

УДК 621.311

*Коновалов Юрий Васильевич,**к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: yrvaskon@mail.ru**Головатюков Леонид Константинович,**обучающийся группы ЭЭ-22-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,**Гончаренко Алена Анатольевна, Разумейко Евгений Петрович,**обучающиеся группы ЭЭ-23-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,**Корпан Вадим Ярославович,**обучающийся группы ЭЭ-24-1 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: Thegrimreaperdecadal@mail.com***ИНТЕГРАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ
В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ***Konovarov Yu.V., Golovatyukov L.K., Goncharenko A.A., Razumeiko E.P., Korpan V.Ya.***INTEGRATION OF MEASURING OPTICAL TRANSFORMERS INTO INTELLIGENT
ENERGY SYSTEMS**

Аннотация. Выполнен комплексный анализ перспектив развития оптических трансформаторов тока и напряжения в электроэнергетических системах, которые представляют собой новый класс изделий, использующих последние достижения в оптике, электронике, системах цифровой обработки и передачи сигналов.

Ключевые слова: электроэнергетические системы, анализ, перспективы, развитие, оптические трансформаторы тока и напряжения, цифровая обработка и передача сигналов.

Abstract. A comprehensive analysis of the development prospects of optical current and voltage transformers in electric power systems has been carried out. These transformers represent a new class of products that use the latest advances in optics, electronics, digital signal processing and transmission systems.

Keywords: electric power systems, analysis, prospects, development, optical current and voltage transformers, digital signal processing and transmission.

В настоящее время в России реализуется Национальный проект «Цифровая экономика Российской Федерации». В состав этого проекта входят федеральные проекты, в том числе «Цифровые технологии» [1, 2]. Одной из наиболее технологичных отраслей экономики является электроэнергетика, цифровизация которой повысит эффективность работы всех предприятий. Тренд на цифровизацию приводит к постепенной трансформации объектов электроэнергетики в интеллектуальные структуры, в так называемые интеллектуальные энергетические системы (ИЭС) или Smart Grid (интеллектуальные сети) [3]. Признаками интеллектуальности для энергетической системы являются:

- обеспечение заданного контроля состояния всех подсистем;
- самодиагностика и выдача прогнозов по дальнейшим действиям в случае появления развивающегося аварийного режима;

- обеспечение всех режимов управления своими устройствами регулирования с полным контролем правильности исполнения команд.

Обеспечение контроля и управления невозможно без наличия актуальных и полных данных по режимам работы электроустановок. Базовыми данными для этого являются величины токов и напряжений в точках контроля режимных параметров. Сигналы тока и напряжения традиционно получают от измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) [4-7]. Эксплуатируемые на большинстве объектов электроэнергетики ТТ и ТН по принципу своего действия относятся к электромагнитным или емкостным и имеют ряд существенных недостатков:

- большие размеры и большой вес для высоких классов напряжения 110, 220, 330, 500, 750 кВ и, как следствие, большая стоимость;

- возможность пробоя изоляции ввиду наличия металлических частей;
- возможность повреждения изоляции при перенапряжениях в сети;
- повышенная пожаро- и взрывоопасность ввиду наличия масла, бумаги;
- необходимость обслуживания, проверки и замены масла, элегаза или азота;
- необходимость обслуживания и проверки ТТ после аварийного режима из-за остаточной намагниченности магнитопровода;
- отсутствие цифрового интерфейса, ухудшение точности измерения вследствие передачи сигнала по аналоговым линиям, дополнительные затраты на оцифровку сигнала.

Для устранения этих недостатков в последние годы начали активно развиваться новые оптические методы измерения тока и напряжения, в первую очередь, основанные на магнитооптическом эффекте Фарадея и электрооптическом эффекте Поггеля. Принцип работы этих устройств, разрабатываемых на основе этих эффектов, так называемых оптических трансформаторов тока и напряжения, основан на эффекте магнитного поля, которое взаимодействует со светом. Изменение тока и напряжения влияет на магнитное поле, что вызывает изменение интенсивности света, проходящего через оптоволоконный кабель, по которому передается световой сигнал.

Существует несколько иностранных и отечественных фирм, которые производят подобные оптические трансформаторы, например, представленные на рисунке 1.

