

КАТУШКА РОГОВСКОГО В ЭНЕРГЕТИКЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.Б. Шароян

Томский политехнический университет,
ОЭЭ, ИШЭ, группа 5А03

В настоящее время очень актуальна цифровизация электроэнергетической отрасли в условиях импортозамещения. Основными целями цифровизации являются: повышение надёжности работы энергосистем, снижение потерь при передаче электрической энергии, точное измерение параметров сети в различных режимах, правильная работа устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА). Достижение последней указанной цели требует, в частности, замены используемых повсеместно измерительных трансформаторов на более современное оборудование.

Сегодня в энергетике широко используются стандартные измерительные трансформаторы (ИТ) со стальными сердечниками. ИТ обеспечивают гальваническую развязку первичных и вторичных цепей, снижают токи фаз первичных цепей до номинальных значений 1, 2 или 5 А. К вторичным обмоткам ИТ подключаются устройства РЗА, измерительные приборы, приборы учета электрической энергии. Погрешности ИТ обусловлены, главным образом, способностью к насыщению стального сердечника. Погрешности при преобразовании первичных токов и напряжений могут привести к отказу или излишнему срабатыванию устройств РЗА. Также из-за наличия сердечника с нелинейной вольт-амперной характеристикой возможно явление феррорезонанса для трансформаторов напряжений, которое часто приводит к выходу из строя ИТ.

Альтернативой стандартным ИТ могут быть оптические ИТ. В данных устройствах нет стальных сердечников, электромагнитное поле установки преобразуется в световой сигнал, передается по оптоволокну и снова преобразуется в электрический сигнал. Однако повсеместная замена традиционных ИТ на оптоволоконные в ближайшие годы практически невозможна в связи с пока недостаточным их производством в РФ. Например, в 2022 г. оптическими ИТ оснащаются только 40 новых цифровых подстанций из действующих 12393 (данные от Межвузовского Методического совета по электроэнергетике) [1].

Другой, более реальной, альтернативой традиционным ИТ может быть катушка Роговского (КР), которая представляет собой датчик тока с круглым немагнитным сердечником и небольшим воздушным зазором. Вторичная обмотка наматывается на сердечник равномерно в несколько слоев, один из выводов обмотки приводится к другому через ось полого сердечника (рисунок 1). В [2] рассмотрены примеры применения КР в качестве ИТ для устройств РЗА и утверждается, что КР обладают компактными размерами, весят в десятки раз меньше традиционных ИТ, обеспечивают требуемую точность измерений как для РЗ, так и для учета отпуска электрической энергии.

В данной работе решаются задачи:

- разработка математической модели КР для автоматизации расчета её размеров и выходного напряжения;
- изготовление экспериментального образца КР;
- проведение испытаний КР.

При решении первой задачи применялся метод математического моделирования с помощью программного комплекса (ПК) «Mathcad». В данной программе был проведен расчёт напряжения на выходе КР в зависимости от её геометрических параметров по (1)

$$E_m = \frac{\mu_0 \cdot n}{2} \cdot \frac{d_v^2}{D_r + \sqrt{D_r^2 - d_v^2}} \cdot \omega \cdot I_m, \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость, d_v – диаметр витка, D_r – диаметр осевой линии сердечника, n – количество витков КР, I_m – амплитуда переменного тока.

Экспериментальный образец КР изготавливается, он будет иметь сердечник в форме тороида с размерами: внешний диаметр 15 см, внутренний диаметр 6 см. Для изготовления обмотки используется медная проволока диаметром 0,5 мм.

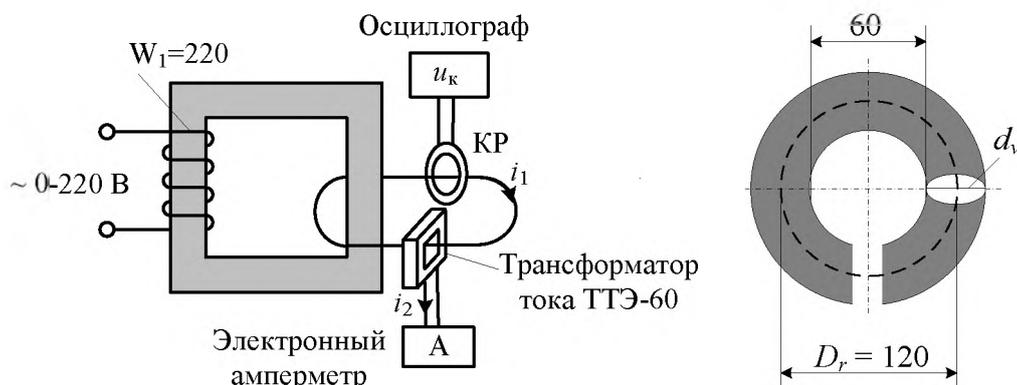


Рис. 1. Планируемая схема эксперимента и размеры сердечника КР

Таблица 1. Оборудование для эксперимента

№	Название	Характеристика
1	ЛАТР	Ток до 10 А; выходное напряжение 0 – 240 В
2	Лабораторный однофазный трансформатор	Мощность 4 кВт; первичная обмотка – 220 витков, вторичная обмотка – 1 виток
3	Трансформатор тока	ТТЭ-60-500/5А 0,5
4	Осциллограф	UNI-T UTD2025CL
5	Катушка Роговского	Примерное количество витков – 680-700

Самым сложным условием для выполнения третьей задачи является необходимость наличия проводника с током в сотни ампер. Как показывают расчеты, минимальный первичный ток для надежного измерения выходного напряжения должен быть не менее 100 А. Для получения таких больших токов в лаборатории ИШЭ была собрана схема по рисунку 1. Как показали эксперименты, при увеличении напряжения на входе первичной обмотки до 220 В в одном витке вторичной обмотки протекает ток около 3100 А. Такое значение токов вполне достаточно для испытаний КР.

В заключение отметим, что традиционные ИТ имеют широкое распространение в связи с наличием хорошо зарекомендовавших себя стандартов и методик, а также хорошим знанием персонала технологий их эксплуатации. Однако замена ИТ на КР может существенно повысить точность преобразований токов и напряжений и принципиально не представляет больших затруднений, так как не требует вносить существенных изменений в первичную схему соединений подстанций.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Профотек: Цифровые трансформаторы. – Текст: электронный // TADVISER, 2022. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения 12.10.2022).
2. Кожович Любомир. Катушки Роговского – реальная альтернатива традиционным ТТ. – Текст: электронный // Цифровая подстанция, 2017. – URL: <http://digitalsubstation.com/blog/2017/05/24/katushki-rogovskogo-realnaya-alternativa-traditsionnym-tt/> (дата обращения 22.10.2022).

Научный руководитель: к.т.н. В.В. Шестакова, доцент ОЭЭ ИШЭ