

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ П.О.СУХОГО

Заочное отделение

КАФЕДРА «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине

«Электромагнитные переходные процессы»

Тема: «Расчет электромагнитных переходных процессов
в заданной системе электроснабжения»

Выполнил: студент гр. ЗЭ – 42

Двойных А.

принял: преподаватель

Пухальская О.Ю.

ГОМЕЛЬ 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение		3
1	Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного короткого замыкания, используя точное приведение элементов схемы замещения в именованных единицах	5
2	Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного короткого замыкания, используя приближенное приведение элементов схемы замещения в именованных единицах	8
3	Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного короткого замыкания, используя точное приведение элементов схемы замещения в относительных единицах	11
4	Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного короткого замыкания, используя приближенное приведение элементов схемы замещения в относительных единицах	14
5	Расчет сверхпереходного и ударного токов двухфазного короткого замыкания, построение векторных диаграмм токов и напряжений	17
5.1	Разработка схемы замещения	17
5.2	Расчет сопротивлений элементов схемы	18
5.3	Расчет тока двухфазного КЗ	20
6	Расчет сверхпереходного и ударного токов однофазного короткого замыкания, построение векторных диаграмм токов и напряжений	23
7	Расчет сверхпереходного и ударного токов двухфазного короткого замыкания на землю, построение векторных диаграмм токов и напряжений	25
8	Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного и двухфазного короткого замыкания в распределительной сети напряжением 10 кВ	28
8.1	Выбор типа и параметров элементов распределительной сети	28
8.2	Разработка схемы замещения	29
8.3	Расчет сопротивлений элементов схемы	29
8.4	Расчет токов короткого замыкания	30
9	Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного, двухфазного и однофазного короткого замыкания в распределительной сети напряжением 0,4 кВ	31
9.1	Разработка схемы замещения	31
9.2	Расчет сопротивлений элементов схемы	32
9.3	Расчет токов короткого замыкания	34
	Заключение	35
	Список используемых источников	36

					КП.1-43 01 03 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Двойных А.			Содержание	Лит.	Лист	Листов	
Провер.		Пухальская О.Ю.					2	36	
Реценз.						ГГТУ им. П.О.Сухого. гр 33-42			
Н. Контр.									
Утверд.									

ВВЕДЕНИЕ

Режим работы электроэнергетической системы может быть установившимся и переходным. Переходные режимы работы возникают в системе при изменении условий ее работы, которые происходят как при нормальной эксплуатации (включение и отключение отдельных элементов схемы), так и в аварийных ситуациях (КЗ, обрывы проводов, замыкание фазных проводов на землю и др.)

КЗ, обрыв проводов и КЗ «на землю» являются наиболее распространенной причиной возникновения переходных процессов и наиболее опасными видами повреждений, которые могут вызывать ухудшение качества электроэнергии, повреждения оборудования, нарушения работы оборудования системы.

Цель КР – получение навыков расчета электрических величин во время переходного процесса аварийного режима в системе согласно задания.

Расчет электрических величин во время электромагнитного переходного процесса необходим для последующей разработки мер по обеспечению надежной работы и защиты отдельных элементов и системы в целом.

Таблица 1 – Технические данные элементов расчетных схемы электрических соединений

Обозначение	Технические данные оборудования и линий электропередач
1	2
ТГ1, ТГ2	$P_{\text{НОМ}}=32 \text{ МВт}; U_{\text{НОМ}}=10,5 \text{ кВ}; \cos\varphi_{\text{НОМ}}=0,8; x_d''=0,153; x_2=0,187$
ТГ3	$P_{\text{НОМ}}=63 \text{ МВт}; U_{\text{НОМ}}=10,5 \text{ кВ}; \cos\varphi_{\text{НОМ}}=0,8; x_d''=0,153; x_2=0,186$
Т1, Т2	$S_{\text{НОМ}}=63 \text{ МВА}; U_{\text{к(в-с)}}=11 \text{ \%}; U_{\text{к(в-н)}}=18,5 \text{ \%}; U_{\text{к(с-н)}}=7 \text{ \%}; K_T=11/38,5/121 \text{ кВ}$
Т3	$S_{\text{НОМ}}=16 \text{ МВА}; U_k=7,5 \text{ \%}; K_T=35/6,3 \text{ кВ}$
Т4	$S_{\text{НОМ}}=80 \text{ МВА}; U_k=10,5 \text{ \%}; K_T=115/10,5 \text{ кВ}$
Л1-Л4	$L_1=200 \text{ км}; L_2=185 \text{ км}; L_3=150 \text{ км}; L_4=20 \text{ км}$
Н1	$P_H=85 \text{ МВт}; \cos\varphi_H=0,75$
Н2	$P_H=18 \text{ МВт}; \cos\varphi_H=0,88$
Н3	$P_H=10 \text{ МВт}; \cos\varphi_H=0,77$
С	$S_{\text{КЗ}}=770 \text{ МВА}$

					КП.1-43 01 03 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.		Двойных А.			Введение	Лит.		Лист		Листов	
Провер.		Пухальская О.Ю.						3		36	
Реценз.											
Н. Контр.											
Утверд.											
						ГГТУ им. П.О.Сухого. гр 33-42					

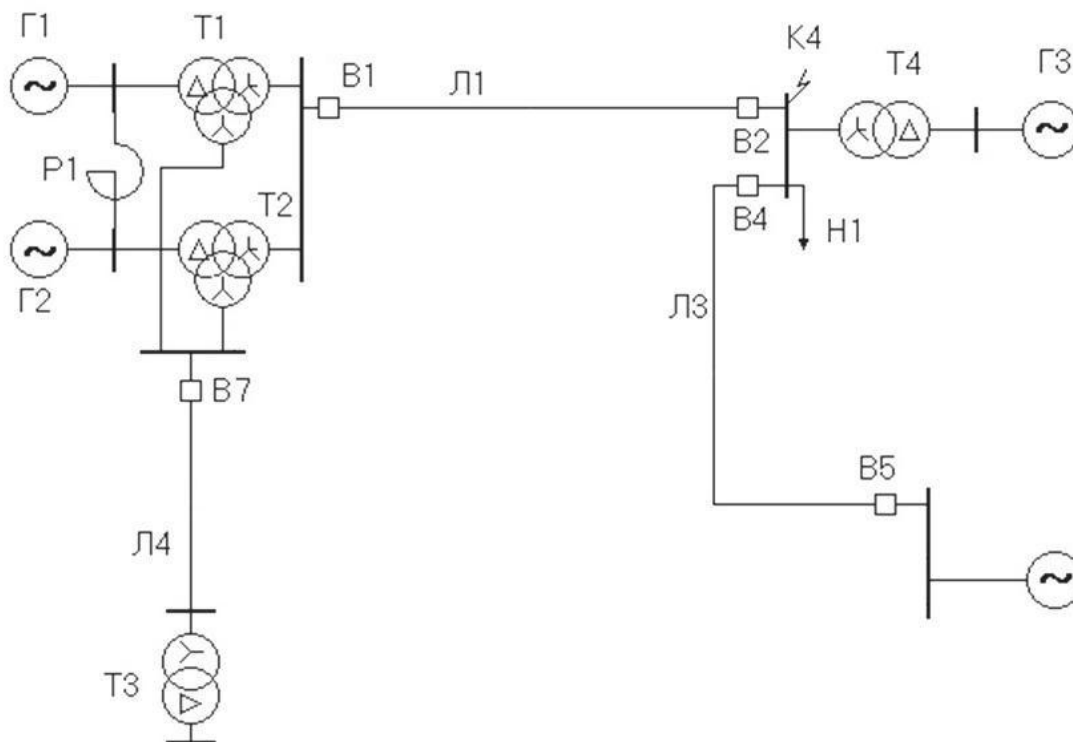


Рисунок 1 – Схема электрических соединений для расчета электромагнитных переходных процессов

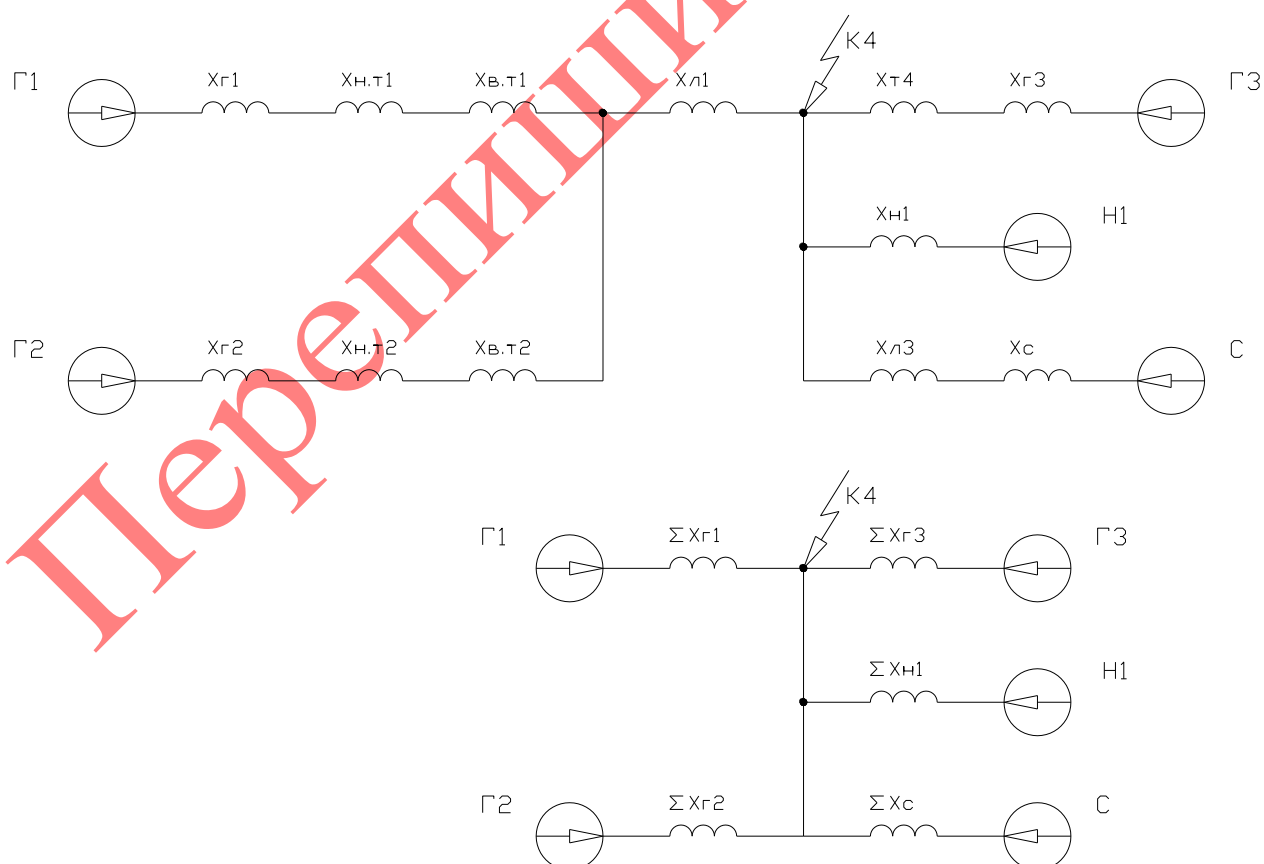


Рисунок 2 - Схема замещения рассматриваемой сети

1 Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного короткого замыкания, используя точное приведение элементов схемы замещения в именованных единицах

При составлении схемы замещения рисунка 2, исходя из схемы рисунка 1 можно исключить сопротивления: трансформатора ТЗ т.к нагрузка отсутствует, от точки КЗ значительно удалена, реактор Р1 и обмотки СН Т1 и Т2 так как точка КЗ равноудалена от генерирующих мощностей и мощности Г1 и Г2 равны между собой.

Значения сопротивлений и ЭДС схемы замещения к ступени напряжения точки КЗ, рассчитаем с учетом действительных коэффициентов трансформации.

Учитываем действительные коэффициенты трансформации в направлении от основной ступени (точка КЗ) через трансформаторы к генераторам:

Сопротивление элементов схемы.

Сопротивление генераторов Г1, Г2 и Г3 с учетом K_i :

$$X_{Г1} = X_{Г2} = X''_{d*} \cdot \frac{U_H^2}{S_H} \cdot K_{Т1.В-Н}^2 = 0,153 \cdot \frac{10,5^2}{32/0,8} \cdot \left(\frac{121}{11}\right)^2 = 51,026 \text{ Ом};$$

$$X_{Г3} = X''_{d*} \cdot \frac{U_H^2}{S_H} \cdot K_{Т4}^2 = 0,153 \cdot \frac{10,5^2}{63/0,8} \cdot \left(\frac{115}{10,5}\right)^2 = 25,694 \text{ Ом},$$

где X''_{d*} – сверхпереходное сопротивление по продольной оси, о.е.

