

# Комплексы релейной защиты линий электропередач

## Дистанционная защита

Дисциплина

Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем

доцент ОЭЭ  
Шестакова Вера Васильевна

2021

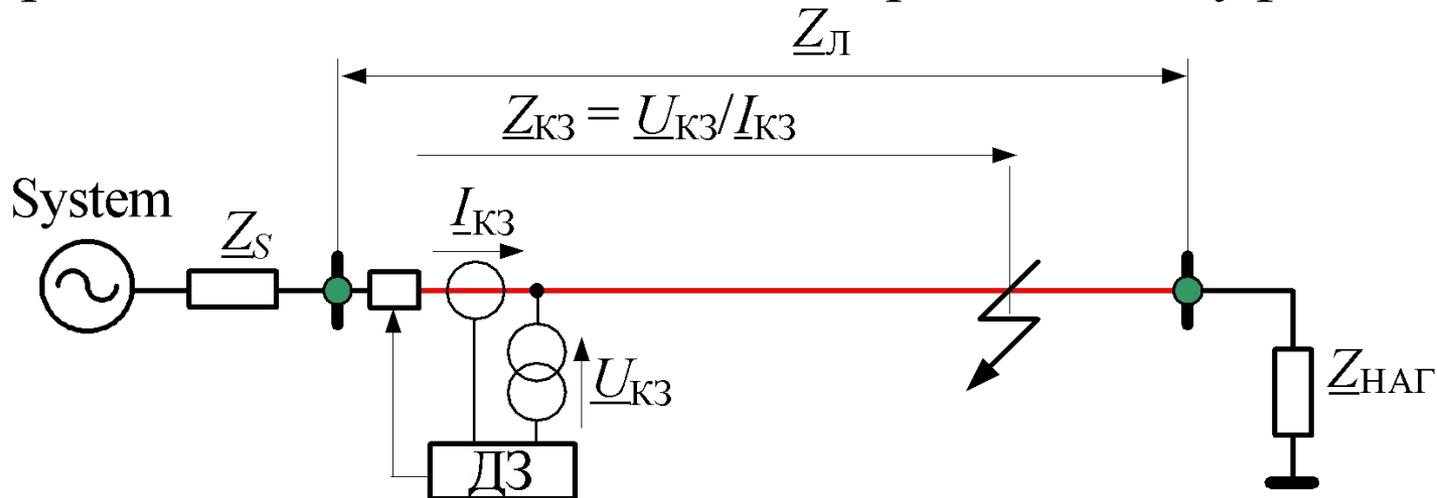
# Дистанционная защита линий

## Область применения:

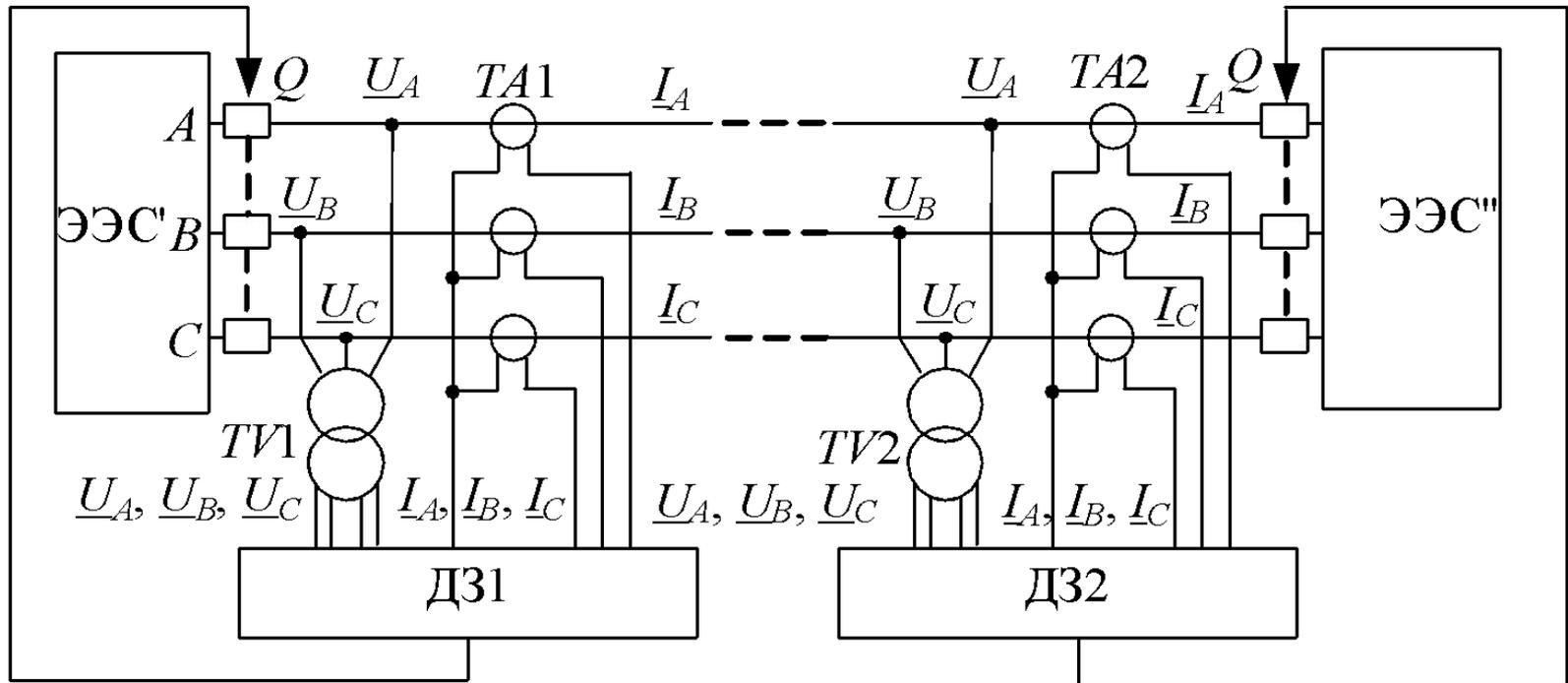
- линии 110 – 750 кВ,
- для Т блоков и АТ 220 кВ и выше,
- для мощных генераторов.

**Принцип действия:** сравнение комплексного сопротивления между местом установки ДЗ и местом КЗ с заданной характеристикой срабатывания.

ДЗ предназначена для отключения трех- и междуфазных КЗ.



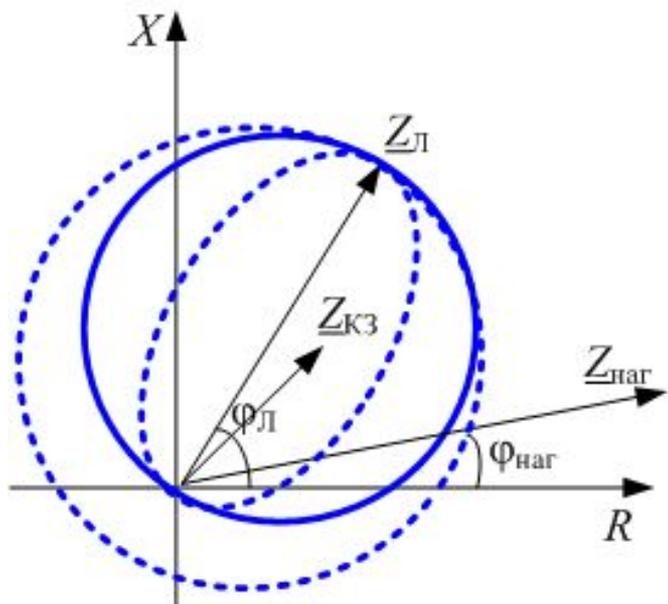
# Схема подключения измерительных трансформаторов и подведения входных величин к ДЗ



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

$$\underline{Z}_{AB} = \frac{\underline{U}_A - \underline{U}_B}{\underline{I}_A - \underline{I}_B} \quad \underline{Z}_{BC} = \frac{\underline{U}_B - \underline{U}_C}{\underline{I}_B - \underline{I}_C} \quad \underline{Z}_{CA} = \frac{\underline{U}_C - \underline{U}_A}{\underline{I}_C - \underline{I}_A}$$

