

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ (05.09.01)

УДК 621.313.13

DOI: 10.24160/1993-6982-2019-1-50-55

Автоматизация измерения неравномерности магнитной проводимости зубцовой зоны электрических микромашин

А.Е. Малиновский, И.С. Саватеева

Представлена методика измерения неравномерности магнитной проводимости вращающихся трансформаторов, основанная на анализе гармонического состава магнитной проводимости. Для оценки неравномерности магнитной проводимости предложено использовать ее влияние на пространственное изменение положения вектора магнитного потока. Данная методика применима при диагностике работы не только вращающихся трансформаторов и сельсинов, но и других электрических машин переменного тока. Использование предлагаемого способа измерения неравномерности магнитной проводимости сокращает время измерения и обеспечивает получение реального закона изменения магнитной проводимости.

Даны две схемы экспериментальных стендов, позволяющих практически реализовать созданную методику. Описаны структура оборудования и принцип работы стендов. С помощью исследовательского стенда можно получить обширную спектральную характеристику неравномерности магнитной проводимости опытных образцов и выполнять оценку точностных показателей вращающихся трансформаторов и сельсинов. Более простой в технической реализации технологический стенд позволяет осуществлять оперативный контроль неравномерности магнитной проводимости при производстве вращающихся трансформаторов и сельсинов и их периодической проверке.

Приведены экспериментально полученные осциллограммы. По внешнему виду полученного графика можно судить об уровнях оборотных пульсаций, вызванных анизотропией магнитной цепи вращающегося трансформатора, и пульсаций, определяемых неравномерностью магнитной проводимости зубцовой зоны.

Представленная методика позволяет упростить процесс измерения неравномерности магнитной проводимости, визуализировать его и обеспечить автоматизацию технологического контроля при производстве электрических машин.

Ключевые слова: неравномерность магнитной проводимости, спектральный состав магнитной проводимости, метод развертывающего преобразования, уровень оборотных пульсаций, оперативный контроль неравномерности магнитной проводимости, вращающийся трансформатор.

Для цитирования: Малиновский А.Е., Саватеева И.С. Автоматизация измерения неравномерности магнитной проводимости зубцовой зоны электрических микромашин // Вестник МЭИ. 2019. № 1. С. 50—55. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-1-50-55.

Automation of Permeance Nonuniformity Measurements the Teeth Zone in Electrical Micromachines

A.E. Malinovsky, I.S. Savateeva

A technique for measuring the permeance nonuniformity in rotating transformers based on analyzing the harmonic composition of their permeance is presented. For estimating the permeance nonuniformity, it is proposed to use its influence on the spatial change of the magnetic flux vector position. The suggested technique can be used for diagnosing the operation of not only rotating transformers and selsyns, but also other AC electrical machines. The use of the proposed permeance nonuniformity measurement method allows the measurement to be made within a shorter period of time and yields a real permeance variation law.

Two schematic designs of experimental benches for implementing the developed technique are proposed, and the bench equipment structure and bench operation principle are described. By using the experimental bench equipment it is possible to obtain extensive data characterizing spectral nonuniformity of the permeance of prototypes and to estimate the accuracy characteristics of rotating transformers and selsyns. A technological bench made according to a simpler design makes it possible to carry out prompt checks of permeance nonuniformity during manufacture of rotating transformers and selsyns, and in periodically performing their calibration checks.

The experimentally obtained oscillograms are presented. The external appearance of the obtained graph allows a judgment to be made about the level of rotational pulsations caused by the rotating transformer magnetic circuit anisotropy and the level of pulsations determined by the tooth zone permeance nonuniformity.

The use of the proposed technique makes it possible to simplify the permeance nonuniformity measurement process, to visualize it, and to automate technological monitoring of the electrical machinery manufacturing process.

Key words: permeance nonuniformity, permeance spectral composition, unfolding transformation method, rotational pulsation level, prompt permeance nonuniformity checks, rotating transformer.

For citation: Malinovsky A.E., Savateeva I.S. Automation of Permeance Nonuniformity Measurements the Teeth Zone in Electrical Micromachines. MPEI Vestnik. 2019;1:50—55. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2019-1-50-55.

