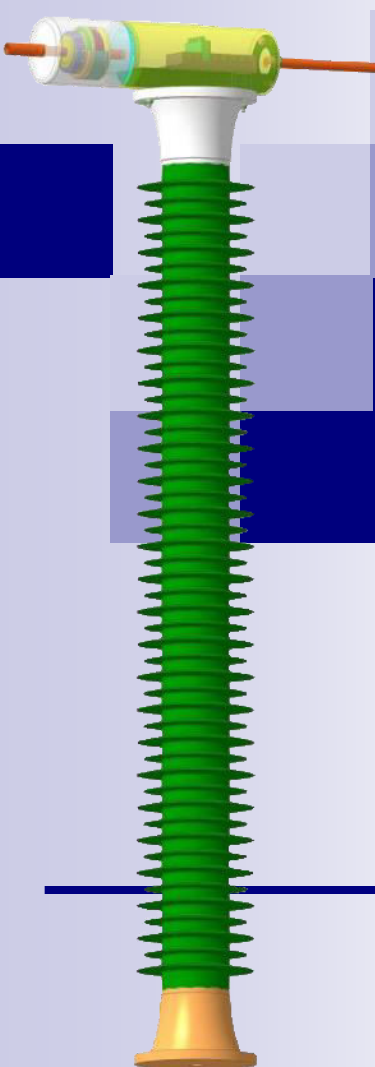
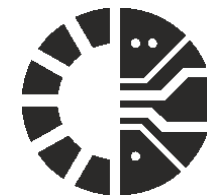




ФГБОУ ВО Ивановский
государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина

ООО «НПО «Цифровые
измерительные
трансформаторы»



Перспективы развития электронных трансформаторов тока и напряжения для применения на цифровых подстанциях

г. Иваново

2017

Актуальность задачи создания цифровых трансформаторов тока и напряжения (ЦТТН)

Традиционные аналоговые ТТ и ТН имеют недостатки, делающие их дальнейшее применение нерациональным:

- ✓ Ухудшение метрологических характеристик ТТ в аварийных режимах из-за насыщения магнитопровода;
- ✓ Недостаточная точность преобразования тока и напряжения в номинальных режимах для целей учета и измерений;
- ✓ Феррорезонанс в индуктивных ТН;
- ✓ Недостаточная точность и стабильность ёмкостных ТН;
- ✓ Воздействие электромагнитных наводок на вторичные цепи тока и напряжения;
- ✓ Большое количество вторичных кабельных цепей на ОРУ;
- ✓ Неоптимальные массогабаритные характеристики

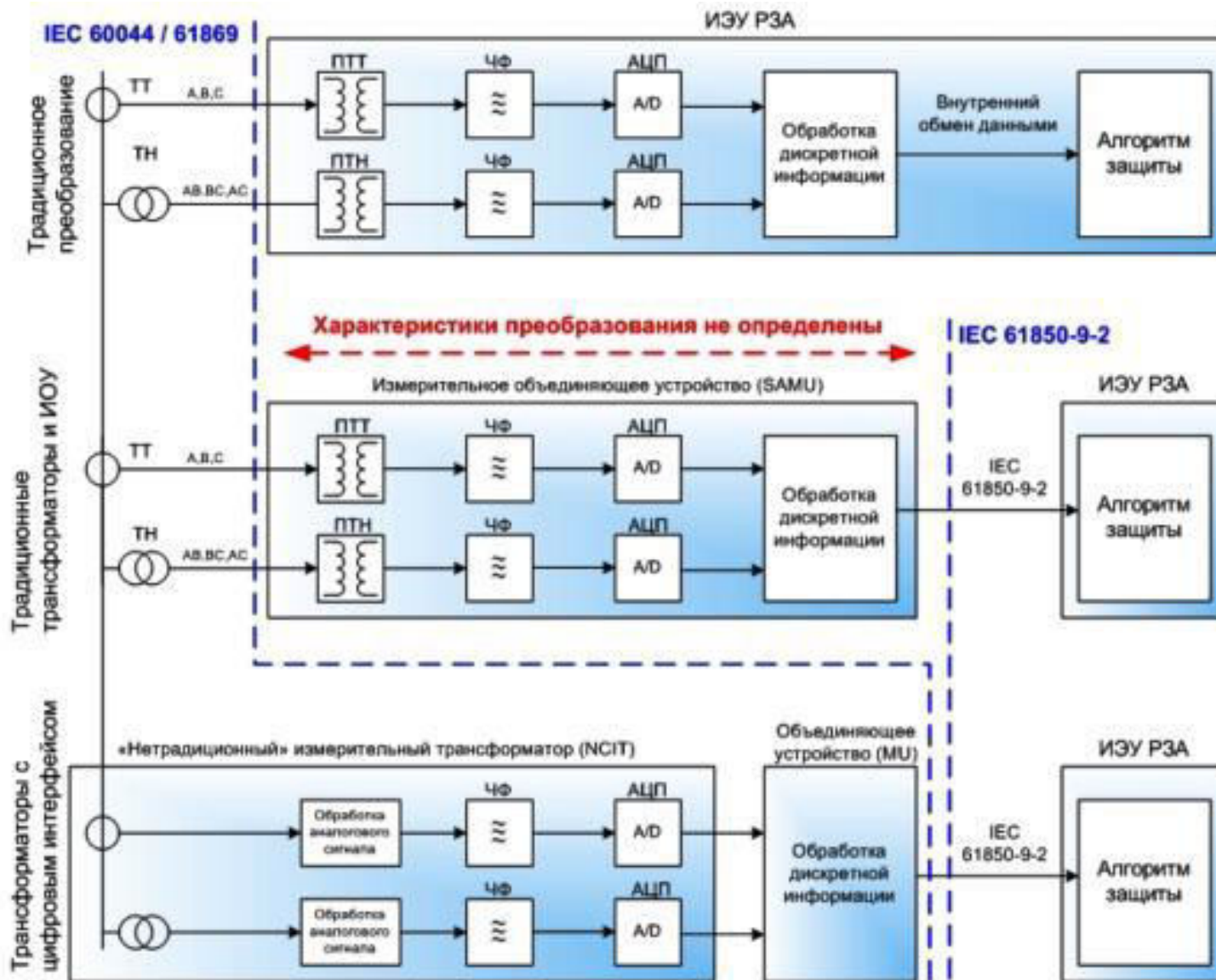


- Некорректная работа релейной защиты и автоматики
- Проблемы высоковольтной изоляции. Взрыво- и пожаро- опасность

