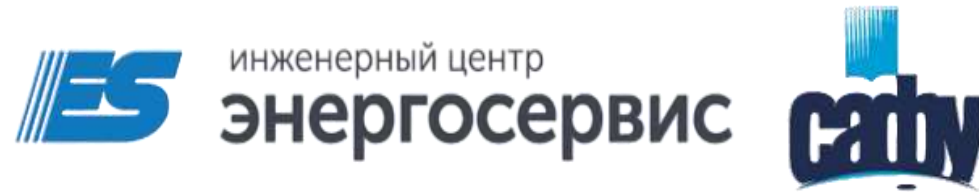


МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР ИМ. Ю.Н. РУДЕНКО

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ БОЛЬШИХ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

96-е заседание «Надежность систем энергетики: устойчивое развитие и функционирование»



ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ульянов Д.Н., Плакидин Р.С.

15-19 июля 2024 г., Архангельск



Измерительный трансформатор тока и напряжения это обязательный элемент обеспечения надежности, безопасности и «гибкости» режимов работы ЭЭС:

- средство измерений (масштабный преобразователь) обеспечивающее своей точностью правильную работу РЗА, ПА, АСУ ТП, диспетчерского управления, коммерческого (технического) учета и контроля за ПКЭ.

- электроаппарат с собственной внешней и внутренней изоляцией постоянно подключенный в электрические цепи всех классов напряжения.

Цифровой измерительный трансформатор – это новое качество измерительных трансформаторов помноженное на уровень развития информационно-вычислительных технологий, направленных на обеспечение надежности систем энергетики при их функционировании и развитии.

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%

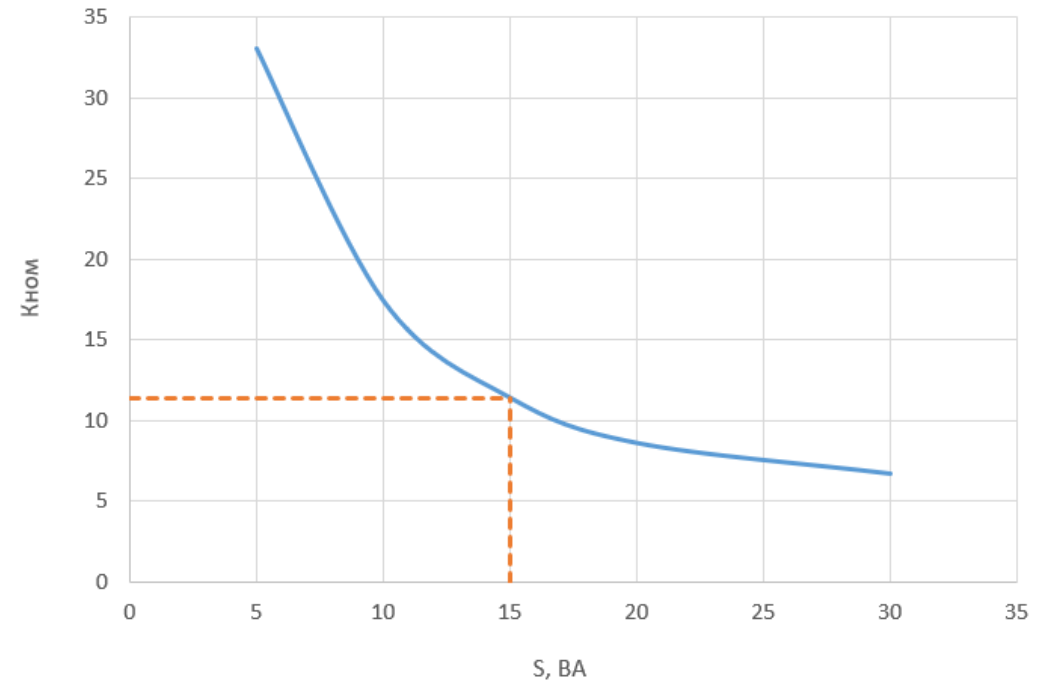
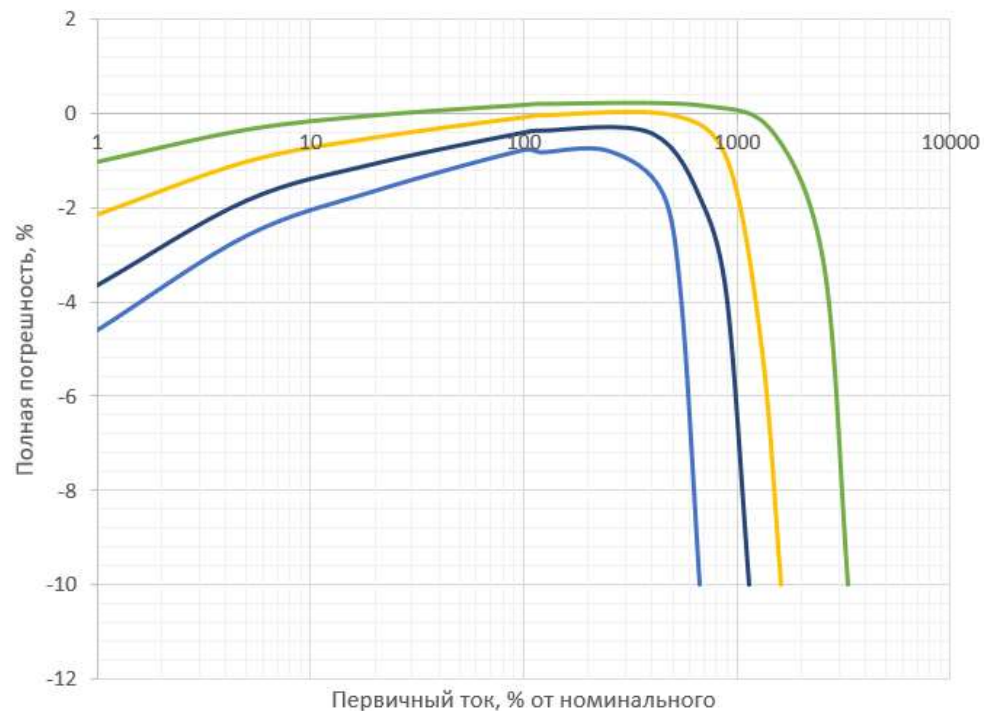
Номинальный ток первичной обмотки, А	50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000
--------------------------------------	---

