



VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

«Современные тенденции развития цифровых систем релейной защиты и автоматики»



инженерный центр
энергосервис



ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА БАЗЕ СВИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Ульянов Д.Н., Мокеев А.В.

24 апреля 2025 г.

г. Чебоксары



Актуальность (проблематика) темы:

- снижение точности и быстродействия работы УРЗА из-за эффектов насыщения и остаточной намагнченности измерительных ТТ;
- сложность методики выбора и расчетов параметров ТТ для обеспечения правильности работы УРЗА по условиям времени до насыщения, уровня и характера вторичной нагрузки, предельной кратности с учетом кэффициента трансформации ТТ.

Задачи исследования:

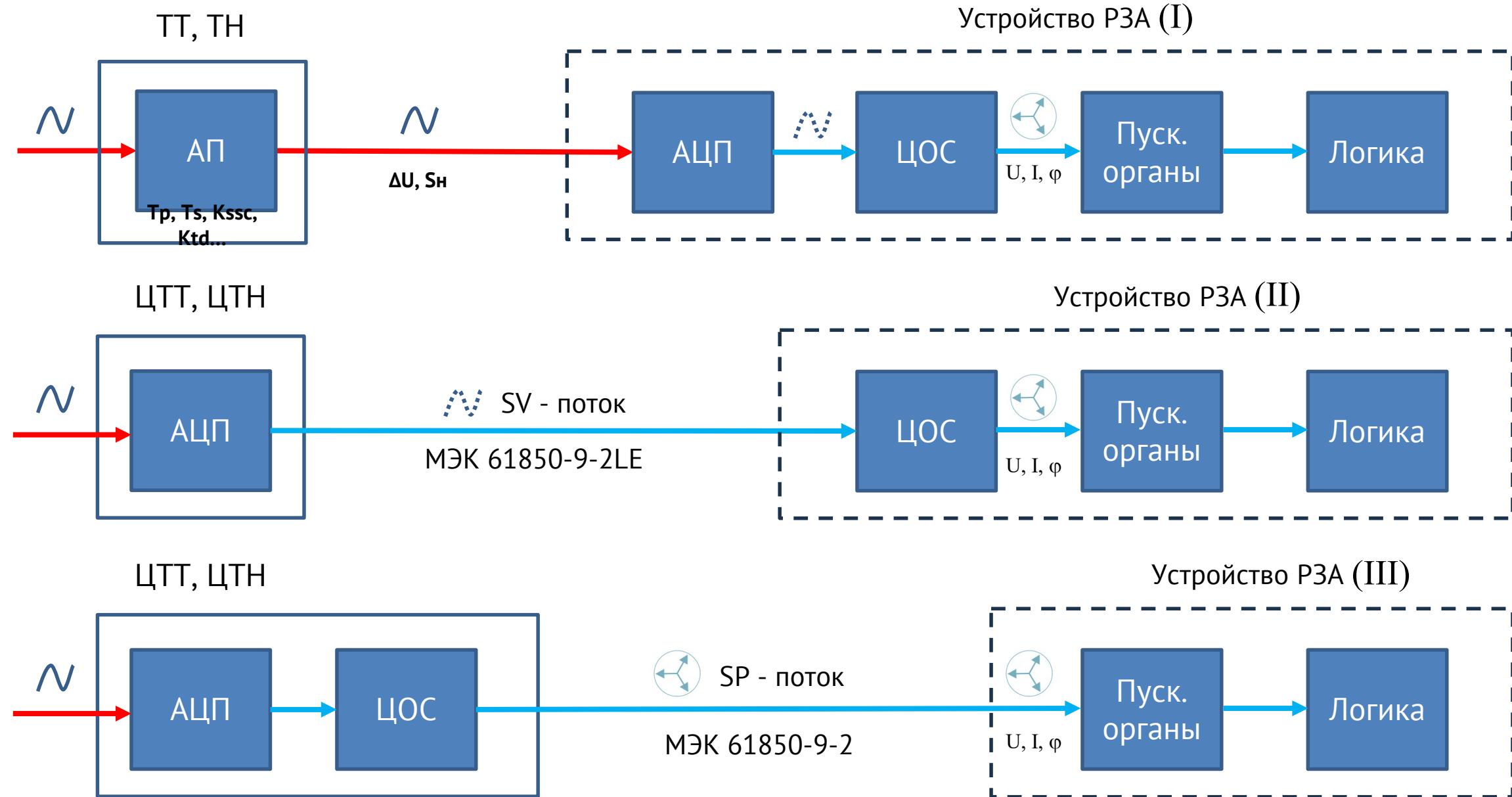
- разработка цифрового трансформатора тока на базе катушки Роговского без негативных эффектов насыщения и остаточной намагнченности;
- разработка методов вычисления синхронизированных векторных измерений (СВИ) в цифровом трансформаторе тока с целью определения наиболее эффективного метода для решения задач РЗА с учетом применения катушки Роговского;

Достоверность результатов:

- математическое и физическое моделирование (лабораторные исследования);
- внедрение цифровых комбинированных ТТ и ТН с поддержкой СВИ (ЕСИТ);
- результаты опытно-промышленной эксплуатации УРЗА и ЦТТНк на базе СВИ.



