

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.54>

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В СЕТИ 0,4 КВ

Научная статья

Смоленцев Д.В.^{1,*}, Чарыков В.И.², Буторин В.А.³, Копытин И.И.⁴

¹ ORCID : 0000-0002-6098-4182;

² ORCID : 0000-0002-6434-3825;

³ ORCID : 0000-0001-6225-4995;

⁴ ORCID : 0000-0002-1295-1896;

^{1,3} Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, Российская Федерация

² Курганский институт железнодорожного транспорта, филиал Уральского государственного университета путей сообщения, Курган, Российская Федерация

⁴ Курганский государственный университет, Курган, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (densmol01[at]mail.ru)

Аннотация

В статье приводится статистика электросетевых компаний, эксплуатирующих в России воздушные линии электропередач общей протяженностью более 1,1 миллиона км., которые выполнены из проводов марки АС, имеющих сечение 35-70 кв. мм. Указывается основная причина выхода из строя электродвигателей в сельскохозяйственном производстве. Описывается устройство, позволяющее решить проблему надежного электроснабжения путем обеспечения защиты потребителей от обрыва провода. Предлагаемое устройство состоит из приемника и передатчика. Данное устройство использует существующие линии электропередачи напряжением 10 кВ как канал передачи сигнала. Сигнал представляет собой двухфазное короткое замыкание на шинах комплектной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, который получается при срабатывании оптоэлектрического короткозамыкателя.

Ключевые слова: электрическая сеть, устройство, обрыв провода, электродвигатель.

A DEVICE FOR GROUND FAULT DETECTION IN 6-10 KV ISOLATED NEUTRAL NETWORKS AND PROTECTION OF ELECTRIC MOTORS IN 0.4 KV NETWORK

Research article

Smolentsev D.S.^{1,*}, Charikov V.I.², Butorin V.A.³, Kopitin I.I.⁴

¹ ORCID : 0000-0002-6098-4182;

² ORCID : 0000-0002-6434-3825;

³ ORCID : 0000-0001-6225-4995;

⁴ ORCID : 0000-0002-1295-1896;

^{1,3} South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russian Federation

² Kurgan Institute of Railway Transport, branch of the Ural State University of Railway Transport, Kurgan, Russian Federation

⁴ Kurgan State University, Kurgan, Russian Federation

* Corresponding author (densmol01[at]mail.ru)

Abstract

The article provides statistics of power grid companies operating overhead power transmission lines in Russia with a total length of more than 1.1 million km, which are made of AC wires with a cross-section of 35-70 sq. mm. The main cause of electric motors' failure in agricultural production is given. A device, allowing to solve the problem of reliable power supply by providing protection of consumers from wire breakage, is described. The proposed device consists of a receiver and a transmitter. This device uses existing 10 kV power lines as a signal transmission channel. The signal is a two-phase short-circuit on the bars of an ungrounded 10/0.4 kV transformer substation, which is obtained when the optoelectric short-circuitor is activated.

Keywords: electric network, device, wire break, electric motor.

Введение

В сельскохозяйственном производстве в основном используются воздушные линии электропередачи. По сведениям электросетевых компаний на сегодняшний день в России эксплуатируются воздушные линии электропередач общей протяженностью более 1,1 миллиона км. В большинстве регионов страны воздушные линии электропередач выполнены из проводов марки АС, имеющих сечение 35-70 кв. мм. До 60% линий были запущены в эксплуатацию до 1975 года. Большинство этих электросетей исчерпали свой нормативный эксплуатационный ресурс. Одной из основных причин аварий, приводящих к отключению воздушных линий напряжением 6-10 кВ является обрыв провода. Как правило, выход из строя электродвигателей в сельскохозяйственном производстве по причине обрыва линий напряжением 0,4 кВ составляет 27%, т.е. практически треть электродвигателей.

Методы и принципы исследования

Предлагается устройство для защиты асинхронных электродвигателей в четырехпроводной трёхфазной сети. Устройство отключает питающую сеть при обрыве одной из фаз как в сети 10 кВ, так и в сети 0,4 кВ. Данная задача решается за счет того, что предлагаемое устройство имеет несколько модулей, отвечающих за трехфазный режим в сети. Данное устройство использует существующие линии электропередачи напряжением 10 кВ как канал передачи сигнала об обрыве. Сигнал представляет собой двухфазное короткое замыкание на шинах комплектной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, который получается при срабатывании короткозамыкателя.

Основные результаты

Предлагаемое устройство состоит из приемника и передатчика. Данное устройство использует существующие линии электропередачи напряжением 10 кВ как канал передачи сигнала. Сигнал представляет собой двухфазное короткое замыкание на шинах комплектной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, который получается при срабатывании оптоэлектронного короткозамыкателя. Данное устройство не меняет схему питания потребительских подстанций 10/0,4 кВ от питающих подстанций с низким напряжением 10 кВ.

