

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ЦИФРОВИЗАЦИИ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ В РОССИИ

Аннотация. В статье описаны виды различных систем диагностики и мониторинга с помощью которых, в недалеком будущем традиционные тяговые подстанции можно цифровизировать, а в последующем создать единую цифровую сеть тяговых подстанций. Переход на «цифровые подстанции» позволит сократить расходы на оплату труда оперативного персонала, перейти на обслуживание и ремонт по техническому состоянию оборудования, повысить надежность системы электроснабжения за счет выявления предотказного состояния на ранних стадиях и снизить количество случаев травматизма на производстве.

Также из-за будущих проблем, связанных с пропуском тяжелых поездов и увеличения объемов грузопотока на Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД), Вихореской дистанции электроснабжения, участка Кежемская – Видим планируется усиление тягового электроснабжения за счет строительства новой тяговой подстанции. Это шаг к развитию не только всей железной дороги, но и к усовершенствованию электроснабжения на Восточно-Сибирской дороге.

Благодаря развитию в данном направлении энергетики появится возможность создать собственную сеть «цифровых подстанций» и определенные концепции по переоборудованию уже имеющихся подстанций с переводом их на «новый уровень». И это только относится к оборудованию, что касается программного обеспечения (ПО), то в этой области есть перспектива создания Российского уникального ПО, которое не будет зависеть от других стран, в которых термин «цифровая подстанция» начал использоваться существенно раньше. Большинство производителей уже сейчас готовы предложить цифровое силовое оборудование и различные устройства, способное нормально функционировать на «цифровых подстанциях».

Ключевые слова: цифровая тяговая подстанция, силовое оборудование, диагностика, мониторинг, системы мониторинга, Восточно-Сибирская железная дорога, энергетика.

TECHNICAL SOLUTIONS FOR DIGITALIZATION OF TRACTION SUBSTATIONS IN RUSSIA

Abstract. The article describes the types of various diagnostic and monitoring systems with the help of which, in the near future, traditional traction substations can be digitalized, and subsequently create a single digital network of traction substations. The transition to "digital substations" will allow to reduce labor costs for operating personnel, transfer to maintenance and repairs based on the technical condition of equipment, increase the reliability of the power supply system by identifying a pre-failure state early and reduce the number of industrial injuries.

Also, due to future problems related to the passage of heavy trains and an increase in freight traffic on the East Siberian Railway (ESR), the Vikhoreskaya power supply distance, the Kezhemskaya-Vidim section, it is planned to strengthen the traction power supply through the construction of a new traction substation. This is a step towards the development of not only the entire railway, but also towards the improvement of power supply on the East Siberian railway.

Thanks to the development in this direction of the energy sector, it will be possible to create our own network of "digital substations" with their transfer to a "new level". And this only applies to equipment, as for software. Then in this area there is the prospect of creating Russian unique software that will not depend on other countries in which the term "digital substation" began to be used much earlier. Most manufacturers are already ready to offer digital power equipment and various devices that can function normally in "digital substations".

Keywords: digital traction substation, power equipment, diagnostics, monitoring, monitoring systems, East Siberian railway, power engineering.

Введение

Сегодня все чаще можно услышать про технологию «Цифровая подстанция». Новые современные системы управления перешли стадии научных исследований и экспериментов в стадию использования. Широко применяются цифровые устройства защиты и автоматики, цифровое измерительное оборудование. Появились новые международные стандарты, позволяющие решить задачи управления электрооборудованием, а также реализовать необходимые методы диагностики и мониторинга данного оборудования [1].

По определению, «цифровая подстанция» – это подстанция с высоким уровнем автоматизации управления технологическими процессами, в которой информационный обмен между оборудованием подстанции и внешней системой осуществляется в цифровом виде на основе протоколов стандарта МЭК 61850, также по данному стандарту выполняется управление работой подстанции [2].

Определение «цифровой подстанции» в отношении тяговой подстанции можно разделить на два сегмента:

1. Сбор информации о состоянии оборудования и передача этой информации в режиме реального времени в АРМ;

2. Автоматизированное управление технологическими процессами и обеспечение обмена данными между тяговой подстанцией и внешней системой (другими тяговыми подстанциями) по стандарту МЭК 61850.

