

УДК 621.313.8:629.73

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В КАЧЕСТВЕ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Вяткина Е.А., Люtareвич А.Г., Пугачева Е.А., Тевс В.В.

Омский государственный технический университет, Омск, e-mail: Elena_11_95@mail.ru

Внедрение современных технологий в различных отраслях народного хозяйства, а также повышение эффективности работы серийных образцов всегда остается актуальной научно-технической проблемой. Указанные направления развития науки и техники справедливы в том числе для электродвигателей с высококоэрцитивными магнитами. Целью данного исследования является обоснование применения электрического двигателя с постоянными магнитами в качестве силовой установки беспилотного летательного аппарата в преимуществе перед двигателями других типов. В результате проведенного исследования обоснован выбор направления исследований – определено, что наиболее перспективным направлением научного исследования является применение электродвигателей на постоянных магнитах в различных отраслях народного хозяйства и технике специального назначения, в том числе и для беспилотных летательных аппаратов. Рассмотрены особенности конструкции и основные элементы электродвигателя данного типа. При этом существует необходимость развития все более новых технологий, позволяющих существенно улучшить параметры, а также повысить управляемость и усовершенствовать системы диагностики неисправностей вентильных электродвигателей без значительного увеличения цены.

Ключевые слова: электрический двигатель с постоянными магнитами, беспилотный летательный аппарат.

APPLICATION OF THE PERMANENT MAGNET MOTOR AS AN UNMANNED AERIAL VEHICLE POWER PLANT

Vyatkina E.A., Lyutarevich A.G., Pugacheva E.A., Tevs V.V.

Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: Elena_11_95@mail.ru

The introduction of modern technologies in various sectors of the economy, as well as increasing the efficiency of the work of serial models, always remains an urgent scientific and technical problem. The indicated directions of development of science and technology are valid, including for permanent magnet motors. The purpose of the research is to justify the use of a permanent magnet motor as a power plant for an unmanned aerial vehicle in preference to other types of engines. As a result of the study, the choice of the research direction was justified – it was determined that the most promising direction of scientific research is the use of permanent magnet motors in various branches of the national economy and special-purpose machinery, including unmanned aerial vehicles. The design features and the main elements of the electric motor of this type are considered. At the same time, there is a need to develop more and more new technologies that significantly improve the parameters, as well as to improve the controllability and improve the diagnostics of valve motor malfunctions without significantly increasing the price.

Keywords: permanent magnet motor, unmanned aerial vehicle

В последнее время многочисленные проблемы и задачи стали возлагаться с пилотируемой авиации на «плечи» беспилотной авиации. Основные положительные моменты такого рода авиации это: невысокая стоимость и сравнительно малый вес, а также возможность дистанционно управлять беспилотным летательным аппаратом. Одним из основных элементов летательного аппарата считается его силовая установка. В качестве силовой установки в беспилотных летательных аппаратах широкое применение нашли двигатели внутреннего сгорания либо электрические двигатели [1].

Электрический двигатель – это такая электрическая машина (электрохимический преобразователь), который преобразовывает электрическую энергию в механическую. А двигатель внутреннего сгорания – это такого рода двигатель, где сго-

рание топлива происходит непосредственно внутри рабочей камеры, преобразуя тепловую энергию от сгорания топлива в механическую работу. В двигателях внутреннего сгорания подобных размеров и объемов применяют в качестве топливного горючего метиловый спирт, что в свою очередь приводит к последующим недостаткам, таким как низкое качество надежности и недолгий ресурс двигателя, трудности запуска. В связи с этим в качестве силовых установок наибольшее применение и признание получили установки, выполненные с применением электрических двигателей [1–3].

Высокие эксплуатационные характеристики электродвигателей с возбуждением от постоянных магнитов делают их наиболее перспективными электрическими машинами для использования их в качестве силовой установки для беспилотных летательных аппаратов. Конструкция таких двигателей

проста, надежна, кроме того, данные электродвигатели имеют довольно жесткую механическую характеристику и не требуют дополнительных затрат энергии в обмотке возбуждения [4–7].

В рамках современной стратегии развития России, связанной с внедрением в производство передовых технологий, импортозамещением, энерго- и ресурсосбережением, развитием средств комплексной автоматизации производства – научно-исследовательским институтам и организациям Российской Федерации необходимо срочно активизировать деятельность по становлению рынка разработки и производства электрических машин на основе высокоинтеллектуальных систем управления.

Таким образом, исследования по разработке силовых приводов для беспилотных летательных аппаратов актуальны и требуют новых решений по повышению эффективности используемых приводов.

