

# Электрическая часть электрических станций и подстанций

---

Кафедра электрических станций

ЭЭз-41

Литвинов Илья Игоревич, 2-212

[litvinovii@mail.ru](mailto:litvinovii@mail.ru)

# Электрическая часть электрических станций и подстанций

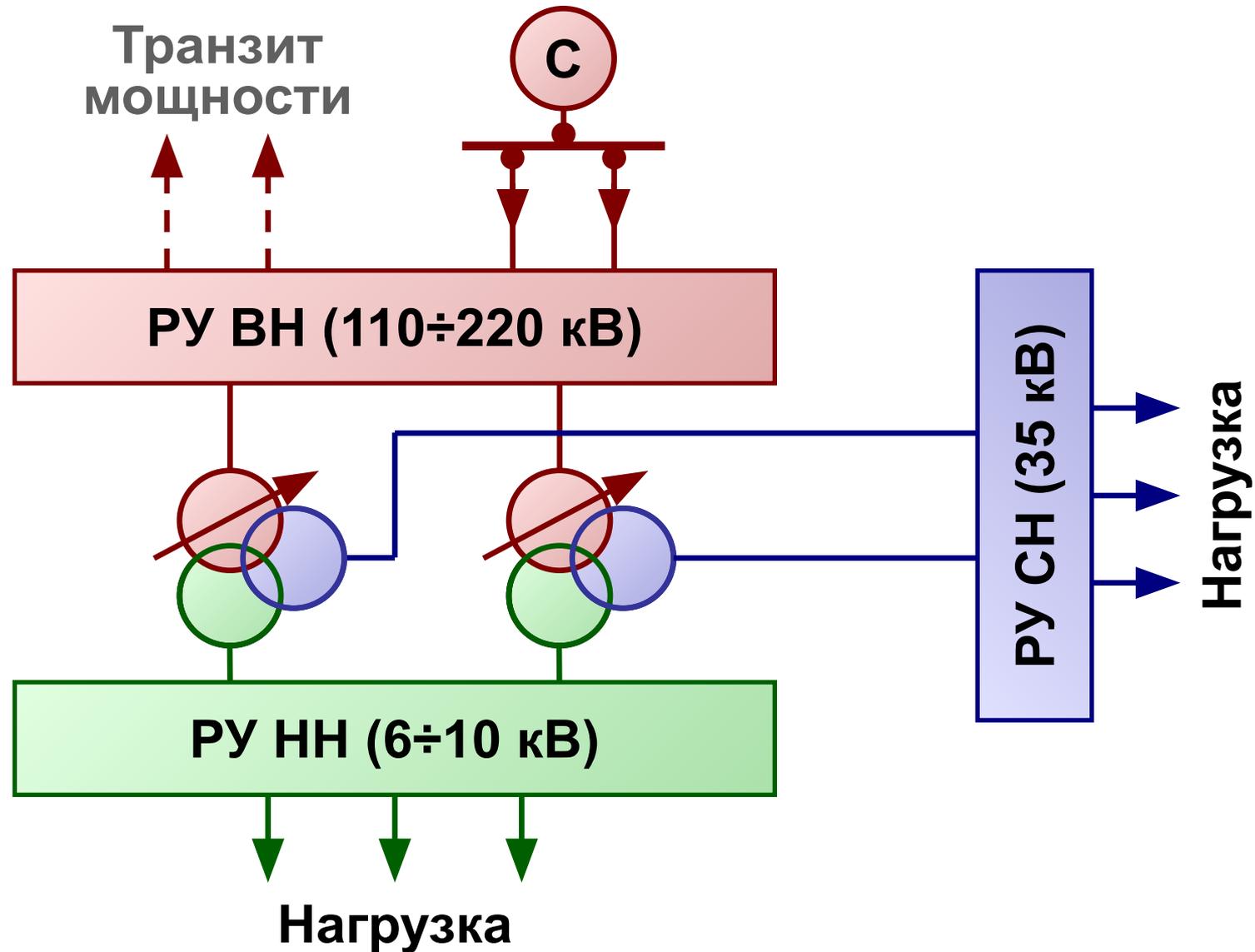
---

Кафедра электрических станций

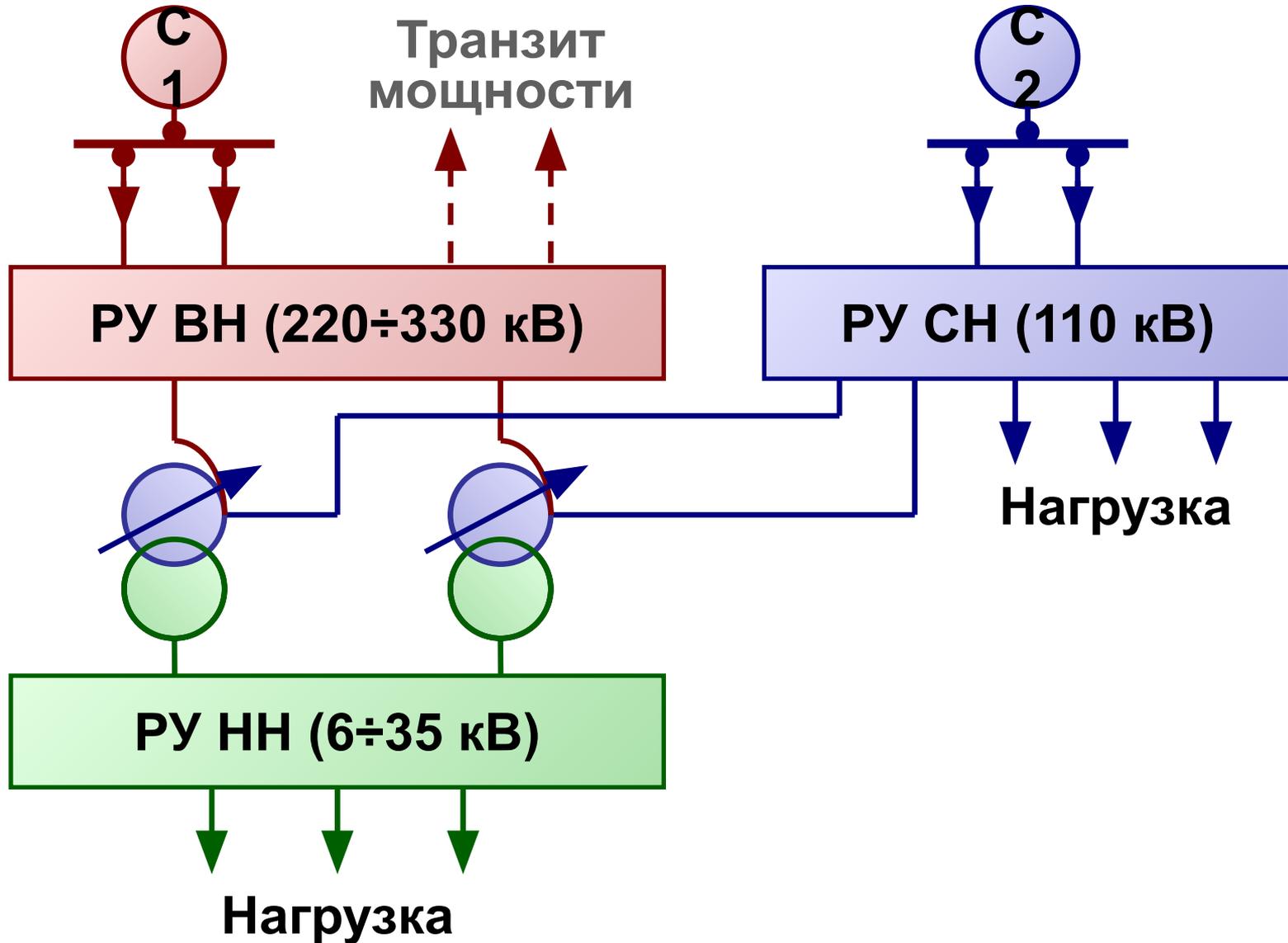
ЭЭз-42

Купарев Михаил Анатольевич, 2-314, 212  
[kuparevma@gmail.com](mailto:kuparevma@gmail.com)

