

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Электрические станции и электроэнергетические системы»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ И. В. Коваленко
« _____ » _____ 2017 г

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02.05–Электроэнергетические системы и сети

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТ ТРАНСФОРМАТРОВ
ОТ СВЕРХТОКОВ ПРИ ВНЕШНИХ КЗ НА СТЕНДЕ ШЭ 2607 048

Руководитель

подпись, дата

доцент, к.т.н

Ю.А. Ершов

Выпускник

подпись, дата

Е.В. Тарасов

Красноярск 2017

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

кафедра «Электрические станции и электроэнергетические системы»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ И.В. Коваленко
« _____ » _____ 2016 г

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту Тарасову Егору Владимировичу.

Группа ФЭ 13–04Б. Специальность 13.03.02.05– Электроэнергетические системы и сети.

Тема выпускной квалификационной работы «Исследование микропроцессорных защит трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на стенде ШЭ 2607 048».

Утверждена приказом по университету № 17238/с от 16.12.2016г.

Руководитель ВКР–Ю.А. Ершов, канд. техн. наук, доцент кафедры «ЭСиЭЭС» ПИ СФУ.

Исходные данные для ВКР:

1. Принципиальная схема энергосистемы Красноярского края.

Перечень разделов ВКР:

Введение;

1. Характеристика защищаемого объекта;

2. Параметры элементов схемы;

3. Составление и расчёт параметров машинной схемы замещения;

4. Расчёт режимов коротких замыканий с помощью программы TKZ-3000;

5. Расчёт уставок защит автотрансформатора от сверхтоков при внешних КЗ;

6. Исследование и опробование максимальных токовых защит на ВН и НН на базе шкафа ШЭ 2607 048;

7. Создание виртуальной модели ДЗ, МТЗ и ТЗНП в программе Matlab;

8. Создание виртуальной модели сети в программе Matlab;

9. Испытание виртуальной модели МТЗ ВН и МТЗ НН в программе Matlab;

Заключение

Перечень графического материала:

Чертёж №1 – Принципиальная схема электрической сети;

Чертёж №2 – Машинная схема замещения электрической сети;

Чертёж №3 – Функциональная схема ДЗ в программе Matlab;

Чертёж №4 – Функциональная схема ТЗНП в программе Matlab;

Чертёж №5 – Функциональная схема логической части ТЗНП терминала БЭ2704 016;

Чертёж №6 – Модель электрической сети в программе Matlab.

Руководитель ВКР

Ю.А. Ершов

Задание принял к исполнению

Е.В. Тарасов

« ___ » _____ 2016 г

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по «Исследованию микропроцессорных защит трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на стенде ШЭ 2607 048» содержит 89 страниц текстового документа, 5 приложений, 13 использованных источников, 6 листов графического материала.

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, ТОКОВАЯ ЗАЩИТА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ, МАШИННАЯ СХЕМА, ТКЗ-3000, УСТАВКИ, МОДЕЛЬ, МАТЛАВ, ОПРОБОВАНИЕ.

Объект работы – автотрансформатор.

Цели работы:

- Расчёт режимов КЗ;
- Расчет уставок дистанционной защиты, МТЗ, ТЗНП обмоток автотрансформатора;
- Исследование и опробование МТЗ на базе шкафа ШЭ 2607 048;
- Создание виртуальной модели дистанционной защиты, МТЗ, ТЗНП в программе Matlab;
- Создание виртуальной модели сети в программе Matlab;
- Испытание виртуальной модели МТЗ в программе Matlab

В результате работы были исследованы дистанционная защита, МТЗ и ТЗНП, рассчитаны уставки и создана модель сети на которой был опробован алгоритмы рассматриваемых защит.

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Е. В. Тарасов</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Ю. А. Ершов</i>				2	89
<i>Реценз.</i>					<i>Кафедра "ЭСиЭЭС"</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ю. А. Ершов</i>					
<i>Утверд.</i>		<i>И.В. Коваленко</i>					

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Характеристики защищаемого объекта	6
2 Расчет параметров схемы замещения	7
2.1 Расчет сопротивлений прямой, обратной, нулевой последовательностей линий.....	8
2.2 Расчет сопротивлений трансформаторов	9
2.3 Определение сопротивления систем.....	10
2.4 Определение сопротивлений нагрузок трансформаторов.....	12
3 Расчёт режимов коротких замыканий с помощью программы ТКЗ-3000	14
3.1 Назначение и возможности программного комплекса ТКЗ 3000	14
3.2 Определение расчётных режимов работы сети и её элементов для защищаемого объекта	14
4 Выбор трансформаторов тока и трансформаторов напряжения	16
4.1 Определение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения стороны ВН.....	16
4.2 Определение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения стороны СН.....	16
4.3 Определение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения стороны НН	17
5 Расчет защит от сверхтоков при внешних КЗ	18
5.1 Максимальная токовая защита АТ НН 10 кВ	18
5.2 Расчет МТЗ с пуском минимального напряжения	19
5.3 Дистанционная защита автотрансформатора ВН 220 кВ	20
6 Защита от токов нулевой последовательности	25
6.1 I ступень токовая отсечка нулевой последовательности ВН	25
6.2 II ступень токовая отсечка нулевой последовательности	27
6.3 IV ступень максимальная токовая защита нулевой последовательности	28
7 Испытание МТЗ АТ на стенде ШЭ 2607 048	31
7.1 Назначение шкафа ШЭ 2607 048.....	31
7.2 Устройство и работа исследуемых защит шкафа ШЭ 2607 048 ..	31

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		3

8	Создание модели исследуемого участка сети в программе Matlab	38
9	Создание модели дистанционной защиты трансформатора	42
9.1	Моделирование формирователя ортогональных составляющих тока и напряжения.....	42
9.2	Моделирование блокировки неисправностей цепей переменного напряжения	44
9.3	Моделирование цифрового органа сопротивления.....	45
9.4	Моделирование блокировки при качаниях	47
9.5	Моделирование сигнального органа.....	49
9.6	Моделирование органа выдержки времени	50
9.7	Принцип действия виртуальной модели ДЗ в программе Matlab	51
10	Создание модели МТЗ в программе Matlab	52
10.1	Принцип работы виртуальной модели МТЗ	52
11	Создание модели ТЗНП в программе Matlab	57
11.1	Моделирование органа тока нулевой последовательности.....	57
11.2	Моделирование органа направления мощности.....	58
11.3	Моделирование органа отключения выключателя	60
11.4	Принцип действия виртуальной модели ТНЗНП в программе Matlab.....	62
12	Испытание виртуальной модели максимальной токовой защиты в среде Matlab	63
12.1	Испытание виртуальной модели МТЗ АТ НН.....	63
12.2	Испытание виртуальной модели МТЗ АТ ВН	65
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	69
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	70
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	71
	ПРИЛОЖЕНИЕ В	72
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г	78
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	89

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время устройства РЗА, выполненные на электромеханической базе, постепенно уходят на второй план, уступая первенство микропроцессорным защитам и автоматике. Применение микропроцессоров открывает безграничные возможности в построении новых алгоритмов работы защит, позволяет значительно упростить их аппаратную реализацию за счет усложнения программной части, уменьшить габаритные размеры готовых устройств и многое другое.

Разработка новейших устройств, отвечающих высочайшим требованиям надежности и правильности работы опирается на достижения ученых в теоретическом совершенствовании существующих методов анализа аварийных режимов работы развивающихся энергосистем, поиск новых механизмов, на которых основывается принцип действия защит и автоматики, применении таких технологий, как оптоволоконная, нейронные сети, нечеткая логика, искусственный интеллект.

Ниже приведены некоторые труды специалистов релейной защиты и автоматизации энергосистем с кратким содержанием о нововведениях в области защит, построенных на дистанционном принципе за последние 10 лет.

Практика использования дистанционной защиты с динамическими характеристиками. Баглейбтер О.И. (ЗАО «Альстом Грид»). Сборник докладов XXI конференции «Релейная защита и автоматизация энергосистем», Москва 2012 г.

В настоящем докладе рассматриваются два различных подхода к улучшению селективности и надежности ДЗ за счет применения динамических характеристик: для полигональных характеристик - динамический наклон верхней границы для более точного учета падения напряжения на переходном сопротивлении, для круговых характеристик - динамическое расширение/сокращение характеристики вследствие работы по напряжению памяти либо по напряжению неповрежденных фаз.

Применение систем искусственного интеллекта в дистанционной защите линии электропередачи. Т.С. Камель, М.А. Мустафа Хассан, А. Эль-Моршеди (Cairo University, Egunet). Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматизации энергосистем», Москва 2009 г.

В последнее время были опубликованы некоторые интересные исследования, использующие методы нейронных сетей и нечеткой логики для определения вида и места повреждения в линиях электропередачи. Эти методы улучшают подавление негармонических компонент постоянного тока и определение симметричных составляющих токов линии.

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

1 Характеристики защищаемого объекта

В качестве исходных данных дан участок сети энергосистемы Красноярского края с параметрами всех элементов.

Основная подстанция рассматриваемого участка электрической сети является подстанция «Раздолинская».

Для бакалаврской работы рассчитывается защита автотрансформатора подстанции «Раздолинская».

Источниками питания являются эквивалентные системы $GS1$, $GS2$, $GS3$.

Принципиальная схема рассматриваемой электрической сети представлена на чертеже 1.

Защита трансформаторов и автотрансформаторов от сверхтоков является резервной, предназначенной для отключения их от источника питания как при повреждениях самих трансформаторов (автотрансформаторов) и отказе основных защит, так и при повреждении смежного оборудования и отказах его защиты или выключателей. При отсутствии специальной защиты шин защита трансформаторов от сверхтоков осуществляет также защиту этих шин.

Для защиты от сверхтоков при однофазном КЗ используется токовая защита и токовая направленная защита нулевой последовательности. Защита устанавливается со стороны обмоток, соединенных по схеме звезды с заземленной нулевой точкой.

На автотрансформаторах с двух- или трехсторонним питанием для обеспечения селективности действия максимальная токовая защита дополняется органами направления мощности.

Дистанционная защита сравнительно простая и она может быстро устранять короткие замыкания, расположенные вдоль большей части защищаемой цепи. Она также может выступать как в качестве основной, так и в качестве резервной защиты одновременно. Поскольку полное сопротивление линии электропередач пропорционально ее длине, для измерения дистанции целесообразно использовать реле, которое дает возможность измерять полное сопротивление линии до заданной точки (точка досягаемости или зона действия). Такое реле описано как дистанционное реле и разработано для срабатывания только на повреждениях расположенные между реле и выбранной точкой досягаемости, это дает возможность селективно отключать повреждения, которые могут возникать в разных частях линии. Основным принципом работы дистанционной защиты является деление напряжения в точке коммутации на измеренный ток, что, исходя из закона Ома равно сопротивлению. Расчетное сопротивление сравнивается с сопротивлением до точки досягаемости. Если измеренное сопротивление меньше сопротивления до точки досягаемости предполагается, что существует повреждение на линии между реле и точкой досягаемости. [12]

										Лист
										6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

2 Расчет параметров схемы замещения

Для расчета параметров необходимо составить схему замещения исследуемой электрической сети, представленной на чертеже 2.

Расчеты упрощаются при приближенном приведении сопротивлений к одной ступени напряжения. При этом для каждой ступени трансформации устанавливается одно среднее номинальное напряжение. В нашем случае будем приводить к ступени напряжения 115 кВ. По вычисленным сопротивлениям элементов сети составляется схема замещения прямой последовательности. При расчете токов КЗ схема замещения обратной последовательности принимается равной схеме замещения прямой последовательности.

Для трансформаторов и автотрансформаторов схема замещения нулевой последовательности составляется на основе схемы замещения прямой последовательности.

Сопротивление воздушных линий нулевой последовательности зависит от наличия грозозащитных тросов, их материала, наличия параллельных линий, и расстояний между ними, а также от марки и расположения проводов, типов опор.

Таблица 2.1 – Параметры линий

Обозначение	Номинальное напряжение, кВ	Протяженность, км	Марка провода	Удельное сопротивление, Ом/км
W_1	220	169	АС-240	$0,12 + j0,44$
W_2	220	169	АС-240	$0,12 + j0,44$
W_3	220	175	АС-600	$0,12 + j0,44$
W_4	220	175	АС-600	$0,12 + j0,44$
W_5	220	43	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_6	220	43	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_7	220	27	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_8	110	40	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_9	110	45	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_{10}	110	45	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_{11}	220	292	АС-240	$0,12 + j0,44$
W_{12}	220	230	АС-300	$0,098 + j0,43$
W_{13}	220	132	АС-300	$0,098 + j0,43$
W_{14}	220	132	АС-300	$0,098 + j0,43$
W_{15}	110	72	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_{16}	110	72	АС-120	$0,25 + j0,43$

Таблица 2.2 – Параметры трансформаторов

Название подстанции	Обозначение	$S_{ном}$, МВ·А	$U_{ном}$ обмоток, кВ			u_k , %		
			ВН	СН	НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН
Раздолинская	AT_1, AT_2	125	230	121	10,5	11	31	19
Мотыгинская	T_1, T_2	6,3	115	-	11	-	10,5	-
Перикл. 3-Д	T_3	16	115	-	11	-	10,5	-
Потаскуй	T_4, T_5	6,3	115	-	11	-	10,5	-

2.1 Расчет сопротивлений прямой, обратной, нулевой последовательностей линий

Определим сопротивления прямой последовательности линий W1-W10, Ом:

$$\underline{Z}_{W1} = \underline{Z}_{W2} = (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = (0,12 + j0,44) \cdot 169 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 5,07 + j18,59;$$

$$\underline{Z}_{W3} = \underline{Z}_{W4} = (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = (0,12 + j0,44) \cdot 175 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 5,25 + j19,25;$$

Сопротивления остальных линий рассчитываются по аналогичной формуле и сведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Сопротивления прямой последовательности линий

Обозначение на схеме замещения	Сопротивление	
	R, Ом	X, Ом
W_1	5,07	18,59
W_2	5,07	18,59
W_3	5,25	19,25
W_4	5,25	19,25
W_5	10,75	18,49
W_6	10,75	18,49
W_7	6,75	11,61
W_8	10,0	19,35
W_9	11,25	19,35
W_{10}	11,25	19,35

Определим сопротивления нулевой последовательности линий W1-W10, Ом:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{0W1} = \underline{Z}_{0W2} &= (R + 0,15 + jX \cdot 3) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = \\ &= (0,12 + 0,15 + j0,44 \cdot 3) \cdot 169 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 11,41 + j55,77; \\ \underline{Z}_{0W3} = \underline{Z}_{0W4} &= (R + 0,15 + jX \cdot 3) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = \\ &= (0,12 + 0,15 + j0,44 \cdot 3) \cdot 175 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 11,81 + j57,75; \end{aligned}$$

Сопротивления остальных линий рассчитываются по аналогичной формуле и сведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Сопротивления прямой последовательности линий

Обозначение на схеме замещения	Сопротивление	
	R, Ом	X, Ом
W ₁	11,41	55,77
W ₂	11,41	55,77
W ₃	11,81	57,75
W ₄	11,81	57,75
W ₅	17,2	55,47
W ₆	17,2	55,47
W ₇	10,8	34,83
W ₈	16,0	51,60
W ₉	18,0	58,05
W ₁₀	18,0	58,05

2.2 Расчет сопротивлений трансформаторов

Сопротивления автотрансформаторов, Ом

$$u_K^B = 0,5 \cdot (u_K^{B-C} + u_K^{B-H} - u_K^{C-H}) = 0,5 \cdot (11 + 31 - 19) = 11,5 \%;$$

$$u_K^C = 0,5 \cdot (u_K^{B-C} + u_K^{C-H} - u_K^{B-H}) = 0,5 \cdot (11 + 19 - 31) = -0,5 \%;$$

$$u_K^H = 0,5 \cdot (u_K^{B-H} + u_K^{C-H} - u_K^{B-C}) = 0,5 \cdot (31 + 19 - 11) = 19,5 \%.$$

$$X_{AT}^B = \frac{u_{AT}^B}{100} \cdot \frac{U_{cp}^2}{S_{ном.AT}} = \frac{11,5}{100} \cdot \frac{115^2}{125} = 12,17;$$

$$X_{AT}^C = 0;$$

$$X_{AT}^H = \frac{u_{AT}^H}{100} \cdot \frac{U_{cp}^2}{S_{ном.AT}} = \frac{19,5}{100} \cdot \frac{115^2}{125} = 20,63.$$

Сопротивления двухобмоточных трансформаторов, Ом

$$X_{T1} = X_{T2} = X_{T4} = X_{T5} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{cp}^2}{S_{ном.Т}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{115^2}{6,3} = 220,42;$$

$$X_{T3} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{cp}^2}{S_{ном.Т}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{115^2}{16} = 86,79;$$

$$X_{T3}^B = 0,125 \cdot X_{T3} = 0,125 \cdot 86,79 = 10,85;$$

$$X_{T3}^H = 0,75 \cdot X_{T3} = 1,75 \cdot 86,79 = 151,88.$$

2.3 Определение сопротивления систем

Примем, что сопротивление системы GS_1 составляет параллельное соединение двух параллельных линий W_{11}, W_{12} .

Сопротивления прямой и нулевой последовательности этих линий, Ом:

$$\underline{Z}_{W11} = (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = (0,12 + j0,44) \cdot 292 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 33,29e^{j74,74^\circ};$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{0W11} &= (R + 0,15 + jX \cdot 3) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = \\ &= (0,12 + 0,15 + j0,44 \cdot 3) \cdot 292 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 98,36e^{j78,44^\circ}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{W12} &= (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = (0,098 + j0,43) \cdot 230 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = \\ &= 25,36e^{j77,16^\circ}; \end{aligned}$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{0W12} &= (R + 0,15 + jX \cdot 3) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = \\ &= (0,098 + 0,15 + j0,43 \cdot 3) \cdot 230 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 75,52e^{j79,12^\circ};\end{aligned}$$

Тогда сопротивления системы GS1 прямой и нулевой последовательности, Ом

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{GS1} &= \frac{\underline{Z}_{W11}\underline{Z}_{W12}}{\underline{Z}_{W11} + \underline{Z}_{W12}} = \frac{33,29e^{j74,74^\circ} \cdot 25,36e^{j77,16^\circ}}{8,76 + j32,12 + 5,635 + j24,72} = \\ &= \frac{33,29e^{j74,74^\circ} \cdot 25,36e^{j77,16^\circ}}{58,63e^{j75,79^\circ}} = 14,40e^{j76,11^\circ} = 3,457 + j13,98;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{0GS1} &= \frac{\underline{Z}_{0W11}\underline{Z}_{0W12}}{\underline{Z}_{0W11} + \underline{Z}_{0W12}} = \frac{98,36e^{j78,44^\circ} \cdot 75,52e^{j79,12^\circ}}{19,71 + j96,36 + 14,26 + j74,16} = \\ &= \frac{33,29e^{j74,74^\circ} \cdot 25,36e^{j77,16^\circ}}{173,87e^{j78,73^\circ}} = 42,72e^{j78,83^\circ} = 8,276 + j41,91;\end{aligned}$$

Сопротивление системы GS2 составляет параллельное соединение двух параллельных линий W13, W14, Ом

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{GS2} &= (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = (0,098 + j0,43) \cdot 132 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = \\ &= 1,617 + j7,095;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{0GS2} &= (R + 0,15 + jX \cdot 3) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = \\ &= (0,098 + 0,15 + j0,43 \cdot 3) \cdot 132 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 4,092 + j21,28.\end{aligned}$$

Сопротивление системы GS3 составляет параллельное соединение двух параллельных линий W15, W16, Ом

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{GS3} &= (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = (0,25 + j0,43) \cdot 72 \cdot \left(\frac{115}{115} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = \\ &= 9,00 + j15,48;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{0GS3} &= (R + 0,15 + jX \cdot 3) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = \\ &= (0,25 + 0,15 + j0,43 \cdot 3) \cdot 72 \cdot \left(\frac{115}{115} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 14,4 + j46,44. \end{aligned}$$

2.4 Определение сопротивлений нагрузок трансформаторов

Определим сопротивление нагрузки автотрансформатора.

Ток нагрузки, кА

$$I_{нагр.} = \frac{0,5S_{ном.АТ}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{0,5 \cdot 125}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 3,437;$$

Согласно [4, стр. 68], выбираем $F = 70 \text{ мм}^2$, $I_{дон} = 165$, тогда количество кабелей в нагрузке, шт:

$$n = \frac{I_{нагр}}{I_{дон}} = \frac{3437}{165} \approx 21;$$

Рассчитаем сопротивление одного кабеля, Ом:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{каб.АТ} &= (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = (0,443 + j0,086) \cdot 1 \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = \\ &= 53,14 + j10,32; \end{aligned}$$

В итоге сопротивление нагрузки, Ом

$$\underline{Z}_{НАТ} = \frac{\underline{Z}_{каб.АТ}}{n} = \frac{53,14 + j10,32}{21} = 2,53 + j0,491.$$

Аналогично определим сопротивления нагрузок трансформаторов Т1, Т2, Т4, Т5.

Ток нагрузки, кА

$$I_{нагр.} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,346;$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Выбираем $F = 70 \text{ мм}^2$, $I_{\text{дон}} = 165$, тогда количество кабелей в нагрузке, шт:

$$n = \frac{I_{\text{нагр}}}{I_{\text{дон}}} = \frac{346}{165} \approx 2;$$

Сопротивление одного кабеля, Ом:

$$\begin{aligned} Z_{\text{каб.Т}} &= (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{\text{ср}}}{U_{\text{ср.ном}}} \right)^2 = (0,443 + j0,086) \cdot 1 \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = \\ &= 53,14 + j10,32; \end{aligned}$$

Сопротивления нагрузок, Ом

$$Z_{\text{Н1}} = Z_{\text{Н2}} = Z_{\text{Н4}} = Z_{\text{Н5}} = \frac{Z_{\text{каб.АТ}}}{n} = \frac{53,14 + j10,32}{2} = 26,57 + j5,16.$$

И, наконец, трансформатора ТЗ.

Ток нагрузки, кА

$$I_{\text{нагр.}} = \frac{S_{\text{ном.Т}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,880;$$

Выбираем $F = 70 \text{ мм}^2$, $I_{\text{дон}} = 165$, тогда количество кабелей в нагрузке:

$$n = \frac{I_{\text{нагр}}}{I_{\text{дон}}} = \frac{880}{165} \approx 5;$$

Сопротивление одного кабеля, Ом:

$$\begin{aligned} Z_{\text{каб.Т}} &= (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{\text{ср}}}{U_{\text{ср.ном}}} \right)^2 = (0,443 + j0,086) \cdot 1 \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = \\ &= 53,14 + j10,32; \end{aligned}$$

Сопротивление нагрузки, Ом

$$Z_{\text{НЗ}} = \frac{Z_{\text{каб.АТ}}}{n} = \frac{53,14 + j10,32}{2} = 26,57 + j5,16.$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

3 Расчёт режимов коротких замыканий с помощью программы TKZ-3000

Расчет токов КЗ выполнен в программном комплексе TKZ-3000 на основании составленной ранее расчетной машинной схемы замещения (чертёж №2) и рассчитанных параметров схемы замещения.

3.1 Назначение и возможности программного комплекса TKZ 3000

Для определения токов короткого замыкания воспользуемся программой TKZ3000.

Комплекс программ позволяет производить расчеты режимов короткого замыкания. Результаты расчетов помещаются в стандартный файл результатов. Форматы вывода могут быть различными, так как определяются разными программами обработки стандартного файла результатов.

С помощью комплекса можно получать токи, напряжения отношения токов к напряжениям (сопротивления) как в виде симметричных составляющих, так и в виде полных фазных или междуфазных величин.

3.2 Определение расчётных режимов работы сети и её элементов для защищаемого объекта

Основными режимами работы электроэнергетической системы считают максимальный, когда в работе находятся все элементы энергосистемы, и минимальный, когда часть генераторов и линий электропередачи отключены при минимальном режиме работы эквивалентной смежной энергосистемы. Величины токов и напряжений при максимальном режиме используются для расчета уставок проектируемых защит: параметры минимального режима необходимы для проверки их чувствительности.

При работе в минимальном режиме необходимо отключить:

- половину генераторов на электростанциях;
- произвести отключения в эквивалентной энергосистеме (увеличить в 1,3–2,0 раза её сопротивление);
- в электрической сети отключить одну из двухцепных воздушных линий (ВЛ) электропередачи;
- разомкнуть замкнутую электрическую сеть в конце следующего участка линии (отключив соответствующий выключатель ВЛ) [1].

Для расчёта уставок защит рассчитан ток трехфазного короткого замыкания в конце и за смежными элементами по отношению к защищаемому

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

в максимальном и минимальном каскадном режимах, а также ток трёхфазного короткого замыкания за обмоткой НН автотрансформатора.

Для проверки чувствительности защиты рассчитан ток трехфазного и двухфазного КЗ в конце защищаемого элемента и за смежными элементами по отношению к защищаемому в минимальном режиме.

Значения данных токов представлены в приложениях В, Г, Д.

Узлы, в которых необходимо рассчитать токи в максимальном и минимальном режимах приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Узлы проведения коротких замыканий

Название режима	Точки расчета		
	трехфазное КЗ	двухфазное КЗ	однофазное КЗ на землю
Максимальный режим	1, 2, 4, 9	-	1, 2, 4, 9
Минимальный режим	-	1, 2, 4, 5, 9, 29, 30	1, 2, 4, 5, 9, 29, 30

4 Выбор трансформаторов тока и трансформаторов напряжения

Контроль режимов работы основного и вспомогательного оборудования подстанции, а также поступление информации на устройства релейной защиты и автоматики осуществляются с помощью контрольно-измерительных приборов. Эти приборы относятся к вторичным цепям и связаны с первичными цепями посредством измерительных трансформаторов тока и напряжения [1].

4.1 Определение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения стороны ВН

Определим номинальный ток стороны ВН, А:

$$I_{\text{НОМ ВН}} = \frac{S_{\text{НОМ АТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ ВН}}} = \frac{125 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 230} = 313,8.$$

Определим ток учетом допустимой перегрузки автотрансформатора, которая равна $k_{\text{ав}} = 1,4$ А:

$$1,4 \cdot I_{\text{НОМ ВН}} = 1,4 \cdot 313,8 = 439,3,$$

следовательно выбираем для стороны ВН номинальный ток трансформатора тока $I_{1\text{НОМ}} = 400$ А, и тогда имеем

$$k_I^{\text{ВН}} = \frac{I_{1\text{НОМ}}}{I_{2\text{НОМ}}} = \frac{400}{5}.$$

Коэффициент трансформации трансформатора напряжения равен

$$k_U^{\text{ВН}} = \frac{U_{1\text{НОМ}}}{U_{2\text{НОМ}}} = \frac{220 \cdot 10^3}{100}.$$

4.2 Определение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения стороны СН

Определим номинальный ток стороны СН, А:

$$I_{\text{НОМ СН}} = \frac{S_{\text{НОМ АТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ СН}}} = \frac{125 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 115} = 627,6.$$

Определим ток учетом допустимой перегрузки автотрансформатора, которая равна $k_{ав} = 1,4$ А:

$$1,4 \cdot I_{НОМ СН} = 1,4 \cdot 627,6 = 878,6,$$

следовательно выбираем для стороны ВН номинальный ток трансформатора тока $I_{1НОМ} = 800$ А, и тогда

$$k_I^{СН} = \frac{I_{1НОМ}}{I_{2НОМ}} = \frac{800}{5}.$$

Коэффициент трансформации трансформатора напряжения равен.

$$k_U^{СН} = \frac{U_{1НОМ}}{U_{2НОМ}} = \frac{110 \cdot 10^3}{100}.$$

4.3 Определение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения стороны НН

Определим номинальный ток стороны НН, А:

$$I_{НОМ НН} = \frac{S_{НОМ АТ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ НН}} = \frac{125 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 6873.$$

Определим ток учетом допустимой перегрузки автотрансформатора, которая равна $k_{ав} = 1,4$ А:

$$1,4 \cdot I_{НОМ НН} = 1,4 \cdot 6873 = 9622,$$

следовательно выбираем для стороны ВН номинальный ток трансформатора тока $I_{1НОМ} = 800$ А, , и тогда

$$k_I^{НН} = \frac{I_{1НОМ}}{I_{2НОМ}} = \frac{10000}{5}.$$

Коэффициент трансформации трансформатора напряжения равен.

$$k_U^{НН} = \frac{U_{1НОМ}}{U_{2НОМ}} = \frac{10,0 \cdot 10^3}{100}.$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

5 Расчет защит от сверхтоков при внешних КЗ

При внешних КЗ защита трехобмоточных трансформаторов или автотрансформаторов должна обеспечивать селективное отключение только той обмотки трансформатора или автотрансформатора, которая непосредственно питает место повреждения.

На трехобмоточных трансформаторах с односторонним питанием (например со стороны ВН) на обмотках СН и НН просчитываются собственные МТЗ. На обмотке ВН просчитывается третья МТЗ, которая при срабатывании отключит трансформатор при КЗ в нем и резервирует срабатывание МТЗ обмоток СН и НН.

При расчёте дистанционной защиты использовались руководящие указания по релейной защите выпуск 7 «Дистанционная защита линий 35-330 кВ» [5].

5.1 Максимальная токовая защита АТ НН 10 кВ

Первичный ток, А, срабатывания максимальной токовой защиты (МТЗ)

$$I_{сз} = \frac{k_n \cdot k_{сз}}{k_b} \cdot I_{нагр \max} = \frac{1,1 \cdot 1,1}{0,95} \cdot 9622 = 12255,$$

где k_n – коэффициент надёжности, равный 1,1 о. е.; $k_{сз}$ – коэффициент самозапуска двигателей, равный $1,1 \div 3$ о. е.; k_b – коэффициент возврата защиты в исходное состояние, равный 0,95 о. е.; $I_{нагр \max}$ – максимальный ток нагрузки, принимаемый равным номинальному току обмотки трансформатора, на которую устанавливается защита, А.

Вторичный ток, А, срабатывания реле

$$I_{ср} = \frac{k_{сх}}{k_I} \cdot I_{сз} = \frac{1,0}{\frac{10000}{5}} \cdot 12255 = 6,128,$$

где $k_{сх}$ – коэффициент схемы, равный для МТЗ 1 о.е.; k_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Проверка чувствительности защиты в функции ближнего резерва:

$$k_{ч} = \frac{I_{\min K-4}^{(2)(3-4)}}{I_{сз}} = \frac{18400}{12255} = 1,50 \geq 1,5,$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

где $I_{\min K-4}^{(2)(3-4)}$ – ток, протекающий через защиту при двухфазном КЗ в конце защищаемого объекта в минимальном режиме работы системы, А

$$I_{\min K-4}^{(2)(3-4)} = k_{\text{АТ}}^{\text{С-Н}} \cdot \sqrt{\left(\frac{I_1 - I_2}{2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right)^2}$$

$$= \frac{115}{10,5} \cdot \sqrt{\left(\frac{972 - 968}{2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{972 + 968}{2}\right)^2} = 18400;$$

Проверка чувствительности защиты в функции дальнего резерва:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\min K-5}^{(2)(3-4)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{17946}{12255} = 1,46 \geq 1,25,$$

где $I_{\min K-5}^{(2)(3-4)}$ – ток, протекающий через защиту при двухфазном КЗ в конце смежного с защищаемым объектом в минимальном режиме работы системы, А

$$I_{\min K-5}^{(2)(3-4)} = k_{\text{АТ}}^{\text{С-Н}} \cdot \sqrt{\left(\frac{I_{1\min K-5}^{(2)(3-4)} - I_{2\min K-5}^{(2)(3-4)}}{2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{I_{1\min K-5}^{(2)(3-4)} + I_{2\min K-5}^{(2)(3-4)}}{2}\right)^2}$$

$$= \frac{115}{10,5} \cdot \sqrt{\left(\frac{948 - 944}{2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{948 + 944}{2}\right)^2} = 17946;$$

5.2 Расчет МТЗ с пуском минимального напряжения

Первичный ток, А, срабатывания защиты

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{ном}} = \frac{1,1}{0,95} \cdot 6873 = 7958,$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надёжности, равный 1,1 о. е.; $k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата защиты в исходное состояние, равный 0,95 о. е.; $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток защищаемой обмотки, А.

Проверка чувствительности защиты в функции ближнего резерва:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{min K-4}}^{(2)(3-4)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{18400}{7958} = 2,312 \geq 1,5,$$

где $I_{\text{min K-4}}^{(2)(3-4)}$ – ток, протекающий через защиту при двухфазном КЗ в конце защищаемого объекта в минимальном режиме работы системы, А.

Проверка чувствительности защиты в функции дальнего резерва:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{min K-29}}^{(2)(3-4)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{17946}{7958} = 2,255 \geq 1,25,$$

где $I_{\text{min K-29}}^{(2)(3-4)}$ – ток, протекающий через защиту при двухфазном КЗ в конце смежного с защищаемым объектом в минимальном режиме работы системы, А.

5.3 Дистанционная защита автотрансформатора ВН 220 кВ

Расчет уставок I ступени дистанционной защиты.

Первичное сопротивление, Ом, срабатывания I ступени дистанционной защиты (ДЗ) определяется условием согласования с уставкой I ступени дистанционной защиты питающей линии электропередачи:

$$Z_{\text{сз}}^{\text{I ВН}} = K_{\text{н1}} \cdot \left(Z_{\text{АТ}}^{\text{ВН}} + \frac{K_{\text{н2}} Z_{\text{сз}}^{\text{I (1-2)}}}{K_{\text{тр1}}} \right),$$

где $k_{\text{н1}}$ – коэффициент надёжности, равный 0,85 о.е.; $K_{\text{н2}}$ – коэффициент надёжности, равный 0,78 о.е.; $Z_{\text{АТ}}^{\text{ВН}}$ – комплексное сопротивление ВН защищаемого автотрансформатора, Ом; $K_{\text{тр1}}$ – коэффициент токораспределения, о. е., равный отношению тока, протекающего через защиту к току, смежной линии при КЗ в узле конца смежной линии электропередачи

- Согласование с защитой участка 1-2

$$k_{\text{тр1}} = \frac{I_{\text{max K-1}}^{(3)(2-3)}}{I_{\text{max K-1}}^{(3)(2-1)}} = \frac{261,5}{783,5} = 0,334;$$

где $I_{maxK-1}^{(3)(2-3)}$ – ток, протекающий через защиту, при трёхфазном КЗ в максимальном режиме генерации системы в конце питающей ЛЭП, А:

$$I_{maxK-1}^{(3)(2-3)} = k_{AT}^{B-C} \cdot I_{1maxK-1}^{(3)(2-3)} = \frac{115}{230} \cdot 523 = 261,5;$$

$I_{maxK-1}^{(3)(1-2)}$ – ток, протекающий по смежной линии электропередачи при трёхфазном КЗ в максимальном режиме генерации в конце этой ЛЭП, А:

$$I_{maxK-1}^{(3)(2-1)} = k_{AT}^{B-C} \cdot I_{1maxK-1}^{(3)(2-1)} = \frac{115}{230} \cdot 1567 = 783,5.$$

$Z_{cз(2-1)}^I$ – комплексное сопротивление срабатывания I ступени дистанционной защиты смежной линии электропередачи, Ом:

$$Z_{cз(2-1)}^I = K_{H1} Z_{W(2-1)} = 0,87 \cdot (5,070 + j18,590) = 16,76e^{j74,7^\circ}.$$

Имеем, Ом:

$$Z_{cз}^{I BH} = K_{H1} \cdot \left(Z_{AT}^{BH} + \frac{K_{H2} Z_{cз(2-1)}^I}{K_{TP1}} \right) = 0,85 \cdot \left(j12,17 + \frac{0,78 \cdot 16,76e^{j74,7^\circ}}{0,334} \right) = 8,779 + j42,43 = 43,33e^{j78,3^\circ}.$$

• Согласование с защитой участка 2-9

$$k_{TP1} = \frac{I_{maxK-1}^{(3)(2-3)}}{I_{maxK-1}^{(3)(2-9)}} = \frac{283}{686,5} = 0,412;$$

где $I_{maxK-1}^{(3)(2-3)}$ – ток, протекающий через защиту, при трёхфазном КЗ в максимальном режиме генерации системы в конце питающей ЛЭП, А:

$$I_{maxK-1}^{(3)(2-3)} = k_{AT}^{B-C} \cdot I_{1maxK-1}^{(3)(2-3)} = \frac{115}{230} \cdot 566 = 283;$$

$I_{maxK-1}^{(3)(2-3)}$ – ток, протекающий по смежной линии электропередачи при трёхфазном КЗ в максимальном режиме генерации в конце этой ЛЭП, А:

$$I_{maxK-1}^{(3)(2-3)} = k_{AT}^{B-C} \cdot I_{1maxK-1}^{(3)(2-3)} = \frac{115}{230} \cdot 1373 = 686,5.$$

$Z_{cз(2-9)}^I$ – комплексное сопротивление срабатывания I ступени дистанционной защиты смежной линии электропередачи, Ом:

$$Z_{cз(2-9)}^I = K_{H1} Z_{W(2-9)} = 0,87 \cdot (5,250 + j19,250) = 17,36e^{j74,7^\circ}.$$

Имеем, Ом:

$$\begin{aligned} Z_{cз}^{I BH} &= K_{H1} \cdot \left(Z_T^{BH} + \frac{K_{H2} Z_{cз(2-9)}^I}{K_{Tр1}} \right) = 0,85 \cdot \left(j12,17 + \frac{0,78 \cdot 17,36e^{j74,7^\circ}}{0,412} \right) = \\ &= 7,372 + j37,29 = 38,01e^{j78,8^\circ}. \end{aligned}$$

Принимаем за основу наименьшее сопротивление –

$$Z_{cз}^{I BH} = 38,01e^{j78,8^\circ}.$$

Вторичное сопротивление, Ом, срабатывания реле

$$Z_{cp}^I = \frac{k_I^{BH}}{k_U^{BH}} \cdot Z_{cз}^{I BH} = \frac{\frac{400}{5}}{\frac{220 \cdot 10^3}{100}} \cdot 38,01 = 1,382.$$

Коэффициент чувствительности

$$k_{ч}^I = \frac{Z_{cз}^I}{Z_T^{BH}} = \frac{38,01}{12,17} = 3,123 > 1,5.$$

Расчет уставок IV ступени дистанционной защиты.

Первичное сопротивление, Ом, срабатывания IV ступени ДЗ определяется условием отстройки от сопротивления нагрузки

$$\begin{aligned} Z_{cз}^{IV} &= \frac{0,9U_{ном}}{\sqrt{3}I_{нагр}k_Hk_B \cos(\varphi_{м.ч.} - \varphi_H)} = \frac{0,9 \cdot 230 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 313,8 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot \cos(75^\circ - 35^\circ)} = \\ &= 376,6 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

$$I_{\min K-30}^{(2)(2-3)} = k_{\text{AT}}^{\text{B-C}} \cdot \sqrt{\left(\frac{I_{1\min K-30}^{(2)(2-3)} - I_{2\min K-30}^{(2)(2-3)}}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{I_{1\min K-30}^{(2)(2-3)} + I_{2\min K-30}^{(2)(2-3)}}{2}\right)^2} =$$

$$= \frac{115}{230} \cdot \sqrt{\left(\frac{111 - 125}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{111 + 125}{2}\right)^2} = 102,2;$$

где $I_{\min K-30}^{(2)(30-2)}$ – ток, протекающий по смежной линии электропередачи при двухфазном КЗ в минимальном режиме в конце смежного элемента, А:

$$I_{\min K-30}^{(2)(2-30)} = k_{\text{AT}}^{\text{B-C}} \cdot \sqrt{\left(\frac{I_1 - I_2}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right)^2} =$$

$$= \frac{115}{230} \cdot \sqrt{\left(\frac{1106 - 1106}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{1106 + 1106}{2}\right)^2} = 958,0.$$

Тогда

$$k_{\text{ч}}^{\text{IV}} = \frac{Z_{\text{сз}}^{\text{IV}}}{Z_{\text{T}}^{\text{BH}} + \frac{Z_{\text{W3}}}{k_{\text{тр2}}}} = \frac{376,6}{j12,17 + \frac{5,250 + j19,250}{0,107}} = 1,90 \geq 1,25.$$

6 Защита от токов нулевой последовательности

Токовая защита нулевой последовательности реагирует на токи $3I_0$, появляющиеся в трансформатора или автотрансформаторе при внешних КЗ и КЗ в трансформаторе. Применяется на трансформаторах (а также автотрансформаторах) и устанавливается со стороны обмоток ВН и СН, если последние соединены по схеме звезды и работают с глухозаземленной нулевой точкой.

На выполнение защит нулевой последовательности автотрансформатора влияют особенности, и поэтому она имеет некоторые отличия от защит трансформаторов:

1) у АТ заземляются концы обмоток СН, являющиеся общей частью обмотки АТ;

2) вследствие наличия электрической связи между обмотками ВН и СН автотрансформатора КЗ на землю на стороне одного напряжения вызывает токи нулевой последовательности на стороне другого. В связи с этим возникает необходимость согласования выдержек времени МТЗ НП на выводах ВН и СН АТ. Для обеспечения селективности эти защиты выполняются направленными;

3) для уменьшения выдержек времени рекомендуется МТЗ НП на АТ выполнять двух- и трехступенчатыми.

6.1 I ступень токовая отсечка нулевой последовательности ВН

Ток срабатывания первой ступени токовой направленной защиты нулевой последовательности (ТЗНП), A , выбирается по условию согласования со ступенями защит от КЗ на землю смежных питающих линий электропередачи со стороны высшего (или среднего) напряжения (I, II, III или IV) при удовлетворении требования чувствительности

$$I_{сз}^I = k_{отс} \cdot I_{W1}^I,$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, равный 1,1 о.е.; I_{W1}^I – ток срабатывания первой ступени ТЗНП смежной линии, с которой производится согласование для обеспечения требуемой чувствительности, A .

$$I_{W1}^I = K_H \cdot I_{\max(k-1)}^{(1)2-1} = 1,1 \cdot 585,5 = 644,0;$$

$$\begin{aligned} I_{\max(k-1)}^{(1)2-1} &= k_{AT}^{B-C} \cdot \left(I_{1\max(k-1)}^{(1)2-1} + I_{2\max(k-1)}^{(1)2-1} + I_{0\max(k-1)}^{(1)2-1} \right) = \\ &= \frac{115}{230} \cdot (353 + 358 + 460) = 585,5, \end{aligned}$$

					<i>ВКР – 13.03.02.05 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

Тогда $I_{сз}^I = 1,1 \cdot 644,0 = 708,4$.

Согласование с защитой участка 2-9:

$$I_{W3}^I = K_H \cdot I_{\max(k-9)}^{(1)2-9} = 1,1 \cdot 527,0 = 580,0,$$

$$\begin{aligned} I_{\max(k-9)}^{(1)9-2} &= k_{AT}^{B-C} \cdot \left(I_{1\max(k-9)}^{(1)2-9} + I_{2\max(k-9)}^{(1)2-9} + I_{0\max(k-9)}^{(1)2-9} \right) = \\ &= \frac{115}{230} \cdot (297 + 304 + 453) = 527,0. \end{aligned}$$

Тогда $I_{сз}^I = 1,1 \cdot 580,0 = 638$.

Принимаем за основной наибольший ток срабатывания защиты, А

$$I_{сз}^I = 708,4.$$

Определяем первичный ток, А, срабатывания реле

$$I_{ср} = \frac{K_{сх}}{k_I^{BH}} \cdot I_{сз}^I = \frac{1}{\frac{400}{5}} \cdot 708,4 = 8,855,$$

где $K_{сх}$ – коэффициент, учитывающий схему соединения вторичных обмоток главных ТТ стороны ВН, k_I^{BH} – коэффициент трансформации главного ТТ стороны ВН.

Проверка чувствительности защиты, о. е.:

$$K_{ч} = \frac{I_{\min(k-2)}^{(1)2-3}}{I_{сз}} = \frac{659,5}{708,4} = 1,03 < 1,5,$$

где $I_{\min(k-2)}^{(1)2-3}$ – ток, протекающий через защиту при однофазном КЗ на шинах ВН в минимальном режиме работы системы, А.

$$\begin{aligned} I_{\min(k-2)}^{(1)2-3} &= k_{AT}^{B-C} \cdot \left(I_{1\min(k-2)}^{(1)2-3} + I_{2\min(k-2)}^{(1)2-3} + I_{0\min(k-2)}^{(1)2-3} \right) \\ &= \frac{115}{230} \cdot (232 + 246 + 841) = 659,5. \end{aligned}$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

6.2 II ступень токовая отсечка нулевой последовательности

Первичный ток срабатывания защиты второй ступени, А
- Согласование с ТЗНП I ступени смежных линий

$$I_{сз}^{II} = k_{согл} K_{тр} I_{сз}^I = 1,1 \cdot 0,507 \cdot 708,4 = 395,1$$

где $k_{согл} = 1,1 \div 1,3$ – коэффициент согласования; $K_{тр}$ – коэффициент токораспределения, который определяется как отношение тока, протекающего по защищаемой обмотке трансформатора к току, протекающему по смежной линии при однофазном КЗ за смежной линией в максимальном режиме:

$$K_{тр} = \frac{I_{max(k-1)}^{(1)2-3}}{I_{max(k-1)}^{(1)2-1}} = \frac{297,0}{585,5} = 0,507;$$

$$\begin{aligned} I_{max(k-1)}^{(1)2-3} &= k_{АТ}^{B-C} \cdot \left(I_{1max(k-1)}^{(1)2-3} + I_{2max(k-1)}^{(1)2-3} + I_{0max(k-1)}^{(1)2-3} \right) \\ &= \frac{115}{230} \cdot (109 + 122 + 363) = 297,0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{max(k-1)}^{(1)2-1} &= k_{АТ}^{B-C} \cdot \left(I_{1max(k-1)}^{(1)2-1} + I_{2max(k-1)}^{(1)2-1} + I_{0max(k-1)}^{(1)2-1} \right) \\ &= \frac{115}{230} \cdot (353 + 358 + 460) = 585,5; \end{aligned}$$

Определяем первичный ток, А, срабатывания реле

$$I_{ср} = \frac{K_{сх}}{k_I^{ВН}} \cdot I_{сз}^{II} = \frac{1}{\frac{400}{5}} \cdot 585,5 = 7,319,$$

где $K_{сх}$ – коэффициент, учитывающий схему соединения вторичных обмоток главных ТТ стороны ВН, $k_I^{ВН}$ – коэффициент трансформации главного ТТ стороны ВН.

Проверка чувствительности защиты, о. е.:

$$K_{ч} = \frac{I_{min(k-2)}^{(1)2-3}}{I_{сз}} = \frac{659,5}{466,9} = 1,66 > 1,5,$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

где $I_{\min(k-2)}^{(1)2-3}$ – ток, протекающий через защиту при однофазном КЗ на шинах ВН в минимальном режиме работы системы, А.

6.3 IV степень максимальная токовая защита нулевой последовательности

Ток срабатывания четвертой ступени ТЗНП, А, определяется отстройкой от тока небаланса, протекающего в нулевом проводе защищаемого трансформатора при внешних трехфазных КЗ:

$$I_{сз}^{IV} = k_n K_{тр} I_{нб},$$

где k_n – коэффициент надежности, равный 1,2÷1,3 о.е.; $I_{нб}$ – ток небаланса, протекающий в нулевом проводе при внешнем трехфазном КЗ, А.

$$I_{нб} = k_{нб} I_{\max K-4}^{(3)(2-3)} = 0,5 \cdot 353 = 176,$$

где $I_{\max K-2}^{(3)(2-3)}$ – ток, протекающий через защиту при трехфазном КЗ на стороне НН рассматриваемого трансформатора, А:

$$I_{\max K-2}^{(3)(2-3)} = k_{АТ}^{B-C} \cdot I_{1\max K-2}^{(3)(2-3)} = \frac{115}{230} \cdot 706 = 353;$$

$k_{нб}$ – коэффициент небаланса, равный 0,1 о. е. при кратности $k > 3$;
 $k_{нб}$ – коэффициент небаланса, равный 0,5 о. е. при кратности $k < 3$;
 где k – кратность, о. е., определяется отношением

$$k = \frac{I_{\max K-2}^{(3)(2-3)}}{I_{ном}} = \frac{353}{313,8} = 1,12,$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток заземленной обмотки трансформатора, А.
 Тогда ток срабатывания четвертой ступени ТЗНП, А:

$$I_{сз}^{IV} = k_n I_{нб} = 1,2 \cdot 243,5 = 292,2,$$

Определим ток, А, срабатывания реле:

$$I_{ср}^{IV} = \frac{k_{сх}}{k_I} I_{сз}^{IV} = \frac{1}{\frac{400}{5}} \cdot 292,2 = 3,652.$$

Определим коэффициент чувствительности защиты по току, о.е.,

- в конце защищаемого участка

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\min(\kappa-2)}^{(1)2-3}}{I_{\text{сз}}^{\text{IV}}} = \frac{659,5}{292,5} = 2,25 > 1,5,$$

где $I_{\min(\kappa-2)}^{(1)2-3}$ – ток, протекающий по защищаемому трансформатору в месте установки защиты при однофазном КЗ в конце защищаемого элемента (на шинах ВН) в минимальном режиме генерации, А;

- в конце зоны действия

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\min(\kappa-29)}^{(1)2-3}}{I_{\text{сз}}^{\text{IV}}} = \frac{144,0}{292,5} \Rightarrow 1,25,$$

где $I_{\min(\kappa-1)}^{(1)2-3}$ – ток, протекающий по защищаемому трансформатору в месте установки защиты, при КЗ в конце смежного элемента (питающей линии электропередачи) в минимальном режиме и каскадном отключении выключателя ЛЭП, А:

$$\begin{aligned} I_{\min(\kappa-1)}^{(1)2-3} &= K_{\text{АТ}}^{\text{В-С}} \cdot \left(I_{1 \min(\kappa-29)}^{(1)2-3} + I_{2 \min(\kappa-29)}^{(1)2-3} + I_{0 \min(\kappa-29)}^{(1)2-3} \right) = \\ &= \frac{115}{230} \cdot (42 + 56 + 190) = 144,0. \end{aligned}$$

Коэффициент чувствительности по мощности, о.е.:

- в конце защищаемого участка:

$$k_{\text{ч}}^{\text{W}} = \frac{I_{\min(\kappa-2)}^{(1)(2-3)} \cdot U_{\text{ост}}^{(1)} \cdot k_{\text{сх}}}{k_{\text{I}} \cdot k_{\text{U}} \cdot S_{\text{ср}}} = \frac{659,5 \cdot 8026 \cdot 1}{\frac{400}{5} \cdot \frac{220 \cdot 10^3}{100} \cdot 14,0} = 2,15 \geq 2,$$

где $U_{\text{ост}}^{(1)}$ – минимальное значение остаточного напряжения при КЗ в конце защищаемого элемента, В:

$$U_{\text{ост}}^{(1)} = I_{\min(\kappa-2)}^{(1)(2-3)} \cdot Z_{\text{АТ}}^{\text{ВН}} = 659,5 \cdot 12,17 = 8026;$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

$$I_{\min(\kappa-2)}^{(1)(2-3)} = K_{\text{АТ}}^{\text{В-С}} \cdot \left(I_{1\min(\kappa-2)}^{(1)(2-3)} + I_{2\min(\kappa-2)}^{(1)(2-3)} + I_{0\min(\kappa-2)}^{(1)(2-3)} \right) =$$

$$= \frac{115}{230} \cdot (232 + 246 + 841) = 659,5;$$

- в конце зоны действия:

$$k_{\text{ч}}^W = \frac{I_{\min(\kappa-29)}^{(1)(2-3)} \cdot U_{\text{ост}}^{(1)} \cdot k_{\text{сх}}}{k_I \cdot k_U \cdot S_{\text{ср}}} = \frac{144,0 \cdot 2775 \cdot 1}{\frac{400}{5} \cdot \frac{220 \cdot 10^3}{100} \cdot 4} = 1,50 \geq 1,4 \div 1,5,$$

где $U_{\text{ост}}^{(1)}$ – минимальное значение остаточного напряжения при КЗ в конце смежной линии электропередачи, В:

$$U_{\text{ост}}^{(1)} = I_{\min(\kappa-29)}^{(1)(2-3)} \cdot Z_{W1} = 144,0 \cdot (5,070 + j18,59) = 2775e^{j74,74}.$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

7 Испытание МТЗ АТ на стенде ШЭ 2607 048

7.1 Назначение шкафа ШЭ 2607 048

Шкаф типа ШЭ 2607-048 предназначен для защиты, автоматике вводов. Комплект реализует функции АУВ, УРОВ, АПВ, АВР и содержит также трехступенчатую максимальную токовую защиту (МТЗ), защиту от неполнофазного режима (ЗНР), защиту от дуговых замыканий (ЗДЗ), логическую защиту шин (ЛЗШ), защиту минимального напряжения (ЗМН) и защиту от однофазных замыканий на землю (ЗОЗЗ).

