

№ вар	U _б , кВ	Линии, км				Марки и сечения				P _{1н} , МВт	Q _{1н} , Мвар	P _{2н} , МВт	Q _{2н} , Мвар	Генератор	Атр	Тр
		Л1	Л2	Л3	Л4	Л1	Л2	Л3	Л4							
18.	225	30	50	20	20	2хАС-185	АС-185	АС-240	2хАС-240	51,0	29,0	7,65	4,35	ТВС-32	2хАТДЦТН-63000/220/110	ТД-40000/110

$$P_{1H} := 51 \quad P_{2H} := 7.65 \quad Ub := 225 \quad i \equiv \sqrt{-1}$$

$$Q_{1H} := 29 \quad Q_{2H} := 4.35 \quad j \equiv i = 1i$$

Трансформатор

Таблица 1.4.2

Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 110 кВ

Тип	S _{ном} , МВА	Пределы регулиру- ния	Каталожные данные							Расчетные данные		
			U _{ном} обмоток, кВ		U _к , %	ΔP _к , кВт	P _х , кВт	I _х , %	R _г , Ом	X _г , Ом	ΔQ _х , кВАр	
			ВН	НН								
ТД- 40000/110	40	±2*2,5%	121	3,15;6,3;10,5	10,5	160	50	0,65	1,46	38,4	260	

Автотрансформатор

Продолжение табл. 1.4. /

Тип	Каталожные данные					Расчетные данные						ΔQx, кВАр
	ΔРк, кВт			ΔРх, кВт	Iх, %	Rт, Ом			Xт, Ом			
	В-С	В-Н	С-Н			ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
АТДЦТН-63000/220/110	215	-	-	45	0,5	1,4	1,4	2,8	104	0	195,6	315

Трехфазные трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы 220 кВ

Тип	S _{ном} , МВА	Пределы регулирования	Каталожные данные											Расчетные данные						ΔQ _х , квар
			U _{ном} обмоток, кВ			U _к , %			ΔP _к , кВт			ΔP _х , кВт	I _х , %	R _т , Ом			X _т , Ом			
			ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н	В-С	В-Н	С-Н			ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
АТДЦТН-63000/220/110	63	±6*2%	230	121	6,6; 11; 27,5; 38,5	11	35,7	21,9	215	-	-	45	0,5	1,4	1,4	2,8	104	0	195,6	315

$$K_{H_{\theta}} := \frac{11}{230} = 0.04783$$

$$K_{C_{\theta}} := \frac{121}{230} = 0.52609$$

$$r_{\theta_{-c}} := \frac{215 \cdot 230^2}{63^2} \cdot 10^{-3} = 2.866$$

$$r_c := \frac{r_{\theta_{-c}}}{2} = 1.433$$

$$r_{\theta} := r_c$$

$$r_H := r_{\theta} \cdot 2 = 2.866$$

$$X_{\theta_C} := \frac{11 \cdot 230^2}{100 \cdot 63} = 92.365 \qquad X_{\theta_H} := \frac{35.7 \cdot 230^2}{100 \cdot 63} = 299.767$$

$$X_{C_H} := \frac{21.9 \cdot 230^2}{100 \cdot 63} = 183.89$$

$$x_{\theta} := \frac{1}{2} \cdot (X_{\theta_C} + X_{\theta_H} - X_{C_H}) = 104.121$$

$$x_C := \frac{1}{2} \cdot (X_{\theta_C} + X_{C_H} - X_{\theta_H}) = -11.756 \qquad x_C := 0$$

