

Автоматизация эксплуатации оборудования тяговой подстанции

В.Г. Лысенко, О.В. Кубкина

Ростовский государственный университет путей сообщения

Аннотация: Разработка, внедрение и постоянное совершенствование систем диагностирования объектов инфраструктуры Российских железных дорог (РЖД) определяются как условия обеспечения надежной и безопасной эксплуатации. Действующая в настоящее время концепция регламентирует этапы и направления развития систем диагностирования на период до 2030 года, с перспективой развития до 2035 года. Предполагается создание встроенных, стационарных и мобильных систем контроля и диагностирования.

Наиболее оптимальным, с точки зрения эффективности функционирования системы диагностирования, является обеспечение возможности контроля диагностических параметров с заданной точностью, автоматически, без вывода оборудования из работы, в режиме реального времени. Такой подход позволяет значительно упростить процедуры эксплуатационного контроля. Не требуется изменения состояния оборудования и схем электроснабжения. Сокращается численность персонала, задействованного для осуществления диагностических процедур, а также снижается влияние человеческого фактора на результаты. В статье рассматриваются способы автоматизации контроля изоляции объектов инфраструктуры РЖД.

Ключевые слова: система диагностирования, инфраструктура, эксплуатационный контроль, автоматизация.

Серьезным препятствием на пути создания встроенных, стационарных систем контроля и диагностирования является наличие на значительном числе тяговых подстанций ТРАНСЭНЕРГО ОАО «РЖД» оборудования, находящегося в эксплуатации продолжительное время. Зачастую в таких устройствах не предусмотрена возможность подключения систем контроля и диагностики [1]. Отсутствуют необходимые выводы и точки для подключения соответствующего измерительного оборудования, отсутствуют необходимые датчики и возможность их установки. Внесение изменений в конструкцию процедура длительная и дорогостоящая. Альтернативным вариантом автоматического диагностирования такого оборудования представляются системы, способные по результатам контроля имеющихся первичных параметров формировать информацию, требуемую для диагностики.

Предлагается к рассмотрению вариант автоматического контроля в режиме реального времени интегрального показателя состояния изоляции электротехнического устройства (тангенса угла диэлектрических потерь), не требующий значимых конструктивных доработок диагностируемого оборудования. Такой подход, как представляется, позволит оценивать динамику изменения контролируемого параметра [2-4].

На рис.1 представлена обобщенная векторная диаграмма тока через изолирующую конструкцию.

В общем случае через изоляцию с приложенным напряжением u_u имеет место ток утечки i_y с соответствующими активной i_a и реактивной i_p составляющими. Соответственно угол диэлектрических потерь δ фазный угол φ могут быть определены расчетным путем.

Расчет тангенса угла диэлектрических потерь и контроль динамики позволит оценивать изменение характеристик изоляционной конструкции. При наличии в конструкции внешней изоляции, например, при контроле высоковольтных вводов, расчет и контроль значения активной составляющей тока утечки позволяет оценивать степень загрязнения [1].

