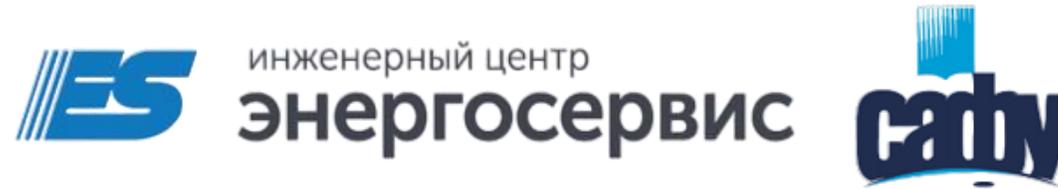


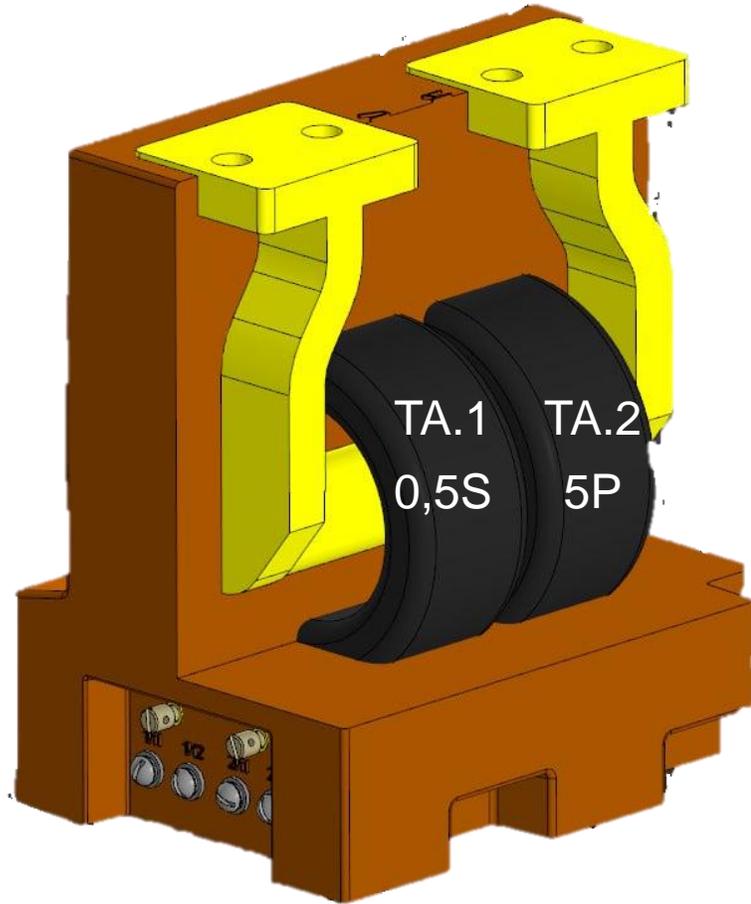
Научно-практическая конференция
«Релейная защита и автоматизация энергосистем.
Совершенствование эксплуатации и перспективы развития»
XXVII Международный форум «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ 2025»



Реализация релейной защиты присоединений 6-35 кВ,
встроенной в цифровой трансформатор тока и напряжения

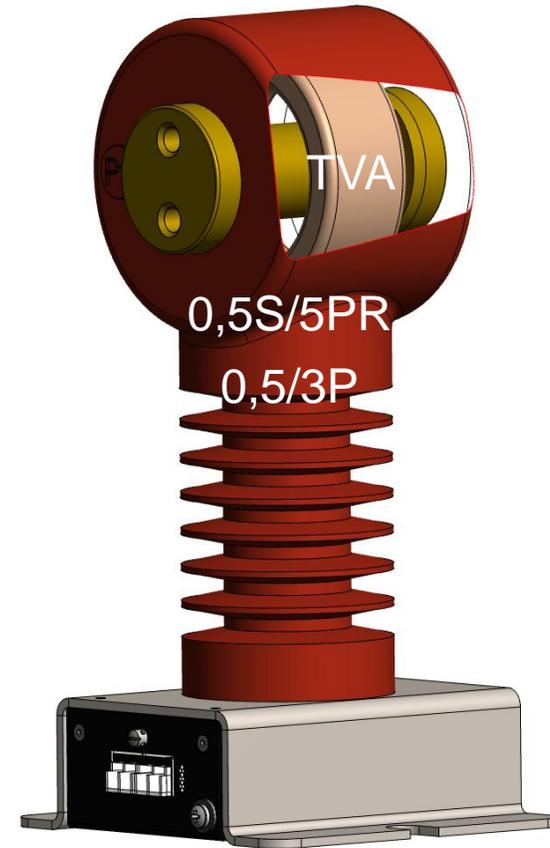
Ульянов Д.Н., Мокеев А.В., Пискунов С.А.

3 декабря 2025, г. Москва



Традиционный трансформатор
тока опорного типа (литой)

16 кг



Цифровой трансформатор
тока и напряжения ЕСІТ-1

3,6 кг

Электромагнитные широкоиспользуемые ТТ и ТН

Ответственный подбор по номинальному току и напряжению

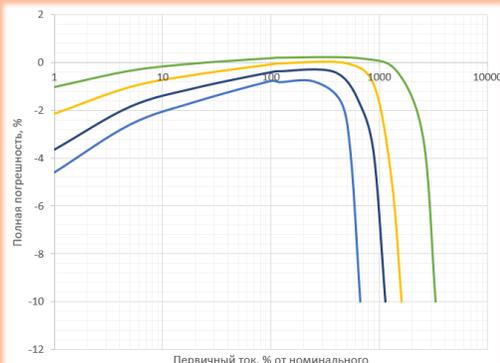
Номинальный ток первичной обмотки, А	50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000				
Класс напряжения, кВ	3	6	10	15	20
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	3,6	7,2	12	17,5	24
Номинальное напряжение первичной обмотки, кВ	3/√3; 3,3/√3	6/√3; 6,3/√3; 6,6/√3; 6,9/√3	10/√3; 10,5/√3; 11/√3	13,8/√3; 15/√3; 15,75/√3; 16/√3	18/√3; 20/√3; 22/√3

Класс точности Р

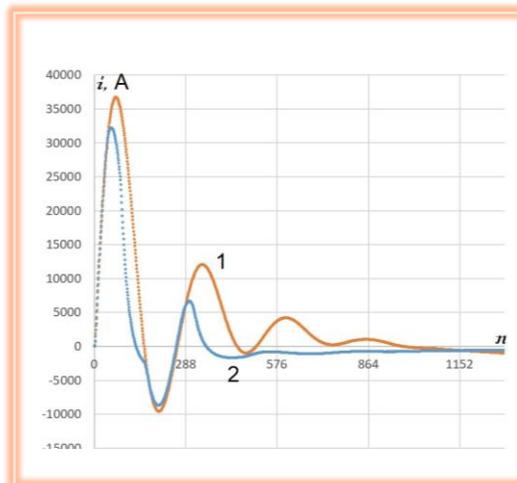
Класс точности ТН	Погрешность ТН при номинальном напряжении	Угловая погрешность
3Р	±3%	±120 мин
6Р	±6%	±240 мин

Класс точности ТТ	Погрешности ТТ при номинальном токе	Угловая погрешность при номинальном токе	Суммарная погрешности при токе предельной кратности
5Р	±1%	±60 мин	5%
10Р	±5%	-	10%