Сопротивление трансформаторов с учетом K_i :

$$X_{В.Т1} = X_{В.Т2} = 0,5 \cdot \frac{U_{ВС} + U_{ВН} - U_{СН}}{100} \cdot \frac{U_B^2}{S_H} = 0,5 \cdot \frac{11 + 18,5 - 7}{100} \cdot \frac{121^2}{63} = 26,145 \text{ Ом};$$

$$X_{С.Т1} = X_{С.Т2} = 0,5 \cdot \frac{U_{ВС} + U_{СН} - U_{ВН}}{100} \cdot \frac{U_B^2}{S_H} = 0,5 \cdot \frac{11 + 7 - 18,5}{100} \cdot \frac{121^2}{63} = 0 \text{ Ом};$$

$$X_{Н.Т1} = X_{Н.Т2} = 0,5 \cdot \frac{U_{ВН} + U_{СН} - U_{ВС}}{100} \cdot \frac{U_B^2}{S_H} = 0,5 \cdot \frac{18,5 + 7 - 11}{100} \cdot \frac{121^2}{63} = 16,849 \text{ Ом};$$

$$X_{Т4} = \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{U_B^2}{S_{ном}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{115^2}{80} = 17,358 \text{ Ом},$$

где U_i – действительное напряжение трансформатора на стороне КЗ, кВ.

Сопротивление линий:

$$X_{Л1} = X_0 \cdot l_{Л1} = 0,4 \cdot 200 = 80 \text{ Ом};$$

$$X_{Л3} = X_0 \cdot l_{Л2} = 0,4 \cdot 150 = 60 \text{ Ом}.$$

где X_0 – среднее удельное сопротивление ЛЭП [1 стр. 22], Ом/км.

Сопротивление системы:

$$X_C = \frac{U_{С.ном}^2}{S_{КЗ}} = \frac{115^2}{770} = 17,175 \text{ Ом}.$$

					КП.1-43 01 03 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Двойных А.				Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного короткого замыкания, используя точное приведение элементов схемы замещения в именованных единицах	Лит.	Лист
Провер.	Пухальская О.Ю.						5
Реценз.							36
Н. Контр.						ГГТУ им. П.О.Сухого. гр 33-42	
Утверд.							

Сопротивление нагрузки:

$$X_{H1} = X'_{H*} \cdot \frac{U_H^2}{S_H} = 0,35 \cdot \frac{115^2}{85/0,75} = 163,368 \text{ Ом.}$$

ЭДС генерирующих мощностей:

$$E_{Г1} = E_{Г2} = (U_{H*} + I_{H*} \cdot x''_{d*} \cdot \sin \varphi_{\text{ном}}) \cdot U_H = (1 + 1 \cdot 0,153 \cdot 0,6) \cdot 10,5 = 11,464 \text{ кВ;}$$

$$E_{Г3} = (U_{H*} + I_{H*} \cdot x''_{d*} \cdot \sin \varphi_{\text{ном}}) \cdot U_H = (1 + 1 \cdot 0,153 \cdot 0,6) \cdot 10,5 = 11,464 \text{ кВ;}$$

$$E_C = 1 \cdot 115 = 115 \text{ кВ;}$$

$$E_{H1} = 0,8 \cdot 115 = 92 \text{ кВ.}$$

Определены параметры всех элементов схемы.

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г1 и Г2 до точки КЗ:

$$X_1 = \frac{1}{\frac{1}{X_{Г1} + X_{H.T1} + X_{B.T1}} + \frac{1}{X_{Г2} + X_{H.T2} + X_{B.T2}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{51,026 + 16,849 + 26,145} + \frac{1}{51,026 + 16,849 + 26,145}} = 47,010 \text{ Ом.}$$

-коэффициенты распределения сопротивлений прямой последовательности:

$$C_1 = \frac{X_1}{X_{Г1} + X_{H.T1} + X_{B.T1}} = \frac{47,010}{51,026 + 16,849 + 26,145} = 0,5;$$

$$C_2 = \frac{X_1}{X_{Г2} + X_{H.T2} + X_{B.T2}} = \frac{47,010}{51,026 + 16,849 + 26,145} = 0,5;;$$

$$C_1 + C_2 = 0,5 + 0,5 = 1.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г1 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Г1} = \frac{X_1 + X_{Л1}}{C_1} = \frac{47,010 + 80}{0,5} = 254,020 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г2 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Г2} = \frac{X_1 + X_{Л1}}{C_2} = \frac{47,010 + 80}{0,5} = 254,020 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г3 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Г3} = X_{Г3} + X_{Т4} = 25,694 + 17,358 = 43,052 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от С до точки КЗ:

$$X_{\Sigma C} = X_C + X_{Л3} = 17,175 + 60 = 77,175 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Н1 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma H1} = X_{H1} = 40,842 \text{ Ом.}$$

Ток КЗ посылаемый от Г1 до точки КЗ:

$$I'_{Г1} = \frac{E_{Г1}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma Г1}} \cdot K_{Г1.В-Н} = \frac{11,464}{\sqrt{3} \cdot 254,020} \cdot \frac{121}{11} = 0,287 \text{кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от Г2 до точки КЗ:

$$I'_{Г2} = \frac{E_{Г2}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma Г2}} \cdot K_{Г2.В-Н} = \frac{11,464}{\sqrt{3} \cdot 254,020} \cdot \frac{121}{11} = 0,287 \text{кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от Г3 до точки КЗ:

$$I'_{Г3} = \frac{E_{Г3}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma Г3}} \cdot K_{Г4} = \frac{11,464}{\sqrt{3} \cdot 43,052} \cdot \frac{115}{10,5} = 1,684 \text{кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от С до точки КЗ:

$$I'_C = \frac{E_C}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma C}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 77,175} = 0,860 \text{кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от Н1 до точки КЗ:

$$I'_{Н1} = \frac{E_{Н1}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma Н1}} = \frac{92}{\sqrt{3} \cdot 40,842} = 1,301 \text{кА.}$$

Суммарный ток в точке КЗ:

$$I'_{КЗ} = \Sigma I'_{Г} + \Sigma I'_C + \Sigma I'_{Н} = 0,287 + 0,287 + 1,684 + 0,860 + 1,301 = 4,418 \text{кА.}$$

Суммарный ударный ток в точке КЗ:

$$\begin{aligned} I'_{у.КЗ} &= \sqrt{2} \cdot k_{уС} \cdot \Sigma I'_{Г1} + \sqrt{2} \cdot k_{уС} \cdot \Sigma I'_C + \sqrt{2} \cdot k_{уН} \cdot \Sigma I'_{Н} = \\ &= \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot (0,287 + 0,287 + 1,684) + \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot (0,860) + \sqrt{2} \cdot 1 \cdot (1,301) = 10,094 \text{кА,} \end{aligned}$$

где k_{yi} – ударный коэффициент, [1 стр. 91], [2 стр. 42].

					КП.1-43 01 03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

2 Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного короткого замыкания, используя приближенное приведение элементов схемы замещения в именованных единицах

Значения сопротивлений и ЭДС схемы замещения к ступени напряжения рассчитаем в соответствии со шкалой средних номинальных напряжений.

$$U_1 = 10,5 \text{ кВ};$$

$$U_2 = 115 \text{ кВ}.$$

Сопротивление генераторов Г1, Г2 и Г3 с учетом K_i :

$$X_{Г1} = X_{Г2} = X''_{d*} \cdot \frac{U_1^2}{S_H} \cdot K_{Т1.В-Н}^2 = 0,153 \cdot \frac{10,5^2}{32/0,8} \cdot \left(\frac{115}{10,5}\right)^2 = 50,586 \text{ Ом};$$

$$X_{Г3} = X''_{d*} \cdot \frac{U_1^2}{S_H} \cdot K_{Т4}^2 = 0,153 \cdot \frac{10,5^2}{63/0,8} \cdot \left(\frac{115}{10,5}\right)^2 = 25,694 \text{ Ом}.$$

Сопротивление трансформаторов с учетом K_i :

$$X_{В.Т1} = X_{В.Т2} = 0,5 \cdot \frac{U_{BC} + U_{BH} - U_{CH}}{100} \cdot \frac{U_2^2}{S_H} = 0,5 \cdot \frac{11 + 18,5 - 7}{100} \cdot \frac{115^2}{63} = 23,616 \text{ Ом};$$

$$X_{В.Т1} = X_{В.Т2} = 0,5 \cdot \frac{U_{BC} + U_{CH} - U_{BH}}{100} \cdot \frac{U_2^2}{S_H} = 0,5 \cdot \frac{11 + 7 - 18,5}{100} \cdot \frac{115^2}{63} = 0 \text{ Ом};$$

$$X_{Н.Т1} = X_{Н.Т2} = 0,5 \cdot \frac{U_{BH} + U_{CH} - U_{BC}}{100} \cdot \frac{U_2^2}{S_H} = 0,5 \cdot \frac{18,5 + 7 - 11}{100} \cdot \frac{115^2}{63} = 15,219 \text{ Ом};$$

$$X_{Т4} = \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{U_2^2}{S_{ном}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{115^2}{80} = 17,358 \text{ Ом},$$

где U_i – номинальное напряжение трансформатора на стороне КЗ, кВ.

Сопротивление линий:

$$X_{Л1} = X_0 \cdot l_{Л1} = 0,4 \cdot 200 = 80 \text{ Ом};$$

$$X_{Л3} = X_0 \cdot l_{Л3} = 0,4 \cdot 185 = 60 \text{ Ом}.$$

Сопротивление системы:

$$X_C = \frac{U_2^2}{S_{КЗ}} = \frac{115^2}{770} = 17,175 \text{ Ом}.$$

Сопротивление нагрузки:

$$X_{Н1} = X'_{H*} \cdot \frac{U_H^2}{S_H} = 0,35 \cdot \frac{115^2}{85/0,75} = 163,368 \text{ Ом}.$$

					КП.1-43 01 03 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Двойных А.				Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного короткого замыкания, используя приближенное приведение элементов схемы замещения в именованных единицах	Лит.	Лист
Провер.	Пухальская О.Ю.						
Реценз.						8	36
Н. Контр.						ГГТУ им. П.О.Сухого. гр 33-42	
Утверд.							

ЭДС генерирующих мощностей:

$$E_{Г1} = E_{Г2} = (U_{H*} + I_{H*} \cdot x_{d*}'' \cdot \sin \varphi_{НОМ}) \cdot U_H = (1 + 1 \cdot 0,153 \cdot 0,6) \cdot 10,5 = 11,464 \text{ кВ};$$

$$E_{Г3} = (U_{H*} + I_{H*} \cdot x_{d*}'' \cdot \sin \varphi_{НОМ}) \cdot U_H = (1 + 1 \cdot 0,153 \cdot 0,6) \cdot 10,5 = 11,464 \text{ кВ};$$

$$E_C = 1 \cdot 115 = 115 \text{ кВ};$$

$$E_{Н1} = 0,8 \cdot 115 = 92 \text{ кВ}.$$

Определены параметры всех элементов схемы.

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г1 и Г2 до точки КЗ:

$$X_1 = \frac{1}{\frac{1}{X_{Г1} + X_{Н.Т1} + X_{В.Т1}} + \frac{1}{X_{Г2} + X_{Н.Т2} + X_{В.Т2}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{50,586 + 15,219 + 23,616} + \frac{1}{50,586 + 15,219 + 23,616}} = 44,710 \text{ Ом}.$$

-коэффициенты распределения сопротивлений прямой последовательности:

$$C_1 = \frac{X_1}{X_{Г1} + X_{Н.Т1} + X_{В.Т1}} = \frac{44,710}{50,586 + 15,219 + 23,616} = 0,5;$$

$$C_2 = \frac{X_1}{X_{Г2} + X_{Н.Т2} + X_{В.Т2}} = \frac{44,710}{50,586 + 15,219 + 23,616} = 0,5;;$$

$$C_1 + C_2 = 0,5 + 0,5 = 1.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г1 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Г1} = \frac{X_1 + X_{Л1}}{C_1} = \frac{44,710 + 80}{0,5} = 249,421 \text{ Ом}.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г2 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Г2} = \frac{X_1 + X_{Л1}}{C_2} = \frac{44,710 + 80}{0,5} = 249,421 \text{ Ом}.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г3 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Г3} = X_{Г3} + X_{Т4} = 25,694 + 17,358 = 43,052 \text{ Ом}.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от С до точки КЗ:

$$X_{\Sigma C} = X_C + X_{Л3} = 17,175 + 60 = 77,175 \text{ Ом}.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Н1 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Н1} = X_{Н1} = 40,842 \text{ Ом}.$$

Ток КЗ посылаемый от Г1 до точки КЗ:

$$I_{Г1} = \frac{E_{Г1}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma Г1}} \cdot K_{Г1.В-Н} = \frac{11,464}{\sqrt{3} \cdot 249,421} \cdot \frac{115}{10,5} = 0,291 \text{кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от Г2 до точки КЗ:

$$I_{Г2} = \frac{E_{Г2}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma Г2}} \cdot K_{Г2.В-Н} = \frac{11,464}{\sqrt{3} \cdot 249,421} \cdot \frac{115}{10,5} = 0,291 \text{кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от Г3 до точки КЗ:

$$I_{Г3} = \frac{E_{Г3}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma Г3}} \cdot K_{Г4} = \frac{11,464}{\sqrt{3} \cdot 43,052} \cdot \frac{115}{10,5} = 1,684 \text{кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от С до точки КЗ:

$$I_C = \frac{E_C}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma C}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 77,175} = 0,860 \text{кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от Н1 до точки КЗ:

$$I_{Н1} = \frac{E_{Н1}}{\sqrt{3} \cdot X_{\Sigma Н1}} = \frac{92}{\sqrt{3} \cdot 40,842} = 1,301 \text{кА.}$$

