

ОПТИЧЕСКИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

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

Ключевые слова: электроэнергетика, анализ, инновации.

OPTICAL VOLTAGE 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 voltage 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 voltage and its angle, also compliance with the requirements for accuracy class. Based on this, was made a comparison of optical voltage transformers with traditional electromagnetic ones, and the prospects for their replacement and implementation in electric power facilities are evaluated.

Keywords: electroenergetics, analysis, innovations.

УДК 621.314.222.8

Реализация стоящих перед российской электроэнергетикой задач может быть эффективно осуществлена эволюционным путем с применением инновационных, прорывных технологий и решений, в том числе посредством полного перехода к цифровым сетям, цифровым подстанциям и цифровому управлению компании. Кроме того, решение данных задач откроет возможности предоставления новых сервисов, таких как формирование тарифного меню, подключение малой распределенной генерации, инфраструктура для электрозаправок и т.д.

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

Наиболее перспективными аналогами традиционных вариантов электромагнитных трансформаторов являются оптические измерительные трансформаторы.

Оптические трансформаторы напряжения предназначены для масштабного преобразования высокого значения напряжения переменного тока промышленной частоты 50 Гц с заземленной нейтралью в низкое значение напряжения переменного тока промышленной частоты 50 Гц и передачи результатов преобразования на электрические измерительные приборы, в системы коммерческого учета электрической энергии, устройствам измерения (в том числе показателей качества электроэнергии), защиты, автоматики, сигнализации и управления.

Электрооптический измерительный преобразователь переменного напряжения основан на использовании электрооптического эффекта электрогирации.



Рис. 1. Оптический трансформатор напряжения

Электрооптический измерительный преобразователь переменного и импульсного напряжения предназначен для масштабного преобразования мгновенных значений высоких переменных и импульсных напряжений в пропорциональные значения низкого напряжения. Он основан на использовании электрооптического эффекта электрогирации.

Эффект электрогирации проявляется в появлении оптической активности центрально симметричных кристаллов под действием напряженности электрического поля измеряемого напряжения.

Эффект электрогирации заключается в возникновении или изменении оптической активности в кристаллах, находящихся в электрическом поле, которая вызывает поворот плоскости поляризации линейно поляризованного света при его распространении через кристалл на угол, пропорциональный напряженности электрического поля и длине пути света в кристалле. Коэффициент пропорциональности равен постоянной электрогирации кристалла.

Соединение выносного блока и электронно-оптического блока обработки производится волоконно-оптическим кабелем, при этом питание электроники выносного блока осуществляется посредством оптического излучения, передаваемого по соединительному оптоволоконному кабелю из электронно-оптического блока, тем самым обеспечивается полная гальваническая развязка первичной и вторичной цепей, а также независимость системы измерений от наличия напряжения переменного тока в первичной сети. Выносной блок формирует цифровой код измеренного сигнала, который привязывается к сетке синхронизации электроннооптического блока и дешифруется для дальнейшей обработки электронно-оптическом блоке, где цифровой код синхронно подается на цифро-аналоговый преобразователь напряжения (для выходов $100/\sqrt{3}$), цифро-аналоговый преобразователь напряжения (для потенциальных выходов).

В трансформаторах напряжения с ячейками Керра или Погкельса световой поток модулируется электрическим полем в активном материале, расположенном между электродами, к которым приложено измеряемое напряжение. Эффект Керра возникает во многих изотропных веществах (бензол, эпоксидные компаунды и др.), но наиболее часто используется нитробензол, проявляющий наибольший эффект. Линейный электрооптический эффект Погкельса наблюдается в пьезоэлектрических кристаллах, помещенных в электрическое поле. Сильнее всего этот эффект проявляется в кристаллах дигидрофосфата аммония ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) и гидрофосфата калия (KH_2PO_4) в продольном электрическом поле, создаваемом с помощью кольцевых электродов.

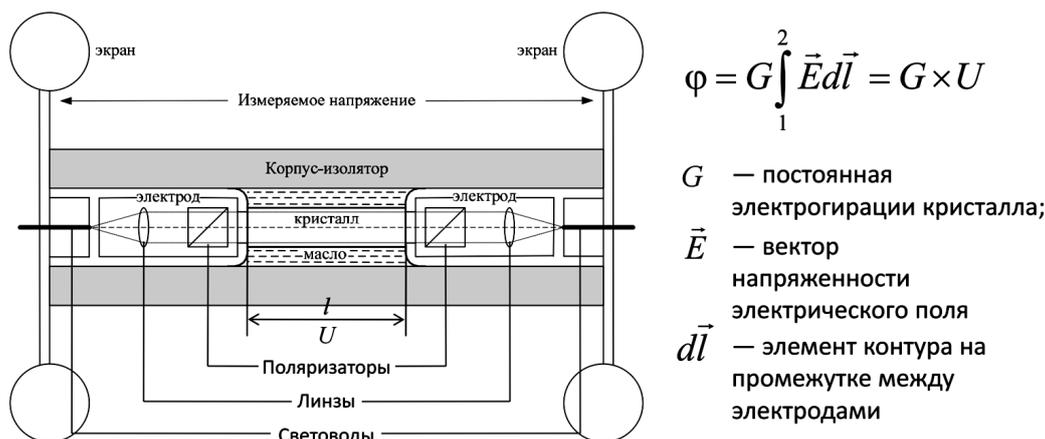


Рис. 2. Структурная схема ОТН

Конструкция состоит из следующих элементов:

- ячейка электрогирации, входные электроды которой подключены к измеряемому напряжению;
- электронный блок, формирующий нормированный выходной сигнал;
- блок вторичного преобразования измеренного сигнала в аналоговый вид.

