



КАЗАНЬ, 1 – 3 ОКТЯБРЯ

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ – 2025

ES инженерный центр
энергосервис

**Преимущества применения
комбинированных цифровых
трансформаторов тока и напряжения с
поддержкой СВИ в системах защиты,
автоматики, мониторинга и управления**

Ульянов Дмитрий Николаевич

Директор департамента энергетических технологий

ООО «Инженерный центр «Энергосервис»

Россия



Усложнение методики выбора и проверки ТТ, направленное на обеспечение правильности работы РЗА во исполнении требований Письма от 2 апреля 2019 года №ЧА-3440/10 «О мерах по недопущению неправильной работы устройств релейной защиты». Министерство энергетики Российской Федерации.

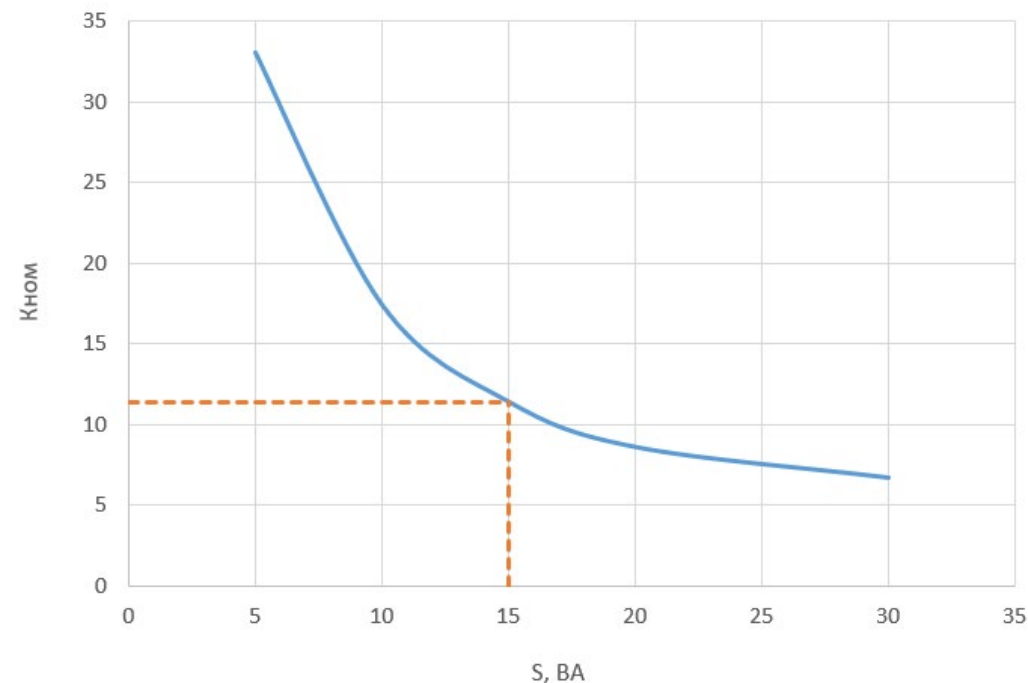
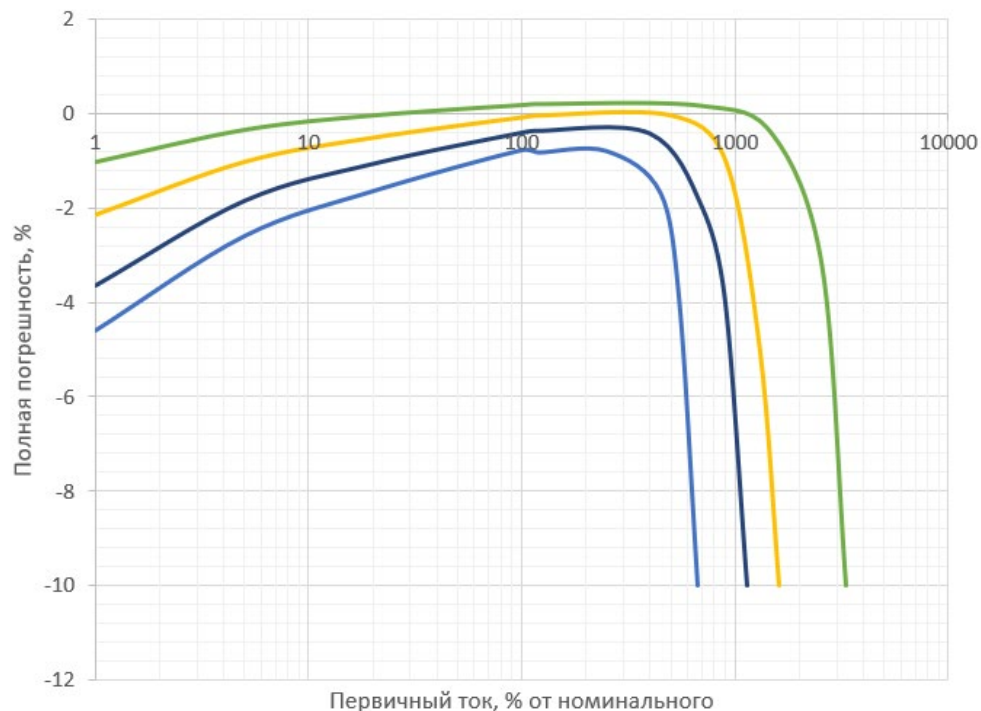
- ГОСТ Р 70507.2-2024. Трансформаторы измерительные. Технические условия на трансформаторы тока. Часть 2.
- ГОСТ Р 58669-2019. Релейная защита, трансформаторы тока измерительные индуктивные с замкнутым магнитопроводом для защиты. Методические указания по определению времени до насыщения при КЗ.
- ГОСТ Р 71879-2024. Релейная защита, трансформаторы тока измерительные индуктивные для защиты с нормируемой погрешностью в переходных режимах и с ограниченным остаточным потокосцеплением. Методические указания по определению времени до насыщения при КЗ.



Причины проблем



- Насыщение ТТ в зоне предельной кратности от основной гармоник, а так же от ВГ;
- Остаточная намагниченность ТТ (в том числе от нагрузки с высоким уровнем ВГ);
- Существенное влияние вторичной нагрузки ТТ на значение тока предельной кратности;
- Увеличение полной погрешности (TVE) при рабочих токах менее 40% от номинала ТТ;

