

Сочи, 30 мая – 01 июня

Международная научно-техническая конференция



инженерный центр
энергосервис



**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА
И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ – 2023**

Автоматизация распределительных сетей на основе принципов WAMPACS

Пискунов Сергей Александрович

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

ООО «Инженерный центр «Энергосервис», Северный (Арктический) федеральный университет

Россия



Цели и задачи автоматизации распределительных сетей

Автоматизация предполагает применение технических средств, методов и систем управления, снижающих влияние человеческого фактора в обеспечении надежности электроснабжения сети.

Задачи автоматизации РС СН:

- повышение эффективности управления сетью,
- повышение качества и надежности электроснабжения,
- применение новых технологий, методов и средств,
- переход к техническому обслуживанию оборудования по состоянию.

Ограничивающие факторы:

- низкий уровень автоматизации распределительных сетей,
- сложная и разветвленная структура,
- большое число элементов.

Для автоматизации РС требуются многоуровневые и гибкие системы.



Принципы систем WAMPAC

Основные принципы построения систем WAMPAC:

- многоуровневая структура (локальный и центральный уровни управления),
- применение синхронизированных векторных измерений (СВИ),
- распределенная обработка данных,
- высокая частота и разрешение измерений.

Основные направления применения WAMPACS:

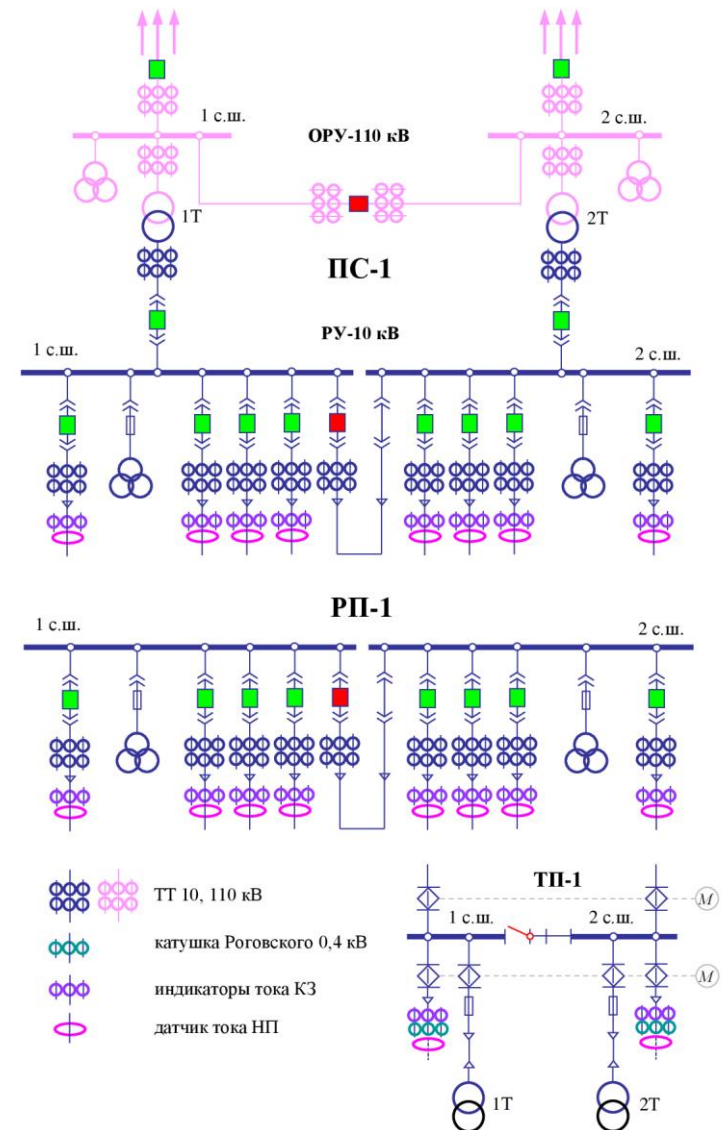
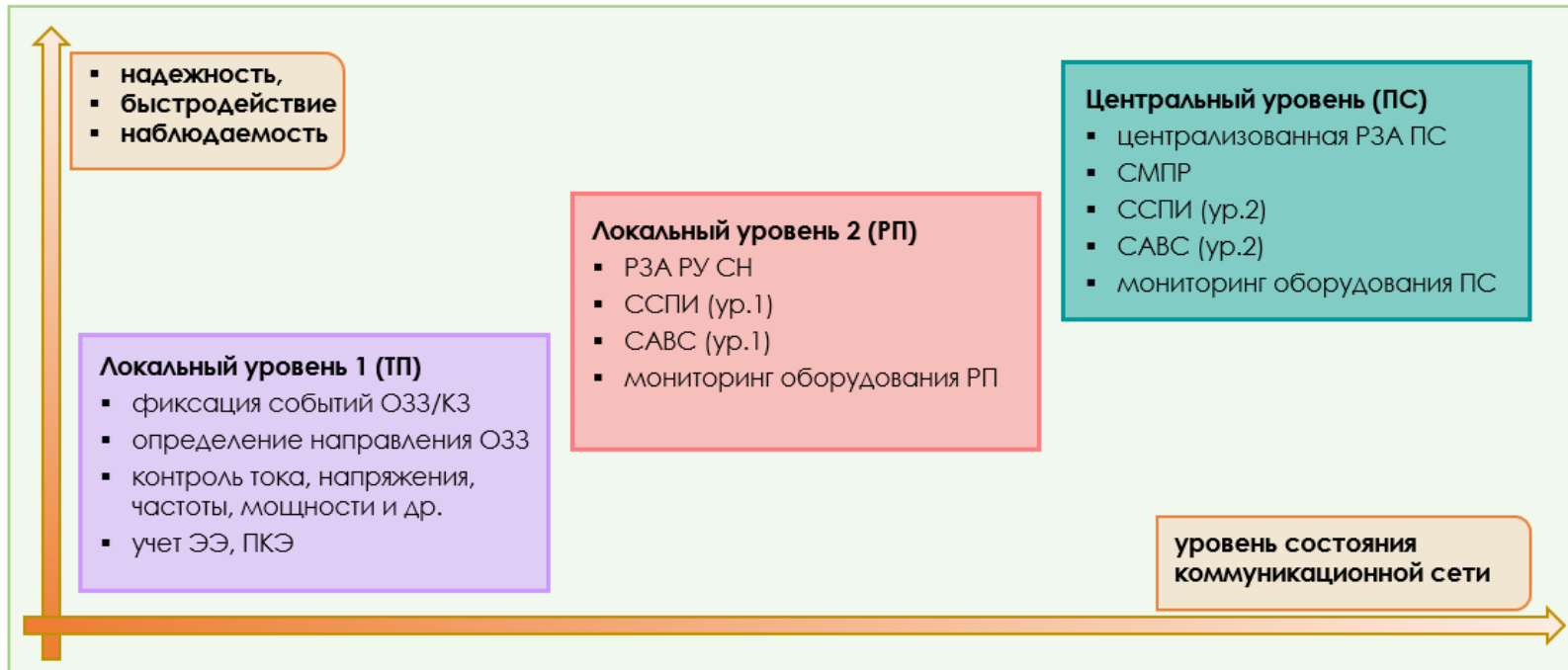
- системы мониторинга переходных режимов (WAMS),
- оценка состояния энергосистем (WACS),
- анализ работы системных регуляторов,
- идентификация параметров элементов сети,
- идентификация и локализация повреждений,
- релейная защита и автоматика (WAPS),
- мониторинг состояния электрооборудования,
- управление сетями с распределенной генерацией.

