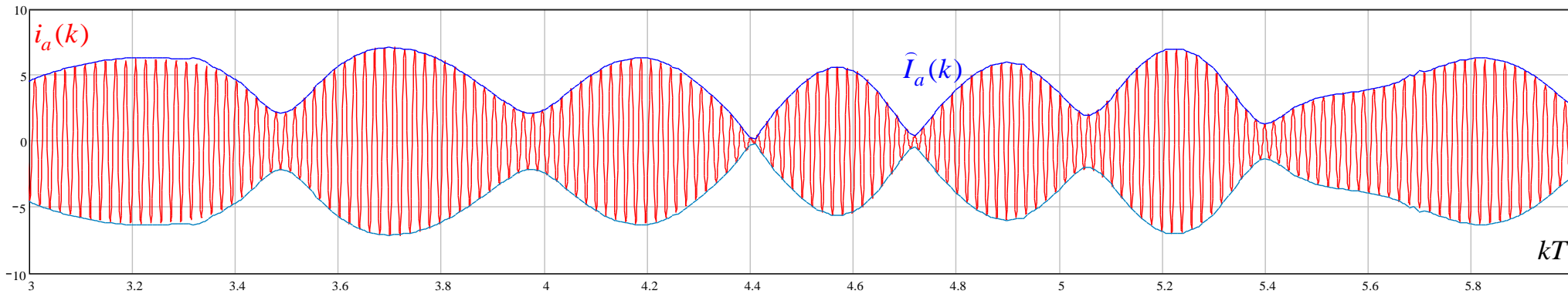


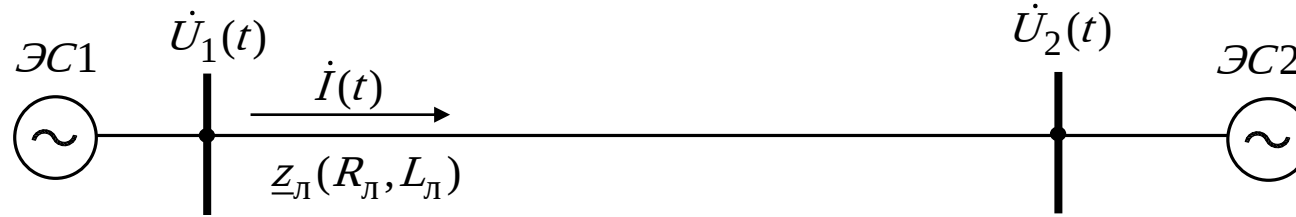
ПРИМЕНЕНИЕ СВИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ, МОНИТОРИНГА, РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Мокеев А.В., д.т.н., Пискунов С.А., Ульянов Д.Н.

*ООО «Инженерный центр «Энергосервис»,
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
Архангельск
a.mokeev@ens.ru*



№	Метод анализа	Применение
1	На основе преобразования дифференциальных уравнений	<ol style="list-style-type: none"> 1. Исследование синхровекторов переходных процессов. 2. Разработка алгоритмов для систем управления, мониторинга, релейной защиты и автоматики
2	На основе преобразования интеграла свертки	Исследование синхровекторов переходных процессов
3	Метод с использованием расширенных частотно-временных представлений	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ и синтез частотных фильтров для устройств с поддержкой технологии СВЧ 2. Исследование синхровекторов переходных процессов
4	Упрощенный метод на основе расширенных частотно-временных представлений	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ и синтез частотных фильтров 2. Исследование синхровекторов переходных процессов 3. Виртуальный УСВИ



Дифференциальное уравнение линии

$$\Delta u(t) = R_л i(t) + L_л \frac{di(t)}{dt}$$

Метод комплексных амплитуд

$$\Delta u(t) \rightarrow \Delta \dot{U} e^{j\omega_0 t}, \quad i(t) \rightarrow \dot{I} e^{j\omega_0 t}$$

$$\Delta \dot{U} = R_л \dot{I} + j\omega_0 L_л \dot{I} \quad \underline{z}_л = \frac{\Delta \dot{U}}{\dot{I}}$$

Метод для синхровекторов

$$\Delta u(t) \rightarrow \Delta \dot{U}(t) e^{j\omega_0 t}, \quad i(t) \rightarrow \dot{I}(t) e^{j\omega_0 t}$$

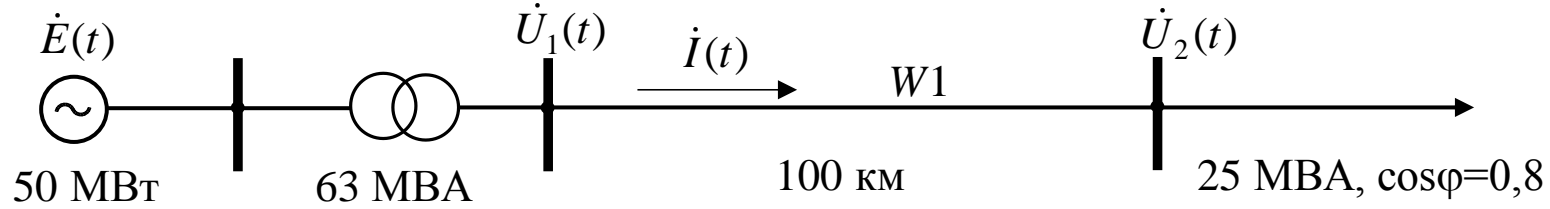
$$\Delta \dot{U}(t) = \dot{U}_1(t) - \dot{U}_2(t)$$