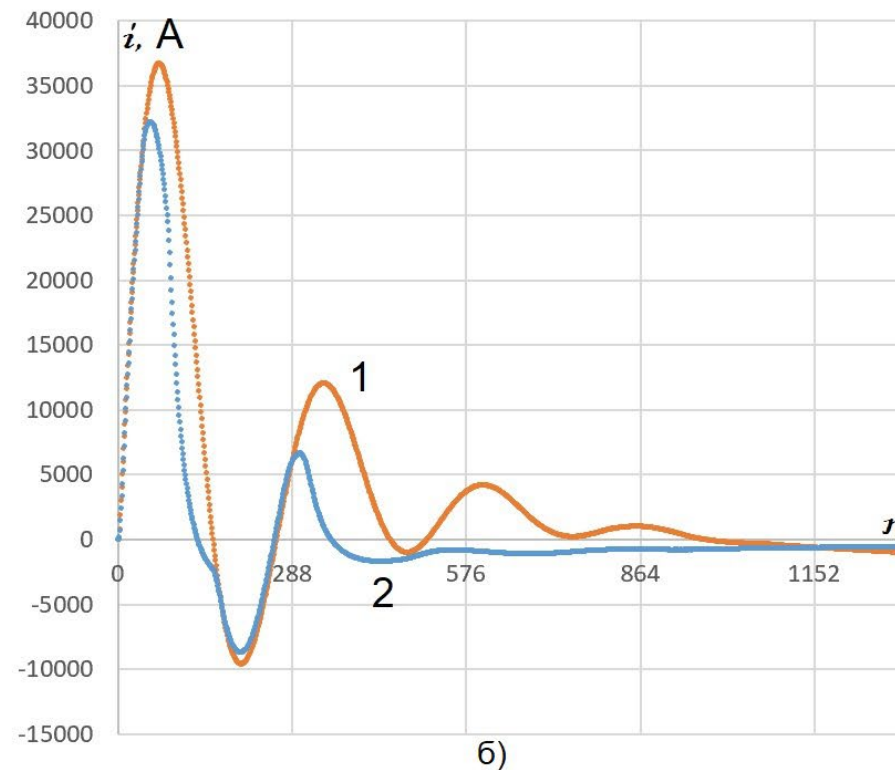
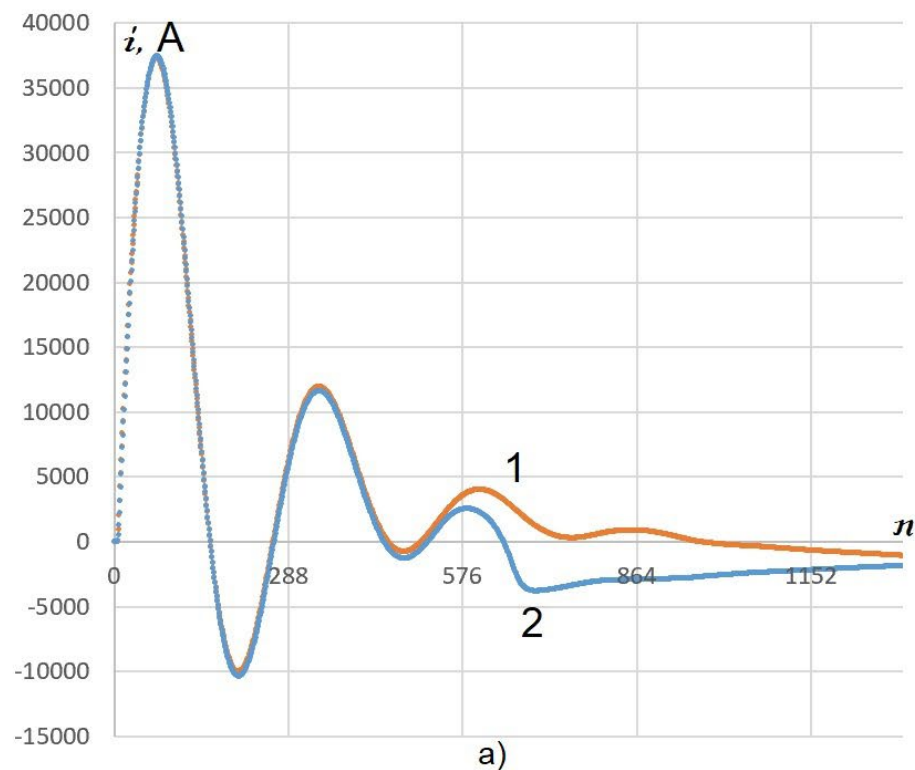




Причины проблем



Насыщение ТТ ТШЛ 1000 А 5Р/20 при различной вторичной нагрузке относительно номинальной 10 ВА а) – 10%, б) – 100%



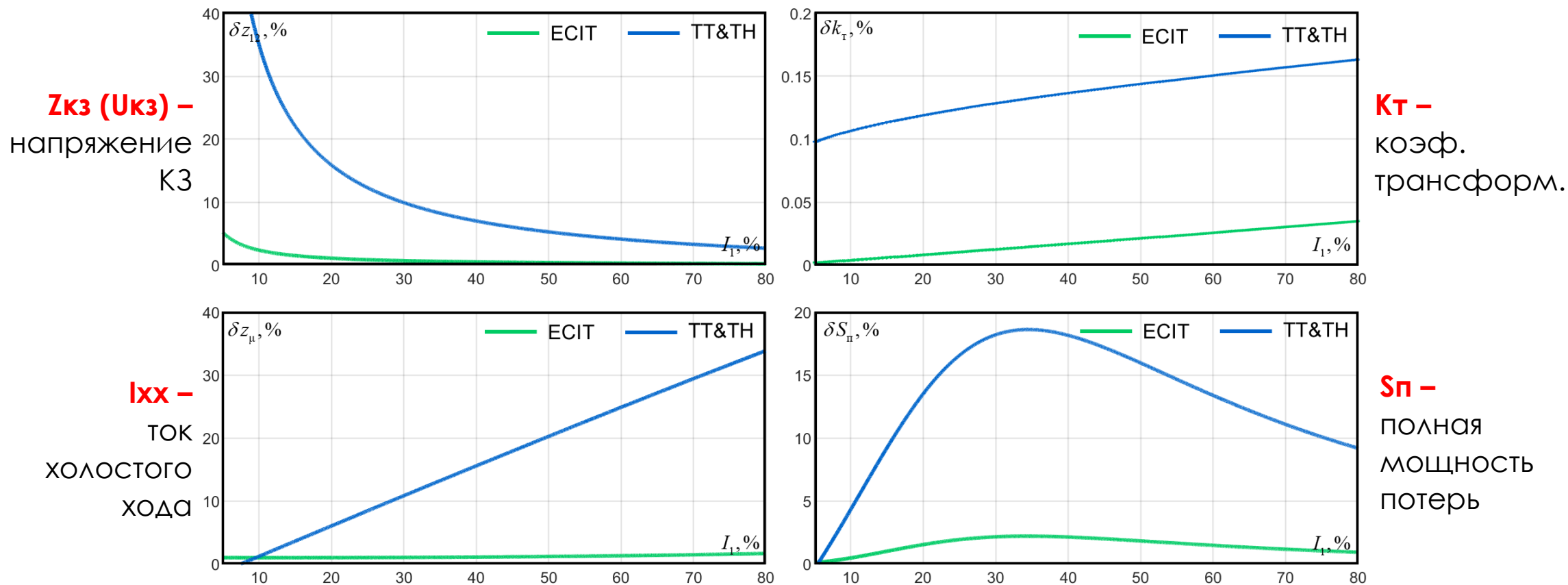
1 – сигнал от источника большого тока МарсТест-ТТ-30-К2,
2 – сигнал на выходе ТТ ТШЛ в пересчете на собственный коэффициент трансформации



Точность систем мониторинга зависит от точности ТТ и ТН



Вычисление параметров схемы замещения силовых трансформаторов в автоматизированной системе мониторинга и технической диагностики (АСМД)



