

# МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВИ


Пискунов С.А., Мокеев А.В., Ульянов Д.Н.



**Автоматизированная система мониторинга и технического диагностирования СТ (АСМД СТ)** - система непрерывного диагностирования, обеспечивающая сбор, хранение, обработку информации и техническое диагностирование в режиме непрерывного контроля параметров СТ с применением автоматизированных систем реального времени и участием человека.

- требования настоящего СТО распространяются на АСМД силового масляного трансформаторного оборудования;
- требования СТО обязательны для применения предприятиями и организациями на всех стадиях жизненного цикла АСМД;
- рекомендуется оснащение АСМД всего парка оборудования, находящегося в зоне обслуживания обособленных диагностических подразделений;
- подход применим для оборудования, находящегося на ПС, удалённых от зоны постоянного базирования диагностических подразделений.

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ  
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»



**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ**  
ОАО «ФСК ЕЭС»

СТО 56947007-  
29.200.10.011-2008

**Трансформаторы силовые, автотрансформаторы и реакторы.  
Автоматизированная система мониторинга и технического  
диагностирования. Общие технические требования**

Стандарт организации

Дата введения: 18.04.2008  
Дата введения изменений: 16.06.2010  
Дата введения изменений: 12.12.2019

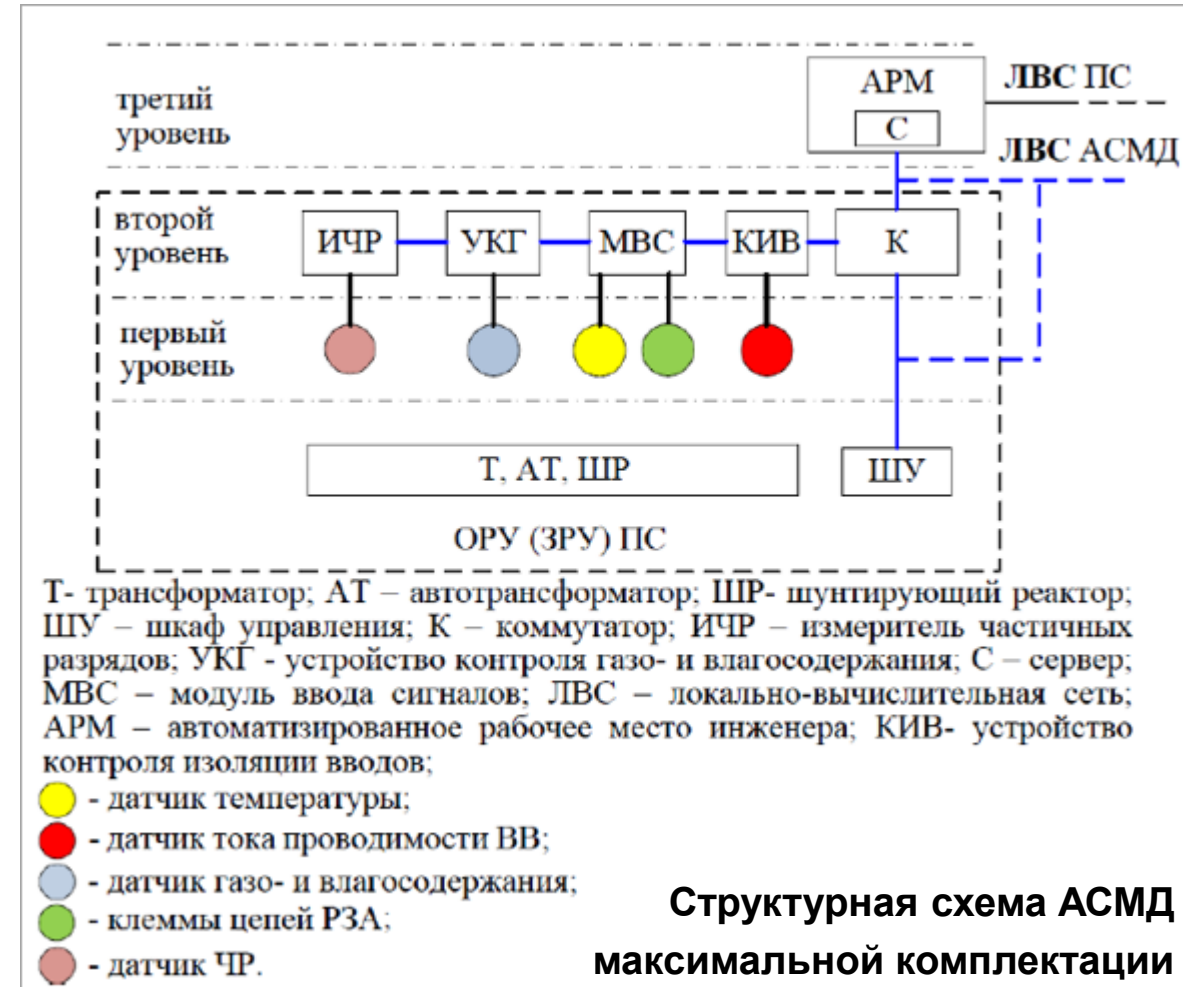
**СТО 56947007-29.200.10.011-2008  
(изм. 2019 г.)**

ОАО «ФСК ЕЭС»  
2008



## Функции:

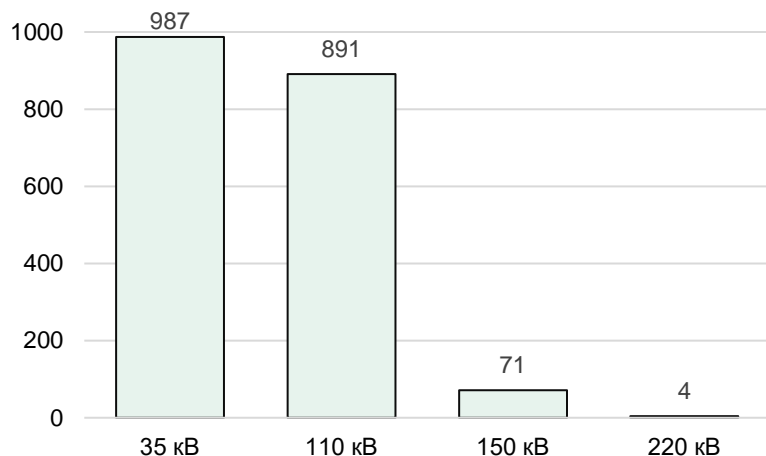
- непрерывное (с установленной периодичностью) измерение, регистрация, преобразование и отображение диагностических параметров силового трансформатора;
- определение технического состояния силового трансформатора и его отдельных узлов на основе измеренных диагностических параметров;
- предупредительная и аварийная сигнализация при отклонении диагностического параметра СТ от нормального (допустимого) состояния;
- прогнозирование остаточного ресурса и оптимизация проведения регламентных диагностических работ;
- обеспечение перехода на планирование технического обслуживания и ремонтов (ТОиР) по техническому состоянию.



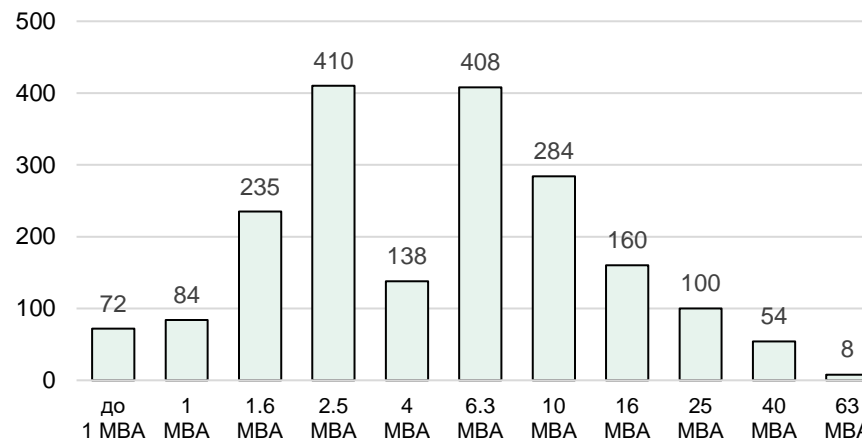
**Состав ПТК АСМД** может значительно отличаться в зависимости от важности и технического состояния объекта.



