

**Алгоритмы получения эквивалентов для районов управления в КСПА****О.В. Захаркин, Е.Ю. Ивахненко**

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

Система ПА крупных энергообъединений включает в себя несколько районов противоаварийного управления, в каждом из которых действует свой центр управления. В число задач центра управления энергорайона входит выбор дозировки управляющих воздействий (УВ) при авариях в контролируемом районе. Выбор дозировки осуществляется устройством АДВ, работающим по тому или иному алгоритму.

Наиболее перспективными алгоритмами выбора дозировки УВ являются алгоритмы, работающие по принципу I-ДО и использующие в контуре управления математическую модель системы, на которой проигрываются возможные аварийные ситуации и определяются мероприятия по предотвращению нарушения устойчивости. К числу таких алгоритмов относится алгоритм НИИПТа [1], использующий узловую модель системы, и алгоритм ЗАО ИАЭС [2], использующий модель системы в виде уравнений установившегося режима с учетом статических характеристик генераторов и нагрузок по частоте и напряжению. Во втором случае в контуре управления участвует математическая модель района управления (РУ), содержащая кроме элементов схемы самого района внешние эквиваленты примыкающих частей системы.

Центр управления каждого района располагает своей системой сбора и передачи доаварийной информации, обеспечивающей устройство АДВ района данными о текущем режиме работы этого района, но не контролирующей режим работы соседних РУ. Поэтому задача определения параметров внешних эквивалентов не может быть решена на уровне РУ и должна решаться на уровне системы (в координирующем центре ПА энергообъединения), где собирается информация о режиме работы всех РУ (информация от ОИК, от систем ТИ и ТС энергорайонов).

Основными задачами координирующей системы ПА энергообъединения (КСПА) являются: выбор УВ и настройка устройств управления нижнего уровня (при их работе в режиме АЗД); контроль дозровок воздействий, выбранных устройствами управления нижнего уровня (при их работе как самостоятельных центров управления); обеспечение взаимодействия устройств управления нижнего уровня при не-

достаточности собственных ресурсов управления в районе, где произошла авария; определение параметров внешних эквивалентов и формирование математических моделей районов для центров управления нижнего уровня.

На основе информации о режиме работы энергообъединения в КСПА может быть сформирована математическая модель всей системы, воспроизведен ее текущий режим и проведено ее эквивалентирование с целью определения параметров внешних эквивалентов для каждого РУ. Выполнение всех этих операций должно проводиться в темпе обновления информации о текущем режиме работы системы, поставляемой системами сбора и передачи данных о состоянии элементов системы и телеизмерений режимных параметров. Поэтому быстроедействие и универсальность алгоритмов эквивалентирования, используемых в контуре управления, имеют большое значение.

Задача получения внешних эквивалентов РУ на уровне КСПА может решаться путем свертки полной схемы системы относительно границ района и определения параметров ее эквивалентов в узлах примыкания РУ к системе. Свертка схемы сети может быть выполнена на основе метода Гаусса с преобразованием матрицы проводимостей и задающих токов узлов полной схемы сети всей системы.

Рассмотрим возможные варианты алгоритма получения эквивалентов для РУ в КСПА.

### **1. Независимая свертка схемы сети системы относительно узлов примыкания каждого РУ.**

Алгоритм свертки схемы при таком способе получения эквивалентов состоит из следующих операций:

Шаг 1 – считывание информации о параметрах и режиме полной схемы;

Шаг 2 – определение узлов примыкания очередного РУ к схеме сети;

Шаг 3 – формирование матрицы проводимостей с вынесением узлов исключаемых РУ в начало списка; граничных узлов в середину списка; узлов РУ, для которого производится определение эквивалента, в конец списка;

Шаг 4 – исключение узлов эквивалентруемой части схемы, определение параметров эквивалента в граничных узлах;

Шаг 5 – проверка завершения процесса определения эквивалентов для всех РУ. Если да, то окончание процесса эквивалентирования; если нет, то – шаг 1.

Очевидно, что это весьма трудоемкий по времени путь, хотя и достаточно прост в алгоритмическом отношении при решении задачи эк-

вивалентирования в автоматическом режиме. Достоинство – получение полностью сформированной математической модели каждого РУ. Может использоваться при любой структуре связей между РУ.

