

**С. А. Филиппов, О. А. Соловьева, С. А. Соколов, Е. В. Мальцева, Т. Д. Яковлев**

Забайкальский институт железнодорожного транспорта, филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, Российская Федерация

## **ОСОБЕННОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЖИМА РАБОТЫ СТЭ РЕЗЕРВНОЙ СТУПЕНЬЮ ДЗ ФКС**

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен принцип работы НДЗ ФКС. Особое внимание уделено перекрытию зон нормального и аварийного режимов. Так же рассматривается как именно считывается и распознается КЗ в СТЭ. Обозначена проблема ложных срабатываний в третьей ступени дистанционной защиты ФКС, и для ее решения необходимо усовершенствовать алгоритм работы НДЗ ФКС путем использования идентификации параметра измерения скорости изменения напряжения.

**Ключевые слова:** Релейная защита, Направленная дистанционная защита фидеров контактной сети, Система тягового электроснабжения, Ложное срабатывание НДЗ ФКС.

**S. A. Filippov, O. A. Solovyeva, S. A. Sokolov, E. V. Maltseva, T. D. Yakovlev**

Zabaikalsky Institute of Railway Transport, branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, Chita, Russian Federation

## **THE RATE OF CHANGE OF VOLTAGE AS AN INDICATOR OF PROVIDING SELECTIVE OPERATION OF THE NEUTRAL GROUNDING RESISTOR**

**Abstract.** This article examines the principle of operation of a distance relay for contact network feeders. Special attention is given to the overlap between normal and emergency operating zones. Additionally, the article discusses how short circuits are detected and recognized in the power supply system. The problem of false tripping in the third stage of the distance relay system is identified, and to solve it, it is necessary to improve the algorithm of the distance relay by incorporating parameter identification for voltage rate of change.

**Keywords:** Protective relay, Directional distance relay for contact network feeders, Power supply system, False tripping of the distance relay.

### **Введение**

Железнодорожный транспорт является одним из основных видов транспорта в Российской Федерации. В некоторых случаях железные дороги играют решающую роль в осуществлении перевозок важнейших грузов, обеспечивающих бесперебойное функционирование промышленного комплекса.

На железной дороге должны обеспечиваться бесперебойность работы устройств электроснабжения и безопасность перевозочного процесса для осуществления непрерывного грузо- и пассажирооборота с минимально возможными экономическими затратами и рисками.

В последние годы значительно увеличилось количество грузовых поездов повышенной массы, в том числе сдвоенных поездов. Это связано с необходимостью организации высокоинтенсивного грузо- и товарооборота. При этом могут возникать аварийные режимы работы, которые должны контролироваться устройствами защиты, в частности – релейной защитой.

Для решения этой проблемы необходимо усовершенствовать алгоритм работы направленной дистанционной защиты фидеров контактной сети, с помощью идентификации параметра измерения скорости изменения напряжения.

