



**XIV Международная
научно-техническая конференция
«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ - 2024»**



Применение СВИ для совершенствования алгоритмов дистанционной и адмиттансной защиты

Направление 3.7

*Развитие и применение технологии
синхронизированных векторных измерений (СВИ)*

Докладчик: Пискунов Сергей Александрович

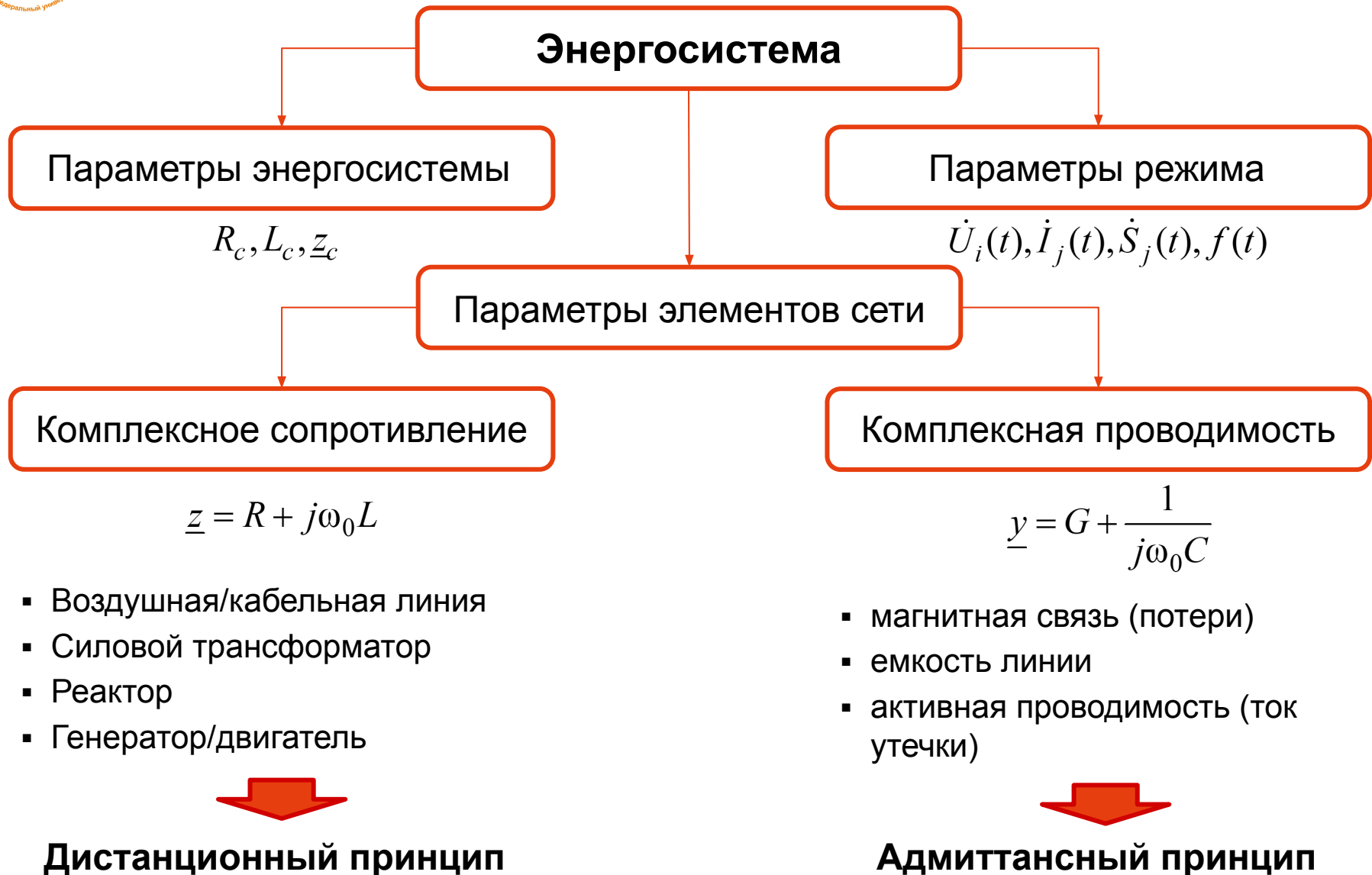
Организация: ООО «Инженерный центр
«Энергосервис», Северный (Арктический) федеральный
университет им. М.В. Ломоносова

Руководитель: Мокеев А.В., д.т.н., доцент

**Ставрополь,
1 – 4 октября 2024 г.**

1. Общие сведения
2. Анализ синхровекторов переходных процессов
3. Дистанционная защита линии
4. Адмиттансная защита от ОЗЗ
5. Защита и мониторинг состояния СТ
6. Анализ данных аварийных событий
7. Результаты
8. Выводы

Общие сведения



Преимущества:

1. Оценка параметров схемы замещения и параметров режима работы энергосистемы
2. Дополнительные параметры для распознавания вида и места повреждения
3. Локальный, централизованный и распределенный принцип работы защиты
4. Совершенствование алгоритмов защиты

Влияющие факторы:

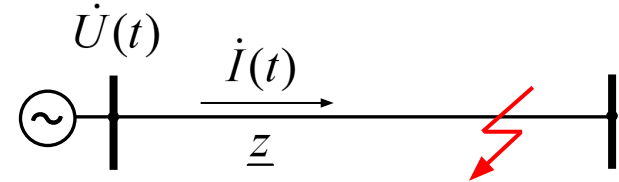
1. Погрешность измерений (трансформаторы напряжения/тока)
2. Переходные сопротивления (дуга, сопротивление земли)
3. Внешние параметры (нагрузка сети, отпайки линий).
4. Переходные процессы (качания мощности, асинхронный режим в энергосистеме и др.)