**2. Последовательная свертка схемы сети относительно узлов примыкания РУ, связанных в цепочечную структуру** (например – ОЭС Сибири). При данной структуре связей процесс свертки схемы сети относительно узлов примыкания РУ может быть организован таким образом, что уже полученные для отдельных районов эквиваленты используются при получении эквивалентов последующих РУ. Так как РУ при цепочечной структуре связей имеют узлы примыкания с двух сторон (кроме конечных районов), то процесс сворачивания схемы сети относительно узлов примыкания каждого РУ должен включать два этапа. Первый этап – эквивалентирование с одного конца схемы до узлов примыкания последнего в цепи РУ на противоположном конце схемы, второй этап – с противоположного конца схемы до узлов примыкания первого в цепи РУ.

Алгоритм свертки схемы при этом способе получения эквивалентов состоит из следующих операций.

*Первый этап* – прямой ход процесса свертки схемы сети:

Шаг 1 – считывание информации о параметрах и режиме полной схемы;

Шаг 2 – формирование матрицы проводимостей по блокам, состоящим из параметров сети отдельных РУ и соответствующим расположению РУ от начала к концу схемы системы. Граничные узлы между РУ располагаются между соответствующими блоками;

Шаг 3 – исключение узлов очередного блока матрицы, соответствующего одному из РУ;

Шаг 4 – определение параметров эквивалента в граничных узлах для свернутого участка схемы; запоминание параметров эквивалента как внешнего эквивалента к следующему РУ со стороны начала схемы;

Шаг 5 – проверка факта окончания процесса определения эквивалентов для всех РУ. Если да, то окончание процесса сворачивания схемы сети; если нет, то – шаг 3.

*Второй этап* – обратный ход процесса свертки схемы сети:

Шаг 1 – считывание информации о параметрах и режиме полной схемы;

Шаг 2 – формирование матрицы проводимостей по блокам, состоящим из параметров сети отдельных РУ и соответствующим расположению РУ от конца к началу схемы системы. Граничные узлы между РУ располагаются между соответствующими блоками;

Шаг 3 – исключение узлов очередного блока матрицы, соответствующего одному из РУ;

Шаг 4 – определение параметров эквивалента в граничных узлах для свернутого участка схемы; запоминание параметров эквивалента как внешнего эквивалента к следующему РУ со стороны конца схемы;

Шаг 5 – проверка факта окончания процесса определения эквивалентов для всех РУ. Если да, то окончание процесса сворачивания схемы сети; если нет, то – шаг 3.

В данном алгоритме процесс исключения узлов РУ полностью для всей схемы сети повторяется только дважды (по предыдущему алгоритму эту операцию следовало бы выполнить по числу РУ). Ограничения – цепочечная структура расположения РУ в схеме системы. Недостаток – при формировании математических моделей РУ требуется выполнение дополнительных операций по присоединению эквивалентов к схеме энергорайона.

**3. Одновременная свертка схемы сети относительно узлов примыкания всех РУ.** В этом случае вся схема сети сворачивается относительно узлов примыкания всех РУ. Полученный эквивалент схемы имеет вид многоугольника связей между узлами примыкания.

Далее полученная эквивалентная схема из исходного состояния (каждый раз заново) сворачивается относительно узлов примыкания одного из РУ, в результате чего получается эквивалентная схема, содержащая эквивалент выделенного РУ и эквивалент остальной части системы.

Для получения параметров внешнего эквивалента РУ из параметров полученной схемы следует удалить параметры эквивалента самого РУ. Алгоритм получения параметров внешних эквивалентов РУ состоит из трех этапов: получение эквивалентной схемы системы относительно узлов примыкания всех РУ, формирование расчетных схем для определения параметров внешних эквивалентов каждого РУ и определение параметров внешних эквивалентов РУ.

Алгоритм свертки схемы при таком способе получения эквивалентов состоит из следующих операций.

