

Рис. 8. Функциональный анализ (расчёт деформаций)

Таким образом, сведя к минимуму участие человека на каждой стадии проектирования, мы существенно снижаем трудозатраты на проектирование и выдачу РД (около 70 %) [3].

Итогом данной работы служит разработанная методика (в виде набора последовательных технических решений) по созданию цифровых прототипов элементов энергетического оборудования для автоматизации проектных работ по реконструкции и/или модернизации.

Результаты данной работы могут найти применение при решении практических задач, таких как перепроектирование реконструируемых агрегатов на изменившиеся режимные параметры с дальнейшим функциональным анализом характеристик отдельных элементов и подготовкой комплекта рабочей документации.

Также, помимо практических задач, данная работа может быть использована в образовательных целях для наглядной демонстрации влияния исходных данных на геометрические и функциональные характеристики вновь проектируемых ступеней паровой турбины.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Технология параллельного проектирования: основные принципы и проблемы внедрения / А.В. Смирнов, Р.М. Юсупов // Автоматизация проектирования. – 1997. – Т. 329. – No 2. – С. 50-55.
2. Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д.: Турбины тепловых и атомных электрических станций: учебник для вузов. – Москва: Изд-во МЭИ, 2001. – 488 с.
3. Лякишев А.Г., Смородинова Т. К., Маслов В.М., Аксёнов К.В.: Техническая подготовка производства изделий: методические указания. – Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2006. – 70 с.

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.А. Бойко, зав. каф. ТЭС ПИ СФУ.

АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

П.П. Радько

Томский политехнический университет
ИШЭ, ОЭЭ, группа 5AM21

Введение и постановка проблемы. Низкочастотные колебания (НЧК) – это явление, наблюдаемое после различных возмущений при переходе системы к новому устроившемуся режиму. В отечественных и зарубежных работах, посвященных исследованиям этой темы, о причинах возникновения колебаний говорят весьма поверхностно, делая больший акцент на меры по улучшению их демпфирования [1, 2].

Первопричиной колебаний, как правило, являются появления небалансов, возникающих в результате изменения нагрузки и/или генерации в системе. Также колебания могут возникнуть вследствие отключения протяженных линий или нагруженных трансформаторов, так как изменяется топология и параметры системы. Однако человеку, который только начинает изучать проблему возникновения низкочастотных колебаний может быть сложно связать описанные возмущения с объектом исследования. Данная работа призвана заполнить эту брешь, выявив связи, которые могут оказаться не столь очевидными.

Связь с динамической устойчивостью. Как известно, при значительных возмущениях может произойти нарушение динамической устойчивости энергосистемы. Причины возникновения НЧК, связанные с динамической устойчивостью, лучше всего продемонстрировать на примере, которым будет выступать короткое замыкание на линии с успешной работой устройств автоматического повторного включения (рисунок 1а). Процесс, во время которого генераторы переходят на новый установившийся режим, сопровождается колебаниями угла электропередачи (рисунок 1в).

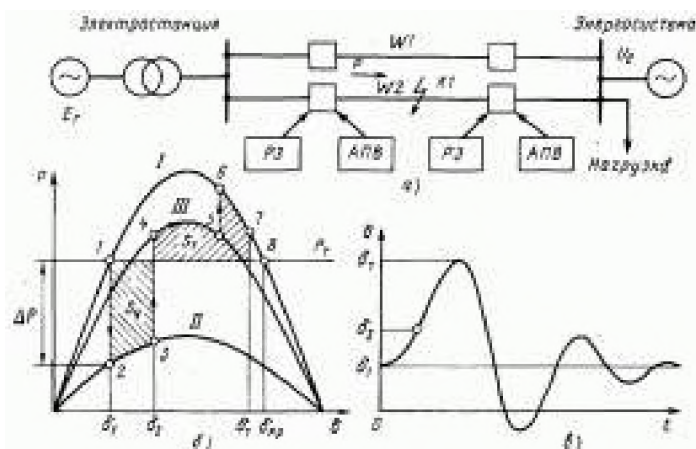


Рис. 1. Анализ динамической устойчивости при КЗ на линии электропередачи:
а – схема электропередачи; б – угловые характеристики электропередачи; в – изменение угла электропередачи во времени

Но также, под действием периодически изменяющейся разности моментов между турбиной и генератором, колеблется и активная вырабатываемая мощность, так как генератор то разгоняется под ускоряющим его моментом, то затормаживается под действием тормозящего (площадки ускорения и торможения приведены на рисунке 1б). Таким образом можно сделать вывод, что переходный процесс такого типа может являться прямой причиной возникновения низкочастотных колебаний, причем чем сильнее возмущение, тем дольше могут наблюдаться колебания.

