

Исследование характеристик нетрадиционных преобразователей тока и напряжения для цифровых подстанций

**В.Д. ЛЕБЕДЕВ, А.А. ЯБЛОКОВ, Г.А. ФИЛАТОВА, С.Н. ЛИТВИНОВ, Е.Е. ГОТОВКИНА,
Н.В. ЛЕБЕДЕВА**

**ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина», ООО НПО «Цифровые измерительные трансформаторы»
Российская Федерация
vd_lebedev@mail.ru**

В настоящее время, инновационное развитие электроэнергетики направлено на создание интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью, которая должна обладать такими свойствами как гибкость, обозреваемость, самодиагностика и др.

Одной из ключевых технологических областей интеллектуальной энергосистемы являются измерительные приборы и устройства. Развитие микропроцессорной техники открыло возможность применения новых (нетрадиционных, маломощных) измерительных преобразователей тока и напряжения, не использовавшихся ранее в электроэнергетике и обладающих преимуществами перед электромагнитными трансформаторами тока и напряжения (отсутствие эффектов насыщения и остаточной намагниченности магнитопроводов, а также феррорезонансных явлений, взрыво- и пожаробезопасность, низкие массогабаритные показатели). К таким преобразователям относятся пояс Роговского, шунт, гальваномангнитные датчики, резистивный делитель и другие. Однако, работа данных преобразователей в реальных условиях эксплуатации (сильные электромагнитные поля, широкий температурный диапазон) малоизучена, также, как и их совместная работа со вторичными устройствами.

В работе представлены результаты исследований переходных, частотных, тепловых и других характеристик различных нетрадиционных преобразователей тока и напряжения (в том числе в составе цифровых трансформаторов), а также результаты испытаний их совместной работы со счетчиками электроэнергии и устройствами релейной защиты и автоматики.

Исследования выполнены на уникальной научной установке «Многофункциональный испытательный комплекс для исследования первичных преобразователей тока и напряжения, устройств цифровой подстанции и устройств релейной защиты и автоматики» Ивановского государственного энергетического университета (рис. 1). Аппаратно-программный комплекс OMICRON CMC 356 использовался в качестве программируемого источника электрического сигнала в частотном диапазоне от 0 до 1 кГц. Мультиметры Keysight 3458A предназначены для высокоточного измерения сигналов с эталонного и поверяемого преобразователей тока. Управление мультиметрами осуществляется с персонального компьютера (ПК) при помощи сертифицированного программного комплекса «EnergoEtalon». Исследования тепловых характеристик первичных преобразователей выполнялось в камере тепла-холода КТХ-74-75/180.

