

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ НА БАЗЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Дубров В.И.¹

¹ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», Новочеркасск, Россия (346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: rektorat@npi-tu.ru

Описаны этапы адаптации интеллектуального алгоритма диагностики высоковольтного коммутационного оборудования под задачу диагностики электромагнитных механизмов. В статье проводится исследование возможности применения вейвлет-спектральной обработки характеристик электромагнитных механизмов. Предложен адаптированный алгоритм диагностики электромагнитных механизмов. В разработанный алгоритм вводится информативная функция, которая значительно улучшает точность диагностирования на следующем этапе с использованием интеллектуального аппарата нейронной сети. Для подтверждения результатов приводятся ошибки обучения нейронной сети, вычисленные с использованием различных характеристик электромагнита. Описанные алгоритмы смоделированы в системе математического моделирования *Matlab*, в качестве объекта диагностирования был выбран электромагнит типа *Inventio*. Измеренные характеристики получены с использованием современной измерительной техники - прибора *MagHyst*, обеспечивающего достаточную точность измерения тока $I(t)$ и потокосцепления $\Psi(t)$ в обмотке электромагнита.

Ключевые слова: высоковольтное коммутационное оборудование, электромагнитные механизмы, интеллектуальная диагностика, нейронные сети, вейвлет-спектр.

INTELLIGENT DIAGNOSIS OF ELECTROMAGNETIC MECHANISM BASED ON NEURAL NETWORK TECHNOLOGY

Dubrov V.I.¹

¹South Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute), Novocherkassk, Russia (346428, Novocherkassk, street Prosvescheniya, 132), e-mail: rektorat@npi-tu.ru

Describes stages of adaptation of the intelligent diagnostic algorithm of high-voltage switchgear for the diagnostic of electromagnetic mechanisms. In the article research the possibility of the application of wavelet spectral processing of characteristics of electromagnetic mechanisms. Proposed adapted diagnostic algorithm of electromagnetic mechanisms. In the developed algorithm is introduced informative function, which greatly improves the accuracy of diagnosis in the next stage with the use of the intellectual apparatus of the neural network. To confirm the results given neural network learning error calculated using different electromagnetic characteristics. The algorithms are simulated in the mathematical modeling system "Matlab", as the object of diagnosis was chosen electromagnet of *Inventio* type. The measured properties are obtained with the use of modern measuring equipment - a device *MagHyst*, providing sufficient accuracy current $I(t)$ and flux linkage $\Psi(t)$ in the coil of the electromagnet.

Key words: high-voltage switchgear, electromagnetic mechanisms, intelligent diagnostics, neural networks, wavelet spectrum.

Введение

Электромагниты являются основой многих устройств, применяемых в современной технике управления и регулирования. Благодаря своим преимуществам: возможности преобразования электрической энергии в механическую работу, дистанционного управления механическими перемещениями на больших расстояниях – в сочетании с исключительной простотой конструкций электромагниты успешно применяются в различных областях техники.

Особенно широкое применение электромагниты находят в электромагнитных приводах

различных автоматически и дистанционно управляемых устройств, электромагнитных реле и контакторах, электромагнитных клапанах трубопроводной арматуры, магнитных муфтах, тормозных электромагнитах. Функционирование и качество срабатывания электромагнитов должны контролироваться непосредственно во время их работы.

В настоящее время для контроля функционирования электромагнитов в систему встраиваются сенсоры, сигналы которых дают информацию о характеристиках электромагнита. Такие сенсоры требуют дополнительного пространства в системе и порой имеют сложный процесс монтажа.

Ведутся разработки системы бессенсорной диагностики, основной принцип которых заключается в использовании «внутренних сенсорных» свойств электромагнита, которые не требуют подключения дополнительных датчиков или сенсоров, а используют собственную обмотку электромагнита. Для реализации данной системы необходимо разработать математический аппарат дальнейшей обработки сигналов, полученных бессенсорным методом. Для решения поставленной задачи может использоваться метод двухэтапной диагностики, разрабатываемый для мониторинга состояния высоковольтных выключателей [3; 4]. В качестве основы для описываемого алгоритма используются вейвлет-обработка сигнала и нейронные сети (НС).