Тенденции на рынке измерительных преобразователей

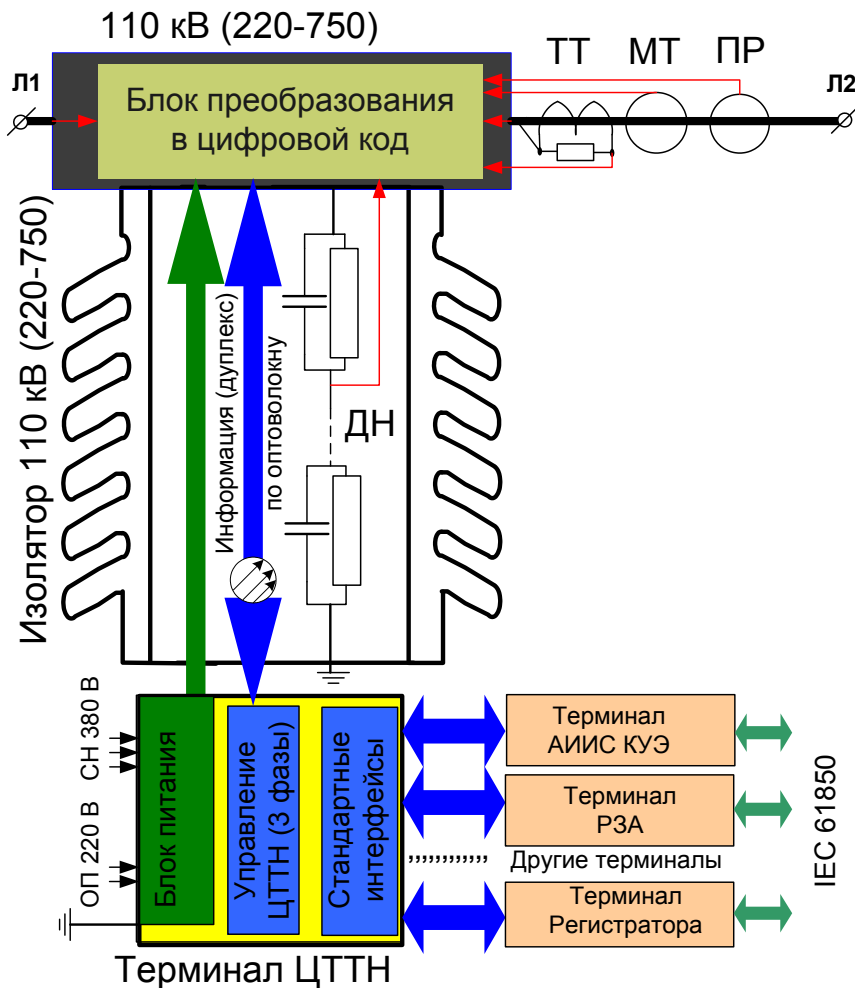
- Существенный износ преобразователей тока и напряжения на объектах: темпы процесса замены трансформаторов тока и напряжения увеличиваются в связи выработкой срока эксплуатации оборудования
- **Изменение структуры устройств канала передачи данных** об измеренных токах и напряжениях в связи с развитием технологии «цифровой подстанции»;
- **Реализация пилотных проектов по созданию цифровых подстанций:**
Для построения ЦПС необходим источник информации о значениях тока и напряжения;
- **Модернизация подстанций с использованием устройств-получателей информации, работающих по протоколу МЭК 61850-9-2 (LE):**
Реконструкцию ПС и замену РЗиА на оборудование, работающее по протоколу МЭК, целесообразно проводить совместно с заменой измерительных преобразователей на ЦТТН, что не приводит к существенному удорожанию проекта (в отличие от замены на оптические трансформаторы) и позволяет в полной мере осуществить переход к цифровой подстанции, исключить все вторичные кабельные цепи (в отличие от установки преобразователей аналоговых сигналов в цифровой)

Изменение структуры устройств канала передачи данных о измеренных токах и напряжениях



Предлагаемое решение: цифровой трансформатор тока и напряжения

ЦТТН – оптимальное решение для модернизации существующих подстанций и реализации программы цифровой подстанции (ЦПС)



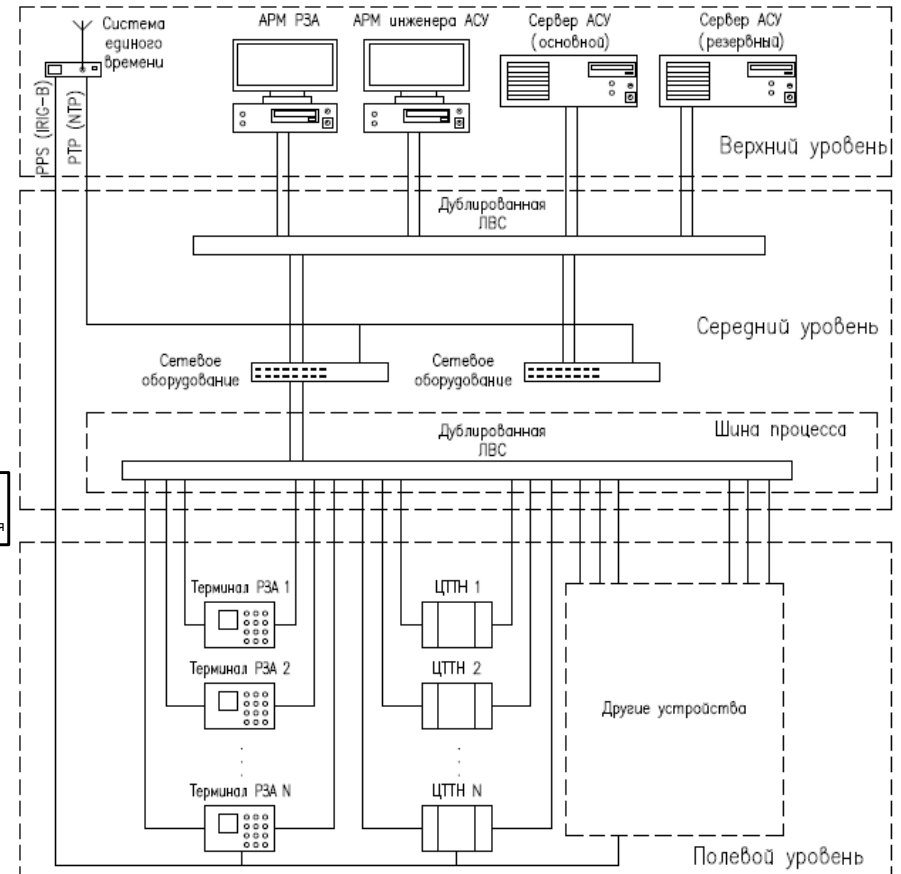
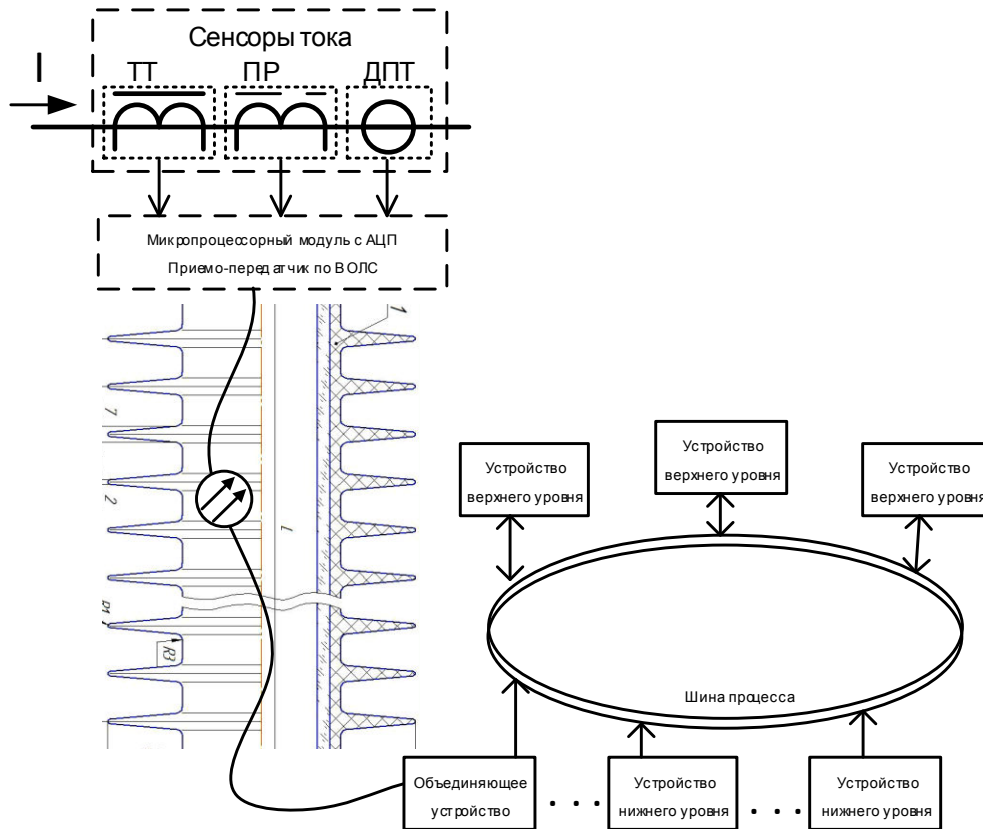
Система первичных сенсоров выполненная не менее чем на трех физических принципах измерения тока и двух принципах измерения напряжения позволяет:

