

КОНФЕРЕНЦИЯ

CiM

В РОССИИ И МИРЕ • 2024

COMMON
INFORMATION
MODEL



RTSoft
Смарт Грид

Развитие алгоритмов и информационных моделей для задач мониторинга электросилового оборудования

Небера А.А., Кащеев А.В. (НТЦ ФСК ЕЭС), Романов К.К.

Особенности реализованного решения

Локальные системы мониторинга

- Специализация: трансформаторы, выключатели
- Представление данных на уровне локального АРМ
- Ограниченная интеграция с АСУ ТП ПС (дискретные сигналы об отклонении параметров)

ПТК «КСО»

- Централизованный мониторинг всего оборудования ПС на базе **измерений электрических сигналов** в рабочих условиях эксплуатации
- Использование **стандартизованных технологий** цифровых подстанций, интеграция с АСУ ТП и локальным мониторингом

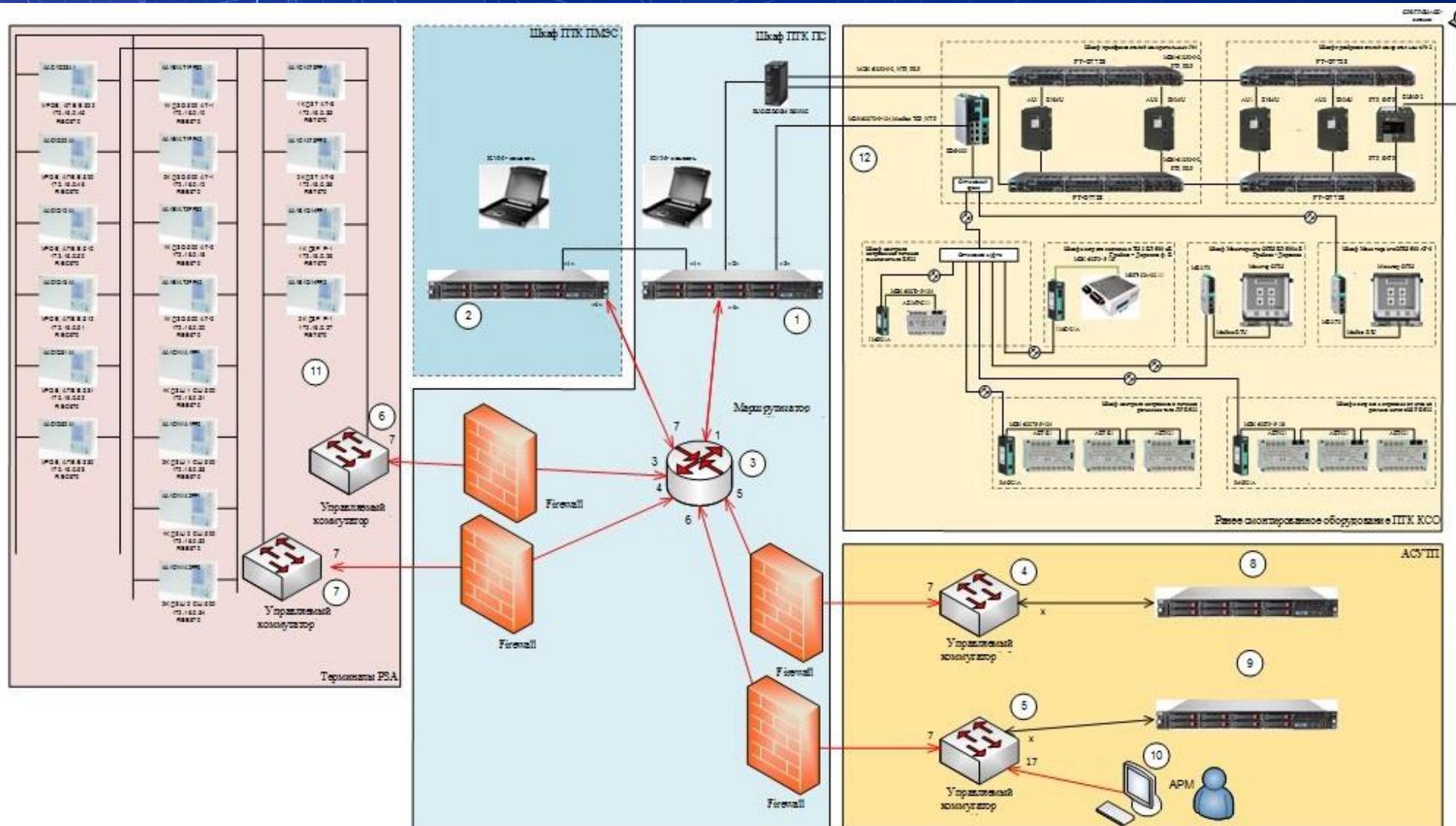
Виды данных	Устройства	Протокол обмена
<ul style="list-style-type: none"> • мгновенные значения U, I с частотой дискретизации 80-288 точек/период 	<ul style="list-style-type: none"> • Интеллектуальные электронные устройства • Преобразователи аналоговых сигналов 	МЭК 61850-9-2LE
<ul style="list-style-type: none"> • среднеквадратические значения U, I • фазовый угол тока и напряжения на интервале 0,1-0,2 с • ТУ выключателями и разъединителями • ТС положения выключателей и разъединителей 	<ul style="list-style-type: none"> • Интеллектуальные электронные устройства • Терминалы РЗА* 	МЭК 61850-8-1 (MMS)
<ul style="list-style-type: none"> • среднеквадратические значения U, I • фазовые углы U, I на интервале 0,02-0,1 с 	Устройства синхронизированных векторных измерений	IEEE C37.118.2-2011
<ul style="list-style-type: none"> • осциллограммы аварийных событий 	<ul style="list-style-type: none"> • Терминалы РЗА* • Регистраторы аварийных событий 	МЭК 61850-8-1 (Файлы Comtrade)
<ul style="list-style-type: none"> • иные источники данных (температура, давление, плотность, параметры масла, напряжение питания приводов) 	АСУ ТП, датчики	МЭК 61870-5-104, MODBUS