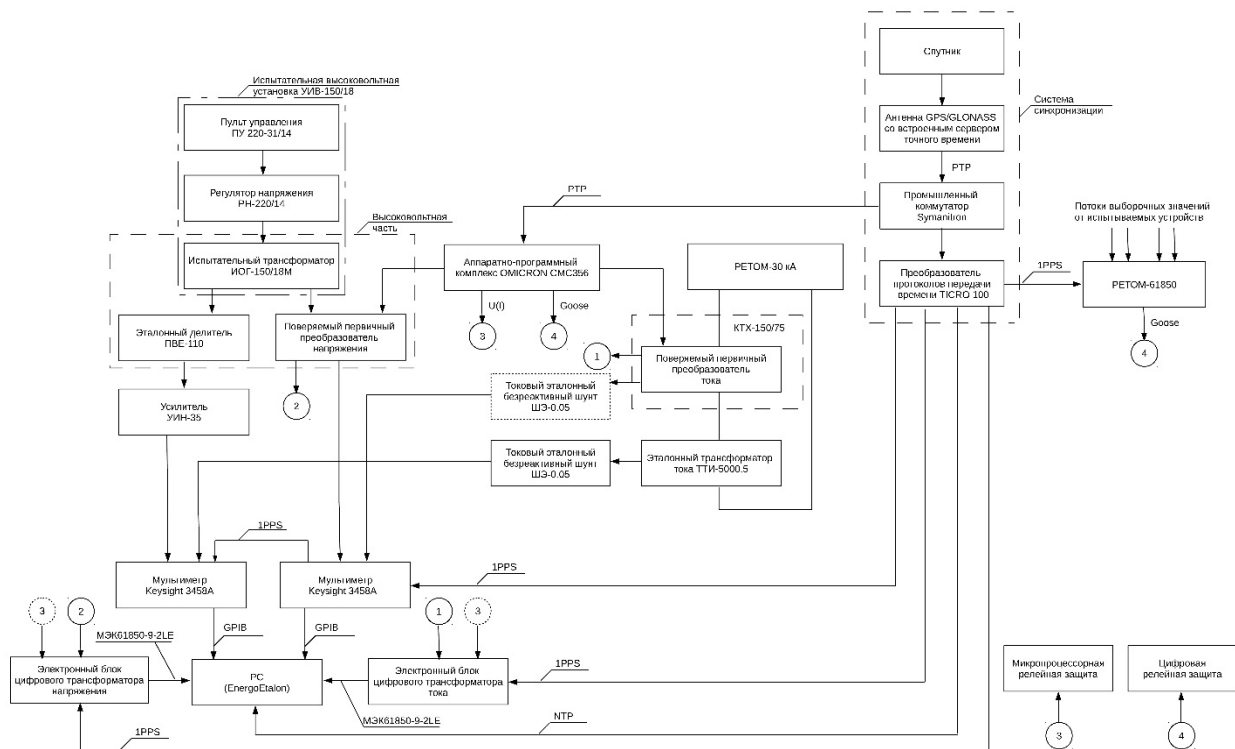


Рисунок 1 – Структурная схема уникальной научной установки «Многофункциональный испытательный комплекс для исследования первичных преобразователей тока и напряжения, устройств цифровой подстанции и устройств релейной защиты и автоматики»

На рисунках 2-5 представлены результаты исследования частотных, тепловых и переходных характеристик пояса Роговского. Представленные характеристики пояса Роговского демонстрируют высокую точность и линейность в исследуемом диапазоне частот и возможность использования их как для целей защиты, так и для целей учета электроэнергии.

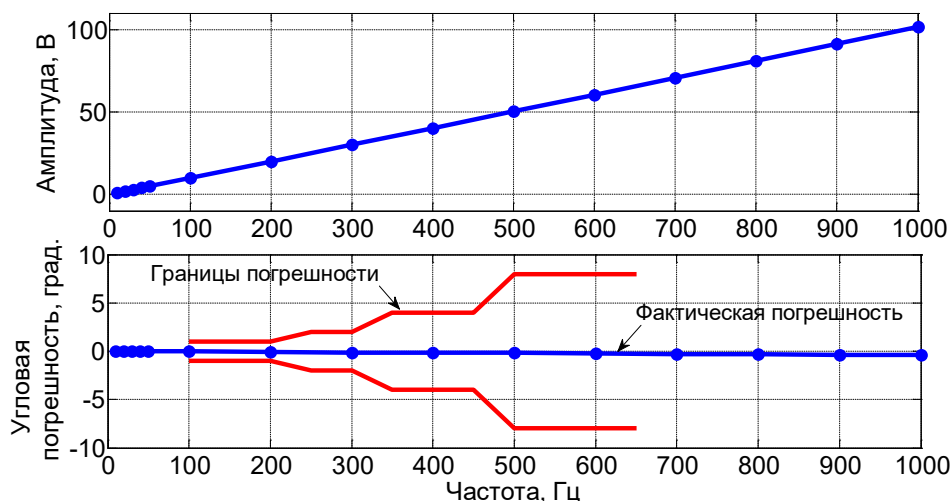


Рисунок 2 – Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики пояса Роговского без использования интегратора с обозначением границ погрешности для учета электроэнергии (класс точности 0,1) в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010

