

## Оглавление расчета 0.4 кВ

### Расчет параметров элементов СЗ

Система	1
Трансформатор	2
Двигатели	3
Кабели	12
Шинопровод	18
Выключатели	18
Трансформаторы тока	21
Генератор	24
Список элементов прямой последовательности	25

### Расчет трехфазных металлических токов в нулевой момент времени

Точка К1	
$I_{по}$	27
$i_{уд}$	29
Точка К2	
$I_{по}$	33
$i_{уд}$	36
Точка К3	
$I_{по}$	39
$i_{уд}$	42
Точка К4	
$I_{по}$	43
$i_{уд}$	46
Список $Z_{\Sigma}$	48

### Расчет трехфазных дуговых токов в нулевой момент времени

Точка К1	48
Точка К2	49
Точка К3	50
Точка К4	51

### Расчет трехфазных дуговых токов в произвольный момент времени

Точка К1	52
Точка К2	56

### Расчет трехфазных металлических токов в произвольный момент времени

Точка К2	70
----------	----

### Список элементов нулевой последовательности

	76
--	----

### Расчет несимметричных металлических токов в нулевой момент времени

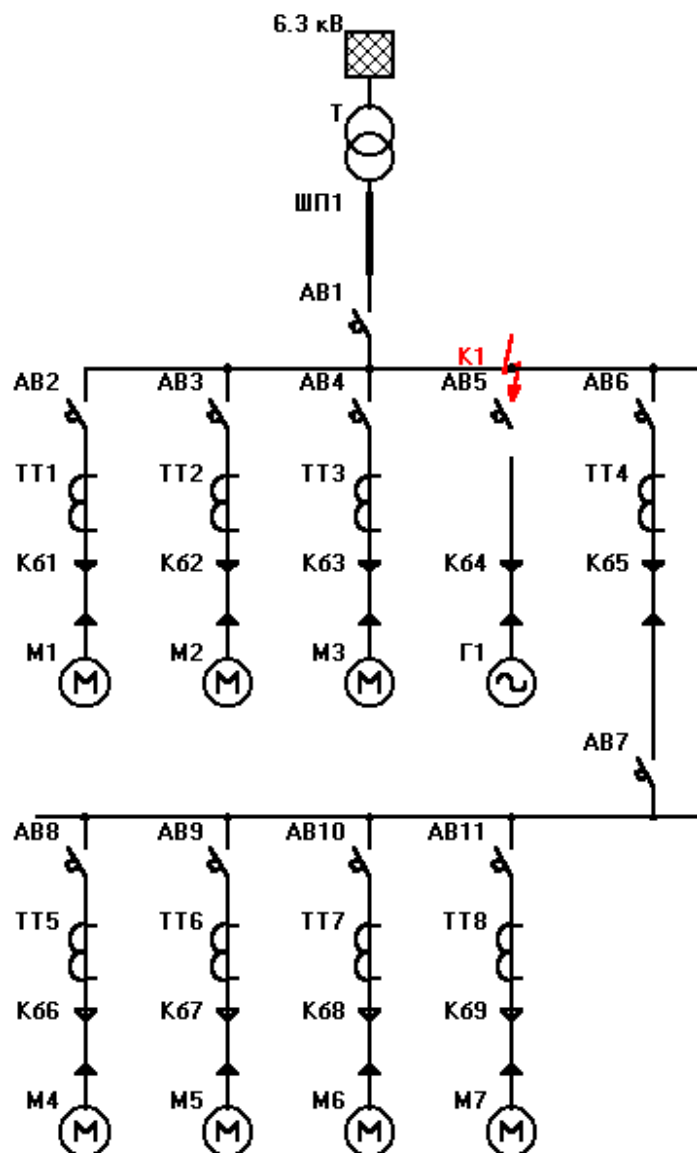
Точка К1	77
Точка К2	78
Точка К3	78
Точка К4	79

### Расчет несимметричных токов в произвольный момент времени

Точка К1	80
Точка К2	81



Часть 3. Подготовка и параметризация расчетной схемы и схемы замещения, расчет токов для начального момента симметричных коротких замыканий в электроустановке напряжением 0,4 кВ



**Система:**

$$U_{cpHH} := 400 \text{ В}$$

$$U_{cpBH} := 6300 \text{ В}$$

$$I_{KBH} := 27.535 \text{ кА}$$

$$\omega := 2 \cdot \pi \cdot 50$$

$$\omega = 314.159$$

По формуле (1) из [1]:

$$Z_c := \frac{U_{cpHH}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{KBH} \cdot U_{cpBH}}$$

$$Z_c = 0.533$$

МОм

$$K_{уд} := 1.8$$

$$T_a := \frac{-0.01}{\ln(K_{уд} - 1)} \quad T_a = 0.045 \quad c$$

Отношение X/Z:

$$x := \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(\omega \cdot T_a)^2} + 1}} \quad x = 0.997$$

$$X_c := Z_c \cdot x \quad X_c = 0.531 \quad m\Omega$$

$$R_c := \sqrt{Z_c^2 - X_c^2} \quad R_c = 0.038 \quad m\Omega$$

Параметры на схеме замещения:

$$R_1 := R_c \quad R_1 = 0.038$$

$$X_1 := X_c \quad X_1 = 0.531$$

$$Z_1 := R_1 + i \cdot X_1 \quad Z_1 = 0.038 + 0.531i \quad m\Omega$$

### Трансформатор

$$S_{THOM} := 1000 \quad kVA$$

$$U_{K3} := 8 \quad \%$$

$$P_{K3} := 9.6 \quad кВт$$

$$U_{HH.HOM} := 0.4 \quad кВ$$

По формуле (4) из [1]:

$$X_T := \sqrt{U_{K3}^2 - \left( \frac{100 \cdot P_{K3}}{S_{THOM}} \right)^2} \cdot \frac{U_{HH.HOM}^2}{S_{THOM}} \cdot 10^4 \quad X_T = 12.708 \quad m\Omega$$

По формуле (3) из [1]:

$$R_T := P_{K3} \cdot \frac{U_{HH.HOM}^2}{S_{THOM}^2} \cdot 10^6 \quad R_T = 1.536 \quad m\Omega$$

Параметры на схеме замещения:

$$R_2 := R_T$$

$$\begin{aligned} X_2 &:= X_T \\ R_{02} &:= R_T \end{aligned}$$

$$X_{02} := X_T$$

$$Z_2 := R_2 + i \cdot X_2$$

$$Z_{02} := R_{02} + i \cdot X_{02}$$

$$Z_2 = 1.536 + 12.708i \quad \text{МОм}$$

$$Z_{02} = 1.536 + 12.708i \quad \text{МОм}$$

## Двигатели

### Двигатель М1:

Взяты данные двигателя типа АОЗ-315-6УЗ из Табл.4.1.[4].

