

## Расчетное задание №2.

### Исходные данные:

Вариант схемы — 3

$$U_{\text{НОМ}} = 220 \text{ кВ}$$

$$S_{\text{НГ1}} = 50 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{\text{НГ2}} = 60 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{\text{НГ3}} = 55 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{\text{НГ4}} = 45 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$\text{tg}(\varphi)_1 = 0,5$$

$$\text{tg}(\varphi)_2 = 0,4$$

$$\text{tg}(\varphi)_3 = 0,3$$

$$\text{tg}(\varphi)_4 = 0,2$$

$$l_1 = 40 \text{ км}$$

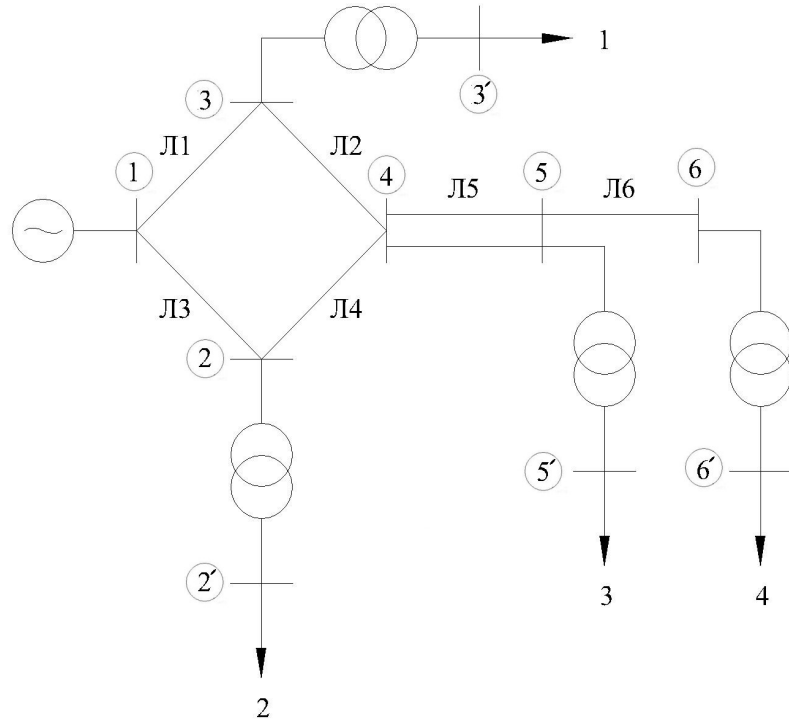
$$l_2 = 45 \text{ км}$$

$$l_3 = 50 \text{ км}$$

$$l_4 = 55 \text{ км}$$

$$l_5 = 60 \text{ км}$$

$$l_6 = 65 \text{ км}$$



### Выбор трансформаторов

N	$S_{\text{НГ}}$	Наименование	$S_{\text{тр}}, \text{НОМ},$ МВ*А	$U_{\text{ВН}},$ кВ	$P_{\text{XX}},$ кВт	$P_{\text{КЗ}},$ кВт	$U_{\text{КЗ}},$ %	$I_{\text{XX}},$ %	$Q_{\text{XX}},$ квар	x, Ом	r, Ом
1	50	ТРДН-63000/220	63	230	70	265	11,5	0,5	315	96,56	3,53
2	60	ТРДН-63000/220	63	230	70	265	11,5	0,5	315	96,56	3,53
3	55	ТРДН-63000/220	63	230	70	265	11,5	0,5	315	96,56	3,53
4	45	ТРДН-63000/220	63	230	70	265	11,5	0,5	315	96,56	3,53

$$S_{\text{XX1}} = S_{\text{XX2}} = S_{\text{XX3}} = S_{\text{XX4}} = P_{\text{XX2}} + j \cdot Q_{\text{XX2}} = 70 + j \cdot 315$$

$$Z_{\text{MP1}} = Z_{\text{MP2}} = Z_{\text{MP3}} = Z_{\text{MP4}} = r_{\text{MP}} + j \cdot x_{\text{MP}} = 3,53 + j \cdot 96,56$$