Датчикам, являющимся основными элементами преобразования механических величин в электрические сигналы, посвящено достаточно большое количество научных работ [1 — 7]. Это указывает на то, что интерес к подобным устройствам не ослабевает. Электрические микромашины переменного тока, используемые в качестве датчиков механических координат, прочно удерживают лидирующее положение по помехоустойчивости и надежности в эксплуатации. Значительное внимание уделяется совершенствованию их характеристик, от качества которых в большой степени зависят возможности и надежность систем автоматики в целом [8—11].

В процессе производства вращающихся трансформаторов (ВТ) и сельсинов особенно актуален оперативный контроль неравномерности магнитной проводимости (НМП), так как ее предельная величина определяет точностные показатели угловых положений ротора [12, 13].

Информация о неравномерности магнитной проводимости при производстве асинхронных и синхронных машин определяет шумовые показатели машин, в связи с чем необходимы как показатели предельной неравномерности магнитной проводимости, так и ее спектральный состав [14].

Процесс измерения НМП ряда типов электрических машин можно упростить и автоматизировать, сделать визуализированным, если использовать влияние НМП на пространственное изменение положения вектора магнитного потока. Так, создав в многофазной машине неподвижное в пространстве статорных координат магнитное поле, запитав одну из статорных обмоток постоянным током и приведя во вращение ротор электрической машины, получим пространственное изменение положения вектора магнитного потока обмотки статора, обусловленное НМП, создаваемым ротором.

В случае отсутствия зубцовых зон статора и ротора, а также равномерной магнитной проводимости статорной цепи частотный спектр изменения НМП будет содержать оборотные гармонические составляющие, обусловленные лишь изменением амплитуды вектора магнитного потока (эллиптичностью ротора, анизотропией магнитной проводимости ротора).

При НМП роторной и статорной цепей, обусловленных теми же причинами, кроме изменения амплитуды

вектора магнитного потока произойдет и его пространственное угловое перемещение, обусловленное изменением пространственного положения вектора магнитной проводимости. При этом фазовые значения гармонических составляющих относительно положения ротора определяются теми же показателями НМП статорной цепи.

При наличии зубчатости статора и ротора положение вектора потока статора меняется как по амплитуде, так и по положению, в соответствии с изменением положения вектора магнитной проводимости, обусловленным взаимным расположением зубцовых зон.

Для упрощения автоматизации процесса измерения НМП предлагаем использовать следующую систему измерения.

В электрических машинах с несколькими обмотками на статоре при наличии НМП между двумя произвольно расположенными обмотками статора n и m (рис. 1), возникает взаимоиндуктивность, зависящая от величины НМП [15].

Поскольку магнитная проводимость λ в направлении произвольной оси A , определяемой углом γ , является функцией, зависящей от угла поворота ротора θ , то ее разложение в ряд Фурье имеет следующий вид:

$$\lambda = \lambda_0 + \sum_1^n \lambda_i \sin(2i\theta + 2\gamma i + \varphi_i),$$

где i — номер гармоники спектра НМП.

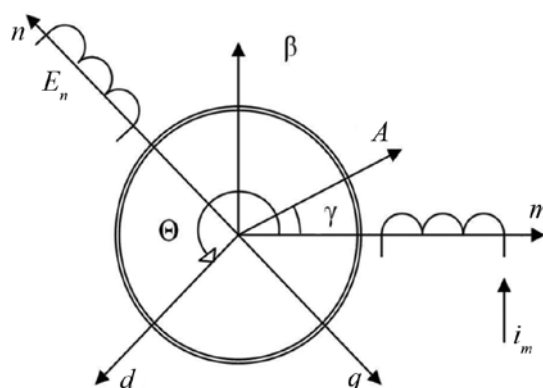


Рис. 1. Диаграмма расположения осей исследуемой машины

В связи с тем, что значение магнитной проводимости не зависит от направления магнитного потока и повторяется дважды в течение оборота ротора, частотный диапазон гармонического состава проводимости удваивается.

