

Е. А. ЗАВОДЯНСКАЯ, канд. техн. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет МЭИ» (филиал), Российская Федерация, г. Смоленск

E. A. ZAVODYANSKAYA, Candidate of Engineering, Associate professor, lecturer

Federal state budgetary educational institution of higher education “National Research University Moscow Power Engineering Institute”, RF, The branch in Smolensk

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

EFFECTIVE METHODS OF DIAGNOSTICS FOR ASSESSMENT OF INDICATORS RELIABILITY AT ROTOR OF THE ASYNCHRONOUS ENGINE

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы, связанные с анализом условий обеспечения надежной, прежде всего безотказной, эксплуатации основных конструктивных элементов машин с асинхронными двигателями. Для решения задачи рассматриваются современные методы диагностики их технического состояния.

Ключевые слова: ротор асинхронного двигателя, безотказность, аварии и неисправности, методы диагностики, техническое состояние.

Abstract. In this article are related the questions to the analysis of conditions at ensuring reliable (first of all, failure-free state) operation the basic structural elements of machines with asynchronous engines. For solution of this task are considered modern methods of diagnostics of their technical condition.

Keywords: rotor of the asynchronous engine, failure-free state, accident, diagnostics methods, technical state.

Процесс эксплуатации асинхронных двигателей электроустановок сопровождается воздействиями различных аварийных факторов, которые являются источниками проявления отказов и неисправностей эксплуатации (рис. 1) [1].

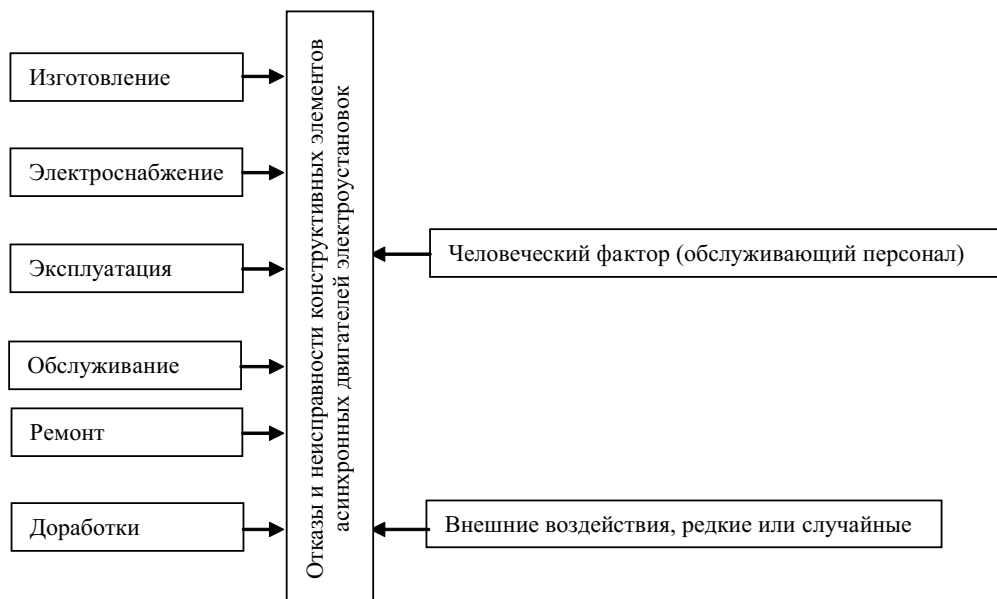


Рис. 1. Структура групп аварийных факторов

Каждый из аварийных факторов (в формате отдельных воздействий или их сочетаний) способен привести к возникновению неисправности (или отказу) основных или вспомогательных конструктивных элементов асинхронного двигателя.

Под отказом (или неисправностью) подразумевается некоторое событие, которое вызывает нарушение установленной работоспособности объекта исследований (конструктивного элемента асинхронного двигателя) или такую потерю его функциональных свойств, которые приводят к несоответствию запроектированным техническим требованиям или установленным правилам эксплуатации [2].

Проявление отказа (неисправности) отображается в перерыве подачи или полной потере напряжения для потребителей электроэнергии в соответствующей системе электроснабжения и необходимости затрат ресурсов для приведения конструктивного элемента в работоспособное состояние (проведение планового или внепланового ремонта, который требуется осуществлять в специализированной мастерской, с привлечением квалифицированного персонала).

Оценка способности технических объектов (включая асинхронные двигатели электроустановок) к безаварийной эксплуатации (эксплуатационной пригодности) производится с учетом количественных показателей комплексного свойства надежности: безотказности, ремонтпригодности, восстанавливаемости, долговечности, сохраняемости, готовности [3].

Показатель безотказности является наиболее значимой характеристикой функционального качества (прежде всего работоспособность) ротора асинхронного двигателя, а обеспечение требуемых значений рассматриваемого показателя надежности осуществляется при помощи следующих основных способов:

резервирования требуемого функционального качества за счет избыточной производительности (мощности) или количественного дублирования функциональных возможностей конструктивных элементов;

защиты функционального качества конструктивных элементов посредством применения специальных устройств и приспособлений, которые никак не использу-

ются в основных процессах по генерации и трансформации электрической энергии;

диагностики параметров технического состояния, определяющих функциональное качество и эксплуатационную эффективность.