Влияние вторичной нагрузки на ток предельной кратности

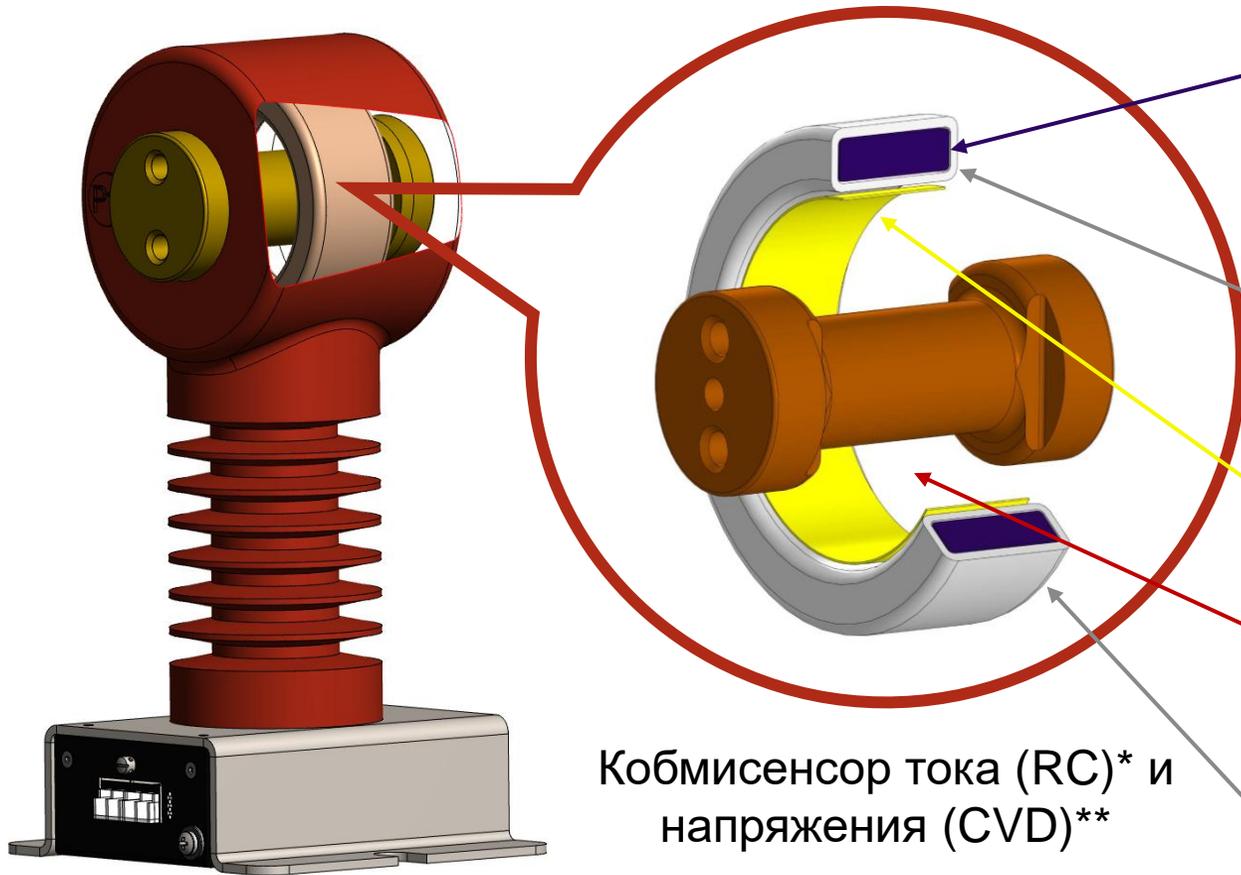


Насыщение, остаточная намагниченность



Цифровой измерительный трансформатор (ЕСIT-1)

- комбинированный: в одном корпусе ТН + ТТ;
- одно исполнение на напряжение от 3 до 15 кВ, и на номинальный ток нагрузки 50 - 1000 А;
- отсутствие влияния вторичной нагрузки (цифровой выход), измеряемый ток предельной кратности 25 кА, с учетом апериодической составляющей – до 45 кА;
- отсутствие эффектов насыщения и остаточной намагниченности;
- более высокие классы точности по току и напряжению для релейных защит и измерений, фактический класс точности для силы тока - 0,2S/0,5PR;
- самодиагностика и контроль исправности электронных компонентов и первичных преобразователей, нагрева и состояния изоляции (по уровню ЧР);
- передача до 2-х SV-потокв и потока синхровекторов (SP);
- компактность.

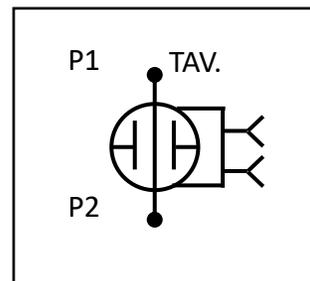
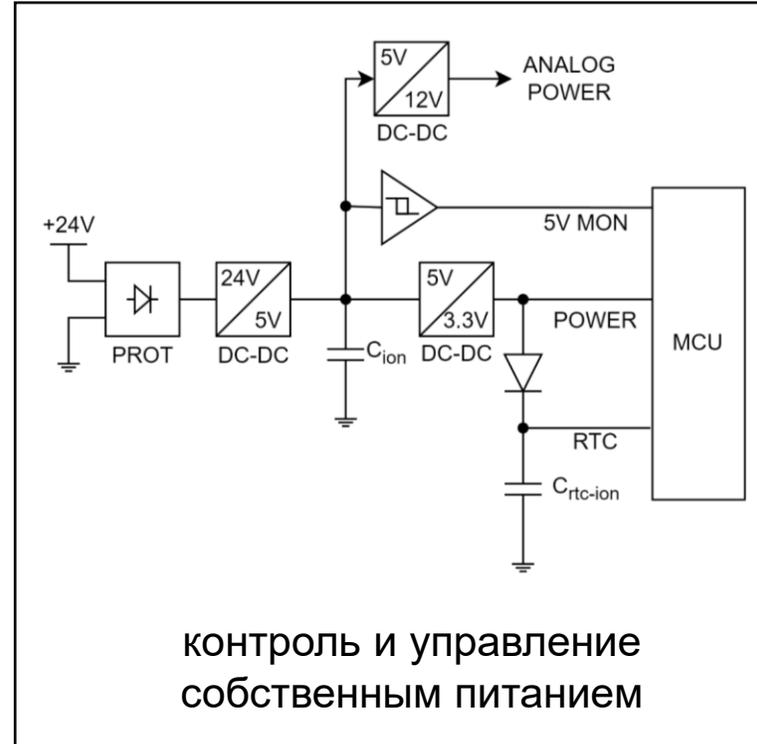
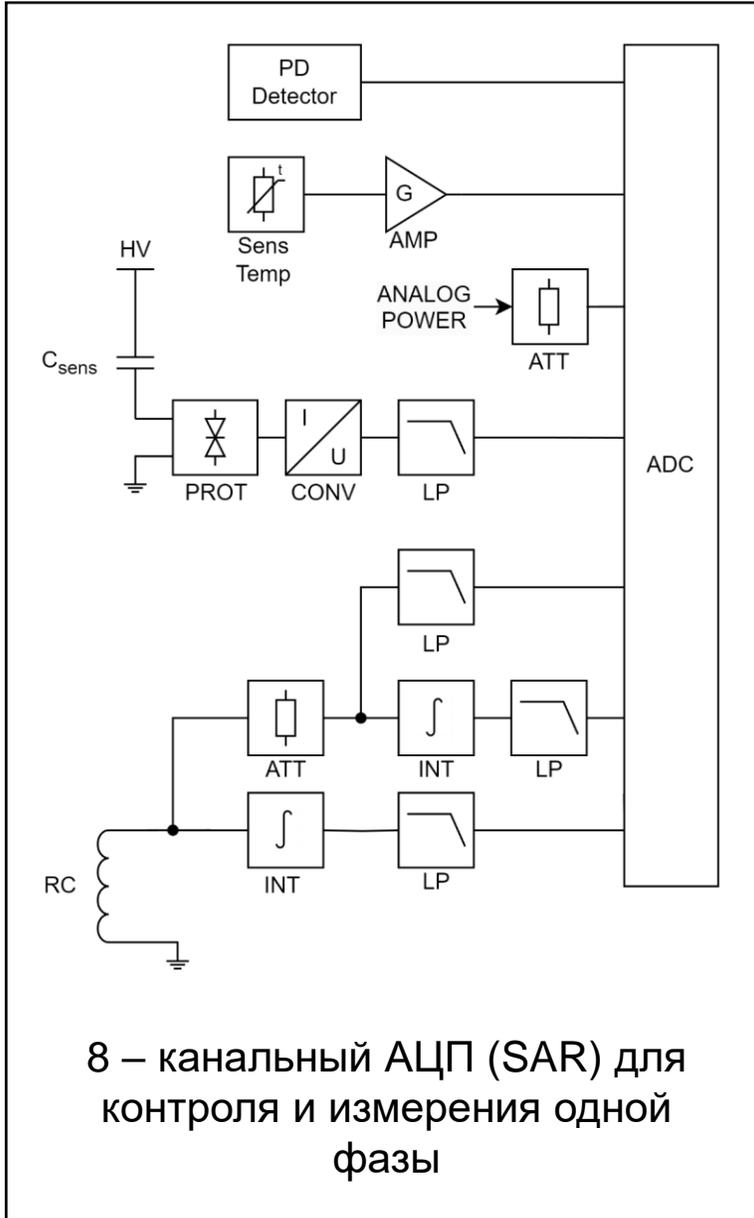


