

*Е.А. Морозов<sup>1</sup>, В.В. Фареных<sup>1</sup>, М.В. Востриков<sup>1</sup>, В.А. Тихомиров<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, Российская Федерация

<sup>2</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

## **ПОВЫШЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ ЦЗА-27,5-ФКС(ФТС) С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЧИСЛА ОТКЛЮЧЕНИЙ ПО НЕУСТАНОВЛЕННЫМ ПРИЧИНАМ**

**Аннотация.** Статья посвящена комплексному исследованию терминалов микропроцессорной защиты фидеров контактной сети ЦЗА-27,5-ФКС(ФТС), эксплуатируемой на Забайкальской железной дороге в части повышения селективности ее работы за счет снижения числа отключений по неустановленным причинам. В основе исследования лежит способ визуализации, обработки и хранения информации о величинах и длительности токов и напряжений (в виде осциллограмм), протекающих в контактной сети. Предложен вариант модернизации действующего терминала и оценена возможность создания индивидуального шаблона, характеризующего мгновенные рабочие параметры (уставки) при различных модификациях графика движения поездов (ГДП).

**Ключевые слова.** Релейная защита, селективность, график движения поездов, осциллограмма, сплайн-интерполяция, схемы ФАПЧ, унифицированный шаблон, уставка.

*Е.А. Morozov<sup>1</sup>, V.V. Farenikh<sup>1</sup>, M. V. Vostrikov<sup>1</sup>, V. A. Tikhomirov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, the Russian Federation

<sup>2</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

## **INCREASING THE SELECTIVITY OF THE OPERATION OF MICROPROCESSOR TERMINALS CZA-27,5-FCS(FTS) IN ORDER TO REDUCE THE NUMBER OF OUTAGES FOR UNKNOWN REASONS**

**Abstract.** The article is devoted to a comprehensive study of the terminals of microprocessor protection of feeders of the contact network CZA-27,5-FCS(FTS) operated on the Trans-Baikal Railway in terms of increasing the selectivity of its operation by reducing the number of outages for unknown reasons. The research is based on a method for visualizing, processing and storing information about the values and duration of currents and voltages (in the form of oscillograms) flowing in the contact network. A variant of modernization of the existing terminal is proposed and the possibility of creating an individual template characterizing instantaneous operating parameters (setpoints) with various modifications of the train schedule (GDP) is evaluated.

**Keywords.** Relay protection, selectivity, train schedule, oscillogram, spline interpolation, PLL schemes, unified template, setpoint.

### **Введение**

Релейная защита (РЗ) - комплекс устройств, предназначенных для быстрого, автоматического (при повреждениях) выявления и отделения от электроэнергетической системы повреждённых элементов этой системы в аварийных ситуациях с целью обеспечения нормальной работы всей системы

С развитием техники релейной защиты уменьшались ее габариты и собственное потребление, улучшались ее характеристики, повышались быстродействие, чувствительность и надежность, совершенствовались алгоритмы функционирования. Все это позволяет более уверенно решать основную проблему: четкое разграничение аварийного и нормального режимов.

Назначение релейной защиты и требования, предъявляемые к ней, заключаются в том, что устройства должны контролировать работу электрооборудования, своевременно реагировать на изменения рабочего режима, мгновенно отключать поврежденный участок сети и сигнализировать персоналу об аварии.

По отношению к РЗА предъявляются следующие требования:

1. Селективность. При возникновении аварийной ситуации должен быть отключен только тот участок, на котором обнаружен ненормальный режим работы. Все остальное электрооборудование должно работать.
2. Чувствительность. Релейная защита должна реагировать даже на самые минимальные значения аварийных параметров (заданы уставкой срабатывания).
3. Быстродействие. Не менее важное требование к РЗА, т.к. чем быстрее реле сработает, тем меньше шанс повреждения электрооборудования, а также возникновения опасности.
4. Надежность. Само собой аппараты должны выполнять свои защитные функции в заданных условиях эксплуатации [1, 2].

В начале 2000-х годов на территории России выделились три наиболее перспективных системы микропроцессорных релейных защит фидеров контактной сети для железных дорог переменного тока:

- БМРЗ (блок микропроцессорный релейной защиты) - производство НТЦ «Механотроника», г. Санкт-Петербург [3];
- ИнТер (интеллектуальный терминал) - производство «НИИЭФА – ЭНЭРГО», г. Санкт-Петербург [4];
- ЦЗА (цифровая защита и автоматика) - производство «НИИЭФА – ЭНЭРГО», г. Санкт-Петербург [5, 6].

Их применение позволяет:

- реализовать принципиально новые возможности построения защит;
- обеспечить работу защиты при неполной информации;
- прогнозировать предаварийные ситуации;
- реализовать самодиагностику защиты;
- реализовать более качественные характеристики;
- обработать большой объем информации, в т.ч. и от смежных объектов;
- реализовать самонастраивающиеся (адаптивные) системы.

Наибольший эффект системы микропроцессорной защиты (МЗ) реализуется при ее комплексном использовании, когда выполняются не только функции релейной защиты и автоматики, но и определения места повреждения, цифровое осциллографирование для анализа причин, вызвавших срабатывание защиты и т.д. Возможно также построение многоуровневых автоматизированных систем управления (АСУ) на базе блоков МЗ, благодаря объединению функций защиты с функциями связи, передачи данных, регистрации и отображения информации (в т.ч. об аварийных ситуациях) [5, 6].

Однако существует и много проблем при применении систем МЗ:

- вопросы надёжности функционирования и т. д.;
- проблемы с электромагнитной совместимостью и помехоустойчивостью, особенно в ситуации возрастания опасности преднамеренных дистанционных воздействий мощных направленных электромагнитных импульсов;
- функциональная избыточность и сложность настроек для эксплуатации;
- относительно большая стоимость;
- избыточная чувствительность, приводящая к ложным срабатываниям;
- надёжность не выше, чем у остальных видов релейных защит, даже при наличии встроенной возможности самодиагностики.

