

КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Денисов В. А., Федоров П. А.

Кафедра информатики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: {q1munys, pavl.fedorov}@gmail.com

Вибрационный анализ является жизненно важной задачей в области контроля состояния и диагностики неисправностей различного промышленного оборудования, таких как индукционные машины. В данной статье рассматривается использование методов интеллектуального анализа данных для классификации неисправностей оборудования.

ВВЕДЕНИЕ

Вибрационный анализ - это процесс поиска аномалий и отслеживания изменений по установленной вибрационной сигнатуре системы. Вибрация любого объекта характеризуется изменениями амплитуды, интенсивности и частоты. Они могут соотноситься с некоторыми физическими явлениями, что позволяет использовать данные о вибрации для получения представления о состоянии оборудования.

Вибрационный анализ в основном сфокусирован на частотном анализе. Задача классификации типа возникающих отказов машины по временному ряду является нетривиальной, поэтому временные сигналы (смещение, скорость или ускорение) преобразуются с использованием преобразования Фурье в сумму синусоидальных волн разных частот, где каждый представляет частотную составляющую. Частотный анализ используется для обнаружения неисправностей оборудования, таких как дисбаланс, перекос, изогнутый вал, механическая ослабленность, неисправность подшипника, неисправность коробки передач и т. д.

В индукционной машине подшипники часто подвергаются воздействию несбалансированной силы, создаваемой в машине. Это приводит к различным типам неисправностей в подшипниках и одновременно к отказу вращающегося механизма. А неисправности подшипников приводят к различным проблемам, которые являются причиной неправильного функционирования вращающегося оборудования.

Дефекты в оборудовании можно представить в виде простого гармонического движения, которое выражается в изменении амплитуды вибрационного сигнала. Техническое обслуживание такого механизма требует мониторинга в течение некоторого промежутка времени. Различные параметры влияют на возникновение неисправностей в оборудовании, которые могут быть связаны с циклической нагрузкой станка, ошибкой при установке подшипников качения во вращающемся оборудовании между валами, и расход смазки вращательных элементов оборудования. Все эти упомянутые параметры приво-

дят к выходу из строя подшипника. Факторы, который приводят к дефекту подшипника, можно разделить на две категории: распределенные и локализованные дефекты. Эти дефекты классифицируются по частотным характеристикам в терминах спектра колебаний.

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Методы обнаружения неисправностей можно разделить на три группы: основанные на сигналах, основанные на знаниях и основанные на моделях методы. Методы обнаружения неисправностей на основе сигналов состоит в анализе компонентов спектра измеряемых сигналов. Методы, основанные на моделях, требуют точной модели системы, для имитации реального поведения процесса, поэтому доля использования данного метода составляет около 10% обнаружения неисправностей. Методы, основанные на знаниях, используют методы, такие как нечеткие системы и нейронные сети для выявления неисправностей в оборудовании.

Подшипниковые дефекты можно разделить на точечные дефекты и шероховатости. Точечные дефекты обычно создаются в автономном режиме в лаборатории или мастерской, например, путем сверления отверстия в любой части подшипника. Шероховатость чаще всего возникает при работе в оперативном режиме из-за деградации поверхностей подшипников. Состояние подшипника можно контролировать с помощью вибрации оборудования. Это связано с тем, что повреждения подшипников, будь то точечные дефекты или общая шероховатость, как правило, приводят к последовательным и периодическим импульсным составляющим вибрации машины, вызванным пропуском шарикоподшипника через дефектные точки. Период этих членов можно рассчитать, зная скорость вращения, положение разломов и размеры подшипников. Простейшим методом анализа частотной области, используемым для обнаружения повреждений подшипников, является быстрое преобразование Фурье (БПФ). Воздействие вибрации, вызванной повреждением подшипника, имеет относительно низкую энергию и часто сопровож-

дается шумом и вибрацией высокой энергии. Поэтому трудно идентифицировать дефект подшипника в спектрах, используя обычные методы. Чтобы преодолеть проблемы БПФ, были разработаны различные передовые методы обработки сигналов для обнаружения неисправностей подшипников, такие как кратковременное преобразование Фурье (STFT), вейвлет-преобразование (WT), вейвлет-пакетное преобразование (WPT) и векторный подход Парка.

В 1991 г. нейронная сеть была впервые предложена для диагностики неисправностей однофазных двигателей. Нейронная сеть была использована для диагностики различных типов внешних неисправностей в трехфазных индукционных двигателях. Была разработана нейронная сеть с обратным распространением и обратной связью, предназначенная для обнаружения несущих, сломанных стержней, обмоток статора и несбалансированных повреждений ротора. Хотя эти исследования достигли некоторого успеха, для обучения нейронной сети использовались особенности как во временной, так и в частотной областях со сложным расчетом. Некоторые из них использовали WPT для предварительной обработки вибрационных сигналов перед тренировкой сети.

Для обнаружения неисправностей используется трехэтапный алгоритм. На первом этапе нейронная сеть оценивает скорость вращения вала, а динамическая рекуррентная нейронная сеть используется в качестве пилотной модели для оценки остаточного значения текущего сигнала. Заменяемый результат обрабатывается с помощью WPT для обнаружения механических неисправностей. Однако такие методы требуют много вычислительных операций из-за использования WPT. В последние годы стали активно применяться методы распознавания на основе ANN.

В предлагаемом способе, на первом этапе исправные компоненты вибрационного сигнала оцениваются интеллектуальным фильтром, который разработан на основе нейронной сети. Отметим, что эта сеть обучается при нормальных условиях. Поэтому, когда измеренный вибрационный сигнал проходит через этот фильтр, компоненты, которые существующие в исправ-

ном состоянии удаляются, а выходные данные фильтра содержат компоненты, относящиеся к неисправным условиям. На следующем этапе характеристики отфильтрованного по промежутку времени сигнала извлекаются для использования в качестве входных данных классификатора для того, чтобы различать локализацию отказов. Следует отметить, что этот подход не требует каких-либо параметров подшипников для расчета частот дефектов, так как он использует только функции временной области для обнаружения неисправностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассматривается алгоритм обнаружения и классификации дефектов, состоящий из двух этапов. На первом этапе фильтр нейронной сети пропускает компонент несоответствующего дефекта дискретизированного сигнала. Этот фильтр называется удалением не несущего компонента неисправности (RNFC). На следующем этапе функции по временному промежутку извлекаются из выходного сигнала фильтра RNFC и применяются к другой нейронной сети в форме прототипов для обнаружения неисправностей с использованием метода распознавания антипаттерна. Предложенный метод может применяться для выявления других типов неисправностей индукционных двигателей. Например, предлагаемый фильтр RNFC может быть использован для обнаружения поломки ротора или повреждения статора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Solution to a general forced nonlinear oscillations problem. Multiple time scales harmonic balance. / J. J. Wu and L. C. Chien // *Journal of Sound and Vibration*. – 2015. – P. 185(2), 247-264
2. Incremental harmonic balance method with multiple time scales for aperiodic vibration of nonlinear systems. *Journal of applied Mechanics* / S. L. Lau, Y. K. Cheung, S. Y. Wu // *ASME* – 2014. – P. 50(4), 871-876
3. A modified Lindstedt-Poincare method for a strongly nonlinear two-degree-of-freedom system. / S. H. Chen, Y. K. Cheung // *Journal of Sound and Vibration*. – 2015. P. 193(4), 751-762
4. Математические основы машинного обучения и прогнозирования / Вьюгин В. В. // ДМК Пресс – 2018 – С. 55-106