

Производственный анализ, проведенный авторами статьи, показал, что трансформаторы с сердечниками из аморфных сплавов более энергоэффективны, чем трансформаторы с сердечниками из обычной электротехнической стали. Необходимо увеличить производство аморфных сплавов и постепенно перейти к их использованию в сердечниках современных трансформаторов различного назначения. Дальнейшие исследования свойств аморфных сплавов могут привести к их использованию в электромеханических электромагнитных системах и статических электромагнитных устройствах.

#### Литература

1. Современные тенденции применения аморфных сплавов в магнитопроводах силовых трансформаторов / С. В. Хавроничев [и др.] // Междунар. журнал приклад. и фундамент. исследований. – 2015. – № 12–4. – С. 607–610.
2. Гуринович, Е. А. Конструктивные особенности, характеристики, достоинства и недостатки трансформаторов с сердечниками из аморфных сплавов / Е. А. Гуринович // Актуальные проблемы энергетики : материалы 69-й науч.-техн. конф. студентов и аспирантов / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск: БНТУ, 2014. – С 112.

## ОПТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

**В. А. Бабына**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. О. Добродей

*Рассмотрен принцип работы и конструкция оптических трансформаторов тока. Проанализированы их свойства, технические возможности и преимущества применения в электроэнергетике. Приведены метрологические характеристики, включая погрешности по величине силы тока и по углу, а также соответствие требованиям по классу точности*

**Ключевые слова:** эффект Фарадея, трансформатор, измерительный преобразователь.

За последнее десятилетие термин «аналоговый» успел стать синонимом к слову «устаревший». Когда речь идет о повышении точности измерительных средств и их интеграции в единую сеть мониторинга и контроля технологических процессов, потенциал, имеющийся у аналоговой аппаратуры, становится явно недостаточным. Одним из решений в данной области являются оптоволоконные трансформаторы, основанные на эффекте Фарадея. Этот эффект был открыт примерно в то же время, что и закон электромагнитной индукции, но его эффективное использование ожидало появления соответствующих технологий.

Магнитооптический измерительный преобразователь переменного тока, основанный на использовании магнитооптического эффекта Фарадея представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид оптического трансформатора тока

Магнитооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного тока включает в себя чувствительный элемент (ячейку Фарадея) и оптоэлектронный блок (рис. 2). Его задача – преобразование первичных мгновенных значений переменных и импульсных токов в пропорциональные значения низкого вторичного тока или цифровой сигнал. Основой для его работы служит магнитооптический эффект Фарадея, проявляющийся в повороте плоскости поляризации линейно поляризованного света.

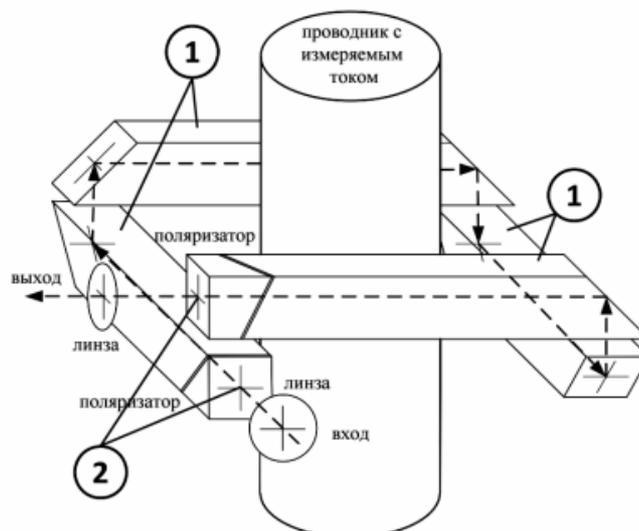


Рис. 2. Устройство ячейки фарадея

Особенности конструкции: В разработанном преобразователе чувствительным элементом являются четыре призмы (1), расположенные последовательно по пути распространения света. Эти призмы выполнены из стандартного диамагнитного стекла и образуют замкнутый контур вокруг проводника с измеряемым током. Кроме того, поляризаторы (2) интегрированы в эти призмы.