Эти приборы, обладают рядом преимуществ перед традиционными средствами измерения токов и напряжений:

- небольшой вес, размеры;
- высокая электрическая прочность изоляции, пожаро- и взрывобезопасность;
- отсутствие масла, элегаза, азота, что упрощает эксплуатацию оборудования;
- отсутствие магнитопровода в конструкции, что приводит к увеличению стабильности метрологических характеристик;
- широкий динамический диапазон измеряемых токов и напряжений (от единиц до нескольких тысяч вольт и ампер);
- широкий частотный диапазон измерений, возможность анализа переходных

процессов и измерения гармонических составляющих тока и напряжения для регистрации показателей качества электроэнергии;

- цифровой интерфейс, простота интеграции с микропроцессорными модулями современных цифровых устройств защиты и учета электроэнергии, соответствие стандарту IEC 61850 в интеллектуальных энергетических системах;

- передача данных на большие расстояния: оптические волокна могут передавать сигнал на расстояния до сотен километров, что идеально подходит для распределенных энергетических систем;

- уменьшение затрат на инфраструктуру: позволяет сократить затраты на прокладку кабелей, так как волокна легче и компактнее;

- неподверженность внешним воздействиям: оптические датчики не подвержены коррозии и могут работать в агрессивных средах, что увеличивает их долговечность.



Рисунок 1 – Комбинированные оптические трансформаторы тока и напряжения NXTPhase (слева) и ABB (справа) на классы напряжения 110-550 кВ.

Ветряные и солнечные электрические станции также активно используют оптические измерительные трансформаторы. Их применение позволяет более эффективно контролировать выработку электроэнергии, а также управлять распределением энергии в сети, снижая потери и увеличивая общую производительность [8].

Кроме того, оптические трансформаторы играют ключевую роль в интеллектуальных энергетических системах (Smart Grid), обеспечивая интеграцию с IoT-устройствами для анализа и управления в реальном времени. Это не только позволяет собирать акту-

альную информацию и проводить мониторинг, но и снижает затраты на обслуживание и эксплуатацию энергообъектов. Также они находят применение в системах управления нагрузкой и оптимизации электрических сетей, что делает их важным элементом в модернизации энергетической инфраструктуры. Использование таких технологий способствует созданию более устойчивых и эффективных энергетических решений, отвечая требованиям современных систем энергообеспечения и устойчивого развития.

Внедрение оптических измерительных трансформаторов обеспечивает экономическую эффективность, заключающуюся в снижении эксплуатационных затрат благодаря долговечности и низким затратам на обслуживание и в оптимизации работы электросетей и уменьшению потерь. Цифровые системы управления способны на основе данных в режиме реального времени предсказывать изменения в нагрузке и адаптировать режим работы сетей, что позволит значительно повысить эффективность электроэнергетики. Внедрение искусственного интеллекта и машинного обучения в анализ данных, получаемых от оптических первичных датчиков, откроет новые горизонты в управлении электроэнергетическими системами.

Оптические трансформаторы тока и

напряжения представляют собой новый класс изделий, использующих последние достижения в оптике, электронике, системах цифровой обработки и передачи сигналов. Оптические трансформаторы представляют собой современные устройства для измерения и контроля тока и напряжения в электрических сетях с использованием оптических технологий. Они обладают высокой точностью, стабильностью и надежностью, что делает их важными компонентами в системах электроснабжения. Уникальные свойства волоконно-оптических измерительных трансформаторов (компактность, небольшой вес, полная гальваническая развязка) позволяют использовать эти устройства на открытых распределительных устройствах ОРУ 110-750 кВ в составе автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) и систем релейной защиты, в мобильных передвижных метрологических лабораториях, на прочих энергетических объектах. Применение оптических трансформаторов тока и напряжения позволит облегчить и ускорить создание интеллектуальных энергосистем, так как они имеют цифровые интерфейсы, которые полностью совместимы с существующими и проектируемыми системами на базе стандартов IEC 61850.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровая экономика РФ. Сайт Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/>. (дата обращения: 27.10.2024)

2. Коновалов Ю.В. Тенденции развития мировой энергетики в современных условиях / Ю.В. Коновалов, Н.В. Буякова, А.А. Терехова, Н.К. Малинин, А.С. Хухрянская // Сб. научн. тр. АнГТУ. – Ангарск. – 2024. № 21. – С. 302-307.

3. Голованов, И.Г. Повышение надёжности функционирования систем релейной защиты и противоаварийной автоматики систем электроснабжения / И.Г. Голованов, Е.В. Жабин // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2013. № 7. – С. 56-59.

4. ГОСТ Р МЭК 60044-7 – 2010 Трансформаторы измерительные: Часть 7. Элек-

тронные трансформаторы напряжения. – Москва. Стандартиформ. – 2012. 57 с.

5. ГОСТ Р МЭК 60044-8 – 2010 Трансформаторы измерительные: Часть 8. Электронные трансформаторы тока. – Москва. Стандартиформ. – 2012. 101 с.

6. Голованов, И.Г. Особенности расчёта надёжности сложных электроэнергетических систем / И.Г. Голованов, А.В. Вerveйн, Р.О. Попков // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2015. Т. 1. № 1. – С. 72-79.

7. Правила устройства электроустановок. Издание седьмое. Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 г. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://file:///C:/Users/UrNom/Documents/ПУЭ-7.-Правила-устройства-электроустановок.pdf> (дата обращения: 27.10.2024)/

8. Коновалов, Ю.В. Обзор перспек-