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

Наименование характеристики	Значение*							
	3	6	10	15	20	24	27	35
Класс напряжения, кВ	3	6	10	15	20	24	27	35
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	3,6	7,2	12	17,5	24	26,5	30	40,5
Номинальное напряжение первичной обмотки, кВ	3/√3; 3,3/√3	6/√3; 6,3/√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	24/√3	27/√3; 27,5/√3	33/√3; 35/√3; 36/√3

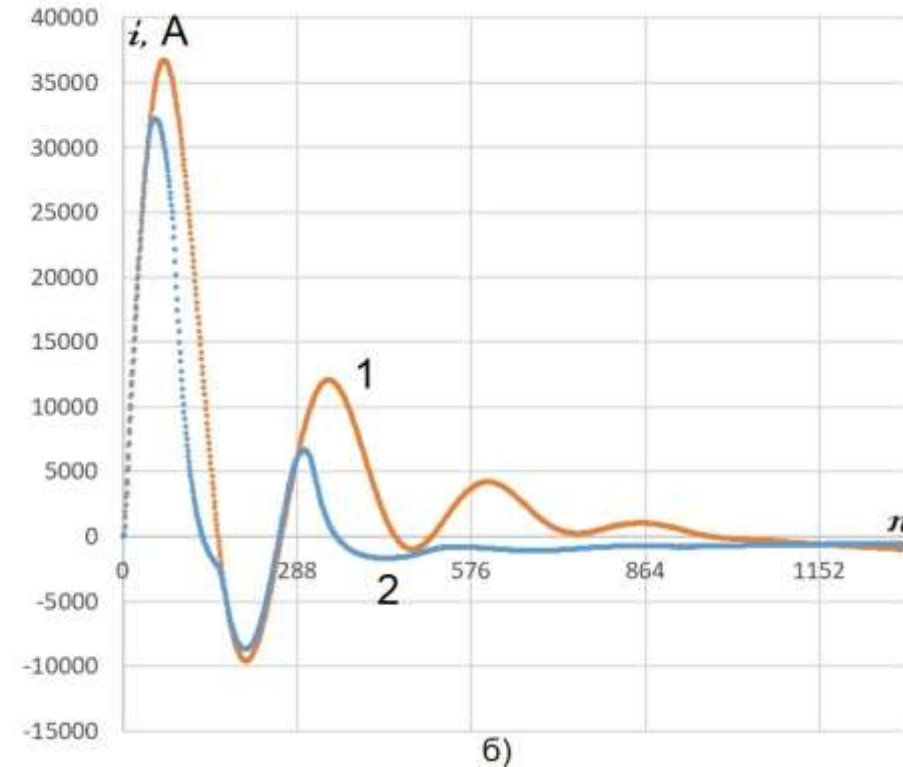
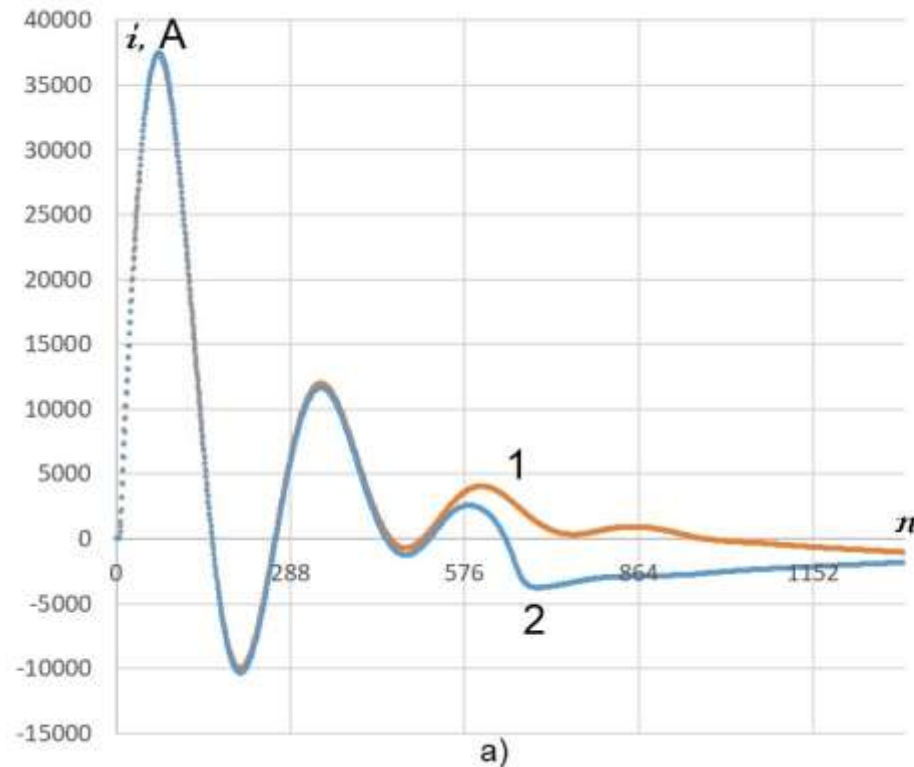


