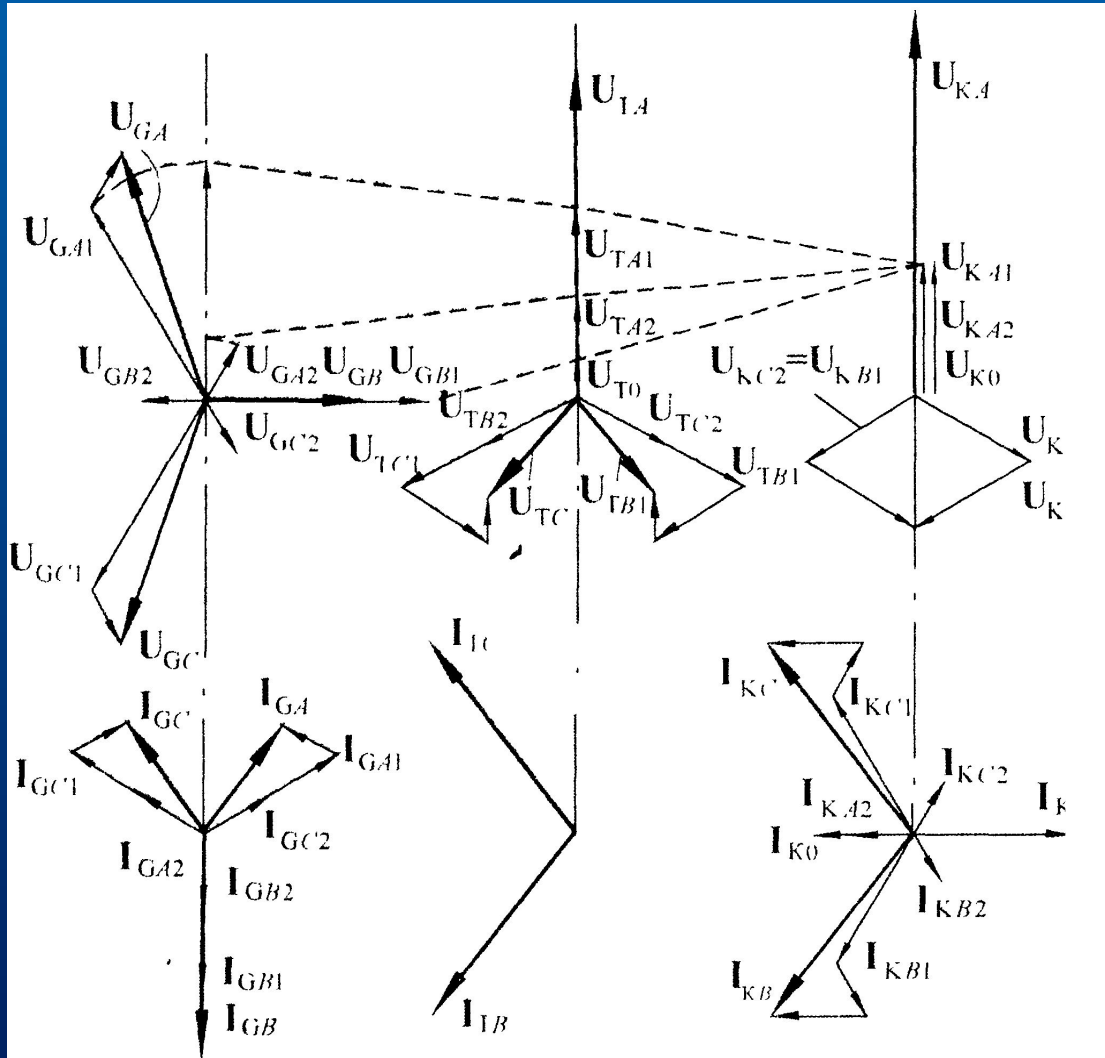
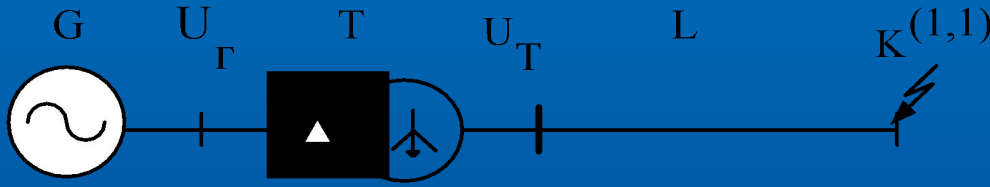