Структура измерительного канала РЗА с применением ЦТТ и ЦТН



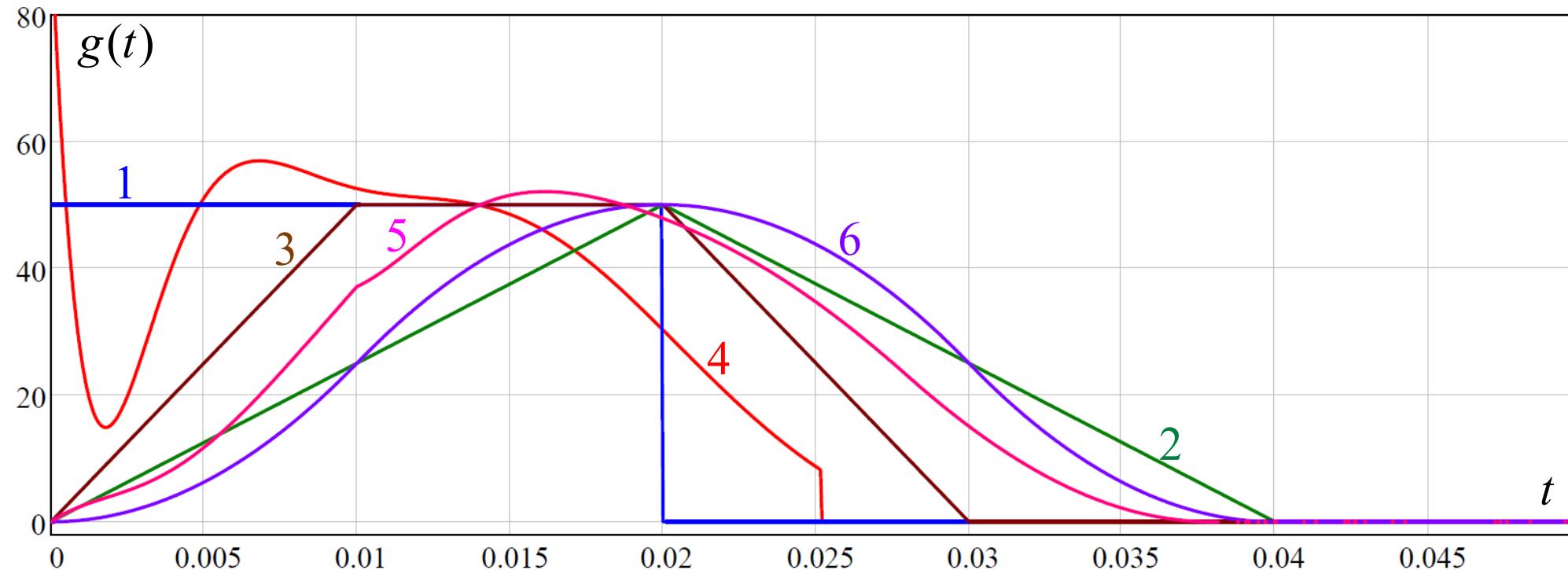


Рис. 1 – Импульсные функции для ряда аналоговых фильтров-прототипов

1 – прямоугольная (алгоритм Фурье);

2 – треугольная;