### Расчет активной и реактивной мощностей нагрузок

$$P_{\text{НГ1}} = \cos(\arctg(\varphi)_1) \cdot S_{\text{НГ1}} = 0,89443 \cdot 50 \cdot 10^6 = 44,721 \cdot 10^6$$

$$Q_{\text{НГ1}} = \sin(\arctg(\varphi)_1) \cdot S_{\text{НГ1}} = 0,44721 \cdot 50 \cdot 10^6 = 22,361 \cdot 10^6$$

$$S_{\text{НГ расч1}} = P_{\text{НГ1}} + j \cdot Q_{\text{НГ1}} = 44,721 + j \cdot 22,361 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$P_{\text{НГ2}} = \cos(\arctg(\varphi)_2) \cdot S_{\text{НГ2}} = 0,92848 \cdot 60 \cdot 10^6 = 55,709 \cdot 10^6$$

$$Q_{\text{НГ2}} = \sin(\arctg(\varphi)_2) \cdot S_{\text{НГ2}} = 0,37139 \cdot 60 \cdot 10^6 = 22,283 \cdot 10^6$$

$$S_{\text{НГ расч2}} = P_{\text{НГ2}} + j \cdot Q_{\text{НГ2}} = 55,709 + j \cdot 22,283 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$P_{\text{НГ3}} = \cos(\arctg(\varphi)_3) \cdot S_{\text{НГ3}} = 0,95783 \cdot 55 \cdot 10^6 = 52,68 \cdot 10^6$$

$$Q_{\text{НГ3}} = \sin(\arctg(\varphi)_3) \cdot S_{\text{НГ3}} = 0,28735 \cdot 55 \cdot 10^6 = 15,804 \cdot 10^6$$

$$S_{\text{НГ расч3}} = P_{\text{НГ3}} + j \cdot Q_{\text{НГ3}} = 52,68 + j \cdot 15,804 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$P_{\text{НГ4}} = \cos(\arctg(\varphi)_4) \cdot S_{\text{НГ4}} = 0,98058 \cdot 45 \cdot 10^6 = 44,126 \cdot 10^6$$

$$Q_{\text{НГ4}} = \sin(\arctg(\varphi)_4) \cdot S_{\text{НГ4}} = 0,19612 \cdot 45 \cdot 10^6 = 8,8252 \cdot 10^6$$

$$S_{\text{НГ расч4}} = P_{\text{НГ4}} + j \cdot Q_{\text{НГ4}} = 44,126 + j \cdot 8,8252 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

### Выбор параметров ЛЭП

$$\text{ВЛ6: } F_{\text{ЭК6}} = \frac{S_{\text{НГ4}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot 1,2} = \frac{45 \cdot 10^6}{1,73 \cdot 220000 \cdot 1,2} = 98,41 \text{ мм}^2$$

Выбираем провод сечением 240 мм<sup>2</sup>, обладающий следующими параметрами:

$$r_{y0} = 12,1 \text{ Ом/100км}, \quad r_{л6} = 12,1 \cdot \frac{65}{100} = 7,865 \text{ Ом}$$

$$x_{y0} = 43,5 \text{ Ом/100км}, \quad x_{л6} = 43,5 \cdot \frac{65}{100} = 28,275 \text{ Ом}$$

$$b_{y0} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ См/100км}, \quad b_{л6} = 2,6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{65}{100} = 1,69 \cdot 10^{-4} \text{ См}$$

$$q_{y0} = 13,9 \text{ Мвар/100км}, \quad q_{л6} = 13,9 \cdot \frac{65}{100} = 9,035 \text{ Мвар}$$

$$\text{ВЛ5: } F_{эк5} = \frac{S_{н24} + S_{н23}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot 1,2} = \frac{(45 + 55) \cdot 10^6}{1,73 \cdot 220000 \cdot 1,2} = 218,69 \text{ мм}^2$$

Выбираем два провода сечением 240/32.

$$I_{ПАР5} = \frac{S_{н24} + S_{н23}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{(45 + 55) \cdot 10^6}{1,73 \cdot 220000} = 262,43 \text{ А, значение не превышает значение допустимого}$$

длительного тока 605А.

