

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Гребченко Н.В.

Донецкий национальный технический университет
gyn@dgtu.donetsk.ua

Analysis of main electrical power system electrical equipment damageability reasons has been carried out. Ways of automatics devices improvement for equipment continuous condition monitoring provision have been identified. Algorithms of isolation condition monitoring realized in microprocessor-based protections have been proposed.

Введение.

На сегодняшний день решение проблемы повышения надежности работы электроэнергетических систем (ЭЭС) кроме исключения технологических аварий имеет два аспекта: предотвращение повреждений, возникающих по причинам, которые не связаны со старением электрооборудования; предотвращение повреждений, которые возникают из-за того, что электрооборудование уже отработало свой нормативный срок эксплуатации, а поэтому морально и физически изношено.

Традиционно надежность работы электрооборудования обеспечивается за счет непрерывного совершенствования его конструкции, применения новых материалов и улучшения эксплуатации. В последнее время все больше внедряются средства диагностирования, позволяющие оценивать состояние оборудования. Для оборудования, имеющего большой срок эксплуатации, надежность работы может быть обеспечена также на основании широкого использования диагностики. Благодаря этому может быть проведен постепенный переход от системы планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по состоянию, что позволит снизить количество повреждений и затраты на ремонты. Техническая эффективность и необходимость внедрения автоматизированных (или автоматических) систем технической диагностики (АСТД) не вызывает сомнений. Это подтверждают данные, например приведенные в [1], в соответствии с которыми АСТД позволяет избежать тяжелых повреждений оборудования в 70 случаях из 100, а в зарубежной практике - даже в 90 случаях.

Значительная часть повреждений электрооборудования напряжением 6-35 кВ возникает вследствие постепенного развития электрических или механических дефектов. Обычно от момента возникновения дефекта до его перехода в повреждение проходит время от нескольких суток до нескольких месяцев. Благодаря этому, при наличии соответствующей автоматической системы практически всегда имеется возможность своевременного выявления дефектов. Дефекты должны обнаруживаться на такой стадии развития, когда их переход в повреждение может быть исключен в результате проведения профилактических мероприятий (сушка изоляции, чистка изоляции, балансировка ротора агрегата и т.д.). В некоторых случаях для предотвращения тяжелой аварии целесообразно выполнить замену оборудования, в котором возник дефект, на новое оборудование. На рис.1 приведена диаграмма повреждаемости электрооборудования ЭЭС, составленная на основании данных [2-4].

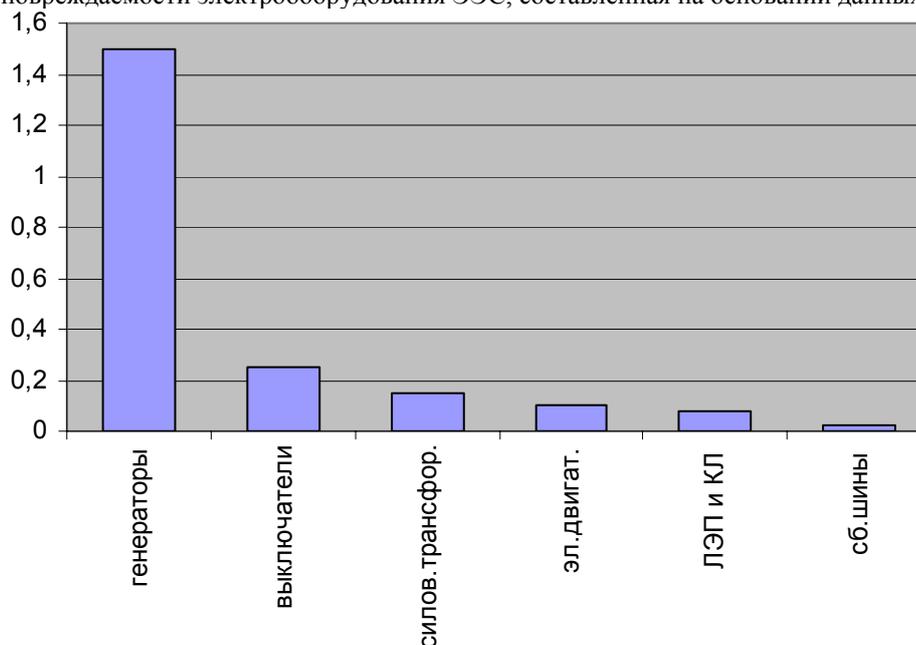


Рисунок 1 – Максимальные значения потока отказов электрооборудования (год⁻¹)

Из нее следует, что наиболее часто среди электрооборудования ЭЭС повреждаются генераторы. Однако, учитывая взаиморезервирование в ЭЭС, можно считать, что на надежность питания потребителей значительное влияние оказывают повреждения в распределительной сети напряжением ниже 110 кВ и повреждения в генераторах, обеспечивающих питание местной нагрузки на напряжении 6-10 кВ. Большая доля повреждений в генераторах вызвана деградацией обмотки статора [4]. Причиной возникновения повреждений в сети 6-35 кВ также часто является нарушение изоляции.