К сожалению, на данный момент нет возможности реализовать второй сегмент, во-первых, по причине отсутствия программного комплекса, способного реализовать управление оборудованием тяговой подстанции в автоматическом режиме, во-вторых, одна подстанция не сможет существовать в рамках «цифровой» обособленно от других традиционных тяговых подстанций. Кроме того, на действующих тяговых подстанциях имеется в большом количестве оборудование устаревшего образца, которое в силу значительного износа, часто подвергается повреждениям [3, 4, 5], что существенно снижает надежность работы тяговой подстанции и системы тягового электроснабжения в целом [6, 7].

Поэтому в данной статье описаны необходимые технические решения по реализации первого сегмента «цифровая тяговая подстанция».

Технические решения по цифровизации тяговой подстанции

На Восточно-Сибирской железной дороге в рамках реализации программы усиления системы тягового электроснабжения Вихоревской дистанции электроснабжения запланировано строительство дополнительной подпитывающей тяговой подстанции на станции Речушка. Разработанная нами однолинейная схема предположительной подстанции, представлена на рис. 1. Поскольку подстанция Речушка будет располагаться в слабо населенном районе, то представляет интерес выполнить ее необслуживаемой и максимально близкой к технологии «цифровой тяговой подстанции». С этой целью предлагается на первом этапе внедрение первого сегмента цифровизации – системы диагностики и мониторинга оборудования.

Система непрерывного диагностического мониторинга необходима для оценки остаточного ресурса оборудования и выявления дефектов диагностируемого оборудования на ранних стадиях [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Цель этой системы – не допущение отказов и аварийных ситуаций контролируемого оборудования.

На основе контролируемых параметров и математических моделей проводится оценка состояния оборудования, оно в автоматическом режиме переводится системой мониторинга в «предаварийное состояние» (красный сигнал) при не допустимом уровне критических параметров, если один или несколько параметров превышают допустимые значения, то система подает сигнал (желтый) о том, что оборудование находится в дефектном состоянии. Когда все параметры в пределах нормы, то система мониторинга сигнализирует это зеленым сигналом светодиода на энергодиспетчерском щите. Работа системы мониторинга представлена на рис. 2. Также система может прогнозировать развитие технического состояния контролируемого оборудования.

