

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет»  
(научно исследовательский университет)

Политехнический институт. Энергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции сети и системы электроснабжения»

ПРОВЕРЕНО

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Рецензент

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ /Ю.Е. Горшков/

\_\_\_\_\_ /И.М. Кирпичникова/

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Анализ работы релейной защиты при нетиповых коротких замыканиях на  
транзитных линиях электропередач 110–220 кВ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

ЮУрГУ– 13.04.02.2017.002 ПЗ ВКР

Руководитель

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ /А.Н. Андреев/

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Автор работы

Студент группы П-282

\_\_\_\_\_ /В.А. Бабенко/

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Нормоконтролер

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ /А.Н. Андреев/

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(Национальный исследовательский университет)  
Политехнический институт. Энергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»  
Направление 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующая кафедрой  
\_\_\_\_\_ /И.М. Кирпичникова/  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г

### ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу магистра

Бабенко Валерии Александровны

Группа П-282

1. Тема работы: Анализ работы релейной защиты при нетиповых коротких замыканиях на транзитных линиях электропередач 110-220 кВ.

утверждена приказом по университету от 28 апреля 2017 г. № 835, Приложение №27

2. Срок сдачи магистром законченной работы « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

3. Исходные данные к работе:

– специальная и научная и справочная литература;

– государственные стандарты;

– стандарты организаций;

– руководящие указания;

– методические указания;

–СТО ЮУрГУ 04–2013 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование.

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

1 Анализ количества аварийных отключений транзитных ЛЭП 110–220 кВ энергосистемы челябинской области.

2 Анализ осциллограмм нетиповых коротких замыканий.

3 Количественный анализ типов исполнения устройств релейной защиты транзитных ЛЭП 110–220 кВ энергосистемы челябинской области.

4 Анализ работы ДФЗ-201 при нетиповых коротких замыканиях.

5. Анализ работы ЭПЗ-1636 при нетиповых коротких замыканиях.

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, плакатов в листах формата А1)

Осциллограммы затухающих коротких замыканий

Осциллограмма видоизменяющегося короткого замыкания

Осциллограмма с обрывом

Осциллограмма короткого замыкания на двухцепной ЛЭП

Презентация по материалам исследования

Всего 25 листов

6. Дата выдачи задания « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

Руководитель \_\_\_\_\_ /А.Н. Андреев/

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ /В.А. Бабенко/

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы (проекта)	Срок выполнения этапов работы (проекта)	Отметка о выполнении руководителя
1 Проведение анализа аварийных отключений транзитных линий электропередач 110–220 кВ.	10.04.2017	
2 Изучение осциллограмм нетиповых коротких замыканий.	01.05.2017	
3 Проведение количественного анализа типов исполнения устройств релейной защиты.	08.05.2017	
4 Исследование работы устройств релейной защиты	15.05.2017	
5 Оформление пояснительной записки	01.06.2017	
6 Подготовка презентации дипломной работы	13.06.2017	

Заведующая кафедрой \_\_\_\_\_ /И.М. Кирпичникова/

Руководитель работы \_\_\_\_\_ /А.Н.Андреев/

Студент \_\_\_\_\_ /В.А.Бабенко/

## АННОТАЦИЯ

Бабенко В.А. – Анализ работы релейной защиты при нетиповых коротких замыканиях на транзитных линиях 110–220 кВ – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ, 2017, 80 страниц, 19 иллюстраций, 2 таблицы, библиографический список – 14 наименований.

Целью выпускной квалификационной работы является изучение и анализ работы основных и резервных защит, установленных на транзитных линиях электропередач 110-220 кВ Челябинской области при нетиповых коротких замыканиях.

В работе произведен подсчет количества отключений релейной защитой коротких замыканий на транзитных ЛЭП 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области в период с 2015 по 2016 гг., а также, подсчет количества нетиповых коротких замыканий за данный период.

Произведен анализ осциллограмм случаев возникновения нетиповых КЗ в энергосистеме Челябинской области за 2015–2016 гг. Анализ выполнен в интерфейсе пользователя автономных регистраторов аварийных событий типа «АУРА» и «НЕВА».

Изучено и проанализировано количество установленных основных, резервных защит на транзитных линиях электропередач 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области.

Выполнен анализ принципа действия и особенностей функционирования дифференциально-фазной защиты ЛЭП типа ДФЗ-201 и резервной защиты ЛЭП типа ЭПЗ-1636 при нетиповых коротких замыканиях. Выявлены положительные и отрицательные стороны данных защит, на основании которых разработаны рекомендации по модернизации устройств релейной защиты в энергосистеме Челябинской области.

					<i>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Бабенко В.А.</i>				<i>Анализ работы релейной защиты при нетиповых коротких замыканиях на транзитных линиях электропередач 110–220 кВ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Андреев А.Н.</i>						<i>5</i>	<i>80</i>
<i>Рецен.</i>	<i>Горшков Ю.Е.</i>					<i>ЮУрГУ Кафедра ЭССиСЭ</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Андреев А.Н.</i>							
<i>Утв.</i>	<i>Кирличникова И.М.</i>							

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 АНАЛИЗ КОЛИЧЕСТВА АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ ТРАНЗИТНЫХ ЛЭП 110–220 КВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ	10
Выводы	13
2 АНАЛИЗ ОСЦИЛЛОГРАММ НЕТИПОВЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ	14
2.1 Анализ осциллограмм случаев с затухающими КЗ	14
2.2 Анализ осциллограммы случая с КЗ изменяющегося вида	15
2.3 Анализ осциллограммы случая обрыва токоведущего шлейфа ЛЭП	16
2.4 Анализ аварийной осциллограммы КЗ между цепями двухцепной ЛЭП	18
Выводы	19
3 КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ТИПОВ ИСПОЛНЕНИЯ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНЗИТНЫХ ЛЭП 110–220 КВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ	20
3.1 Количественный анализ типов исполнения основных защит	20
3.1.1 Устройства ДФЗ	21
3.1.2 Устройства НВЧЗ	21
3.1.3 Устройства ВЧБ ДЗ и ТЗНП	21
3.1.4 Устройства продольной ДЗЛ	22
3.2 Количественный анализ типов исполнения резервных защит	23
3.2.1 Электромеханические резервные защиты	24
3.2.2 Полупроводниковые (электронные) резервные защиты	24
3.2.3 Микропроцессорные резервные защиты	24
Выводы	25
4 АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЯ ДФЗ-201 ПРИ НЕТИПОВЫХ КЗ	26
4.1. Принцип действия	26
4.2. Анализ логики работы	27
4.3 Анализ действия при затухающих и видоизменяющихся КЗ	32
4.4 Анализ действия при КЗ с обрывом токоведущего шлейфа ЛЭП	32
4.5 Анализ действия при КЗ между цепями двухцепной ЛЭП	34

Выводы	38
5 АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЯ ЭПЗ-1636 ПРИ НЕТИПОВЫХ КЗ	41
5.1 Функциональный состав панели ЭПЗ-1636 и особенности ее функционирования	41
5.2 Анализ действия при затухающих КЗ	44
5.3 Анализ действия при КЗ с обрывом токоведущего шлейфа ЛЭП	45
5.4 Анализ действия при видоизменяющихся КЗ	45
5.5 Анализ действия при КЗ между цепями двухцепной ЛЭП	48
Выводы	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	54
ПРИЛОЖЕНИЯ	55
ПРИЛОЖЕНИЕ А ОСЦИЛЛОГРАММЫ ЗАТУХАЮЩИХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ	56
ПРИЛОЖЕНИЕ Б ОСЦИЛЛОГРАММА ВИДОИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	58
ПРИЛОЖЕНИЕ В ОСЦИЛЛОГРАММА С ОБРЫВОМ	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Г ОСЦИЛЛОГРАММА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ДВУХЦЕПНОЙ ЛЭП	60
ПРИЛОЖЕНИЕ Д ПРЕЗЕНТАЦИЯ ПО МАТЕРИАЛАМ РАБОТЫ	61

## ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетический комплекс Челябинской области включает в себя 19 линий электропередач напряжением 500 кВ, 63 линии электропередач напряжением 220 кВ, 337 линий электропередач напряжением 110 кВ, более 230 электрических станций и подстанций с распределительным устройством высшего напряжения класса 110–500 кВ.

Суммарная мощность трансформаторного оборудования вышеуказанных объектов электроэнергетики составляет более 35 000 МВА.

Суммарная установленная электрическая мощность вышеуказанных электростанций составляет более 6 000 МВт. Наиболее крупными из них являются Троицкая ГРЭС ПАО «ОГК-2», Южноуральская ГРЭС-2 и Южноуральская ГРЭС АО «Интер РАО – Электрогенерация», Челябинская ТЭЦ-3 и Челябинская ГРЭС Филиала ОАО «Фортум» Энергосистема «Урал».[1]

Исходя из масштабов электроэнергетического комплекса энергосистемы Челябинской области, анализ накопленной информации об аварийных отключениях транзитных ЛЭП 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области является актуальным в рамках исследования особенностей функционирования устройств релейной защиты сетей 110–220 кВ Единой энергосистемы Российской Федерации.

Комплексной информацией о функционировании устройств релейной защиты при коротких замыканиях на транзитных ЛЭП 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области располагает Филиал АО «СО ЕЭС» «Региональное диспетчерское управление энергосистемы Челябинской области» (далее – ЧРДУ), осуществляющий функции оперативно-диспетчерского управления энергосистемой Челябинской области.



Целью данной работы является изучение и анализ работы основных и резервных защит, установленных на транзитных линиях электропередач 110–220 кВ Челябинской области, при нетиповых коротких замыканиях.

Для достижения указанной цели определены основные задачи:

1. Определение частоты возникновения нетиповых коротких замыканий на транзитных ЛЭП 110–220 кВ.
2. Анализ особенностей протекания процессов нетиповых КЗ на основе осциллограмм произошедших событий.
3. Определение наиболее распространенных типов исполнения основных и резервных защит на транзитных линиях электропередач 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области.
4. Анализ принципа действия и особенностей функционирования принятых для исследования типов исполнения основных и резервных защит при нетиповых коротких замыканиях. Выявления принципиальных недостатков.
5. Разработка рекомендаций по модернизации устройств РЗ энергосистемы Челябинской области, направленных на повышение функционирования энергоузлов 110–220 кВ при отключениях нетиповых коротких замыканий.

# 1 АНАЛИЗ КОЛИЧЕСТВА АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ ТРАНЗИТНЫХ ЛЭП 110–220 КВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Для осуществления вышеуказанного анализа в качестве источника исходных данных примем журналы аварийных отключений в операционной зоне ЧРДУ за 2015, 2016 годы.

В таблицах 1.1 и 1.2 представлено количество транзитных ЛЭП 110–220 кВ, отключенных действием РЗ при КЗ, за период с начала 2015 года по конец 2016 года.

Таблица 1.1 – Количество транзитных ЛЭП 110–220 кВ, отключенных действием РЗ при КЗ, за 2015 год (по месяцам)

Месяц	ВЛ 110 кВ	ВЛ 220 кВ	КВЛ 110 кВ	КВЛ 220 кВ	Всего
Январь	5	–	–	–	5
Февраль	8	–	–	–	8
Март	4	2	1	–	7
Апрель	27	2	–	–	29
Май	85	6	2	–	93
Июнь	131	7	6	–	144
Июль	60	3	4	–	67
Август	40	2	–	–	42
Сентябрь	28	2	–	1	31
Октябрь	13	2	–	–	15
Ноябрь	21	–	–	1	22
Декабрь	11	–	1	–	12
Итого	433	26	14	2	475

Из них количество ЛЭП, отключенных при нетиповых КЗ (по видам КЗ):

- при КЗ с обрывом токоведущего шлейфа ЛЭП – 4 шт;
- при затухающих КЗ – 6 шт;
- при КЗ изменяющегося вида – 4 шт;
- при КЗ с перекрытием изоляции между цепями двухцепной ЛЭП – 11×2 шт.

Общее количество транзитных ЛЭП 110–220 кВ, отключенных при нетиповых КЗ, за 2015 год составило 36 шт. (8% от общего числа отключений вышеуказанных ЛЭП за 2015 г.).

Таблица 1.2 – Количество транзитных ЛЭП 110–220 кВ, отключенных действием РЗ при КЗ, за 2016 год (по месяцам)

Месяц	ВЛ 110 кВ	ВЛ 220 кВ	КВЛ 110 кВ	КВЛ 220 кВ	Всего
Январь	8	–	–	–	8
Февраль	8	–	–	–	8
Март	15	–	2	–	17
Апрель	21	2	2	–	25
Май	56	4	–	–	60
Июнь	44	6	1	–	51
Июль	50	3	–	–	53
Август	88	3	4	–	5
Сентябрь	41	6	1	–	48
Октябрь	10	–	–	–	10
Ноябрь	10	5	–	–	15
Декабрь	8	–	–	–	8
Итого	359	29	10	0	398

Из них количество ЛЭП, отключенных при нетиповых КЗ (по видам КЗ):

- при КЗ с обрывом токоведущего шлейфа ЛЭП – 14 шт;
- при затухающих КЗ – 3 шт;
- при КЗ изменяющегося вида – 3 шт;
- при КЗ с перекрытием изоляции между цепями двухцепной ЛЭП – 8×2 шт.

Общее количество транзитных ЛЭП 110–220 кВ, отключенных при нетиповых КЗ, за 2016 год составило 36 шт. (9% от общего числа отключений вышеуказанных ЛЭП за 2016 г.).

Суммарное количество транзитных ЛЭП 110–220 кВ, отключенных действием РЗ при КЗ, за 2015 и 2016 гг. составило 873 шт. Из них 8,5 % ЛЭП были отключены вследствие возникновения нетипового КЗ. Соотношение отражено на рисунке 1.1.

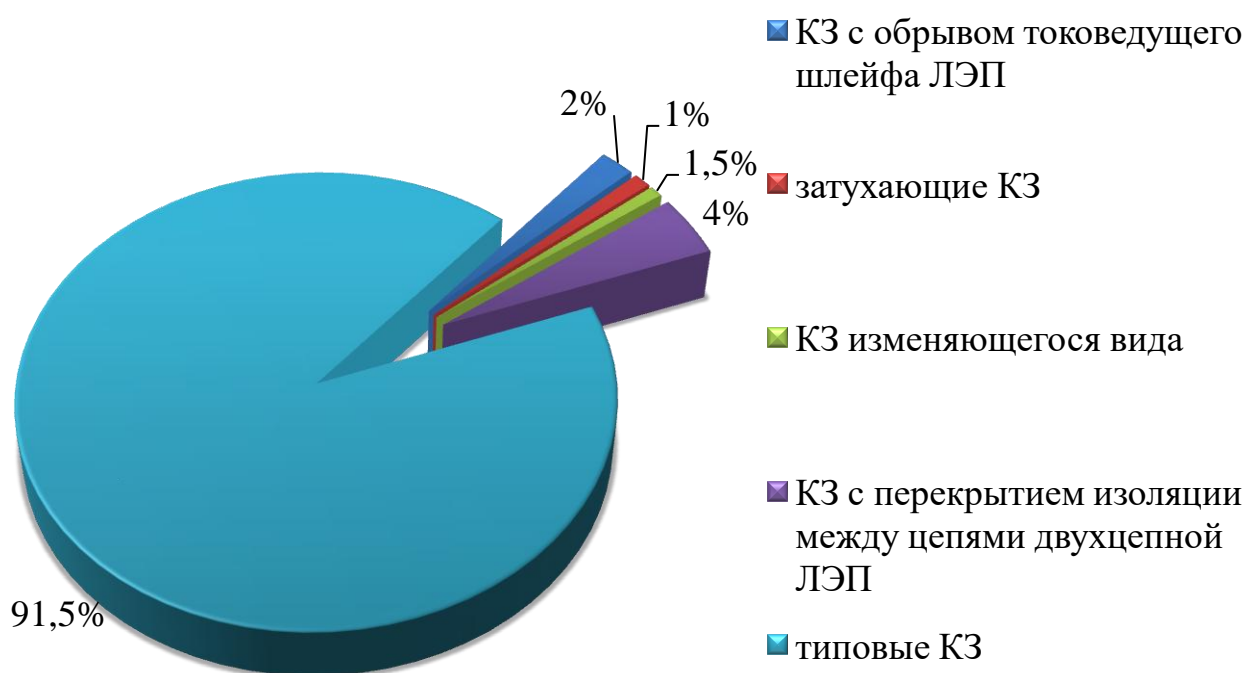


Рисунок 1.1 – Процентное соотношение типовых и нетиповых коротких замыканий.

## Выводы

1. Выполнение технических требований, предъявляемых к составу и особенностям функционирования устройств РЗ транзитных ЛЭП 110–220 кВ, является одним из ключевых факторов, влияющих на надежность функционирования энергоузлов 110–220 кВ.

2. Вышеуказанные технические требования к устройствам РЗ целесообразно формировать с учетом возможности возникновения нетиповых КЗ рассмотренных в данной работе видов.

3. Вышеуказанный учет следует производить на основании результатов подробного анализа функционирования существующих устройств РЗ транзитных ЛЭП 110–220 кВ при нетиповых КЗ в сетях 110–220 кВ.

					<i>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>Недокум</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дат</i>		13

## 2 АНАЛИЗ ОСЦИЛЛОГРАММ НЕТИПОВЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

В данном разделе проведен анализ наиболее показательных осциллограмм аварийных событий, связанных с отключением транзитных ЛЭП 110 кВ.

### 2.1 Анализ осциллограмм случаев с затухающими КЗ

Согласно базе аварийных осциллограмм ЧРДУ за период с 2015 по 2016 гг., затухающие КЗ, возникающие на транзитных ЛЭП 110 кВ, как правило, являются однофазными и далеко не всегда сопровождаются протеканием токов КЗ значительной величины.

На рисунке А.1 (приложение А) показана аварийная осциллограмма отключения однофазного затухающего КЗ на ВЛ 110 кВ Миасс – Курортная, произошедшего 06.06.2015г. в 12-42 по местному времени. Осциллограмма записана регистратором аварийных событий типа «АУРА», установленным на ПС 110 кВ Миасс. Схемно-режимные особенности: ВЧБ ВЛ 110 кВ Миасс – Курортная выведена в проверку, на ПС 110 кВ Миасс данная ВЛ включена через ОВ 110 кВ.

Согласно рисунку (см. приложение А, рисунок А.1), отключение данной ВЛ со стороны ПС 110 кВ Миасс происходит с выдержкой времени 4 ступени ТЗНП ЭПЗ-1636 ОВ 110 кВ. Причем, на момент отключения величина ЗИО со стороны ПС 110 кВ Миасс не превышает 770 А. Отключение данной ВЛ со стороны ПС 110 кВ Курортная не происходит вообще в силу исчезновения тока КЗ через 0,2 с после отключения ОВ 110 кВ на ПС 110 кВ Миасс (см. напряжение нулевой последовательности на шинах 110 кВ ПС 110 кВ Миасс). Несрабатывание более быстрых ступеней ТЗНП ВЛ при данном КЗ объясняется значительным уменьшением тока КЗ в процессе затухания.

На рисунке А.2 (см. приложение А) показана аварийная осциллограмма отключения однофазного затухающего КЗ на ВЛ 110 кВ Иремель – Уйская, произошедшего 06.06.2015г. в 11-47 по местному времени. Осциллограмма записана регистратором аварийных событий типа «АУРА», установленным на ПС 110 кВ Уйская. Схемно-режимные особенности: основная защита на ВЛ 110 кВ Иремель – Уйская не предусмотрена.

Отключение данной ВЛ со стороны ПС 110 кВ Иремель произошло действием 1 ступени ТЗНП без выдержки времени (на осциллограмме явным образом это не обнаруживается). Отключение КЗ со стороны ПС 110 кВ Уйская не произошло вообще в силу незначительности величины тока КЗ (изначальная величина  $3I_0$  не более 750 А) и дальнейшего его затухания вплоть до полного исчезновения.

## 2.2 Анализ осциллограммы случая с КЗ изменяющегося вида

Изменение вида КЗ, как правило, происходит в случае отключения КЗ с выдержками времени, то есть при отсутствии на ЛЭП основной защиты и удаленности места КЗ по отношению к рассматриваемому комплекту резервных защит.

На рисунке Б1 (приложение Б) показана аварийная осциллограмма отключения КЗ изменяющегося вида на транзите 110 кВ Миасс – Тургояк-т – Хребет-т – Таганай-т, произошедшего 02.06.2015г. в 06-19 по местному времени. Осциллограмма записана регистратором аварийных событий типа «АУРА», установленным на ПС 110 кВ Миасс. Схемно-режимные особенности: на ПС 110 кВ Хребет-т защиты ВЛ 110 кВ не предусмотрены, РУ 110 кВ данной ПС защищается устройствами РЗ ВЛ 110 кВ, установленными на смежных ПС.

Согласно рисунку (см. приложение Б, рисунок Б.1), изначально КЗ было однофазным, затем перешло в двухфазное на землю, а потом в двухфазное. Полное время существования КЗ составило 3,15 с. Согласно расчетам места КЗ и

результатам обхода поврежденной ВЛ персоналом сетевой организации, КЗ возникло на участке Таганай-т – Хребет-т.

Отключение транзита со стороны ПС 110 кВ Таганай-т произошло спустя 0,2 с после возникновения КЗ действием 1 ступени ТЗНП ВЛ 110 кВ Таганай-т – Хребет-т – Тургояк-т с выдержкой времени 0,1 с, что четко прослеживается на осциллограмме по набросу токов нулевой последовательности со стороны ПС 110 кВ Миасс. Отключение транзита со стороны ПС 110 кВ Тургояк-т не произошло из-за отказа ВЧБ и ДЗ ВЛ 110 кВ Таганай-т – Хребет-т – Тургояк-т на данной ПС, что привело к срабатыванию 2 ступени ДЗ ВЛ 110 кВ Миасс – Тургояк-т на ПС 110 кВ Миасс и дальнейшему погашению ПС 110 кВ Тургояк-т и Хребет-т.