$$P_{\text{НОМ}} := 132 \quad \text{кВт}$$

$$U_{\text{НОМ}} := 380 \quad \text{В}$$

$$M_{\text{П}} := 1.6$$

$$\cos \phi_{\text{НОМ}} := 0.9$$

$$s_{\text{НОМ}} := 1.7 \quad \%$$

$$s_{\text{НОМ}} := \frac{s_{\text{НОМ}}}{100} \quad \text{о.е.}$$

$$\eta_{\text{Д}} := 93.5 \quad \%$$

$$I_{\text{П}} := 7$$

$$\eta_{\text{Д}} := \frac{\eta_{\text{Д}}}{100} \quad \text{о.е.}$$

$$\eta_{\text{Д}} = 0.935$$

$$P_{\text{МХ}} := 0.02 \cdot P_{\text{НОМ}}$$

$$P_{\text{МХ}} = 2.64 \quad \text{кВт}$$

$$I_{\text{НОМ}} := \frac{P_{\text{НОМ}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \phi_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{Д}}}$$

$$I_{\text{НОМ}} = 238.328 \quad \text{А}$$

$$I_1 := I_{\text{НОМ}}$$

По формуле (36) из [1]:

$$R_{\text{РОТ}} := \frac{0.36 \cdot M_{\text{П}} \cdot (P_{\text{НОМ}} \cdot 1.02)}{I_{\text{П}}^2 \cdot I_{\text{НОМ}}^2 \cdot (1 - s_{\text{НОМ}})} \cdot 10^6$$

$$R_{\text{РОТ}} = 28.346 \quad \text{МОм}$$

$$U_{\text{НОМ}} := 380 \quad \text{В}$$

$$P_{\text{НОМ}} := P_{\text{НОМ}} \cdot 1000 \quad \text{ВА}$$

$$P_{\text{НОМ}} = 1.32 \times 10^5 \quad \text{ВА}$$

По формуле (37) из [1]:

$$R_1 := s_{\text{НОМ}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2 \cdot \cos \phi_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{Д}} \cdot 10^3}{P_{\text{НОМ}}}$$

$$R_1 = 15.649 \quad \text{МОм}$$

По формуле (35) из [1]:

$$R_{\text{АД}} := R_1 + 0.96 \cdot R_{\text{РОТ}}$$

$$R_{\text{АД}} = 42.862 \quad \text{МОм}$$

$$R_{12\_c} := R_1$$

$$R_{12\_c} = 15.649 \quad \text{МОм}$$

$$R_{12\_p} := R_{\text{рот}}$$

$$R_{12\_p} = 28.346 \quad \text{мОм}$$

$$U_{\text{НОМ}} := 380 \quad \text{В}$$

$$U_{\phi.\text{НОМ}} := \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}} \quad \text{В}$$

$$U_{\phi.\text{НОМ}} = 219.393 \quad \text{В}$$

По формуле (38) из [1]:

$$X_{\text{АД}} := \sqrt{\left(\frac{U_{\phi.\text{НОМ}}}{I_{\text{П}} \cdot I_{\text{НОМ}}} \cdot 10^3\right)^2 - R_{\text{АД}}^2}$$

$$X_{\text{АД}} = 124.326 \quad \text{мОм}$$

Параметры на схеме замещения:

$$R_{12} := R_{\text{АД}}$$

$$X_{12} := X_{\text{АД}}$$

$$Z_{12} := R_{12} + i \cdot X_{12}$$

$$Z_{12} = 42.862 + 124.326i \quad \text{мОм}$$

$$Z_{012} := \infty$$

$$U_{\phi.\text{НОМ}} := \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}}$$

$$U_{\phi.\text{НОМ}} = 219.393 \quad \text{В}$$

$$\cos\phi_{\text{НОМ}} = 0.9$$

$$\cos\phi_0 := \cos\phi_{\text{НОМ}}$$

$$\sin\phi_{\text{НОМ}} := \sqrt{1 - \cos\phi_{\text{НОМ}}^2}$$

$$\sin\phi_0 := \sin\phi_{\text{НОМ}}$$

$$\sin\phi_{\text{НОМ}} = 0.436$$

ЭДС двигателя в режиме холостого хода:

$$I_{\text{НОМ}} := 0$$

По формуле (13) из [1]:

$$E := \sqrt{\left(U_{\phi.\text{НОМ}} \cdot \cos\phi_0 - I_{\text{НОМ}} \cdot R_{\text{АД}} \cdot 10^{-3}\right)^2 + \left(U_{\phi.\text{НОМ}} \cdot \sin\phi_0 - I_{\text{НОМ}} \cdot X_{\text{АД}} \cdot 10^{-3}\right)^2}$$

$$E = 219.393 \quad \text{В}$$

$$E_{12} := E$$

**Двигатели М2,М3:**

Взяты данные двигателя типа 4А160М2У3 из Табл.4.1.[4].

$$P_{\text{HOM}} := 18.5 \quad \text{кВт} \qquad U_{\text{HOM}} := 380 \quad \text{В}$$

$$M_{\Pi} := 1.4 \qquad \cos\phi_{\text{HOM}} := 0.92$$

$$s_{\text{HOM}} := 2.1 \quad \%$$

$$s_{\text{HOM}} := \frac{s_{\text{HOM}}}{100} \quad \text{o.e.}$$

$$I_{\Pi} := 7.0 \qquad \eta_{\text{д}} := 88.5 \quad \%$$

$$\eta_{\text{д}} := \frac{\eta_{\text{д}}}{100} \quad \text{o.e.}$$

$$\eta_{\text{д}} = 0.885$$

$$P_{\text{MX}} := 0.02 \cdot P_{\text{HOM}} \qquad P_{\text{MX}} = 0.37 \qquad \text{кВт}$$

$$I_{\text{HOM}} := \frac{P_{\text{HOM}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{HOM}} \cdot \cos\phi_{\text{HOM}} \cdot \eta_{\text{д}}} \qquad I_{\text{HOM}} = 34.522 \qquad \text{А}$$

$$I_2 := I_{\text{HOM}}$$

$$I_3 := I_{\text{HOM}}$$

$$R_{\text{пот}} := \frac{0.36 \cdot M_{\Pi} \cdot (P_{\text{HOM}} \cdot 1.02)}{I_{\Pi}^2 \cdot I_{\text{HOM}}^2 \cdot (1 - s_{\text{HOM}})} \cdot 10^6 \qquad R_{\text{пот}} = 166.353 \qquad \text{МОм}$$

