



**II Всероссийская научно-практическая конференция  
«Релейная защита и автоматика. Режимы нейтрали.  
Ограничение перенапряжений. 2021»**

*Екатеринбург, Учебный Центр «Россети Урал»,  
13-15 апреля 2021*

**Низкоомное резистивное заземление нейтрали как  
необходимый элемент для цифровизации  
распределительной сети**

Ширковец Андрей Игоревич  
ООО «Болид», г. Новосибирск

# Постановка задачи

Цифровая подстанция (ЦПС) - это подстанция с высоким уровнем автоматизации, в которой практически все процессы информационного обмена между элементами ПС, а также управление работой ПС осуществляются в цифровом виде на основе стандартов серии МЭК 61850.

## Структура цифровой подстанции



- ❖ Цифровую ПС связывают с внедрением МЭК 61850, однако только лишь наличие современных цифровых устройств защиты и управления не делает подстанцию цифровой.
- ❖ Ключевыми вопросами являются цифровое управление подстанцией, мониторинг состояния оборудования и кибербезопасность.

# Управление цифровой подстанцией

- ❑ **Аварийные режимы** - это не экстраординарные неожиданные события, а естественная часть жизни сложной технической системы. Невозможно построить абсолютно надежную сеть, работающую без выхода за пределы ее «нормального» функционирования.
- ❑ **Задача** - построить сеть, которая во всех режимах - «нормальных» и «аварийных» была бы **управляемой и наблюдаемой**. Управление понимается как воздействие на систему с целью вывода ее в прогнозируемое состояние.
- ❑ **В цифровой электрической сети резисторы - важный элемент системы управления надежностью.**



**Резистор** - это такой же необходимый и ответственный компонент электрической схемы, как компонент с индуктивностью или емкостью. Если последние необходимы для взаимного преобразования кинетической и потенциальной электрической энергии, то резистор преобразует эту энергию в другой тип - тепловую, которая выводится из электрической сети в окружающее пространство.

Тем самым резистор не дает (ограничивает возможности) электрической потенциальной и кинетической энергии **выйти за пределы допустимых величин**, после достижения которых начинаются разрушительные действия.

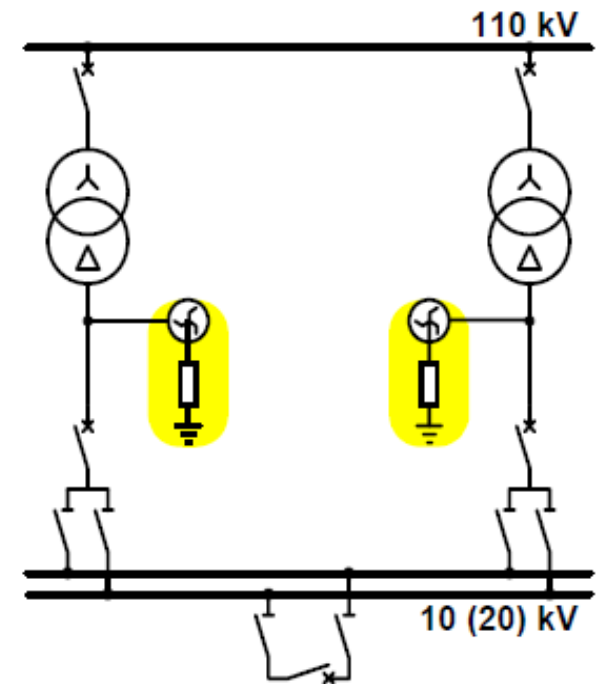
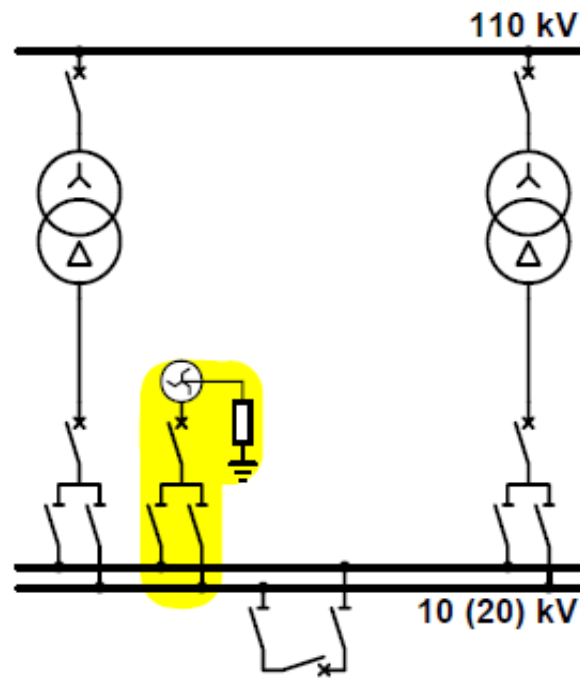
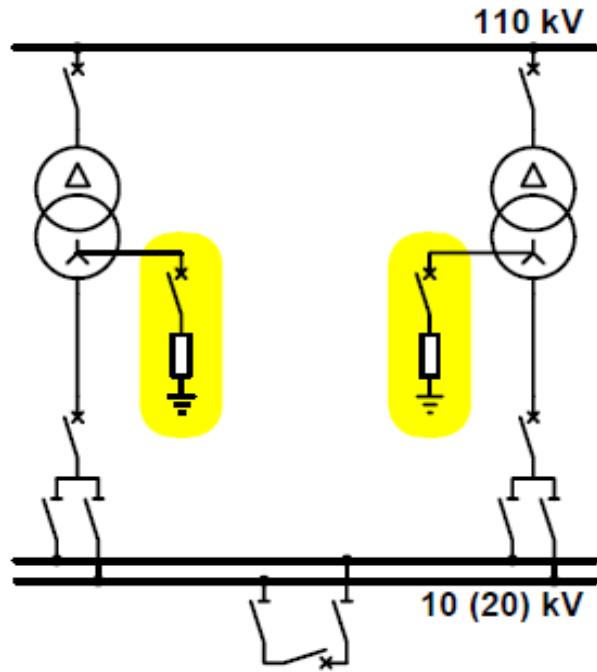
# Основания применения

- 1. Низкоомное резистивное заземление нейтрали отвечает принципам построения цифровых подстанций и сетей и соответствует концепции «Цифровая трансформация 2030».**
2. Отвечает положениям «Единой технической политики в электросетевом комплексе ПАО «Россети» (2019, пп.2.1.2.5), Правил устройства электроустановок (пп. 1.2.16, 4.2.166) и зарубежной практике.
3. Заземление нейтрали через низкоомный резистор широко применяется в электрических сетях стран Европы, а также в США, Японии, Австралии.