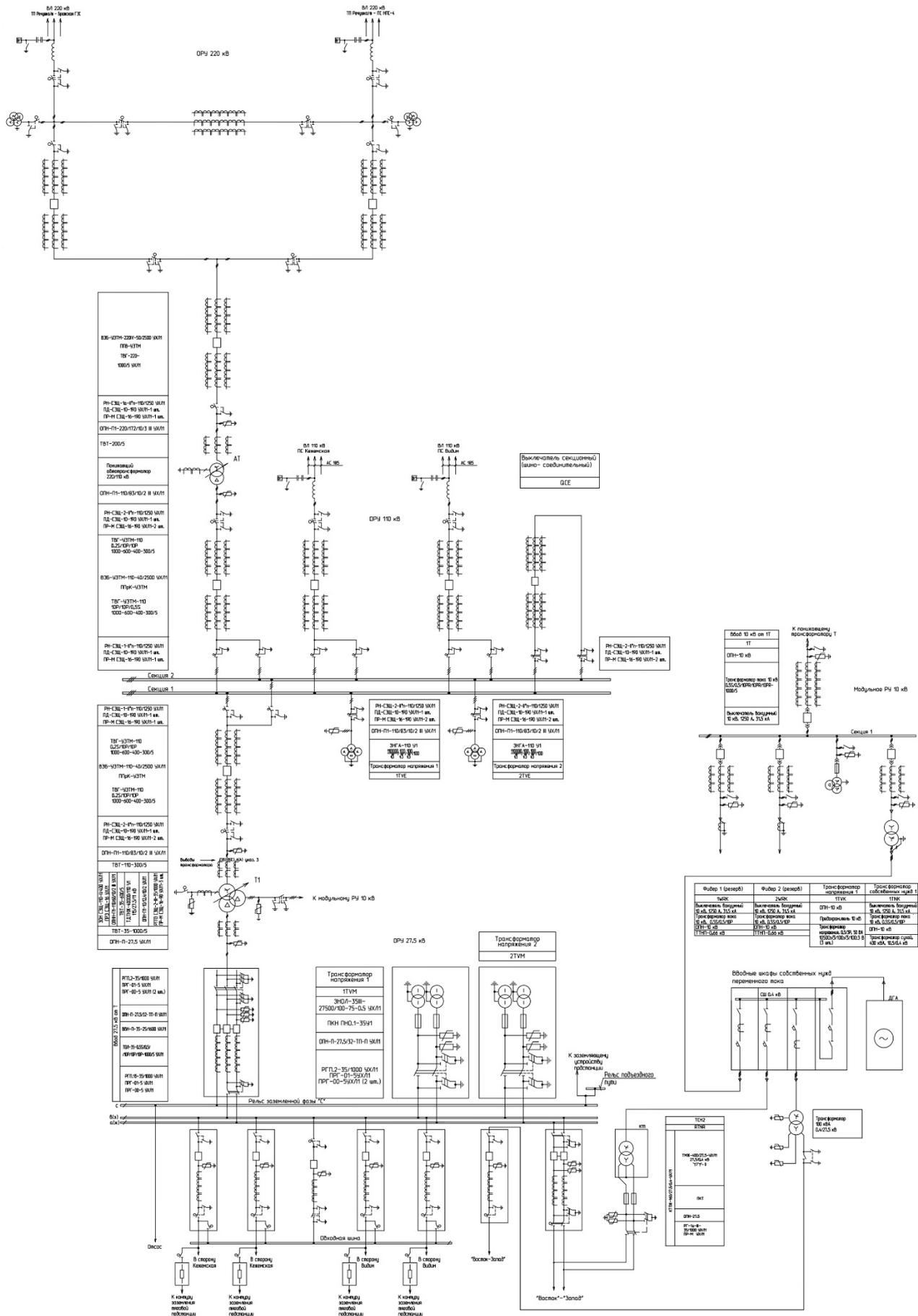


Рис. 1. Однолинейная схема тяговой подстанции Речушка

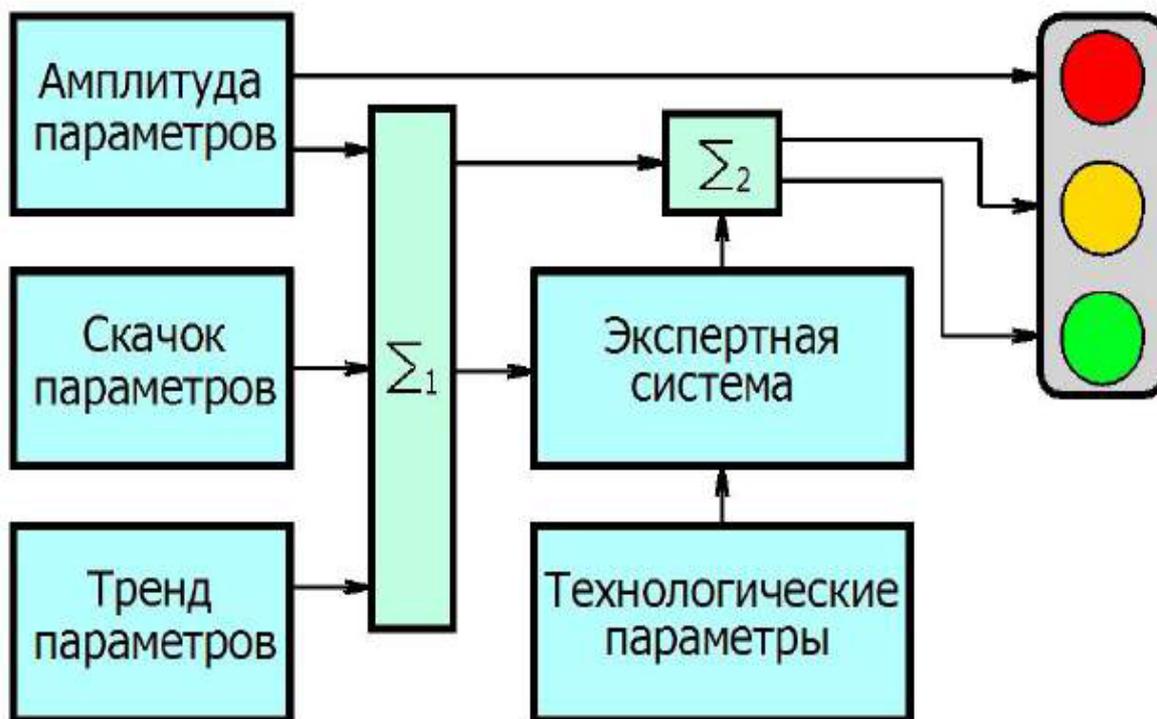


Рис. 2. Пример работы системы мониторинга и диагностики

Система непрерывного диагностического мониторинга оборудования тяговой подстанции Речушка, по нашему мнению, должна включать в себя следующие составляющие.

1. Система диагностического мониторинга силовых трансформаторов

Система «TDM»(Transformer Diagnostics Monitor), представленная на рис. 3, предназначена для контроля соответствия текущих параметров трансформатора нормативным, для проведения диагностики и оценки технического состояния трансформатора и для передачи данных в автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП)[15, 16].



Рис. 3. Система TDM

Данную систему можно считать универсальной, так как она может включать в себя до 20 модулей диагностики разного назначения и используется для трансформаторов всех типов напряжения. Все модули обмениваются информацией между собой по общей шине.

2. Система ADS-3

Это система, отслеживающая техническое состояние элегазовых трансформаторов по частичным разрядам. Данный модуль устанавливается на нижнем основании трансформатора тока, может контролировать состояние трех и более трансформаторов. Состоит из акустиче-

ского датчика и микропроцессорной платы, микропроцессор собирает информацию от датчиков, анализирует ее, оценивает состояние трансформатора по фазам и архивирует ее.

3. Диагностика оборудования ЛЭП

Диагностика ЛЭП состоит в основном из беспроводных интеллектуальных датчиков, способных реагировать на изменения температуры и тока. Данные с этих приборов при необходимости можно получить при помощи смартфона на месте, либо в АРМ с использованием приемника информации от датчика. Датчики необслуживаемые, так как в них установлена батарея со сроком службы 25 лет.

ОПН-датчик (рис. 4) контролирует ограничители перенапряжения от 35-500 кВ, он считывает ток утечки ОПН и регистрирует действующее значение тока утечки.



Рис. 4. ОПН-датчики. Синий датчик оснащается регистратором импульсных токов

4. Мониторинг высоковольтных выключателей и ячеек РУ

Блок мониторинга АВМ-ВК [17] контролирует механический и коммутационный ресурсы выключателя, целостность цепи соленоидов включения (отключения) и отображает основные параметры высоковольтных выключателей во всех режимах работы. На рис. 5 представлена структурная схема мониторинга выключателя и блок АВМ-ВК. Данное устройство возможно использовать с любыми типами выключателей.