# Примеры характеристик срабатывания (ХС) трехступенчатых дистанционных защит

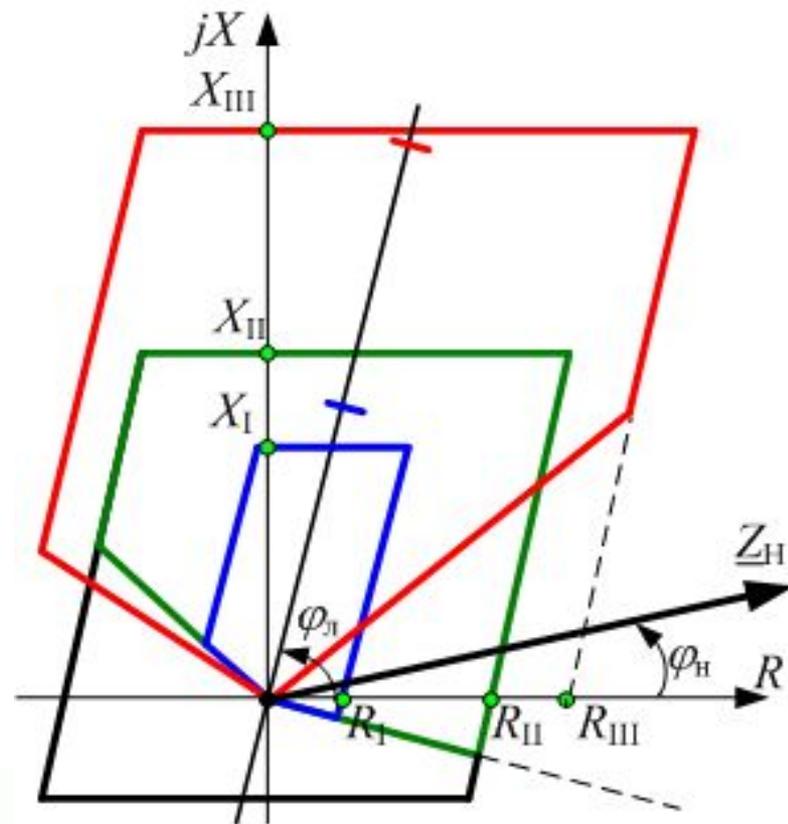


Круговые и эллиптические хар-ки

Электромеханическая база



Панель  
ЭПЗ-1636

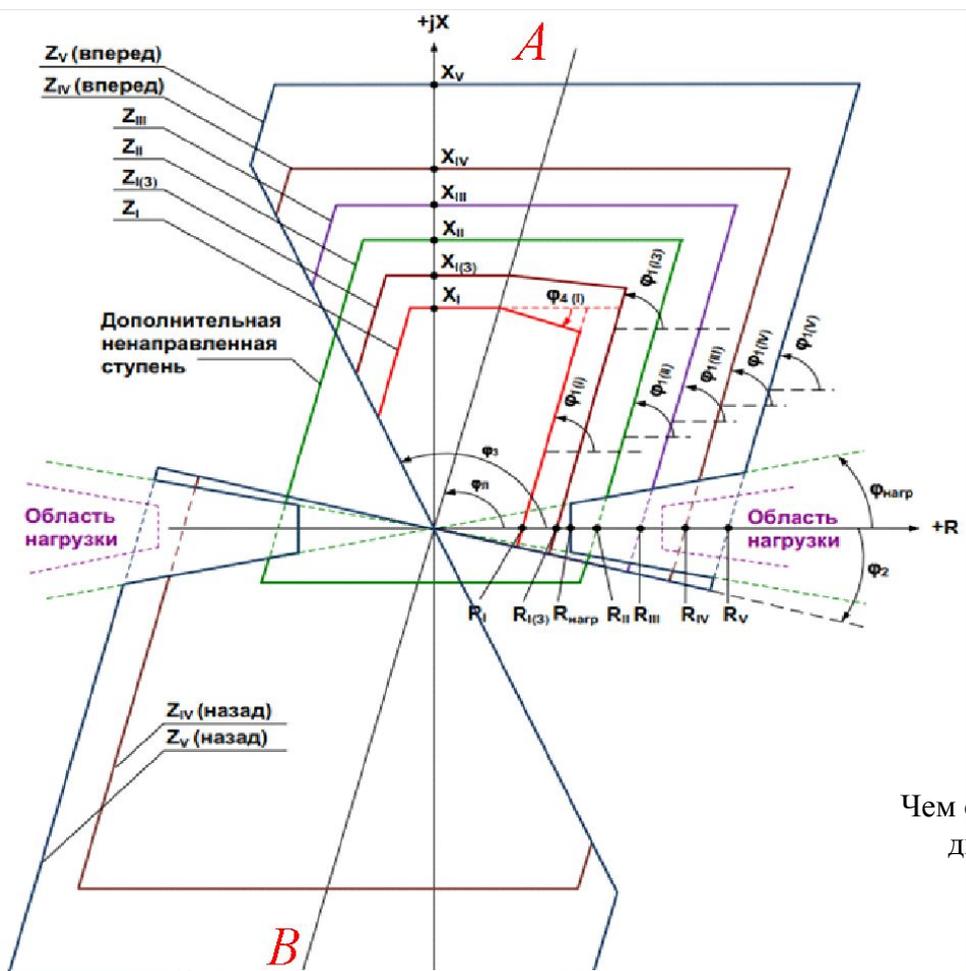


Полигональные хар-ки

Микропроцессорная база

шкаф ШЭ 2607,  
НПП «ЭКРА», Россия

# Характеристика срабатывания дистанционной защиты



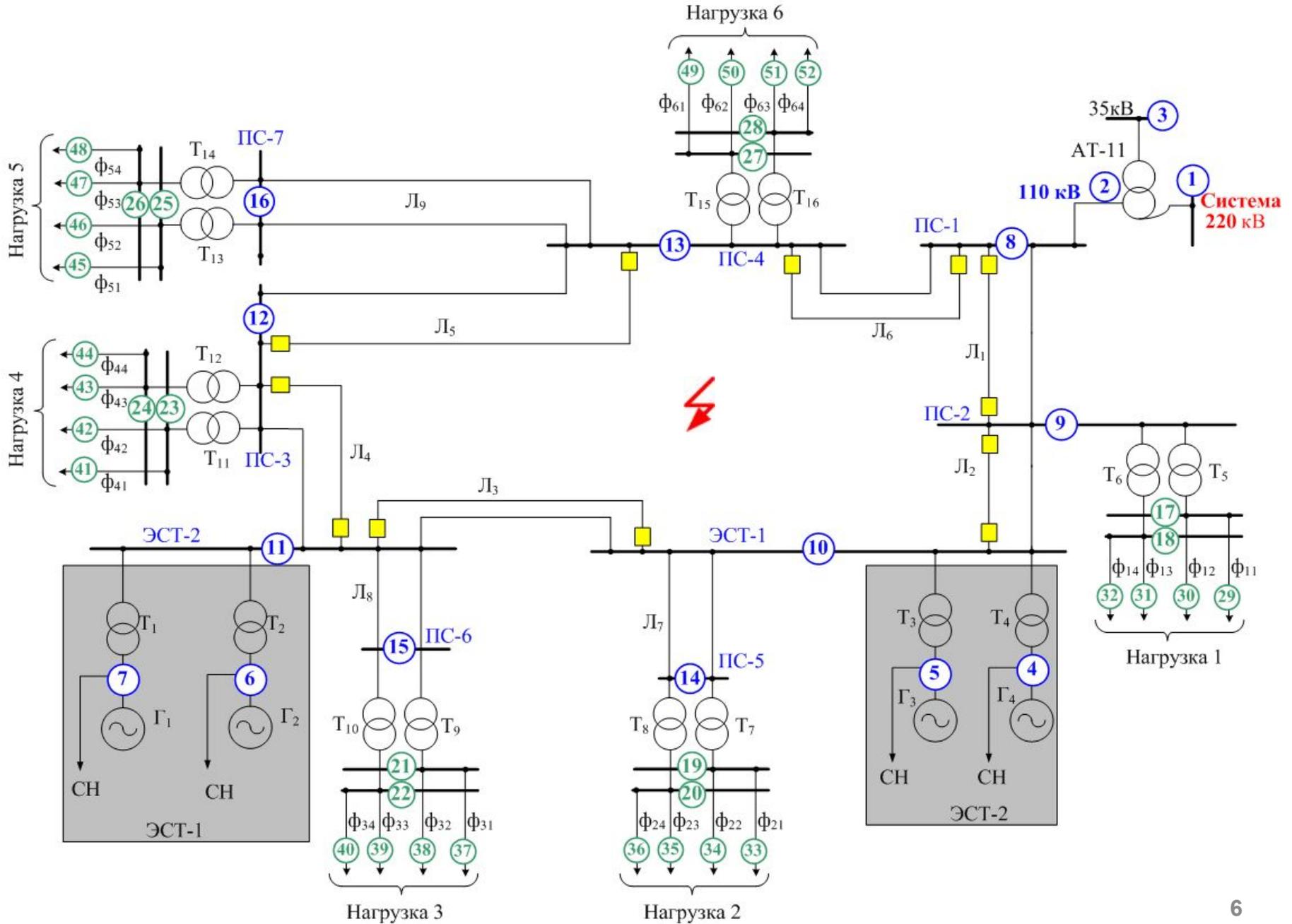
шкаф ШЭ 2607 016\_200,  
НПП «ЭКРА», Россия,  
Стр. 22 в описании

Чем определяются диапазоны?

