



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.316.542

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Мясников С.О., Купцов Д.В., Титков Н.А., Селезнев И.А., Минина Д.К.

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ", Москва, Россия (111250, г. Москва, Красноказарменная ул., 14, стр.1) e-mail: ¹onelittlebird@mail.ru

В данном исследовании произведен обзор существующих отечественных и зарубежных программно-аппаратных комплексов для мониторинга и диагностики автоматических силовых выключателей.

Ключевые слова: высоковольтный выключатель, коммутация, система мониторинга, программно-аппаратный комплекс.

OVERVIEW OF EXISTING MONITORING SYSTEMS FOR HIGH-VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS

Myasnikov S.O., Kuptsov D.V., Titkov N.A., Seleznev I.A., Minina D.K.

ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ", Москва, Россия (111250, г. Москва, Красноказарменная ул., 14, стр.1), e-mail: ¹onelittlebird@mail.ru

This study provides an overview of existing national and foreign hardware and software systems for monitoring and diagnostics of automatic circuit breakers.

Keywords: high-voltage circuit breaker, switching, monitoring system, hardware and software complex.

Высоковольтные автоматические выключатели играют ключевую роль в энергосистемах, они предназначены для включения и выключения электроустановок и устройств высокого напряжения в нормальных режимах, а также для автоматического отключения электрических цепей при токах перегрузки и короткого замыкания. Основным свойством выключателя является надежность его работы, в том числе после длительного периода бездействия [1].

Ключевыми функциями высоковольтных автоматических выключателей являются: отключение рабочих токов, оперативное переключение для изменения схемы электрической сети, отключение тока короткого замыкания, обеспечение безопасности в обоих положениях – открытом и закрытом. Кроме основных функций, высоковольтные автоматические выключатели должны соответствовать следующим физическим требованиям: обеспечивать хорошую проводимость в закрытом положении и надежную изоляцию в открытом положении; быстро переключаться из закрытого состояния в открытое, не быть подверженными возникновению перенапряжений во время переключений, обладать высокой надежностью в эксплуатации.

Подробная информация о функциях высоковольтных выключателей и требованиях к ним в специфических условиях доступна в источниках [2], [3]. Основные компоненты

высоковольтных выключателей можно классифицировать на пять групп в соответствии с их функциями [4]:

Изоляция. Электрическая изоляция высоковольтных выключателей достигается использованием комбинации газообразных, жидких и твердых диэлектрических материалов. Любое нарушение изоляции может привести к серьезным повреждениям, таким как межфазный пробой, заземление или размыкание полюсов, что потребует капитального ремонта или замены оборудования. Для предотвращения таких отказов необходимо поддерживать и контролировать изоляцию. Например, нужно постоянно следить за количеством изоляционной среды, периодически проверять качество изоляции с помощью диагностических методов, а также контролировать изоляционное расстояние при помощи датчиков положения и визуального осмотра.

Токопроводящие части. Токоведущие части играют ключевую роль, обеспечивая протекание тока в закрытом положении выключателя. Их отказ может привести к серьезным последствиям, таким как контактная сварка и значительное повреждение системы изоляции. Тем не менее, процесс деградации контактов до критического состояния обычно занимает несколько лет. На практике большинство проблем с контактами можно предотвратить с помощью регулярного диагностического тестирования. Методы проверки токоведущих частей включают контроль или диагностические испытания контактного сопротивления, температуры контактов, тока нагрузки и содержания газового разложения.

Компоненты для переключений. В ходе эксплуатации высоковольтные выключатели подвергаются различным электрическим, термическим и механическим нагрузкам. Необходимо, чтобы они могли эффективно включать и отключать большие объемы энергии без отказов. Параметры, которые применяются для контроля и диагностики их работы, включают в себя положение первичных контактов, характеристики хода контактов, время срабатывания, расхождение полюсов по времени срабатывания, продолжительность дугообразования и износ дугогасительных контактов. Среди этих параметров характеристики перемещения контактов являются наиболее часто используемыми при регулярных испытаниях для оценки их состояния.

Рабочий механизм. Механизм привода – это часть, которая используется для перемещения контактов между открытым и закрытым положениями. Отказы этого механизма составляют значительную долю всех неисправностей высоковольтных выключателей. Например, утечки масла и газа в гидравлических и пневматических системах довольно часты, но их можно устранить без остановки системы. Однако поломки валов, штоков и пружин могут привести к серьезным сбоям, нарушающим работу системы.