$$x_H := \frac{1}{2} \cdot (X_{C_H} + X_{\theta_H} - X_{\theta_C}) = 195.646$$

$$Z_{\theta_C} := r_{\theta} + j \cdot x_{\theta} = 1.433 + 104.121i$$

$$Z_{C_H} := r_C + j \cdot x_C = 1.433$$

$$Z_{H_H} := r_H + j \cdot x_H = 2.866 + 195.646i$$

Генератор

Турбогенераторы

Тип турбогенератора	S _{ном} , МВА	P _{ном} , МВт	U _{ном} , кВ	cosφ	I _{ном} , кА	Ма-хо-вый мо-мент, т*м ²	Сопотивления, о.е.			Посто-янная време-ни, T _{d0} , с
							X'' _d	X' _d	X _d	
TBC-32У3	40	32	6,3	0,8	3,67	5,4	0,143	0,238	2,458	10,4
TBC-32У3	40	32	10,5	0,8	2,2	5,4	0,53	0,26	2,648	10,4
TBC-32Т3	31,25	25	10,5	0,8	1,718	5,4	0,13	0,216	2,0206	10,35

$$S := 40$$

$$P := 32 \qquad Q := \sqrt{S^2 - P^2} = 24$$

$$P_f := P = 32$$

$$Q_f := Q = 24$$

Расчет параметров схемы замещения

1) Трансформатор

$$S_{ном1} := 40 \quad U_{ВН1} := 121 \quad U_{НН1} := 10.5 \quad U_{К1} := 10.5$$

$$\Delta P_{K1} := 160 \quad I_{X1} := 0.65 \quad \Delta P_{X1} := 50$$

$$R_{T1} := 1.46 \quad X_{T1} := 38.4 \quad \Delta Q_{X1} := 260$$

Трехфазные трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы 220 кВ

Тип	S _{ном} , МВА	Пределы регулирования	Каталожные данные					
			U _{ном} , обмоток, кВ			U _к , %		
			ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н
АТДЦТН-63000/220/110	63	+6*2%	230	121	6,6;11;27,5;38,5	11	35,7	21,9

Таблица 1.4.2

Трехфазные двухобмоточные трансформаторы 110 кВ

Тип	S _{ном} , МВА	Пределы регулирования	Каталожные данные						Расчетные данные		
			U _{ном} обмоток, кВ		U _к , %	ΔP _к , кВт	P _х , кВт	I _х , %	R _т , Ом	X _т , Ом	ΔQ _х , кВАр
			ВН	НН							
ТД-40000/110	40	±2*2,5%	121	3,15;6,3;10,5	10,5	160	50	0,65	1,46	38,4	260

$$R_{транс1} := \frac{\Delta P_{K1} \cdot U_{ВН1}^2 \cdot 10^{-3}}{S_{ном1}^2} = 1.46$$

$$Z_{транс1} := \frac{U_{К1} \cdot U_{ВН1}^2}{100 \cdot S_{ном1}} = 38.43$$

$$X_{трасн1} := \sqrt{Z_{транс1}^2 - R_{транс1}^2} = 38.4$$

Расчет поперечных параметров:

$$G_{T1} := \frac{\Delta P_{X1} \cdot 10^{-3}}{U_{BH1}^2} = 3.42 \cdot 10^{-6}$$

$$B_{T1} := \frac{I_{X1} \cdot S_{НОМ1}}{100 \cdot U_{BH1}^2} = 1.776 \cdot 10^{-5}$$

$$Y_{ШТ} := (G_{T1} - 1j \cdot B_{T1}) = 3.42 \cdot 10^{-6} - 17.76j \cdot 10^{-6}$$

$$Z_{трансф1} := R_{транс1} + X_{трасн1} \cdot i = 1.464 + 38.405i$$

2) Расчет воздушных линий

линия Л1 - 2*Ас-185

$L := 30$

$n := 2$

по_справочнику

$$R_0 := \frac{16.2}{100} \quad X_0 := \frac{41.3}{100} \quad B_0 := \frac{2.75 \cdot 10^{-4}}{100} = 2.75 \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta P_{кор_ср} := \frac{0.028 + 0.071 + 0.165}{3} = 0.088 \quad \Delta P_{умеч} := \frac{0.055 + 0.510 + 0.850}{3} = 0.472$$