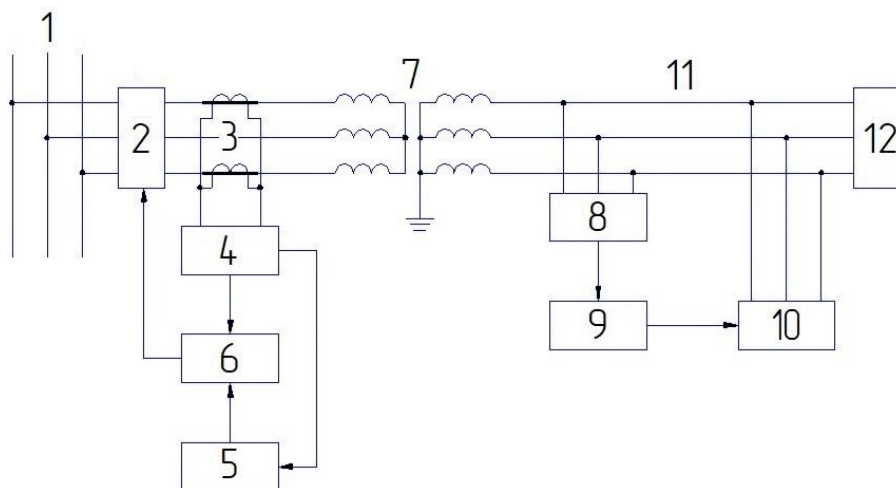


Рисунок 1 - Описание блок-схемы устройства в электрической сети 10/0,4 кВ:

1 – трехпроводная воздушная линия электропередачи электрической сети напряжением 10 кВ с изолированной нейтралью; 2 – силовой выключатель ячейки 10 кВ; 3 – два трансформатора тока ячейки 10 кВ; 4 – преобразователь тока в напряжение; 5 – блок управления приемником; 6 – релейная защита ячейки 10 кВ; 7 – трансформатор 10/0,4 кВ;

8 – датчик несимметрии (фильтр напряжения нулевой последовательности); 9 – блок управления; 10 – оптоэлектронный короткозамыкатель; 11 – четырехпроводная воздушная линия электропередачи электрической сети напряжением 0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью; 12 – потребитель

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.54.2>

В комплектной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ устанавливается передатчик сигналов, состоящий из датчика несимметрии (фильтр напряжения нулевой последовательности), блока управления и оптоэлектронного короткозамыкателя.

Датчик несимметрии подключается непосредственно на шинах 0,4 кВ комплектной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ тем самым отстраиваясь от аварийных ситуаций у потребителей, а именно: однофазное короткое замыкание в сети 10 и 0,4 кВ; междуфазное короткое замыкание; другие неисправности, вызывающие несимметрию электрической сети.

Датчик несимметрии выдает сигнал несимметрии на блок управления. Из блока управления, с задержкой по времени 5–6 секунд, поступает сигнал управления оптоэлектронным короткозамыкателем. Задержка времени требуется для отстраивания от кратковременных импульсов несимметрии, вызванных пуском мощной однофазной нагрузки. Далее происходит два принудительных двухфазных коротких замыкания на время равное одному периоду (20 мс) с промежутком следования девять периодов (180 мс). В дальнейшем передатчик сигналов не фиксирует работу сети, а сигнализирует о срабатывании.

Приемник работает совместно с релейной защитой ячейки: максимальная токовая защита (МТЗ), токовая отсечка и автоматическое повторное включение (АПВ). В разрыв цепи между трансформаторами тока и системой максимальной токовой защиты устанавливается ПТН, который преобразует ток в напряжение. При двух существенных двухфазных коротких замыкания на КТП 10/0,4 кВ с помощью короткозамыкателя, происходят броски тока в линии 10 кВ, которые через трансформатор тока и преобразователь, поступают на БУ приемника. Блок управления обрабатывает поступившую информацию и выдает сигнал на отключение вакуумного (масляного) выключателя на 10 кВ ячейки. После система АПВ включит вакуумный (масляный) выключатель, при этом у потребителя отключатся магнитные пускатели и двигатели остановятся. Потребитель не сможет произвести пуск, так как двигатель при двухфазном питании самостоятельно не запустится. При отключении вакуумного (масляного) выключателя и успешном его включении с помощью АПВ, поступит сигнал на пульт центрального диспетчера электрических сетей о происходящем, и он вышлет сотрудников оперативно-выездной бригады (ОВВ), которая зафиксирует неисправность

сети по указательным реле, это ускорит устранение аварийной ситуации. Блоки управления приемника и передатчика сигналов синхронизированы частотой фазы А.

