

ПРИМЕНЕНИЕ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В АВТОМАТИКЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НАРУШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ В РЕЖИМЕ «1-ПОСЛЕ»

А.С. Вторушин¹, Н.Н. Лизалек^{1,2},
В.К. Шипилов^{1,2}, Р.Ю. Степанович^{1,2}

1. АО «Институт Автоматизации Энергетических Систем»
2. Новосибирский Государственный Технический Университет

Введение

В настоящих условиях развития энергосистем управлять режимами для недопущения аварийных событий, а также настраивать автоматику предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ) и централизованные системы противоаварийной автоматики (ЦСПА) с учетом заранее определенных аварийных возмущений и контроля параметров доаварийного режима (принцип «ДО») становится всё труднее [1]. Основные факторы, определяющие эти сложности, следующие:

1. Внедрение возобновляемых источников энергии с трудно предсказуемыми режимами работы, а также силовым оборудованием, не способным противостоять аварийным ситуациям в энергосистеме.

2. Усложнение структуры электрической сети, схем электроснабжения потребителей крупных городов и, соответственно, процесса ведения режима работы энергосистемы.

3. Увеличение количества устройств локального противоаварийного управления, действия которых необходимо как согласовывать между собой, так и учитывать при настройке централизованных комплексов АПНУ и ЦСПА.

Избавиться от недостатков централизованных комплексов АПНУ, настроенных на работу по принципу «ДО», может система ПА, контролирующая электрические параметры энергосистемы и действующая в переходном процессе для недопущения нарушения устойчивости, т.е. адаптирующаяся под конкретные условия в режиме «онлайн» и вырабатывающая управляющие воздействия (УВ) на основе протекающего переходного процесса, без привязки к заранее определенным пусковым органам, непосредственно «ПОСЛЕ» возникновения аварийного возмущения.

АПНУ, выбирающая УВ по принципу «ПОСЛЕ», может работать только на основе высокоскоростных и точных данных, быстро реагирующих на изменения, происходящие в энергосистеме. В настоящее время источником таких данных может быть система

мониторинга переходных процессов (СМПР), основанная на технологии синхронизированной векторной регистрации параметров электромеханических переходных режимов. СМПР ЕЭС России предназначена для получения данных синхронизированных векторных измерений (СВИ) в электромеханических переходных и установившихся режимах работы энергосистемы в реальном времени (онлайн СВИ) и по запросу (офлайн СВИ) для применения в технологиях оперативно-диспетчерского, оперативно-технологического, автоматического режимного и противоаварийного управления.

Возможность применения СВИ

Существующие принципы построения автоматических систем сбора информации (АС СИ) СМПР отвечают основным требованиям к качеству информационного обмена с точки зрения скорости доставки и обработки данных онлайн СВИ [2], подтверждена техническая возможность доставки СВИ в режиме реального времени с объектов электроэнергетики в ГДЦ (г. Москва) за время, не превышающее 60 мс. При необходимости это время может быть уменьшено в части передачи определенных данных с помощью установки на объектах более совершенных устройств СВИ и переконфигурирования потоков данных АС СИ СМПР.

Информация от устройств СВИ, собираемая и обрабатываемая в концентраторе синхронизированных векторных данных, представляет собой набор следующих параметров контролируемых узлов:

- векторы фазных напряжений (действующее значение и фазовый угол) (иногда – вектор напряжения прямой последовательности);
- векторы фазных токов (действующее значение и фазовый угол) (иногда – вектор тока прямой последовательности);
- частота (обычно напряжения фазы А);
- скорость изменения частоты;
- вычисленные значения фазных и трехфазных активной, реактивной и полной мощности;

Точная синхронизация, высокая дискретизация, малое время отклика на изменение, а также измерение параметров синхронизированного вектора при частоте, отличной от номинальной, предоставляют возможность использования данных СВИ для мониторинга динамических свойств энергообъектов и энергосистем, как объектов управления.

Прогнозирование нарушения устойчивости на основе анализа поведения СВИ

В случае возникновения аварийной ситуации, связанной как с малыми, так и большими возмущениями в энергосистеме, появляются отклонения движения векторов напряжения в контролируемых узлах (в местах установки устройств СМПР), создаются условия для возникновения колебательного движения, когда синхронные машины или целые подсистемы движутся в разные стороны относительно центра инерции системы.

Структурно-функциональная схема алгоритма выбора УВ по принципу «ПОСЛЕ», предполагающая использование данных СВИ, показана на рисунке 1.