Кобмисенсор тока (RC)* и напряжения (CVD)**

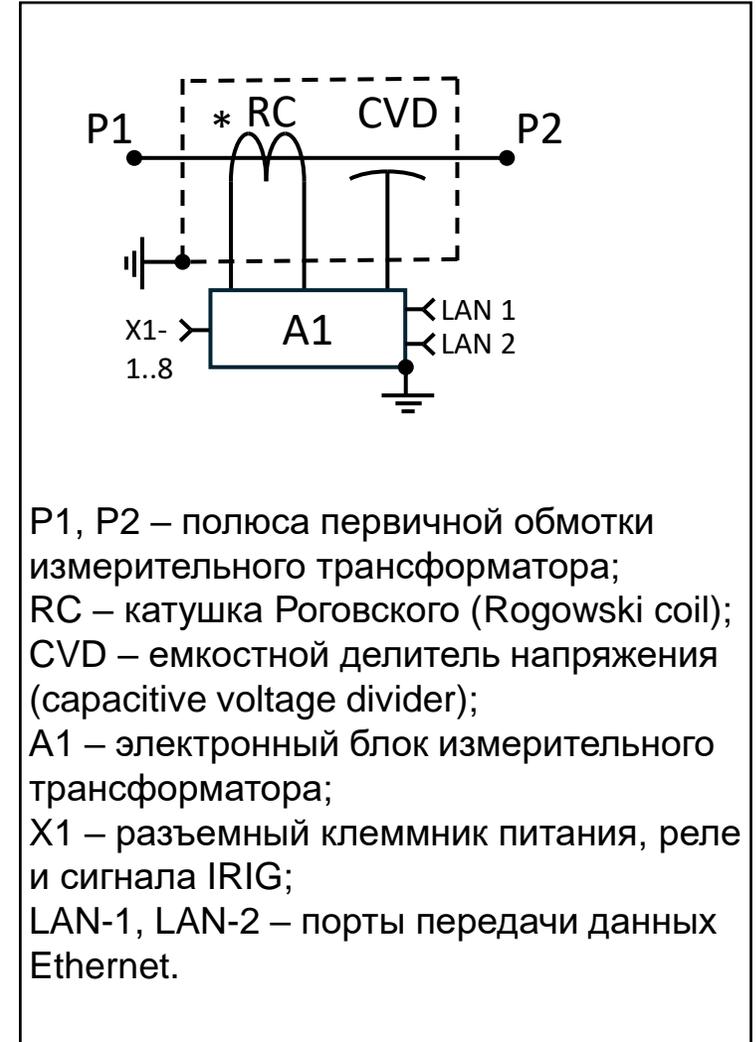
1. Немагнитный сердечник с минимальным коэффициентом линейного расширения;
2. Намотка витков RC, устойчивая к помехам МППЧ и температурному дрейфу (-50...+60 градусов Цельсия);
3. Экранирование RC от электрического поля низких и высоких частот;
4. Высоковольтная емкость VCD со встроенной защитой от перенапряжений;
5. Высоковольтная емкость с термостабильным свойством диэлектрика (-50...+60 градусов Цельсия);
6. Экранирование VCD от влияния наведенного потенциала напряжения;
7. Точное согласование нагрузочной (RLC) способности сенсора с блоком АЦП.

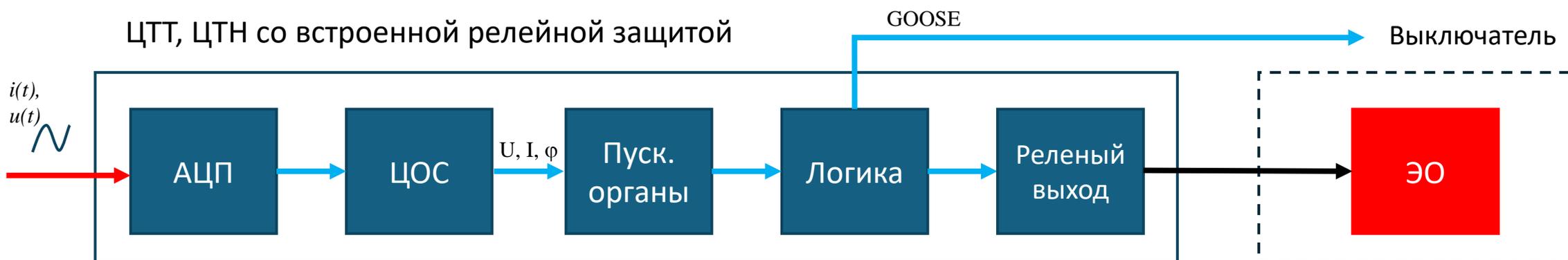
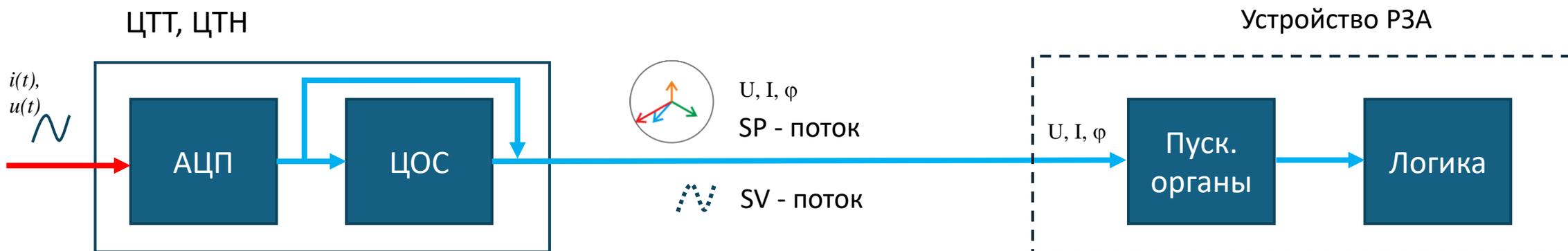
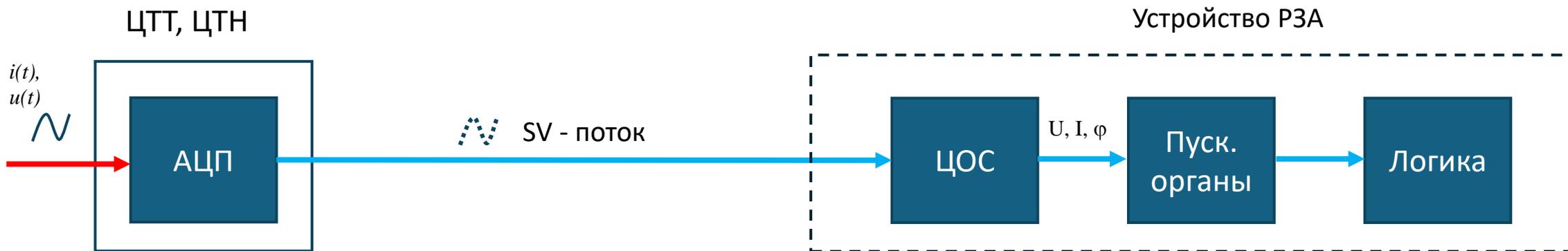
* RC (Rogowski coil) – катушка Роговского,

** CVD (capacitive voltage divider) – емкостной делитель напряжения.



обозначение для главных электрических схем





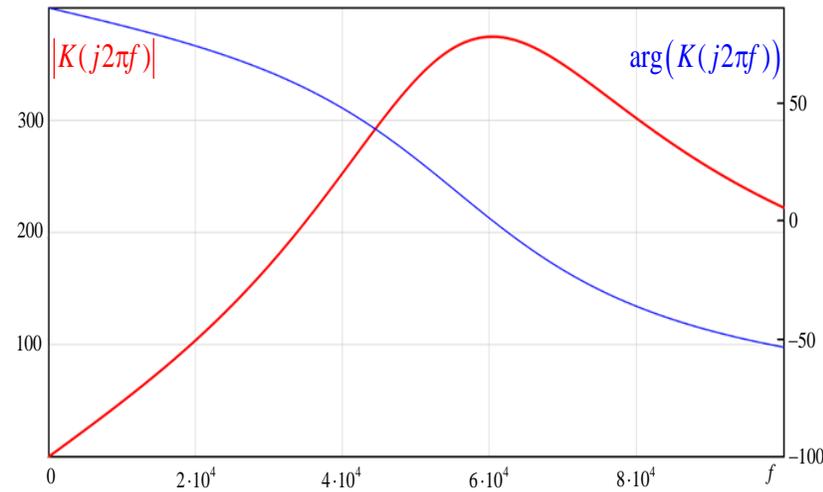


Рис.1 Собственная АЧХ и ФЧХ катушки Роговского (RC)

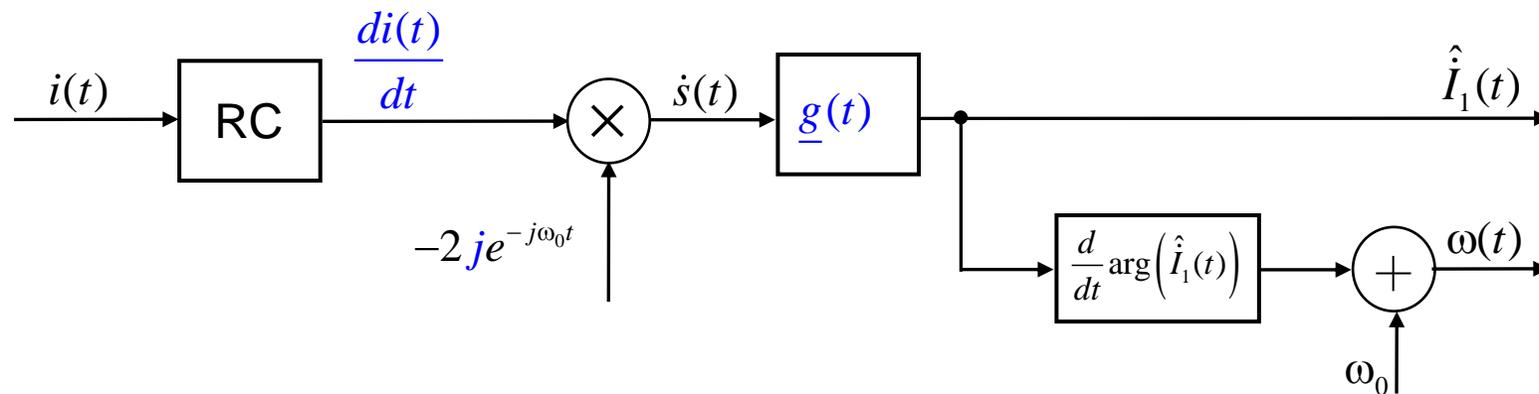


Рис.2 Структурная схема алгоритма вычисления СВИ тока на базе катушки Роговского (RC), где – $\underline{g}(t)$ комплексная импульсная функция КИХ-фильтра