Составляющая

$$\Delta\lambda_A = \sum_1^n \lambda_i \sin(2i\Theta + 2\gamma_i + \varphi_i)$$

определяет изменение магнитной проводимости в произвольном направлении A . В направлении оси обмотки m ($\gamma = 0$) изменение магнитной проводимости, обусловленное сменой угла поворота ротора θ , соответствует выражению

$$\Delta\lambda_m = \sum_1^n \lambda_i \sin(2i\Theta + \varphi_i),$$

а в направлении оси β , перпендикулярном оси m ($\gamma = \pi/2$), — выражению:

$$\Delta\lambda_\beta = \sum_1^n \pm \lambda_i \sin(2i\Theta + \varphi_i)$$

Для определения изменения магнитной проводимости относительно оси обмотки m , приняв ее за действительную ось, а ось β — за мнимую, представим изменение магнитной проводимости в комплексном виде:

$$\Delta\dot{\lambda}_m = \sum_1^n (\lambda_i \pm j\lambda_i) \sin(2i\Theta + \varphi_i).$$

При вращении ротора с постоянной частотой комплексная магнитная проводимость меняется во времени следующим образом:

$$\Delta\dot{\lambda}_m = \sum_1^n (\lambda_i \pm j\lambda_i) \sin(2i\omega t + \varphi_i).$$

Изменение НМП в электрический сигнал преобразуется путем питания обмотки статора, расположенной по оси m , от источника постоянного тока. Величина тока i_m равна амплитудному значению тока в номинальном режиме работы. В этом случае в направлении оси m (рис. 2) создается магнитный поток Φ_m :

$$\dot{\Phi}_m = N_m i_m \dot{\lambda}_m = N_m i_m (\lambda_0 + \Delta\dot{\lambda}_m),$$

где N_m — число витков обмотки по оси m .

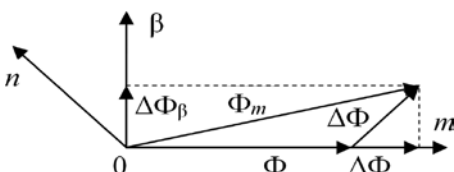


Рис. 2. Диаграмма возникновения пульсирующего потока при НМП

При равномерном вращении ротора данный магнитный поток представлен суммой неподвижного магнитного потока, совпадающего по направлению с осью m

$$\Phi_0 = N_m i_m \lambda_0,$$

и дополнительных магнитных потоков

$$\Delta\Phi_m = N_m i_m \Delta\lambda_m; \quad \Delta\Phi_\beta = N_m i_m \Delta\lambda_\beta,$$

направленных по осям m и β , пульсирующих с частотой, определяемой частотой вращения ротора и номером гармоники изменения магнитной проводимости.

Из диаграммы рис. 2 видно, что в случае НМП появляется изменяющееся во времени потокосцепление между обмотками m и n :

$$\dot{\Psi}_{nm} = N_m N_n i_m \dot{\lambda}_m,$$

где N_n — число витков обмотки n .

Соответственно, ЭДС, созданная этим потокосцеплением, равна

$$\begin{aligned} \dot{E} &= -\frac{d}{dt} \dot{\Psi}_{nm} = \\ &= -N_m N_n i_m \sum_1^n (\lambda_i \pm j\lambda_i) 2i\omega \cos(2i\omega t + \varphi_i). \end{aligned}$$

В случае, когда обмотка n расположена по оси β (для СКВТ, двухфазных двигателей и т. д.) и воспринимает изменение потокосцепления по этой оси

$$E_n = -N_m N_n i_m \sum_1^n \pm \lambda_i 2i\omega \cos(2i\omega t + \varphi_i). \quad (1)$$

Если обмотка n находится относительно оси m под углом α , то

$$E_n = -N_m N_n i_m \sum_1^n \pm \lambda_i 2i\omega \cos(2i\omega t + \varphi_i + 2\alpha). \quad (2)$$

Полученные зависимости E_n показывают, что при N_m, N_n, i_m и ω — постоянных величинах, их спектральный состав определяется только НМП, в связи с чем по ним можно судить о величинах и спектральном составе магнитной проводимости.

