

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Лекции: 32 ч
Практики: 24 ч
Лабораторные: 16 ч
Самост.: 108 ч

Экзамен

Васильев Алексей Сергеевич

к.т.н. доцент ОЭЭ ИШЭ

Лекция 6

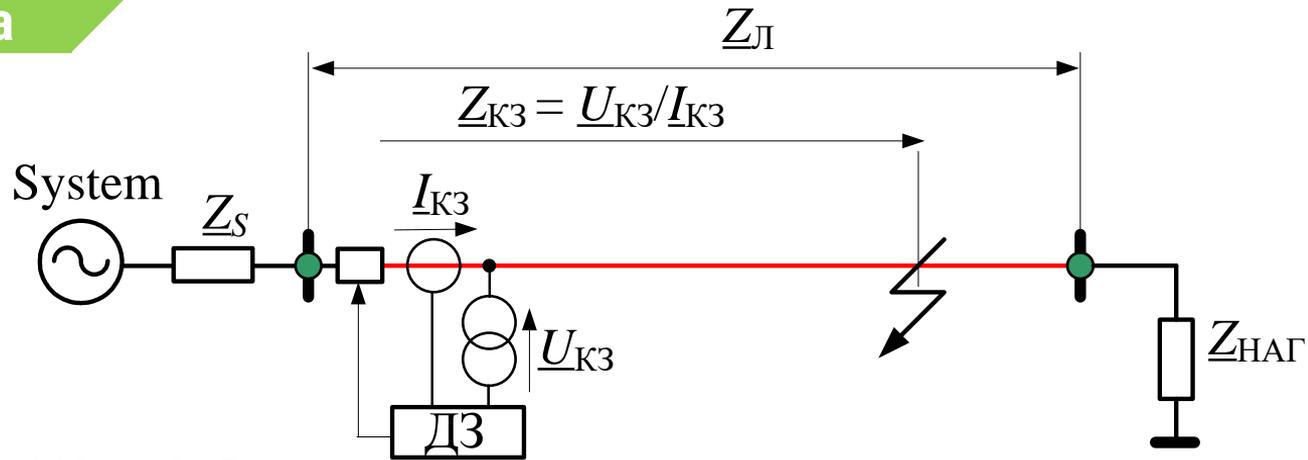
Дистанционная защита

Принцип действия
Расчет характеристик срабатывания
Согласование защит
Возможные причины неправильной работы

Недостатки токовых защит

- В минимальных режимах токи КЗ могут оказаться недостаточными для срабатывания токовых защит.
- В сложнзамкнутых сетях МТЗ не всегда удовлетворяет требованиям селективности и быстродействия.

Необходима релейная защита характеристическая величина которой не зависит от режима работы системы электроснабжения, а время действия определяется только расстоянием до от места установки защиты до места КЗ.



Область применения:

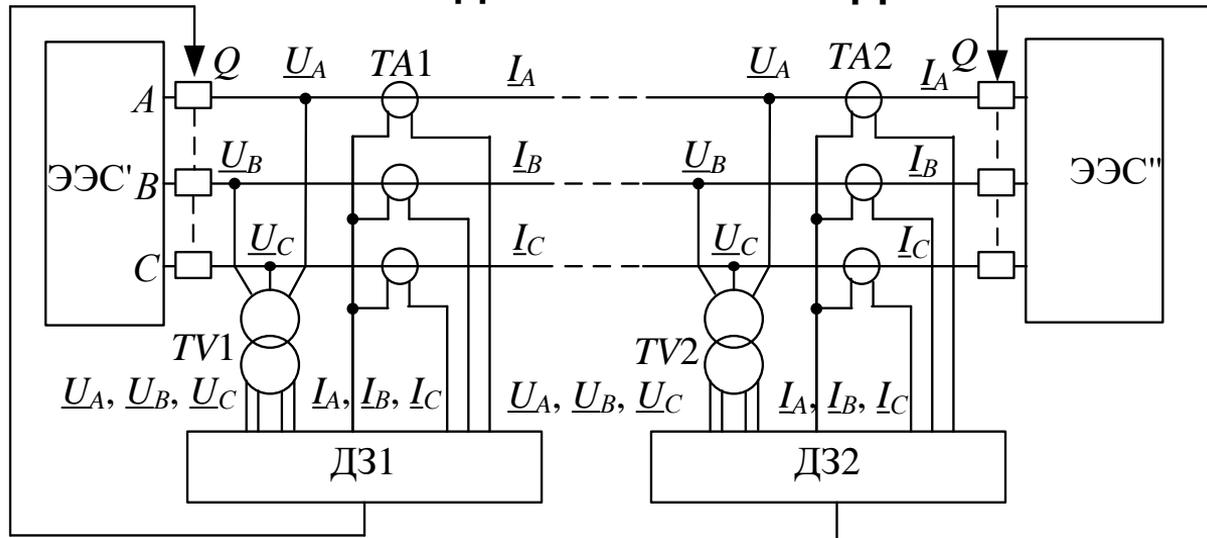
- Основная защита линий 110–750 кВ,
- Резервная защита для Т блоков и АТ 110 кВ и выше,
- Резервная защита для мощных генераторов.

Принцип действия: контроль сопротивления между ДЗ и местом КЗ.

ДЗ предназначена для отключения трех- и междуфазных КЗ в сетях с любой конфигурацией.

Схема подключения измерительных трансформаторов и подведения входных величин к ДЗ

Комбинировать фазные токи и напряжения можно по-разному, но целесообразно использовать следующие комбинации:

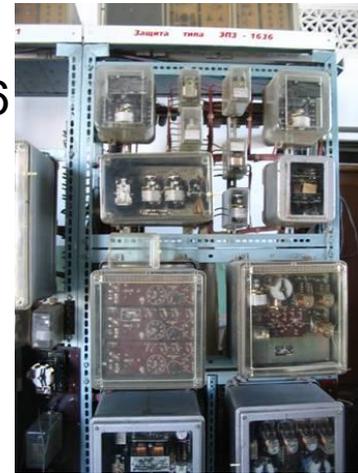


$$\underline{Z}_{AB} = \frac{U_A - U_B}{I_A - I_B} \quad \underline{Z}_{BC} = \frac{U_B - U_C}{I_B - I_C} \quad \underline{Z}_{CA} = \frac{U_C - U_A}{I_C - I_A}$$

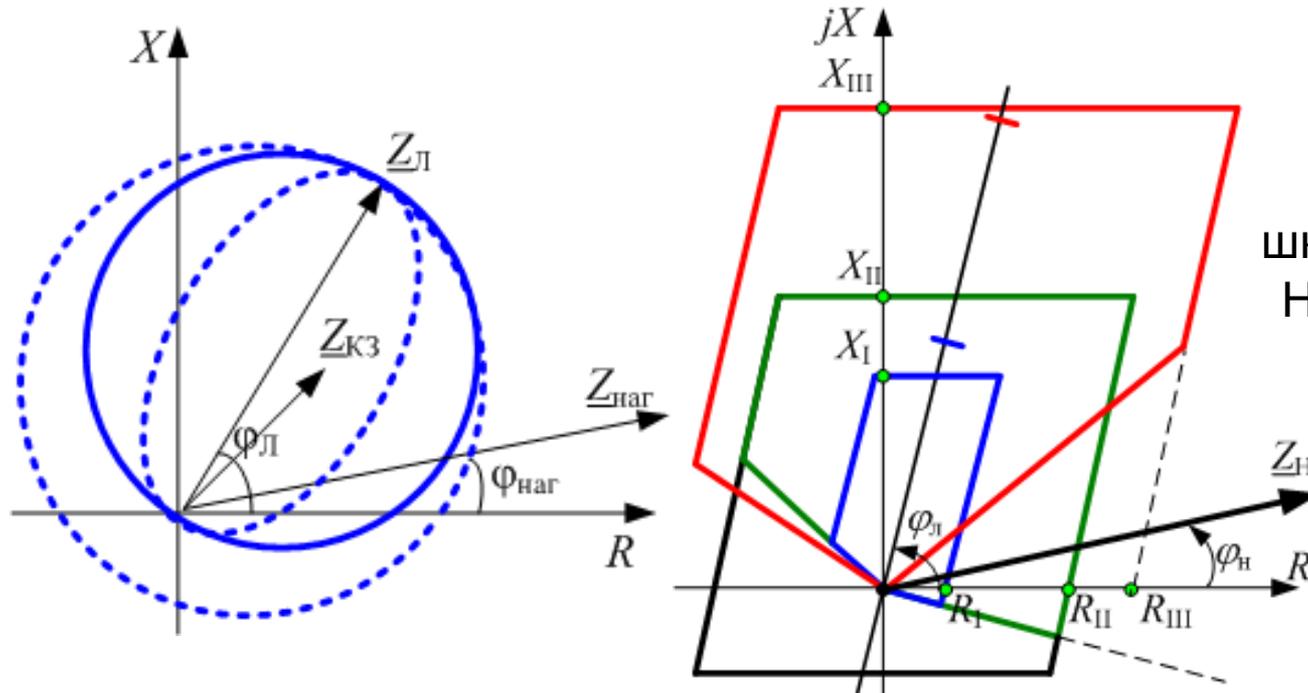
Данный показатель называют **сопротивлением на зажимах реле защиты.**

