

УДК 621.313/.316

А.Н. Козлов, И.А. Романенко

**ВНЕДРЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ  
ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ**

*Статья посвящена вопросу перехода от традиционных электрических измерительных трансформаторов тока и напряжения с аналоговыми сигналами передачи данных к цифровым комбинированным трансформаторам тока и напряжения.*

*Ключевые слова: интеллектуальные сети, цифровые комбинированные трансформаторы тока и напряжения, цифровая подстанция, замена традиционных измерительных трансформаторов, измерительный преобразователь тока и напряжения, преимущества цифровых трансформаторов тока и напряжения.*

**INTRODUCTION OF COMBINED DIGITAL CURRENT AND VOLTAGE TRANSFORMERS**

*The article is devoted to the transition from traditional electrical current and voltage measuring transformers with analog data transfer signals to digital combined current and voltage transformers.*

*Key words: smart grids, digital combined current and voltage transformers, digital substation, replacement of traditional measuring transformers, current and voltage measuring transducer, advantages of digital current and voltage transformers.*

Работы по созданию и внедрению «интеллектуальных», «умных» или активно-адаптивных электрических сетей ведутся уже в течение нескольких лет в большинстве промышленно развитых и развивающихся стран мира. Ключевым элементом «умных сетей» является цифровая подстанция (ЦПС), так как она принимает, преобразует и перераспределяет электрическую энергию. В России действующих ЦПС небольшое количество, а на Дальнем Востоке их и вовсе нет. Чтобы спроектировать и построить ЦПС «с нуля», потребуется большое количество времени и средств, поэтому более рационален в финансовом плане постепенный переход от действующих традиционных подстанций (ПС) с аналоговыми сигналами на подстанции с цифровым сигналом. Идея проектирования цифровых подстанций заключается в замене огромного числа проводных связей для обмена аналоговыми и дискретными сигналами на разнообразный обмен цифровой информацией, обеспечивающей возможность реализации функций систем автоматизации подстанций и полную функциональную совместимость электронных устройств различных производителей. Один из элементов ЦПС, который можно внедрить уже сегодня, – это цифровые комбинированные трансформаторы тока и напряжения (ЦТТН) [1].

В настоящее время на объектах электроэнергетики напряжение и ток в линиях электропередач и на шинах подстанций измеряют, используя аналоговые измерительные трансформаторы тока и напряжения, а также высоковольтные емкостные делители. У аналоговых трансформаторов выявлены проблемы с обеспечением своего метрологического класса точности – более 50%. Из-за перегру-

зок по вторичным цепям в переходных режимах и во время коротких замыканий (КЗ) трансформаторы тока (ТТ) имеют искажения формы сигналов, вследствие насыщения сердечников трансформатора они передают недостоверную информацию о токах КЗ, приводя к задержкам и неселективной работе релейной защиты. Трансформаторы тока и напряжения старого поколения не исключают коммерческих потерь из-за низкого класса точности и возможности хищения электроэнергии.

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.

«Цифровой комбинированный трансформатор тока и напряжения (ЦТТН) работает следующим образом: измеренные с помощью инновационной датчиковой системы, состоящей из пояса Роговского, магнитотранзисторного преобразователя, безиндуктивного шунта, трансформатора тока с нанокристаллическим магнитопроводом и резистивного делителя напряжения, значения тока и напряжения оцифровываются непосредственно на первичном уровне и передаются по оптоволокну на низковольтную сторону, где производится их обработка и упаковка в соответствии с протоколом IEC 61850-9.2LE»[цит. по: 2, 1]

Конструкция трансформатора состоит из: 1) первичных преобразователей силы переменного и постоянного тока; 2) первичных преобразователей напряжения переменного и постоянного тока; 3) электронного блока на стороне высокого напряжения (от 35 кВ и выше); 4) электронного блока на стороне низкого напряжения.

Электронный блок выполняет преобразование входного сигнала от преобразователя силы и напряжения переменного и постоянного тока в цифровой сигнал, обрабатывает и передает измеренные показатели силы и напряжения переменного тока устройствам автоматики, релейной защиты, коммерческого учета электроэнергии и другому оборудованию подстанции в соответствии с протоколом IEC 61850-9-2 (протоколы передачи данных могут быть изменены либо дополнены другими). На выходе трансформаторы формируют несколько потоков измерений мгновенных значений силы тока и напряжения со следующими частотами дискретизации: 4000 Гц (80 отчетов на период промышленной частоты 50 Гц) – для устройств релейной защиты и автоматики; 12800 Гц (256 отчетов на период промышленной частоты 50 Гц) – для устройств коммерческого учета электроэнергии.

Данные трансформаторы способны формировать потоки измеренных мгновенных значений со следующими частотами дискретизации (на период промышленной частоты 50 Гц):

1. 4800 Гц – 96 отчетов;
2. 15360 Гц – 256 отчетов;
3. 14400 Гц – 288 отчетов;
4. 96000 Гц – для целей учета электроэнергии и РЗА в сетях постоянного тока.

При необходимости частоту дискретизации можно изменить, изменение не должно превышать 96000 Гц.

Цифровые трансформаторы способны выдавать дополнительную служебную информацию о состоянии оборудования, параметры измеряемых электрических сигналов и передаваемой электрической энергии. Используя внешний стробирующий сигнал 1PPS или данные синхронизации по протоколу РТР происходит синхронизация электронных блоков с системой точного времени.