К несомненному плюсу системы МЗ можно отнести ее принципы построения, а именно: мультипроцессорность; модульность; децентрализацию; иерархичность; динамическое перераспределение функций; развитие системы; комплексное проектирование.

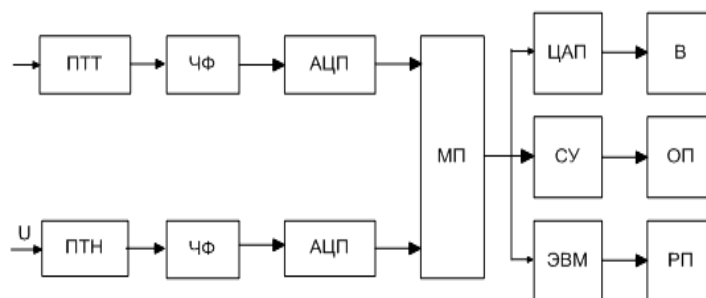
## Основная часть

В качестве объекта дальнейшего исследования выступает микропроцессорная защита фидеров контактной сети железных дорог переменного тока ЦЗА-27,5-ФКС(ФТС), эксплуатируемая на Забайкальской железной дороге в настоящее время.

Данная микропроцессорная защита имеет модульно-блочную систему конструкции, где кассетным способом (друг за другом) расположены модули датчиков тока (МДТ) и напряжения (МДН), модуль контроллера измерений и защит (МКИЗ) и модуль контроллера автоматики (МКА) [7].

Рассмотрим процесс работы МЗ с аппаратно-программной точки зрения.

Упрощённая функциональная схема микропроцессорной релейной защиты выглядит следующим образом (рисунок 1).



**Рис. 1. Структурная схема микропроцессорной защиты:**

**ПТТ – промежуточный трансформатор тока; ПТН – промежуточный трансформатор напряжения; ЧФ – частотные фильтры; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; МП – микропроцессор; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь; СУ – сигнальное устройство; В – выключатель; ОП – оперативный персонал; РП – релейный персонал**

Входными элементами являются промежуточные трансформаторы напряжения ПТН и тока ПТТ, выходные сигналы с которых поступают на частотные фильтры (ЧФ), которые пропускают составляющие тока и напряжения 50 Гц и не пропускают высокочастотные гармоники (помехи). Далее аналоговые сигналы необходимо преобразовать в дискретные при помощи аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Полученные дискретные сигналы в виде двоичного кода поступают на вход программируемой микропроцессорной системы (МП).

МП функционирует следующим образом:

- подаётся питание;
- в регистр адреса (РА) загружается первая команда;
- первая команда передаёт управление управляющей команде;
- управляющая команда тестирует МП (запоминающие устройства, внешние устройства и т. д.), переписывает основную программу (ОПр) в оперативно-запоминающее устройство (ОЗУ) и передаёт ей управление;
- начинает работать основная программа, выполняющая функции системы в реальном масштабе времени: ОПр вводит в ОП мгновенные значения входных сигналов, преобразованные в цифровую форму с помощью АЦП;
- производит арифметические и логические действия в соответствии с алгоритмом;
- осуществляет сравнение преобразованных чисел с уставкой пускового органа (ПУО);
- если ПУО сработал, программа начинает работать сначала.

Работа ЦЗА-27,5-ФКС(ФТС) происходит следующим образом: контролируемые сигналы непрерывно снимаются с трансформаторов тока и напряжения и поступают на первичные частотные фильтры нижних частот, где происходит срез высших гармонических составляющих.

Далее происходит оцифровка сигналов тока и напряжения с целью последующего дискретного преобразования Фурье, лежащего в основе работы цифровых фильтров.

Основной задачей цифровых фильтров, реализованных на программном уровне микропроцессора, является выделение первой (основной) гармоники из состава входного несинусоидального сигнала.

Микропроцессор анализирует и обрабатывает параметры синусоидального сигнала на программном уровне, выдавая соответствующее управляющее воздействие через цифро-аналоговый преобразователь на исполнительные органы (выключатели фидеров контактной сети). Параллельно информация об аварийных режимах поступает на пульт-табло оперативного персонала и сохраняется в модуле памяти МЗ ЦЗА.

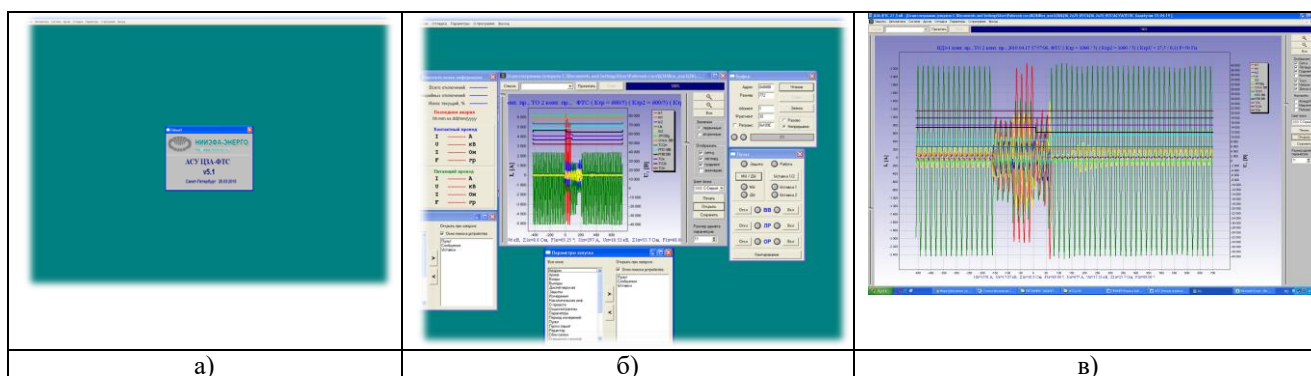
Принятие решения о срабатывании МЗ принимается главным образом на основе оценки разности фаз между векторами тока и напряжения. Между тем цифровые фильтры дают большую погрешность определения фаз в случае возникновения отклонения частоты сигналов от их номинальных значений.