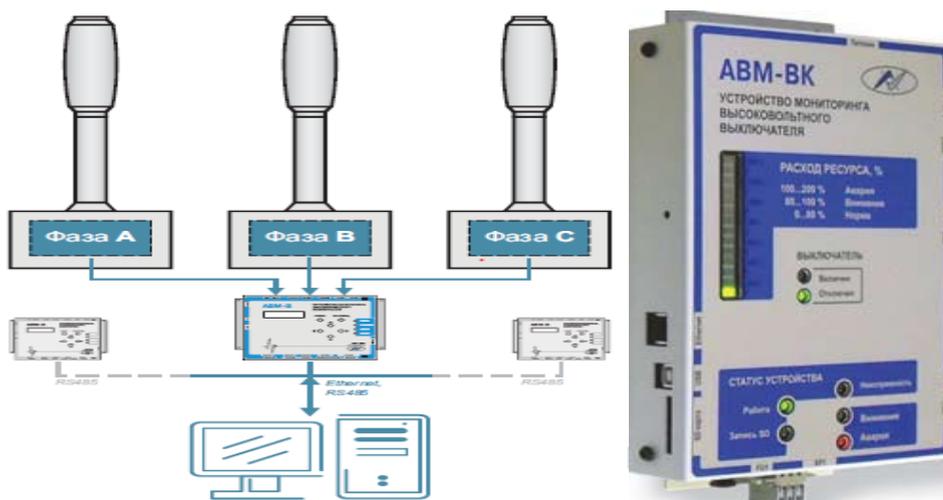


Рис. 5. Структурная схема мониторинга выключателя с помощью АВМ-ВК. Информация о выключателе передается в АСУ ТП и АРМ при помощи локальной сети (Ethernet)

Комплексный мониторинг коммутационного оборудования и ячеек РУ (BDM) оценивает техническое состояние контролируемых объектов по четырем методам:

1 – На основе анализа частичных разрядов контролируется состояние изоляции выключателя, секций шин и подходящих кабельных или воздушных линий;

2 – По графикам изменения токов соленоидов управления и динамическим ударам в приводе контролируется работа самого привода;

3 – Анализируется разновременности работы главных контактов по фазам по графикам изменения фазных токов (с помощью накладных трансформаторов тока);

4 – Контроль технологических параметров, зависящих от типа выключателя;

По результатам работы подсистем программой формируется отчет, дающий возможность определить текущее состояние выключателя и ячейки КРУ.

Система BDM, показанная на рис. 6, состоит из двух подсистем (модулей):

– BDM/PD – модуль контроля состояния изоляции выключателей, ячеек РУ и подходящих кабельных линий по частичным разрядам;

– BDM/СВ – модуль для контроля состояния выключателей по анализу графика мощности электродвигателя привода, контролю динамических и вибрационных процессов при коммутации и по величине фазных токов в момент отключения нагрузки.



Рис. 6. Модули системы комплексного мониторинга и структурная схема системы BDM

Ячейки можно оснастить сигнальным реле для контроля изоляции шин 6 – 35 кВ, ячеек и отходящих кабельных линий. Реле проводит измерения и анализ распределения частичных разрядов, также оно может определить тип дефекта изоляции и выполняет функции индикатора наличия напряжения на шинах даже при отсутствии оперативного питания. Датчики частичных разрядов изготовлены в виде опорных изоляторов сборных шин. Датчики и сигнальное реле показаны на рис. 7.



Рис. 7. Сигнальное реле для мониторинга изоляции ячеек РУ и датчики частичных разрядов

5. Комплекс мониторинга системы оперативного тока (КМСОТ-М) «Дубна»

Комплекс КМСОТ-М[18] позволяет отслеживать сопротивления изоляции, напряжения и пульсации напряжения, ток и пульсации тока, также может заблаговременно информировать о предаварийных состояниях системы, применяется в качестве устройства контроля изоляции с расширенными возможностями.

Особенности данного комплекса:

- мониторинг сопротивления изоляции;
- мониторинг состояния и положения коммутационных и защитных аппаратов;
- мониторинг постоянного тока и напряжения в цепях;
- мониторинг температуры аккумуляторных батарей;
- возможность контролировать сопротивление изоляции 82 присоединений;
- корректные измерения при любом снижении сопротивления изоляции сети;
- интеллектуальный адаптивный алгоритм измерения, снижающий вероятность ложного срабатывания микропроцессорных защит.

Комплекс КМСОТ-М представлен на рис. 8.

6. Терминал микропроцессорной релейной защиты (МППРЗА)

Терминал МППРЗА заменяет работу электромеханических реле, он также выступает в качестве комплекса передачи информации на верхний уровень (АСУ ТП) от систем мониторинга и производит контроль оборудования, без них реализовать технические мероприятия по цифровизации невозможно. Также с помощью МППРЗА есть возможность мониторинга разъединителей, а точнее положения главных ножей.

