



ens

инженерный центр
энергосервис



РЗА-ФОРУМ 2026

Применение синхронизированных векторных измерений для автоматизации подстанций среднего напряжения

Докладчик: Мартынов А.Н., аспирант

Руководитель: Мокеев А.В., д. т. н.

Инженерный центр «Энергосервис», г. Архангельск
Северный (Арктический) федеральный университет

Применение СВИ для задач защиты

Согласно классификации, приведенной в ГОСТ Р 59909-2021, УСВИ являются компонентами системы регистрации аварийных событий и процессов.

СМПР в РФ используется преимущественно для мониторинга и анализа режимов сети, верификации расчетных моделей и т.п.

В ряде исследований предлагается использовать СВИ для реализации функций релейной защиты и сетевой автоматики [1-3].

Однако действующая нормативная документация на УСВИ и СМПР в общем случае не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к устройствам РЗА.

[1] Use of Synchrophasor Measurements in Protective Relay Applications / IEEE Power & Energy Society Power System Relaying and Control Committee (PSRC). – 2013.

[2] Мокеев А.В., Хромцов Е.И. Многофункциональные устройства с поддержкой СВИ для цифровых подстанций и цифровых сетей // Релейная защита и автоматизация. 2019. №4(37). С. 20-25.

[3] Апросин К.И, Тавлинцев А.С, Семенов С.И. Использование данных синхронизированных векторных измерений для реализации функций защиты цифровой подстанции // Электротехнические системы и комплексы. 2020. № 3(48). С. 17-22.

Основные ограничения С37.118

- Быстродействие УСВИ классов Р и М:
Завышенные требования к TVE не позволяют обеспечить достаточное быстродействие.
- Формат протокола передачи в соответствии с С37.118.2:
Используется уровень TCP-IP, реже UDP-IP (уровень L4 модели OSI) с большим объемом сервисных данных.
- Диапазон измерений УСВИ + ТТ/ТН:
Требования к измерению тока:
диапазон 0,1...2 Iном, класс точности ТТ не хуже 0.5.
Требования к измерению напряжения:
диапазон 0,5...1,4 Uном, класс точности ТН не хуже 0.5.



Применение комбинированных трансформаторов тока и напряжения серии ЕСІТ



Класс напряжения: 6-10, 20, 35 кВ
Измерение тока: 1-1000(4000) А – 0.5S,
0,01-25(40) кА – 5PR;
Измерение напряжения: 0.5/3P

Синхронизация РТРv2 или IRIG;
Публикация SV96 и SV288 (IEC 61869-9);
IEC 60870-5-104, Modbus, IEEE C37.118.2;
Расчет и хранение срезов энергии;
Веб-интерфейс

SP-поток (СВИ по IEC 61850-9-2);
Подписка и публикация GOOSE;
Встроенные дискретные входы и выходы;
Функции РЗА;
Запись осциллограмм.

