

# ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ WAMPACS ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

**Пискунов Сергей Александрович**

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

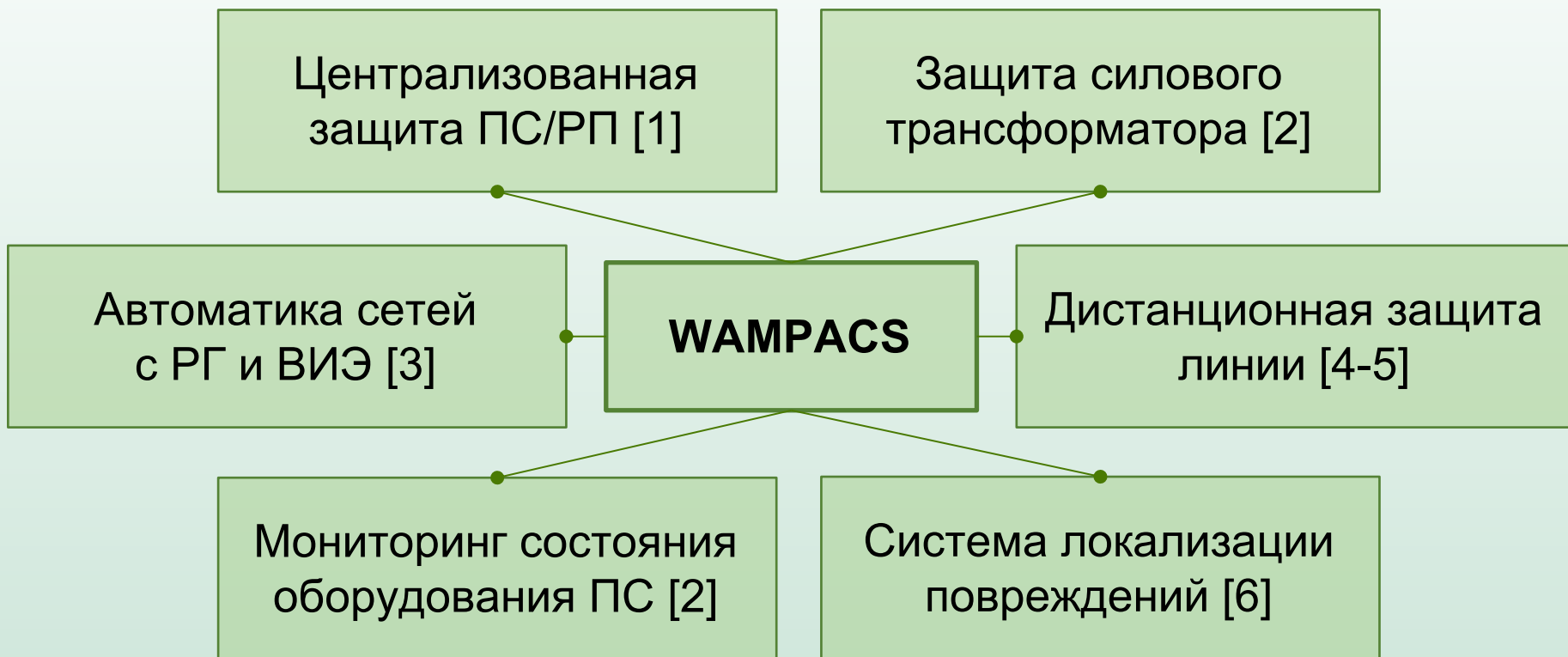




- Технология СВИ имеет большое число областей применения для повышения надежности, устойчивости и эффективности управления энергосистем.
- Развитие современных технологий позволяет рассматривать применение принципов систем WAMPAC в сетях среднего напряжения.
- Применение СВИ в распределительной сети становится актуальным в связи с усложнением структуры сети, появлением сетей с распределенной генерацией, увеличением доли потребителей с нелинейной нагрузкой.
- В докладе рассматриваются направления применения принципов систем WAMPAC в сетях среднего напряжения.