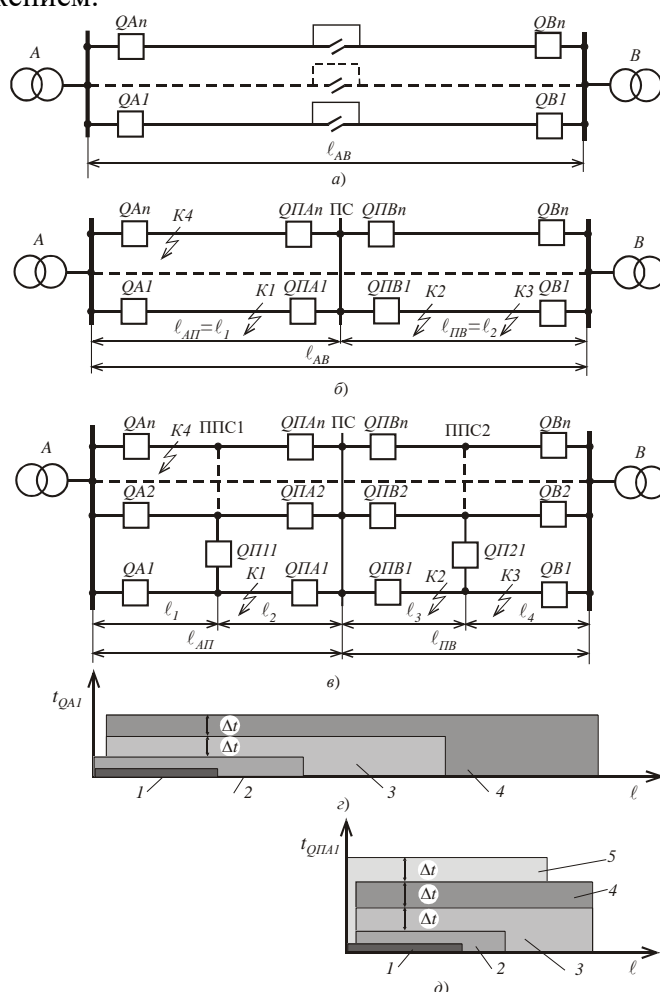
При существующем графике движения с однозначно направленным вектором на снижение межпоездного интервала и повышение массы поездов все сложнее настроить уставки дистанционной защиты фидеров контактной сети так, чтобы обеспечивалось надежное отключение при коротких замыканиях и несрабатывания в нормальных режимах. Особенно это касается третьей (резервной) ступени данной защиты, расчет уставок которой связан с отстройкой от сопротивления нагрузки в минимальном режиме, а значит и с максимальными рабочими токами при поддержании уровня напряжения на шинах тяговой подстанции согласно требованиям [1]. Отстройка от таких максимальных рабочих токов (в т.ч. при

сдвоенных поездах и пропуске «пакета» после «окна») приводит к опасности отказа защиты при КЗ в конце защищаемой зоны. Если следовать рекомендациям [2], реализуя принцип приоритетности и настроить защиту на надежное срабатывание защиты в нормальных режимах. Получается, что на сегодня, в рамках существующего алгоритма, селективную работу данной ступени в обоих режимах уже не обеспечить.

Поэтому предлагается принципиально изменение принципа работы резервной ступени дистанционной защиты введением контроля параметра скорости изменения напряжения. Данный параметр вводится отдельным блоком по схеме логического «И» наряду с уставкой по сопротивлению, непрерывно отстраиваемой от рабочего режима [3] – принцип адаптивности и контроля уровня гармоник в контактной сети.

### Особенности идентификации режима работы СТЭ резервной ступенью ДЗ ФКС

Дистанционная защита фидеров контактной сети отлично зарекомендовала себя при вводе в строй электрифицированных железных дорог на переменном токе, в том числе и на Забайкальской железной дороге! Важными достоинствами защиты явились: независимость от режима работы системы стабильность защищаемой зоны, отсутствие «мертвой зоны» по напряжению благодаря использованию токовой отсечки, уверенное отличие аварийного и нормального режимов работы и соответственно обеспечение селективной работы. Но в этот период масса состава в грузовом направлении составляет 6300 т, что позволяло легко отличить нормальный и аварийный режимы. На сегодня в этом отношении ситуация радикально изменилась, каждый четвертый поезд является сдвоенным свесом 14200, 14600 т. Прорабатывается введение грузовой нормы 8000 т. С соответствующим сдвоенным. Уже не удастся разделить аварийный и нормальный режим ни по величине сопротивления, ни по углу между током и напряжением.

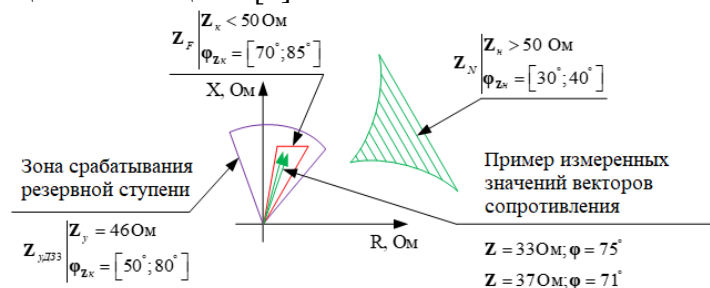


**Рисунок 1 – График селективности защит для раздельной, узловой и параллельной схем питания**

Результаты экспериментальных замеров (рисунок 2), проведенных на Забайкальской железной дороге, показывают, что вектор сопротивления нагрузки  $Z(nT)$  принимает значения в широком диапазоне характерных для нормального режима работы системы тягового электроснабжения  $Z_N$ . Данное состояние системы выражается следующим образом, представленным формулой 1[3]:

$$Z(nT) \in Z_N \begin{cases} Z_n > 50 \text{ Ом} \\ \varphi_{Z_n} = [30^\circ; 40^\circ] \end{cases} \quad (1)$$

