

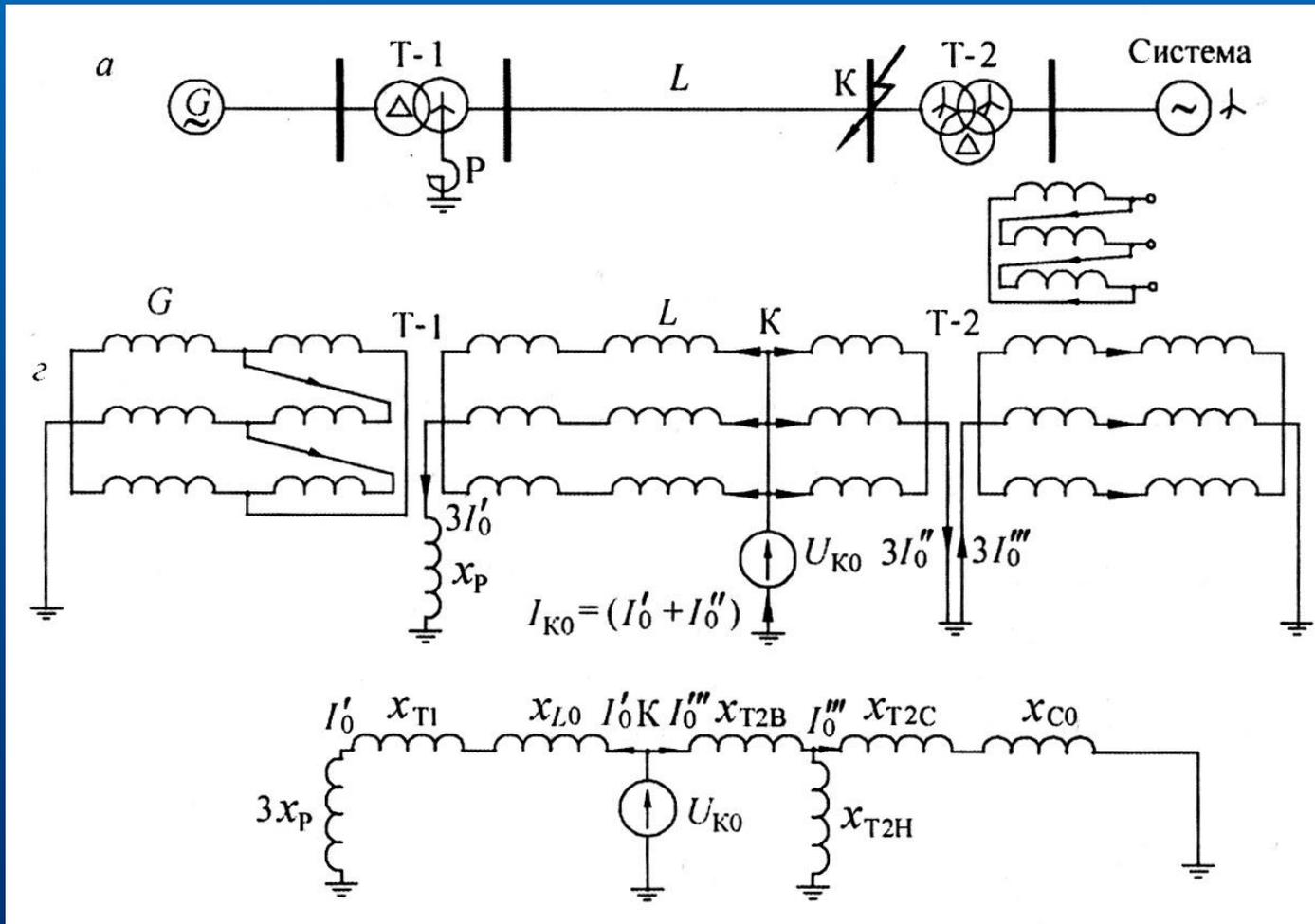
Электромагнитные переходные процессы

Лекция 7

Кафедра Энергетика, автоматика и
системы коммуникаций

Несимметричные КЗ

Нулевая последовательность

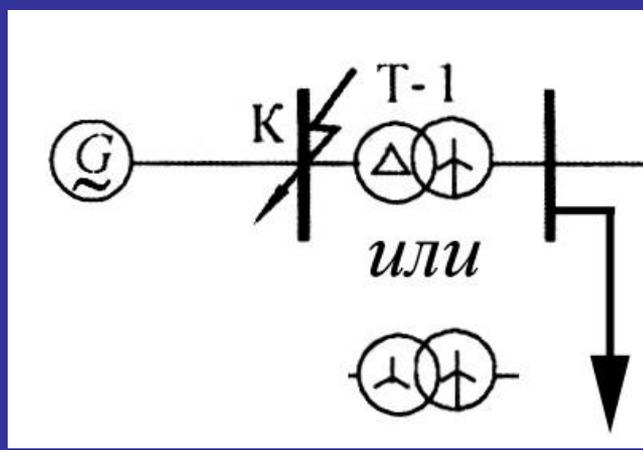


Пути протекания токов нулевой последовательности существенно отличаются от систем других последовательностей, вследствие чего сопротивления и схема нулевой последовательности, как правило, резко отличаются от таковых для прямой и обратной последовательностей.

Несимметричные КЗ

Нулевая последовательность

Реактивность нулевой последовательности трансформатора в значительной степени зависит от его конструкции и схемы соединения обмоток.



Со стороны обмоток, соединённых в треугольник или звезду без заземлённой нейтрали, независимо от того, как соединены другие обмотки трансформатора, исключена возможность протекания токов нулевой последовательности. Реактивность трансформатора нулевой последовательности в этих условиях:

$$x_0 = \infty$$

Несимметричные КЗ

Нулевая последовательность: двухмоточный тр-р

Для сравнения (для вариантов а и б):

