

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАШИН НА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОВОЗАХ

Доктор техн. наук: **Худоногов А.М.**,
кандидат техн. наук, доцент: **Иванов П.Ю.**,
кандидат техн. наук, доцент: **Дульский Е.Ю.**,
инженер ИрГУПС **Ковшин А.С.**,
студент ИрГУПС: **Тихонов Д.А.**

ANALYSIS OF POSSIBLE PLACEMENT OPTIONS FOR MONITORING THE ISOLATION STATUS OF ASYNCHRONOUS AUXILIARY MACHINES ON MODERN ELECTRIC LOCOMOTIVES

Doctor (Tech.), professor: **Hudonogov A.M.**,
Ph. D. (Tech.), Associate professor: **Ivanov P.Y.**,
Ph. D. (Tech.), Associate professor: **Dulskiy E.Y.**,
engineer IrGUPS **Kovshin A.S.**,
student IrGUPS: **Tihonov D.A.**

Тяговый подвижной состав, микроконтроллерная система мониторинга, датчики, массив данных.

Traction rolling stock, microcontroller monitoring system, sensors, data array.

Для реализации системы мониторинга состояния изоляции на подвижном составе была использована разработанная микроконтроллерная система мониторинга, датчики которой были установлены непосредственно в силовую цепь асинхронных вспомогательных машин (АВМ). Микроконтроллерный блок системы мониторинга производит последовательный опрос датчиков, составляя получаемые сигналы в виде цифровых значений в упорядоченный массив данных. В статье были представлены и проанализированы три концепции расположения датчиков и системы в целом на тяговом подвижном составе. В конечном итоге была выбрана третья концепция исполнения, что обусловлено высокой достоверностью данных, а также низкой подверженности вмешательству со стороны обслуживающего персонала.

To implement the system for monitoring the state of insulation on rolling stock, a developed microcontroller monitoring system was used, the sensors of which were installed directly into the AVM power circuit. The microcontroller unit of the monitoring system performs a sequential survey of sensors, composing the received signals in the form of digital values into an ordered data array. Three concepts of the location of sensors and the system as a whole on the AVM were presented. In the end, we settled on the third implementation concept, since it has the highest data reliability, as well as low susceptibility to interference from service personnel.

Введение

Развитие современных цифровых технологий позволяет в настоящее время реализовывать системы непрерывного мониторинга состояния оборудования, которые позволяют в конечном итоге снизить вероятность отказа оборудования, что особенно актуально для транспортной отрасли.

В ФГБОУ ВО «Иркутский университет путей и сообщения» ведутся работы по разработки системы мониторинга состояния изоляции электрооборудования, выполняемые в рамках гранта для молодых ученых ОАО «РЖД» [1-5].

В данной статье внимание будет уделено системе мониторинга состояния изоляции АВМ электровозов, в частности анализу возможных вариантов размещения данной системы.

Целью системы мониторинга является определение остаточного ресурса изоляции обмотки статора на основе уравнения регрессии [6], через контроль потребляемых фазами токов во всех режимах работы в течение всего времени анализируемого периода эксплуатации двигателя.

Зная класс изоляции и рабочую температуру, пользуясь законом Вант Гоффа Аррениуса можно определить уравнение регрессии от температуры.

Данный закон можно записать в следующем виде [1]:

$$S = S_{\text{ном}} \cdot e^{-b_z \cdot \Delta\tau} \quad (1)$$

где $S_{\text{ном}}$ – срок службы двигателя при нормальном значении температуры;

b_z – степенной коэффициент закона старения изоляции, зависящий от её класса;

$\Delta\tau$ – превышение температуры изоляции над предельно допустимым для данного класса значением.