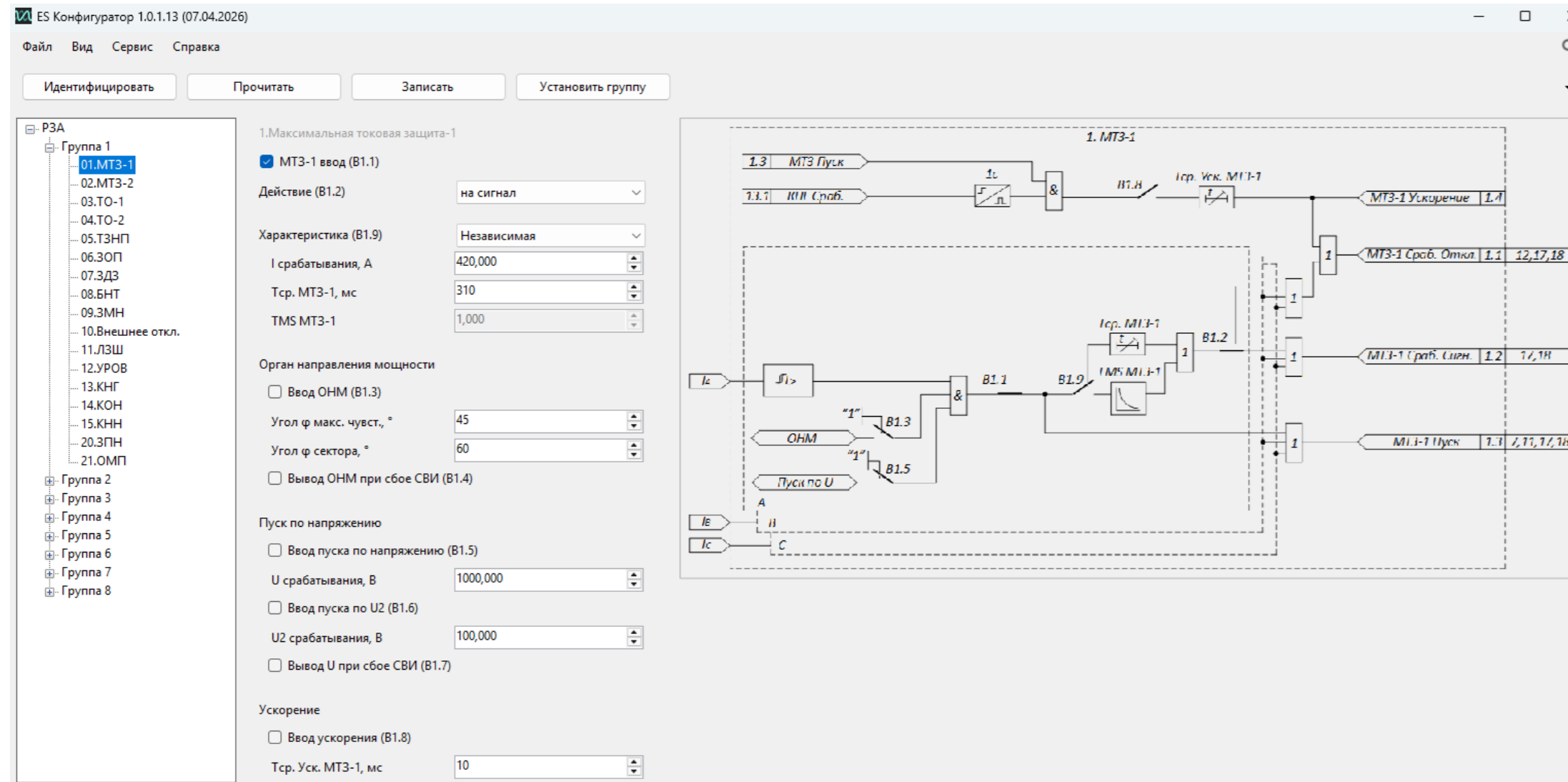
Основные ограничения шины процесса

- **Высокие требования к сетевой инфраструктуре:**
Коммутаторы с пропускной способностью от 1 Гбит/с, поддержка RTR,
Резервирование PRP/HSR,
Трудоемкость диагностики сети;
- **Необходимость в точной синхронизации:**
Типовые требования – 1 мкс;
- **Высокие требования к производительности устройств для обработки SV.**

[5] Loukkalahti M., Majer K., Valtari J. 'Experiences on the Kalasatama Digital substation'. PAC World EU, Athens, Greece, June 2024, pp. 1-9

[6] Karol Majer, Vaclav Prokop, Martin Celko. Smart medium voltage switchgear with LPITs and IEC 61850 – experiences after 10 years and the next evolution // IET Conference Proceedings Volume 2025, Issue 14.

РЗА в ЦКИТ с использованием СВИ



8 групп уставок:

Токовые направленные защиты,
Защита от ОЗЗ,
ЛЗШ, ЗДЗ,
ЗПН, ЗМН, ЗОП,
ОМП, РАС,
УРОВ, АПВ.