Однако в ряде случаев величина вектора сопротивления попадает в диапазон значений  $30 \leq Z(nT) \leq 35 \text{ Ом}$  при значении угла  $65^\circ \leq \varphi_Z \leq 75^\circ$ , что идентифицируется защитой как короткое замыкание, потому что угол сдвига фаз для области коротких замыканий  $Z_F$  в соответствии с данными нормативных документов должен находиться в диапазоне  $60^\circ \leq \varphi_Z \leq 80^\circ$ . Данный факт говорит о том, что при пропуске тяжеловесных составов возможна ситуация, когда  $(Z_N \cup Z_F) \subseteq Z(nT)$ , что повышает вероятность неселективного срабатывания резервной ступени направленной дистанционной защиты.[3]



**Рисунок 2 - Анализ комплексного сопротивления нагрузки**

Увеличение массы состава приводит к естественному возрастанию максимального рабочего тока, значения которого иногда приближаются по величине к значениям минимального тока короткого замыкания.

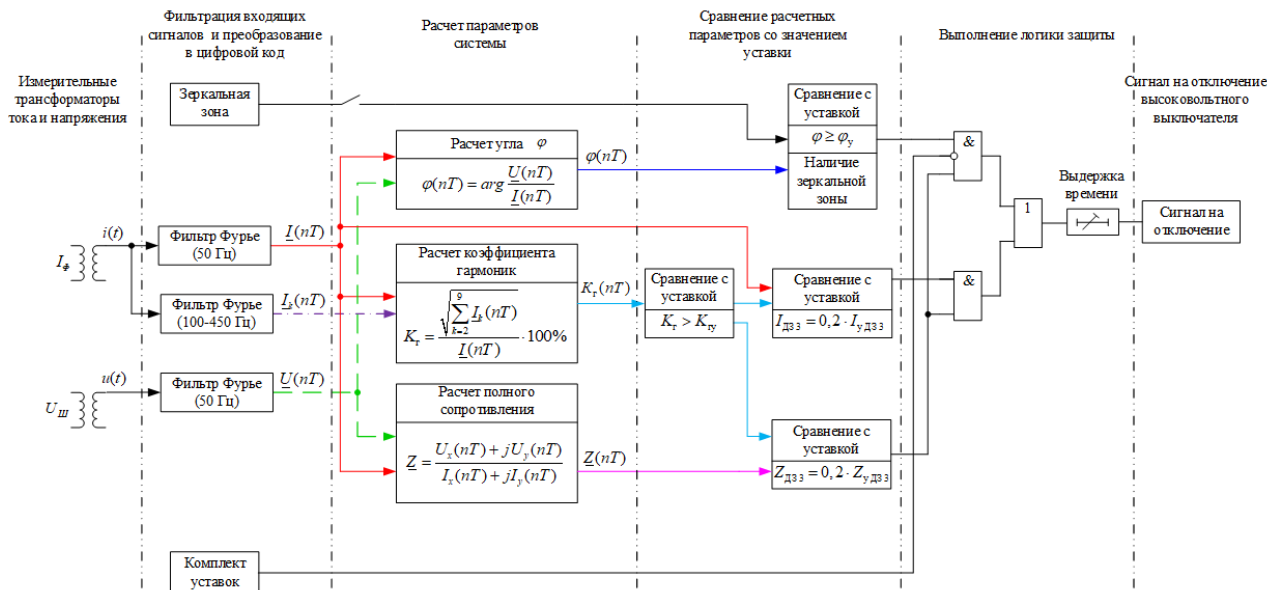
Выше показано, что при пропуске тяжеловесных поездов вектор сопротивления нагрузки может принимать значения сопротивления аварийного режима  $(Z_N \cup Z_F) \subseteq Z(nT)$ , что приводит к неселективным срабатываниям третьей ступени дистанционной защиты фидеров контактной сети.

Совершенствование технической базы устройств релейной защиты фидеров контактной сети к качественному изменению ситуации не привело. Переход от УЭЗФМ к микропроцессорным комплектам типа БМРЗ, ИнТЕР, ЦЗА не поменяло сам принцип построения защиты, и указанная проблема осталась.