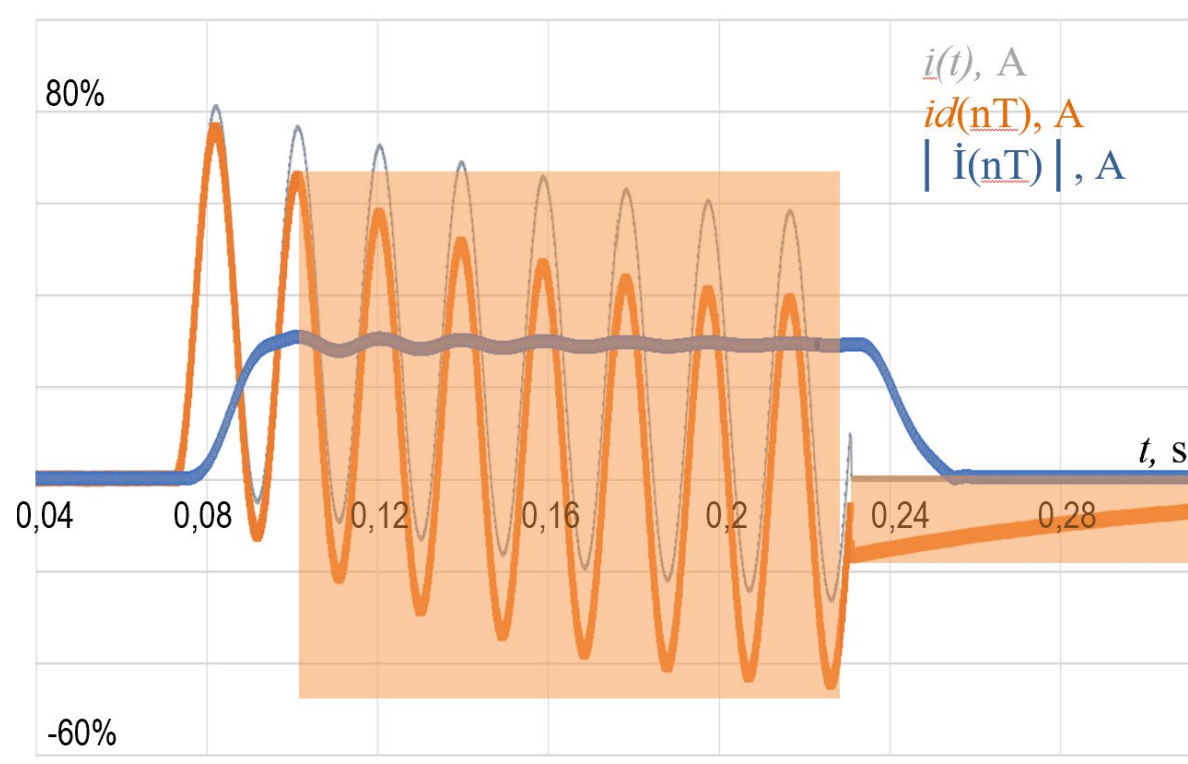
Графики погрешностей вычисления параметров диагностики силовых трансформаторов на базе **традиционных** и **цифровых** ТТ&ТН от величины загрузки



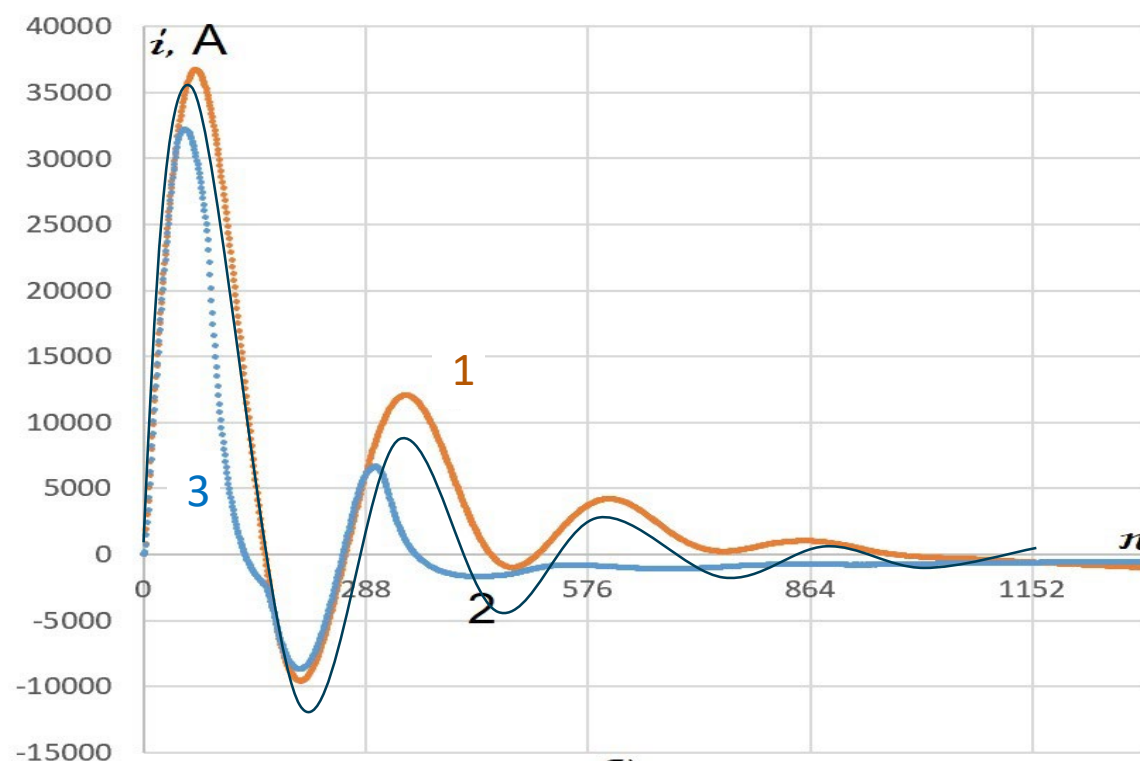
Катушка Роговского как первичный преобразователь тока



На выходе катушки Роговского (КР) сигнал пропорционален производной первичного тока, восстановление спектра входного сигнала на выходе катушки не полностью фильтрует апериодическую составляющую в токе КЗ



