

Расширение функционала электрохимических систем накопления энергии в части распознавания мест ОЗЗ

Федотов Александр Иванович

Д.т.н., профессор кафедры «Электрические станции» им. В.К. Шибанова
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Абдуллазянов А.Ф.

АО «Сетевая компания», г. Казань

2023 / 5–6 июля

Москва / Конгресс-центр ЦМТ



VIII Международная
научно-техническая конференция

«Развитие и повышение надежности
распределительных электрических сетей»

ОРГАНИЗАТОРЫ



Проблемы распознавания мест ОЗЗ в воздушных сетях 6 – 10 кВ

Осложняющие факторы

Разнообразные физические проявления ОЗЗ:

- металлическое замыкание,
- перемежающаяся дуга,
- замыкание через большое переходное сопротивление.

Древовидная структура фидеров с большим количеством подключений.

Отсутствие измерительных трансформаторов тока и напряжения на высокой стороне потребительских подстанций.

Отсутствие систем ВЧ-связи, используемых для задания зондирующих сигналов.

Односторонний мониторинг состояния фидеров.

Основные направления решения проблемы

Повышение чувствительности систем распознавания фидеров с ОЗЗ в условиях больших переходных сопротивлений за счет оценки возмущающих факторов.

Использование волновых свойств ВЛ, проявляющихся в условиях протекания полигармонического сигнала и связанных с расстоянием до места ОЗЗ.

Выделение на стороне **0,4** кВ потребительских подстанций маркеров, характеризующих удаленность подстанций от места аварии.

Тестирование аварийного фидера напряжением НП на разных частотах.

Реализация двухстороннего тестирования фидера на постоянном токе при использовании одного источника сигнала.

Система распознавания фидера 10 кВ с ОЗЗ

Подстанция «Чепчуги» АО «Сетевая компания», г. Казань



Шкафы системы мониторинга



Подключение в щите учета электроэнергии

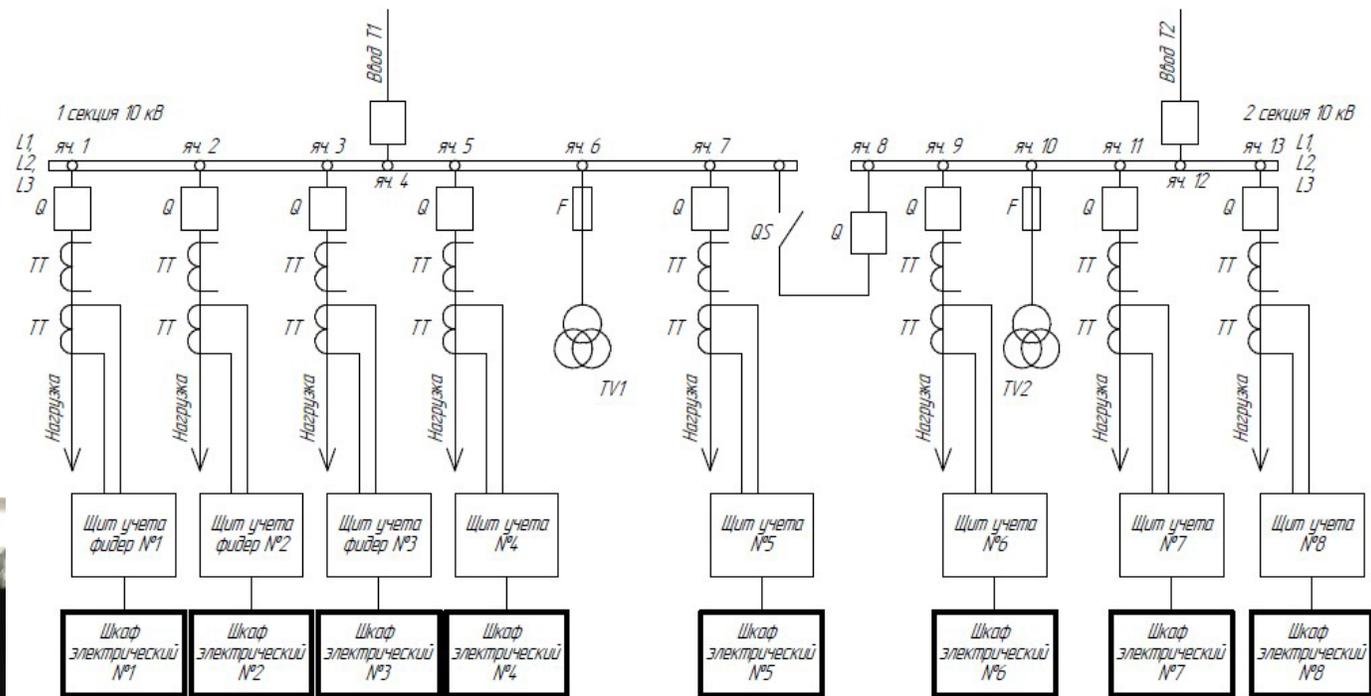


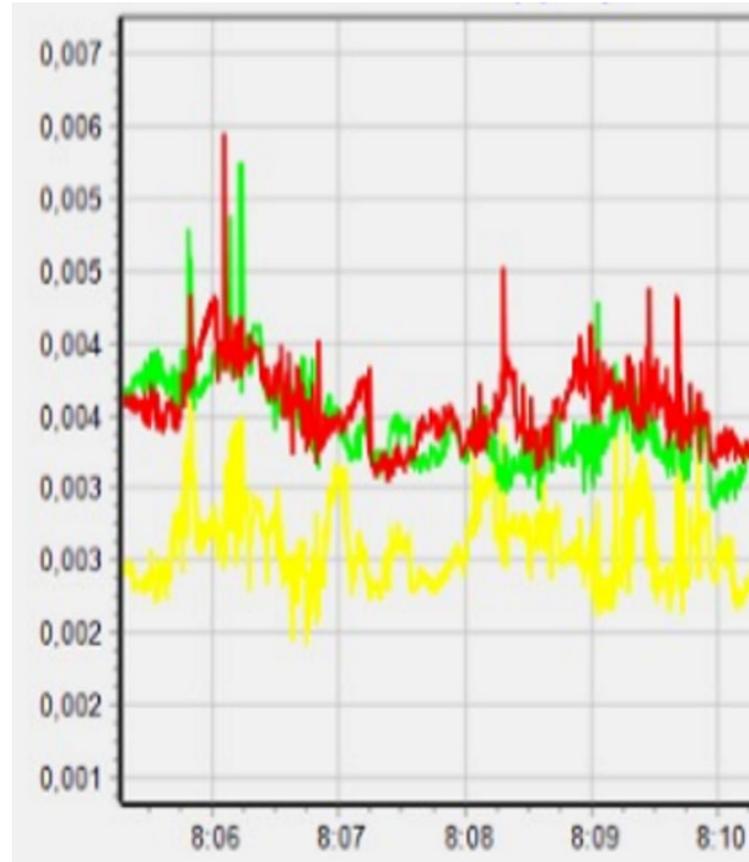
Схема электрическая однолинейная системы мониторинга ОЗЗ

