

Введение

Казахстан обладает огромными запасами природных и особенно энергетических ресурсов. На территории нашей страны есть месторождения нефти и газа, которые выводят нас в первую десятку нефтяных стран. В Казахстане также есть крупные запасы угля, урана, золота и других ценных минералов. У нас большой потенциал использования солнечной и ветровой энергии.

Электропотребление в Казахстане, без учета потребителей Национальной Акционерной Компании по Атомной энергетике и промышленности, достигло своего пика в 1990 году и составило 100,4 млрд.кВт.ч(включая потери системы). Начавшийся в последующем спад производства и экономический кризис привели к тому, что электропотребление постоянно сокращалось приблизительно на 6-8 % в год и в 1995 году достигло уровня 70,6 млрд.кВт.ч и, по сравнению с 1990 г. Снизилось на 30%.

Несмотря на понизившийся уровень потребления, Казахстан не может удовлетворить свои потребности с точки зрения производства электроэнергии. В значительной степени это вызвана причинами структурного и исторического характера, т.е. порождено всей системой энергоснабжения, организованной в соответствии с концепцией бывшего СССР. Однако, в некоторой мере, на ограничениях в области энергоснабжения сказались также финансовые факторы, которые вызвали невозможность полного обеспечения энергоисточников запасными частями и топливом, что привело к саду производства электроэнергии и недоиспользованию имеющихся генерирующих мощностей.

В 1990 году в Казахстане выработка электроэнергии составила 83 млрд.кВт.ч (включая 3 млрд.кВт.ч, полученных от независимых электропроизводителей), что на 83% удовлетворяло потребность в ней. Оставшиеся 17,4 млрд.кВт.ч импортировались: из России – 7,6 млрд.кВт.ч из государств Центральной Азии – 9,8 млрд.кВт.ч. В 1995 году собственное производство сократилось до 63,2 млрд.кВт.ч, что составило около 90% общей потребности в электроэнергии в Казахстане. Таким образом, чистый импорт электроэнергии оставался еще сравнительно большим, несмотря на его относительную высокую цену.

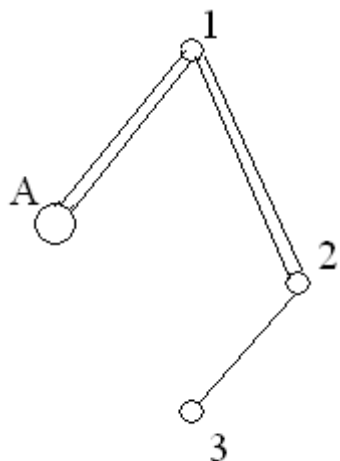
Около 80% вырабатываемой в Казахстане электроэнергии приходится на энергосистемы Северного Казахстана, использующие в основном, уголь Экибастузского и Карагандинского бассейнов. Одновременно Северная зона является и самым крупным потребителем среди трех зон республики – на нее приходилось в 1995 году около 71 % всего потребления электроэнергии в Казахстане. Северная зона Казахстана является единственной, которая удовлетворяет свои потребности в электроэнергии.

Чистый импорт электроэнергии из России, большая часть которого ориентированна на Западный Казахстан, и меньшая – на Северный Казахстан, составила 5,842 млрд.кВт.ч в 1994 году 3,2 млрд. в 1995 году. Доля импорта электроэнергии в эти два региона в 1995 году составила 7,5% от их общего суммарного потребления.

Характерной чертой электроэнергетики Казахстана является преобладающее использование органического топлива, преимущественно угля, при выработке энергии на ТЭС. Это объясняется достаточным наличием энергетических ресурсов в государстве. Имеющиеся в изобилии дешевый уголь в большей своей части имеет низкое качество (с большим содержанием золы), что порождает, в свою очередь, немалые проблемы технического характера и проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды. Страна располагает также большими нефтяными и газовыми ресурсами, освоение которых планируется увеличить в несколько раз, это позволит увеличить использование их, преимущественно газа, в электроэнергетике. Увеличение использования гидропотенциала сдерживается факторами экономического характера и в перспективе большого увеличения выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях не ожидается.

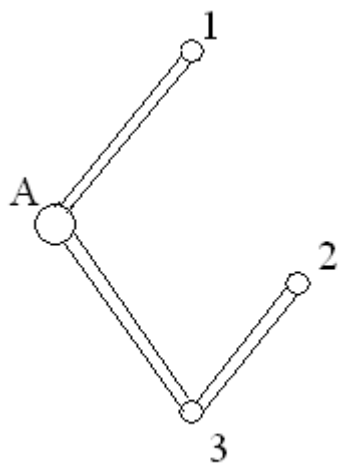
Составление вариантов схемы электрической сети

I вариант



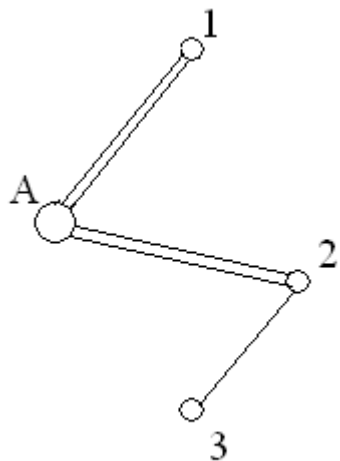
$$L = L_{A-1} \cdot 1,7 + L_{1-2} \cdot 1,7 + L_{2-3} = 34 \cdot 1,7 + 51 \cdot 1,7 + 24 = 168,5 \text{ км} \approx 170 \text{ км}$$

