

УДК 621.314

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ  
ДЛЯ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ  
MEASURING CONVERTERS OF AMPERAGE AND VOLTAGE FOR  
RELAY PROTECTION DEVICES**

А.И. Троцкий

Научный руководитель – О.А. Гурьянчик, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
Г. Минск, Республика Беларусь  
[aleksey.trotsky@mail.ru](mailto:aleksey.trotsky@mail.ru)

A. Trotskiy

Supervisor – O. Huryanchyk, Senior Lecturer  
Belarussian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В статье рассмотрена тема использования измерительных преобразователей в цепях релейной защиты. В статье описаны виды измерительных преобразователей, их конструкции и особенности.*

***Abstract:** The article discusses the topic of using measuring transducers in relay protection circuits. The article describes the types of measuring transducers, their designs and features.*

***Ключевые слова:** трансформаторы тока и напряжения, эффект Фарадея, пояс Роговского.*

***Keywords:** current and voltage transformers, Faraday effect, Rogovsky belt.*

### **Введение**

В энергосистеме для защиты от КЗ и отключения поврежденных участков применяются устройства релейной защиты (РЗ). В основной цепи протекают большие токи и напряжения, непригодные для использования в РЗ. Для питания устройств РЗ и отделения их цепей от первичной применяют измерительные преобразователи, которые преобразуют входной сигнал основной цепи во вторичный сигнал, пригодный для нужд РЗ.

### **Основная часть**

Измерительные преобразователи делятся на: электромагнитные, оптические, на основе пояса (катушки) Роговского.

Электромагнитными преобразователями являются трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН). Они применяются в энергетике на всех напряжениях от 6 кВ до 1150 кВ и обеспечивают на станциях и подстанциях информацией о первичном токе и первичном напряжении все системы управления и учета электроэнергии. Измерительные трансформаторы изготавливают с такими коэффициентами трансформации, при которых при протекании по первичной обмотке номинального тока и подаче номинального напряжения на ТТ вторичный ток был бы равен 5 А или 1 А, а на ТН вторичное напряжение – 100 В или  $100\sqrt{3}$  В соответственно. Электромагнитные преобразователи не только позволяют свести измерение любого номинального первичного тока и напряжения к измерению некоторого стандартного номинального вторичного

значения, но и изолирует реле, измерительные и прочие приборы от цепи высокого напряжения. Таким образом, ТТ и ТН изолируют обслуживающий персонал и приборы от потенциала сети, в которой производятся измерения и позволяют производить измерение или учет любых токов стандартными приборами.

ТТ изготавливаются только в однофазном исполнении и имеют магнитопровод, первичную и вторичную обмотки. Первичную обмотку включают в силовую цепь последовательно, а ко вторичной обмотке присоединяют обмотки приборов и реле также последовательно, при этом ТТ работает в режиме, близкий к режиму КЗ. При работе ТТ наблюдается, что приведенный вторичный ток отличается по величине от первичного тока (токовая погрешность) и сдвинут на некоторый угол (угловая погрешность). Это обусловлено наличием потерь в сердечнике, обмотках, измерительных приборах и соединительных проводах. Значения погрешностей определяет класс точности: 0,2, 0,5, 1, 3, 5, 10. Каждому классу точности соответствует своя область применения. ТТ изготавливаются для наружной и внутренних электроустановок. По способу установки различают проходные, встроенные, опорные; по конструкции первичной обмотки – одновитковые и многovitковые; по числу вторичных обмоток – одно-, двух-, трех- и более обмоточные [1].

ТН по принципу действия и схеме подключения подобны силовым трансформаторам небольшой мощности, работающим в режиме близком к режиму холостого хода. Как и у ТТ, у ТН также наблюдается различие значений первичного напряжения и приведенного вторичного напряжения (погрешность по напряжению) и сдвиг на некоторый угол (угловая погрешность). По конструкции ТН могут быть одно- и трехфазными. Однофазные ТН изготавливаются на любое напряжение, трехфазные – до 18 кВ. По типу изоляции различают: сухие, масляные, с литой изоляцией и с элегазовой изоляцией [2].

Из-за развития энергосистем последнее время возрастает значимость новых методов измерения электрических величин на основе достижений оптоэлектроники, техники полупроводников и вычислительной техники. Эти методы пригодны и для реализации в измерительных трансформаторах (как тока, так и напряжения).