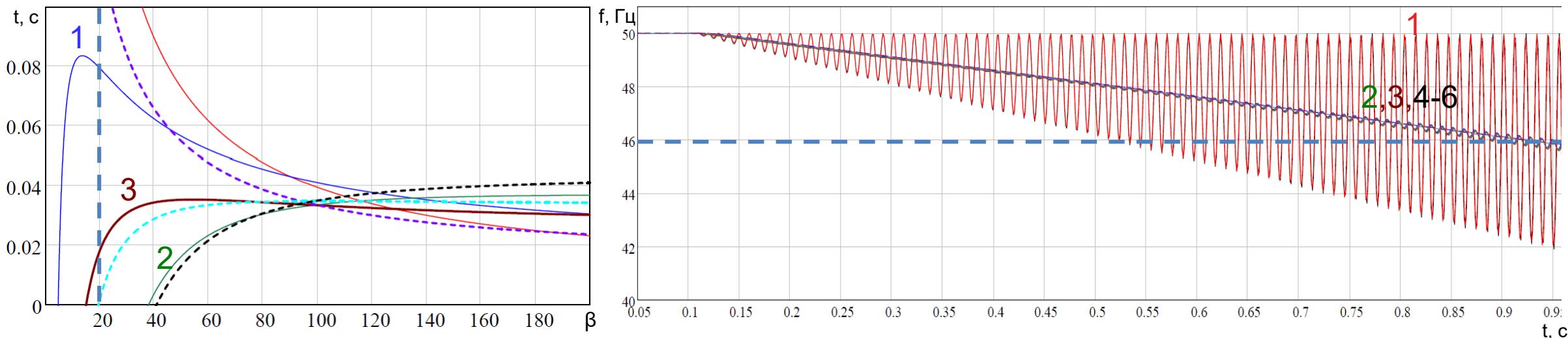
3 – трапецидальная;

4,5,6 – специально синтезированные КИХ-фильтры.



Критерии выбора:

- 1 – обеспечение достаточного уровня подавления апериодической составляющей в сигнале тока КЗ;
- 2 – минимизация погрешности измерения тока КЗ при изменении частоты сигнала (+/- 5 Гц относительно 50 Гц).



Алгоритм Фурье имеет два основных существенных недостатка:

- недостаточный уровень подавления апериодической составляющей;
- высокая чувствительность к изменению частоты в энергосистеме.



Особенности применения импульсной функции для Роговского

Для формирования СВИ в ЦТТ на базе катушки Роговского необходимо применять подход отличный от стандартного с учетом производной тока на выходе катушки. В настоящем исследовании предложено вместо усредняющего КИХ-фильтра использовать КИХ-фильтр с комплексной импульсной функцией

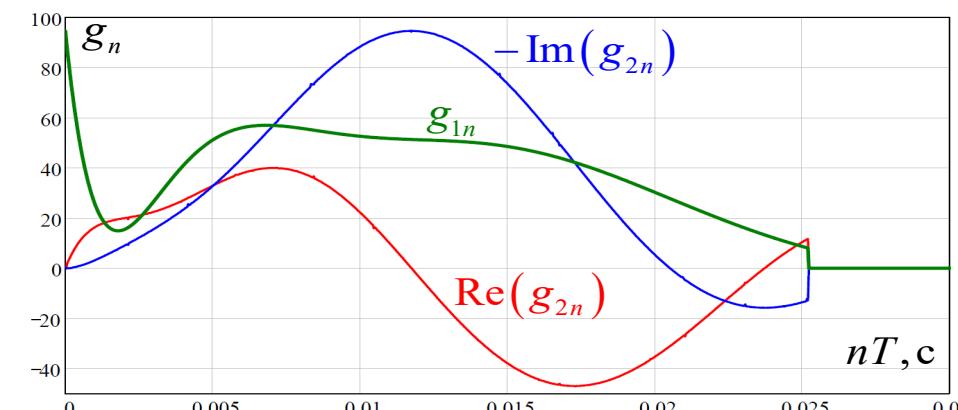
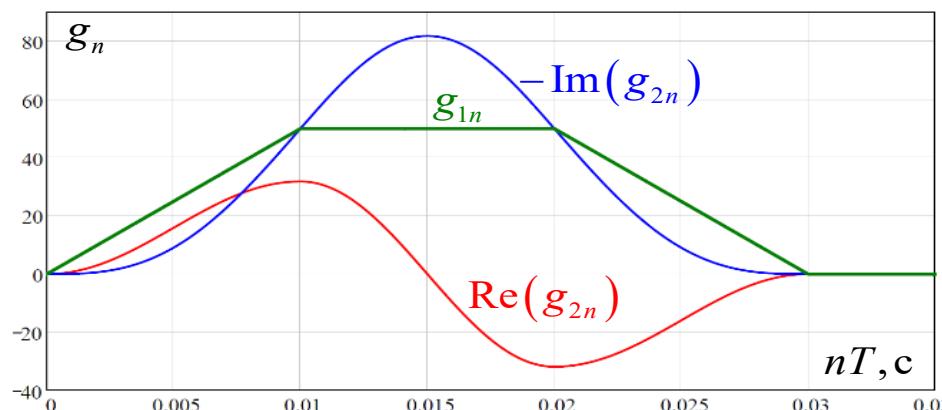