### 2.3 Анализ осциллограммы случая обрыва токоведущего шлейфа ЛЭП

Обрыв токоведущего шлейфа ЛЭП происходит при длительном протекании по ЛЭП значительных токов нагрузки или токов КЗ, отключаемых с выдержками времени резервных ступеней ДЗ или ТЗНП. Причиной обрыва является повышенное сопротивление контактов в схеме соединения данного шлейфа с фазами ЛЭП. Пояснительная иллюстрация приведена на рисунке 2.1.

На рисунке В.1 (приложение В) показана осциллограмма случая обрыва токоведущего шлейфа ВЛ 110 кВ Челябинская ТЭЦ-1 – Чурилово-т – Гусеничная-т на участке Челябинская – ТЭЦ-1 – Чурилово-т, произошедшего 29.05.2015г. в 21-40 по местному времени. Осциллограмма записана регистратором аварийных событий типа «НЕВА», установленным на Челябинской ТЭЦ-1.

Согласно рисунку (см. приложение В, рисунок В.1), обрыв шлейфа фазы «В» происходит вследствие протекания по ЛЭП тока нагрузки величиной 250 А, которая не является перегрузочной для проводов рассматриваемой ЛЭП: согласно [2] для провода марки АС-185/29, находящегося вне помещения, при



температуре наружного воздуха +25 гр. по Цельсию допустимый длительный ток составляет 510 А.

В дальнейшем, обрыв шлейфа рассматриваемой ЛЭП приводит к возникновению КЗ сложной несимметрии – однофазному КЗ в сторону Челябинской ТЭЦ-1 с обрывом в сторону ПС 110 кВ Чурилово-т (на приведенной осциллограмме это событие не показано).

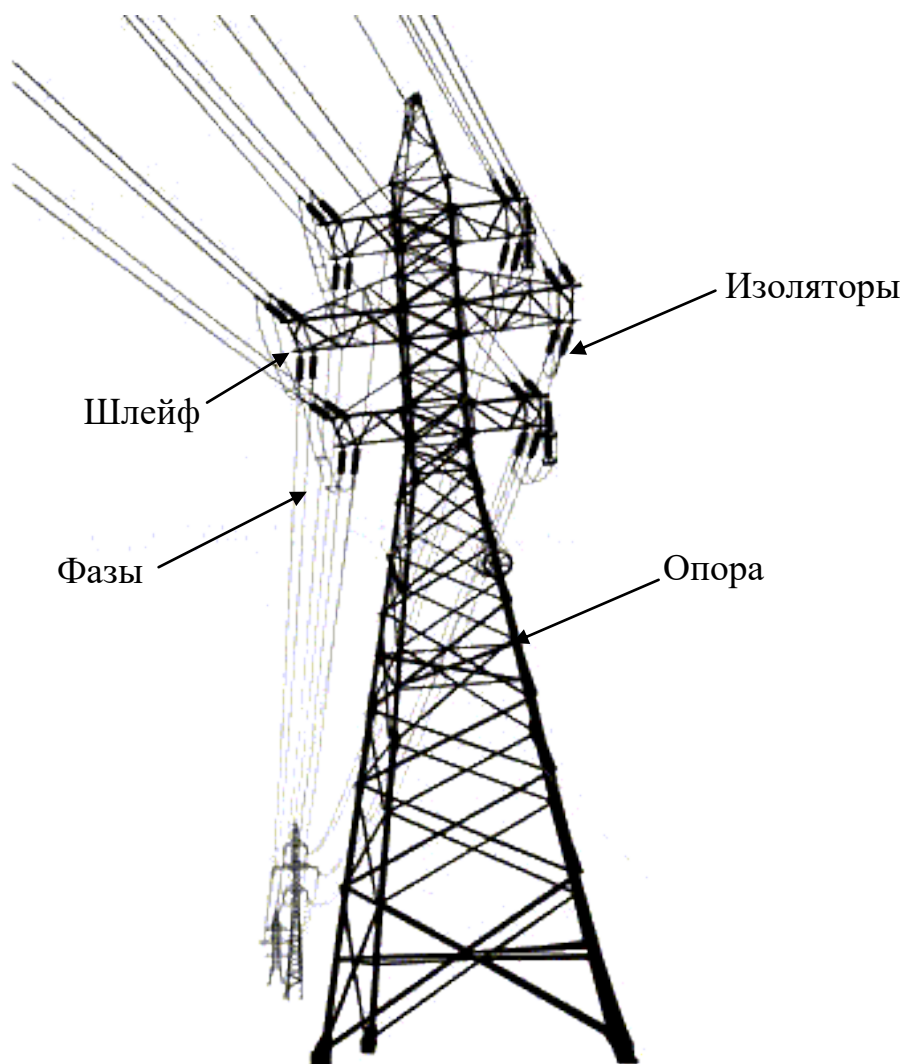


Рисунок 2.1– Пояснительная иллюстрация к п.2.3 (для ЛЭП 220 кВ с расщепленными фазами)

Изм.	Лист	Недокум	Подп.	Дат

ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР

Лист

17

## 2.4 Анализ аварийной осциллограммы КЗ между цепями двухцепной ЛЭП

КЗ между цепями двухцепной ЛЭП происходят по двум причинам:

1) в случае отключения КЗ на одной из цепей с выдержками времени, то есть при отсутствии на ЛЭП основной защиты и удаленности места КЗ по отношению к рассматриваемому комплекту резервных защит, вследствие чего происходит раздувание дуги и дальнейший ее переброс на параллельную цепь;

2) вследствие грозового импульса перенапряжения, пробивающего изоляцию между фазами обеих цепей ЛЭП;

3) при схлестывании фаз цепей ЛЭП.

На рисунке Г.1 ( приложение Г) показана осциллограмма КЗ на двухцепном участке ВЛ 110 кВ Южноуральская ГРЭС – Таганай и ВЛ 110 кВ Таганай – Таганай-т, вызванная попаданием молнии в данный двухцепный участок. Событие произошло 20.06.2015 г. в 19-11 по местному времени. Осциллограмма записана регистратором аварийных событий типа «АУРА», установленным на ПС 110 кВ Таганай.

Согласно рисунку (см. приложение Г, рисунок Г.1), попадание молнии вызвало перекрытие изоляции между фазами «А», «С» ВЛ 110 кВ Южноуральская ГРЭС – Таганай и фазой «В» ВЛ 110 кВ Таганай – Таганай-т. Отключение ВЛ 110 кВ Южноуральская ГРЭС – Таганай со стороны ПС 110 кВ Таганай произошло действием 1 ступени ДЗ без выдержки времени спустя 66 мс с момента возникновения КЗ. Далее, спустя 22 мс происходит отключение ВЛ 110 кВ Южноуральская ГРЭС – Таганай действием ДФЗ со временем срабатывания 50 мс. При этом, происходит переброс дуги, в результате которого на ВЛ 110 кВ Таганай – Таганай-т существует КЗ вида «А-В-0». Отключение ВЛ 110 кВ Таганай – Таганай-т с обеих сторон ВЛ происходит действием ВЧБ со временем срабатывания порядка 0,25 с. Итого, полное время отключения КЗ со стороны ПС 110 кВ Таганай составляет 0,29 с.

Искаженность формы токов КЗ ВЛ 110 кВ Южноуральская ГРЭС – Таганай, показанных на осциллограмме, обусловлена тем, что датчики тока данной ВЛ регистратора аварийных событий подключены не к релейным, а к измеренческим обмоткам ТТ выключателя данной ВЛ.

## Выводы

1. Одной из главных причин существенного количества нетиповых КЗ является нарушение периодичности и качества выполнения ремонтов объектов электросетевого хозяйства (ЛЭП 110 кВ), а также технического обслуживания устройств РЗА ЛЭП 110 кВ, что показано на примере случая одновременного отказа на ПС 110 кВ Тургояк-т ВЧБ и ДЗ ВЛ 110 кВ Таганай-т – Хребет-т – Тургояк-т 02.06.2015г. (эксплуатирующая организация – Филиал ОАО «РЖД» ЮУЖД) или обрыва токоведущего шлейфа ВЛ 110 кВ Челябинская ТЭЦ-1 – Чурилово-т 29.05.2015г. при токе нагрузки в два раза меньшем предельно допустимого (эксплуатирующая организация Филиал ОАО «МРСК Урала» Челябэнерго).

2. Особенности отключения нетиповых КЗ накладывают дополнительные сложности при выполнении релейным персоналом служб РЗА и ЭТЛ диспетчерских центров, субъектов электроэнергетики и потребителей электроэнергии оперативного анализа аварийных событий, особенно, при отсутствии регистраторов аварийных событий на объектах электроэнергетики, непосредственно электрически связанных с аварийно отключенными ЛЭП.

### 3 КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ТИПОВ ИСПОЛНЕНИЯ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНЗИТНЫХ ЛЭП 110–220 КВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

#### 3.1 Количественный анализ типов исполнения основных защит транзитных линий электропередач 110–220 кВ

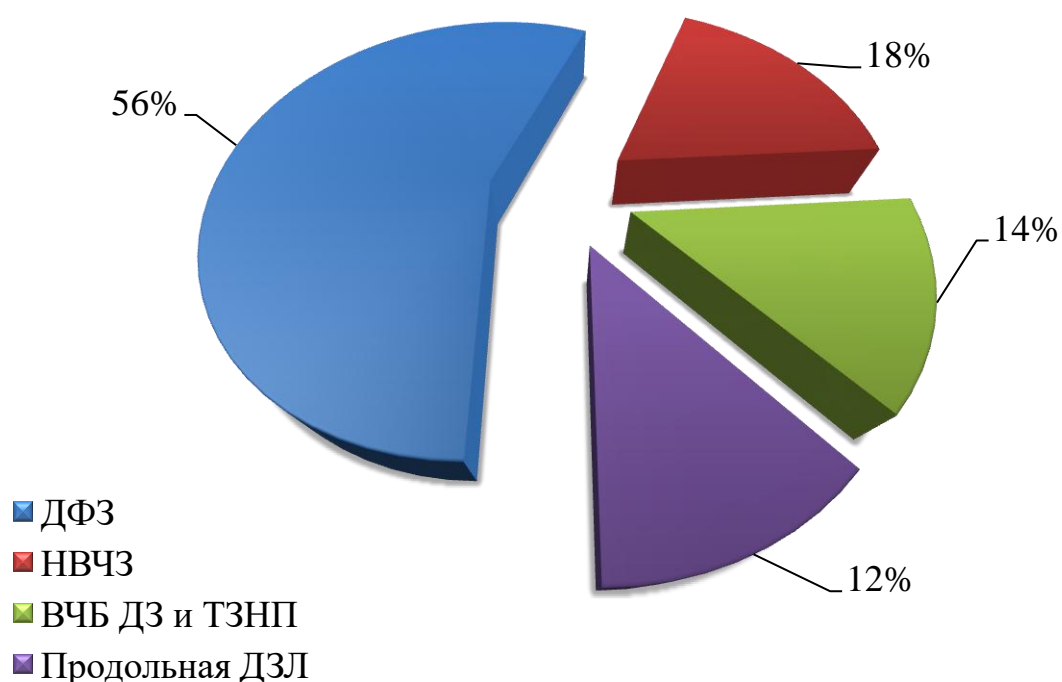


Рисунок 3.1 – Процентное распределение основных защит транзитных ЛЭП 110–220 кВ по функциональному типу (на март 2015 г.)

Примечание:

В рамках произведенного анализа телеускорение ДЗ и ТЗНП транзитных ЛЭП 110–220 кВ не рассматривалось, так как телеускорение ДЗ и ТЗНП устройством РЗА конструктивно не является.

Изм.	Лист	Недокум	Подп.	Дат
------	------	---------	-------	-----

ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР

Лист

20

### 3.1.1 Устройства ДФЗ

В энергосистеме Челябинской области на транзитных ЛЭП 110–220 кВ предусмотрены устройства ДФЗ следующих типов исполнения:

- 1) на электромеханической элементной базе – панели ДФЗ-2, ДФЗ-201;
- 2) на микропроцессорной элементной базе – шкафы (терминалы) ШЭ2607 08х, ШЛ 2604, L60, Micom P547 производителей НПП «ЭКРА», ООО «Релематика» (бывший ИЦ «Бреслер»), GE, AREVA.

### 3.1.2 Устройства НВЧЗ

В энергосистеме Челябинской области на транзитных ЛЭП 110–220 кВ предусмотрены устройства НВЧЗ следующих типов исполнения:

- 1) на полупроводниковой (электронной) элементной базе – панель ПДЭ-2802;
- 2) на микропроцессорной элементной базе – шкафы ШЭ2607 031, ШЛ 2607 производителей НПП «ЭКРА», ООО «Релематика» (бывший ИЦ «Бреслер»).

### 3.1.3 Устройства ВЧБ ДЗ и ТЗНП

В энергосистеме Челябинской области на транзитных ЛЭП 110–220 кВ предусмотрены устройства ВЧБ ДЗ и ТЗНП следующих типов исполнения:

- 1) на электромеханической элементной базе – панель ЭПЗ-1643 или сборная нетиповая панель;
- 2) на микропроцессорной элементной базе – шкаф ШЭ2607 085 с версией программного обеспечения для ВЧБ ДЗ и ТЗНП производителя НПП «ЭКРА».

Следует отметить, что панель (шкаф) ВЧБ ДЗ и ТЗНП не является функционально независимым устройством по отношению к комплекту резервных защит защищаемой ЛЭП, так как использует измерительный орган сопротивления и, в некоторых случаях, орган направления мощности нулевой

последовательности комплекта резервных защит данной ЛЭП. То есть, ВЧБ ДЗ и ТЗНП не обеспечивает функции ближнего резервирования РЗ и, более того, при выводе из работы сопряженного с ним комплекта резервных защит ЛЭП обязательно должна быть выведена из работы (со всех сторон защищаемой ЛЭП) во избежание излишних срабатываний.

### 3.1.4 Устройства продольной ДЗЛ

В энергосистеме Челябинской области на транзитных ЛЭП 110–220 кВ предусмотрены устройства продольной ДЗЛ следующих типов исполнения:

- 1) на электромеханической элементной базе – панели РДЛ, ДЗЛ-1, ДЗЛ-2;
- 2) на микропроцессорной элементной базе – шкафы (терминалы) ШЭ2607 09х, Micom P545 производителей НПП «ЭКРА», AREVA.

Следует отметить, что принцип действия и организация канала связи микропроцессорных устройств ДЗЛ совершенно отличается от принципа действия и организации канала связи продольной электромеханической ДЗЛ.

Полукомплект микропроцессорной ДЗЛ оперирует векторными величинами фазных токов каждого питающего конца защищаемой ЛЭП. В качестве канала связи микропроцессорная ДЗЛ, как правило, использует ВОЛС.

Полукомплект продольной электромеханической ДЗЛ оперирует величинами, пропорциональными векторной разности (при учете знака коэффициента фильтра токов прямой и обратной последовательности – векторной сумме) тока прямой и усиленного тока обратной последовательности защищаемой ЛЭП (величиной, полученной на данном конце ЛЭП, и векторной суммой величин, полученных со всех питающих концов ЛЭП). В качестве канала связи продольная электромеханическая ДЗЛ использует двухжильный контрольный кабель.

					<i>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>Недокум</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дат</i>		22

Исходя из рисунка 3.1, на март 2015 года наиболее распространенной основной защитой транзитных ЛЭП 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области является ДФЗ. Причем, самым распространенным типом исполнения ДФЗ является электромеханическая панель ДФЗ-201: число полукомплектов типа ДФЗ-201 составляет 47% от общего числа полукомплектов всех основных защит транзитных ЛЭП 110–220 кВ.

### 3.2 Количественный анализ типов исполнения резервных защит транзитных линий электропередач 110–220 кВ

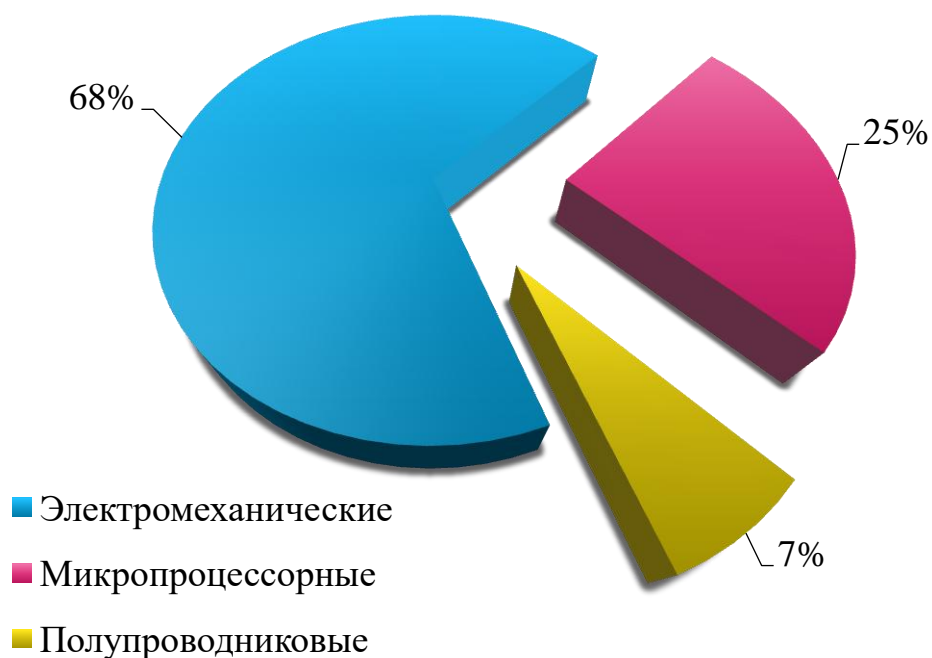


Рисунок 3.2 – Процентное распределение резервных защит транзитных ЛЭП 110–220 кВ (на март 2015 г.)

Примечание:

При отсутствии на транзитной ЛЭП 110 кВ защиты с абсолютной селективностью (значительное количество транзитных ЛЭП 110 кВ ей не оснащены) под резервной защитой транзитной ЛЭП 110 кВ в данной работе подразумевается комплект ступенчатых защит с функциями ДЗ, ТЗНП, МФТО без выдержки времени.

### 3.2.1 Электромеханические резервные защиты

В энергосистеме Челябинской области на транзитных ЛЭП 110–220 кВ предусмотрены электромеханические резервные защиты следующих типов исполнения:

- 1) панель ЭПЗ-1636;
- 2) панель ПЗ-2/2 с нетиповым комплектом токовых защит;
- 3) панель ПЗ-159В (159, 158, 157) с нетиповым комплектом токовых защит.

### 3.2.2 Полупроводниковые (электронные) резервные защиты

В энергосистеме Челябинской области на транзитных ЛЭП 110–220 кВ предусмотрены полупроводниковые (электронные) резервные защиты следующих типов исполнения:

- 1) шкаф ШДЭ-2801;
- 2) шкаф ШДЭ-2802 с двумя комплектами ступенчатых защит.

### 3.2.3 Микропроцессорные резервные защиты

В энергосистеме Челябинской области на транзитных ЛЭП 110–220 кВ предусмотрены микропроцессорные резервные защиты следующих типов исполнения:

- 1) шкафы ШЭ2607 011 (012,016,021,022), шкафы ШЭ2607 011xxx (021xxx,022xxx) с одним или двумя комплектами ступенчатых защит производителя НПП «ЭКРА»;
- 2) шкафы ШЛ 2606 производителя ООО «Релематика» (бывший ИЦ «Бреслер»);
- 3) терминалы D60 производителя GE;
- 4) терминалы Micom P437, Micom P443 производителя AREVA.



Следует отметить, что в современных микропроцессорных устройствах основных защит транзитных ЛЭП 110–220 кВ, как правило, предусматривается наличие функций ДЗ, ТЗНП и МФТО [3]. Использование данных функций в существующих микропроцессорных устройствах основных защит транзитных ЛЭП 110–220 кВ в данной работе не рассматривалось в силу того, что данные функции являются дополнительными, так как не обеспечивают ближнее резервирование основной защиты ЛЭП.

Исходя из рисунка 3.2, на март 2015 года наиболее распространенными среди резервных защит транзитных ЛЭП 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области являются резервные защиты на электромеханической элементной базе.

Причем, самым распространенным типом исполнения резервных защит является электромеханическая панель ЭПЗ-1636: число комплектов типа ЭПЗ-1636 составляет 54% от общего числа комплектов резервных защит транзитных линиях электропередач 110–220 кВ.

## Выводы

Выполнение анализа функционирования существующих устройств РЗ транзитных ЛЭП 110–220 кВ при нетиповых КЗ в сетях 110–220 кВ в большей степени целесообразно осуществлять по отношению к панелям ДФЗ-201 и ЭПЗ-1636, что обусловлено не только высокой степенью распространенности вышеуказанных устройств, но и тем фактом, что принцип построения функций РЗ в составе данных панелей является классическим (в рамках Единой энергосистемы Российской Федерации), поэтому изначально был использован в качестве базы при разработке микропроцессорных устройств отечественными производителями.

## 4 АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЯ ДФЗ-201 ПРИ НЕТИПОВЫХ КЗ

### 4.1. Принцип действия

ДФЗ действует по принципу сравнения фаз токов по концам защищаемой ЛЭП. Сравнение по фазе осуществляется для векторных величин, получаемых в полукомплектах ДФЗ путем векторной суммы (векторной разности – с учетом знака коэффициента фильтра) тока прямой и усиленного тока обратной последовательности, позволяя ДФЗ функционировать при всех видах коротких замыканий. Упрощенная схема подключения ДФЗ показана на рисунке 4.1 [5].