Аппаратно указанные выше функции реализованы на базе микропроцессорных терминалов БЭ2502А0303[10].

7.2 Устройство и работа исследуемых защит шкафа ШЭ 2607 048

Для исследования нужно правильно выполнить соединение между клеммником на стене и шкафом релейной защиты в соответствии со схемой (рис. 7.1).

Нужно отсоединить все фазы и нейтраль белого кабеля от клеммника на стене (если они подключены), подключить все фазы и нейтраль чёрного кабеля к соответствующим клеммам клеммника на стене и к клеммам испытательной крышки блока SG1 как показано на рис. 7.1.

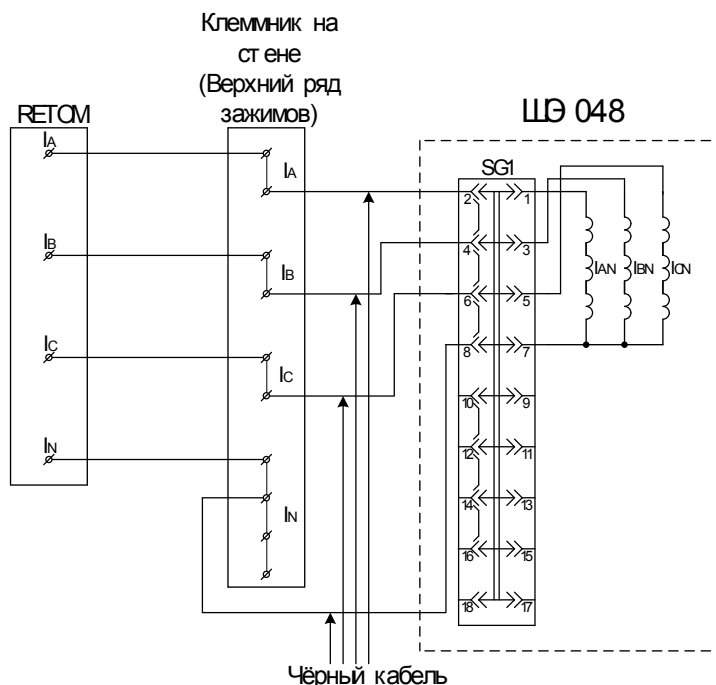


Рис. 7.1 Схема испытания МТЗ ВН

Для исследования МТЗ НН необходимо отсоединить все фазы и нейтраль белого кабеля от клеммника на стене (если они подключены), подключить все фазы и нейтраль чёрного кабеля к соответствующим клеммам клеммника на стене и к клеммам испытательной крышки блока *SG1* как показано на рис. 7.2.

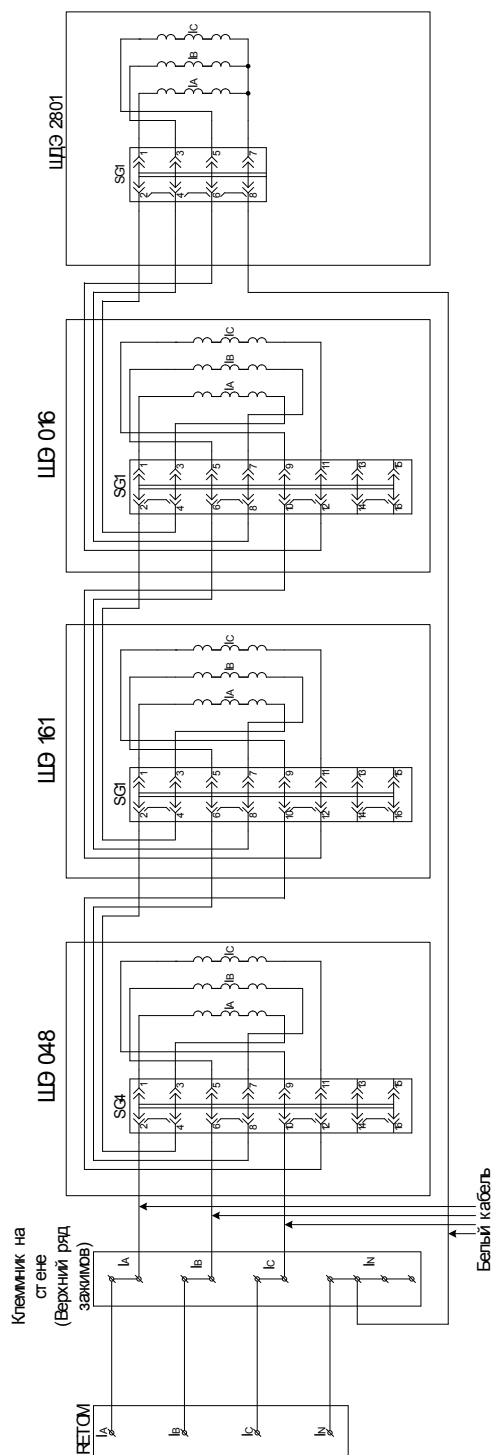


Рис. 7.2 Схема испытания МТЗ НН

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Функциональная схема МТЗ приведена на рис. 7.3. Схема содержит ИО тока фаз первой, второй и третьей ступеней. Для отстройки от пусковых токов при двигательной нагрузке для первой ступени предусмотрен режим работы с загрузлением уставки, который задаётся программной накладкой ХВ1 на время работы реле ускорения (при возврате реле РПО с выдержкой времени на возврат). С помощью программных накладок ХВ4, ХВ7 и ХВ10 предусмотрен вывод функций МТЗ-1, МТЗ-2 и МТЗ-3 соответственно. Переключателем «SA Вывод МТЗ», который по умолчанию представлен на лицевой панели терминала в виде тумблера SA2, предусмотрен вывод всех ступеней МТЗ из работы.

Контроль направленности МТЗ вводится программными накладками ХВ2, ХВ5 и ХВ8 соответственно для МТЗ-1, МТЗ-2 и МТЗ-3. Накладками ХВ3, ХВ6 и ХВ9 задается режим работы МТЗ первой, второй и третьей ступеней с пуском по напряжению, соответственно.

Первая и вторая ступени МТЗ имеют независимые выдержки времени срабатывания.

Третья ступень выполнена с возможностью работы как с зависимой, так и с независимой выдержкой времени. Выбор характеристики срабатывания осуществляется через ИЧМ. Действие третьей ступени на отключение задаётся программной накладкой ХВ11.

Выбор режима работы направленных ступеней МТЗ при неисправности ТН задается программной накладкой ХВ12 в соответствии с рис. 6.2. При этом производится соответственно блокирование или перевод МТЗ в ненаправленный режим. Измерительные органы направления мощности выполнены по 90-градусной схеме с использованием фазных токов и линейных напряжений. Угол максимальной чувствительности (ЛМЧ) 45 градусов (может регулироваться), зона срабатывания регулируется в зависимости от характеристик РНМ1 и РНМ2, включенных по схеме «И». На рис. 6.3 приведен пример векторной диаграммы токов и напряжений режимов срабатывания РНМ1 и РНМ2 [10].

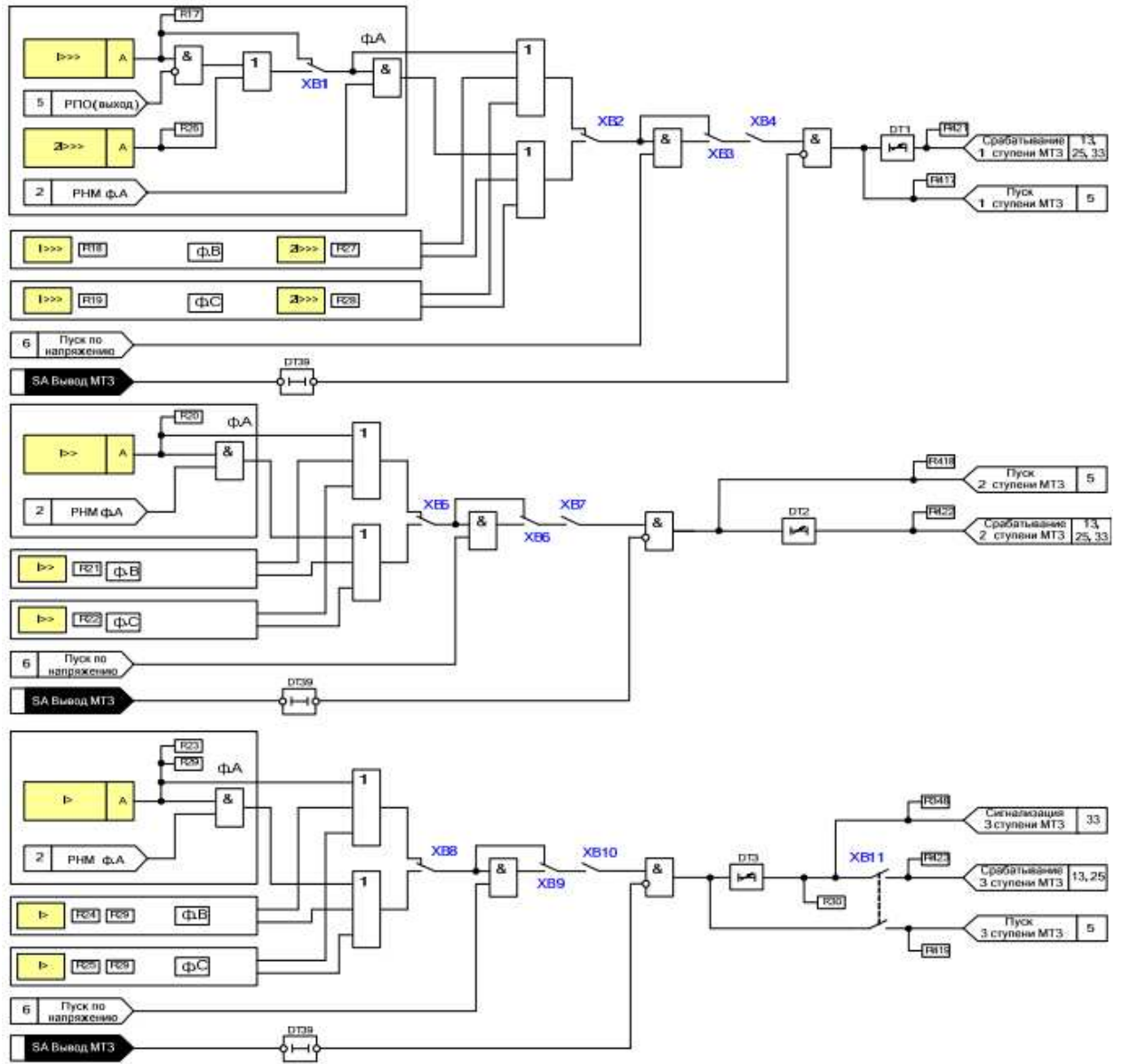


Рисунок 7.3 - Функциональная схема МТЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ВКР – 13.03.02.05 ПЗ

Лист

34

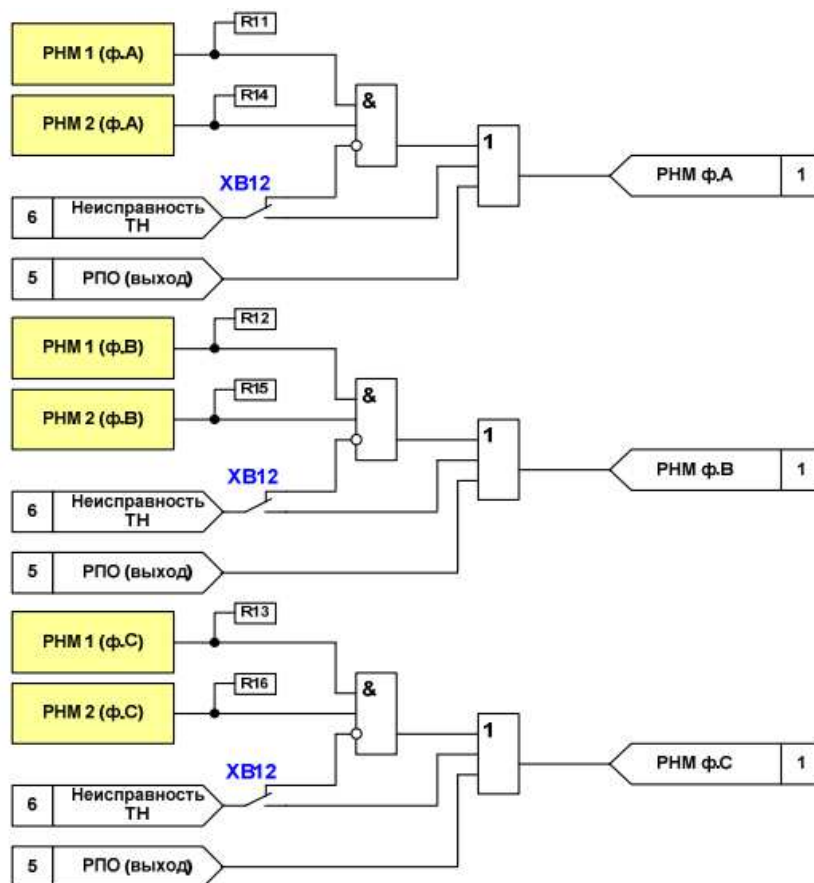


Рисунок 7.4 - Функциональная схем РМН МТЗ

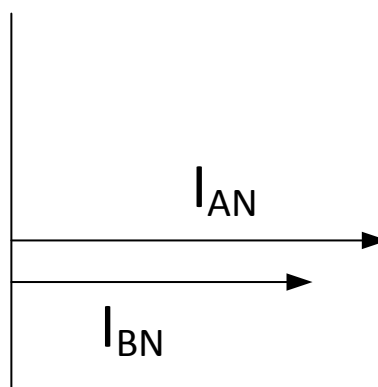


Рисунок 7.5 – Направление подаваемых токов реле-томографом РЕ-ТОМ 41М для создания КЗ в зоне действия защиты

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ВКР – 13.03.02.05 ПЗ

Лист

35

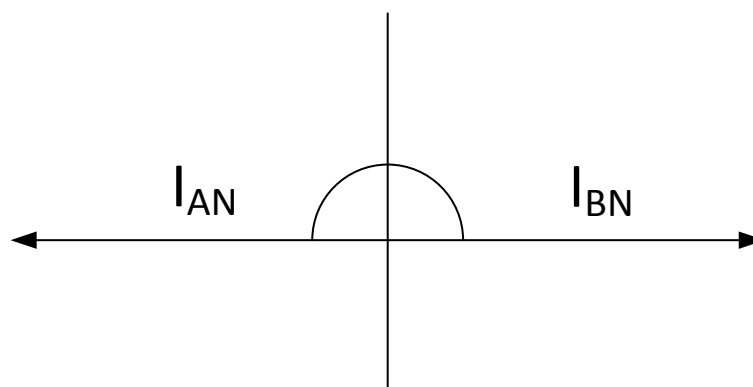


Рисунок 7.6 – Направление подаваемых токов реле-томографом РЕ-ТОМ 41М для создания внешнего КЗ

Для анализа результатов испытаний необходимо рассмотреть осциллограммы при КЗ в зоне действия защиты и внешнем КЗ. Результаты испытаний при КЗ в зоне действия защиты представлены на рис. 7.7, 7.8 и 7.9. Из осциллограмм, можно сделать вывод, что защита срабатывает при подаче двух одинаково направленных токах стороны ВН и НН фазы А.

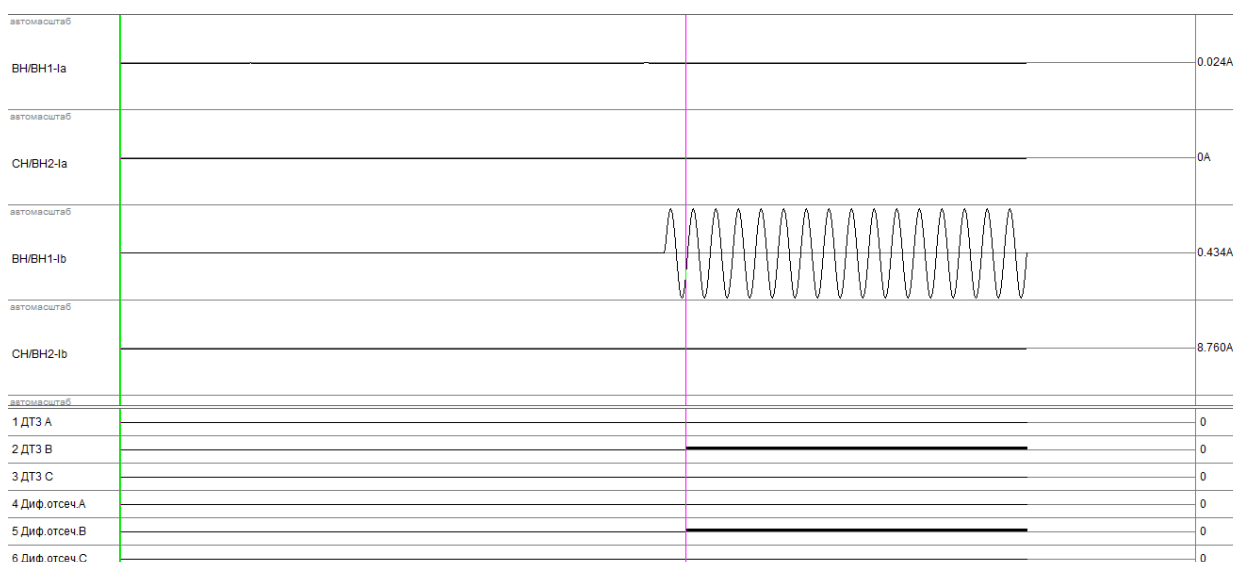


Рисунок 7.7 – Осциллограммы токов при однофазном замыкании на землю в зоне действия защиты

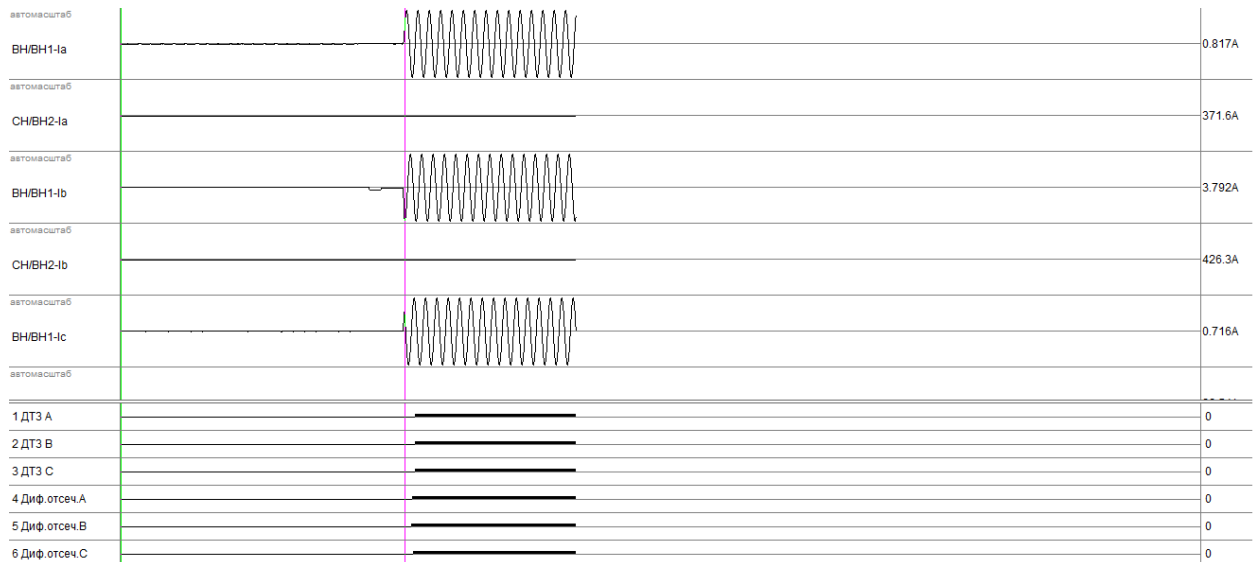


Рисунок 7.8 – Осциллограммы токов при срабатывании МТЗ ВН



Рисунок 7.9 — Осциллограммы токов при срабатывании МТЗ НН

8 Создание модели исследуемого участка сети в программе Matlab

Для создания модели участка электрической сети в программе *Matlab* воспользуемся его основным расширением *Simulink* и электротехнической библиотекой *SimPowerSystems*. Библиотека *SimPowerSystems* это пакет, содержащий набор блоков, позволяющих произвести имитационное моделирование электротехнических устройств. В состав библиотеки входят как активные, так и пассивные элементы, источники тока и напряжения, различные электрические машины, преобразовательные и трансформирующие устройства, измерительные приборы и средства визуального контроля. Применяя *Simulink* и *SimPowerSystems*, мы получим возможность проводить различные виды анализа моделируемой системы [5].

Модель электрической сети представлена на чертеже 7.

Для создания модели исследуемого участка электрической сети использовались элементы базы данных для моделирования в *Matlab*. Подробное описание данных элементов и методов ввода их параметров приведено в учебном пособии «Моделирование устройств релейной защиты в среде *Matlab*» [5].

Для создания электрического источника, а именно системы GS1 воспользуемся элементом библиотеки *Three Phase Source* – трёхфазный источник напряжения. Пиктограмма блока изображена на рис. 8.1.

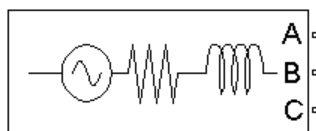


Рисунок 8.1 – Пиктограмма блока *Three-Phase Source*

Моделирование линий осуществлялось с помощью блока *Three Phase Pi Section Line*. Пиктограмма данного блока изображена на рис. 8.2.

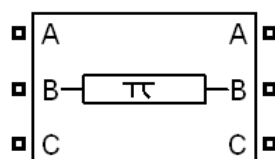


Рисунок. 8.2 – Пиктограмма блока *Three-Phase Pi Section Line*

Силовой трансформатор представлен блоком *Three-phase Transformer (Two Windings)* – трёхфазный двухобмоточный силовой трансформатор. Пиктограмма элемента приведена на рис. 8.3.

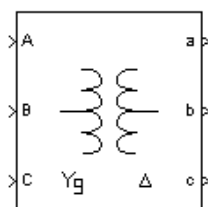


Рисунок 8.3–Пиктограмма элемента *Three-phase Transformer (Two Windings)*

Модель нагрузки создана с помощью элемента *3-Phase Series RLC Load*. Пиктограмма блока показана на рис. 8.4.



Рисунок 8.4 - Пиктограмма блока *3-Phase Series RLC Load*

Для создания выключателя воспользуемся элементом библиотеки *3-Phase Breaker* – трёхфазный выключатель. Пиктограмма блока изображена на рис. 8.5.

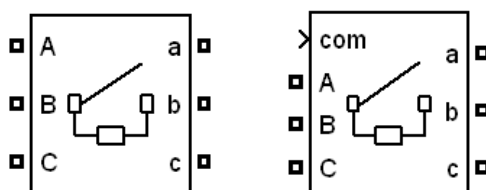
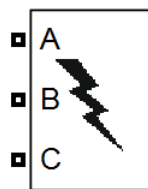


Рисунок 8.5 - Пиктограмма элемента *3-Phase Breaker*

Для создания аварий (коротких замыканий) применяется блок *3-Phase Fault*. Пиктограмма блока показана на рис. 8.6.



Three-Phase Fault

Рисунок 8.6 - Пиктограмма элемента *3-Phase Fault*

Моделирование осциллографа осуществляется с помощью элемента библиотеки *Current Measurement* – идеальный амперметр. Пиктограмма блока изображена на рис. 8.7.

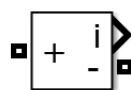


Рисунок 8.7 - Пиктограмма блока *Multimeter*

А также с помощью блока библиотеки *SimPowerSystems*. Пиктограмма модели осциллографа представлена на рис. 8.8.



Рисунок 8.8 – Пиктограмма модели осциллографа

Трансформатор тока является связующим звеном между первичными силовыми и вторичными токовыми цепями. Более подробное описание моделирования измерительного трансформатора тока и методов ввода его параметров приведено в учебном пособии [5]. Пиктограмма трансформатора тока представлена на рис. 8.9.

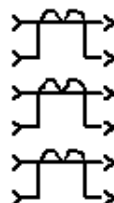


Рисунок 8.9 – Пиктограмма трансформатора тока

Измерительный трансформатор напряжения был взят из базы данных, где подробно описан метод его создания [5]. Пиктограмма трансформатора напряжения представлена на рис. 8.10.



Рисунок 8.10 – Пиктограмма трансформатора напряжения

Схема трансформатора тока в *Matlab Simulink* представлена на рис. 8.11. В данной схеме основным блоком является блок *Saturable Transformer*. Этот блок представляет собой насыщаемый двухобмоточный трансформатор. С помощью переменных $I1$ и $I2$ меняется коэффициент трансформации трансформатора тока, то есть переменные $I1$ и $I2$ являются значениями первичного и вторичного номинальных токов.

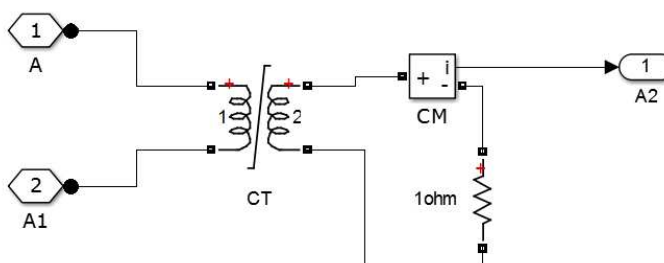


Рисунок 8.11 – Модель трансформатора тока в исполнении для фазы А

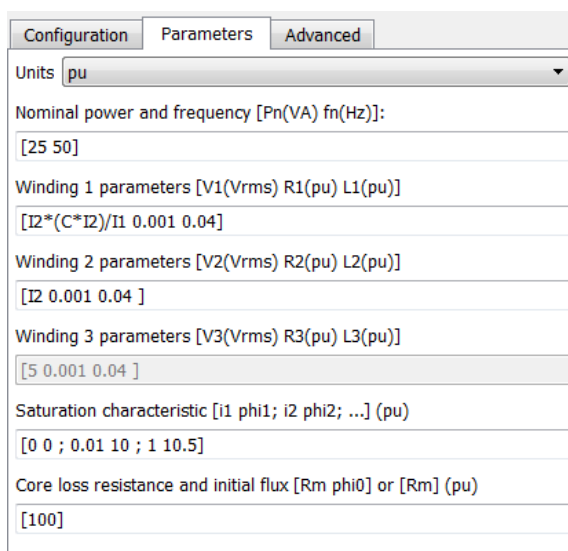


Рисунок 8.12. – Параметры блока *Saturable Transformer*

Для создания режима, близкого к режиму короткого замыкания, а также для получения значения тока, протекающего по вторичной обмотке, используется блок *Series RLC Branch*. Этот блок представляет собой последовательно соединенные *RLC* сопротивления. Для модели *TA* используется активное сопротивление значением 1 Ом. Для оцифрования и дискретизирования сигнала тока используется блок *Current Measurement (CM)*. Данный блок сам оцифровывает сигнал, то есть является аналогом аналого-цифрового преобразователя в *Matlab Simulink*, а также дискретизирует сигнал с помощью блока *Power Gui*, где задается частота дискретизации.

9 Создание модели дистанционной защиты трансформатора

В данной работе представлена модель дистанционной защиты (ДЗ). При её реализации был использован модуль *Simulink* программы *Matlab*.

Функциональная схема разработанной защиты показана на чертеже №3.

Модель включает в себя следующие устройства:

- фильтр НЧ (CF I и CF U);
- АЦП;
- формирователи ортогональных составляющих тока и напряжения (ORT I, ORT U);
- органы сопротивления (KZ1 – KZ3);
- органы блокировки при качаниях (PSD);
- орган блокировки при неисправностях цепей переменного напряжения (FFS);
- органа отключения выключателя (Q);
- сигнальные органы (HL).

Функции АЦП непосредственно выполняет программа *MATLAB* (приложение *Simulink*).

9.1 Моделирование формирователя ортогональных составляющих тока и напряжения

Промежуточным звеном между измерительными трансформаторами и измерительными органами защиты являются формирователи ортогональных составляющих ORT I и ORT U. Они необходимы для представления мгновенных значений входных аналоговых величин в комплексном виде.

На вход данного модуля поступают дискретные сигналы, которые представляют собой величины, пропорциональные токам защищаемой линии электропередачи.

Для работы измерительных органов защиты необходимо комплексное значение тока, которое может быть получено из следующего закона:

$$\dot{I} = I_m \cdot \cos \omega t + jI_m \cdot \sin \omega t,$$

где $I_m \cdot \cos \omega t$ - закон изменения тока по фазе;

$I_m \cdot \sin \omega t$ - закон изменения тока по величине.

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

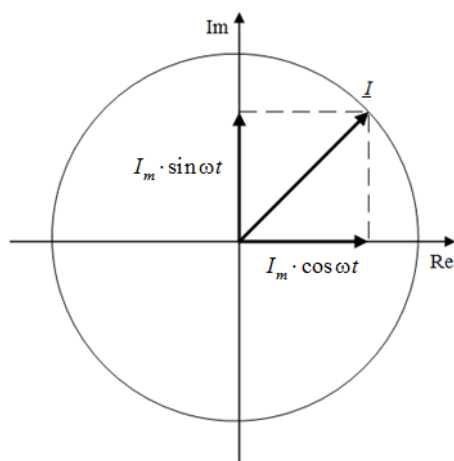


Рисунок 9.1 – Ортогональные составляющие тока

Токи $I_m \cdot \cos \omega t$ и $I_m \cdot \sin \omega t$ представляют собой ортогональные составляющие, (рис. 9.1).

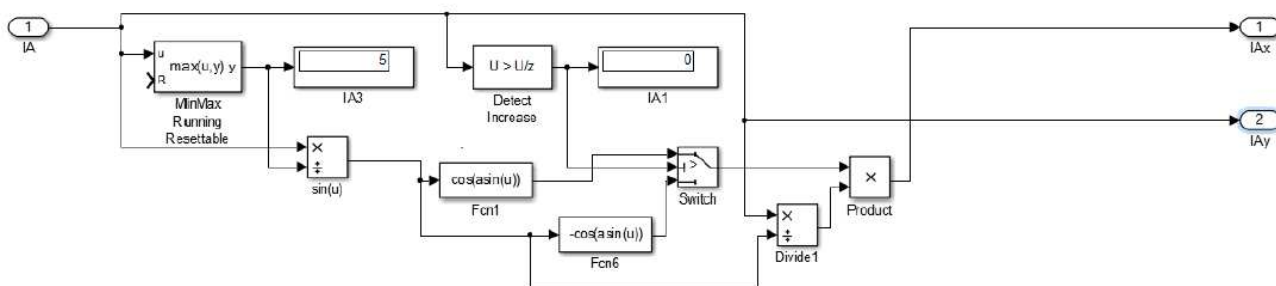


Рисунок 9.2 – формирователь ортогональных составляющих разности токов фаз А и В (ORT I)

Функциональная схема разработанного формирователя ортогональной составляющей в программе *Matlab* представлена на рисунке 8.

Блок *I_{max}* определяет максимальное значение дискретного сигнала *IAB* за половину периода промышленной частоты. Значение *IAB* делится в блоке $\sin \omega t$ на максимальное значение I_m , полученное в блоке *I_{max}*. Дальнейший расчет $\cos \omega t$ ведется по двум ветвям (блоки *Fcn1*, *Fcn6*) в зависимости от возрастания или убывания значений *IAB*. Так, в случае возрастания измеряемых значений *IAB*, блок *Detect Increase* выдает логическую единицу на вход ключа (*Switch*), который пропускает значения $\cos \omega t$, полученные в блоке *Fcn1*. Если на выходе блока *Detect Increase* получается логический 0, т.е значения *IAB* убывают, расчет $\cos \omega t$ будет производиться в блоке *Fcn2*. В блоке *Divide* мгновенное значение *IAB* делится на $\sin \omega t$ и умножается на $\cos \omega t$ в блоке *Product*. На выходе формирователя ортогональных составляющих получают две мгновенные величины $iAx = I_m x \cos \omega t$ и $iAy = I_m x \sin \omega t$.

Формирователь ортогональных составляющих напряжения устроен и работает аналогично.

9.2 Моделирование блокировки неисправностей цепей переменного напряжения

Блокировка неисправностей цепей переменного напряжения устроена следующим образом (рис. 9.3):

На входные порты 1-6 БНН поступают ортогональные составляющие напряжения U_{ABx} , U_{ABy} , U_{BCx} , U_{BCy} , U_{CAx} , U_{CAy} от формирователя $ORT U$. В блоках *Real-Imag to Complex* производится сложение их в комплексное значение (результат сложения действительной и мнимой части в комплексы на осциллографах $IA2$, $IA3$, $IA4$). Далее, в блоках *Detect Change* осуществляется контроль за изменением величин переменного напряжения в цепях защиты. Если в каждый момент времени напряжение равно своему предыдущему значению, то на выходах БНН каждой фазы появляется логическая единица, поступающая на элемент *AND* и далее на выходной порт БНН «1» в логику ДЗ, разрешая работу ДЗ.

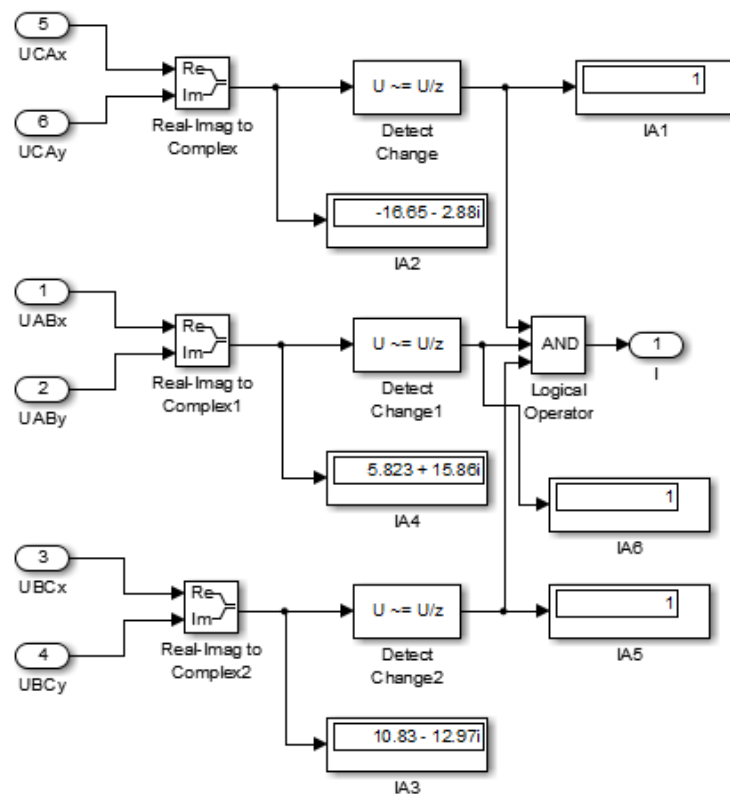


Рисунок 9.3 – функциональная схема блокировка неисправностей цепей переменного напряжения (FFS)

9.3 Моделирование цифрового органа сопротивления

Функциональная схема цифрового органа сопротивления KZ представлена на рис. 9.4.

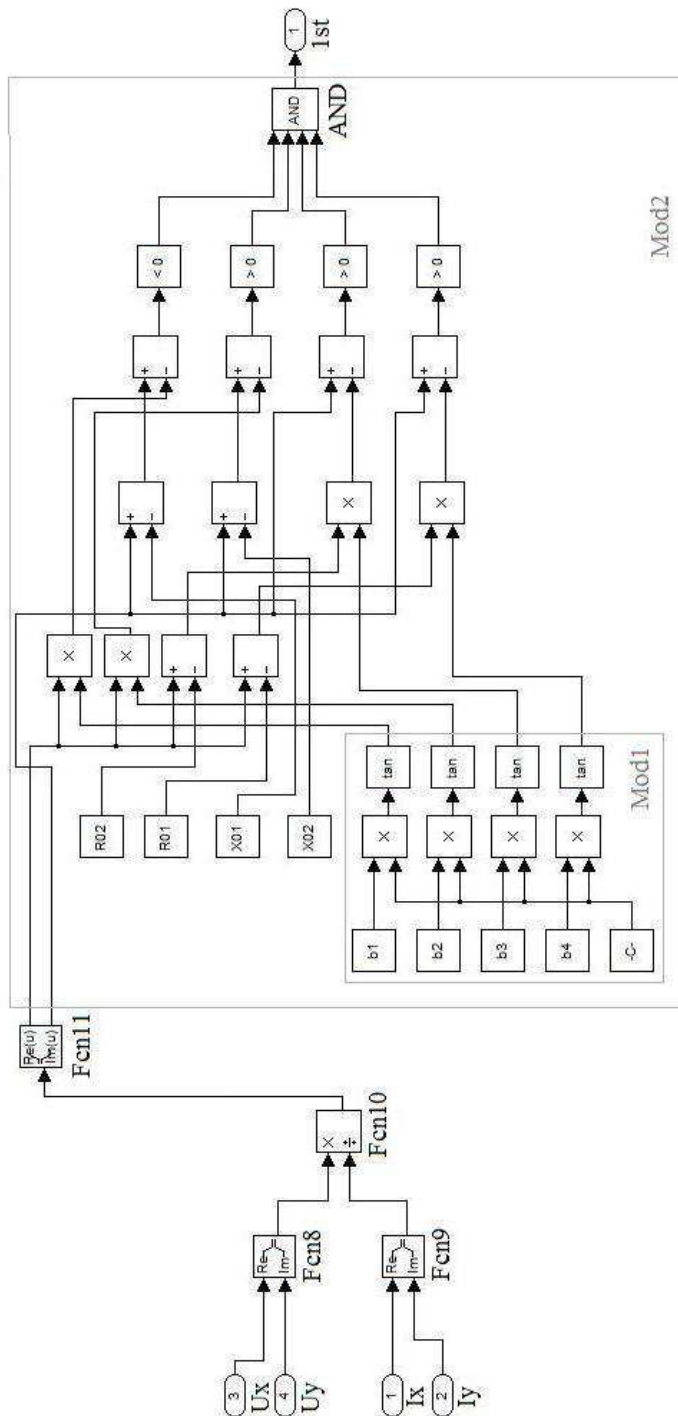


Рисунок 9.4 – Функциональная схема цифрового органа сопротивления

Поступающие на входы KZ ортогональные составляющие токов (I_x, I_y) и напряжения (U_x, U_y) преобразуются (в блоках $Fcn8$ и $Fcn9$) в комплексы токов и напряжений. В блоке $Fcn10$ производится вычисление комплекса сопротивления Z . В блоке $Fcn11$ производится выделение действительной R и мнимой X составляющих из комплекса сопротивления Z .

Значения $\tan b_1, \tan b_3, \tan b_3, \tan b_4$ вычисляются в модуле $Mod1$.

Характеристика срабатывания органа сопротивления задается в параметрах блока KZ . Для этого необходимо ввести уставки по сопротивлениям $R_{01}, R_{02}, X_{01}, X_{02}$ и по углам b_1, b_2, b_3, b_4 в диалоговое окно ввода уставок (рис. 9.5).

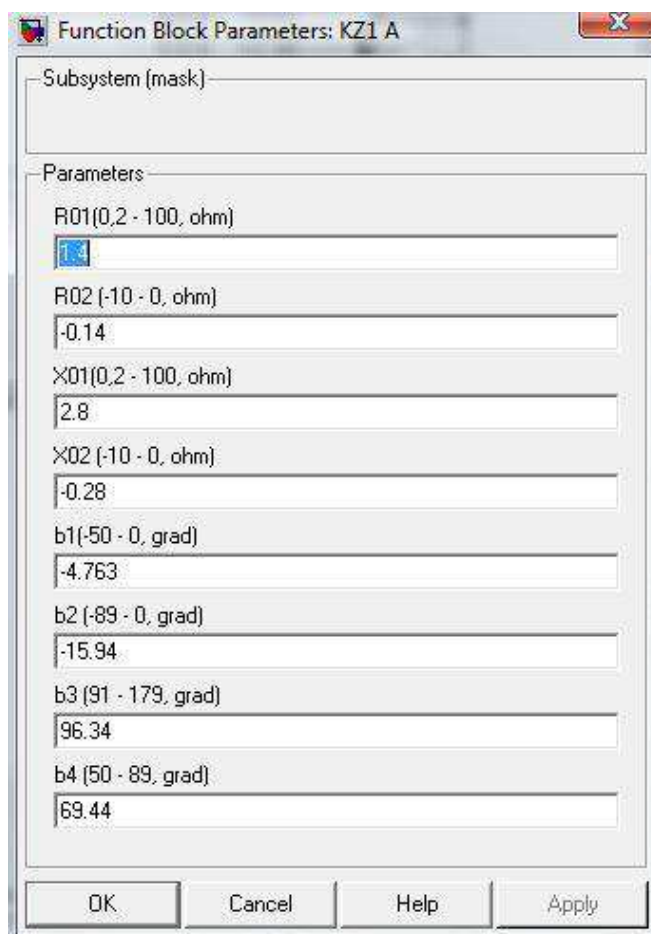


Рисунок 9.5 – Диалоговое окно ввода уставок

9.4 Моделирование блокировки при качаниях

На входы 1, 2, 3, 4 БК (рис. 9.6) поступают ортогональные составляющие токов и напряжений. В блоках *Re-Im* происходит сложение их в комплексы токов и напряжений. В блоке *Zw* рассчитывается значение сопротивления защищаемой линии. Далее проверяется факт нахождения годографа полного сопротивления защищаемой линии в контролируемой зоне срабатывания БК.

Сигнальные органы *HL* отображают факт срабатывания БК.

Блок выдержки времени *KT5* задает время, на которое БК вводит в работу ДЗ.

Работа ДЗ на время разрешения БК осуществлена на ключе *Switch*: при попадании годографа полного сопротивления в зону срабатывания БК логическая единица поступает на верхний вход ключа. На центральном входе продолжает задерживаться логический 0 выдержкой времени *KT5*. *Switch* пропускает сигнал через верхний вход до тех пор, пока на его центральном входе значение равно 0. По истечению времени *KT5*, логический ноль на центральном входе обращается в единицу и ключ переключается на нижний вход, т.е. ноль поступает на выходной порт «1» БК в логику ДЗ, блокируя её работу.

					<i>ВКР – 13.03.02.05 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

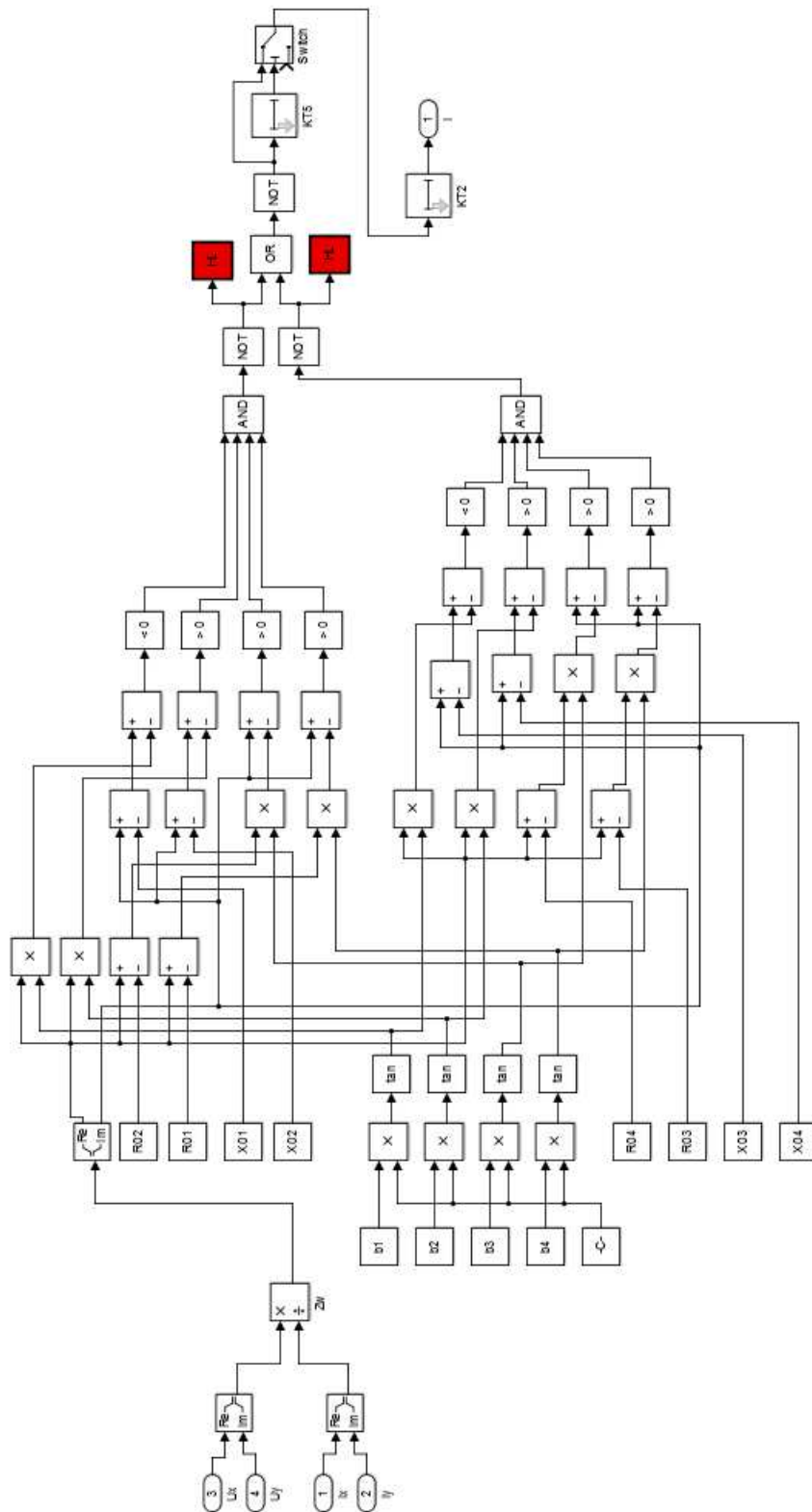


Рисунок 9.6 – функциональная схема блокировки при качаниях

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

9.5 Моделирование сигнального органа

Сигнальный орган (*HL*) служит для индикации срабатывания защиты. Блок имеет один вход, предназначенный для приёма логического сигнала из внешних систем. Внешний вид сигнального органа в нормальном режиме и режиме срабатывания представлен на рис. 9.7. При поступлении на входной порт *In1* (рисунок 14) логический ноль обращается в единицу в элементе *NOT* и индикатор горит красным цветом. Как только сигнал становится нулевым, индикатор загорается зеленым.



Рисунок 9.7 – Внешний вид сигнального органа

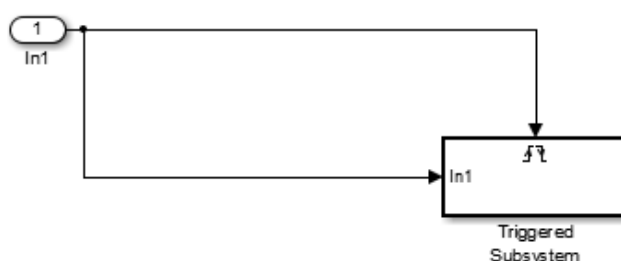


Рисунок 9.8 – Логика сигнального органа

Внутри блока *HL* находится управляемая триггерная подсистема *Triggered Subsystem* (рис. 9.9). Расчёт этой подсистемы идёт не всё время моделирования, а происходит лишь в моменты изменения входного сигнала. Таким образом, входной сигнал является одновременно и управляющим.

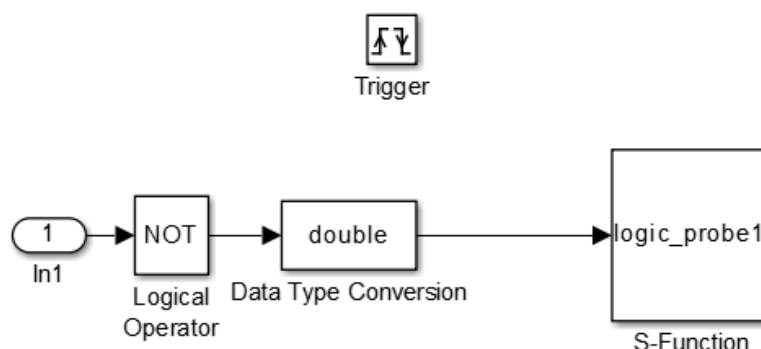


Рисунок 9.9 – Подсистема Triggered Subsystem

Внутри триггерной подсистемы расположен блок *Trigger*. Он делает данную подсистему управляемой (рис. 9.9). Отметим, что использование неуправляемой подсистемы сильно замедляет работу модели.

После инверсии входной сигнал преобразуется из логической формы в числовую. Затем сигнал поступает на вход блока *S*-функции (*S-Function*).

Чаще всего *S*-функции используются при создании новых библиотечных блоков, обеспечивающих взаимодействие *Simulink* с аппаратными средствами компьютера.

S-функция подключается к модели с помощью библиотечного блока *S-function*. *S*-функции являются описанием блока на языке программирования MATLAB.

В зависимости от значения входного сигнала происходит изменение параметр *backgroundcolor* (цвет фона) внешнего блока *Atomic Subsystem*. Индикатор HL может использоваться на любом уровне модели.

Более подробное описание сигнального органа и листинг *S*-функции приведено в учебном пособии «Моделирование устройств релейной защиты в среде MATLAB» [10].

