

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ КООРДИНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПА ОЭС СИБИРИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

О.В. Захаркин, Е.Ю. Ивахненко
ЗАО «ИАЭС»

Иерархическая система противоаварийного управления (ПАУ) призвана решать весь комплекс задач, связанных с управлением Единой энергосистемой (ЕЭС) на всех уровнях территориальной и временной иерархии. В связи с этим встает задача координации взаимодействия существующих комплексов ПАУ, обусловленная двумя составляющими: необходимостью обеспечения комплексов ПАУ каждого из районов требуемой схемно-режимной информацией смежных районов, в том числе – ограничениями при управлении по условиям устойчивости смежного района, а также необходимостью обеспечения управления не только в контролируемом комплексе районе, но и в любом другом, примыкающем к нему энергорайоне [1-3, 5].

Концепция развития системы противоаварийной автоматики (ПА) ОЭС Сибири предусматривает создание в энергообъединении 11 районов ПАУ. Для каждого района определены центры управления, куда будет собираться информация о текущем режиме контролируемой части схемы и где будет осуществляться расчет дозировки управляющих воздействий (УВ). Существенной особенностью ряда районов управления ОЭС Сибири является дефицит собственных ресурсов управления, что приводит к необходимости привлечения к управлению объектов соседних энергорайонов. Из-за цепочечной структуры расположения районов ПАУ в ОЭС Сибири возникает проблема организации взаимодействия их центров управления, вызванная зависимостью пределов мощности по сечениям смежных районов. Это приводит к необходимости создания многоуровневой системы ПА ОЭС Сибири.

Структура иерархической системы ПАУ ОЭС Сибири включает следующие уровни управления (рисунок 1) [1, 4]:

- уровень энергообъединения (координирующая система ПА – КСПА);
- района управления (региональная система ПА – РАДВ);
- локальный или объектный уровень (локальная система ПА – ЛАДВ).

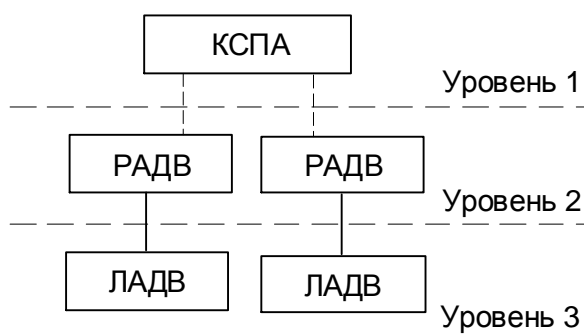


Рисунок 1 – Иерархическая структура единой системы противоаварийной автоматики

При построении координирующих систем ПА допускается использование данных телеизмерений обычных устройств телемеханики, применяемых в ОИК.

Исходные условия. В работах ЗАО ИАЭС по проектированию комплексов ПА для энергорайонов западной и центральной части ОЭС Сибири для дозировки УВ предложено использовать два типа алгоритмов, основанных на принципах I-ДО и II-ДО.

При использовании алгоритма II-ДО связь между аварией, текущим режимом и УВ задается в виде данных таблиц решений, полученных вне контура управления на основе расчетов предельных режимов для каждого послеаварийного состояния схемы контролируемого района. Используемая в контуре управления модель энергорайона включает в се-

бя только сведения о состоянии линий электропередачи в пределах контролируемого энергорайона и перетоках активной мощности по ним в текущем режиме.

При использовании алгоритма I-ДО выбор УВ осуществляется в условиях математической модели района управления, отображающей текущую схему сети и текущий установившийся режим энергорайона. В состав схемы сети района управления входят элементы самого энергорайона и эквиваленты примыкающих к нему частей схемы энергообъединения. Выбор УВ осуществляется на основе расчета предельных режимов математической модели для заданных послеаварийных состояний схемы сети непосредственно в контуре управления. Для формирования математической модели района управления, используемой в алгоритме I-ДО, требуется развитая система сбора и передачи информации, необходимой для воспроизведения текущего состояния и текущего режима сети контролируемого энергорайона.

