

Пояснительная записка

№	Обозначение	<u>Наименование</u>
1	КП.0901000.301.15.ПЗ	Пояснительная записка
2	КП.0901000.301.15.ЭЗ	<u>Схема сети</u>
КП.0901000.301.15.КЗ		Схема замещения

Список используемой литературы:

1. Дукенбаев К. «Энергетика Казахстана»
2. Боровиков В. А., Косарев В. К., Ходот Г. А. «Электрические сети энергетических систем»
3. Электротехнический справочник, книга 1, том 3, под общей редакцией Орлова И. Н., Энергоиздат, 2000г.
4. ПУЭ

2.1 Введение

Развитая электроэнергетическая структура является базой экономики. Электроэнергетика Казахстана в настоящее время полностью обеспечивает электроснабжение экономики страны и характеризуется:

- Высокой долей производства электроэнергии на угольных электростанциях с комбинированным циклом при совместном производстве электрической и тепловой энергии.
- Развитой схемой линий электропередачи, где в качестве системообразующих связей выступают высоковольтные линии напряжением 220-500-1150 кВ.
- Единой и вертикально организованной системой оперативного диспетчерского управления.

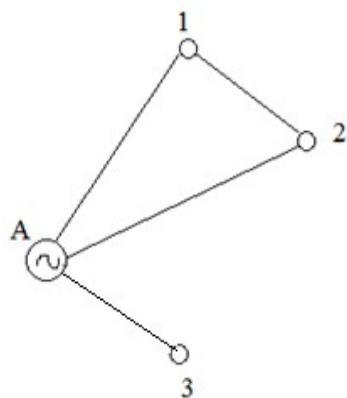
Производство электрической энергии в Казахстане осуществляют 58 электростанций различной формы собственности. Их суммарная установленная мощность 18980 МВт. Основу генерирующих мощностей Казахстана составляют тепловые электростанции – 88% установленной мощности, 12% составляют гидроэлектростанции. Все электроэнергетические объекты объединены в Единую электроэнергетическую систему Казахстана национальной электрической сетью напряжением 220-1150кВ. Общая протяженность сети напряжением 6кВ и выше составляет 325 тыс.км, из них протяженность сети 220-500-1150кВ 23.3 тыс.км. ЕЭС Казахстана работает в параллельном режиме с энергосистемами Российской Федерации и стран Центральной Азии, что способствует надежности электроснабжения потребителей, а также создает технологическую основу для межгосударственной торговли электроэнергией.

Сегодня в Казахстане эффективно функционирует конкурентный оптовый рынок электроэнергии. Развитие конкуренции на оптовом рынке базируется на открытом доступе к услугам по передаче электроэнергии по Национальной электрической сети и обеспечении права выбора оптовыми потребителями своего поставщика электроэнергии. Региональные энергокомпании осуществляют функции распределения и торговли электроэнергией на региональных розничных рынках.

Наблюдающиеся в последние годы высокие темпы развития экономики Казахстана (рост ВВП на 9-10% в год) сопровождаются соответствующим ростом объемов электропотребления – прирост 5-7% в год. По итогам 2007 года потребление составило 76,4 млрд. кВтч, что на 6,5% выше, чем за 2006 год.

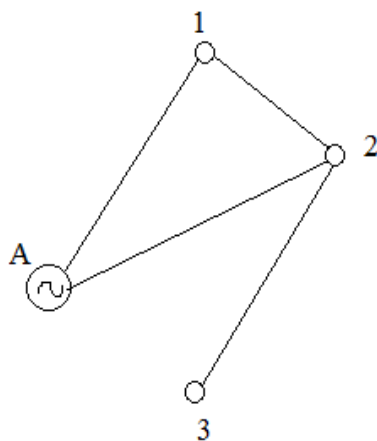
В настоящий момент ввиду высоких темпов развития экономики в целом, перед электроэнергетикой стоят задачи по быстрому наращиванию мощностей электростанций, развитию национальной и региональных электрических сетей. Согласно прогнозному балансу электроэнергии, утвержденному Министерством энергетики и минеральных ресурсов, электропотребление ЕЭС Казахстана к 2010 году составит 95 млрд. кВтч, а к 2015 году увеличится до 124 млрд. кВтч. Таким образом, к 2015 году прирост относительно 2007 года составит 47,6 млрд. кВтч, или 62%

Составление вариантов схемы электрической сети
1 вариант



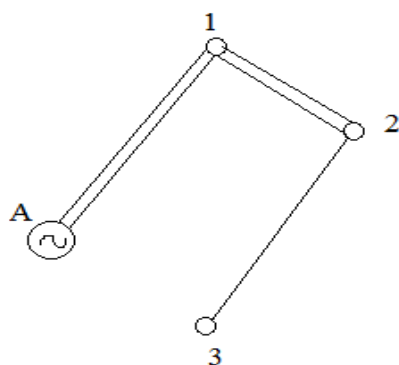
$$L = L_{A-1} + L_{1-2} + L_{A-2} + L_{A-3} = 45 + 30 + 55 + 25 = 155 \text{ км}$$

2 вариант



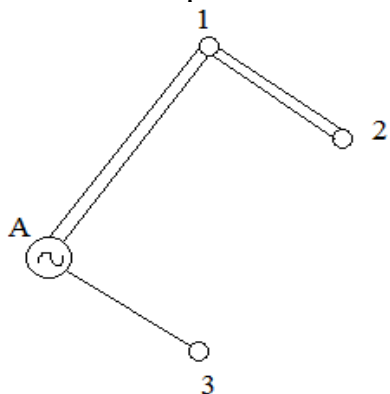
$$L = L_{A-1} + L_{1-2} + L_{A-2} + L_{3-2} = 45 + 30 + 55 + 40 = 170 \text{ км}$$

3 вариант



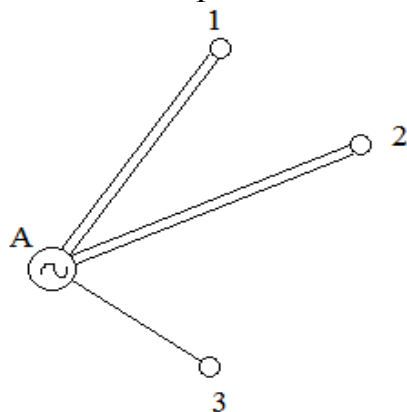
$$L = L_{A-1} \cdot 1,7 + L_{1-2} \cdot 1,7 + L_{2-3} = 45 \cdot 1,7 + 30 \cdot 1,7 + 40 = 167,5 \text{ км}$$

4 вариант



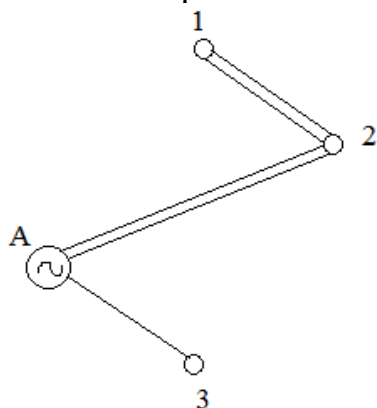
$$L = L_{A-1} \cdot 1,7 + L_{1-2} \cdot 1,7 + L_{A-3} = 45 \cdot 1,7 + 30 \cdot 1,7 + 25 = 152,5 \text{ км}$$

5 вариант



$$L = L_{A-1} \cdot 1,7 + L_{A-2} \cdot 1,7 + L_{A-3} = 45 \cdot 1,7 + 55 \cdot 1,7 + 25 = 195 \text{ км}$$

6 вариант



$$L = L_{A-2} \cdot 1,7 + L_{2-1} \cdot 1,7 + L_{A-3} = 55 \cdot 1,7 + 30 \cdot 1,7 + 25 = 169,5 \text{ км}$$

Для дальнейшего расчета выбираем 1 и 4 варианты

2.3 Выбор типа и мощности трансформаторов Для подстанции №1 (потребители I,II,III категории)

$$S_{\text{автомор-р}} = \frac{P_{10} + P_{110}}{\cos \phi} \cdot K_3 = \frac{25 + 42}{0,91} \cdot 0,7 = 53,84 \text{ MVA}$$

Принимаем к установке трансформатор типа АТДТН-63/220/110/10

Таблица №1

Тип	Напряжение обмоток, кВ			Потери, кВт		Uк%			I%
	ВН	СН	НН	ΔP_x	$\Delta P_{к.з}$	U ₁₋₂	U ₁₋₃	U ₂₋₃	
АТДТН-63	230	121	11	37	215	11	35	22	0,5

(Л-4 табл. П.3-2)

