



КАЗАНЬ, 1 – 3 ОКТЯБРЯ

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ – 2025

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





Проблематика применения традиционных ТТ



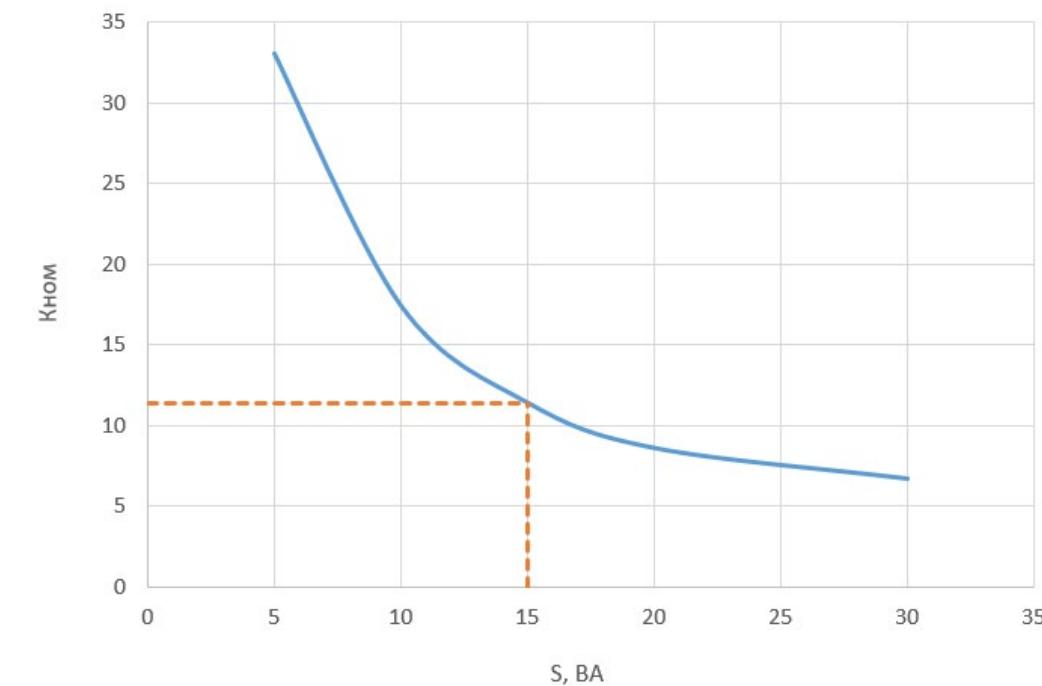
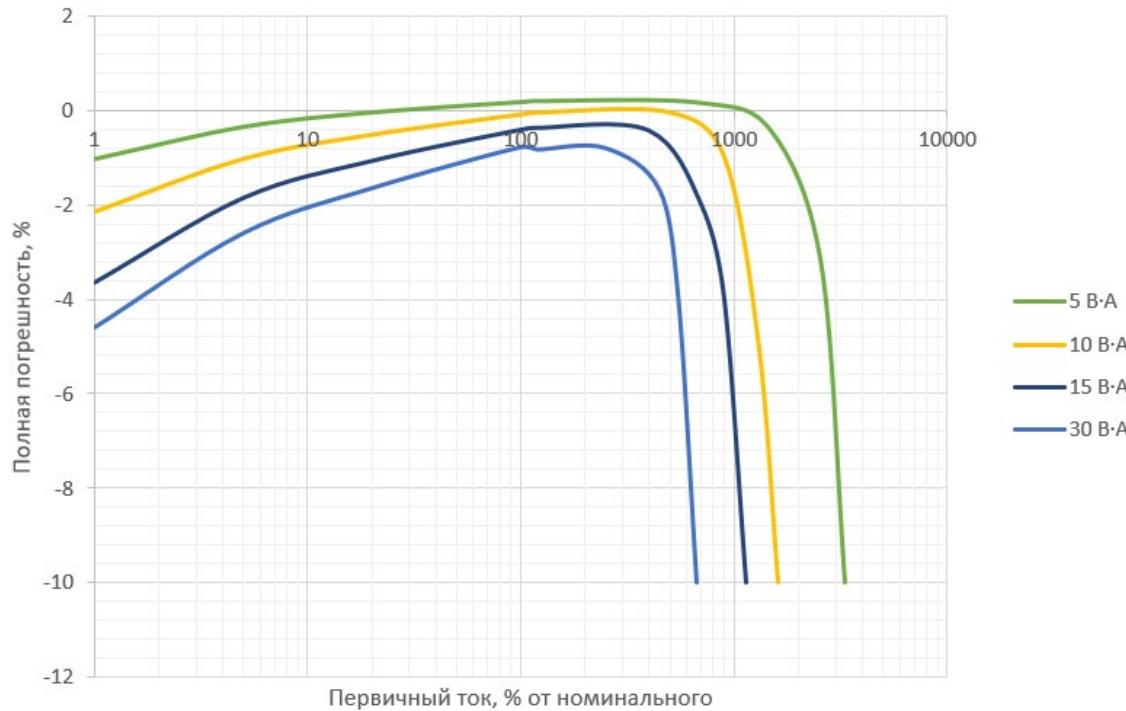
Усложнение методики выбора и проверки ТТ, направленное на обеспечение правильности работы РЗА во исполнении требований Письма от 2 апреля 2019 года №ЧА-3440/10 «О мерах по недопущению неправильной работы устройств релейной защиты». Министерство энергетики Российской Федерации.