Ступень ДЗ	Диапазон времени, с
I	0.0 – 15.0
II	0.05 – 15.0
III	0.05 – 15.0
IV	0.0 – 15.0
V	0.0 – 15.0

Ступень ДЗ	Диапазон изменения параметров (вторичные величины)					
	$R_{уст}$ , (Ом на фазу)	$X_{уст}$ , (Ом на фазу)	$\varphi_1, ^\circ$	$\varphi_2, ^\circ$	$\varphi_3, ^\circ$	$\varphi_4, ^\circ$
I	$(1.0 - 500.0) / I_{НОМ}$	$(1.0 - 500.0) / I_{НОМ}$	45 ÷ 89	- 89 ÷ 0	91 ÷ 135	- 45 ÷ 0
II						-
III						-
IV						-
V						-
I «земл»						- 12

# Схема учебной энергосистемы



# РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК СРАБАТЫВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

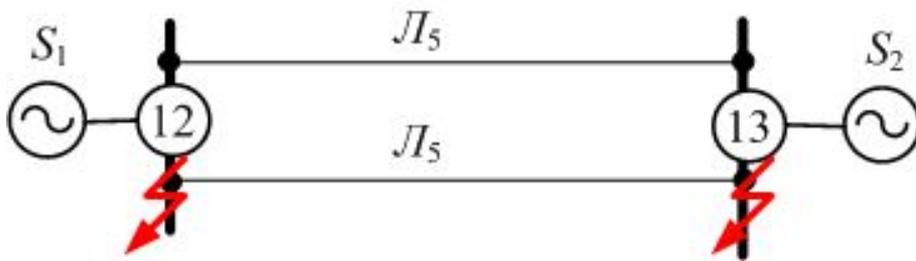
**Первая ступень** — отстраивается от трехфазного КЗ на шинах  
противоположной ПС

Зона действия 0,85l

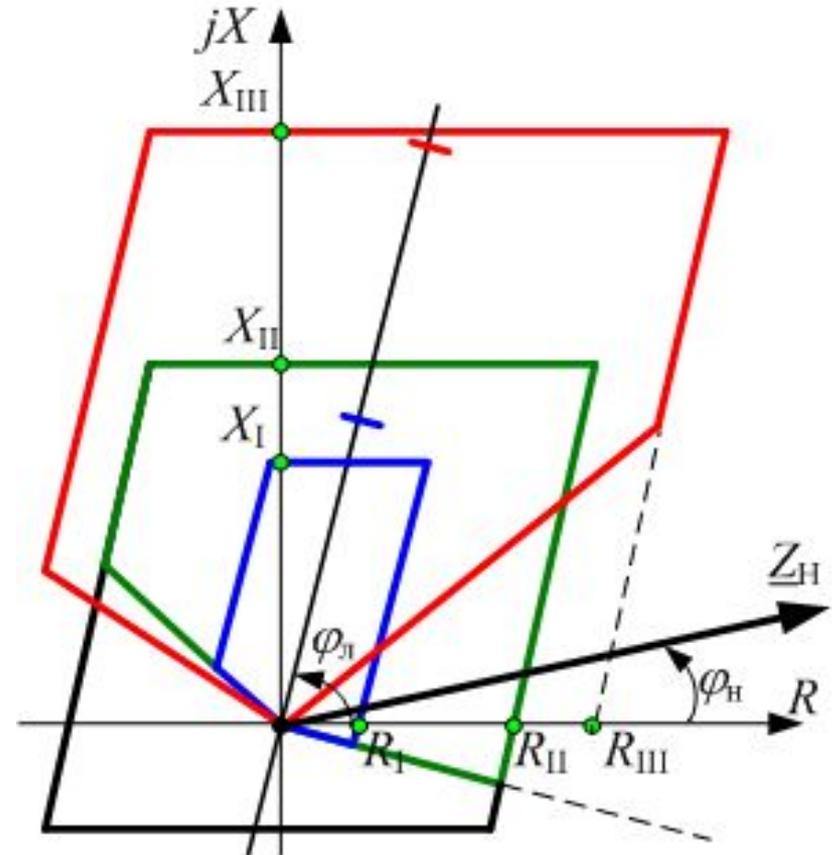
$$\underline{Z}_I = K_H \cdot \underline{Z}_L = R_I + jX_I$$

$$K_H = 0.85$$

$$t_I = 0.02 - 0.04 \text{ с}$$



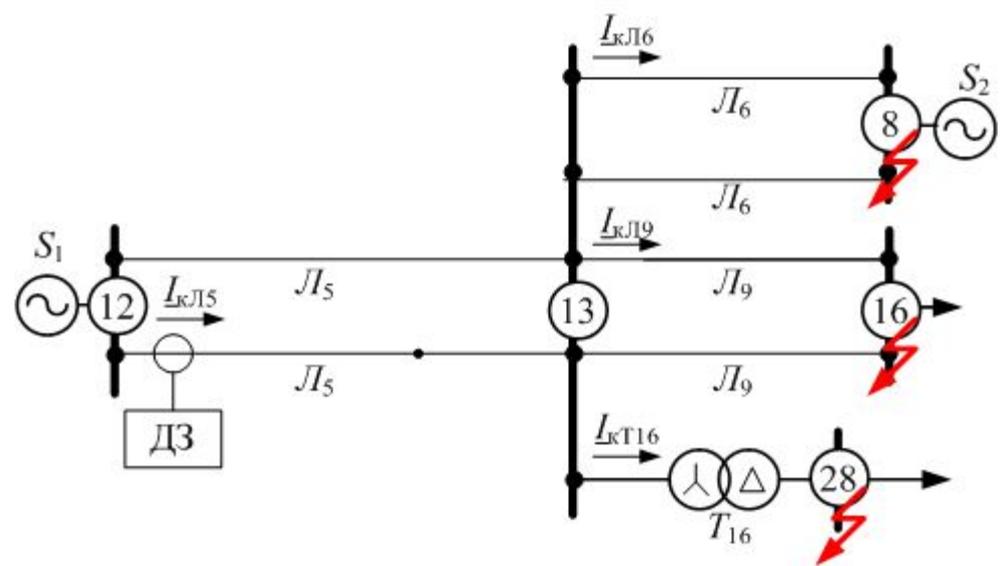
$$R_I = 0.56X_I$$



# Вторая ступень

$$t_{II} = 0.3 - 0.5 \text{ с}$$

Зона действия 1,1-1,5l



1. Согласуется с ХС первой ступени предыдущей линии

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

$$K_{\text{ТОК}} = \frac{I_{\text{кЛ6}}}{I_{\text{кЛ5}}} \quad K_H = 0.85$$

$$R_{II} = (0.5-0.6)X_{II}$$

2. Отстраивается от КЗ за трансформатором противоположной подстанции

$$\underline{Z}_{II} = K_H (\underline{Z}_{Л5} + K_{\text{ТОК.Т}} \cdot \underline{Z}_{\text{Tmin}}) = R_{II} + jX_{II}$$

$$K_{\text{ч}} = \underline{Z}_{II} / \underline{Z}_{Л5} > 1.25 \text{ для протяженных линий} \quad K_{\text{ТОК.Т}} = \frac{I_{\text{кТ16}}}{I_{\text{кЛ5}}}$$

$$K_{\text{ч}} > 1.5 \text{ для коротких линий с сопротивлением } \underline{Z}_{Л} < 20 \text{ Ом}$$

# Третья ступень

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

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

$$K_H = 1.2, K_B = 1.1$$

$$R_{III} = (0.5-0.6)X_{III}$$

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

$$U_{\text{раб.мин.}} = 0.9U_{\text{ном}} e^{jdU}$$

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

$$I_{\text{раб.макс.}} = I_{ij} e^{j\text{Угол } I_{\text{лин}}}$$

$$K_{\text{ч}} = \underline{Z}_{III} / \underline{Z}_{Л5} > 2$$

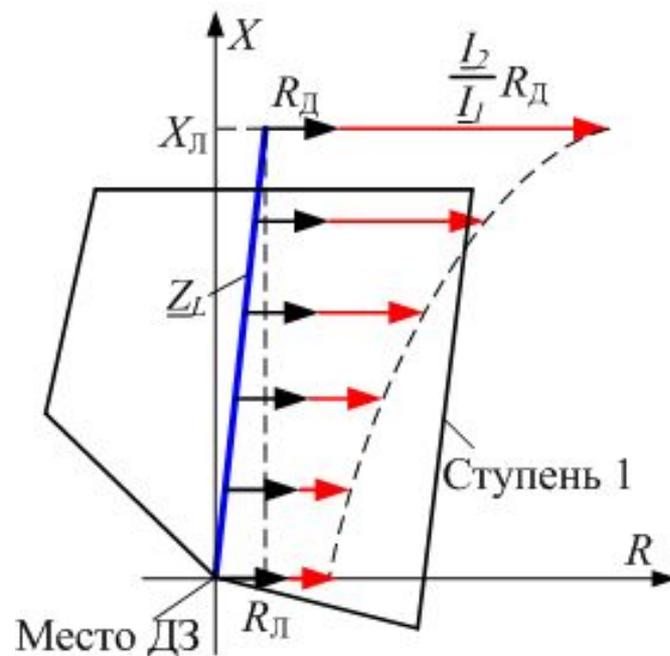
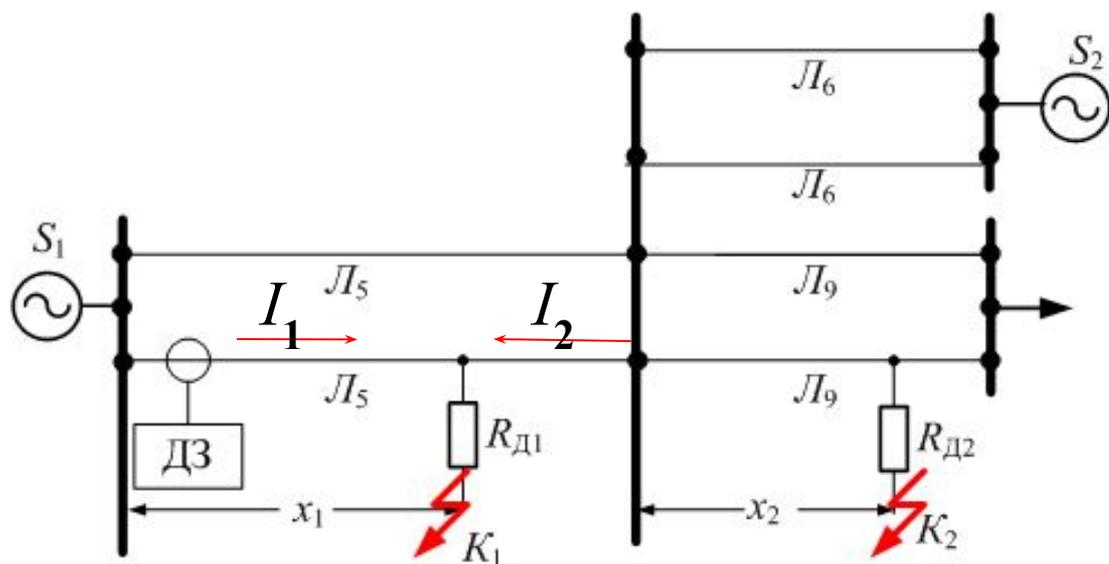
Выдержки времени выбирают по встречно-ступенчатому принципу (как для МТЗН).