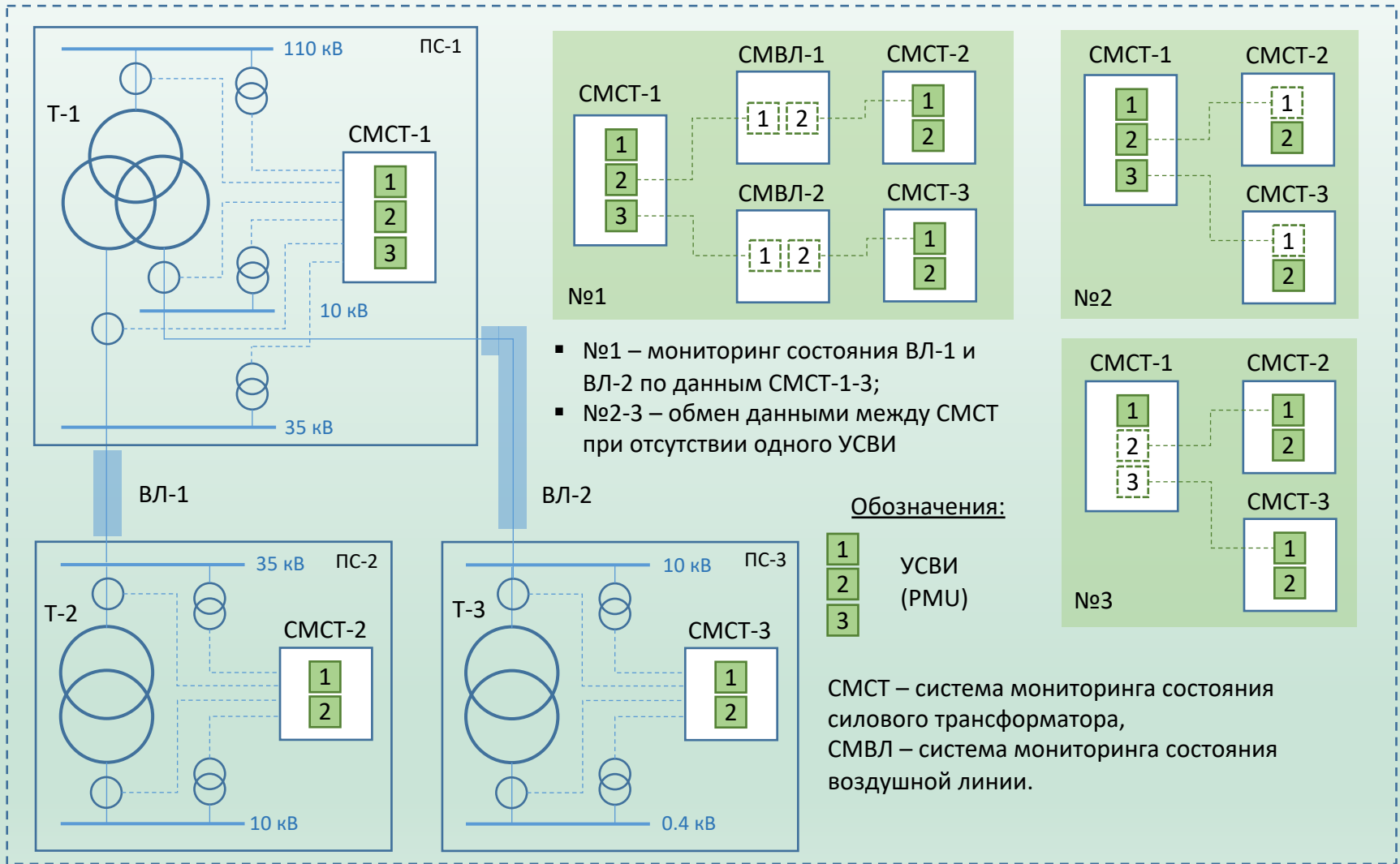






1. Мокеев А.В. и др. Повышение эффективности и надежности РЗА цифровых подстанций и цифровых РЭС. Вестник Казанского государственного энергетического университета. Т. 12, № 3 (47) 2020, с. 92-100.
2. Piskunov S.A., Mokeev A.V. Power transformer relay protection with its condition monitoring function. Proceedings of the 3rd 2021 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, Moscow, 2021.
3. Илюшин П. В., Куликов А. Л. Особенности реализации автоматики управления режимами энергорайонов с объектами распределительной генерации. Релейная защита и автоматизация. № 3, 2019, с. 14-23.
4. Мокеев А.В., Пискунов С.А. Развитие теории синхронизированных векторных измерений для совершенствования систем управления, мониторинга, релейной защиты и автоматики. Релейщик, № 1, 2023.
5. Мокеев А. В., Пискунов С.А. Совершенствование дистанционной защиты на основе СВИ для работы в условиях переходных процессов с учетом влияния дуги. Релейная защита и автоматизация. № 4(49) 2022, с. 22-29.
6. Пискунов С.А., Мокеев А.В., Ульянов Д.Н. Автоматизация распределительных сетей среднего напряжения на базе синхронизированных векторных измерений. Релейная защита и автоматизация. № 4(45) 2021, с. 54-60.