Суммарный ток в точке КЗ:

$$I_{КЗ} = \Sigma I_{Г} + \Sigma I_{C} + \Sigma I_{Н} = 0,291 + 0,291 + 1,684 + 0,860 + 1,301 = 4,426 \text{кА.}$$

Суммарный ударный ток в точке КЗ:

$$\begin{aligned} I_{у.КЗ} &= \sqrt{2} \cdot k_{yc} \cdot \Sigma I_{Г} + \sqrt{2} \cdot k_{yc} \cdot \Sigma I_{C} + \sqrt{2} \cdot k_{yh} \cdot \Sigma I_{Н} = \\ &= \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot (0,291 + 0,291 + 1,684) + \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 0,860 + \sqrt{2} \cdot 1 \cdot (1,301) = 10,115 \text{кА.} \end{aligned}$$

3 Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного короткого замыкания, используя точное приведение элементов схемы замещения в относительных единицах

Зададимся базисными величинами в точке КЗ:

$$U_{Б.ОСН} = 121 \text{ кВ};$$

$$S_{Б} = 100 \text{ МВА};$$

$$I_{Б.ОСН} = \frac{S_{Б}}{\sqrt{3} \cdot U_{Б.ОСН}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 121} = 0,477 \text{ кА}.$$

Базисные единицы измерения с учетом K_i :

$$U_{Б.1} = U_{Б.2} = U_{Б.ОСН} \cdot K_{Т1.Б-Н} = 121 \cdot \frac{11}{121} = 11 \text{ кВ};$$

$$U_{Б.3} = U_{Б.ОСН} \cdot K_{Т4} = 121 \cdot \frac{10,5}{115} = 11,048 \text{ кВ};$$

$$U_{Б.3} = U_{С} = 115 \text{ кВ}.$$

Сопротивление элементов схемы.

Сопротивление генераторов Г1, Г2 и Г3:

$$X_{Г1*} = X_{Г2*} = X_{д*}'' \cdot \frac{S_{Б}}{S_{Н}} \cdot \frac{U_{Н}^2}{U_{Б.1}^2} = 0,153 \cdot \frac{100}{32/0,8} \cdot \left(\frac{10,5}{11} \right)^2 = 0,349;$$

$$X_{Г3*} = X_{д*}'' \cdot \frac{S_{Б}}{S_{Н}} \cdot \frac{U_{Н}^2}{U_{Б.3}^2} = 0,153 \cdot \frac{100}{63/0,8} \cdot \left(\frac{10,5}{11,048} \right)^2 = 0,175.$$

Сопротивление трансформаторов:

$$X_{Б.Т1*} = X_{Б.Т2*} = 0,5 \cdot \frac{U_{ВС} + U_{ВН} - U_{СН}}{100} \cdot \frac{S_{Б}}{S_{Н}} \cdot \left(\frac{U_{ВН}}{U_{Б.ОСН}} \right)^2 = 0,5 \cdot \frac{11 + 18,5 - 7}{100} \cdot \frac{100}{63} \cdot \left(\frac{121}{121} \right)^2 = 0,179;$$

$$X_{С.Т1*} = X_{С.Т2*} = 0,5 \cdot \frac{U_{ВС} + U_{СН} - U_{ВН}}{100} \cdot \frac{S_{Б}}{S_{Н}} \cdot \left(\frac{U_{ВН}}{U_{Б.ОСН}} \right)^2 = 0,5 \cdot \frac{11 + 7 - 18,5}{100} \cdot \frac{100}{63} \cdot \left(\frac{121}{121} \right)^2 = 0;$$

$$X_{Н.Т1*} = X_{Н.Т2*} = 0,5 \cdot \frac{U_{ВН} + U_{СН} - U_{ВС}}{100} \cdot \frac{S_{Б}}{S_{Н}} \cdot \left(\frac{U_{ВН}}{U_{Б.ОСН}} \right)^2 = 0,5 \cdot \frac{18,5 + 7 - 11}{100} \cdot \frac{100}{63} \cdot \left(\frac{121}{121} \right)^2 = 0,115;$$

$$X_{Т4*} = \frac{U_{к} \%}{100} \cdot \frac{S_{Б}}{S_{Н}} \cdot \left(\frac{U_{ВН}}{U_{Б.ОСН}} \right)^2 = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{80} \cdot \left(\frac{115}{121} \right)^2 = 0,119.$$

					КП.1-43 01 03 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Двойных А.				Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного короткого замыкания, используя точное приведение элементов схемы замещения в относительных единицах	Лит.	Лист
Провер.	Пухальская О.Ю.						
Реценз.						11	36
Н. Контр.						ГГТУ им. П.О.Сухого. гр 33-42	
Утверд.							

Сопротивление линий:

$$X_{Л1*} = X_0 \cdot l_{Л1} \cdot \frac{S_B}{U_{Б.ОСН}^2} = 0,4 \cdot 200 \cdot \frac{100}{121^2} = 0,546;$$

$$X_{Л3*} = X_0 \cdot l_{Л2} \cdot \frac{S_B}{U_{Б.ОСН}^2} = 0,4 \cdot 150 \cdot \frac{100}{121^2} = 0,454.$$

Сопротивление системы:

$$X_{С1*} = \frac{S_B}{S_{КЗ}} \cdot \left(\frac{U_H}{U_{Б.ОСН}} \right)^2 = \frac{100}{770} \cdot \left(\frac{115}{121} \right)^2 = 0,117.$$

Сопротивление нагрузки:

$$X_{Н1*} = X'_{Н*} \cdot \frac{S_B}{S_H} \cdot \left(\frac{U_H}{U_{Б.ОСН}} \right)^2 = 0,35 \cdot \frac{100}{85/0,75} \cdot \left(\frac{115}{121} \right)^2 = 0,279.$$

ЭДС генерирующих мощностей:

$$E''_{Г1*} = E''_{Г2*} = E''_{Г1Н*} \cdot \frac{U_{Г.НОМ}}{U_{Б.1}} = \frac{E_{Г1Н}}{U_{НОМ}} \cdot \frac{U_{НОМ}}{U_{Б.1}} = \frac{11,464}{10,5} \cdot \frac{10,5}{11} = 1,042;$$

$$E''_{Г3*} = E''_{Г3Н*} \cdot \frac{U_{Г.НОМ}}{U_{Б.3}} = \frac{E_{Г3Н}}{U_{НОМ}} \cdot \frac{U_{НОМ}}{U_{Б.3}} = \frac{11,464}{10,5} \cdot \frac{10,5}{11,048} = 1,038;$$

$$E''_{С*} = 1 \cdot \frac{U_C}{U_{Б.ОСН}} = 1 \cdot \frac{115}{121} = 0,950;$$

$$E''_{Н1*} = 0,8 \cdot \frac{U_{Н1}}{U_{Б.ОСН}} = 0,8 \cdot \frac{115}{121} = 0,760.$$

Определены параметры всех элементов схемы.

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г1 и Г2 до точки КЗ:

$$X_{I*} = \frac{1}{\frac{1}{X_{Г1*} + X_{Н.Т1*} + X_{Б.Т1*}} + \frac{1}{X_{Г2*} + X_{Н.Т2*} + X_{Б.Т2*}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{0,386 + 0,127 + 0,198} + \frac{1}{0,386 + 0,127 + 0,198}} = 0,355.$$

-коэффициенты распределения сопротивлений прямой последовательности:

$$C_1 = \frac{X_{I*}}{X_{Г1*} + X_{Н.Т1*} + X_{Б.Т1*}} = \frac{0,355}{0,386 + 0,127 + 0,198} = 0,5;$$

$$C_2 = \frac{X_{I*}}{X_{Г2*} + X_{Н.Т2*} + X_{Б.Т2*}} = \frac{0,355}{0,386 + 0,127 + 0,198} = 0,5;;$$

$$C_1 + C_2 = 0,5 + 0,5 = 1.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г1 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Г1*} = \frac{X_{I*} + X_{Л1*}}{C_1} = \frac{0,355 + 0,605}{0,5} = 1,921.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г2 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Г2*} = \frac{X_{Г1*} + X_{Л1*}}{C_2} = \frac{0,355 + 0,605}{0,5} = 1,921.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г3 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Г3*} = X_{Г3*} + X_{Т4*} = 0,194 + 0,131 = 0,326.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от С до точки КЗ:

$$X_{\Sigma С*} = X_{С*} + X_{Л3*} = 0,130 + 0,454 = 0,584.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Н1 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Н1*} = X_{Н1*} = 0,309.$$

Ток КЗ посылаемый от Г1 до точки КЗ:

$$I''_{Г1} = \frac{E''_{Г1*}}{X_{\Sigma Г1*}} \cdot I_{Б.ОСН} = \frac{1,042}{1,921} \cdot 0,477 = 0,287 \text{ кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от Г2 до точки КЗ:

$$I''_{Г2} = \frac{E''_{Г2*}}{X_{\Sigma Г2*}} \cdot I_{Б.ОСН} = \frac{1,042}{1,921} \cdot 0,477 = 0,287 \text{ кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от Г3 до точки КЗ:

$$I''_{Г3} = \frac{E''_{Г3*}}{X_{\Sigma Г3*}} \cdot I_{Б.ОСН} = \frac{1,038}{0,326} \cdot 0,477 = 1,684 \text{ кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от С до точки КЗ:

$$I''_{С} = \frac{E''_{С*}}{X_{\Sigma С*}} \cdot I_{Б.ОСН} = \frac{0,950}{0,584} \cdot 0,477 = 0,860 \text{ кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от Н1 до точки КЗ:

$$I''_{Н1} = \frac{E''_{Н1*}}{X_{\Sigma Н1*}} \cdot I_{Б.ОСН} = \frac{0,760}{0,309} \cdot 0,477 = 1,301 \text{ кА.}$$

Суммарный ток в точке КЗ:

$$I'_{КЗ} = \Sigma I'_{Г} + \Sigma I'_{С} + \Sigma I'_{Н} = 0,287 + 0,287 + 1,684 + 0,860 + 1,301 = 4,418 \text{ кА.}$$

Суммарный ударный ток в точке КЗ:

$$\begin{aligned} I'_{у.КЗ} &= \sqrt{2} \cdot k_{уГ} \cdot \Sigma I'_{Г} + \sqrt{2} \cdot k_{уС} \cdot \Sigma I'_{С} + \sqrt{2} \cdot k_{уН} \cdot \Sigma I'_{Н} = \\ &= \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot (0,287 + 0,287 + 1,684) + \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot (0,860) + \sqrt{2} \cdot 1 \cdot (1,301) = 10,094 \text{ кА.} \end{aligned}$$

4 Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного короткого замыкания, используя приближенное приведение элементов схемы замещения в относительных единицах

Зададимся базисными величинами:

$$U_{\text{б.ОСН}} = 115 \text{ кВ};$$

$$S_{\text{б}} = 100 \text{ МВА};$$

$$I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{б.ОСН}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,502 \text{ кА}.$$

Сопротивление элементов схемы.

Сопротивление генераторов Г1, Г2 и Г3:

$$X_{\text{Г1}^*}^{(1)} = X_{\text{Г2}^*}^{(1)} = X_{\text{д}^*}'' \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{H}}} = 0,153 \cdot \frac{100}{32/0,8} = 0,383;$$

$$X_{\text{Г3}^*}^{(1)} = X_{\text{д}^*}'' \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{H}}} = 0,153 \cdot \frac{100}{63/0,8} = 0,194.$$

Сопротивление трансформаторов:

$$X_{\text{В.Т1}^*}^{(1)} = X_{\text{В.Т2}^*}^{(1)} = 0,5 \cdot \frac{U_{\text{BC}} + U_{\text{BH}} - U_{\text{CH}}}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{H}}} = 0,5 \cdot \frac{11 + 18,5 - 7}{100} \cdot \frac{100}{63} = 0,179;$$

$$X_{\text{С.Т1}^*}^{(1)} = X_{\text{С.Т2}^*}^{(1)} = 0,5 \cdot \frac{U_{\text{BC}} + U_{\text{CH}} - U_{\text{BH}}}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{H}}} = 0,5 \cdot \frac{11 + 7 - 18,5}{100} \cdot \frac{100}{63} = 0;$$

$$X_{\text{Н.Т1}^*}^{(1)} = X_{\text{Н.Т2}^*}^{(1)} = 0,5 \cdot \frac{U_{\text{BH}} + U_{\text{CH}} - U_{\text{BC}}}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{H}}} = 0,5 \cdot \frac{18,5 + 7 - 11}{100} \cdot \frac{100}{63} = 0,115;$$

$$X_{\text{Г4}^*}^{(1)} = \frac{U_{\text{к}} \%}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{НОМ}}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{80} = 0,131.$$

Сопротивление линий:

$$X_{\text{Л1}^*}^{(1)} = X_0 \cdot l_{\text{Л1}} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{б.ОСН}}^2} = 0,4 \cdot 200 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,605;$$

$$X_{\text{Л3}^*}^{(1)} = X_0 \cdot l_{\text{Л3}} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{б.ОСН}}^2} = 0,4 \cdot 150 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,454.$$

Сопротивление системы:

$$X_{\text{С}^*}^{(1)} = \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{КЗ}}} = \frac{100}{770} = 0,130.$$

ЭДС генерирующих мощностей:

$$E_{\text{Г1}^*}'' = E_{\text{Г2}^*}'' = U_{\text{Г1}^*} + I_{\text{Г1}^*} \cdot X_{\text{д}^*}'' \cdot \sin \varphi_{\text{НОМ}} = 1 + 1 \cdot 0,153 \cdot 0,6 = 1,092;$$

$$E_{\text{Г3}^*}'' = U_{\text{Г3}^*} + I_{\text{Г3}^*} \cdot X_{\text{д}^*}'' \cdot \sin \varphi_{\text{НОМ}} = 1 + 1 \cdot 0,153 \cdot 0,6 = 1,092;$$

					КП.1-43 01 03 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Двойных А.				Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного короткого замыкания, используя приближенное приведение элементов схемы замещения в относительных единицах	Лит.	Лист
Провер.	Пухальская О.Ю.						14
Реценз.							36
Н. Контр.						ГГТУ им. П.О.Сухого. гр 33-42	
Утверд.							

$$E''_{C^*} = 1;$$

$$E''_{H2^*} = 0,8.$$

Определены параметры всех элементов схемы.