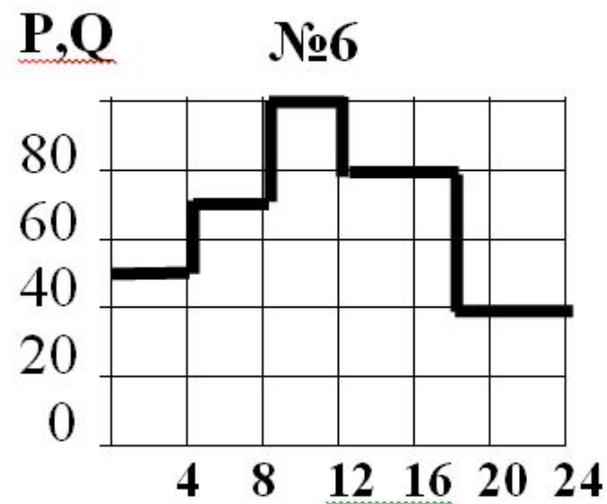
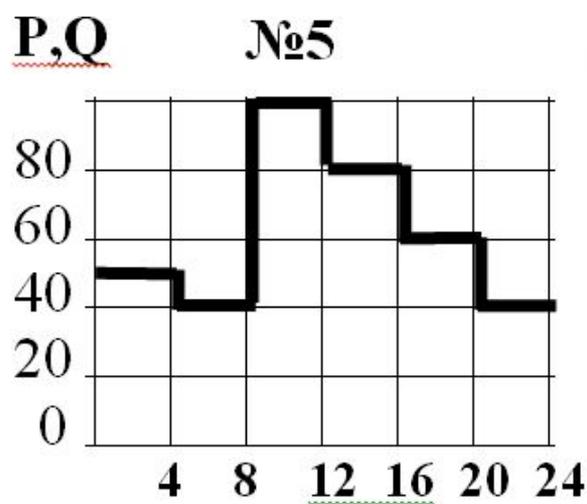
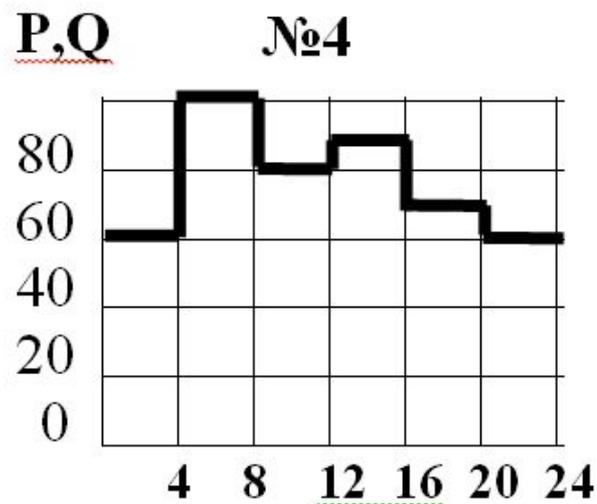
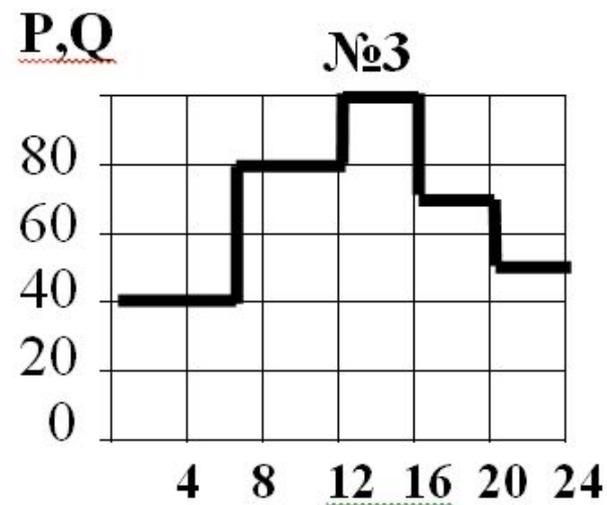
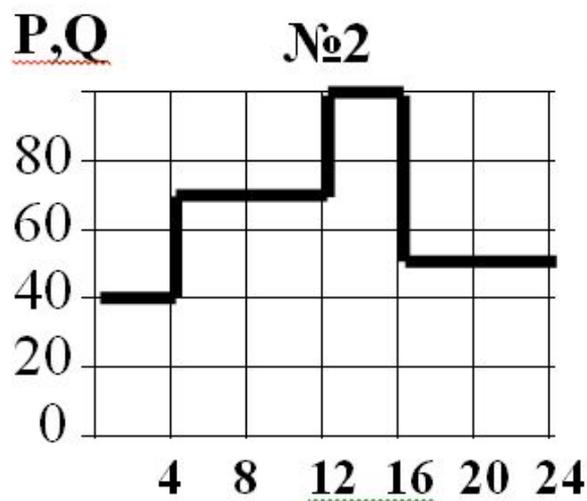
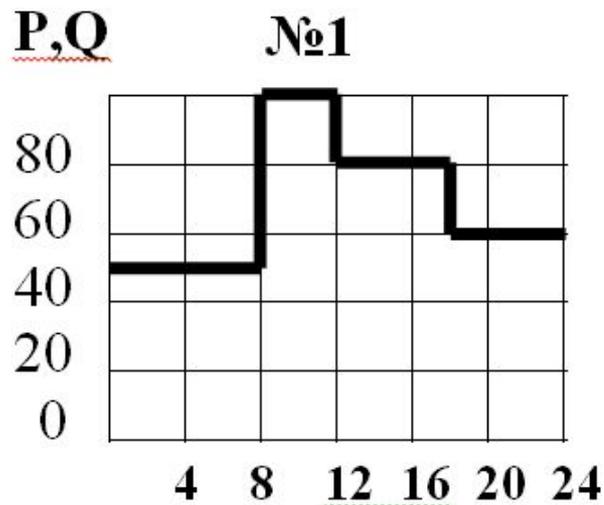
# Тупиковая (или проходная) ПС с тремя РУ