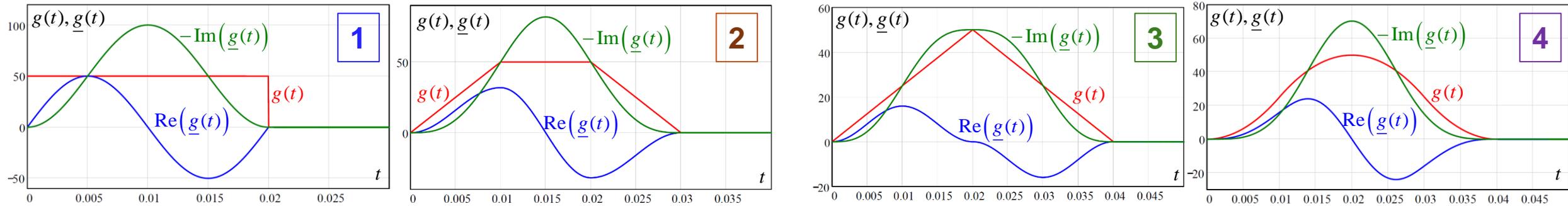


Рис.1 Подбор комплексной импульсной функции усредняющего КИХ-фильтра для вычисления СВИ на выходе катушки Роговского

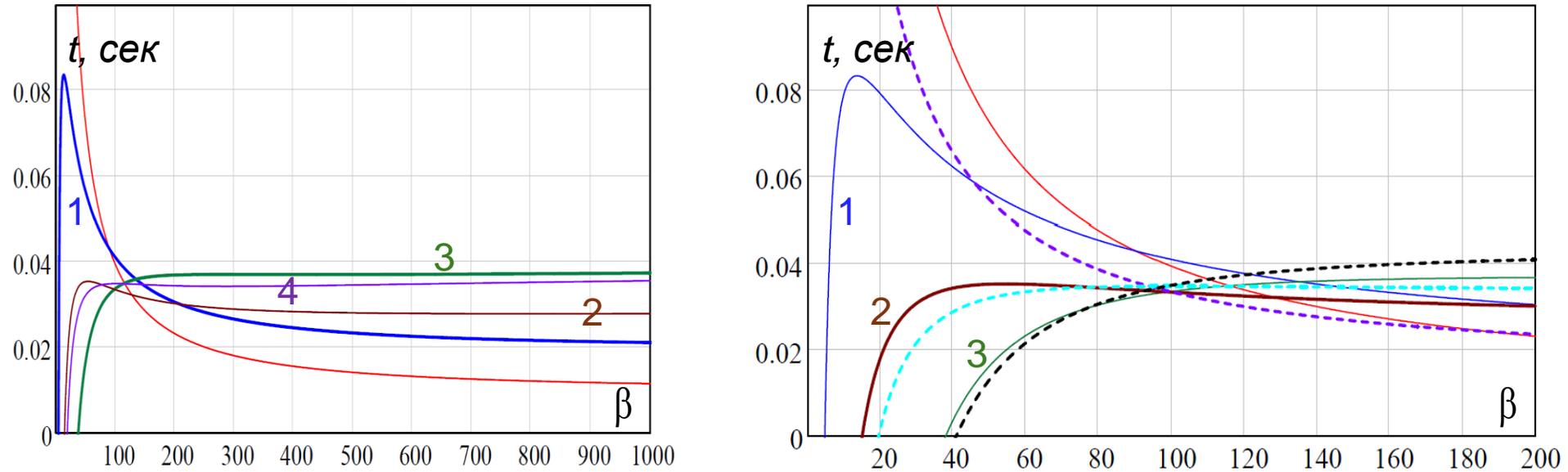


Рис.2 Быстродействие указанных фильтров при разных коэффициентах затухания β и при допустимой погрешности 10%

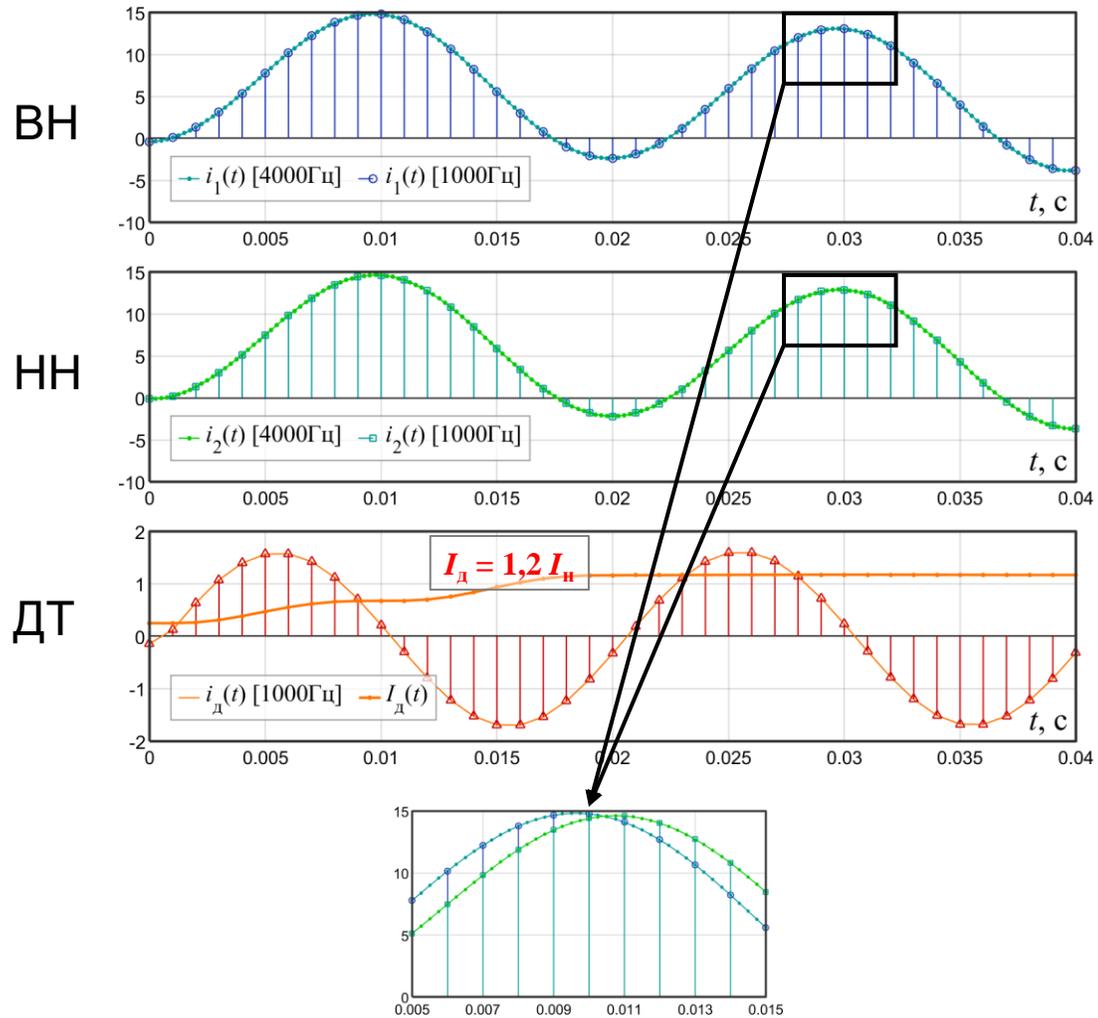


Рис.1 Прореживание в расчете диф.тока до 20 SV (в потоке 80 SV) и при задержке преобразования в ПАС на 1 SV дает ошибку в 120% от номинального тока