- номинальный ток первичной обмотки по наибольшему рабочему току присоединения;
- суммарная нагрузка вторичных цепей и подключенных устройств РЗА;
- коэффициент предельной кратности по максимальному току установившегося КЗ;
- увеличение номинального тока первичной обмотки по условиям тока предельной кратности;
- предельное значение остаточной намагниченности;
- время до насыщения от апериодической составляющей (п.5.2 ГОСТ Р 58669-2019).





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



КЛАСС НАПРЯЖЕНИЯ ДО 15 кВ

ОДНО ИСПОЛНЕНИЕ

(ОДНА КАЛИБРОВКА И ПОВЕРКА):

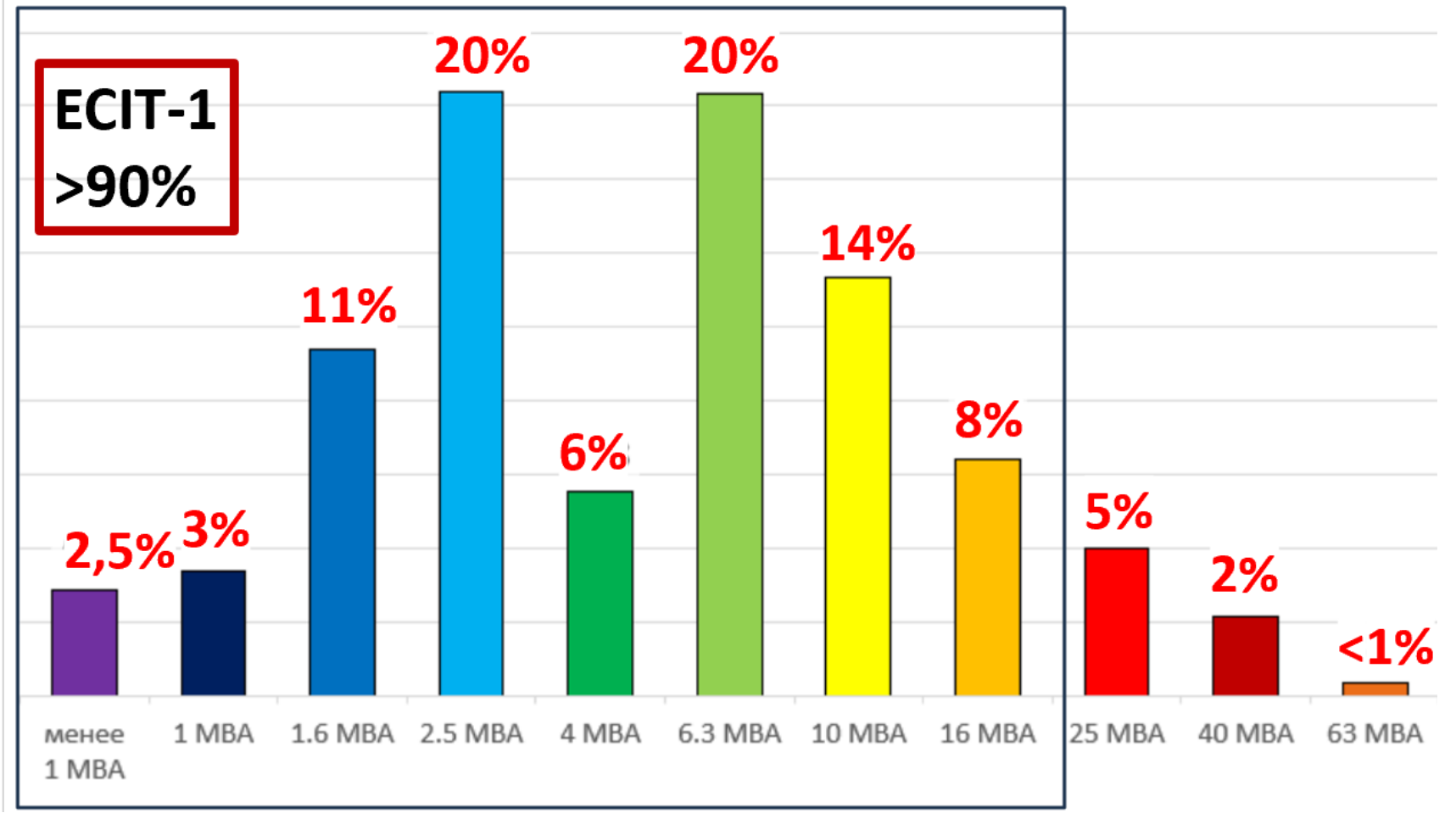
- на все номинальные напряжения в диапазоне $3000/\sqrt{3} \dots 18000/\sqrt{3}$ кВ в классе точности 0,5/3P
- на номинальный ток 50 А и наибольший рабочий ток до 1000 А в классе точности 0,5S/5PR;
- ток «предельной» кратности 20 кА;
- измеряемый ударный ток 42 кА;
- ток термической/эл.динамической стойкости – 20/51 кА;



БЕЗ насыщения
феррорезонанса



Количество вводов трансформаторов в Россети по мощностям СТ





В простейшем случае, исходя из традиционного способа оценки сопротивления линии при КЗ [10], погрешность этой оценки будет определяться из выражения:

$$\underline{\hat{z}}(t) = \frac{\dot{U}(t)}{\dot{I}(t)} = \frac{\dot{U}_T(t) \left[1 \pm \varepsilon_U e^{j(\varphi_U \pm \Delta\varphi_U)} \right]}{\dot{I}_T(t) \left[1 \pm \varepsilon_I e^{j(\varphi_I \pm \Delta\varphi_I)} \right]} = \underline{\hat{z}}_T(t) + \Delta\underline{\hat{z}}(t), \quad (1)$$

где $\dot{U}_T(t)$, $\dot{I}_T(t)$ – теоретические значения векторов тока и напряжения;

ε_U , ε_I , $\Delta\varphi_U$, $\Delta\varphi_I$ – амплитудные и угловые погрешности ТН и ТТ;