- 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

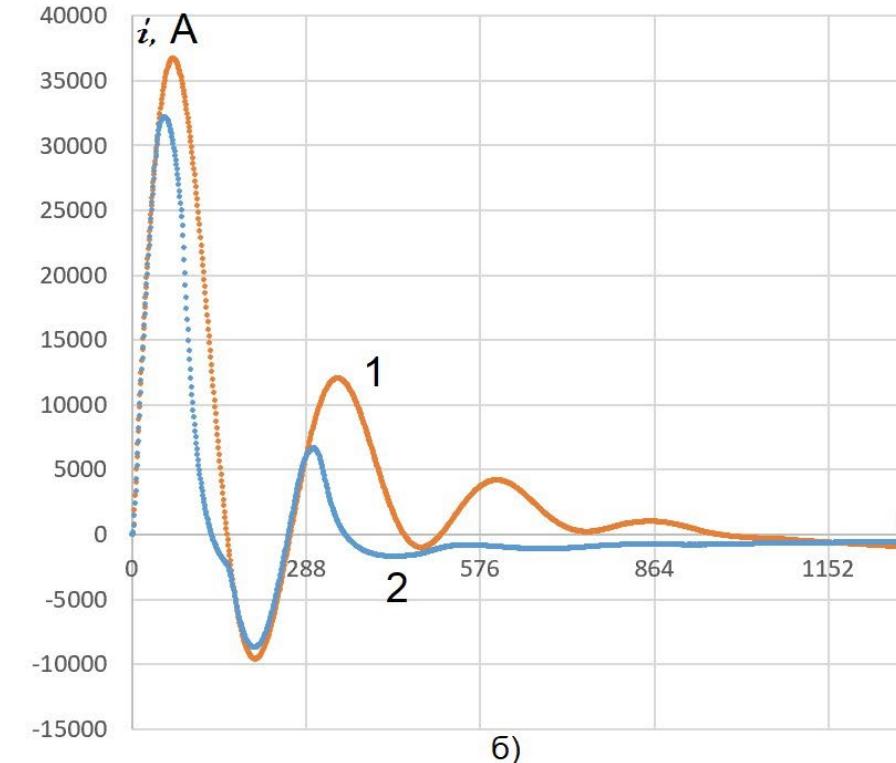
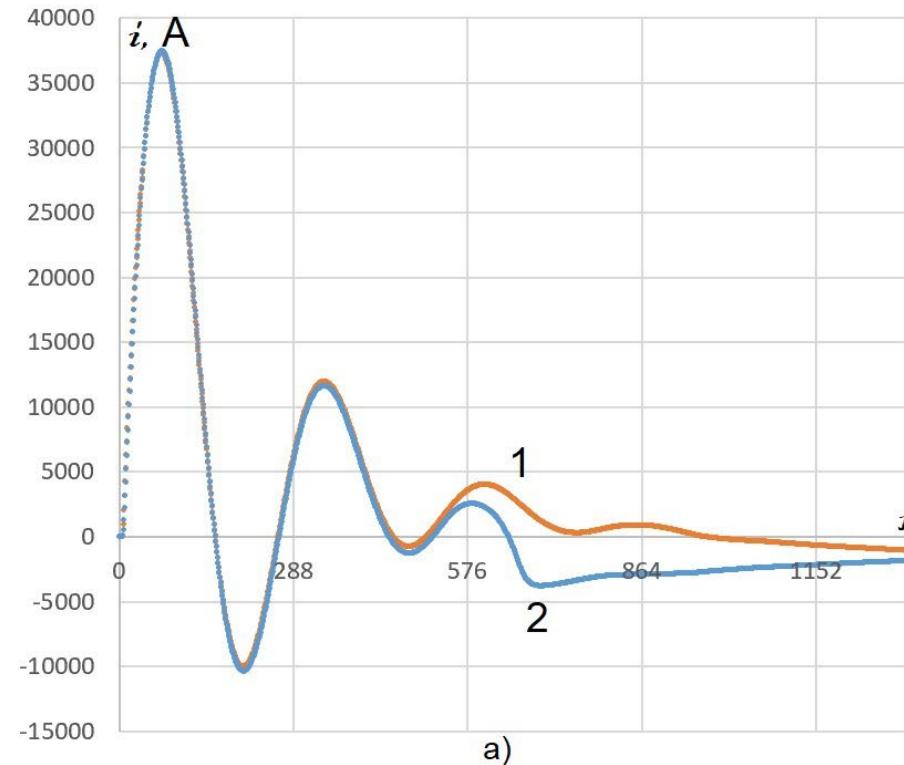
- Насыщение ТТ в зоне предельной кратности от основной гармоники, а так же от ВГ;
- Остаточная намагнченность ТТ (в том числе от нагрузки с высоким уровнем ВГ);
- Существенное влияние вторичной нагрузки ТТ на значение тока предельной кратности;
- Увеличение полной погрешности (TVE) при рабочих токах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





Причины проблем

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

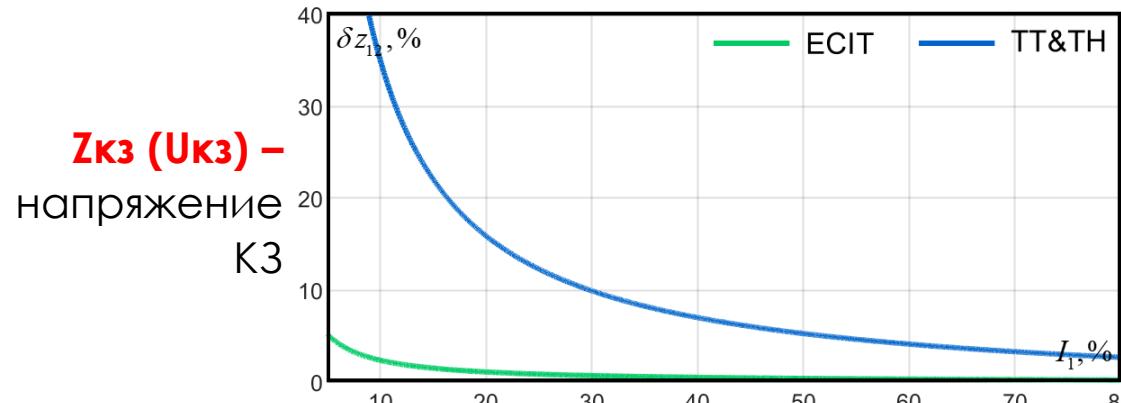


1 – сигнал от источника большого тока МарсТест-ТТ-30-К2,
2 – сигнал на выходе ТТ ТШЛ в пересчете на собственный
коэффициент трансформации

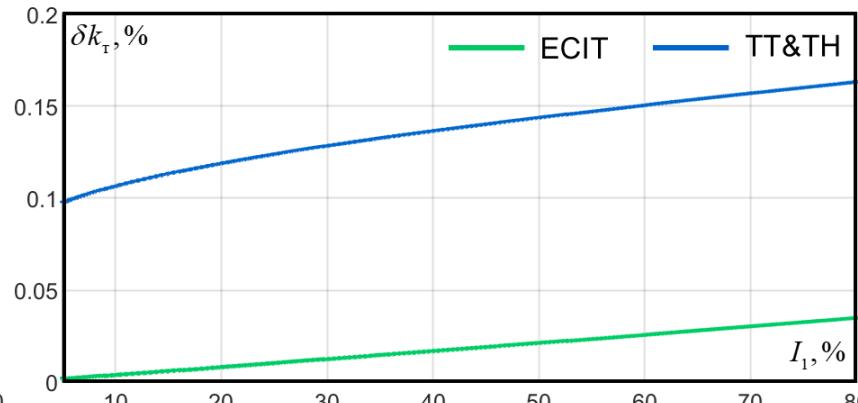


Точность систем мониторинга зависит от точности ТТ и ТН

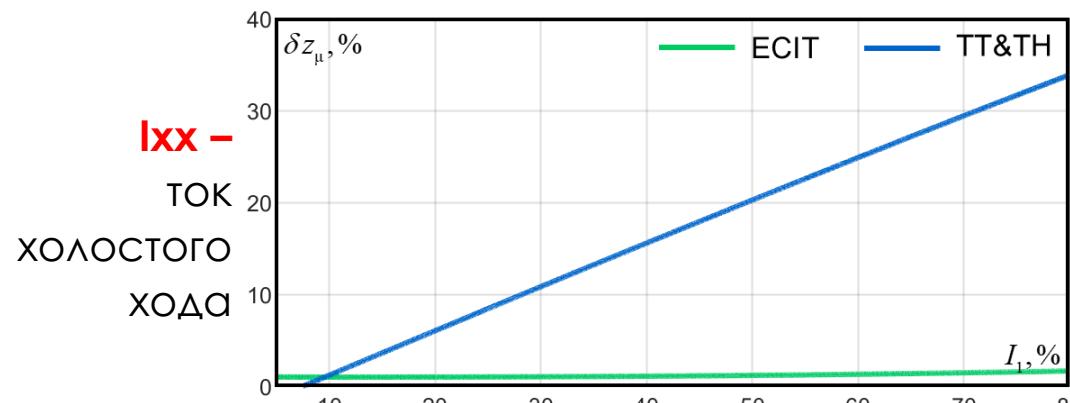
Вычисление параметров схемы замещения силовых трансформаторов в автоматизированной системе мониторинга и технической диагностики (АСМД)



