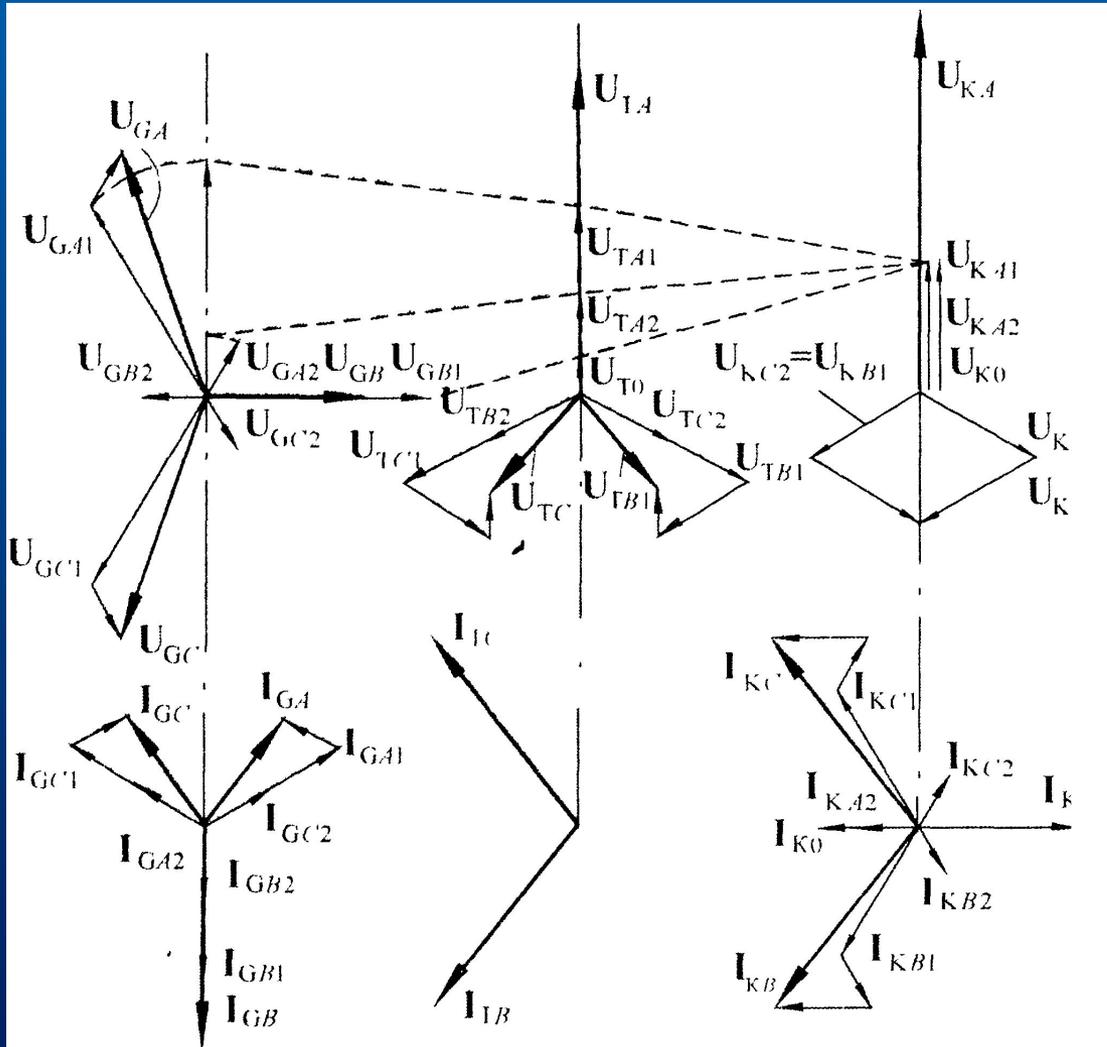
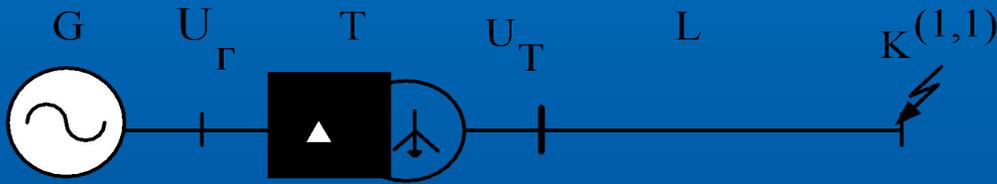