Управление и вспомогательные функции. Они представляют собой элементы, работающие под напряжением 110–220 В постоянного тока: электрические цепи и защелки или клапаны. По данным исследований надежности, управляющие и вспомогательные части часто подвержены отказам. К типичным отказам относятся невозможность закрытия или открытия по команде, а также задержки в работе. Параметры, связанные с системами управления и вспомогательными системами, включают ток катушки, напряжение, состояние вспомогательных переключателей, целостность цепи и условия внутри шкафа управления, и все это необходимо контролировать.

Для эффективной и надежной работы энергосистемы необходимо контролировать физический износ оборудования, в том числе износ выключателей. Контроль осуществляется посредством системы диагностики выключателей. Далее будут определены основные требования к системам мониторинга выключателей.

Главная задача системы диагностики выключателей заключается в оценке способности контролируемого коммутационного устройства выполнить следующий цикл включения/отключения при самых неблагоприятных и критических условиях. Согласно стандартным техническим требованиям, коммутации должны быть выполнены контролируемым выключателем в любых условиях, указанных для данного устройства в технической документации.

Для реализации основной функции системы мониторинга выключателя необходимо оперативно проводить диагностику состояния его трех подсистем. Во-первых, определять остаточный технический ресурс главных контактов выключателя, который должен быть достаточным для отключения максимальных токов короткого замыкания. Во-вторых, оценивать техническое состояние привода выключателя, ресурс которого должен обеспечивать завершение любой коммутационной операции. В-третьих, контролировать состояние системы изоляции выключателя, которая должна надежно работать в условиях импульсных перенапряжений и соответствовать всем требованиям при нахождении под напряжением. Для каждой подсистемы необходимо рассмотреть особенности ее мониторинга.

Мониторинг остаточного коммутационного ресурса главных контактов

Основные контакты выключателя постоянно находятся под напряжением в процессе эксплуатации, поэтому оценку их коммутационного ресурса в режиме мониторинга можно проводить лишь косвенными методами. Однако таких методов существует не так много, и их использование по отдельности недостаточно для вынесения точного диагностического заключения.

В методах диагностики в режиме «On-Line» используются несколько подходов. Один из них - контроль коммутационного ресурса, который определяется через измерение отключенной фазы мощности короткого замыкания. Однако этот метод не учитывает реальное техническое состояние контактов, предоставляя лишь общую оценку. Другой метод основан на анализе состояния главных контактов по различным параметрам, таким как протекающий ток, время и тип замыкания и размыкания, а также анализе кривых тока через контакты. Также используется контроль времени горения дуги при выключении и выбросов сигналов от датчиков, смонтированных на баке выключателя. Для выявления частичных разрядов, импульсных токов и перенапряжений применяются специальные датчики, а для выключателей с вакуумным или воздушным изолятором - антенна для обнаружения электромагнитного излучения дуги.

Таким образом, для получения комплексной оценки состояния выключателя в части его системы контактов необходимо использовать несколько методов.

Мониторинг состояния привода выключателя

Выключатели могут быть оборудованы приводами самых разных конструкций. Эти приводы могут быть электромагнитными, воздушными или электромеханическими. Надежная работа всего коммутационного устройства в первую очередь зависит от состояния привода.

Это касается возможности включения и отключения главных и вспомогательных контактов с заданными динамическими и скоростными характеристиками.

Оценка состояния привода включает несколько методов. Один из них заключается в контроле скоростных параметров работы привода, для чего на его элемент устанавливаются угловой и линейный датчики, позволяющие оценить динамические характеристики. Тип датчика выбирается в зависимости от типа привода. Другой метод предполагает контроль вибрации, возникающей во время работы привода, с использованием вибрационного датчика, который анализирует форму зарегистрированных вибрационных сигналов, что позволяет косвенно оценивать техническое состояние всех конструктивных элементов коммутационного аппарата. Также используется контроль кривой тока управления выключателем, которая показывает характерные точки изменения состояния привода, что позволяет определить его скоростные параметры.

Теоретически, каждый из этих методов может быть достаточно эффективным для оценки остаточного ресурса механической части выключателя. Однако, применение двух и более методов значительно увеличивает точность диагностики.

Мониторинг технического состояния изоляции выключателя

Силовые выключатели, как и любое высоковольтное оборудование, требуют периодического или даже непрерывного контроля состояния изоляции. Поэтому система мониторинга выключателя обязательно должна включать механизм оперативного контроля изоляции. Эта часть системы мониторинга может отличаться в зависимости от типа выключателя, поскольку изолирующие среды у разных типов коммутационного оборудования различаются. Например, в качестве изолирующих сред могут использоваться изолирующее масло, элегаз (SF₆), воздушная среда или вакуум.