9.6 Моделирование органа выдержки времени

Орган выдержки времени задерживает прохождение сигналов срабатывания отдельных элементов защиты на заданное уставкой время для селективной работы степеней и правильной работы блокировок. Внешний вид блока выдержки времени представлен на рисунке 16.

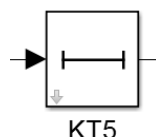


Рисунок 9.10 – Внешний вид органа выдержки времени

Внутри этого блока находится следующая подсистема (рис. 9.11):

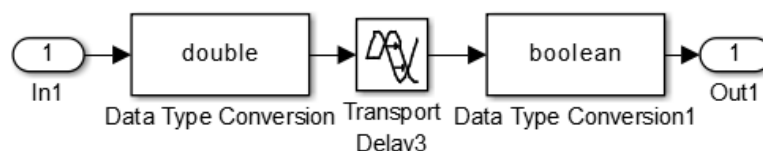


Рисунок 9.11 – Функциональная схема органа выдержки времени

При срабатывании внешних органов защиты логическая единица через входной порт *In1* поступает в данную подсистему. Входной сигнал преобразовывается в блоке *Data Type Conversion* из логического в цифровой тип данных, чего требует блок выдержки времени *Transport Delay3*. Блок *Transport Delay3* задерживает прохождение сигнала от входного порта *In1* в выходной *Out1* на заданное уставкой время. После чего, сигнал вновь преобразовывается в логический тип *Boolean* и поступает через выходной порт *Out1* в систему на уровень выше, т.е. на выход блока *KT5*.

9.7 Принцип действия виртуальной модели ДЗ в программе *Matlab*

Значения междуфазных токов и напряжений поступают на фильтры низких частот (блоки *CF I* и *CF U*) для ограничения спектра анализируемых величин до 50 Гц. На выходе фильтров получаются дискретные величины токов и напряжений частотой 50 Гц.

Полученные величины поступают в формирователи ортогональных составляющих токов и напряжений (*ORT I* и *ORT U*).

Разложенные дискретные значения токов и напряжений на ортогональные составляющие поступают на фазные органы сопротивления (*KZ*) каждой ступени, блокировки при качаниях (*PSD*). Значения напряжений подаются на БНН (*FFS*).

В органах сопротивления (*KZ*) вычисляется модуль сопротивления \underline{Z} и попадание его годографа в предварительно заданную в диалоговом окне зону характеристики срабатывания для каждой ступени.

В органах блокировки при качаниях (*PSD*) производится проверка выполнения условий нахождения годографа полного сопротивления \underline{Z} и время его нахождения в зоне действия блокировки при качаниях. Если защита не сработала за отведенное ей уставкой *KT5* время, что соответствует качаниям в энергосистеме, то работа ДЗ запрещается.

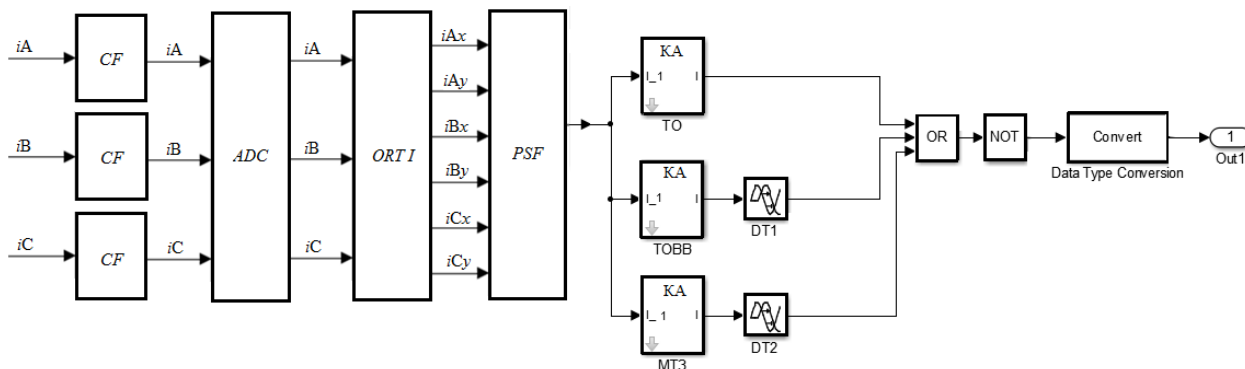
В органах БНН (*FFS*) в режиме реального времени осуществляется контроль за величиной переменного напряжения в цепях ДЗ. В каждый момент времени значение напряжения сравнивается с предыдущей его величиной и в случае пропажи напряжения в цепях работа ДЗ также запрещается.

При КЗ в зоне действия I ступени срабатывают органы *KZ1 AB*, *PSD1 AB*, *FFS* и три логические единицы поступают на логический элемент *AND* междуфазного органа *AB* I ступени. На выходе элемента *AND* появляется логическая единица, которая поступает на первый элемент *OR* I ступени, выдающий логическую единицу на выходе в случае срабатывания ДЗ I ступени. Эта логическая единица поступает на второй элемент *OR*, выдающий логическую единицу в случае срабатывания ДЗ любой ступени.

10 Создание модели МТЗ в программе Matlab

Модель МТЗ выполнена стандартными блоками *Simulink* и подсистемами, отражающими логику и алгоритм работы.

Функциональная схема разработанной защиты показана на рис. 10.1.



Рисунке 10.1 – Функциональная схема МТЗ

10.1 Принцип работы виртуальной модели МТЗ

Аналоговые сигналы токов i_A , i_B , i_C от измерительных преобразователей поступают на НЧ фильтры (блоки *CF*) для ограничения спектра сигнала 50 Гц. На выходе блоков *CF* получаются аналоговые сигналы i_A , i_B , i_C частотой 50 Гц.

В АЦП (блок *ADC*) входной аналоговый сигнал сравнивается с опорным (равен напряжению питания) и записывается в регистры в виде 10-и разрядного кода, который показывает величину входного сигнала по отношению к опорному.

Полученные на выходе АЦП дискретные значения токов i_A , i_B , i_C поступают на входы формирователя ортогональных составляющих токов (блок *ORTI*).

Дискретные значения токов i_A , i_B , i_C поступают на входы формирователя ортогональных составляющих токов (блок *ORTI*). Функциональная схема формирователя ортогональных составляющих представлена на рис. 9.2

Формирование ортогональной составляющей i_{Ax} производится по принципу фазового сдвига входного сигнала $i_A = i_{Ay}$ на 90 градусов.

Блок *I_{max}* определяет максимальное значение тока i_A за половину периода промышленной частоты. Значение i_A делится в блоке $\sin \omega t$ на максимальное значение I_m , полученное в блоке *I_{max}*. Дальнейший расчет $\cos \omega t$

ведется по двум ветвям (блоки $Fcn1$, $Fcn2$) в зависимости от возрастания или убывания мгновенных значений iA . Так, в случае возрастания измеряемых значений iA , блок *Detect Increase* выдает логическую единицу на вход ключа (Switch), который пропускает значения $\cos \omega t$, полученные в блоке $Fcn1$. Если на выходе блока *Detect Increase* получается логический 0, т.е значения iA убывают, расчет $\cos \omega t$ будет производиться в блоке $Fcn2$. В блоке *Divide* мгновенное значение iA делится на $\sin \omega t$ и умножается на $\cos \omega t$ в блоке *Product*. На выходе формирователя ортогональных составляющих получаются две мгновенные величины $iAx = I_m \times \cos \omega t$ и $iAy = I_m \times \sin \omega t$.

Дальнейший алгоритм работы защиты состоит из двух частей: выделение тока прямой последовательности и формирование условий срабатывания.

В первой части алгоритма, фильтр тока прямой последовательности *PSF* осуществляет линейное преобразование входных токов в величины, пропорциональные симметричным составляющим трехфазной системы I_1 , I_2 , I_0 (рис. 10.2).

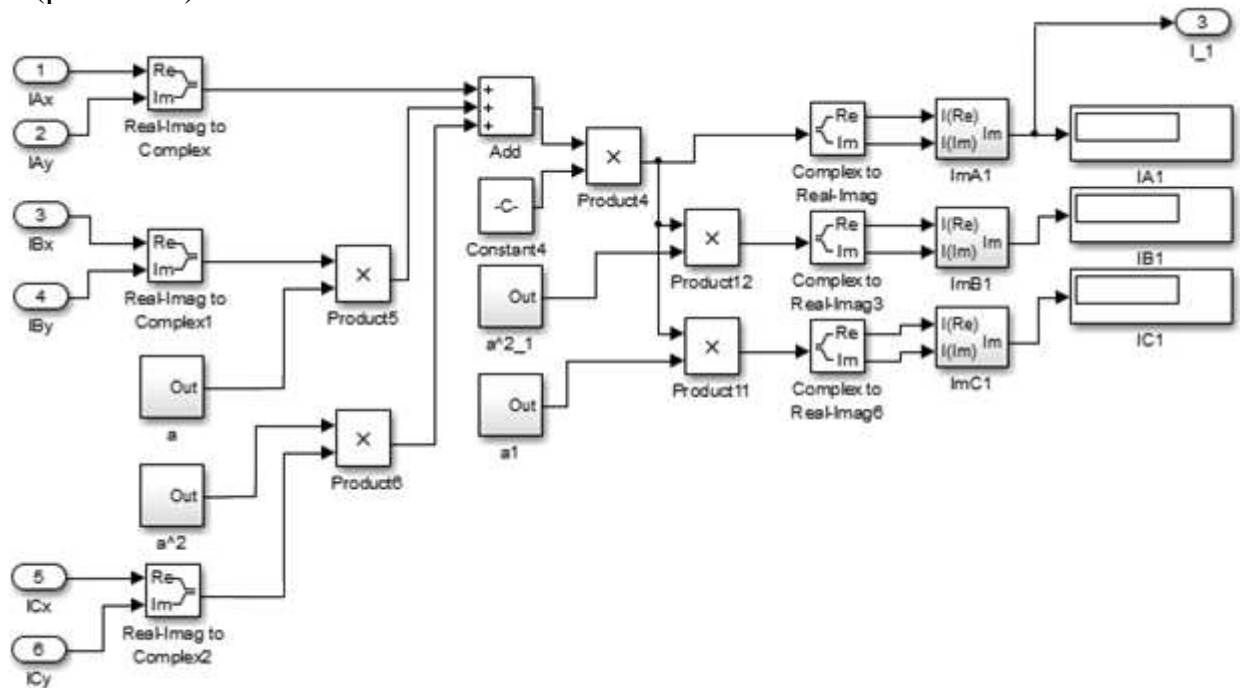


Рисунок 10.2 – Функциональная схема фильтра тока *PSF*

На вход фильтра (*PSF*) подаются сигналы от формирователя ортогональных составляющих тока (*ORT I*), действительные $\text{Re}[I]=ix$ и мнимые $\text{Im}[I]=iy$ составляющие фазных токов.

Данные составляющие фазных токов подаются на блоки *Real Imagto Complex*, где они преобразуются в комплексные числа вида $a + jb$.

Для разложения токов на симметричные составляющие используем системы единичных векторов – операторов поворота, a и a^2 , которые также

представляются комплексными числами $-0,5 + j0,866$ и $-0,5 + j0,866$ соответственно (рис. 10.3, рис. 10.4).

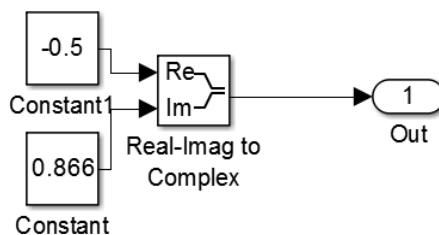


Рисунок 10.3 – Комплексное представление операторов поворота a

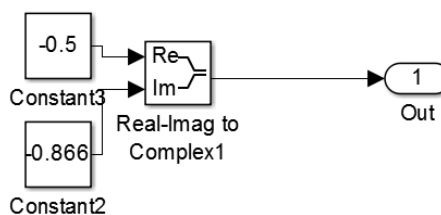


Рисунок 10.4 – Комплексное представление операторов поворота a^2

Элементы *Add*, *Add1*, *Add2* являются сумматорами. На данный элемент приходят следующие величины:

- На элемент *Add* приходят:

- 1) Комплексное значение тока фазы А,
- 2) Перемноженные комплексные значения тока фазы В и оператора поворота a ,
- 3) Перемноженные комплексные значения тока фазы С и оператора поворота a^2 .

Далее просуммированные значения умножаются на константу *Constant4* равную 0,33333.

Для получения симметричных составляющих фаз В и С необходимо полученные симметричные составляющие фазы А домножить на оператор поворота:

для фазы В умножаем на a^2 .

для фазы С умножаем на a .

Далее данные значения симметричных составляющих подаются на блок *Complex to Real Imag*, где комплексные значения симметричных составляющих раскладываются на действительные $Re[I]=I_x$ и мнимые $Im[I]=I_y$ составляющие ТОКОВ.

После этого эти составляющие подаются на блок *Im*, где мы получаем полное значение тока (рис. 10.5) и далее данное значение тока поступает на элемент сравнения тока I_I с уставкой (*KA*).

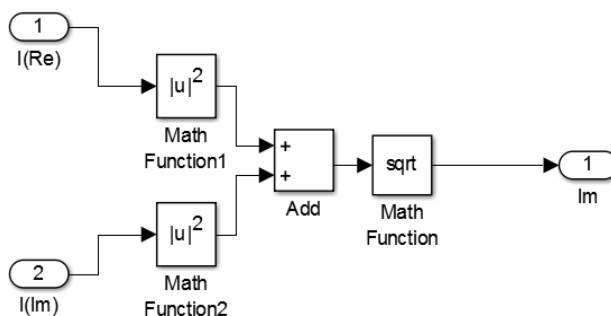


Рисунок 10.5 – Блок *Im*

Уравнения, задающие условия срабатывания органа тока прямой последовательности:

$$I_{KA1} \leq Im \left[\frac{1}{3} (I_A + aI_B + a^2I_C) \right];$$

Блок *KA* предназначен для выставления уставки. С помощью этого блока задаются уставки для всех трех ступеней защиты. На рис. 10.6 показан пример выставление уставки для срабатывания токовой отсечки, аналогичным способом задаются уставки и для двух других ступеней защиты.

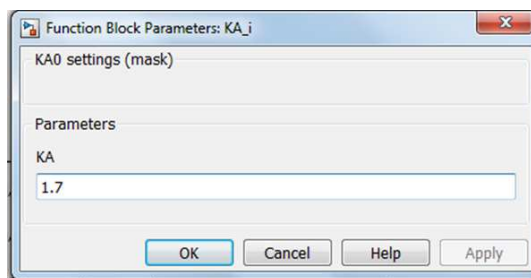


Рисунок 10.6 – Выставление уставки

При срабатывании первой ступени защиты с блока *PSF* подается ток прямой последовательности в блок *KA*. В данном блоке происходит сравнение тока прямой последовательности с уставкой. Если данное значение тока больше уставки, то на выходе блока *KA* появится логический сигнал «1». Эта единица пойдет в исполнительный орган «*Convert*», который подает сигнал на отключение выключателя.

При срабатывании второй, либо третьей ступени с блока *PSF* подается ток прямой последовательности в блок *КА*, где происходит сравнение тока прямой последовательности с уставкой. Если данное значение тока больше уставки, то на выходе блока *КА* появится «1». Эта единица пойдет в блок выдержки времени *DT1*, при срабатывании второй ступени и *DT2*, при срабатывании третьей ступени защиты, в котором происходит задание и выдержка времени *t*, для устранения ложного срабатывания органа тока (рис. 10.7).

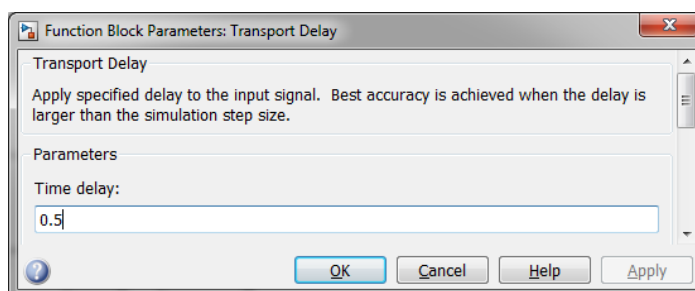


Рисунок 10.7 – Выставление уставки времени

Далее логический сигнал поступает в исполнительный орган, который подает сигнал на отключение выключателя. Блок «*OR*» предназначен для передачи сигнала в исполнительный орган «*Convert*», при срабатывании одной из трех ступеней защиты. Данный блок выполняет логическую операцию «ИЛИ» – истина, если хотя бы один из операндов не равен нулю. Блок «*NOT*» выполняет логическую операцию «НЕ» – все операнды, не равные нулю, заменяются нулями, а все равные нулю – единицами. Данный блок предназначен для воздействия на выключатель в первичной цепи.

11 Создание модели ТЗНП в программе Matlab

В данной работе представлена модель токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП). При её реализации была задействована программа *Matlab* (приложение *Simulink*).

Данная модель может использоваться для имитирования работы существующих устройств защиты от однофазных коротких замыканий.

Функциональная схема разработанной защиты показана на чертеже №4.

Модель включает в себя следующие устройства:

- фильтр НЧ;
- АЦП;
- формирователи ортогональных составляющих тока и напряжения (*Ort1*, *Ort2*);
- фильтры симметричных составляющих тока (*Current filter*), напряжения (*Voltage filter*);
- органы тока нулевой последовательности (*KA_I - KA_VI*);
- органы направления мощности (*M_{РАЗР}*, *M_{БЛ}*);
- органы выдержки времени (*KT1 - KT6*);
- органа отключения выключателя (*Q*);
- сигнального органа (*HL Q*, *HL I - HL VI*).

Функции АЦП непосредственно выполняет программа *MATLAB* (приложение *Simulink*).

11.1 Моделирование органа тока нулевой последовательности

Орган тока нулевой последовательности нужен для выставления уставки по току нулевой последовательности и сравнения её с током нулевой последовательности приходящим с фильтра симметричных составляющих тока (*Current filter*).

Функциональная схема разработанного органа тока нулевой последовательности представлена на рис. 11.4.

С фильтра симметричных составляющих тока (*Current filter*) на вход органа тока нулевой последовательности I_0 подаётся ток нулевой последовательности ($3I_0$).

Данный ток на входе органа тока нулевой последовательности поступает в блок *Compare To Constant*. В данном блоке формирование условий срабатывания органа тока нулевой последовательности.

Уравнение, задающее условия срабатывания органа тока нулевой последовательности:

$$I_0 \geq I_{KA0},$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57

где I_{KA0} - уставка по току нулевой последовательности.

Элемент *Conversion* необходим для работы органа тока нулевой последовательности.

Условия срабатывания токового органа - наличие логической единицы на выходе (I) органа тока нулевой последовательности.

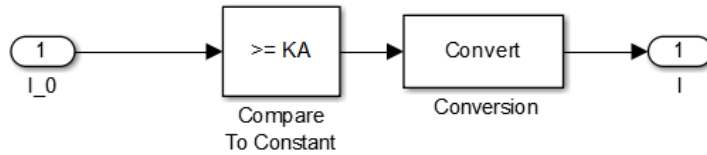


Рисунок 11.4 – Функциональная схема органа тока нулевой последовательности

11.2 Моделирование органа направления мощности

В ТЗНП используется два вида органа направления мощности – разрешающее и блокирующее.

Функциональная схема разработанного разрешающего органа направления мощности представлена на рис. 11.5.

Функциональная схема разработанного блокирующего органа направления мощности представлена на рис. 11.6.

Разрешающий орган направления мощности срабатывает при КЗ на защищаемой обмотке трансформатора и разрешает действие защите. Данный орган участвует в логике I – VI ступенях ТЗНП.

Блокирующий орган направления мощности не срабатывает при КЗ на защищаемой обмотке трансформатора и разрешает действие защите. Данный орган участвует в логике III – VI ступени ТЗНП.

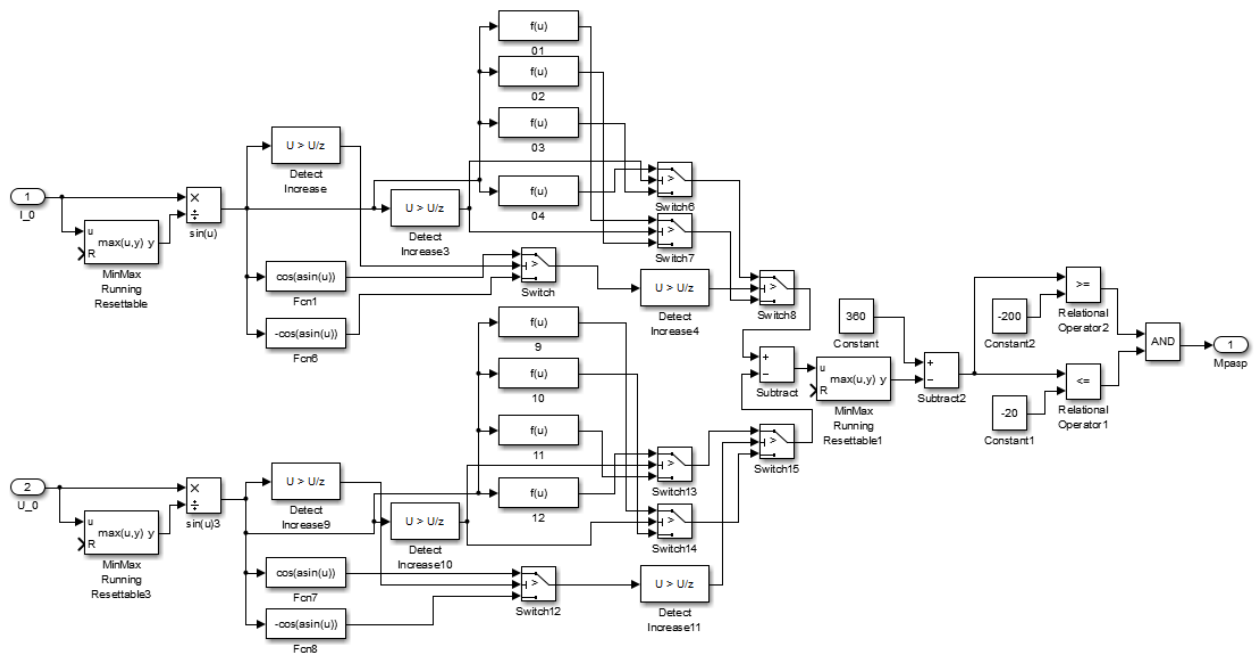


Рисунок 11.5– Функциональная схема разрешающего органа направления мощности

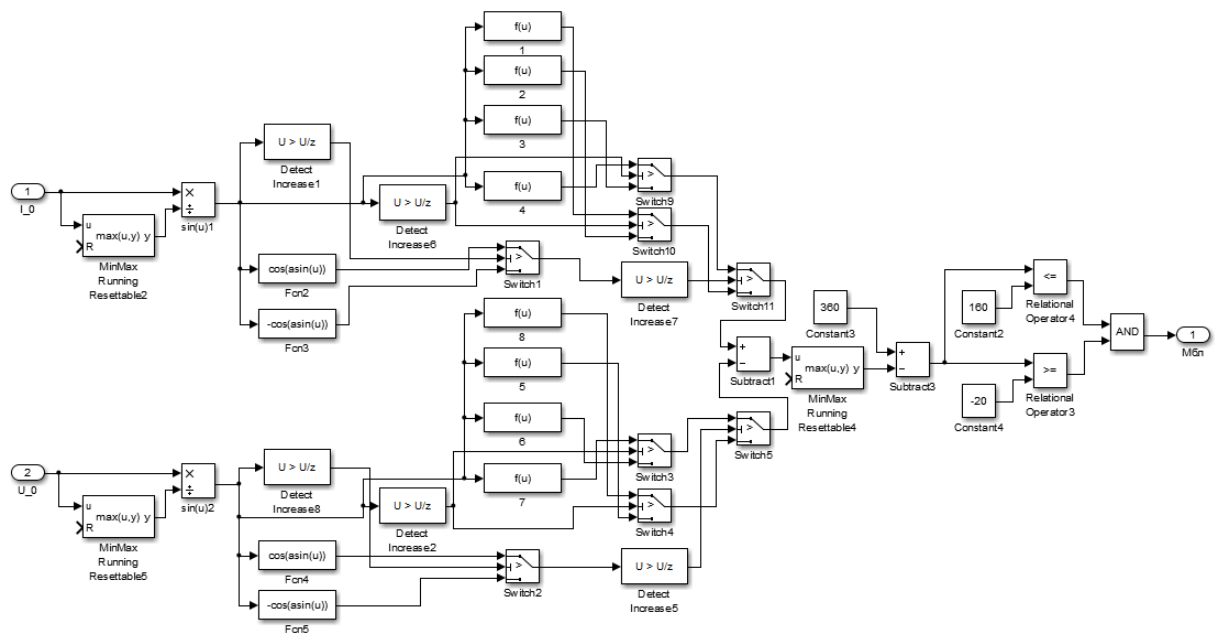


Рисунок 11.6 – Функциональная схема блокирующего органа направления мощности

В реле направления мощности токи и напряжения представляются в следующем виде:

$$I = I_m e^{j\delta_1};$$

$$U = U_m e^{j\delta_U},$$

где δ_I, δ_U – углы токов и напряжений.

Значение тока и напряжения нулевой последовательности с блоков *Current filter* и *Voltage filter* поступает на вход разрешающего и блокирующего органа направления мощности (I_0, U_0). Далее орган направления мощности выявляет углы токов и напряжений нулевой последовательности и реагирует на их разность, вычитенную от 360° (*Constant, Constant3*) следующим образом:

Для разрешающего органа направления мощности данный угол должен быть меньше -20° (*Constant1*), но больше -200° (*Constant2*).

Для блокирующего органа направления мощности данный угол должен быть больше -20° (*Constant4*), но меньше 160° (*Constant2*) (рис. 11.6).

При соблюдении данных условий разрешающей и блокирующей органы направления мощности срабатывают.

Опишем принцип выявления угла тока нулевой последовательности у разрешающего органа направления мощности.

Значение тока нулевой последовательности поступает в блок *MinMax Running Resetable*, где происходит вычисление максимального тока за период. На блок *Sin(u)* поступает тока нулевой последовательности, а с блока *MinMax Running Resetable* максимальный ток за период, и в данном блоке происходит вычисление $\sin \omega t$.

В случае возрастания значений $\sin \omega t$ в токовых цепях на входе *Detect increase* выдает 1, а в случае убывания – выдает 0.

Блок *Fcn1* – вычисление $\cos \omega t$ в 1-ом и 4-ом квадранте для токовых цепей, блок *Fcnб* – вычисление $\cos \omega t$ во 2-ом и 3-ем квадранте для токовых цепей.

Блок *Switch* – выдает на выходе $\cos \omega t$ для токовых цепей.

Блоки 01 – 04 нужны для вычисления угла ωt в 1-ом, 2-ом, 3-ем, 4-ом квадрантах для токовых цепей.

Switch7 – выдает значение ωt 1-ом, 2-ом квадрантах для токовых цепей.

Switchб – выдает значение ωt 3-ом, 4-ом квадрантах для токовых цепей.

Switch8 – выдает значение ωt для токовых цепей.

Принцип выявления угла напряжения аналогичен току.

После выявленные значения ωt напряжения и тока поступают на блок *Subtract*, где вычисляется разность значений ωt напряжения и тока (угол ϕ).

Subtract2 – находит разность $360-\phi$

11.3 Моделирование органа отключения выключателя

Органа отключения выключателя нужен для подачи логического сигнала на отключение выключателя и на сигнальный орган.

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Функциональная схема разработанного органа отключения выключателя представлена на рис. 11.8.

Опишем принцип работы органа отключения выключателя при срабатывании I ст. ТНЗНП.

На вход I данного органа подаётся логическая единица с органа выдержки времени I ст. (*КТ1*), которая по умолчанию равна 0,0 с.

Данная 1 поступает на элемент *OR* с выхода которого данный сигнал через элемент *Conversion* поступает на элемент *NOT* (*Logical Operator*), где инвертируется в 0 и поступает на выход Q, с которого 0 поступает на отключение выключателя и на сигнальный орган *HL Q*.

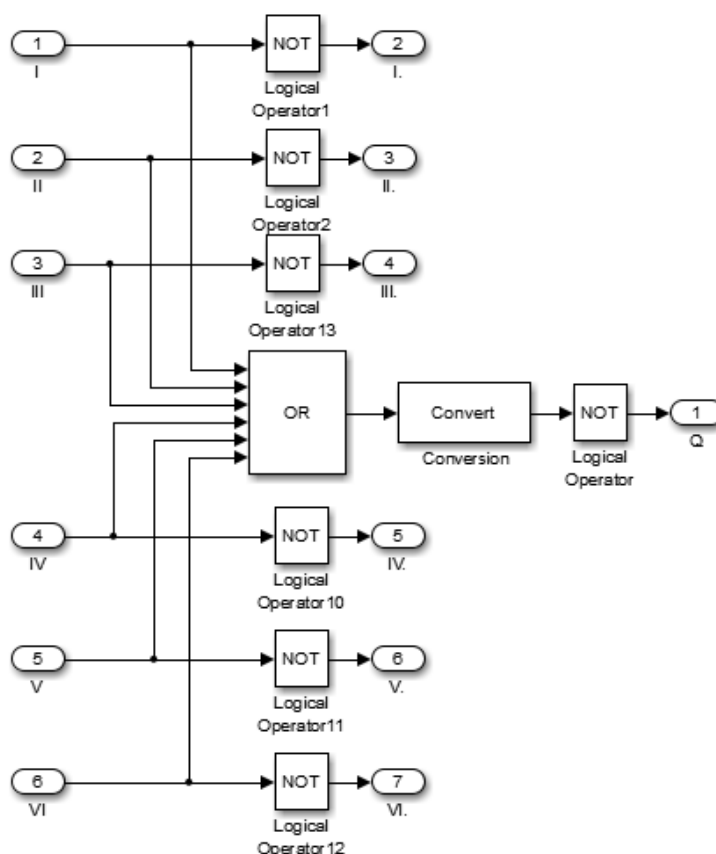


Рисунок 11.8 – Функциональная схема органа отключения выключателя

Так же 1 поступает на элемент *NOT* (*Logical Operator1*), где инвертируется в 0 и поступает на выход I., с которого 0 поступает на сигнальный орган *HL I*.

Логика работы органа отключения выключателя при срабатывании остальных ступеней аналогична I ст.

Элемент *Conversion* необходим для работы органа отключения выключателя.

11.4 Принцип действия виртуальной модели ТНЗНП в программе Matlab

Значения фазных токов и напряжений фаз А, В и С с TA и TU поступают на НЧ фильтры (блоки $CF I$ и $CF U$) для ограничения спектра сигнала 50 Гц. На выходе блоков CF получаются дискретные сигналы токов и напряжений частотой 50 Гц.

Данные сигналы поступают на формирователь ортогональных составляющих тока и напряжения ($Ort1, Ort2$).

После этого эти составляющие подаются на фильтры симметричных составляющих тока ($Current filter$), напряжения ($Voltage filter$), где производится выделения нулевой последовательности тока и напряжения. Значение тока нулевой последовательности поступает в логику ТЗНП на органы тока нулевой последовательности ($KA_I - KA_{VI}$), а также значение тока нулевой последовательности совместно с напряжением нулевой последовательности с блоков $Current filter$ и $Voltage filter$ используется в логике разрешающего и блокирующего органов блокирующего органов направления мощностей ($M_{РАЗР}, M_{БЛ}$).

Если значение тока нулевой последовательности больше уставки любого органа тока, то на его выходе появится 1. Эта единица пойдет на верхний вход блок AND . На нижний вход элемента AND приходит сигнал от разрешающего органа направления мощности (для I и II ступени), а для III и IV ступени от блокирующего или разрешающего органа направления мощности включенных по схеме или (элемент OR).

Единица с элемента AND поступает на органы выдержки времени ($KT1 - KT6$). Данный орган задерживает сигнала отключения на время уставки t .

С блока KT единица поступает на орган отключения выключателя. Данный орган подаёт логический сигнал на отключение выключателя и на сигнальный орган.

Сигнальный орган ($HL Q, HL I - HL VI$) сигнализирует о срабатывании одной из ступеней защиты и об отключении выключателя.

Ключ предназначен для перевода V и VI ст. “вперёд” или “назад”.

Если перевести ключ в положение 1, то V и VI ст. будут направлены “вперёд”. При этом при срабатывании $M_{РАЗР}$ будет разрешать действие защите, а не срабатывание $M_{БЛ}$ включенный через элемент NOT также будет разрешать действие защите.

12 Испытание виртуальной модели максимальной токовой защиты в среде Matlab

Для испытания модели токовой ступенчатой защиты, в программе *Simulink* создана модель трехфазной электрической сети, для которой можно задать все необходимые режимы работы. Эта модель связана с моделью МТЗ через модели измерительных трансформаторов тока. Таким образом, испытание модели защиты производится в следующем порядке:

1. Запуск предварительно настроенной модели электрической сети.
2. Замеры необходимых значений токов нагрузочного и аварийных режимов, токов и остаточных напряжений.
3. Расчёт уставок токовых цепей.
4. Выставление уставок на измерительных органах.
5. Повторный запуск модели электрической сети.
6. Анализ результатов испытаний в аварийных режимах представленных на осциллограммах.

Рассмотрим защиту автотрансформатора.

12.1 Испытание виртуальной модели МТЗ АТ НН

Расчет уставок максимальной токовой защиты автотрансформатора:

1. Найдем ток срабатывания защиты, А:

$$I_{сз} = \frac{k_n \cdot k_{сз}}{k_B} \cdot I_{нагр \max} = \frac{1,1 \cdot 1,1}{0,95} \cdot 9622 = 12255,$$

где k_n – коэффициент надёжности, равный 1,1 о. е.; $k_{сз}$ – коэффициент самозапуска двигателей, равный 1,1÷3 о. е.; k_B – коэффициент возврата защиты в исходное состояние, равный 0,95 о. е.; $I_{нагр \max}$ – максимальный ток нагрузки, принимаемый равным номинальному току обмотки трансформатора, на которую устанавливается защита, А.

2. Ток срабатывания реле, А:

$$I_{ср} = \frac{k_{сх}}{k_I} \cdot I_{сз} = \frac{1,0}{\frac{10000}{5}} \cdot 12255 = 6,128,$$

где $k_{сх}$ – коэффициент схемы, равный для МТЗ 1 о.е.; k_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Для выбора k_I необходимо знать ток нагрузки, А:

$$I_{\text{нагр max}} = 9622.$$

Выбираем ближайший к нему коэффициент трансформации с учетом перегрузки, коэффициент перегрузки, для микропроцессорных и цифровых устройств релейной защиты равный 1,4 о. е

Время срабатывания защиты, с:

$$t_{\text{сз}} = 1,51, \text{ согласно рис 12.3.}$$

Выставление уставок:

Задание уставки органа тока показано на рисунке 12.1.

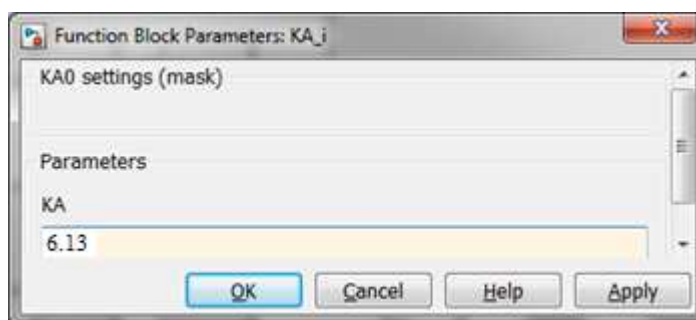


Рисунок 12.1 –Выставление уставки органа тока

Уставка выдержки времени показана на рис. 12.2.

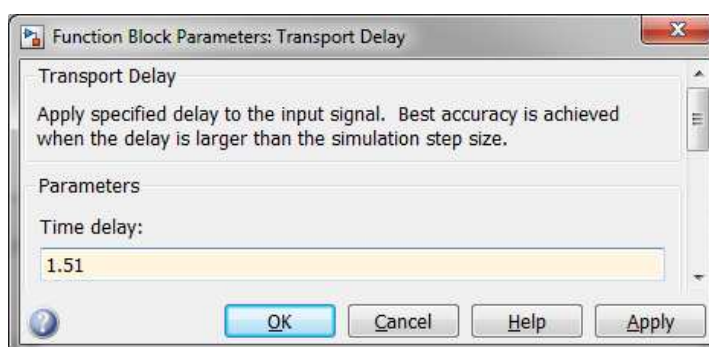


Рисунок 12.2 –Выставление уставки выдержки времени

- Испытания защиты и анализ результатов в аварийных режимах:
При коротком замыкании на НН АТ произошло срабатывание защиты.

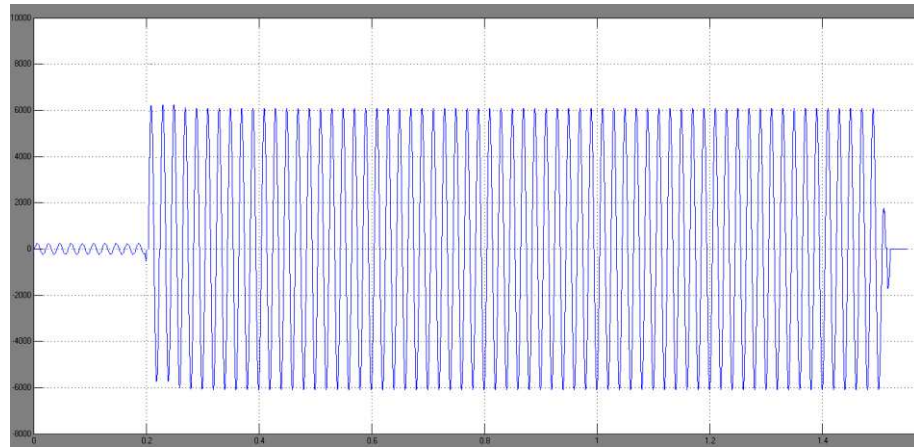


Рисунок 12.3 – Осциллограмма при КЗ в зоне действия защиты

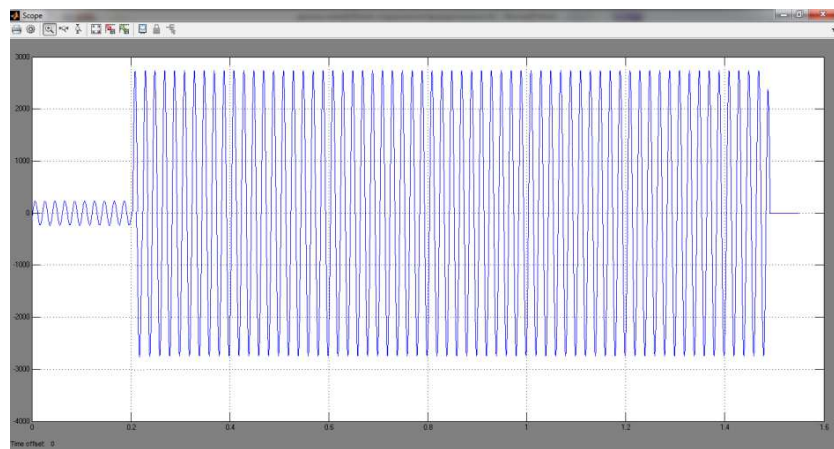


Рисунок 12.4 – Осциллограмма при КЗ за нагрузкой АТ

12.2 Испытание виртуальной модели МТЗ АТ ВН

- Расчет уставок максимальной токовой защиты автотрансформатора:

1. Найдем ток срабатывания защиты, А:

$$I_{сз} = \frac{k_H \cdot k_{сз}}{k_B} \cdot I_{нагр \max} = \frac{1,1 \cdot 1,1}{0,95} \cdot 439,3 = 559,5,$$

2. Ток срабатывания реле, А:

$$I_{ср} = \frac{k_{сх}}{k_I} \cdot I_{сз} = \frac{1,0}{\frac{400}{5}} \cdot 559,5 = 6,99,$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

где $k_{сх}$ – коэффициент схемы, равный для МТЗ 1 о.е.; k_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Для выбора k_I необходимо знать ток нагрузки, А:

$$I_{нагр\ max} = 439,3.$$

Выбираем ближайший к нему коэффициент трансформации с учетом перегрузки, коэффициент перегрузки, для микропроцессорных и цифровых устройств релейной защиты равный 1,4 о. е

Время срабатывания защиты, с:

$$t_{сз} = 1,34, \text{ согласно рис. 12.7.}$$

Выставление уставок:

Задание уставки органа тока показано на рис. 12.5.

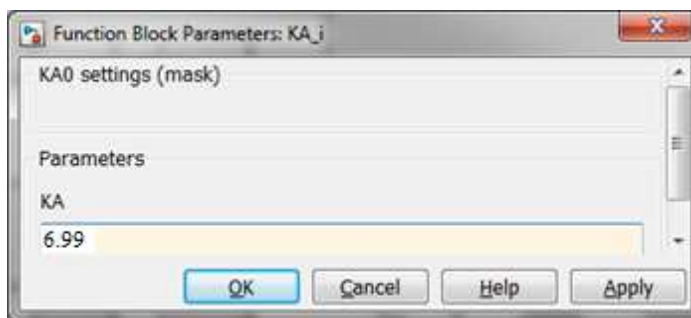


Рисунок 12.5 – Выставление уставки органа тока

Уставка выдержки времени показана на рис. 12.6.

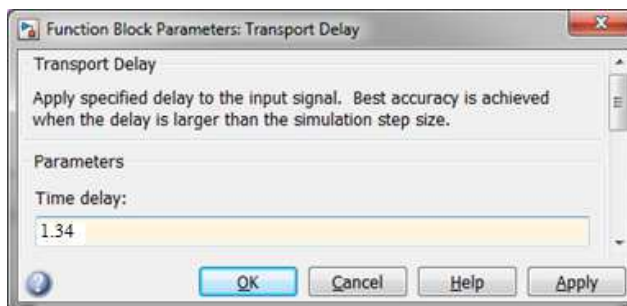


Рисунок 12.6 – Выставление уставки выдержки времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- Испытания защиты и анализ результатов в аварийных режимах:

При коротком замыкании на ВН АТ произошло срабатывание защиты. Аварийная осциллограмма показана на рис. 12.7.

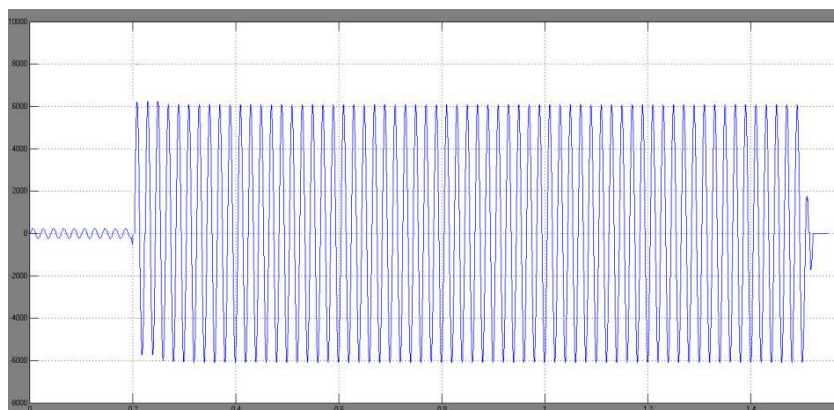


Рисунок 12.7 – Осциллограмма при КЗ в зоне действия защиты

Осциллограмма при КЗ в конце смежной линии W1 представлена на рис. 12.8.

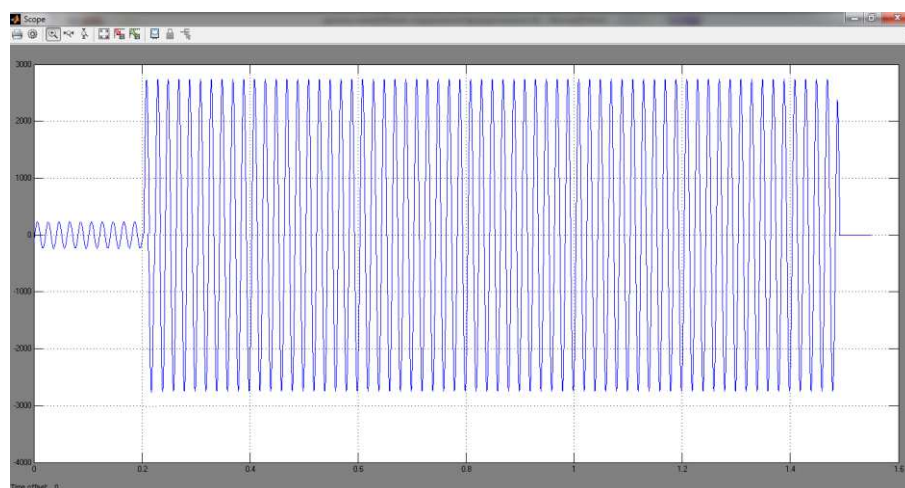


Рисунок 12.8 – Осциллограмма при КЗ в конце смежной линии W1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе был рассмотрен участок Красноярской энергетической системы, рассчитаны параметры первичного оборудования, входящего в расчетную схему замещения.

С помощью программного комплекса ТКЗ-3000 рассчитаны максимальные и минимальные режимы коротких замыканий, значения которых были использованы в расчете уставок дистанционной защиты, МТЗ и ТЗНП.

Было проведено исследование и опробование МТЗ на базе шкафа ШЭ2607 048.

С помощью программы Matlab были созданы виртуальные модели дистанционной защиты, МТЗ и ТЗНП. Созданная модель МТЗ опробована на модели электрической сети, созданной в программе Matlab. В результате опробования получены осциллограммы аварийных режимов работы сети.

					<i>ВКР – 13.03.02.05 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		68

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ершов, Ю. А. Электроэнергетика. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем; учебное пособие / Ю. А. Ершов, О. П. Халезина, А. В. Малеев, Д. П. Перехватов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 79 с.
2. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие для вузов Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
3. ЗАО «Завод электротехнического оборудования». – Режим доступа: <http://www.zeto.ru/>
4. Рокотян, С. С. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/ В. В. Ершевич, А. Н. Зейлигер, Г. А. Илларионов и др.; Под ред. С. С. Рокотяна и И. М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
5. Руководящие указания по релейной защите выпуск 7 «Дистанционная защита линий 35-330 кВ».
6. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153–34.0–20.527–98.
7. ЭКРА.656453.050 РЭ Шкаф защиты и автоматики управления выключателем ШЭ2607 016 (версия 016_200).
8. Лабораторная работа «Организация сервера связи между шкафами типа ШЭ и компьютером».
9. Лабораторная работа «Испытание РЕТОМ-41М».
10. Ершов, Ю. А. Моделирование устройств релейной защиты в среде MATLAB: учебное пособие / Ю. А. Ершов, Д. Н. Киселёв. Монография, Palmarium Academic Publishing 2012г.144 стр.
11. СТО 4.2–07–2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности. – Взамен СТО 4.2–07–20012; дата введ. 30.12.2013. – Красноярск: БИК СФУ, 2010. – 57 с.
12. Чернобровов Н.В., Семенов В.А., «Релейная защита энергетических систем»: Учебное пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.: ил.
13. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink. –М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		69

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Параметры схемы замещения прямой (обратной) последовательности

Прямая последовательность.

Тип	Пар	Узел-1	Узел-2	R	X	Е;К;В(с);	F	N эл.
4	0	0	1	3.457	13.979	115.000	0.000	0
4	0	0	9	1.617	7.095	115.000	0.000	0
4	0	0	11	9.000	15.480	115.000	0.000	0
0	0	29	2	5.070	18.590	0.001	0.000	0
0	0	1	2	5.070	18.590	0.001	0.000	0
0	0	2	30	5.250	19.250	0.001	0.000	0
0	0	2	9	5.250	19.250	0.001	0.000	0
0	0	10	31	10.750	18.490	0.001	0.000	0
0	0	10	11	10.750	18.490	0.001	0.000	0
0	0	10	12	6.750	11.610	0.001	0.000	0
0	0	10	15	6.750	11.610	0.001	0.000	0
0	0	10	18	10.000	17.200	0.001	0.000	0
0	0	10	24	11.250	19.350	0.001	0.000	0
3	0	2	3	0.001	12.170	1.000	0.000	0
3	0	3	4	0.001	20.630	1.000	0.000	0
3	0	3	10	0.001	0.001	1.000	0.000	0
3	0	2	6	0.001	12.170	1.000	0.000	0
3	0	6	7	0.001	20.630	1.000	0.000	0
3	0	6	10	0.001	0.001	1.000	0.000	0
3	0	12	13	0.001	220.420	1.000	0.000	0
3	0	15	16	0.001	220.420	1.000	0.000	0
3	0	18	19	0.001	10.850	1.000	0.000	0
3	0	19	20	0.001	151.880	1.000	0.000	0
3	0	19	22	0.001	151.880	1.000	0.000	0
3	0	24	25	0.001	220.420	1.000	0.000	0
3	0	24	27	0.001	220.420	1.000	0.000	0
0	0	5	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	8	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	14	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	17	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	21	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	23	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	26	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	28	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	4	5	2.530	0.491	0.001	0.000	0
0	0	7	8	2.530	0.491	0.001	0.000	0
0	0	13	14	26.570	5.158	0.001	0.000	0
0	0	16	17	26.570	5.158	0.001	0.000	0
0	0	20	21	10.628	2.063	0.001	0.000	0
0	0	22	23	10.628	2.063	0.001	0.000	0
0	0	25	26	26.570	5.158	0.001	0.000	0
0	0	27	28	26.570	5.158	0.001	0.000	0
1	0	1	29	0.000	0.000	0.001	0.000	0
1	0	30	9	0.000	0.000	0.001	0.000	0
1	0	31	11	0.000	0.000	0.001	0.000	0

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Параметры схемы замещения нулевой последовательности

Нулевая последовательность.

