

УДК 621.313.333

**СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ СПЕКТРА МГНОВЕННОЙ МОЩНОСТИ
ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

И. С. Конох

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: kis_saue@mail.ru

Представлен поисковый алгоритм формирования спектра мгновенной мощности на основе нечеткой экспертной системы, позволяющий составить корректные уравнения баланса мощности для определения параметров эквивалентных схем асинхронных двигателей. Приведены особенности программной реализации и схема экспериментального устройства. Исследована работоспособность алгоритма на примере формирования амплитудного спектра для маломощного трансформатора.

Ключевые слова: мгновенная мощность, нечеткая логика.

**СИСТЕМА ФОРМУВАННЯ СПЕКТРУ МИТТЄВОЇ ПОТУЖНОСТІ
ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОНИХ ДВИГУНІВ**

І. С. Конох

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: kis_saue@mail.ru

Представлено пошуковий алгоритм формування спектру миттєвої потужності на основі нечіткої експертної системи, що дозволяє скласти коректні рівняння балансу потужності для визначення параметрів еквівалентних схем асинхронних двигунів. Наведено особливості програмної реалізації та схему експериментального пристрою. Досліджено працездатність алгоритму на прикладі формування амплітудного спектра для малопотужного трансформатора.

Ключові слова: миттєва потужність, нечітка логіка.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Средний ущерб от отказа электродвигателя доходит до нескольких тысяч гривен. В сумму ущерба входят как прямые затраты, связанные с ремонтом и заменой двигателя, так и технологические, связанные с ликвидацией последствий аварий и простоев оборудования. В электрических машинах, прошедших ремонт, меняются практически все параметры, а также снижается нагрузочная способность. Это определяет необходимость комплексных автоматизированных испытаний и формирования нового паспорта машины как фактора, значительно повышающего качество и эксплуатационную надежность отремонтированных электрических машин.

Целесообразно использовать современные энергетические методы диагностики и идентификации параметров схемы замещения и определения нагрузочной способности без статической нагрузки двигателя [1, 2]. В качестве основы этих методов используются уравнения баланса мощностей, описывающих потребление мощности на каждом элементе выбранной схемы замещения, соответствующей исследуемой электрической машине при полигармоническом питании. Из системы уравнений баланса мощности можно определить значения параметров схемы замещения и вычислить реальные паспортные данные машины. Точность идентификации параметров зависит от точности измерения гармоник мощности источника питания, что делает актуальной задачу формирования оптимального спектра мощности.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Для идентификации параметров асинхронных двигателей (АД) и формирования реального паспорта достаточно использовать общепринятую шестиэлементную схему замещения (рис. 1), где коэффициент ν – номер гармоники напряжения. Спектр тока будет содержать значащие гармоники тех же частот.

Для определения активных сопротивлений и индуктивностей схемы замещения (рис. 1) достаточно

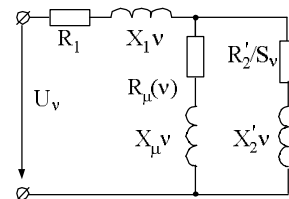


Рисунок 1 – Схема замещения асинхронного двигателя

использовать три гармоники в питающем напряжении и составить систему уравнений энергетического баланса, куда входит шесть гармоник мгновенной мощности, разбитых на косинусные и синусные составляющие [1]. В общем виде баланс мощностей имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{aligned} P_0 &= P_0 R_1 + P_0 R_\mu + P_0 R_2'; \\ \sum_i P_{ia} &= \sum_i P_{ia R_1} + \sum_i P_{ia R_\mu} + \sum_i P_{ia R_2'} + \\ &+ \sum_i P_{ia L_1} + \sum_i P_{ia L_\mu} + \sum_i P_{ia L_2'}; \\ \sum_i P_{ib} &= \sum_i P_{ib R_1} + \sum_i P_{ib R_\mu} + \sum_i P_{ib R_2'} + \\ &+ \sum_i P_{ib L_1} + \sum_i P_{ib L_\mu} + \sum_i P_{ib L_2'}, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где $P_0, P_0 R_1, P_0 R_\mu, P_0 R_2'$ – постоянные составляющие мгновенной мощности источника полигармонического напряжения, активных сопротивлений первичной цепи, контура намагничивания и вторичной цепи соответственно; P_{ia}, P_{ib} – косинусные и синусные составляющие мгновенной мощности источника полигармонического напряжения; $P_{ia R}, P_{ib R}, P_{ia L}, P_{ib L}$ – косинусные и синусные со-