Надежность микропроцессорной защиты по сравнению с релейной вызывает много споров у специалистов, но сравнивать одно электромеханическое реле с одним терминалом микропроцессорной защиты нецелесообразно, так как надежность одного реле выше по сравнению с терминалом, но он выполняет функции десятков реле. Как известно классические реле монтируются в большинстве последовательно, и при выходе из строя одного из них, выходит из строя и весь комплект РЗА, при этом не учитывается условная надежность контактов и электрических соединений.

Предложения по составу второго сегмента цифровой тяговой подстанции

С точки зрения реализации в перспективе второго сегмента цифровой тяговой подстанции предлагается учесть целый ряд ее отличий от «цифровых подстанций» для других потребителей:

- Автоматическое формирование графика обслуживания для оборудования, допускающего обслуживание «по состоянию»;
- Автоматический расчет ресурса оборудования в режиме реального времени в зависимости от фактических тяговых и иных нагрузок;
- Подготовка в автоматическом режиме рекомендаций по изменению графика движения поездов;
- Подготовка в автоматическом режиме рекомендаций по изменению схемы внешнего электроснабжения;
- Выполнение в автоматическом режиме схемы плавки гололеда;
- Выполнение в автоматическом режиме схемы профилактического подогрева контактной сети;
- Автоматическое взаимодействие со смежными подстанциями, линейными устройствами для обмена информацией о аварийных отключениях смежных участков тяговой сети, взаимная телеблокировка;
- Автоматическое определение вынужденного режима работы системы тягового электроснабжения, автоматическое изменение схемы питания и секционирования и (или) схем электроснабжения сторонних потребителей и (или) схемы внешнего электроснабжения;

- ЭПС; Рациональное использование в автоматическом режиме энергии рекуперации
- Автоматическое формирование однолинейной схемы подстанции;



Рис. 8. Комплекс мониторинга системы оперативного тока «Дубна»

- Автоматическая фиксация перемещения обслуживающего персонала и(или) постороннего персонала по территории;
- Автоматическое определение целостности питающих линий контактной сети и цепей отсоса;
- Постоянный видеомониторинг территории, зданий и оборудования подстанции.

Заключение

Переход на «цифровые тяговые подстанции» дает определенный экономический эффект в виде сокращения трудозатрат на проведение осмотра и ревизии оборудования, на проведение обходов с осмотром, что соответствует требованиям системы энергетического менеджмента и способствует стратегии энергосбережения [19, 20]. Сокращаются также затраты на устранение последствий от потенциальных рисков выхода из строя силового оборудования, к примеру выход из строя силового трансформатора из-за нарушения изоляции высоковольтных вводов приводит к затратам свыше 40-60 миллионов рублей.