Тип	Пар	Узел-1	Узел-2	R	X	K; B(c);
0	0	0	1	8.276	41.910	0.001
0	0	0	9	4.092	21.280	0.001
0	0	0	11	14.400	46.440	0.001
0	0	29	2	11.410	55.770	0.001
0	0	1	2	11.410	55.770	0.001
0	0	30	2	11.810	57.750	0.001
0	0	2	9	11.810	57.750	0.001
0	0	31	10	17.200	55.470	0.001
0	0	10	11	17.200	55.470	0.001
0	0	10	12	10.800	34.830	0.001
0	0	10	15	10.800	34.830	0.001
0	0	10	18	16.000	51.600	0.001
0	0	10	24	11.250	58.050	0.001
3	0	2	3	0.001	12.170	1.000
3	0	3	4	0.001	20.630	1.000
3	0	3	10	0.001	0.001	1.000
3	0	2	6	0.001	12.170	1.000
3	0	6	7	0.001	20.630	1.000
3	0	6	10	0.001	0.001	1.000
3	0	12	13	0.001	220.420	1.000
3	0	15	16	0.001	220.420	1.000
3	0	18	19	0.001	10.850	1.000
3	0	19	20	0.001	151.880	1.000
3	0	19	22	0.001	151.880	1.000
3	0	24	25	0.001	220.420	1.000
3	0	24	27	0.001	220.420	1.000
0	0	4	5	0.001	0.001	0.001
0	0	7	8	0.001	0.001	0.001
0	0	13	14	0.001	0.001	0.001
0	0	16	17	0.001	0.001	0.001
0	0	20	21	0.001	0.001	0.001
0	0	22	23	0.001	0.001	0.001
0	0	25	26	0.001	0.001	0.001
0	0	27	28	0.001	0.001	0.001
0	0	5	0	0.001	0.001	0.001
0	0	8	0	0.001	0.001	0.001
0	0	14	0	0.001	0.001	0.001
0	0	17	0	0.001	0.001	0.001
0	0	21	0	0.001	0.001	0.001
0	0	23	0	0.001	0.001	0.001
0	0	26	0	0.001	0.001	0.001
0	0	28	0	0.001	0.001	0.001
1	0	1	29	0.000	0.000	0.001
1	0	30	9	0.000	0.000	0.001
1	0	31	11	0.000	0.000	0.001

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Расчет режимов КЗ (Мах)

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА :

Имя сети : K130414
 Число узлов КЗ: 5
 Число поясов: 1
 Число коммутаций: 0
 Число дополнительных ветвей: 3

пар	узел-1	узел-2
0	2	3
0	3	10
0	3	4

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 2 Упа 114.60 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.242 7.419)	Z2 (2.242 7.419)	Z0 (0.738 9.410)
I1 2667 -78	I2 2667 -78	3I0 8000 -78

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

2-29	I1 -435 -80	I2 -430 -80	
	I0 -177 -71	3I0 -530 -71	
	U1 45.57 2	U2 -20.66 -4	
	U0 -25.17 8	3U0 -75.51 8	
2-1	I1 -435 -80	I2 -430 -80	
	I0 -177 -71	3I0 -530 -71	
	U1 45.57 2	U2 -20.66 -4	
	U0 -25.17 8	3U0 -75.51 8	
2-30	I1 -606 -80	I2 -599 -81	
	I0 -246 -71	3I0 -738 -71	
	U1 45.57 2	U2 -20.66 -4	
	U0 -25.17 8	3U0 -75.51 8	
2-9	I1 -606 -80	I2 -599 -81	
	I0 -246 -71	3I0 -738 -71	
	U1 45.57 2	U2 -20.66 -4	
	U0 -25.17 8	3U0 -75.51 8	
2-3	I1 -295 -70	I2 -309 -70	
	I0 -915 -81	3I0 -2744 -81	
	U1 45.57 2	U2 -20.66 -4	
	U0 -25.17 8	3U0 -75.51 8	
2-6	I1 -295 -70	I2 -309 -70	
	I0 -915 -81	3I0 -2744 -81	
	U1 45.57 2	U2 -20.66 -4	
	U0 -25.17 8	3U0 -75.51 8	
3-10	I1 -298 -70	I2 -308 -69	
	I0 -236 -74	3I0 -708 -74	
	U1 49.01 3	U2 -17.31 -9	
	U0 -14.04 7	3U0 -42.13 7	
3-4	I1 3 -42	I2 0 0	
	I0 -681 -83	3I0 -2042 -83	

U1	49.01	3	U2	-17.31	-9
U0	-14.04	7	3U0	-42.13	7

Вид КЗ 3

МЕСТО КЗ 2 Упа 114.60 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(2.242	7.419)
I1	8534	-73

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

2-29	I1	-1381	-76
	U1	0.00	0
2-1	I1	-1381	-76
	U1	0.00	0
2-30	I1	-1924	-76
	U1	0.00	0
2-9	I1	-1925	-76
	U1	0.00	0
2-3	I1	-974	-65
	U1	0.00	0
2-6	I1	-974	-65
	U1	0.00	0
3-10	I1	-976	-65
	U1	11.85	25
3-4	I1	0	0
	U1	11.85	25

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 4 Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(3.017	30.513)	Z2	(3.017	30.513)	Z0	(0.000	0.000)
I1	1075	-85	I2	1075	-85	3I0	3224	-85

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-1077	-85	I2	-1073	-85
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	32.97	0	U2	-32.97	0
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	I0	-1075	-85	3I0	-3226	-85
	U1	32.97	0	U2	-32.97	0
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
2-3	I1	359	-91	I2	348	-92
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	59.48	2	U2	-6.96	-16
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
3-10	I1	-721	-81	I2	-731	-81
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	55.13	2	U2	-11.10	-10
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0

Вид КЗ 3

МЕСТО КЗ 4

Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (3.017 30.513)

I1 2151 -85

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-2151	-85
	U1	0.00	0
4-5	I1	0	0
	U1	0.00	0
2-3	I1	706	-92
	U1	52.91	4
3-10	I1	-1453	-81
	U1	44.37	5

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 1

Упа 114.70 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.219 8.263)

Z2 (2.219 8.263)

Z0 (3.627 20.135)

I1 1765 -78

I2 1765 -78

3I0 5295 -78

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1-0	I1	-1059	-79	I2	-1049	-79
	I0	-845	-77	3I0	-2536	-77
	U1	51.17	1	U2	-15.10	-2
1-2	U0	-36.11	2	3U0	-108.32	2
	I1	-353	-76	I2	-358	-76
	I0	-460	-79	3I0	-1380	-79
1-29	U1	51.17	1	U2	-15.10	-2
	U0	-36.11	2	3U0	-108.32	2
	I1	-353	-76	I2	-358	-76
2-3	I0	-460	-79	3I0	-1379	-79
	U1	51.17	1	U2	-15.10	-2
	U0	-36.11	2	3U0	-108.32	2
3-10	I1	-109	-71	I2	-122	-69
	I0	-363	-81	3I0	-1090	-81
	U1	57.97	0	U2	-8.19	-3
3-4	U0	-10.00	8	3U0	-29.99	8
	I1	-114	-71	I2	-122	-69
	I0	-94	-74	3I0	-283	-74
3-4	U1	59.23	1	U2	-6.85	-7
	U0	-5.58	7	3U0	-16.73	7
	I1	4	-44	I2	0	0
3-4	I0	-270	-83	3I0	-811	-83
	U1	59.23	1	U2	-6.85	-7
	U0	-5.58	7	3U0	-16.73	7

Вид КЗ 3

МЕСТО КЗ 1

Упа 114.70 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.219 8.263)
I1 7743 -75

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1-0	I1	-4611	-76
	U1	0.00	0
1-2	I1	-1567	-73
	U1	0.00	0
1-29	I1	-1567	-73
	U1	0.00	0
2-3	I1	-523	-66
	U1	30.20	1
3-10	I1	-528	-66
	U1	36.18	5
3-4	I1	0	0
	U1	36.18	5

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 10

Упа 114.30 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.981 9.930)	Z2 (2.981 9.930)	Z0 (0.402 6.313)
I1 2450 -77	I2 2450 -77	3I0 7351 -77

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

10-31	I1	-451	-63	I2	-444	-63
	I0	-100	-63	3I0	-299	-63
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-11	I1	-451	-63	I2	-444	-63
	I0	-100	-63	3I0	-299	-63
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-12	I1	-2	-180	I2	0	0
	I0	-61	-78	3I0	-182	-78
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-15	I1	-2	-180	I2	0	0
	I0	-61	-78	3I0	-182	-78
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-18	I1	6	-44	I2	-4	-49
	I0	-111	-74	3I0	-334	-74
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-24	I1	6	-44	I2	-4	-49
	I0	-92	-76	3I0	-276	-76
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-3	I1	-803	-84	I2	-794	-84
	I0	-967	-78	3I0	-2900	-78
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-6	I1	-803	-84	I2	-795	-84
	I0	-967	-78	3I0	-2900	-78

	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
2-3	I1	805	-84	I2	793	-84
	I0	217	-71	3I0	650	-71
	U1	50.44	3	U2	-15.92	-8
	U0	-12.91	8	3U0	-38.72	8
3-4	I1	-2	-180	I2	0	0
	I0	-751	-80	3I0	-2254	-80
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.50	10

Вид КЗ 3

МЕСТО КЗ 10

Упа 114.30 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.981 9.930)

I1 6367 -73

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

10-31	I1	-1161	-60
	U1	0.00	0
10-11	I1	-1161	-60
	U1	0.00	0
10-12	I1	0	0
	U1	0.00	0
10-15	I1	0	0
	U1	0.00	0
10-18	I1	0	0
	U1	0.00	0
10-24	I1	0	0
	U1	0.00	0
10-3	I1	-2074	-81
	U1	0.00	0
10-6	I1	-2075	-81
	U1	0.00	0
2-3	I1	2074	-81
	U1	25.24	9
3-4	I1	0	0
	U1	0.00	0

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 9

Упа 114.80 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (1.343 5.424)

Z2 (1.343 5.424)

Z0 (2.530 13.942)

I1 2617 -78

I2 2617 -78

3I0 7850 -78

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

9-0	I1	-2024	-79	I2	-2009	-79
	I0	-1711	-78	3I0	-5133	-78
	U1	51.68	1	U2	-14.62	-2
	U0	-37.08	2	3U0	-111.23	2
9-2	I1	-297	-75	I2	-304	-75
	I0	-453	-79	3I0	-1359	-79

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ВКР – 13.03.02.05 ПЗ

Лист

76

	U1	51.68	1	U2	-14.62	-2
	U0	-37.08	2	3U0	-111.23	2
9-30	I1	-297	-75	I2	-304	-75
	I0	-453	-79	3I0	-1359	-79
	U1	51.68	1	U2	-14.62	-2
	U0	-37.08	2	3U0	-111.23	2
2-3	I1	-115	-70	I2	-128	-68
	I0	-380	-81	3I0	-1141	-81
	U1	57.60	0	U2	-8.55	-3
	U0	-10.47	8	3U0	-31.40	8
3-10	I1	-118	-71	I2	-127	-68
	I0	-98	-74	3I0	-295	-74
	U1	58.92	1	U2	-7.15	-7
	U0	-5.84	7	3U0	-17.52	7
3-4	I1	4	-44	I2	0	0
	I0	-283	-83	3I0	-849	-83
	U1	58.92	1	U2	-7.15	-7
	U0	-5.84	7	3U0	-17.52	7

Вид КЗ 3

МЕСТО КЗ 9

Упа 114.80 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (1.343 5.424)

I1 11863 -76

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

9-0	I1	-9124	-77
	U1	0.00	0
9-2	I1	-1373	-73
	U1	0.00	0
9-30	I1	-1373	-73
	U1	0.00	0
2-3	I1	-566	-67
	U1	27.39	2
3-10	I1	-566	-67
	U1	33.89	6
3-4	I1	0	0
	U1	33.89	6

***** 26 мая 2017 12 час 20 мин 53 сек *****

Время оформления 0 сек

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Расчет режимов КЗ (Min)

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА :

Имя сети : K130414

Число узлов КЗ: 5

Число поясов: 1

Число коммутаций: 2

код	пар	узел-1	узел-2	узел	комм.
ОТКЛ	0	1	29		0
ОТКЛ	0	11	31		0

Число дополнительных ветвей: 3

пар	узел-1	узел-2
0	2	3
0	3	10
0	3	4

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 2

Упа 114.50 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(2.638 8.687)	Z2	(2.638 8.687)	Z0	(0.709 9.888)
I1	2368 -78	I2	2368 -78	3I0	7103 -78

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Место КЗ	I1	I0	U1	U0	I2	I0	U2	U0	3I0
2-29	0	0	44.69	-23.47	0	0	-21.48	-70.41	0
2-1	-647	-79	44.69	-23.47	-638	-80	-21.48	-70.41	-707
2-30	-632	-80	44.69	-23.47	-623	-80	-21.48	-70.41	-688
2-9	-632	-80	44.69	-23.47	-623	-80	-21.48	-70.41	-688
2-3	-232	-69	44.69	-23.47	-246	-68	-21.48	-70.41	-2522
2-6	-232	-69	44.69	-23.47	-246	-68	-21.48	-70.41	-2522
3-10	-233	-70	44.69	-23.47	-246	-68	-21.48	-70.41	-601

	U1	47.37	3		U2	-18.82	-8
	U0	-13.25	7		3U0	-39.74	7
3-4	I1	3	-42		I2	0	0
	I0	-642	-83		3I0	-1926	-83
	U1	47.37	3		U2	-18.82	-8
	U0	-13.25	7		3U0	-39.74	7

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 2

Упа 114.50 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (2.638 8.687) Z2 (2.638 8.687)
 I1 3639 -73 I2 -3639 -73

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

2-29	I1	0	0	I2	0	0
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
2-1	I1	-991	-75	I2	981	-75
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
2-30	I1	-967	-76	I2	958	-76
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
2-9	I1	-967	-76	I2	958	-76
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
2-3	I1	-363	-64	I2	378	-64
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
2-6	I1	-363	-64	I2	378	-64
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
3-10	I1	-363	-65	I2	376	-64
	U1	37.07	3	U2	28.98	4
3-4	I1	0	0	I2	0	0
	U1	37.07	3	U2	28.98	4

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 4

Упа 114.10 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (3.377 32.241) Z2 (3.377 32.241) Z0 (0.000 0.000)
 I1 1016 -84 I2 1016 -84 3I0 3048 -84

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-1018	-84	I2	-1014	-84
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	32.94	0	U2	-32.94	0
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	I0	-1016	-84	3I0	-3048	-84
	U1	32.94	0	U2	-32.94	0
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
2-3	I1	366	-89	I2	355	-91
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	58.32	2	U2	-8.05	-14
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
3-10	I1	-649	-82	I2	-664	-81
	I0	0	0	3I0	0	0

U1	53.87	2	U2	-12.27	-9
U0	0.00	0	3U0	0.00	0

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 4

Упа 114.10 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (3.377 32.241) Z2 (3.377 32.241)
 I1 1016 -84 I2 -1016 -84

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-1018	-84	I2	1014	-84
	U1	32.94	0	U2	32.94	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.94	0	U2	32.94	0
2-3	I1	366	-89	I2	-355	-91
	U1	58.32	2	U2	8.05	14
3-10	I1	-652	-82	I2	664	-81
	U1	53.87	2	U2	12.27	9

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 1

Упа 114.80 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (2.499 9.582) Z2 (2.499 9.582) Z0 (4.914 25.747)
 I1 1441 -78 I2 1441 -78 3I0 4322 -78

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1-0	I1	-1000	-78	I2	-991	-78
	I0	-884	-77	3I0	-2652	-77
	U1	52.01	1	U2	-14.26	-2
	U0	-37.76	2	3U0	-113.29	2
1-2	I1	-441	-77	I2	-450	-76
	I0	-557	-78	3I0	-1670	-78
	U1	52.01	1	U2	-14.26	-2
	U0	-37.76	2	3U0	-113.29	2
2-3	I1	-50	-73	I2	-64	-67
	I0	-219	-80	3I0	-658	-80
	U1	60.50	0	U2	-5.59	-2
	U0	-6.12	9	3U0	-18.37	9
3-10	I1	-51	-74	I2	-64	-67
	I0	-52	-74	3I0	-157	-74
	U1	61.08	0	U2	-4.88	-5
	U0	-3.46	8	3U0	-10.37	8
3-4	I1	4	-45	I2	0	0
	I0	-167	-82	3I0	-502	-82
	U1	61.08	0	U2	-4.88	-5
	U0	-3.46	8	3U0	-10.37	8

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 1

Упа 114.80 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.499 9.582)
I1 3345 -75

Z2 (2.499 9.582)
I2 -3345 -75

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1-0	I1	-2310	-76	I2	2301	-76
	U1	33.13	0	U2	33.13	0
1-2	I1	-1036	-74	I2	1046	-74
	U1	33.13	0	U2	33.13	0
2-3	I1	-134	-67	I2	149	-65
	U1	53.10	0	U2	12.99	1
3-10	I1	-133	-68	I2	148	-65
	U1	54.60	1	U2	11.38	4
3-4	I1	4	-44	I2	0	0
	U1	54.60	1	U2	11.38	4

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 10

Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (3.338 11.663)
I1 2146 -77

Z2 (3.338 11.663)
I2 2146 -77

Z0 (0.373 6.575)
3I0 6439 -77

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

10-31	I1	0	0	I2	0	0
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-11	I1	-674	-62	I2	-663	-63
	I0	-132	-63	3I0	-397	-63
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-12	I1	-2	-180	I2	0	0
	I0	-55	-78	3I0	-166	-78
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-15	I1	-2	-180	I2	0	0
	I0	-55	-78	3I0	-166	-78
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-18	I1	6	-44	I2	-4	-48
	I0	-101	-74	3I0	-304	-74
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-24	I1	6	-44	I2	-4	-49
	I0	-84	-76	3I0	-251	-76
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-3	I1	-764	-83	I2	-751	-84
	I0	-861	-78	3I0	-2582	-78
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-6	I1	-760	-83	I2	-752	-84
	I0	-861	-78	3I0	-2582	-78
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ВКР – 13.03.02.05 ПЗ

Лист

81

2-3	I1	762	-83	I2	750	-84
	I0	178	-71	3I0	533	-71
	U1	49.19	3	U2	-17.08	-7
	U0	-12.01	8	3U0	-36.03	8
	I1	-2	-180	I2	0	0
3-4	I0	-685	-80	3I0	-2055	-80
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 10

Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (3.338 11.663) Z2 (3.338 11.663)
 I1 2718 -74 I2 -2718 -74

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

10-31	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-11	I1	-851	-60	I2	839	-60
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-12	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-15	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-18	I1	5	-46	I2	5	-46
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-24	I1	5	-46	I2	5	-46
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-3	I1	-963	-80	I2	952	-81
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-6	I1	-961	-80	I2	954	-81
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
2-3	I1	962	-80	I2	-949	-81
	U1	44.56	2	U2	21.64	5
3-4	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.97	0	U2	32.97	0

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 29

Упа 114.50 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (7.708 27.277) Z2 (7.708 27.277) Z0 (12.119 65.658)
 I1 536 -77 I2 536 -77 3I0 1608 -77

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

29-2	I1	-536	-77	I2	-536	-77
	I0	-536	-77	3I0	-1608	-77
	U1	50.92	1	U2	-15.18	-2
	U0	-35.78	2	3U0	-107.33	2
	I1	-42	-74	I2	-56	-68
2-3	I0	-190	-80	3I0	-571	-80
	U1	61.23	0	U2	-4.86	-2
	U0	-5.31	9	3U0	-15.94	9

3-10	I1	-42	-79	I2	-56	-67
	I0	-45	-74	3I0	-135	-74
	U1	61.72	0	U2	-4.24	-4
	U0	-3.00	8	3U0	-8.99	8
3-4	I1	4	-45	I2	0	0
	I0	-145	-82	3I0	-436	-82
	U1	61.72	0	U2	-4.24	-4
	U0	-3.00	8	3U0	-8.99	8

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 29

Упа 114.50 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (7.708 27.277) Z2 (7.708 27.277)
 I1 1166 -74 I2 -1166 -74

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

29-2	I1	-1166	-74	I2	1166	-74
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
2-3	I1	-107	-67	I2	121	-65
	U1	55.50	0	U2	10.58	0
3-10	I1	-106	-67	I2	121	-65
	U1	56.70	1	U2	9.27	4
3-4	I1	4	-44	I2	0	0
	U1	56.70	1	U2	9.27	4

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА :

Имя сети : K130414

Число узлов КЗ: 5

Число поясов: 1

Число коммутаций: 2

код пар	узел-1	узел-2	узел комм.
ОТКЛ 0	9	30	0
ОТКЛ 0	11	31	0

Число дополнительных ветвей: 3

пар	узел-1	узел-2
0	2	3
0	3	10
0	3	4

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 2

Упа 114.40 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.937 9.472) Z2 (2.937 9.472) Z0 (0.692 10.205)
 I1 2211 -77 I2 2211 -77 3I0 6632 -77

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

2-29	I1	-463	-80	I2	-456	-80
	I0	-159	-70	3I0	-477	-70
	U1	44.24	2	U2	-21.91	-4
	U0	-22.61	9	3U0	-67.84	9
2-1	I1	-463	-80	I2	-456	-80
	I0	-159	-70	3I0	-477	-70

	U1	44.24	2	U2	-21.91	-4
	U0	-22.61	9	3U0	-67.84	9
2-30	I1	0	0	I2	0	0
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	44.24	2	U2	-21.91	-4
	U0	-22.61	9	3U0	-67.84	9
2-9	I1	-817	-80	I2	-805	-80
	I0	-281	-70	3I0	-842	-70
	U1	44.24	2	U2	-21.91	-4
	U0	-22.61	9	3U0	-67.84	9
2-3	I1	-237	-69	I2	-251	-68
	I0	-810	-80	3I0	-2429	-80
	U1	44.24	2	U2	-21.91	-4
	U0	-22.61	9	3U0	-67.84	9
2-6	I1	-237	-69	I2	-251	-68
	I0	-810	-80	3I0	-2429	-80
	U1	44.24	2	U2	-21.91	-4
	U0	-22.61	9	3U0	-67.84	9
3-10	I1	-235	-70	I2	-251	-68
	I0	-193	-74	3I0	-580	-74
	U1	46.98	3	U2	-19.20	-8
	U0	-12.76	8	3U0	-38.28	8
3-4	I1	3	-42	I2	0	0
	I0	-619	-82	3I0	-1856	-82
	U1	46.98	3	U2	-19.20	-8
	U0	-12.76	8	3U0	-38.28	8

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 2

Упа 114.40 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (2.937 9.472) Z2 (2.937 9.472)
 I1 3330 -73 I2 -3330 -73

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

2-29	I1	-694	-75	I2	687	-76
	U1	33.03	0	U2	33.03	0
2-1	I1	-694	-75	I2	687	-76
	U1	33.03	0	U2	33.03	0
2-30	I1	0	0	I2	0	0
	U1	33.03	0	U2	33.03	0
2-9	I1	-1226	-75	I2	1213	-76
	U1	33.03	0	U2	33.03	0
2-3	I1	-364	-64	I2	378	-64
	U1	33.03	0	U2	33.03	0
2-6	I1	-364	-64	I2	378	-64
	U1	33.03	0	U2	33.03	0
3-10	I1	-363	-64	I2	378	-63
	U1	37.06	3	U2	28.97	4
3-4	I1	0	0	I2	0	0
	U1	37.06	3	U2	28.97	4

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 4 Упа 114.10 0
 суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (3.691 32.806) Z2 (3.691 32.806) Z0 (0.000 0.000)
 I1 998 -84 I2 998 -84 3I0 2993 -84

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-999	-84	I2	-996	-84
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	32.93	0	U2	-32.93	0
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	I0	-997	-84	3I0	-2992	-84
	U1	32.93	0	U2	-32.93	0
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
2-3	I1	351	-89	I2	340	-91
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	57.73	2	U2	-8.63	-14
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
3-10	I1	-650	-81	I2	-660	-80
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	53.46	2	U2	-12.67	-9
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 4 Упа 114.10 0
 суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (3.691 32.806) Z2 (3.691 32.806)
 I1 998 -84 I2 -998 -84

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-999	-84	I2	996	-84
	U1	32.93	0	U2	32.93	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.93	0	U2	32.93	0
2-3	I1	351	-89	I2	-340	-91
	U1	57.73	2	U2	8.63	14
3-10	I1	-646	-81	I2	660	-80
	U1	53.46	2	U2	12.67	9

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 1 Упа 114.70 0
 суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (2.454 9.005) Z2 (2.454 9.005) Z0 (3.609 20.421)
 I1 1681 -78 I2 1681 -78 3I0 5044 -78

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1-0	I1	-1104	-79	I2	-1090	-79
	I0	-816	-76	3I0	-2449	-76
	U1	50.52	1	U2	-15.69	-2
	U0	-34.87	2	3U0	-104.62	2
1-2	I1	-289	-76	I2	-296	-75
	I0	-433	-79	3I0	-1298	-79

	U1	50.52	1	U2	-15.69	-2
	U0	-34.87	2	3U0	-104.62	2
1-29	I1	-289	-76	I2	-296	-75
	I0	-433	-79	3I0	-1299	-79
	U1	50.52	1	U2	-15.69	-2
	U0	-34.87	2	3U0	-104.62	2
2-3	I1	-100	-70	I2	-114	-68
	I0	-370	-80	3I0	-1109	-80
	U1	56.09	1	U2	-9.98	-3
	U0	-10.32	9	3U0	-30.97	9
3-10	I1	-101	-71	I2	-115	-68
	I0	-88	-74	3I0	-263	-74
	U1	57.25	1	U2	-8.73	-6
	U0	-5.83	8	3U0	-17.48	8
3-4	I1	4	-44	I2	0	0
	I0	-282	-82	3I0	-847	-82
	U1	57.25	1	U2	-8.73	-6
	U0	-5.83	8	3U0	-17.48	8

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 1

Упа 114.70 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (2.454 9.005) Z2 (2.454 9.005)
 I1 3547 -75 I2 -3547 -75

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1-0	I1	-2312	-76	I2	2298	-76
	U1	33.10	0	U2	33.10	0
1-2	I1	-618	-73	I2	625	-72
	U1	33.10	0	U2	33.10	0
1-29	I1	-618	-73	I2	625	-72
	U1	33.10	0	U2	33.10	0
2-3	I1	-227	-66	I2	241	-65
	U1	44.99	0	U2	21.07	1
3-10	I1	-226	-66	I2	242	-65
	U1	47.54	2	U2	18.47	5
3-4	I1	3	-43	I2	0	0
	U1	47.54	2	U2	18.47	5

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 10

Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (3.651 12.230) Z2 (3.651 12.230) Z0 (0.371 6.676)
 I1 2056 -76 I2 2056 -76 3I0 6167 -76

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

10-31	I1	0	0	I2	0	0
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-11	I1	-679	-62	I2	-668	-63
	I0	-129	-62	3I0	-386	-62

	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-12	I1	0	0	I2	0	0
	I0	-54	-77	3I0	-161	-77
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-15	I1	0	0	I2	0	0
	I0	-54	-77	3I0	-161	-77
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-18	I1	6	-44	I2	-4	-49
	I0	-99	-73	3I0	-296	-73
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-24	I1	6	-44	I2	-4	-49
	I0	-82	-76	3I0	-245	-76
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-3	I1	-715	-82	I2	-702	-83
	I0	-822	-78	3I0	-2465	-78
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-6	I1	-711	-83	I2	-703	-83
	I0	-822	-78	3I0	-2465	-78
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
2-3	I1	713	-82	I2	701	-83
	I0	157	-70	3I0	471	-70
	U1	48.38	3	U2	-17.87	-7
	U0	-11.87	9	3U0	-35.60	9
3-4	I1	-2	-180	I2	0	0
	I0	-666	-80	3I0	-1998	-80
	U1	39.74	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.74	10	3U0	-41.23	10

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 10

Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (3.651 12.230) Z2 (3.651 12.230)
 I1 2583 -74 I2 -2583 -74

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

10-31	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
10-11	I1	-851	-60	I2	839	-60
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
10-12	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
10-15	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
10-18	I1	5	-46	I2	5	-46
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
10-24	I1	5	-46	I2	5	-46
	U1	32.96	0	U2	32.96	0

10-3	I1	-893	-80	I2	883	-80
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
10-6	I1	-891	-80	I2	883	-80
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
2-3	I1	893	-80	I2	-880	-80
	U1	43.70	2	U2	22.46	5
3-4	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.96	0	U2	32.96	0

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 30

Упа 114.40 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(8.187 28.722)	Z2	(8.187 28.722)	Z0	(12.502 67.955)
I1	514 -77	I2	514 -77	3I0	1541 -77

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

30-2	I1	-513	-77	I2	-513	-77
	I0	-513	-77	3I0	-1540	-77
	U1	50.75	1	U2	-15.32	-2
	U0	-35.47	2	3U0	-106.41	2
2-3	I1	-44	-74	I2	-58	-68
	I0	-188	-80	3I0	-564	-80
	U1	60.98	0	U2	-5.08	-3
	U0	-5.25	9	3U0	-15.75	9
3-10	I1	-45	-75	I2	-59	-68
	I0	-45	-73	3I0	-134	-73
	U1	61.50	0	U2	-4.44	-5
	U0	-2.96	8	3U0	-8.89	8
3-4	I1	4	-45	I2	0	0
	I0	-144	-82	3I0	-431	-82
	U1	61.50	0	U2	-4.44	-5
	U0	-2.96	8	3U0	-8.89	8

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 30

Упа 114.40 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(8.187 28.722)	Z2	(8.187 28.722)
I1	1106 -74	I2	-1105 -74

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

30-2	I1	-1106	-74	I2	1106	-74
	U1	33.03	0	U2	33.03	0
2-3	I1	-111	-67	I2	125	-65
	U1	55.09	0	U2	10.96	1
3-10	I1	-112	-67	I2	125	-65
	U1	56.34	1	U2	9.60	4
3-4	I1	4	-44	I2	0	0
	U1	56.34	1	U2	9.60	4

***** 26 мая 2017 12 час 9 мин 45 сек *****

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Расчет режимов КЗ НН (Min)

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА :

Имя сети : K130414

Число узлов КЗ: 2

Число поясов: 1

Число коммутаций: 3

код	пар	узел-1	узел-2	узел комм.
ОТКЛ	0	1	29	0
ОТКЛ	0	9	30	0
ОТКЛ	0	11	31	0

Число дополнительных ветвей: 3

пар	узел-1	узел-2
0	2	3
0	3	4
0	3	10

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 5

Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (6.697 34.216)	Z2 (6.697 34.216)
I1 946 -79	I2 -946 -79

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

5-0	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.98	0	U2	32.98	0
5-4	I1	-948	-79	I2	944	-79
	U1	32.98	0	U2	32.98	0
2-3	I1	319	-85	I2	-310	-86
	U1	56.97	2	U2	9.32	10
3-4	I1	948	-79	I2	-944	-79
	U1	53.10	1	U2	13.01	6
3-10	I1	-629	-76	I2	638	-76
	U1	53.10	1	U2	13.01	6

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 4

Упа 114.30 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (4.175 33.734)	Z2 (4.175 33.734)
I1 970 -83	I2 -970 -83

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-972	-83	I2	968	-83
	U1	32.98	0	U2	32.98	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.98	0	U2	32.98	0
2-3	I1	326	-89	I2	-318	-90
	U1	56.91	2	U2	9.56	14

3-10	I1	-644	-80	I2	654	-80
	U1	52.94	2	U2	13.34	10

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА :

Число коммутаций: 3

код	пар	узел-1	узел-2	узел	комм.
ОТКЛ	0	1	29		0
ОТКЛ	0	9	30		0
ОТКЛ	0	11	31		0

Число дополнительных ветвей: 3

пар	узел-1	узел-2
0	2	3
0	3	4
0	3	10

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 5 Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(6.697 34.216)	Z2	(6.697 34.216)
I1	946 -79	I2	-946 -79

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

5-0	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.98	0	U2	32.98	0
5-4	I1	-948	-79	I2	944	-79
	U1	32.98	0	U2	32.98	0
2-3	I1	319	-85	I2	-310	-86
	U1	56.97	2	U2	9.32	10
3-4	I1	948	-79	I2	-944	-79
	U1	53.10	1	U2	13.01	6
3-10	I1	-629	-76	I2	638	-76
	U1	53.10	1	U2	13.01	6

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 4 Упа 114.30 0

суммарные величины в месте несимметрии

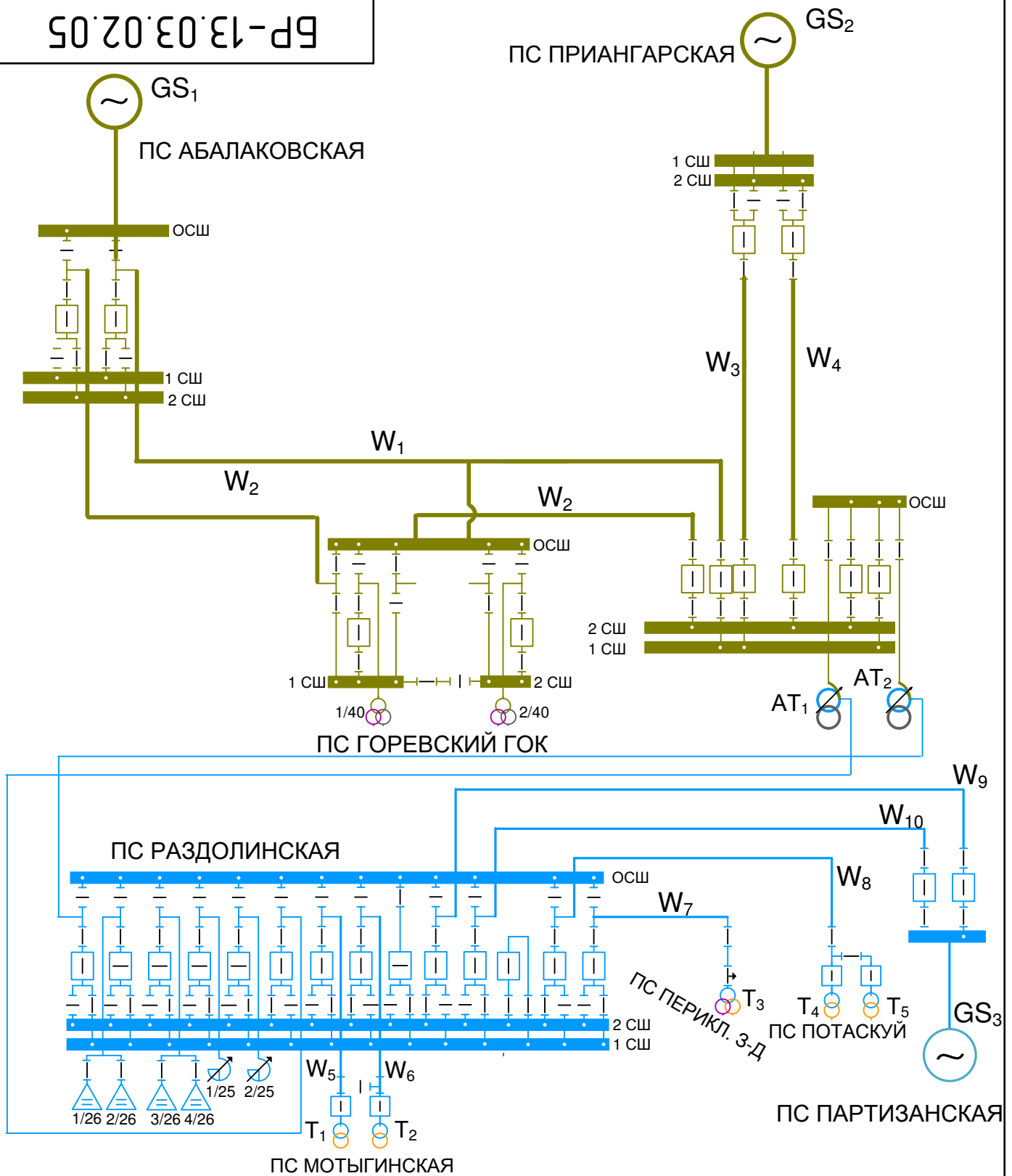
Z1	(4.175 33.734)	Z2	(4.175 33.734)
I1	970 -83	I2	-970 -83

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-972	-83	I2	968	-83
	U1	32.98	0	U2	32.98	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.98	0	U2	32.98	0
2-3	I1	326	-89	I2	-318	-90
	U1	56.91	2	U2	9.56	14
3-10	I1	-644	-80	I2	654	-80
	U1	52.94	2	U2	13.34	10

***** 29 мая 2017 17 час 14 мин 14 сек *****

БР-13.03.02.05



Согласовано:

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

БР-13.03.02.05

Принципиальная схема
электрической сети

Исследование микропроцессорных защит
трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на
станде ШЭ 2607 048

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 1		Листов 6

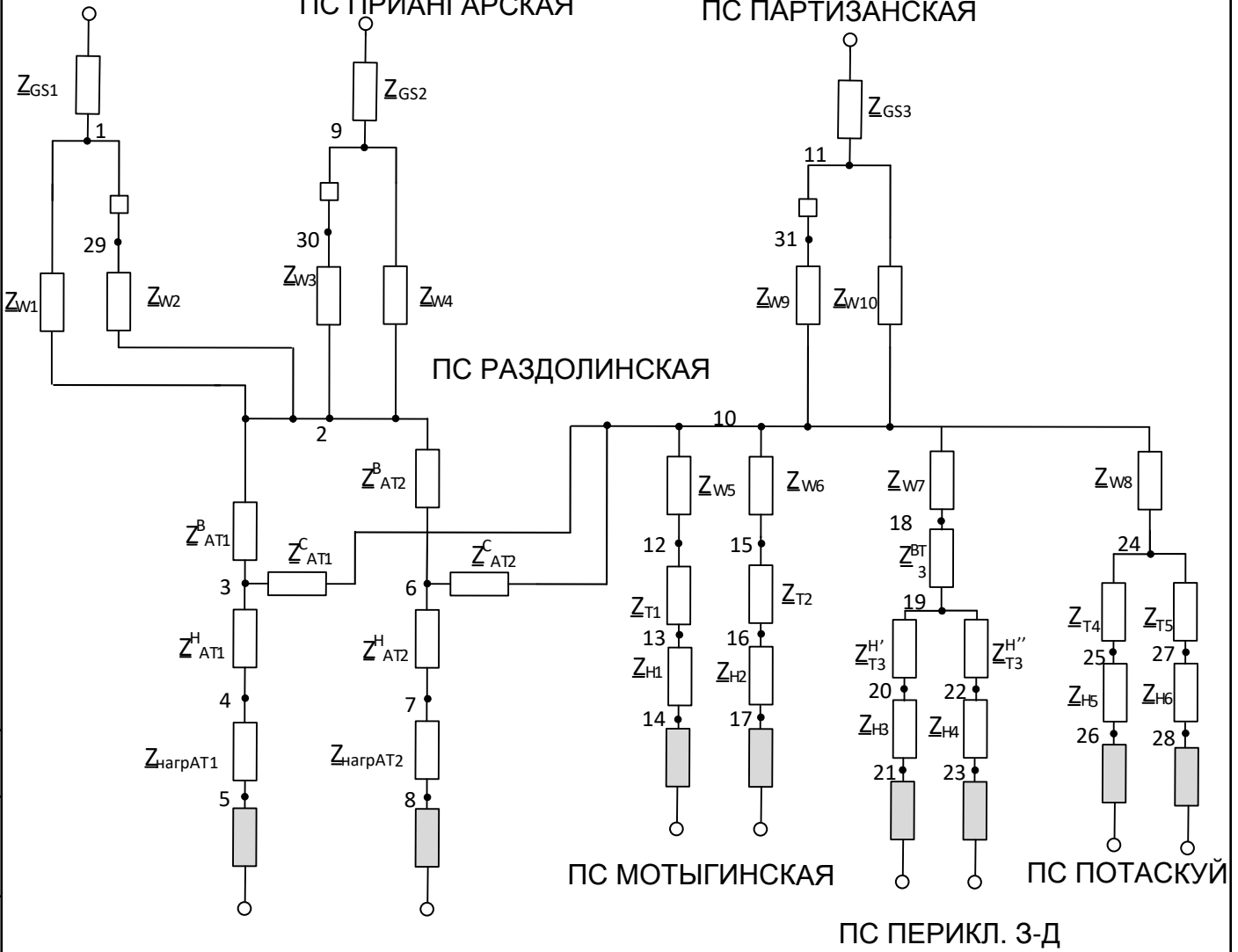
ЭСиЭЭС

Формат А4

ПС АБАЛАКОВСКАЯ

ПС ПРИАНГАРСКАЯ

ПС ПАРТИЗАНСКАЯ



Согласовано:	

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Е.В.Тарасов		
Пров.		Ю.А.Ершов		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		И.В.Коваленко		

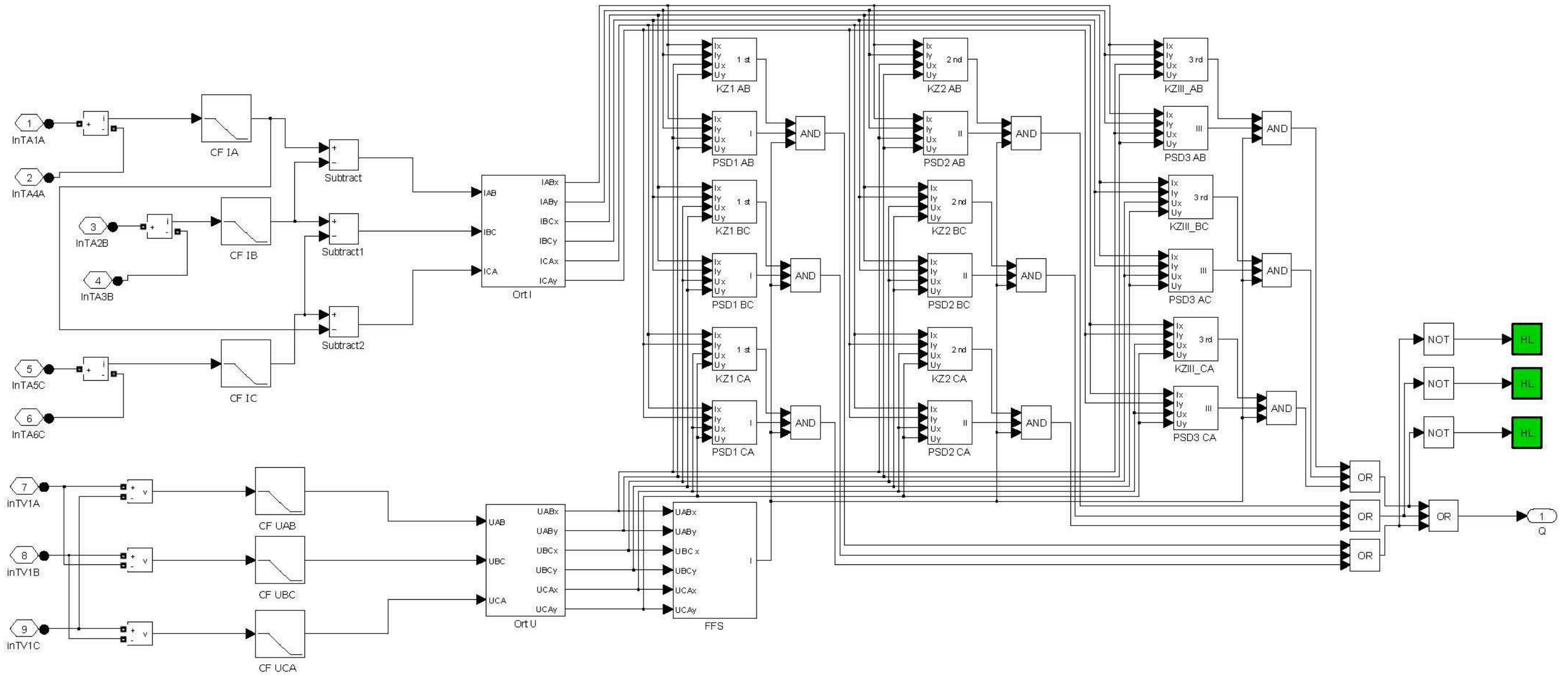
БР-13.03.02.05

Машинная схема замещения
электрической сети

Исследование микропроцессорных защит
трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на
стенде ШЭ 2607 048

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 2		Листов 6

ЭСиЭЭС



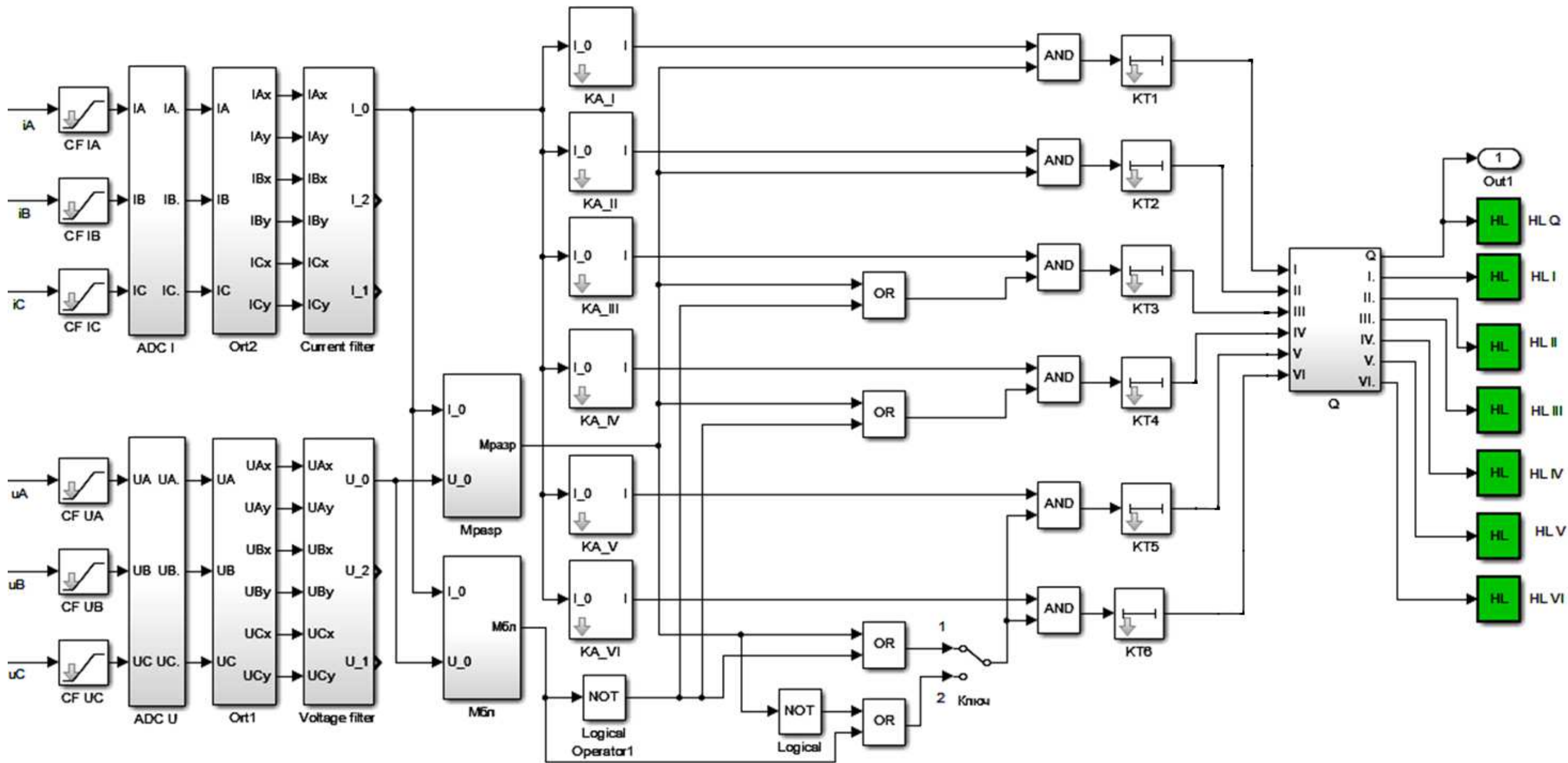
Согласовано:

Взам. инв. №

Подп. и дата

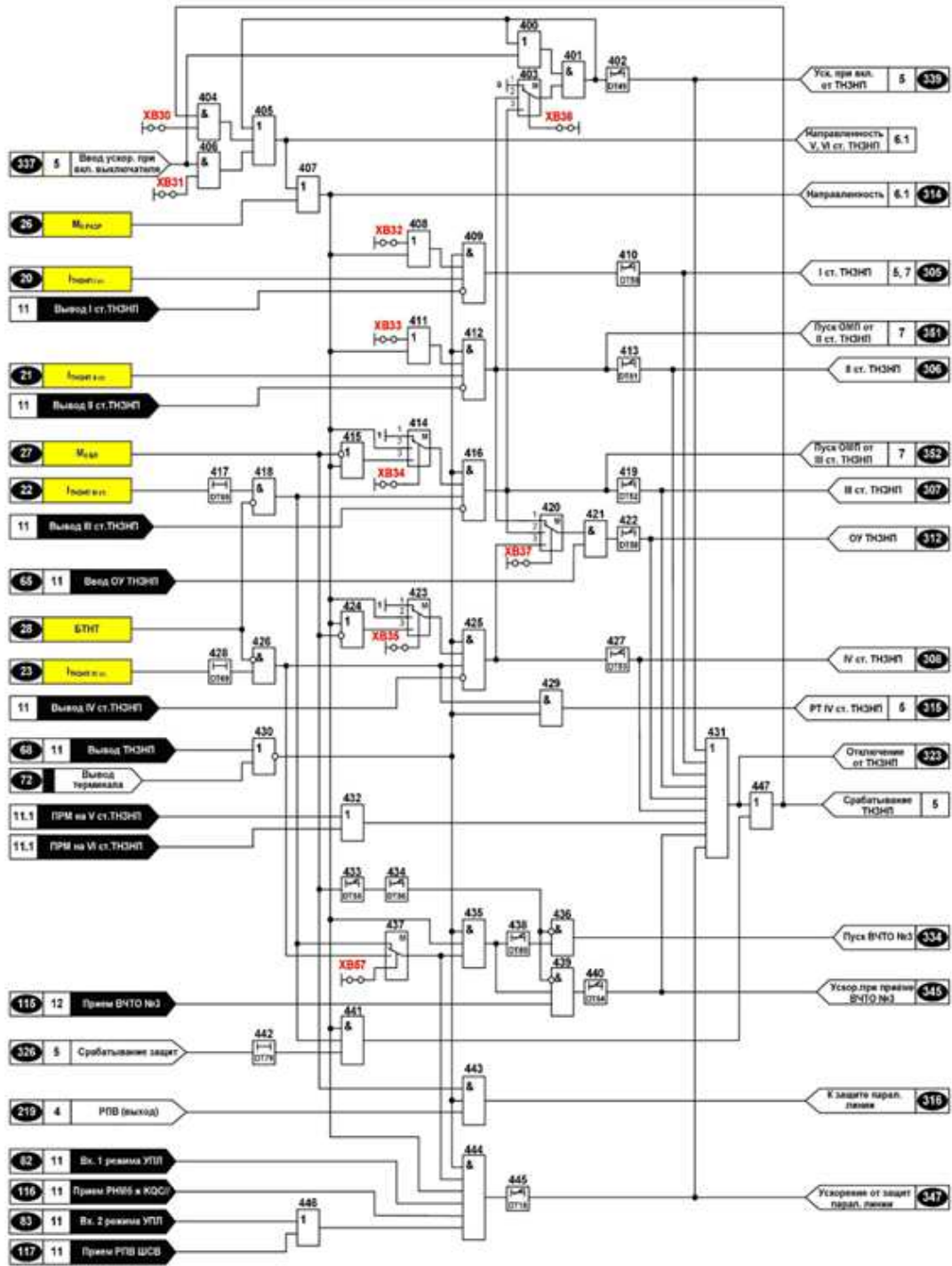
Инв. № подл.

