

# Коммерческий учет электроэнергии с использованием цифровых измерительных систем

Стремительное развитие технологий на базе стандарта МЭК 61850-9.2 привело к активному использованию поддерживающего его оборудования как для задач релейной защиты и автоматики, так и для коммерческого учета. В основе применения стандарта лежит получение цифровых измерений либо от цифровых измерительных трансформаторов, либо от преобразователей. В данной статье рассмотрим эффекты, возникающие при построении систем коммерческого учета с применением цифровых измерительных трансформаторов: оптических — для измерения тока и электронных — для измерения напряжения, совместно с цифровыми приборами учета электроэнергии. Оценка эффектов приведена на примере использования цифровых трансформаторов производства «Профотек», при этом можно утверждать, что указанные в статье преимущества распространяются на все цифровые системы, построенные по аналогичной архитектуре.

**Александров Л.Б.**, директор по развитию АО «Профотек»

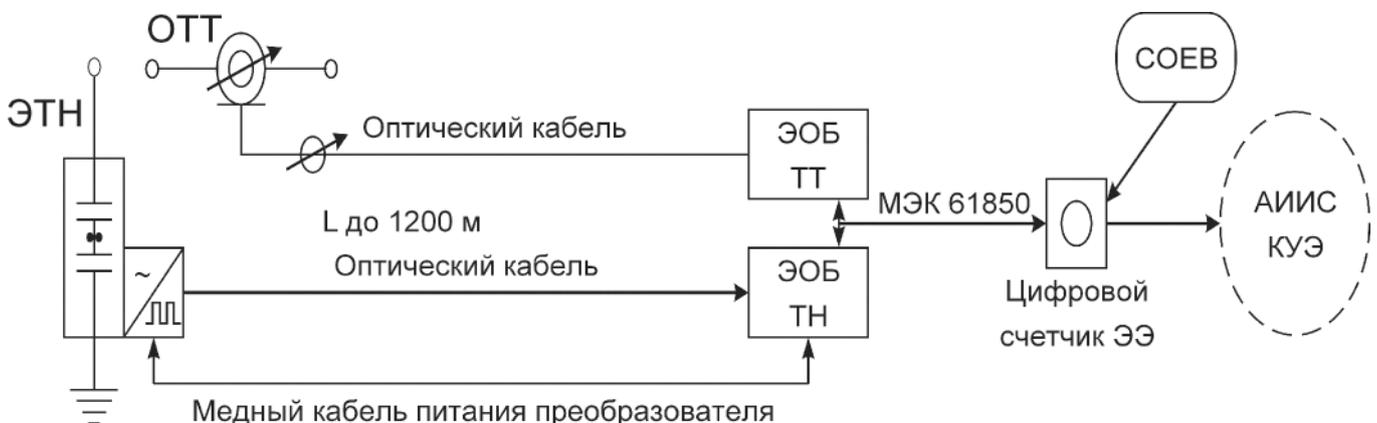
Оптические трансформаторы тока по своим параметрам существенно превосходят традиционные в силу иного физического принципа проведения измерений. Они имеют высокую линейность измерительных характеристик в очень широком диапазоне токов, их измерительные параметры не зависят от величины вторичной нагрузки оптического трансформатора и от количества подключенных вторичных устройств (системы телеизмере-

ний, РЗА и т.п.). Ввиду отсутствия магнитного сердечника полностью отсутствует эффект магнитного насыщения и ухудшения параметров точности измерений. В отличие от катушки Роговского величина выходного сигнала не зависит от уровня гармоник.

Электронные измерительные трансформаторы напряжения также имеют более высокие измерительные параметры по сравнению с традиционными делителями напряжения. Емкостной делитель напряжения не содер-

жит электромагнитного устройства, вносящего существенные искажения в измерительный сигнал при изменении нагрузки вторичных цепей, изменении частоты питающей сети.

Рассмотрим особенности создания информационно-измерительного канала (ИИК) с использованием цифровых измерительных трансформаторов и цифрового счетчика, работающего с цифровыми входными сигналами стандарта МЭК 61850-9-2LE (рисунок 1).



**ОБЩАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИИК < 0,6%**

Рис. 1. Схема создания информационно-измерительного канала (ИИК) с использованием цифровых измерительных трансформаторов и цифрового счетчика, работающего с цифровыми входными сигналами стандарта МЭК 61850-9-2LE

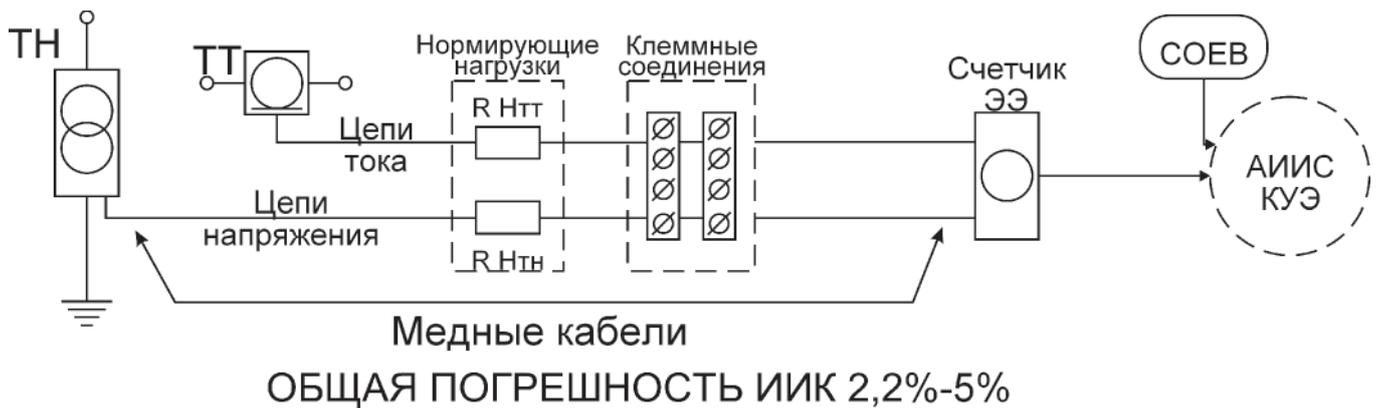


Рис. 2. Схема создания информационно-измерительного канала (ИИК), построенного на традиционных измерительных трансформаторах, с использованием электронного счетчика

Цифровые потоки от измерительных трансформаторов подаются непосредственно на вход счетчика с использованием оптических кабелей. Вторичные цепи, дополнительные нагрузки и иные ухудшающие точность измерений устройства отсутствуют.

Цифровой измерительный сигнал, передаваемый в потоке данных, содержит уже поименованные значения токов и напряжений. Цифровой счетчик для вычисления величины энергии производит только математические операции. На выходах счетчика формируется цифровой сигнал (RS 485 или Ethernet) для передачи на верхний уровень системы АИИС КУЭ.

Для сравнения рассмотрим вариант ИИК, построенный на традиционных измерительных трансформаторах, с использованием электронного счетчика (рисунок 2). Хотя сейчас его принято именовать «цифровым», это в корне неверно, так как абсолютно все самые современные электросчетчики в качестве входного сигнала используют аналоговые значения токов и напряжений, в отличие от «настоящего» цифрового с использованием МЭК 61850-9-2LE.

Таким образом, в традиционной измерительной системе присутствует ряд фундаментальных причин, ухудшающих точность измерений:

1. Требование по номинальной нагрузке вторичных цепей в соответствии с ГОСТ 7746-2015, ГОСТ 1983-2001, МИ 3021-2006

и СТО 70238421.17.220.20.002-2011 ПАО «ФСК ЕЭС» — вторичная нагрузка измерительных трансформаторов должна находиться в пределах 25–100% от номинальной.

2. Требование ко вторичным измерительным цепям — наличие потерь в цепях напряжения не более 0,25%.
3. Наличие вторичных клеммных цепей в цепи тока и напряжения — это дополнительные падения напряжения и увеличение сопротивления (нагрузки) вторичных цепей.
4. Длинные измерительные цепи за счет собственных емкостей и индуктивностей соединительных кабелей вносят нелинейные искажения в измерительный сигнал.
5. Остаточная намагниченность сердечников трансформаторов из-за различных эксплуатационных моментов — короткие замыкания, броски тока при коммутации, удары молний и т.п. По ряду оценок остаточная намагниченность может составлять до 30%, а у измерительных трансформаторов в цепях мощных генераторов — до 60%.
6. Погрешность самого счетчика электроэнергии. Любой самый современный электросчетчик имеет на входе аналоговые сигналы токов и напряжений (100 В и 1/5 А). Процесс измерения сводится к преобразованию этих параметров тока и напряжения во внутренний цифровой формат счетчика. Для этого в счетчике есть