$$\Delta \dot{U}(t) = \underline{z}_л \dot{I}(t) + L_л \frac{d\dot{I}(t)}{dt}$$

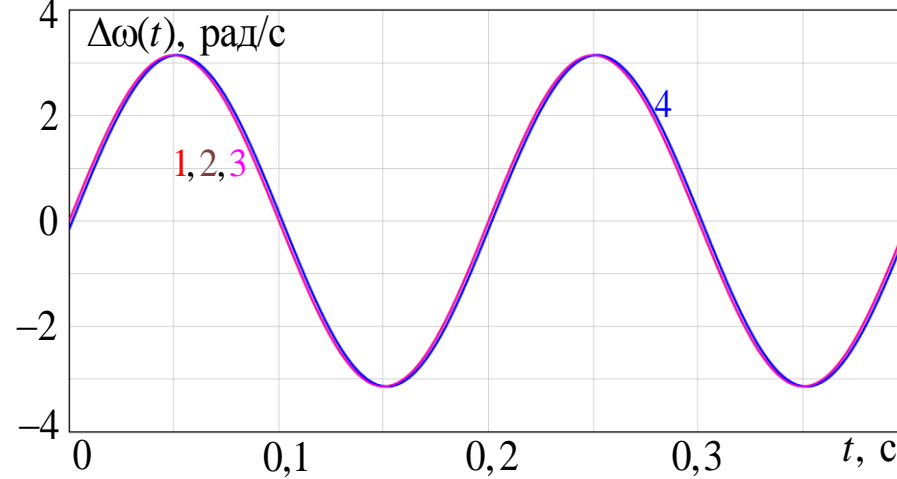
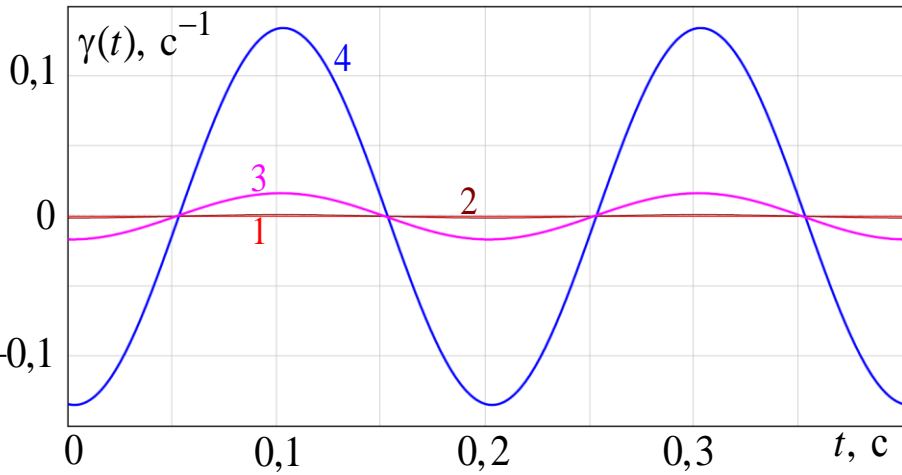
Вариант 1	Вариант 2
$\hat{z}_0(t) = \frac{\dot{U}_1(t) - \dot{U}_2(t)}{\dot{I}(t)} = R_0(t) + jX_0(t)$ $\hat{L}_{\pi 1}(t) = \frac{X_0(t)}{\omega_0 + \operatorname{Im}\left(\frac{\dot{I}'(t)}{\dot{I}(t)}\right)}, \quad \hat{R}_{\pi 1}(t) = R_0(t) - \hat{L}_{\pi 1}(t) \operatorname{Re}\left(\frac{\dot{I}'(t)}{\dot{I}(t)}\right)$	$\hat{z}_{\pi 1}(t) = \frac{\dot{U}_1(t) - \dot{U}_2(t)}{\dot{I}_1(t) + \underline{k} \cdot \dot{I}'(t)}$ <p>где $\dot{I}'(t) = \frac{d\dot{I}(t)}{dt}$, $\underline{k} = \frac{L_{\text{уд}}}{z_{\text{уд}}}$</p>

$$\rho(t) = \frac{\dot{I}'(t)}{\dot{I}(t)} = \gamma(t) + j\Delta\omega(t)$$

Вариант 1	Вариант 2
$\hat{z}_0(t) = \frac{\dot{U}_1(t) - \dot{U}_2(t)}{\dot{I}(t)} = R_0(t) + jX_0(t)$ $\hat{L}_{\pi 1}(t) = \frac{X_0(t)}{\omega_0 + \Delta\omega(t)}, \quad \hat{R}_{\pi 1}(t) = R_0(t) - \gamma(t) \hat{L}_{\pi 1}(t)$	$\hat{z}_{\pi 1}(t) = z_0(t) \frac{1}{1 + \underline{k} \cdot \rho(t)}$

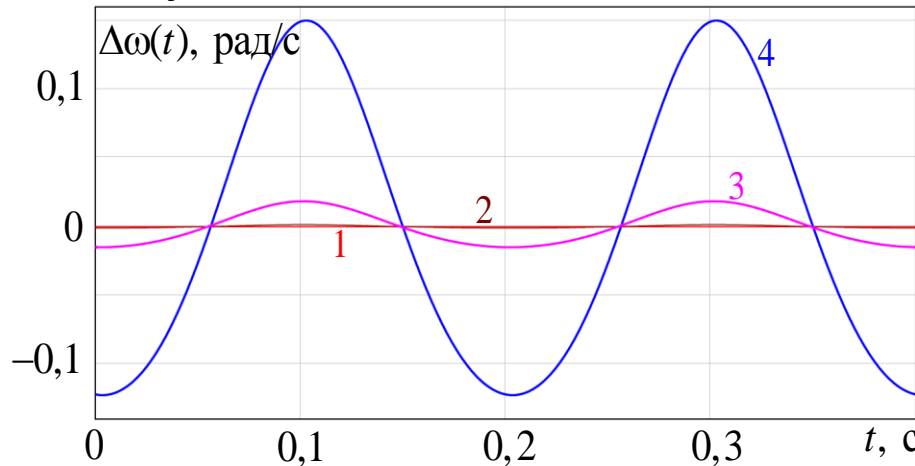
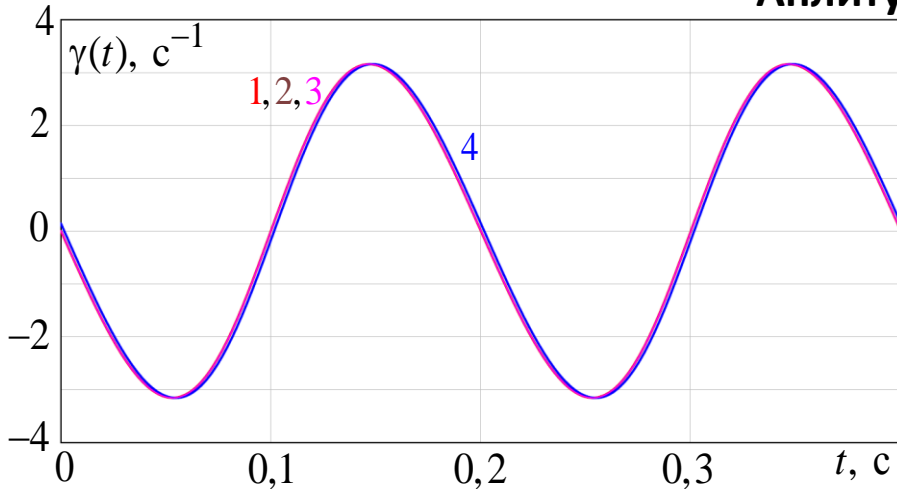