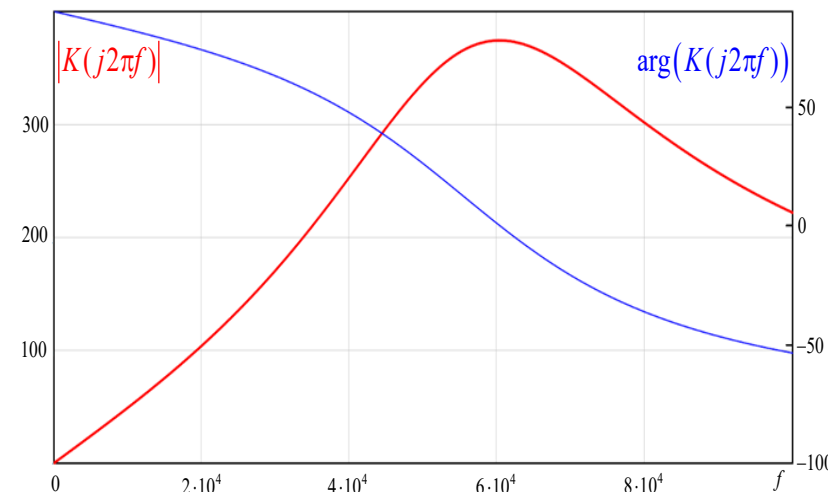
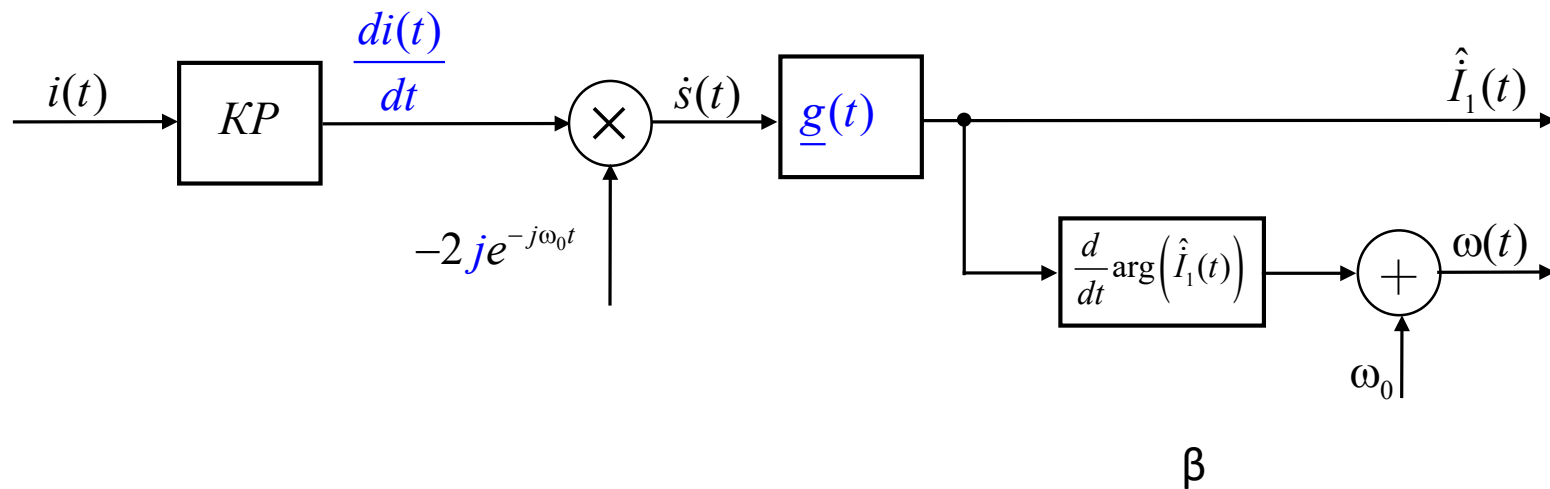
Графики измерений тока в режиме цикла С-О-С-О согласно МЭК ГОСТ Р МЭК 61869-2-2015. Часть 2. Доп. требования к трансформаторам тока



1 – сигнал от источника большого тока МарсТест-ТТ-30-К2,
2 – сигнал на выходе КР, восстановленный,
3 – сигнал на выходе ТТ ТШЛ,



Синхронизированные векторные измерения (СВИ) на базе КР



Структурная схема алгоритма вычисления СВИ тока на базе катушка Роговского (КР), где – $\underline{g}(t)$ комплексная импульсная функция КИХ-фильтра

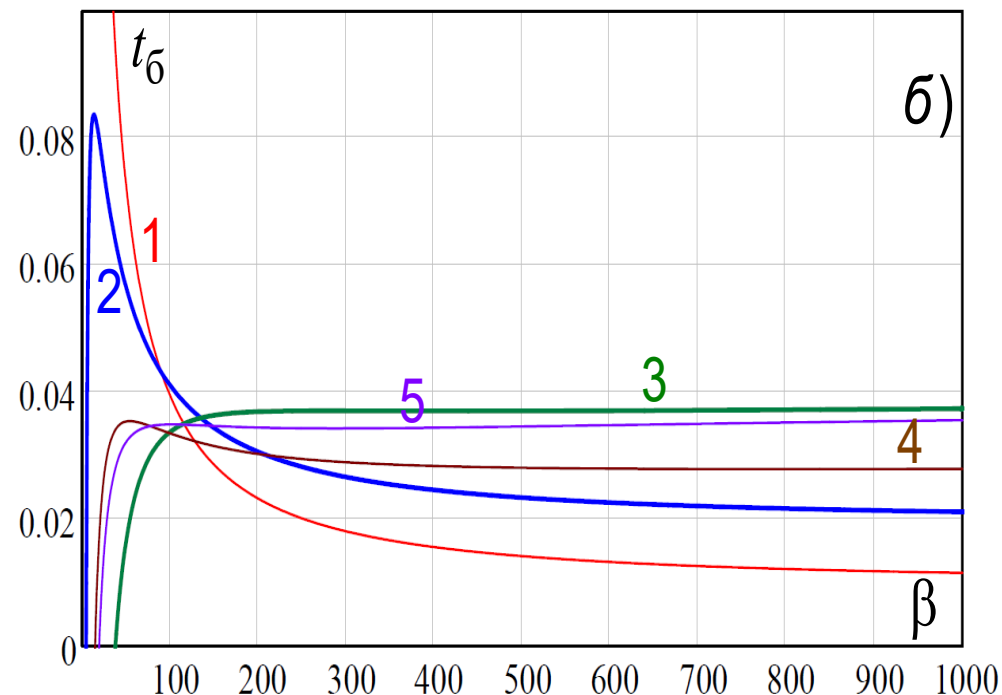
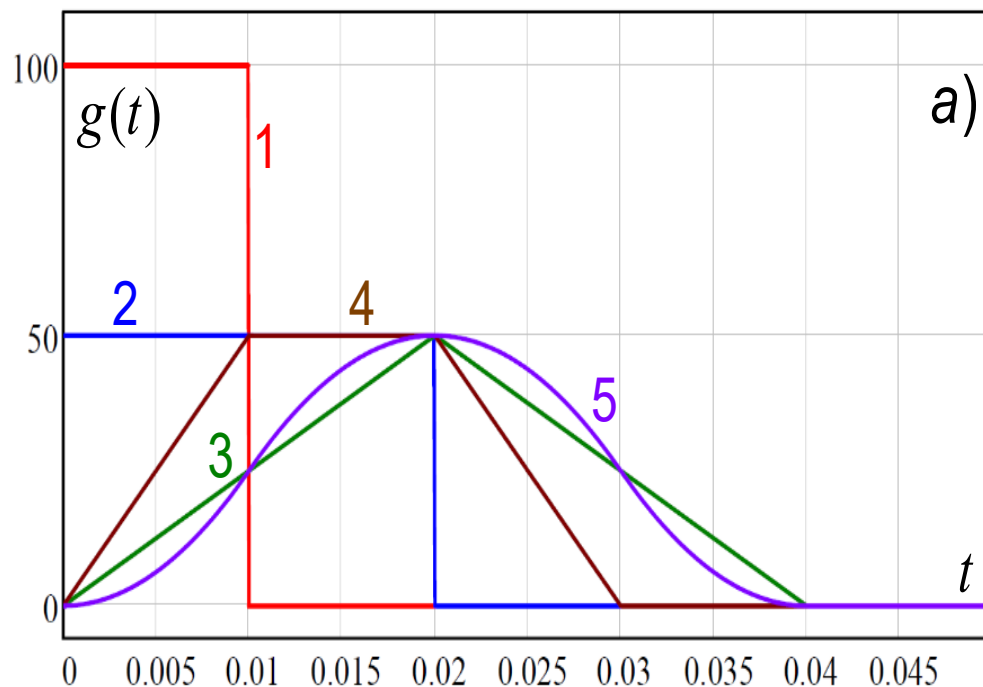
Особенность катушки Роговского в том, что выходной сигнал практически пропорционален производной тока. При этом хорошо подавляются апериодические составляющие с малым значением коэффициента затухания β . Но в распределительных сетях, особенно в кабельных сетях, значение коэффициента затухания может быть несколько сотен и даже несколько тысяч. При $\beta > 0,5\omega_0$ апериодические составляющие будут усиливаться. Также при выборе или синтезе фильтров необходимо учитывать, что в КР происходит усиление высших гармоник пропорционально их частоте.