# Оценка селективности защиты.

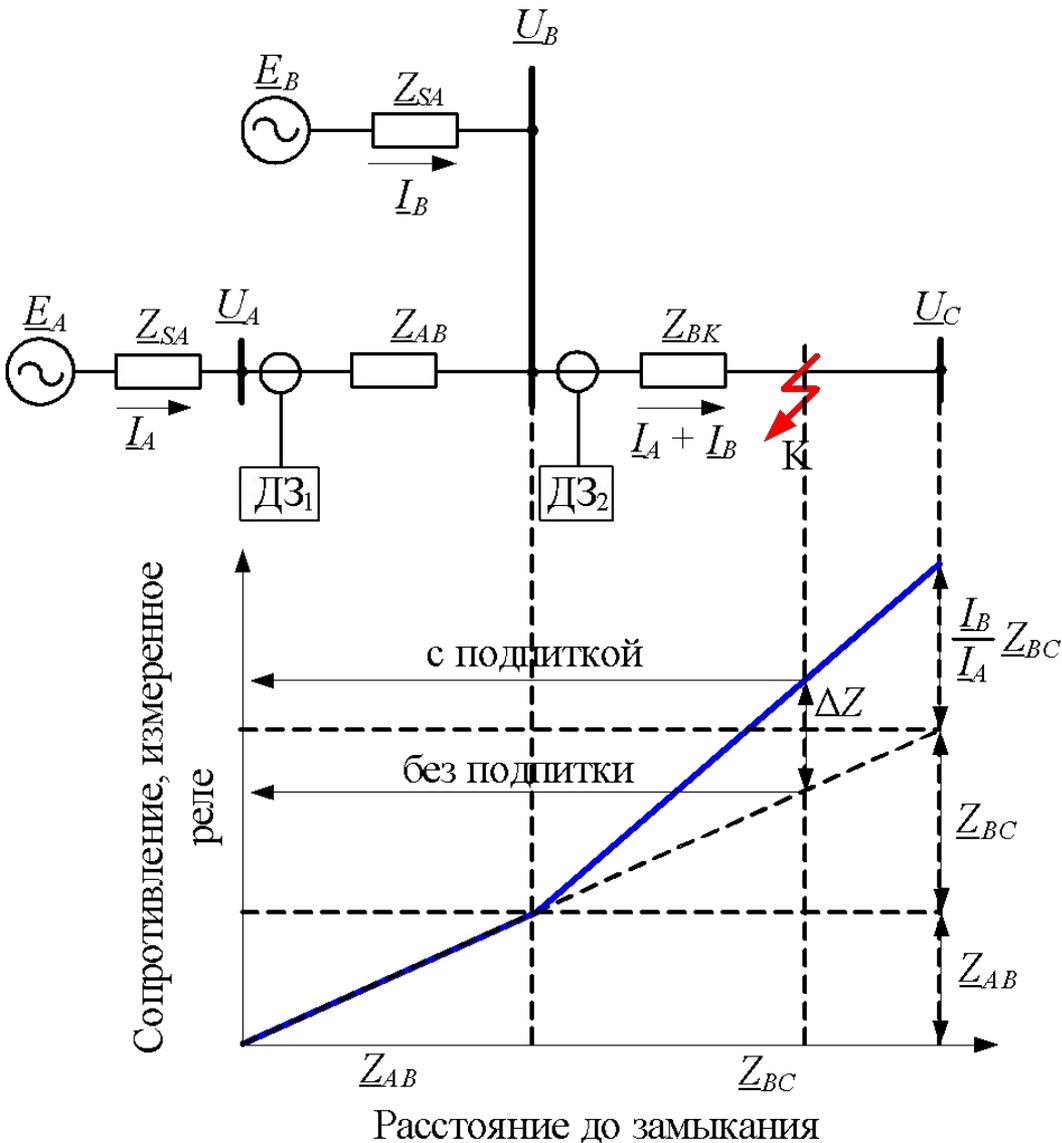
## Необходимо учитывать влияние:

- сопротивления дуги (0.1 – 40 Ом);
- промежуточной подпитки и подпитки от шин противоположной ПС;
- режима сети (включение – отключение линий).

Дуга –  $R_D \approx 5 \text{ Ом}$



# Влияние промежуточной подпитки на измерение сопротивления

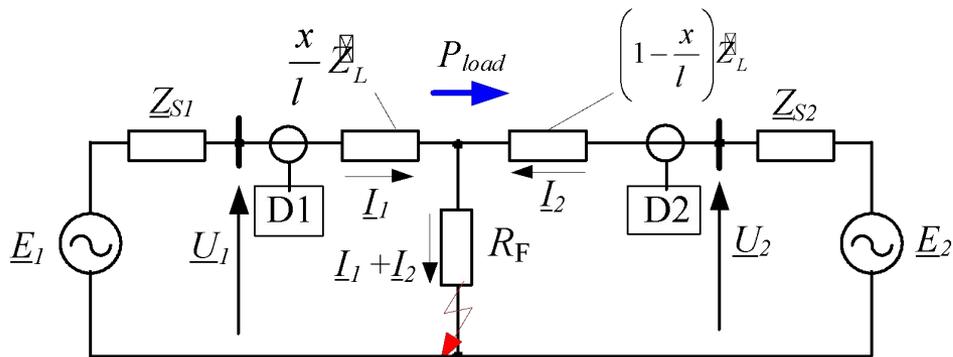


Определить сопротивление, измеренное реле  $DZ_1$  с учетом подпитки от шин В

$$U_A = I_A Z_{AB} + (I_A + I_B) Z_{BK}$$

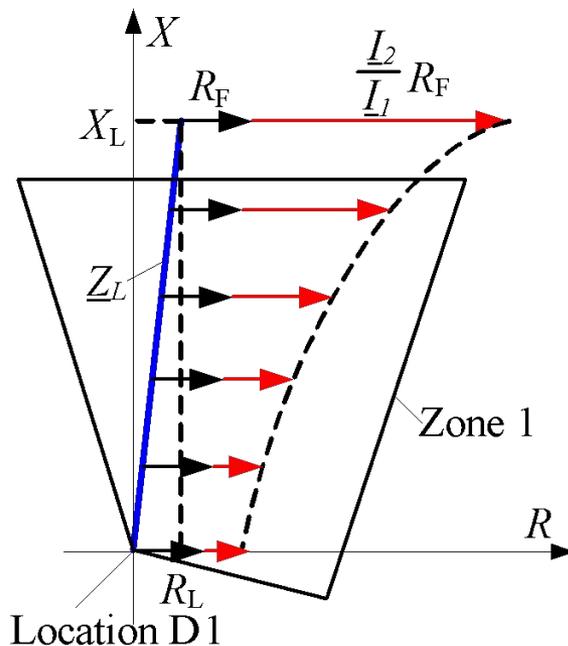
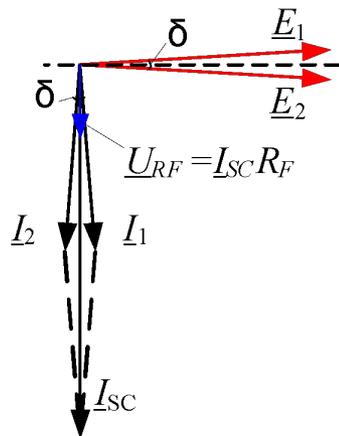
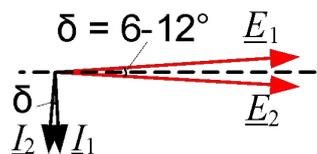
$$Z_{DZ1} = Z_{AB} + Z_{BK} + Z_{BK} \frac{I_B}{I_A}$$