Следует отметить, что при определении НМП ротор электрической машины не должен содержать короткозамкнутых обмоток. Если машина имеет короткозамкнутые вторичные обмотки, то опыт необходимо проводить на промежуточном технологическом этапе.

В зависимости от технологического назначения стендовое оборудование имеет различные структуры. Для исследовательских целей наиболее предпочтительна методика определения гармонического состава НМП, основанная на измерении ЭДС (1), (2) в течение оборота ротора машины с дальнейшим разложением в ряды Фурье.

Для оперативного технологического контроля желательно применение стендового оборудования с про-

стым визуальным интерфейсом, определяющим выход значения НМП за заданные показатели.

Структура стенда, предназначенного для исследования НМП, изображена на рис. 3. Тестируемая машина приводится во вращение электроприводом, на валу которого установлен датчик углового положения (энкодер). Управление работой стенда осуществляется контроллером, реализующим функции задания и стабилизации частоты вращения вала электропривода, аналого-цифрового преобразования ЭДС, выполнения выборок ЭДС на обороте вала машины, создания таблицы выборок ЭДС, разложения ЭДС в ряды Фурье и передачи полученной информации в персональный компьютер для визуального отображения и создания отчетных форм.

Частоту вращения электропривода определяют путем подсчета количества импульсов углового положения вала энкодера на фиксированном интервале времени и сравнения с заданным количеством импульсов. Для поддержания частоты вращения электропривода на заданном уровне программно реализована астатическая система регулирования. При достижении заданной частоты вращения и поддержании ее в течение контрольного времени, измеряется НМП.

Сигналы нулевой отметки углового положения вала энкодера, определяющие оборот вала машины, поступают на вход внешнего прерывания, определяющего начало и окончание процесса измерения НМП. На другой вход внешнего прерывания, идентифицирующего выборки ЭДС, поступает одна из импульсных последовательностей текущего углового положения вала энкодера. Количество выборок соответствует разрешающей способности энкодера. По окончании оборота

вала созданная таблица выборок ЭДС обрабатывается программой преобразования Фурье, результатом которой является таблица-спектрограмма.

При производстве ВТ и сельсинов желателен оперативный контроль НМП, который может выполняться конструктивно более простым стендом, структура которого представлена на рис. 4.

В основу принципа работы стенда положен метод развертывающего преобразования, заключающийся в изменении частоты вращения испытуемой машины и выделении с помощью избирательного усилителя из наведенной ЭДС (1), (2) амплитуды текущей гармоники. Линейно частота вращения ротора ВТ меняется задатчиком интенсивности, выходное напряжение которого поступает на вход «х» осциллографа, тем самым отображая текущую частоту вращения вала ВТ.

Обмотка α ВТ запитывается от источника постоянного тока, создающего поток, не превышающий номинальных значений, а ЭДС, определяющая НМП, снимается с обмотки β . Если частота вращения ротора испытуемой машины равны ω_k , а резонансная частота избирательного усилителя — Ω , то избирательным усилителем выделяется амплитуда i -й гармоники $i = \Omega/2\omega_k$. Амплитуда i -й гармоники детектируется и поступает на вход «у» осциллографа, где отображается спектрограмма НМП.

При производстве серийной продукции стенд технологического контроля можно упростить. Поскольку спектральный состав ЭДС определяется конструктивными показателями и в серийной продукции достаточно детерминирован, то достаточно контролировать выход за заданные пределы значения ЭДС, обусловленной НМП.