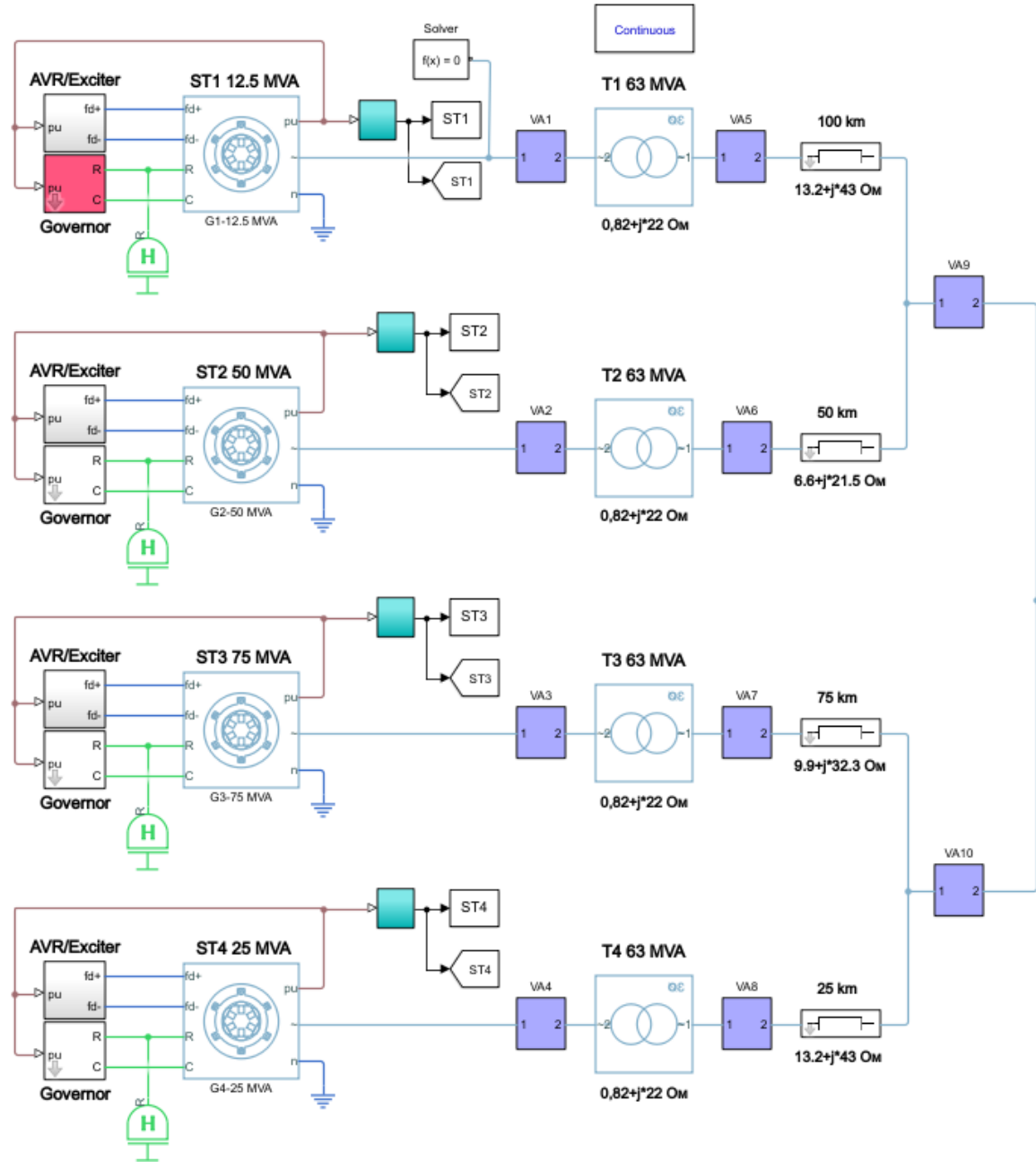
Фазовая модуляция



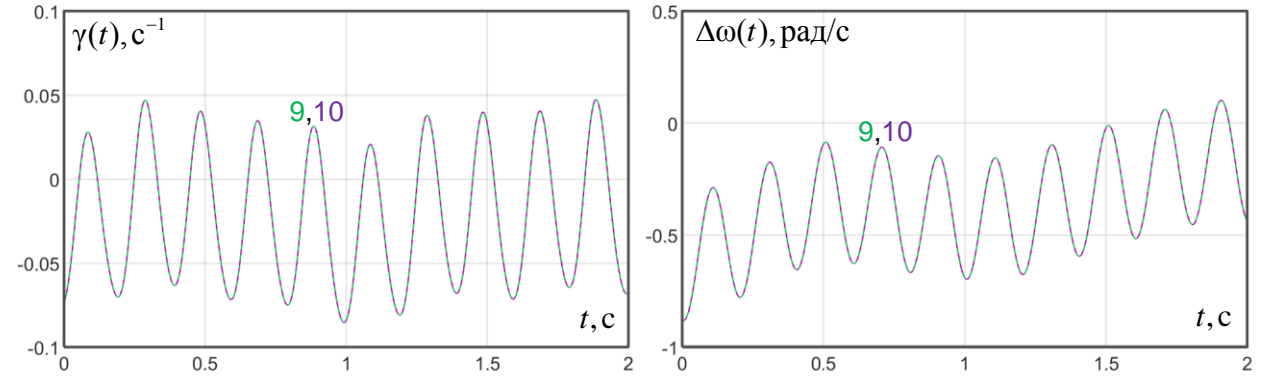
$\dot{E}(t)$ кривая 1,
 $\dot{U}_1(t)$ кривая 2,
 $\dot{U}_2(t)$ кривая 3,
 $\dot{I}(t)$ кривая 4