Электромагнитные переходные процессы

Лекция 9

Кафедра Энергетика, автоматика и
системы коммуникаций

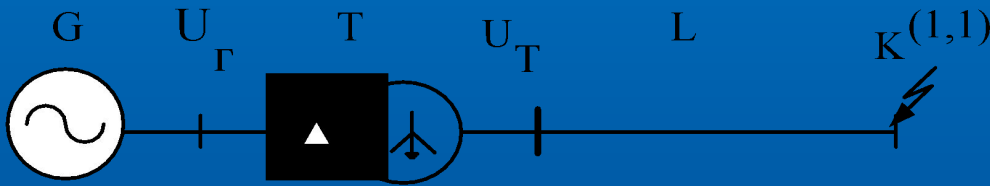
Трансформирование симметричных составляющих при несимметричных замыканиях



Практический интерес вызывает расчёт токов и напряжений в точке удалённой от места КЗ. Для её решения необходимо отдельно определять изменения каждой составляющей напряжения.

Кафедра Энергетика,
автоматика и системы
коммуникаций

Трансформирование симметричных составляющих при несимметричных замыканиях



Напряжение прямой последовательности будет увеличиваться по мере удаления от точки К.З.:

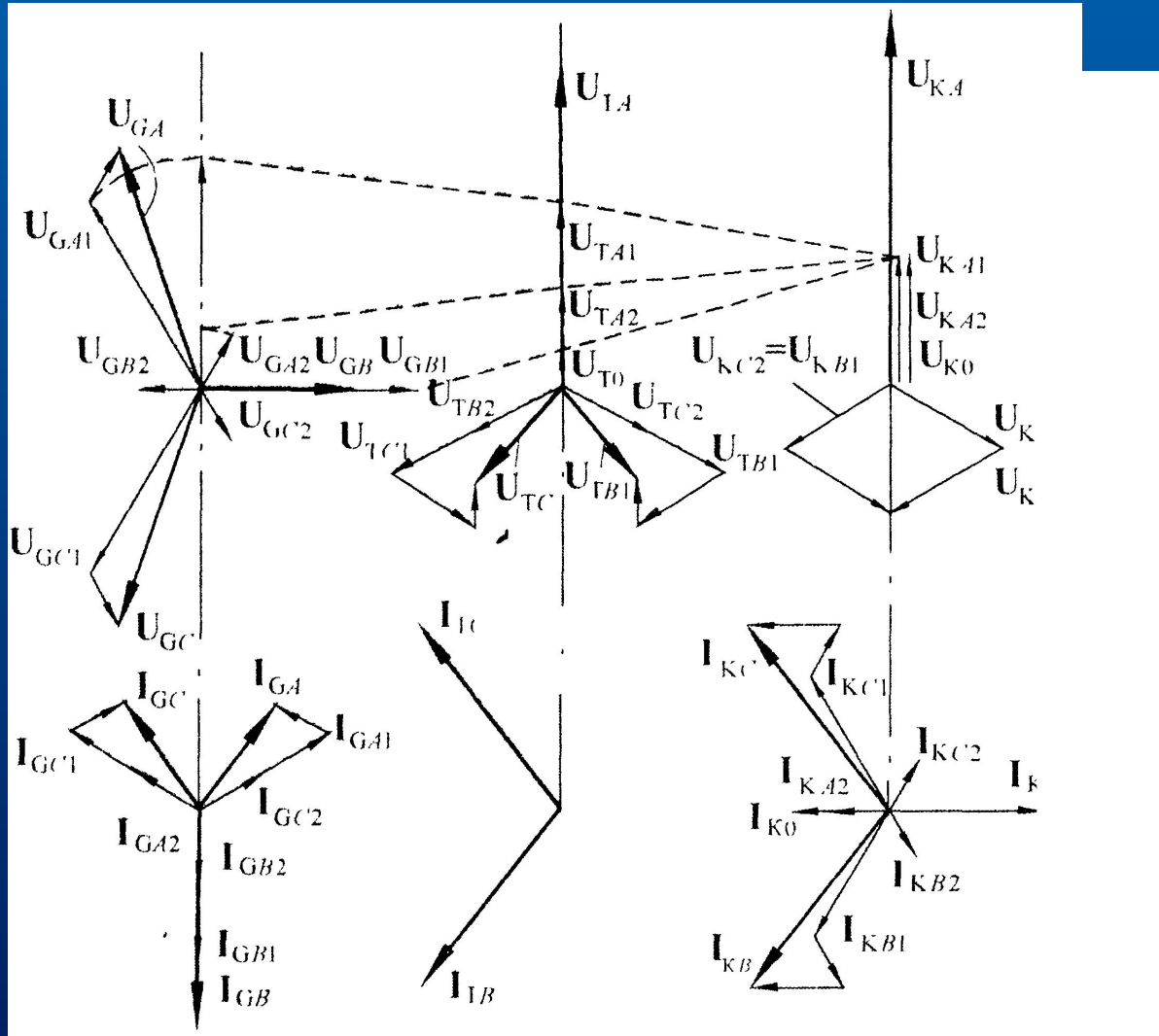
$$U_{TA1*} = U_{KA1*} + I_{LA1*} \cdot X_{L*}$$

