

Высоковольтные оптические преобразователи для систем измерения и анализа качества электрической энергии

**Власов Михаил
Сердцев Алексей
ПроЛайн ООО**

Высоковольтные оптические измерительные преобразователи тока и напряжения представляют собой новый класс изделий, основанных на новейших достижениях в оптике, электронике, системе цифровой обработки сигналов. Данные устройства отличаются исключительной безопасностью, высокой точностью измерений, быстроедействием, малыми габаритами и весом.

Процесс измерения электрических величин и связанных с ними параметров энергетических сетей, а также показателей качества электрической энергии (ЭЭ) является одним из наиболее сложных и ресурсоемких.

Ключевыми, наиболее ответственными и, как следствие, наиболее технически сложными и дорогостоящими элементами измерительного канала для данных видов высоковольтных измерений являются масштабные преобразователи тока и напряжения - измерительные трансформаторы. В роли таких преобразователей чаще всего выступают электромагнитные трансформаторы тока и напряжения.

Данные устройства давно используются в энергетике, претерпев множество конструктивных изменений, они не избавились от ряда недостатков, вытекающих из самой природы электромагнитных трансформаторов (к таким недостаткам можно отнести явления резонанса, гистерезиса, насыщения, остаточного намагничивания). Конструктивные особенности данных устройств приводят к тому, что они сами могут являться источниками взрывов и пожаров, наносящих существенный ущерб энергообъектам. В процессе эксплуатации трансформаторов необходимо также строго соблюдать требования регламентов по обеспечению постоянного контроля состояния наполнителя (масла или элегаза).

Все эти давно известные недостатки традиционных измерительных трансформаторов неоднократно побуждали разработчиков искать новые подходы к построению высоковольтных преобразователей, которые были бы основаны на иных принципах работы.

Наиболее интересным, перспективным и поистине революционным подходом является использование ряда электро- и магнитооптических эффектов для измерения токов и напряжений больших номинальных значений.

Физике уже более 100 лет хорошо известен ряд электрооптических эффектов, доказывающих влияние электрического и магнитного полей на световую волну. Для нас с практической точки зрения наиболее интересны два из них. Названия этих эффектов соответствуют именам их первооткрывателей - эффекты Фарадея и Погкельса.

Применение данных эффектов при разработке оптических преобразователей тока и напряжения объясняется тем, что наиболее сложные вопросы обеспечения изоляции, особенно для высоковольтных приложений, решаются автоматически за счет физической природы преобразования, так как оптика, волокно изначально являются диэлектриками. Усилия ученых и инженеров были направлены прежде всего на повышение точности, стабильности, устойчивости к воздействию внешних факторов, долговечности, а также снижение стоимости преобразователей.

Общая структура оптических преобразователей тока и напряжения представлена на рис. 4.

Следует отметить, что ряд производителей предлагает устройства, снабженные волоконно-оптическими интерфейсами, в основе преобразования которых по-прежнему используются обыкновенные электромагнитные преобразователи (трансформаторы). Такие приборы не относятся к классу оптических преобразователей, а являются, скорее, одним из видов электронных трансформаторов.

Преобразователи содержат первичные оптические сенсоры, связанные оптоволоконными линиями с электронными блоками, в которых производится обработка сигналов. Малая инерционность процессов преобразования, характерная для обоих рассматриваемых эффектов, позволяет осуществлять модуляцию света с частотами 1012-1014 Гц, что создает возможность использования оптических преобразователей в широком диапазоне частот измеряемых напряжений и токов.

Рассмотрим более подробно оптические преобразователи, производимые компанией NxTPhase T&D Corporation. Компания представляет следующие типы серийно выпускаемых изделий, готовых к промышленной эксплуатации:

- высоковольтные измерительные оптические преобразователи тока NXCT;
- высоковольтные измерительные оптические преобразователи напряжения NXVT;
- высоковольтные измерительные оптические преобразователи тока и напряжения совмещенные NXVCT;
- измерительные оптические преобразователи трансформируемые NXCT-F3.

Оптические преобразователи состоят из оптической колонны и комплекта электроники. Оптическая колонна преобразователя тока включает в себя оптический сенсор, представляющий собой определенное количество витков оптического волокна, расположенных перпендикулярно шине, по которой протекает первичный ток. Физического контакта сенсора с шиной не требуется. Далее волокна от сенсора, проходя через полимерный изолятор, выводятся на оптический кросс, расположенный в нижней части колонны. Никаких других измерительных элементов, кроме оптического волокна, в колонне не присутствует. В преобразователе напряжения внутри колонны добавляются оптические ячейки, измеряющие напряженность поля. Волокна от оптических ячеек так же выводятся на кросс. Вся обработка сигналов проводится в блоках электроники, которые соединяются с колоннами оптическим кабелем значительной протяженности.