трансформаторы тока, резистивные делители напряжения и стабильные генераторы опорного напряжения, с помощью которых внутренний АЦП счетчика выполняет преобразования и далее вычисление необходимых значений энергии с использованием специализированных цифровых процессоров. Все эти процессы приводят к возникновению и накоплению внутренних погрешностей счетчика. На эти процессы также влияет температура окружающей среды, форма входного сигнала, наличие в нем гармоник и т.д., поэтому погрешность у такого счетчика будет всегда.

Таким образом, цифровой ИИК при расчете его погрешности по существующим в настоящий момент методикам будет иметь погрешности самих трансформаторов и погрешность, приписанную цифровому счетчику. Вторичных цепей в цифровом ИИК нет, трансформаторы не имеют остаточной намагниченности, точность измерений не зависит от нагрузки измерительных цепей. Есть и еще один существенный момент — цифровой счетчик не выполняет функций преобразования аналоговых сигналов, он оперирует с уже поименованными величинами и выполняет только математические операции с этими значениями, а точность выполнения таких операций на несколько порядков выше, чем процесс измерений в аналоговом счетчике. По имеющимся методикам утверждения



Рис. 3. Колонны с комбинированными электронно-оптическими трансформаторами тока и напряжения класса 220 кВ

типа средства измерений для цифрового счетчика устанавливается погрешность, но фактически ее величина в несколько раз меньше той, что присваивается, в силу отсутствия необходимых методик аттестации цифровых счетчиков.

Если обобщить все вышесказанное, то при применении цифровых оптических измерительных трансформаторов тока, электронных трансформаторов напряжения и цифровых счетчиков фактическая погрешность ИИК получается существенно ниже погрешности традиционного ИИК.

В настоящий момент АО «Профотек» выполнены работы по созданию цифровых ИИК на ряде объектов, и по результатам аттестации методик выполнения измерений можно достоверно говорить о снижении общей погрешности цифрового ИИК. Для ИИК, состо-

ящего из цифровых оптических трансформаторов тока 220 кВ, электронных трансформаторов напряжения 220 кВ и цифрового счетчика типа ESM, общая погрешность составляет  $\pm 0,7\%$ .

Расчет доверительной границы погрешности результатов измерений произведен по Приложению Д на основании РД 153-34.0-11.209 «Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии и мощности. Типовая методика выполнения измерений электроэнергии и мощности» и в соответствии с МИ 1317-2004. При тех же параметрах расчет погрешности для аналоговых ТТ и ТН и электронного счетчика дает величину погрешности ИИК 2,8%.

Что же в итоге дает повышение точности измерений и снижение общей погрешности ИИК?

Расчет экономической эффективности от снижения погрешно-

сти ИИК возможно провести на основе методики, приведенной в издании авторов Андреева Л.В., Осика Л.К., Тубинес В.В. «Коммерческий учет электроэнергии на оптовом и розничных рынках» (Техническая библиотека НП «АВОК», Москва, 2010, Приложение 9, стр. 372–379). В качестве основы расчета применяется информационный подход и связанное с ним понятие риска неопределенности результатов измерений.

Для примера расчета используем условную величину стоимости оплаты электроэнергии за условный расчетный период, составляющую 1 000 000 рублей, и погрешность аналогового ИИК, составляющую 2,8%.

1. Рискоопасный интервал для погрешности измерений стандартного ИИК с потерями 2,8% составит:

$$1\ 000\ 000\ \text{руб.} \times 0,028 = \\ = 28\ 000\ \text{руб.}$$

Для ИИК в составе оптических трансформаторов и цифрового электросчетчика величина погрешности ИИК составляет 0,7%.

2. Рискоопасный интервал для погрешности измерений ИИК с потерями 0,7% составит:

$$1\ 000\ 000\ \text{руб.} \times 0,007 = 7000\ \text{руб.}$$

Учитывая симметричное распределение погрешности, а также то, что она практически всегда имеет отрицательную величину для расчетов, используем половину величины рискоопасного интервала.