Параметры линии:

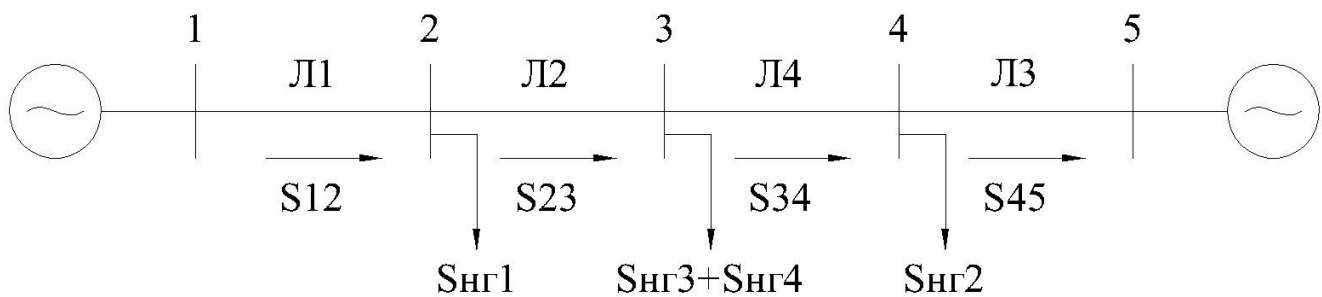
$$r_{y0} = 12,1 \text{ Ом/100км}, \quad r_{л5} = \frac{12,1}{2} \cdot \frac{60}{100} = 3,63 \text{ Ом}$$

$$x_{y0} = 43,5 \text{ Ом/100км}, \quad x_{л5} = \frac{43,5}{2} \cdot \frac{60}{100} = 13,05 \text{ Ом}$$

$$b_{y0} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ См/100км}, \quad b_{л5} = 2 \cdot 2,6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{60}{100} = 3,12 \cdot 10^{-4} \text{ См}$$

$$q_{y0} = 13,9 \text{ Мвар/100км}, \quad q_{л5} = 2 \cdot 13,9 \cdot \frac{60}{100} = 16,68 \text{ Мвар}$$

**Расчет мощностей, текущих по кольцу:**



$$S_{12} = \frac{S_{н21} \cdot (l_2 + l_3 + l_4) + (S_{н23} + S_{н24}) \cdot (l_3 + l_4) + S_{н22} \cdot l_3}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4} = \frac{50 \cdot 150 + 100 \cdot 105 + 60 \cdot 50}{190} = 110,53 \text{ МВ*А}$$

$$S_{54} = \frac{S_{н22} \cdot (l_1 + l_2 + l_4) + (S_{н23} + S_{н24}) \cdot (l_1 + l_2) + S_{н21} \cdot l_1}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4} = \frac{60 \cdot 140 + 100 \cdot 95 + 50 \cdot 40}{190} = 99,47 \text{ МВ*А}$$

Проверка:  $S_{12} + S_{54} = 110,53 + 99,47 = 210 = \sum S_{н2}$

$$S_{л1} = S_{12} = 110,53 \text{ МВ*А}$$

$$S_{л2} = S_{23} = S_{12} - S_{н21} = 110,53 - 50 = 60,53 \text{ МВ*А}$$

$$S_{л3} = S_{54} = 99,47 \text{ МВ*А}$$

$$S_{л3} = S_{43} = S_{54} - S_{н22} = 99,47 - 60 = 39,47 \text{ МВ*А}$$

$$\text{ВЛ1: } F_{эк1} = \frac{S_{л1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot 1,2} = \frac{110,53 \cdot 10^6}{1,73 \cdot 220000 \cdot 1,2} = 241,72 \text{ мм}^2, \text{ выбираем провод сечением 240/32.}$$