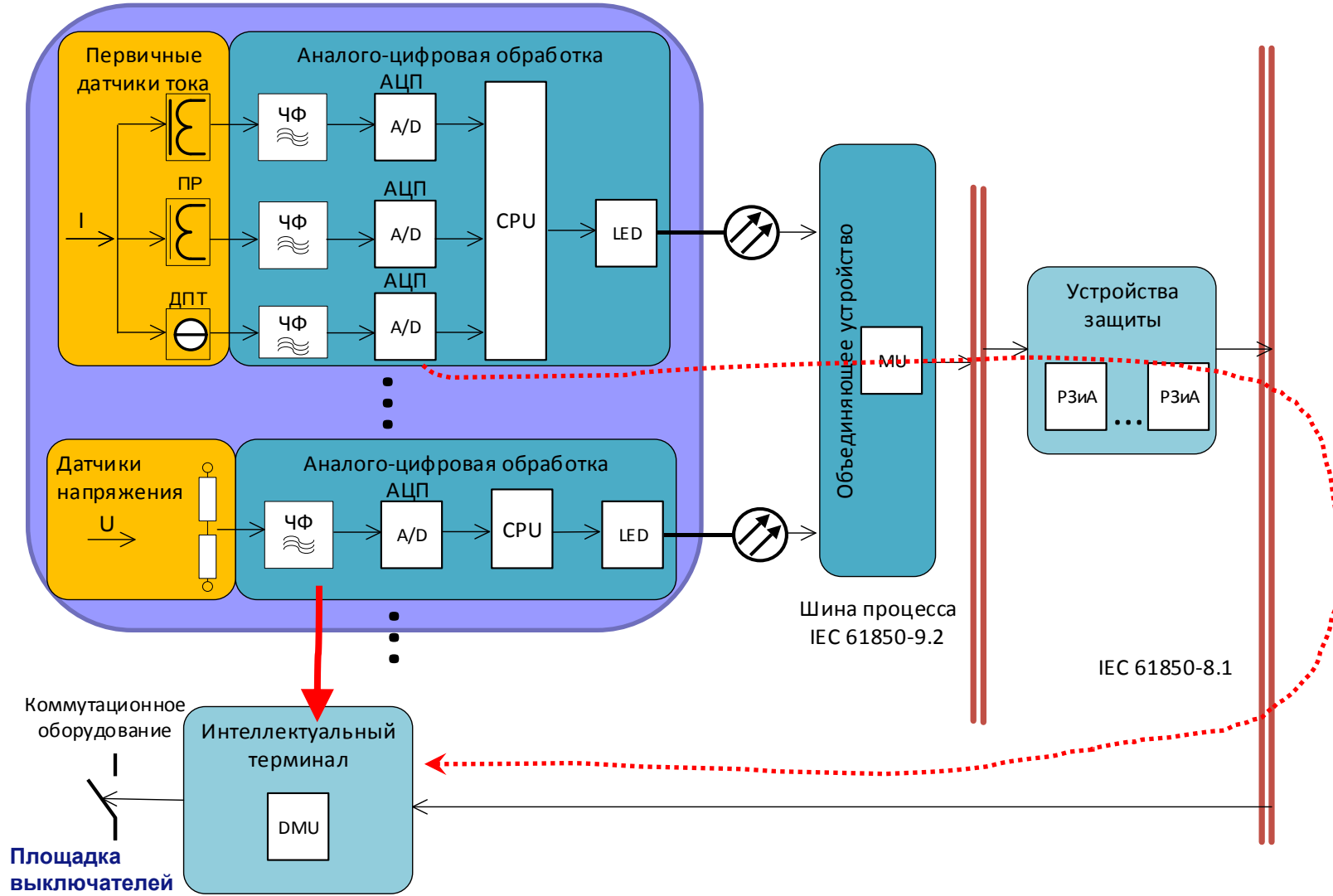
- ✓ повысить класс точности по току до 0,1s и напряжению до 0,2;
- ✓ исключить искажения форм вторичных токов и напряжений как в установившихся так и в переходных режимах
- ✓ расширить частотный спектр измеряемых электрических величин в сторону низких частот вплоть до постоянной составляющей (0 Гц) и в сторону высоких частот (до 10^6 Гц)