Перечень контролируемого электрооборудования подстанции

1. Трансформаторы и автотрансформаторы
2. Шунтирующие реакторы
3. Выключатели
4. Разъединители
5. Ограничители перенапряжений нелинейные
6. Высокочастотные заградители
7. Конденсаторы связи/делители напряжения
8. Измерительные трансформаторы напряжения
9. Измерительные трансформаторы тока



Структура системы мониторинга



Размещение оборудования на ОРУ 500 кВ



Релейный зал ОПУ

Шкафы измерительных преобразователей №1 и №2
Шкаф сервера уровня ПС
Шкаф сервера уровня ПМЭС



Шкаф контроля питания выключателей



Шкаф ТТ контроля питания выключателя



Шкаф контроля питания разъединителей



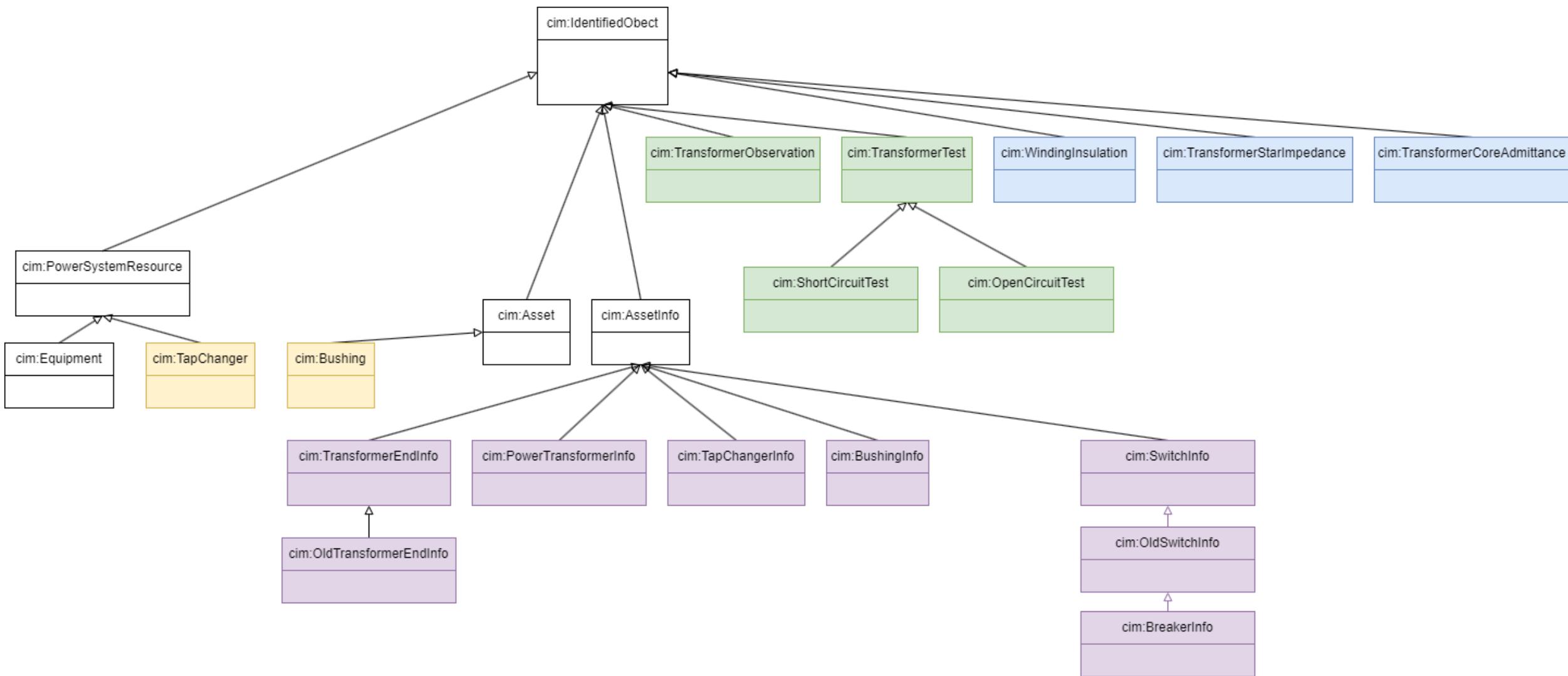
Шкаф и датчик мониторинга ОПС

Алгоритмы мониторинга силового оборудования

Трансформаторы, АТ	Выключатели	Разъединители	Трансформатор тока	Трансформатор напряжения
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Контроль параметров схемы замещения ▪ Контроль тока через АТ ▪ Контроль времени систематических и аварийных перегрузок ▪ Контроль состояния РПН ▪ Контроль коэффициентов трансформации ▪ Контроль повышения напряжения ▪ Контроль температуры верхних слоев масла ▪ Контроль температуры наиболее нагретой точки обмотки ▪ Контроль сокращения ресурса твердой изоляции ▪ Контроль содержания горючих газов ▪ Контроль содержания влаги в масле, влагосодержания твердой изоляции ▪ Контроль емкости и $\operatorname{tg} \delta$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Контроль механического ресурса • Контроль коммутационного ресурса • Контроль синхронности работы выключателя • Выявление затягивания времени коммутации • Контроль тока КЗ • Контроль повышения напряжения • Контроль цепей питания приводов включения и отключения • Контроль плотности элегаза 	<ul style="list-style-type: none"> • Контроль числа коммутационных операций • Контроль длительности коммутационной операции • Контроль нагрузочного тока • Контроль повышения напряжения • Контроль длительности дуги • Контроль тока КЗ • Контроль напряжения и тока на электроприводе 	<ul style="list-style-type: none"> • Выявление витковых замыканий во вторичной обмотке • Выявление виткового замыкания в первичной цепи • Выявление обрыва вторичной обмотки • Выявление насыщения магнитопровода • Контроль нагрузочного тока • Контроль воздействия тока КЗ • Контроль повышения напряжения • Контроль плотности элегаза • Контроль $\operatorname{tg} \delta$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Выявления витковых замыканий во вторичных обмотках • Выявление обрыва вторичной обмотки • Контроль повышения напряжения • Контроль емкости емкостного делителя • Выявление феррорезонанса • Контроль плотности элегаза • Контроль емкости и $\operatorname{tg} \delta$

