

# 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

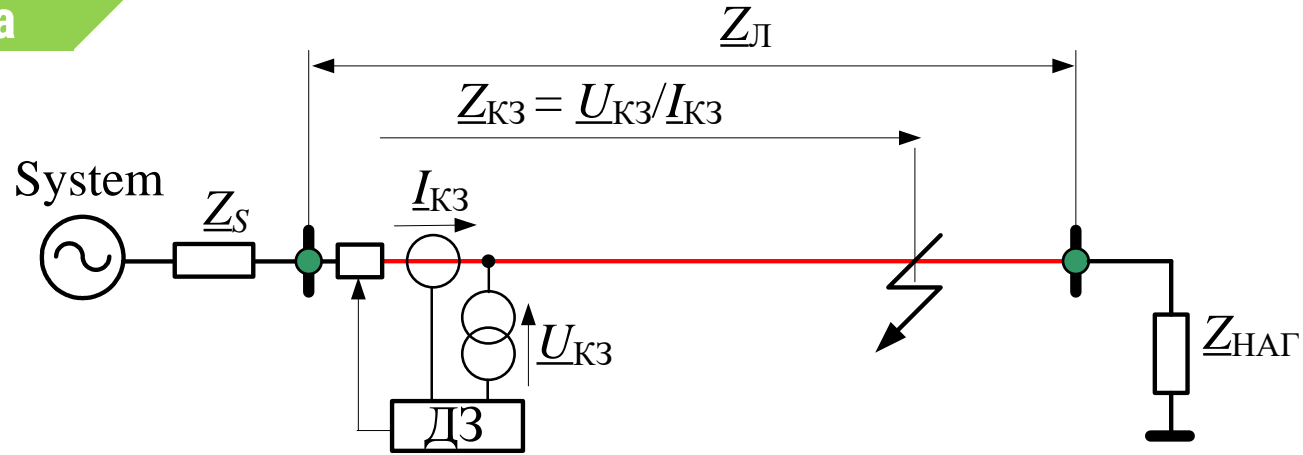
## Дистанционная защита

**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:

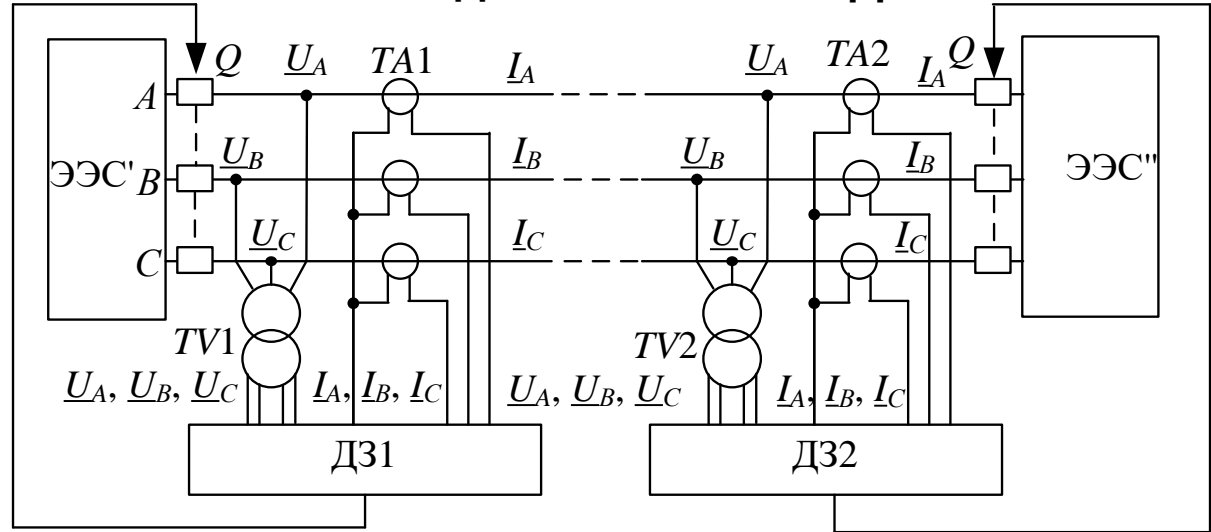
- Основная защита линий 110–750 кВ,
- Резервная защита для Т блоков и АТ 110 кВ и выше,
- Резервная защита для мощных генераторов.

**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:

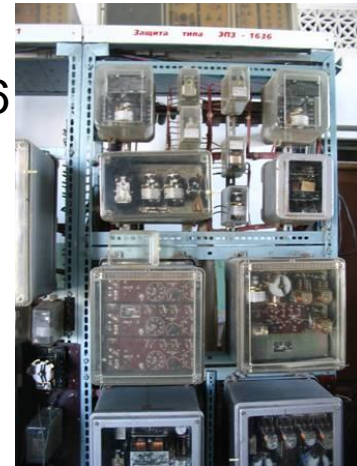


$$\underline{Z}_{AB} = \frac{U_A - U_B}{I_A - I_B} \quad \underline{Z}_{BC} = \frac{U_B - U_C}{I_B - I_C} \quad \underline{Z}_{CA} = \frac{U_C - U_A}{I_C - I_A}$$

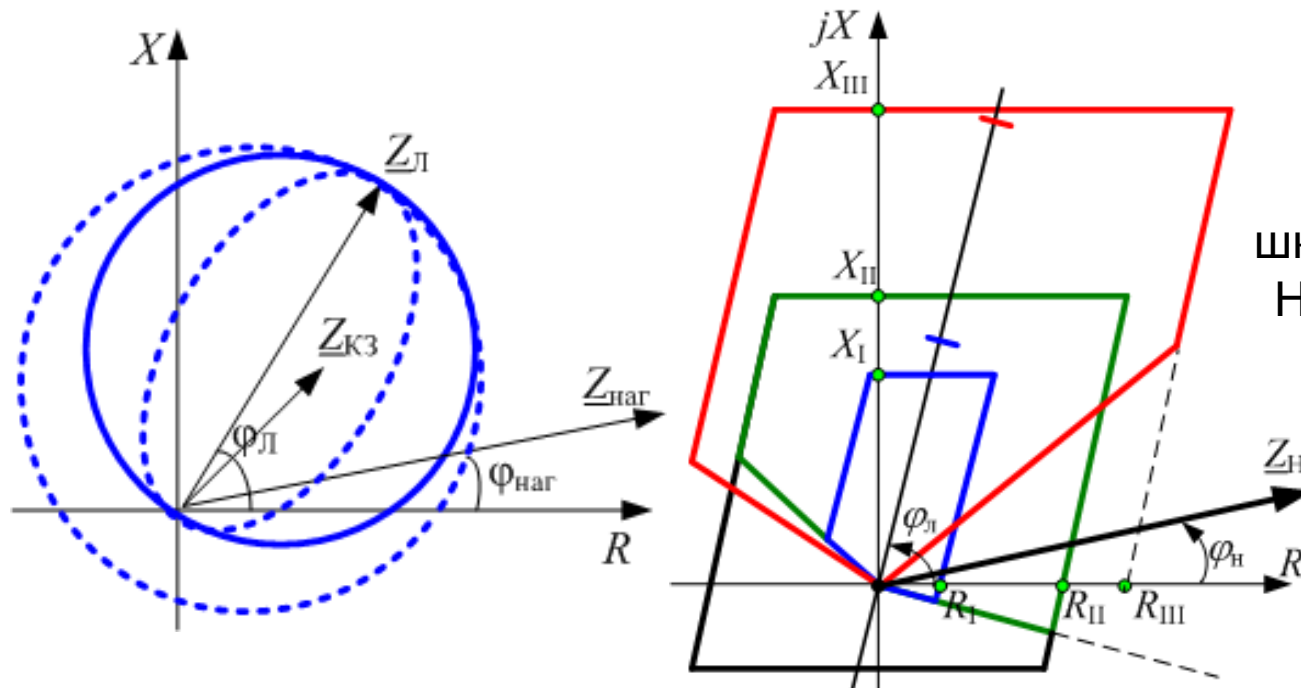
Данный показатель называют **сопротивлением на зажимах реле защиты.**