Напряжение обратной последовательности будет уменьшаться по мере удаления от точки К.З.:

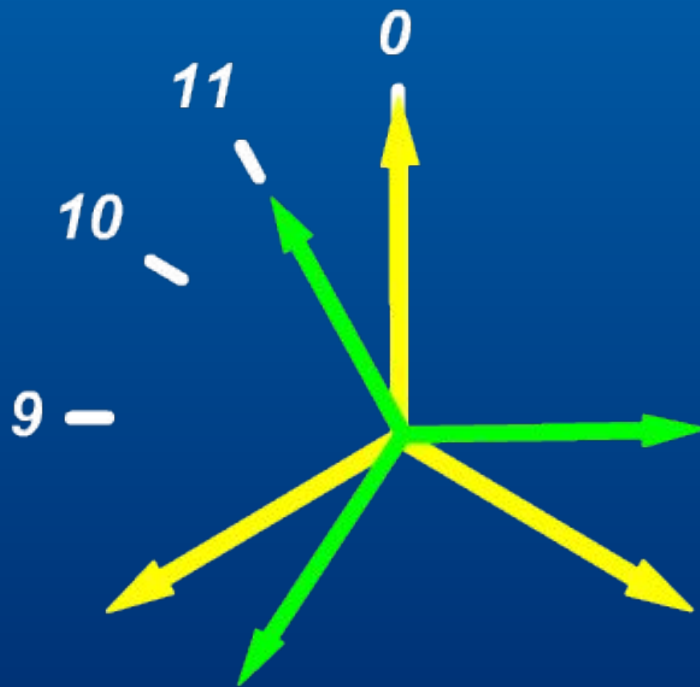
$$U_{TA2*} = U_{KA2*} - I_{LA2*} \cdot X_{L*}$$