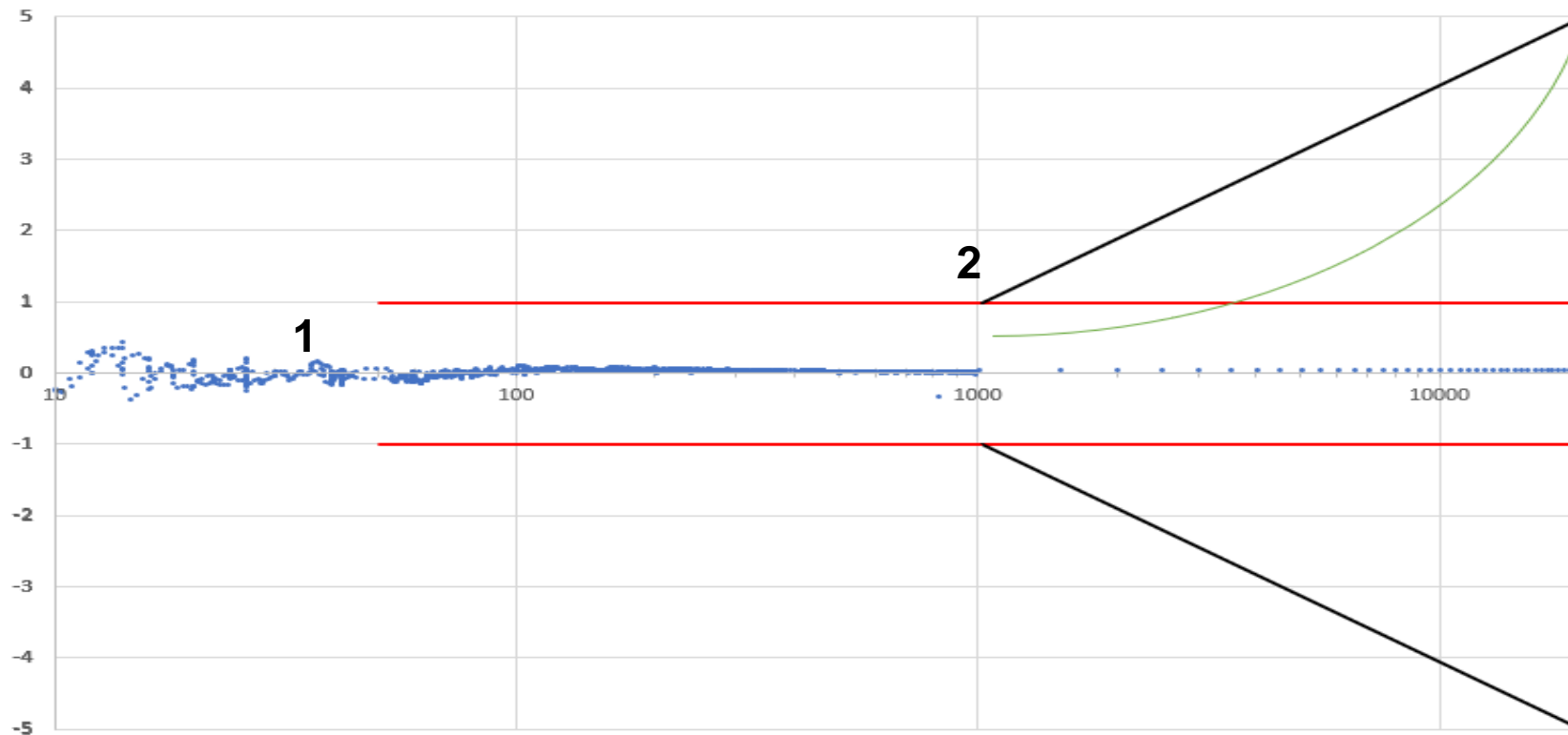
$\underline{\hat{z}}_T(t)$, $\Delta\underline{\hat{z}}(t)$ – теоретическое значение и погрешность оценки комплексного сопротивления линии.



Характеристика полной погрешности измерения тока по ГОСТ 7746

ГОСТ 7746—2015