# Характеристики срабатывания

Панель  
ЭПЗ-1636



Примеры характеристик срабатывания трехступенчатых дистанционных микропроцессорных защит

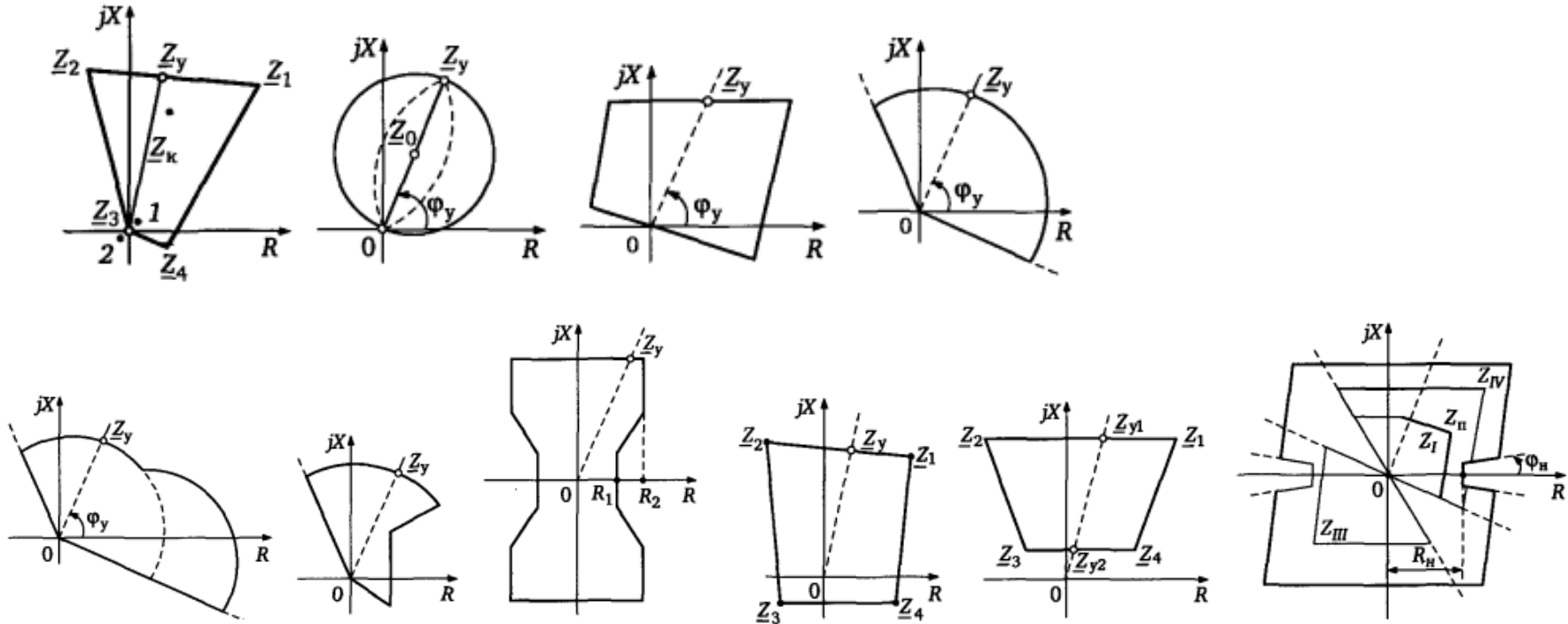


шкаф ШЭ 2607,  
НПП «ЭКРА»,  
Россия



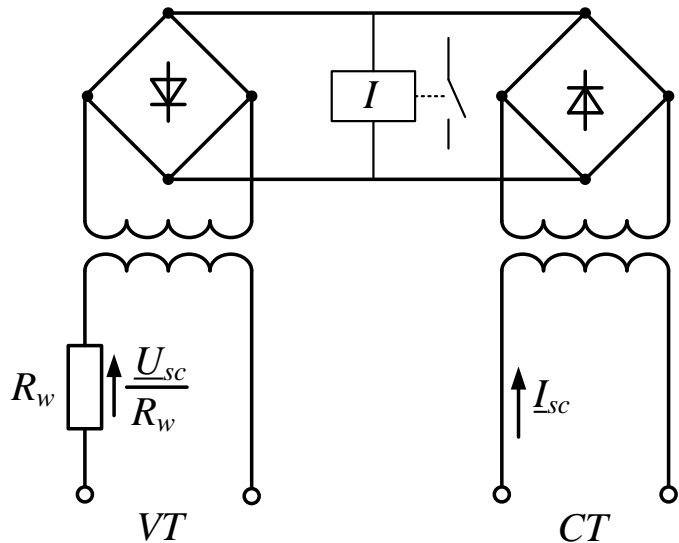
# Характеристики срабатывания

## Виды характеристик срабатывания дистанционных органов

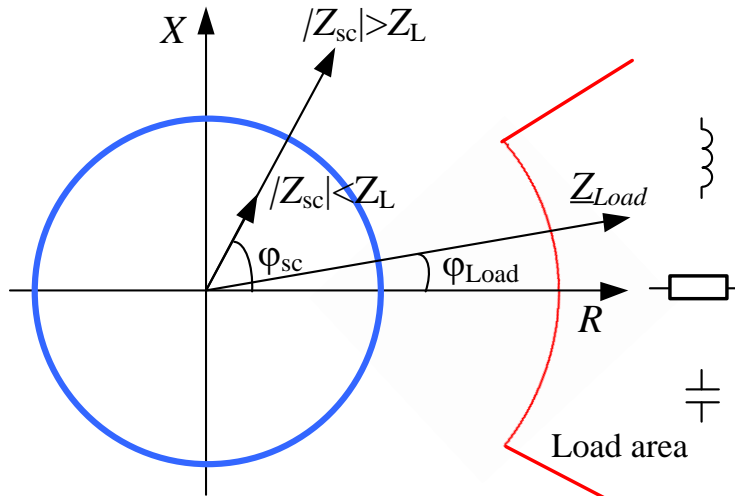