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



$$U_1 = I_1 Z_L \frac{x}{l} + (I_1 + I_2) R_F$$

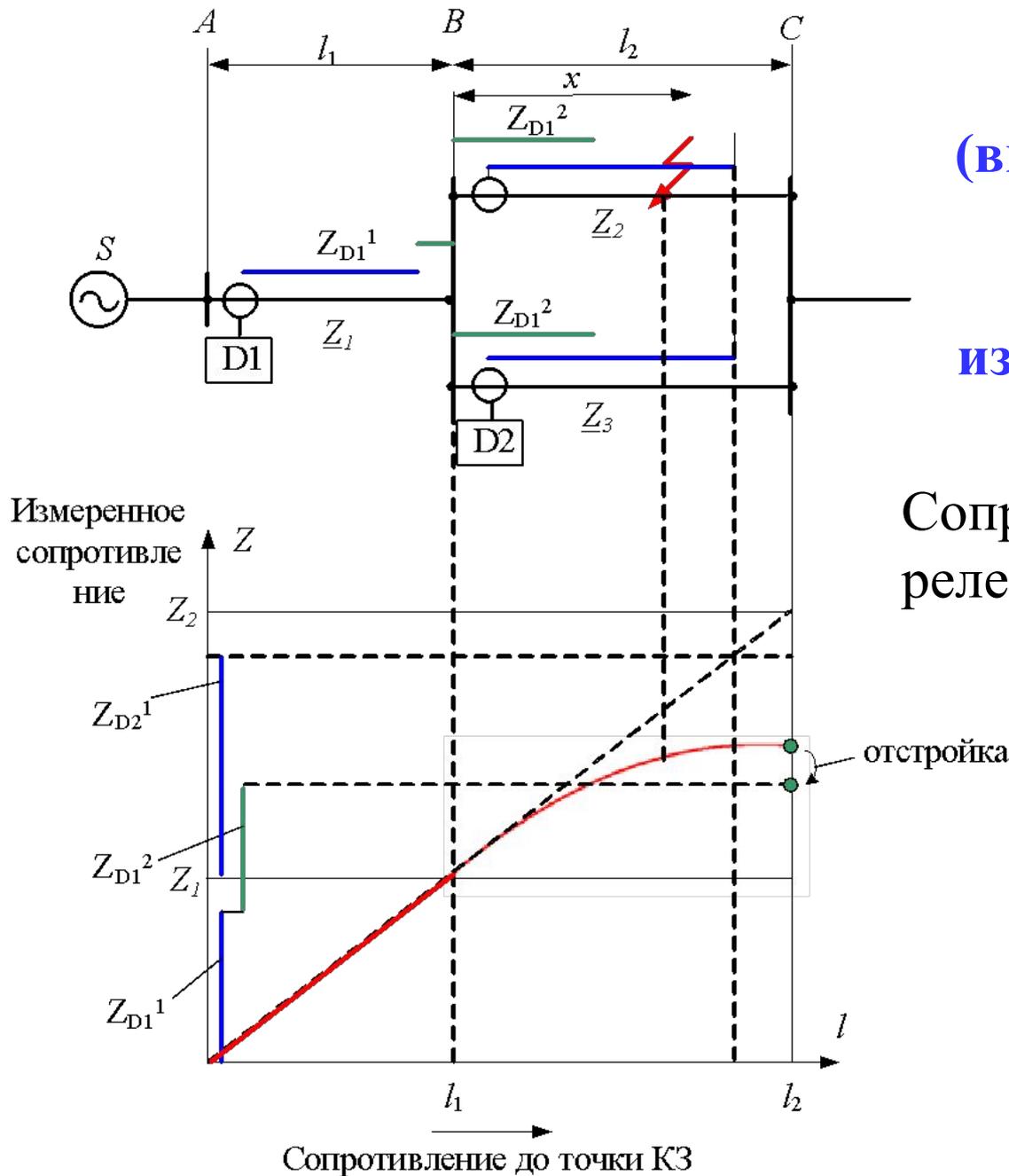
$$Z_{ДЗ1} = Z_L \frac{x}{l} + R_F + R_F \frac{I_2}{I_1}$$



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

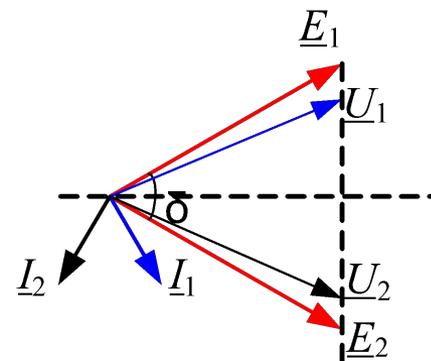
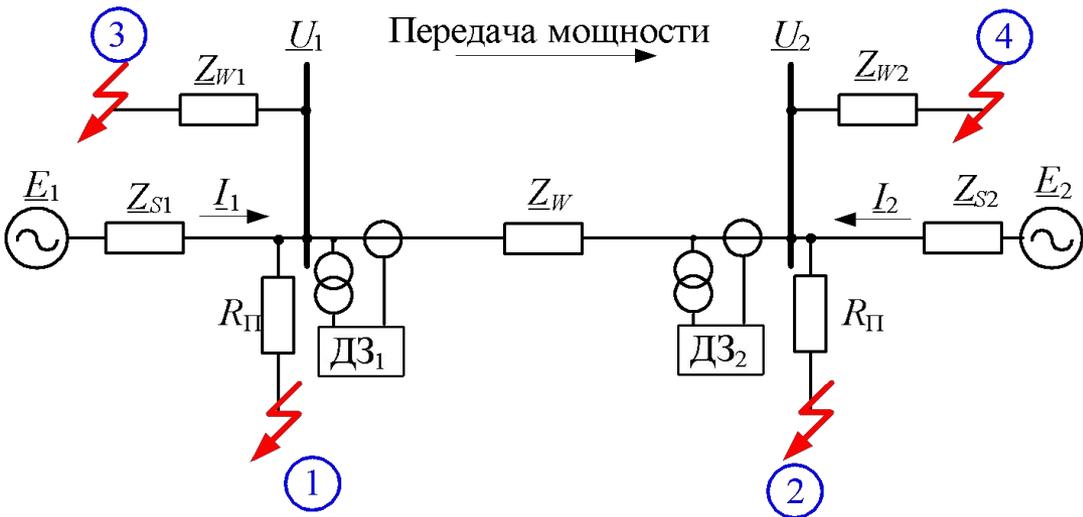
## Влияние режима сети (включение и отключение параллельных линий, трансформаторов) на измерение сопротивления

Сопротивление, измеренное  
реле D1, при КЗ на шинах С

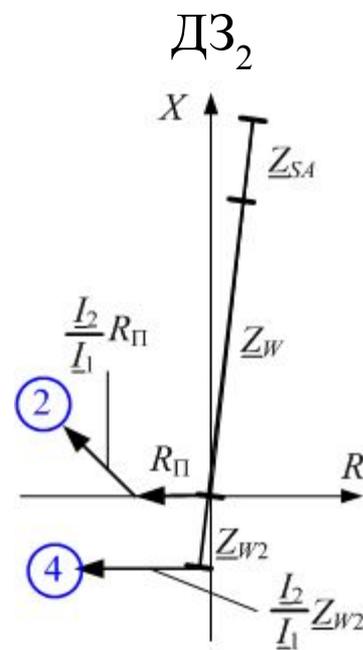
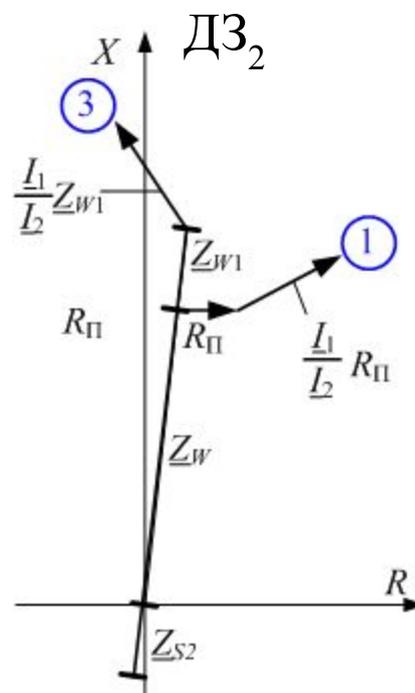
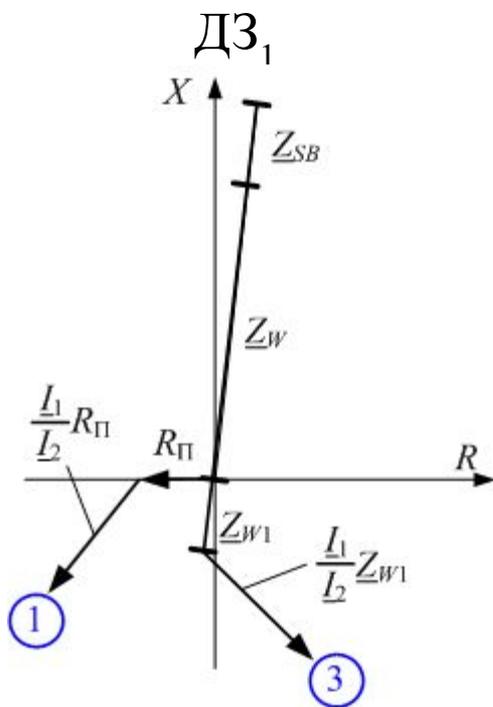
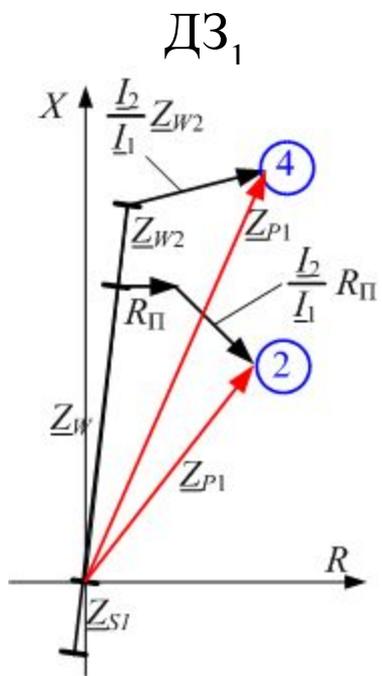