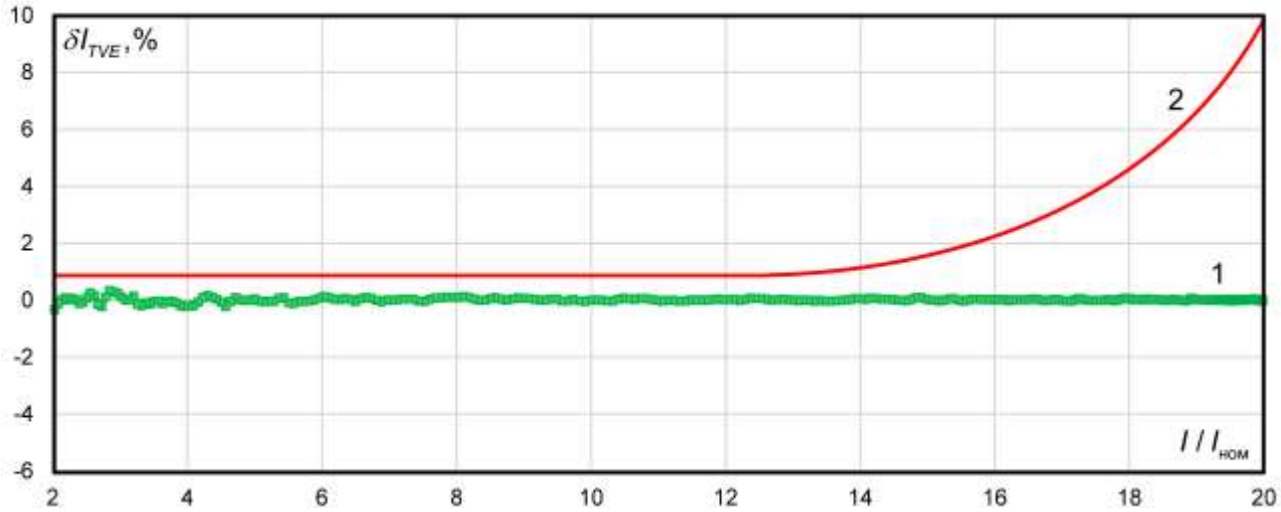
Класс точности	Предел допускаемой погрешности		
	при номинальном первичном токе		при токе номинальной предельной кратности
	токовой, %	угловой	полной, %
5P	± 1	± 60 $\pm 1,8$ срад	5
10P	± 3	Не нормируют	



