

## ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ РОТОРА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ромашихина Ж. И., к.т.н., ст. преподаватель, Чередник Е. И., магистрантка,  
Глансков М. А., студент

*КрНУ им. М. Остроградского, кафедра электрических машин и аппаратов*

**Введение.** Асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором являются наиболее распространенным видом электрических машин. Ежегодно из-за неисправностей из строя выходят около 20-25 % АД. Поэтому вопрос диагностики АД является актуальным. Диагностика двигателей и дальнейший ремонт во многих случаях являются экономически более эффективными, чем замена АД с повреждениями.

В работе [1] представлен метод диагностики повреждений стержней ротора АД на основании анализа распределения электродвижущей силы (ЭДС) в обмотках статора в режиме самовыбега двигателя. Измерение и анализ сигнала ЭДС обмоток статора позволяет определить информационные признаки повреждений стержней. Анализ вейвлет-спектров сигналов ЭДС позволяет определить количество и взаимное расположение поврежденных стержней ротора. Для повышения достоверности диагностики АД проводилась декомпозиция сигналов ЭДС с использованием теории обратного  $z$ -преобразования поэтапно для каждого из элементов обмотки статора (фазы, катушечной группы, катушки и одной стороны катушки) [2]. Однако при декомпозиции сигналов ЭДС по полученным вейвлет-спектрам затруднительно определить степень повреждения ротора. Поэтому возникает необходимость в уточнении диагностических признаков повреждений стержней ротора в сигнале ЭДС по анализу совокупности значений вейвлет-коэффициентов с использованием декомпозиции диагностических коэффициентов.

**Материал и результаты исследования.** Для декомпозиции сигналов ЭДС элементов обмотки статора использовалось обратное  $z$ -преобразование [3]:

$$e_{inv}(k) = Z^{-1}[E(z)], \quad (1)$$

где  $Z^{-1}$  – оператор обратного  $z$ -преобразования;  $k = 0, 1, \dots$ ;  $z = \sigma + j\omega$  – произвольная комплексная переменная;  $E(z)$  –  $z$ -изображение сигнала ЭДС  $e(k)$ .

Для исследований использовался АД ( $P_n = 1,5$  кВт,  $n_n = 1395$  об/мин,  $\eta = 77\%$ ,  $\cos\varphi = 0,81$ ) с учетом различного количества поврежденных стержней ротора и их взаимного расположения. В результате анализа вейвлет-спектров были выделены информационные признаки повреждений стержней – это характерные участки с вейвлет-коэффициентами на вейвлет-спектре, выделенные пунктиром (рис. 1).

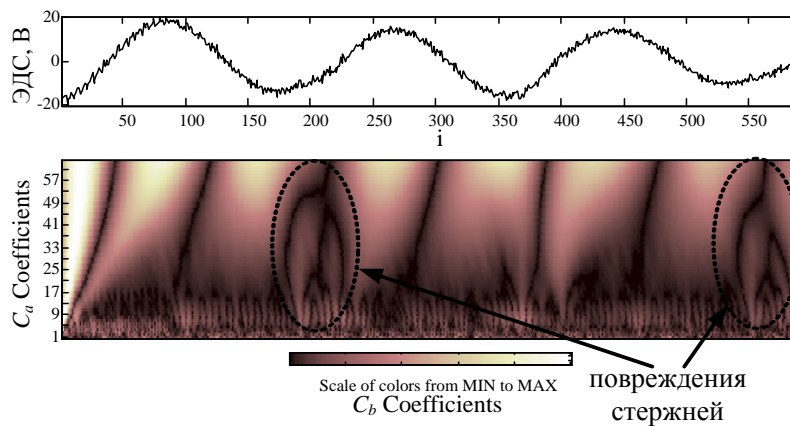


Рисунок 1 – Сигнал ЭДС одной активной стороны катушки, полученный в результате декомпозиции, и его вейвлет-спектр

Для упрощения процедуры выделения информационных признаков повреждений стержней предложена декомпозиция диагностического коэффициента  $K_{\Sigma a}$ . Он представляет собой функцию среднего значения суммы коэффициентов вейвлет-разложения для области средних частот [1]:

$$K_{\Sigma a} = \frac{\sum_a^A k_a}{n}, \quad (2)$$

где  $k_a$  – значение коэффициентов вейвлет-разложения;  $a$  и  $A$  – начальное и конечное значение масштабов вейвлет-спектра, соответственно,  $A = a + (5..10)$ ;  $n$  – число коэффициентов вейвлет-разложения.