Также реализованы алгоритмы контроля технического состояния для шунтирующих реакторов, ОПН, ВЧ-заградителей и конденсаторов связи (контроль емкости и $\operatorname{tg} \delta$, контроль повышения напряжения и др.)

Распределение данных в CIM модели



Предложения по расширению СИМ

Силовые трансформаторы, реакторы

- Включить в состав компоненты, являющиеся отдельными устройствами
- встроенные трансформаторы тока
- вариант охлаждения
- наличие расщепленной обмотки (для реактора)
- Соответственно расширить перечень параметров, характеризующих текущее состояние

Выключатели, разъединители

- Включить в состав компоненты, оказывающие влияние на работу, на основные технические характеристики
- параметры привода: напряжение, ток потребления, температура масла привода, мощность системы обогрева
- добавить характеристики работы: собственное время переключения, суммарное время переключения
- Соответственно расширить перечень параметров, характеризующих текущее состояние

Предложения по расширению CIM

Конденсаторы связи, емкостные делитель напряжения

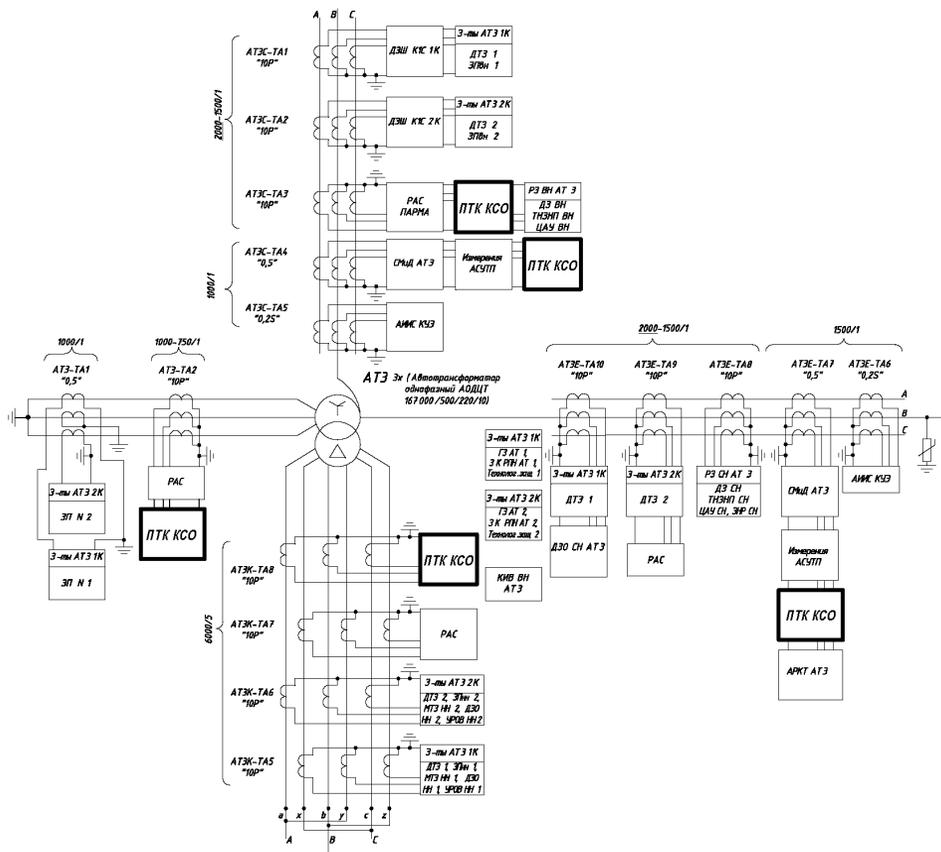
- Расширить перечень паспортных данных:
 - емкость нижнего и верхнего плеча делителя
 - емкость единичного конденсатора делителя
 - номинальный рабочий ток емкостного делителя
- Соответственно расширить перечень параметров, характеризующих текущее состояние