Целью работы является обоснование применения электрического двигателя с постоянными магнитами в качестве силовой установки беспилотного летательного аппарата в преимуществе перед двигателями других типов.

Теория

Электродвигателем с возбуждением от постоянных магнитов называется такой электродвигатель постоянного тока (ДПТ), в основе принципа действия которого лежит взаимодействие поля постоянных магнитов на роторе и вращающегося магнитного поля обмотки статора.

В качестве постоянных магнитов используют огромное количество сталей, сплавов и их композиций, различие которых происходит по магнитным свойствам и по технологии производства. Постоянные магниты можно разделить на две группы: магниты, коэрцитивная сила которых по индукции много меньше (в 4–20 раз) отношения B_r/μ_0 , и постоянные магниты, коэрцитивная сила которых по индукции приближается к этому отношению [8].

Такие особенности применения высококоэрцитивных постоянных магнитов в электрических машинах, как сложность регулирования напряжения традиционными способами при изменении нагрузки и частоты вращения, наличие жесткой зависимости скорости вращения от момента в сочетании с высокими массо-габаритными показателями, предопределили специфику подхода к выбору конструкции машин с редкоземельными магнитами [4].

Отличительная черта электродвигателей на постоянных магнитах от электро-

двигателей с традиционным электромагнитным возбуждением – это устройство их магнитных систем. Электродвигатель подобной конструкции еще иногда называют моментным, другими словами, он выдает высокие значения вращающего момента без использования редуктора, кроме того, данные электродвигатели выдерживают 20–50 кратные перегрузки на малых оборотах.

В настоящее время преобладают следующие исполнения магнитных систем электродвигателей с постоянными магнитами:

- кольцевое расположение магнитов;
- тангенциальное расположение магнитов;
- радиальное расположение магнитов.

Высококоэрцитивные магниты применяются не только в двигателях постоянного тока, но и в синхронных машинах.

Синхронный электродвигатель с высококоэрцитивными магнитами – это синхронный электродвигатель, у которого на роторе располагаются постоянные магниты.

Различные исследования показывают, что синхронный электродвигатель с высококоэрцитивными магнитами имеет больший КПД, чем высокоэффективный асинхронный электродвигатель, при одинаковых конструкциях статора и при условии использования одного и того же частотного преобразователя для управления [9, 10].

Конструкция синхронного электродвигателя с высококоэрцитивными магнитами представлена на рис. 1. В данном случае электрическая машина состоит из статора и ротора. Традиционно неподвижной частью является статор, подвижной или вращающейся частью – ротор. Магниты в данном случае расположены на роторе.



Рис. 1. Основные элементы конструкции электродвигателя с постоянными магнитами

В преобладающих случаях статор располагается снаружи, однако существует конструкция, когда статор расположен внутри – электродвигатели обращенного типа (рис. 2).

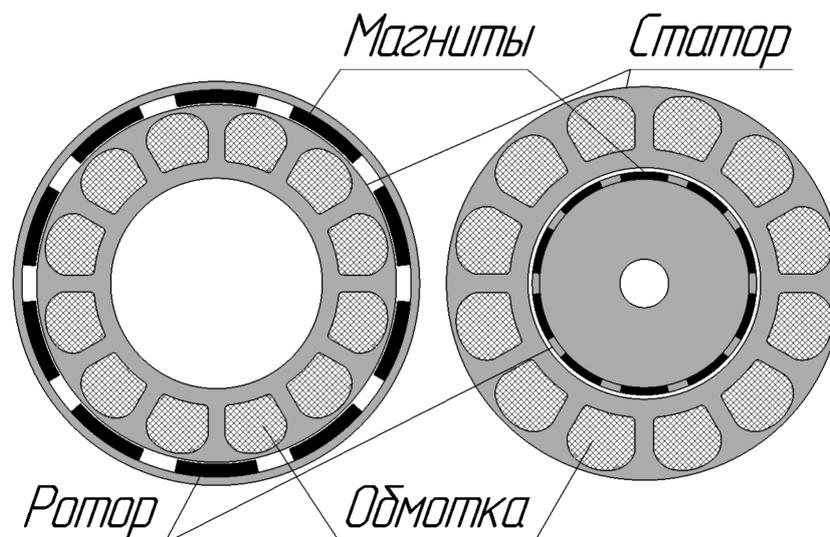


Рис. 2. Конструкция электродвигателя с постоянными магнитами: справа – стандартная, слева – обращенная

Конструкция ротора синхронных электродвигателей позволяет разделить их на две группы:

1) к первой группе можно отнести электродвигатели, ротор которых имеет явно выраженные полюса;

2) ко второй группе относятся электродвигатели, которые не имеют выступающих полюсов на роторе, т.е. ротор – с неявно выраженными полюсами.