$$U_{\text{HOM}} := 380 \quad \text{В} \qquad P_{\text{HOM}} := P_{\text{HOM}} \cdot 1000 \quad \text{ВА} \qquad P_{\text{HOM}} = 1.85 \times 10^4 \quad \text{ВА}$$

$$R_1 := s_{\text{HOM}} \cdot \frac{U_{\text{HOM}}^2 \cdot \cos\phi_{\text{HOM}} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot 10^3}{P_{\text{HOM}}} \qquad R_1 = 133.458 \qquad \text{МОм}$$

$$R_{\text{АД}} := R_1 + 0.96 \cdot R_{\text{пот}} \qquad R_{\text{АД}} = 293.157 \qquad \text{МОм}$$

$$R_{15\_c} := R_1 \qquad R_{15\_c} = 133.458 \qquad \text{МОм}$$

$$R_{15\_p} := R_{\text{пот}} \qquad R_{15\_p} = 166.353 \qquad \text{МОм}$$

$$R_{18\_c} := R_1 \qquad R_{18\_c} = 133.458 \qquad \text{МОм}$$

$$R_{18\_p} := R_{\text{пот}} \qquad R_{18\_p} = 166.353 \qquad \text{МОм}$$

$$U_{\text{HOM}} := 380 \quad \text{В}$$

$$U_{\text{ф.НД}} := \sqrt{\left( \frac{U_{\text{ф.НД}}}{\frac{\sqrt{3}}{I_{\Pi}} I_{\text{HOM}}} \cdot 10^3 \right)^2 - R_{\text{АД}}^2} \qquad U_{\text{ф.НД}} = 219.393 \quad \text{В}$$

$$X_{AD} = 859.247 \quad \text{мОм}$$

Параметры на схеме замещения:

$$R_{15} := R_{AD}$$

$$X_{15} := X_{AD}$$

$$Z_{15} := R_{15} + i \cdot X_{15}$$

$$Z_{15} = 293.157 + 859.247i \quad \text{мОм}$$

$$R_{18} := R_{15}$$

$$X_{18} := X_{15}$$

$$Z_{18} := Z_{15}$$

$$Z_{18} = 293.157 + 859.247i \quad \text{мОм}$$

$$U_{\phi.\text{НОМ}} := \frac{380}{\sqrt{3}}$$

$$U_{\phi.\text{НОМ}} = 219.393 \quad \text{В}$$

$$I_{\text{НОМ}} = 34.522$$

$$\cos\phi_{\text{НОМ}} = 0.92$$

$$\cos\phi_0 := \cos\phi_{\text{НОМ}}$$

$$\sin\phi_{\text{НОМ}} := \sqrt{1 - \cos\phi_{\text{НОМ}}^2}$$

$$\sin\phi_0 := \sin\phi_{\text{НОМ}}$$

$$\sin\phi_{\text{НОМ}} = 0.392$$

$$R_{AD} := \frac{R_{AD}}{1000}$$

$$R_{AD} = 0.293$$

$$X_{AD} := \frac{X_{AD}}{1000}$$

$$X_{AD} = 0.859$$

$$I_{\text{НОМ}} := 0$$

$$E := \sqrt{(U_{\phi.\text{НОМ}} \cdot \cos\phi_0 - I_{\text{НОМ}} \cdot R_{AD})^2 + (U_{\phi.\text{НОМ}} \cdot \sin\phi_0 - I_{\text{НОМ}} \cdot X_{AD})^2}$$

$$E = 219.393 \quad \text{В}$$

$$E_{15} := E$$

$$E_{18} := E$$

### Двигатели М4,М5

Взяты данные двигателя типа 4А90L2У3 из Табл.9.6.[5].

$$P_{\text{НОМ}} := 3 \quad \text{кВт}$$

$$U_{\text{НОМ}} := 380 \quad \text{В}$$

$$M_{\text{п}} := 2$$

$$\cos\phi_{\text{НОМ}} := 0.88$$

$$I_{\text{п}} := 6.5$$

$$s_{\text{НОМ}} := 5.4 \quad \%$$



$$s_{\text{HOM}} := \frac{s_{\text{HOM}}}{100} \quad \text{o.e.}$$

$$\eta_{\text{д}} := 84.5 \quad \%$$

$$\eta_{\text{д}} := \frac{\eta_{\text{д}}}{100} \quad \text{o.e.}$$

$$\eta_{\text{д}} = 0.845$$

$$P_{\text{MX}} := 0.02 \cdot P_{\text{HOM}}$$

$$P_{\text{MX}} = 0.06 \quad \text{кВт}$$

$$I_{\text{HOM}} := \frac{P_{\text{HOM}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{HOM}} \cdot \cos \phi_{\text{HOM}} \cdot \eta_{\text{д}}}$$

$$I_{\text{HOM}} = 6.13 \quad \text{А}$$

$$I_4 := I_{\text{HOM}}$$

$$I_5 := I_{\text{HOM}}$$

$$R_{\text{пот}} := \frac{0.36 \cdot M_{\text{П}} \cdot (P_{\text{HOM}} \cdot 1.02)}{I_{\text{П}}^2 \cdot I_{\text{HOM}}^2 \cdot (1 - s_{\text{HOM}})} \cdot 10^6$$

$$R_{\text{пот}} = 1.467 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$U_{\text{HOM}} := 380 \quad \text{В}$$

$$P_{\text{HOM}} := P_{\text{HOM}} \cdot 1000$$

$$\text{ВА}$$

$$P_{\text{HOM}} = 3 \times 10^3 \quad \text{ВА}$$

$$R_1 := s_{\text{HOM}} \cdot \frac{U_{\text{HOM}}^2 \cdot \cos \phi_{\text{HOM}} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot 10^3}{P_{\text{HOM}}}$$

$$R_1 = 1.933 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$R_{\text{АД}} := R_1 + 0.96 \cdot R_{\text{пот}}$$

$$R_{\text{АД}} = 3.341 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$R_{27\_c} := R_1$$

$$R_{27\_c} = 1.933 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$R_{27\_p} := R_{\text{пот}}$$

$$R_{27\_p} = 1.467 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$R_{30\_c} := R_1$$

$$R_{30\_c} = 1.933 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$R_{30\_p} := R_{\text{пот}}$$

$$R_{30\_p} = 1.467 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$U_{\text{HOM}} := 380 \quad \text{В}$$

