ISSN 1814-1196
Научный вестник НГТУ
том 71, № 2, 2018, с. 175–187

http://journals.nstu.ru/vestnik
Science Bulletin of the NSTU
Vol. 71, No. 2, 2018, pp. 175–187

ЭНЕРГЕТИКА POWER ENGINEERING

УДК 621.311 DOI: 10.17212/1814-1196-2018-2-175-187

Особенности параметрирования автоматики ликвидации асинхронного хода в неполнофазных режимах*

О.В. ТАНФИЛЬЕВ[1], Т.А. ФИЛИППОВА[2], Д.В. ТАНФИЛЬЕВА[3]

[1] *630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры ЭлСт. E-mail: tanfilev@corp.nstu.ru*
[2] *630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор. E-mail: filippova@corp.nstu.ru*
[3] *630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры АЭЭС. E-mail: tanfileva@corp.nstu.ru*

В работе рассматриваются особенности настройки алгоритмов и параметров срабатывания устройств автоматики ликвидации асинхронного режима, работающих на принципе измерения сопротивления прямой последовательности, для работы в неполнофазных режимах. Выявление асинхронного хода в условиях неполнофазного режима работы линии электропередачи традиционно возлагалось на дополнительный алгоритм автоматики ликвидации неполнофазного режима и асинхронного хода в нем, который обладает достаточно низкой селективностью и эффективностью. Современные требования к алгоритму автоматики ликвидации асинхронного хода не предполагают применения дополнительного алгоритма. В связи с этим остро встает вопрос о разработке алгоритмов адаптации в условиях несимметрии, а также о разработке методики параметрирования автоматики ликвидации асинхронного хода неполнофазного режима. В работе рассмотрены закономерности изменения сопротивления прямой последовательности в условиях неполнофазного режима линии для простейшей двухмашинной системы. Предложены алгоритмы, выявляющие переход от симметричных режимов к несимметричным и разрешающие работу устройства с группой уставок неполнофазного режима. Представлен пример настройки комплектов автоматики ликвидации асинхронного режима в сложной многомашинной системе, позволяющих работать как для полностью симметричных асинхронных режимов, так и при неполнофазных асинхронных ходах. В качестве схемы для анализа закономерностей изменения сопротивления прямой последовательности в местах установки устройств и выбора параметров настройки комплектов автоматики в условиях неполнофазных режимов была выбрана тестовая многомашинная система, параметры и конфигурация которой представлены в стандарте [1]. Предложены принципы реализации устройств автоматики ликвидации асинхронного режима для работы в условиях неполнофазного асинхронного хода.

Ключевые слова: противоаварийная автоматика, асинхронный ход, автоматика ликвидации асинхронного режима, неполнофазный режим, несимметричный режим, синхронные качания, электрический центр качаний, сопротивление прямой последовательности

* *Статья получена 14 ноября 2017 г.*

ВВЕДЕНИЕ

Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР) является одной из важнейших в составе комплекса противоаварийного управления в энергосистемах. Неликвидированный своевременно двухчастотный асинхронный режим (АР) может стать причиной дальнейшего развития аварии с нарушением питания ответственных потребителей или с переходом в многочастотный асинхронный режим. Устройства автоматики ликвидации асинхронного режима должны полноценно функционировать в условиях возможного многообразия схем и режимов электроэнергетической системы. Одним из таких режимов, который практически может иметь место, является неполнофазный режим работы линий электропередачи. Важность учета неполнофазных режимов заключается также и в том, что в таких режимах при прочих равных условиях увеличивается вероятность нарушения устойчивости и последующего возникновения асинхронного режима.

Предметом исследования является неполнофазный асинхронный режим и способы его выявления. До появления стандарта [1] выявление асинхронного режима при наличии неполнофазного режима одной из линий электропередачи возлагалось на так называемое дополнительное устройство АЛАР – автоматика ликвидации асинхронного хода в неполнофазном режиме (АЛАР НФР) [5–7], принцип действия которого основан на измерениях колебаний тока и имеет ряд недостатков:

- низкая селективность автоматики;
- возможно ложное срабатывание упомянутых устройств при неуспешном АПВ на соседних линиях, сопровождающемся значительными колебаниями тока на контролируемом участке;
- по принципу действия невозможно отличить асинхронный режим от синхронных качаний [7].

Согласно стандарту, в настоящее время установка отдельных устройств АЛАР, выявляющих и ликвидирующих неполнофазные асинхронные режимы, не требуется. В связи с этим весьма актуальной является задача разработки алгоритмов и методики настройки устройств АЛАР, правильно работающих как в симметричных, так и в несимметричных режимах.

Наиболее полно состояние электроэнергетической системы отражают параметры прямой последовательности. Поэтому для работы алгоритмов АЛАР в несимметричных режимах предлагается применить способ выявления АР на основе формирования сопротивления по напряжению и току прямой последовательности. Основной особенностью неполнофазного асинхронного хода является электрическое удлинение линии на дополнительное сопротивление $Z_{\Delta L}$, значение которого вычисляется по правилу эквивалентности прямой последовательности. В данной работе рассматриваются закономерности изменения положения годографов сопротивления прямой последовательности при АР в симметричном, а также несимметричном режимах.