*Первый этап* – получение эквивалентной схемы системы относительно узлов примыкания всех РУ:

Шаг 1 – считывание информации о параметрах и режиме полной схемы;

Шаг 2 – формирование матрицы проводимостей по блокам, состоящим из параметров сети отдельных РУ, при произвольном располо-

жении РУ. Граничные узлы между РУ выносятся в конец списка узлов системы;

Шаг 3 – исключение узлов очередного блока матрицы, соответствующего одному из РУ;

Шаг 4 – определение параметров эквивалента в граничных узлах для свернутого участка схемы; запоминание параметров эквивалента РУ.

Шаг 5 – проверка факта окончания процесса поблочной свертки схемы сети. Если да, то шаг 6; если нет, то – шаг 3.

Шаг 6 – запоминание параметров эквивалента системы относительно узлов примыкания всех РУ. Завершение этапа.

*Второй этап* – формирование расчетных схем для каждого РУ:

Шаг 1 – восстановление параметров эквивалента системы относительно узлов примыкания всех РУ;

Шаг 2 – определение узлов примыкания очередного РУ к схеме сети;

Шаг 3 – формирование расчетной схемы системы в виде эквивалента относительно узлов примыкания выделенного РУ. Запоминание параметров полученной расчетной схемы;

Шаг 4 – проверка факта окончания процесса формирования расчетных схем для всех РУ. Если да, то окончание процесса формирования расчетных схем; если нет, то – шаг 1.

*Третий этап* – определение параметров внешних эквивалентов РУ:

Шаг 1 – выборка параметров эквивалента очередного РУ, полученного на первом этапе;

Шаг 2 – выборка параметров расчетной схемы системы относительно узлов примыкания выделенного РУ, полученной на втором этапе;

Шаг 3 – определение параметров эквивалента внешней сети для узлов примыкания выделенного РУ (изъятие из расчетной схемы параметров эквивалента РУ);

Шаг 4 – проверка факта окончания процесса определения параметров внешних эквивалентов РУ. Если да, то завершение работы алгоритма; если нет, то шаг 1.

В данном алгоритме процесс исключения узлов РУ полностью для всей схемы сети повторяется только один раз. Особенности – для определения параметров эквивалентов внешней сети требуется выполнение дополнительных операций по формированию расчетных схем, при формировании математических моделей РУ требуется выполнение дополнительных операций по присоединению эквивалентов к схеме энергорайона.

**Оценка алгоритмов.** Критерием эффективности применения алгоритмов эквивалентирования можно считать число операций, необходимых для преобразования схемы сети. Это число операций может

быть оценено на основе формулы для определения числа операций при вычислении определителя квадратной матрицы по схеме Гаусса [3]:

$$K_{\Delta} = \frac{(N-1)}{3} \cdot (N^2 + N + 3) \quad (1)$$

где  $N$  – порядок квадратной матрицы.

Так как при эквивалентировании схемы сети остаются необработанными узлы одного из РУ, то из числа операций преобразования полной матрицы (1) необходимо вычесть операции преобразования узлов оставляемого РУ. Если предположить, что  $m$  РУ содержат одинаковое количество узлов, то после некоторых преобразований получаем формулу, отражающую число операций по эквивалентированию исходной схемы сети из  $N$  узлов до размеров РУ, содержащего  $N/m$  узлов:

$$K_c = \frac{1}{3} \left[ N^3 \left( 1 - \frac{1}{m^3} \right) - N \left( 1 - \frac{1}{m} \right) \right] \quad (2)$$

**Алгоритм 1.** В алгоритме 1 операция эквивалентирования полной схемы сети до размеров РУ выполняется  $m$  раз – по числу РУ. Поэтому число операций составит:

$$K_l = K_c \cdot m = \frac{m}{3} \left[ N^3 \left( 1 - \frac{1}{m^3} \right) - N \left( 1 - \frac{1}{m} \right) \right] \quad (3)$$

**Алгоритм 2.** В алгоритме 2 операция свертки схемы сети до размеров РУ выполняется дважды. Поэтому число операций составит:

$$K_{II} = K_c \cdot 2 = \frac{2}{3} \left[ N^3 \left( 1 - \frac{1}{m^3} \right) - N \left( 1 - \frac{1}{m} \right) \right] \quad (4)$$

**Алгоритм 3.** Сворачивание схемы сети производится один раз относительно узлов примыкания всех РУ, другой раз сворачивание эквивалентной схемы сети относительно узлов примыкания каждого РУ. Таким образом, выполняется одно преобразование исходной схемы и  $m$  преобразований эквивалентной схемы.