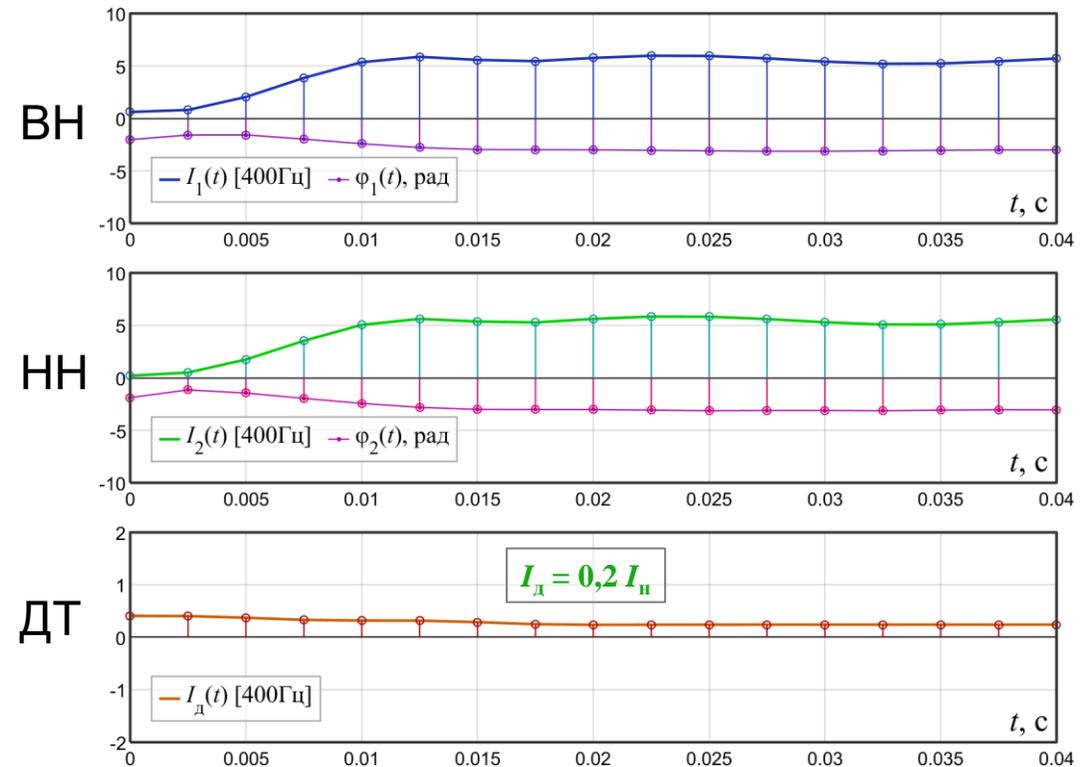
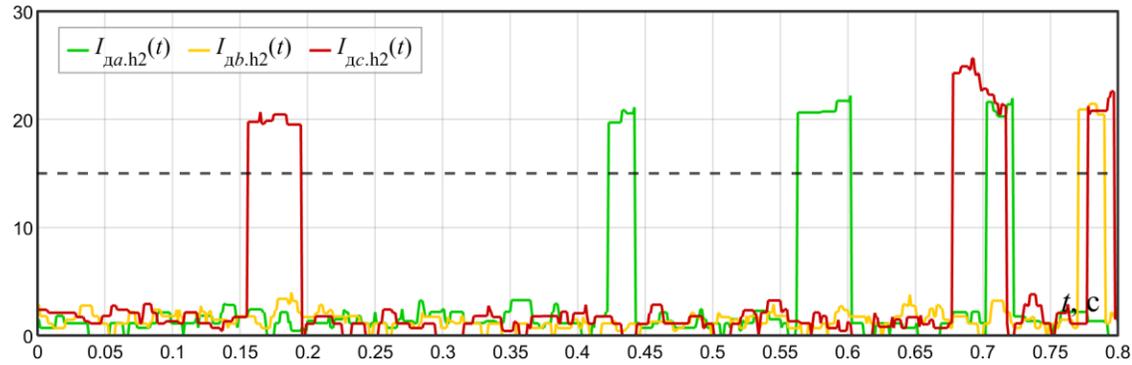
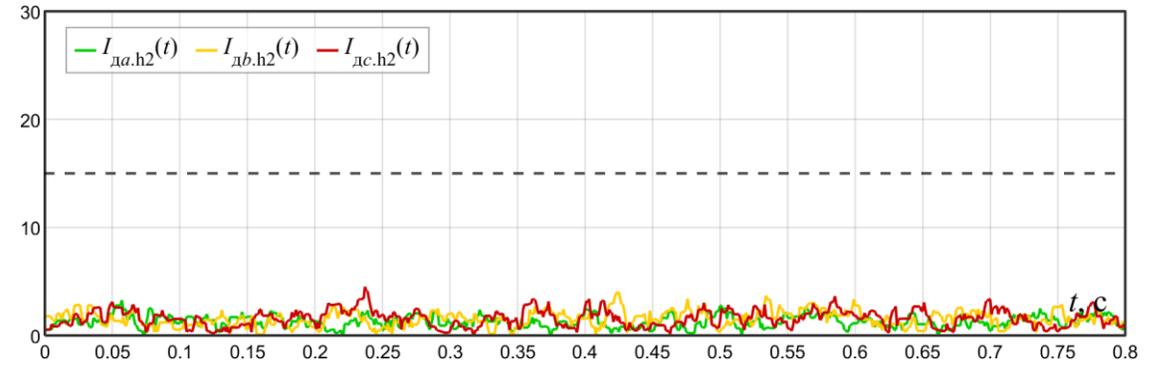


Рис.2 При расчете диф.тока на основе потока СВВ (SP) достаточно передавать 8 SP для обеспечения точности, для исключения ошибок даже при потере (пропуску) 1-2 SP. Снижает в 10 раз нагрузку на сеть передачи данных

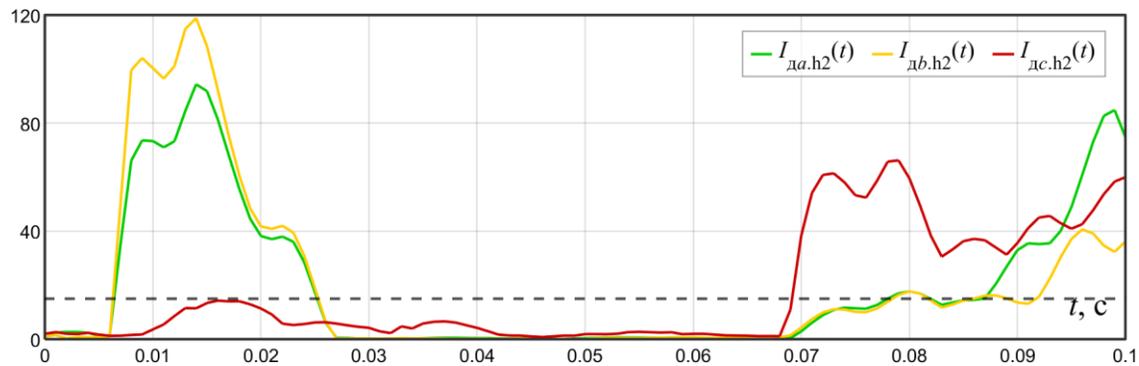
Предавварийный режим, до коррекции



Предавварийный режим, после коррекции



Режим КЗ, до коррекции



Режим КЗ, после коррекции

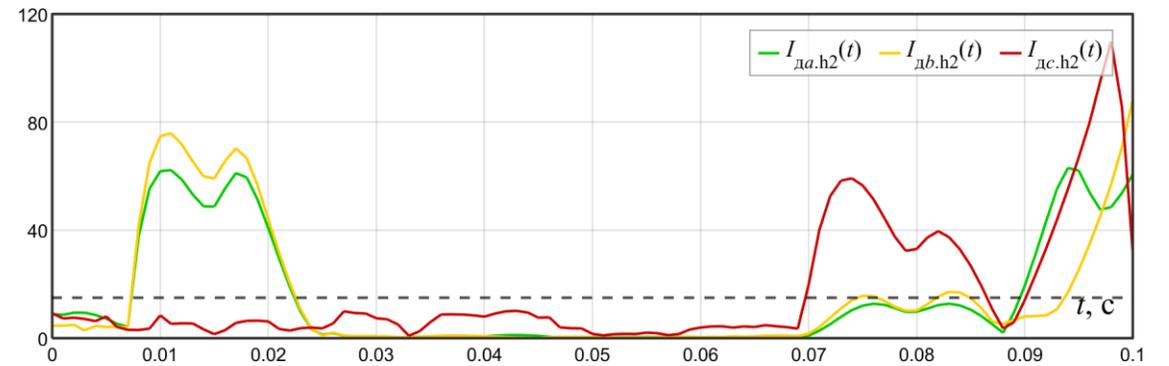


Рис.1 Иллюстрация влияния сдвига потоков относительно друг друга на один отсчет (при 20 SV на период) при расчете уровня 2-гармоники в диф.токе