ЦЗА-27,5-ФКС(ФТС) оснащена дисплеем для текущего визуального контроля параметров, но и возможностью сохранения информации о случаях аварийных отключений, ложных срабатываний и т.д. Регистрируется и сохраняется восемнадцать причин аварийных событий, которые хранятся в меню АВАРИИ и шестнадцать осциллограмм последних аварийных отключений выключателя.

Запись осциллограмм при регистрации производится с интервалом дискретизации 0.833 мс. Длительность процесса регистрации составляет 1,2 с:

- 0,5 с - предыстория аварии (до аварии);
- 0,7 с - аварийный процесс.

Просмотр осциллограмм также осуществляется при помощи ПЭВМ и специальной программы АСУ ЦЗА-ФТС (рисунок 2 а, б, в) [8].



**Рис. 2. Внешний вид рабочих окон специальной программы АСУ ЦЗА-ФТС:  
а – главное рабочее окно, б – окно функционала возможностей, в - пример отображения сохраненной  
аварийной осциллограммы**

Контактная сеть является частным случаем стандартной однофазной (многофазной) электрической сети, не имеющей резерва (хотя по категории надежности электроснабжения относится к первой). Учитывая специфику возможных режимов работы системы тягового электроснабжения, к устройствам релейной защиты фидеров контактной сети переменного тока предъявляется ряд повышенных требований и дополнительных условий [9, 10].

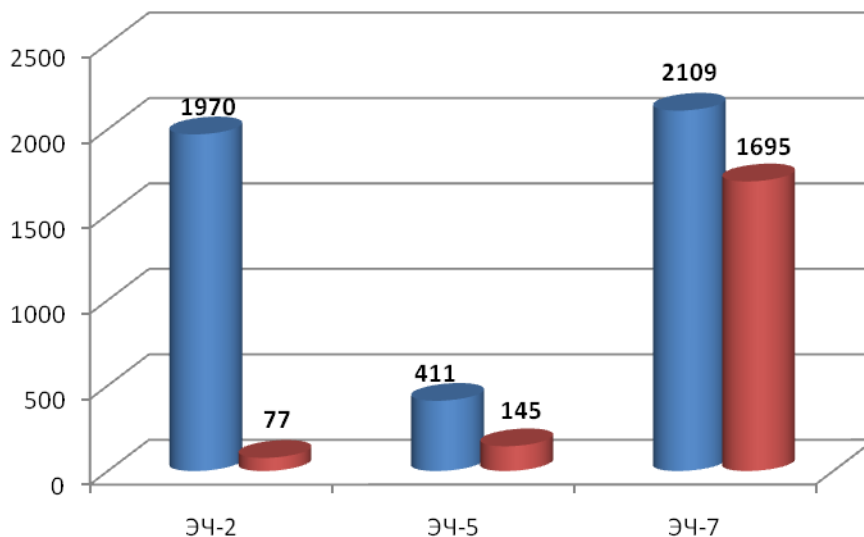
Микропроцессорная защита ЦЗА-27,5-ФКС(ФТС) выполняет не только функции защиты и автоматики, контроля и сигнализации, но и местного и дистанционного управления фидером тяговой сети.

Так как ЦЗА-27,5-ФКС(ФТС) может включаться в автоматизированную систему управления (АСУ) тяговой подстанции в качестве подсистемы нижнего уровня, она обеспечивает два режима управления:

- местное управление - кнопками, расположенными на пульте блока управления;
- дистанционное управление, осуществляемое по последовательному каналу от АСУ или через специальные дискретные входы от стойки традиционной телемеханики.

Одним из недостатков в эксплуатации МЗ ЦЗА-27,5-ФКС(ФТС) является отсутствие возможности записи в память устройства данных об изменении токов и напряжений, протекающих в тяговой сети в on-line режиме (записывается только ограниченное число аварийных осциллограмм) и возможности их визуализации (on-line просмотра) на дисплее блока управления или в АСУ ЦЗА-ФТС.

На рисунке 3 представлен график отключений релейной защиты фидеров контактной сети за период 2018-2021 гг. в привязке к энергоучасткам (ЭЧ).



**Рис. 3. Число срабатывания (отключений) устройств релейной защиты фидеров контактной сети тяговых подстанций за период 2018-2021 гг. (■ - общее число отключений, ■ - число отключений по неустановленным причинам)**

Исследуя возможные причины, приведшие к столь частому (в том числе) срабатыванию по неизвестным (неустановленным) причинам, можно предположить, что жестко введенные уставки (не меняющиеся совместно с изменением поездной ситуации и режимом работы системы тягового электроснабжения) не позволяют устройству релейной защиты распознать режимы, связанные с кратковременным увеличением тягового тока и изменением угла сдвига фаз между током и напряжением в нормальном режиме работы при трогании тяжеловесных поездов с места, при возобновлении режима электропотребления после прохождения нейтральной вставки, при переключении режимов работы двигателей электровозов, включении режимов рекуперации, вступлении поездов в зону действия защиты и выхода из нее при пакетном графике движения, пропуске тяжеловесных и сдвоенных составов и т.д.

В результате подробного изучения и анализа работы существующих и эксплуатируемых микропроцессорных релейных защит фидеров контактной сети с точки зрения их современного уровня автоматизации выявлены следующие моменты:

- отсутствует комплексный подход к обеспечению надежности режимов работы системы тягового электроснабжения (СТЭ), включающий обоснованные решения в части аппаратно-программных средств устройств и систем релейной защиты и автоматики (РЗА), обеспечения живучести объектов СТЭ;
- не решены в полной мере вопросы организации удаленного доступа и кибербезопасности;
- требуется разработка автоматизированной системы РЗА, с активно-адаптивными алгоритмами;
- развитие коммуникационных сетей каналов информации о параметрах движущихся поездов, профиле пути, режимов движения поездов, графике движения и т.д.