$$R_1 := R_0 \cdot \frac{L}{n} = 2.43 \quad X_1 := X_0 \cdot \frac{L}{n} = 6.195 \quad B_1 := B_0 \cdot L \cdot n = 165 \cdot 10^{-6}$$

$$Z_{л1} := \frac{R_1 + X_1 \cdot i}{n} = 1.215 + 3.098i$$

$$G_0 := \frac{(\Delta P_{кор_ср} + \Delta P_{умеч}) \cdot 10^{-3}}{110^2} = 4.625 \cdot 10^{-8}$$

$$G_1 := G_0 \cdot L \cdot n = 2.775 \cdot 10^{-6}$$

$$Y_{вл1} := G_1 + B_1 \cdot i = 2.775 \cdot 10^{-6} + 1.65i \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{Y_{вл1}}{2} = 1.3876 \cdot 10^{-6} + 8.25i \cdot 10^{-5}$$

2)линия Л2 - Ас-185 $L := 50$ $n := 1$

$$R_2 := R_0 \cdot \frac{L}{n} = 8.1 \quad X_2 := X_0 \cdot \frac{L}{n} = 20.65 \quad B_2 := B_0 \cdot L \cdot n = 137.5 \cdot 10^{-6}$$

$$Z_{л2} := R_2 + X_2 \cdot i = 8.1 + 20.65i$$

$$G_0 := \frac{(\Delta P_{кор_ср} + \Delta P_{умеч}) \cdot 10^{-3}}{110^2} = 4.625 \cdot 10^{-8}$$

$$G_2 := G_0 \cdot L \cdot n = 2.313 \cdot 10^{-6}$$

$$Y_{ел2} := G_2 + B_2 \cdot i = 2.313 \cdot 10^{-6} + 1.375i \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{Y_{ел2}}{2} = 1.1563 \cdot 10^{-6} + 6.875i \cdot 10^{-5}$$

3)линия Л3 - Ас-240 $L := 20$ $n := 1$

$$R_0 := \frac{12}{100} \quad X_0 := \frac{40.5}{100} \quad B_0 := \frac{2.81 \cdot 10^{-4}}{100} = 2.81 \cdot 10^{-6}$$

$$R_3 := R_0 \cdot \frac{L}{n} = 2.4 \quad X_3 := X_0 \cdot \frac{L}{n} = 8.1 \quad B_3 := B_0 \cdot L \cdot n = 56.2 \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta P_{кор_ср} := \frac{0.027 + 0.061 + 0.123}{3} = 0.07 \quad \Delta P_{умеч} := \frac{0.055 + 0.510 + 0.850}{3} = 0.472$$

$$Z_{л3} := R_3 + X_3 \cdot i = 2.4 + 8.1i$$

$$G_0 := \frac{(\Delta P_{кор_ср} + \Delta P_{умеч}) \cdot 10^{-3}}{110^2} = 4.479 \cdot 10^{-8}$$

$$G_3 := G_0 \cdot L \cdot n = 8.959 \cdot 10^{-7}$$

$$Y_{ел3} := G_3 + B_3 \cdot i = 8.959 \cdot 10^{-7} + 5.62i \cdot 10^{-5}$$

$$\frac{Y_{ел3}}{2} = 4.4793 \cdot 10^{-7} + 2.81i \cdot 10^{-5}$$

4) линия Л4 - 2*Ас-240 $L := 20$ $n := 2$

$$R_4 := R_0 \cdot \frac{L}{n} = 1.2 \quad X_4 := X_0 \cdot \frac{L}{n} = 4.05 \quad B_4 := B_0 \cdot L \cdot n = 112.4 \cdot 10^{-6}$$

$$Z_{л4} := \frac{R_4 + X_4 \cdot i}{n} = 0.6 + 2.025i$$

$$G_0 := \frac{(\Delta P_{кор-ср} + \Delta P_{утеч}) \cdot 10^{-3}}{110^2} = 4.479 \cdot 10^{-8}$$

$$G_4 := G_0 \cdot L \cdot n = 1.792 \cdot 10^{-6}$$

$$Y_{вл4} := G_4 + B_4 \cdot i = 1.792 \cdot 10^{-6} + 1.124i \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{Y_{вл4}}{2} = 8.9587 \cdot 10^{-7} + 5.62i \cdot 10^{-5}$$