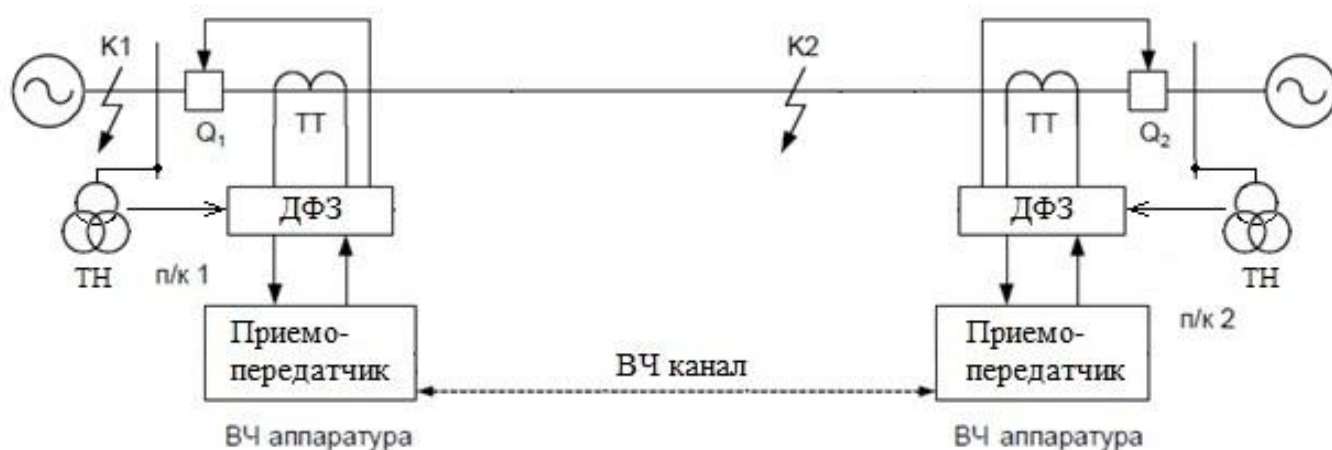


Рисунок 4.1 – Упрощенная схема подключения ДФЗ

Обмен информации между полукомплектами ДФЗ осуществляется через ВЧ канал связи ДФЗ, в состав которого входит ВЧ посты ДФЗ (приемопередатчики) и ВЧ тракт, организованный по схеме «фаза – земля».

## 4.2. Анализ логики работы

Функциональная схема логической части ДФЗ-201 представлена на рисунке 4.2. Согласно рисунку 4.2 в состав ДФЗ-201 входят два электромагнитных токовых реле 1.КА1, 1.КА2, включенные на ток фазы В; два электромагнитных поляризованных реле 1.КАЗ1, 1.КАЗ2, включенные на выпрямленную арифметическую сумму токов обратной и нулевой последовательности (эти реле являются частью фильтр-реле  $КАЗ_{2,0}$ ); направленное реле сопротивления КЗ, включенное на разность токов фазы А и С и соответственное напряжение. Ток обратной последовательности суммируется с током нулевой последовательности (при необходимости) для повышения чувствительности реле 1.КАЗ1, 1.КАЗ2 к КЗ на землю, правда, не исключается возможность их подключения только на ток обратной последовательности. Пуск защиты при симметричных КЗ производится реле 1.КА1, 1.КА2, КЗ. При несимметричных КЗ пуск защиты производится реле 1.КАЗ1, 1.КАЗ2. Более чувствительные реле 1.КА1, 1.КАЗ1 запускают ВЧ передатчик, а более грубые реле 1.КА2, 1.КАЗ2 и реле сопротивления КЗ подготавливают цепи отключения [5, 7].

Два пусковых реле одного типа (но разной чувствительности) предусматриваются для предотвращения возможного излишнего срабатывания защиты при внешних КЗ. При запуске только одного ВЧ передатчика в случае внешнего КЗ ВЧ сигнал в канале будет соответствовать рисунку 4.3 б (КЗ на защищаемой линии), поэтому при одном пусковом реле в каждом полукомплекте и срабатывании такого реле только на одном конце линии защита может сработать при внешнем КЗ [5]. При наличии двух реле разной чувствительности и одностороннем пуске ВЧ передатчика излишнее срабатывание не произойдет, если уставки пусковых и отключающих органов полукомплектов защиты согласованы между собой (в случае КЗ за спиной при срабатывании у одного из полукомплектов грубого реле обязательно должно сработать пусковое реле второго полукомплекта).

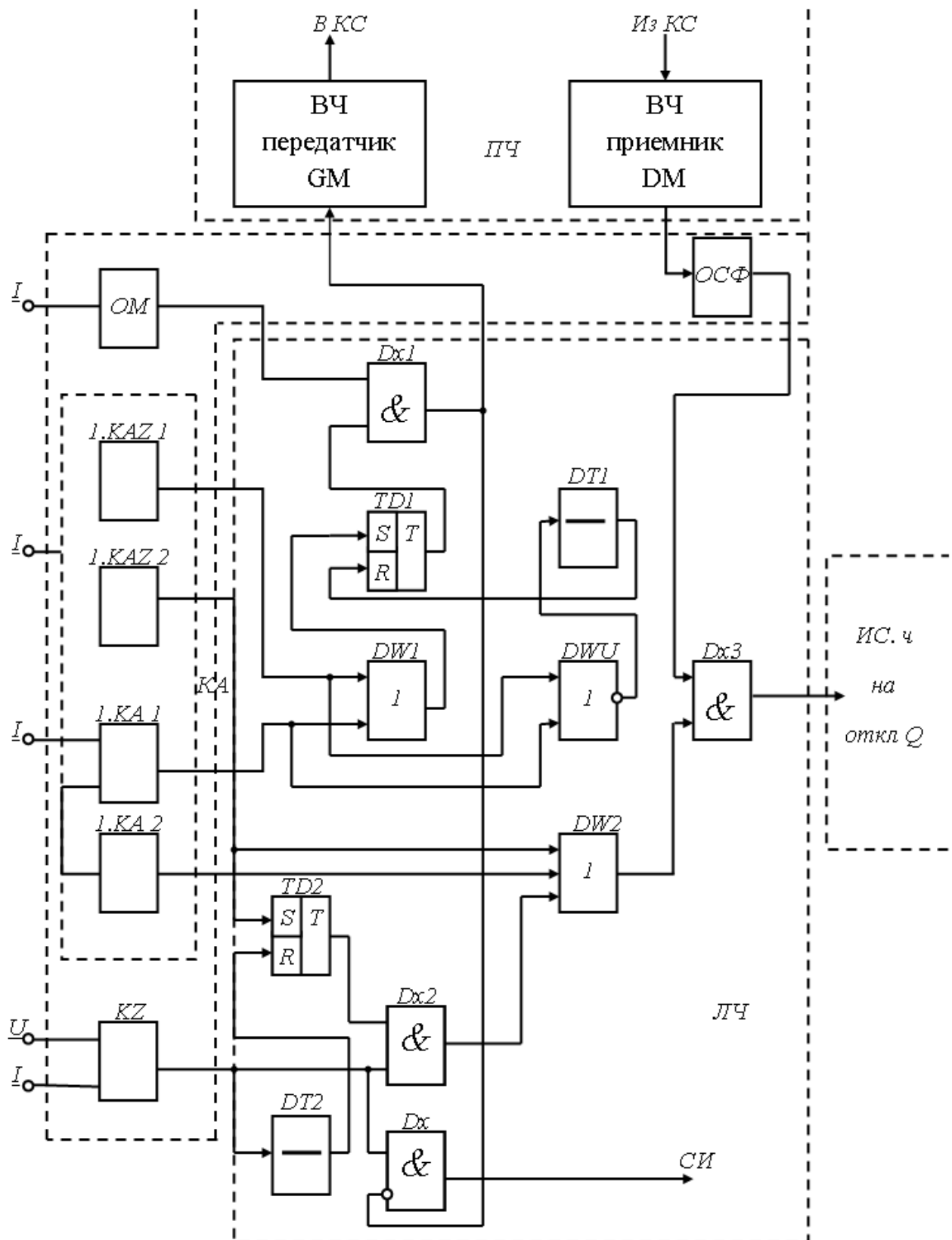
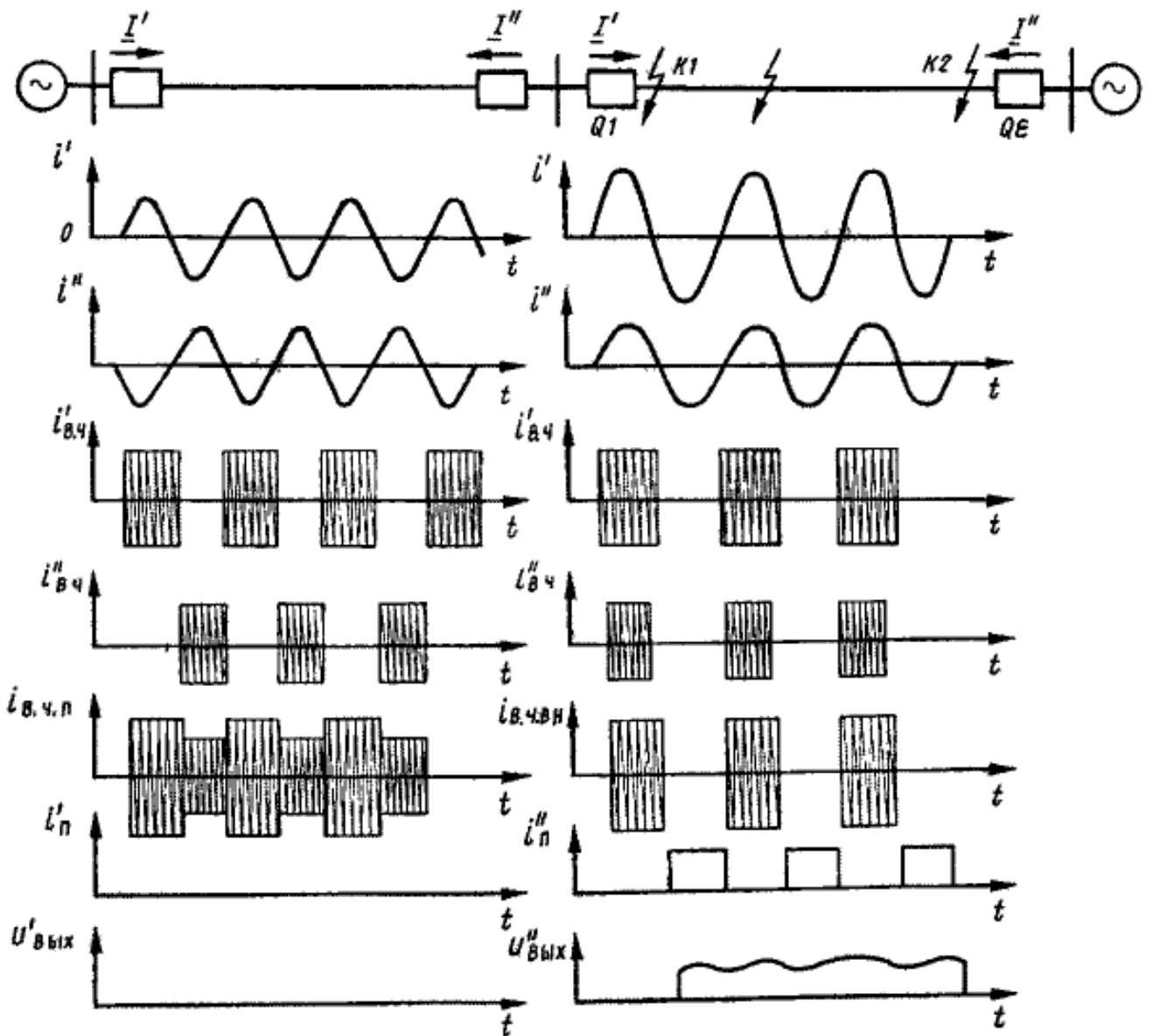


Рисунок 4.2 – Функциональная схема логической части ДФЗ-201



а

б

Рисунок 4.3 – Временные графики токов КЗ, ВЧ сигналов и выходных сигналов приемника и элемента сравнения фаз ДФЗ при внешнем КЗ (а) и при КЗ на защищаемой линии (б)

С другой стороны, согласно тому же рисунку 4.3 б, можно сделать вывод: для правильной работы ДФЗ при повреждении на линии сигналы удаленного передатчика не требуются (они необходимы только для обеспечения блокировки при внешних повреждениях). Этот принцип обеспечивает надежное действие

Изм.	Лист	Документ	Подп.	Дат
------	------	----------	-------	-----

защиты при повреждениях на линии, связанных с обрывом провода обработанной фазы и выходом из строя ВЧ тракта.

Реле сопротивления  $KZ$  предусмотрено для повышения надежности срабатывания защиты при трехфазных КЗ на линии с малым током КЗ, когда грубое реле 1.КА2, включенное на фазный ток, не срабатывает [5]. Однако в целях предотвращения срабатывания реле сопротивления при качаниях, подготовка цепей отключения с помощью  $KZ$  происходит только при наличии кратковременного срабатывания грубого реле 1.КАЗ2.

Это объясняется тем, что любое трехфазное КЗ образуется вследствие последовательного замыкания фаз, а любое включение линии на свершившееся КЗ сопровождается одновременным замыканием фаз выключателя. То есть переход от одного симметричного режима к другому всегда сопровождается наличием тока обратной последовательности в течение некоторого промежутка времени. Однако, возможны очень редкие случаи, когда выключатель замыкает свои контакты почти одновременно. В таком случае реле 1.КАЗ2 может не сработать. Этот случай маловероятен, так как поляризованные реле обладают высоким быстродействием по сравнению с обычной одновременностью включения фаз выключателей.

Согласно рисунку 4.3 нормальная работа ВЧ передатчика происходит после поступления сигнала пуска от пусковых органов и манипулируемого сигнала от органа манипуляции (ОМ) на логический элемент DX1. Обычно, под логическим элементом функциональной схемы электромеханической защиты подразумевается результат работы релейно-контактной схемы, подключенной к источнику питания оперативного тока. Однако, если изучить схему цепей оперативного тока, можно удостовериться, что реле, состояние которого непосредственно отвечало бы наличию сигнала на выводах ОМ, отсутствует [5, 7]. Орган манипуляции при наличии изменяющегося мгновенного тока во вторичной цепи ТТ всегда формирует на своих выводах какой-нибудь сигнал, но при незапущенном ВЧ передатчике это не играет никакой роли. То есть под

логическим элементом DX1 просто подразумевается тот факт, что нормальная работы ВЧ передатчика возможна только при пуске ВЧ передатчика и адекватной работе органа манипуляции. Так, при повреждении защищаемой линии, сопровождающимся протеканием очень малого тока, амплитуда выходного сигнала органа манипуляции может быть меньше пороговой величины, при достижении которой выходным сигналом ОМ ВЧ передатчик должен начинать (заканчивать) выдачу очередной пачки импульсов в канал. В таком случае ВЧ передатчик будет выдавать в канал сплошной высокочастотный сигнал, что приведет к отказу защиты.

Пуск передатчика при кратковременном срабатывании реле 1KAZ.1 обеспечивается с помощью временной памяти TD1 (время возврата элемента памяти после отпадания реле 1KAZ.1 составляет 0,5–0,6 с). При несимметричных КЗ пуск ВЧ передатчика осуществляется от выпрямленного напряжения, снимаемого с обмоток пусковых поляризованных реле (бесконтактный пуск), а при симметричном КЗ – от замыкания контактов токового реле 1.KA1 или специального промежуточного реле (при разрешении на отключение от KZ).

Останов ВЧ передатчика производится с некоторой задержкой DT1, которая обусловлена отпаданием якоря одного из промежуточных реле. Эта задержка предусмотрена для обеспечения селективности защиты при внешних повреждениях, так как после отключения внешнего КЗ релейно-контактные схемы полукомплектов вернутся в исходное состояние не сразу (если они были подготовлены к отключению), что может привести к излишнему срабатыванию защиты, так как ОСФ полукомплектов могут воспринять сигнал, обусловленный переходным процессом в фильтре присоединения, как свидетельство КЗ на защищаемой линии. [5, 6].

Элемент запрета DX предусмотрен для снятия сигнала информации о повреждениях в цепях напряжения, возникающего при излишнем (ложном) срабатывании реле KZ. Он снимается при пуске ВЧ передатчика, то есть при возникновении короткого замыкания.

Под логическим элементом ОСФ подразумевается результат работы поляризованного реле, которое входит в структуру органа сравнения фаз. Одна из его обмоток подключается на выпрямленный ток, величина которого, в конечном счете, зависит от ВЧ сигнала в канале, вторая обмотка подключается к цепям оперативного тока. Регулированием с помощью специальных резисторов величины падения напряжения на второй обмотке этого реле изменяют уставку угла блокировки защиты.

#### 4.3 Анализ действия при затухающих и видоизменяющихся КЗ

В силу того, что ДФЗ-201 является быстродействующей защитой (время срабатывания составляет 0,1 с), процессы затухания или изменения вида КЗ на защищаемой ДФЗ-201 ЛЭП, как правило, не наблюдаются.

#### 4.4 Анализ действия при КЗ с обрывом токоведущего шлейфа ЛЭП

В силу того, что обрыв токоведущего шлейфа ЛЭП, вызван длительным протеканием по ЛЭП токов повышенной величины (как правило, токов КЗ на данной ЛЭП или на смежном элементе сети, отключаемых с выдержками времени резервных ступеней ДЗ или ТЗНП), на момент обрыва шлейфа ВЧ посты полукомплектов ДФЗ-201 рассматриваемой ЛЭП оказываются запущенными.

Так как при наличии основной защиты на рассматриваемой ЛЭП КЗ на данной ЛЭП будут отключаться с выдержкой времени 0,1 с, появление в данном случае обрыва шлейфа следует считать маловероятным. Поэтому в данном пункте будем рассматривать случай появления обрыва шлейфа на ЛЭП при протекании токов внешнего короткого замыкания.

При возникновении обрыва шлейфа с одного конца защищаемой ЛЭП (с ПС «А») к месту повреждения будет протекать ток однофазного КЗ, с другого же



конца ЛЭП (с ПС «В») будет наблюдаться отсутствие тока или же наличие тока нагрузки (при наличии на ЛЭП отпайки) (см. рисунок 4.4).

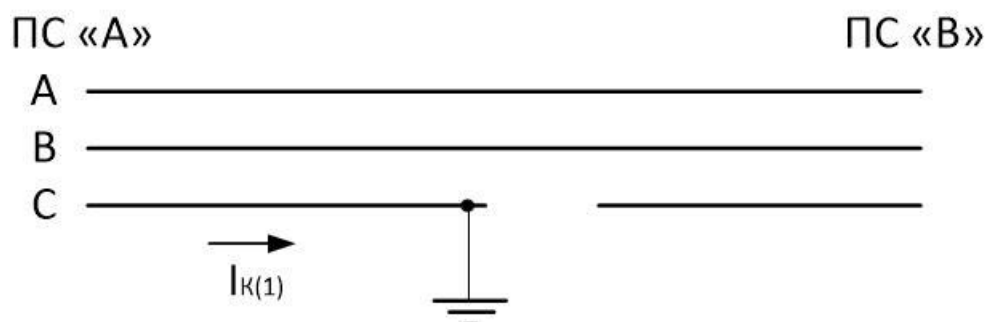


Рисунок 4.4 – КЗ с обрывом токоведущего шлейфа ЛЭП

Со стороны ПС «А» сработает отключающий орган 1.KAZ2, настроенный на ток обратной последовательности или на сумму токов обратной и нулевой последовательности, тем самым вызвав останов ВЧ поста полукомплекта ДФЗ-201, установленного на ПС «А».

Со стороны ПС «В», в силу отсутствия тока по ЛЭП (или его незначительности – при наличии отпайки), произойдет возврат пусковых органов полукомплекта ДФЗ-201 1.КА1, 1.KAZ1, что вызовет останов ВЧ поста только спустя 0,5–0,6 секунды после отпадания реле 1KAZ.1 (см. п.3.2 с анализом логики работы ДФЗ-201). Причем, в течение вышеуказанных 0,5–0,6 секунд ВЧ пост полукомплекта ДФЗ-201 на ПС «В» будет генерировать в ВЧ канал неманипулируемый ВЧ сигнал (из-за отсутствия значительного тока, протекающего по ЛЭП со стороны ПС «В»), тем самым блокируя полукомплект ДФЗ-201 на ПС «А» (см. п.3.2 с анализом логики работы ДФЗ-201).

В итоге, отключение ЛЭП стороны ПС «А» произойдет с выдержкой времени 0,6–0,7 секунды (с учетом времени срабатывания ДФЗ-201). Отключения ЛЭП со стороны ПС «В» не будет.

К недостаткам рассмотренного случая следует отнести:

1) возможность потери устойчивости генерирующего оборудования из-за повышенного времени отключения вышеуказанного КЗ;

2) возможность допущения ошибок при осуществлении оперативного анализа аварийных отключений ЛЭП в рассматриваемом энергоузле.

Следует отметить, что вышеуказанным недостатком (наличием значительной задержки в срабатывании полукомплекта на ПС «А») будут характеризоваться не только устройства ДФЗ-201, но и микропроцессорные устройства ДФЗ, построенные на аналогичном принципе манипуляции ВЧ сигналом по отношению к синусоиде входного напряжения органа манипуляции, а также устройства ВЧБ ДЗ и ТЗНП. Однако, устройства типов НВЧЗ или продольной ДЗЛ в рассмотренном случае сработают без каких-либо дополнительных задержек по времени.

#### 4.5 Анализ действия при КЗ между цепями двухцепной ЛЭП

Наиболее простым, и в то же время распространенным, видом сложносимметричного КЗ на двухцепной ЛЭП является КЗ с перекрытием изоляции между двумя фазами первой и второй цепей (см. рисунок 4.5).

