

1 Вариант № 2

1.1 Задача №1

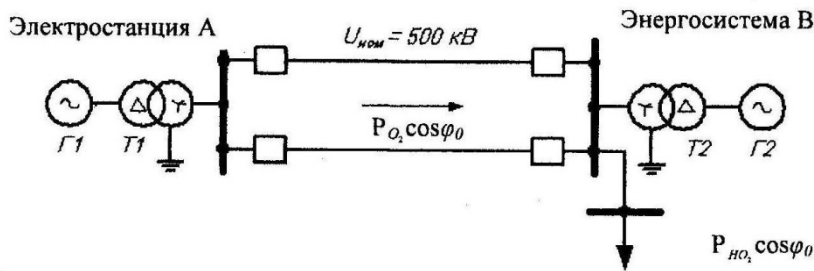


Рисунок 1.1-Исходная схема системы

Синхронное, переходное и сопротивление обратной последовательности генераторов станции А

Номинальная мощность одного генератора станции А $P_{\Gamma} = 300$ МВт

коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,9$

реактивная мощность

$$Q_{\Gamma} = P_{\Gamma} \cdot \operatorname{tg}(\arccos(\cos\varphi)) = 300 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,9)) = 145,297 \text{ Мвар}$$

полная мощность

$$S_{\Gamma} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi} = \frac{300}{0,9} = 333,333 \text{ МВА}$$

$$X_{\text{др}\%} = 2,1 \text{ о.е.}; X'_{\text{др}\%} = 0,3 \text{ о.е.}; X_{2\Gamma\%} = 0,238 \text{ о.е.}$$

Количество генераторов $n_{\Gamma} = 4$ шт

Номинальное напряжение на шинах генераторов $U_{\text{нг}} = 20$ кВ

Постоянная механической инерции $T_j = 9$ с

Аналогично для генераторов станции Б

$$P_{\Gamma} = 300 \text{ МВт}; \cos\varphi = 0,9$$

$$Q_{\Gamma} = P_{\Gamma} \cdot \operatorname{tg}(\arccos(\cos\varphi)) = 300 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,9)) = 145,297 \text{ Мвар}$$

$$S_{\Gamma} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos\varphi} = \frac{300}{0,9} = 333,333 \text{ МВА}$$

$$X_{\text{др}\%} = 2,1 \text{ о.е.}; X'_{\text{др}\%} = 0,3 \text{ о.е.}; X_{2\Gamma\%} = 0,238 \text{ о.е.}; n_{\Gamma} = 8 \text{ шт};$$

$$U_{нг} = 20 \text{ кВ}; T_j = 9 \text{ с}$$

Параметры трансформатора Т1

$$\text{Номинальная мощность } S_{T1ном} = 400 \text{ МВА}$$

$$\text{Количество трансформаторов } n_{T1} = 4 \text{ шт}$$

$$\text{Напряжение короткого замыкания } U_{к\%} = 13 \%$$

$$\text{Номинальные напряжения обмоток: } U_{нвТ1} = 525 \text{ кВ}; U_{ннТ1} = 20 \text{ кВ}$$

Коэффициент трансформации

$$k_{T1} = \frac{U_{нвТ1}}{U_{ннТ1}} = \frac{525}{20} = 26,25 \text{ о.е.}$$

$$\text{Параметры трансформатора Т2 } S_{T2} = 400 \text{ МВА}$$

Количество трансформаторов Т2

$$n_{T2} = 8 \text{ шт};$$

$$U_{к\%} = 13 \%;$$

$$U_{нвТ2} = 525 \text{ кВ}; U_{ннТ2} = 20 \text{ кВ}$$

$$k_{T2} = \frac{U_{нвТ2}}{U_{ннТ2}} = \frac{525}{20} = 26,25 \text{ о.е.}$$

Параметры линий:

$$\text{Сопrotивление линий } X_{л} = 195 \text{ Ом}$$

$$\text{Передаваемая мощность: } P_0 = 1000 \text{ МВт}; \cos\varphi = 0,93$$

$$Q_0 = P_0 \cdot \text{tg}(\arccos(\cos\varphi)) = 1000 \cdot \text{tg}(\arccos(0,93)) = 395,225 \text{ Мвар}$$