$$\text{ВЛ2: } F_{эк2} = \frac{S_{л2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot 1,2} = \frac{60,53 \cdot 10^6}{1,73 \cdot 220000 \cdot 1,2} = 132,38 \text{ мм}^2, \text{ выбираем провод сечением 240/32.}$$

$$\text{ВЛ3: } F_{эк3} = \frac{S_{л3}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot 1,2} = \frac{99,47 \cdot 10^6}{1,73 \cdot 220000 \cdot 1,2} = 217,53 \text{ мм}^2, \text{ выбираем провод сечением 240/32.}$$

$$\text{ВЛ4: } F_{\text{эк 4}} = \frac{S_{\text{л 4}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot 1,2} = \frac{39,47 \cdot 10^6}{1,73 \cdot 220000 \cdot 1,2} = 86,318 \text{ мм}^2, \text{ выбираем провод сечением 240/32.}$$

### Послеаварийный режим

#### 1. Обрыв Л1

$$S_{\text{л 2}} = S_{\text{нг 1}}$$

$$S_{\text{л 3}} = \sum S_{\text{нг}}$$

$$S_{\text{л 4}} = S_{\text{нг 1}} + S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}$$

#### 2. Обрыв Л2

$$S_{\text{л 1}} = S_{\text{нг 1}}$$

$$S_{\text{л 3}} = S_{\text{нг 2}} + S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}$$

$$S_{\text{л 4}} = S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}$$

#### 3. Обрыв Л3

$$S_{\text{л 1}} = \sum S_{\text{нг}}$$

$$S_{\text{л 2}} = S_{\text{нг 2}} + S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}$$

$$S_{\text{л 4}} = S_{\text{нг 2}}$$

#### 4. Обрыв Л4

$$S_{\text{л 1}} = S_{\text{нг 1}} + S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}$$

$$S_{\text{л 2}} = S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}$$

$$S_{\text{л 3}} = S_{\text{нг 2}}$$

Линия	1	2	3	4
Л1	-	$S_{\text{нг 1}}$	$\sum S_{\text{нг}}$	$S_{\text{нг 1}} + S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}$
Л2	$S_{\text{нг 1}}$	-	$S_{\text{нг 2}} + S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}$	$S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}$
Л3	$\sum S_{\text{нг}}$	$S_{\text{нг 2}} + S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}$	-	$S_{\text{нг 2}}$
Л4	$S_{\text{нг 1}} + S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}$	$S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}$	$S_{\text{нг 2}}$	-

$$I_{\text{ПАР л 1}} = I_{\text{ПАР л 3}} = \frac{\sum S_{\text{нг}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{210 \cdot 10^6}{1,73 \cdot 220000} = 551,11 \text{ А, значение не превышает значение допустимого длительного тока 605А.}$$

$$I_{\text{ПАР л 2}} = \frac{S_{\text{нг 2}} + S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{160 \cdot 10^6}{1,73 \cdot 220000} = 419,89 \text{ А, значение не превышает значение допустимого длительного тока 605А.}$$

$$I_{\text{ПАР л 4}} = \frac{S_{\text{нг 1}} + S_{\text{нг 3}} + S_{\text{нг 4}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{150 \cdot 10^6}{1,73 \cdot 220000} = 393,65 \text{ А, значение не превышает значение допустимого длительного тока 605А.}$$

Параметры линии ВЛ1:

$$r_{\text{y0}} = 12,1 \text{ Ом/100км, } r_{\text{л 1}} = 12,1 \cdot \frac{40}{100} = 4,84 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{y0}} = 43,5 \text{ Ом/100км, } x_{\text{л 1}} = 43,5 \cdot \frac{40}{100} = 17,4 \text{ Ом}$$

$$b_{\text{y0}} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ См/100км, } b_{\text{л 1}} = 2,6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{40}{100} = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{ См}$$

$$q_{\text{y0}} = 13,9 \text{ Мвар/100км, } q_{\text{л 1}} = 13,9 \cdot \frac{40}{100} = 5,56 \text{ Мвар}$$