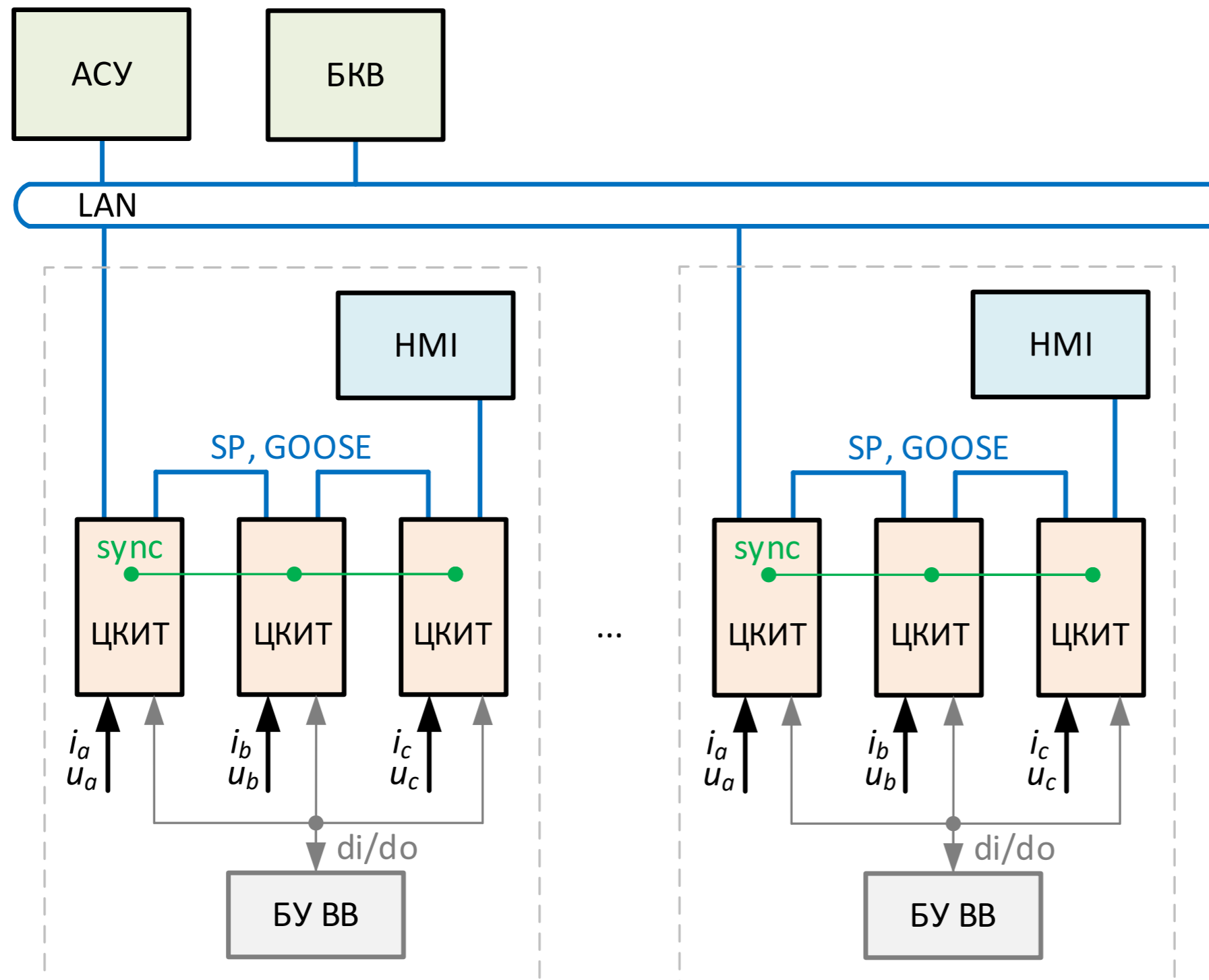
Дистанционная защита

$$\hat{Z}_k = \frac{\dot{U}_k}{\dot{I}_k + k\dot{I}'_k}$$

[7] Ульянов Д.Н., Сеитов П.В., Мокеев А.В. Опыт применения синхровекторных измерений для реализации релейной защиты и автоматики в распределительных электрических сетях 10 кВ// Релейщик. №1 – 2025, С. 24-30

[8] Ульянов Д.Н., Андреев П.И., Мартынов А.Н., Пискунов С.А., Плакидин Р.С., Сеитов П.В., Мокеев А.В. Автоматизация понизительных подстанций при использовании цифровых комбинированных трансформаторов тока и напряжения// Релейная защита и автоматизация. №1 – 2026, С. 32-45

Одноуровневая структурная схема РЗА с ЦКИТ



Каждый трансформатор реализует функции однофазной защиты и однофазного учета;

Контроль положения выключателя и выдача управляющего воздействия осуществляется через встроенные дискретные входы и выходы;

Один из трансформаторов в режиме «Мастер» синхронизирует две соседние фазы, принимает от них SP-потоки, выполняет функции трехфазной защиты и трехфазного учета;

Обмен информацией с другими присоединениями осуществляется по GOOSE-сообщениям.