Единым параметром, подходящим для контроля изоляции различных выключателей, является регистрация и анализ распределения частичных разрядов в их изоляции. Такой подход к диагностике состояния изоляции применим для любого типа выключателей, поскольку он оценивает не первичные параметры используемой изоляционной системы (такие как температура, влага и давление), а общий результат и эффективность ее работы. Наличие или отсутствие частичных разрядов в изоляционной системе непосредственно указывает на то, справляется ли изоляция со своей основной функцией.

Вид используемых первичных датчиков частичных разрядов меняется в соответствии с типом изоляционной системы. Эти изменения касаются рабочих частотных диапазонов, параметров регистрирующей аппаратуры, мест их установки и необходимого количества датчиков. Тем не менее, сама процедура диагностики изоляции практически не изменяется.

Итак, были рассмотрены основные методы мониторинга трех подсистем автоматических выключателей. Далее будут рассмотрены существующие на данный момент программно-аппаратные комплексы (ПАК) для осуществления диагностики выключателей и задачи, которые они выполняют.

Программно-аппаратный комплекс «SG-DM»

Система «SG-DM» от компании «Димрус» подходит для диагностики состояния ячеек КРУ, работающих при напряжении 6 кВ и выше, подключенных к одной системе шин. В случае необходимости мониторинга КРУ с несколькими системами шин, следует использовать отдельное устройство «SG-DM» для каждой из них. Система мониторинга «SG-

DM» представляет собой комплексное решение, позволяющее контролировать техническое состояние различных типов высоковольтного оборудования, объединенных в одном объекте.

В «SG-DM» реализованы следующие параметры и методы диагностики КРУ: определение остаточного коммутационного ресурса фидерного, секционного и распределительных ячеек секции КРУ (до 12-ти штук) на основе фиксации суммарной мощности, отключенной выключателем; определение технического состояния элементов механического привода контролируемых выключателей (до 14-ти штук) на основании анализа кривой изменения тока управления при включении и отключении каждого выключателя [5].

Программно-аппаратный комплекс приборов от компании «Siemens»

Анализатор износа контактов «SiCEA01» применяется для определения степени износа контактов выключателей, основываясь на значениях токов отключения. Для анализа коммутаций токов, ниже номинального, используется номинальный ток. Износ контактов вычисляется на основании отключаемых токов силового выключателя, и полученные данные сравниваются с контрольными параметрами. Если результат сравнения превышает установленные значения для подачи сигнала предупреждения или тревоги, активируется соответствующий сигнальный контакт, а сигнальная лампа на анализаторе отображает текущее состояние. Таким образом, анализатор «SiCEA01» предупреждает о том, что контактная система выключателя изношена до определенной степени.

Система мониторинга «SOLM01» предназначена для контроля состояния силового выключателя с использованием сенсорной техники. «SOLM01» регистрирует события, измеряет мгновенные значения и внешние параметры, а также сравнивает результаты с контрольными значениями. Система автоматически информирует сервисную службу о выявленных отклонениях и признаках износа. «SOLM01» оптимизирует обслуживание за счет принятия корректирующих и профилактических мер. Все измеренные данные собираются и хранятся на сервере «Oracle» [6].

Программно-аппаратный комплекс «CB Watch 3»

Автоматизированная система мониторинга высоковольтных выключателей «CB Watch 3» от компании «General Electric» — это модульное решение для онлайн-мониторинга, совместимое с большинством высоковольтных выключателей. Благодаря модульному дизайну устройство может быть настроено для выполнения различных функций мониторинга в зависимости от потребностей, от простого контроля газа до полного мониторинга для критически важных выключателей. «CB Watch 3» собирает данные с помощью бесконтактных датчиков и контролирует ключевые диагностические параметры, некоторые из которых регистрируются при каждой операции с выключателем, а другие — постоянно. Система отслеживает значительные изменения в работе и анализирует выключатель, оценивая риск для различных контролируемых функций по шкале от 1 до 5 [7].

Программно-аппаратный комплекс «QBCM»

Система мониторинга автоматического выключателя «QBCM» от компании «Qualitrol» предназначена для контроля силовых выключателей, она фиксирует все необходимые параметры для точного мониторинга их общего состояния и производительности. Эта система измеряет время замыкания/размыкания вспомогательных контактов - время дребезга вспомогательных контактов, количество коммутаций выключателя, плотность и скорость

утечки элегаза, годовую утечку элегаза, а также рассчитывает энергию возникающей дуги (интеграл Джоуля) [8].