В относительных единицах $P_0 = 1 \text{ о.е.}$

$$Q_0 = \frac{Q_0}{S_6} = \frac{395,225}{1000} = 0,395 \text{ о.е.}$$

$$\text{Базисное напряжение } U_6 = 500 \text{ кВ}$$

$$\text{Базисная мощность } S_6 = P_0 = 1000 \text{ МВА}$$

$$\text{Параметры нагрузки } P_H = 3000 \text{ МВт} = 3 \text{ о.е.}; \cos\varphi_{H0} = 0,83; \sin\varphi_{H0} = \sin(\arccos(\cos\varphi_{H0})) = 0,558$$

Таблица 1.1 – Данные по двигателям

Вариант	P_0 , МВт	$\cos\varphi$	M_{\max} , о.е.	$S_{кр}$, о.е.	$M_{\text{мехо}}$, о.е.	t
2	3000	0,83	1	0,21	0,65	8

$$S_H = \frac{P_H}{\cos\varphi_{H0}} = \frac{3000}{0,83} = 3614,458 \text{ МВА}$$

$$S_{H\cdot} = \frac{S_H}{S_6} = \frac{3614,458}{1000} = 3,614 \text{ о.е.}$$

$$Q_H = S_H \cdot \sin\varphi_{H0} = 3614,458 \cdot 0,558 = 2016,868 \text{ Мвар}$$

$$Q_{H\cdot} = \frac{Q_H}{S_6} = \frac{2016,868}{1000} = 2,017 \text{ о.е.}$$

Мощность поступающая от системы Б к нагрузке

$$P_{2\cdot} = P_{H\cdot} - P_0 = 3 - 1 = 2 \text{ о.е.}$$

$$Q_{2\cdot} = Q_{H\cdot} - Q_0 = 2,017 - 0,395 = 1,622 \text{ о.е.}$$

$$S_{2\cdot} = \sqrt{P_{2\cdot}^2 + Q_{2\cdot}^2} = \sqrt{2^2 + 1,622^2} = 2,575 \text{ о.е.}$$

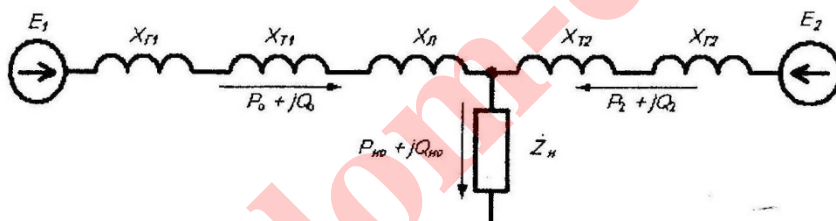


Рисунок 1.2-Схема замещения системы

Так как по заданию все генераторы снабжены АРВ пропорционального действия, то генераторы представляются ЭДС за сверхпереходным сопротивлением

Находим относительные сопротивления элементов схемы приведенные к базисным условиям

$$X_{r1\cdot} = \frac{X'_{dr\%} \cdot U_{НГ}^2 \cdot S_6}{S_r \cdot n_r \cdot U_6^2} \cdot k_{T1}^2 = \frac{0,3 \cdot 20^2 \cdot 1000}{333,333 \cdot 4 \cdot 500^2} \cdot 26,25^2 = 0,248 \text{ о.е.}$$

$$X_{r2\cdot} = \frac{X'_{dr\%} \cdot U_{НГ}^2 \cdot S_6}{S_r \cdot n_r \cdot U_6^2} \cdot k_{T2}^2 = \frac{0,3 \cdot 20^2 \cdot 1000}{333,333 \cdot 8 \cdot 500^2} \cdot 26,25^2 = 0,124 \text{ о.е.}$$

Индуктивное сопротивление одной линии в относительных единицах

$$X_{л1.} = X_{л.} \cdot \frac{S_6}{U_6^2} = 195 \cdot \frac{1000}{500^2} = 0,78 \text{ о. е.}$$

Индуктивное сопротивление двух параллельных линий

$$X_{л.} = \frac{X_{л1.}}{2} = \frac{0,78}{2} = 0,39 \text{ о. е.}$$

Индуктивные сопротивления трансформаторов в относительных единицах

$$X_{Т1.} = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{U_{НВТ1}^2}{S_{Т1НОМ} \cdot n_{Т1}} \cdot \frac{S_6}{U_6^2} = \frac{13}{100} \cdot \frac{525^2}{400 \cdot 4} \cdot \frac{1000}{500^2} = 0,09 \text{ о. е.}$$

$$X_{Т2.} = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{U_{НВТ2}^2}{S_{Т2} \cdot n_{Т2}} \cdot \frac{S_6}{U_6^2} = \frac{13}{100} \cdot \frac{525^2}{400 \cdot 8} \cdot \frac{1000}{500^2} = 0,045 \text{ о. е.}$$

