

УДК 621.311.21

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ КАСКАДНЫХ АВАРИЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Шахмаев И.З., Гайсин Б.М., Кабиров А.М., Шагиев В.Ф.

ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, Россия (450000, Уфа, ул. Карла Маркса, 12), e-mail: GB9688@yandex.ru

Произведен анализ влияния неоднородности электроэнергетических систем на возникновение каскадных аварийных процессов. Производилось изменение неоднородности параметров электрической схемы сети по отношению к изначально однородной схеме. Получены качественные результаты, определена граница областей существования режимов для исследуемой схемы сети в условиях различной неоднородности и определены запасы по отношению к исходному режиму сети. На основании расчетов сформированы диаграммы, указывающие на развитие аварийного процесса в исследуемой модели неоднородной электроэнергетической системы при различных утяжелениях режима. Сформирован алгоритм поиска каскадных аварийных процессов. Определены области режимов электроэнергетических, находящихся в шаге X по критерию N-X, от области потери устойчивости по напряжению.

Ключевые слова: надежность работы энергосистемы; живучесть энергосистем; формирование режимов; отказ элемента; каскадный процесс; неоднородность электросети; топологические свойства сети; отстройка от каскадной аварии.

THE INFLUENCE HETEROGENEITY PARAMETERS ON THE EMERGENCE CASCADE DISTURBANCE IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS

Shakhmaev I.Z., Gaysin B.M., Kabirov A.M., Shagiev V.F.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia (450000, Ufa, street Karl Marx, 12), e-mail: GB9688@yandex.ru

We have done the analysis of the effect of heterogeneity on the emergence cascading disturbance on electrical power systems. We have done carried out changing the electrical inhomogeneity of the parameters network diagrams with respect to the initially homogeneous scheme. Qualitative results obtained, determine the boundaries of the study modes for network diagrams under different heterogeneity. In accordance with this area identified reserves in relation to the initial mode network. Based on calculations shaped diagram indicating the development of emergency in the study model of an inhomogeneous electrical network under different weighting. Formed algorithm for searching cascade processes path for the N-X criterion. Identified the ranges of the power system are in step X for the N-X criterion on the area of voltage collapse.

Keywords: reliability of power system, survivability of power systems, formation regimes; failure of element; cascade process; heterogeneity of the grid; topological properties of power system; detuning from the cascade disturbance.

Во всем мире в различных крупных энергоузлах, энергосистемах с развитой распределительной сетью время от времени происходит погашение большого объема потребителей в результате каскадного процесса. Это определяет необходимость в разработке новых дополнительных мер по предотвращению аварий подобного типа.

Существующие сегодня методы предотвращения каскадных процессов основаны на механизмах предотвращения потери устойчивости в узлах, системах [3]. Поэтому каскадный процесс рассматривается фактически в этой модели на стадии лавинного процесса, после отказа (отключения) X триггерных элементов ЭЭС в рамках критерия N-X.

В предлагаемой здесь модели каскадный процесс рассматривается как процесс, в котором отключение одного элемента безусловно влечет за собой отключение следующего

элемента. Тогда в этой модели каскадный процесс может начинаться задолго до лавинного процесса и продолжается до тех пор, пока отключение каждого следующего элемента приводит к отключению последующего. Если последующее отключение не происходит, то каскадный процесс прекращается. Каскадный процесс не обязательно заканчивается аварией по потере устойчивости, в том числе по устойчивости по напряжению. Возможность существования каскадных процессов в энергосистемах определяет их живучесть [7].

В модели можно принять, что токовая нагрузка элемента энергосистемы выше допустимой приводит к его разрушению (отключению). Тогда необходимым условием существования каскадного процесса является неравенство

$$I_{ji} + \Delta I_{ji} > I_{допji}, \quad (1)$$

которое должно выполняться на каждом следующем шаге аварийного отключения. Невыполнение неравенства приводит к останову каскадного аварийного процесса [8].

Для отстройки от каскадного процесса можно применить используемый сегодня в методе отстройки от потери устойчивости критерий надежности $N-1$ [1], для ряда стран $N-X$ [4]. Критерий надёжности « $N-X$ » – способность энергосистемы из N элементов сохранять заданный параметр надежности (в рассматриваемом случае – живучести) при потере любых X сетевых элементов или источников генерации.