# Электромагнитные переходные процессы

Лекция 9

Кафедра Энергетика, автоматика и  
системы коммуникаций

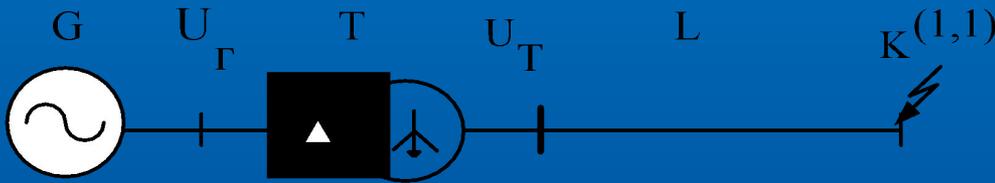
# Трансформирование симметричных составляющих при несимметричных замыканиях



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.:

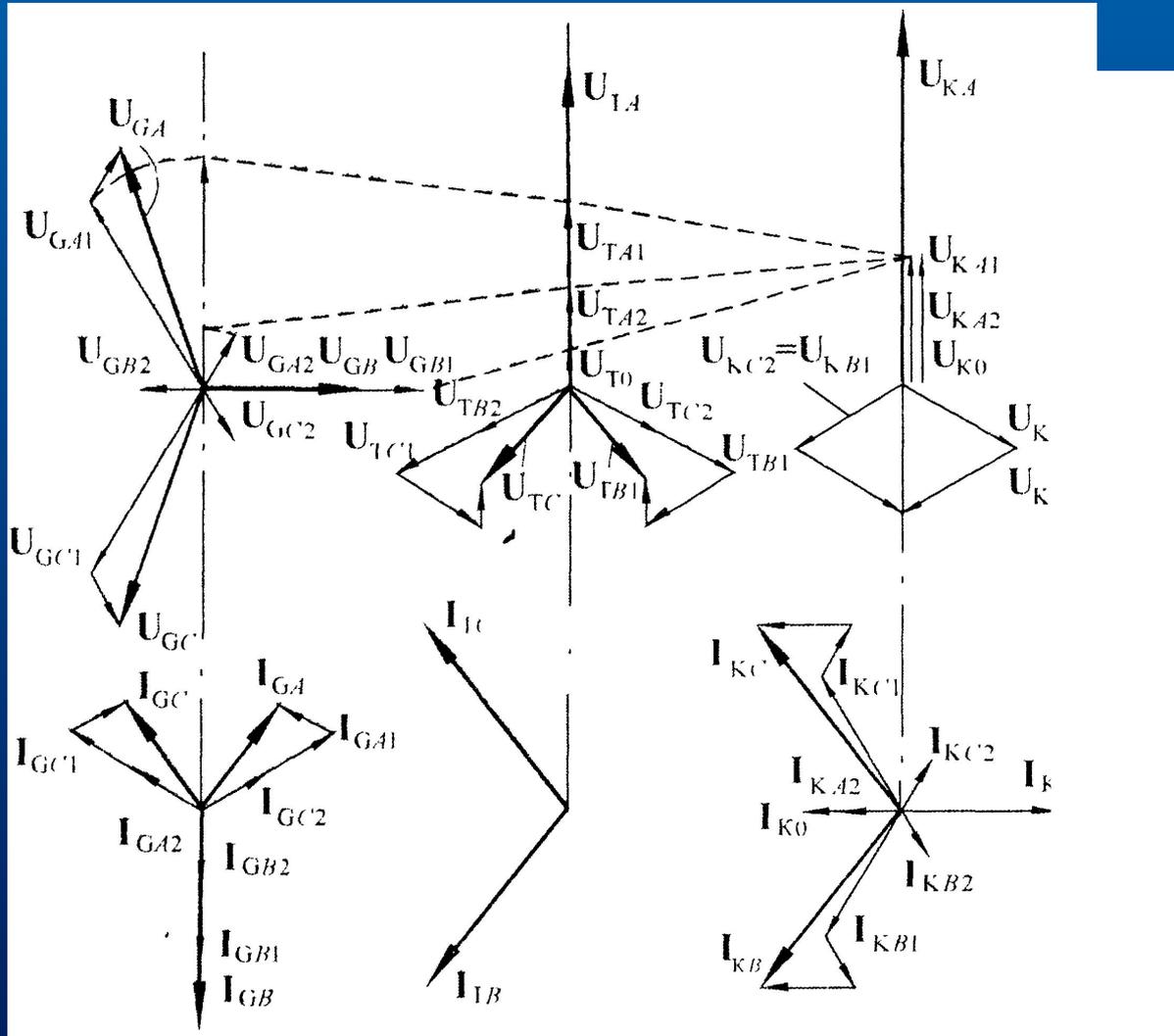
$$U_{TA1*} = U_{KA1*} + I_{LA1*} \cdot X_{L*}$$