Анализ синхровекторов ПП

Пример. Оценка сопротивления петли КЗ

$u(t), i(t)$ - мгновенные значения напряжения и тока

$\dot{U}(t), \dot{I}(t)$ - синхровекторы напряжения и тока



$u(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$ - дифференциальное уравнение линии при КЗ

$u(t) \rightarrow \dot{U}(t)e^{j\omega_0 t}, i(t) \rightarrow \dot{I}(t)e^{j\omega_0 t}$ - подстановка (переход к синхровекторам ПП)

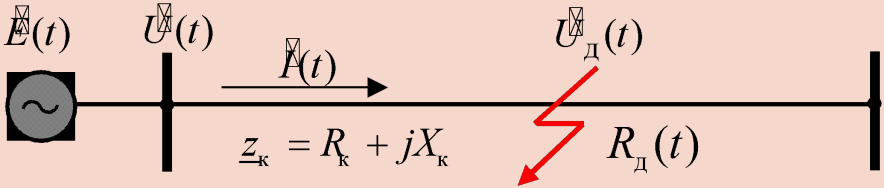
$\dot{U}(t) = \underline{Z}\dot{I}(t) + L\dot{I}'(t), \dot{I}'(t) = \frac{d\dot{I}(t)}{dt}$ - дифф. уравнение линии в синхровекторах ПП

$\hat{\underline{Z}}(t) = \frac{\dot{U}(t)}{\dot{I}(t) + \underline{k}\dot{I}'(t)}, \underline{k} = \frac{L_{уд}}{\underline{Z}_{уд}}$ - оценка сопротивления петли КЗ через синхровекторы

$\hat{\underline{Z}}(t) = \frac{\dot{U}(t)}{\dot{I}(t)}$ - оценка сопротивления петли КЗ традиционным способом

$\delta\hat{\underline{Z}}(t) = \underline{k} \frac{\dot{I}'(t)}{\dot{I}(t)}$ - погрешность оценки сопротивления петли КЗ традиционным способом

Односторонние измерения синхровекторов

№	Наименование	Выражение
1	Модель энергосистемы	
2	Общее выражение для оценки сопротивления	$\hat{\underline{z}}(t) = \frac{\dot{U}(t)}{\dot{I}(t) + \underline{k}\dot{I}'(t)}, \dot{I}'(t) = \frac{d\dot{I}(t)}{dt}, \underline{k} = \frac{L_{уд}}{Z_{уд}}$
3	Оценка сопротивления с учетом компенсации влияния дуги	$\hat{\underline{z}}_k(t) = \hat{\underline{z}}(t) - \hat{R}_d(t), \hat{R}_d(t) = \text{Re}(\hat{\underline{z}}(t)) - \text{Im}(\hat{\underline{z}}(t)) \frac{R_{уд}}{L_{уд}}$
4	Оценка сопротивления при однофазных КЗ	$\hat{\underline{z}}_{\phi 0}(t) = \frac{\dot{U}_{\phi}(t)}{\dot{I}_{\phi}(t) + 3\underline{k}_0\dot{I}_0(t) + \underline{k}\dot{I}'_{\phi}(t) + 3\underline{k}_{01}\dot{I}'_0(t)},$ $\underline{k}_0 = \frac{Z_{0уд} - Z_{1уд}}{3Z_{1уд}}, \underline{k} = \frac{L_{1уд}}{Z_{1уд}}, \underline{k}_{01} = \frac{L_{0уд} - L_{1уд}}{3Z_{1уд}}$

Дистанционная защита линии

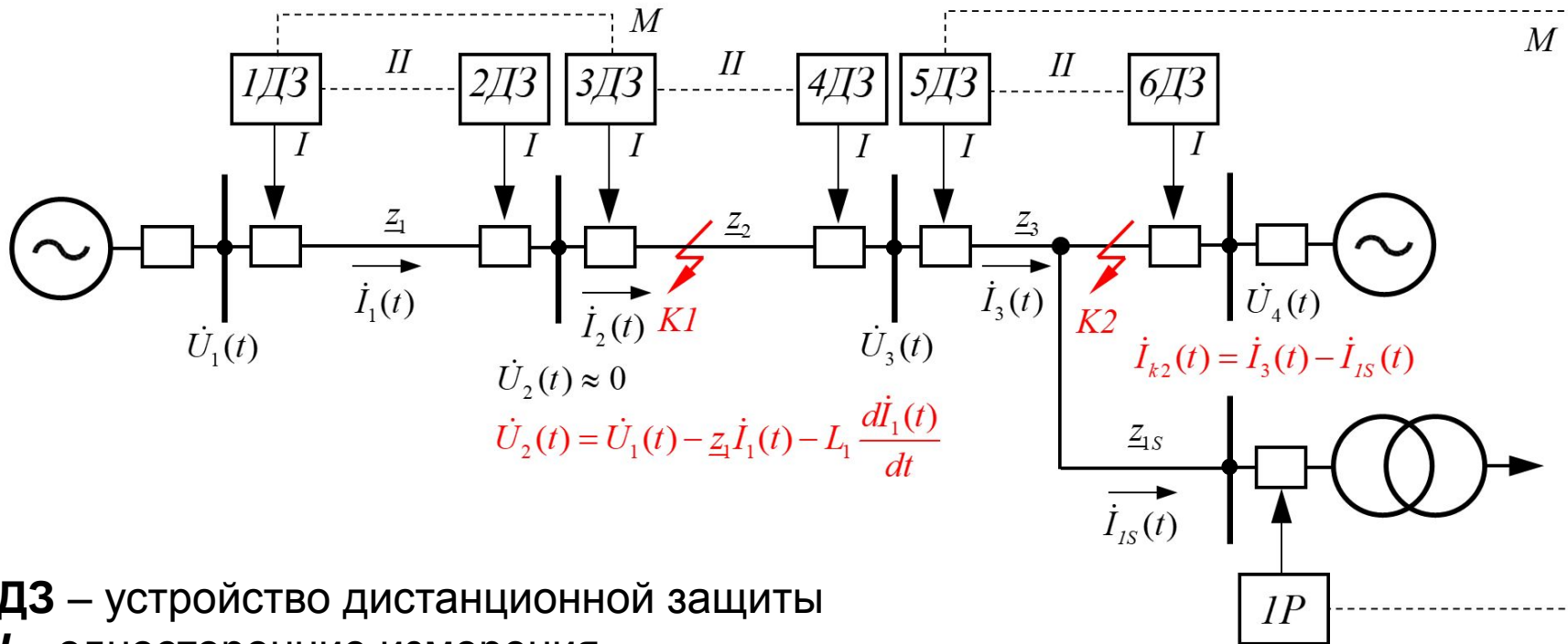
Двухсторонние измерения синхровекторов

№	Наименование	Выражение
1	Модель энергосистемы	
2	Оценка сопротивления	$\hat{\underline{z}}_{к1}(t) = \frac{\dot{U}_1(t) - \dot{U}_2(t) + \underline{z}\dot{I}_2(t) + L\dot{I}'_2(t)}{\dot{I}_1(t) + \dot{I}_2(t) + \underline{k}(\dot{I}'_1(t) + \dot{I}'_2(t))}$
3	Оценка расстояния до точки КЗ	$\hat{l}_{к1}(t) = \frac{\dot{U}_1(t) - \dot{U}_2(t) + \underline{z}\dot{I}_2(t) + L\dot{I}'_2(t)}{\underline{z}_{уд}(\dot{I}_1(t) + \dot{I}_2(t)) + L_{уд}(\dot{I}'_1(t) + \dot{I}'_2(t))}$
4	Оценка сопротивления в нормальном режиме, при внешних КЗ	$\hat{\underline{z}}(t) = \frac{\dot{U}_1(t) - \dot{U}_2(t)}{\dot{I}_1(t) + \underline{k}\dot{I}'(t)}$

Мокеев А.В., Пискунов С.А. Дистанционная защита на основе одностороннего и двухстороннего измерения синхровекторов // Релейная защита и автоматизация. – № 1 (54). – 2024. – С. 8-15.