Также наблюдается и технологический эффект вследствие перехода на обслуживание по состоянию, обеспечивается непрерывный мониторинг всего оборудования, повышается надежность и долговечность тяговой подстанции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пузина Е.Ю., Туйгунова А.Г., Худоногов И.А. Системы мониторинга силовых трансформаторов тяговых подстанций. Иркутск, 2020. – 184 с.
2. Ю. Н. Король. Концепция цифровой тяговой подстанции. Москва, 2020. 62 с.
3. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Регрессионный анализ повреждаемости измерительных трансформаторов//Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Иркутск, 2010. С.421-423.
4. Пузина Е.Ю., Алексеенко В.А. Анализ времени наработки до отказа измерительных трансформаторов//Транспорт-2010. Ч.2. 2010. С.307-309.
5. Алексеенко В.А., Пузина Е.Ю. Анализ повреждений измерительных трансформаторов на тяговых подстанциях ВСЖД// Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Иркутск. 2009.Т.2. С. 4-9.
6. Лундалин А.А., Пузина Е.Ю., Худоногов И.А., Кашковский В.В. Анализ надежности электроснабжения транспортных систем в зависимости от состояния устройств релейной защиты и автоматики. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 3 (63). С. 127-135.
7. Туйгунова, А.Г. О переводе питания СЦБ с 27,5 кВ на нетяговую обмотку на тяговой подстанции переменного тока / А.Г. Туйгунова, И.А. Худоногов, Е.Ю. Пузина // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2018. - № 4 (60). - С. 93-98.
8. Пузина Е.Ю. Оценка остаточного ресурса тяговых трансформаторов Северного хода ВСЖД. Транспорт-2013: труды международной научно-практической конференции.–Ростов-на-Дону: Изд-во РГУПС, 2013.–С. 173-175.
9. Keyvan Firuzi, Mehdi Vakilian, B. Toan Phung, Trevor R. Blackburn, "Partial Discharges Pattern Recognition of Transformer Defect Model by LBP & HOG Features," Power Delivery IEEE Transactions on, vol. 34, no. 2, pp. 542–550, 2019.
10. Y. Dang and W. Chen, "Design of Oil-Immersed Apparatus Oil Velocity Measure System Based on the Ultrasonic Wave Doppler Effect," 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Palermo, pp. 1–4, 2018.
11. Xiaozhou Zhu, Minwu Chen, Shaofeng Xie and Jie Luo, "Research on new traction power system using power flow controller and Vx connection transformer," 2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT), Birmingham, pp. 111–115, 2016.
12. H. Kalathiripi and S. Karmakar, "Fault analysis of oil-filled power transformers using spectroscopy techniques," 2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, pp. 1–5, 2017.
13. Grigoriev N.P., Klykov M.S., Tikhomirov V.A., Trofimovich P.N. Reduction of electrical energy losses of power transformer of 25 kV traction substations. IOP Conferens Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 760. С. 012060.
14. Крюкова А.В., Куцкий А.П., Черепанова А.В. Применение управляемых источников реактивной мощности в системах электроснабжения железных дорог. Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2016. Т. 1. С. 588-593.
15. ООО «DIMRUS». Системы мониторинга и диагностические приборы для контроля технического состояния высоковольтного оборудования. Москва, 2019. С. 2–82.
16. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Смирнов А.С., Солонина З.В. Применение распределенного мониторинга качества электрической энергии в MICROGRID. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №6 (89). С.185-189.
17. ООО «АСУ-ВЭИ». Устройство мониторинга высоковольтного выключателя. Москва, 2020. 4 с.
18. Сайт компании «ТЕХНОКОМПЛЕКТ». Комплекс мониторинга систем оперативного тока серии КМСОТ «Дубна» [<https://thc-samara.ru/product/sistema-operativnogo-postoyannogo-toka/sistemy-raspredeleniya-postoyannogo-toka/kompleks-monitoringa-operativnogo-toka/kompleks-monitoringa-sistemy-operativnogo-toka-kmsot-m-dubna/>].

19. Горбунова В.С., Пузина Е.Ю. Эффективность внедрения системы энергетического менеджмента в промышленных компаниях России. Транспортные системы и технологии. 2018. Т. 4. №1. С. 119-137.

20. Боброва Ю.М., Пузина Е.Ю. Необходимость активизации энергосбережения в России // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири / Материалы Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. - Иркутск: ИРНИТУ, 2016. - Т.2. - С. 142-147.