Заметным продвижением на пути совершенствования принципа работы было предложение введения принципа адаптивности, изложенное в работах [3,4]. Сделать алгоритм работы резервной ступени направленной дистанционной защиты фидеров контактной сети не статическим, неизменным, а динамическим, постоянно меняющимся по отношению к нагрузке. Такая адаптация к сопротивлению нагрузки позволит исключить ложное срабатывание резервной ступени дистанционной защиты фидеров контактной сети в нормальном режиме и в ряде случаев повысит ее чувствительность при токах нагрузки меньше токов КЗ. При аварийных режимах защита может возвращаться к обычной характеристике, используя данные гармонического спектра и скорость изменения напряжения

На рисунке 3 представлена обобщенная функциональная схема третьей ступени микропроцессорных терминалов дистанционных защит фидеров контактной сети, представленных на сегодняшний день на рынке.

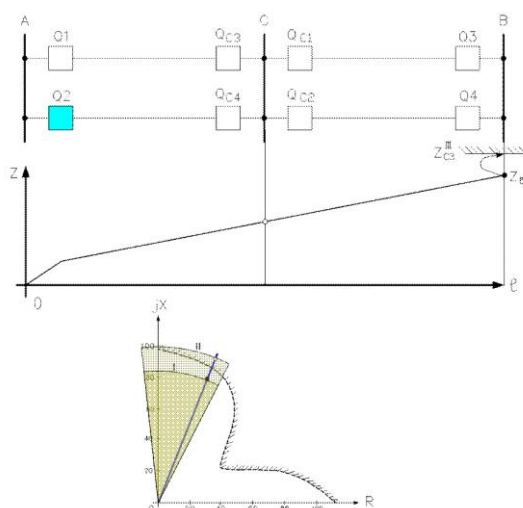
Представленная схема (рисунок 3) отражает функциональную схему работы третьей ступени направленной дистанционной защиты ФКС СТЭ, которая формирует выходное управляющее воздействие на высоковольтный выключатель.



**Рисунок 3 – Обобщенная функциональная схема третьей ступени НДЗ ФКС**

Также по рисунку 3 можно отследить преобразования входной первичной информации о СТЭ в виде напряжения на шинах тяговой подстанции и тока фидера, которая проходит шесть условных стадий обработки.

Третья ступень дистанционной защиты выполняет функции резервной защиты. Для части фидерной зоны от рассматриваемой подстанции до поста секционирования осуществляется ближнее резервирование действия защит 1-й и 2-й ступеней. Для точек короткого замыкания, возникающих на участке от поста секционирования до смежной подстанции, защита обеспечивает дальнейшее резервирование защит поста секционирования. Для реальных условий обеспечить полную зону дальнего резервирования зачастую представляется затруднительным, поскольку значение уставки может превысить значения нагрузочных режимов. Поэтому ограничиваются обеспечением дальнего резервирования на части участка. Характеристика срабатывания защиты представляет собой “узкий” сектор. Уставка по сопротивлению определяется по точке короткого замыкания на шинах смежной подстанции[5]



**Рисунок 5 - Схема третьей ступени дистанционной защиты**

Предлагается ввести контроль параметра скорости изменения напряжения, который посредством производной двух ближайших дискретных точек синусоиды выстраивает вектор

ее движения, угол наклона к осям координат которого позволяет определить скорость изменения напряжения.

На железнодорожной инфраструктуре требуется непрерывное функционирование электроснабжения и безопасность перевозок для обеспечения бесперебойного движения грузов и пассажиров с минимальными затратами и рисками. В последние годы количество грузовых поездов с повышенной массой, включая сдвоенные составы, значительно возросло из-за необходимости обеспечить высокую интенсивность грузоперевозок. При таких условиях могут возникать аварийные ситуации, которые должны контролироваться системами защиты, в том числе релейными системами защиты. Для решения этой проблемы необходимо улучшить алгоритм работы направленной дистанционной защиты фидеров контактной сети путем идентификации параметра измерения скорости изменения напряжения.