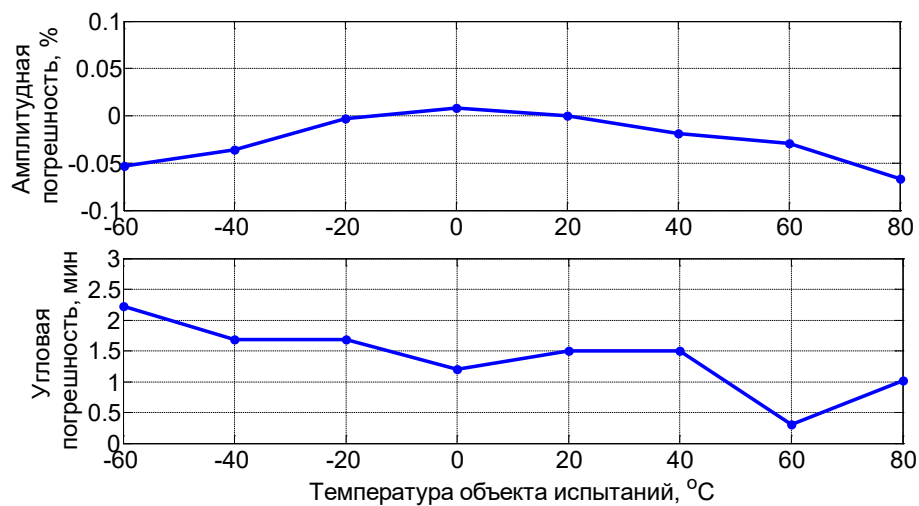
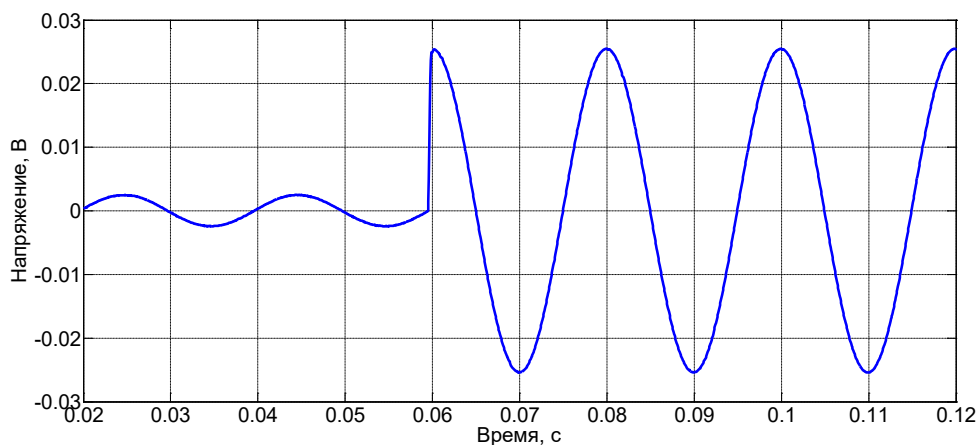
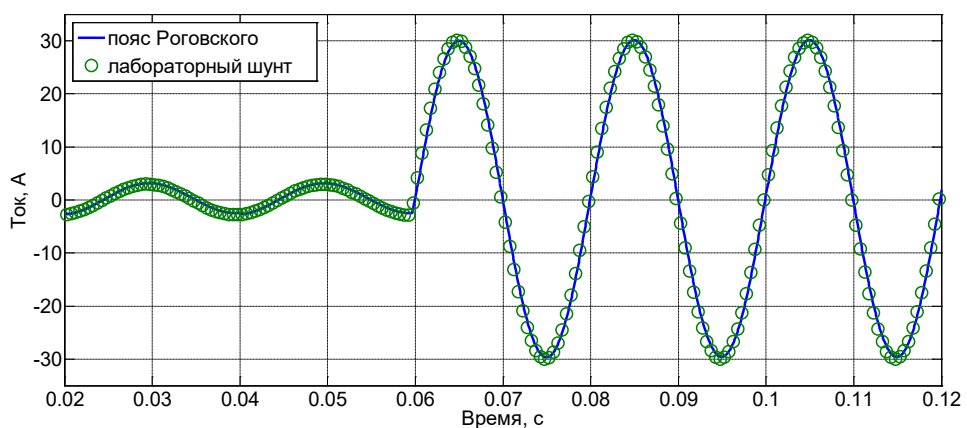


Рисунок 3 – Зависимости амплитудной и угловой погрешностей пояса Роговского от температуры