II вариант



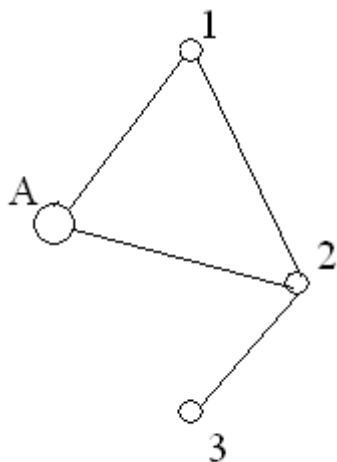
$$L = L_{1-A} \cdot 1,7 + L_{A-3} \cdot 1,7 + L_{2-3} \cdot 1,7 = 34 \cdot 1,7 + 45 \cdot 1,7 + 24 = 158,3 \text{ км}$$

III вариант



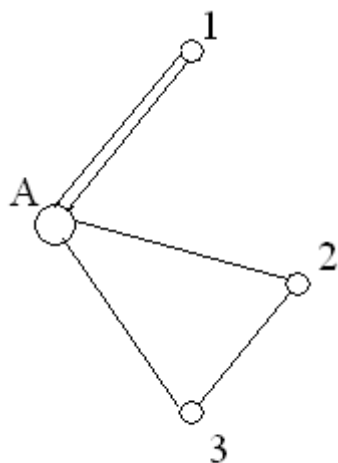
$$L = L_{A-1} \cdot 1,7 + L_{A-2} \cdot 1,7 + L_{2-3} = 34 \cdot 1,7 + 33 \cdot 1,7 + 24 = 137,9 \text{ км}$$

IV вариант



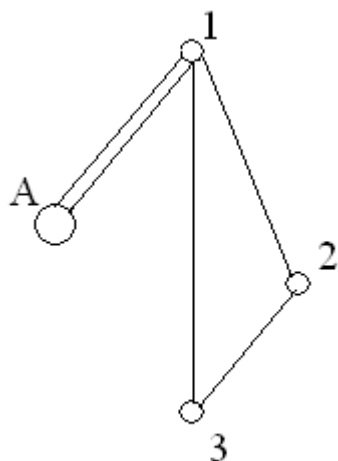
$$L = L_{A-1} + L_{1-2} + L_{2-A} + L_{2-3} = 33 + 34 + 51 + 24 \cdot 1,7 = 158,8 \text{ км}$$

V вариант



$$L = L_{A-1} \cdot 1,7 + L_{A-2} + L_{3-2} + L_{3-A} = 34 \cdot 1,7 + 33 + 45 + 24 = 159,8 \text{ км}$$

VI вариант



$$L = L_{A-1} \cdot 1,7 + L_{1-2} + L_{2-3} + L_{3-1} = 51 + 24 + 71 + 34 \cdot 1,7 = 203,8 \text{ км}$$

К дальнейшему расчету принимаем III и IV варианты, т.к. они наиболее короткие по длине

Выбор типа и мощности силовых трансформаторов
Для подстанции №1

$$S_{авт-р} = \frac{P_{10} + P_{35}}{\cos \phi} \cdot K_3 = \frac{16 + 28}{0,9} \cdot 0,7 = 34,22 \text{ МВА}$$

Принимаем к установке трансформатор типа ТДТН-40/110/35/10

табл.1

Тип	Напряжение обмоток, кВ			Потери, кВт		Uк%			I%
	ВН	СН	НН	$\Delta P_{ХХ}$	$\Delta P_{К.З}$	U1-2	U1-3	U2-3	
ТДТН-40	115	38,5	11	50	200	10,5	17	6	0,8

(Л-2 табл. П.3-2)

Определяем параметры трансформатора

$$r_{mp} = \frac{\Delta P_{\kappa} \cdot U_{н}^2}{S_{н}^2 \cdot 10^3} = \frac{200 \cdot 115^2}{40^2 \cdot 10^3} = 1,6 \text{ Ом}$$

$$r_1 = r_2 = r_3 = 0,5 \cdot r_{mp} = 0,5 \cdot 1,6 = 0,8 \text{ Ом}$$

$$U_{K1} = 0,5(U_{K1-2} + U_{K1-3} - U_{K2-3}) = 0,5(10,5 + 17 - 6) = 10,75$$

$$U_{K2} = 0,5(U_{K1-2} + U_{K2-3} - U_{K1-3}) = 0,5(10,5 + 6 - 17) \approx 0$$

$$U_{K3} = 0,5(U_{K1-3} + U_{K2-3} - U_{K1-2}) = 0,5(17 + 6 - 10,5) = 6,25$$

$$X_1 = \frac{U_{K1} \% \cdot U_{н}^2}{S_{н} \cdot 100} = \frac{10,75 \cdot 115^2}{40 \cdot 100} = 35,5 \text{ Ом}$$

$$X_2 = 0$$

$$X_3 = \frac{U_{K3} \% \cdot U_{н}^2}{S_{н} \cdot 100} = \frac{6,25 \cdot 115^2}{40 \cdot 100} = 20,6 \text{ Ом}$$

Определяем потери в обмотках трансформатора

$$S_{10} = \frac{P_{10}}{\cos \phi} = \frac{16}{0,9} = 17,77 \text{ MBA}$$

$$Q_{10} = \sqrt{S_{10}^2 - P_{10}^2} = \sqrt{17,77^2 - 16^2} = 7,7 \text{ Mвар}$$

$$\Delta P_3 = \frac{P_{3^2} + Q_{3^2}}{U_{H^2}} \cdot \frac{r_3}{2} = \frac{16^2 + 7,7^2}{115^2} \cdot \frac{0,8}{2} = 0,009 \text{ MBm}$$

$$\Delta Q_3 = \frac{P_{3^2} + Q_{3^2}}{U_{H^2}} \cdot \frac{X_3}{2} = \frac{16^2 + 7,7^2}{115^2} \cdot \frac{20,6}{2} = 0,24 \text{ Mвар}$$

$$P_3^i + iQ_3^i = (P_3 + \Delta P_3) + j(Q_3 + \Delta Q_3) = (16 + 0,009) + j(7,7 + 0,24) = 16,009 + j7,94$$