Эффективность работы системы ПА энергорайона зависит от используемого алгоритма дозировки управляющих воздействий, полноты информации о текущем состоянии схемы и режиме сети в районе управления, от принципов реализации УВ на объектах. С общих позиций использование для дозировки УВ алгоритма I-ДО является более эффективным, так расчет дозировки выполняется непосредственно по данным фактического, а не расчетного состояния системы.

При малом объеме контролируемой схемы и достаточных ресурсах управления в энергорайоне более предпочтительным может оказаться использование алгоритма II-ДО из-за простоты его реализации и небольшого объема данных для его настройки.

При увеличении сложности контролируемой сети, появлении взаимозависимых сечений, недостаточности ресурсов управления в энергорайоне объем данных, требуемых для заполнения таблиц решений алгоритма II-ДО (и, соответственно, количество расчетов по их определению), может непомерно возрасти. Использование алгоритма I-ДО в этих условиях, несомненно, предпочтительнее.

Типовые задачи КСПА [1-3]. К числу задач автоматической координации ПАУ в настоящее время относят следующие задачи:

- задание в текущем времени для каждого комплекса ПА максимально допустимого небаланса мощности;
- выбор мест реализации и максимально допустимых объемов УВ, осуществляемых комплексами ПА за пределами их зоны управления;
- взаимная координация комплексов ПА, установленных на удаленных шунтирующих друг друга электрических связях.

Имеются предложения по включению в число задач координирующей системы ПА задачи настройки комплексов ПА нижнего уровня.

Постановка задач для КСПА ОЭС Сибири. Опыт разработки и использования алгоритмов управления I-ДО, предложенных ЗАО ИАЭС, позволяет по-новому взглянуть на задачи координирующих систем ПА применительно к условиям ОЭС Сибири.

Алгоритм I-ДО ЗАО ИАЭС основан на использовании подробной математической модели системы, описываемой уравнениями установившегося режима и учитывающей характеристики узлов по частоте и напряжению. Если проводить выбор УВ для всех пусковых органов в условиях такой математической модели энергообъединения, сформированной на базе основной системообразующей сети ОЭС Сибири, то задачи координации работы комплексов ПА нижнего уровня несколько видоизменяются.

Во-первых, отпадает необходимость определения максимально допустимых небалансов мощности для отдельных комплексов ПА, так как выбор УВ производится в условиях подробной математической модели, где все взаимосвязи между пределами мощности по сечениям учитываются автоматически.

Во-вторых, выбор мест приложения и объема УВ на объектах, расположенных за пределами зоны действия комплексов ПА при недостаточности их собственных ресурсов управления может быть выполнен по алгоритмам I-ДО с учетом критериев

оптимальности, оценивающих эффективность места приложения управления. При этом также нет необходимости в определении величины максимально допустимых объемов УВ, так как требуемый запас устойчивости послеаварийных режимов учитывается при выборе УВ в самом алгоритме. Роль координирующей системы ПА при этом состоит в выдаче настроек для АДВ районов управления.

Задача 1. С учетом отмеченных обстоятельств в качестве первой задачи КСПА ОЭС Сибири предлагается поставить задачу настройки АДВ районных центров управления. Настройка выполняется на основе результатов расчетов дозировки УВ для всех пусковых органов в условиях схемы ОЭС Сибири, текущий режим работы которой может быть воспроизведен на основе данных ОИК и систем сбора информации отдельных комплексов ПА. Определения допустимых небалансов мощности для каждого комплекса ПА в данном случае не требуется, так как выбор УВ осуществляется с учетом реальной пропускной способности связей и сечений.

