

DOI 10.23859/1994-0637-2017-3-78-1
УДК 53.083.8, 621.398

© Андреев А. Н., Колесниченко Д.А., Колесниченко Н.М., 2017

Андреев Александр Николаевич

Кандидат технических наук, доцент,
Вологодский государственный университет
(Вологда, Россия)
E-mail: aancs@mail.ru

Andreev Aleksandr Nikolaevich

PhD (Engineering), Associate Professor,
Vologda State University (Vologda, Russia)
E-mail: aancs@mail.ru

Колесниченко Дмитрий Александрович

Старший преподаватель кафедры,
Вологодский государственный университет
(Вологда, Россия)
E-mail: dimakolesnichenko@gmail.com

Kolesnichenko Dmitrii Aleksandrovich

Lecturer,
Vologda State University (Vologda, Russia)
E-mail: dimakolesnichenko@gmail.com

Колесниченко Наталья Михайловна

Старший преподаватель кафедры,
Вологодский государственный университет
(Вологда, Россия)
E-mail: tuska35@gmail.com

Kolesnichenko Natalia Michailovna

Lecturer,
Vologda State University (Vologda, Russia)
E-mail: tuska35@gmail.com

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ
МЕХАНИЗМАМИ ЦИКЛИЧЕСКОГО
ДЕЙСТВИЯ С ОРГАНИЗАЦИЕЙ
КАНАЛА ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ
СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ ПРИ
ОБЕСПЕЧЕНИИ РЕЖИМОВ
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**CONTROL SYSTEM OF
EXECUTIVE CYCLIC ACTION
MECHANISMS WITH
ORGANIZATION OF THE
CHANNEL FOR PRIMARY
SIGNALS PROCESSING FROM
SENSORS TO PROVIDE THE
ENERGY SAVING MODES OF
ROLLING PRODUCTION**

Аннотация. В статье рассмотрена система автоматизации, обеспечивающая наряду с функциями управления и режимы энергосбережения, базирующиеся на принципе внутренней рекуперации энергии в частотно-регулируемых электроприводах механизмов циклического действия. Единство информационного пространства, качество принятия решений и даже прогнозирование в предлагаемой системе обеспечивается уровнем достоверности информации, полученной по результатам цифровой обработки сигналов первичных преобразователей физических величин.

Abstract. The article gives a brief overview of an automation system that provides control functions as well as energy saving modes based on the principle of internal energy recovery in frequency-regulated electric drives of mechanisms of cyclic action. The unity of the information space, the quality of decision-making and even the forecast in the proposed system is ensured by the level of reliability of the data obtained from the digital processing of the signals of the primary converters of physical quantities.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, энергоэффективность, рекуперация

Keywords: asynchronous drive, energy efficiency, recuperation of the energy, elec-

энергии, система управления электроприводом, система автоматизации, обработка информации

tric drive control system, automation system, information processing

Введение

Для механизмов циклического действия со значительными по величине приведенными к валу электродвигателя моментами инерции возможно увеличение энергоэффективности за счет применения системы внутренней рекуперации энергии. Снижение энергопотребления такого типа систем с частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами достигается благодаря рекуперации накопленной в инерционных массах кинетической энергии в электрическую. Промежуточным энергетическим буфером в этом случае является конденсатор повышенной емкости или/и аккумуляторная батарея, устанавливаемые в звено постоянного тока преобразователя частоты и обладающие соответствующими частотными свойствами. Накопленная энергия используется в производственном цикле, что уменьшает результирующие потребление электроэнергии из сети. Возможность применения такого способа, а также расчет его эффективности и экспериментальные подтверждения представлены в соответствующих статьях по указанному направлению [1], [2], [3], [4].

Прокатные производства содержат достаточно большое число механизмов циклического действия (рольганги, устройства перемещения, летучие ножницы и др.), оснащенных электроприводами по схеме «преобразователь частоты – асинхронный двигатель», где применение рассматриваемого способа снижает затраты электроэнергии на единицу конечного продукта. Актуальность построения комплексной системы автоматизации, охватывающей все доступные уровни управления, анализа и принятия решений в рассматриваемом случае очевидна как в техническом плане, так и в информационном.

Основная часть

Приняв во внимание, что не менее 50 % современных исполнительных механизмов металлургического производства оснащены частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами, требуется краткая характеристика электромеханических процессов, в них протекающих.

