^2}; \quad b_{ik} = \frac{X_{ik}}{R_{ik}^2 + X_{ik}^2}.$$

Полагая для простоты, что $x_{23} = x_{12} = 1$ и $U_1 = U_2 = U_3 = 1$, для схемы, приведенной на рис. 1, а, можно записать

$$f_1(\delta_1, \delta_2) = P_1 - U_1 U_2 y_{12} \sin(\delta_1 - \delta_2) = P_1 - \sin(\delta_1 - \delta_2);$$

$$f_2(\delta_1, \delta_2) = P_2 - U_1 U_2 y_{12} \sin(\delta_2 - \delta_1) - U_2 U_3 y_{23} \sin \delta_2 = P_1 - \sin(\delta_2 - \delta_1) - \sin \delta_2.$$

Матрица Якоби последней системы может быть представлена в виде [9]:

$$\frac{\partial F}{\partial X} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \delta_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \delta_2} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где

$$\frac{\partial f_1}{\partial \delta_1} = -\cos(\delta_1 - \delta_2); \quad \frac{\partial f_1}{\partial \delta_2} = \cos(\delta_1 - \delta_2);$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial \delta_1} = \cos(\delta_1 - \delta_2); \quad \frac{\partial f_2}{\partial \delta_2} = \cos(\delta_1 - \delta_2) - \cos \delta_2.$$

Тогда, можно записать [8]:

$$\det \frac{\partial F}{\partial X} = \cos(\delta_1 - \delta_2) \cos \delta_2.$$

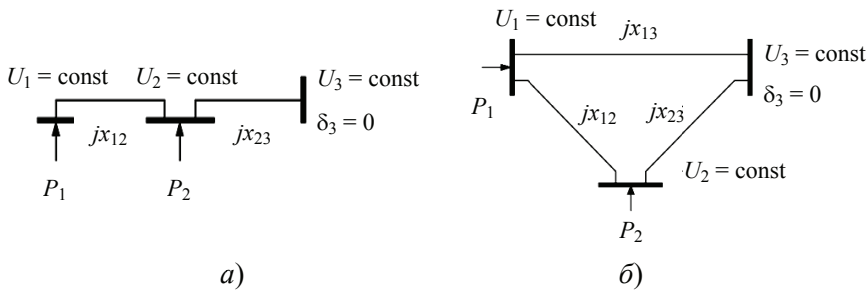


Рис. 1. Схемы ЭЭС

Функция (1) протабулирована с помощью программного пакета MathCAD [8]. На рис. 2, а показан фрактальный самоподобный характер области устойчивости (существования режима) в пространстве параметров $X = [\delta_1, \delta_2]^T$.

Для схемы ЭЭС, представленной на рис. 1, б, при условии, что $x_{23} = x_{12} = x_{13} = 1$ и $U_1 = U_2 = U_3 = 1$, могут быть записаны следующие уравнения [9]:

$$\begin{cases} f_1(\delta_1, \delta_2) = P_1 - \sin(\delta_1 - \delta_2) - \sin \delta_1; \\ f_2(\delta_1, \delta_2) = P_2 + \sin(\delta_1 - \delta_2) - \sin \delta_2. \end{cases}$$

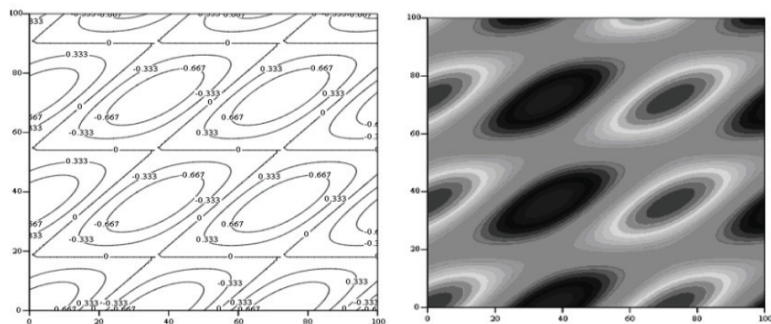
Матрица Якоби этой системы может быть представлена в виде (1), где