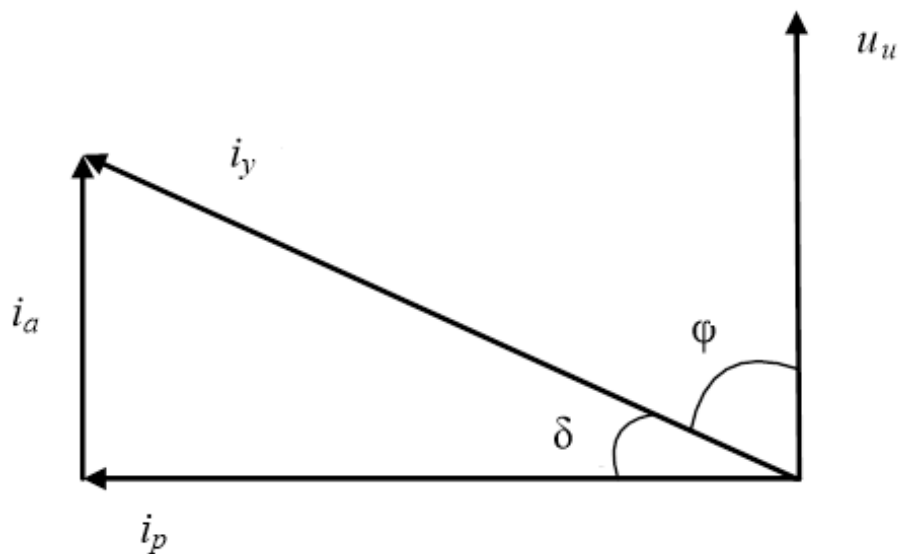


Рис. 1. – Обобщенная векторная диаграмма тока через диэлектрик

На рис. 2 представлена структурная схема системы контроля тангенса угла диэлектрических потерь изоляции оборудования тяговой подстанции.

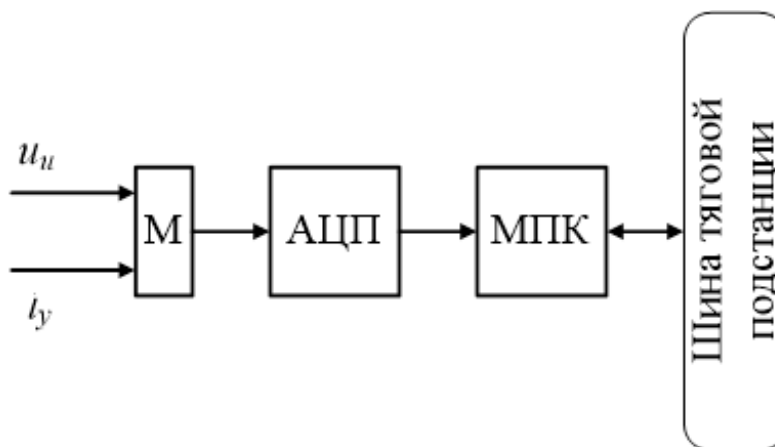


Рис. 2. – Структура системы контроля

Микропроцессорный контроллер МПК в соответствии с программой, посредством аналогово-цифрового преобразователя АЦП и программно-управляемого мультиплексора М осуществляет сканирование и регистрацию в памяти мгновенных значений напряжения и тока. Применение традиционной схемы ввода данных (пара мультиплексор – АЦП) обеспечивает, с учетом быстродействия конкретных, используемых в системе устройств, требуемую синхронность измерений. Зарегистрированные в памяти системы цифровые осциллограммы напряжения и тока позволяют расчетным путем определить значения фазного угла и угла диэлектрических потерь.

В соответствии с [5, 6] система находится на уровне присоединения и предоставляет данные на уровень шины подстанции. Реализация системы в соответствии с протоколами передачи данных в стандарте МЭК 61850, позволит вписать ее в концепцию цифровой тяговой подстанции.

На рис. 3 представлена укрупненная блок схема алгоритма функционирования системы контроля и диагностирования.