$$\underline{Z}_{D1} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3}$$

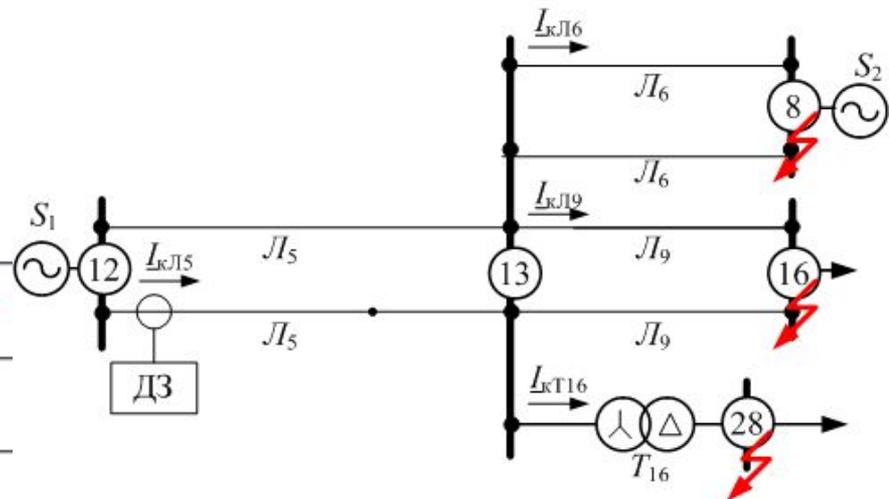
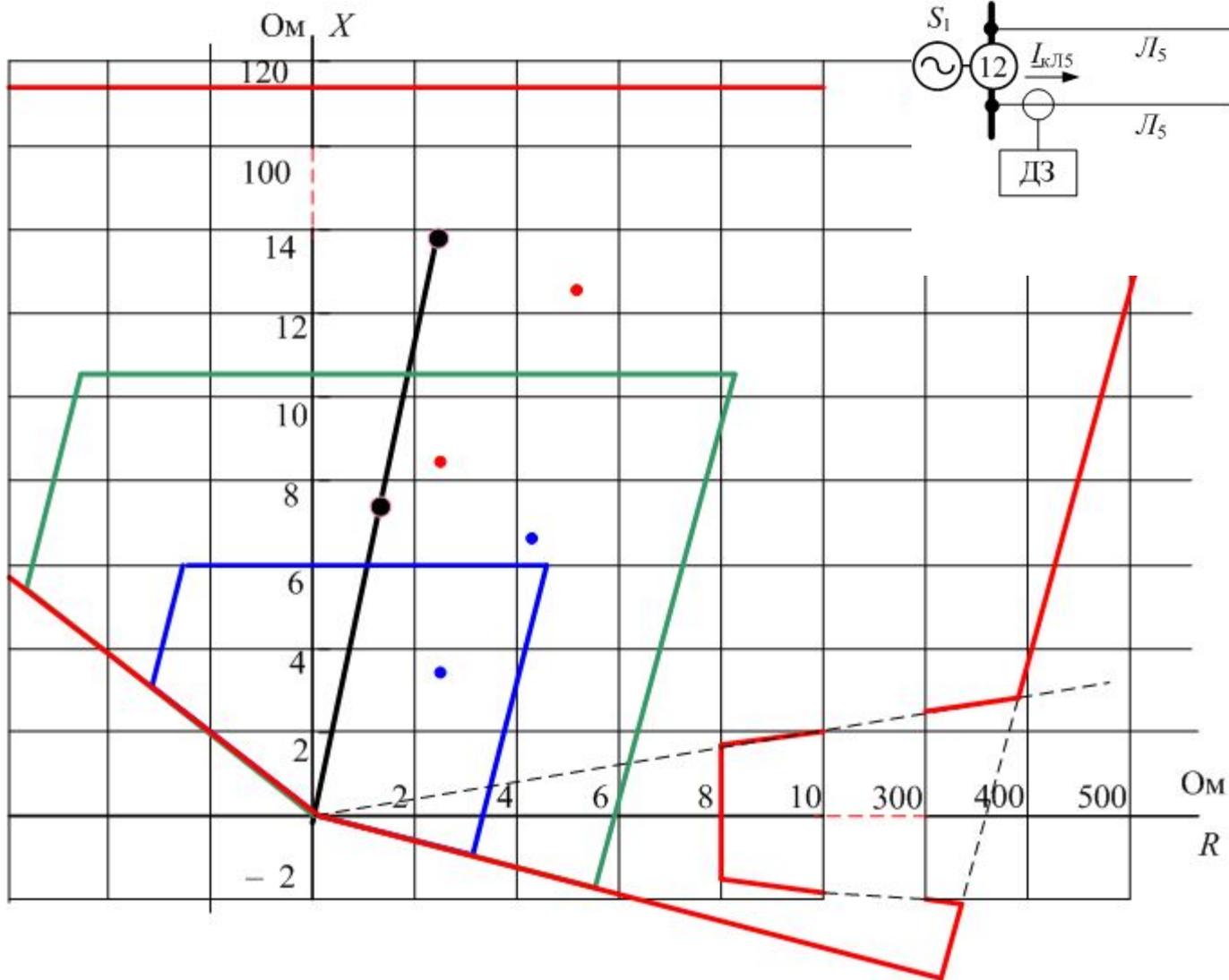
# Определение влияния загрузки линии на измерение сопротивления



Векторы сопротивления, измеренные



# Пример- Характеристики срабатывания



# 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.

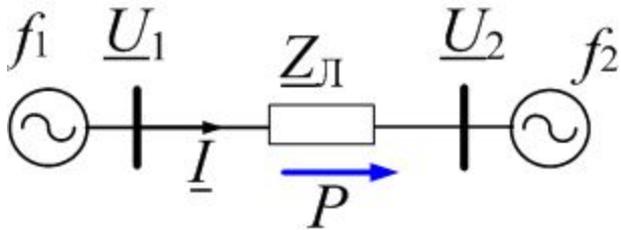
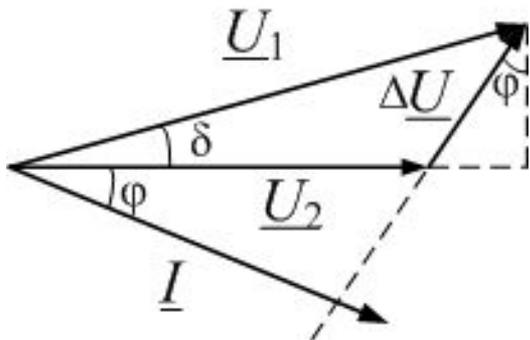