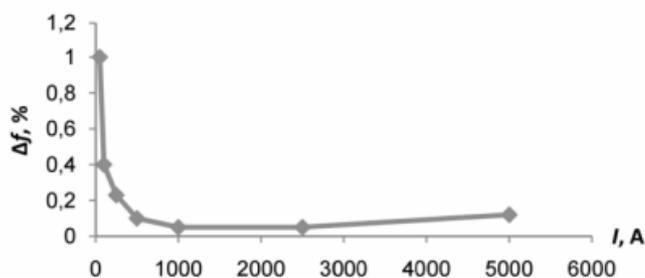


Рис. 3. Погрешность величины силы тока

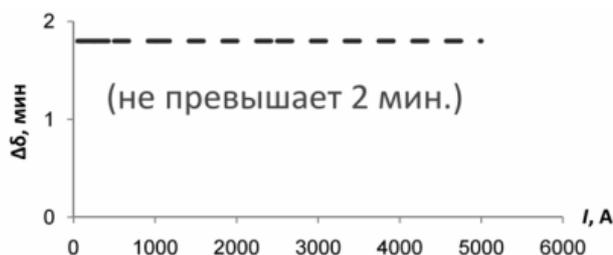


Рис. 4. Угловая погрешность

Использование оптических методов измерения тока позволяет получать измеренные значения в цифровом виде, а примененная схема измерения тока дает возможность значительно повысить точность измерений и снизить погрешности. В конструкции электронных трансформаторов тока можно выделить две основные части:

- внешняя часть: здесь чувствительный оптический элемент жестко закреплен на опорной изоляционной колонне с соединительным оптическим кабелем.
- внутренняя часть состоит из блока электроники.

Специальное термостабильное оптическое волокно, используемое в измерительных элементах оптических трансформаторов, обеспечивает высокую стабильность свойств в диапазоне изменения температур до 100 °С (интегральный разброс показаний в этом диапазоне температур составляет около 1 %). При реальном диапазоне температур от –60 до +60 °С это обеспечивает погрешность измерений, соответствующую 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. Для обеспечения долговременной работы оптических трансформаторов и контроля состояния волоконного датчика тока важно наличие встроенной системы онлайн-диагностики. Эта система может функционировать через специальный диагностический порт, который позволяет проводить удаленную диагностику, либо путем формирования общего статуса работоспособности в соответствии со стандартом 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 открытое распределительное устройство (его максимум равен 1 300 м).

Классы точности ТТЭО с цифровым выходом:

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

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;
- широкий частотный диапазон, который позволяет выполнять качества электроэнергетики с учетом до 100 гармоник;
- исключение влияния нагрузки вторичных цепей;
- отсутствие электрических связей между силовыми и измерительными цепями, исключаящее 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.

#### Л и т е р а т у р а

1. Найденов, А. Д. Оптические трансформаторы тока / А. Д. Найденов // Вестн. науки и образования. – 2020. – № 8-1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/opticheskie-transformatory-toka>. – Дата доступа : 10.04.2024.
2. Оптические трансформаторы тока и напряжения для цифровой подстанции. – Режим доступа: <https://www.mars-energo.ru/assets/files/catalog/Transformatory.pdf>. – Дата доступа: 10.04.2024.

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**В. А. Заяц**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. О. Добродей

*Проанализировано исследование интеллекта (ИИ) на энергетическую отрасль, освещающая его роль в оптимизации «умных сетей» и повышении надежности энергоснабжения. Описываются успехи ИИ в управлении энергосистемами, мониторинге оборудования и эффективности производства. Примеры включают проект Smart Grid и разработки Google для ветроэлектростанций. Представлены результаты экспериментов, подтверждающие преимущества ИИ в снижении затрат и повышении точности прогнозирования.*

**Ключевые слова:** ИИ, «умные сети», энергетическая отрасль, SmartGrid, Google, нейросети, управление, потребление, энергия.

Использование ИИ преобразует энергетическую отрасль, открывая передовые подходы к управлению сложными энергетическими системами. Внедрение ИИ в контроль за «умными сетями» ускоряется, демонстрируя значительные успехи в улучшении операционной эффективности, точности прогнозирования потребления