В данной статье предлагается вариант двухэтапного алгоритма диагностики [2], адаптированный под диагностику электромагнитных механизмов (ЭМ). Приводятся результаты экспериментов по применению к информативным сигналам с ЭМ вейвлет-преобразования, вводится информативная функция, приводятся результаты обучения НС.

Цель работы: выделение информативных параметров и/или характеристик, наиболее эффективно подчеркивающих различия между исправными и неисправными ЭМ для дальнейшей интеллектуальной автоматизации.

Материал и методы исследований: адаптация алгоритма диагностики высоковольтных выключателей, вейвлет-обработка, нейронные сети, математическое моделирование с использованием системы для математических вычислений *Matlab*.

Результаты и обсуждение

Вариант двухэтапного алгоритма, адаптированный под диагностику ЭМ, и его исходный вариант для диагностики высоковольтных выключателей (ВВ) представлены на рис. 1 (а, б) [1].



Рис. 1. Алгоритмы диагностики ЭМ и ВВ: а – двухэтапный алгоритм для диагностики ВВ; б – двухэтапный алгоритм для диагностики ЭМ; в – одноэтапный алгоритм для диагностики ЭМ

В данной работе рассматривается только второй этап двухэтапного алгоритма диагностики электромагнитных механизмов, сформированный на его основе одноэтапный алгоритм диагностики представлен на рис. 1 (в).

Предполагаемый принцип одноэтапного алгоритма заключается в следующем: получение информативных сигналов, в системах бессенсорной диагностики основными сигналами являются зависимость тока в обмотке электромагнита от времени $I(t)$ и зависимость потокосцепления в обмотке электромагнита от времени $\Psi(t)$ [7]. Частотную составляющую полученных сигналов развертывают во временной области с использованием аппарата вейвлет-преобразования. Объем полученных вейвлет-спектров уменьшают с использованием алгоритма выбора информативных частотных диапазонов [4]. По выбранным частотным диапазонам вейвлет-спектра информативных сигналов НС, заранее обученная на библиотеке характеристик соответствующего электромагнита, определяет состояние диагностируемого электромагнитного

механизма, и в случае неисправности система сигнализирует о ней.

Для проверки работоспособности предложенного алгоритма необходимо предварительно экспериментально оценить целесообразность использования сложного математического аппарата вейвлет-анализа [8]. Для этой оценки использовались система для математических вычислений *Matlab* и экспериментально измеренные прибором *MagHyst* [6] производства фирмы *Steinbeis Mechatronik GmbH* характеристики $I(t)$ и $Psi(t)$ электромагнита типа *Inventio*. Стоит также отметить, что для создания эффекта неисправности электромагнита, при измерении его характеристик, к нему прикладывалась сила в диапазоне от 0 до 320 Н с шагом 80 Н. Когда сила не прикладывалась, характеристика электромагнита соответствовала характеристике исправного электромагнита, при прикладывании силы от 80 до 320 Н полученные характеристики соответствовали неисправному электромагниту.

Полученные вейвлет-спектры изображены на рис. 2.