Комплексное сопротивление нагрузки определяем при номинальном напряжении в узле нагрузки $U_{НОМ} = 1 \text{ о. е.}$;

$$\cos\varphi_{НО} + j\sin\varphi_{НО} = 0,83 + j0,558$$

$$Z_{Н.} = \frac{U_{НОМ}^2}{S_{Н*}} \cdot (\cos\varphi_{НО} + j\sin\varphi_{НО}) = \frac{1^2}{3,614} \cdot (0,83 + j0,558) = 0,23 + j0,154 \text{ о. е.}$$

Расчитываем сопротивлениям схемы замещения

$$Z_1 = j \cdot (X_{Г1.} + X_{Т1.} + X_{л1.}) = j \cdot (0,248 + 0,09 + 0,78) = 1,118j \text{ о. е.}$$

$$Z_2 = j \cdot (X_{Г2.} + X_{Т2.}) = j \cdot (0,124 + 0,045) = 0,169j \text{ о. е.}$$

Собственное сопротивление схемы замещения

$$Z_{11} = Z_1 + \frac{(Z_2) \cdot (Z_{Н.})}{Z_2 + Z_{Н.}} = 1,118j + \frac{(0,169j) \cdot (0,23 + 0,154j)}{0,169j + 0,23 + 0,154j} = 0,042 + 1,228j \text{ о. е.}$$

$$R_{11} = \text{re}(Z_{11}) = 0,042 \text{ о. е.}; X_{11} = \text{im}(Z_{11}) = 1,228$$

Взаимное сопротивление схемы замещения

$$Z_{12} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_{Н.}} = 1,118j + 0,169j + \frac{1,118j \cdot 0,169j}{0,23 + 0,154j} = -0,567 + 1,667j \text{ о. е.}$$

$$|Z_{11}| = 1,229 \text{ о. е.}; |Z_{12}| = 1,761 \text{ о. е.}$$

Принимаем напряжение в узле подключения нагрузки равным
му $U = 1$ о.е.

$$E'_1 = \sqrt{\left(U + \frac{Q_0 \cdot 1,118}{U}\right)^2 + \left(\frac{P_0 \cdot 1,118}{U}\right)^2} = \\ = \sqrt{\left(1 + \frac{0,395 \cdot 1,118}{1}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 1,118}{1}\right)^2} = 1,824 \text{ о.е.}$$

$$E'_2 = \sqrt{\left(U + \frac{Q_2 \cdot 0,169}{U}\right)^2 + \left(\frac{P_2 \cdot 0,169}{U}\right)^2} = \\ = \sqrt{\left(1 + \frac{1,622 \cdot 0,169}{1}\right)^2 + \left(\frac{2 \cdot 0,169}{1}\right)^2} = 1,318 \text{ о.е.}$$

Определим предельно передаваемую мощность

$$P_{\text{пр}} = \frac{E'^2_1}{|Z_{11}|} \cdot \sin(\alpha_{11}) + \frac{E'_1 \cdot E'_2}{|Z_{12}|} = \frac{1,824^2}{1,229} \cdot \sin(0,034) + \frac{1,824 \cdot 1,318}{1,761} = 1,457 \text{ о.е.}$$

где

$$\alpha_{11} = 90 - \psi_{11} = 90 - 88,041 = 1,959^\circ = 0,034 \text{ рад}$$

$$\psi_{11} = \arctg\left(\frac{X_{11}}{R_{11}}\right) = \arctg\left(\frac{1,228}{0,042}\right) = 88,041^\circ$$

Коэффициент запаса

$$K_3 = \frac{P_{\text{пр}} - P_0}{P_0} \cdot 1 = \frac{1,457 - 1}{1} \cdot 100 = 45,7 \%$$

При отсутствии нагрузки

$$Z_{12} = Z_1 + Z_2 = 1,118j + 0,169j = 1,287j \text{ о.е.} = 1,287 \text{ о.е.}$$

Предел передаваемой мощности

$$P_{\text{пр}} = \frac{E'_1 \cdot E'_2}{Z_{12}} = \frac{1,824 \cdot 1,318}{1,287} = 1,868 \text{ о.е.}$$

Коэффициент запаса

$$K_3 = \frac{P_{\text{пр}} - P_0}{P_0} \cdot 1 = \frac{1,868 - 1}{1} \cdot 100 = 86,8 \%$$