# Способы заземления нейтрали

Страна	Способ заземления нейтрали				
	изоли- рованная	через ДГР	через резистор	комбини- рованная	глухо- заземленная
Россия, 6-35 кВ	+	+	+	+	<b>Кронштадт</b>
Австралия, 11-20 кВ			+		+
Канада, 4-25 кВ			+		+
США, 4-25 кВ		+	+		+
Испания, 10-30 кВ		+	+		+
Португалия, 10-63 кВ			+		<b>63 кВ</b>
Франция, 12-24 кВ		+	+		
Япония, 6,6 кВ			+		
Германия, 10-20 кВ		+	+	+	
Австрия, 10-30 кВ		+	+	+	
Бельгия, 6,3-17 кВ			+		
Великобритания, 11 кВ		+	+		+
Швейцария, 10-20 кВ		+	+		
Финляндия, 20 кВ	+	+	+		
Италия, 10-20 кВ		+	+		
Чехия, 3,5-20 кВ		+	+	+	
Латвия, 10-20 кВ	+		+		
Словакия, 3,5-20 кВ		+	+	+	
Швеция, 10-130 кВ		+	+		
Норвегия, 10-130 кВ		+	+		

# Типовые схемы подключения резисторов (IEEE)



## Из Единой технической политики в электросетевом комплексе ПАО «Россети», п.2.1.2.5

В электрических схемах выбор режима заземления нейтрали электрических сетей напряжением 6-35 кВ должен определяться проектным решением, исходя из обеспечения надежной и безопасной эксплуатации электрооборудования и ЛЭП в режимах, связанных с замыканием одной из фаз электрической сети на землю, при этом:

- ❑ в городских распределительных сетях 6-20 кВ, а также в пределах сельских территорий электрических сетей 35 кВ возможно применение низкоомного резистивного заземления нейтрали с автоматическим отключением замыканий на землю и 100% резервированием потребителей при наличии ТЭО;
- ❑ при внедрении резистивного заземления при реконструкции существующих электрических сетей напряжением 6-35 кВ необходимо согласование с действующими потребителями