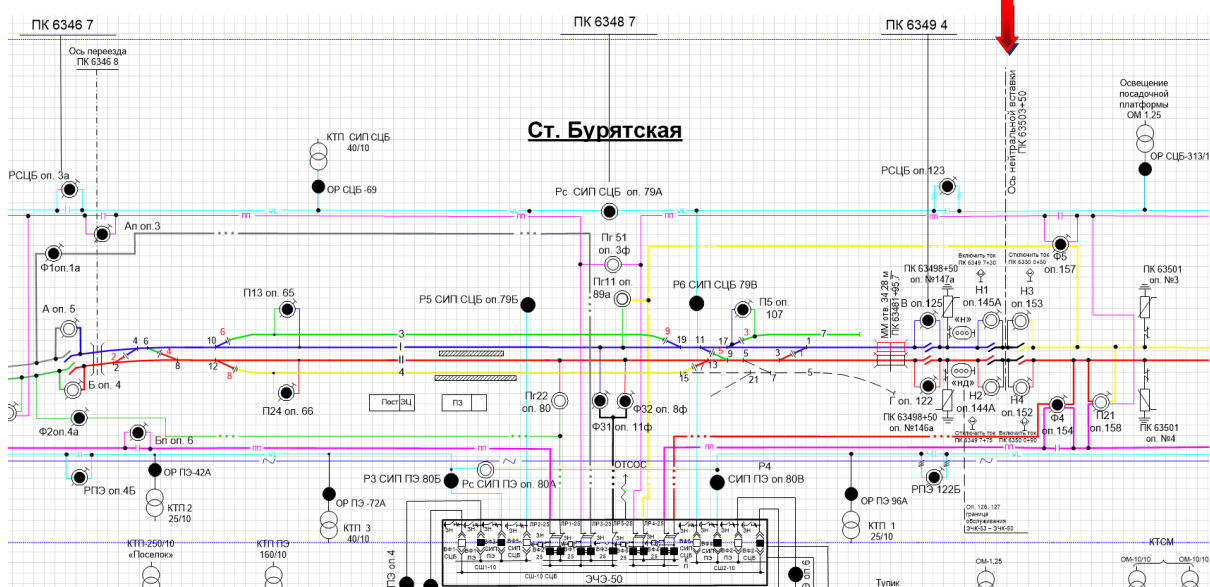
В работе предлагаются следующие прогнозируемые изменения в общем уровне систем релейной защиты и автоматики (РЗА):

- применение микропроцессорных устройств со значительными вычислительными способностями;
- распределенная аппаратная архитектура - разделение функций между прикладными функциями устройств релейной защиты (формирование базы шаблонов уставок и т.д.) и устройствами управления;
- развитие коммуникационных сетей каналов информации о параметрах движущихся поездов, профиле пути, режимов движения поездов, графике движения и т.д.;
- применение современных средств связи, преимущественно последовательные оптоволоконные соединения для новых и модернизированных систем, дублирование портов связи;
- применение адаптивной конфигурации, встроенная оценка повреждения, улучшенные алгоритмы для не традиционных измерительных трансформаторов;
- всесторонний мониторинг энергосистемы;
- использование современных средств автоматизации.

Предметом данного исследования является стандартный алгоритм работы устройства цифровой защиты и автоматики фидера контактной сети 27,5 кВ (ЦЗА-27,5-ФКС(ФТС)), который предлагается усовершенствовать за счет использования аналого-цифрового преобразователя (АЦП) - электронного USB осциллографа, дополнительного (вспомогательного) микроконтроллера (ВМ) и выделенных проводных каналов связи по схеме «блок АЦП – блок ВМ – ПО «ГИД» - рабочее место дежурного персонала тяговой подстанции».

Исследование проводилось с помощью преобразования мгновенных значений входных сигналов в цифровые значения, способа быстрого преобразования Фурье, способа аналитического представления оцифрованных сигналов с помощью сплайн-интерполяции (первой, второй и третьей степени с различными вариантами склейки функций в точках их сопряжения), методов адаптации и совместного хранения получаемых данных с вспомогательного микропроцессора и со специализированной программной оболочкой «ГИД» (график исполненного движения) [11] на рабочем месте дежурного персонала тяговой подстанции в виде базы унифицированных шаблонов уставок.

В качестве экспериментального был выбран участок Седловой – Бурятская – Могойтуй Забайкальской железной дороги, измерения производились на тяговой подстанции (ТП) Бурятская (рисунок 6). В качестве расчетного был принят первый путь, имеющий большее число резкопеременных элементов профиля пути, в том числе и затяжной подъем. Схема питания электроподвижного состава (ЭПС): через фидер контактной сети ФКС 5 от ст. Могойтуй до ст. Бурятская (до нейтральной вставки), затем (через изолирующее сопряжение) переход на фидер контактной сети ФКС 3 (станционный) и выход (через изолирующее сопряжение) на перегон Бурятская - Седловой через фидер контактной сети ФКС 1. Кроме того, согласно правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации «ПТЭ» [12], точку токораздела (нейтральную вставку) в границах станции электровоз должен проходить с опущенным токоприемником и отключенными тяговыми двигателями для недопущения межфазных коротких замыканий между участками тяговой сети, запитанных от разных фидеров. В нашем случае отключить токоприемник необходимо в координате ПК 3650 0+50, а включить – в координате ПК 6349 7+30 (рисунок 4, ориентир – красная стрелка в правом верхнем углу).



