

Разработка и исследование методов системной диагностики и идентификации отказов электромеханических комплексов на основе событийных и реконструктивных моделей

Семенов Д.В.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Демидова Г. Л.¹

¹Университет ИТМО

371689@niuitmo.ru

Введение

Современный этап развития техники характеризуется требованиями высокой надежности электромеханических комплексов (ЭМК), при этом с увеличением сложности таких систем [1]. Данные комплексы, представляющие собой совокупность электрических машин, преобразователей и систем управления, являются ключевыми элементами практически всех отраслей промышленности, энергетики, транспорта и специальной техники [2]. Ключевая роль в решении данной задачи отводится методам технической диагностики, предназначенным для раннего обнаружения, идентификации и локализации развивающихся дефектов. Традиционные методы диагностики, среди которых наиболее репрезентативным является метод анализа токов и напряжений, основанный на спектральном анализе стационарных сигналов, позволяет с высокой достоверностью выявлять ряд типовых неисправностей, таких как обрывы стержней ротора асинхронного двигателя, повреждения подшипников или эксцентриситет воздушного зазора. Несмотря на всю эффективность классические методы сталкиваются с ограничениями в ситуациях нестационарных режимов и не адаптивны в изменяющихся условиях эксплуатации ЭМК.

Основная часть

В данном исследовании рассмотрена модель вентильно-индукторного электропривода с 4L-TRFC преобразователем и системой управления. На основе данной модели выделяется конечное множество технически значимых отказов, для каждого из которых определяется характерное изменение структуры связей или параметров системы.

Далее вводится событийная модель, в которой динамика объекта описывается не только непрерывными изменениями переменных, но и последовательностью диагностически значимых событий. События формируются на основе анализа измеряемых сигналов и их производных, а также на основе отклонений реконструированных состояний от расчетных значений [3,4]. Каждому типу отказа сопоставляется определенный шаблон событий или их комбинация, что позволяет перейти от анализа числовых параметров к анализу логики поведения системы.

Ключевым элементом метода является реконструкция внутренних переменных, недоступных прямому измерению. Для этого используются имитационные модели, связывающие измеряемые сигналы с искомыми состояниями. Сравнение восстановленных переменных с их расчетными значениями в номинальном режиме позволяет формировать диагностические признаки, устойчивые к изменению режимов нагрузки и внешних воздействий.

Идентификация отказа осуществляется на основе сопоставления текущей последовательности событий и диагностических признаков с эталонными сценариями, сформированными для каждого типа неисправности.

Таким образом, метод обеспечивает не только обнаружение факта отклонения от нормального режима, но и локализацию причины отказа на уровне подсистемы или элемента.

Основная суть предлагаемого решения заключается в сравнении измеряемого и реконструированного тока с предсказанным током.

Алгоритм предложенного метода:

- 1) Формирование эталонной модели (или матрицы) токовых состояний для штатных режимов работы;
- 2) Модельное предсказание токовых переменных в текущем режиме работы;
- 3) Реконструкция фактических токов;
- 4) Формирование диагностического признака на основе сравнения эталонных, предсказанных и реконструированных токов и принятие решения о наличии отказа;
- 5) Локализация отказа на основе анализа структуры отклонений и соответствия событийным шаблонам.

Выводы

В этом исследовании представлен метод диагностики неисправностей транзисторов в 4L-TRFC преобразователе, который основан на восстановлении и прогнозировании тока в его ветвях, где отсутствуют физические датчики. Метод позволяет восстановить фазные токи и определить неисправности при помощи четырех датчиков тока, обеспечивая высокую точность прогнозирования неисправностей транзисторов, связанную с обрывами цепи и короткими замыканиями.

Литература

1. Q. Sun, L. Chen, X. Liu, F. Niu, and C. Gan, "Quasi-Z-Source-Fed SRM Drive for Torque Ripple Minimization and Speed Range Extension With Three-Switch Conduction," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 70, no. 12, pp. 11923–11933, Dec, 2023.
2. N. Ali and M. Narimani, "Fault-Tolerant SRM Drives—A Review," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 39, no. 8, pp. 10261–10275, Aug. 2024.
3. X. Li, S. Li, W. Chen, T. Shi and C. Xia, "A Fast Diagnosis Strategy for Inverter Open-Circuit Faults Based on the Current Path of Brushless DC Motors," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 38, no. 8, pp. 9311- 9316, Aug. 2023.
4. C. Gan, J. Wu, S. Yang, Y. Hu and W. Cao, "Wavelet Packet Decomposition-Based Fault Diagnosis Scheme for SRM Drives With a Single Current Sensor," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 31, no. 1, pp. 303-313, March 2016.