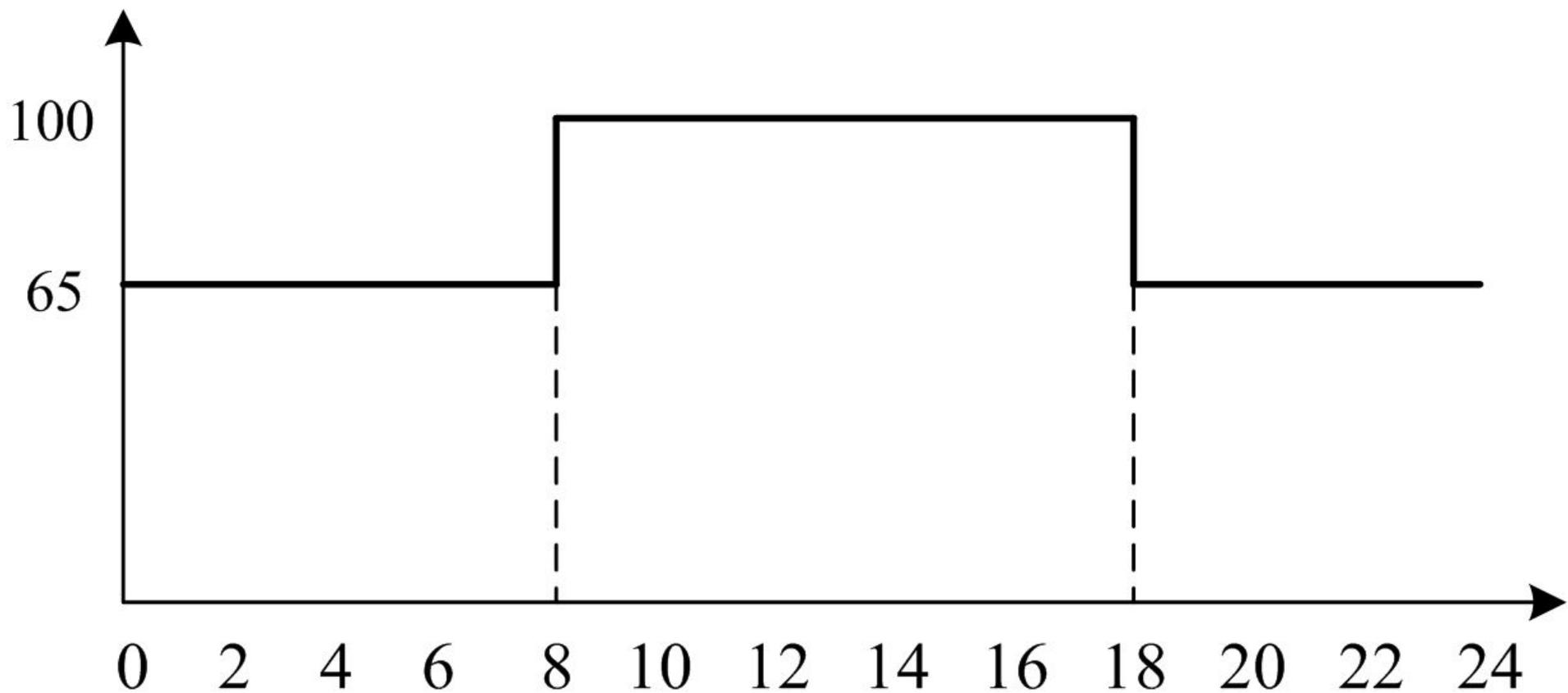
# Узловая системная подстанция



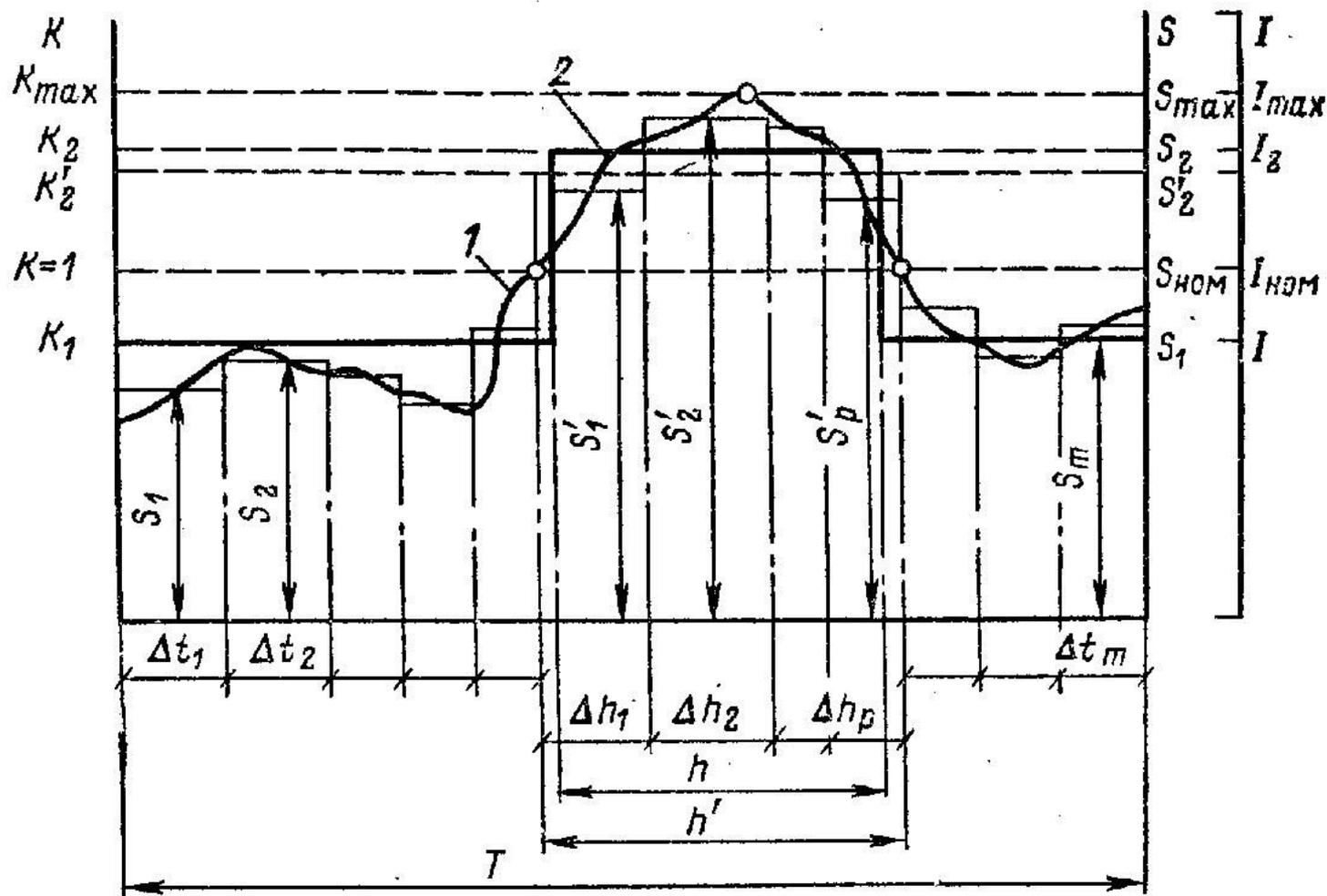
# Типовые суточные графики нагрузок



# График нагрузки СН



# Приведение графика нагрузки к двухступенчатому



Напряжение системы: 220 кВ

Потребители СН:

напряжение 110 кВ,

количество 4,

коэффициент мощности 0,9

мощность одного 45 МВт,

коэффициент одновременности 0,84

доля потребителей 3 категории 0,24

Потребители НН:  
напряжение 10 кВ,  
количество 14,  
коэффициент мощности 0,82  
мощность одного 3,5 МВт,  
коэффициент одновременности 0,82  
доля потребителей 3 категории 0,3

вариант графика нагрузки № 2

# Выбор мощности трансформаторов (автотрансформаторов)

Нормальный рабочий режим  
(режим систематических  
перегрузок,  
оба трансформатора в работе)