Передача цифровой информации по оптоволоконному каналу с передатчика установленного на первичной стороне позволяет:

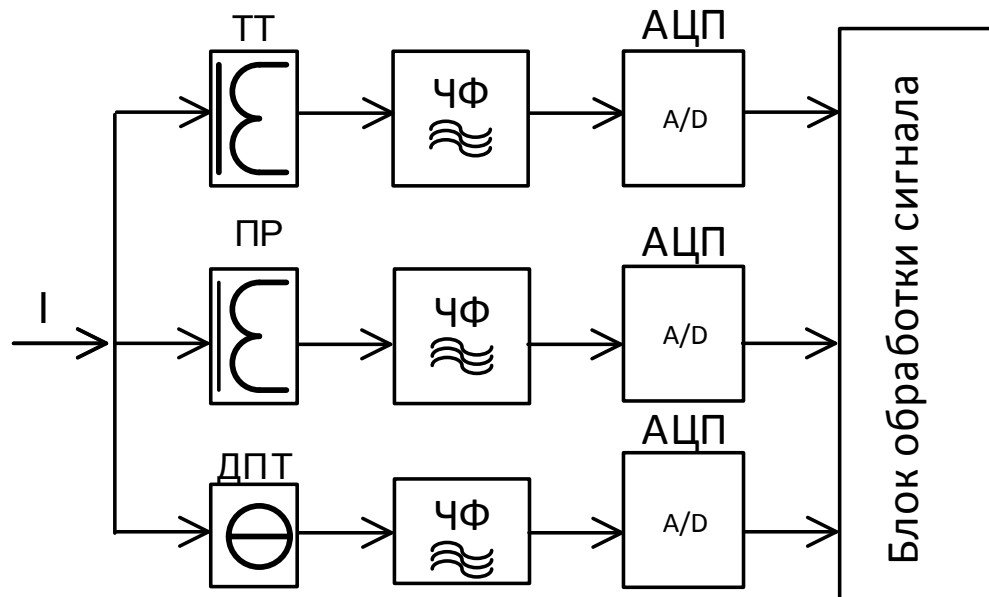
- ✓ исключить электромагнитные наводки и как следствие исключить искажения в канале связи
- ✓ использовать стандартные протоколы, в том числе IEC 61850-9.2
- ✓ применить твердый диэлектрик в качестве основной изоляции, исключив масло или элегаз

ЦТТН и цифровая подстанция





Структурно-функциональная схема цифрового трансформатора тока



$$\dot{U}(t) = U e^{\varphi} e^{-j\omega_0 t} = \frac{u'(t)}{\omega_0} + ju(t)$$

Например, получение вектора методом двух выборок из-за неточного взятия производной

$$u(t) = u(nT) \quad ; \quad u'(t) \approx \frac{1}{T} [u(nT) - u(nT - T)]$$

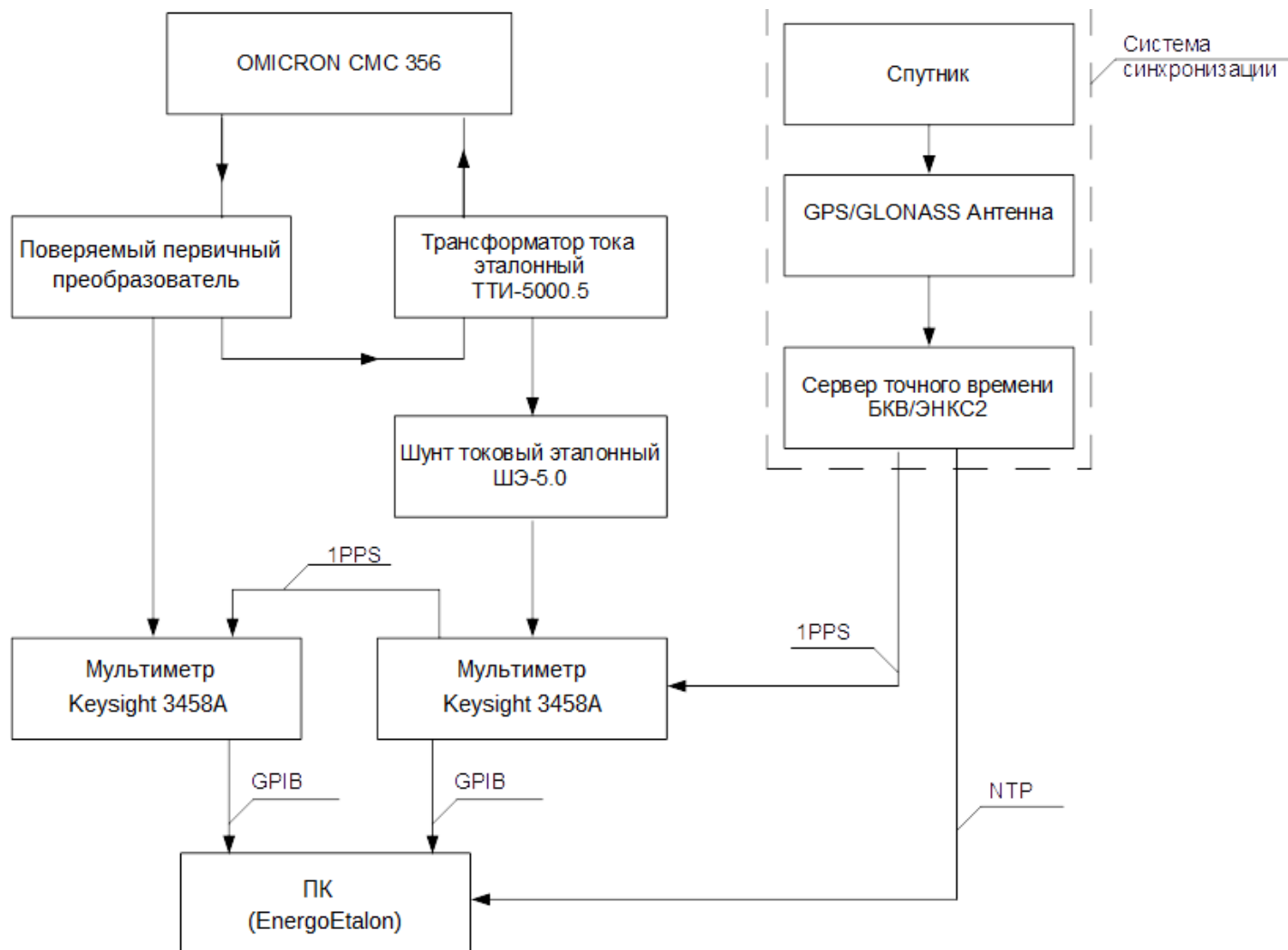
Несколько датчиков (цифровых каналов) на различных принципах позволяют:

