

характеристикам оборудования, особенностям проведения работ и поддержание безопасности на объекте.

Таким образом, номинальное напряжение 660 В является важным базовым блоком в электроэнергетических установках. Необходимо учитывать преимущества и недостатки номинального напряжения 660 В при вы-

боре оборудования и проектировании сетей, чтобы обеспечить эффективную и безопасную работу электрической системы. Его применение обеспечит эффективное и безопасное функционирование электрооборудования в различных отраслях деятельности, гарантируя надежность и стабильность работы системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрические системы. Электрические сети: Учеб. для электроэнерг. спец. вузов / В.А. Веников, А.А. Глазунов, Л.А. Жуков и др.: Под ред. В.А. Веникова, В.А. Строева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1998. 511 с.

2. **Хакимуллин Б.Р., Багаутдинов И.З.** Опыт эксплуатации кабельных линий электропередач с пропитанной бумажной изоляцией. Инновационная наука. 2016. № 4-3. С. 195-197

3. **Васев А. Н., Лизунов И. Н., Ермеев Р.И., Мисбахов Р. Ш.** Использование технологии пассивных оптических сетей в системе сбора и передачи информации телемеханики в электроустановках среднего и высокого напряжения. Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов XVI международная научно-практическая конференция: в 3 частях. Чита, 28-30 ноября 2016 г.

УДК 621.314.22.08

**Конвалов Юрий Васильевич**,  
к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: yrvaskon@mail.ru  
**Леб Максим Сергеевич**,  
обучающийся группы ЭЭ-20-1,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: lebmaksim2@gmail.com  
**Потапов Илья Николаевич**,  
обучающийся группы ЭЭ-20-1,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: pogo201@mail.ru

### ЗАМЕНА АНАЛОГОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ НА ЦИФРОВЫЕ

*Konvalov Yu.V., Leb M.S., Potapov I.N.*

### REPLACEMENT OF ANALOG CURRENT AND VOLTAGE TRANSFORMERS TO DIGITAL

**Аннотация.** В соответствии с тенденцией цифровизации электроэнергетики рассмотрены преимущества и недостатки цифровых трансформаторов тока и напряжения по сравнению с аналоговыми, их конструктивные особенности и принципы выполнения.

**Ключевые слова:** цифровой трансформатор тока, высокое напряжение, цифровой трансформатор напряжения, цифровизация.

**Annotation.** In accordance with the trend of digitalization of the electric power industry, the advantages and disadvantages of digital current and voltage transformers compared to analog ones, their design features and implementation principles are considered.

**Keywords:** digital current transformer, high voltage, digital voltage transformer, digitalization.

Для нормального функционирования устройств обеспечивающих релейную защи-

ту высоковольтных установок, требуется контролировать параметры тока и напряже-

ния. Снимать показания при высоком напряжении – опасно и неэффективно. Режим работы обычного трансформатора не позволяет контролировать изменение тока. Решает эту проблему трансформатор тока (ТТ), у которого показатели вторичной цепи изменяются пропорционально величине тока первичной обмотки [1].

Основная задача токовых трансформаторов понизить значение тока до приемлемой величины. Принцип действия основан на свойствах трансформации переменного электрического тока. Возникающий переменный магнитный поток улавливается магнитопроводом, перпендикулярным направлению первичного тока. Этот поток создается переменным током первичной катушки и наводит электродвижущую силу (ЭДС) во вторичной обмотке. После подключения нагрузки начинает протекать электрический ток по вторичной цепи.

Зависимости между обмотками и тока выражены формулой:  $k = W_2 / W_1 = I_1 / I_2$ .

Поскольку ток во вторичной катушке обратно пропорционален количеству витков в ней, то путем увеличения (уменьшения) коэффициента трансформации, зависящего от соотношения числа витков в обмотках, можно добиться нужного значения выходного тока.

На практике, чаще всего, эту величину устанавливают подбором количества витков во вторичной обмотке, делая первичную обмотку одновитковой.

В последнее время появилось множество цифровых устройств, используемых в электроэнергетике: высоковольтные цифровые трансформаторы тока и трансформаторы напряжения (ТН); первичное и вторичное оборудование со встроенными коммуникационными портами; микропроцессорные контроллеры, системы релейной защиты и автоматики (РЗА) и так далее.