Напряжение нулевой последовательности будет уменьшаться по мере удаления от точки К.З.:

$$U_{T0*} = U_{K0*} - I_{L0*} \cdot X_{L0*}$$



Трансформирование симметричных составляющих: коэффициент трансформации

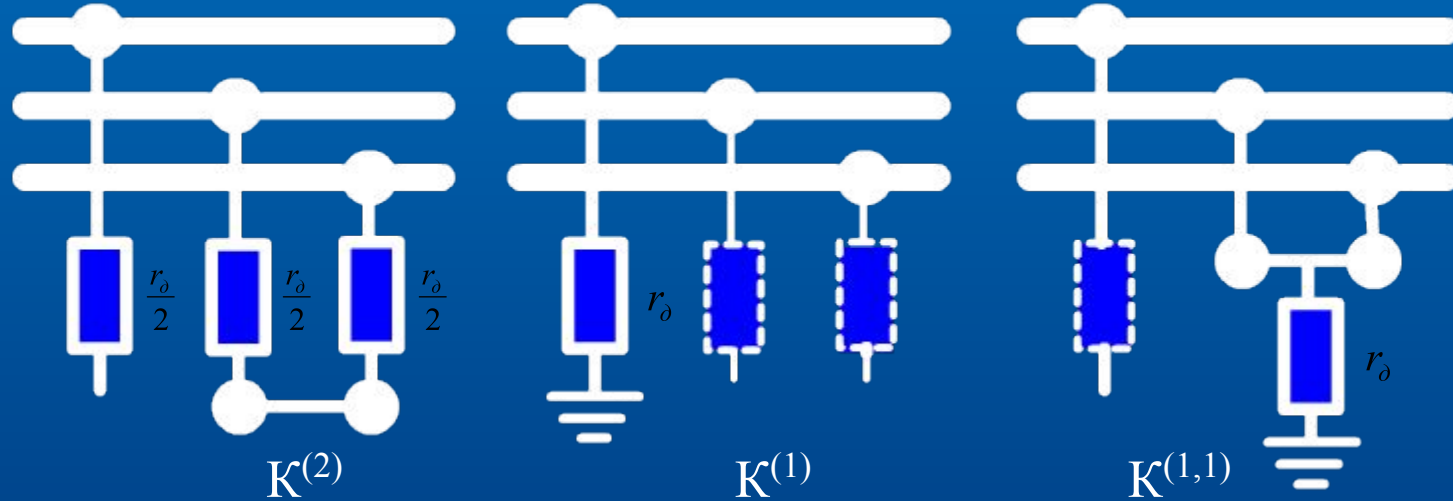


$$K^{\Delta} = K e^{j30N}$$

где N – группа соединения трансформатора

Учет сопротивления дуги в месте замыкания

Электрическую дугу приближенно можно характеризовать активным сопротивлением



$$I_{KA1}^{(2)} = \frac{E_{A\Sigma}}{r_d + j(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma})}$$

$$U_{A1} = (r_d + jx_{2\Sigma})I_{A1}$$

$$I_{KA1}^{(1,1)} = \frac{E_{A\Sigma}}{j(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} // (3r_d + x_{0\Sigma}))}$$

$$I_{KA1}^{(1)} = \frac{E_{A\Sigma}}{r_d + j(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})}$$

$$U_{A1} = [3r_d + j(x_{0\Sigma} + x_{2\Sigma})]I_{A1}$$

$$U_{A1} = [jx_{2\Sigma} // (3r_d + jx_{0\Sigma})]I_{A1}$$

Особые виды КЗ

переходные процессы в сетях с изолированной нейтралью

Электроснабжение потребителей, как правило, осуществляется через распределительную сеть класса напряжений 6...35кВ с изолированной нейтралью.