Определяем параметры трансформатора

$$r_{mp} = \frac{\Delta P_k \cdot U_n^2}{S_n^2 \cdot 10^3} = \frac{215 \cdot 230^2}{63^2 \cdot 10^3} = 2,86 \text{ Ом}$$

$$r_1 = r_2 = r_3 = 0,5 \cdot r_{mp} = 0,5 \cdot 2,86 = 1,4 \text{ Ом}$$

$$U_{K1} = 0,5 \cdot (U_{K1-2} + U_{K1-3} - U_{K2-3}) = 0,5 \cdot (11 + 35 - 22) = 12 \%$$

$$U_{K2} = 0,5 \cdot (U_{K1-2} + U_{K2-3} - U_{K1-3}) = 0,5 \cdot (11 + 22 - 35) \approx 0$$

$$U_{K3} = 0,5 \cdot (U_{K1-3} + U_{K2-3} - U_{K1-2}) = 0,5 \cdot (22 + 35 - 11) = 23 \%$$

$$X_1 = \frac{U_{K1} \% \cdot U_n^2}{S_n \cdot 100} = \frac{12 \cdot 230^2}{63 \cdot 100} = 100,76 \text{ Ом}$$

$$X_2 = 0$$

$$X_3 = \frac{U_{K3} \% \cdot U_n^2}{S_n \cdot 100} = \frac{23 \cdot 230^2}{63 \cdot 100} = 193,12 \text{ Ом}$$

Определяем потери в обмотках трансформатора

$$S_{10} = \frac{P_{10}}{\cos \phi} = \frac{25}{0,91} = 27,47 \text{ MVA}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_n^2} \cdot \frac{r_2}{2} = \frac{42^2 + 20,5^2}{230^2} \cdot \frac{1,4}{2} = 0,032 \text{ MBm}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_n^2} \cdot \frac{X_2}{2} = \frac{42^2 + 20,5^2}{230^2} \cdot \frac{0}{2} \approx 0 \text{ Mвар}$$

$$P_2' + iQ_2' = (P_2 + \Delta P_2) + j(Q_2 + \Delta Q_2) = (42 + 0,032) + j(20,5 + 0) = 42,032 + j20,5$$

$$P_1 + jQ_1 = (P_3' + P_2') + j(Q_3' + Q_2') = (25,009 + 42,032) + j(12,75 + 20,5) = 70,041 + j33,25$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_n^2} \cdot \frac{r_1}{2} = \frac{70,041^2 + 33,25^2}{230^2} \cdot \frac{1,4}{2} = 0,079 \text{ MBm}$$

$$\Delta Q_1 = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_n^2} \cdot \frac{X_1}{2} = \frac{70,041^2 + 33,25^2}{230^2} \cdot \frac{100,76}{2} = 5,724 \text{ Mвар}$$

$$P_1' + iQ_1' = (P_1 + \Delta P_1) + j(Q_1 + \Delta Q_1) = (70,041 + 0,079) + j(33,25 + 5,724) = 70,12 + j38,974$$

$$\Delta P_0 = \Delta P_{xx} \cdot 2 = 2 \cdot 37 = 74 \text{ κBm} = 0,074 \text{ MBm}$$

$$\Delta Q_\mu = \frac{I_0 \cdot S_n}{100} \cdot 2 = \frac{0,5 \cdot 63}{100} \cdot 2 = 0,63 \text{ Mвар}$$

$$P_1'' + jQ_1'' = (P_1' + \Delta P_0) + j(Q_1' + \Delta Q_\mu) = (70,12 + 0,074) + j(38,974 + 0,63) = 70,194 + j39,604$$

Выбор трансформатора для подстанции №2 (потребители I, II, III категории)

$$S_{\text{тр}} = \frac{P_{10}}{\cos \phi} \cdot k_{\text{з}} = \frac{39}{0,91} \cdot 0,7 = 30 \text{ МВА}$$

Таблица №2

Тип	S _H МВА	U _H		U _{K%}	Потери		I _{ХХ} %
		ВН кВ	НН кВ		P _{ХХ} кВт	P _{КЗ} кВт	
ТРДН-40	40	230	11	12	45	170	0,5

(Л-4 табл. П.3-2)

Расчет параметров трансформатора

$$S_{10} = \frac{39}{0,91} = 42,85 \text{ МВА}$$

$$Q_{\text{н}} = \sqrt{S_{10}^2 - P_{10}^2} = \sqrt{42,85^2 - 39^2} = 17,75 \text{ Мвар}$$

$$R_{\text{ТР}} = \frac{\Delta P_k \cdot U_H^2}{S_H^2 \cdot 10^3} = \frac{170 \cdot 230^2}{40^2 \cdot 10^3} = 5,6 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{ТР}} = \frac{U_{\text{к\%}} \cdot U_H^2}{S_H \cdot 100} = \frac{12 \cdot 230^2}{40 \cdot 100} = 158,7 \text{ Ом}$$

Определяем потери в обмотке

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot \frac{R_{\text{ТР}}}{2} = \frac{39^2 + 17,75^2}{230^2} \cdot \frac{5,6}{2} = 0,097 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot \frac{X_{\text{ТР}}}{2} = \frac{39^2 + 17,75^2}{230^2} \cdot \frac{158,7}{2} = 2,754 \text{ Мвар}$$

$$P' + jQ' = (39 + 0,097) + j(17,75 + 2,754) = 39,097 + j20,504$$

$$\Delta P = P_{\text{xx}} \cdot 2 = 45 \text{ кВт} \cdot 2 = 0,09 \text{ Мвт}$$

$$\Delta Q_{\mu} = \frac{I\% \cdot S_H}{100} \cdot 2 = \frac{0,5 \cdot 40}{100} \cdot 2 = 0,4 \text{ Мвар}$$

$$P' + jQ' = (39,097 + 0,09) + j(20,504 + 0,4) = 39,187 + j20,904$$

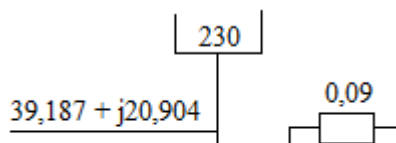


Рис.2

Выбор трансформатора для подстанции №3 (потребители III категории)

$$S_{\text{тр}} = \frac{P_{10}}{\cos \phi} \cdot k_{\text{з}} = \frac{30}{0,91} \cdot 1 = 32,96 \text{ МВА}$$

Таблица №3

Тип	S _H МВА	U _H		U _{K%}	Потери		I _{ХХ} %
		ВН кВ	НН кВ		P _{ХХ} кВт	P _{КЗ} кВт	
ТРДН-40	40	230	11	12	45	170	0,5

(Л-4 табл. П.3-2)

Расчет параметров трансформатора

$$S_{10} = \frac{30}{0,91} = 32,96 \text{ МВА}$$

$$Q_n = \sqrt{S_{10}^2 - P_{10}^2} = \sqrt{32,96^2 - 30^2} = 13,66 \text{ Мвар}$$

$$R_{\text{ТР}} = \frac{\Delta P_k \cdot U_H^2}{S_H^2 \cdot 10^3} = \frac{170 \cdot 230^2}{40^2 \cdot 10^3} = 5,6 \text{ Ом}$$

$$X_{\text{ТР}} = \frac{U_{\text{к\%}} \cdot U_H^2}{S_H \cdot 100} = \frac{12 \cdot 230^2}{40 \cdot 100} = 158,7 \text{ Ом}$$

Определяем потери в обмотке

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{R} = \frac{30^2 + 13,66^2}{5,6} = 0,115 \text{ МВт}$$

Расчет сети в максимальном режиме по 1-ому варианту
Участок А-3

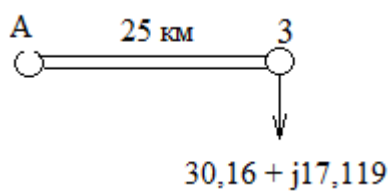
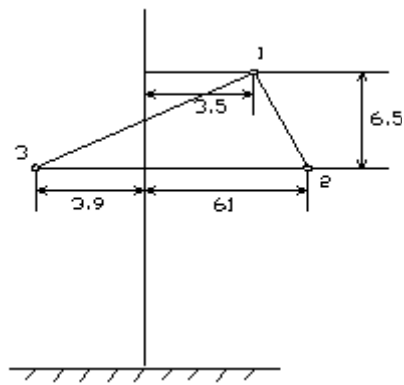


Рис.4

Определяем токи по участкам:



Производим расчёт мощностей в режиме максимальных нагрузок
для участка А-3

$$S_{A-3} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 30,16 + j(17,119 - 1,6) = 30,16 + j15,519$$

$$\Delta P_{A-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot r_{A-3} = \frac{30,16^2 + 15,519^2}{220^2} \cdot 2,95 = 0,07 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{A-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot x_{A-3} = \frac{30,16^2 + 15,519^2}{220^2} \cdot 10,65 = 0,25 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{A-3} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (30,16 + 0,07) + j(15,519 + 0,25) = 30,23 + j15,769$$

$$S_{A-3} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 30,23 + j(15,769 - 1,6) = 30,23 + j14,169$$

