

ОПТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

Найденов А.Д. Email: Naidenov686@scientifictext.ru

Найденов Александр Дмитриевич – магистр,
кафедра электроэнергетики,
Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск

Аннотация: в статье описывается принцип действия и конструкция оптических трансформаторов тока, анализируются их свойства, технические возможности, преимущества их применения в электроэнергетике. Приводятся метрологические характеристики, такие как погрешности по величине силы тока и по углу, а также соответствие требованиям по классу точности. На основании этого приводится сравнение оптических трансформаторов тока с традиционными электромагнитными, оцениваются перспективы их замещения и внедрения на объекты электроэнергетики.

Ключевые слова: электроэнергетика, анализ, инновации.

OPTICAL CURRENT TRANSFORMERS

Naidenov A.D.

Naidenov Alexandr Dmitrievich – Master,
ELECTROENERGETICS DEPARTMENT,
MURMANSK STATE TECHNICAL UNIVERSITY, MURMANSK

Abstract: the article describes the principle of operation and construction of optical current transformers, analyzes their properties, technical possibilities, and the advantages of their application in the electroenergetics. Was given metrological characteristics, such as errors in the amplitude of the current strength and its angle, also compliance with the requirements for accuracy class. Based on this, was made a comparison of optical current transformers with traditional electromagnetic ones, and the prospects for their replacement and implementation in electric power facilities are evaluated.

Keywords: electroenergetics, analysis, innovations.

УДК 621.314.224.8

За последнее десятилетие термин «аналоговый» успел стать синонимом к слову «устаревший». И когда речь заходит о повышении точности средств измерения и интеграции их в единую сеть мониторинга и контроля технологических процессов, то имеющегося у аналоговой аппаратуры потенциала становится явно недостаточно. Одно из решений – оптоволоконные трансформаторы, работа которых основана на эффекте Фарадея, эффекте, открытом в одно время с законом электромагнитной индукции, но ожидавшим, когда появятся технологии, способные его эффективно использовать.

Цифровая трансформация позволит повысить энергетическую безопасность регионов страны путем создания новых инфраструктурных возможностей и обеспечить новый уровень качества жизни населения благодаря новым стандартам обслуживания.

Имеются альтернативные варианты традиционным трансформаторам (в основном электромагнитным). Это датчики тока на основе катушек Роговского, магнитотранзисторов и датчики напряжения на основе емкостных и резистивных делителей. Но наиболее перспективными, являются оптические измерительные трансформаторы.

Различными проектными предприятиями были разработаны и изготовлены следующие прототипы оптических трансформаторов тока на классы напряжения свыше 6 кВ с простой конструкцией и приемлемой себестоимостью.

Магнитооптический измерительный преобразователь переменного тока, основанный на использовании магнитооптического эффекта Фарадея:



Рис. 1. Внешний вид оптического ТТ

Магнитооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного тока, состоящий из чувствительного элемента (ячейки Фарадея) и оптоэлектронного блока, предназначен для преобразования первичных мгновенных значений переменных и импульсных токов в пропорциональные значения низкого вторичного тока или цифровой сигнал. Он основан на использовании магнитооптического эффекта Фарадея. Он проявляется в повороте плоскости поляризации линейно поляризованного света.

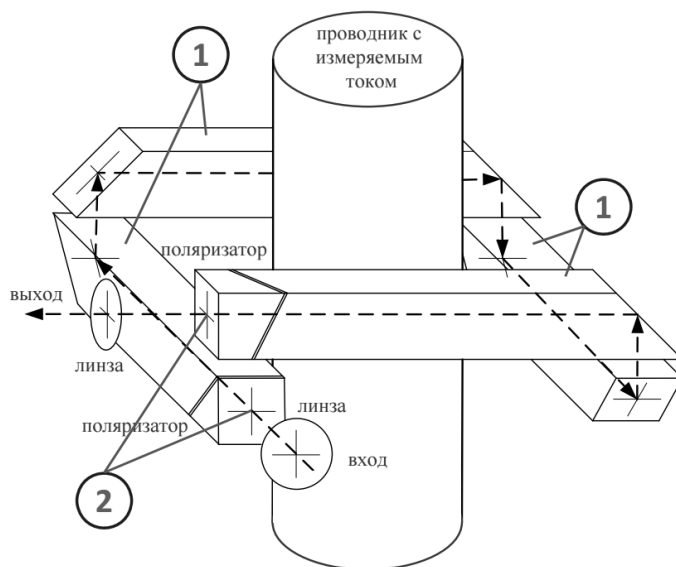


Рис. 2. Устройство ячейки Фарадея

Особенности конструкции: В разработанном преобразователе чувствительным элементом являются четыре призмы (1), расположенные последовательно по ходу распространения света, выполненные из стандартного диамагнитного стекла и образующие замкнутый контур вокруг проводника с измеряемым током. Поляризаторы (2) интегрированы в призмы.