Ограничители перенапряжения нелинейные

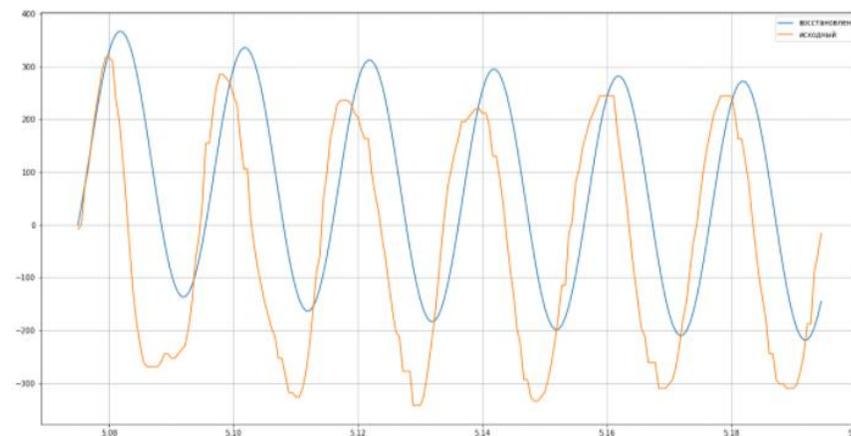
- Расширить перечень паспортных данных
 - зависимость тока утечки от рабочего напряжения
 - в холодном состоянии
 - в нагретом состоянии
- Соответственно расширить перечень параметров, характеризующих текущее состояние

Измерения тока и контроль ТТ

Контроль параметров всех обмоток выносного и встроенных ТТ



- Выбор опорного значения для использования в расчетных алгоритмах
- Выявление остаточного насыщения магнитопровода ТТ по изменению гармонического состава сигнала
- Расчет параметров тока к.з. по осциллограммам терминалов РЗА
 - ударный ток
 - средний ток
 - длительность к.з.
 - уровень апериодической составляющей
- Повышение точности расчета параметров тока к.з. за счет восстановления кривой тока
 - ТТ насыщается через ~ 5 мс после начала к.з.
 - существенное влияние на значение максимального тока к.з. и на коммутационный ресурс выключателей



Контроль повышения напряжения ПО ГОСТ 1516.3

Допустимые повышения напряжения для электрооборудования классов напряжения от 110 до 330 кВ

Вид электрооборудования	Допустимое повышение напряжения, относительное значение $K_{\text{макс.доп.}}$, не более, при длительности $t_{\text{макс.доп.}}$							
	0,1 с		1 с		20 с ¹		20 мин ²	
	ф-ф	ф-з	ф-ф	ф-з	ф-ф	ф-з	ф-ф	ф-з
Силовые трансформаторы (автотрансформаторы)	1,58	2,00	1,50	1,90	1,25		1,10	
Шунтирующие реакторы и электромагнитные трансформаторы напряжения	1,58	2,10	1,50	2,00	1,35		1,15	
Аппараты, емкостные трансформаторы напряжения, трансформаторы тока, конденсаторы связи, шинные опоры	1,58	2,40	1,70	2,20	1,60		1,15	