Связь с работой АРЧМ. При возникновении небаланса по активной мощности в системе начинает изменяться частота. Автоматическое регулирование частоты и перетоков активной мощности (АРЧМ) после этого изменения частоты подает управляющий сигнал, изменяющий вырабатываемую генераторами активную мощность. В случае, если частота уменьшилась, объем генерации увеличивается, и наоборот. Однако вырабатываемая активная мощность не может измениться скачком из-за инертности генераторов и турбин, а также из-за совместной работы АРЧМ на разных машинах, которая обуславливает возникновение длительного переходного процесса. Таким образом, работа устройств АРЧМ, напрямую влияющих на вырабатываемую активную мощность, будет создавать низкочастотные колебания мощности на время между моментом возникновением небаланса и моментом достижения нового установившегося режима.

Связь с работой АРВ. В случае же появления небаланса по реактивной мощности в сети будет наблюдаться изменение напряжения на узлах. Это связано с изменением реактивного тока, из-за которого изменяется величина и/или знак потери напряжения. В любом случае, для регулирования вырабатываемой реактивной мощности и поддержания напряжения на выводах

генератора в необходимом диапазоне применяются устройства автоматического регулирования возбуждения (АРВ). Управляющим воздействием является изменение тока возбуждения генератора. Причиной возникновения полноценного переходного процесса, во время которого будут присутствовать низкочастотные колебания, является реакция нагрузки на изменение напряжения (статическая характеристика реактивной нагрузки по напряжению), из-за которой данная автоматика будет подавать сигналы на изменение тока возбуждения некоторый промежуток времени до достижения нового установившегося режима с балансом реактивной мощности. Также длительность процесса будет увеличиваться за счет комплексного действия множества средств автоматического регулирования возбуждения, установленных на ближайших к месту возмущения генераторах.

Также стоит отметить, что вышеописанные связи могут наблюдаться одновременно, так как возмущения в сети сопровождаются изменением многих режимных параметров. Например, при коротком замыкании на линии (рисунок 1а), в узлах сети изменится значение напряжения, что повлечет за собой начало работы устройств АРВ на электростанции. Более того, из-за изменения топологии сети может нарушиться баланс активной и реактивной мощностей, так как сопротивление ВЛ увеличится, вместе с потерями на ней. Из-за этого начнут работать устройства АРВ и АРЧМ. Подобная «комбинированная» работа устройств автоматического регулирования влияет на протекание колебательного процесса, а также делает затруднительным «вычленение» одной причины из совокупности всех причин.

ЛИТЕРАТУРА:

1. А.С. Бердин, А.С. Герасимов, Ю.П. Захаров, П.Ю. Коваленко, А.Н. Мойсейченков Оценка участия синхронного генератора в демпфировании низкочастотных колебаний по данным синхронизированных векторных измерений // Журнал «Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». Том 13, № 2. 2013
2. Weijia Yang, Per Norrlund, Johan Bladh, Jiandong Yang, Urban Lundin Hydraulic damping mechanism of low frequency oscillations in power systems: Quantitative analysis using a nonlinear model of hydropower plants // Applied Energy Volume 212, 15 February 2018, Pages 1138-1152.

Научный руководитель: к.т.н. Рубан Н. Ю., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

ВЛИЯНИЕ НАСЫЩЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РЗА

Э.И. Галиев

Казанский государственный энергетический университет
ИЭЭ, кафедра РЗА, группа АУСм-1-21

Трансформатор тока (ТТ) – один из наиболее распространенных видов трансформаторов, используемых для преобразования первичного тока силового электрооборудования во вторичный ток, который впоследствии измеряется устройствами учета, измерения электроэнергии, а также терминалами релейной защиты и автоматики (РЗА) для реализации функций защит, сетевой и противоаварийной автоматики. От исправности, точности работы ТТ зависит правильный учет электроэнергии и функционирование большинства устройств РЗА. На метрологические свойства ТТ влияют переходные режимы, сопровождающиеся насыщением электротехнической стали магнитопроводов ТТ, что, как следствие, приводит к ложной работе устройств РЗА.

Появление цифровых защит способствовало снижению времени срабатывания основных защит и первых ступеней резервных защит при коротких замыканиях на шинах и вблизи шин крупных электростанций и подстанций из-за насыщения ТТ [1].