Диапазон значений масштаба  $a$  в выражении (2) определен на основании исследования вейвлет-спектров с использованием математического моделирования в программе FEMM. Были получены сигналы ЭДС в элементах обмотки статора. Вейвлет-анализ полученных сигналов ЭДС показал, что повреждения стержней ротора находятся в области средних частот, между основной частотой сигнала и зубцовыми частотами, обусловленными наличием стержней ротора. Функция  $K_{\Sigma a}(t)$  может быть получена при анализе вейвлет-спектров смоделированных сигналов ЭДС для всех элементов обмотки статора: фазы, катушечной группы, катушки, одной активной стороны катушки.

Далее рассчитаны значения коэффициентов вейвлет-разложения  $K_{\Sigma a}$  для исправного АД и АД с повреждениями стержней ротора (рис. 2). Приведение значения проводилось к максимальному значению масштаба вейвлет-спектра  $a_{\max} = 64$  для исследуемого АД с повреждением стержней ротора:

$$K_{\Sigma a}^* = \frac{K_{\Sigma a}}{a_{\max}} 100 \%.$$

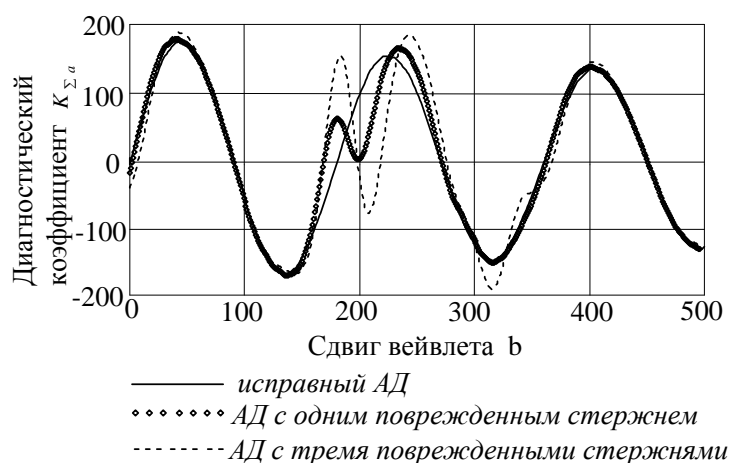


Рисунок 2 – Функции средних значений сумм коэффициентов вейвлет-разложения для области средних частот

Результаты исследования для этапа декомпозиции диагностического коэффициента  $K_{\Sigma a}$  катушечной группы приведены на рис. 3, а. Рассмотрение временных зависимостей на рис. 3, а показало, что диагностический коэффициент  $K_{\Sigma a}$  содержит информационные признаки повреждений, которые «дублируются» из-за суммирования сигналов активных сторон катушки. Следовательно, анализ значений полученного коэффициента не позволяет однозначно определить диагностические признаки повреждений. Поэтому, при декомпозиции коэффициента  $K_{\Sigma a}(t)$  была удалена составляющая, которая описывается затухающей синусоидой. Были получены временные зависимости диагностических коэффициентов  $K_{\Sigma a}$  элементов обмотки статора для АД с повреждением ротора (рис. 3, б).