Усредняющие фильтры



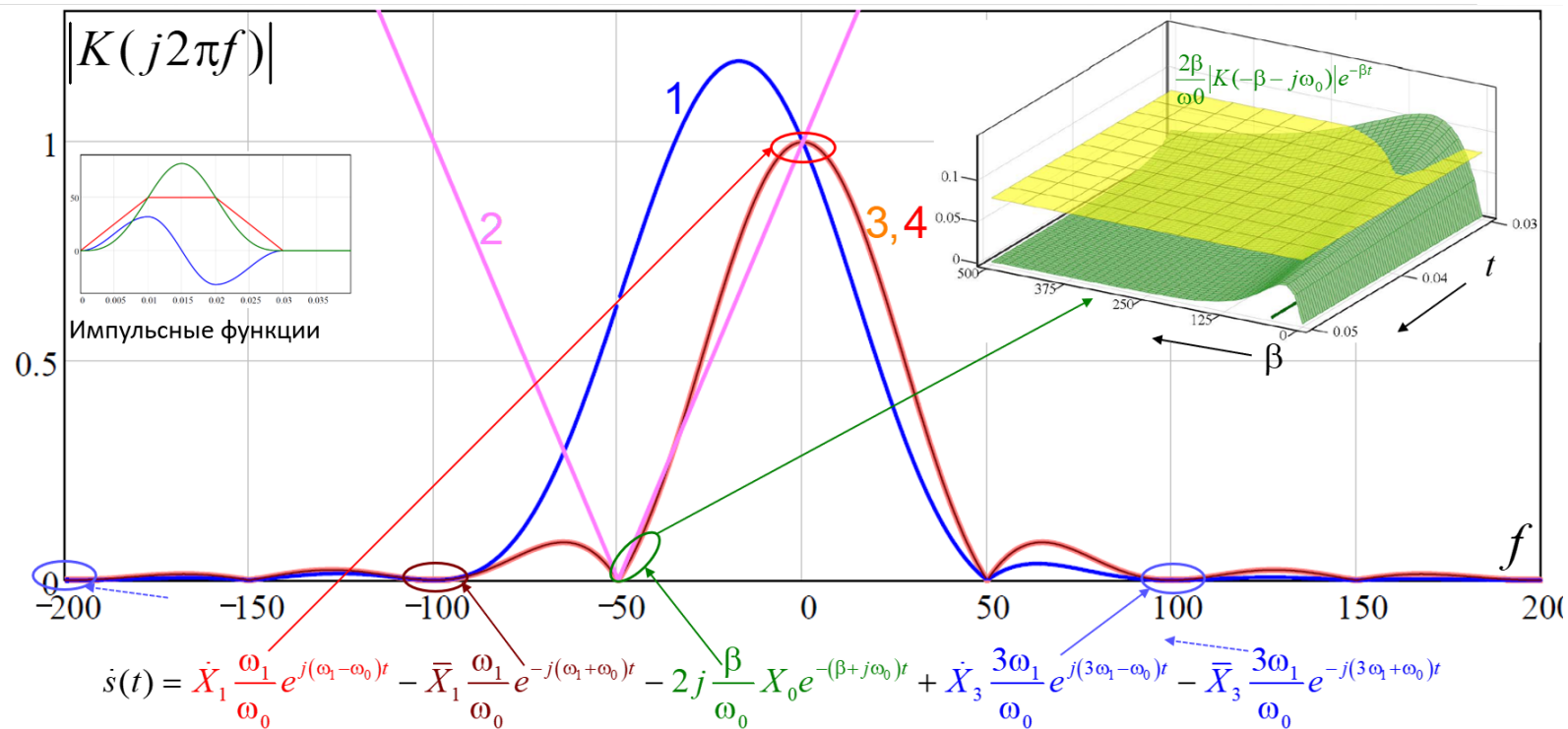
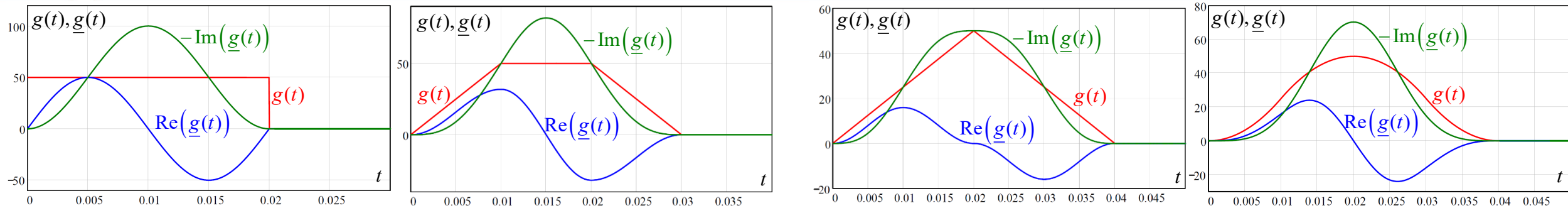
1. Фильтры с прямоугольной формой импульсных характеристик (ИХ) длительностью 10 мс;
2. Фильтры с прямоугольной формой ИХ 20 мс, широко применяются в устройствах РЗ;
3. Треугольный фильтр, рекомендован для реализации УСВИ класса Р;
4. Фильтр с трапецеидальной формой ИХ;
5. Фильтр колоколообразного вида.