Имея все параметры, мы можем проверить сходимость экспериментальных данных с существующей функциональной зависимостью. Воспользуемся законом Вант Гоффа Аррениуса, представленного в виде выражения (1), для теоретического определения по известным данным значения срока службы первой партии двигателей.

$$S_{\text{ном}} = 20000 \text{ часов}; b_z = 0,0693;$$

$$\Delta\tau = 160 - 120 = 40^\circ\text{C};$$

$$S = 20000 \cdot e^{-0,0693 \cdot 40} = 1250,7 \text{ часа}$$

Погрешность расчётов относительно нормального срока службы составила:

$$\Delta S_{\tau} = \frac{1432 - 1250,7}{20000} \cdot 100\% = 0,9\%$$

Погрешность относительно сокращённого срока службы составила:

$$\Delta S_{\tau} = \frac{1432 - 1250,7}{20000} \cdot 100\% = 12\%$$

Полученные результаты показывают достаточно высокий процент сходимости экспериментальных и расчётных значений температурного старения.

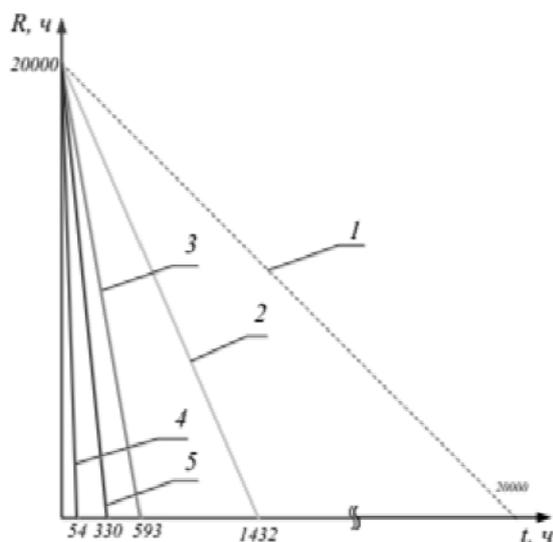


Рис.1. Изображение циклов жизни электродвигателей, подверженных равномерному на протяжении всего срока эксплуатации воздействию разрушающих факторов

График линии 1 (рис. 1) изображает цикл жизни двигателя, изоляция которого эксплуатируется в нормальных условиях. В таком случае график функции старения имеет вид линии, расположенной под углом 45° к оси ординат и пересекает её в точке со значением 20000 часов, т. е. машина вырабатывает весь заложенный в неё ресурс.

Графики линий 2, 3, 4, 5 описывают жизненные циклы двигателей, подверженных равномерному на протяжении всего срока эксплуатации воздействию разрушающих факторов в различных комбинациях. Таким образом, можно изобразить старение машин, используя данные, полученные по результатам эксперимента.

Для реализации алгоритма работы системы в качестве технического средства был использован микроконтроллерный блок [11], датчики от которого были установлены непосредственно в силовую цепь мотор-вентилятора. Микроконтроллерный блок системы мониторинга производит последовательный [13] опрос датчиков, составляя получаемые сигналы в виде цифровых значений в упорядоченный массив данных, располагающийся в оперативной памяти ОЗУ микроконтроллера, после заполнения всего объема ОЗУ массив данных перемещается в блок памяти (постоянное запоминающее устройство ПЗУ). Во время перемещения данных микроконтроллер не может параллельно вести

запись данных с датчиков в ОЗУ, по этой причине в процессе фиксации возникает пауза.

На рис. 1 представлен фрагмент алгоритма системы мониторинга, направленный на осцилографирование напряжений и токов по трём фазам асинхронного двигателя [7]. Для повышения скорости записи проводится последовательно опрос каналов с промежуточным пакетом сохранения данных по 30 точкам с циклической отправкой.

