
**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 621.039

**СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ
ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ АРМАТУРЫ**

© 2015 г. Е.А. Абидова, О.В. Малик, Д.С. Гавриленко

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл.*

В НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ была разработана Система обработки данных, являющаяся инструментом диагностирования электроприводной арматуры. Преимуществами данной системы являются: объединение в одной программе всех методов обработки сигналов, предусмотренных Методикой; возможность включения новых методов и алгоритмов обработки; повышение скорости и надежности получения результатов; автоматизация расчетов.

Ключевые слова: электроприводная арматура, система диагностики, огибающая, частотный анализ, фазово-плоскостной метод, спектр, кепстр.

Поступила в редакцию 15.05.2015

Электроприводная арматура (ЭПА), является наиболее распространенным объектом диагностирования на АЭС. Диагностику выполняет как Отдел технической диагностики АЭС, так и подрядные организации. НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ, выполняющий диагностику ЭПА НВАЭС, КЛНАЭС и БалАЭС, составил Методику диагностирования, утвержденную Концерном «Росэнергоатом».

В основу Методики лег анализ тока двигателя, потребляемого в процессе выполнения операций «открытие» и «закрытие». Анализ тока изначально предполагал использование стандартных методов, таких как выявление токово-временных параметров по огибающей и частотных параметров по спектру. В дальнейшем методика была дополнена новыми методами [1,2].

До недавнего времени обработка диагностических сигналов производилась с использованием разных специализированных и прикладных программ. Например, огибающую получали в программе Smooth или Krona. Спектр в программе PowerGraph или SpektrLab. Сравнение с результатами предыдущего диагностирования Excel или визуально. Такое разнообразие программ снижало наглядность представления результатов, увеличивало время обработки данных. Требовалось создать систему исключаящую данные недостатки и удовлетворяющую основным требованиям, предъявляемым к программному обеспечению:

- Реализация методов диагностирования, предусмотренной Методикой.
- Представление данных, необходимых для диагностирования согласно Методике.
- Наглядность представления результатов.
- Возможность доработки, включения новых методов анализа.
- Скорость получения результатов.
- Простота использования.

Система, отвечающая настоящим требованиям, была разработана в НИИ АЭМ на

основе программного пакета LABVIEW (LV) и включает в себя отдельные четыре блока анализа данных: блок анализа огибающих, блок частотного анализа, блок сравнения, блок фазово-плоскостного анализа.

1 БЛОК АНАЛИЗА ОГИБАЮЩИХ

Огибающую получают для определения токово-временных параметров (рабочий ток, пусковой ток, токи срыва и затыга, плавности хода) и сравнения их с нормативными значениями. Значения параметров зависят от способа получения огибающей. Основными способами получения огибающей диагностических сигналов являются: огибающая «по максимумам», вычисление средне-квадратичного значения (СКЗ), огибающая методом Гильберта.

Наиболее простой способ – соединение максимумов исходной синусоиды. Полученные значения токов на пуске, на рабочем ходе на срыве и затыге точно соответствуют соответствующим значениям в исходном сигнале. Недостаток данного метода в том, что в расчетах используется малое количество точек исследуемого сигнала. Данный алгоритм расценивает любой перегиб на графике, в том числе, не совпадающий с максимумом синусоиды, как одну из точек огибающей, и такая огибающая может содержать искажения.

В огибающей, полученной методом среднеквадратичного значения, каждая точка вычисляется согласно формуле:

$$D = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} |X_i|^2}, \quad (1)$$

где X – отсчеты датчиков,
 n – число отсчетов.

Преимуществом данного способа является то, что в расчете участвуют все точки исследуемого сигнала.

Однако форма огибающей будет существенно зависеть от выбранного числа отсчетов. Критерий выбора числа отсчетов весьма не точен: рекомендуется выбрать число близкое к числу отсчетов сигнала, расположенных на одном полупериоде синусоиды. Несмотря на низкую точность, данный метод получил наибольшее распространение в диагностике.

В качестве преобразования для демодуляции сигнала используется фильтр на основе преобразования Гильберта. Преобразование Гильберта функции $Y_d(t)$ позволяет получить мнимую часть сигнала $\tilde{Y}_d(t)$ (рисунок 4). Для получения мнимой части производится смещение фазы всех периодических компонент сигнала на $\pi/2$:

$$\tilde{Y}_d(t) = H[Y_d(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{Y_d(u)}{\pi(t-u)} du \quad (2)$$

Результат преобразования используется для получения демодулированного сигнала:

$$Y_n(t) = [Y_d^2(t) + \tilde{Y}_d^2(t)]^{1/2} \quad (3)$$

Следует отметить, что огибающая, полученная с использованием фильтра Гильберта, вычисляется на основании всех отсчетов диагностического сигнала, при этом значения токов на пуске, на рабочем ходе на срыве и затыге точно соответствуют

соответствующим значениям в исходном сигнале. Однако данный способ получения огибающей используется реже, чем два предыдущих в силу относительной математической сложности.