Во-первых, асинхронный двигатель является потребителем реактивной энергии в любых режимах работы, в том числе и в генераторном. Во-вторых, при переходе из двигательного режима в генераторный, который происходит в системах циклического действия при торможениях, необходимо обеспечить подвод реактивной энергии к электрической машине для того, чтобы она не потеряла возбуждение и управляемость, обеспечивающие генерацию энергии при выполнении заданного производственного цикла. Управляемость режимами торможения с заданной интенсивностью обусловлена требованиями технологии. Следовательно, для обеспечения единства информационного пространства достоверные данные о рекуперативном торможении, обеспечивающем энергосбережение, должны передаваться по иерархическим ступеням вплоть до уровня планирования ресурсов предприятия. Пример такой системы представлен на рис. 1.

Информацией, поступающей с технологического уровня в систему управления электроприводами, являются значения текущей скорости, тока, напряжения и момента на валу электродвигателя. Системе управления доступны сведения о текущих технологических данных с датчиков и исполнительных механизмов, необходимые для выполнения технологических операций, обеспечения требований безопасности и др. Величинами, поступающими из систем управления электроприводов в систему

управления механизмом, являются данные, аналогичные информации, поступающей от двигателей с учетом фильтрации, оценки и перехода от мгновенных значений к действующим.

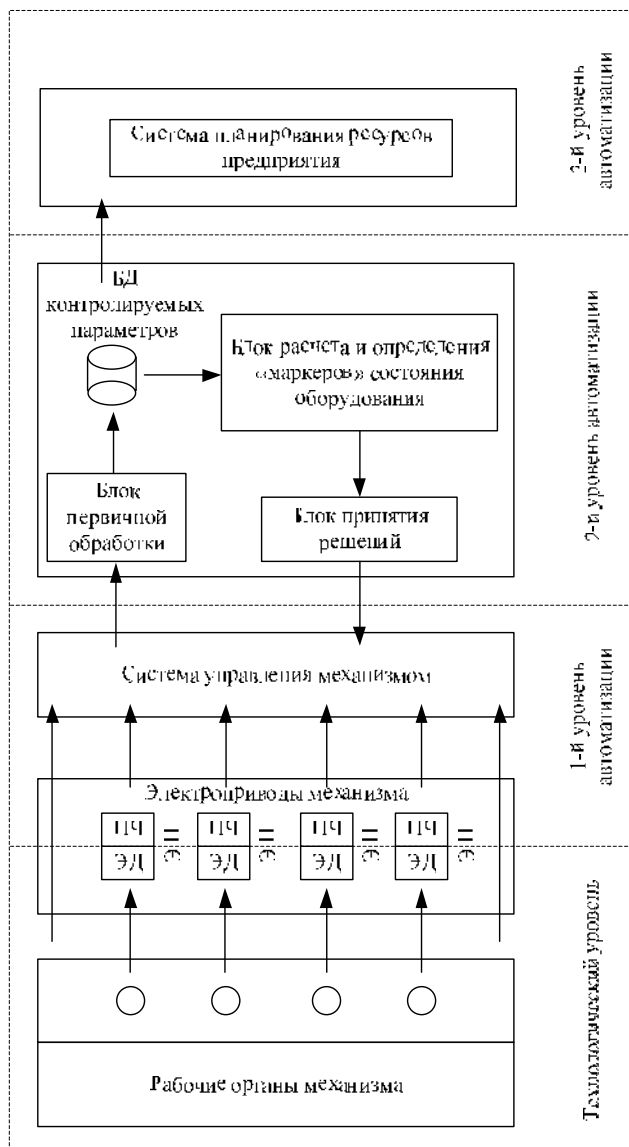


Рис. 1. Система автоматизации предприятия

Приняты следующие сокращения: ЭД – электродвигатель, ПЧ – преобразователь частоты, ЭП – электропривод, БД – база данных

Информация о состоянии приводов, а также другие сведения поступают на следующий уровень автоматизации (рис. 1), где происходит их обработка, сохранение, а также принимается решение о возможности энергосбережения на основе регистра-

ции «маркеров» перехода электроприводов в генераторный режим, что подробно описано в [5].

Текущая информация о технологическом процессе учитывается с целью прогнозирования возможности поддержания генераторного режима и оценки его характеристик, что и обеспечивается блоком принятия решений.

