

УДК

## ВОЛОКНО-ОПТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ FIBER-OPTIC CURRENT AND VOLTAGE TRANSFORMERS

Падрез А. С.

Научный руководитель – Т. Е. Жуковская, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

A. Padrez

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

***Аннотация:** технологии в разработке новейших трансформаторов не стоят на месте и на данный момент активно разрабатываются волоконно-оптические трансформаторы тока и напряжения, которые облегчат измерения характеристик сети. В данной статье будут рассмотрены принципы их действия, варианты внедрения данных измерительных приборов в производство энергии, их характеристики и производители.*

***Abstract:** technologies in the development of the latest transformers do not stand still and at the moment fiber-optic current and voltage transformers are being actively developed, which will facilitate the measurement of network characteristics. This article will consider the principles of their operation, options for the implementation of these measuring instruments in energy production, their characteristics and manufacturers.*

***Ключевые слова:** трансформатор, магнитооптический эффект, чувствительные элементы, цифровой код, измерительный прибор, эффективность.*

***Keywords:** transformer, sensing elements, magneto-optical effect, digital code, measuring device, efficiency.*

### **Введение**

Измерительный трансформатор – электрический трансформатор, предназначенный для измерения и контроля (например, в системах релейной защиты сетей) напряжения, тока или фазы электрического сигнала переменного тока. Привычные нам измерительные трансформаторы имеют ряд недостатков, которые не позволяют объективно оценить состояние сети, и данная проблема требует решения, поскольку отслеживание параметров сети является одной из наиболее важных задач современной энергетики. Ключевыми проблемами являются явления насыщения, гистерезиса, резонанса, остаточного намагничивания, а так же опасность возникновения пожарной и взрывоопасности, безусловно также требуется обеспечения определенных условий при которых будет работать данный трансформатор и его погрешность будет минимизироваться. Попытки уменьшить зависимость от определенных факторов и увеличить эффективность измерений натолкнула разработчиков на создание трансформатора нового поколения, работа которого будет основываться от эффектов Фарадея

и Поக்கельса. Эффект Фарадея (рисунок 1) – магнитооптический эффект, который заключается в том, что при распространении линейно-поляризованного света через оптически неактивное вещество, находящееся в магнитном поле, наблюдается вращение плоскости поляризации света. Эффект Поக்கельса – это явление возникновения двойного лучепреломления в оптических средах при наложении постоянного или переменного электрического поля. Такой выбор у разработчиков был сделан не случайно: вопросы по поводу изоляции данной системы отпадают поскольку оптические волокна сами по себе являются прекрасным диэлектриком. На данном этапе волокно-оптические трансформаторы активно внедряются в производство и решаются вопросы по улучшению их конструкции и повышения качества измерения связанное с желанием уменьшить погрешность данных приборов.

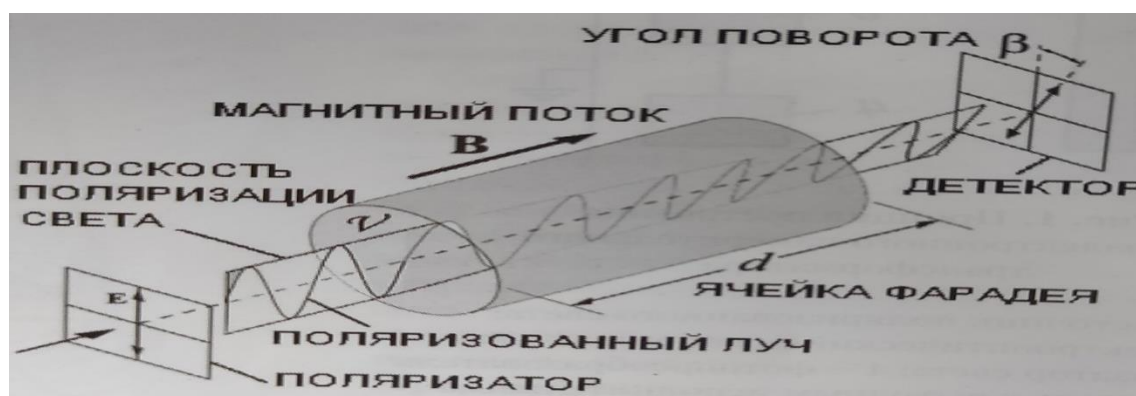


Рисунок 1 – Магнитооптический преобразователь на основе эффекта Фарадея

### Основная часть

Несомненно, каждый прибор имеет свои плюсы и минусы, но хочется отметить, что у волоконно-оптических трансформаторов, по сравнению с классическими, плюсов огромное количество и каждый из них оправдан.