Анализ огибающей в Системе предусматривает получение огибающей любым приведенным выше методом по выбору пользователя, при этом автоматически рассчитываются на выбранном участке рабочие токи, плавности хода, экстремумы.

На рисунке 1 показан фрагмент окна огибающих: на верхнем графике огибающая получена методом Гильберта, на нижнем – по максимумам. Видно, что во втором случае рабочий ток и плавность завышены.

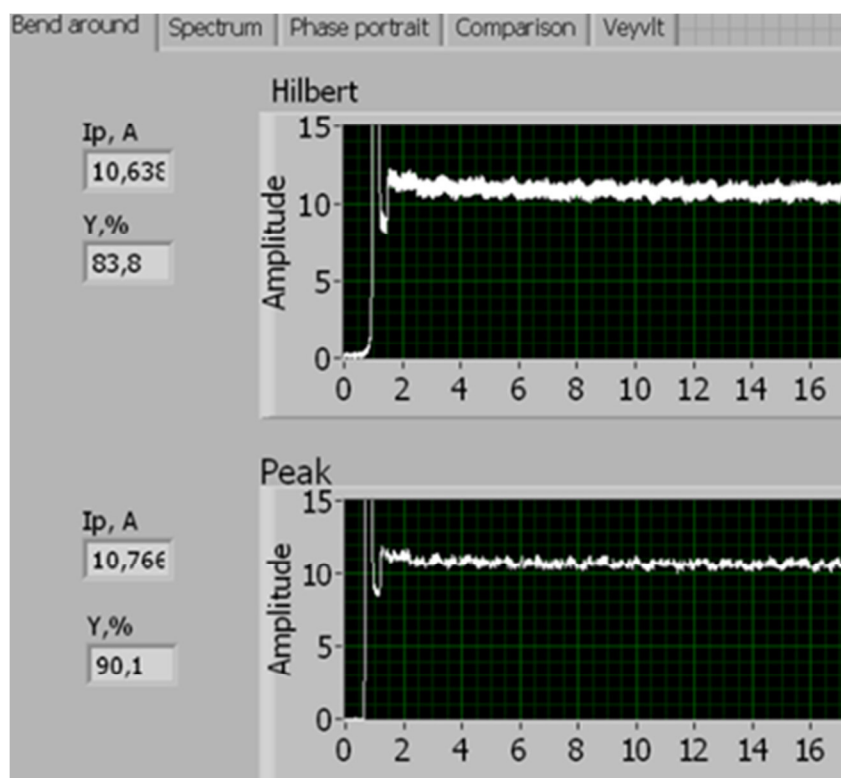


Рис. 1.– Блок анализа огибающих

2 БЛОК – ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ

Для более глубокого диагностирования с помощью Фурье-преобразования получают спектр сигнала и анализируют его частотный состав. При анализе спектров диагностических сигналов определяют принадлежность гармоник, оценивают их амплитуды, учитывая энергетические горбы и общий уровень шума. Во многих случаях обработка спектра диагностического сигнала, содержащего кратные гармоники, требует длительного и вдумчивого анализа или сложных алгоритмов обработки. Для исключения данных недостатков был внедрен новый метод частотного анализа – кепстральный анализ [3].

Суть кепстрального метода основана на замене в спектре оси частоты на ось времени, т.е. представлении этого спектра простым сигналом. Тогда, определив спектр этого "сигнала" можно определить в нем периодичности. Присутствующие в виде исходного спектра периодичности (кратные гармоники) являются гармоническими рядами. Вычисление спектра от спектра исходного сигнала дает возможность представить исходную спектральную информацию более компактно, когда каждый гармонический ряд

исходного спектра будет представлен всего одной (в идеале) составляющей в кепстре.

Идентификация диагностической информации по кепстру аналогична спектральному анализу: наличие и величину пиков на отдельных частотах соотносят с состоянием отдельных пар механизма на основании соответствия частоты проявления пика срабатыванию данных пар.

Многолетняя практика диагностирования показала, что кепстральный анализ – незаменимый инструмент при диагностировании состояния подшипников.

Окно частотного анализа позволяет визуализировать спектр сигнала, спектр огибающей и кепстр, которые рассчитываются на участке заданном пользователем.