Одноуровневая схема РЗА с ЦКИТ: применение в реклоузерах и КРУЭ

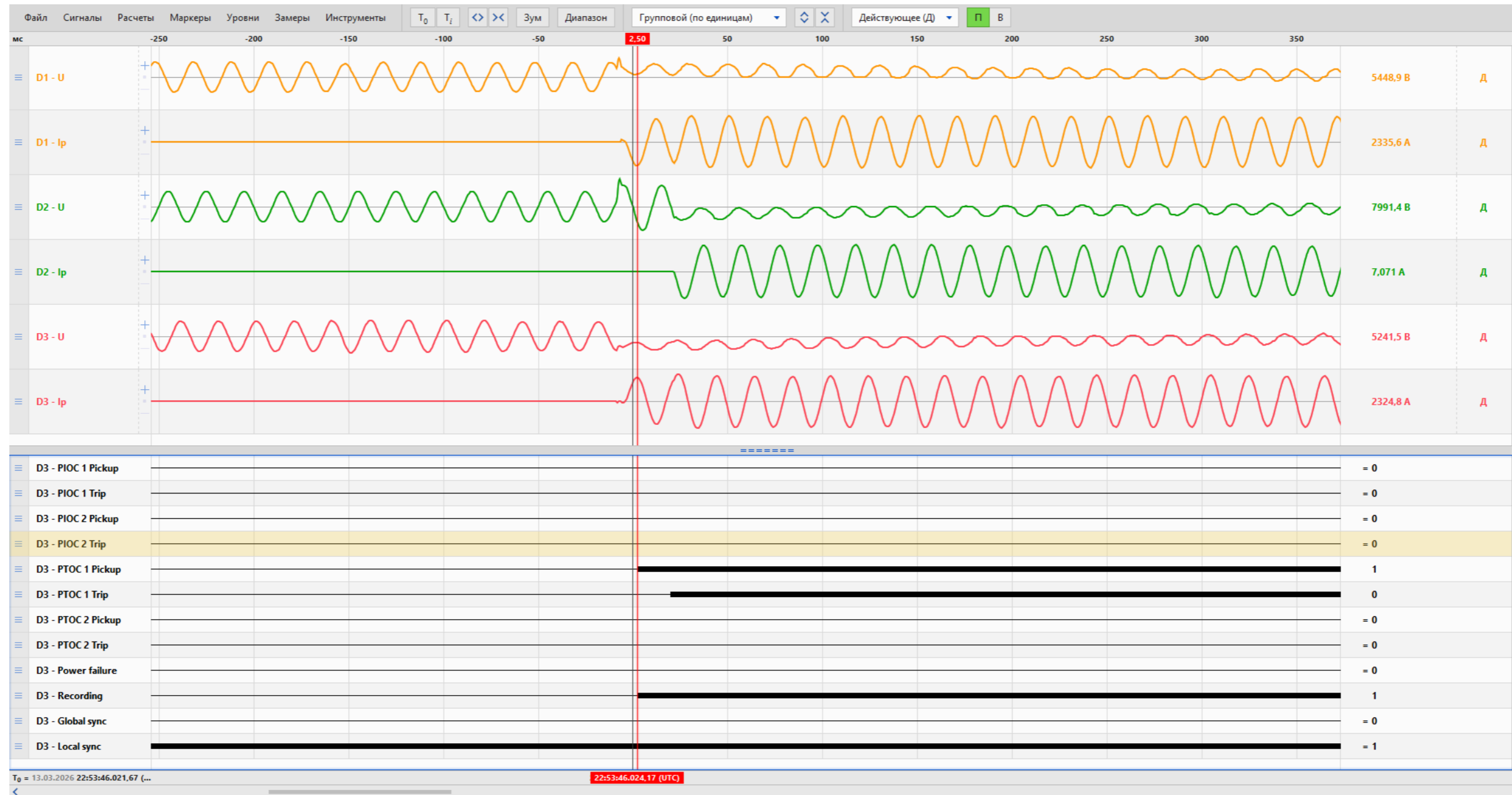


ESIT-1 в составе реклоузера



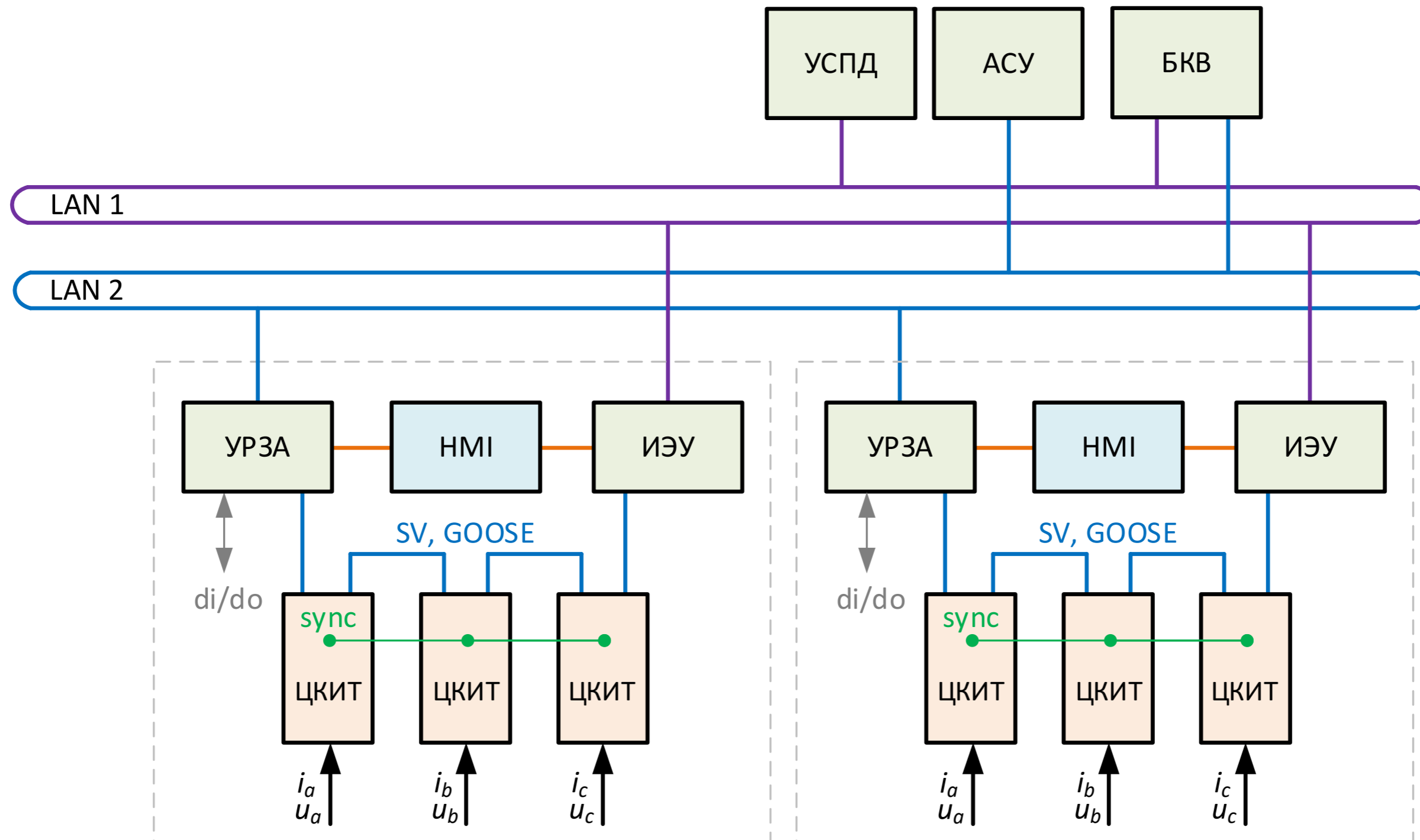
ESIT-3 в составе КРУЭ

Одноуровневая схема РЗА с ЦКИТ: опытная эксплуатация



Осциллограмма двухфазного КЗ, переходящего в трехфазное, записанная в ЕСИТ

Двухуровневая структурная схема РЗА с ЦКИТ