Схема баланса мощности участка А-3

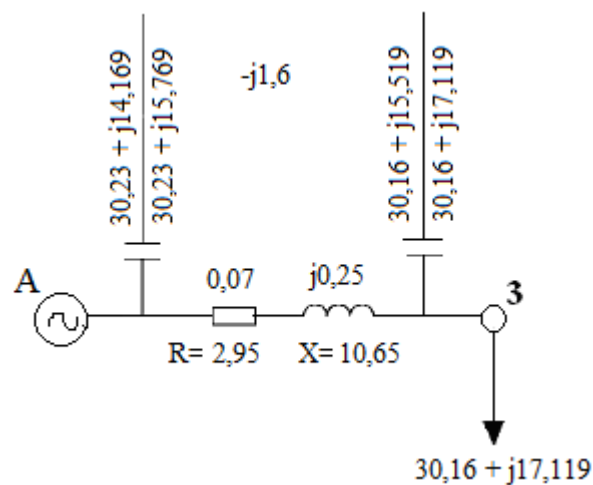


Рис.6

Производим предварительное распределение мощности в сети

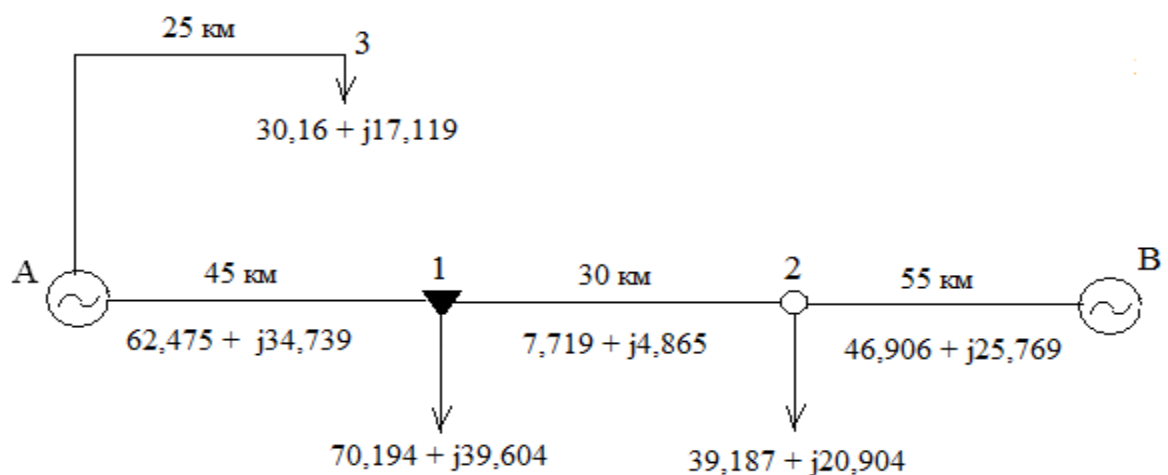


Рис.7

$$P_A = \frac{\sum P_i l_i}{L_A} = \frac{70,194 \cdot 85 + 39,187 \cdot 55}{130} = 62,475 \text{ МВт}$$

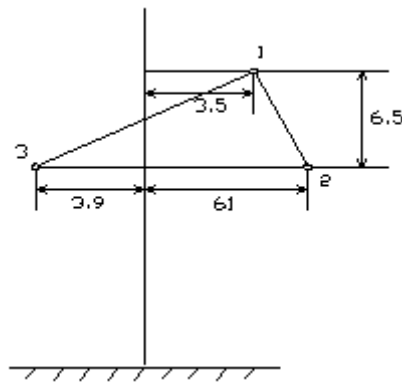
$$Q_A = \frac{\sum Q_i l_i}{L_A} = \frac{39,604 \cdot 85 + 20,94 \cdot 55}{130} = 34,739 \text{ Мвар}$$

$$P_B = \frac{\sum P_i l_i}{L_A} = \frac{70,194 \cdot 45 + 39,187 \cdot 75}{130} = 46,906 \text{ МВт}$$

$$Q_B = \frac{\sum Q_i l_i}{L_A} = \frac{39,604 \cdot 45 + 20,904 \cdot 75}{130} = 25,769 \text{ Мвар}$$

Определяем сечение по экономической плотности тока:

$$\left. \begin{aligned} F_{A-1} &= \frac{I_{A-1}}{j_3} = \frac{187}{1,4} = 133,57 \text{ мм}^2 \\ F_{1-2} &= \frac{I_{1-2}}{j_3} = \frac{24}{1,4} = 17,14 \text{ мм}^2 \\ F_{2-B} &= \frac{I_{2-B}}{j_3} = \frac{140}{1,4} = 100 \text{ мм}^2 \end{aligned} \right\} AC - 240/32 \text{ см. Л - 4 табл. П.1 - 2}$$



Производим расчёт мощностей в режиме максимальных нагрузок

Участок 1-А

$$S_{1-A} = P_I + j(Q_I - Q_A) = 62,475 + j(34,739 - 2,8) = 62,475 + j31,939$$

$$\Delta P_{1-A} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot r_{1-A} = \frac{62,475^2 + 31,939^2}{220^2} \cdot 5,31 = 0,54 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{1-A} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot x_{1-A} = \frac{62,475^2 + 31,939^2}{220^2} \cdot 19,17 = 1,949 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{1-A} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (62,475 + 0,54) + j(31,939 + 1,949) = 63,015 + j33,888$$

$$S_{1-A} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_A) = 63,015 + j(33,888 - 2,8) = 63,015 + j31,088$$

Участок 1-2

$$S_{1-2} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 7,719 + j(4,865 - 1,9) = 7,719 + j2,965$$

$$\Delta P_{1-2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot r_{1-2} = \frac{7,719^2 + 2,965^2}{220^2} \cdot 3,54 = 0,005 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{1-2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot x_{1-2} = \frac{7,719^2 + 2,965^2}{220^2} \cdot 12,78 = 0,018 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{1-2} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (7,719 + 0,005) + j(2,965 + 0,018) = 7,724 + j2,983$$

$$S_{1-2} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 7,724 + j(2,983 - 1,9) = 7,724 + j1,083$$

Участок 2-В

$$S = (P_{2-1} + P_{2-B}) + j(Q_{2-1} + Q_{2-B}) = (7,724 + 39,187) + j(1,083 + 20,904) = 46,911 + j21,987$$

$$S_{2-B} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 46,911 + j(21,987 - 3,5) = 46,911 + j18,487$$

$$\Delta P_{2-B} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot r_{2-B} = \frac{46,911^2 + 18,487^2}{220^2} \cdot 6,49 = 0,341 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{2-B} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot x_{2-B} = \frac{46,911^2 + 18,487^2}{220^2} \cdot 23,43 = 1,23 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{2-B} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (46,911 + 0,341) + j(18,487 + 1,23) = 47,252 + j19,717$$

$$S_{2-B} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 47,252 + j(19,717 - 3,5) = 47,252 + j16,217$$

Расчет сети в максимальном режиме по 2-ому варианту
 Производим предварительное распределение мощности в сети

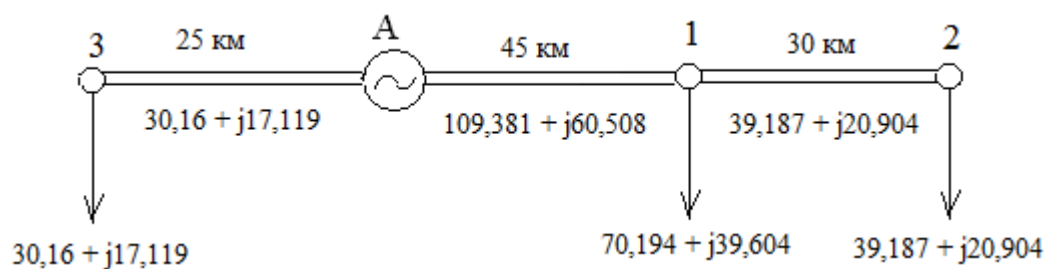


Рис.10

Определяем токи по участкам:

$$I_{A-3} = \frac{\sqrt{P_{A-3}^2 + Q_{A-3}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{30,16^2 + 17,119^2}}{1,73 \cdot 220} = 0,091 \text{ кА} = 91 \text{ А}$$

$$I_{1-2} = \frac{\sqrt{P_{1-2}^2 + Q_{1-2}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{39,187^2 + 20,904^2}}{1,73 \cdot 220} = 0,116 \text{ кА} = 116 \text{ А}$$

$$I_{A-1} = \frac{\sqrt{P_{A-1}^2 + Q_{A-1}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{109,381^2 + 60,508^2}}{1,73 \cdot 220} = 0,328 \text{ кА} = 328 \text{ А}$$