## Система локализации повреждений

### Локализация ОЗЗ

### Локализация КЗ

Синхровекторы  
высших гармоник

Синхровекторы  
переходного процесса

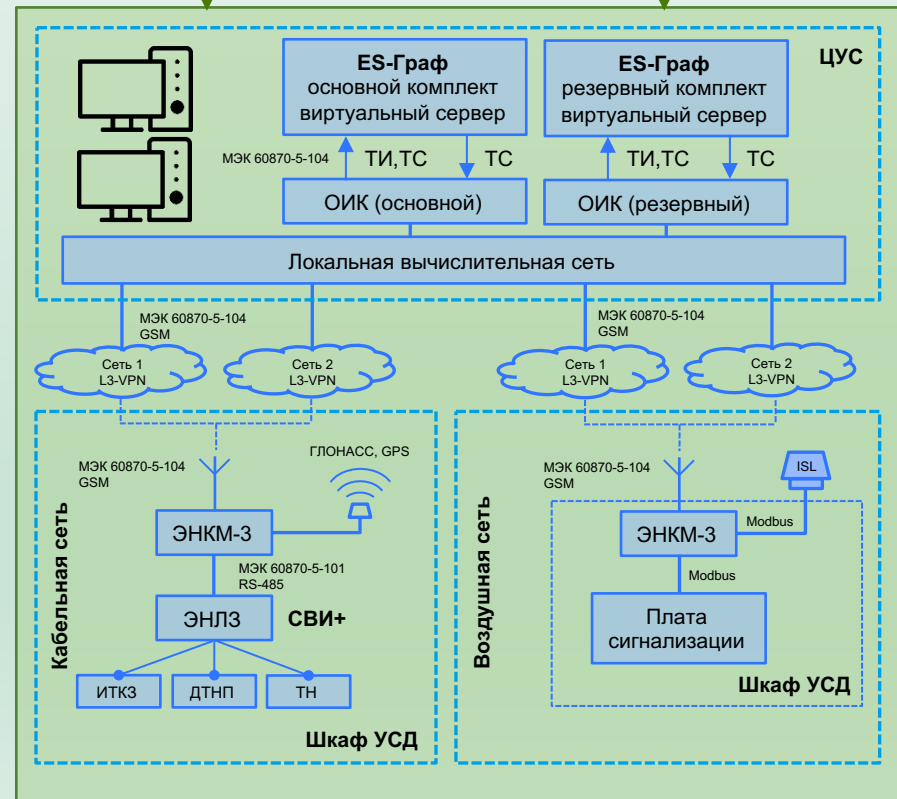
Синхровекторы  
основной частоты

- существующие подходы [7-8];
- развитие теории СВИ (**эквивалентные синхровекторы, ЭСВГ**);
- работа в сети с полной компенсацией тока замыкания на землю;
- локальный и централизованный принцип работы системы;
- комбинирование подходов.

#### Ссылки:

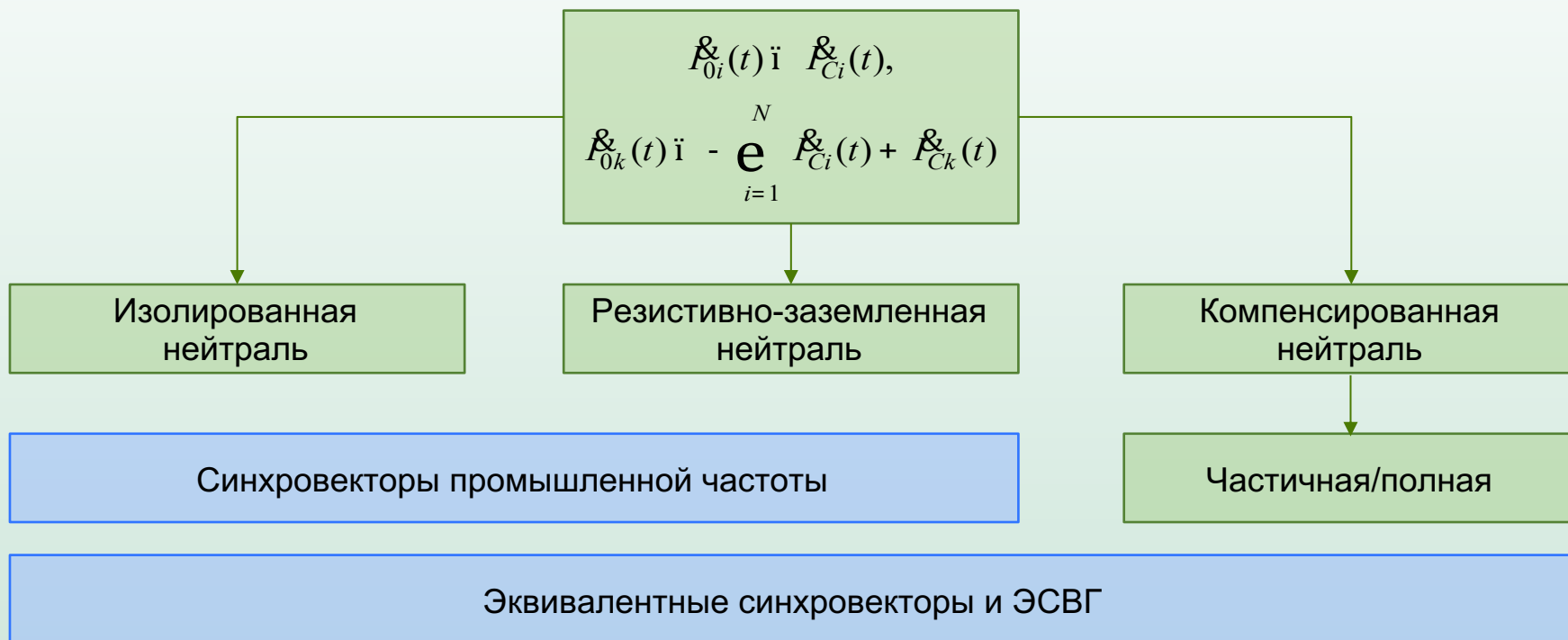
7. Лачугин, В. Ф., Иванов А.А., Белянин А.А. Разработка импульсных защит от замыканий на землю. Релейная защита и автоматизация. № 3(8) 2012, с. 50-58.