- Повысить точность измерения мгновенных значений в переходных режимах;
- Осуществить резервирование;
- Снизить погрешность расчета и повысить быстродействие получения векторных величин тока

Например, получение вектора от двух датчиков (ДПТ и ПР) не содержит ошибки преобразования

$$\dot{U}(nT) = \frac{u'(nT)}{\omega_0} + ju(nT)$$

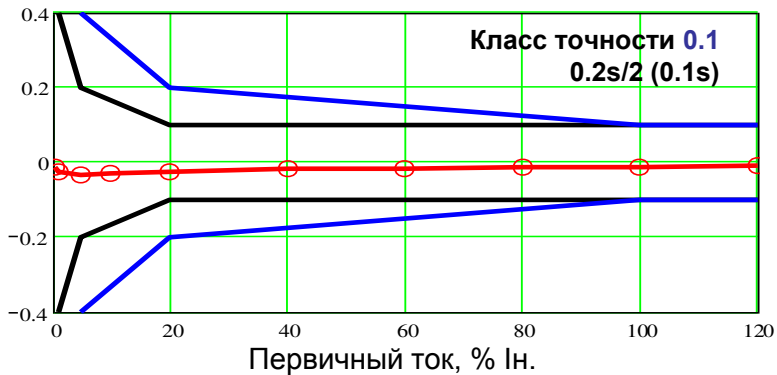
Схема испытаний цифровых трансформаторов тока и напряжения



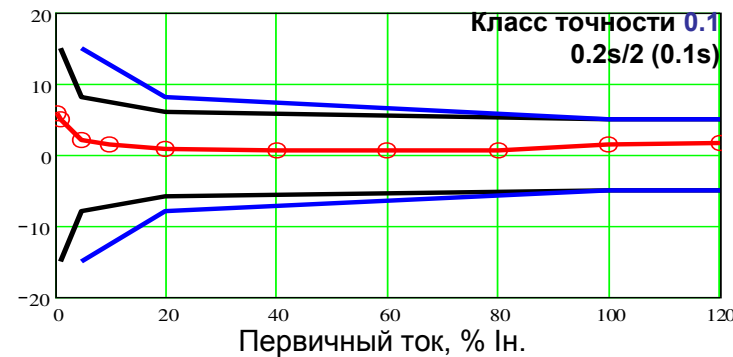
Достигнутые показатели по результатам экспериментальных исследований первичных датчиков тока ЦТТ

Высокая точность измерений токов в установившемся режиме

Токовая погрешность, %.

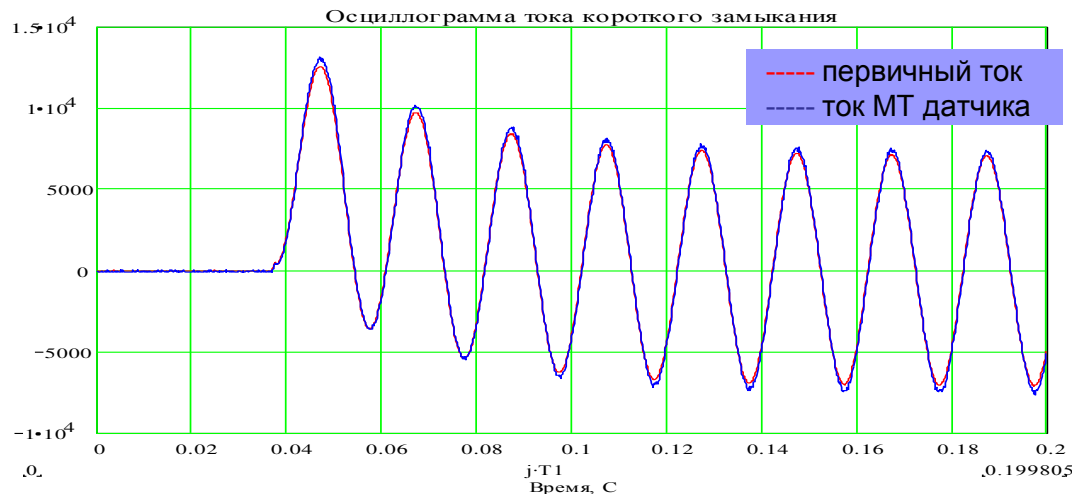


Угловая погрешность, эл. минуты



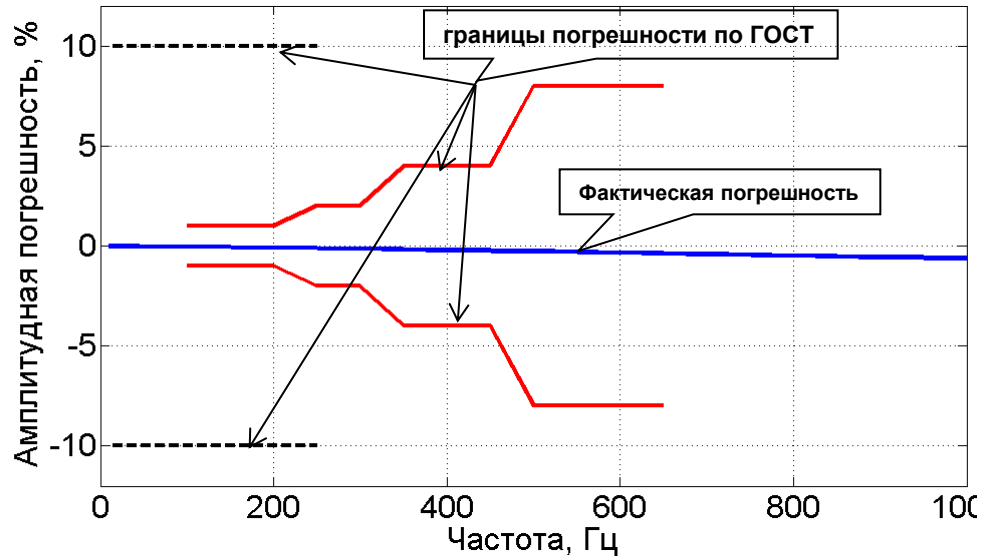
Сертификат о калибровке
средств измерений № 232:
Трансформатор тока 1000A/1A,
с нанокристаллическим
магнитопроводом 65/50/10 мм
при нагрузке 1.25 ВА,
коэффициенте мощности 0.8.

