

**КОНТРОЛЬ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ МЕЖСИСТЕМНЫХ СВЯЗЕЙ
НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАЗАХСТАНА
В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ
СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

К.К.Тохтибакиев, А.А.Саухимов

Некоммерческое АО «Алматинский университет энергетики и связи»,

ул. Байтурсынова 126, Алматы, 050013, Казахстан. E-mail: sauchimov@gmail.com

Рассмотрены возможности создания в Национальной энергетической системе (НЭС) Казахстана системы мониторинга пропускной способности в реальном времени на основе устройств Phasor measurement unit – PMU. Внедрение данной системы в электрических сетях НЭС Казахстана позволит создать принципиально новую адаптивную систему управления электроэнергетическими системами с использованием текущих параметров состояния системы, что повысит наблюдаемость, надежность и управляемость сети. Библ. 9, рис. 1, табл. 1.

Ключевые слова: wide area measurement system, национальная энергетическая система, национальный диспетчерский центр, переток, мощность, надежность.

Введение. Разработка новых технологий контроля и управления электроэнергетических систем (ЭЭС) в режиме реального времени стала возможной с появлением устройств Phasor measurement unit (PMU), на базе которого создается система Wide area measurement system (WAMS), основанная на технологии синхронизированных векторных измерений режимных параметров в узлах энергосистемы, географически удаленных друг от друга на большие расстояния [6].

Системы WAMS используются для решения задач, требующих оперативной информации в темпе изменения режима сети [2,9]: мониторинг состояния энергосистемы в установившихся и переходных режимах электроэнергетических систем; оценка параметров и верификация расчетных моделей, адаптация ее текущему состоянию ЭЭС в режиме реального времени; анализ технологических нарушений и аварий.

Постановка задачи. Преимущества систем WAMS заключаются в том, что они позволяют не только контролировать режимы ЭЭС в темпе реального времени, но и создавать принципиально новые адаптивные системы управления ЭЭС, использующие текущие параметры состояния системы. Адаптивные системы управления устраняют недостатки систем, основанных на программных принципах, при известных или заданных значениях параметров генерации и мощности нагрузок с необходимостью выполнения расчетов по управлению режимов вне контура управления. При расчетах пропускной способности вне контура управления определение максимально допустимых перетоков (МДП) по сечениям выполняется для наихудшего режима с нормативным запасом по устойчивости.

В соответствии с инструкцией [6] для обеспечения устойчивости режима максимальное значение перетока мощности по контролируемым сечениям устанавливается с учетом 20% запаса по статической устойчивости, что снижает эффективность НЭС Казахстана в условиях роста нагрузки и дефицита генерирующих мощностей в Южных Регионах Республики Казахстан [8]. Создание адаптивной системы управления режимами НЭС Казахстана позволит максимально использовать пропускную способность сети, повысить надежность управления в условиях отклонения фактического баланса мощности от планируемого, обусловленного неравномерной генерацией мощности от возобновляемых источников энергии (ВИЭ). По данным работы [5] до конца 2020 года ожидается подключение более 3000 МВт источников ВИЭ или 15% от общей установленной мощности генерирующих станций Республики Казахстан. Такое изменение баланса генерирующих мощностей усложняет диспетчерское управление режимами НЭС Казахстана, связанное со сложностями прогнозирования генерации ВИЭ и нестабильности выдаваемой мощности в течении расчетного времени по планируемому графику выдачи мощности.

Важным выводом из опыта внедрения систем WAMS в странах ближнего и дальнего зарубежья является то, что данные системы имеют практически одинаковый по функционалу состав приложений мониторинга [4]. Отсутствует проблема статической устойчивости и связанные с ней вопросы обнаружения и предотвращения аварийных режимов, т.к. в европейских странах, США и Юго-Восточной Азии отсутствуют слабые межсистемные связи.

Объект исследования. В статье представлены результаты исследования использования измерения взаимных углов передачи на базе синхронизированных векторных измерений (PMU) для контроля пропускной способности по условиям статической устойчивости транзита 500 кВ «Север-Юг» НЭС Казахстана.

Контроль ограничений по условиям статической устойчивости осуществляется автоматическими устройствами фиксации перегрузки по мощности, получившими названия автоматики от сброса мощности (АНМ) [1,3,6].