Амплитудная модуляция

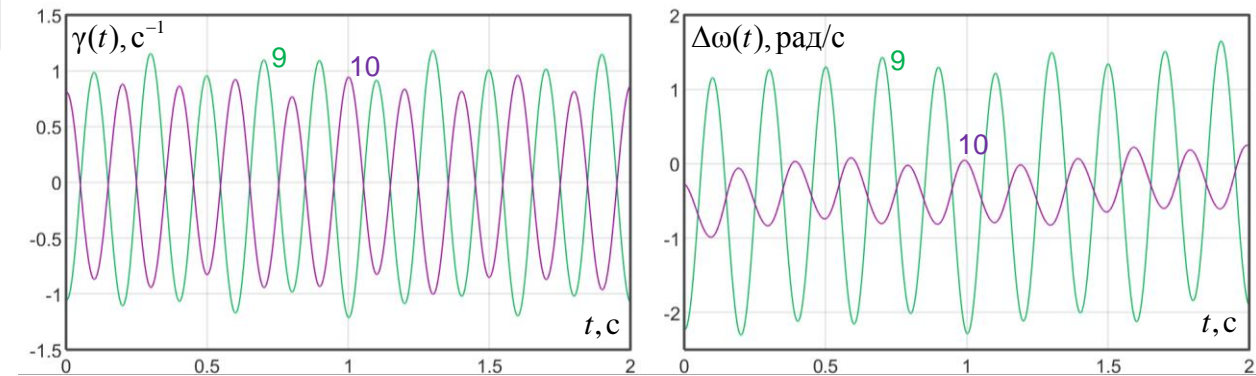




напряжения



ТОКИ



Использования мгновенной частоты, рассчитываемой по синхровекторам тока, для поиска источника НЧК в энергосистеме

Использование данной информации намного эффективнее для поиска источника НЧК, чем применяемой в методе MSE (Mode Shape Estimation).

При этом вместо контроля и сравнения синхрофазоров напряжения на разных подстанциях достаточно найти направление поиска по значению мгновенной частоты моды тока.

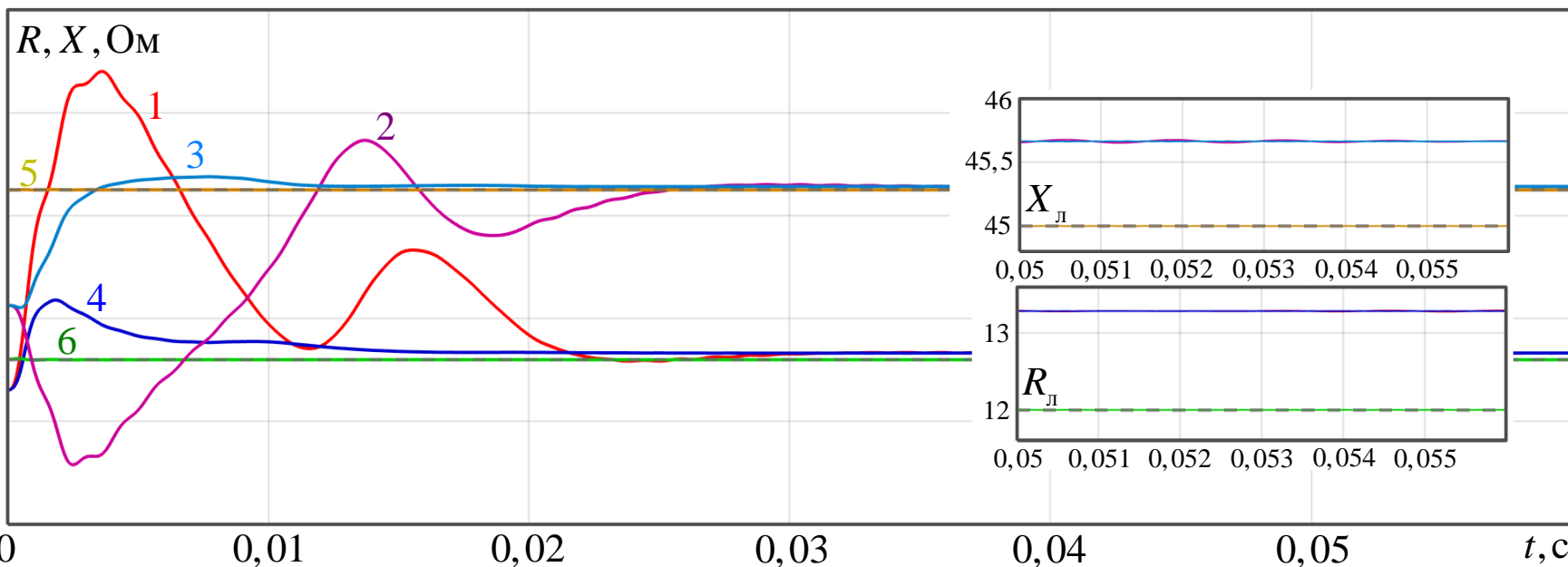
Существующие ограничения: на практике использование указанной информации бывает затруднительно, так как согласно требований Системного оператора данные о синхровекторах тока не всегда передаются в диспетчерские центры.

Виртуальный УСВИ

$$\dot{U}_2(t) = \dot{U}_1(t) - (\underline{z}_Л + L_Л \rho(t)) \dot{I}(t)$$

Вариант 1

$$\hat{z}(t) = \frac{\Delta \dot{U}(t)}{\dot{I}_1(t) + \underline{k} \dot{I}'_1(t) - C \left(\underline{k} \dot{U}''_1(t) + (1 + jk\omega_0) \dot{U}'_1(t) + j\omega_0 \dot{U}_1(t) \right)}$$

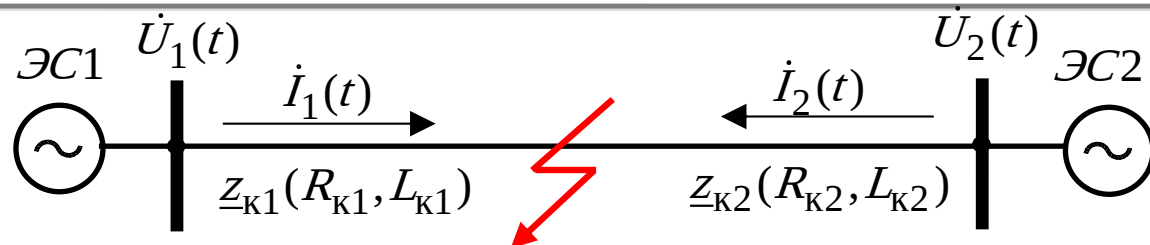


1,2 - традиционный алгоритм (RL),
 3,4 - новый алгоритм (RL),
 5,6 - новый алгоритм (RLC)