# Характеристики измерительных органов ДЗ

**Реле полного сопротивления** – круговая характеристика с центром в начале координат



Мостовая схема сравнения на выпрямителях



Характеристика срабатывания

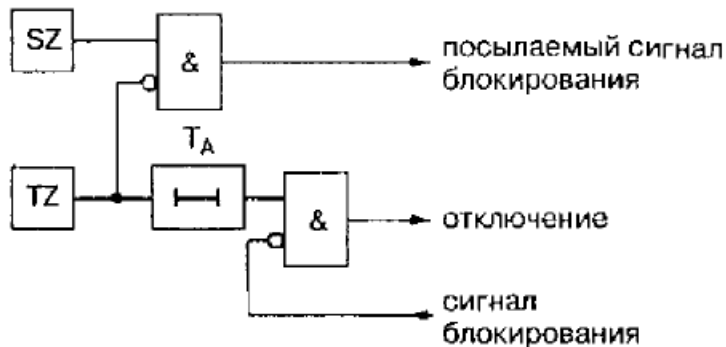
**Условие срабатывания**

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



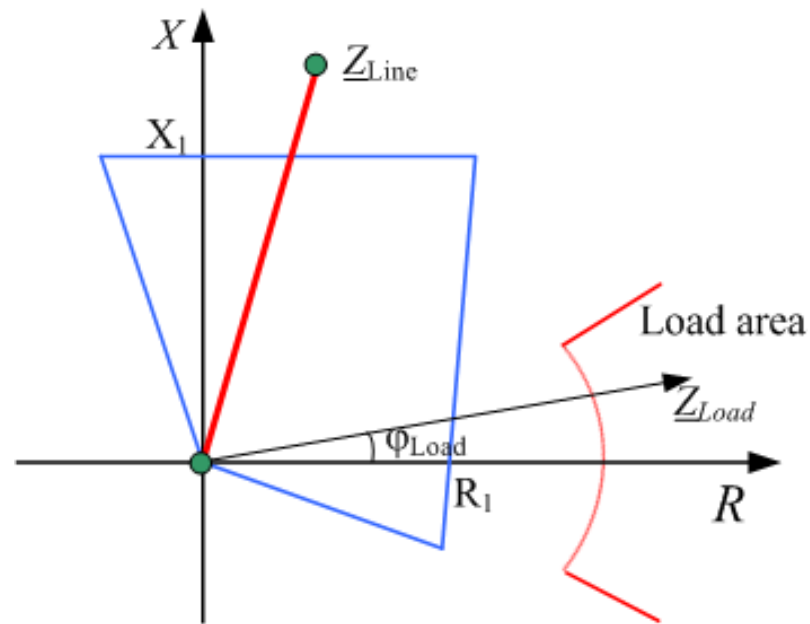


### Логическая схема защиты



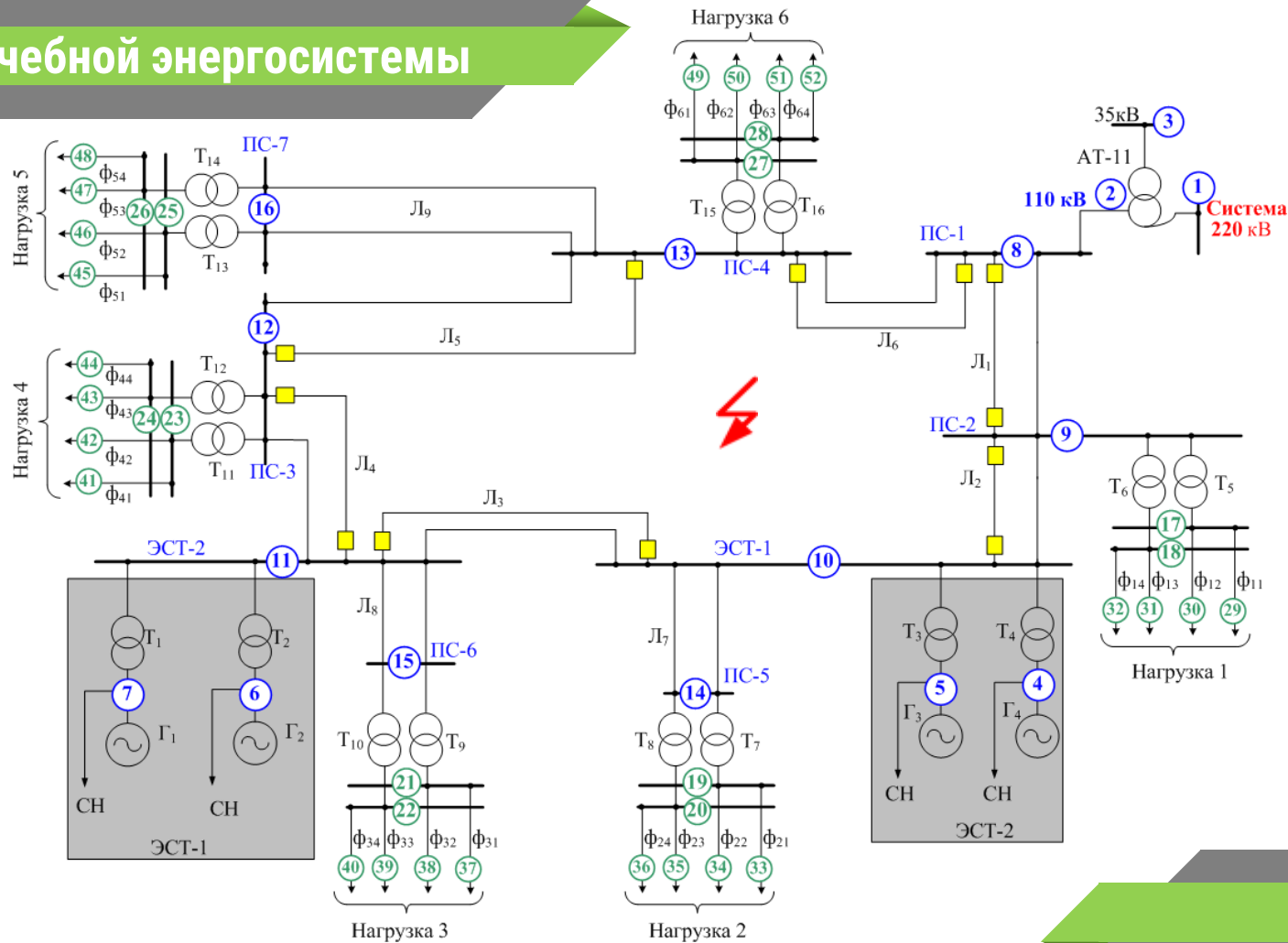
SZ – блокирующий сигнал  
(send zone, blocking signal)