В заключение, необходимо отметить, что устройство релейной защиты должно выполнять все описанные требования и быть адаптированным к специфическим условиям эксплуатации, чтобы обеспечивать безопасность и надежность работы железнодорожного транспорта.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. СП 224.1326000.2014 «Тяговое электроснабжение железной дороги» приказ Минтранса России № 330 от 2 декабря 2014 г – 83с.
2. Защита систем электроснабжения железной дороги от коротких замыканий и перегрузки: сборник СТО РЖД. Ч.1-5 / Открытое акционерное общество "Российские железные дороги". - М.: Техинформ, 2019. - 304 с.
3. Трифонов Р. С. Повышение селективности резервной ступени дистанционной защиты фидеров контактной сети на основе адаптивной идентификации Омск 2016, 187 с.
4. Устройство третьей ступени дистанционной защиты фидеров контактной сети. / Трифонов Р. С., Филиппов С. А., Яковлев Д. А., Соловьёва О. А. // № RU 201026 U1 дата регистрации 05.06.2020 г., опубликовано 24.11.2020 г. Бюл. №33
5. Руководящие указания по релейной защите систем тягового электроснабжения ЦЭТ-23 / Департамент электрификации и электроснабжения ОАО РЖД. 2004 -162 с.

### **REFERENCES**

1. SP 224.1326000.2014 "Traction power supply of the railway", order of the Ministry of Transport of Russia No. 330 dated December 2, 2014 – 83 p.
2. Protection of railway power supply systems from short circuits and overloads: collection of STO Russian Railways. Part 1-5 / Open joint-stock company "Russian Railways". - M.: Tekhinform, 2019. - 304 p.
3. Trifonov R. S. Increasing the selectivity of the backup stage of distance protection of contact network feeders based on adaptive identification Omsk 2016, 187 p.
4. Device of the third stage of distance protection of contact network feeders. / Trifonov R. S., Filippov S. A., Yakovlev D. A., Solovyova O. A. // No. RU 201026 U1 registration date 06/05/2020, published 11/24/2020 Bull. No. 33
5. Guidelines for relay protection of traction power supply systems TsET-23 / Department of Electrification and Power Supply of JSC Russian Railways. 2004 -162 p.

### **Информация об авторах**

*Филиппов Сергей Анатольевич* – к. т. н., доцент кафедры «Электроснабжение», Забайкальский институт железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита e-mail: f5002941@mail.ru

*Соловьёва Оксана Александровна* – старший преподаватель кафедры «Электроснабжение», Забайкальский институт железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита e-mail: ksusha\_s777@mail.ru

*Соколов Антон Станиславович* – студент группы СОД 1-21-1, факультет очного обучения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, e-mail: [antonsokolov6999@gmail.com](mailto:antonsokolov6999@gmail.com)

*Мальцева Екатерина Валерьевна* – студент группы СОД 1-21-1, факультет очного обучения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, e-mail: [katya.maltseva.94@list.ru](mailto:katya.maltseva.94@list.ru)

*Яковлев Тимофей Дмитриевич* – студент группы СОД 1-21-1, факультет очного обучения, Забайкальский институт железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Чита, e-mail: [ti1225499@gmail.com](mailto:ti1225499@gmail.com)

### **Information about the authors**

*Solovieva Oksana Aleksandrovna* – Senior lecturer of the Department "Power Supply", Zabaikalsky Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita e-mail: [ksusha\\_s777@mail.ru](mailto:ksusha_s777@mail.ru)

*Filippov Sergey Anatolyevich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Power Supply", Zabaikalsky Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita e-mail: [f5002941@mail.ru](mailto:f5002941@mail.ru)

*Anton Stanislavovich Sokolov* – student of the SOD 1-21-1 group, Faculty of full-time study, Zabaikalsky Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [antonsokolov6999@gmail.com](mailto:antonsokolov6999@gmail.com)

*Ekaterina Valeryevna Maltseva* – student of the SOD 1-21-1 group, Faculty of full-time study, Zabaikalsky Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [katya.maltseva.94@list.ru](mailto:katya.maltseva.94@list.ru)

*Timofey Dmitrievich Yakovlev* - student of the SOD 1-21-1 group, Faculty of full-time study, Zabaikalsky Institute of Railway Transport, a branch of Irkutsk State Transport University, Chita, e-mail: [ti1225499@gmail.com](mailto:ti1225499@gmail.com)