Характеристики срабатывания

Панель
ЭПЗ-1636



Примеры характеристик срабатывания трехступенчатых дистанционных микропроцессорных защит

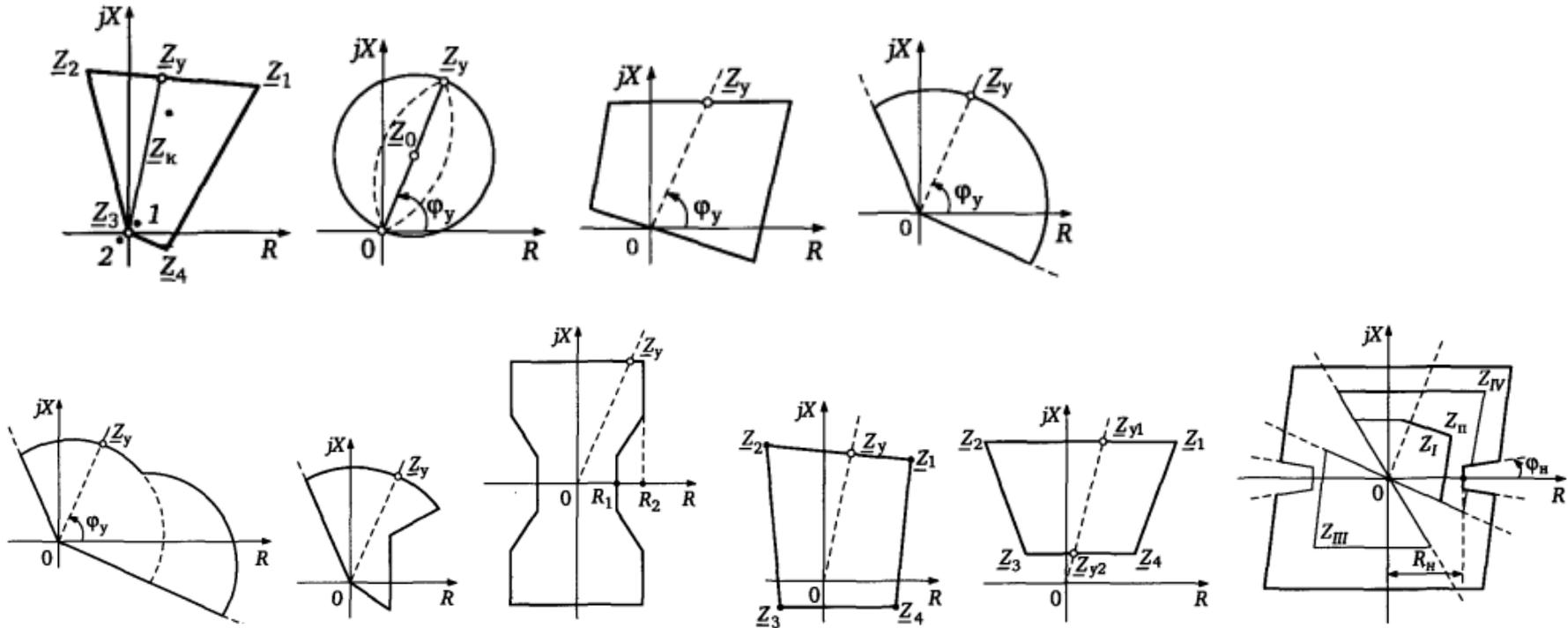


шкаф ШЭ 2607,
НПП «ЭКРА»,
Россия



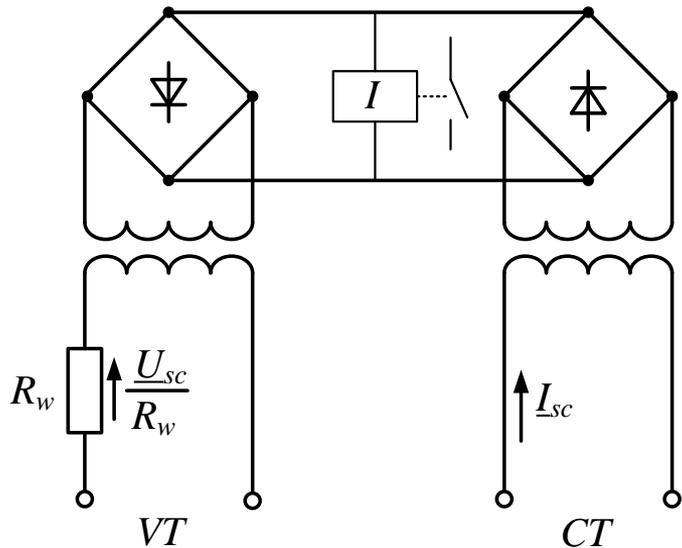
Характеристики срабатывания

Виды характеристик срабатывания дистанционных органов

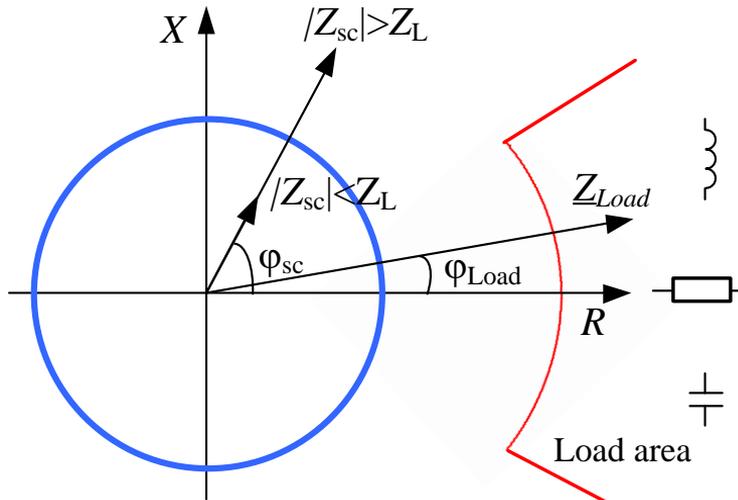


Характеристики измерительных органов ДЗ

Реле полного сопротивления – круговая характеристика с центром в начале координат



Мостовая схема сравнения на выпрямителях

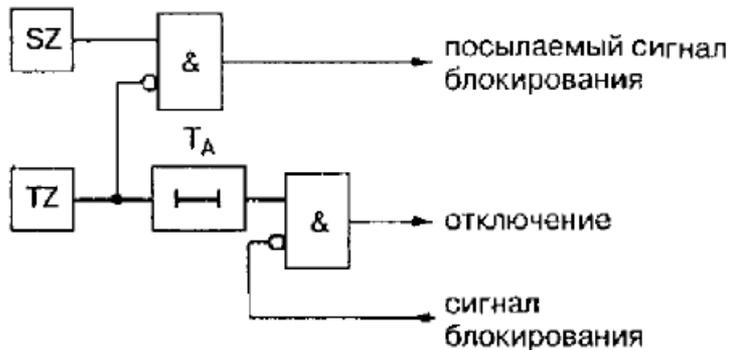


Характеристика срабатывания

Условие срабатывания

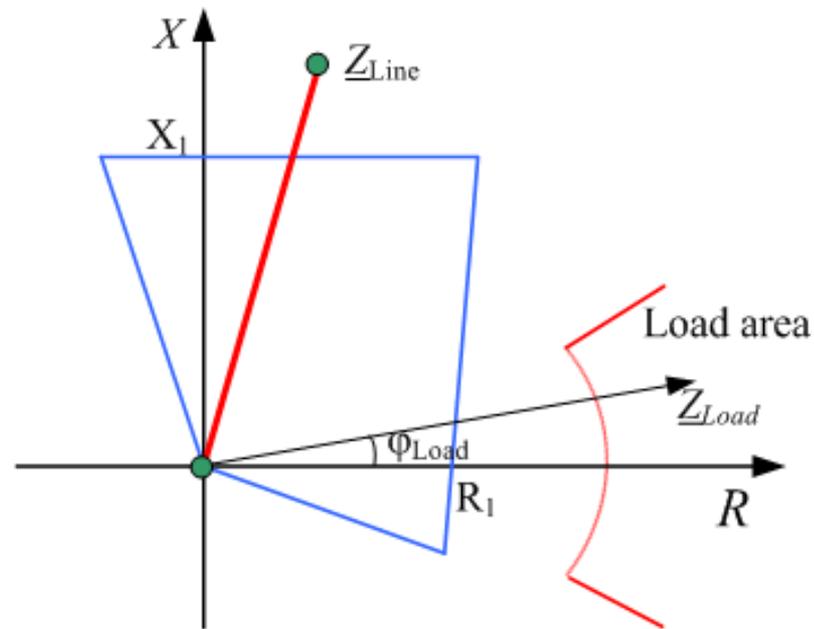
$$\frac{|U_{sc}|}{|I_{sc}|} = |Z_{sc}| < R_w$$