Отсутствие нагрузки повышает предел передаваемой мощности, увеличивает коэффициент запаса мощности системы

1.2 Задача №2

Исходные данные по нагрузкам

$$P_H = 3000 \text{ МВт}; Q_H = 2016,868 \text{ Мвар}; P_{H*} = 3 \text{ о. е.}; Q_{H*} = 2,017 \text{ о. е.}$$

Вычисляем значение эквивалентного сопротивления системы для трех случаев

При двух линиях находящихся в работе и АРВ ПД на генераторах

$$X_{\Sigma\text{Э}} = X_{Г1*} + X_{Л*} = 0,248 + 0,39 = 0,638 \text{ о. е.}$$

Запас устойчивости нагрузки по напряжению можно характеризовать уравнением

$$K_U = \frac{U_0 - U_{\text{кр}}}{U_0}$$

Напряжение нагрузки в исходном режиме $U_0 = 1$

ЭДС генераторов станции при $U=1$

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{\left(U_0 + \frac{Q_{H*} \cdot X_{\Sigma\text{Э}}}{U_0}\right)^2 + \left(\frac{P_{H*} \cdot X_{\Sigma\text{Э}}}{U_0}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(1 + \frac{2,017 \cdot 0,638}{1}\right)^2 + \left(\frac{3 \cdot 0,638}{1}\right)^2} = 2,9821 \end{aligned}$$

Аналогичные вычисления производим для остальных точек. Результаты расчетов сводим в таблицу.

Аналогично производим вычисления с повышенным сопротивлением системы

Критическое напряжение в точке минимума функции для режима с АРВ

ПД $U_{\text{кр}1} = 0,95$

$$K_{U1} = \frac{U_0 - U_{\text{кр}1}}{U_0} = \frac{1 - 0,95}{1} = 0,05$$

Критическое напряжение в точке минимума функции для режима с

X1,5 $U_{\text{кр}2} = 0,95$

$$K_{U2} = \frac{U_0 - U_{\text{кр}2}}{U_0} = \frac{1 - 0,95}{1} = 0,05$$

Критическое напряжение в точке минимума функции для режима с X2 $U_{кр3} = 0,95$

$$K_{U3} = \frac{U_0 - U_{кр3}}{U_0} = \frac{1 - 0,95}{1} = 0,05$$

Критическое напряжение в точке минимума функции для режима с X3 $U_{кр4} = 0,95$

$$K_{U4} = \frac{U_0 - U_{кр4}}{U_0} = \frac{1 - 0,95}{1} = 0,05$$

Коэффициент запаса по напряжению должен быть не менее 20% в нормальном и 10% в послеаварийном режиме

Результаты расчетов зависимостей $P(U)$, $Q(U)$, $E(U)$ в различных режимах сведен в таблицу 4.1.

Таблица 1.2-Результаты расчетов $P(U)$, $Q(U)$, $E(U)$

U	P*	Q*	P, о.е.	Q, о.е.	E, о.е.	E1,5	E2	E3
1	1	1	3,000	2,017	2,9821	3,5000	4,0540	5,2238
0,95	0,97	0,93	2,910	1,876	2,9501	3,4473	3,9823	5,1175
0,9	0,94	0,89	2,820	1,795	2,9523	3,4475	3,9829	5,1235
0,85	0,91	0,86	2,730	1,735	2,9717	3,4725	4,0166	5,1794
0,8	0,89	0,84	2,670	1,694	3,0267	3,5388	4,0985	5,2995
0,75	0,87	0,85	2,610	1,714	3,1313	3,6818	4,2860	5,5845
0,7	0,86	0,88	2,580	1,775	3,3018	3,9122	4,5846	6,0307
0,65	0,85	0,92	2,550	1,856	3,5177	4,2079	4,9698	6,6076
0,6	0,84	0,95	2,520	1,916	3,7598	4,5329	5,3882	7,2272