					БР-13.03.02.05			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Функциональная схема дистанционной защиты в программе Matlab	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Е.В.Тарасов						1:1
Проб.		Ю.А.Ершов						
Т.контр.						Лист 3		Листов 6
Н.контр.					Исследование микропроцессорных защит трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на стенде ШЗ 2607 048	ЭСУЭЭС		
Утв.		И.В.Коваленко						



Согласовано:	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

					БР-13.03.02.05			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Функциональная схема ТЗНП в программе Matlab	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Е.В.Тарасов						1:1
Проб.		Ю.А.Ершов						
Т.контр.						Лист 4	Листов 6	
Н.контр.					Исследование микропроцессорных защит трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на стенде ШЭ 2607 048			
Утв.		И.В.Коваленко			ЭСУЭЭС			
					Формат А3			



Согласовано:

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

БР-13.03.02.05

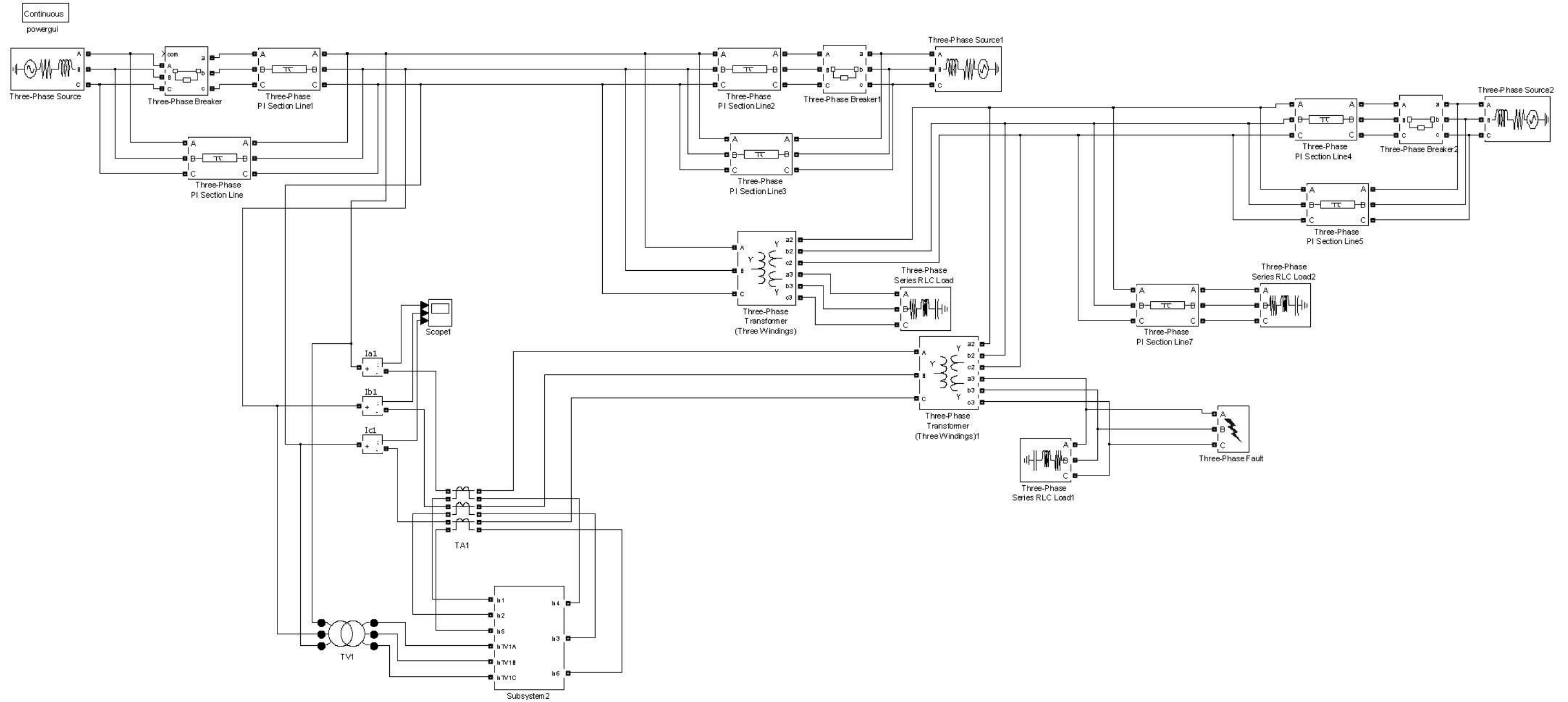
Функциональная схема
логической части ТЭЭП
терминала Б32704 016

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 5		Листов 6

Исследование микропроцессорных защит трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на стенде ШЭ 2607 048

ЭСиЭЭС

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Е.В.Тарасов		
Пров.		Ю.А.Ершов		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		И.В.Коваленко		



Согласовано:

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

					БР-13.03.02.05			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Модель электрической сети в программе Matlab	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Е.В.Тарасов						1:1
Проб.		Ю.А.Ершов						
Т.контр.						Лист 6		Листов 6
Н.контр.					Исследование микропроцессорных защит трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на стенде ШЗ 2607 048			ЭСУЭЭС
Утв.		И.В.Коваленко						Формат А3

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»


ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Электрические станции и электроэнергетические системы»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

И. В. Коваленко


« 5 » 06 2017 г

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02.05–Электросистемы и сети

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТ
ТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ СВЕРХТОКОВ ПРИ ВНЕШНИХ КЗ НА СТЕНДЕ
ШЭ 2607 048

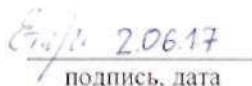
Руководитель


подпись, дата

доцент, к.т.н

Ю.А. Ершов

Выпускник


подпись, дата

Е.В. Тарасов

Красноярск 2017

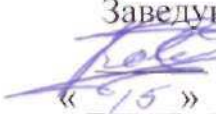
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

кафедра «Электрические станции и электроэнергетические системы»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 И.В. Коваленко

« 15 » 12 2016 г

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы**

Студенту Тарасову Егору Владимировичу.

Группа ФЭ 13–04Б. Специальность 13.03.02.05– Электроэнергетические системы и сети.

Тема выпускной квалификационной работы «Исследование микропроцессорных защит трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на стенде ШЭ 2607 048».

Утверждена приказом по университету № 17238/с от 16.12.2016г.

Руководитель ВКР–Ю.А. Ершов, канд. техн. наук, доцент кафедры «ЭСиЭЭС» ПИ СФУ.

Исходные данные для ВКР:

1. Принципиальная схема энергосистемы Красноярского края.

Перечень разделов ВКР:

Введение;

1. Характеристика защищаемого объекта;

2. Параметры элементов схемы;

3. Составление и расчёт параметров машинной схемы замещения;

4. Расчёт режимов коротких замыканий с помощью программы TKZ-3000;

5. Расчёт уставок защит автотрансформатора от сверхтоков при внешних

КЗ;

6. Исследование и опробование максимальных токовых защит на ВН и НН на базе шкафа ШЭ 2607 048;

7. Создание виртуальной модели ДЗ, МТЗ и ТЗНП в программе Matlab;

8. Создание виртуальной модели сети в программе Matlab;

9. Испытание виртуальной модели МТЗ ВН и МТЗ НН в программе Matlab;

Заключение

Перечень графического материала:

Чертёж №1 – Принципиальная схема электрической сети;

Чертёж №2 – Машинная схема замещения электрической сети;

Чертёж №3 – Функциональная схема ДЗ в программе Matlab;

Чертёж №4 – Функциональная схема ТЗНП в программе Matlab;

Чертёж №5 – Функциональная схема логической части ТЗНП терминала

БЭ2704 016;

Чертёж №6 – Модель электрической сети в программе Matlab.

Руководитель ВКР


подпись

Ю.А. Ершов

Задание принял к исполнению


подпись

Е.В. Тарасов

«16» декабря 2016 г

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по «Исследованию микропроцессорных защит трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на стенде ШЭ 2607 048» содержит 89 страниц текстового документа, 5 приложений, 13 использованных источников, 6 листов графического материала.

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, ТОКОВАЯ ЗАЩИТА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ, МАШИННАЯ СХЕМА, ТКЗ-3000, УСТАВКИ, МОДЕЛЬ, МАТЛАВ, ОПРОБОВАНИЕ.

Объект работы – автотрансформатор.

Цели работы:

- Расчёт режимов КЗ;
- Расчет уставок дистанционной защиты, МТЗ, ТЗНП обмоток автотрансформатора;
- Исследование и опробование МТЗ на базе шкафа ШЭ 2607 048;
- Создание виртуальной модели дистанционной защиты, МТЗ, ТЗНП в программе Matlab;
- Создание виртуальной модели сети в программе Matlab;
- Испытание виртуальной модели МТЗ в программе Matlab

В результате работы были исследованы дистанционная защита, МТЗ и ТЗНП, рассчитаны уставки и создана модель сети на которой был опробован алгоритмы рассматриваемых защит.

ВКР – 13.03.02.05 ПЗ								
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Е. В. Тарасов	<i>Е.В.Т.</i>	30.06.17				
Провер.		Ю. А. Еришов	<i>Ю.А.Е.</i>	3.06.17			2	89
Реценз.								
Н. Контр.		Ю. А. Еришов	<i>Ю.А.Е.</i>	3.06.17				
Утверд.		И.В. Коваленко	<i>И.В.К.</i>					
					Кафедра "ЭСиЭЭС"			

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Характеристики защищаемого объекта.....	6
2 Расчет параметров схемы замещения.....	7
2.1 Расчет сопротивлений прямой, обратной, нулевой последовательностей линий.....	8
2.2 Расчет сопротивлений трансформаторов.....	9
2.3 Определение сопротивления систем.....	10
2.4 Определение сопротивлений нагрузок трансформаторов.....	12
3 Расчёт режимов коротких замыканий с помощью программы ТКЗ-3000.....	14
3.1 Назначение и возможности программного комплекса ТКЗ 3000	14
3.2 Определение расчётных режимов работы сети и её элементов для защищаемого объекта.....	14
4 Выбор трансформаторов тока и трансформаторов напряжения.....	16
4.1 Определение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения стороны ВН.....	16
4.2 Определение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения стороны СН.....	16
4.3 Определение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения стороны НН.....	17
5 Расчет защит от сверхтоков при внешних КЗ.....	18
5.1 Максимальная токовая защита АТ НН 10 кВ.....	18
5.2 Расчет МТЗ с пуском минимального напряжения.....	19
5.3 Дистанционная защита автотрансформатора ВН 220 кВ.....	20
6 Защита от токов нулевой последовательности.....	25
6.1 I ступень токовая отсечка нулевой последовательности ВН.....	25
6.2 II ступень токовая отсечка нулевой последовательности.....	27
6.3 IV ступень максимальная токовая защита нулевой последовательности.....	28
7 Испытание МТЗ АТ на стенде ШЭ 2607 048.....	31
7.1 Назначение шкафа ШЭ 2607 048.....	31
7.2 Устройство и работа исследуемых защит шкафа ШЭ 2607 048..	31

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		3

8	Создание модели исследуемого участка сети в программе Matlab	38
9	Создание модели дистанционной защиты трансформатора	42
9.1	Моделирование формирователя ортогональных составляющих тока и напряжения.....	42
9.2	Моделирование блокировки неисправностей цепей переменного напряжения	44
9.3	Моделирование цифрового органа сопротивления.....	45
9.4	Моделирование блокировки при качаниях	47
9.5	Моделирование сигнального органа.....	49
9.6	Моделирование органа выдержки времени	50
9.7	Принцип действия виртуальной модели ДЗ в программе Matlab	51
10	Создание модели МТЗ в программе Matlab	52
10.1	Принцип работы виртуальной модели МТЗ	52
11	Создание модели ТЗНП в программе Matlab	57
11.1	Моделирование органа тока нулевой последовательности.....	57
11.2	Моделирование органа направления мощности.....	58
11.3	Моделирование органа отключения выключателя	60
11.4	Принцип действия виртуальной модели ТНЗНП в программе Matlab.....	62
12	Испытание виртуальной модели максимальной токовой защиты в среде Matlab	63
12.1	Испытание виртуальной модели МТЗ АТ НН.....	63
12.2	Испытание виртуальной модели МТЗ АТ ВН	65
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	69
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	70
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	71
	ПРИЛОЖЕНИЕ В	72
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г	78
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	89

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время устройства РЗА, выполненные на электромеханической базе, постепенно уходят на второй план, уступая первенство микропроцессорным защитам и автоматике. Применение микропроцессоров открывает безграничные возможности в построении новых алгоритмов работы защит, позволяет значительно упростить их аппаратную реализацию за счет усложнения программной части, уменьшить габаритные размеры готовых устройств и многое другое.

Разработка новейших устройств, отвечающих высочайшим требованиям надежности и правильности работы опирается на достижения ученых в теоретическом совершенствовании существующих методов анализа аварийных режимов работы развивающихся энергосистем, поиск новых механизмов, на которых основывается принцип действия защит и автоматики, применении таких технологий, как оптоволоконная, нейронные сети, нечеткая логика, искусственный интеллект.

Ниже приведены некоторые труды специалистов релейной защиты и автоматизации энергосистем с кратким содержанием о нововведениях в области защит, построенных на дистанционном принципе за последние 10 лет.

Практика использования дистанционной защиты с динамическими характеристиками. Баглейбтер О.И. (ЗАО «Альстом Грид»). Сборник докладов XXI конференции «Релейная защита и автоматизация энергосистем», Москва 2012 г.

В настоящем докладе рассматриваются два различных подхода к улучшению селективности и надежности ДЗ за счет применения динамических характеристик: для полигональных характеристик - динамический наклон верхней границы для более точного учета падения напряжения на переходном сопротивлении, для круговых характеристик - динамическое расширение/сокращение характеристики вследствие работы по напряжению памяти либо по напряжению неповрежденных фаз.

Применение систем искусственного интеллекта в дистанционной защите линии электропередачи. Т.С. Камель, М.А. Мустафа Хассан, А. Эль-Моршеди (Cairo University, Egunet). Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматизации энергосистем», Москва 2009 г.

В последнее время были опубликованы некоторые интересные исследования, использующие методы нейронных сетей и нечеткой логики для определения вида и места повреждения в линиях электропередачи. Эти методы улучшают подавление негармонических компонент постоянного тока и определение симметричных составляющих токов линии.

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

1 Характеристики защищаемого объекта

В качестве исходных данных дан участок сети энергосистемы Красноярского края с параметрами всех элементов.

Основная подстанция рассматриваемого участка электрической сети является подстанция «Раздолинская».

Для бакалаврской работы рассчитывается защита автотрансформатора подстанции «Раздолинская».

Источниками питания являются эквивалентные системы $GS1$, $GS2$, $GS3$.

Принципиальная схема рассматриваемой электрической сети представлена на чертеже 1.

Защита трансформаторов и автотрансформаторов от сверхтоков является резервной, предназначенной для отключения их от источника питания как при повреждениях самих трансформаторов (автотрансформаторов) и отказе основных защит, так и при повреждении смежного оборудования и отказах его защиты или выключателей. При отсутствии специальной защиты шин защита трансформаторов от сверхтоков осуществляет также защиту этих шин.

Для защиты от сверхтоков при однофазном КЗ используется токовая защита и токовая направленная защита нулевой последовательности. Защита устанавливается со стороны обмоток, соединенных по схеме звезды с заземленной нулевой точкой.

На автотрансформаторах с двух- или трехсторонним питанием для обеспечения селективности действия максимальная токовая защита дополняется органами направления мощности.

Дистанционная защита сравнительно простая и она может быстро устранять короткие замыкания, расположенные вдоль большей части защищаемой цепи. Она также может выступать как в качестве основной, так и в качестве резервной защиты одновременно. Поскольку полное сопротивление линии электропередач пропорционально ее длине, для измерения дистанции целесообразно использовать реле, которое дает возможность измерять полное сопротивление линии до заданной точки (точка досягаемости или зона действия). Такое реле описано как дистанционное реле и разработано для срабатывания только на повреждениях расположенные между реле и выбранной точкой досягаемости, это дает возможность селективно отключать повреждения, которые могут возникать в разных частях линии. Основным принципом работы дистанционной защиты является деление напряжения в точке коммутации на измеренный ток, что, исходя из закона Ома равно сопротивлению. Расчетное сопротивление сравнивается с сопротивлением до точки досягаемости. Если измеренное сопротивление меньше сопротивления до точки досягаемости предполагается, что существует повреждение на линии между реле и точкой досягаемости. [12]

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

2 Расчет параметров схемы замещения

Для расчета параметров необходимо составить схему замещения исследуемой электрической сети, представленной на чертеже 2.

Расчеты упрощаются при приближенном приведении сопротивлений к одной ступени напряжения. При этом для каждой ступени трансформации устанавливается одно среднее номинальное напряжение. В нашем случае будем приводить к ступени напряжения 115 кВ. По вычисленным сопротивлениям элементов сети составляется схема замещения прямой последовательности. При расчете токов КЗ схема замещения обратной последовательности принимается равной схеме замещения прямой последовательности.

Для трансформаторов и автотрансформаторов схема замещения нулевой последовательности составляется на основе схемы замещения прямой последовательности.

Сопротивление воздушных линий нулевой последовательности зависит от наличия грозозащитных тросов, их материала, наличия параллельных линий, и расстояний между ними, а также от марки и расположения проводов, типов опор.

Таблица 2.1 – Параметры линий

Обозначение	Номинальное напряжение, кВ	Протяженность, км	Марка провода	Удельное сопротивление, Ом/км
W_1	220	169	АС-240	$0,12 + j0,44$
W_2	220	169	АС-240	$0,12 + j0,44$
W_3	220	175	АС-600	$0,12 + j0,44$
W_4	220	175	АС-600	$0,12 + j0,44$
W_5	220	43	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_6	220	43	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_7	220	27	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_8	110	40	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_9	110	45	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_{10}	110	45	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_{11}	220	292	АС-240	$0,12 + j0,44$
W_{12}	220	230	АС-300	$0,098 + j0,43$
W_{13}	220	132	АС-300	$0,098 + j0,43$
W_{14}	220	132	АС-300	$0,098 + j0,43$
W_{15}	110	72	АС-120	$0,25 + j0,43$
W_{16}	110	72	АС-120	$0,25 + j0,43$

Таблица 2.2 – Параметры трансформаторов

Название подстанции	Обозначение	$S_{ном}$, МВ·А	$U_{ном}$ обмоток, кВ			u_k , %		
			ВН	СН	НН	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН
Раздолинская	AT_1, AT_2	125	230	121	10,5	11	31	19
Мотыгинская	T_1, T_2	6,3	115	-	11	-	10,5	-
Перикл. 3-Д	T_3	16	115	-	11	-	10,5	-
Потаскуй	T_4, T_5	6,3	115	-	11	-	10,5	-

2.1 Расчет сопротивлений прямой, обратной, нулевой последовательностей линий

Определим сопротивления прямой последовательности линий W1-W10, Ом:

$$\underline{Z}_{W1} = \underline{Z}_{W2} = (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = (0,12 + j0,44) \cdot 169 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 5,07 + j18,59;$$

$$\underline{Z}_{W3} = \underline{Z}_{W4} = (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = (0,12 + j0,44) \cdot 175 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 5,25 + j19,25;$$

Сопротивления остальных линий рассчитываются по аналогичной формуле и сведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3 – Сопротивления прямой последовательности линий

Обозначение на схеме замещения	Сопротивление	
	R, Ом	X, Ом
W_1	5,07	18,59
W_2	5,07	18,59
W_3	5,25	19,25
W_4	5,25	19,25
W_5	10,75	18,49
W_6	10,75	18,49
W_7	6,75	11,61
W_8	10,0	19,35
W_9	11,25	19,35
W_{10}	11,25	19,35

Определим сопротивления нулевой последовательности линий W1-W10, Ом:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{0W1} = \underline{Z}_{0W2} &= (R + 0,15 + jX \cdot 3) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = \\ &= (0,12 + 0,15 + j0,44 \cdot 3) \cdot 169 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 11,41 + j55,77; \\ \underline{Z}_{0W3} = \underline{Z}_{0W4} &= (R + 0,15 + jX \cdot 3) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = \\ &= (0,12 + 0,15 + j0,44 \cdot 3) \cdot 175 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 11,81 + j57,75; \end{aligned}$$

Сопротивления остальных линий рассчитываются по аналогичной формуле и сведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Сопротивления прямой последовательности линий

Обозначение на схеме замещения	Сопротивление	
	R, Ом	X, Ом
W ₁	11,41	55,77
W ₂	11,41	55,77
W ₃	11,81	57,75
W ₄	11,81	57,75
W ₅	17,2	55,47
W ₆	17,2	55,47
W ₇	10,8	34,83
W ₈	16,0	51,60
W ₉	18,0	58,05
W ₁₀	18,0	58,05

2.2 Расчет сопротивлений трансформаторов

Сопротивления автотрансформаторов, Ом

$$u_K^B = 0,5 \cdot (u_K^{B-C} + u_K^{B-H} - u_K^{C-H}) = 0,5 \cdot (11 + 31 - 19) = 11,5 \%;$$

$$u_K^C = 0,5 \cdot (u_K^{B-C} + u_K^{C-H} - u_K^{B-H}) = 0,5 \cdot (11 + 19 - 31) = -0,5 \%;$$

$$u_K^H = 0,5 \cdot (u_K^{B-H} + u_K^{C-H} - u_K^{B-C}) = 0,5 \cdot (31 + 19 - 11) = 19,5 \%.$$

$$X_{AT}^B = \frac{u_{AT}^B}{100} \cdot \frac{U_{cp}^2}{S_{ном.AT}} = \frac{11,5}{100} \cdot \frac{115^2}{125} = 12,17;$$

$$X_{AT}^C = 0;$$

$$X_{AT}^H = \frac{u_{AT}^H}{100} \cdot \frac{U_{cp}^2}{S_{ном.AT}} = \frac{19,5}{100} \cdot \frac{115^2}{125} = 20,63.$$

Сопротивления двухобмоточных трансформаторов, Ом

$$X_{T1} = X_{T2} = X_{T4} = X_{T5} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{cp}^2}{S_{ном.Т}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{115^2}{6,3} = 220,42;$$

$$X_{T3} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{cp}^2}{S_{ном.Т}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{115^2}{16} = 86,79;$$

$$X_{T3}^B = 0,125 \cdot X_{T3} = 0,125 \cdot 86,79 = 10,85;$$

$$X_{T3}^H = 0,75 \cdot X_{T3} = 1,75 \cdot 86,79 = 151,88.$$

2.3 Определение сопротивления систем

Примем, что сопротивление системы GS_1 составляет параллельное соединение двух параллельных линий W_{11}, W_{12} .

Сопротивления прямой и нулевой последовательности этих линий, Ом:

$$\underline{Z}_{W11} = (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = (0,12 + j0,44) \cdot 292 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 33,29e^{j74,74^\circ};$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{0W11} &= (R + 0,15 + jX \cdot 3) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = \\ &= (0,12 + 0,15 + j0,44 \cdot 3) \cdot 292 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 98,36e^{j78,44^\circ}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{W12} &= (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = (0,098 + j0,43) \cdot 230 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = \\ &= 25,36e^{j77,16^\circ}; \end{aligned}$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{0W12} &= (R + 0,15 + jX \cdot 3) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = \\ &= (0,098 + 0,15 + j0,43 \cdot 3) \cdot 230 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 = 75,52e^{j79,12^\circ};\end{aligned}$$

Тогда сопротивления системы GS1 прямой и нулевой последовательности, Ом

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{GS1} &= \frac{\underline{Z}_{W11}\underline{Z}_{W12}}{\underline{Z}_{W11} + \underline{Z}_{W12}} = \frac{33,29e^{j74,74^\circ} \cdot 25,36e^{j77,16^\circ}}{8,76 + j32,12 + 5,635 + j24,72} = \\ &= \frac{33,29e^{j74,74^\circ} \cdot 25,36e^{j77,16^\circ}}{58,63e^{j75,79^\circ}} = 14,40e^{j76,11^\circ} = 3,457 + j13,98;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{0GS1} &= \frac{\underline{Z}_{0W11}\underline{Z}_{0W12}}{\underline{Z}_{0W11} + \underline{Z}_{0W12}} = \frac{98,36e^{j78,44^\circ} \cdot 75,52e^{j79,12^\circ}}{19,71 + j96,36 + 14,26 + j74,16} = \\ &= \frac{33,29e^{j74,74^\circ} \cdot 25,36e^{j77,16^\circ}}{173,87e^{j78,73^\circ}} = 42,72e^{j78,83^\circ} = 8,276 + j41,91;\end{aligned}$$

Сопротивление системы GS2 составляет параллельное соединение двух параллельных линий W13, W14, Ом

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{GS2} &= (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = (0,098 + j0,43) \cdot 132 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = \\ &= 1,617 + j7,095;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{0GS2} &= (R + 0,15 + jX \cdot 3) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = \\ &= (0,098 + 0,15 + j0,43 \cdot 3) \cdot 132 \cdot \left(\frac{115}{230} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 4,092 + j21,28.\end{aligned}$$

Сопротивление системы GS3 составляет параллельное соединение двух параллельных линий W15, W16, Ом

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{GS3} &= (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = (0,25 + j0,43) \cdot 72 \cdot \left(\frac{115}{115} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = \\ &= 9,00 + j15,48;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{0GS3} &= (R + 0,15 + jX \cdot 3) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = \\ &= (0,25 + 0,15 + j0,43 \cdot 3) \cdot 72 \cdot \left(\frac{115}{115} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 14,4 + j46,44. \end{aligned}$$

2.4 Определение сопротивлений нагрузок трансформаторов

Определим сопротивление нагрузки автотрансформатора.

Ток нагрузки, кА

$$I_{нагр.} = \frac{0,5S_{ном.АТ}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{0,5 \cdot 125}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 3,437;$$

Согласно [4, стр. 68], выбираем $F = 70 \text{ мм}^2$, $I_{дон} = 165$, тогда количество кабелей в нагрузке, шт:

$$n = \frac{I_{нагр}}{I_{дон}} = \frac{3437}{165} \approx 21;$$

Рассчитаем сопротивление одного кабеля, Ом:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{каб.АТ} &= (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{cp}}{U_{cp.ном}} \right)^2 = (0,443 + j0,086) \cdot 1 \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = \\ &= 53,14 + j10,32; \end{aligned}$$

В итоге сопротивление нагрузки, Ом

$$\underline{Z}_{НАТ} = \frac{\underline{Z}_{каб.АТ}}{n} = \frac{53,14 + j10,32}{21} = 2,53 + j0,491.$$

Аналогично определим сопротивления нагрузок трансформаторов Т1, Т2, Т4, Т5.

Ток нагрузки, кА

$$I_{нагр.} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,346;$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Выбираем $F = 70 \text{ мм}^2$, $I_{доп} = 165$, тогда количество кабелей в нагрузке, шт:

$$n = \frac{I_{нагр}}{I_{доп}} = \frac{346}{165} \approx 2;$$

Сопротивление одного кабеля, Ом:

$$\begin{aligned} Z_{каб.Т} &= (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{ср}}{U_{ср.ном}} \right)^2 = (0,443 + j0,086) \cdot 1 \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = \\ &= 53,14 + j10,32; \end{aligned}$$

Сопротивления нагрузок, Ом

$$Z_{Н1} = Z_{Н2} = Z_{Н4} = Z_{Н5} = \frac{Z_{каб.АТ}}{n} = \frac{53,14 + j10,32}{2} = 26,57 + j5,16.$$

И, наконец, трансформатора ТЗ.

Ток нагрузки, кА

$$I_{нагр.} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,880;$$

Выбираем $F = 70 \text{ мм}^2$, $I_{доп} = 165$, тогда количество кабелей в нагрузке:

$$n = \frac{I_{нагр}}{I_{доп}} = \frac{880}{165} \approx 5;$$

Сопротивление одного кабеля, Ом:

$$\begin{aligned} Z_{каб.Т} &= (R + jX) \cdot l \cdot \left(\frac{U_{ср}}{U_{ср.ном}} \right)^2 = (0,443 + j0,086) \cdot 1 \cdot \left(\frac{115}{10,5} \right)^2 = \\ &= 53,14 + j10,32; \end{aligned}$$

Сопротивление нагрузки, Ом

$$Z_{НЗ} = \frac{Z_{каб.АТ}}{n} = \frac{53,14 + j10,32}{2} = 26,57 + j5,16.$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

3 Расчёт режимов коротких замыканий с помощью программы TKZ-3000

Расчет токов КЗ выполнен в программном комплексе TKZ-3000 на основании составленной ранее расчетной машинной схемы замещения (чертёж №2) и рассчитанных параметров схемы замещения.

3.1 Назначение и возможности программного комплекса TKZ 3000

Для определения токов короткого замыкания воспользуемся программой TKZ3000.

Комплекс программ позволяет производить расчеты режимов короткого замыкания. Результаты расчетов помещаются в стандартный файл результатов. Форматы вывода могут быть различными, так как определяются разными программами обработки стандартного файла результатов.

С помощью комплекса можно получать токи, напряжения отношения токов к напряжениям (сопротивления) как в виде симметричных составляющих, так и в виде полных фазных или междуфазных величин.

3.2 Определение расчётных режимов работы сети и её элементов для защищаемого объекта

Основными режимами работы электроэнергетической системы считают максимальный, когда в работе находятся все элементы энергосистемы, и минимальный, когда часть генераторов и линий электропередачи отключены при минимальном режиме работы эквивалентной смежной энергосистемы. Величины токов и напряжений при максимальном режиме используются для расчета уставок проектируемых защит: параметры минимального режима необходимы для проверки их чувствительности.

При работе в минимальном режиме необходимо отключить:

- половину генераторов на электростанциях;
- произвести отключения в эквивалентной энергосистеме (увеличить в 1,3–2,0 раза её сопротивление);
- в электрической сети отключить одну из двухцепных воздушных линий (ВЛ) электропередачи;
- разомкнуть замкнутую электрическую сеть в конце следующего участка линии (отключив соответствующий выключатель ВЛ) [1].

Для расчёта уставок защит рассчитан ток трехфазного короткого замыкания в конце и за смежными элементами по отношению к защищаемому

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

в максимальном и минимальном каскадном режимах, а также ток трёхфазного короткого замыкания за обмоткой НН автотрансформатора.

Для проверки чувствительности защиты рассчитан ток трехфазного и двухфазного КЗ в конце защищаемого элемента и за смежными элементами по отношению к защищаемому в минимальном режиме.

Значения данных токов представлены в приложениях В, Г, Д.

Узлы, в которых необходимо рассчитать токи в максимальном и минимальном режимах приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Узлы проведения коротких замыканий

Название режима	Точки расчета		
	трехфазное КЗ	двухфазное КЗ	однофазное КЗ на землю
Максимальный режим	1, 2, 4, 9	-	1, 2, 4, 9
Минимальный режим	-	1, 2, 4, 5, 9, 29, 30	1, 2, 4, 5, 9, 29, 30

4 Выбор трансформаторов тока и трансформаторов напряжения

Контроль режимов работы основного и вспомогательного оборудования подстанции, а также поступление информации на устройства релейной защиты и автоматики осуществляются с помощью контрольно-измерительных приборов. Эти приборы относятся к вторичным цепям и связаны с первичными цепями посредством измерительных трансформаторов тока и напряжения [1].

4.1 Определение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения стороны ВН

Определим номинальный ток стороны ВН, А:

$$I_{\text{НОМ ВН}} = \frac{S_{\text{НОМ АТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ ВН}}} = \frac{125 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 230} = 313,8.$$

Определим ток учетом допустимой перегрузки автотрансформатора, которая равна $k_{\text{ав}} = 1,4$ А:

$$1,4 \cdot I_{\text{НОМ ВН}} = 1,4 \cdot 313,8 = 439,3,$$

следовательно выбираем для стороны ВН номинальный ток трансформатора тока $I_{1\text{НОМ}} = 400$ А, и тогда имеем

$$k_I^{\text{ВН}} = \frac{I_{1\text{НОМ}}}{I_{2\text{НОМ}}} = \frac{400}{5}.$$

Коэффициент трансформации трансформатора напряжения равен

$$k_U^{\text{ВН}} = \frac{U_{1\text{НОМ}}}{U_{2\text{НОМ}}} = \frac{220 \cdot 10^3}{100}.$$

4.2 Определение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения стороны СН

Определим номинальный ток стороны СН, А:

$$I_{\text{НОМ СН}} = \frac{S_{\text{НОМ АТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ СН}}} = \frac{125 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 115} = 627,6.$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Определим ток учетом допустимой перегрузки автотрансформатора, которая равна $k_{ав} = 1,4$ А:

$$1,4 \cdot I_{НОМ СН} = 1,4 \cdot 627,6 = 878,6,$$

следовательно выбираем для стороны ВН номинальный ток трансформатора тока $I_{1НОМ} = 800$ А, и тогда

$$k_I^{СН} = \frac{I_{1НОМ}}{I_{2НОМ}} = \frac{800}{5}.$$

Коэффициент трансформации трансформатора напряжения равен.

$$k_U^{СН} = \frac{U_{1НОМ}}{U_{2НОМ}} = \frac{110 \cdot 10^3}{100}.$$

4.3 Определение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения стороны НН

Определим номинальный ток стороны НН, А:

$$I_{НОМ НН} = \frac{S_{НОМ АТ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ НН}} = \frac{125 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 6873.$$

Определим ток учетом допустимой перегрузки автотрансформатора, которая равна $k_{ав} = 1,4$ А:

$$1,4 \cdot I_{НОМ НН} = 1,4 \cdot 6873 = 9622,$$

следовательно выбираем для стороны ВН номинальный ток трансформатора тока $I_{1НОМ} = 800$ А, , и тогда

$$k_I^{НН} = \frac{I_{1НОМ}}{I_{2НОМ}} = \frac{10000}{5}.$$

Коэффициент трансформации трансформатора напряжения равен.

$$k_U^{НН} = \frac{U_{1НОМ}}{U_{2НОМ}} = \frac{10,0 \cdot 10^3}{100}.$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

5 Расчет защит от сверхтоков при внешних КЗ

При внешних КЗ защита трехобмоточных трансформаторов или автотрансформаторов должна обеспечивать селективное отключение только той обмотки трансформатора или автотрансформатора, которая непосредственно питает место повреждения.

На трехобмоточных трансформаторах с односторонним питанием (например со стороны ВН) на обмотках СН и НН просчитываются собственные МТЗ. На обмотке ВН просчитывается третья МТЗ, которая при срабатывании отключит трансформатор при КЗ в нем и резервирует срабатывание МТЗ обмоток СН и НН.

При расчёте дистанционной защиты использовались руководящие указания по релейной защите выпуск 7 «Дистанционная защита линий 35-330 кВ» [5].

5.1 Максимальная токовая защита АТ НН 10 кВ

Первичный ток, А, срабатывания максимальной токовой защиты (МТЗ)

$$I_{сз} = \frac{k_n \cdot k_{сз}}{k_b} \cdot I_{нагр \max} = \frac{1,1 \cdot 1,1}{0,95} \cdot 9622 = 12255,$$

где k_n – коэффициент надёжности, равный 1,1 о. е.; $k_{сз}$ – коэффициент самозапуска двигателей, равный $1,1 \div 3$ о. е.; k_b – коэффициент возврата защиты в исходное состояние, равный 0,95 о. е.; $I_{нагр \max}$ – максимальный ток нагрузки, принимаемый равным номинальному току обмотки трансформатора, на которую устанавливается защита, А.

Вторичный ток, А, срабатывания реле

$$I_{ср} = \frac{k_{сх}}{k_I} \cdot I_{сз} = \frac{1,0}{\frac{10000}{5}} \cdot 12255 = 6,128,$$

где $k_{сх}$ – коэффициент схемы, равный для МТЗ 1 о.е.; k_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Проверка чувствительности защиты в функции ближнего резерва:

$$k_{ч} = \frac{I_{\min K-4}^{(2)(3-4)}}{I_{сз}} = \frac{18400}{12255} = 1,50 \geq 1,5,$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

где $I_{\min K-4}^{(2)(3-4)}$ – ток, протекающий через защиту при двухфазном КЗ в конце защищаемого объекта в минимальном режиме работы системы, А

$$I_{\min K-4}^{(2)(3-4)} = k_{\text{АТ}}^{\text{С-Н}} \cdot \sqrt{\left(\frac{I_1 - I_2}{2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right)^2}$$

$$= \frac{115}{10,5} \cdot \sqrt{\left(\frac{972 - 968}{2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{972 + 968}{2}\right)^2} = 18400;$$

Проверка чувствительности защиты в функции дальнего резерва:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\min K-5}^{(2)(3-4)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{17946}{12255} = 1,46 \geq 1,25,$$

где $I_{\min K-5}^{(2)(3-4)}$ – ток, протекающий через защиту при двухфазном КЗ в конце смежного с защищаемым объектом в минимальном режиме работы системы, А

$$I_{\min K-5}^{(2)(3-4)} = k_{\text{АТ}}^{\text{С-Н}} \cdot \sqrt{\left(\frac{I_{1\min K-5}^{(2)(3-4)} - I_{2\min K-5}^{(2)(3-4)}}{2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{I_{1\min K-5}^{(2)(3-4)} + I_{2\min K-5}^{(2)(3-4)}}{2}\right)^2}$$

$$= \frac{115}{10,5} \cdot \sqrt{\left(\frac{948 - 944}{2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{948 + 944}{2}\right)^2} = 17946;$$

5.2 Расчет МТЗ с пуском минимального напряжения

Первичный ток, А, срабатывания защиты

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{н}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{ном}} = \frac{1,1}{0,95} \cdot 6873 = 7958,$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надёжности, равный 1,1 о. е.; $k_{\text{в}}$ – коэффициент возврата защиты в исходное состояние, равный 0,95 о. е.; $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток защищаемой обмотки, А.

Проверка чувствительности защиты в функции ближнего резерва:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{min K-4}}^{(2)(3-4)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{18400}{7958} = 2,312 \geq 1,5,$$

где $I_{\text{min K-4}}^{(2)(3-4)}$ – ток, протекающий через защиту при двухфазном КЗ в конце защищаемого объекта в минимальном режиме работы системы, А.

Проверка чувствительности защиты в функции дальнего резерва:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{min K-29}}^{(2)(3-4)}}{I_{\text{сз}}} = \frac{17946}{7958} = 2,255 \geq 1,25,$$

где $I_{\text{min K-29}}^{(2)(3-4)}$ – ток, протекающий через защиту при двухфазном КЗ в конце смежного с защищаемым объектом в минимальном режиме работы системы, А.

5.3 Дистанционная защита автотрансформатора ВН 220 кВ

Расчет уставок I ступени дистанционной защиты.

Первичное сопротивление, Ом, срабатывания I ступени дистанционной защиты (ДЗ) определяется условием согласования с уставкой I ступени дистанционной защиты питающей линии электропередачи:

$$Z_{\text{сз}}^{\text{I ВН}} = K_{\text{н1}} \cdot \left(Z_{\text{АТ}}^{\text{ВН}} + \frac{K_{\text{н2}} Z_{\text{сз}}^{\text{I (1-2)}}}{K_{\text{тр1}}} \right),$$

где $k_{\text{н1}}$ – коэффициент надёжности, равный 0,85 о.е.; $K_{\text{н2}}$ – коэффициент надёжности, равный 0,78 о.е.; $Z_{\text{АТ}}^{\text{ВН}}$ – комплексное сопротивление ВН защищаемого автотрансформатора, Ом; $K_{\text{тр1}}$ – коэффициент токораспределения, о. е., равный отношению тока, протекающего через защиту к току, смежной линии при КЗ в узле конца смежной линии электропередачи

- Согласование с защитой участка 1-2

$$k_{\text{тр1}} = \frac{I_{\text{max K-1}}^{(3)(2-3)}}{I_{\text{max K-1}}^{(3)(2-1)}} = \frac{261,5}{783,5} = 0,334;$$

где $I_{maxK-1}^{(3)(2-3)}$ – ток, протекающий через защиту, при трёхфазном КЗ в максимальном режиме генерации системы в конце питающей ЛЭП, А:

$$I_{maxK-1}^{(3)(2-3)} = k_{AT}^{B-C} \cdot I_{1maxK-1}^{(3)(2-3)} = \frac{115}{230} \cdot 523 = 261,5;$$

$I_{maxK-1}^{(3)(1-2)}$ – ток, протекающий по смежной линии электропередачи при трёхфазном КЗ в максимальном режиме генерации в конце этой ЛЭП, А:

$$I_{maxK-1}^{(3)(2-1)} = k_{AT}^{B-C} \cdot I_{1maxK-1}^{(3)(2-1)} = \frac{115}{230} \cdot 1567 = 783,5.$$

$Z_{c3(2-1)}^I$ – комплексное сопротивление срабатывания I ступени дистанционной защиты смежной линии электропередачи, Ом:

$$Z_{c3(2-1)}^I = K_{H1} Z_{W(2-1)} = 0,87 \cdot (5,070 + j18,590) = 16,76e^{j74,7^\circ}.$$

Имеем, Ом:

$$Z_{c3}^{I BH} = K_{H1} \cdot \left(Z_{AT}^{BH} + \frac{K_{H2} Z_{c3(2-1)}^I}{K_{TP1}} \right) = 0,85 \cdot \left(j12,17 + \frac{0,78 \cdot 16,76e^{j74,7^\circ}}{0,334} \right) = 8,779 + j42,43 = 43,33e^{j78,3^\circ}.$$

• Согласование с защитой участка 2-9

$$k_{TP1} = \frac{I_{maxK-1}^{(3)(2-3)}}{I_{maxK-1}^{(3)(2-9)}} = \frac{283}{686,5} = 0,412;$$

где $I_{maxK-1}^{(3)(2-3)}$ – ток, протекающий через защиту, при трёхфазном КЗ в максимальном режиме генерации системы в конце питающей ЛЭП, А:

$$I_{maxK-1}^{(3)(2-3)} = k_{AT}^{B-C} \cdot I_{1maxK-1}^{(3)(2-3)} = \frac{115}{230} \cdot 566 = 283;$$

$I_{maxK-1}^{(3)(2-3)}$ – ток, протекающий по смежной линии электропередачи при трёхфазном КЗ в максимальном режиме генерации в конце этой ЛЭП, А:

$$I_{maxK-1}^{(3)(2-3)} = k_{AT}^{B-C} \cdot I_{1maxK-1}^{(3)(2-3)} = \frac{115}{230} \cdot 1373 = 686,5.$$

$Z_{cз(2-9)}^I$ – комплексное сопротивление срабатывания I ступени дистанционной защиты смежной линии электропередачи, Ом:

$$Z_{cз(2-9)}^I = K_{H1} Z_{W(2-9)} = 0,87 \cdot (5,250 + j19,250) = 17,36e^{j74,7^\circ}.$$

Имеем, Ом:

$$\begin{aligned} Z_{cз}^{I BH} &= K_{H1} \cdot \left(Z_T^{BH} + \frac{K_{H2} Z_{cз(2-9)}^I}{K_{Tр1}} \right) = 0,85 \cdot \left(j12,17 + \frac{0,78 \cdot 17,36e^{j74,7^\circ}}{0,412} \right) = \\ &= 7,372 + j37,29 = 38,01e^{j78,8^\circ}. \end{aligned}$$

Принимаем за основу наименьшее сопротивление –

$$Z_{cз}^{I BH} = 38,01e^{j78,8^\circ}.$$

Вторичное сопротивление, Ом, срабатывания реле

$$Z_{cp}^I = \frac{k_I^{BH}}{k_U^{BH}} \cdot Z_{cз}^{I BH} = \frac{\frac{400}{5}}{\frac{220 \cdot 10^3}{100}} \cdot 38,01 = 1,382.$$

Коэффициент чувствительности

$$k_{ч}^I = \frac{Z_{cз}^I}{Z_T^{BH}} = \frac{38,01}{12,17} = 3,123 > 1,5.$$

Расчет уставок IV ступени дистанционной защиты.

Первичное сопротивление, Ом, срабатывания IV ступени ДЗ определяется условием отстройки от сопротивления нагрузки

$$\begin{aligned} Z_{cз}^{IV} &= \frac{0,9U_{ном}}{\sqrt{3}I_{нагр}k_Hk_B \cos(\varphi_{м.ч.} - \varphi_H)} = \frac{0,9 \cdot 230 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 313,8 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot \cos(75^\circ - 35^\circ)} = \\ &= 376,6 \text{ Ом}, \end{aligned}$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

$$I_{\min K-30}^{(2)(2-3)} = k_{AT}^{B-C} \cdot \sqrt{\left(\frac{I_{1\min K-30}^{(2)(2-3)} - I_{2\min K-30}^{(2)(2-3)}}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{I_{1\min K-30}^{(2)(2-3)} + I_{2\min K-30}^{(2)(2-3)}}{2}\right)^2} =$$

$$= \frac{115}{230} \cdot \sqrt{\left(\frac{111 - 125}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{111 + 125}{2}\right)^2} = 102,2;$$

где $I_{\min K-30}^{(2)(30-2)}$ – ток, протекающий по смежной линии электропередачи при двухфазном КЗ в минимальном режиме в конце смежного элемента, А:

$$I_{\min K-30}^{(2)(2-30)} = k_{AT}^{B-C} \cdot \sqrt{\left(\frac{I_1 - I_2}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right)^2} =$$

$$= \frac{115}{230} \cdot \sqrt{\left(\frac{1106 - 1106}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{1106 + 1106}{2}\right)^2} = 958,0.$$

Тогда

$$k_{\check{c}}^{IV} = \frac{Z_{c3}^{IV}}{Z_T^{BH} + \frac{Z_{W3}}{k_{\text{тр}2}}} = \frac{376,6}{j12,17 + \frac{5,250 + j19,250}{0,107}} = 1,90 \geq 1,25.$$

6 Защита от токов нулевой последовательности

Токовая защита нулевой последовательности реагирует на токи $3I_0$, появляющиеся в трансформатора или автотрансформаторе при внешних КЗ и КЗ в трансформаторе. Применяется на трансформаторах (а также автотрансформаторах) и устанавливается со стороны обмоток ВН и СН, если последние соединены по схеме звезды и работают с глухозаземленной нулевой точкой.

На выполнение защит нулевой последовательности автотрансформатора влияют особенности, и поэтому она имеет некоторые отличия от защит трансформаторов:

1) у АТ заземляются концы обмоток СН, являющиеся общей частью обмотки АТ;

2) вследствие наличия электрической связи между обмотками ВН и СН автотрансформатора КЗ на землю на стороне одного напряжения вызывает токи нулевой последовательности на стороне другого. В связи с этим возникает необходимость согласования выдержек времени МТЗ НП на выводах ВН и СН АТ. Для обеспечения селективности эти защиты выполняются направленными;

3) для уменьшения выдержек времени рекомендуется МТЗ НП на АТ выполнять двух- и трехступенчатыми.

6.1 I ступень токовая отсечка нулевой последовательности ВН

Ток срабатывания первой ступени токовой направленной защиты нулевой последовательности (ТЗНП), A , выбирается по условию согласования со ступенями защит от КЗ на землю смежных питающих линий электропередачи со стороны высшего (или среднего) напряжения (I, II, III или IV) при удовлетворении требования чувствительности

$$I_{сз}^I = k_{отс} \cdot I_{W1}^I,$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, равный 1,1 о.е.; I_{W1}^I – ток срабатывания первой ступени ТЗНП смежной линии, с которой производится согласование для обеспечения требуемой чувствительности, A .

$$I_{W1}^I = K_H \cdot I_{\max(k-1)}^{(1)2-1} = 1,1 \cdot 585,5 = 644,0;$$

$$\begin{aligned} I_{\max(k-1)}^{(1)2-1} &= k_{AT}^{B-C} \cdot \left(I_{1\max(k-1)}^{(1)2-1} + I_{2\max(k-1)}^{(1)2-1} + I_{0\max(k-1)}^{(1)2-1} \right) = \\ &= \frac{115}{230} \cdot (353 + 358 + 460) = 585,5, \end{aligned}$$

					<i>ВКР – 13.03.02.05 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

Тогда $I_{сз}^I = 1,1 \cdot 644,0 = 708,4$.

Согласование с защитой участка 2-9:

$$I_{W3}^I = K_H \cdot I_{\max(k-9)}^{(1)2-9} = 1,1 \cdot 527,0 = 580,0,$$

$$\begin{aligned} I_{\max(k-9)}^{(1)9-2} &= k_{AT}^{B-C} \cdot \left(I_{1\max(k-9)}^{(1)2-9} + I_{2\max(k-9)}^{(1)2-9} + I_{0\max(k-9)}^{(1)2-9} \right) = \\ &= \frac{115}{230} \cdot (297 + 304 + 453) = 527,0. \end{aligned}$$

Тогда $I_{сз}^I = 1,1 \cdot 580,0 = 638$.

Принимаем за основной наибольший ток срабатывания защиты, А

$$I_{сз}^I = 708,4.$$

Определяем первичный ток, А, срабатывания реле

$$I_{ср} = \frac{K_{сх}}{k_I^{BH}} \cdot I_{сз}^I = \frac{1}{\frac{400}{5}} \cdot 708,4 = 8,855,$$

где $K_{сх}$ – коэффициент, учитывающий схему соединения вторичных обмоток главных ТТ стороны ВН, k_I^{BH} – коэффициент трансформации главного ТТ стороны ВН.

Проверка чувствительности защиты, о. е.:

$$K_{ч} = \frac{I_{\min(k-2)}^{(1)2-3}}{I_{сз}} = \frac{659,5}{708,4} = 1,03 < 1,5,$$

где $I_{\min(k-2)}^{(1)2-3}$ – ток, протекающий через защиту при однофазном КЗ на шинах ВН в минимальном режиме работы системы, А.

$$\begin{aligned} I_{\min(k-2)}^{(1)2-3} &= k_{AT}^{B-C} \cdot \left(I_{1\min(k-2)}^{(1)2-3} + I_{2\min(k-2)}^{(1)2-3} + I_{0\min(k-2)}^{(1)2-3} \right) \\ &= \frac{115}{230} \cdot (232 + 246 + 841) = 659,5. \end{aligned}$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

6.2 II ступень токовая отсечка нулевой последовательности

Первичный ток срабатывания защиты второй ступени, А
- Согласование с ТЗНП I ступени смежных линий

$$I_{сз}^{II} = k_{согл} K_{тр} I_{сз}^I = 1,1 \cdot 0,507 \cdot 708,4 = 395,1$$

где $k_{согл} = 1,1 \div 1,3$ – коэффициент согласования; $K_{тр}$ – коэффициент токораспределения, который определяется как отношение тока, протекающего по защищаемой обмотке трансформатора к току, протекающему по смежной линии при однофазном КЗ за смежной линией в максимальном режиме:

$$K_{тр} = \frac{I_{max(k-1)}^{(1)2-3}}{I_{max(k-1)}^{(1)2-1}} = \frac{297,0}{585,5} = 0,507;$$

$$\begin{aligned} I_{max(k-1)}^{(1)2-3} &= k_{АТ}^{B-C} \cdot \left(I_{1max(k-1)}^{(1)2-3} + I_{2max(k-1)}^{(1)2-3} + I_{0max(k-1)}^{(1)2-3} \right) \\ &= \frac{115}{230} \cdot (109 + 122 + 363) = 297,0; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{max(k-1)}^{(1)2-1} &= k_{АТ}^{B-C} \cdot \left(I_{1max(k-1)}^{(1)2-1} + I_{2max(k-1)}^{(1)2-1} + I_{0max(k-1)}^{(1)2-1} \right) \\ &= \frac{115}{230} \cdot (353 + 358 + 460) = 585,5; \end{aligned}$$

Определяем первичный ток, А, срабатывания реле

$$I_{ср} = \frac{K_{сх}}{k_I^{ВН}} \cdot I_{сз}^{II} = \frac{1}{\frac{400}{5}} \cdot 585,5 = 7,319,$$

где $K_{сх}$ – коэффициент, учитывающий схему соединения вторичных обмоток главных ТТ стороны ВН, $k_I^{ВН}$ – коэффициент трансформации главного ТТ стороны ВН.