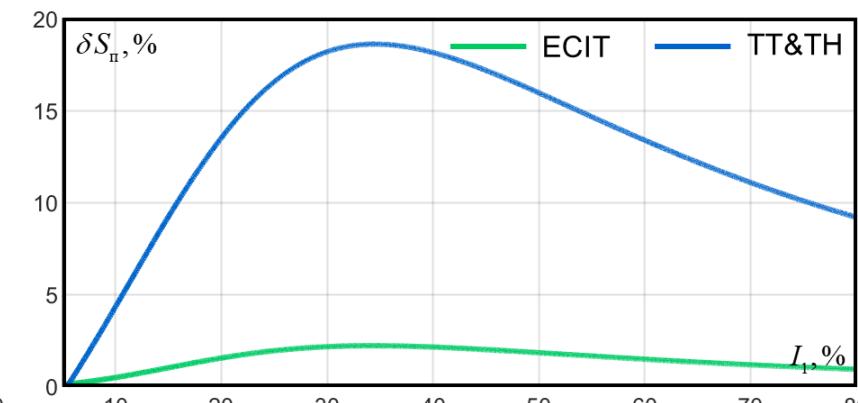
Зкз (Uкз) –
напряжение
КЗ



Кт –
коэф.
трансформ.



Iхх –
ток
холостого
хода



Sп –
полная
мощность
потерь

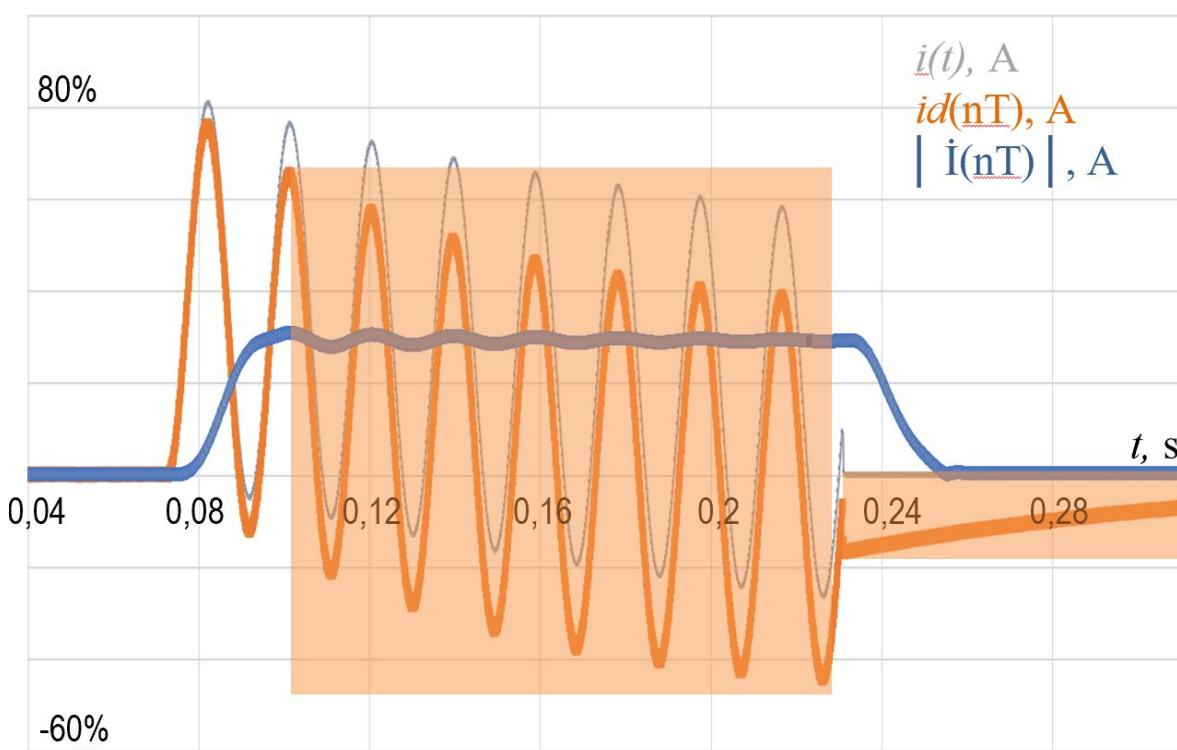
Графики погрешностей вычисления параметров диагностики силовых трансформаторов на базе **традиционных** и **цифровых** ТТ&ТН от величины загрузки



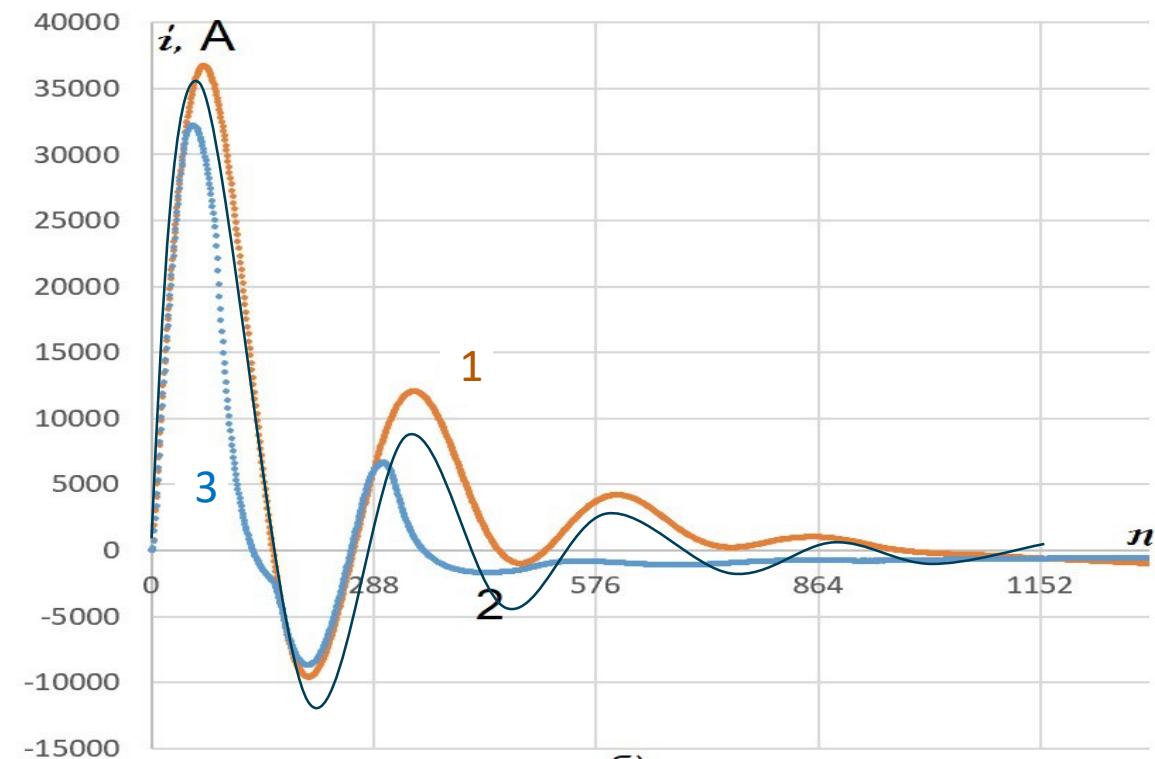
Катушка Роговского как первичный преобразователь тока