# Минимизация объемов повреждения

**Повреждение в сети 10 кВ**



**Сеть с расстроенной компенсацией  
и удержанием ОЗЗ**

**Повреждение в сети 20 кВ**



**Сеть с резистором 12 Ом/1000 А и  
отключением ОЗЗ**

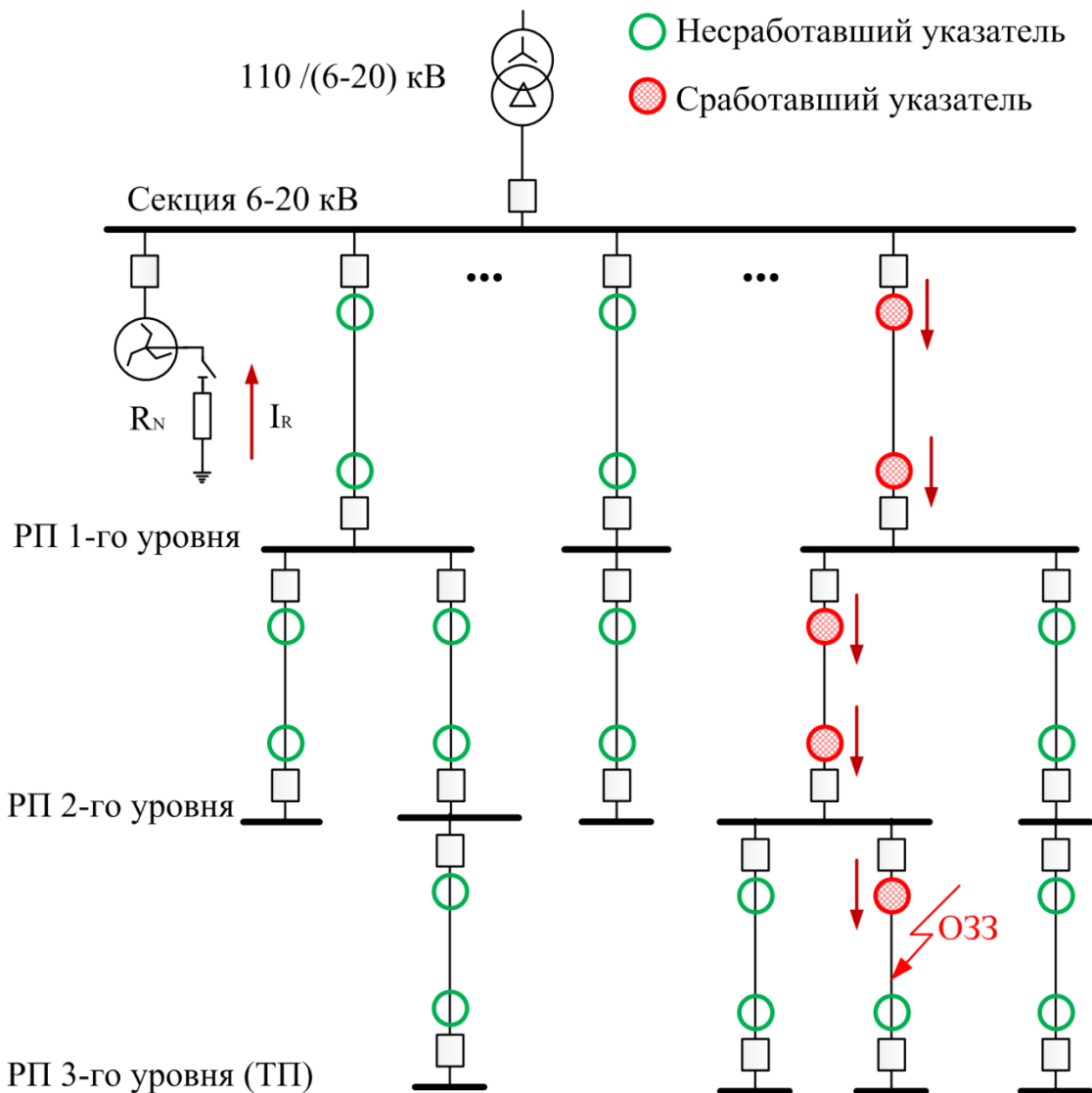


# Надежная локализация поврежденного участка сети при ее цифровизации (1)

*Добиться снижения аварийности в распределительных сетях только за счет устройств РЗА, селективно выявляющих присоединение и даже участок с ОЗЗ, невозможно.*

- ❑ **Надежным вариантом локализации присоединения с ОЗЗ является установка указателей или индикаторов направления тока однофазного замыкания (указателей тока КЗ).**
- ❑ **Для городской кабельной сети 6-10 кВ эти устройства обеспечат селективность 100% только в режимах междуфазных КЗ.**
- ❑ **В остальных случаях точность выявления поврежденного участка будет зависеть от текущей конфигурации сети и полноты замыкания на землю.**

# Надежная локализация поврежденного участка сети при ее цифровизации (2)



- ❑ дооснащение каждого участка указателями поврежденного участка
- ❑ индикация факта протекания тока однофазного замыкания
- ❑ повышение чувствительности и селективности указателей за счет применения низкоомного резистора
- ❑ локализация поврежденного присоединения и участка сети