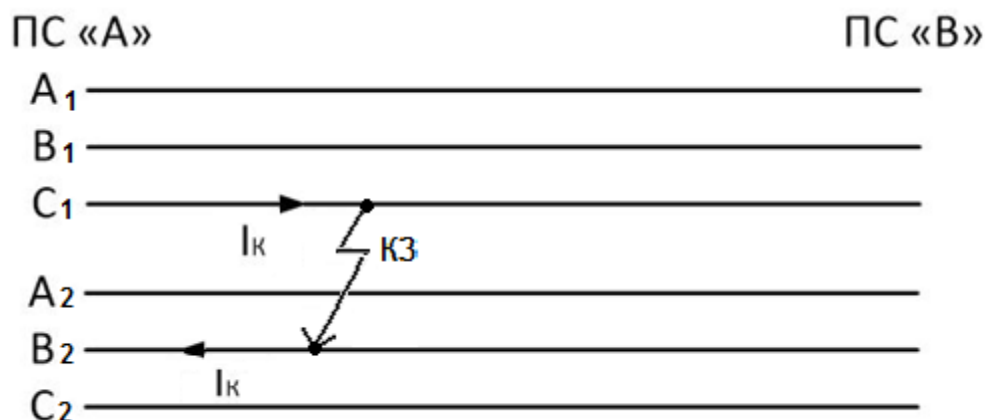


Рисунок 4.5 – КЗ на двухцепной ЛЭП вида «C<sub>1</sub>–B<sub>2</sub>»

Как указано в п.3.2, для срабатывания полукомплекта ДФЗ-201 необходимо срабатывание хотя бы одного из отключающих органов – реле сопротивления, включенного по схеме «С–А»; отключающего реле тока, включенного на ток фазы «В» или отключающего поляризованного реле, включенного на ток обратной последовательности (или сумму токов обратной и нулевой последовательности).

В силу того, что вышеуказанное реле сопротивления и отключающее реле тока, включенное на ток фазы «В», предназначены для отключения трехфазных КЗ, при протекании тока КЗ только по одной из фаз цепи данные реле могут не сработать вообще (например, при однофазном КЗ на ф. С). На данном основании, анализ действия вышеуказанных реле при КЗ между цепями двухцепной ЛЭП является нецелесообразным. Также следует отметить, что в наиболее старых панелях ДФЗ-201 вместо реле сопротивления, предназначенного для повышения чувствительности защиты при трехфазных КЗ, предусматривалось реле напряжения. На текущий момент, в энергосистеме Челябинской области панели ДФЗ-201 данного типа исполнения отсутствуют.

Для проверки факта срабатывания ДФЗ-201 при рассматриваемом виде нетипового КЗ оценим чувствительность отключающего реле тока обратной последовательности к току обратной последовательности одной из цепей при данном КЗ (чувствительность пускового реле тока обратной последовательности рассматривать нецелесообразно в силу его высокой чувствительности).

Считая реактивное сопротивление проводов обеих цепей поврежденной ЛЭП одинаковыми, примем, что величина тока рассматриваемого нетипового КЗ будет равна величине току двухфазного КЗ на одной из цепей, (формула 4.1) что подтверждается ранее проанализированными в ЧРДУ аварийными оциллограммами (в первом приближении, считая КЗ металлическим):

$$I_{KЗ} = I_K^{(2)}. \quad (4.1)$$

Согласно методу симметричных составляющих, величина тока обратной последовательности одной из цепей при данном нетиповом КЗ определяться также, как и при однофазном КЗ на одной из цепей, формула (4.2):

$$I_2 = \frac{I_{КЗ}}{3} = \frac{I_K^{(2)}}{3}, \quad (4.2)$$

в силу того, что при данном КЗ величина токов прямой, обратной и нулевой последовательностей будет одинаковой (по модулю), формула (4.3):

$$I_1 = I_2 = I_0. \quad (4.3)$$

Согласно [6], при расчете уставки отключающего реле тока обратной последовательности, следует осуществлять проверку его чувствительности к токам однофазного (формула 4.4) или двухфазного (формула 4.5) КЗ на землю:

а) однофазного КЗ, если  $\frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}} > 1$ : (4.4)

б) двухфазного КЗ на землю, если  $\frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}} < 1$  (4.5)

где  $x_{2\Sigma}$  – эквивалентное сопротивление обратной последовательности контура КЗ относительно точки КЗ,  $x_{0\Sigma}$  – эквивалентное сопротивление нулевой последовательности контура КЗ относительно точки КЗ.

На данном основании, произведем оценку чувствительности рассматриваемого отключающего реле тока обратной последовательности исходя из оценки соотношения уровня токов обратной последовательности при данном нетиповом КЗ, однофазном КЗ (формула 4.6) и двухфазном (формула 4.7) КЗ на землю:

а)  $\frac{\frac{1}{3} I_K^{(2)}}{I_2^{(1,1)}} < > 1$ , если  $\frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}} < 1$ , (4.6)

$$\text{б) } \frac{1}{3} I_K^{(2)} <> 1, \quad \text{если } \frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}} > 1, \quad (4.7)$$

Оценку будет производить исходя из допущения равенства эквивалентных сопротивлений прямой и обратной последовательности контура КЗ (формула 4.8, согласно [8]):

$$x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma}. \quad (4.8)$$

Произведем оценку чувствительности для случая а):

Согласно формулам (2.2.14 – 2.2.25) из [9]:

$$\begin{aligned} \text{а) } \frac{1}{3} I_K^{(2)} &= \frac{\frac{1}{3} \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{E_{1\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma}}}{\frac{E_{1\Sigma}}{x_{1\Sigma} + \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}} \cdot \frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{x_{1\Sigma} \cdot x_{2\Sigma} + x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma} + x_{1\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{x_{0\Sigma}(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma})} = \\ &= \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{x_{1\Sigma}^2 + 2x_{1\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{2x_{0\Sigma} \cdot x_{1\Sigma}} = \frac{\sqrt{3}}{6} \cdot \left(1 + 2 \frac{x_{1\Sigma}}{x_{0\Sigma}}\right) > 2,59, \text{ так как } \frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}} < 1, \end{aligned}$$

где  $x_{1\Sigma}$  – эквивалентное сопротивление прямой последовательности контура КЗ относительно точки КЗ,  $E_{1\Sigma}$  – эквивалентная ЭДС прямой последовательности контура КЗ.

На данном основании можно утверждать, что чувствительность реле тока обратной последовательности при  $\frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}} > 1$  будет обеспечиваться.

Произведем оценку чувствительности для случая б):

Согласно формулам (2.2.14 – 2.2.25) из [9]):

$$б) \frac{\frac{1}{3} I_K^{(2)}}{I_2^{(1)}} = \frac{\frac{1}{3} \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{E_{1\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma}}}{\frac{E_{1\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma}}{2x_{1\Sigma}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \left(1 + \frac{x_{0\Sigma}}{2x_{1\Sigma}}\right) > 0,86,$$

так как  $\frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}} > 1$ .

Учитывая тот факт, что коэффициент чувствительности реле тока обратной последовательности при расчете уставок принимается равным не менее 2, можно утверждать, что чувствительность рассматриваемого реле в данном случае также будет обеспечиваться, так как  $0,86 \cdot 2 > 1$ .

Следует отметить, что данный оценочный расчет не учитывает возможные перераспределения суммарного тока КЗ по питающим концам поврежденной ЛЭП при несимметричных КЗ в зависимости от места повреждения, так как в расчете была произведена оценка соотношения уровней суммарных токов КЗ в месте повреждения. То есть, при удаленных КЗ в конце защищаемой ЛЭП по отношению к данному полукомплекту ДФЗ-201 не гарантируется отсутствие задержки срабатывания рассматриваемого реле в данном полукомплекте на время отключения защищаемой ЛЭП с противоположного конца.

## Выводы

1. В принципе действия как ДФЗ-201, так и основных защит др. типов (микропроцессорных устройств ДФЗ с аналогичным принципом работы органа манипуляции, ВЧБ ДЗ и ТЗНП) присутствует недостаток: появление существенной задержки в отключении КЗ с обрывом токоведущего шлейфа на защищаемой ЛЭП, образовавшегося в результате отключения изначально появившегося КЗ на смежном элементе сети с выдержками времени резервных ступеней ДЗ или ТЗНП.

2. При модернизации основных защит ЛЭП, отходящих от электрических станций целесообразно рекомендовать установку микропроцессорной ДЗЛ, лишенной данного органического недостатка. Установка устройства НВЧЗ, также лишенного вышеуказанного недостатка, не рекомендуется в силу бесполезности данного устройства в случаях неисправности или потере цепей напряжения «звезды». В качестве спорной ситуации следует рассматривать случаи, когда значительность длины защищаемой ЛЭП будет приводить к заметному удорожанию варианта установки микропроцессорной ДЗЛ при прокладке ВОЛС для организации ее канала связи.

3. Вышеуказанное решение замены ДФЗ-201 и ВЧБ ДЗ и ТЗНП следует считать наиболее эффективным в тех случаях, когда на ЛЭП, отходящих от объектов электроэнергетики, смежных электрической станции, основные защиты не предусмотрены (см. рисунок 4.6) (то есть возможно отключение КЗ за отходящими от электрической станции ЛЭП со значительными выдержками времени).

4. Для обеспечения надежности параллельной работы электрических станций с энергосистемой Челябинской области по условию обеспечения динамической устойчивости генераторов при отключениях нетиповых КЗ в прилегающей сети 110–220 кВ целесообразно предусмотреть модернизацию:

4.1 Основных защит ВЛ 110 кВ Троицкая ГРЭС – Троицкая районная 1, 2 цепь с заменой панелей ДФЗ-201 на микропроцессорные устройства ДЗЛ в силу того, что: а) на транзите 110 кВ Троицкая районная – Станкозаводская – Кумысная-т – Упрун-т – Казачья-т основные защиты отсутствуют;

б) длина данных ЛЭП является незначительной (менее 7 км).

4.2 Основной защиты ВЛ 110 кВ Аргаяшская ТЭЦ – Болото-7 с заменой панелей ДФЗ-201 на микропроцессорные устройства ДЗЛ в силу того, что: а) на ВЛ 110 кВ Болото-7 – Заварухино основная защита отсутствует;

б) длина данной ЛЭП является незначительной (менее 5 км).

# ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

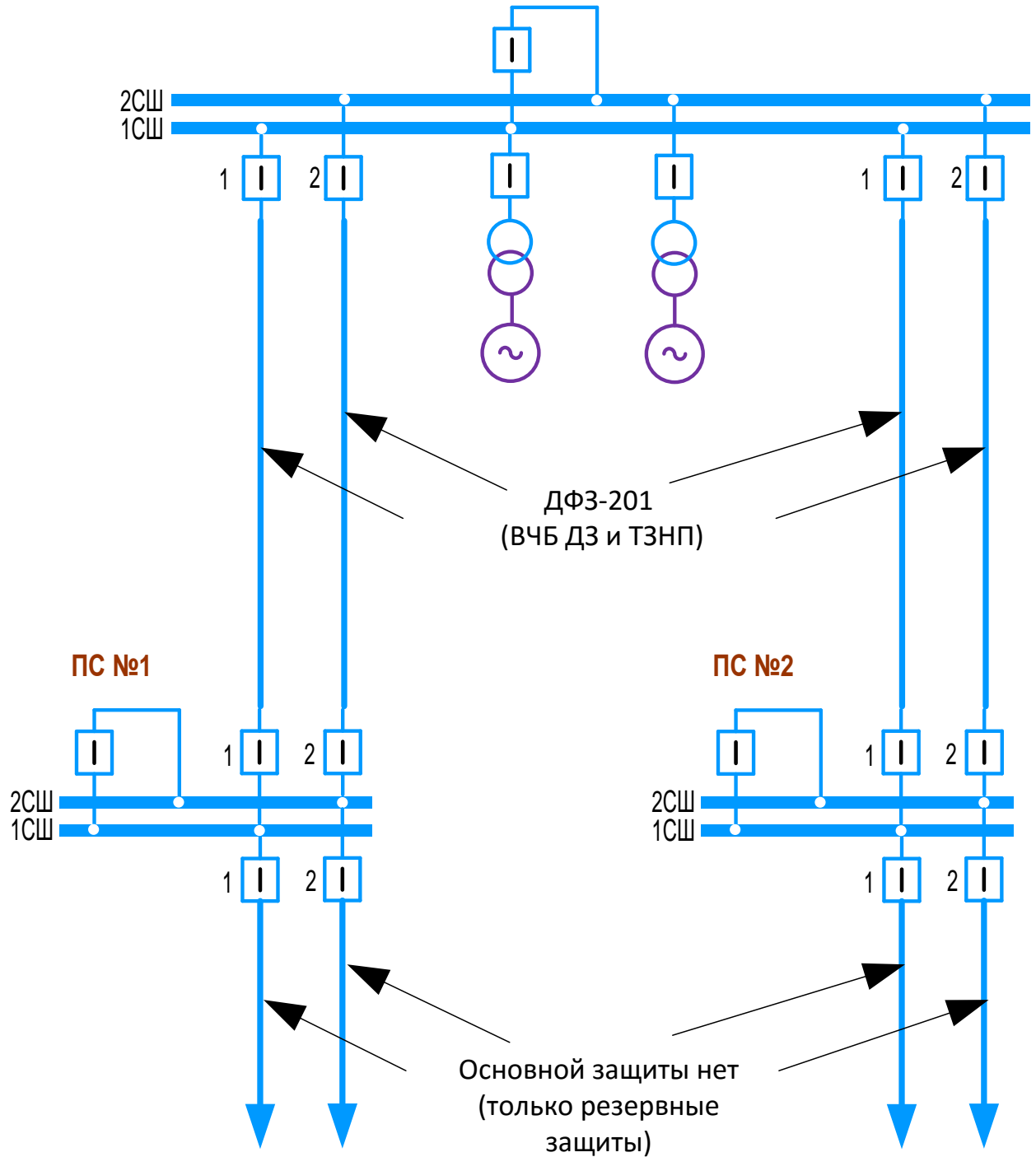


Рисунок 4.6 – Иллюстрация к выводу раздела 4

Изм.	Лист	Недокум	Подп.	Дат
------	------	---------	-------	-----

ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР

Лист

40



## 5 АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЯ ЭПЗ-1636 ПРИ НЕТИПОВЫХ КЗ

### 5.1 Функциональный состав панели ЭПЗ-1636 и особенности ее функционирования

В состав панели ЭПЗ-1636 входят [10]:

1. Трехступенчатая ДЗ от междуфазных КЗ, состоящая из 6 направленных реле сопротивления минимального действия, включенных на линейные напряжения и междуфазные токи. Причем, 1 и 2 ступень ДЗ выполнены на базе одних и тех же реле сопротивления, уставки которых переключаются автоматически в процессе существования аварийного режима. Указанный способ подключения данных реле сопротивление обеспечивает одинаковую чувствительность ДЗ как при трехфазных, так и при двухфазных металлических КЗ на ЛЭП.

Для предотвращения ложной работы ДЗ при качаниях параллельно работающих генераторов с энергосистемой в составе панели ЭПЗ-1636 предусмотрено специальное устройство блокировки при качаниях типа КРБ-125 или КРБ-126.

Устройство типа КРБ-126 выявляет возникновение КЗ по факту появления (хотя бы кратковременного) токов обратной последовательности на защищаемой ЛЭП. Устройство КРБ-125 выявляет возникновение КЗ по факту появления напряжений обратной последовательности на шинах объекта электроэнергетики, к которым подключена защищаемая ЛЭП. В силу того, что устройство КРБ-125, как правило, предусматривалось в составе панелей ЭПЗ-1636 наиболее раннего выпуска, на текущий момент в энергосистеме Челябинской области панели ЭПЗ-1636 с КРБ-125 отсутствуют.

Необходимость блокирования ступеней ДЗ от устройства БК определяется расчетами, обосновывающими возможность прохождения электрического центра качаний через шины объекта электроэнергетики, на котором установлена рассматриваемая защита.

По факту возникновения КЗ на защищаемой ЛЭП или в прилегающей сети устройство блокировки при качаниях сначала разрешает работу ступеней ДЗ, блокируемых при качаниях, на время порядка 0,5 с, а затем запрещает работу данных ступеней на время 9–12 с. На данном основании, принципиальным недостатком блокируемой ступени ДЗ является возможность задержки ее срабатывания на время 9–12 с при возникновении серии КЗ – сначала вне а затем на защищаемой ЛЭП.

Во избежание неправильной работы ДЗ при неисправности цепей напряжения «звезды», в составе ЭПЗ-1636 предусмотрено устройство блокировки при неисправности цепей напряжения типа КРБ-12, реагирующее на появление несимметрии в цепях напряжения «звезды» по отношению цепям напряжения «разомкнутого треугольника» (по разнице показаний ЗИО). В силу того, что заложенный принцип действия данного устройство не предотвращает ложные срабатывания реле сопротивления при потере цепей напряжения «звезды» ЭПЗ-1636, в энергосистеме Челябинской области общепринято следующее техническое решение: те ступени ДЗ, которые могут ложно сработать при потере цепей напряжения «звезды» (не блокируемые при качаниях), обязательно выполняются с пуском от блокировки при качаниях. Действие же КРБ-12 выполняется не на автоматический вывод ДЗ из работы, а на сигнал.

Пуск ступени ДЗ от блокировки при качаниях заключается в разрешении работы данной ступени ДЗ в течение 9–12 с по факту возникновения КЗ на ЛЭП или в прилегающей сети.

2. Четырехступенчатая направленная ТЗНП от коротких замыкания на землю, состоящая из четырех реле тока, включенных на ток ЗИО (подключенных к нулевому проводу токовых цепей) и двух реле мощности, включенных на токи и напряжения нулевой последовательности. Второе реле мощности («блокирующее») предусмотрено для выполнения направленности чувствительных ступеней ТЗНП: для учета случаев удаленных КЗ, когда

величины  $3U_0$  на шинах данного энергообъекта может оказаться недостаточно для срабатывания первого реле мощности («разрешающего»).

3. МФТО без выдержки времени от междуфазных КЗ, состоящая из двух реле тока, включенных на токи фаз «А» и «С».

4. Два реле тока УРОВ. Второе реле тока УРОВ предусмотрено заводом-изготовителем для случаев, когда защищаемая ЛЭП коммутируется двумя линейными выключателями. Для случая наличия в схеме подключения ЛЭП только одного линейного выключателя в энергосистеме Челябинской области принято решение подключать в схеме УРОВ контакты данных реле тока последовательно (во избежание его излишнего срабатывания).

Следует отметить, что в некоторых случаях, на основании результатов расчета уставок ТЗНП, принимается решение выполнить некоторые ступени ТЗНП ненаправленными (для повышения надежности их функционирования) согласно [12]. Так как вышеуказанные случаи являются достаточно редкими, все ступени ТЗНП ЭПЗ-1636 в данной работе рассматриваются исключительно направленными, выполненными по схеме использования «разрешающего» реле мощности нулевой последовательности (необходимость использования «блокирующего» реле мощности нулевой последовательности, как правило, наблюдается только на маломощных транзитах 110 кВ).

Также следует отметить, что МФТО без выдержки времени предназначена для отключения близких междуфазных КЗ и во всех режимах работы энергосистемы защищает только часть ЛЭП. Причем, на некоторых коротких транзитных ЛЭП МФТО без выдержки времени, исходя из результатов расчета уставок, является неэффективной и, как следствие, не используется. На данном основании, анализ действия МФТО без выдержки времени при нетиповых коротких замыканиях в данной работе не производится (в силу отсутствия целесообразности).

## 5.2 Анализ действия при затухающих КЗ

Согласно осциллограммам аварийных отключений в энергосистеме Челябинской области за 2015–2016гг., затухающие КЗ, как правило, являются однофазными, сопровождаются протеканием тока КЗ пониженной величины через большое переходное сопротивление, возникают на ЛЭП 110 кВ в горнозаводской зоне Челябинской области (зоне производственно отделения «Златоустовские электрические сети» Филиала ОАО «МРСК Урала» «Челябэнерго»).

Отключение затухающих однофазных КЗ, как правило, осуществляется с выдержками времени резервных ступеней ТЗНП, в силу уменьшения токов КЗ в процессе затухания. В некоторых случаях, как показано на рисунке (см. приложение А, рисунок А1, А2, раздел 2.1), КЗ успевает устраниться (затухнуть) не дав запущенной ступени ТЗНП доработать до конца.

Недостатком такой ситуации является возникновение неоднозначности при оперативном анализе диспетчером РДУ, оперативным персоналом ЦУС или производственного отделения сетевой организации отключений ЛЭП в энергосистеме, когда на диспетчерский пункт поступает информация об одностороннем отключении ЛЭП, изначально находившейся в транзите, от ТЗНП (когда ТЗНП с другого конца ЛЭП не успевает сработать из-за самоустранения КЗ).

В силу того, что вышеуказанные КЗ сопровождаются протеканием токов пониженной величины, величина теплового импульса, приложенного к ТТ линейных выключателей, ВЧ заградителям, токоведущим частям ЛЭП не представляет повышенной опасности с точки зрения термической стойкости ЛЭП и электрооборудования.

Влияние данных КЗ на сохранение динамической устойчивости генераторов электрических станций, имеющих электрические связи с местом КЗ через прилегающую сеть 110 кВ, также является несущественным.

					<i>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</i>	Лист
Изм	Лист	Недокум	Подп.	Дат		44

### 5.3 Анализ действия при КЗ с обрывом токоведущего шлейфа ЛЭП

При возникновении на ЛЭП КЗ с обрывом токоведущего шлейфа сработает ТЗНП, установленная с той стороны ЛЭП, откуда осуществляется подпитка КЗ. ТЗНП, установленная на противоположном конце ЛЭП, не сработает ввиду отсутствия тока КЗ, протекающего по ЛЭП со стороны места ее установки.

