

Д.Ю. ЗУБЕНКО, О.М. ПЕТРЕНКО

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени О.Н. Бекетова

ДИАГНОСТИКА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ТЕПЛОВИЗОРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Электрические двигатели применяются на самом экологически чистом наземном транспорте – электротранспорте. Однако, используемые электродвигатели выделяют значительное количество тепла из-за больших мощностей, что в свою очередь влияет как на работу самих двигателей, так и отрицательно влияет на окружающую среду путем повышения температуры. В данной статье рассматриваются вопросы диагностики асинхронных электродвигателей с помощью тепловизора и анализа полученной картинки при помощи нейронных сетей. Данная методика позволяет следить за предельно-допустимым излучением тепловой энергии в атмосферу, а также увеличить надежность работы электромеханической системы.

Ключевые слова: тепловой контроль, электродвигатель, тепловизор, диагностика, бесконтактные методы, нечеткая логика, безотказная работа, нейронная сеть.

D. ZUBENKO, O. PETRENKO

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

DIAGNOSTICS OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR THERMAL INSULATOR USING NEURAL NETWORKS

Electric engines are used on the most environmentally friendly land transport - electric transport. However, the used electric motors emit a significant amount of heat due to high power, which in turn affects both the operation of the engines themselves and negatively affects the environment, by increasing the temperature. This article addresses the issues of diagnosing asynchronous electric motors using a thermal imager and analysing the resulting image using neural networks. This method allows you to monitor the maximum permissible radiation of thermal energy into the atmosphere, as well as to increase the reliability of the electromechanical system. Electric transport is one of the environmentally friendly technical means for the transport of passengers. However, the operation of its main electrical components contributes to the release of significant amounts of heat into the atmosphere, which adversely affects the environment and leads to environmental changes on the planet. Failures of electric rotating motors also lead to operation failures and can be listed as: stator faults, rotor electrical faults, mechanical rotor faults. However, the methods for the faults mentioned become complex and specific. In the literature, methods for diagnosing faults have been developed by scientists. Analyses of electrical signals, acoustic signals, vibrations, thermal imaging of electric motors have been very popular in recent literature. Methods for diagnosing electrical faults in electric motors have been developed in the literature. MCSA (Motor Current Signature Analysis) is a fault diagnosis technology. In the literature, MCSA was used to detect specific malfunctions of electrical and mechanical asynchronous motors. MCSA has many advantages, because it is not expensive. Infrared physics and technologies of stator winding diagnostics, not subject to stress or asymmetry. As well as the ease of installation of current sensors. However, this has drawbacks, such as stator current data must be selected after the engine speed reaches a steady state. Vibration alarms were also very popular for troubleshooting. Methods based on vibration analysis have an advantage and are more sensitive than MCSA to certain malfunctions.

Keywords: thermal control, electric motor, thermal imager, diagnostics, contactless methods, fuzzy logic, trouble-free operation, neural network.

Вступление

Электрический транспорт является одним из экологически чистых технических средств для перевозки пассажиров. Однако работа его основных электромеханических узлов способствует выделению значительных объемов тепла в атмосферу, что неблагоприятно влияет на окружающую среду и приводит к экологическим изменениям на планете. Также неисправности электрических вращающихся двигателей приводят к отказам работы и могут быть перечислены как: неисправности статора, электрические неисправности ротора, механические неисправности ротора [1]. Однако методы упомянутых неисправностей становятся сложными и специфичными [2]. В литературе методы диагностики неисправностей были разработаны учеными [1–7]. Анализы электрических сигналов, акустических сигналов, вибрации, тепловидение электродвигателей были очень популярны в недавней литературе. Методы диагностики неисправностей электрических токов электродвигателей были разработаны в литературе [3–6]. MCSA (анализ сигнатуры тока двигателя) является технологией диагностики неисправностей. В литературе MCSA использовался для обнаружения специфические неисправности электрических и механических асинхронных двигателей [2,3,7]. MCSA имеет много преимуществ, потому что он не дорогой. Инфракрасная физика и технологии диагностики обмотки статора, не подверженная нагрузке или асимметрии. А также простота установки датчиков тока. Однако это имеет недостатки, такие как данные тока статора должны быть отобраны после того, как скорость двигателя достигнет установившегося состояния [3]. Вибрационные сигналы также были очень популярны для диагностики неисправностей [8–11]. Методы, основанные на анализе вибрации, имеют преимущество и более чувствительнее, чем метод MCSA к определенным неисправностям [2]. Эти методы были использованы для обнаружения конкретных неисправностей в двигателях, например, диагностика подшипников [9] или систем зубчатой передачи [10]. Методы, основанные на вибрационных сигналах, дают диагностику неисправности и сосредоточены на расположении спектральных компонентов, связанных с неисправностью [8]. В статье представлено сравнительное исследование разных методологий частотного анализа, которые могут быть

использованы для обнаружения неисправности асинхронных двигателей, анализирующих сигналы вибрации во время запуск переходный процесс. Анализируемые сигналы вибрации были со сломанными стержнями ротора, два сломанных стержня, дисбаланс и дефекты подшипников.