АНМ, фиксирующая опасную перегрузку сечения межсистемной связи по условиям статической устойчивости в энергосистеме, является выявительным органом ПА, действующим по принципу 2 "ДО", до наступления нарушения. Данный способ выявления нарушения устойчивости имеет ряд следующих основных недостатков:

- для контроля предельной загрузки сечения по передаваемой мощности между энергоузлами устройства АНМ необходимо установить на всех ЛЭП, входящих в данное сечение;
- уставки АНМ являются зависимыми от схемы сети. В послеаварийных (или ремонтных) схемах с отключениями участков параллельных ВЛ по транзиту возникает необходимость изменения уставки;
- для контроля перетоков мощности на транзитных участках сети с отборами мощности возникает необходимость установки устройств измерения мощности на всех точках отбора.

По данным [8] за 2014 год превышение аварийно-допустимого перетока в 1300 МВт (ограничение по статической устойчивости) составило 1225 ч, что свидетельствует о недоиспользовании транзитного потенциала, а также росте нагрузок в Южной зоне. В работах [1,4,7] показано, что в южных регионах Республики Казахстан дефицит мощности в 2015 году возрастет до 1346 МВт, а в 2020 году – до 1704 МВт. Ввод новых генерирующих мощностей не сможет в полном объеме обеспечить покрытие энергопотребления южных регионов страны.

Устранение указанных недостатков контроля уровня устойчивости на основе измерения перетоков мощности достигается при переходе к использованию новых, адаптивных к изменениям режима сети способов контроля уровня устойчивости на основе измерения фазных углов напряжения в контролируемых узлах и не требующих выполнения предварительных многовариантных расчетов для определения МДП. Отличительной особенностью систем WAMS от других аппаратных комплексов является то, что данные об изменениях параметров режима поступают синхронно с единой меткой времени посредством спутниковой связи GPS.

Метод расчета. Контроль взаимных углов позволяет определить момент нарушения устойчивости при достижении этими углами предельных значений

$$\delta_{ti} \leq \delta_{pri} \quad (1)$$

где δ_{ti} и δ_{pri} – текущее и предельное значения угла, соответственно.

Ниже приведены результаты численных расчетов по определению нарушения статической устойчивости по предельным значениями перетоков мощности в контролируемых сечениях и предельным значениям взаимных углов между опорными узлами для транзита 500 кВ «Север-Юг» (рисунок). Контроль запаса устойчивости определяется в режиме реального времени на основе измерения фазных углов напряжения в контролируемых узлах от устройств PMU, обеспечивающих векторные синхронизированные измерения параметров режима с единой меткой времени. Граница области устойчивости или условия прогнозирования момента нарушения устойчивости определяется с использованием специального алгоритма, связанного с поиском границы устойчивости в темпе процесса (описание указанного алгоритма не входит в круг вопросов, рассматриваемых в данной статье). В соответствии с определением границы области устойчивости как некоторой поверхности ψ , координаты взаимных углов можно построить как

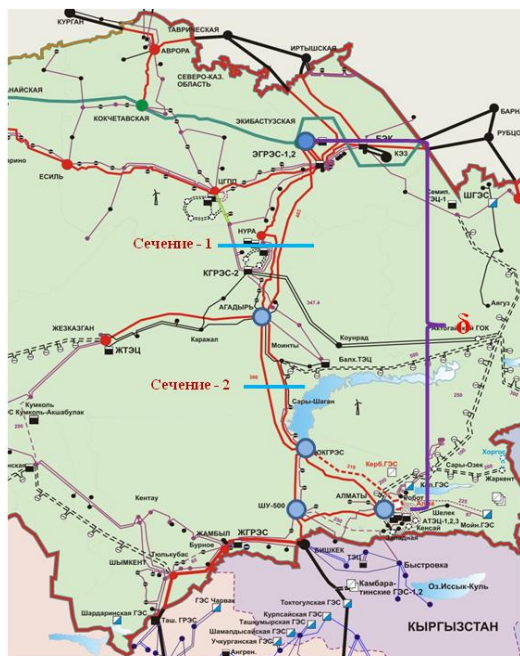


Рисунок -1

некоторую область устойчивых режимов внутри этой поверхности. Аналитическое представление этой поверхности в простейшем случае при измерении взаимного угла выражается в виде кривой

$$v = \partial P / \partial \delta = (EU / X) \cdot \cos \delta = A \cos \delta$$

Эта зависимость функции v от угла аналогична зависимости потенциальной части некоторой функции Ляпунова. Область устойчивости и текущее состояние системы в аналитической форме представляется некоторой функцией от координат системы и параметров схемы.