Кроме того, непосредственно магниты могут располагаться либо по поверхности ротора электродвигателя (рис. 3), либо могут быть встроенными в ротор (рис. 4).

Аналогично, конструкция статора синхронных электродвигателей позволяет разделить их на следующие группы в зависимости от типа обмотки:

– статор с распределенными обмотками полюсов (рис. 5);

– статор с сосредоточенными обмотками (рис. 6).

Редкоземельные магниты на роторе синхронного электродвигателя создают постоянное магнитное поле. При синхронной скорости вращения ротора с полем статора полюса ротора сцепляются с вращающимся магнитным полем статора [10]. Поэтому при подключении СДПМ напрямую к сети трехфазного тока он не может запуститься сам. Другими словами, для работы синхронного электродвигателя с постоянными магнитами необходим либо преобразователь частоты, либо сервопривод – система управления электродвигателем [5, 11–14]. В качестве такого рода автоматического преобразователя или системы регулиро-

вания электродвигателем используют, как правило, информационно-измерительный датчик углового перемещения в унифицированный электрический сигнал. При этом особое внимание уделяется условиям эксплуатации электропривода в целом – в агрессивной среде к датчикам могут предъявляться повышенные требования точности и надежности.

В последнее время наибольшее предпочтение в различных системах отдают преобразователям углового перемещения с электрической редукцией. Среди них большое распространение получили индукционные редуктосины, позволяющие определять угол с высокой точностью.

С развитием полупроводниковой элементной базы и микропроцессорной техники актуальными являются задачи разработки управляющих алгоритмов обработки информации с информационно-измерительных датчиков для определения текущего положения ротора и частоты вращения электродвигателя [5, 13].

Таким образом, указанные факторы хотя и создают определенные сложности на пути внедрения электропривода с постоянными магнитами в различных областях народного хозяйства, но при этом электродвигатели данной конструкции, несмотря ни на что являются наиболее перспективными для применения, в том числе и в качестве силовой установки для беспилотного летательного аппарата.

В то же время электродвигатели коллекторного типа имеют ряд недостатков, вызванные наличием щеточно-коллекторного

узла, который может снижать надежность и срок службы электропривода в целом. Кроме этого, данный узел может быть источником пыли и создавать акустические радиопомехи. Применение данных электродвигателей такого рода затруднено при высоких температурах и влажности, также во взрывоопасной среде. Именно поэтому растет интерес к бесколлекторным двигателям на постоянных магнитах, называемых также вентильные двигатели.

Вентильные электродвигатели применяются в устройствах бытовой техники, в электроприводах рулевых механизмах летательных аппаратов, также электродвигатели с постоянными магнитами нашли широкое применение в автомобилестроении

(элементы стеклоподъемников и электро-механических усилителей руля, стартер-генераторы и др.). Кроме того, в различного рода электромобилях, инвалидных колясках и электровелосипедах также используются электродвигатели с постоянными магнитами.

Удешевление редкоземельных магнитных материалов, а также постоянное интенсивное развитие микропроцессорной элементной базы для блоков управления создают возможность применения электродвигателей с постоянными магнитами в качестве силовой установки для беспилотных летательных аппаратов, где традиционно применялись другие типы двигателей.