Рис. 4 – Примеры комплексных импульсных функций усредняющих КИХ-фильтров
(трапецидальный и специально синтезированный)



Цифровой трансформатор тока и напряжения (комбинированный) –
ECIT-1, I_{ном} = 50(1000) А, класс точности для РЗА 5PR400

Росреестр СИ
№94207-24



Измерение СВИ высших гармоник для задач РЗА

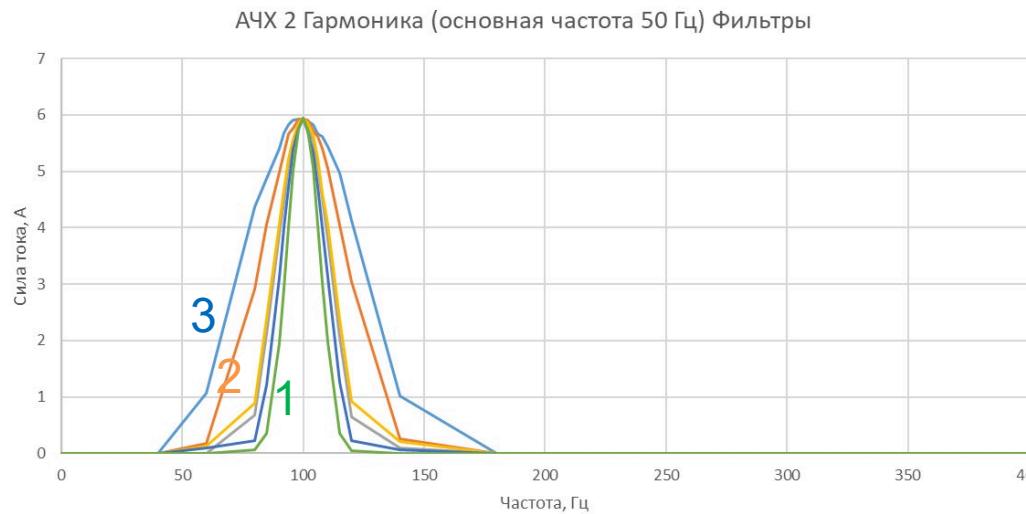


Рис.4 – Исследование работы фильтров для СВИ 2 гармоники

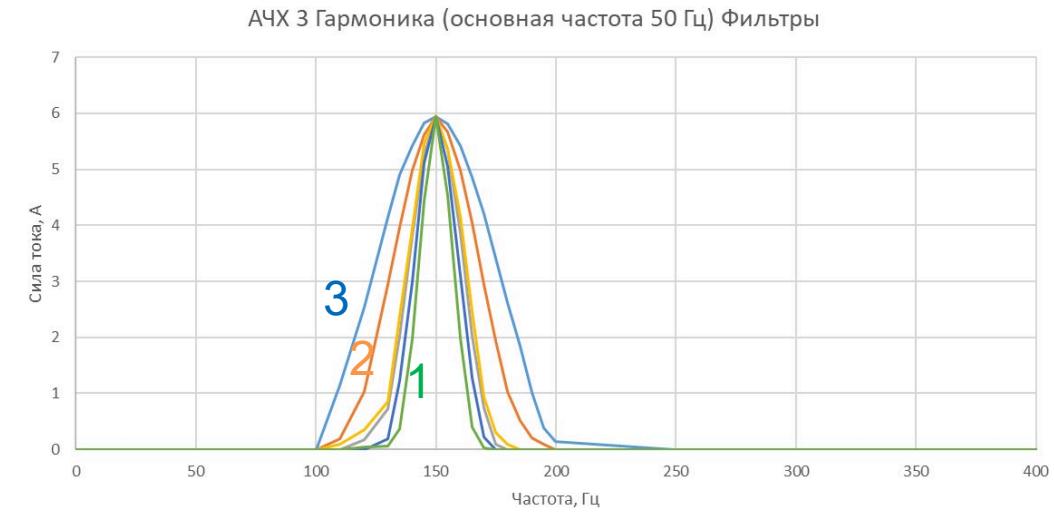


Рис.5 – Исследование работы фильтров для СВИ 3 гармоники



Использование СВИ основной и высших гармоник для УРЗА

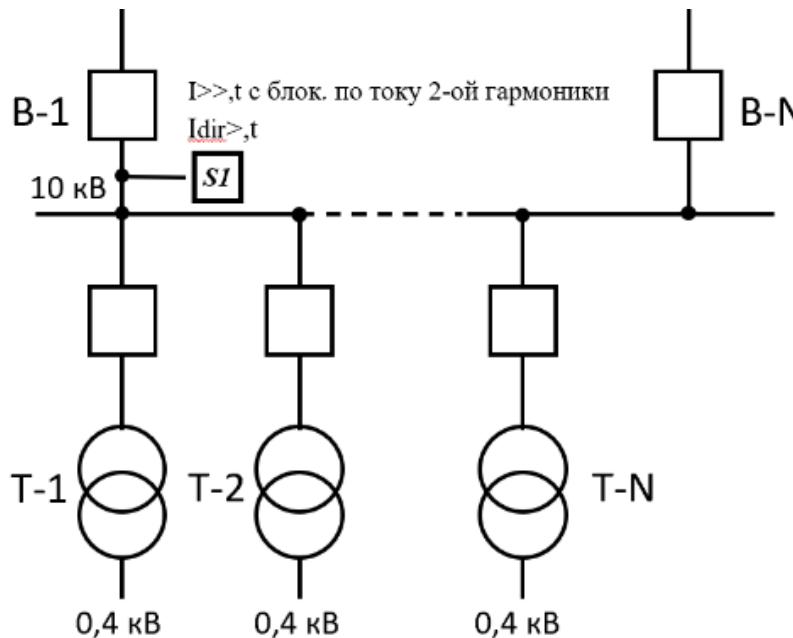


Рис.6 – Пример реализации РЗА с блокировкой по току 2-ой гармоники для схем электроснабжения 10 кВ ЦОД