На выходе катушки Роговского (КР) сигнал пропорционален производной первичного тока, восстановление спектра входного сигнала на выходе катушки не полностью фильтрует апериодическую составляющую в токе К3



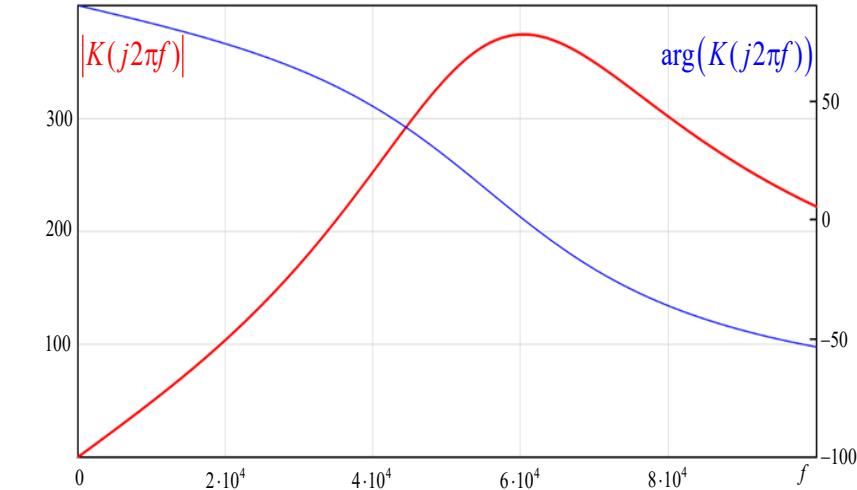
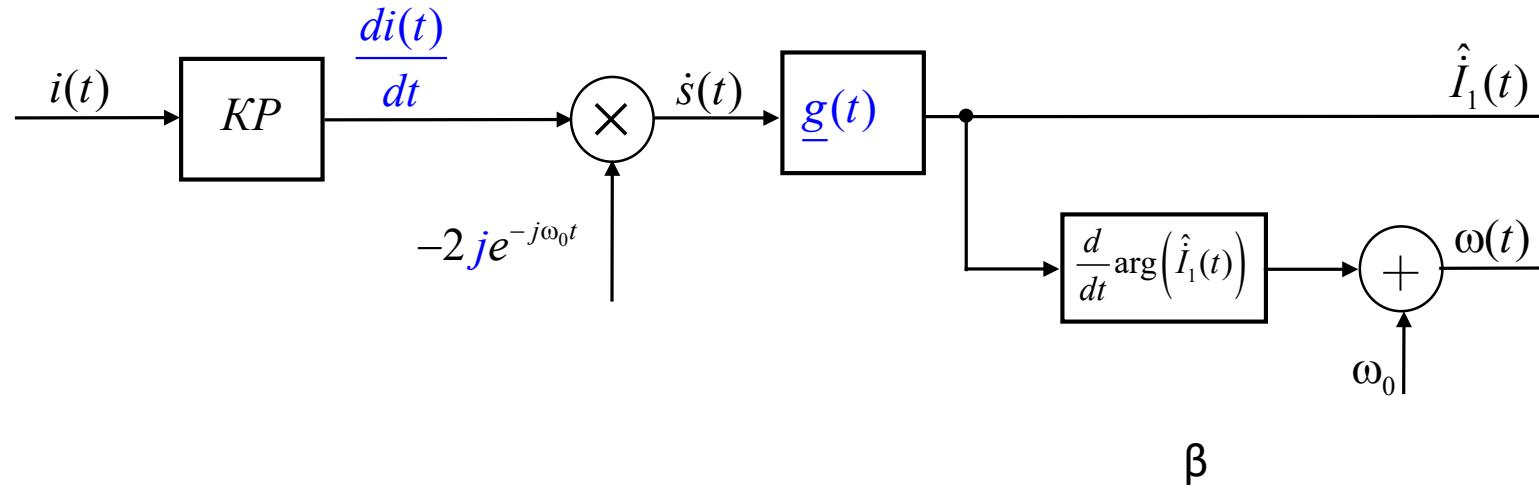
Графики измерений тока в режиме цикла С-О-С-О согласно МЭК ГОСТ Р МЭК 61869-2-2015. Часть 2. Доп. требования к трансформаторам тока