### Количество СТ по уровню ВН\*

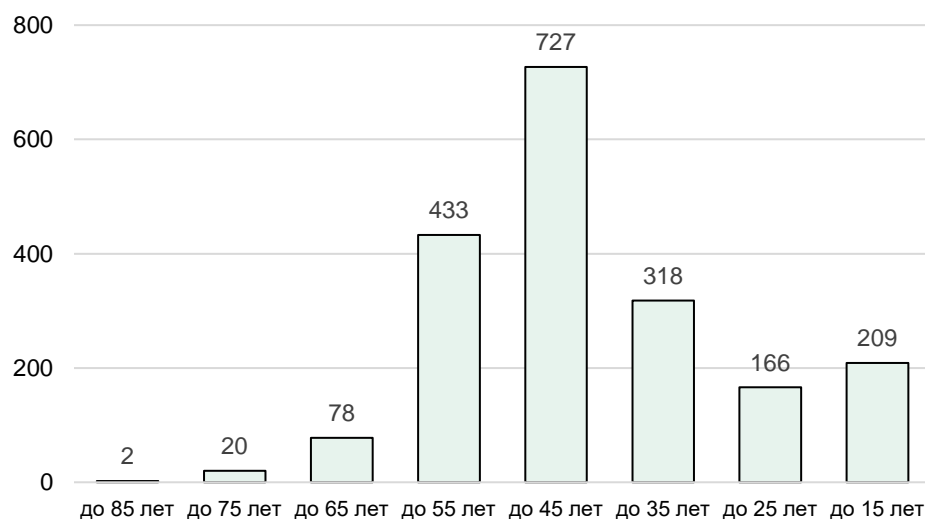


### По установленной мощности



АСМД должна иметь оптимальный набор компонентов и функций для достижения максимального **технико-экономического эффекта**.

### По годам ввода в эксплуатацию



### Укрупненные стоимостные показатели СТ, тыс.руб.

S, МВА	Тип СТ				
	35/НН	110/НН	110/35/НН	220/НН	220/110/НН
2,5	1530,50	4570,30	-	-	-
6,3	3630,37	5280,53	6270,63	-	-
10	4620,47	6565,68	8745,88	-	-
16	6105,62	9735,98	12211,23	-	-
25	8250,83	11716,18	13531,37	-	17656,79
40	12541,27	14910,43	15676,58	17986,82	19802,00
63	-	19141,94	21122,14	24257,45	-
80	-	22112,24	24257,45	30858,12	-

\*по данным филиала ПАО «Россети» по состоянию на 2021 г.

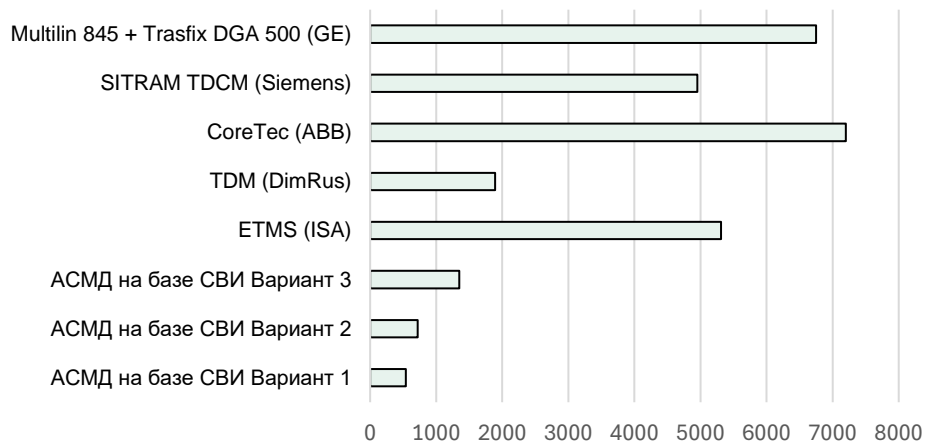


Узел/Причина повреждения	Класс напряжения, кВ													
	35		110		220		330		500		750		Всего	
	Кол.	%	Кол.	%	Кол.	%	Кол.	%	Кол.	%	Кол.	%	Кол.	%
Обмотки	61	30	43	13	10	7	1	8	0	0	0	0	115	16
Магнитопровод	0	0	0	0	2	1,5	1	8	0	0	0	0	3	0,5
Система охлаждения	7	3	16	5	8	6	2	15	3	14	0	0	36	5
РПН	4	2	61	18	26	19	1	8	5	24	0	0	97	13,5
Высоковольтные вводы	27	13	77	23	44	32	3	23	7	34	0	0	158	22
Течь масла	15	7	35	10	21	15	3	23	4	19	0	0	78	11
Упуск масла	59	30	75	22	24	18,5	2	15	2	9	0	0	162	23
Вандализм	31	15	31	9	1	1	0	0	0	0	0	0	63	9
<b>Итого</b>	<b>204</b>	<b>100</b>	<b>338</b>	<b>100</b>	<b>136</b>	<b>100</b>	<b>13</b>	<b>100</b>	<b>21</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>712</b>	<b>100</b>

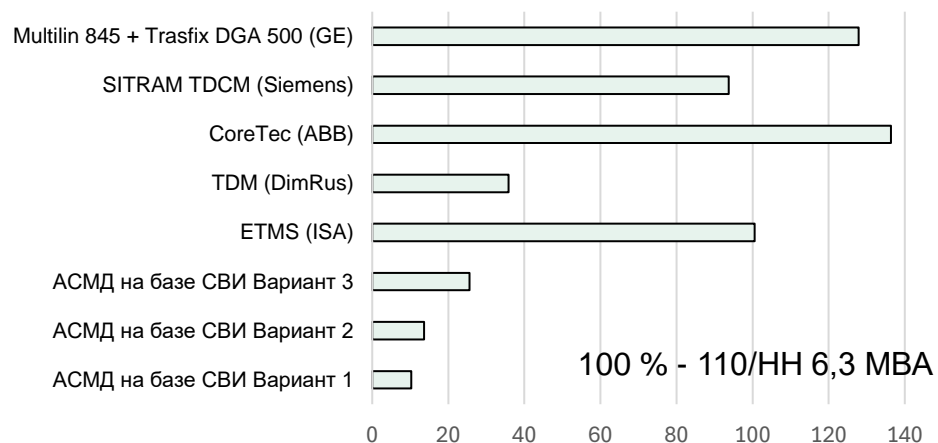
- наибольшее число повреждений СТ происходит в сетях с высшим напряжением 35-110 кВ;
- многие повреждения СТ связаны с его электромагнитной системой;
- существующие СМСТ преимущественно ориентированы на применение в сетях высокого напряжения и контроль неэлектрических параметров СТ (СТО 5647007-29.200.10.011).



## Средняя стоимость АСМД СТ, тыс.руб.\*



## Относительно укрупненной стоимости СТ, %



## АСМД на базе СВИ (ООО «Инженерный центр «Энергосервис»):

- измерение синхровекторов фазных напряжений и токов СТ, мощностей, коэффициентов мощности и др. (согласно СТО);
- контроль электромагнитных параметров СТ;
- расширение функций системы (до максимальной комплектации);

## Преимущества для распределительных сетей:

- измерительные устройства собственной разработки (УСВИ, ЦТТН 6-15 кВ, в перспективе – 35-110 кВ);
- запатентованные алгоритмы математической обработки данных для расчетно-аналитической модели;
- возможность интеграции с другими системами автоматизации подстанции (интеграция технологий ВАПС и СВИ);
- широкий спектр диагностических данных при минимальном объеме затрат.