Вариант 2

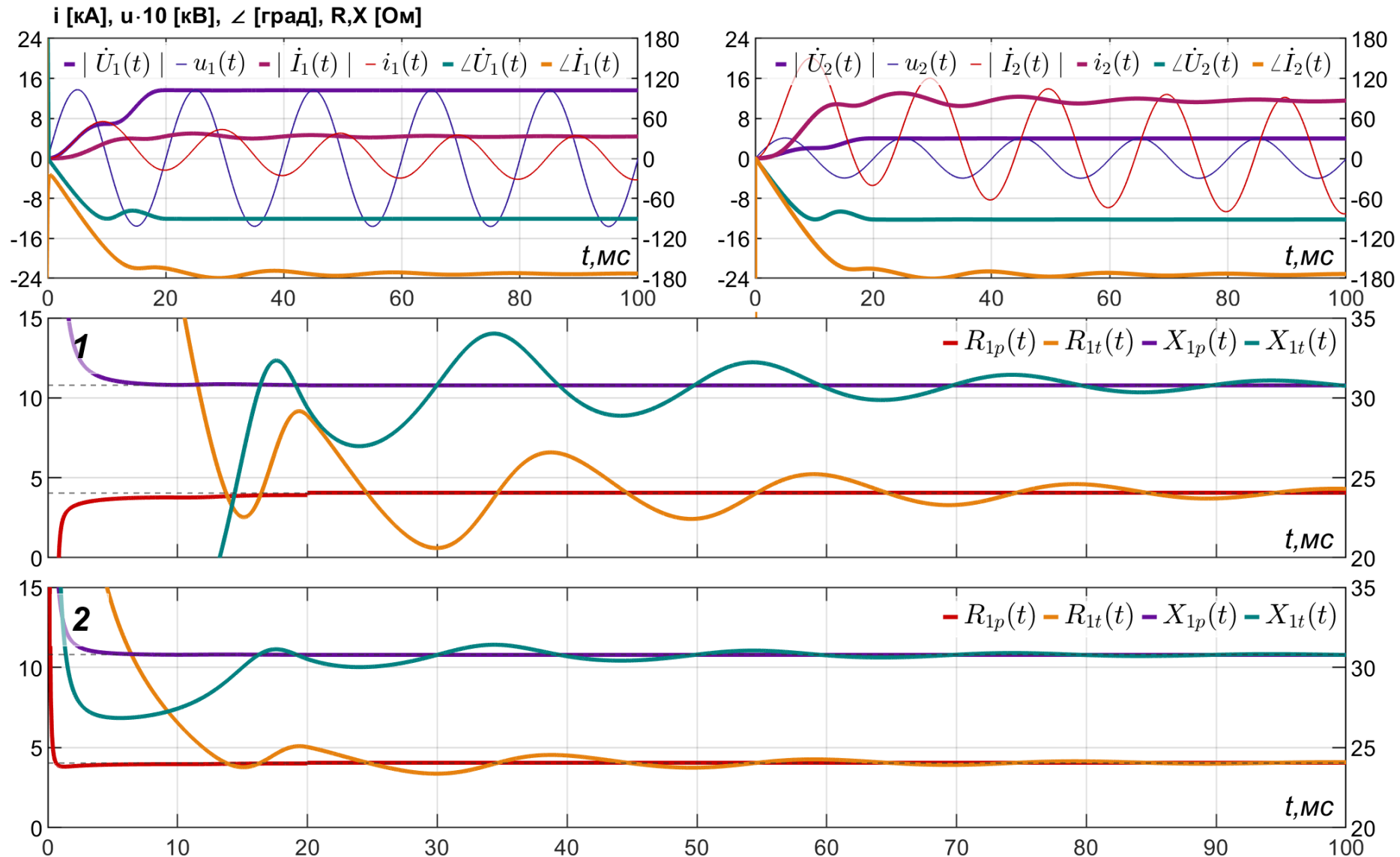
$$\hat{C}(t) = \frac{\Delta \dot{I}(t)}{\Delta \dot{U}(t)} \frac{2}{\rho_{\Delta}(t) + j\omega_0}$$

где $\Delta \dot{I}(t) = \dot{I}_1(t) - \dot{I}_2(t)$, $\rho_{\Delta}(t) = \rho_1(t) - \rho_2(t)$, $\rho_1(t) = \frac{\dot{U}'_1(t)}{\dot{U}_1(t)}$, $\rho_2(t) = \frac{\dot{U}'_2(t)}{\dot{U}_2(t)}$