ставляющие мгновенной мощности на активных и индуктивных сопротивлениях первичной цепи, контура намагничивания и вторичной цепи; i – номер гармоники мощности ($i=2, 4, 6, 8, 10$).

Первое уравнение определяет равенство постоянных составляющих мгновенной мощности на источнике и элементах схемы замещения, последующие уравнения – равенство знакопеременных составляющих мгновенной мощности для соответствующих гармоник.

Уравнения энергетического баланса решаются в численном виде относительно неизвестных сопротивлений и индуктивностей, и для обеспечения точности работы метода необходимо сформировать одинаковые и максимально допустимые амплитуды гармоник мощности. Для оценки качества дискретного спектра мощности можно использовать суммарную относительную разность гармоник при максимально допустимом значении действующего тока [3].

Критерий имеет следующий вид:

$$Q = \min \left[\sum_j k_j \frac{|P_j - P_s|}{P_s} + a \frac{|I_d - I|}{I_d} \right], \quad (2)$$

где j – номер гармоники мощности ($j=0, 2, 4, 6, 8, 10$); k_j – весовые коэффициенты гармоник в диапазоне $[0,8;1]$; P_j – текущая амплитуда i -ой гармоники мощности; P_s – средняя мощность гармоники; I_d – допустимый действующий ток; I – текущий действующий ток; a – весовой коэффициент, характеризующий важность контроля значения действующего тока в процессе испытаний.

Средняя мощность гармоники определяется из выражения

$$P_s = \frac{1}{6} P_d, \quad (3)$$

где P_d – максимально допустимая мощность в текущем режиме.

Для асинхронного двигателя может использоваться режим короткого замыкания, позволяющий определить параметры схемы замещения. Питание вращающегося двигателя полигармоническим напряжением позволяет сформировать режим динамического нагружения и определить энергетическим методом его нагрузочную способность.

Как показано в работах [2, 3], эффективным способом автоматического управления спектром мощности является сочетание работы нечеткой экспертной системы, принимающей решения о направлении

изменения амплитуды каждой гармоники напряжения, и логического контроля над соблюдением условий постепенного уменьшения численного значения критерия. При этом выравнивание спектра мощности должно сочетаться с достижением максимально допустимых значений амплитуд. Фазовый сдвиг гармоник напряжения достаточно рассчитать один раз для исследуемого класса машин.

Для экспериментальных исследований качества работы алгоритма автоматического управления было создано устройство (рис. 2), имеющее в качестве силового преобразователя микросхему TDA7052 и трансформатор мощностью до 7 VA как физическую модель АД в режиме короткого замыкания.

В программе, разработанной в среде Labview, реализованы все необходимые управляющие функции. Программа позволяет задать начальные параметры полигармонического напряжения питания, выводить мгновенные значения задающего напряжения на силовой преобразователь, считывать сигналы тока и напряжения в реальном времени, выполнять гармонический анализ мгновенной мощности, записывать весь набор сигналов в файл, визуализировать мгновенные процессы, оптимизировать спектр мощности в соответствии с выдвинутым критерием.

Пример работы программы во время формирования фиксированного спектра мощности показан на рис. 3. Цифрой 1 обозначена группа интерфейсных элементов задания начальных параметров гармоник напряжения питания. Цифрами 2–4 обозначены графики мгновенных сигналов напряжения, тока и мощности. Область 5 соответствует гистограмме амплитуд гармоник мгновенной мощности. Для удобства отображения результатов можно задавать значения масштабирующих коэффициентов. Отличительной особенностью этой программной технологии является возможность точного формирования дискретного спектра мгновенной мощности в реальном времени с фиксацией результатов для последующего анализа. Остальной набор интерфейсных элементов скрыт в программных вкладках.

