



**XV Международная
научно-техническая конференция
«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ - 2026»**



Лабораторные испытания цифрового измерительного трансформатора с поддержкой СВИ

Направление 3

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ

Докладчик: Мартынов Андрей Николаевич

Организации: Инженерный центр «Энергосервис»,
Северный (Арктический) федеральный университет

Руководитель: Мокеев А.В, д.т.н., доцент

**Иваново,
23 – 27 марта 2026 г.**

Цифровой измерительный трансформатор

Однофазный комбинированный измерительный трансформатор ЕСИТ-1 (Госреестр СИ №94207-24)

Класс напряжения: до 15 кВ;
Диапазон измерений тока: 0,5...1000 А (0.5S),
50...40000 А (5PR);

Принцип измерения тока: катушка Роговского,
интегрирование дифференцированного сигнала
тока (аналоговое и цифровое);

Формирование потоков SV: 96/288 точек на
период;

Синхронизация времени: PPS/IRIG/PTPv2.



Технология шины процесса МЭК 61850 позволяет совершенствовать существующие методы защиты и внедрять новые принципы.

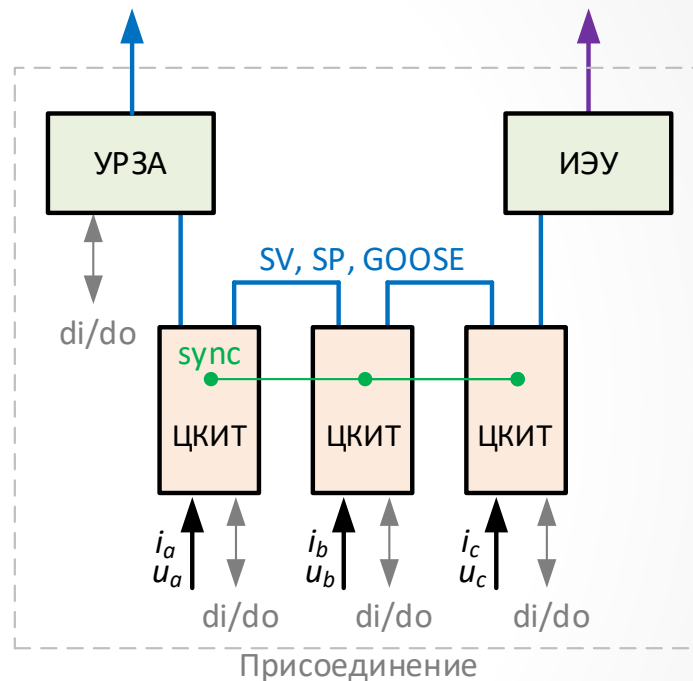
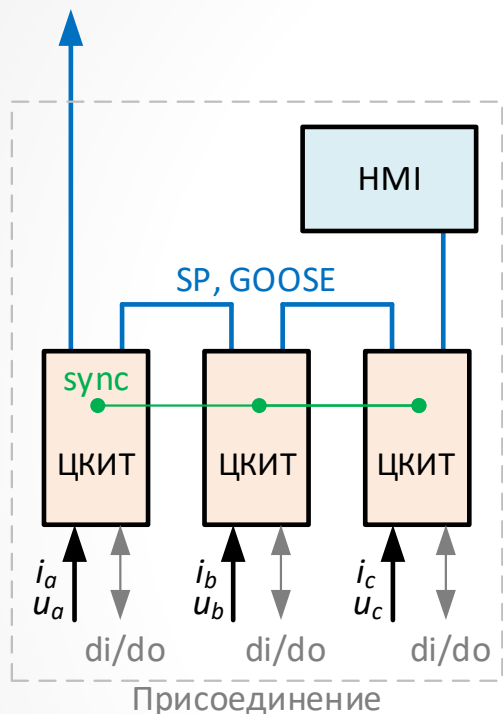
Основное ограничение - высокая стоимость сетевой инфраструктуры.

Предлагаемый подход для среднего напряжения:

- использование совмещённой шины процесса и станции;
- потоки SV ограничены границами ячейки, обмен аналоговыми данными между присоединениями с использованием СВИ;
- источники СВИ: цифровые ТТ/ТН (предпочтительно) или устройства сопряжения с шиной процесса.