Недостатком данной ситуации является возникновение неоднозначности при оперативном анализе действия защит, указанном в предыдущем разделе 5.2.

### 5.4 Анализ действия при видоизменяющихся КЗ

В рамках анализа функционирования ЭПЗ-1636 при КЗ изменяющегося вида следует отметить особенности функционирования ДЗ и ТЗНП, указанные в [11].

При расчете и выборе уставок ТЗНП осуществляется проверка ее чувствительности как при однофазных КЗ, так и при двухфазных КЗ на землю. Последнее необходимо, если при двухфазных КЗ на землю ДЗ оказывается недостаточно чувствительной или, если возможно значительное замедление при переходе однофазного КЗ в двухфазное КЗ на землю в случаях, когда вторая ступень ДЗ выполнена блокируемой при качаниях, так как ко времени изменения вида КЗ вторая ступень ДЗ может быть выведена блокировкой при качаниях или иметь значительную неблокируемую выдержку времени.

Значительно более тяжелая ситуация возникает, если в процессе существования КЗ данное КЗ последовательно переходит от однофазного в двухфазное и далее в симметричное трехфазное с пропаданием тока нулевой последовательности.

В качестве примера в [11] приводится осциллограмма аварийного события, произошедшего в одной из энергосистем Северного Кавказа (см. приложение Б, рисунок Б.1).

Выдержка времени второй ступени токовой защиты нулевой последовательности панели ЭПЗ-1636 была выбрана равной 0,8 с с учетом выдержки времени устройства резервирования при отказе выключателя (УРОВ). Время пуска ДЗ устройством блокировки при качаниях составляло 0,4 с. В этих условиях, как видно из осциллограммы (рисунок Б.1), к моменту перехода однофазного КЗ в двухфазное на землю и затем в трехфазное цепь второй ступени ДЗ с меньшей выдержкой времени уже была заблокирована, а ТЗНП не успела отключить повреждение, так как ток нулевой последовательности пропал раньше, чем истекла выдержка времени ее второй ступени. Отключение повреждения было выполнено неблокируемой цепью второй ступени дистанционной защиты с большой выдержкой времени, которая составляет несколько секунд, что привело к значительным разрушениям в месте повреждения (ЗРУ 110 кВ подстанции).

Данный недостаток можно устранить, если выполнить "самоподхват" органа выдержки времени второй ступени ТЗНП при срабатывании второй ступени ДЗ в соответствии со следующей системой логических уравнений (5.1):

$$\begin{cases} X_{B2} = X_H \cdot X_{12} \cup X_{ДЗ2} \cdot X_{B2}; \\ X_{откл} = X_{B2} \cdot t_2, \end{cases} \quad (5.1)$$

где  $X_{B2}$  — логическая функция "самоподхвата" выдержки времени второй ступени ТЗНП;  $X_H$  — выходной сигнал органа направления мощности ТЗНП;  $X_{12}$  — выходной сигнал измерительного органа второй ступени ТЗНП;  $X_{ДЗ2}$  — выходной сигнал измерительного органа второй ступени ДЗ;  $t_2$  — выдержка времени второй ступени ТЗНП;  $X_{откл}$  - выходной сигнал второй ступени ТЗНП на отключение.

На рисунке 5.1 показана возможная схемная реализация указанного принципа для панели ЭПЗ – 1636, приведенная в [11]. Схема работает следующим образом. При возникновении однофазного КЗ в зоне действия второй ступени ТЗНП замыкается контакт  $PT2$  и активизирует реле времени  $PV1$ . При переходе однофазного КЗ в двухфазное на землю (в зоне действия второй ступени ДЗ)

замыкается контакт *ЗРП* реле-размножителя второй ступени ДЗ, что приводит к самоподхвату реле времени через цепь *РВ1-ЗРП11*. В случае дальнейшего перехода КЗ в трехфазное с потерей тока нулевой последовательности контакт *РТ2* размыкается, но за счет указанной цепи самоподхвата реле *РВ1* продолжает работать, обеспечивая надежное отключение КЗ с необходимой выдержкой времени. В случае ликвидации КЗ раньше истечения выдержки времени *РВ1* (первыми ступенями защит предыдущих линий) цепь самоподхвата разрывается контактом *ЗРП* и реле *РВ1* обесточивается.

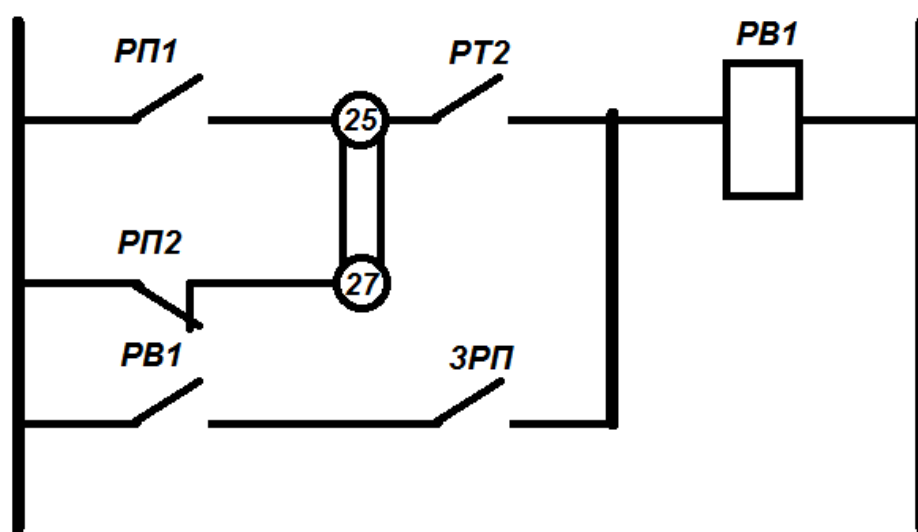


Рисунок 5.1 – Схема реконструкции второй ступени ТЗНП панели ЭПЗ-1636 (жирной линией показана вводимая цепь).

В заключении [11] указано, что применение устройств блокировки защит при качаниях, использующих различие скоростей изменения действующих значений электрических величин при КЗ и качаниях, устраняет описанный недостаток, однако некоторое замедление времени отключения повреждения будет иметь место (на время перехода однофазного КЗ в междуфазное с потерей тока нулевой последовательности), что позволяет рекомендовать предложенный принцип и в этом случае.

## 5.5 Анализ действия при КЗ между цепями двухцепной ЛЭП

Наиболее простым, и в то же время распространенным, видом сложносимметричного КЗ на двухцепной ЛЭП является КЗ с перекрытием изоляции между двумя фазами первой и второй цепей (рисунок 5.2).

Считая реактивное сопротивление проводов обеих цепей поврежденной ЛЭП одинаковыми, примем, что величина тока рассматриваемого нетипового КЗ будет равна величине току двухфазного КЗ (рисунок 5.3, формула 5.2) на одной из цепей, что подтверждается ранее проанализированными в ЧРДУ аварийными осциллограммами осциллограммами (в первом приближении, считая КЗ металлическим):

$$I_{КЗ} = I_K^{(2)}. \quad (5.2)$$

При возникновении КЗ вышеуказанного вида по обеим цепям ЛЭП будут протекать токи нулевой последовательности. Однако, в силу допущений, указанных в разделе 5.1, к срабатыванию ТЗНП наличие данных токов нулевой последовательности не приведет, так как напряжение нулевой последовательности на шинах прилегающих к ЛЭП энергообъектов будут отсутствовать.

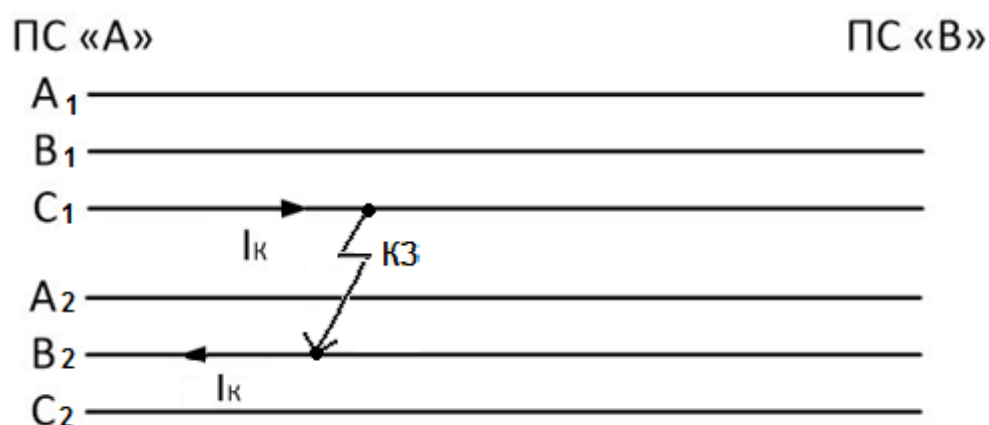


Рисунок 5.2 – КЗ на двухцепной ЛЭП вида «C<sub>1</sub>-B<sub>2</sub>»



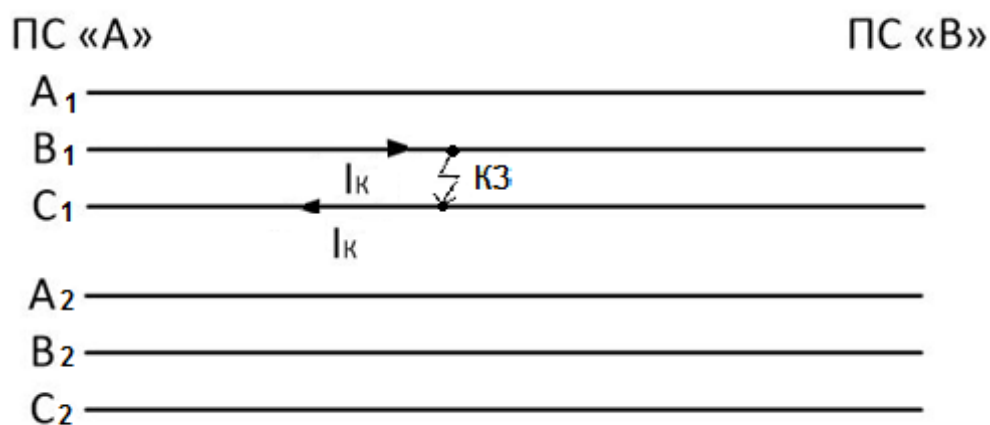


Рисунок 5.3 – Двухфазное КЗ вида «В-С» на одной из цепей

На рисунке 5.4 приведена векторная диаграмма токов для случая двухфазного КЗ вида «В-С» на одной из цепей.

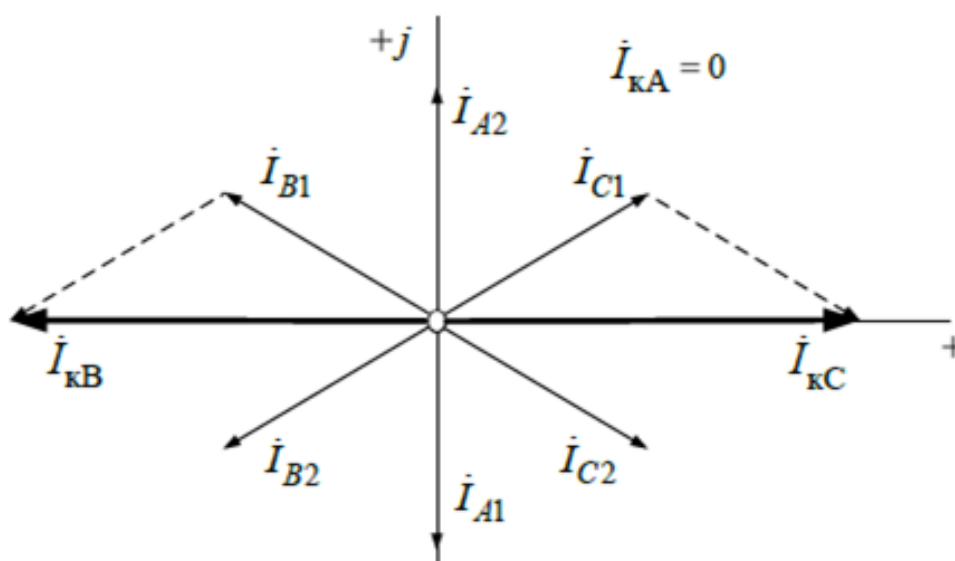


Рисунок 5.4 – Векторная диаграмма токов для случая двухфазного КЗ вида «В-С» на одной из цепей.

Исходя из рисунка 5.3, сопротивление, замеряемое ДЗ при двухфазных КЗ на одной из цепей, будет определяться по формуле (5.3):

$$Z_{B-C} = \frac{U_{B-C}}{|I_B - I_C|} \approx \frac{U_{B-C}}{2I_{KЗ}}. \quad (5.3)$$

Исходя из того, что в случае, показанном на рисунке 5.2, в схему реле сопротивления ДЗ первой и второй цепей, включенных по схеме «В–С» и «С–А», будет попадать только однократная величина тока двухфазного КЗ, чувствительность данных реле будет в 2 раза ниже по сравнению с чувствительности реле сопротивления ДЗ, включенного по схеме «В–С», при двухфазном КЗ вида «В–С» на одной из цепей.

Исходя из принципов расчета уставок трехступенчатой ДЗ ЛЭП, согласно [13], возможно возникновение следующих нежелательных случаев при рассматриваемых нетиповых КЗ на двухцепной ЛЭП:

- 1) отключение близких КЗ (на расстоянии 40-60% от длины защищаемой ЛЭП по отношению к месту установки ДЗ) с выдержкой времени 2 ступени ДЗ;
- 2) отключение удаленных КЗ на защищаемой ЛЭП (на расстоянии 60-100% от длины ЛЭП по отношению к месту установки ДЗ) с выдержкой времени 3 ступени ДЗ.
- 3) отсутствие дальнего резервирования в функционировании 3 ступени ДЗ при возникновении КЗ на смежной ЛЭП.

## Выводы

1. В принципах действия защит в составе ЭПЗ-1636 присутствуют недостатки, наличие которых может привести к значительному увеличению времени отключения видоизменяющихся КЗ и КЗ между цепями двухцепной ЛЭП.
2. Для обеспечения надежности параллельной работы электрических станций с энергосистемой Челябинской области по условию обеспечения динамической

устойчивости генераторов при отключениях нетиповых КЗ в прилегающей сети 110–220 кВ целесообразно:

2.1. Выполнить проверку исполнительных схем ЭПЗ-1636 транзитных ЛЭП 110–220 кВ, отходящих от Аргаяшской ТЭЦ, Челябинской ТЭЦ-2, Троицкой ГРЭС, Южноуральской ГРЭС, ТЭЦ Уралаз на предмет наличия технического решения, указанного в разделе 5.4.

2.2. Предусмотреть установку основных защит на следующих транзитных ЛЭП:

- а) двухцепной ВЛ 110 кВ Южноуральская ГРЭС – Первомайка I, II цепь;
- б) ВЛ 110 кВ Троицкая ГРЭС – Бобровская, имеющей совместный двухцепный участок с тупиковой ВЛ 110 кВ Троицкая ГРЭС – Строительная.

					<i>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>Недокум</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дат</i>		51

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Одной из главных причин существенного количества нетиповых КЗ является нарушение периодичности и качества выполнения ремонтов объектов электросетевого хозяйства (ЛЭП 110 кВ), а также технического обслуживания устройств РЗА ЛЭП 110 кВ

2. При модернизации основных защит ЛЭП, отходящих от электрических станций целесообразно рекомендовать установку микропроцессорной ДЗЛ, лишенной данного органического недостатка. Установка устройства НВЧЗ, также лишенного вышеуказанного недостатка, не рекомендуется в силу бесполезности данного устройства в случаях неисправности или потере цепей напряжения «звезды».

3. Замена ДФЗ-201 и ВЧБ ДЗ и ТЗНП является наиболее эффективным в тех случаях, когда на ЛЭП, отходящих от объектов электроэнергетики, смежных электрической станции, основные защиты не установлены.

4. Целесообразно предусмотреть модернизацию для обеспечения надежности параллельной работы электрических станций с энергосистемой Челябинской области по условию обеспечения динамической устойчивости генераторов при отключениях нетиповых КЗ в прилегающей сети 110–220 кВ.

5. Для обеспечения надежности целесообразно: выполнить проверку исполнительных схем ЭПЗ-1636 транзитных ЛЭП 110–220 кВ, на предмет наличия технического решения, указанного в разделе 5.4.

5.1 Предусмотреть установку основных защит на следующих транзитных ЛЭП а) двухцепной ВЛ 110 кВ Южноуральская ГРЭС – Первомайка I, II цепь;

б) ВЛ 110 кВ Троицкая ГРЭС – Бобровская, имеющей совместный двухцепный участок с тупиковой ВЛ 110 кВ Троицкая ГРЭС – Строительная.

					<i>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>Недокум</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дат</i>		52

Непосредственное применение результатов произведенного исследования позволит:

1) повысить качество и оперативность анализа аварийных осциллограмм персоналом служб РЗА и ЭТЛ диспетчерских центров, субъектов электроэнергетики и потребителей электроэнергии;

2) повысить надежность функционирования энергоузлов 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области при осуществлении модернизации и организации эксплуатации устройств РЗ транзитных ЛЭП 110–220 кВ.

					<i>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>Недокум</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дат</i>		53

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2016 году [Электронный ресурс]. – М.: ОАО «СО ЕЭС». – Режим доступа: [http://so-eps.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2017/ups\\_rep2016.pdf](http://so-eps.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2017/ups_rep2016.pdf)
2. Стандарт организации. СТО 56947007-29.120.10.129-2012. «Шлейфовые соединения присоединяемые на ВЛ 220-500 кВ. Общие технические требования», ОАО «ФСК ЕЭС», 2012.
3. Справочник по проектированию электрических сетей Под ред. Д. Л. Файбисовича – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с.
4. Стандарт организации. СТО 56947007-33.040.20.022-2009. Устройства РЗА присоединений 110-220 кВ. Типовые технические требования, ОАО «ФСК ЕЭС», 2009.
- 5 Овчаренко Н.И. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий электропередачи напряжением 110-220 кВ ДФЗ-201. – Москва НТФ Энергопресс, Энергетик, 2002.
- 6 Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 9. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110 – 330 кВ. – М.: Энергия, 1972.
- 7 Панели защитные типов ДФЗ – 201 УХЛ4 и ДФЗ – 201 04. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
- 8 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2002. – 152 с.
- 9 Коровин, Ю.В.Расчёт токов короткого замыкания в электрических системах: учебное пособие / Ю.В. Коровин, Е.И. Пахомов, К.Е. Горшков. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 114 с.
- 10 Удрис А.И. Релейная защита воздушных линий 110 - 220 кВ типа ЭПЗ-1636. М.: Энергоатомиздат, 1988, часть 1.
11. Левченко И.И., Будовский В.П. О работе релейной защиты при видоизменяющемся коротком замыкании. Электрические станции, 1998, издание № 11.
12. Руководящие указания по релейной защите. Токовая защита нулевой

					<i>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</i>	Лист
Изм	Лист	Недокум	Подп.	Дат		54

последовательности от замыканий на землю линий 110-500 кВ. Расчеты. М: Энергия. 1980, вып. 12.

13. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7. Дистанционная защита линий 35...330 кВ. – М.: Энергия, 1966. – 172 с

14. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению. СТО ЮУрГУ 04-2013. – Челябинск: ЮУрГУ, 2013. – 56 с.