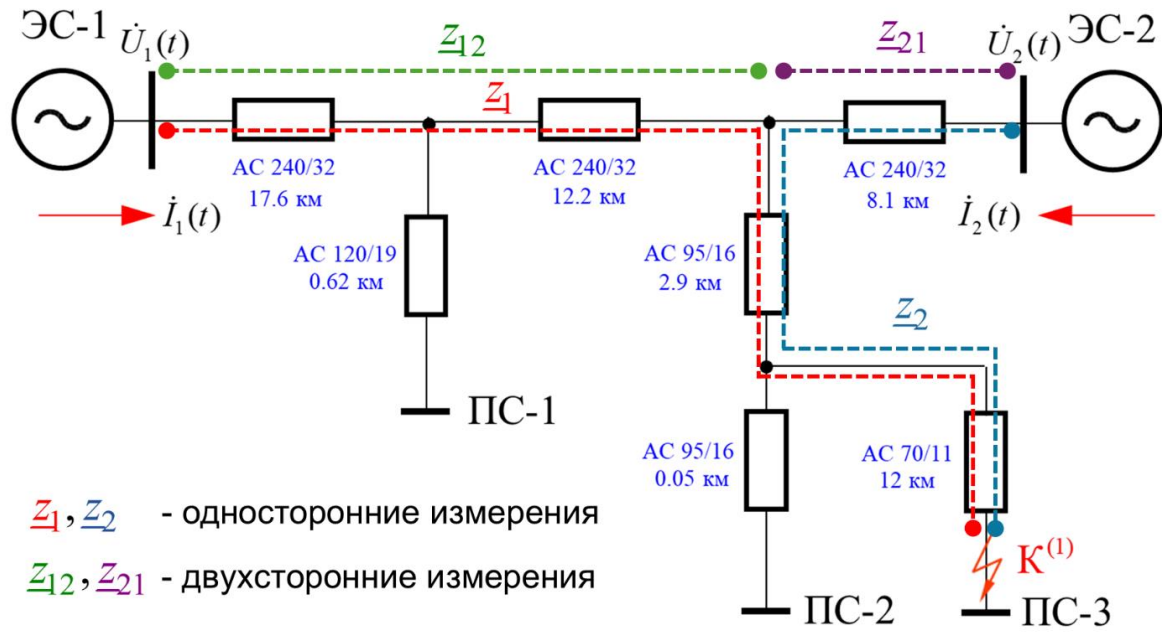


Наименование	Вариант 1	Вариант 2
Односторонняя оценка $\hat{z}_{1k}(t)$	$\hat{z}_0(t) = \frac{\dot{U}_1(t)}{\dot{I}_1(t)}, \quad \hat{z}_0(t) = R_0(t) + jX_0(t)$ $\hat{L}_{k1}(t) = \frac{X_0(t)}{\omega_0 + \Delta\omega(t)},$ $\hat{R}_{k1}(t) = R_0(t) - \gamma(t)\hat{L}_{k1}(t)$	$\hat{z}_{k1}(t) = z_0(t) \frac{1}{1 + \underline{k} \cdot \rho_1(t)}$
Двухсторонняя оценка $\hat{z}_{1k}(t)$	$\hat{z}_0(t) = \frac{\Delta\dot{U}(t) + z_{\pi}\dot{I}_2(t) + L_{\pi}\dot{I}_2'(t)}{\dot{I}_1(t) + \dot{I}_2(t)},$ $\hat{L}_{k1}(t) = \frac{X_0(t)}{\omega_0 + \Delta\omega(t)},$ $\hat{R}_{k1}(t) = R_0(t) - \gamma(t)\hat{L}_{k1}(t)$	$\hat{z}_{k1}(t) = z_0(t) \frac{1}{1 + \underline{k} \cdot \rho(t)}$ $\Delta\dot{U}(t) = \dot{U}_1(t) - \dot{U}_2(t),$ $\dot{I}(t) = \dot{I}_1(t) + \dot{I}_2(t)$

Оценка R, X при односторонней (1) и при двухсторонней (2) оценке сопротивления



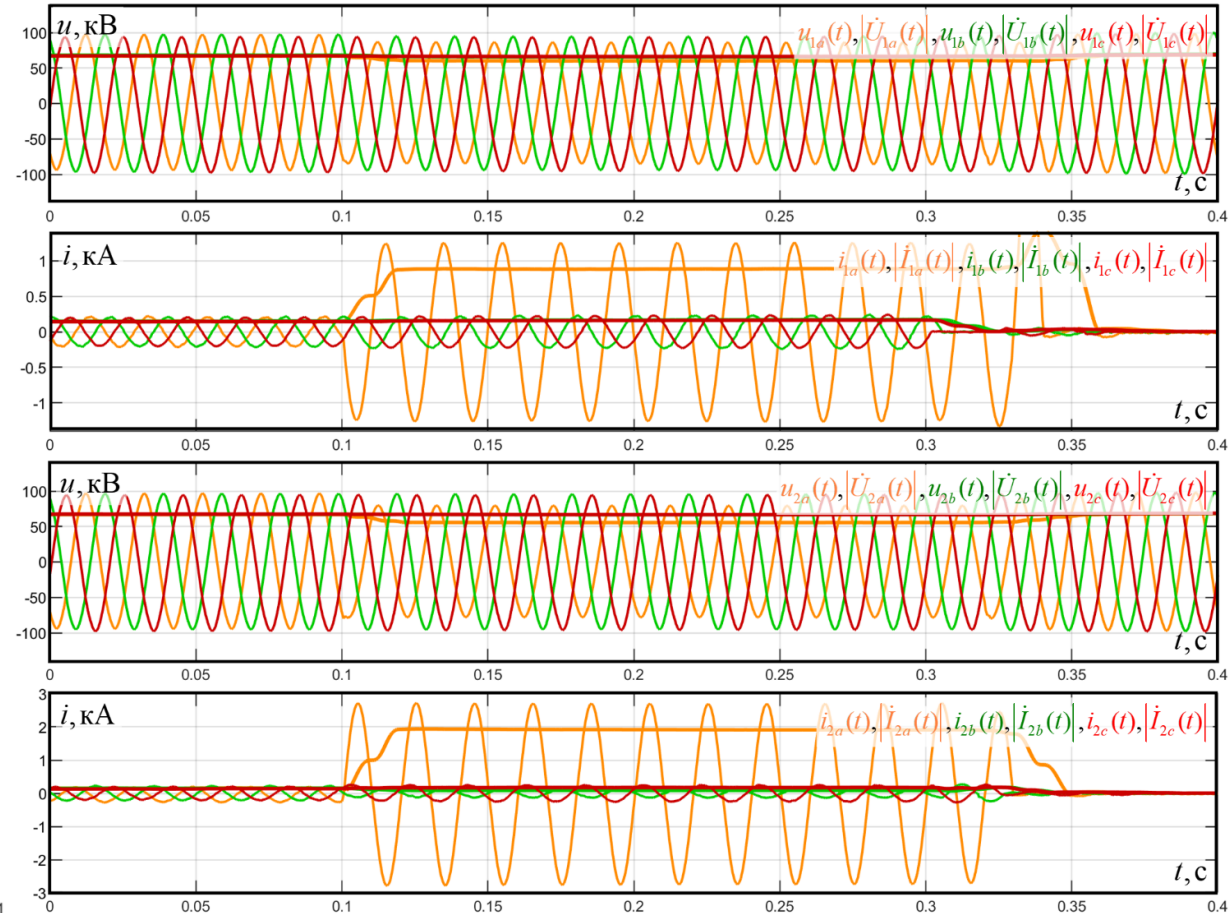
$R_{1p}(t), X_{1p}(t)$ - новый алгоритм, $R_{1t}(t), X_{1t}(t)$ - традиционный алгоритм



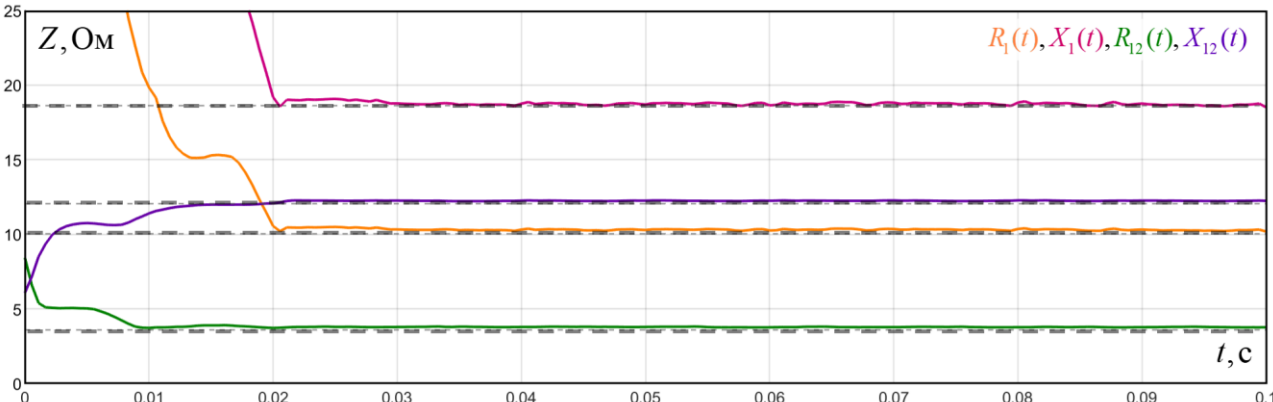
Z_1, Z_2 - односторонние измерения
 Z_{12}, Z_{21} - двухсторонние измерения