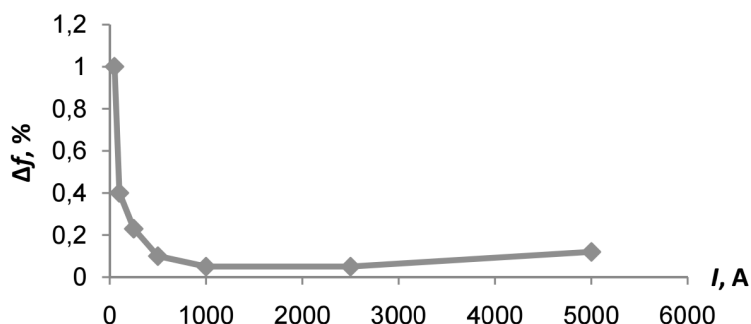


Рис. 3. Погрешность величины силы тока

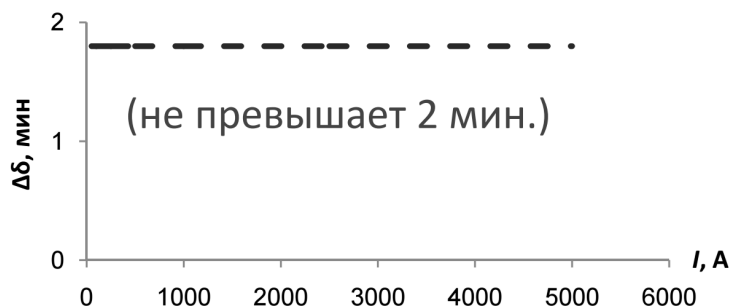


Рис. 4. Угловая погрешность

Использование оптических методов измерения тока позволяет получать измеренные значения сразу в цифровом виде, а примененная схема измерения напряжений дает возможность значительно повысить точность измерений и снизить погрешности. Внедрение на энергетических объектах этих электронных трансформаторов обеспечит технологию измерений на качественно новом уровне, приблизив такие объекты к полноценному переходу к цифровой подстанции и технологии Smart Grid.

В классических конструкциях трансформаторов, действительно, есть основная погрешность трансформатора и целый ряд дополнительных погрешностей, возникающих из-за наличия гармоник, загрузки вторичных цепей, их взаимного влияния, а также температуры. Электронные трансформаторы тока являются трансформаторами с компенсированной погрешностью. Для потребителя это означает, что трансформаторы обладают только основной погрешностью, а все влияющие факторы учитываются в работе электроники и автоматически компенсируются так, чтобы во всем рабочем диапазоне влияющих факторов трансформаторы находились в заданном классе точности. Поддержание заданных характеристик обеспечивается не только программными средствами, но и самой конструкцией.

В конструкции электронных трансформаторов тока можно выделить две основные части:

- внешнюю, где чувствительный оптический элемент жестко закреплен на опорной изоляционной колонне с соединительным оптическим кабелем;
- внутреннюю, состоящую из блока электроники.

Специальное термостабильное оптическое волокно, используемое в измерительных элементах оптических трансформаторов, обеспечивает высокую стабильность свойств в диапазоне изменения температур до 100°C (интегральный разброс показаний в этом диапазоне температур составляет около 1%), а это при реальном диапазоне температур от -60 до +60°C обеспечивает погрешность измерений согласно требованиям к измерительным приборам класса точности 1.