8. Шуин В.А., Мартынов В.Л., Шагурина Е.С., Шадрикова Т.Ю. Максимальные токовые защиты от замыканий на землю на основе высших гармоник для компенсированных кабельных сетей 6-10 кВ. Электротехника. № 1, 2018, с. 62-72.





№ п/п	Эквивалентные синхровекторы НП	ЭСВГ НП
1	$u_0(t), i_0(t)$ - напряжение и ток НП	$u_{0h}(t) = \int_{t-T_2}^t u_0(\tau)g_2(t-\tau)d\tau, i_{0h}(t) = \int_{t-T_2}^t i_0(\tau)g_2(t-\tau)d\tau$
2	$U_{0e}(t) = \sqrt{\int_{t-T_0}^t u_0^2(\tau)d\tau}, I_{0e}(t) = \sqrt{\int_{t-T_0}^t i_0^2(\tau)d\tau}$	$U_{0h}(t) = \sqrt{\int_{t-T_0}^t u_{0h}^2(\tau)d\tau}, I_{0h}(t) = \sqrt{\int_{t-T_0}^t i_{0h}^2(\tau)d\tau}$
3	$\varphi_0(t) = \arg[\dot{U}_{01}(t)]$	$\vartheta_{0h}(t) = \arg\left(\int_{t-T_0}^t u_{0h}(\tau)u_0(\tau)d\tau + j\int_{t-T_0}^t u_{0h\perp}(\tau)u_0(\tau)d\tau\right)$
4	$\dot{U}_{0e}(t) = \sqrt{2}U_{0e}(t)e^{j\varphi_0(t)}$	$\dot{U}_{0h}(t) = \sqrt{2}U_{0h}(t)e^{j(\varphi_0(t)-\vartheta_{0h}(t))}$
5	$P_{0e}(t) = \int_{t-T_0}^t u_0(\tau)i_0(\tau)d\tau, P_{0e}(t) = \int_{t-T_0}^t u_{0\perp}(\tau)i_0(\tau)d\tau$	$P_{0h}(t) = \int_{t-T_0}^t u_{0h}(\tau)i_{0h}(\tau)d\tau, Q_{0h}(t) = \int_{t-T_0}^t u_{0h\perp}(\tau)i_{0h}(\tau)d\tau$
6	$\varphi_{0e}(t) = \arg[P_{0e}(t) + jQ_{0e}(t)]$	$\varphi_{0h}(t) = \arg[P_{0h}(t) + jQ_{0h}(t)]$
7	$\dot{I}_{0e}(t) = \sqrt{2}I_{0e}(t)e^{j(\varphi_0(t)-\varphi_{0e}(t))}$	$\dot{I}_{0h}(t) = \sqrt{2}I_{0h}(t)e^{j(\varphi_0(t)-\vartheta_{0h}(t)-\varphi_{0h}(t))}$



$i$  - номер неповрежденного участка сети,  $i = 1...N$ ;

$I_{0i}(t)$  - синхровектор тока НП  $i$ -го присоединения;

$I_{Ci}(t)$  - синхровектор собственного емкостного тока  $i$ -го присоединения;

$I_{0k}(t)$  - синхровектор тока НП поврежденного присоединения  $k$ ;

$I_{Ck}(t)$  - синхровектор собственного емкостного тока поврежденного присоединения  $k$ .





## 1. Локальная защита от ОЗЗ на основе оценки емкости:

$$\hat{C}_i(t) \ddot{C}_i$$

$$\hat{C}_k(t) \ddot{e} \sum_{i=1}^N C_i - C_k$$

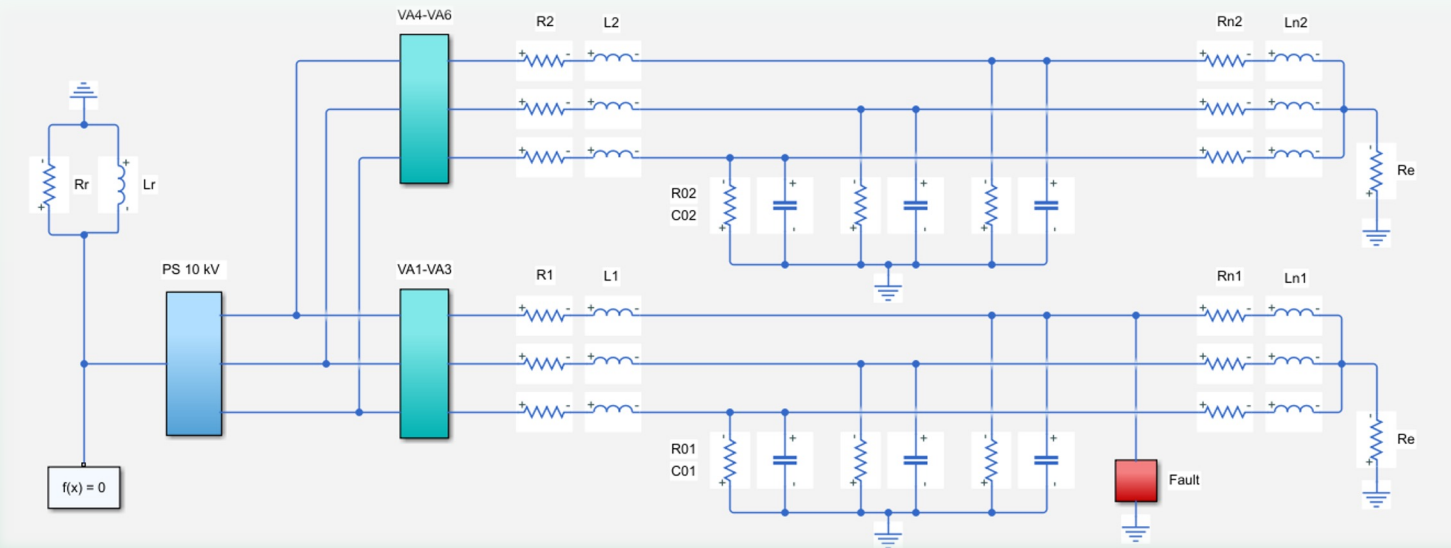
## 2. Способы оценки емкости участков сети:

$$3i_0(t) \approx C_0 \frac{du_0(t)}{dt} \quad \text{- упрощенное выражение для мгновенных значений;}$$

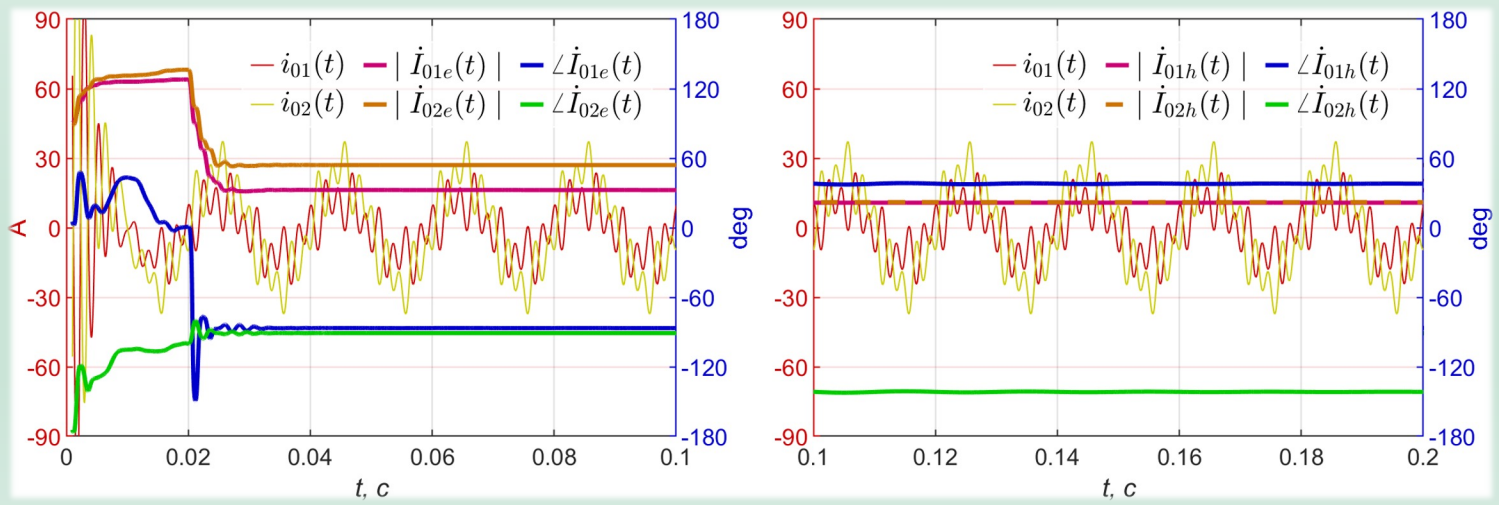
$$\hat{C}_0(t) \approx \frac{3\dot{I}_0(t)}{j\omega_0 \dot{U}_0(t) + \ddot{U}_0(t)} \quad \text{- оценка емкости через синхровекторы НП;}$$

$$\hat{C}_0(t) = -\frac{1}{3} \frac{j\omega_0 \dot{I}_0(t) + \ddot{I}_0(t) + L_k^{-1} \dot{U}_0(t)}{\ddot{U}_0(t) + (j2\omega_0 + k) \dot{U}_0(t) - (\omega_0^2 - j\omega_0 k) U_0(t)} \quad \text{- с учетом активной проводимости сети и индуктивности ДГР.}$$