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \phi} = \frac{28}{0,9} = 31 \text{ MBA}$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P_2^2} = \sqrt{31^2 - 28^2} = 13,3 \text{ Mвар}$$

$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{H2}^2} \cdot \frac{r_2}{2} = \frac{28^2 + 13,3^2}{115^2} \cdot \frac{0,8}{2} = 0,03 \text{ MBm}$$

$$\Delta Q_2 = 0$$

$$P_2^{\dot{c}} + iQ_2^{\dot{c}} = (P_2 + \Delta P_2) + j(Q_2 + \Delta Q_2) = (28 + 0,3) + j(13,3 + 0) = 28,3 + j13,3$$

$$P_1 + jQ_1 = (P_3^{\dot{c}} + P_2^{\dot{c}}) + j(Q_3^{\dot{c}} + Q_2^{\dot{c}}) = (16,009 + 28,3) + j(7,94 + 13,3) = 44,309 + j21,24$$

$$\Delta P_1 = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_{H1}^2} \cdot \frac{r_1}{2} = \frac{44,309^2 + 21,24^2}{115^2} \cdot \frac{0,8}{2} = 0,073 \text{ MBm}$$

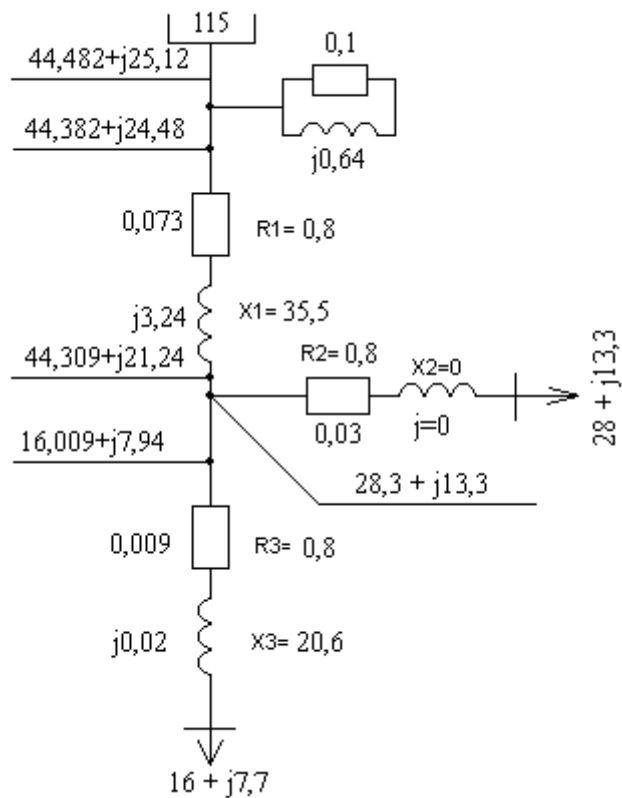
$$\Delta Q_1 = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_{H1}^2} \cdot \frac{X_1}{2} = \frac{44,309^2 + 21,24^2}{115^2} \cdot \frac{35,5}{2} = 3,24 \text{ Mвар}$$

$$P_1^{\dot{c}} + iQ_1^{\dot{c}} = (P_1 + \Delta P_1) + j(Q_1 + \Delta Q_1) = (44,309 + 0,073) + j(21,24 + 3,24) = 44,382 + j24,48$$

$$\Delta P_0 = \Delta P_{xx} \cdot 2 = 2 \cdot 50 = 100 \text{ κBm} = 0,1 \text{ MBm}$$

$$\Delta Q_\mu = \frac{I_0 \cdot S_H}{100} \cdot 2 = \frac{0,8 \cdot 40}{100} \cdot 2 = 0,64 \text{ Mвар}$$

$$P_{1//} + jQ_{1//} = (P_1^{\dot{c}} + \Delta P_0) + j(Q_1^{\dot{c}} + \Delta Q_\mu) = (44,382 + 0,1)$$



Выбор типа и мощности силовых трансформаторов
Для подстанции №2

$$S_{mp-p} = \frac{P_{10}}{\cos \phi} \cdot K_3 = \frac{25}{0,9} \cdot 0,7 = 19,44 \text{ MVA}$$

Принимаем к установке трансформатор типа ТРДН-25/110//10
табл.2

Тип	Напряжение обмоток, кВ		Потери, кВт		Uк%	I%
			ΔP _{xx}	ΔP _{к.з}		
ТРДН-25	115	10,5	29	120	10,5	0,75

(Л-2 табл. П.3-2)

Определяем параметры трансформатора

$$S_{mp-p} = \frac{P_{10}}{\cos \phi} = \frac{25}{0,9} = 27,77 \text{ MVA}$$

$$Q_H = \sqrt{S_H^2 - P_H^2} = \sqrt{27,77^2 - 25^2} = 12,1 \text{ Мвар}$$

$$r_{mp} = \frac{\Delta P_k \cdot U_H^2}{S_H^2 \cdot 10^3} = \frac{120 \cdot 115^2}{25^2 \cdot 10^3} = 2,54 \text{ Ом}$$

$$x_{mp} = \frac{U_k \% \cdot U_H^2}{S_H \cdot 100} = \frac{10,5 \cdot 115^2}{25 \cdot 100} = 55,5 \text{ Ом}$$

Определяем потери в обмотках трансформатора

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot \frac{r_{mp}}{2} = \frac{25^2 + 12,1^2}{115^2} \cdot \frac{2,54}{2} = 0,073 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot \frac{x_{mp}}{2} = \frac{25^2 + 12,1^2}{115^2} \cdot \frac{55,5}{2} = 1,61 \text{ Мвар}$$

$$P^i + jQ^i = (P + \Delta P) + j(Q + \Delta Q) = (25 + 0,073) + j(12,1 + 1,61) = 25,073 + j13,71$$

$$\Delta P_0 = \Delta P_{xx} \cdot 2 = 29 \cdot 2 = 58 \text{ кВт} = 0,058 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_\mu = \frac{I_0 \cdot S_H}{100} \cdot 2 = \frac{0,75 \cdot 25}{100} \cdot 2 = 0,375 \text{ Мвар}$$

$$P^{II} + jQ^{II} = (P^i + \Delta P_0) + j(Q^i + \Delta Q_\mu) = (25,073 + 0,058) + j(13,71 + 0,375) = 25,131 + j14,085$$