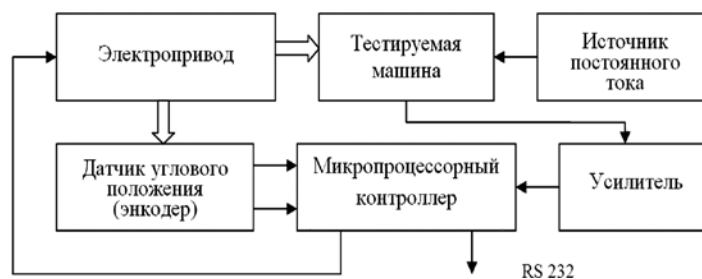


Рис. 3. Структура исследовательского стенда НМП

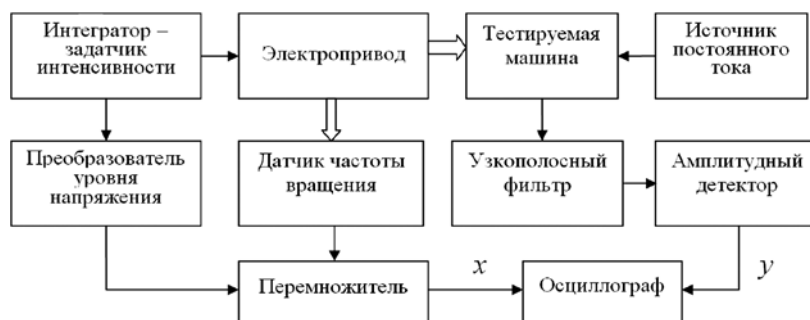


Рис. 4. Структура технологического стенда определения НМП

Для этого достаточно выполнить вращение вала ВТ с фиксированной частотой, на валу привода установить импульсный датчик оборота вала, выход которого подать на вход запуска ждущего режима работы осциллографа, запитать одну из обмоток ВТ постоянным током, а ЭДС второй обмотки подать на вход «у». На экране осциллографа визуальным образом отобразится картина НМП (рис. 5). Для отбраковки продукции достаточно выхода пульсаций ЭДС за рамки допустимого коридора.

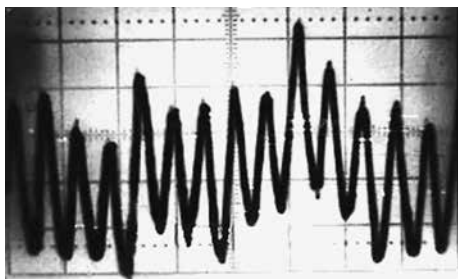


Рис. 5. Осциллограмма НМП ВТ типа ВТ5

По внешнему виду получаемого графика легко судить об уровне оборотных пульсаций, вызванных анизотропией магнитной цепи ВТ, и уровне пульсаций, определяемых неравномерностью магнитной проводимости зубцовой зоны.

Исследования точностных показателей ВТ данными методами можно значительно углубить, осуществив,

Литература

1. Смирнов Ю.С., Козина Т.А., Серебряков П.Б. Аналогово-цифровые преобразователи составляющих перемещения на основе электромеханических первичных преобразователей // Измерительная техника. 2013. № 9. С. 40—43.
2. Новиков В.Ю., Прилуцкий И.С. Перспективы развития микромеханических и наномеханических устройств // Электронные средства и системы управления. 2010. № 2. С. 109—113.
3. Доросинский А.Ю., Винчаков А.Н., Недорезов В.Г. Особенности разработки автоматизированных информационно-измерительных систем контроля параметров АЦП сигналов вращающегося трансформатора // Надежность и качество: Труды Междунар. симп. 2015. Т. 2. С. 63—66.
4. Szymczak J., O'Meara Sh., Gealon J., De La Rama C. Precision Resolver-to-digital Converter Measures Angular Position and Velocity // Analog Dialogue. 2014. Pp. 1—6.
5. Балковой А.П., Юрасова Е.В., Смирнов Ю.С. Преобразователи «угол — параметр — код» с арктангенсным функциональным преобразованием // Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2016. Т. 16. № 3. С. 83—92.
6. Сафронов В.В. Теория и практика использования энкодеров на основе синусно-косинусного вра-

с целью определения расхождения коэффициентов трансформации, опыты с закороченными роторными обмотками ВТ, а также проводя опыты с поочередным питанием всех обмоток ВТ.

На рис. 6 показано увеличение оборотных пульсаций, вызванных неравномерностью коэффициентов трансформации с роторными обмотками.