Для реализации управляющей программы ее порядок работы был описан в виде UML-диаграммы деятельности, обобщенный вид которой приведен на рис. 4. После инициализации и проверки правильности введенных данных программа выполняет циклический алгоритм, включающий измерение токов и напряжений, вычисление сигнала и анализ спектра мгновенной мощности, вычисление управляющего воздействия.

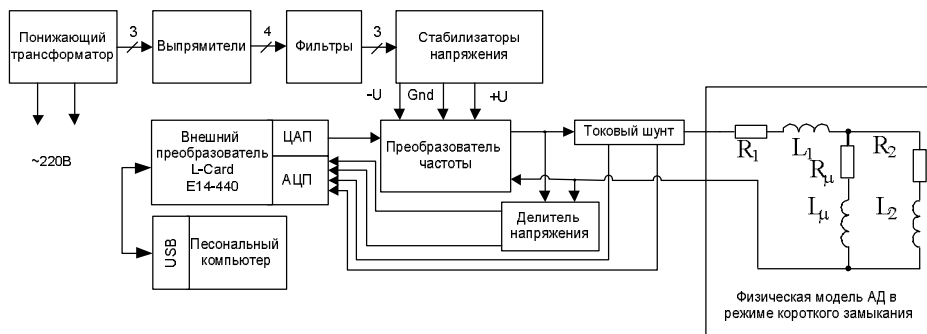


Рисунок 2 – Структурная схема экспериментального устройства

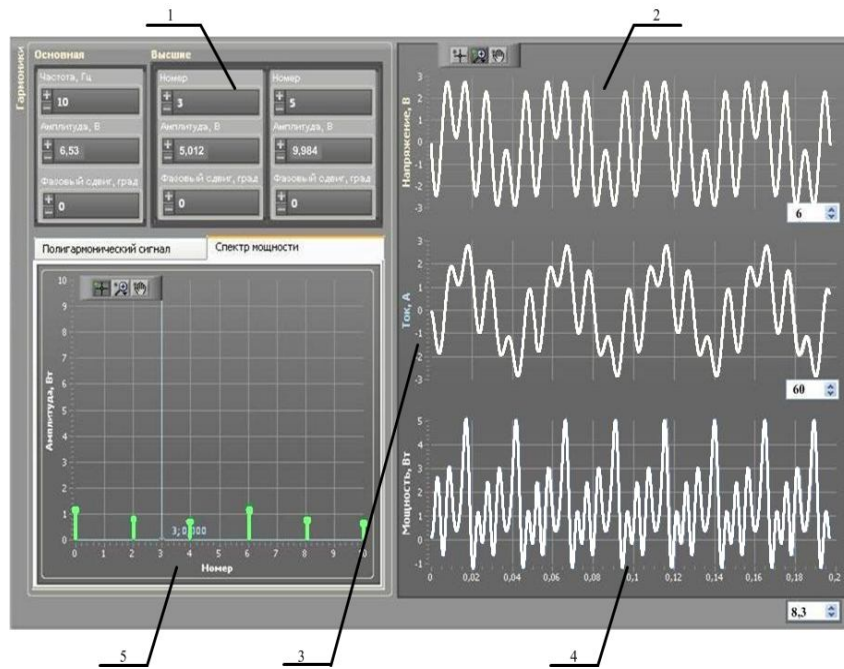


Рисунок 3 – Пример экспериментальных данных формирования спектра мгновенной мощности