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_1}{\partial \delta_1} &= -\cos(\delta_1 - \delta_2) - \cos \delta_1; & \frac{\partial f_1}{\partial \delta_2} &= \cos(\delta_1 - \delta_2); \\ \frac{\partial f_2}{\partial \delta_1} &= \cos(\delta_1 - \delta_2); & \frac{\partial f_2}{\partial \delta_2} &= -\cos(\delta_1 - \delta_2) - \cos \delta_2; \end{aligned}$$

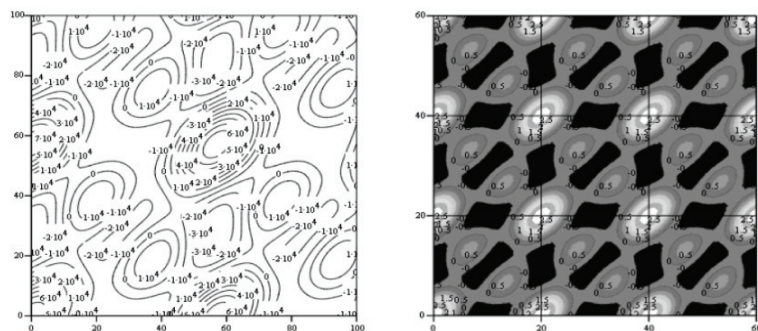
Якобиан записывается в виде [8]:

$$\det \frac{\partial F}{\partial X} = \cos(\delta_1 - \delta_2)(\cos \delta_1 + \cos \delta_2) + \cos \delta_1 \cos \delta_2.$$

На рис. 2, б показан фрактальный самоподобный характер области устойчивости в пространстве параметров $X = [\delta_1, \delta_2]^T$ [9].



а)



б)

Рис. 2. Области устойчивости для схемы ЭЭС

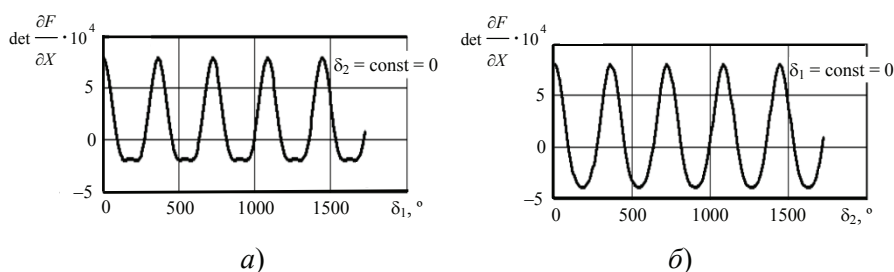


Рис. 3. Периодический характер функции $\det \frac{\partial F}{\partial X} = f(\delta_1 \delta_2)$

Фрактальный характер областей устойчивости объясняется тем, что при использовании полярных координат узловых напряжений якобиан уравнения устойчивости существования режима ЭЭС является периодической функцией независимых переменных X (рис. 3).

Таким образом, области устойчивости ЭЭС имеют в полярных координатах фрактальную структуру и при их изучении и анализе можно использовать методы и алгоритмы теории фракталов. Методы фрактального моделирования в электроэнергетике имеют большую перспективу, о чем свидетельствует рост публикаций в мировой печати.

Список литературы

1. Кочергин, С. В. Актуальные вопросы моделирования развития электроэнергетических систем / С. В. Кочергин, А. В. Кобелев, Н. А. Хребтов // Fractal simulation. Бюллетень Центра фрактального моделирования. – 2011. – № 2. – С. 35 – 38.
2. Сапцин, В. М. Динамическая сетевая математика – новый взгляд на проблемы математического описания сложных систем / В. М. Сапцин, В. Н. Соловьев // Анализ, моделирование, управление, развитие экономических систем : сб. науч. тр. IV Междунар. шк.-симпозиума АМУР-2010, г. Севастополь, 13 – 19 сент. 2010 г. / под ред. М. Ю. Кузьмич, А. В. Сигал. – Симферополь, 2010. – С. 340 – 342.
3. Нейроинформатика / А. Н. Горбань [и др.]. – Новосибирск : Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. – 296 с.
4. Xianjun, Ni. Research of Data Mining Based on Neural Networks // World Academy of Science. Engineering and Technology. – 2008. – No. 39. – P. 381 – 384.
5. Тарасенко, Р. А. Методы прогнозирования, основанные на нейронных сетях [Электронный ресурс] / Р. А. Тарасенко, К. В. Сидоркин, М. Н. Костюхин. – Режим доступа : <http://refshare.com.ua/309/33023/> (дата обращения: 16.09.2014).
6. Бугорский, В. Н. Нейронные сети в управлении розничной торговлей [Электронный ресурс] / В. Н. Бугорский, Н. А. Никитин. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/neyronnye-seti-v-upravlenii-rozничnoy-torgovley> (дата обращения: 16.09.2014).
7. Жуков, Д. С. Фрактальное моделирование историко-демографических процессов : монография / Д. С. Жуков, В. В. Конищев, С. К. Лямин. – М. : Internum ; Тамбов : Изд. дом Тамб. гос. ун-та им. Г. Р. Державина, 2011. – 195 с.
8. Закарюкин, В. П. Моделирование предельных режимов электроэнергетических систем с учетом продольной и поперечной несимметрии / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, Е. А. Крюков. – Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2006. – 139 с.
9. Макаренко, Н. Г. Стохастическая динамика, марковские модели и прогноз / Н. Г. Макаренко // Научная сессия МИФИ – 2007. IX Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика – 2007»: Лекции по нейроинформатике / под ред. Ю. В. Тюменцева. – М., 2007. – Ч. 1. – С. 52 – 93.