Основные преимущества волоконно-оптических трансформаторов:

- трансформаторы данного типа имеют возможность измерения как постоянного, так и переменного электрического сигнала;
- отсутствуют явления гистерезиса, магнитного насыщения, а также остаточного намагничивания;
- процент точности данных приборов составляет 0,1 – 0,2 %, что не может радовать поскольку процент точности классических трансформаторов составляет около 0,5 – 0,7 %;
- широкая полоса пропускания сигналов, которая позволяет произвести не только качественный, но и количественный анализ электроэнергии;
- данная система позволяет использовать совместно с ней аналоговых, дискретных, цифровых интерфейсов;
- данные приборы имеют полную эколого-, пожаро-, взрыво- и электробезопасность за счет отсутствия легковоспламеняющихся, а также загрязняющих окружающую среду элементов, что не может не радовать в современном мире;

– помехи данной группе приборов не страшны поскольку они не зависимы от магнитных полей, и вся информация передается по средствам светового излучения и данный плюс является чуть-ли самым важным для современных приборов, связанных с производством и контролем за электроэнергией.

Несомненно, плюсов у данных приборов еще много, но входе данной работы были описаны самые важные из них. Данные плюсы показывают несомненное превосходство волокно-оптических трансформаторов перед классическими измерительными трансформаторами.

Рассмотрим каждый волокно-оптический трансформатор в отдельности и начнем с трансформатора тока (рисунок 2) как с одного из самых распространенных. Любой трансформатор данного типа содержит чувствительный элемент в виде витков оптоволоконного материала, который помещен в защитную оболочку из немагнитного материала. Защитная оболочка собой представляет токовую головку трансформатора тока либо измерительную петлю для оптоволоконного преобразователя, электронно-оптический блок, соединенный с чувствительным элементом непосредственно или через оптический кросс. Электронно-оптический блок с помощью встроенного в него лазера и модулятора поддерживает состояние поляризованности сигнала для соблюдения процесса измерений. В чувствительном элементе плоскость поляризации подвергается воздействию магнитному полю, которое поворачивает область поляризации в соответствии с углом Фарадея и после прохождения сигнала через данный этап он попадает в виде световой волны на оптический вход электронно-оптического блока, где и формируется измеряемый сигнал.

После всех преобразований поступающего сигнала он поступает на аналого-цифровой преобразователь и в виде закодированного сигнала на интерфейсный выход электронно-оптического блока и проходя через цифро-аналоговый преобразователь на усилительно устройство, где происходит формирование нормированных аналоговых выходных сигналов в виде тока, так же данный окончательный процесс характерен и волокно-оптическому трансформатору напряжения. Таким образом, информация о сигнале получается доступной и понятной для дальнейшего использования при расчетах режима работы.

Волокно-оптические измерительные трансформаторы имеют следующие характеристики: номинальное напряжение 0 – 750 кВ, номинальный первичный ток 100 – 3000 А, диапазон рабочих температур -60 – +60°C, расстояние между датчиком и электронным блоком до 1200 м. Производителем таких трансформаторов с данными параметрами на территории России является компания Профотек, которая занимается не только производством и продажей, но и также занимается усовершенствованием данного прибора.