Структурная схема сети

Однофазное КЗ в ВЛ 110 кВ



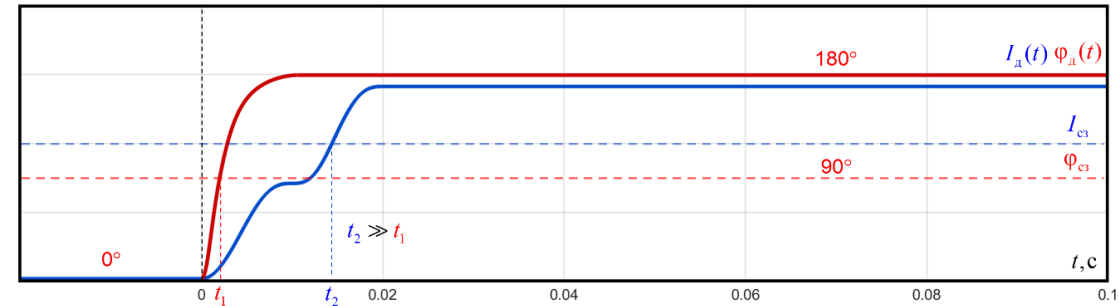
Осциллограммы напряжений и токов



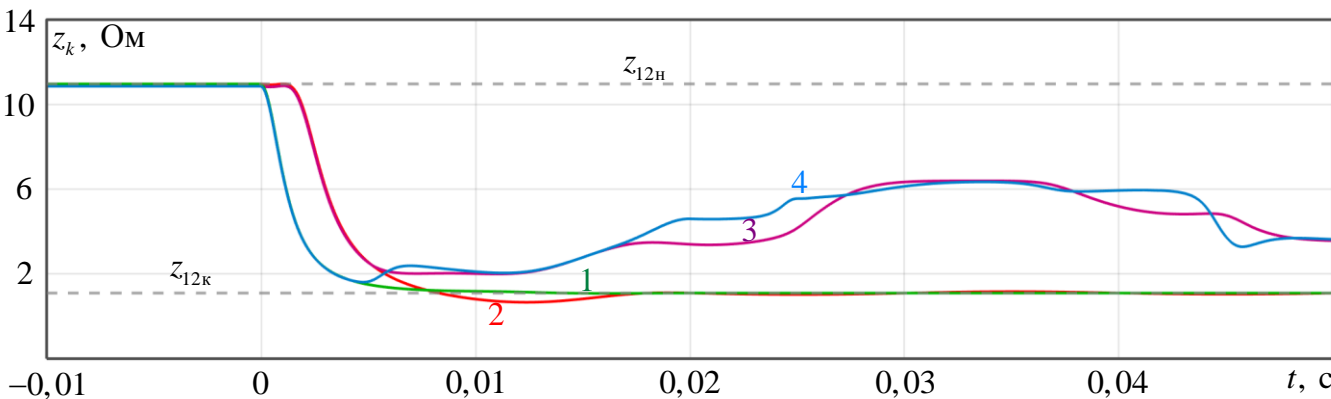
Оценка сопротивления петли КЗ

<p>Дифференциальный принцип защиты</p>	<ul style="list-style-type: none"> - оценка дифференциального тока СТ; - дополнительный критерий для блокировки защиты при БНТ, дифференциально-фазный принцип, высокое быстродействие; - снижение тока небаланса.
<p>Дистанционный принцип защиты</p>	<ul style="list-style-type: none"> - оценка сопротивления при внутреннем КЗ; - высокое быстродействие и точность при э/м процессах.

Оценка модуля и фазы дифференциального тока

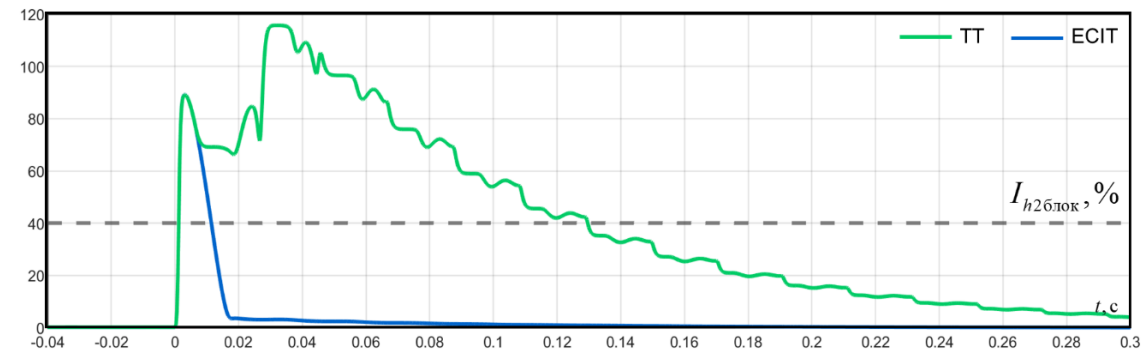


Оценка модуля сопротивления при КЗ в трансформаторе

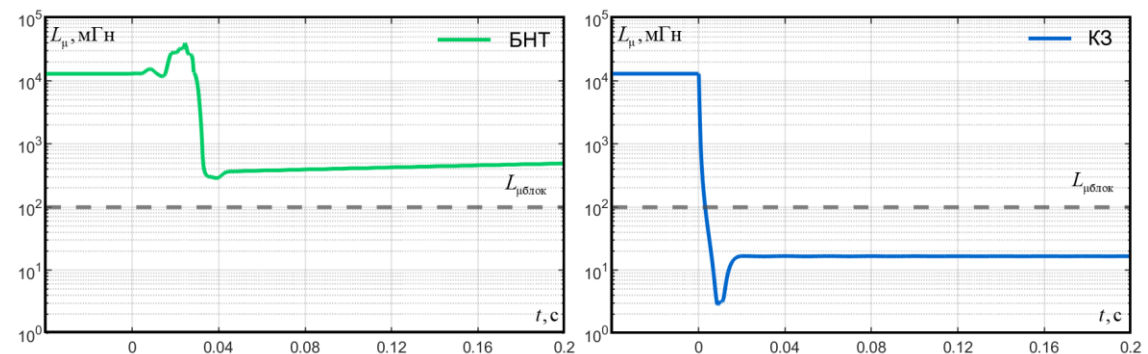


- 1 - цифровые измерительные трансформаторы и новый алгоритм,
- 2 - цифровые измерительные трансформаторы и традиционный алгоритм,
- 3 - электромагнитные измерительные трансформаторы и традиционный алгоритм,
- 4 - электромагнитные измерительные трансформаторы и новый алгоритм,