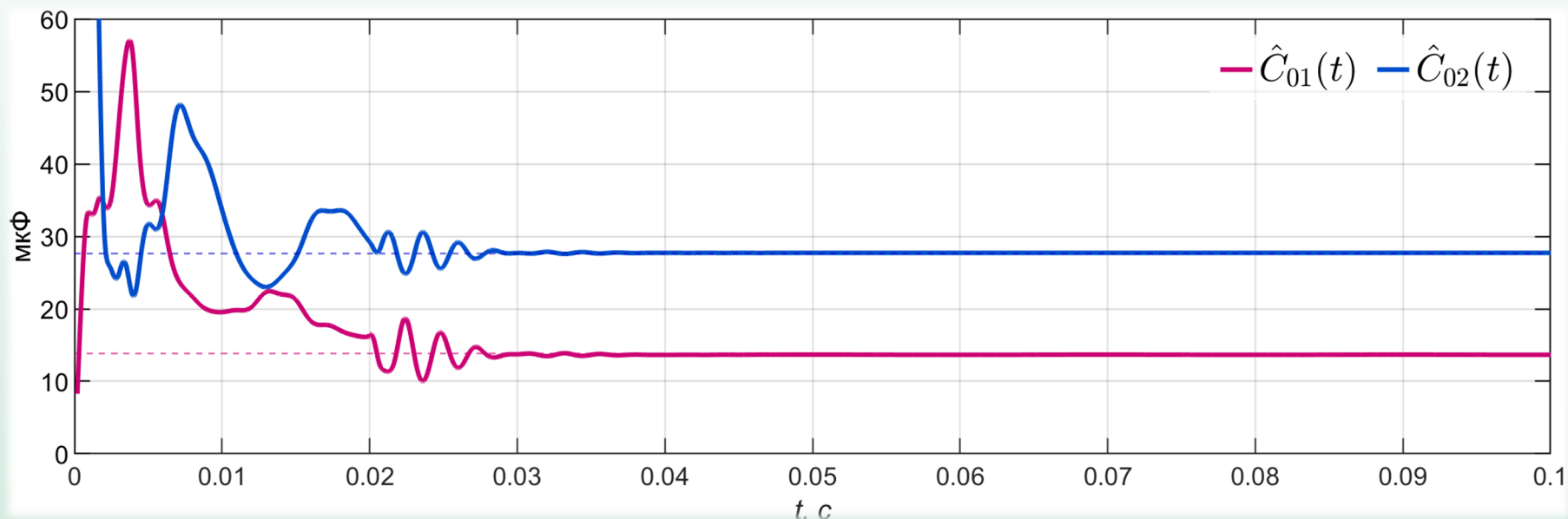
где  $k = \frac{G_0}{C_0} = \frac{G_{0\text{уд}}}{C_{0\text{уд}}}$



Структурная схема виртуальной модели сети при ОЗЗ



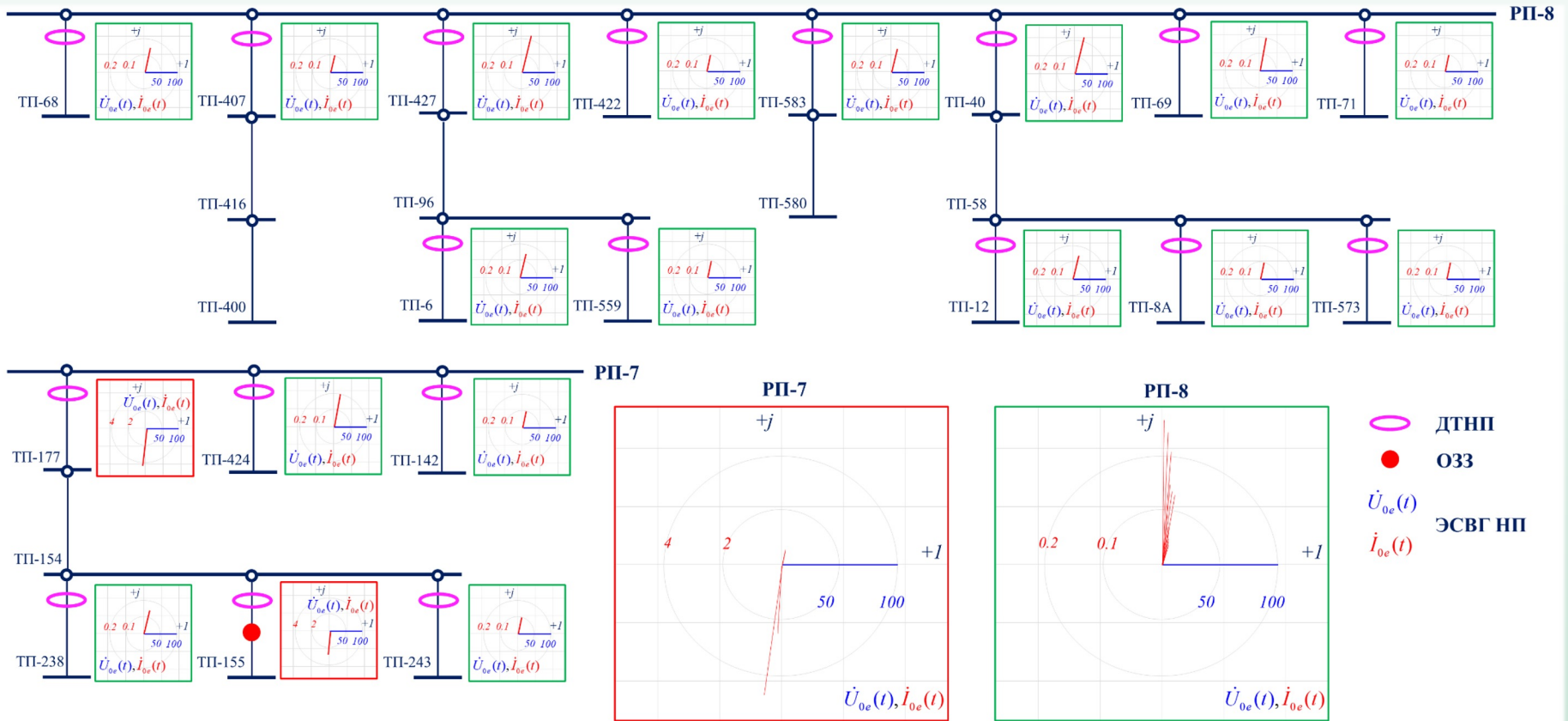
Сравнение эквивалентных синхровекторов и ЭСВГ тока НП