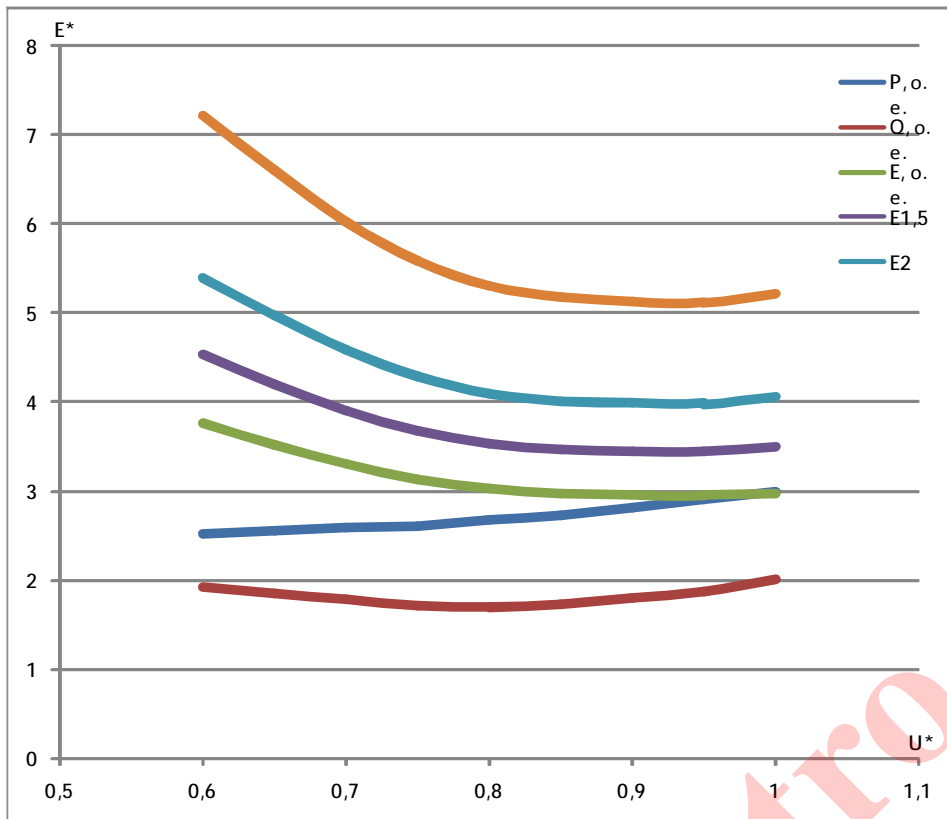


Рисунок 1.3-Зависимости $E(U)$

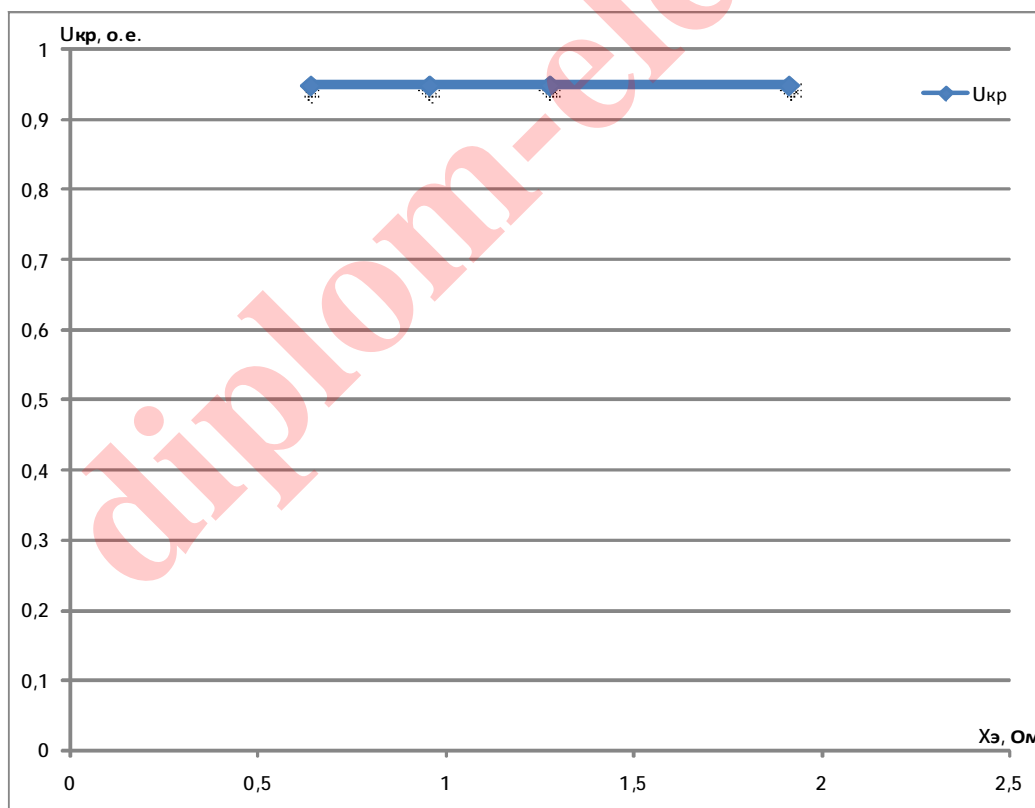


Рисунок 1.4-Зависимость коэффициента запаса по напряжению от эквивалентного сопротивления

В теории, удаленность нагрузки от источника повышает критическое сопротивление и сокращает запаса устойчивости узла нагрузки по напряжению.