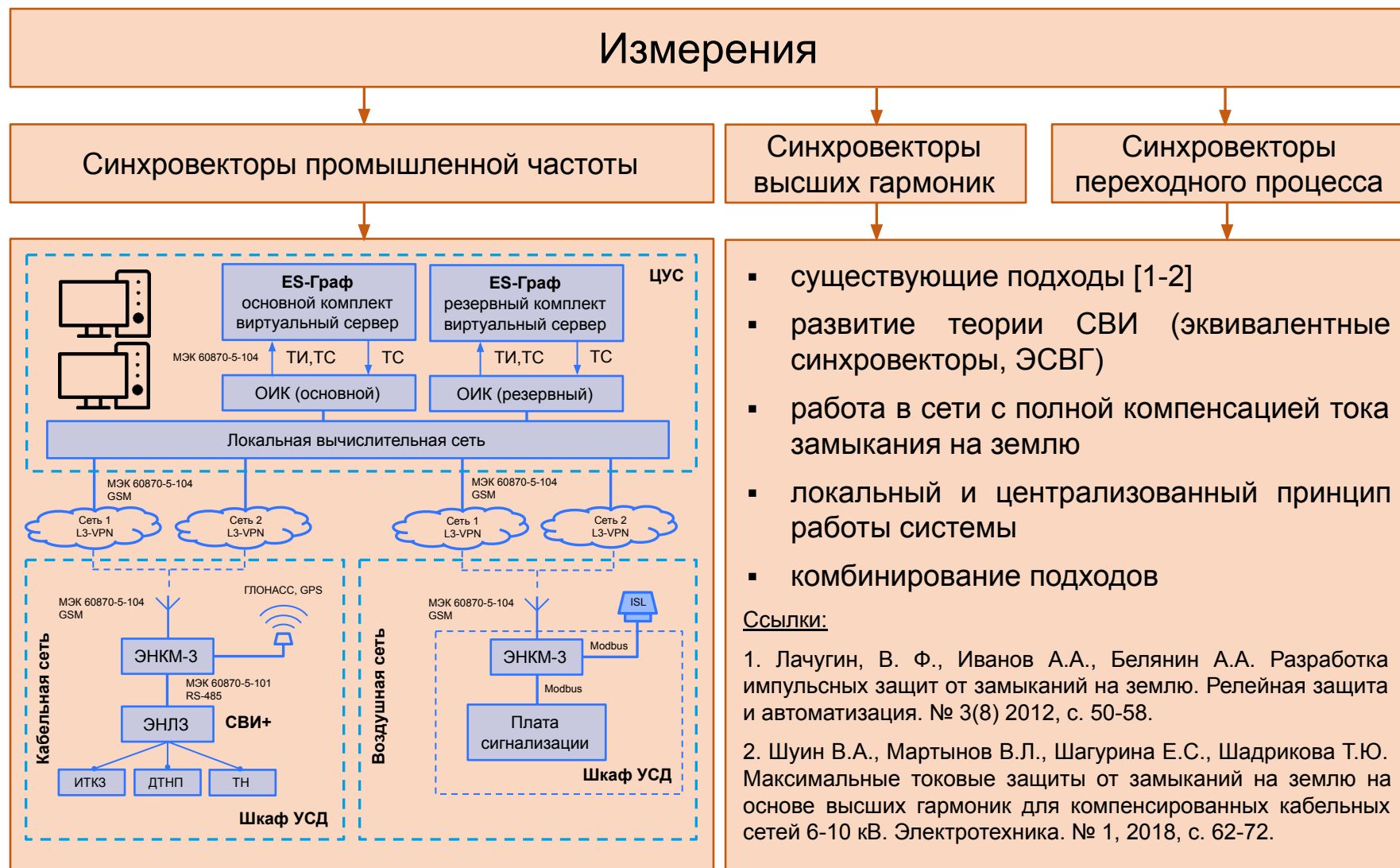
Дистанционная защита линии

Принцип многосторонних измерений



Адмиттансная защита от ОЗЗ

Защита от ОЗЗ на основе СВИ



Оценка емкости присоединения

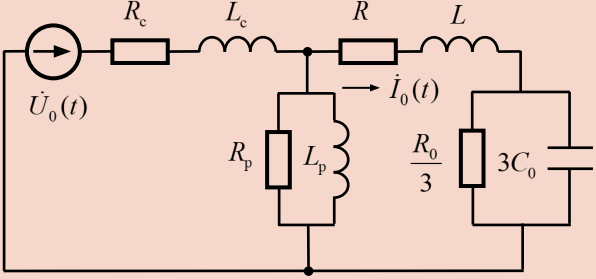
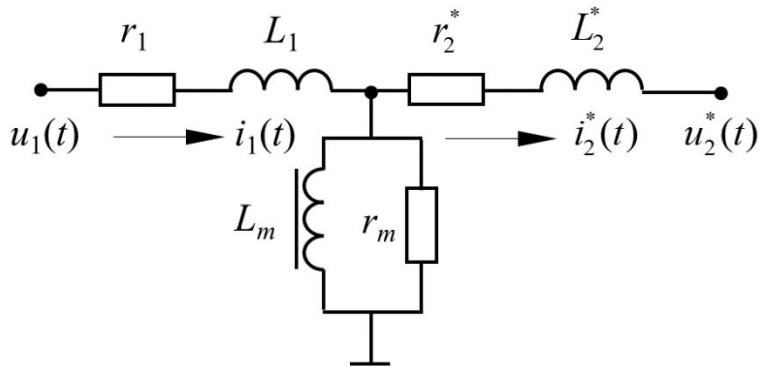
№	Наименование	Выражение
1	Модель контура нулевой последовательности (НП) при ОЗЗ	
2	Принимаемые допущения	$R_0 \gg R_1, \omega_0 C_0 \gg \frac{1}{R_0}$
3	Оценка эквивалентных синхровекторов ВГ	$\dot{I}_{0e}(t) = \sum_{m=1}^M \dot{I}_{0(2m+1)}(t), \dot{U}_{0e}(t) = \sum_{m=1}^M \dot{U}_{0(2m+1)}(t),$ $\dot{U}_{0me}(t) = \sum_{m=1}^M (2m+1) \dot{U}_{0(2m+1)}(t)$
4	Оценка емкости присоединения при ОЗЗ	$\hat{C}_0(t) = \frac{\dot{I}_{0e}(t)}{j\omega_0 \dot{U}_{0me}(t) + \dot{U}'_{0e}(t)}$