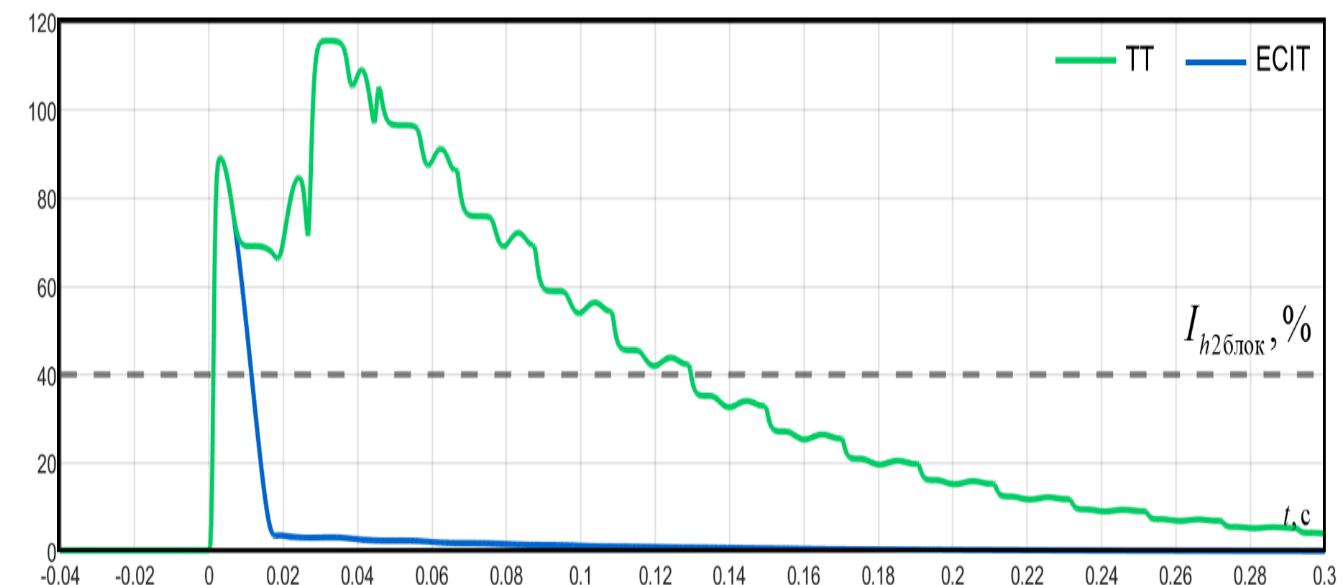
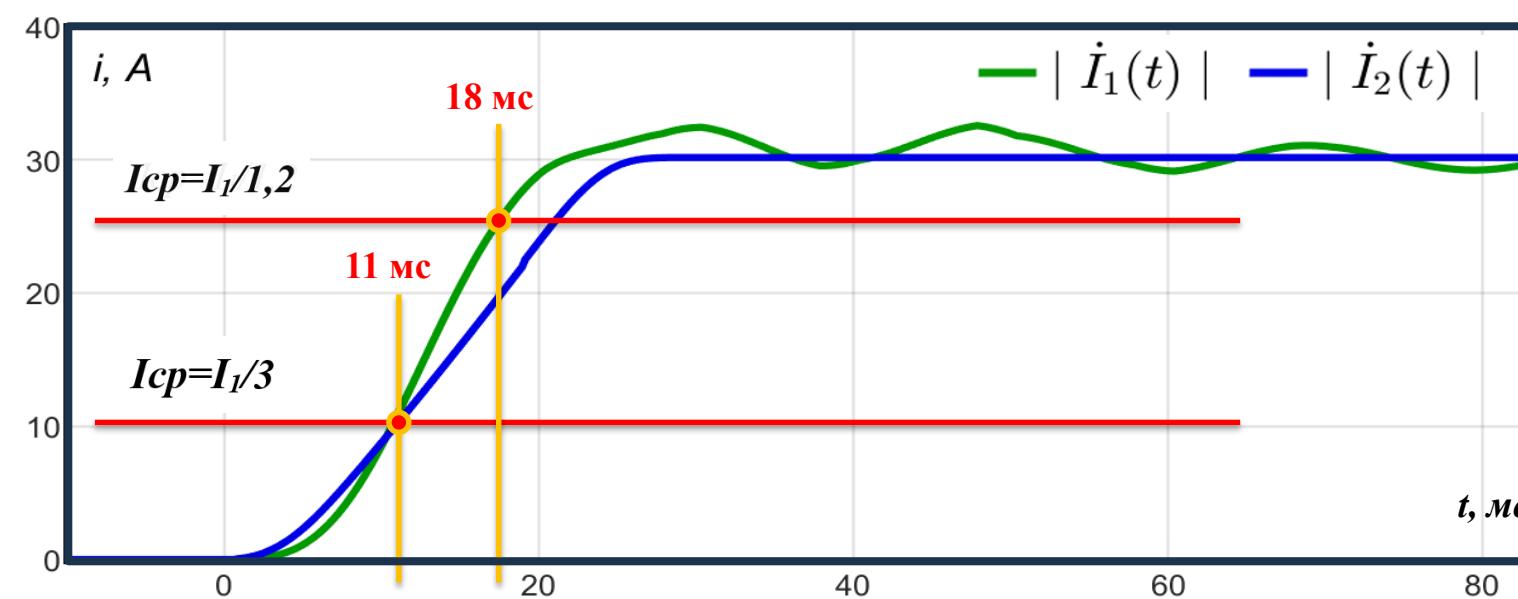