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

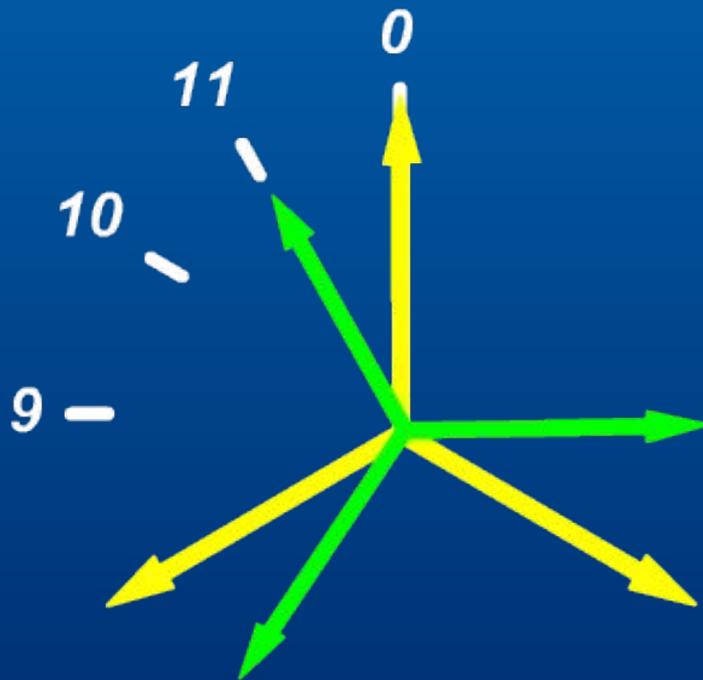
$$U_{TA2*} = U_{KA2*} - I_{LA2*} \cdot X_{L*}$$

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

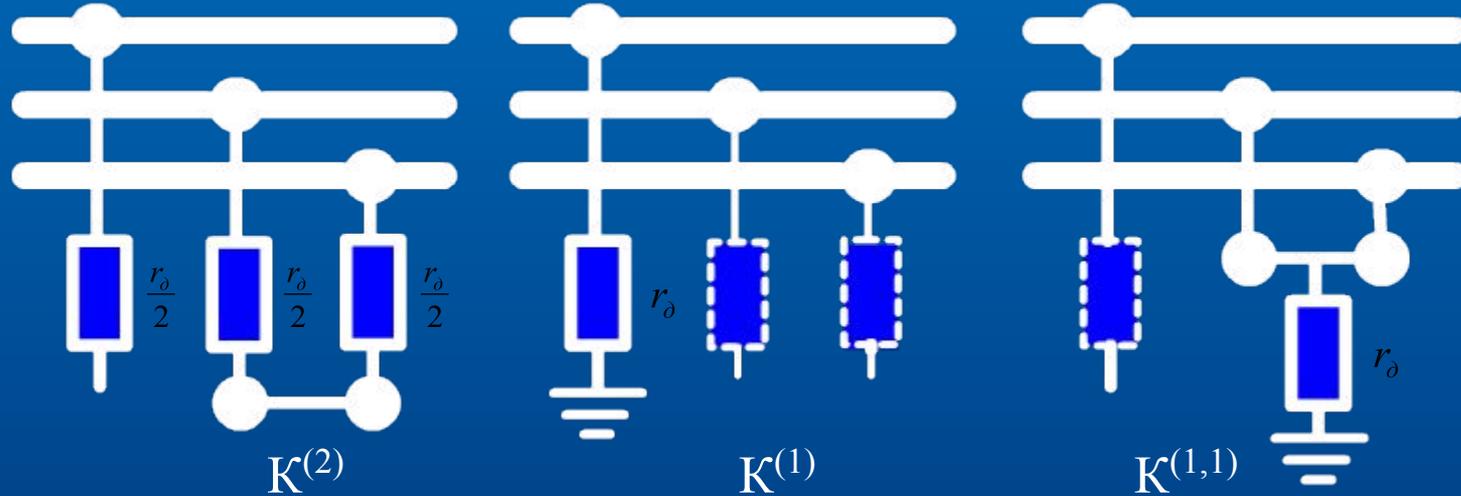


$$K^{\Delta} = K e^{j30N}$$

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.