Расчёт максимальной мощности  
нагрузки по сторонам НН и СН

$$P_{\max} = k_{\theta\sigma} P_{H\sigma} n$$

# Таблица 1 – Расчёт мощности стороны НН по суточному графику в нормальном режиме

<b>t, ч</b>	<b><math>P_{HH}, Q_{HH}, S_{HH},</math> <b>%</b></b>	<b><math>P_{HH}=P\%*</math> <math>P_{max},</math> <b>МВт</b></b>	<b><math>Q_{HH}=P_{HH}*</math> <math>tg\varphi,</math> <b>МВАр</b></b>	<b><math>S_{HH} = \sqrt{P_{HH}^2 + Q_{HH}^2}</math> <b>МВА</b></b>
<b>0 – 4</b>	<b>40</b>	<b>16,07</b>	<b>8,67</b>	<b>18,26</b>
<b>4 – 12</b>	<b>70</b>	<b>28,13</b>	<b>15,18</b>	<b>31,96</b>
<b>12–16</b>	<b>100</b>	<b>40,18</b>	<b>21,68</b>	<b>45,66</b>
<b>16–24</b>	<b>50</b>	<b>20,09</b>	<b>10,84</b>	<b>22,83</b>

# Таблица 2 – Расчёт мощности стороны СН по суточному графику в нормальном режиме

<b>t, ч</b>	<b><math>P_{CH}, Q_{CH}, S_{CH},</math> <b>%</b></b>	<b><math>P_{CH}=P\%</math> <b>*<math>P_{max},</math> <b>МВт</b></b></b>	<b><math>Q_{CH}=P_{CH}</math> <b>*<math>tg\varphi,</math> <b>МВАр</b></b></b>	<b><math>S_{CH} = \sqrt{P_{CH}^2 + Q_{CH}^2}</math> <b>МВА</b></b>
<b>0 – 3</b>	<b>65</b>	<b>98,28</b>	<b>47,60</b>	<b>109,20</b>
<b>8 – 18</b>	<b>100</b>	<b>151,20</b>	<b>73,23</b>	<b>168,00</b>
<b>18–24</b>	<b>65</b>	<b>98,28</b>	<b>47,60</b>	<b>109,20</b>

# Таблица 3 – Расчёт мощности стороны ВН по суточному графику в нормальном режиме

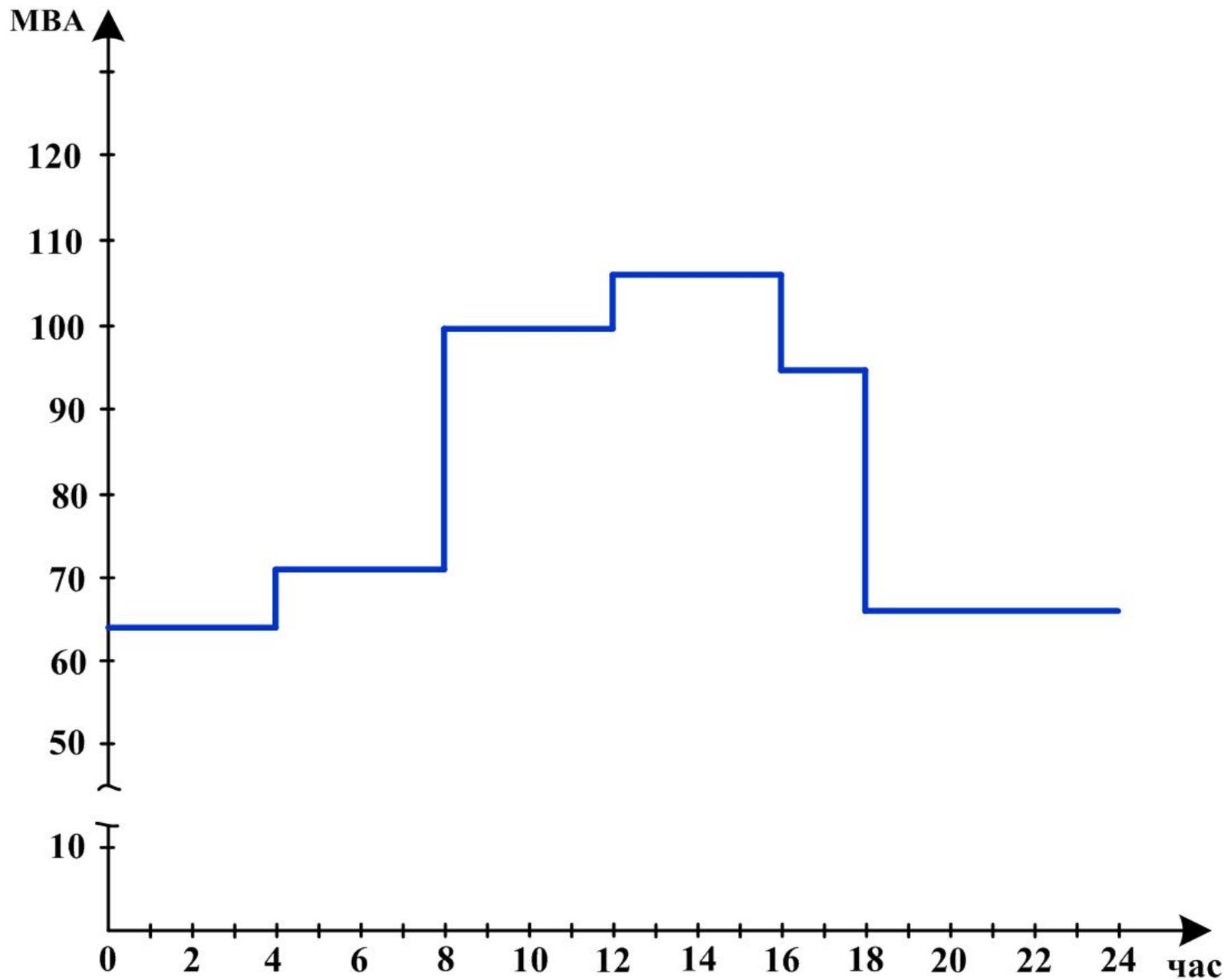
<b>t, ч</b>	<b><math>P_{BH} = P_{HH} + P_{CH}</math> МВт</b>	<b><math>Q_{BH} = Q_{HH} + Q_{CH}</math> МВАр</b>	<b><math>S_{BH} = \frac{\sqrt{P_{BH}^2 + Q_{BH}^2}}{2}, \text{ МВА}</math></b>
<b>0 – 4</b>	<b>114,35</b>	<b>56,27</b>	<b>63,72</b>
<b>4 – 8</b>	<b>126,41</b>	<b>62,78</b>	<b>70,57</b>
<b>8 – 12</b>	<b>179,33</b>	<b>88,41</b>	<b>99,97</b>
<b>12–16</b>	<b>191,38</b>	<b>94,92</b>	<b>106,81</b>
<b>16–18</b>	<b>171,29</b>	<b>84,07</b>	<b>95,41</b>
<b>18–24</b>	<b>118,37</b>	<b>58,44</b>	<b>66,01</b>

# Расчёт коэффициентов начальной загрузки и перегрузки (K1 и K2)

$$K_1 = \frac{1}{S_{HOM}} \sqrt{\frac{S_1^2 \Delta t_1 + S_2^2 \Delta t_2 + \dots + S_m^2 \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}}$$

$$K_2' = \frac{1}{S_{HOM}} \sqrt{\frac{(S_1')^2 \Delta h_1 + (S_2')^2 \Delta h_2 + \dots + (S_m')^2 \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots \Delta h_p}}$$