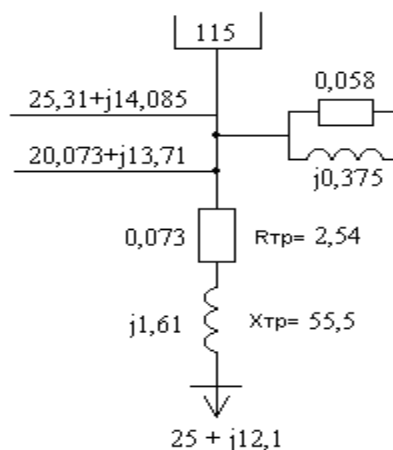


рис.2

Выбор типа и мощности силовых трансформаторов
Для подстанции №3

$$S_{mp-p} = \frac{P_{10}}{\cos \phi} \cdot K_3 = \frac{33}{0,9} \cdot 1 = 36,66 \text{ МВА}$$

Принимаем к установке трансформатор типа ТРДН-40/110/10
табл.3

Тип	Напряжение обмоток, кВ		Потери, кВт		Uк%	I%
	ВН	НН	ΔPхх	ΔPк.з		
ТРДН-40	115	10,5	42	175	10,5	0,65

(Л-2 табл. П.3-2)

Определяем параметры трансформатора

$$S_{mp-p} = \frac{P_{10}}{\cos \phi} = \frac{33}{0,9} = 36,6 \text{ МВА}$$

$$Q_n = \sqrt{S_n^2 - P_n^2} = \sqrt{36,6^2 - 33^2} = 15,96 \text{ Мвар}$$

$$r_{mp} = \frac{\Delta P_k \cdot U_n^2}{S_n^2 \cdot 10^3} = \frac{175 \cdot 115^2}{40^2 \cdot 10^3} = 1,44 \text{ Ом}$$

$$x_{mp} = \frac{U_k \% \cdot U_n^2}{S_n \cdot 100} = \frac{10,5 \cdot 115^2}{40 \cdot 100} = 34,7 \text{ Ом}$$

Определяем потери в обмотках трансформатора

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot \frac{r_{mp}}{2} = \frac{33^2 + 15,96^2}{115^2} \cdot \frac{1,44}{2} = 0,1 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U_n^2} \cdot \frac{x_{mp}}{2} = \frac{33^2 + 15,96^2}{115^2} \cdot \frac{34,7}{2} = 2,43 \text{ Мвар}$$

$$P^i + jQ^i = (P + \Delta P) + j(Q + \Delta Q) = (33 + 0,1) + j(15,96 + 2,43) = 33,1 + j18,39$$

$$\Delta P_0 = \Delta P_{xx} = 2 \cdot 42 \text{ кВт} = 0,084 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_\mu = \frac{I_0 \cdot S_n}{100} = \frac{0,65 \cdot 40}{100} \cdot 2 = 0,52 \text{ Мвар}$$

$$P^{II} + jQ^{II} = (P^i + \Delta P_0) + j(Q^i + \Delta Q_\mu) = (33,1 + 0,084) + j(18,39 + 0,52) = 33,184 + j18,91$$

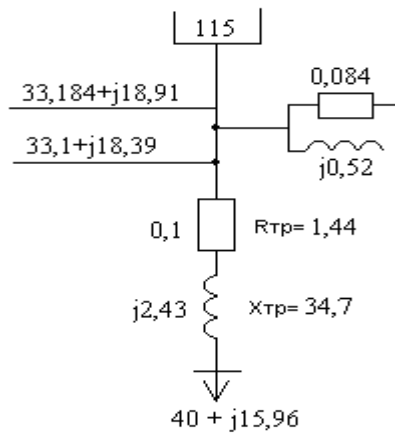


рис.3

Рассчитываем I-ый вариант

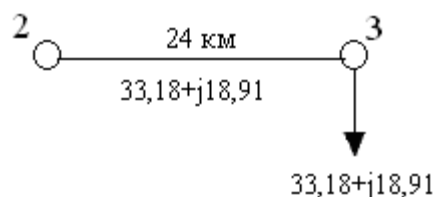


рис.4

Определяем токи по участкам:

$$I_{2-3} = \frac{\sqrt{P_{2-3}^2 + Q_{2-3}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{33,18^2 + 18,91^2}}{1,73 \cdot 110} = 0,2 \text{ кА} = 200 \text{ А}$$

$$j_{\text{э}} = 1,4 \text{ см. Л-3 табл. П.4-3}$$

Определяем сечение по экономической плотности тока:

$$F_{2-3} = \frac{I_{2-3}}{j_{\text{э}}} = \frac{200}{1,4} = 143 \text{ мм}^2 \quad \text{АС-150}$$

Выбираем промежуточную железобетонную одноцепную опору на 110 кВ

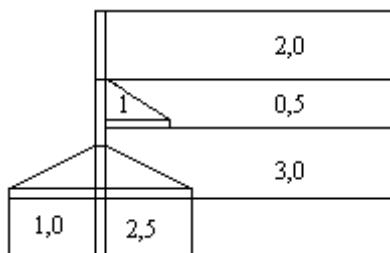


рис.5

$$D_{12} = 3^2 + (2,5 - 1)^2 = 3,35 \text{ м}$$

$$D_{23} = 1 + 25 = 3,5 \text{ м}$$

$$D_{13} = \sqrt{3^2 + (1 + 1)^2} = 3,6 \text{ м}$$

$$D_{\text{ср}} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}} = \sqrt[3]{3,35 \cdot 3,5 \cdot 3,6} = 3,5 \text{ м}$$