**Вариант 1 – минимальная комплектация, Вариант 2 – базовая, Вариант 3 – расширенная**

\*на основании ТЭО в рамках НИР «Разработка алгоритмов и способов мониторинга состояния силовых трансформаторов в распределительных электрических сетях 35-110 кВ на основе синхронизированных векторных измерений» по договору между ПАО «Россети Северо-Запад» и АО «ФИЦ» от 01.06.2020 г. № 290/405/20



Механизм повреждения	Виды дефектов	Диагностический параметр
Электромагнитные силы, вызванные током КЗ	Деформация обмотки	Индуктивное сопротивление продольной ветви
Повреждение изоляции, образующее контур, сцепленный с основным магнитным потоком	Межвитковое замыкание: а) полное замыкание двух или нескольких витков; б) замыкание двух или нескольких параллельных проводников, принадлежащих разным виткам	Ток намагничивания и потери холостого хода
Повреждение изоляции, образующее контур, сцепленный с потоком рассеяния	Замыкание параллельных проводников; витковые замыкания в обмотках трансформатора; повреждение изоляции прессующих винтов	Потери короткого замыкания
Ухудшенный контакт и перегрев контактов отводов РПН или ПБВ, увеличение переходного сопротивления	Перегрев и эрозия контактов	Активное сопротивление продольной ветви
Механическое смещение или перегрев проводника, его обрыв или перегорание	Обрыв цепи	Ток намагничивания и потери холостого хода, активное сопротивление продольной ветви
Механические воздействия или перевозбуждение, повреждение изоляции элементов магнитопровода и образование контура, сцепленного с основным магнитным потоком	Закорачивание листов электротехнической стали, нарушение изоляции стяжных шпилек, ярмовых балок и др.	Ток намагничивания и потери холостого хода

**Вывод:** на основе контроля электромагнитных параметров СТ по данным измерений синхровекторов напряжения и тока может быть реализована эффективная АСМД.

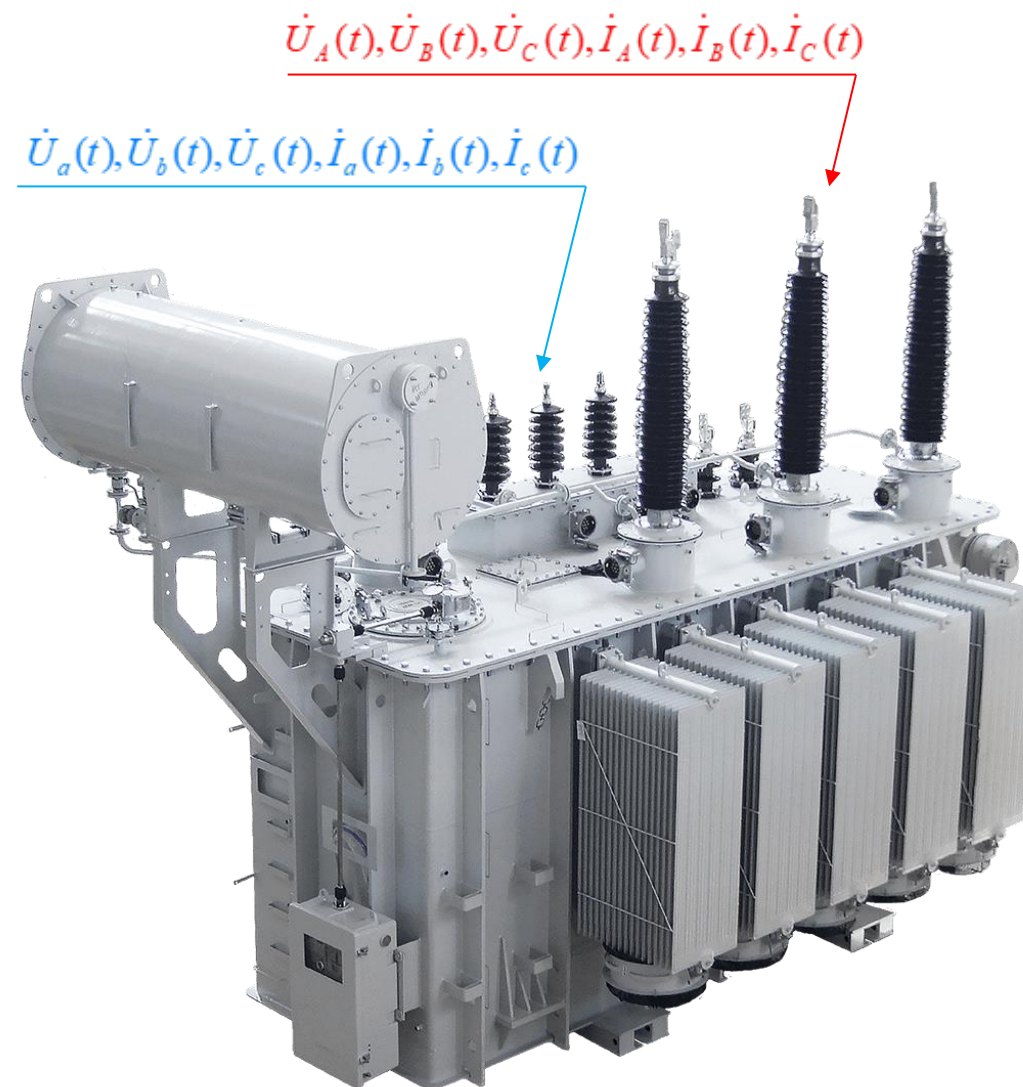


## Основные измерения:

- фазные напряжения обмоток трансформатора в комплексном виде;
- фазные токи обмоток трансформатора в комплексном виде;
- фазные активные и реактивные мощности обмоток;
- частота сети;
- параметры качества электроэнергии (коэффициент гармонических искажений, уровни гармоник по напряжению до 50);
- фазные коэффициенты мощности обмоток.

## Контроль диагностических параметров:

- импедансы продольных и поперечных ветвей схем замещения в комплексном виде;
- фазные и суммарные потери активной и реактивной мощности;
- токи холостого хода по фазам;
- напряжения короткого замыкания по фазам;
- потери короткого замыкания;
- потери холостого хода;
- коэффициент трансформации по фазам.