На рисунке 1 показан фрагмент окна частотного анализа: на верхнем графике представлен спектр огибающей, на нижнем – кепстр. В кепстре проявилась скрытая периодичность, не выявляемая в исходном спектре, на частотах срабатывания кинематических пар 1 и 8 Гц.

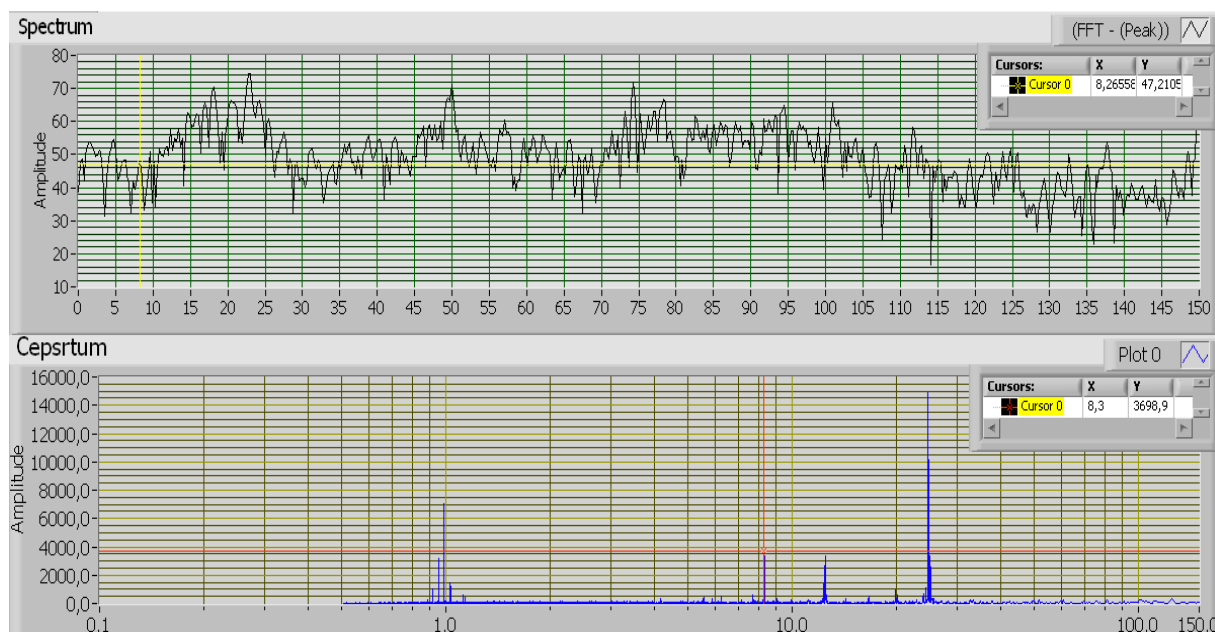


Рис. 2.– Блок частотного анализа

3 БЛОК – СРАВНЕНИЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ПРЕДЫДУЩИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В ряде случаев необходимо установить тенденцию изменения состояния оборудования за определенный период, подтвердить улучшение состояния в результате ремонта, изменить категорию ремонта. Для этого производится сравнение текущих характеристик с полученными ранее.

В базе данных НИИ хранятся результаты измерений и анализа более чем за десять лет, что позволяет определить и тенденцию, и степень изменения объекта диагностирования [2, 3].

На рисунке 3 представлен фрагмент блока сравнения. В двух верхних окнах выводятся огибающие сигнала любого предыдущего измерения и анализируемого сигнала. Наглядным сопоставлением является наложение спектров. В качестве количественного выражения рассчитывается площадь, ограниченная графиками спектров. В приведенном примере продемонстрировано ухудшение состояния оборудования, проявляющееся в искажении формы огибающей (с тридцатой по пятидесятую секунды) и в росте амплитуд в спектре.

