

О ПРИМЕНЕНИИ КЛАСТЕРНОГО МЕТОДА АНАЛИЗА НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Коробейникова М.В.,

научный руководитель д-р. техн. наук Слободян С.М.

Томский политехнический университет

В процессе функционирования электроэнергетическая система (ЭЭС) непрерывно подвергается малым (изменение нагрузок, коммутация элементов схемы и т.д.) и большим (короткие замыкания, большие сбросы и набросы мощности и т.д.) воздействиям, которые вызывают изменение параметров режима – реакцию ЭЭС.

Состав и величина изменений параметров зависят как от силы возмущений, так и от свойств самой ЭЭС – топологии сети и ее параметров. Таким образом, очень важно владеть информацией о чувствительности конкретных параметров к возмущениям и знать от каких факторов чувствительность зависит (для целей определения желаемого изменения этих факторов в процессе эксплуатации и развития ЭЭС). Более того, для надёжного, качественного и экономичного электроснабжения часто требуется выделять группы параметров, реакции которых на возмущение схожи (согласованы).

Ввиду вышеуказанных причин, целью данной работы является поиск метода выявления наиболее чувствительных к внешним воздействиям параметров (сенсоров), что в дальнейшем позволит определить их связь с параметрами ЭЭС и использовать эту информацию для улучшения поведенческих свойств ЭЭС – управляемости, надёжности, контролируемости.

Задача анализа неоднородностей ЭЭС заключается в том, чтобы с использованием матриц обобщенных связей элементов ЭЭС и информации о местах приложения возмущений найти подходящие методы, дающие возможность выявить сенсорные элементы ЭЭС. Для оценки эффективности разных форм и топологической структуры элементов и узлов систем в условиях изменяющихся воздействий и нагрузок могут быть использованы различные методы структурно оптимизации, которые успешно применяют для улучшения эксплуатационных свойств разных типов объектов.

Представляя структуру (схему) электрической сети в виде совокупности постоянно повторяющегося простейшего (единичного) её элемента, можно говорить о фрактальности такой сети. Фракталы – это самые разные системы, начиная от кристаллов и просто кластеров (различного рода скоплений, таких как облака, реки, горы, материки, звёзды), заканчивая экосистемами и биологическими объектами (от листа папоротника до человеческого мозга). Фракталы являются, с одной стороны, сложными объектами (содержат бесконечное множество элементов), с другой стороны – построены по очень простым законам. Фрактал выгодно отличается от природного объекта тем, что имеет строгое математическое определение и поддаётся строгому формализованному описанию и анализу своей структуры.

Существенно, что фрактальный объект, кажущийся построенным по случайному закону и поэтому выглядящий как неупорядоченная система, все же имеет внутренний порядок. Параметром, характеризующим этот порядок, является фрактальная размерность. Фрактальной размерностью ограниченного множества (размерностью Минковского) в метрическом пространстве равна:

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(N_\varepsilon)}{-\ln(\varepsilon)} \quad (1),$$

где N_ε — минимальное число множеств диаметра ε , которыми можно покрыть рассматриваемое множество. Понимание этого факта дает экспериментаторам возможность более детально исследовать такие системы, что подтверждается опытом последних лет.

Одним из известных способов вычисления фрактальной размерности в двумерном случае (структурная схема энергосистемы является двумерным объектом) является клеточный метод, описание которого приведено ниже. Область, содержащая фрактал A (изучаемая схема сети), на каждом этапе разбивается на квадратные клетки размером ε (на каждом этапе размер отличен от предыдущего). Затем подсчитывается число клеток $N(\varepsilon)$, необходимых для покрытия A в каждом случае. Полученные значения либо подставляются в соотношение

$$\log N(\varepsilon_i) = -d \cdot \log \varepsilon_i \quad (2),$$

где d — фрактальная размерность, либо строится билогарифмический график зависимости $\ln N(\varepsilon_i)$ от размера клетки $\ln \varepsilon_i$ (рис.1), где тангенс угла наклона прямой является фрактальной размерностью d .

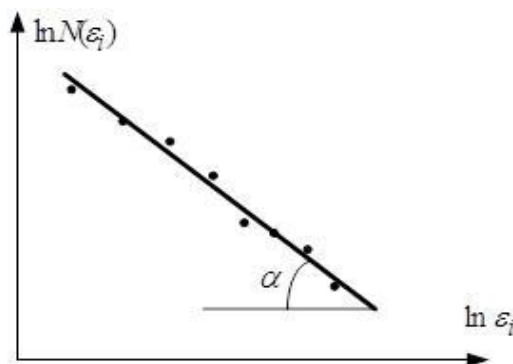


Рис.1. Клеточный способ определения фрактальной размерности

Применение данного метода в целях, указанных ранее, в данный момент не представляется возможным. Во-первых, ввиду сложности выбора масштаба сети, от чего в конечном итоге зависит величина d . Во-вторых, практическая ценность данной величины для анализа неоднородностей ЭЭС не совсем ясна. В качестве предположения может рассматриваться вариант комплексного применения фрактальной размерности с рядом других, более приближенных к электроэнергетике, величин, например, в целях вероятностного анализа распределения сенсоров (наиболее чувствительных элементов).