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г1 и Г2 до точки КЗ:

$$X_{I^*}^{(1)} = \frac{1}{\frac{1}{X_{Г1^*}^{(1)} + X_{H.T1^*}^{(1)} + X_{B.T1^*}^{(1)}} + \frac{1}{X_{Г2^*}^{(1)} + X_{H.T2^*}^{(1)} + X_{B.T2^*}^{(1)}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{0,383 + 0,115 + 0,179} + \frac{1}{0,383 + 0,115 + 0,179}} = 0,338.$$

-коэффициенты распределения сопротивлений прямой последовательности:

$$C_1 = \frac{X_{I^*}^{(1)}}{X_{Г1^*}^{(1)} + X_{H.T1^*}^{(1)} + X_{B.T1^*}^{(1)}} = \frac{0,338}{0,383 + 0,115 + 0,179} = 0,5;$$

$$C_2 = \frac{X_{I^*}^{(1)}}{X_{Г2^*}^{(1)} + X_{H.T2^*}^{(1)} + X_{B.T2^*}^{(1)}} = \frac{0,338}{0,383 + 0,115 + 0,179} = 0,5;;$$

$$C_1 + C_2 = 0,5 + 0,5 = 1.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г1 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Г1^*}^{(1)} = \frac{X_{I^*}^{(1)} + X_{Л1^*}^{(1)}}{C_1} = \frac{0,338 + 0,605}{0,5} = 1,886.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г2 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Г2^*}^{(1)} = \frac{X_{I^*}^{(1)} + X_{Л1^*}^{(1)}}{C_2} = \frac{0,338 + 0,605}{0,5} = 1,886.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Г3 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Г3^*}^{(1)} = X_{Г3^*}^{(1)} + X_{Т4^*}^{(1)} = 0,194 + 0,131 = 0,326.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от С до точки КЗ:

$$X_{\Sigma C^*}^{(1)} = X_{C^*}^{(1)} + X_{Л3^*}^{(1)} = 0,130 + 0,560 = 0,689.$$

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 2 от Н1 до точки КЗ:

$$X_{\Sigma Н1^*}^{(1)} = X_{Н1^*}^{(1)} = 0,309.$$

Ток КЗ посылаемый от Г1 до точки КЗ:

$$I''_{Г1*} = \frac{E''_{Г1*}}{X_{\Sigma Г1*}^{(1)}} \cdot I_{Б.ОСН} = \frac{1,092}{1,886} \cdot 0,502 = 0,291 \text{кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от Г2 до точки КЗ:

$$I''_{Г2*} = \frac{E''_{Г2*}}{X_{\Sigma Г2*}^{(1)}} \cdot I_{Б.ОСН} = \frac{1,092}{1,886} \cdot 0,502 = 0,291 \text{кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от Г3 до точки КЗ:

$$I''_{Г3*} = \frac{E''_{Г3*}}{X_{\Sigma Г3*}^{(1)}} \cdot I_{Б.ОСН} = \frac{1,092}{0,326} \cdot 0,502 = 1,684 \text{кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от С до точки КЗ:

$$I''_{С*} = \frac{E''_{С*}}{X_{\Sigma С*}^{(1)}} \cdot I_{Б.ОСН} = \frac{1}{0,584} \cdot 0,502 = 0,860 \text{кА.}$$

Ток КЗ посылаемый от Н1 до точки КЗ:

$$I''_{Н1*} = \frac{E''_{Н1*}}{X_{\Sigma Н1*}^{(1)}} \cdot I_{Б.ОСН} = \frac{0,8}{0,309} \cdot 0,502 = 1,301 \text{кА.}$$

Суммарный ток в точке КЗ:

$$I''_{КЗ*} = \Sigma I''_{Г*} + \Sigma I''_{С*} + \Sigma I''_{Н*} = 0,291 + 0,291 + 1,684 + 0,860 + 1,301 = 4,426 \text{кА.}$$

Суммарный ударный ток в точке КЗ:

$$\begin{aligned} I''_{у.КЗ*} &= \sqrt{2} \cdot k_{yГ} \cdot \Sigma I''_{Г*} + \sqrt{2} \cdot k_{yС} \cdot \Sigma I''_{С*} + \sqrt{2} \cdot k_{yН} \cdot \Sigma I''_{Н*} = \\ &= \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot (0,291 + 0,291 + 1,684) + \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 0,860 + \sqrt{2} \cdot 1 \cdot (1,301) = 10,115 \text{кА.} \end{aligned}$$

5 Расчет сверхпереходного и ударного токов двухфазного короткого замыкания, построение векторных диаграмм токов и напряжений

5.1 Разработка схемы замещения.

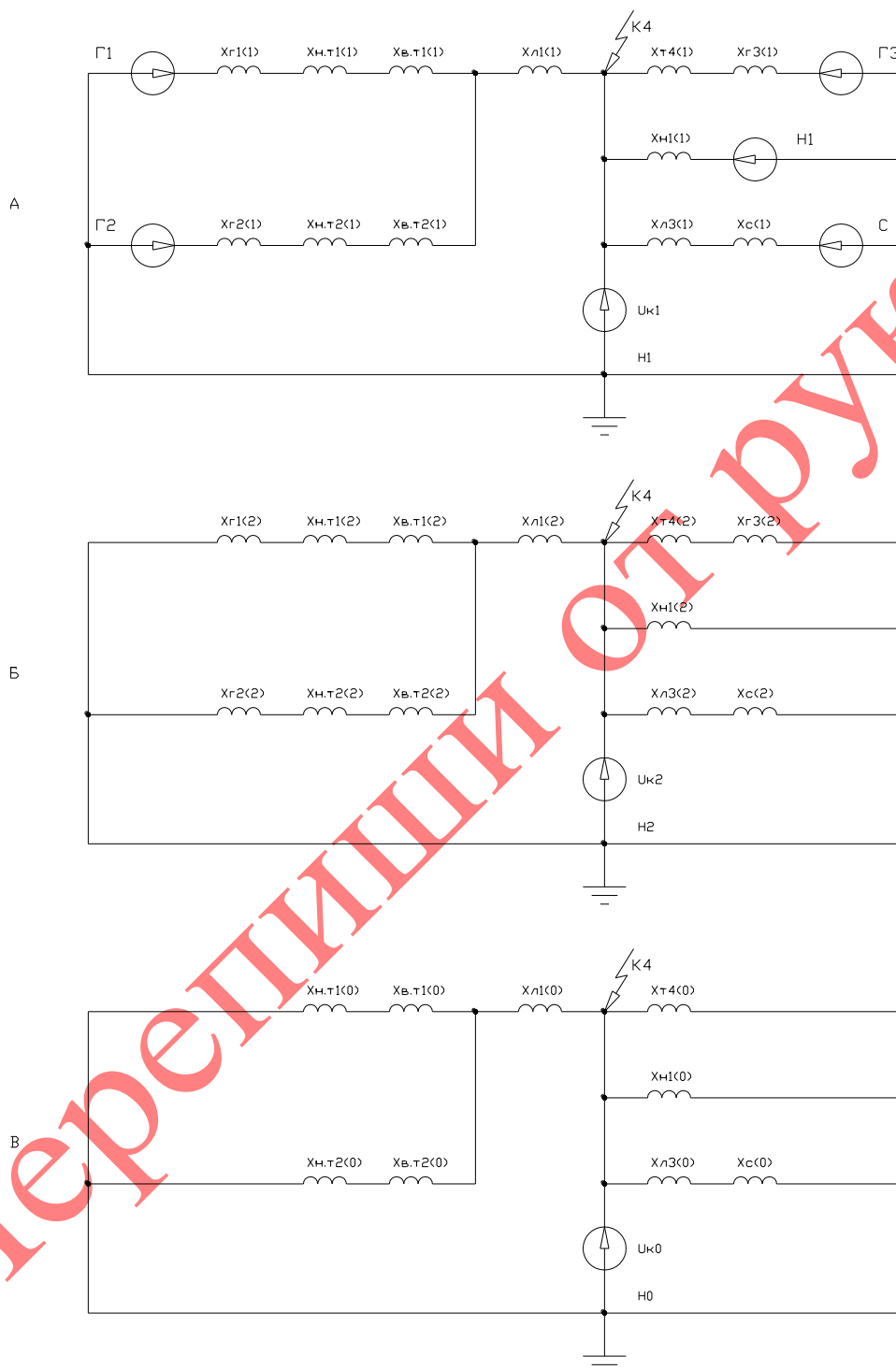


Рисунок 3 - Схема замещения рассматриваемой сети прямой (А), обратной (Б) и нулевой последовательности (В), для расчета токов КЗ

					КП.1-43 01 03 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.	Двойных А.				Расчет сверхпереходного и ударного токов двухфазного короткого замыкания, построение векторных диаграмм токов и напряжений	Лит.	Лист	Листов		
Провер.	Пухальская О.Ю.									
Реценз.							17	36		
Н. Контр.						ГГТУ им. П.О.Сухого. гр 33-42				
Утверд.										

5.2 Расчет сопротивлений элементов схемы.

Расчет в относительных единицах и приближенным приведением элементов схемы замещения. Зададимся базисными величинами:

$$S_B = 100 \text{ МВА};$$

$$U_B = 115 \text{ кВ};$$

$$I_B = 0,502 \text{ кА}.$$

Прямая последовательность.

Сопротивления прямой последовательности и ЭДС генераторов рассчитаны в пункте 4 ПЗ.

Обратная последовательность.

Сопротивление генераторов:

$$X_{Г1*}^{(2)} = X_{Г2*}^{(2)} = X_2 \cdot \frac{S_B}{S_H} = 0,187 \cdot \frac{100}{32/0,8} = 0,468;$$

$$X_{Г3*}^{(2)} = X_2 \cdot \frac{S_B}{S_H} = 0,186 \cdot \frac{100}{63/0,8} = 0,236,$$

где X_2 – реактивное сопротивление обратной последовательности.

Сопротивление трансформаторов, при схеме Y_0/Δ и Y_0/Y_0 :

$$X_{В.Т1*}^{(2)} = X_{В.Т2*}^{(2)} = X_{В.Т1*}^{(1)} = X_{В.Т2*}^{(1)} = 0,179;$$

$$X_{С.Т1*}^{(2)} = X_{С.Т2*}^{(2)} = X_{С.Т1*}^{(1)} = X_{С.Т2*}^{(1)} = 0;$$

$$X_{Н.Т1*}^{(2)} = X_{Н.Т2*}^{(2)} = X_{Н.Т1*}^{(1)} = X_{Н.Т2*}^{(1)} = 0,115;$$

$$X_{Т4*}^{(2)} = X_{Т4*}^{(1)} = 0,131.$$

Сопротивление линий:

$$X_{Л1*}^{(2)} = X_{Л1*}^{(1)} = 0,605;$$

$$X_{Л3*}^{(2)} = X_{Л3*}^{(1)} = 0,454.$$

Сопротивление системы:

$$X_{С*}^{(2)} = X_{С*}^{(1)} = 0,130.$$

Нулевая последовательность.

Сопротивление Г1, Г2 и Г3 исключены из схемы т.к. « Δ ».

Сопротивление трансформаторов, при схеме Y_0/Δ и Y_0/Y_0 :

$$X_{В.Т1*}^{(0)} = X_{В.Т2*}^{(0)} = X_{В.Т1*}^{(1)} = X_{В.Т2*}^{(1)} = 0,179;$$

$$X_{С.Т1*}^{(0)} = X_{С.Т2*}^{(0)} = X_{С.Т1*}^{(1)} = X_{С.Т2*}^{(1)} = 0;$$

$$X_{Н.Т1*}^{(0)} = X_{Н.Т2*}^{(0)} = X_{Н.Т1*}^{(1)} = X_{Н.Т2*}^{(1)} = 0,115;$$

$$X_{Т4*}^{(0)} = X_{Т4*}^{(1)} = 0,131.$$

Сопротивление линий, одноцепная с грозозащитным тросом:

$$X_{Л1*}^{(0)} = 3 \cdot X_{Л1*}^{(1)} = 3 \cdot 0,605 = 1,815;$$

$$X_{Л3*}^{(0)} = 3 \cdot X_{Л3*}^{(1)} = 3 \cdot 0,454 = 1,361,$$

где 3 – коэффициент зависящий от вида ЛЭП.