Для разработки методики выбора уставок и совершенствования алгоритмов АЛАР для работы в симметричном и неполнофазном режимах было принято в качестве прототипа устройство АЛАР производства АО ИАЭС г. Новосибирск.

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕПОЛНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ХОДА

Неполнофазный асинхронный режим является результатом наложения двух режимов − неполнофазного и асинхронного. Возникновение неполнофазного режима, как правило, сопровождается развитием асинхронного режима при работе межсистемных связей с перетоками мощности, близкими к допустимому пределу.

Неполнофазный режим в энергосистеме может существовать как кратковременно, так и достаточно длительно [2]. Кратковременный неполнофазный режим в энергосистеме может возникнуть в следующих случаях:

- недовключение или неполное отключение всех трех фаз при неисправностях выключателей;
- пофазное отключение в цикле автоматического повторного включения;
- механическое повреждение линии (обрыв фазы).

Длительный неполнофазный режим может возникнуть в следующих случаях:

- работа двумя фазами в сети с глухозаземленными нейтралями при пофазном ремонте линии;
- работа двумя фазами в сети с глухозаземленными нейтралями при плавке гололеда.

Наиболее вероятной причиной возникновения подобного режима является отключение фазы ЛЭП в цикле ОАПВ. Поскольку выдержка времени ОАПВ имеет значительную величину [3], за это время может возникнуть АР, например, при внезапном отключении крупного генератора в приемной системе.

Неполнофазный асинхронный режим может возникнуть и при механическом повреждении линии. Теоретически возможен вариант перегорания одного провода ЛЭП в месте соединения строительных кусков провода. Соединение обычно выполняется на опоре между двумя натяжными гирляндами в свисающей петле. При плохом контактном соединении кусков и достаточной нагрузке место соединения может выгореть без перехода в короткое замыкание на опору (это возможно, если разорванные части петли не приблизятся к опоре и если осталась в работе параллельная ЛЭП). Тогда напряжение между частями разорванной петли не будет велико и дуга погаснет.

Существует еще несколько вариантов возникновения асинхронного режима с несимметрией. Сюда можно отнести режимы пофазного ремонта линий. Достаточно редко применяемый в энергосистемах Сибири и Дальнего Востока режим плавки гололеда одной фазой и передача мощности по оставшимся двум фазам также могут стать причиной возникновения неполнофазного асинхронного хода [4].

Из рассмотренных выше возможных причин возникновения неполнофазных режимов ясно что во всех случаях преобладает однократная продольная несимметрия вида «обрыв одной фазы». Также при механическом повреждении линии возможно возникновение режима, при котором в работе остается только одна фаза. Отключение двух фаз в сочетании с АПВ не нашло в практике применения из-за значительного уменьшения передаваемой по линии мощности. Поэтому вопрос об исследовании режимных параметров в неполнофазном асинхронном режиме при несимметрии вида «обрыв двух фаз» носит теоретический характер [12].

Поскольку для работы алгоритмов АЛАР предлагается использовать параметры прямой последовательности, необходимо проанализировать изменения режимных параметров в условиях неполнофазного асинхронного хода в сравнении с симметричным АР. Для анализа была выбрана простейшая двухмашинная система (рис. 1), комплексная схема замещения которой представлена на рис. 2 [5, 6].

Рис. 1. Схема простейшей двухмашинной системы

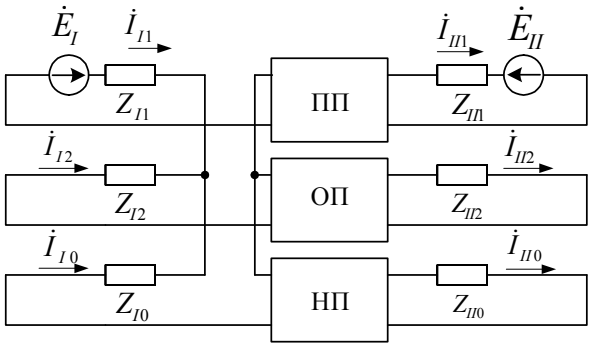

Рис. 2. Комплексная схема замещения для режима работы двумя фазами:

ПП – схема замещения прямой последовательности;
ОП – схема замещения обратной последовательности;
НП – схема замещения нулевой последовательности

Особое внимание при исследовании уделялось тем изменениям, которые происходят с годографом вектора сопротивления прямой последовательности при переходе в неполнофазный режим, учесть которые следует при разработке мероприятий по обеспечению совместимости функционирования автоматики в симметричных и несимметричных режимах. Рассмотрены изменения сопротивления прямой последовательности при асинхронном ходе в случае неполнофазного режима на связях с параллельными линиями.