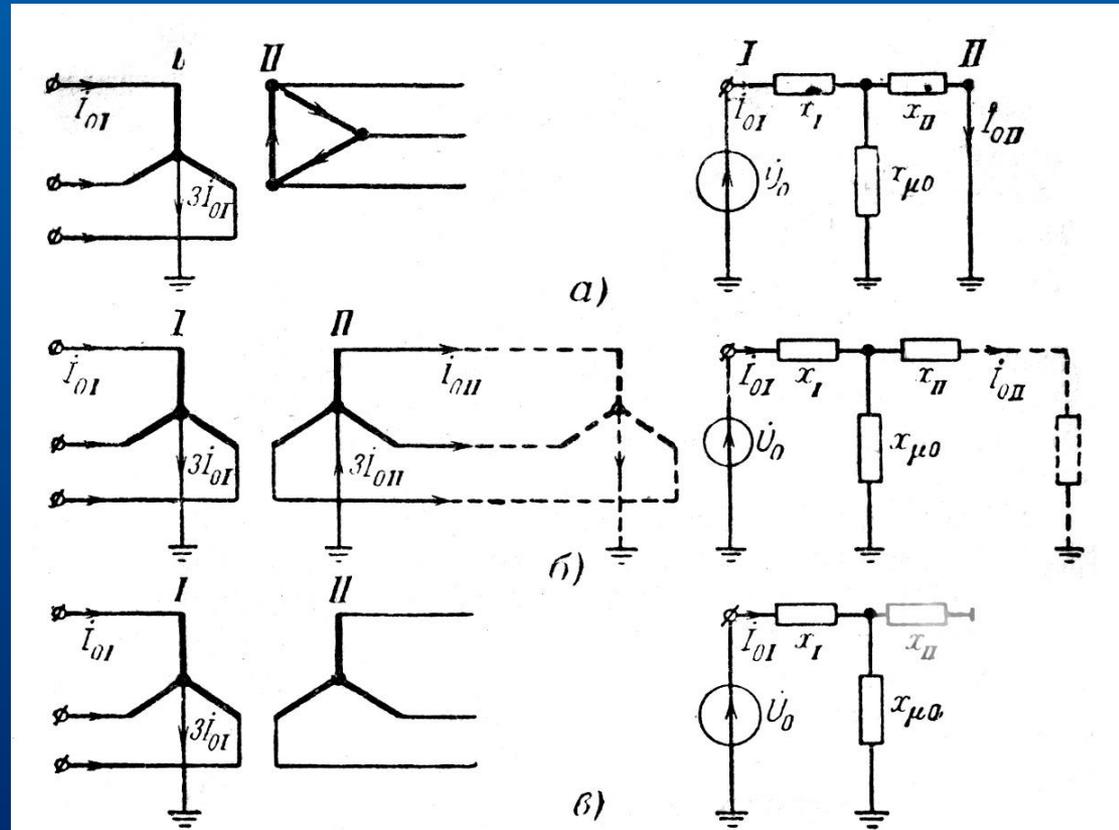
$$x_1 = 0,05; \quad x_2 = 0,05;$$

и

$$I_\mu = 1\%; \Rightarrow x_\mu = \frac{1}{0,01} = 100$$

Следовательно можно считать:

$$x_\mu = \infty$$

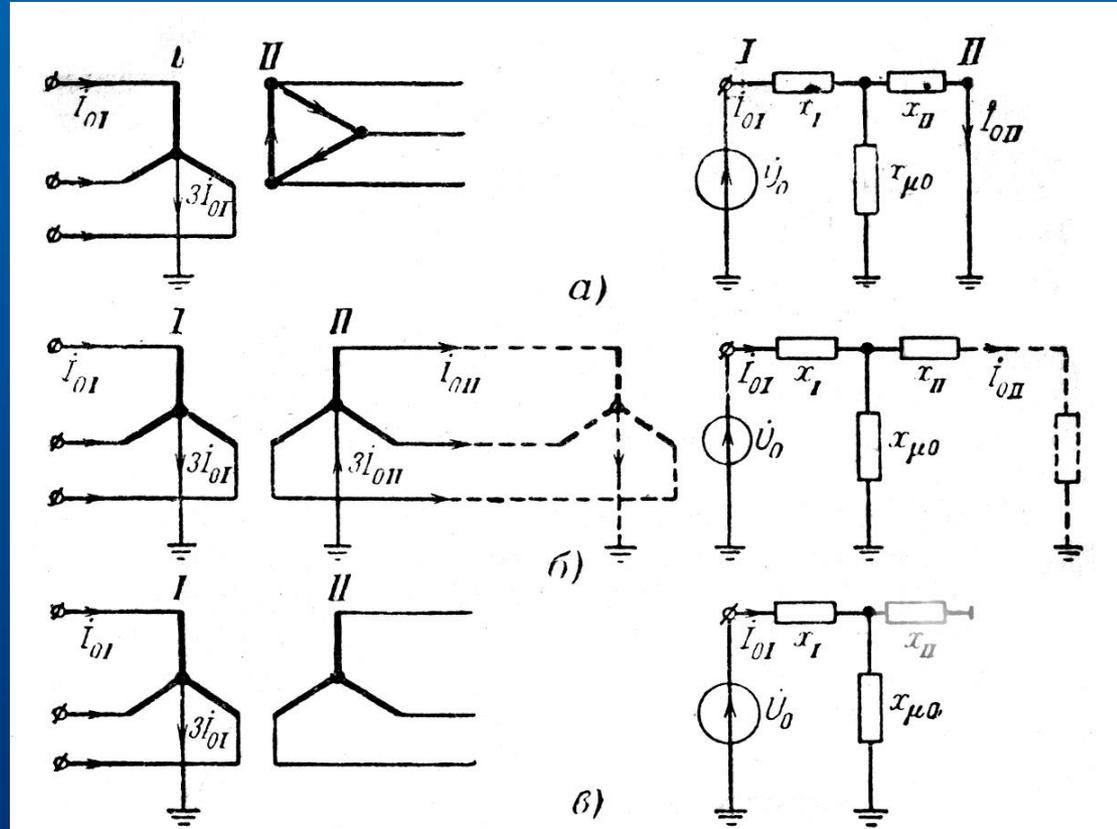


Несимметричные КЗ

Нулевая последовательность: двухобмоточный тр-р

Для варианта в) :

Для группы из трех однофазных трансформаторов, а также для трёхфазных трансформаторов ток намагничивания нулевой последовательности очень мал, так как в этом случае условия для магнитного потока практически те же, что и при питании трансформатора от источника напряжения прямой (или обратной) последовательности, поэтому $X_{\mu 0} = \infty$.