Логическая схема защиты



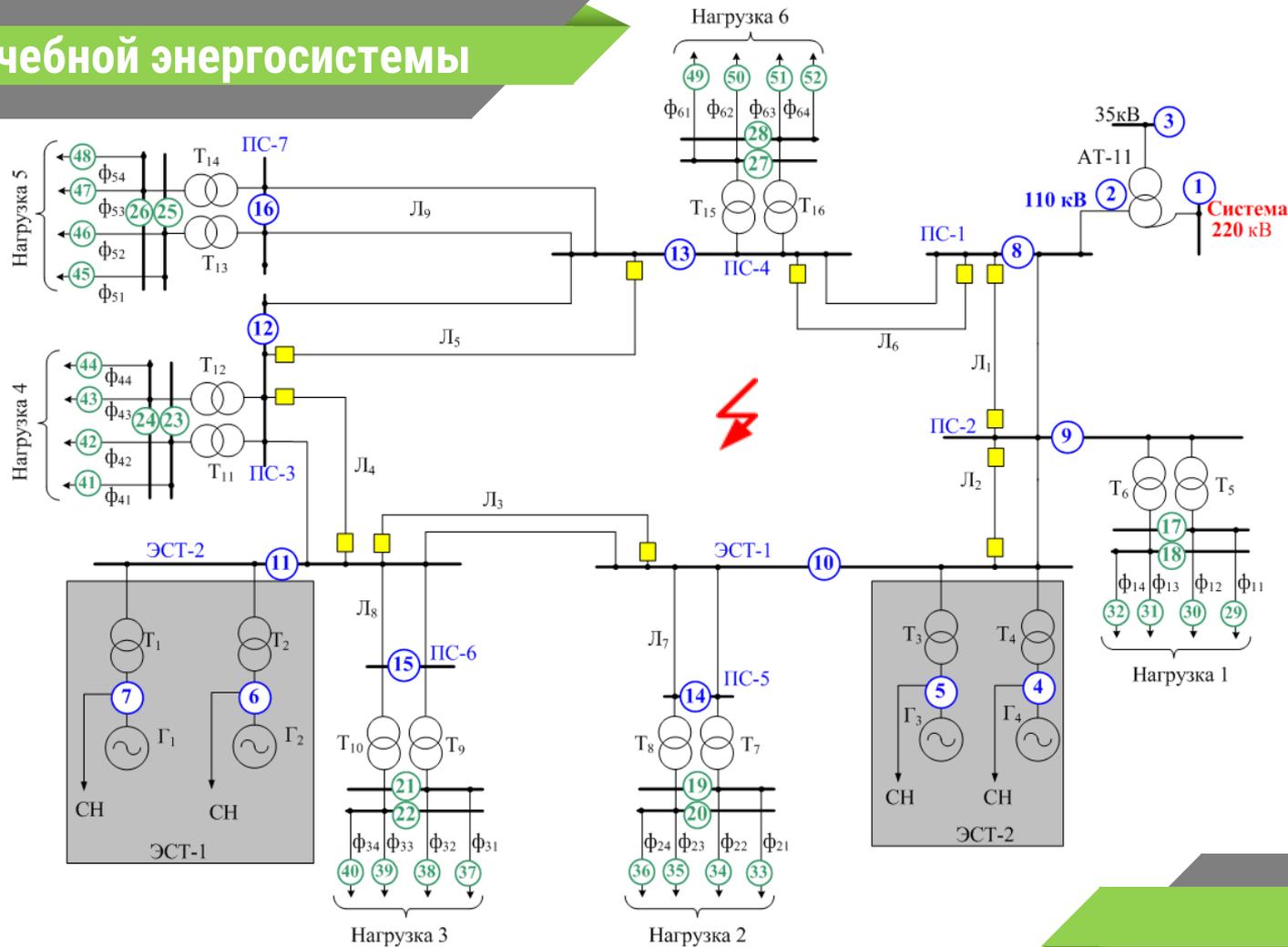
SZ – блокирующий сигнал
(send zone, blocking signal)

TZ – разрешающий сигнал
(trip zone, stop «signal send»)



Характеристика
срабатывания

Схема учебной энергосистемы



Расчет характеристик срабатывания ДЗ

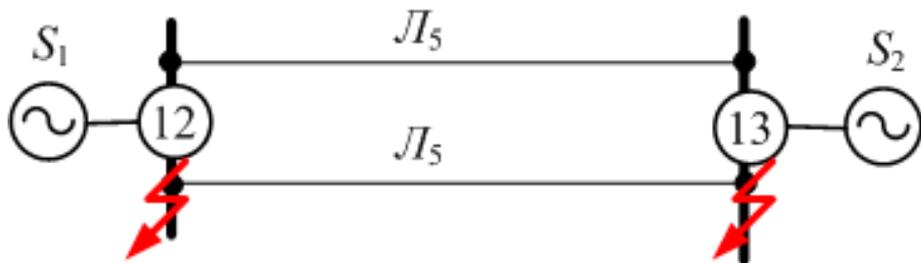
Первая ступень

Зона действия 0,85l

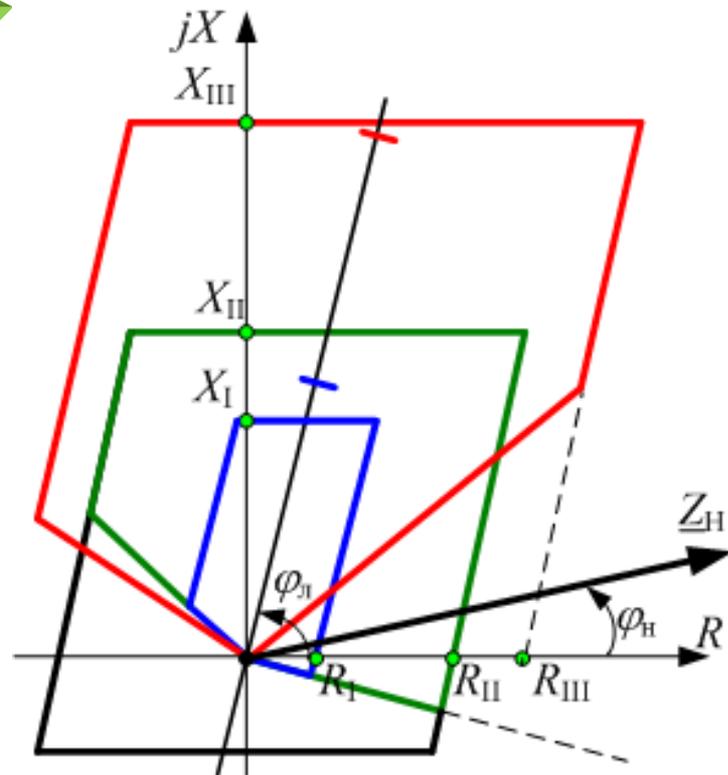
$$\underline{Z}_I = K_H \cdot \underline{Z}_{Л} = R_I + jX_I$$