Высокая точность измерений токов в переходных режимах, сопровождающихся апериодическими составляющими

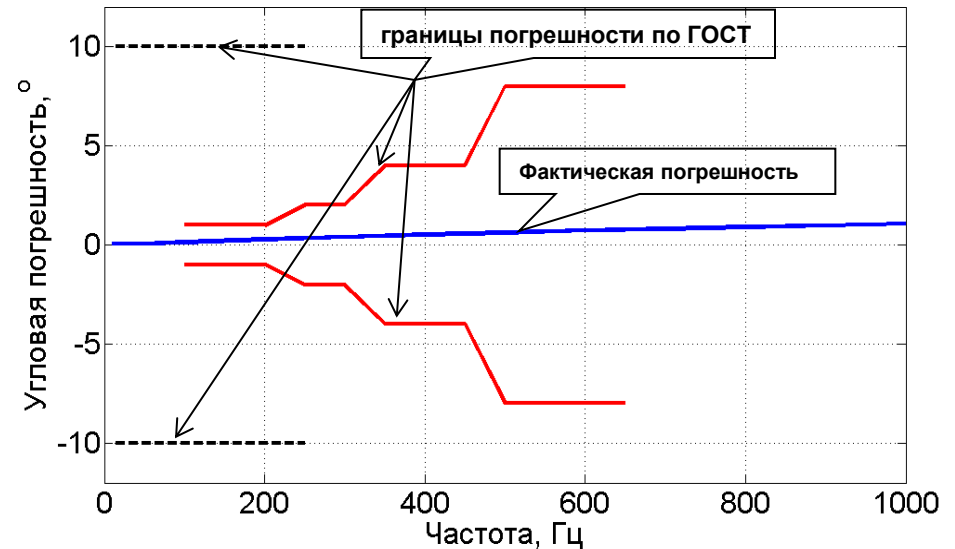


Оциллограмма тока короткого
замыкания с апериодической
составляющей,
выход ЦТТН для РЗА

Частотные характеристики первичных преобразователей в составе цифровых трансформаторов тока (результаты экспериментальных исследований)



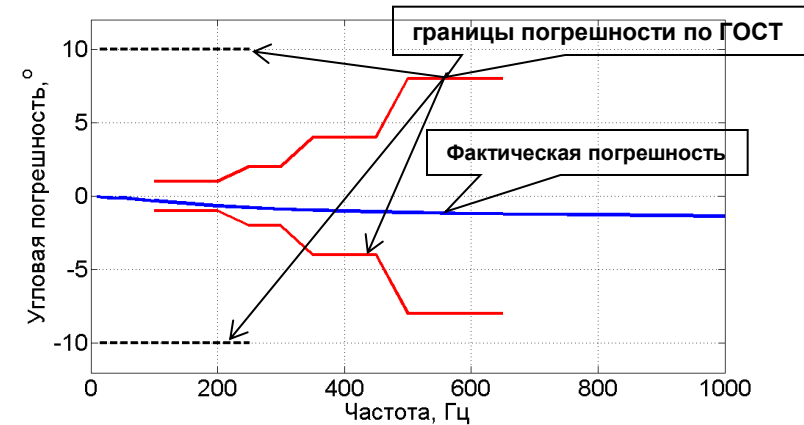
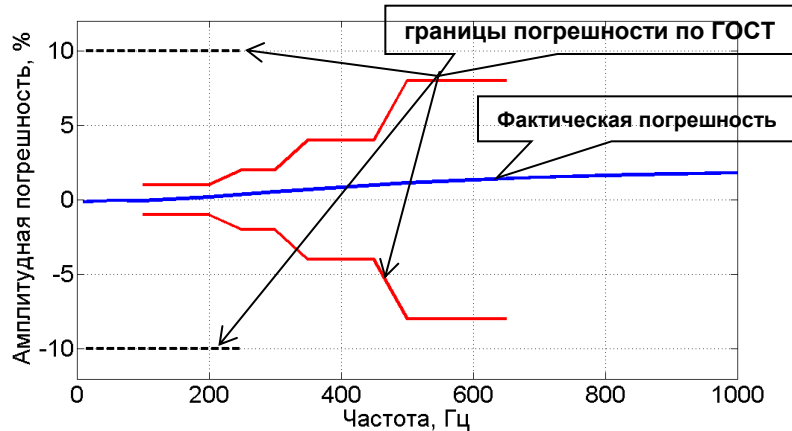
Амплитудно-частотная



Фазо-частотная

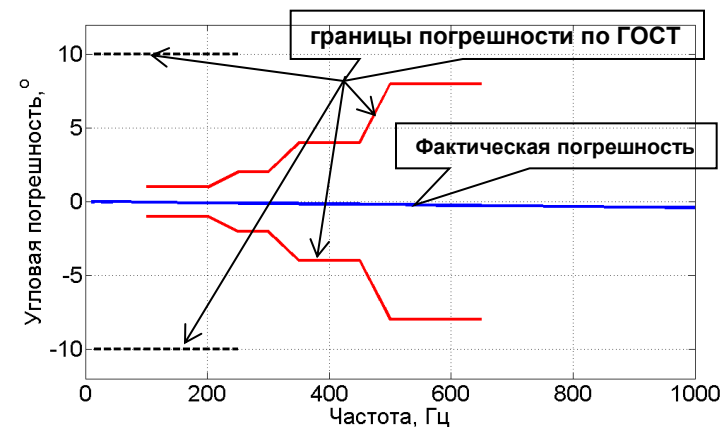
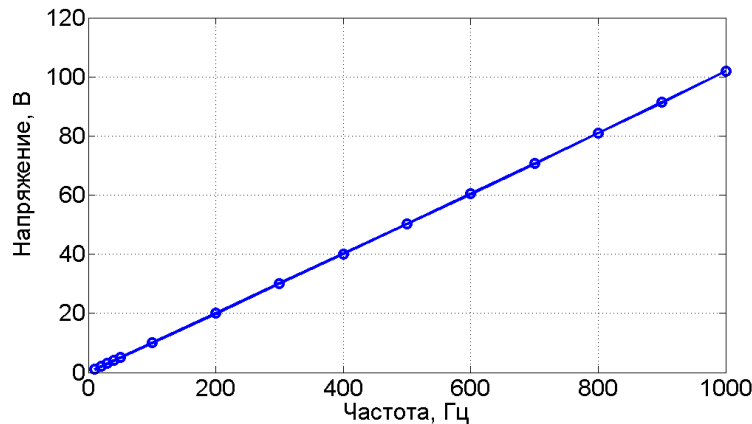
погрешности *малогабаритного трансформатора тока* (в составе ЦТТ) с обозначением границ погрешности для учета электроэнергии (класс точности 0,1) и защит для традиционного применения в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010

Частотные характеристики первичных преобразователей в составе цифровых трансформаторов тока (результаты экспериментальных исследований)



Амплитудно-частотная погрешность датчика постоянного тока с обозначением границ погрешности для учета электроэнергии (класс точности 0,1) и релейной защиты в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010

