

УДК 621.3

**ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ИЗОЛЯЦИИ СТАТОРОВ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН
MEASUREMENT OF PARTIAL DISCHARGES IN THE INSULATION OF
STATORS OF HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL MACHINES**

Д.В. Лагунов, Д.А. Козловская

Научный руководитель – С.В. Константинова, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

D. Lagunov, D. Kozlovskaya

Supervisor – S. Konstantinova, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: *Онлайн - мониторинг частичного разряда во вращающейся электрической машине - это полезный инструмент для машинного прогнозирования, потому что он позволяет сократить расходы на проверку и связан с соответствующими проблемами. Чтобы проанализировать текущий контекст мониторинга частичных разрядов, в этой статье мы представили обзор литературы, основанный на концепциях частичных разрядов во вращающихся машинах, методах сбора данных, современном коммерческом оборудовании и последних методологиях обнаружения и распознавания образов частичных разрядов.*

Abstract: *Online monitoring of partial discharge in a rotating electric machine is a useful tool for machine forecasting, because it reduces the cost of verification and is associated with related problems. In order to analyze the current context of partial discharge monitoring, in this article we have presented a literature review based on the concepts of partial discharges in rotating machines, data collection methods, modern commercial equipment and the latest methodologies for detecting and recognizing partial discharge patterns.*

Ключевые слова: *частичный разряд (ЧР); вращающаяся машина; мониторинг; двигатель; генератор; машина;*

Keywords: *partial discharge; rotating machine; monitoring; motor; generator; machine.*

Введение

В связи с широким распространением электрических машин, предъявляемым к ним высоким требованиям и эксплуатационной надежности, возникает вопрос возможности ранней диагностики неисправностей электрических машин.

Основная часть

Область исследований, которая связана с разработкой методов диагностики неисправностей вращающихся электрических машин, очень широка. Это привлекает большое внимание исследователей и организаций, при всем этом диагностика проводится из данных, которые собраны при разных условиях работы машины в разных областях анализа.

Основным фактором износа является электрический ЧР в обмотке статора, так как он связан с высокой интенсивностью, ЧР — это небольшие кратковременные разряды электрического тока, которые вызваны диэлектрическим пробоем небольшой области системы изоляции обмоток.

Постоянная активность ЧР вносит значимый вклад в разрушение изоляции обмотки статора и чаще всего приводит к отказам. Ранняя диагностика возникновения ЧР необходима для того, чтобы можно было определить качество системы изоляции обмоток, в частности для блоков среднего и высокого напряжения, из-за высоких затрат, которые связаны с данными активами. В результате наблюдение активов с помощью анализа ЧР играет важную роль для осуществления надлежащего планирования технического обслуживания.

О возникновении ЧР говорят электрические импульсы, радиочастотные импульсы, акустическая эмиссия и оптическая эмиссия. В литературе большое значение имеют онлайн - методы анализа электрических импульсов из-за возможности обнаружения ЧР внутри и снаружи изоляции, а также из-за возможности использования методов шумоподавления. В разных случаях методы, анализирующие другие доказательства, могут использоваться только как дополнительные средства обнаружения, так как анализ радиочастотных импульсов и акустических излучений может находиться под действием сильных внешних помех, что приводит к низкому отношению сигнал/шум. Для оптического излучения можно распознать только внешний разряд, так как внутренний разряд не виден.

Емкостные датчики и трансформаторы тока используются в нормативно-технической литературе для измерения ЧР. Конфигурация с датчиками используется для обнаружения ЧР в режиме онлайн.

Можно проводить в автономном режиме и в режиме онлайн измерение ЧР обмоток статора. Для того, что проводить измерения в автономном режиме требуется помощь внешнего источника напряжения, когда машина отключена от системы питания, в то время как онлайн-измерение может быть выполнено, когда машина работает нормально и подключена к системе питания:

- Самостоятельные измерения частичных разрядов выполняются через подачу внешнего источника с высоким напряжением во время каких-либо испытаний. МЭК 60034-27 рекомендует, чтобы определения ЧР при независимых испытаниях обмотки статора происходило в низкочастотном диапазоне, ниже трех МГц, из-за емкостной и индуктивной природы обмотки. Прочая первопричина выполнения теста на низкой частоте находится в том, что в зависимости от нахождения данного датчика относительно расположения источника ЧР высокочастотные составляющие сигнала ЧР, которые вызываются внешними источниками высокого напряжения, чаще всего ослаблены. Исходя из этого, точность обнаружения ЧР выше из-за большого диапазона частот обнаружения.

