

# Развитие системы противоаварийного управления для предотвращения и ликвидации асинхронных режимов энергосистемы с использованием регистраторов комплексных величин (PMU)<sup>1</sup>

ВОРОПАЙ Н.И., РЕТАНЦ К., ЕФИМОВ Д.Н., ПОПОВ Д.Н., ХЭГЕР У.

*Представлены результаты разработки принципов селективной автоматики предотвращения и ликвидации асинхронных режимов (САПЛАР) на основе синхронизированных измерений углов напряжений, полученных от устройств PMU (Phasor Measurement Units). Представлены принципы действия и критерии срабатывания устройства САПЛАР. Эффективность подхода проиллюстрирована расчетным примером на тестовой схеме электроэнергетической системы.*

**Ключевые слова:** энергосистема, асинхронный режим, предотвращение, ликвидация, селективная автоматика, PMU

Асинхронный режим в энергообъединении является одним из самых тяжелых аварийных режимов. Он связан с нарушением устойчивости энергообъединения, что создает опасность повреждения оборудования, нарушения электроснабжения потребителей, нежелательного развития аварийного процесса с тяжелыми последствиями для энергообъединения в целом и его частей (blackout) [1–3 и др.]. В частности, при возможной в перспективе совместной работе энергообъединений UCTE и IPS/UPS по связям переменного тока возникновение асинхронного режима на интерфейсе между этими энергообъединениями может быть опасным для обоих с тяжелыми последствиями для систем и потребителей, поэтому требуются мероприятия по выявлению, предотвращению и ликвидации асинхронных режимов.

Для надежного, своевременного и селективного выявления и ликвидации асинхронного режима в электроэнергетической системе (ЭЭС) используется специальная автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР) [1, 4, 5]. Наиболее эффективной является так называемая селективная АЛАР на основе измерения угла [5–7]. В прошлом трудности непосредственного измерения угла с помощью средств телепередачи фазы напряжения заставляли использовать косвенное вычисление угла, наиболее

*The results obtained from development of principles for constructing an automatic system for selectively preventing and eliminating out-of-step operating modes using synchronized measurements of angles between voltage vectors obtained from phasor measurement units are presented. The operating principles of the automatic emergency control system and criteria according to which it comes into action are presented. The effectiveness of the developed approach is illustrated by a calculation carried out for a test configuration of an electric power system.*

**Key words:** power system, out-of-step operation, prevention, elimination, selective automatic control, phasor measurement units

распространенные способы которого основываются на определении амплитуды тока или комплексного сопротивления в месте подключения автоматики [5]. При этом ЭЭС представляется в виде двухмашинного эквивалента по отношению к сечению по связям, на котором установлена АЛАР.

Параметры двухмашинного эквивалента определяются в предположении когерентного движения генераторов исходной системы по обеим сторонам рассматриваемого сечения [5, 10 и др.]. Основанием для такого предположения является тот факт, что кинетическая энергия взаимных колебаний генераторов в переходном процессе при возмущении в случае возникновения асинхронного режима переходит в кинетическую энергию асинхронного движения двух групп генераторов по обе стороны сечения, по которому происходит асинхронный режим, а межмашинные колебания внутри этих двух групп генераторов существенно уменьшаются.

Наиболее просто реализуемым косвенным способом вычисления угла электропередачи является зависимость тока электропередачи от этого угла. Недостатком этого способа является большой разброс значений угла срабатывания АЛАР при принятой уставке срабатывания по току вследствие различного возможного состава и структуры связей в сечении при разных схемах и режимах в ЭЭС. Кроме того, эта зависимость нелинейна. Меньшую погрешность дает использование так называемой фантомной схемы — моделирования вектора напряжения удаленной точки от места установки автома-

<sup>1</sup>Работа выполнена при поддержке ведущей научной школы (грант НШ-4633.2010.8) и РФФИ (грант №09-08-91330 ННЮ а) и в рамках международного проекта ICOEUR (см. «Электричество», 2011, № 4).