Выявление фидера с ОЗЗ по высшим гармоникам тока

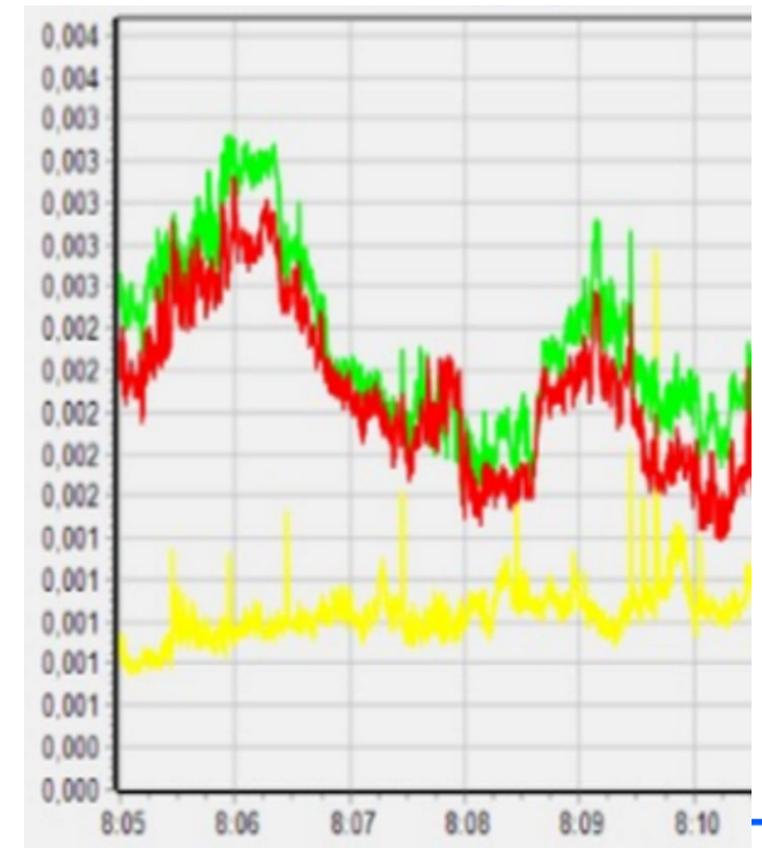
ОЗЗ на траверзу вследствие разрушения изолятора



Коэффициенты гармонических искажений тока аварийного фидера по каждой фазе



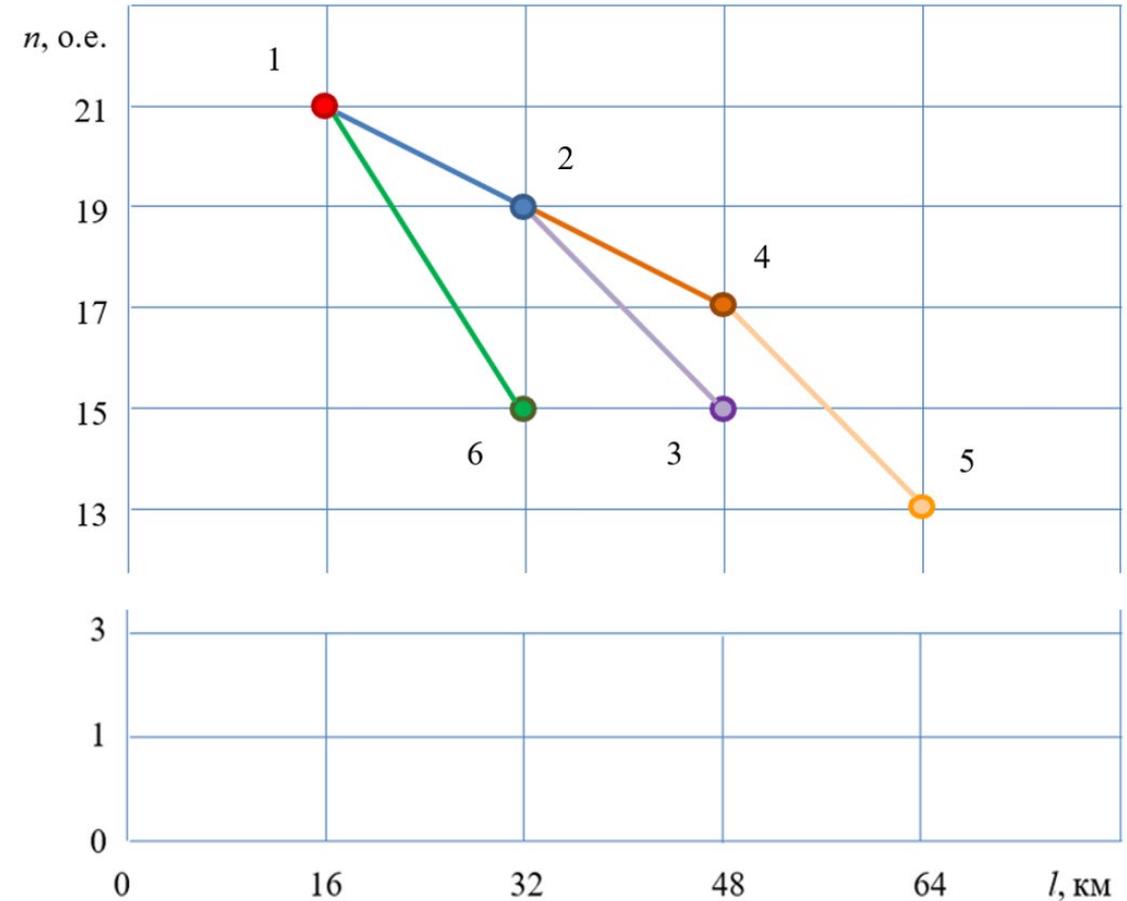
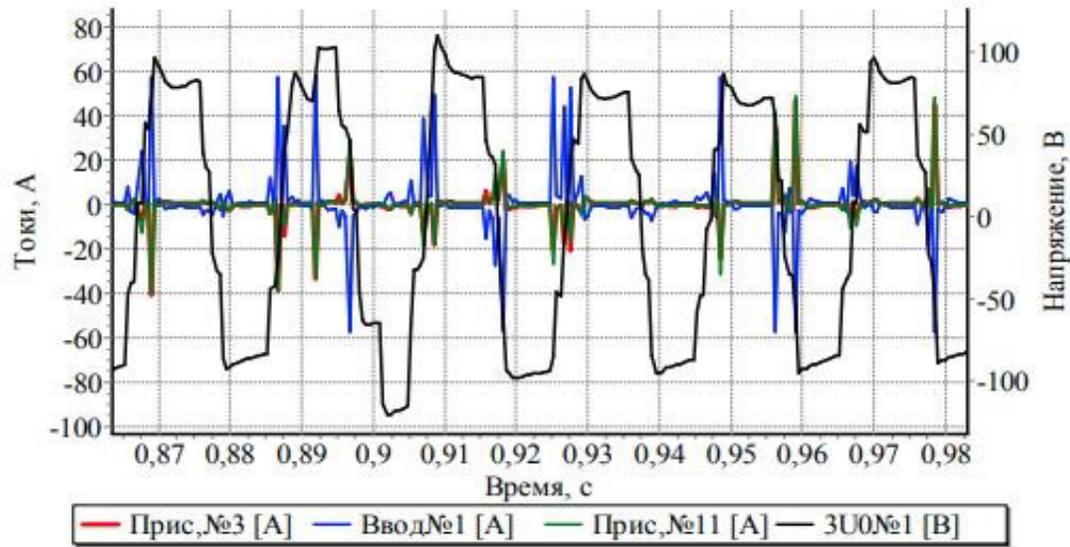
Коэффициенты гармонических искажений тока рабочего фидера по каждой фазе