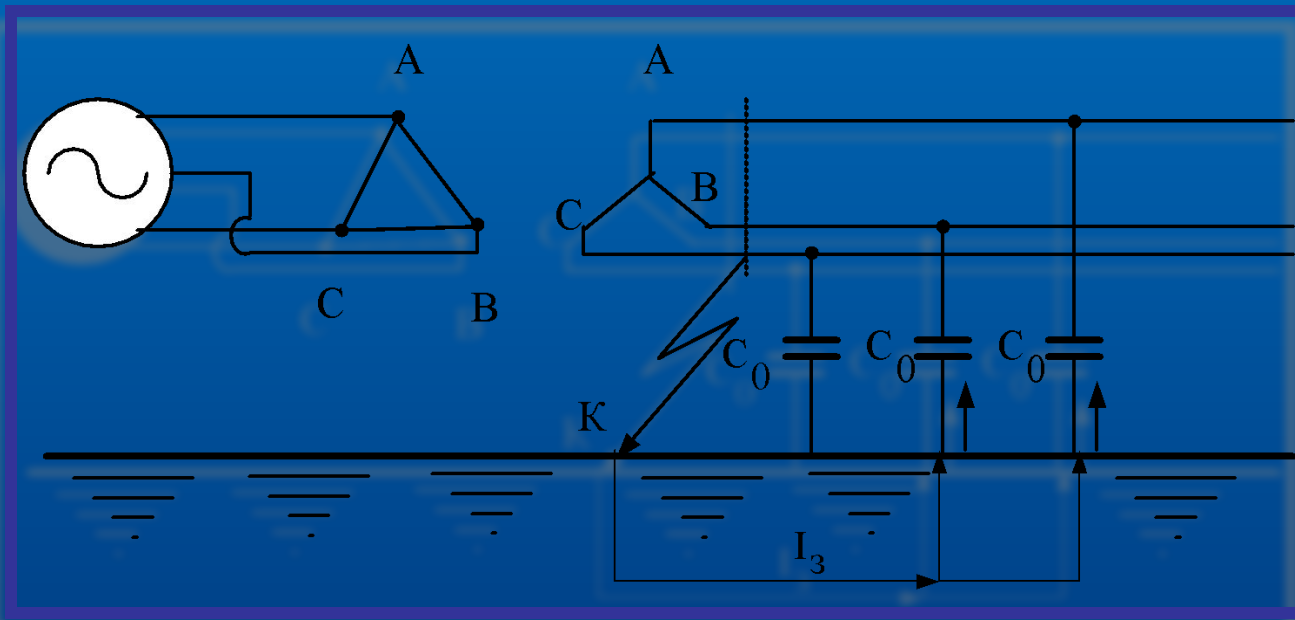
Некоторые особенности распределительных сетей:

- На долю распределительных сетей приходится до 80% повреждений.
- Сети значительно удалены от источника питания, переходные процессы в них, как правило, не влияют на его напряжение.
- Сети имеют большое активное сопротивление, которое необходимо учитывать. Большое активное сопротивление приводит к значительному нагреву проводов, что приводит к дальнейшему росту активного сопротивления. Это явление вызывает **спад тока** КЗ.
- При замыкании фазы ток определяется ёмкостной проводимостью сети. Этот ток значительно меньше тока однофазного замыкания в сетях с заземлёнными нейтралями.

По этой причине сети с изолированной нейтралью могут длительное время работать при замыкании фазы, за которое персонал способен создать временные схемы электроснабжения потребителей без их отключения.

Особые виды КЗ

переходные процессы в сетях с изолированной нейтралью



Ёмкостные сопротивления сети значительно превышают индуктивные, что позволяет пренебречь последними.

$$I_B = (U_B - U_A)j\omega C_B = jU_A(a^2 - 1)j\omega C_B = \\ = U_A(1 - a^2)\omega C_B = U_A\omega C_B e^{j30^\circ}$$

$$I_C = (U_C - U_A)j\omega C_C = jU_A(a - 1)j\omega C_C = \\ = U_A(1 - a)\omega C_C = U_A\omega C_C e^{-j30^\circ}$$

Особые виды КЗ

замыкание на землю в сетях с изолированной нейтралью называют простым замыканием

Так как $C_A = C_B = C_C = C$, и $U_A = U_B = U_C = U_\phi$ вычисляются так:

$$I_B = I_C = \sqrt{3}U_\phi\omega C$$

Ток в земле определяется геометрической суммой токов двух фаз:

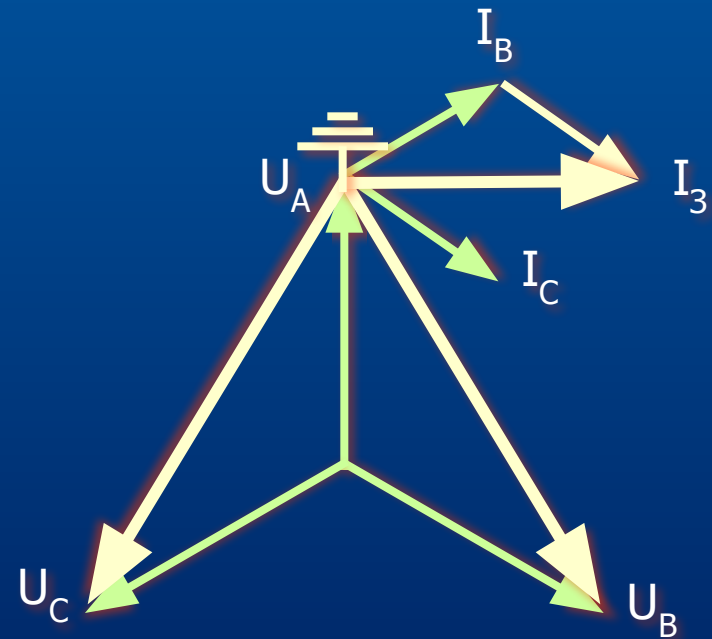
$$I_3 = 3U_\phi\omega C$$

В практических расчетах ток замыкания можно определить по формуле:

$$I_3 = \frac{\sqrt{3}U_{\text{ср.ном.}}}{N} L \text{ (A)}$$

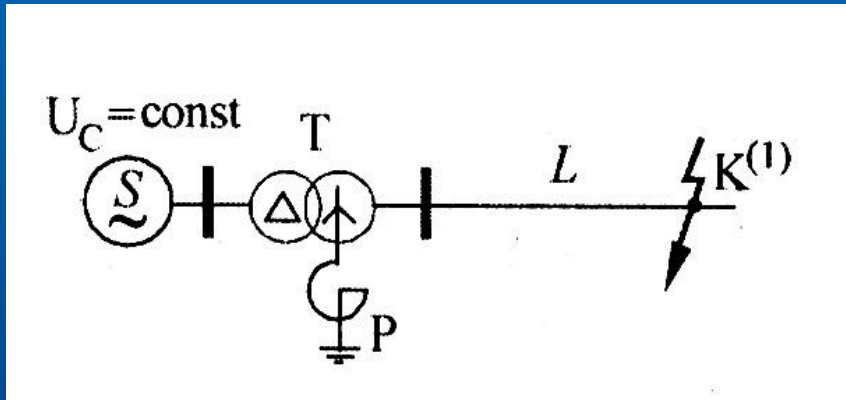
N – коэффициент, принимаемый для ВЛ 350, для КЛ 10.

L – суммарная длина ВЛ и КЛ, электрически связанных с точкой КЗ.



Особые виды КЗ

компенсация ёмкостного тока замыкания фазы на землю



Приближенные значения протяженностей линий сетей разных классов напряжения и соответствующих им допустимых токов

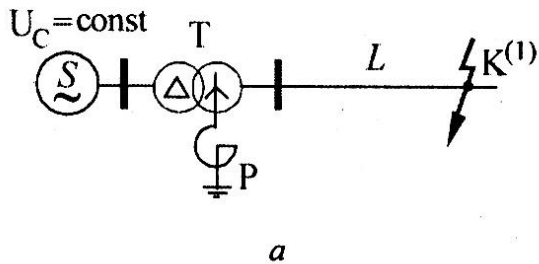
Класс напряжения, кВ	Допустимый ток замыкания на землю, А	Ток замыкания на землю на 100 км сети, А		Допустимая протяженность сети, км	
		воздушной	кабельной	воздушной	кабельной
3	30 (10)	0.9	31.5	3333 (1110)	95
6	30 (10)	1.8	63	1667 (555)	47.6
10	20 (10)	3	105	660 (330)	35
15	15 (10)	—	—	—	—
20	15 (10)	—	—	—	—
35	10	10.6	375	94	2.6

В сетях 3...20кВ и небольшой протяженности ВЛ и КЛ ток замыкания на землю составляет несколько ампер, что приводит к ее неустойчивому состоянию и самопроизвольному погасанию.