Схема замещения СТ



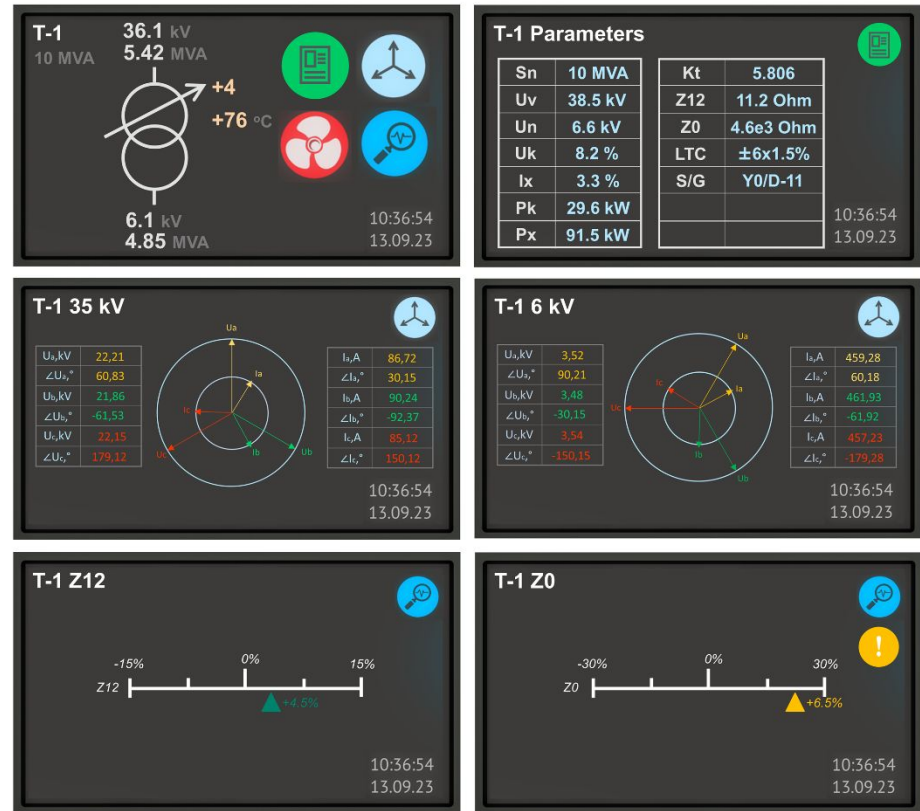
Оценка параметров в нормальном режиме, при перегрузках и внешнем КЗ

$$\hat{z}_{12}(t) = \frac{2(\dot{U}_1(t) - \dot{U}_2(t)k_T)}{\dot{I}_1(t) + k_T^{-1}\dot{I}_2(t) + \underline{k}_1(\dot{I}'_1(t) + k_T^{-1}\dot{I}'_2(t))}$$

Оценка параметров при внутренних повреждениях

$$\hat{z}_{12}(t) = \frac{\dot{U}_1(t) - \dot{U}_2(t)k_T + k_T^{-1}(\underline{z}_{12}\dot{I}_2(t) + L_{12}\dot{I}'_2(t))}{\dot{I}_1(t) + k_T^{-1}\dot{I}_2(t) + \underline{k}_1(\dot{I}'_1(t) + k_T^{-1}\dot{I}'_2(t))}$$

Мониторинг состояния СТ на основе контроля его электромагнитных параметров



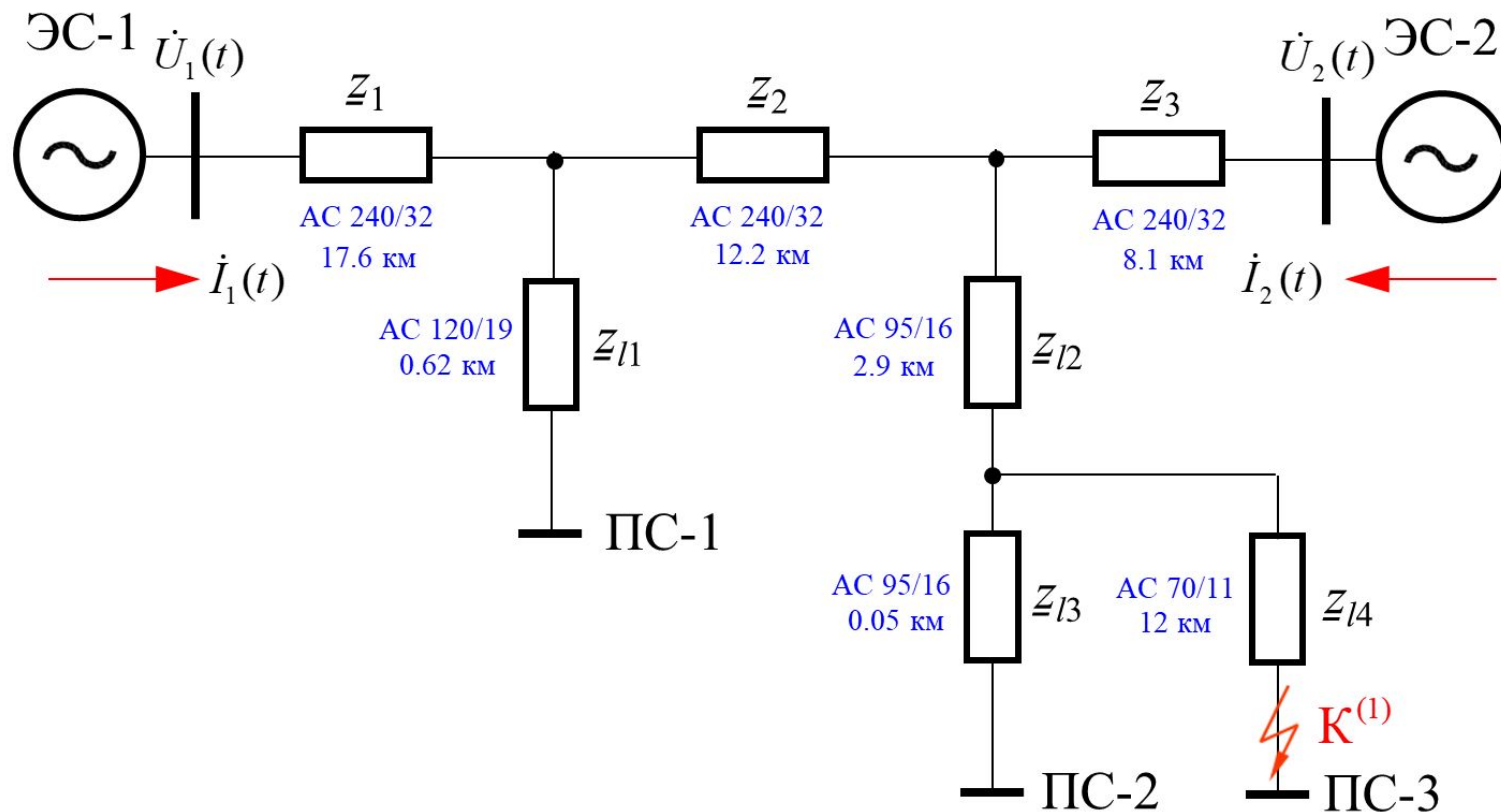
Оценка индуктивности намагничивания как признак для блокировки защиты при БНТ