1. Количество повышений напряжения длительностью 20 с не должно быть более 100 за срок службы электрооборудования, указанный в стандартах на отдельные виды электрооборудования, или за 25 лет, если срок службы не указан. При этом количество повышений напряжения не должно быть более 15 в течение одного года и более двух в течение суток.
2. Количество повышений напряжения длительностью 20 мин не должно быть более 50 в течение одного года

Особенности измерения напряжения и контроля ТН

Измерение повышений напряжения

1. Детекция повышений напряжения

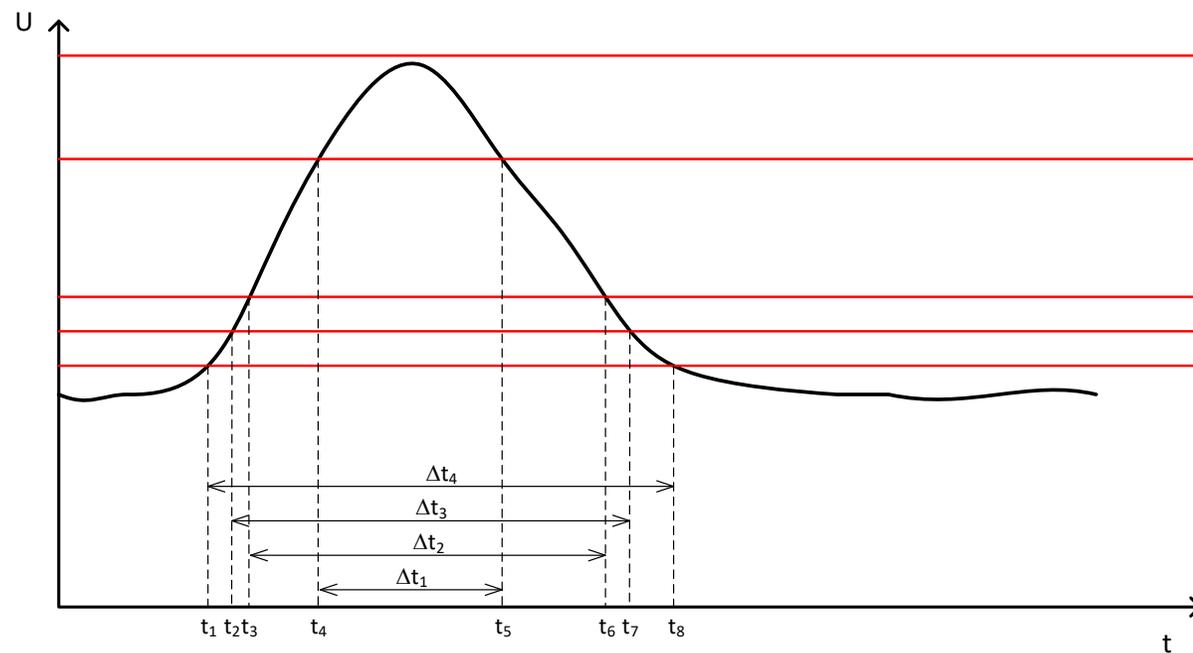
- фиксация моментов времени превышения напряжением допустимых уровней
- параметр – амплитуда напряжения на каждом полупериоде основной частоты

2. Анализ повышения напряжения

- расчет параметров повышения напряжения
- сравнения с допустимыми значениями
- формирование заключения о степени соответствия нормам