Передатчик сигнала об обрыве фазного провода состоит из датчика несимметрии напряжения, короткозамыкателя и блока управления короткозамыкателем. Защита от несимметрии подведенных напряжений выполняется с использованием фильтров напряжения обратной последовательности (далее ФНОП). ФНОП предназначен для выявления несимметрии линейных напряжений, которая появляется при любом аварийном режиме. Короткозамыкатель, собран на шести силовых тиристорах, по два на фазу, благодаря чему обе полуволны тока проходят по цепи. Питание блока управления осуществляется с помощью трехфазного трансформатора, подключенного к шинам 0,4 кВ. Понижающая обмотка, рассчитана на напряжение 12 В. На выходе трансформатора установлен двухполупериодный трехфазный выпрямитель на шести диодах, сглаживающий фильтр, состоящий из конденсаторов большой емкости и стабилизатора напряжения на 5 В. Постоянство питания сохраняется с помощью конденсаторов, возможна установка аккумуляторной батареи малой мощности на напряжение 12 В.

Блок приемника сигналов состоит из реагирующего органа и блока управления. Назначение реагирующего органа улавливать скорость изменения тока, так как при любом, даже самом удаленном, принудительном двухфазном коротком замыкании на защищаемой линии происходит бросок тока. Приемник сигналов устанавливается в ячейке 10 кВ, схема ячейки функционально не меняется. В разрыв цепи трансформаторов тока и реле максимальной токовой защиты устанавливается преобразователь тока в напряжение. Промежуточное реле срабатывает на отключение вакуумного выключателя ячейки 10 кВ. При отключении вакуумного выключателя начнет работать система АПВ и через 3-4 с вакуумный выключатель включится, и схема начнет нормально функционировать. За время без токовой паузы у потребителей 0,4 кВ отключатся магнитные пускатели и двигатели останутся, а для пуска потребуется вмешательство обслуживающего персонала.

Блоки приемника и передатчика работают совместно следующим образом: обрывается провод на линии 10 кВ, ФНОП передатчика выдает напряжение несимметрии, реле времени создает паузу 5-6 секунд, блок управления короткозамыкателем передатчика выдает два импульса по 20 мс через 180 мс на короткозамыкатель, короткозамыкатель создает двухфазное короткое замыкание на время действия сигнала с БУ, через контакт промежуточное реле БУ передатчика включается указательное реле, двухфазное короткое замыкание создает бросок тока в трансформаторах тока ячейки 10 кВ, бросок тока преобразуется в бросок напряжения, бросок напряжения поступает на блок управления приемника, БУ выдает сигнал включения промежуточного реле, нормально замкнутый контакт которого размыкает цепи питания электромагнита привода вакуумного выключателя, выключатель отключается, срабатывает устройство АПВ, через дополнительный контакт промежуточного реле приемника сработает указательное реле, через время отсчета АПВ вакуумный выключатель включится в нормальный режим работы.

Обсуждение

Использование двух импульсов двухфазного короткого замыкания через промежуток времени позволяет устранить влияние помех, вызванных включением мощной нагрузки посредством автоматических выключателей и магнитных пускателей, а также позволит определить место нахождения сработавшего приемника, что ведет к сокращению времени поиска неисправности.

Также надо учитывать и то, что линии 10 кВ на порядок длиннее линий на 0,4 кВ и возможность обрыва более вероятна. Данное устройство позволяет электрическим сетям, к которым относится защищаемая линия, в короткие сроки ликвидировать неисправность и не нести ответственности за причиненный ущерб предприятию-потребителю.

Заключение

Данное устройство позволяет электрическим сетям, к которым относится защищаемая линия, в короткие сроки ликвидировать неисправность и не нести ответственности за причиненный ущерб предприятию-потребителю. При этом повышается уровень взаимоотношений между поставщиком и потребителями электрической энергии, а также надежность и качество электрической энергии.

Благодарности

Статья подготовлена в рамках подготовки ВКР

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Царегородцев Е.Л., Национальный исследовательский университет МЭИ, филиал в г. Смоленск, Смоленск, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.54.2>

Acknowledgement

The article was prepared as a part of a graduation thesis

Conflict of Interest

None declared.

Review

Tsaregorodtsev Y.L., National Research University of MEI, branch in Smolensk, Smolensk, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.128.54.2>

Список литературы / References

1. Грундулис А.О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве / А.О. Грундулис. — М.: Агропромиздат, 1988. — 111 с.
2. Правила устройства электроустановок. — Новосибирск: Сибирское университетское изд-во, 2007. — 853 с.
3. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок: Приказ от 15 декабря 2020 года N 903Н. — 108 с.
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии: Приказ от 12 августа 2022 года N 811. — 26 с.

5. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — Введ. 2014-07-01. — М.: Стандартинформ, 2014. — 16 с.
6. СП 77.13330.2016. Системы автоматизации. — Актуализированная редакция СНиП 3.05.07-85. — 81 с.
7. Российская Федерация. Законы. О техническом регулировании (с изменениями на 2 июля 2021 года) (редакция, действующая с 23 декабря 2021 года): федер. закон: [от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ]. — Москва, 2002. — 54 с.
8. Буторин В.А. Прогнозирование ресурса светильников со светодиодами, определяемого спадом светового потока / В.А. Буторин, К.П. Вовденко, И.Б. Царев // Светотехника. — 2014. — 6. — с. 57-58.
9. Буторин В.А. Оценка ресурса пленочных лучистых электронагревателей / В.А. Буторин, А.Н. Ткачев // Электротехника. — 2018. — 3. — с. 48-51.
10. Логинов А.Ю. Описание процесса изменения частоты вращения ротора асинхронного двигателя с помощью динамического звена второго порядка / А.Ю. Логинов, А.Ю. Прудников // Вестник ИрГСХА. — 2017. — 81-2. — с. 111-116.
11. Gizatullin F.A. Analysis of losses in the cable line of well submersible electric motor / F.A. Gizatullin, M.I. Khakimyanov, F.F. Khusainov et al. // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM Proceedings. — 2017. — p. 8076285.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Grundulis A.O. Zashhita jelektrodvigatelij v sel'skom hozjajstve [Protection of Electric Motors in Agriculture] / A.O. Grundulis. — М.: Agropromizdat, 1988. — 111 p. [in Russian]
2. Pravila ustrojstva jelektroustanovok [Electrical Installations Regulations]. — Novosibirsk: Siberian University Publishing House, 2007. — 853 p. [in Russian]
3. Pravila po ohrane truda pri jekspluatacii jelektroustanovok [Rules for Labor Safety in the Operation of Electrical Installations]: Order dated December 15, 2020 N 903H. — 108 p. [in Russian]
4. Pravil tehniceskoi jekspluatacii jelektroustanovok potrebitelej jelektricheskoj jenerгии [Rules of technical operation of electrical installations of consumers of electrical energy]: Order of August 12, 2022 N 811. — 26 p. [in Russian]
5. GOST 32144-2013. Jelektricheskaja jenerгija. Sovmestimost' tehniceskix sredstv jelektromagnitnaja. Normy kachestva jelektricheskoj jenerгии v sistemah jelektrosnabzhenija obshhego naznachenija [GOST 32144-2013. Electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical means. Quality standards of electric energy in general purpose power supply systems]. — Introduction 2014-07-01. — М.: Standartinform, 2014. — 16 p. [in Russian]
6. SP 77.13330.2016. Sistemy avtomatizacii. — Aktualizirovannaja redakcija SNIp [SP 77.13330.2016. Automation systems. - Revised edition of SNIp] 3.05.07-85. — 81 p. [in Russian]
7. Russian Federation. Laws. O tehnicеском regulirovanii (s izmenenijami na 2 ijulja 2021 goda) (redakcija, dejstvujushhaja s 23 dekabrja 2021 goda) [On Technical Regulation (as amended on July 2, 2021) (revision effective as of December 23, 2021)]: Federal Law: [from December 27, 2002 № 184-FL]. — Moscow, 2002. — 54 p. [in Russian]
8. Butorin V.A. Prognozirovanie resursa svetil'nikov so svetodiodami, opredeljaemogo spadom svetovogo potoka [Predicting the Life of Luminaires with LEDs, Determined by the Decline of Luminous Flux] / V.A. Butorin, K.P. Vovdenko, I.B. Carev // Svetotehnika [Light Engineering]. — 2014. — 6. — p. 57-58. [in Russian]
9. Butorin V.A. Ocenka resursa plenochnyh luchistyh jelektronagrevatelej [Estimating the Life Cycle of Electric Radiant Film Heaters] / V.A. Butorin, A.N. Tkachev // Jelektrotehnika [Electrical Engineering]. — 2018. — 3. — p. 48-51. [in Russian]
10. Loginov A.Ju. Opisanie processa izmenenija chastoty vrashhenija rotora asinhronnogo dvigatelja s pomoshh'ju dinamicheskogo звена второго porjadka [Description of the Rotor Speed Variation of an Asynchronous Motor with a Second Order Dynamic Link] / A.Ju. Loginov, A.Ju. Prudnikov // Vestnik IrGSHA [Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy]. — 2017. — 81-2. — P. 111-116. [in Russian]
11. Gizatullin F.A. Analysis of losses in the cable line of well submersible electric motor / F.A. Gizatullin, M.I. Khakimyanov, F.F. Khusainov et al. // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM Proceedings. — 2017. — p. 8076285.