Импульсные функции (а) и быстродействие фильтров при допустимой погрешности 10% (б)



Синтез фильтров для вычисления СВИ под требования РЗА



1 АЧХ фильтра с комплексной импульсной функцией, полученного от фильтра с трапецидальной ИХ

2 смещенная АЧХ катушки Роговского

3 АЧХ фильтра с трапецидальной ИХ



Импульсная функция фильтра

$$\underline{g}_i(t) = \dot{G}_i e^{\rho_i t} - \dot{G}_i e^{\rho_i T_i} e^{-\rho_i(t-T_i)}$$

$$\rho_i = -\alpha_i + j\omega_i$$

Передаточная функция фильтра

$$\underline{K}_i(p) = \frac{\dot{G}_i}{p - \rho_i} \left(1 - e^{-(p - \rho_i)T_i} \right)$$

Параллельное соединение

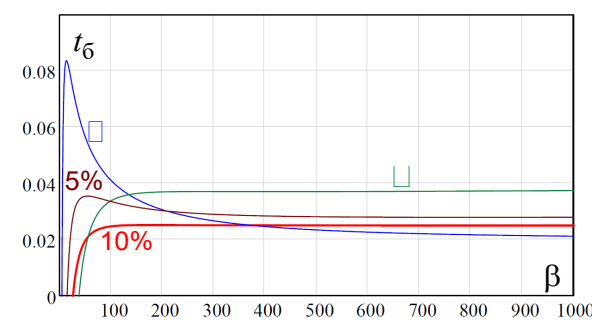
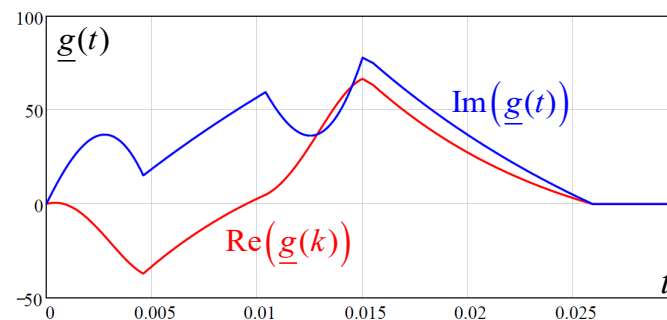
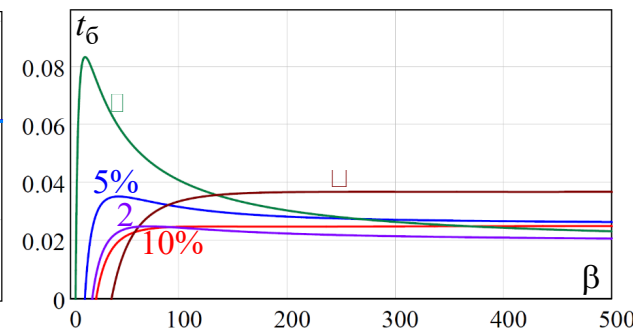
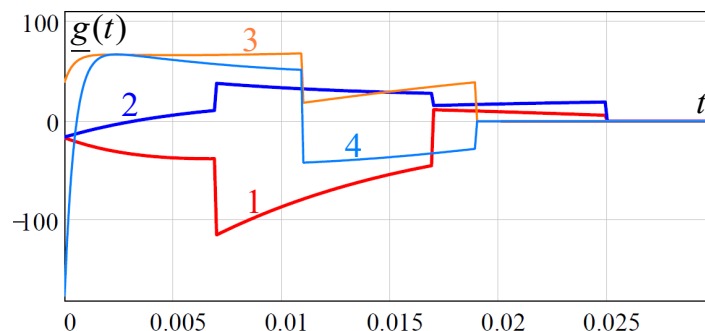
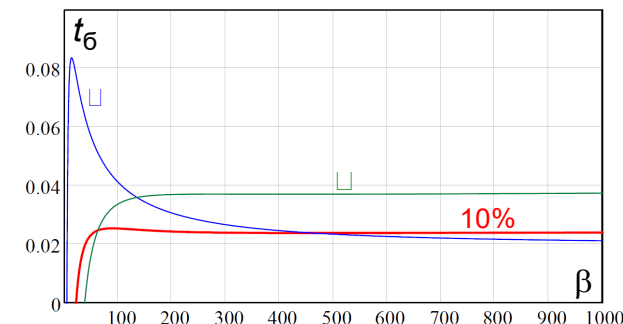
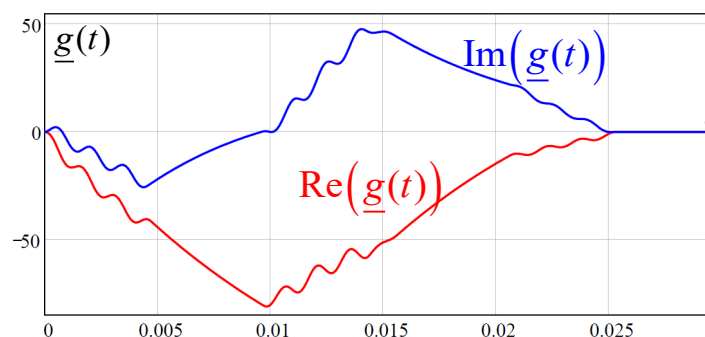
$$\underline{K}(p) = \sum_{i=1}^3 \underline{K}_i(p)$$

Последовательное

$$\underline{K}(p) = \prod_{i=1}^3 \underline{K}_i(p)$$

Смешанное

$$\underline{K}(p) = (\underline{K}_1(p) + \underline{K}_2(p)) \underline{K}_3(p)$$