# Варианты кабельных датчиков тока НП в устройствах контроля («УТКЗ»)



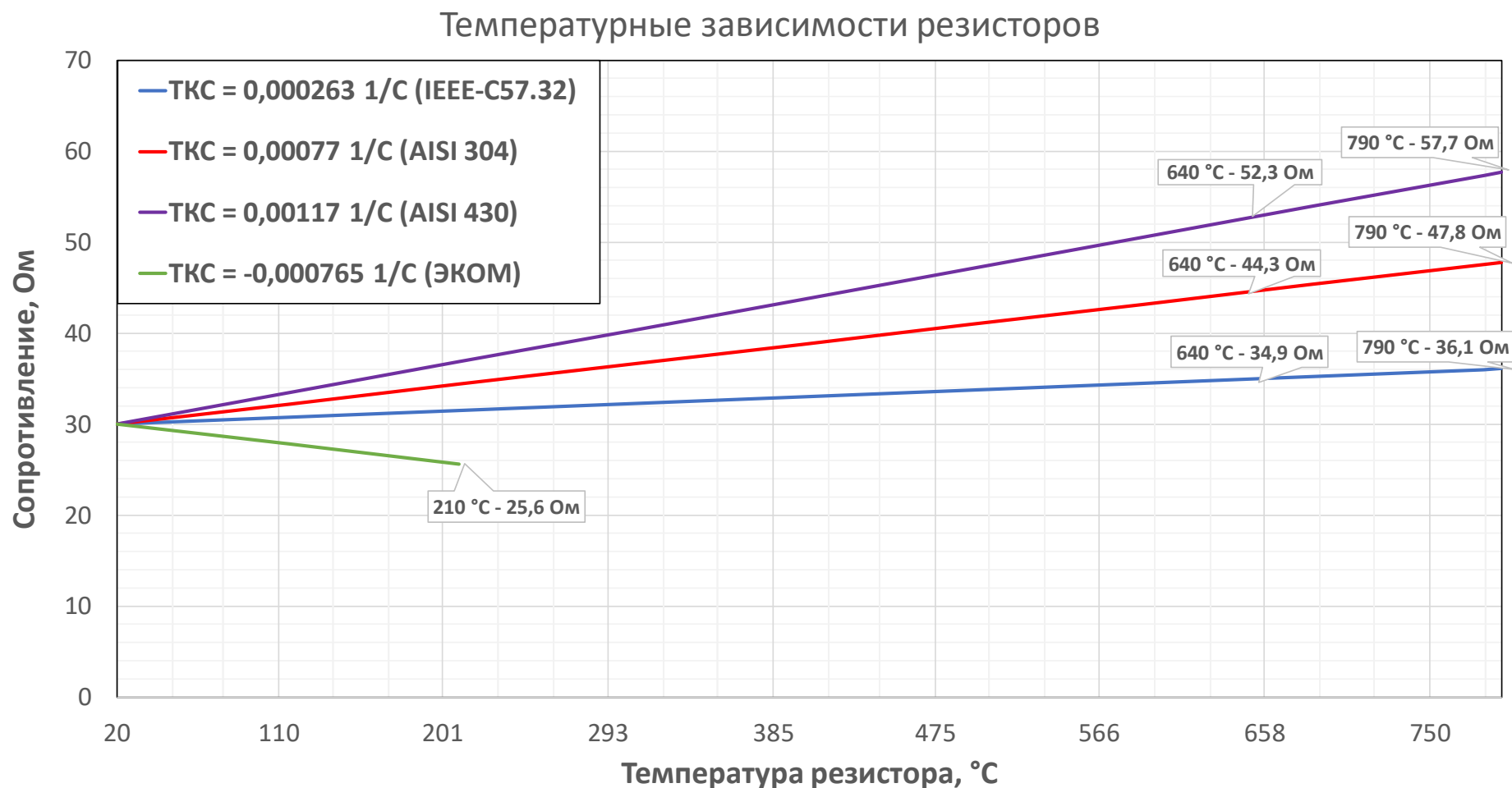
рис.6



# Температурные характеристики

1. **В металлических резисторах** для изготовления резистивных элементов используются различные марки жаропрочной нержавеющей стали с рабочими температурами до 900 °С.
2. **Температура на поверхности металлических резистивных элементов** согласно IEEE C.57.32-2015 – 610+30°С, а при импульсном нагружении на 10, 30 или 60 секунд – 760+30°С.
  - **ГОСТ 8024-90** ограничивает допустимые температуры нагрева токоведущих частей электрооборудования с номинальным напряжением выше 1000 В значениями 90 – 250 °С в зависимости от класса нагревостойкости соприкасающихся с проводниками изоляционных материалов.
  - **Наибольшая допустимая температура нагрева стальных проводников по п. 1.4.16. ПУЭ ограничивается на уровне 300 – 400 °С.**
3. **Композиционные резисторы** с отрицательным ТКС работают при существенно меньших температурах – 155 – 210 °С и в полной мере отвечают требованиям отечественных нормативных документов.

# Влияние температурного коэффициента сопротивления (нормирован в IEEE C57.32)



# Выдержка из стандарта EDF (Франция) HN-64-S-50:1988

*Février 1988*

HN 64-S-50

Résistances métalliques  
monophasées, destinées  
à la mise à la terre du neutre  
des réseaux à moyenne tension

V (kV)		6	9	12	18
R <sub>min</sub> à - 20 °C (Ohm)	Calibre 300 A	16,7	25,0	33,3	50,0
	Calibre 1 000 A	5,0	7,5	10,0	15,0

V (kV)		6	9	12	18
R <sub>max</sub> après cycle (Ohm)	Calibre 300 A	33,3	50,0	66,7	100,0
	Calibre 1 000 A	10,0	15,0	20,0	30,0

# Опыт «Ленэнерго» (из презентации гл.инж. филиала «Кабельная сеть» Н.Н. Соловьева, 2019, на ПС -75 и 155 установлены резисторы «Болид»)



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КЛ ДО И С МОМЕНТА ВВОДА РЕЗИСТИВНОЙ НЕЙТРАЛИ

### Количество поврежденных КЛ до ввода резистивной нейтрали

ПС	2011г.	2012г.	2013г.
ПС-75	5	5	8
ПС-155	20	12	29

### Количество поврежденных КЛ после ввода резистивной нейтрали

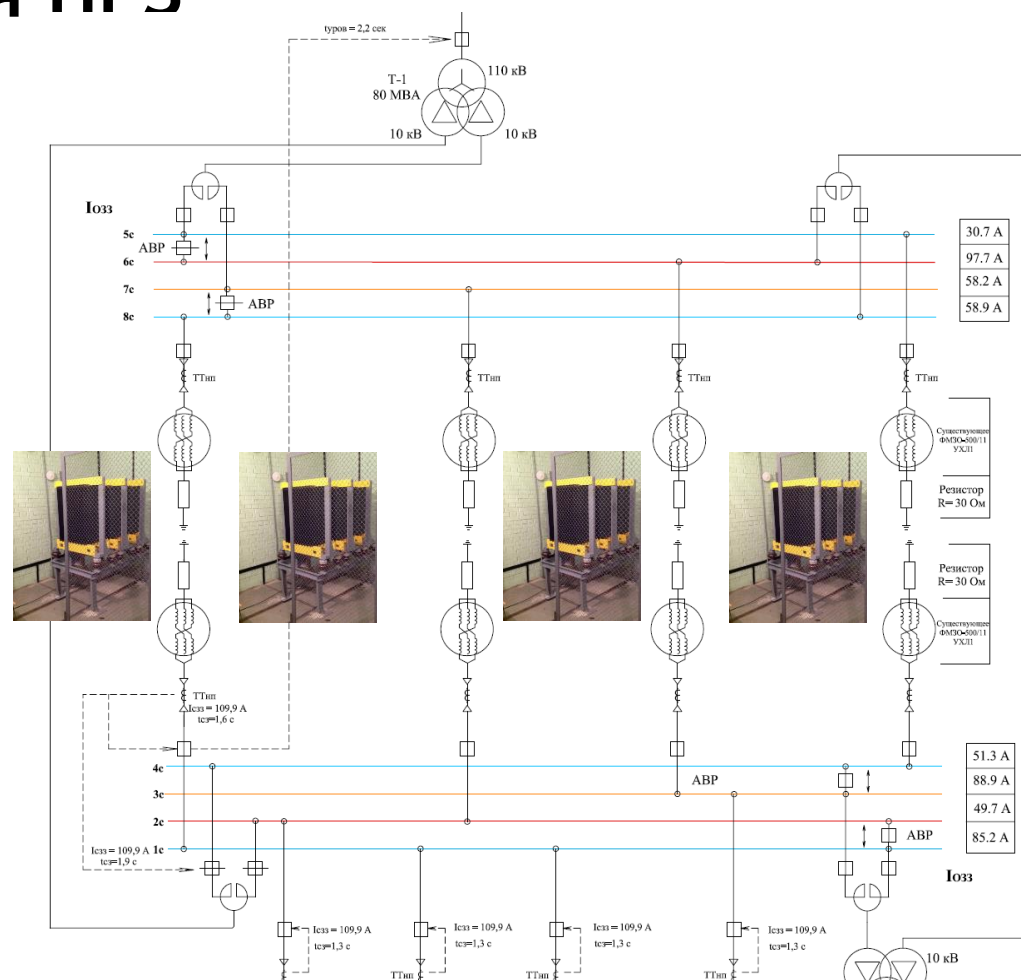
ПС	2014г.	2015г.	2016г.	2017г.	2018г.
ПС-75	3	2	3	5	6
ПС-155	8	4	3	4	6