Проверка чувствительности защиты, о. е.:

$$K_{ч} = \frac{I_{min(k-2)}^{(1)2-3}}{I_{сз}} = \frac{659,5}{466,9} = 1,66 > 1,5,$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

где $I_{\min(k-2)}^{(1)2-3}$ – ток, протекающий через защиту при однофазном КЗ на шинах ВН в минимальном режиме работы системы, А.

6.3 IV степень максимальная токовая защита нулевой последовательности

Ток срабатывания четвертой ступени ТЗНП, А, определяется отстройкой от тока небаланса, протекающего в нулевом проводе защищаемого трансформатора при внешних трехфазных КЗ:

$$I_{сз}^{IV} = k_n K_{тр} I_{нб},$$

где k_n – коэффициент надежности, равный 1,2÷1,3 о.е.; $I_{нб}$ – ток небаланса, протекающий в нулевом проводе при внешнем трехфазном КЗ, А.

$$I_{нб} = k_{нб} I_{\max K-4}^{(3)(2-3)} = 0,5 \cdot 353 = 176,$$

где $I_{\max K-2}^{(3)(2-3)}$ – ток, протекающий через защиту при трехфазном КЗ на стороне НН рассматриваемого трансформатора, А:

$$I_{\max K-2}^{(3)(2-3)} = k_{AT}^{B-C} \cdot I_{1\max K-2}^{(3)(2-3)} = \frac{115}{230} \cdot 706 = 353;$$

$k_{нб}$ – коэффициент небаланса, равный 0,1 о. е. при кратности $k > 3$;
 $k_{нб}$ – коэффициент небаланса, равный 0,5 о. е. при кратности $k < 3$;
 где k – кратность, о. е., определяется отношением

$$k = \frac{I_{\max K-2}^{(3)(2-3)}}{I_{ном}} = \frac{353}{313,8} = 1,12,$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток заземленной обмотки трансформатора, А.
 Тогда ток срабатывания четвертой ступени ТЗНП, А:

$$I_{сз}^{IV} = k_n I_{нб} = 1,2 \cdot 243,5 = 292,2,$$

Определим ток, А, срабатывания реле:

$$I_{ср}^{IV} = \frac{k_{сх}}{k_I} I_{сз}^{IV} = \frac{1}{\frac{400}{5}} \cdot 292,2 = 3,652.$$

Определим коэффициент чувствительности защиты по току, о.е.,

- в конце защищаемого участка

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\min(\kappa-2)}^{(1)2-3}}{I_{\text{сз}}^{\text{IV}}} = \frac{659,5}{292,5} = 2,25 > 1,5,$$

где $I_{\min(\kappa-2)}^{(1)2-3}$ – ток, протекающий по защищаемому трансформатору в месте установки защиты при однофазном КЗ в конце защищаемого элемента (на шинах ВН) в минимальном режиме генерации, А;

- в конце зоны действия

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\min(\kappa-29)}^{(1)2-3}}{I_{\text{сз}}^{\text{IV}}} = \frac{144,0}{292,5} = > 1,25,$$

где $I_{\min(\kappa-1)}^{(1)2-3}$ – ток, протекающий по защищаемому трансформатору в месте установки защиты, при КЗ в конце смежного элемента (питающей линии электропередачи) в минимальном режиме и каскадном отключении выключателя ЛЭП, А:

$$\begin{aligned} I_{\min(\kappa-1)}^{(1)2-3} &= K_{\text{АТ}}^{\text{В-С}} \cdot \left(I_{1 \min(\kappa-29)}^{(1)2-3} + I_{2 \min(\kappa-29)}^{(1)2-3} + I_{0 \min(\kappa-29)}^{(1)2-3} \right) = \\ &= \frac{115}{230} \cdot (42 + 56 + 190) = 144,0. \end{aligned}$$

Коэффициент чувствительности по мощности, о.е.:

- в конце защищаемого участка:

$$k_{\text{ч}}^{\text{W}} = \frac{I_{\min(\kappa-2)}^{(1)(2-3)} \cdot U_{\text{ост}}^{(1)} \cdot k_{\text{сх}}}{k_{\text{I}} \cdot k_{\text{U}} \cdot S_{\text{ср}}} = \frac{659,5 \cdot 8026 \cdot 1}{\frac{400}{5} \cdot \frac{220 \cdot 10^3}{100} \cdot 14,0} = 2,15 \geq 2,$$

где $U_{\text{ост}}^{(1)}$ – минимальное значение остаточного напряжения при КЗ в конце защищаемого элемента, В:

$$U_{\text{ост}}^{(1)} = I_{\min(\kappa-2)}^{(1)(2-3)} \cdot Z_{\text{АТ}}^{\text{ВН}} = 659,5 \cdot 12,17 = 8026;$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

$$I_{\min(\kappa-2)}^{(1)(2-3)} = K_{\text{АТ}}^{\text{В-С}} \cdot \left(I_{1\min(\kappa-2)}^{(1)(2-3)} + I_{2\min(\kappa-2)}^{(1)(2-3)} + I_{0\min(\kappa-2)}^{(1)(2-3)} \right) = \\ = \frac{115}{230} \cdot (232 + 246 + 841) = 659,5;$$

- в конце зоны действия:

$$k_{\text{ч}}^W = \frac{I_{\min(\kappa-29)}^{(1)(2-3)} \cdot U_{\text{ост}}^{(1)} \cdot k_{\text{сх}}}{k_I \cdot k_U \cdot S_{\text{ср}}} = \frac{144,0 \cdot 2775 \cdot 1}{\frac{400}{5} \cdot \frac{220 \cdot 10^3}{100} \cdot 4} = 1,50 \geq 1,4 \div 1,5,$$

где $U_{\text{ост}}^{(1)}$ – минимальное значение остаточного напряжения при КЗ в конце смежной линии электропередачи, В:

$$U_{\text{ост}}^{(1)} = I_{\min(\kappa-29)}^{(1)(2-3)} \cdot Z_{W1} = 144,0 \cdot (5,070 + j18,59) = 2775 e^{j74,74}.$$

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

7 Испытание МТЗ АТ на стенде ШЭ 2607 048

7.1 Назначение шкафа ШЭ 2607 048

Шкаф типа ШЭ 2607-048 предназначен для защиты, автоматике вводов. Комплект реализует функции АУВ, УРОВ, АПВ, АВР и содержит также трехступенчатую максимальную токовую защиту (МТЗ), защиту от неполнофазного режима (ЗНР), защиту от дуговых замыканий (ЗДЗ), логическую защиту шин (ЛЗШ), защиту минимального напряжения (ЗМН) и защиту от однофазных замыканий на землю (ЗОЗЗ).

Аппаратно указанные выше функции реализованы на базе микропроцессорных терминалов БЭ2502А0303[10].

7.2 Устройство и работа исследуемых защит шкафа ШЭ 2607 048

Для исследования нужно правильно выполнить соединение между клеммником на стене и шкафом релейной защиты в соответствии со схемой (рис. 7.1).

Нужно отсоединить все фазы и нейтраль белого кабеля от клеммника на стене (если они подключены), подключить все фазы и нейтраль чёрного кабеля к соответствующим клеммам клеммника на стене и к клеммам испытательной крышки блока SG1 как показано на рис. 7.1.

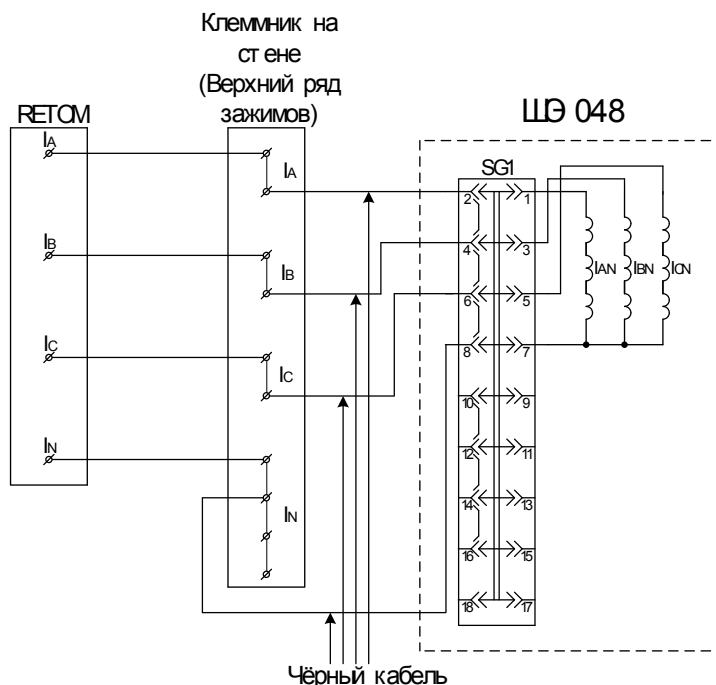


Рис. 7.1 Схема испытания МТЗ ВН

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Для исследования МТЗ НН необходимо отсоединить все фазы и нейтраль белого кабеля от клеммника на стене (если они подключены), подключить все фазы и нейтраль чёрного кабеля к соответствующим клеммам клеммника на стене и к клеммам испытательной крышки блока *SG1* как показано на рис. 7.2.

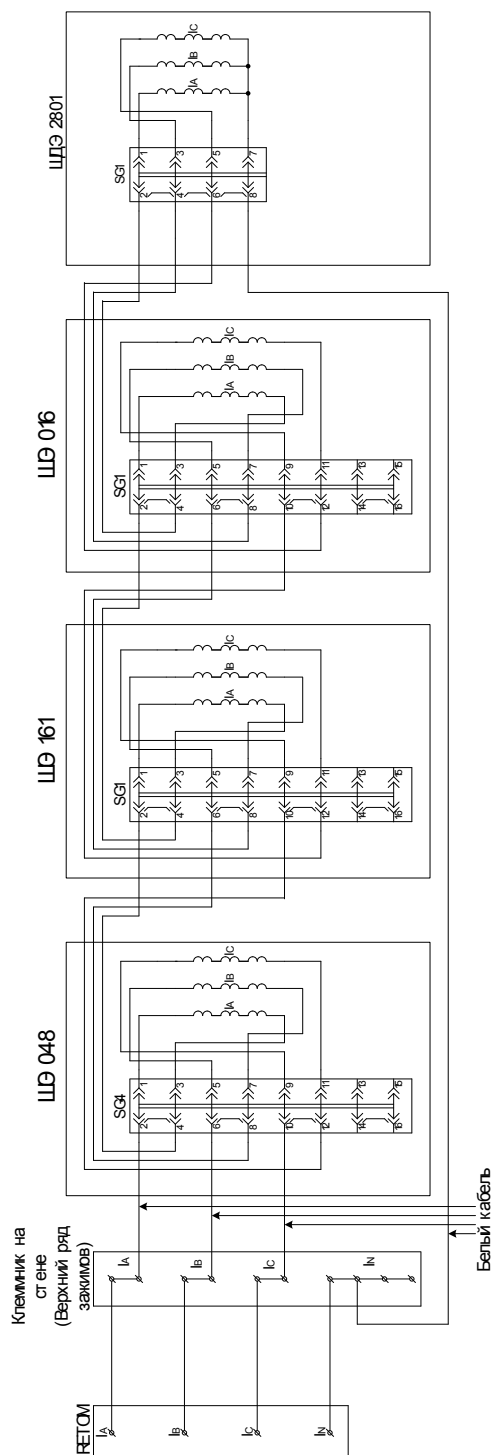


Рис. 7.2 Схема испытания МТЗ НН

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Функциональная схема МТЗ приведена на рис. 7.3. Схема содержит ИО тока фаз первой, второй и третьей ступеней. Для отстройки от пусковых токов при двигательной нагрузке для первой ступени предусмотрен режим работы с загрузлением уставки, который задаётся программной накладкой ХВ1 на время работы реле ускорения (при возврате реле РПО с выдержкой времени на возврат). С помощью программных накладок ХВ4, ХВ7 и ХВ10 предусмотрен вывод функций МТЗ-1, МТЗ-2 и МТЗ-3 соответственно. Переключателем «SA Вывод МТЗ», который по умолчанию представлен на лицевой панели терминала в виде тумблера SA2, предусмотрен вывод всех ступеней МТЗ из работы.

Контроль направленности МТЗ вводится программными накладками ХВ2, ХВ5 и ХВ8 соответственно для МТЗ-1, МТЗ-2 и МТЗ-3. Накладками ХВ3, ХВ6 и ХВ9 задается режим работы МТЗ первой, второй и третьей ступеней с пуском по напряжению, соответственно.

Первая и вторая ступени МТЗ имеют независимые выдержки времени срабатывания.

Третья ступень выполнена с возможностью работы как с зависимой, так и с независимой выдержкой времени. Выбор характеристики срабатывания осуществляется через ИЧМ. Действие третьей ступени на отключение задаётся программной накладкой ХВ11.

Выбор режима работы направленных ступеней МТЗ при неисправности ТН задается программной накладкой ХВ12 в соответствии с рис. 6.2. При этом производится соответственно блокирование или перевод МТЗ в ненаправленный режим. Измерительные органы направления мощности выполнены по 90-градусной схеме с использованием фазных токов и линейных напряжений. Угол максимальной чувствительности (ЛМЧ) 45 градусов (может регулироваться), зона срабатывания регулируется в зависимости от характеристик РНМ1 и РНМ2, включенных по схеме «И». На рис. 6.3 приведен пример векторной диаграммы токов и напряжений режимов срабатывания РНМ1 и РНМ2 [10].

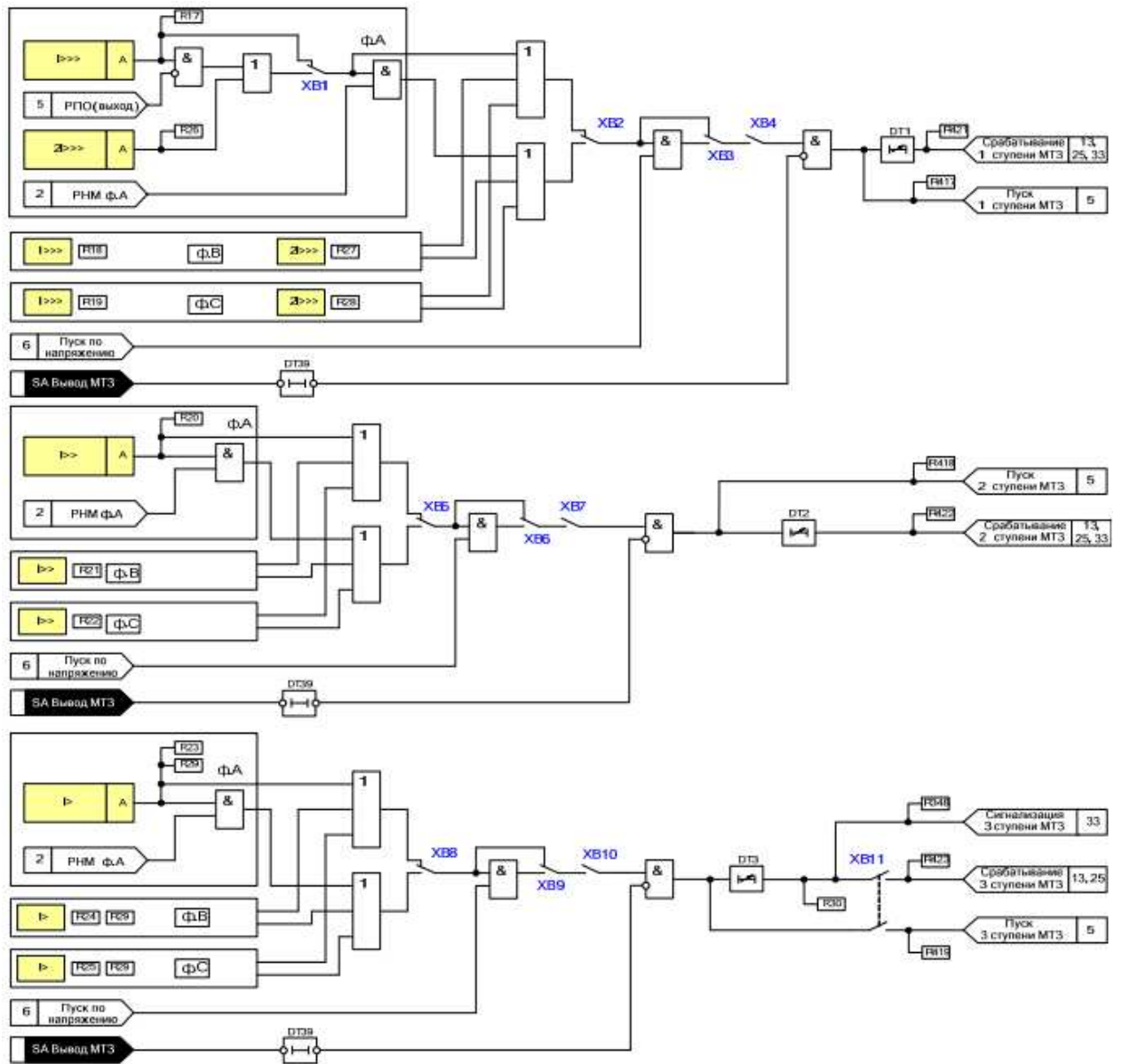


Рисунок 7.3 - Функциональная схема МТЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ВКР – 13.03.02.05 ПЗ

Лист

34

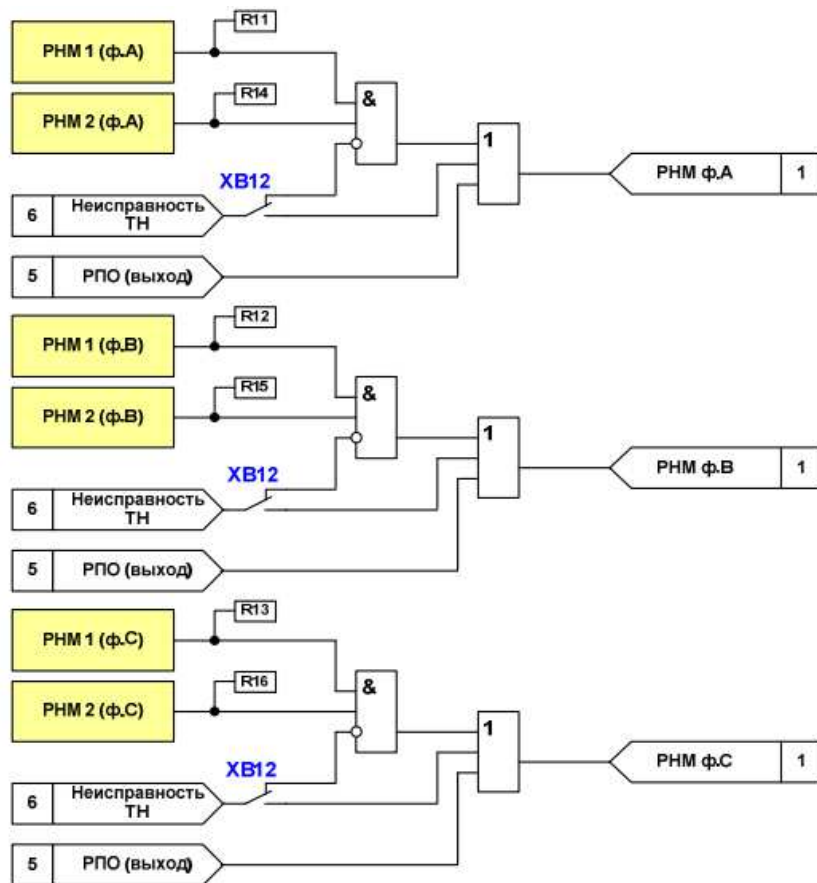


Рисунок 7.4 - Функциональная схем РМН МТЗ

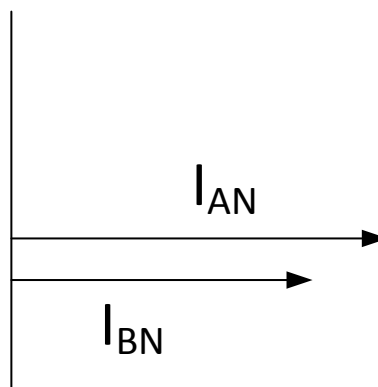


Рисунок 7.5 – Направление подаваемых токов реле-томографом РЕ-ТОМ 41М для создания КЗ в зоне действия защиты

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ВКР – 13.03.02.05 ПЗ

Лист

35

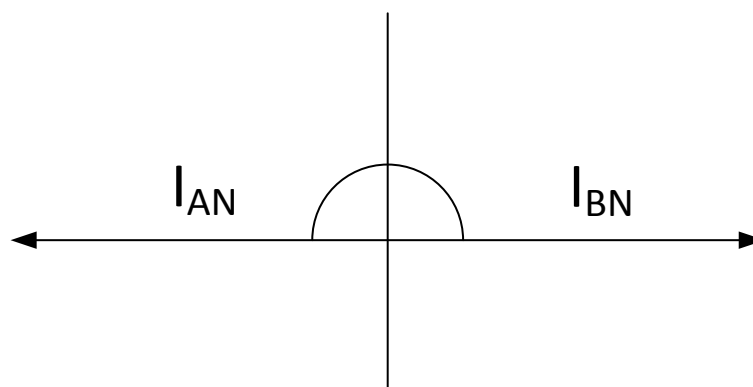


Рисунок 7.6 – Направление подаваемых токов реле-томографом РЕ-ТОМ 41М для создания внешнего КЗ

Для анализа результатов испытаний необходимо рассмотреть осциллограммы при КЗ в зоне действия защиты и внешнем КЗ. Результаты испытаний при КЗ в зоне действия защиты представлены на рис. 7.7, 7.8 и 7.9. Из осциллограмм, можно сделать вывод, что защита срабатывает при подаче двух одинаково направленных токах стороны ВН и НН фазы А.

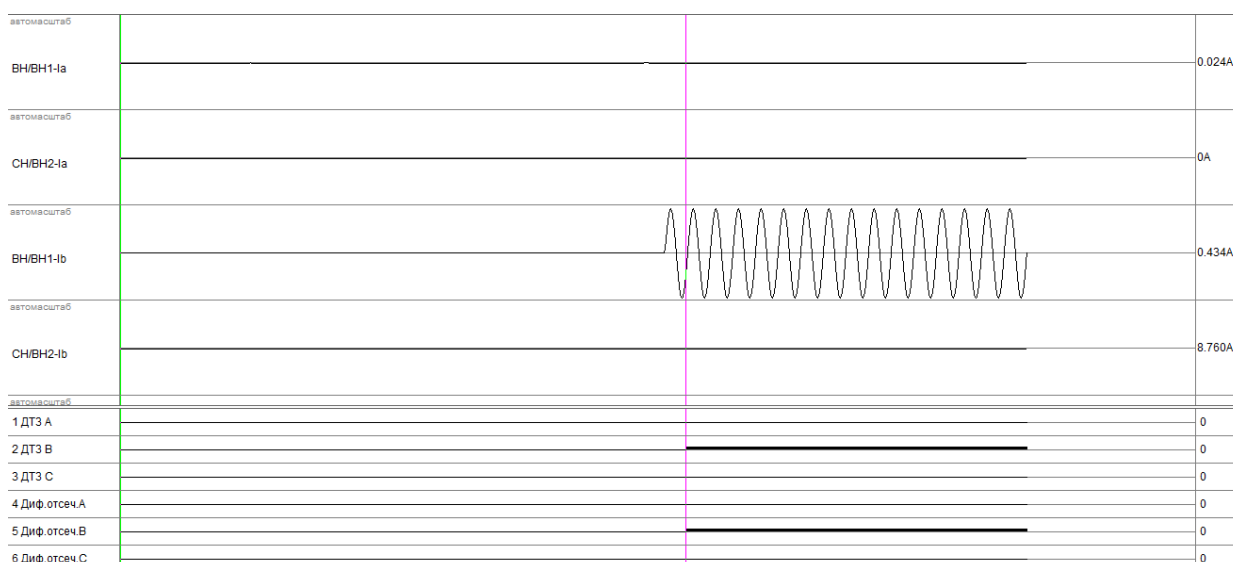


Рисунок 7.7 – Осциллограммы токов при однофазном замыкании на землю в зоне действия защиты

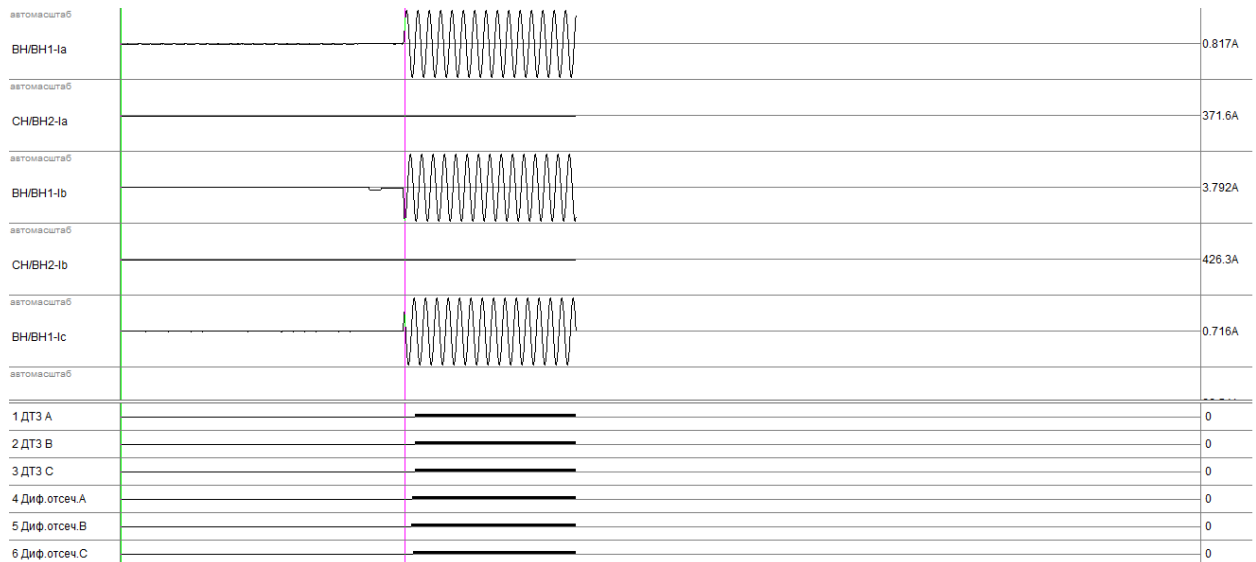


Рисунок 7.8 – Осциллограммы токов при срабатывании МТЗ ВН

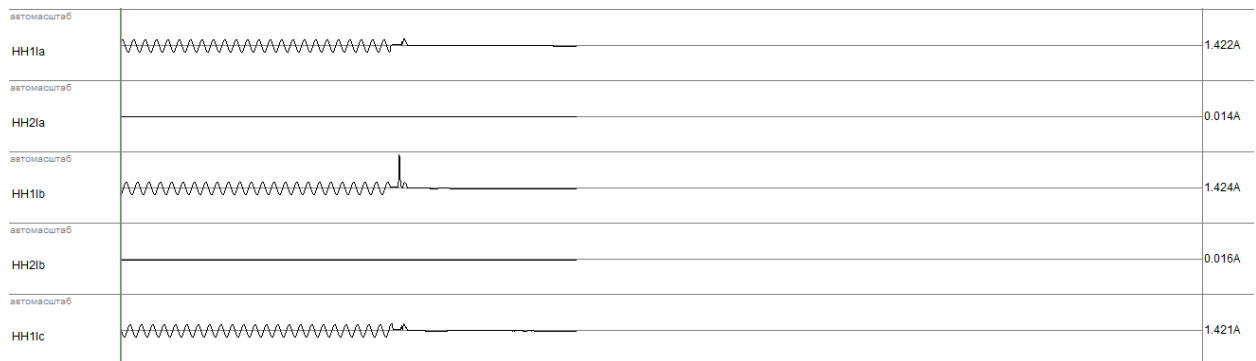


Рисунок 7.9 — Осциллограммы токов при срабатывании МТЗ НН

8 Создание модели исследуемого участка сети в программе Matlab

Для создания модели участка электрической сети в программе *Matlab* воспользуемся его основным расширением *Simulink* и электротехнической библиотекой *SimPowerSystems*. Библиотека *SimPowerSystems* это пакет, содержащий набор блоков, позволяющих произвести имитационное моделирование электротехнических устройств. В состав библиотеки входят как активные, так и пассивные элементы, источники тока и напряжения, различные электрические машины, преобразовательные и трансформирующие устройства, измерительные приборы и средства визуального контроля. Применяя *Simulink* и *SimPowerSystems*, мы получим возможность проводить различные виды анализа моделируемой системы [5].

Модель электрической сети представлена на чертеже 7.

Для создания модели исследуемого участка электрической сети использовались элементы базы данных для моделирования в Matlab. Подробное описание данных элементов и методов ввода их параметров приведено в учебном пособии «Моделирование устройств релейной защиты в среде Matlab» [5].

Для создания электрического источника, а именно системы GS1 воспользуемся элементом библиотеки *Three Phase Source* – трёхфазный источник напряжения. Пиктограмма блока изображена на рис. 8.1.

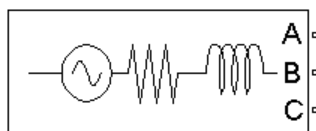


Рисунок 8.1 – Пиктограмма блока *Three-Phase Source*

Моделирование линий осуществлялось с помощью блока *Three Phase Pi Section Line*. Пиктограмма данного блока изображена на рис. 8.2.

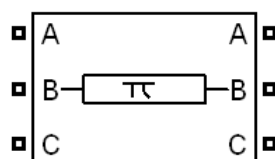


Рисунок. 8.2 – Пиктограмма блока *Three-Phase Pi Section Line*

Силовой трансформатор представлен блоком *Three-phase Transformer (Two Windings)* – трёхфазный двухобмоточный силовой трансформатор. Пиктограмма элемента приведена на рис. 8.3.

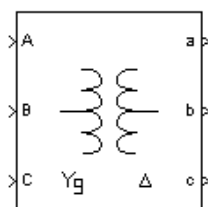


Рисунок 8.3–Пиктограмма элемента *Three-phase Transformer (Two Windings)*

Модель нагрузки создана с помощью элемента *3-Phase Series RLC Load*. Пиктограмма блока показана на рис. 8.4.

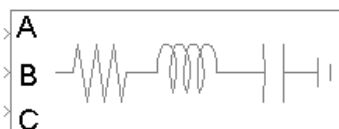


Рисунок 8.4 - Пиктограмма блока *3-Phase Series RLC Load*

Для создания выключателя воспользуемся элементом библиотеки *3-Phase Breaker* – трёхфазный выключатель. Пиктограмма блока изображена на рис. 8.5.

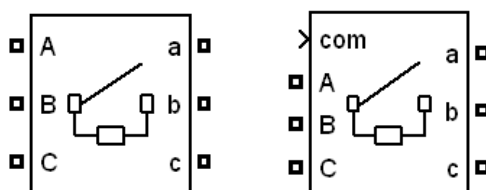
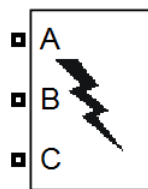


Рисунок 8.5 - Пиктограмма элемента *3-Phase Breaker*

Для создания аварий (коротких замыканий) применяется блок *3-Phase Fault*. Пиктограмма блока показана на рис. 8.6.



Three-Phase Fault

Рисунок 8.6 - Пиктограмма элемента *3-Phase Fault*

Моделирование осциллографа осуществляется с помощью элемента библиотеки *Current Measurement* – идеальный амперметр. Пиктограмма блока изображена на рис. 8.7.

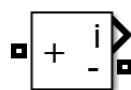


Рисунок 8.7 - Пиктограмма блока *Multimeter*

А также с помощью блока библиотеки *SimPowerSystems*. Пиктограмма модели осциллографа представлена на рис. 8.8.



Рисунок 8.8 – Пиктограмма модели осциллографа

Трансформатор тока является связующим звеном между первичными силовыми и вторичными токовыми цепями. Более подробное описание моделирования измерительного трансформатора тока и методов ввода его параметров приведено в учебном пособии [5]. Пиктограмма трансформатора тока представлена на рис. 8.9.

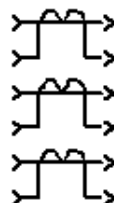


Рисунок 8.9 – Пиктограмма трансформатора тока

Измерительный трансформатор напряжения был взят из базы данных, где подробно описан метод его создания [5]. Пиктограмма трансформатора напряжения представлена на рис. 8.10.



Рисунок 8.10 – Пиктограмма трансформатора напряжения

Схема трансформатора тока в *Matlab Simulink* представлена на рис. 8.11. В данной схеме основным блоком является блок *Saturable Transformer*. Этот блок представляет собой насыщаемый двухобмоточный трансформатор. С помощью переменных $I1$ и $I2$ меняется коэффициент трансформации трансформатора тока, то есть переменные $I1$ и $I2$ являются значениями первичного и вторичного номинальных токов.

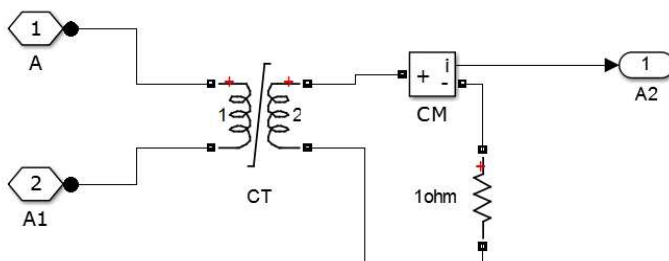


Рисунок 8.11 – Модель трансформатора тока в исполнении для фазы А

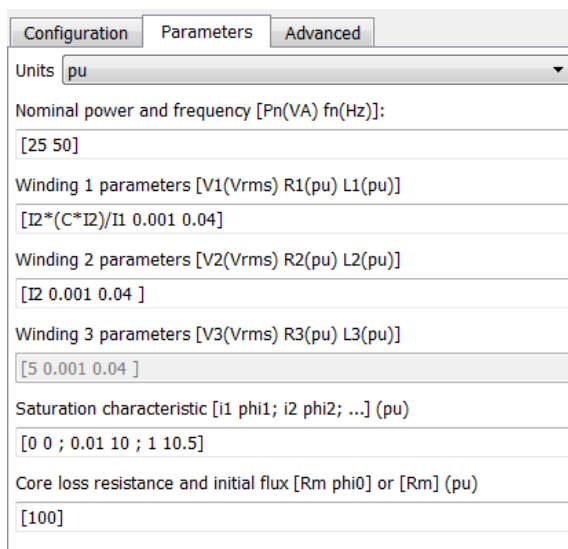


Рисунок 8.12. – Параметры блока *Saturable Transformer*

Для создания режима, близкого к режиму короткого замыкания, а также для получения значения тока, протекающего по вторичной обмотке, используется блок *Series RLC Branch*. Этот блок представляет собой последовательно соединенные *RLC* сопротивления. Для модели *TA* используется активное сопротивление значением 1 Ом. Для оцифрования и дискретизирования сигнала тока используется блок *Current Measurement (CM)*. Данный блок сам оцифровывает сигнал, то есть является аналогом аналого-цифрового преобразователя в *Matlab Simulink*, а также дискретизирует сигнал с помощью блока *Power Gui*, где задается частота дискретизации.

9 Создание модели дистанционной защиты трансформатора

В данной работе представлена модель дистанционной защиты (ДЗ). При её реализации был использован модуль *Simulink* программы *Matlab*.

Функциональная схема разработанной защиты показана на чертеже №3.

Модель включает в себя следующие устройства:

- фильтр НЧ (CF I и CF U);
- АЦП;
- формирователи ортогональных составляющих тока и напряжения (ORT I, ORT U);
- органы сопротивления (KZ1 – KZ3);
- органы блокировки при качаниях (PSD);
- орган блокировки при неисправностях цепей переменного напряжения (FFS);
- органа отключения выключателя (Q);
- сигнальные органы (HL).

Функции АЦП непосредственно выполняет программа *MATLAB* (приложение *Simulink*).

9.1 Моделирование формирователя ортогональных составляющих тока и напряжения

Промежуточным звеном между измерительными трансформаторами и измерительными органами защиты являются формирователи ортогональных составляющих ORT I и ORT U. Они необходимы для представления мгновенных значений входных аналоговых величин в комплексном виде.

На вход данного модуля поступают дискретные сигналы, которые представляют собой величины, пропорциональные токам защищаемой линии электропередачи.

Для работы измерительных органов защиты необходимо комплексное значение тока, которое может быть получено из следующего закона:

$$\dot{I} = I_m \cdot \cos \omega t + jI_m \cdot \sin \omega t,$$

где $I_m \cdot \cos \omega t$ - закон изменения тока по фазе;

$I_m \cdot \sin \omega t$ - закон изменения тока по величине.

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

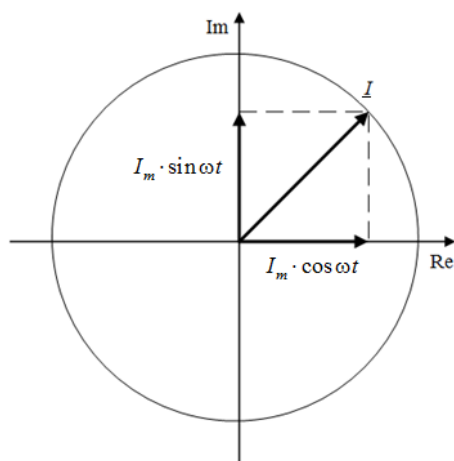


Рисунок 9.1 – Ортогональные составляющие тока

Токи $I_m \cdot \cos \omega t$ и $I_m \cdot \sin \omega t$ представляют собой ортогональные составляющие, (рис. 9.1).

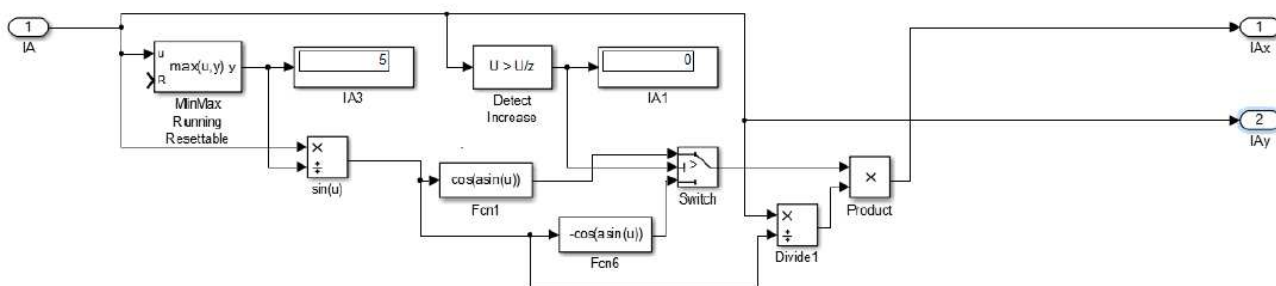


Рисунок 9.2 – формирователь ортогональных составляющих разности токов фаз А и В (ORT I)

Функциональная схема разработанного формирователя ортогональной составляющей в программе *Matlab* представлена на рисунке 8.

Блок *Imax* определяет максимальное значение дискретного сигнала *IAB* за половину периода промышленной частоты. Значение *IAB* делится в блоке $\sin \omega t$ на максимальное значение I_m , полученное в блоке *Imax*. Дальнейший расчет $\cos \omega t$ ведется по двум ветвям (блоки *Fcn1*, *Fcn6*) в зависимости от возрастания или убывания значений *IAB*. Так, в случае возрастания измеряемых значений *IAB*, блок *Detect Increase* выдает логическую единицу на вход ключа (*Switch*), который пропускает значения $\cos \omega t$, полученные в блоке *Fcn1*. Если на выходе блока *Detect Increase* получается логический 0, т.е значения *IAB* убывают, расчет $\cos \omega t$ будет производиться в блоке *Fcn2*. В блоке *Divide* мгновенное значение *IAB* делится на $\sin \omega t$ и умножается на $\cos \omega t$ в блоке *Product*. На выходе формирователя ортогональных составляющих получают две мгновенные величины $iAx = I_m x \cos \omega t$ и $iAy = I_m x \sin \omega t$.

Формирователь ортогональных составляющих напряжения устроен и работает аналогично.

9.2 Моделирование блокировки неисправностей цепей переменного напряжения

Блокировка неисправностей цепей переменного напряжения устроена следующим образом (рис. 9.3):

На входные порты 1-6 БНН поступают ортогональные составляющие напряжения U_{ABx} , U_{ABy} , U_{BCx} , U_{BCy} , U_{CAx} , U_{CAy} от формирователя $ORT U$. В блоках *Real-Imag to Complex* производится сложение их в комплексное значение (результат сложения действительной и мнимой части в комплексы на осциллографах $IA2$, $IA3$, $IA4$). Далее, в блоках *Detect Change* осуществляется контроль за изменением величин переменного напряжения в цепях защиты. Если в каждый момент времени напряжение равно своему предыдущему значению, то на выходах БНН каждой фазы появляется логическая единица, поступающая на элемент *AND* и далее на выходной порт БНН «1» в логику ДЗ, разрешая работу ДЗ.

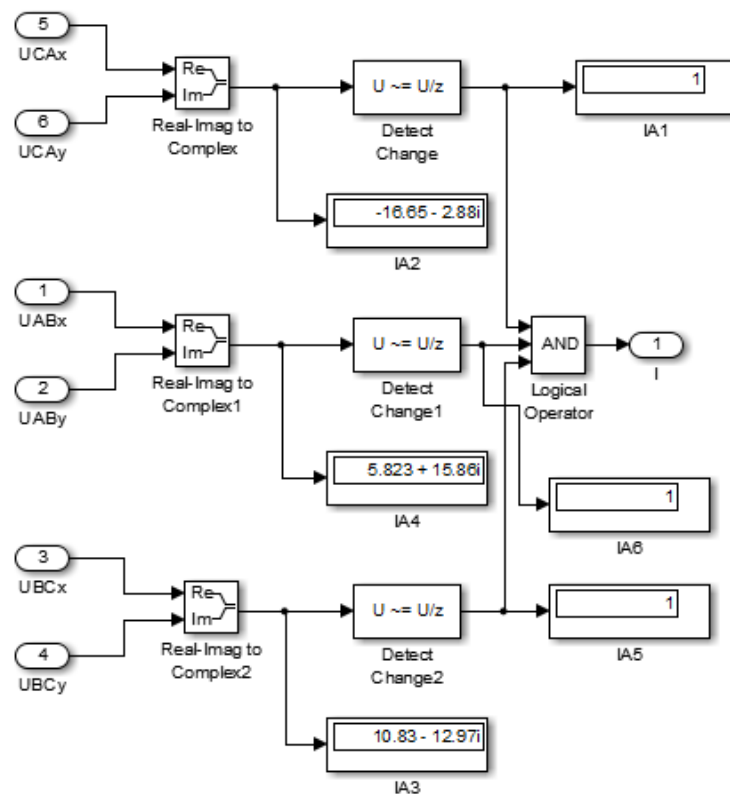


Рисунок 9.3 – функциональная схема блокировка неисправностей цепей переменного напряжения (FFS)

9.3 Моделирование цифрового органа сопротивления

Функциональная схема цифрового органа сопротивления KZ представлена на рис. 9.4.

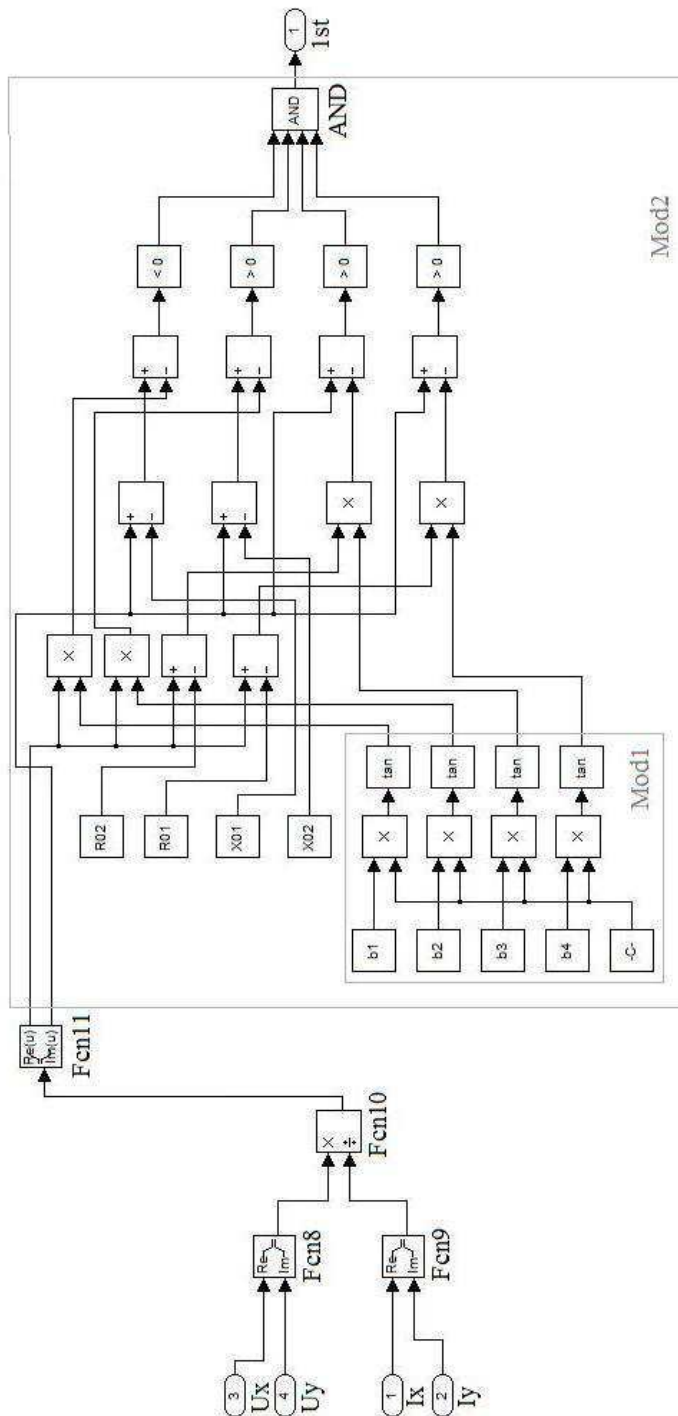


Рисунок 9.4 – Функциональная схема цифрового органа сопротивления

Поступающие на входы KZ ортогональные составляющие токов (I_x, I_y) и напряжения (U_x, U_y) преобразуются (в блоках $Fcn8$ и $Fcn9$) в комплексы токов и напряжений. В блоке $Fcn10$ производится вычисление комплекса сопротивления Z . В блоке $Fcn11$ производится выделение действительной R и мнимой X составляющих из комплекса сопротивления Z .

Значения $\tan b_1, \tan b_3, \tan b_3, \tan b_4$ вычисляются в модуле $Mod1$.

Характеристика срабатывания органа сопротивления задается в параметрах блока KZ . Для этого необходимо ввести уставки по сопротивлениям $R_{01}, R_{02}, X_{01}, X_{02}$ и по углам b_1, b_2, b_3, b_4 в диалоговое окно ввода уставок (рис. 9.5).

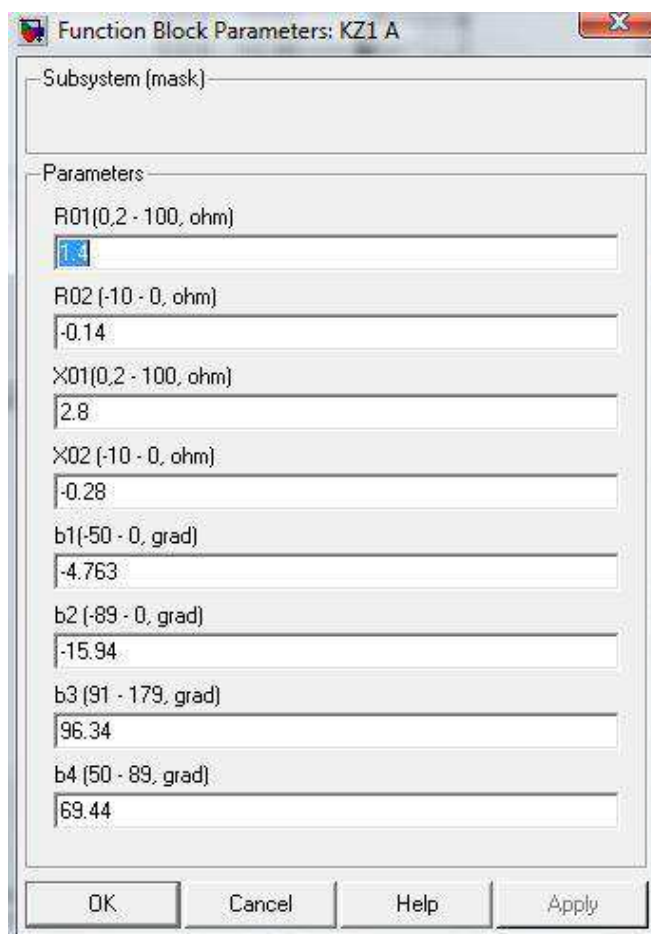


Рисунок 9.5 – Диалоговое окно ввода уставок

9.4 Моделирование блокировки при качаниях

На входы 1, 2, 3, 4 БК (рис. 9.6) поступают ортогональные составляющие токов и напряжений. В блоках *Re-Im* происходит сложение их в комплексы токов и напряжений. В блоке *Zw* рассчитывается значение сопротивления защищаемой линии. Далее проверяется факт нахождения годографа полного сопротивления защищаемой линии в контролируемой зоне срабатывания БК.

Сигнальные органы *HL* отображают факт срабатывания БК.

Блок выдержки времени *KT5* задает время, на которое БК вводит в работу ДЗ.

Работа ДЗ на время разрешения БК осуществлена на ключе *Switch*: при попадании годографа полного сопротивления в зону срабатывания БК логическая единица поступает на верхний вход ключа. На центральном входе продолжает задерживаться логический 0 выдержкой времени *KT5*. *Switch* пропускает сигнал через верхний вход до тех пор, пока на его центральном входе значение равно 0. По истечению времени *KT5*, логический ноль на центральном входе обращается в единицу и ключ переключается на нижний вход, т.е. ноль поступает на выходной порт «1» БК в логику ДЗ, блокируя её работу.