Некоторая часть повреждений электрооборудования возникает в результате ошибочных действий персонала. Такие повреждения также могут быть предотвращены. Основным путем для решения этой проблемы является повышение уровня подготовки эксплуатационного и оперативного персонала.

На сегодняшний день эффективным решением проблемы предотвращения повреждений электрооборудования является создание автоматических систем, выполняющих непрерывный контроль состояния всех видов электрооборудования отдельных узлов или объектов ЭЭС. Система должна состоять из средств, формирующих достоверный прогноз развития соответствующих дефектов и состояния оборудования, вырабатывающих обоснованные рекомендации по стратегии эксплуатации оборудования.

Экономический аспект проблемы предотвращения повреждений состоит в том, что системы непрерывного контроля необходимо применять в тех случаях, когда стоимость предотвращенного ущерба окупает расходы на внедрение и эксплуатацию этих систем.

Уровень технического совершенства автоматической системы непрерывного контроля достаточно объективно оценивается снижением количества аварий, которые возникают в результате постепенного развития дефектов.

Для практической реализации систем непрерывного контроля на сегодняшний день имеются средства, обладающие необходимой точностью и быстродействием. К ним относятся в первую очередь аналого-цифровые преобразователи, составляющие основу средств сбора и передачи данных, микропроцессорные комплекты, выполняющие непрерывную обработку информации.

Целью работы является критический анализ современных методов непрерывной оценки состояния электрооборудования и методов контроля его изоляции без отключения электрооборудования и обоснование путей дальнейшего их совершенствования, а также разработка новых методов непрерывного контроля состояния электрической изоляции оборудования.

Результаты работы. Рассмотрим наиболее совершенные решения проблемы непрерывной оценки состояния электрооборудования, и в первую очередь контроля электрической изоляции электрооборудования напряжением 6-35 кВ. С точки зрения практической реализации все методы можно условно разделить на методы, которые требуют установки дополнительных датчиков и на методы, для которых не требуется использование других датчиков кроме имеющихся трансформаторов тока и напряжений.

К методам, которые не требуют применения специальных датчиков или создания временных схем на время проведения измерений, относятся методы на основе использования параметров текущего режима электрооборудования. Широкому внедрению таких методов способствует то, что в настоящее время на крупных подстанциях создаются или уже имеются информационные сети, в которых представлены в цифровой форме текущие значения параметров режима. В таком случае техническая реализация системы непрерывного контроля электрооборудования заключается в реализации на сервере или на специальном промышленном компьютере соответствующего программного продукта, в котором используются алгоритмы контроля.

Значительная доля повреждений оборудования происходит в результате ухудшения диэлектрических свойств изоляции. Поэтому для создания системы непрерывного контроля состояния в первую очередь необходимо применить непрерывную оценку качества изоляции всего оборудования. В [5] предложен метод непрерывного определения значений комплексной проводимости изоляции фаз по отношению к земле, в котором на основании измерения мгновенных значений токов трех фаз и напряжений этих фаз по отношению к земле определяются значения коэффициентов системы уравнений текущего состояния. Результатом решения этой системы являются значения комплексных проводимостей изоляции фаз по отношению к земле. По сути, выполняется параметрическая идентификация в математической модели узла или элемента электрической системы. Метод основан на том, что появление дефекта изоляции приводит к изменению конфигурации схемы замещения элемента сети, а, следовательно, приведет к изменению параметров режима этого элемента. Для обеспечения точности определения величины комплексной проводимости, достаточной для практического использования, точность измерения токов и напряжений должна быть не ниже 0,02%.

В связи с тем, что на величину комплексной проводимости изоляции $\underline{Y}_{из}$ оказывает влияние большое количество внешних факторов, то непосредственное использование найденных значений весьма затруднительно. Обычно применяется метод сравнения [6], в соответствии с которым выполняется сравнение проводимостей различных фаз между собой, а также с результатами предыдущих измерений. На рис.2 представлена структурная схема системы непрерывного контроля состояния изоляции электрооборудования, в которой используется метод решения системы уравнений текущего состояния и метод сравнения.