Данные линии

табл.4

Учас-ток	дли-на, км	провод	Γ_0 Ом/км	d, мм	X_0 Ом/км	b_0 см/км	R, Ом	X Ом	B	Q, Мвар
2-3	24	АС-150	0196	17,5	0,389	$2,93 \cdot 10^{-6}$	4,7	0,552	$70,3210^{-6}$	0,425

Л-3 табл. П.1-2

Участок 2-3

$$S_{2-3} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 33,184 + j(18,91 - 0,425) = 33,184 + j18,485$$

$$\Delta P_{2-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot r_{2-3} = \frac{33,184^2 + 18,485^2}{110^2} \cdot 4,7 = 0,56 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{2-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot x_{2-3} = \frac{33,184^2 + 18,485^2}{110^2} \cdot 9,552 = 1,14 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{2-3} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (33,184 + 0,56) + j(18,485 + 1,14) = 33,744 + j19,625$$

$$S_{2-3} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 33,744 + j(19,25 - 0,425) = 33,744 + j19,2$$

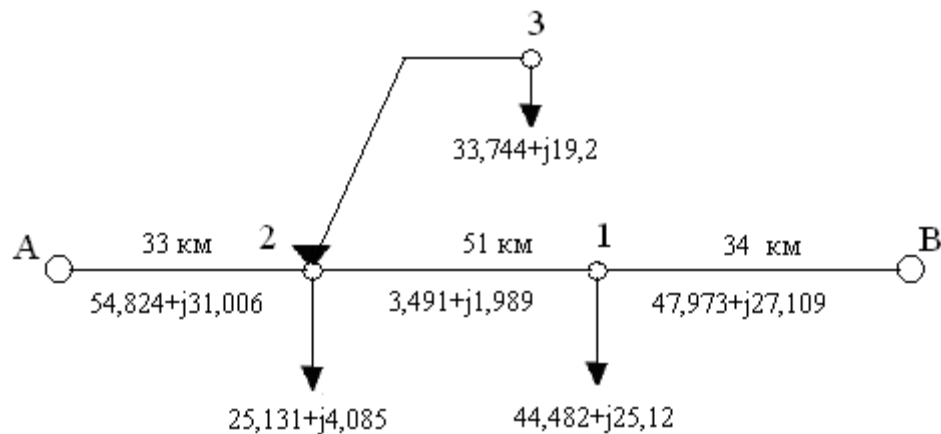


рис.6

$$P_A = \frac{\sum P_i l_i}{L_A} = \frac{(25,131 + 33,744) \cdot 85 + 44,482 \cdot 34}{118} = 54,824 \text{ МВт}$$

$$Q_A = \frac{\sum Q_i l_i}{L_A} = \frac{(14,085 + 19,2) \cdot 85 + 25,12 \cdot 34}{118} = 31,006 \text{ Мвар}$$

$$P_B = \frac{\sum P_i l_i}{L_A} = \frac{(25,131 + 33,744) \cdot 33 + 44,482 \cdot 84}{118} = 47,973 \text{ МВт}$$

$$Q_B = \frac{\sum Q_i l_i}{L_A} = \frac{(14,085 + 19,2) \cdot 33 + 25,12 \cdot 84}{118} = 27,109 \text{ Мвар}$$

Проверка

$$P_A + P_B = P_1 + P_2$$

$$54,824 + 47,973 = 44,482 + 25,131 + 33,184$$

$$102,797 = 102,797$$

$$Q_A + Q_B = Q_1 + Q_2$$

$$31,006 + 27,109 = 25,12 + 14,085 + 18,91$$

$$58,115 = 58,115$$

Определяем токи по участкам:

$$I_{2-1} = \frac{\sqrt{P_{2-1}^2 + Q_{2-1}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{3,491^2 + 1,989^2}}{1,73 \cdot 110} = 0,021 \text{ кА} = 21 \text{ А}$$

$$I_{A-2} = \frac{\sqrt{P_{A-2}^2 + Q_{A-2}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{54,824^2 + 31,006^2}}{1,73 \cdot 110} = 0,33 \text{ кА} = 330 \text{ А}$$

$$I_{1-B} = \frac{\sqrt{P_{1-B}^2 + Q_{1-B}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{47,973^2 + 27,109^2}}{1,73 \cdot 110} = 0,289 \text{ кА} = 289 \text{ А}$$

$j_{\text{э}} = 1,4$ см. Л-3 табл. П.4-3

Определяем сечение по экономической плотности тока:

$$F_{A-2} = \frac{I_{A-2}}{j_{\text{э}}} = \frac{330}{1,4} = 235,7 \text{ мм}^2 \quad \text{AC-240} \quad I_{\text{дон}} = 610 \text{ А}$$

$$F_{1-2} = \frac{I_{1-2}}{j_{\text{э}}} = \frac{21}{1,4} = 15,07 \text{ мм}^2 \quad \text{AC-95/11} \quad I_{\text{дон}} = 330 \text{ А}$$

$$F_{1-B} = \frac{I_{1-B}}{j_{\text{э}}} = \frac{289}{1,4} = 206,78 \text{ мм}^2 \quad \text{AC-240} \quad I_{\text{дон}} = 610 \text{ А}$$

$$I_{\text{ав.}} = \frac{\sqrt{(P'_1 + P''_1)^2 + (Q'_1 + Q''_1)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{(33,744 + 25,131)^2 + (19,2 + 14,055)^2}}{1,73 \cdot 110} = 0,33 \text{ кА} = 330 \text{ А}$$

\dot{i}
 \dot{i}
 $265 \text{ А} \dot{i}$

$$I_{\text{ав.}} = \frac{\sqrt{(P'_1 + P''_1)^2 + (Q'_1 + Q''_1)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{(54,824 + 47,993)^2 + (31,006 + 27,109)^2}}{1,73 \cdot 110} = 0,61 \text{ кА} = 610 \text{ А}$$