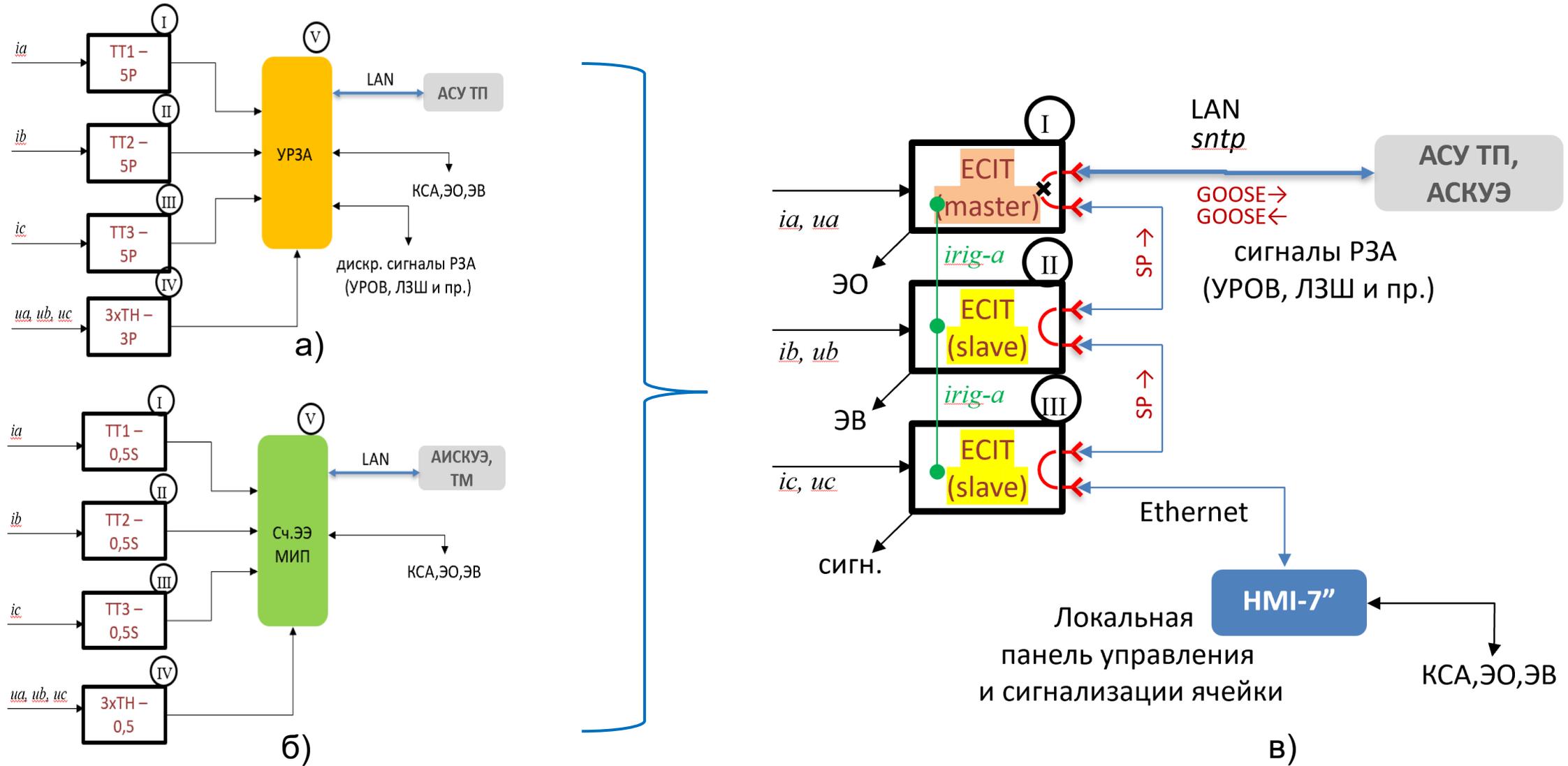
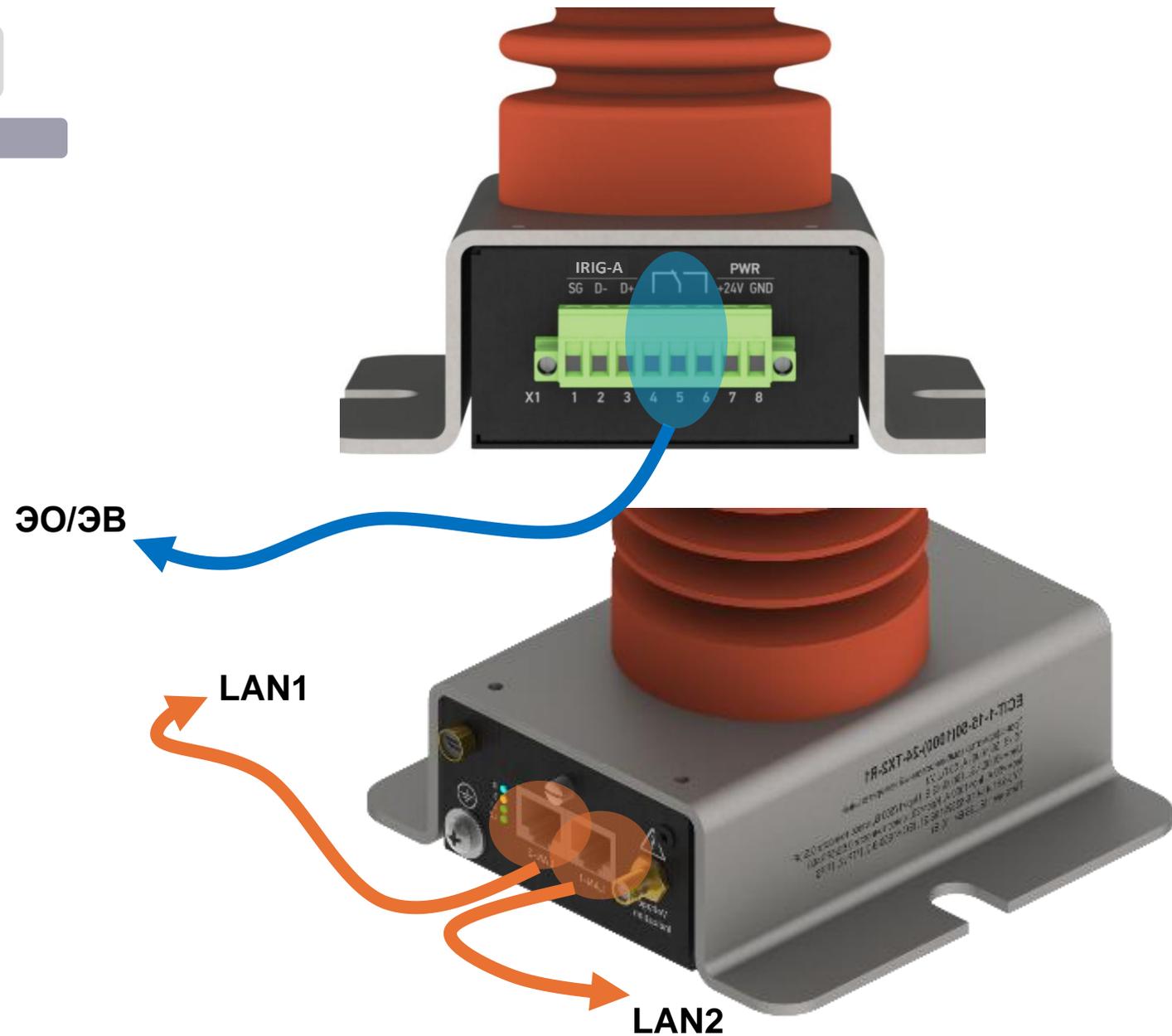
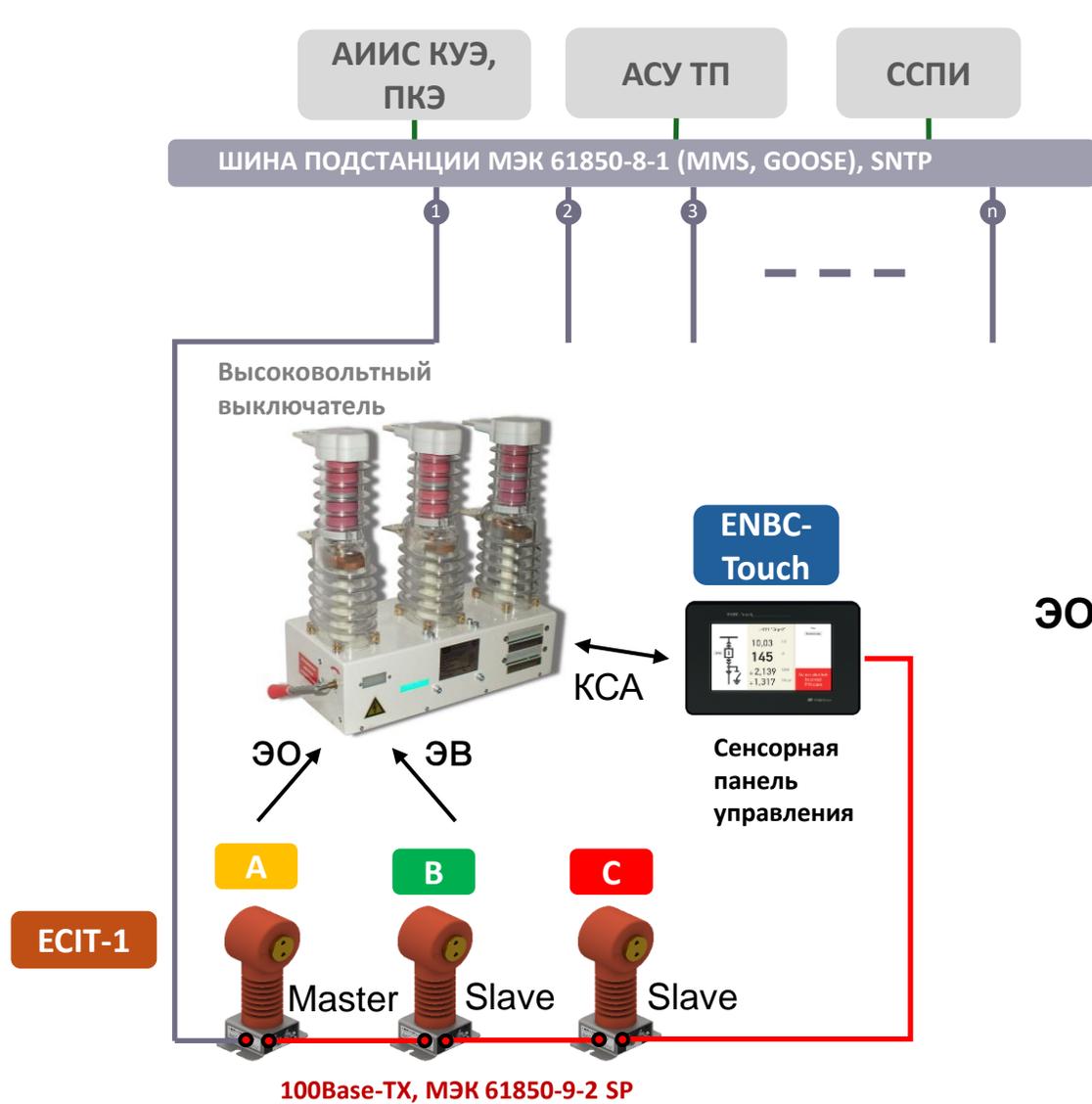