Начальная стадия каскадных аварий в электроэнергетических системах может развиваться медленно, и тогда протекает достаточно длительный период времени [2]. При этом изменяются мощности (генерации или нагрузок) в узлах, а также параметры сети и (или) её топология. Вследствие возмущений в системе могут произойти сложные многоэтапные (каскадные) изменения, в процессе которых в результате действий противоаварийной автоматики, релейной защиты, диспетчера происходят отключения и включения элементов сети, генерирующих мощностей и нагрузок.

Во второй стадии, по сути, являющимися лавинными процессами, единственным способом предотвращения событий, очевидно, остается способ опережения лавинного процесса путем воздействия устройств, изменяющих соответственным образом баланс узла, в котором идет процесс.

В зависимости от свойств топологии в многомерном пространстве сети отклик на возмущение имеет различный характер, что может привести к развитию каскадного аварийного процесса, который можно разделить на два периода: установившееся развитие и быстротекущее каскадное отключение. В период начального развития, когда каскадный

процесс протекает медленно, есть возможность предпринять действия, чтобы остановить распространение лавинной стадии каскадного процесса. В период быстротекущего каскадного процесса баланс между генерацией и потреблением нарушается, объекты энергосистемы массово отключаются, и развал энергосистемы (энергоузла) происходит за очень короткий промежуток времени. В этой части каскадного процесса доля случайных отключений может оставаться на уровне медленной части, но так как объем отключений существенно возрастает, увеличивается и общая величина случайных действий (отключений), что в целом формирует усиление влияния случайности в этой стадии процесса.

Теоретические основы и практические рекомендации методов обеспечения надежности и живучести отражены в отечественных и зарубежных публикациях. Однако продолжающееся периодически возникновение каскадных аварий с крупным погашением потребителей показывает отсутствие инструмента предотвращения каскадных процессов в условиях различных структур и параметров реальных энергосистем и необходимость его разработки.

Обеспечение живучести энергосистем определяется рядом объективных условий, среди которых важнейшим являются сложившаяся топология сети.

При исследовании возможности существования каскадных процессов в электроэнергетических системах определен вариант области существования режимов работы энергосистем (рис. 1) [8], который предлагается использовать для формирования управляющих алгоритмов при управлении режимом энергосистем, энергоузлов. На рисунке 1 показаны области существования режимов и возможные переходы между областями, расширяющими логическое поле принятия решений для прогнозирования аварии в энергосистеме:

- 1) Допустимый режим – возмущение – допустимый режим.
- 2) Пограничная область «В» – возмущение – недопустимый режим.
- 3) Пограничная область «Б» – возмущение – каскадный аварийный процесс – недопустимый режим.
- 4) Пограничная область «А» – возмущение – каскадный процесс – допустимый режим (пограничная область «А»).

Здесь подразумевается возмущение для принятого критерия N-X.

Применительно к областям существования режимов работы энергосистем (рис. 1) проведено исследование влияния неоднородности ЭЭС на возникновение аварийных

процессов с целью формирования мероприятий по их предотвращению и повышению живучести ЭЭС.

В ходе исследования в программном комплексе «RastrWin» создана схема сети, состоящая из 25 узлов (рис. 2). В которой целенаправленно производилось искажение параметров сопротивлений (R , X), проводимостей (B); параметров узлов по генерируемой (P_g , Q_g) и потребляемой мощности (P_n , Q_n) исследуемой энергосети. Именно эта схема использована для иллюстрации основных положений и выводов, что оправдано и для других ЭЭС, обладающих соответствующими свойствами неоднородности.