Анализ полученных выражений показал, что при неполнофазном АР годограф вектора сопротивления $\dot{Z}_1$ может быть представлен семейством окружностей, радиусы (R) и удаленности от начала координат (ρ) которых зависят:

- от соотношения модулей ЭДС $\dot{E}_1$ и $\dot{E}_2$ (k);
- от вида несимметрии, а именно от величины дополнительного сопротивления несимметричного повреждения $Z_{\Delta L}^{(n)}$.

При переходе из симметричного режима в несимметричный происходит искажение годографа вектора сопротивления прямой последовательности

(рис. 3), при этом изменяется величина (радиус *R*) годографа и его положение относительна начала координат ρ, а значит, изменяется и положение электрического центра качаний ЭЦК (рис. 4). В таблице представлены основные закономерности изменения сопротивления прямой последовательности в различных режимах, а также величины тех изменений, которые происходят с годографами вектора сопротивления при переходе в соответствующий режим.

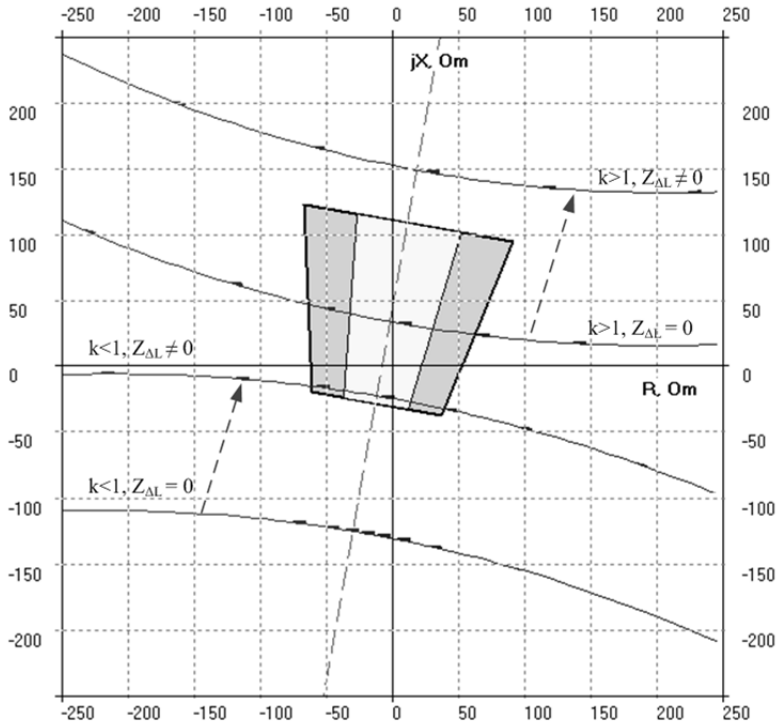

Рис. 3. Годографы сопротивлений прямой последовательности при симметричном и несимметричном АР

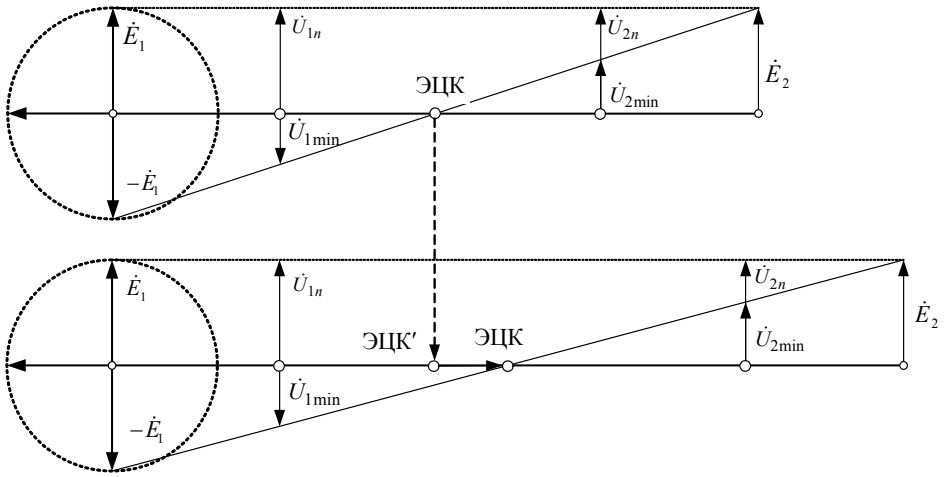

Рис. 4. Смещение электрического центра качаний в неполнофазном асинхронном режиме

Закономерности изменения сопротивления прямой последовательности в различных режимах