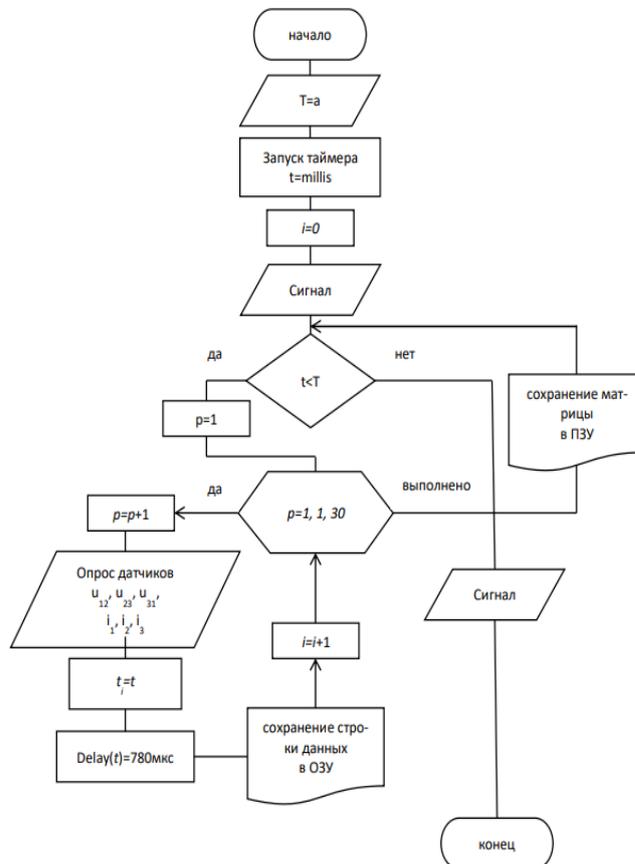


Рис.2. Алгоритм функционирования бортовой системы мониторинга состояния изоляции АВМ магистральных электровозов

На рис. 2 представлена схема подключения к АВМ датчиков токов и напряжения и увязки их с микроконтроллером и преобразователем.

Алгоритм осцилографирования и подключения датчиков является основной базовой составляющей системы мониторинга. Этого достаточно чтобы создать базовый объём информации, который можно анализировать, при помощи представленной математической зависимости

Методика, представленная данным алгоритмом, является следующей последовательностью действий:

- подаётся питание на микроконтроллер;
- запуск системы мониторинга;
- происходит опрос датчиков (задача времени, которое обозначается в алгоритме постоянной T, её значение задаётся равным 10 секундам);
- запускается таймера, позволяющий фиксировать значение изменения сигналов от времени (переменная времени таймера обозначается буквой t);
- задаётся нулевое значения номера цикла для правильной работы счётчика $i=0$;
- подаётся световой сигнал о готовности системы к запуску двигателя;

- проверяется условие $t < T$, которое необходимо для отсчёта времени окончания сбора данных при условии, что время не истекло. Запускается дальнейший цикл, в противном случае работа приостанавливается и подаётся сигнал об окончании работы системы мониторинга;

- в случае запуска цикла обнуляется значение счётчика фиксации предыдущего массива, сохраняемого в оперативную память, соответствующая переменная принимает значение $p=1$;

- начинается цикл из 30 итераций, т.е. $p=1, 1 \dots 30$, от 1 до 30 с шагом равным 1, в течение данного цикла происходит запись данных в ОЗУ микроконтроллера, при достижении $p=30$ происходит сохранение массива данных в ПЗУ, и при условии $t < T$ цикл повторяется;

- в течение одного цикла происходит опрос датчиков токов и напряжений, а также фиксация текущего времени, происходит формирование строки массива из семи значений;

- функцией «Delay» производится временная пауза, которое составляет 780 мкс. Данное действие необходимо для увеличения длительности периода «непрерывной» записи осциллограмм;

- производится сохранение сформированной строки в массив, расположенный в ОЗУ;

- назначается общий номер цикла;

- после истечения времени опытных замеров условие $t < T$ перестаёт выполняться, работа системы заканчивается, о чём свидетельствует световой сигнал индикатора.

Параметры, такие как максимальное количество итераций одного цикла $p=30$, задержка времени между итерациями $\text{Delay}(t)=780\text{мкс}$, выбраны с учётом ряда факторов:

- объёма ОЗУ микроконтроллера;
- производительности микроконтроллера;
- допустимой точности измерений, зависящей от разрешения измеряемых сигналов.

То есть с учётом времени, требующегося на осуществление всех необходимых вычислений, заданных алгоритмом и максимальной величины массива данных, которую может вместить оперативная память микроконтроллера.