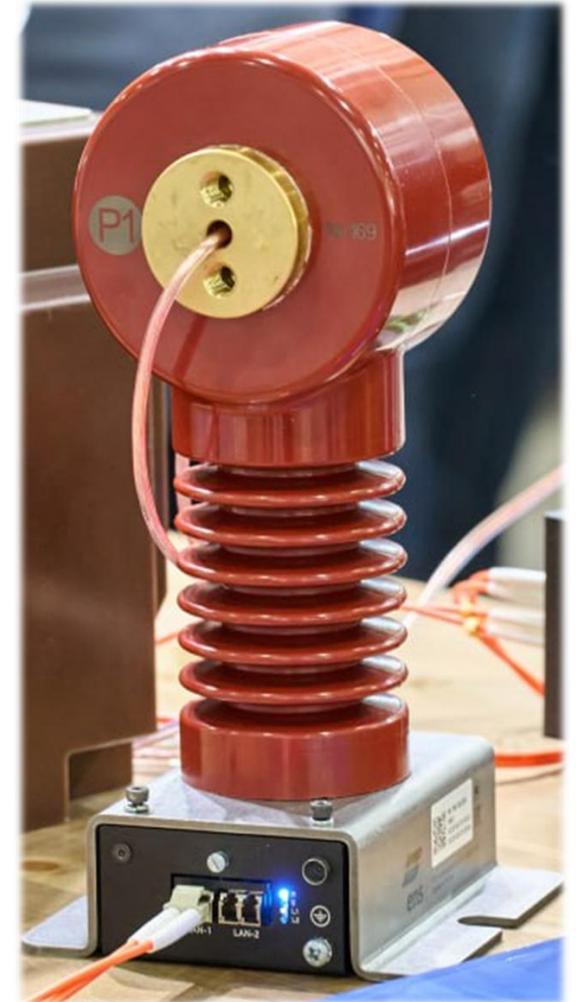
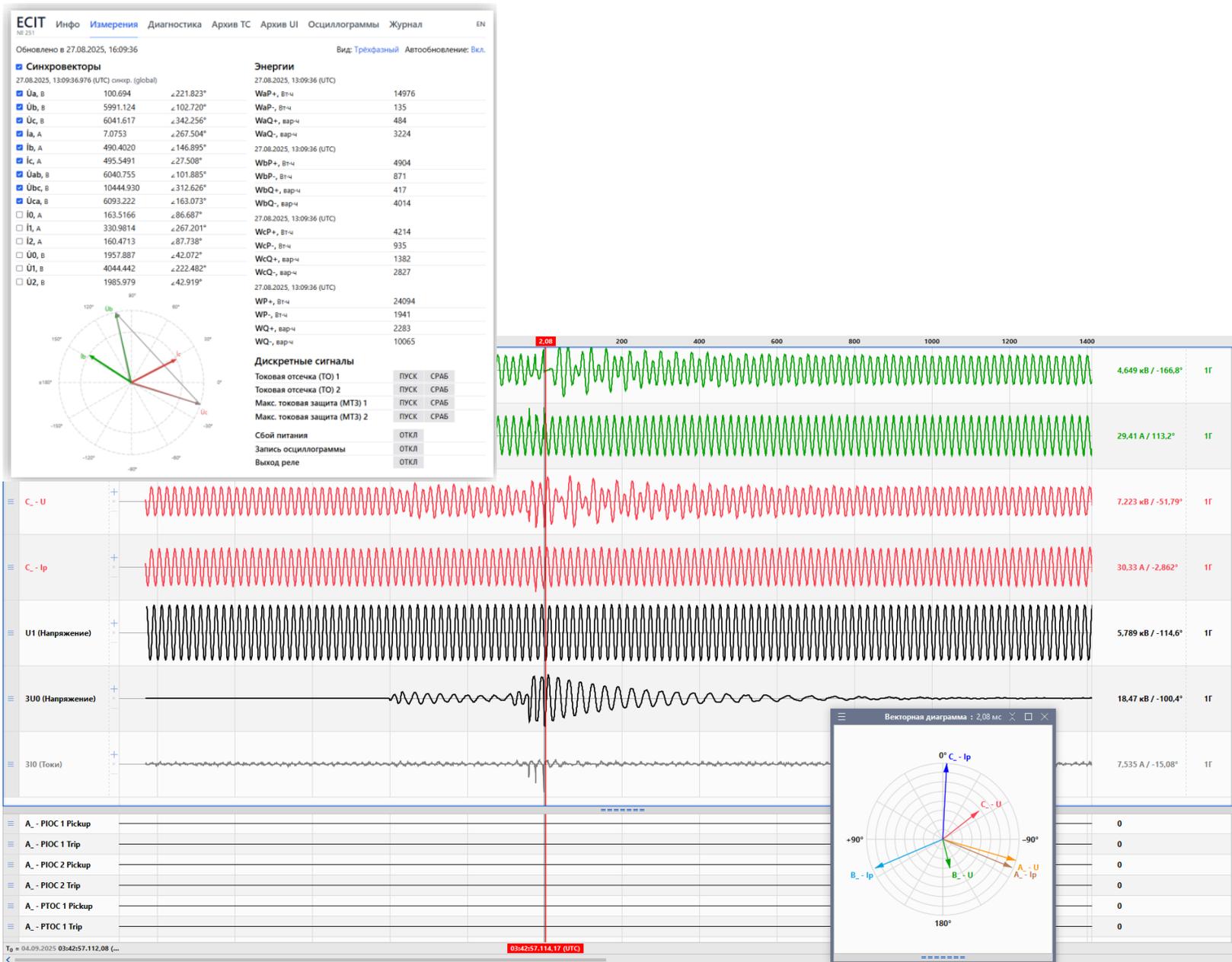
Рис.1 Схема классической организации системы РЗА (а) и системы учета (измерения) электроэнергии (б), интеграция функций РЗА и измерений в цифровой измерительный трансформатор на примере ECIT-1 (в)



ЕСИТ-1 обеспечивает релейную защиту присоединения:

ТО	токовая отсечка (2 ст.)
НМТЗ/У	напр.максимальная токовая защита с пуском по напряжению (2 ст.)
ЗДЗ	защита от дуговых замыканий (по сигналу GOOSE от внешней системы регистрации дуговых замыканий — ЭНМВ-1 + AFS)
Т(Н)ЗНП	направленная ТЗНП
ЗМН	защита минимального напряжения
ЗПН	защита от повышения напряжения
ЗОП	защита от обрыва провода
ЛЗШ	логическая защита шин
КН	контроль нагрузки
КОН	контроль отсутствия напряжения
КНН	контроль наличия напряжения
УРОВ	устройство резервирования отказа выключателя