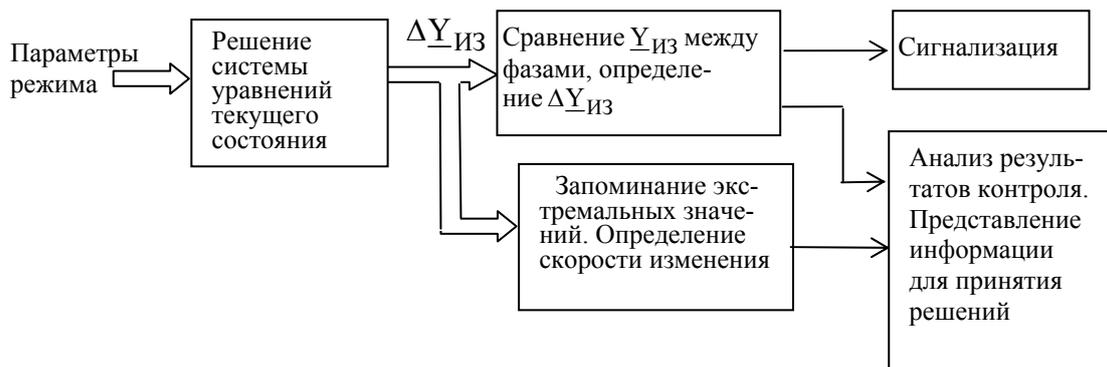


Рисунок 2 - Структурная схема системы непрерывного контроля состояния изоляции электрооборудования

Дефекты изоляции могут быть распределенными или локальными. В зависимости от того, какой тип дефекта возник, определяется стратегия действий по предотвращению возникновения повреждения. Поэтому при анализе полученных значений комплексных проводимостей учитывается не только изменение активной проводимости изоляции, но и емкостной. Изменение емкостной проводимости в одной или в 2-х или в 3-х фазах свидетельствует о возникновении распределенного дефекта изоляции.

Если в результате анализа установлено, что возник локальный дефект изоляции, то значительного сокращения времени отыскания и устранения можно достичь, если определить место возникновения локального дефекта. В [7] описан итерационный метод определения параметров локального дефекта изоляции на присоединении кабель-двигатель в рабочем режиме. Метод основан на зависимости вектора тока нулевой последовательности от параметров дефекта изоляции (удаленности дефекта, величины переходного сопротивления в месте дефекта). Параметры дефекта изоляции определяются в результате итерационного процесса сравнения действительного значения вектора тока нулевой последовательности и расчетного значения, которое определяется на математической модели. Соответствие математической модели реальной конфигурации сети обеспечивается за счет автоматического учета включений и отключений электрооборудования. Практическая реализация этого учета выполняется путем контроля наличия тока в соответствующем элементе сети. На рис.3 представлена структурная схема реализации итерационного метода определения параметров дефекта изоляции.

Применение итерационного метода на присоединении кабель-двигатель имеет особенность, которая заключается в необходимости автоматического учета нагрузки двигателя. Это необходимо для правильного определения расстояния до места дефекта изоляции. В схеме замещения такого присоединения величина продольного сопротивления кабеля является постоянной, а величина продольного сопротивления электродвигателя зависит от нагрузки. Поэтому при применении метода на таких присоединениях необходимо организовать автоматический учет нагрузки, например по величине полного тока.

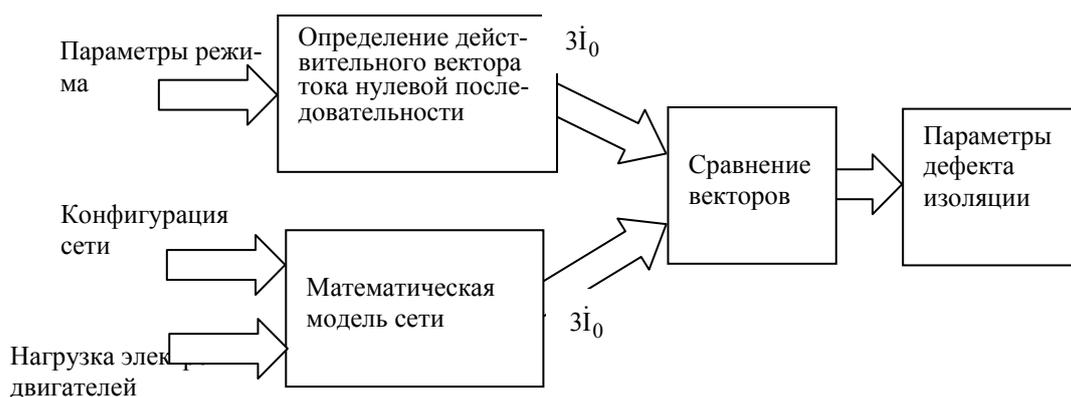


Рисунок 3 - Структурная схема итерационного метода определения параметров дефекта изоляции.