Выбираем промежуточную железобетонную одноцепную опору на 110 кВ

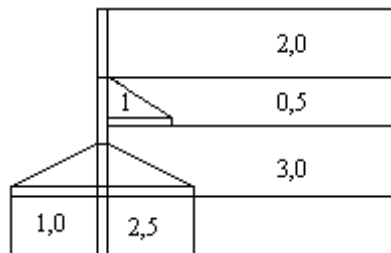


рис.7

$$D_{12} = 3^2 + (2,5 - 1)^2 = 3,35 \text{ м}$$

$$D_{23} = 1 + 25 = 3,5 \text{ м}$$

$$D_{13} = \sqrt{3^2 + (1 + 1)^2} = 3,6 \text{ м}$$

$$D_{\text{ср}} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}} = \sqrt[3]{3,35 \cdot 3,5 \cdot 3,6} = 3,5 \text{ м}$$

Данные линии

табл.5

Учас- ток	дли- на, км	провод	r_0 Ом/км	d , мм	X_0 Ом/км	b_0 см/км	R , Ом	X Ом	B	Q , Мвар
А-2	33	АС-240	0,122	21,0	0,383	$2,98 \cdot 10^{-6}$	4,026	12,639	$98,34 \cdot 10^{-6}$	0,59
2-1	51	АС-95	0,420	11,4	0,415	$2,73 \cdot 10^{-6}$	21,42	21,165	$139,23 \cdot 10^{-6}$	0,84
1-В	34	АС-240	0,122	21,0	0,383	$2,98 \cdot 10^{-6}$	4,148	13,022	$101,32 \cdot 10^{-6}$	0,613

Л-3 табл. П.1-2

Производим расчет мощностей в режиме максимальных нагрузок

Участок А-2

$$S_{A-2} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 54,824 + j(31,006 - 0,59) = 54,824 + j30,416$$

$$\Delta P_{A-2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot r_{A-2} = \frac{54,824^2 + 30,416^2}{110^2} \cdot 4,026 = 1,3 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{A-2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot x_{A-2} = \frac{54,824^2 + 30,416^2}{110^2} \cdot 12,639 = 4,08 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{A-2} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (54,824 + 1,3) + j(30,416 + 4,08) = 56,124 + j34,496$$

$$S_{A-2} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 56,124 + j(34,496 - 0,59) = 56,124 + j33,906$$

Участок 2-1

$$S_{2-1} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 3,491 + j(1,989 - 0,842) = 3,491 - j1,147$$

$$\Delta P_{2-1} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot r_{2-1} = \frac{3,491^2 + 1,147^2}{110^2} \cdot 21,42 = 0,024 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{2-1} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot x_{2-1} = \frac{3,491^2 + 1,147^2}{110^2} \cdot 21,165 = 0,021 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{2-1} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (3,491 + 0,024) + j(1,147 + 0,021) = 3,515 + j1,168$$

$$S_{2-1} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 3,515 + j(1,168 - 0,842) = 3,515 - 0,326$$

Участок 1-В

$$S = (P_{2-1} + P_{1-B}) + j(Q_{2-1} + Q_{1-B}) = (44,482 + 3,515) + j(25,12 + 0,326) = 47,997 + j25,446$$

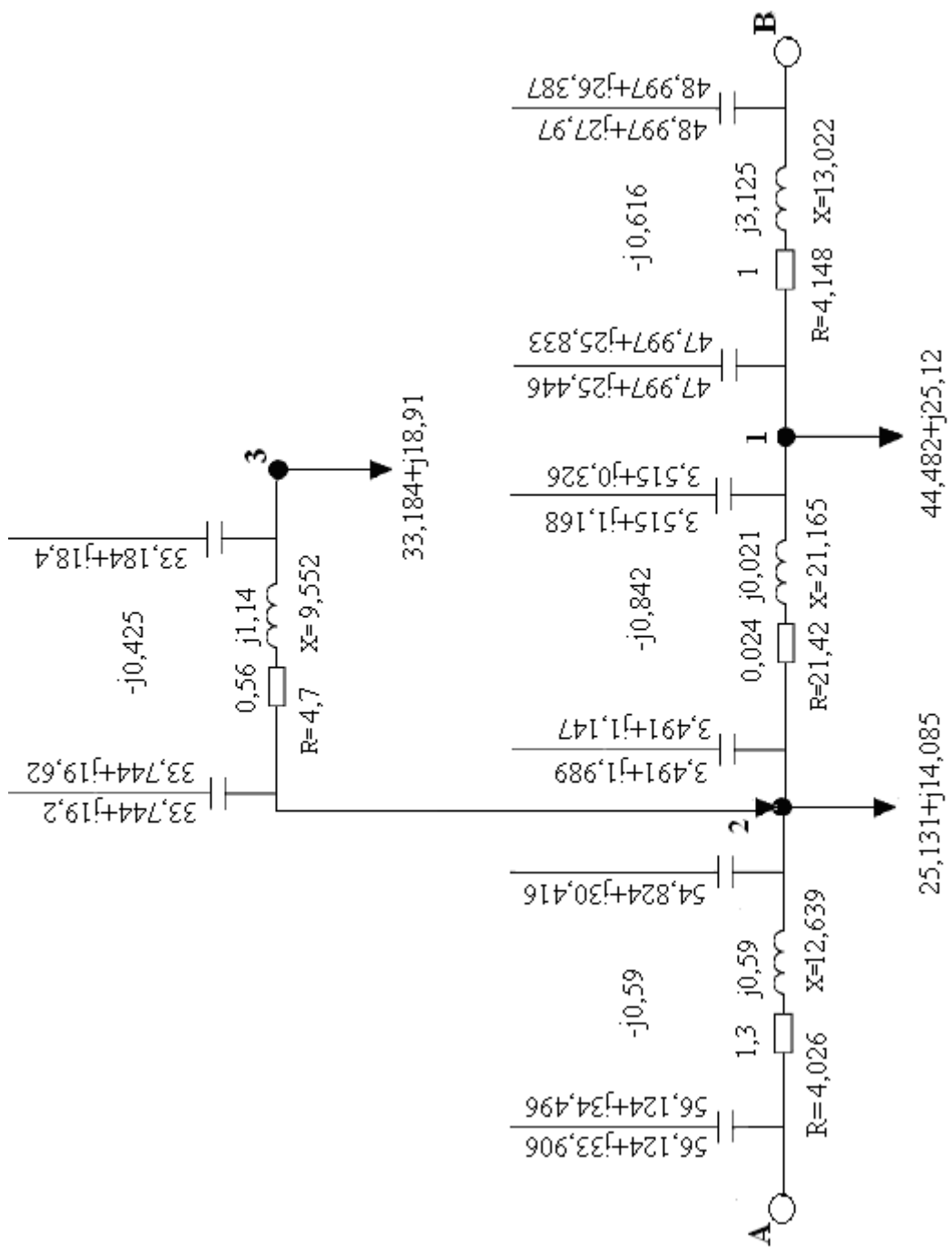
$$S_{1-B} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 47,997 + j(25,446 - 0,613) = 47,997 + j25,833$$