					<i>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>Недокум</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дат</i>		55

ПРИЛОЖЕНИЕ А ОСЦИЛЛОГРАММЫ ЗАТУХАЮЩИХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

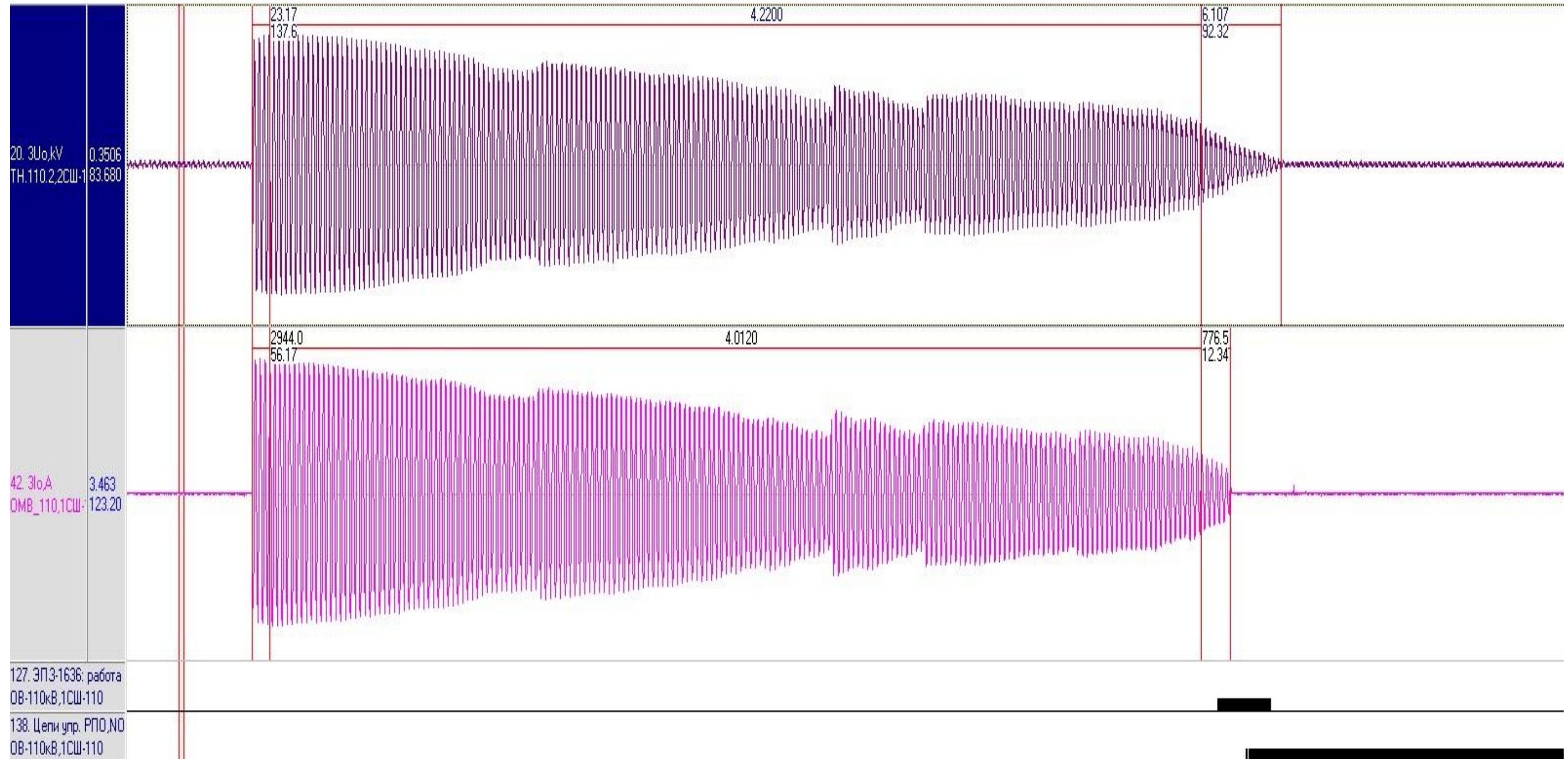


Рисунок А1 – Осциллограмма отключения затухающего КЗ на ВЛ 110 кВ Миасс – Курортная

					<b>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Баденко В.А.			Осциллограммы при нетиповых коротких замыканиях		
Провер.		Андреев А.Н.					
Рецен.		Горшков Ю.Е.					
Н. Контр.		Андреев А.Н.					
Утв.		Кирпичникова И.М.					
					Лит.	Лист	Листов
							80
					ЮУрГУ Кафедра ЭССиСЭ		



Продолжение приложения А

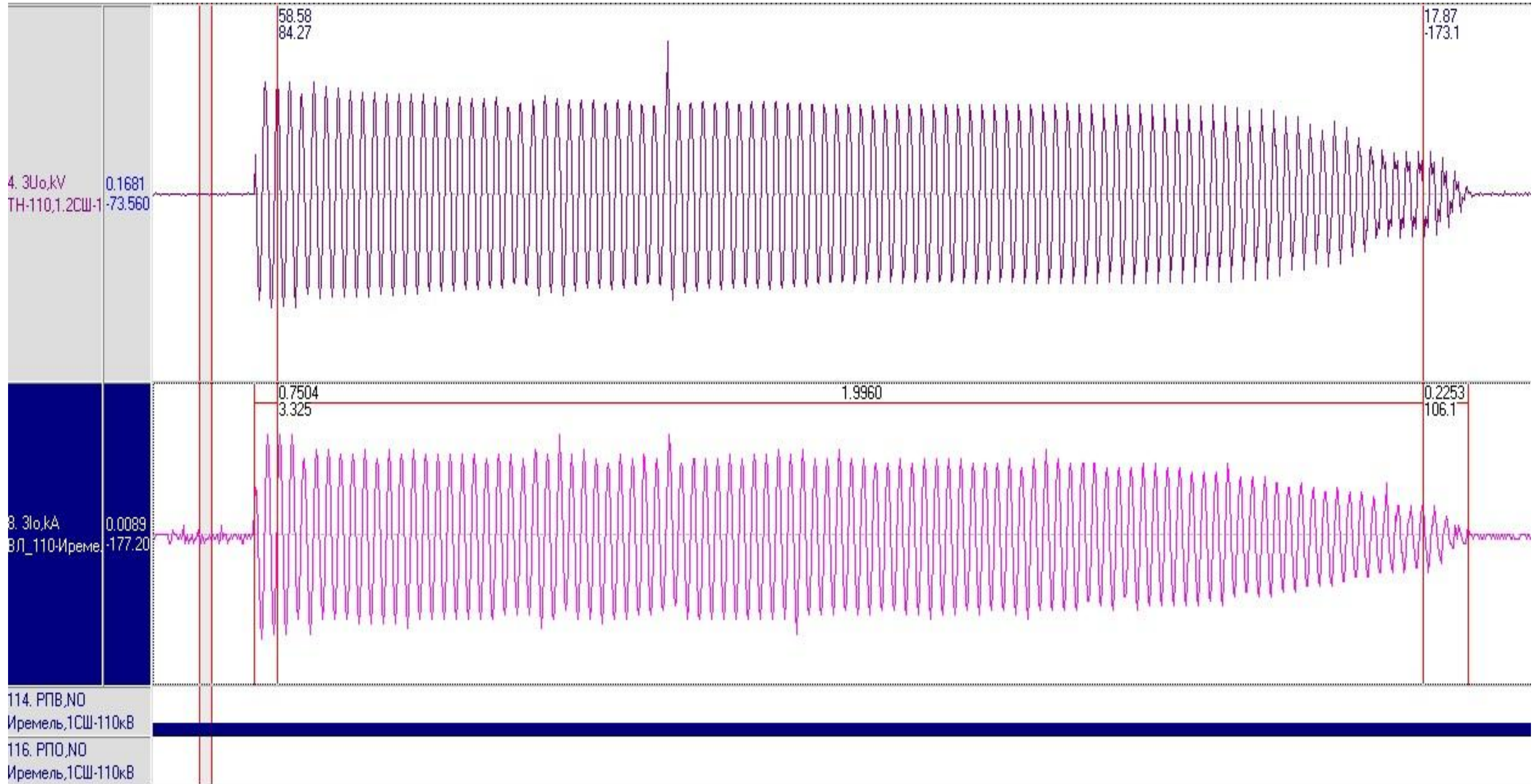


Рисунок А2 – Осциллограмма отключения затухающего КЗ на ВЛ 110 кВ Иремель – Уйская

					<b>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Баденко В.А.			Осциллограммы при нетиповых коротких замыканиях		
Провер.		Андреев А.Н.					
Рецен.		Горшков Ю.Е.					
Н. Контр.		Андреев А.Н.					
Утв.		Кирпичникова И.М.					
					Лит.	Лист	Листов
							80
					ЮУрГУ Кафедра ЭССиСЭ		

ПРИЛОЖЕНИЕ Б ОСЦИЛЛОГРАММА ВИДОИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

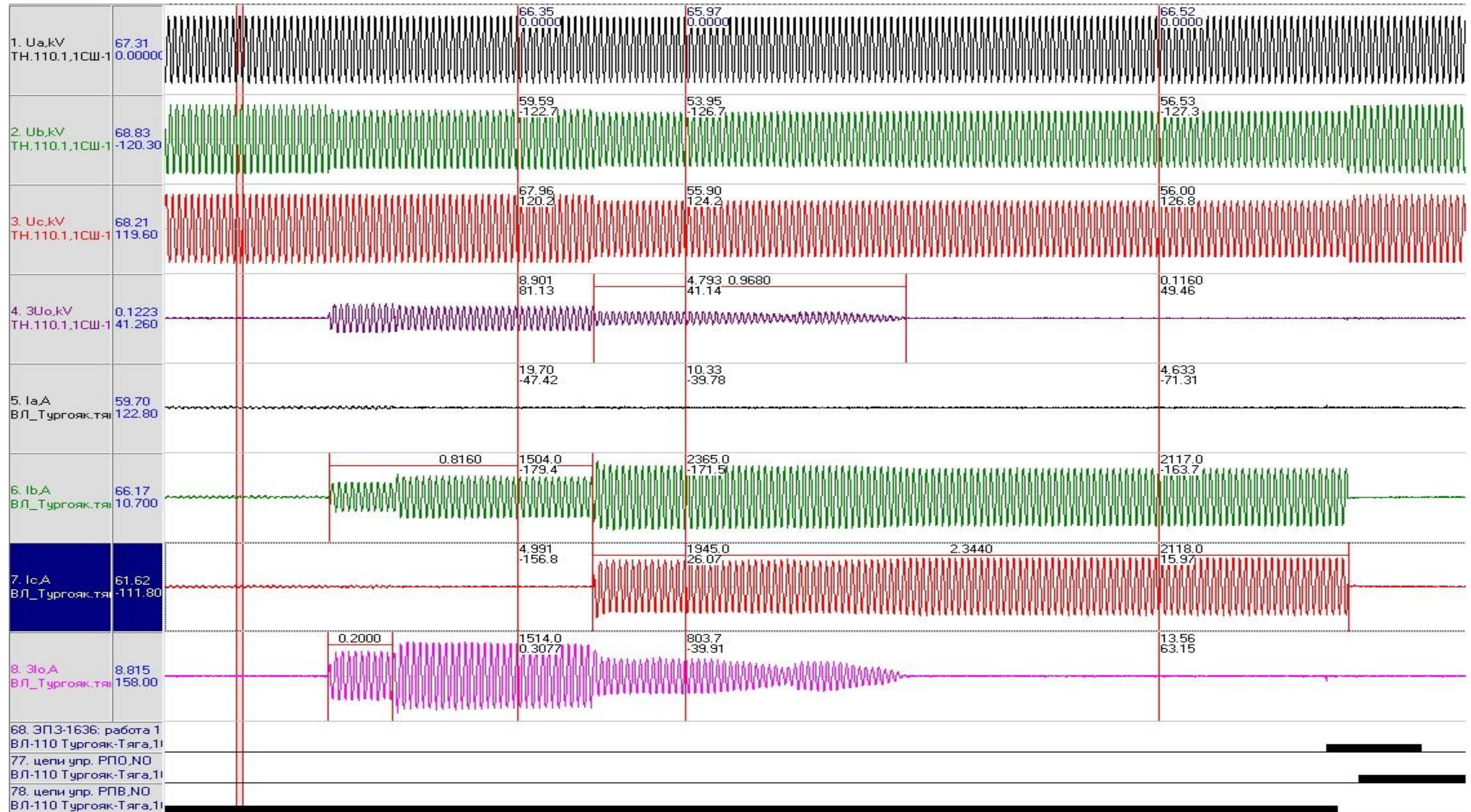


Рисунок Б1 – Осциллограмма видоизменяющегося КЗ на транзите 110 кВ Миасс – Тургойк-т – Хребет-т – Таганай-т

					<b>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Бабенко В.А.			Осциллограммы при нетиповых коротких замыканиях		
Провер.		Андреев А.Н.					
Рецен.		Горшков Ю.Е.					
Н. Контр.		Андреев А.Н.					
Утв.		Кирпичникова И.М.					
					Лит.	Лист	Листов
							80
					ЮУрГУ Кафедра ЭССиСЭ		

ПРИЛОЖЕНИЕ В ОСЦИЛЛОГРАММА СЛУЧАЯ С ОБРЫВОМ

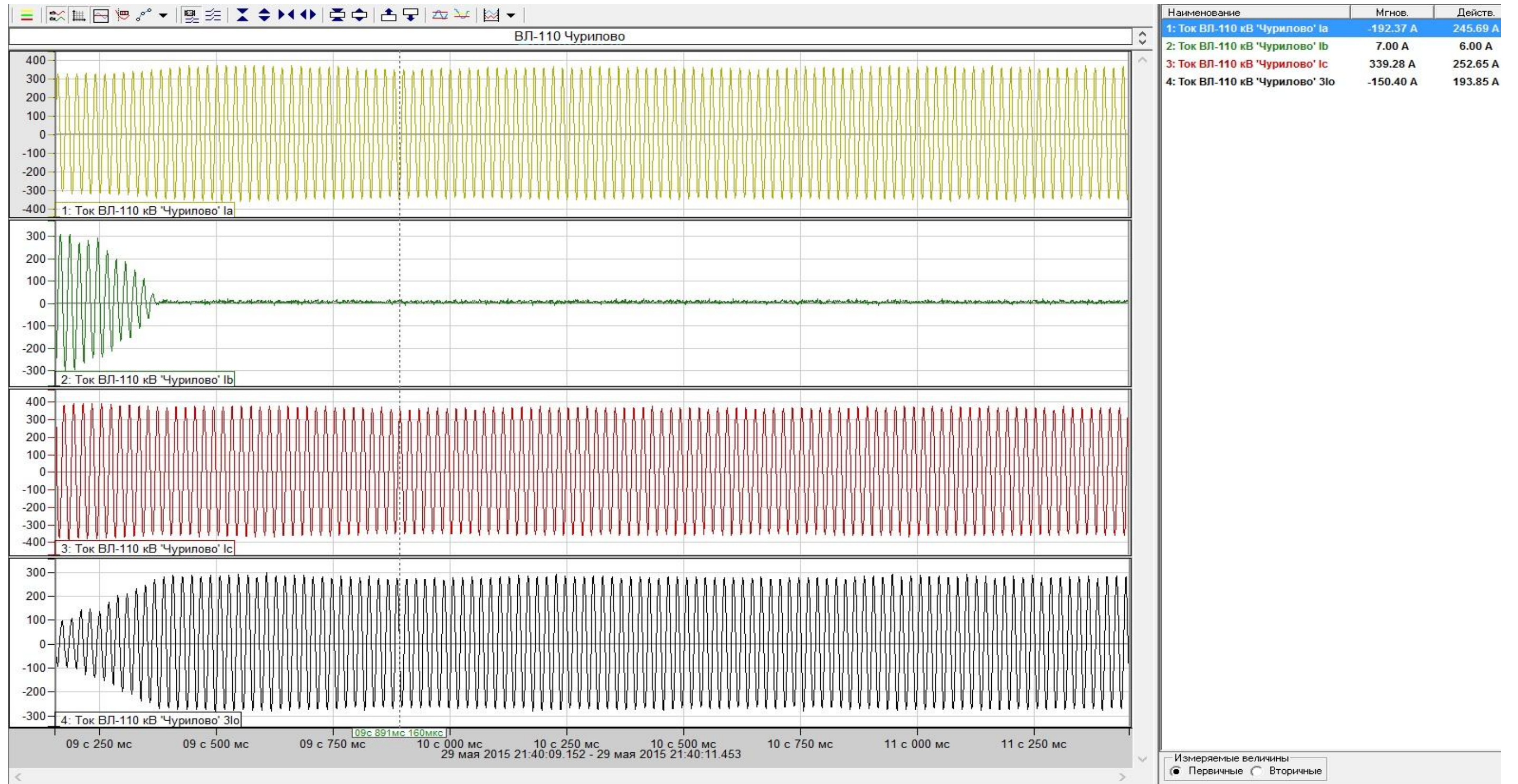


Рисунок В1 – Осциллограмма случая обрыва шлейфа ВЛ 110 кВ Челябинская ТЭЦ-1 – Чурилово-т – Гусеничная

					<b>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Баденко В.А.			Осциллограммы при нетиповых коротких замыканиях	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Андреев А.Н.						80
Рецен.		Горшков Ю.Е.				ЮУрГУ Кафедра ЭССиСЭ		
Н. Контр.		Андреев А.Н.						
Утв.		Кирпичникова И.М.						

ПРИЛОЖЕНИЕ Г ОСЦИЛЛОГРАММА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ДВУХЦЕПНОЙ ЛЭП

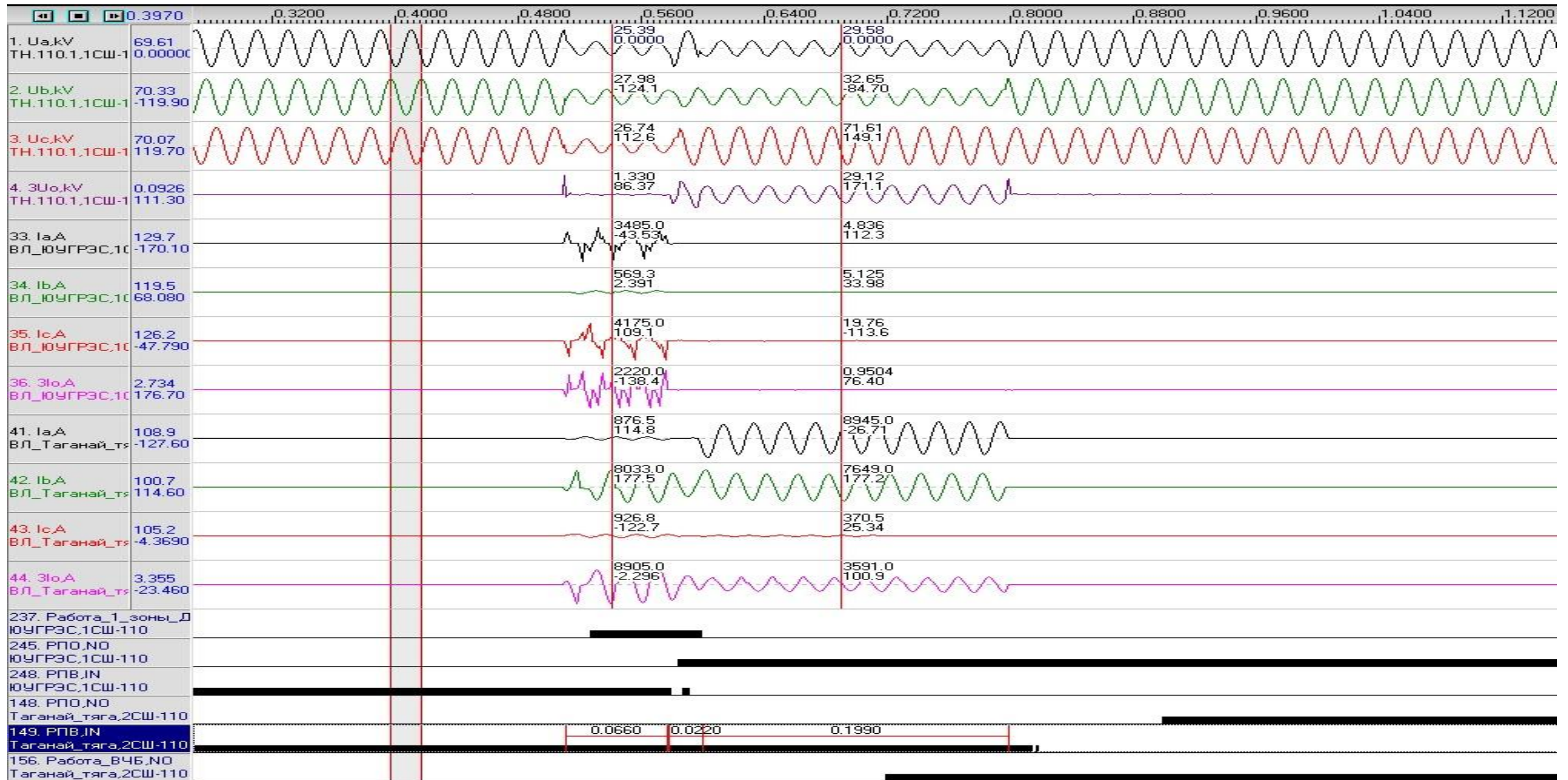


Рисунок Г1 – Осциллограмма КЗ на двухцепном участке ВЛ 110 кВ Южноуральская ГРЭС – Таганай и ВЛ 110 кВ Таганай – Таганай-т

					<b>ЮУрГУ – 13.04.02.2017.002. ПЗ ВКР</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Баденко В.А.			Осциллограммы при нетиповых коротких замыканиях	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Андреев А.Н.						80
Рецен.		Горшков Ю.Е.				ЮУрГУ Кафедра ЭССиСЭ		
Н. Контр.		Андреев А.Н.						
Утв.		Кирпичникова И.М.						