- При вводе в эксплуатацию и при нормальной эксплуатации проводят Онлайн - измерения ЧР для определения качества изоляции обмоток и ее соответствия стандартам эксплуатационной надежности. Для таких измерений ИЕС 60034-27-2 обращает внимание на то, что для нахождения ЧР разрешается использовать разный частотный диапазон: низкий (<3 МГц), высокий (3-30 МГц),

очень высокий (30-300 МГц) или сверхвысокий (300-3000 МГц). При измерениях ЧР на высоких частотах имеется больше преимуществ из-за того, что на этих частотах присутствует меньше шума в этой полосе. Однако, высокочастотные сигналы, намного легче ослабляются, и следовательно они значительно эффективны при нахождении ЧР вблизи клемм возбуждения.

Основная проблема онлайн -измерений заключается в том, что необходимо проанализировать характеристики и характер импульсов ЧР, обнаружить их наличие, а затем определить типы источников ЧР. В литературе сигналы ЧР рассматриваются по форме импульса во времени и по шаблонам ЧР с фазовым разрешением, которые представляют собой шаблоны, сложившиеся путем подсчетом импульсов в заданном временном промежутке исходя от амплитуды напряжения и фазовый угол импульсной активности ЧР.

Наблюдение фактического состояния изоляции обмотки электрической машины требует определения совместимых уровней ЧР для каждого вида электрической машины, чтобы можно было уверенно определить источники ЧР. Главная причина этого состоит в том, что расчет происходит по-разному на каждой машине, и невозможно надежно найти заранее определенный порог без заранее проведенного анализа особенностей машины. В литературе пороги обычно определяются в вольтах и основаны на нормах, где обстоятельства, при которых были получены измерения, не являются явными.

Емкостные датчики.

В источнике описывается про несколько конфигураций установки емкостных датчиков на терминалах электрических машин, которые определяются как простые, направленные и дифференциальные, как показано на рисунке 1, 2. В простой конфигурации используется только один датчик на фазу, который установлен на фазных клеммах машин, это делает эту конфигурацию наиболее чувствительной к шуму, так как она не допускает приглушения синфазного шума. В направленной конфигурации используются два датчика на фазу, один из них находится ближе к клемме фазы, а второй — на выходной шине машины, который находится на расстоянии не менее 2 м. В таком виде внешний шум отделяется от сигнала ЧР на основе анализа времени прихода импульса ЧР. Дифференциальная конфигурация указывается для конструкций машин с несколькими цепями на фазу и кольцевыми цепями, которые используются в гидротурбинах, где муфты прикреплены на кольца цепей статора. Когда шум исходит из внешней среды, он войдет в кольца цепи, разделится и пойдет в обоих направлениях. Если длина кольца цепи одинакова как слева, так и справа от выводов, то импульс придет на ответвители одновременно, а если проводники, которые соединяют ответвители с анализатором, имеют одинаковую длину, то сигналы придут одновременно. В таком случае анализатор будет трактовать сигнал как шум, а не ЧР. В случае асимметричных колец схемы можно градуировать длину кабеля емкостных соединителей, для того, чтобы возместить разное время прохождения в разных кольцах цепи. Время прихода импульса можно использовать для отделения шума от сигнала ЧР, используя эту методику.

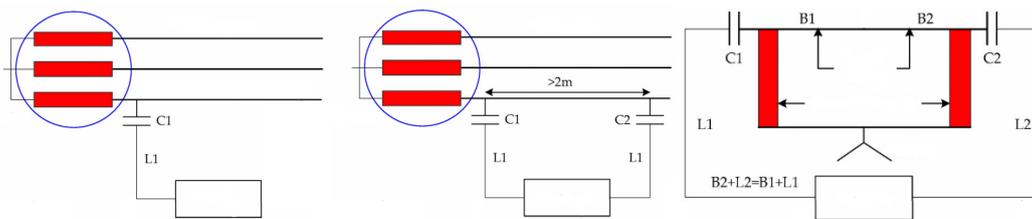


Рисунок 1 конфигураций установки емкостных датчиков на терминалах электрических машин



Рисунок 2 - емкостный датчик

Датчики высоковольтные (трансформаторы тока).