Всё это создает предпосылки для построения цифровой подстанции, в которой организация всех потоков информации при решении задач мониторинга, анализа и управления осуществляется в цифровой форме [1].

Согласно общей стратегии развития всей энергосистемы нашей страны довольно скоро все подстанции должны реконструировать под цифровой формат. А для этого требуется заменить старые (но при этом надежные) аналоговые трансформаторы тока и

трансформаторы напряжения на их цифровые аналоги.

Аналоговые ТТ и ТН довольно проблематично интегрировать в единую сеть мониторинга и контроля, да и точность измерения уже не отвечает современным стандартам и требованиям. Поэтому замена аналоговых преобразователей на оптические это вопрос времени и финансирования.

Измерительный преобразователь тока и напряжения предназначен для измерения и передачи параметров тока и напряжения приборам измерения, учета, защиты, автоматики, сигнализации и управления в сетях переменного и постоянного тока на номинальное напряжение 6(10) – 110 кВ с частотой 50 или 60 Гц.

Передача данных может организовываться по оптическим кабелям в соответствии с протоколом ИЕС 61850-9-2 или по медным кабелям в виде аналогового сигнала. Измерительные преобразователи тока и напряжения имеют несколько первичных преобразователей тока и напряжения, измерительная информация с которых предназначена для различных устройств – потребителей (РЗА, автоматизированных информационно-измерительных систем контроля и учета электроэнергии (АИИС КУЭ)).

Принцип работы цифровых трансформаторов тока и напряжения основан на использовании эффекта Фарадея, согласно которому при распространении линейно-поляризованного света, находящегося в магнитном поле, наблюдается вращение плоскости поляризации света. И использовании эффекта Погкельса, согласно которому происходит изменение угла преломления и поляризации под непосредственным воздействием электрического поля. Или другими словами: в зависимости от угла отклонения луча электроника высчитывает протекающий ток с учетом всех существующих погрешностей [2].

Электронный блок на первичной стороне преобразует выходные сигналы соответствующих первичных преобразователей в цифровой сигнал, далее выполняет формирование пакетов данных и передачу их по оптическим кабелям электронным блокам на вторичной стороне. Электронный блок на вторичной стороне обрабатывает полученные пакеты данных и отправляет их по оптическому кабелю устройствам релейной защиты, автоматики, коммерческого учета элект-

троэнергии и другим устройствам подстанции.

Трансформаторы конструктивно состоят из следующих компонентов:

- 1) первичные преобразователи напряжения переменного и постоянного тока;
- 2) первичные преобразователи силы переменного и постоянного тока;
- 3) электронный блок на стороне высокого напряжения (для исполнений от 35 кВ и выше);
- 4) электронный блок на стороне низкого напряжения.

Первичные преобразователи напряжения переменного и постоянного тока представляют собой делитель напряжения, содержащий высоковольтное и низковольтное плечи. Первичный преобразователь напряжения переменного и постоянного тока обеспечивает преобразование высокого напряжения переменного и постоянного тока в низкое напряжение переменного и постоянного тока для дальнейшего преобразования его в цифровую форму электронным блоком.

Первичные преобразователи силы переменного и постоянного тока представляют собой малогабаритный трансформатор тока, пояс Роговского и датчик постоянного тока (опция). Малогабаритный трансформатор тока предназначен для передачи информации устройствам коммерческого учета электроэнергии, а пояс Роговского и датчик постоянного тока – устройствам релейной защиты и автоматики.

Электронные блоки выполняют преобразование выходных сигналов первичных преобразователей силы и напряжения переменного и постоянного тока в цифровой сигнал, его обработку и передачу измеренных значений силы и напряжения переменного тока устройствам релейной защиты, автоматики, коммерческого учета электроэнергии и другим устройствам на подстанции в соответствии с протоколом IEC 61850-9-2 (протокол передачи может быть изменен либо дополнен другим протоколом по требованию заказчика). На выходе трансформаторы формируют несколько потоков измерений мгновенных значений силы тока и напряжения со следующими частотами дискретизации:

- 1) 4000 Гц (80 отчетов на период промышленной частоты 50 Гц) – для устройств релейной защиты и автоматики;
- 2) 12800 Гц (256 отчетов на период промышленной частоты 50 Гц) – для уст-

ройств коммерческого учета электроэнергии.