Для обеспечения точности измерений в соответствии с требованиями класса точности измерений 0,2s (расширенный диапазон в области малых погрешностей) в приборах применен метод цифровой компенсации температурной погрешности при малых значениях токов. С этой целью программой для расчета тока учитывается температурная зависимость чувствительности. Сигнальный процессор ежесекундно в онлайн-режиме считывает сигнал, пропорциональный температуре, измеренной оптоволоконным термометром, который расположен рядом с основным чувствительным волокном. На основе считанных сигналов процессор вычисляет значение силы тока в шине с учетом влияния температуры на чувствительный элемент. Надежность вышеописанной компенсации обусловлена тем, что температурная зависимость чувствительности носит фундаментальный физический характер и не может изменяться с течением времени. Для долговременной работы оптических трансформаторов и контроля состояния волоконного датчика тока имеет большое значение встроенная в прибор система онлайн-диагностики, обеспечиваемой наличием специального диагностического порта, который может работать в режиме удаленной диагностики, или путем формирования общего статуса работоспособности по стандарту МЭК 61850-8-1.

Для оптоволоконного трансформатора тока существует определенное ограничение по расстоянию между блоком электроники, устанавливаемым на общеподстанционном пункте управления (ОПУ), и чувствительным оптическим элементом, устанавливаемым на ОРУ – его максимум равен 1 300 м.

Оптоволоконные трансформаторы тока с цифровым интерфейсом включены в Государственный реестр средств измерений как измерительные трансформаторы по ГОСТ МЭК 60044-8/7. Официальное название согласно свидетельству: «Трансформаторы тока электронные оптические ТТЭО с цифровым выходом».

Классы точности ТТЭО с цифровым выходом, внесенные в Госреестр:

- по переменному току: 0,1; 0,2S; 0,5S; 1,0; 5P; 5TPE;
- по постоянному току: $\pm 0,1$; $\pm 0,2$; $\pm 0,5$; $\pm 1,0$.

В соответствии с установленной стандартом ПАО «Россети» СТО 56947007-29.240.10.299-2020 шкалой номинальных параметров для целей измерений рекомендуется на присоединениях с расчётным током нагрузки, с учетом перспективного потребления, не превышающим 800 А использовать цифровые трансформаторы исполнения 1И или 1ИР, а на присоединениях с током более 800 А использовать трансформаторы исполнения 2И или 2ИР.

При проверке ЦТТ для защиты (классов 1P, 2P, 1ИР, 2ИР) по току КЗ общим правилом является обеспечение погрешности не более 1% в зоне несрабатывания защит (при внешних КЗ) или на границах срабатывания.

Ключевые преимущества оптических трансформаторов тока по сравнению с электромагнитными:

- Точность характеристик в широком диапазоне температур;
- Отсутствие насыщения, гистерезиса, резонанса, а также отсутствие искажения формы тока после короткого замыкания;
- Широчайший частотный диапазон, который позволяет выполнять качества электроэнергии с учётом до 100 гармоник;
- Исключение влияния нагрузки вторичных цепей;
- Отсутствие электрических связей между силовыми и измерительными цепями, исключающее неправильную работу при аварийных режимах работы внешней сети;
- Повышенная устойчивость оптоволоконных каналов к внешним электромагнитным помехам, а также низкая восприимчивость к вибрации и повышенная сейсмостойкость;
- Меньшие вес и габариты по сравнению с аналогичными электромагнитными образцами;
- Повышенная безопасность вследствие отсутствия масла и элегаза;
- Длительный срок эксплуатации;

Единственными недостатками являются относительно высокая стоимость таких трансформаторов на невысоких классах напряжения (до 110 кВ), а также условие замены такими трансформаторами масляных или элегазовых, предусматривающих только модернизацию, но не новое строительство. Также для высококвалифицированного эксплуатационного обслуживания сложного электронного устройства соответственно требуется более высококвалифицированный персонал, обслуживающий данные устройства.

Список литературы / References

1. *Гречухин В.Н.* Электронные трансформаторы тока и напряжения. Состояние, перспективы развития и внедрения на ОРУ 110-750 кВ станций и подстанций энергосистем // Вестник ИГЭУ, 2006. № 4. С. 56-59.
2. *Гуревич В.И.* Оптоэлектронные трансформаторы тока: панацея или частное решение частных проблем? // Вести в электроэнергетике, 2010. № 2. С. 35-37.
3. *Некрашевич Е.А., Старостин Н.Е.* Волоконно-оптические датчики тока // Электронные компоненты, 2006. № 11. С. 41-44.
4. *Гуревич В.И.* Оптические трансформаторы тока: нужно быть реалистами // Электрические сети и системы, 2010. № 4. С. 9-11.