$$\hat{L}_m(t) = \frac{\dot{U}_1(t) - \underline{z}_{12}\dot{I}_1(t) + L_{12}\dot{I}'_1(t)}{\dot{I}'_1(t) + j\omega_0\dot{I}_1(t) - k_T^{-1}(\dot{I}'_2(t) + j\omega_0\dot{I}_2(t))}$$

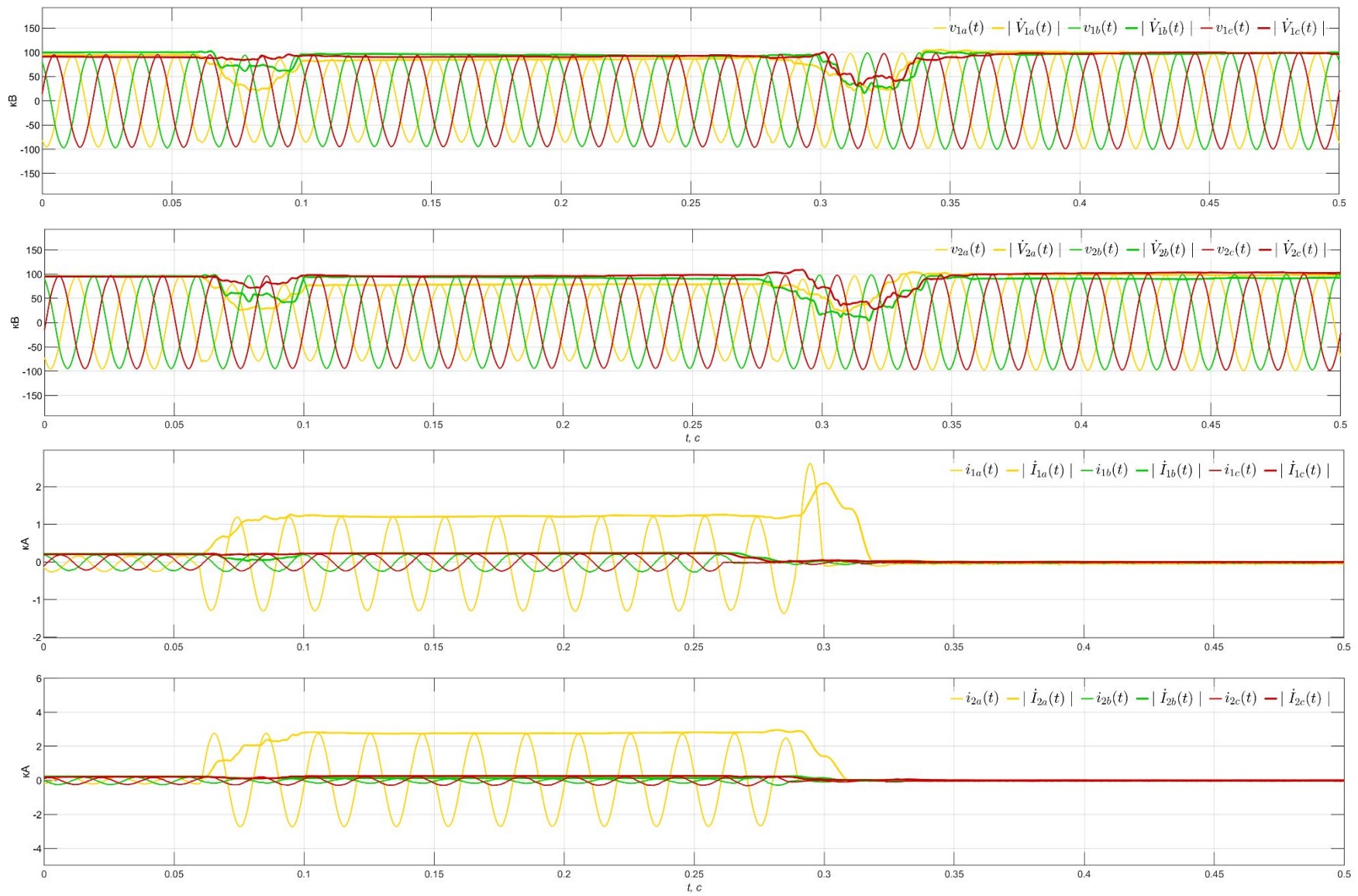
Анализ аварийных событий

Описание события № 1

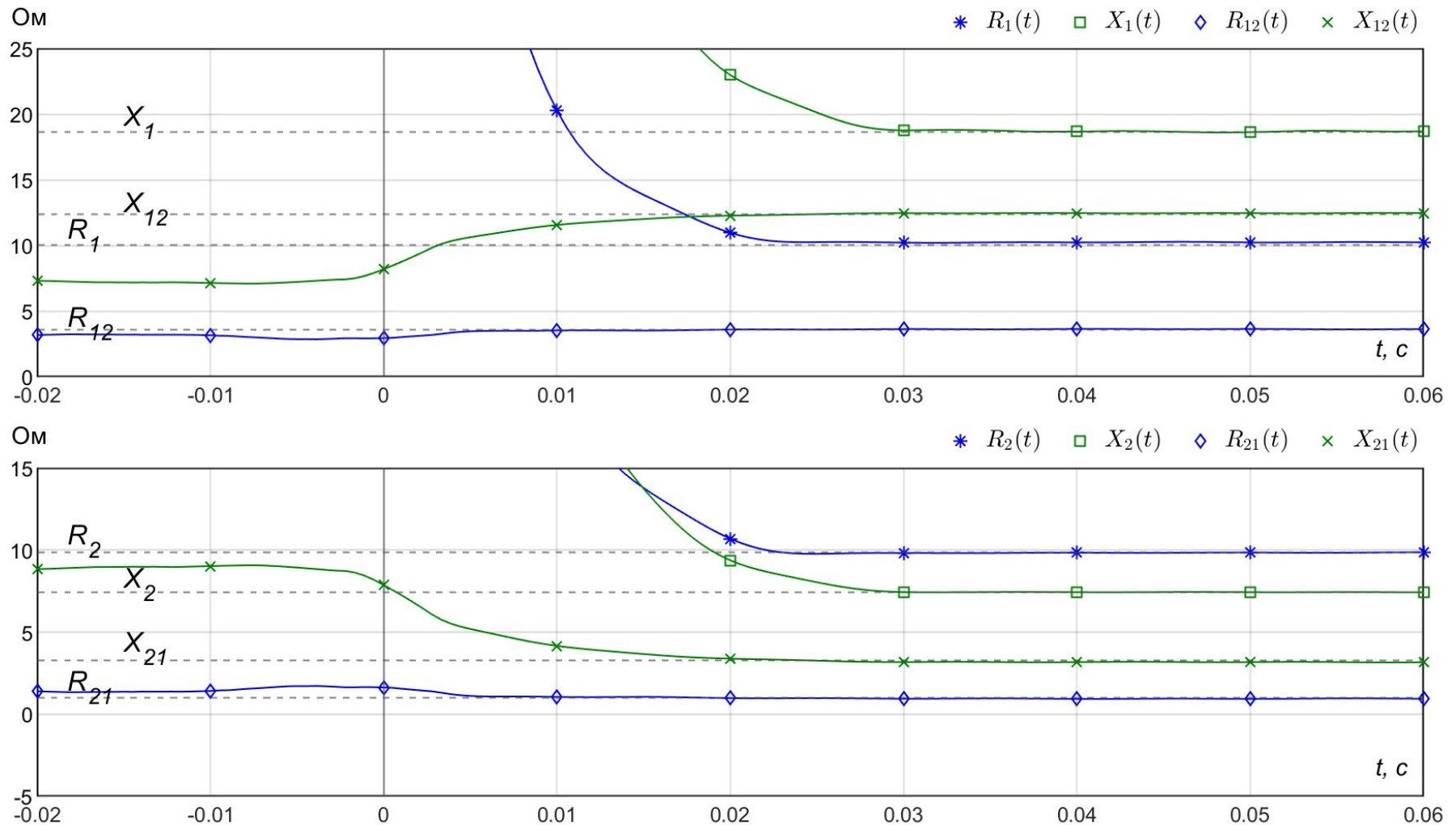
- Однофазное КЗ ВЛ 110 кВ
- наличие двух отпаяк в линии
- колебания мощности перед КЗ
- успешное АПВ