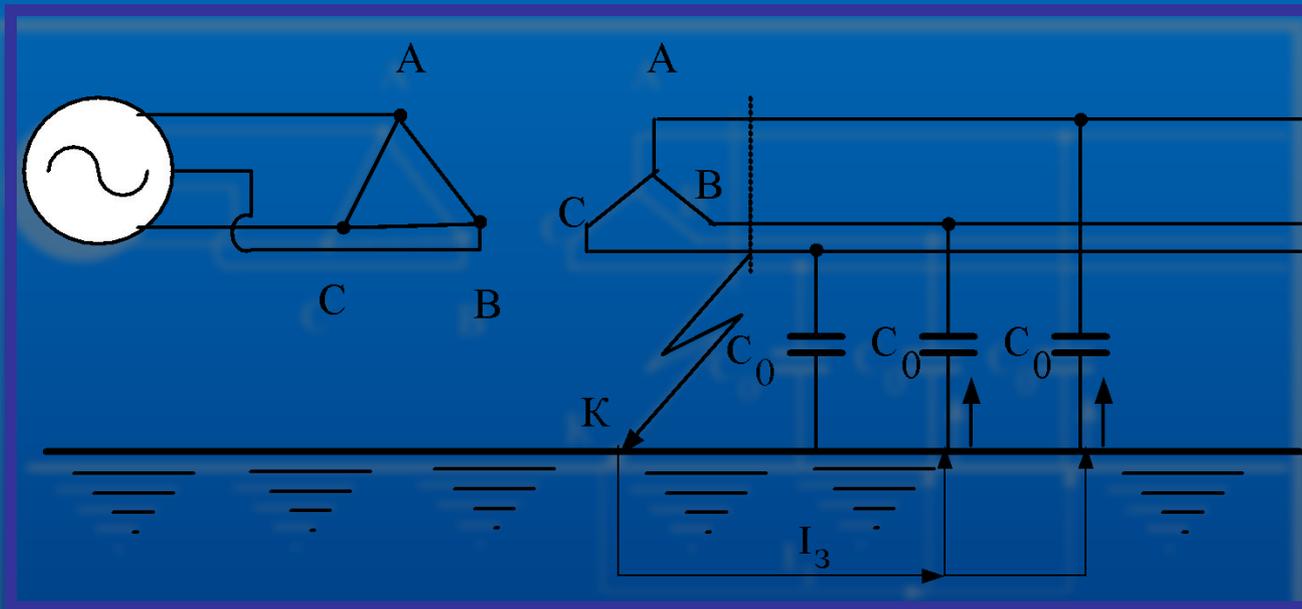
Некоторые особенности распределительных сетей:

- 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:

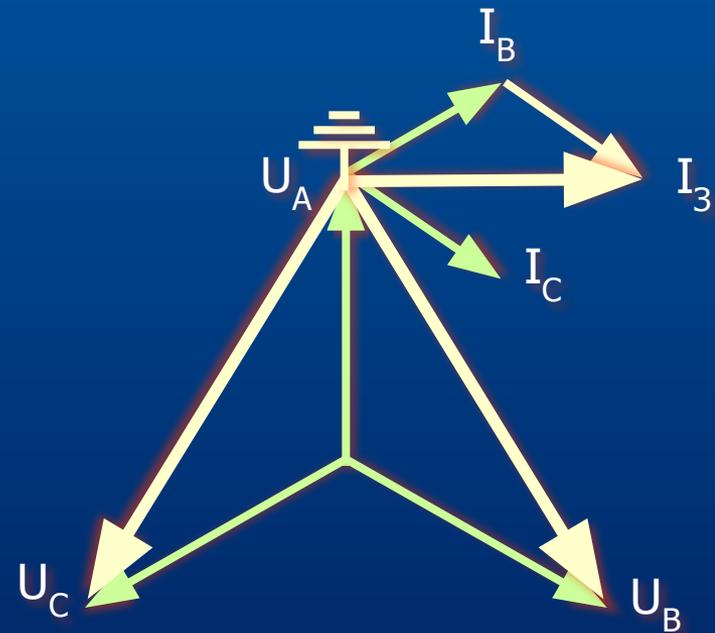
$$I_3 = 3U_\phi\omega C$$

В практических расчетах ток замыкания можно определить по формуле:

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

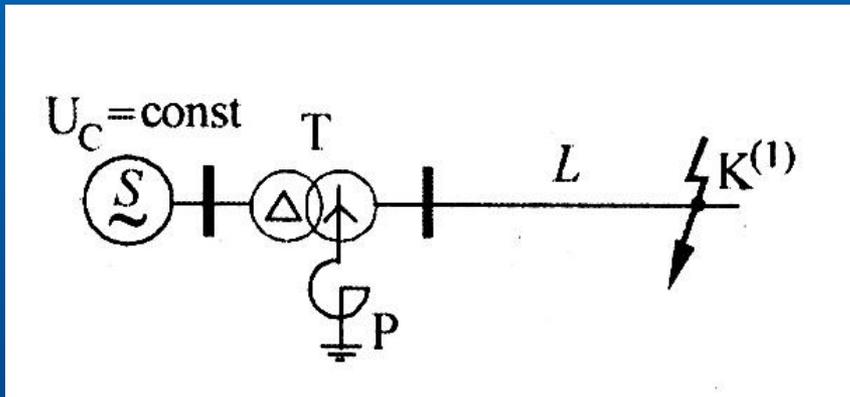
$N$  – коэффициент, принимаемый для ВЛ 350, для КЛ 10.

$L$  – 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

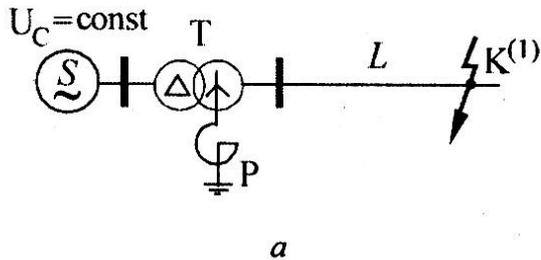
Класс напряжения, кВ	Допустимый ток замыкания на землю, А	Ток замыкания на землю на 100 км сети, А		Допустимая протяженность сети, км	
		воздушной	кабельной	воздушной	кабельной
3	30 (10)	0.9	31.5	3333 (1110)	95
6	30 (10)	1.8	63	1667 (555)	47.6
10	20 (10)	3	105	660 (330)	35
15	15 (10)	—	—	—	—
20	15 (10)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

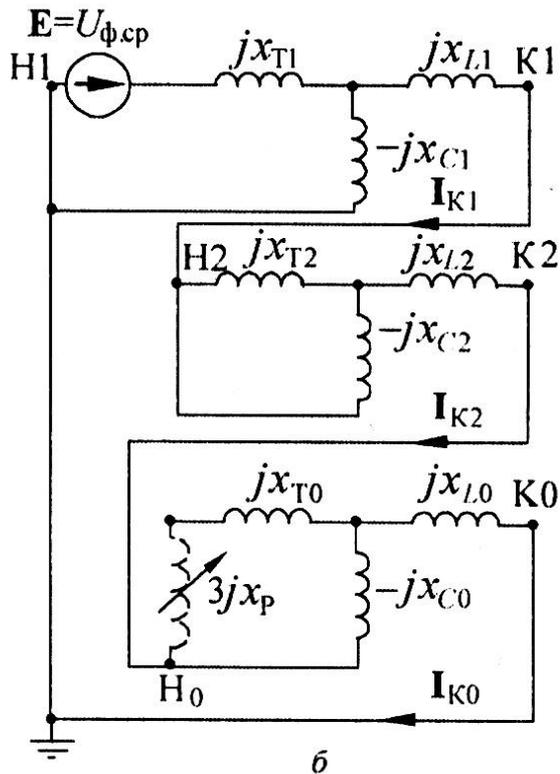
# Особые виды КЗ

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  $E_0=0,9U_{\text{ном}}$

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

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

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