**Рис. 4. Схема питания и секционирования тяговой сети 2×25 кВ ст. Бурятская**

Распределительное устройство 2×25 кВ на ТП Бурятская представляет собой систему, состоящую из двух модулей комплектных распределительных устройств наружной установки (КРУН), в том числе включающих в себя и ячейки, в которых расположены измерительные трансформаторы тока и напряжения (рисунок 5, ячейки № 5 и № 6) обеспечивающие гальваническую развязку и предварительное масштабирование входных сигналов, снимаемых с их вторичных обмоток, а прецизионные усилители служат для точного масштабирования сигналов и согласования импедансов промежуточных трансформаторов и аналого-цифрового преобразователя (МДТ и МДН в терминале релейной защиты). Далее (посредством АЦП МКИЗ) осуществляется преобразование мгновенных значений входных сигналов в их цифровые значения. Данные преобразования актуальны для частоты выборок до 2000 Гц. Далее полученные цифровые сигналы тока и напряжения, с целью дополнительной фильтрации и развернутого анализа гармонических составляющих в микропроцессоре, проходят через операцию быстрого преобразования Фурье. После чего по выборкам рассчитываются интегральные параметры контролируемых сигналов и их гармоник (амплитудные, действующие значения и т.д.).

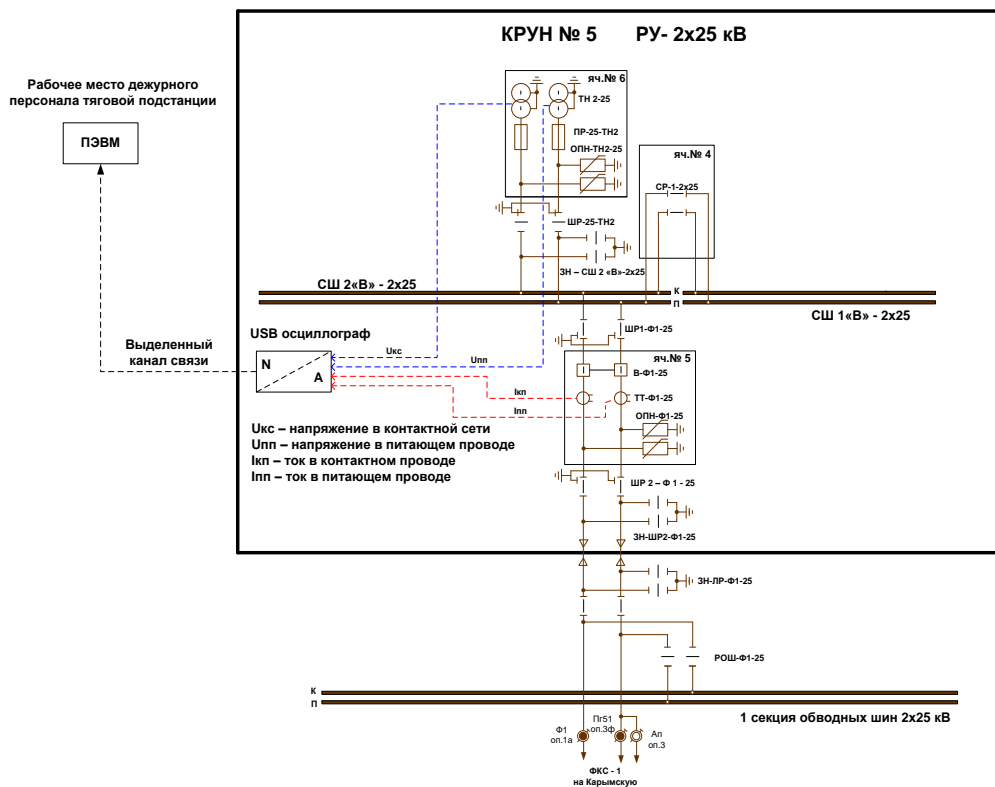
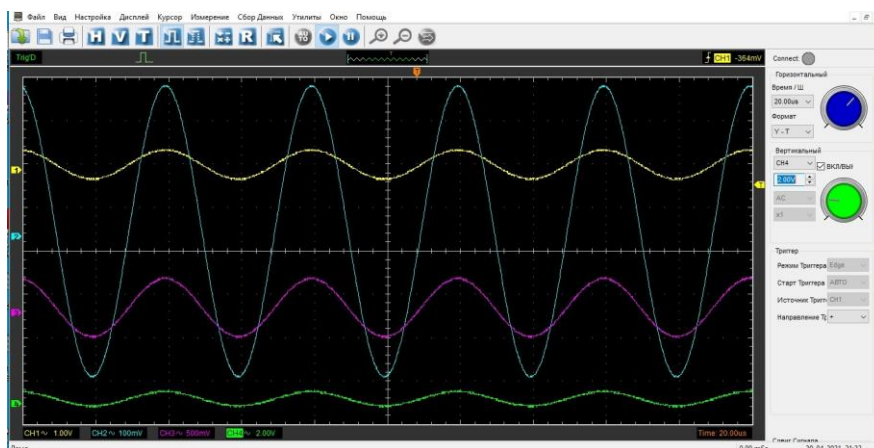


Рис. 5. Фрагмент однолинейной схемы ТП Бурятская с указанием места присоединения каналов цифрового USB осциллографа и принципа организации проведения измерений

При организации съема необходимой информации (рисунок 6) в виде осциллограмм тока и напряжения в режиме on-line (по схеме, приведенной на рисунке 7), они будут транслироваться и записываться на ПЭВМ рабочего места дежурного персонала тяговой подстанции.



**Желтый канал** – ток, протекающий в контактном проводе;  
**синий канал** – ток, протекающий в питающем проводе;  
**фиолетовый канал** – напряжение в питающем проводе;  
**зеленый канал** – напряжение в контактном проводе

Рис. 6. Интерфейс программного обеспечения Hantek-6000 ver. 2.2.5 и предварительная настройка каналов для записи осциллограмм

Однако у этого способа есть и существенные недостатки – необходим большой объем памяти записывающего устройства ПЭВМ, а, следовательно, и большой период времени на поиск и просмотр необходимого фрагмента осциллограмм, характеризующих предаварийный или аварийный режим работы системы тягового электроснабжения [13].