Параметры линии ВЛ2:

$$r_{\text{y0}} = 12,1 \text{ Ом/100км, } r_{\text{л 2}} = 12,1 \cdot \frac{45}{100} = 5,445 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{y0}} = 43,5 \text{ Ом/100км, } x_{\text{л 2}} = 43,5 \cdot \frac{45}{100} = 19,575 \text{ Ом}$$

$$b_{y0} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ См/100км}, \quad b_{л2} = 2,6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{45}{100} = 1,17 \cdot 10^{-4} \text{ См}$$

$$q_{y0} = 13,9 \text{ Мвар/100км}, \quad q_{л2} = 13,9 \cdot \frac{45}{100} = 6,255 \text{ Мвар}$$

Параметры линии ВЛЗ:

$$r_{y0} = 12,1 \text{ Ом/100км}, \quad r_{л3} = 12,1 \cdot \frac{50}{100} = 6,05 \text{ Ом}$$

$$x_{y0} = 43,5 \text{ Ом/100км}, \quad x_{л3} = 43,5 \cdot \frac{50}{100} = 21,75 \text{ Ом}$$

$$b_{y0} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ См/100км}, \quad b_{л3} = 2,6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{50}{100} = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ См}$$

$$q_{y0} = 13,9 \text{ Мвар/100км}, \quad q_{л3} = 13,9 \cdot \frac{50}{100} = 6,95 \text{ Мвар}$$

Параметры линии ВЛ4:

$$r_{y0} = 12,1 \text{ Ом/100км}, \quad r_{л4} = 12,1 \cdot \frac{55}{100} = 6,655 \text{ Ом}$$

$$x_{y0} = 43,5 \text{ Ом/100км}, \quad x_{л4} = 43,5 \cdot \frac{55}{100} = 23,925 \text{ Ом}$$

$$b_{y0} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ См/100км}, \quad b_{л4} = 2,6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{55}{100} = 1,43 \cdot 10^{-4} \text{ См}$$

$$q_{y0} = 13,9 \text{ Мвар/100км}, \quad q_{л4} = 13,9 \cdot \frac{55}{100} = 7,645 \text{ Мвар}$$

### Расчет ветвей

6-6'

$$\Delta U_{6-6'} = \frac{S_{н24}^*}{U_{ном}} \cdot Z_{мп4} = 4,58 + j \cdot 19,23 \text{ кВ}$$

$$U_6 = U_{ном} + \Delta U_{6-6'} = 224,58 + j \cdot 19,23 \text{ кВ}$$

$$\Delta S_{6-6'} = \left( \frac{|S_{н24}|}{|U_{ном}|} \right)^2 \cdot Z_{мп4} = 0,148 + j \cdot 4,04 \text{ МВ*А}$$

5-6

$$S_{6K} = S_{н24} + \Delta S_{6-6'} + S_{xx4} \cdot \left( \frac{|U_6|}{|U_{ном}|} \right)^2 - j \cdot \frac{b_6}{2} \cdot |U_6|^2 = 44,35 + j \cdot 8,9 \text{ МВ*А}$$

$$\Delta U_{5-6} = \frac{S_{6K}^*}{|U_6|} \cdot Z_6 = 2,66 + j \cdot 5,25 \text{ кВ}$$

$$U_5 = U_6 + \Delta U_{5-6} = 227,25 + j \cdot 24,48 \text{ кВ}$$

$$S_{6H} = S_{6K} + \left( \frac{|S_{6K}|}{|U_6|} \right)^2 \cdot Z_6 - j \cdot \frac{b_6}{2} \cdot |U_5|^2 = 44,66 + j \cdot 5,63 \text{ МВ*А}$$

