

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СВИ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, ЗАЩИТЫ И МОНИТОРИНГА**

**Пискунов С.А.**, ООО «Инженерный центр «Энергосервис»,  
Архангельск, Россия. E-mail: s.piskunov@ens.ru.

**Хромцов Е.И.**, Северный (Арктический) федеральный  
университет, ООО «Инженерный центр «Энергосервис»,  
Архангельск, Россия. E-mail: e.khromtsov@ens.ru.

**Мокеев А.В.**, Северный (Арктический) федеральный  
университет, ООО «Инженерный центр «Энергосервис»,  
Архангельск, Россия. E-mail: a.mokeev@narfu.ru.

***Аннотация:** В докладе рассматриваются вопросы применения СВИ для совершенствования систем управления, защиты и мониторинга распределительных сетей 6-20 кВ. Приведены преимущества СВИ для создания системы определения поврежденной кабельной линии при ОЗЗ, системы мониторинга состояния понижающего трансформатора, распределенных систем релейной защиты понижающих трансформаторов, сборных шин подстанций, воздушных и кабельных линий распределительных сетей.*

***Ключевые слова:** синхронизированные векторные измерения (СВИ), однофазное замыкание на землю (ОЗЗ), мониторинг состояния трансформатора.*

### **Введение**

Синхронизированные векторные измерения (СВИ) могут быть использованы в электроэнергетике для решения различных задач: мониторинга переходных процессов, идентификации аварийных ситуаций и технологических нарушений, анализа возмущений энергосистемы, выявления низкочастотных колебаний, мониторинга состояния оборудования подстанций [1], а также для создания эффективных, надежных и быстродействующих устройств релейной защиты [2].

В работе рассматриваются вопросы применения СВИ для создания системы определения поврежденного участка кабельной распределительной сети 6-20 кВ при однофазном замыкании на землю, мониторинга состояния силового трансформатора, в устройствах РЗА сборных шин подстанций, понижающих трансформаторов. Авторами статьи представлены

результаты исследований в указанных направлениях, приведены примеры их реализации.

### ***Определение поврежденного участка кабельной сети при ОЗЗ***

Российские распределительные кабельные сети 6-20 кВ в большинстве случаев работают в режиме с изолированной или компенсированной нейтралью. При этом поиск места повреждения при ОЗЗ часто занимает значительное время.

В сетях с компенсированной нейтралью ток ОЗЗ может составлять всего несколько процентов от максимального тока нулевой последовательности (НП) в сети, что осложняет поиск поврежденной кабельной линии. Авторами работы предлагается использовать измерение синхровекторов тока НП по участкам сети (кабельным линиям) и напряжений НП на шинах источника питания (ПС/РП), чтобы осуществлять определение поврежденной кабельной линии при ОЗЗ [1].

Для работы системы формируются участки кабельной сети (кабельная линия или группа кабельных линий), на концах каждого участка устанавливаются устройства измерения синхровекторов тока НП. Определение поврежденного участка осуществляется в общем случае по максимальному значению угловой характеристики, рассчитываемой по формуле:

$$\psi_{\Delta n} = \Delta\varphi_n \frac{I_{0nmax}}{I_{0b}}, \quad (1)$$

где  $\psi_{\Delta n}$  – угловая характеристика  $n$ -го участка сети;  $I_{0nmax}$  – максимальный модуль синхровектора тока НП на  $n$ -м участке;  $\Delta\varphi_n$  – фазовый сдвиг синхровекторов тока НП на  $n$ -м участке;  $I_{0b}$  – базовое значение тока НП.

Величина  $\psi_{\Delta n}$  позволяет определить поврежденный участок сети даже при полной компенсации емкостного тока.

Предложенный алгоритм позволяет определять поврежденный участок только по синхровекторам тока НП, измеряемым на ТП. Измерение синхровекторов напряжения НП требуется только на шинах источника питания (РП/ПС).