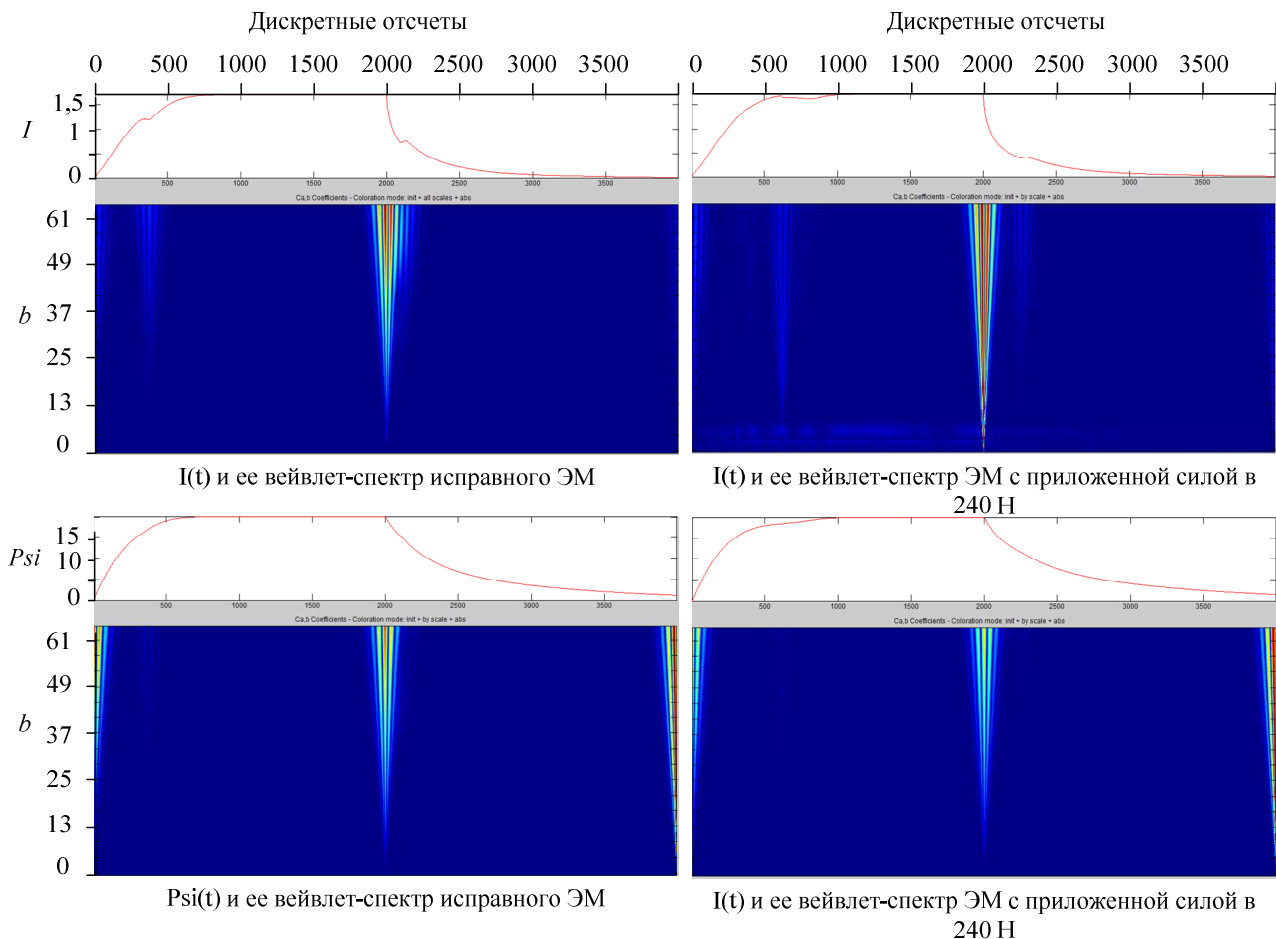


Рис. 2. Алгоритмы диагностики ЭМ и ВВ: I – ток в обмотке электромагнита; Psi – потокосцепление в обмотке электромагнита; $b = \frac{\beta}{\omega}$ – коэффициент масштабирования, где β – константа, зависящая от выбранного типа вейвлета, ω – циклическая (круговая) частота сигнала

Как видно из графиков (рис. 2), вейвлет-преобразование характеристик электромагнитных механизмов не позволяет выделить характеристики, отличающие исправный электромагнит от неисправного, поэтому использование в данном случае вейвлет-анализа является необоснованной тратой вычислительных ресурсов.

В качестве альтернативы вейвлет-обработки характеристик ЭМ предлагается ввести информативную функцию для диагностики электромагнитных механизмов, который должен учитывать изменения в обеих характеристиках электромагнита $I(t)$ и $Psi(t)$.

В качестве информативной функции предлагается использовать $MD(t)$, подобранную эмпирическим путем и вычисляемую по формуле:

$$MD = I \cdot Psi + \frac{I}{Psi}.$$

На рис. 3 представлены графики данной информативной функции $MD(t)$ и функций $I(t)$ и $Psi(t)$ для сравнения.