Однако как показывают расчеты, в условиях данной задачи критическое напряжение с увеличением сопротивления меняется мало, так как находится в районе 0.9-0.95.

Произведем аналогичные вычисления уменьшив исходное $X_{\Sigma\Delta}$ в пять раз. Принимаем $X_{\Sigma\Delta} = 0,2 \cdot 0,638 = 0,128$ о.е и произведем аналогичные расчеты

Напряжение нагрузки в исходном режиме $U_0 = 1$

ЭДС генераторов станции при $U=1$

$$E = \sqrt{\left(U_0 + \frac{Q_{H*} \cdot X_{\Sigma\Delta}}{U_0}\right)^2 + \left(\frac{P_{H*} \cdot X_{\Sigma\Delta}}{U_0}\right)^2} =$$
$$= \sqrt{\left(1 + \frac{2,017 \cdot 0,128}{1}\right)^2 + \left(\frac{3 \cdot 0,128}{1}\right)^2} = 1,315$$

Аналогичные вычисления производим для остальных точек. Результаты расчетов сводим в таблицу.

Аналогично производим вычисления с повышенным сопротивлением системы

Критическое напряжение в точке минимума функции для режима с APB

ПД $U_{кр1} = 0,7$

$$K_{U1} = \frac{U_0 - U_{кр1}}{U_0} = \frac{1 - 0,7}{1} = 0,3$$

Критическое напряжение в точке минимума функции для режима с

X1,5 $U_{кр2} = 0,75$

$$K_{U2} = \frac{U_0 - U_{кр2}}{U_0} = \frac{1 - 0,75}{1} = 0,25$$

Критическое напряжение в точке минимума функции для режима с X2 $U_{кр3} =$

0,8

$$K_{U3} = \frac{U_0 - U_{кр3}}{U_0} = \frac{1 - 0,8}{1} = 0,2$$

Критическое напряжение в точке минимума функции для режима с X3 $U_{кр4} =$

0,85

$$K_{U4} = \frac{U_0 - U_{кр4}}{U_0} = \frac{1 - 0,85}{1} = 0,15$$

Результаты расчетов зависимостей P(U), Q(U), E(U) в различных режимах сведем в таблицу 4.1.

Таблица 1.3-Результаты расчетов P(U), Q(U), E(U)

U	P*	Q*	P, о.е.	Q, о.е.	E, о.е.	E1,5	E2	E3
1	1	1	3,000	2,017	1,315	1,502	1,700	2,116
0,95	0,97	0,93	2,910	1,876	1,265	1,453	1,653	2,074
0,9	0,94	0,89	2,820	1,795	1,223	1,417	1,623	2,055
0,85	0,91	0,86	2,730	1,735	1,185	1,387	1,600	2,047
0,8	0,89	0,84	2,670	1,694	1,153	1,366	1,591	2,060
0,75	0,87	0,85	2,610	1,714	1,134	1,364	1,605	2,106
0,7	0,86	0,88	2,580	1,775	1,128	1,382	1,646	2,192
0,65	0,85	0,92	2,550	1,856	1,133	1,415	1,708	2,306
0,6	0,84	0,95	2,520	1,916	1,143	1,457	1,779	2,436