$$U_{\phi.\text{HOM}} := \frac{U_{\text{HOM}}}{\sqrt{3}} \quad \text{В}$$

$$U_{\phi.\text{HOM}} = 219.393 \quad \text{В}$$

$$X_{\text{АД}} := \sqrt{\left( \frac{U_{\phi.\text{HOM}}}{I_{\text{П}} \cdot I_{\text{HOM}}} \cdot 10^3 \right)^2 - R_{\text{АД}}^2}$$

$$X_{\text{АД}} = 4.377 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

Параметры на схеме замещения:

$$R_{27} := R_{\text{АД}}$$

$$X_{27} := X_{AD}$$

$$Z_{27} := R_{27} + i \cdot X_{27}$$

$$Z_{27} = 3.341 \times 10^3 + 4.377i \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$R_{30} := R_{27}$$

$$X_{30} := X_{27}$$

$$Z_{30} := Z_{27}$$

$$Z_{30} = 3.341 \times 10^3 + 4.377i \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$U_{\text{НОМ}} := 380$$

$$\text{Фазное значение:} \quad U_{\phi.\text{НОМ}} := \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}} \quad U_{\phi.\text{НОМ}} = 219.393 \text{ В}$$

$$I_{\text{НОМ}} = 6.13$$

$$\cos\phi_{\text{НОМ}} = 0.88$$

$$\cos\phi_0 := \cos\phi_{\text{НОМ}}$$

$$\sin\phi_{\text{НОМ}} := \sqrt{1 - \cos\phi_{\text{НОМ}}^2}$$

$$\sin\phi_0 := \sin\phi_{\text{НОМ}}$$

$$\sin\phi_{\text{НОМ}} = 0.475$$

$$R_{AD} := \frac{R_{AD}}{1000}$$

$$R_{AD} = 3.341$$

$$X_{AD} := \frac{X_{AD}}{1000}$$

$$X_{AD} = 4.377$$

$$I_{\text{НОМ}} := 0$$

$$E := \sqrt{(U_{\phi.\text{НОМ}} \cdot \cos\phi_0 - I_{\text{НОМ}} \cdot R_{AD})^2 + (U_{\phi.\text{НОМ}} \cdot \sin\phi_0 - I_{\text{НОМ}} \cdot X_{AD})^2}$$

$$E = 219.393 \quad \text{В}$$

$$E_{27} := E$$

$$E_{30} := E$$

### Двигатель М6

Взяты данные двигателя типа 4А80А2У3 из Табл.9.6.[5].

$$P_{\text{НОМ}} := 1.5 \quad \text{кВт}$$

$$U_{\text{НОМ}} := 380 \quad \text{В}$$

$$M_{\text{п}} := 2$$

$$\cos\phi_{\text{НОМ}} := 0.85$$

$$I_{\text{п}} := 6.5$$

$$s_{\text{НОМ}} := 5 \quad \%$$

$$s_{\text{HOM}} := \frac{s_{\text{HOM}}}{100} \quad \text{o.e.}$$

$$\eta_{\text{д}} := 81 \quad \%$$

$$\eta_{\text{д}} := \frac{\eta_{\text{д}}}{100} \quad \text{o.e.}$$

$$\eta_{\text{д}} = 0.81$$

$$P_{\text{MX}} := 0.02 \cdot P_{\text{HOM}}$$

$$P_{\text{MX}} = 0.03 \quad \text{кВт}$$

$$I_{\text{HOM}} := \frac{P_{\text{HOM}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{HOM}} \cdot \cos \phi_{\text{HOM}} \cdot \eta_{\text{д}}}$$

$$I_{\text{HOM}} = 3.31 \quad \text{А}$$

$$I_6 := I_{\text{HOM}}$$

$$R_{\text{рот}} := \frac{0.36 \cdot M_{\text{П}} \cdot (P_{\text{HOM}} \cdot 1.02)}{I_{\text{П}}^2 \cdot I_{\text{HOM}}^2 \cdot (1 - s_{\text{HOM}})} \cdot 10^6$$

$$R_{\text{рот}} = 2.505 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$R_{33\_c} := R_1$$

$$R_{33\_c} = 1.933 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$R_{33\_p} := R_{\text{рот}}$$

$$R_{33\_p} = 2.505 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$U_{\text{HOM}} := 380 \quad \text{В}$$

$$P_{\text{HOM}} := P_{\text{HOM}} \cdot 1000 \quad \text{ВА}$$

$$P_{\text{HOM}} = 1.5 \times 10^3 \quad \text{ВА}$$

$$R_1 := s_{\text{HOM}} \cdot \frac{U_{\text{HOM}}^2 \cdot \cos \phi_{\text{HOM}} \cdot \eta_{\text{д}} \cdot 10^3}{P_{\text{HOM}}}$$

$$R_1 = 3.314 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$R_{\text{АД}} := R_1 + 0.96 \cdot R_{\text{рот}}$$

$$R_{\text{АД}} = 5.719 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$U_{\text{HOM}} := 380 \quad \text{В}$$

$$U_{\phi.\text{HOM}} := \frac{U_{\text{HOM}}}{\sqrt{3}} \quad \text{В}$$

$$U_{\phi.\text{HOM}} = 219.393 \quad \text{В}$$

$$X_{\text{АД}} := \sqrt{\left( \frac{U_{\phi.\text{HOM}}}{I_{\text{П}} \cdot I_{\text{HOM}}} \cdot 10^3 \right)^2 - R_{\text{АД}}^2}$$

$$X_{\text{АД}} = 8.442 \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$R_{33} := R_{\text{АД}}$$

$$X_{33} := X_{\text{АД}}$$

$$Z_{33} := R_{33} + i \cdot X_{33}$$

$$Z_{33} = 5.719 \times 10^3 + 8.442i \times 10^3 \quad \text{МОм}$$

$$U_{\text{НОМ}} := 380 \text{ В}$$

$$\text{Фазное значение: } U_{\phi.\text{НОМ}} := \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}} \quad U_{\phi.\text{НОМ}} = 219.393 \text{ В}$$

$$I_{\text{НОМ}} = 3.31$$

$$\cos\phi_{\text{НОМ}} = 0.85$$

$$\cos\phi_0 := \cos\phi_{\text{НОМ}}$$

$$\sin\phi_{\text{НОМ}} := \sqrt{1 - \cos^2\phi_{\text{НОМ}}}$$

$$\sin\phi_0 := \sin\phi_{\text{НОМ}}$$

$$\sin\phi_{\text{НОМ}} = 0.527$$

$$R_{\text{АД}} := \frac{R_{\text{АД}}}{1000}$$

$$R_{\text{АД}} = 5.719$$

$$X_{\text{АД}} := \frac{X_{\text{АД}}}{1000}$$

$$X_{\text{АД}} = 8.442$$

$$I_{\text{НОМ}} := 0$$

$$E := \sqrt{(U_{\phi.\text{НОМ}} \cdot \cos\phi_0 - I_{\text{НОМ}} \cdot R_{\text{АД}})^2 + (U_{\phi.\text{НОМ}} \cdot \sin\phi_0 - I_{\text{НОМ}} \cdot X_{\text{АД}})^2}$$

$$E = 219.393 \text{ В}$$

$$E_{33} := E$$

### Двигатель М7

Взяты данные двигателя типа 4А63А2У3 из Табл.9.6.[5].