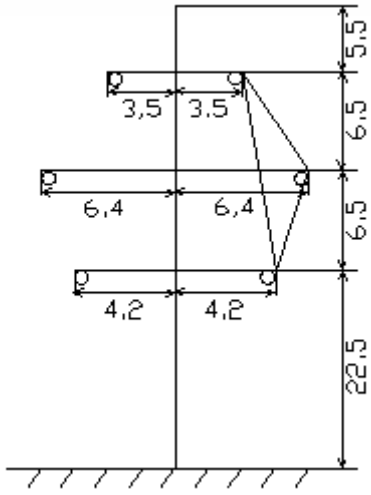
Выбираем двухцепную стальную опору на 220 кВ

Находим среднегеометрическое расстояние
между проводами

$$D_{12} = D_{23} = \sqrt{6,5^2 + (6,4 - 3,5)^2} = 7,1 \text{ м}$$

$$D_{31} = 6,5 + 6,5 = 13 \text{ м}$$

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}} = \sqrt[3]{7,1 \cdot 7,1 \cdot 13} = 8,7 \approx 8,5 \text{ м}$$



Производим расчёт мощностей в режиме максимальных нагрузок

Участка А-3

$$S_{A-3} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 30,16 + j(17,119 - 1,6) = 30,16 + j15,519$$

$$\Delta P_{A-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot r_{A-3} = \frac{30,16^2 + 15,519^2}{220^2} \cdot 2,95 = 0,07 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{A-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot x_{A-3} = \frac{30,16^2 + 15,519^2}{220^2} \cdot 10,65 = 0,25 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{A-3} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (30,16 + 0,07) + j(15,519 + 0,25) = 30,23 + j15,769$$

$$S_{A-3} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 30,23 + j(15,769 - 1,6) = 30,23 + j14,169$$

Участок 1-2

$$S_{1-2} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 39,187 + j(20,904 - 3,8) = 39,187 + j17,104$$

$$\Delta P_{1-2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot \frac{r_{1-2}}{2} = \frac{39,187^2 + 17,104^2}{220^2} \cdot \frac{3,54}{2} = 0,066 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{1-2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot \frac{x_{1-2}}{2} = \frac{39,187^2 + 17,104^2}{220^2} \cdot \frac{12,78}{2} = 0,241 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{1-2} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (39,187 + 0,066) + j(17,104 + 0,241) = 39,253 + j17,345$$

$$S_{1-2} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 39,253 + j(17,345 - 3,8) = 39,253 + j13,545$$

Участок 1-А

$$S = (P_{2-1} + P_{A-1}) + j(Q_{2-1} + Q_{A-1}) = (70,194 + 39,253) + j(39,604 + 13,545) = 109,447 + j53,149$$

$$S_{1-A} = P_I + j(Q_I - Q_A) = 109,447 + j(53,149 - 5,7) = 109,447 + j47,449$$

$$\Delta P_{1-A} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot \frac{r_{1-A}}{2} = \frac{109,447^2 + 47,449^2}{220^2} \cdot \frac{5,31}{2} = 0,78 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{1-A} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot \frac{x_{1-A}}{2} = \frac{109,447^2 + 47,449^2}{220^2} \cdot \frac{19,17}{2} = 2,818 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{1-A} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (109,447 + 0,78) + j(47,449 + 2,818) = 110,227 + j50,267$$

$$S_{1-A} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_A) = 110,227 + j(50,267 - 5,7) = 110,227 + j44,567$$

2.4 Технико-экономическое сравнение вариантов

К основным техническим показателям относятся: надёжность электроснабжения и долговечность объекта в целом и отдельных его частей, условия обслуживания, количество обслуживающего персонала, расход цветного металла на провода, величина номинального напряжения сети.

I- вариант

Таблица 7

Участок	Район по гол.	Тип опоры	Тип провода	Цена
A-1	II	стальная	АС-240/32	21,2
1-2	II	стальная	АС-240/32	21,0
2-B	II	стальная	АС-240/32	21,0
A-3	II	стальная	АС-240/32	21,0

(Л-7 табл. § 42.2)

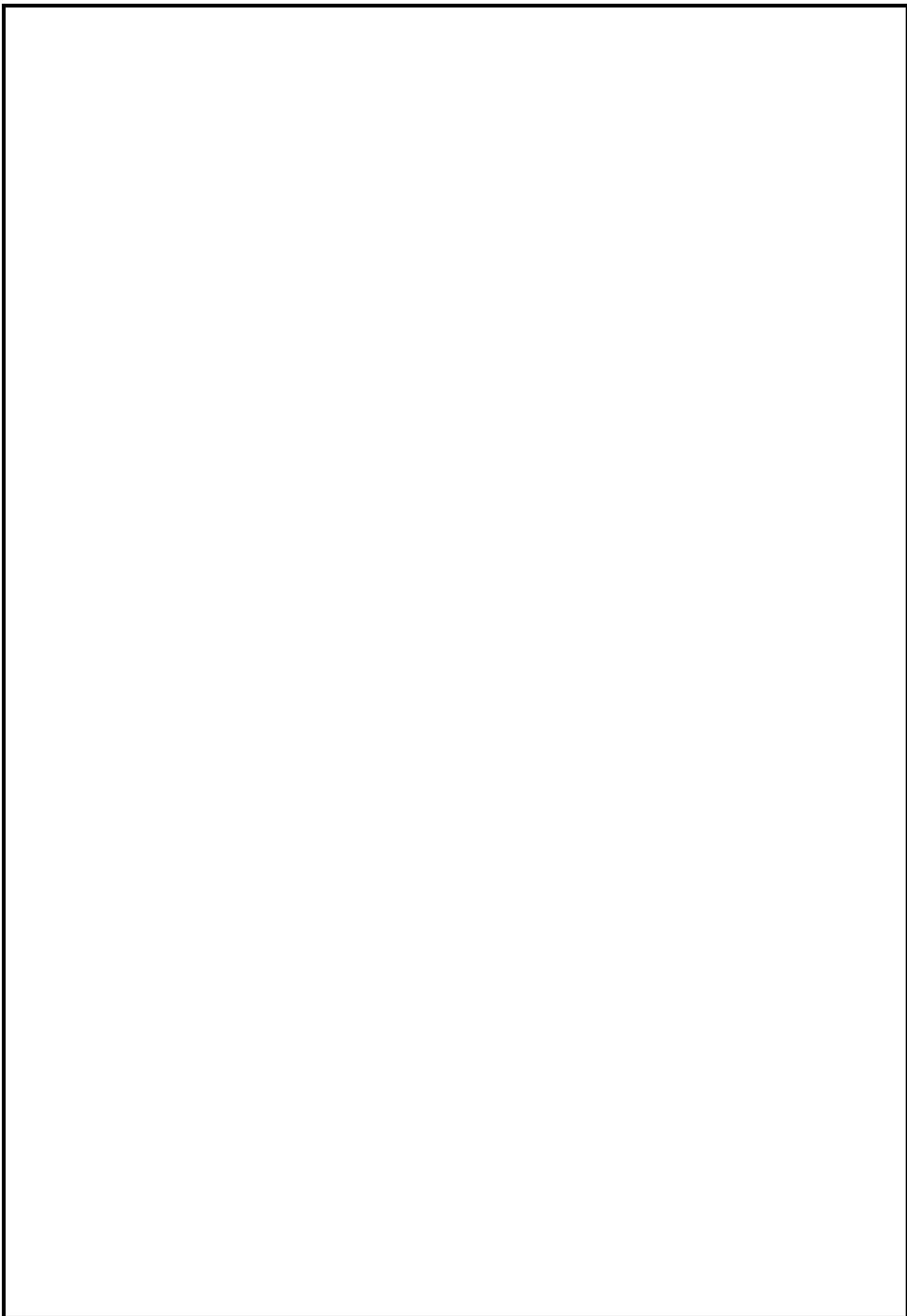
Определяем капитальные вложения в сооружений воздушных линий:

$$K_{\text{сети}} = (l_{1-1} \cdot a + l_{1-2} \cdot a + l_{2-B} \cdot a + l_{B-3} \cdot a) \cdot 900 = 21,0 \cdot (45 + 30 + 55 + 25) \cdot 900 = 2604000 \text{ тыс. мг.}$$

Капитальные вложения в подстанции:

Таблица 8

№ п/ст	I-вар	II-вар
1	520	750
2	360	240
3	240	240
Итого	1120	1230



Стоимость потерь электроэнергии в линии:

$$\beta = 13,7 \text{ мг / кВт} \cdot \text{ч} \quad I_1 = \beta \cdot \Sigma \Delta W = 13,7 \cdot 2358,249 \cdot 10^3 = 15800,26 \text{ тыс. мг}$$

Стоимость отчислений на амортизацию и капитальный ремонт:

$$I_{23} = \frac{(\alpha_a + \alpha_p)}{100} \cdot K_{II \text{ СЕТИ}} = \frac{(2,8+1)}{100} \cdot 2484000 = 94392 \text{ тыс. мг}$$

см. Л-9 табл.49.31

$$I_{II \text{ СЕТИ}} = I_{II} + I_{23} = 15800,26 + 94392 = 110192,26 \text{ тыс. мг}$$

Капитальные вложения в подстанции

$$I_{23 \text{ н/см}} = \frac{(\alpha_a + \alpha_p)}{100} \cdot K_{II \text{ н/см}} = \frac{(6,3+4)}{100} \cdot 984000 = 101352 \text{ тыс. мг}$$

Эксплуатационные расходы:

$$I_{II} = I_{II \text{ сети}} + I_{23 \text{ н/см}} = 110192,26 + 101352 = 211544,26 \text{ тыс. мг}$$

$$K_{II} = K_{II \text{ сети}} + K_{II \text{ н/см}} = 2484000 + 984000 = 3468000 \text{ тыс. мг}$$

$$K_I = 3500000 < K_{II} = 3468000$$

$$I_I = 207806,25 < I_{II} = 211544,26$$

Для дальнейшего расчета выбираем 1-ый вариант, так как он наиболее выгодный по цене.

2.5 Расчет сети в минимальном режиме Подстанция №1

$$P_{\min} = 40\% \cdot P_{\max} = 0,4$$

$$(P_2 + jQ_2) \cdot 0,4 = (42 + j10,5) \cdot 0,4 = 18 + j8,2$$

$$\Delta P_2 = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot \frac{r_{mp}}{2} = \frac{18^2 + 8,2^2}{230^2} \cdot \frac{1,4}{2} = 0,005 \text{ MBm}$$

$$\Delta Q_2 \approx 0 \text{ Mвар}$$

$$P_2' + jQ_2' = (P_2 + \Delta P_2) + j(Q_2 + \Delta Q_2) = (18 + 0,005) + j(8,2 + 0) = 18,005 + j8,2$$

$$(P_3 + jQ_3) \cdot 0,4 = (25 + j11,38) \cdot 0,4 = 10 + j4,552$$

$$\Delta P_3 = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot \frac{r_{mp}}{2} = \frac{10^2 + 4,552^2}{230^2} \cdot \frac{1,4}{2} = 0,001 \text{ MBm}$$

$$\Delta Q_3 = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot \frac{x_{mp}}{2} = \frac{10^2 + 4,552^2}{230^2} \cdot \frac{100,76}{2} = 0,115 \text{ Mвар}$$

$$P_3' + jQ_3' = (P_3 + \Delta P_3) + j(Q_3 + \Delta Q_3) = (10 + 0,001) + j(4,552 + 0,115) = 10,001 + j4,667$$

$$P_1 + Q_1 = (P_2' + P_3') + j(Q_2' + Q_3') = (18,001 + 10,005) + j(4,667 + 8,2) = 28,006 + j12,867$$

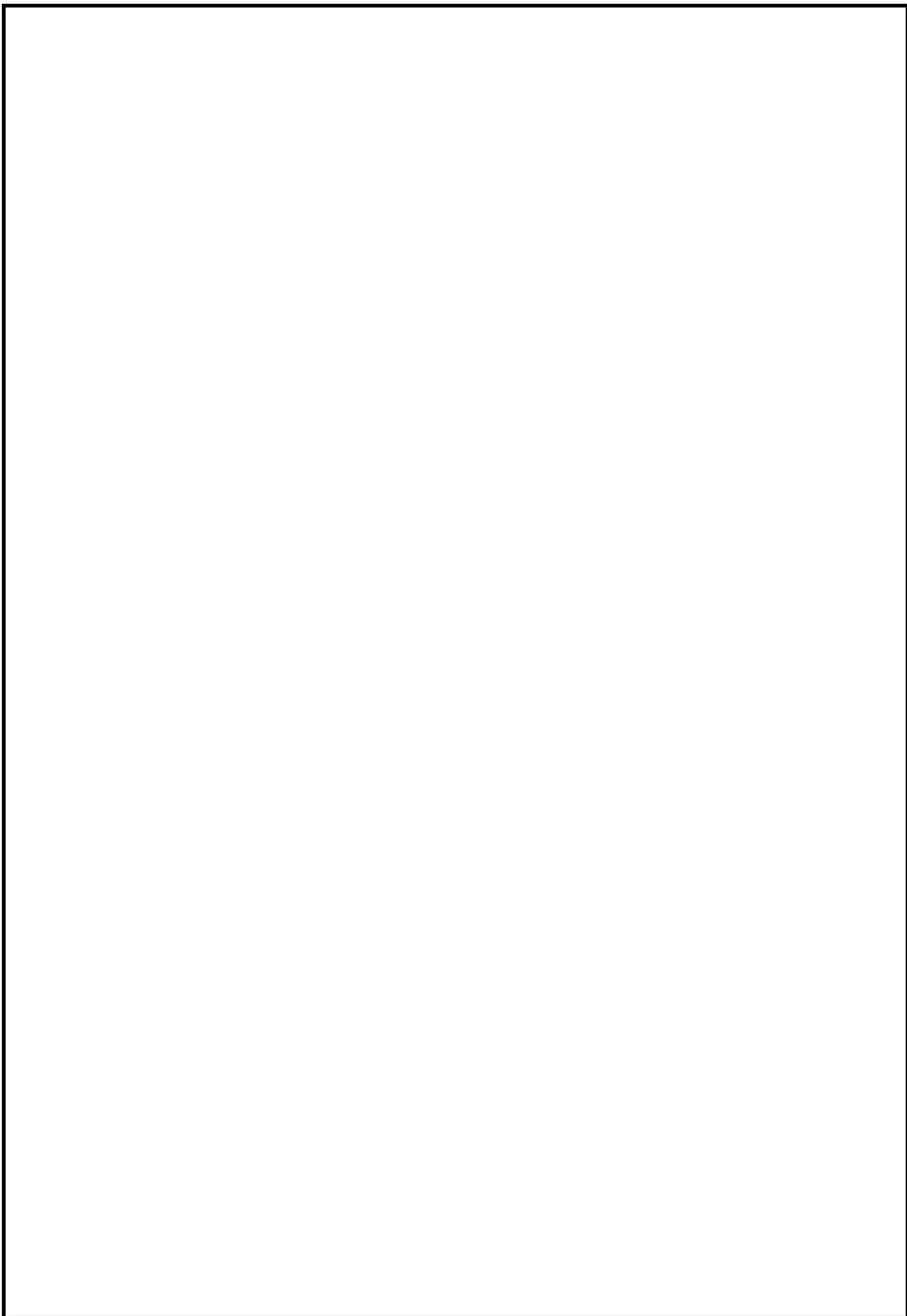
$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot \frac{r_{mp}}{2} = \frac{28,006^2 + 12,867^2}{230^2} \cdot \frac{1,4}{2} = 0,012 \text{ MBm}$$

Подстанция №2

$$P_{\min} = 45\% \cdot P_{\max} = 0,45$$

$$(P_1 + jQ_1) \cdot 0,45 = (39 + j17,75) \cdot 0,45 = 17,55 + j7,98$$

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{220^2} \cdot r_{\text{лп}} = \frac{17,55^2 + 7,98^2}{220^2} \cdot 5,6 = 0,019 \text{ MBm}$$