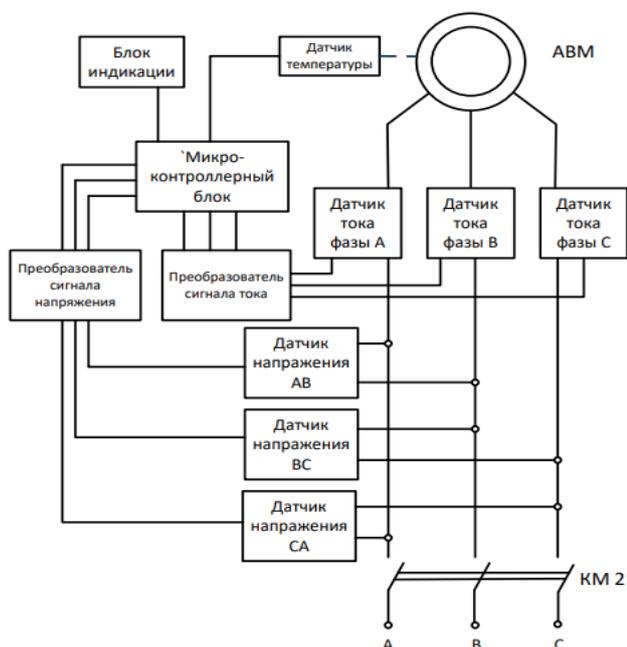


Рис.3. Схема подключения к АВМ датчиков тока и напряжения, а также увязки их с микроконтроллером и преобразователем

Для проведения поездных испытаний предлагаемой системы мониторинга была поставлена задача проанализировать возможные концепции ее размещения непосредственно в электровозе.

Концепция 1 предполагает анализ мультиплицированных значений фазных токов и напряжений всех асинхронных вспомогательных машин [8] через электрическую цепь и сигналов с катушек управления магнитных контакторов.

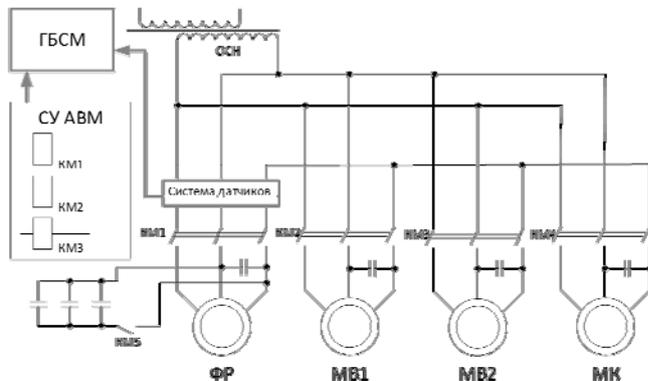


Рис.4. Концепция 1 расположения системы мониторинга

Главный блок системы мониторинга при этом ведет расчеты, сбор, анализ и передачу данных о режиме работы цепи собственных нужд в целом.

Все элементы системы мониторинга устанавливаются на расстоянии от АВМ.

Недостаток – не удастся с высокой степенью достоверности вести расчет остаточного ресурса каждой машины, высокая степень подверженности вмешательству со стороны обслуживающего персонала.

Преимущество – низкая стоимость, простота.

Концепция 2 предполагает анализ индивидуальных значений фазных токов и напряжений каждой асинхронной вспомогательной машины через индивидуальные датчики и сигналов с катушек управления магнитных контакторов.