Диагностика или неразрушающий инструментальный контроль функционального качества отдельных конструктивных элементов и всего устройства является одним из наиболее эффективных способов обеспечения показателей надежности электрической машины (двигателя, трансформатора, генератора) [4].

Под неразрушающим инструментальным контролем следует понимать такой способ организации диагностики параметров технического и функционального состояния, при котором не нарушается режим и условия эксплуатационной пригодности асинхронного электрического двигателя. Основной особенностью применения методов инструментальных исследований (диагностики) является возможность для объективной оценки корреляционной зависимости влияния изменения значений диагностируемых параметров на формирование опасностей и предпосылок проявления и/или накопления дефектов и повреждений различной физической природы (прежде всего, механических дефектов) [5].

В качестве одного из наиболее распространенных отказов (в формате механических дефектов, возникающих в переходных состояниях и неустановившихся режимах эксплуатации), рассматривается обрыв стержня беличьей клетки, который приводит к формированию асимметрии ротора электрического двигателя. Дефекты данного вида зафиксированы как для рекомендованных режимов, так и для случаев эксплуатации после ремонта электрических двигателей. Своевременное выявление признаков такого вида дефектов у двигателей, находящихся в условиях практической эксплуатации, характеризуется низкой эффективностью (чувствительностью) для значительного количества доступных методов оперативного контроля и практически исключается (вследствие сложности реализации) при производстве плановых осмотров и/или профилактических мероприятий в условиях стендовых (лабораторных) иссле-

дований [6].

Одним из перспективных направлений для проведения неразрушающего инструментального контроля ротора электрического двигателя является применение метода эллиптических составляющих (МЭС). МЭС позволяет осуществлять эффективный анализ технического состояния посредством сравнительного анализа переменных дискретных функций (характеризующихся конечным спектром) и соответствующих им эллиптических волн (как формата наглядно-

го физического отображения).

На рис. 2 представлен пример анализа диагностируемых параметров состояния асинхронного двигателя (с применением МЭС) при отсутствии обрывов стержней, которые приводят к возникновению несимметрии клетки ротора.

На рис. 3 представлены примеры анализа диагностируемых параметров состояния ротора асинхронного двигателя при возникновении нескольких обрывов стержней клетки ротора.

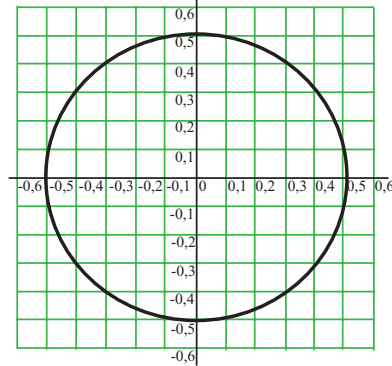
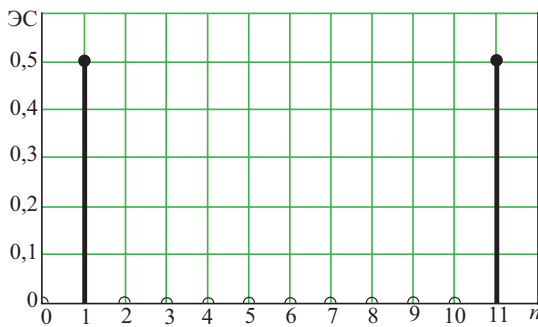


Рис. 2. Представление диагностируемых параметров при отсутствии обрывов стержней клетки ротора: а – спектральная функция; б – траектория изображающего вектора (эллиптической волны)

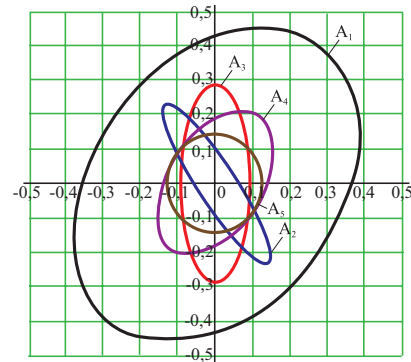
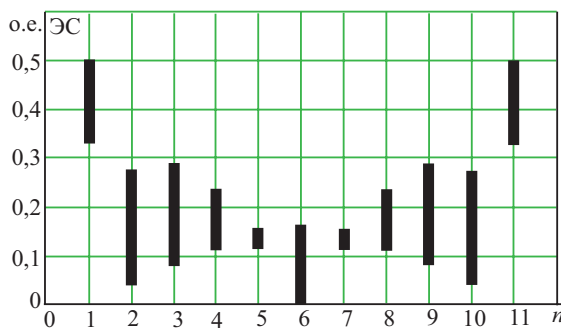


Рис. 3. Представление диагностируемых параметров при возникновении обрывов стержней клетки ротора: а – спектральная функция; б – траектория изображающего вектора (эллиптической волны)