Работа оптических трансформаторов тока (ОТТ) основана на эффекте Фарадея – 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, зависящее от величины этого магнитного поля. Принцип работы ОТТ: преобразователь входного сигнала преобразует его в два линейно поляризованных сигнала, которые поступают по оптоволокну, сохраняя поляризацию, на измерительную головку. Круговой поляризатор наверху изоляционной колонки преобразует два линейно поляризованных световых сигнала в сигналы с круговой поляризацией левого и правого вращения. Магнитное поле, создаваемое током, протекающим в высоковольтном проводнике, замедляет один сигнал и ускоряет другой из-за эффекта Фарадея. Когда сигналы с круговой поляризацией проходят весь путь вокруг проводника, они отражаются зеркалом и направляются в обратный путь. При этом, направление их поляризации

теперь обратно первоначальному. После этого оба сигнала возвращаются обратно на круговой поляризатор, который снова преобразует их в линейно поляризованные световые пучки. Свет поступает обратно на оптоэлектронный блок внизу колонки по оптическому волокну. Разница в скорости распространения этих двух оптических сигналов обуславливает сдвиг по фазе между ними, который прямо пропорционален току в первичной цепи [3].

Работа оптических трансформаторов напряжения (ОТН) схожа с работой ОТТ, но вместо ячейки Фарадея используется ячейка Керра. Ячейка Керра представляет собой конденсатор, диэлектриком которого является электрооптическое вещество. При отсутствии напряжения на ней свет проходит через ячейку без изменений своих свойств. При наличии на ней напряжения свет расщепляется в ней на два взаимно перпендикулярных компонента, которые выходят из ячейки с разностью фаз, зависящей от напряженности электрического поля ячейки. Принцип работы ОТН: источник монохроматического света создает луч постоянной интенсивности, который проходит через поляризатор, ячейку Керра и анализатор. Анализатор пропускает то составляющие, направление колебаний которых совпадает с его плоскостью поляризации. В результате интенсивность света на выходе анализатора зависит только от напряжения. Этот свет воздействует на фотоэлектронный умножитель, результаты которого попадают на измерительный прибор [4].

Данные измерительные преобразователи имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными электромагнитными преобразователями. Среди них: 1) широкий диапазон снимаемых данных; 2) отсутствие явлений гистерезиса, магнитного насыщения и остаточного намагничивания; 3) возможность интеграции в измерительные и информационные системы с использованием различных интерфейсов – аналоговых, дискретных и цифровых 4) полная эколого-, пожаро-, взрыво- и электробезопасность 5) высокая помехоустойчивость 6) долговечность 7) малые габаритные параметры [4].

Однако данный принцип измерения не лишен недостатков. Сам по себе эффект Фарадея является косвенным, так как не проявляется в вакууме и зависит от свойств среды, что приводит к погрешности обусловленной изменением температуры, механических напряжений и вибрации оптического волокна.

В последнее время как для релейной защиты, так и для измерений начинают применять преобразователи на основе поясов Роговского, который представляет собой тороидальный соленоид без сердечника, охватывающий провод, по которому протекает измеряемый ток. Принцип работы пояса Роговского основан на законе Фарадея, который описывает пропорциональную зависимость между общей ЭДС, индуцируемой в замкнутом контуре, и временной скоростью изменения полного магнитного потока подключенной цепи. Преимущества: измерения производятся без контакта с цепью ВН; большой частотный диапазон и диапазон измерений; линейность преобразования [5].

### **Заключение**

Измерительные преобразователи являются важными элементами энергосистемы, которые обеспечивают надежную работу устройств РЗ. Повсеместно, применяются классические электромагнитные преобразователи, но с развитием

устройств РЗ также развиваются все более новые преобразователи тока и напряжения, такие как оптико-электронные и пояс Роговского, для обеспечения нужных условий их работы.

### Литература

1. Казанский В.Е. Измерительные преобразователи тока в релейной защите. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 240 с.
2. J.C. Das Power Systems Handbook Volume 4: Power Systems Protective Relaying – Power System Studies, Inc., Snellville, Georgia, USA, 2018. – 702 p.
3. Гуртовцев, А. Оптические трансформаторы и преобразователи тока. Физические принципы работы, устройство и технические характеристики / А. Гуртовцев // Энергетика и ТЭК. – 2009.
4. T. Sawa, K. Kurosawa, T. Kaminishi, T. Yokota, “Development of optical instrument transformers,” IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 5, 2005.
5. Степанчук К.Ф., Тиняков Н.А. Техника высоких напряжений. – Мн.: Вышш. школа, 1982. – 365 с.