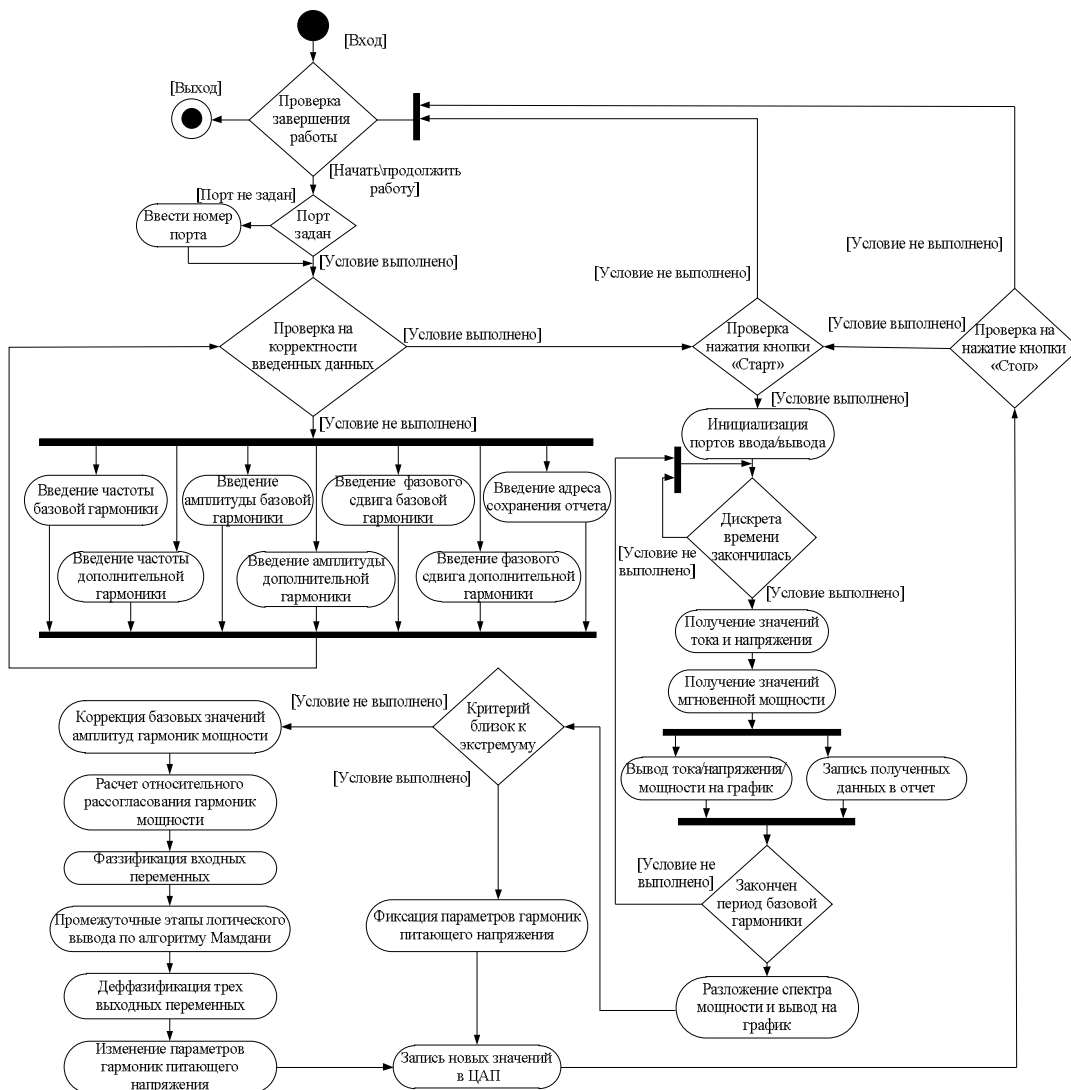


Рисунок 4 – UML-диаграмма деятельности управляющей программы

Поисковый алгоритм автоматического формирования спектра мощности описан в [3]. Основой алгоритма служит нечеткая система логического вывода, содержащая экспертные знания о влиянии каждой гармоники питающего напряжения на амплитуду гармоник мощности. Включение в контур логического управления нечеткого контроллера Мамдани позволяет за конечное число итераций достичь минимума критерия качества с заданной точностью. При этом на вход нечеткой системы поступает относительное рассогласование по каждой гармонике мощности (шесть входных переменных) и определяется направление приращения амплитуды каждой гармоники напряжения (три выходных переменные).