Задача 2. В качестве второй задачи КСПА ОЭС Сибири ставится задача выбора мест приложения и объема УВ на объектах, расположенных за пределами зоны действия комплексов ПА при недостаточности их собственных ресурсов управления. Расчет дозировки УВ осуществляется по алгоритмам I-ДО с учетом критериев оптимальности, оценивающих эффективность места приложения управления. Роль КСПА при этом состоит в выдаче координирующих настроек для АДВ районов управления.

Задача 3. Устройства АДВ отдельных районных центров управления могут производить выбор дозировки УВ по алгоритмам I-ДО в условиях математической модели своего района. В состав математической модели района управления входит контролируемая часть схемы сети и внешние эквиваленты смежных частей энергообъединения. Так как в КСПА контролируется основная системообразующая сеть системы, то в качестве третьей задачи КСПА ставится задача определения текущих параметров внешних эквивалентов для каждого района управления и передачи их в соответствующие центры управления. При необходимости в КСПА может быть сформирована и текущая математическая модель района управления.

Способы решения поставленных задач.

Предложения по алгоритму I-ДО. Выбор УВ для настройки и координации взаимодействия РАДВ должен осуществляться на основе наиболее перспективных алгоритмов управления, реализующих принцип I-ДО. Использование алгоритмов I-ДО позволяет учитывать фактическое состояние схемы сети, текущую загрузку ее элементов, фактически доступные ресурсы управления. Эти факторы избавляют от необходимости выполнения трудоемких расчетов по определению областей допустимых режимов для вероятных послеаварийных состояний схемы сети, присущих алгоритмам II-ДО, и обеспечивают возможность выбора УВ, близких к оптимальным.

Применение алгоритмов I-ДО связано с использованием математических моделей системы определенного вида. Как известно, уровень статической устойчивости ЭЭС является общесистемным показателем, что, строго говоря, не позволяет выносить суждение о статической устойчивости системы на основе показателей запаса устойчивости ее отдельных узлов или районов. Поэтому наиболее естественной математической моделью энергосистемы при оценке ее устойчивости, является математическая модель, описываемая уравнениями установившегося режима всей системы, полученными из уравнений переходных процессов на основе метода малых колебаний. Степень детализации математической модели должна соответствовать допущениям, обычно применяемым при анализе статической апериодической устойчивости сложных энергосистем (должны быть учтены статические характеристики нагрузки по частоте и напряжению, моментно-скоростные характеристики турбин, условия регулирования напряжения на шинах генераторов).

Задачей алгоритма I-ДО, включаемого в состав технологических алгоритмов КСПА, является проверка устойчивости послеаварийных режимов системы, рассчитанных

в условиях ее математической модели при заданном наборе аварийных ситуаций, и выбор оптимальных УВ, обеспечивающих ввод режимов в допустимую область.

Оценка статической устойчивости режима и определение границ допустимой области достаточно просто могут быть выполнены при наличии информации о предельных режимах работы системы. Ввиду многозначности возможных путей утяжеления режима и сложности предварительного выбора наиболее опасного из них, задача определения запаса статической устойчивости системы наиболее просто может быть решена путем равномерной деформации области статической устойчивости методами гомотетии. В результате равномерного сжатия области устойчивости анализируемый режим оказывается на ее границе, а полученная степень ее деформации принимается за показатель запаса статической устойчивости. Сжатие области статической устойчивости осуществляется за счет изменения проводимостей всех элементов схемы сети, что также соответствует траектории утяжеления режима в виде пропорционального увеличения задающих мощностей во всех узлах схемы. Очевидно, что при равномерном сжатии области статической устойчивости ее граница смещается до точки анализируемого режима по кратчайшему расстоянию, что соответствует наиболее опасному пути утяжеления. Определив требуемую степень деформации, можно вычислить показатель запаса статической устойчивости системы и оценить необходимость управления.