Принципы WAMPACS могут распространяться на распределительные сети.



Структурная схема автоматизации РС СН

- многоуровневая структура подсистем,
- локальный и централизованный режим работы,
- применение технологии СВИ,
- распределенная обработка данных,
- САВС





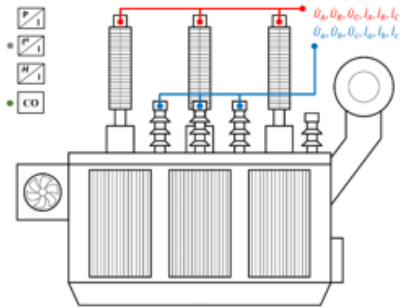
Применение принципов WAMPACS в РС СН



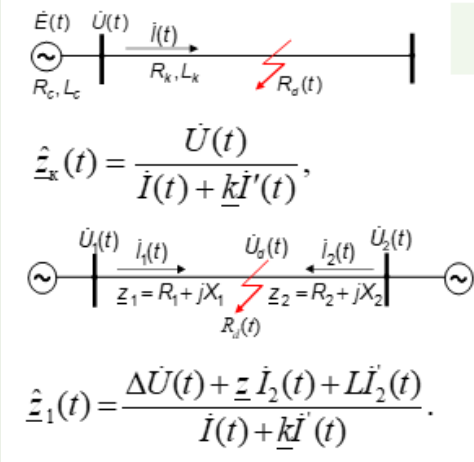
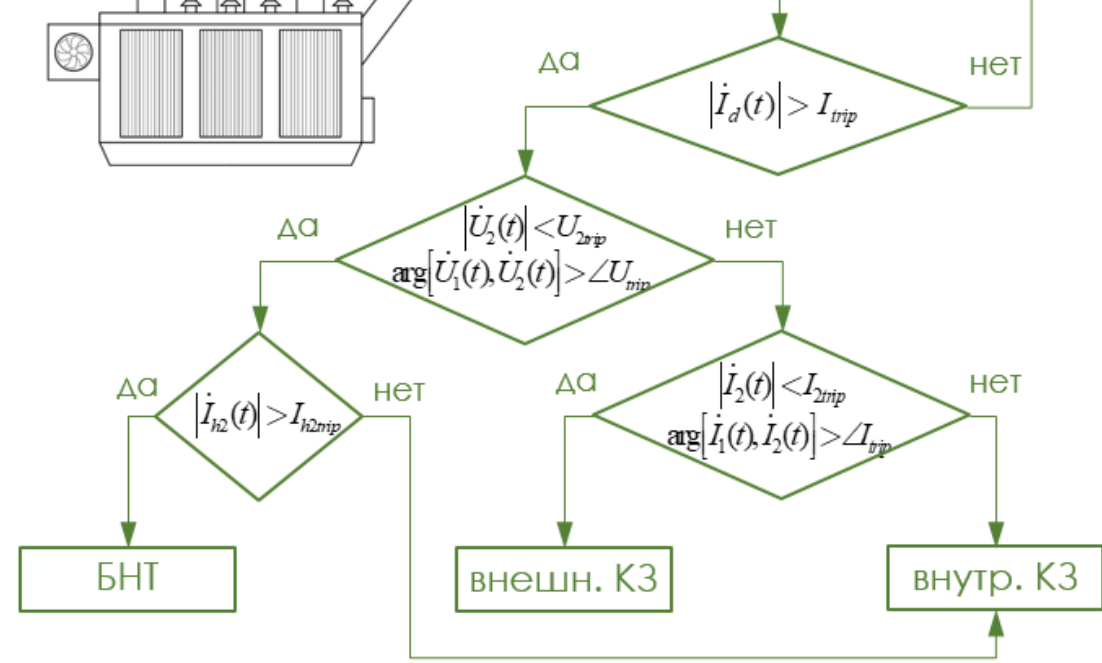
1. Мокеев А.В., Пискунов С.А. Развитие теории синхронизированных векторных измерений для совершенствования систем управления, мониторинга, релейной защиты и автоматики // Релейщик. – 2023. - № 1.
2. Илюшин П. В. Особенности реализации автоматики управления режимами энергорайонов с объектами распределительной генерации // Релейная защита и автоматизация, 2019, № 3(36), с. 14-23.
3. Пискунов С.А., Мокеев А.В., Ульянов Д.Н. и др. Автоматизация распределительных сетей среднего напряжения на базе синхронизированных векторных измерений // Релейная защита и автоматизация. – 2021. – № 4(45). – С. 54-60.
4. Piskunov S. A. et al. Technical solutions for automation of distribution networks based on SPM technology // 2022 International Conference on Smart Grid Synchronized Measurements and Analytics (SGSMA). – IEEE, 2022. – С. 1-6.