REFERENCES

1. Puzina E.Yu., Tuigunova A.G., Khudonogov I.A. Monitoring systems for power transformers of traction substations. Irkutsk, 2020. –184 p.
2. Yu. N. Korol. The concept of a digital traction substation. Moscow, 2020. 62 p.
3. Puzina E.Yu., Alekseenko V.A. Regression analysis of instrument transformer damage // Increasing the efficiency of energy production and use in Siberia. Irkutsk, 2010. Pp. 421-423.
4. Puzina E.Yu., Alekseenko V.A. Analysis of the operating time to failure of measuring transformers // Transport-2010. Part 2. 2010. Pp. 307-309.
5. Alekseenko V.A., Puzina E.Yu. Analysis of damage to measuring transformers at traction substations of the ESR // Transport infrastructure of the Siberian region. Ir-Kutsk. 2009. Vol.2. Pp. 4-9.
6. Lundalin A.A., Puzina E.Yu., Khudonogov I.A., Kashkovsky V.V. Analysis of the reliability of power supply of transport systems depending on the state of relay protection and automation devices. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2019. No. 3 (63). Pp 127-135.
7. Tuigunova A. G., Khudonogov I. A., Puzina E. Yu. On the transfer of the power supply of the SCB from 27.5 kV to a non-traction winding at an AC traction substation // Modern technology. System analysis. Modeling. 2018. no. 4 (60). Pp. 93-98.
8. Puzina E. Yu. Evaluation of the residual service life of the Northern route traction transformers East Siberian Railroad. Transport-2013: proceedings of the international scientific and practical conference. Rostov-on-don: RSUPSPublishing house, 2013, Pp. 176-178.
9. Keyvan Firuzi, Mehdi Vakilian, B. Toan Phung, Trevor R. Blackburn, "Partial Discharges Pattern Recognition of Transformer Defect Model by LBP & HOG Features," Power Delivery IEEE Transactions on, vol. 34, no. 2, pp. 542–550, 2019.
10. Y. Dang and W. Chen, "Design of Oil-Immersed Apparatus Oil Velocity Measure System Based on the Ultrasonic Wave Doppler Effect," 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Palermo, pp. 1–4, 2018.
11. Xiaozhou Zhu, Minwu Chen, Shaofeng Xie and Jie Luo, "Research on new traction power system using power flow controller and Vx connection transformer," 2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT), Birmingham, pp. 111–115, 2016.
12. H. Kalathiripi and S. Karmakar, "Fault analysis of oil-filled power transformers using spectroscopy techniques," 2017 IEEE 19th International Conference on Dielectric Liquids (ICDL), Manchester, pp. 1–5, 2017.
13. Grigoriev N.P., Klykov M.S., Tikhomirov V.A., Trofimovich P.N. Reduction of electrical energy losses of power transformer of 25 kV traction substations. IOP Conferens Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 760. С. 012060.
14. A.V. Kryukov, A.P. Kutsyi, A.V. Cherepanov The use of controlled sources of reactive power in railroad power supply systems. Transport infrastructure of the Siberian region. 2016. Vol. 1. P. 588-593.
15. DIMRUS LLC. Monitoring systems and diagnostic devices for monitoring the technical condition of high-voltage equipment. Moscow, 2019. P. 2–82.
16. Suslov K.V., Solonina N.N., Smirnov A.S., Solonina Z.V. Application of distributed monitoring of the quality of electrical energy in MICROGRID. Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2014. No. 6 (89). Pp. 185-189.
17. LLC "ASU-VEI". High voltage circuit breaker monitoring device. Moscow, 2020. 4 P.

18. The website of the TECHNOKOMPLEKT company. Monitoring complex for operational current systems of the KMSOT series "Dubna".
19. Gorbunova V. S., Puzina E. Yu. Efficiency of introduction of the energy management system implementation in Russian industrial companies // Transport systems and technologies. 2018. Vol. 4. No. 1. Pp. 119-137.
20. Bobrova Yu.M., Puzina E.Yu. The need to activate energy saving in Russia // Increasing the efficiency of production and use of energy in Siberia / Materials of the All-Russian. scientific-practical conf. with int. participation. -Irkutsk: IRNITU, 2016. -Т.2. - Pp. 142-147.

Информация об авторах

Казаков Даниил Олегович – студент гр. СОД.1-16-2, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: den.kazakow@yandex.ru

Пузина Елена Юрьевна – к. т. н., доцент кафедры Электроэнергетика транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, к. т. н., доцент кафедры электроснабжения и электротехники, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, e-mail: lena-rus05@mail.ru

Authors

Kazakow Daniill Olegovich – student g. SOD.1-16-2, specialty "Train traffic management Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: den.kazakow@yandex.ru

Elena Yur'evna Puzina – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: lena-rus05@mail.ru;

Для цитирования

Казаков Д.О. Технические решения по цифровизации тяговых подстанций России [Электронный ресурс] / Д. О. Казаков, Е. Ю. Пузина // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2021. — №1. — Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/11-2021>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 12.05.2021)

Forcitation

Kazakow D.O. Technical solutions for digitalization of traction substations in Russia [Electronic resource] / D.O. Kazakow, E.Yu. Puzina // Young science of Siberia: electron. scientific journal-2021. — no. 1. — access Mode: <http://mnv.irkups.ru/toma/11-2021>, free. — Blank from the screen. — Yaz. Rus., eng. (accessed: 12.05.2021)