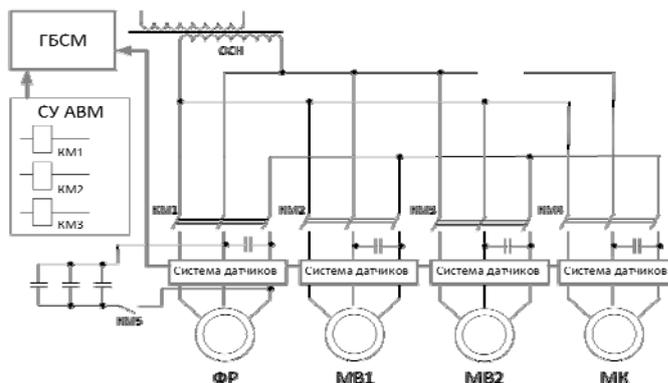


Рис. 5. Концепция 2 расположения системы мониторинга

- ГБСМ – главный блок системы мониторинга;
- СУ АВМ – система управления асинхронных вспомогательных машин;
- КМ 1-5 – контактор магнитный;
- ОСН – обмотка собственных нужд.

Главный блок системы мониторинга при этом ведет расчеты, сбор, анализ и передачу данных о режиме работы цепи собственных нужд в целом и анализ ресурса каждой машины индивидуально.

Аналитические и передающие элементы системы мониторинга устанавливаются на расстоянии от АВМ, а датчики тока и напряжения установлены непосредственно на АВМ.

Недостаток – сложность передачи сигналов от датчиков к ГБСМ, высокая степень подверженности вмешательству со стороны обслуживающего персонала.

Преимущество – с высокой степенью достоверности удастся вести расчет остаточного ресурса каждой машины.

Концепция 3 предполагает анализ индивидуальных значений фазных токов и напряжений каждой асинхронных вспомогательных машин через индивидуальные токовые датчики.

Главный блок системы мониторинга при этом ведет расчеты, сбор и передачу данных, анализ ресурса каждой машины индивидуально.

Аналитические и передающие элементы системы мониторинга устанавливаются в клемную коробку АВМ, а также как и датчики тока и напряжения.

Недостаток – сложность передачи сигналов от датчиков, большое количество элементов системы, повышенные требования к помехозащищённости электроники.

Преимущество – удастся с высокой степенью достоверности вести расчет остаточного ресурса каждой машины, низкая степень подверженности вмешательству со стороны обслуживающего персонала.

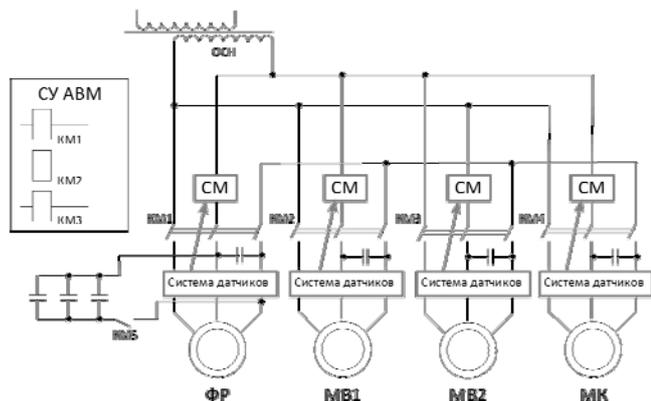


Рис. 6. Концепция 3 расположения системы мониторинга

СМ – индивидуальный блок системы мониторинга;
СУ АВМ – система управления асинхронных вспомогательных машин;

КМ 1-5 – контактор магнитный;

ОСН – обмотка собственных нужд.

Заключение

Внедрение системы мониторинга изоляции асинхронных вспомогательных машин позволит с высокой точностью определить остаточный ресурс изоляции, что в свою очередь позволит снизить количество отказов АВМ. В рамках данной статьи были рассмотрены три концепции: 1 – более простая и дешёвая в изготовлении; 2 – позволяет с высокой точностью вести расчёт остаточного ресурса каждой машины, но подвержена вмешательству со стороны обслуживающего персонала, 3 – предлагает с высокой степенью достоверности вести расчет остаточного ресурса каждой машины, но в отличие от второй концепции, у неё низкая степень подверженности вмешательству со стороны обслуживающего персонала.

Проанализировав все концепции, в части реализации прототипа, было принято решение остановиться на 3 концепции, так как у неё высокая степень автономности, в процессе внедрения не требуется доступ к МСУД, нет привязки к основному компьютеру, нет необходимости поиска дополнительного места для размещения компьютера и проведения коммутации.