3. Статистический анализ повышений напряжений

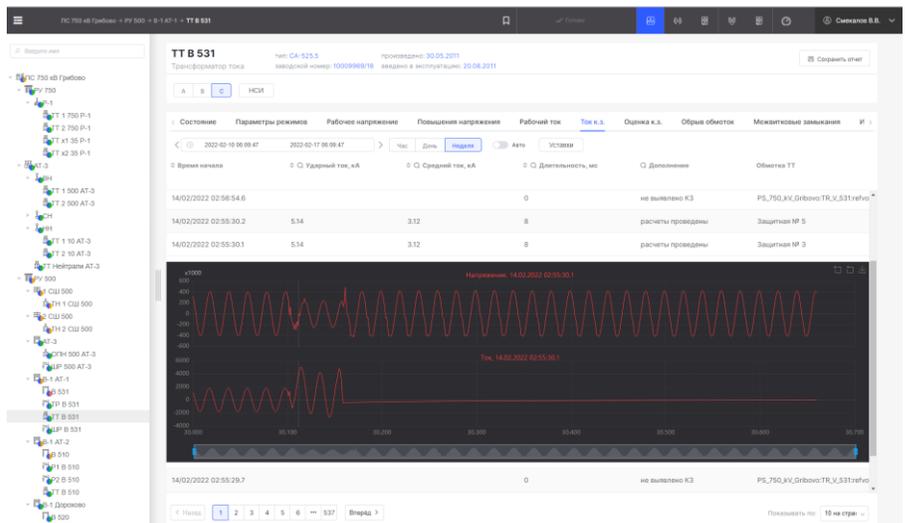
- контроль количества повышений напряжений за день, месяц, год
- контроль интервалов между повышениями напряжений



Другие особенности контроля ТН

- ✓ Учет топологии сети
- ✓ Контроль параметров и комплексный анализ данных всех обмоток для выбора опорного напряжения узла
- ✓ Выявление феррорезонанса по изменению гармонического состава сигнала
- ✓ Подробная фиксация параметров повышения напряжения