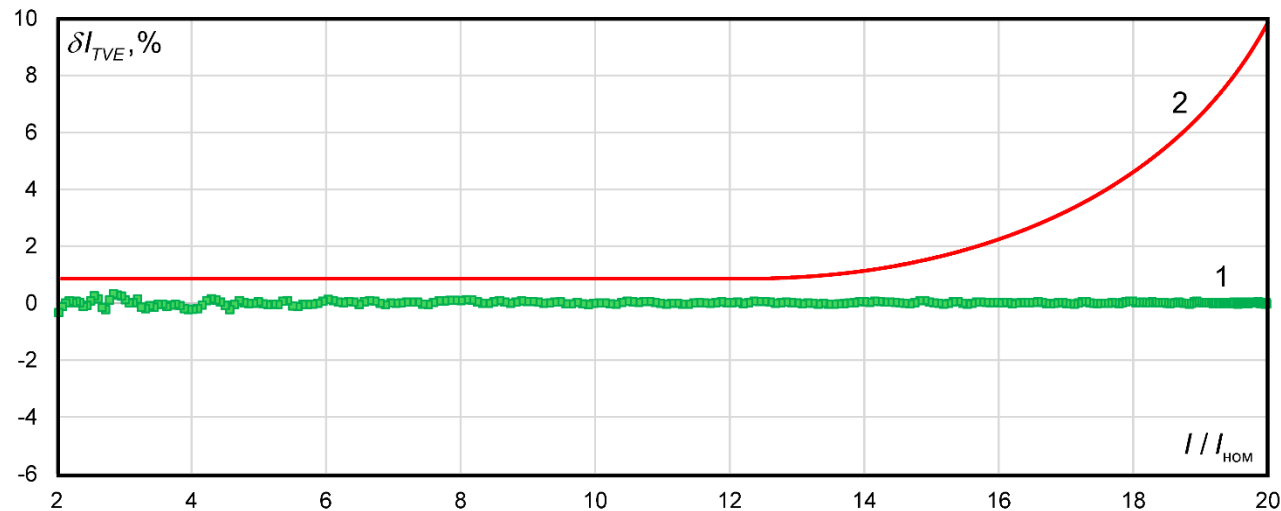




Оценка точности комплексных сопротивлений линий

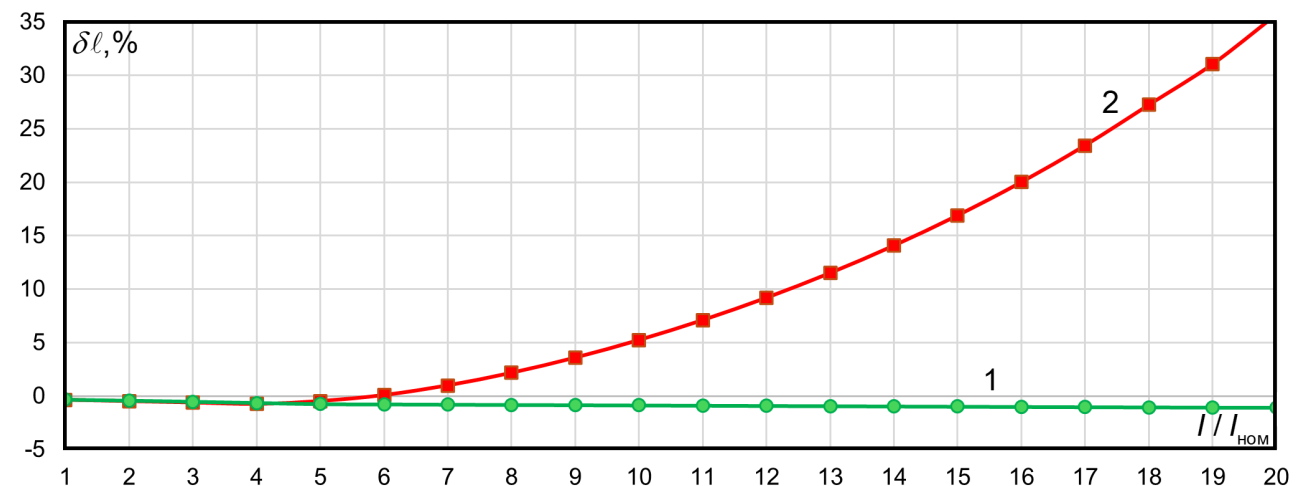


Характеристика полной погрешности измерений тока



1 – ЦТТ, 2 – традиционные ТТ 10Р

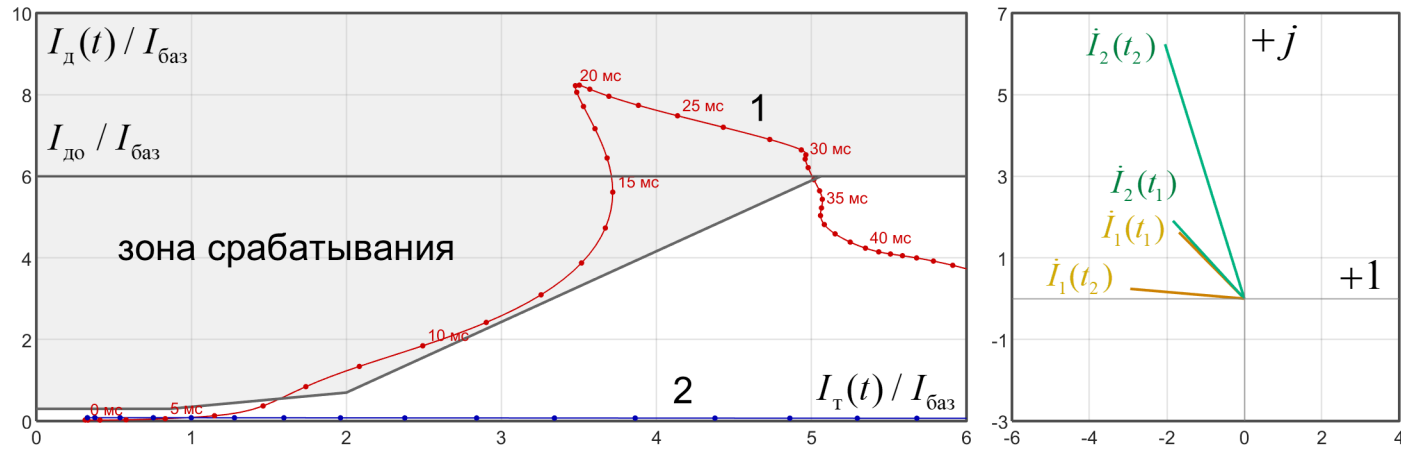
Сравнение результатов оценки расстояния до точки КЗ (ОМП)



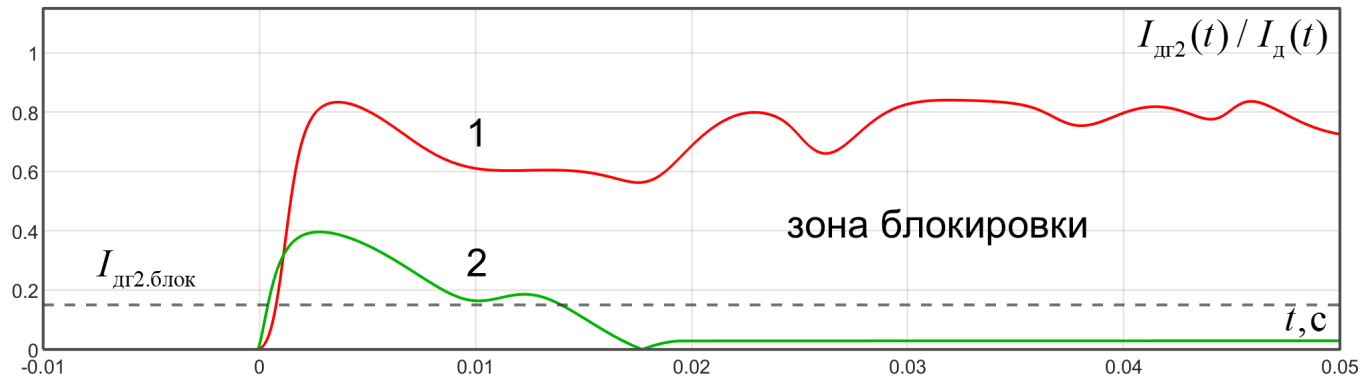
1 – ЦТТНК, 2 – традиционные ТТ 10Р и ТН 3Р