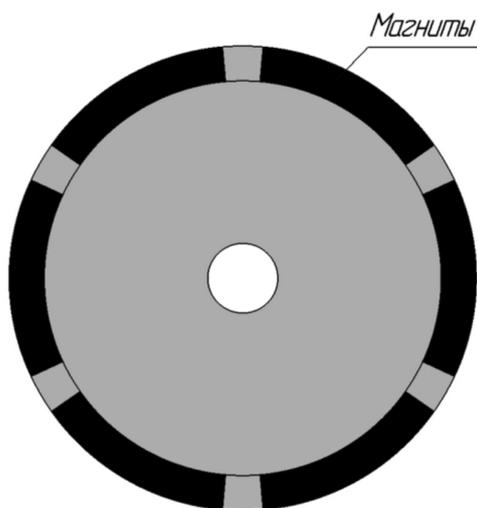


Рис. 3. Ротор электродвигателя с установкой магнитов на поверхности

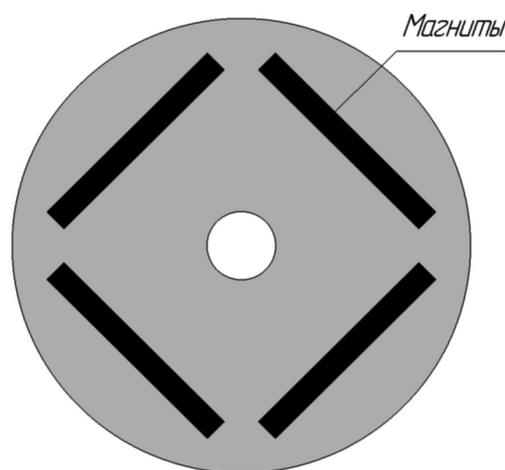


Рис. 4. Ротор электродвигателя со встроенными магнитами



Рис. 5. Внешний вид распределенной обмотки статора



Рис. 6. Внешний вид сосредоточенной обмотки статора

Заключение

По итогам проведенного анализа выявлено, что наиболее перспективным направлением научного исследования является использование электродвигателей на постоянных магнитах в различных отраслях народного хозяйства, в том числе для применения в составе силовой установки беспилотного летательного аппарата. При этом существует необходимость развития все более новых технологий, позволяющих существенно улучшить параметры вентиляльных электродвигателей без увеличения цены.

Данные исследования проведены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (договор № 14.Z56.16.5570-МК).

Список литературы

1. Mingji L. Optimization of Permanent Magnet Motor Air-gap Flux Density Based on the Non-uniform AirGap // International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC). – Shenyang, China, 2013. – P. 3422–3426.
2. Chen C. Optimization of Magnetic Field Waveform of Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motor with Non-Uniform AirGap // Electric Machines & Control Application. – 2010. – vol. 7. – P. 1–5.
3. Вяткина Е.А. Обзор современных производителей электродвигателей для беспилотных летательных аппаратов / Е.А. Вяткина, В.А. Жданова, А.Г. Люtareвич и др. // Актуальные вопросы энергетики: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Омск, 2016. – С. 30–35.
4. Milad Niaz Azari, Mojtaba Mirsalim. Performance Analysis of a Line-start Permanent Magnet Motor with Slots on Solid Rotor Using Finite-element Method // Electric Power Components and Systems. – 2013. – vol. 41:12. – P.1159–1172.
5. Люtareвич А.Г. Разработка системы векторного управления моментом электродвигателя с постоянными магнитами / А.Г. Люtareвич, С.Ю. Долингер, Е.А. Лохман и др. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 10–4. – С. 529–533.
6. Люtareвич А.Г. Вопросы проектирования электродвигателей постоянного тока с высококоэрцитивными магнитами / А.Г. Люtareвич, С.Ю. Долингер, Н.Ю. Чепурко и др. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15250>.
7. Люtareвич А.Г., Грузд А.В., Лохман Е.А. Методика расчета электродвигателя постоянного тока с высококоэрцитивными магнитами // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2013. – № 1. – С. 280–284.
8. Gyu-Hong Kang, Young-Dae Son, Gyu-Tak Kim, Jin Hur. A Novel Cogging Torque Reduction Method for Interior-Type Permanent-Magnet Motor // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2009. – vol. 45:1.
9. Akinaga T.H., Pompermaier C., Kalluf F.J.H., M.V. Ferreira da Luz. Performance Evaluation of Brushless DC Permanent Magnet Motor Using Finite Element Method // Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), 2011.
10. Вольдек А.И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: учебник для вузов / А.И. Вольдек, В.В. Попов. – СПб.: Питер, 2008. – 320 с.
11. Chien-An Chen, Huann-Keng Chiang, Bor-Ren Lin. The novel adaptive sliding mode controller for synchronous reluctance motor speed drive // European Transactions on Electrical Power. – 2009. – Volume 20, Issue 8. – P. 1058–1070.
12. Syed Abdul Rahman Kashif, Muhammad Asghar Saqib. Sensorless Control of a Permanent Magnet Synchronous Motor Using Artificial Neural Network Based Estimator—An Application of the Four-Switch Three-Phase Inverter // Electric Power Components and Systems. – 2014. – 42:1. – P. 1–12.
13. Cheema M.A.M, Fletcher J.E. Sensorless vector control of linear permanent magnet synchronous motor // ECCE Asia Downunder (ECCE Asia). – 2013 IEEE. – P. 1098–1104.
14. G. Adamidis, Z. Koutsogiannis, P. Vagdati. Investigation of the Performance of a Variable-speed Drive Using Direct Torque Control with Space Vector Modulation // Electric Power Components and Systems. – 2011. – 39:12. – P. 1227–1243.