Режим	Параметры			
	Измеряемое сопротивление	Добавочное сопротивление	Радиус	Смещение
	$\dot{Z}_I$	$Z_{\Delta L}^{(n)}$	R	ρ
Симметричный	$-\dot{Z}_{1I}+\dfrac{\dot{Z}_1}{1-\dfrac{1}{k}e^{-j\delta}}$	–	$\dfrac{k}{k^2-1}Z_1$	$\left(\dfrac{k^2}{k^2-1}-\dfrac{Z_{1I}}{Z_1}\right)Z_1$
Работа двумя фазами	$-\dot{Z}_{1I}+\dfrac{\dot{Z}_1+\dot{Z}_{\Delta L}^{(1)}}{1-\dfrac{1}{k}e^{-j\delta}}$	$\dfrac{\dot{Z}_2\dot{Z}_0}{\dot{Z}_2+\dot{Z}_0}$	$\dfrac{k}{k^2-1}\times$ $\times\left(Z_1+Z_{\Delta L}^{(1)}\right)$	$\left(\dfrac{k^2}{k^2-1}-\dfrac{Z_{1I}}{Z_1+Z_{\Delta L}^{(1)}}\right)\times$ $\times\left(Z_1+Z_{\Delta L}^{(1)}\right)$

В неполнофазных режимах годограф сопротивлений прямой последовательности смещается вверх относительно начала координат на комплексной плоскости вне зависимости от соотношений ЭДС $\dot{E}_1$ и $\dot{E}_2\,(k)$ (рис. 3).

По сравнению с симметричным АР электрический центр качаний в неполнофазном АР смещается в сторону больших сопротивлений как для комплекта АЛАР-1, так и для комплекта АЛАР-2, что показано на рис. 4.

Полученные закономерности дают лишь представление о возможности выявления АР в неполнофазных режимах. Рассмотренный выше пример ограничивался одной линией связи между двумя эквивалентными энергосистемами, однако наиболее часто встречающиеся случаи – связь по двум и более параллельным линиям. Особый интерес представляют случаи возникновения неполнофазных АР на линиях с промежуточными отборами мощности. Четкое представление о возможности выявления АР в неполнофазных режимах можно получить лишь при исследовании сложной многомашинной схемы.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕПОЛНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ХОДА В СЛОЖНОЙ МНОГОМАШИННОЙ СИСТЕМЕ

Полученные закономерности дают лишь представление о возможности выявления АР в неполнофазных режимах. Четкое представление о возможности выявления АР в неполнофазных режимах можно получить лишь при исследовании сложной многомашинной схемы [8–11]. В качестве схемы для

более детального анализа закономерностей изменения сопротивления прямой последовательности в местах установки устройств АЛАР была выбрана тестовая многомашинная система, параметры и конфигурация которой представлены в стандарте СО ЕЭС [1].

Поскольку большинство отечественных и иностранных программных пакетов по расчету и анализу режимов в условиях неполнофазных режимов используют правило эквивалентности прямой последовательности, необходимо предварительно произвести расчет дополнительного сопротивления в месте возникновения продольной несимметрии (обрыв одной из фаз) в различных схемно-режимных ситуациях [14]. Расчет дополнительного сопротивления произведен в пакете АРМ СРЗА, расчет предаварийных режимов выполнен в пакете RastrWin3.

В качестве исходных данных для выбора характеристик срабатывания измерительных органов, входящих в состав органов выявления асинхронного хода (ОВАР) неполнофазного режима, используются следующие данные:

- расчетные годографы вектора сопротивления прямой последовательности $(\dot{Z}\rho)$, определяющегося по параметрам, измеренным устройством, при внутренних и внешних симметричных АР с метками углов δ между эквивалентными ЭДС систем;
- дополнительные сопротивления несимметричного повреждения для ВЛ для нормальных и ремонтных схем в условиях различного состава генерирующего оборудования и для смежного участка;
- расчетные годографы $\dot{Z}\rho$, определяющиеся по параметрам, измеренным устройством, при внутренних и внешних неполнофазных АР с метками углов δ между эквивалентными ЭДС систем.

На основе приведенных данных произведен расчет параметров срабатывания ОВАР для комплектов 1 и 2, установленных на линиях Л3 и Л5 соответственно [13]. Результаты расчетов представлены на рис. 5 и 6.

Анализ полученных годографов сопротивления прямой последовательностей для комплектов АЛАР 1 и АЛАР 2 показал следующее:

- выбранные уставки АЛАР для симметричных режимов требуют корректировки для работы в условиях неполнофазного асинхронного хода, поскольку происходит смещение годографов сопротивления прямой последовательности, относящихся как к внутренним асинхронным ходам, так и внешним;
- в неполнофазном АР и измерении сопротивления на поврежденной линии (на линии, где существует неполнофазный режим) годограф вектора сопротивления прямой последовательности смещается вверх относительно начала координат на комплексной плоскости при любом соотношении модулей ЭДС эквивалентных энергосистем;
- годограф вектора сопротивления для неповрежденной линий при внутреннем АР расположен вблизи области между годографами, построенными в полной и неполной схемах симметричного режима;
- электрический центр качаний имеет наибольшее удаление от места установки комплекта АЛАР в случае неполнофазного режима данной линии.