5-5'

$$U_{5'} = U_{ном} = 220 \text{ кВ}$$

$$\Delta U_{5-5'} = \frac{S_{н23}^*}{U_{ном}} \cdot Z_{мп3} = 7,78 + j \cdot 22,87 \text{ кВ}$$

$$U_{5'} = U_5 - U_{5-5'} = 219,46 + j \cdot 1,61 \text{ кВ}$$

$$\Delta U_{5-5'} = \frac{S_{н23}^*}{|U_{5'}|} \cdot Z_{мп3} = 7,49 + j \cdot 22,01 \text{ кВ}$$

$$U_{5'} = U_5 - U_{5-5'} = 219,76 + j \cdot 2,47 \text{ кВ} \text{ — дальнейшие итерации не требуются, т.к значения } \Delta U_{5-5'} \text{ и } U_5 \text{ не меняются.}$$

$$\Delta S_{5-5'} = \left( \frac{|S_{н2 3}|}{|U_{5'}|} \right)^2 \cdot Z_{mp 3} = 0,221 + j \cdot 6,05 \text{ МВ*А}$$

4-5

$$S_{5 K} = S_{6 H} + S_{н2 3} + \Delta S_{5-5'} + S_{xx 3} \cdot \left( \frac{|U_{5'}|}{|U_{ном}|} \right)^2 - j \cdot \frac{b_5}{2} \cdot |U_{5'}|^2 = 97,64 + j \cdot 19,67 \text{ МВ*А}$$

$$\Delta U_{4-5} = \frac{S_{5 K}^*}{|U_{5'}|} \cdot Z_5 = 2,67 + j \cdot 5,26 \text{ кВ}$$

$$U_4 = U_5 + \Delta U_{4-5} = 229,92 + j \cdot 29,74 \text{ кВ}$$

$$S_{5 H} = S_{5 K} + \left( \frac{|S_{5 K}|}{|U_{5'}|} \right)^2 \cdot Z_5 - j \cdot \frac{b_5}{2} \cdot |U_4|^2 = 98,33 + j \cdot 13,76 \text{ МВ*А} \text{ — мощность приходящая в точку 4 из}$$

кольца

2-2'

$$U_{2'} = U_{ном} = 220 \text{ кВ}$$

$$\Delta U_{2-2'} = \frac{S_{н2 2}^*}{U_{ном}} \cdot Z_{mp 2} = 10,67 + j \cdot 24,09 \text{ кВ}$$

$$U_2 = U_{2'} + \Delta U_{2-2'} = 230,67 + j \cdot 24,09 \text{ кВ}$$

$$S_{2 H} = S_{н2 2} + \left( \frac{|S_{н2 2}|}{|U_{2'}|} \right)^2 \cdot Z_{mp 2} + S_{xx 2} \cdot \left( \frac{|U_2|}{|U_{ном}|} \right)^2 = 56,05 + j \cdot 29,82 \text{ МВ*А} \text{ — мощность приходящая в}$$

точку 2 из кольца

3-3'

$$U_{3'} = U_{ном} = 220 \text{ кВ}$$

$$\Delta U_{3-3'} = \frac{S_{н2 1}^*}{U_{ном}} \cdot Z_{mp 1} = 10,53 + j \cdot 19,27 \text{ кВ}$$

$$U_3 = U_{3'} + \Delta U_{3-3'} = 230,53 + j \cdot 19,27 \text{ кВ}$$

$$S_{3 H} = S_{н2 1} + \left( \frac{|S_{н2 1}|}{|U_{3'}|} \right)^2 \cdot Z_{mp 1} + S_{xx 1} \cdot \left( \frac{|U_3|}{|U_{ном}|} \right)^2 = 44,98 + j \cdot 27,7 \text{ МВ*А} \text{ — мощность приходящая в точку}$$

3 из кольца

### Расчет ветвей кольца

$$S_{12} = \frac{S_{2 H}^* \cdot (Z_2 + Z_4 + Z_3) + S_{3 H}^* \cdot (Z_4 + Z_3) + S_{5 H}^* \cdot Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4} = 94,94 + j \cdot 42,562 \text{ МВ*А}$$

$$S_{54} = \frac{S_{5 H}^* \cdot (Z_4 + Z_2 + Z_1) + S_{3 H}^* \cdot (Z_2 + Z_1) + S_{2 H}^* \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4} = 104,421 + j \cdot 28,948 \text{ МВ*А}$$