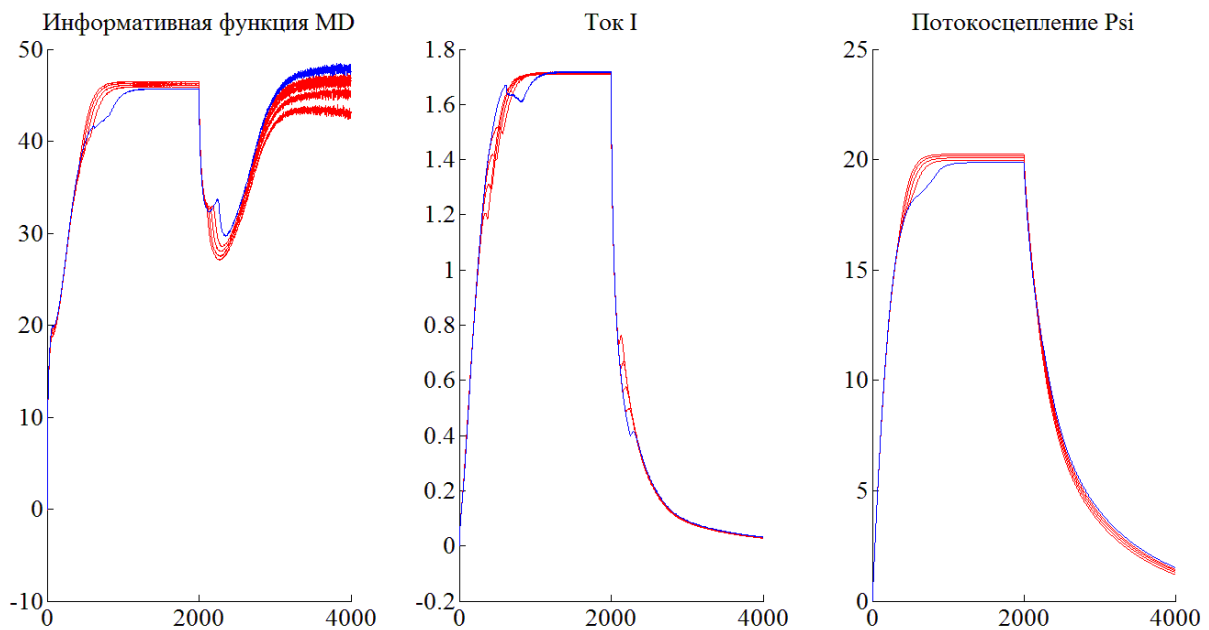


Рис. 3. Характеристики $MD(t)$, $I(t)$, $Psi(t)$ электромагнитных механизмов. Синим цветом обозначены характеристики исправного ЭМ, красным – неисправного.

Из графиков на рис. 3 видно, что полученная информативная функция $MD(t)$ более чувствительна к неисправностям ЭМ, чем характеристики $I(t)$ и $Psi(t)$, на основе которых она рассчитывается. Данная информативная функция является более предпочтительной для обучения НС под задачу диагностики, чем $I(t)$ и $Psi(t)$. Поэтому предложенный одноэтапный алгоритм диагностики ЭМ был изменен (рис. 4).

На блок-схеме одноэтапного алгоритма диагностики за этапом вычисления информативной функции следует операция оценки состояния ЭМ с использованием НС, заранее обученной на библиотеке характеристик $MD(t)$ соответствующего типа электромагнита.

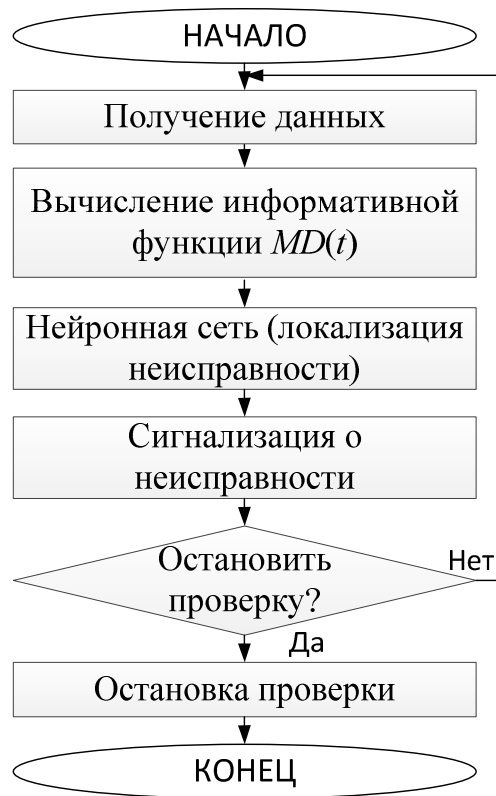


Рис. 4. Одноэтапный алгоритм диагностики ЭМ на основе вычисления информативной функции $MD(t)$

Для экспериментального подтверждения преимущества использования предложенной информативной функции перед такими характеристиками электромагнита, как $I(t)$ и $Psi(t)$, поочередно обучим на них нейронную сеть [5] и сравним полученные ошибки на её выходе.