- 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

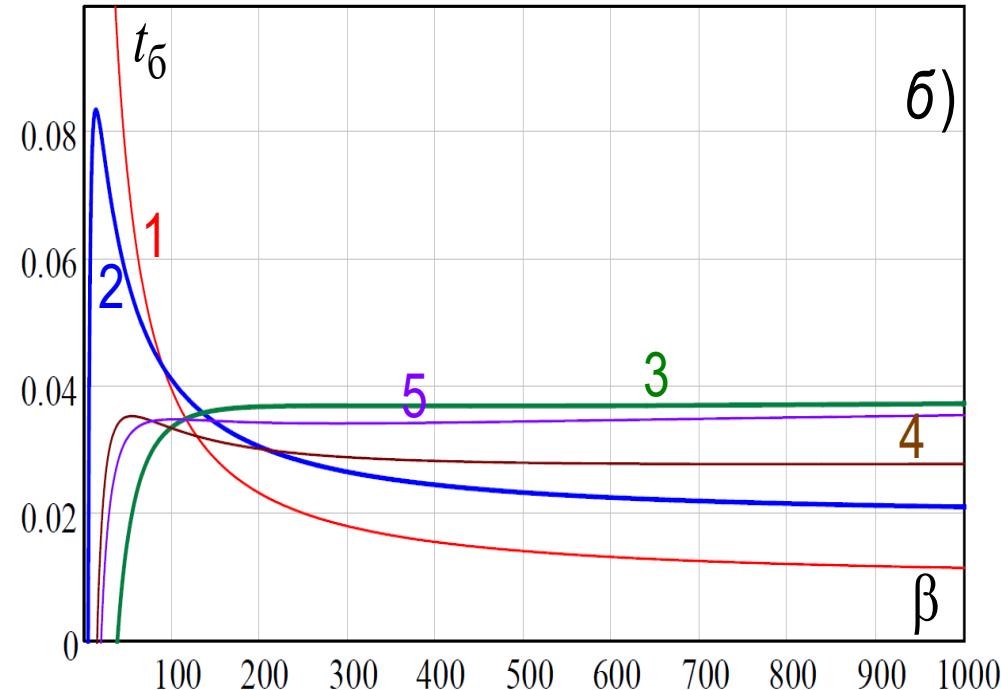
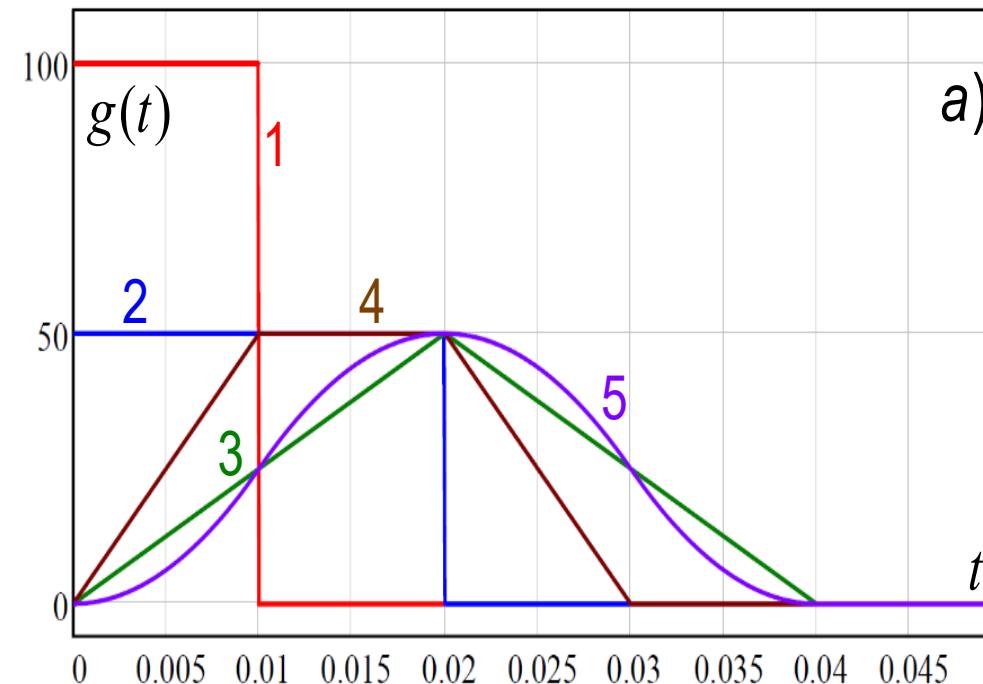


Структурная схема алгоритма вычисления СВИ тока на базе катушки Роговского (КР),
где – $\underline{g}(t)$ комплексная импульсная функция КИХ-фильтра

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.



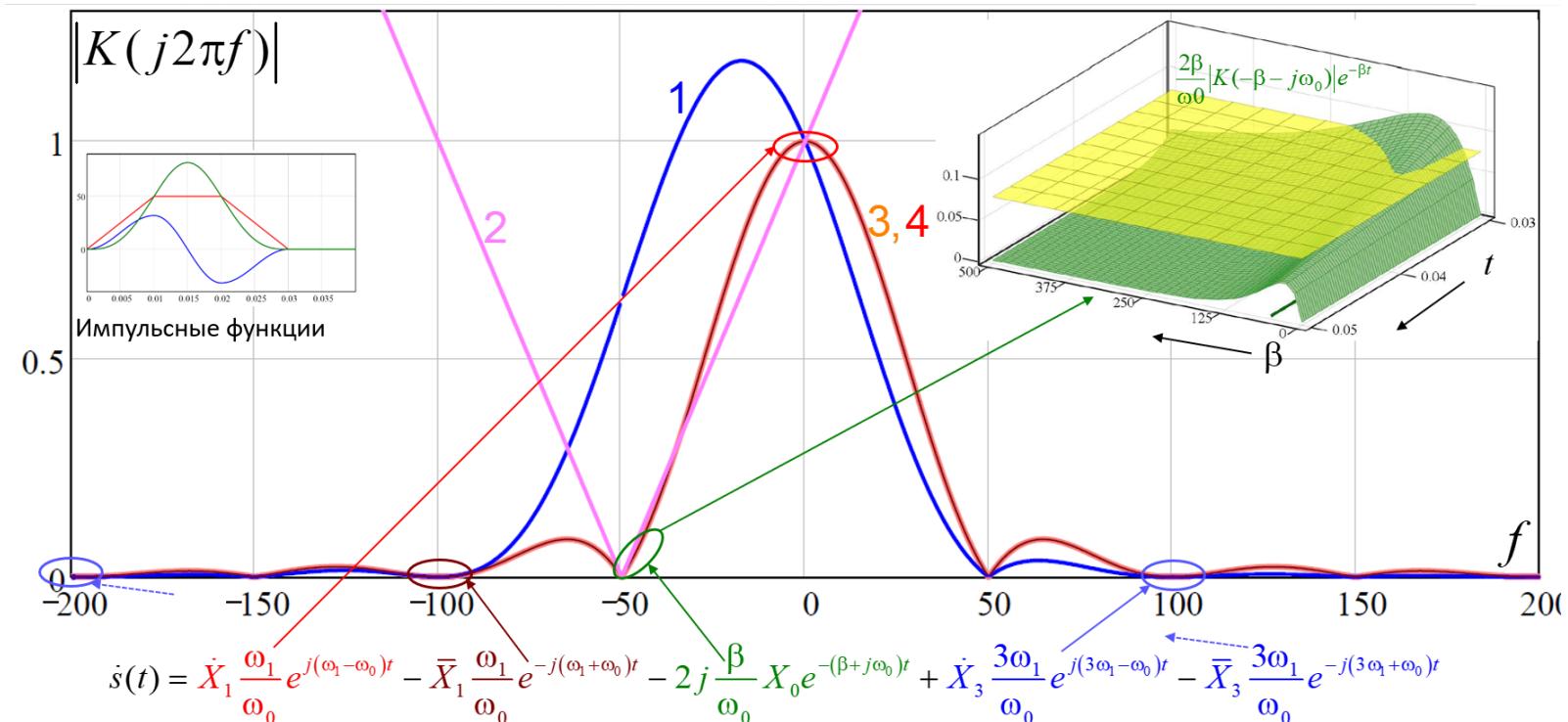
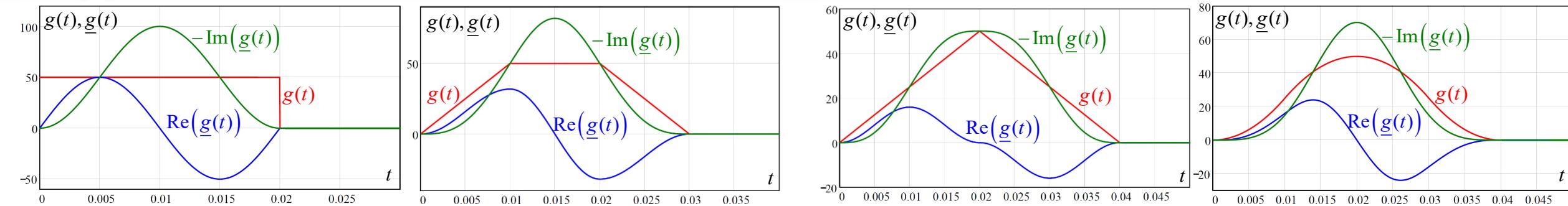
1. Фильтры с прямоугольной формой импульсных характеристик (ИХ) длительностью 10 мс;
2. Фильтры с прямоугольной формой ИХ 20 мс, широко применяются в устройствах РЗ;
3. Треугольный фильтр,推薦ован для реализации УСВИ класса Р;
4. Фильтр с трапецидальной формой ИХ;
5. Фильтр колоколообразного вида.