Особенностью конструкции является то, что в преобразователе измеряемое напряжение прикладывается непосредственно к торцам центрально симметричного кристалла.

Преимуществами такой конструкции являются возможность измерения междуфазного напряжения; отсутствие пьезоэффекта.

Внешняя часть электронных трансформаторов устанавливается, как правило, на открытой части распределительных устройств, на вводах генераторов, а также может быть интегрирована практически в любую сетевую инфраструктуру без её изменения за очень короткое время. В процессе работы внешняя часть может подвергаться воздействию температур в интервале от -60 до $+60^\circ\text{C}$, в то время как рабочий диапазон температур окружающей среды для блока электроники – от -10 до $+40^\circ\text{C}$, причем блок располагается в помещении с однотипным по режимам работы оборудованием (устройства РЗА и ПА, АСУ и т. п.). Конструкция электронных блоков трансформаторов тока и напряжения не требует дополнительной температурной компенсации.

Внешняя часть электронного трансформатора температурной компенсации не требует, так как емкостный делитель напряжения выполняется в виде единого высоковольтного конденсатора, который в процессе производства изготавливается из одного и того же материала, и основной задачей производителя является обеспечение поддержания точности соотношения емкостей делителя напряжения. Технология изготовления делителей обеспечивает надежную работу в заданном температурном диапазоне и стабильность характеристик, а также при необходимости позволяет обеспечить требуемую компенсацию температурного коэффициента емкости (ТКЕ), что легко обеспечивается в требуемом температурном диапазоне. При использовании резистивных делителей применяются специальные высокостабильные резисторы с очень малым коэффициентом температурной зависимости и высокой повторяемостью.

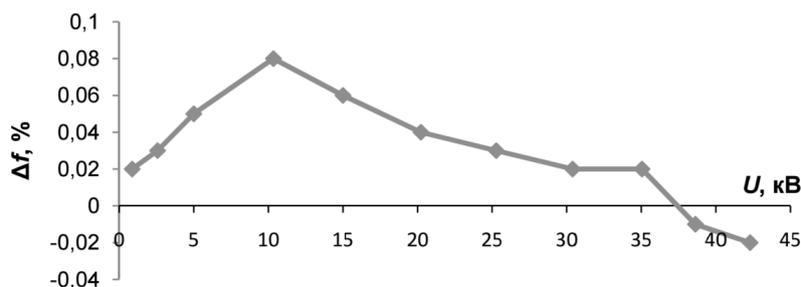


Рис. 3. Погрешность величины напряжения

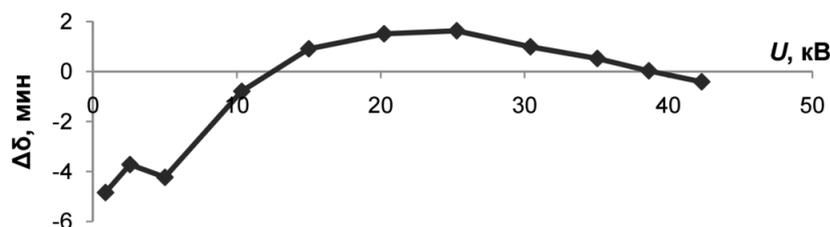


Рис. 4. Угловая погрешность

Оптоволоконные трансформаторы тока с цифровым интерфейсом включены в Государственный реестр средств измерений как измерительные трансформаторы по ГОСТ МЭК 60044-7-2010. Официальное название согласно свидетельству: «Трансформаторы напряжения электронные типа ДНЕЭ».

Классы точности ДНЕЭ с цифровым выходом, внесенные в Госреестр:

- по переменному току: 0,2; 0,5; 1,0; 3Р;
- по постоянному току: ±0,1; ±0,2; ±0,5; ±1,0.

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 напряжения 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.

Так, ключевыми преимуществами оптических трансформаторов напряжения по сравнению с электромагнитными являются:

- Точность характеристик в широком диапазоне температур;
- 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 пожаробезопасность;
- 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. Гуртовцев А.Л. Оптические трансформаторы и преобразователи тока. Принципы работы, устройство, характеристики // Новости электротехники, 2009. № 5. С. 38-45.
3. Палей Э.Н., Аношин О.П. Электротехнический рынок России. Застой или временная передышка? Итоги выставки «Электрические сети России – 2006» // Новости ЭлектроТехники, 2006. № 6. С. 5-6.
4. Зырянова С.В. Единая сеть – единая страна // Новые Контакты, 2007. № 12. С. 2.