Методология, предложенная в статье, применима, когда она не имеет токовых сигналов и имеет только вибрационные сигналы [8]. Методология, основанная на анализе вибрации для диагностики различных уровней равномерного износа в коробке передач и обнаружения несущий дефект, связанный с одной и той же кинематической цепью, был представлен [9]. Результаты анализа вибрации показали, что увеличение амплитуды в частотной составляющей сетки и ее соответствующие гармоники были связаны с наличием износа в коробке передач. Обзор последних достижений в диагностике гибридных отказов в системах зубчатых передач с использованием сигнала датчика вибрации был представлен [10, 11].

Исследователи использовали также акустические сигналы для диагностики неисправностей машины [12–15]. Методы, основанные на анализе акустического сигнала имеет преимущество в том, что дешевле, чем другие методы.

Предлагаемая методология может быть использована для выявления других типов неисправностей в асинхронные двигатели и в любом оборудовании, в котором звук и вибрации были опознаны как однозначное следствие неисправности. Однако предложенная методология имела некоторые ограничения.

В последнее время методы диагностики неисправностей, основанные на тепловидении получили заметное внимание [11–13]. Тепловидение рассматривается для улучшения контроля асинхронных двигателей с преимуществом неинвазивного метода [7]. Это можно заметить при анализе тепловых изображений связанных с неисправностями, анализ был представлен [20]. В предлагаемом способе использован переходный процесс и тепловой контроль при запуске двигателя. Далее это применимо при технике псевдоокраски на инфракрасном изображении двигателя, после оно достигло термического устойчивого состояния. Система контроля была реализована на асинхронном двигателе с использованием тепловизора [14]. Метод цветовой сегментации использовался для выявления аномальных горячих областей на тепловом изображении. Для распознавания горячих точек был реализован метод изменения интенсивности красного цвета.

Поэтому актуальная задача диагностики асинхронного электродвигателя тепловизором для уменьшения выделения тепла в окружающую среду и повышение надежности работы электротранспорта.

Экспериментальная часть

Предлагаемые методы диагностики неисправностей имеют следующие этапы: получение теплового изображения, предварительная обработка, выделение признаков и классификация. В начале процесса распознавания тепловых изображений взяты с применением тепловизионной камеры FLIR E4 (диапазон температур: от 20 до 250 С, частота кадров: 9 Гц, детектор: (неохлаждаемый микроболометр) и программное обеспечение для ПК FLIR IR Camera Player.

На рынке есть много доступных тепловизионных камер с аналогичными или лучшими параметрами. Эти камеры также могут быть использованы для анализа.

Упомянутая тепловизионная камера находится на расстоянии 0,25 м от анализируемого мотора. Фильмы и тепловизионные изображения получены с использованием ПК программного обеспечения и тепловизионной камеры. Тепловые изображения имеют разрешение 320 x 240 пикселей. Следующее изображение пурпурного цвета рассчитывается. После этого функция извлечения выполняется с применение MoASoID и гистограммы изображения. Следующая классификация полученных векторов и признаков осуществляется с помощью NN (Классификатор ближайшего распознавания), K-means, BNN (нейронная сеть обратного распространения).

В тепловых изображениях извлечение цвета является важной задачей, потому что некоторые цвета преимущественнее других. Самые важные цвета были белый, пурпурный и красный для анализируемых изображений.

Самые высокие температуры имели белый цвет. Авторы решили анализировать пурпурный и белый. Пурпурный и белый цвета термальных

изображения трехфазного асинхронного двигателя получены с использованием Matlab.

Метод выбора областей определения изображений при помощи программы MoASoID разработан для множества тренировочных наборов и тепловых изображений электродвигателей.

Определение состояния электродвигателя описан во многих научных статьях [2–15]. Он назначает неклассифицированную векторную характеристику на множестве ранее классифицированных обучающих векторов признаков. Этот классификатор достигает высокой эффективности распознавания, без априорных предположений о распределении обучающих данных. Это одна из причин использовать его для диагностики неисправностей трехфазного асинхронного электродвигателя. Эта функция определяется как:

$$d(a, b) = \sum_{i=1}^n |a_i - b_i|, \quad (1)$$

где векторами признаков являются $a = [a_1, a_2, \dots, a_n]$ и $b = [b_1, b_2, \dots, b_n]$, $n = 1$ для MoASoID, $n = 256$ для гистограммы изображения.

Выводы

В этой статье авторы разрабатывают методы диагностики неисправностей асинхронных

электродвигателей. Описанные методики на основе анализа тепловых изображений, полученных при снятии изображения с тепловизора на работающем электродвигателе. Авторы анализируют полученные тепловые изображения электродвигателя.

В статье авторы предлагают использовать нейронные сети для обработки изображения и ее распознавания.