Подстанция №3

$$P_{\min} = 40\% \cdot P_{\max} = 0,4$$

$$(P_1 + jQ_1) \cdot 0,4 = (30 + j13,66) \cdot 0,4 = 12 + j5,464$$

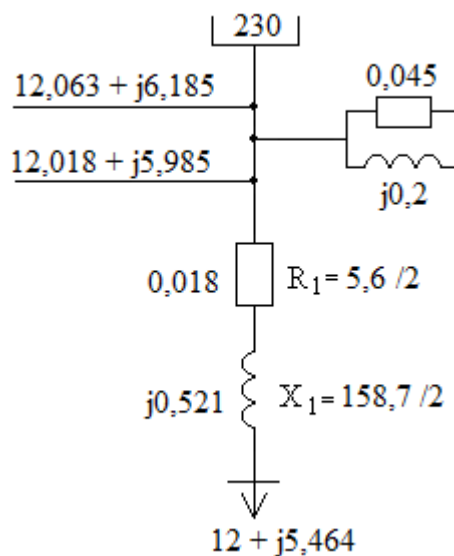
$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot r_{mp} = \frac{12^2 + 5,464^2}{230^2} \cdot 5,6 = 0,018 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot x_{mp} = \frac{12^2 + 5,464^2}{230^2} \cdot 158,7 = 0,521 \text{ Мвар}$$

$$P' + jQ' = (P + \Delta P) + j(Q + \Delta Q) = (12 + 0,018) + j(5,464 + 0,521) = 12,018 + j5,985$$

$$\Delta P_0 = 0,045 \text{ МВт} \quad Q_\mu = 0,2 \text{ Мвар}$$

$$P'' + jQ'' = (P' + \Delta P_0) + j(Q' + \Delta Q_\mu) = (12,018 + 0,045) + j(5,985 + 0,2) = 12,063 + j6,185$$



Производим расчёт мощностей в режиме минимальных нагрузок
для участка А-3

$$S_{A-3} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 12,063 + j(6,185 - 1,6) = 12,063 + j4,585$$

$$\Delta P_{A-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot r_{A-3} = \frac{12,063^2 + 4,585^2}{220^2} \cdot 2,95 = 0,01 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{A-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot x_{A-3} = \frac{12,063^2 + 4,585^2}{220^2} \cdot 10,65 = 0,04 \text{ Мвар}$$

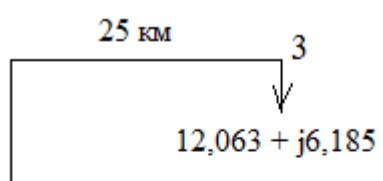
$$S = S_{A-3} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (12,063 + 0,01) + j(4,585 + 0,04) = 12,073 + j4,625$$

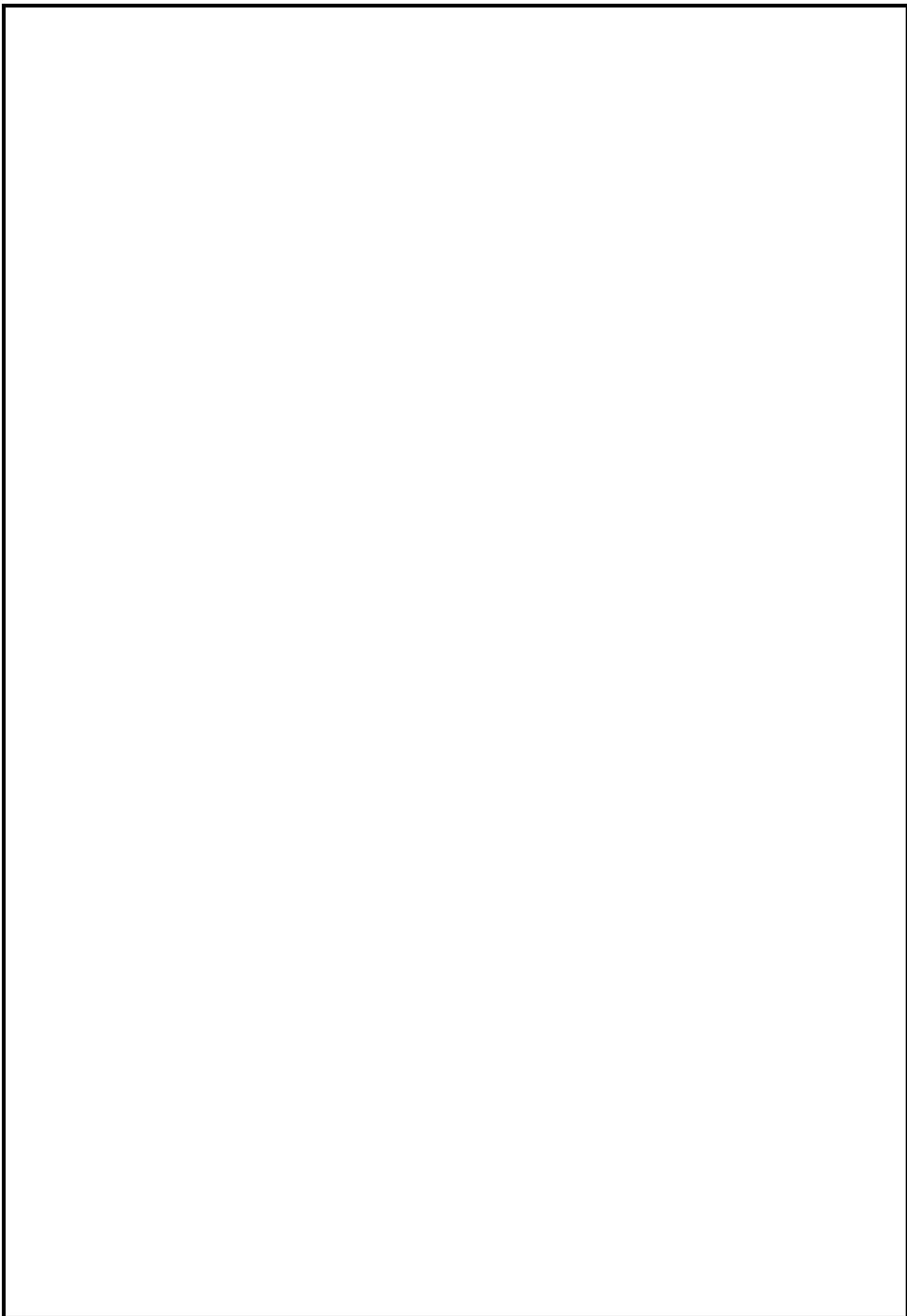
$$S_{A-3} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 12,073 + j(4,625 - 1,6) = 12,073 + j3,025$$

Схема баланса мощности участка А-3 в минимальном режиме

$$\begin{array}{c} 3 + j3,025 \\ 3 + j4,625 \end{array} \quad -j1,6 \quad \begin{array}{c} +j4,585 \\ 3 + j6,185 \end{array}$$

Производим предварительное распределение мощности в сети





Производим расчёт мощностей в режиме минимальных нагрузок

Участок 1-А

$$S_{1-A} = P_I + j(Q_I - Q_A) = 25,839 + j(13,737 - 2,8) = 25,839 + j10,937$$

$$\Delta P_{1-A} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot r_{1-A} = \frac{25,839^2 + 10,937^2}{220^2} \cdot 5,31 = 0,086 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{1-A} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot x_{1-A} = \frac{25,839^2 + 10,937^2}{220^2} \cdot 19,17 = 0,312 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{1-A} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (25,8396 + 0,086) + j(10,937 + 0,312) = 25,925 + j11,249$$

$$S_{1-A} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_A) = 25,925 + j(11,249 - 2,8) = 25,925 + j8,449$$

Участок 1-2

$$S_{1-2} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 2,253 + j(1,49 - 1,9) = 2,253 + j(-0,41)$$

$$\Delta P_{1-2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot r_{1-2} = \frac{2,253^2 + (-0,41)^2}{220^2} \cdot 3,54 = 0,0003 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{1-2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot x_{1-2} = \frac{2,253^2 + (-0,41)^2}{220^2} \cdot 12,78 = 0,001 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{1-2} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (2,253 + 0,0003) + j(-0,41 + 0,001) = 2,2533 + j(-0,409)$$

$$S_{1-2} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 2,2533 + j(-0,409 - 1,9) = 2,2533 + j(-2,309)$$

Участок 2-В

$$S = (P_{2-1} + P_{2-B}) + j(Q_{2-1} + Q_{2-B}) = (2,2533 + 17,659) + j(-2,309 + 8,937) = 19,912 + j6,628$$

$$S_{2-B} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 19,912 + j(6,628 - 3,5) = 19,912 + j3,128$$

$$\Delta P_{2-B} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot r_{2-B} = \frac{19,912^2 + 3,128^2}{220^2} \cdot 6,49 = 0,054 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{2-B} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot x_{2-B} = \frac{19,912^2 + 3,128^2}{220^2} \cdot 23,43 = 0,197 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{2-B} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (19,912 + 0,054) + j(3,128 + 0,197) = 19,966 + j3,325$$

Аварийный режим
Выход из строя источника «В»

Участок А-3

$$S_{A-3} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 30,16 + j(17,119 - 1,6) = 30,16 + j15,519$$

$$\Delta P_{A-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot r_{A-3} = \frac{30,16^2 + 15,519^2}{220^2} \cdot 2,95 = 0,07 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{A-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot x_{A-3} = \frac{30,16^2 + 15,519^2}{220^2} \cdot 10,65 = 0,25 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{A-3} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (30,16 + 0,07) + j(15,519 + 0,25) = 30,23 + j15,769$$

$$S_{A-3} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 30,23 + j(15,769 - 1,6) = 30,23 + j14,169$$