Осциллограммы напряжений и токов



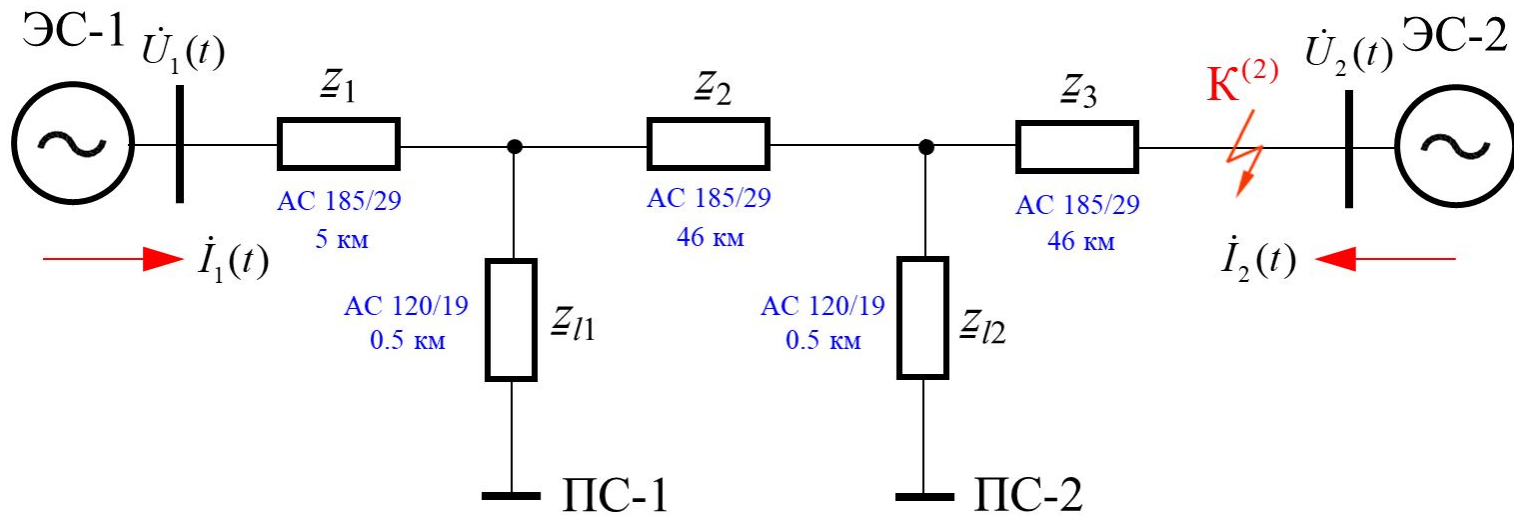
Оценка сопротивления петли КЗ



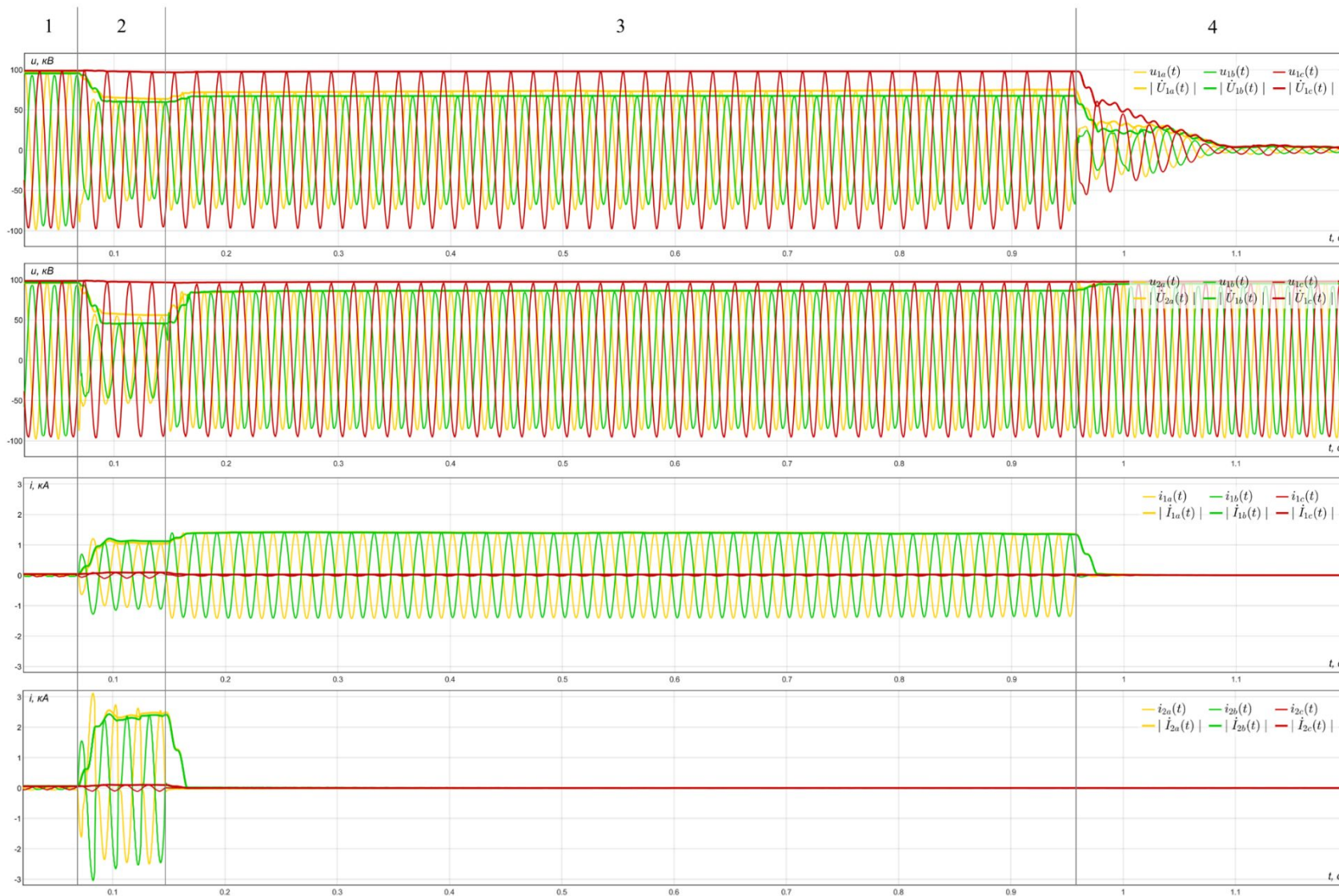
Анализ аварийных событий

Описание события № 2

- Двухфазное КЗ ВЛ 110 кВ
- наличие отпаек в линии
- БНТ в трансформаторах
- неуспешное АПВ