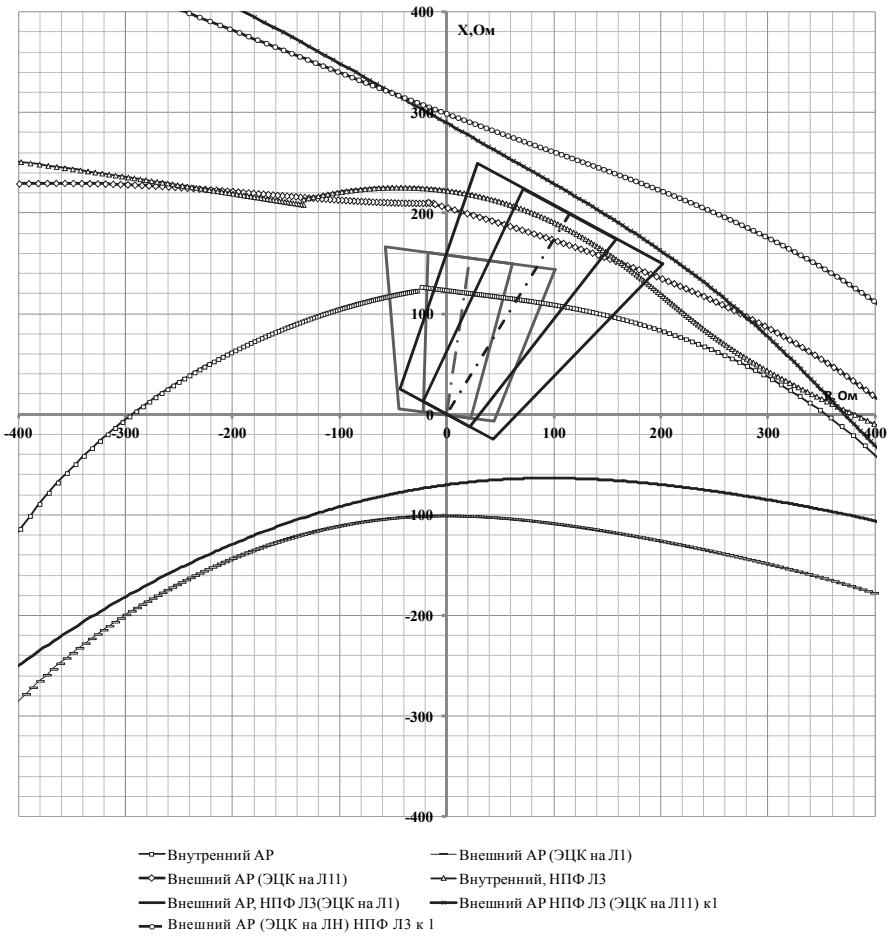

Рис. 5. Настройка первого комплекта АЛАР. Группа уставок симметричного и неполнофазного режима

3. ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ АЛАР В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОФАЗНОГО РЕЖИМА

Работа алгоритмов устройства АЛАР в условиях неполнофазного режима линии аналогична работе алгоритмов в симметричном режиме. Выявление асинхронного хода в неполнофазном режиме устройства анализирует характеристики годографа вектора сопротивления прямой последовательности $\dot{Z}\rho$, измеряемого в контролируемом сечении в месте установки устройства. Переход из симметричного режима в неполнофазный режим характеризуется для схемы прямой последовательности «электрическим удлинением» линии, смещением годографа сопротивления прямой последовательности. На стадии проектирования определяются две группы уставок – для симметричных и несимметричных режимов. По факту перехода из симметричного режима в несимметричный формируется разрешающий сигнал на работу с группой уставок неполнофазного режима. При отсутствии признаков несимметрии ОВАР, соответствующий группе уставок неполнофазного режима, выведен (заблокирован).