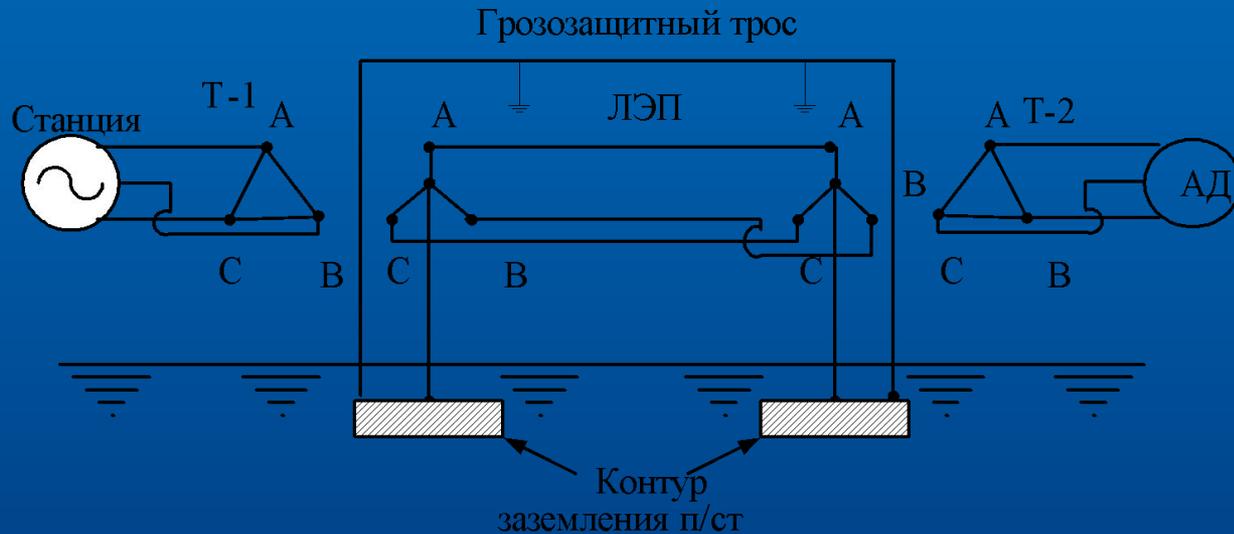


В трёхфазных трёхстержневых трансформаторах, где магнитные потоки нулевой последовательности замыкаются через изолирующую среду и кожух трансформатора, необходим достаточно большой ток намагничивания. Такая реактивность $X_{\mu 0}$ находится в пределах $X_{\mu 0} = (0,3 \div 1,0)$.



Несимметричные КЗ

Нулевая последовательность: ВЛ



В то время, как при токе прямой (обратной) последовательности взаимоиנדукция с другими фазами уменьшает сопротивление фазы, при токах нулевой последовательности она увеличивает его.

Токи нулевой последовательности, протекающие в тросах ЛЭП, оказывают размагничивающее действие, что приводит к некоторому уменьшению результирующего потокосцепления фазы. В зависимости от материала троса они оказывают разное влияние на уменьшение индуктивного сопротивления нулевой последовательности линии.