Трансформаторы также могут формировать потоки измеренных мгновенных значений со следующими частотами дискретизации (опция):

- 1) 4800 Гц (96 отчетов на период промышленной частоты 50 Гц и 80 отчетов на период промышленной частоты 60 Гц);
- 2) 15360 Гц (256 отчетов на период промышленной частоты 60 Гц);
- 3) 14400 Гц (288 отчетов на период промышленной частоты 50 Гц и 240 отчетов на период промышленной частоты 60 Гц);
- 4) 96000 Гц – для целей учета электроэнергии и РЗА в сетях постоянного тока [3].

Частота дискретизации может быть изменена по требованию заказчика, но не должна превышать 96 000 Гц.

Опционально цифровые трансформаторы тока и напряжения могут выдавать дополнительную служебную информацию о параметрах измеряемых электрических сигналов и передаваемой электрической энергии, а также служебную информацию, отражающую состояние цифрового трансформатора.

Синхронизация электронных блоков с системой точного времени осуществляется по внешнему стробирующему сигналу 1PPS или данным синхронизации по протоколу PTP. Выбор типа синхронизации производится по требованию заказчика.

Цифровые трансформаторы тока и напряжения могут выпускаться в резервированном исполнении, при этом на стороне высокого напряжения размещают два комплекта первичных измерительных преобразователей тока, установленных на одной изоляционной колонне. Делитель напряжения также может исполняться в резервированном исполнении, при этом в изоляционной колонне устанавливаются два и более высоковольтных делителя. Передача информации от цифровых трансформаторов тока и напряжения также может резервироваться по протоколам PRP и HSR [4].

В большинстве случаев цифровые трансформаторы тока и напряжения представляют собой оптическую колонну, внутри которой располагается оптический сенсор, который представляет из себя фиксированное количество витков оптоволоконной шины. Они размещены перпендикулярно шине и по ним проходит первичный ток. При этом нет никакого физического контакта шины и сенсора.

Далее волокна проходят через полимерный изолятор на оптический кросс, размещенный в нижней полости колонны. Далее сигнал отправляется в цифровом виде по общей шине в блок электроники, который устанавливается на опорно-поворотные устройства.

При этом удаленность самого цифрового трансформатора тока и напряжения от блока электроники не должно превышать расстояние в 1300 метров.

По сравнению с аналоговыми преобразователями оптические ТТ и ТН обладают следующими преимуществами:

1. Достаточно широкий канал измерений при высокой термической и электродинамической стойкости.
2. Высокая линейность.
3. Полное отсутствие таких явлений как насыщение, гистерезис, остаточное и необратимое изменение параметров после перегрузки (короткого замыкания).
4. Отсутствует резонанс.
5. Широчайший частотный диапазон, который позволяет выполнять анализ гармоник

напряжения и тока в высоковольтной цепи.

6. Полностью исключено воздействие нагрузки вторичных цепей и потерь в них.

7. Повышенная устойчивость оптоволоконных каналов к внешним электромагнитным помехам.

8. Меньший вес и габарит по сравнению с аналоговыми образцами.

9. Так как в конструкции нет ни масла, ни газа, ни бумаги, то такие ТТ обладают повышенными показателями безопасности.

Пожалуй, единственным минусом можно назвать пока еще довольно высокую стоимость этих изделий.

Несомненно, за оптическими измерительными приборами - будущее, и наступит то время, когда абсолютно все станции и подстанции будут соединены в общую единую сеть. Цифровизация позволяет управлять более сложными энергосистемами, способствуя развитию широкого спектра новых технологий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Афанасьев В.В.** Трансформаторы тока и напряжения / В.В. Афанасьев. – М. Энергопрогресс, 2015. – 275 с.

2. **Нагай В.И.** Высоковольтные оптические преобразователи для систем измерения и анализа качества электрической энергии / В.И. Нагай. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 312 с.

3. **Гуревич В.И.** Оптоэлектронные трансформаторы тока: панацея или частное решение частных проблем? // Вести в электроэнергетике, 2010. № 2. С. 35-37

4. **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.