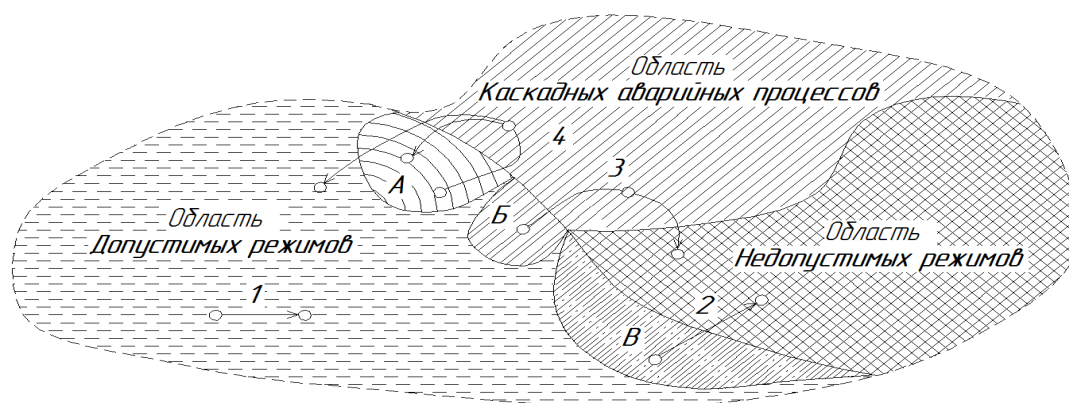


Рис.1. Области существующих режимов и пути развития переходов между областями

Поиск путей развития каскадных аварийных процессов по критерию $N-X$ для заданного режима и топологии произведен путем расчета установившихся режимов [5, 6] рассматриваемого энергоузла (энергорайона, энергосистемы) с целью определения возможности его существования для совокупности элементов контролируемого энергоузла всех источников генерации $S_{n,k G}$, нагрузки $S_{n,k H}$, элементов системообразующей топологии L_n (рис. 2). Расчет и анализ произведен следующим образом:

1. Если при отключении каждого источника генерации $S_{n,k G}$, нагрузки $S_{n,k H}$, элемента системообразующей топологии L_n (рис. 2) неравенство (1) не верно для всех случаев проверки, это означает, что по критерию $N-X$ каскадный аварийный процесс для заданных режима и топологии не существует. Следовательно, проверка на возможность существования каскадного процесса по критерию $N-X$ для заданных режима и топологии закончена, шаг 2 производить не требуется. Данный переход в рамках области допустимых режимов показан на рисунке 1: допустимый режим – возмущение – допустимый режим.
2. Если при отключении каждого из источников генерации $S_{n,k G}$ нагрузки $S_{n,k H}$, элементов системообразующей топологии L_n (рис. 2), проверка показывает недопустимость

получаемого режима по условиям устойчивости хотя бы для одного случая проверки, это означает, что по критерию $N-X$ заданный режим по условиям устойчивости не существует, и производить проверку на возможность существования каскадного процесса по критерию $N-X$ для заданных режима и топологии на шаге 2 не требуется. Данный переход показан на рисунке 1: пограничная область «В» – возмущение – недопустимый режим.

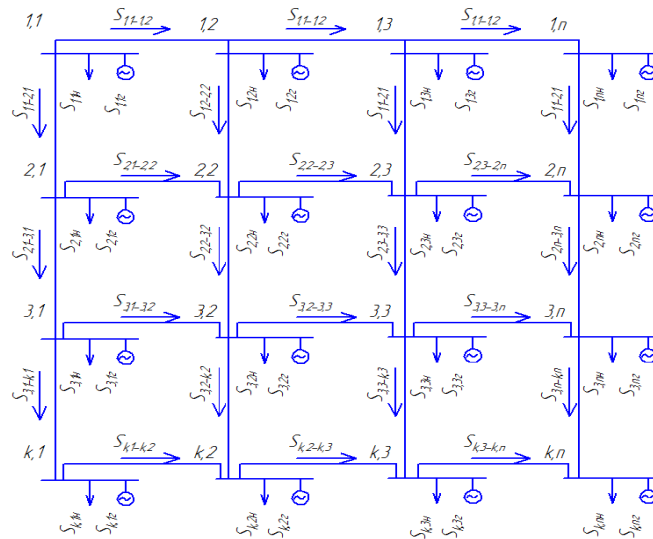


Рис. 2. Информация о совокупности всех элементов контролируемого энергоузла (энергорайона, энергосистемы)