Позволяет снизить сложность и стоимость локальной сети и эффективно применять централизованные/распределённые устройства РЗА.

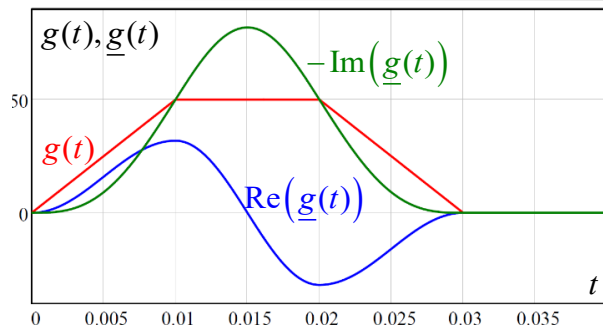
Варианты схем с использованием СВИ



Одно- и двухуровневые схемы РЗА для среднего напряжения на базе цифровых комбинированных трансформаторов с поддержкой СВИ.

Алгоритм расчета СВИ в соответствии с IEEE/IEC 60255-118-1:2018.

Применение цифровых фильтров с комплексной импульсной характеристикой.

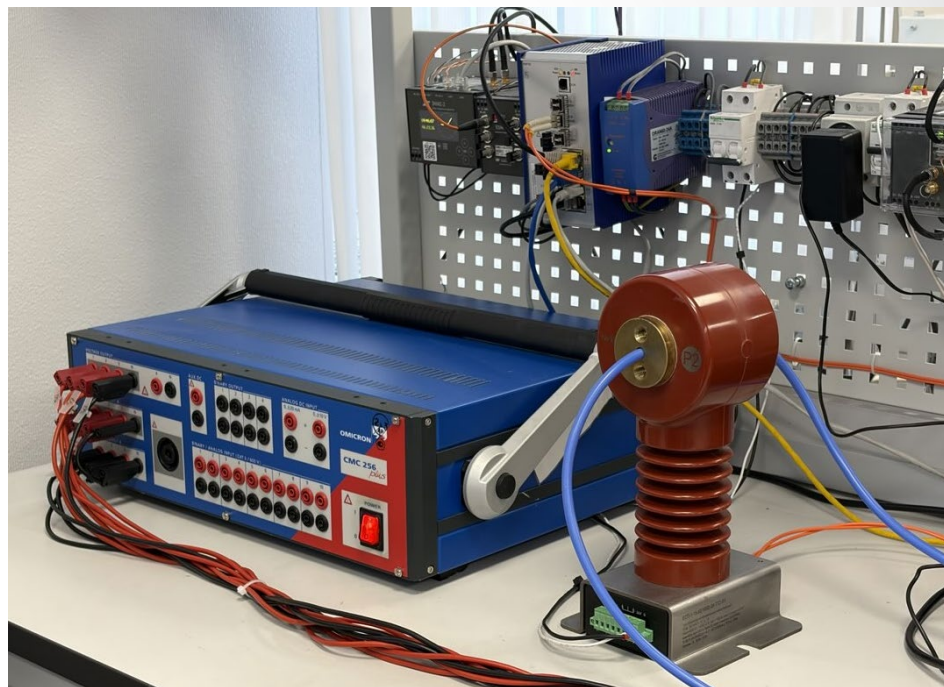
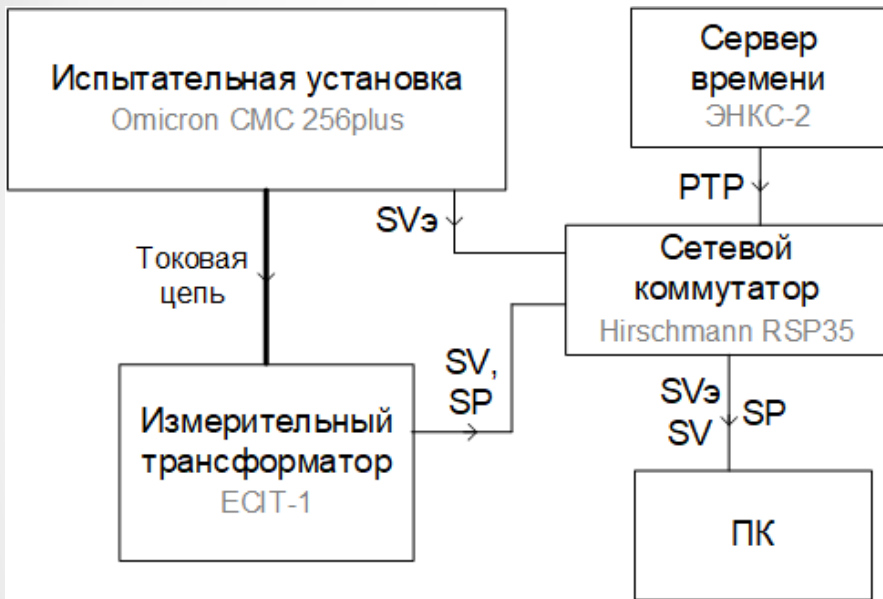