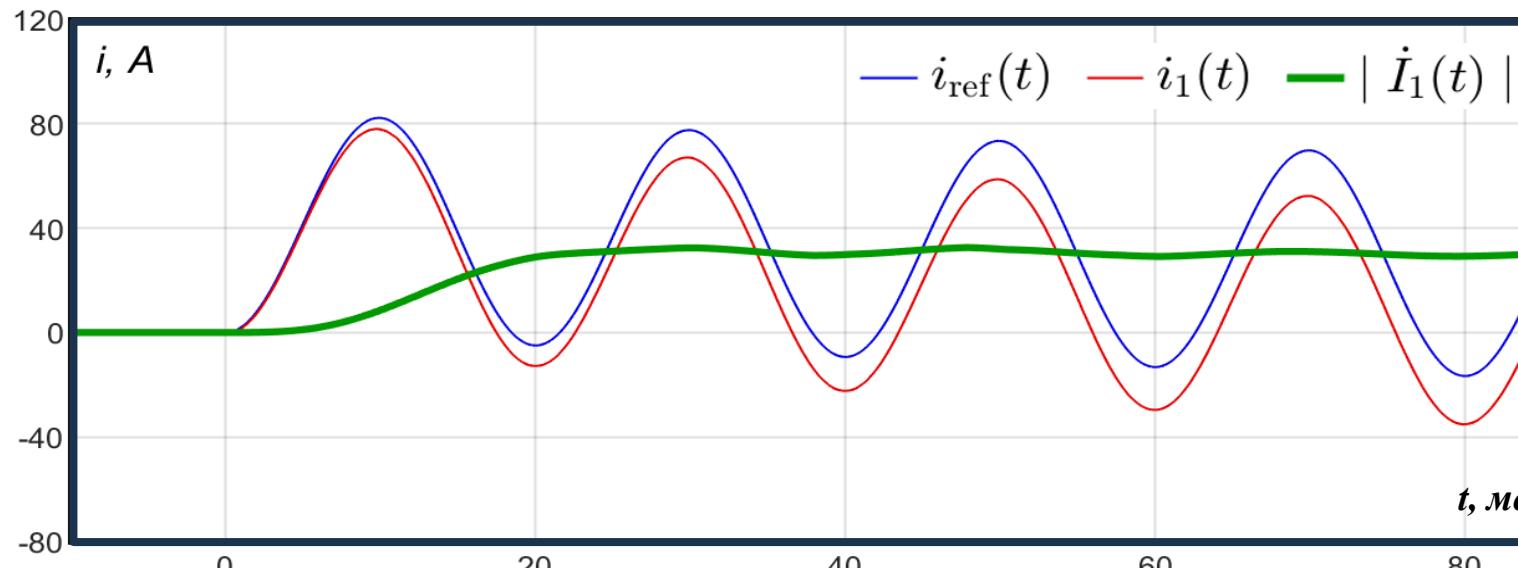