Участок 1-2

$$S_{1-2} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 39,187 + j(20,904 - 1,9) = 39,187 + j19,004$$

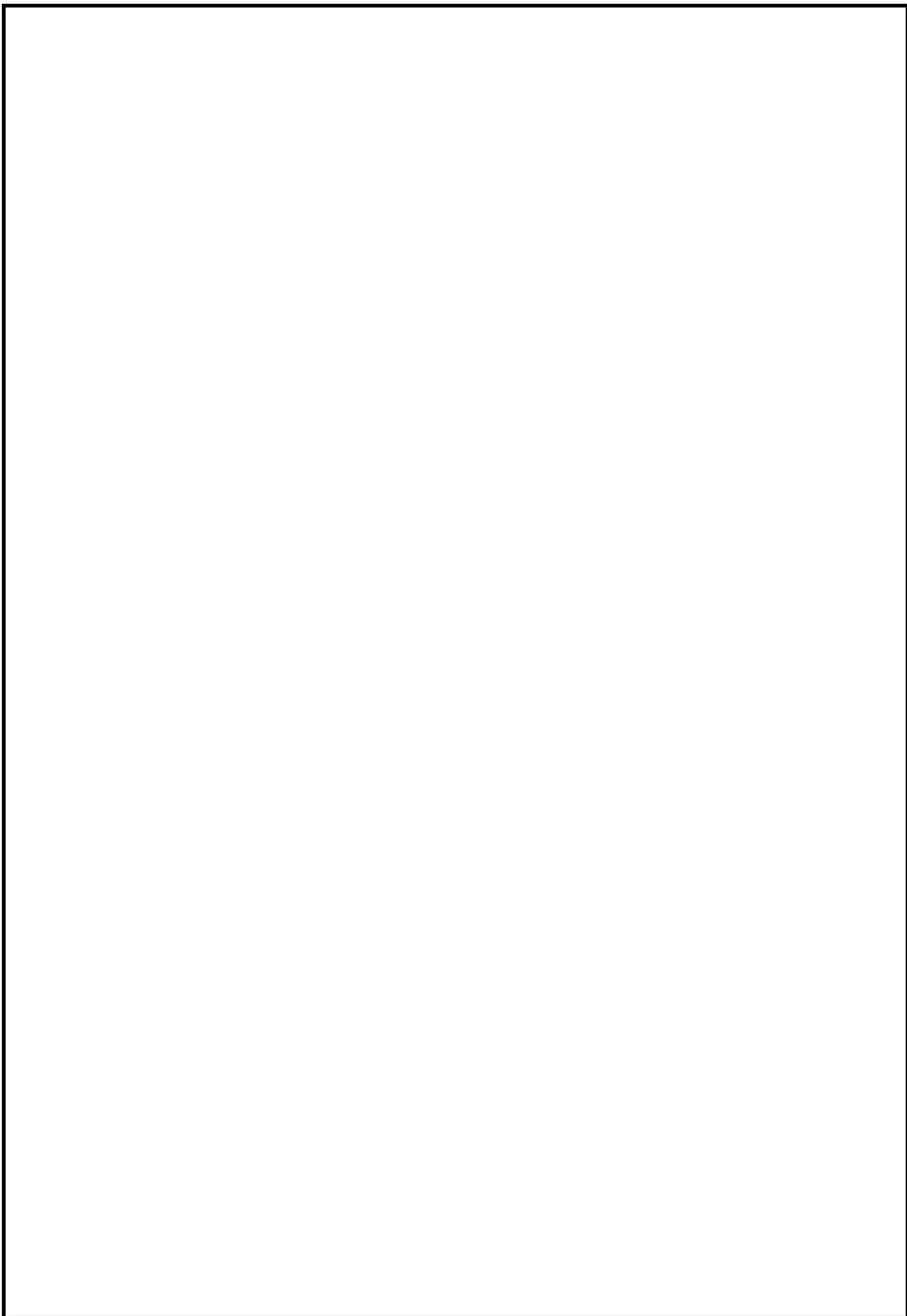
$$\Delta P_{1-2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot r_{1-2} = \frac{39,187^2 + 19,004^2}{220^2} \cdot 3,54 = 0,138 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{1-2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot x_{1-2} = \frac{39,187^2 + 19,004^2}{220^2} \cdot 12,78 = 0,5 \text{ Мвар}$$

2.6 Определение напряжения на шинах подстанции на ВС Максимальный режим

$$U_{\max} = 230 \text{ кВ}$$

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_{\max} - \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{\max}} - j \frac{P \cdot X - Q \cdot R}{U_{\max}} = 230 - \frac{63,015 \cdot 5,31 + 33,888 \cdot 19,17}{230} - j \frac{63,015 \cdot 19,17 - 33,888 \cdot 5,31}{230} =$$



Аварийный режим

$$U_{\text{авар.}} = 234 \text{ кВ}$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{U}_{\text{авар.}} \cdot \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{\text{авар.}}} - j \frac{P \cdot X - Q \cdot R}{U_{\text{авар.}}} = 234 \cdot \frac{111,159 \cdot 5,31 + 60,331 \cdot 19,17}{234} - j \frac{111,159 \cdot 19,17 - 60,331 \cdot 5,31}{234} = \\ &= 234 - 7,46 - j7,73 = 226,54 - j7,73 \end{aligned}$$

$$U_1 = \sqrt{226,54^2 + 7,73^2} = 226,67 \text{ кВ}$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_2 &= \underline{U}_1 \cdot \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_1} - j \frac{P \cdot X - Q \cdot R}{U_1} = 226,67 \cdot \frac{39,325 \cdot 3,54 + 19,504 \cdot 12,78}{226,67} - j \frac{39,325 \cdot 12,78 - 19,504 \cdot 3,54}{226,67} = \\ &= 226,67 - 1,71 - j1,91 = 224,96 - j1,91 \end{aligned}$$

$$U_2 = \sqrt{224,96^2 + 1,91^2} = 224,96 \text{ кВ}$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_3 &= \underline{U}_{\text{авар.}} \cdot \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{\text{авар.}}} - j \frac{P \cdot X - Q \cdot R}{U_{\text{авар.}}} = 234 \cdot \frac{30,23 \cdot 2,95 + 15,769 \cdot 10,65}{234} - j \frac{30,23 \cdot 10,65 + 15,769 \cdot 2,95}{234} = \\ &= 234 - 1,09 - j1,16 = 232,91 - j1,16 \end{aligned}$$

$$U_3 = \sqrt{232,91^2 + 1,16^2} = 232,92 \text{ кВ}$$

Подстанция №1 Максимальный режим

$$\begin{aligned} \underline{U}_0 &= \underline{U}_1 \cdot \frac{P \cdot \frac{R}{2} + Q \cdot \frac{X}{2}}{U_{\text{ном}}} - j \frac{P \cdot \frac{X}{2} - Q \cdot \frac{R}{2}}{U_{\text{ном}}} = 225,77 \cdot \frac{70,12 \cdot \frac{1,4}{2} + 38,974 \cdot \frac{193,12}{2}}{230} - j \frac{70,12 \cdot \frac{193,12}{2} - 38,974 \cdot \frac{1,4}{2}}{230} = \\ &= 225,77 - 16,57 - j29,31 = 209,2 - j29,31 \end{aligned}$$

$$U_0 = \sqrt{209,2^2 + 29,31^2} = 211,24 \text{ кВ}$$

$$\underline{U}'_{110} = \underline{U}_0 \cdot \frac{P \cdot \frac{R}{2} + Q \cdot \frac{X}{2}}{U_{\text{ном}}} - j \frac{P \cdot \frac{X}{2} - Q \cdot \frac{R}{2}}{U_{\text{ном}}} = 211,24 \cdot \frac{45,032 \cdot \frac{1,4}{2} + 0}{230} - j \frac{0 - 20,5 \cdot \frac{1,4}{2}}{230} = 211,11 + j0,06$$