Для потенциального снижения уровня предстоящей информационной загруженности, структурированности и оптимизации получаемой и хранящейся на ПЭВМ информации был проведен обзор и анализ имеющихся способов аналитического представления и дальнейшего



хранения оцифрованных сигналов, самыми перспективными и передовыми из которых оказались: линейная интерполяция, интерполяция полиномами Лагранжа и Ньютона, сплайн-интерполяция [14, 15].

Результатом исследования будет являться предлагаемая методология и структурная схема автоматизированной системы по организации, сбору, обработке, сравнению и хранению параметров, необходимых для формирования унифицированных шаблонов, характерных для конкретной поездной ситуации с целью потенциального снижения числа срабатываний устройств релейной защиты по неустановленным причинам, интегрируемая в структуру типового терминала микропроцессорной релейной защиты фидеров контактной (тяговой) сети переменного тока типа ЦЗА-27,5-ФКС(ФТС). Рассмотрим более подробно работу предлагаемого автоматизированного и модернизированного устройства микропроцессорной релейной защиты.

Как видно из самой схемы (рисунок 7), все предлагаемые автоматизированные системы интегрируются в действующий терминал релейной защиты еще на этапе подключения к нему электрических цепей с вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока и напряжения (до МДТ и МДН БЗА терминала), а, следовательно, никак не могут влиять на штатный режим его работы.

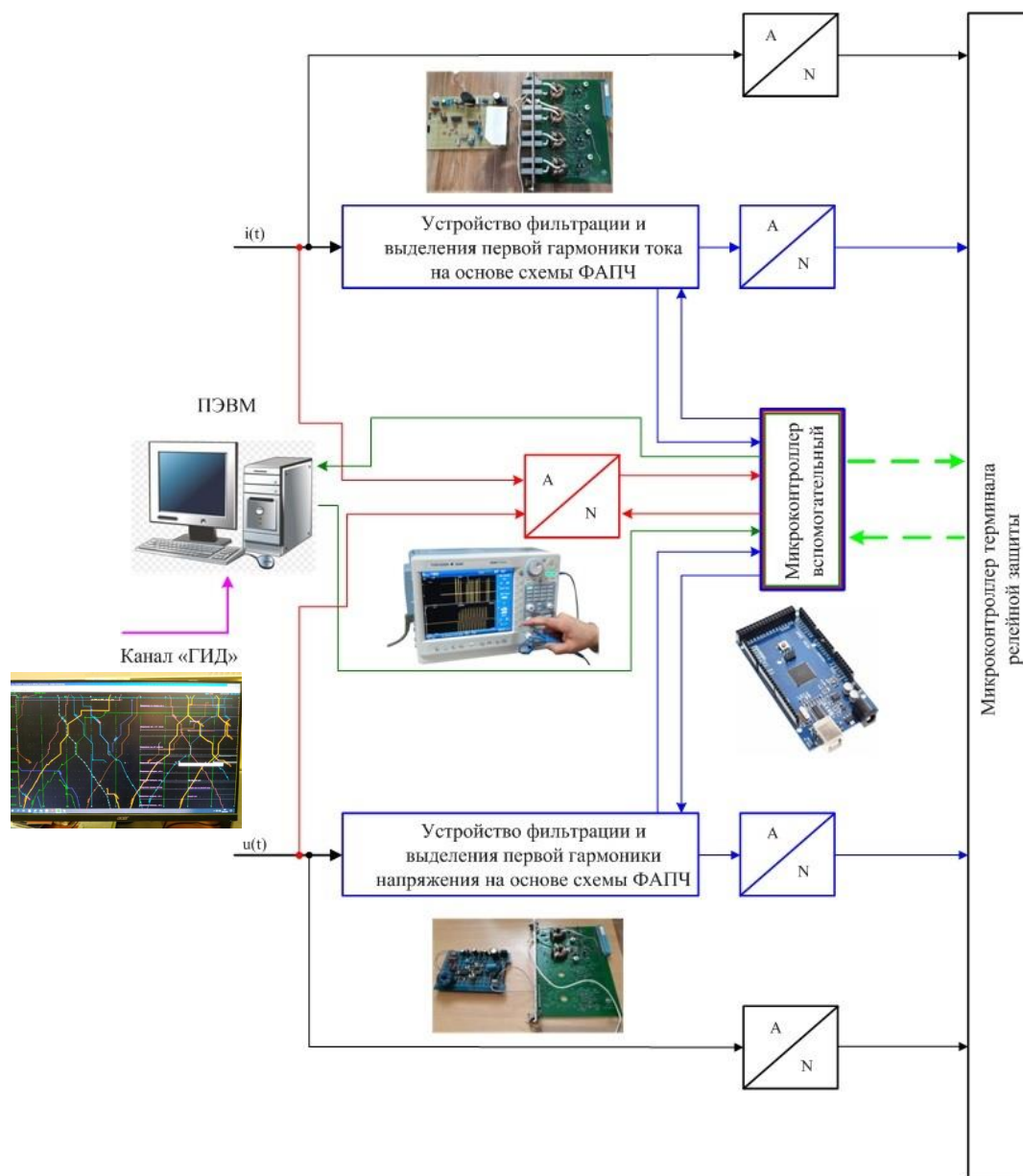


Рис. 7. Принципиальная схема интеграции и совместной работы предлагаемых автоматизированных систем в составе типового терминала релейной защиты ЦЗА-27,5-ФКС(ФТС)

По уже имеющемуся каналу ПО «ГИД» на ПЭВМ дежурного персонала тяговой подстанции в режиме on-line будет поступать, обрабатываться и храниться первая часть информации о текущей поездной ситуации, необходимая для формирования унифицированной базы шаблонов (розовые линии). Вторая часть информации, необходимая для формирования такой базы, будет поступать в режиме on-line с электронного USB осциллографа на вспомогательный микроконтроллер, где, после соответствующих преобразований, в виде сплайнов также передаваться на ПЭВМ (красные линии). С целью упрощения процесса поиска и идентификации необходимых фрагментов предаварийных и аварийных осциллограмм (третья часть информации), снимаемых электронным USB осциллографом, а также последующего наложения их на аварийную осциллограмму, зафиксированную терминалом релейной защиты, будут использоваться схемы ФАПЧ (синие линии). Схемы ФАПЧ в составе устройств фильтрации и выделения первой гармоники тока и напряжения [16] позволяют генерировать опорные синхроимпульсы при прохождении соответствующих контролируемых сигналов через нулевые отметки (вспомогательным микроконтроллером ставится своего рода «зарубка» в необходимом месте осциллограммы, тем самым уже классифицируя ее как предаварийную или аварийную в предлагаемых системах автоматизации).