3. Если при отключении каждого из источников генерации $S_{n,k G}$, нагрузки $S_{n,k H}$, элементов системообразующей топологии L_n (рис. 2), неравенство (1) верно для одного (или нескольких) элементов контролируемого узла L_n из всех случаев проверки, но проверка по п. 2. показывает недопустимость получаемого режима по условиям устойчивости, это означает, что по критерию $N-X$ каскадный процесс для заданных режима и топологии существует на 1-ом шаге. Но так как режим по условиям устойчивости не существует, то производить проверку на возможность существования каскадного процесса по критерию $N-X$ для заданных режима и топологии на шаге 2 не требуется. Данный переход показан на рисунке 1: пограничная область «Б» – возмущение – каскадный аварийный процесс – недопустимый режим.

4. Если при отключении одного из генераторов $S_{n,k G}$, нагрузки $S_{n,k H}$, элементов системообразующей топологии L_n (рис. 2) неравенство (1) верно для одного (или нескольких) элементов контролируемого узла L_n из всех случаев проверки, а проверка по п. 2 показывает допустимость получаемого режима по условиям устойчивости, это означает, что по критерию $N-X$ каскадный процесс для заданных режима и топологии существует на 1-

ом шаге. Это означает, что необходимо продолжить проверку на возможность существования каскадного процесса по критерию $N-X$ для заданных режима и топологии на шаге 2. Данный переход показан на рисунке 1: пограничная область «А» – возмущение – каскадный процесс – допустимый режим (пограничная область «А»).

Исследовательской группой проведен ряд экспериментов, в которых: производилось изменение неоднородности параметров ЭЭС по отношению к изначально однородной схеме сети. Получены качественные результаты, определена граница областей существования режимов для исследуемой схемы сети в условиях различной неоднородности. В соответствии с данной областью определены запасы по отношению к исходному режиму сети. На основании расчетов сформированы диаграммы, указывающие на развитие аварийного процесса в исследуемой модели неоднородной электротехнической сети при различных утяжелениях (рис. 3).