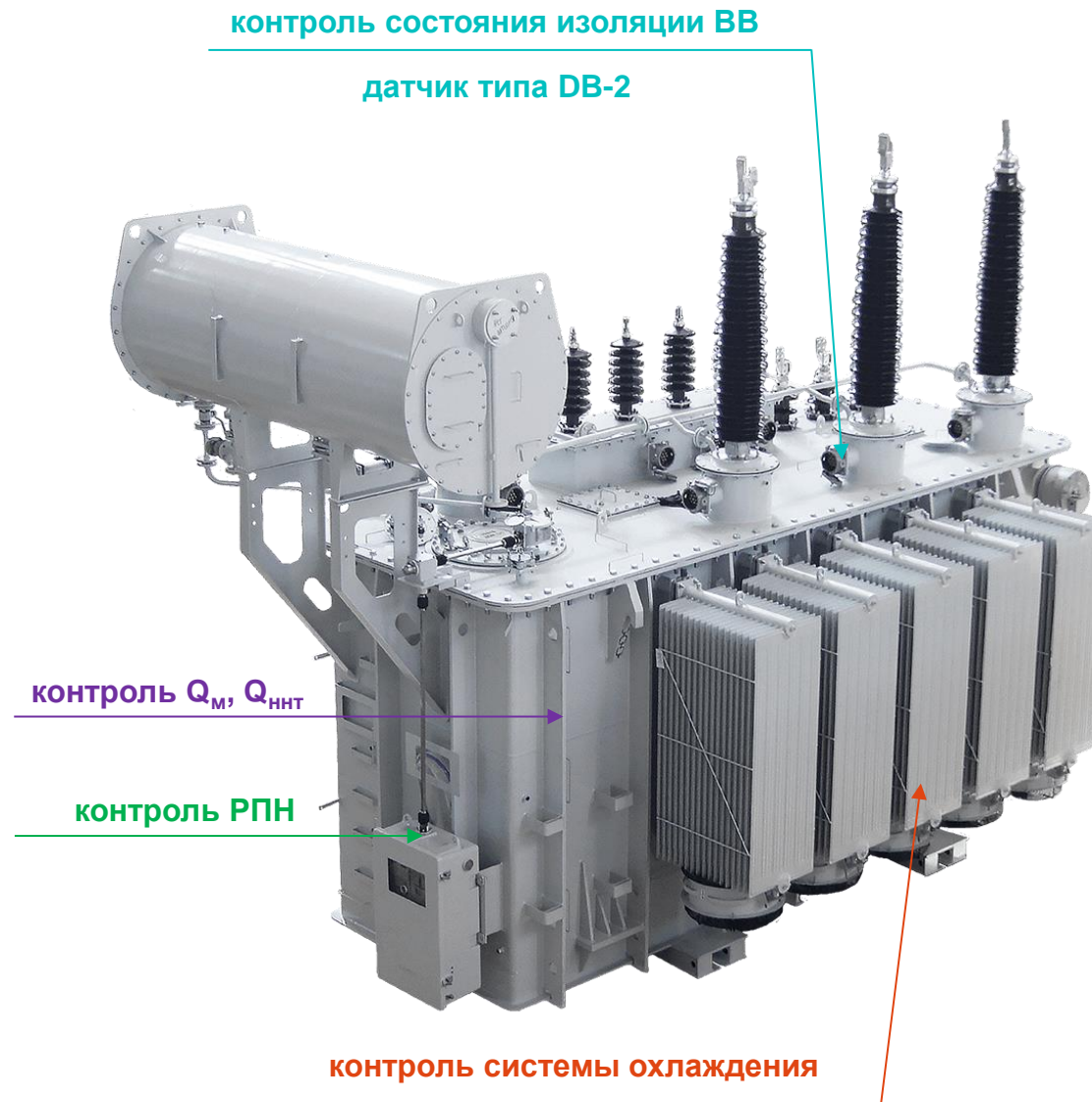
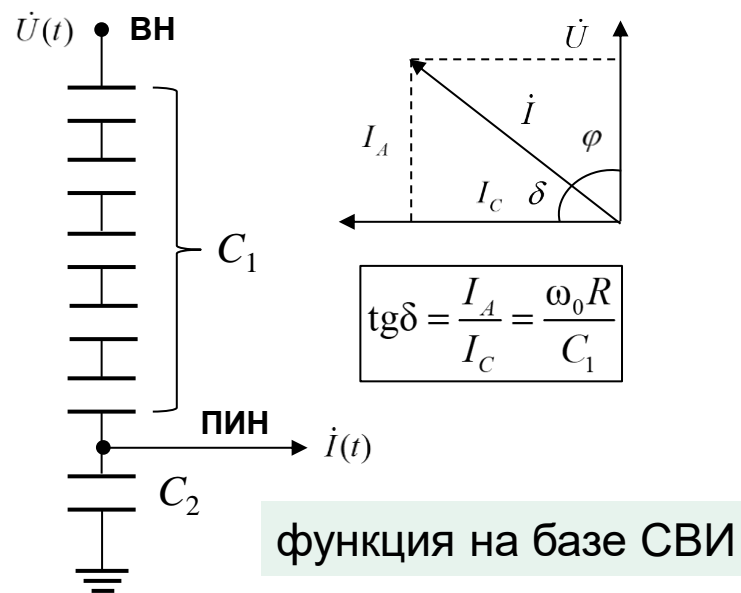


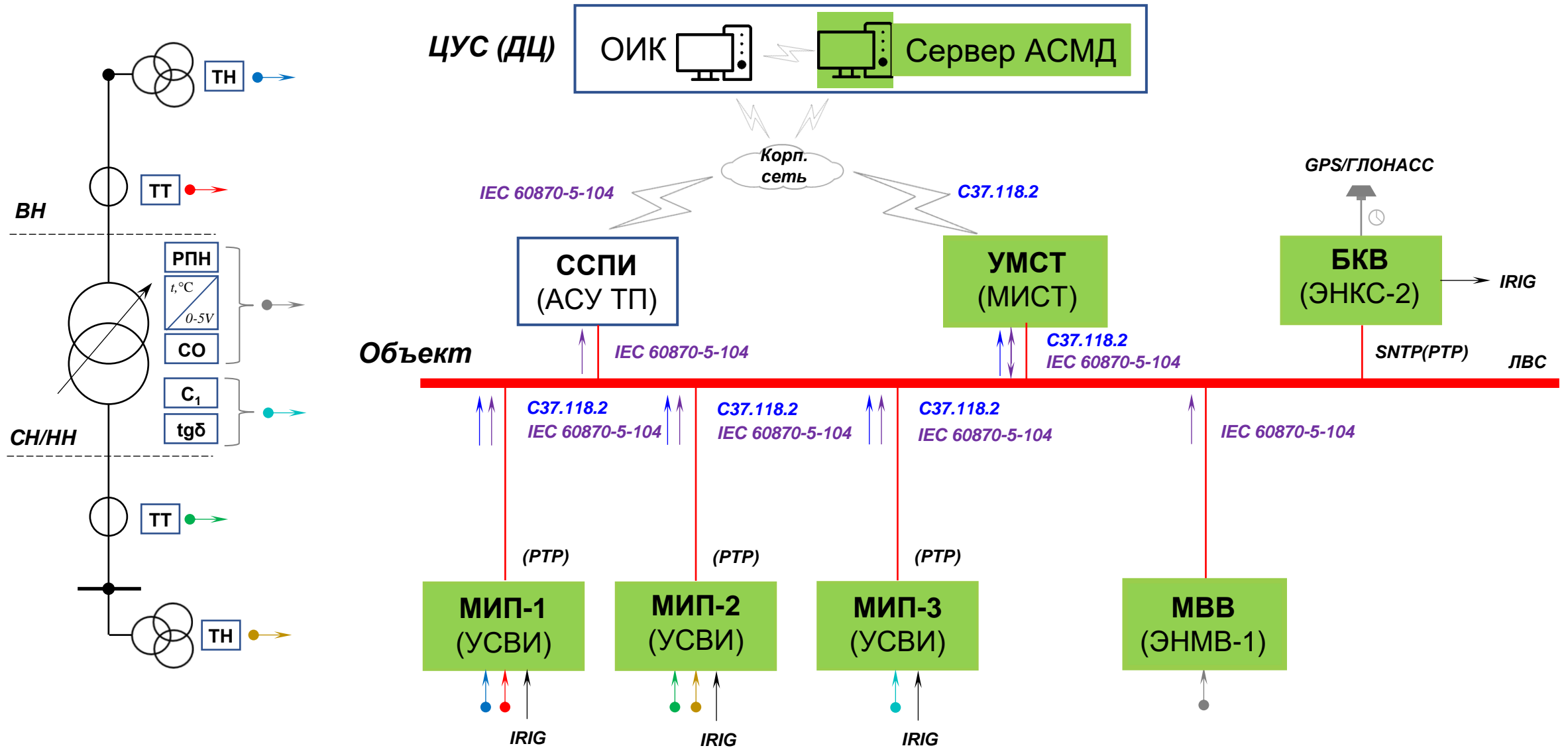




## Расширенные функции системы:

- контроль положения ступени РПН (логометр);
- измерение температуры трансформаторного масла, обмоток;
- контроль работы системы охлаждения;
- мониторинг состояния высоковольтных вводов (измерение тангенса диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  и емкости  $C_1$ );
- измерение и контроль других диагностических параметров СТ.