Передача данных по Ethernet в формате МЭК 61850-9-2, где вместо мгновенных значений используются составляющие синхронного вектора (угол и амплитуда).

Преимущества формата:

- Минимальные задержки (уровень L2);
- Малое количество служебной информации;
- Стандартизированный и широко распространенный протокол.

Испытательный стенд



Ограничения методики испытаний

Основные цели испытаний:

- Первичная оценка применимости технологии;
- Проверка соответствия требованиям стандартов для цифровых трансформаторов (IEC 61869-2, -9).

Оцениваемые параметры:

- точность временной синхронизации и привязки меток времени;
- задержки передачи данных SV и SP;
- амплитудная и угловая погрешность СВИ.

Медленное изменение частоты

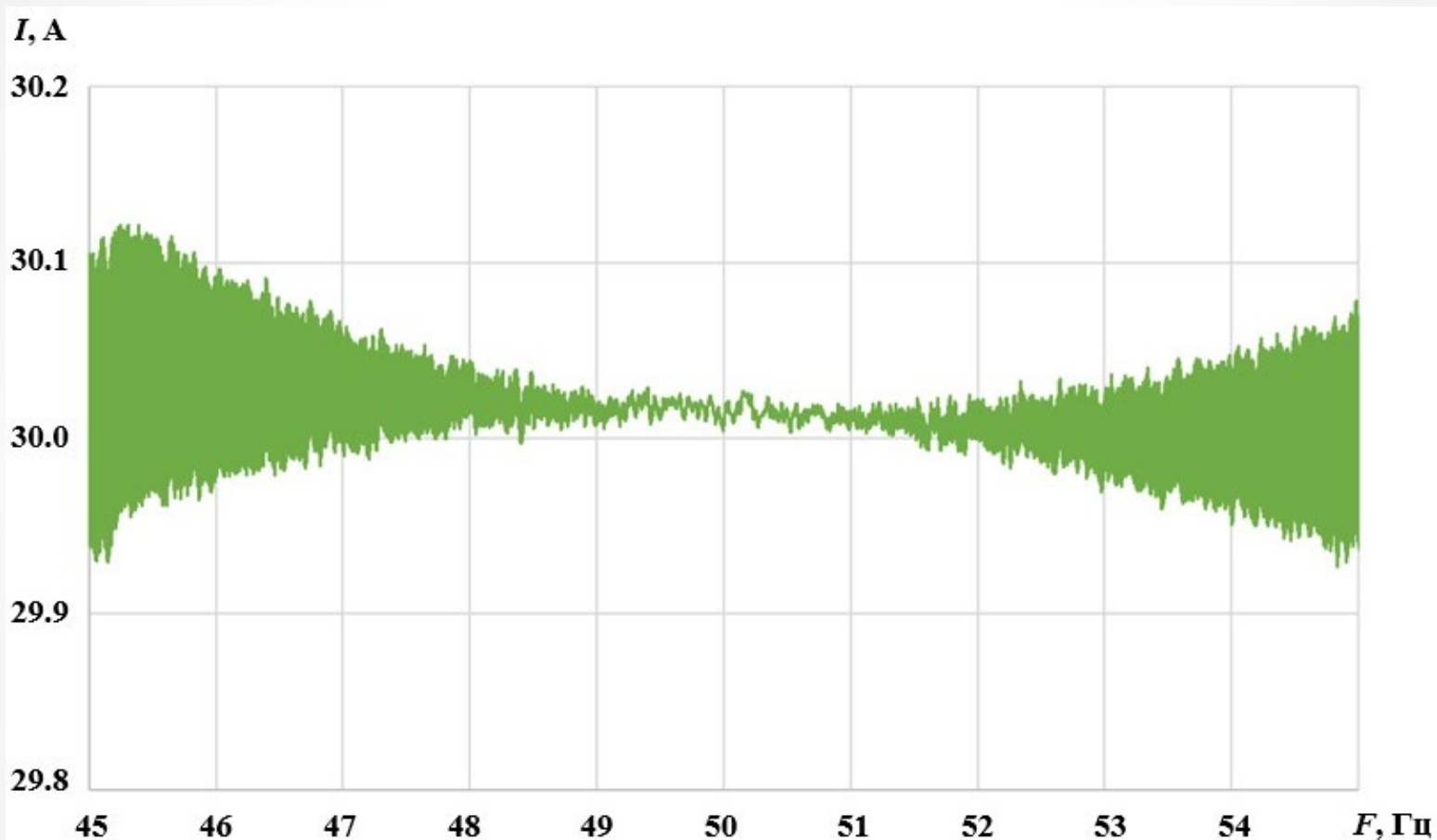
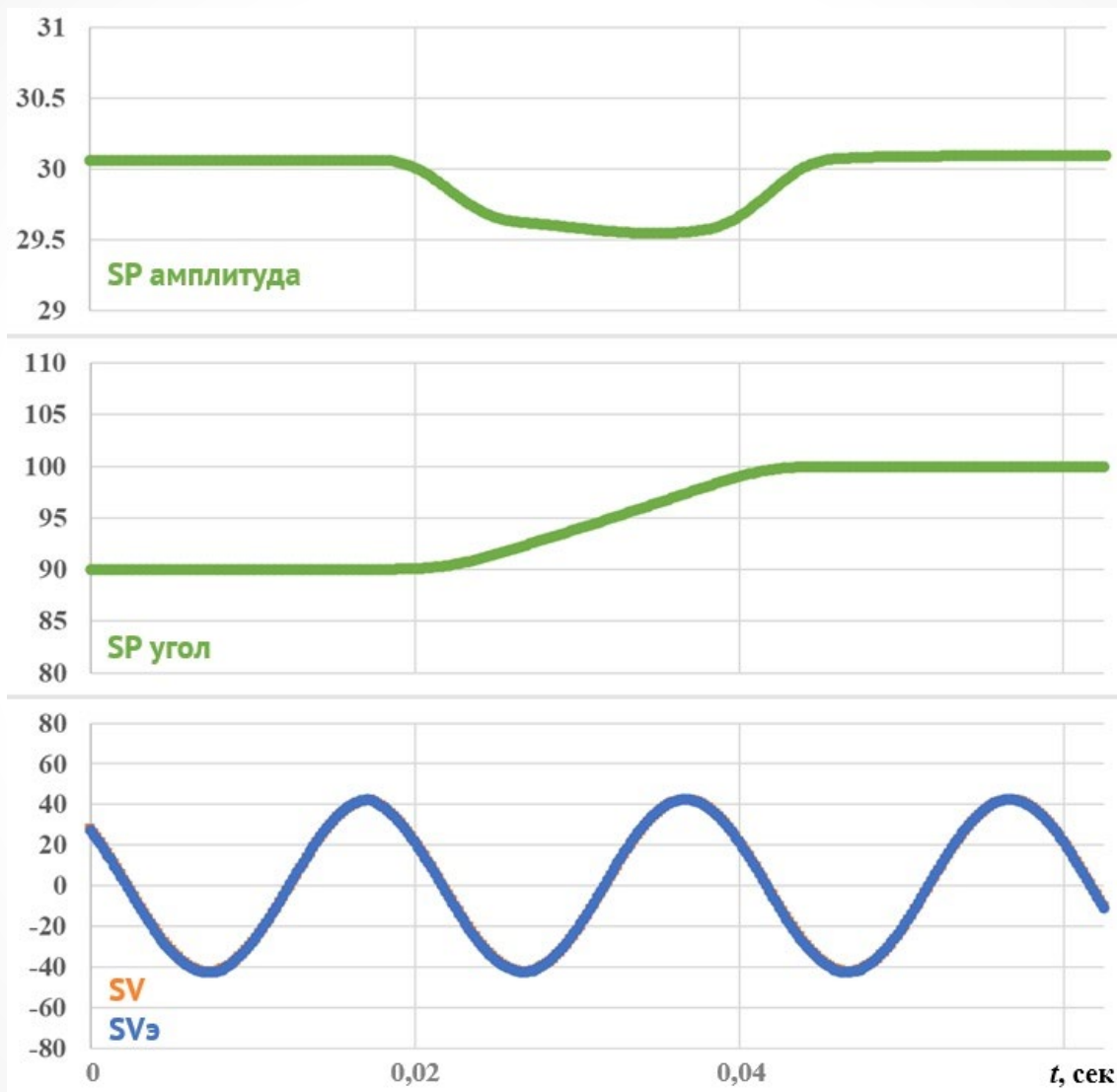
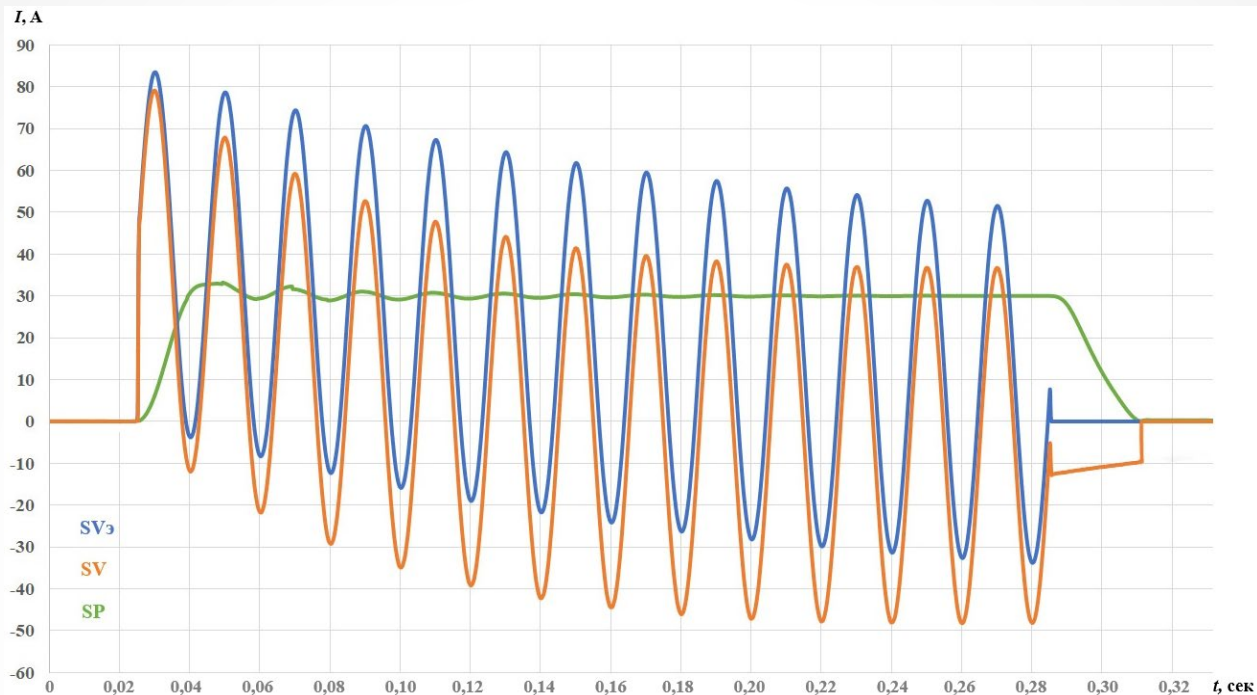