Релейная защита

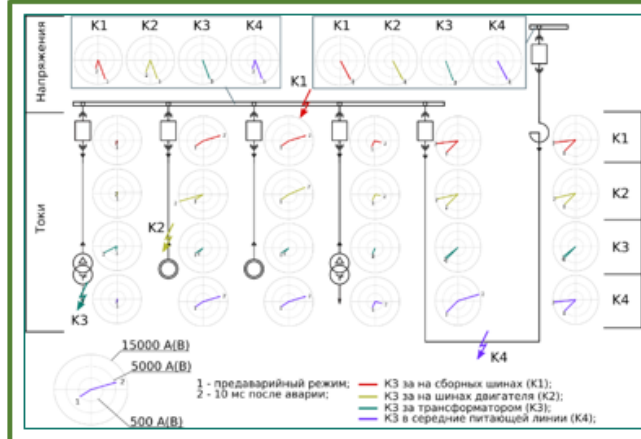
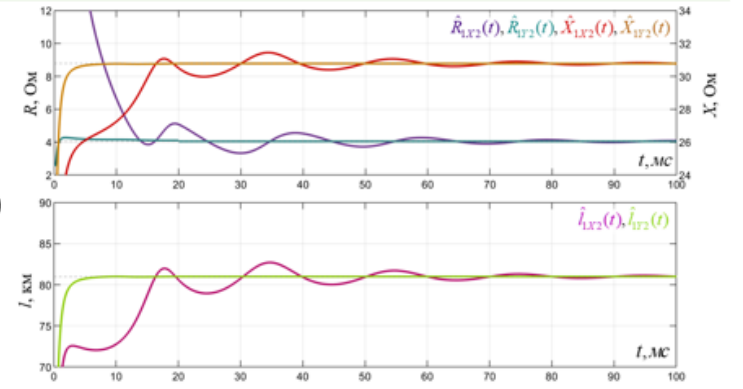
Защита силового трансформатора



$$\begin{aligned} & \dot{U}_1(t), \dot{U}_2(t), \dot{I}_1(t), \dot{I}_2(t) \\ & \dot{I}_d(t) = \dot{I}_1(t) - \dot{I}_2(t) \end{aligned}$$



Дистанционная защита линии



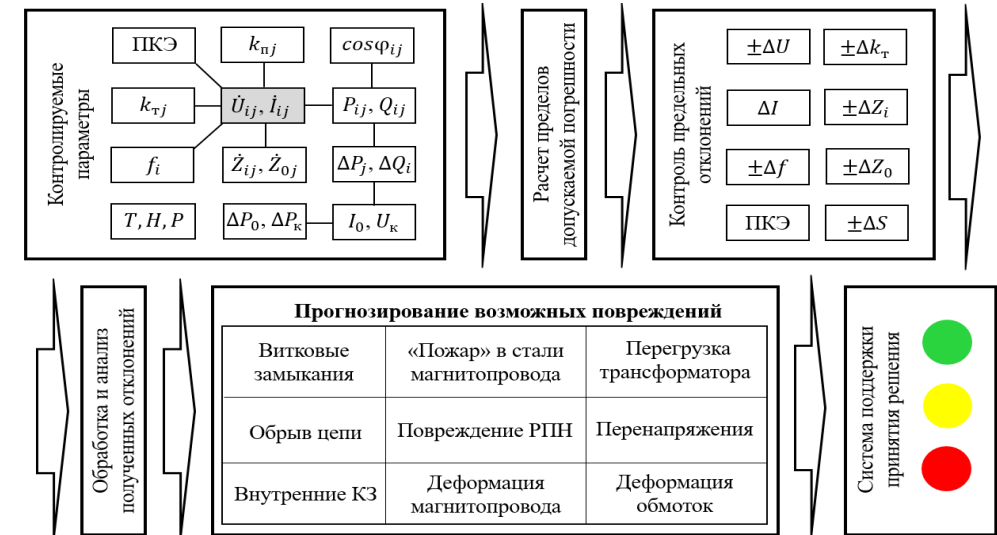
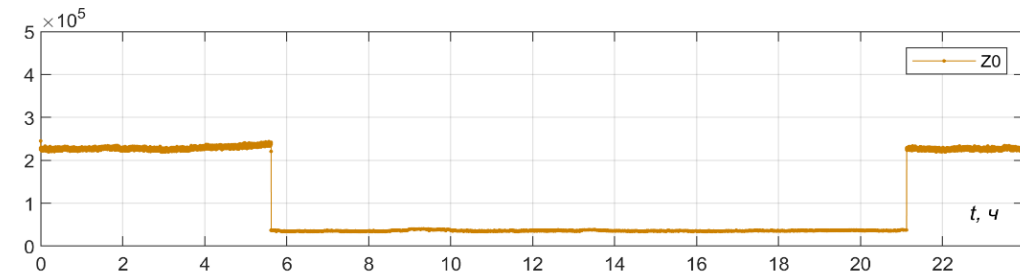
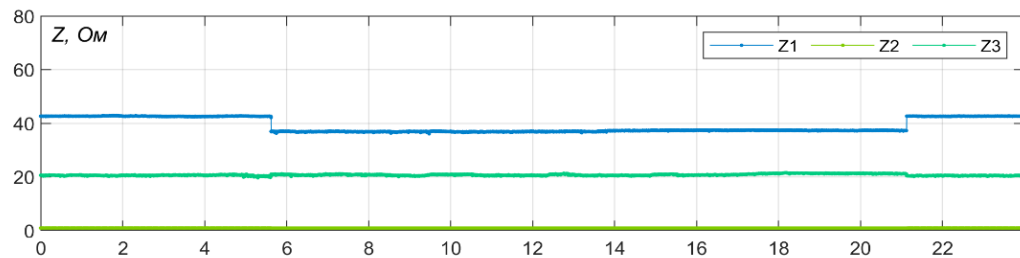
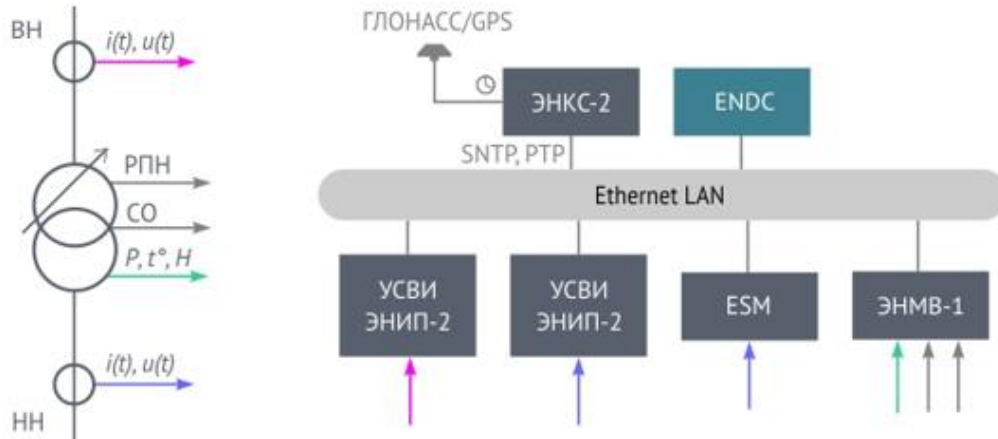
Дифференциальная защита сборных шин

$$\begin{aligned} & \dot{U}_1(t), \dot{U}_2(t), \dots, \dot{U}_n(t) \\ & \dot{I}_1(t), \dot{I}_2(t), \dots, \dot{I}_n(t) \\ & \dot{I}_d(t) = \dot{I}_1(t) - \dot{I}_2(t) - \dots - \dot{I}_n(t) \end{aligned}$$