При использовании известной функции Ляпунова для устойчивых состояний выполняется следующее условие: $v_i \leq v_p$ или $\Delta v_i / \Delta \delta > 0$.

При выполнении численных расчетов нарушения статической устойчивости определяются предельными режимами работы системы и предельными значениями перетоков по контролируемым сечениям.

Результаты расчета. В таблице приведены результаты расчетов статической устойчивости с определением значений перетоков по сечениям и взаимных углов между севером и югом транзита (между ПС Экибастузская – ПС Алматы) при постоянном отборе на Жезказганском энергоузле (двухмашинная модель) для различных схем транзита Север-Юг.

| Наименование схемы | Взаимный угол между Севером и Югом (предельный), град. | Переток по сечению 1 | Переток по сечению 2 |
|------------------------------------|--|----------------------|----------------------|
| Нормальная схема | 90,5 | 1820 | 1488 |
| Отключение одной ВЛ Нура-Агадырь | 89,5 | 1457 | 1077 |
| Отключение одной ВЛ Агадырь-ЮКГРЭС | 89,6 | 1444 | 1148 |
| Отключение одной ВЛ ЮКГРЭС-Алматы | 87,3 | 1706 | 1390 |

Как видно из таблицы, критические значения или предельные значения уровня статической устойчивости в координатах взаимных углов прак-

тически не изменяются при изменении схемы сети, тогда как эти показатели в координатах перетоков существенно зависят от схемы и от точки контроля перетоков (в данном случае возникает необходимость контролировать два сечения).

Выполненные расчеты показывают, что контроль пропускной способности по транзиту «Север-Юг» с использованием измерений угла между ПС «Экибастузская 1150» и ПС «Алматы» позволяет сохранить устойчивость при малых изменениях разности углов с максимальным использованием пропускной способности сети.

Заключение. Обзор внедренных систем WAMS в странах ближнего и дальнего зарубежья показывает эффективность их реализации, которая направлена на повышение надежности и «живучести» крупных энергосистем 330-500кВ. Создание системы мониторинга пропускной способности НЭС Казахстана по транзиту Север-Юг на базе WAMS технологий обеспечит максимальное использование пропускной способности сети, повысит надежность и эффективность работы за счет перехода к контролю устойчивости в координатах угол /напряжение.

Внедрение системы WAMS по транзиту 500кВ «Север-Юг» позволяет решать следующие задачи мониторинга устойчивости и управления режимами НЭС Казахстана:

- оценка уровня устойчивости на основе контроля состояния системы в координатах взаимных углов по данным синхронизированных измерений. При этом границы областей устойчивости возможно определить в режиме Off-line;
- обеспечение наблюдаемости системы с целью оценки состояния и формирования модели ЭЭС в контуре управления. При этом границы области устойчивости определяются в режиме On-line.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета Науки МОН РК (грант № 00715Q/4 договор № 283 от 12.02.15)

1. Исследование эффективности автоматического управления пропускной способностью ЛЭП 220-500-1150 кВ НЭС Казахстана с разработкой алгоритмов управления для обеспечения устойчивости. – Алматы: НАО АУЭС, 2013. – 232 с.

2. Килтер Я., Голощанов А., Махковец Б. Система мониторинга переходных режимов Эстонии – создание и опыт эксплуатации – Санкт-Петербург: Сигре Российский национальный комитет, 30 мая –3 июня 2011.

3. Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н. Методы и алгоритмы управления современными электроэнергетическими системами // Семинар лаборатории ИПУ РАН по теории автоматического управления. – М., 2010. – 54 с.

4. *Разработка* проекта адаптивной системы управления режимами НЭС Казахстана на базе WAMS. – Алматы: НАО АУЭС, 2014. – 125 с.
5. *Распределенная генерация* как фактор инновационного развития современных энергосистем /10-й Межд. электроэнергетический семинар повышения квалификации руководящих работников и специалистов электро-сетевого комплекса стран СНГ, Алматы, Республика Казахстан, 30.03 – 03.04.2015.
6. *Руководящие указания* по противоаварийной автоматике энергосистем – М.: Министерство энергетики и электрификации СССР, 1987.
7. *Соколов С.Е, Тохтибакиев К.К, Саухимов А.А, Нурутдинова А.Т.* Повышение пропускной способности транзита «Север-Юг» с использованием управляемых статических компенсаторов / Вестник АУЭС. – 2014. – №1.
8. *Схема развития* НЭС Казахстана до 2020 года. Available at: www.kegoc.kz .
9. *Cardenas J., Lypcz de Vicaspre A., Lypcz A., Ruiz J., Koksal F., Aycin H., Iliceto F.* Multilin Implementation of a Special Protection System (SPS) in the Interconnection between the Turkish and ENTSO-E Power Systems to counteract propagation of Major Disturbances / Packworld 27 – 30 June 2011, Dublin, Ireland.