График зависимости амплитуды тока от частоты.

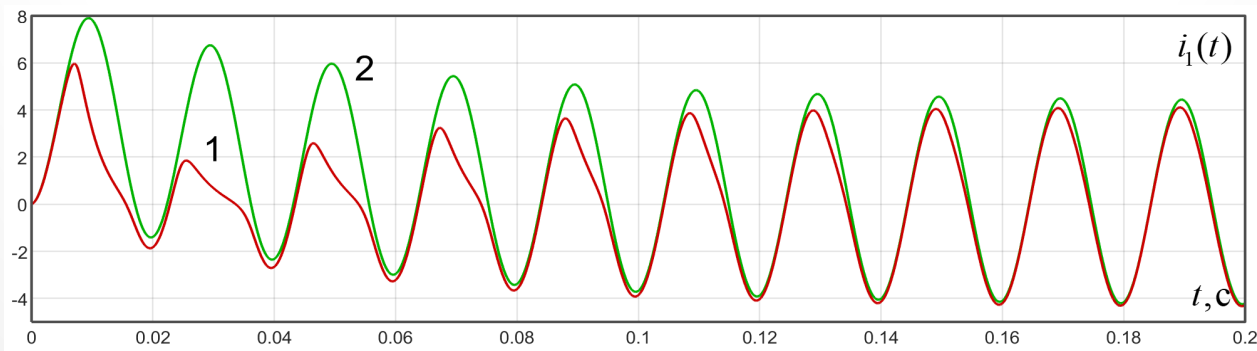
Скачок фазы тока на 10 градусов



C-O-C-O тест



Второй цикл C-O-C-O теста цифрового трансформатор



Второй цикл C-O-C-O теста традиционного ТТ + ПАС

Задержка формирования потоков SV и SP

Параметр	SVэ	SV	SP
Принято пакетов	695114	695114	695114
Пакетов со статусом синхронизации Global	695114	695114	695114
Кол-во нарушений порядка следования SmpCnt	0	0	0
Кол-во нарушений целостности пакета	0	0	0
Кол-во пакетов с флагами качества invalid	0	0	0
Максимальное время между шкалой времени UTC и соответствующим номером SmpCnt, мс	0,35	0,35	15,6
Максимальное время между соседними пакетами, мкс	440	455	453