Несимметричные КЗ

Нулевая последовательность: ЛЭП

Средние значения соотношений между X_0 и X_1 для ВЛ:

Характеристика линии	Отношение X_0/X_1
Одноцепная линия без тросов	3,5
То же со стальными тросами	3,0
То же с хорошо проводимыми тросами	2,0
Двухцепная линия без тросов	5,5
То же со стальными тросами	4,7
То же с хорошо проводимыми тросами	3,5

Средние значения соотношений между X_0 и X_1 для КЛ:

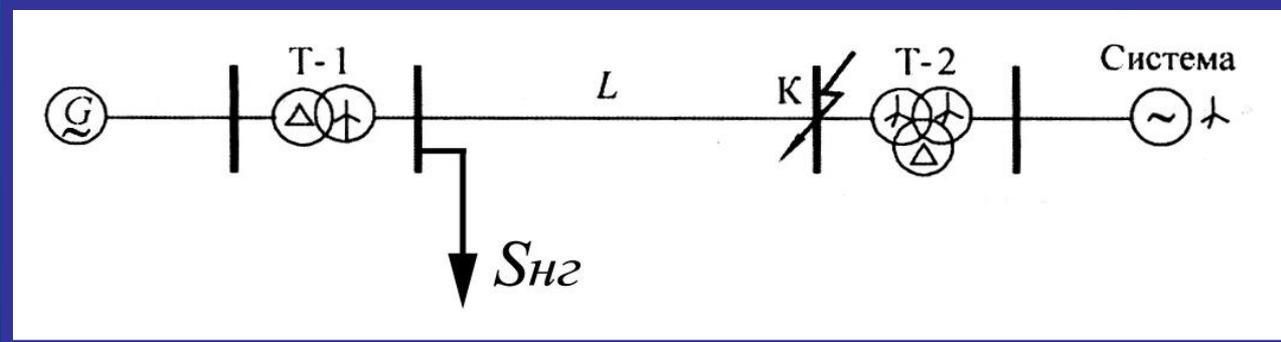
В ориентировочных расчётах, для трёхжильных кабелей, сопротивления нулевой последовательности обычно принимают:

$$r_0 \approx 10 \cdot r_1; \quad X_0 = (0,35 \div 4,6) \cdot X_1$$

Несимметричные КЗ

Нулевая последовательность

Реактивность нулевой последовательности асинхронного двигателя, как и синхронных машин, определяется только рассеянием статорной обмотки и сильно зависит от типа и конструкции последней. Определяется опытным путем, а в задачах, если она действительно необходима для расчетов, будет известна.



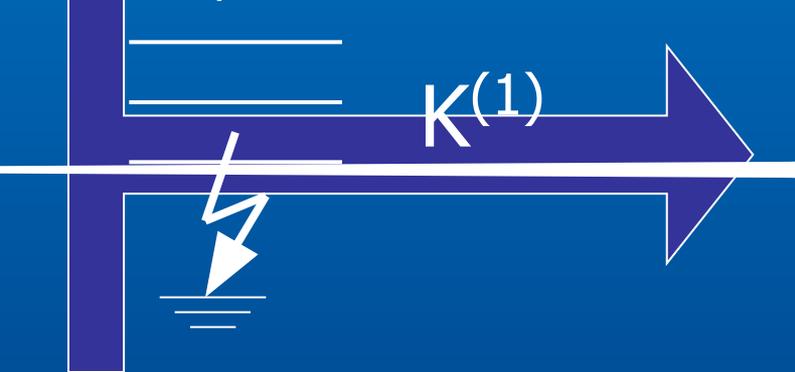
Примечание:

Если в задаче нагрузка указана, как отходящая ветвь с шин высокого напряжения (например, 110кВ, 220кВ и т.п.), то в схеме замещения ее НЕ учитываем на том основании, что нагрузок на такие напряжения не существует.

Нагрузка может существовать на более низком классе напряжения, следовательно до нее на схеме должен находиться трансформатор, скажем, 110/10 кВ со вторичной обмоткой соединенной с сетью с изолированным режимом нейтрали (класс напряжений свыше 1000В до 100кВ не включительно). По этой причине токи нулевой последовательности до нагрузки не дойдут.