Для сложных и многогранных объектов, подобных энергосистеме, существуют современные, более подходящие для подобных структур методы. В настоящее время известны следующие виды анализа неоднородностей электроэнергетических систем: сингулярный, спектральный, структурный.

Для переходных процессов чаще используется анализ различных показателей взаимной связи между генераторами с применением методов кластерного анализа. Следует напомнить, что кластер является примером фрактальной структуры, что в последующем может послужить причиной связи кластерного анализа, вычисления фрактальной размерности и вероятностного анализа в целях комплексного изучения распределения и влияния неоднородностей на поведенческие свойства ЭЭС.

Структурный анализ ЭЭС позволяет на основе структуризации исходной или эквивалентной схемы ЭЭС выявить статические и динамические свойства ЭЭС без проведения традиционных трудоёмких расчетов режимов и переходных процессов. Ключ-

чевой исходной посылкой структурного анализа является то, что поведение ЭЭС определяется взаимным поведением генераторов в переходном процессе.

В основе структурного анализа лежит определение «слабых сечений» ЭЭС посредством кластерного анализа – множества вычислительных процедур, которые формируют либо выявляют иерархии (разбиения) на базе тех или иных совокупностей данных. Совокупность объектов представляется в виде иерархической системы подмножеств (кластеров), получаемой с помощью либо последовательных объединений пар ближайших друг к другу кластеров, либо, наоборот, последовательного деления всего множества объектов. Под кластером здесь понимается заданная на совокупности объектов группа объектов, для которой сходство любых двух принадлежащих ей объектов выше, чем сходство любого принадлежащего группе объекта с любым не принадлежащим группе объектом.

Изложение ведется в предположении, что известна симметричная матрица, ранг которой – число генераторов ЭЭС, а элементы – количественные показатели сходства или различия поведения генераторов в переходном процессе. Таким образом, в качестве объектов классификации выступают генераторы, а в качестве кластеров – их группы (подсистемы генераторного графа).

Пусть известна матрица сходства $\mathbf{P} = [p_{ij}]$ или различия $\mathbf{D} = [d_{ij}]$ некоторых объектов, каждый элемент которой представляет собой количественную меру величины сходства или различия двух объектов, определяющих его место в матрице. Пусть при этом нулевое значение элемента соответствует отсутствию информации о сходстве или различии сравниваемых объектов. Будем считать два объекта различными, если значение отвечающего им элемента матрицы сходства ненулевое и не превышает некоторого предварительно заданного "порогового" значения.

На основании одной из этих матриц и заданного порогового значения ($p^{\text{пред}}$ для сходства или $d^{\text{пред}}$ для различия), при достижении которого соответствующие элементу матрицы объекты становятся различными, может быть определена матрица отношений сходства (различия) $\mathbf{R} = [r_{ij}]$ между объектами, каждый элемент которой может принимать одно из трех дискретных значений:

- *сходство*, т.е. $r_{ij} = 1$: при $p_{ij} > p^{\text{пред}}$ или при $0 < d_{ij} < d^{\text{пред}}$. Сходство двух объектов означает обязательность включения этих объектов в одну группу;
- *различие*, т.е. $r_{ij} = -1$: при $0 < p_{ij} < p^{\text{пред}}$ или при $d_{ij} > d^{\text{пред}}$. Различие двух объектов означает невозможность включения этих объектов в одну группу;
- *неопределенность сходства (различия)*, т.е. $r_{ij} = 0$: при $p_{ij} = 0$ или $d_{ij} = 0$. Неопределенность сходства (различия) двух объектов, допускающая как включение, так и не включение этих объектов в одну группу.

Результатом кластеризации является агрегированная информация о когерентности генераторов. Когерентность, в свою очередь, является противоположной сенсорности стороной проявления реакции ЭЭС на внешние возмущения. Большая или меньшая когерентность элементов ЭЭС определяется обобщенными связями этих элементов по отношению к местам приложения возмущений.

Знание «слабых сечений» ЭЭС, полученное в результате кластерного анализа позволяет:

- выбрать меры для того, чтобы сделать ЭЭС более «прочной», снизить реакцию на внешние возмущения;
- сократить число вариантов (сценариев) возмущений, которые надо учитывать при оперативной оценке допустимости и надежности режима;
- снизить объем вычислительной работы за счет улучшения обусловленности при эквивалентировании слабых мест.