Таблица 1. Сравнение ошибки обучения нейронной сети

Используемая функция для обучения НС	$I(t)$	$Psi(t)$	$MD(t)$
Среднее значение ошибки обучения НС, %	1,648	5,927	0,002
Максимальное значение ошибки обучения НС, %	38,00	49,42	0,02

Результаты обучения нейронной сети, приведенные в таблице 1, экспериментально подтверждают, что информативная функция $MD(t)$ предпочтительнее для задачи диагностики ЭМ, чем функции $I(t)$ и/или $Psi(t)$.

Стоит заметить, что в связи с отказом использования вейвлет-обработки отпадает необходимость в разбиении процесса диагностики на два этапа, и конечный алгоритм интеллектуальной диагностики ЭМ может быть реализован в виде одноэтапного алгоритма, представленного на рис. 4, без дальнейшего его усложнения.

Выводы

1. Для решения задачи выделения информативных признаков при диагностике электромагнитных механизмов использование вейвлет-преобразования не оправданно,

поскольку не выделяет более четких различий между исправными и неисправными электромагнитами по сравнению с исходными характеристиками электромагнита $I(t)$ и $Psi(t)$.

2. Результаты экспериментальных исследований показали, что наиболее предпочтительным методом выделения информативных признаков для диагностики ЭМ является использование информативной функции $MD(t)$.

3. Максимальное значение ошибки обучения нейронной сети на вычисляемой информативной функции $MD(t)$ составляет 0,02%, что является значительно лучшим результатом, чем у нейронной сети, обученной на функциях $I(t)$ или $Psi(t)$.

Статья подготовлена по результатам работ, полученным в ходе выполнения проекта № 11.7197.2013, реализуемого в рамках государственного задания Министерства образования и науки на оказание услуг. Статья подготовлена по результатам работ, полученным в ходе выполнения проекта № СП-1967.2013.1, реализуемого в рамках программы «Стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики».

Список литературы

1. Дубров В.И. Адаптация двухэтапного алгоритма диагностики высоковольтного коммутационного оборудования под задачу диагностики электромагнитных механизмов // Студенческая научная весна - 2013 : материалы Межрегион. науч.-техн. конф. студ., асп. и молодых ученых Южного федерального округа / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). - Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2013.
2. Дубров В.И., Кириевский В.Е. Двухэтапный алгоритм диагностики высоковольтных выключателей по скоростным характеристикам с использованием методов спектрального анализа // Контроль. Диагностика. - 2012. - № 10.
3. Дубров В.И., Кириевский В.Е. Применение вейвлет-анализа для диагностики высоковольтных выключателей по скоростным характеристикам // Контроль. Диагностика. - 2012. - № 7.
4. Дубров В.И. Оптимизация параметров интеллектуальной диагностической системы высоковольтных выключателей // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. - URL: <http://www.science-education.ru/107-8256> (дата обращения: 31.01.2013).
5. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. - Second Edition. - Prentice Hall, Inc., 1999.
6. Innovatives Qualitätsmanagement — Prüfung von Elektromagneten und Magnetventilen // Ölhydraulik und Pneumatik. – 2010. – 5. - S. 197. - Vereinigte Fachverlage, Mainz, 2010.
7. Magnetische Messung - Neue Wege der Funktionsprüfung bei der Herstellung von

Magnetaktoren. Beitrag zur VDI-Tagung — Klein- und Mikroantriebstechnik, Würzburg, 2010.

8. Stark H.-G. Wavelets and Signal Processing - An Application Based Introduction. Technosphera-Publishers, 2007.

Рецензенты:

Горбатенко Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, первый проректор, ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», г. Новочеркасск.

Гречихин Валерий Викторович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные и измерительные системы и технологии», ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)», г. Новочеркасск.