Автотрансформатор

Трехфазные трехобмоточные трансформаторы и автотрансформаторы 220 кВ

Тип	S _{ном} , МВА	Пределы регулиру- рования	Каталожные данные					
			U _{ном} , обмоток, кВ			U _к , %		
			ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н
АТДЦТН- 63000/220/110	63	+6*2%	230	121	6,6;11;27,5; 38,5	11	35,7	21,9

Продолжение табл. 1.4.7

Тип	Каталожные данные					Расчетные данные						ΔQ _x , кВАр
	ΔP _к , кВт			ΔP _х , кВт	I _х , %	R _т , Ом			X _т , Ом			
	В-С	В-Н	С-Н			ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
АТДЦТН-63000/220/110	215	-	-	45	0,5	1,4	1,4	2,8	104	0	195,6	315

$$U_{ВНОМ} := 230 \quad Uk_B := 11 \quad \Delta P_k := 215 \quad R_{TB} := 1.4 \quad X_{TB} := 104 \quad \Delta Q_x := 315$$

$$U_{СНОМ} := 121 \quad Uk_C := 35.7 \quad \Delta P_x := 45 \quad R_{TC} := 1.4 \quad X_{TC} := 0 \quad S_{НОМ} := 63$$

$$U_{ННОМ} := 11 \quad Uk_H := 21.9 \quad I_x := 0.5 \quad R_{TH} := 2.8 \quad X_{TH} := 195.6$$

$$G_{AT} := \frac{\Delta P_x \cdot 10^{-3}}{U_{ВНОМ}^2} = 8.507 \cdot 10^{-7}$$

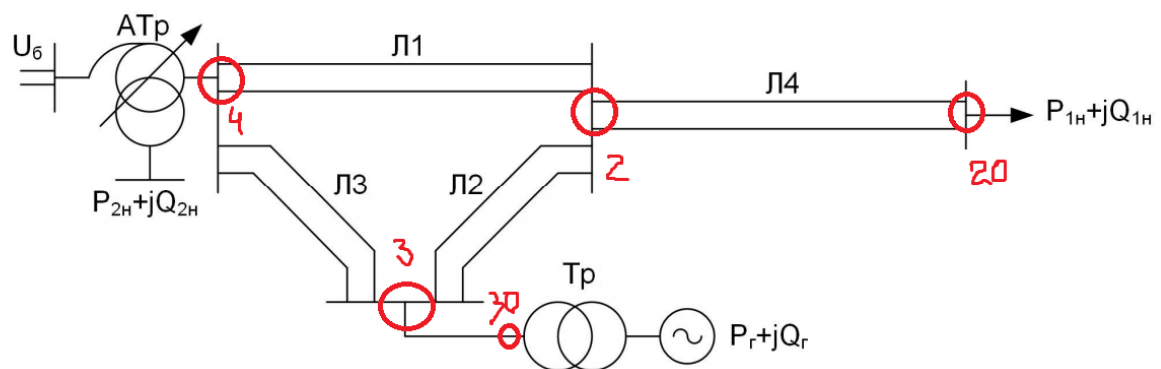
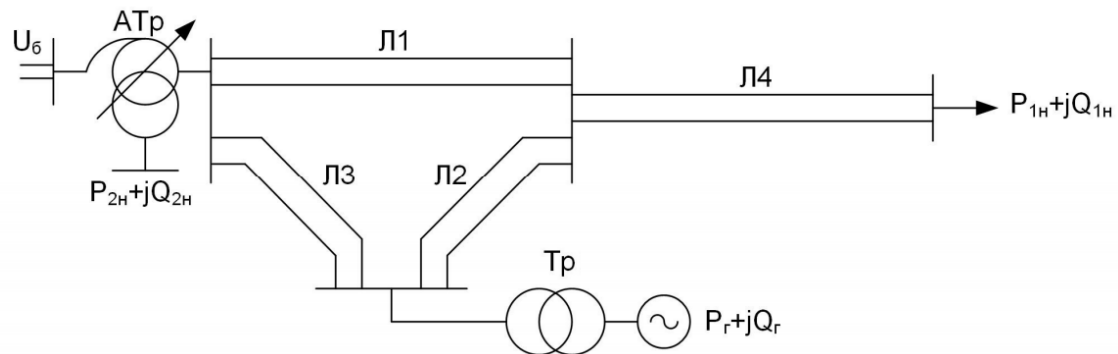
$$B_{AT} := \frac{Ix \cdot S_{HOM}}{100 \cdot U_{BHOM}^2} = 5.955 \cdot 10^{-6}$$