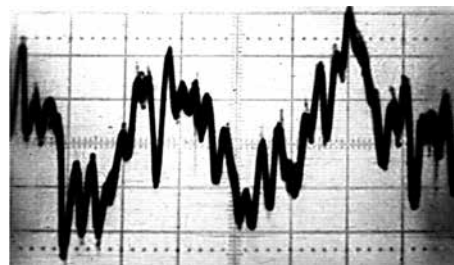


Рис. 6. Осциллограмма НМП ВТ5 с нагруженными на 1 кОм обмотками ротора

При работе с опытными образцами ВТ в процессе проектирования предпочтителен исследовательский стенд, с помощью которого можно получить обширную спектральную характеристику НМП. При периодической поверке ВТ — более простой в технической реализации технологический стенд, а для оперативного контроля — привод постоянной частоты вала ВТ, источник тока для питания обмотки ВТ и осциллограф.

References

1. Smirnov Yu.S., Kozina T.A., Serebryakov P.B. Analogovo-tsifrovye Preobrazovateli Sostavlyayushchikh Peremeshcheniya na Osnove Elektromekhanicheskikh Pervichnykh Preobrazovateley. Izmeritel'naya Tekhnika. 2013;9:40—43. (in Russian).
2. Novikov V.Yu., Prilutskiy I.S. Perspektivy Razvitiya Mikromekhanicheskikh i Nanomekhanicheskikh Ustroystv. Elektronnye Sredstva i Sistemy Upravleniya. 2010;2:109—113. (in Russian).
3. Dorosinskiy A.Yu., Vinchakov A.N., Nedorezov V.G. Osobennosti Razrabotki Avtomatizirovannykh Informatsionno-izmeritel'nykh Sistem Kontrolya Parametrov ATSP Signalov Vrashchayushchegosya Transformatora. Nadezhnost' i Kachestvo: Trudy Mezhdunar. Simp. 2015;2:63—66. (in Russian).
4. Szymczak J., O'Meara Sh., Gealon J., De La Rama C. Precision Resolver-to-digital Converter Measures Angular Position and Velocity. Analog Dialogue. 2014: 1—6.
5. Balkovoy A.P., Yurasova E.V., Smirnov Yu.S. Preobrazovateli «Ugol — Parametr — Kod» s Arktangensnym Funktsional'nym Preobrazovaniem. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo Gos. Un-ta. Seriya «Komp'yuternye Tekhnologii, Upravlenie, Radioelektronika». 2016;16;3: 83—92. (in Russian).
6. Safronov V.V. Teoriya i Praktika Ispol'zovaniya Enkoderov na Osnove Sinusno-kosinusnogo Vrashchayu-

щающегося трансформатора // Компоненты и технологии. 2014. № 4. С. 28—30.

7. **Смирнов Ю.С., Сафронов В.В., Юрасова Е.В., Соколов А.В.** Пути повышения эффективности преобразователей «угол — параметр — код» // Информационные технологии в управлении: Материалы IX конф. по проблемам управления. СПб., 2016. С. 611—619.

8. **Доросинский А.Ю., Торгашин С.И., Юрков Н.К.** Классификация точностных характеристик и параметров аналого-цифрового преобразования сигналов вращающегося трансформатора // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. 2011. № 1. С. 268—271.

9. **Яковлев А.В., Шелест Д.К., Канышева О.П., Прибыткин П.А.** Методы обеспечения точности и контроль параметров аналого-цифрового преобразования «угол — параметр — код» // Технологии приборостроения. 2005. № 2. С. 1—9.

10. **Смирнов Ю.С., Юрасова Е.В., Вставская Е.В., Никитин И.С.** Специфика применения синусно-косинусных датчиков // Информационные технологии в управлении: Материалы конф. СПб., 2014. С. 720—728.

11. **Гречина Ю.В., Куликов О.О.** Современное состояние и проблемы обеспечения производства преобразователей «угол — параметр — код» // Интеллектуальные информационные технологии: Труды Международ. науч.-практ. молодежной конф. Пенза: Наука и просвещение, 2016. С. 70—76.

12. **Беспалов В.Я., Захаренко А.Б.** Датчики электрических и неэлектрических величин электромеханических устройств. М.: Издат. дом МЭИ, 2012.