Основными преимуществами оптических преобразователей перед электромагнитными трансформаторами напряжения и тока являются:

- широкий динамический диапазон измерений и высочайшая термическая и электродинамическая стойкость;
 - высокая линейность;
 - отсутствие явлений насыщения, гистерезиса, остаточного необратимого изменения параметров после перегрузки (вследствие, например, короткого замыкания);
 - отсутствие явления резонанса;
 - широкий частотный диапазон, позволяющий анализировать гармоники напряжения и тока непосредственно в высоковольтной цепи;
 - отсутствие влияния нагрузки в вторичных цепей и потерь в них;
 - высокая устойчивость оптоволоконных информационных каналов к внешним электромагнитным помехам;
 - меньшие массогабаритные показатели;
 - высокая безопасность и пожароустойчивость (преобразователи не содержат в себе ни масла, ни бумаги, ни элегаза);
 - экономические выгоды в процессе эксплуатации.
- Рассмотрим данные особенности более подробно.

Широкий динамический диапазон и высокая линейность

Широкий динамический диапазон позволяет использовать один оптический преобразователь для точного измерения целого ряда номинальных первичных токов и напряжений. Коэффициент преобразования может изменяться пользователем путем соответствующей настройки электронного блока. Одно и то же изделие, обеспечивая класс точности 0,2S, может быть использовано для целей учета электроэнергетики в диапазоне номинальных токов от 100 А до 4000 А. Таким образом, оптический преобразователь практически абсолютно унифицирован, что является крайне важным в реальной эксплуатации, поскольку дает возможность пользователю иметь одно многофункциональное изделие.

На рис. 1 представлен график погрешностей системы, состоящей из оптического преобразователя тока NXCT и счетчика электрической энергии MAXSys 2510 фирмы Landis & Gyr. Анализ графика показывает, что требуемая точность (0,2S) достигается при изменении номинального тока от 0,1 до 120%.

На рис. 2 представлены погрешности преобразователя напряжения NXVT-230. Из графика видно, что одним и тем же преобразователем можно измерять напряжения от 50 до 400 кВ с точностью 0,2.

Широкая полоса пропускания, точное воспроизведение формы тока

Преобразователи тока NXCT и напряжения NXVT имеют полосу пропускания до 6 ГГц, что позволяет анализировать спектр до сотой гармоники. Это особенно важно для систем измерения качества электрической энергии.

Более того, в IEC-60044-8 уже определяются требования к точности измерения гармонических составляющих электронными преобразователями тока и напряжения в зависимости от видов измерений (табл. 1-3).

Широкая полоса позволяет точно воспроизводить сигналы сложной формы, например, в режиме короткого замыкания. На рис. 3 представлен график, подтверждающий точность воспроизведения формы тока. Это обстоятельство крайне важно для систем релейной защиты, поскольку известно, что электромагнитные трансформаторы искажают реальную форму сигнала. На основе сигналов от оптического преобразователя может быть построена более чувствительная защита.

Отсутствие влияния вторичных цепей и наличие цифровых интерфейсов

Первичный оптический преобразователь может быть удален от блока электроники на 450-900 и более метров. На таком расстоянии гарантируется отсутствие помех, поскольку подключение производится при помощи оптического кабеля. Так как оптический преобразователь осуществляет цифровую обработку информации, у него может быть предусмотрен цифровой выход в соответствии со стандартом IEC-61850, который на сегодняшний день принят в качестве стандарта ГОСТ Р. Преобразователя, имеющего цифровой выход, достаточно, чтобы измерить все необходимые параметры один раз, а далее требуется только вычисления.

Безопасность и простота эксплуатации

Безопасность изделий для высоковольтной энергетики крайне актуальна. Последствия взрывов измерительных трансформаторов хорошо известны специалистам. В этом смысле оптические преобразователи гарантируют почти абсолютную безопасность. Они не содержат горючих (масло, бумага) или экологически опасных (SF6) веществ, требующих постоянного контроля. Сама конструкция предполагает использование материалов, которые являются диэлектриками. В оптических преобразователях нет составляющих, которые могли бы быть подвержены горению или электрическому пробое. Также исчезает необходимость масляного или газового хозяйства, что значительно сокращает издержки при эксплуатации преобразователей: обслуживания требует только электроника, которая имеет наиболее полные функции самодиагностики.

Простота и удобство установки. Организация точки учета на ограниченном пространстве

Преобразователи NXCT обладают малым весом (50 кг для 220 кВ) и габаритами. Их можно подстраивать к существующему оборудованию без закладки новых фундаментов или устанавливая горизонтально на порталах. За счет этого можно сократить стоимость и время монтажа.

Решения для больших токов

Устройство NXCT-F3 полностью отвечает потребностям измерения больших токов в шиннопроводах генерирующих установок. Оно имеет размыкаемый оптический сенсор, который можно навить вокруг токопровода, при этом не разрезая и не демонтируя его, что значительно экономит время монтажа.