$$Y_{AT} := 2 \cdot (G_{AT} - B_{AT} \cdot i) = 1.701 \cdot 10^{-6} - 1.191i \cdot 10^{-5}$$

$$Z_{TB} := \frac{(R_{TB} + X_{TB} \cdot i)}{2} = 0.7 + 52i$$

$$Z_{TC} := 1.4 + 0i$$

$$Z_{TH} := R_{TH} + X_{TH} \cdot i = 2.8 + 195.6i$$



Начальные приближения для узлов

$$U_4 := 110$$

$$U_b := 225$$

$$U_1 := 220$$

$$U_2 := 110$$

$$U_{40} := 220$$

$$U_{10} := 220$$

$$U_{20} := 110$$

$$U_3 := 110$$

$$U_{30} := 110$$

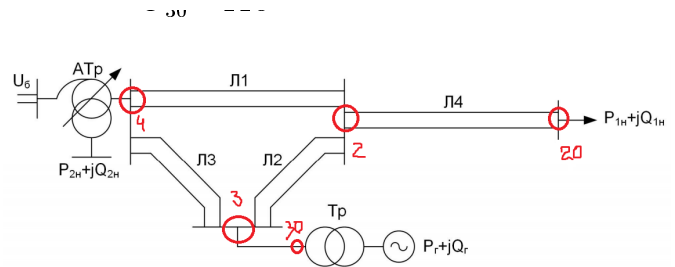
участок 3-30

$$S_{30} := P_r + Q_r \cdot i = 32 + 24i$$

$$S_{30K} := -S_{30} = -32 - 24i$$

$$\Delta S_{3-30} := \frac{\text{Re}(S_{30K})^2 + \text{Im}(S_{30K})^2}{(U_{30})^2} \cdot Z_{\text{трансф1}} = 0.194 + 5.078i$$

$$S_{3-30H} := S_{30K} + \Delta S_{3-30} = -31.806 - 18.922i$$



участок 2-20

$$S_{20K} := P_{1H} + Q_{1H} \cdot i = 51 + 29i$$

$$\Delta S_{2-20} := \frac{\text{Re}(S_{20K})^2 + \text{Im}(S_{20K})^2}{(U_{20})^2} \cdot Z_{Л4} = ?$$

$$S_{2-20H} := S_{20K} + \Delta S_{2-20} = ?$$

$$Y_{w3} := \frac{Y_{\vartheta\lambda2}}{2} + \frac{Y_{\vartheta\lambda3}}{2} + Y_{WT}$$

$$Y_{w2} := \frac{Y_{\vartheta\lambda1}}{2} + \frac{Y_{\vartheta\lambda2}}{2} + \frac{Y_{\vartheta\lambda4}}{2}$$