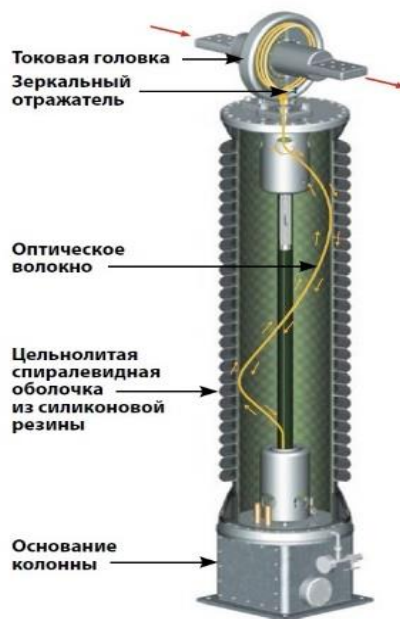


Рисунок 2 – Волокно-оптический трансформатор тока

Рассмотрев измерительный трансформатор тока, перейдем к трансформатору напряжения (рисунок 3). В данном примере используется эффект Пококельса, описанный выше. Коэффициент преломления в данной приборе линейно зависит от силы поля, которое приложено к кристаллу, не имеющего внутри себя симметрии, как пример пьезокристалл. Благодаря несимметрии внутри кристалла возникает двойное преломление луча, по-другому говоря расщепление световой волны на две составляющие. Один из лучей продолжает свое движение прямо и называется обыкновенным лучом, второй луч имеет отклонение сторону и называется необыкновенным. Данное явление напрямую связано с тем, что скорость распространения луча в таких материалах и с такой поляризацией как у этого луча зависит от его направления следования. Дальнейшая работа происходит также как и в волокно-оптическом трансформаторе тока.

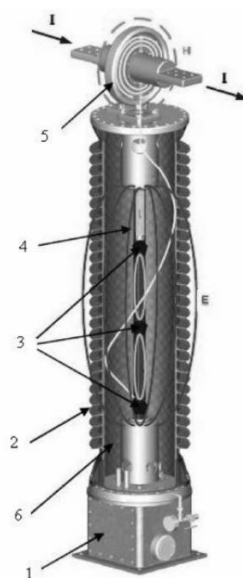


Рисунок 3 – Волокно-оптический трансформатор напряжения

Данный измерительный трансформатор имеет следующие характеристики: номинальное значение измеряемого напряжения 35 – 110 кВ, рабочая частота от 1 Гц до 10 кГц, модульная погрешность измерений составляет 0,2 – 0,5%. Основным производителем волоконно-оптических трансформаторов напряжения в России является МАРЭНЕРГО не только производящий, но также и разрабатывающий новые варианты усовершенствования данного прибора.

### **Заключение**

Данное открытие позволяет увеличить точность и производительность измерительных трансформаторов. Они позволяют производить измерения на больших частотах с большей точностью поскольку на них не влияет ряд факторов возникающих при измерениях на больших частотах. Минимизируют выбросы от производства себя поскольку большая часть составляющих данных приборов не нуждаются в тяжелом изготовлении и затрат столько важных нам ископаемых ресурсов, также несомненно вред природе уменьшается за счет того что в данных трансформаторах не чему загореться и привести в негодность прибор, что благоприятно отражается на экологии и кармане пользователя. Несомненно, в скором времени будет произведена замена всех классических трансформаторов на волоконно-оптические трансформаторы благодаря их плюсам. Будущее наступило уже сегодня и мы используем все возможные варианты для отслеживания и нормирования электроэнергии и в этом нам помогают современные волоконно-оптические трансформаторы.

### **Литература**

- 1 Гавричев, В. Д. Волоконно-оптические датчики магнитного поля : учебное пособие / В. Д. Гавричев, А. Л. Дмитриев. – СПб. : СПбНИУ ИТМО, 2013
- 2 Моржин, Ю. И. Цифровая подстанция – важный элемент интеллектуальной энергосистемы / Ю. И. Моржин. – URL : <http://www.ntc-power.ru/upload/presentation/CPS-intellectual-grid-element.pdf> /. – Дата доступа: 21.03.2023
- 3 Цифровая подстанция и ее режимы работы // NR Electric Co., Ltd. – URL : <http://www.nrec.com/ru/category/Digital-Substation.html> /. – Дата доступа: 21.03.2023
- 4 Электрические сети и системы / Ю. М. Бондаренко [и др.] // Изв. OMICRON. – 2020. – Т. 55, № 5 – 6. – с. 59–61.