Проверка:  $S_{12} + S_{54} = 199,361 + j \cdot 71,511 = S_{2 H} + S_{3 H} + S_{5 H}$

$$S_{л 1} = S_{12} = 94,94 + j \cdot 42,562 \text{ МВ*А}$$

$$S_{л 2} = S_{12} - S_{3 H} = 49,959 + j \cdot 14,866 \text{ МВ*А}$$

$$S_{л 3} = S_{54} = 104,421 + j \cdot 28,948 \text{ МВ*А}$$

$$S_{л 4} = S_{54} - S_{2 H} = 43,425 - j \cdot 0,8675 \text{ МВ*А}$$

Принимаем точку 4 потококоразделом активной мощности и точку 2 потококоразделом реактивной мощности. Разделим схему на две разомкнутые линии: линия 1-4(ВЛ1,ВЛ2) и линия 1-2(ВЛ3).

Предварительно рассчитаем потери мощности на участке между точками потококораздела (2-4,ВЛ4):

$$\Delta P_{24} = \frac{P_{24}^2 + Q_{42}^2}{U_{ном}^2} \cdot r_4 = \frac{43,425^2 + 0,8675^2}{220^2} \cdot 6,95 = 0,3361 \text{ МВ*А}$$

$$\Delta Q_{42} = \frac{P_{24}^2 + Q_{42}^2}{U_{ном}^2} \cdot x_4 = \frac{43,425^2 + 0,8675^2}{220^2} \cdot 23,925 = 1,157 \text{ МВ*А}$$

Расчет ветви 1-2(ВЛ3):

$$U_2 = 230,67 + j \cdot 24,09 \text{ кВ}$$

$$S_{3K} = S_{2H} + S_{л4} + \Delta P_{2-4} - j \cdot \frac{b_3}{2} \cdot |U_2|^2 = 104,76 + j \cdot 25,28 \text{ МВ*А}$$

$$\Delta U_{1-2} = \frac{S_{3K}}{|U_2|} \cdot Z_3 = 5,1 + j \cdot 9,16 \text{ кВ}$$

$$U_1 = U_2 + \Delta U_{1-2} = 235,78 + j \cdot 33,26 \text{ кВ}$$

$$S_3 = S_{3K} + \left( \frac{|S_{3K}|}{|U_2|} \right)^2 \cdot Z_2 - j \cdot \frac{b_3}{2} \cdot |U_1|^2 = 106,06 + j \cdot 26,29 \text{ МВ*А} \text{ — мощность выходящая из источника}$$

к точке 2.

Расчет ветви 1-4(ВЛ1,ВЛ2):

3-4(ВЛ2):

$$U_4 = 229,92 + j \cdot 29,74 \text{ кВ}$$

$$S_{2K} = S_{5H} - S_{л4} + j \cdot \Delta Q_{4-2} - j \cdot \frac{b_2}{2} \cdot |U_4|^2 = 49,96 + j \cdot 12,82 \text{ МВ*А}$$

$$\Delta U_{3-4} = \frac{S_{2K}}{|U_{ном}|} \cdot Z_2 = 2,26 + j \cdot 3,92 \text{ кВ}$$

1-3(ВЛ1):

$$U_3 = U_4 + \Delta U_{3-4} = 232,18 + j \cdot 33,66 \text{ кВ}$$

$$S_{1K} = S_{2K} + \left( \frac{|S_{2K}|}{|U_4|} \right)^2 \cdot Z_2 - j \cdot \frac{b_2}{2} \cdot |U_3|^2 + S_{3H} - j \cdot \frac{b_1}{2} \cdot |U_3|^2 = 95,21 + j \cdot 35,4 \text{ МВ*А}$$

$$\Delta U_{1-3} = \frac{S_{1K}}{|U_3|} \cdot Z_1 = 4,59 + j \cdot 6,33 \text{ кВ}$$

$$U_1 = U_3 + \Delta U_{1-3} = 236,77 + j \cdot 39,99 \text{ кВ}$$

$$S_1 = S_{1K} + \left( \frac{|S_{1K}|}{|U_3|} \right)^2 \cdot Z_1 - j \cdot \frac{b_1}{2} \cdot |U_1|^2 = 96,12 + j \cdot 35,66 \text{ МВ*А} \text{ — мощность выходящая из источника}$$

питания к точке 3.