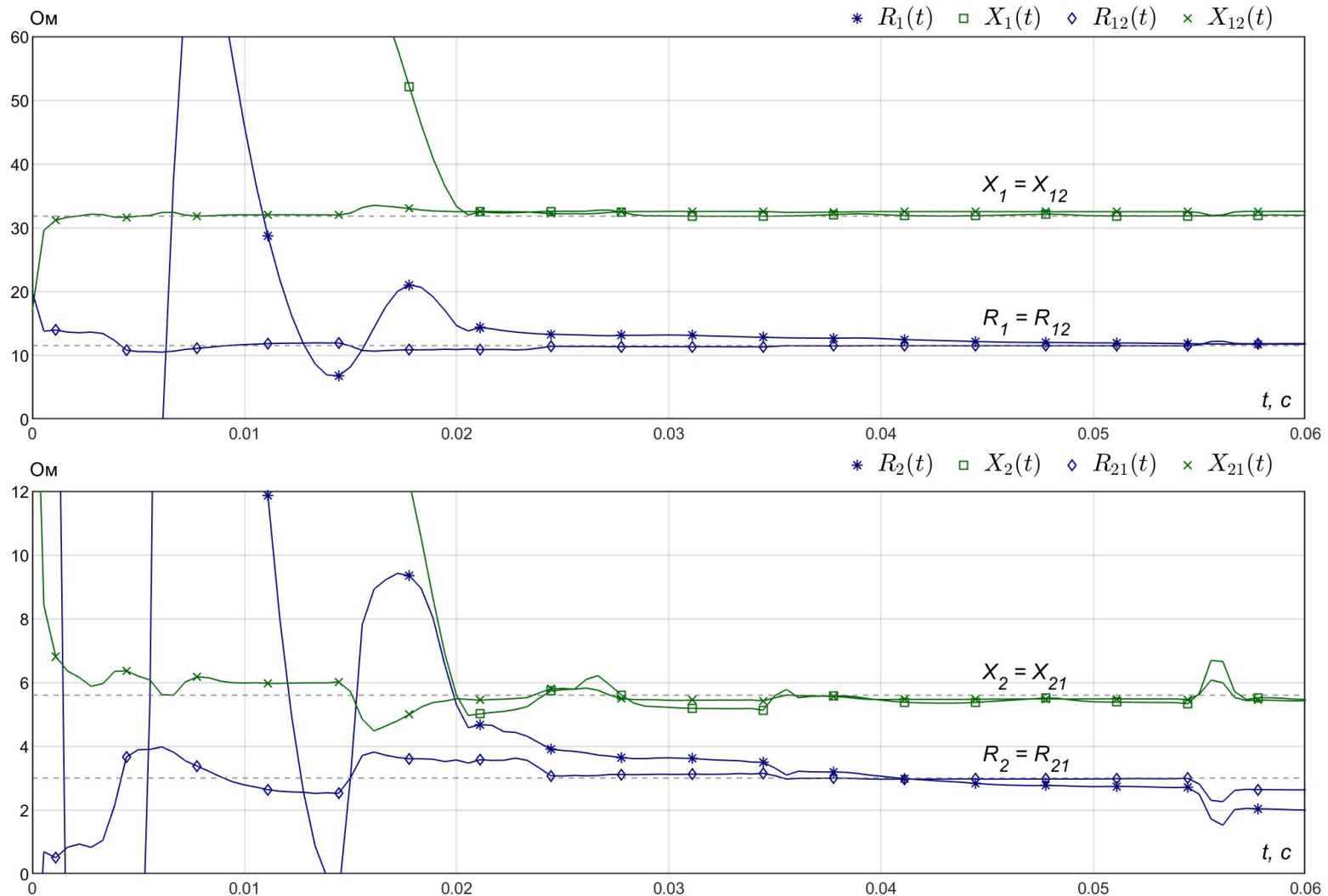


Осциллограммы напряжений и токов



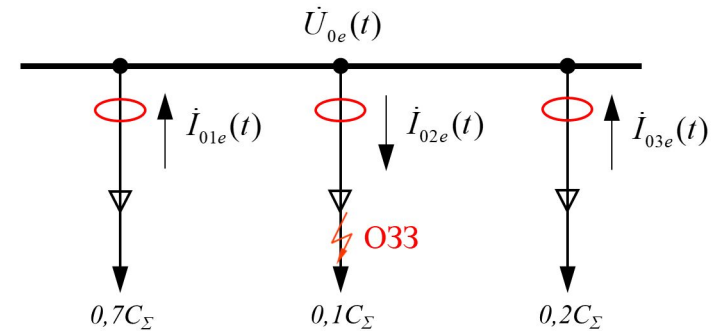
Анализ аварийных событий

Оценка сопротивления петли КЗ

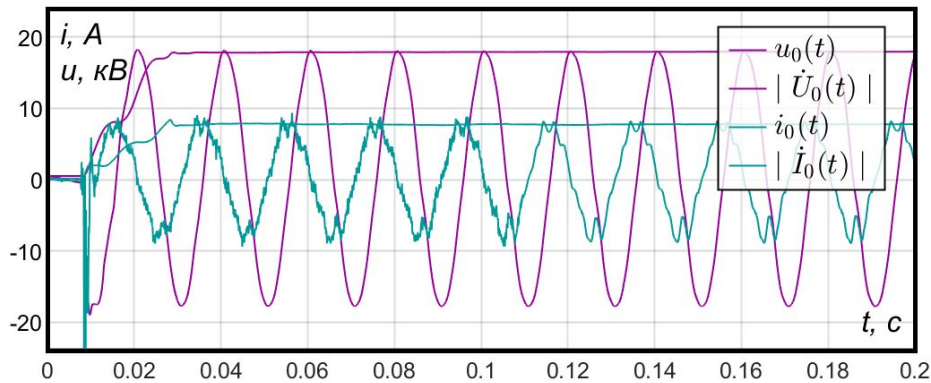


Описание события № 3

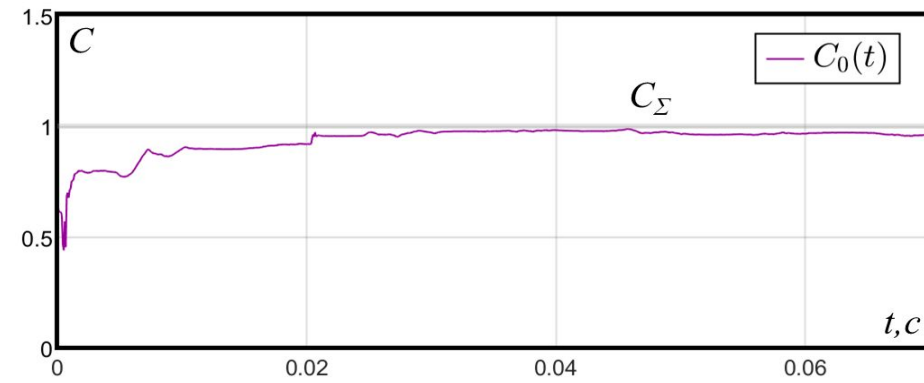
- ОЗЗ в одном из фидеров РУ 10 кВ
- наличие ДГР в сети



Осциллограмма напряжения и тока НП



Оценка емкости поврежденного фидера



Средняя величина погрешности оценки полного сопротивления, %

Событие 1, односторонние измерения

Переходный процесс		Установившийся режим КЗ	
традиционный способ	разработанный способ	традиционный способ	разработанный способ
102,4	27,9	5,27	2,43

Событие 1, двусторонние измерения

Переходный процесс		Установившийся режим КЗ	
традиционный способ	разработанный способ	традиционный способ	разработанный способ
77,8	1,5	0,3	0,28

Событие 2, односторонние измерения

Переходный процесс		Установившийся режим КЗ	
традиционный способ	разработанный способ	традиционный способ	разработанный способ
106,1	19,4	6,13	1,8

Событие 2, двусторонние измерения

Переходный процесс		Установившийся режим КЗ	
традиционный способ	разработанный способ	традиционный способ	разработанный способ
85,6	1,3	0,2	0,12

Средняя величина погрешности оценки емкости фидера, %

Переходный процесс		Установившийся режим КЗ	