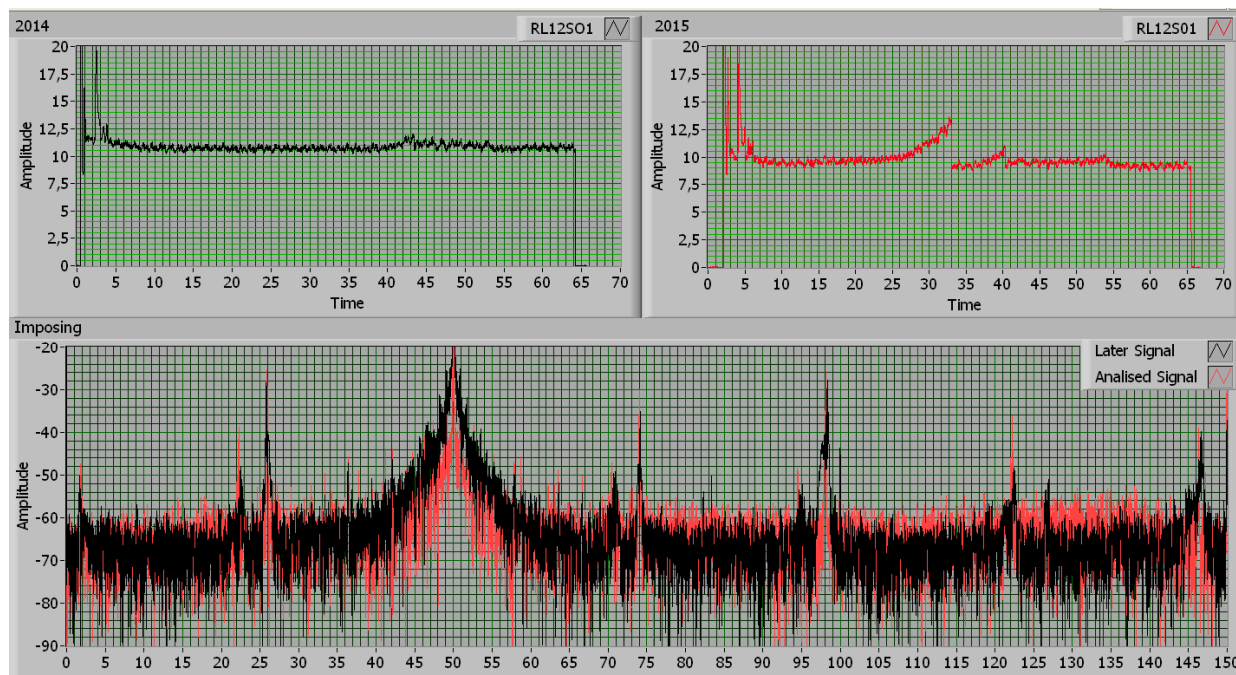


Рис. 3.– Блок сравнения

4 БЛОК ФАЗОВО-ПЛОСКОСТНОГО АНАЛИЗА

Фазово-плоскостной метод (ФПМ) – один из новых методов, внедренный НИИ АЭМ для диагностики ЭПА. Использование ФПМ обеспечило повышение чувствительности диагностирования, благодаря учету фазовых и динамических особенностей в исследуемом сигнале.

Метод основан на комплексном представлении колебаний. Для сигнала временной области (с помощью преобразования Гильберта) рассчитывается его комплексно-сопряженная (мнимая) составляющая. Совокупность действительной и мнимой части – аналитический сигнал: его проекция на комплексную плоскость называется фазовым портретом (ФП). Портрет отображает изменение состояния системы диагностирования за известный промежуток времени, поэтому является динамической характеристикой [4].

Окно позволяет вывести аналитический сигнал и рассмотреть его в различных проекциях. Наибольший интерес представляет проекция аналитического сигнала на комплексную плоскость ФП, который может быть рассчитан на любом участке сигнала.

На рисунке 4 представлен фрагмент блока фазово-плоскостного анализа. В приведенном примере из исходного сигнала вырезается интересующий участок: временная область с 1-ой по 4-ую секунду, частотная – от 1 до 200 Гц. Полученный на данном участке портрет характеризует переходный динамический процесс, протекающий в частично работоспособном оборудовании.

Таким образом, в НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ была разработана Система обработки данных, являющаяся инструментом диагностирования ЭПА и другого электроприводного оборудования. Преимуществами данной системы являются: объединение в одной программе всех методов обработки сигналов, предусмотренных Методикой; повышение скорости и надежности получения результатов; автоматизация расчетов. В ходе дальнейшей работы планируется автоматизировать все расчеты токово-временных параметров и создать окно вейвлет-анализа.