Подстанция №1
Минимальный режим

$$\underline{U}_0 = \underline{U}_1 - \frac{P \cdot \frac{R}{2} + Q \cdot \frac{X}{2}}{U_{ном}} - j \frac{P \cdot \frac{X}{2} - Q \cdot \frac{R}{2}}{U_{ном}} = 219,41 - \frac{28,018 \cdot \frac{1,4}{2} + 14,597 \cdot \frac{193,12}{2}}{230} - j \frac{28,018 \cdot \frac{193,12}{2} - 14,597 \cdot \frac{1,4}{2}}{230} =$$

$$= 219,41 - 6,21 - j11,7 = 213,2 - j11,7$$

$$U_0 = \sqrt{213,2^2 + 11,7^2} = 213,52 \text{ кВ}$$

$$\underline{U}'_{110} = \underline{U}_0 - \frac{P \cdot \frac{R}{2} + Q \cdot \frac{X}{2}}{U_{ном}} - j \frac{P \cdot \frac{X}{2} - Q \cdot \frac{R}{2}}{U_{ном}} = 213,52 - \frac{18,005 \cdot \frac{1,4}{2} + 0}{230} - j \frac{0 - 8,2 \cdot \frac{1,4}{2}}{230} = 213,47 + j0,02$$

$$U'_{110} = \sqrt{213,47^2 + 0,02^2} = 213,47 \text{ кВ};$$

$$U_{110} = \frac{U'_{110}}{K_{тр}} = \frac{213,47}{1,9} = 112,35 \text{ кВ}$$

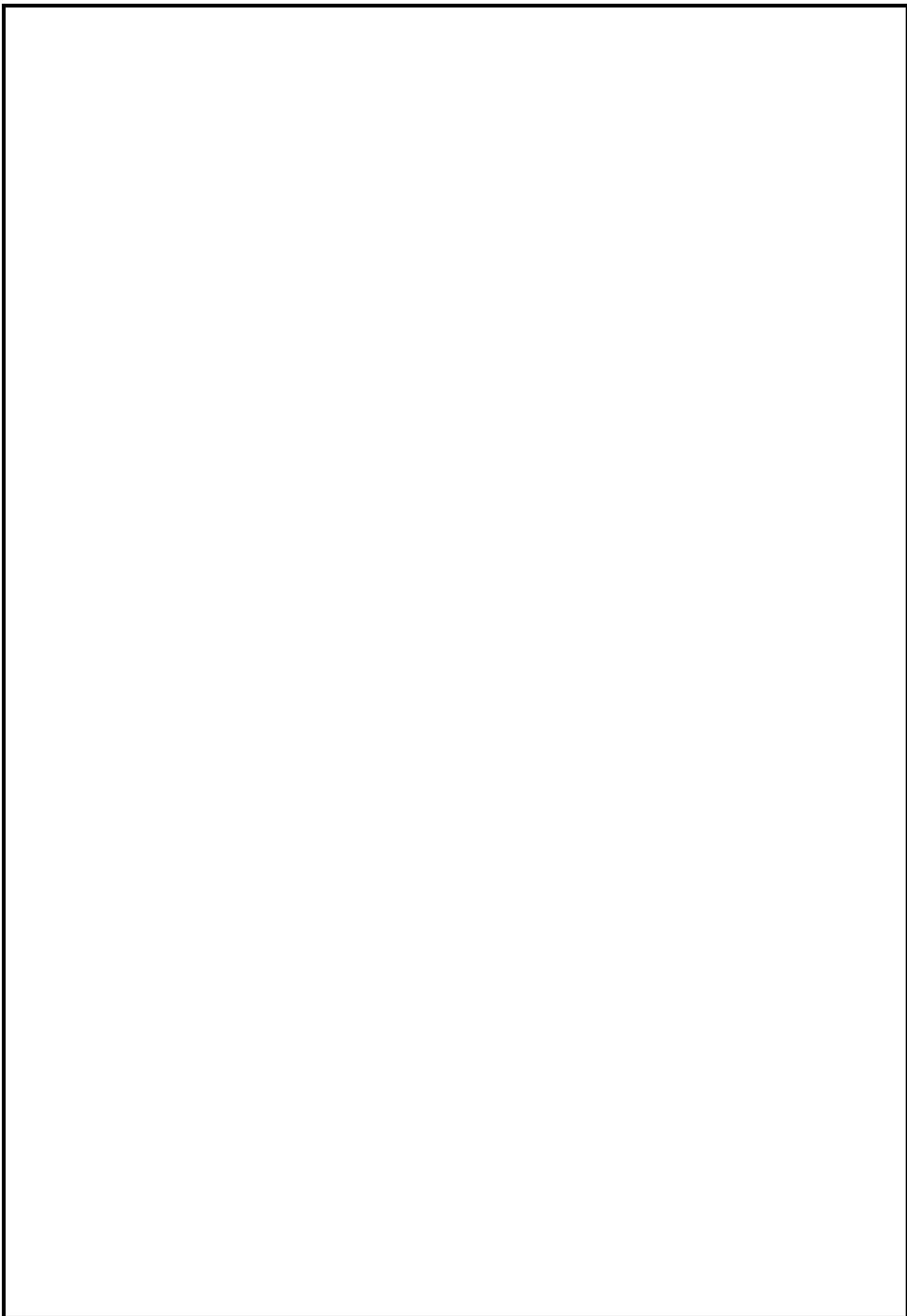
$$\underline{U}'_{10} = \underline{U}'_0 - \frac{P \cdot \frac{R}{2} + Q \cdot \frac{X}{2}}{U_{ном}} - j \frac{P \cdot \frac{X}{2} - Q \cdot \frac{R}{2}}{U_{ном}} = 213,52 - \frac{10,001 \cdot \frac{1,4}{2} + 4,667 \cdot \frac{100,76}{2}}{230} - j \frac{10,001 \cdot \frac{100,76}{2} - 4,667 \cdot \frac{1,4}{2}}{230} =$$

$$= 213,52 - 1,05 - j2,1 = 212,47 - j2,1$$

$$U'_{10} = \sqrt{212,47^2 + 2,1^2} = 212,52 \text{ кВ}$$

Подстанция №2
Максимальный режим

$$U_{10} = U_2 - \frac{P \cdot \frac{R}{2} + Q \cdot \frac{X}{2}}{U_{ном}} - j \frac{P \cdot \frac{X}{2} - Q \cdot \frac{R}{2}}{U_{ном}} = 226,69 - \frac{39,097 \cdot \frac{5,6}{2} + 20,504 \cdot \frac{158,7}{2}}{230} - j \frac{39,097 \cdot \frac{158,7}{2} - 20,504 \cdot \frac{5,62}{2}}{230} =$$
$$= 226,69 - 7,54 - j13,2 = 219,15 - j13,2$$



Минимальный режим
Подстанция №3

$$\begin{aligned}\underline{U}'_{10} &= \underline{U}'_1 - \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{ном}} - j \frac{P \cdot X - Q \cdot R}{U_{ном}} = 220,62 - \frac{12,018 \cdot 5,6 + 5,985 \cdot 158,7}{230} - j \frac{12,018 \cdot 158,7 - 5,985 \cdot 5,6}{230} = \\ &= 220,62 - 4,42 - j8,14 = 216,2 - j8,14 \\ U'_{10} &= \sqrt{216,2^2 + 8,14^2} = 216,35 \text{ кВ}\end{aligned}$$

Аварийный режим
Подстанция №3

$$\begin{aligned}\underline{U}'_{10} &= \underline{U}'_3 - \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{ном}} - j \frac{P \cdot X - Q \cdot R}{U_{ном}} = 232,92 - \frac{30,115 \cdot 5,6 + 16,919 \cdot 158,7}{230} - j \frac{30,115 \cdot 158,7 - 16,916 \cdot 5,6}{230} = \\ &= 232,92 - 12,4 - j20,36 = 220,52 - j20,36 \\ U'_{10} &= \sqrt{220,52^2 + 20,36^2} = 221,45 \text{ кВ}\end{aligned}$$

2.6 Выбор способа регулирования напряжения
Подстанция №1, №2
РПН ± 12x1% в нейтрале ВН

Таблица №10

№ Полож.	Добавленное число витков. Wp%	Добавленное число витков в отн. ед.	Ктр	п/ст №1	п/ст №2
1	12	1,12	23,408		
2	11	1,11	23,199		
3	10	1,1	22,99		
4	9	1,09	22,781		
5	8	1,08	22,572		
6	7	1,07	22,363		
7	6	1,06	22,154		
8	5	1,05	21,945		
9	4	1,04	21,736		
10	3	1,03	21,527		
11	2	1,02	21,318		
12	1	1,01	21,109		
13	0	1	$K_{мп} = \frac{U_{ав}}{U_{нн}} = 20,9$		max, авар
14	-1	0,99	20,691		
15	-2	0,98	20,482	min	min
16	-3	0,97	20,273	min	min

Подстанция № 3
РПН ± 8 × 1,5%

Таблица №11

№ полож.	Доб. W в %	Доб. W в о.е.	Коэффициент трансформации	Режим работы
				п/ст. №3
1	+12	1,12	2,052	
2	+10,5	1,105	2,033	
3	+9	1,09	2,014	