Среднее кол-во поврежденных КЛ	ПС-75	ПС-155	Затраты на ремонт КЛ	ПС-75	ПС-155
до ввода резистивной нейтрали	6	20,3	до ввода резистивной нейтрали	436 986 руб.	1 478 471 руб.
после ввода резистивной нейтрали	3,8	5	после ввода резистивной нейтрали	276 758 руб.	364 155 руб.
<b>Снижение поврежденных КЛ</b>	<b>2,2 (36%)</b>	<b>15,3 (75%)</b>	<b>Снижение затрат на ремонт КЛ</b>	<b>36,7%</b>	<b>75,4%</b>

*18 декабря 2015 г. утверждена программа 2016-2032 гг. по переводу кабельной сети 6-10 кВ Санкт-Петербурга на низкоомное резистивное заземление нейтрали*

# Эффекты применения НРЗ

- **Снижение удельной повреждаемости и затрат на ремонт кабельных линий в 1,6 – 4,1 раза.**
- Эти показатели зависят от количества, конструкции и срока эксплуатации линий: меньшие значения соответствуют относительно новой (порядка 10 лет с начала эксплуатации) сети, выполненной преимущественно СПЭ-кабелями, большие – достаточно изношенной сети (более 30 лет), в основном на основе кабелей с БПИ.

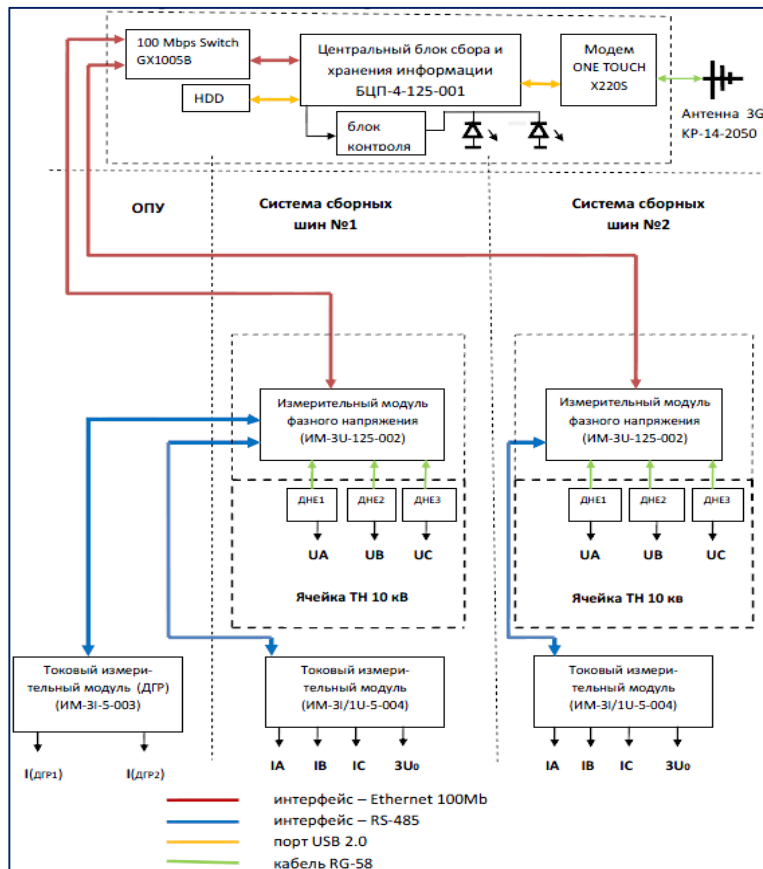


➤ Внедрение резисторов с автоматизацией сети позволяет снизить количество и длительность отключений потребителей – **улучшить показатели надежности SAIDI и SAIFI**. В зависимости от уровня автоматизации SAIFI снижается минимум на 50%.