Завершающий анализ и прогнозирование затрат на электроэнергию осуществляется на основе информации в базе данных второго уровня автоматизации, передаваемой в систему планирования ресурсов предприятия.

С учетом озвученного ранее единства информационного пространства при переходе от нижнего уровня вверх прослеживается не критический информационный диссонанс, связанный с тем, что реальные физические величины (токи, напряжения скорости перемещения и т.д.) регистрируются, оцифровываются и сохраняются «как есть» в реальном масштабе времени. Как правило, наряду с полезной информацией в цифровых массивах содержится большое количество артефактов, связанных с помехами в сетях электроснабжения, наводками и помехами от работающего электромеханического оборудования, коммутационными помехами преобразователей частоты и других преобразователей электрической энергии, помехами в каналах передачи данных, неоднозначностями межкодовых переходов при аналого-цифровом преобразовании и др.

Таким образом, вопрос первичной обработки информации в предложенной системе является важнейшим, так как уровнем достоверности информации определяется эффективность дальнейшей работы системы в целом. Наиболее известными из практических способов первичной обработки цифровых сигналов являются: среднеквадратичная оценка мгновенных значений, цифровая фильтрация и дискретное преобразование Фурье.

Среднеквадратичная оценка. Для дискретных сигналов среднеквадратичное значение за период T оценивается по выражению

$$A = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^N a_i^2}.$$

Здесь и в дальнейшем производится оценка мгновенных значений токов и напряжений звена постоянного тока преобразователя частоты, полученных в результате физического эксперимента, проведенного с целью оценки эффективности внутренней рекуперации энергии. Первичные данные получены после регистрации «маркеров» перехода в генераторный режим. Графики среднеквадратичной оценки с малым интервалом расчета представлены на рис. 2.

Кривые среднеквадратичной оценки при малых интервалах расчета являются условно гладкими. Увеличение времени оценки приводит к трансформации условно гладких графиков в кусочно-константный формат. Полученные результаты свидетельствуют, что среднеквадратичные значения однозначно позволяют оценить абсолютные величины потоков энергии, циркулирующих во внутренних контурах преобразователя частоты.

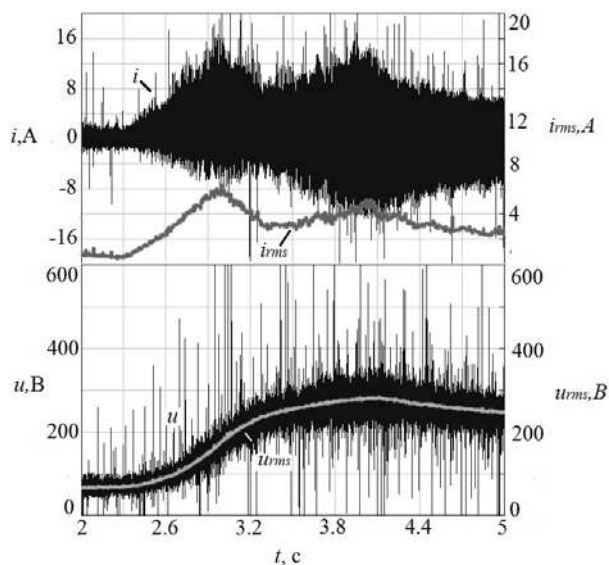


Рис. 2. Исходные и обработанные кривые тока и напряжения

Фильтрация сигналов. Для дискретных сигналов, где h – шаг по времени, T – постоянная времени интегрирования, расчетная формула для i -го значения принимает вид

$$a_i = a_i + \frac{h}{T} \cdot (a_{i+1} - a_i).$$

Результаты фильтрации показаны на рис. 3. При увеличении частоты среза фильтра кривые тока и напряжения имеют существенный фазовый сдвиг относительно исходного значения, что является неприемлемым для дальнейшего использования полученных данных. По знаку отфильтрованного значения тока конденсатора однозначно определяется направление потока энергии, идущего либо в конденсатор, либо исходящего из него.

Весьма эффективным по сравнению с классическим фильтром представляется Вейвлет-фильтр, с помощью которого в [6] представлены результаты обработки электрических сигналов, но в ряде случаев его применение затруднено в силу повышенных требований к вычислительным ресурсам.