Двухуровневая схема РЗА с ЦКИТ: применение в КСО и КРУ

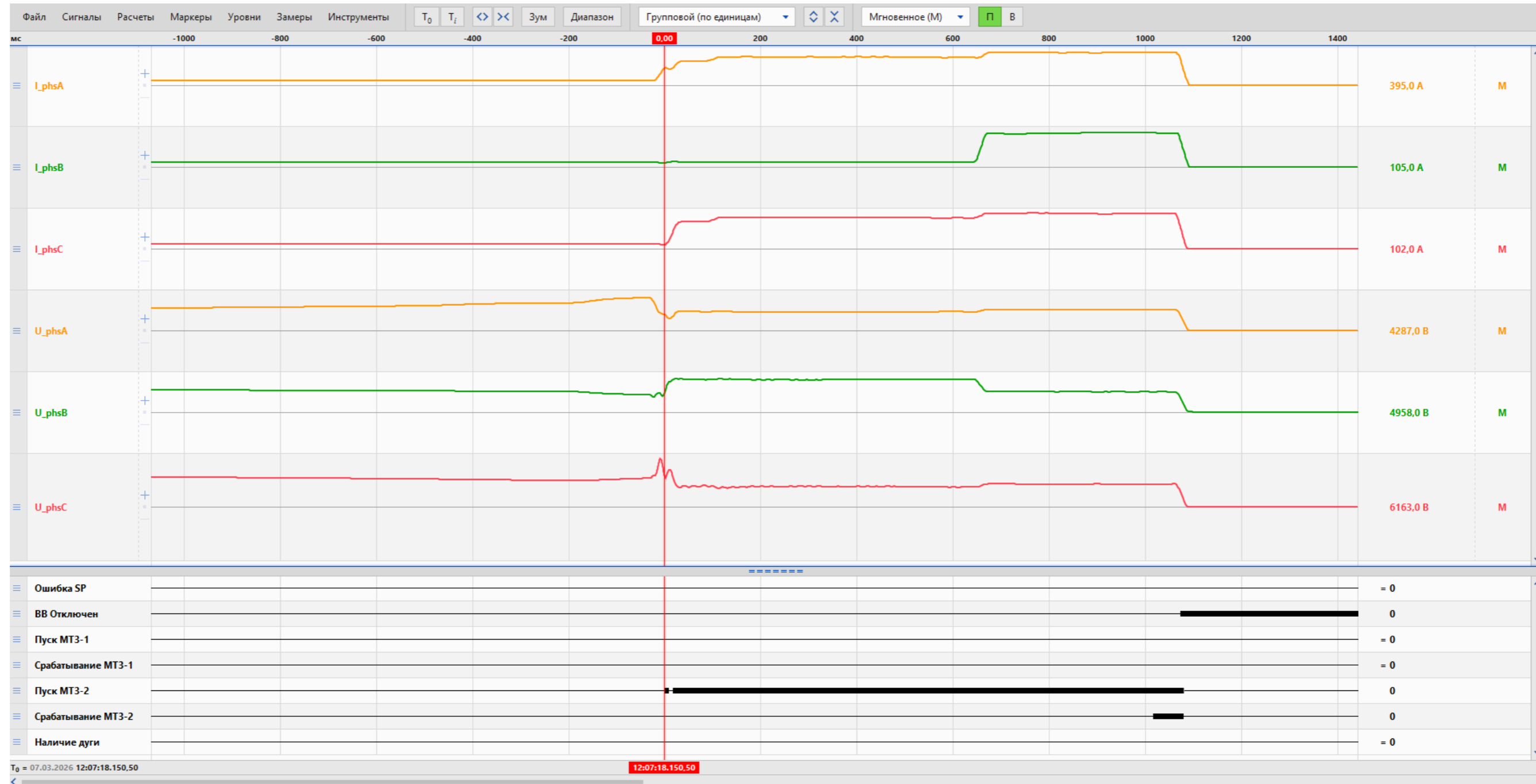


ENBC в КРУ



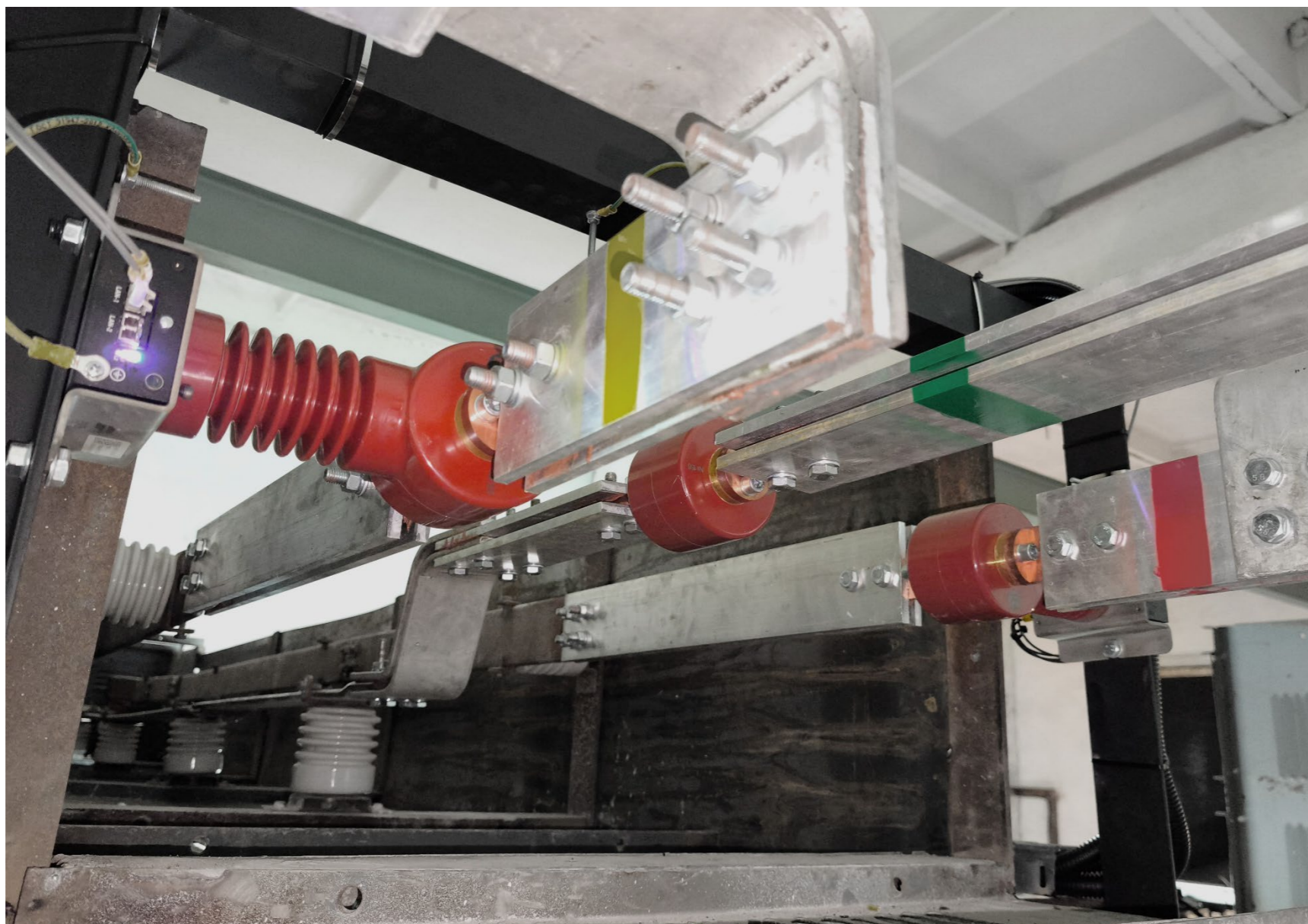
ECIT-1 в КРУ

Двухуровневая схема РЗА с ЦКИТ: опытная эксплуатация



Осциллограмма двухфазного КЗ, переходящего в трехфазное, записанная в ENBC

Двухуровневая схема РЗА с ЦКИТ: ПС 110/10 кВ «Орбита»



НИОКР ПАО «Россети Северо-Запада»
по применению электронных
трансформаторов в электроустановках
напряжением 6-220 кВ.

ЕСИТ-1 выступает источником данных для
систем:

- РЗА;
- телемеханики;
- учета электроэнергии;
- мониторинга силового трансформатора.

Выводы

Передача данных в виде потоков СВИ позволяет снизить требования к локальной сети и вычислительным ресурсам РЗА, а также уменьшить задержки передачи по сравнению со стандартными решениями на основе УСВИ.

По сравнению с шиной процесса на основе SV-потоков подход с СВИ обеспечивает сопоставимую функциональность для задач РЗА при меньших капитальных затратах, что делает его экономически целесообразным для сетей среднего напряжения.