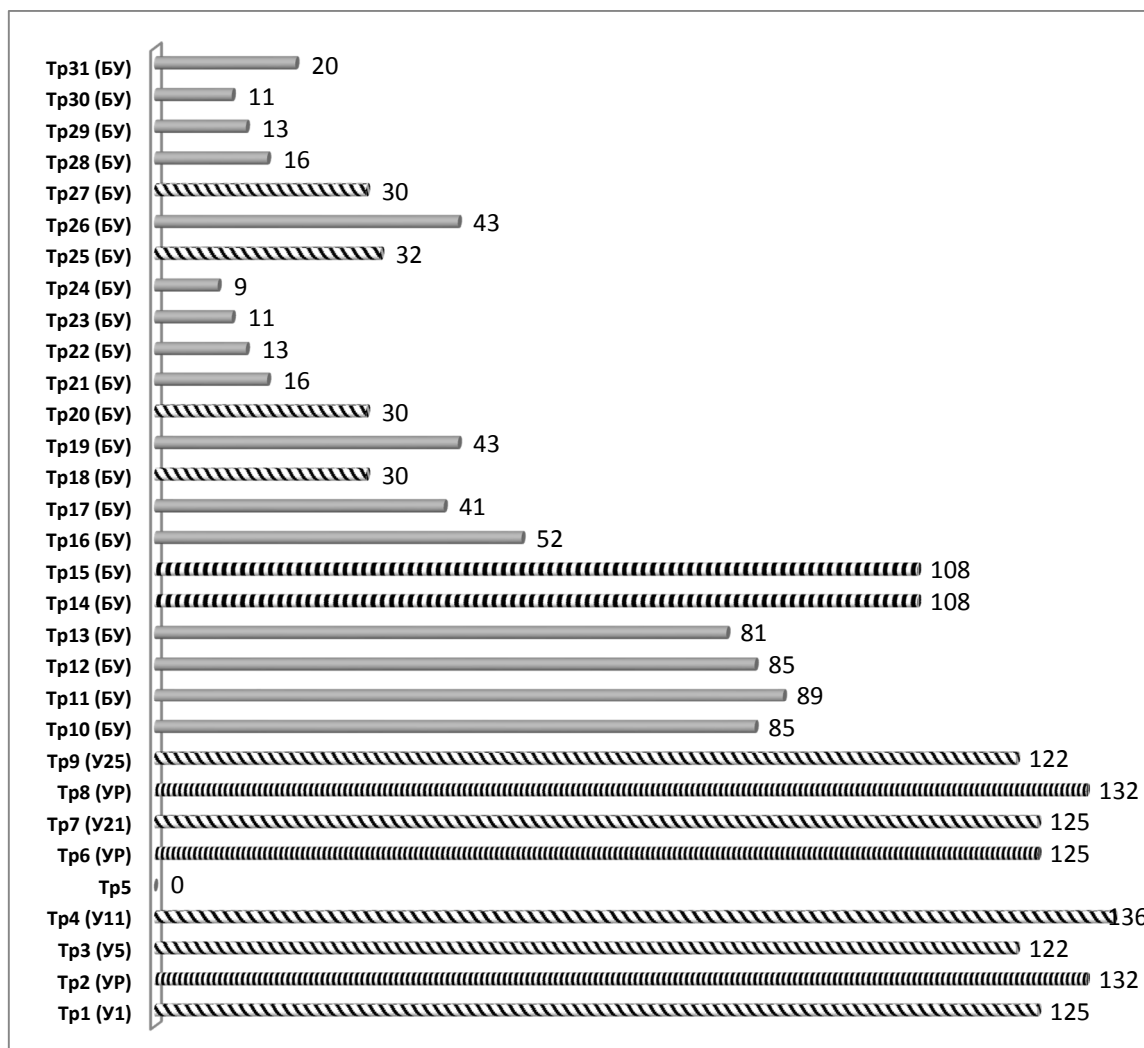


Рис. 3. Диаграмма, отражающая количество итераций, при которых начался каскадный процесс, закончившийся: установившимся режимом (вертикальная штриховка),

потерей устойчивости по напряжению (косая штриховка), потерей балансирующего узла (серые столбцы)

Выводы

Сформирован алгоритм на основе модели каскадных процессов в неоднородных электроэнергетических сетях (энергоузлах), позволяющий определить близость режима к предельному, а также указать области ЭЭС, находящиеся в шаге X по критерию $N-X$ от области потери устойчивости по напряжению. Модель выявления и предотвращения аварийных процессов позволяет определить процесс поиска и предотвращения каскадных процессов в электроэнергетических сетях. Алгоритм позволяет минимизировать влияние неоднородности на возникновение аварийных процессов в ЭЭС и проводить мероприятия по проектированию и построению равнопрочной живучей электроэнергетической сети.

Список литературы

1. Бондаренко А.Ф., Герих В.П. О трактовке критерия надежности N-1 // Электрические станции. – № 6. – 2002. – С. 40-43.
2. Воропай Н.И., Ефимов Д.Н. Решетов В.И. Анализ развития системных аварий в электроэнергетических системах // Электричество. – №10. – 2008. – С.12-24.
3. Методические указания по устойчивости энергосистем. Утв. приказом Минэнерго РФ от 30.06.2003. № 277.
4. Мисриханов М.Ш., Седунов В.Н., Шунтов А.В. Основы резервирования в системах генерации и транспорта электроэнергии. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 128 с.
5. Идельчик В.И. Электроэнергетические системы и сети: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
6. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
7. Шахмаев И.З. О способах предотвращения каскадных процессов в энергосистемах // Вестник УГАТУ. Энергетика, электротехнические комплексы и системы. – Т. 13. – № 1(34). – Уфа: УГАТУ, 2009. – С. 176–179.
8. Шахмаев И.З. Каскадные процессы в электротехнических системах и методы их предотвращения: Автореферат дисс... – Уфа, 2012.

Рецензенты:

Саттаров Р.Р., д.т.н., профессор, ГОУ ВПО УГАТУ, кафедра электромеханики, г. Уфа.

Хайруллин И.Х., д.т.н., профессор, ГОУ ВПО УГАТУ, кафедра электромеханики, г. Уфа.