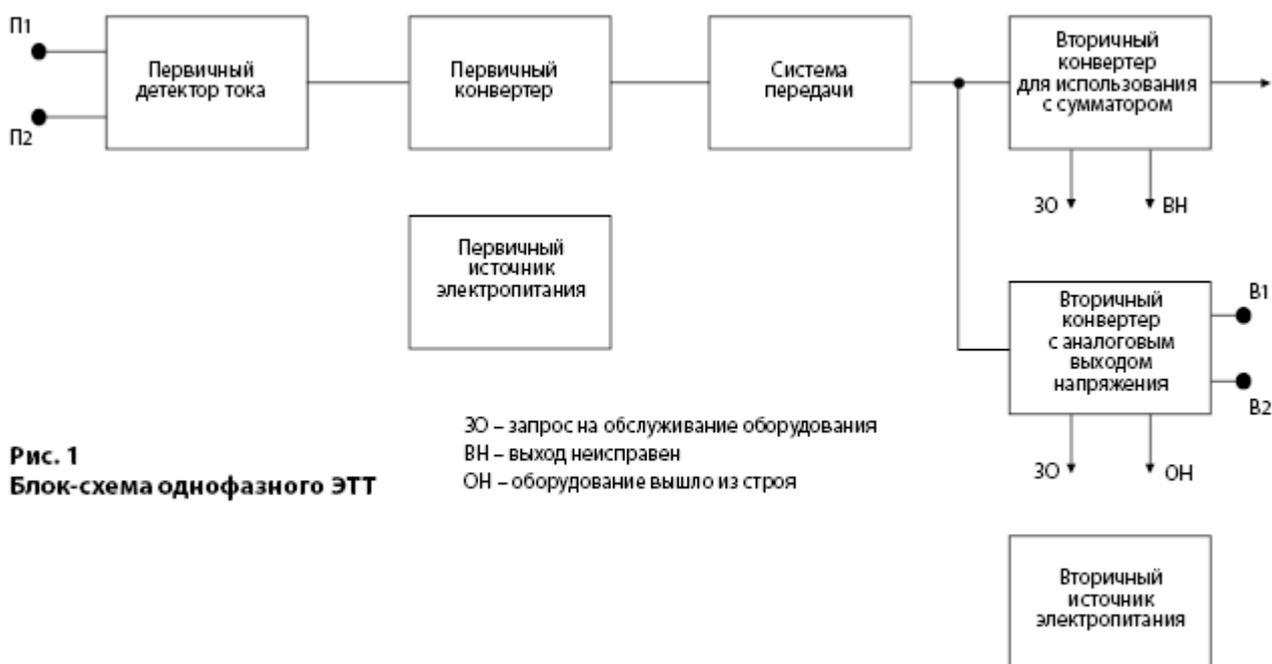


Электронный трансформатор тока

Стандарт МЭК 60044-8 на электронные трансформаторы тока (далее – ЭТТ) вышел за рубежом еще в 2002 году, а в настоящий момент разрабатывается и в России.

К ЭТТ относятся преобразователи переменного тока, в которых имеются промежуточные преобразования измеряемого тока с помощью различных электронных схем. На выходе ЭТТ сигнал, пропорциональный измеряемому току, может быть представлен как в аналоговом, так и в цифровом виде. В общем случае блок-схема ЭТТ представлена на рис. 1, заимствованном из стандарта МЭК 60044-8, но при этом нет жесткого требования к тому, чтобы ЭТТ включал в себя все части, представленные на рис. 1.



В качестве первичных датчиков могут выступать датчики Холла, пояса Роговского, обычные трансформаторы тока со встроенными шунтами. Кроме того, к ЭТТ относятся преобразователи тока, основанные на оптической схеме с использованием эффекта Фарадея.

Первоначально была поставлена задача, связанная с заменой трансформаторов тока в ячейках 6 и 10 кВ, находящихся в эксплуатации с середины прошлого века и расположенных на старых подстанциях в центре Санкт-Петербурга. Замена должна быть проведена с отключением таких ячеек на минимально возможное время и без существенных переделок. Одновременно возникла проблема выхода из строя трансформаторов тока с литой изоляцией класса 35 кВ, находящихся в эксплуатации ОАО «РЖД».

Количество таких выходов из строя в последнее время возросло в разы и продолжает расти. Возможно, это связано с распространением на железных дорогах страны локомотивов с тиристорным регулированием мощности взамен ступенчатого регулирования путем переключения

обмоток вводного трансформатора. Специальных исследований этого вопроса не проводилось, но известно, что использование тиристорных управляемых выпрямителей привело к появлению больших искажений напряжения сети высшими гармониками, что способствует увеличению частичных разрядов в литой изоляции и сокращению сроков ее службы.

Было принято решение использовать для гальванической развязки между цепью высокого напряжения и приемником сигнала, находящимся под потенциалом земли, оптоволоконный кабель, а информацию о величине тока в высоковольтной цепи передавать в цифровом виде. Поскольку изначально целью реализации такого технического решения была замена высоковольтных трансформаторов тока, предназначенных для коммерческого учета электроэнергии, мы стремились достигнуть точности разрабатываемого ЭТТ класса 0,2S, и это нам удалось.

В качестве первичного датчика тока используется трансформатор тока ТШП-0,66 Свердловского завода класса 0,2S, нагруженный на прецизионный шунт (на рисунке 1 – Первичный детектор тока). Напряжение с шунта поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (на рисунке 1 – Первичный конвертер), откуда в виде оптических импульсов передается на сторону низкого напряжения. Приемник оптических сигналов совмещен с цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП), на выходе которого получается аналоговый сигнал напряжения, пропорциональный измеряемому току. Пара АЦП/ЦАП имеет 16 разрядов и тактовую частоту 60 МГц, что обеспечивает передачу информации в цифровом виде с точностью, в три раза превышающей точность первичного датчика. Выходной каскад ЭТТ преобразует это напряжение в выходной нормированный ток (на рисунке 1 все вместе это – Вторичный конвертер с аналоговым выходом напряжения, хотя на его выходе получаем не напряжение, а ток). Внешний вид опытного образца ЭТТ представлен на рис. 2.