					КП.1-43 01 03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Сопротивление системы:

$$X_{C*}^{(0)} = X_{C*}^{(1)} = 0,130.$$

Определены параметры всех элементов схемы.

Рассчитаем эквивалентную схему прямой последовательности, рисунок 3(А):

Расчет приведен в пункте 4. Сведем результаты расчета:

Эквивалентные сопротивления ветвей схемы Г1, Г2, Г3, С, Н1 подпитывающие точку КЗ:

$$\text{Г1: } X_{\Sigma \Gamma 1*}^{(1)} = 1,886.$$

$$\text{Г2: } X_{\Sigma \Gamma 2*}^{(1)} = 1,886.$$

$$\text{Г3: } X_{\Sigma \Gamma 3*}^{(1)} = 0,326.$$

$$\text{С: } X_{\Sigma C*}^{(1)} = 0,584.$$

$$\text{Н1: } X_{\Sigma \text{Н1}*}^{(1)} = 0,309.$$

Сумма сопротивлений прямой последовательности:

$$X_{\Sigma*}^{(1)} = \frac{1}{\frac{1}{X_{\Sigma \Gamma 1*}^{(1)}} + \frac{1}{X_{\Sigma \Gamma 2*}^{(1)}} + \frac{1}{X_{\Sigma \Gamma 3*}^{(1)}} + \frac{1}{X_{\Sigma C*}^{(1)}} + \frac{1}{X_{\Sigma \text{Н1}*}^{(1)}}} = \frac{1}{\frac{1}{1,886} + \frac{1}{1,886} + \frac{1}{0,326} + \frac{1}{0,584} + \frac{1}{0,309}} = 0,110.$$

Коэффициенты распределения сопротивлений прямой последовательности:

$$C_1 = \frac{X_{\Sigma*}^{(1)}}{X_{\Sigma \Gamma 1*}^{(1)}} = \frac{0,110}{1,886} = 0,058;$$

$$C_2 = \frac{X_{\Sigma*}^{(1)}}{X_{\Sigma \Gamma 2*}^{(1)}} = \frac{0,110}{1,886} = 0,058;$$

$$C_3 = \frac{X_{\Sigma*}^{(1)}}{X_{\Sigma \Gamma 3*}^{(1)}} = \frac{0,110}{0,326} = 0,338;$$

$$C_4 = \frac{X_{\Sigma*}^{(1)}}{X_{\Sigma C*}^{(1)}} = \frac{0,110}{0,584} = 0,189;$$

$$C_5 = \frac{X_{\Sigma*}^{(1)}}{X_{\Sigma \text{Н1}*}^{(1)}} = \frac{0,110}{0,309} = 0,356;$$

$$C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 = 0,058 + 0,058 + 0,338 + 0,189 + 0,356 = 1.$$

Рассчитаем эквивалентную схему обратной последовательности, рисунок 3(Б):

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 3(Б) от Г1, Г2, Г3, С, Н1 до точки КЗ:

$$\begin{aligned} X_{I*}^{(2)} &= \frac{1}{\frac{1}{X_{\Gamma 1*}^{(2)} + X_{\text{Н.Т1}*}^{(2)} + X_{\text{В.Т1}*}^{(2)}} + \frac{1}{X_{\Gamma 2*}^{(2)} + X_{\text{Н.Т2}*}^{(2)} + X_{\text{В.Т2}*}^{(2)}}}} + X_{\text{Л1}*}^{(2)} = \\ &= \frac{1}{\frac{1}{0,468 + 0,115 + 0,179} + \frac{1}{0,468 + 0,115 + 0,179}} + 0,605 = 0,985. \end{aligned}$$

Сумма сопротивлений обратной последовательности:

$$X_{\Sigma*}^{(2)} = \frac{1}{\frac{1}{X_{I*}^{(2)}} + \frac{1}{X_{Г3*}^{(2)} + X_{Г4*}^{(2)}} + \frac{1}{X_{Н1*}^{(2)}} + \frac{1}{X_{С*}^{(2)} + X_{Л3*}^{(2)}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{0,985} + \frac{1}{0,236+0,131} + \frac{1}{0,309} + \frac{1}{0,130+0,454}} = 0,115.$$

Рассчитаем эквивалентную схему нулевой последовательности, рисунок 3(В):

Рассчитаем эквивалентную схему рисунка 3(В) от Г1, Г2, Г3, С, Н1 до точки КЗ:

$$X_{I*}^{(0)} = \frac{1}{\frac{1}{X_{Н.Г1*}^{(0)} + X_{В.Г1*}^{(0)}} + \frac{1}{X_{Н.Г2*}^{(0)} + X_{В.Г2*}^{(0)}}} + X_{Л1*}^{(0)} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{0,115+0,179} + \frac{1}{0,115+0,179}} + 1,815 = 1,962.$$

Сумма сопротивлений нулевой последовательности:

$$X_{\Sigma*}^{(0)} = \frac{1}{\frac{1}{X_{I*}^{(0)}} + \frac{1}{X_{Г4*}^{(0)}} + \frac{1}{X_{Н1*}^{(0)}} + \frac{1}{X_{С*}^{(0)} + X_{Л3*}^{(0)}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{1,962} + \frac{1}{0,131} + \frac{1}{0,309} + \frac{1}{0,130+1,361}} = 0,083.$$

5.3 Расчет тока двухфазного КЗ.

Суммарное сопротивление прямой и обратной последовательностей, характеризующее двухфазное КЗ:

$$X_{\Sigma*} = X_{\Sigma*}^{(1)} + \Delta X_{\Sigma*}^{(2)} = X_{\Sigma*}^{(1)} + (X_{\Sigma*}^{(2)}) = 0,110 + (0,115) = 0,225,$$

где $\Delta X_{\Sigma*}^{(2)}$ – сопротивление характеризующее вид КЗ.

Эквивалентные сопротивления ветвей схемы подпитывающие точку КЗ:

$$X_{Г1} = \frac{X_{рез}}{C_1} = \frac{0,225}{0,058} = 3,858;$$

$$X_{Г2} = \frac{X_{рез}}{C_2} = \frac{0,225}{0,058} = 3,858;$$

$$X_{Г3} = \frac{X_{рез}}{C_3} = \frac{0,225}{0,338} = 0,666;$$

$$X_C = \frac{X_{рез}}{C_4} = \frac{0,225}{0,189} = 1,194;$$

$$X_{Н1} = \frac{X_{рез}}{C_5} = \frac{0,225}{0,356} = 0,632.$$

Ток КЗ прямой последовательности двухфазного КЗ.

Ток КЗ посылаемый от Г1 до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{Г1*}^{(2)} = \frac{E''_{Г1*}}{X_{Г1}} = \frac{1,092}{3,858} = 0,283.$$

Полный ток КЗ посылаемый от Г1 до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_{Г1}^{(2)} = m(n) \cdot I_{Г1*}^{(2)} \cdot I_B = \sqrt{3} \cdot 0,283 \cdot 0,502 = 0,246 \text{кА},$$

где $m(n)$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от вида КЗ.

Ток КЗ посылаемый от Г2 до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{Г2*}^{(2)} = \frac{E''_{Г2*}}{X_{Г2}} = \frac{1,092}{3,858} = 0,283.$$

Полный ток КЗ посылаемый от Г2 до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_{Г2}^{(2)} = m(n) \cdot I_{Г2*}^{(2)} \cdot I_B = \sqrt{3} \cdot 0,283 \cdot 0,502 = 0,246 \text{кА}.$$

Ток КЗ посылаемый от Г3 до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{Г3*}^{(2)} = \frac{E''_{Г3*}}{X_{Г3}} = \frac{1,092}{0,666} = 1,640.$$

Полный ток КЗ посылаемый от Г3 до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_{Г3}^{(2)} = m(n) \cdot I_{Г3*}^{(2)} \cdot I_B = \sqrt{3} \cdot 1,640 \cdot 0,502 = 1,426 \text{кА}.$$

Ток КЗ посылаемый от С до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{C*}^{(2)} = \frac{E''_{C*}}{X_C} = \frac{1}{1,194} = 0,838.$$

Полный ток КЗ посылаемый от С до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_C^{(2)} = m(n) \cdot I_{C*}^{(2)} \cdot I_B = \sqrt{3} \cdot 0,838 \cdot 0,502 = 0,728 \text{кА}.$$

Ток КЗ посылаемый от Н1 до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{Н1*}^{(2)} = \frac{E''_{Н1*}}{X_{Н1}} = \frac{0,8}{0,632} = 1,266.$$

Полный ток КЗ посылаемый от Н1 до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_{Н1}^{(2)} = m(n) \cdot I_{Н1*}^{(2)} \cdot I_B = \sqrt{3} \cdot 1,266 \cdot 0,502 = 1,101 \text{кА}.$$

Суммарный ток в точке КЗ в относительных единицах:

$$I_{k1*}^{(2)} = I_{Г1*}^{(2)} + I_{Г2*}^{(2)} + I_{Г3*}^{(2)} + I_{C*}^{(2)} + I_{H1*}^{(2)} = 0,283 + 0,283 + 1,640 + 0,838 + 1,266 = 4,310;$$

$$I_{K*}^{(2)} = m(n) \cdot I_{k1*}^{(2)} = \sqrt{3} \cdot 4,310 = 7,465.$$

Абсолютная величина полного тока КЗ в поврежденных фазах:

$$I_{K3}^{(2)} = I_{Г1}^{(2)} + I_{Г2}^{(2)} + I_{Г3}^{(2)} + I_C^{(2)} + I_{H1}^{(2)} = 0,246 + 0,246 + 1,426 + 0,728 + 1,101 = 3,748 \text{ кА.}$$

Суммарный ударный ток в точке КЗ:

$$I_{K3}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot k_{yГ} \cdot \Sigma I_{Г}^{(2)} + \sqrt{2} \cdot k_{yC} \cdot \Sigma I_C^{(2)} + \sqrt{2} \cdot k_{yH} \cdot \Sigma I_H^{(2)} =$$

$$= \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot (0,246 + 0,246 + 1,426) + \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 0,728 + \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 1,101 = 8,565 \text{ кА.}$$

Рассчитаем параметры векторной диаграммы в относительных единицах. Предположим двухфазное КЗ произошло в фазе «В» и фазе «С».

Векторная диаграмма токов.

Граничные условия:

$$I_{KA}^{(2)} = 0; \quad I_{KB}^{(2)} = -I_{KC}^{(2)}.$$

Симметричные составляющие токов поврежденных фаз в точке КЗ:

$$I_{KB}^{(2)} = -j\sqrt{3} \cdot I_{KA1} = -j\sqrt{3} \cdot 4,310 = -7,465;$$

$$I_{KC}^{(2)} = j\sqrt{3} I_{KA1} = j\sqrt{3} \cdot 4,310 = 7,465.$$

Векторная диаграмма напряжений.

Граничные условия для заземленных фаз «В» и «С»:

$$U_{KB}^{(2)} - U_{KC}^{(2)} = 0;$$

$$U_{KA2}^{(2)} = U_{KA1}^{(2)} = jX_{\Sigma*}^{(2)} \cdot I_{KA1*}^{(2)} = j0,115 \cdot 4,310 = j0,496;$$

$$U_{KA}^{(2)} = U_{KA1}^{(2)} + U_{KA2}^{(2)} = 2 \cdot U_{KA1}^{(2)} = 2 \cdot j0,496 = j0,992;$$

$$U_{KB}^{(2)} = U_{KC}^{(2)} = -U_{KA1}^{(2)} = \frac{-U_{KA}^{(2)}}{2} = \frac{-0,992}{2} = -0,496.$$

На основании расчетных значений приведем векторную диаграмму токов и напряжений, лист графической части проекта. Рисунок 1 – Векторная диаграмма токов (А) и напряжений (Б) при двухфазном КЗ.

6 Расчет сверхпереходного и ударного токов однофазного короткого замыкания, построение векторных диаграмм токов и напряжений

Суммарное сопротивление прямой обратной и нулевой последовательностей, характеризующее однофазное КЗ:

$$X_{\text{рез}} = X_{\Sigma^*}^{(1)} + (\Delta X_{\Sigma^*}^{(1)}) = X_{\Sigma^*}^{(1)} + (X_{\Sigma^*}^{(2)} + X_{\Sigma^*}^{(0)}) = 0,110 + (0,115 + 0,083) = 0,308,$$

где $\Delta X_{\Sigma^*}^{(1)}$ – сопротивление характеризующее вид КЗ.

Эквивалентные сопротивления ветвей схемы подпитывающие точку КЗ:

$$X_{\Gamma 1} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_1} = \frac{0,308}{0,058} = 5,281;$$

$$X_{\Gamma 2} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_2} = \frac{0,308}{0,058} = 5,281;$$

$$X_{\Gamma 3} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_3} = \frac{0,308}{0,338} = 0,912;$$

$$X_C = \frac{X_{\text{рез}}}{C_4} = \frac{0,308}{0,189} = 1,634;$$

$$X_{\text{Н1}} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_5} = \frac{0,308}{0,356} = 0,865.$$

Ток КЗ прямой последовательности однофазного КЗ.

