

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗИРОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ АВТОМАТИКИ РАЗГРУЗКИ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ БОГУЧАНСКОЙ ГЭС

И.О. Копцев, И.М. Кац
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»

Введение

Определение параметров настройки локальных комплексов автоматики предотвращения нарушения устойчивости для обеспечения синхронной динамической устойчивости (ДУ) генерирующего оборудования (ГО) выполняется специалистами службы электрических режимов (СЭР) Филиалов АО «СО ЕЭС» на основе расчетов и анализа ряда электромеханических переходных процессов (ЭМПП). Из-за длительности расчетов электромеханических переходных процессов, необходимости подготовки исходных данных данная задача имеет достаточно большую трудоемкость [1].

Разработка алгоритма расчёта уставки контроля предшествующего режима (КПР) и объёмов управляющих воздействий (УВ), их автоматизация позволит снизить трудозатраты персонала СЭР и минимизировать расчёты, выполняемые вручную.

Математическая модель

Исследование проведено для АРКЗ Богучанской ГЭС на моделях ОЭС Сибири в ПК «Rustab» для расчёта электромеханических переходных процессов (ЭМПП). Контролируемое сечение (КС) «Выдача мощности Богучанской ГЭС» состоит из трёх линий электропередач (рис. 1) классом напряжения 500 кВ и двух линий классом напряжения 220 кВ [2]. Переток в этом КС контролируется АДВ Богучанской ГЭС и сравнивается с заданными уставками.

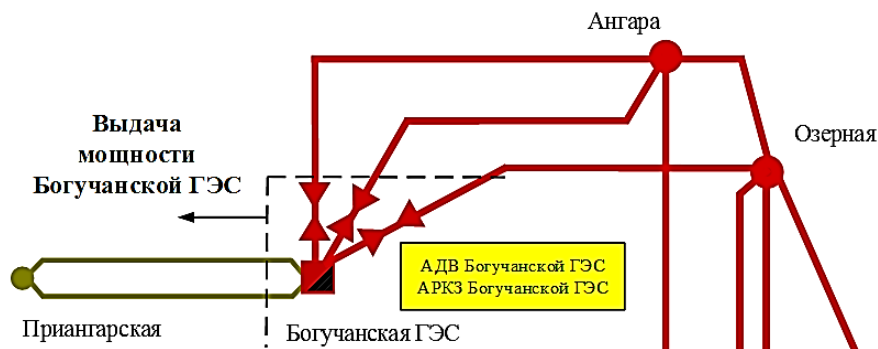


Рис. 1. Фрагмент ОЗ ОДУ Сибири. КС «Выдача мощности Богучанской ГЭС»

Разработка алгоритма расчёта уставки КПП

Первоочередной задачей настройки АРКЗ является определение уставки КПП $P_{кпр}$. Величина $P_{кпр}$ – это наибольший переток активной мощности в КС «Выдача мощности Богучанской ГЭС» с учётом нерегулярных колебаний (НК), при котором при моделировании нормативного возмущения ДУ не нарушается:

$$P_{кпр} = P_{пер}^{д/ав} - \Delta P_{нк}, \quad (1)$$

где $P_{пер}^{д/ав}$ – наибольшее значение доаварийного перетока активной, при котором динамическая устойчивость сохраняется, МВт; $\Delta P_{нк}$ – амплитуда НК в КС «Выдача мощности Богучанской ГЭС».

Уставка КПП определяется итеративным путём на основе моделирования ЭМПП. В случае, если при моделировании возмущения ДУ не нарушается, то производится увеличение мощности станции на 100 МВт и расчёт ЭМПП повторяется. Такие действия выполняются до тех пор, пока не будет получен переток в КС, при котором ДУ нарушается. Чтобы определить величину КПП, нагрузка ГЭС снижается на 50 МВт и осуществляется повторный расчёт. В случае обеспечения ДУ, такой доаварийный переток активной мощности и будет равен КПП. Также, на каждой итерации поддерживаются влияющие факторы – напряжение на СШ 500 кВ Богучанской ГЭС и переток активной мощности в КС «Тайшет, Ангара – Запад».