ЦТТН может выпускаться в резервированном исполнении, при этом на стороне высокого напряжения устанавливаются два комплекта первичных измерительных преобразователей тока, находящихся на одной изоляционной колонне. Делитель напряжения также может быть в резервированном исполнении, при этом в изоляционной колонне устанавливаются два и более высоковольтных делителя. Передача информации от ЦТТН может резервироваться по протоколам PRP и HSR.

Внедрение цифровых трансформаторов тока и напряжения обеспечит возможность:

- 1) получать информацию от единого источника в стандартном формате для большинства информационных и управляющих устройств;
- 2) повысить управляемость и надежность систем защиты и автоматики, используя современные информационные и Интернет-технологии;
- 3) создать высокоинтегрированные активно-адаптивные сети нового поколения SMART GRID, внедрить автоматизированные подстанции (без постоянного дежурного персонала);
- 4) просто подключать новые устройства и неограниченное количество получателей информации;
- 5) проектировать и создавать интеллектуальные системы учета электрической энергии, а также автоматизированные системы управления;
- 6) снижать количество кабельных связей, использовать оптоволокна для передачи данных, хорошую помехозащищенность оборудования обеспечивает повышенный класс точности по току и напряжению (0,2s по току и напряжению в установившемся режиме);
- 7) добиться селективности работы и устойчивости функционирования устройств релейной защиты и автоматики за счет линейности характеристик преобразования тока и напряжения в установившихся режимах и переходных процессах;
- 8) иметь отсутствие выноса высокого потенциала на щит управления с мест короткого замыкания;
- 9) иметь низкие эксплуатационные и коммерческие потери.

ЦТТН имеют ряд преимуществ по сравнению с аналоговыми электромагнитными трансформаторами тока и напряжения. Это устойчивость к феррорезонансным явлениям, более высокий класс точности, передача информации без искажений в аварийных режимах, включая аперiodическую составляющую тока короткого замыкания для систем релейной защиты и автоматики. Также цифровые трансформаторы выгодно отличаются отсутствием масла или элегаза, что свидетельствует о лучших массогабаритных показателях (в 5-7 раз легче) и о высокой взрывобезопасности.

Если сравнивать цифровой трансформатор тока и напряжения с оптическими трансформаторами, то он также имеет ряд преимуществ. Благодаря отсутствию сложной оптомеханики и оптоэлектроники у цифрового трансформатора меньшие стоимостные характеристики. При повреждении вторичной оптоволоконной цепи нет необходимости заменять весь трансформатор. Использование нескольких первичных преобразователей, выполненных на различных базовых физических принципах, позволит полностью удовлетворить потребности устройств релейной защиты и автоматики, а также систем АИИС КУЭ. Достаточно широкий частотный спектр и динамический диапазон измерения токов позволят более эффективно использовать алгоритмы релейной защиты.

Комбинированные цифровые трансформаторы тока и напряжения обеспечивают высокую точность измерений в полном соответствии с российскими и международными стандартами и являются единым источником данных для всех устройств, работающих в цифровом формате. Небольшой вес и габариты ЦТТН позволяют интегрировать их в инфраструктуру любой подстанции и использовать совместно с имеющимся оборудованием, не нарушая работу ПС. Такая возможность обеспечивает поэтапный переход к цифровой подстанции, т.е. в процессе модернизации подстанция может продолжать работу в штатном режиме и одновременно на ней будет присутствовать цифровой поток в соответствии со стандартами передачи данных. Замена традиционных измерительных трансформаторов позволит отказаться от большого количества медных проводников с аналоговым сигналом в пользу оптического проводника с цифровым. В процессе эксплуатации ПС затраты на текущую эксплуатацию будут снижаться до 30% (по словам производителей), повышается наблюдаемость объекта и его безопасность [4]. Нельзя упускать того, что применение цифрового оборудования возможно в том случае, когда соблюдаются требования, необходимые для его нормальной работы. В противном

случае есть риск ухудшить текущие показатели электрической сети, так как электронное оборудование обладает высокой чувствительностью к электромагнитным помехам. Поэтапное и постепенное внедрение цифровых комбинированных трансформаторов тока и напряжения на подстанциях Дальнего Востока позволит ускорить переход объектов электроэнергетики от традиционных аналоговых сигналов к цифровым, что в свою очередь повысит надежность, и селективность работы средств защиты и автоматики, а также устройств учета электроэнергии. Даст возможность сократить коммерческие и эксплуатационные потери электроэнергии и денежных средств. Модернизация подстанций ускорит и подготовит почву к переходу на цифровые подстанции – ключевому элементу «интеллектуальных сетей».

- 
1. Принципы реализации трансформаторного оборудования для цифровых подстанций. – URL: [http://www.asu-vei.ru/download/publications/reports/doklad\\_travek\\_2010\\_cifrovie\\_podstancii.pdf](http://www.asu-vei.ru/download/publications/reports/doklad_travek_2010_cifrovie_podstancii.pdf)
  2. Цифровой комбинированный трансформатор тока и напряжения. – URL: <https://gridology.ru/projects/113>.
  3. Цифровые комбинированные трансформаторы тока и напряжения – 6(10), 35, 110кВ. – URL: <https://digitrans.ru/ctrecttin/>
  4. Трансформаторы тока и напряжения комбинированные компании «ПРОФОТЕК». Информация от производителя. – URL: <http://www.profotech.ru/products/1111/>