$$K_H = 0,85$$

$$t_I = 0,02-0,04 \text{ с}$$



$$R_I = 0,56X_I$$



Характеристика срабатывания

Расчет характеристик срабатывания ДЗ

Вторая ступень

Зона действия 1,1–1,5l

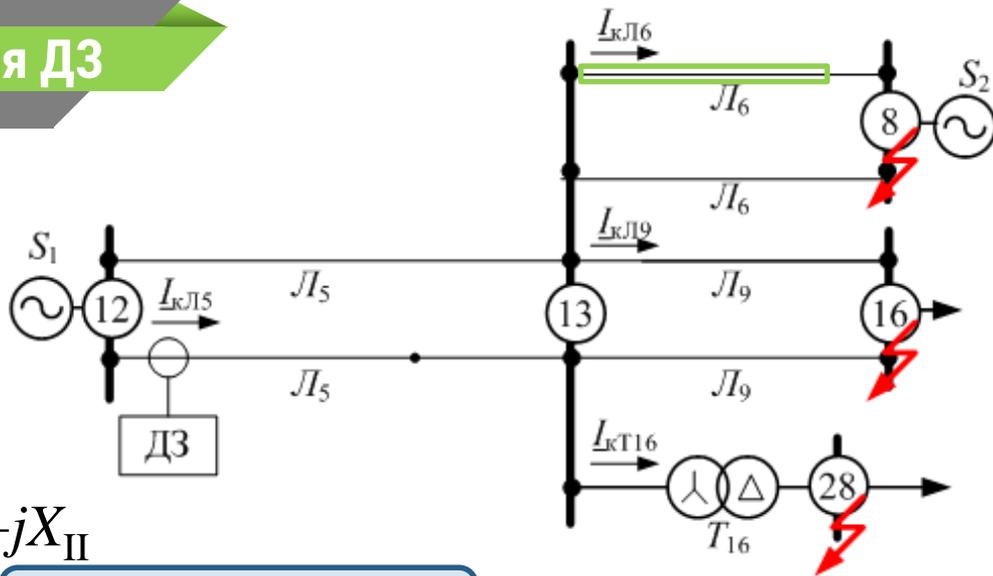
$t_{II} = 0,3–0,5$ с

1. Согласование с ХС первой ступени предыдущей линии

$$\underline{Z}_{II} = K_H(\underline{Z}_{Л5} + K_{\text{ток}} \cdot K_H \cdot \underline{Z}_{Л6}) = R_{II} + jX_{II}$$

$$K_{\text{ток}} = \underline{I}_{\text{кЛ6}} / \underline{I}_{\text{кЛ5}} \quad K_H = 0,85$$

$$R_{II} = (0,5–0,6)X_{II}$$



2. Отстройка от КЗ за трансформатором противоположной подстанции

$$\underline{Z}_{II} = K_H(\underline{Z}_{Л1} + K_{\text{ток.Т}} \cdot \underline{Z}_{\text{Tmin}}) = R_{II} + jX_{II}$$

$$K_{\text{ч}} = \underline{Z}_{II} / \underline{Z}_{Л5} > 1,25 \text{ для протяженных линий} \quad K_{\text{ток.Т}} = \underline{I}_{\text{кТ16}} / \underline{I}_{\text{кЛ5}}$$

$$K_{\text{ч}} > 1,5 \text{ для коротких линий с сопротивлением } \underline{Z}_{Л} < 20 \text{ Ом}$$

Третья ступень

Зона действия должна охватывать самую протяженную линию, отходящую от шин противоположной подстанции (если это возможно).

$$\underline{Z}_{III} = \underline{U}_{\text{раб.мин.}} / (\sqrt{3} \cdot \underline{I}_{\text{раб.макс.}} \cdot K_H \cdot K_B \cdot \cos(\varphi_{\text{мч}} - \varphi_P)) = R_{III} + jX_{III}$$

$$K_H = 1,2, K_B = 1,1 \quad R_{III} = (0,5 - 0,6)X_{III}$$

$\varphi_{\text{мч}} = \varphi_L = \arctg(X_L/R_L)$ – угол
максимальной чувствительности

$\varphi_P = \varphi_H = \arctg(Q_{ij}/P_{ij})$ – угол реле

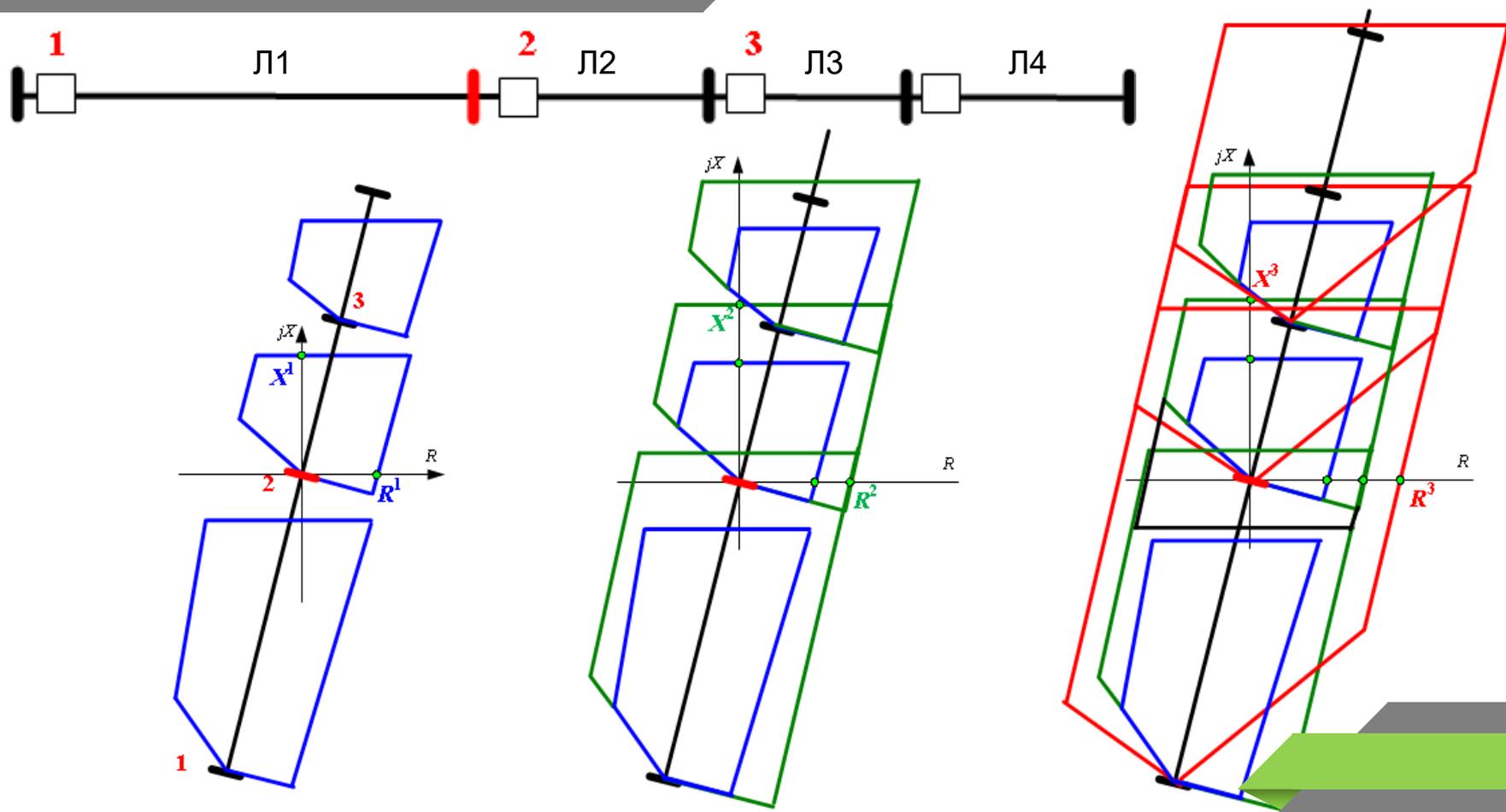
$$K_{\text{ч}} = \underline{Z}_{III} / \underline{Z}_{L5} > 2$$

Выдержки времени выбирают по встречно-ступенчатому принципу (как для МТЗН).