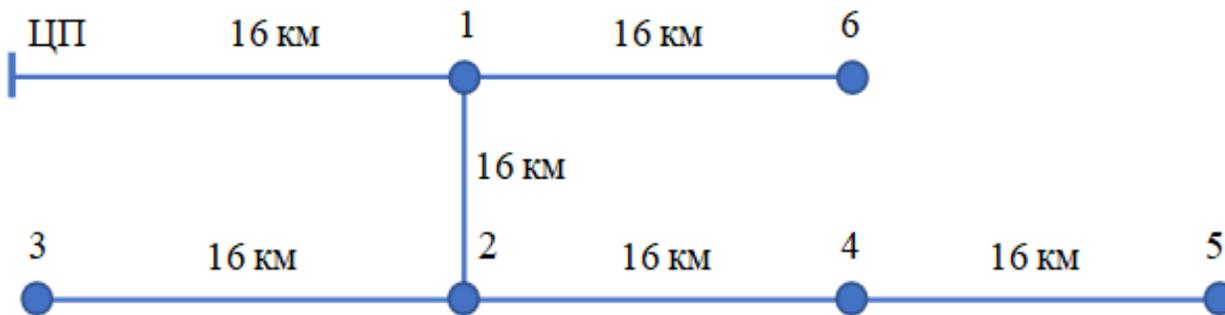
Определение поврежденного участка фидера с ОЗЗ по «резонансным» ВГ тока

Токи и напряжения НП при дуговом ОЗЗ (БОЛИД):

Значения «резонансных» частот ВГ токов:



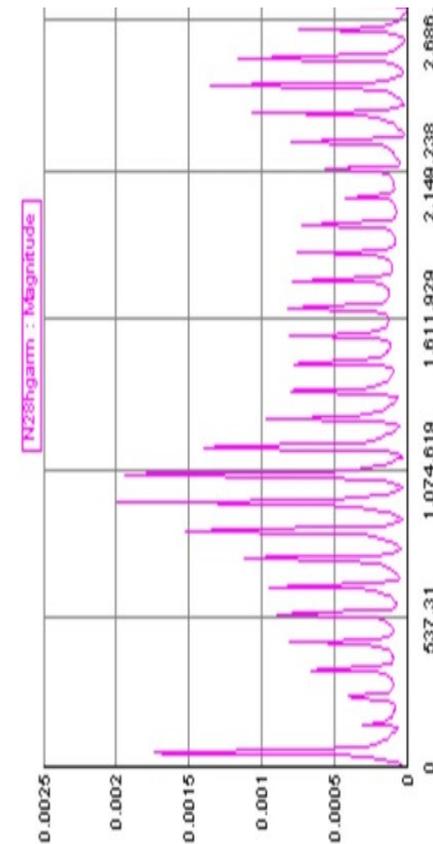
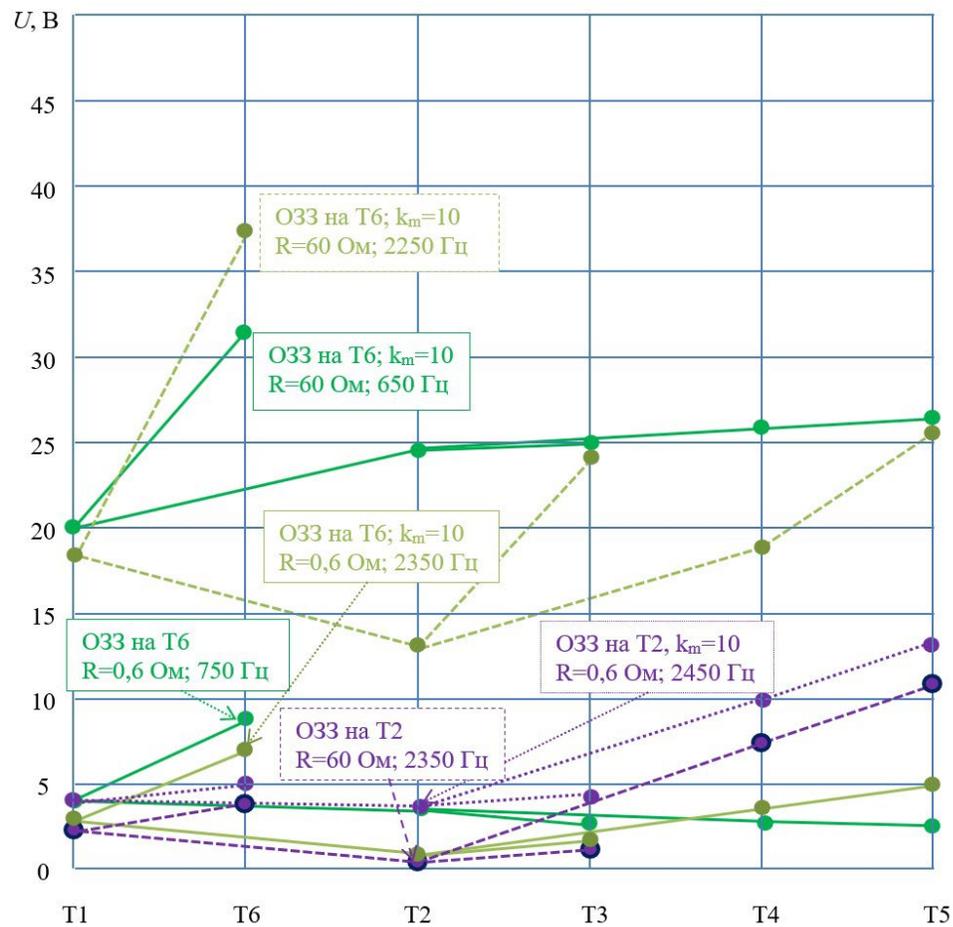
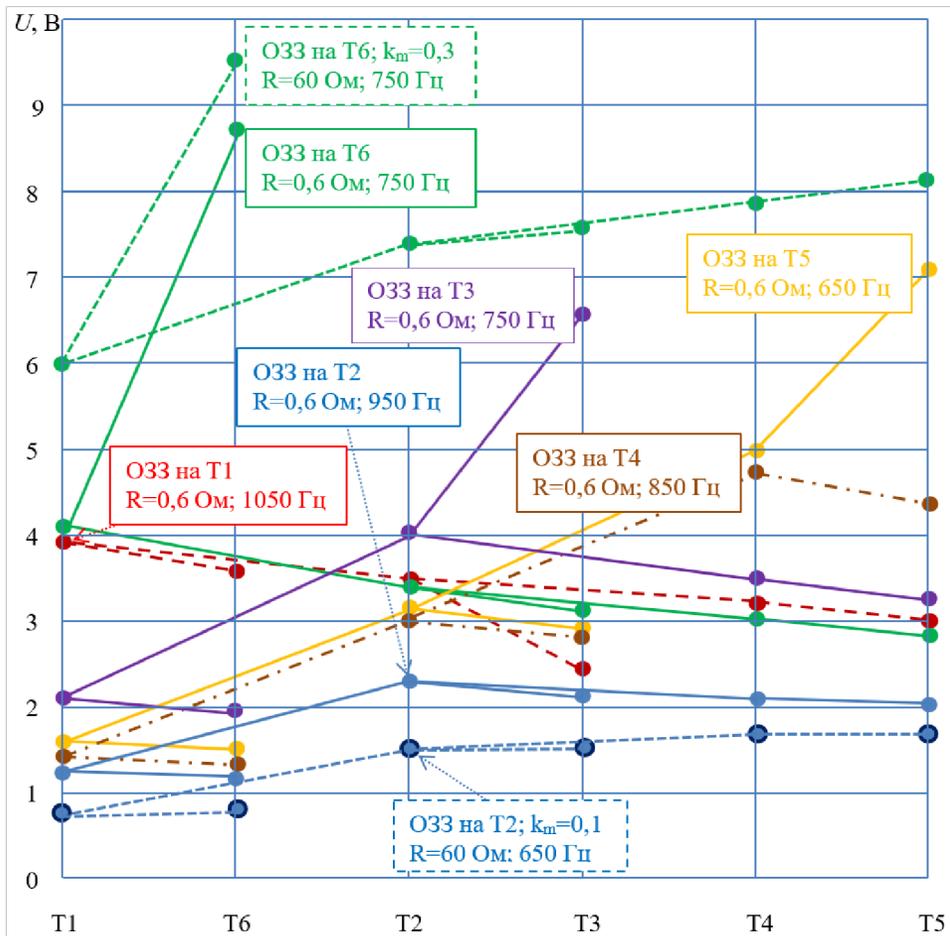
Расчетная схема фидера:



Проблемы: 1. Нормализация. 2. Многозначность. 3. При $R_g > 100 \text{ Ом}$ РВГ не распознаются

Определение поврежденного участка фидера с ОЗЗ по напряжениям ВГ на стороне 0,4 кВ потребительских подстанций

Напряжения на первой максимальной ВГ: Напряжения на второй максимальной ВГ:

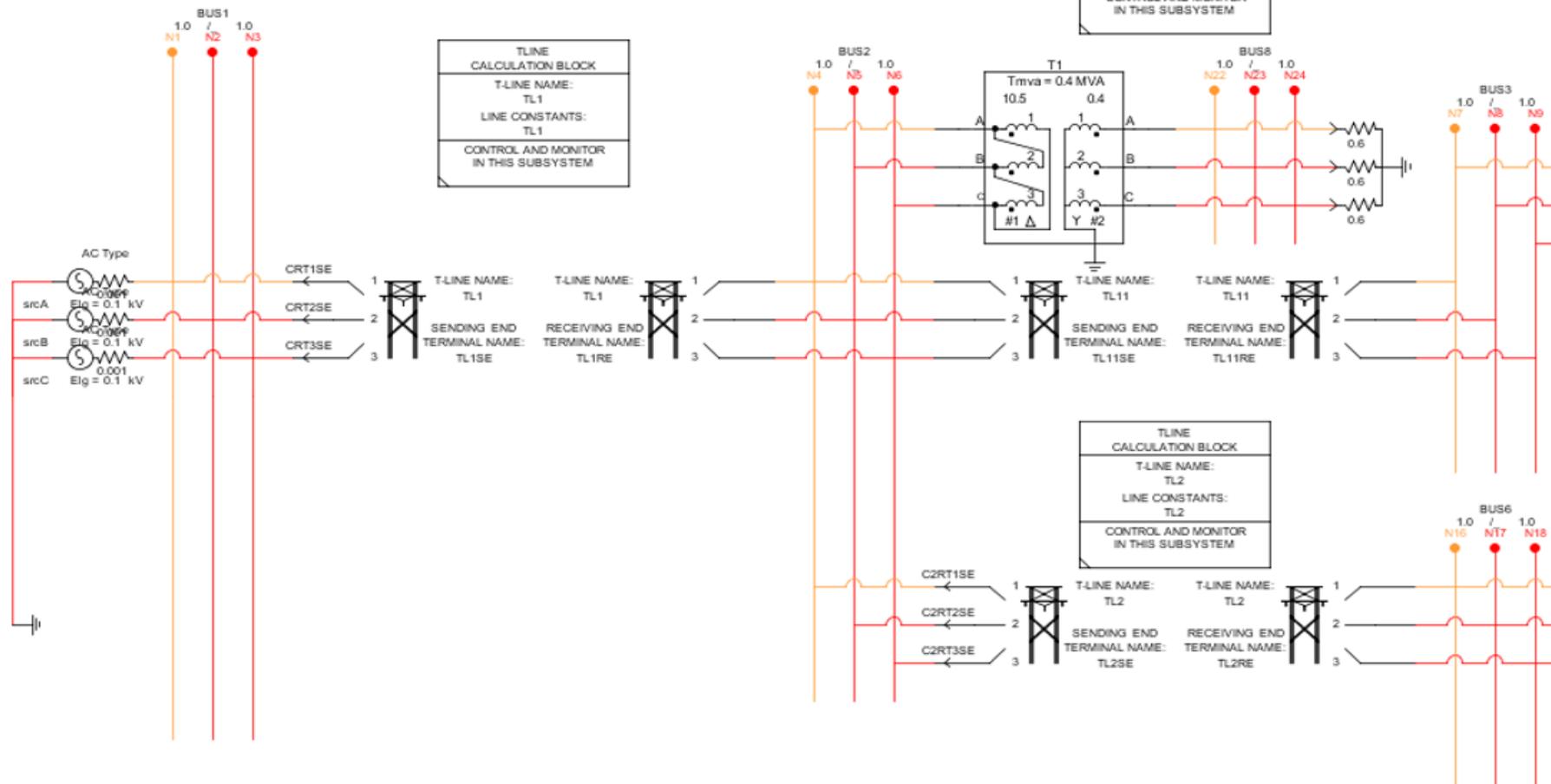
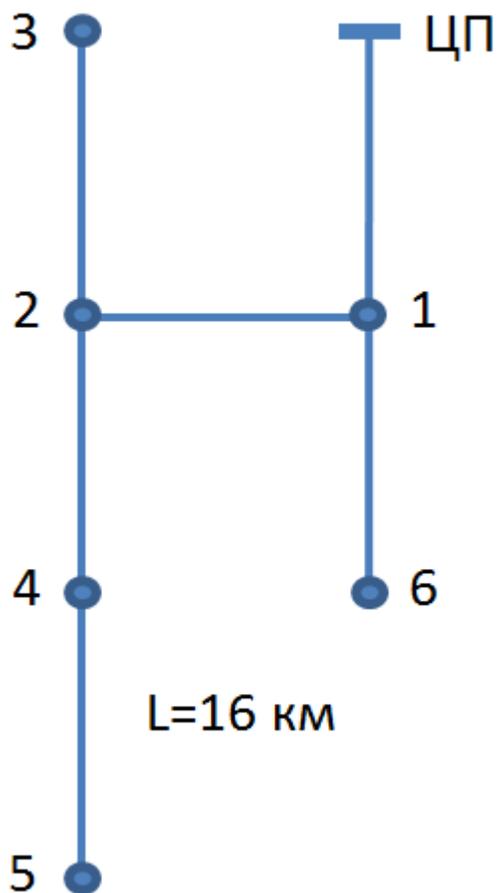