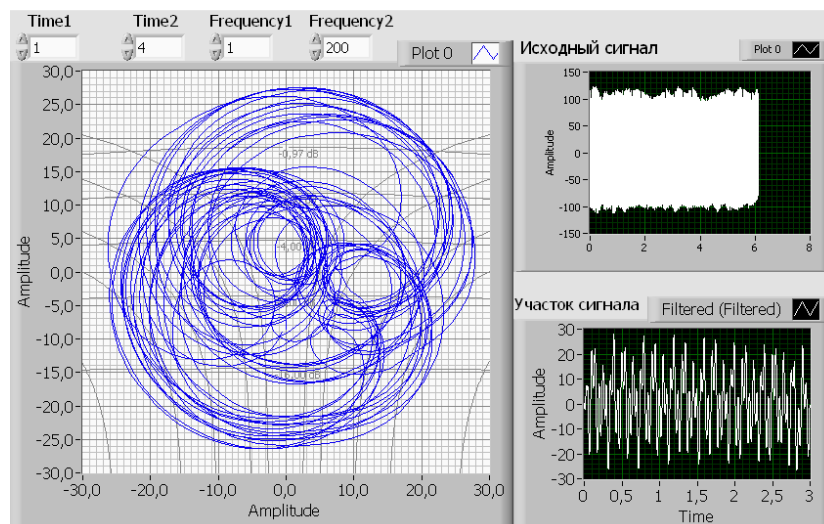


Рис. 4.– Блок фазово-плоскостного анализа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пугачева, О.Ю. и др. Информационное обеспечение ремонтных технологий тепломеханического оборудования АЭС [Текст]/ О.Ю. Пугачева, Н.Н. Подрезов, В.Н. Никифоров//Современные технологии, оборудование, техническое оснащение и подготовка персонала для ремонтных работ в атомной энергетике: материалы конференции. – Нововоронеж, 2013. – С. 87–90.
2. Слепов М.Т. и др. Технологии анализа диагностических параметров электроприводной арматуры на действующих энергоблоках Нововоронежской АЭС [Текст] / М.Т. Слепов, Е.А. Абидова, В.Н. Никифоров, О.Ю. Пугачева // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – №4 – С. 16–22.
3. Василенко С.В. и др. Методическое обеспечение процесса диагностики вращающихся электроприводных механизмов [Текст] / С.В. Василенко, Ю.Н. Елзов, В.Н. Никифоров, О.Ю. Пугачева // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – №4. – С.33–36.
4. Абидова, Е.А. и др. Методы обработки информации в диагностических системах [Текст]/ Е.А. Абидова, А.В. Чернов : Учебное пособие. – Волгоград: ВИТИ НИЯУ МИФИ, 2013. – 72 с.

REFERENCES

- [1] Pugacheva O.Yu., Podrezov N.N., Nikiforov V.N. Informacionnoe obespechenie remontnyx texnologij teplomexanicheskogo oborudovaniya AES [Information support of repair technologies of the heatmechanical equipment of the NPP]. Sovremennye texnologii, oborudovanie, texnicheskoe osnashhenie i podgotovka personala dlya remontnyx rabot v atomnoje'nergetike : materialy konferencii [Modern technologies, the equipment, hardware and preparation of the personnel for repair work in nuclear power: conference materials]. Novovoronezh, 2013, p. 87–90. (in Russian)
- [2] Slepov M.T., Abidova E.A., Nikiforov V.N., Pugacheva O.Yu. Texnologii analiza diagnosticheskix parametrov elektroprivodnoj armatury na dejstvuyushih energobloках Novovoronezhskoj AES [Technologies of the analysis of diagnostic parameters of electrodriving fittings on the operating power units of the New Voronezh NPP]. Elektrotexnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya [Electrotechnical complexes and control systems], 2014, №4, ISSN 1990-5246, p. 16–22. (in Russian)
- [3] Vasilenko S.V., Elzhov Yu.N., Nikiforov V.N., Pugacheva O.Yu. Metodicheskoe obespechenie processa diagnostiki vrashhayushixsya elektroprivodnyx mexanizmov [Methodical ensuring process of diagnostics of the rotating electrodriving mechanisms]. Elektrotexnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya [Electrotechnical complexes and control systems], 2014, №4, ISSN 1990-5246, p. 33–36. (in Russian)
- [4] Abidova E.A., Chernov A.V. Metody obrabotki informacii v diagnosticheskix sistemah [Information processing methods in diagnostic systems]: Uchebnoeposobie [Manual], Volgogradsk. Pub. VITI NIYaU MIFI [VETI NRNU “MEPhI”], 2013, 72 p. (in Russian)

System of Electrodriving Fittings Diagnostic Signals Processing

E.A. Abidova, O.V. Malik, D.S. Gavrilenko

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
e-mail: nii-energomash@mephi.ru*

Abstract – In scientific research institute NPE of VETI NRNU “MEPhI” the System of data processing which is the instrument of diagnosing of electrodriving fittings was developed. Advantages of this system are: association in one program of all methods of processing of the signals provided by the Technique; possibility of inclusion of new methods and algorithms of processing; increase of speed and reliability of receiving results; automation of calculations.

Keywords: the electrodriving fittings, system of diagnostics, envelope, the frequency analysis, phase and plane method, range, cepstrum.