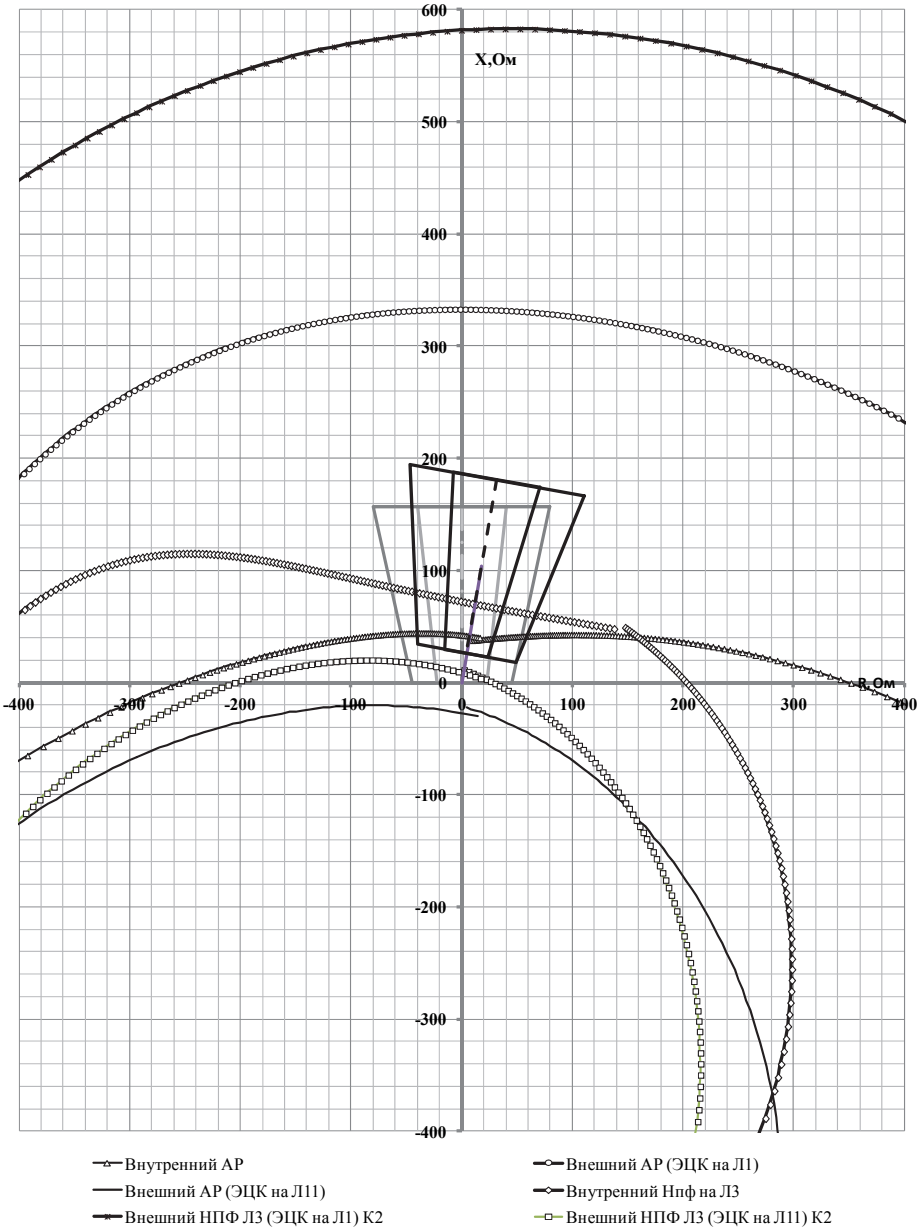

Рис. 6. Настройка второго комплекта АЛАР. Группа уставок симметричного и неполнофазного режима

Разрешающий сигнал на работу АЛАР с группой уставок для неполнофазного режима формируется при появлении признаков неполнофазного режима. Неполнофазный режим фиксируется при появлении тока нулевой последовательности больше заданной уставки. Разрешающий сигнал на работу АЛАР с группой уставок для неполнофазного режима может быть выполнен по изменению тока обратной последовательности, однако формирование разрешающего сигнала при появлении признаков несимметрии будет происходить с задержкой, вызванной переходным процессом в цифровых фильтрах симметричных составляющих [15].

Для исключения ложной работы и частых изменений групп уставок в асинхронном ходе разрешающий сигнал формируется с задержкой на возврат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные технические решения существенно расширяют функциональные возможности АЛАР. Разработанный алгоритм выявления асинхронных ходов, основанный на контроле сопротивления замера прямой последовательности, обеспечивает селективную работу АЛАР как в симметричных, так и в неполнофазных режимах.

Разработанные принципы были положены в основу при создании алгоритмов адаптации АЛАР к неполнофазным режимам. Для проверки работоспособности и эффективности предложенных алгоритмов осуществлена их реализация в виде программ, работа которых проверялась на технических средствах локальной противоаварийной автоматики, разработанных АО ИАЭС.

Испытания алгоритмов автоматики ликвидации асинхронных режимов и ее адаптации к неполнофазным режимам производились на электродинамической модели (ЭДМ) кафедры автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО 59012820.29.020.008–2015. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Автоматика ликвидации асинхронного режима. Нормы и требования / ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы». – Введ. 24.12.2015. – М., 2015.

2. РД 153-34.3-20.670–97. Методические указания по применению неполнофазных режимов работы основного электрооборудования электроустановок 330–1150 кВ / РАО «ЕЭС России». – Введ. 01.02.1999. – М., 1999.

3. *Беркович М.А. Комаров А.Н., Семенов В. А.* Основы автоматики энергосистем. – М.: Энергоиздат, 1981. – 432 с.

4. Методические указания по плавке гололеда переменным током. Ч. 1: МУ 34-70-027-82 / М-во энергетики и электрификации СССР. – М.: Союзтехэнерго, 1983. – 64 с.

5. *Гоник Я.Е., Иглицкий Е.С.* Автоматика ликвидации асинхронного режима. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 112 с.