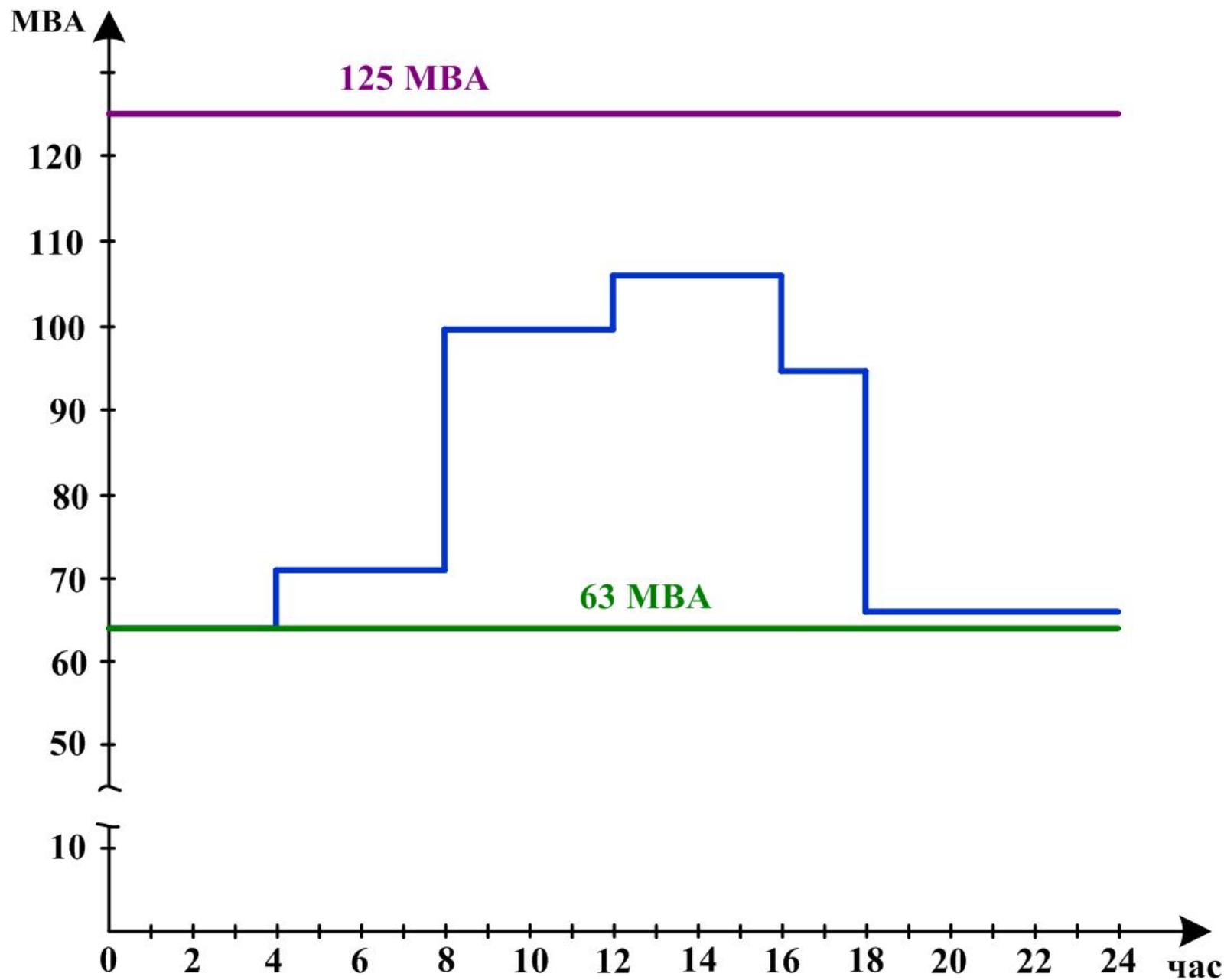
# Суточный график стороны ВН в нормальном режиме



Предварительно выбираем  
автотрансформатор  
**АТДЦТН-125000/220/110,**

все 24 часа в нормальном режиме  
будет недогружен, нет смысла  
рассчитывать  $K_1$  и  $K_2$

# Суточный график стороны ВН в нормальном режиме



# Расчёт аварийного режима

Расчёт максимальной мощности  
нагрузки по сторонам НН и СН

$$P_{\max} = k_{\theta 2} P_{H2} \eta \left( 1 - \frac{P_{3кат}}{100} \right)$$

# Таблица 4 – Расчёт мощности стороны НН по суточному графику в аварийном режиме

<b>t, ч</b>	<b><math>P_{HH}, Q_{HH}, S_{HH},</math> <b>%</b></b>	<b><math>P_{HH}=P\%*</math> <b><math>P_{max},</math> МВт</b></b>	<b><math>Q_{HH}=P_{HH}*</math> <b><math>tg\varphi,</math> МВАр</b></b>	<b><math>S_{HH} = \sqrt{P_{HH}^2 + Q_{HH}^2}</math> МВА</b>
<b>0 – 4</b>	<b>40</b>	<b>11,25</b>	<b>6,07</b>	<b>12,79</b>
<b>4 – 12</b>	<b>70</b>	<b>19,69</b>	<b>10,63</b>	<b>22,37</b>
<b>12–16</b>	<b>100</b>	<b>28,13</b>	<b>15,18</b>	<b>31,96</b>
<b>16–24</b>	<b>50</b>	<b>14,06</b>	<b>7,59</b>	<b>15,98</b>

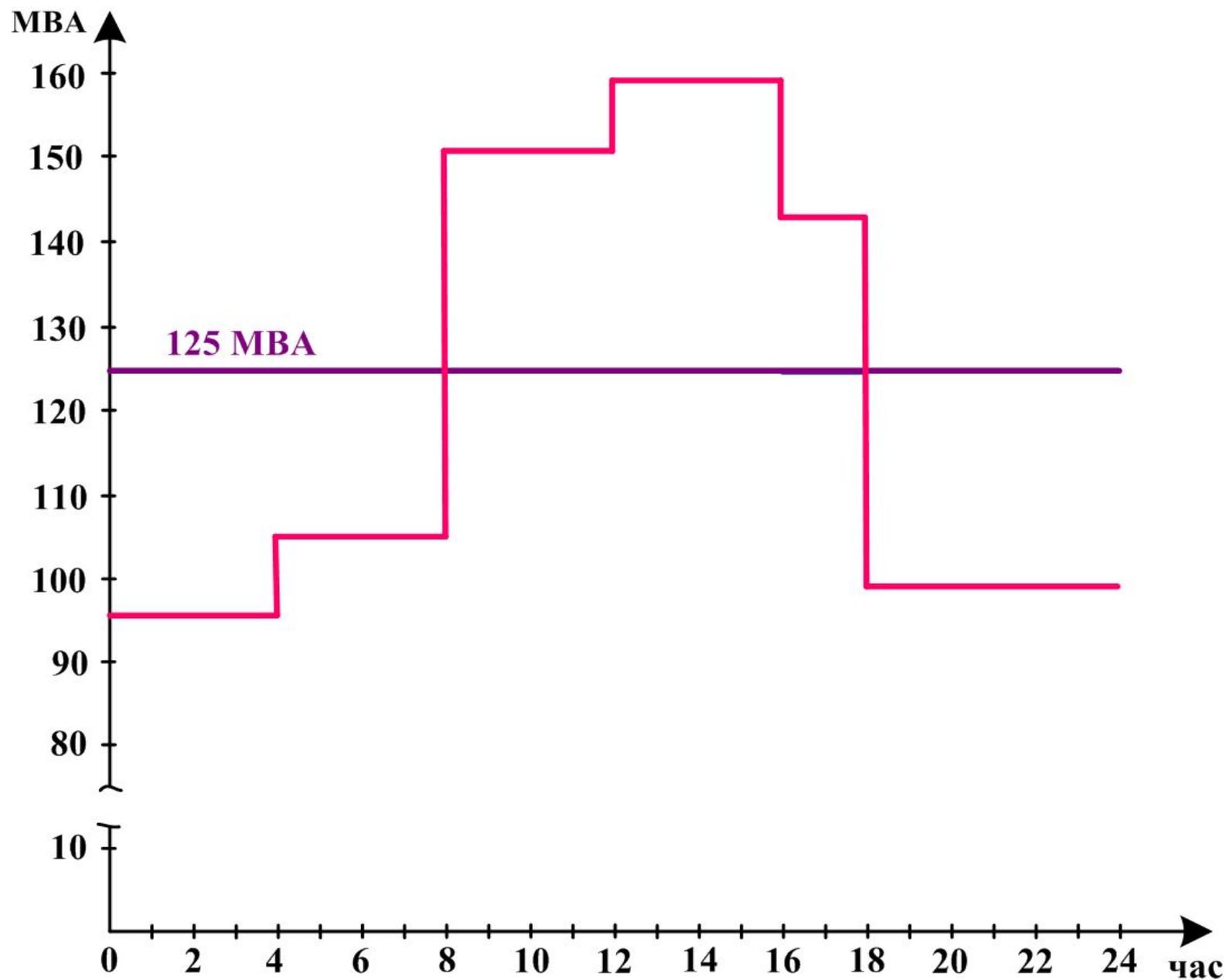
# Таблица 5 – Расчёт мощности стороны СН по суточному графику в аварийном режиме