Ток КЗ посылаемый от Г1 до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{\Gamma 1^*}^{(1)} = \frac{E_{\Gamma 1^*}''}{X_{\Gamma 1}} = \frac{1,092}{5,281} = 0,207.$$

Полный ток КЗ посылаемый от Г1 до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_{\Gamma 1}^{(1)} = m(n) \cdot I_{\Gamma 1^*}^{(1)} \cdot I_B = 3 \cdot 0,207 \cdot 0,502 = 0,311 \text{ кА},$$

где $m(n)$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от вида КЗ.

Ток КЗ посылаемый от Г2 до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{\Gamma 2^*}^{(1)} = \frac{E_{\Gamma 2^*}''}{X_{\Gamma 2}} = \frac{1,092}{5,281} = 0,207.$$

Полный ток КЗ посылаемый от Г2 до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_{\Gamma 2}^{(1)} = m(n) \cdot I_{\Gamma 2^*}^{(1)} \cdot I_B = 3 \cdot 0,207 \cdot 0,502 = 0,311 \text{ кА}.$$

Ток КЗ посылаемый от Г3 до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{\Gamma 3^*}^{(1)} = \frac{E_{\Gamma 3^*}''}{X_{\Gamma 3}} = \frac{1,092}{0,912} = 1,198.$$

Полный ток КЗ посылаемый от Г3 до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_{\Gamma 3}^{(1)} = m(n) \cdot I_{\Gamma 3^*}^{(1)} \cdot I_B = 3 \cdot 1,198 \cdot 0,502 = 1,804 \text{ кА}.$$

					КП.1-43 01 03 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.	Двойных А.				Расчет сверхпереходного и ударного токов однофазного короткого замыкания, построение векторных диаграмм токов и напряжений	Лит.	Лист	Листов		
Провер.	Пухальская О.Ю.						23	36		
Реценз.						ГГТУ им. П.О.Сухого. гр 33-42				
Н. Контр.										
Утверд.										

Ток КЗ посылаемый от С до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{C*}^{(1)} = \frac{E_{C*}''}{X_C} = \frac{1}{1,634} = 0,612.$$

Полный ток КЗ посылаемый от С до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_C^{(1)} = m(n) \cdot I_{C*}^{(1)} \cdot I_B = 3 \cdot 0,612 \cdot 0,502 = 0,922 \text{ кА}.$$

Ток КЗ посылаемый от Н1 до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{H1*}^{(1)} = \frac{E_{H1*}''}{X_{H1}} = \frac{0,8}{0,865} = 0,925.$$

Полный ток КЗ посылаемый от Н1 до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_{H1}^{(1)} = m(n) \cdot I_{H1*}^{(1)} \cdot I_B = 3 \cdot 0,925 \cdot 0,502 = 1,393 \text{ кА}.$$

Суммарный ток в точке КЗ в относительных единицах:

$$I_{K1*}^{(1)} = I_{Г1*}^{(1)} + I_{Г2*}^{(1)} + I_{Г3*}^{(1)} + I_{C*}^{(1)} + I_{H1*}^{(1)} = 0,207 + 0,207 + 1,198 + 0,612 + 0,925 = 3,148;$$

$$I_{K*}^{(1)} = m(n) \cdot I_{K1*}^{(1)} = 3 \cdot 3,148 = 9,445.$$

Абсолютная величина полного тока КЗ в поврежденной фазе:

$$I_{K3}^{(1)} = I_{Г1}^{(1)} + I_{Г2}^{(1)} + I_{Г3}^{(1)} + I_C^{(1)} + I_{H1}^{(1)} = 0,311 + 0,311 + 1,804 + 0,922 + 1,393 = 4,742 \text{ кА}.$$

Суммарный ударный ток в точке КЗ:

$$\begin{aligned} I_{K3}^{(1)} &= \sqrt{2} \cdot k_{yГ} \cdot \Sigma I_{Г}^{(1)} + \sqrt{2} \cdot k_{yC} \cdot \Sigma I_C^{(1)} + \sqrt{2} \cdot k_{yH} \cdot \Sigma I_H^{(1)} = \\ &= \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot (0,311 + 0,311 + 1,804) + \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 0,922 + \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 1,393 = 10,837 \text{ кА}. \end{aligned}$$

Рассчитаем параметры векторной диаграммы в относительных единицах. Предположим однофазное КЗ произошло в фазе «А».

Векторная диаграмма токов.

Граничные условия:

$$I_{KA}^{(1)} = 0; I_{KB}^{(1)} = 0; I_{KC}^{(1)} = 0.$$

Симметричные составляющие токов поврежденной фазы в точке КЗ:

$$I_{KA1*}^{(1)} = I_{KA2*}^{(1)} = I_{K0*}^{(1)} = \frac{1}{3} \cdot I_{K*}^{(1)} = \frac{1}{3} \cdot 9,445 = 3,148.$$

Векторная диаграмма напряжений.

Граничные условия для заземленной фазы «А»:

$$U_{KA} = U_{KA1} + U_{KA2} + U_{K0} = 0.$$

Симметричные составляющие напряжений в точке КЗ:

$$U_{K0} = -jX_{\Sigma*}^{(0)} \cdot I_{KA1}^{(1)} = -j0,083 \cdot 3,148 = -j0,262;$$

$$U_{K2} = -jX_{\Sigma*}^{(2)} \cdot I_{KA1}^{(1)} = -j0,115 \cdot 3,148 = -j0,362;$$

$$U_{KA1} = (U_{KA2} + U_{K0}) = j(X_{\Sigma*}^{(2)} + X_{\Sigma*}^{(0)}) \cdot I_{KA1}^{(1)} = j(0,115 + 0,083) \cdot 3,148 = j0,624.$$

На основании расчетных значений приведем векторную диаграмму токов и напряжений, лист графической части проекта. Рисунок 2. – Векторная диаграмма токов (А) и напряжений (Б) при однофазном КЗ.

					КП.1-43 01 03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

7 Расчет сверхпереходного и ударного токов двухфазного короткого замыкания на землю, построение векторных диаграмм токов и напряжений

Суммарное сопротивление прямой и обратной последовательностей, характеризующее двухфазное КЗ на землю:

$$X_{\text{рез}} = X_{\Sigma^*}^{(1)} + (\Delta X_{\Sigma^*}^{(1.1)}) = X_{\Sigma^*}^{(1)} + \left(\frac{X_{\Sigma^*}^{(2)} \cdot X_{\Sigma^*}^{(0)}}{X_{\Sigma^*}^{(2)} + X_{\Sigma^*}^{(0)}} \right) = 0,110 + \left(\frac{0,115 \cdot 0,083}{0,115 + 0,083} \right) = 0,158,$$

где $\Delta X_{\Sigma^*}^{(1.1)}$ – сопротивление характеризующее вид КЗ.

Эквивалентные сопротивления ветвей схемы подпитывающие точку КЗ:

$$X_{\Gamma 1} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_1} = \frac{0,158}{0,058} = 2,713;$$

$$X_{\Gamma 2} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_2} = \frac{0,158}{0,058} = 2,713;$$

$$X_{\Gamma 3} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_3} = \frac{0,158}{0,338} = 0,468;$$

$$X_C = \frac{X_{\text{рез}}}{C_4} = \frac{0,158}{0,189} = 0,839;$$

$$X_{\text{Н1}} = \frac{X_{\text{рез}}}{C_5} = \frac{0,158}{0,356} = 0,444.$$

Ток КЗ прямой последовательности двухфазного КЗ на землю.

Ток КЗ посылаемый от Г1 до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{\Gamma 1^*}^{(1.1)} = \frac{E''_{\Gamma 1^*}}{X_{\Gamma 1}} = \frac{1,092}{2,713} = 0,402.$$

Полный ток КЗ посылаемый от Г1 до точки КЗ в именованных единицах:

$$m^{(1.1)} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{X_{\Sigma^*}^{(2)} \cdot X_{\Sigma^*}^{(0)}}{(X_{\Sigma^*}^{(2)} + X_{\Sigma^*}^{(0)})^2}} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \frac{0,115 \cdot 0,083}{(0,115 + 0,083)^2}} = 1,507;$$

$$I_{\Gamma 1}^{(1.1)} = m(n) \cdot I_{\Gamma 1^*}^{(1.1)} \cdot I_B = 1,507 \cdot 0,402 \cdot 0,502 = 0,304 \text{ кА}.$$

Ток КЗ посылаемый от Г2 до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{\Gamma 2^*}^{(1.1)} = \frac{E''_{\Gamma 2^*}}{X_{\Gamma 2}} = \frac{1,092}{2,713} = 0,402.$$

Полный ток КЗ посылаемый от Г2 до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_{\Gamma 2}^{(1.1)} = m(n) \cdot I_{\Gamma 2^*}^{(1.1)} \cdot I_B = 1,507 \cdot 0,402 \cdot 0,502 = 0,304 \text{ кА}.$$

					КП.1-43 01 03 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Двойных А.				Расчет сверхпереходного и ударного токов двухфазного короткого замыкания на землю, построение векторных диаграмм токов и напряжений	Лит.	Лист
Провер.	Пухальская О.Ю.						25
Реценз.							36
Н. Контр.						ГГТУ им. П.О.Сухого. гр 33-42	
Утверд.							

Ток КЗ посылаемый от ГЗ до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{ГЗ*}^{(1.1)} = \frac{E_{ГЗ*}''}{X_{ГЗ}} = \frac{1,092}{0,468} = 2,332.$$

Полный ток КЗ посылаемый от ГЗ до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_{ГЗ}^{(1.1)} = m(n) \cdot I_{ГЗ*}^{(1.1)} \cdot I_B = 1,507 \cdot 2,332 \cdot 0,502 = 1,764 \text{кА}.$$

Ток КЗ посылаемый от С до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{С*}^{(1.1)} = \frac{E_{С*}''}{X_C} = \frac{1}{0,839} = 1,191.$$

Полный ток КЗ посылаемый от С до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_C^{(1.1)} = m(n) \cdot I_{С*}^{(1.1)} \cdot I_B = 1,507 \cdot 1,191 \cdot 0,502 = 0,901 \text{кА}.$$

Ток КЗ посылаемый от Н1 до точки КЗ в относительных единицах:

$$I_{Н1*}^{(1.1)} = \frac{E_{Н1*}''}{X_{Н1}} = \frac{0,8}{0,444} = 1,801.$$

Полный ток КЗ посылаемый от Н1 до точки КЗ в именованных единицах:

$$I_{Н1}^{(1.1)} = m(n) \cdot I_{Н1*}^{(1.1)} \cdot I_B = 1,507 \cdot 1,801 \cdot 0,502 = 1,362 \text{кА}.$$

Суммарный ток в точке КЗ в относительных единицах:

$$I_{к1*}^{(1.1)} = I_{Г1*}^{(1.1)} + I_{Г2*}^{(1.1)} + I_{ГЗ*}^{(1.1)} + I_{С*}^{(1.1)} + I_{Н1*}^{(1.1)} = 0,402 + 0,402 + 2,332 + 1,191 + 1,801 = 6,129.$$

Абсолютная величина полного тока КЗ в поврежденных фазах:

$$I_{КЗ}^{(1.1)} = I_{Г1}^{(1.1)} + I_{Г2}^{(1.1)} + I_{ГЗ}^{(1.1)} + I_C^{(1.1)} + I_{Н1}^{(1.1)} = 0,304 + 0,304 + 1,764 + 0,901 + 1,362 = 4,636 \text{кА}.$$

Суммарный ударный ток в точке КЗ:

$$I_{КЗ}^{(1.1)} = \sqrt{2} \cdot k_{yГ} \cdot \Sigma I_{Г}^{(1.1)} + \sqrt{2} \cdot k_{yС} \cdot \Sigma I_{С}^{(1.1)} + \sqrt{2} \cdot k_{yН} \cdot \Sigma I_{Н}^{(1.1)} = \\ = \sqrt{2} \cdot 1,9 \cdot (0,304 + 0,304 + 1,764) + \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 0,901 + \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 1,362 = 10,595 \text{кА}.$$

Рассчитаем параметры векторной диаграммы в относительных единицах. Предположим двухфазное КЗ на землю произошло в фазе «В» и фазе «С».

Векторная диаграмма токов.

Граничные условия:

$$\underline{I}_{КА}^{(1.1)} = 0; \underline{U}_{KB}^{(1.1)} = 0; \underline{U}_{KC}^{(1.1)} = 0; \\ \underline{I}_{КА1}^{(1.1)} + \underline{I}_{КА2}^{(1.1)} + \underline{I}_{К0}^{(1.1)} = 0.$$

Симметричные составляющие токов поврежденных фаз в точке КЗ:

$$I_{К0}^{(1.1)} = -I_{КА1}^{(1.1)} \cdot \frac{X_{\Sigma*}^{(2)}}{X_{\Sigma*}^{(2)} + X_{\Sigma*}^{(0)}} = -j6,129 \cdot \frac{0,115}{0,115 + 0,083} = -j3,560 \text{кА};$$

$$I_{КА2}^{(1.1)} = -I_{КА1}^{(1.1)} \cdot \frac{X_{\Sigma*}^{(0)}}{X_{\Sigma*}^{(2)} + X_{\Sigma*}^{(0)}} = -j6,129 \cdot \frac{0,083}{0,115 + 0,083} = -j2,569 \text{кА}.$$

Векторная диаграмма напряжений.