1. Piskunov S.A., Mokeev A.V. Power transformer relay protection with its condition monitoring function // REEPE, Moscow, 2021, pp.1-6.
2. Мокеев, А. В., Пискунов С.А. Применение технологии синхронизированных векторных измерений для совершенствования дистанционной защиты. Релейная защита и автоматизация. – 2022. – № 3(48). – С. 12-17.
3. Мокеев А.В, Пискунов С.А., Ульянов Д.Н., Хромцов Е.И. Повышение эффективности и надежности РЗА цифровых подстанций и цифровых РЭС // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12, № 3(47). – С. 92-100.



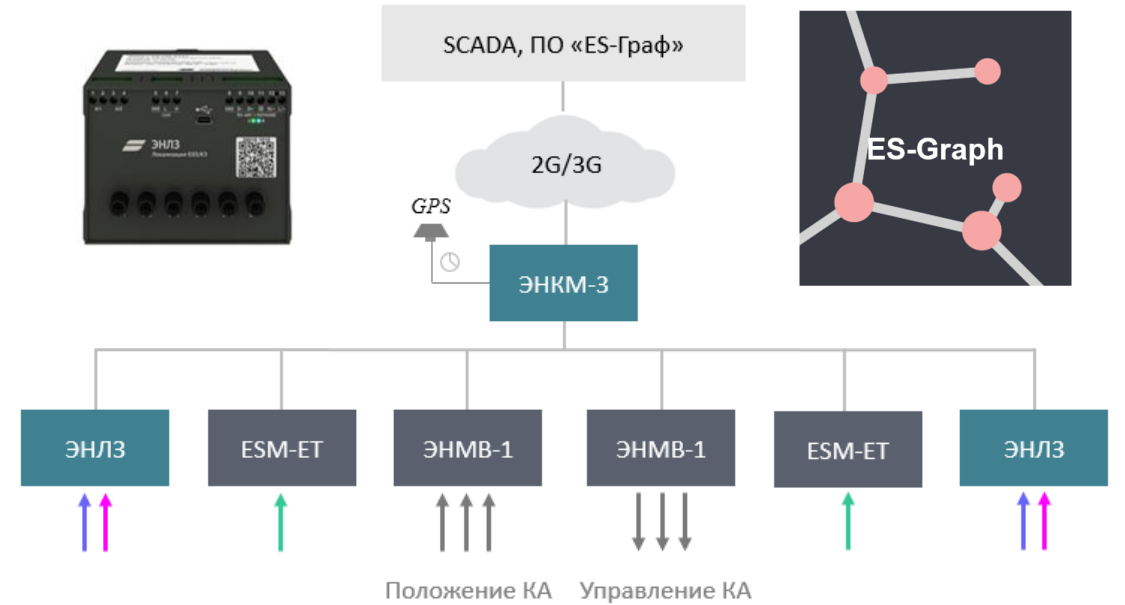
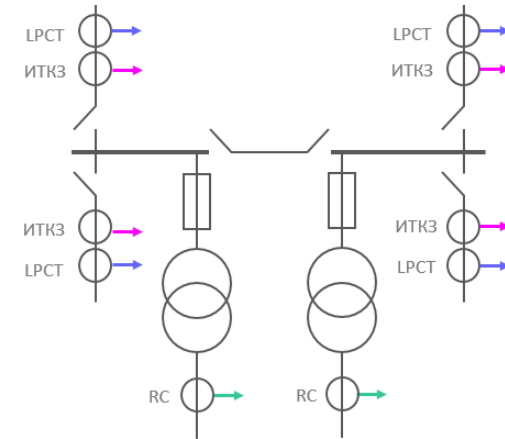
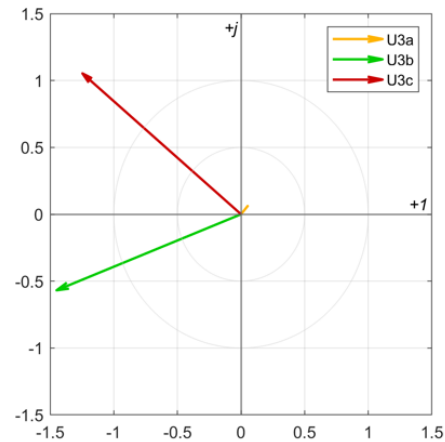
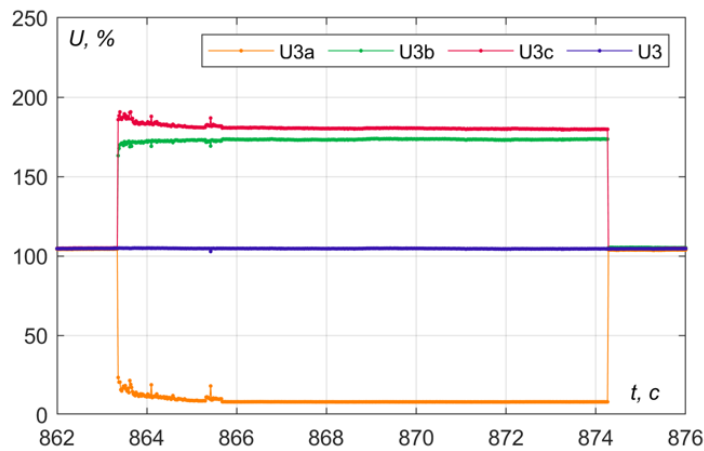
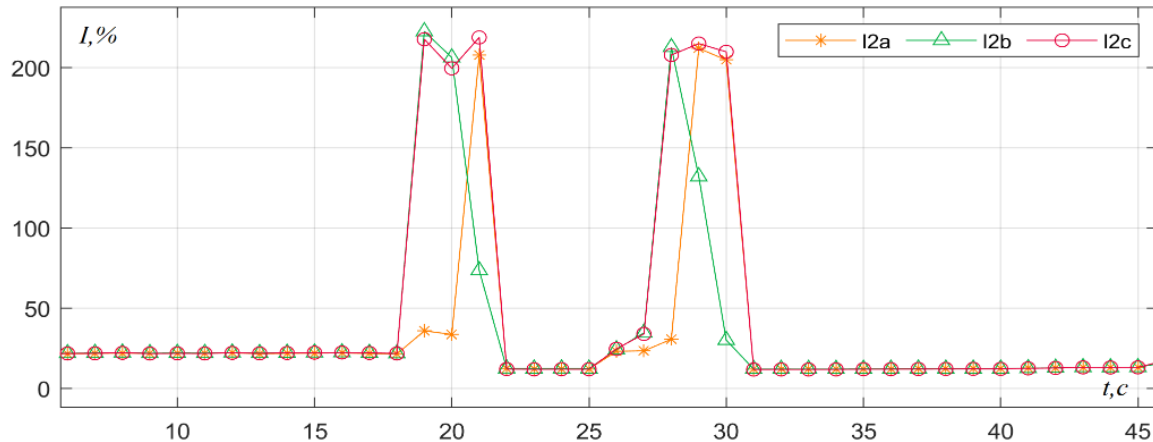
Мониторинг состояния сети и оборудования