Таким образом, ПАК «SG-DM» обеспечивает комплексный контроль состояния различных типов оборудования, включая ячейки КРУ и механические приводы выключателей. Система «Siemens» с устройствами «SiCEA01» и «SOLM01» предлагает специализированные решения для конкретных аспектов мониторинга, обеспечивая точность и надежность в своих нишах. ПАК «CB Watch 3» от «General Electric» предоставляет гибкое и адаптируемое решение, которое может быть настроено для различных уровней мониторинга в зависимости от потребностей пользователя. ПАК «QBCM» предлагает подробный мониторинг ключевых параметров силовых выключателей, включая время операций, утечки и энергию дуги.

Выбор между рассмотренными системами зависит от конкретных потребностей и типа оборудования, которое требуется диагностировать. Из всего разнообразия выделить стоит ПАК «SG-DM» от компании «Димрус», российского производителя. Электроэнергетика является стратегической отраслью, от которой зависит работа других отраслей, соответственно, риски, связанные с иностранным влиянием, должны быть сведены к минимуму.

Список литературы

1. Портал «Большая российская энциклопедия» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bigenc.ru/c/vysokovol-tnyi-vykliuchatel-81f961> (дата обращения: 15.05.2024).
2. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлингер, Г.А. Илларионов и др.; под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 352 с.
3. Розанов М.Н. Надежность электроэнергетических систем. - М.: «Энергия», 1974.-176 с.
4. А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова, М. Н. Околович Электрическая часть электростанций и подстанций: Учеб. для вузов.- 2-е изд, перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1990. - 576 с.
5. «"SG-DM" — система мониторинга и диагностики состояния КРУ и отходящих кабельных линий» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dimrus.ru/manuals/sgdm.pdf> (дата обращения: 16.05.2024).
6. «Высоковольтные силовые выключатели» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.com-sol.ru/avt_viklyuchateli/catalogs/si/hv_silovie_viklyuchateli.pdf (дата обращения: 17.05.2024).
7. «Система мониторинга CB Watch 3» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.pergam.ru/catalog/electrical_equipment/electrical_diagnosis/diagnostika-vikluchateley/cb-watch-3.htm (дата обращения: 17.05.2024).
8. «QBCM Circuit Breaker Monitor» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.qualitrolcorp.com/products/circuit-breaker-monitoring/qbcm-circuit-breaker-monitor/> (дата обращения: 19.05.2024).

References

1. The portal "The Great Russian Encyclopedia" [Electronic resource]. Access mode: <https://bigenc.ru/c/vysokovol-tnyi-vykliuchatel-81f961> (date of reference: 05/15/2024).

2. Handbook on the design of electric power systems / V.V. Yershevich, A.N. Zeilinger, G.A. Illarionov, etc.; edited by S.S. Rokotyan and I.M. Shapiro. - 3rd ed., reprint. and additional - M.: Energoatomizdat, 1985. - 352 p.
 3. Rozanov M.N. Reliability of electric power systems. - M.: Energiya, 1974.-176 p.
 4. A. A. Vasiliev, I. P. Kryuchkov, E. F. Nayashkova, M. N. Okolovich The electric part of power plants and substations: Studies for universities.- 2nd ed., reprint. and additional. -M.: Eiergoatom- izdat, 1990. - 576 p
 5. "SG-DM" — a system for monitoring and diagnosing the condition of switchgear and outgoing cable lines" [Electronic resource]. Access mode: <https://dimrus.ru/manuals/sgdm.pdf> (date of reference: 05/16/2024).
 6. "High-voltage power switches" [Electronic resource]. Access mode: https://www.comsol.ru/avt_viklyuchateli/catalogs/si/hv_silovie_viklyuchateli.pdf (date of application: 05/17/2024).
 7. "CB Watch 3 monitoring system" [Electronic resource]. Access mode: https://www.pergam.ru/catalog/electrical_equipment/electrical_diagnosis/diagnostika-vikluchateley/cb-watch-3.htm (date of access: 05/17/2024).
 8. "QBCM Circuit Breaker Monitor" [Electronic resource]. Access mode: <https://www.qualitrolcorp.com/products/circuit-breaker-monitoring/qbcm-circuit-breaker-monitor/> (date of access: 05/19/2024)
-