$$Y_{w4} := \frac{Y_{\vartheta\lambda1}}{2} + \frac{Y_{\vartheta\lambda3}}{2}$$

$$Y_{w6} := Y_{AT}$$

$$\Delta S_{w6} := U_b^2 \cdot \overline{Y_{w6}} = 0.086 + 0.603i$$

$$\Delta S_{w2} := U_2^2 \cdot \overline{Y_{w2}} = 0.042 - 2.51i$$

$$\Delta S_{w3} := U_3^2 \cdot \overline{Y_{w3}} = 0.061 - 0.957i$$

$$\Delta S_{w4} := U_4^2 \cdot \overline{Y_{w4}} = 0.022 - 1.338i$$

$$S_2 := \Delta S_{u2} + S_{2_20H} = ?$$

$$S_3 := \Delta S_{u3} + S_{3_30H} = -31.746 - 19.879i$$

$$S_4 := \Delta S_{u4} = 0.022 - 1.338i$$

кольцо

$$S_{4_2} := \frac{S_2 \cdot (\overline{Z_{n2}} + \overline{Z_{n3}}) + S_3 \cdot (\overline{Z_{n3}})}{(\overline{Z_{n2}} + \overline{Z_{n3}} + \overline{Z_{n1}})} = 38.043 + 19.876i$$

$$S_f := S_{4_2}$$

$$S_{32} := S_2 - S_f = 13.169 + 7.19i$$

$$S_{34} := -S_3 - S_{32} = 18.576 + 12.689i$$

1)

$$S_{42K} := S_f = 38.043 + 19.876i$$

$$\Delta S_{42} := \frac{\text{Re}(S_{42K})^2 + \text{Im}(S_{42K})^2}{(U_{20})^2} \cdot Z_{n1}$$

$$S_{42H} := S_{42K} + \Delta S_{42} = 38.228 + 20.347i$$

$$S_{42H} = 38.228 + 20.347i$$

2)

$$S_{32K} := S_{32} = 13.169 + 7.19i$$

$$\Delta S_{32} := \frac{\text{Re}(S_{32K})^2 + \text{Im}(S_{32K})^2}{(U_{20})^2} \cdot Z_{n2}$$

$$S_{32H} := S_{32K} + \Delta S_{32}$$

$$S_{34H} + S_{32H} + S_3$$

$$\sim \quad \sim \quad \sim \quad 13.169 \quad 13.169 \quad 13.169i$$

$$S_{34H} := -S_{32H} - S_3 = 18.426 + 12.304i$$

$$\Delta S_{34} := \frac{\operatorname{Re}\left(S_{34H}\right)^2 + \operatorname{Im}\left(S_{34H}\right)^2}{\left(U_{30}\right)^2} \cdot Z_{\mathcal{I}3} = 0.097 + 0.329i$$

$$S_{34K} := S_{34H} - \Delta S_{34} = 18.328 + 11.976i$$

$$S_{42H} = 38.228 + 20.347i$$

$$S_{40_4K} := S_{42H} - S_4 = 38.206 + 21.686i$$

$$\Delta S_{40_4} := \frac{\operatorname{Re}\left(S_{40_4K}\right)^2 + \operatorname{Im}\left(S_{40_4K}\right)^2}{\left(U_{40}\right)^2} \cdot Z_{c_H} = 0.057$$

$$S_{40_4H} := S_{40_4K} + \Delta S_{40_4} = 38.263 + 21.686i$$

Стяжка хвоста 1-10

$$S_{1_10K} := P_{2H} + j \cdot Q_{2H} = 7.65 + 4.35i$$

$$\Delta S_{1_10} := \frac{\operatorname{Re}\left(S_{1_10K}\right)^2 + \operatorname{Im}\left(S_{1_10K}\right)^2}{\left(U_{10}\right)^2} \cdot Z_{H_H} = 0.005 + 0.313i$$

$$S_{1_10H} := S_{1_10K} + \Delta S_{1_10} = 7.655 + 4.663i$$

b-1

$$S_{b_1K} = S_{1_10H} + S_{40_4H}$$

$$S_{b_1K} := S_{1_10H} + S_{40_4H} = 45.918 + 26.349i$$

$$\Delta S_{b_1} := \frac{\operatorname{Re}\left(S_{b_1K}\right)^2 + \operatorname{Im}\left(S_{b_1K}\right)^2}{\left(U_1\right)^2} \cdot Z_{e_c} = 0.083 + 6.029i$$