Проблемы: 1. Влияние величины нагрузки. 2. Наличие сторонних ВГ.
3. Обработка сигнала на месте. 3. Сложность идентификации.

Использование СНЭЭ или источников сигналов

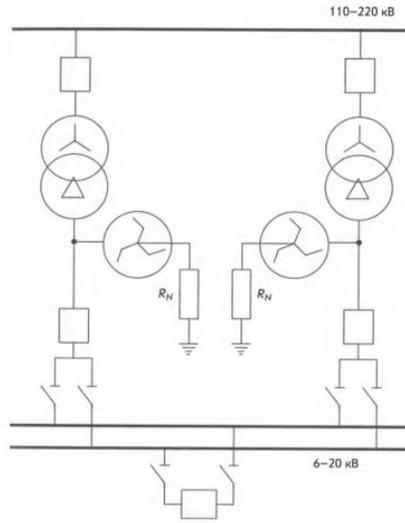
Тестирование фидера напряжениями НП

Принципиальная схема:

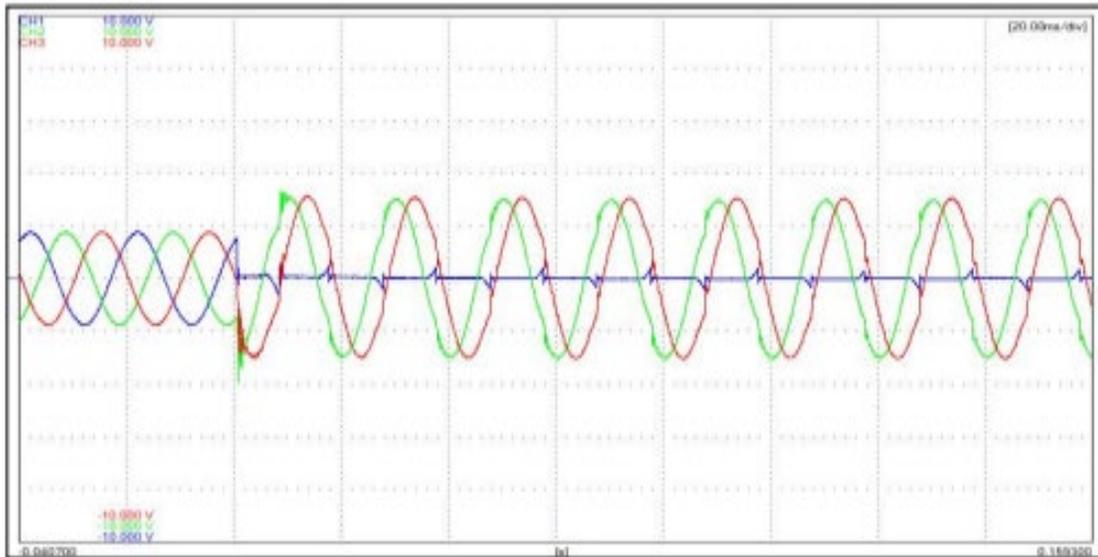


Имитационная схема

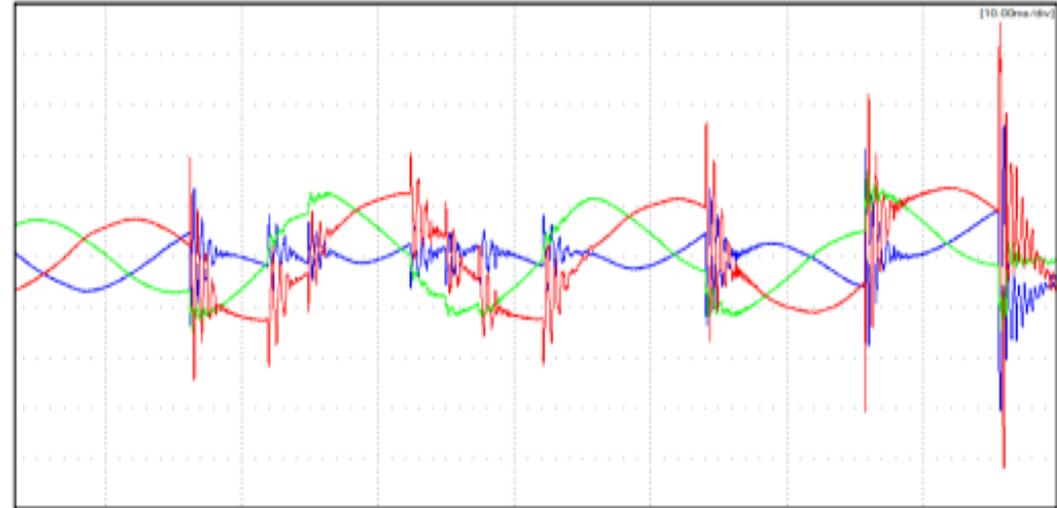
Характер замыкания в зависимости от режима нейтрали