# **АНАЛИЗ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ НЕТИПОВЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ТРАНЗИТНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 110-220 кВ**

**Автор работы :Валерия Бабенко  
Студент группы П-282**

**Руководитель: к.т.н., доцент  
А.Н. Андреев**

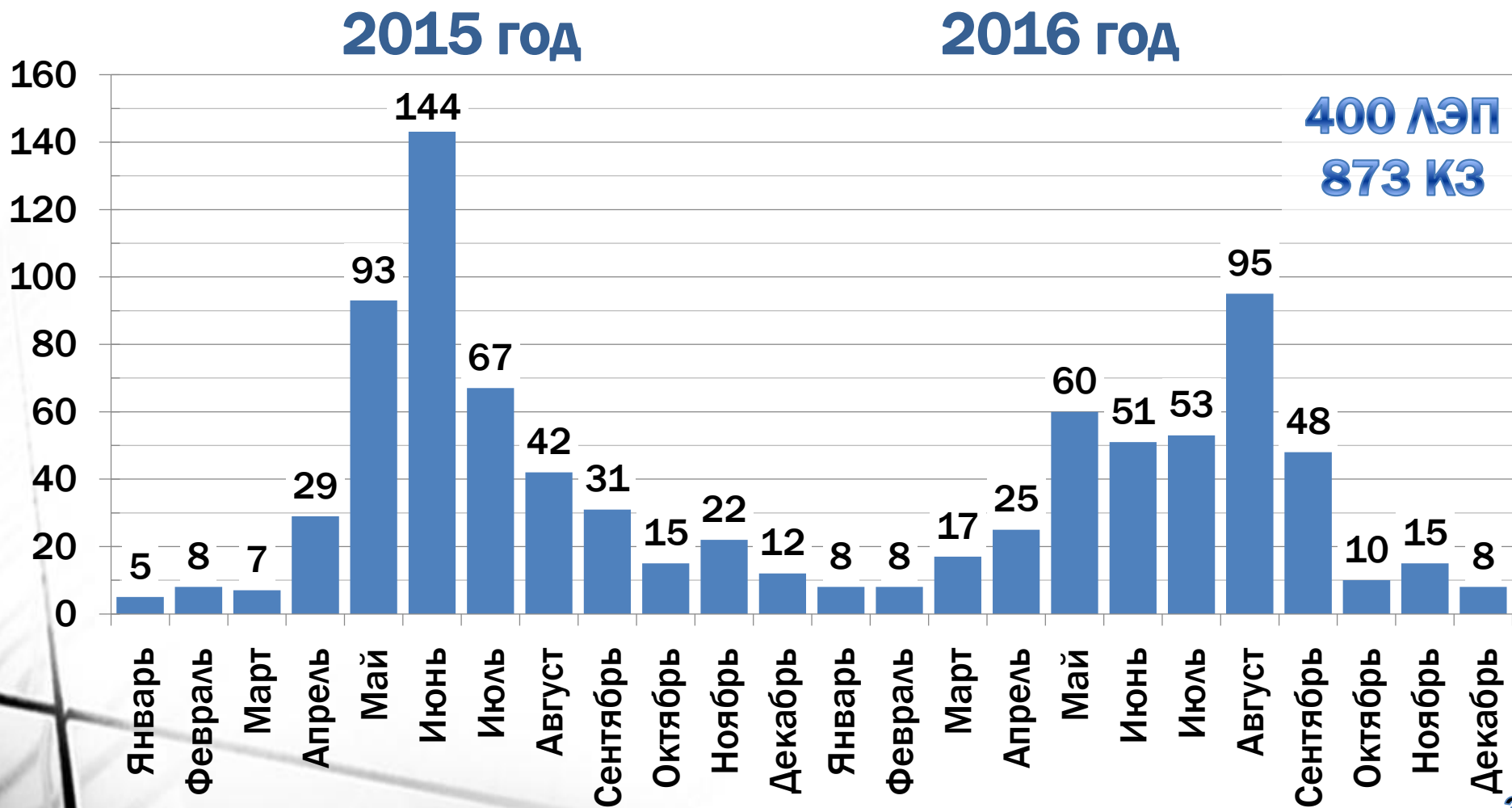
## Цель:

изучение и анализ работы основных и резервных защит, установленных на транзитных линиях электропередач 110-220 кВ Челябинской области, при нетиповых коротких замыканиях.

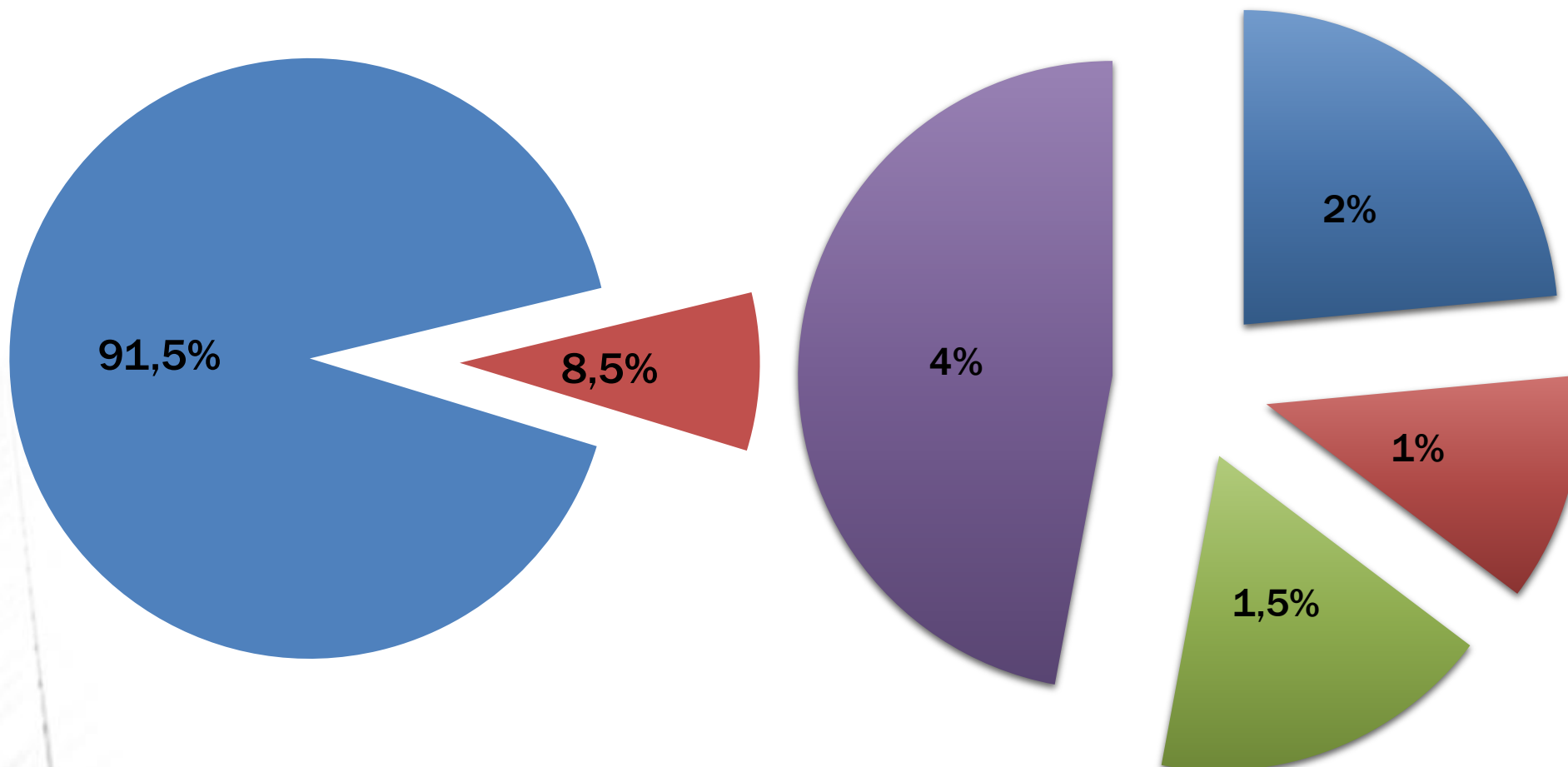
## Задачи:

- **1.** Определение частоты возникновения нетиповых коротких замыканий на транзитных ЛЭП 110–220 кВ.
- **2** Анализ особенностей протекания процессов нетиповых КЗ на основе осциллограмм произошедших событий.
- **3** Определение наиболее распространенных типов исполнения основных и резервных защит транзитных линий электропередач 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области.
- **4** Анализ принципа действия и особенностей функционирования принятых для исследования типов исполнения основных и резервных защит при нетиповых коротких замыканиях. Выявления принципиальных недостатков.
- **5** Разработка рекомендаций по модернизации устройств РЗ энергосистемы Челябинской области, направленных на повышение функциональности энергоузлов 110–220 кВ при отключениях нетиповых коротких замыканий.

# 1 Анализ количества аварийных отключений транзитных ЛЭП 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области



# Соотношение нетиповых КЗ к типовым за 2015-2016 года, %



■ типовые КЗ    ■ нетиповые КЗ

■ КЗ с обрывом токоведущего шлейфа ЛЭП  
■ затухающие КЗ  
■ КЗ изменяющегося вида  
■ КЗ с перекрытием изоляции между цепями двухцепной ЛЭП



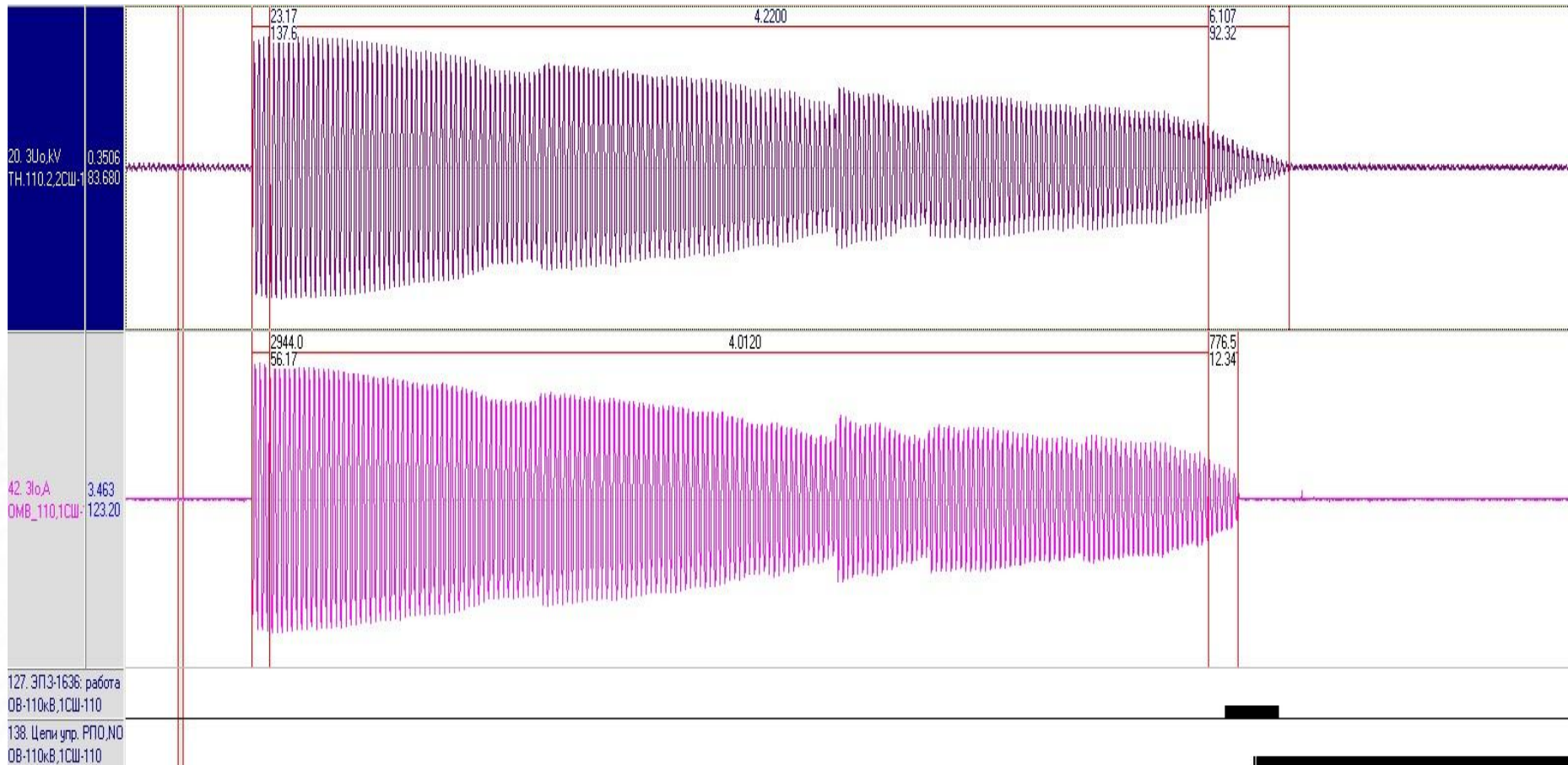
# 1 ВЫВОДЫ

**1.** Выполнение технических требований, предъявляемых к составу и особенностям функционирования устройств РЗ транзитных ЛЭП 110–220 кВ, является одним из ключевых факторов, влияющих на надежность функционирования энергоузлов 110–220 кВ.

**2.** Вышеуказанные технические требования к устройствам РЗ целесообразно формировать с учетом возможности возникновения нетиповых КЗ рассмотренных в данной работе видов.

**3.** Вышеуказанный учет следует производить на основании результатов подробного анализа функционирования существующих устройств РЗ транзитных ЛЭП 110–220 кВ при нетиповых КЗ в сетях 110–220 кВ.

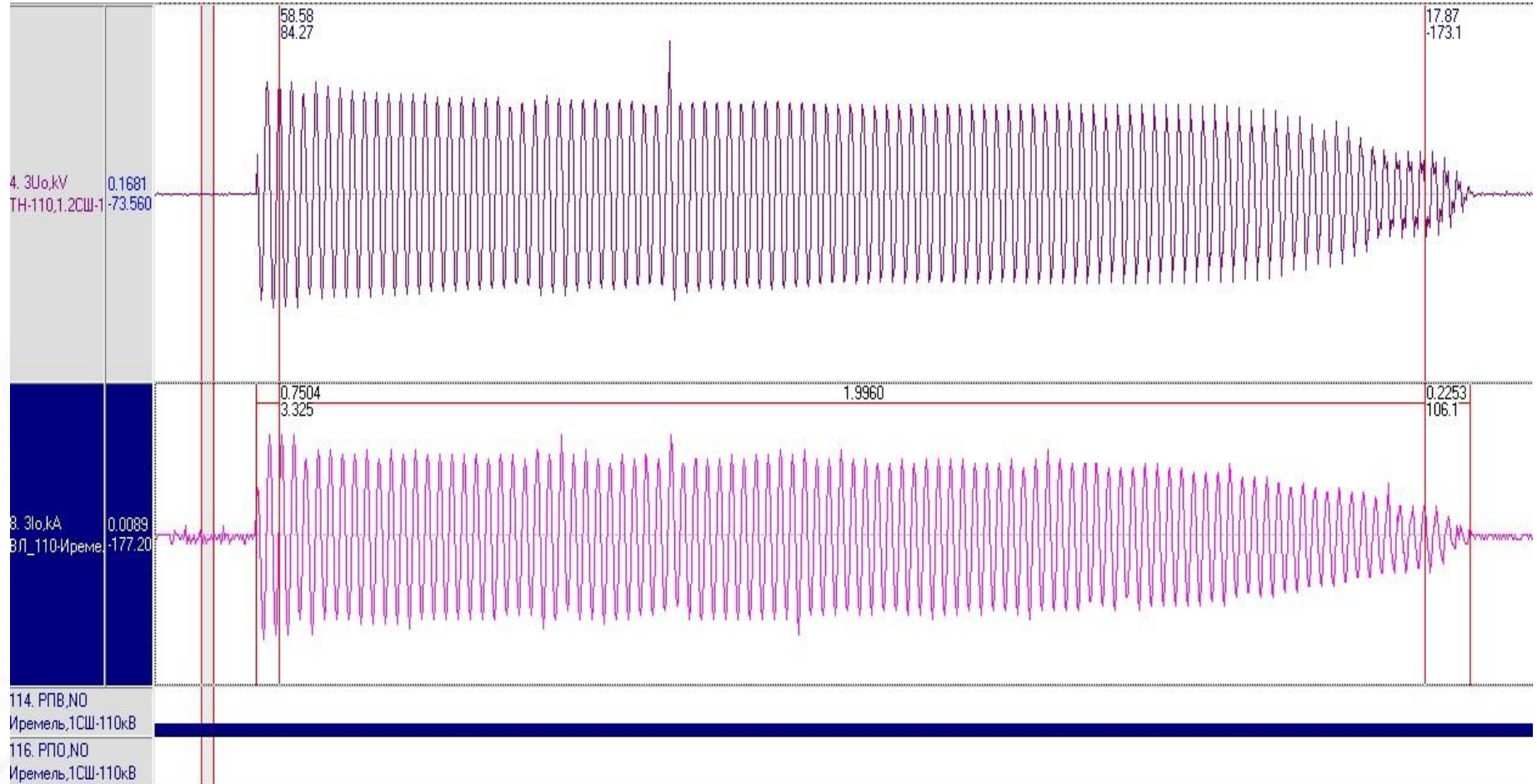
# 2 Анализ осциллограмм Затухающие короткие замыкания



Осциллограмма отключения затухающего КЗ на ВЛ 110 кВ  
Миасс – Курортная

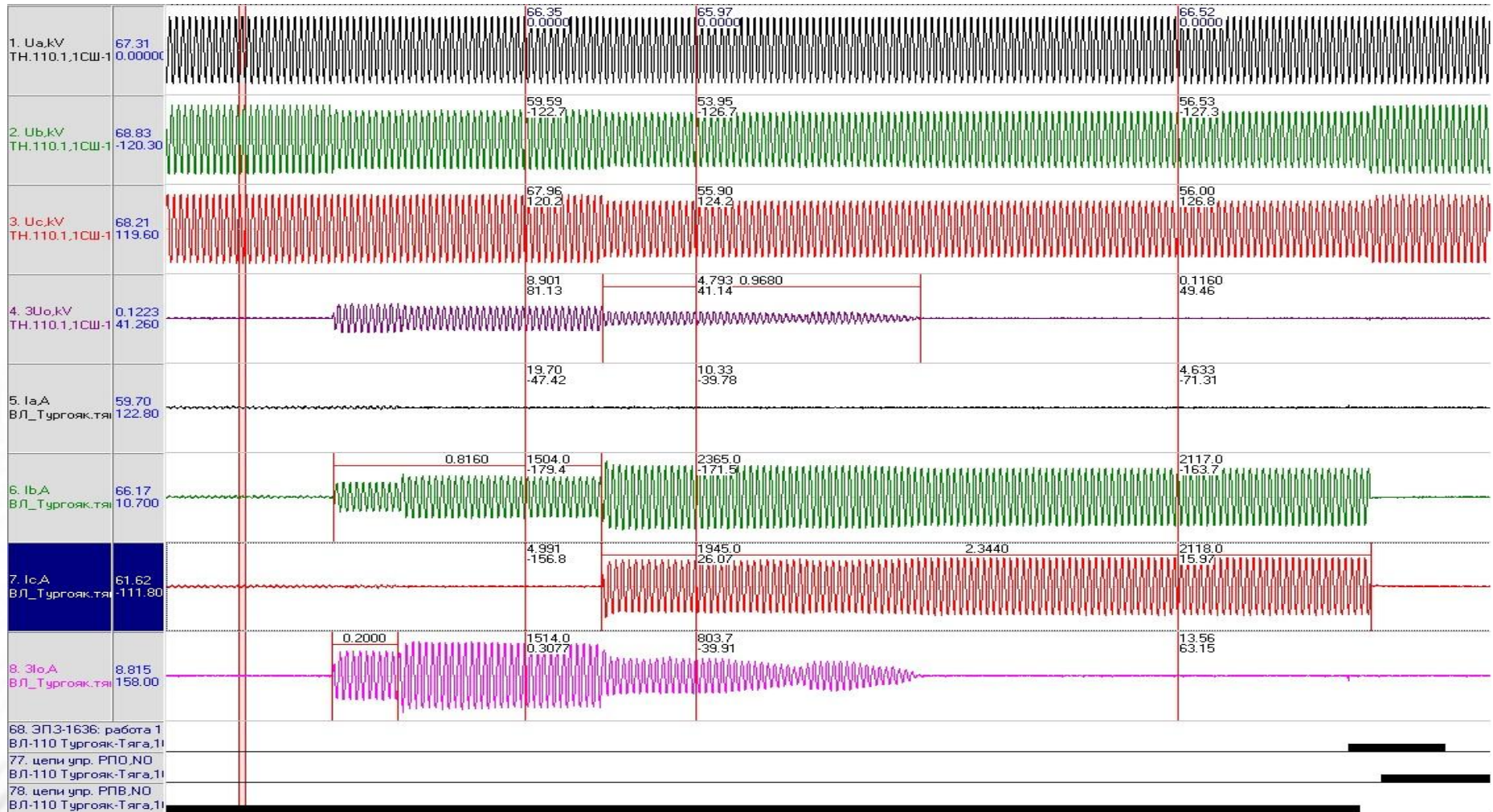
# 2 Анализ осциллограмм

## Затухающие короткие замыкания



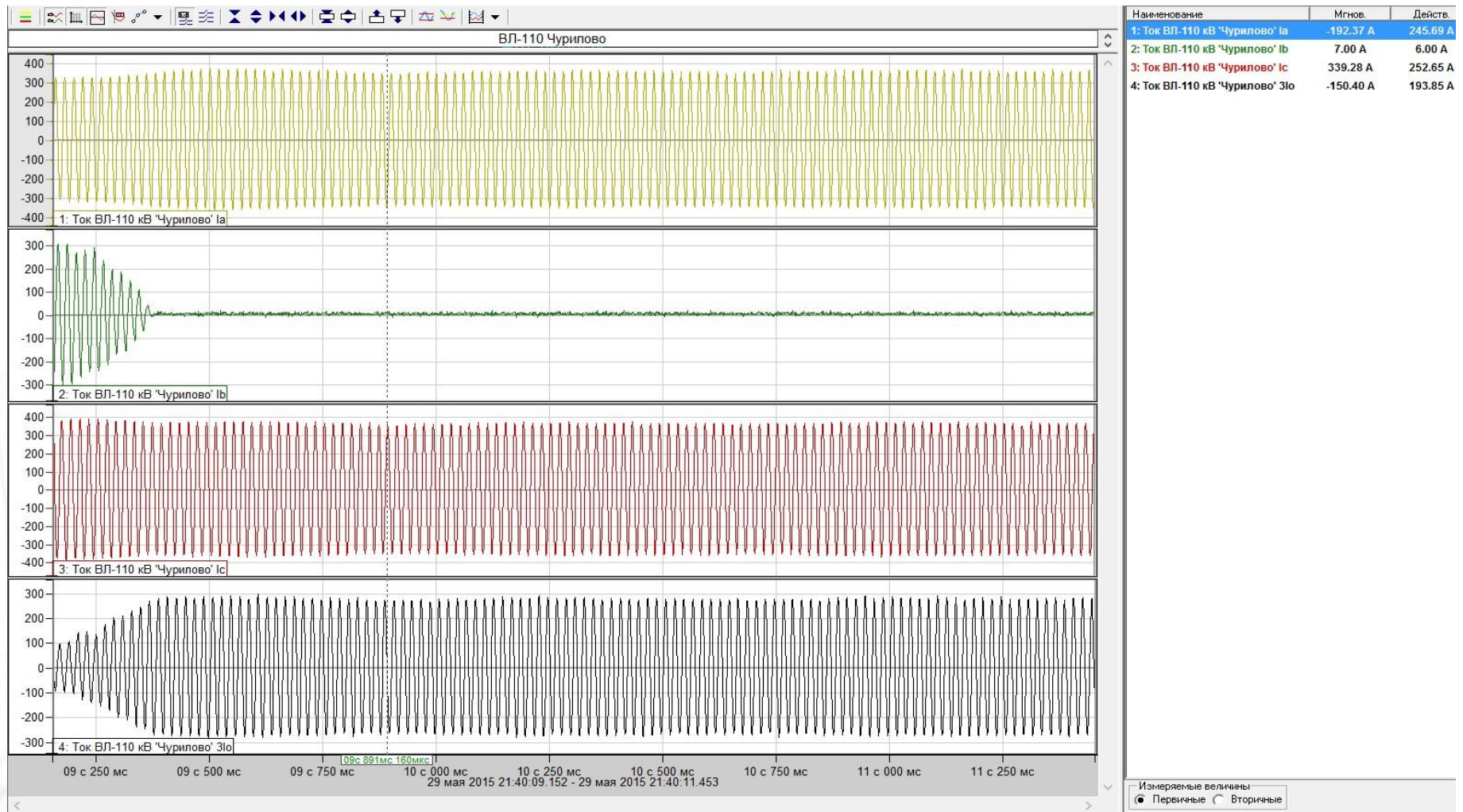
Осциллограмма отключения затухающего КЗ на ВЛ 110 кВ  
Ирмель – Уйская