Граничные условия для заземленных фаз «В» и «С» на землю:

$$\underline{U}_{KA1}^{(1,1)} = \underline{U}_{KA2}^{(1,1)} = \underline{U}_{K0}^{(1,1)} = 1/3 \underline{U}_{KA}^{(1,1)};$$

$$\underline{U}_{KA1}^{(1,1)} = \underline{I}_{KA1}^{(1,1)} \cdot j \frac{X_{\Sigma^*}^{(2)} \cdot X_{\Sigma^*}^{(0)}}{X_{\Sigma^*}^{(2)} + X_{\Sigma^*}^{(0)}} = 6,129 \cdot j \frac{0,115 \cdot 0,083}{0,115 + 0,083} = j0,296;$$

$$\underline{U}_{KA}^{(1,1)} = 3 \cdot \underline{U}_{KA1}^{(1,1)} = 3 \cdot j0,296 = j0,887.$$

На основании расчетных значений приведем векторную диаграмму токов и напряжений, лист графической части проекта. Рисунок 3 – Векторная диаграмма токов (А) и напряжений (Б) при двухфазном КЗ на землю.

Перепиши от руки

					КП.1-43 01 03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

					КП.1-43 01 03 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		Двойных А.			Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного и двухфазного короткого замыкания в распределительной сети напряжением 10 кВ	Лит.	Лист	Листов		
Провер.		Пухальская О.Ю.						33	41	
Реценз.										
Н. Контр.										
Утверд.										
						ГГТУ им. П.О.Сухого, гр 33-42				

8.2 Разработка схемы замещения.

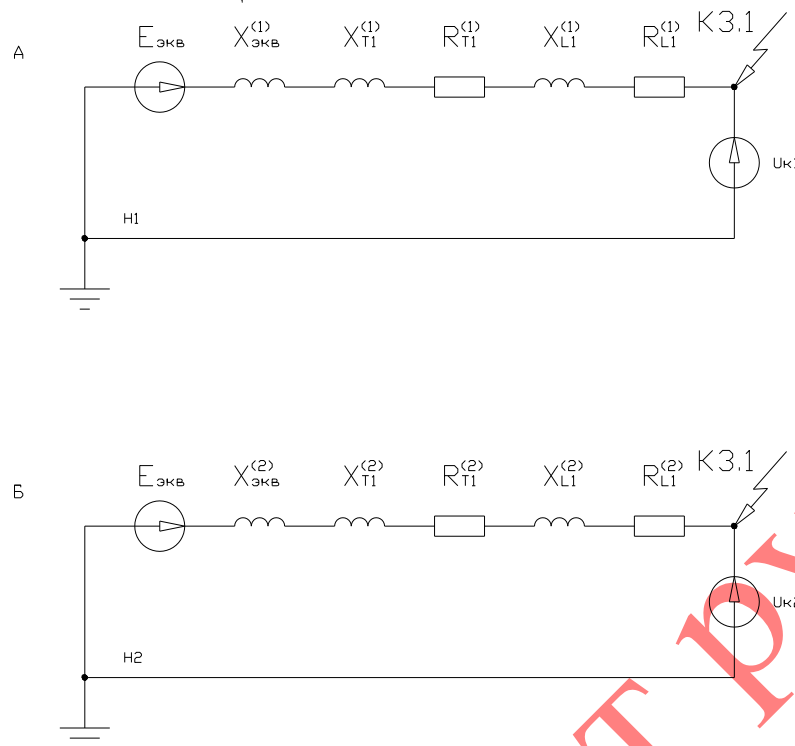


Рисунок 5 - Схема замещения рассматриваемой сети прямой (А), обратной (Б), для расчета токов КЗ

8.3 Расчет сопротивлений элементов схемы

Определяем сопротивления прямой последовательности элементов схемы.

Реактивное эквивалентное сопротивление системы:

$$X_{\text{экв}}^{(1)} = \frac{U_{\text{ВН}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{КЗ}}} \cdot \left(\frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}} \right)^2 \cdot 10^3 = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 2,284} \cdot \left(\frac{10,5}{115} \right)^2 \cdot 10^3 = 125,060 \text{ мОм},$$

где $I_{\text{КЗ}}$ – ток короткого замыкания системы. А;

$U_{\text{НН}}$ – действительное напряжение НН. кВ;

$U_{\text{ВН}}$ – действительное напряжение ВН. кВ.

Активное и реактивное сопротивление трансформатора Т1: Справочные данные: $\Delta P_{\text{КЗ}} = 22 \text{ кВт}$; $U_{\text{К}} = 10,5\%$; $S_{\text{НОМ}} = 2500 \text{ МВА}$. [4 стр. 244 табл. 5.18]:

$$R_{\text{Т1}}^{(1)} = \frac{\Delta P_{\text{КЗ}} \cdot U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2} \cdot 10^6 = \frac{22 \cdot 10,5^2}{2500^2} \cdot 10^6 = 388,080 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{Т1}}^{(1)} = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{К}}}{100} \right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{\text{КЗ}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{НОМ}}} \cdot 10^6 = \sqrt{\left(\frac{10,5}{100} \right)^2 - \left(\frac{22}{2500} \right)^2} \cdot \frac{10,5^2}{2500} \cdot 10^6 = 4614,209 \text{ мОм},$$

где $U_{\text{К}}$ – напряжение короткого замыкания;

$\Delta P_{\text{К}}$ – потери КЗ в трансформаторе;

$S_{\text{Т}}$ – номинальная мощность трансформатора. кВА.

Активное и реактивное сопротивление прямой последовательности кабеля L1:
AL 3×25, $r_{L1}=1,54.\text{мОм/км}$, $x_{L1}=0,062.\text{мОм/км}$. $l_{L1}=0,15.\text{км}$. [3 стр. 270 табл. П2]:

$$R_{L1}^{(1)} = r_{L1} \cdot L_{L1} = 1,54 \cdot 0,15 \cdot 10^3 = 231,0 \text{ мОм};$$

$$X_{L1}^{(1)} = x_{L1} \cdot L_{L1} = 0,062 \cdot 0,15 \cdot 10^3 = 9,3 \text{ мОм},$$

где r_0 – удельное активное сопротивление кабеля. Ом/км;

x_0 – удельное реактивное сопротивление кабеля. Ом/км;

L_k – длина кабеля. км.

Активное и реактивное суммарное сопротивление цепи приведенное к КЗ.1:

$$R_{K3.1}^{(1)} = R_{K3.1}^{(2)} = R_{T1}^{(1)} + R_{L1}^{(1)} = 388,080 + 231,0 = 619,080 \text{ мОм};$$

$$X_{K3.1}^{(1)} = X_{K3.1}^{(2)} = X_{\text{эвб}}^{(1)} + X_{T1}^{(1)} + X_{L1}^{(1)} = 125,060 + 4614,209 + 9,3 = 4748,569 \text{ мОм}.$$

8.4 Расчет токов короткого замыкания

Ток трехфазного КЗ в точке КЗ.1:

$$I_{K3.1}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{K3.1}^{(1)2} + X_{K3.1}^{(1)2}}} = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{619,080^2 + 4748,569^2}} = 1,266 \text{ кА}.$$

Ударный ток трехфазного КЗ в точке КЗ.1:

$$I_{y.K3.1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K3.1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 1,266 = 2,453 \text{ кА}.$$

Ток двухфазного КЗ в точке КЗ.1:

$$I_{K3.1}^{(2)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{(R_{K3.1}^{(1)} + R_{K3.1}^{(2)})^2 + (X_{K3.1}^{(1)} + X_{K3.1}^{(2)})^2}} =$$

$$= \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{(619,080 + 619,080)^2 + (4748,569 + 4748,569)^2}} = 1,096 \text{ кА}.$$

Ударный ток двухфазного КЗ в точке КЗ.1:

$$I_{y.K3.1}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K3.1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 1,096 = 2,124 \text{ кА}.$$

Пер

					КП.1-43 01 03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

9 Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного, двухфазного и однофазного короткого замыкания в распределительной сети напряжением 0,4 кВ

9.1 Разработка схемы замещения.

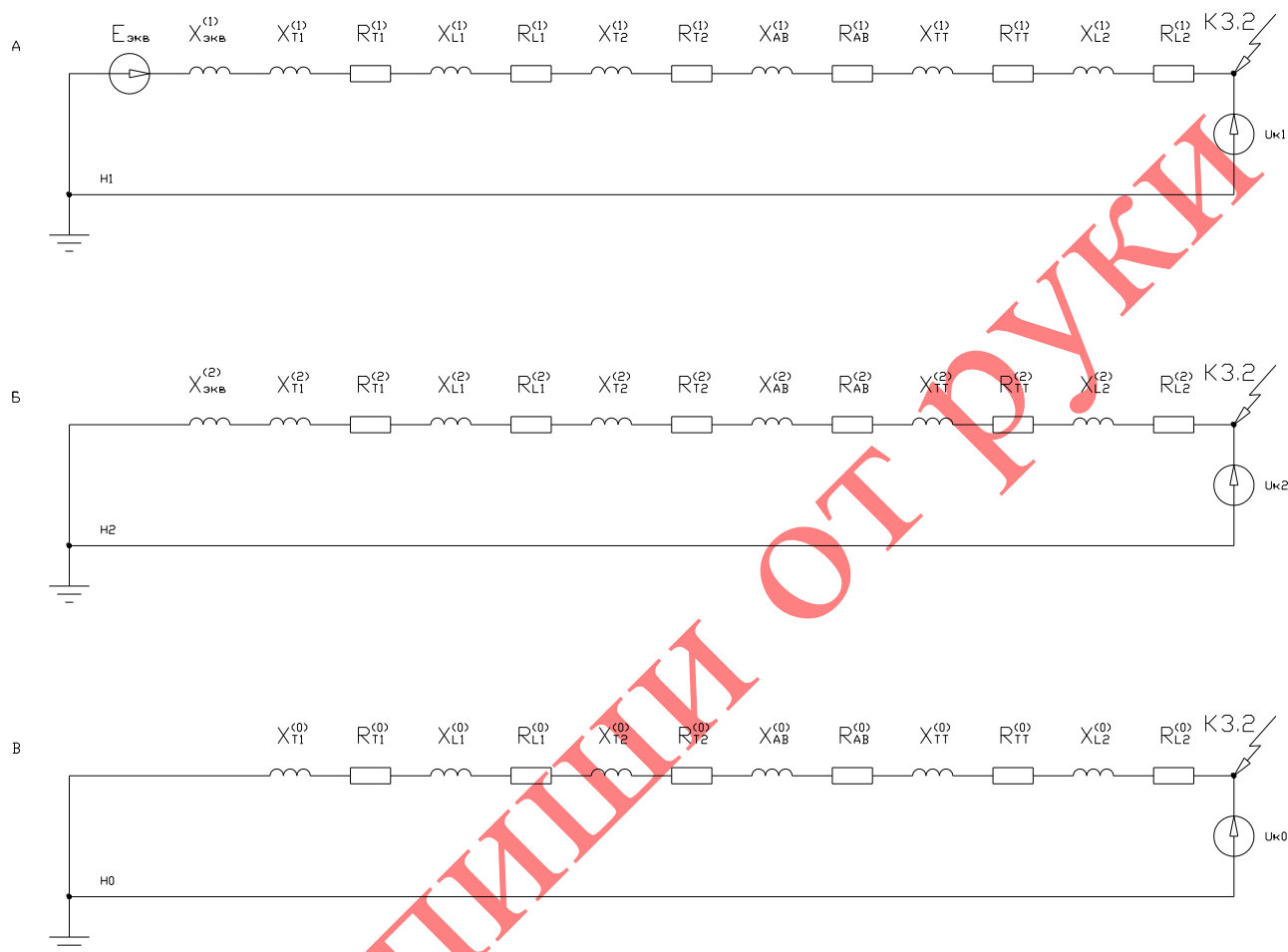


Рисунок 6 - Схема замещения рассматриваемой сети прямой (А), обратной (Б) и нулевой последовательности (В), для расчета токов КЗ

					КП.1-43 01 03 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Двойных А.				Расчет сверхпереходного и ударного токов трехфазного, двухфазного и однофазного короткого замыкания в распределительной сети напряжением 0,4 кВ	Лит.	Лист
Провер.	Пухальская О.Ю.						36
Реценз.							41
Н. Контр.						ГГТУ им. П.О.Сухого. гр 33-42	
Утверд.							

9.2 Расчет сопротивлений элементов схемы

Определяем сопротивления прямой последовательности элементов схемы.