References

1. Kochergin S.V., Kobelev A.V., Khrebtov N.A. *Fractal Simulation. Newsletter of the Fractal Simulation Center*, 2011, no. 2, pp. 35-38.
2. Saptsin V.M., Solov'ev V.N., in Kussyi M.Yu., Sigal A.V. (Eds.) *Analiz, modelirovanie, upravlenie, razvitie ekonomicheskikh system* (Analysis, modeling, management, development of economic systems), Collection of scientific papers of the IV International Symposium school AMUR-2010, Sevastopol, 13-19 September 2010, Simferopol, 2010, p. 340-342.
3. Gorban' A.N., Dunin-Barkovskii V.L., Kirdin A.N. et al. *Neuroinformatika* (Neuroinformatics), Novosibirsk: Nauka. Sibirskoe predpriyatie RAN, 1998, 296 p.
4. Xianjun Ni. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2008, no. 39, pp. 381-384.
5. Tarasenko R.A., Sidorkin K.V., Kostyukhin M.N., available at: <http://refshare.com.ua/309/33023/> (assecced 16 September 2014).
6. Bugorskii V.N., Nikitin N.A., available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/neyronnye-seti-v-upravlenii-roznichnoy-torgovley> (assecced 16 September 2014).
7. Zhukov D.S., Konishchev V. V., Lyamin S. K. *Fraktal'noe modelirovanie istoriko-demograficheskikh protsessov* (Fractal modeling of historical and demographic processes), Moscow: Internum, Tambov: Izdatel'skii dom Tambovskogo gosudarstvennogo universiteta im. G. R. Derzhavina, 2011, 195 p.
8. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Kryukov E.A. *Modelirovanie predel'nykh rezhimov elektroenergeticheskikh sistem s uchetom prodol'noi i poperechnoi nesimmetrii* (Simulation limit modes of electric power systems, taking into account longitudinal and transverse asymmetry), Irkutsk: ISEM SO RAN, 2006, 139 p.
9. Makarenko N.G., in Tyumentsev Yu.V. (Ed.) *Nauchnaya sessiya MIFI – 2007. IX Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Neuroinformatika – 2007»: Lektsii po neuroinformatike* (Scientific session of the MEPI - 2007. IX All-Russian scientific and technical conference “Neuroinformatics – 2007”. Lectures on neuroinformatics), Moscow: MIFI, 2007, vol. 1, pp. 52-93.

Fractal Modeling and Neural Electrical Networks

A. N. Kagdin, D. A. Dzhaparova, K. I. Terekhov

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: distributive electric-sky network; fractal modeling; modeling of electric networks; neural networks.

Abstract: The paper contains the basic prerequisites for the use of fractals and neural networks for modeling of electric power systems. The paper deals with the advantages and disadvantages of these methods of modeling. It considers the topological dimension of networks in the distribution of electrical energy. We describe the fractal properties of the regions of stability of electric power systems. The paper analyzes the possibility of predicting the behavior of electric power systems using neural networks. We discuss the future prospects of the use of fractals in modeling.

© А. Н. Кагдин, Д. А. Джапарова, К. И. Терехов, 2014