Смещение границы области статической устойчивости и определение показателя запаса статической устойчивости осуществляется в ходе итерационного решения расширенной системы уравнений предельных режимов, включающей в себя уравнения установившегося режима и уравнения границы области возможных режимов работы системы. Уравнения границы области возможных режимов работы системы могут быть представлены в виде произведения некоторой матрицы коэффициентов на собственный вектор этой матрицы, отвечающий ее нулевому собственному значению. В качестве указанной матрицы коэффициентов может быть использована транспонированная матрица Якоби уравнений установившегося режима (при определении предельных по мощности режимов), либо транспонированная матрица коэффициентов, используемая для вычисления свободного члена характеристического уравнения (при определении предельных по устойчивости режимов). Таким образом, граница области возможных режимов работы системы в расширенной системе уравнений представлена поверхностью, на которой якобиан уравнений установившихся режимов или свободный член характеристического уравнения имеют нулевое значение.

Работа алгоритма I-ДО предусматривает три этапа:

- определение показателя запаса статической устойчивости в текущем установившемся режиме (результаты оценки используются в качестве первоначальных приближений при расчете послеаварийных режимов, но могут представлять интерес для диспетчеров как информация о тяжести текущего режима);
- определение показателя запаса статической устойчивости в послеаварийном режиме, соответствующем срабатыванию одного из пусковых органов;
- выбор УВ, если показатель запаса статической устойчивости послеаварийного режима ниже заданного.

Второй и третий этапы алгоритма выполняются в цикле для всех пусковых органов.

При выборе управляющих воздействий используются следующие методические положения.

Собственный вектор транспонированной матрицы коэффициентов является нормалью к границе области предельных режимов, проходящей через точку анализируемого режима, и указывает направление оптимального ввода режима в допустимую область в пространстве активных мощностей узлов. В зависимости от знака и величины компонент этого вектора производится определение вида, места приложения и величины УВ, обеспечивающих ввод режима в допустимую область. С учетом

дискретности ступеней управления, ограниченности мест приложения УВ такое управление является квазиоптимальным.

Работоспособность изложенного алгоритма I-ДО проверена в условиях макета устройства АДВ на ПС Итатская, установленного в ОДУ. Расчетная схема района управления состоит из 16 узлов и включает в себя ВЛ 500 кВ, проходящими по территории Барнаульской, Новосибирской, Кемеровской, Красноярской областей и республики Хакассия. Текущие режимы работы энергосистемы на математической модели выставлялись по результатам работы программы КОСМОС, производящей оценку текущего режима на основе информации ОИК. Значения УВ, рассчитанные на макете устройства АДВ для заданных пусковых органов, совпали с результатами, полученными расчетным путем в условиях полной схемы ОЭС Сибири по программе РАСТР.

Предложения по выбору УВ для настройки РАДВ (задача 1). Параметры внешних и внутренних эквивалентов энергорайонов определяются по данным текущего исходного режима полной схемы ОЭС и являются приближенными для условий послеаварийных режимов. Поэтому расчет дозировки УВ в условиях полной схемы системы является более точным по сравнению с расчетом дозировки УВ в условиях эквивалентных схем, используемых в районных центрах управления.

Рациональный путь повышения точности расчета дозировки УВ для настройки РАДВ состоит в выполнении расчетов по определению УВ непосредственно в КСПА при использовании математической модели полной схемы сети ОЭС Сибири, режим которой контролируется ОИК и системами сбора информации комплексов ПА. Приемлемое время расчета дозировки УВ в этих условиях может быть достигнуто за счет исключения пустых (транзитных) узлов, использования специальных приемов вычислений при работе со слабозаполненными матрицами.

Алгоритм работы КСПА по настройке РАДВ включает в себя следующие этапы:

- 1) Выбор района управления, для которого осуществляется настройка РАДВ, заданных пусковых органов и располагаемых мест приложения и ступеней УВ.
- 2) Расчет дозировки УВ.
- 3) Передача выбранных управлений по каналу связи в центр управления энергорайона.