1. Пискунов С.А., Мокеев А.В., Ульянов Д.Н. и др. Автоматизация распределительных сетей среднего напряжения на базе синхронизированных векторных измерений // Релейная защита и автоматизация. – 2021. – № 4(45). – С. 54-60.

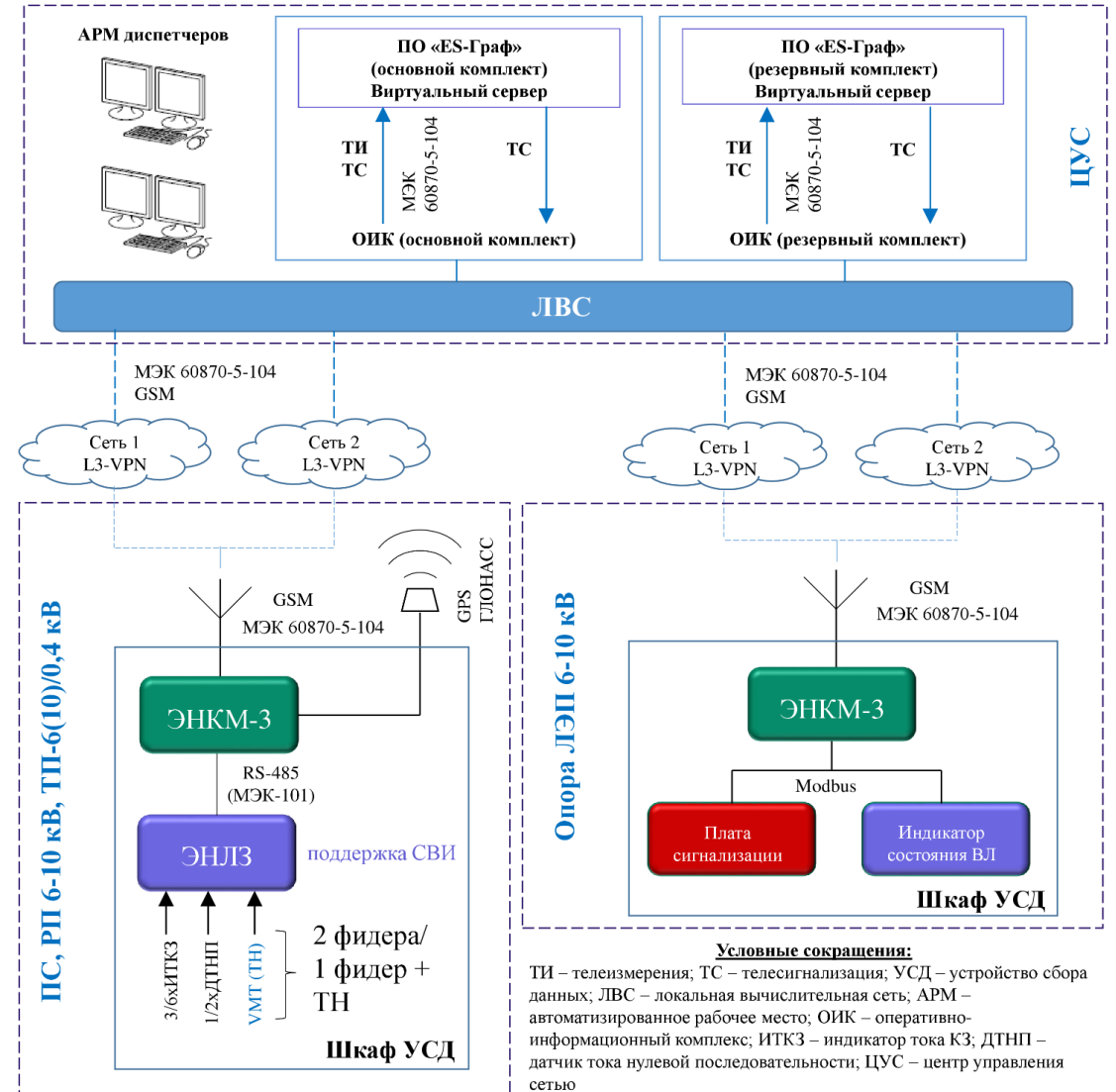
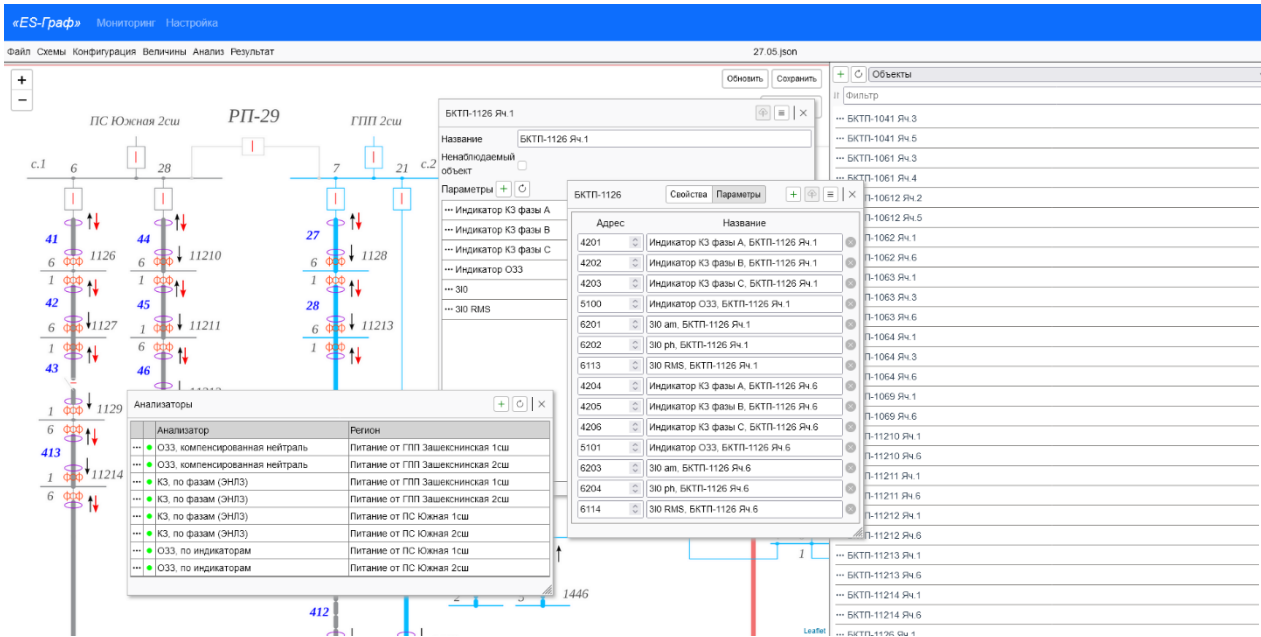
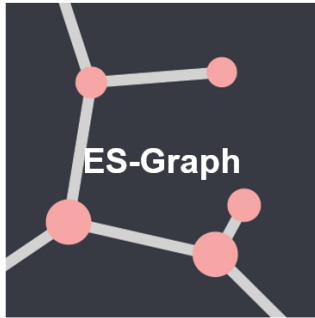