Рис.7 – Вторая гармоника тока при БНТ

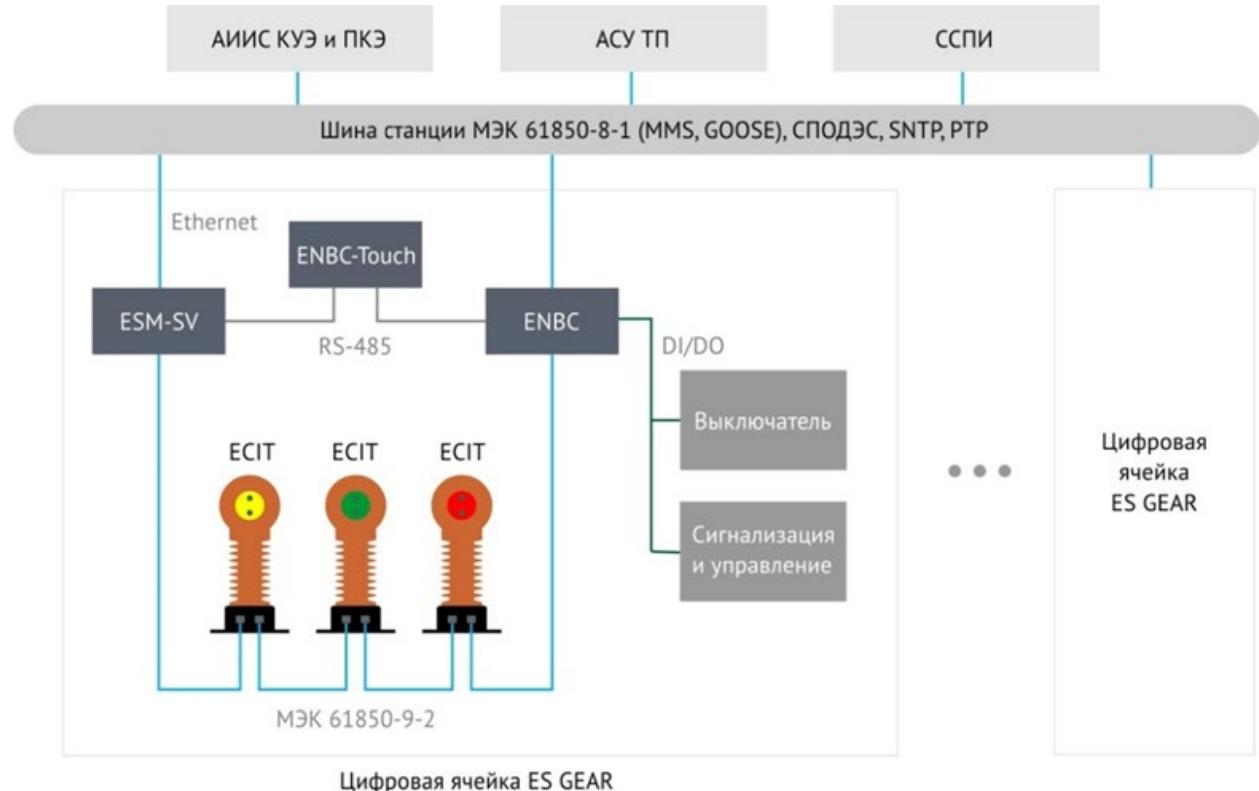
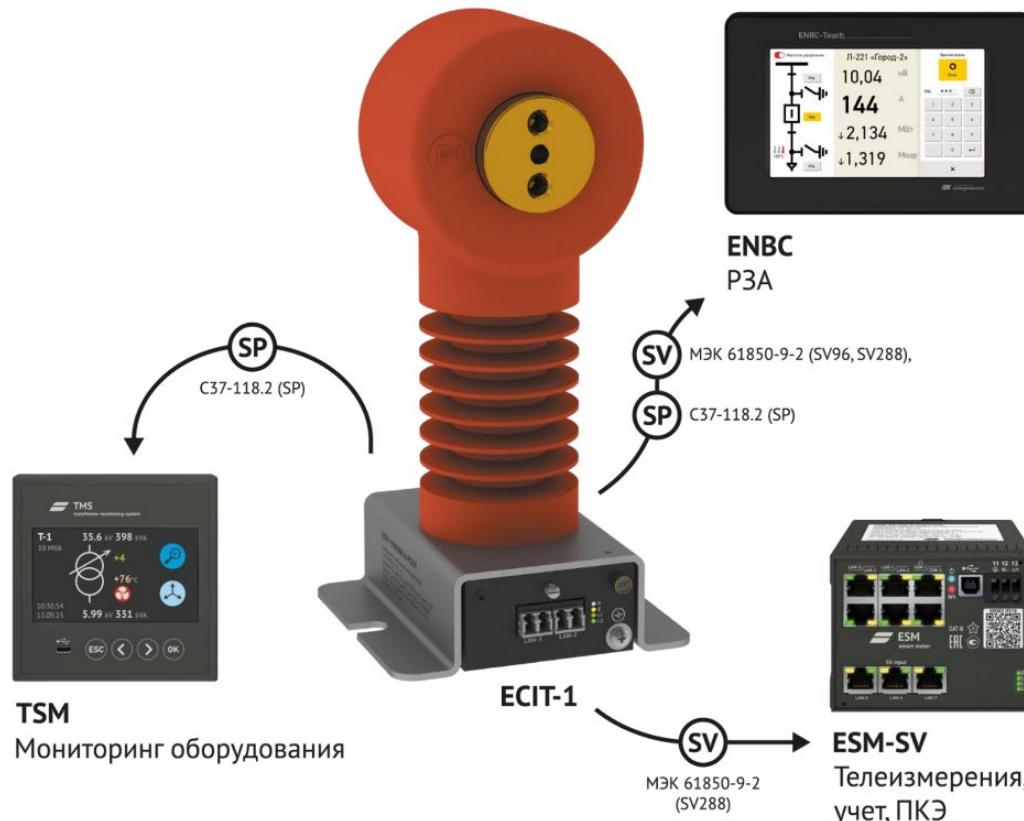