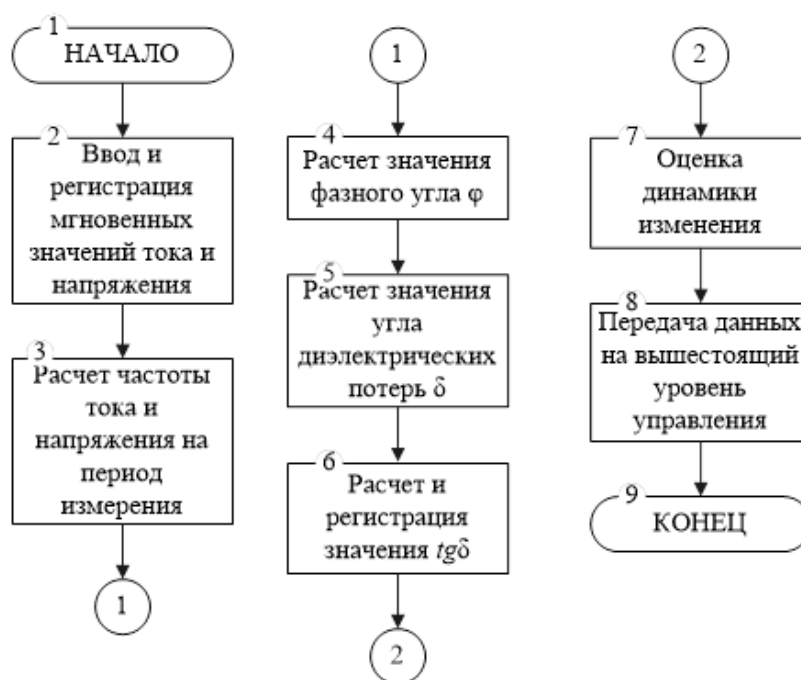


Рис. 3. – Укрупненная блок - схема алгоритма функционирования системы

В блоке 2 алгоритма ввод и регистрация мгновенных значений тока и напряжения осуществляется поочередно с помощью циклической программы. При условии использования одного и того же мультиплексора и аналогово-цифрового преобразователя обеспечивает максимально возможное постоянство шага дискретизации Δt .

В блоках 3 и 4 алгоритма расчет значений частоты тока ω_1 и напряжения ω_u осуществляется исходя из числа шагов дискретизации k , на один период изменения контролируемого параметра. Расчет значения фазного угла φ осуществляется исходя из числа шагов дискретизации n , на период прохождения кривых тока и напряжения через ноль [7-9]. С точки зрения повышения точности измерения существенным представляется определение момента прохождения кривых контролируемых параметров через ноль в пределах временного интервала соответствующего шага дискретизации.

Рассмотрим алгоритм расчета на примере контролируемого параметра P_l , график изменения значений которого представлена на рис. 4.

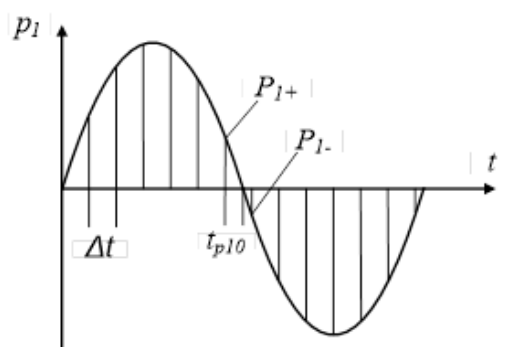


Рис. 4. – График значений контролируемого параметра

Синусоидальная форма кривой позволяет допустить линейность изменения значений параметра при переходе через ноль. На рисунке P_{l+} и P_{l-} - разнознаковые значения параметра для двух смежных измерений. Для временного интервала перехода кривой из положительной полуплоскости в отрицательную (в алгоритме предусматривается контроль направления перехода) скорость изменения параметра V_p определяется по формуле:

$$V_p = \frac{|P_+ + P_-|}{\Delta t}.$$

Временной интервал между моментом измерения значения P_{l+} и пересечением кривой нулевого значения определяется по формуле:

$$t_{p10} = \frac{P_+}{V}.$$

Частота параметра:

$$\omega_{p1} = \frac{1}{k \cdot \Delta \cdot t}.$$

Аналогичный расчет осуществляется применительно ко второму контролируемому параметру P_2 [10].

Тогда, при сохранении системы обозначений, интервал времени между переходами кривых значений параметров P_1 и P_2 , T_φ определяется по формуле:

$$T_\varphi = t_{p10} + t_{p20} + n \cdot \Delta t.$$

Значение фазного угла между параметрами P_1 и P_2 определяется по формуле:

$$\varphi = 360 \cdot \omega \cdot T_{\varphi},$$

где:

$$\omega = \frac{\omega_{P1} + \omega_{P2}}{2}.$$

Представленный алгоритм контроля позволяет без применения специальных измерительных устройств реализовать измерение фазного угла с точностью, достаточной для решения поставленной задачи диагностирования.