традиционный способ	разработанный способ	традиционный способ	разработанный способ
-	38,2	-	2,5

- дистанционный и адмиттансный принцип на основе СВИ открывает новые направления для совершенствования алгоритмов защиты, автоматики, мониторинга, управления
- дистанционная защита линии на основе двухсторонних измерений синхровекторов напряжения и тока обеспечивает высокое быстродействие и отстроена от ряда влияющих факторов, в т.ч. электромагнитных и электромеханических переходных процессов (качания мощности, асинхронный режим в энергосистеме, нелинейное сопротивление дуги и др.)
- применение дистанционного принципа является эффективным решением для совершенствования алгоритмов защиты и обеспечения мониторинга состояния СТ
- адмиттансный принцип позволяет реализовать эффективную защиту от ОЗЗ в распределительных сетях на основе СВИ



**XIV Международная
научно-техническая конференция
«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ - 2024»**



**Применение СВИ для совершенствования алгоритмов
дистанционной и адмиттансной защиты**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Докладчик: Пискунов Сергей Александрович

Организация: ООО «Инженерный центр
«Энергосервис», Северный (Арктический) федеральный
университет им. М.В. Ломоносова

Руководитель: Мокеев А.В., д.т.н., доцент

**Ставрополь,
1 – 4 октября 2024 г.**