Несимметричные КЗ

Однофазное Замыкание

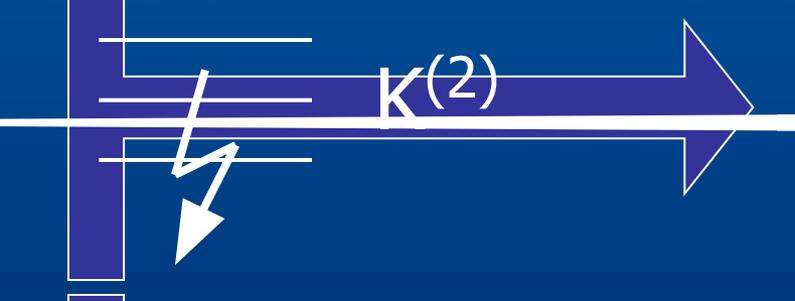


$$U_{KA} = 0$$

$$I_{KB} = 0$$

$$I_{KC} = 0$$

Двухфазное КЗ

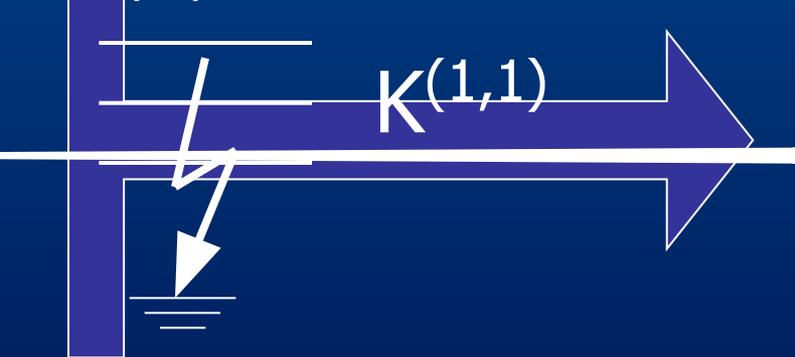


$$I_{KA} = 0$$

$$U_{KB} = U_{KC}$$

$$I_{KB} = -I_{KC}$$

Двухфазное КЗ на землю



$$I_{KA} = 0$$

$$U_{KB} = U_{KC} = 0$$

Между системами трёх симметричных составляющих всегда существует связь, задаваемая условиями короткого замыкания.

Вводят понятие особой фазы, т.е. фазы, которая в других условиях по отношению к остальным. Как правило, особой выбирают фазу «А».

Несимметричные КЗ

Однофазное КЗ Уравнения для определения параметров режима

$$\left[\begin{aligned} U_{K1} &= E_{\Sigma} - Z_{1\Sigma} I_{K1} \\ U_{K2} &= 0 - Z_{2\Sigma} I_{K2} \\ U_{K0} &= 0 - Z_{0\Sigma} I_{K0} \end{aligned} \right.$$

$$\left[\begin{aligned} U_{KA} &= U_{KA1} + U_{KA2} + U_{KA0} \\ U_{KB} &= a^2 U_{KA1} + a U_{KA2} + U_{KA0} \\ U_{KC} &= a U_{KA1} + a^2 U_{KA2} + U_{KA0} \end{aligned} \right.$$