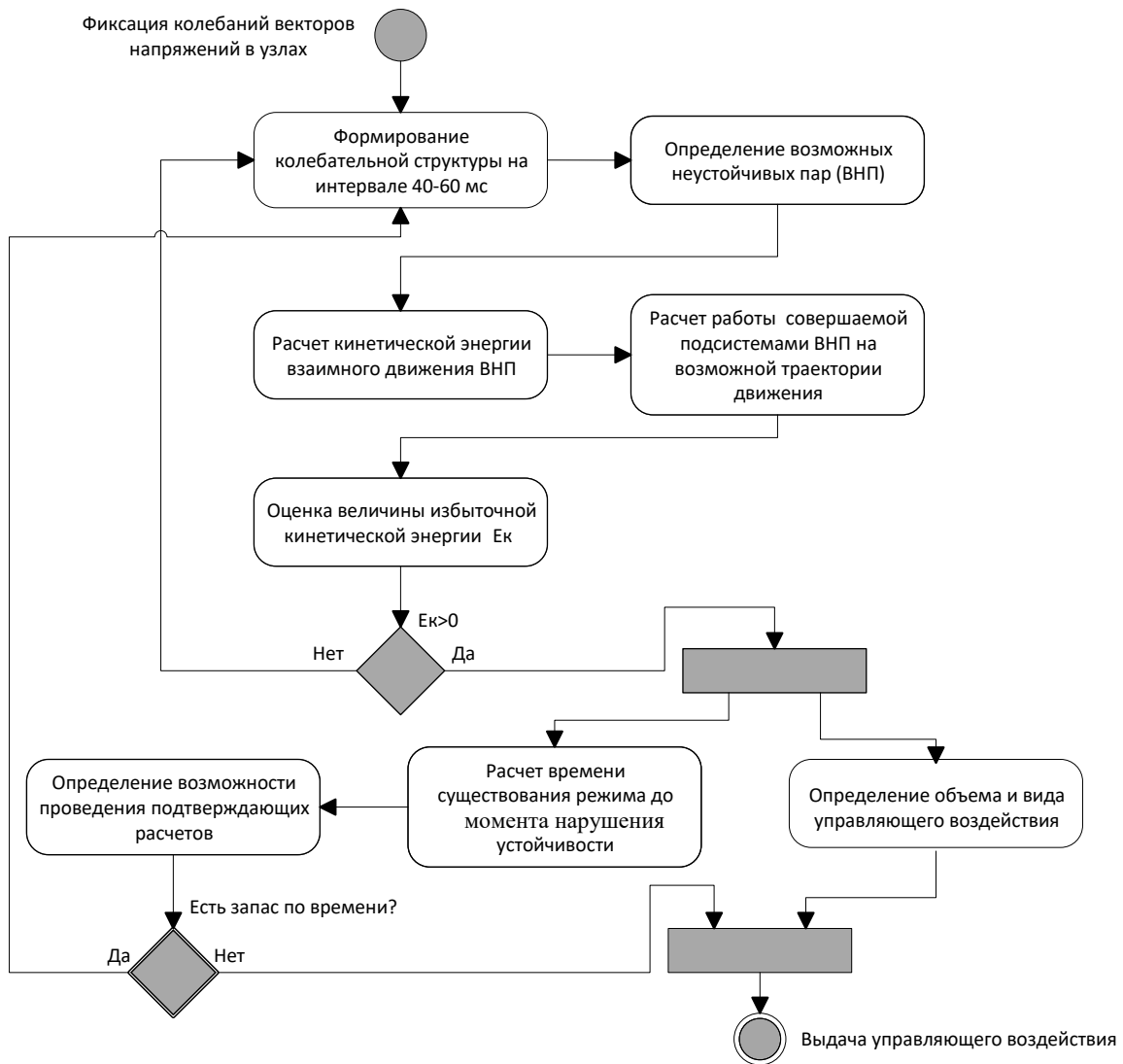


Рис. 1. Алгоритм выбора УВ по принципу «ПОСЛЕ»

На первоначальном этапе формирования колебательной структуры решаются следующие задачи [3]:

- определение отклонений частоты от номинального значения и характера этих отклонений для определения ускоряющихся и тормозящихся векторов напряжений в узлах;
- группировка узлов в подсистемы с идентичным характером движения векторов напряжений за время фиксации неизменности характера этих отклонений;
- формирование возможных неустойчивых пар (ВНП) подсистем при условии, что одна подсистема в каждой паре ускоряется, другая – тормозится относительно центра инерции системы (базового вектора);
- вычисление скорости отклонения вектора напряжения от центра инерции в каждом узле;
- расчет отклонения скорости взаимного движения для каждой пары подсистем на основе вычисленных скоростей отклонений векторов напряжений в узлах и взаимного момента инерции;
- расчет кинетической энергии взаимного движения для каждой пары;

Прогноз строится на выявлении возможного нарушения устойчивости и определении при этом избыточной кинетической энергии механического движения масс энергосистемы.