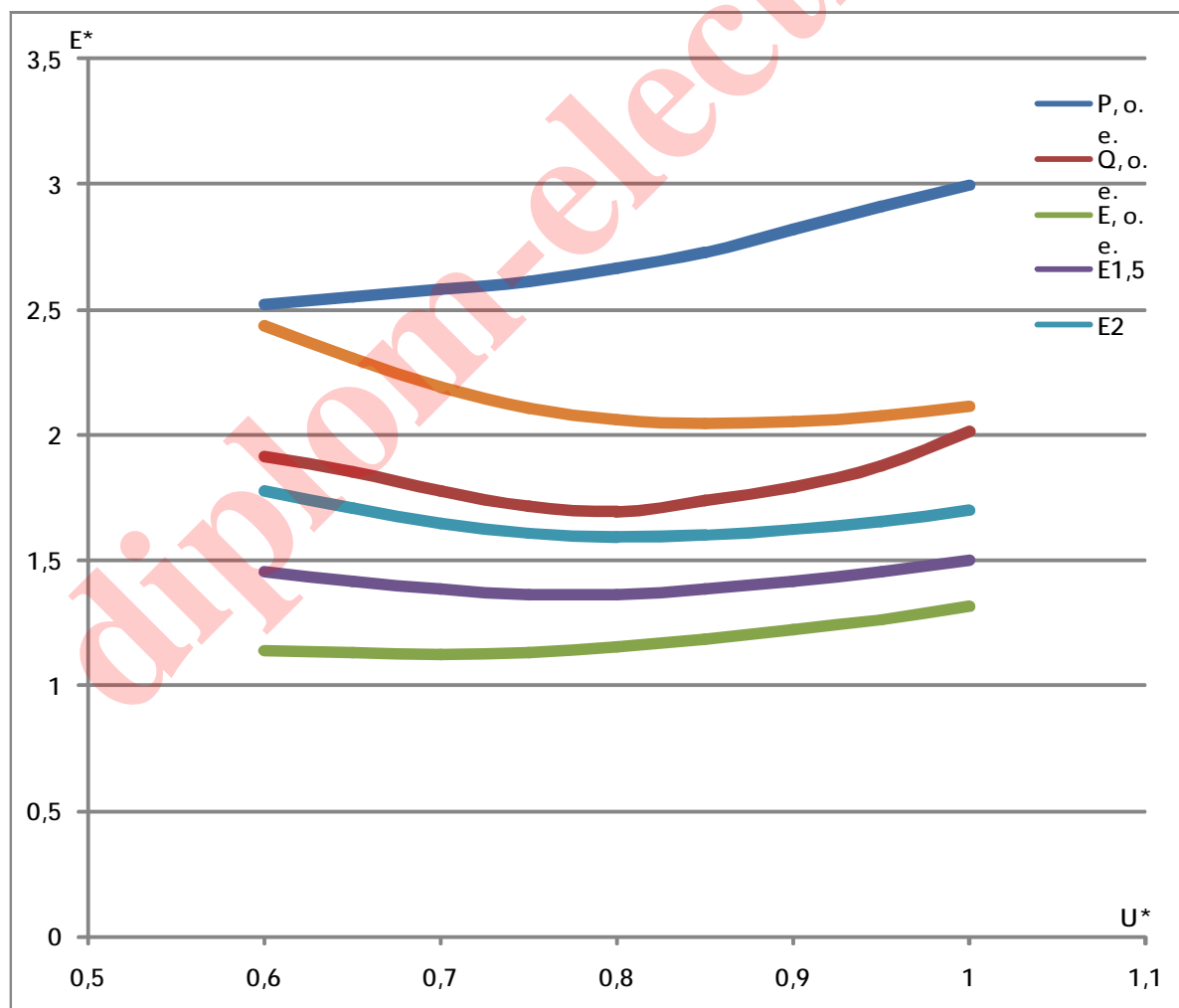


Рисунок 1.5-Зависимости E(U)