Таким образом, эффект от повышения класса точности ИИК составит:

$$(28\ 000\ \text{руб.} - 7000\ \text{руб.}) / 2 = \\ = 10\ 500\ \text{руб.}$$

Данный пример показывает, какой экономический эффект можно получить при использовании высокоточных цифровых систем измерений.

Расчет выше приведен для потребителей, аналогично можно рассчитать выгоду для генерации. Сетевые компании дополнительно получают более точный учет за счет того, что цифровой ИИК гораздо лучше считает реактивную энергию и, соответственно, полную энергию, принятую и отпущенную из сетей.

В настоящий момент АО «Профотек» завершает работы по монтажу и наладке цифровой системы коммерческого учета электроэнергии на одном из предприятий — потребителей электрической энергии. В составе проекта применены комбинированные электронно-оптические трансформаторы тока и напряжения класса 220 кВ. На рисунке 3 показаны установленные колонны с трансформаторами.

Применение комбинированных трансформаторов обеспечивает наибольший эффект за счет сокращения стоимости строительно-монтажных работ — монтируется только одна колонна с ощутимо меньшими по весу оптическими трансфор-

маторами. Полностью исключаются риски пожара и разлива масла, так как оно практически не содержится в измерительном трансформаторе. Существенно сокращаются риски обесточения потребителя.

Приведенные выше расчеты экономических показателей, технических преимуществ, сокращение затрат на СМР и текущую эксплуатацию наглядно показывают преимущества цифровых технологий при создании систем коммерческого учета электроэнергии. Но возможности цифровых систем этим не исчерпываются. Цифровые трансформаторы выполняют полную комплексную функцию измерений. Одновременно с формированием цифровых потоков для целей коммерческого учета (SV 256 — 256 выборок на период промышленной частоты) цифровые электронные и оптические трансформаторы, производимые АО «Профотек», также формируют поток данных с дискретностью 80 выборок на период промышленной частоты (SV 80) для целей РЗА и ПА. Поток SV 256 может быть использован для целей телеизмерений, что позволяет производить все виды измерений — для коммерческого учета, телеизмерения, РЗА в привязке к единой метке времени.

Цифровые измерительные трансформаторы АО «Профотек» имеют высокую частоту внутренней дискретизации измерительного сигнала (внутренняя частота дискретизации составляет 64 кГц), что позволяет соответствовать практически любым современным требованиям. Так, в частности, реализована поддержка корпоративного стандарта ПАО «Россети» (ПАО «ФСК ЕЭС») — 96 выборок на период промышленной частоты для целей РЗА и 286 выборок для коммерческого учета.

АО «Профотек» освоена в производстве вся номенклатура оптических измерительных трансформаторов тока, пригодных для использования на генераторах, в электросетях, электроустановках потребите-

лей с классами напряжения от 6 кВ до 500 кВ. При этом все выпускаемые трансформаторы обеспечивают класс точности измерений 0,2S для измерений и 5P для защит. Оптические измерительные трансформаторы имеют очень развитую диагностику работоспособности и осуществляют интеграцию с любыми системами верхнего уровня, обеспечивая заказчику возможность организовать обслуживание этих систем в режиме «по требованию», что существенно сокращает эксплуатационные затраты.

Интерес к созданию цифровых систем релейных защит, измерений и переход к созданию полноценной цифровой подстанции значительно возрос, что наглядно видно по растущему числу реализованных проектов с использованием оптических трансформаторов АО «Профотек». Нами успешно выполнены проекты по созданию систем цифрового учета в России: АИИС КУЭ ПС 500 кВ «Тобол» (ПАО «ФСК ЕЭС»), АИИС КУЭ Красноярского Аллюминиевого завода, система цифрового учета ПС «Ясень» (ПАО «Ленэнерго»). Реализован ряд проектов за рубежом — в Швейцарии (компания Groupe-E и Swissgrid), Голландии (DNV-GL), Франции (EDF), Италии (Terna), Финляндии (Fingrid). 



109316, г. Москва, Волгоградский просп., д. 42, корп. 5  
Технополис «Москва»  
8 (495) 775 8339  
info@profotech.ru  
www.profotech.ru