<b>t, ч</b>	<b><math>P_{CH}, Q_{CH}, S_{CH},</math> <b>%</b></b>	<b><math>P_{CH}=P\%</math> <b>*<math>P_{max},</math></b> <b>МВт</b></b>	<b><math>Q_{CH}=P_{CH}</math> <b>*<math>tg\varphi,</math></b> <b>МВАр</b></b>	<b><math>S_{CH} = \sqrt{P_{CH}^2 + Q_{CH}^2}</math> <b>МВА</b></b>
<b>0 – 3</b>	<b>65</b>	<b>74,69</b>	<b>36,18</b>	<b>82,99</b>
<b>8 – 18</b>	<b>100</b>	<b>114,91</b>	<b>55,65</b>	<b>127,68</b>
<b>18–24</b>	<b>65</b>	<b>74,69</b>	<b>36,18</b>	<b>82,99</b>

# Таблица 6 – Расчёт мощности стороны ВН по суточному графику в аварийном режиме

<b>t, ч</b>	$P_{ВН} = P_{НН} + P_{СН}$ <b>МВт</b>	$Q_{ВН} = Q_{НН} + Q_{СН}$ <b>МВАр</b>	$S_{ВН} = \sqrt{P_{ВН}^2 + Q_{ВН}^2}$ , <b>МВА</b>
<b>0 – 4</b>	<b>85,94</b>	<b>42,25</b>	<b>95,77</b>
<b>4 – 8</b>	<b>94,38</b>	<b>46,80</b>	<b>105,35</b>
<b>8 – 12</b>	<b>134,60</b>	<b>66,28</b>	<b>150,03</b>
<b>12–16</b>	<b>143,04</b>	<b>70,84</b>	<b>159,62</b>
<b>16–18</b>	<b>128,98</b>	<b>63,25</b>	<b>143,65</b>
<b>18–24</b>	<b>88,76</b>	<b>43,77</b>	<b>98,96</b>

# Суточный график стороны ВН в аварийном режиме



# Расчёт коэффициентов $K_1$ и $K_2$ в аварийном режиме

$$K_1 = \frac{1}{S_{HOM}} \sqrt{\frac{S_1^2 \Delta t_1 + S_2^2 \Delta t_2 + \dots + S_m^2 \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}}$$

$$K_2' = \frac{1}{S_{HOM}} \sqrt{\frac{(S_1')^2 \Delta h_1 + (S_2')^2 \Delta h_2 + \dots + (S_m')^2 \Delta h_p}{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots \Delta h_p}}$$

$$K_1 = \frac{1}{125} \sqrt{\frac{95,77^2 \cdot 4 + 105,35^2 \cdot 4 + 98,96^2 \cdot 6}{4 + 4 + 6}}$$

$$= 0,80$$

$$K_2! = \frac{1}{125} \sqrt{\frac{150,03^2 \cdot 4 + 159,62^2 \cdot 4 + 143,65^2 \cdot 2}{4 + 4 + 2}}$$

$$= 1,22$$

$$K_{\max} = \frac{S_{\max}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{159,62}{125} = 1,28$$

$$K_2^! = 1,22 > K_{\max} * 0,9 = 1,28 * 0,9 = 1,15$$

*окончательно  $K_2 = 1,22$ ;  $h = 10$  час*

если  $K_2' < K_{\max} * 0,9$ , то  $K_2 = K_{\max} * 0,9$

$$h = \frac{(K_2')^2 h'}{(0,9K_{\max})^2}$$

Определение нормированных  
K1 и K2 по справочнику  
[Крючков, Неклепаев]  
табл. 1.36, стр. 52 по  
среднегодовой эквивалентной  
температуре заданного  
региона

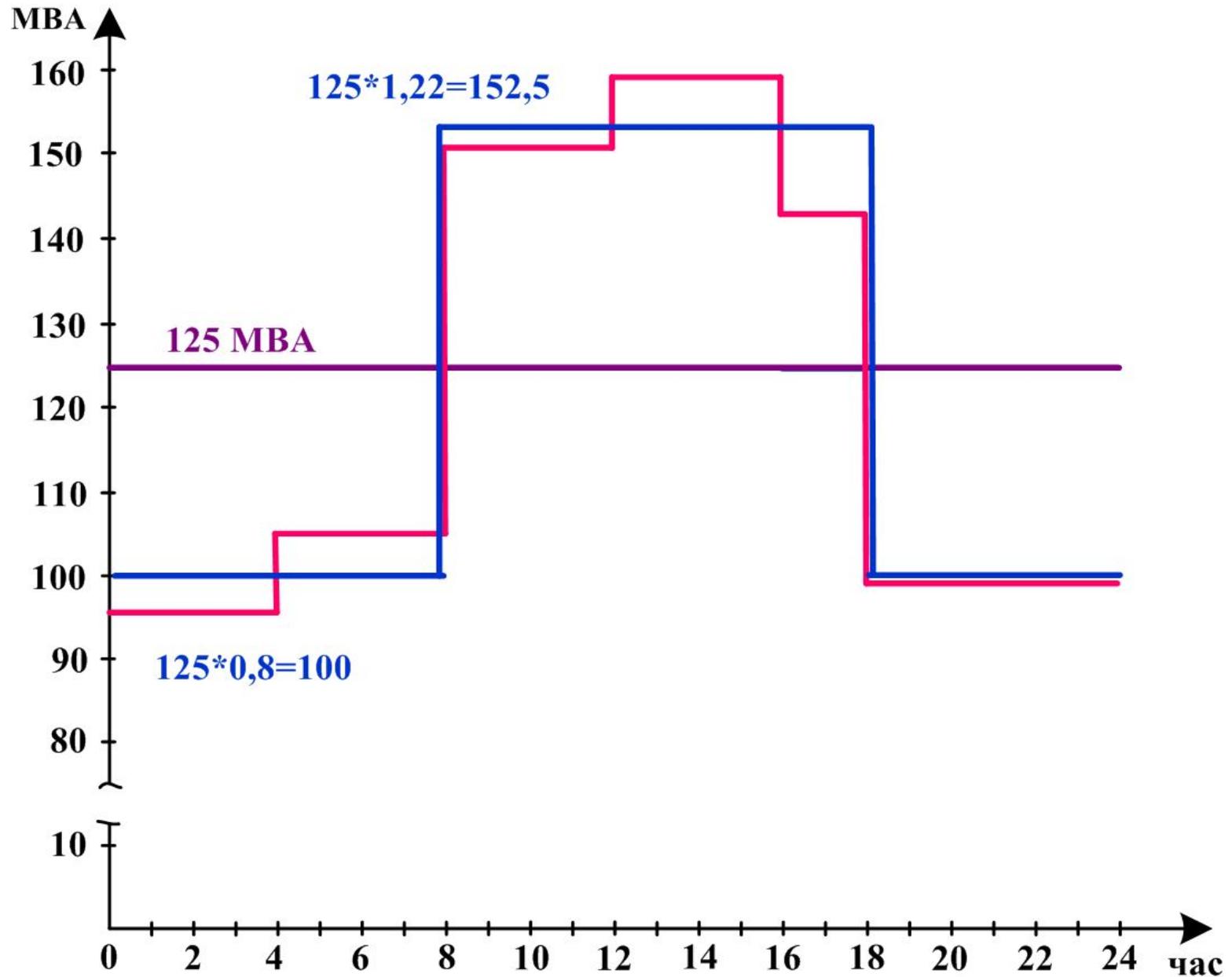
Для региона Житомир среднегодовая температура составляет  $10,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для трансформаторов 220 кВ и выше эту температуру следует увеличить на  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , получаем  $30,8\text{ }^{\circ}\text{C}$