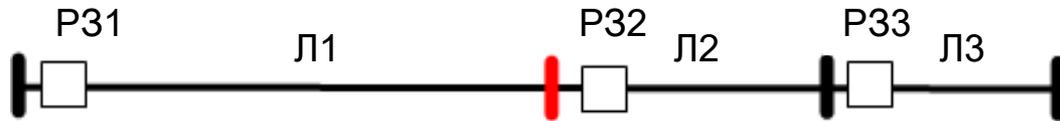
$$\underline{U}_{\text{раб.мин.}} = 0,9U_{\text{ном}} e^{jdU}$$

$$\underline{I}_{\text{раб.макс.}} = I_{ij} e^{j\varphi_{\text{гол}} L_{\text{лин}}}$$

Согласование зон срабатывания защит



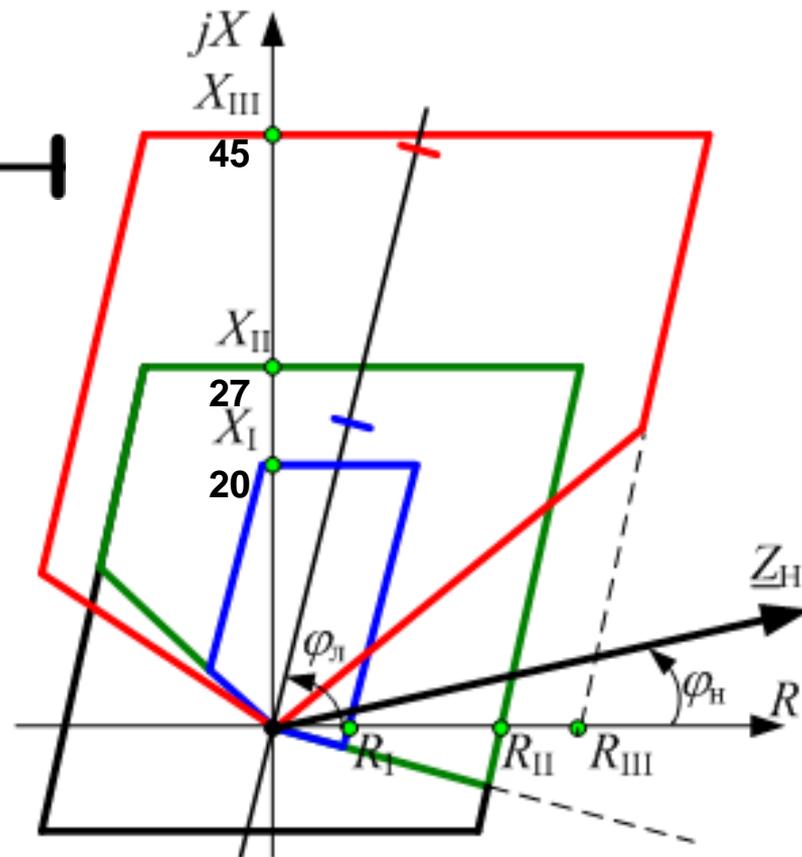
Пример



Какая ступень и какой защиты сработает?

K31 $U_{AB} = 25e^{j120}$ кВ
 $I_A - I_B = 1,3e^{j35}$ кА

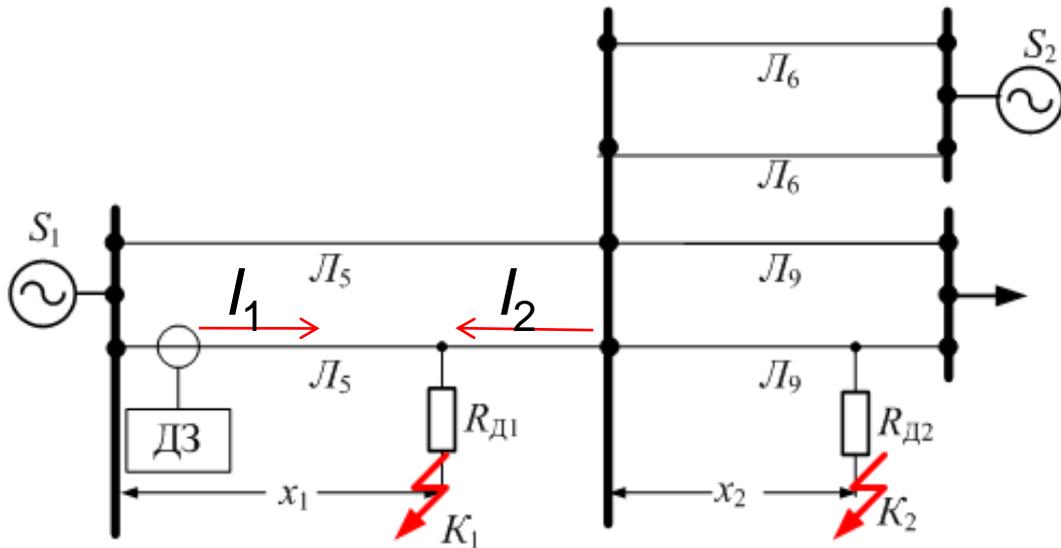
K32 $U_{AB} = 30e^{j110}$ кВ
 $I_A - I_B = 1,2e^{j40}$ кА



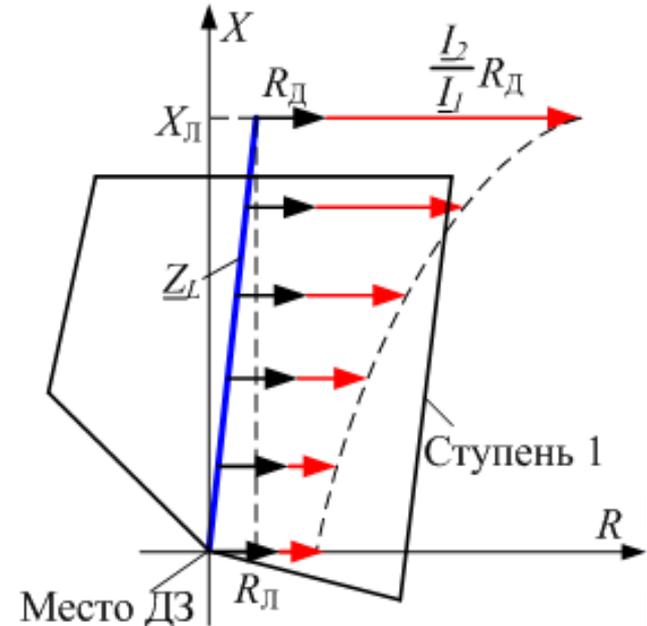
Оценка селективности защиты

Необходимо учитывать влияние:

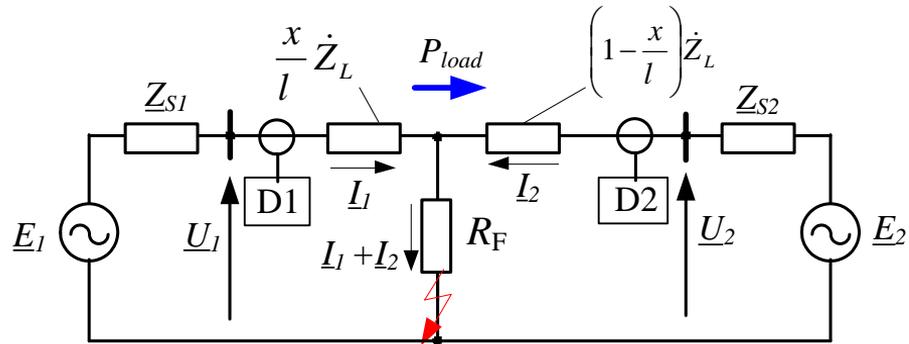
- сопротивления дуги (0,1 – 40 Ом),
- промежуточной подпитки и подпитки от шин противоположной ПС,
- режима сети (включение/отключение линий)



Дуга – $R_{д} = 5 \text{ Ом}$

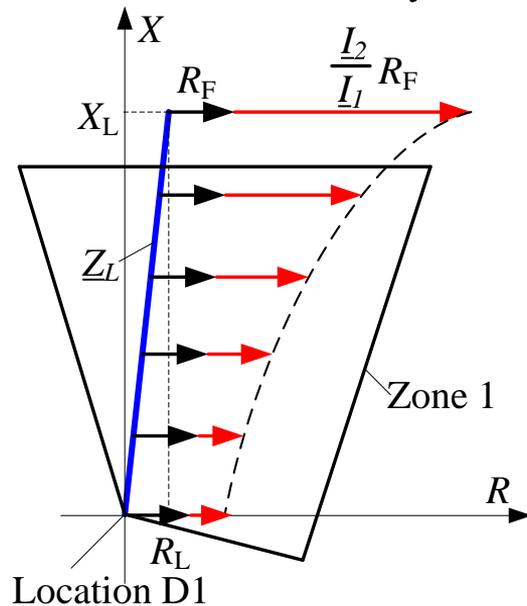
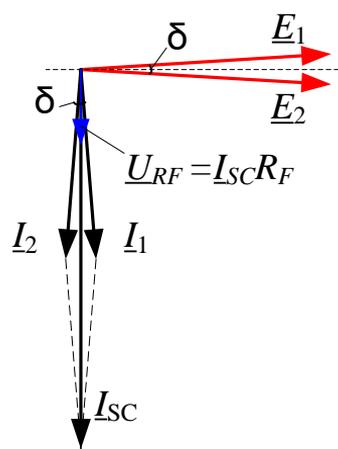
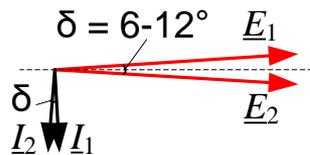