Данные датчики чаще всего устанавливают на каждой фазе внутри клеммной коробки для того, чтобы перехватывать ток частичного разряда от вращающихся электрических машин. Но в некоторых методиках ТТ применяются в системе заземления электрических машин при подключении к земле нейтрали. На рисунке 3 представлены схемы соединения датчиков. На рисунке 4 представлен датчик.

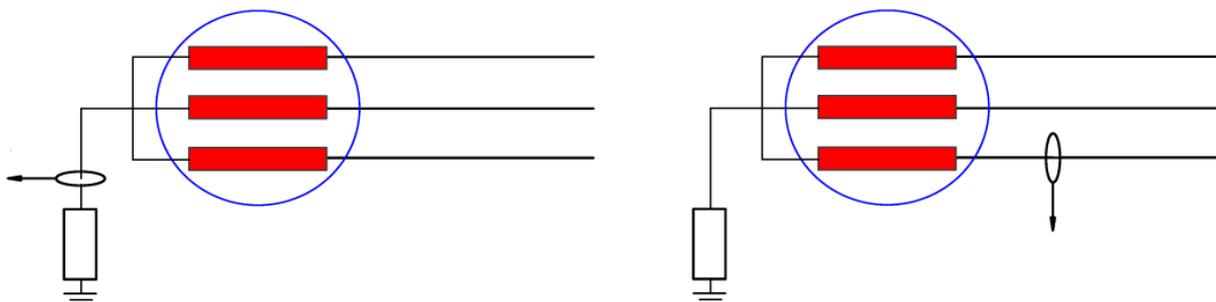


Рисунок 3 схемы соединения датчиков.



Рисунок 4 – датчик ТТ

Измерение ЧР может выполняться используя любой из упомянутых датчиков. Но, рекомендуется следовать международным советам для выполнения согласованных измерений ЧР. МЭК 60034-27 чаще всего используется в качестве эталона при измерении ЧР, где указывается только использование емкостных датчиков для сбора данных о ЧР.

Заключение

В ходе анализа методологий мониторинга ЧР во вращающихся электрических машинах было замечено, что много методологий рассматривают данные без присвоения критерия для того, чтобы определить уровень показателей ЧР. Это происходит из-за того, что подавляющее большинство работ основывается на стандартах без учета характеристик электрических машин и операционных сред. Таким образом, чтобы найти критерий приемлемости машины на основе анализа измерений ЧР, нужно получить большой объем тестовых данных из машины, для использования статистических методов или методов машинного обучения для нахождения порога и классификации состояния обмотки.

Другим фактором, который обширно не анализируется в литературе, является влияние системы привода на нахождение ЧР, так как они мешают обнаружению либо из-за добавления фоновых шума, либо из-за усиления импульса, в дополнение к необходимости иметь эталон частоты для анализа данных. Добавление шума можно уменьшить, используя аппаратные и программные фильтры. Чтобы уменьшить усиления импульса, нужно откалибровать приборы, которые используют для обнаружения ЧР.

В дополнение к этим проблемам, система технического обслуживания, которая основывается на методах прогнозирования, таких как алгоритмы реализации временных рядов, не была учтена в литературе. Данная система может помочь определить срок службы изоляции обмоток, что позволит нам принимать правильные решения до того, как будут происходить отказы.

Желательно использовать систему онлайн-мониторинга, которая не использует внедренные методы сбора данных, которая самостоятельно определяет ЧР в любой электрической машине и операционной среде, а также используется система определения срока службы изоляции обмоток.

Литература

1. Ritchie, H.; Roser, M.; Rosado, P. Energy. OurWorldinData 2020 [Электронный ресурс]. Дата доступа: <https://ourworldindata.org/energy> - Дата доступа: 21.02.2023
2. OMICRON. Diagnostic Testing and Monitoring of Rotating Machines [Электронный доступ]. - Режим доступа: <https://www.omicronenergy.com/> - Дата доступа: 22.02.2023
4. Кацман М.М. «Электрические машины. Учебник», М., 2003 г.
5. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1987.
6. Ермолин Н.П. Электрические машины малой мощности. – М.: Высшая школа, 1961. – 503 с