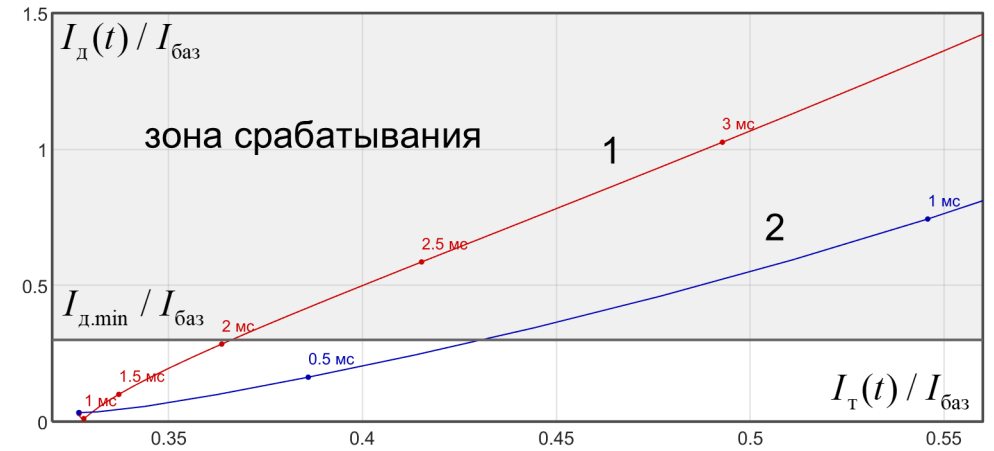
Характеристики срабатывания ДЗТ



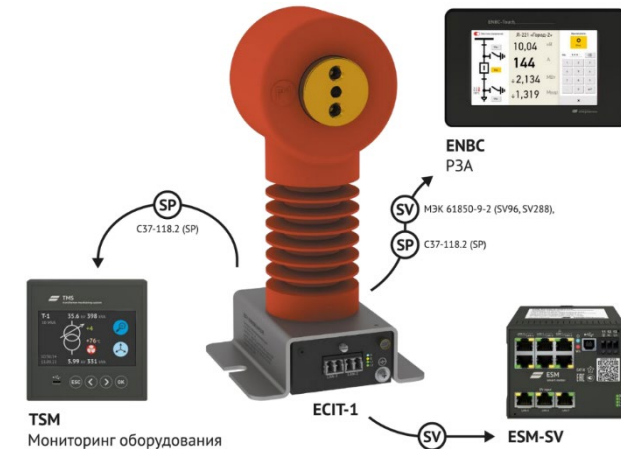
Хар-ка срабатывания ДЗТ при внешнем КЗ:
1 – традиционный ТТ, 2 – цифровой ТТ



Оценка 2-ой гармоники тока СТ при КЗ ВН:
1 – традиционный ТТ, 2 – цифровой ТТ



Хар-ка ДЗТ при КЗ ВН:
1 – традиционный ТТ, 2 – цифровой ТТ



Комбинированный цифровой измерительный трансформатор ECIT



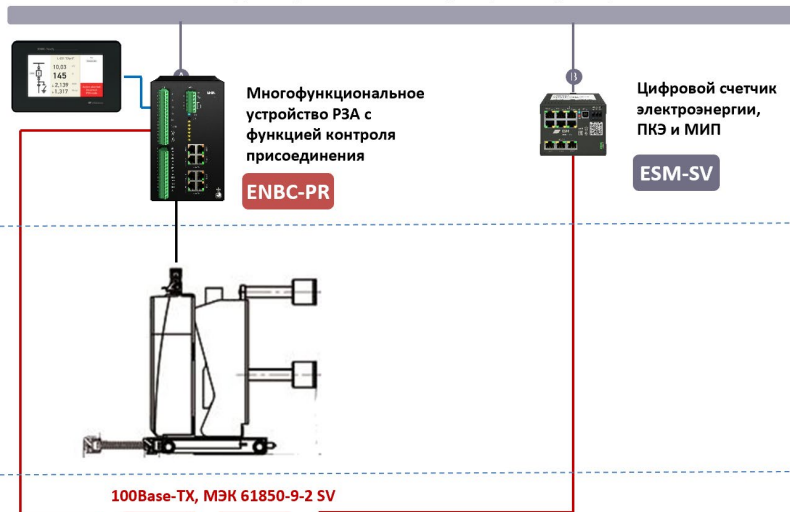
ЦИФРОВАЯ ЯЧЕЙКА



Цифровая ячейка
6-10кВ
на базе ПТК ES-GEAR

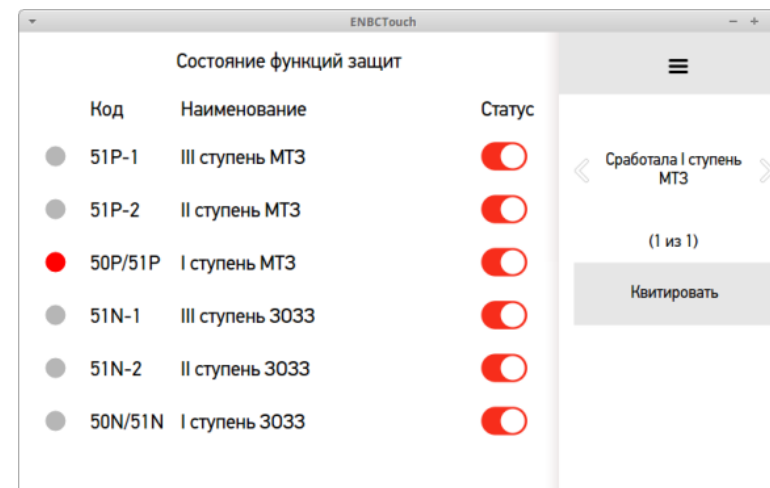
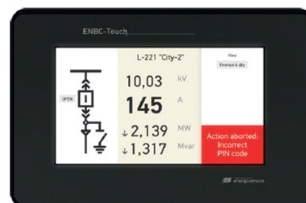
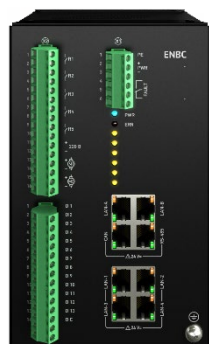


ШИНА ПОДСТАНЦИИ МЭК 61850-8-1 (MMS, GOOSE), SNTP, РТР



Комбинированный трансформатор тока и напряжения с двумя цифровыми шинами стандарта: 100Base-TX (МЭК 61850-9-2LE)

ECIT-1





Преимущества цифровых ТТ и ТН с поддержкой СВИ



- Отсутствие негативных явлений, таких как насыщение магнитопровода и феррорезонанс, приводит к повышению точности и диапазона измерений.
 - Упрощение методики выбора типов измерительного оборудования, т.к. не требуется поэтапного подбора первичных номинальных значений в широком диапазоне измерений с учетом коэффициента предельной кратности и нагрузки вторичных цепей.
 - Обеспечение высокого уровня резервирования (в т.ч. дублирования) функций релейной защиты и автоматики на всех уровнях присоединений в электроустановке.
 - Повышение быстродействия отключения КЗ в линиях по дистанционному принципу и КЗ в силовых трансформаторах по дифференциальному принципу.
 - Повышение точности ОМП и определения ОЗЗ для комбинированных измерительных трансформаторов.
-
- Использование в шине процесса вместо SV-потока мгновенных значений потока синхровекторных измерений (SP-потока) позволит значительно повысить пропускную способность сети передачи-данных шины процесса и снизить требования к вычислительной мощности конечных устройств, реализующих функции РЗА.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

d.ulyanov@ens.ru, +7-911-591-85-91