Вторая гармоника тока при БНТ

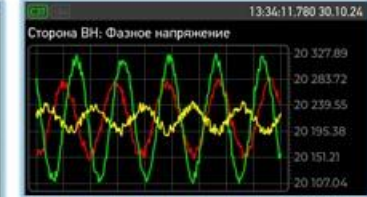
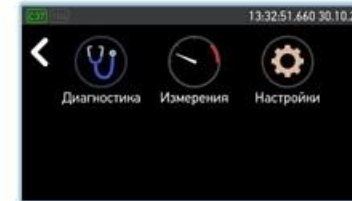
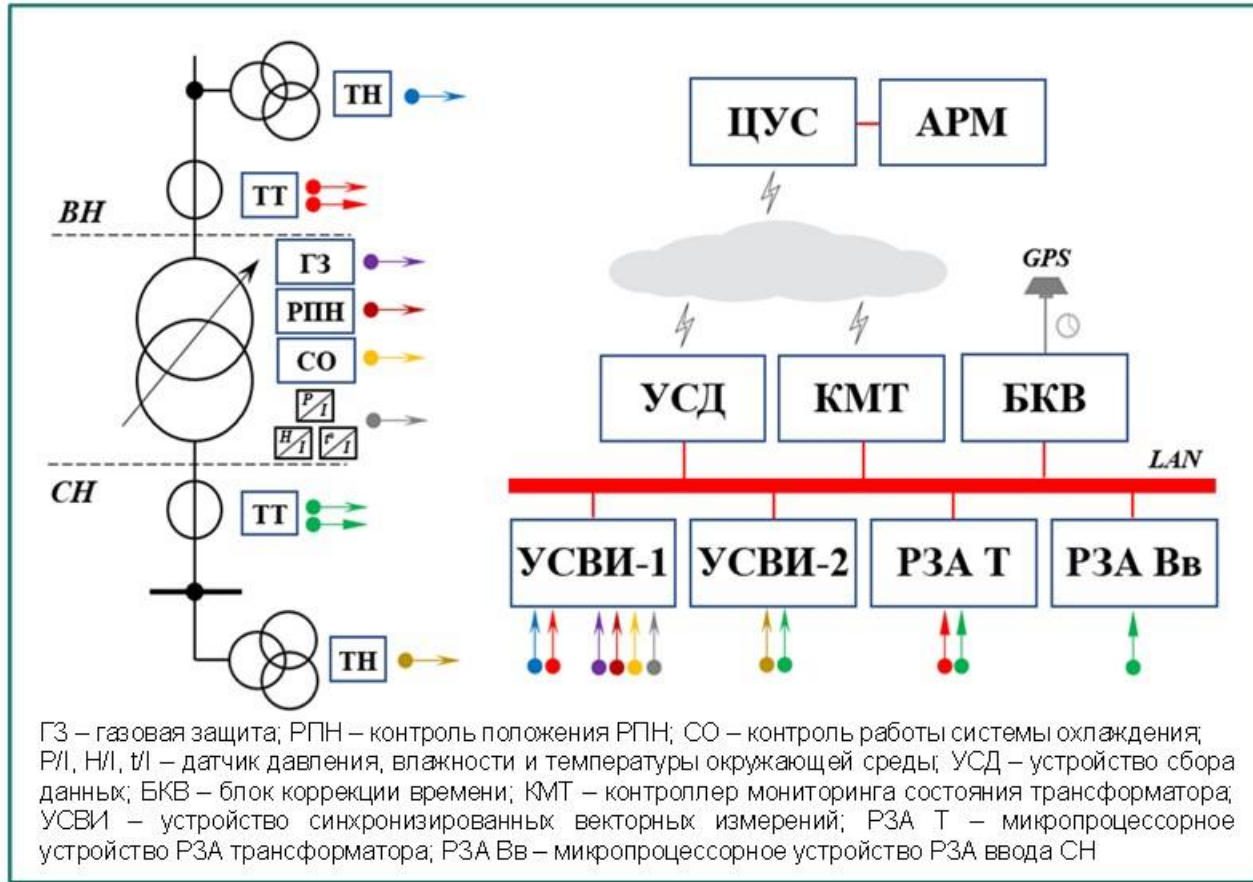


Оценка индуктивности намагничивания



Выявление дефектов силового трансформатора

Механизм повреждения	Виды дефектов	Параметр
Электромагнитные силы, вызванные током КЗ	Деформация обмотки	$\text{Im}[\hat{Z}_{12}(t)]$
Повреждение изоляции обмоток	Межвитковое замыкание, замыкание параллельных проводников	$\text{Re}[\hat{Z}_{12}(t)], \hat{L}_{\mu}(t)$
Ухудшенный контакт и перегрев контактов отводов РПН или ПБВ	Перегрев и эрозия контактов	$\text{Re}[\hat{Z}_{12}(t)]$
Механическое смещение или перегрев проводника	Обрыв цепи	$\hat{L}_{\mu}(t)$
Механическое воздействие перевозбуждение магнитопровода	Увеличение потерь, пожар в стали	$\hat{L}_{\mu}(t), \dot{I}_{\mu}(t)$



УСВИ с КВД, МИП ТМ



УСВИ, МИП ТМ, счетчик, прибор ПКЭ



МИП ТМ, контроль сквозных токов, БНТ



РПН, охлаждение, окр. среда



УСД, БКВ



КМТ

Функции СМСТ на базе СВИ

оценка параметров схемы замещения

контроль перегрузочной способности

контроль сквозных токов КЗ, БТН

оценка степени износа витковой изоляции

контроль работы РПН, системы охлаждения

контроль параметров окружающей среды

энергомониторинг (учет электроэнергии)

измерение и контроль ПКЭ

телеизмерение, телесигнализация



Благодарим за внимание!

Мокеев Алексей Владимирович

профессор Северного (Арктического) федерального университета, д.т.н.

a.mokeev@narfu.ru

зам. генерального директора ООО "Инженерный центр "Энергосервис",

a.mokeev@ens.ru, <http://www.enip2.ru>