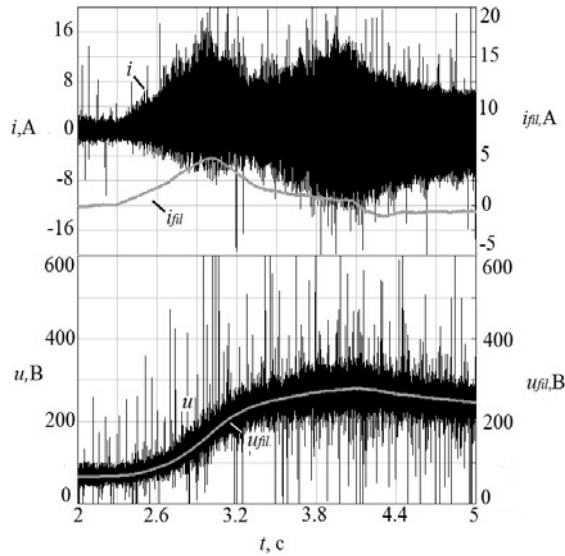


Рис. 3. Исходные и обработанные кривые тока и напряжения

Дискретное преобразование Фурье. Разложение функции в ряд Фурье является мощным инструментом при решении самых разных задач благодаря тому, что ряд Фурье прозрачным образом ведет себя при дифференцировании, интегрировании, сдвиге функции по аргументу и свертке функций. Отдельные гармонические составляющие ряда Фурье при его применении для анализа сигналов датчиков электро-механических систем несут в себе дополнительную информацию о возможных дефектах.

Выражения прямого и обратного преобразования Фурье в дискретном формате выглядят следующим образом:

$$X_p(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_p(n) \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N} n \cdot k} ;$$

$$x_p(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_p(k) \cdot e^{j \frac{2\pi}{N} n \cdot k} .$$

В процессе реализации Фурье-фильтра приравниваются нулю все элементы массива гармонического ряда выше частоты среза, как для положительных, так и для отрицательных значений частот с учетом симметричности ряда. На рис. 4 приведены исходный и отфильтрованный сигналы фазного тока инвертора.

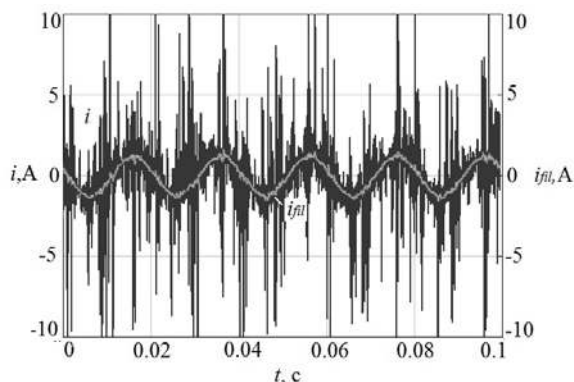


Рис. 4. Графики тока фазы инвертора

Выводы

Таким образом, предлагаемая система управления, базирующаяся на достоверных данных, полученных на основе первичной обработки сигналов датчиков нижнего уровня, может быть использована в системе управления предприятием и значительно снизить энергопотребление. Среднеквадратичная оценка оцифрованных сигналов датчиков электрических величин применительно к электромеханическим системам позволяет оценить абсолютные значения затраченной энергии. Фильтрация того или иного типа позволяет выявить направление потоков энергии. Спектральный анализ на основе дискретного преобразования Фурье обеспечивает не только анализ системы в частотной области, но и несет в амплитудах отдельных гармонических составляющих целый ряд диагностических признаков, свидетельствующих о наличии либо развитии определенных дефектов электромеханической системы. Выбор вариантов частичной либо комплексной интеграции перечисленных ранее методов определяется уровнем решаемых задач, как при синтезе базовых алгоритмов управления, так и для реализации сервисных функций с учетом имеющихся у разработчика вычислительных ресурсов, ориентированных в случае необходимости на работу в реальном масштабе времени.