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

З АЧХ фильтра с трапецидальной ИХ



СИНТЕЗ ФИЛЬТРОВ



Импульсная функция фильтра

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

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

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

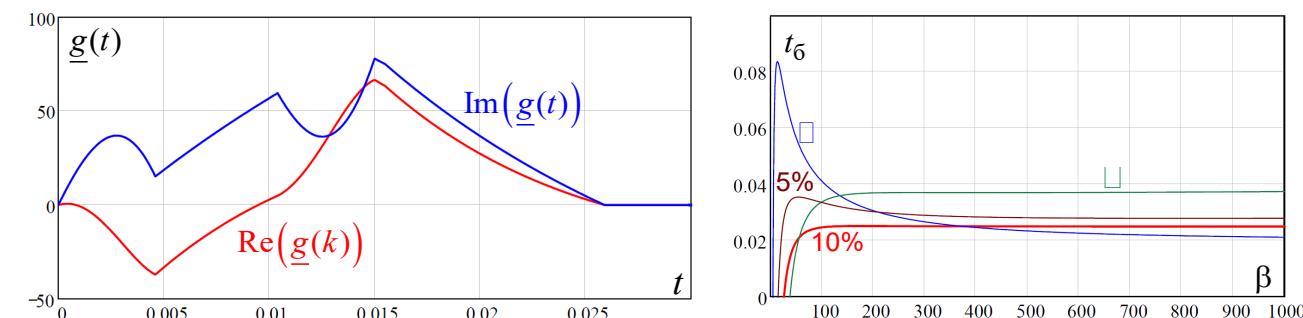
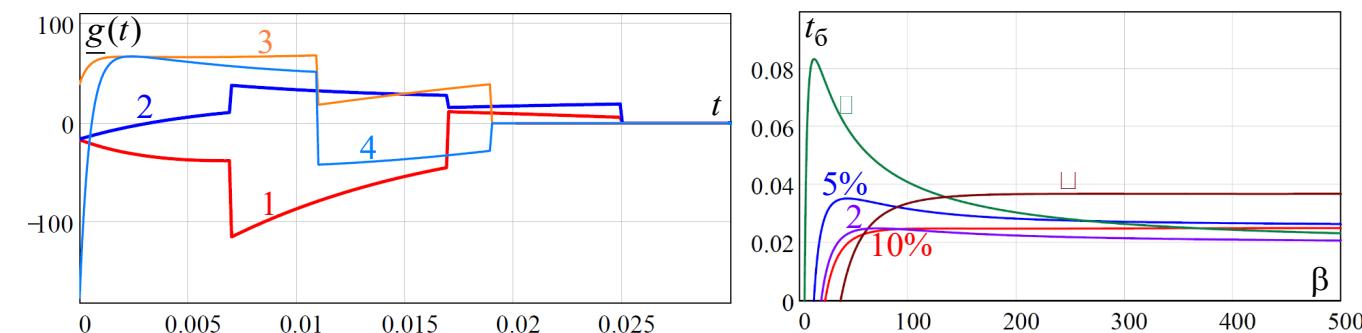
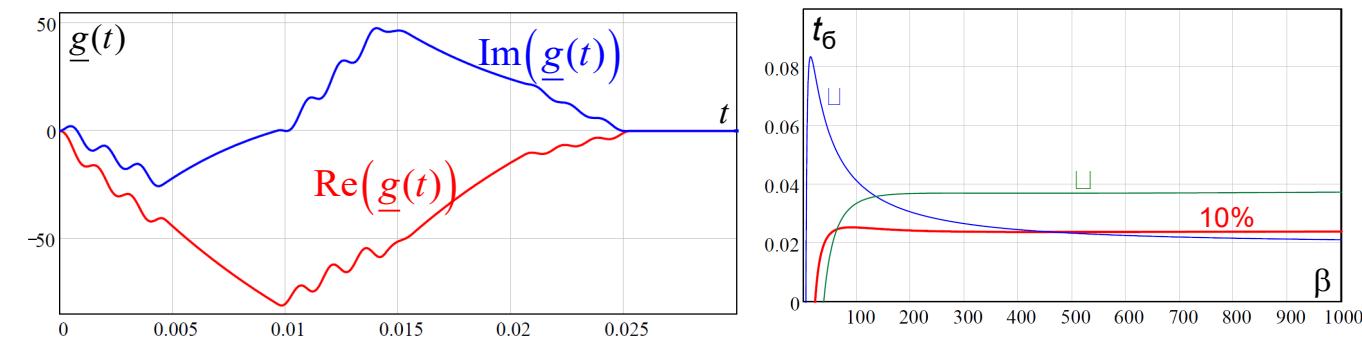
$$\underline{K}(p) = \sum_{i=1}^3 \underline{K}_i(p)$$