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



Характеристика  
срабатывания

# Схема учебной энергосистемы



## Расчет характеристик срабатывания ДЗ

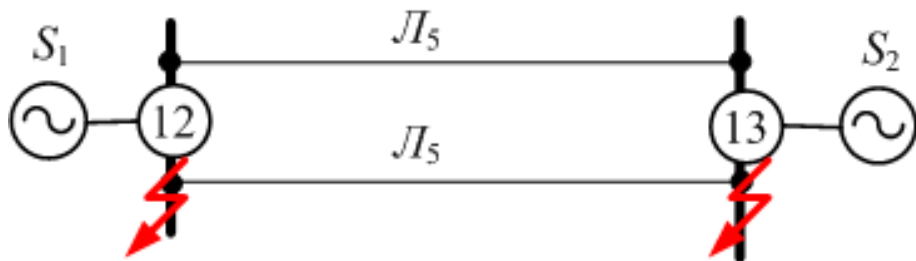
### Первая ступень

Зона действия 0,85l

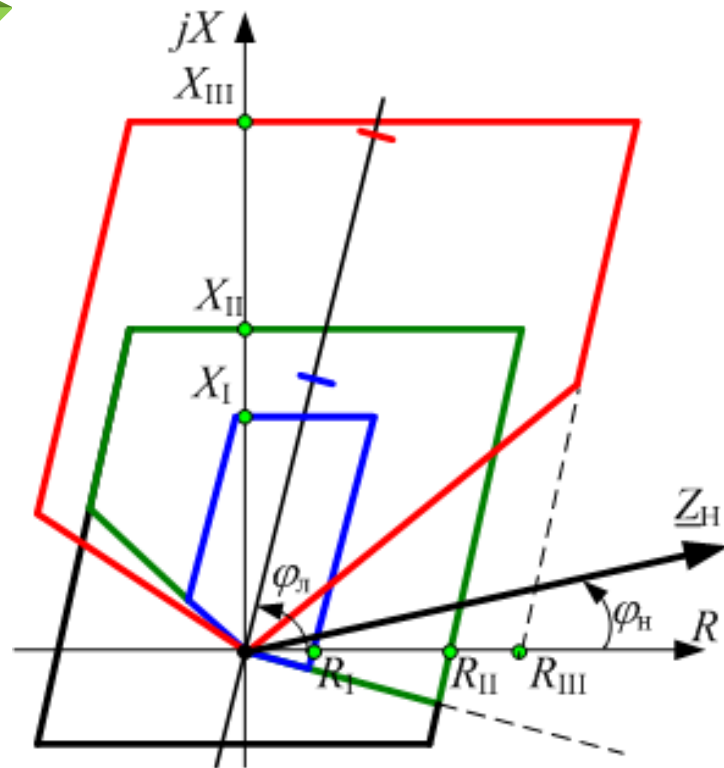
$$\underline{Z}_I = K_H \cdot \underline{Z}_{Л} = R_I + jX_I$$

$$K_H = 0,85$$

$$t_I = 0,02-0,04 \text{ с}$$



$$R_I = 0,56X_I$$



Характеристика срабатывания

# Расчет характеристик срабатывания ДЗ

## Вторая ступень

Зона действия 1,1–1,5l

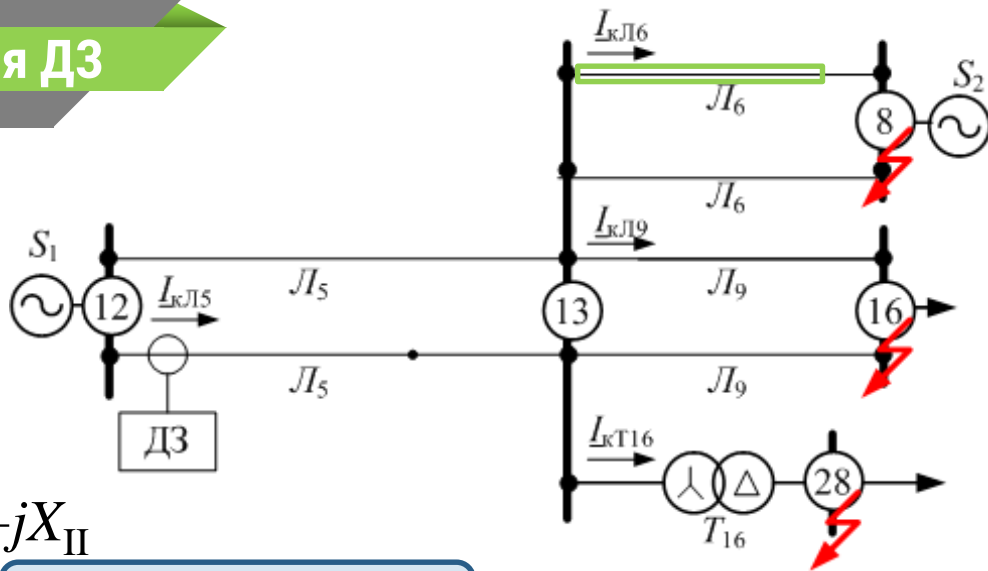
$t_{II} = 0,3–0,5$  с

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

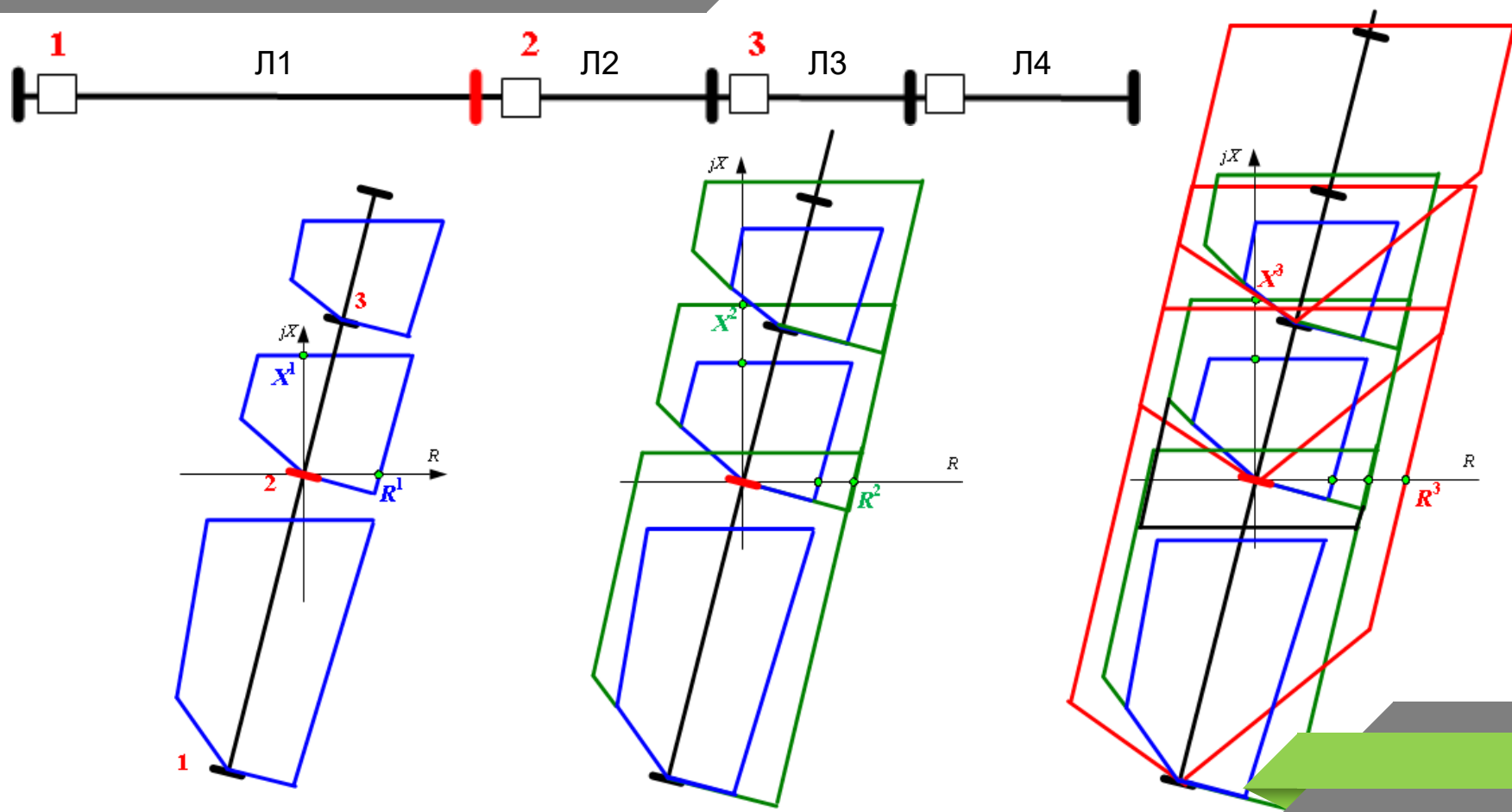
$$K_{\text{ч}} = \underline{Z}_{III} / \underline{Z}_{L5} > 2$$

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

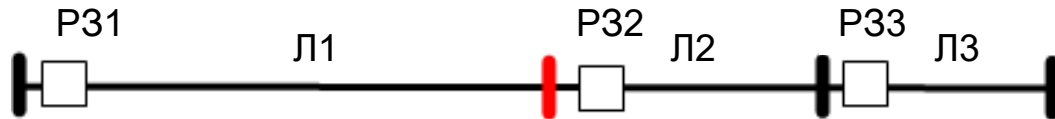
$$\underline{U}_{\text{раб.мин.}} = 0,9U_{\text{ном}} e^{j\delta U}$$

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

# Согласование зон срабатывания защит



## Пример



Какая ступень и какой защиты сработает?