Оценка возможного нарушения устойчивости и дальнейший выбор управляющих воздействий для его недопущения должны осуществляться только на восходящей траектории движения ВНП, когда производная кинетической энергии имеет отрицательное значение. Количественной оценкой недостаточности высоты потенциального барьера может выступать величина непогашенной избыточной кинетической энергии.

Далее необходимо оценить, приведет ли к возникновению асинхронного хода между подсистемами ВНП полученное значение избыточной кинетической энергии. Для определения возможности нарушения устойчивости достаточно использовать: частоту системы, частоты пары смежных подсистем, разницу углов между смежными подсистемами. Эти параметры связаны с постоянной инерции генераторов, поэтому скорость их изменения невелика.

В случае выявления возможного нарушения устойчивости полученная кинетическая энергия пересчитывается в объем управляющих воздействий, исходя из моментов инерции подсистем ВНП и отклонения взаимного угла [4,5].

Полученное значение объема УВ в виде отключения генераторов (ОГ) или отключения нагрузки (ОН) необходимо

распределить между заранее назначенными электростанциями ускоряющейся подсистемы или узлами нагрузки тормозящейся подсистемы с учетом располагаемых объемов и приоритетности отключения.

Отключение генераторов для погашения избыточной кинетической энергии является наиболее эффективным и менее болезненным средством по сравнению с отключением нагрузки.

Приоритетность отключения генераторов может учитывать следующие факторы:

1. В избыточной подсистеме почти всегда существуют объекты генерации, ускоряющиеся быстрее, чем остальные, т.е. опережающие центр инерции выбегающей подсистемы.

2. Для объектов генерации, опережающих центр инерции выбегающей подсистемы, необходимо определить относительный вклад каждого из них в подсчитанную кинетическую энергию. В первую очередь должны быть отключены объекты с наибольшим вкладом.

3. Чем дальше источник генерации от места возмущения, тем позднее и в меньшей степени он оказывает влияние на колебательный процесс. Поэтому отключать необходимо генераторы, расположенные ближе к месту аварийного возмущения.

Заключение

Основные аварийные ситуации, последствия от которых могут быть предотвращены действием АПНУ, использующей данные СВИ:

- затяжные короткие замыкания в районе, не контролируемом устройствами АРКЗ;
- синхронные колебания активной мощности по ЛЭП;
- самораскачивание генераторов на крупных электростанциях;
- ненормативные возмущения внутри энергосистемы;
- возмущения, действие которых распространяется на несколько энергосистем;
- любые аварийные ситуации, связанные с отключением генерирующего, сетевого оборудования и нагрузки, не учитываемые в ЦСПА.

В качестве основных преимуществ АПНУ, использующей данные СВИ и работающей по принципу «ПОСЛЕ», по сравнению с существующими АПНУ, работающими по принципу «ДО», можно выделить:

- расчет управляющих воздействий после возникновения возмущения;
- отсутствие необходимости фиксации отключения сетевого оборудования, т.е. использования пусковых сигналов;
- фиксация возмущений любого уровня и характера;
- выбор мест реализации управляющих воздействий, учитывающий текущие схемно-режимные условия

Использование данных СМНР в контуре управления АПНУ позволит выйти на качественно новый уровень противоаварийного управления режимами ОЭС, обладающий следующими отличительными признаками:

- возможность прогнозирования возникновения нарушения устойчивости;
- возможность выбора УВ для предотвращения нарушения устойчивости как внутри, так и между ОЭС;
- выбор УВ будет осуществляться независимо от вида нарушения устойчивости: статической или динамической;
- возможность организации независимой централизованной автоматики предотвращения нарушения устойчивости межсистемного уровня.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Интеллектуальное развитие электроэнергетики с участием «активного» потребителя / Авт.: Бушуев В.В., Кобец Б.Б., Лизалек Н.Н., Васильев В.В./ Под. ред. Бушуева В.В. – М.: ИД «Энергия», 2013, 94 с.
2. Xu Y., Wen F., Ledwich G., Xue Y., «Electromechanical Wave in Power System: Theory and Applications», Journal Modern Power System Clean Energy, 2014, No. 2(2), pp. 163-172.
3. Лизалек Н.Н. Электромеханические волны и устойчивость энергосистем. М: Директ-Медиа. 2016. 418 с.
4. Лизалек Н.Н., Васильев В.В., Бородин Д.Н., Шипилов В.К. Выбор управляющих воздействий ЦСПА по условию обеспечения динамической устойчивости энергосистемы // Релейная защита и автоматика энергосистем. 2017.
5. Лизалек Н.Н., Тоньшев В.Ф. Прогнозирование и идентификация неустойчивости в электроэнергетических системах. Новосибирск: изд-во НГАВТ. 2013. 230 с.

Научный руководитель: Н.Н. Лизалек, д.т.н., профессор кафедры автоматизированных электроэнергетических систем НГТУ.