Литература

1. Свид. 2021663493 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Система мониторинга параметров технологических процессов в режиме реального времени с отправкой данных на сервер посредством wi-fi модуля. / Дульский Е.Ю., Иванов П.Ю., Ковшин А.С., Дивинец М.А., Емельянов Д.О; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «ИрГУПС». - №2021662314; заявл. 03.08.2021; опубл. 18.08.2021
2. Свид. 2021663441 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Мониторинг параметров работы технологической линии с автоматической аварийной сигнализацией и интерфейсом на базе сенсорного дисплея. / Дульский Е.Ю., Иванов П.Ю., Ковшин А.С., Дивинец М.А., Корсун А.А; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «ИрГУПС». - №2021662481; заявл. 05.08.2021; опубл. 17.08.2021.
3. Свид. 2021663250 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Шестиканальный мониторинг аналоговых сигналов с записью осциллограмм на съёмный модуль памяти. / Дульский Е.Ю., Иванов П.Ю., Худоногов А.М., Ковшин А.С., Дивинец М.А. заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «ИрГУПС». – №2021662291; заявл.02.08.2021; опубл. 13.08.2021
4. Дульский Е.Ю. Влияние определенных факторов на надёжность изоляции электрооборудования тягового подвижного состава. [Текст] / Е.Ю. Дульский, П.Ю. Иванов, Корсун А.А., Дивинец М.А. // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. №2. – С.95-103.
5. Дульский Е.Ю. Система мониторинга состояния изоляции [текст] / Е.Ю. Дульский, Иванов П.Ю., Хамнаева А.А., Дивинец М.А., Корсун А.А. // Железнодорожный транспорт. -2021.-№3.- С. 50,51,52.
6. Иванов П.Ю. Повышение эксплуатационной надёжности асинхронных вспомогательных машин магистральных электровозов переменного тока [Текст]: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Иркутск, 2015. – 198 с.
7. Белов А.В. Разработка устройств на микроконтроллерах AVR [Текст] : шагаем от «чайника» до профи. Книга + видеокурс. – СПб.: Наука и Техника, 2013. – 528 с.: ил. + CD.
8. Некрасов О.А. Вспомогательная машины электроподвижного состава переменного тока [Текст]. – М.: Транспорт, 1968. – 168 с.
9. ГОСТ 10518-88. Системы электрической изоляции. Общие требования к методам ускоренных испытаний на нагревостойкость [Текст] –М., 1988. 28 с.
10. ЦТ-ЦТВР/4782. Правила ремонта электрических машин электроподвижного состава [Текст]; М.: Транспорт, 1975. – 356 с.

11. Микроконтроллерная платформа Arduino [Электронный ресурс] / Сайт лицензированных представителей компании в России – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.arduino.ru>

12. Осяев А.Т. Повышение ресурса тяговых электродвигателей: сборник докладов и сообщений научно-технической конференции [Текст] / под ред. А.Т. Осяева. – М., 2004. – 127 с.

13. Иванов П.Ю. Методы повышения надежности и прогнозирование остаточного ресурса изоляции АВМ электровозов переменного тока [Текст] / Проблемы транспорта Восточной Сибири. Сборник трудов 3-й Всероссийской научно-практической конференции. Ч.1. – Иркутск: 2012 – 66-70 с.

Сведения об авторах:

Худоногов Анатолий Михайлович, профессор кафедры «Электроподвижной состав» Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС)

Тел. 89148814675

Иванов Павел Юрьевич, доцент кафедры «Электроподвижной состав» Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС)

Телефон: 89500652177

e-mail: ivanov@mail.ru

Дульский Евгений Юрьевич, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС)

Телефон: 89834034643

e-mail: E_dulskiy@mail.ru

Ковшин Андрей Сергеевич, инженер Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС)

e-mail: Andrik893@mail.ru

Тихонов Дмитрий Андреевич, студент Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС)

Телефон: 89029170882

e-mail: soneXperia.HD@gmail.com.