**K31**

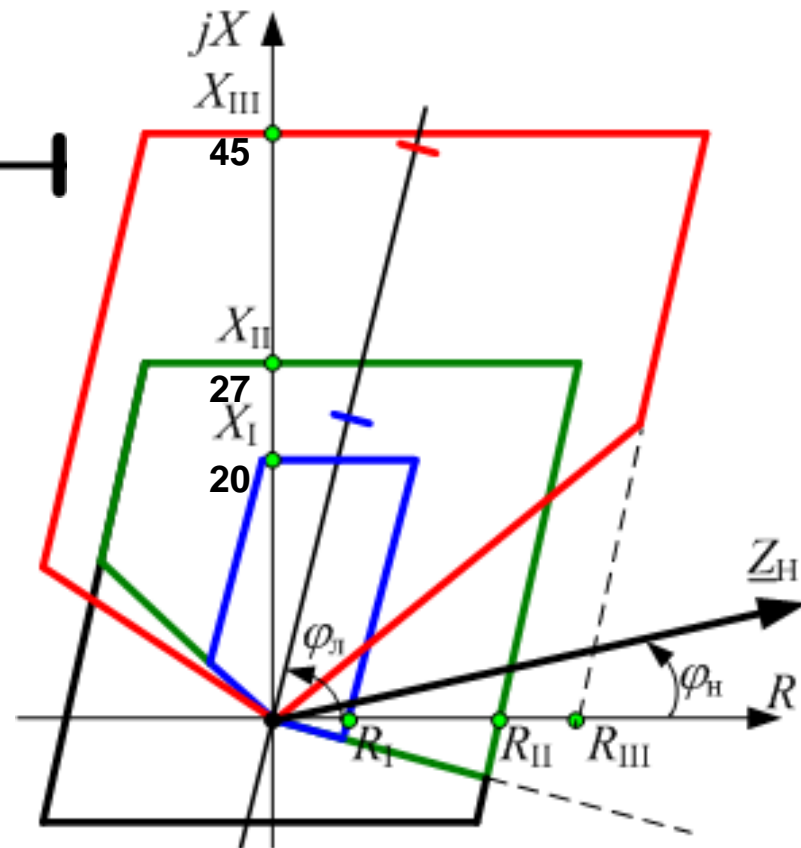
$$U_{AB} = 25e^{j120} \text{ кВ}$$

$$I_A - I_B = 1,3e^{j35} \text{ кА}$$

**K32**

$$U_{AB} = 30e^{j110} \text{ кВ}$$

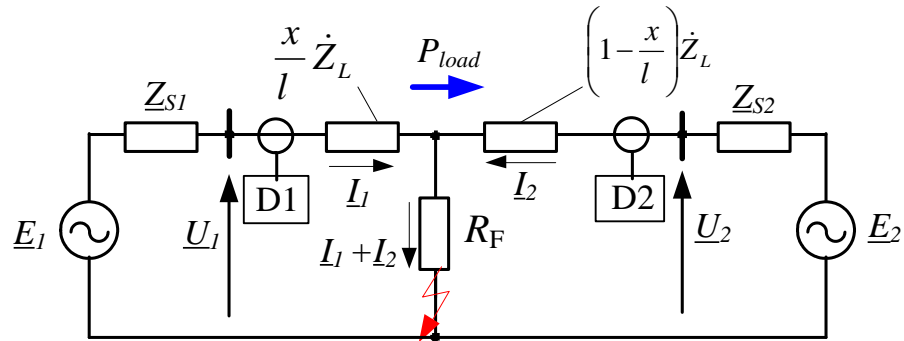
$$I_A - I_B = 1,2e^{j40} \text{ кА}$$





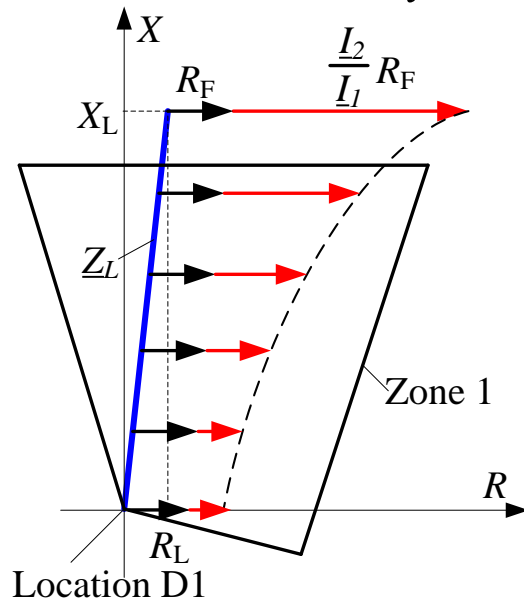
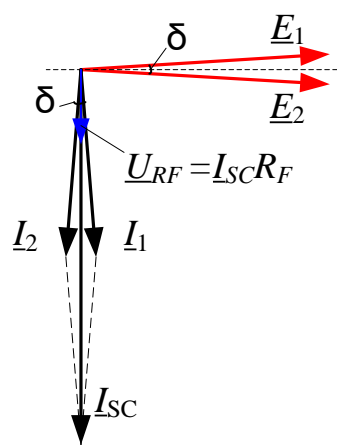
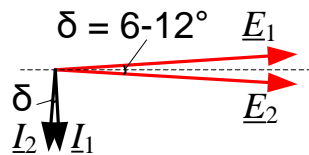


# Влияние подпитки с противоположной стороны на измерение сопротивления при дуговом замыкании



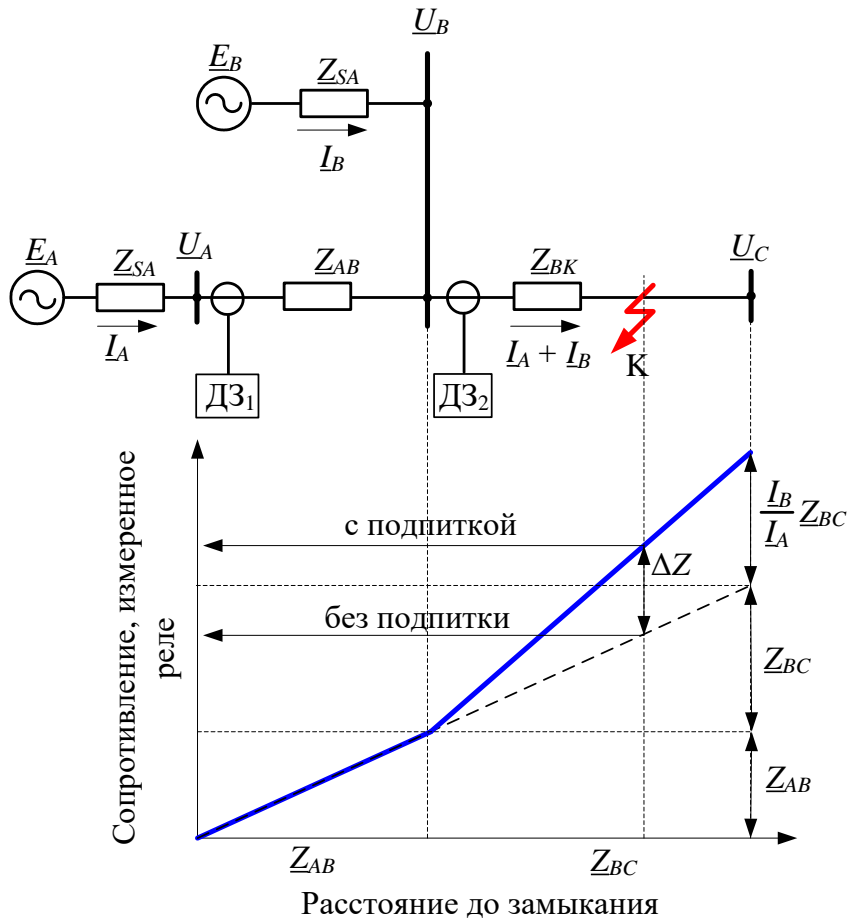
$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \dot{Z}_L \frac{x}{l} + (\dot{I}_1 + \dot{I}_2) R_F$$