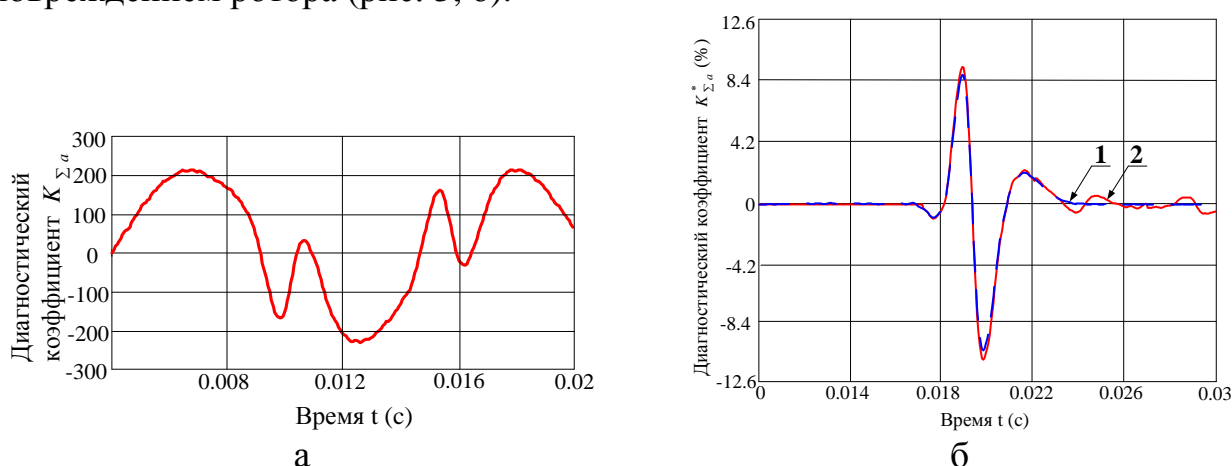


Рисунок 3 – Диагностический коэффициент  $K_{\Sigma a}$  катушки после декомпозиции (а) и для одной активной стороны катушки (б): 1 – расчет по формуле (2) по результатам моделирования поля и анализа вейвлет-спектров сигналов ЭДС элементов обмотки

Как видно из анализа зависимостей (рис. 3, б), использование метода декомпозиции дает удовлетворительные результаты, что подтверждается

высокой степенью совпадения полученных кривых. Кроме того, декомпозиция диагностического коэффициента фазы обмотки позволила определить величину амплитуды всплеска, которая отображает степень повреждения ротора. Так, на рис. 4 показано, что значение коэффициента  $K_{\Sigma a}$  при наличии нескольких поврежденных стержней возрастает пропорционально их количеству.

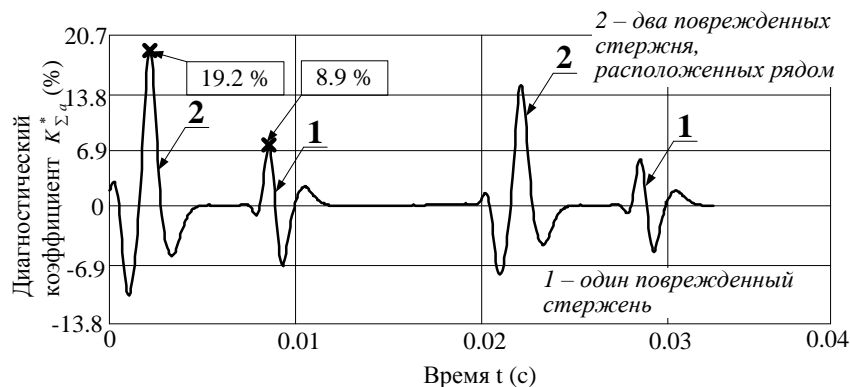


Рисунок 4 – Временная зависимость диагностического коэффициента  $K_{\Sigma a}$  одной активной стороны катушки

Таким образом, удалось уточнить диагностические признаки повреждений, а, следовательно, повысить достоверность диагностики АД в режиме самовыбега.

**Выводы.** Представлен метод декомпозиции диагностического коэффициента  $K_{\Sigma a}$ , который является функцией среднего значения суммы коэффициентов вейвлет-разложения для области средних частот. Адекватность метода подтверждена результатами моделирования поля и анализа вейвлет-спектров сигналов ЭДС элементов обмотки. Применение этого метода позволяет уточнить диагностические признаки повреждений стержней ротора АД и определить степень повреждения.

#### Перечень ссылок

1. M. Zagirnyak, Zh. Romashykhina, A. Kalinov “The diagnostics of induction motors rotor bar breaks based on the analysis of electromotive force in the stator windings”, Electrical engineering & Electromechanics, 2014, no. 6, pp. 34-42.
2. M. Zagirnyak, A. Kalinov, Zh. Romashykhina “Decomposition of electromotive force signal of stator winding in induction motor at diagnostics of the rotor broken bars”, Scientific Bulletin of National Mining University, 2016, no. 4, pp. 54-61.
3. Ch. L. Phillips, J. M. Parr, E. Ann Riskin. Signals, Systems, and Transforms, Prentice Hall, 2008, 774 p.