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

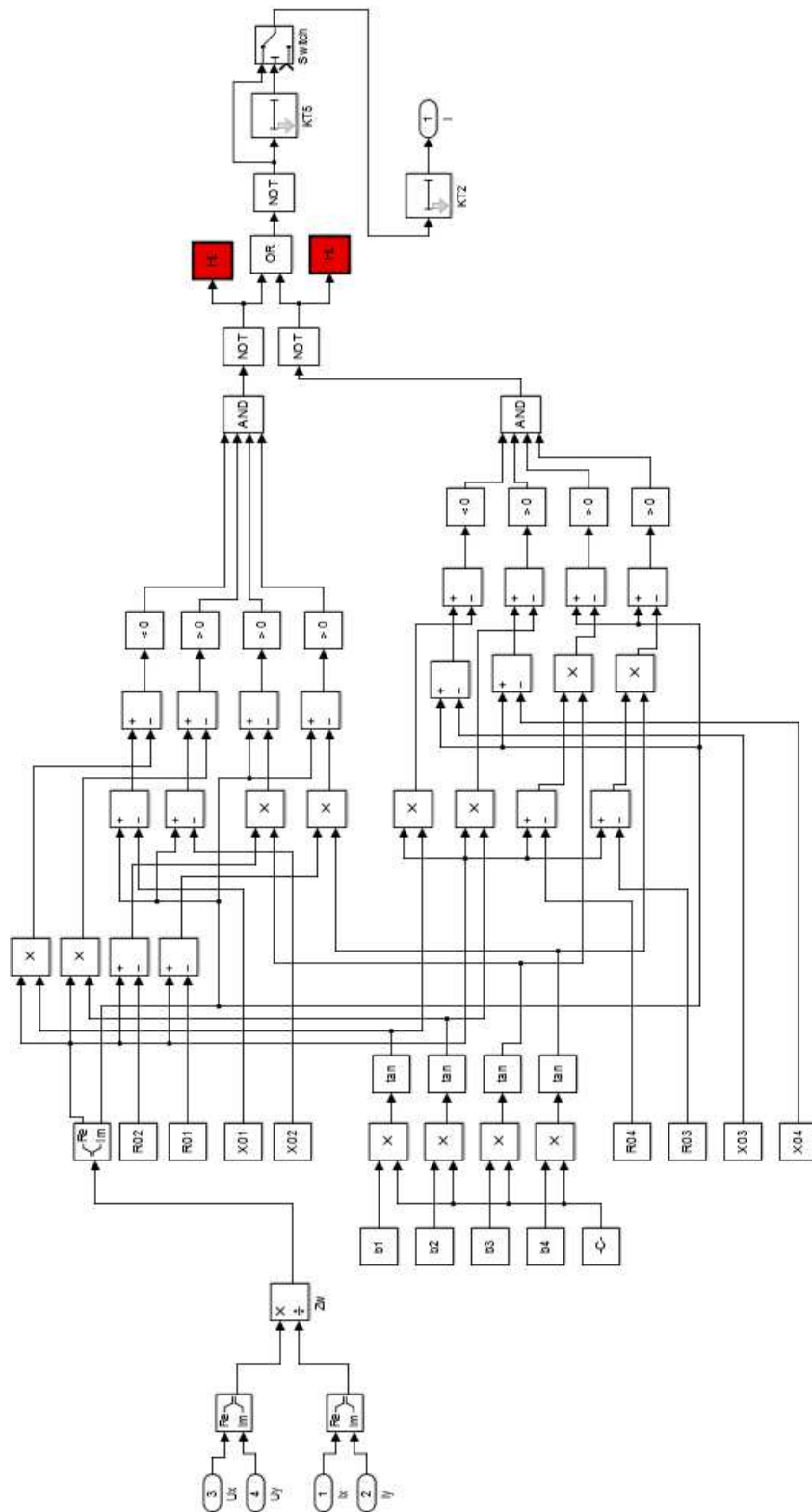


Рисунок 9.6 – функциональная схема блокировки при качаниях

9.5 Моделирование сигнального органа

Сигнальный орган (*HL*) служит для индикации срабатывания защиты. Блок имеет один вход, предназначенный для приёма логического сигнала из внешних систем. Внешний вид сигнального органа в нормальном режиме и режиме срабатывания представлен на рис. 9.7. При поступлении на входной порт *In1* (рисунок 14) логический ноль обращается в единицу в элементе *NOT* и индикатор горит красным цветом. Как только сигнал становится нулевым, индикатор загорается зеленым.



Рисунок 9.7 – Внешний вид сигнального органа

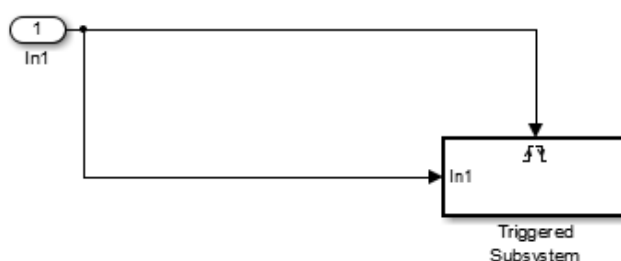


Рисунок 9.8 – Логика сигнального органа

Внутри блока *HL* находится управляемая триггерная подсистема *Triggered Subsystem* (рис. 9.9). Расчёт этой подсистемы идёт не всё время моделирования, а происходит лишь в моменты изменения входного сигнала. Таким образом, входной сигнал является одновременно и управляющим.

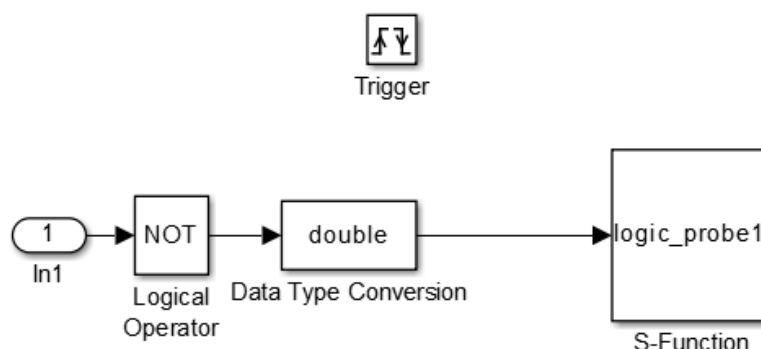


Рисунок 9.9 – Подсистема Triggered Subsystem

Внутри триггерной подсистемы расположен блок *Trigger*. Он делает данную подсистему управляемой (рис. 9.9). Отметим, что использование неуправляемой подсистемы сильно замедляет работу модели.

После инверсии входной сигнал преобразуется из логической формы в числовую. Затем сигнал поступает на вход блока *S*-функции (*S-Function*).

Чаще всего *S*-функции используются при создании новых библиотечных блоков, обеспечивающих взаимодействие *Simulink* с аппаратными средствами компьютера.

S-функция подключается к модели с помощью библиотечного блока *S-function*. *S*-функции являются описанием блока на языке программирования MATLAB.

В зависимости от значения входного сигнала происходит изменение параметр *backgroundcolor* (цвет фона) внешнего блока *Atomic Subsystem*. Индикатор HL может использоваться на любом уровне модели.

Более подробное описание сигнального органа и листинг *S*-функции приведено в учебном пособии «Моделирование устройств релейной защиты в среде MATLAB» [10].

9.6 Моделирование органа выдержки времени

Орган выдержки времени задерживает прохождение сигналов срабатывания отдельных элементов защиты на заданное уставкой время для селективной работы степеней и правильной работы блокировок. Внешний вид блока выдержки времени представлен на рисунке 16.

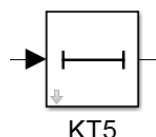


Рисунок 9.10 – Внешний вид органа выдержки времени

Внутри этого блока находится следующая подсистема (рис. 9.11):

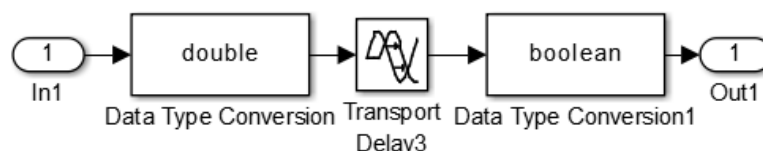
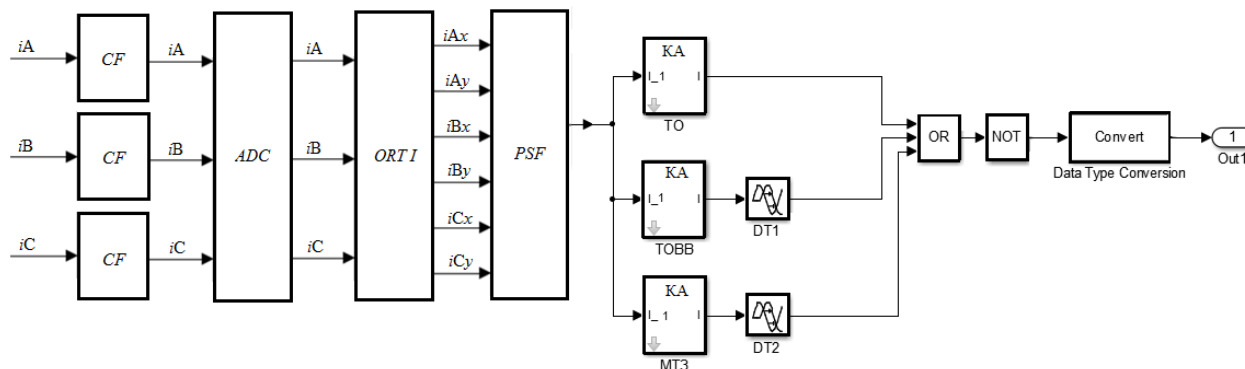


Рисунок 9.11 – Функциональная схема органа выдержки времени

10 Создание модели МТЗ в программе Matlab

Модель МТЗ выполнена стандартными блоками *Simulink* и подсистемами, отражающими логику и алгоритм работы.

Функциональная схема разработанной защиты показана на рис. 10.1.



Рисунке 10.1 – Функциональная схема МТЗ

10.1 Принцип работы виртуальной модели МТЗ

Аналоговые сигналы токов i_A , i_B , i_C от измерительных преобразователей поступают на НЧ фильтры (блоки *CF*) для ограничения спектра сигнала 50 Гц. На выходе блоков *CF* получают аналоговые сигналы i_A , i_B , i_C частотой 50 Гц.

В АЦП (блок *ADC*) входной аналоговый сигнал сравнивается с опорным (равен напряжению питания) и записывается в регистры в виде 10-и разрядного кода, который показывает величину входного сигнала по отношению к опорному.

Полученные на выходе АЦП дискретные значения токов i_A , i_B , i_C поступают на входы формирователя ортогональных составляющих токов (блок *ORTI*).

Дискретные значения токов i_A , i_B , i_C поступают на входы формирователя ортогональных составляющих токов (блок *ORTI*). Функциональная схема формирователя ортогональных составляющих представлена на рис. 9.2

Формирование ортогональной составляющей i_{Ax} производится по принципу фазового сдвига входного сигнала $i_A = i_{Ay}$ на 90 градусов.

Блок *I_{max}* определяет максимальное значение тока i_A за половину периода промышленной частоты. Значение i_A делится в блоке $\sin \omega t$ на максимальное значение I_m , полученное в блоке *I_{max}*. Дальнейший расчет $\cos \omega t$

ведется по двум ветвям (блоки $Fcn1$, $Fcn2$) в зависимости от возрастания или убывания мгновенных значений iA . Так, в случае возрастания измеряемых значений iA , блок *Detect Increase* выдает логическую единицу на вход ключа (Switch), который пропускает значения $\cos \omega t$, полученные в блоке $Fcn1$. Если на выходе блока *Detect Increase* получается логический 0, т.е значения iA убывают, расчет $\cos \omega t$ будет производиться в блоке $Fcn2$. В блоке *Divide* мгновенное значение iA делится на $\sin \omega t$ и умножается на $\cos \omega t$ в блоке *Product*. На выходе формирователя ортогональных составляющих получаются две мгновенные величины $iAx = I_m \times \cos \omega t$ и $iAy = I_m \times \sin \omega t$.

Дальнейший алгоритм работы защиты состоит из двух частей: выделение тока прямой последовательности и формирование условий срабатывания.

В первой части алгоритма, фильтр тока прямой последовательности *PSF* осуществляет линейное преобразование входных токов в величины, пропорциональные симметричным составляющим трехфазной системы I_1 , I_2 , I_0 (рис. 10.2).

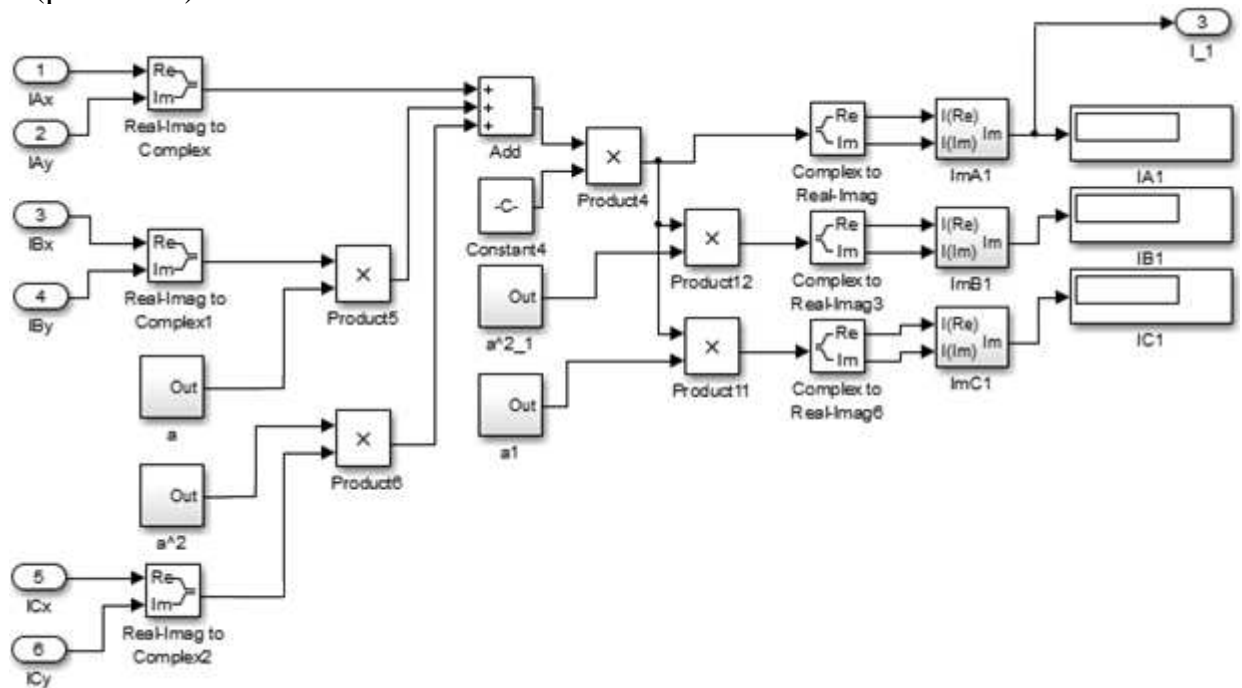


Рисунок 10.2 – Функциональная схема фильтра тока *PSF*

На вход фильтра (*PSF*) подаются сигналы от формирователя ортогональных составляющих тока (*ORT I*), действительные $\text{Re}[I]=ix$ и мнимые $\text{Im}[I]=iy$ составляющие фазных токов.

Данные составляющие фазных токов подаются на блоки *Real Imago to Complex*, где они преобразуются в комплексные числа вида $a + jb$.

Для разложения токов на симметричные составляющие используем системы единичных векторов – операторов поворота, a и a^2 , которые также

представляются комплексными числами $-0,5 + j0,866$ и $-0,5 + j0,866$ соответственно (рис. 10.3, рис. 10.4).

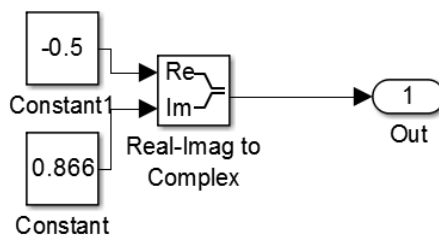


Рисунок 10.3 – Комплексное представление операторов поворота a

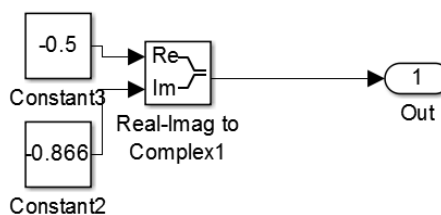


Рисунок 10.4 – Комплексное представление операторов поворота a^2

Элементы *Add*, *Add1*, *Add2* являются сумматорами. На данный элемент приходят следующие величины:

- На элемент *Add* приходят:

- 1) Комплексное значение тока фазы А,
- 2) Перемноженные комплексные значения тока фазы В и оператора поворота a ,
- 3) Перемноженные комплексные значения тока фазы С и оператора поворота a^2 .

Далее просуммированные значения умножаются на константу *Constant4* равную 0,33333.

Для получения симметричных составляющих фаз В и С необходимо полученные симметричные составляющие фазы А домножить на оператор поворота:

для фазы В умножаем на a^2 .

для фазы С умножаем на a .

Далее данные значения симметричных составляющих подаются на блок *Complex to Real Imag*, где комплексные значения симметричных составляющих раскладываются на действительные $Re[I]=I_x$ и мнимые $Im[I]=I_y$ составляющие ТОКОВ.

После этого эти составляющие подаются на блок *Im*, где мы получаем полное значение тока (рис. 10.5) и далее данное значение тока поступает на элемент сравнения тока I_I с уставкой (*KA*).

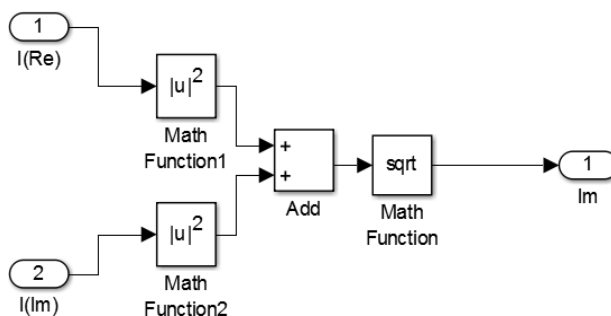


Рисунок 10.5 – Блок *Im*

Уравнения, задающие условия срабатывания органа тока прямой последовательности:

$$I_{KA1} \leq Im \left[\frac{1}{3} (I_A + aI_B + a^2I_C) \right];$$

Блок *KA* предназначен для выставления уставки. С помощью этого блока задаются уставки для всех трех ступеней защиты. На рис. 10.6 показан пример выставление уставки для срабатывания токовой отсечки, аналогичным способом задаются уставки и для двух других ступеней защиты.

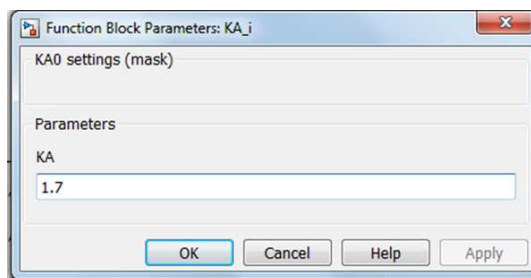


Рисунок 10.6 – Выставление уставки

При срабатывании первой ступени защиты с блока *PSF* подается ток прямой последовательности в блок *KA*. В данном блоке происходит сравнение тока прямой последовательности с уставкой. Если данное значение тока больше уставки, то на выходе блока *KA* появится логический сигнал «1». Эта единица пойдет в исполнительный орган «*Convert*», который подает сигнал на отключение выключателя.

При срабатывании второй, либо третьей ступени с блока *PSF* подается ток прямой последовательности в блок *KA*, где происходит сравнение тока прямой последовательности с уставкой. Если данное значение тока больше уставки, то на выходе блока *KA* появится «1». Эта единица пойдет в блок выдержки времени *DT1*, при срабатывании второй ступени и *DT2*, при срабатывании третьей ступени защиты, в котором происходит задание и выдержка времени *t*, для устранения ложного срабатывания органа тока (рис. 10.7).

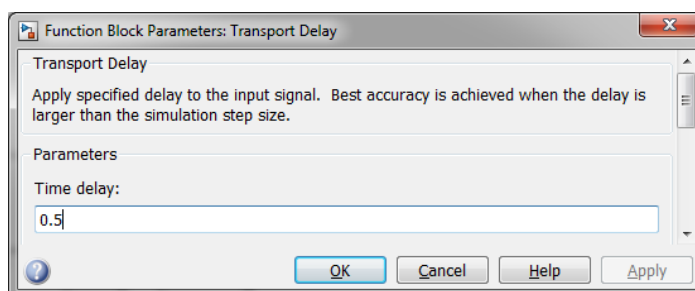


Рисунок 10.7 – Выставление уставки времени

Далее логический сигнал поступает в исполнительный орган, который подает сигнал на отключение выключателя. Блок «*OR*» предназначен для передачи сигнала в исполнительный орган «*Convert*», при срабатывании одной из трех ступеней защиты. Данный блок выполняет логическую операцию «ИЛИ» – истина, если хотя бы один из операндов не равен нулю. Блок «*NOT*» выполняет логическую операцию «НЕ» – все операнды, не равные нулю, заменяются нулями, а все равные нулю – единицами. Данный блок предназначен для воздействия на выключатель в первичной цепи.

11 Создание модели ТЗНП в программе Matlab

В данной работе представлена модель токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП). При её реализации была задействована программа *Matlab* (приложение *Simulink*).

Данная модель может использоваться для имитирования работы существующих устройств защиты от однофазных коротких замыканий.

Функциональная схема разработанной защиты показана на чертеже №4.

Модель включает в себя следующие устройства:

- фильтр НЧ;
- АЦП;
- формирователи ортогональных составляющих тока и напряжения (*Ort1*, *Ort2*);
- фильтры симметричных составляющих тока (*Current filter*), напряжения (*Voltage filter*);
- органы тока нулевой последовательности (*KA_I - KA_VI*);
- органы направления мощности (*M_{РАЗР}*, *M_{БЛ}*);
- органы выдержки времени (*KT1 - KT6*);
- органа отключения выключателя (*Q*);
- сигнального органа (*HL Q*, *HL I - HL VI*).

Функции АЦП непосредственно выполняет программа *MATLAB* (приложение *Simulink*).

11.1 Моделирование органа тока нулевой последовательности

Орган тока нулевой последовательности нужен для выставления уставки по току нулевой последовательности и сравнения её с током нулевой последовательности приходящим с фильтра симметричных составляющих тока (*Current filter*).

Функциональная схема разработанного органа тока нулевой последовательности представлена на рис. 11.4.

С фильтра симметричных составляющих тока (*Current filter*) на вход органа тока нулевой последовательности I_0 подаётся ток нулевой последовательности ($3I_0$).

Данный ток на входе органа тока нулевой последовательности поступает в блок *Compare To Constant*. В данном блоке формирование условий срабатывания органа тока нулевой последовательности.

Уравнение, задающее условия срабатывания органа тока нулевой последовательности:

$$I_0 \geq I_{KA0},$$

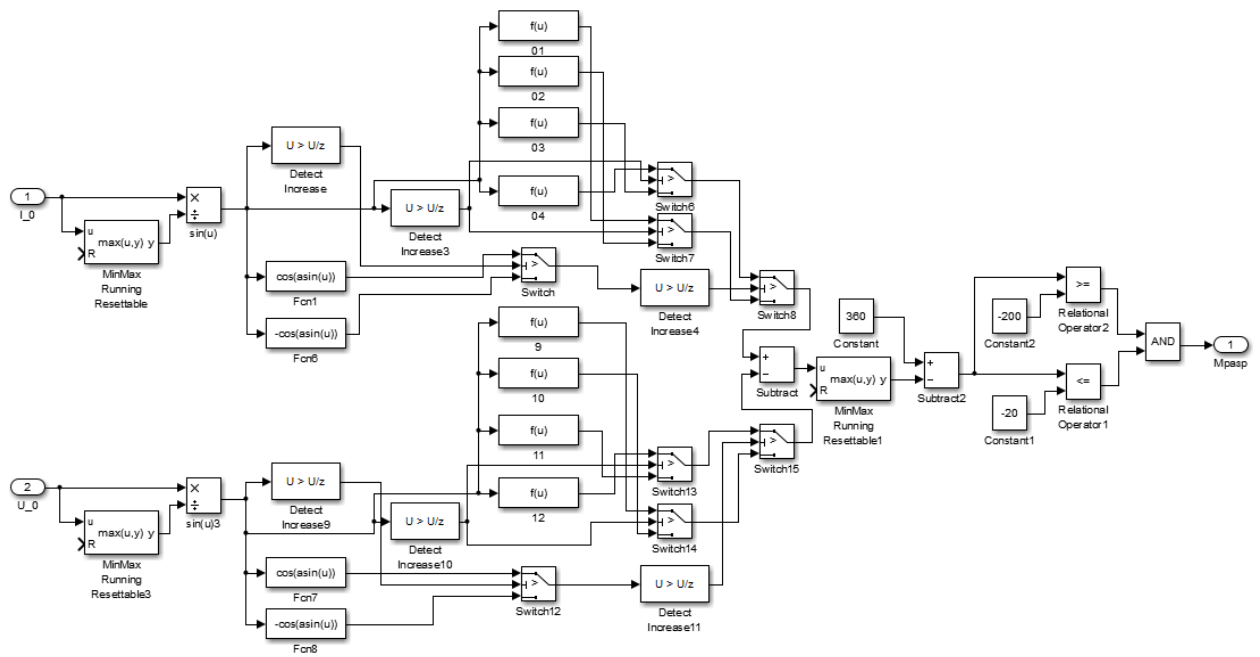


Рисунок 11.5– Функциональная схема разрешающего органа направления мощности

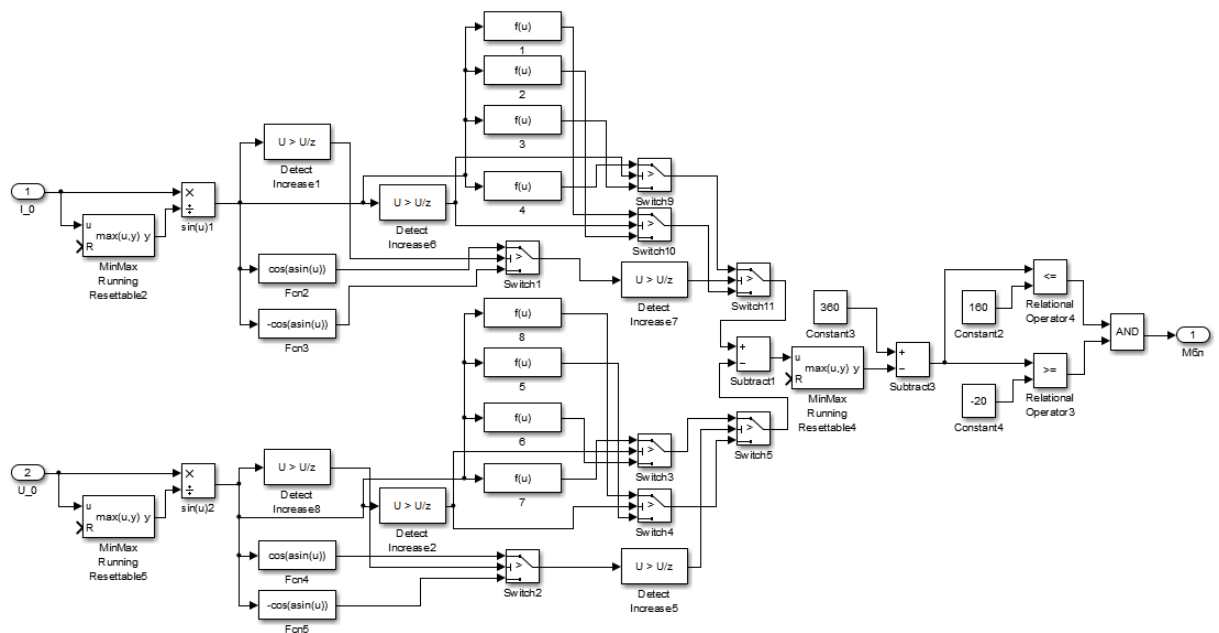


Рисунок 11.6 – Функциональная схема блокирующего органа направления мощности

В реле направления мощности токи и напряжения представляются в следующем виде:

$$I = I_m e^{j\delta_1};$$

Функциональная схема разработанного органа отключения выключателя представлена на рис. 11.8.

Опишем принцип работы органа отключения выключателя при срабатывании I ст. ТНЗНП.

На вход I данного органа подаётся логическая единица с органа выдержки времени I ст. (*KTI*), которая по умолчанию равна 0,0 с.

Данная 1 поступает на элемент *OR* с выхода которого данный сигнал через элемент *Conversion* поступает на элемент *NOT* (*Logical Operator*), где инвертируется в 0 и поступает на выход Q, с которого 0 поступает на отключение выключателя и на сигнальный орган *HL Q*.

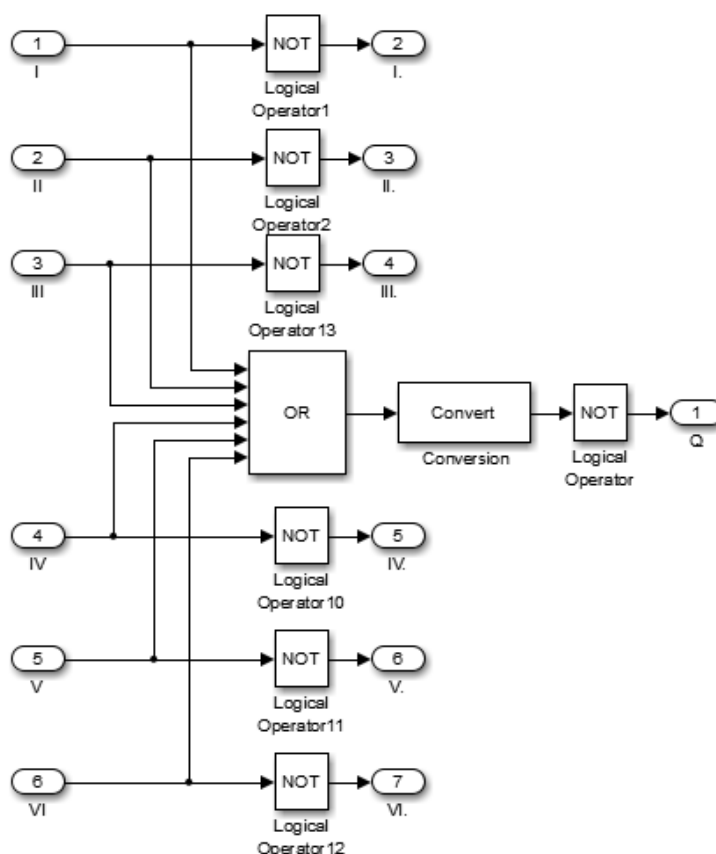


Рисунок 11.8 – Функциональная схема органа отключения выключателя

Так же 1 поступает на элемент *NOT* (*Logical Operator1*), где инвертируется в 0 и поступает на выход I., с которого 0 поступает на сигнальный орган *HL I*.

Логика работы органа отключения выключателя при срабатывании остальных ступеней аналогична I ст.

Элемент *Conversion* необходим для работы органа отключения выключателя.

12 Испытание виртуальной модели максимальной токовой защиты в среде Matlab

Для испытания модели токовой ступенчатой защиты, в программе *Simulink* создана модель трехфазной электрической сети, для которой можно задать все необходимые режимы работы. Эта модель связана с моделью МТЗ через модели измерительных трансформаторов тока. Таким образом, испытание модели защиты производится в следующем порядке:

1. Запуск предварительно настроенной модели электрической сети.
2. Замеры необходимых значений токов нагрузочного и аварийных режимов, токов и остаточных напряжений.
3. Расчёт уставок токовых цепей.
4. Выставление уставок на измерительных органах.
5. Повторный запуск модели электрической сети.
6. Анализ результатов испытаний в аварийных режимах представленных на осциллограммах.

Рассмотрим защиту автотрансформатора.

12.1 Испытание виртуальной модели МТЗ АТ НН

Расчет уставок максимальной токовой защиты автотрансформатора:

1. Найдем ток срабатывания защиты, А:

$$I_{сз} = \frac{k_H \cdot k_{сз}}{k_B} \cdot I_{нагр \max} = \frac{1,1 \cdot 1,1}{0,95} \cdot 9622 = 12255,$$

где k_H – коэффициент надёжности, равный 1,1 о. е.; $k_{сз}$ – коэффициент самозапуска двигателей, равный 1,1÷3 о. е.; k_B – коэффициент возврата защиты в исходное состояние, равный 0,95 о. е.; $I_{нагр \max}$ – максимальный ток нагрузки, принимаемый равным номинальному току обмотки трансформатора, на которую устанавливается защита, А.

2. Ток срабатывания реле, А:

$$I_{ср} = \frac{k_{сх}}{k_I} \cdot I_{сз} = \frac{1,0}{\frac{10000}{5}} \cdot 12255 = 6,128,$$

где $k_{сх}$ – коэффициент схемы, равный для МТЗ 1 о.е.; k_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Для выбора k_I необходимо знать ток нагрузки, А:

$$I_{\text{нагр max}} = 9622.$$

Выбираем ближайший к нему коэффициент трансформации с учетом перегрузки, коэффициент перегрузки, для микропроцессорных и цифровых устройств релейной защиты равный 1,4 о. е

Время срабатывания защиты, с:

$$t_{\text{сз}} = 1,51, \text{ согласно рис 12.3.}$$

Выставление уставок:

Задание уставки органа тока показано на рисунке 12.1.

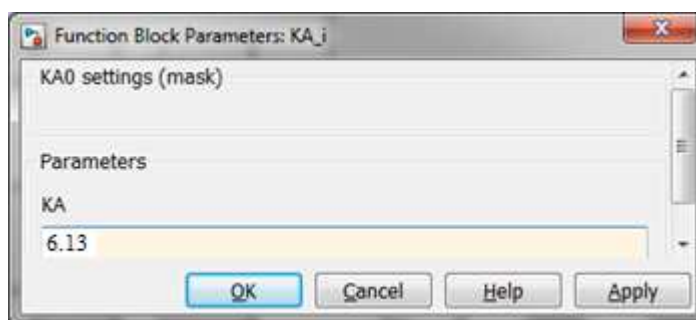


Рисунок 12.1 –Выставление уставки органа тока

Уставка выдержки времени показана на рис. 12.2.

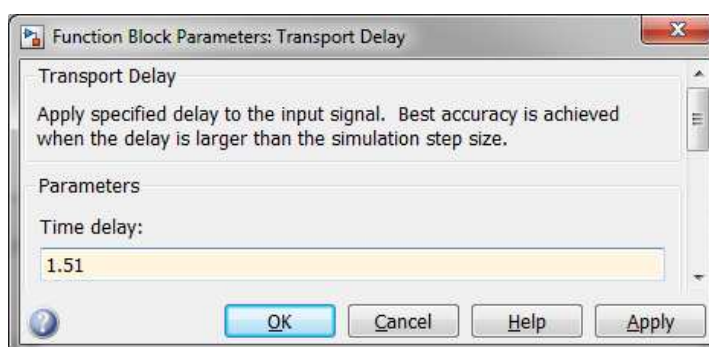


Рисунок 12.2 –Выставление уставки выдержки времени

- Испытания защиты и анализ результатов в аварийных режимах:
При коротком замыкании на НН АТ произошло срабатывание защиты.

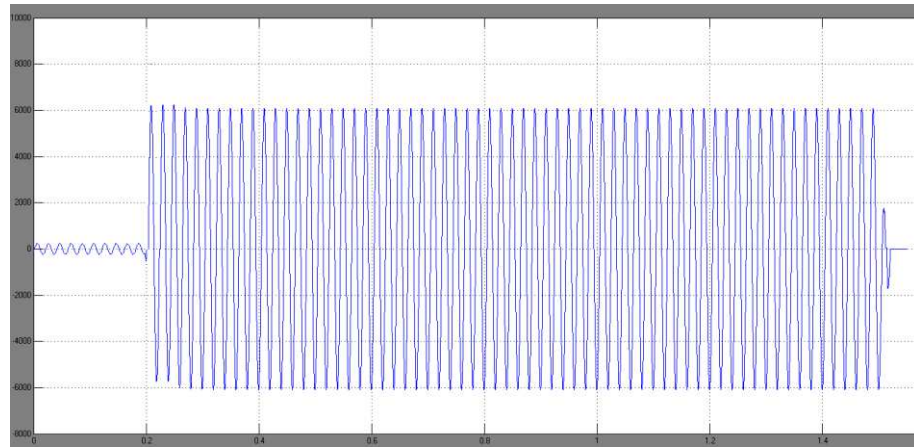


Рисунок 12.3 – Осциллограмма при КЗ в зоне действия защиты

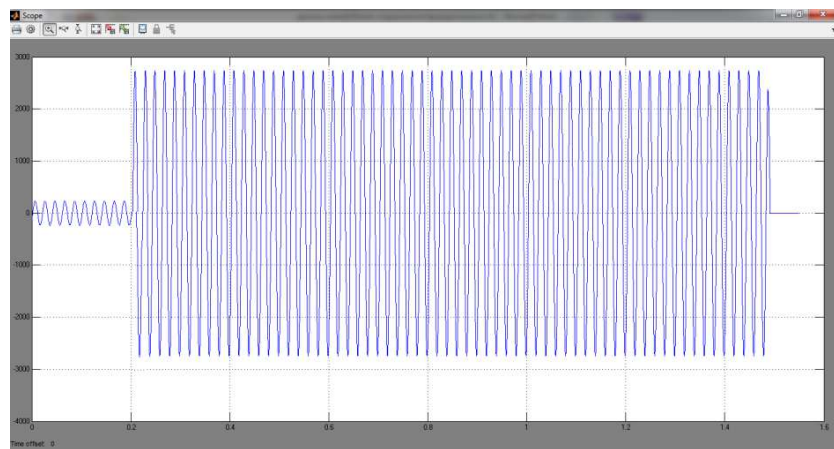


Рисунок 12.4 – Осциллограмма при КЗ за нагрузкой АТ

12.2 Испытание виртуальной модели МТЗ АТ ВН

- Расчет уставок максимальной токовой защиты автотрансформатора:

1. Найдем ток срабатывания защиты, А:

$$I_{сз} = \frac{k_H \cdot k_{сз}}{k_B} \cdot I_{нагр \max} = \frac{1,1 \cdot 1,1}{0,95} \cdot 439,3 = 559,5,$$

2. Ток срабатывания реле, А:

$$I_{ср} = \frac{k_{сх}}{k_I} \cdot I_{сз} = \frac{1,0}{\frac{400}{5}} \cdot 559,5 = 6,99,$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

где $k_{сх}$ – коэффициент схемы, равный для МТЗ 1 о.е.; k_I – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Для выбора k_I необходимо знать ток нагрузки, А:

$$I_{нагр\ max} = 439,3.$$

Выбираем ближайший к нему коэффициент трансформации с учетом перегрузки, коэффициент перегрузки, для микропроцессорных и цифровых устройств релейной защиты равный 1,4 о. е

Время срабатывания защиты, с:

$$t_{сз} = 1,34, \text{ согласно рис. 12.7.}$$

Выставление уставок:

Задание уставки органа тока показано на рис. 12.5.

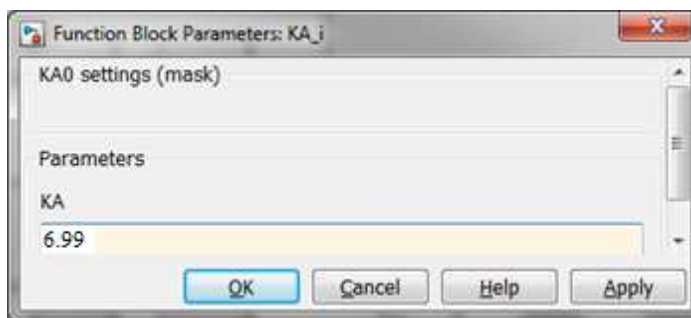


Рисунок 12.5 – Выставление уставки органа тока

Уставка выдержки времени показана на рис. 12.6.

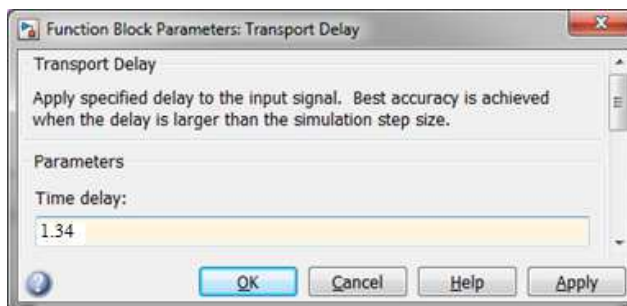


Рисунок 12.6 – Выставление уставки выдержки времени

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- Испытания защиты и анализ результатов в аварийных режимах:

При коротком замыкании на ВН АТ произошло срабатывание защиты. Аварийная осциллограмма показана на рис. 12.7.

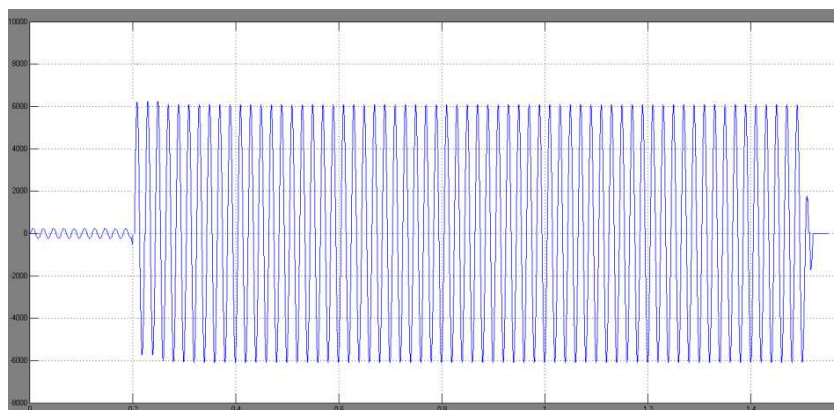


Рисунок 12.7 – Осциллограмма при КЗ в зоне действия защиты

Осциллограмма при КЗ в конце смежной линии W1 представлена на рис. 12.8.

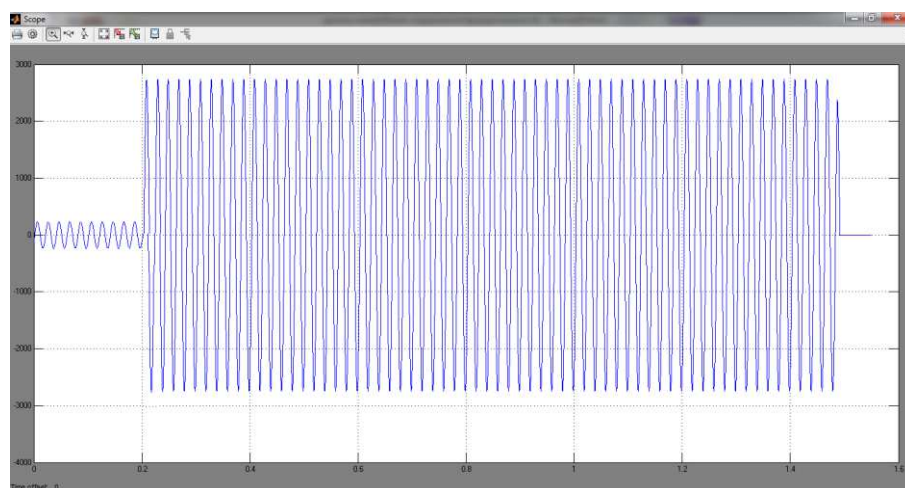


Рисунок 12.8 – Осциллограмма при КЗ в конце смежной линии W1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе был рассмотрен участок Красноярской энергетической системы, рассчитаны параметры первичного оборудования, входящего в расчетную схему замещения.

С помощью программного комплекса ТКЗ-3000 рассчитаны максимальные и минимальные режимы коротких замыканий, значения которых были использованы в расчете уставок дистанционной защиты, МТЗ и ТЗНП.

Было проведено исследование и опробование МТЗ на базе шкафа ШЭ2607 048.

С помощью программы Matlab были созданы виртуальные модели дистанционной защиты, МТЗ и ТЗНП. Созданная модель МТЗ опробована на модели электрической сети, созданной в программе Matlab. В результате опробования получены осциллограммы аварийных режимов работы сети.

					<i>ВКР – 13.03.02.05 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		68

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ершов, Ю. А. Электроэнергетика. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем; учебное пособие / Ю. А. Ершов, О. П. Халезина, А. В. Малеев, Д. П. Перехватов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 79 с.
2. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие для вузов Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
3. ЗАО «Завод электротехнического оборудования». – Режим доступа: <http://www.zeto.ru/>
4. Рокотян, С. С. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/ В. В. Ершевич, А. Н. Зейлигер, Г. А. Илларионов и др.; Под ред. С. С. Рокотяна и И. М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
5. Руководящие указания по релейной защите выпуск 7 «Дистанционная защита линий 35-330 кВ».
6. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РД 153–34.0–20.527–98.
7. ЭКРА.656453.050 РЭ Шкаф защиты и автоматики управления выключателем ШЭ2607 016 (версия 016_200).
8. Лабораторная работа «Организация сервера связи между шкафами типа ШЭ и компьютером».
9. Лабораторная работа «Испытание РЕТОМ-41М».
10. Ершов, Ю. А. Моделирование устройств релейной защиты в среде MATLAB: учебное пособие / Ю. А. Ершов, Д. Н. Киселёв. Монография, Palmarium Academic Publishing 2012г.144 стр.
11. СТО 4.2–07–2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности. – Взамен СТО 4.2–07–20012; дата введ. 30.12.2013. – Красноярск: БИК СФУ, 2010. – 57 с.
12. Чернобровов Н.В., Семенов В.А., «Релейная защита энергетических систем»: Учебное пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.: ил.
13. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink. –М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		69

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Параметры схемы замещения прямой (обратной) последовательности

Прямая последовательность.

Тип	Пар	Узел-1	Узел-2	R	X	Е;К;В(с);	F	Н эл.
4	0	0	1	3.457	13.979	115.000	0.000	0
4	0	0	9	1.617	7.095	115.000	0.000	0
4	0	0	11	9.000	15.480	115.000	0.000	0
0	0	29	2	5.070	18.590	0.001	0.000	0
0	0	1	2	5.070	18.590	0.001	0.000	0
0	0	2	30	5.250	19.250	0.001	0.000	0
0	0	2	9	5.250	19.250	0.001	0.000	0
0	0	10	31	10.750	18.490	0.001	0.000	0
0	0	10	11	10.750	18.490	0.001	0.000	0
0	0	10	12	6.750	11.610	0.001	0.000	0
0	0	10	15	6.750	11.610	0.001	0.000	0
0	0	10	18	10.000	17.200	0.001	0.000	0
0	0	10	24	11.250	19.350	0.001	0.000	0
3	0	2	3	0.001	12.170	1.000	0.000	0
3	0	3	4	0.001	20.630	1.000	0.000	0
3	0	3	10	0.001	0.001	1.000	0.000	0
3	0	2	6	0.001	12.170	1.000	0.000	0
3	0	6	7	0.001	20.630	1.000	0.000	0
3	0	6	10	0.001	0.001	1.000	0.000	0
3	0	12	13	0.001	220.420	1.000	0.000	0
3	0	15	16	0.001	220.420	1.000	0.000	0
3	0	18	19	0.001	10.850	1.000	0.000	0
3	0	19	20	0.001	151.880	1.000	0.000	0
3	0	19	22	0.001	151.880	1.000	0.000	0
3	0	24	25	0.001	220.420	1.000	0.000	0
3	0	24	27	0.001	220.420	1.000	0.000	0
0	0	5	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	8	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	14	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	17	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	21	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	23	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	26	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	28	0	9999.000	9999.000	0.001	0.000	0
0	0	4	5	2.530	0.491	0.001	0.000	0
0	0	7	8	2.530	0.491	0.001	0.000	0
0	0	13	14	26.570	5.158	0.001	0.000	0
0	0	16	17	26.570	5.158	0.001	0.000	0
0	0	20	21	10.628	2.063	0.001	0.000	0
0	0	22	23	10.628	2.063	0.001	0.000	0
0	0	25	26	26.570	5.158	0.001	0.000	0
0	0	27	28	26.570	5.158	0.001	0.000	0
1	0	1	29	0.000	0.000	0.001	0.000	0
1	0	30	9	0.000	0.000	0.001	0.000	0
1	0	31	11	0.000	0.000	0.001	0.000	0

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Параметры схемы замещения нулевой последовательности

Нулевая последовательность.