Влияние подпитки с противоположной стороны на измерение сопротивления при дуговом замыкании



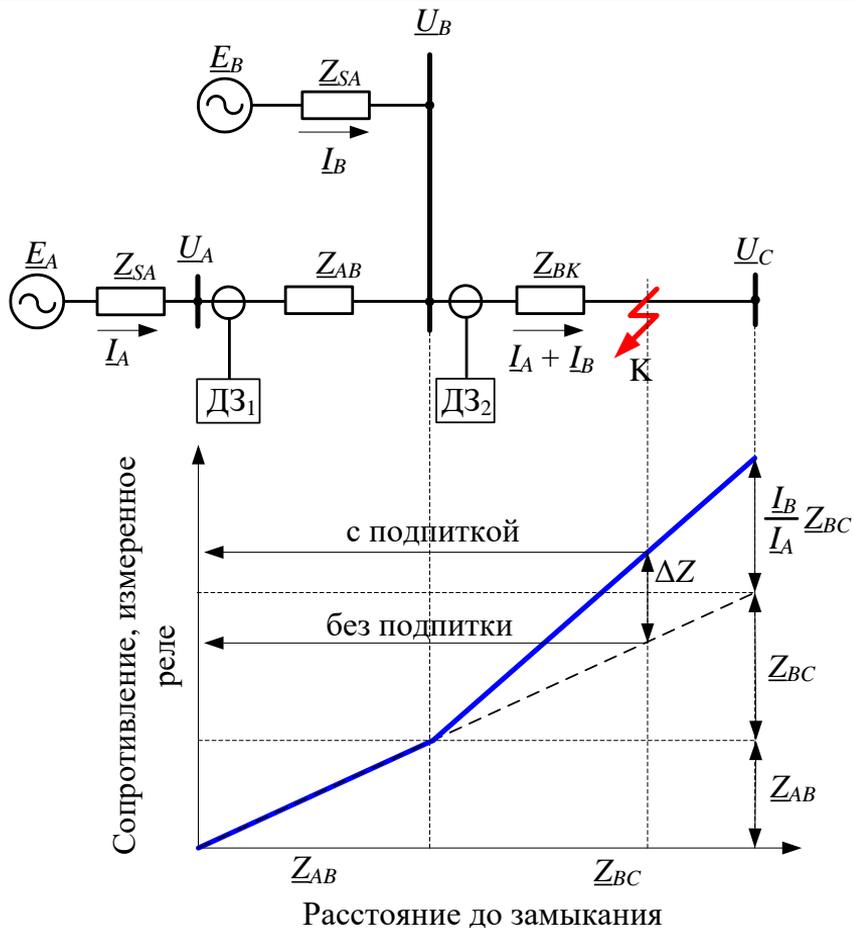
$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \dot{Z}_L \frac{x}{l} + (\dot{I}_1 + \dot{I}_2) R_F$$

$$\dot{Z}_{ДЗ1} = \dot{Z}_L \frac{x}{l} + R_F + R_F \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1}$$



$$\frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} = \frac{I_2 e^{j-93^\circ}}{I_1 e^{j-87^\circ}} = \frac{I_2}{I_1} e^{j-6^\circ} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