$$P_{\text{НОМ}} := 0.37 \text{ кВт}$$

$$U_{\text{НОМ}} := 380 \text{ В}$$

$$M_{\text{П}} := 2$$

$$\cos\phi_{\text{НОМ}} := 0.86$$

$$I_{\text{П}} := 5$$

$$s_{\text{НОМ}} := 8.3 \%$$

$$s_{\text{НОМ}} := \frac{s_{\text{НОМ}}}{100} \text{ о.е.}$$

$$\eta_{\text{Д}} := 70 \%$$

$$\eta_{\text{Д}} := \frac{\eta_{\text{Д}}}{100} \text{ о.е.}$$

$$\eta_{\text{Д}} = 0.7$$

$$P_{\text{МХ}} := 0.02 \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot 10^3$$

$$P_{\text{МХ}} = 7.4 \times 10^{-3} \text{ кВт}$$

$$I_{\text{НОМ}} := \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\phi_{\text{НОМ}} \cdot \eta_{\text{Д}}}$$

$$I_{\text{НОМ}} = 0.934 \text{ А}$$

$$I_7 := I_{\text{HOM}}$$

$$R_{\text{ROT}} := \frac{0.36 \cdot M_{\Pi} \cdot (P_{\text{HOM}} \cdot 1.02)}{I_{\Pi}^2 \cdot I_{\text{HOM}}^2 \cdot (1 - s_{\text{HOM}})} \cdot 10^6 \quad R_{\text{ROT}} = 1.359 \times 10^4 \quad \text{MOM}$$

$$U_{\text{HOM}} := 380 \quad \text{B} \quad P_{\text{HOM}} := P_{\text{HOM}} \cdot 1000 \quad \text{BA} \quad P_{\text{HOM}} = 370 \quad \text{BA}$$

$$R_1 := s_{\text{HOM}} \cdot \frac{U_{\text{HOM}}^2 \cdot \cos \phi_{\text{HOM}} \cdot \eta_{\text{Д}} \cdot 10^3}{P_{\text{HOM}}} \quad R_1 = 1.95 \times 10^4 \quad \text{MOM}$$

$$R_{\text{АД}} := R_1 + 0.96 \cdot R_{\text{ROT}} \quad R_{\text{АД}} = 3.255 \times 10^4 \quad \text{MOM}$$

$$R_{36\_c} := R_1 \quad R_{36\_c} = 1.95 \times 10^4 \quad \text{MOM}$$

$$R_{36\_p} := R_{\text{ROT}} \quad R_{36\_p} = 1.359 \times 10^4 \quad \text{MOM}$$

$$U_{\text{HOM}} := 380 \quad \text{B}$$

$$U_{\phi.\text{HOM}} := \frac{U_{\text{HOM}}}{\sqrt{3}} \quad U_{\phi.\text{HOM}} = 219.393 \quad \text{B}$$

$$X_{\text{АД}} := \sqrt{\left( \frac{U_{\phi.\text{HOM}}}{I_{\Pi} \cdot I_{\text{HOM}}} \cdot 10^3 \right)^2 - R_{\text{АД}}^2} \quad X_{\text{АД}} = 3.389 \times 10^4 \quad \text{MOM}$$

$$R_{36} := R_{\text{АД}}$$

$$X_{36} := X_{\text{АД}}$$

$$Z_{36} := R_{36} + i \cdot X_{36} \quad Z_{36} = 3.255 \times 10^4 + 3.389i \times 10^4 \quad \text{MOM}$$

$$I_{\text{HOM}} = 0.934$$

$$\cos \phi_{\text{HOM}} = 0.86$$

$$\cos \phi_0 := \cos \phi_{\text{HOM}}$$

$$\sin \phi_{\text{HOM}} := \sqrt{1 - \cos^2 \phi_{\text{HOM}}}$$

$$\sin \phi_0 := \sin \phi_{\text{HOM}}$$

$$\sin \phi_{\text{HOM}} = 0.51$$

$$R_{\text{АД}} := \frac{R_{\text{АД}}}{1000}$$

$$R_{\text{АД}} = 32.549$$

$$X_{\text{АД}} := \frac{X_{\text{АД}}}{1000}$$

$$X_{\text{АД}} = 33.889$$

$$E := I_{\text{HOM}} \sqrt{\left( U_{\phi.\text{HOM}}^0 \cdot \cos \phi_0 - I_{\text{HOM}} \cdot R_{\text{АД}} \right)^2 + \left( U_{\phi.\text{HOM}} \cdot \sin \phi_0 - I_{\text{HOM}} \cdot X_{\text{АД}} \right)^2}$$

$$E = 219.393 \quad \text{В}$$

$$E_{36} := E$$

### Кабели:

При выборе кабелей расчетная температура окружающей среды принята равной 40 °С.

Удельные сопротивления взяты для кабелей с медными жилами в свинцовой оболочке из таблицы 14 [1].