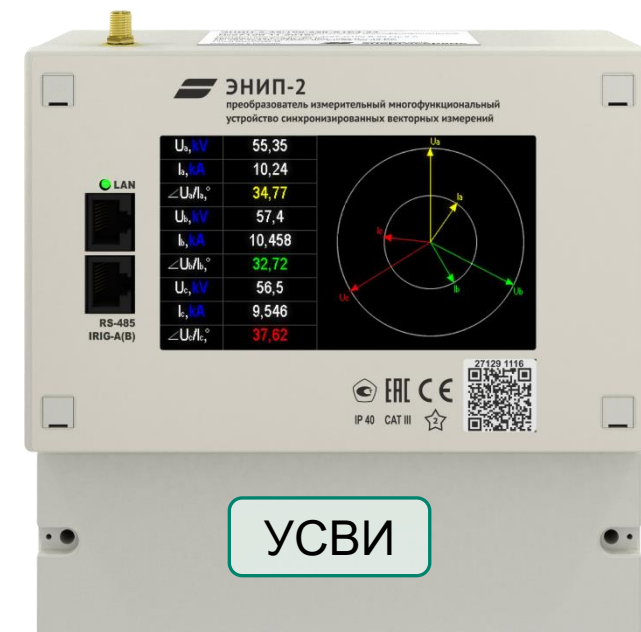
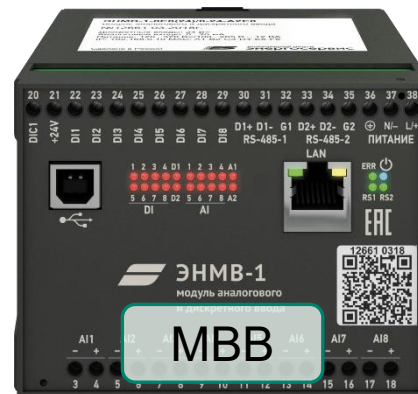




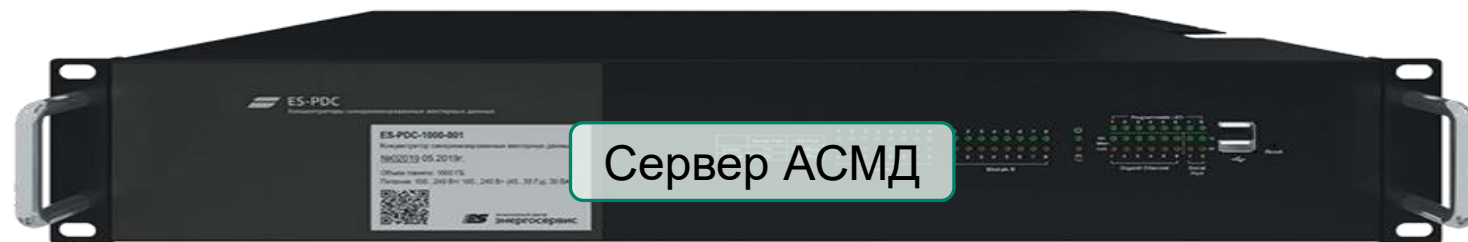


## Основное оборудование:

- **ЭНИП-2 УСВИ (PMU)** – устройство синхронизированных векторных измерений, многофункциональный измерительный преобразователь (МИП);
- **ЭНКС-2** – блок коррекции времени (БКВ);
- **ЭНМВ-1** – модуль ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов (МВВ);
- **ЭНКС-3м** – устройство сбора и передачи данных (сервер ССПИ);
- **МИСТ** – устройство мониторинга и диагностики состояния силового трансформатора (УМСТ);
- **ES-PDC** – сервер системы мониторинга трансформатора (Сервер АСМД).



АСМД включает типовые **серийно производимые** компоненты.





**Аналитический модуль МИСТ** обрабатывает данные, поступающие с информационно-измерительной системы и выявляет аномальные режимы работы СТ и его характеристики с учетом реализуемых расчётно-аналитических моделей.

## Функции (СТО 56947007-29.200.10.011-2008):

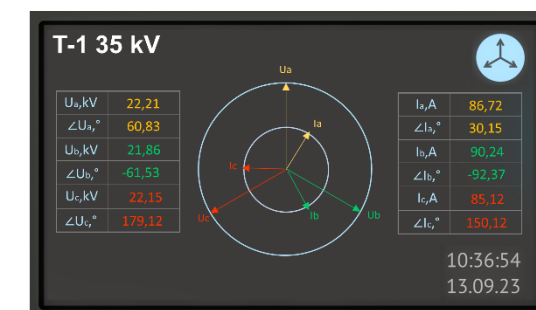
- сбор и хранение результатов оценки технического состояния силового трансформатора;
- визуализация предупредительной и аварийной сигнализации;
- возможность хронологического протоколирования событий;
- интуитивно понятный графический интерфейс;
- средства самодиагностики системы;
- стандартные протоколы обмена среднего и верхнего уровня;
- параметризация и конфигурирование системы без вывода из работы;
- средства тестирования на объекте эксплуатации;
- сервисные функции (калибровка измерительных каналов, проверка исправности УСО дискретного ввода/вывода, последовательных каналов связи и часов реального времени);
- возможность дополнения системы расчетными и сервисными программами;
- наращиваемость и расширяемость (подключение дополнительных модулей, датчиков).



### T-1 Parameters

Sn	10 MVA	Kt	5.806
Uv	38.5 kV	Z12	11.2 Ohm
Un	6.6 kV	Z0	4.6e3 Ohm
Uk	8.2 %	LTC	±6x1.5%
Ix	3.3 %	S/G	Y0/D-11
Pk	29.6 kW		
Px	91.5 kW		