КОНТРОЛЬ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ МІЖСИСТЕМНИХ ЗВ'ЯЗКІВ НЕС КАЗАХСТАНА У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ СИНХРОНІЗОВАНИХ ВЕКТОРНИХ ВИМІРЮВАНЬ

К.К.Тохтибакієв, А.А.Саухімов

Некомерційне АО "Алматинський університет енергетики та зв'язку",

вул. Байтурсинова, 126, Алмати, 050013, Казахстан. E-mail: sauchimov@gmail.com

У статті розглято можливість створення в НЕС Казахстана системи моніторингу пропускної спроможності у реальному часі на основі пристроїв Phasor measurement unit (PMU). Впровадження даної системи в електричних мережах НЕС Казахстана дозволить створити принципово нову адаптивну систему керування електроенергетичними системами з використанням поточних параметрів стану системи, що підвищить спостережуваність, надійність та керованість мережі. Бібл. 9, рис. 1, табл. 1.

Ключові слова: WAMS, NEG, національна енергетична система, диспетчерський центр, перетік, потужність, надійність.

CAPACITY CONTROL OF TRANSPORT LINES OF KAZAKHSTAN NATIONAL ELECTRIC GRID IN REAL TIME USING SYNCHRONIZED PHASOR DATA MEASUREMENTS

К.К.Tokhtibakiev, A.A.Sauhimov

Non- Profit JSC «Almaty University of Power Engineering and Telecommunications»

126, Baytursynova str., Almaty, 050013, Kazakhstan. E-mail: sauchimov@gmail.com

Global system of monitoring mode electrical grid - Wide Area Monitoring Systems(WAMS) is instrument by visualizations of parameters mode, generation and transmitting electrical power with readability 20 ms. Synchronized vector measurements in real time with high resolution let follow on change of parameters of energy systems. Implementation this system in electrical grid of NEG Kazakhstan allow control of stream power in basic lines 500 kV "KEGOC" JSC, that increases visualization, reliability and control power stream in normal and after emergency modes. References 9, figure 1, table 1.

Key words: WAMS, NEG, National control center, overflow, capacity, reliability.

1. *Research of efficiency* of automatic control by the carrying capacity of ETL 220-500-1150 kV NPS of Kazakhstan with development of management algorithms for providing of stability. – Almaty: JCS AUPET, 2013. – 232 p. (Rus)
2. *Kilter J., A. Goloshapov A., Makovec B.* WAMS Estonia – create and experience. S.-Peterburg: Cigre Russia's committee, 30 may –3 june 2011. (Eng)
3. *Misrihanov M.S, Ryabchenko V.N* Methods and management algorithms by the modern електроенергетическими systems // Seminar laboratories on the theory of automatic control. – Moskva, 2010. – 54 p. (Rus)
4. *Development project* of systems adaptive control mode of NEG Kazakhstan on base WAMS technology. – Almaty: AUES, 2014. (Rus)
5. *Up-diffused generation* as factor of инновационного development of modern grids // 10th the International electroenergy seminar of in-plant training of leading workers and specialists of electro-network complex of countries the CIS. – Almaty, Republic of Kazakhstan 30.03 - 03.04.2015. (Rus)
6. *Leading pointing* on automatic protective devices of grids. – Moskva: Ministerstvo energetiki i elektrifikatsii SSSR, 1987. – 26 p. (Rus)
7. *Sokolov S.E, Tokhtibakiev K.K, Saukhimov A.A, Nurutdinova A.T.* Increase of basic lines North-South capacity with using control statically compensator / Vestnik AUES. – 2014. – No 1. (Rus)
8. *Scheme of development* NEG Kazakhstan until 2020. Available at: <http://www.kegoc.kz> (Rus)
9. *Cardenas J., Lypcz de Vicaspre A., Lypcz A., Ruiz J., Koksal F., Aycin H., Iliceto F.* Multilin Implementation of a Special Protection System (SPS) in the Interconnection between the Turkish and ENTSO-E Power Systems to counteract propagation of Major Disturbances / Packworld 27 – 30 June 2011, Dublin Ireland. (Eng)

Надійшла 20.04.2015
Остаточний варіант 13.05.2015