Схема электропередачи  
и векторная диаграмма  
в нормальном режиме работы



$$\Delta \underline{U} = \underline{U}_1 - \underline{U}_2$$

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

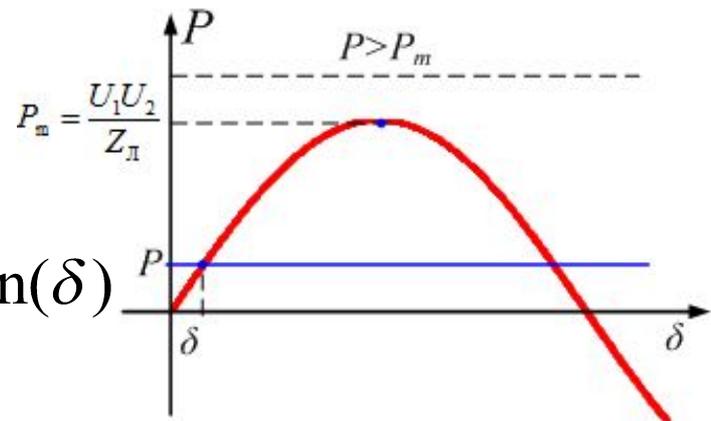
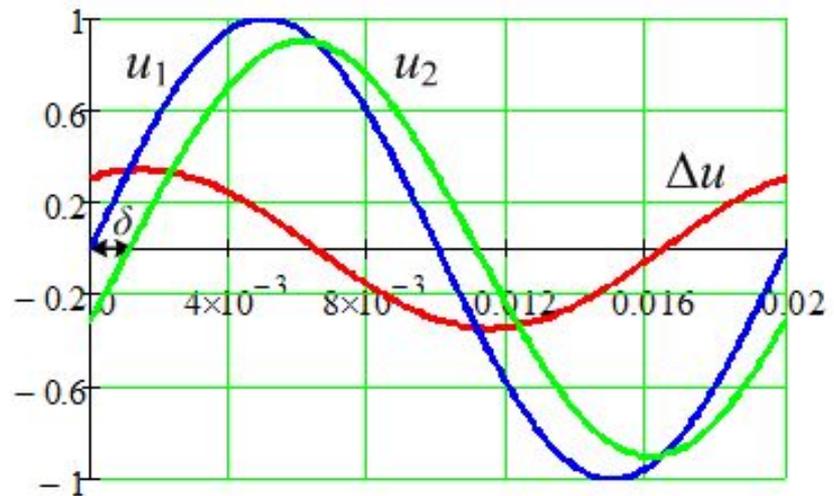


Диаграмма мощностей

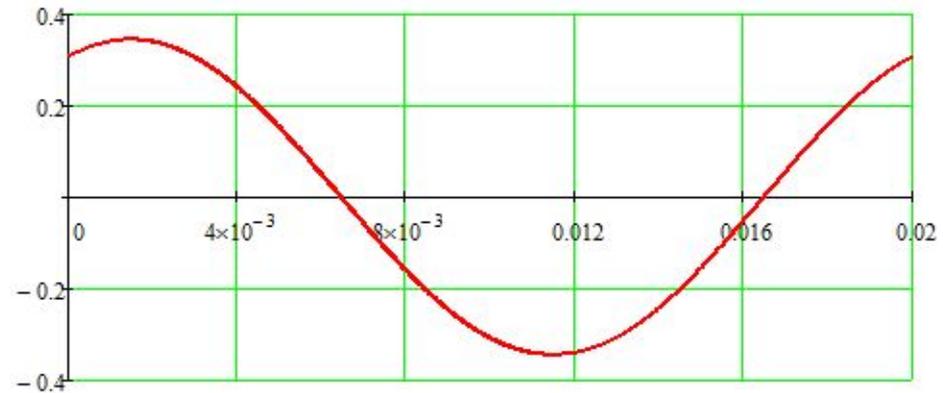
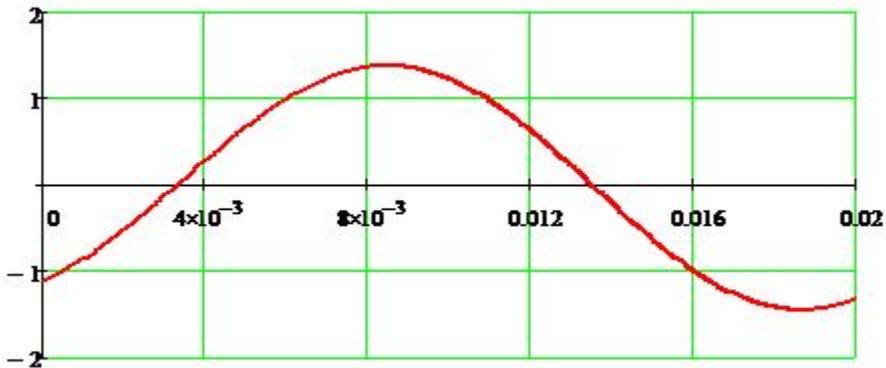
# Причины неправильной работы дистанционной защиты

Признаки нарушения синхронизма: периодические изменения тока и напряжения.

$i(t)$

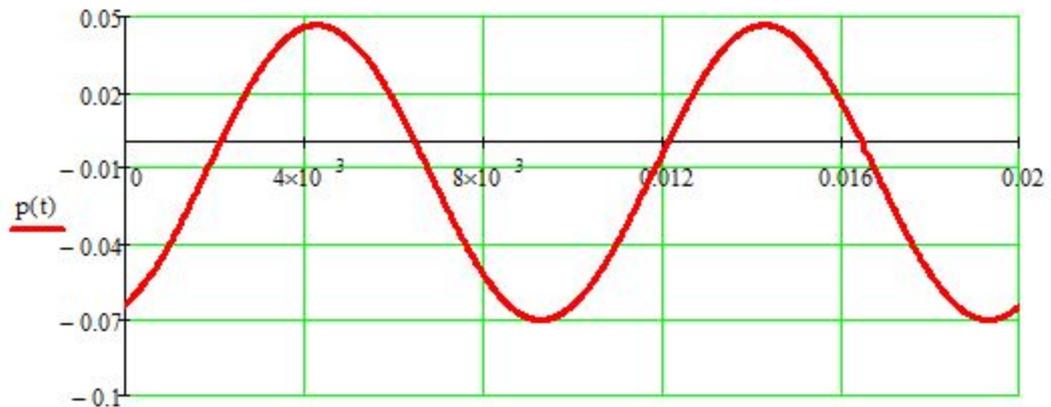
$$f_1 = 50 \text{ Гц}, f_2 = 50 \text{ Гц}$$

$\Delta u(t)$



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

Диапазон времени – 0.02 с



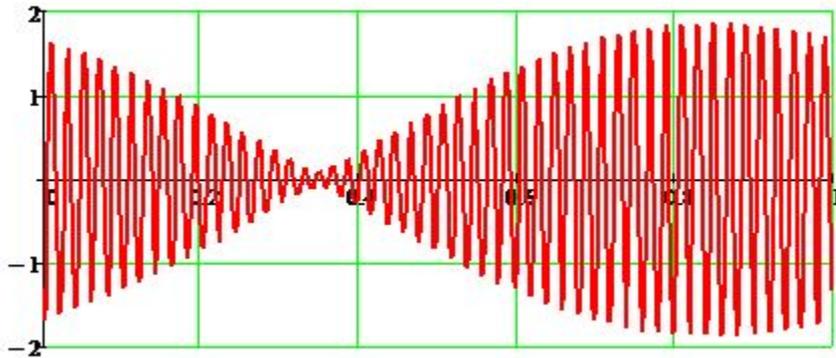
t

# Причины неправильной работы дистанционной защиты

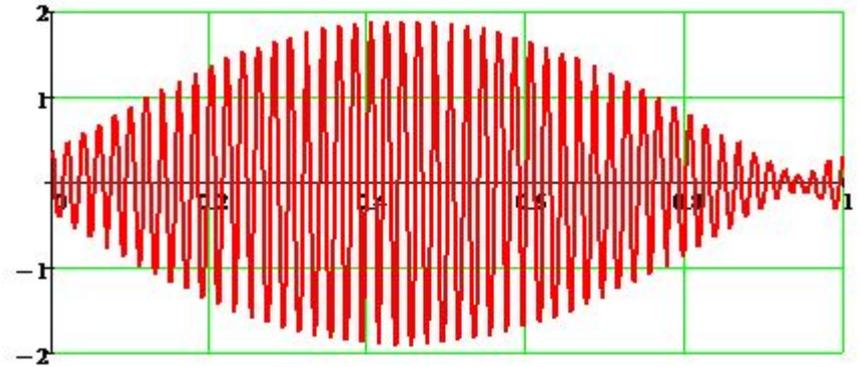
Признаки нарушения синхронизма: периодические изменения тока и напряжения.