Так как число операций в этом алгоритме зависит от количества узлов примыкания каждого РУ, то в предположении, что все РУ имеют одинаковое число узлов примыкания ( $l$ ), получим общее число операций на первом этапе:

$$K_{III}^1 = \frac{(N-1)}{3} \cdot (N^2 + N + 3) - \frac{[l(m-1)-1][l(m-1)]^2 + l(m-1)+3}{3} - [N - l(m-1)] \quad (5)$$

Общее число операций на втором этапе при получении эквивалента для одного РУ будет составлять:

$$K_{III}^2 = \frac{[l(m-1)-1]}{3} \cdot [l(m-1)]^2 + l(m-1)+3 - \frac{(l-1)(l^2+l+3)}{3} - l(m-2) \quad (6)$$

Затраты на преобразование схемы сети по алгоритму 3 составят:

$$K_{III} = K_{III}^1 + m \cdot K_{III}^2 \quad (7)$$

Для схем, содержащих 100 и 200 узлов, сравнение алгоритмов эквивалентирования по числу операций преобразования представлено на рис.1. Дополнительно произведена оценка алгоритма 3 для разного количества узлов примыкания ( $l=2, 4$  и  $6$ ).

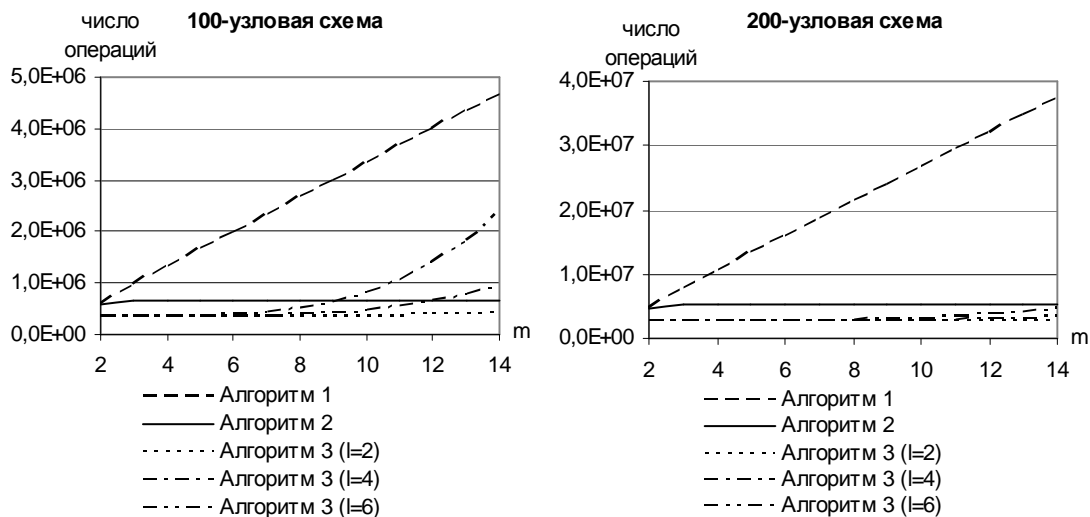


Рис.1. Сравнение алгоритмов по числу операций

Из рисунка видно, что минимальное число операций имеют алгоритмы 2 и 3. Алгоритм 2 имеет такую особенность, как малая зависимость от числа РУ, но применим только для цепочечных структур сети. Алгоритм 3 эффективен для любого числа РУ и узлов примыкания при количестве узлов более 100, при числе узлов меньше 100 и  $l=5-6$  целесообразно применять этот алгоритм при ограниченном числе РУ (до 8).

#### Список используемой литературы

1. Автоматическое управление и противоаварийная автоматика в крупных энергообъединениях. Сб. науч. тр. НИИПТ. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 110 с.
2. Аржанников С.Г., Захаркин О.В., Петров А.М. Оценка запаса устойчивости установившегося режима ЭС и выбор управлений для его ввода в допустимую область / Электрон. журн. «Новое в российской электроэнергетике», 2005, № 5.
3. Фадеев Д.К., Фадеева В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры. М.-Л.: Физматгиз., 1963.