Влияние промежуточной подпитки на измерение сопротивления

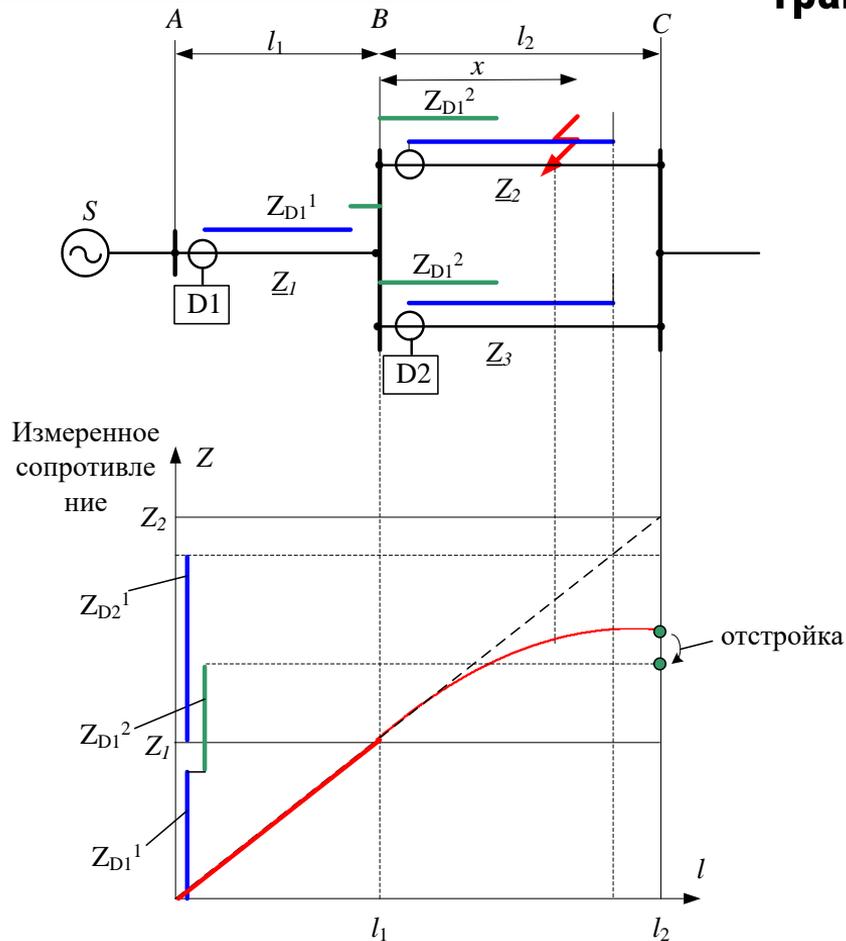


Определить сопротивление, измеренное реле DZ_1 с учетом подпитки от шин В

$$\dot{U}_A = \dot{I}_A \dot{Z}_{AB} + (\dot{I}_A + \dot{I}_B) \dot{Z}_{BK}$$

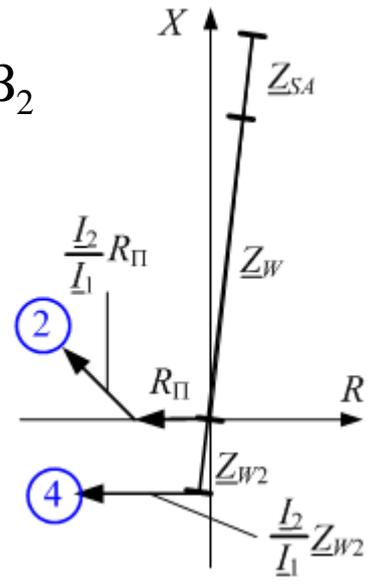
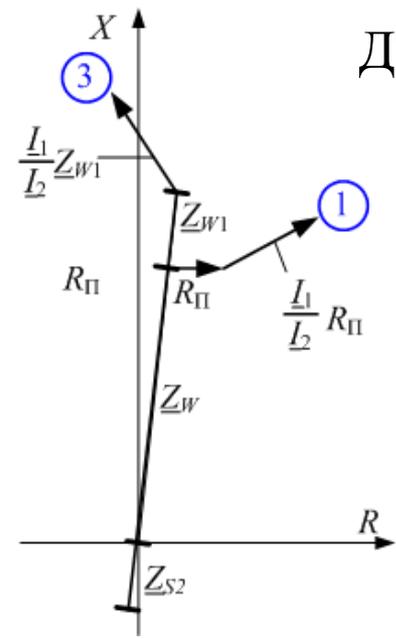
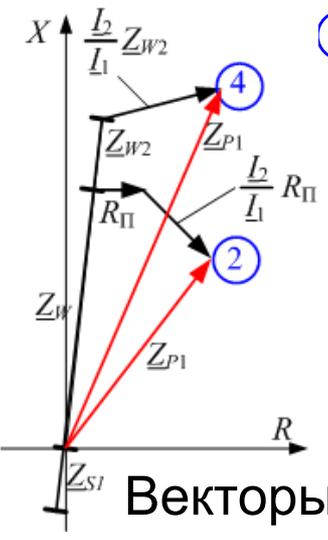
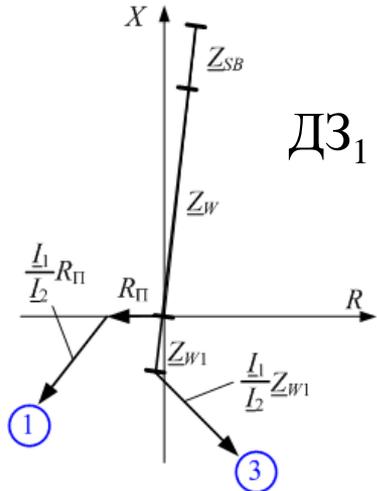
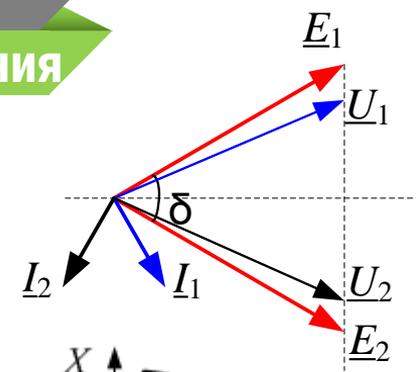
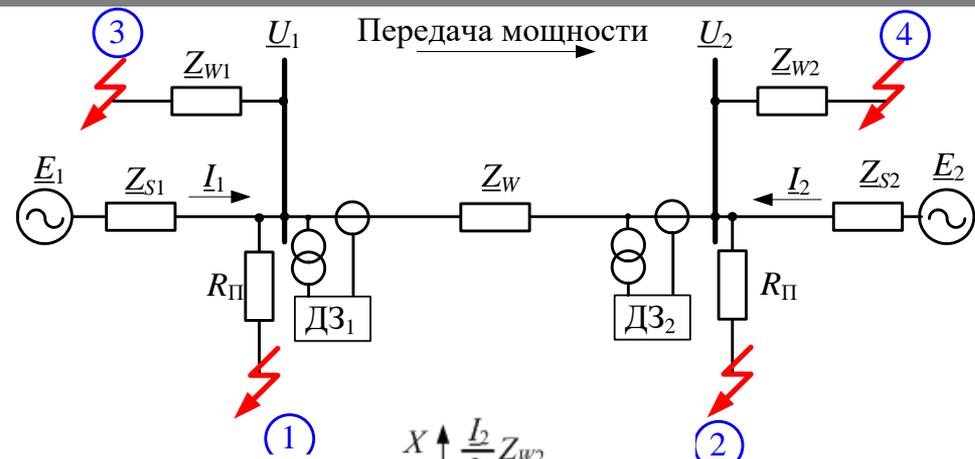
$$\dot{Z}_{DZ1} = \dot{Z}_{AB} + \dot{Z}_{BK} + \dot{Z}_{BK} \frac{\dot{I}_B}{\dot{I}_A}$$

Включение и отключение параллельных линий, трансформаторов) на измерение сопротивления



Задание: определить сопротивление, измеренное реле D1

Определение влияния загрузки линии на измерение сопротивления



Векторы сопротивления, измеренные

Причины неправильной работы дистанционной защиты

Асинхронный режим (качение) – нарушение синхронной работы генераторов (изменение угла δ при вращении вектора \underline{U}_1 относительно \underline{U}_2).

Одна из причин качаний – КЗ.

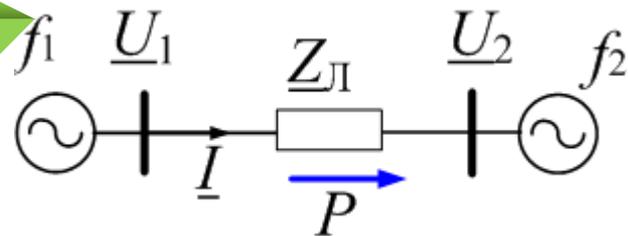
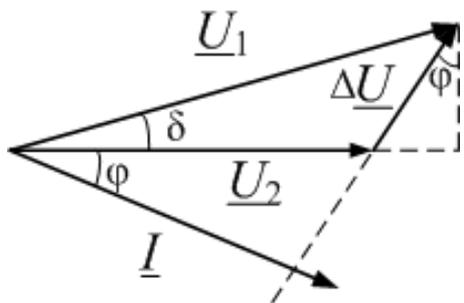


Схема электропередачи и векторная диаграмма в нормальном режиме работы



$$P(\delta) = \frac{U_1 U_2}{Z_{Л}} \sin(\delta)$$

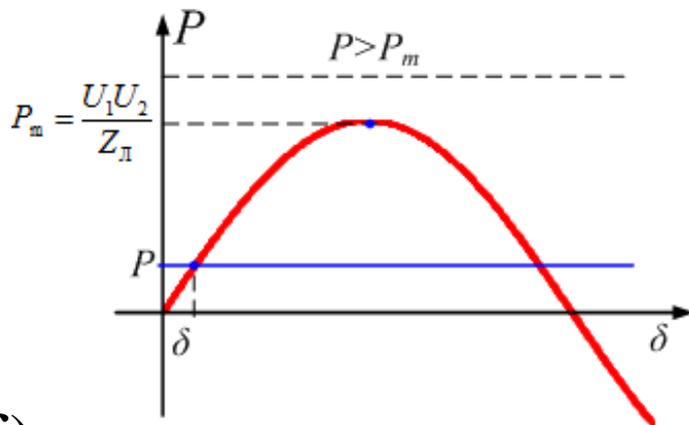
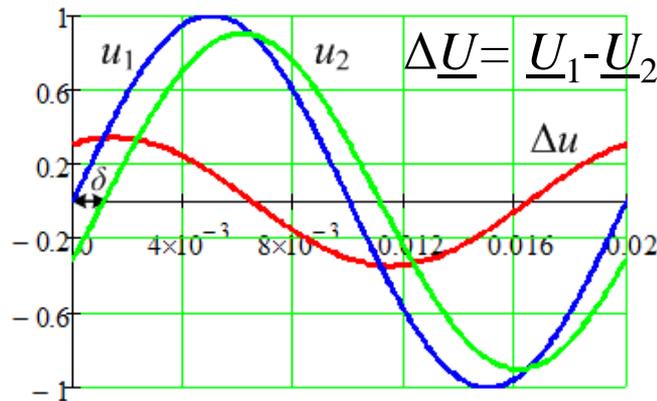


Диаграмма мощностей



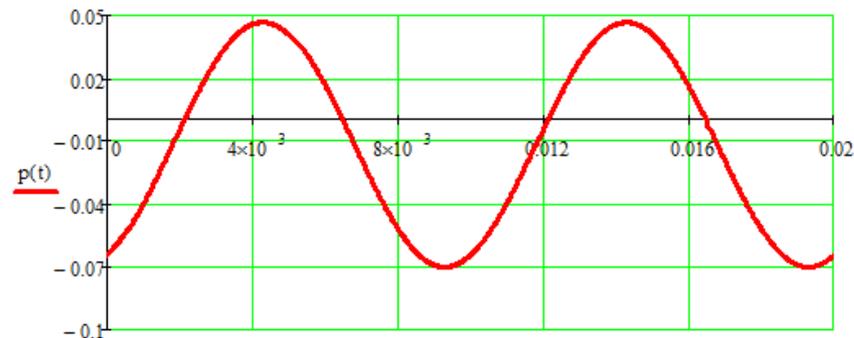
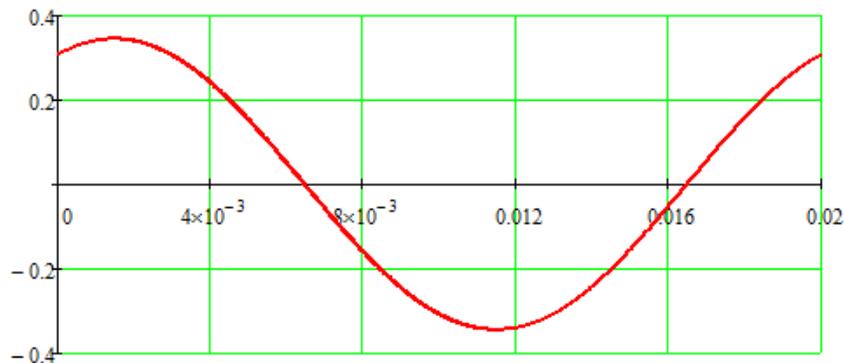
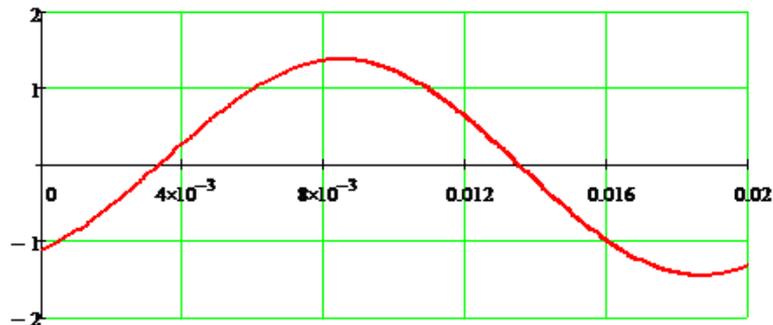
Причины неправильной работы дистанционной защиты

Признаки нарушения синхронизма: периодические изменения амплитуды тока и напряжения.