6. *Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А.* Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.

7. СТО 59012820.29.240–008. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта. Нормы и требования / ОАО «Системный оператор Единой энергетической системы». – М., 2008.

8. *Кощеев Л.А.* Системная противоаварийная автоматика в ЕЭС СССР (России) // Электрические станции. – 2005. – № 1. – С. 59–63.

9. *Любарский Д.Р.* Проблемы совершенствования средств противоаварийной автоматики локального уровня электроэнергетических систем // Электрические станции. – 2006. – № 9. – С. 66–73.

10. *Акопян Г.С., Акопян С.Г.* Адаптивная защита энергосистемы от асинхронного хода // Электрические станции. – 2007. – № 8. – С. 60–64.

11. *Наровлянский В.Г., Налевин А.А.* Метод определения эквивалентных параметров схемы замещения энергосистемы в асинхронном режиме // Электричество. – 2005. – № 8. – С. 15–21.

12. *Лосев С.Б., Чернин А.Б.* Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 528 с.

13. *Глазырин В.Е., Танфильев О.В.* О выборе параметров модели энергосистемы для комплексной дистанционной проверки автоматики ликвидации асинхронного режима = Setting the power system model for out-of-step protection complex tests // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – № 4. – С. 323–325.

14. *Kosterev N.V., Yanovsky V.P., Kosterev D.N.* Modeling of out-of-step conditions in power systems // IEEE Transactions on Power Delivery. – 1996. – Vol. 11, N 2. – P. 839–844.

15. *Smith S.W.* The scientist and engineer's guide to digital signal processing. – San Diego, CA: California Technical Publ., 1999. – 650 p.

Танфильев Олег Вадимович, кандидат технических наук, доцент кафедры электрических станций Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – противоаварийное управление режимами энергосистем и релейная защита. Имеет 9 публикаций.. E-mail: tanfilev@corp.nstu.ru

Филиппова Тамара Арсентьевна, доктор технических наук, профессор кафедры производственного менеджмента и экономики энергетики. Основное направление исследований – управление режимами, оптимизация режимов работы энергосистем. Имеет более 50 публикаций. E-mail: filippova@corp.nstu.ru

Танфильева Дарья Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – надежность и оценка состояния электрооборудования, противоаварийное управление режимами энергосистем. Имеет 20 публикаций. E-mail: tanfileva@corp.nstu.ru

DOI: 10.17212/1814-1196-2018-2-175-187

Out-of-step detection setting principles in open-phase operating conditions[*]

O.V. TANFILEV[1], *T.A. FILIPPOVA*[2], *D.V. TANFILEVA*[3]

[1] *Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD (Eng), associate professor. E-mail: tanfilev@corp.nstu.ru*

[2] *Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D. Sc. (Eng.), professor. E-mail: filippova@corp.nstu.ru*

[3] *Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, PhD (Eng), associate professor. E-mail: tanfileva@corp.nstu.ru*

The paper considers the out-of-step detection setting principles in open-phase operating conditions. Out-of-step operation may occur in the power system under open-phase or deep symmetry conditions. Since open-phase out-of-step operation is not a rare event, the existing emergency control standards require out-of-step detection and elimination under these conditions. Out-of-step detection in non-symmetric conditions has traditionally been attributed to an additional algorithm of out-of-step protection (OSP). This algorithm has a sufficiently low selectivity and efficiency. Modern requirements to the out-of-step protection algorithm for eliminating an asynchronous run in asymmetric conditions do not imply the use of an additional algorithm. In this connec-

[*] *Received 14 November 2017.*

tion, the development of algorithms for adapting the out-of-step protection algorithm in open-phase operating conditions is urgent as well as the development of the out-of-step protection parameterization method for the open-phase mode. The paper presents a positive-sequence impedance change under out-of-step open-phase mode conditions for a simple two-machine system. Algorithms revealing transition from symmetric to non-symmetric modes and permitting the operation of the unit with a group of setting of open-phase operating conditions are proposed. An example of OSP sets in a complex multi-machine system that allows operating of both completely symmetric out-of-step conditions and of open-phase out-of-step conditions is given. As a scheme for analyzing regularities of changing positive-sequence impedance and choosing setting parameters in open-phase out-of-step conditions, a test multi-machine test system whose parameters and configuration are given in the standard [1] was chosen. Out-of-step protection principles and algorithms for open-phase operating conditions are proposed.

Keywords: Emergency control, out-of-step conditions, out-of-step protection system, open-phase operating conditions, non-synchronous mode, synchronous swings, electrical center of swings, positive-sequence impedance

REFERENCES

1. STO 59012820.29.020.008–2015. *Releinaya zashchita i avtomatika. Avtomaticheskoe protivoavariinoe upravlenie rezhimami energosistem. Avtomatika likvidatsii asinkhronnogo rezhima. Normy i trebovaniya* [Standard organization 59012820.29.020.008–2015. Relay protection and automation. Automatic emergency control of power system modes. Automatic elimination of asynchronous mode. Norms and requirements]. System Operator of the Unified Energy System. Moscow, 2015.