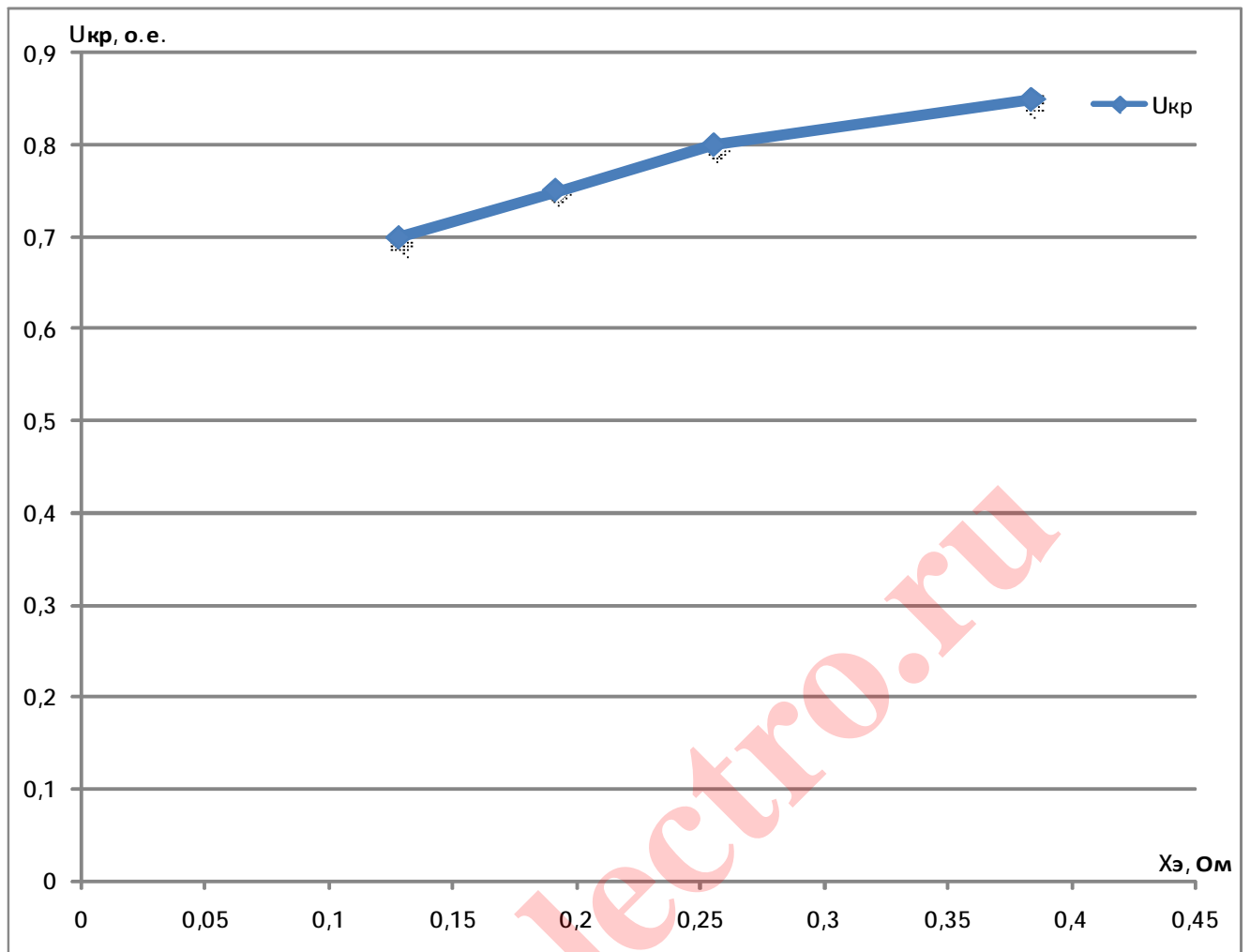


Рисунок 1.6-Зависимость коэффициента запаса по напряжению от эквивалентного сопротивления

Теперь очевидно, что с ростом эквивалентного сопротивления сети критическое напряжение растет.

1.3 Задача №3

Критическое скольжение $s_{кр} = 0,21$ о. е.

Момент нагрузки $M_{мех.0} = 0,65$ о. е.

Максимальный момент $M_{макс} = 1$ о. е.

Механическая постоянная инерции приведенная к базисным условиям

$$\tau_{j*} = \tau_j \cdot \frac{S_H}{S_6} = 8 \cdot \frac{3614,458}{1000} = 28,916 \text{ с}$$

Предельное время перерыва электроснабжения

$$t_{пр} = \frac{\tau_{j*}}{M_{мех.0}} \cdot (s_1 - s_0) = \frac{28,916}{0,65} \cdot (0,569 - 0,078) = 21,843 \text{ с}$$

где скольжения s_0 и s_1 определяются уравнениями

$$s_0 = s_{кр} \cdot \left(\frac{M_{макс}}{M_{мех.0}} - \sqrt{\left(\frac{M_{макс}}{M_{мех.0}} \right)^2 - 1} \right) = 0,21 \cdot \left(\frac{1}{0,65} - \sqrt{\left(\frac{1}{0,65} \right)^2 - 1} \right) =$$

$= 0,078 \text{ о. е.}$

$$s_1 = s_{кр} \cdot \left(\frac{M_{макс}}{M_{мех.0}} + \sqrt{\left(\frac{M_{макс}}{M_{мех.0}} \right)^2 - 1} \right) = 0,21 \cdot \left(\frac{1}{0,65} + \sqrt{\left(\frac{1}{0,65} \right)^2 - 1} \right) =$$

$= 0,569 \text{ о. е.}$