$$\Delta P_{1-B} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot r_{1-B} = \frac{47,997^2 + 25,833^2}{110^2} \cdot 4,148 = 1 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{1-B} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot x_{1-B} = \frac{47,997^2 + 25,833^2}{110^2} \cdot 13,022 = 3,125 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{1-B} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (47,997 + 1) + j(25,833 + 3,125) = 48,997 + j27,97$$

$$S_{1-B} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 48,997 + j(27,97 - 0,613) = 48,997 + j26,387$$



Рассчитываем II-ой вариант

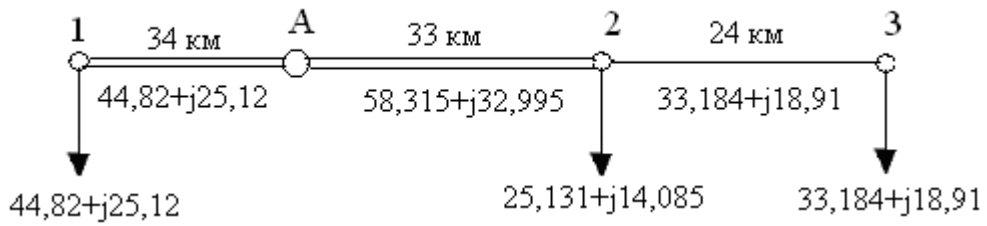


рис.9

Определяем токи по участкам:

$$I_{1-A} = \frac{\sqrt{P_{1-A}^2 + Q_{1-A}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{44,482^2 + 25,125^2}}{1,73 \cdot 110} = 0,268 \text{ кА} = 268 \text{ А}$$

$$I_{A-2} = \frac{\sqrt{P_{A-2}^2 + Q_{A-2}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{58,315^2 + 32,995^2}}{1,73 \cdot 110} = 0,352 \text{ кА} = 352 \text{ А}$$

$$I_{2-3} = \frac{\sqrt{P_{2-3}^2 + Q_{2-3}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{33,184^2 + 18,91^2}}{1,73 \cdot 110} = 0,2 \text{ кА} = 200 \text{ А}$$

$j_{\text{э}} = 1,4$ см. Л-3 табл. П.4-3

Определяем сечение по экономической плотности тока:

$$F_{1-A} = \frac{I_{1-A}}{2 \cdot j_{\text{э}}} = \frac{268}{2 \cdot 1,4} = 95,93 \text{ мм}^2 \quad 2 \text{ х АС} - 95$$

$$F_{A-2} = \frac{I_{A-2}}{2 \cdot j_{\text{э}}} = \frac{352}{2 \cdot 1,4} = 125,74 \text{ мм}^2 \quad 2 \text{ х АС} - 150/24$$

$$F_{2-3} = \frac{I_{2-3}}{j_{\text{э}}} = \frac{200}{1,4} = 143,36 \text{ мм}^2 \quad \text{АС} - 150/24$$

см. Л-3 табл. П.1-2

Выбираем промежуточную железобетонную двухцепную опору на 110 кВ

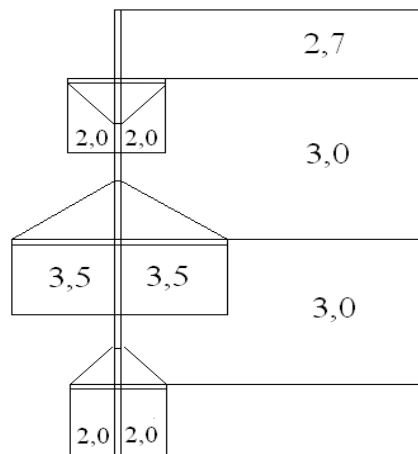


рис.10

$$D_{12} = \sqrt{3^2 - (3,5 - 2)^2} = 2,6 \text{ м}$$

$$D_{23} = D_{12} = 2,6 \text{ м}$$

$$D_{13} = 3 + 3 = 6 \text{ м}$$

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13}} = \sqrt[3]{2,6 \cdot 2,6 \cdot 6} = 3,5 \text{ м}$$