10:36:54  
13.09.23





Шкаф-панель АСМД

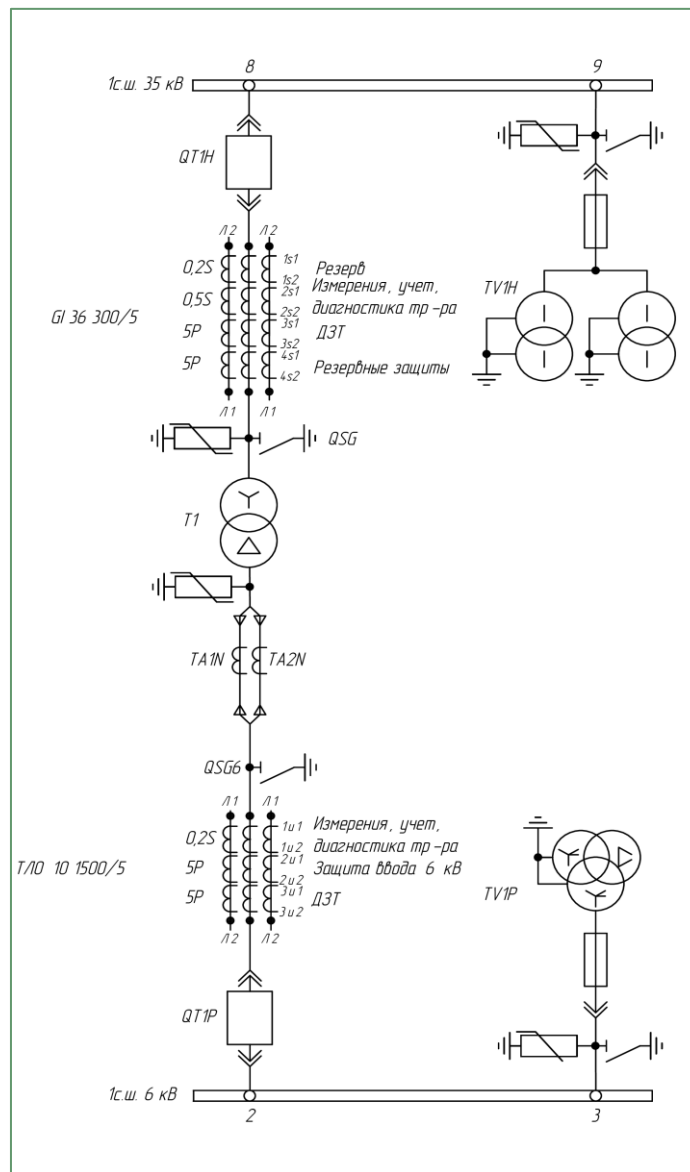


Шкафы АСМД наружной установки на силовой трансформатор

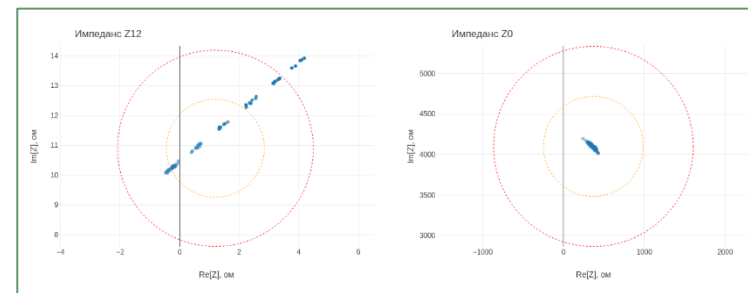
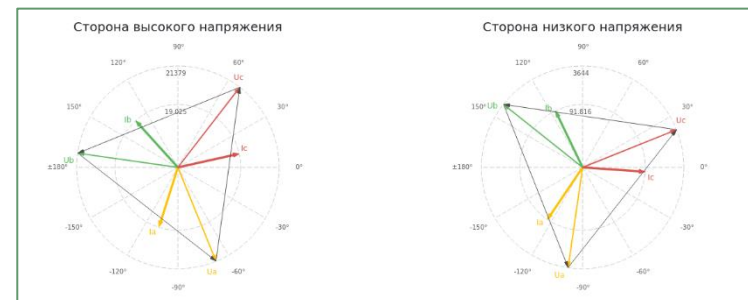




- описание контролируемого объекта;
- отображение текущего состояния;
- однолинейные схемы расположения;
- сводный перечень контролируемых параметров;
- векторные диаграммы токов и напряжений;
- графическое отображение изменения параметров;
- экраны диагностики системы.



	Напряжение, В	Ток, А
• A	21335 $\angle -67.820^\circ$	19 $\angle -107.565^\circ$
• B	21339 $\angle 171.939^\circ$	19 $\angle 132.194^\circ$
• C	21379 $\angle 52.244^\circ$	19 $\angle 12.498^\circ$
• A	3638 $\angle -98.233^\circ$	92 $\angle -124.075^\circ$
• B	3638 $\angle 141.526^\circ$	91 $\angle 115.684^\circ$
• C	3644 $\angle 21.830^\circ$	92 $\angle -4.012^\circ$
	Расчётное	Теоретическое
Kt	5.833	5.806
Z12	3.8 + i13.6	1.2 + i10.9
Z0	358.5 + i4110.2	370 + i4100
Uкз	2115.095	1823
Iхх	5.388	4.949
\Delta S	113580.072	114354.791





## Сигнализация:

- предупредительные сигналы о выходе за установленные пределы диагностических параметров;
- предупредительные сигналы, сформированные событием о медленно развивающихся дефектах;
- сигналы об аварийном отклонении параметров, срабатывании защит;
- сигналы об обнаруженных неисправностях технических средств.

Деление сигнализации на аварийную и предупредительную осуществляется путем присвоения каждому сигналу определенного класса тревог.

## Действие сигнализации:

- специальные звуковые и световые сигналы;
- занесение сигнала в список аварийных сигналов и список событий с отметкой признака аварии и указание метки времени.







Период проведения измерений (UTC+0): 2024.07.06 00:00:00 – 2024.07.07 00:00:00

### Общие сведения

Объект: ПС-7

Трансформатор: Т-1

### Фазные напряжения

Среднее значение, кВ			Среднее отклонение, %			Максимальное отклонение, %		
U <sub>1a</sub>	U <sub>1b</sub>	U <sub>1c</sub>	δU <sub>1a</sub>	δU <sub>1b</sub>	δU <sub>1c</sub>	δU <sub>1a</sub>	δU <sub>1b</sub>	δU <sub>1c</sub>
68.6792	69.0844	68.9505	8.14	8.78	8.57	9.33	10.02	9.81
U <sub>2a</sub>	U <sub>2b</sub>	U <sub>2c</sub>	δU <sub>2a</sub>	δU <sub>2b</sub>	δU <sub>2c</sub>	δU <sub>2a</sub>	δU <sub>2b</sub>	δU <sub>2c</sub>
21.0051	21.3180	21.3345	3.95	5.5	5.58	106.96	95.67	79.11
U <sub>3a</sub>	U <sub>3b</sub>	U <sub>3c</sub>	δU <sub>3a</sub>	δU <sub>3b</sub>	δU <sub>3c</sub>	δU <sub>3a</sub>	δU <sub>3b</sub>	δU <sub>3c</sub>
3.5885	3.6029	3.5976	3.59	4.01	3.85	45.18	48.4	48.59

### Фазные токи

Среднее значение, А			Минимальное значение, А			Максимальное значение, А		
I <sub>1a</sub>	I <sub>1b</sub>	I <sub>1c</sub>	I <sub>1a</sub>	I <sub>1b</sub>	I <sub>1c</sub>	I <sub>1a</sub>	I <sub>1b</sub>	I <sub>1c</sub>
28.7973	28.8432	28.9581	18.1000	18.7000	18.8000	750.7500	770.6500	723.4000
I <sub>2a</sub>	I <sub>2b</sub>	I <sub>2c</sub>	I <sub>2a</sub>	I <sub>2b</sub>	I <sub>2c</sub>	I <sub>2a</sub>	I <sub>2b</sub>	I <sub>2c</sub>
78.3360	79.7699	79.7680	48.5400	51.7200	51.1200	1525.2600	1536.1801	1468.0801
I <sub>3a</sub>	I <sub>3b</sub>	I <sub>3c</sub>	I <sub>3a</sub>	I <sub>3b</sub>	I <sub>3c</sub>	I <sub>3a</sub>	I <sub>3b</sub>	I <sub>3c</sub>
75.2075	71.5248	74.4194	42.6000	31.5000	42.0000	169.2000	160.5000	142.5000

### Потери мощности

Среднее значение, кВт/кВА			Мин. значение, кВт/кВА			Макс. значение, кВт/кВА		
P <sub>d</sub>	Q <sub>d</sub>	S <sub>d</sub>	P <sub>d</sub>	Q <sub>d</sub>	S <sub>d</sub>	P <sub>d</sub>	Q <sub>d</sub>	S <sub>d</sub>
7.7937	60.8863	61.4014	-66.8018	16.5850	33.1773	5593.7644	31656.0238	32146.4468
Отклонение, %		5.99	Отклонение, %		0	Отклонение, %		408.7

### Коэффициенты мощности и загрузки

Среднее значение		Минимальное значение		Максимальное значение	
k <sub>1</sub>	cosφ <sub>1</sub>	k <sub>1</sub>	cosφ <sub>1</sub>	k <sub>1</sub>	cosφ <sub>1</sub>
0.0497	0.7868	0.0320	0.2737	1.1994	0.9249

### Импедансы схемы замещения

Среднее значение, Ом			Среднее отклонение, %			Максимальное отклонение, %		
Z <sub>1</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>0</sub>	δZ <sub>1</sub>	δZ <sub>3</sub>	δZ <sub>0</sub>	δZ <sub>1</sub>	δZ <sub>3</sub>	δZ <sub>0</sub>
48.5259	44.7226	182562.8612	18.47	73.87	13.54	52.58	172.57	170.54

08.07.2024, 17:32

2024-07-06-00-00-00\_2024-07-07-00-00-00\_ПС-7\_Т-1

Обозначение	Уровень 1		Уровень 2	
	Количество	Время, мин.	Количество	Время, мин.
δU <sub>1a</sub>	0	0	0	0
δU <sub>1b</sub>	0	0	0	0
δU <sub>1c</sub>	0	0	0	0
δU <sub>2a</sub>	2	0	0	0
δU <sub>2b</sub>	3	0	0	0
δU <sub>2c</sub>	16	0	1	150
δU <sub>3a</sub>	0	0	1	0
δU <sub>3b</sub>	0	0	1	0
δU <sub>3c</sub>	0	0	0	0
δS <sub>d</sub>	0	0	1	0
δZ <sub>1</sub>	0	0	0	0
δZ <sub>3</sub>	1724	106	615	274
δZ <sub>0</sub>	0	0	0	0
δKt <sub>12</sub>	0	0	0	0
δKt <sub>13</sub>	0	0	0	0
k <sub>1</sub>	0	0	0	0
k <sub>1(K2max)</sub>	0	0	0	0
Θ <sub>м</sub>	0	0	0	0
Θ <sub>ннт</sub>	0	0	0	0
F <sub>p</sub>	0	0	0	0

Общее время работы системы: 1458 ч. (60 д. 18 ч. 36 мин.)