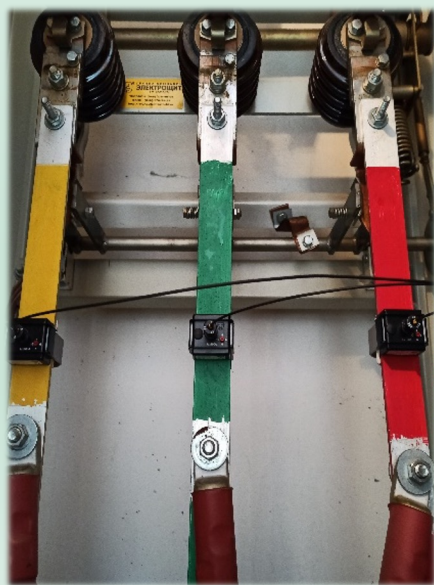
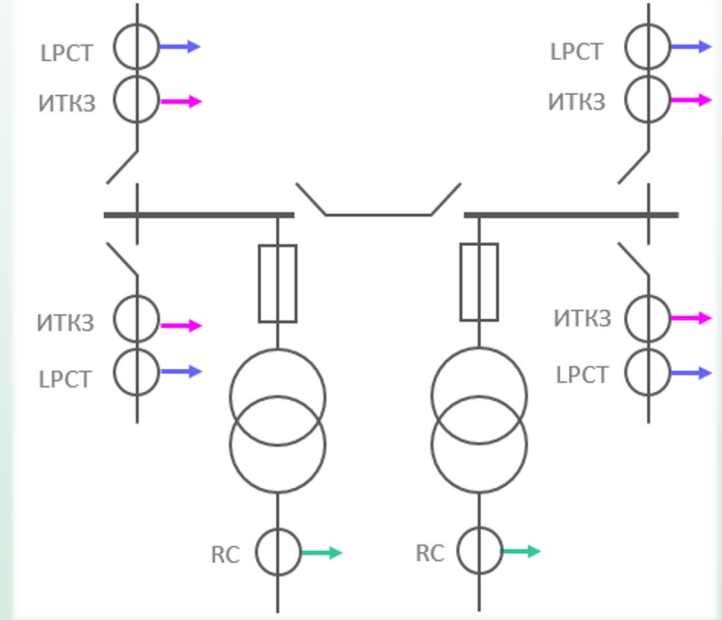
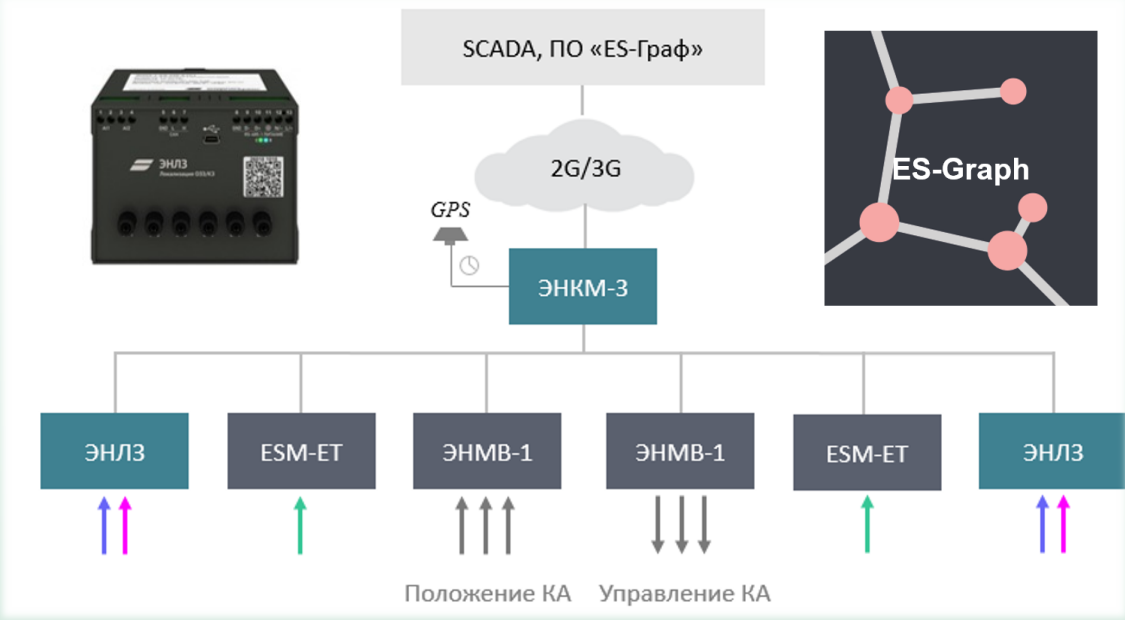