#### КБ1

Кабель (4\*150)

$$n_{\text{ц}} := 3 \quad \text{- число кабелей в пучке}$$

$$l := 50 \quad \text{м}$$

$$R_1 := 0.14 \quad \text{мОм/м} \quad R_0 := 0.45 \quad \text{мОм/м}$$

$$X_1 := 0.07 \quad \text{мОм/м} \quad X_0 := 0.28 \quad \text{мОм/м}$$

$$R_{\text{кб}} := \frac{R_1 \cdot l}{n_{\text{ц}}} \quad R_{\text{кб}} = 2.333 \quad \text{мОм}$$

$$X_{\text{кб}} := \frac{X_1 \cdot l}{n_{\text{ц}}} \quad X_{\text{кб}} = 1.167 \quad \text{мОм}$$

$$R_{0\text{кб}} := \frac{R_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} \quad R_{0\text{кб}} = 7.5 \quad \text{мОм}$$

$$X_{0\text{кб}} := \frac{X_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} \quad X_{0\text{кб}} = 4.667 \quad \text{мОм}$$

Учет сопротивления контактных соединений кабелей:

Количество соединений по длине одной жилы:

$$K_{\text{соед}} := 2$$

Сопротивление одного контактного соединения кабеля (по табл.17 [1]):

$$R_{\text{с}} := 0.021 \quad \text{мОм}$$

Сопротивление контактных соединений кабеля:

$$R_{\text{соед}} := K_{\text{соед}} \cdot R_{\text{с}} \quad R_{\text{соед}} = 0.042 \quad \text{мОм}$$

$$R_{11} := R_{\text{кб}} + \frac{R_{\text{соед}}}{n_{\text{ц}}} \quad R_{11} = 2.347 \quad \text{мОм}$$

$$R_{011} := R_{0\text{кб}} + \frac{R_{\text{соед}}}{n_{\text{ц}}} \quad R_{011} = 7.514 \quad \text{мОм}$$

$$X_{011} := X_{0\text{кб}}$$

$$Z_{11} := R_{11} + i \cdot X_{11}$$

$$Z_{11} = 2.347 + 1.167i \text{ мОм}$$

$$Z_{011} := R_{011} + i \cdot X_{011}$$

$$Z_{011} = 7.514 + 4.667i \text{ мОм}$$

### **К62,К63**

Кабель (4\*50)

$$n_{\text{ц}} := 1$$

$$l := 100 \text{ м}$$

$$R_1 := 0.43 \text{ мОм/м}$$

$$R_0 := 1.05 \text{ мОм/м}$$

$$X_1 := 0.086 \text{ мОм/м}$$

$$X_0 := 0.58 \text{ мОм/м}$$

$$R_{\text{кб}} := \frac{R_1 \cdot l}{n_{\text{ц}}} \quad R_{\text{кб}} = 43 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{кб}} := \frac{X_1 \cdot l}{n_{\text{ц}}} \quad X_{\text{кб}} = 8.6 \text{ мОм}$$

$$R_{0\text{кб}} := \frac{R_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} \quad R_{0\text{кб}} = 105 \text{ мОм}$$

$$X_{0\text{кб}} := \frac{X_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} \quad X_{0\text{кб}} = 58 \text{ мОм}$$

Учет контактных соединений кабелей:

Количество соединений по длине одной жилы:

$$K_{\text{соед}} := 2$$

Сопротивление одного контактного соединения кабеля:

$$R_c := 0.043$$

Сопротивление контактных соединений кабеля:

$$R_{\text{соед}} := K_{\text{соед}} \cdot R_c \quad R_{\text{соед}} = 0.086 \text{ мОм}$$

$$R_{14} := R_{\text{кб}} + \frac{R_{\text{соед}}}{n_{\text{ц}}} \quad R_{14} = 43.086 \text{ мОм}$$

$$X_{14} := X_{\text{кб}} \quad X_{14} = 8.6 \text{ мОм}$$

$$R_{014} := R_{0\text{кб}} + \frac{R_{\text{соед}}}{n_{\text{ц}}} \quad R_{014} = 105.086 \text{ мОм}$$

$$X_{014} := X_{0\text{кб}}$$

$$Z_{14} := R_{14} + i \cdot X_{14} \quad Z_{14} = 43.086 + 8.6i \text{ мОм}$$

$$Z_{014} := R_{014} + i \cdot X_{014} \quad Z_{014} = 105.086 + 58i \text{ мОм}$$

$$R_{17} := R_{14}$$

$$X_{17} := X_{14}$$

$$R_{017} := R_{014}$$

$$X_{017} := X_{014}$$

$$Z_{17} := Z_{14}$$

$$Z_{17} = 43.086 + 8.6i \quad \text{мОм}$$

$$Z_{017} := Z_{014}$$

$$Z_{017} = 105.086 + 58i \quad \text{мОм}$$

#### **K64**

Кабель (4\*185)

$$n_{\text{ц}} := 5$$

$$l := 20 \quad \text{м}$$

$$R_1 := 0.115 \quad \text{мОм/м}$$

$$R_0 := 0.37 \quad \text{мОм/м}$$

$$X_1 := 0.069 \quad \text{мОм/м}$$

$$X_0 := 0.27 \quad \text{мОм/м}$$

$$R_{\text{кб}} := \frac{R_1 \cdot l}{n_{\text{ц}}}$$

$$R_{\text{кб}} = 0.46 \quad \text{мОм}$$

$$X_{\text{кб}} := \frac{X_1 \cdot l}{n_{\text{ц}}}$$

$$X_{\text{кб}} = 0.276 \quad \text{мОм}$$

$$R_{0\text{кб}} := \frac{R_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}}$$

$$R_{0\text{кб}} = 1.48 \quad \text{мОм}$$

$$X_{0\text{кб}} := \frac{X_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}}$$

$$X_{0\text{кб}} = 1.08 \quad \text{мОм}$$

Учет контактных соединений кабелей:

Количество соединений по длине одной жилы:

$$K_{\text{соед}} := 2$$

Сопrotивление одного контактного соединения кабеля:

$$R_c := 0.018$$

Сопrotивление контактных соединений кабеля:

$$R_{\text{соед}} := K_{\text{соед}} \cdot R_c$$

$$R_{\text{соед}} = 0.036 \quad \text{мОм}$$

$$R_{20} := R_{\text{кб}} + \frac{R_{\text{соед}}}{n_{\text{ц}}}$$

$$R_{20} = 0.467 \quad \text{мОм}$$

$$X_{20} := X_{\text{кб}}$$

$$X_{20} = 0.276 \quad \text{мОм}$$

$$R_{020} := R_{0\text{кб}} + \frac{R_{\text{соед}}}{n_{\text{ц}}}$$

$$R_{020} = 1.487 \quad \text{мОм}$$

$$X_{020} := X_{0\text{кб}}$$

$$Z_{20} := R_{20} + i \cdot X_{20}$$

$$Z_{20} = 0.467 + 0.276i \quad \text{мОм}$$

$$Z_{020} := R_{020} + i \cdot X_{020}$$

$$Z_{020} = 1.487 + 1.08i \quad \text{мОм}$$

#### **K65**



Кабель (4\*16)

$$n_{\text{ц}} := 1$$

$$l := 50 \quad \text{м}$$

$$R_1 := 1.33 \quad \text{МОм/м}$$

$$R_0 := 2.12 \quad \text{МОм/м}$$

$$X_1 := 0.09 \quad \text{МОм/м}$$

$$X_0 := 1.14 \quad \text{МОм/м}$$

$$R_{\text{кб}} := \frac{R_1 \cdot l}{n_{\text{ц}}} \quad R_{\text{кб}} = 66.5 \quad \text{МОм}$$

$$X_{\text{кб}} := \frac{X_1 \cdot l}{n_{\text{ц}}} \quad X_{\text{кб}} = 4.5 \quad \text{МОм}$$

$$R_{0\text{кб}} := \frac{R_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} \quad R_{0\text{кб}} = 106 \quad \text{МОм}$$

$$X_{0\text{кб}} := \frac{X_0 \cdot l}{n_{\text{ц}}} \quad X_{0\text{кб}} = 57 \quad \text{МОм}$$