$$U_{KA0} = \frac{1}{3} (U_{KA} + U_{KB} + U_{KC})$$

$$U_{KA1} = \frac{1}{3} (U_{KA} + a U_{KB} + a^2 U_{KC})$$

$$U_{KA2} = \frac{1}{3} (U_{KA} + a^2 U_{KB} + a U_{KC})$$

$$I_{KA} = I_{KA1} + I_{KA2} + I_{KA0}$$

$$I_{KB} = a^2 I_{KA1} + a I_{KA2} + I_{KA0}$$

$$I_{KC} = a I_{KA1} + a^2 I_{KA2} + I_{KA0}$$

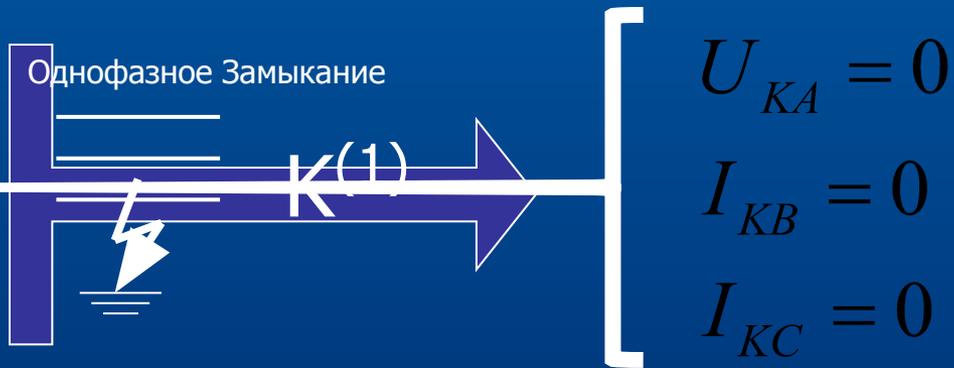
$$I_{KA0} = \frac{1}{3} (I_{KA} + I_{KB} + I_{KC})$$

$$I_{KA1} = \frac{1}{3} (I_{KA} + a I_{KB} + a^2 I_{KC})$$

$$I_{KA2} = \frac{1}{3} (I_{KA} + a^2 I_{KB} + a I_{KC})$$

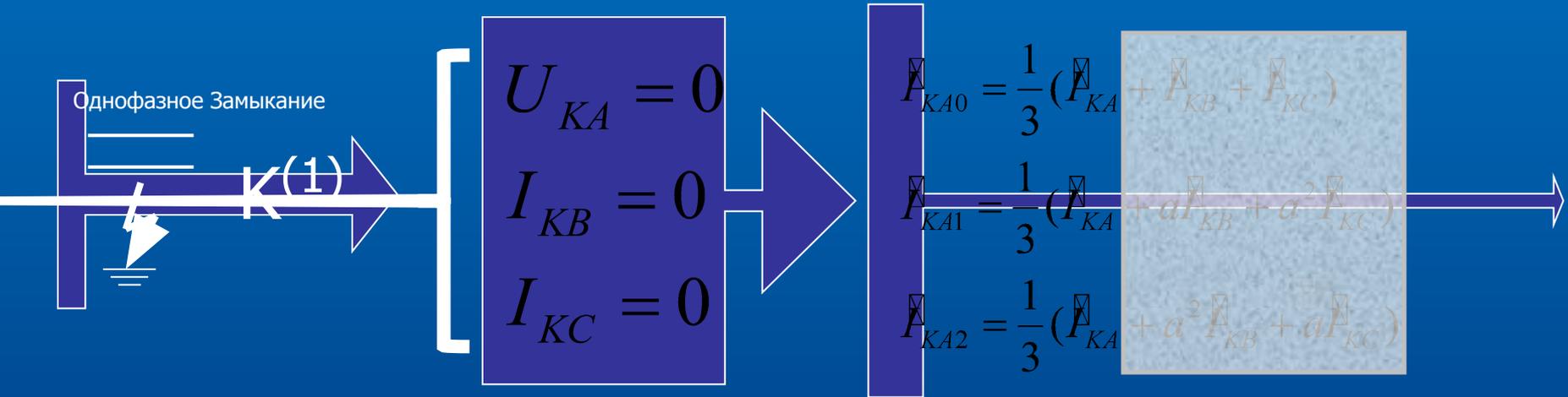
Несимметричные КЗ

Однофазное КЗ



Несимметричные КЗ

Однофазное КЗ



$$I_{KA1} = I_{KA2} = I_{KA0} = \frac{1}{3}I_{KA} \rightarrow I_{KA} = 3I_{KA1}$$

$$U_{KA} = U_{KA1} + U_{KA2} + U_{KA0}$$

$$U_{KB} = a^2U_{KA1} + aU_{KA2} + U_{KA0}$$

$$U_{KC} = aU_{KA1} + a^2U_{KA2} + U_{KA0}$$

$$U_{KA} = U_{KA1} + U_{KA2} + U_{KA0} = 0$$

Несимметричные КЗ

Однофазное КЗ

$$\underline{U}_{KA} = \underline{U}_{KA1} + \underline{U}_{KA2} + \underline{U}_{KA0} = 0$$