Фазо-частотная

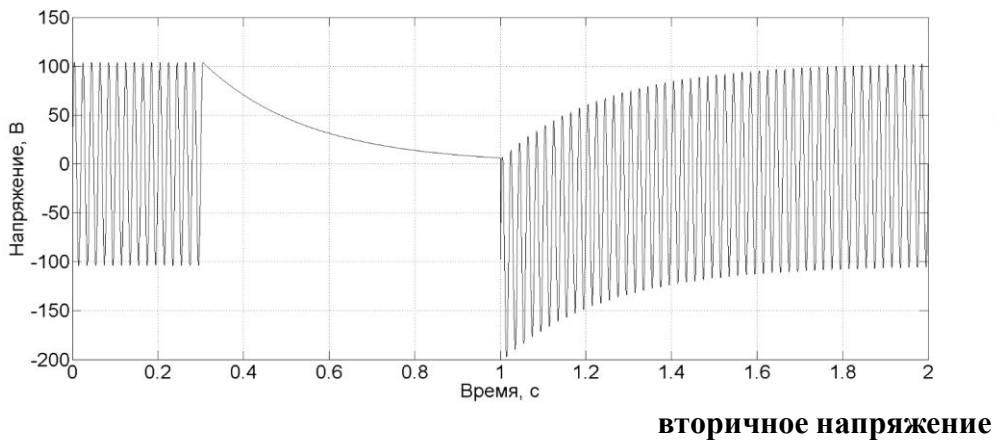
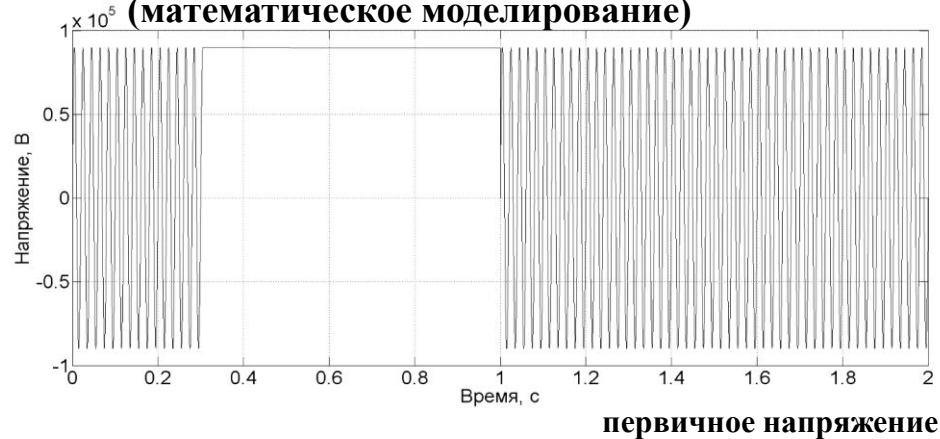


Амплитудно-частотная характеристика пояса Роговского без использования интегратора с обозначением границ погрешности для учета электроэнергии (класс точности 0,1) и релейной защиты (ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010)

Фазо-частотная погрешность

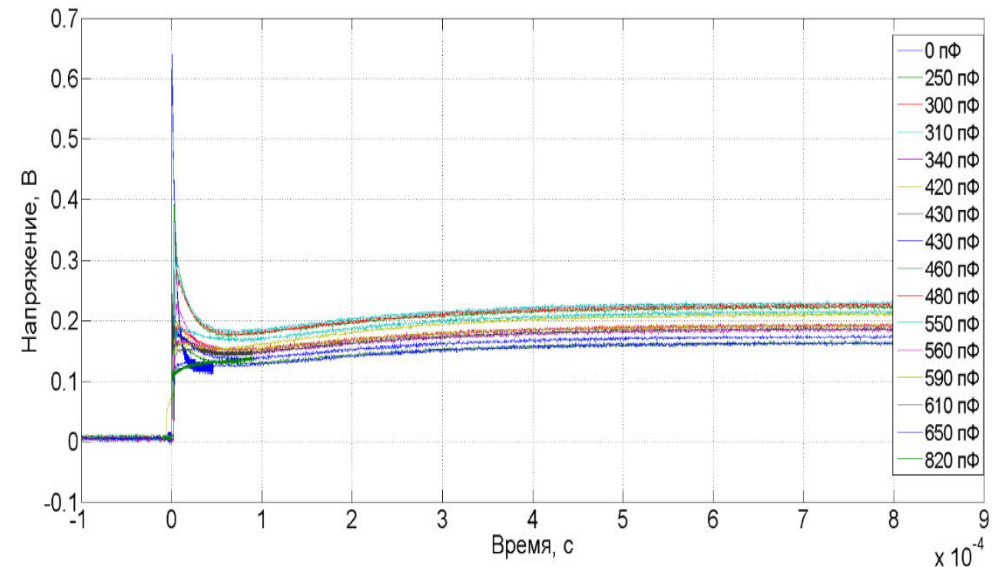
Исследование переходных процессов в измерительных делителях напряжения ЦТН

ТН на основе емкостного делителя
(математическое моделирование)



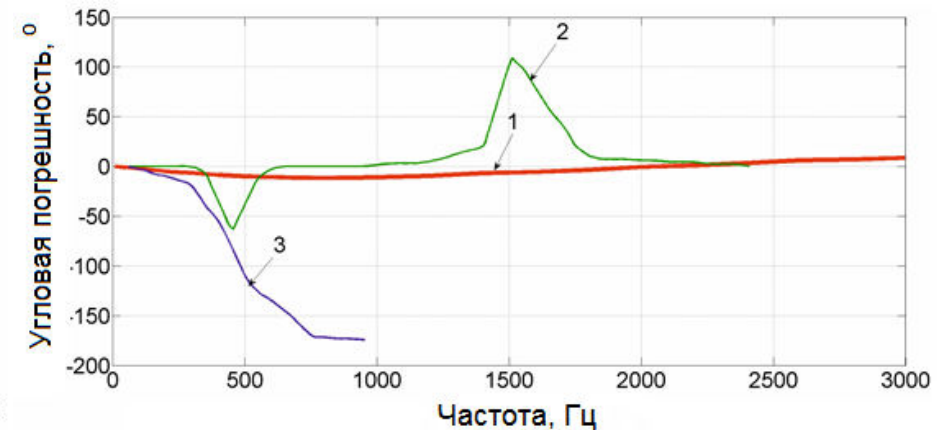
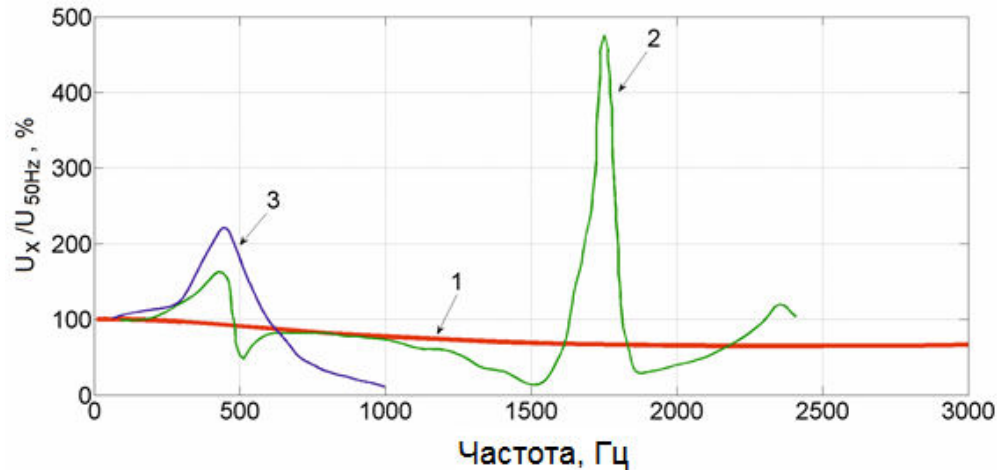
Явление остаточного заряда в емкостных трансформаторах напряжения может приводить к неправильным действиям релейной защиты и автоматики.