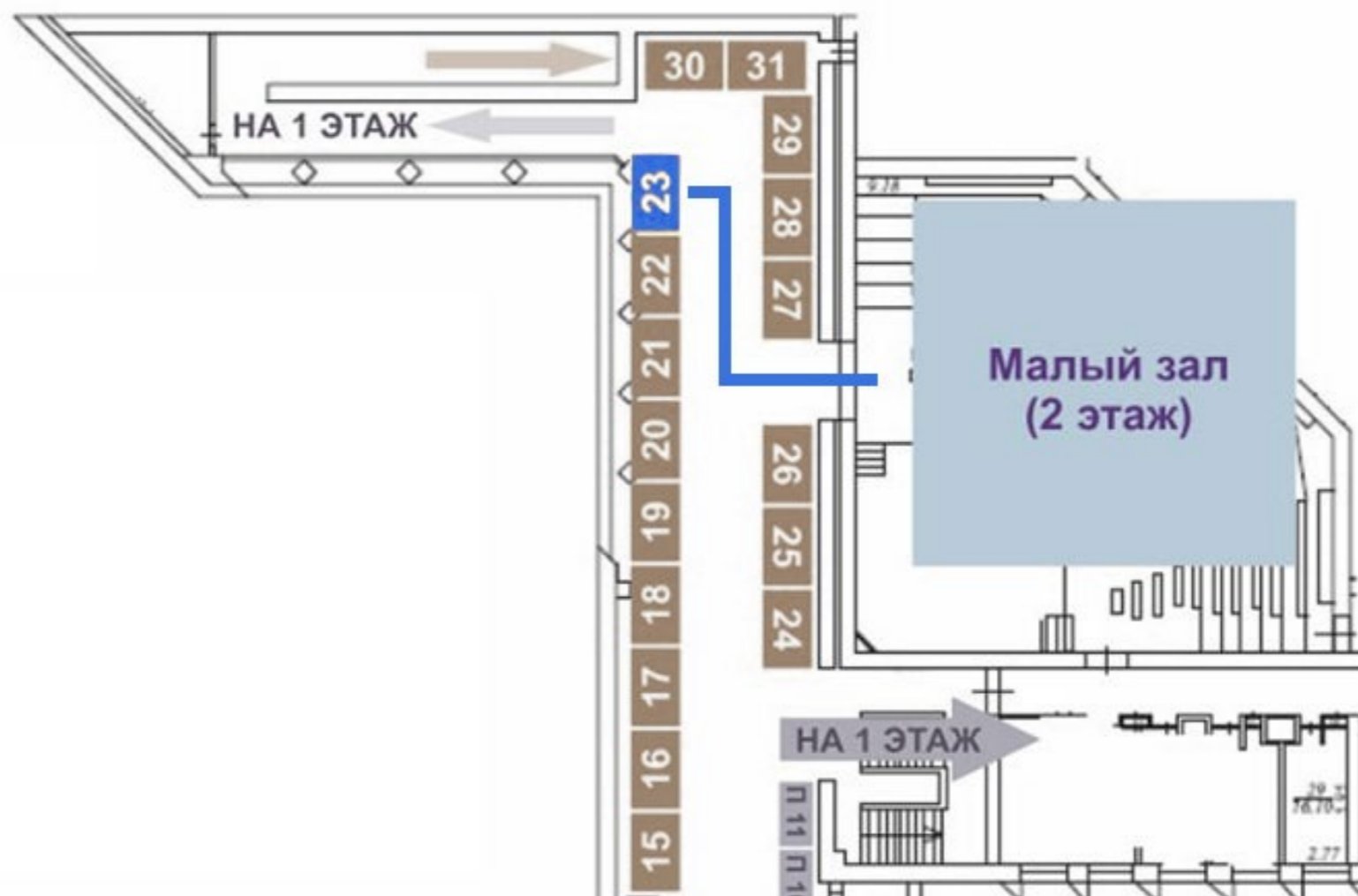
Технология СВИ обладает преимуществами для выполнения функций РЗА в распределительных сетях среднего напряжения при использовании современных цифровых комбинированных измерительных трансформаторов, непосредственно формирующих СВИ.



ens

инженерный центр
энергосервис

Благодарю за внимание!



Докладчик: Мартынов А.Н., аспирант
Руководитель: Мокеев А.В., д. т. н.
Инженерный центр «Энергосервис», г. Архангельск
Северный (Арктический) федеральный университет

 enip2.ru

 enip2@ens.ru