$$S_{b_1H} := S_{b_1K} + \Delta S_{b_1} = 46 + 32.378i$$

~ ~ ~

Обратный ход

6-1

$$U_1 = U_b - \Delta U_{b_1} - j \langle \delta U_{b_1} \rangle = ?$$

$$\Delta U_{b_1} := \frac{\operatorname{Re} \langle S_{b_1H} \rangle \cdot \operatorname{Re} \langle Z_{e_c} \rangle - \operatorname{Im} \langle S_{b_1H} \rangle \cdot \operatorname{Im} \langle Z_{e_c} \rangle}{|U_b|} \xrightarrow[ALL]{explicit} \frac{\operatorname{Re} (46.00048546475135 + 32.377922332413355i) \cdot \operatorname{Re} (1.4327916351725876 + 1.4327916351725876i)}{|U_b|}$$

$$\delta U_{b_1} := \frac{\operatorname{Re} \langle S_{b_1H} \rangle \cdot \operatorname{Im} \langle Z_{e_c} \rangle + \operatorname{Im} \langle S_{b_1H} \rangle \cdot \operatorname{Re} \langle Z_{e_c} \rangle}{|U_b|} \xrightarrow[ALL]{explicit} \frac{\operatorname{Re} (46.00048546475135 + 32.377922332413355i) \cdot \operatorname{Im} (1.4327916351725876 + 1.4327916351725876i)}{|U_b|}$$

$$U_1 := \sqrt{(U_b - \Delta U_{b_1})^2 - (\delta U_{b_1})^2} \xrightarrow[ALL]{explicit} \sqrt{(225 - 14.69022542166271)^2 - 21.493291420131104^2} = 238.7246$$

$$\delta_1 := \left(\frac{-\delta U_{b_1}}{U_b - \Delta U_{b_1}} \right) = -0.09$$

$$\delta_{1_промежуточное} := \operatorname{atan}(\delta_1) \cdot \frac{180}{\pi} = -5.124$$

$$0 + \delta_{1_промежуточное} = -5.124$$

$$U_1 := |U_1| \angle (-5.012)^\circ = 237.812 - 20.856i$$

$$U_1 = 238.725 \angle -5.012^\circ$$

1-10

$$U_{10} = U_1 - \Delta U_{1_10} - j \langle \delta U_{1_10} \rangle = ?$$

$$\Delta U_{1_10} := \frac{\operatorname{Re} \langle S_{1_10H} \rangle \cdot \operatorname{Re} \langle Z_{H_H} \rangle - \operatorname{Im} \langle S_{1_10H} \rangle \cdot \operatorname{Im} \langle Z_{H_H} \rangle}{|U_1|} = -3.73$$

$$U_{1_10} := \frac{\operatorname{Re} \langle S_{1_10H} \rangle \cdot \operatorname{Im} \langle Z_{H_H} \rangle + \operatorname{Im} \langle S_{1_10H} \rangle \cdot \operatorname{Re} \langle Z_{H_H} \rangle}{|U_1|} = 6.329$$

$$U_{10} := \sqrt{\left\langle U_1 - \Delta U_{1_{10}} \right\rangle^2 - \left\langle \delta U_{1_{10}} \right\rangle^2} = 242.3717$$

$$\delta_{10\cdot} := \left(\frac{-\delta U_{1_{10}}}{U_1 - \Delta U_{1_{10}}} \right) = -0.026$$

$$\delta_{10_промежуточное} := \operatorname{atan}\left(\delta_{10\cdot}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = -1.4954$$

$$\delta_{1_промежуточное} + \delta_{10_промежуточное} = -6.619$$

$$U_{10\cdot} := \left| U_{10} \right| \angle \left(-6.422 \right)^{\circ} = 240.851 - 27.109i$$