13. **Богданов В.И., Тазов Г.В., Хрущев В.В.** Критерий точности работы поворотных трансформаторов // Электричество. 1984. № 1. С. 55—56.

14. **Кривенков В.В.** Автоматический контроль и поверка преобразователей угловых и линейных величин. Л.: Машиностроение, 1986.

15. **Конюхов Н.Е. и др.** Электромагнитные датчики механических величин. М.: Машиностроение, 1987.

shchegosya Transformatora. Komponenty i Tekhnologii. 2014;4:28—30. (in Russian).

7. **Smirnov Yu.S., Safronov V.V., Yurasova E.V., Sokolov A.V.** Puti Povysheniya Effektivnosti Preobrazovateley «Ugol — Parametr — Kod». Informatsionnye Tekhnologii v Upravlenii: Materialy IX Konf. po Problemam Upravleniya. SPb., 2016:611—619. (in Russian).

8. **Dorosinskiy A.Yu., Torgashin S.I., Yurkov N.K.** Klassifikatsiya Tochnostnykh Kharakteristik i Parametrov Analogo-tsifrovogo Preobrazovaniya Signalov Vrashchayushchegosya Transformatora. Innovatsii na Osnove Informatsionnykh i Kommunikatsionnykh Tekhnologiy. 2011;1:268—271. (in Russian).

9. **Yakovlev A.V., Shelest D.K., Kanysheva O.P., Pribytkin P.A.** Metody Obespecheniya Tochnosti i Kontrol' Parametrov Analogo-tsifrovogo Preobrazovaniya «Ugol — Parametr — Kod». Tekhnologii Priborostroeniya. 2005;2:1—9. (in Russian).

10. **Smirnov Yu.S., Yurasova E.V., Vstavskaya E.V., Nikitin I.S.** Spetsifika Primeneniya Sinusno-kosinusnykh Datchikov. Informatsionnye Tekhnologii v Upravlenii: Materialy Konf. SPb., 2014:720—728. (in Russian).

11. **Grechina Yu.V., Kulikov O.O.** Sovremennoe Sostoyanie i Problemy Obespecheniya Proizvodstva Preobrazovateley «Ugol — Parametr — Kod». Intellektual'nye Informatsionnye Tekhnologii: Trudy Mezhdunar. Nauch.-prakt. Molodezhnoy Konf. Penza: Nauka i Prosveshchenie, 2016:70—76. (in Russian).

12. **Bespalov V.Ya., Zakharenko A.B.** Datchiki Elektricheskikh i Neelektricheskikh Velichin Elektromekhanicheskikh Ustroystv. M.: Izdat. dom MEI, 2012. (in Russian).

13. **Bogdanov V.I., Tazov G.V., Khrushchev V.V.** Kriteriy Tochnosti Raboty Povоротnykh Transformatorov. Elektrichestvo. 1984;1:55—56. (in Russian).

14. **Krivenkov V.V.** Avtomaticheskii Kontrol' i Poverka Preobrazovateley Uglovykh i Lineynykh Velichin. L.: Mashinostroenie, 1986. (in Russian).

15. **Konyukhov N.E. i dr.** Elektromagnitnye Datchiki Mekhanicheskikh Velichin. M.: Mashinostroenie, 1987. (in Russian).

Сведения об авторах:

Малиновский Александр Евгеньевич — доктор технических наук, профессор кафедры электромеханических систем Смоленского филиала НИУ «МЭИ», e-mail: mae@itc-promix.ru

Саватеева Ирина Сергеевна — кандидат технических наук, доцент кафедры электромеханических систем Смоленского филиала НИУ «МЭИ», e-mail: 3633056@gmail.com

Information about authors:

Malinovskiy Aleksandr E. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Electromechanical Systems Dept., Branch of NRU MPEI in Smolensk, e-mail: mae@itc-promix.ru

Savateeva Irina S. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Electromechanical Systems Dept., Branch of NRU MPEI in Smolensk, e-mail: 3633056@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 01.02.2018

The article received to the editor: 01.02.2018