Оценка быстродействия работы УРЗА на СВИ



1. Задавался сигнал «тока КЗ» с действующим значением 30 А в установившемся режиме и с 2-х кратной апериодической составляющей (постоянная времени 200 мс);
2. Данный сигнал подавался на ЦТТ с функцией СВИ на базе фильтра с трапецидальной импульсной функцией;
3. Измерения от ЦТТ принимались в виде SP-потоков (МЭК 61850-9-2) с количеством измерений 8 и 96 на период промышленной частоты в регистратор и на устройство РЗА ЕНВС.

	Время срабатывания реле, мс		
Кратность тока КЗ	оценка	96 СВИ	8 СВИ
1,2 от I_{cp}	18	27	30
3 от I_{cp}	11	18	19



Статья «Опыт применения синхровекторных измерений для реализации релейной защиты и автоматики в распределительных электрических сетях 10 кВ»,

Журнал «Релейщик» 1(51)-2025, Ульянов Д.Н., Сеитов П.В., Мокеев А.В.



1. Применение СВИ в составе цифровых измерительных трансформаторов и устройств РЗА позволяет реализовать большинство известных алгоритмов релейной защиты и автоматики для электроустановок и линий 6–35 кВ в полном соответствии с действующими требованиями в электроэнергетике.
2. Цифровые комбинированные измерительные трансформаторы тока и напряжения обеспечивают УРЗА более точными измерениями сигналов в различных режимах работы энергосистемы, и тем самым позволяют сделать более эффективной работу самой релейной защиты.
3. Использование в шине процесса на ВАПС 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. Это становится возможным благодаря тому, что вся обработка входного сигнала и определение значений комплексной амплитуды и фазового угла производится непосредственно в самом измерительном трансформаторе.



VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

«Современные тенденции развития цифровых систем релейной защиты и автоматики»

БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!

Ульянов Дмитрий Николаевич

аспирант 1 курса обучения САФУ по направлению
«Электротехнические комплексы и системы»,
директор департамента энергетических технологий
ООО «Инженерный центр «Энергосервис»
e-mail: d.ulyanov@ens.ru.



Каталог



IES инженерный центр
энергосервис

сафу