Мониторинг состояния сети и оборудования





Система локализации повреждений





Локализация ОЗЗ

Синхровекторы тока и напряжения НП

промышленной частоты

эквивалентные

эквивалентные синхровекторы ВГ

- сети с изолированной и резистивно-заземленной нейтралью, сети с компенсацией емкостного тока ОЗЗ,
- локализация ОЗЗ по оцениваемой емкости участка сети
- по направлению активной мощности НП

- сети с частичной и полной компенсацией тока ОЗЗ,
- расчет синхровекторов тока и напряжения НП, характеризующих синхровектор основной частоты с учетом влияния гармоник,
- расчет ЭСВГ для учета влияния только гармоник,
- локализация ОЗЗ по величине и направлению ЭСВГ
- локализация ОЗЗ по эквивалентным синхровекторам переходного режима ОЗЗ



Локализация ОЗЗ

Алгоритм

Синхровекторы тока НП на участках сети
Синхровекторы напряжения НП на секциях РП/ПС

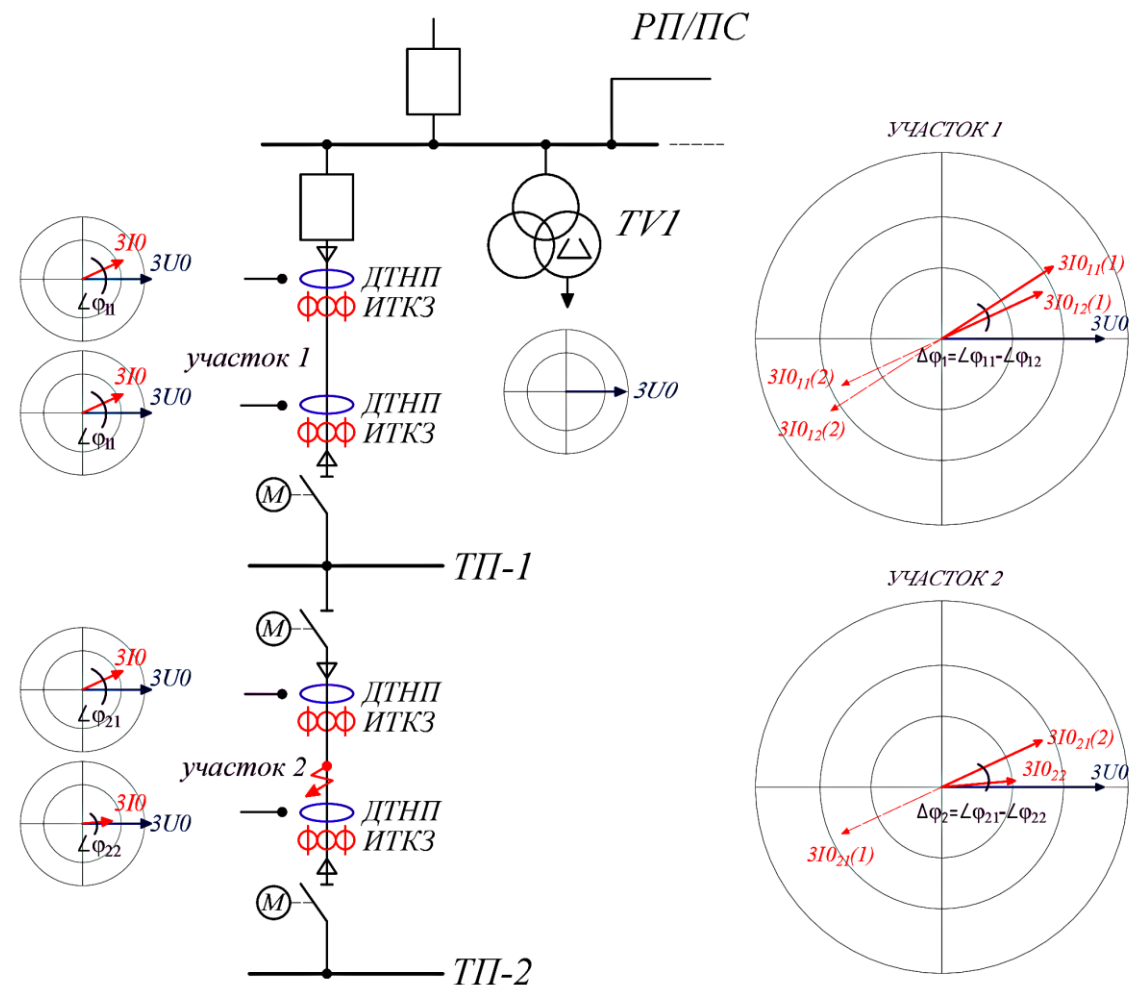
Расчет фазового сдвига между синхровекторами токов НП
в начале и конце участков: $\Delta\varphi_n = \varphi_n^H - \varphi_n^K$

Определение максимального модуля синхровектора тока НП
по участкам сети: $I_{0nmax} = \max\{I_n^H, I_n^K\}$