В сетях с большим напряжением и протяжённостью дуга может гореть долго и развивать аварию в двухфазное и трёхфазное КЗ. Быстрая ликвидация дуги достигается за счёт компенсации тока замыкания на землю путём заземления нейтралей через дугогасящий аппарат.

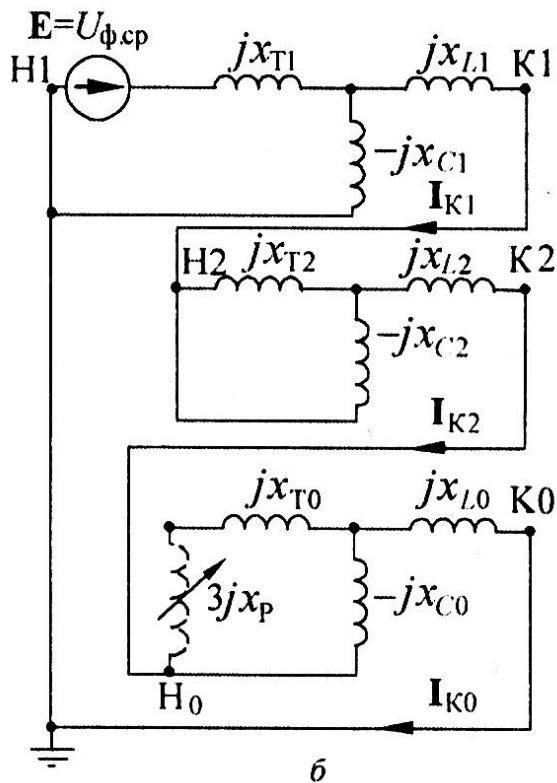
Особые виды КЗ

компенсация ёмкостного тока замыкания фазы на землю



Приближенные значения протяженностей линий сетей разных классов напряжения и соответствующих им допустимых токов

Класс напряжения, кВ	Допустимый ток замыкания на землю, А	Ток замыкания на землю на 100 км сети, А		Допустимая протяженность сети, км	
		воздушной	кабельной	воздушной	кабельной
3	30 (10)	0.9	31.5	3333 (1110)	95
6	30 (10)	1.8	63	1667 (555)	47.6
10	20 (10)	3	105	660 (330)	35
15	15 (10)	—	—	—	—
20	15 (10)	—	—	—	—
35	10	10.6	375	94	2.6



$$x_T \ll x_{C0}, \Rightarrow$$

$$\frac{1}{3x_p} = \frac{1}{x_{C0}}, \Rightarrow 3x_p = x_{C0}$$

Кафедра Энергетика, автоматика и системы коммуникаций

Особые виды КЗ

Особенности расчета токов КЗ в сетях до 1000 В

Некоторые особенности сетей до 1000В:

- Сети еще более удалены от источника питания.
- Сети имеют большое активное сопротивление, в некоторых случаях может применяться в качестве материала для проводов даже сталь (в этом случае, а также в случае, если ток выше 0,2кА, то нужно принять $x_0=0,5$ Ом/км).
- При замыкании с большими токами необходимо учитывать насыщение, поверхностный эффект, нагрев проводников (около 0,004 Ом/град)
- Переходные сопротивления контактов аппаратов существенно влияют на ток КЗ (грубо $r_{\text{контактов}}=0,02$ Ом).
- Электродвигатели, незначительно удалённые от места КЗ, учитываются активным и реактивным сопротивлениями и ЭДС $E_0=0,9U_{\text{НОМ}}$

$$r_M = \frac{0,63 P_{\text{НОМ}} 10^6}{K_{\text{П}}^2 I_{\text{НОМ}}^2}$$

$$x_M = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{НОМ}} 10^3}{\sqrt{3} K_{\text{П}} I_{\text{НОМ}}}\right)^2 - r_M^2}$$

$$r_{v2} = r_{v1} \frac{1 + \alpha v_2}{1 + \alpha v_1}$$