# 2 Анализ осциллограмм Видоизменяющиеся КЗ



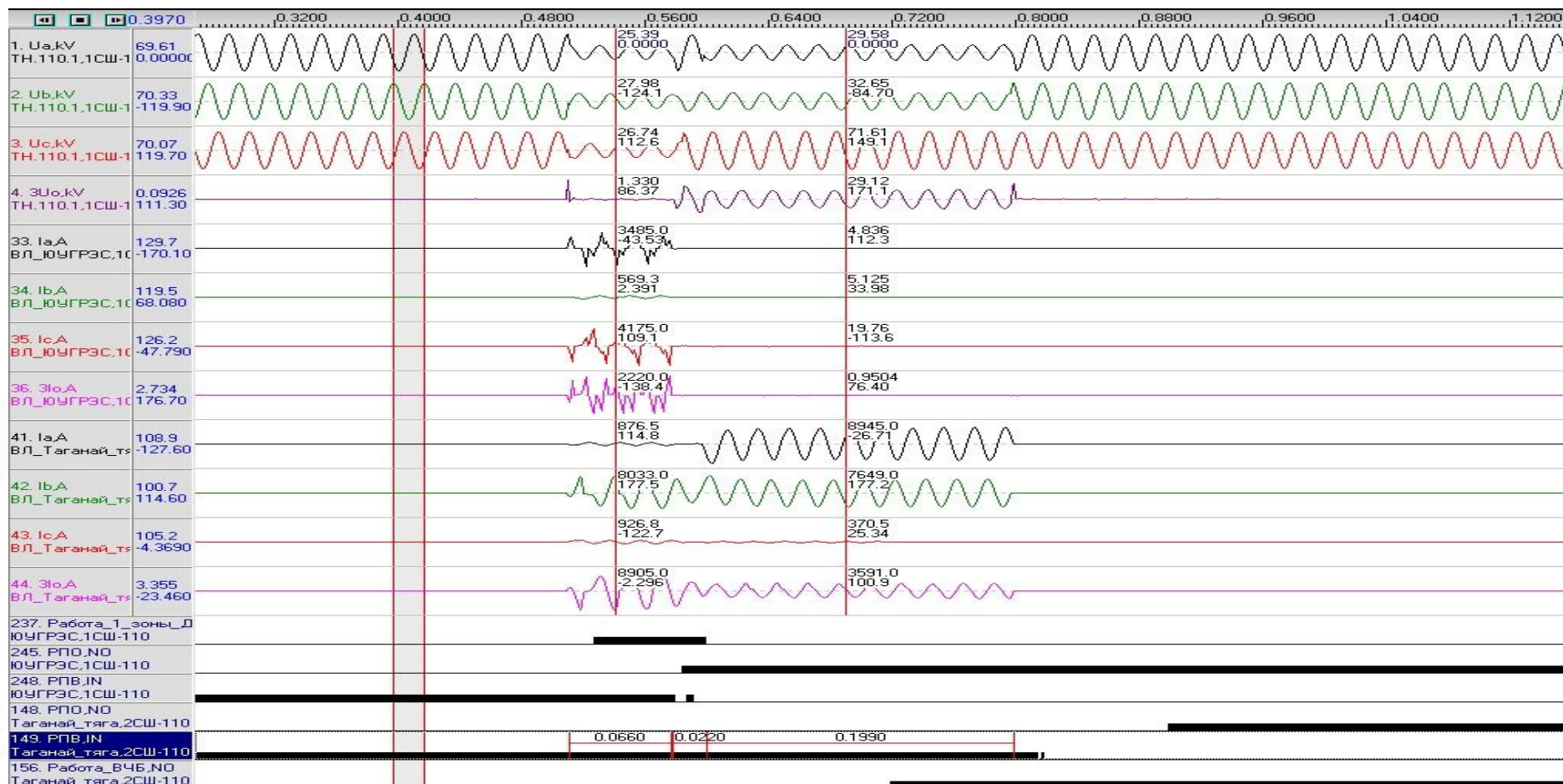
Осциллограмма видоизменяющегося КЗ на транзите 110 кВ  
Миасс – Тургойк-т – Хребет-т – Таганай-т

# 2 Анализ осциллограмм Случай обрыва шлейфа



Осциллограмма случая обрыва шлейфа ВЛ 110 кВ  
Челябинская ТЭЦ-1 – Чурилово-т – Гусеничная

# 2 Анализ осциллограмм КЗ между цепями двухцепной ЛЭП



Осциллограмма КЗ на двухцепном участке ВЛ 110 кВ  
Южноуральская ГРЭС – Таганай и ВЛ 110 кВ Таганай – Таганай-т

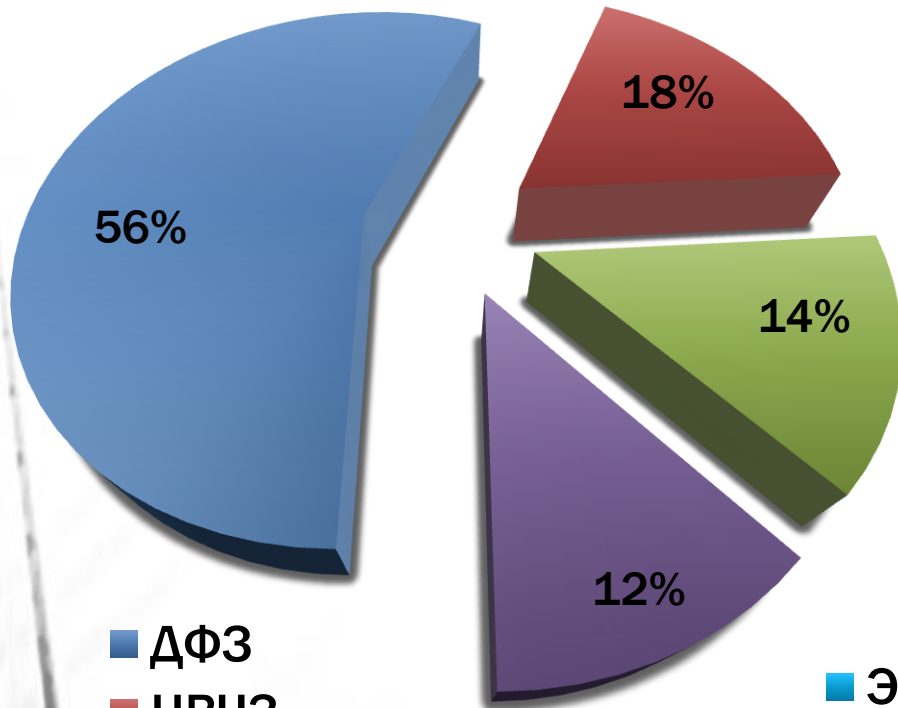
## 2 ВЫВОДЫ

1. Одной из главных причин существенного количества нетиповых КЗ является нарушение периодичности и качества выполнения ремонтов объектов электросетевого хозяйства (ЛЭП 110 кВ), а также технического обслуживания устройств РЗА ЛЭП 110 кВ, что показано на примере случая одновременного отказа на ПС 110 кВ Тургояк-т ВЧБ и ДЗ ВЛ 110 кВ Таганай-т – Хребет-т – Тургояк-т 02.06.2015г. (эксплуатирующая организация – Филиал ОАО «РЖД» ЮУЖД) или обрыва токоведущего шлейфа ВЛ 110 кВ Челябинская ТЭЦ-1 – Чурилово-т 29.05.2015г. при токе нагрузки в два раза меньшем предельного длительно допустимого (эксплуатирующая организация Филиал ОАО «МРСК Урала» Челябэнерго).

2. Особенности отключения нетиповых КЗ накладывают дополнительные сложности при выполнении релейным персоналом служб РЗА и ЭТЛ диспетчерских центров, субъектов электроэнергетики и потребителей электроэнергии оперативного анализа аварийных событий, особенно, при отсутствии регистраторов аварийных событий на объектах электроэнергетики, непосредственно электрически связанных с аварийно отключенными ЛЭП.

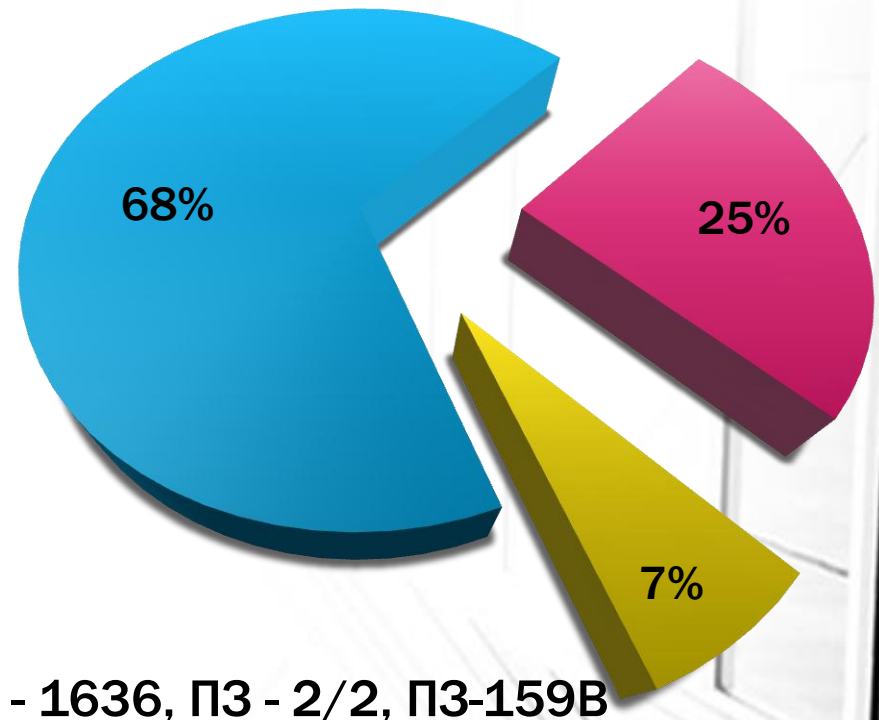
# 3 Количественный анализ типов исполнения устройств релейной защиты транзитных ЛЭП 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области

## Основная



- ДФЗ
- НВЧЗ
- ВЧБ ДЗ и ТЗНП
- Продольная ДЗЛ

## Резервная

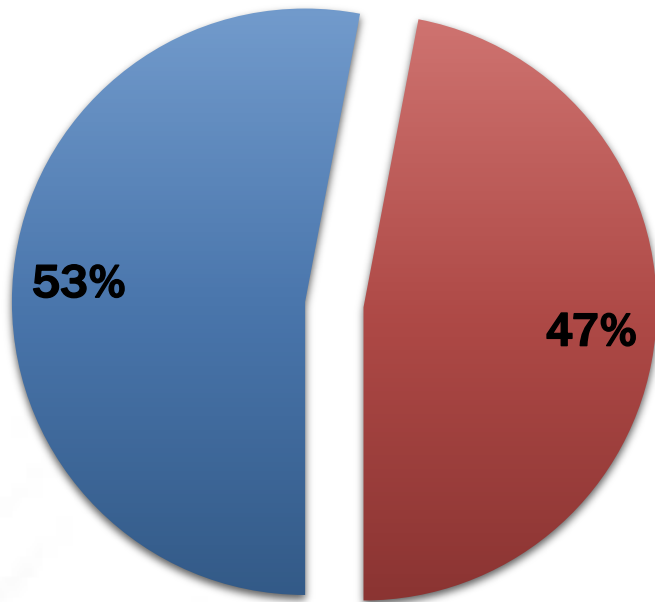


- ЭПЗ - 1636, ПЗ - 2/2, ПЗ-159В
- ШДЭ-2801, 2802
- ШЭ2607 011,012,021,022



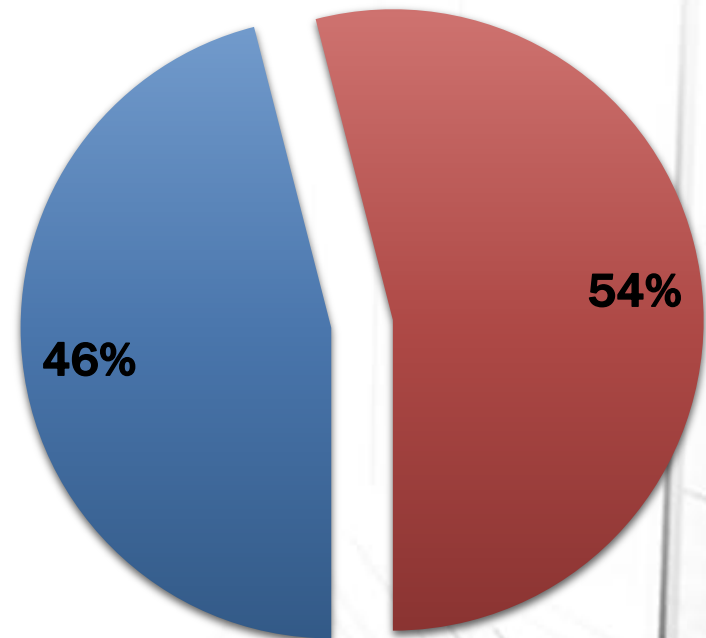
# 3 Количественный анализ типов исполнения устройств релейной защиты транзитных ЛЭП 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области

## Основная



■ Все устройства основных защит  
■ ДФЗ - 201

## Резервная



■ Все устройства резервных защит  
■ ЭПЗ - 1636

# 3 ВЫВОДЫ

Выполнение анализа функционирования существующих устройств РЗ транзитных ЛЭП 110–220 кВ при нетиповых КЗ в сетях 110–220 кВ в большей степени целесообразно осуществлять по отношению к панелям ДФЗ-201 и ЭПЗ-1636, что обусловлено не только высокой степенью распространенности вышеуказанных устройств, но и тем фактом, что принцип построения функций РЗ в составе данных панелей является классическим (в рамках Единой энергосистемы Российской Федерации), поэтому изначально был использован в качестве базы при разработке микропроцессорных устройств отечественными производителями.

# 4 Анализ работы устройств релейной защиты

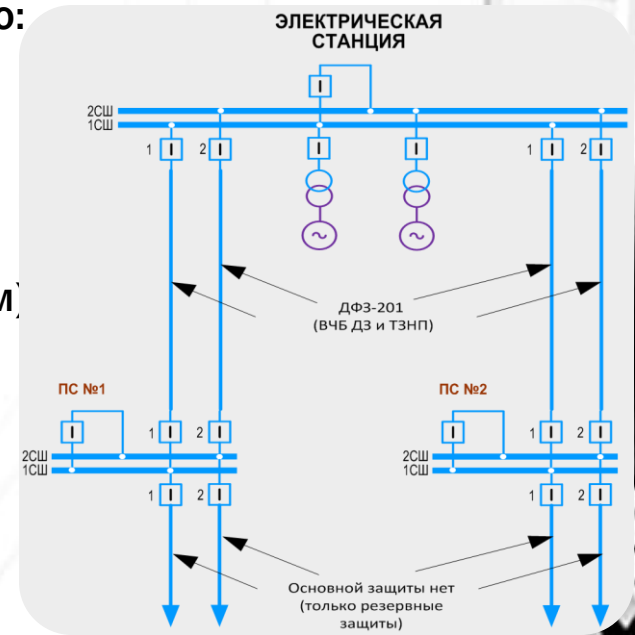
	Затухающие КЗ	КЗ с обрывом шлейфа	Видо-изменяющиеся КЗ	КЗ между цепями двухцепной ЛЭП
ДФЗ - 201				
ЭПЗ - 1636				

# 4 Выводы

- **1.** В принципе действия как ДФЗ-201, так и основных защит др. типов (микропроцессорных устройств ДФЗ с аналогичным принципом работы органа манипуляции, ВЧБ ДЗ и ТЗНП) присутствует недостаток: появление существенной задержки в отключении КЗ с обрывом токоведущего шлейфа на защищаемой ЛЭП, образовавшегося в результате отключения изначально появившегося КЗ на смежном элементе сети с выдержками времени резервных ступеней ДЗ или ТЗНП.
- **2.** При модернизации основных защит ЛЭП, отходящих от электрических станций целесообразно рекомендовать установку микропроцессорной ДЗЛ, лишенной данного органического недостатка. Установка устройства НВЧЗ, также лишенного вышеуказанного недостатка, не рекомендуется в силу бесполезности данного устройства в случаях неисправности или потере цепей напряжения «звезды». В качестве спорной ситуации следует рассматривать случаи, когда значительность длины защищаемой ЛЭП будет приводить к заметному удорожанию варианта установки микропроцессорной ДЗЛ при прокладке ВОЛС для организации ее канала связи.
- **3.** Вышеуказанное решение замены ДФЗ-201 и ВЧБ ДЗ и ТЗНП следует считать наиболее эффективным в тех случаях, когда на ЛЭП, отходящих от объектов электроэнергетики, смежных электрической станции, основные защиты не предусмотрены (см. рисунок 4.6) (то есть возможно отключение КЗ за отходящими от электрической станции ЛЭП со значительными выдержками времени).

# 4 Выводы

- 4. Для обеспечения надежности параллельной работы электрических станций с энергосистемой Челябинской области по условию обеспечения динамической устойчивости генераторов при отключениях нетиповых КЗ в прилегающей сети 110–220 кВ целесообразно предусмотреть модернизацию:
- 4.1 Основных защит ВЛ 110 кВ Троицкая ГРЭС – Троицкая районная 1, 2 цепь с заменой панелей ДФЗ-201 на микропроцессорные устройства ДЗЛ в силу того, что:
  - а) на транзите 110 кВ Троицкая районная – Станкозаводская – Кумысная-т – Упрунт – Казачья-т основные защиты отсутствуют;
  - б) длина данных ЛЭП является незначительной (менее 7 км).
- 4.2 Основной защиты ВЛ 110 кВ Аргаяшская ТЭЦ – Болото-7 с заменой панелей ДФЗ-201 на микропроцессорные устройства ДЗЛ в силу того, что:
  - а) на ВЛ 110 кВ Болото-7 – Заварухино основная защита отсутствует;
  - б) длина данной ЛЭП является незначительной (менее 5 км).



# Выводы

**1.** В принципах действия защит в составе ЭПЗ-1636 присутствуют недостатки, наличие которых может привести к значительному увеличению времени отключения видоизменяющихся КЗ и КЗ между цепями двухцепной ЛЭП.

**2.** Для обеспечения надежности параллельной работы электрических станций с энергосистемой Челябинской области по условию обеспечения динамической устойчивости генераторов при отключениях нетиповых КЗ в прилегающей сети 110–220 кВ целесообразно:

**2.1.** Выполнить проверку исполнительных схем ЭПЗ-1636 транзитных ЛЭП 110–220 кВ, отходящих от Аргаяшской ТЭЦ, Челябинской ТЭЦ-2, Троицкой ГРЭС, Южноуральской ГРЭС, ТЭЦ Уралаз на предмет наличия технического решения, указанного в разделе 5.4.

**2.2.** Предусмотреть установку основных защит на следующих транзитных ЛЭП:

- а) двухцепной ВЛ 110 кВ Южноуральская ГРЭС – Первомайка I, II цепь;
- б) ВЛ 110 кВ Троицкая ГРЭС – Бобровская, имеющей совместный двухцепный участок с тупиковой ВЛ 110 кВ Троицкая ГРЭС – Строительная.

# Заключение

Непосредственное применение результатов произведенного исследования позволит:

**1)** повысить качество и оперативность анализа аварийных осциллограмм персоналом служб РЗА и ЭТЛ диспетчерских центров, субъектов электроэнергетики и потребителей электроэнергии;

**2)** повысить надежность функционирования энергоузлов 110–220 кВ энергосистемы Челябинской области при осуществлении модернизации и организации эксплуатации устройств РЗ транзитных ЛЭП 110–220 кВ.

# **СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

**АНАЛИЗ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ  
ПРИ НЕТИПОВЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ  
НА ТРАНЗИТНЫХ ЛИНИЯХ  
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ  
110-220 кВ**

**Автор работы : Студент группы П-282  
Валерия Бабенко**

**Руководитель: к.т.н., доцент  
А.Н. Андреев**