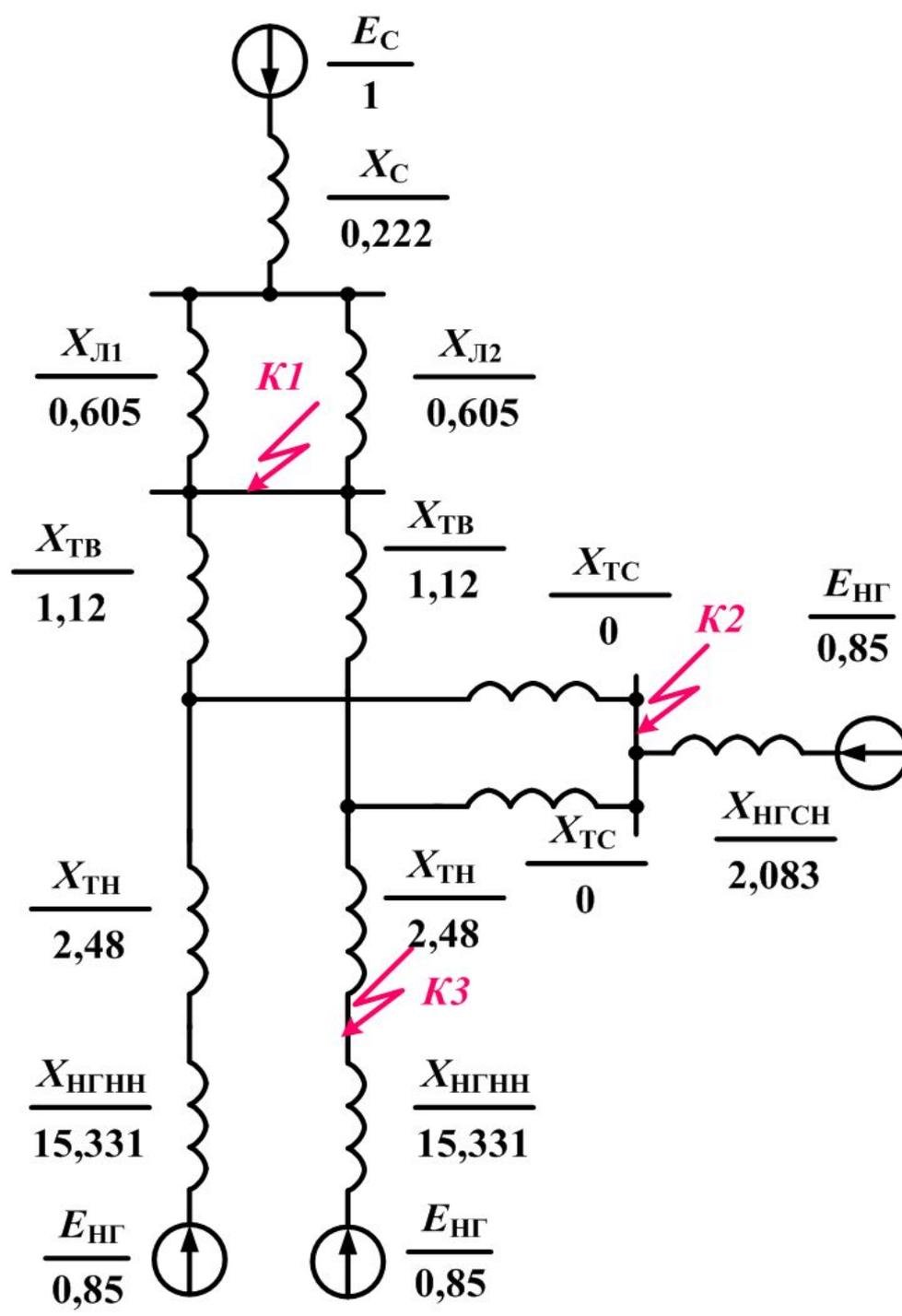
Для трансформаторов с системой охлаждения типа ДЦ допустимой значение коэффициента перегрузки  $K_2$  с продолжительностью 10 часов составляет 1,3.

Это больше расчётного, следовательно, окончательно выбираем автотрансформатор мощностью 125 МВА.

# Итоговый двухступенчатый график



# Расчёт токов коротких замыканий



# Базисная мощность и базисные токи

$$S_{\delta} = 1000$$

$$k_{\delta 1} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{cp1}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 230} = 2,51 \quad ,$$

$$k_{\delta 2} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{cp2}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \quad ,$$

$$k_{\delta 3} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{cp3}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55,0 \quad .$$

$$X_C = \frac{S_{\bar{6}}}{S_{K3}} = \frac{1000}{4500} = 0,222,$$

$$X_{Л1} = X_{Л2} = X_{y\partial} L \frac{S_{\bar{6}}}{U_{cp1}^2} = 0,4 \cdot 80 \cdot \frac{1000}{230^2} = 0,605,$$

$$X_{н2CH} = X_{H^*} \frac{S_{\bar{6}}}{S_{н2CH \max}} = 0,35 \cdot \frac{1000}{168} = 2,083,$$

$$X_{н2HH} = X_{H^*} \frac{S_{\bar{6}}}{0,5 \cdot S_{н2HH \max}} = 0,35 \cdot \frac{1000}{0,5 \cdot 45,66} = 15,331,$$

# Трансформатор

$$U_{\text{K}} = 0,5(U_{\text{KB } \epsilon} + U_{\text{KB } \text{H}} - U_{\text{KC } \text{H}}) = \\ = 0,5(11 + 45 - 28) = 14\%,$$