Последовательное

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

Смешанное

$$K(p) = (K_1(p) + K_2(p))K_3(p)$$

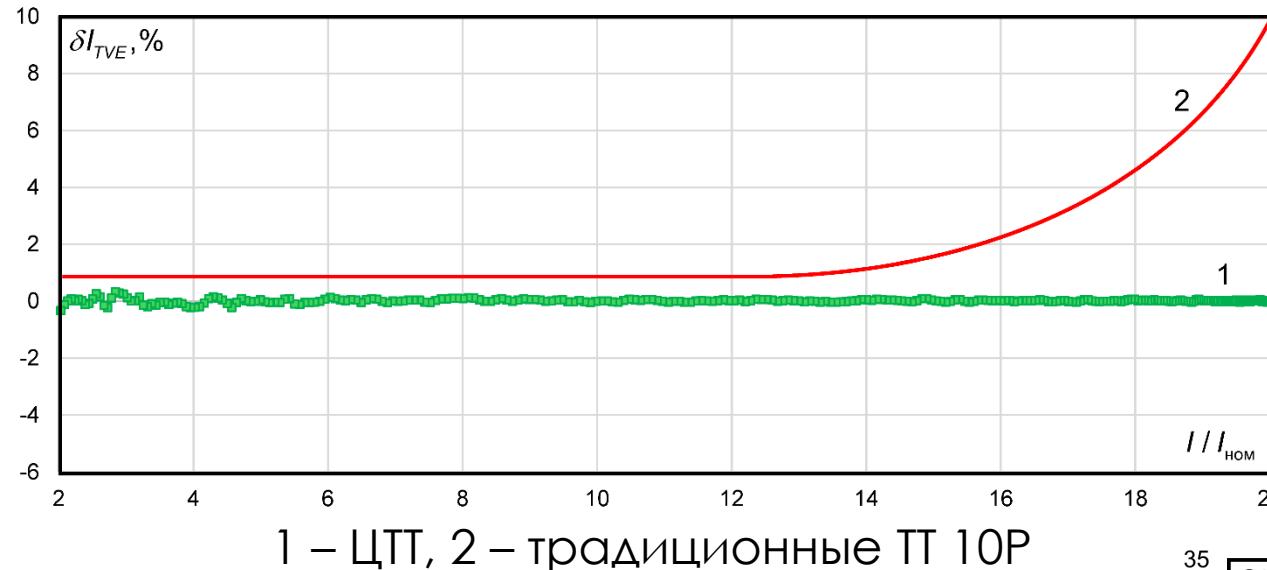




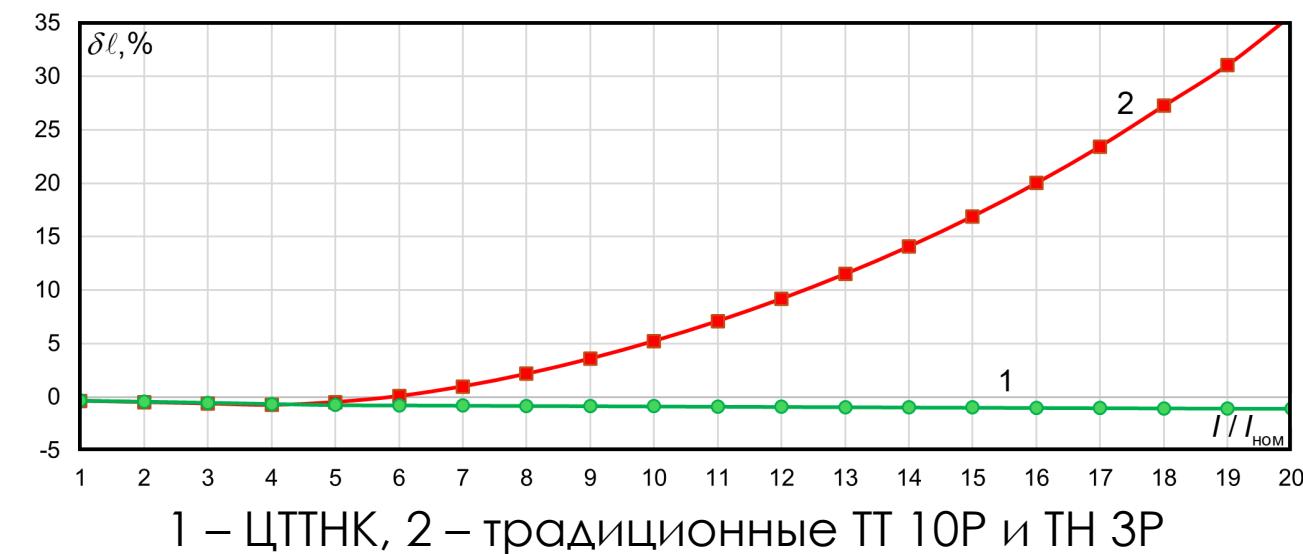
Оценка точности комплексных сопротивлений линий



Характеристика полной погрешности измерений токс

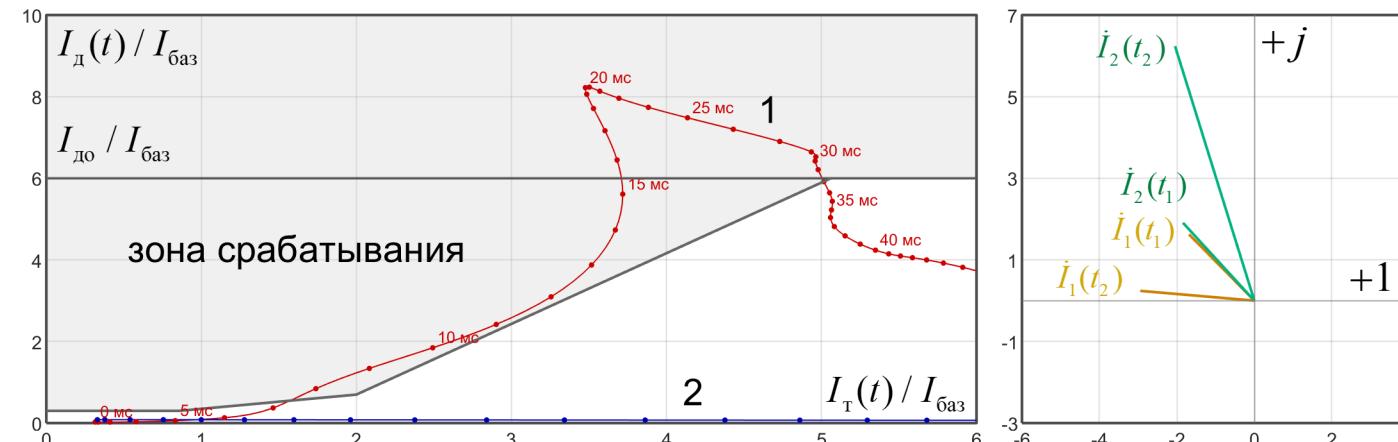


Сравнение результатов оценки расстояния до точки КЗ (ОМП)