$i(t)$

$f_1 = 50 \text{ Гц}, f_2 = 50 \text{ Гц}$

$u(t)$



$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

Диапазон времени – 0.02 с

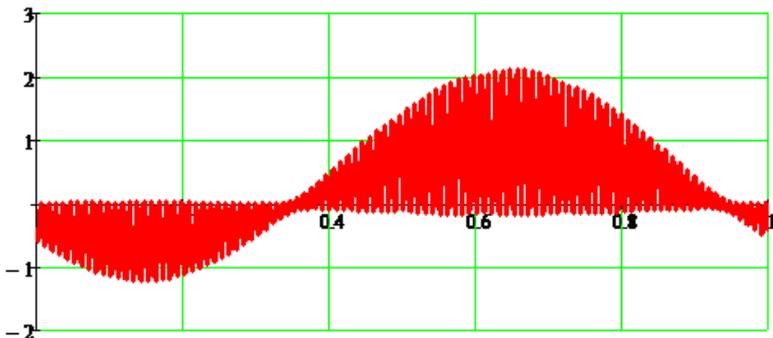
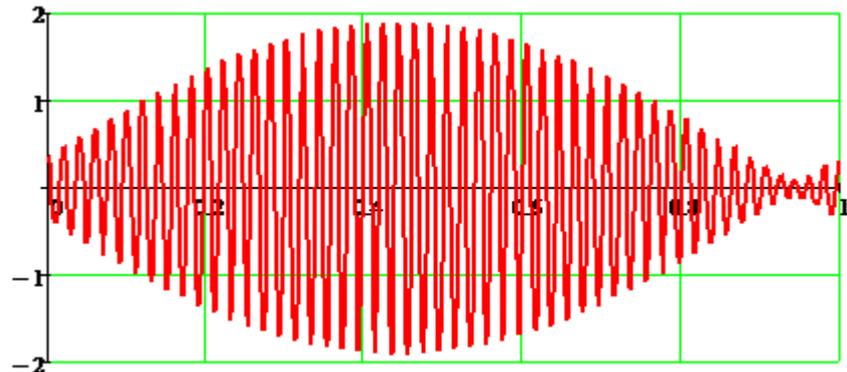
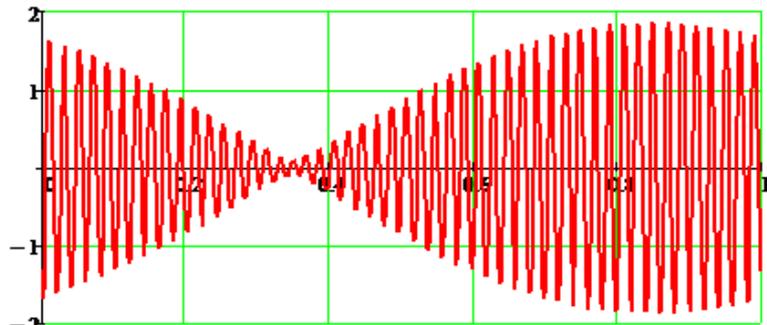
Причины неправильной работы дистанционной защиты

Признаки нарушения синхронизма: периодические изменения амплитуды тока и напряжения.

$i(t)$

$f_1 = 50 \text{ Гц}, f_2 = 49 \text{ Гц}$

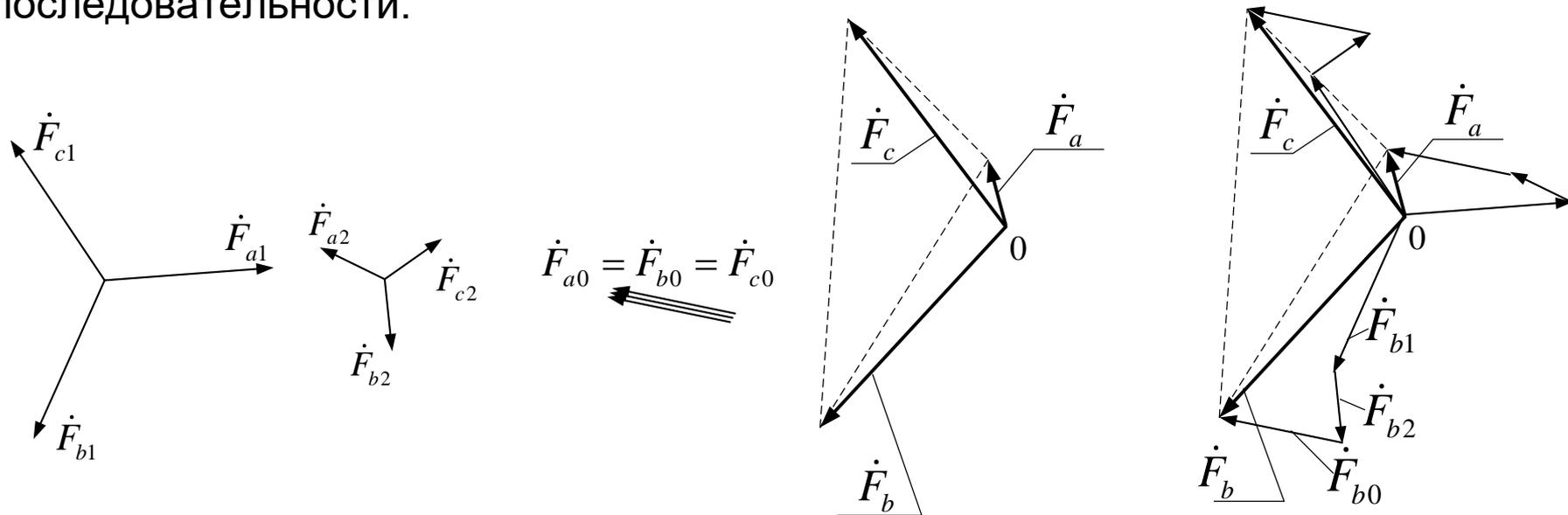
$u(t)$



$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

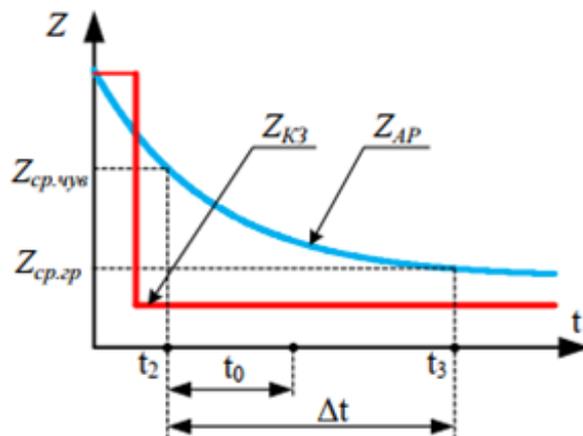
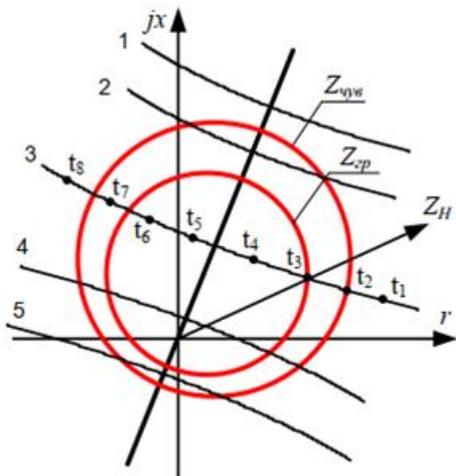
Диапазон времени – 1 с

Способ 1. При КЗ в токах и напряжениях есть нулевая и обратная последовательности.



При качаниях нулевая и обратная последовательности отсутствуют.

Способ 2. При КЗ токи и напряжения (сопротивление Z_{K3}) изменяются скачком. При АР сопротивление Z_{AP} изменяется сравнительно медленно.



Δt – время за которое вектор сопротивления пересекает характеристику чувствительного реле и входит в характеристику грубого реле.

Если $\Delta t > t_0$, то действие ДЗ блокируется.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Васильев Алексей Сергеевич
vasilevas@tpu.ru

ТПУ – Томск 2022 г.



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