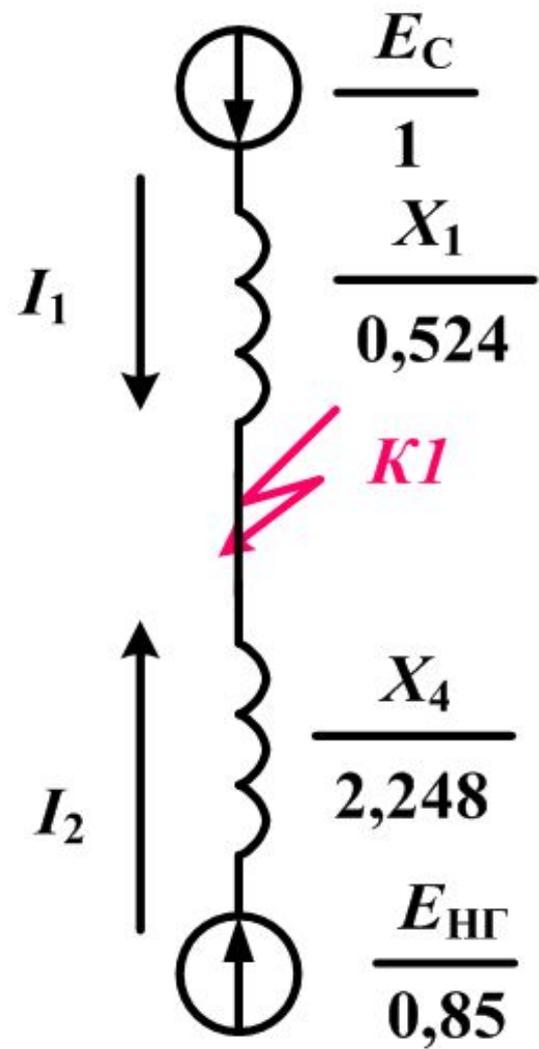
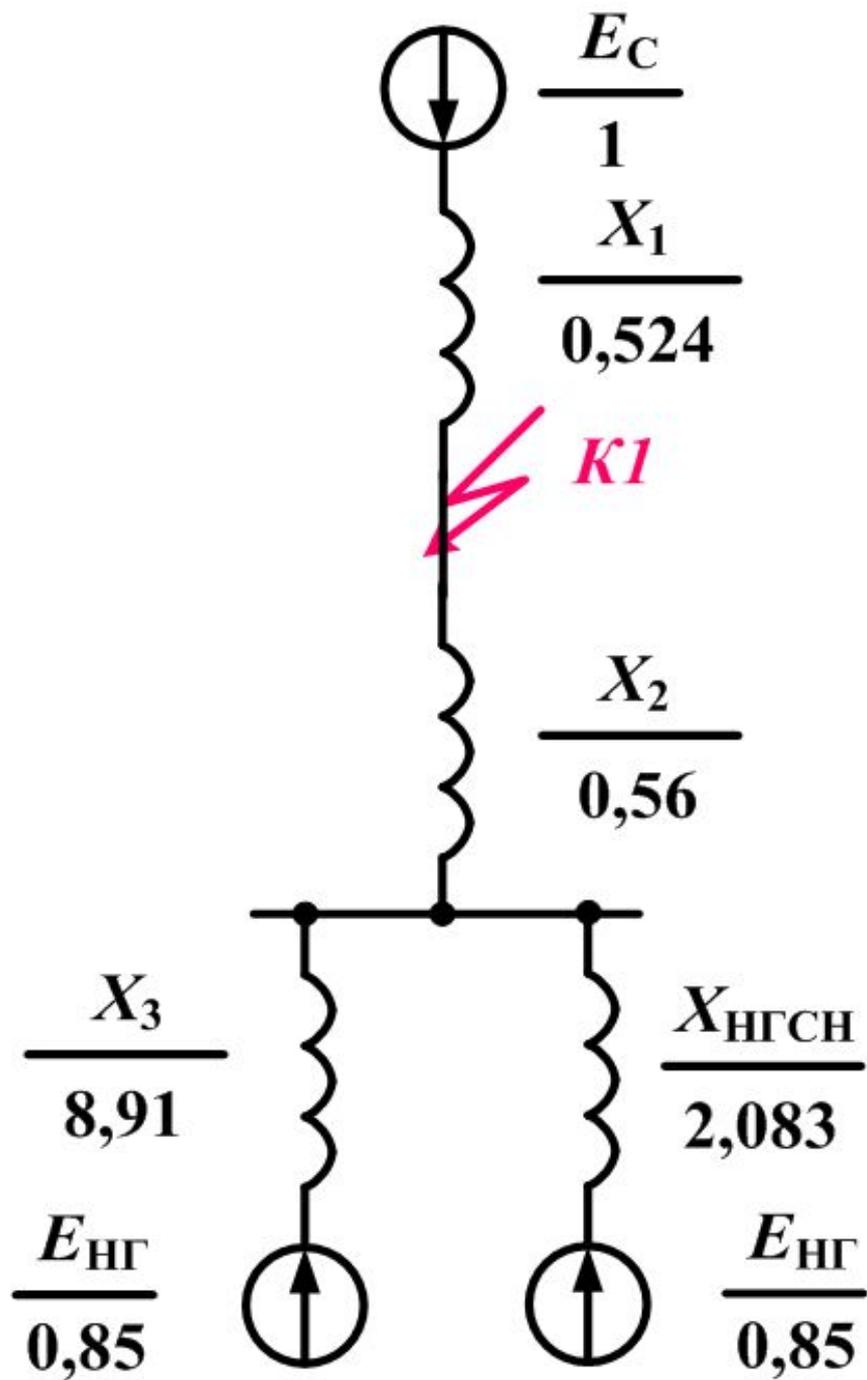
$$U_{\text{K}} = 0,5(U_{\text{KB } \epsilon} + U_{\text{KC } \text{H}} - U_{\text{KB } \text{H}}) = \\ = 0,5(11 + 28 - 45) = -3\% \approx 0,$$

$$U_{\text{H}} = 0,5(U_{\text{KB } \text{H}} + U_{\text{KC } \text{H}} - U_{\text{KB } \epsilon}) = \\ = 0,5(45 + 28 - 11) = 31\%,$$

$$X_{TB} = \frac{U_{KB}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{THOM}} = \frac{14}{100} \cdot \frac{1000}{125} = 1,12,$$

$$X_{TC} = 0,$$

$$X_{TH} = \frac{U_{KH}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{THOM}} = \frac{31}{100} \cdot \frac{1000}{125} = 2,48,$$



$$X_1 = X_C + \frac{X_{Л1}}{2} = 0,222 + \frac{0,605}{2} = 0,524$$

$$X_2 = \frac{X_{ТВ}}{2} = \frac{1,12}{2} = 0,56,$$

$$X_3 = \frac{X_{НГНН} + X_{ТН}}{2} = \frac{15,331 + 2,48}{2} = 8,91,$$

$$X_4 = \frac{X_{НГСН} \cdot X_3}{X_{НГСН} + X_3} = \frac{2,083 \cdot 8,91}{2,083 + 8,91} = 2,248$$

$$k_1 A = \frac{E_C}{X_1} \cdot I_{\sigma 1} = \frac{1}{0,524} \cdot 2,51 = 4,79$$

$$k_2 A = \frac{E_{HT}}{X_4} \cdot I_{\sigma 1} = \frac{0,85}{2,248} \cdot 2,51 = 0,95$$

$$k_{K1\Sigma}^{(3)} = I_1 + I_2 = 4,79 + 0,95 = 5,74$$