Расчет дозировки УВ в КСПА осуществляется на основе алгоритмов, однотипных с алгоритмами районных центров управления. При расчете дозировки УВ для пусковых органов конкретного района управления учитываются места приложения и ступени УВ, имеющиеся в пределах этого района, а на управления в других районах накладываются ограничения в виде запрета ввода управления.

При наличии КСПА приоритет отдается дозировкам, полученным в КСПА, а на дозировки, полученные в РАДВ, возлагаются резервные функции. Периодически со стороны КСПА может производиться контроль дозирровок, выбранных в РАДВ. Из-за приближенности параметров эквивалентов и дискретности ступеней управления возможно отличие результатов выбора дозировки УВ в КСПА и РАДВ. Допускается расхождение результатов на ступень управления. При больших расхождениях результатов необходимо блокировать работу РАДВ и выявлять их причину.

Предложения по выбору УВ при координации взаимодействия РАДВ (задача 2). При настройке РАДВ собственных ресурсов управления энергорайона может оказаться недостаточно для сохранения устойчивости и требуется привлечение ресурсов соседних районов. Данная задача может быть решена в условиях КСПА как второй этап задачи настройки РАДВ при снятых ограничениях на управление в соседних районах. Выбор управлений осуществляется в условиях полной схемы ОЭС. Алгоритм выбора мест приложения и ступеней УВ в соседних районах может быть основан на оценке зависимости показателя запаса устойчивости системы от величины управления в узлах смежных энергорайонов с учетом приоритета их привлечения к решению задачи сохранения устойчивости основного энергорайона.

Предложения по формированию математической модели системы для выбора управлений (задача 3). Алгоритм по принципу I-ДО при выборе УВ использует математическую модель района управления в виде системы уравнений узловых напряжений, применяемую при расчете установившихся режимов. Такая математическая модель энергорайона содержит системообразующую сеть, источники и приемники электрической энергии в основных узлах, а также эквивалент шунтирующей сети более низкого напряжения и эквиваленты примыкающих энергосистем.

Задача формирования математической модели энергорайона структурно может быть разделена на следующие этапы:

1) Задание базовой информации о структуре и параметрах учитываемой сети, пусковых органах, местах приложения и ступенях УВ.

2) Подготовка информации о параметрах внешних эквивалентов энергорайона.

3) Подготовка информации о параметрах внутренних эквивалентов энергорайона.

4) Уточнение состава включенного оборудования, значений мощностей генераторов и нагрузок в узлах расчетной схемы на основе данных системы телеизмерений района управления.

5) Определение параметров (дорасчет) текущего режима математической модели энергорайона. Этот этап может рассматриваться и как самостоятельная задача и решаться в составе задач АСДУ.

Основные затруднения при решении задачи формирования математической модели энергорайона на уровне РАДВ вызваны ограниченными возможностями систем телеизмерений, используемых в районных центрах управления. Ввиду того, что в ОДУ Сибири имеется достаточно полная информация о режиме всей энергосистемы, поставляемая ОИК, задача формирования математических моделей энергорайонов может решаться на основе этой информации в координирующем центре управления.

Литература

1. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.: ил.
2. Окин А.А. Противоаварийное управление в ЕЭС России. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 156 с.
3. Окин А.А., Семенов В.А. Противоаварийная автоматика в ЕЭС России. – М.: изд. МЭИ, 2004.
4. Анализ и управление установившимися состояниями электроэнергетических систем / Н.А. Мурашко, Ю.А. Охорзин, Л.А. Крумм и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1987.
5. Кошечев Л.А. Автоматическое противоаварийное управление в электроэнергетических системах. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 140 с

Захаркин Олег Владимирович – ЗАО «Институт автоматизации электрических систем», заведующий, канд. техн. наук. 630126, Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1. Тел. (383) 268-02-23; e-mail: zah@iaes.ru

Ивахненко Елена Юрьевна – ЗАО «Институт автоматизации электрических систем», научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории. 630126, Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1. Тел. (383) 268-02-23, e-mail: eyi@iaes.ru