$$U_{10\cdot} = 242.372 \angle -6.422^{\circ}$$

1-40

$$U_{40} = U_1 - \Delta U_{1_{40}} - j \left\langle \delta U_{1_{40}} \right\rangle = ?$$

$$\Delta U_{1_{40}} := \frac{\operatorname{Re}\left\langle S_{40_{4H}} \right\rangle \cdot \operatorname{Re}\left\langle Z_{c_H} \right\rangle - \operatorname{Im}\left\langle S_{40_{4H}} \right\rangle \cdot \operatorname{Im}\left\langle Z_{c_H} \right\rangle}{\left| U_1 \right|} = 0.23$$

$$\delta U_{1_{40}} := \frac{\operatorname{Re}\left\langle S_{40_{4H}} \right\rangle \cdot \operatorname{Im}\left\langle Z_{c_H} \right\rangle + \operatorname{Im}\left\langle S_{40_{4H}} \right\rangle \cdot \operatorname{Re}\left\langle Z_{c_H} \right\rangle}{\left| U_1 \right|} = 0.13$$

$$U_{40} := \sqrt{\left\langle U_1 - \Delta U_{1_{40}} \right\rangle^2 - \left\langle \delta U_{1_{40}} \right\rangle^2} = 238.4949$$

$$\delta_{40\cdot} := \left(\frac{-\delta U_{1_{40}}}{U_1 - \Delta U_{1_{40}}} \right) = -5.457 \cdot 10^{-4}$$

$$\delta_{40_промежуточное} := \operatorname{atan}\left(\delta_{40\cdot}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = -0.0313$$

$$\delta_{1_промежуточное} + \delta_{40_промежуточное} = -5.155$$

$$U_{40} := |U_{40}| \angle (-5.038)^\circ = 237.574 - 20.944i$$

$$U_{40} = 238.495 \angle -5.038^\circ$$

переход от промежуточных точек к
основным (через кольца трансформатора)

$$K_{H_B} := \frac{11}{230} = 0.04783$$

$$U_4 := U_{40} \cdot K_{C_B} = 124.984 - 11.018i$$

$$K_{C_B} := \frac{121}{230} = 0.52609$$

$$U_4 = 125.469 \angle -5.038^\circ$$

$$U_{100} := U_{10} \cdot K_{H_B} = 11.519 - 1.297i$$

$$U_{100} = 11.592 \angle -6.422^\circ$$

Обратный ход по кольцу 1)

4-2

$$U_2 = |U_4| - \Delta U_{4-2} - j(\delta U_{4-2}) = ?$$

$$\Delta U_{4-2} := \frac{\operatorname{Re}(S_{42H}) \cdot \operatorname{Re}(Z_{H3}) - \operatorname{Im}(S_{42H}) \cdot \operatorname{Im}(Z_{H3})}{|U_4|} = -0.582$$

$$\delta U_{4-2} := \frac{\operatorname{Re}(S_{42H}) \cdot \operatorname{Im}(Z_{H3}) + \operatorname{Im}(S_{42H}) \cdot \operatorname{Re}(Z_{H3})}{|U_4|} = 2.857$$

$$U_2 := \sqrt{(U_4 - \Delta U_{4-2})^2 - (\delta U_{4-2})^2} = 125.5344 - 11.0211i$$

$$\delta_2 := \left(\frac{-\delta U_{4-2}}{U_4 - \Delta U_{4-2}} \right) = -0.023 - 0.002i$$

$$\delta_{2_промежуточное} := \operatorname{atan}\left(\delta_{40}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = -0.0313 \qquad \delta_{4_промежуточное} := -5.038$$

$$\delta_{2_промежуточное} + \delta_{4_промежуточное} \overset[ALL]{explicit} \longrightarrow -0.03126806080849235 + -5.038 = -5.069$$

$$U_2 := \left|U_2\right| \angle (-5.064)^{\circ} = 125.525 - 11.123i$$

$$U_2 = 126.017 \angle -5.064^{\circ}$$