ТН на основе резистивного делителя (эксперимент, ступенчатая подача напряжения)



Резистивный делитель напряжения 110 кВ может давать искажения при коммутациях, однако компенсированный делитель идеально передает скачкообразные изменения напряжения при коммутациях.

Частотные характеристики цифровых трансформаторов напряжения на основе резистивного делителя



Амплитудно-частотные характеристики

Фазо-частотные характеристики

- 1 – ЦТН (экспериментальный образец) на основе резистивного делителя
- 2 – индуктивный трансформатор напряжения [*];
- 3 – емкостный трансформатор напряжения [*].

* Kunde K. Frequency Response of Instrument Transformers in the kHz range // Components & Periphery. – 2012. – № 6. – p. 1-4

Достигнутые параметры трансформатора напряжения 110 кВ

Экспериментальный образец ЦТН 110 кВ со следующими параметрами:

- 1) Класс точности: 0.2, 3Р (по напряжению).
- 2) Цифровой интерфейс.
- 3) Частотный диапазон: 0-10000 Гц.
- 4) Геометрические размеры: 650 x 650 x 1200 (на одну фазу).
- 5) Масса на одну фазу, не более: 35 кг.



Перспективы использования ЦТТН для целей РЗА

- Увеличение быстродействия РЗА за счет ускорения обработки сигнала
(определение вектора можно осуществить используя две выборки двух АЦП по току и его производной взятых одновременно)
- Точное определение перехода тока через ноль позволит усовершенствовать алгоритмы дистанционных органов релейной защиты и ОМП.
- Повышение селективности работы РЗА за счет увеличения точности определения перехода тока через нулевое значение, в том числе при наличии апериодических составляющих.

(в измерительных органах реле-сопротивления и алгоритмах ОМП, используя мгновенные значения токов и напряжений)

- Формирование сигнала перехода тока через ноль для увеличения коммутационного ресурса высоковольтного выключателя.

Создание лаборатории ЦТТН - «Цифровая подстанция» в ИГЭУ



С использованием оборудования ведущих и отечественных и зарубежных производителей



Токовые испытания ЦТТН



Высоковольтные исследования ЦТТН

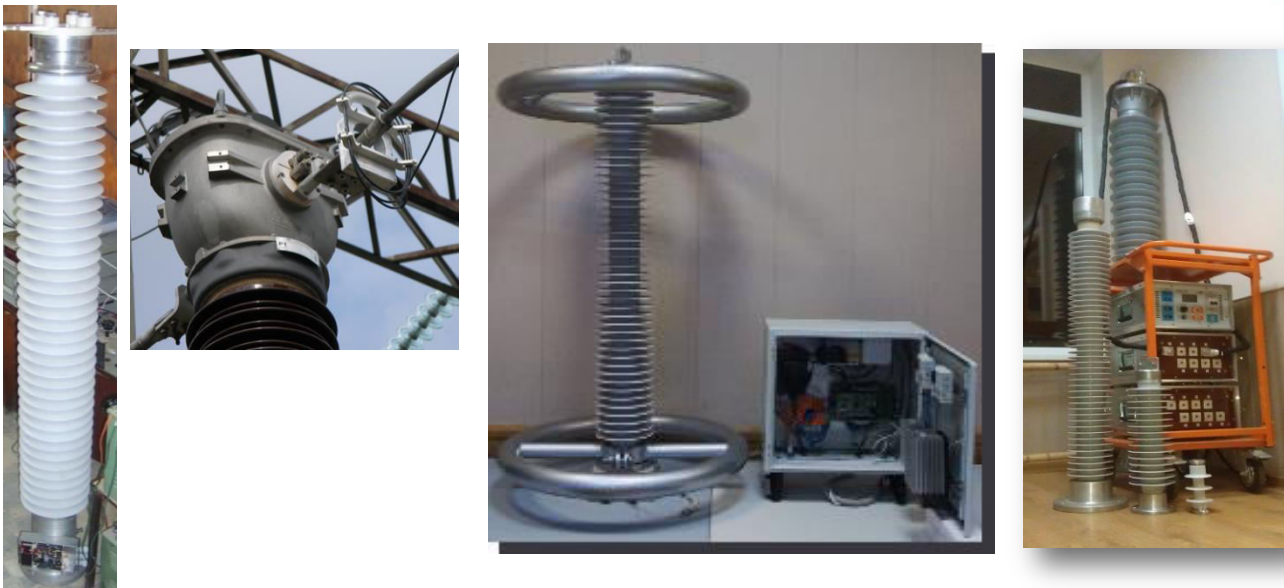


Цифровые трансформаторы тока и напряжения (изготовленные образцы)

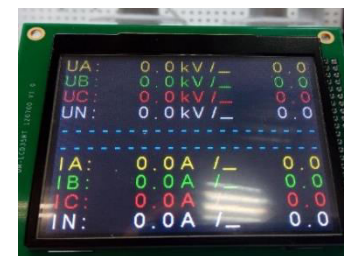
Цифровые трансформаторы тока и напряжения 6-10, 35 кВ



Цифровые трансформаторы тока и напряжения 110-750 кВ



Сканер цифровых потоков с сенсорным управлением





**ФГБОУ ВО Ивановский
государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина**

Контакты:

Научный руководитель

Лебедев Владимир Дмитриевич,

к.т.н., доц., зав. каф. АУЭС ИГЭУ

Генеральный директор ООО НПО ЦИТ

E-mail: vd_lebedev@mail.ru, info@digitrans.ru

Тел. +7-910-691-97-76

**ООО «НПО
«Цифровые измерительные
трансформаторы»**