Таким образом, из этих трех составляющих информации, получаемых с соответствующих автоматизированных систем, работающих в on-line режиме и будут формироваться унифицированные шаблоны, характеризующие каждую индивидуальную поездную ситуацию, которая меняется в рамках организации процесса движения поездов и исходя из местных условий.

Отдельно следует отметить, что в данном схемотехническом решении в виде зеленых штрихпунктирных линий показана возможная взаимосвязь (передача и обмен данными), которая позволит завести все информационные связи с вспомогательного микроконтроллера на основной микроконтроллер МКИЗ БЗА (допустим в случае полноценной интеграции предлагаемых автоматизированных систем непосредственно в сам терминал при их выпуске в объемах промышленного производства на заводе-изготовителе).

### **Заключение**

Авторами впервые получена уникальная возможность создания базы унифицированных шаблонов электрических и поездных параметров, с помощью которой представляется возможным формировать уставки для корректировки работы микропроцессорной релейной защиты для каждой индивидуальной поездной ситуации в режиме on-line, используя для этого предлагаемые автоматизированные системы и уже имеющийся на ПЭВМ дежурного персонала доступ к автоматизированной системе ведения и анализа графика исполненного движения ГИД "Урал-ВНИИЖТ".

В свою очередь, созданная и работающая таким образом база, тоже будет представлять собой автоматизированную систему, которая не только «самообучается» (постоянно накапливая и сравнивая между собой уникальные, соответствующие только одной поездной ситуации шаблоны), но и вносит элементы «обучаемости» в стандартный алгоритм работы эксплуатирующихся в данный момент на сети железных дорог переменного тока микропроцессорных релейных защит марки ЦЗА-27,5-ФКС(ФТС) уходя от жестких «загрубленных» вручную выставленных границ отслеживаемых электрических параметров соответствующих уставок.

Особо следует отметить, что в случае возникновения необходимости в ревизии, ремонте или других операций, для которых необходимо физическое отключение отдельной съемной схемной панели (содержащей предлагаемые автоматизированные системы), работа микропроцессорной релейной защиты никоим образом не будет прервана или нарушена, а продолжится в штатном режиме.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Релейная защита и автоматика в электрических сетях. - М.: Альвис, 2012. - 640 с.
2. Лундалин А. А. Направления развития релейной защиты и автоматики в российских электрических сетях / А. А. Лундалин, Е. Ю. Пузина, И. А. Худоногов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 62, № 2. – С. 77–85. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).77–85
3. ДИВГ.648228.070-12 РЭ. Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ-ФКС. Руководство по эксплуатации. НТЦ «Механотроника» 01.02.2016 г. – 64 с.
4. Терминалы интеллектуальные присоединений. Каталог – 155. ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» 01.2013 г. – 36 с.
5. 1СР.251. 249-02РЭ. Устройство цифровой защиты и автоматики фидера контактной сети ЦЗА-27,5-ФКС. Руководство по эксплуатации
6. АВ036-00-000-00РЭ. Устройство цифровой защиты и автоматики фидера тяговой сети 2 × 25 кВ ЦЗА-27,5-ФТС. Руководство по эксплуатации
7. Муравейко, Л. А. Способ on-line визуализации и хранения информации о токах, протекающих в контактной сети с привязкой к графику движения поездов на примере релейной защиты ЦЗА-27,5-ФТС / Л. А. Муравейко, М. В. Востриков, В. А. Тихомиров // Молодая наука Сибири. – 2021. – № 1(11). – С. 244-249. – EDN YVHLM D.
8. АСУ ФКС-2. ЗВР v 125-0572. Инструкция по работе с программой АСУ-ФКС2. ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» 21.03.2014 г., С. Петербург. – 14 с.
9. Приказ Минтранса России N 330 от 02.12.2014г. СВОД ПРАВИЛ «Тяговое электроснабжение железной дороги». - ОАО «РЖД». – 86 с.
10. ГОСТ Р 57670-2017. НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ. Методика выбора основных параметров. The railway track power supply systems. The methods of selecting fundamental parameters. Дата введения 01.05.2018 г.
11. <http://gidural.ru/doku.php> - ГИД "Урал-ВНИИЖТ" [ГИД УРАЛ-ВНИИЖТ: Справочная система] (gidural.ru)
12. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации.-М.: ООО «Техинформ», 2019. – 634 с.: цв. ил.
13. Hantek 6000BC/BD/6074BE V1.0.0. Руководство пользователя. Hantek Electronic co., Ltd. (C) 2016. 82 с.
14. Востриков, М. В. Повышение селективности микропроцессорных устройств релейной защиты путем прогнозирования динамики пусковых и переходных токов, протекающих в контактной сети / М. В. Востриков // Наука и образование транспорту. – 2019. – № 1. – С. 361-365. – EDN MNVMOU.
15. Востриков, М. В. Прогнозирование динамики пусковых и переходных токов с целью повышения селективности микропроцессорных устройств релейной защиты фидеров контактной сети / М. В. Востриков, К. В. Менакер, А. В. Пультяков // Транспорт Урала. – 2021. – № 1(68). – С. 86-92. – DOI 10.20291/1815-9400-2021-1-86-92. – EDN JGRKXH.
16. Патент № 2708684 С1 Российская Федерация, МПК G01R 31/00. Устройство фильтрации и выделения первой гармоники в микропроцессорных устройствах релейной защиты фидеров контактной сети на основе схем ФАПЧ : № 2018134810 : заявл. 01.10.2018 : опубл. 11.12.2019 / К. В. Менакер, М. В. Востриков, Д. А. Яковлев, Е. В. Ярилов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО ИрГУПС). – EDN NECKSE.