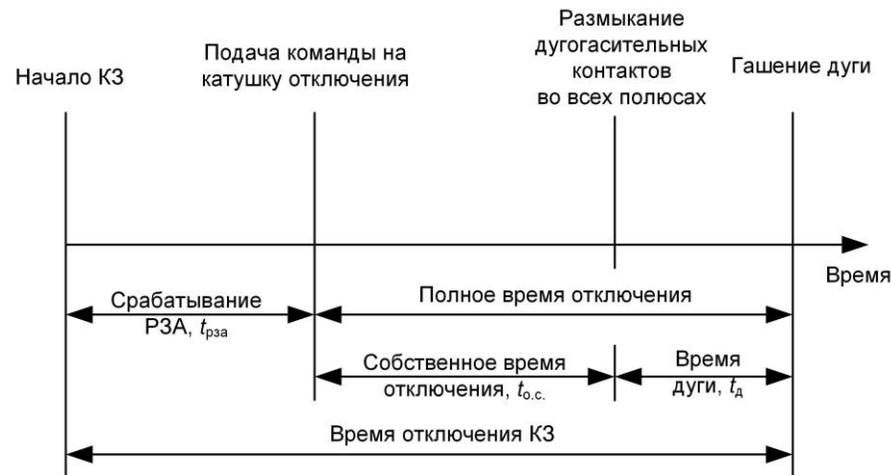
Контроль высоковольтных выключателей



Операция отключения



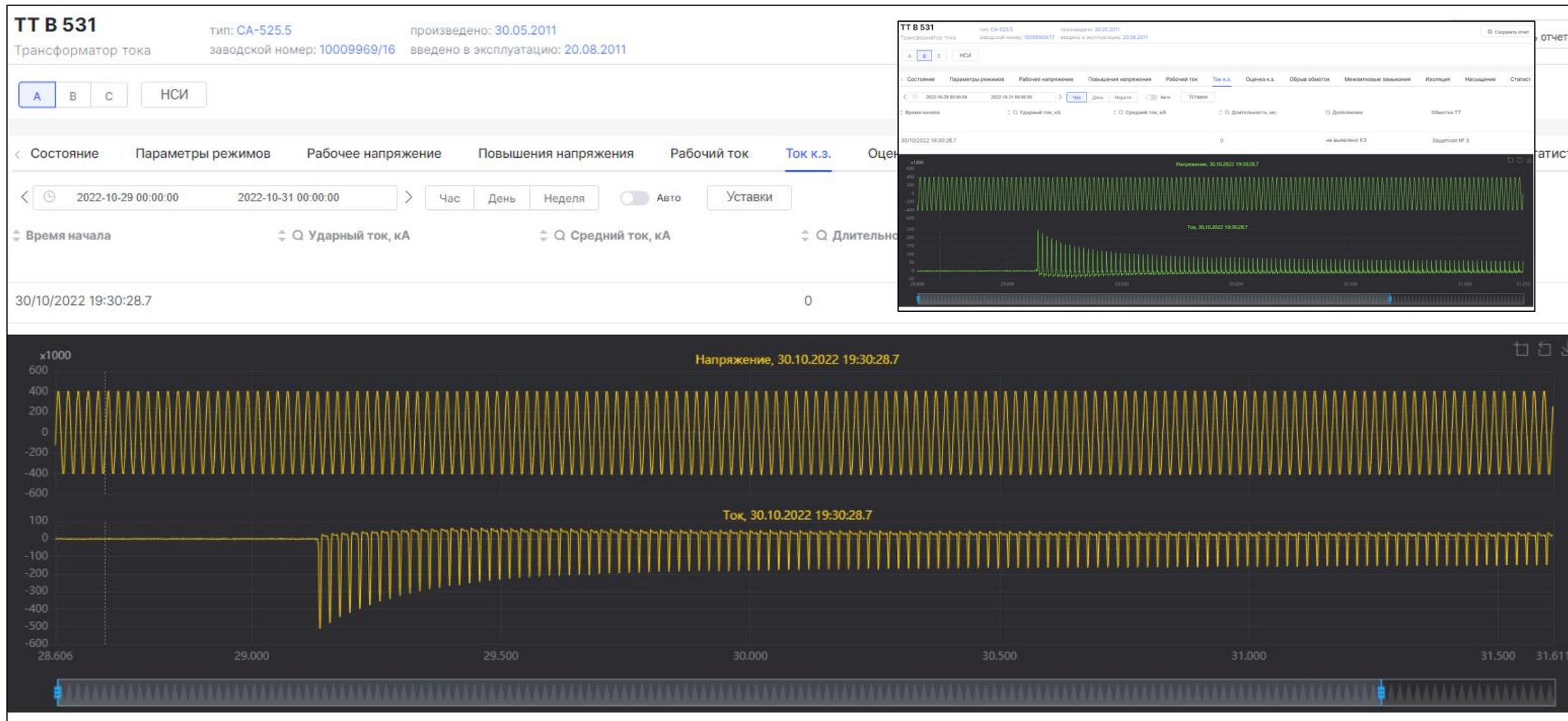
Операция включения



Реализуемые функции

- контроль операции включения выключателя
 - определение времени срабатывания выключателя от момента подачи команды на включение до момента пробоя межконтактного промежутка (зажигания дуги) и замыкания контактов
 - фиксация несинхронности включения полюсов
- контроль операции отключения выключателя
 - определение времени срабатывания выключателя (собственное время, время горения дуги, полное время отключения)
 - фиксация несинхронности отключения полюсов
- контроль напряжения на полюсах выключателя
- контроль остаточного механического и коммутационного ресурса выключателя
- выявление дефектов (износ привода, несинхронное замыкание полюсов и др.)

Отдельные алгоритмы анализа состояния оборудования



Направления дальнейшей работы

1. **Расширению СИМ в части:**
 - контролируемых параметров электрооборудования
 - видов отказов компонентов и единиц электрооборудования
2. **Расширение возможностей в части автоматической идентификации событий**
3. **Накопление статистики синхронизированных измерений и технологических нарушений для совершенствования алгоритмов контроля**
4. **Интеграция систем мониторинга силового и вторичного оборудования**

КОНФЕРЕНЦИЯ

CiM

В РОССИИ И МИРЕ • 2024

COMMON
INFORMATION
MODEL



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
RUSSIAN POWER SYSTEM OPERATOR

Спасибо за внимание!



Небера Алексей Анатольевич
nebera_aa@rtsoft.ru, телефон