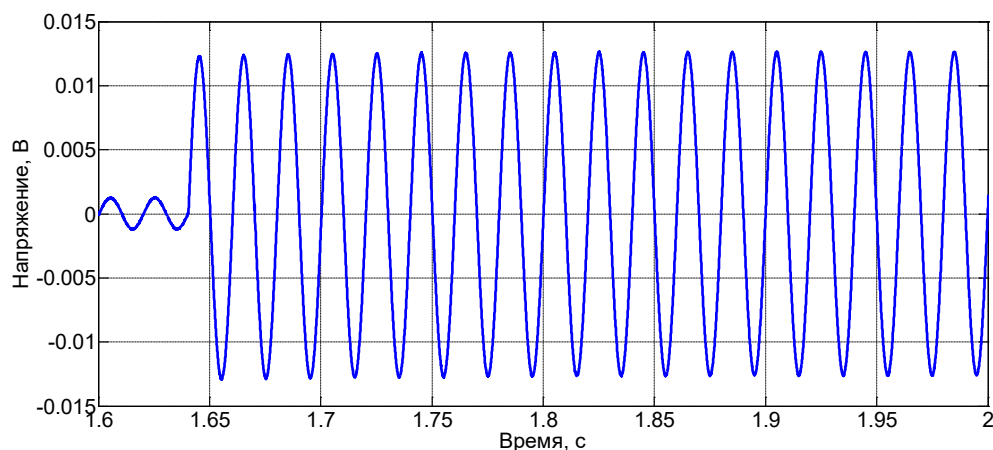


а)

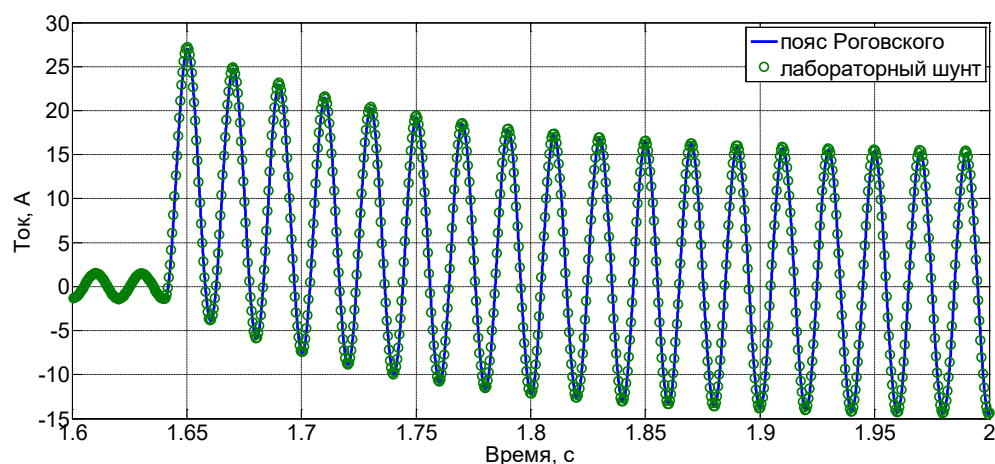


б)

Рисунок 4 – Сигнал пояса Роговского при увеличении первичного тока в 10 раз: а – до интегрирования; б – после интегрирования и приведения к первичному току



а)



б)

Рисунок 5 – Сигнал пояса Роговского при первичного тока с аperiodической составляющей:
а – до интегрирования; б – после интегрирования и приведения к первичному току

На характеристики пояса Роговского оказывают влияние следующие факторы:

- положение пояса Роговского относительно токопровода;
- внешнее электромагнитное поле;
- старение материалов;
- механические нагрузки.

Выполненные исследования разъемных и неразъемных конструкций поясов Роговского разного диаметра позволили сделать следующие выводы:

1. При смещении токопровода разъемные пояса Роговского имеют большую погрешность преобразования по сравнению с неразъемными, что объясняется отсутствием витков в области разъемов.
2. При смещении токопровода к местам разъема пояса Роговского погрешности преобразования увеличиваются больше по сравнению со смещением в другие стороны.
3. При одинаковом смещении токопровода погрешность преобразования тока меньше у поясов Роговского большего диаметра. Следует отметить, что чем больше диаметр пояса Роговского, тем меньше уровень его выходного сигнала при прочих одинаковых параметрах, а, соответственно, выше доля шумовой компоненты.
4. Наклон пояса Роговского относительно токопровода оказывает меньшее влияние на погрешность преобразования тока по сравнению со смещением токопровода. Погрешности преобразования тока экранированных поясов Роговского с большим количеством витков не

выходили за границы класса точности даже при угле наклона 45° . Однако, погрешности преобразования тока других конструкций при указанном угле наклона доходили до 1%.

Аналогичным образом в докладе будут рассмотрены и проанализированы характеристики малогабаритного трансформатора тока с магнитопроводами из электротехнической и аморфной стали, гальваномагнитных датчиков, шунта и резистивного делителя напряжения.

В докладе будут также представлены результаты опытной эксплуатации цифровых трансформаторов с нетрадиционными первичными преобразователями на подстанциях в центральной и северной частях РФ.