## Оценка емкости участков сети при ОЗЗ

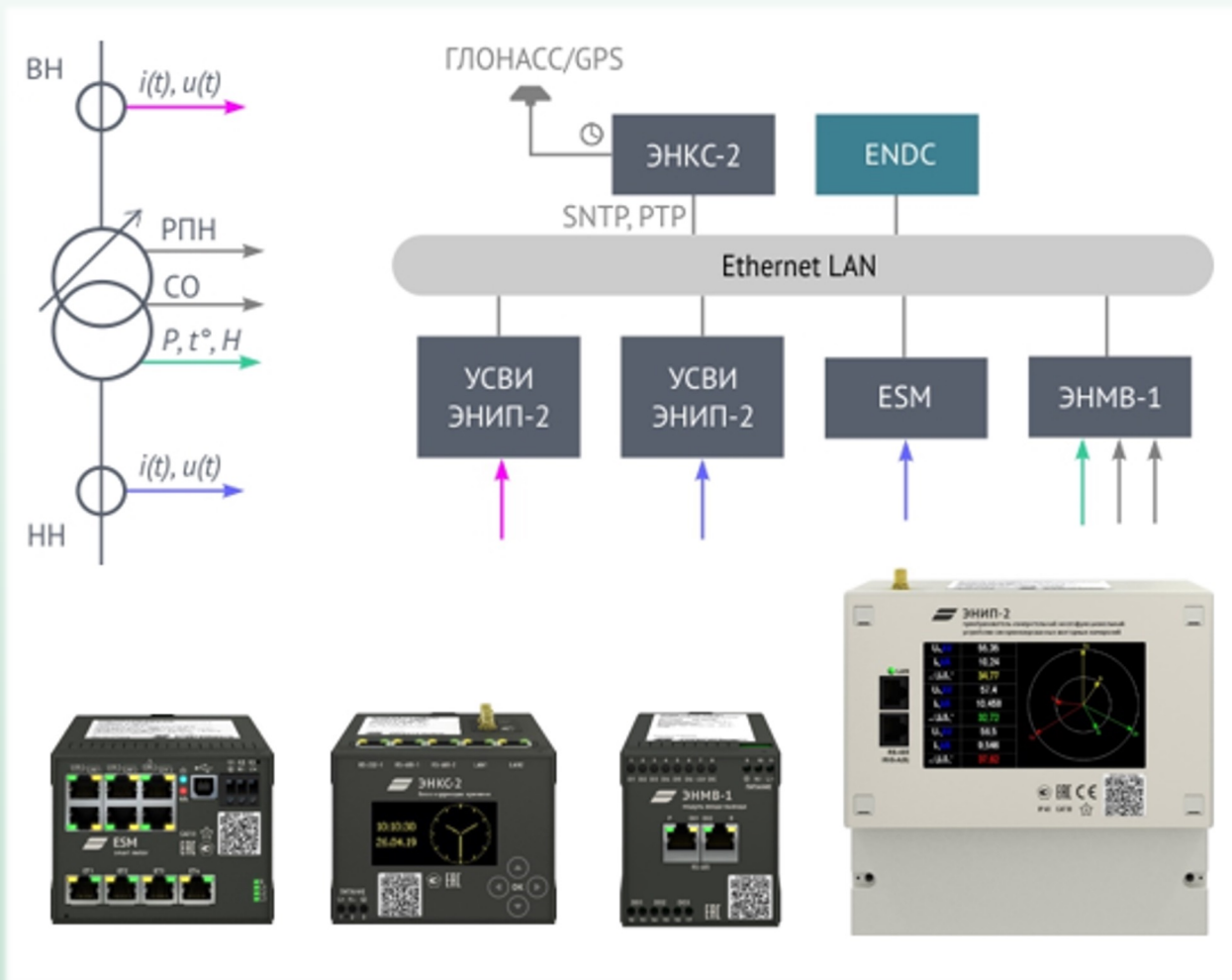
### Принципы:

- в переходном режиме ОЗЗ (0-20 мс) – применение эквивалентных синхровекторов тока и напряжения НП;
- в установившемся режиме ОЗЗ (> 20 мс) – применение ЭСВГ НП;
- локально – определение направления ОЗЗ, централизованно – локализация поврежденного участка.













1. Принципы систем WAMPAC могут эффективно реализовываться в сетях среднего напряжения.
2. Преимущества многоуровневой структуры системы автоматизации заключаются в локальном и централизованном принципе управления.
3. Для системы локализации ОЗЗ перспективным является применение эквивалентных синхровекторов и ЭСВГ тока и напряжения НП.
4. Результаты исследований подтверждаются тестированием на виртуальных и математических моделях, а также по данным опытно-промышленной эксплуатации.

# БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!

Пискунов С.А., [s.piskunov@ens.ru](mailto:s.piskunov@ens.ru)

[enip2.ru](http://enip2.ru)