<http://192.168.0.29>

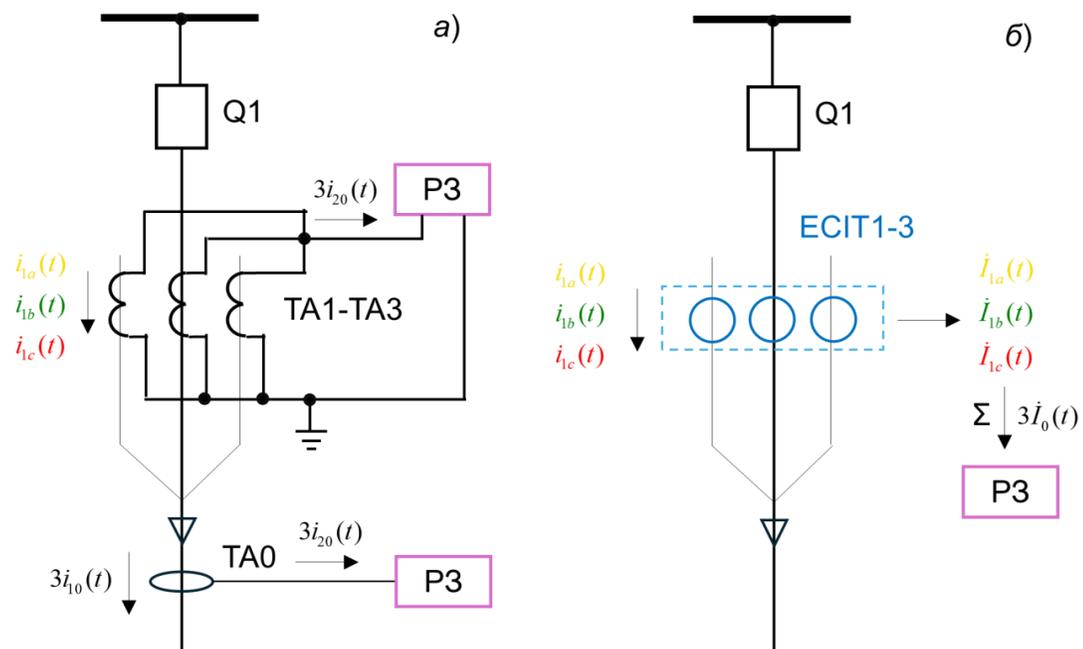


Рис.1 Способы измерений тока НП: а) классические схемы измерения тока НП для электромагнитных ТТ; б) схема измерений на основе цифрового ТТ

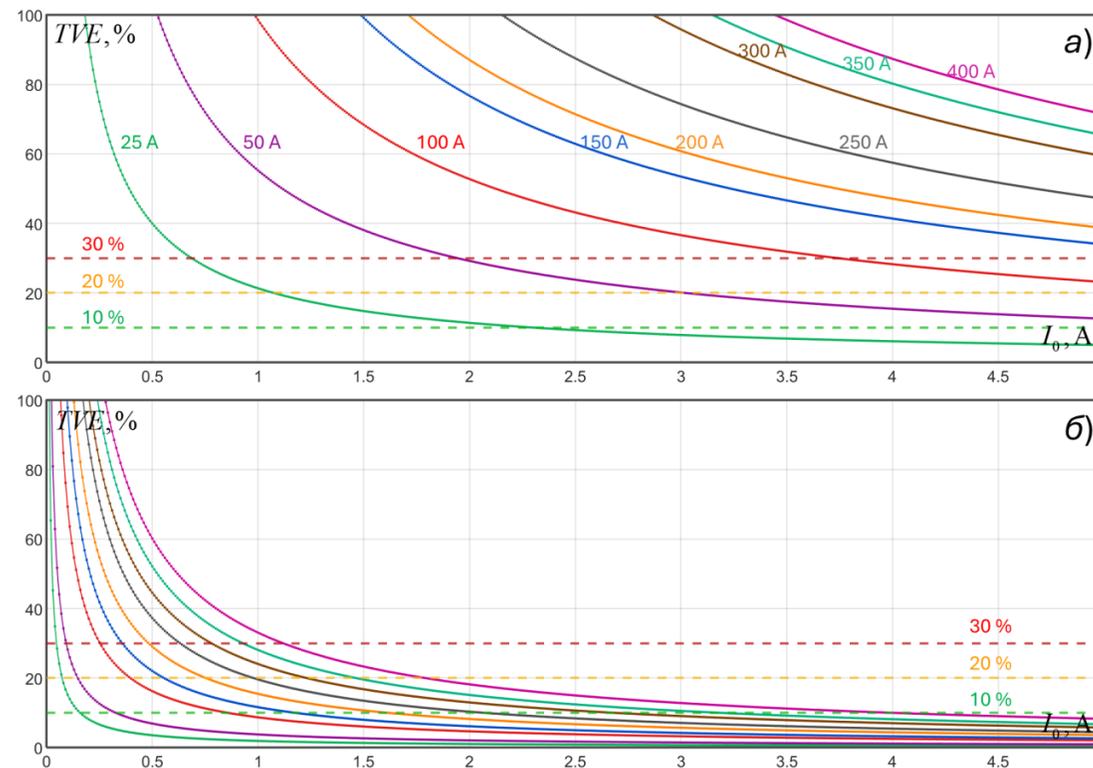


Рис.2 Оценка максимальной погрешности измерений тока НП трехфазной группой цифровых ТТ: а) без калибровки; б) с калибровкой при разных уровнях нагрузки

Таблица 1 Типовые соотношения для емкостных токов кабельных линий

Присоединение	Номинальный ток, А	Емкостный ток, А
Кабельная линия до 1 км	100-200	1-5
Кабельная линия до 1-5 км	150-300	5-20
Кабельная линия до 5-10 км	200-400	20-50
Сборные шины РУ	500-1000	30-100

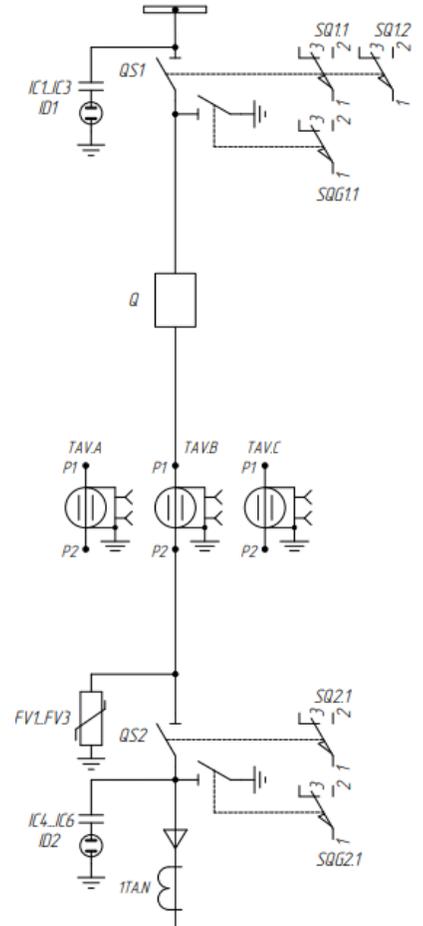


Рис.1 В составе ретрофита КСО-200 (ВМП-10, ПП-67 и РТМ)

Рис.2 В составе нового тех.присоединения КСО-288 (ВВ)

1. С появлением цифровых измерительных трансформаторов меняется топология измерительного канала защиты и функциональные назначения его компонентов. Части функций устройств релейной защиты могут быть перенесены в первичный преобразователь (цифровой измерительный трансформатор).
2. Использование в шине процесса вместо SV-потока мгновенных значений потока синхровекторных измерений (SP-потока) позволит значительно повысить пропускную способность сети передачи-данных шины процесса(мультишины) и снизить требования к вычислительной мощности конечных устройств, реализующих функции РЗА за счет того, что вся обработка входного сигнала и определение значений модуля и аргумента(фазы) комплексной амплитуды уже произведена непосредственно в самом измерительном трансформаторе.
3. Развитие теории и практики СВИ позволяет встраивать функционал устройств релейной защиты и автоматики непосредственно в цифровые измерительные трансформаторы, что очевидным образом сказывается на повышении надежности работы систем РЗА и энергосистем в целом. Позволяет реализовывать резервирование и многоуровневость систем РЗА.



Научно-практическая конференция
«Релейная защита и автоматизация энергосистем.
Совершенствование эксплуатации и перспективы развития»
XXVII Международный форум «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ 2025»



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

ПРИГЛАШАЕМ ПОСЕТИТЬ
НАШ ВЫСТАВОЧНЫЙ СТЕНД



Ульянов Дмитрий Николаевич

*директор департамента энергетических технологий
ООО "Инженерный центр "Энергосервис"*

*аспирант кафедры «Электроэнергетика и электротехника»
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В.
Ломоносова*

d.ulyanov@ens.ru



инженерный центр
энергосервис