Фазные напряжения в сети с резистором типа P3



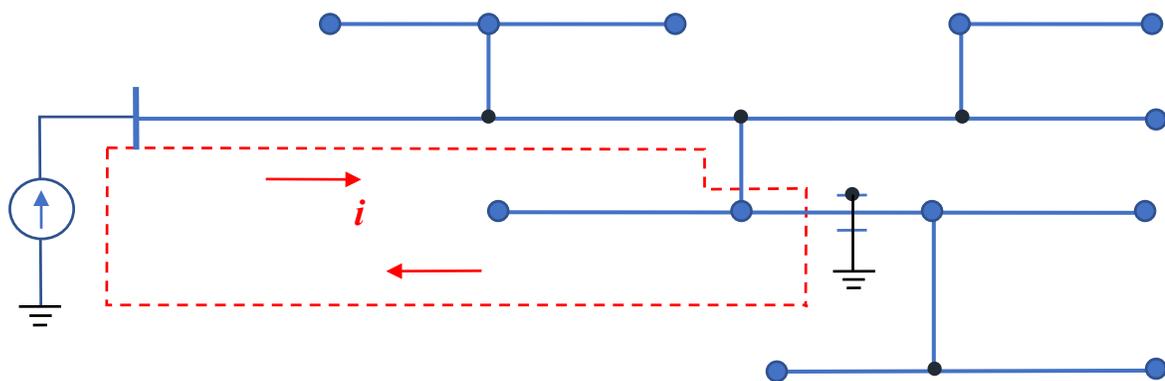
Фазные напряжения в сети без резистора типа P3



Осциллограммы компании «Болид»

Принцип расчёта расстояния до места ОЗЗ

Принципиальная схема:



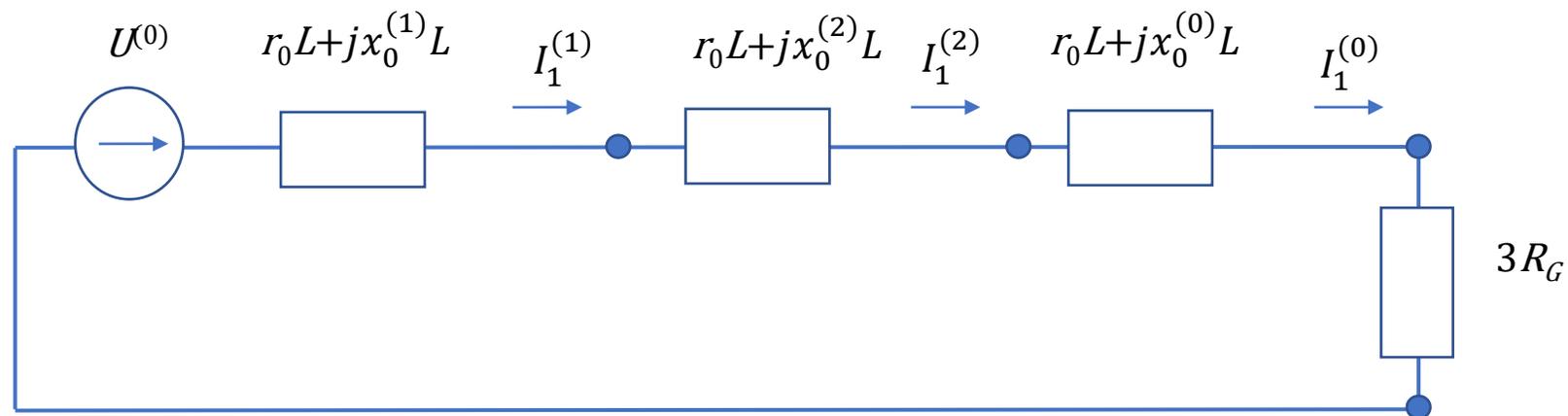
Тестирование на постоянном токе:

$$R_G + r_0L = R_s = U_0/I_0$$

Тестирование на переменном токе:

$$\sqrt{(r_0L + R_G)^2 + (nx_\sigma L)^2} = U_n/I_n$$

Расчётная схема:



Проблема:

При высоких значениях R_g увеличение частоты тестового сигнала приводит к необходимости учета поперечных ёмкостных проводимостей.

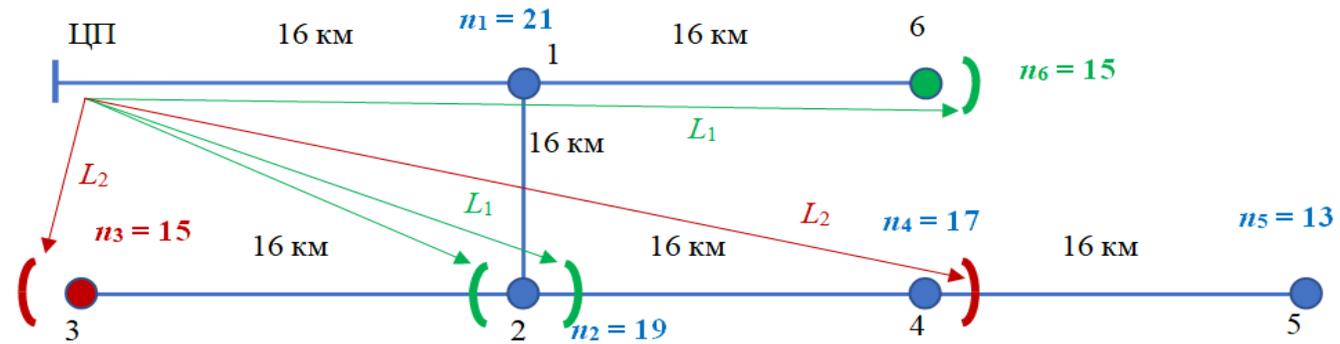
Тестирование в сочетании с методом «резонансных» гармоник

Фазные токи головной ВЛ фидера, $f=50$ Гц, $R_g=100$ Ом

Тестовые опыты

1. Задано: $L_g=32$ км. Рассчитано: $L_g=33,1$ км.
2. Задано: $L_g=48$ км. Рассчитано: $L_g=47,6$ км.