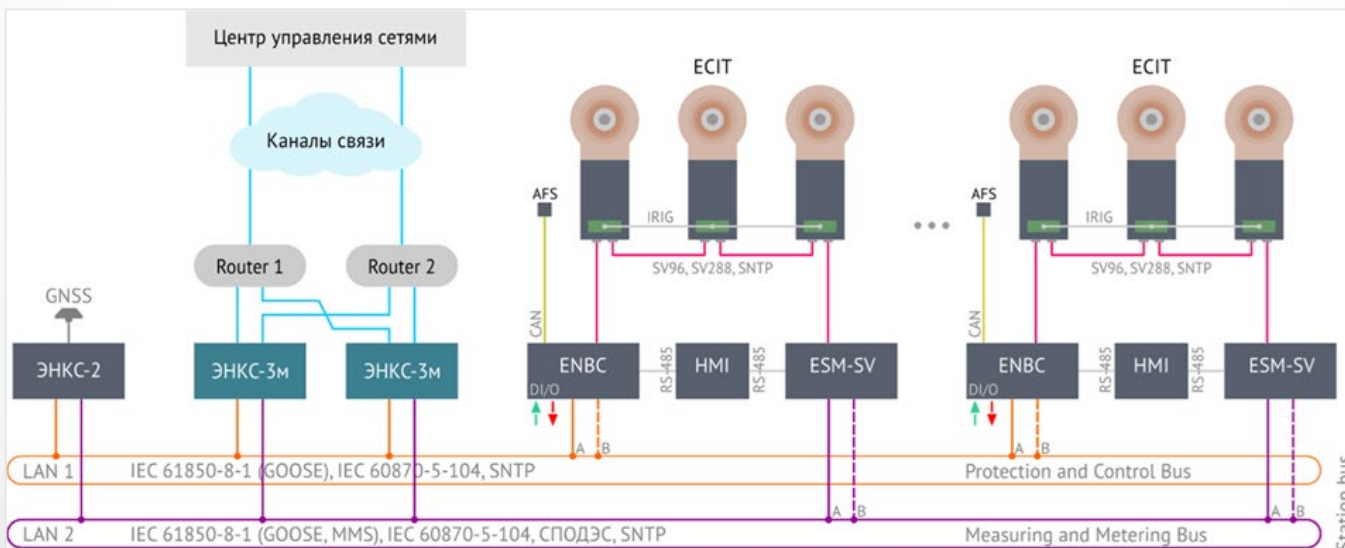
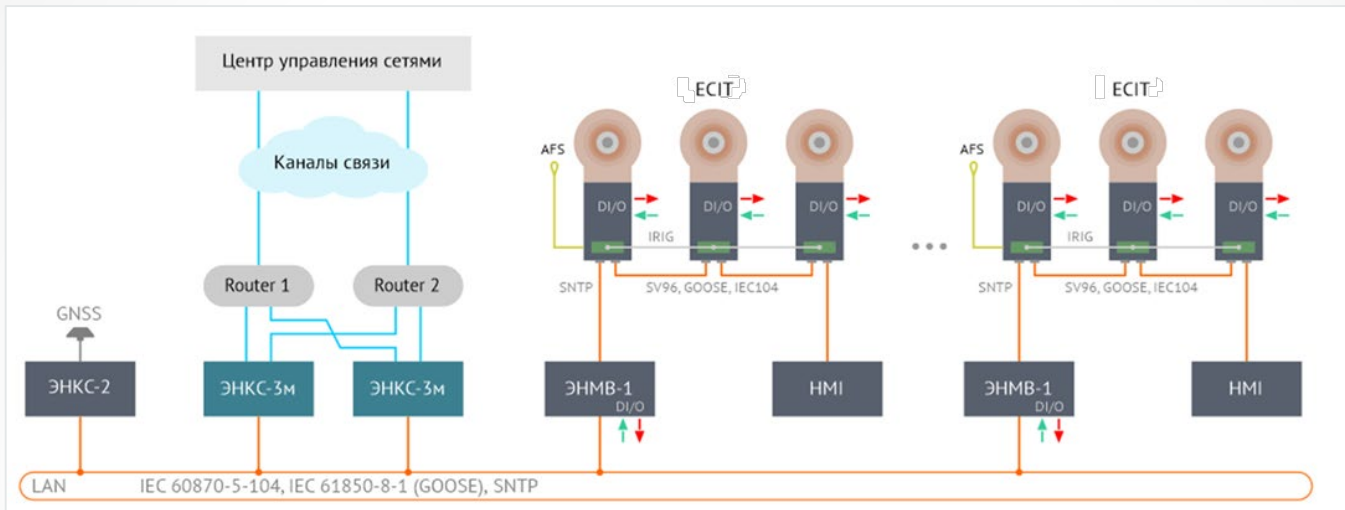
Статистика принятых потоков от эталонной установки (SVэ) и трансформатора в двух форматах (SV и SP).

Выводы

Комбинированные трансформаторы тока и напряжения позволяют одновременно формировать цифровой поток данных как в стандартном формате в виде SV-потока, так и в виде потока синхронизированных векторных измерений (SP).

Передача в формате SP отвечает современным требованиям по точности и быстродействию, поэтому может быть использованы для задач защиты и автоматизации на уровне объекта, в том числе в качестве альтернативы SV для микропроцессорных устройств защиты и при реализации централизованных защит.

Схемы локальной сети на базе серийного оборудования



Применение SP потоков



Измерительные трансформаторы с поддержкой СВИ установлены на объектах «Россети Ленэнерго», «Россети Северо-Запад», «Россети Волга» и др.



**XV Международная
научно-техническая конференция
«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ - 2026»**



Лабораторные испытания цифрового измерительного трансформатора с поддержкой СВИ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Докладчик: Мартынов Андрей Николаевич

Организации: Инженерный центр «Энергосервис»,
Северный (Арктический) федеральный университет

Контактная информация: amartynov@ens.ru

Иваново,
23 – 27 марта 2026 г.