Общий износ витковой изоляции: 1 ч. (0 д. 1 ч. 16 мин.)

Относительный износ витковой изоляции: 0.09 %.

### Качество данных

Статус измерений: 100 %.

Дополнительные признаки: 99.31 %.

Общее время работы системы: 1458 ч. (60 д. 18 ч. 36 мин.)

Общий износ витковой изоляции: 1 ч. (0 д. 1 ч. 16 мин.)

Относительный износ витковой изоляции: 0.09 %.

### Качество данных

Статус измерений: 100 %.

Дополнительные признаки: 99.31 %.

- создание отчетов в текстовом формате;
- функция отражения не менее 30-ти различных параметров на одном бланке,
- с выбором требуемого диапазона времени различной дискретности

(суточные, недельные, месячные, годовые отчеты).

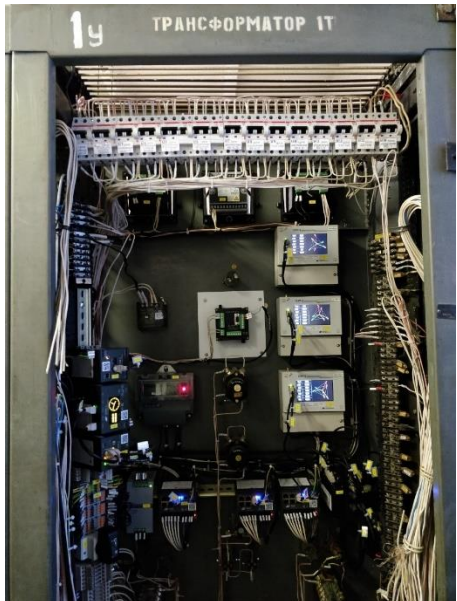


- НИР «Разработка алгоритмов и способов мониторинга состояния силовых трансформаторов в распределительных электрических сетях 35-110 кВ на основе синхронизированных векторных измерений» по договору между ПАО «Россети Северо-Запад» и АО «ФИЦ» от 01.06.2020 г. № 290/405/20;
- опытно-промышленная эксплуатация АСМД на двух подстанциях 110 кВ и 35 кВ ПАО «Россети».



## ВЫВОДЫ ОПЭ:

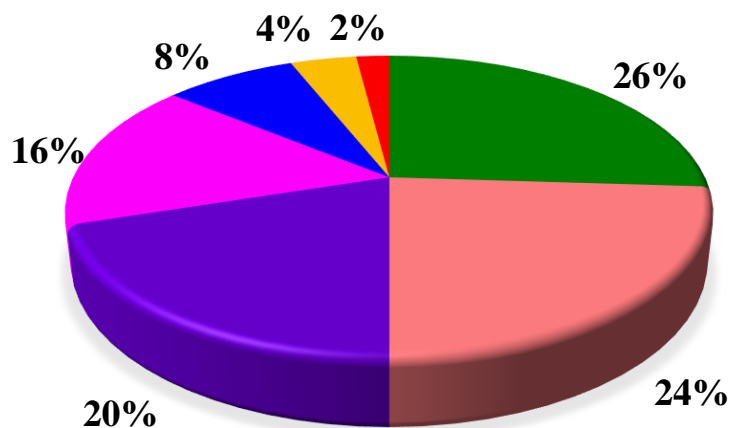
- до 80 % дефектов, приводящих к выходу из строя оборудования ПС, могут быть выявлены современными методами диагностирования и мониторинга;
- значимый экономический эффект от внедрения АСМД может быть получен при их установке на старые трансформаторы после проведения на них ремонтно-восстановительных работ с целью продления сроков службы;
- формируемые системами мониторинга диагностические данные практически недоступны высшим уровням управления энергокомпаниями.





- представлены сводные данные о работе АСМД на одном из действующих объектов (за год);
- недопустимых отклонений в контролируемых параметрах СТ не обнаружено (повреждений нет);
- зафиксированы события, связанные с режимами работы СТ и режимами работы сети;
- выявлена несимметрия фазных напряжений СН, связанная с особенностью схемы подключения ТН;
- установлены режимы перегрузки СТ, протекания токов сквозных КЗ (расчет износа изоляции);
- контролируется работа переключателя ступеней РПН (функция логометра).

## Статистика зафиксированных событий за год работы системы



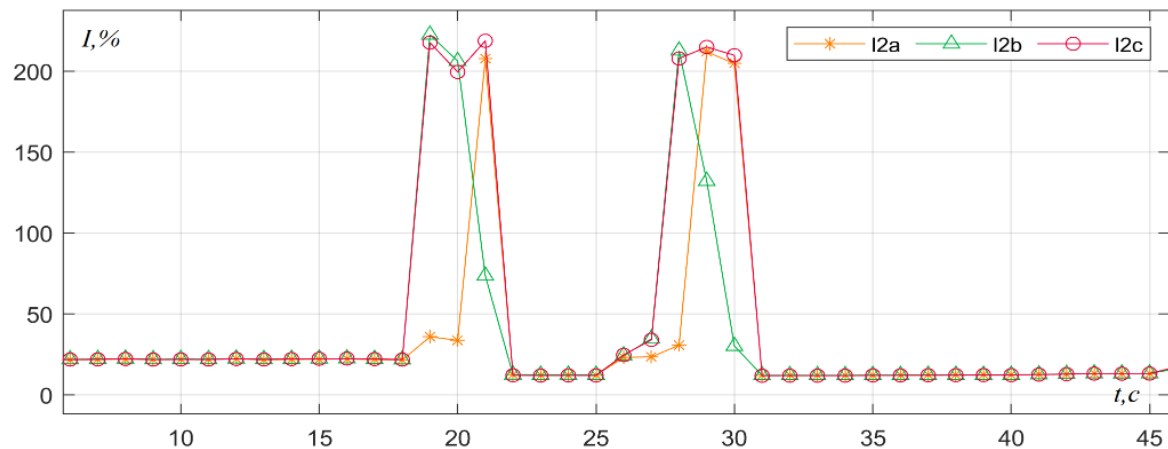
Несимметрия напряжений – 26 %  
Бросок нагрузки, перегрузка СТ – 24 %  
Отклонения напряжения – 20 %  
Однофазные замыкания в сети – 16 %  
Работа на холостом ходу – 8 %  
Сквозные токи КЗ – 4 %  
Отключения трансформатора – 2 %

## Количество

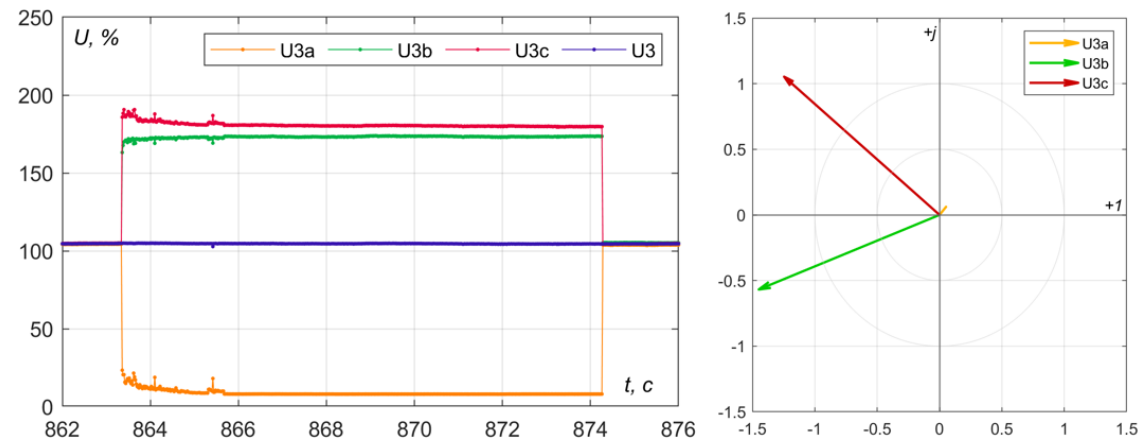
13 событий  
12 событий  
10 событий  
9 событий  
4 события  
2 события  
1 событие