Наложение результатов тестирования на «резонансные» ВГ:



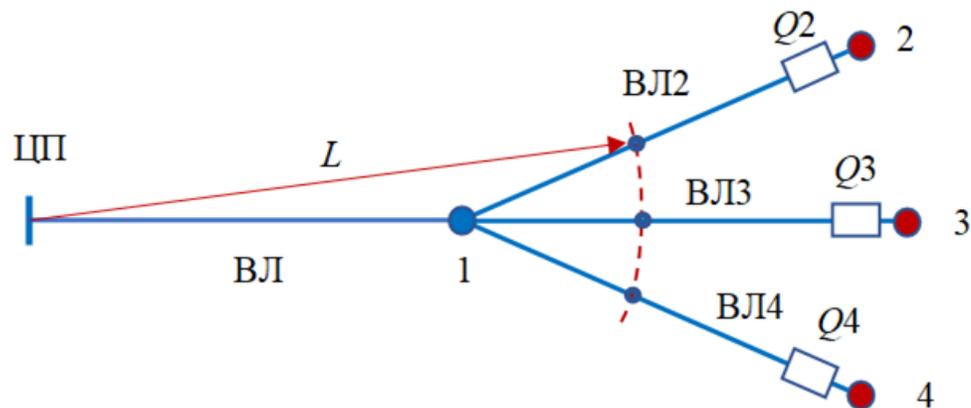
● - 0.33 в узле 6

● - 0.33 в узле 3

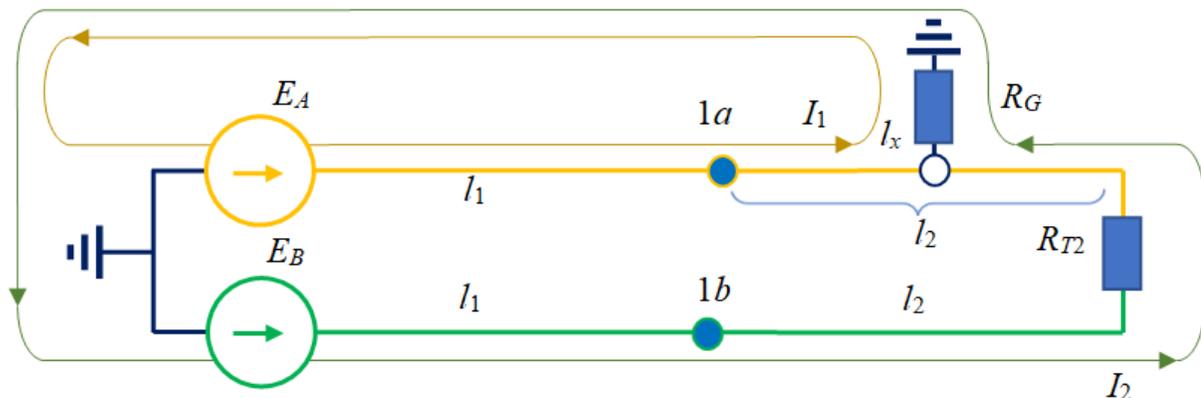
Рассчитано без учета влияния ёмкостных проводимостей

Одностороннее тестирование на постоянном токе по двум фазам

Схема с многозначным результатом одностороннего тестирования/мониторинга режима ОЗЗ:



Подключен трансформатор на аварийном ответвлении 2:



Узел 1 известен

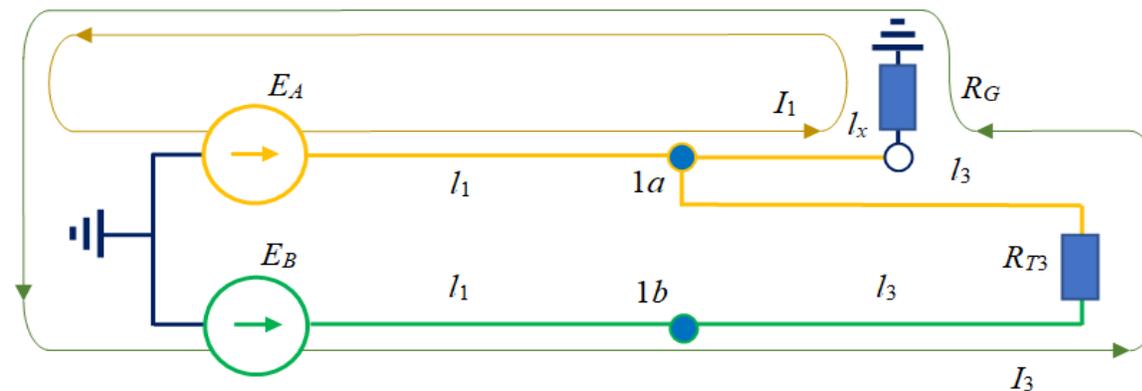
$$I_A / I_B = I_1 / I_3 = R_3 / R_1$$

$$I_A / I_B = I_1 / I_2 \neq R_2 / R_1$$

$$\left. \begin{aligned} E_A &= r_0 I_1 (l_1 + l_x) + R_G (I_1 + I_2), \\ E_B &= r_0 I_2 (l_1 + 2l_2 - l_x) + R_G (I_1 + I_2). \end{aligned} \right\}$$

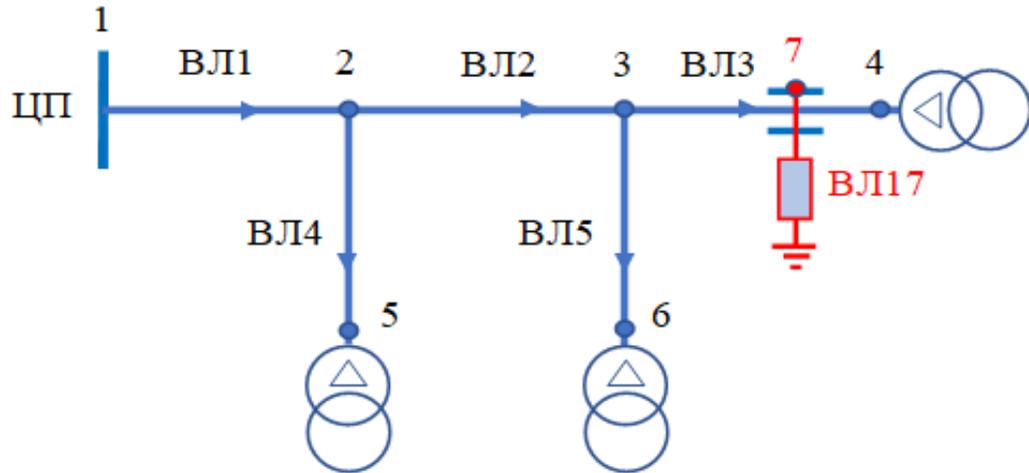
Метод не чувствителен к R_G . В тестовой схеме точность расчета расстояния до места ОЗЗ при $R_G = 1$ кОм в пределах 1%

Подключен трансформатор на рабочем ответвлении 3:

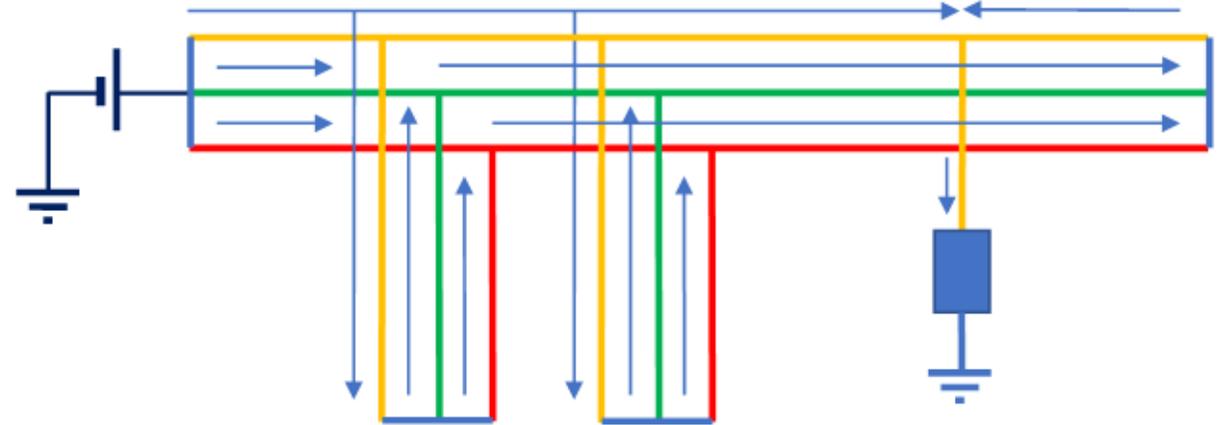


Определение на фидере места ОЗЗ по постоянным токам тестового режима при включенных трансформаторах

Принципиальная схема фидера:



Распределение токов по фазам в тестовом режиме:



Алгоритм:

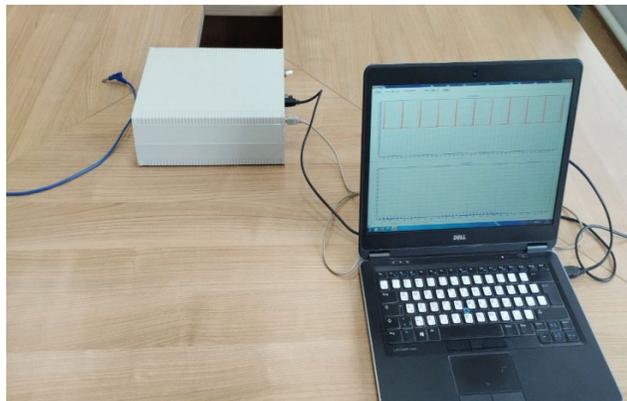
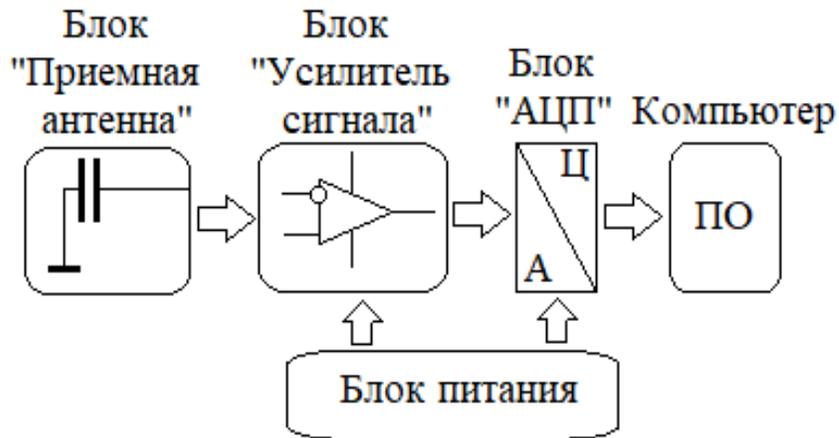
Расчет напряжений в узлах и токов в фазных проводах:

$$\mathbf{YU} = \mathbf{J} \iff \begin{bmatrix} y_{11} & -y_{12} & \cdots & -y_{1N+1} \\ -y_{21} & y_{22} & \cdots & -y_{2N+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -y_{N+1 1} & -y_{N+1 2} & \cdots & -y_{N+1 N+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_{N+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Выбирается предварительно намеченный как аварийный участок фидера и выполняются расчеты токов. Если значения на входе не совпадают с измеренными, то в качестве расчетного назначается следующий участок и т.д.

Мобильный комплекс определения места ОЗЗ на основе анализа электрического поля

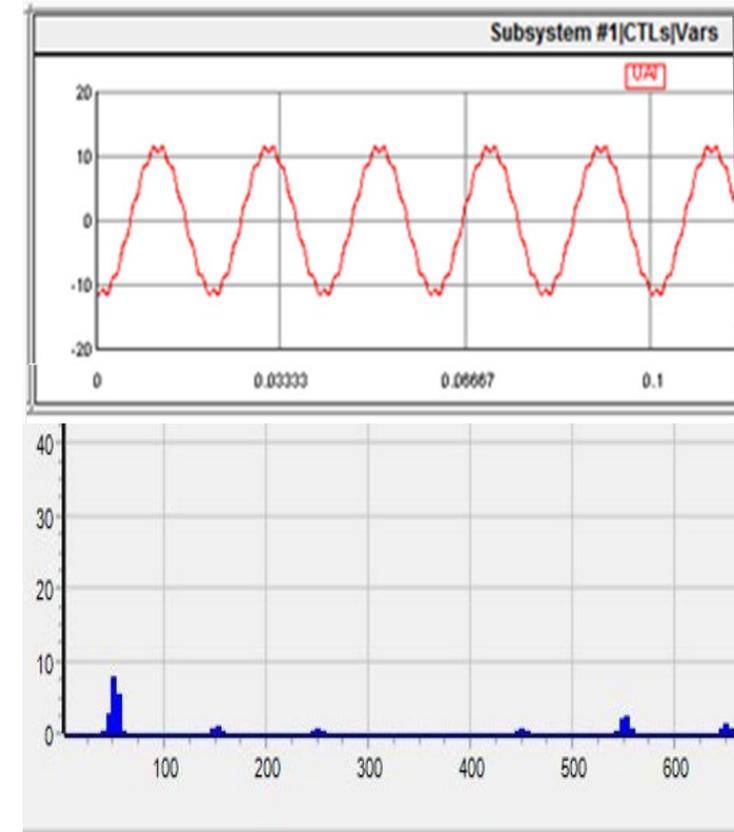
Используются два признака: несимметрия электрического поля на частоте 50 Гц; уровень ВГ электрического поля



Мобильный комплекс



Усилитель сигналов от RTDS



Измерение тестовых сигналов
10 В, 50 Гц и 0.4 В, 550 Гц

Заключение

Для фидеров **6-10** кВ воздушных распределительных электрических сетей характерна древовидная структура.

Топографический поиск места ОЗЗ зачастую связан со значительными временными затратами и особенно затруднен в зимнее время.

Эволюция электротехнических комплексов в направлении повышения их управляемости, адаптации к текущим режимам, подключения распределенной генерации, электрохимических СНЭЭ, открывает перспективы применения новых технологий по расчётному определению мест ОЗЗ.

На основе параметров тестовых режимов на напряжении НП разных частот можно установить потенциально аварийные участки фидера. Формирование на постоянном токе схем двухстороннего питания места ОЗЗ позволяет рассчитать место повреждения с учетом влияния переходного сопротивления, выполняя односторонние измерения.

Спасибо за внимание!