Устройство пригодно для измерения как переменных, так и постоянных токов. Это особенно актуально для генерации, химической и алюминиевой отраслей промышленности.

Основные характеристики оптических измерительных преобразователей компании NxTPhase T&D Corporation, доступных на настоящий момент для промышленной установки, представлены в табл. 4-6.

Вывод

Оптические преобразователи являются качественно новым видом оборудования для высоковольтных измерений в энергетике. Использование этого

высокотехнологичного оборудования при реализации проектов перспективных энергоустановок, а также масштабных проектов реконструкции действующих объектов открывает новые возможности по внедрению на динамично развивающемся отечественном энергетическом рынке ряда принципиально новых систем учета и контроля параметров электроэнергии.

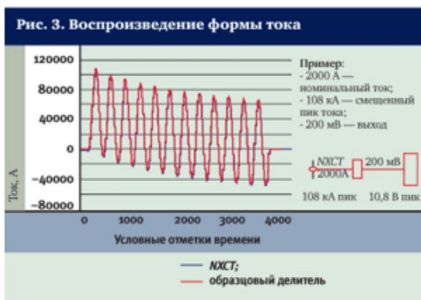
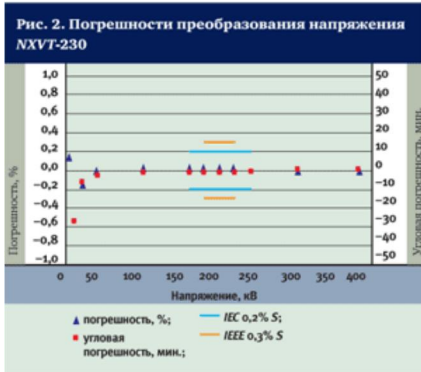


Таблица 1. Требования к точности измерения гармонических составляющих тока для систем измерения электрической энергии

Класс точности	Пределы допускаемой погрешности по гармоникам							
	токовой, %				угловой, град.			
	2-4	5-6	7-9	10-13	2-4	5-6	7-9	10-13
0,1	1	2	4	8	1	2	4	8
0,2	2	4	8	16	2	4	8	16
0,5	5	10	20	20	5	10	20	20
1	10	20	20	20	10	20	20	20

Таблица 2. Требования к точности измерения гармонических составляющих тока для систем контроля качества электрической энергии

Пределы допускаемой погрешности			
токовой, %		угловой, град.	
1-ой и 2-ой гармоники	с 3-й по 50-ю гармонику	1-ой и 2-ой гармоники	с 3-й по 50-ю гармонику
1	5	1	5

Таблица 3. Требования к точности измерения гармонических составляющих тока для систем защиты

Пределы допускаемой погрешности			
токовой, %		угловой, град.	
1/3 гармоники (16,7 или 20 Гц)	с 2-й по 5-ю гармонику	1/3 гармоники (16,7 или 20 Гц)	с 2-й по 5-ю гармонику
10	10	10	10



Таблица 4. Основные характеристики преобразователя тока <i>NXCT</i>	
Классы напряжения	От 69 до 765 кВ
Класс точности	<i>IEC 0,2S</i> для измерений, <i>IEC 5P</i> для защиты
Диапазон токов	100—4000 А
Электрические параметры: аналоговый <i>LEA</i> интерфейс аналоговый <i>NEA</i> интерфейс полоса пропускания потребляемая мощность	4 В — измерение, 200 мВ — защита 1 А — измерение 10—6 кГц 135 Вт
Ток термической стойкости (1 с.)	63 кА
Ток электродинамической стойкости	170 кА
Механические параметры: вес высота тип изолятора	49—95 кг 1,5—6,3 м Литой композитный изолятор

Таблица 5. Основные характеристики преобразователя тока и напряжения <i>NXVCT</i>		
Параметр	Ток	Напряжение
Классы напряжения	138—500 кВ	
Класс точности для измерения / для защиты	<i>IEC 0,2S / IEC 5P</i>	<i>IEC 0,2S</i>
Динамический диапазон	100—4000 А	2—200%
Электрические параметры: аналоговый <i>LEA</i> интерфейс аналоговый <i>NEA</i> интерфейс полоса пропускания	4 В — измерение, 200 мВ — защита 1 А — измерение 10—6 кГц	4 В — измерение, 200 мВ — защита 100 В 30—5 кГц
Механические параметры: вес изоляция	205—695 кг Азот	

Таблица 6. Основные характеристики преобразователя тока, трансформируемого <i>NXCT-F3</i>	
Полная шкала тока	100 кА переменного тока, 600 кА постоянного тока
Номинальная точность	0,2S в диапазоне 1—120% номинального тока
Полоса пропускания	До 6 кГц
Электрические параметры: выходное напряжение дополнительный выход	10 В 1А — измерение
Механические параметры: вес датчика вес электронного блока температурный диапазон датчика температурный диапазон электронного блока	< 5 кг 44,1 кг -50—60 °C -5—40 °C