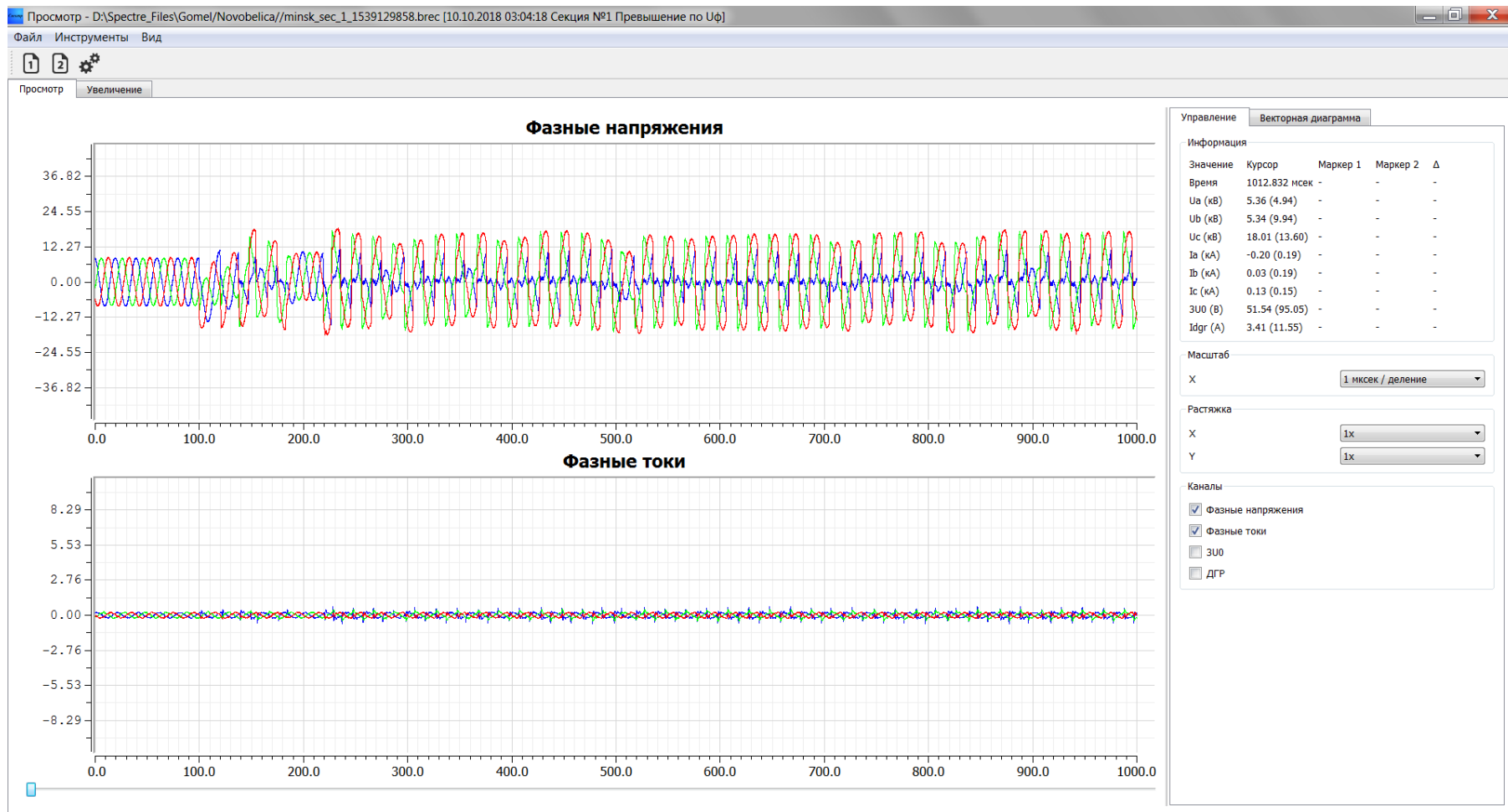


# ПС 110/10 кВ Новобелица «Гомельэнерго», Республика Беларусь

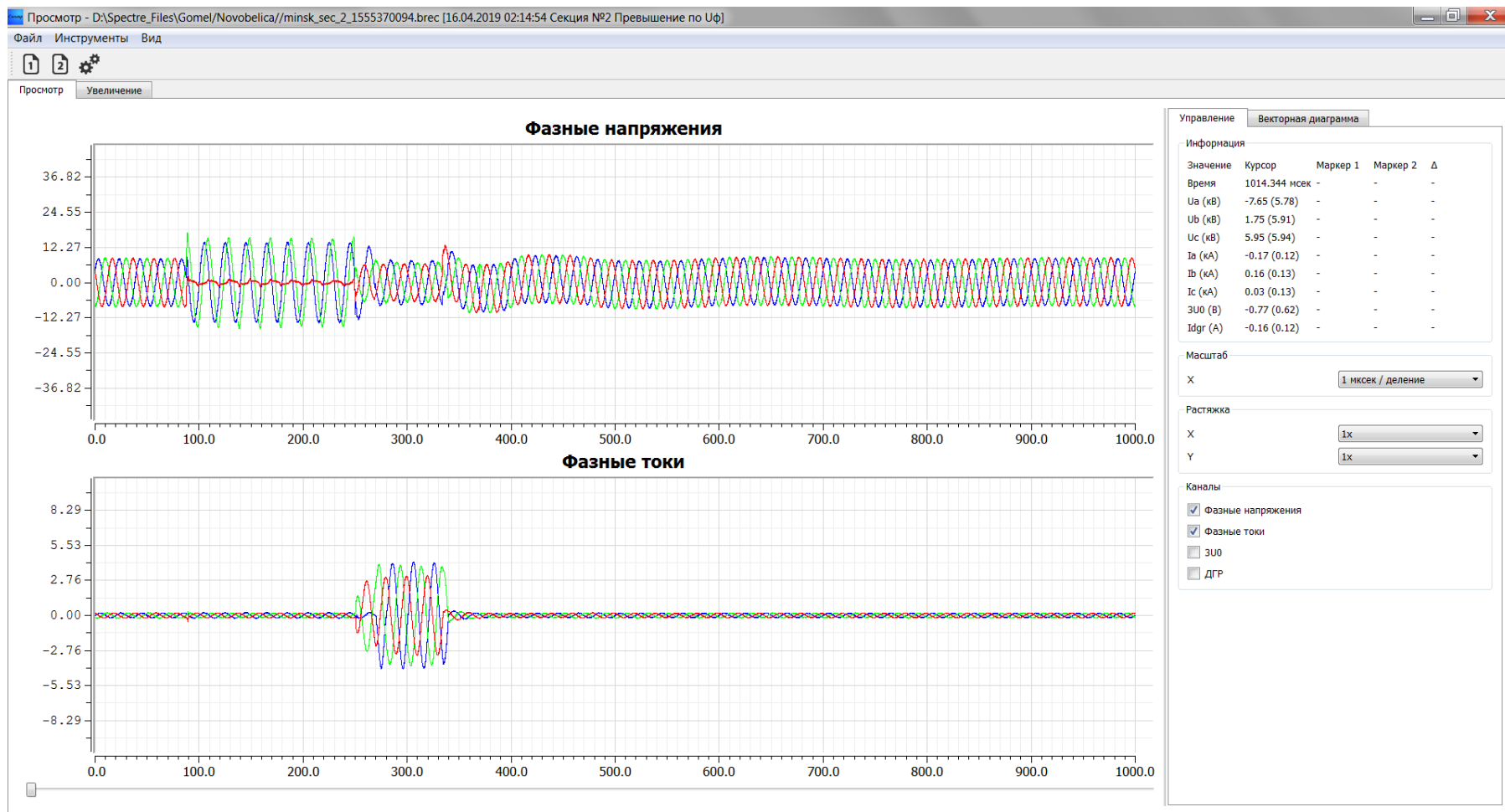
В марте 2015 на двух секциях 10 кВ была установлена высокочастотная система регистрации переходных процессов (сеть с компенсацией емкостного тока)