Разработка алгоритма определения УВ от АРЗКЗ

АРЗКЗ будет запускаться при возникновении «затяжного» КЗ, отключаемого действием устройства резервирования отказа выключателя, как со стороны 500 кВ, так и со стороны 220 кВ. Степень ОГ будет определяться итерационным путём. Генераторы будут отключаться в соответствии с общей очередью: сначала блоки по стороне 500 кВ, после по стороне 220 кВ [2].

Возникновение «затяжного» КЗ также является пусковым фактором и для АРБКЗ. Поэтому при настройке АРЗКЗ, должно учитываться действие АРБКЗ. В случае возникновения условий, при которых при моделировании «затяжного» КЗ сработает АРБКЗ, в первую очередь вводятся УВ через суммарное время реализации команды «ОГ БогЭС» от сигнала АРБКЗ и команды на ОН. Если их недостаточно для обеспечения ДУ, то от АРЗКЗ будут введены дополнительные УВ. Тогда на следующей итерации будет выполняться ввод ступеней ОГ и ОН через суммарное время реализации команды «ОГ БогЭС» от сигнала АРЗКЗ и соответствующих команд на ОН. Расчёт повторяется, пока ДУ не будет обеспечена.

Особенность обеспечения ДУ Богучанской ГЭС такова, что противоаварийное управление должно быть сбалансированным. Допустимый небаланс для КС «Выдача мощности Богучанской ГЭС» составляет $P_{нб}^{доп} = 500$ МВт. Балансирующим УВ является отключение нагрузки (ОН) на одном из алюминиевых заводов [2] и выполняется посредством команды противоаварийной автоматики (ПА).

Объём ОН определяется в соответствии с выражением:

$$P_{он} = \left(P_{кпр} / N_{г} \right) \cdot N_{г}^{откл} - P_{нб}^{доп}, \quad (2)$$

где $P_{кпр}$ – уставка КПР, МВт; $N_{г}$ – количество агрегатов Богучанской ГЭС, находящиеся в работе; $N_{г}^{откл}$ – количество отключенных генераторов в качестве УВ; $P_{нб}^{доп}$ – допустимый небаланс, МВт.

Разработка алгоритма определения УВ от АРБКЗ

АРБКЗ-220 реагирует на КЗ, отключаемые действием основной релейной защиты (РЗ), в сети 220 кВ. УВ для сохранения ДУ – отключение генераторов (ОГ) по стороне 220 кВ Богучанской ГЭС. Степень ОГ определяется итеративным расчётом ЭМПП. После получения первого КПР будет вводиться ОГ-1-220. Если по результатам расчёта такого УВ для обеспечения ДУ недостаточно, степень ОГ повышается. Расчёты повторяются до тех пор, пока не будет получена степень ОГ, которая позволит сохранить ДУ при данном КПР.

АРБКЗ-500 будет запускаться при возникновении КЗ, отключаемых действием основной защиты, в сети 500 кВ. Степень ОГ также определяется итерационным путем. В качестве УВ, генераторы будут отключаться в соответствии с общей очередью, описанной ранее.

Учёт действия АРОЛ в настройке АРБКЗ-500

В зависимости от схемно-режимной ситуации, при определённых доаварийном перетоке активной мощности и тяжести КЗ, в соответствии с ПУР ОДУ Сибири, объёмов УВ вводимых через выдержку времени от сигнала АРОЛ будет недостаточно для обеспечения ДУ ввиду значительной кинетической энергии ускорения и недостаточной потенциальной энергии торможения. Суммарное время реализации УВ от сигнала АРОЛ значительно больше, чем от сигнала АРБКЗ [1, 2], а значит УВ будут вводиться позже и площадь ускорения будет больше (рис. 2).

В таких случаях необходимо вводить УВ через суммарное время их реализации от сигнала АРБКЗ по следующим причинам:

1. Обеспечить ДУ при возмущении с принятыми в настройке УВ;
2. Предотвратить избыточность вводимых УВ в случае дозировки через суммарное время реализации УВ от сигнала АРОЛ (для примера на рис. 2 для обеспечения ДУ потребовалось бы ввести ОГ-4).