$$\underline{U}_{KA1} = -(\underline{U}_{KA2} + \underline{U}_{KA0}) = \underline{I}_{KA1} j(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})$$

$$\underline{I}_{KA1} j(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}) = \underline{E}_{A\Sigma} - jx_{1\Sigma} \underline{I}_{KA1}$$

$$\underline{U}_{K1} = \underline{E}_{\Sigma} - \underline{Z}_{1\Sigma} \underline{I}_{K1}$$

$$\underline{U}_{K2} = 0 - \underline{Z}_{2\Sigma} \underline{I}_{K2}$$

$$\underline{U}_{K0} = 0 - \underline{Z}_{0\Sigma} \underline{I}_{K0}$$

$$\underline{I}_{KA} = 3 \underline{I}_{KA1}$$

$$\underline{I}_{KA1}^{(1)} = \frac{\underline{E}_{A\Sigma}}{j(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})}$$

Несимметричные КЗ

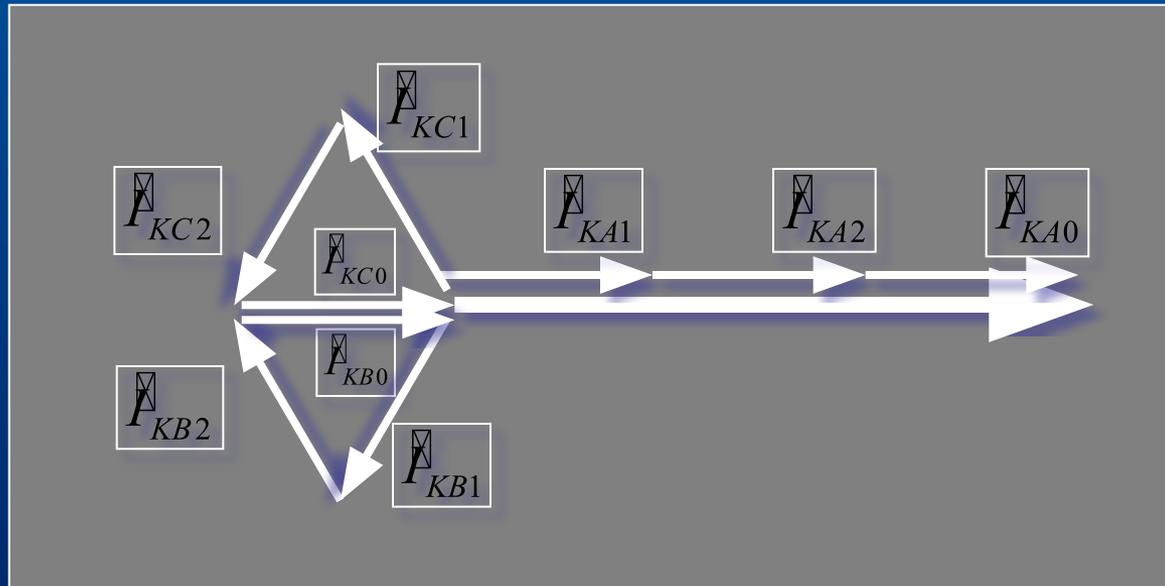
Однофазное КЗ

$$U_{KA} = 0$$

$$I_{KB} = 0$$

$$I_{KC} = 0$$

$$\dot{I}_{KA1} = \dot{I}_{KA2} = \dot{I}_{KA0} = \frac{1}{3} \dot{I}_{KA}$$



Несимметричные КЗ

Однофазное КЗ

$$U_{KA1}^{\boxtimes} = -(U_{KA2}^{\boxtimes} + U_{KA0}^{\boxtimes}) = I_{KA1}^{\boxtimes} j(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})$$

$$U_{KA} = 0$$

$$I_{KB} = 0$$

$$I_{KC} = 0$$

$$U_{K1} = E_{\Sigma} - Z_{1\Sigma} I_{K1}$$

$$U_{K2} = 0 - Z_{2\Sigma} I_{K2}$$

$$U_{K0} = 0 - Z_{0\Sigma} I_{K0}$$