Учет контактных соединений кабелей:

Количество соединений по длине одной жилы:

$$K_{\text{соед}} := 2$$

Сопротивление одного контактного соединения кабеля:

$$R_{\text{с}} := 0.085$$

Сопротивление контактных соединений кабеля:

$$R_{\text{соед}} := K_{\text{соед}} \cdot R_{\text{с}} \quad R_{\text{соед}} = 0.17 \quad \text{МОм}$$

$$R \quad R \quad R$$

$$X_{23} := X_{\text{кб}} \quad X_{23} = 4.5 \quad \text{МОм}$$

$$R_{023} := R_{0\text{кб}} + \frac{R_{\text{соед}}}{n_{\text{ц}}} \quad R \quad 106.17 \quad \text{МОм}$$

$$X_{023} := X_{0\text{кб}}$$

$$Z_{23} := R_{23} + i \cdot X_{23} \quad Z \quad 66.67 \quad 4.5i \quad \text{МОм}$$

$$Z_{023} := R_{023} + i \cdot X_{023} \quad Z \quad 106.17 \quad 57i \quad \text{МОм}$$

**К66, К67**

Кабель (4\*6)

$$n_{\text{ц}} := 1$$

$$l := 120 \quad \text{м}$$
$$R_1 := 3.54 \quad \text{МОм/м}$$

$$R_0 := 4.24 \quad \text{МОм/м}$$

$$X1 = 0.1 \text{ мОм/м}$$

$$X0 := 1.49 \text{ мОм/м}$$

$$R_{кб} := \frac{R1 \cdot l}{n_{ц}} \quad R_{кб} = 424.8 \text{ мОм}$$

$$X_{кб} := \frac{X1 \cdot l}{n_{ц}} \quad X = 12 \text{ мОм}$$

$$R_{0кб} := \frac{R0 \cdot l}{n_{ц}} \quad R_{0кб} = 508.8 \text{ мОм}$$

$$X_{0кб} := \frac{X0 \cdot l}{n_{ц}} \quad X_{0кб} = 178.8 \text{ мОм}$$

Учет контактных соединений кабелей:

Количество соединений по длине одной жилы:

$$K_{соед} := 2$$

Сопротивление одного контактного соединения кабеля:

$$R = 0.09$$

Сопротивление контактных соединений кабеля:

$$R_{соед} := K_{соед} \cdot R_c \quad R_{соед} = 0.18 \text{ мОм}$$

$$R_{26} := R_{кб} + \frac{R_{соед}}{n_{ц}} \quad R_{26} = 424.98 \text{ мОм}$$

$$X_{26} := X_{кб} \quad X = 12 \text{ мОм}$$

$$R_{026} := R_{0кб} + \frac{R_{соед}}{n_{ц}} \quad R = 508.98 \text{ мОм}$$

$$X_{026} := X_{0кб}$$

$$Z_{26} := R_{26} + i \cdot X_{26} \quad Z = 424.98 + 12i \text{ мОм}$$

$$Z_{026} := R_{026} + i \cdot X_{026} \quad Z = 508.98 + 178.8i \text{ мОм}$$

$$R_{29} := R_{26}$$

$$X_{29} := X_{26}$$

$$Z_{29} := Z_{26} \quad Z = 424.98 + 12i \text{ мОм}$$

$$R_{029} := R_{026}$$

$$X_{029} := X_{026}$$

$$Z_{029} := Z_{026} \quad Z = 508.98 + 178.8i \text{ мОм}$$

**К68, К69**

$$n_{ц} := 1 \text{ (4*6)}$$

$$l := 150 \text{ м}$$

$$R_1 := 3.54 \text{ мОм/м}$$

$$R_0 := 4.24 \text{ мОм/м}$$

$$X_1 := 0.1 \text{ мОм/м}$$

$$X_0 := 1.49 \text{ мОм/м}$$

$$R_{кб} := \frac{R_1 \cdot l}{n_{ц}} \quad R_{кб} = 531 \text{ мОм}$$

$$X_{кб} := \frac{X_1 \cdot l}{n_{ц}} \quad X_{кб} = 15 \text{ мОм}$$

$$R_{0кб} := \frac{R_0 \cdot l}{n_{ц}} \quad R_{0кб} = 636 \text{ мОм}$$

$$X_{0кб} := \frac{X_0 \cdot l}{n_{ц}} \quad X_{0кб} = 223.5 \text{ мОм}$$

Учет контактных соединений кабелей:

Количество соединений по длине одной жилы:

$$K_{соед} := 2$$

Сопротивление одного контактного соединения кабеля:

$$R_{соед} = 0.09$$

Сопротивление контактных соединений кабеля:

$$R_{соед} := K_{соед} \cdot R_{соед} \quad R_{соед} = 0.18 \text{ мОм}$$

$$R_{32} := R_{кб} + \frac{R_{соед}}{n_{ц}} \text{ мОм} \quad R_{32} = 531.18 \text{ мОм}$$

$$X_{32} := X_{кб} \quad X_{32} = 15 \text{ мОм}$$

$$R_{032} := R_{0кб} + \frac{R_{соед}}{n_{ц}} \text{ мОм} \quad R_{032} = 636.18 \text{ мОм}$$

$$X_{032} := X_{0кб}$$

$$Z_{32} := R_{32} + i \cdot X_{32} \quad Z_{32} = 531.18 + 15i \text{ мОм}$$

$$Z_{032} := R_{032} + i \cdot X_{032} \quad Z_{032} = 636.18 + 223.5i \text{ мОм}$$

$$R_{35} := R_{32}$$

$$X_{35} := X_{32}$$

$$Z_{35} := Z_{32} \quad Z_{35} = 531.18 + 15i \text{ мОм}$$

$$R_{035} := R_{032}$$

$$X_{035} := X_{032}$$

$$Z_{035} := Z_{032} \quad Z_{035} = 636.18 + 223.5i \text{ мОм}$$

## Шинопроводы:

### ШП1

Тип - ШМА4-1600 из табл. 3 [1]:

$$I_{\text{НОМ}} := 1600 \text{ А}$$

$$l := 15 \text{ м}$$

$$R_1 := 0.03 \text{ мОм/м}$$

$$R_{\text{ШП}} := 0.037 \text{ мОм/м}$$

$$X_1 := 0.014 \text{ мОм/м}$$

$$X_{\text{ШП}} := 0.042 \text{ мОм/м}$$

$$R_{\text{ШП}} := R_1 \cdot l \quad R_{\text{ШП}} = 0.45 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{ШП}} := X_1 \cdot l \quad X_{\text{ШП}} = 0.21 \text{ мОм}$$

$$R_{0\text{ШП}} = 2.115 \text{ мОм}$$

$$R_{0\text{ШП}} = 2.115 \text{ мОм}$$

$$X_{0\text{ШП}} = 2.1 \text{ мОм}$$

$$X_{0\text{ШП}} = 2.1 \text{ мОм}$$

Учет контактных соединений шиноропровода:

Количество соединений по длине одного полюса:

$$K_{\text{соед}} := 2$$

Сопротивление одного контактного соединения (по табл.18 [1])

$$R_c := 0.003 \text{ мОм}$$

Сопротивление контактных соединений шинопровода:

$$R_{\text{соед}} := K_{\text{соед}} \cdot R_c$$

$$R_{\text{соед}} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ мОм}$$

$$R_3 = R_{0\text{ШП}} + R_{\text{соед}}$$

$$X_3 = X_{0\text{ШП}}$$

$$Z_3 := R_3 + i \cdot X_3$$

$$Z_3 = 0.456 + 0.21i \text{ мОм}$$

$$R_{03} := R_{0\text{ШП}} + R_{\text{соед}}$$

$$X_{03} := X_{0\text{ШП}}$$

$$Z_{03} := R_{03} + i \cdot X_{03}$$

$$Z_{03} = 2.121 + 0.21i \text{ мОм}$$

## Автоматические выключатели:

### АВ1

$$I_{\text{НОМ}} := 1600 \text{ А}$$

$$R_{\text{КВ}} := 0.14 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{КВ}} := 0.08 \text{ мОм}$$

Значения сопротивлений катушек и контактов автоматических выключателей взяты из табл.21 [1], где указаны суммарные сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей.

$$X_4 := X_{KB}$$

$$Z_4 := R_4 + i \cdot X_4$$

$$Z \quad 0.14 \quad 0.08i \quad mOm$$

$$R_{04} := R_{KB}$$

$$X_{04} := X_{KB}$$

$$Z_{04} := R_{04} + i \cdot X_{04}$$

$$Z \quad 0.14 \quad 0.08i \quad mOm$$

## AB2

$$I_{HOM} := 400 \quad A$$

$$R_{KB} := 0.65 \quad mOm$$

$$X_{KB} := 0.17 \quad mOm$$

$$R_{10} := R_{KB}$$

$$X_{10} := X_{KB}$$

$$Z_{10} := R_{10} + i \cdot X_{10}$$

$$Z \quad 0.65 \quad 0.17i \quad mOm$$

$$R_{010} := R_{KB}$$

$$X_{010} := X_{KB}$$

$$Z_{010} := R_{010} + i \cdot X_{010}$$

$$Z \quad 0.65 \quad 0.17i \quad mOm$$

## AB3,AB4

$$I_{HOM} := 100 \quad A$$

$$R_{KB} := 2.15 \quad mOm$$

$$X_{KB} := 1.2 \quad mOm$$

$$R_{13} := R_{KB}$$

$$X_{13} := X_{KB}$$

$$Z_{13} := R_{13} + i \cdot X_{13}$$

$$Z \quad 2.15 \quad 1.2i \quad mOm$$

$$R_{013} := R_{KB}$$

$$X_{013} := X_{KB}$$

$$Z_{013} := R_{013} + i \cdot X_{013}$$

$$Z \quad 2.15 \quad 1.2i \quad mOm$$

$$R_{16} := R_{13}$$

$$X_{16} := X_{13}$$

$$Z_{16} := R_{16} + i \cdot X_{16}$$

$$Z \quad 2.15 \quad 1.2i \quad mOm$$

$$R_{016} := R_{13}$$

$$X_{016} := X_{13}$$

$$Z_{016} := R_{016} + i \cdot X_{016}$$

$$Z \quad 2.15 \quad 1.2i \quad \text{mOM}$$

### AB5

$$I_{\text{HOM}} := 1600 \quad \text{A}$$

$$R_{\text{KB}} := 0.14 \quad \text{mOM}$$

$$X_{\text{KB}} := 0.08 \quad \text{mOM}$$

$$R_{19} := R_{\text{KB}}$$

$$X_{19} := X_{\text{KB}}$$

$$Z_{19} := R_{19} + i \cdot X_{19}$$

$$Z \quad 0.14 \quad 0.08i \quad \text{mOM}$$

$$R_{019} := R_{\text{KB}}$$

$$X_{019} := X_{\text{KB}}$$

$$Z_{019} := R_{019} + i \cdot X_{019}$$

$$Z \quad 0.14 \quad 0.08i \quad \text{mOM}$$

### AB6-AB11

$$I \quad 50 \quad \text{A}$$

$$R_{\text{KB}} := 7 \quad \text{mOM}$$

$$X_{\text{KB}} := 4.5 \quad \text{mOM}$$

$$R_{22} := R_{\text{KB}}$$

$$X_{22} := X_{\text{KB}}$$

$$Z_{22} := R_{22} + i \cdot X_{22}$$

$$Z_{22} = 7 + 4.5i \quad \text{mOM}$$

$$R_{022} := R_{\text{KB}}$$

$$X_{022} := X_{\text{KB}}$$

$$Z_{022} := R_{022} + i \cdot X_{022}$$

$$Z_{022} = 7 + 4.5i \quad \text{mOM}$$

$$R_{24} := R_{\text{KB}}$$

$$X_{24} := X_{\text{KB}}$$

$$Z_{24} := R_{24} + i \cdot X_{24}$$

$$Z_{24} = 7 + 4.5i \quad \text{mOM}$$

$$R_{024} := R_{\text{KB}}$$

$$X_{024} := X_{\text{KB}}$$

$$Z_{024} := R_{024} + i \cdot X_{024}$$

$$Z_{024} = 7 + 4.5i \quad \text{mOM}$$

$$R_{25} := R_{\text{KB}}$$