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



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

# Влияние промежуточной подпитки на измерение сопротивления

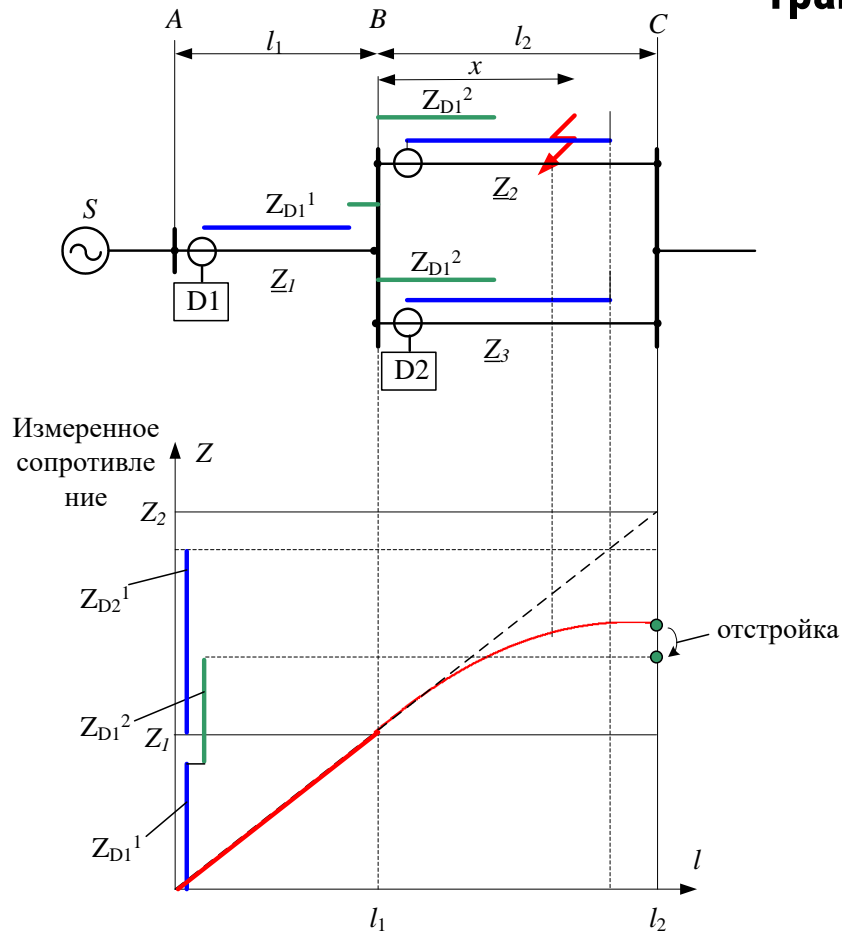


Определить сопротивление, измеренное реле  $DZ_1$  с учетом подпитки от шин В

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

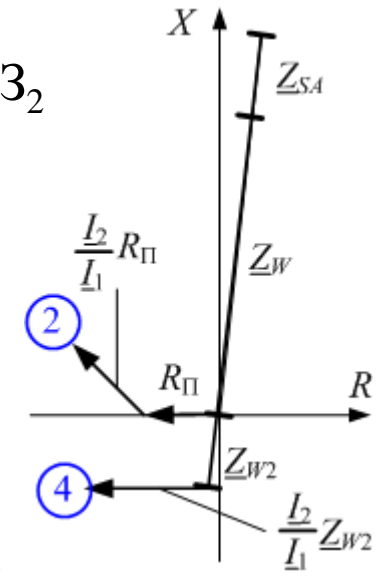
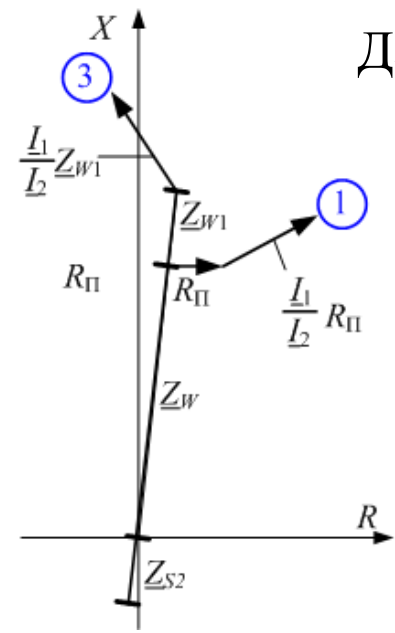
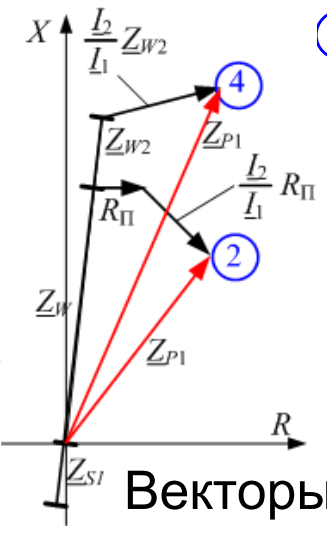
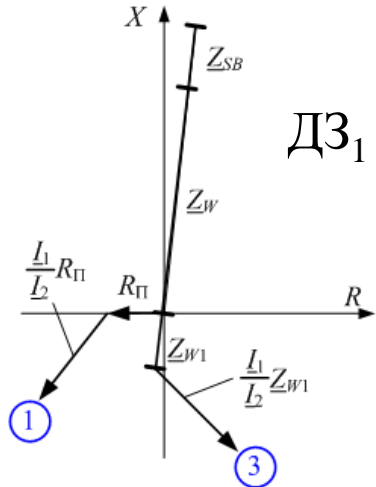
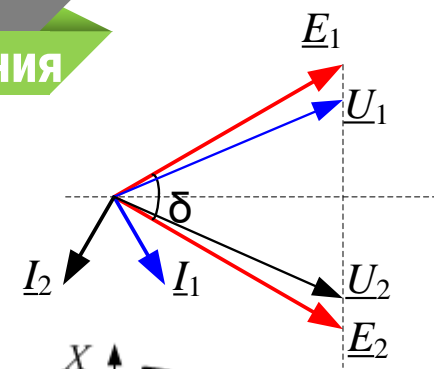
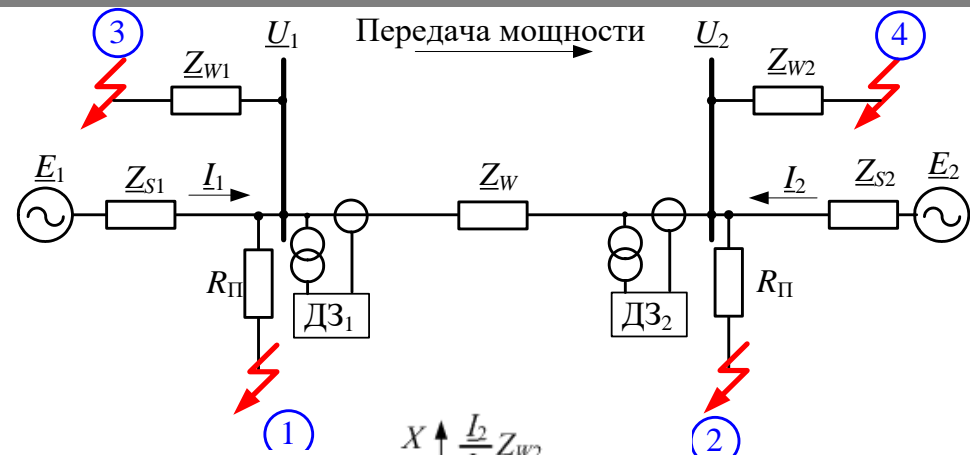
$$\dot{Z}_{DZ1} = \dot{Z}_{AB} + \dot{Z}_{BK} + \dot{Z}_{BK} \frac{\dot{I}_B}{\dot{I}_A}$$