Рис. 2
Внешний вид ЭТТ

Наиболее сложной частью решения данной задачи оказалась разработка АЦП с источником питания от измеряемого тока, находящегося на высоком потенциале относительно земли.

Современная база цифровых комплектующих изделий, источников опорного напряжения и миниатюрных стабилизаторов напряжения позволила разработать пару АЦП – ЦАП, обеспечивающих требуемую точность передачи, как по амплитуде, так и по фазе. Потребление АЦП с передающим светодиодом удалось ограничить значениями 0,11-0,12 Вт. Источник питания АЦП имеет габариты такие же, как у трансформатора тока ТШП-0,66, и в представленном ЭТТ обеспечивает достаточную энергию при первичном токе около 5 А, что составляет менее 1 процента для трансформаторов тока на первичный ток 600 А и выше. Для токов менее 600 А исследования не проводились, но принципиальных отличий не предвидится, поскольку для измерения токов 400 А и ниже используются трансформаторы тока с сердечниками меньших диаметров.

При первичных токах более 100 процентов от номинального источник питания АЦП работает как трансформатор тока с закороченной вторичной обмоткой и выделяет мощность менее 5 Вт, которая без труда рассеивается металлическим корпусом АЦП. Представленный ЭТТ разработан для климатических условий отапливаемых помещений исполнения УХЛ4. Разработка АЦП для климатических исполнений УХЛ1 и У1 обязательно будет проведена, поскольку использование такого ЭТТ для коммерческого учета в цепях 110 кВ и выше, расположенных вне помещений, гораздо перспективнее.

Низковольтная часть ЭТТ выполнена с использованием профиля фирмы Phoenix contact и приспособлена для крепления на дин-рейку в распределительном шкафу или ячейке. В качестве источника питания ЦАП с выходным каскадом используется аналоговый источник с выходным нестабилизированным напряжением ± 9 В. Использование источника питания с высокочастотным преобразованием напряжения не представляется возможным, так как приводит к достаточно большим высокочастотным помехам в выходном токе. Сам ЦАП помещен в экран, соединенный с землей. Поскольку выходной ток ЭТТ достаточно велик, в выходном каскаде используется радиатор, так как в зависимости от значения нагрузки рассеиваемая мощность может достигать 6-8 Вт. Технические параметры опытного образца ЭТТ приведены в таблице.

Наименование	Значение	Примечание
Номинальный измеряемый ток, А	600	От 200 до 3000
Класс точности	0,25	
Диапазон измеряемых токов, %	От 1 до 120	Может быть увеличен с уменьшением точности для реализации функций защиты
Номинальное напряжение	–	Не нормируется
Номинальный вторичный ток, А	1	
Номинальная нагрузка, ВА, не более	3	
Длина оптического шнура, м, не менее	3	Может быть увеличена

Выходной ток ЭТТ равен 1 А, что является стандартным значением для трансформаторов тока. В своей статье* Е. Э. Шапиро назвал такой прибор измерительным каналом промежуточного вида, который позволяет использовать существующую систему метрологического обеспечения коммерческого учета, сохраняя большую часть преимуществ ЭТТ перед традиционными

высоковольтными трансформаторами тока. В частности, поверку ЭТТ можно проводить по стандартной методике ГОСТ 8.217-2003, что значительно упрощает процесс утверждения типа ЭТТ в качестве средства измерения.

При разработке опытного образца ЭТТ основное внимание уделялось точности преобразования тока в пределах, необходимых для коммерческого учета, а именно от 1 до 120 процентов. При токах более 120-130 процентов происходит переполнение АЦП, что не позволяет использовать данный ЭТТ для функций защиты. Надо заметить, что и в обычных трансформаторах тока обмотки, предназначенные для функций измерения и защиты, разделены. Чтобы использовать ЭТТ в системах защиты, необходимо уменьшить сопротивление прецизионного шунта на входе АЦП и изменить напряжение питания выходного каскада ЦАП. При этом точность измерения малых токов уменьшится кратно требуемому току перегрузки.

При разработке опытного образца не ставилась цель его тестирования во время работы и получение сигнала Готовность. Поскольку оптический сигнал поступает на сторону низкого напряжения только при наличии тока в первичной цепи, контроль за работой ЭТТ должен проводиться только в течение времени, когда эта цепь находится под напряжением, то есть при включении соответствующего выключателя. В случае необходимости такая функция может быть легко реализована.

В заключение необходимо отметить следующее. В настоящее время при эксплуатации трансформаторов тока их выходной сигнал, как правило, переводят в цифровой вид. Это касается применения как для коммерческого учета электроэнергии с помощью цифровых счетчиков электроэнергии, так и в устройствах цифровых защит. Было бы очень интересно отказаться от ЦАП в составе ЭТТ и подавать информацию о величине первичного тока в прибор измерения непосредственно в цифровом виде. При этом ЦАП использовать только для поверки ЭТТ и определения коэффициента передачи АЦП.

* Е.З. Шапиро. Перспективные измерительные технологии в области измерений и анализа качества электрической энергии и особенности их метрологического обеспечения//Законодательная и прикладная метрология. – 2006, № 5.

К. т. н. Владимир ГОНЧАРЕНКО, Юрий ТОРОПОВ, Михаил ЛАТМАНИЗОВ