1 – ЕСІТ, 2 – традиционные ТТ

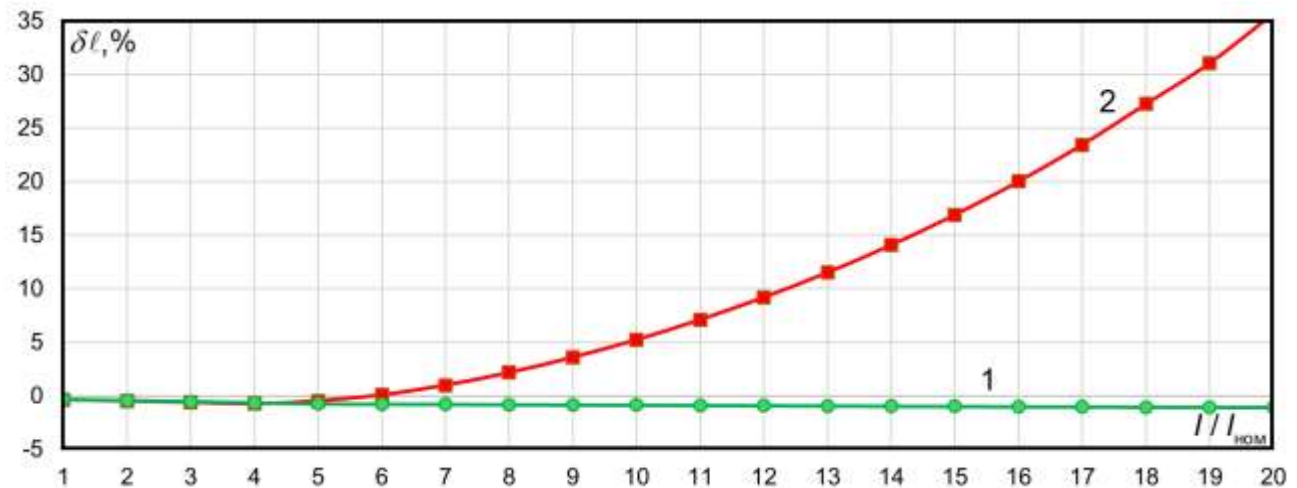


Характеристика полной погрешности измерений



1 – ЕСІТ, 2 – традиционные ТТ и ТН

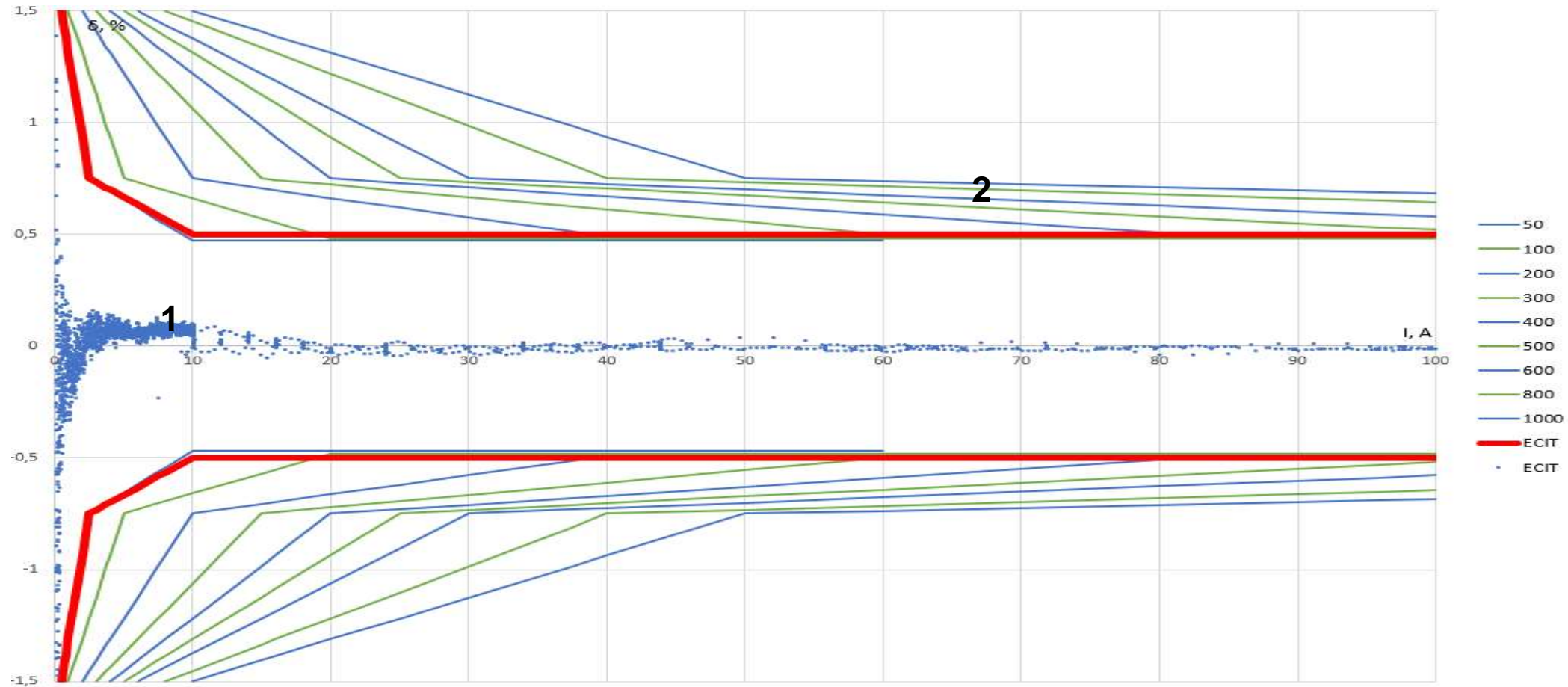
Сравнение результатов оценки расстояния до точки КЗ (ОМП)



1 – ЕСІТ, 2 – традиционные ТТ и ТН



Измерительный трансформатор ЕСИТ имеет высокую чувствительность к токам нулевой последовательности как основной, так и высших гармоник при ОЗЗ, благодаря измерению фазных токов от 0,1 А до 1 А с полной погрешностью измерения вектора (TVE) не более 1,5%.