## BIBLIOGRAPHIC LIST

1. Relay protection and automation in electrical networks. - M.: Alvis, 2012. - 640p.
2. Lundalin A. A., Puzina E. Yu., Khudonogov I. A. Napravleniya razvitiya releinoi zashchity i avtomatiki v rossiiskikh elektricheskikh setyakh [Growth areas of relay protection and automation

in Russian electrical networks]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 62, No. 2. Pp. 77–85. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.2(62).77–85

3. DIVG.648228.070-12 RE. The BMRZ-FKS microprocessor relay protection unit. Operation manual. STC "Mechanotronics" 01.02.2016 – 64 p.

4. Intelligent connection terminals. Catalog – 155. LLC "NIEFA-ENERGO" 01.2013 – 36 p.

5. 1 SR.251. 249-02RE. The device of digital protection and automation of the feeder of the contact network ZA-27,5-FKS. User Manual.

6. AV036-00-000- 00RE. The device of digital protection and automation of the feeder of the traction network 2 25 kV ZA-27,5-FKS. User Manual

7. Muraveyko, L. A. Method of on-line visualization and storage of information about currents flowing in the contact network with reference to the train schedule on the example of relay protection TSA-27,5-FKS / L. A. Muraveyko, M. V. Vostrikov, V. A. Tikhomirov // *Molodaya nauka Sibiri.* – 2021. – № 1(11). – Pp. 244-249. – EDN YBHLMD.

8. ACS FKS-2. ZVR v 125-0572. Instructions for working with the ACS-FKS2 program. LLC "NIEFA-ENERGO" 21.03.2014, St. Petersburg. – 14 p.

9. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation No. 330 dated 02.12.2014. THE CODE OF RULES "Traction power supply of the railway". - JSC "Russian Railways". – 86 p.

10. GOST R 57670-2017. THE NATIONAL STANDARD OF THE RUSSIAN FEDERATION OF THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM OF THE RAILWAY. The method of selecting the main parameters. The railway track power supply systems. The methods of selecting fundamental parameters. Date of introduction 01.05.2018

11. <http://gidural.ru/doku.php> - Ural-VNIIZHT GUIDE [URAL-VNIIZHT GUIDE: Help system] (gidural.ru )

12. Rules of technical operation of railways of the Russian Federation.-M.: LLC "Techinform", 2019. – 634 p.: color. il.

13. Hantek 6000BC/BD/6074BE V1.0.0. User Manual. Hantek Electronic co., Ltd. (C) 2016. 82 p.

14. Vostrikov, M. V. Increasing the selectivity of microprocessor relay protection devices by predicting the dynamics of starting and transient currents flowing in the contact network / M. V. Vostrikov // *Science and Education of Transport.* – 2019. – No. 1. – PP. 361-365. – EDN MNVMOU.

15. Vostrikov, M. V. Forecasting the dynamics of starting and transient currents in order to increase the selectivity of microprocessor relay protection devices of contact network feeders / M. V. Vostrikov, K. V. Menaker, A.V. Pulyakov // *Transport of the Urals.* – 2021. – № 1(68). – Pp. 86-92. – DOI 10.20291/1815-9400-2021-1-86-92. – EDN JGRKXH.

16. Patent No. 2708684 C1 Russian Federation, IPC G01R 31/00. A device for filtering and isolating the first harmonic in microprocessor relay protection devices of contact network feeders based on PLL schemes : No. 2018134810 : application 01.10.2018 : publ. 11.12.2019 / K. V. Menaker, M. V. Vostrikov, D. A. Yakovlev, E. V. Yarilov ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Irkutsk State University of Railways (FGBOU IN IrGUPS). – EDN NECKSE.

#### **Информация об авторах**

*Морозов Егор Андреевич* – студент группы СОД.1-19-1, факультет очного обучения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: [2002morozov@bk.ru](mailto:2002morozov@bk.ru)

*Фаренък Владислав Владимирович* – студент группы СОД.1-19-1, факультет очного обучения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: [xdfive@bk.ru](mailto:xdfive@bk.ru)

*Востриков Максим Викторович* – старший преподаватель кафедры «Электроснабжение», Забайкальский институт железнодорожного транспорта, г. Чита, e-mail: [vostrikov\\_m@zab.megalink.ru](mailto:vostrikov_m@zab.megalink.ru)

*Тихомиров Владимир Александрович* – к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [tikhomirov\\_va@irgups.ru](mailto:tikhomirov_va@irgups.ru)

### **Information about the authors**

*Morozov Egor Andreevich* - student of the group SOD. 1-19-1, Faculty of Full-time Education, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [2002morozov@bk.ru](mailto:2002morozov@bk.ru)

*Farenyk Vladislav Vladimirovich* - student of the group SOD. 1-19-1, Faculty of Full-time Education, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [xdfive@bk.ru](mailto:xdfive@bk.ru)

*Vostrikov Maxim Viktorovich* - Senior Lecturer of the Department of Power Supply, Zabaikalsk Rail Transport Institute, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [vostrikov\\_m@zab.megalink.ru](mailto:vostrikov_m@zab.megalink.ru)

*Tikhomirov Vladimir Aleksandrovich* - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of "Electric Power Engineering of Transport", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [tikhomirov\\_va@irgups.ru](mailto:tikhomirov_va@irgups.ru)