## 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  $\delta$  при вращении вектора  $\underline{U}_1$  относительно  $\underline{U}_2$ ).

Одна из причин качаний – КЗ.

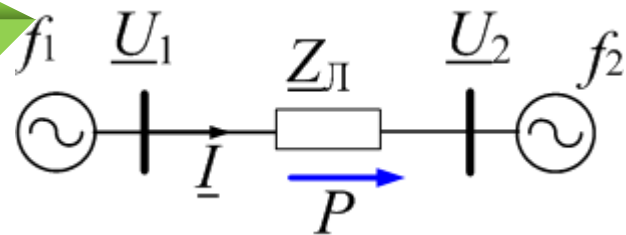
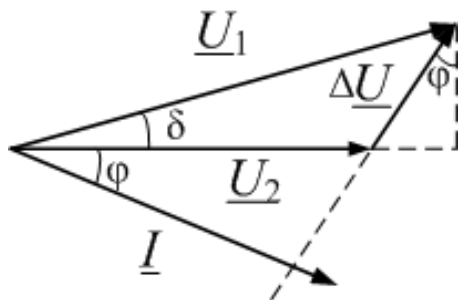


Схема электропередачи и векторная диаграмма в нормальном режиме работы



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

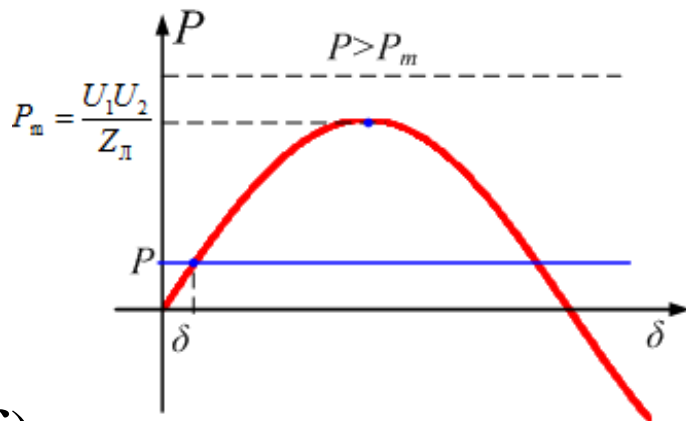
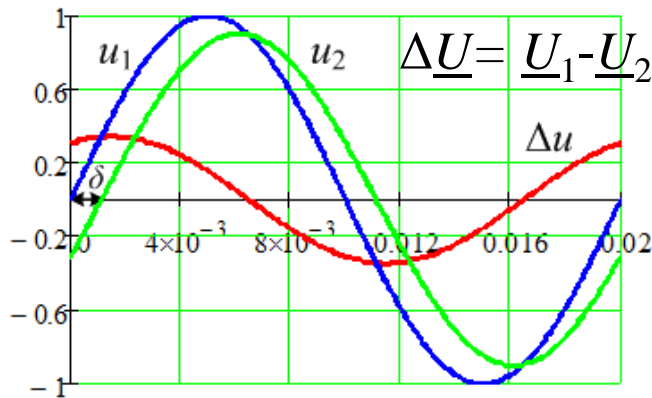


Диаграмма мощностей



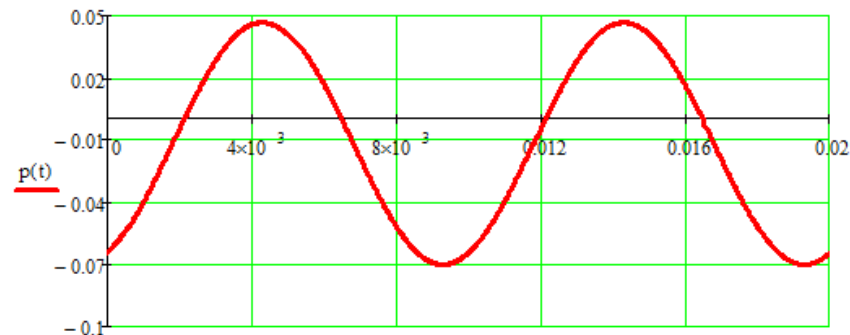
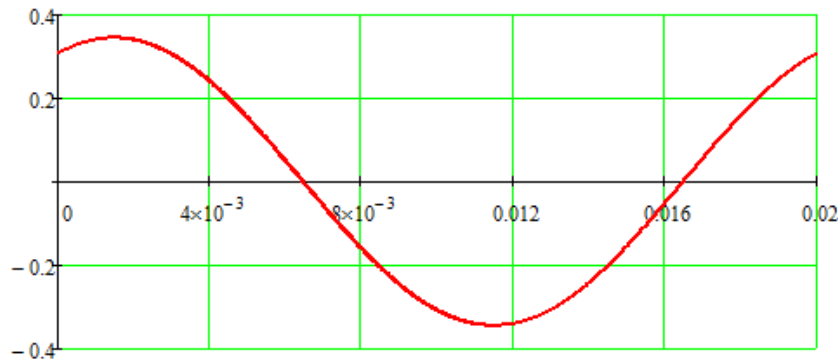
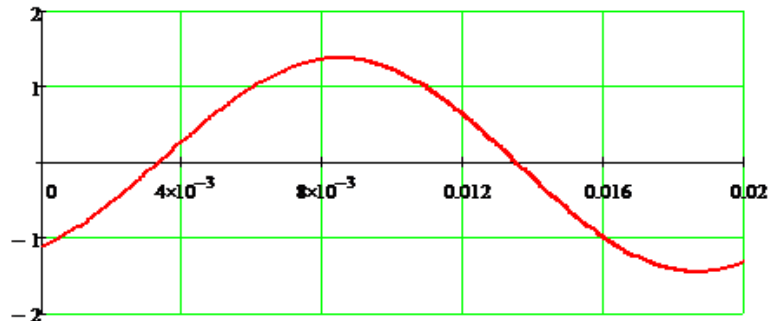
# Причины неправильной работы дистанционной защиты