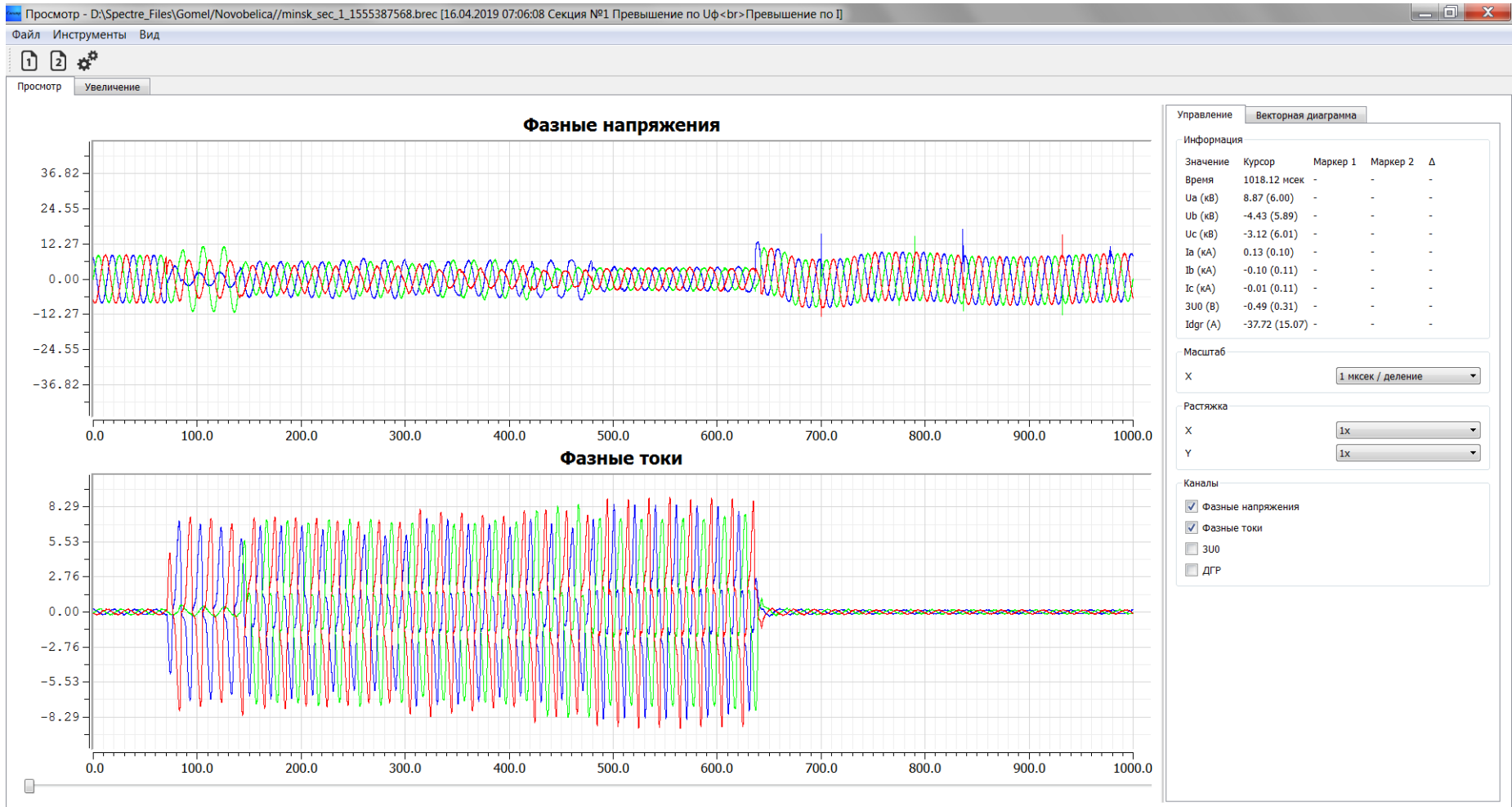
# Дуговое ОЗЗ (до установки РЗ)