Реактивное эквивалентное сопротивление системы:

$$X_{\text{экв}}^{(1)} = \frac{U_{\text{BH}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{K3}}} \cdot \left(\frac{U_{\text{HH}}}{U_{\text{BH}}} \right)^2 \cdot \left(\frac{U_{\text{HH}}}{U_{\text{BH}}} \right)^2 \cdot 10^3 = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 4,426} \cdot \left(\frac{10,5}{115} \right)^2 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 \cdot 10^3 = 0,181 \text{ МОм.}$$

Активное и реактивное сопротивление трансформатора Т1:

$$R_{\text{T1}}^{(1)} = R_{\text{T1}}^{(1)} \cdot \left(\frac{U_{\text{HH}}}{U_{\text{BH}}} \right)^2 = 388,08 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,563 \text{ МОм;}$$

$$X_{\text{T1}}^{(1)} = X_{\text{T1}}^{(1)} \cdot \left(\frac{U_{\text{HH}}}{U_{\text{BH}}} \right)^2 = 4614,209 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 6,696 \text{ МОм.}$$

Активное и реактивное сопротивление питающего кабеля L1:

$$R_{\text{L1}}^{(1)} = R_{\text{L1}}^{(1)} \cdot \left(\frac{U_{\text{HH}}}{U_{\text{BH}}} \right)^2 = 231,000 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,335 \text{ МОм;}$$

$$X_{\text{L1}}^{(1)} = X_{\text{L1}}^{(1)} \cdot \left(\frac{U_{\text{HH}}}{U_{\text{BH}}} \right)^2 = 9,300 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,013 \text{ МОм.}$$

Активное и реактивное сопротивление трансформатора Т2: Справочные данные: $\Delta P_{\text{K3}} = 7,6 \text{ кВт}$; $U_{\text{K}} = 5,5\%$; $S_{\text{НОМ}} = 0,63 \text{ МВА}$. [3 стр. 272 табл. П4]:

$$R_{\text{T2}}^{(1)} = \frac{\Delta P_{\text{K3}} \cdot U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2} \cdot 10^6 = \frac{7,6 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^6 = 3,064 \text{ МОм;}$$

$$X_{\text{T2}}^{(1)} = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{K}}}{100} \right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{\text{K3}}}{S_{\text{НОМ}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{HH}}^2}{S_{\text{НОМ}}} \cdot 10^6 = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100} \right)^2 - \left(\frac{7,6}{630} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^6 = 13,628 \text{ МОм.}$$

Активное и реактивное сопротивление выключателя АВ: Справочные данные: SF-600. [6 стр. 55 табл. 6.31]:

$$R_{\text{AB}}^{(1)} = 0,41 \text{ МОм;}$$

$$X_{\text{AB}}^{(1)} = 0,13 \text{ МОм.}$$

Активное и реактивное сопротивление трансформатора тока ТТ: Справочные данные: SF TA100R 500A 1%. [6 стр. 54 табл. 6.30]:

$$R_{\text{TT}}^{(1)} = 0,02 \text{ МОм;}$$

$$X_{\text{TT}}^{(1)} = 0,02 \text{ МОм.}$$

Активное и реактивное сопротивление кабеля L2: $2 \times \text{AL } 3 \times 95$, $r_{\text{L2}} = 0,405 \text{ мОм/км}$, $x_{\text{L2}} = 0,057 \text{ мОм/км}$. $l_{\text{L2}} = 0,3 \text{ км}$. [3 стр. 270 табл. П2]:

$$R_{\text{L2}}^{(1)} = \frac{r_{\text{L2}} \cdot L_{\text{L2}}}{n} = \frac{0,405 \cdot 0,3 \cdot 10^3}{2} = 60,75 \text{ мОм;}$$

$$X_{\text{L2}}^{(1)} = \frac{x_{\text{L2}} \cdot L_{\text{L2}}}{2} = \frac{0,057 \cdot 0,3 \cdot 10^3}{2} = 8,55 \text{ мОм.}$$

Активное и реактивное суммарное сопротивление цепи приведенное к КЗ.2:

$$\begin{aligned} R_{K3.2}^{(1)} &= R_{K3.2}^{(2)} = R_{T1}^{(1)} + R_{L1}^{(1)} + R_{T2}^{(1)} + R_{AB}^{(1)} + R_{TT}^{(1)} + R_{L2}^{(1)} = \\ &= 0,563 + 0,335 + 3,064 + 0,410 + 0,020 + 60,750 = 65,142 \text{ мОм}; \\ X_{K3.2}^{(1)} &= X_{K3.2}^{(2)} = X_{\text{эв}}^{(1)} + X_{T1}^{(1)} + X_{L1}^{(1)} + X_{T2}^{(1)} + X_{AB}^{(1)} + X_{TT}^{(1)} + X_{L2}^{(1)} = \\ &= 0,181 + 6,696 + 0,013 + 13,628 + 0,130 + 0,020 + 8,550 = 29,219 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Определяем сопротивления нулевой последовательности элементов схемы.

Активное и реактивное сопротивление трансформатора Т1:

$$\begin{aligned} R_{T1}^{(0)} &= R_{T1}^{(1)} = 0,563 \text{ мОм}; \\ X_{T1}^{(0)} &= X_{T1}^{(1)} = 6,696 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Активное и реактивное сопротивление кабеля нулевой последовательности L1: AL 3×25, $r_{L1}=2,63 \text{ мОм/км}$, $x_{L1}=0,359 \text{ мОм/км}$. $l_{L1}=0,15 \text{ км}$. [3 стр. 270 табл. П2]:

$$\begin{aligned} R_{L1}^{(0)} &= r_{L1} \cdot L_{L1} \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 2,63 \cdot 0,15 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,573 \text{ мОм}; \\ X_{L1}^{(0)} &= x_{L1} \cdot L_{L1} \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2 = 0,359 \cdot 0,15 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,078 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Активное и реактивное сопротивление трансформатора Т2:

$$\begin{aligned} R_{T2}^{(0)} &= R_{T2}^{(1)} = 3,064 \text{ мОм}; \\ X_{T2}^{(0)} &= X_{T2}^{(1)} = 13,628 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Активное и реактивное сопротивление выключателя АВ:

$$\begin{aligned} R_{AB}^{(0)} &= R_{AB}^{(1)} = 0,41 \text{ мОм}; \\ X_{AB}^{(0)} &= X_{AB}^{(1)} = 0,13 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Активное и реактивное сопротивление трансформатора тока ТТ: Справочные данные: SF TA100R 600A 1%. [6 стр. 54 табл. 6.30]:

$$\begin{aligned} R_{TT}^{(0)} &= R_{TT}^{(1)} = 0,02 \text{ мОм}; \\ X_{TT}^{(0)} &= X_{TT}^{(1)} = 0,02 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Активное и реактивное сопротивление кабеля нулевой последовательности L2: 2×AL 3×95, $r_{L2}=1,06 \text{ мОм/км}$, $x_{L2}=0,174 \text{ мОм/км}$. $l_{L2}=0,3 \text{ км}$. [3 стр. 270 табл. П2]:

$$\begin{aligned} R_{L2}^{(0)} &= \frac{r_{L2} \cdot L_{L2}}{n} = \frac{1,06 \cdot 0,3 \cdot 10^3}{2} = 159 \text{ мОм}; \\ X_{L2}^{(0)} &= \frac{x_{L2} \cdot L_{L2}}{n} = \frac{0,174 \cdot 0,3 \cdot 10^3}{2} = 26,1 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

Активное и реактивное суммарное сопротивление цепи приведенное к КЗ.2:

$$\begin{aligned} R_{K3.2}^{(0)} &= R_{T1}^{(0)} + R_{L1}^{(0)} + R_{T2}^{(0)} + R_{AB}^{(0)} + R_{TT}^{(0)} + R_{L2}^{(0)} = \\ &= 0,563 + 0,573 + 3,064 + 0,410 + 0,020 + 159,000 = 163,629 \text{ мОм}; \\ X_{K3.2}^{(0)} &= X_{T1}^{(0)} + X_{L1}^{(0)} + X_{T2}^{(0)} + X_{AB}^{(0)} + X_{TT}^{(0)} + X_{L2}^{(0)} = \\ &= 6,696 + 0,078 + 13,628 + 0,130 + 0,020 + 26,100 = 46,653 \text{ мОм}. \end{aligned}$$

					КП.1-43 01 03 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

9.3 Расчет токов короткого замыкания

Ток трехфазного КЗ в точке КЗ.2:

$$I_{K3.2}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{K3.2}^{(1)2} + X_{K3.2}^{(1)2}}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{65,142^2 + 29,219^2}} = 3,235 \text{ кА.}$$

Ударный ток трехфазного КЗ в точке КЗ.2:

$$I_{y.K3.2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K3.2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,000 \cdot 3,235 = 4,575 \text{ кА.}$$

Ток двухфазного КЗ в точке КЗ.2:

$$I_{K3.2}^{(2)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{(R_{K3.2}^{(1)} + R_{K3.2}^{(2)})^2 + (X_{K3.2}^{(1)} + X_{K3.2}^{(2)})^2}} =$$
$$= \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{(65,142 + 65,142)^2 + (29,219 + 29,219)^2}} = 2,801 \text{ кА.}$$

Ударный ток двухфазного КЗ в точке КЗ.2:

$$I_{y.K3.2}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K3.2}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot 1,000 \cdot 2,801 = 3,962 \text{ кА.}$$

Ток однофазного КЗ в точке КЗ.2:

$$I_{K3.2}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{HH}}{\sqrt{(R_{K3.2}^{(1)} + R_{K3.2}^{(2)} + R_{K3.2}^{(0)})^2 + (X_{K3.2}^{(1)} + X_{K3.2}^{(2)} + X_{K3.2}^{(0)})^2}} =$$
$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{(65,142 + 65,142 + 163,629)^2 + (29,219 + 29,219 + 46,653)^2}} = 2,220 \text{ кА.}$$

Ударный ток двухфазного КЗ в точке КЗ.2:

$$I_{y.K3.2}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K3.2}^{(1)} = \sqrt{2} \cdot 1,000 \cdot 2,220 = 3,139 \text{ кА.}$$

Заключение

Результатом выполнения данного курсового проекта является формирование знаний по расчетам токов короткого замыкания и неполнофазного режима работы заданной сети. Расчеты приведены для наиболее тяжелых и распространенных повреждений и режимов работы сети.

Расчеты выполнены в:

- и.е. с точным и приближенным приведением элементов схемы замещения,
- о.е. с точным и приближенным приведением элементов схемы замещения.

Результаты расчетов трехфазного тока короткого замыкания:			
точное приведение элементов схемы в именованных единицах			
$I_{кз} =$	4,418 кА	$I_{уд} =$	10,094 кА
приближенное приведение элементов схемы в именованных единицах			
$I_{кз} =$	4,426 кА	$I_{уд} =$	10,115 кА
точное приведение элементов схемы в относительных единицах			
$I_{кз} =$	4,418 кА	$I_{уд} =$	10,094 кА
приближенное приведение элементов схемы в относительных единицах			
$I_{кз} =$	4,426 кА	$I_{уд} =$	10,115 кА
Двухфазный ток короткого замыкания:			
$I_{кз} =$	3,748 кА	$I_{уд} =$	8,565 кА
Однофазный ток короткого замыкания:			
$I_{кз} =$	4,742 кА	$I_{уд} =$	10,837 кА
Двухфазный ток короткого замыкания на землю:			
$I_{кз} =$	4,636 кА	$I_{уд} =$	10,595 кА
Ток трехфазного КЗ в точке КЗ-1:			
$I_{кз} =$	1,266 кА	$I_{уд} =$	2,453 кА
Ток двухфазного КЗ в точке КЗ-1:			
$I_{кз} =$	1,096 кА	$I_{уд} =$	2,124 кА
Ток трехфазного КЗ в точке КЗ-2:			
$I_{кз} =$	3,235 кА	$I_{уд} =$	4,575 кА
Ток двухфазного КЗ в точке КЗ-2:			
$I_{кз} =$	2,801 кА	$I_{уд} =$	3,962 кА
Ток однофазного КЗ в точке КЗ-2:			
$I_{кз} =$	2,220 кА	$I_{уд} =$	3,139 кА

В графической части курсового проекта приведены векторные диаграммы токов и напряжений.

					КП.1-43 01 03 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Двойных А.				Заключение	Лит.	Лист
Провер.	Пухальская О.Ю.						35
Реценз.							36
Н. Контр.						ГГТУ им. П.О.Сухого. гр 33-42	
Утверд.							

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Евминов, Л.И. Электромагнитные переходные процессы в системах электроснабжения. Учебное пособие / Л. И. Евминов. – Гомель: Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, 2003 – 301с.
2. Евминов Л. И., Токочакова Н. В., Электромагнитные переходные процессы в системах электроснабжения. Практическое пособие / Л. И. Евминов, Токочакова Н. В. – Гомель: Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, 2002 – 207с.
3. В. Н. Радкевич. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию – Мн., 2001
4. Лычев П.В., Федин В.Г. Электрические системы и сети. Решение практических задач.–Минск: Дизайн ПРО, 1997.–192 с
5. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с
6. Электроснабжение промышленных предприятий : метод. указания по одному. Курсу для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» заоч. формы обучения / А. Г. Ус, В. В. Бахмутская. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 71 с

					КП.1-43 01 03 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.		Двойных А.			Список используемой литературы	Лит.	Лист	Листов	
Провер.		Пухальская О.Ю.					36	36	
Реценз.						ГГТУ им. П.О.Сухого. гр 33-42			
Н. Контр.									
Утверд.									