Система непрерывной оценки состояния оборудования выполняет диагностирование (контроль) электрооборудования и анализ результатов контроля, на основании которого вырабатываются предупредительные сигналы о превышении диагностическими параметрами предельно-допустимых значений или приближении к ним, а также формирует рекомендации о необходимости проведения профилактических работ, ремонта или замены оборудования. На рис.4 приведен один из вариантов реализации системы непрерывного контроля на базе микропроцессорных терминалов IED (Intellectual Electronic Device) релейной защиты, автоматики, контроля, управления и сигнализации, которые имеются на объекте ЭЭС. Параметры режима отдельных элементов поступают по информационной шине на сервер, на котором установлены программы оценки состояния оборудования и выработки рекомендаций по его дальнейшей эксплуатации. В результате обработки текущих параметров на

верхнюю ступень иерархии передается информация о состоянии электрооборудования и рекомендации, а также при необходимости формируются предупредительные сигналы или управляющие действия.

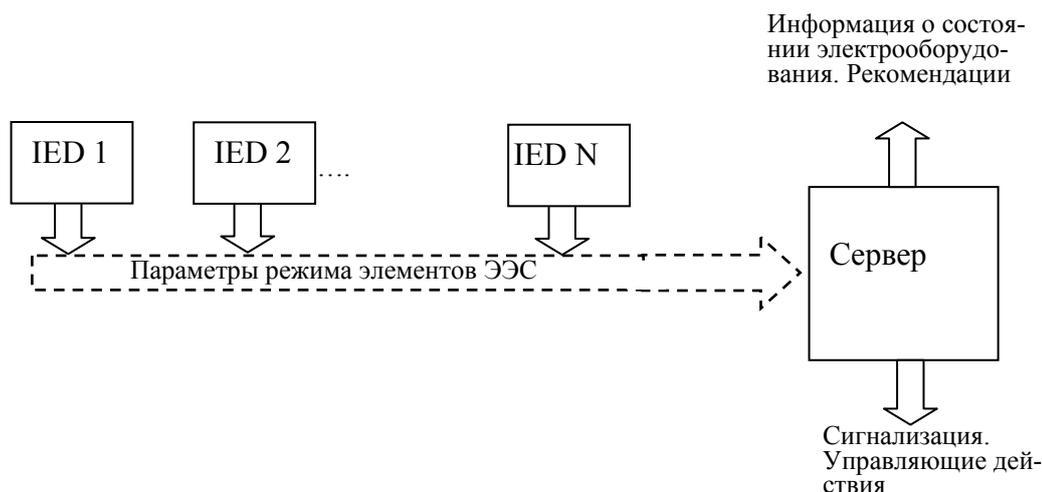


Рисунок 4 – Вариант реализации системы непрерывного контроля на базе микропроцессорных терминалов IED

Выводы

1. Совершенствование организации оперативно-технических мероприятий по предотвращению возникновения повреждений электрооборудования позволит повысить надежность работы электроэнергетических систем. Для решения этой проблемы необходимо организовать внедрение системы непрерывного контроля состояния оборудования, дополнить микропроцессорные защиты и терминалы, предназначенные для сети 6-35 кВ, функцией непрерывной оценки технического состояния защищаемого объекта или оценки качества электрической изоляции защищаемого оборудования.

2. Для интерпретации информации, предоставляемой микропроцессорными комплектами защит с функцией контроля состояния защищаемого объекта, необходимо усовершенствовать методику оценки состояния электрооборудования.

3. Для реализации функции оценки состояния изоляции в микропроцессорных защитах от замыканий на землю передать заводам-изготовителям рассмотренные алгоритмы решения системы уравнений текущего состояния и итерационного метода определения параметров дефектов изоляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дуэль М.А., Дуэль А.Л. Техничко-экономическая эффективность автоматизированных систем технической диагностики (АСТД) электростанций // Энергетика та Електрифікація.- 2007.- №7.- С.50-53.
2. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем // М.: Высшая школа.- 1984.- 256 с.
3. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике // Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение. -1990.- 208 с.
4. Интегрированные экспертные системы диагностирования в электроэнергетике / Б.С.Стогний, В.А.Гуляев, А.В. Кириленко и др. АН Украины Ин-т электродинамики.- Киев: Наук. думка, 1992.- 248 с.
5. Гребченко Н.В., Сидоренко А.А., □ехн.□ниченко Д.В. Методы определения параметров дефектов электрической изоляции в рабочих режимах электрооборудования □ехн.. Електродинаміка. Тем. Випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 2. Київ. – 2008. – С.119-122.
6. Васин В.П. Актуальные проблемы эксплуатации электрических станций. // Уч. Пособие МЭИ. М.- 2003.- с. 160.
7. Пат. 19328 Україна, МКИ G 01 R 31/08. Спосіб визначення відстані до місця локального дефекту ізоляції та опору цього дефекту у розподільчих мережах/ М.В.Гребченко, О.А.Сидоренко - № u200606235; Заявл. 05.06.2006; Опубл. 15.12.2006, Бюл. 12. – 5 с.

Рекомендовано д.т.н. Заболотним І.П.