Литература

1. Андреев А.Н., Несговоров Е.В., Колесниченко Д.А., Королев Т.В. Моделирование режимов внутренней рекуперации энергии в асинхронном электроприводе // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2013. Вып. 4. С. 70–75.
2. Андреев А.Н., Несговоров Е.В., Колесниченко Д.А., Королев Т.В. Оценка эффективности управления внутренней рекуперацией энергии в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе // Системы управления и информационные технологии. 2013. № 1 (51). С. 52–55.
3. Андреев А.Н., Несговоров Е.В., Королев Т.В. Эффективность внутренней рекуперации энергии в частотно-регулируемом асинхронном электроприводе // Вестник Череповецкого государственного университета. 2015. №7 (68). С. 5–8.
4. Андреев А.Н., Колесниченко Д.А. Вариативность методов первичной цифровой обработки сигналов датчиков в асинхронном электроприводе // Системы управления и информационные технологии. 2016. № 4.1 (66). С. 203–206.
5. Andreev A.N., Kolesnichenko D.A., Kolesnichenko N.M. Markers of transition of asynchronous electric drive from motor mode to generator mode // Modern informatization problems in

economics and safety. Proceedings of the XXII-th International Open Science Conference. Editor in Chief O.Ja. Kravets. Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2017. C. 8–12.

6. Andreev A.N., Andreev M.A., Lipilina A.P. Digital filterin of the sensors signals by wavelet analysis methods // Modern informatization problems: Proceedings of the XIX-th International Open Science Conference (Yelm, WA, Usa, January 2014) / Editor in Chief Dr. Sci., Prof. O. Ja. Kravets. Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2014. C. 28–32.

References

1. Andreev A.N., Nesgovorov E.V., Kolesnichenko D.A., Korolev T.V. Modelirovanie rezhi-mov vnutrennei rekuperatsii energii v asinkhronnom elektroprivode [Simulating of modes of internal energy recovery in an asynchronous electric drive]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeti-cheskogo universiteta* [Bulletin of the Ivanovo State Energy University], 2013, vol. 4, pp. 70–75.

2. Andreev A.N., Nesgovorov E.V., Kolesnichenko D.A., Korolev T.V. Otsenka effektivnosti upravleniia vnutrennei rekuperatsiei energii v chastotno-reguliruemom asinkhronnom elektroprivode [Estimation of efficiency of management of internal energy recovery in a frequency-regulated asyn-chronous electric drive]. *Sistemy upravleniia i informatsionnye tekhnologii* [Control Systems and Information Technology], 2013, no. 1 (51), pp. 52–55.

3. Andreev A.N., Nesgovorov E.V., Korolev T.V. Effektivnost' vnutrennei rekuperatsii energii v chastotno-reguliruemom asinkhronnom elektroprivode [Efficiency of internal energy recovery in a frequency-controlled asynchronous electric drive]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo un-iversiteta* [Cherepovets State University Bulletin], 2015, №7 (68), pp. 5–8.

4. Andreev A.N., Kolesnichenko D.A. Variativnost' metodov pervichnoi tsifrovoi obrabotki signalov datchikov v asinkhronnom elektroprivode [Variability of methods of primary digital processing of sensor signals in an asynchronous electric drive]. *Sistemy upravleniia i informatsion-nye tekhnologii* [Control Systems and Information Technology], 2016, № 4.1 (66), pp. 203–206.

5. Andreev A.N., Kolesnichenko D.A., Kolesnichenko N.M. Markers of transition of asyn-chronous electric drive from motor mode to generator mode. *Modern informatization problems in economics and safety. Proceedings of the XXII-th International Open Science Conference. Editor in Chief O.Ja. Kravets.* Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2017, pp. 8–12.

6. Andreev A.N., Andreev M.A., Lipilina A.P. Digital filterin of the sensors signals by wavelet analysis methods. *Modern informatization problems: Proceedings of the XIX-th International Open Science Conference (Yelm, WA, Usa, January 2014); Editor in Chief Dr. Sci., Prof. O. Ja. Kravets.* Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2014, pp. 28–32.

Андреев А.Н., Колесниченко Д.А., Колесниченко Н.М. Система управления исполнитель-ными механизмами циклического действия с организацией канала первичной обработки сиг-налов датчиков при обеспечении режимов энергосбережения прокатного производства // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. №3(78). С. 12–19.

For citation: Andreev A.N., Kolesnichenko D.A., Kolesnichenko N.M. Control system of execu-tive cyclic action mechanisms with organization of the channel for primary signals processing from sensors to provide the energy saving modes of rolling production. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2017, no. 3 (78), pp. 12–19.