# Переход ОЗЗ в КЗ (до установки РЗ)



# Двухфазное КЗ с переходом в трехфазное КЗ (до установки РЗ)



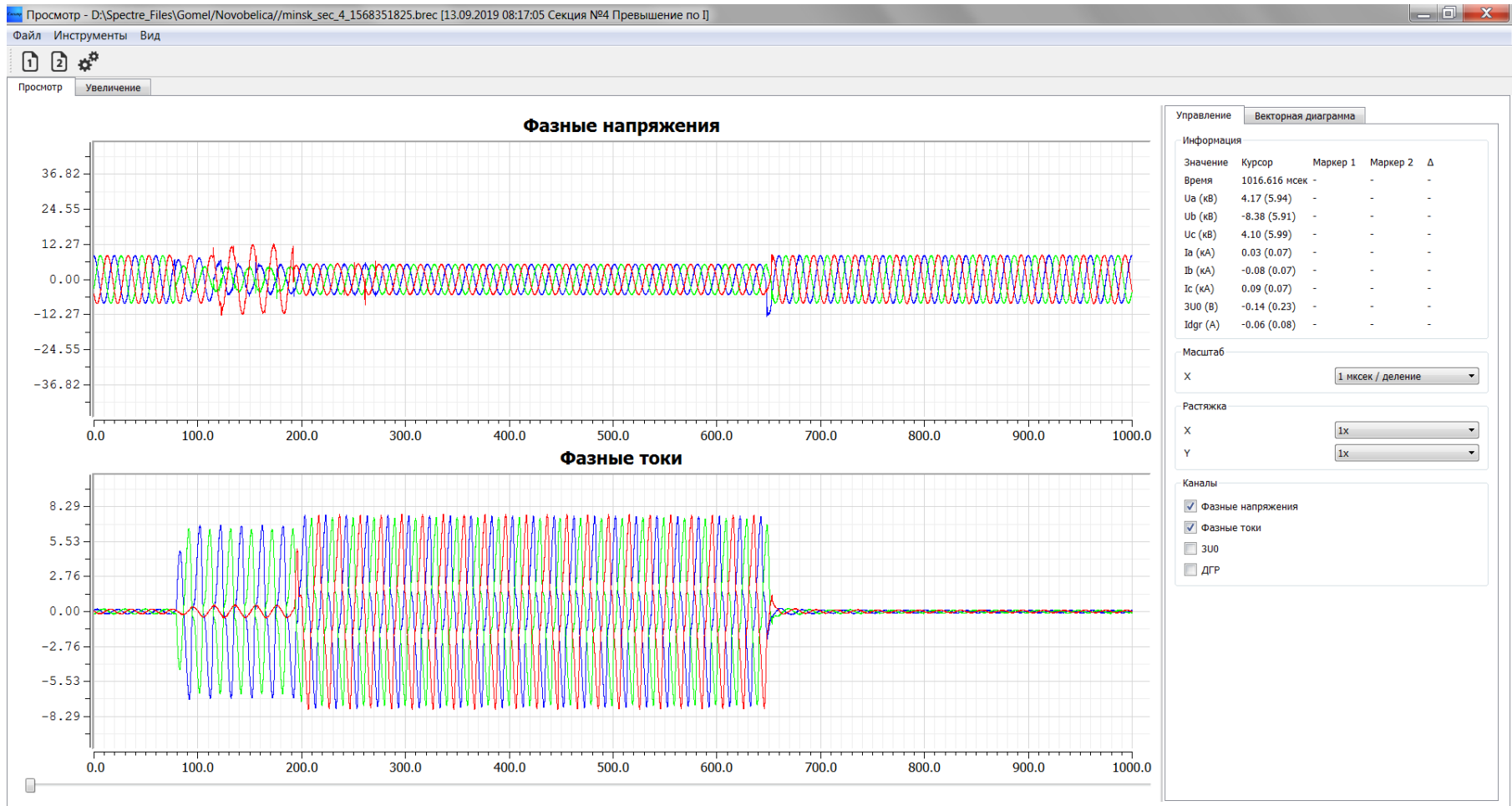
# Отключение ОЗЗ (после установки РЗ)



# Самоустранившееся ОЗЗ (после установки РЗ)



# Двухфазное КЗ с переходом в трехфазное КЗ (после установки РЗ)



## SAIFI и SAIDI Концерн «Белэнерго», Республика Беларусь

СТП 09110.20.187-09 Методические указания по заземлению нейтрали сетей 6-35 кВ Белорусской энергосистемы через резистор

Показатели непрерывности электроснабжения для сетей 0,4-10 кВ в г. Минске					
	2014 год	2015 год	2016 год	2017 год	2018 год
SAIFI	0,220	0,219	0,282	0,244	0,477
SAIDI (ч)	0,270	0,210	0,270	0,244	0,506

## SAIFI и SAIDI ПАО «Россети» и Минэнерго РФ

Целевые ориентиры стратегии  
«Цифровая трансформация 2030»  
- SAIDI 2,4; SAIFI 0,92

Проект энергостратегии РФ  
на период до 2035 года - SAIDI 2,23;  
SAIFI 0,85

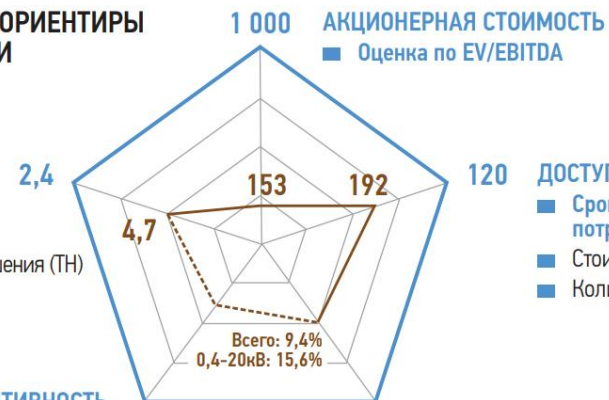


ЦЕЛЕВЫЕ ОРИЕНТИРЫ  
КОМПАНИИ

НАДЕЖНОСТЬ

■ SAIDI 2,4  
■ SAIFI 0,92

- Технологические нарушения (ТН)
- Время ликвидации ТН



АДАПТИВНОСТЬ

- Новые рыночные условия
- Новые цифровые технологии
- Новые модели потребления
- Новые сервисы
- Люди/компания

ЭФФЕКТИВНОСТЬ

- Уровень потерь
- OPEX -30%
- CAPEX -15%

— 2018  
— 2030



# Заключение

- 1. Наблюдаемость и управляемость режимами эксплуатации и параметрами оборудования в распределительных сетях при их цифровизации обеспечиваются средствами мониторинга и диспетчеризации. Актуальной задачей является предупреждение аварийных отключений.**
- 2. Необходимым элементом системы управления надежностью является режим и оборудование в нейтральной сети. В вопросах управления аварийными ситуациями и повышения надежности цифровых ПС и цифровых сетей важную роль играет технология автоматической локализации однофазных повреждений – самых распространенных нарушений в распределительных сетях.**
- 3. Показатели надежности SAIDI и SAIFI, заявленные в концепции «Цифровая трансформация-2030» и Энергетической стратегии РФ, могут быть достигнуты и даже улучшены при использовании силовых резисторов в энергосистемах, что подтверждается многолетним опытом применения в концерне «Белэнерго», «Россети Ленэнерго» и других предприятий.**