Положения МЭС позволяют осуществлять преобразования диагностируемых параметров с использованием следующих аналитических зависимостей:

для прямого преобразования вида «фазные координаты (ФК) → эллиптические составляющие (ЭС)»:

$$\bar{A}_n = \frac{1}{z} \sum_{m=0}^N a_m \times e^{jmny}; \quad (1)$$

для обратного преобразования вида «эллиптические составляющие (ЭС) → фазные координаты (ФК)»:

$$a_k = \sum_{n=0}^N \bar{A}_n \times e^{-jnk\gamma}. \quad (2)$$

В зависимостях (1) и (2) приняты параметры:

\bar{A}_n – изображающий вектор n -й ЭС;

a_k – ФК изображающего вектора n -й ЭС;

$$n = 0, 1, 2, \dots, N, \quad m = 0, 1, 2, \dots, N$$

$\gamma = \frac{2\pi}{z}$, где N – общее количество принятых к рассмотрению векторов A .

Возможное снижение амплитуды составляющей прямой последовательности главной ЭС определяется аналитической зависимостью вида:

$$\Delta a_{1пр} = \left(1 - \frac{A}{1+C}\right) \cdot 100\%. \quad (3)$$

В зависимости (3) приняты параметры: относительного значения максимума амплитуды главной ЭС:

$$A = \frac{\max a_1}{a_{1сим}}. \quad (4)$$

показателя степени эллиптичности главной ЭС:

$$C = \frac{a_{1обр}}{a_{1пр}}. \quad (5)$$

При помощи аналитических зависимостей (3)...(5) разрабатывается графоаналитическая зависимость снижения амплитуды составляющей прямой последовательности главной ЭС от возможного количества поврежденных стержней. Полученная зависимость позволяет установить допустимые значения показателя безотказности асимметрии ротора электрического двигателя, которые используются для непрерывного неразрушающего контроля работающей электрической машины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорольский В. Я., Таранов М. А. Надежность электроснабжения. – Ростов-на-Дону : Terra Print, 2007. – 128 с.
2. Гольдберг О. Д. Качество и надежность асинхронных двигателей. – М. : Энергия, 1986. – 176 с.
3. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. – М. : Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2016. – 28 с.
4. Смирнов В. И. Функциональная диагностика электрических машин // Датчики и системы. – 2003. – № 6. – С. 30–33.
5. Чернов Д. В. Функциональная диагностика асинхронных электродвигателей в переходных режимах работы: дис. канд. техн. наук: 05.11.01 / Чернов Дмитрий Владимирович. – Ульяновск, 2005. – 129 с.
6. Богуславский И. З., Коровкин Н. В. Неустановившиеся режимы асинхронных машин с несимметричной клеткой // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2015. – № 2. – С. 14–17.
7. Заводянская Е. А., Курилин С. П. Применение метода эллиптических составляющих для анализа асимметричных электрических машин // Тезисы докладов Научно-технической конференции «Электротехника, электромеханика и электротехнологии. Энергетика. Экономика и менеджмент», 20–21 декабря 2001 г. – Смоленск : Том 1. – С. 16–17.

REFERENCE

1. Khorol'skiy V. Ya., Taranov M. A. Nadezhnost' elektrosnabzheniya. – Rostov-na-Donu : Terra Print, 2007. – 128 p.
2. Gol'dberg O. D. Kachestvo i nadezhnost' asinkhronnykh dvigateley. – M. : Energiya, 1986. – 176 p.
3. GOST 27.002–2015. Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya. – M. : Federal'noe agentstvo po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii, 2016. – 28 p.
4. Smirnov V. I. Funktsional'naya diagnostika elektricheskikh mashin // Datchiki i sistemy. – 2003. – № 6. – pp. 30–33.
5. Chernov D. V. Funktsional'naya diagnostika asinkhronnykh elektrodvigateley v perekhodnykh rezhimakh raboty: dis. kand. tekhn. nauk: 05.11.01 / Chernov Dmitriy Vladimirovich. – Ulyanovsk : 2005. – 129 p.
6. Boguslavskiy I. Z., Korovkin N. V. Neustanovivshiesya rezhimy asinkhronnykh mashin s nesimmetrichnoy kletkoy // Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika. – 2015. – № 2. – pp. 14–17.

7. **Zavodyanskaya E. A., Kurilin S. P.** Primenenie metoda elliptichnykh sostavlyayushchikh dlya analiza asimmetrichnykh elektricheskikh mashin // Tezisy dokladov Nauchno–tekhnicheskoy konferentsii «Elektrotekhnika, elektromekhanika i elektrotekhnologii. Energetika. Ekonomika i menedzhment», 20–21 dekabrya 2001 g. – Smolensk : Tom 1. – pp. 16–17.

Заводянская Елена Анатольевна, канд. техн. наук, доцент

Тел. 8-910-781-08-76

E-mail: prosto_dozent@mail.ru

214031, г. Смоленск, ул. Соколовского, д. 14-В, кв. 21