Для работы системы необходимо, чтобы емкостный ток

участков не превышал 50% суммарного емкостного тока сети и 90% емкостного тока присоединений источника питания. Для устранения указанных ограничений разработаны дополнительные критерии распознавания ОЗЗ [3].

Система определения поврежденного участка кабельной сети при ОЗЗ реализована в рамках программно-аппаратного комплекса «Цифровой РЭС», разработанного специалистами ООО «Инженерный центр «Энергосервис». Основные компоненты комплекса: устройства ЭНЛЗ для измерения синхровекторов тока и напряжения нулевой последовательности, устройство для сбора и передачи данных ЭНКМ-3 со встроенным GPS/ГЛОНАСС-приёмником, программное обеспечение «ES-Граф» [1]. ПТК «Цифровой РЭС» используется в качестве пилотного проекта в Архангельских электрических сетях, а также находится в опытной эксплуатации на нескольких ТП и РП МУП «Электросеть» г. Череповец.

### ***Мониторинг состояния трансформатора***

Система мониторинга состояния силового трансформатора реализована с помощью измерения синхровекторов фазных токов и напряжений на выводах его обмоток [1]. Система позволяет рассчитывать параметры Г-образной схемы замещения трансформатора, оценивать его перегрузочную способность, производить вычисления остаточного ресурса витковой изоляции. В состав системы интегрированы другие подсистемы мониторинга подстанции: телемеханики, энергомониторинга, мониторинга качества электроэнергии.

### ***Применение СВИ в устройствах РЗА***

Применение СВИ совместно с технологиями цифровой подстанции позволит создать эффективные устройства релейной защиты. В работе [2] авторами предложены алгоритмы дифференциальной защиты на базе СВИ для понижающих трансформаторов, сборных шин подстанций, воздушных и кабельных линий распределительных сетей. Рассмотрены новые принципы обеспечения селективности дифференциальной защиты трансформатора при броске намагничивающего тока (БНТ) и внешних коротких замыканиях.

## **Заключение**

Технология СВИ обладает значительными возможностями для совершенствования систем управления, защиты и мониторинга электрических сетей и подстанций. Рассмотренные в докладе примеры подтверждают эффективность использования СВИ для совершенствования систем управления, защиты и мониторинга.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Popov A.I., Mokeev A.V., Piskunov S.A., Rodionov A.V.* Applications of synchrophasor measurement to improve the reliability and efficiency of power systems // E3S Web of Conf., Volume 216, 01045, 2020.

2. *Mokeev A.V., Piskunov S.A., Ulyanov D.N., Khromtsov E.I.* Improving the efficiency and reliability of RPA systems of digital step-down substations and digital grids // E3S Web of Conf., Volume 216, 01044, 2020.

3. *Piskunov S.A., Mokeev A.V., Khromtsov E.I.* Application of synchronized phasor measurements in RPA devices of distribution networks // SUSE-2021 (в процессе публикации).

### **Авторы:**

**Пискунов Сергей Александрович**, инженер группы комплексного проектирования ООО «Инженерный центр «Энергосервис». В 2016 году получил диплом инженера-электрика в САФУ, e-mail: s.piskunov@ens.ru.

**Хромцов Евгений Иосифович**, аспирант кафедры электроэнергетики и электротехники Северного (Арктического) федерального университета, программист отдела разработки микропроцессорных устройств ООО «Инженерный центр «Энергосервис». В 2014 году получил диплом инженера –электрика в САФУ, e-mail: e.khromtsov@ens.ru.

**Мокеев Алексей Владимирович**, Северный (Арктический) федеральный университет, профессор кафедры «Электроэнергетика и электротехника». ООО «Инженерный центр «Энергосервис», заместитель генерального директора. Получил диплом инженера-электрика в 1981 году, Ленинградский политехнический институт (ныне СПбГПУ), электромеханический факультет. В 2011 году защитил докторскую диссертацию «Методы и алгоритмы обработки сигналов в интеллектуальных электронных устройствах энергосистем различного функционального назначения» в СПбГПУ, e-mail: a.mokeev@narfu.ru.