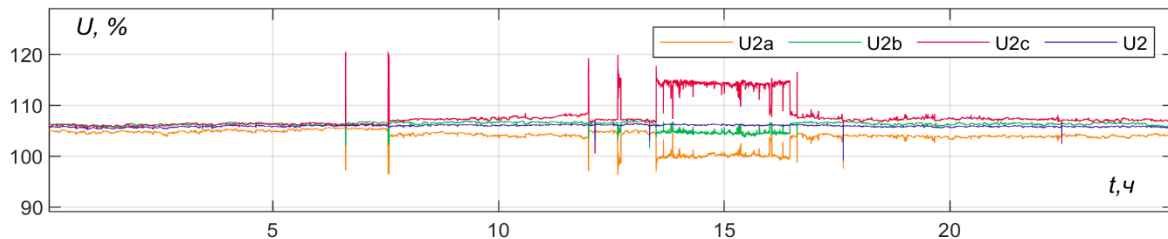
### Протекание сквозного тока КЗ (14 октября 2022 г.)



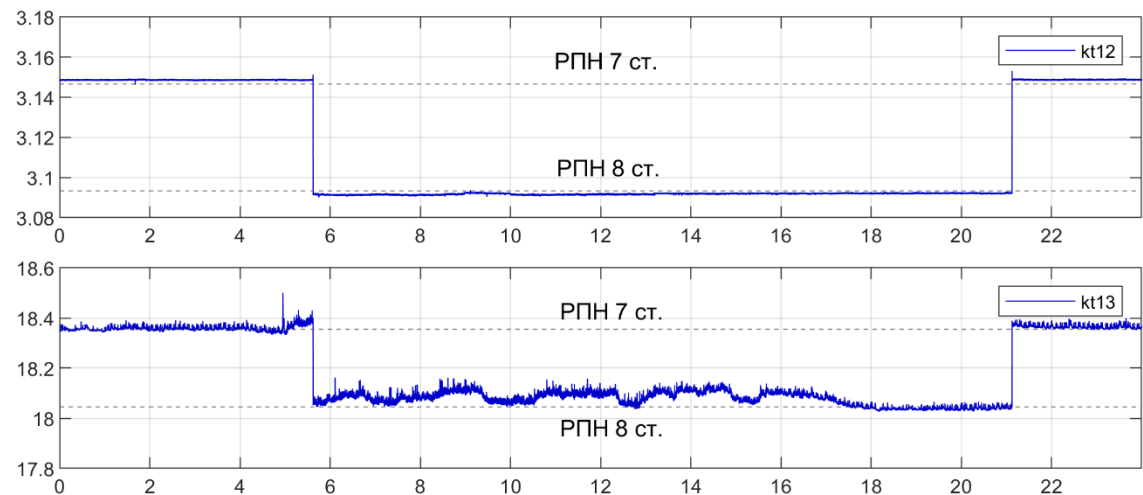
### ОЗЗ в сети 6 кВ (17 июня 2022 г.)

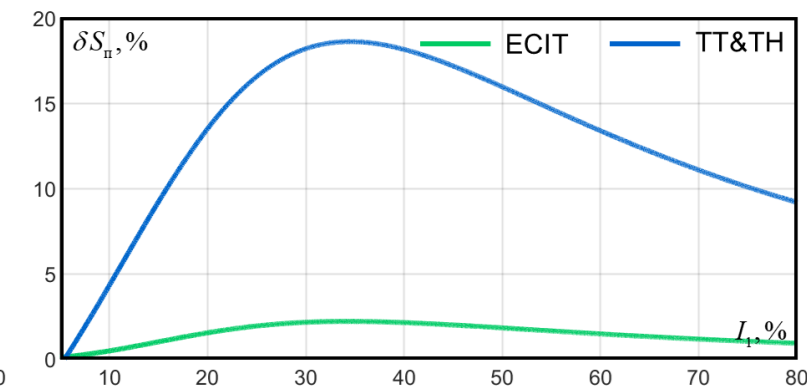
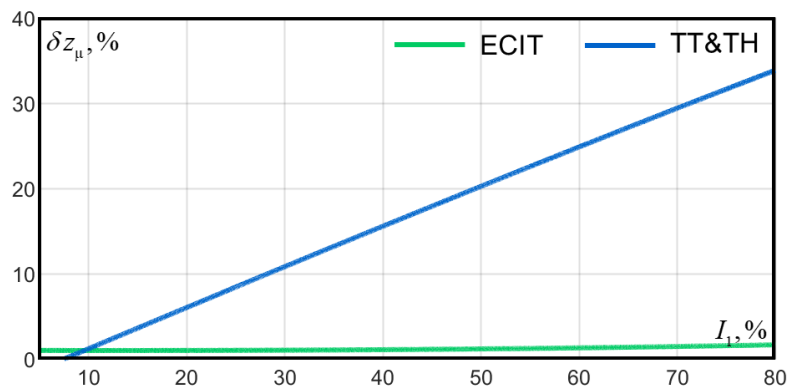
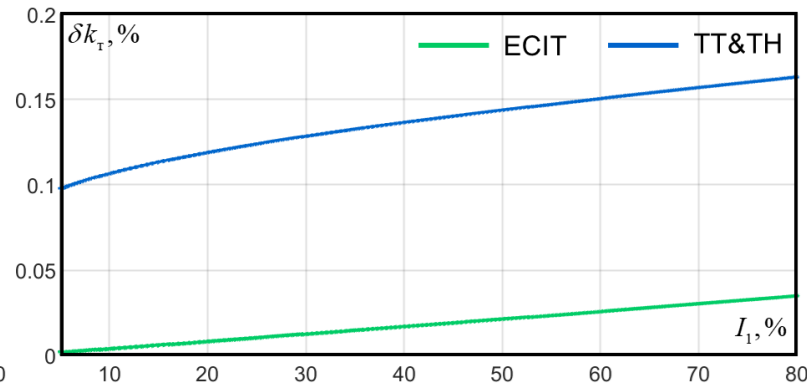
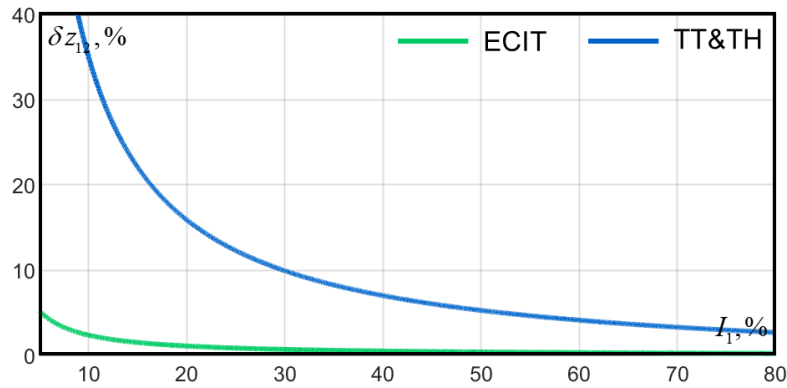


### Несимметрия напряжений СН (30 октября 2022 г.)



### Изменение ступени РПН (27 октября 2022 г.)





- отсутствие эффекта насыщения стали магнитопровода ТТ;
- точные измерения тока и напряжения в широком диапазоне;
- возможность передачи потоков синхровекторов;
- снижение объемов передаваемых данных по сравнению с SV потоками;
- более высокая точность оценки параметров электрооборудования;
- самодиагностика измерительной системы.

## БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!

**Пискунов Сергей Александрович**

*инженер группы комплексного проектирования*  
ООО "Инженерный центр "Энергосервис"

s.piskunov@ens.ru



Каталог



### Выставочная зона, стенд А5