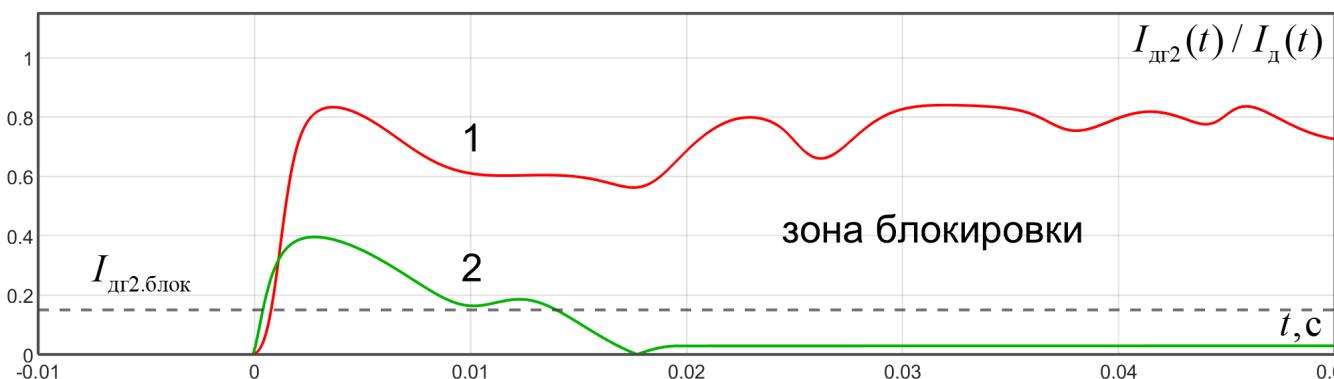




Характеристики срабатывания ДЗТ

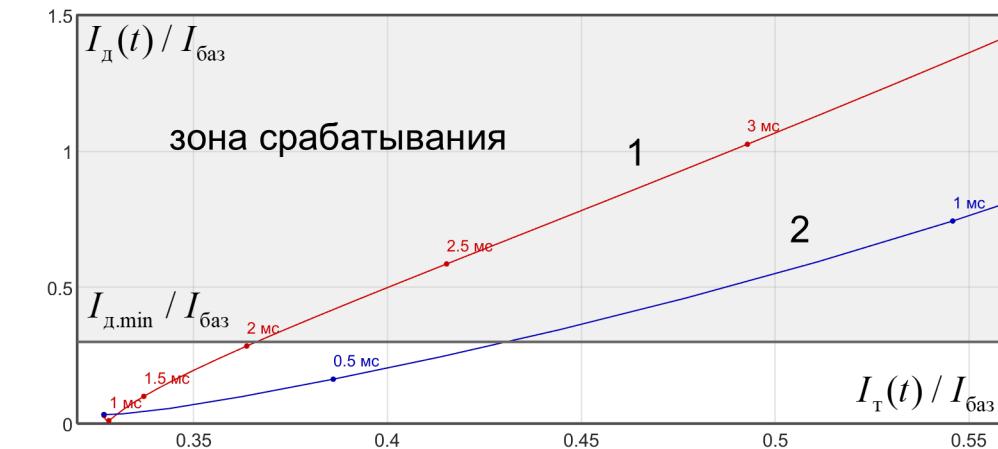


Хар-ка срабатывания ДЗТ при внешнем КЗ 1 – традиционный ТТ, 2 – цифровой ТТ

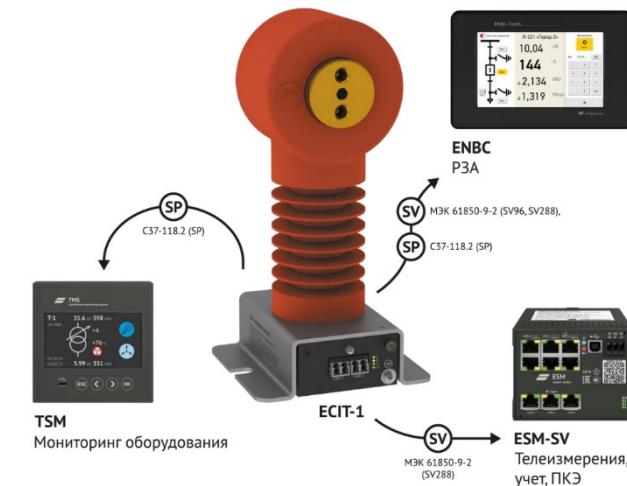


Оценка 2-ой гармоники тока СТ при КЗ ВН

1 – традиционный ТТ, 2 – цифровой ТТ



Хар-ка ДЗТ при КЗ ВН:



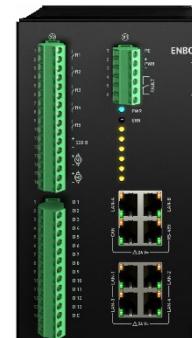
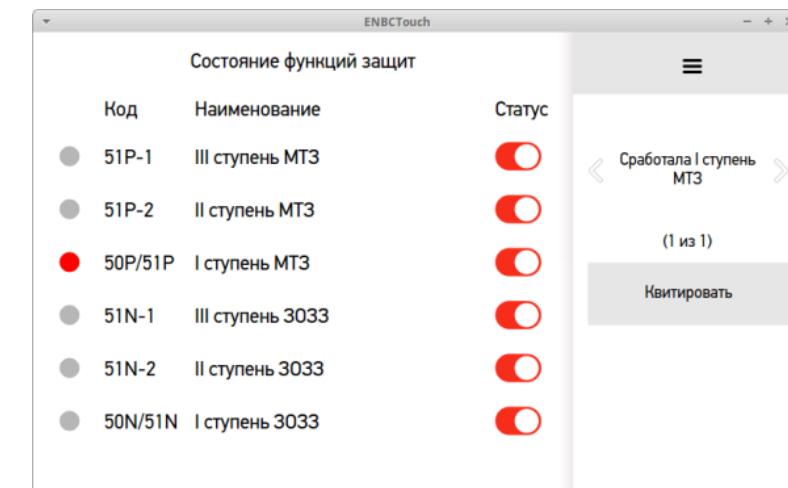
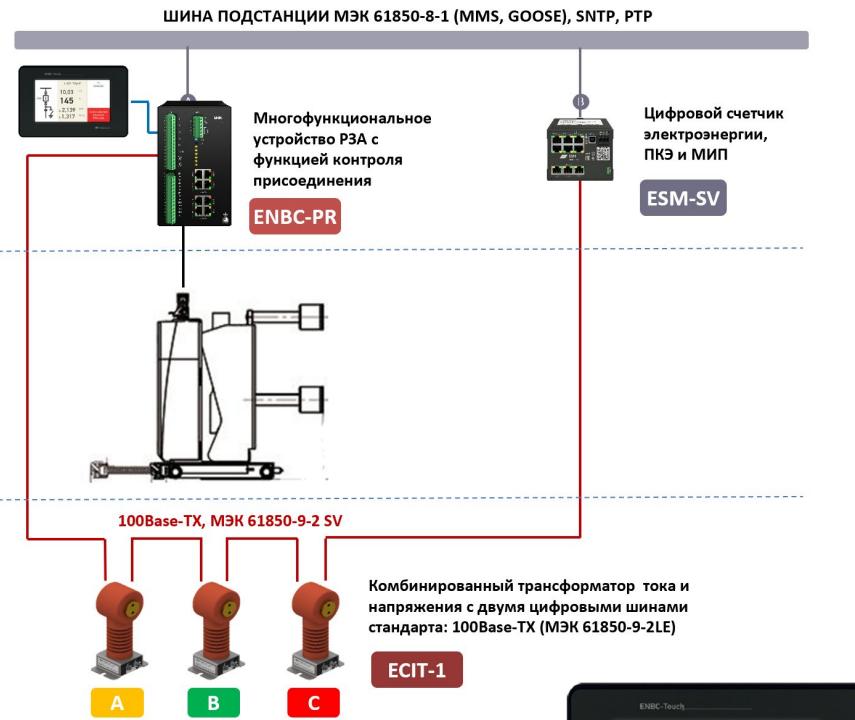
Комбинированный цифровой измерительный трансформатор ЕСИТ



ЦИФРОВАЯ ЯЧЕЙКА



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





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