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

$i(t)$

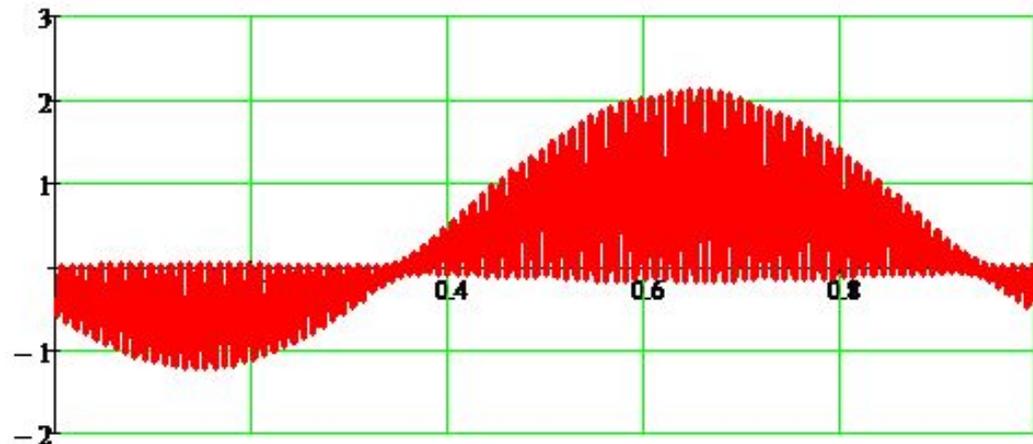


$\Delta u(t)$



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

Диапазон времени – 1 с



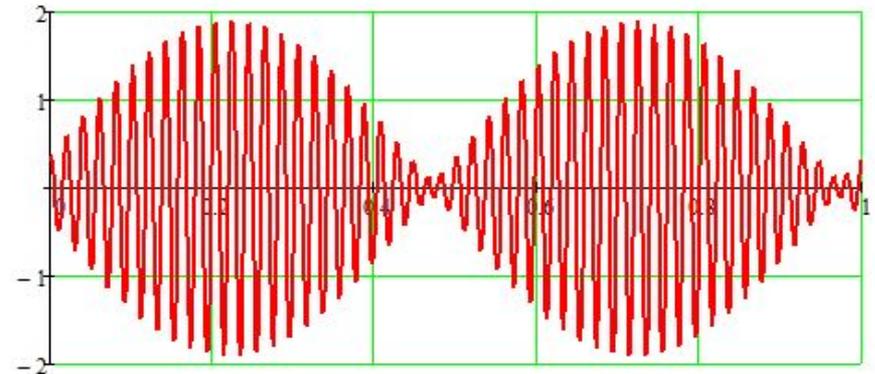
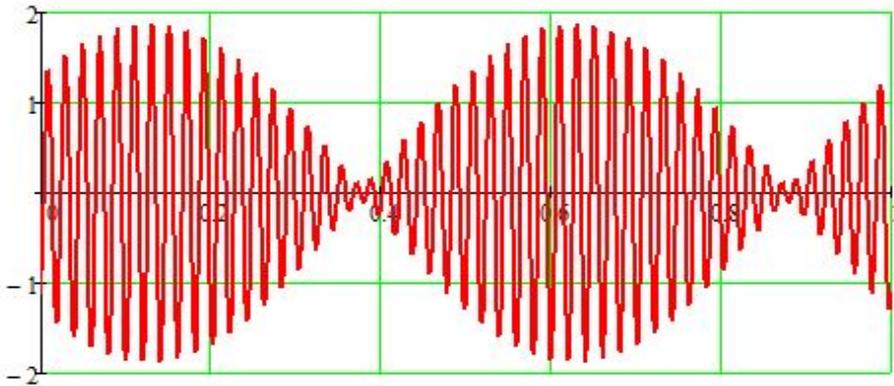
# Причины неправильной работы дистанционной защиты

Признаки нарушения синхронизма: периодические изменения тока и напряжения.

$$f_1 = 50 \text{ Гц}, f_2 = 48 \text{ Гц}$$

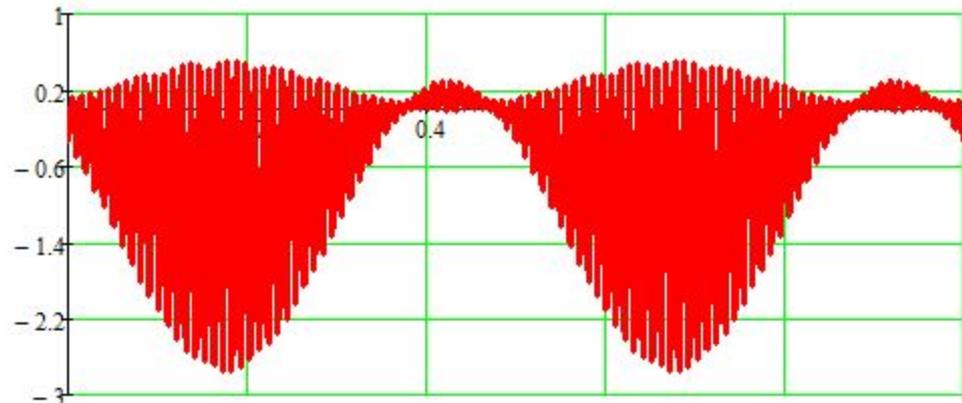
$i(t)$

$\Delta u(t)$



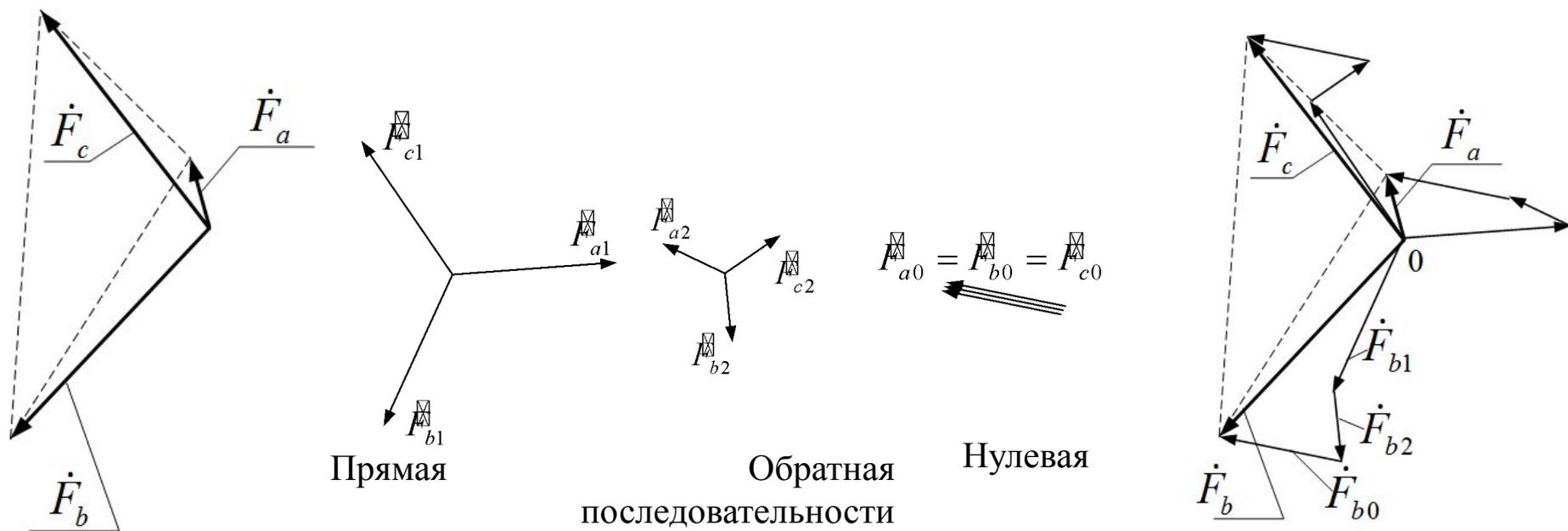
$$p(t) = \Delta u(t) \cdot i(t)$$

Диапазон времени – 1 с



# Блокировка дистанционной защиты при АР и качаниях

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



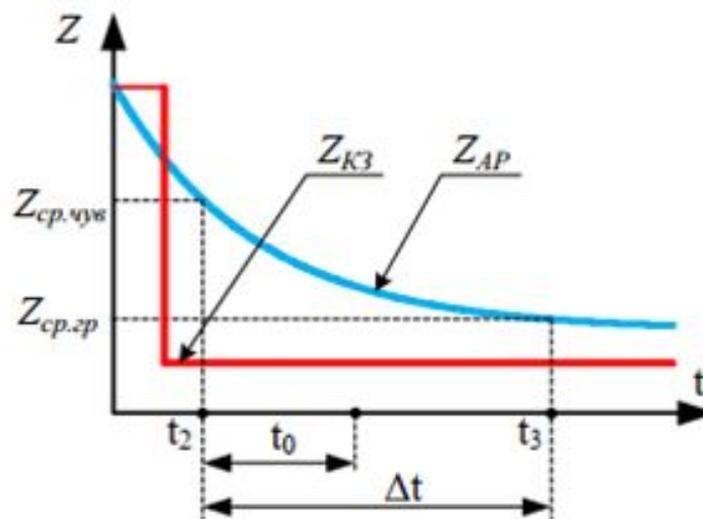
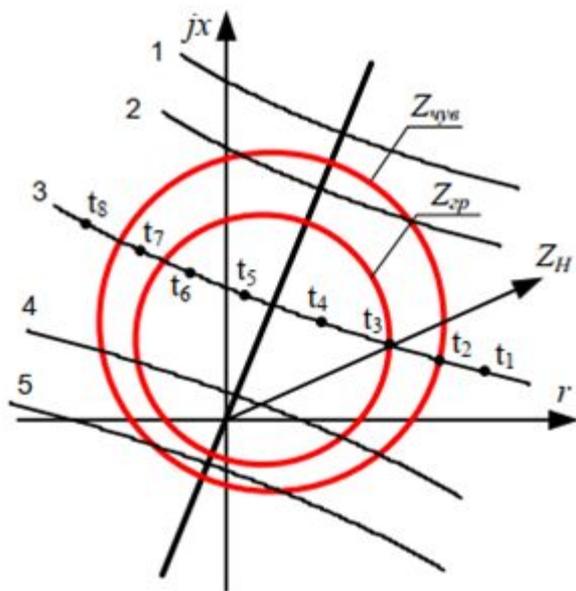
Несимметричная система векторов

Разложение системы векторов на последовательности

При качаниях нулевая и обратная последовательности отсутствуют.

# Блокировка дистанционной защиты при АР и качаниях

**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.