Литература

1. Дарьян Л., Образцов Р., Ильина Е., Сипачев К. Автоматизированная система мониторинга и диагностики оборудования подстанций // Электроэнергия. Передача и распределение, 2015, № 1 (28). С. 82 – 88.
2. Сви П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1992. 240 с.
3. Кудаярова А. А., Хузина Л. Н., Дорофеев А. О. Повышение надежности работы электрооборудования путем применения методов диагностики // Электротехнические комплексы и системы: материалы международной научно-практической конференции. Уфа: ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», 2016. С. 244 – 247.
4. Баширов М. Г., Хисматуллин А. С., Галлямов Р. У. Интегральный критерий оценки технического состояния силовых масляных трансформаторов // Энергетик, 2016, № 7. С. 24 – 26.
5. Доманский В.В., Доманская Г.А., Васенко В.А. Информационные технологии режимов работы тягового электроснабжения и питающих их

систем // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2021, №3 (79). С. 154–165.

6. Женихов М. А. Повышение эффективности диагностики электрооборудования путем применения данных автоматизированной системы диспетчерского управления // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2010, № 1. С. 36 – 39.

7. Помогаев Ю. М., Картавец В. В., Лакомов Ю. В. Диагностика изоляции электрооборудования // Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2016, № 1 (48). С. 98 – 104.

8. Лисина Л. Ф. Методы испытания и диагностики изоляции высоковольтного оборудования // Вестник Ангарского государственного технического университета, 2014, № 8. С. 61 – 65.

9. Калявин В. П., Рыбаков Л. М. Надежность и диагностика элементов электроустановок. СПб.: Элмор, 2009. 336 с.

10. Хальясмаа А. И., Дмитриев С. А., Кокин С. Е. Принцип формирования оценки технического состояния электрооборудования на подстанциях // Электричество, 2014, № 10. С. 22 – 27.

References

1. Dar'yan L., Obraztsov R., Il'ina E., Sipachev K., Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie. 2015. № 1 (28). pp. 82 – 88.

2. Svi P. M. Metody i sredstva diagnostiki oborudovaniya vysokogo napryazheniya [Methods and means of diagnostics of high voltage equipment]. M.: Energoatomizdat, 1992. 240 p.

3. Kudayarova A. A., Khuzina L. N., Dorofeev A. O. Povyshenie nadezhnosti raboty elektrooborudovaniya putem primeneniya metodov diagnostiki [Improving the reliability of electrical equipment by using diagnostic methods].

Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ufa: GOU VPO «Ufimskiy gosudarstvennyy aviatsionnyy tekhnicheskiiy universitet», 2016. pp. 244 – 247.

4. Bashirov M. G., Khismatullin A. S., Gallyamov R. U, Energetik. 2016. № 7. pp. 24 – 26.

5. Domanskij V.V., Domanskaja G.A., Vasenko V.A. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija. 2021. №3 (79). pp. 154–165.

6. Zhenikhov M. A., Elektro. Elektrotehnika, elektroenergetika, elektrotekhnicheskaya promyshlennost'. 2010. № 1. pp. 36 –39.

7. Pomogaev Yu. M., Kartavtsev V. V., Lakomov Yu. V., Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. № 1 (48). pp. 98 – 104.

8. Lisina L. F., Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2014. № 8. pp. 61 – 65.

9. Kalyavin V. P., Rybakov L. M. Nadezhnost' i diagnostika elementov elektroustanovok [Reliability and diagnostics of electrical installation elements]. SPb.: Elmor, 2009. 336 p.

10. Khal'yasmaa A. I., Dmitriev S. A., Kokin S. E., Elektrichestvo. 2014. № 10. pp. 22 – 27.

Дата поступления: 9.06.2025

Дата публикации: 26.10.2025