Расчет угловой характеристики участков сети:

$$\psi_{\Delta n} = \Delta\varphi_n \frac{I_{0nmax}}{I_{0b}}$$

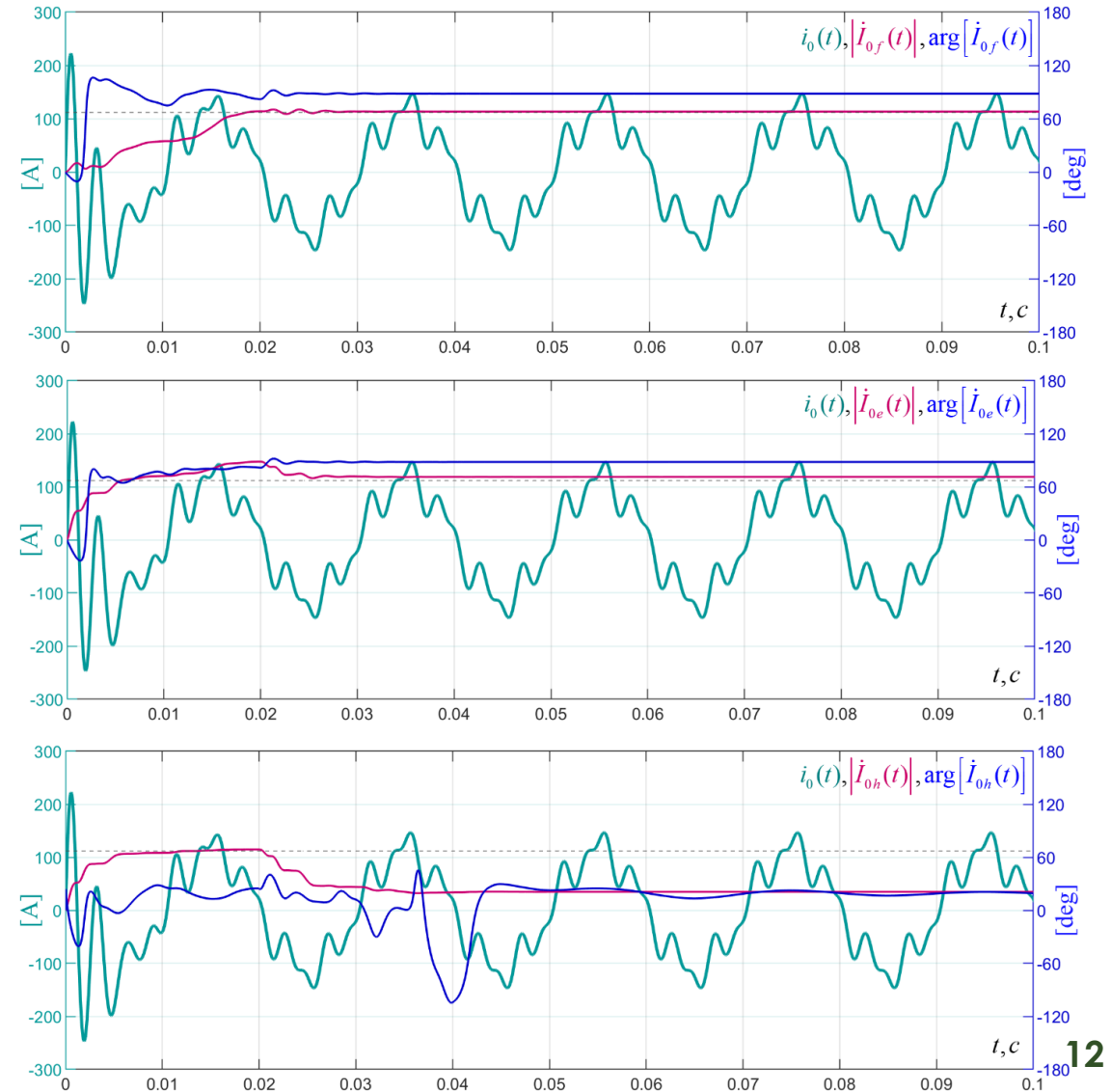
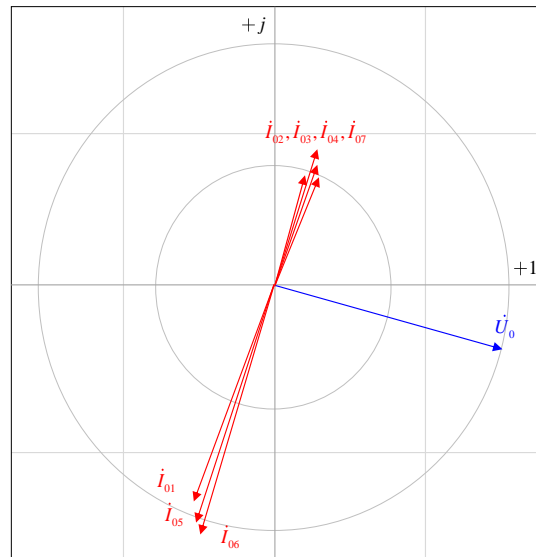
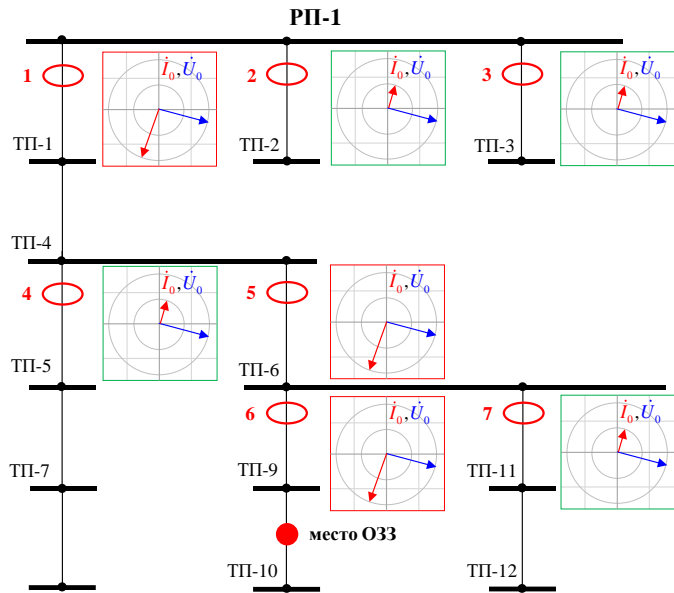
Определение поврежденного участка по максимальному
значению угловой характеристики $\psi_{\Delta n}$