На практике достаточно обеспечить относительную разницу не более 15 %. Для рассмотренного частного случая достигнуто значение критерия около 0,1 относительных единиц. Диаграмма на рис. 5 иллюстрирует динамику поиска экстремума на протяжении 40 циклов. Дальнейшая работа приводит к незначительным колебаниям критерия качества вокруг найденного экстремума.

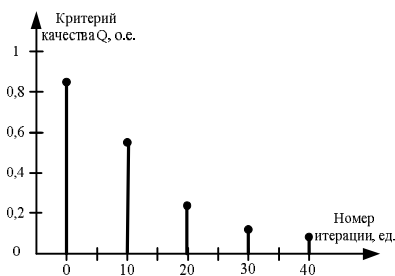


Рисунок 5 – Диаграмма изменения критерия качества при автоматической настройке спектра мощности

ВЫВОДЫ. Метод идентификации параметров электрических машин, базирующийся на полных уравнениях баланса мгновенной мощности, выдвигает

требования к спектру мгновенной мощности, что требует создания специальных систем автоматического управления.

Разработанное программное обеспечение реализует достаточный набор функций для работы метода энергодиагностики:

- работа с быстродействующим модулем ввода-вывода аналоговых сигналов;
- отображение в реальном времени сигналов тока, напряжения и мощности;
- гармонический анализ сигнала мгновенной мощности;
- возможность записи всех сигналов в файл;
- независимое управление амплитудами гармоник напряжения;
- автоматическое формирование задающего полигармонического сигнала с минимизацией критерия качества.

По результатам экспериментов можно сделать вывод, что исследуемый алгоритм автоматического управления работоспособен и обладает свойством сходимости, обеспечивая среднее рассогласование гармоник не более 10 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетический метод идентификации электромеханических устройств и систем / Д.И. Родькин, Ю.В. Ромашихин // Энергетика: международный научно-технический журнал. – Минск: БНТУ, 2011. – № 3. – С. 10–20.
2. Нечеткая система регулирования действующего тока при испытаниях асинхронных двигателей / И.С. Конох, В.М. Смирнов // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 4 (45), Ч. 1. – С. 134–138.
3. Конох И.С. Нечеткая система управления гармоническим составом мощности источника для питания асинхронного двигателя при идентификации его параметров // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 4 (51), Ч. 1. – С. 106–112.

THE SYSTEM FOR INSTANTANEOUS POWER SPECTRUM GENERATING FOR INDUCTION MOTOR IDENTIFICATION

I. Konokh

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyy National University

ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: kis_sau@mail.ru

The search algorithm of instantaneous power spectrum forming by fuzzy expert system was performed. Power budget proper equations used for parameters determining of induction motors equivalent circuit were formed by this algorithm. Software support features and scheme of experimental device were lead. Algorithm efficiency was researched by amplitude spectrum forming example of small-power transformer.

Key words: instantaneous power, fuzzy logic.

REFERENCES

1. Rodkin D.I., Romashihin Y.V. Energy method of electromechanical devices and systems identification // *Energy. International scientific and technical magazine*. – Minsk: BNTU, 2011. – № 3. – PP. 10–20. [in Russian]
2. Konokh I.S., Smirnov V.M. Fuzzy control system of root-mean-square current under induction motor testing // *Transactions of Kremenchuk State Polytechnical University*. – Kremenchuk: KSPU, 2007. – Iss. 4 (45), part 1. – PP. 134–138. [in Russian]
3. Konokh I.S. Fuzzy control system of power harmonic composition for induction motor supply under motor parameters identification // *Transactions of Kremenchuk State Polytechnical University*. – Kremenchuk: KSPU, 2008. – Iss. 4 (51), part 1. – PP. 106–112. [in Russian]

Стаття надійшла 13.07.2012.

Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Перекrestом А.Л.