Описанные методы диагностики неисправностей необходимы для защиты асинхронного электродвигателя и других типов вращающихся электродвигателей, такие как: двигатели постоянного тока, генераторы, синхронные двигатели.

Данные методы диагностики и анализа позволяют контролировать предельные значения выделения тепла в атмосферу и обезопасить работающую технику от отказов.

References

1. H. Henaoui, G.A. Capolino, M. Fernandez-Cabanas, F. Filippetti, C. Bruzzese, E. Strangas, R. Pusca, J. Estima, M. Riera-Guasp, S. Hedayati-Kia, Trends in fault diagnosis for electrical machines a review of diagnostic techniques, *IEEE Ind. Electron. Mag.* 8 (2) (2014) 31–42.
2. A.G. Garcia-Ramirez, L.A. Morales-Hernandez, R.A. Osornio-Rios, J.P. BenitezRangel, A. Garcia-Perez, R.D. Romero-Troncoso, Fault detection in induction motors and the impact on the kinematic chain through thermographic analysis, *Electr. Power Syst. Res.* 114 (2014) 1–9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsr.2014.03.031>.
3. Khalaf Salloum Gaeid, Hew Wooi Ping, Mustafa Khalid, Atheer Lauy Salih, Fault diagnosis of induction motor using MCSA and FFT, *Electr. Electron. Eng.* 1 (2) (2011) 85–92, <http://dx.doi.org/10.5923/j.eee.20110102.14>.
4. T. Ciszewski, L. Gelman, L. Swedrowski, Current-based higher-order spectral covariance as a bearing diagnostic feature for induction motors, *Insight* 58 (8) (2016) 431–434, <http://dx.doi.org/10.1784/insi.2016.58.8.431>.
5. M. Sulowicz, K. Weinreb, R. Mielnik, T. Zywczyk, M. Jaraczewski, The method of current measurement in the rotor cage bars of prototype induction motor with the use of Rogowski coils, in: *International Conference on Information and Digital Technologies (IDT)*, 2015, pp. 357–365.
6. M. Michalak, B. Sikora, J. Sobczyk, Diagnostic model for longwall conveyor engines, in: *Man-Machine Interactions 4, ICMMI 2015, Book Series: Advances in Intelligent Systems and Computing*, 391, 2016, pp. 437–448, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-23437-3_37.
7. A.G. Garcia-Ramirez, L.A. Morales-Hernandez, R.A. Osornio-Rios, A. GarciaPerez, R.J. Romero-Troncoso, Thermographic technique as a complement for MCSA in induction motor fault detection, in: *2014 International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, 2014, pp. 1940–1945.
8. P.A. Delgado-Arredondo, A. Garcia-Perez, D. Morinigo-Sotelo, R.A. OsornioRios, J.G. Avina-Cervantes, H. Rostro-Gonzalez, R.D. Romero-Troncoso, Comparative study of time-frequency decomposition techniques for fault detection in induction motors using vibration analysis during startup transient, *Shock Vib.* (2015), <http://dx.doi.org/10.1155/2015/708034> Article Number: 708034.
9. J.J. Saucedo-Dorantes, M. Delgado-Prieto, J.A. Ortega-Redondo, R.A. OsornioRios, R.D. Romero-Troncoso, Multiple-fault detection methodology based on vibration and current analysis applied to bearings in induction motors and gearboxes on the kinematic chain, *Shock Vib.* (2016), <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5467643> Article Number: 5467643.
10. Z.X. Li, Y. Jiang, C. Hu, Z. Peng, Recent progress on decoupling diagnosis of hybrid failures in gear transmission systems using vibration sensor signal: a review, *Measurement* 90 (2016) 4–19, <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.04.036>.
11. Z.X. Li, X.P. Yan, X.P. Wang, Z.X. Peng, Detection of gear cracks in a complex gearbox of wind turbines using supervised bounded component analysis of vibration signals collected from multi-channel sensors, *J. Sound Vib.* 371 (2016) 406–433, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsv.2016.02.021>.
12. A. Glowacz, Z. Glowacz, Diagnosis of stator faults of the single-phase induction motor using acoustic signals, *Appl. Acoust.* 117 (Part A) (2017) 20–27, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.10.012>.
13. A. Glowacz, Fault diagnostics of acoustic signals of loaded synchronous motor using SMOFS-25-EXPANDED and selected classifiers, *Tehnicki Vjesnik – Tech. Gaz.* 23 (5) (2016) 1365–1372.
14. A. Deptula, P. Osinski, U. Radziwanowska, Decision support system for identifying technical condition of combustion engine, *Arch. Acoust.* 41 (3) (2016) 449–460.
15. A. Deptula, D. Kunderman, P. Osinski, U. Radziwanowska, R. Wlostowski, Acoustic diagnostics applications in the study of technical condition of combustion engine, *Arch. Acoust.* 41 (2) (2016) 345–350, <http://dx.doi.org/10.1515/aoa-2016-0036>.

Рецензія/Peer review : 4.6.2019 р. Надрукована/Printed : 18.7.2019 р.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Ф. Смирний