Выбираем промежуточную железобетонную двухцепную опору на 110 кВ

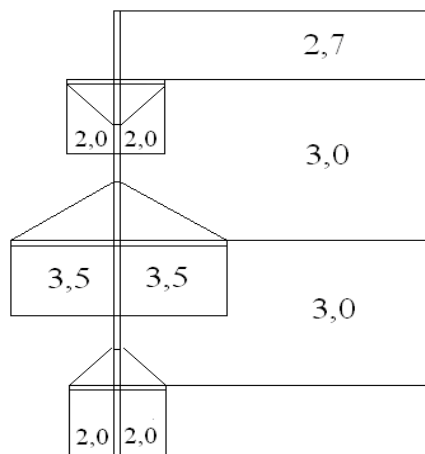


рис.11

Данные линии

табл.6

Учас ток	дли- на, км	провод	r_0 Ом/км	d, мм	X_0 Ом/км	b_0 см/км	R, Ом	X Ом	B	Q, Мвар
А-1	34	2хАС-95	0,316	19,8	0,404	$2,82 \cdot 10^{-6}$	10,74	13,73	$95,88 \cdot 10^{-6}$	1,16
А-2	33	2хАС-150	0,196	17,5	0,411	$2,76 \cdot 10^{-6}$	6,68	13,56	$91,08 \cdot 10^{-6}$	1,101
2-3	24	АС-150	0,196	17,5	0,389	$2,93 \cdot 10^{-6}$	4,7	9,552	$70,32 \cdot 10^{-6}$	0,425

Л-3 табл. П.1-2

Производим расчет мощностей в режиме максимальных нагрузок

Участок 3-2

$$S_{2-3} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 33,184 + j(18,91 - 0,425) = 33,184 + j18,485$$

$$\Delta P_{2-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot r_{2-3} = \frac{33,184^2 + 18,485^2}{110^2} \cdot 4,7 = 0,56 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{2-3} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot x_{2-3} = \frac{33,184^2 + 18,485^2}{110^2} \cdot 9,552 = 1,14 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{2-3} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (33,184 + 0,56) + j(18,485 + 1,14) = 33,744 + j19,625$$

$$S_{2-3} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 33,744 + j(19,25 - 0,425) = 33,744 + j19,2$$

Участок А-2

$$S = (P_{2-3} + P_{A-2}) + j(Q_{2-3} + Q_{A-2}) = (25,131 + 33,744) + j(14,065 + 19,2) = 58,875 + j33,285$$

$$S_{A-2} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 58,875 + j(33,285 - 1,101) = 58,875 + j32,184$$

$$\Delta P_{A-2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot \frac{r_{A-2}}{2} = \frac{58,875^2 + 32,184^2}{110^2} \cdot \frac{6,568}{2} = 1,2 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{A-2} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot \frac{x_{A-2}}{2} = \frac{58,875^2 + 32,184^2}{110^2} \cdot \frac{13,563}{2} = 2,523 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{A-2} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (58,875 + 1,2) + j(32,184 + 2,523) = 60,075 + j34,707$$

$$S_{A-2} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 60,075 + j(34,707 - 1,101) = 60,075 + j33,606$$

Участок 1-А

$$S_{1-A} = P_I + j(Q_I - Q_B) = 44,482 + j(25,12 - 1,16) = 44,482 + j23,96$$

$$\Delta P_{1-A} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot \frac{r_{1-A}}{2} = \frac{44,482^2 + 23,96^2}{110^2} \cdot \frac{5,379}{2} = 1,133 \text{ МВт}$$

$$\Delta Q_{1-A} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} \cdot \frac{x_{1-A}}{2} = \frac{44,482^2 + 23,96^2}{110^2} \cdot \frac{13,736}{2} = 1,449 \text{ Мвар}$$

$$S = S_{1-A} + \Delta S = (P_I + \Delta P) + j(Q_I + \Delta Q) = (44,482 + 1,133) + j(23,96 + 1,449) = 45,615 + j25,409$$

$$S_{1-A} = P_{II} + j(Q_{II} - Q_B) = 45,615 + j(25,409 - 1,16) = 45,615 + j24,249$$

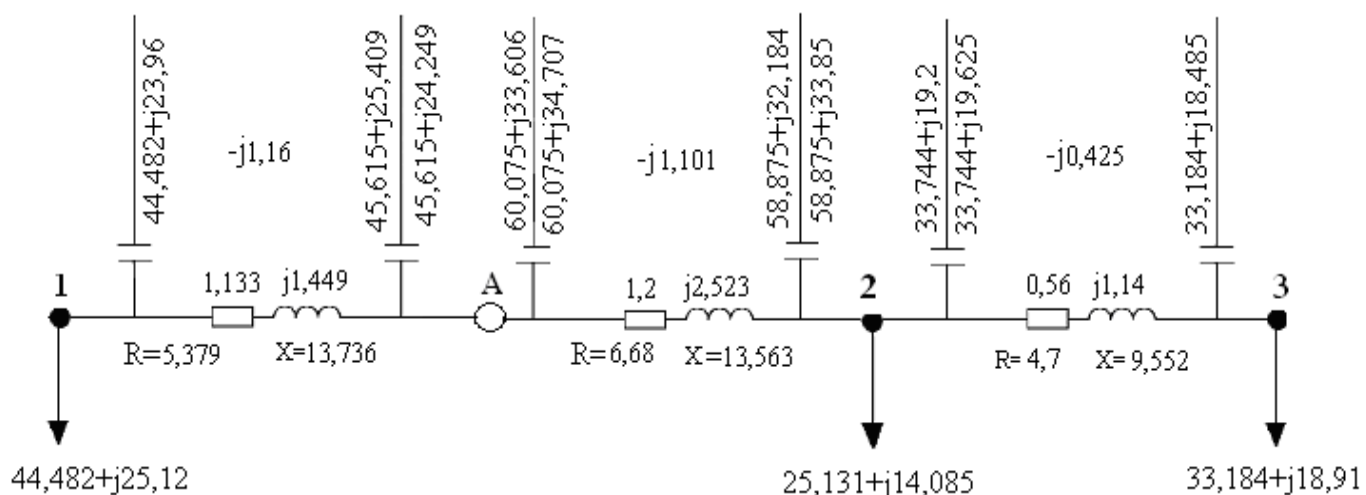


рис.12