Тип	Пар	Узел-1	Узел-2	R	X	K; B(c);
0	0	0	1	8.276	41.910	0.001
0	0	0	9	4.092	21.280	0.001
0	0	0	11	14.400	46.440	0.001
0	0	29	2	11.410	55.770	0.001
0	0	1	2	11.410	55.770	0.001
0	0	30	2	11.810	57.750	0.001
0	0	2	9	11.810	57.750	0.001
0	0	31	10	17.200	55.470	0.001
0	0	10	11	17.200	55.470	0.001
0	0	10	12	10.800	34.830	0.001
0	0	10	15	10.800	34.830	0.001
0	0	10	18	16.000	51.600	0.001
0	0	10	24	11.250	58.050	0.001
3	0	2	3	0.001	12.170	1.000
3	0	3	4	0.001	20.630	1.000
3	0	3	10	0.001	0.001	1.000
3	0	2	6	0.001	12.170	1.000
3	0	6	7	0.001	20.630	1.000
3	0	6	10	0.001	0.001	1.000
3	0	12	13	0.001	220.420	1.000
3	0	15	16	0.001	220.420	1.000
3	0	18	19	0.001	10.850	1.000
3	0	19	20	0.001	151.880	1.000
3	0	19	22	0.001	151.880	1.000
3	0	24	25	0.001	220.420	1.000
3	0	24	27	0.001	220.420	1.000
0	0	4	5	0.001	0.001	0.001
0	0	7	8	0.001	0.001	0.001
0	0	13	14	0.001	0.001	0.001
0	0	16	17	0.001	0.001	0.001
0	0	20	21	0.001	0.001	0.001
0	0	22	23	0.001	0.001	0.001
0	0	25	26	0.001	0.001	0.001
0	0	27	28	0.001	0.001	0.001
0	0	5	0	0.001	0.001	0.001
0	0	8	0	0.001	0.001	0.001
0	0	14	0	0.001	0.001	0.001
0	0	17	0	0.001	0.001	0.001
0	0	21	0	0.001	0.001	0.001
0	0	23	0	0.001	0.001	0.001
0	0	26	0	0.001	0.001	0.001
0	0	28	0	0.001	0.001	0.001
1	0	1	29	0.000	0.000	0.001
1	0	30	9	0.000	0.000	0.001
1	0	31	11	0.000	0.000	0.001

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ВКР – 13.03.02.05 ПЗ

Лист

71

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Расчет режимов КЗ (Мах)

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА :

Имя сети : K130414
 Число узлов КЗ: 5
 Число поясов: 1
 Число коммутаций: 0
 Число дополнительных ветвей: 3

пар	узел-1	узел-2
0	2	3
0	3	10
0	3	4

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 2 Упа 114.60 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.242 7.419)	Z2 (2.242 7.419)	Z0 (0.738 9.410)
I1 2667 -78	I2 2667 -78	3I0 8000 -78

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

2-29	I1 -435 -80 I0 -177 -71 U1 45.57 2 U0 -25.17 8	I2 -430 -80 3I0 -530 -71 U2 -20.66 -4 3U0 -75.51 8
2-1	I1 -435 -80 I0 -177 -71 U1 45.57 2 U0 -25.17 8	I2 -430 -80 3I0 -530 -71 U2 -20.66 -4 3U0 -75.51 8
2-30	I1 -606 -80 I0 -246 -71 U1 45.57 2 U0 -25.17 8	I2 -599 -81 3I0 -738 -71 U2 -20.66 -4 3U0 -75.51 8
2-9	I1 -606 -80 I0 -246 -71 U1 45.57 2 U0 -25.17 8	I2 -599 -81 3I0 -738 -71 U2 -20.66 -4 3U0 -75.51 8
2-3	I1 -295 -70 I0 -915 -81 U1 45.57 2 U0 -25.17 8	I2 -309 -70 3I0 -2744 -81 U2 -20.66 -4 3U0 -75.51 8
2-6	I1 -295 -70 I0 -915 -81 U1 45.57 2 U0 -25.17 8	I2 -309 -70 3I0 -2744 -81 U2 -20.66 -4 3U0 -75.51 8
3-10	I1 -298 -70 I0 -236 -74 U1 49.01 3 U0 -14.04 7	I2 -308 -69 3I0 -708 -74 U2 -17.31 -9 3U0 -42.13 7
3-4	I1 3 -42 I0 -681 -83	I2 0 0 3I0 -2042 -83

U1	49.01	3	U2	-17.31	-9
U0	-14.04	7	3U0	-42.13	7

Вид КЗ 3

МЕСТО КЗ 2 Упа 114.60 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(2.242	7.419)
I1	8534	-73

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

2-29	I1	-1381	-76
	U1	0.00	0
2-1	I1	-1381	-76
	U1	0.00	0
2-30	I1	-1924	-76
	U1	0.00	0
2-9	I1	-1925	-76
	U1	0.00	0
2-3	I1	-974	-65
	U1	0.00	0
2-6	I1	-974	-65
	U1	0.00	0
3-10	I1	-976	-65
	U1	11.85	25
3-4	I1	0	0
	U1	11.85	25

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 4 Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(3.017	30.513)	Z2	(3.017	30.513)	Z0	(0.000	0.000)
I1	1075	-85	I2	1075	-85	3I0	3224	-85

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-1077	-85	I2	-1073	-85
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	32.97	0	U2	-32.97	0
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	I0	-1075	-85	3I0	-3226	-85
	U1	32.97	0	U2	-32.97	0
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
2-3	I1	359	-91	I2	348	-92
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	59.48	2	U2	-6.96	-16
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
3-10	I1	-721	-81	I2	-731	-81
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	55.13	2	U2	-11.10	-10
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0

Вид КЗ 3

МЕСТО КЗ 4

Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (3.017 30.513)

I1 2151 -85

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-2151	-85
	U1	0.00	0
4-5	I1	0	0
	U1	0.00	0
2-3	I1	706	-92
	U1	52.91	4
3-10	I1	-1453	-81
	U1	44.37	5

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 1

Упа 114.70 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.219 8.263)

Z2 (2.219 8.263)

Z0 (3.627 20.135)

I1 1765 -78

I2 1765 -78

3I0 5295 -78

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1-0	I1	-1059	-79	I2	-1049	-79
	I0	-845	-77	3I0	-2536	-77
	U1	51.17	1	U2	-15.10	-2
1-2	U0	-36.11	2	3U0	-108.32	2
	I1	-353	-76	I2	-358	-76
	I0	-460	-79	3I0	-1380	-79
1-29	U1	51.17	1	U2	-15.10	-2
	U0	-36.11	2	3U0	-108.32	2
	I1	-353	-76	I2	-358	-76
2-3	I0	-460	-79	3I0	-1379	-79
	U1	51.17	1	U2	-15.10	-2
	U0	-36.11	2	3U0	-108.32	2
3-10	I1	-109	-71	I2	-122	-69
	I0	-363	-81	3I0	-1090	-81
	U1	57.97	0	U2	-8.19	-3
3-4	U0	-10.00	8	3U0	-29.99	8
	I1	-114	-71	I2	-122	-69
	I0	-94	-74	3I0	-283	-74
3-4	U1	59.23	1	U2	-6.85	-7
	U0	-5.58	7	3U0	-16.73	7
	I1	4	-44	I2	0	0
3-4	I0	-270	-83	3I0	-811	-83
	U1	59.23	1	U2	-6.85	-7
	U0	-5.58	7	3U0	-16.73	7

Вид КЗ 3

МЕСТО КЗ 1

Упа 114.70 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.219 8.263)
I1 7743 -75

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1-0	I1	-4611	-76
	U1	0.00	0
1-2	I1	-1567	-73
	U1	0.00	0
1-29	I1	-1567	-73
	U1	0.00	0
2-3	I1	-523	-66
	U1	30.20	1
3-10	I1	-528	-66
	U1	36.18	5
3-4	I1	0	0
	U1	36.18	5

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 10

Упа 114.30 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.981 9.930)	Z2 (2.981 9.930)	Z0 (0.402 6.313)
I1 2450 -77	I2 2450 -77	3I0 7351 -77

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

10-31	I1	-451	-63	I2	-444	-63
	I0	-100	-63	3I0	-299	-63
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-11	I1	-451	-63	I2	-444	-63
	I0	-100	-63	3I0	-299	-63
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-12	I1	-2	-180	I2	0	0
	I0	-61	-78	3I0	-182	-78
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-15	I1	-2	-180	I2	0	0
	I0	-61	-78	3I0	-182	-78
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-18	I1	6	-44	I2	-4	-49
	I0	-111	-74	3I0	-334	-74
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-24	I1	6	-44	I2	-4	-49
	I0	-92	-76	3I0	-276	-76
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-3	I1	-803	-84	I2	-794	-84
	I0	-967	-78	3I0	-2900	-78
	U1	40.66	2	U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10	3U0	-46.51	10
10-6	I1	-803	-84	I2	-795	-84
	I0	-967	-78	3I0	-2900	-78

	U1	40.66	2		U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10		3U0	-46.51	10
2-3	I1	805	-84		I2	793	-84
	I0	217	-71		3I0	650	-71
	U1	50.44	3		U2	-15.92	-8
	U0	-12.91	8		3U0	-38.72	8
3-4	I1	-2	-180		I2	0	0
	I0	-751	-80		3I0	-2254	-80
	U1	40.66	2		U2	-25.40	-3
	U0	-15.50	10		3U0	-46.50	10

Вид КЗ 3

МЕСТО КЗ 10

Упа 114.30 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.981 9.930)

I1 6367 -73

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

10-31	I1	-1161	-60
	U1	0.00	0
10-11	I1	-1161	-60
	U1	0.00	0
10-12	I1	0	0
	U1	0.00	0
10-15	I1	0	0
	U1	0.00	0
10-18	I1	0	0
	U1	0.00	0
10-24	I1	0	0
	U1	0.00	0
10-3	I1	-2074	-81
	U1	0.00	0
10-6	I1	-2075	-81
	U1	0.00	0
2-3	I1	2074	-81
	U1	25.24	9
3-4	I1	0	0
	U1	0.00	0

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 9

Упа 114.80 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (1.343 5.424)

Z2 (1.343 5.424)

Z0 (2.530 13.942)

I1 2617 -78

I2 2617 -78

3I0 7850 -78

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

9-0	I1	-2024	-79		I2	-2009	-79
	I0	-1711	-78		3I0	-5133	-78
	U1	51.68	1		U2	-14.62	-2
	U0	-37.08	2		3U0	-111.23	2
9-2	I1	-297	-75		I2	-304	-75
	I0	-453	-79		3I0	-1359	-79

	U1	51.68	1	U2	-14.62	-2
	U0	-37.08	2	3U0	-111.23	2
9-30	I1	-297	-75	I2	-304	-75
	I0	-453	-79	3I0	-1359	-79
	U1	51.68	1	U2	-14.62	-2
	U0	-37.08	2	3U0	-111.23	2
2-3	I1	-115	-70	I2	-128	-68
	I0	-380	-81	3I0	-1141	-81
	U1	57.60	0	U2	-8.55	-3
	U0	-10.47	8	3U0	-31.40	8
3-10	I1	-118	-71	I2	-127	-68
	I0	-98	-74	3I0	-295	-74
	U1	58.92	1	U2	-7.15	-7
	U0	-5.84	7	3U0	-17.52	7
3-4	I1	4	-44	I2	0	0
	I0	-283	-83	3I0	-849	-83
	U1	58.92	1	U2	-7.15	-7
	U0	-5.84	7	3U0	-17.52	7

Вид КЗ 3

МЕСТО КЗ 9

Упа 114.80 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (1.343 5.424)

I1 11863 -76

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

9-0	I1	-9124	-77
	U1	0.00	0
9-2	I1	-1373	-73
	U1	0.00	0
9-30	I1	-1373	-73
	U1	0.00	0
2-3	I1	-566	-67
	U1	27.39	2
3-10	I1	-566	-67
	U1	33.89	6
3-4	I1	0	0
	U1	33.89	6

***** 26 мая 2017 12 час 20 мин 53 сек *****

Время оформления 0 сек

					ВКР – 13.03.02.05 ПЗ	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Расчет режимов КЗ (Min)

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА :

Имя сети : K130414

Число узлов КЗ: 5

Число поясов: 1

Число коммутаций: 2

код	пар	узел-1	узел-2	узел	комм.
ОТКЛ	0	1	29		0
ОТКЛ	0	11	31		0

Число дополнительных ветвей: 3

пар	узел-1	узел-2
0	2	3
0	3	10
0	3	4

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 2

Упа 114.50 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(2.638 8.687)	Z2	(2.638 8.687)	Z0	(0.709 9.888)
I1	2368 -78	I2	2368 -78	3I0	7103 -78

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

2-29	I1	0	0	I2	0	0
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	44.69	2	U2	-21.48	-4
2-1	U0	-23.47	8	3U0	-70.41	8
	I1	-647	-79	I2	-638	-80
	I0	-236	-70	3I0	-707	-70
2-30	U1	44.69	2	U2	-21.48	-4
	U0	-23.47	8	3U0	-70.41	8
	I1	-632	-80	I2	-623	-80
2-9	I0	-229	-71	3I0	-688	-71
	U1	44.69	2	U2	-21.48	-4
	U0	-23.47	8	3U0	-70.41	8
2-3	I1	-232	-69	I2	-246	-68
	I0	-841	-81	3I0	-2522	-81
	U1	44.69	2	U2	-21.48	-4
2-6	U0	-23.47	8	3U0	-70.41	8
	I1	-232	-69	I2	-246	-68
	I0	-841	-81	3I0	-2522	-81
3-10	U1	44.69	2	U2	-21.48	-4
	U0	-23.47	8	3U0	-70.41	8
	I1	-233	-70	I2	-246	-68
	I0	-200	-74	3I0	-601	-74

	U1	47.37	3		U2	-18.82	-8
	U0	-13.25	7		3U0	-39.74	7
3-4	I1	3	-42		I2	0	0
	I0	-642	-83		3I0	-1926	-83
	U1	47.37	3		U2	-18.82	-8
	U0	-13.25	7		3U0	-39.74	7

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 2

Упа 114.50 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (2.638 8.687) Z2 (2.638 8.687)
 I1 3639 -73 I2 -3639 -73

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

2-29	I1	0	0	I2	0	0
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
2-1	I1	-991	-75	I2	981	-75
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
2-30	I1	-967	-76	I2	958	-76
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
2-9	I1	-967	-76	I2	958	-76
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
2-3	I1	-363	-64	I2	378	-64
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
2-6	I1	-363	-64	I2	378	-64
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
3-10	I1	-363	-65	I2	376	-64
	U1	37.07	3	U2	28.98	4
3-4	I1	0	0	I2	0	0
	U1	37.07	3	U2	28.98	4

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 4

Упа 114.10 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (3.377 32.241) Z2 (3.377 32.241) Z0 (0.000 0.000)
 I1 1016 -84 I2 1016 -84 3I0 3048 -84

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-1018	-84	I2	-1014	-84
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	32.94	0	U2	-32.94	0
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	I0	-1016	-84	3I0	-3048	-84
	U1	32.94	0	U2	-32.94	0
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
2-3	I1	366	-89	I2	355	-91
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	58.32	2	U2	-8.05	-14
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
3-10	I1	-649	-82	I2	-664	-81
	I0	0	0	3I0	0	0

U1	53.87	2	U2	-12.27	-9
U0	0.00	0	3U0	0.00	0

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 4

Упа 114.10 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (3.377 32.241) Z2 (3.377 32.241)
 I1 1016 -84 I2 -1016 -84

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-1018	-84	I2	1014	-84
	U1	32.94	0	U2	32.94	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.94	0	U2	32.94	0
2-3	I1	366	-89	I2	-355	-91
	U1	58.32	2	U2	8.05	14
3-10	I1	-652	-82	I2	664	-81
	U1	53.87	2	U2	12.27	9

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 1

Упа 114.80 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(2.499 9.582)	Z2	(2.499 9.582)	Z0	(4.914 25.747)
I1	1441 -78	I2	1441 -78	3I0	4322 -78

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1-0	I1	-1000	-78	I2	-991	-78
	I0	-884	-77	3I0	-2652	-77
	U1	52.01	1	U2	-14.26	-2
	U0	-37.76	2	3U0	-113.29	2
1-2	I1	-441	-77	I2	-450	-76
	I0	-557	-78	3I0	-1670	-78
	U1	52.01	1	U2	-14.26	-2
	U0	-37.76	2	3U0	-113.29	2
2-3	I1	-50	-73	I2	-64	-67
	I0	-219	-80	3I0	-658	-80
	U1	60.50	0	U2	-5.59	-2
	U0	-6.12	9	3U0	-18.37	9
3-10	I1	-51	-74	I2	-64	-67
	I0	-52	-74	3I0	-157	-74
	U1	61.08	0	U2	-4.88	-5
	U0	-3.46	8	3U0	-10.37	8
3-4	I1	4	-45	I2	0	0
	I0	-167	-82	3I0	-502	-82
	U1	61.08	0	U2	-4.88	-5
	U0	-3.46	8	3U0	-10.37	8

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 1

Упа 114.80 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.499 9.582)
I1 3345 -75

Z2 (2.499 9.582)
I2 -3345 -75

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1-0	I1	-2310	-76	I2	2301	-76
	U1	33.13	0	U2	33.13	0
1-2	I1	-1036	-74	I2	1046	-74
	U1	33.13	0	U2	33.13	0
2-3	I1	-134	-67	I2	149	-65
	U1	53.10	0	U2	12.99	1
3-10	I1	-133	-68	I2	148	-65
	U1	54.60	1	U2	11.38	4
3-4	I1	4	-44	I2	0	0
	U1	54.60	1	U2	11.38	4

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 10

Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (3.338 11.663)
I1 2146 -77

Z2 (3.338 11.663)
I2 2146 -77

Z0 (0.373 6.575)
3I0 6439 -77

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

10-31	I1	0	0	I2	0	0
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-11	I1	-674	-62	I2	-663	-63
	I0	-132	-63	3I0	-397	-63
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-12	I1	-2	-180	I2	0	0
	I0	-55	-78	3I0	-166	-78
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-15	I1	-2	-180	I2	0	0
	I0	-55	-78	3I0	-166	-78
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-18	I1	6	-44	I2	-4	-48
	I0	-101	-74	3I0	-304	-74
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-24	I1	6	-44	I2	-4	-49
	I0	-84	-76	3I0	-251	-76
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-3	I1	-764	-83	I2	-751	-84
	I0	-861	-78	3I0	-2582	-78
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10
10-6	I1	-760	-83	I2	-752	-84
	I0	-861	-78	3I0	-2582	-78
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ВКР – 13.03.02.05 ПЗ

Лист

81

2-3	I1	762	-83	I2	750	-84
	I0	178	-71	3I0	533	-71
	U1	49.19	3	U2	-17.08	-7
	U0	-12.01	8	3U0	-36.03	8
	I1	-2	-180	I2	0	0
3-4	I0	-685	-80	3I0	-2055	-80
	U1	39.95	2	U2	-26.03	-2
	U0	-14.14	10	3U0	-42.41	10

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 10

Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (3.338 11.663) Z2 (3.338 11.663)
 I1 2718 -74 I2 -2718 -74

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

10-31	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-11	I1	-851	-60	I2	839	-60
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-12	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-15	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-18	I1	5	-46	I2	5	-46
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-24	I1	5	-46	I2	5	-46
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-3	I1	-963	-80	I2	952	-81
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
10-6	I1	-961	-80	I2	954	-81
	U1	32.97	0	U2	32.97	0
2-3	I1	962	-80	I2	-949	-81
	U1	44.56	2	U2	21.64	5
3-4	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.97	0	U2	32.97	0

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 29

Упа 114.50 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (7.708 27.277) Z2 (7.708 27.277) Z0 (12.119 65.658)
 I1 536 -77 I2 536 -77 3I0 1608 -77

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

29-2	I1	-536	-77	I2	-536	-77
	I0	-536	-77	3I0	-1608	-77
	U1	50.92	1	U2	-15.18	-2
	U0	-35.78	2	3U0	-107.33	2
	I1	-42	-74	I2	-56	-68
2-3	I0	-190	-80	3I0	-571	-80
	U1	61.23	0	U2	-4.86	-2
	U0	-5.31	9	3U0	-15.94	9

3-10	I1	-42	-79	I2	-56	-67
	I0	-45	-74	3I0	-135	-74
	U1	61.72	0	U2	-4.24	-4
	U0	-3.00	8	3U0	-8.99	8
3-4	I1	4	-45	I2	0	0
	I0	-145	-82	3I0	-436	-82
	U1	61.72	0	U2	-4.24	-4
	U0	-3.00	8	3U0	-8.99	8

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 29

Упа 114.50 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (7.708 27.277) Z2 (7.708 27.277)
 I1 1166 -74 I2 -1166 -74

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

29-2	I1	-1166	-74	I2	1166	-74
	U1	33.04	0	U2	33.04	0
2-3	I1	-107	-67	I2	121	-65
	U1	55.50	0	U2	10.58	0
3-10	I1	-106	-67	I2	121	-65
	U1	56.70	1	U2	9.27	4
3-4	I1	4	-44	I2	0	0
	U1	56.70	1	U2	9.27	4

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА :

Имя сети : K130414

Число узлов КЗ: 5

Число поясов: 1

Число коммутаций: 2

код пар	узел-1	узел-2	узел комм.
ОТКЛ 0	9	30	0
ОТКЛ 0	11	31	0

Число дополнительных ветвей: 3

пар	узел-1	узел-2
0	2	3
0	3	10
0	3	4

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 2

Упа 114.40 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (2.937 9.472) Z2 (2.937 9.472) Z0 (0.692 10.205)
 I1 2211 -77 I2 2211 -77 3I0 6632 -77

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

2-29	I1	-463	-80	I2	-456	-80
	I0	-159	-70	3I0	-477	-70
	U1	44.24	2	U2	-21.91	-4
	U0	-22.61	9	3U0	-67.84	9
2-1	I1	-463	-80	I2	-456	-80
	I0	-159	-70	3I0	-477	-70

	U1	44.24	2		U2	-21.91	-4
	U0	-22.61	9		3U0	-67.84	9
2-30	I1	0	0		I2	0	0
	I0	0	0		3I0	0	0
	U1	44.24	2		U2	-21.91	-4
	U0	-22.61	9		3U0	-67.84	9
2-9	I1	-817	-80		I2	-805	-80
	I0	-281	-70		3I0	-842	-70
	U1	44.24	2		U2	-21.91	-4
	U0	-22.61	9		3U0	-67.84	9
2-3	I1	-237	-69		I2	-251	-68
	I0	-810	-80		3I0	-2429	-80
	U1	44.24	2		U2	-21.91	-4
	U0	-22.61	9		3U0	-67.84	9
2-6	I1	-237	-69		I2	-251	-68
	I0	-810	-80		3I0	-2429	-80
	U1	44.24	2		U2	-21.91	-4
	U0	-22.61	9		3U0	-67.84	9
3-10	I1	-235	-70		I2	-251	-68
	I0	-193	-74		3I0	-580	-74
	U1	46.98	3		U2	-19.20	-8
	U0	-12.76	8		3U0	-38.28	8
3-4	I1	3	-42		I2	0	0
	I0	-619	-82		3I0	-1856	-82
	U1	46.98	3		U2	-19.20	-8
	U0	-12.76	8		3U0	-38.28	8

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 2

Упа 114.40 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (2.937 9.472) Z2 (2.937 9.472)
 I1 3330 -73 I2 -3330 -73

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

2-29	I1	-694	-75		I2	687	-76
	U1	33.03	0		U2	33.03	0
2-1	I1	-694	-75		I2	687	-76
	U1	33.03	0		U2	33.03	0
2-30	I1	0	0		I2	0	0
	U1	33.03	0		U2	33.03	0
2-9	I1	-1226	-75		I2	1213	-76
	U1	33.03	0		U2	33.03	0
2-3	I1	-364	-64		I2	378	-64
	U1	33.03	0		U2	33.03	0
2-6	I1	-364	-64		I2	378	-64
	U1	33.03	0		U2	33.03	0
3-10	I1	-363	-64		I2	378	-63
	U1	37.06	3		U2	28.97	4
3-4	I1	0	0		I2	0	0
	U1	37.06	3		U2	28.97	4

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 4 Упа 114.10 0
 суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (3.691 32.806) Z2 (3.691 32.806) Z0 (0.000 0.000)
 I1 998 -84 I2 998 -84 3I0 2993 -84

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-999	-84	I2	-996	-84
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	32.93	0	U2	-32.93	0
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	I0	-997	-84	3I0	-2992	-84
	U1	32.93	0	U2	-32.93	0
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
2-3	I1	351	-89	I2	340	-91
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	57.73	2	U2	-8.63	-14
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0
3-10	I1	-650	-81	I2	-660	-80
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	53.46	2	U2	-12.67	-9
	U0	0.00	0	3U0	0.00	0

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 4 Упа 114.10 0
 суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (3.691 32.806) Z2 (3.691 32.806)
 I1 998 -84 I2 -998 -84

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-999	-84	I2	996	-84
	U1	32.93	0	U2	32.93	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.93	0	U2	32.93	0
2-3	I1	351	-89	I2	-340	-91
	U1	57.73	2	U2	8.63	14
3-10	I1	-646	-81	I2	660	-80
	U1	53.46	2	U2	12.67	9

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 1 Упа 114.70 0
 суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (2.454 9.005) Z2 (2.454 9.005) Z0 (3.609 20.421)
 I1 1681 -78 I2 1681 -78 3I0 5044 -78

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1-0	I1	-1104	-79	I2	-1090	-79
	I0	-816	-76	3I0	-2449	-76
	U1	50.52	1	U2	-15.69	-2
	U0	-34.87	2	3U0	-104.62	2
1-2	I1	-289	-76	I2	-296	-75
	I0	-433	-79	3I0	-1298	-79

	U1	50.52	1	U2	-15.69	-2
	U0	-34.87	2	3U0	-104.62	2
1-29	I1	-289	-76	I2	-296	-75
	I0	-433	-79	3I0	-1299	-79
	U1	50.52	1	U2	-15.69	-2
	U0	-34.87	2	3U0	-104.62	2
2-3	I1	-100	-70	I2	-114	-68
	I0	-370	-80	3I0	-1109	-80
	U1	56.09	1	U2	-9.98	-3
	U0	-10.32	9	3U0	-30.97	9
3-10	I1	-101	-71	I2	-115	-68
	I0	-88	-74	3I0	-263	-74
	U1	57.25	1	U2	-8.73	-6
	U0	-5.83	8	3U0	-17.48	8
3-4	I1	4	-44	I2	0	0
	I0	-282	-82	3I0	-847	-82
	U1	57.25	1	U2	-8.73	-6
	U0	-5.83	8	3U0	-17.48	8

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 1

Упа 114.70 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (2.454 9.005) Z2 (2.454 9.005)
 I1 3547 -75 I2 -3547 -75

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1-0	I1	-2312	-76	I2	2298	-76
	U1	33.10	0	U2	33.10	0
1-2	I1	-618	-73	I2	625	-72
	U1	33.10	0	U2	33.10	0
1-29	I1	-618	-73	I2	625	-72
	U1	33.10	0	U2	33.10	0
2-3	I1	-227	-66	I2	241	-65
	U1	44.99	0	U2	21.07	1
3-10	I1	-226	-66	I2	242	-65
	U1	47.54	2	U2	18.47	5
3-4	I1	3	-43	I2	0	0
	U1	47.54	2	U2	18.47	5

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 10

Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (3.651 12.230) Z2 (3.651 12.230) Z0 (0.371 6.676)
 I1 2056 -76 I2 2056 -76 3I0 6167 -76

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

10-31	I1	0	0	I2	0	0
	I0	0	0	3I0	0	0
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-11	I1	-679	-62	I2	-668	-63
	I0	-129	-62	3I0	-386	-62

	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-12	I1	0	0	I2	0	0
	I0	-54	-77	3I0	-161	-77
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-15	I1	0	0	I2	0	0
	I0	-54	-77	3I0	-161	-77
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-18	I1	6	-44	I2	-4	-49
	I0	-99	-73	3I0	-296	-73
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-24	I1	6	-44	I2	-4	-49
	I0	-82	-76	3I0	-245	-76
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-3	I1	-715	-82	I2	-702	-83
	I0	-822	-78	3I0	-2465	-78
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
10-6	I1	-711	-83	I2	-703	-83
	I0	-822	-78	3I0	-2465	-78
	U1	39.73	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.75	10	3U0	-41.24	10
2-3	I1	713	-82	I2	701	-83
	I0	157	-70	3I0	471	-70
	U1	48.38	3	U2	-17.87	-7
	U0	-11.87	9	3U0	-35.60	9
3-4	I1	-2	-180	I2	0	0
	I0	-666	-80	3I0	-1998	-80
	U1	39.74	2	U2	-26.22	-2
	U0	-13.74	10	3U0	-41.23	10

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 10

Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии
 Z1 (3.651 12.230) Z2 (3.651 12.230)
 I1 2583 -74 I2 -2583 -74

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

10-31	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
10-11	I1	-851	-60	I2	839	-60
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
10-12	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
10-15	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
10-18	I1	5	-46	I2	5	-46
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
10-24	I1	5	-46	I2	5	-46
	U1	32.96	0	U2	32.96	0

10-3	I1	-893	-80	I2	883	-80
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
10-6	I1	-891	-80	I2	883	-80
	U1	32.96	0	U2	32.96	0
2-3	I1	893	-80	I2	-880	-80
	U1	43.70	2	U2	22.46	5
3-4	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.96	0	U2	32.96	0

Вид КЗ 1

МЕСТО КЗ 30

Упа 114.40 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(8.187 28.722)	Z2	(8.187 28.722)	Z0	(12.502 67.955)
I1	514 -77	I2	514 -77	3I0	1541 -77

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

30-2	I1	-513	-77	I2	-513	-77
	I0	-513	-77	3I0	-1540	-77
	U1	50.75	1	U2	-15.32	-2
	U0	-35.47	2	3U0	-106.41	2
2-3	I1	-44	-74	I2	-58	-68
	I0	-188	-80	3I0	-564	-80
	U1	60.98	0	U2	-5.08	-3
	U0	-5.25	9	3U0	-15.75	9
3-10	I1	-45	-75	I2	-59	-68
	I0	-45	-73	3I0	-134	-73
	U1	61.50	0	U2	-4.44	-5
	U0	-2.96	8	3U0	-8.89	8
3-4	I1	4	-45	I2	0	0
	I0	-144	-82	3I0	-431	-82
	U1	61.50	0	U2	-4.44	-5
	U0	-2.96	8	3U0	-8.89	8

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 30

Упа 114.40 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(8.187 28.722)	Z2	(8.187 28.722)
I1	1106 -74	I2	-1105 -74

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

30-2	I1	-1106	-74	I2	1106	-74
	U1	33.03	0	U2	33.03	0
2-3	I1	-111	-67	I2	125	-65
	U1	55.09	0	U2	10.96	1
3-10	I1	-112	-67	I2	125	-65
	U1	56.34	1	U2	9.60	4
3-4	I1	4	-44	I2	0	0
	U1	56.34	1	U2	9.60	4

***** 26 мая 2017 12 час 9 мин 45 сек *****

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Расчет режимов КЗ НН (Min)

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА :

Имя сети : K130414

Число узлов КЗ: 2

Число поясов: 1

Число коммутаций: 3

код	пар	узел-1	узел-2	узел комм.
ОТКЛ	0	1	29	0
ОТКЛ	0	9	30	0
ОТКЛ	0	11	31	0

Число дополнительных ветвей: 3

пар	узел-1	узел-2
0	2	3
0	3	4
0	3	10

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 5

Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (6.697 34.216)	Z2 (6.697 34.216)
I1 946 -79	I2 -946 -79

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

	I1			I2		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3
5-0	0	0	0	0	0	0
5-4	32.98	0	0	32.98	0	0
2-3	-948	-79	0	944	-79	0
3-4	32.98	0	0	32.98	0	0
3-10	319	-85	0	-310	-86	0
	56.97	2	0	9.32	10	0
	948	-79	0	-944	-79	0
	53.10	1	0	13.01	6	0
	-629	-76	0	638	-76	0
	53.10	1	0	13.01	6	0

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 4

Упа 114.30 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1 (4.175 33.734)	Z2 (4.175 33.734)
I1 970 -83	I2 -970 -83

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

	I1			I2		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3
4-3	-972	-83	0	968	-83	0
4-5	32.98	0	0	32.98	0	0
2-3	0	0	0	0	0	0
	32.98	0	0	32.98	0	0
	326	-89	0	-318	-90	0
	56.91	2	0	9.56	14	0

3-10	I1	-644	-80	I2	654	-80
	U1	52.94	2	U2	13.34	10

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА :

Число коммутаций: 3

код	пар	узел-1	узел-2	узел	комм.
ОТКЛ	0	1	29		0
ОТКЛ	0	9	30		0
ОТКЛ	0	11	31		0

Число дополнительных ветвей: 3

пар	узел-1	узел-2
0	2	3
0	3	4
0	3	10

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 5 Упа 114.20 0

суммарные величины в месте несимметрии

Z1	(6.697 34.216)	Z2	(6.697 34.216)
I1	946 -79	I2	-946 -79

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

5-0	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.98	0	U2	32.98	0
5-4	I1	-948	-79	I2	944	-79
	U1	32.98	0	U2	32.98	0
2-3	I1	319	-85	I2	-310	-86
	U1	56.97	2	U2	9.32	10
3-4	I1	948	-79	I2	-944	-79
	U1	53.10	1	U2	13.01	6
3-10	I1	-629	-76	I2	638	-76
	U1	53.10	1	U2	13.01	6

Вид КЗ 2

МЕСТО КЗ 4 Упа 114.30 0

суммарные величины в месте несимметрии

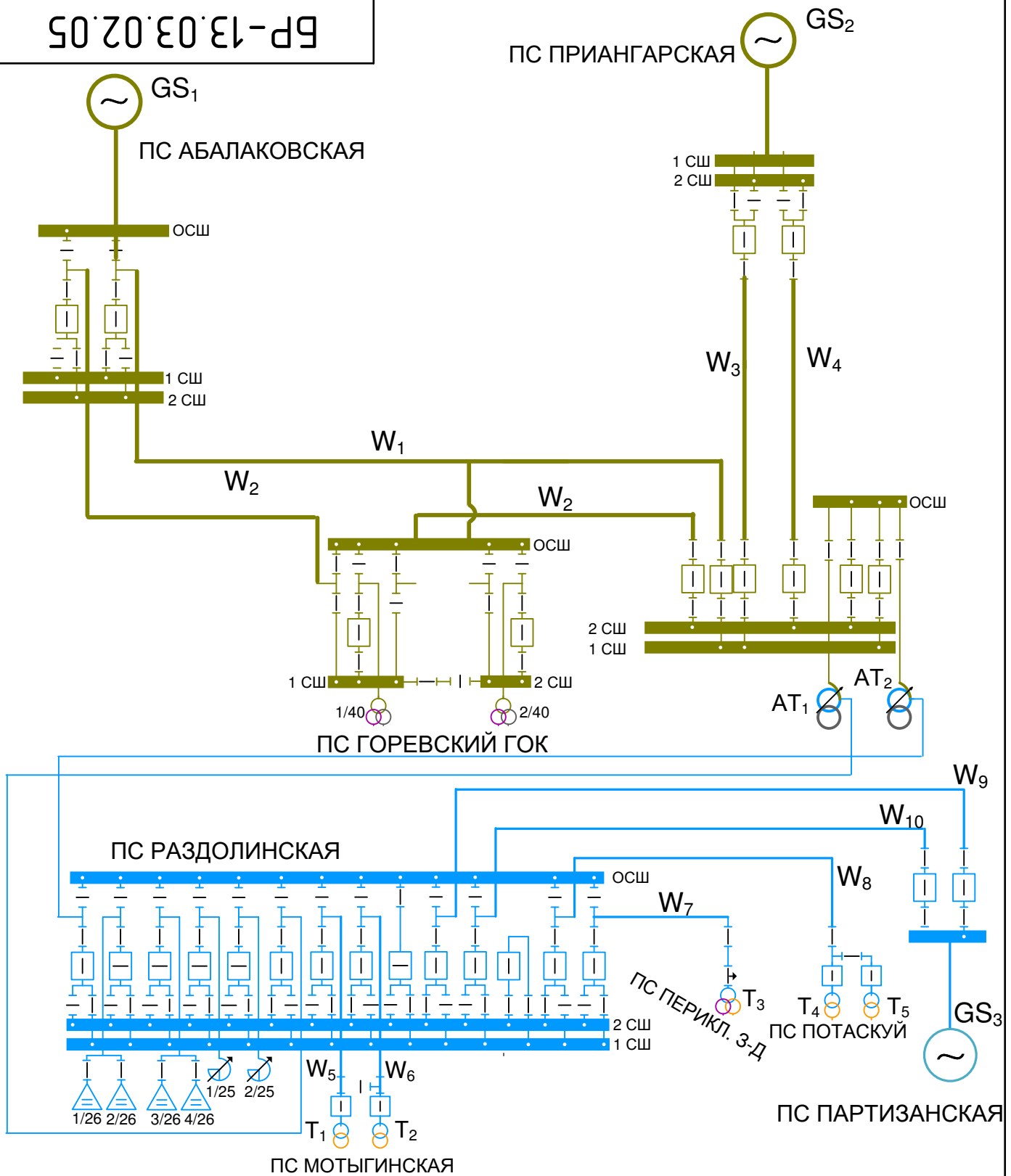
Z1	(4.175 33.734)	Z2	(4.175 33.734)
I1	970 -83	I2	-970 -83

ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

4-3	I1	-972	-83	I2	968	-83
	U1	32.98	0	U2	32.98	0
4-5	I1	0	0	I2	0	0
	U1	32.98	0	U2	32.98	0
2-3	I1	326	-89	I2	-318	-90
	U1	56.91	2	U2	9.56	14
3-10	I1	-644	-80	I2	654	-80
	U1	52.94	2	U2	13.34	10

***** 29 мая 2017 17 час 14 мин 14 сек *****

БР-13.03.02.05



Согласовано:

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

БР-13.03.02.05

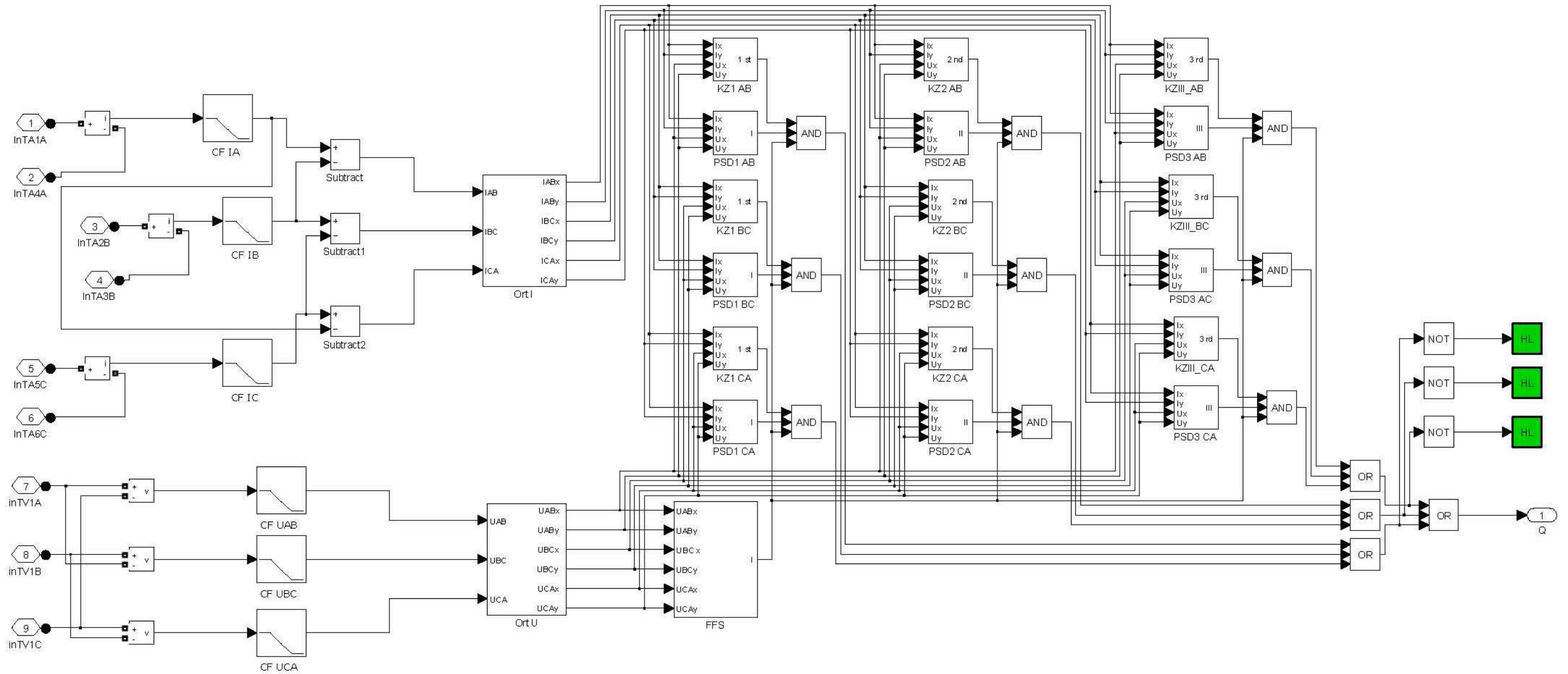
Принципиальная схема
электрической сети

Исследование микропроцессорных защит
трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на
станде ШЭ 2607 048

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 1		Листов 6

ЭСиЭЭС

Формат А4



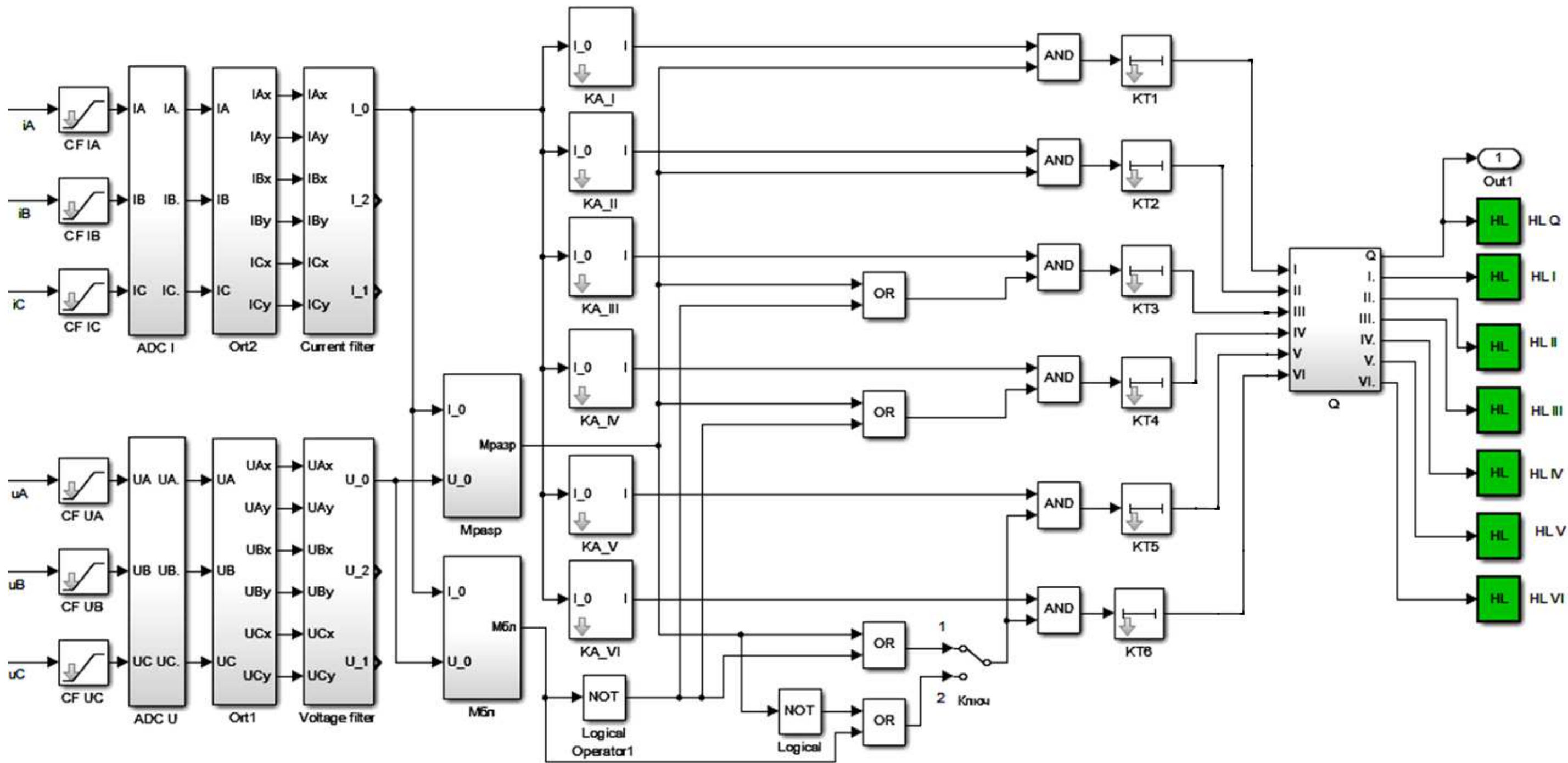
Согласовано:

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

					БР-13.03.02.05			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Функциональная схема дистанционной защиты в программе Matlab	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Е.В.Тарасов						1:1
Проб.		Ю.А.Ершов						
Т.контр.						Лист 3	Листов 6	
Н.контр.					Исследование микропроцессорных защит трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на стенде ШЗ 2607 048			
Утв.		И.В.Коваленко						



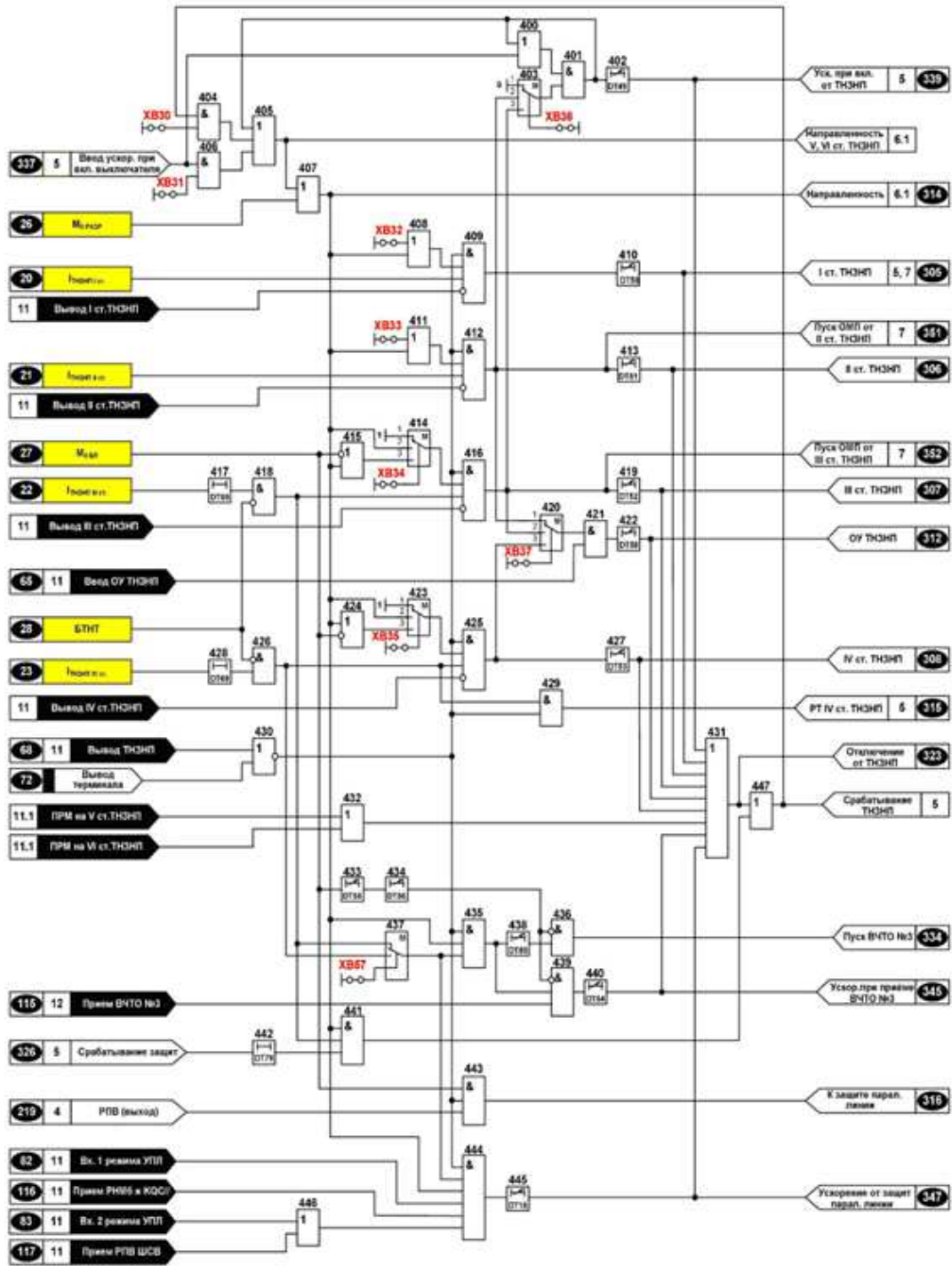
Согласовано:

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

					БР-13.03.02.05			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Функциональная схема ТЗНП в программе Matlab	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Е.В.Тарасов						1:1
Проб.		Ю.А.Ершов						
Т.контр.						Лист 4	Листов 6	
И.контр.					Исследование микропроцессорных защит трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на стенде ШЭ 2607 048			ЭСУЭЭС
Утв.		И.В.Коваленко						Формат А3



Согласовано:

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

БР-13.03.02.05

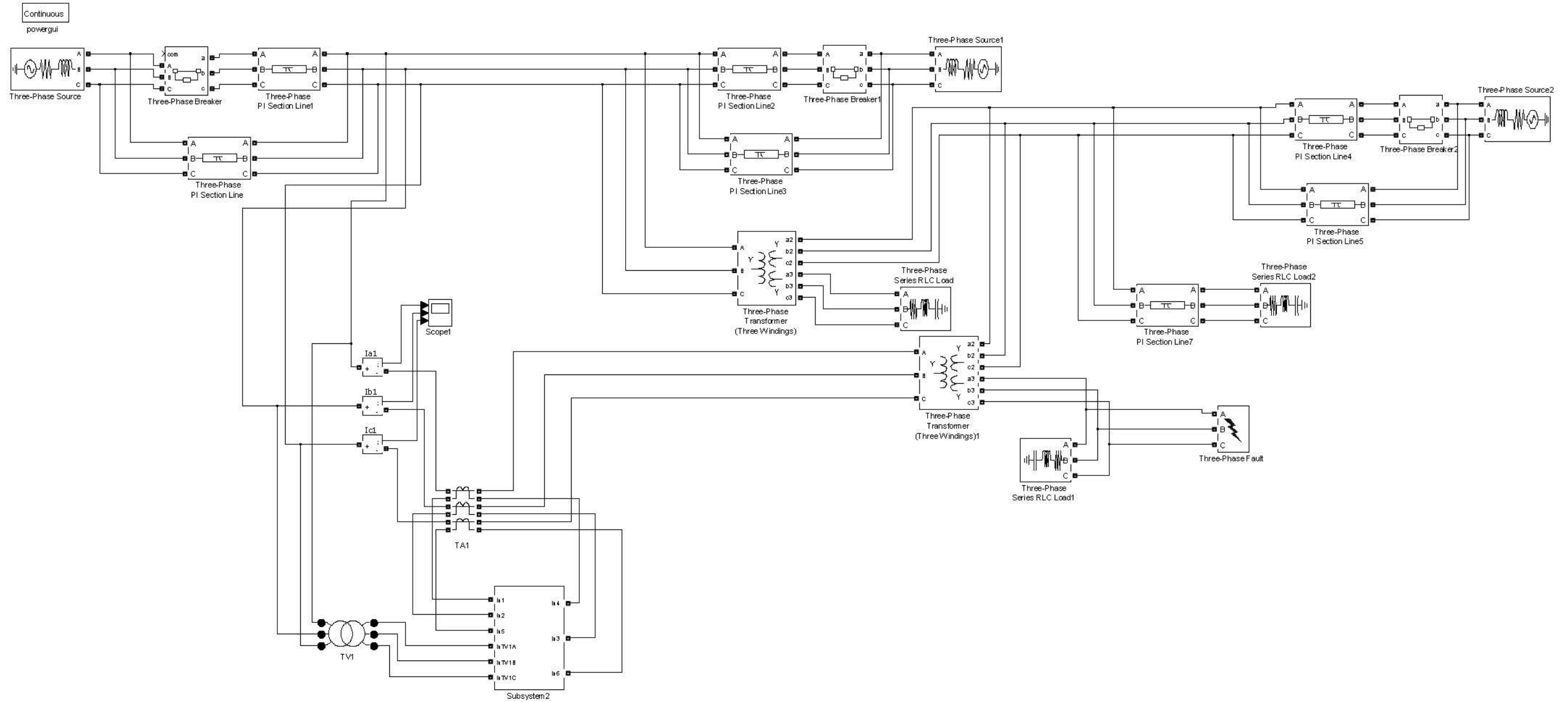
Функциональная схема
логической части ТЭЭП
терминала Б32704 016

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист 5		Листов 6

Исследование микропроцессорных защит трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на стенде ШЭ 2607 048

ЭСиЭЭС

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Е.В.Тарасов		
Пров.		Ю.А.Ершов		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		И.В.Коваленко		



Согласовано:

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

					БР-13.03.02.05			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Модель электрической сети в программе Matlab	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Е.В.Тарасов						1:1
Проб.		Ю.А.Ершов						
Т.контр.						Лист 6		Листов 6
Н.контр.					Исследование микропроцессорных защит трансформаторов от сверхтоков при внешних КЗ на стенде ШЗ 2607 048			ЭСУЭЭС
Утв.		И.В.Коваленко						Формат А3