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

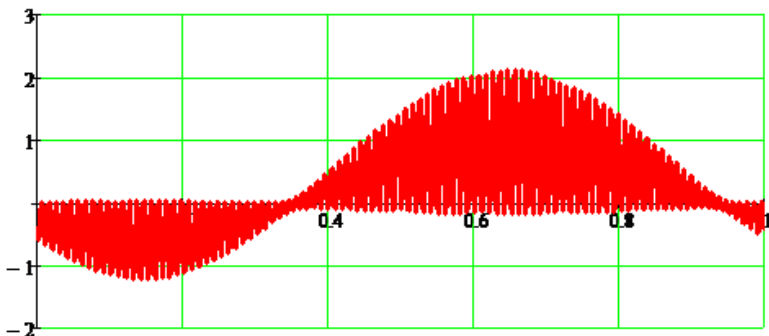
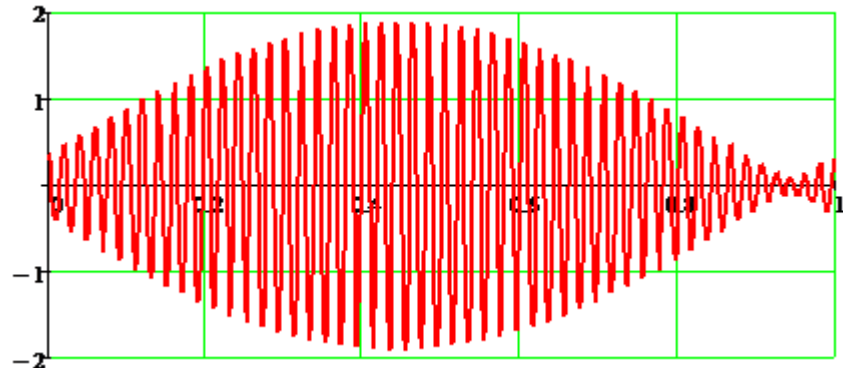
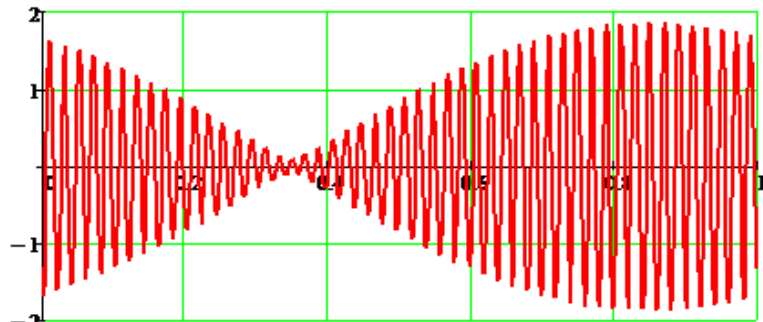
# Причины неправильной работы дистанционной защиты

Признаки нарушения синхронизма: периодические изменения амплитуды тока и напряжения.

$i(t)$

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

$u(t)$

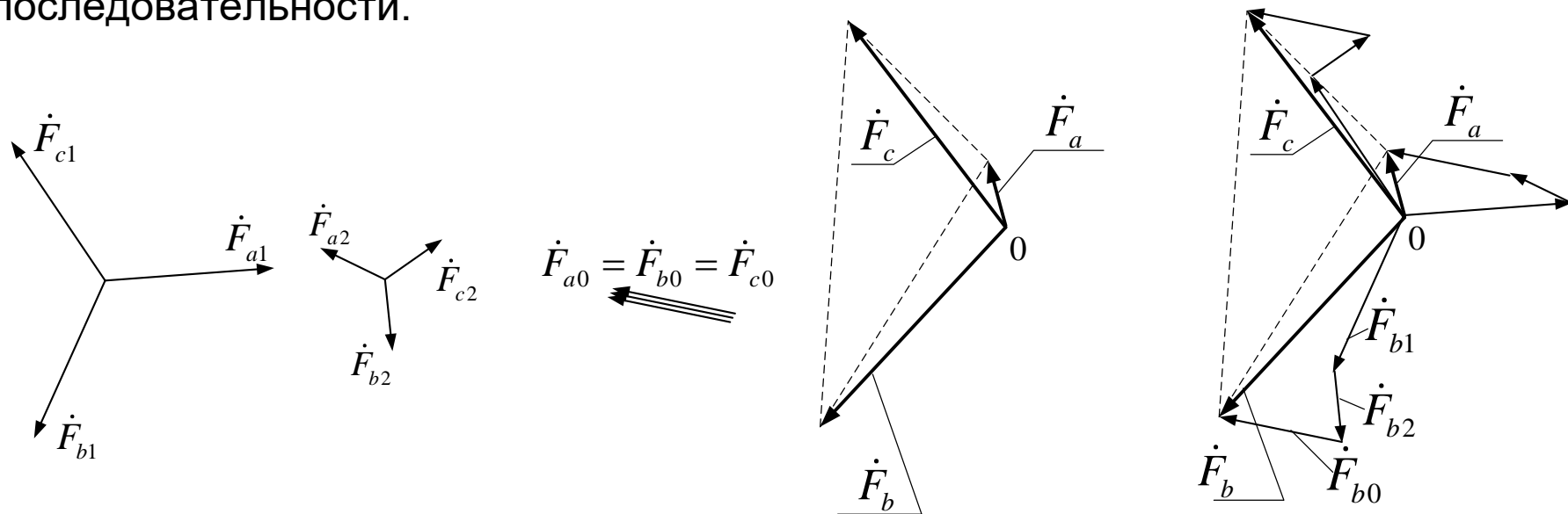


$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

Диапазон времени – 1 с

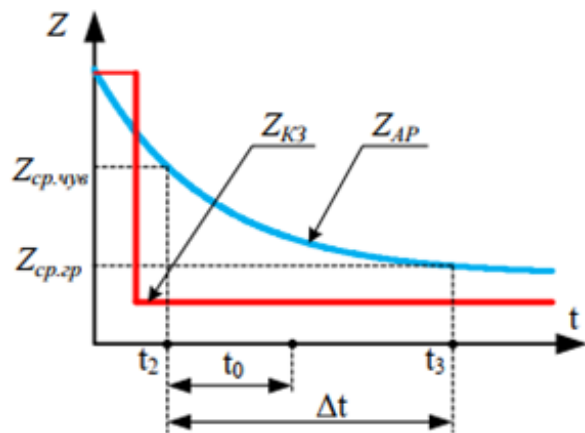
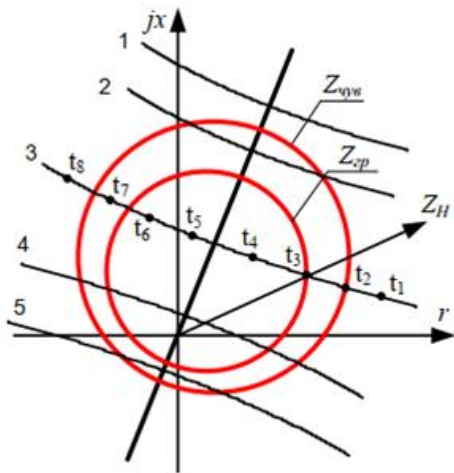


**Способ 1.** При КЗ в токах и напряжениях есть нулевая и обратная последовательности.



При качаниях нулевая и обратная последовательности отсутствуют.

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



$\Delta t$  – 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