2. RD 153-34.3-20.670–97. *Metodicheskie ukazaniya po primeneniyu nepolnofaznykh rezhimov raboty osnovnogo elektrooborudovaniya elektroustanovok 330–1150 kV* [Regulating document 153-34.3-20.670–97. Methodical instructions for the use of incomplete-phase operation modes of the main electrical equipment 330–1150 kV]. RAO UES of Russia. Moscow, 1999.

3. Berkovich M.A. Komarov A.N., Semenov V.A. *Osnovy avtomatiki energosistem* [Bases of the emergency control of power system]. Moscow, Energoizdat Publ., 1981. 432 p.

4. *Metodicheskie ukazaniya po plavke gololeda peremennym tokom*. Ch. 1 [Methodical instructions for the melting of glaze with alternating current. Pt. 1]. MU 34-70-027–82. Ministry of Energy and Electrification of the USSR. Moscow, Soyuztekhenergo Publ., 1983. 64 p.

5. Gonik Ya.E., Iglitskii E.S. *Avtomatika likvidatsii asinkhronnogo rezhima* [Out-of-step protection]. Moscow, Energoizdat Publ., 1988. 112 p.

6. Gurevich Yu.E., Libova L.E., Okin A.A. *Raschety ustoichivosti i protivoavariinoi avtomatiki v energosistemakh* [Power systems stability and emergency control]. Moscow, Energoizdat Publ., 1990. 390 p.

7. STO 59012820.29.240–008. *Avtomaticheskoe protivoavariinoe upravlenie rezhimami energosistem. Protivoavariinaya avtomatika energosistem. Usloviya organizatsii protsessa. Usloviya sozdaniya ob"ekta. Normy i trebovaniya* [Standard organization 59012820.29.240–008. Automatic emergency control of power system modes. Emergency automatics of power systems. Conditions of the organization of the process. Conditions for creating an object. Norms and requirements]. System Operator of the Unified Energy System. Moscow, 2008.

8. Koshcheev L.A. Sistemnaya protivoavariinaya avtomatika v EES SSSR (Rossii) [System emergency control automatics in the UES of the USSR]. *Elektricheskie stantsii – Power Plants*, 2005, no. 1, pp. 59–63.

9. Lyubarskii D.R. Problemy sovershenstvovaniya sredstv protivoavariinoi avtomatiki lokal'nogo urovnya elektroenergeticheskikh sistem [Problems of improving the means of emergency automatics of the local level of electric power systems]. *Elektricheskie stantsii – Power Plants*, 2006, no. 9, pp. 66–73.

10. Akopyan G.S., Akopyan S.G. Adaptivnaya zashchita energosistemy ot asinkhronnogo khoda [Adaptive out-of-step protection]. *Elektricheskie stantsii – Power Plants*, 2007, no. 8, pp. 60–64.

11. Narovlyanskii V.G., Nalevin A.A. Metod opredeleniya ekvivalentnykh parametrov skhemy zameshcheniya energosistemy v asinkhronnom rezhime [Equivalent parameters determining method for the simplest grid in out-of-step mode]. *Elektrichestvo – Electrical Technology Russia*, 2005, no. 8, pp. 15–21.

12. Losev S.B., Chernin A.B. *Vychislenie elektricheskikh velichin v nesimmetrichnykh rezhimakh elektricheskikh sistem* [Electrical quantities calculation of in nonsymmetric modes of electrical systems]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 528 p.

13. Glazyrin V.E., Tanfilev O.V. O vybore parametrov modeli energosistemy dlya kompleksnoi distantsionnoi proverki avtomatiki likvidatsii asinkhronnogo rezhima [Setting the power system model for out-of-step protection complex tests]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka – Scientific problems of transportation in Siberia and the Far East*, 2014, no. 4, pp. 323–325.

14. *Kosterev N.V., Yanovsky V.P., Kosterev D.N.* Modeling of out-of-step conditions in power systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1996, vol. 11, no. 2, pp. 839–844.

15. Smith S.W. *The scientist and engineer's guide to digital signal processing*. San Diego, CA, California Technical Publ., 1999. 650 p.

Для цитирования:

Танфильев О.В., Филиппова Т.А., Танфильева Д.В. Особенности параметрирования автоматики ликвидации асинхронного хода в неполнофазных режимах // Научный вестник НГТУ. – 2018. – № 2 (71). – С. 175–187. – doi: 10.17212/1814-1196-2018-2-175-187.

For citation:

Tanfilev O.V., Filippova T.A., Tanfileva D.V. Osobennosti parametrirovaniya avtomatiki likvidatsii asinkhronnogo khoda v nepolnofaznykh rezhimakh [Out-of-step detection setting principles in open-phase operating conditions]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2018, no. 2 (71), pp. 175–187. doi: 10.17212/1814-1196-2018-2-175-187.