Принимаем  $U_1$  равным максимальному из найденных:  $U_1 = 236,77 + j \cdot 39,99$

Мощность источника питания:  $S = S_1 + S_3 = 202,18 + j \cdot 61,95 = 211,46 \text{ МВ*А}$ ,  $P = 202,18 \text{ Вт}$

## Результаты

1. Суммарные потери на линиях и в трансформаторах

$$\Delta P_{mp1} = \left( \frac{|S_{нз1}|}{|U_{3'}|} \right)^2 \cdot r_{mp1} + P_{xx1} \cdot \left( \frac{|U_3|}{|U_{ном}|} \right)^2 = 0,262$$

$$\Delta P_{mp2} = \left( \frac{|S_{нз2}|}{|U_{2'}|} \right)^2 \cdot r_{mp2} + P_{xx2} \cdot \left( \frac{|U_2|}{|U_{ном}|} \right)^2 = 0,34$$

$$\Delta P_{mp3} = \left( \frac{|S_{нз3}|}{|U_{5'}|} \right)^2 \cdot r_{mp3} + P_{xx3} \cdot \left( \frac{|U_5|}{|U_{ном}|} \right)^2 = 0,296$$

$$\Delta P_{mp4} = \left( \frac{|S_{нз4}|}{|U_{6'}|} \right)^2 \cdot r_{mp4} + P_{xx4} \cdot \left( \frac{|U_6|}{|U_{ном}|} \right)^2 = 0,221$$

$$\Delta P_{л1} = \left( \frac{|S_{1K}|}{|U_3|} \right)^2 \cdot r_1 = 0,907$$

$$\Delta P_{л2} = \left( \frac{|S_{2K}|}{|U_4|} \right)^2 \cdot r_2 = 0,269$$

$$\Delta P_{л3} = \left( \frac{|S_{3K}|}{|U_2|} \right)^2 \cdot r_2 = 1,306$$

$$\Delta P_{л4} = \Delta P_{2-4} = 0,336$$

$$\Delta P_{л5} = \left( \frac{|S_{5K}|}{|U_5|} \right)^2 \cdot r_5 = 0,689$$

$$\Delta P_{л6} = \left( \frac{|S_{6K}|}{|U_6|} \right)^2 \cdot r_6 = 0,317$$

Суммарные потери:  $\Delta P_{\Sigma} = 4,945$  МВт

2. Потери в относительных единицах

$$\frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_{\Sigma}} = \frac{4,945}{202,18} = 0,0245 = 2,45 \%$$

3. Напряжения в узлах с нагрузкой

$$U_{н2 1} = U_{3'} = U_3 - \Delta U_{3-3'} = 221,64 - j \cdot 14,39$$

$$U_{н2 2} = U_{2'} = U_2 - \Delta U_{2-2'} = 220,99 + j \cdot 6,73$$

$$U_{н2 3} = U_{5'} = 219,76 + j \cdot 2,47$$

$$U_{н2 4} = U_{6'} = 220$$

4. Напряжения в узлах с нагрузкой по отношению к номинальному

$$\Delta U_{н2 1} = \frac{\Re(U_{3'}) - U_{ном}}{U_{ном}} = 0,00746 = 0,75 \%$$

$$\Delta U_{н2 2} = \frac{\Re(U_{2'}) - U_{ном}}{U_{ном}} = 0,00448 = 0,45 \%$$

$$\Delta U_{н2 3} = \frac{\Re(U_{5'}) - U_{ном}}{U_{ном}} = -0,00111 = -0,11 \%$$

$$\Delta U_{н2 4} = \frac{\Re(U_{6'}) - U_{ном}}{U_{ном}} = 0 \%$$

5. Наибольшая разность напряжений между узлами

$$\Delta U_{\max} = \Re(U_1) - \Re(U_{6'}) = 236,77 - 220 = 16,77 \text{ кВ}$$