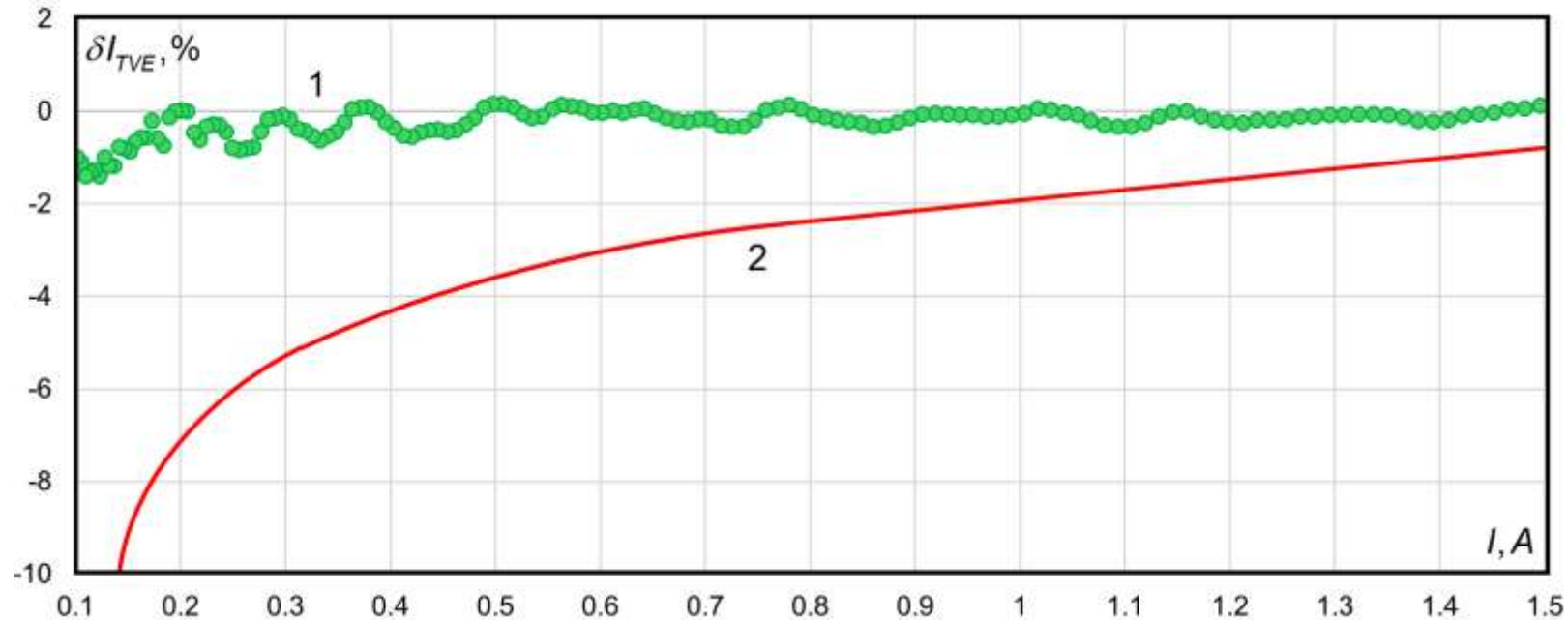


Характеристика амплитудной погрешности измерения тока по ГОСТ 7746,
1 – ЕСИТ, 2 – традиционные ТТ



Сравнение характеристик ТТ НП и ЕСИТ при измерении тока НП

$$i_0(t) = \frac{1}{3} [i_a(t) + i_b(t) + i_c(t)]$$



1 – ЕСИТ, 2 – электромагнитный ТТ НП



Оценка тока небаланса дифференциальной защиты СТ

$I_{нб} = (k_{апер} k_{одн} \varepsilon + \Delta U_{рег} + \Delta f_{выр}) I_{вн.мах} + I_{нам}$ - ток небаланса дифференциальной защиты.

- $k_{апер}$ - коэффициент, учитывающий апериодическую составляющую тока КЗ;
- $k_{одн}$ - коэффициент однотипности трансформаторов тока;
- ε - относительный предел допускаемой погрешности ТТ в установившемся режиме КЗ;
- $\Delta U_{рег}$ - составляющая, учитывающая работу ПБВ/РПН в трансформаторе;
- $\Delta f_{выр}$ - составляющая, учитывающая схему соединения ТТ в защите;
- $I_{вн.мах}$ - максимальный ток внешнего КЗ (ток КЗ на выводах обмотки НН);
- $I_{нам}$ - ток намагничивания СТ.

Предельные значения: $k_{апер} = 2, k_{одн} = 1, \varepsilon = 0,1, \Delta U_{рег} = 0,16, \Delta f_{выр} = 0,05$

Ток намагничивания: $I_{нам} \leq 0,02 \div 0,03 I_{ном}$ - в нормальном режиме, $I_{нам} = 2 \div 8 I_{ном}$ - при БНТ.

Максимальный ток небаланса:

$I_{нб.мах} = (k_{апер} k_{одн} \varepsilon + \Delta U_{рег} + \Delta f_{выр}) I_{вн.мах} \approx 0,41 I_{вн.мах}$ - при внешнем КЗ; $I_{нб.мах} = 8 I_{ном}$ - при БНТ.

Минимальный ток небаланса:

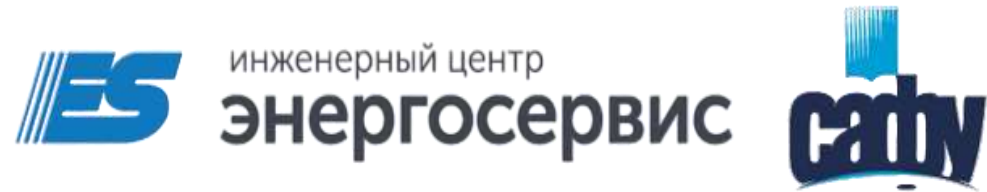
$I_{нб.мин} = k I_{раб} + I_{нам}$

$I_{нб} = (1 \cdot 0,5 \cdot 0,005 + 0,01) I_{вн.мах} = 0,0125 I_{вн.мах}$



Применение цифровых измерительных трансформаторов, возникших в результате развития информационно-вычислительных технологий, позволяет повысить надёжность систем энергетики при их функционировании и развитии за счет следующих возможностей:

- 1) Онлайн самодиагностика и обеспечение автоматического контроля целостности информационного обмена с комплексом защит, автоматики и систем управления на энергообъектах.
- 2) Отсутствие негативных явлений, таких как насыщение магнитопровода и феррорезонанс.
- 3) 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.
- 4) Обеспечение высокого уровня резервирования (в т.ч. дублирования) функций релейной защиты и автоматики на всех уровнях присоединений в электроустановке.
- 5) Повышение быстродействия отключения КЗ в линиях по дистанционному принципу и КЗ в СТ по дифференциальному принципу.
- 6) Повышение точности ОМП и определения ОЗЗ для комбинированных измерительных трансформаторов.



Благодарим за внимание!

Ульянов Дмитрий Николаевич, d.ulyanov@ens.ru