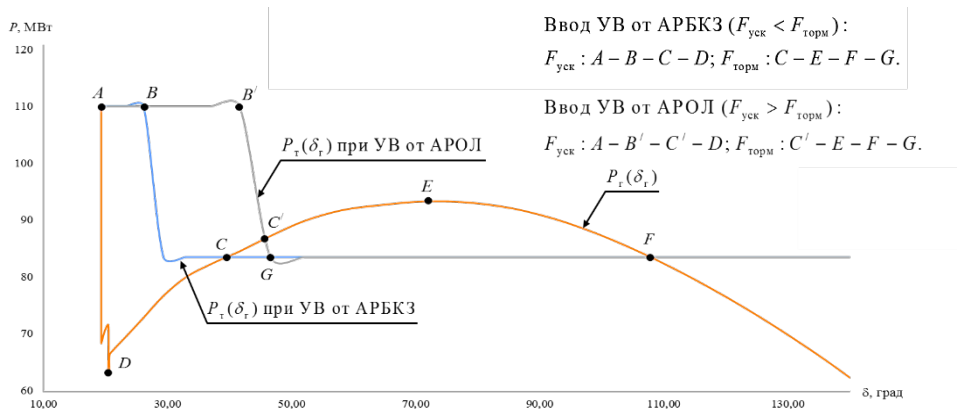


Рис. 2. Угловая характеристика активной мощности генератора Г-3 при ОГ-3

Рассмотрим совмещение настройки АРОЛ и АРБКЗ на примере схемы – ремонт КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара I и II цепь для девяти блоков при возникновении однофазного КЗ на землю на КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Озёрная вблизи СШ 500 кВ Озёрная. По результатам расчётов УР и ЭМПП параметры настройки АРОЛ КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Озёрная и представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры настройки АРОЛ и АРБКЗ

Параметр настройки КНР АРОЛ, МВт	УВ на ОГ от АРОЛ	Параметр настройки КНР АРБКЗ, МВт	УВ на ОГ от АРБКЗ
500	ОГ-1	500	ОГ-1
600	ОГ-2	600	ОГ-2
700	ОГ-3	700	ОГ-3

800	ОГ-4	850	ОГ-4
-----	------	-----	------

КПР 800 МВт – это граничное значение доаварийного перетока, с которого при возникновении КЗ и отключении ЛЭП для обеспечения ДУ требуется ввод ОГ-3 от АРБКЗ или ОГ-4 от сигнала АРОЛ. От сигнала АРОЛ при таком КПР пришлось бы ввести избыточное УВ.

В расчётах ЭМПШ при доаварийных перетоках активной мощности, больших, чем уставка КПР АРОЛ должны вводиться указанные в настройках УВ, через суммарное время реализации от сигнала АРОЛ. Ввод УВ от сигнала АРОЛ будет выполняться до тех пор, пока не будет получен доаварийный переток, при котором при моделировании возмущения с КЗ и отключении линии ДУ нарушиться. Далее осуществляется определение объёма УВ АРБКЗ-500 и расчёт последующих КПР. При этом, все УВ следует вводить через суммарное время реализации УВ от сигнала ФТКЗ и не учитывать УВ от АРОЛ.

Применение метода площадей для оценки количества отключаемых генераторов в качестве УВ

С целью сокращения количества расчётов ЭМПШ при определении количества отключаемых генераторов в качестве УВ для обеспечения ДУ был применён метод площадей. Метод является простым способом оценки статической и динамической устойчивости и основан на анализе изменения потенциальной энергии движения ротора агрегата турбина-генератор [3]. Применение метода площадей при известных результатах расчёта ЭМПШ, например, в программном комплексе, позволит найти практическое применение при анализе ДУ и определении параметров настройки ПА.

Обычно, действие ОГ учитывается снижением мощностей турбины эквивалентного генератора избыточной части ЭЭС и генератора в ПАР [3]. Своевременное ОГ способствует уменьшению площади ускорения и увеличению площади торможения, что позволит сохранить ДУ.

Использование метода площадей для определения ОГ рассмотрим на расчётной модели ОЭС Сибири. Ремонтная схема – ремонт КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Ангара I и II цепь. Аварийное возмущение – двухфазное КЗ на землю на КВЛ 500 кВ Богучанская ГЭС – Озёрная вблизи СШ 500 кВ Озёрная. В работе находятся девять блоков Богучанской ГЭС, в доаварийном режиме мощность одинакова и равна 92 МВт. В такой схемно-режимной ситуации и моделировании указанного возмущения без УВ ДУ нарушается.