Локализация ОЗЗ

- централизованный и локальный принцип определения поврежденного участка,
- распределенная обработка данных
- отсутствие необходимости измерения напряжения НП на ТП





Локализация ОЗЗ

Без учета активной проводимости сети:

$$3i_0(t) \approx C_0 \frac{du_0(t)}{dt},$$

Оценка емкости через синхровекторы промышленной частоты в сети с изолированной нейтралью:

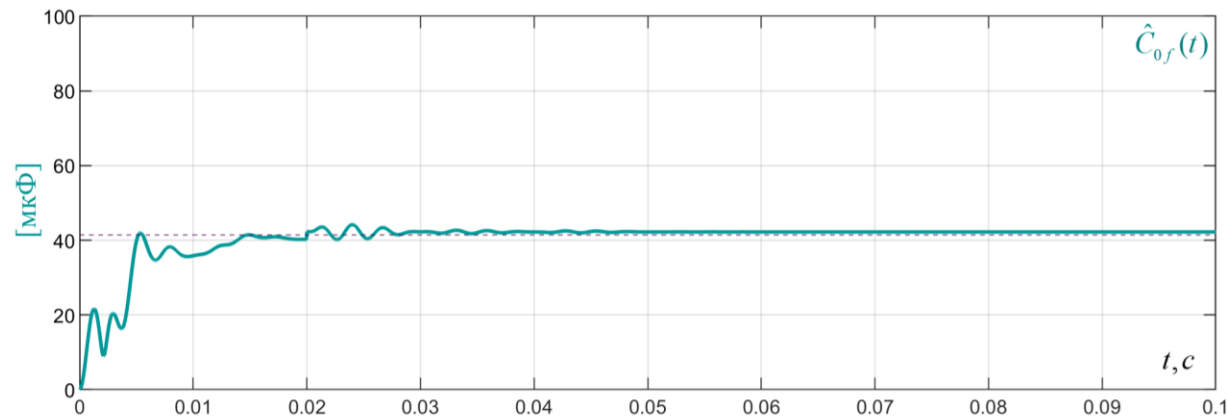
$$\hat{C}_0(t) \approx \frac{3\dot{I}_0(t)}{j\omega_0 \dot{U}_0(t) + \ddot{U}_0(t)}, \quad (1)$$

Оценка емкости в случае сети с компенсацией емкостного тока ОЗЗ:

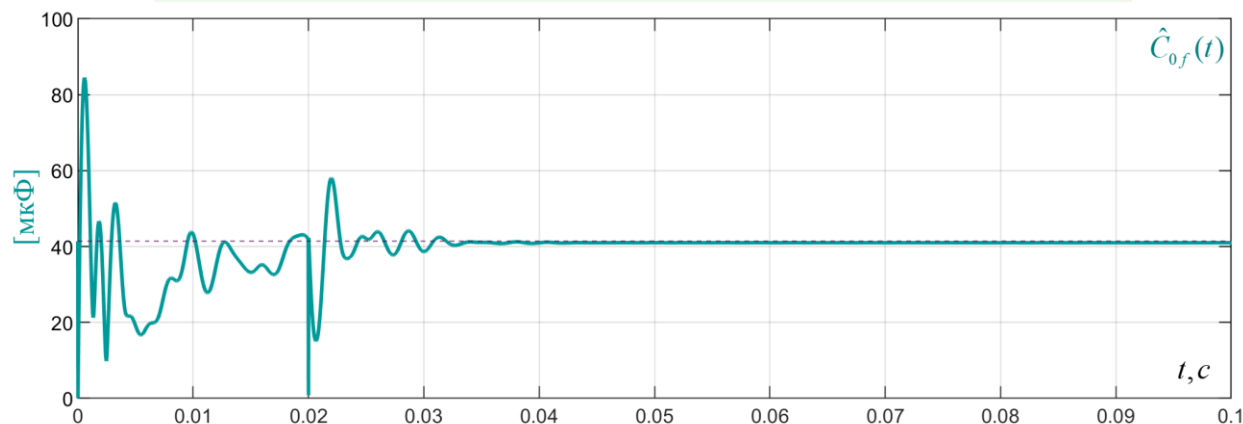
$$\hat{C}_0(t) = -\frac{1}{3} \frac{j\omega_0 \dot{I}_0(t) + \ddot{I}_0(t) + L_k^{-1} \dot{U}_0(t)}{\ddot{U}_0(t) + (j2\omega_0 + k)\dot{U}_0(t) - (\omega_0^2 - j\omega_0 k)U_0(t)}, \quad (2)$$

$$k = \frac{G_0}{C_0} = \frac{G_{0уд}}{C_{0уд}}.$$

Оценка емкости в сети с изолированной нейтралью по (1)



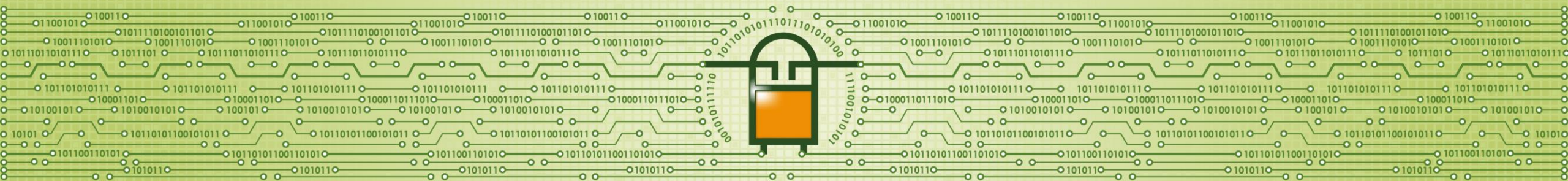
Оценка емкости в сети с компенсированной нейтралью по (2)





Заключение

1. Автоматизация распределительных сетей требует поиска гибких и рациональных решений на основе применения современных технологий и средств.
2. Принципы систем WAMPAC распространяются на задачи автоматизации РС СН.
3. Многоуровневые системы автоматизации могут обеспечить высокий уровень эффективности и надежности управления сетью.
4. Применение технологии СВИ открывает возможности для совершенствования систем защиты, автоматики, мониторинга и управления.
5. Опыт применения СВИ и принципов WAMPACS подтверждает эффективность предлагаемого подхода для автоматизации распределительных сетей.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Контакты:

Пискунов Сергей Александрович,
инженер-проектировщик "Инженерный центр "Энергосервис",
аспирант Северного (Арктического) федерального университета,
8-911-583-91-02, s.piskunov@ens.ru