Далее определяются новые угловые характеристики с учётом изменения мощности турбин через суммарное время реализации УВ

от АРБКЗ. Численно определяются новые площади ускорения и торможения, и их соотношение. Если площадь торможения больше площади ускорения, то такого ОГ достаточно для обеспечения ДУ.

Действие ОГ можно представить следующим образом: мощность турбины генератора, подлежащего отключению в качестве УВ, распределяется на все оставшиеся в работе агрегаты. Тогда мощность турбин оставшихся в работе агрегатов Богучанской ГЭС:

$$P_{\text{Т}}^{\text{после ОГ}} = P_{\text{Т}} - \Delta P_{\text{Т}} = P_{\text{Т}} - \frac{P_{\text{Г}} \cdot N_{\text{Г}}^{\text{откл}}}{N_{\text{Г}}^{\text{ост}}}. \quad (4)$$

где $P_{\text{Г}}$ – мощность генератора в доаварийном режиме, МВт; $N_{\text{Г}}^{\text{откл}}$ – количество отключенных генераторов в качестве УВ; $N_{\text{Г}}^{\text{ост}}$ – количество машин, оставшихся в работе после ОГ.

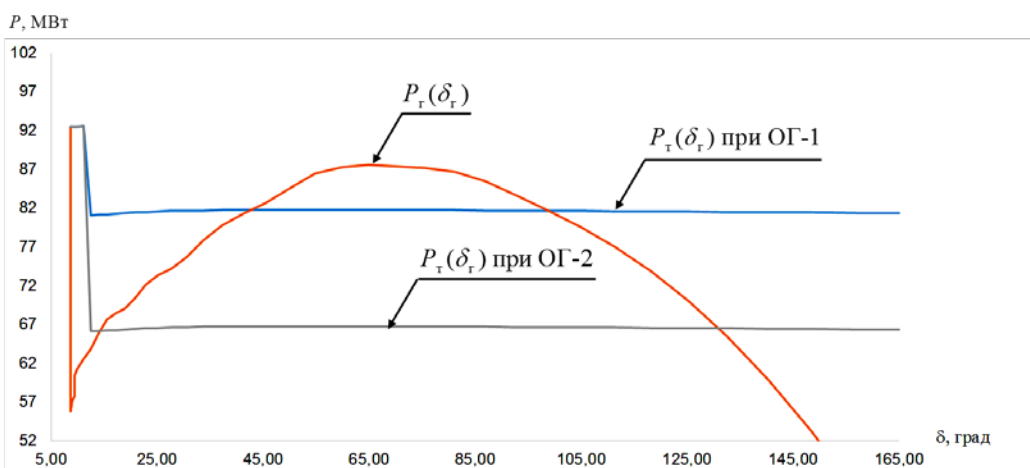


Рис. 3. Угловая характеристика Г-3 с учётом изменения мощности турбины

Заключение

В ходе проведённой работы получены следующие результаты и выводы:

1. Разработаны алгоритмы расчёта уставки КНР, оценки ОГ методом площадей для обеспечения ДУ, определения УВ от АРБКЗ-220, АРБКЗ-500 и АРЗКЗ Богучанской ГЭС. Автоматизация этих алгоритмов позволит минимизировать расчёты ЭМПП, выполняемые вручную;

2. В алгоритме дозировки УВ от АРЗКЗ учтено действие АРБКЗ;

3. В алгоритме определения дозировки УВ от АРБКЗ-500 учтено действие АРОЛ.

Список литературы

1. Лоцман, Д.С., Вагапов Н.Р. Проблема обеспечения синхронной динамической устойчивости генераторов электростанций при близких и затяжных коротких замыканиях на примере станций ОЭС Сибири // Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири, г. Кемерово, 2016. 4 с.
2. Приложение №20.08.03 к Положению по управлению режимами операционной зоны Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири. 2022.
3. Бобров А.Э. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах. Красноярск : СФУ, 2010. 152 с.

Научный руководитель: И.М. Кац, к.т.н., доцент отделения ОЭЭ ИШЭ, «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».